

中华人民共和国水利行业标准

**SL 482—2011**

---

# 灌溉与排水渠系建筑物设计规范

Code for design of irrigation and drainage  
canal system structures

**2011-03-08 发布**

**2011-06-08 实施**

---

中华人民共和国水利部 发布

# 前 言

根据水利部水利水电规划设计管理局水总局科〔2001〕1号文《关于下达2001年度水利水电勘测设计技术标准制定、修订项目计划及主编单位的通知》和《水利技术标准编写规定》(SL 1—2002)制定。

本标准共14章45节325条和7个附录,主要包括以下内容:总则、术语和符号、建筑物级别划分和洪水标准、基本规定,以及渡槽、倒虹吸管、涵洞、水闸、隧洞、跌水与陡坡、排洪建筑物、农桥、量水设施等九类常用渠系建筑物(设施)的总体布置、结构型式构造、水力设计、结构设计及其安全监测地基与基础等。其中对水闸和隧洞两类建筑物只做出了其用于灌排渠系时的具体规定,以避免与现行《水闸设计规范》(SL 265—2001)和《水工隧洞设计规范》(SL 279—2002)过多重复。对农桥仅规定了灌排渠系管理范围内的桥梁应共同遵守的设计要求,以及农桥设计等级及荷载标准,其具体设计应参照交通运输部现行公路桥涵系列设计规范执行。对量水设施主要是规定了灌排渠系量水测站布置、量水方法选择和量水设施选型及其结构设计等,而量水设施的具体尺寸、量测误差估算和操作管理等应参见《灌溉渠道系统量水规范》(GB/T 21303—2007)等规范。

本标准批准部门: 中华人民共和国水利部

本标准主持机构: 水利部水利水电规划设计管理局

本标准解释单位: 水利部水利水电规划设计总院

本标准主编单位: 陕西省水利电力勘测设计研究院

本标准参编单位: 四川省水利水电勘测设计研究院

湖南省水利水电勘测设计研究院

武汉大学

陕西省水利电力工程咨询有限责任公司

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：崔蕴崇 刘 斌 陈 莉 陈武春

许晓会 惠焕利 李喜荣 何丕廉

王光春 艾克明 宋友海 王长德

夏富洲

本标准审查会议技术负责人：黄浩泉

本标准体例格式审查人：陈登毅

# 目 次

|     |                    |    |
|-----|--------------------|----|
| 1   | 总则 .....           | 1  |
| 2   | 术语和符号 .....        | 3  |
| 2.1 | 主要术语 .....         | 3  |
| 2.2 | 符号 .....           | 5  |
| 3   | 建筑物级别划分和洪水标准 ..... | 7  |
| 3.1 | 渠系建筑物级别划分 .....    | 7  |
| 3.2 | 洪水标准 .....         | 7  |
| 4   | 基本规定 .....         | 9  |
| 4.1 | 建筑物类型选择 .....      | 9  |
| 4.2 | 总体布置原则 .....       | 9  |
| 4.3 | 结构设计计算基本规定 .....   | 10 |
| 4.4 | 地基处理原则 .....       | 13 |
| 5   | 渡槽 .....           | 14 |
| 5.1 | 一般规定 .....         | 14 |
| 5.2 | 总体布置 .....         | 14 |
| 5.3 | 结构型式和构造 .....      | 16 |
| 5.4 | 水力设计 .....         | 20 |
| 5.5 | 结构设计 .....         | 21 |
| 5.6 | 地基与基础 .....        | 28 |
| 6   | 倒虹吸管 .....         | 34 |
| 6.1 | 一般规定 .....         | 34 |
| 6.2 | 总体布置 .....         | 34 |
| 6.3 | 水力设计 .....         | 37 |
| 6.4 | 结构设计 .....         | 38 |
| 6.5 | 管座 .....           | 46 |
| 6.6 | 细部结构设计 .....       | 47 |

|      |           |    |
|------|-----------|----|
| 7    | 涵洞        | 49 |
| 7.1  | 一般规定      | 49 |
| 7.2  | 总体布置      | 49 |
| 7.3  | 水力设计      | 53 |
| 7.4  | 结构设计      | 53 |
| 8    | 水闸        | 55 |
| 9    | 隧洞        | 57 |
| 10   | 跌水与陡坡     | 59 |
| 10.1 | 一般规定      | 59 |
| 10.2 | 总体布置      | 59 |
| 10.3 | 水力设计      | 63 |
| 10.4 | 结构设计      | 64 |
| 11   | 排洪建筑物     | 66 |
| 11.1 | 一般规定      | 66 |
| 11.2 | 总体布置      | 66 |
| 11.3 | 水力设计      | 69 |
| 12   | 农桥        | 70 |
| 12.1 | 一般规定      | 70 |
| 12.2 | 总体布置      | 71 |
| 12.3 | 农桥荷载标准    | 73 |
| 13   | 量水设施      | 76 |
| 13.1 | 一般规定      | 76 |
| 13.2 | 量水测站布置    | 76 |
| 13.3 | 量水方法选择    | 78 |
| 13.4 | 利用渠系建筑物量水 | 78 |
| 13.5 | 标准断面量水    | 80 |
| 13.6 | 堰槽量水      | 81 |
| 13.7 | 结构设计      | 85 |
| 14   | 安全监测设计    | 86 |
| 14.1 | 一般规定      | 86 |

|              |                       |     |
|--------------|-----------------------|-----|
| 14.2         | 监测项目 .....            | 87  |
| 14.3         | 监测方法 .....            | 88  |
| 14.4         | 监测资料整编 .....          | 89  |
| 附录 A         | 荷载计算 .....            | 90  |
| 附录 B         | 渡槽设计计算 .....          | 97  |
| 附录 C         | 倒虹吸管设计计算 .....        | 105 |
| 附录 D         | 涵洞水流流态判别及过流能力计算 ..... | 117 |
| 附录 E         | 无压隧洞设计计算 .....        | 121 |
| 附录 F         | 跌水与陡坡设计计算 .....       | 129 |
| 附录 G         | 量水设施设计计算 .....        | 133 |
| 标准用词说明 ..... |                       | 152 |
| 条文说明 .....   |                       | 153 |

# 1 总 则

**1.0.1** 为适应水利工程建设需要，统一灌溉与排水渠系建筑物设计标准，特制定本规范。

**1.0.2** 本标准适用于非航运灌溉渠道与排水沟道（以下统称为渠道）上新建、扩建的大、中型渠系建筑物设计，加固、改建的渠系建筑物设计可参考使用。

特殊重要的大型渠系建筑物设计应专门研究。

**1.0.3** 渠系建筑物设计应符合所在渠道工程总体设计、水土保持和环境保护等方面的要求。

**1.0.4** 渠系建筑物设计中应全面搜集和分析基本资料，进行必要的勘测和科学试验，积极采用新结构、新技术、新材料、新工艺、新方法。

**1.0.5** 渠系建筑物的混凝土结构设计应执行现行水利行业标准《水工混凝土结构设计规范》（SL 191—2008）。农桥的混凝土结构设计也可执行现行公路系列设计规范。

**1.0.6** 本标准引用了下列标准，使用时应注意引用下列标准可能的最新版本：

《碳素结构钢》（GB/T 700—2006）

《灌溉渠道系统量水规范》（GB/T 21303—2007）

《砌体结构设计规范》（GB 50003—2001）

《建筑结构荷载设计规范》（GB 50009—2001）

《河流流量测验规范》（GB 50179—93）

《灌溉与排水工程设计规范》（GB 50288—99）

《泵站设计规范》（GB/T 50265—2010）

《水工建筑物测流规范》（SL 20—92）

《堰槽测流规范》（SL 24—91）

《水利水电工程设计洪水计算规范》（SL 44—2006）

《土石坝安全监测技术规范》(SL 60—94)  
《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL 74—95)  
《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008)  
《水工建筑物抗震设计规范》(SL 203—97)  
《水工建筑物抗冰冻设计规范》(SL 211—2006)  
《溢洪道设计规范》(SL 253—2000)  
《水闸设计规范》(SL 265—2001)  
《水工隧洞设计规范》(SL 279—2002)  
《水电站压力钢管设计规范》(SL 281—2003)  
《水利血防技术规范》(SL 318—2011)  
《水文测船测验规范》(SL 338—2006)  
《水文缆道测验规范》(SL 443—2009)  
《混凝土大坝安全监测技术规范》(SDJ 336—89)  
《玻璃纤维增强塑料夹砂管》(CJ/T 3079—1998)  
《预应力钢筒混凝土管》(JC 625—2005)  
《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)  
《公路桥涵通用设计规范》(JTG D60—2004)  
《公路工程水文勘测设计规范》(JJG C30—2002)  
《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)  
《铁路桥涵设计基本规范》(TB 10002.1—2005)  
《铁路桥涵地基与基础设计规范》(TB 10002.5—2005)

**1.0.7** 灌溉与排水渠系建筑物设计除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 主要术语

#### 2.1.1 渠系建筑物 canal system structure

在灌溉或排水渠道系统上为了控制、分配、测量水流，通过天然或人工障碍，保证渠道安全运用而修建的建筑物的总称。

#### 2.1.2 渡槽 aqueduct (flume)

渠道跨越河渠、溪谷、洼地和道路时所修建的桥式交叉渠系建筑物。

#### 2.1.3 梁式渡槽 beam-type aqueduct

输水槽身兼作承重梁或以梁为主要承重结构的渡槽。

#### 2.1.4 拱式渡槽 arch-type aqueduct

以拱圈为主要承重结构的渡槽。

#### 2.1.5 桁架拱渡槽 arch-truss aqueduct

以桁架拱或拱形桁架为主要承重结构的渡槽。

#### 2.1.6 倒虹吸管 inverted siphon

渠道通过河渠、溪谷、洼地或道路时，敷设于地面或地下的具有虹吸作用的下凹式压力输水管道。

#### 2.1.7 涵洞 culvert

横穿填方渠堤、路基而埋设的具有封闭形断面的输水、泄水或交通建筑物。

#### 2.1.8 交通涵洞 traffic culvert

通行车辆或行人的专用涵洞。

#### 2.1.9 涵洞式水闸 culvert-type sluice

闸室为涵洞型的水闸。

#### 2.1.10 分水闸 diversion sluice

干渠以下各级渠道首部用以控制引水流量的水闸。

**2.1.11 排水闸 drainage sluice**

用以安全排出渠道中多余水量的水闸。

**2.1.12 隧洞 tunnel**

穿越山丘、高地开凿而成的具有稳定封闭形断面的输水、泄水或交通通道。

**2.1.13 跌水 drop**

使上游渠道水流自由跌落再平顺流入下游渠道的建筑物。

**2.1.14 陡坡 chute**

使上游渠道水流沿急流明槽下泄平顺流入下游渠道的建筑物。

**2.1.15 排洪建筑物 flood-releasing works**

导引天然洪水径流安全汇入、排出、跨越或横穿渠道的建筑物。

**2.1.16 平交建筑物 level crossing structure**

渠道与另一水道相交时修建的有共同流床的建筑物。

**2.1.17 溢流侧堰 overflow side weir**

沿渠堤设置从顶部安全宣泄渠道中多余水量的开敞式建筑物。

**2.1.18 虹吸溢流堰 siphon overflow weir**

沿渠堤设置利用虹吸作用自动快速宣泄渠道中多余水量的建筑物。

**2.1.19 农桥 countryside bridge**

四级公路以下的等外级乡村道路或渠堤检修路上的跨渠桥。

**2.1.20 量水设施 measures the water facility**

用以量测渠水流量（水量）的专用建筑物。

**2.1.21 量水设备 measures the water equipment**

用以量测渠水流量（水量）的专用仪表工具。

**2.1.22 长喉道槽 long-throat flume**

设置于明渠上能使通过其较长、规则收缩段的水流形成临界流态的专业量水建筑物，也称临界水深槽。

## 2.2 符 号

### 2.2.1 荷载

$F$ ——支座摩阻力；

$P_d$ ——作用于墩（架）上的漂浮物或船只撞击力；

$P_f$ ——作用于墩（架）上的水流动水压力；

$W_k$ ——作用于渡槽表面的风压力；

$\Sigma N$ ——作用于基底面所有铅直力的总和；

$\Sigma P$ ——作用于基底面所有水平力的总和；

$\Sigma M$ ——计算截面上所有作用力（包括铅直向和水平向）对计算截面形心轴的力矩之和。

### 2.2.2 材料性能参数

$E$ ——材料的弹性模量；

$f_b$ ——支座摩擦系数；

$f_e$ ——基底面与地基土之间的摩擦系数；

$\alpha$ ——线膨胀系数；

$\gamma_w$ ——水的容重；

$\rho_s$ ——泥沙颗粒密度。

### 2.2.3 几何特征

$A$ ——过水断面面积；

$B$ ——过水断面宽度；

$b$ ——过水断面底宽；

$b_c$ ——矩形跌口宽度；

$b_{cB}$ ——梯形跌口底宽；

$b_s$ ——单级跌水消力池宽度；

$r$ ——管的平均半径（ $r_0$ 、 $r_1$  分别为管的内半径、外半径）；

$\delta$ ——管壁厚度。

### 2.2.4 计算指标

$K_c$ ——抗滑稳定安全系数；

$K_f$ ——混凝土抗裂安全系数；

$K_0$ ——抗倾覆稳定安全系数。

### 2.2.5 计算参数

$h_b$ ——槽（桥）墩局部冲刷深度；

$h_p$ ——槽（桥）下断面一般冲刷后最大水深；

$Q$ ——流量；

$q$ ——单宽流量；

$v$ ——流速；

$T_d$ ——倒虹吸管内壁温差；

$y_c$ ——长喉道槽临界流控制断面水深；

$\Delta t$ ——温度变幅；

$\Delta z$ ——进出口上下游水面总落差；

$\omega_0$ ——泥沙沉降速度。

### 2.2.6 计算系数

$C_d$ ——长喉道槽流量修正系数；

$C_v$ ——长喉道槽流速修正系数；

$C_F$ ——长喉道槽边界层阻力系数；

$m$ ——流量系数；

$\varphi$ ——流速系数；

$\epsilon$ ——侧向收缩系数；

$\sigma_s$ ——淹没系数；

$\xi$ ——局部阻力损失系数。

### 3 建筑物级别划分和洪水标准

#### 3.1 渠系建筑物级别划分

**3.1.1** 渠系建筑物的级别，应参照 GB 50288—99 渠道级别划分标准，按表 3.1.1 确定，且不应低于其所在渠道的工程级别。

表 3.1.1 渠系建筑物的分级指标

| 渠系建筑物级别                        | 1      | 2            | 3           | 4         | 5    |
|--------------------------------|--------|--------------|-------------|-----------|------|
| 设计流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | $>300$ | $300\sim100$ | $100\sim20$ | $20\sim5$ | $<5$ |

**3.1.2** 与铁路或公路交叉布置的渠系建筑物，其级别不应低于该铁路或公路的工程级别，且应满足其有关建筑净空的相应规定。

**3.1.3** 在堤防上修建的渠系建筑物，其级别不应低于所在堤防工程的级别。

**3.1.4** 与其他水利水电工程建筑物合建的渠系建筑物，其工程级别应按合建中各个建筑物的最高级别确定。兼有多种用途的渠系建筑物，其工程级别应按不同用途对应的最高级别确定。

**3.1.5** 2~5 级的渠系建筑物当具备下列条件之一时经论证并报主管部门批准后，其工程级别可提高一级，但防洪标准不予提高。

- 1 所处位置或者作用特别重要者。
- 2 失事后将造成重大灾害和损失者。
- 3 初次采用新型结构者。
- 4 大跨度或高支撑结构的渡槽。
- 5 高水头或大落差的倒虹吸管、陡坡和多级跌水。

#### 3.2 洪水标准

**3.2.1** 渠系建筑物设计洪水标准，应按表 3.2.1 确定。其校核

洪水标准应视建筑物的具体情况和需要研究决定。

**表 3.2.1 渠系建筑物设计洪水标准**

| 建筑物级别         | 1   | 2  | 3  | 4  | 5  |
|---------------|-----|----|----|----|----|
| 设计防洪标准（重现期，a） | 100 | 50 | 30 | 20 | 10 |

**3.2.2 潮汐河口处渠系建筑物设计洪水标准**，根据其级别应按表 3.2.2 确定。

**表 3.2.2 潮汐河口外渠系建筑物设计洪水标准**

| 建筑物级别       | 1          | 2      | 3     | 4     | 5  |
|-------------|------------|--------|-------|-------|----|
| 防洪标准（重现期，a） | $\geq 100$ | 100~50 | 50~20 | 20~10 | 10 |

**3.2.3 防洪堤或挡潮堤上的渠系建筑物**，其洪水标准应不低于所在堤防的洪水标准。

## 4 基本规定

### 4.1 建筑物类型选择

**4.1.1** 渠系建筑物的建设位置和类型，应根据灌溉和排水区总体规划要求，按照确保渠道正常运行的原则，结合地形、水文、地质、施工、环保、水保、材料、交通、运行、管理和美观条件，经技术经济比较确定。

**4.1.2** 渠系建筑物的类型可分为下列六种：

- 1 交叉建筑物——渡槽、倒虹吸管、隧洞、涵洞。
- 2 控制建筑物——分水闸、节制闸、防洪闸、挡潮闸、退水闸。
- 3 连接建筑物——跌水、陡坡、跌井。
- 4 排洪建筑物——排洪槽（桥）、渠下涵洞、溢流侧堰、虹吸溢流堰、平交式排洪建筑物。
- 5 交通建筑物——农桥、交通涵洞。
- 6 量水建筑物——各种量水设施和兼有量水作用的渠系建筑物的总称。

**4.1.3** 渠系建筑物的类型应适应地区经济发展程度和地区特殊要求，遵循成功经验。有抗冻、防血吸虫病等特殊要求的渠系建筑物，应执行 SL 211—2006、SL 318—2011 等相关标准规定选用适宜的类型或采取相应的设计措施。

**4.1.4** 确定渠系建筑物的类型时，以每条渠道为单位估算其上各种类型渠系建筑物的总水头损失值和造价，应符合渠道规划给予的允许值。否则应调整渠系建筑物类型或个数，甚至改变渠道设计。

### 4.2 总体布置原则

**4.2.1** 灌溉渠道的渠系建筑物应按设计流量设计、加大流量校

核，排水沟道的渠系建筑物仅按设计流量设计。同时应满足水面衔接、泥沙处理、排泄洪水、环境保护、施工、运行管理的要求，适应交通和群众生活、生产的需要。

**4.2.2** 渠系建筑物宜布置在渠线顺直、水力条件良好的渠段上，在底坡为急坡的渠段上不应改变渠道过水断面形状、尺寸或设置阻水建筑物。

**4.2.3** 渠系建筑物宜避开不良地质渠段。不能避开时，应选用适宜的布置型式或地基处理措施。

**4.2.4** 顺渠向的渡槽、倒虹吸管、节制闸、陡坡与跌水等渠系建筑物的中心线应与所在渠道的中心线重合。跨渠向的渡槽、倒虹吸管、涵洞等渠系建筑物中心线宜与所跨渠道的中心线垂直。

**4.2.5** 除倒虹吸管和虹吸式溢洪堰之外，渠系建筑物宜采用无压明流流态。

**4.2.6** 在渠系建筑物的水深、流急、高差大等开敞部位，以及临近高压线、重要管线及有毒有害物质等位置，应针对具体情况分别采取留足安全距离、设置防护隔离设施或醒目的警示标牌等安全措施。

**4.2.7** 渠系建筑物设计文件中应包含必要的安全运行规程、操作制度和安全监测设计。

### **4.3 结构设计计算基本规定**

**4.3.1** 渠系建筑物的结构型式应根据地形、地质、水文气象、施工方法、环境保护、安全经济等条件，经技术经济比较后确定。通过城区、风景旅游区或重要的渠系建筑物，宜采用外形优美、与环境协调的结构型式。

**4.3.2** 渠系建筑物的结构除应满足强度、刚度和稳定要求外，还应根据所在部位的气候、环境和工作条件等情况，分别满足防淤、防堵、抗渗、抗冻、抗侵蚀、抗冲刷等要求。

**4.3.3** 位于地震烈度 7 度及以上地震区的渠系建筑物应按照 SL

203—97 规范规定进行抗震计算并采取相应的抗震措施。位于地震烈度 7 度以下地震区的渠系建筑物可不进行抗震计算，但应采取必要的抗震措施。

**4.3.4** 渠系建筑物主要承载受力部位的混凝土强度等级不应低于 C25，其伸缩缝处应设置便于更换的止水设施，必要时宜采用两道以上不同型式的止水设施。

**4.3.5** 渠系建筑物上作用的永久荷载、可变荷载和偶然荷载应包括以下内容：

**1 永久荷载应包括以下内容：**

- 1) 结构、上部填料和永久设备自重；
- 2) 土压力；
- 3) 泥沙压力；
- 4) 围岩压力；
- 5) 预应力；
- 6) 其他出现机会较多的荷载。

**2 可变荷载应包括以下内容：**

- 1) 静水压力；
- 2) 扬压力（包括渗透压力和浮托力）；
- 3) 动水压力（包括水流离心力、水流冲击力、水流拖曳力、脉动压力等）；
- 4) 漂浮物或船只撞击力；
- 5) 浪压力；
- 6) 外水压力；
- 7) 风压力；
- 8) 雪荷载；
- 9) 冰压力（包括静冰压力和动冰压力）；
- 10) 土的冻胀力；
- 11) 人群荷载；
- 12) 车辆荷载；
- 13) 温度荷载；

- 14) 土壤孔隙水压力;
  - 15) 灌浆压力;
  - 16) 混凝土收缩及徐变影响力;
  - 17) 支座摩阻力;
  - 18) 施工荷载;
  - 19) 其他出现机会较多的荷载。
- 3 偶然荷载应包括以下内容:
- 1) 校核水位的静水压力;
  - 2) 地震荷载;
  - 3) 其他出现机会较少的荷载。
- 4.3.6 上述荷载可按现行 SL 191—2008 的规定计算确定。
- 4.3.7 结构及其上部填料的自重应按其几何尺寸及材料密度计算确定。闸门、启闭机等其他设备的自重宜采用实际重量。
- 4.3.8 动水压力、漂浮物或船只撞击力、支座摩阻力、温度荷载及风压力计算见附录 A。
- 4.3.9 冰压力及土的冻胀力按 SL 211—2006 的规定计算确定。
- 4.3.10 人行桥上的人群荷载取  $2.5 \sim 3.5 \text{ kN/m}^2$ , 根据实际情况也可适当加大。作用在栏杆立柱顶上的水平推力应不小于  $0.75 \text{ kN/m}$ , 作用在栏杆扶手上的竖向力应不小于  $1.0 \text{ kN/m}$ 。
- 4.3.11 车辆荷载应按本规范第 12 章的规定计算确定。
- 4.3.12 混凝土收缩在结构中引起的附加内力应按温降作用考虑; 混凝土徐变引起的应力松弛应采用对计算内力乘以影响系数的方式表达, 详见 5.5 节。
- 4.3.13 施工荷载应根据工程施工过程的实际情况确定。如采用吊装, 应考虑施工设备的重量及吊装时的动力荷载。施工设备的净重量应按实际重量确定, 其动力荷载应按施工设备及起吊构件的净重量乘以数值为 1.1 (手动) 或 1.3 (机动) 的动力系数计算。
- 4.3.14 荷载组合分为基本荷载组合和特殊荷载组合两类。
- 设计时应按作用在渠系建筑物上的最不利荷载组合进行结构

计算。各类渠系建筑物应采用的荷载组合已分示于本规范的有关章节，必要时还应增加其他不利的荷载组合。

## **4.4 地基处理原则**

**4.4.1** 当渠系建筑物的地基不能满足承载力、变形、抗渗或抗冲刷等要求时，应同时采取一种或多种地基处理加固措施。

**4.4.2** 地基处理方案应结合渠系建筑物的结构特点、地基情况、施工条件、运行方式和环境保护要求，按照与基础及上部结构相协调、因地制宜、简便易行、合理可靠的原则，经技术经济比较后确定。

**4.4.3** 采用的地基处理方案应不污染地表水、地下水，不应产生持久强烈的振动或噪声，应保证周围已有的建筑物安全，减少对周围环境产生不利影响。

**4.4.4** 一座渠系建筑物应位于同一类型的地基上。对岩性不一的地基应采取工程处理措施。

**4.4.5** 岩石地基处理应遵循下列原则：

1 应清除全风化带、强风化带岩层，对弱风化带岩层至少应采取防渗和加固处理措施。

2 对存在的裂隙、软弱夹层、断层破碎带和溶洞，应选取换填、灌浆和浇筑混凝土盖塞等处理措施。

**4.4.6** 对承载力不足，存在湿陷、沉陷、膨胀、冻胀、冲刷、地震液化等不良物理现象的土基，应选取换填、预压、预浸水、夯实、保温、挤密等单项或综合加固措施，必要时采用桩基或沉井深基础。

**4.4.7** 地基处理设计应符合本规范各章关于总体布置、水力设计和结构设计的相关规定。

## 5 渡 槽

### 5.1 一 般 规 定

**5.1.1** 渡槽使用的建筑材料最低强度等级应符合下列规定：

- 1 所用混凝土的强度等级不宜低于表 5.1.1 的规定值。

**表 5.1.1 混凝土最低强度等级**

| 构件名称          | 渡 槽 级 别 |     |     |
|---------------|---------|-----|-----|
|               | 1       | 2、3 | 4、5 |
| 槽身、拱式渡槽主拱圈、墩帽 | C30     | C25 | C25 |
| 排 架           | C25     | C25 | C20 |
| 墩身            | C25     | C20 | C20 |

- 2 拱式渡槽所用石料的强度等级不应低于 MU30。

3 砌筑用砂浆的强度等级：对于 1~3 级拱式渡槽不应低于 M7.5，4~5 级拱式渡槽不应低于 M5。

**5.1.2** 应根据渡槽所处的环境条件类别和运用要求，对使用的圬工材料提出抗渗、抗冻、抗磨、抗侵蚀要求，并采取相应的构造措施。对位于三类、四类、五类和冻融比较严重的二类、三类环境条件的渡槽结构，其混凝土强度等级、砌石和砂浆强度等级应提高一级，并相应采用抗侵蚀性水泥等措施。

**5.1.3** 渡槽钢筋混凝土结构设计和所遵循的构造要求，应符合其强度、稳定性、抗裂（或限裂）和耐久性需要，且应对混凝土浇筑、拆模、养护和使用添加剂等施工重要环节作出规定。

### 5.2 总 体 布 置

**5.2.1** 渡槽应选择技术经济条件最佳的槽址和结构型式，且应控制和减少永久占地、植被破坏、弃渣流失等环境污染。

**5.2.2** 槽址选择应遵循下列原则：

1 应使渡槽和引渠长度较短、地质条件良好。

2 槽身轴线宜为直线，且宜与所跨河道或沟道正交。当受地形、地质条件限制槽身必须转弯时，弯道半径不宜小于 6 倍的槽身水面宽度，并考虑弯道水流的不利影响。大型渡槽宜通过模型试验确定。

3 跨河渡槽的槽址处河势应稳定，渡槽长度和跨度的选取应满足河流防洪规划的要求，减小渡槽对河势和上、下游已建工程的影响。

4 便于在渡槽前布置安全泄空、防堵、排淤等附属建筑物。

### 5.2.3 槽下净空应符合下列规定：

1 跨越通航河流、铁路、公路的渡槽，槽下净空应符合相关部门行业标准关于建筑限界的规定。

2 跨越非等级乡村道路的渡槽，槽下净空应根据当地通行的车辆或农业机械情况确定。其槽下最小净高对人行路应为 2.2m、畜力车及拖拉机路应为 2.7m、农用汽车路应为 3.2m、汽车路应为 3.5m。槽下净宽应不小于 4.0m。

3 非通航河流（渠道）的校核洪水位（加大水位）至梁式渡槽槽身底部的安全净高应不小于 1.0m（0.5m），拱式渡槽的拱脚高程宜略高于河流校核或最高洪水位。双铰拱的拱脚允许校核洪水位淹没但不宜超过拱圈高度的 2/3，且拱顶底面至校核水位的净高不应小于 1.0m。

### 5.2.4 渡槽进、出口建筑物布置应符合下列规定：

1 进、出口段宜布置在岩石或挖方土质渠槽上。其底部和两侧应按地质条件设计防漏、防渗、防伸缩沉陷措施和完善的排水系统，有效防渗设施长度均应大于 5 倍的渠道最大水深。

2 进、出口段与上、下游渠道应平顺连接，避免急转弯。确因地形、地质条件限制而必须转弯时，弯道宜设于距离渡槽进、出口直线长度大于 3 倍的渠道正常水深以外，且弯道半径宜不小于 5 倍的渠底宽。

3 进、出口渐变段长度应按两端渠道水面宽度与槽身水面

宽度之差所形成的进口水流收缩角和出口水流扩散角控制。进口水流收缩角宜为  $11^{\circ}\sim 18^{\circ}$ ，出口水流扩散角宜为  $8^{\circ}\sim 11^{\circ}$ 。

4 槽身和进、出口渐变段之间的连接段长度应根据情况具体布置。槽身和进、出口之间的接缝宜设不同类型的、可靠的双止水。

### 5.3 结构型式和构造

5.3.1 渡槽结构型式应根据渡槽级别、规模、地形、地质、地震、建筑材料、施工方法、环境条件、工期造价及运行管理要求等因素，因地制宜，经技术经济比较后确定。常用的梁式、拱式、桁架式、拱梁组合式及斜拉式等结构型式分别适用于下列条件：

1 地形开阔平坦，槽高不大，地质条件较差以及大型渡槽宜首选梁式渡槽。

2 窄深山谷地形，两岸地质条件良好，场地稳定，承载力较好，有施工场地时，宜采用单跨拱式或大跨度斜拉式渡槽。

3 槽高较大，地基良好或便于处理，施工场地开阔，宜采用桁架式或拱式渡槽。

4 水流湍急，通航放木，冰情严重河（渠）道上的渡槽，宜采用单跨跨越的结构型式。

5 多跨度的渡槽宜采用相同的结构型式和单跨跨度。槽址条件复杂时，采用的结构型式和单跨跨度不宜超过 3 种。

5.3.2 经技术经济比较后，可选用部分预应力或全预应力、单向或多向预应力混凝土结构。

5.3.3 槽身横断面应符合下列要求：

1 槽身横断面的常用型式有矩形和 U 形两种，应根据设计流量、运行要求及建筑材料条件等经技术经济比较后确定。矩形横断面槽身包括有、无拉杆侧墙式、肋板式、多纵梁式、箱式以及多箱梁式。

2 梁式渡槽矩形和箱形槽身的深宽比宜采用  $0.6\sim 0.8$ ，不

兼作纵梁受力或因特殊要求而加宽的矩形槽身不受此限制。箱式横断面在加大水面以上的通气面积不应小于 15% 和 0.4m 以上的通气净空高度。

**3** 槽身侧墙顶端厚度不宜小于 12cm，侧墙底部厚度由计算确定。矩形槽身高度与槽壁厚度之比宜为 12~16，肋板式矩形槽身高度与槽壁厚度之比宜采用 18~21，槽身高度与槽壁厚度之比大于 15 的 U 形槽身应论证槽身的稳定性。

**4** 梁式渡槽 U 形槽身的深宽比宜采用 0.7~0.9，拱式渡槽 U 形槽身的深宽比应适当减小。U 形槽身的槽壁顶端应加大形成顶梁，顶梁面积（不含槽壁厚）宜为槽身横断面的 15%~18%。跨宽比不小于 4 的 U 形槽槽底弧形段宜加厚。U 形槽身两端应设置端肋，端肋外形轮廓宜为倒梯形或折线型。

**5** 槽身顶部宜设拉杆。拉杆间距应与槽身侧墙的刚度和计算方法相适应。

**6** 3 级及 3 级以上的渡槽可采用双槽或多槽式布置。

**7** 位于寒冷和严寒地区，三类、四类、五类环境条件的渡槽不宜采用薄壁结构型式。

**5.3.4** 钢筋混凝土结构的简支梁式槽身单跨跨度宜采用 8~15m，双悬臂梁式槽身分节长度宜采用 15~30m。预应力混凝土结构大型渡槽槽身宜采用简支梁式，其单跨跨度宜采用 25~50m。槽身距地面高度较大、地基条件较好或基础施工困难的宜选用上述的跨度上限值。

**5.3.5** 拱式渡槽圬工主拱圈的结构型式有板拱、肋拱、箱形拱等，应根据渡槽规模、拱圈跨度、建筑材料以及施工方法等因素合理选用，并应符合下列要求：

**1** 主拱圈跨度宜采用 30~40m。其矢跨比宜选用以下值：板拱、肋拱  $1/6 \sim 1/3$ ，箱形拱、刚架拱  $1/10 \sim 1/6$ ，桁架拱  $1/8 \sim 1/4$ 。

**2** 主拱圈宽度宜与槽身结构宽度相同。主拱圈宽度与跨度之比不宜小于  $1/20$ ，对大跨度小流量的拱式渡槽，亦不宜小于

1/30。单拱跨度不大于 40m 时宜采用等截面主拱圈，大于 40m 时应采用从拱顶至拱脚逐渐加大截面高度的变截面主拱圈。

**3** 主拱圈的拱轴线应与渡槽正常运用期荷载产生的压力线接近，在拱圈截面上不宜出现拉应力和不均匀的压应力。

**4** 主拱圈的拱顶宜略低于或接触槽身底面。

**5** 板拱主拱圈可采用实体式或空箱式横截面。空箱式板拱主拱圈的顶、底板厚度不应小于 8cm，两侧腹板厚度不应小于 9cm，箱腹挖空面积宜为箱体全截面的 50%~70%。

**6** 肋拱式拱圈可采用无铰、两铰或三铰的分离式肋拱结构，肋拱横截面可采用矩形、工字形或箱形。矩形截面肋拱的拱顶厚度宜为拱跨的 1/60~1/40，截面高度与宽度之比宜为 1.5~2.5。拱肋之间沿纵向每隔一定距离，以及在拱肋上设有排架和设铰断面处，应设置与拱肋刚性连接的横系梁。横系梁截面的最小边长不应小于其长度的 1/15。拱肋上排架间距可采用 3~6m 或拱肋宽度的 15 倍。

**7** 横墙腹拱式空腹拱渡槽的腹拱跨径宜为主拱圈跨径的 1/15~1/8，主拱圈跨径大时取较小值。腹拱可采用等厚度圆弧拱或半圆拱。浆砌石腹拱厚度宜不小于 30cm，混凝土腹拱厚度宜不小于 15cm。

**8** 实腹拱的拱上结构两端与槽台之间应设置竖向变形缝，主拱圈跨度较大时，拱顶位置应加设竖向变形缝，多跨实腹拱式渡槽的槽墩顶部的上部结构应设竖向变形缝。空腹式渡槽与墩台相邻的腹孔应采用三铰拱，其他腹拱宜采用三铰拱或两铰拱。铰所在断面的上部结构均应设置竖向变形缝。

**9** 无铰拱的主拱圈与墩台之间应采用刚性连接，未经妥善处理的软土地基上不宜采用无铰拱结构。三铰拱或两铰拱主拱圈上的铰结构设计应确保起到铰的作用。

**10** 严寒地区拱式渡槽的主拱圈应采用较大的矢跨比和较小的拱轴系数，拱上建筑及构造措施应能适应较大的温度变形要求。

**5.3.6** 梁式及拱式桁架渡槽应符合下列要求：

1 梁式桁架宜取高跨比为  $1/10 \sim 1/5$ 、桁架节间距为  $3 \sim 6\text{m}$ 。

2 上承梁式桁架的高跨比宜为  $1/6 \sim 1/3$ ，其竖杆位置应使各节间的槽身纵向弯矩值接近且间距不宜小于  $5\text{m}$ 。下承梁式桁架的上弦拱轴线宜采用二次抛物线（或采用折线拱或平行弦桁架），其高跨比宜为  $1/10 \sim 1/5$ 。

3 桁架拱拱形弦杆的轴线宜采用二次抛物线或悬链线。桁架节间距宜为跨度的  $1/15 \sim 1/10$ ，桁架拱片各杆截面宽度宜为  $20 \sim 50\text{cm}$ 。上承拱式桁架的下弦杆截面高度宜为跨度的  $1/85 \sim 1/70$ ，下弦杆与上弦杆的刚度比宜大于 6，腹杆与上弦杆的刚度比宜小于 1。复拱式拱桁架上、下弦杆的刚度比宜采用  $3 \sim 4$ ，竖杆截面宽度宜不大于下弦杆的截面高度。中承式及下承式桁架拱的杆件尺寸可参考上述规定确定。

4 各榀桁架片之间应采用横向联系杆刚性连接成整体结构。

#### 5.3.7 排架、槽墩或墩台等下部支承结构应符合下列规定：

1 排架高度小于  $20\text{m}$  时宜采用单排架， $20 \sim 35\text{m}$  时宜采用双排架。A 字形排架宜在顺槽向或横槽向一个方向上布置。受水流冲击的排架下部应采用重力式实体墩（混合式墩架）或全部重力墩。采用桩基础的渡槽宜采用桩柱式槽架。作用于排架的竖向荷载应通过排架立柱组合中心，排架柱底部与基础或重力墩之间宜采用固接方式，有特殊要求时可采用铰接方式连接。

2 重力式槽墩的墩高为  $8 \sim 15\text{m}$  时宜采用浆砌石或混凝土实体墩，墩高为  $15 \sim 40\text{m}$  时宜采用混凝土或钢筋混凝土空心重力墩。钢筋混凝土空心重力墩的墩壁厚度不应小于  $30\text{cm}$ ，混凝土空心重力墩的墩壁厚度不应小于  $50\text{cm}$ 。空心墩墩帽下应设置实体过渡段，空心墩内应视应力分布情况沿高度方向每隔  $2.5 \sim 4.0\text{m}$  设置水平状钢筋混凝土横隔板或横梁，或设置直立的纵向隔板。

3 多跨连拱式渡槽每隔  $3 \sim 5$  跨应设置一个加强墩。两侧拱跨对称的拱式渡槽混凝土中墩墩顶厚度宜为拱跨的  $1/25 \sim 1/15$ ，浆砌石中墩墩顶厚度宜为拱跨的  $1/20 \sim 1/10$ ，且不应小于

80cm。当槽墩两侧拱跨不对称时，应根据地基和墩体受力条件调整槽墩两侧拱脚（及墩顶）高程和拱矢跨比。

**4** 槽台应根据地质和槽台高度等条件分别选用轻型、重力式、U形、箱型或桩板组合等结构型式，其布置应满足稳定、地基承载力及沉降要求。轻型槽台和重力式槽台高度不宜大于5m，台身背面应设置集水反滤系统和减压排水孔。台背填土应提出设计密实度要求，其表面应采取排水和防冲蚀措施。

**5.3.8** 简支梁式槽身的支座型式宜取高程较低端为固定支座，另一端为活动支座。对于多跨简支梁式槽身，各跨的固定支座与活动支座应相间排列。同座渡槽墩（架）顶部同一侧的支座型式应相同。中、小型渡槽的固定支座宜用平面钢板支座或板式橡胶支座，活动支座宜用切线钢板支座或滑动板式橡胶支座。大型渡槽固定支座宜用盆式橡胶支座，活动支座宜用单向或多向盆式橡胶活动支座。

## 5.4 水力设计

**5.4.1** 水力设计内容包括选择槽身纵向底坡、确定槽身过水断面尺寸、通过水面衔接计算确定渡槽底部纵向各部高程，具体要求符合下列规定：

**1** 槽身底坡应为缓坡（排洪渡槽除外），槽内设计流速宜为1.0~2.5m/s。

**2** 槽身过水断面应按通过加大流量时尚有足够槽壁超高的要求确定。通过设计流量时矩形断面的超高应不小于槽内水深的1/12加0.05m，U形断面超高应不小于槽身直径的1/10。通过加大流量时槽中水面与无拉杆槽身顶部或有拉杆槽身的拉杆底部高差不应小于0.1m，平面中轴线为曲线的槽内水深应取弯道处槽内横向最大水深值。

**3** 水面衔接计算应先计算通过设计流量时渡槽的总水面降落值，若该值略小于或等于渠道规划分配给渡槽的允许值，据此初定槽身首端、末端及渡槽出口端渠道的底部高程。通过加大流

量时由渡槽出口端渠底高程向上推求的进槽水深壅高值不宜超过槽前上游渠道水深的 1%~3%，槽内水面不应出现较大的降落或壅高现象，否则应重复以上步骤再行计算。

**4** 寒冷和严寒地区的渡槽槽身出口端底部高程宜高于该处的渠底高程，或在槽身末端底部设置泄空排水阀。

**5** 以上的水力设计计算公式见附录 B.1。

**6** 渡槽墩台冲刷包括河床自然演变冲刷、槽下断面的一般冲刷和局部冲刷，其计算方法及计算公式参见 JTG C30—2002 第 7 章的规定。

**5.4.2** 重要、大型渡槽的过水能力、各部位水头损失、水面衔接状态以及采用的消除槽内涌浪、旋涡、壅水、落水等各种措施，应经水工模型试验验证。

**5.4.3** 扩建、改建渡槽的槽身材料或槽下河（渠）道的砌护材料发生改变时，应相应调整糙率值进行核算。

## **5.5 结构设计**

**5.5.1** 渡槽结构应满足强度、刚度、稳定性、耐久性、抗裂或限裂要求，严寒地区渡槽的抗冻性要求应满足 SL 211—2006 规定。

**5.5.2** 上部输水结构、下部支承结构和基础等结构各成独立单元的渡槽，应根据力的传递关系和各部分的具体结构型式，分别进行结构分析。组合拱式渡槽及其他上部槽身与下部支承结构联合受力的渡槽，则应按整体结构进行结构分析。

**5.5.3** 作用在渡槽上的荷载可分为永久荷载、可变荷载和偶然荷载三大类，其荷载项目见本规范第 4.3.5 条，荷载计算见附录 A。

**5.5.4** 混凝土收缩在超静定拱渡槽引起的附加内力，应按温度降低作用考虑，温度降低值应按表 5.5.4 确定。对重要的 1 级、2 级渡槽，其混凝土收缩对拱圈内力的影响宜经试验或专门研究确定。混凝土徐变引起的应力松弛，应按对计算拱圈内力乘以影响系数的方式确定。计算温度内力时影响系数应采用 0.7，计算收缩内力时影响系数应采用 0.45。

表 5.5.4 计算混凝土收缩附加应力按温度降低的取值

| 拱 结 构 型 式                                 |      | 相当于温度降低值<br>(℃) |
|-------------------------------------------|------|-----------------|
| 整体现浇混凝土拱                                  | 一般地区 | 20              |
|                                           | 干燥地区 | 30              |
| 整体现浇钢筋混凝土拱                                |      | 15~20           |
| 分段浇筑的混凝土及钢筋混凝土拱                           |      | 10~15           |
| 装配式钢筋混凝土拱                                 |      | 5~15            |
| 注：对于砌石拱圈计算混凝土收缩附加应力时按温度降低作用考虑的取值，应参考表中数值。 |      |                 |

5.5.5 设计时应将可能同时作用于渡槽的各种荷载进行组合。  
渡槽结构设计的荷载组合应按表 5.5.5 选用。

重要、特殊渡槽必要时尚应考虑其他可能的不利荷载组合。

表 5.5.5 荷 载 组 合

| 荷载组合                  | 计算情况      | 荷 载 |    |      |      |        |     |     |       |     |      |      |            |     |      |    |
|-----------------------|-----------|-----|----|------|------|--------|-----|-----|-------|-----|------|------|------------|-----|------|----|
|                       |           | 自重  | 水重 | 静水压力 | 动水压力 | 漂浮物冲击力 | 风压力 | 土压力 | 土的冻胀力 | 冰压力 | 人群荷载 | 温度荷载 | 混凝土收缩和徐影响力 | 预应力 | 地震荷载 | 其他 |
| 基本组合                  | 设计水深、半槽水深 | √   | √  | √    | √    | —      | √   | √   | √     | √   | √    | √    | √          | √   | —    | —  |
|                       | 空槽        | √   | —  | √    | √    | —      | √   | √   | √     | √   | √    | √    | √          | √   | —    | —  |
| 偶然组合                  | 加大水深、满槽水深 | √   | √  | √    | √    | —      | √   | √   | √     | √   | √    | √    | √          | √   | —    | —  |
|                       | 施工情况      | √   | —  | √    | √    | —      | √   | √   | √     | —   | √    | —    | —          | √   | —    | √  |
|                       | 飘浮物撞击     | √   | —  | √    | √    | √      | √   | √   | —     | —   | √    | √    | √          | √   | —    | —  |
|                       | 地震情况      | √   | √  | √    | √    | —      | √   | √   | √     | √   | —    | √    | √          | √   | √    | —  |
| 注：温度荷载应分别考虑温升和温降两种情况。 |           |     |    |      |      |        |     |     |       |     |      |      |            |     |      |    |

**5.5.6** 梁式渡槽槽身结构计算内容主要包括：纵向和横向断面的内力、正截面和斜截面强度、正截面抗裂（或限裂）及挠度验算。应根据具体结构型式选用相应的计算方法并符合下列规定：

1 梁式槽身（包括 U 形）跨宽比不小于 4 时，可按梁理论计算；跨宽比小于 4 时，应按空间问题采用弹性力学方法计算，4 级、5 级渡槽槽身也可近似按梁理论计算。对于实腹式、横墙腹拱式及上承式桁架拱等拱上槽身，应按连续弹性支承梁进行计算。

2 槽身跨高比不大于 5.0 时，应按深受弯构件设计。简支深受弯构件的内力可按一般简支梁计算。连续深受弯构件的内力，当跨高比小于 2.5 时应按弹性理论的方法计算，当跨高比不小于 2.5 时应按一般连续梁计算。深受弯构件的强度计算和抗裂验算方法应按 SL 191—2008 规定执行。

3 不设拉杆的矩形槽槽身横向内力分析时应对满槽及半槽水两种工况分别进行计算。有拉杆的矩形槽槽身横向内力分析时可不计算半槽水工况。

4 作为杆系计算内力的结构可按断面内力计算配置钢筋，U 形槽身可按总拉力法配置钢筋。对不能或不宜作为杆系计算内力，而由弹性力学方法或结构试验确定其应力分布的结构，应按照 SL 191—2008 第 13 章规定，按应力图形配置钢筋。梁式矩形槽身侧墙的横向受力钢筋不应兼作纵向斜截面抗剪钢筋。

5 渡槽纵向结构计算时，如槽身支座摩擦系数大于 0.1，则应考虑温降条件下支座摩阻力对槽身内力产生的不利影响。

6 预应力混凝土槽身应力分析宜采用梁理论和弹性理论相结合的方法，相互补充并进行验证。

7 渡槽槽身的最大挠度应按满槽水工况进行计算。简支梁式槽身计算跨度  $L \leq 10\text{m}$  时，跨中最大挠度应小于  $L/400$ ，计算跨度  $L > 10\text{m}$  时，跨中最大挠度应小于  $L/500$ 。对于双悬臂或单悬臂梁式渡槽的槽身，跨中挠度的限值同简支梁跨中挠度的限值，悬臂端挠度限值为：当悬臂段计算长度  $L' \leq 10\text{m}$  时为

$L'/200$ ;当计算长度  $L' > 10\text{m}$  时为  $L'/250$ 。预应力混凝土槽身最大挠度计算值应不含施加预应力所产生的反拱值。

**8** 重要的大、中型渡槽槽身应按抗裂设计,4级、5级渡槽槽身宜按限裂设计,最大裂缝宽度限值应符合 SL 191—2008 规范表 4.2.7 的规定。

**5.5.7** U形槽身端肋的结构计算,当槽身按梁理论计算时,端肋可近似按一次超静定计算,梁高取中部最小截面的高度。当槽身按弹性理论计算时,端肋应与槽身作为整体结构进行计算。

**5.5.8** 1级、2级以及跨度大、宽跨比大于  $1/20$  的拱式渡槽,应采用有限元法进行拱圈结构分析计算。跨度较小的 3~5 级拱式渡槽应采用结构力学的方法,应分别计算纵向坚直荷载和横向风压作用下的拱圈结构内力,并应符合下列规定:

**1** 超静定拱应计算因温度变化在拱圈内引起的附加应力。跨度小于  $25\text{m}$ 、矢跨比不小于  $1/5$ ,由砖石或混凝土预制块砌筑的拱圈,不宜计入温度变化对拱圈内力的影响。

**2** 土质地基上的超静定拱,应计算因墩台不均匀沉降、水平位移和转动引起的拱圈附加应力,其内力计算成果宜折减  $50\%$ 。

**3** 无铰拱主拱圈应对拱顶、 $1/4$  拱跨和拱脚三个截面进行强度与稳定验算。小跨径拱圈只需计算拱顶和拱脚两个截面,大跨径拱圈应加算  $1/8$  和  $3/8$  拱跨两个截面,上部支承结构为拱上排架的主拱圈应对拱顶、拱脚、拱顶和拱脚附近排架等所在截面、以及两排架中间的截面进行强度与稳定验算,裸拱和裸拱肋在施工安装阶段的验算截面应根据实际情况确定。

**4** 砖石及混凝土主拱圈在荷载作用下的偏心距不应超过表 5.5.8-1 规定的容许偏心距。

**5** 按偏心受压构件计算的钢筋混凝土主拱圈,应按 SL 191—2008 第 7.3.8 条的规定,在其正截面受压承载力计算中考虑结构侧移和主拱圈挠曲引起的二阶效应附加内力。

表 5.5.8-1 偏心受压构件的容许偏心距  $e_0$

| 荷载组合                                                                                                                                                                           | 基本组合         |             | 偶然组合 1       |             | 偶然组合 4<br>(地震情况) |             | 槽墩承受<br>单向推力 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|------------------|-------------|--------------|
| 结构<br>名称                                                                                                                                                                       | 中、小跨<br>径主拱圈 | 其他          | 中、小跨<br>径主拱圈 | 其他          | 中、小跨<br>径主拱圈     | 其他          |              |
| 允许偏<br>心距                                                                                                                                                                      | $\leq 0.6y$  | $\leq 0.5y$ | $\leq 0.7y$  | $\leq 0.6y$ | $\leq 0.8y$      | $\leq 0.7y$ | $\leq 0.7y$  |
| <p>注 1: 表中 <math>y</math> 为截面或换算截面重心至偏心方向截面边缘的距离 (mm);</p> <p>注 2: 当混凝土构件截面受拉一边设有不小于截面面积 0.05% 的纵向钢筋时, 表内规定值可增加 0.1y;</p> <p>注 3: 当截面配筋率符合最小含筋率时, 按钢筋混凝土截面计算, 偏心距不受表中规定限制。</p> |              |             |              |             |                  |             |              |

6 钢筋混凝土主拱圈最大裂缝宽度限值应符合 SL 191—2008 表 4.2.7 的规定。

7 采用无支架或吊装施工的主拱圈, 应按裸拱进行纵向稳定验算; 采用无支架或早期脱架施工的大、中跨径主拱圈, 拱上结构未与拱圈共同作用时, 应按主拱圈承受全部拱上荷载进行验算; 拱上排架无纵向联系且槽身简支于排架顶部时, 应按主拱圈承受拱跨结构全部荷载进行验算。

8 长细比不大且矢跨比小于 1/3 的主拱圈, 不宜进行纵向稳定验算。长细比  $l_a/h_a > 30$  (矩形截面) 或  $l_a/\gamma_w > 104$  (非矩形截面) 的砖石及混凝土主拱圈 ( $l_a$  为直杆的计算长度,  $h_a$  为矩形截面偏心受压构件在弯曲平面内的高度,  $\gamma_w$  为在弯曲平面内构件截面的回转半径)、长细比  $l_a/b_0 > 50$  或  $l_a/i_0 > 174$  的钢筋混凝土主拱圈 ( $b_0$  为矩形截面短边尺寸,  $i_0$  为截面最小回转半径), 拱圈的纵向稳定可按公式 (5.5.8-1) ~ 公式 (5.5.8-5) 验算。

$$N_m \leq \frac{1}{K_v} N_L \quad (5.5.8-1)$$

$$N_m = \frac{H_m}{\cos \varphi_m} \quad (5.5.8-2)$$

$$\cos\varphi_m = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{L}\right)^2}} \quad (5.5.8-3)$$

$$N_L = \frac{H_L}{\cos\varphi_m} \quad (5.5.8-4)$$

$$H_L = k_L \frac{EI_X}{L^2} \quad (5.5.8-5)$$

式中  $N_m$ ——计算荷载作用下的平均轴向压力，kN；  
 $K_v$ ——纵向稳定安全系数，可采用 4~5；  
 $N_L$ ——拱圈丧失纵向稳定时的临界平均轴向压力，kN；  
 $H_m$ ——计算荷载作用下拱脚水平推力，kN；  
 $\varphi_m$ ——半拱的弦与水平线的夹角，(°)；  
 $f$ ——拱的计算矢高，m；  
 $L$ ——拱的计算跨度，m；  
 $H_L$ ——临界水平推力，kN；  
 $E$ ——拱圈材料的弹性模量，kN/m<sup>2</sup>；  
 $I_X$ ——主拱圈截面对水平主轴的惯性矩，m<sup>4</sup>，对于变截面拱圈，可近似采用 1/4 拱跨处截面惯性矩；  
 $k_L$ ——临界推力系数，等截面悬链线拱在均布荷载作用下的  $k_L$  值可参考表 5.5.8-2 确定。

**表 5.5.8-2 等截面悬链线拱临界推力系数  $k_L$  值**

| 支承条件 | 矢 跨 比 |      |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|------|
|      | 0.1   | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  |
| 无铰拱  | 74.2  | 63.5 | 51.0 | 33.7 | 25.0 |
| 双铰拱  | 36.0  | 28.5 | 19.0 | 12.9 | 8.5  |

**9** 当主拱圈宽跨比小于 1/20 或采用无支架施工时，应验算拱圈的横向稳定性，可按附录 B.2 的公式验算。

**5.5.9** 排架、槽墩、槽台等下部支承结构的强度计算应符合下列规定：

**1** 排架应按下端为固接或铰接分别验算横槽向和顺槽向的

强度。横槽向内力宜按平面刚架计算，立柱应按迎风面及背风面配筋计算中的大者对称配置受力钢筋。顺槽向单排架宜按顶端为铰或自由端的立柱进行强度验算，并考虑纵向弯曲的影响。采用预制吊装时还应验算仅承受单侧槽身荷载时的强度。顺槽向双排架可简化为平面刚架计算，A 字形排架宜简化为两个横槽向单排架（A 字形架在顺槽向）或单 A 字形排架（A 字形架在横槽向）计算。采用预制吊装的排架，应计算起吊时的强度，排架重力应按动力荷载计算。

**2** 梁式渡槽及拱式渡槽两侧拱跨结构对称相等的重力式槽墩，应验算墩身与墩帽结合面、校核洪水位时飘浮物（或船只）撞击点的墩身上下断面、墩身水平断面突变处、墩身与基础结合面的正应力和剪应力。两侧拱跨不等的不对称墩，应验算小跨拱脚下缘、大跨拱脚上缘与下缘、墩身与基础结合面以及墩面变坡截面的正应力和剪应力。桁架式加强墩除应验算墩帽与墩身结合面的应力外，还应根据结构内力计算成果对墩柱的不利截面进行应力验算。

**3** 槽墩应验算施工过程中两侧荷载不对称作用时的纵向强度。拱式渡槽的不对称墩，应验算运用期主拱圈承受最大竖向荷载并计入温升作用的情况。对加强墩应考虑一侧拱跨垮塌时另一侧为空槽加温升的工况。

**4** 槽台应根据其结构型式、运用工况和地基条件等验算整体抗滑、抗倾覆稳定性和地基承载力，并计算台身各水平断面的正应力和剪应力。U 形槽台两侧墙长度不小于同一水平截面前墙全长的 0.4 倍时，宜按整体 U 形截面验算其应力。轻型槽台不应产生沿基底面的滑动，但可绕基底面垂直渡槽水流方向的重心轴产生向岸坡方向的较小转动。

**5** 支承结构顶部的支座部位应进行局部承压应力验算，并采取相应措施。

**5.5.10** 支座结构应满足强度要求，并能适应槽身因温度变化、混凝土收缩、徐变及荷载作用而引起的位移（线位移和角位移）。

支座结构的设计、计算方法宜参考桥梁工程的支座设计，大型渡槽及高地震烈度区渡槽的支座应进行专门研究。

## 5.6 地基与基础

**5.6.1** 渡槽基础应根据槽址处的工程地质、水文气象、建筑材料和施工方法等条件，结合渡槽结构型式，经技术经济比较后，合理选用浅基础、桩基础或沉井基础。

**5.6.2** 渡槽基础应满足强度、稳定性及耐久性要求。寒冷和严寒地区渡槽的基础设计尚应符合 SL 211—2006 的规定。

**5.6.3** 渡槽的地基允许承载力应根据地质勘察成果采用野外荷载试验、理论计算和类比法综合分析确定。地质情况和结构复杂的大、中型渡槽的地基允许承载力宜经原位测试确定。岩石地基上的小型渡槽也可参考附近桥涵建筑物的地质资料分析确定。

**5.6.4** 渡槽涉水墩台的基底最小埋置深度，应根据修建墩台后引起的槽下一般冲刷、局部冲刷、河床自然演变冲刷以及墩台基底在冲刷线以下的安全埋置深度计算确定。计算方法参见 JTG C30—2002 第 7 章的规定。

**5.6.5** 浅基础设计应遵守以下规定：

1 浅基础包括圬工刚性基础和整体板式基础、整体筏板式基础等柔性基础。用于地形较平坦、地基承载力易满足要求、地下水位埋深大、冻土深度浅、冲刷深度小的情况，应合理选用具体的基础结构型式、底面尺寸、埋置深度。

2 实体墩和空心墩宜采用刚性基础。基础顶面每边应大于槽墩底部外缘 25cm，基础底面面积应根据地基允许承载力计算确定；台阶式刚性基础深度应由材料的刚性角决定，满足材料刚性角要求的刚性基础可不作弯曲和剪切验算。刚性基础台阶的刚性角可按公式 (5.6.5) 计算确定：

$$\theta = \arctan \frac{C_i}{H_i} \leq [\theta] \quad (5.6.5)$$

式中  $\theta$ ——刚性角；

$C_i$ ——基础第  $i$  阶的悬臂长度，m；

$H_i$ ——基础第  $i$  阶的高度，m；

$[\theta]$ ——刚性角允许值， $(^\circ)$ ，对于砌片石、块石、粗料石基础，当用 M5 及 M5 以上水泥砂浆砌筑时， $[\theta] = 35^\circ$ ；用低于 M5 的水泥砂浆砌筑时， $[\theta] = 30^\circ$ ；对于混凝土基础， $[\theta] = 40^\circ$ 。

3 排架结构宜采用整体板式基础，或采用在基础板上布置纵横向加强梁的整体筏板式基础。基础底面面积应根据地基允许承载力计算确定，基础板的厚度应满足抗冲切的强度要求。

**5.6.6** 渡槽浅基础应按横槽向和顺槽向分别验算基底应力。顺槽向还应验算相邻跨施工荷载不平衡的情况并应符合下列规定：

1 建于非岩石地基上的浅基础底面不容许出现拉应力。验算基底压应力时可假定应力沿基底呈直线分布，按偏心受压公式计算，基础底面边缘的最大压应力应小于地基的允许承载力。

2 建于基岩上的浅基础底面应力仍按偏心受压公式计算。当基底应力的合力偏心距  $e_0$  超出核心半径  $\rho$  时（ $\rho = W/A_f$ ，其中  $W$  为相应于应力较小基底边缘的截面抵抗矩， $A_f$  为基础底面积），应按受压区范围计算基底最大压应力。

3 浅基础基底面下有软土层时，软土层顶面所受的压应力不应超过该软土层顶面土的允许承载力。

**5.6.7** 非岩石地基上外部为超静定结构的渡槽基础，湿陷性黄土或软土上的基础，槽下净空要求较严格的渡槽基础，以及相邻墩台基础的基底应力或地基土质不同时，应计算地基沉降量。渡槽基础的地基最终沉降量宜按通过设计流量时的基本荷载组合采用分层总和法计算，地基压缩层计算深度宜按计算层面处土的附加应力与自重应力之比为 0.10~0.20（软土地基取小值，坚实地基取大值）的条件确定。运行期的地基沉降量应不大于渡槽墩

台基础的允许沉降量，相邻墩台运行期的地基沉降差应不大于渡槽墩台基础的允许沉降差。运行期墩台基础地基的允许沉降量可按公式（5.6.7-1）计算，允许沉降差可按公式（5.6.7-2）计算。

$$h_1 = 20\sqrt{l} \quad (5.6.7-1)$$

$$\Delta h_1 = 10\sqrt{l} \quad (5.6.7-2)$$

式中  $h_1$ ——运行期的基础允许沉降量，mm；

$l$ ——相邻墩台间最小跨径长度，m，小于 25m 时仍以 25m 计；

$\Delta h_1$ ——运行期的基础允许沉降差，mm。

**5.6.8 浅基础应与墩台一起进行抗滑动稳定和抗倾覆稳定验算。**抗滑动稳定和抗倾覆稳定的安全系数允许值应不大于表 5.6.8-1 规定的允许值。

**表 5.6.8-1 抗滑动稳定和抗倾覆稳定安全系数允许值**

| 荷载组合 |         | 稳定安全系数类别       | 渡槽级别    |      |
|------|---------|----------------|---------|------|
|      |         |                | 1, 2, 3 | 4, 5 |
| 基本组合 | 空槽、有风   | $[K_e]$        | 1.3     | 1.2  |
|      |         | $[K_0]$        | 1.5     | 1.4  |
| 偶然组合 | 施工、有风   | $[K_0], [K_e]$ | 1.2     | 1.1  |
|      | 空槽、有飘浮物 | $[K_0], [K_e]$ | 1.3     | 1.2  |

抗滑动稳定和抗倾覆稳定的安全系数计算公式如下：

**1 抗滑动稳定安全系数**宜按公式（5.6.8-1）计算。

$$K_e = \frac{f_e \sum N}{\sum P} \quad (5.6.8-1)$$

式中  $K_e$ ——抗滑动稳定安全系数；

$f_e$ ——基底面与地基土之间的摩擦系数，当缺少实测资料时可参照表 5.6.8-2 采用；

$\sum N$ ——作用于基底面所有铅直力的总和，kN；

$\sum P$ ——作用于基底面所有水平力的总和，kN。

表 5.6.8-2 摩擦系数  $f_e$  值

| 岩土的分类名称  |     | $f_e$   |
|----------|-----|---------|
| 黏性土      | 软塑  | 0.25    |
|          | 硬塑  | 0.3     |
|          | 半坚硬 | 0.3~0.4 |
| 亚黏土、轻亚黏土 |     | 0.3~0.4 |
| 砂类土      |     | 0.4     |
| 碎、卵石类土   |     | 0.5     |
| 软质岩石     |     | 0.3~0.5 |
| 硬质岩石     |     | 0.6~0.7 |

2 抗倾覆稳定安全系数宜按公式 (5.6.8-2) 计算。

$$K_0 = \frac{\sum M_v}{\sum M_p} \quad (5.6.8-2)$$

式中  $K_0$ ——抗倾覆稳定安全系数；

$\sum M_v$ ——所有垂直力对基底面形心轴的力矩总和,  $\text{kN} \cdot \text{m}$ ；

$\sum M_p$ ——所有水平力对基底面形心轴的力矩总和,  $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

**5.6.9** 当采用浅基础不能满足渡槽基底地基承载力要求或沉降量过大且地基土适宜钻孔时, 宜优先采用钻 (挖) 孔灌注桩 (简称为灌注桩) 基础。灌注桩应根据工程地质、水文地质和施工条件等因素, 合理选用摩擦桩或端承桩。同一墩台基础下应采用同一种型式、桩径或深度相同 (或接近) 的灌注桩。灌注桩基础设计应满足下列规定:

1 1 级、2 级渡槽或在淤泥、流砂土层中的灌注桩基础, 应进行试桩并经荷载试验验证设计。用于湿陷性黄土或膨胀土中的桩, 应采取抗湿陷或膨胀等不利影响的措施。

2 灌注桩基宜采用低桩承台, 应设置盖梁, 并根据需要设置横系梁。

3 灌注桩直径不宜小于 80cm。桩群可采用对称形、梅花形或环形布置。采用摩擦桩时中心距应不小于桩径的 2.5 倍, 桩入

土深度自一般冲刷线以下应不小于 4m。采用端承桩时中心距应不小于桩径的 2.0 倍。对于直径（或边长）不大于 100cm 的桩基础，其边桩外侧与承台边缘的距离应不小于 0.5 倍桩径（或边长）且应不小于 25cm；直径（或边长）大于 100cm 时，其边桩外侧与承台边缘的距离应不小于 0.3 倍桩径（或边长）且应不小于 50cm。

4 灌注桩承台顶面应低于冻结线或最低冰层面以下 0.25m，承台厚度宜不小于 1.5m，避免流冰、流筏或其他飘浮物的直接撞击。

5 需要设置横系梁时，横系梁的高度宜采用 0.8~1.0 倍灌注桩（柱）直径，宽度宜采用 0.6~1.0 倍灌注桩（柱）直径。

6 灌注桩顶主筋伸入承台时，灌注桩身应嵌入承台 15~20cm，灌注桩顶主筋伸入盖梁时，桩身可不嵌入盖梁。桩顶直接埋入承台连接时桩径（或边长）小于 60cm 的埋入长度应不小于 2 倍桩径（或边长），桩径（或边长）为 60~120cm 时埋入长度应不小于 120cm，桩径（或边长）大于 120cm 时，埋入长度应不小于桩径（或边长）。

7 承台以上的竖向荷载宜由灌注桩基全部承受，所有水平荷载宜由基桩平均分担。灌注桩基应验算由水平力所产生的挠曲、向前移动及剪切。边桩桩顶位于实体墩、空心墩或桩式墩底部以外的承台应验算外伸部分承台襟边的抗剪强度。

8 灌注桩、承台、盖梁及横系梁的混凝土强度等级应不低于 C20，水下浇筑时应不低于 C25。

9 灌注桩身宜按内力分段配筋，无需配置受力钢筋的仍应在桩顶 3~5m 范围内设置构造钢筋。每根灌注桩内的受力钢筋直径宜不小于 14mm 且不少于 8 根，主筋间距应不小于 80mm，保护层应不小于 5cm。箍筋宜采用螺旋状布置，直径应不小于 8mm，间距宜采用 200~400mm；每隔 2.0~2.5m 应设置直径为 14~18mm 的加劲箍筋。承台在桩身顶端平面内应设直径为 14~18mm 的钢筋网，钢筋网每平方米的钢筋含量宜为

12~15cm<sup>2</sup>。桩顶作用于承台的压应力大于混凝土允许应力时，应增设 1~2 层钢筋网。横系梁的主钢筋应伸入桩内并与桩内主筋连接，横系梁的主钢筋面积宜不小于该梁截面面积的 0.10%。

**5.6.10** 挖孔灌注桩仅应用于桩孔直径大于 80cm 且井壁不会发生塌孔伤人现象的地基，施工中井口应采用周密的安全防护措施。

**5.6.11** 当采用浅基础地基承载力或基础沉降量不能满足要求，且不宜采用灌注桩基础时，应采用沉井基础。沉井基础设计应符合下列规定：

**1** 地基中有较大漂石、孤石、树根等难以破碎挖除的障碍物或沉井底部基岩层面倾斜严重时不宜采用沉井基础。

**2** 沉井结构宜简单对称，其尺寸应根据墩台底面尺寸、地基承载力及施工条件确定。沉井平面宜采用圆形或圆端形，沉井外壁按其分节高度宜为台阶形垂直面或坡度为 1/50~1/20 的斜面，内壁宜做成垂直面。井壁分节高度及厚度应根据沉井总高度和结构强度、下沉所需重力以及施工条件确定，混凝土沉井井壁分节高度不宜大于 5m、厚度宜为 80~150cm，钢筋混凝土沉井井壁不受此限制。

**3** 沉井井内宜采用砾石、片石混凝土、混凝土作为充填料，无冰冻地区的沉井尚可采用粗砂、砾石或水填充，外力作用较小的沉井宜不充填。沉井封底混凝土厚度应由计算确定，封底混凝土顶面高于沉井底部刃角斜面的高度应不小于 50cm。沉井顶部应设置足够承担墩台下传荷载的钢筋混凝土盖板。

**4** 沉井井身、盖板和封底混凝土强度不宜小于 C20，井内充填料混凝土强度不宜小于 C15。钢筋混凝土沉井的最小含筋率应不小于 0.1%。

**5** 非岩质地基中的沉井，可采取沿井壁外侧喷射高压水、气等辅助下沉，减小摩阻力和井壁厚度的设计措施。

## 6 倒虹吸管

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 倒虹吸管应根据水头和跨度，因地制宜地采用不同的布置型式。高水头、大跨度的倒虹吸管宜选取沿稳定且坡度合适的原状土两岸坡铺设坡面管道、设桥架管或河底埋管通过河沟、渠道的布置型式。低水头倒虹吸管水平底管的两端可用矩形直井或缓坡池代替坡面管道。对交叉处河水位与渠水位接近的情况还可将河、渠两个开口槽布置为平面中轴线近于正交，槽底槽顶相互嵌套的涵洞式倒虹吸管。

**6.1.2** 倒虹吸管在进、出口段和管道段纵断面布置中，应统一安排镇墩和细部结构的位置。在横断面布置中应同时选择管身、管座（床）的型式及隔热保温措施。

**6.1.3** 倒虹吸管管道应密封、抗裂、抗渗、耐磨、防腐，满足强度、稳定和耐久性要求。对钢筋混凝土管道应采取全面严格的降低温差、减少混凝土干缩和提高含筋率、配置细而密的钢筋网等措施并提出施工限制要求。

### 6.2 总体布置

**6.2.1** 倒虹吸管的总体布置方案、管道横断面型式、尺寸和材质，应在总水头损失不大于渠道系统给定值条件下，经技术经济比较后确定。

**6.2.2** 管线选择应遵循下列原则：

1 倒虹吸管轴线在平面上的投影宜为直线并与河流、渠沟、道路中心线正交。倒虹吸管宜设在河道较窄、河床及两岸岸坡稳定且坡度较缓处。

2 倒虹吸管应根据地形、地质条件和跨越河流、渠沟、道路等具体情况，选用露天式、地埋式或桥式布置。地埋式倒虹吸

管应埋入地面以下不小于 0.5~0.8m，寒冷地区和严寒地区应埋入冻土深度以下 0.5m，穿越渠沟、道路时应埋入沟底或路下 1.0m，穿越河流时应埋入设计洪水冲刷线以下 0.5m 并采用砌护保护措施。桥式倒虹吸管的桥下净空应满足河（渠）道行洪和原有的通航要求，桥面宽度等应满足交通和施工要求。

3 在倒虹吸管纵断面（沟道横断面）上，当地形较缓时管线宜随地面敷设，管线布置应避免局部凸起，不可避免时应在上凸顶点的管道顶部安装自动排气阀。

4 低水头倒虹吸管进、出口采用斜坡池式或竖井式布置时，斜坡池底或竖井底部应略低于倒虹水平管的管底，形成消力水垫或清淤空间。

### 6.2.3 管道型式应符合下列要求：

1 倒虹吸管的管道横断面宜优先采用受力条件和水力条件较好的圆形断面。大流量、低水头或有特殊要求的也可采用矩形或其他合适的断面。

2 倒虹吸管应根据流量、水头、建筑材料、工程造价及施工等条件，分别选用钢筋混凝土管、预应力混凝土管、预应力钢筒混凝土管、玻璃钢夹砂管、钢管、球墨铸铁管或其他管材。高差较大或管道较长的倒虹吸管宜分段采用不同管材。各种材料的管道分别适用于下列情况。

- 1) 低水头、大流量、埋深小的倒虹吸管，宜采用钢筋混凝土矩形箱式断面；
  - 2) 管径或设计内水压力较大时，宜采用钢筋混凝土管或预应力混凝土圆形管；
  - 3) 高水头（水头大于 50m）或管外土压力较大（管顶填土厚度大于 5.0m）时，宜选用预应力钢筒混凝土管、钢管或球墨铸铁管；
  - 4) 有耐腐蚀、耐冰冻、抗高温等特殊要求时，宜优先选用玻璃钢夹砂管。
- 3 各种材料管道具体的适用范围应根据  $HD$  值（ $H$  为最大

工作水头， $D$  为管径）参照附录 C 选定。

4 倒虹吸管应依据设计流量、输水保证率、水头损失、输沙率、检修方便等要求，经技术经济比较后选用单根管道、双管或多管的布置方案。

5 管座（或管床）的型式与管道内力值密切相关，应根据管道断面、荷载、材料和地质等条件比较选用。

#### 6.2.4 进、出口段布置应符合下列规定：

1 倒虹吸管进、出口段宜布置在稳定、坚实的原状地基上。进口前、出口后应设渐变段与渠道平顺连接，进口渐变段长度宜取上游渠道设计水深的 3~5 倍，出口渐变段长度宜取下游渠道设计水深的 4~6 倍。

2 进口渐变段后宜设置拦污栅和控制闸门，确保双管或多管布置的倒虹吸管按设计要求可单管或部分管运行。1~3 级和失事后损失大的倒虹吸管在上游渠侧应设泄水闸或溢流堰等安全设施。

3 渐变段和管道之间，应根据需要设置连接段或压力前（后）池，确保通过不同流量时管道进口均处于淹没状态，并根据渠道来水含沙量和渠道系统的功能，确定在该段设置沉沙池和冲沙闸的必要性。大管径和出口需要消力的还应设压力后池。沉沙池设置及尺寸的估算方法见附录 C.2。

4 压力前池或竖井式进水口在管道前宜设置通气孔，斜坡式进水口且水深较小时可不设通气孔。

5 出口渐变段宜设闸门控制进口水位、调节流量、保证管内呈压力流态和通过任意流量时均能与渠道水面平顺衔接。

#### 6.2.5 镇墩布置应符合下列规定：

1 镇墩应设置在倒虹吸管轴线方向变化处、管道材质变化处、地面式管段与架空式管段连接处、分段式钢管每两个伸缩接头之间。相邻两镇墩之间根据距离和结构需要宜加设中间镇墩。

2 镇墩分为封闭式和开敞式两类。开敞式镇墩宜用于固定钢管等薄壁管。封闭式镇墩可用于 1~3 级和一般倒虹吸管，封闭

式镇墩与管道之间宜采用刚性（管、墩浇筑成整体）或有足够摩擦力的柔性（管、墩分离）连接。

3 镇墩应满足结构布置和稳定要求，较长管道应在适当位置的镇墩上结合布设清淤检修进人孔及泄空冲沙闸阀等设施。

4 镇墩的轮廓尺寸应通过稳定、强度和墩底应力计算确定。底面形状应有利于抗滑动稳定和基底应力的均匀分布，宜为水平状、锯齿状或倾斜的阶梯状。

5 镇墩宜设置在岩基上。置于土基或强风化岩基上的镇墩，还应考虑其基础沉陷对管道安全及管身内力的影响。

## 6.3 水力设计

6.3.1 水力设计应包括下列内容：

1 确定管道的根（孔）数和过水断面尺寸。

2 确定进、出口段的布置型式、尺寸和各部位高程。

3 计算水头损失，校核管道过水能力和计算上、下游水面衔接。

6.3.2 倒虹吸管初拟管内平均流速宜取  $1.5 \sim 2.5 \text{ m/s}$ 。具体管内流速应根据渠道规划允许的水头损失值和通过最小流量时的管内最小流速应大于管内不淤允许流速值的原则确定。计算方法见附录 C.1。

6.3.3 倒虹吸管与上、下游渠道结合起讫断面之间的总水头损失由进口渐变段水头损失、倒虹吸管水头损失和出口扩散渐变段水头损失三部分组成，其计算方法及公式见附录 C.1。

6.3.4 倒虹吸管的过流能力计算公式见附录 C.1。

6.3.5 倒虹吸管上、下游水面总落差应按公式（6.3.5）计算。

$$\Delta Z = \Delta Z_1 + \Delta Z_2 - \Delta Z_3 \quad (6.3.5)$$

式中  $\Delta Z_1$ ——进口渐变段始末断面间的水面落差，m；

$\Delta Z_2$ ——进口渐变段末端至管道出口断面之间的水面落差，m；

$\Delta Z_3$ ——管道出口断面至出口渐变段末端断面间的水面恢复值, m, 各水面落差值的计算公式见附录 C.1。

**6.3.6** 出口渐变段末端(下游渠道起始)断面的底面高程应按公式(6.3.6)计算:

$$H_d = H_u + h_u - h_d - \Delta Z \quad (6.3.6)$$

式中  $H_d$ ——下游渠道起始断面底部高程, m;

$H_u$ ——上游渠道末端断面底部高程, m;

$h_u$ ——上游渠道设计水深, m;

$h_d$ ——下游渠道设计水深, m;

$\Delta Z$ ——上、下游水面总落差值, m。

**6.3.7** 按设计流量初步确定横断面尺寸、管道根(孔)数和渠道进、出口底部高程后,还应验算下列两种工况的上、下游水面衔接,并提出改善措施:

1 通过小流量时,管道进、出口仍应处于淹没状态。

2 通过加大流量时,管道进、出口渠道水面高程、渠堤顶部高程仍应满足安全运行要求。当出口出现远驱水跃时,应加设消力池,消力池的计算方法见附录 C.1。

**6.3.8** 1级、2级倒虹吸管和其他有特殊要求的倒虹吸管宜采用水力模型试验进行验证。

## 6.4 结构设计

**6.4.1** 结构设计应包括下列内容:

1 确定各部结构型式及其主要尺寸。

2 进行荷载计算及确定荷载组合。

3 稳定计算。

4 强度计算及抗裂验算。

5 细部结构设计。

**6.4.2** 根据各种荷载实际上同时出现的可能性,管身和镇墩计算的最不利荷载组合分别见表 6.4.2-1 和表 6.4.2-2。必要时,还应考虑其他可能出现的不利荷载组合。

表 6.4.2-1 管身计算的荷载组合

| 管道类型 | 荷载组合    | 永久荷载和可变荷载 |      |        |      |       |     |     |     |      | 偶然荷载 |        |      | 备注 |      |
|------|---------|-----------|------|--------|------|-------|-----|-----|-----|------|------|--------|------|----|------|
|      |         | 自重        | 满管水重 | 设计内水压力 | 外水压力 | 水流离心力 | 土压力 | 风荷载 | 雪荷载 | 地面荷载 | 温度荷载 | 校核内水压力 | 施工荷载 |    | 地震力  |
| 露天管  | 基本组合    | √         | √    | √      | —    | √     | —   | √   | —   | —    | √    | —      | —    | —  | 正常运用 |
|      | 偶然组合（Ⅰ） | √         | √    | —      | —    | √     | —   | —   | —   | —    | √    | √      | —    | —  |      |
|      | 偶然组合（Ⅱ） | √         | √    | √      | —    | √     | —   | —   | —   | —    | √    | —      | —    | √  | 地震   |
| 埋管   | 基本组合（Ⅰ） | √         | √    | √      | —    | √     | √   | —   | √   | √    | √    | —      | —    | —  | 正常运用 |
|      | 基本组合（Ⅱ） | √         | —    | —      | √    | —     | √   | —   | √   | √    | √    | —      | —    | —  | 空管   |
|      | 偶然组合（Ⅰ） | √         | √    | —      | —    | √     | √   | —   | √   | √    | √    | √      | —    | —  |      |
|      | 偶然组合（Ⅱ） | √         | —    | —      | —    | —     | √   | —   | —   | √    | √    | —      | √    | —  | 施工   |
|      | 偶然组合（Ⅲ） | √         | √    | √      | —    | √     | √   | —   | —   | √    | √    | —      | —    | √  | 地震   |

表 6.4.2-2 镇墩计算的荷载组合

| 管道类型 | 荷载组合    | 永久荷载和可变荷载 |    |        |      |       |     |     |      |        | 偶然荷载 |        |     | 备注   |
|------|---------|-----------|----|--------|------|-------|-----|-----|------|--------|------|--------|-----|------|
|      |         | 自重        | 水重 | 设计内水压力 | 外水压力 | 水流离心力 | 土压力 | 雪荷载 | 地面荷载 | 不均匀沉降力 | 温度荷载 | 校核内水压力 | 地震力 |      |
| 露天管  | 基本组合    | √         | √  | √      | —    | √     | —   | —   | —    | √      | √    | —      | —   | 正常运用 |
|      | 偶然组合（Ⅰ） | √         | √  | —      | —    | √     | —   | —   | —    | √      | √    | √      | —   |      |
|      | 偶然组合（Ⅱ） | √         | √  | √      | —    | √     | —   | —   | —    | √      | √    | —      | √   | 地震   |

表 6.4.2-2 (续)

| 管道类型 | 荷载组合      | 永久荷载和可变荷载 |    |        |      |       |     |     |      |        |      | 偶然荷载   |     | 备注   |
|------|-----------|-----------|----|--------|------|-------|-----|-----|------|--------|------|--------|-----|------|
|      |           | 自重        | 水重 | 设计内水压力 | 外水压力 | 水流离心力 | 土压力 | 雪荷载 | 地面荷载 | 不均匀沉降力 | 温度荷载 | 校核内水压力 | 地震力 |      |
| 埋管   | 基本组合      | √         | √  | √      | —    | √     | √   | √   | √    | √      | —    | —      | —   | 正常运用 |
|      | 偶然组合 (I)  | √         | √  | —      | —    | √     | √   | —   | √    | √      | —    | √      | —   |      |
|      | 偶然组合 (II) | √         | √  | √      | —    | √     | √   | —   | √    | √      | —    | —      | √   | 地震   |

6.4.3 管道较长、水头较大、分段采用不同材料的倒虹吸管，其管身结构设计应按管道所采用的不同材质管道分段进行。

6.4.4 钢筋混凝土圆管的结构设计应遵循下列规定：

1 管壁厚度应根据建筑物级别、管径大小、荷载组合、抗裂安全和施工要求确定：

1) 管壁厚度宜按公式 (6.4.4-1) 初拟：

$$\delta = \frac{K_f P_i r_i}{R_f - K_f P_i} \quad (6.4.4-1)$$

2) 当水头较低（不大于 15m）时，宜按公式 (6.4.4-2) 初拟：

$$\delta \geq (0.1 \sim 0.125) D_i \quad (6.4.4-2)$$

上两式中  $\delta$ ——管壁厚度，mm；

$P_i$ ——设计内水压力，N/mm<sup>2</sup>；

$r_i$ ——管道内半径，mm；

$R_f$ ——混凝土抗裂强度，N/mm<sup>2</sup>；

$K_f$ ——混凝土抗裂安全系数，按表 6.4.4 选用；

$D_i$ ——管道内径，mm。

3) 计入曲率对弯曲应力的影响时，管壁宜加厚 10~20mm。

- 4) 初拟的管壁厚度不满足强度、刚度、稳定、抗裂、抗渗以及抗冻等要求时, 应重新拟定管壁厚度另行计算。

表 6.4.4 钢筋混凝土圆管的抗裂安全系数

| 项次                           | 建筑物级别           | 1    | 2、3  | 4、5  |
|------------------------------|-----------------|------|------|------|
|                              | 受力特征            |      |      |      |
| 1                            | 轴心受拉、小偏心受拉构件    | 1.25 | 1.20 | 1.15 |
| 2                            | 受弯、偏心受压、大偏心受拉构件 | 1.15 | 1.10 | 1.05 |
| 注: 对抗裂有严格要求的构件, 抗裂安全系数应适当提高。 |                 |      |      |      |

2 1~2 级和重要倒虹吸管的钢筋混凝土圆管管身内力应按弹性理论空间问题求解, 3~5 级钢筋混凝土圆管宜简化为管身纵、横向两个平面问题分别计算。

3 管身横向按封闭圆环型结构计算。对管壁厚度  $\delta$  与管壁平均半径  $r_c$  比值  $\delta/r_c \leq 1/8$  的薄壁管宜采用结构力学的弹性中心法计算内力, 对  $\delta/r_c > 1/8$  的厚壁管宜按弹性力学平面问题计算, 或采用将均匀内(外)水压力荷载所产生的内力(应力)按弹性力学平面问题计算, 而其余荷载所引起的内力按结构力学法计算之后再迭加的方法。

4 钢筋混凝土管管身的纵向内力, 对有连续式刚性管座的可不进行计算, 但应按抗裂要求布置纵向构造钢筋。对布置于间断式管座上的管身纵向内力, 应根据管道跨长  $L$  与管身内径  $D$  (宽度) 的比值采用不同方法计算: 当  $L/D \geq 3$  时为长壳但可近似地按梁理论计算, 当  $0.5 < L/D \leq 3$  时按圆柱形中长壳的弯曲理论或半弯曲理论计算, 当  $L/D < 0.5$  时按短壳的弯曲理论或半弯曲理论计算。

5 管壁混凝土强度等级应高于 C25, 并根据当地自然条件及运行条件提出抗渗、抗冻等级和抗磨、抗侵蚀等要求。钢筋混凝土管的强度计算应执行 SL 191—2008 的规定。

6 现浇钢筋混凝土管管身的分节长度应根据地基、施工、温度以及管座型式等条件, 参照 SL 191—2008 第 10 章关于伸缩缝最大间距的规定, 综合分析后确定。

#### 6.4.5 钢筋混凝土矩形管结构设计应遵循下列规定：

1 钢筋混凝土矩形管宜直接布设在稳定、坚实的地基上，其纵向内力宜按弹性地基梁计算。4~5 级倒虹吸管纵向管节长度不大且地基坚固的可按构造要求配置纵向钢筋。

2 管壁厚度可按公式 (6.4.5-1) 估算，式中的管壁弯矩可根据作用的主要荷载按公式 (6.4.5-2) 估算：

$$\delta = \sqrt{\frac{6k_f M}{rR_f}} \quad (6.4.5-1)$$

$$M = \left( \frac{1}{9} \sim \frac{1}{12} \right) q l^2 \quad (6.4.5-2)$$

式中  $r$ ——混凝土塑化系数，对矩形截面，取  $r=1.55$  或  $r=1.55 \times (1.1-0.1h)$ ；

$h$ ——矩形管截面总高度，m。

3 矩形倒虹吸管的横向内力，对单孔或等跨多孔等截面的宜按闭合刚架采用结构力学方法计算，对不等跨或不等截面的除采用结构力学方法或变位法计算外，对 1~2 级和重要倒虹吸管必要时宜采用有限元法进行应力分析。

4 根据计算内力成果，按 SL 191—2008 的规定进行配筋计算及抗裂验算。

#### 6.4.6 预应力混凝土管结构设计应遵循下列规定：

1 预应力混凝土管中，当采用钢棒、螺纹钢筋作为预应力钢筋时，其混凝土强度等级不宜低于 C30。当采用消除应力钢丝、钢绞线作为预应力钢筋时，其混凝土强度等级不宜低于 C40。

2 预应力混凝土管宜采用圆形过水断面，其结构应符合下列基本要求：

- 1) 在内水压力、预应力与其他荷载组合作用下，管道各部位中的拉应力应小于混凝土的轴心抗拉强度标准值；
- 2) 无内水压力作用（空管）时，在预应力与其他荷载组合作用下，管道各部位中的压应力应小于混凝土的轴心抗拉强度标准值。

### 3 预应力混凝土管初拟管壁厚度见表 6.4.6。

表 6.4.6 预应力混凝土管的管径与管壁厚度参考值

|             |     |     |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| 管径<br>(mm)  | 600 | 800 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 |
| 管壁厚<br>(mm) | 55  | 60  | 70   | 80   | 90   | 100  | 115  | 130  |

4 预应力混凝土管应进行强度计算、配筋计算和抗裂验算，并应满足 SL 191—2008 第 9 章的规定。

#### 6.4.7 钢管结构设计应遵循下列规定：

1 露天布置的钢管管壁初拟厚度宜按由内水压力产生的环向拉应力进行估算：

1) 计算公式见式 (6.4.7-1)，式中钢材允许应力值可按规范值的 75% 采用。

$$\delta = \frac{pD}{2 \times 0.75[\sigma]} \quad (6.4.7-1)$$

式中  $\delta$ ——钢管管壁初拟厚度，mm；

$D$ ——钢管内径，mm；

$p$ ——内水压力，MPa；

$[\sigma]$ ——钢材允许应力，MPa。

2) 初拟的管壁厚度，应按式 (6.4.7-1) 计算的值再增加 1~2mm 以上的锈蚀及磨损厚度。

3) 薄壁结构的钢管管壁厚度除应满足按式 (6.4.7-1) 计算的强度要求外，还应大于抗外压稳定性要求的管壁最小厚度，见表 6.4.7-1。

表 6.4.7-1 钢管管壁最小厚度

|                |       |           |           |           |           |
|----------------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 钢管内径<br>(mm)   | <1600 | 1600~3200 | 3300~4800 | 4900~6400 | 6500~8000 |
| 管壁最小厚度<br>(mm) | 6     | 8         | 10        | 12        | 14        |

2 按弹性工作状态计算所得的应力应不大于钢管允许应力值，其值见表 6.4.7-2，表中  $\sigma_s$  为钢材屈服强度， $\sigma$  为钢管管壁厚度。

表 6.4.7-2 钢管允许应力  $[\sigma]$

| 应力区域                                                                                                                                                   |      | 膜应力区           |               | 局部应力区          |                |               |               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| 荷载组合                                                                                                                                                   |      | 基本             | 偶然            | 基本             |                | 偶然            |               |
| 产生应力的内力                                                                                                                                                |      | 轴力             |               | 轴力             | 轴力弯矩           | 轴力            | 轴力弯矩          |
| 允许<br>应力                                                                                                                                               | 明钢管  | $0.55\sigma_s$ | $0.7\sigma_s$ | $0.67\sigma_s$ | $0.85\sigma_s$ | $0.8\sigma_s$ | $1.0\sigma_s$ |
|                                                                                                                                                        | 地下埋管 | $0.67\sigma_s$ | $0.9\sigma_s$ | —              | —              | —             | —             |
| 注：按 GB/T 700—2006 标准：Q235 $\delta \leq 16\text{mm}$ ， $\sigma_s = 235\text{N/mm}^2$ ； $\delta > 16 \sim 40\text{mm}$ ， $\sigma_s = 225\text{N/mm}^2$ 。 |      |                |               |                |                |               |               |

3 钢管横断面管壁各计算点的应力计算公式及方法执行 SL 281—2003 的规定，并应满足以下第四强度理论条件：

1) 按平面问题计算时

$$\sqrt{\sigma^2 + \sigma_\theta^2 - \sigma_\theta \sigma_\chi + 3\tau_{\chi\theta}^2} \leq \phi[\sigma] \quad (6.4.7-2)$$

2) 按空间结构计算时

$$\sqrt{\sigma_\chi^2 + \sigma_\theta^2 + \sigma_\gamma^2 - \sigma_\theta \sigma_\chi - \sigma_\theta \sigma_\gamma - \sigma_\chi \sigma_\gamma + 3(\tau_{\theta\chi}^2 + \tau_{\theta\gamma}^2 + \tau_{\chi\gamma}^2)} \leq \phi[\sigma] \quad (6.4.7-3)$$

式中  $\sigma_\chi$ 、 $\sigma_\theta$ 、 $\sigma_\gamma$ ——轴向、环向、径向正应力， $\text{N/mm}^2$ ，以拉为正；

$\tau_{\theta\chi}$ 、 $\tau_{\theta\gamma}$ 、 $\tau_{\chi\gamma}$ ——剪应力， $\text{N/mm}^2$ ；

$\phi$ ——焊缝系数，单面对接焊  $\phi=0.9$ ，双面对接焊  $\phi=0.95$ ；

$[\sigma]$ ——相应计算工况的允许应力， $\text{N/mm}^2$ 。

4 钢管抗外压稳定验算的公式及方法执行 SL 281—2003 的规定，抗外压稳定计算安全系数应小于下列各值：

1) 明置的钢管管壁和加劲环为 2.0；

2) 地下埋管、光面管和锚筋加劲的钢管管壁为 2.0；用加劲环加劲的钢管管壁和加劲环为 1.8。

**6.4.8 预应力钢筒混凝土管结构设计应遵循下列规定：**

1 应按其设计条件选用符合 JC 625—2005 规定的管材，必要时配合生产厂家进行核算。

2 埋设于土壤中的预应力钢筒混凝土管，应对管身外壁进行防腐处理。

3 管节接口处应铺设厚度为管壁厚 1~1.5 倍的砂垫层作为过渡层。

4 购置的预应力钢筒混凝土管应尽快安装，并应按要求定期洒水养护，避免干裂或预应力损失过大而报废。

**6.4.9 玻璃钢夹砂管结构设计应遵循下列规定：**

1 按其特殊的设计条件应选用符合 CJ/T 3079—1998 规定的管材。

2 玻璃钢夹砂管刚度小，对管道基础要求严格，必要时宜铺设厚度小于 150mm 的砂垫层。

3 玻璃钢夹砂管的覆盖土应符合下列要求：

1) 回填的覆盖土中应不混含有机材料、冻土以及大于 50mm 的砖石块等硬物，避免损伤管道外壁；

2) 管道两侧的回填土应分层同时回填、均匀上升，并夯实达到设计密实度；

3) 中型汽车车行道下埋设的玻璃钢夹砂管管顶覆盖土厚度要求见表 6.4.9。

**表 6.4.9 玻璃钢夹砂管覆盖土厚度极值**

| 玻璃钢管刚度级别    | SN 5000 | SN 2500 |
|-------------|---------|---------|
| 覆盖土最大厚度 (m) | 3.0     | 1.2     |
| 覆盖土最小厚度 (m) | 0.8     | 0.8     |

**6.4.10 镇墩结构设计应遵循下列规定：**

1 镇墩应设在稳定的地基上，并应按 GB/T 50265—2010 第 7.3 节的规定对镇墩进行抗滑、抗倾覆稳定及地基强度验算，其稳定安全系数允许值见表 6.4.10。

表 6.4.10 稳定安全系数值

| 荷载组合  | 基本组合 | 偶然组合 |
|-------|------|------|
| 抗滑稳定  | 1.30 | 1.10 |
| 抗倾覆稳定 | 1.50 | 1.20 |

2 镇墩基础底面上不应产生拉应力，土基上的基底最大压应力应小于地基允许承载力，且基底最大压应力与最小压应力之比不宜大于 2.0。

3 1~3 级倒虹吸管的镇墩宜采用混凝土结构，其强度等级应不低于 C20。对 4 级和 4 级以下倒虹吸管的镇墩，允许采用浆砌块石或与混凝土（管身周围）结合的混合结构。寒冷地区镇墩的底部应深埋至冻土线以下，并规定混凝土材料的抗冻等级。

4 1~3 级倒虹吸管的镇墩内宜配置抗温度变化等的构造钢筋，内置上凸状弯管的封闭式镇墩还应配置锚固钢筋以加强整体性。

6.4.11 桥式倒虹吸管结构设计包括下列主要内容：

1 跨河沟的桥式倒虹吸管部分，其布置和结构设计应参考本规范第 5 章渡槽的有关规定进行，支承结构的基础应置于可靠的持力层中并应满足最小埋置深度的要求。

2 桥式倒虹吸管的管身应根据设计要求和自身的支承结构类型选用不同管材，并按 6.4.3~6.4.8 条要求进行具体设计。

6.4.12 进、出口建筑物的结构设计，应在进、出口水力设计方案确定后进行，并应包括下列内容：

- 1 整体稳定计算（抗滑、抗倾覆）。
- 2 地基应力计算。
- 3 整体和各部结构的强度、刚度、稳定计算。
- 4 细部结构设计。
- 5 地基处理设计。

6.5 管 座

6.5.1 管座按对管身的支承方式分为连续式管座和间断式管座。

连续式管座应用于管径较大、壁厚较大、随温度管长伸缩变化较小的倒虹吸管，间断式管座应用于自身具有纵向承载能力、管道长度对温度变化敏感的倒虹吸管。

**6.5.2** 管座型式和构造直接影响管道纵、横向内力值，应综合考虑地形条件、地质条件、管身横断面型式、管材和受力条件，经技术经济比较后合理选用。

**6.5.3** 管座应座落在良好地基上。

**6.5.4** 混凝土或浆砌石连续式刚性弧形管座宜用于 1~3 级倒虹吸管，其垫座包角宜采用  $90^{\circ}\sim 135^{\circ}$ ，座垫厚度宜采用 1.5~2 倍的管壁厚度，单侧座垫肩宽宜采用 1.0~1.5 倍管壁厚度且应大于 300mm。管座与管道的接触面上应涂抹足够厚度的沥青或直接铺设数层沥青油毡。

管径较小的倒虹吸管可直接（或通过砂垫层）铺设在坚固、稳定的水平状或符合管外形的弧形素土（或岩石）地基上。

**6.5.5** 间断式管座的具体型式和要求应符合 SL 281—2003 及相关规范的规定。

## 6.6 细部结构设计

**6.6.1** 倒虹吸管管道外部应采取适宜的防护措施。钢筋混凝土管道应采取覆土填埋、包裹保温层和加强施工保护等措施，玻璃钢夹砂管应采取防止紫外线辐射的抗老化措施，钢管应加强表面抗氧化和防腐蚀措施，露天钢管且应借助间断式管座脱离地面布置。

**6.6.2** 现浇钢筋混凝土管应沿管轴线合理分节，分节长度按 SL 191—2008 第 10 章的规定执行。分节形成的伸缩沉陷缝内应设置可靠的止水，中、高水头的伸缩沉陷缝内应同时设置两种不同型式且便于更换的止水。

**6.6.3** 钢管的分节长度和节间止水型式应视温度变幅、地基性质和敷设方式等条件合理确定。钢管应在两镇墩之间的较高侧设置特制的伸缩沉陷柔性接头。

**6.6.4** 工厂化生产的管道应优先采用承插式接头，两个镇墩之间伸缩沉陷量较大的应增设柔性接头。小型倒虹吸管可采用套管式接头并采取可靠的密封措施。

**6.6.5** 管身孔口布置应符合下列要求：

1 泄水孔、冲沙孔底部高程应高于河道枯水位，宜布置在位置最低的镇墩上或桥式倒虹吸管道管道的最低部位。

2 1~4 级倒虹吸管应设置检修进人孔，其孔径对于钢管应不小于 500mm、对于混凝土管应不小于 600mm，间距宜为 200~300m。

3 在局部凸起的管身顶部应设置自动排气阀。

4 管道上开设的所有孔洞应设置封口盖板或阀门，盖板或阀门应具备足够的强度、刚度、密封止水和防破坏性能。

**6.6.6** 倒虹吸管侧旁应设置检修通道和两岸坡上的人行台阶。高水头倒虹吸管的两岸坡人行台阶和桥式倒虹段的两侧，以及水深较大的进口、出口、压力水池周围均应设置安全围栏及安全警示牌。

## 7 涵 洞

### 7.1 一 般 规 定

**7.1.1** 同一座涵洞宜采用同一断面型式。在满足过流能力条件下其横断面应优先选用单孔矩形断面，当流量较大或涵洞高度受限时宜选用相同的多孔断面。多孔涵洞应采取两孔一联或三孔一联布置，各联之间宜设通缝分离，且缝中应设置止水。

**7.1.2** 涵洞设计除本身的进、出口，洞身及消能防冲设施设计外，还应包括必要的沟（溪）道上、下游整治，道路连接，进、出口外一定范围的沟床防冲加固处理，进、出口顶部渠（路）堤边坡的铺砌加固和环境改善等工程设计内容。

**7.1.3** 设计与铁路、公路交叉的涵洞时，还应执行其行业的相关规范规定。

### 7.2 总 体 布 置

**7.2.1** 涵洞轴线布置应符合下列要求：

1 涵洞轴线宜为直线，其走向应有利于选择涵洞流态和型式、涵洞进、出口水流平顺或交通通畅。

2 渠涵轴线应与渠道中心线一致，其进、出口水面应与渠道水面平顺衔接，符合渠道设计及运用要求。连接山区河沟或高等级道路的涵洞轴线宜与水流或路线方向一致。

3 渠下涵的轴线宜与渠道正交。

**7.2.2** 渠涵的洞身段纵坡应不小于该段渠道的纵坡，其各部底面高程应满足与渠道水面衔接的要求。

**7.2.3** 渠下涵的洞身底面高程应等于或接近所在沟溪的底面高程，其纵坡应等于或稍大于所在沟溪纵坡并不宜大于 5%，渠下涵的水流速度应小于洞身材料和出口土壤的允许不冲流速。交通涵洞的纵坡应有利于洞内排水。

**7.2.4 渠下涵流态及洞型选择应符合下列条件：**

- 1** 渠下涵应选用无压流态。
- 2** 渠下涵选用有压或半有压流态应具备下列条件：
  - 1)** 涵前地形陡峻或允许短期存在不致造成淹没损失的较高积水深度；
  - 2)** 所在渠道的填土质量良好，不致因积水水压或渗流而失稳；
  - 3)** 洞身材料应具有足够强度、允许流速较大且接缝止水可靠。
- 3** 不应采用急坡长洞半有压流态。

**7.2.5 涵洞横断面型式应符合下列要求：**

- 1** 小流量涵洞宜采用预制圆管涵。
- 2** 无压涵洞当洞顶填土高度较小时宜选用盖板涵洞或箱涵，涵顶填土高度较大时宜采用城门洞型、蛋型（高升拱）或管涵。
- 3** 有压涵洞应选用管涵或箱涵。
- 4** 拱涵或四铰涵不应使用于沉陷量大的地基上。
- 5** 无压涵洞内设计水面以上的净空面积宜取涵内横断面面积的10%~30%，且涵洞内顶点至最高水面之间的净空高度应符合表7.2.5-1的规定并应不小于0.4m。

**表 7.2.5-1 无压涵洞的净空高度**

| 进口净高<br>(m)         | 涵 洞 类 型  |       |      |
|---------------------|----------|-------|------|
|                     | 圆涵       | 拱涵    | 矩形涵洞 |
|                     | 净空高度 (m) |       |      |
| ≤3                  | ≥D/4     | ≥D/4  | ≥D/6 |
| >3                  | ≥0.75    | ≥0.75 | ≥0.5 |
| 注：D为涵洞内侧高度或者圆涵内径，m。 |          |       |      |

**6** 通行人、畜及车辆的矩形交通涵洞内侧最小孔径应按表7.2.5-2的规定选用，铁路或四级以上等级公路涵洞的孔径应按其行业标准确定。

**表 7.2.5-2 交通涵洞内最小孔径**

| 交通名称     | 净高度 (m) | 净宽度 (m) |
|----------|---------|---------|
| 行人       | 2.0     | 2.0     |
| 牛羊       | 2.5     | 3.0     |
| 骆驼       | 3.2     | 3.0     |
| 农用车      | 3.2     | 4.0     |
| 拖拉机      | 3.0     | 4.0     |
| 货车 (单车道) | 4.2     | 4.5     |

7 满足检修要求的涵洞最小断面应为：净高 1.8m、净宽 1.5m。管涵最小内径在山区宜为 1.0m、平原地区宜为 0.6m 并优先采用成品预制管。

**7.2.6** 涵洞的孔径除应满足正常要求外，还应满足防止流冰、泥石及漂浮物堵塞，控制涵前允许积水高度和涵后冲刷等特殊要求。

**7.2.7** 渠下涵的孔径在选定的洞内流态下，应满足平顺通过渠道设计流量和加大流量的需要。

**7.2.8** 渠下涵的孔径应符合下列要求：

1 应满足平顺通过河（沟）道校核洪水的需要。

2 选定的孔径尺寸应符合所在河（沟）道上、下游设计水位或天然水位的要求。当有明确的涵前允许最高壅水位规定时，设计孔径应确保涵前水位低于允许壅水位。

3 涵前允许短期积水的渠下涵，应结合选定的涵身底部高程及纵坡通过积水调蓄演算合理选择孔径尺寸。

4 涵前积水或不积水时涵洞应保持同样的水流形态。考虑积水后的过涵设计流量值不宜小于其设计洪水流量值的 3/4。

5 兼有交通任务的渠下涵还应满足表 7.2.5-2 的规定。

**7.2.9** 涵洞进、出口的形式、尺寸和底面高程应结合地形、地质条件、水流特性、防冲加固和消能措施等综合选择确定，确保过涵水流平稳顺利和附近渠堤稳定安全。渠涵进出口宜采用扭面

或八字墙型式，其平面扩散角应为  $6^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 。渠下涵的进、出口型式宜选用八字墙式、端墙式、平头式（衣领式）或走廊式。

**7.2.10 涵洞纵向变形缝应按下列位置设置：**

1 地基土质发生变化、基础埋深不一以及基础为填、挖方型式的交界处。

2 涵身和端墙，进、出口翼墙及护底等结构的分段处。

3 洞身纵向长度大于  $8\sim 12\text{m}$  处。

**7.2.11 洞身防渗与防水应符合下列要求：**

1 沿涵洞洞身外壁及出口段末端处的渗透水力坡降和渗水流速应分别小于涵洞外周及出口段末端处土壤的允许渗透水力坡降和渗水流速。当不能满足要求时宜采取提高涵周土壤密实度或在涵身外壁设置截水环等措施。截水环纵向间距宜为  $4\sim 8\text{m}$ ，其材料、尺寸和数量应根据安全渗径长度的需要决定。

2 渠下涵的洞顶填土高度宜大于  $1.0\text{m}$ ，或涵顶应低于渠道防渗层底部  $0.5\text{m}$  以上。

3 涵洞内水不应外渗。涵身纵向变形通缝的缝宽宜为  $20\sim 30\text{mm}$ ，缝内应设止水。高水头有压涵洞的缝内宜设型式不同的两道止水，无压涵洞和低水头有压涵洞的缝内宜设一道止水。

4 涵内水质需加保护的输水渠下涵，以及交通涵洞的外壁上应设置阻止外水内渗的防水层。

**7.2.12 涵洞基础型式应依据涵洞型式、孔径及地基土质条件确定。**

**7.2.13** 位于良好地基上的圆涵宜采用浆砌石或混凝土连续刚性弧型管座，其包角为  $90^{\circ}\sim 135^{\circ}$ 。当管径小且地基土层压缩性不大时宜直接置于弧形土基或碎石三合土垫层上。岩基上的圆涵可开槽直接浇筑管身或在槽内铺混凝土垫层再敷设管道。

**7.2.14** 拱涵及盖板涵宜采用分离式或整体式基础。孔径较大且地基条件较好的宜采用分离式基础，孔径较小或地基承载力较低的宜采用整体式基础。

**7.2.15** 箱涵在不大于地基允许承载力的情况下可不另设基础，

仅在底板下设方便施工的水泥砂浆垫层。

**7.2.16 涵洞基础埋置深度应符合下列要求：**

1 涵洞基础埋深不应小于 1.0m，且应埋置到冻土深度以下不小于 0.5m 处。

2 涵洞基础应不受冲刷，不设底板的涵洞底部宜采取铺底保护措施。铺底采用浆砌片石或混凝土砌筑，厚度不应小于 30cm，且应在进、出口两端的铺底层下加设防渗截水齿墙。

3 涵洞进、出口段翼墙的基础埋深应为河沟洪水冲刷线以下至少 1.50m，对冻胀土地基还应满足本条第 1 款规定。

**7.2.17 涵洞基础面积应满足地基承载力及应力分布要求。刚性扩大基础允许刚性角应力：混凝土基础  $40^\circ$ ，浆砌石基础  $35^\circ$ 。**

## **7.3 水 力 设 计**

**7.3.1 水力设计应包括下列内容：**

- 1 过流能力计算。
- 2 过涵水面曲线计算。
- 3 出口防冲或消能设计。

**7.3.2 涵洞设计流量应符合以下规定：**

- 1 灌溉渠道上的渠涵应按渠道设计流量设计、加大流量校核。
- 2 排水沟道上的渠涵应按沟道设计流量设计。
- 3 渠下排水涵洞应按所在沟溪的断面设计洪峰流量设计。

**7.3.3 涵洞流态判别及过流能力计算见附录 D。**

**7.3.4 应计算过涵水面曲线，准确判别涵洞流态、复核过流能力、涵内净空高度、出流形态和进行上、下游水面衔接。**

**7.3.5 出口消能防冲措施应根据出口流速、水深、涵后土壤的耐冲能力和水流扩散条件综合比较后选择设消力池，或在出口加设防冲齿墙（垂裙）、局部地面及渠堤外坡脚砌护加固等措施。**

## **7.4 结 构 设 计**

**7.4.1 涵洞结构计算应包括以下内容：**

- 1 荷载计算及其组合选择。
- 2 稳定及内力计算。
- 3 强度计算。

**7.4.2** 涵洞荷载组合见表 7.4.2 的规定，按荷载的基本组合设计，偶然组合校核，必要时还应考虑其他可能的不利组合。

**表 7.4.2 涵洞荷载组合**

| 荷载组合 | 计算情况  | 荷 载  |      |        |        |        |        |       |        |        |      |      |
|------|-------|------|------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|------|------|
|      |       | 涵洞自重 | 填土压力 | 设计内水压力 | 校核内水压力 | 设计外水压力 | 校核外水压力 | 地面静荷载 | 地面车辆荷载 | 温度变化荷载 | 施工荷载 | 地震荷载 |
| 基本组合 | 完建或检修 | √    | √    | —      | —      | √      | —      | √     | √      | √      | —    | —    |
|      | 正常运行  | √    | √    | √      | —      | √      | —      | √     | √      | √      | —    | —    |
| 偶然组合 | 施工情况  | √    | √    | —      | —      | —      | —      | —     | —      | √      | √    | —    |
|      | 非常运行  | √    | √    | —      | √      | —      | √      | √     | √      | √      | —    | —    |
|      | 地震情况  | √    | √    | √      | —      | √      | —      | √     | —      | —      | —    | √    |

**7.4.3** 涵洞内力计算应根据设计实践经验或者工程类比法先拟定各部尺寸，按结构型式选择适用的计算方法。圆涵、盖板涵、拱涵及箱涵均应取单位长度的横断面，采用结构力学方法或查表法计算内力，圬工侧墙可按材料力学方法验算稳定性和截面应力。

**7.4.4** 钢筋混凝土构件的横断面尺寸应满足构造和施工要求，并按横向内力计算成果配置横向钢筋。除采用间隔式支墩的圆涵管外，涵洞纵向应按构造要求配筋。

**7.4.5** 涵洞宜按限裂构件设计，有较高防渗要求的应采取加设专用防渗面层的保护措施。

**7.4.6** 软基上的 1 级、2 级涵洞应进行沉降变形计算。

## 8 水 闸

**8.0.1** 本章仅补充规定了灌排渠系水闸的布置特点，灌排渠系水闸设计应按 SL 265—2001 的规定执行，选用建材的强度等级和结构计算应符合 GB 50003—2001 和 SL 191—2008 的规定。

**8.0.2** 各类渠系水闸应分别设在渠道的下列位置：

1 节制闸应设在灌溉渠道轮灌组分界处、渠道断面急剧变化处、泄水闸或分水闸的被泄（分）水渠道下游侧处等需要壅高水位、调节或截断渠道水流的位置。

2 分水闸应设在分水渠道的进口处。宜将多条分水渠道的首部集中，按单向、双向、多向分水，必要时增设节制闸的型式布置。

3 泄水闸应设在渠道流经重要城镇、工矿区、险工难工、傍山或塬边有坡面洪水等特殊渠段和重要渠系建筑物的上游渠侧，以及长距离骨干输水渠道的临近容泄区处。

4 退水闸应设在位置重要的斗渠和斗渠以上渠道末端。

5 排水闸宜设在骨干排水沟道出口处，以及需防止外水倒灌处。

6 中小型水闸可与就近的渡槽、跌水、桥涵等其他渠系建筑物联合布置。

**8.0.3** 渠系水闸的闸室结构型式宜采用开敞式和穿越渠堤的涵洞式。

**8.0.4** 渠系水闸的总体布置应符合下列要求：

1 闸址应根据灌排区规划确定的渠系布置、规模、使用功能、运行特点、地形地质、管理维修和环境保护等条件，综合比较选定。

2 节制闸的闸孔净面积和渠道过水面积宜相等或接近，闸孔数目宜为奇数。

**3** 分水闸、泄水闸与渠道的中心线夹角宜为  $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ ，其闸室进口与上级渠道之间应平顺连接并保持渠堤交通顺畅。

**4** 节制闸、退水闸的中心线应与渠道中心线重合。

**5** 多泥沙灌溉渠道上的分水闸底板或闸槛顶部应高于上级渠道底面 10cm 以上。

**6** 闸孔宽度应根据水深、流量、闸门和启闭设备类型经技术经济比较后合理选定。闸孔孔径应符合 SL 74—95 的闸门孔口尺寸系列标准。

**7** 上游翼墙顺水流向的投影长度应不小于铺盖长度，下游翼墙每侧的平均扩散角宜采用  $7^{\circ}\sim 12^{\circ}$ ，其顺水流向投影长度应大于消力池长度。

**8** 大中型水闸闸门槽前还应设检修门槽和迭梁式检修闸门。

**9** 严寒和寒冷地区水闸闸室及上、下游连接段的侧墙背后，底板之下，应采取妥善的排水、保温、抗冻胀措施。

## 9 隧 洞

**9.0.1** 本章仅规定灌溉与排水渠系常用无压隧洞的特殊要求，隧洞的设计应按 SL 279—2002 的规定执行。

**9.0.2** 无压隧洞的洞线布置应满足下列要求：

1 应以规划渠线走向为主，结合地形、地质条件比较确定。

2 当避让山、塬等障碍的绕行渠道长度超过直线穿越障碍洞长的 5 倍，且洞线地质条件良好时，宜选用隧洞方案。

3 无压隧洞的洞线宜为直线。必须设置弯道时，其转弯半径应大于 5 倍洞宽（洞径），转角宜小于  $60^\circ$ ，弯道两端应设置长度大于 5 倍洞宽（洞径）的直线段，且应满足施工机械的通行要求。

4 隧洞设计纵坡不应小于临近段的渠道纵坡。多泥沙渠道上的长隧洞宜在进口前增设集石、排沙设施。

**9.0.3** 隧洞横断面型式应根据地质、围岩、埋深、洞径和施工方法等条件，经技术经济综合比较后确定。当地质条件良好、上覆岩土厚度较小时宜选用圆拱直墙式断面，当地质条件较差、山岩压力和洞径较大时宜选用圆形、马蹄形或蛋形（高拱形）断面，采用掘进机施工的应选用圆形。

**9.0.4** 无压隧洞的进、出口应设置连接段与渠道平顺衔接。进口连接段的长度应为 3~5 倍的渠道水深，出口连接段长度应大于进口连接段的长度。

**9.0.5** 无压隧洞的水力计算宜采用下列方法：

1 过流能力：长洞应按明渠均匀流计算，短洞应按宽顶堰流计算见附录 D。

2 局部水头损失计算见附录 B.1。

3 进出口水面衔接计算见附录 B.1。

**9.0.6** 衬砌结构计算荷载组合应按以下方法选用：

- 1 基本组合应按以下方法选用：
    - 1) 不考虑围岩弹性抗力时应为：垂直围岩压力+侧向水平围岩压力+衬砌自重+设计内水压力+外水压力；
    - 2) 考虑围岩弹性抗力时应为：垂直围岩压力+围岩弹性抗力+围岩弹性抗力产生的摩擦力+衬砌自重+设计内水压力+外水压力。
  - 2 偶然组合应按以下方法选用：
    - 1) 基本荷载+施工荷载、灌浆压力、温度荷载等；
    - 2) 基本荷载+地震荷载。
  - 3 采用可能出现的其他最不利荷载组合。
- 9.0.7** 围岩弹性抗力的大小和分布，应根据实际监测的变形数据，采用工程类比法或理论公式计算确定。对横断面为圆拱直墙式等弹性固端高脚拱隧洞的弹性抗力值及其分布见附录 E。
- 9.0.8** 马蹄形、蛋形和圆拱直墙形断面无压隧洞混凝土结构衬砌的内力，宜根据荷载组合情况，采用结构力学方法进行计算，其方法见附录 E。
- 9.0.9** 隧洞混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土衬砌的结构计算应按照 SL 191—2008 的规定执行。

## 10 跌水与陡坡

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 组成跌水与陡坡的进口连接控制段、跌墙（或陡槽段）、消力池和出口连接整流段等四个基本段，宜选用不同的建筑材料，均应满足抗冲、耐磨、抗渗、抗冻要求。下游为耐冲河沟时，其后两段可用挑流消能段取代。

**10.1.2** 跌水与陡坡宜采用明流开敞式布置，设计单宽流量不宜大于  $10\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ 。

**10.1.3** 跌差小于 5m、要求消能效果较好时宜采用单级跌水，跌差不小于 5m 时宜采用多级跌水或符合斜坡地形的多级陡坡。

斜管式跌水或直落式跌井宜用于泄洪、退水渠末端或有抗冻要求的 4 级、5 级渠道上。

**10.1.4** 跌水与陡坡宜选取高差集中、边坡稳定、地基坚实、地下水水位低的场地。

**10.1.5** 跌水与陡坡应布置在直线渠段上，其上、下游应有长度大于 10 倍渠道底宽的直线渠段，中轴线应与渠道中心线重合。渠外跌水与陡坡的中轴线宜与其首端闸、堰或泄洪、退水渠的中心线重合。当陡坡的陡槽段中轴线为折线时，应采取克服急流折冲波的措施。

### 10.2 总体布置

**10.2.1** 跌水与陡坡的布置应遵循下列原则：

- 1 符合渠道设计功能，水力条件良好。
- 2 与上、下游渠（河沟）道水面平顺衔接。
- 3 通过不同流量时上游灌溉渠道内均不应产生过大的壅水或降水。
- 4 陡坡陡槽内表面宜采取加糙措施。

5 具备完善的防渗和排水系统。

6 消能充分，出流平稳。

7 渠外跌水与陡坡的下泄水流应有合理出路。

**10.2.2** 跌水与陡坡的各段侧墙高度应根据各段实际的加大水深、允许壅水高度、掺气水深及安全超高之和确定。安全超高值应取 0.3~0.5m，糙率大者应取较大值。

**10.2.3** 进口连接控制段的布置应符合下列要求：

1 进口连接段及其后的控制段（跌口或控制堰口）应按渠道中心线对称布置、渐变收缩，纵向底面高程及纵坡应与上游渠道一致。进口连接段长度  $L$  应根据上游渠道底宽  $B$  与设计水深  $h$  的比值  $B/h$  确定： $B/h < 2$  时，取  $L \leq 2.5h$ ； $B/h = 2 \sim 2.5$  时，取  $L = 3h$ ； $B/h > 2.5$  时，取  $L = 3.5h$ ；对  $B/h > 3.5$  的宽浅型渠道， $L$  宜适当加长，其底边收缩线与渠道中心线夹角应小于  $45^\circ$ 。

2 跌口纵向长度应小于 1.0m 或设闸门控制。控制段的横断面形状：渠道流量变化小或有闸门控制时，宜采用矩形；流量变化较频繁及较大时，宜采用梯形；流量及含沙量小的渠道上，宜采用台堰式；流量大时，宜采用复式跌口。跌水的跌口末端底部应设伸出跌水墙外扩散水流的跌舌。

3 渠外跌水与陡坡的进口连接控制段纵坡宜小于临界坡，平面形状应适合于泄水闸（堰），堰顶较长的溢流堰堰后应以每侧不大于  $22^\circ$  的收缩角对称收缩至跌口。

**10.2.4** 陡坡陡槽段的布置应符合下列要求：

1 陡槽段宜为直线、对称扩散（每侧的扩散角应小于  $11^\circ$ ）、末端与消力池（及下游渠底）等宽。但适用于低跌差的菱形陡坡例外。

2 陡槽段横断面宜为矩形，土基上的陡槽可采用边坡为  $1:1 \sim 1:1.5$  的梯形。当陡槽纵坡大于 0.02 时，其横断面湿周应小于 10 倍水深。

3 陡槽段纵向宜采取同一坡度，或按上缓下陡的原则分段设坡。陡槽纵坡宜取  $1:2.5 \sim 1:5$ ，岩基上可达  $1:1$ ，均应满

足陡槽段与水平面的夹角不大于地基土壤内摩擦角的原则。

4 陡槽段内的流速应小于材料抗冲允许流速。流速大于  $10\text{m/s}$  时,应考虑掺气、加糙、槽底设台阶等减蚀措施。

5 陡槽段的底板和边墙应设间距为  $10\sim 15\text{m}$  的纵、横向伸缩沉陷缝。伸缩沉陷缝宜为半搭接缝、全搭接缝或键槽式缝,缝内应设可靠止水,缝下游侧  $0.25\text{m}$  范围内的底板表面应呈倒坡状,且近缝端局部应降低  $0.03\sim 0.05\text{m}$ 。

6 陡槽段底板下缘沿纵向应设三角形防滑齿墙(土基)或锚筋(岩基)。

#### 10.2.5 跌水墙布置应符合下列要求:

1 沿渠道纵向,跌水墙为下游面直立的挡土墙,其墙顶与设计渠顶同高,墙底与消力池底面持平,另加墙基厚度。

2 沿渠道横向,跌水墙墙顶应持平并伸进渠外兼作防渗齿墙,中部留出若干个跌口。中段跌水墙的墙基底面宽度应大于消力池底宽加防渗齿墙深度,两侧的跌水墙应按  $6\sim 12\text{m}$  间距设竖向伸缩缝并呈台阶状分级抬高基底高程。

3 跌水墙结合墙高及当地材料情况宜采取重力式浆砌石、扶臂式钢筋混凝土等结构型式,必要时应在下游水面以上的墙体上设置减压排水管(孔)。

#### 10.2.6 消力池的布置应符合下列要求:

1 消力池的宽度应不小于渠道底宽,宜按单宽流量小于  $10\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ 、跃前水流弗劳德数在  $4\sim 9$  之间的要求初拟池宽。

2 消力池长度应大于水跃长度(陡坡)或大于跌落水舌的水平投影长度加水跃长度(跌水)。池深应按水跃跃后水面不高于下游渠道设计水面高程的原则选取。

3 消力池横断面宜为矩形或复合形。对来流弗劳德数在  $2.5\sim 4.5$  之间的消力池,宜增加消力墩、尾槛等辅助消能工。

4 结合陡坡或跌水的总体布置,应优先选用通过工程类比、水力模型试验或实践证明有效的特种型式消力池。

#### 10.2.7 出口连接整流段的布置应符合下列要求:

1 当消力池的宽度不等于下游渠道底宽时应设出口连接段，下游渠道（建筑物）防冲能力差时应设出口整流段，其建筑材料与消力池相同。

2 出口连接段平面应为对称收缩型式，长度宜使每侧的收缩角为 $8^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 。出口整流段的长度应大于下游渠道水深的3倍，断面尺寸和纵坡应与下游渠道相同。

3 出口连接整流段总长度应根据下游渠道衬砌情况取8~15倍的跃后水深，消力池内加设有消能工的宜适当缩短，但不应小于3倍跃后水深。

#### 10.2.8 防渗排水设施布置应符合下列规定：

1 跌差大、地下水位高、处于软弱或抗渗性较差地基上的跌水与陡坡，其砌护层下应加设防渗排水设施。

2 防渗设施由上游铺盖段、跌水或陡坡的衬砌层及其伸缩沉陷缝止水和各段的齿墙构成。必要时应在进口增加帷幕灌浆等深层防渗设施。

3 排水设施应由设于各段衬砌层下的纵、横向排水管、沟道系统或连续排水层组成。其排水出路应直接排入或通过设在下游设计水面以上的边墙孔（管）排入下游渠道。

4 排水系统应采用防淤、防堵、防冻的结构并加强其进口、出口的反滤措施。

#### 10.2.9 多级跌水（多级陡坡）布置应符合下列规定：

1 多级跌水（多级陡坡）的级数、级差（坡度）应根据地形、地质、水力学和运行管理等条件综合比较后确定。宜采用各级级差（坡度）相等和各级首尾相互衔接的布置型式。

2 多级跌水的每级跌差不应大于5m。

3 多级跌水（多级陡坡）应在各级消力池末端至下一级的跌口（或下一级陡坡的陡槽起点）之间设置一段底坡为零的整流段，整流段的纵向顶长应大于水跃的跃后水深。

4 最末一级消力池的下游为沟（河）道时，应按出口断面下游沟（河）道的实际水深确定池深。平时无水沟（河）道的

实际水深应取为零。

#### **10.2.10 斜管式跌水布置应符合下列规定：**

1 以成品预制管道取代陡坡陡槽段形成的斜管式跌水，适用于跌差小于 6m、管顶有覆土、保温或交通要求的情况，流量大的跌水应布置为多管式。

2 斜管段的纵坡应大于临界坡度且不应陡于 1 : 2。

3 常用的压力流斜管式跌水的跌水管内应保持压力流流态，不应出现明满流交替流态。

4 无压流斜管式跌水适应较大的跌差，其跌水管内应保持无压流流态且不应出现水跃。

5 斜管式跌水出口消能方式宜采取专用的潜没式或半压力式消力池，并加设撞击、分散等辅助消能工。无压流斜管式跌水还可采用底流消能的消力池方式。

#### **10.2.11 跌井布置应符合下列规定：**

1 寒冷地区要求封闭保温或黄土塬边地形高差较大的 4 级、5 级渠道上，宜采用以竖井取代陡坡陡槽段形成的跌井。

2 包括跌井顶部在内的进口连接段形态，应确保渠水均匀平稳地进入竖井且不应出现涡流漏斗流态。

3 跌差较小的圆筒竖井宜为上小下大的喇叭状，下落水舌应脱离井壁，竖井仅在顶部和底部段进行砌护。竖井底部应设置低于下游渠底的圆形消力池，以足够深度的水垫或圬工碰撞消能墩作为主要消能措施。井底与下游渠道之间应以无压隧洞或涵洞相连接。

4 跌差较大的圆筒竖井横断面可取为等截面或上大下小的变截面，井底通过弯管以及逐渐加高的水平状无压隧洞与下游渠道连接，在洞外考虑消能措施。

### **10.3 水 力 设 计**

#### **10.3.1 水力设计应包括下列主要内容：**

1 过流能力计算。

2 陡槽段水面曲线推求。

3 陡槽段掺气水深计算。

4 水跃及消能计算。

**10.3.2** 跌水或陡坡的过水能力应按照确定的跌口断面采用宽顶堰公式计算见附录 F.1。多级跌水（多级陡坡）的过流能力由其中最小一级的过流能力控制。

**10.3.3** 陡坡陡槽段应以跌口末端（陡槽起点）为控制断面，取其水深为临界水深，采用分段求和法向下游推求  $b_2$  型降水水面线，并控制流速。

重要或跌差大的陡坡水面线宜通过试验确定。

**10.3.4** 陡坡陡槽段掺气水深计算见附录 F.1。

**10.3.5** 应将下泄流量按数值分级，分别进行水跃计算。应选用水跃跃后水深与下游渠道水深之差最大者所对应的流量设计消力池。

应针对选定的消力池型式选取相应的计算方法。平底矩形消力池的水跃计算和消力池设计方法见附录 F.2。

## 10.4 结构设计

**10.4.1** 陡坡与跌水应采用抗冲耐磨材料。材料的最低设计强度等级应为：C20 混凝土、M7.5 水泥砂浆砌石（块石不低于 MU30 和水泥砂浆不低于 M7.5）。

**10.4.2** 跌水墙和消力池边墙应按挡土墙设计，并进行强度、稳定和地基承载力验算。

**10.4.3** 陡槽段的底板和边墙应能在自重、静水压力、水流脉动压力及拖曳力、扬压力、土的冻胀力和施工等荷载作用下保持稳定。

**10.4.4** 消力池底板的设计厚度应考虑自重、静水压力、跌水水舌冲击力、地下水浮托力、基底扬压力、土的冻胀力、清淤机械重力等荷载作用。消力池前半部分的底板厚度应适当加大。

**10.4.5** 斜管式跌水的成品预制管道，应根据其实际承受的荷载

计算选用。

**10.4.6** 跌井的竖井圆筒衬砌层应按井内无水、井外承受土压力、地下水水压力等不利荷载组合设计。

**10.4.7** 高跌差、大流量的陡坡宜参照 SL 253—2000 的规定进行设计。

# 11 排 洪 建 筑 物

## 11.1 一 般 规 定

**11.1.1** 渠道排洪建筑物分为入渠、非入渠及平交排洪建筑物三类。应根据洪水流量、地形、地质条件、渠道级别和运行方式合理选用。

**11.1.2** 入渠排洪建筑物包括引洪入渠口、排泄已入渠洪水的排洪闸、溢洪侧堰、虹吸溢流堰等建筑物。

非入渠排洪建筑物包括跨越渠顶的排洪渡槽（桥）和穿越渠底填方体的排洪涵洞、排洪倒虹吸管等建筑物。

平交排洪建筑物按在水面高程接近的河、渠交叉口四个方向上所设控制闸的座数进一步分类。

**11.1.3** 排洪建筑物的布置应满足渠道防洪设计的要求，遵循“高水高排、低水低排、分片分段排泄”的原则，连通可靠的洪水出路。具体布置型式应根据地形条件、自身功能和洪水与渠水的高程关系，通过方案比较合理确定。

**11.1.4** 排洪建筑物的设计排洪流量应按其所控制的集水面积通过设计洪水及其进口前的允许积水计算确定。

**11.1.5** 排洪建筑物宜具有自行启动运行能力。宜采用手、电两用型启闭设备，有条件的宜具备自控或遥控能力。

## 11.2 总 体 布 置

**11.2.1** 入渠排洪建筑物布置应符合下列要求：

1 按照分片分段和就近排洪的原则，合理布置引洪入渠口和排洪堰（闸）等建筑物。

2 各渠段经引洪入渠口引入的洪水流量与渠道自身流量（或事先已泄空）之和应小于该渠段的加大流量。

3 引洪入渠口宜设置在洪水集中通道处或排洪沟道末端，

应减少其个数和对渠道功能的影响。

4 排洪堰、闸的位置宜靠近洪水容泄区，场地应稳定。

### 11.2.2 引洪入渠口设计应符合下列要求：

1 引入渠道的洪水不应严重污染、淤堵或破坏渠道。

2 引洪入渠口应由设在渠堤外的沉沙池进口段、渠顶过水段（过水路面或涵管）、影响范围内的渠床防冲砌护段及必要的渠底消力池段组成。渠深较大时的引洪入渠口宜按陡坡设计。

3 引洪入渠口不应改变渠道过水断面形状，不应影响渠道顺利通过加大流量，必要时宜局部抬高该渠段的渠顶高程。

### 11.2.3 溢洪侧堰布置应符合下列要求：

1 溢洪侧堰应平行于渠道水流方向，堰顶长度应满足在渠道加大水位时排泄入渠洪水总流量的要求。

2 溢洪侧堰宜采用流量系数大且自身稳定的实用堰型，堰顶高程宜与渠道设计水位齐平，或采用在较低的堰顶上加设自动翻板闸门、自溃式子埝的型式。

3 溢洪侧堰下游侧应结合地形条件布置侧槽式或正向渐变收缩式集水道，以平稳的流态连接下游泄洪退水渠。

### 11.2.4 虹吸溢流堰布置应符合下列要求：

1 虹吸溢流堰应具有能自动启闭功能、对水位变化反映灵敏、泄洪能力大。虹吸溢流堰宜单独设置或作为安全保护措施加设在泄洪闸等建筑物侧旁。

2 其虹吸管两端管口应分别淹没于渠道设计水位和下游水位以下，进口管顶部渠道加大水位处应设通气孔，泄洪堰顶不应低于渠道加大水位，下游堰面上宜设置水平状连续挑流低坎。

3 各部位形状和尺寸应按压力流估算并经水工模型试验确定。

### 11.2.5 排洪闸布置应符合下列要求：

1 排洪闸中心线与渠道中心线夹角宜为  $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。

2 排洪闸闸槛高程宜低于或等于渠底高程，闸孔总宽度应满足排泄控制渠段加大流量要求，闸门顶高应与渠道加大水位

持平。

3 有条件时，排洪闸宜结合布置渠道节制闸。

4 有事故泄空要求的宜采用无渠道节制闸的潜没式排洪闸，即闸前渠底设有能容纳渠道加大流量的弯道式导流槽，槽末设带有胸墙的潜没式排洪闸。

#### **11.2.6 非入渠排洪建筑物的布置应符合下列要求：**

1 应用于洪水与渠道水面高差明显、洪水含沙量高、水质差、污染大的情况。

2 当洪水位高于渠顶时应采用排洪渡槽（桥）跨越，洪水位低于渠顶时应采用渠下涵或倒虹吸管穿越渠道排洪。

3 非入渠排洪建筑物中心线宜与渠道中心线正交。

#### **11.2.7 排洪渡槽（桥）布置应符合下列要求：**

1 在洪水频次少的北方地区，宜采用宽浅型排洪渡槽，兼顾枯水期日常交通（即排洪桥）。

2 排洪渡槽（桥）在渠堤之外应设置收集引导洪水的堤、沟式进、出口和必要的出口消能防冲设施，不应过分降低渠顶高度或影响渠堤检修交通。

3 槽（桥）身段宜采用较大纵坡，槽（桥）身梁底至渠道加大水位之间的净空高度不宜小于 0.5m。

4 排洪渡槽（桥）的具体布置和设计应遵守本规范第 5 章和 12 章的规定。

#### **11.2.8 渠下排洪涵洞或排洪倒虹吸管布置应符合下列要求：**

1 洪水水面低于渠底时应设渠下排洪涵洞，洪水水面仅低于渠顶时应设倒虹吸管泄洪。

2 非入渠排洪建筑物的长度应不小于渠床底部宽度，顶高不应影响渠道防渗设施，自身不应淤积堵塞。

3 排洪涵洞宜兼顾日常交通，洞底不应积水。

4 渠下排洪涵洞或排洪倒虹吸管的设计流量和布置设计应遵守本规范第 6 章、第 7 章的规定。

#### **11.2.9 平交排洪建筑物布置应符合下列要求：**

**1** 洪水与渠道水面高程接近、水质适于灌溉且需互相补换水量的天然河（溪）道与渠道交叉时，宜设置平交排洪建筑物。

**2** 平交排洪建筑物应由在河、渠交叉口四个方向中的一至四个方向水道上设置的节制闸和护岸组成，必要时宜增设专用排沙及通航设施。

**3** 一个方向平交布置型式用于河溪水位略低于渠道水位时，应在交叉口下游侧的河溪上设闸壅高洪水补给渠道。

**4** 两个方向平交布置型式应在交叉口下游侧的河溪和渠道上分别设闸壅水并控制入渠流量。

**5** 三个方向或四个方向平交布置型式应能更灵活地调控水量。

**11.2.10** 退水渠上的渠系建筑物设计应按本规范的规定执行，末端采用抽排方式的还应按 GB/T 50265—2010 的规定执行。

## **11.3 水 力 设 计**

**11.3.1** 水力设计应包括下列内容：

- 1** 设计洪水计算。
- 2** 排洪建筑物前积水计算。
- 3** 过流能力计算。
- 4** 出口消能防冲计算。

**11.3.2** 排洪建筑物的设计洪水，应根据其洪水标准和控制的集水面积等要素按 SL 44—2006、溃坝洪水计算方法以及各省（自治区、直辖市）、地（市、州、盟）总结的小流域设计洪水计算方法推求。

**11.3.3** 当排洪建筑物采用的设计流量略小于设计洪水流量时，应通过积水计算推求其上游积水水位、确定积水水深和泄空时间。

**11.3.4** 排洪建筑物过流能力、出口消能防冲、结构计算和地基处理，应分别参见本规范第 5 章、第 6 章、第 7 章、第 8 章、第 10 章的有关规定。

## 12 农 桥

### 12.1 一 般 规 定

**12.1.1** 与灌排渠道相关的桥梁分为交通道路跨越渠道的跨渠桥和渠堤检修路跨越其他水道或道路的专用检修桥两大类。

**12.1.2** 在灌排渠道管理范围内所有行业任何工程项目修建与灌排渠道有关的桥梁，应符合当地水利发展规划，确保灌排渠道安全和正常运行并满足第 12.2 节和第 12.3 节的规定，相互尊重、相互协调、共同受益。

**12.1.3** 跨渠铁路桥、四级和四级以上公路的公路桥，在满足本规范第 12.2 节有关规定的前提下，应分别按 TB 10002.1—2005、JTG B01—2003 和 JTG D60—2004 的规定进行具体设计。

**12.1.4** 四级公路以下的乡村道路、田间道路、放牧道路和渠堤专用检修路等较少行驶大型车辆的道路，均为交通部公路规范不涉及的等外级道路。等外级道路上的人行便桥和通行汽车、三轮汽车、低速货车、拖拉机、畜力车的生产桥，本规范统称为农桥。

**12.1.5** 本规范仅对农桥的总体布置和荷载标准作出规定，其具体的构造及结构设计应按公路桥涵设计相关规范进行。

**12.1.6** 农桥的行车设计速度应统一采用 20km/h。其洪水标准应不低于所跨或所在渠道、河沟的洪水标准。

除所连接的已成乡村道路确为双车道和位于 1 级、2 级灌排渠道（同样流量的河流）上全长大于 100m（或单跨跨度大于等于 40m）的跨渠农桥应按双车道桥梁设计外，其余农桥均宜按单车道桥梁设计。

**12.1.7** 跨越较大河流、宽深沟道的渠堤专用检修路宜就近绕道，利用已成的公路桥涵连接交通，或与渠系交叉建筑物（如渡槽、涵洞或桥式倒虹吸管等）结合修建。

**12.1.8** 在农桥两端应设置符合公路要求的标志牌，标明只准通行的车辆类型或其载重后的总质量。

## **12.2 总体布置**

**12.2.1** 跨渠桥的桥位应选在渠线顺直、水流平缓、渠床及两岸地质条件良好的渠段上。桥梁与渠道的纵轴线宜为正交，当斜交不可避免时，其相交的锐角应大于  $45^\circ$ 。

**12.2.2** 桥孔布置应符合下列规定：

1 跨渠桥两端桥台迎水面之间的总长度宜大于渠道加大流量对应的水面宽度。因桥墩（台）的影响而产生的渠道水面壅高值应不大于 0.10m。

2 在流速大于临界流速的急流渠道横断面中不应布置桥墩（台）。缓流渠道中桥墩（台）顺水流方向的轴线应与渠道中心线方向一致，且不宜布置在渠道主流位置上。

3 桥孔形状宜与渠道形状一致。当桥孔与渠道过水断面相当而形状或流速相差较大时，应按照收缩（或扩散）角为  $6^\circ \sim 10^\circ$  的要求，在桥梁上、下游布置足够长度的防冲、抗渗渐变连接段。

4 通过非岩基渠道和河流的桥梁，应考虑桥孔和桥墩（台）压缩水流而产生的桥下冲刷。冲刷深度计算方法见 JTG C30—2002 第 7 章的规定。

5 渠堤专用检修桥的孔径，应结合所跨道路的等级、沟溪的防洪标准、地质、沟溪整治加固方式和墩台基础埋置深度等条件，综合比较确定。

6 跨渠桥梁的下部结构及上、下游连接段结构应与渠道防渗措施妥善连接，不应降低渠道原有的防渗标准。

**12.2.3** 跨渠桥的桥下净空应根据所跨渠道的级别，按渠道加大水位、壅水高度、风浪高与下列规定的安全加高之和确定：

1 在不通航或通航渠道的不通航桥孔内，跨渠桥梁梁底以下的安全加高应为：对于 1 级、2 级、3 级渠道分别取 1.0m、

0.7m 及 0.5m, 对于 4 级、5 级渠道取  $(h_j/4) + 0.2\text{m}$  ( $h_j$  为渠道通过加大流量时的水深, 单位为 m)。

2 有铰拱的拱脚铰应至少高出渠道加大水位 0.25m。无铰拱的拱脚允许被渠道加大水位淹没, 但因两侧拱圈阻水所造成的壅水高度不应大于本规范第 12.2.2 条第 1 款的规定。

#### 12.2.4 农桥桥面总宽度及净空高度应符合下列规定:

1 农桥桥面总宽度  $B$  依交通量和所连接的道路宽度决定。单车道农桥的桥面总宽度当不设人行道时为 4.0m, 设人行道时为 5.0m。其中行车道宽度  $W=3.5\text{m}$ 、栏杆或路缘石宽度  $b_1=0.25\text{m}$ 、人行道宽度  $b_2=0.50\text{m}$ , 具体见图 12.2.4。作为特例的双车道农桥桥面总宽度应为 6.5m (无人行道) 或 8.0m (其中  $W=6.0\text{m}$ 、 $b_1=0.25\text{m}$ 、 $b_2=0.75\text{m}$ )。

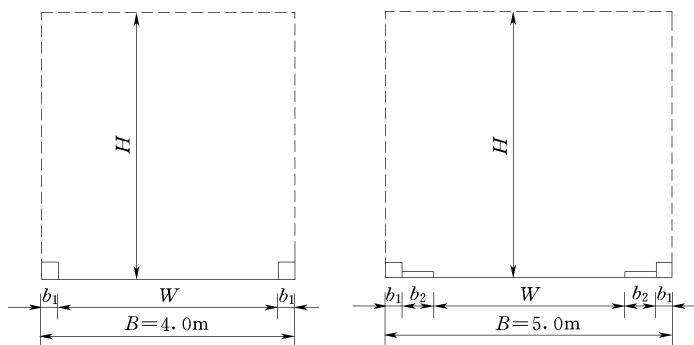


图 12.2.4 农桥桥面总宽度

2 农桥行车道以上的净高  $H$  应为 4.2m, 桥面以上净空限界内, 不应修建其他建筑物。

3 农桥中人行便桥的桥面总宽度  $B$  应可限制机动车辆通行, 宜取 1.5~2.0m, 其中包含路缘石或栏杆宽度  $2 \times 0.25\text{m}$ 。人行便桥桥面以上的净高  $H$  应大于 2.2m。

#### 12.2.5 当跨渠桥从渠堤检修路上空立体交叉通过时, 其桥下的

净高不宜小于 4.2m，相应桥孔的净宽宜大于 4.0m 或不小于渠堤顶宽。

**12.2.6** 渠堤专用检修桥与其他道路立体交叉时，其桥下净空尺寸应根据当地通行的车辆类型和交叉情况而定：桥下为人行通道时，净高应不小于 2.2m，净宽应不小于 4.0m；桥下为畜力车及拖拉机通道时，净高应不小于 2.7m，净宽应不小于 4.0m；桥下为农用汽车通道时，净高应不小于 3.2m，净宽应大于 4.0m 或根据交通量和通行的农业机械类型适当增大；桥下为汽车通道时，净高应不小于 3.5m，净宽应不小于 6.0m。

**12.2.7** 电信线、电力线、电缆和管道等装置不应侵入桥梁净空限界之内，不应损害农桥的构造和设施，不应妨碍农桥交通安全。严禁天然气输送管道、输油管道利用农桥跨越渠道、沟道或河流。天然气输送管道离开农桥的安全距离应不小于 100m。高压电线不应与农桥交叉，两者平面投影的最小间距应大于 1 倍塔（杆）高度。

**12.2.8** 农桥桥上及桥头引道等各项技术指标均应参照四级公路的最低标准值确定。桥上纵坡不宜大于 4%，桥头引道纵坡不宜大于 5%，位于市镇混合交通繁忙处的桥上纵坡和桥头引道纵坡均不应大于 3%。桥头两端引道线形应与桥面线形相配合，当桥头渠堤顶部宽度不足时，宜局部加大渠堤顶部路面宽度。

**12.2.9** 大、中型农桥两侧均应设置高度不小于 1.1m 的栏杆。

## **12.3 农桥荷载标准**

**12.3.1** 农桥采用的设计荷载（公路规范称为作用）分为永久作用、可变作用和偶然作用三类，各类作用的内容见表 12.3.1。

除可变作用中的汽车荷载之外，农桥设计荷载的分类、代表值、作用效应组合和其他各项荷载的确定方法，均按 JTG D60—2004 第 4 章的规定执行。

**表 12.3.1 荷载（作用）分类**

| 编号 | 作用分类 | 作用名称            |
|----|------|-----------------|
| 1  | 永久作用 | 结构重力（包括结构附加重力）  |
| 2  |      | 预加力             |
| 3  |      | 土的重力            |
| 4  |      | 土侧压力            |
| 5  |      | 混凝土收缩及徐变作用      |
| 6  |      | 水的浮力            |
| 7  |      | 基础变位作用          |
| 8  | 可变作用 | 汽车荷载            |
| 9  |      | 汽车冲击力           |
| 10 |      | 汽车离心力           |
| 11 |      | 汽车制动力           |
| 12 |      | 汽车引起的土侧压力       |
| 13 |      | 人群荷载            |
| 14 |      | 风荷载             |
| 15 |      | 流水压力            |
| 16 |      | 冰压力             |
| 17 |      | 温度（均匀温度和梯度温度）作用 |
| 18 |      | 支座摩阻力           |
| 19 | 偶然作用 | 汽车撞击作用          |
| 20 |      | 船舶或漂流物的撞击作用     |
| 21 |      | 地震作用            |

**12.3.2** 公路桥涵设计时，可变作用中汽车荷载的计算图式、荷载等级（其汽车荷载分为公路—I级和公路—II级两个荷载等级）及其标准值、加载方法和纵、横向折减等应按 JTG D60—2004 第 4.3.1 条的规定执行。

**12.3.3** 农桥设计除应遵守本规范第 12.3.1 条和第 12.3.2 条的规定外，还应遵守下列规定：

1 农桥设计时,在汽车荷载中增补农桥—I级和农桥—II级两个荷载等级。

2 所增补的两个汽车荷载等级,其计算图式、荷载标准值、加载方法和纵、横向折减等仍应按 JTG D60—2004 第 4.3.1 条的规定执行。

3 农桥—I级汽车荷载即以中型车车队为主的汽车荷载。采用农桥—I级汽车荷载设计某跨径的农桥时,其车道荷载的效应应与同跨径桥梁采用乘以 0.8 后的公路—II级车道荷载效应相同,其车辆荷载应与同跨径桥梁采用乘以 0.7 后的公路—II级车辆荷载效应相同。

4 农桥—II级汽车荷载即以小客车车队为主的汽车荷载。采用农桥—II级汽车荷载设计跨度为 2~50m 的简支农桥时,其车道荷载的效应应与同跨径桥梁采用乘以 0.6 后的公路—II级车道荷载效应相同,其车辆荷载的效应应与同跨径桥梁采用乘以 0.7 后的公路—II级车辆荷载效应相同。

5 计算剪力效应时,车道荷载中的集中荷载标准值应乘以 1.2 的系数。

#### **12.3.4 农桥的人群荷载标准值应按下列规定采用:**

1 人行便桥和农桥人行道的人群荷载标准值均为  $4.0\text{kN/m}^2$ 。

2 作用在农桥栏杆柱顶的水平推力标准值为  $0.75\text{kN/m}$ ,作用在农桥栏杆扶手上的竖向力标准值为  $1.0\text{kN/m}$ 。

## 13 量 水 设 施

### 13.1 一 般 规 定

**13.1.1** 灌区或排水区应在水源和各级渠道上设置量水测站并由其组成量水站网，实时获取区内渠道各处的水深、流速、流量及其变化信息。

**13.1.2** 量水测站应由流速仪测量断面、可利用的已成渠系建筑物、特设的量水标准断面和量水堰槽等组成。

必要时，量水测站内还可布置泥沙、水温、冰情或气象等观测设施。

条件许可时，量水设施宜具有自动量测、自动记录、遥测遥控功能。

**13.1.3** 渠道量水的基本方法应是已知渠道纵坡，量测过水断面及流速，进而套用相应流态的公式算得或通过率定后的相关曲线查出流量。过水流态应稳定、明显，规则断面的面积也可只量测水深经过已率定的相关关系求得，水流流速则可采取各种利用机械、水力、电磁、声、光等原理制成的量水设备量测。

**13.1.4** 设立量水测站及其采用的量水方法不应影响渠道功能和正常运行，不应额外耗用被测量渠道的水量或污染水质。

**13.1.5** 量水测站和量水设备的具体布置及其结构尺寸，流量测量不确定度的估算方法，渠系量水管理等内容，应按 GB/T 21303—2007 等的规定执行。

### 13.2 量 水 测 站 布 置

**13.2.1** 灌区或排水区规划中应结合其规模和运行特点，按照因地制宜、分类分级、密度合理、一站多能、逐步完善、经济实用的原则，全面、统一布设量水站网，规划量水测站位置。

**13.2.2** 量水站网按其位置和作用分为基本站网和辅助站网两

类。基本站网应具备量测水位、流量，满足合理调度水资源、实现用（排）水计划、按水量计费的功能。辅助站网应具有完善、验证量水资料、支持科学试验研究和分析提高管理水平等功能。

### **13.2.3 基本站网应包括下列测站：**

1 水源测站：从河道取水的灌区应设在渠道取水口上游附近河道上，从水库取水的灌区应设在水库区上游河道或其引水口上。

2 渠首测站：应设在灌区总引水渠道首部，以及排水区将进入容泄区的总排水道末端。

3 配水测站：应设在干、支渠以上各级骨干输配水渠道的进水口下游附近。

4 分水测站：应设在斗渠以下各级田间渠道的分水口下游附近。

### **13.2.4 辅助站网应包括下列测站：**

1 平衡测站：应布设在取水渠首下游附近河道上〔承纳排泄水河（沟）道或湖泊岸边的排水口下游断面〕，分（配）水口下游附近的各级被分（配）水渠道上以及斗渠以上各级渠道末端。

2 专用测站：应布设在试验研究需要的位置上。

### **13.2.5 排水区量水测站的位置应与灌区量水测站位置相反。**

**13.2.6** 各个量水测站的具体位置和布置型式，应根据所承担的任务、渠道状况、量水方法选择、工程造价等要求统一选定。

**13.2.7** 量水测站应布置在平面渠线顺直、横断面规则、纵坡与糙率一致、水流平稳、无泥沙淤积、无其他建筑物造成的壅水、无降水影响、无其他不良因素干扰的缓坡渠（河）道上。

**13.2.8** 量水方法应根据具体渠（河）道等级、水文水力条件、边界条件、量测精度、操作及管理要求和经济效益等因素比较选定。

采用的量水设备应经过国家质量检验部门批准认可。

同一量水测站宜采用同一量水方法。

**13.2.9** 量水测站应按照选定量水方法和量水设备的安装、配套和操作要求，配套布置水电、通信、交通及管理房舍场地等附属设施，还应建立完善的操作、审验、管理制度。

### 13.3 量水方法选择

#### 13.3.1 量水方法应考虑下列因素进行选择：

- 1 适应测流范围、待测流量及其变化范围。
- 2 符合渠道水力条件。
- 3 适应渠道水质、泥沙和杂物含量。
- 4 满足渠道允许的水头损失。
- 5 符合要求的精度。
- 6 管理方便、维护简单。
- 7 工程造价合理。

#### 13.3.2 量水方法宜按照下列顺序进行选择：

1 凡具备条件的量水测站，应优先选择利用已成渠系建筑物量水的方法。

2 设计流量大于  $45\text{m}^3/\text{s}$ 、允许水头损失较小或量测精度要求较高的渠道测站，应采用设置标准断面法或流速仪量水法。

3 附近无渠系建筑物或渠系建筑物不能满足量水精度等要求的渠段，宜比较采用设置标准断面或量水堰槽等量水方法。

4 量水槽有长喉道槽，短喉道槽（包括巴歇尔槽）和无喉道量水槽。

5 小型渠道和专用测站选用的量水堰槽适用范围见附录 G.1。

13.3.3 人工操作的流速仪测流量水法是在缓流条件下，适应任何断面、任意流速的基本量水方法，也是检验、率定和校核其他量水方法的可靠方法。其布置和施测方法应参见 GB/T 21303—2007 和 GB 50179—93 等的规范。

13.3.4 应根据量水方法、经济条件，合理选用量水设备和仪表。

### 13.4 利用渠系建筑物量水

#### 13.4.1 用作量水的渠系建筑物应符合下列规定：

- 1 通过量水的水闸、渡槽、倒虹吸管、涵洞、跌水与陡坡

等渠系建筑物的水流，在各种流量下均应形成明显且稳定的堰流、孔流、明渠均匀流或管流中的一种流态。还应细分为自由流、淹没流、半淹没流，或管流的无压流、有压流和半有压流。

**2** 渠系建筑物的过水横断面应规则平直，自身完整稳定，调节启闭设备完好，无变形剥蚀、变位损坏、漏水等不良现象。

**3** 水流因渠系建筑物的垂直或平面方向的约束控制作用，应形成明显的水面局部降落和一定的水头差。当为淹没出流时，建筑物上、下游的水头差不应小于 0.05m，淹没度（下游水深与总水头之比）不应大于 0.90。

**4** 渠系建筑物的进、出口和底部均应无明显影响流量系数稳定性的冲淤变化和障碍阻塞。

**5** 渠系建筑物进、出口渐变段以外应有造成缓流条件的顺直渠段长度。顺直渠段的长度在进口渐变段以上应不小于过水断面总宽的 3 倍，在出口渐变段以下应不小于过水断面总宽的 2 倍。

**13.4.2** 用于量水渠系建筑物有关测流设施的布设与观测、流量系数的率定、综合和检验、流量推算公式和流量测验不确定估算等内容，应按 SL 20—92 的规定执行。

**13.4.3** 在符合上述规定的渠系建筑物中，还应根据量水站网对测站性质、位置、量测精度的不同要求，建筑物自身条件，经济合理及管理方便的原则择优选定。

**13.4.4** 测流水尺布设应符合下列规定：

**1** 水闸的闸前水尺宜直接绘刻在闸前侧墙上，水尺与闸门距离应为  $1/4$  单孔闸宽。进闸水流如不对称，则应在闸前两侧侧墙上绘刻水尺，观测时取其平均值。

**2** 水闸的闸后水尺宜直接绘刻在闸后侧墙上，水尺与闸门距离应不小于  $1/4$  单孔闸宽，并不应超过 0.4m。

**3** 所有水尺的零点均应与闸底取同一高程，最小刻度值应取 0.005m，绘刻误差应小于 0.002m。

**4** 倒虹吸管的上、下游基本水尺宜设立在进、出口渐变段之外，与其进、出口渐变段起、止端的距离宜分别大于 4 倍的渠

道正常水深，且均应以下游基本水尺设立处的出口渠底高程为零点。此外，尚可采取在倒虹吸管架空的管身上选择断面，设置压力流量水设备进行量水。

**5** 渡槽应在进、出口渐变段的起、止端及槽身中部的槽壁上各设一个基本水尺，水尺零点取为出口渐变段末端水尺处的槽底高程。

**6** 跌水上游基本水尺与跌口的距离应大于 3~4 倍的渠道正常水深。

### **13.5 标准断面量水**

**13.5.1** 标准断面量水方法可适应不同精度，广泛应用于具有标准明渠均匀流流态、水位—流量关系明确且稳定的渠道。

设置标准断面的渠段应渠线顺直、断面规则、纵坡均匀、糙率一致、水流平稳、含沙量低、漂浮物少，应无流量汇入分出，不受上游建筑物不稳定出流或下游壅水、降水的影响。

**13.5.2** 标准断面渠段长度应大于 20 倍渠道最大水深，应选用断面规则、衬砌平整的渠段。

**13.5.3** 读取标准断面的水尺水深，应按照制（率）定的水位（纵坐标）—流量（横坐标）关系曲线或表达式查（算）瞬时流量。要求量测精度高的宜采取量测水深，配合流速仪测量流速计算流量的方式。

**13.5.4** 水尺设置应符合下列规定：

**1** 测流标准断面的起止端应设置固定水尺。

**2** 水尺可采用直立、或刻绘在标准断面渠坡上、或刻绘在底部连通的渠外观测井内的方式设置。

**3** 水尺零点应以测流标准断面渠底的平均高程为基准，水尺刻度应清晰易读，最小刻度值至 0.005m。

**13.5.5** 有自计、遥测或较高量测精度要求的标准断面，应采用矩形标准横断面，按照相应规范要求配置自计式、超声波或电磁式水位计等量水设备量测水深。

**13.5.6 制（率）定水位—流量关系应符合下列规定：**

- 1** 宜采用流速仪法施测标准断面水位上升、下降过程中不同水位的对应流量。
- 2** 流量施测过程应保持水位平稳，同一标准断面上应采用同一方法测量流量。
- 3** 对不同年份、不同灌溉季节、下游渠道不同分水情况的资料应按次分类统计、分别分析。
- 4** 最大读数误差应小于或等于 $\pm 2.5\%$ ，高、低水位部分可取不同比例尺分别绘制，不同含沙量的资料应分别分析。
- 5** 同一标准断面在满足量水需要的水位范围内取得 20 次以上的观测资料后，建立水位—流量关系曲线或函数式。
- 6** 水位—流量函数式应采用回归分析法得出，其计算流量和实测流量的误差应符合表 13.5.6 的规定。

**表 13.5.6 标准断面水位—流量函数式率定误差限值**

| 累积频率 95%  | 累积频率 75%  | 系统误差        |
|-----------|-----------|-------------|
| $\pm 5\%$ | $\pm 3\%$ | $\pm 0.5\%$ |

**13.5.7** 标准断面的水位—流量关系曲线或函数式应按每个灌溉（排水）季节进行校核，当平均误差超过 $\pm 2.5\%$ 时应增加测点测次进行修正，直至水位—流量关系函数式的误差小于表 13.5.6 的规定或重新分析建立满足精度要求的新关系式。

**13.6 堰 槽 量 水**

**13.6.1** 灌排渠道常用的量水槽有：矩形和梯形断面的长喉道槽、短喉道槽（包括巴歇尔槽）、无喉段槽、适用于 U 形渠道的抛物线形喉口槽和直壁式槽等。常用的量水堰有：薄壁堰、宽顶堰、三角形剖面堰和平坦 V 形堰等。

**13.6.2** 量水堰槽的基本性能、形状、制作尺寸、安装误差、观测水尺位置和养护、管理、使用等，应严格按 GB/T 21303—2007 和 SL 24—91 的规定执行。

各种量水堰槽的适用范围见附录 G.1。

**13.6.3** 设置量水堰槽的渠段应满足下列规定：

1 渠段顺直，长度应大于渠宽的 5~15 倍，水流应呈缓流状态，弗劳德数应不大于 0.5，渠段内无渠系建筑物或其他渠道汇入、分出，流量稳定、流速分布正常，产生的上游壅水不应影响其他进水口的正常引水。

2 水头观测断面以上和量水堰槽下游的顺直渠段长度应分别大于渠道最大水面宽度的 5 倍。

3 量水堰槽的上游不应淤积或堵塞漂浮物，下游不应冲刷。

4 堰槽体中心线应与渠道轴线一致，两侧对称布置，堰槽体应坚固不渗漏，过水断面平滑光洁。

5 水尺零点应用水准仪确定。

**13.6.4** 除 SL 24—91 规定的矩形、梯形断面长喉道槽外，本规范给出了抛物线形、U 形等多种断面形状的长喉道槽的设计方法，其喉道断面收缩型式分为只有侧向收缩、只有底收缩和兼有侧向收缩及底收缩等 3 种型式，应根据渠道断面形状、最大过流流量及各部水头、各种流量下的出流流态、允许的水头损失、喉道断面收缩比的限制以及含沙率等选用。

长喉道槽由进口段、前缘段（水尺设于此段内）、收缩段、喉道段、扩散段和出口砌护段组成。其相应的流量计算公式见附录 G.2。

**13.6.5** 只有侧向收缩（无底坎）的长喉道槽宜用于含沙率较大的渠道或排污渠道。当渠道纵坡缓于 1/500 时，宜采用兼有侧向收缩及底收缩的长喉道槽。

上游观测点所在断面位置与喉道上游收缩段起始断面的距离应大于  $(1\sim 2)H_{\max}$ ， $H_{\max}$  为上游观测点处最大水头。

**13.6.6** 长喉道槽的设计应遵循下列步骤和要求：

1 根据待测流量所在渠道的水力条件和几何形状，选择合适的喉道横断面形状长喉道槽。

2 需要的设计条件应包括以下内容：

1) 待测渠道的最大流量、最小流量、相应的最高水位和

最低水位；

2) 长喉道槽上、下游渠道的几何参数、底坡、糙率。

3 应拟定长喉道槽的下列几何参数：

1) 喉道段长度；

2) 进口收缩渐变段和出口扩散渐变段长度、喉道段堰顶高于上游渠底的高度及其高于下游渠底的高度。

4 采用美国垦务局推荐的 Replogle 基于边界层理论的计算方法计算长喉道槽在可能测流范围内的水头损失和非淹没限，具体计算方法见附录 G. 3。

5 按照预先拟定的长喉道槽尺寸和附录 G. 2 公式计算过槽流量。在满足自由流出流流态、给定的水头损失和非淹没限等条件下，若计算过槽流量符合测流范围要求，则按预先拟定的参数进行结构设计；否则，应重新拟定喉道段断面形状或尺寸再重复试算，直至符合要求。

6 自由流出流流态条件和满足的方法应符合下列规定：

1) 自由流出流流态条件为：

$$H_1 + P \geq y_1 - \Delta H \quad (13.6.6-1)$$

其中 
$$H_1 = h_1 + (v^2/2g) \quad (13.6.6-2)$$

式中  $H_1$ ——通过渠道设计流量时喉道堰顶以上的能头；

$h_1$ ——堰上水深，m；

$v$ ——堰上流速，m/s；

$P$ ——长喉道槽堰顶高于上游渠底的高度，m；

$y_1$ ——上游渠道的设计水深，m；

$\Delta H$ ——过槽的总水头损失，m。

2) 满足自由流出流条件的方法：在已成渠道上设置长喉道槽时应满足上项所述条件。在新建渠道上设置长喉道槽时应将下游渠底高程降低。

**13.6.7** 长喉道槽的喉道长度  $L$  应取为  $1.0h_{\max} < L \leq 10.0h_{\max}$ ，宜选用  $(1.5 \sim 1.7)h_{\max}$ 。 $h_{\max}$  为上游渠道最大水深。

**13.6.8** 长喉道槽的喉道段底宽等尺寸和堰高  $P$ 、 $P_L$  主要取决

于收缩后的喉道断面过流面积值  $A_c$  与上游渠道原过流面积值  $A_1$  的比率 ( $P_L$  为长喉道槽堰顶高于下游渠底的高度)。对矩形断面长喉道槽该比率应按  $A_c/A_1 \leq 0.7$  控制, 对梯形断面长喉道槽该比率应按  $A_c/A_1 \leq 0.5$  控制。

**13.6.9** 本标准推荐的矩形长喉道槽流量计算公式为:

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g} C_d C_v b_c h_1^{3/2} \quad (13.6.9-1)$$

其中  $C_d = (H_1/L - 0.07)^{0.018} \quad (13.6.9-2)$

$$C_v = (1 + \alpha_1 v_1^2 / 2gh)^u \quad (13.6.9-3)$$

$$H_1 = h_1 + \alpha_1 v_1 / 2g \quad (13.6.9-4)$$

式中  $C_d$ ——流量修正系数;

$C_v$ ——流速修正系数, 可按图 13.6.9-1 查用;

$H_1$ ——上游渠段总水头 (从喉道槛顶算起), m;

$L$ ——喉道长, m;

$u$ ——水位流量公式中水深  $h_1$  的幂, 当控制断面堰口为矩形时,  $u=1.5$ ;

$\alpha_1 v_1^2 / 2g$ ——速度水头, m。

公式 (13.6.9-2) 适用范围:  $0.1 \leq H_1/L \leq 1.0$ 。

公式中各符号的意义见图 13.6.9-2。

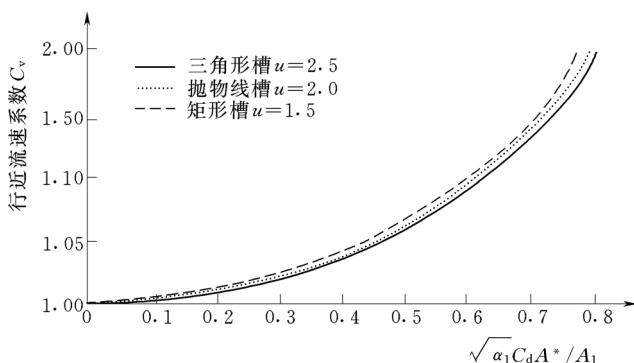


图 13.6.9-1  $C_v$  和比值  $\sqrt{\alpha_1 C_d A^*} / A_1$  的函数关系

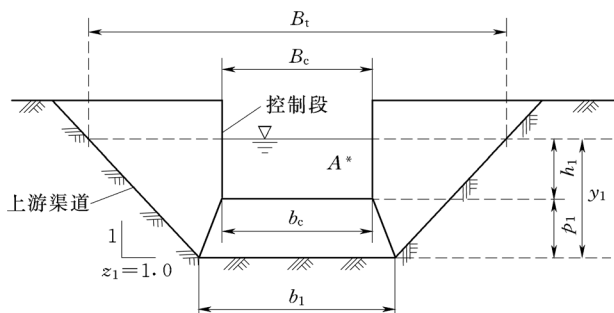


图 13.6.9-2 测量处横断面及控制段的上游视图

$A^*$ —控制断面处堰口过水断面面积,  $\text{m}^2$

## 13.7 结构设计

**13.7.1** 量水设施过水断面的形状和各部尺寸应严格按照本章的规定确定。必要时应增设量测设备且应不影响渠道正常及量水功能的附属设施、使用管理和安全保障设施。

**13.7.2** 量水设施的各部结构简化为墙（直立侧墙）、板（底板）、圆筒（观测井）等构件后，应分别按渠内无水和渠内通过加大流量两种工况，参照本规范的有关规定设计，且应满足强度、刚度、稳定、耐久和抗渗稳定性要求。

**13.7.3** 机械式流速仪跨渠测流桥或其他型式流速仪跨渠安装桥，应按人行和设备荷载，采用钢筋混凝土或钢结构桥梁设计。

需要采用悬索或悬杆跨渠测流的悬索设计应按 SL 443—2009 的规定执行。

采用动船法测流的各部分设计应按 SL 338—2006 的规定执行。

## 14 安全监测设计

### 14.1 一般规定

**14.1.1** 安全监测等级可分为重点安全监测、专门安全监测和一般安全监测。

**14.1.2** 安全监测设计应包括下列内容：

- 1 确定监测范围和监测重点。
- 2 设置监测项目。
- 3 拟定监测方法。
- 4 拟定监测标准值和允许变化范围。
- 5 拟定监测时段和频次。
- 6 布置监测点、监测设备和设施及其典型设计。
- 7 提出监测资料整理分析要求。
- 8 编制安全监测概算（含施工期运行费）。

**14.1.3** 确定监测范围和监测重点应遵循下列原则：

- 1 进行重点安全监测应包括下列渠系建筑物（或其代表段）：
  - 1) 1 级渠系建筑物；
  - 2) 失事将造成重大损失的；
  - 3) 采用新技术、新材料、新工艺的；
  - 4) 位于不良地质或特殊环境条件下的；
  - 5) 设计单位认为必要的渠系建筑物。
- 2 进行专门安全监测应包括下列建筑物：
  - 1) 灌区或排水区内有代表性范围内的 2 级、3 级渠系建筑物；
  - 2) 有代表性的某类或某座渠系建筑物；
  - 3) 需要特别研究的某类或某座渠系建筑物。
- 3 灌区或排水区内的其余渠系建筑物，应进行一般安全监测。

**14.1.4** 拟定监测标准值和允许变化范围应遵循下列原则：

- 1 设计采用的标准值及其允许浮动范围。
- 2 国家或行业施工规范规定的标准值及其允许浮动范围。
- 3 国家或行业相关质量检查验收提供的标准值及其允许浮动范围。

4 经国家或行业相关质量监督部门或专家鉴定认可的标准值及其允许浮动范围。

**14.1.5** 监测时段和频次应符合下列要求：

1 日常检查：在施工期宜每周监测两次，竣工验收前及建设管理单位交接期各一次，首次通水前后各一次。正常运行期宜半月一次，汛期和渠道以校核流量运行期应增加次数。

2 年度检查：在每年灌溉期、汛期前后和渠系建筑物岁修完成后应各监测一次。

3 特殊检查：在发生地震、暴雨、洪水、大风等自然灾害后应全面监测一次，在渠系建筑物发生异常或损坏事故后应视情况加强监测，按照科学实验要求安排配合性监测。

4 进行一般安全监测的渠系建筑物，以年度检查为主。进行专门和特殊安全监测的渠系建筑物以日常检查和年度检查为主进行。

**14.1.6** 渠系建筑物的监测点、标石结构及其埋设、变形监测的方法、各种监测设备的检验与埋设、监测设施的安裝、监测的有关要求以及监测资料的整理分析内容、记录表格式等，应参照SDJ 336—89、SL 60—94、SL 265—2001、SL 279—2002 和 SL 253—2000 等相关的规定执行。

## **14.2 监 测 项 目**

**14.2.1** 重点安全监测应包括下列监测项目。

- 1 各部结构的施工期和竣工误差。
- 2 预制吊装施工过程及安装后结构完好性。
- 3 混凝土温度。

- 4 不良地质洞段围岩和衬砌层收敛量测。
- 5 墩台的一般冲刷及局部冲刷等。
- 14.2.2 专门安全监测应包括下列监测项目：
  - 1 水流流态及上、下游水面衔接。
  - 2 渗流。
  - 3 扬压力。
  - 4 应力、应变。
  - 5 挠度。
  - 6 变形。
  - 7 裂缝。
  - 8 边坡稳定。
  - 9 伸缩沉陷缝等关键部位完好性。
  - 10 冻胀力及冻融作用引起的变形和破坏等。
- 14.2.3 一般安全监测应包括下列监测项目：
  - 1 渠系建筑物位置、外观形态、各部结构完整性及附属设备完好性。
  - 2 沉降、水平位移。
  - 3 水流形态、水位、流速、流量。
  - 4 冲刷、淤积变化。
  - 5 气温、降水、风力、水温、冰冻。
  - 6 混凝土结构裂缝、碳化、钢筋锈蚀情况等。

### 14.3 监 测 方 法

- 14.3.1 渠系建筑物安全监测应采取划分监测等级、抽取典型代表渠段上的渠系建筑物、突出重点渠系建筑物、监测整座渠系建筑物或监测其代表段、设置对比监测区等不同方式。
- 14.3.2 安全监测具体有巡视检查和精确监测两种方法。重点和专门安全监测项目应采用精确监测的方法，一般安全监测项目应采用巡视检查方法。
- 14.3.3 巡视检查应依靠目视、耳听、手摸、鼻嗅等直观方法或

辅以简单工具进行。必要时应采取坑（槽）探手段。

**14.3.4** 精确监测指在渠系建筑物监测部位安装监测设备实时监测，必要时应采取钻孔取样、注水或抽水试验、化学试剂、水下检查、电视摄像、超声波探测、锈蚀检测、材质化验和强度检测等特殊监测方法。

**14.3.5** 安全监测设计应提出监测代表段、监测断面和监测点、照明交通安全防护等辅助设施的具体布置方案，监测设备的种类、个数、安装、调试方法及其典型设计。

**14.3.6** 条件允许时可采取自动记录、闭路电视监测和遥感监测等先进方法。

**14.3.7** 以任何监测方法获取的结果，均应以填写记录表格、写出报告或制作成电子光盘等形式，真实、及时、完整的形成监测资料。

## **14.4 监测资料整编**

**14.4.1** 安全监测设计应建立完善的管理制度。工程建设和管理单位应及时全面收集并妥善保管渠系建筑物的设计、设计变更、施工、竣工验收和责任交接期的各种图纸、文字和实地测量、观测网等重要资料。

**14.4.2** 设计应对监测资料的整理和分析提出技术要求。应参考相关规范或类比相似工程经验提出资料整理的范围、分析方法、编制安全监测报告内容和具体监测记录表格的格式要求。

**14.4.3** 整编后的安全监测资料和形成的报告应及时归档保管，并提出结论及建议意见上报上级行政主管部门。

# 附录 A 荷 载 计 算

**A. 0. 1** 作用在墩（架）上的河（渠）道水流动水压力按公式（A. 0. 1）计算：

$$P_p = k_p \frac{\gamma v_d^2}{2g} A_p \tag{A. 0. 1}$$

式中  $P_p$ ——作用于一个墩（架）上的动水压力，kN；  
 $\gamma$ ——水的容重，kN/m<sup>3</sup>；  
 $v_d$ ——河（渠）道水流的设计流速，m/s；  
 $g$ ——重力加速度，m/s<sup>2</sup>；  
 $A_p$ ——墩（架）阻水面积，即河（渠）道水面以下至一般冲刷线处墩（架）在水流正交面上的投影面积，m<sup>2</sup>；  
 $k_p$ ——墩（架）形状系数，可按表 A. 0. 1 选用。

表 A. 0. 1 墩（架）形状系数  $k_p$

| 槽墩（架）迎水面形状    | $k_p$ | 槽墩（架）迎水面形状 | $k_p$ |
|---------------|-------|------------|-------|
| 方形            | 1. 5  | 尖圆形        | 0. 7  |
| 矩形（长边与水流方向平行） | 1. 3  | 圆端形        | 0. 6  |
| 圆形            | 0. 8  |            |       |

**A. 0. 2** 位于河（渠）道中的墩（台）承受的漂浮物或船只撞击力，按公式（A. 0. 2）估算：

$$P_d = \frac{W_d v_c}{gt_d} \tag{A. 0. 2}$$

式中  $P_d$ ——漂浮物或船只的撞击力，kN；  
 $W_d$ ——漂浮物或船只的重力，kN，应根据实际情况或调查确定；  
 $v_c$ ——水流速度，m/s；

$t_d$ ——撞击时间，s，如无实际资料时，可取  $t_d=1.0s$ 。

**A. 0.3** 槽身支座产生的摩阻力按公式（A. 0.3）计算：

$$F = f_b V \quad (\text{A. 0.3})$$

式中  $F$ ——支座摩阻力，kN，其方向与位移方向相反；

$V$ ——作用于活动支座的竖向反力，kN；

$f_b$ ——支座摩擦系数，可按表 A. 0.3 选用。

**表 A. 0.3 支座摩擦系数  $f_b$**

| 支 座 种 类       |         | $f_b$ |
|---------------|---------|-------|
| 滚动支座或摆动支座     |         | 0.05  |
| 弧形钢板滑动支座      |         | 0.20  |
| 平面钢板滑动支座      |         | 0.30  |
| 油毛毡垫层（老化后）    |         | 0.60  |
| (1) 盆式橡胶支座    | 常温型活动支座 | 0.04  |
|               | 耐寒型活动支座 | 0.06  |
| (2) 充填聚四氟乙烯滑板 | 常温型活动支座 | 0.08  |
|               | 耐寒型活动支座 | 0.12  |

**A. 0.4** 温度荷载计算应符合下列规定：

**1** 简支或双悬臂梁式渡槽槽身等静定结构因温度变化影响，槽身长度产生的伸长或缩短值  $\Delta L$  按公式（A. 0.4-1）计算：

$$\Delta L = \alpha \Delta t l_t \quad (\text{A. 0.4-1})$$

式中  $\alpha$ ——线膨胀系数，各种结构材料的线膨胀系数见表 A. 0.4；

$\Delta t$ ——温度变幅值，温度上升时  $\Delta t = T_1 - T_2$ ，温度下降时  $\Delta t = T_3 - T_2$ 。其中  $T_1$ 、 $T_3$  为当地最高和最低月平均气温，℃， $T_2$  为槽身浇筑或安装时的气温，℃；

$l_t$ ——构件的长度，m。

表 A.0.4 结构材料的线膨胀系数  $\alpha$

| 构件种类                | $\alpha$ (以 $^{\circ}\text{C}$ 计) |
|---------------------|-----------------------------------|
| 钢结构                 | 0.000012                          |
| 混凝土, 钢筋混凝土及预应力混凝土构件 | 0.000010                          |
| 混凝土预制块砌体            | 0.000009                          |
| 石砌体                 | 0.000008                          |
| 砖砌体                 | 0.000007                          |

2 拱、桁架等超静定结构在均匀的温度升高或降低作用下将在结构内产生温度应力, 温度应力随温度变幅和结构刚度的增大而加大, 可用结构力学等方法求得。温度变幅值  $\Delta t$  为当地最高和最低月平均气温与封拱温度的差值。封拱温度应取封拱时的当地实际温度, 或者选择低于当地年平均气温的预估温度进行估算。

3 重要的大型渡槽, 必要时还需考虑日照辐射、槽内水温等引起的温度应力。可通过试验确定其边界条件, 采用数学模型计算其温度场与温度应力。

4 混凝土及钢筋混凝土倒虹吸管在管内外壁温差作用下, 将产生温度应力, 温度应力大小与温度变幅、浇筑温度、管壁厚度、弹性模量等有关, 可由结构力学方法求得。管内外壁温差及其分布可按下列情况分别计算:

- 1) 对地下埋管, 管外壁混凝土表面温度  $T_e$  和管内壁混凝土表面温度  $T_i$ , 沿环向可近似看做均匀分布, 沿环向各点内外壁温差  $T_d = T_e - T_i$ , 为一常数, 无实测资料时, 可近似取  $T_d = \pm(3 \sim 5)^{\circ}\text{C}$ 。
- 2) 施工中未覆盖土的露天管和架空梁式管, 管内壁表面温度  $T_i$  接近水温, 可按日平均气温考虑, 并视为均匀分布。管外壁温度视不同部位而异: 管顶  $T_e$  较日最高气温约高  $12 \sim 16^{\circ}\text{C}$ ; 管脚  $T_e$  接近日最高气温; 管底  $T_e$  可近似取日平均气温, 由管顶到管脚一段中, 管外

壁表面混凝土温度按沿环向直线变化规律计算。

3) 管壁环向温度分布曲线, 对称于管的垂直轴线。

4) 管壁内温度沿管的径向为曲线分布, 可用公式 (A. 0. 4 - 2) 表示:

$$T = T_i + \left( \frac{y - y_0}{y_1 y_0} \right)^n T_d(\phi) \quad (\text{A. 0. 4 - 2})$$

式中  $y$ ——计算点至管中心的距离, m;

$y_0$ ——管的内半径, m;

$y_1$ ——管的外半径, m;

$T_d(\phi)$ ——管内外温差, °C;

$n$ ——指数, 随管壁厚度  $\delta$  而变; 当  $100\text{mm} < \delta \leq 200\text{mm}$  时,  $n=2$ ; 当  $200\text{mm} < \delta \leq 400\text{mm}$  时,  $n=3$ ; 当  $\delta > 400\text{mm}$  时,  $n=4$ 。

5) 计算管道纵向应力的温差为管道浇筑温度与运行期最低温度之差。

**A. 0. 5** 渡槽风压力应按下列公式计算:

1 对于较高的排架、梁式渡槽, 基本自振周期  $T(s)$  近似按公式 (A. 0. 5 - 1) 计算:

$$T(s) = 3.63 \sqrt{\frac{H^3}{EJ} (M + 0.236 p A H)} \quad (\text{A. 0. 5 - 1})$$

式中  $H$ ——槽身重心至地面的高度, m;

$M$ ——搁置于排架顶部的槽身质量 (空槽情况) 或槽身及槽中水体的总质量, kg;

$E$ ——排架材料的弹性模量,  $\text{N/m}^2$ ;

$J$ ——排架横截面的惯性矩,  $\text{m}^4$ ;

$A$ ——排架的横截面面积,  $\text{m}^2$ ;

$p$ ——排架材料的密度,  $\text{kg/m}^3$ 。

2 横槽方向垂直作用于渡槽表面的风压力应按公式 (A. 0. 5 - 2)、公式 (A. 0. 5 - 3) 计算:

$$W_k = \beta_z \mu_t \mu_z \mu_s W_0 \quad (\text{A. 0.5-2})$$

$$W_0 = W_0^2 / 1600 \quad (\text{A. 0.5-3})$$

式中  $W_k$ ——风压力, kPa;

$W_0$ ——基本风压, kPa, 当有可靠风速资料时, 按公式 (A. 0.5-3) 计算, 其中  $V_0$  (m/s) 为当地比较空旷平坦地面离地 10m 高处统一所得的 30 年一遇 10min 平均最大风速; 如无风速资料, 应按 GB 50009—2001 中全国基本风压分布图采用, 但不应小于 0.25kPa;

$\mu_t$ ——地形、地理条件系数, 对于与大风方向一致的谷口、山口, 可取  $\mu_t = 1.2 \sim 1.5$ ; 对于山间盆地、谷地等闭塞地形, 则取  $\mu_t = 0.75 \sim 0.85$ ;

$\beta_z$ —— $z$  高度处的风振系数, 对于高度较大的排架、梁式渡槽, 当结构的基本自振周期  $T$  大于 0.25s 时, 应计入风振影响,  $\beta_z$  值可按表 A. 0.5-1 采用。不属于上述情况者可不考虑风振影响, 取  $\beta_z = 1.0$ ;

$\mu_z$ ——风压高度变化系数, 按表 A. 0.5-2 选用。表中离地面高度一栏, 对于槽身, 指风力在槽身上的着力点 (即迎风面的形心) 距地面的高度; 对于排架或槽墩, 指排架顶或墩顶距地面的高度。若槽墩 (架) 很高, 可沿高度方向分成若干段, 各段选用相应的风压高度变化系数值;

$\mu_s$ ——风载体型系数, 可参考表 A. 0.5-3 所列数值选用。对于重要的具有特殊结构型式的渡槽, 风载体型系数应由风洞试验确定。

表 A. 0.5-1 风振系数  $\beta_z$

| $T(s)$    | 0.25 | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 3.50 | 5.00 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\beta_z$ | 1.25 | 1.40 | 1.45 | 1.48 | 1.50 | 1.55 | 1.60 |

表 A.0.5-2 风压高度变化系数  $\mu_z$

|              |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 离地面高度<br>(m) | 5    | 10   | 15   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   |
| $\mu_z$      | 0.80 | 1.00 | 1.14 | 1.25 | 1.42 | 1.56 | 1.67 | 1.77 | 1.86 | 1.95 | 2.02 |

表 A.0.5-3 风载体型系数  $\mu_s$

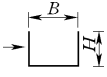
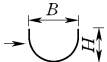
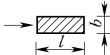
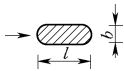
|      |                                                                                   |                                                                                     |                                                           |      |      |      |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------|------|------|
| 槽身   |  | 高宽比 $H/B$                                                                           |                                                           | 0.6  | 0.9  | 1.2  |
|      |                                                                                   | 空槽                                                                                  | 均匀流场                                                      | 1.61 | 1.88 | 2.07 |
|      |                                                                                   |                                                                                     | 湍流场                                                       | 1.56 | 1.62 | 1.76 |
|      |                                                                                   | 满槽                                                                                  | 均匀流场                                                      | 1.64 | 1.87 | 2.16 |
|      |                                                                                   |                                                                                     | 湍流场                                                       | 1.47 | 1.50 | 1.78 |
|      |  | 高宽比 $H/B$                                                                           |                                                           | 0.5  | 0.8  | 1.1  |
|      |                                                                                   | 空槽                                                                                  | 平稳流场                                                      | 0.61 | 1.01 | 1.42 |
|      |                                                                                   |                                                                                     | 湍流场                                                       | 0.68 | 0.92 | 1.06 |
|      |                                                                                   | 满槽                                                                                  | 平稳流场                                                      | 0.64 | 1.05 | 1.39 |
|      |                                                                                   |                                                                                     | 湍流场                                                       | 0.56 | 0.90 | 0.99 |
|      |                                                                                   |                                                                                     |                                                           |      |      |      |
| 排架拱圈 | 正方形截面                                                                             |    | $\mu_s=1.4$                                               |      |      |      |
|      | 圆形截面                                                                              |    | $\mu_s=0.8$                                               |      |      |      |
|      | 矩形截面                                                                              |   | $l/b \leq 1.5 \quad \mu_s=1.4; l/b > 1.5 \quad \mu_s=0.9$ |      |      |      |
|      | 矩形截面                                                                              |  | $l/b \leq 1.5 \quad \mu_s=1.4; l/b > 1.5 \quad \mu_s=1.3$ |      |      |      |
| 槽墩   | 圆端形截面                                                                             |  | $l/b \geq 1.5 \quad \mu_s=0.3$                            |      |      |      |
|      | 圆端形截面                                                                             |  | $l/b \leq 1.5 \quad \mu_s=0.8; l/b > 1.5 \quad \mu_s=1.1$ |      |      |      |

表 A.0.5-3 (续)

|                                                                  |                                                                                                                                                        |            |      |      |      |      |            |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------|------|------|------|------------|
| 桁架                                                               | (a) 两榀平行桁架的整体体型系数： $\mu_s = 1.3\varphi(1 + \eta)$                                                                                                      |            |      |      |      |      |            |
|                                                                  | (b) $n$ 榀平行桁架的整体体型系数： $\mu_s = 1.3\varphi \frac{1 - \eta^n}{1 - \eta}$                                                                                 |            |      |      |      |      |            |
|                                                                  | 式中： $\varphi = A_n/A$ 为桁架的挡风系数； $A_n$ 为桁架杆件和节点挡风的净投影面积； $A$ 为桁架的轮廓面积； $\eta$ 与两榀桁架间距 $b$ 、桁架高度 $h$ 及挡风系数 $\varphi$ 有关；当 $b/h \leq 1$ 时， $\eta$ 可按下表采用： |            |      |      |      |      |            |
|                                                                  | $\varphi$                                                                                                                                              | $\leq 0.1$ | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | $\geq 0.6$ |
|                                                                  | $\eta$                                                                                                                                                 | 1.0        | 0.85 | 0.66 | 0.50 | 0.33 | 0.15       |
| 注：一般认为在田园地带（地表面起伏不超过 20cm），地面上流场的湍流度为 15%~20%，如流场湍流度小于 4%则为均匀流场。 |                                                                                                                                                        |            |      |      |      |      |            |

## 附录 B 渡槽设计计算

### B.1 渡槽水力设计计算

**B.1.1** 槽身过流能力应按以下公式计算：

1 槽身长度不小于渡槽进口渐变段前上游渠道正常水深的 15 倍时，按明渠均匀流公式 (B.1.1-1) 计算：

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} \quad (\text{B.1.1-1})$$

式中  $Q$ ——渡槽的过水流量， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$A$ ——槽身过水断面面积， $\text{m}^2$ ；

$R$ ——水力半径， $\text{m}$ ；

$i$ ——槽底比降；

$n$ ——槽身过水断面的壁面糙率，钢筋混凝土槽身可取  $n = 0.013 \sim 0.015$ ；砌石槽身可取  $n \geq 0.017$ 。

2 槽身长度小于渡槽进口渐变段前渠道正常水深的 15 倍时，按淹没宽顶堰流公式计算：

1) 槽身为矩形断面时按公式 (B.1.1-2) ~ 公式 (B.1.1-4) 计算：

$$Q = \varepsilon \sigma_s m B \sqrt{2g} H_0^{\frac{3}{2}} \quad (\text{B.1.1-2})$$

$$\varepsilon = 1.071 \left( 1 - \frac{b_0}{b_s} \right)^4 \sqrt{\frac{b_0}{b_s}} \quad (\text{B.1.1-3})$$

$$H_0 = h' + \frac{v_1^2}{2g} \quad (\text{B.1.1-4})$$

式中  $H_0$ ——渡槽进口水头， $\text{m}$ ；

$v_1$ ——渡槽进口渐变段前渠道断面平均流速， $\text{m/s}$ ；

$B$ ——矩形槽身底宽， $\text{m}$ ；

$h'$ ——渡槽进口渐变段前渠道断面平均水深， $\text{m}$ ；

$m$ ——流量系数，渡槽进口较平顺时取  $m=0.35\sim0.38$ ；  
进口不平顺可取  $m=0.32\sim0.34$ ；  
 $\epsilon$ ——侧向收缩系数，可取  $\epsilon=0.80\sim0.92$ ；  
 $b_0$ ——槽身净宽，m；  
 $b_s$ ——渡槽进口前渠道水面宽度与渠底宽度的平均值，m；  
 $\sigma_s$ ——淹没系数，按表 D.0.3-1 采用。

2) 槽身为 U 形或梯形断面时按公式 (B.1.1-5)、公式 (B.1.1-6) 计算：

$$Q_m = \epsilon \varphi A \sqrt{2gZ_0} \quad (\text{B.1.1-5})$$

$$Z_0 = Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} \quad (\text{B.1.1-6})$$

式中  $\varphi$ ——流速系数，可取  $\varphi=0.89\sim0.95$ ；

$Z_0$ ——计入行近流速水头在内的渡槽上、下游水位差（上、下游总水面降落），m；

$Z_1$ ——渡槽上、下游水位差（上、下游总水面降落），m，初步估算时，可取  $Z_1=0.10\sim0.15\text{m}$ ；

$g$ ——重力加速度， $\text{m/s}^2$ 。

**B.1.2** 渡槽总水头损失应按以下方法计算（见图 B.1.2）：

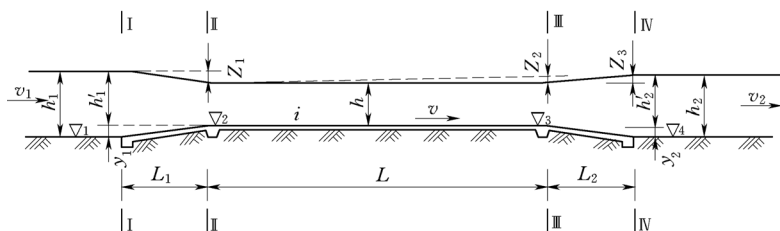


图 B.1.2 渡槽水力计算图

1 对于重要的大、中型渡槽，总水头损失采用能量法计算。

1) 进口渐变段水面降落值按公式 (B.1.2-1) 计算：

$$Z'_1 = \frac{(1 + \sum \xi_1)(v^2 - v_1^2)}{2g} + J_{1-2}L_1 \quad (\text{B. 1. 2 - 1})$$

式中  $J_{1-2}$ ——进口渐变段的平均水力坡降；

$L_1$ ——进口渐变段长度，m；

$\sum \xi_1$ ——进口渐变段（含节制闸）局部水头损失系数之和，即进口渐变段水头损失系数与门槽水头损失系数之和；

$v_1$ ——进口渐变段上游渠道断面平均流速，m/s；

$v$ ——槽身断面平均流速，m/s。

当槽身采用双槽或多槽方案时，中间设有隔墙，进口渐变段共用。由于隔墙侧收缩引起的水面降落  $\Delta h$  (m) 可按美国陆军工程兵团水力设计准则中介绍的亚内尔 (Yarnell) 公式进行计算：

$$\Delta h = 2k(k + 10\omega - 0.6)(\alpha + 15\alpha^4) \frac{v^2}{2g} \quad (\text{B. 1. 2 - 2})$$

式中  $k$ ——隔墙头部形状系数，对半圆形可取 0.9；

$\omega$ ——槽内流速水头与水深之比；

$\alpha$ ——隔墙总厚度与槽宽之比；

$v$ ——槽内流速，m/s。

进口渐变段水面总降落值为：

$$Z_1 = Z'_1 + \Delta h$$

2) 槽身段水面降落值。在长槽情况下，槽身段水流为均匀流，根据槽身长度  $L$  和槽底比降  $i$  可求得该段水面降落值为：

$$Z_2 = iL \quad (\text{B. 1. 2 - 3})$$

3) 出口渐变段水面回升值。渡槽出口水流经过渐变段时，槽身末端的水流动能一部分消耗于摩阻、断面扩大及其他原因引起的沿程水头损失和局部水头损失，一部分恢复为位能而产生水面回升。出口渐变段水面回升值可按公式 (B. 1. 2 - 4) 计算：

$$Z_3 = \frac{(1 - \sum \xi_2)(v^2 - v_2^2)}{2g} - J_{3-4}L_2 \quad (\text{B. 1. 2 - 4})$$

式中  $J_{3-4}$ ——出口渐变段的平均水力坡降；

$L_2$ ——出口渐变段长度，m；

$\sum \xi_2$ ——出口渐变段（含检修闸）局部水头损失系数之和，即出口渐变段水头损失系数与门槽水头损失系数之和；

$v_2$ ——出口渐变段末端下游渠道断面平均流速，m/s。

4) 渡槽总水头损失（即通过渡槽的总水面降落）按公式（B. 1. 2 - 5）计算：

$$\Delta Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 \quad (\text{B. 1. 2 - 5})$$

式中  $\Delta Z$ ——渡槽总水头损失，m，应等于或略小于渠系规划中允许的水头损失值。

5) 当槽身为短槽时（ $L \leq 15h_1$ ），槽中水流为非均匀流，对求得的槽宽与水深应按非均匀流进行水面线复核，若复核所得的进、出口水位差超过了规划给定的允许值，应调整槽身断面尺寸重新计算。

2 对于一般中、小型渡槽，总水头损失  $\Delta Z$  的计算公式中，槽身段水面降落值  $Z_2$  仍用公式（B. 1. 2 - 3）计算，进、出口渐变段水面降落、回升值按下列公式计算：

进口渐变段水面降落值

$$Z_1 = (1 + \xi_1)(v^2 - v_1^2)/2g \quad (\text{B. 1. 2 - 6})$$

出口渐变段水面回升值

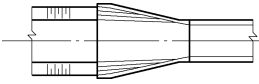
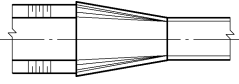
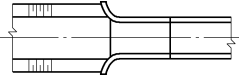
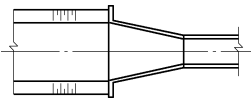
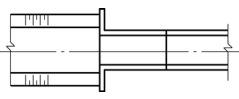
$$Z_2 = (1 + \xi_2)(v^2 - v_2^2)/2g \quad (\text{B. 1. 2 - 7})$$

式中  $\xi_1$ 、 $\xi_2$ ——渡槽进口渐变段、出口渐变段局部水头损失系数，可根据渐变段型式由表 B. 1. 2 查得。

渡槽总水面降落按公式（B. 1. 2 - 8）计算：

$$\Delta Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 \quad (\text{B. 1. 2 - 8})$$

表 B. 1. 2 进、出口水头损失系数

| 渐变段型式                                                | 示意图<br>(以梯形断面和矩形断面连接为例)                                                           | 进口渐变段局部<br>水头损失系数 $\xi_1$                                         | 出口渐变段局部<br>水头损失系数 $\xi_2$                                         |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 曲线形反弯扭曲面                                             |  | 0. 10                                                             | 0. 20                                                             |
| 直线形扭曲面                                               |  | $\theta_1 = 15^\circ \sim 37^\circ$<br>$\xi_1 = 0. 05 \sim 0. 30$ | $\theta_2 = 10^\circ \sim 17^\circ$<br>$\xi_2 = 0. 30 \sim 0. 50$ |
| 圆弧直墙                                                 |  | 0. 20                                                             | 0. 50                                                             |
| 八字形                                                  |  | 0. 30                                                             | 0. 50                                                             |
| 直角形                                                  |  | 0. 40                                                             | 0. 75                                                             |
| 注: $\theta_1$ 表示进口渐变段水面收缩角; $\theta_2$ 表示出口渐变段水面扩散角。 |                                                                                   |                                                                   |                                                                   |

**B. 1. 3 水面衔接应按以下方法计算**

1 渡槽进、出口槽身底部高程及出口处下游渠道底部高程按公式 (B. 1. 3 - 1) ~ 公式 (B. 1. 3 - 3) 计算。

2 渡槽进口槽身底部高程  $\nabla_1$  按公式 (B. 1. 3 - 1) 计算:

$$\nabla_1 = \nabla_3 + h_1 + Z_1 - h \quad (\text{B. 1. 3 - 1})$$

式中  $\nabla_3$ ——渡槽进口渐变段前上游渠底高程, m;

$h_1$ 、 $h$ ——渡槽通过设计流量时相应的上游渠道水深及槽内水深, m。

3 渡槽出口槽身底部高程  $\nabla_2$  按公式 (B. 1. 3 - 2) 计算:

$$\nabla_2 = \nabla_1 - iL \quad (\text{B. 1. 3 - 2})$$

**4** 渡槽出口渐变段末端下游渠底高程 $\nabla_4$ 按公式 (B. 1. 3 - 3) 计算:

$$\nabla_4 = \nabla_2 + h + Z_3 - h_2 \quad (\text{B. 1. 3 - 3})$$

式中  $h_2$ ——渡槽通过设计流量时相应的下游渠道水深, m。

**B. 1. 4** 弯道横向最大水面差应按以下方法计算:

弯道处凹岸与凸岸间的槽身内横向最大水面差  $\Delta h$  可按公式 (B. 1. 4 - 1) 计算:

$$\Delta h = \frac{\alpha_1 v^2}{gr} \frac{A}{h} \quad (\text{B. 1. 4 - 1})$$

式中  $\alpha_1$ ——弯道上游槽身直段水流的动能修正系数, 可取  $\alpha_1 = 1.0$ ;

$v$ ——弯道上游槽身直段过水断面的平均流速, m/s;

$r$ ——弯道的弯曲半径, m;

$A$ ——弯道上游槽身直段过水断面面积,  $\text{m}^2$ ;

$h$ ——弯道上游槽身直段槽内水深, m;

$g$ ——重力加速度,  $\text{m/s}^2$ 。

## B. 2 拱圈横向稳定性验算

**B. 2. 1** 宽跨比小于  $1/20$  的板拱或采用单肋合拢时的拱肋, 可按公式 (B. 2. 1 - 1) ~ 公式 (B. 2. 1 - 3) 验算拱圈 (肋) 的横向稳定:

$$N_m \leq \frac{1}{K_H} N'_L \quad (\text{B. 2. 1 - 1})$$

$$N'_L = \frac{H'_L}{\cos \varphi_m} \quad (\text{B. 2. 1 - 2})$$

$$H'_L = K'_L \frac{EI_y}{8fL} \quad (\text{B. 2. 1 - 3})$$

式中  $K_H$ ——横向稳定安全系数, 可采用  $4 \sim 5$ ;

$N'_L$ ——拱圈 (肋) 丧失横向稳定时的临界轴向压力, kN;

$H'_L$ ——临界推力, kN;

$I_y$ ——拱圈（肋）截面对其自身竖直轴的惯性矩， $\text{m}^4$ ；  
 $f$ 、 $L$ ——拱圈（肋）的计算矢高和计算跨度， $\text{m}$ ；  
 $E$ ——拱圈（肋）材料的弹性模量， $\text{kN/m}^2$ ；  
 $K'_L$ ——临界荷载系数，可参考表 B. 2. 1 确定；  
 $N_m$ 、 $\varphi_m$ ——意义与公式（5. 5. 8 - 1）～公式（5. 5. 8 - 5）相同。

**表 B. 2. 1 等截面抛物线双铰拱横向稳定临界荷载系数  $K'_L$**

| $\lambda$<br>$f/L$ | 0. 7  | 1. 0  | 2. 0  |
|--------------------|-------|-------|-------|
| 0. 1               | 28. 5 | 28. 5 | 28. 5 |
| 0. 2               | 41. 5 | 41. 0 | 40. 0 |
| 0. 3               | 40. 0 | 38. 5 | 36. 5 |

注：表中  $\lambda$  为截面抗弯刚度与抗扭刚度之比。 $\lambda = EI_y/GI_k$ （其中  $I_k$  为扭转惯性矩， $\text{m}^4$ ）， $G$  为剪切弹性模量， $G=0.43E$ ， $\text{kN/m}^2$ 。

**B. 2. 2** 具有横向联系构件的肋拱或无支架施工时采用双肋合拢的拱肋，在验算横向稳定时，可将拱展开成一个与拱轴等长的平面桁架，按组合压杆进行计算，组合杆的长度等于拱轴线长度  $S_a$ 。拱圈（肋）的横向稳定验算公式与公式（B. 2. 1 - 1）相同，但式中临界轴向压力  $N'_L$  为：

$$N'_L = \frac{\pi^2 E_a I'_y}{(L')^2} \quad (\text{B. 2. 2 - 1})$$

$$L' = \alpha' S_a \sqrt{1 + \frac{\pi^2 E_a I'_y}{(\alpha' S_a)^2} \left( \frac{a' b'}{12 E_b I_b} + \frac{a'^2}{24 E_a I_a} \right)} \quad (\text{B. 2. 2 - 2})$$

式中  $I'_y$ ——两拱肋截面对其公共竖直轴的惯性矩， $\text{m}^4$ ；  
 $E_a$ ——拱肋材料的弹性模量， $\text{kN/m}^2$ ；  
 $L'$ ——组合压杆计算长度， $\text{m}$ ；  
 $S_a$ ——拱轴线长度， $\text{m}$ ；

- $\alpha'$ ——系数，无铰拱为 0.5，双铰拱为 1.0；
- $a'$ 、 $b'$ ——横系梁（或夹木）中距和两拱肋中距，m；
- $I_a$ 、 $I_b$ ——一个拱肋和一根横系梁（或夹木）对自身竖直轴的惯性矩， $m^4$ ；
- $E_b$ ——横系梁（或夹木）材料的弹性模量， $kN/m^2$ 。

# 附录 C 倒虹吸管设计计算

## C.1 倒虹吸管水力计算

C.1.1 根据已有工程设计、施工经验和各种材料管道的生产技术水平，将各种材料管道的适用范围推介列于表 C.1.1，供选择参考。

表 C.1.1 各种材料管道的适用范围

| 管材类型                                               | 适用水头  | 适用 $HD$ 值 ( $\text{m}^2$ ) |
|----------------------------------------------------|-------|----------------------------|
| 混凝土管                                               | 低水头   | $<25$                      |
| 钢筋混凝土管                                             | 中水头   | 20~120 (或 150, 视施工水平)      |
| 预应力钢筋混凝土管                                          | 中~高水头 | 100~300                    |
| 玻璃钢管                                               | 中~高水头 | $\leq 1000$                |
| 预应力钢筒混凝土管                                          | 高水头   | $\leq 1000$                |
| 钢管和钢衬混凝土管                                          | 高水头   | $\leq 1000$                |
| 注: $H$ —工作水头, $\text{m}$ ; $D$ —管道内径, $\text{m}$ 。 |       |                            |

C.1.2 有压管流挟沙流速按公式 (C.1.2) 进行计算:

$$v_{np} = \left( \omega_0 \sqrt[6]{\rho} \sqrt[4]{\frac{4Q_{np}}{\pi d_{75}^2}} \right)^{\frac{1}{1.25}} \tag{C.1.2}$$

式中  $v_{np}$ ——有压管流挟沙流速 (不淤极限流速),  $\text{m/s}$ ;  
 $\omega_0$ ——泥沙沉降速度,  $\text{mm/s}$ ;  
 $\rho$ ——挟沙水流中含沙量 (以重量百分比计算);  
 $Q_{np}$ ——流速为  $v_{np}$  时管内通过的流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  
 $d_{75}$ ——小于该粒径的泥沙重量占 75% 的泥沙粒径,  $\text{mm}$ ,  
可由渠道泥沙级配曲线上查得;管道通过设计流量时流速  $v$  应能满足  $v > v_{np}$  的要求, 而通过小流量时若  $v < v_{np}$ , 仍会产生淤积。此时应采用双管或者多管布置, 以提高单管过水流速  $v$  来满足不

淤要求。

**C. 1.3 倒虹吸管水头损失应按以下方法计算：**

**1 进口渐变段局部水头损失及水面降落按下列公式计算：**

**1)** 如图 C. 1.3 - 1 所示，进口渐变段的局部水头损失按公式 (C. 1.3 - 1) 计算：

$$h_{j1} = \xi_1 \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (\text{C. 1.3 - 1})$$

式中  $h_{j1}$  —— 进口渐变段的局部水头损失，m；

$\xi_1$  —— 进口渐变段的局部损失系数，与渐变段的型式有关，按表 C. 1.3 - 1 选取；

$v_1$ 、 $v_2$  —— 渠道进口渐变段始、末断面的平均流速，m/s；

$g$  —— 重力加速度，m/s<sup>2</sup>。

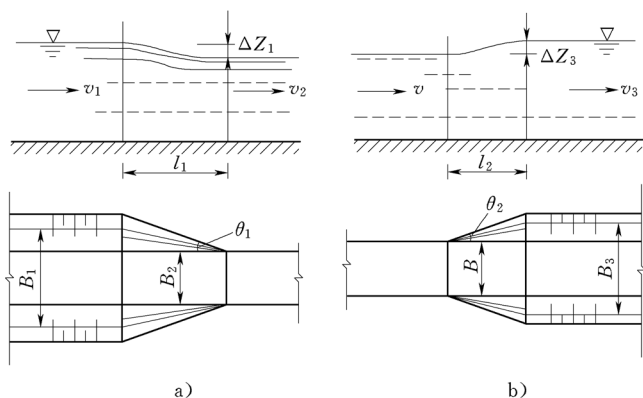


图 C. 1.3 - 1

**2)** 忽略渐变段起始断面与末端断面间的沿程损失，两断面间的水面落差  $\Delta Z_1$  (见图 C. 1.3 - 2) 按公式 (C. 1.3 - 2) 计算：

$$\Delta Z_1 = (1 + \xi_1) \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (\text{C. 1.3 - 2})$$

式中  $\Delta Z_1$  —— 进口渐变段的水面落差，m。

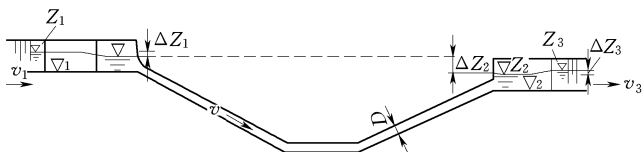


图 C. 1.3 - 2 倒虹吸管水面落差示意图

表 C. 1.3 - 1 渐变段局部损失系数表

| 渐变段型式  | $\xi_1$   | $\xi_2$   | 适用条件                                                          |
|--------|-----------|-----------|---------------------------------------------------------------|
| 反弯扭曲面  | 0.10      | 0.20      | 水面收敛角 $\theta_1$ 和<br>水面扩散角 $\theta_2$<br>均 $\leq 12.5^\circ$ |
| 1/4 圆弧 | 0.15      | 0.25      |                                                               |
| 方头型    | 0.30      | 0.75      |                                                               |
| 直线扭曲面  | 0.05~0.30 | 0.30~0.50 | $\theta_1 = 15^\circ \sim 37^\circ$                           |

2 出口渐变段的局部水头损失和水面恢复值按下列公式计算：

1) 如图 C. 1.3 - 1b) 所示，出口渐变段的局部水头损失按公式 (C. 1.3 - 3) 进行计算：

$$h_{j2} = \xi_2 \frac{v^2 - v_3^2}{2g} \quad (\text{C. 1.3 - 3})$$

式中  $h_{j2}$ ——出口渐变段的局部水头损失，m；

$v$ 、 $v_3$ ——管道出口和出口渐变段末断面的平均流速，m/s；

$\xi_2$ ——出口渐变段的局部损失系数，与渐变段的形式有关，按表 C. 1.3 - 1 选取。

2) 忽略渐变段起始断面与末端断面间的沿程损失，两断面间的水面恢复值  $\Delta Z_3$  按公式 (C. 1.3 - 4) 计算：

$$\Delta Z_3 = (1 - \xi_2) \frac{v^2 - v_3^2}{2g} \quad (\text{C. 1.3 - 4})$$

式中  $\Delta Z_3$ ——出口渐变段的水面恢复值，m；

其他符号的含义与公式 (C. 1.3 - 3) 相同。

3 倒虹吸管的水头损失包括局部水头损失和沿程水头损失两大类。倒虹吸管的水头损失按下列公式计算：

1) 倒虹吸管的局部水头损失按公式 (C. 1.3 - 5) 计算：

$$h_j = \left[ \sum \xi_i \left( \frac{v}{\varphi_i} \right)^2 \right] \frac{v^2}{2g} \quad (\text{C. 1. 3 - 5})$$

式中  $h_j$ ——倒虹吸管的局部水头总损失，m；

$\varphi$ 、 $\varphi_i$ ——管道出口断面面积和局部阻力损失处的相应断面面积， $\text{m}^2$ ；

$\xi_i$ ——某一局部水头损失系数，如拦污栅、闸门槽、进水口、弯管、出水口等的局部水头损失系数（不包括  $\xi_1$  和  $\xi_2$ ）。

各类水头损失系数的计算方法如下：

①拦污栅水头损失系数  $\xi_s$ 。

如图 C. 1. 3 - 3 所示，当拦污栅无独立支墩时：

$$\xi_s = \beta_1 \left( \frac{s_1}{b_1} \right)^{\frac{4}{3}} \sin \alpha \quad (\text{C. 1. 3 - 6})$$

当拦污栅有独立支墩时：

$$\xi_s = \left[ \beta_1 \left( \frac{s_1}{b_1} \right)^{\frac{4}{3}} + \beta_2 \left( \frac{s_2}{b_2} \right)^{\frac{4}{3}} \right] \sin \alpha \quad (\text{C. 1. 3 - 7})$$

式中  $\xi_s$ ——拦污栅水头损失系数；

$\beta_1$ 、 $\beta_2$ ——拦污栅栅片及拦污栅支墩形状系数，可按表 C. 1. 3 - 2 取值；

$s_1$ 、 $b_1$ ——拦污栅栅片厚度及栅片间距，mm；

$s_2$ 、 $b_2$ ——拦污栅支墩厚度及支墩间净距，mm；

$\alpha$ ——拦污栅栅面的倾角， $(^\circ)$ 。

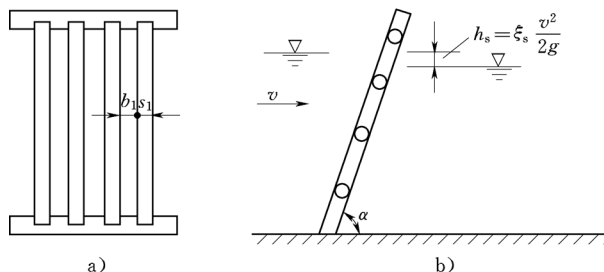


图 C. 1. 3 - 3 拦污栅水头损失系数计算图

表 C. 1. 3 - 2 栅条形状系数

| 形状                |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| $\beta_1、\beta_2$ | 2. 42                                                                             | 1. 83                                                                             | 1. 79                                                                             | 1. 67                                                                             | 1. 04                                                                             | 0. 92                                                                             | 0. 76                                                                             |

②进水口水头损失系数  $\xi_i$ 。进水口水头损失系数与进口形状是否圆顺有关，可按表 C. 1. 3 - 3 取值。竖井式倒虹吸管进口损失系数可取 1. 0，缓坡式无修圆进口，可取 0. 5。

表 C. 1. 3 - 3 进水口水头损失系数表

| 形 状    |                                                                                   | 系 数                           |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 进口完全修圆 |  | $\xi_{进口} = 0. 05 \sim 0. 10$ |
| 进口稍微修圆 |  | 0. 20 ~ 0. 25                 |
| 进口没有修圆 |  | 0. 50                         |

③闸门槽水头损失系数  $\xi_m$ 。平板门槽水头损失系数  $\xi_m$  为 0. 05 ~ 0. 15。

④压力管道渐变段水头损失系数  $\xi_{jb}$ 。当压力管道由方变圆或收缩时， $\xi_{jb} = 0. 05$ ；当压力管道由圆变方或扩大时， $\xi_{jb} = 0. 10$ （扩散角不宜大于  $10^\circ$ ）。

⑤压力管道的弯道水头损失系数  $\xi_w$ 。压力管道的弯道水头损失系数与拐角  $\theta$ 、拐弯半径  $R$  及管道内径  $D_0$  有关，可先由表 C. 1. 3 - 4 查出  $\xi_{90^\circ}$  值（见图 C. 1. 3 - 4），再从表 C. 1. 3 - 5 查出  $\gamma$ ，则  $\xi_w = \gamma \xi_{90^\circ}$ 。

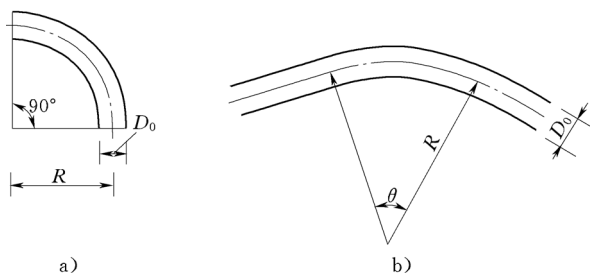


图 C. 1.3 - 4 弯道水头损失系数计算图

表 C. 1.3 - 4 直角弯道损失系数  $\xi_{90^\circ}$  表

| $R/D_0$          | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0  | 3.0  | 4.0  | 5.0  | 6.0  | 7.0  | 8.0  | 9.0  | 10.0 | 11.0 |
|------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\xi_{90^\circ}$ | 1.2 | 0.8 | 0.6 | 0.48 | 0.36 | 0.30 | 0.29 | 0.28 | 0.27 | 0.26 | 0.25 | 0.24 | 0.23 |

表 C. 1.3 - 5 任意角弯道损失系数修正系数  $\gamma$  值表

| $\theta (^\circ)$ | 5     | 10   | 20  | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100  | 120  | 140  |
|-------------------|-------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\gamma$          | 0.125 | 0.23 | 0.4 | 0.55 | 0.65 | 0.75 | 0.83 | 0.88 | 0.95 | 1.00 | 1.05 | 1.13 | 1.20 |

⑥旁通管的水头损失系数  $\xi_p$ 。倒虹吸管的冲沙、放空、进入孔等旁通管的损失系数，一般采用 0.10。

⑦管道出口水头损失系数  $\xi_c$ 。倒虹吸管出口入明渠的损失系数可按表 C. 1.3 - 6 选取。

表 C. 1.3 - 6 倒虹吸管出口入明渠的损失系数

| $\omega_g / \omega_q$ | 0.1  | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 0.8  | 0.9  |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\xi_c$               | 0.81 | 0.64 | 0.40 | 0.36 | 0.25 | 0.16 | 0.09 | 0.04 | 0.01 |

2) 倒虹吸管的沿程阻力水头损失按公式 (C. 1.3 - 8) 计算：

$$h_f = \left[ \sum \frac{2gL_i}{C_i^2 R_i} \left( \frac{\omega}{\omega_i} \right)^2 \right] \frac{v^2}{2g} \quad (\text{C. 1.3 - 8})$$

其中

$$C_i = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad (\text{C. 1.3 - 9})$$

式中  $h_f$ ——倒虹吸管沿程阻力总水头损失, m;  
 $C_i$ ——管身计算段水流的舍齐系数, 舍齐系数  $C_i$  与糙率有关;  
 $R_i$ ——管身计算段水流的水力半径;  
 $L_i$ ——管身计算段的管长, m;  
 $\omega$ ——管道出口横断面积,  $m^2$ ;  
 $\omega_i$ ——管身计算段横断面积,  $m^2$ ;  
 $n$ ——边壁糙率, 与边壁材料有关。

3) 倒虹吸管的总水头损失  $h_w$  按公式 (C. 1. 3 - 10) 计算:

$$h_w = h_j + h_f = \left[ \sum \xi_i \left( \frac{\omega}{\omega_i} \right)^2 + \sum \frac{2gL_i}{C_i^2 R_i} \left( \frac{\omega}{\omega_i} \right)^2 \right] \frac{v^2}{2g} \quad (C. 1. 3 - 10)$$

4) 进口渐变段末端至管道出口的总水面降落  $\Delta Z_2$  的计算。进口渐变段末端至管道出口水面降落由两部分组成: 一是进口渐变段至倒虹吸进口间的连接段的水面降落  $\left( \frac{v^2 - v_2^2}{2g} \right)$ ; 二是管道进口至出口的总水头损失 ( $h_w$ )。由此, 进口渐变段末端至管道出口的总水面降落  $\Delta Z_2$  按公式 (C. 1. 3 - 11) 计算:

$$\Delta Z_2 = \left[ \sum \xi_i \left( \frac{\omega}{\omega_i} \right)^2 + \sum \frac{2gL_i}{C_i^2 R_i} \left( \frac{\omega}{\omega_i} \right)^2 \right] \frac{v^2}{2g} + \frac{v^2 - v_2^2}{2g} \quad (C. 1. 3 - 11)$$

C. 1. 4 倒虹吸管过流能力按公式 (C. 1. 4 - 1) 计算:

$$Q = \omega v = \mu \omega \sqrt{2g\Delta Z_2} \quad (C. 1. 4 - 1)$$

其中 
$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\sum \xi_i \frac{\omega^2}{\omega_i^2} + \sum \frac{2gL_i}{C_i^2 R_i^2} \frac{\omega^2}{\omega_i^2} + 1 - \frac{\omega^2}{\omega_2^2}}} \quad (C. 1. 4 - 2)$$

式中  $Q$ ——管道的泄流量,  $m^3/s$ ;  
 $\omega$ ——管道出口的横断面积,  $m^2$ ;  
 $v$ ——管道的断面平均流速,  $m/s$ ;

$\Delta Z_2$ ——进口渐变段末端断面至管道出口断面的水面落差，m；

$g$ ——重力加速度， $\text{m/s}^2$ ；

$\mu$ ——流量系数；

$\omega_2$ ——进口渐变段末端的过水面积， $\text{m}^2$ 。

### C. 1. 5 倒虹吸管进、出口水面总落差应按以下方法计算：

由倒虹吸管进口渐变段起始断面至出口渐变段末端断面之间的水面总落差  $\Delta Z$  按公式 (C. 1. 5) 计算：

$$\begin{aligned}\Delta Z &= \Delta Z_1 + \Delta Z_2 + \Delta Z_3 \\ &= (1 + \xi_1) \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \left[ \sum \xi_i \left( \frac{\omega}{\omega_i} \right)^2 + \sum \frac{2gL_i}{C_i^2 R_i} \left( \frac{\omega}{\omega_i} \right)^2 \right] \frac{v^2}{2g} \\ &\quad + \frac{v^2 - v_2^2}{2g} - (1 - \xi_2) \frac{v^2 - v_3^2}{2g}\end{aligned}\quad (\text{C. 1. 5})$$

### C. 1. 6 倒虹吸管出口消力池应按以下方法计算：

倒虹吸管出口与下游渠道之间，常以渐扩式扭曲面连接，并根据需要在该连接段内设置消力池，边界条件比较复杂。初步估算时，可取池长  $L \geqslant (3 \sim 4) h$  ( $h$  为渠道设计水深，单位为 m)，池深  $T \geqslant (0.5D + \delta + 0.3\text{m})$  ( $D$  为管内径或管高， $\delta$  为管壁厚度，单位均为 m)。

为检验消力池的尺寸是否满足消能要求，尚可采用计及铅直边墙阻力在内的理论公式进行近似估算，如图 C. 1. 6 - 1 所示。

#### 1 扩散式消力池的共轭水深表示式为：

$$4Fr^2 = \frac{\beta\eta}{\beta\eta - 1} [(1 + \beta)(\eta^2 - 1)] \quad (\text{C. 1. 6 - 1})$$

$$Fr = \frac{v_1}{\sqrt{gh'}} \quad (\text{C. 1. 6 - 2})$$

$$\beta = \frac{b_2}{b_1} \quad (\text{C. 1. 6 - 3})$$

$$\eta = \frac{h''}{h'} \quad (\text{C. 1. 6 - 4})$$

式中  $Fr$ ——跃前断面弗劳德数；

$v_1$ 、 $h'$ ——跃前断面平均流速和水深，m；

$\beta$ ——共轭断面底宽比；

$b_1$ 、 $b_2$ ——跃前与跃后断面的宽度，m；

$\eta$ ——共轭断面水深比；

$h''$ ——跃后断面第二共轭水深，m。

为方便设计， $\eta = f(Fr, \beta)$  的关系可由图 C. 1. 6 - 2 查算。

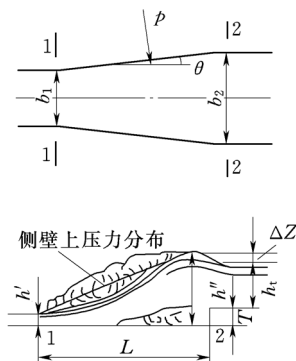


图 C. 1. 6 - 1

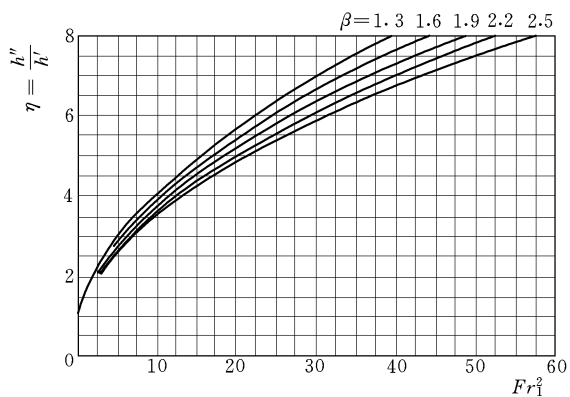


图 C. 1. 6 - 2

2 消力池池深  $T$  可按公式 (C.1.6-5) 计算:

$$T = \sigma h'' - h_t - \Delta Z \quad (\text{C.1.6-5})$$

其中 
$$\Delta Z = \frac{Q^2}{2gb_2^2} \left( \frac{1}{\varphi^2 h_t^2} - \frac{1}{\sigma^2 h''^2} \right) \quad (\text{C.1.6-6})$$

式中  $\sigma$ ——安全系数, 可取  $\sigma = 1.05 \sim 1.10$ ;

$\Delta Z$ ——消力池出口水面落差, m;

$Q$ ——倒虹吸管过流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$b_2$ ——消力池出口宽度, m;

$\varphi$ ——水流自消力池出流的流速系数, 一般取  $\varphi = 0.95$ ;

$h_t$ ——消力池出口渠底以上水深, m。

3 水跃长度  $L'$  可按公式 (C.1.6-7) 和公式 (C.1.6-8) 计算:

当  $3 < Fr_1^2 < 6$  时

$$L' = (1 + 0.6 Fr_1^2) h'' \quad (\text{C.1.6-7})$$

当  $6 < Fr_1^2 < 17$  时

$$L' = 4.6 h'' \quad (\text{C.1.6-8})$$

池长可取 
$$l = (0.7 \sim 0.8) L' \quad (\text{C.1.6-9})$$

## C.2 倒虹吸管进口沉沙池的设置及尺寸

**C.2.1** 倒虹吸管的进水口前是否设置沉沙池, 应根据渠道来水的含沙量、渠道功能和整体设计确定。在黄土高原、花岗岩地区的多泥沙渠道上以及沿渠道坡面来水处理不当、泥沙容易入渠的倒虹吸管进水口前宜设置沉沙池和冲沙闸。

**C.2.2** 含沙量较少渠道上倒虹吸管进口沉沙池的尺寸按下列公式估算:

$$L \geq (4 \sim 5) h \quad (\text{C.2.2-1})$$

$$B \geq 1.5 b \quad (\text{C.2.2-2})$$

$$T \geq 0.5 D + \delta + 0.2 \quad (\text{C.2.2-3})$$

式中  $L$ ——池长, m;

$B$ ——池宽, m;

$T$ ——渠底以下池深, m;  
 $h$ ——渠道的设计水深, m;  
 $b$ ——渠底宽度, m;  
 $D$ ——管径或管高, m;  
 $\delta$ ——管壁厚度, m。

**C. 2. 3** 含沙量较多渠道上倒虹吸管进口沉沙池的尺寸, 在初步拟定水深  $H = (h + T)$  和池宽  $B$  后, 应按下列公式核算其断面的平均流速  $v$ , 是否满足沉沙要求:

$$v = \frac{Q}{HB} \quad (\text{C. 2. 3})$$

式中  $Q$ ——渠道流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  
 $H$ ——水深, m;  
 $B$ ——池宽, m;  
 $v$ ——断面的平均流速,  $\text{m/s}$ 。

当泥沙沉降最小粒径为  $0.05 \sim 0.1\text{mm}$  时, 满足沉沙要求的池内平均流速为  $0.05 \sim 0.15\text{m/s}$ ; 当泥沙沉降最小粒径为  $0.25\text{mm}$  时, 满足沉沙要求的池内平均流速为  $0.25 \sim 0.55\text{m/s}$ ; 当泥沙沉降最小粒径为  $0.35\text{mm}$  时, 满足沉沙要求的池内平均流速为  $0.40 \sim 0.80\text{m/s}$ 。

**C. 2. 4** 根据实验, 泥沙沉降的水平长度  $L'$  与沉沙池内水深  $H$ 、平均流速  $v$  以及泥沙沉降速度  $\omega_0$  有关, 表达式如下:

$$L' = \frac{vH}{\omega_0} \quad (\text{C. 2. 4 - 1})$$

沉沙池估算长度:

$$L = kL' \quad (\text{C. 2. 4 - 2})$$

当粒径  $d_{75} \leq 0.1\text{mm}$  时

$$\omega_0 = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1800\mu} d_{75}^2 \quad (\text{C. 2. 4 - 3})$$

当粒径  $0.15\text{mm} < d_{75} < 1.5\text{mm}$  时

$$\omega_0 = 6.77 \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} d_{75} + \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1.92\gamma_w} \left( \frac{t}{26} - 1 \right) \quad (\text{C. 2. 4 - 4})$$

当粒径  $d_{75} > 1.5\text{mm}$  时

$$\omega_0 = 33.1 \sqrt{\frac{\gamma_s - \gamma_w}{10\gamma_w}} d_{75} \quad (\text{C. 2. 4 - 5})$$

式中  $k$ ——安全系数，一般取  $1.2 \sim 1.5$ ；

$\omega_0$ ——泥沙沉降速度， $\text{cm/s}$ ，与泥沙粒径、水温及水的动黏滞系数有关，按公式（C. 2. 4 - 3）～公式（C. 2. 4 - 5）分别计算求得；

$\mu$ ——动力黏滞系数， $\text{g} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ ；

$\gamma_s$ ——泥沙颗粒密度，一般  $\gamma_s = 2.65\text{g}/\text{cm}^3$ ；

$\gamma_w$ ——水的密度， $\text{g}/\text{cm}^3$ ；

$t$ ——水温， $^{\circ}\text{C}$ 。

## 附录 D 涵洞水流流态判别及过流能力计算

**D.0.1** 应由涵洞水流流态决定过流能力所采用的计算公式。涵洞水流流态根据进口水深（从进口洞底算起的上游进口水深）、出口水深（从出口洞底算起的下游出口水深）与洞高的关系，分为无压流、半压力流、非淹没压力流及淹没压力流，其判别标准为：

1 进口水深  $H \leq 1.2D$ （ $D$  为洞高， $H$ 、 $D$  单位均为 m）时：当出口水深  $h < D$ ，为无压流；当  $h \geq D$ ，为淹没压力流。

2  $1.2D < H \leq 1.5D$  时：当  $h < D$ ，为半压力流；当  $h \geq D$ ，为淹没压力流。

3  $H > 1.5D$  时：当  $h < D$ ，为非淹没压力流；当  $h \geq D$ ，为淹没压力流。

**D.0.2** 无压流涵洞水流流态还与洞身长度有关，分为长洞与短洞，其判别标准为： $L < 8H$  时为短洞； $L \geq 8H$  时为长洞。 $L$  为洞身长度，单位为 m。

**D.0.3** 涵洞过流能力应按下列不同流态分别计算：

1 无压流涵洞过流能力可按公式（D.0.3-1）～公式（D.0.3-4）计算：

$$Q = \alpha m B \sqrt{2g} H_0^{\frac{3}{2}} \quad (\text{D.0.3-1})$$

$$H_0 = H + \frac{\alpha v^2}{2g} \quad (\text{D.0.3-2})$$

$$\sigma = 2.31 \frac{h_s}{H_0} \left(1 - \frac{h_s}{H_0}\right)^{0.4} \quad (\text{D.0.3-3})$$

$$h_s = h - iL \text{ (短洞)} \quad (\text{D.0.3-4})$$

式中  $Q$ ——涵洞过流量， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$B$ ——洞宽，m；

$m$ ——流量系数，可近似采用  $m=0.36$ ；

$\epsilon$ ——侧收缩系数，可近似取  $\epsilon=0.95$ ；

$H_0$ ——包括行近流速水头在内的进口水深，m，可按公式 (D.0.3-2) 计算求得；

$g$ ——重力加速度， $g=9.81$ ， $\text{m/s}^2$ ；

$\sigma$ ——淹没系数，可按公式 (D.0.3-3) 计算求得或按表 D.0.3-1 查得；

$h_s$ ——洞进口内水深，m，对短洞，可按公式 (D.0.3-4) 计算求得，对长洞需以出口水深为控制水深，从出口断面向上游推算水面线以确定洞进口内水深；

$v$ ——上游行近流速， $\text{m/s}$ ；

$\alpha$ ——动能修正系数，可采用  $\alpha=1.05$ 。

表 D.0.3-1 淹没系数  $\sigma$  值表

|           |             |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|-----------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| $h_s/H_0$ | $\leq 0.72$ | 0.75 | 0.78 | 0.80 | 0.82 | 0.84 | 0.86 | 0.88 | 0.90  | 0.91  |
| $\sigma$  | 1.00        | 0.99 | 0.98 | 0.97 | 0.95 | 0.93 | 0.90 | 0.87 | 0.83  | 0.80  |
| $h_s/H_0$ | 0.92        | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 0.995 | 0.998 |
| $\sigma$  | 0.77        | 0.74 | 0.70 | 0.66 | 0.61 | 0.55 | 0.47 | 0.36 | 0.28  | 0.19  |

2 半压力流涵洞过流能力可按公式 (D.0.3-5) 计算：

$$Q = m_1 A \sqrt{2g(H_0 + iL - \beta_1 D)} \quad (\text{D.0.3-5})$$

式中  $m_1$ ——流量系数，由表 D.0.3-2 查取；

$A$ ——洞身断面面积， $\text{m}^2$ ；

$\beta_1$ ——修正系数，由表 D.0.3-2 查取；

$i$ ——洞底坡降。

表 D.0.3-2 流量系数  $m_1$  及修正系数  $\beta_1$  值表

|           |       |           |
|-----------|-------|-----------|
| 进口型式      | $m_1$ | $\beta_1$ |
| 圆锥形护坡     | 0.625 | 0.735     |
| 八字墙、扭曲面翼墙 | 0.670 | 0.740     |
| 走廊式翼墙     | 0.576 | 0.715     |

3 压力涵洞过流能力应分别按下列非淹没压力流与淹没压力流进行计算：

1) 非淹没压力流涵洞过流能力应按公式 (D. 0.3-6) ~ 公式 (D. 0.3-10) 计算：

$$Q = m_2 A \sqrt{2g(H_0 + iL - \beta_2 D)} \quad (\text{D. 0.3-6})$$

$$m_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum \xi + \frac{2gL}{C^2 R}}} \quad (\text{D. 0.3-7})$$

$$R = \frac{A}{\chi} \quad (\text{D. 0.3-8})$$

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad (\text{D. 0.3-9})$$

$$\sum \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_5 + \xi_6 \quad (\text{D. 0.3-10})$$

式中  $m_2$ ——流量系数，可按公式 (D. 0.3-7) 计算求得；

$\beta_2$ ——修正系数，可采用  $\beta_2 = 0.85$ ；

$R$ ——水力半径，m，可按公式 (D. 0.3-8) 计算求得；

$\chi$ ——湿周，m；

$C$ ——谢才系数， $\text{m}^{1/2}/\text{s}$ ；

$n$ ——糙率，混凝土洞可采用 0.014；

$\sum \xi$ ——除出口损失系数以外的局部水头损失系数总和；

$\xi_1$ ——进口损失系数，顶部修圆的进口可采用 0.1~0.2；

$\xi_2$ ——拦污栅损失系数，与栅条形状尺寸及间距有关，一般可采用 0.2~0.3；

$\xi_3$ ——闸门槽损失系数，可采用 0.05~0.1；

$\xi_5$ ——进口渐变段损失系数，可按表 D. 0.3-3 查得；

$\xi_6$ ——出口渐变段损失系数，可按表 D. 0.3-3 查得。

表 D. 0.3-3 渐变段水头损失系数

| 渐变段型式 | 进 口     | 出 口     |
|-------|---------|---------|
| 扭曲面   | 0.1~0.2 | 0.3~0.5 |
| 八字斜墙  | 0.2     | 0.5     |
| 圆弧直墙  | 0.2     | 0.5     |

2) 淹没压力流涵洞过流能力应按公式 (D. 0. 3 - 11) ~ 公式 (D. 0. 3 - 14) 计算:

$$Q = m_3 A \sqrt{2g(H_0 + iL - h)} \quad (\text{D. 0. 3 - 11})$$

$$m_3 = \frac{1}{\sqrt{\sum \xi + \frac{2gL}{C^2 R}}} \quad (\text{D. 0. 3 - 12})$$

$$\sum \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4 + \xi_5 + \xi_6 \quad (\text{D. 0. 3 - 13})$$

$$\xi_4 = \left(1 - \frac{A}{A_{\text{下}}}\right)^2 \quad (\text{D. 0. 3 - 14})$$

式中  $m_3$ ——流量系数, 可按公式 (D. 0. 3 - 12) 计算求得;

$\sum \xi$ ——局部水头系数的总和, 较非淹没压力流的  $\sum \xi$  值多一个出口损失系数  $\xi_4$ ;

$A_{\text{下}}$ ——出口后下游过水断面面积,  $\text{m}^2$ ;

$\xi_4$ ——出口损失系数, 可按公式 (D. 0. 3 - 14) 计算求得, 当出口后下游过水断面较大, 比值  $A/A_{\text{下}}$  很小时,  $\xi_4$  可近似取为 1。

## 附录 E 无压隧洞设计计算

### E. 0. 1 非圆形无压隧洞弹性抗力分布应按以下方法计算：

对无压弹性固端拱座高脚拱（圆拱直墙式、马蹄形、蛋形等），衬砌在铅直围岩压力和洞内水压力作用下，顶拱将向下变形，有和围岩脱开趋势，不产生围岩抗力，两侧直墙（或曲拱）则向外变形，引起围岩弹性抗力  $P$ ，该值与该点位移  $\delta$  成正比，即  $P=k\delta$ ， $k$  为弹性抗力系数，可参考表 E. 0. 1 的数值确定。拱座处认为没有水平位移，该处弹性抗力亦为零。

表 E. 0. 1 无压隧洞岩石抗力系数表

| 岩石坚硬程度 | 代表岩石的名称                      | 节理裂隙多少或风化程度                    | 岩石抗力系数 $k$<br>( $\text{N}/\text{cm}^3$ ) |
|--------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|
| 坚硬岩石   | 石英岩、花岗岩、流纹斑岩、安山岩、玄武岩、厚层砂质灰岩等 | 节理裂隙少，新鲜节理裂隙不太发育，微风化节理裂隙发育，弱风化 | 2000~5000<br>1200~2000<br>500~1200       |
| 中等坚硬岩石 | 砂岩、石灰岩、白云岩、砾岩等               | 节理裂隙少，新鲜节理裂隙不太发育，微风化节理裂隙发育，弱风化 | 1200~2000<br>800~1200<br>200~800         |
| 较软岩石   | 砂页岩互层、黏土质岩石、致密的泥灰岩等          | 节理裂隙少，新鲜节理裂隙不太发育，微风化节理裂隙发育，弱风化 | 500~1200<br>200~500<br><200              |
| 松软岩石   | 严重风化及十分破碎的岩石、断层、破碎带等         | —                              | <100                                     |

根据上述变形特点，可确定出圆拱直墙式及蛋形弹性抗力和摩擦力分布见图 E. 0. 1 - 1 和图 E. 0. 1 - 2。

对于圆拱直墙式，当上部为半圆或接近半圆拱时，一般认为弹性抗力的上部零点位置在倾角  $\varphi=45^\circ$  处（图 E. 0. 1 - 1），最大弹性抗力近似取在拱与直墙相交处（图 E. 0. 1 - 1）。弹性抗力的下部零点在拱座，其间的弹性抗力按抛物线分布，各点的弹性抗

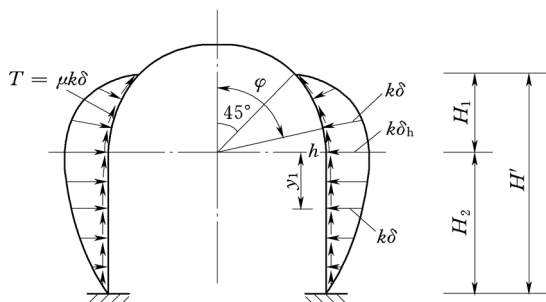


图 E.0.1-1 圆拱直墙式衬砌弹性抗力及摩擦力分布示意图

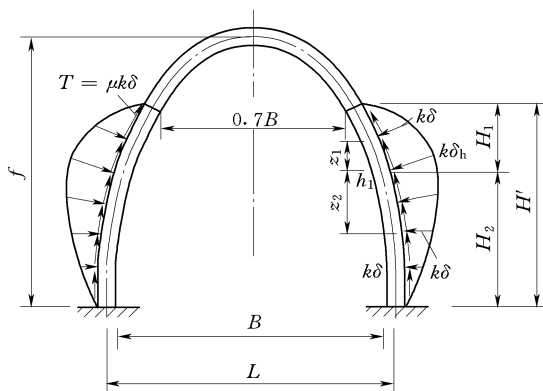


图 E.0.1-2 蛋形衬砌弹性抗力及摩擦力分布示意图

力分别按下列公式计算。

最大抗力点以上：

$$P = k\delta = k\delta_k(1 - 2\cos^2\varphi) \quad (\text{E.0.1-1})$$

最大抗力点以下：

$$P = k\delta = k\delta_k\left(1 - \frac{y_1^2}{H_2^2}\right) \quad (\text{E.0.1-2})$$

式中  $P$  ——所求点的弹性抗力值；

$\delta_k$  ——最大抗力点  $h$  的变位值；

$\delta$  ——所求抗力点的变位值；

$\varphi$  ——上段所求抗力点衬砌截面与垂直线的倾角；

$H_2$  ——直墙段高度，即抗力图下段的垂直投影长度；

$y_1$  ——下段所求抗力点至直墙顶点（即最大抗力点  $h$ ）的距离。

对于蛋形上部为非半圆形的拱，则上部零点可认为在净跨 0.7 倍最大净拱跨的截面处（图 E. 0. 1 - 2），最大弹性抗力可取在距上部零点  $\frac{1}{3}H' \sim \frac{2}{5}H'$  处，矢跨比  $\frac{f}{L} > 1$  时采用  $\frac{1}{3}H'$ ，矢跨比  $\frac{f}{L} \leq 1$  时采用  $\frac{2}{5}H'$ ， $H'$  为承受抗力的衬砌段垂直投影长度（图 E. 0. 1 - 2）。对于蛋形断面，各点的弹性抗力值分别按下列公式计算。

最大抗力点以上：

$$P = k\delta = k\delta_k \left(1 - \frac{Z_1^2}{H_1^2}\right) \quad (\text{E. 0. 1 - 3})$$

最大抗力点以下：

$$P = k\delta = k\delta_k \left(1 - \frac{Z_2^2}{H_2^2}\right) \quad (\text{E. 0. 1 - 4})$$

式中  $H_1$  ——抗力图上段垂直投影长度， $H_1 = \frac{1}{3}H' \sim \frac{2}{5}H'$ ；

$H_2$  ——抗力图下段垂直投影长度， $H_2 = H' - H_1$ ；

$Z_1$  ——上段所求抗力点从最大抗力点算起的纵坐标；

$Z_2$  ——下段所求抗力点从最大抗力点算起的纵坐标。

摩擦力  $T$  作用在衬砌表面并与表面相切，方向向上（图 E. 0. 1 - 1、图 E. 0. 1 - 2），其值与弹性抗力成正比，即：

$$T = \mu P = \mu k\delta \quad (\text{E. 0. 1 - 5})$$

**E. 0. 2** 无压隧洞衬砌结构应按以下方法计算（结构力学方法）：

马蹄形、蛋形及圆拱直墙式衬砌由顶拱、曲墙（或直墙）和底板组成。为便于计算，常将整体封闭式衬砌分为高拱（曲墙拱或直墙拱）和底板两个部分，计算时考虑他们之间的联结作用，其计算简图如图 E. 0. 2 - 1 所示，其计算步骤如下：

1 计算高拱部分的弹性中心位置。

2 对于图 E. 0. 2 - 1 所示情况，假定拱座没有水平位移，计算时只考虑拱座角变位  $\beta$ ，可建立法方程式为：

$$\left. \begin{aligned} X_1 \delta_{11} + \Delta_{1p} + \beta &= 0 \\ X_2 \delta_{22} + \Delta_{2p} + \beta y_c &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (\text{E. 0. 2 - 1})$$

设  $M_p$  为外荷载（包括弹性抗力和摩阻力）作用于基本结构时拱座的力矩，则拱座处的力矩  $M_0$ （图 E. 0. 2 - 1）为：

$$M_0 = X_1 + X_2 y_c + M_p \quad (\text{E. 0. 2 - 2})$$

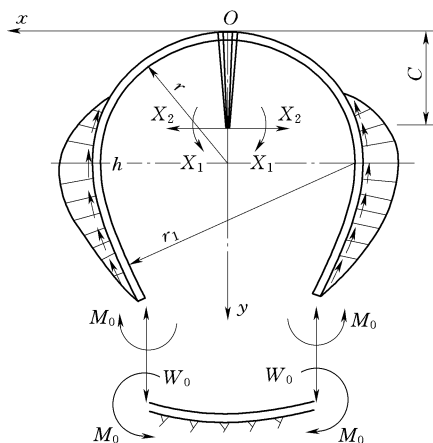


图 E. 0. 2 - 1 马蹄形封闭式衬砌计算简图

拱座处的总转角则为：

$$\beta = \beta_1 M_p = X_1 \beta_1 + X_2 \beta_2 + \beta_p = X_1 \beta_1 + X_2 y_c \beta_1 + \beta_p \quad (\text{E. 0. 2 - 3})$$

其中  $\beta_2 = \beta_1 y_c$

式中  $y_c$ ——弹性中心至拱座截面的铅直距离，m；

$\beta$ ——拱座总转角，(°)；

$\beta_1$ ——拱座在单位力矩作用下所产生的转角，(°)；

$\beta_2$ ——弹性中心单位水平力所引起的拱座转角，(°)；

$\beta_p$ ——外荷载作用于基本结构所引起的拱座转角，(°)。

3 将公式 (E. 0. 2 - 3) 代入公式 (E. 0. 2 - 1)，可以解得：

$$X_1 = \frac{(\Delta_{2p} + \beta_p y_c) \beta_1 y_c - (\delta_{22} + \beta_1 y_c^2) (\Delta_{1p} + \beta_p)}{(\delta_{11} + \beta_1) (\delta_{22} + \beta_1 y_c^2) - \beta_1^2 y_c^2} \quad (\text{E. 0. 2 - 4})$$

$$X_2 = \frac{(\Delta_{1p} + \beta_p) \beta_1 y_c - (\delta_{11} + \beta_1) (\Delta_{2p} + \beta_p y_c)}{(\delta_{11} + \beta_1) (\delta_{22} + \beta_1 y_c^2) - \beta_1^2 y_c^2} \quad (\text{E. 0. 2 - 5})$$

公式 (E. 0. 2 - 4)、公式 (E. 0. 2 - 5) 中的  $\Delta_{1p}$ 、 $\Delta_{2p}$  和  $\beta_p$  均包含有暂时未知的弹性抗力  $k\delta_k$ ， $\delta_k$  可根据变位条件得出：在全部荷载（包括多余未知力  $X_1$ 、 $X_2$  及弹性抗力与摩阻力）作用下，衬砌在  $h$  点的径向变位为：

$$\delta_k = X_1 \delta_{k1} + X_2 \delta_{k2} + \delta_{kp} + \Delta_{k\beta} \quad (\text{E. 0. 2 - 6})$$

式中  $\delta_{k1}$ 、 $\delta_{k2}$ 、 $\delta_{kp}$ —— $X_1=1$ 、 $X_2=1$  及外荷载作用于基本结构上引起  $h$  点的径向变位，mm；

$\Delta_{k\beta}$ ——拱座总转角引起  $h$  点的径向变位，mm，可近似取  $\Delta_{k\beta} = \beta y_k$ ，其中  $y_k$  为  $h$  点至拱座的铅直距离，m。

4 计算法方程式中的形常数  $\delta_{11}$ 、 $\delta_{22}$  和载常数  $\Delta_{1p}$ 、 $\Delta_{2p}$  以及公式 (E. 0. 2 - 6) 中衬砌在  $h$  点的径向变位  $\delta_{k1}$ 、 $\delta_{k2}$  及  $\delta_{kp}$ ，其中  $\Delta_{1p}$ 、 $\Delta_{2p}$  和  $\delta_{kp}$  均包含有弹性抗力  $k\delta_k$ 。

5 确定  $\beta_1$  及  $\beta_p$  分两种情况：

1) 对于不设底板或底板与砌墙（或直墙）分离的衬砌，由图 E. 0. 2 - 2 得：

$$\beta_1 = \frac{h_0 / (2Ik)}{h_0 / 2} = \frac{1}{kI} \quad (\text{E. 0. 2 - 7})$$

$$\beta_p = \beta_1 M_p = \frac{1}{kI} M_p \quad (\text{E. 0. 2 - 8})$$

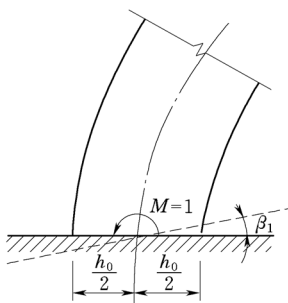


图 E. 0. 2 - 2 拱座的转角变位

2) 对于封闭式衬砌, 高拱与底板是弹性连接的, 该连接点应具有相同的变位 (图 E. 0. 2 - 1)。在连接点剪力  $W_0$  和力矩  $M_0$  作用下, 单宽底板梁端将产生角变位, 连接点在单位力矩作用下的转角变位  $\beta_1$  及外荷载作用下的转角变位  $\beta_p$  为:

$$\left. \begin{aligned} \beta_1 &= \frac{2\alpha^3}{kb} G_3 \\ \beta_p &= \frac{2\alpha^2}{kb} W_0 G_4 + \beta_1 M_p \end{aligned} \right\} \quad (\text{E. 0. 2 - 9})$$

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{kb}{4EI}} \quad (\text{E. 0. 2 - 10})$$

底板中点的力矩为:

$$M_{1/2} = \frac{W_0}{\alpha} G_2 + M_0 G_1 \quad (\text{E. 0. 2 - 11})$$

式中  $W_0$ ——板端点作用的剪力;

$M_0$ ——底板端点作用的力矩;

$M_p$ ——基本结构中外荷载在拱座处产生的力矩;

$b$ ——底板的计算宽度, 可取  $b=1\text{m}$ ;

$k$ ——底板岩石的弹性抗力系数;

$\alpha$ ——底板的变形系数;

$E$ 、 $I$ ——底板的弹性模量和断面惯性矩;

$G_1 \sim G_4$ ——双曲三角函数, 可根据  $\frac{al}{2}$  值, 由表 E. 0. 2 查得;

$l$ ——底板跨度。

表 E. 0. 2 双曲三角函数

| $\frac{al}{2}$ | $G_1$    | $G_2$    | $G_3$    | $G_4$    |
|----------------|----------|----------|----------|----------|
| 0. 8           | 0. 93517 | 0. 37752 | 1. 54462 | 0. 40768 |
| 0. 9           | 0. 89921 | 0. 41067 | 1. 70309 | 0. 50263 |
| 1. 0           | 0. 85245 | 0. 43601 | 1. 84424 | 0. 59909 |
| 1. 1           | 0. 79491 | 0. 45212 | 1. 95853 | 0. 69291 |

表 E.0.2 (续)

| $\frac{al}{2}$ | $G_1$    | $G_2$    | $G_3$   | $G_4$   |
|----------------|----------|----------|---------|---------|
| 1.2            | 0.72767  | 0.45814  | 2.04971 | 0.78004 |
| 1.3            | 0.65280  | 0.45394  | 2.11530 | 0.85701 |
| 1.4            | 0.57309  | 0.44016  | 2.15669 | 0.92143 |
| 1.5            | 0.49161  | 0.41814  | 2.17692 | 0.97222 |
| 1.6            | 0.41140  | 0.38967  | 2.18009 | 1.00958 |
| 1.7            | 0.33500  | 0.35671  | 2.17073 | 1.03474 |
| 1.8            | 0.26428  | 0.32116  | 2.15318 | 1.04960 |
| 1.9            | 0.20045  | 0.28468  | 2.13119 | 1.05632 |
| 2.0            | 0.14410  | 0.24859  | 2.10770 | 1.05705 |
| 2.1            | 0.09530  | 0.21388  | 2.08482 | 1.05369 |
| 2.2            | 0.05382  | 0.18123  | 2.06393 | 1.04786 |
| 2.3            | 0.01916  | 0.15106  | 2.04579 | 1.04077 |
| 2.4            | -0.00928 | 0.12358  | 2.03069 | 1.03334 |
| 2.5            | -0.03214 | 0.09887  | 2.01862 | 1.02618 |
| 2.6            | -0.05008 | 0.07691  | 2.00937 | 1.01969 |
| 2.7            | -0.06371 | 0.05759  | 2.00259 | 1.01406 |
| 2.8            | -0.07362 | 0.04078  | 1.99791 | 1.00938 |
| 2.9            | -0.08035 | 0.02632  | 1.99492 | 1.00564 |
| 3.0            | -0.08436 | 0.01404  | 1.99327 | 1.00277 |
| 3.1            | -0.08611 | 0.00374  | 1.99260 | 1.00067 |
| 3.2            | -0.08598 | -0.00475 | 1.99264 | 0.99923 |
| 3.3            | -0.08432 | -0.01161 | 1.99315 | 0.99831 |
| 3.4            | -0.08144 | -0.01702 | 1.99394 | 0.99780 |
| 3.5            | -0.07762 | -0.02114 | 1.99486 | 0.99761 |
| 3.6            | -0.07308 | -0.02414 | 1.99582 | 0.99763 |
| 3.7            | -0.06805 | -0.02615 | 1.99674 | 0.99781 |
| 3.8            | -0.06270 | -0.02734 | 1.99756 | 0.99806 |
| 3.9            | -0.05718 | -0.02781 | 1.99828 | 0.99836 |
| 4.0            | -0.05163 | -0.02769 | 1.99887 | 0.99867 |
| —              | —        | —        | —       | —       |

6 对于封闭式衬砌，先计算底板的  $\alpha$  值，并由表 E. 0. 2 查出双曲三角函数  $G_1 \sim G_4$ ，再由公式 (E. 0. 2 - 9) 算出  $\beta_1$ 、 $\beta_p$ ，其中  $\beta_p$  也是  $k\delta_k$  的函数。对于不设底板或底板与曲墙（或直墙）分离的衬砌，则由公式 (E. 0. 2 - 7) 及公式 (E. 0. 2 - 8) 算出  $\beta_1$ 、 $\beta_p$ 。

7 将  $\delta_{11}$ 、 $\delta_{22}$ 、 $\Delta_{1p}$ 、 $\Delta_{2p}$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_p$ 、代入公式 (E. 0. 2 - 4) 及公式 (E. 0. 2 - 5) 求出  $X_1$  及  $X_2$ ，此时  $X_1$  及  $X_2$  也是  $k\delta_k$  的函数。

8 将  $X_1$ 、 $X_2$  代入公式 (E. 0. 2 - 3) 求出  $\beta$ ，并由公式 (E. 0. 2 - 6) 及  $\Delta_{kp} = \beta y_k$  求得  $\delta_k$ 。

9 由  $\delta_k$  最后求得  $X_1$  及  $X_2$ 。任意截面的弯矩及轴力可由下式求得：

$$\left. \begin{aligned} M &= X_1 + X_2(y - c) + M_p \\ N &= X_2 \cos \varphi + N_p \end{aligned} \right\} \quad (\text{E. 0. 2 - 12})$$

式中  $M_p$ 、 $N_p$ ——外荷载作用于基本结构在计算截面引起的弯矩和轴向力；

$\varphi$ ——计算截面与铅直线夹角。

10 由公式 (E. 0. 2 - 11) 计算底板中点弯矩，底板轴力可根据  $y$  轴一侧衬砌所受的水平力的平衡条件得出。

无压隧洞衬砌的计算比较复杂，目前已普遍使用计算机程序，有的无压隧洞专著还配有程序软盘，可减除繁琐计算，使设计工作大为简化。

## 附录 F 跌水与陡坡设计计算

### F.1 单级跌水与陡坡的过流能力和掺气水深

**F.1.1** 单级跌水与陡坡过流能力应按以下方法计算：

1 单级跌水过流能力可按下列公式计算：

跌口为矩形或台堰形时：

$$Q = \epsilon m b_c \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (\text{F.1.1-1})$$

跌口为梯形时：

$$Q = \epsilon m_1 (b_{CB} + 0.8 m_{CB} H_0) \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (\text{F.1.1-2})$$

进口为扭曲面连接时：

$$m = 0.474 - \frac{0.018 b_c}{H_0} \quad (\text{F.1.1-3})$$

进口为八字墙连接时：

$$m = 0.470 - \frac{0.017 b_c}{H_0} \quad (\text{F.1.1-4})$$

进口为横隔墙连接时：

$$m = 0.402 - \frac{0.008 b_c}{H_0} \quad (\text{F.1.1-5})$$

$$H_0 = \frac{h_1 + \alpha V_1^2}{2g} \quad (\text{F.1.1-6})$$

$$m_1 = 0.508 - \frac{0.034 (b_{CB} + 0.8 m_{CB} H_0)}{h_1} \quad (\text{F.1.1-7})$$

式中  $Q$ ——单级跌水设计流量， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$m$ ——矩形或台堰形跌口流量系数；

$b_c$ ——矩形或台堰形跌口宽度， $\text{m}$ ；

$g$ ——重力加速度， $\text{m}/\text{s}^2$ ；

$H_0$ ——包含堰前流速水头的堰上水头， $\text{m}$ ；

$\epsilon$ ——边界收缩系数，可取 1.0；

$m_1$ ——梯形跌口流量系数，当上游渠道边坡系数  $m_0 =$

0.25~1.0, 连接段长度  $L_1 \geq 3h_{\max}$  ( $h_{\max}$  为上游渠道最大水深) 时, 可按公式 (F. 1.1 - 7) 计算求得;

$b_{CB}$ ——梯形跌口底宽, m;

$m_{CB}$ ——梯形跌口边坡系数;

$h_1$ ——堰前渠道水深, m;

$\alpha$ ——流速分布系数, 可取 1.05~1.10;

$V_1$ ——堰前渠道断面平均流速, m/s。

2 单级等底宽陡坡过流能力可按公式 (F. 1.1 - 1) 计算, 但式中  $b_c$  应以陡坡底宽  $b_d$  代替。

**F. 1.2** 陡槽段水流掺气水深可按公式 (F. 1.2) 计算:

$$h_b = \left(1 + \frac{\xi v}{100}\right) h \quad (\text{F. 1.2})$$

式中  $h$ 、 $h_b$ ——陡槽计算断面的水深及掺气后的水深, m;

$v$ ——不掺气情况下陡槽计算断面的流速, m/s;

$\xi$ ——修正系数, s/m, 可取 1.0~1.4, 流速大者取大值。

## F. 2 跌水与陡坡消力池计算

**F. 2.1** 单级跌水的消力池宽度可按下列公式计算:

单一跌口为矩形或台堰形时:

$$b_s = 0.1L_1 + b_c \quad (\text{F. 2.1-1})$$

单一跌口为梯形时:

$$b_s = 0.1L_1 + b_{CB} + 0.8m_{CB}H_0 \quad (\text{F. 2.1-2})$$

$$L_1 = 1.64 \sqrt{H_0(P + 0.24H_0)} \quad (\text{F. 2.1-3})$$

式中  $b_s$ ——消力池宽度, m;

$L_1$ ——水舌抛射长度, m;

$P$ ——水流落差, m。

**F. 2.2** 有多个跌口时, 应计入跌口之间的隔墩厚度。有多个跌口的单级跌水消力池宽度  $b_s$  可按下列公式计算:

多个跌口为矩形或台堰形时:

$$b_s = 0.1L_1 + nb_c + (n-1)b_g \quad (\text{F. 2. 2-1})$$

多个跌口为梯形时:

$$b_s = 0.1L_1 + n(b_{CB} + 0.8m_{CB}H_0) + (n-1)b_g \quad (\text{F. 2. 2-2})$$

式中  $n$ ——跌口个数;

$b_g$ ——隔墩厚度, m。

**F. 2. 3** 单级跌水的消力池长度可按下列公式计算:

$$L_s = L_1 + (3.2 \sim 4.3)h_c'' \quad (\text{F. 2. 3-1})$$

$$h_c'' = 0.5h_c' \sqrt{1 + \frac{8q'^2}{gh_c'^3}} - 1 \quad (\text{F. 2. 3-2})$$

$$h_c' = \frac{q}{\varphi} \sqrt{2gZ_0} \quad (\text{F. 2. 3-3})$$

其中, 单一跌口为矩形或台堰形时:

$$q = Q/b_c \quad (\text{F. 2. 3-4})$$

单一跌口为梯形时:

$$q = Q/(b_{CB} + 0.8m_{CB}H_0) \quad (\text{F. 2. 3-5})$$

多个跌口为矩形或台堰形时:

$$q = Q/nb_c \quad (\text{F. 2. 3-6})$$

多个跌口为梯形时:

$$q = Q/n(b_{CB} + 0.8m_{CB}H_0) \quad (\text{F. 2. 3-7})$$

式中  $L_s$ ——消力池长度, m;

$L_1$ ——陡坡消力池斜坡段投影长度或跌水消力池中抛射水舌的投影长, m;

$h_c''$ ——水跃跃后共轭水深, m;

$h_c'$ ——水舌跌落处的收缩断面水深, m;

消力池断面为矩形时, 可按公式 (F. 2. 3-3) 计算求得;

$q$ ——水舌跌落处的单宽流量,  $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ ;

$\varphi$ ——流速系数, 可取 0.90~0.95;

$Z_0$ ——计及流速水头的上游断面与  $h'_c$  断面的水位差, m。

**F. 2. 4** 单级跌水消力池深度可按公式 (F. 2. 4) 计算:

$$d_s \geq (1.10 \sim 1.15)h''_c - h_s \quad (\text{F. 2. 4})$$

式中  $d_s$ ——消力池深度, m;

$h_s$ ——池后渠道水深, m。

**F. 2. 5** 单级等底宽陡坡采用矩形断面消力池时, 消力池宽度即陡坡底宽  $b_d$ , 消力池长度  $L_d = 4.5 h''_c$ , 消力池深度  $d_d \geq (1.10 \sim 1.15) h''_c - h_s$ ; 单级等底宽陡坡采用梯形断面消力池, 且进口水流落差  $P \leq 20\text{m}$  时, 水跃共轭水深应分别按公式 (F. 2. 5 - 1) 和公式 (F. 2. 5 - 2) 计算:

$$h'_c = 0.385 P q'^{4/3} / (\varphi'^2 E_0^2) \quad (\text{F. 2. 5 - 1})$$

$$h''_c = [1.741 g (\varphi' E_0 / q'^{2/3}) + 0.28] h'_c \quad (\text{F. 2. 5 - 2})$$

$$\text{其中} \quad \varphi' = 0.832 (m' q'^{2/3} / p)^{0.1} \quad (\text{F. 2. 5 - 3})$$

$$E_0 = P + h_{\text{CB}} + \frac{v_{\text{CB}}^2}{2g} \quad (\text{F. 2. 5 - 4})$$

式中  $h'_c$ ——陡槽末端的收缩断面水深, m;

$h''_c$ ——水跃后共轭水深, m;

$P$ ——进口水流落差, m;

$q'$ ——陡槽末端的单宽流量,  $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ ;

$\varphi'$ ——陡坡流速系数;

$E_0$ ——消力池进口控制断面处对于下游渠道底的总能量头, m;

$m'$ ——消力池进口控制断面处边坡系数, m;

$h_{\text{CB}}$ ——消力池进口控制断面处水深, m;

$v_{\text{CB}}$ ——消力池进口控制断面流速, m/s。

$m' q'^{2/3} / p \geq 3.0$  时,  $\varphi' \approx 1.0$ , 消力池长度  $L_d = (6 \sim 7) h''_c$ , 消力池深度  $d_s \geq (1.10 \sim 1.15) h''_c - h_s$ 。

**F. 2. 6** 单级跌水或单级等底宽陡坡增设分流墩、消能墩、尾槛等辅助消能工的消力池, 其长度可缩短 20%~30%, 其深度仍按无辅助消能工的消力池深度采用。

## 附录 G 量水设施设计计算

### G.1 灌区各类量水堰的基本性能和适用条件

#### G.1.1 灌区各类标准堰的基本性能应符合下列规定：

1 薄壁堰需要足够的水头差，以保证有完全通气的自由水舌；宽顶堰可用于较小的水头；允许淹没条件下运用的堰可用于更小的水头差。

2 薄壁堰用于施测小流量，其中三角形薄壁堰用于施测更小的流量。宽顶堰、三角形剖面堰用于施测大流量。平坦 V 形堰的测流幅度最大。几种标准型式的量水堰测流范围及应用限制见表 G.1.1。

3 矩形薄壁堰的尺寸与行近渠槽的尺寸相差大时，行近渠槽的形状对水流无明显影响。若相差不大，则行近渠槽应为矩形断面，且其长度不应小于最大水头时溢流水舌宽度的 10 倍。宽顶堰宜在矩形渠槽中使用，若需在非矩形渠槽上使用，应布设一段 2 倍最大水头长度的平坦光滑的行近渠槽。淹没出流时，下游渠槽的形状和尺寸应在整个测流范围内与给定的非淹没限进行校核。

4 有悬移质输移的河流上，上游未设置拦污栅时，应尽量避免使用薄壁堰。有漂浮物的河流上应避免使用三角形薄壁堰。宽顶堰、三角形剖面堰可通过一定的漂浮物。

5 坡降小于  $1/1000$  或弗劳德数小于 0.25 的渠槽，适用于任何类型的量水堰。坡降在  $1/1000 \sim 1/500$  或弗劳德数在 0.25~0.50 之间的渠槽，测流槽的输沙能力比测流堰好。坡降大于  $1/250$  或弗劳德数在 0.50~0.60 之间的渠槽，若没有泥沙输移，还可考虑使用堰槽测流；若有泥沙输移且  $Fr > 0.6$  时，如无特殊需要，不宜用堰槽测流。

6 若薄壁堰的堰缘受损或上游竖直壁面生长藻苔，可导致较大的系数误差。堰槽如在冰点以下运用，对测流堰特别是对薄壁堰的影响比对测流槽的影响要小。

表 G.1.1 几种标准型式的量水堰测流范围及应用限制表

| 量水堰型式           | 尺 寸                      |               |                    | 流 量 幅 度       |                                 | 计算流量的不<br>确定度范围<br>(%)          | 几何限制                | 非淹没<br>(%) |
|-----------------|--------------------------|---------------|--------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------|------------|
|                 | 堰高 $P$<br>(m)            | 堰宽 $b$<br>(m) | 边坡                 | 堰长 $L$<br>(m) | 最大<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 最小<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) |                     |            |
| 薄壁堰             | 三角形<br>$\theta=90^\circ$ | —             | —                  | —             | 1.80                            | 0.001                           | $H/P \leq 2$        | 水舌下通气      |
|                 | 矩形<br>(全宽)               | 0.2           | 1.0                | —             | 0.67                            | 0.005                           | $H/P \leq 2$        | 水舌下通气      |
|                 |                          | 1.0           | 1.0                | —             | 7.70                            | 0.005                           | $H/P \leq 2$        | 水舌下通气      |
|                 | 矩形<br>(收缩)               | 0.2           | 1.0                | —             | 0.45                            | 0.009                           | $H/P \leq 2$        | 水舌下通气      |
|                 |                          | 1.0           | 1.0                | —             | 4.90                            | 0.009                           | $H/P \leq 2$        | 水舌下通气      |
|                 |                          | 0.2           | 1.0                | —             | 0.26                            | 0.030                           | $H/P \leq 1.5$      | 80         |
| 宽顶堰             | 锐缘矩形                     | 1.0           | 1.0                | —             | 2.0                             | 0.130                           | $H/P \leq 1.5$      | 80         |
|                 | 圆缘矩形                     | 0.15          | 1.0                | —             | 0.6                             | 0.030                           | $H/P \leq 1.5$      | 66         |
|                 |                          | 1.0           | 1.0                | —             | 5.0                             | 0.100                           | $H/P \leq 1.5$      | 66         |
|                 | V 形                      | 0.3           | $\theta=90^\circ$  | —             | 1.5                             | 0.007                           | $1.5 < (H/P) < 3.0$ | 80         |
|                 |                          | 0.15          | $\theta=150^\circ$ | —             | 1.5                             | 0.010                           | $1.5 < (H/P) < 3.0$ | 80         |
|                 |                          | 0.2           | 1.0                | —             | 1.17                            | 0.010                           | $H/P \leq 3.5$      | 70         |
| 三角形剖面堰          | 1.0                      | 1.0           | —                  | —             | 13.0                            | 0.010                           | $H/P \leq 3.5$      | 70         |
| 平坦 V 形堰         | 0.2                      | 4             | 1 : 10             | —             | 5.00                            | 0.014                           | $H/P \leq 2.5$      | 74         |
|                 | 1.0                      | 80            | 1 : 40             | —             | 630                             | 0.055                           | $H/P \leq 2.5$      | 74         |
| 巴歇尔量水槽<br>(标准型) | —                        | 0.152         | —                  | 0.305         | 0.10                            | $1.5 \times 10^{-2}$            | 特定                  | 60         |
|                 | —                        | 2.40          | —                  | 0.60          | 4.00                            | —                               | 特定                  | 70         |
| 巴歇尔量水槽<br>(大型)  | —                        | 3.05          | —                  | 0.91          | 8.28                            | 0.16                            | 特定                  | 0.80       |
|                 | —                        | 15.24         | —                  | 1.83          | 93.04                           | 0.75                            | 特定                  | 0.80       |

注 1:  $H$ —上游总水头;  $P$ —堰高。

注 2: 该表引自 SL 24—91 附录二的附表。

G. 1. 2 测流堰的适用条件应符合下列规定：

1 薄壁堰适用于有良好保养条件、能保护堰顶不致受损的环境下，多用于高精度的实验室、径流实验小区、人工渠道以及抽水试验和工矿城市排污等。三角形薄壁堰适合于施测小流量。三角形和矩形薄壁堰均可预制构件安装，堰口加工应特别注意。

2 宽顶堰宜用于可定期清淤除草的矩形渠槽上；圆缘宽顶堰适合中小型渠道；V 形宽顶堰适用于中小渠道和落差小的人工渠道。

3 三角形剖面堰适用于水头损失小和测流精度要求高的大、中、小型渠道。

4 平坦 V 形堰的测流幅度大。当水流在 V 形缺口内时，可精确地施测小流量；当水漫过 V 形缺口时，可测较大流量。当用水平堰顶施测低水流量达不到要求时，宜采用此堰型。

G. 2 各种不同断面形状的长喉道量水槽流量计算

G. 2. 1 长喉道量水槽水位—流量关系见表 G. 2. 1。

表 G. 2. 1 长喉道量水槽水位—流量关系

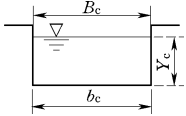
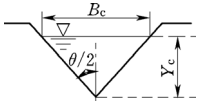
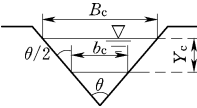
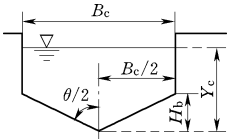
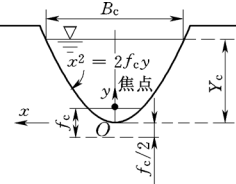
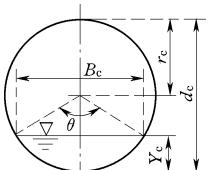
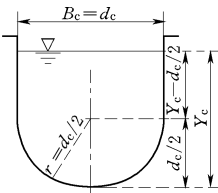
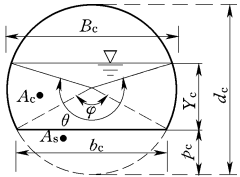
| 喉部断面形状                                                                              | 水位—流量关系                                                                                                  | 相应的 $Y_c$               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
|   | $Q = C_d C_v \frac{2}{3} \left( \frac{2}{3} g \right)^{\frac{1}{2}} b_c h_1^{\frac{3}{2}}$               | $Y_c = \frac{2}{3} H_1$ |
|  | $Q = C_d C_v \frac{16}{25} \left( \frac{2}{5} g \right)^{1/2} \left( \tan \frac{Q}{2} \right)^{5/2} h_1$ | $Y_c = \frac{4}{5} H_1$ |
|  | $Q = C_d (b_c Y_c + Z_c Y_c^2) [2g(H_1 - Y_c)]^{1/2}$                                                    | 查表 G. 2. 2              |

表 G. 2. 1 (续)

| 喉部断面形状                                                                              | 水位—流量关系                                                                                                                                                                                              | 相应的 $Y_c$                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|    | 若 $H_1 \leq 1.25H_b$<br>$Q = C_d C_v \frac{16}{25} \left( \frac{2}{5} g \right)^{1/2} \left( \tan \frac{\theta}{2} \right) h_1^{5/2}$                                                                | $Y_c = \frac{4}{5} H_1$                               |
|                                                                                     | 若 $H_1 \geq 1.25H_b$<br>$Q = C_d C_v \frac{2}{3} \left( \frac{2}{3} g \right)^{1/2} B_c \left( h_1 - \frac{1}{2} H_b \right)^{3/2}$                                                                  | $Y_c = \frac{2}{3} H_1$<br>$+ \frac{1}{6} H_b$        |
|    | $Q = C_d C_v \left( \frac{3}{4} f_c g \right)^{1/2} h_1^2$                                                                                                                                           | $Y_c = \frac{3}{4} H_1$                               |
|    | $Q = C_d d_c^{5/2} \sqrt{g} [f(\theta)]$<br>$f(\theta)$ 查表 G. 2. 3                                                                                                                                   | 查表 G. 2. 3                                            |
|   | 若 $H_1 \leq 0.70d_c$<br>$Q = C_d d_c^{5/2} \sqrt{g} [f(\theta)]$<br>$f(\theta)$ 查表 G. 2. 3<br>若 $H_1 \geq 0.70d_c$<br>$Q = C_d C_v 2d_c (2g)^{1/2} \left( \frac{1}{3} h_1 - 0.0358d_c \right)^{3/2}$ | 查表 G. 2. 3<br>$Y_c = \frac{1}{2} H_1$<br>$+ 0.152d_c$ |
|  | $Q = C_d d_c^{5/2} \sqrt{g} [f(\phi, \theta)]$<br>$f(\phi, \theta)$ 查表 G. 2. 4                                                                                                                       | $Y_c$ 可变                                              |
| 注：表中参数意义参见第 13. 6. 9 条。                                                             |                                                                                                                                                                                                      |                                                       |

**G.2.2** 梯形控制断面  $Y_c/H_1$  与  $Z_c$  和  $H_1/b_c$  的函数关系见表 G.2.2。

**表 G.2.2** 梯形控制断面  $Y_c/H_1$  与  $Z_c$  和  $H_1/b_c$  的函数关系表

| $\frac{H_1}{b_c}$ | 渠道边坡 横向：竖向 ( $Z_c$ ) |          |          |          |       |         |       |         |       |       |
|-------------------|----------------------|----------|----------|----------|-------|---------|-------|---------|-------|-------|
|                   | 竖向                   | 0.25 : 1 | 0.50 : 1 | 0.75 : 1 | 1 : 1 | 1.5 : 1 | 2 : 1 | 2.5 : 1 | 3 : 1 | 4 : 1 |
| 0.00              | 0.667                | 0.667    | 0.667    | 0.667    | 0.667 | 0.667   | 0.667 | 0.667   | 0.667 | 0.667 |
| 0.01              | 0.667                | 0.667    | 0.667    | 0.668    | 0.668 | 0.669   | 0.670 | 0.670   | 0.671 | 0.672 |
| 0.02              | 0.667                | 0.667    | 0.668    | 0.669    | 0.670 | 0.671   | 0.672 | 0.674   | 0.675 | 0.678 |
| 0.03              | 0.667                | 0.668    | 0.669    | 0.670    | 0.671 | 0.673   | 0.675 | 0.677   | 0.679 | 0.683 |
| 0.04              | 0.667                | 0.668    | 0.670    | 0.671    | 0.672 | 0.675   | 0.677 | 0.680   | 0.683 | 0.687 |
| 0.05              | 0.667                | 0.668    | 0.670    | 0.672    | 0.674 | 0.677   | 0.680 | 0.683   | 0.686 | 0.692 |
| 0.06              | 0.667                | 0.669    | 0.671    | 0.673    | 0.675 | 0.679   | 0.683 | 0.686   | 0.690 | 0.696 |
| 0.07              | 0.667                | 0.669    | 0.672    | 0.674    | 0.676 | 0.681   | 0.685 | 0.689   | 0.693 | 0.699 |
| 0.08              | 0.667                | 0.670    | 0.672    | 0.675    | 0.678 | 0.683   | 0.687 | 0.692   | 0.696 | 0.703 |
| 0.09              | 0.667                | 0.670    | 0.673    | 0.676    | 0.679 | 0.684   | 0.690 | 0.695   | 0.698 | 0.706 |
| 0.10              | 0.667                | 0.670    | 0.674    | 0.677    | 0.680 | 0.686   | 0.692 | 0.697   | 0.701 | 0.709 |
| 0.12              | 0.667                | 0.671    | 0.675    | 0.679    | 0.684 | 0.690   | 0.696 | 0.701   | 0.706 | 0.715 |
| 0.14              | 0.667                | 0.672    | 0.676    | 0.681    | 0.686 | 0.693   | 0.699 | 0.705   | 0.711 | 0.720 |
| 0.16              | 0.667                | 0.672    | 0.678    | 0.683    | 0.687 | 0.696   | 0.703 | 0.709   | 0.715 | 0.725 |
| 0.18              | 0.667                | 0.673    | 0.679    | 0.684    | 0.690 | 0.698   | 0.706 | 0.713   | 0.719 | 0.729 |
| 0.20              | 0.667                | 0.674    | 0.680    | 0.686    | 0.692 | 0.701   | 0.709 | 0.717   | 0.723 | 0.733 |
| 0.22              | 0.667                | 0.674    | 0.681    | 0.688    | 0.694 | 0.704   | 0.712 | 0.720   | 0.726 | 0.736 |
| 0.24              | 0.667                | 0.675    | 0.683    | 0.689    | 0.696 | 0.706   | 0.715 | 0.723   | 0.729 | 0.739 |
| 0.26              | 0.667                | 0.676    | 0.684    | 0.691    | 0.698 | 0.709   | 0.718 | 0.725   | 0.732 | 0.742 |
| 0.28              | 0.667                | 0.676    | 0.685    | 0.693    | 0.699 | 0.711   | 0.720 | 0.728   | 0.734 | 0.744 |
| 0.30              | 0.667                | 0.677    | 0.686    | 0.694    | 0.701 | 0.713   | 0.823 | 0.730   | 0.737 | 0.747 |
| 0.32              | 0.667                | 0.678    | 0.687    | 0.696    | 0.703 | 0.715   | 0.725 | 0.733   | 0.739 | 0.749 |
| 0.34              | 0.667                | 0.678    | 0.689    | 0.697    | 0.705 | 0.717   | 0.727 | 0.735   | 0.741 | 0.751 |
| 0.36              | 0.667                | 0.679    | 0.690    | 0.699    | 0.706 | 0.719   | 0.729 | 0.737   | 0.743 | 0.752 |
| 0.38              | 0.667                | 0.680    | 0.691    | 0.700    | 0.708 | 0.721   | 0.731 | 0.738   | 0.745 | 0.754 |

表 G. 2. 2 (续)

| $\frac{H_1}{b_c}$ | 渠道边坡 横向 : 竖向 ( $Z_c$ ) |          |          |          |       |         |       |         |       |       |
|-------------------|------------------------|----------|----------|----------|-------|---------|-------|---------|-------|-------|
|                   | 竖向                     | 0.25 : 1 | 0.50 : 1 | 0.75 : 1 | 1 : 1 | 1.5 : 1 | 2 : 1 | 2.5 : 1 | 3 : 1 | 4 : 1 |
| 0.40              | 0.667                  | 0.680    | 0.692    | 0.701    | 0.709 | 0.723   | 0.733 | 0.740   | 0.747 | 0.756 |
| 0.42              | 0.667                  | 0.681    | 0.693    | 0.703    | 0.711 | 0.725   | 0.734 | 0.742   | 0.748 | 0.757 |
| 0.44              | 0.667                  | 0.681    | 0.694    | 0.704    | 0.712 | 0.727   | 0.736 | 0.744   | 0.750 | 0.759 |
| 0.46              | 0.667                  | 0.682    | 0.695    | 0.705    | 0.714 | 0.728   | 0.737 | 0.745   | 0.751 | 0.760 |
| 0.48              | 0.667                  | 0.683    | 0.696    | 0.706    | 0.715 | 0.729   | 0.739 | 0.747   | 0.752 | 0.761 |
| 0.50              | 0.667                  | 0.683    | 0.697    | 0.708    | 0.717 | 0.730   | 0.740 | 0.748   | 0.754 | 0.762 |
| 0.60              | 0.667                  | 0.686    | 0.701    | 0.713    | 0.723 | 0.737   | 0.747 | 0.754   | 0.759 | 0.767 |
| 0.70              | 0.667                  | 0.688    | 0.706    | 0.718    | 0.728 | 0.742   | 0.752 | 0.758   | 0.764 | 0.771 |
| 0.80              | 0.667                  | 0.692    | 0.709    | 0.723    | 0.732 | 0.746   | 0.756 | 0.762   | 0.767 | 0.774 |
| 0.90              | 0.667                  | 0.694    | 0.713    | 0.727    | 0.737 | 0.750   | 0.759 | 0.766   | 0.770 | 0.776 |
| 1.00              | 0.667                  | 0.697    | 0.717    | 0.730    | 0.740 | 0.754   | 0.762 | 0.768   | 0.773 | 0.778 |
| 1.20              | 0.667                  | 0.701    | 0.723    | 0.737    | 0.747 | 0.759   | 0.767 | 0.772   | 0.776 | 0.782 |
| 1.40              | 0.667                  | 0.706    | 0.729    | 0.742    | 0.752 | 0.764   | 0.771 | 0.776   | 0.779 | 0.784 |
| 1.60              | 0.667                  | 0.709    | 0.733    | 0.747    | 0.756 | 0.767   | 0.774 | 0.778   | 0.781 | 0.786 |
| 1.80              | 0.667                  | 0.713    | 0.737    | 0.750    | 0.759 | 0.770   | 0.776 | 0.781   | 0.783 | 0.787 |
| 2.00              | 0.667                  | 0.717    | 0.740    | 0.754    | 0.762 | 0.773   | 0.778 | 0.782   | 0.785 | 0.788 |
| 3.00              | 0.667                  | 0.730    | 0.753    | 0.766    | 0.773 | 0.781   | 0.785 | 0.787   | 0.790 | 0.792 |
| 4.00              | 0.667                  | 0.740    | 0.762    | 0.773    | 0.778 | 0.785   | 0.788 | 0.790   | 0.792 | 0.794 |
| 5.00              | 0.667                  | 0.748    | 0.768    | 0.777    | 0.782 | 0.788   | 0.791 | 0.792   | 0.794 | 0.795 |
| 10.00             | 0.667                  | 0.768    | 0.782    | 0.788    | 0.791 | 0.794   | 0.795 | 0.796   | 0.797 | 0.798 |
| $\infty$          |                        | 0.800    | 0.800    | 0.800    | 0.800 | 0.800   | 0.800 | 0.800   | 0.800 | 0.800 |

注：表中参数意义见表图和第 13.6.9 条。

**G. 2. 3** 圆形断面宽顶堰长喉道量水槽流量确定见表 G. 2. 3。

**表 G. 2. 3** 圆形断面宽顶堰长喉道量水槽流量确定表

| $\frac{y_c}{d_c}$ | $\frac{v_c^2}{2gd_c}$ | $\frac{H_1}{d_c}$ | $\frac{A_c}{d_c^2}$ | $\frac{y_c}{H_1}$ | $f(\theta)$ |
|-------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------|
| 0. 01             | 0. 0033               | 0. 0133           | 0. 0013             | 0. 752            | 0. 0001     |
| 0. 02             | 0. 0067               | 0. 0267           | 0. 0037             | 0. 749            | 0. 0004     |
| 0. 03             | 0. 0101               | 0. 0401           | 0. 0069             | 0. 749            | 0. 0010     |
| 0. 04             | 0. 0134               | 0. 0534           | 0. 0105             | 0. 749            | 0. 0017     |
| 0. 05             | 0. 0168               | 0. 0668           | 0. 0147             | 0. 748            | 0. 0027     |
| 0. 06             | 0. 0203               | 0. 0803           | 0. 0192             | 0. 748            | 0. 0039     |
| 0. 07             | 0. 0237               | 0. 0937           | 0. 0242             | 0. 747            | 0. 0053     |
| 0. 08             | 0. 0271               | 0. 1071           | 0. 0294             | 0. 747            | 0. 0068     |
| 0. 09             | 0. 0306               | 0. 1206           | 0. 0350             | 0. 746            | 0. 0087     |
| 0. 10             | 0. 0341               | 0. 1341           | 0. 0409             | 0. 746            | 0. 0107     |
| 0. 11             | 0. 0376               | 0. 1476           | 0. 0470             | 0. 745            | 0. 0129     |
| 0. 12             | 0. 0411               | 0. 1611           | 0. 0534             | 0. 745            | 0. 0153     |
| 0. 13             | 0. 0446               | 0. 1746           | 0. 0600             | 0. 745            | 0. 0179     |
| 0. 14             | 0. 0482               | 0. 1882           | 0. 0688             | 0. 744            | 0. 0214     |
| 0. 15             | 0. 0517               | 0. 2017           | 0. 0739             | 0. 744            | 0. 0238     |
| 0. 16             | 0. 0553               | 0. 2153           | 0. 0811             | 0. 743            | 0. 0270     |
| 0. 17             | 0. 0589               | 0. 2289           | 0. 0885             | 0. 743            | 0. 0304     |
| 0. 18             | 0. 0626               | 0. 2462           | 0. 0961             | 0. 742            | 0. 0340     |
| 0. 19             | 0. 0662               | 0. 2562           | 0. 1039             | 0. 742            | 0. 0378     |
| 0. 20             | 0. 0699               | 0. 2699           | 0. 1118             | 0. 741            | 0. 0418     |
| 0. 21             | 0. 0736               | 0. 2836           | 0. 1199             | 0. 740            | 0. 0460     |
| 0. 22             | 0. 0773               | 0. 2973           | 0. 1281             | 0. 740            | 0. 0504     |
| 0. 23             | 0. 0811               | 0. 3111           | 0. 1365             | 0. 739            | 0. 0550     |
| 0. 24             | 0. 0848               | 0. 3248           | 0. 1449             | 0. 739            | 0. 0597     |
| 0. 25             | 0. 0887               | 0. 3387           | 0. 1535             | 0. 738            | 0. 0647     |
| 0. 26             | 0. 0925               | 0. 3525           | 0. 1623             | 0. 738            | 0. 0698     |
| 0. 27             | 0. 0963               | 0. 3663           | 0. 1711             | 0. 737            | 0. 0751     |

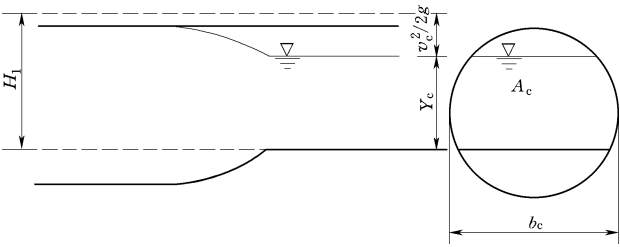
表 G. 2. 3 (续)

| $\frac{y_c}{d_c}$ | $\frac{v_c^2}{2gd_c}$ | $\frac{H_1}{d_c}$ | $\frac{A_c}{d_c^2}$ | $\frac{y_c}{H_1}$ | $f(\theta)$ |
|-------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------|
| 0. 28             | 0. 1002               | 0. 3802           | 0. 1800             | 0. 736            | 0. 0806     |
| 0. 29             | 0. 1042               | 0. 3942           | 0. 1890             | 0. 736            | 0. 0863     |
| 0. 30             | 0. 1081               | 0. 4081           | 0. 1982             | 0. 735            | 0. 0922     |
| 0. 31             | 0. 1121               | 0. 4224           | 0. 2074             | 0. 734            | 0. 0922     |
| 0. 32             | 0. 1161               | 0. 4361           | 0. 2167             | 0. 734            | 0. 0982     |
| 0. 33             | 0. 1202               | 0. 4502           | 0. 2260             | 0. 733            | 0. 1044     |
| 0. 34             | 0. 1243               | 0. 4643           | 0. 2355             | 0. 732            | 0. 1108     |
| 0. 35             | 0. 1284               | 0. 4784           | 0. 2450             | 0. 732            | 0. 1289     |
| 0. 36             | 0. 1326               | 0. 4926           | 0. 2546             | 0. 731            | 0. 1311     |
| 0. 37             | 0. 1368               | 0. 5068           | 0. 2642             | 0. 730            | 0. 1382     |
| 0. 38             | 0. 1411               | 0. 5211           | 0. 2739             | 0. 729            | 0. 1455     |
| 0. 39             | 0. 1454               | 0. 5354           | 0. 2836             | 0. 728            | 0. 1529     |
| 0. 40             | 0. 1497               | 0. 5497           | 0. 2934             | 0. 728            | 0. 1605     |
| 0. 41             | 0. 1541               | 0. 5641           | 0. 3032             | 0. 727            | 0. 1683     |
| 0. 42             | 0. 1586               | 0. 5786           | 0. 3130             | 0. 726            | 0. 1763     |
| 0. 43             | 0. 1631               | 0. 5931           | 0. 3229             | 0. 725            | 0. 1844     |
| 0. 44             | 0. 1676               | 0. 6076           | 0. 3328             | 0. 724            | 0. 1927     |
| 0. 45             | 0. 1723               | 0. 6223           | 0. 3428             | 0. 723            | 0. 2012     |
| 0. 46             | 0. 1769               | 0. 6369           | 0. 3527             | 0. 722            | 0. 2098     |
| 0. 47             | 0. 1817               | 0. 6517           | 0. 3627             | 0. 721            | 0. 2186     |
| 0. 48             | 0. 1865               | 0. 6665           | 0. 3727             | 0. 720            | 0. 2276     |
| 0. 49             | 0. 1914               | 0. 6814           | 0. 3827             | 0. 719            | 0. 2368     |
| 0. 50             | 0. 1964               | 0. 6964           | 0. 3927             | 0. 718            | 0. 2461     |
| 0. 51             | 0. 2014               | 0. 7114           | 0. 4027             | 0. 717            | 0. 2556     |
| 0. 52             | 0. 2065               | 0. 7265           | 0. 4127             | 0. 716            | 0. 2652     |
| 0. 53             | 0. 2117               | 0. 7417           | 0. 4227             | 0. 715            | 0. 2750     |
| 0. 54             | 0. 2224               | 0. 7570           | 0. 4327             | 0. 713            | 0. 2851     |
| 0. 55             | 0. 2276               | 0. 7724           | 0. 4426             | 0. 712            | 0. 2952     |
| 0. 56             | 0. 2279               | 0. 7879           | 0. 4526             | 0. 711            | 0. 3056     |

表 G. 2. 3 (续)

| $\frac{y_c}{d_c}$ | $\frac{v_c^2}{2gd_c}$ | $\frac{H_1}{d_c}$ | $\frac{A_c}{d_c^2}$ | $\frac{y_c}{H_1}$ | $f(\theta)$ |
|-------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------|
| 0. 57             | 0. 2335               | 0. 8035           | 0. 4626             | 0. 709            | 0. 3161     |
| 0. 58             | 0. 2393               | 0. 8193           | 0. 4726             | 0. 708            | 0. 3268     |
| 0. 50             | 0. 2451               | 0. 8351           | 0. 4822             | 0. 707            | 0. 3376     |
| 0. 60             | 0. 2511               | 0. 8511           | 0. 4920             | 0. 705            | 0. 3487     |
| 0. 61             | 0. 2572               | 0. 8672           | 0. 5018             | 0. 703            | 0. 3599     |
| 0. 62             | 0. 2635               | 0. 8835           | 0. 5115             | 0. 702            | 0. 3713     |
| 0. 63             | 0. 2699               | 0. 8999           | 0. 5212             | 0. 700            | 0. 3829     |
| 0. 64             | 0. 2765               | 0. 9165           | 0. 5308             | 0. 698            | 0. 3947     |
| 0. 65             | 0. 2833               | 0. 9333           | 0. 5404             | 0. 696            | 0. 4068     |
| 0. 66             | 0. 2902               | 0. 9502           | 0. 5499             | 0. 695            | 0. 4189     |
| 0. 67             | 0. 2974               | 0. 9674           | 0. 5594             | 0. 693            | 0. 4314     |
| 0. 68             | 0. 3048               | 0. 9848           | 0. 5687             | 0. 691            | 0. 4440     |
| 0. 69             | 0. 3125               | 1. 0025           | 0. 5780             | 0. 688            | 0. 4569     |
| 0. 70             | 0. 3204               | 1. 0204           | 0. 5872             | 0. 686            | 0. 4701     |
| 0. 71             | 0. 3286               | 1. 0386           | 0. 5964             | 0. 684            | 0. 4835     |
| 0. 72             | 0. 3371               | 1. 0571           | 0. 6054             | 0. 681            | 0. 4971     |
| 0. 73             | 0. 3459               | 1. 0759           | 0. 6143             | 0. 679            | 0. 5109     |
| 0. 74             | 0. 3552               | 1. 0952           | 0. 6231             | 0. 676            | 0. 5252     |
| 0. 75             | 0. 3648               | 1. 1148           | 0. 6319             | 0. 673            | 0. 5397     |
| 0. 76             | 0. 3749               | 1. 1349           | 0. 6405             | 0. 670            | 0. 5546     |
| 0. 77             | 0. 3855               | 1. 1555           | 0. 6489             | 0. 666            | 0. 5689     |
| 0. 78             | 0. 3967               | 1. 1767           | 0. 6573             | 0. 663            | 0. 5855     |
| 0. 79             | 0. 4085               | 1. 1985           | 0. 6655             | 0. 659            | 0. 6015     |
| 0. 80             | 0. 4210               | 1. 2210           | 0. 6735             | 0. 655            | 0. 6180     |
| 0. 81             | 0. 4343               | 1. 2443           | 0. 6815             | 0. 651            | 0. 6351     |
| 0. 82             | 0. 4485               | 1. 2685           | 0. 6893             | 0. 646            | 0. 6528     |
| 0. 83             | 0. 4683               | 1. 2938           | 0. 6969             | 0. 641            | 0. 6712     |

表 G. 2. 3 (续)

| $\frac{y_c}{d_c}$                                                                                                                                  | $\frac{v_c^2}{2gd_c}$ | $\frac{H_1}{d_c}$ | $\frac{A_c}{d_c^2}$ | $\frac{y_c}{H_1}$ | $f(\theta)$ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------|
| 0. 84                                                                                                                                              | 0. 4803               | 1. 3203           | 0. 7043             | 0. 636            | 0. 6903     |
| 0. 85                                                                                                                                              | 0. 4982               | 1. 3482           | 0. 7115             | 0. 630            | 0. 7102     |
| 0. 86                                                                                                                                              | 0. 5177               | 1. 3777           | 0. 7186             | 0. 624            | 0. 7312     |
| 0. 87                                                                                                                                              | 0. 5392               | 1. 4092           | 0. 7254             | 0. 617            | 0. 7533     |
| 0. 88                                                                                                                                              | 0. 5632               | 1. 4432           | 0. 7320             | 0. 610            | 0. 7769     |
| 0. 89                                                                                                                                              | 0. 5900               | 1. 4800           | 0. 7384             | 0. 601            | 0. 8021     |
| 0. 90                                                                                                                                              | 0. 6204               | 1. 5204           | 0. 7445             | 0. 592            | 0. 8293     |
| 0. 91                                                                                                                                              | 0. 6555               | 1. 5655           | 0. 7504             | 0. 581            | 0. 8592     |
| 0. 92                                                                                                                                              | 0. 6966               | 1. 6166           | 0. 7560             | 0. 569            | 0. 8923     |
| 0. 93                                                                                                                                              | 0. 7459               | 1. 6759           | 0. 7612             | 0. 555            | 0. 9297     |
| 0. 94                                                                                                                                              | 0. 8065               | 1. 7465           | 0. 7662             | 0. 538            | 0. 9731     |
| 0. 95                                                                                                                                              | 0. 8841               | 1. 8341           | 0. 7707             | 0. 518            | 1. 0248     |
| —                                                                                                                                                  | —                     | —                 | —                   | —                 | —           |
| —                                                                                                                                                  | —                     | —                 | —                   | —                 | —           |
| —                                                                                                                                                  | —                     | —                 | —                   | —                 | —           |
| —                                                                                                                                                  | —                     | —                 | —                   | —                 | —           |
| —                                                                                                                                                  | —                     | —                 | —                   | —                 | —           |
| 注: $f(\theta) = (A_c/d_c^2)\{2(H_1/d_c - y_c/d_c)\}^{0.5} = (\theta - \sin\theta)^{1.5} / \left[8\left(8\sin\frac{1}{2}\theta\right)^{0.5}\right]$ |                       |                   |                     |                   |             |
|                                                                 |                       |                   |                     |                   |             |
| 注: 表中参数意义见表图和第 13. 6. 9 条。                                                                                                                         |                       |                   |                     |                   |             |

G. 2. 4 管内宽顶堰流量确定见表 G. 2. 4。

表 G. 2. 4 管内宽顶堰流量确定表

| $f(\varphi,\theta) = \frac{(\theta - \varphi + \sin\varphi - \sin\theta)^{1.5}}{8\left(8\sin\frac{1}{2}\theta\right)^{0.5}}$ |                          |         |         |         |         |       |       |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| $\frac{P_c + H_1}{d_c}$                                                                                                      | $\frac{P_c}{d_c} = 0.15$ | 0. 20   | 0. 25   | 0. 30   | 0. 35   | 0. 40 | 0. 45 | 0. 50 |
| 0. 16                                                                                                                        | 0. 0004                  | —       | —       | —       | —       | —     | —     | —     |
| 0. 17                                                                                                                        | 0. 0011                  | —       | —       | —       | —       | —     | —     | —     |
| 0. 18                                                                                                                        | 0. 0021                  | —       | —       | —       | —       | —     | —     | —     |
| 0. 19                                                                                                                        | 0. 0032                  | —       | —       | —       | —       | —     | —     | —     |
| 0. 20                                                                                                                        | 0. 0045                  | —       | —       | —       | —       | —     | —     | —     |
| 0. 21                                                                                                                        | 0. 0060                  | 0. 0004 | —       | —       | —       | —     | —     | —     |
| 0. 22                                                                                                                        | 0. 0076                  | 0. 0012 | —       | —       | —       | —     | —     | —     |
| 0. 23                                                                                                                        | 0. 0094                  | 0. 0023 | —       | —       | —       | —     | —     | —     |
| 0. 24                                                                                                                        | 0. 0113                  | 0. 0036 | —       | —       | —       | —     | —     | —     |
| 0. 25                                                                                                                        | 0. 0133                  | 0. 0050 | —       | —       | —       | —     | —     | —     |
| 0. 26                                                                                                                        | 0. 0155                  | 0. 0066 | 0. 0005 | —       | —       | —     | —     | —     |
| 0. 27                                                                                                                        | 0. 0177                  | 0. 0084 | 0. 0013 | —       | —       | —     | —     | —     |
| 0. 28                                                                                                                        | 0. 0201                  | 0. 0103 | 0. 0025 | —       | —       | —     | —     | —     |
| 0. 29                                                                                                                        | 0. 0226                  | 0. 0124 | 0. 0038 | —       | —       | —     | —     | —     |
| 0. 30                                                                                                                        | 0. 0252                  | 0. 0145 | 0. 0054 | —       | —       | —     | —     | —     |
| 0. 31                                                                                                                        | 0. 0280                  | 0. 0169 | 0. 0071 | 0. 0005 | —       | —     | —     | —     |
| 0. 32                                                                                                                        | 0. 0308                  | 0. 0193 | 0. 0090 | 0. 0014 | —       | —     | —     | —     |
| 0. 33                                                                                                                        | 0. 0337                  | 0. 0219 | 0. 0110 | 0. 0026 | —       | —     | —     | —     |
| 0. 34                                                                                                                        | 0. 0368                  | 0. 0245 | 0. 0132 | 0. 0040 | —       | —     | —     | —     |
| 0. 35                                                                                                                        | 0. 0399                  | 0. 0273 | 0. 0155 | 0. 0057 | —       | —     | —     | —     |
| 0. 36                                                                                                                        | 0. 0432                  | 0. 0302 | 0. 0179 | 0. 0075 | 0. 0005 | —     | —     | —     |
| 0. 37                                                                                                                        | 0. 0465                  | 0. 0332 | 0. 0205 | 0. 0094 | 0. 0015 | —     | —     | —     |
| 0. 38                                                                                                                        | 0. 0500                  | 0. 0363 | 0. 0232 | 0. 0115 | 0. 0027 | —     | —     | —     |
| 0. 39                                                                                                                        | 0. 0535                  | 0. 0396 | 0. 0260 | 0. 0138 | 0. 0042 | —     | —     | —     |

表 G.2.4 (续)

| $f(\varphi, \theta) = \frac{(\theta - \varphi + \sin\varphi - \sin\theta)^{1.5}}{8 \left( 8 \sin \frac{1}{2} \theta \right)^{0.5}}$ |                          |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\frac{P_c + H_1}{d_c}$                                                                                                             | $\frac{P_c}{d_c} = 0.15$ | 0.20   | 0.25   | 0.30   | 0.35   | 0.40   | 0.45   | 0.50   |
| 0.40                                                                                                                                | 0.0571                   | 0.0429 | 0.0289 | 0.0162 | 0.0059 | —      | —      | —      |
| 0.41                                                                                                                                | 0.0609                   | 0.0463 | 0.0320 | 0.0187 | 0.0077 | 0.0005 | —      | —      |
| 0.42                                                                                                                                | 0.0647                   | 0.0498 | 0.0351 | 0.0214 | 0.0097 | 0.0015 | —      | —      |
| 0.43                                                                                                                                | 0.0686                   | 0.0534 | 0.0383 | 0.0242 | 0.0119 | 0.0028 | —      | —      |
| 0.44                                                                                                                                | 0.0726                   | 0.0571 | 0.0417 | 0.0271 | 0.0143 | 0.0043 | —      | —      |
| 0.45                                                                                                                                | 0.0767                   | 0.0609 | 0.0451 | 0.0301 | 0.0167 | 0.0060 | —      | —      |
| 0.46                                                                                                                                | 0.0809                   | 0.0648 | 0.0487 | 0.0332 | 0.0193 | 0.0079 | 0.0005 | —      |
| 0.47                                                                                                                                | 0.0851                   | 0.0688 | 0.0523 | 0.0365 | 0.0220 | 0.0100 | 0.0015 | —      |
| 0.48                                                                                                                                | 0.0895                   | 0.0729 | 0.0561 | 0.0398 | 0.0249 | 0.0122 | 0.0028 | —      |
| 0.49                                                                                                                                | 0.0939                   | 0.0770 | 0.0599 | 0.0432 | 0.0279 | 0.0145 | 0.0043 | —      |
| 0.50                                                                                                                                | 0.0984                   | 0.0813 | 0.0638 | 0.0468 | 0.0309 | 0.0170 | 0.0051 | —      |
| 0.51                                                                                                                                | 0.1030                   | 0.0856 | 0.0678 | 0.0504 | 0.0341 | 0.0197 | 0.0005 | 0.0005 |
| 0.52                                                                                                                                | 0.1076                   | 0.0900 | 0.0719 | 0.0541 | 0.0374 | 0.0224 | 0.0015 | 0.0015 |
| 0.53                                                                                                                                | 0.1124                   | 0.0945 | 0.0761 | 0.0579 | 0.0408 | 0.0123 | 0.0028 | 0.0028 |
| 0.54                                                                                                                                | 0.1172                   | 0.0990 | 0.0803 | 0.0618 | 0.0443 | 0.0147 | 0.0044 | 0.0044 |
| 0.55                                                                                                                                | 0.1221                   | 0.1037 | 0.0847 | 0.0658 | 0.0479 | 0.0172 | 0.0061 | 0.0061 |
| 0.56                                                                                                                                | 0.1270                   | 0.1048 | 0.0891 | 0.0699 | 0.0515 | 0.0346 | 0.0198 | 0.0080 |
| 0.57                                                                                                                                | 0.1320                   | 0.1132 | 0.0936 | 0.0741 | 0.0553 | 0.0379 | 0.0226 | 0.0101 |
| 0.58                                                                                                                                | 0.1372                   | 0.1180 | 0.0981 | 0.0783 | 0.0592 | 0.0413 | 0.0255 | 0.0123 |
| 0.59                                                                                                                                | 0.1423                   | 0.1230 | 0.1028 | 0.0826 | 0.0631 | 0.0448 | 0.0285 | 0.0147 |
| 0.60                                                                                                                                | 0.1476                   | 0.1280 | 0.1075 | 0.0870 | 0.0667 | 0.0484 | 0.0316 | 0.0172 |
| 0.62                                                                                                                                | —                        | 0.1382 | 0.1172 | 0.0960 | 0.0754 | 0.0559 | 0.0381 | 0.0225 |
| 0.64                                                                                                                                | —                        | 0.1486 | 0.1271 | 0.1053 | 0.0840 | 0.0637 | 0.0449 | 0.0283 |
| 0.66                                                                                                                                | —                        | 0.1593 | 0.1373 | 0.1149 | 0.0929 | 0.0718 | 0.0522 | 0.0346 |
| 0.68                                                                                                                                | —                        | 0.1703 | 0.1477 | 0.1247 | 0.1020 | 0.0802 | 0.0597 | 0.0412 |
| 0.70                                                                                                                                | —                        | 0.1815 | 0.1584 | 0.1348 | 0.1114 | 0.0888 | 0.0676 | 0.0481 |

表 G. 2. 4 (续)

|                                                                                                                                       |                          |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $f(\varphi, \theta) = \frac{(\theta - \varphi + \sin \varphi - \sin \theta)^{1.5}}{8 \left( 8 \sin \frac{1}{2} \theta \right)^{0.5}}$ |                          |        |        |        |        |        |        |        |
| $\frac{P_c + H_1}{d_c}$                                                                                                               | $\frac{P_c}{d_c} = 0.15$ | 0.20   | 0.25   | 0.30   | 0.35   | 0.40   | 0.45   | 0.50   |
| 0.72                                                                                                                                  | —                        | 0.1929 | 0.1692 | 0.1451 | 0.1211 | 0.0978 | 0.0757 | 0.0554 |
| 0.74                                                                                                                                  | —                        | 0.2045 | 0.1804 | 0.1556 | 0.1310 | 0.1070 | 0.0841 | 0.0629 |
| 0.76                                                                                                                                  | —                        | 0.2163 | 0.1917 | 0.1663 | 0.1411 | 0.1164 | 0.0928 | 0.0707 |
| 0.78                                                                                                                                  | —                        | 0.2283 | 0.2031 | 0.1773 | 0.1514 | 0.1260 | 0.1016 | 0.0788 |
| 0.80                                                                                                                                  | —                        | 0.2405 | 0.2148 | 0.1884 | 0.1618 | 0.1358 | 0.1107 | 0.0870 |
| 0.82                                                                                                                                  | —                        | 0.2528 | 0.2267 | 0.1997 | 0.1725 | 0.1458 | 0.1200 | 0.0955 |
| 0.84                                                                                                                                  | —                        | 0.2653 | 0.2386 | 0.2111 | 0.1833 | 0.1559 | 0.1294 | 0.1042 |
| 0.86                                                                                                                                  | —                        | 0.2780 | 0.2508 | 0.2227 | 0.1943 | 0.1662 | 0.1390 | 0.1130 |
| 0.88                                                                                                                                  | —                        | 0.2907 | 0.2630 | 0.2344 | 0.2054 | 0.1767 | 0.1487 | 0.1220 |
| 0.90                                                                                                                                  | —                        | 0.3036 | 0.2754 | 0.2462 | 0.2166 | 0.1872 | 0.1586 | 0.1311 |
| 0.92                                                                                                                                  | —                        | 0.3166 | 0.2879 | 0.2581 | 0.2279 | 0.1979 | 0.1686 | 0.1404 |
| 0.94                                                                                                                                  | —                        | 0.3297 | 0.3005 | 0.2701 | 0.2394 | 0.2087 | —      | —      |
| 0.96                                                                                                                                  | —                        | 0.3428 | 0.3131 | 0.2823 | 0.2509 | —      | —      | —      |
| 0.98                                                                                                                                  | —                        | 0.3561 | 0.3259 | 0.2944 | —      | —      | —      | —      |
| 1.00                                                                                                                                  | —                        | 0.3694 | 0.3387 | —      | —      | —      | —      | —      |
| 1.02                                                                                                                                  | —                        | 0.3827 | —      | —      | —      | —      | —      | —      |
| 1.04                                                                                                                                  | —                        | 0.3961 | —      | —      | —      | —      | —      | —      |
| 注：按本表计算流量时， $C_d=1.0$ ； $\alpha_c=1.0$ ； $H_1=H_c$ ；符号意义见表图。                                                                          |                          |        |        |        |        |        |        |        |
|                                                                                                                                       |                          |        |        |        |        |        |        |        |
| $A_c$ —控制断面过流面积； $A_s$ —控制断面处底部圆弧与堰底之间的面积                                                                                             |                          |        |        |        |        |        |        |        |

### G.3 长喉道槽非淹没限式试算法

**G.3.1** 淹没限值  $H_1/H_2$  应按如下试算过程 (图 G.3-1) 进行计算:

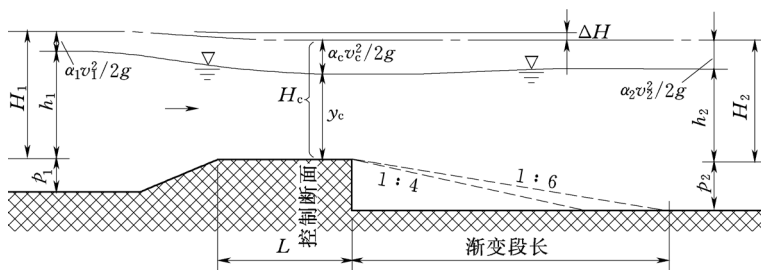


图 G.3-1 长喉道槽水流态图 (假定  $\alpha_1 = \alpha_c = \alpha_2 = 1.0$ )

- 1 计算量测上游水头  $h_1$  处的过流面积及平均流速  $v_1$ 。
- 2 为使喉道内流线接近直线并平行, 水流方向喉道长  $L$  与堰上水头  $H_1$  之间应满足关系式  $0.1 < H_1/L \leq 1.0$ , 此时流量修正系数  $C_d$  与  $H_1/L$  间有足够精确的数量关系。故需计算  $H_1/L$ , 以确定  $C_d$  (见图 G.3-2)。
- 3 从水位—流量方程中读取  $u$  值。
- 4 计算  $C_d^{1/4}$  值。
- 5 计算控制断面  $y_c$  值 (查表 G.2.1)。
- 6 确定控制段水深处的过流面积并计算该断面的平均流速。
- 7 查  $\xi$ — $m$  函数关系数, 找出  $\xi$  值 (图 G.3-3)。
- 8 估计  $h_2$  的初值并求出相应的  $v_2$ 。
- 9 计算出  $\xi(v_2 - v_c)^2 / 2gH_1$ 。
- 10 求从上游  $h_1$  断面到  $h_2$  量测断面由摩擦而引起的水头损失, 采用边界层理论方法按下列公式计算:

$$\Delta H = \frac{Lv^2}{R} \frac{C_F}{2g} \quad (\text{G.3-1})$$

式中  $\Delta H$ ——水头损失, m;

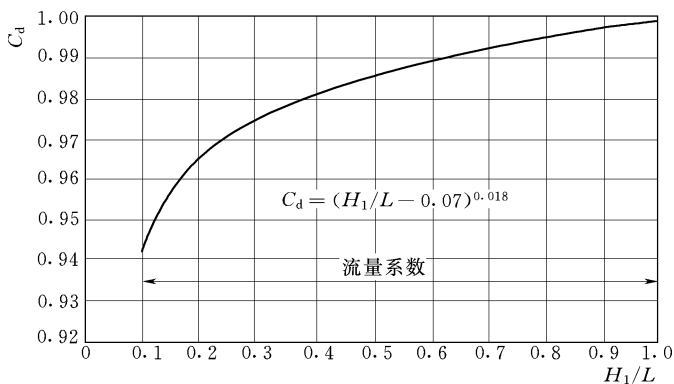


图 G.3-2  $C_d$  与  $H_1/L$  之间的函数关系图

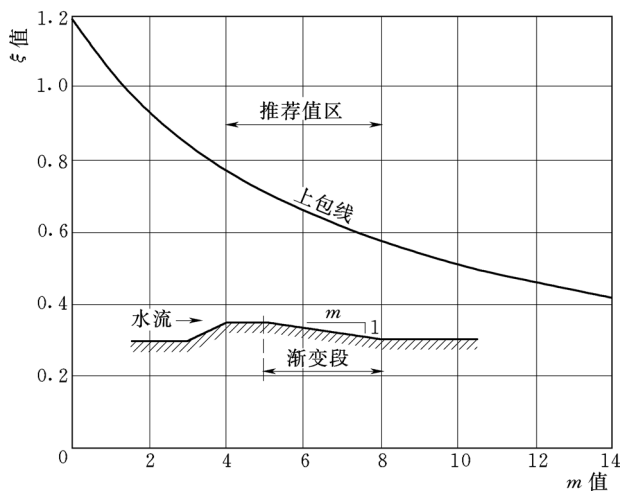


图 G.3-3  $\xi$ — $m$  函数关系图

$L$ ——沿水流方向的边界层长度，m；

$v$ ——平均流速，m/s；

$C_F$ ——边界层阻力系数；

$R$ ——水力半径；

$g$ ——重力加速度,  $\text{m/s}^2$ 。

喉槽段、引渠段（上游测量断面与收缩段坡脚之间的渠段）、上游收缩段、尾渠段（下游渐扩段到下游测量断面之间的渠段）的水头损失理论计算方法如下：

1) 水流流经喉槽段的水头损失  $\Delta H_L$ 。喉槽段边界层阻力系数可按下列公式计算：

$$C_F = C_{F,L} - \frac{L_x}{L} C_{F,x} + \frac{L_x}{L} C_{f,x} \quad (\text{G. 3-2})$$

$L_x$  可由联立下面两式求得：

$$Re_x = 35000 + \frac{L}{k} \quad (\text{G. 3-3})$$

$$Re_x = \frac{v_c L_x}{v_i} \quad (\text{G. 3-4})$$

式中  $C_{F,L}$ ——喉槽段边界层全部为紊动流动边界层时的阻力系数；

$C_{F,x}$ —— $L_x$  段为紊流边界层时的阻力系数；

$C_{f,x}$ —— $L_x$  段为层流边界时的阻力系数；

$Re_x$ ——层流边界层的雷诺数；

$L$ ——喉道长度,  $\text{m}$ ；

$L_x$ ——层流边界层长度,  $\text{m}$ ；

$v_i$ ——运动黏性系数；

$k$ ——绝对粗糙高度,  $\text{m}$ 。

Harrisonp 依据边界层理论推导出计算紊流边界层阻力系数的试算公式：

$$C_{F,L} = \frac{0.544 C_{F,L}^{0.5}}{5.61 C_{F,L}^{0.5} - 0.638 - \ln[(Re_L C_{F,L})^{-1} + (4.8 C_{F,L}^{0.5} L/k)^{-1}]} \quad (\text{G. 3-5})$$

$$Re_L = \frac{v_c L}{v_i} \quad (\text{G. 3-6})$$

分别用  $C_{F,x}$ 、 $Re_x$ 、 $L_x$  替换公式 (G. 3-5) 中的  $C_{F,L}$ 、 $Re_L$ 、 $L$  后, 便可求出  $C_{F,x}$ 。层流边界层阻力系数用 Schlichting (1960)

建议的公式计算：

$$C_{f,x} = \frac{1.328}{Re_x^{0.5}} \quad (G.3-7)$$

如果  $Re_L < Re_x$ ，则整个边界层处于层流边界层状态，用  $Re_L$  代替公式 (G.3-7) 中的  $Re_x$  得：

$$C_F = C_{f,L} = 1.328/Re_L^{0.5} \quad (G.3-8)$$

此时将所有相关值代入公式 (G.3-1) 后便可求出喉槽段水头损失  $\Delta H_L$ 。

2) 引渠段的水头损失  $\Delta H_a$ 。该渠段水流边界层已充分发展为紊流边界层， $C_F$  值为常数 0.00235。用边界层理论按下列公式计算该段水头损失：

$$\Delta H_a = \frac{L_a v_1^2}{R_1} \frac{C_F}{2g} \quad (G.3-9)$$

式中  $L_a$ ——引渠段的长度，m，一般应不小于上游观测点处最大水头  $H_1$ ；

$R_1$ ——上游测量断面的水力半径；

$v_1$ ——上游测量断面的平均流速，m/s。

3) 上游收缩段的水头损失  $\Delta H_b$ 。上游收缩段水流边界层亦处于紊流状态， $C_F$  值为 0.00235。上游收缩段水头损失  $\Delta H_b$  的计算采用平均水平损失公式计算：

$$\Delta H_b = \frac{0.00235 L_b}{4g} \left( \frac{v_1^2}{R_1} + \frac{v_b^2}{R_b} \right) \quad (G.3-10)$$

式中  $L_b$ ——收缩渠底沿水流方向的水平投影长度，m；

$v_b$ ——喉槽入口断面的水流平均流速，m/s；

$R_b$ ——喉槽入口断面的水力半径。

长喉槽入口断面水深按下列公式近似计算：

$$y_b = y_c + \frac{5}{8}(h_1 - y_c) \quad (G.3-11)$$

图 G.3-1 中  $h_1$  断面到  $y_c$  断面的水头损失按下列公式计算：

$$\Delta H_1 = \Delta H_a + \Delta H_b + \Delta H_L \quad (G.3-12)$$

式中  $\Delta H_L$ ——水流通过喉道段时的水头损失值。

4) 下游段水头损失  $\Delta H_2$ 。从喉槽控制段末端到下游水位测量断面之间的能量损失可分为两部分：摩擦损失和紊流损失（水流迅速扩散使得能量转换不充分而引起）。摩擦损失比紊流损失小，采用边界层理论分析满足计算精度要求，其水流边界层处于紊流状态， $C_F$  值为 0.00235。

下游扩散段长度为： $L_d = P_2 \times EM$ （对于有底坎型式， $P_2$  为坎高， $EM$  为扩散段底坎坡降）； $L_d = b_s \times EM'$ （对于只有侧收缩型式， $b_s$  为扩散值， $EM'$  为扩散比）。

下游扩散段末端到下游水位测量位置的长度为： $L_e = 10(P_2 + L/2) - L_d$ （对于有底坎型式， $P_2$  为坎高）； $L_e = 10(b_s + L/2) - L_d$ （对于只有侧收缩型式， $b_s$  为扩散值）。

扩散段摩擦引起的水头损失为：

$$\Delta H_d = \frac{0.00235 L_d}{4g} \left( \frac{v_2^2}{R_2} + \frac{v_c^2}{R_c} \right) \quad (G. 3 - 13)$$

式中  $L_d$ ——渐扩段渠底沿水流方向的水平投影长度，m；

$v_2$ ——下游水位测量断面的水流平均流速，m/s；

$R_2$ ——下游水位测量断面的水力半径；

$v_c$ ——控制断面的水流平均流速，m/s；

$R_c$ ——控制断面的水力半径。

扩散段末端到下游水位测量断面间尾渠段的水头损失  $\Delta H_e$ ；  
用军界层理论按下列公式计算该段水头损失：

$$\Delta H_e = \frac{0.00235}{2g} \frac{L_e v_2^2}{R_2} \quad (G. 3 - 14)$$

式中  $L_e$ ——尾渠段的长度，m；

$R_2$ ——下游测量断面的水力半径；

$v_2$ ——下游测量断面的平均流速，m/s。

下游段的总摩擦损失为：

$$\Delta H_f = \Delta H_d + \Delta H_e \quad (G. 3 - 15)$$

下游段的扩散损失，即：下游扩散段由于动能未完全转化为

势能而造成的水头损失，可按下列公式计算：

$$\Delta H_k = \frac{\xi(v_c - v_2)^2}{2g} \quad (\text{G. 3-16})$$

$$\xi = \frac{\lg[114.59 \arccot(1/m)] - 0.165}{1.742} \quad (\text{G. 3-17})$$

式中  $\xi$ ——能量损失系数，是下游扩散段坡降的函数；

$m$ ——下游扩散段坡降。

对于只有底收缩的长喉槽，扩散段坡降  $m$  即为底部扩散坡降  $EM$ ；对于只有侧面收缩的长喉槽，其下游扩散段坡降即为侧面扩散比  $EM'$ ；对于既有侧收缩又有底收缩的长喉槽，底部扩散率对能量损失与恢复的影响要大，因此，应将底部扩散坡降  $EM$  应用到水头损失计算中去。

下游段的总水头损失为：

$$\Delta H_2 = \Delta H_f + \Delta H_k \quad (\text{G. 3-18})$$

11 计算  $H_2 = H_1 - \Delta H_1 - \Delta H_2$ 。

12 求  $H_1/H_2$ 。

**G. 3.2** 淹没度限值是依上游水位  $h_1$  不同而变化，应求出测站水位最大和最小情况下对应的淹没度限值，以便检验水头损失  $(H_1 - H_2)$  是否满足设计要求。

# 标准用词说明

| 标准用词 | 在特殊情况下的等效表述      | 要求严格程度 |
|------|------------------|--------|
| 应    | 有必要、要求、要、只有……才允许 | 要 求    |
| 不应   | 不允许、不许可、不要       |        |
| 宜    | 推荐、建议            | 推 荐    |
| 不宜   | 不推荐、不建议          |        |
| 可    | 允许、许可、准许         | 允 许    |
| 不必   | 不需要、不要求          |        |

中华人民共和国水利行业标准

灌溉与排水渠系建筑物设计规范

SL 482—2011

条 文 说 明

## 目 次

|    |                    |     |
|----|--------------------|-----|
| 1  | 总则 .....           | 155 |
| 2  | 术语和符号 .....        | 157 |
| 3  | 建筑物级别划分和洪水标准 ..... | 158 |
| 4  | 基本规定 .....         | 160 |
| 5  | 渡槽 .....           | 164 |
| 6  | 倒虹吸管 .....         | 175 |
| 7  | 涵洞 .....           | 200 |
| 8  | 水闸 .....           | 204 |
| 9  | 隧洞 .....           | 208 |
| 10 | 跌水与陡坡 .....        | 214 |
| 11 | 排洪建筑物 .....        | 221 |
| 12 | 农桥 .....           | 226 |
| 13 | 量水设施 .....         | 234 |
| 14 | 安全监测设计 .....       | 242 |

# 1 总 则

**1.0.1** 渠系建筑物是在灌区或排水区渠道系统上为使渠道通过天然或人工障碍输送水流、控制及合理分配水量、保证渠道安全运用而修建的一系列水工建筑物的总称。

渠系建筑物分布在灌区或排水区的各级渠道上、数量巨大、种类繁多、型式多样、地域特色显著。一些骨干输水渠系建筑物位居关隘山口常常成为灌排区渠道的咽喉性关键工程，大量的渠系建筑物虽然其单个建筑物规模不大，但由于数量众多，故总工程量及在灌排区工程总投资中所占的比例却很大。例如湖南韶山灌区总干渠和北干渠工程总投资中，渠系建筑物投资占 44%，是渠首取水枢纽工程投资的 6.3 倍。尤其值得注意的是，我国 20 世纪 50 年代末至 70 年代初修建的大量渠系建筑物现在已呈现老化病害。据 1992 年对全国大型灌区 225570 座渠系建筑物的统计，需大修的占 13.02%，需加固改造的占 10.84%，需重建的占 9.66%，需要再投入大量的资金和劳力。因此，制定本规范以统一渠系建筑物的设计标准和技术要求，提高设计质量，做到技术先进、安全可靠、经济耐用是十分必要的。

**1.0.2** 大、中型渠系建筑物泛指输水流量大于  $100\sim 20\text{m}^3/\text{s}$  的 1~3 级渠系建筑物。

随着经济及社会发展，当前渠道工程已经广泛应用于灌溉、排水、城镇供水、工业用水、跨流域调水等多个方面，大多具有综合利用性质。由于上述多个方面执行的现行国家和水利行业标准各不相同，具体的建筑物型式各有特色，突出的技术要求各有差异，限于篇幅难以照顾周全。故本规范按灌溉渠道和排水沟道渠系建筑物设计编写，其他方面如有需要，可根据实际自身具体情况参考使用。另外依据当前铁路、公路运输发达或者对水质要求较高，现在渠道内船舶运输较少的情况调查结果，本规范没有

编写通航渠系建筑物的内容，因此，特别强调只适用于非航运渠道。

特大型渠系建筑物泛指输水流量大于  $300\text{m}^3/\text{s}$  的渠系建筑物。为了合理配置水资源，跨流域调水将是 21 世纪中国水利建设的一大特点，此类渠道的渠系建筑物规模常特别巨大。例如南水北调中线工程干渠渠系建筑物的设计流量多在  $500\text{m}^3/\text{s}$  左右，其渡槽槽身的每延米荷载（不包括自重）可为铁路荷载的十几倍乃至二三十倍，在设计理论、结构型式、新材料运用、施工技术等方面均带来一系列需要研究的新问题，故这种特殊重要的特大型渠系建筑物设计需要专门研究。

**1.0.5** 《水工混凝土结构设计规范》（SL 191—2008）采用经多系数分析的单一安全系数  $K$  的表达方式。农桥可按本规范取定汽车荷载，再按照 SL 191—2008 或《公路桥涵通用设计规范》（JTG D60—2004）的规定进行结构设计。

**1.0.6、1.0.7** 本条中明确列举的只是相关规范的一部分，使用本规范时应注意使用相关规范或技术标准的最新版本。

## 2 术 语 和 符 号

### 2.1 主 要 术 语

本节所列举的的名词、术语详见下列标准和文献：

《岩土工程基本术语标准》(GB/T 50279—98)；

《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)；

《水利水电工程技术术语标准》(SL 26—92)；

《农田水利技术术语》(SL 56—93)；

《中国水利百科全书》(水工建筑物分册)。

### 2.2 符 号

本节所列举的和未列举的符号、单位详见下列标准：

《水利水电量、单位及符号的一般原则》(SL 2.1—98)；

《水利水电通用量和单位》(SL 2.2—98)；

《水利水电专业量和单位》(SL 2.3—98)。

## 3 建筑物级别划分和洪水标准

### 3.1 渠系建筑物级别划分

**3.1.1** 本条的渠系建筑物分级标准执行了《灌溉与排水工程设计规范》(GB 50288—99)的规定,同时也照顾到所在渠道因某种理由而提高了工程级别的特殊情况。

**3.1.2** 渠系建筑物与铁路或公路工程分级指标的型式、内容互不相同,两者从指标值上难以比较,已成工程的业主也常常会要求较高的级别。本条强调应按相交工程中最重要工程的工程级别和特殊要求为准的原则,实事求是地积极协商确定。

**3.1.3** 堤防工程级别遵循《堤防工程设计规范》(GB 50286—98)规定确定。堤防上修建的渠系建筑物与堤防同时起挡水作用,不能因渠系建筑物失事导致堤防破坏而造成损失,故规定渠系建筑物级别不应低于堤防工程的级别。

**3.1.4** 与其他建筑物结合修建的渠系建筑物,只有按其中的最高级别确定其工程级别才能有效地保证共同安全。例如公路桥与水闸或与渡槽结合修建,则应以两者中级别高者为准确定该建筑物的级别。对于多用途的渠系建筑物,例如用于灌溉、城镇和工业企业供水的渡槽,则应按上述不同行业规定的级别最高者确定。

**3.1.5** 所处位置或者作用特别重要者和“失事后将造成重大灾害和损失者”,主要指失事后将会给人、设施、环境或工程自身造成重大损失或严重后果的渠系建筑物;“大跨度”一般指40m以上的跨度;“高支撑”一般指高度在30m以上的支撑结构;“高水头”一般指15m以上的水头;“大落差”一般指10m以上的落差。提高渠系建筑物的级别还应经主管部门批准后方可执行。

## 3.2 洪水标准

**3.2.1** 本条引自 GB 50288—99 表 3.3.3，并取该表表列上限值。

本规范将渠系建筑物与灌排建筑物同等看待，综合 GB 50288—99 表 3.3.3 及其注解内容写成本条文。如果存在需要将渠系建筑物与渠道同等看待的情况，可以说明具体情况并按照 GB 50288—99 有关规定选择合适的防洪标准。

**3.2.2** 表 3.2.2 引自 GB 50288—99。潮汐河口（兼挡潮）渠系建筑物的安全主要与潮汐水位有关，因此若按表 3.2.2 确定的设计洪水位低于当地历史最高洪（潮）水位时，应将当地历史最高洪（潮）水位所对应的洪水作为校核洪水标准。

设计洪水依靠概率统计、经验或推理公式分析计算，除洪水流量外，还有洪水位、洪量和洪水历时过程等要素。应强调采用历史洪水调查方法、类比分析和调查已成同类工程成功经验的方法综合分析得出结论，以更全面地保证渠系建筑物的安全。

## 4 基本规定

### 4.1 建筑物类型选择

**4.1.1** 渠系建筑物的设计，包括其服务对象和范围、规划布局、座数、设计方案、结构型式、施工方法、投资以及在某等级同一条渠道上所有渠系建筑物产生的总水头损失值等，均应满足渠道工程总体设计的要求。

**4.1.2** 属于渠系建筑物但已有专门规范的抽水和发电建筑物，本规范不再重复规定。

**4.1.3** 渠系建筑物设计在经济发达地区可优先采用斜拉式桥（渡槽）、预应力混凝土结构等先进技术和精密量水等仪器设备。同时应满足各地区渠道可能突出存在的抗冻、抗震、防泥沙淤积等特殊要求，并应优先采用已往的成功经验。

**4.1.4** 同一条渠道（指一条干渠、支渠或斗渠）上初步拟定的所有渠系建筑物的水头损失和造价之和，不能大于渠道规划给定值。

### 4.2 总体布置原则

**4.2.2** 本条所述的“急坡”是指渠道纵坡大于其临界坡度的水力学专用名词。由于急坡所具有的水力学特性，如不遵照此条规定，将会发生分水闸引不进足够的水、下游产生冲击折射波强烈冲刷渠槽、水流跃出渠槽等严重后果。

**4.2.3** 渠道长度和范围大，渠系建筑物有条件时应尽量避开不良地质渠段，或者在不良地质渠段中选用比较容易处理的渠段，努力降低地基处理费用和缩短处理时间。当受条件限制，渠系建筑物确需修建在不良地质渠段上时，则应分析研究采用适宜的布置方案、结构型式和工程措施使其达到设计要求。例如渡槽，当通过地段的地基承载力不满足要求时，既可采用轻型结构并减小

跨度来减轻上部荷载，也可采取地基加固措施提高地基承载力，还可采用深基础把上部结构荷载传至坚固的深层地基或与地基产生摩阻力的方式承载。

**4.2.4** 做到本条对几种建筑物布置原则的规定，则可基本满足水力条件好和工程量小的要求。条文中采用“宜”字的规定还兼顾了其他因素的综合要求。例如，分水闸或设于渠道一侧的泄水闸，其中心线与上级渠道中心线的夹角不宜为  $90^\circ$  以有利于引水、泄水。连接与渠道斜交公路的农桥在安全范围内也可不是正交以方便交通等。

**4.2.5** 明流流态的水头损失较小，能使渠道控制较大的灌溉面积。

**4.2.6** 为确保人身安全必须采取相应措施。

**4.2.7** 制定安全运行规程、操作制度和进行安全监测设计，都是有利于渠系建筑物安全保障的规定。

### **4.3 结构设计计算基本规定**

**4.3.1** 采用外形优美的新结构需要额外的资金支持，故本条对使用范围作出了一定限制。

**4.3.4** 根据全国经验，使用强度等级为 C25 以上的混凝土所增加的投资有限，但混凝土的抗碳化能力有很大提高。在重要部位如渡槽槽身、倒虹吸管管壁、涵洞洞壁、隧洞混凝土衬砌等部位，止水发生破坏的可能性较大，采用两道不同型式止水的规定是确保建筑物安全正常运行的必要措施。

**4.3.5** 作用于各种渠系建筑物上的荷载及荷载组合是不同的。本条按照《水工建筑物荷载设计规范》（DL 5077—1997）附录 A 的分类并增加了部分内容写成，符合 SL 191—2008 的要求。

**4.3.8~4.3.13** 这几条指出了 DL 5077—1997 缺失的几种荷载的计算方法。其中关于渡槽风压力及温度荷载计算说明如下：

长期以来渡槽的风压力一直参照《工业与民用建筑结构荷载规范》（TJ 9—74）及其以后的修订版给出的方法及公式进行计

算。但渡槽和工业与民用建筑有较大区别，特别是风压力公式中的风载体型系数，工业与民用建筑不能完全概括渡槽的体型情况。近些年，同济大学土木工程防灾国家重点实验室根据水利工程中出现的渡槽风毁情况，对渡槽进行了风洞实验，提出并发表了有关研究成果，其风载体型系数  $u_s$  值见附录 A.0.5 表 A.0.5-3 中的槽身部分。该表中的排架、拱圈及槽墩的风载体型系数参考《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 21—89) 确定，桁架部分则主要参考《建筑结构荷载设计规范》(GB 50009—2001) 确定。在计算排架或拱肋风压力时，是否考虑前肢（或肋）对后肢（或肋）的影响，视渡槽布置情况决定，为安全计通常不予考虑。表 A.0.5-1 的风振系数  $\beta_z$  取自 TJ 9—74。对于重要的高排架梁式渡槽的抗风计算还应参考有关书籍进行。

温度荷载对大体积水工混凝土建筑物的影响一直受工程界重视，但对于渠系建筑物的影响则研究甚少。从国内已建渠系建筑物的情况看，如渡槽、倒虹吸管，基本上是无槽不裂、无管不裂，这与设计中未充分考虑温度应力有密切关系。由于渡槽、倒虹吸管长期经受持续变化的日温、日照辐射及槽、管内水温的影响，并在外表面与外界进行着持续复杂的热交换，产生了相当大的温度应力。温度变化主要来自两方面：一是施工期混凝土在凝固过程中发生的水化热引起混凝土体内温度发生变化；二是混凝土结构在运行期间，受周围介质温度变化而导致混凝土结构发生温度变化。为此，除应分析探索渡槽、倒虹吸管的温度应力计算方法之外，更重要的是设计中必须采取遮阳、苫盖、埋藏等针对性强的保温措施，只有将温度变差降低到最小程度的前提下，才有可能有效防止因温度变化而引起的混凝土开裂。本规范附录 A.0.4 给出了渡槽及倒虹吸管温度荷载的计算方法，温度应力可由结构力学方法求得。

**4.3.14** 荷载组合应根据本规范各章的有关规定选用，还可根据具体情况增加可能出现的最不利荷载组合。

## 4.4 地基处理原则

**4.4.1** 地基处理费用占渠系建筑物总造价的比例常较大，因此对不良地基首先应设法避开，其次应避重就轻，实在不得已时才对不良地基采取处理措施。

**4.4.2~4.4.6** 地基处理的方法很多，发展也很快，建筑、公路、铁路行业均单独发布了地基处理规范。为减少篇幅本规范只提示性的作了原则规定。

**4.4.7** 地基处理方案其实是与渠系建筑物的总体布置、水力设计和结构设计方案一起反复比较而同时确定的。

## 5 渡 槽

### 5.2 总 体 布 置

**5.2.2** 渡槽位置选择主要是选定渡槽中心线及槽身起止点位置。渠系规划布置时,已从全局考虑确定了渡槽的位置。对于地形、地质条件简单且长度不大的渡槽,一般无多大选择余地。对于地形、地质条件复杂、长度大的大、中型渡槽,渠系规划布置所定的跨越溪谷、河流的槽址位置常是不确定的,可在数十米、数百米乃至数千米范围内变化。可以找寻地质条件较佳的位置,还可以用渠道沿河沟绕向上游后再设渡槽以求减小渡槽的跨度或降低高度等。特别是对跨越宽度很大的河流的大型渡槽,当河势复杂、每延米渡槽造价又很高时,往往应找出几个较好槽址的位置,通过方案比较论证后选定。

对于跨越较大河流的大、中型渡槽,其长度和跨度的确定以不对当地防洪排涝规划造成大的影响为准,为此宜进行壅水计算,就初拟渡槽长度和跨度复核各有关频率洪水对应的河道最高洪水位,并通过分析论证最后确定渡槽长度。

**5.2.4** 渡槽进、出口建筑物包括进、出口渐变段与连接段、槽跨结构与两岸渠道的连接建筑物(槽台、挡土墙等)以及为满足运用、交通和泄水等要求而设置的建筑物。

渡槽进、出口建筑物尽可能落在挖方渠道上,如因条件限制需落在填方渠道上时,根据经验,填方高度(从渠顶算起)宜在6~8m以内,且应做到填方沉陷小、接头可靠。但此数值仅供参考,实际工程中应结合当地具体情况综合考虑。

槽身与两岸渠道或其他建筑物连接处,应做好防渗排水处理,以防止接缝漏水而影响渠坡及渡槽安全。对于大、中型渡槽,必要时应进行防渗计算,验算渗流逸出处的渗透稳定性,以免发生管涌或流土,危及渡槽进、出口的安全。

渐变段与槽身间常因各种需要再设置一节连接段，其作用是：对 U 形槽身，设连接段与渐变段末端矩形断面连接；因交通要求布置交通桥或人行桥；为停止灌溉或轮流（多槽式）检修等目的而设节制闸或留检修门槽；伸入渠道填土边坡或岸坡内与渐变段连接等，故其长度应由布置要求决定，其与渐变段间的接缝需设止水。

渡槽进、出口两端的急弯会造成槽内水流不平稳或发生壅水现象，严重影响渡槽过流能力。重要渡槽宜通过水工模型试验检验弯道的布置效果。

渐变段两侧一般为挡土墙结构，其型式与长度直接影响工程量的大小和施工难易。收缩角或扩散角愈小，则水流条件愈好，水头损失愈小，但渐变段长度随之增加，工程量及造价会提高。故应通过分析比较，选择经济合理的长度（收缩角或扩散角）。

渡槽槽身接缝漏水是一普遍现象，已成为严重威胁渡槽安全运行和浪费水量的突出问题，在设计和施工中应给予高度重视。止水型式主要是选择止水结构型式及止水材料。在结构型式上，宜采用既能适应变形又不致于在止水带中产生较大应力，并做好接缝口设计。在止水材料方面，应根据渡槽伸缩形状、变形和运行环境等因素综合考虑选择。当前，特别需要对大型、特大型渡槽提出 1~2 种适宜的复合止水的构造及其相适应的材料。

## 5.3 结构型式和构造

**5.3.1** 渡槽结构型式的选择主要是选定槽跨段各组成部分（槽身、支承结构及基础等）的结构型式、材料和跨度。

梁式、拱式及桁架式渡槽是较常用的渡槽型式。斜拉式渡槽是以墩台、塔架为支承，用高强缆索将梁以弹性支承型式吊挂在塔架上的输水结构。斜拉结构较早地用于桥梁，20 世纪 80 年代开始在渡槽中引入了这一结构型式。20 世纪 80 年代末在渡槽工程建设中应用了拱梁组合式这一新型结构型式，拱梁组合式是用槽身作为桁架拱的上弦杆，和竖杆（排架）、下弦杆（拱）组成

整体，联合作用、共同受力。 $\pi$ 形拱渡槽是最简单的拱梁组合式渡槽，即用两根斜杆代替竖杆和下弦杆，与槽身组成联合受力的 $\pi$ 形刚架。

对于大型、特大型渡槽，其荷载特别巨大，纵向支承以梁式为主。地形、地质条件对渡槽结构型式选择起重要作用。如地形平坦、槽高不大，以采用梁式渡槽为好；对窄深的山谷地形，如两岸地质条件较好，宜建大跨度拱式渡槽；又如对跨越河流的渡槽，假如河道水深流急、槽底距河床高度大，而滩地部分的槽底距地面高度不大，则可在河槽部分采用拱式或其他型式的大跨度渡槽，在滩地则采用梁式、桁架式或中、小跨度拱式渡槽等，以便缩短工期，降低造价。对地形、地质条件，既可采用不同结构型式来适应，也可采取措施使其向有利方向转化。例如，当地基承载力低时，可采用轻型结构并减小跨度来适应，也可采取工程措施提高其承载能力。建筑材料有时对决定渡槽类型起重要作用，应贯彻就地取材和因材设计的原则。在施工上，除考虑尽可能利用原有技术力量设备外，采用何种施工方法还应根据渡槽规模、可使用的经费、施工场地和交通运输条件、施工进度要求等，综合分析比较后选定。

**5.3.2** 目前在大、中型渡槽工程中，愈来愈多地采用了预应力钢筋混凝土结构，它可以显著地提高渡槽的承载力及抗拉能力以减少裂缝、减轻自重、加大跨度。根据槽身在使用阶段的受力状态，可在槽身纵向，或纵、横两向，或纵、横、竖三向施加预应力。施加预应力方法有先张法和后张法，渡槽工程多用后张法。但采用预应力需增加机具设备，施工方法也较复杂，相应地也增加了投资，这里有一个经济比较问题，应针对每一工程的具体情况经技术经济比较论证后选定。

**5.3.3** 中、小型渡槽槽身横断面采用的是单槽的矩形和 U 形断面型式，当跨度及槽身荷载较大时，为减小槽壁厚度可于槽身横向加肋或槽底设置纵梁。多厢互联式矩形槽是近些年为适应如南水北调这样一些过水流量很大的特大型渡槽的需要而发展起来的

一种型式。其特点是，在槽中加设纵向隔墙，将输水结构与承重结构相结合，承载力大大增加，并可提高渡槽的纵向跨越能力，减少下部支承结构的工程量，但分槽不宜过多。U形渡槽若采用多槽互联，仅在直壁段互联，节省材料有限，但施工复杂，故采用多个单槽型式更合适。

对于跨宽比不小于4的梁式U形槽身，槽底弧形段常加厚是用以加大槽身纵向刚度并便于布置纵向钢筋。但对于跨宽比小于4的U形槽身，计算研究表明，横向应力是控制条件，底部若加厚，反而使横向应力状态恶化。

**5.3.4** 梁式渡槽纵向结构型式除简支梁式、双悬臂梁式外，还有单悬臂及连续梁式。单悬臂梁式一般只在双悬臂梁式向简支梁式过渡或与进、出口建筑物连接时采用。连续梁式槽身虽较简支梁式槽身受力条件好，但各支点较难保证连续梁式的支承要求，因而对地基要求高，故采用较少。条文中给出简支梁式和双悬臂梁式的常用跨度及每节长度范围仅是统计的一般情况。大型渡槽采用预应力结构后，其跨越能力大大提高，采用较大的跨度较为经济，而且外形协调、美观。在同样槽身断面尺寸条件下，如何结合支承方式，进行经济跨度的选择是需要多方案技术经济比较才能解决的问题。

**5.3.5** 跨度、矢高、拱宽及拱脚高程是主拱圈（也是拱式渡槽）的基本尺寸，这些基本尺寸一经选定，主拱圈的应力及稳定便基本定局。矢跨比的选定将影响到拱圈的力学特性、拱圈的变形、稳定及施工难易等一系列问题，过大或过小均不利。条文中给出的矢跨比的选用范围是根据实践经验得出的，可供参考。

宽跨比对主拱圈的横向稳定性影响很大，为了满足横向稳定，一般要求宽跨比大于 $1/20$ 。但该值并不能确切表明主拱圈的横向稳定性，我国一些大跨度渡槽，宽跨比虽小于 $1/20$ ，但拱在横向仍是稳定的。反之，如果拱结构的刚度和整体性差，宽跨比虽大于 $1/20$ ，拱在横向仍可能是不稳定的。为了有效地增强这类大跨度、小宽跨比渡槽的侧向稳定性，近些年，我国先后

修建了一批拱体变宽、造型新颖、布局轻巧的板拱及肋拱，其跨径在 80~100m 以上，最小宽跨比达  $1/50 \sim 1/40$ ，取得了良好效果。实践表明，采用变宽拱是解决大跨度、小宽跨比的渡槽侧向稳定的合理造型。合理选择主拱圈拱轴线型式是减小拱圈内最大压应力，减小甚至避免出现拉应力的重要措施。一般小跨度拱式渡槽的主拱圈可采用圆弧拱；跨度较大的实腹式和横墙腹拱式拱上结构下面的主拱圈宜采用悬链线拱；跨度较大的排架式拱上结构下面的主拱圈常采用二次抛物线拱或高次抛物线拱。

**5.3.6** 梁式桁架是指在铅直荷载作用下，支承点只产生竖向反力的桁架，其作用与梁同，称梁式桁架。有简支和双悬臂两种型式。桁架梁式渡槽与梁式桁架不同的是，以矩形截面槽身的侧墙和  $1/2$  槽底板（呈 L 形）取代梁式桁架的下弦杆或上弦杆而成，取代下弦杆的称下承梁式桁架渡槽，取代上弦杆的称上承梁式桁架渡槽。

拱式桁架渡槽由于兼备桁架和拱结构的有利因素，故能充分发挥材料的受力性能，其主要缺点是杆件较纤细，制作较复杂，耐久性差，对混凝土浇筑和施工吊运要求较高。但由于其优点较多，如果在承受拉力的弦杆（如下承拱式桁架的下弦杆）再结合施加预应力，则其优点更为突出，故在一些流量较大的渡槽中采用较多。目前，南水北调工程中的一些特大型渡槽在方案比较中也采用了桁架拱渡槽。

**5.3.7** 混合式墩架不仅用于跨越河流的渡槽，当槽高较大，用加大立柱截面尺寸以满足稳定要求不经济时，或位于两岸山坡上的排架，为了防止排架立柱因承受土压力而断裂时，均宜采用下部为重力墩，上部为排架的混合式墩架。这时，重力墩以上的排架高度由柱的稳定（纵向弯曲）计算决定。

桩柱式槽架的桩柱在横槽向可以是单根、双根或多根，在柱顶浇筑盖梁，其上搁置槽身。槽架高度大于 6m 时，两柱间应设置横梁。

对于两种跨度不等的不对称槽墩，应采取措施来改善墩体及其地基受力条件，满足稳定和强度要求。一般采取的措施是，跨度大的一侧宜采用较大的矢跨比和较轻的拱上结构并降低拱脚高程；跨度小的一侧则采用较小的矢跨比和较重的拱上结构并抬高拱脚高程。

在实际工程中，除多跨拱式渡槽每隔 3~5 跨应设一加强墩外，有的多跨单排架工程，当跨度小于排架高度时，也每隔 3~5 跨设一加强墩。

**5.3.8** 橡胶支座已经广泛应用于桥梁工程中，近年来在渡槽工程中也有大量应用，尚未见到不良事故报道，应进一步总结经验。

## 5.4 水 力 设 计

**5.4.1** 对于长渡槽，其总水面降落采用能量方程计算，见附录 B 中第 B.1.2 条的公式 (B.1.2-1) ~ 公式 (B.1.2-5)，4 级、5 级渡槽也可按附录 B 中第 B.1.2 条的公式 (B.1.2-6) ~ 公式 (B.1.2-8) 简化计算。对于短渡槽，因公式 (B.1.1-2) 及公式 (B.1.1-5) 已是按总水面降落计算，可不再进行总水面降落计算。

槽身最末端底部高程及渡槽出口端下游渠道底部高程，应按渡槽通过设计流量工况进行水面衔接计算，然后按附录 B 中第 B.1.3 条的公式 (B.1.3-1) ~ 公式 (B.1.3-3) 确定。

按设计流量工况确定了渡槽各处底部高程后，还应按通过加大流量工况进行水面衔接校核，控制槽身首末端及渡槽上、下游渠道中不存在太大的壅水、落水现象。通过加大流量时，上游渠道中水面壅高值不宜超过渠道水深的 1%~3%，且留有足够的渠道超高。

对于进、出口渐变段的局部水头损失系数国内外均做了大量研究工作，指出局部水头损失系数不仅与渐变段型式有关，还受水面收缩（扩散）角的影响。现有各种资料列出的进、出口局部

损失系数  $\xi_1$ 、 $\xi_2$  均有出入，而且每种渐变段型式所列值均有一定变化范围，使局部水头损失系数的选用带有一定的任意性。不过对于长渡槽，如果所选用的损失系数值不是相差很悬殊，计算成果的出入并不大。因此，对于允许水头损失值较大的中、小型渡槽，可按附录 B 中的表 B. 1. 2 取用  $\xi_1$ 、 $\xi_2$  值；但对于允许水头损失值很小的大型渡槽，则应通过水工模型试验求得合理的  $\xi_1$ 、 $\xi_2$  值。水流通过渡槽的总水头损失  $\Delta Z$  中，进、口水头损失之和常在 0.1~0.3m 之间，故长度大的渡槽， $\Delta Z$  值主要决定于槽身的沿程水头损失  $Z_2 = iL$ ，即主要决定于槽底纵坡  $i$ 。但  $i$  值的选择不仅影响渡槽的总水头损失，而且还对槽身过水面积、槽中流速、工程量大小、工程总投资以及自流灌溉面积的大小等均将产生一系列影响，故  $i$  值的选定在渠系规划布置中即应引起充分注意，以免造成工程设计的被动局面而增加设计工作量和拖延设计时间。

实际工程中，部分渡槽进口前设有泄水闸，而且由于地形条件限制及为了减少工程量，泄水闸多紧靠槽身设置在进口一侧，使进口连接段变成不对称型式，这种不对称布置的进口连接段，其局部水头损失系数应较对称布置情况下进口渐变段的值为大，初步考虑时，进口局部水头损失可采用 0.3m，准确值应通过水工模型试验确定。

在寒冷地区，渡槽出口端与渠道的连接宜设计为正坡，以免冬季停灌后，渠道或建筑物结冰，造成冻融破坏。

本条第 6 款所述的河床冲刷问题十分复杂，对于重要渡槽或跨越大江大河的渡槽，常常是采用多种方法进行分析比较。例如，南水北调中线穿黄河工程比较方案中的弧柏嘴穿黄渡槽槽墩的局部冲刷，主要是依靠局部模型试验，但同时也将试验值与计算值、黄河实测的桥墩冲刷深度以及本河段的整体模型试验等进行分析对比，从而定出最大局部冲刷深度。对于跨越河流的一般渡槽，则常用公式计算确定。如果选用的计算公式中所需资料数据无十分把握，应将基底埋深

安全值适当加大，并参考槽址附近条件类似桥墩冲刷深度加以确定。目前在渡槽工程中采用较多的是《公路工程水文勘测设计规范》(JTG C30—2002)中的公式。

河床自然演变的冲刷深度，目前尚无可靠的计算方法，一般多通过调查或利用槽址上、下游水文站历年实测断面资料，根据河道特性及历史演变情况，据以分析确定。

**5.4.2** 渡槽布置型式多样，常出现由于渡槽布置型式、出口转弯过急、下游渠道横断面、纵坡变化等情况而影响渡槽过流能力的事例，因此强调对大型、重要渡槽进行水工模型试验是必要的。

## 5.5 结构设计

**5.5.6** 进行矩形槽身纵向结构计算时，对于简支及等弯矩双悬臂梁式槽身的跨中部分底板，因处于受拉区，故在强度计算中不考虑底板的作用，但在抗裂验算中应加以考虑。如底板处于受压区（双悬臂梁式槽身），只要底板与侧墙的结合能保证整体受力，就应按翼缘宽度的规定计入部分或全部底板的作用。对于 U 形槽身，由于断面型式较复杂，纵向配筋多按总拉力法计算，即考虑受拉区混凝土已开裂，不能承受拉力，因而形心轴以下全部拉力由钢筋承担。

对于大、中型预应力槽身结构，其三维受力效应明显，设计中宜采用梁理论与弹性理论相结合的分析方法，即先按常规的结构力学方法，分别按纵向和横向进行内力计算，并以此初步确定预应力筋及普通钢筋数量并进行钢筋布置，然后分析结构在外荷载作用及预应力作用下的应力，进行初步的抗裂验算。但上述结构力学分析方法难以反映大型预应力槽身结构的应力分布以及纵、横、竖向相互影响的空间效应，故在结构及配筋方案基本确定后，需再进行槽身结构三维有限元分析验证。

**5.5.7** 关于 U 形槽身端肋的结构计算，还可参考杂志《湖南水利》1983 年第 3 期刊登的《介绍 U 形渡槽支座计算》一文的

方法。

**5.5.8** 根据主拱圈组合内力验算主拱圈强度及稳定性时应注意，对跨度较大的空腹拱式渡槽主拱圈，最大弯矩及相应的应力不一定产生在拱顶及拱脚截面处，而产生在靠近拱顶和拱脚的集中力作用的截面处，如果这些截面的尺寸满足安全要求，而且也不保守，则认为原拟结构尺寸合适。否则，应根据验算成果调整结构尺寸，再作验算。

土质地基上的超静定拱，墩台位移后引起拱的塑性变形，计算墩台位移引起的拱圈附加应力应考虑塑性变形的影响，将其按弹性变形计算的附加应力折减 50%。

本条第 5 款所述关于计算偏心受压构件（钢筋混凝土主拱圈）时，应考虑构件在弯矩作用平面内挠曲对轴向力偏心距的影响问题，因内容较多，详细应执行 SL 191—2008 第 7.3 节规定。

**5.5.10** 中、小型渡槽荷载不是很大，采用的是一端两支点的支承方式。但对于大型渡槽，如南水北调工程中的渡槽，荷载巨大，一般采用多槽型式，当选用矩形断面时，往往多槽互联，此时，槽身两端形成多点支承，支座变位及承载力分布十分复杂，应进行专门研究分析。支座的材料及结构型式对渡槽的减震效果影响很大，地震烈度 6 度以上地区的大型渡槽应包含支座结构进行整体动力有限元分析和抗震性能的试验研究。

## 5.6 地基与基础

**5.6.1~5.6.3** 水利行业没有专门的地基与基础的行业标准，设计时主要参考其他行业标准，过去参考使用较多的是《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG D63—2007）、《铁路桥涵地基与基础设计规范》（TB 10002.5—2005）、《公路钢筋混凝土及混凝土预应力桥涵设计规范》（JTG D62—2004）、《建筑地基与基础设计规范》（GB 50007—2002）。这些规范，有的采用允许应力设计法，有的采用以概率论为基础的极限状态设计法，而且表达式也不同。在参考使用其他行业标准设

计渡槽基础时，必须充分注意渡槽的特点。其最大特点是，基础所受竖向荷载远大于工业民用建筑及公路、铁路桥梁，而且还受水环境对它产生的许多直接作用以及由风和浪等所产生的巨大水平力作用，这就使其在设计理论和施工技术中有许多需要考虑的特殊问题，如基础类型的选择、基础埋深的确定、外荷载的计算以及地基承载力与沉降量的确定等。这些均不能完全套用工业与民用建筑和桥梁的地基基础设计规范，应对所设计渡槽的基础的各种影响因素进行综合分析后，通过研究，必要时进行试验来加以确定。

**5.6.9** 在我国大、中型渡槽工程中，桩基采用较多，这是因为大、中型渡槽的荷载一般较大，而槽址处地基情况往往很复杂，整个槽段地基均较好，并能满足承载力及沉降量要求的不多见，故在大、中型渡槽中桩基使用较广泛。据不完全统计，在大、中型渡槽中，整个槽段或部分槽段采用桩基的占50%以上，可见桩基使用的普遍性。对于特大型渡槽，由于其上部荷载特别巨大，地基承载力往往难以满足要求，更是需要采用桩基。在渡槽桩基中又以技术比较成熟的钻孔灌注桩使用得最多。钻孔灌注桩可作为排架或重力墩和槽台等的基础，也可向地面以上延伸而做成桩柱式槽架。

在桩基设计中，渡槽工程过去使用较多的规范有《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)、《建筑地基与基础设计规范》(GB 50007—2002)。渡槽工程桩基设计时，应结合渡槽的结构型式及所在地的具体实际情况选择合适的规程及设计方法。在桩基设计中，桩基承载力的确定是关键，其计算公式很多，规范所用公式也不尽相同，故应结合所设计渡槽的具体情况采用合理的公式。单桩竖向承载力有现场静荷载试验法及静力学公式计算法。对于重要的大型渡槽，宜通过现场静荷载试验，并结合静力触探、标准贯入等原位测试方法综合确定。单桩水平承载力常用“m”法进行计算，大量试验和工程实践证明，“m”法比较符合实际。单桩水

平承载力的确定有水平静载试验和计算分析两类方法，水平静载试验最能反映实际情况。

需要指出的是，对于上部荷载特别巨大的大型及特大型渡槽的桩基设计，现有的桩基技术规范存在着许多不足，故需结合渡槽实际情况进行深入研究，使渡槽基础的设计更加符合安全可靠、经济合理的原则。

**5.6.11** 沉井基础是铁路部门习惯采用的成熟技术，特点是不需要钻机等大型设备，依靠人工便可施工，适用于多个基础同时施工、上部荷载大、覆盖层厚度小于 30m、没有顽石树根等不易粉碎挖出的障碍等情况。

## 6 倒虹吸管

### 6.2 总体布置

6.2.2 有关倒虹吸水管线的布置原则说明如下：

(1) 采用直线、正交布置的管线通常工程量较小；

(2) 高差大的倒虹吸管，其管身露天敷设虽有开挖工程量小、便于检修的优点，但在气温影响下内、外管壁将产生较大温差，易引起纵向裂缝而漏水，故钢管以外的倒虹吸管一般均浅埋于地面以下。试验表明，管道埋于地面下对减小温差应力的作用较显著。同时试验还表明，当埋深大于 0.8m 时减小内、外壁温差的作用已不明显，且增大了土压力及填土工程量，故埋深一般以 0.5~0.8m 为宜。其余情况的埋深均出于管道安全的要求；

(3) 倒虹吸管内应无空气，以免发生气蚀破坏；

(4) 倒虹吸管两端可采用斜（缓）坡式结构或竖井式结构。一般来说，岸坡较缓者，宜采用斜（缓）坡式结构；反之，岸坡较陡或者流量不大、压力水头较小的跨路工程，则采用竖井式结构且井底常设 0.5~0.8m 的集沙坑。一般来说，竖井施工的难度和造价大于斜（缓）坡式结构，但因当地具体条件所限，较大型甚至大型的工程也有采用竖井式结构的。如重庆主城区过江排污工程，设计流量  $16.2\text{m}^3/\text{s}$ 、工作水头 67.5m、横穿长江河段水平长 900m，为三条  $D=2\text{m}$  圆形断面的隧道，进出口两端均采用竖井式布置。又如南水北调穿黄河工程的孤柏咀倒虹吸管，采用两条  $D=8.2\text{m}$  的隧道，长 3.5km，每条隧道的设计流量为  $220\text{m}^3/\text{s}$ ，加大流量为  $250\text{m}^3/\text{s}$ ，进口利用施工竖井采用竖井式结构，为便于将来检修，出口布置为斜井式。再如南水北调穿越白河的渠道倒虹吸管，河道宽 2000m、其中主河宽 500m，设两个并排箱体，每箱设 2 孔，每孔过流能力为  $82.5\text{m}^3/\text{s}$ ，两岸进、出口均采用 1:4 的斜井型式。总之，倒虹吸管两岸进、出口型

式的确定应因地制宜、通过仔细的技术经济比较后确定。

**6.2.3 管道型式**包括管道、管床选型、管身布置型式和管道材料选择三方面内容：

(1) 倒虹吸管的断面型式主要有圆形与矩形两种。圆形断面由于受力条件及水力条件均好，以往多采用圆形断面，只有小型跨道路工程（管径  $D \leq 600\text{mm}$ ）采用矩形断面。随着引滦入津、南水北调和平原区大型灌区的发展，许多低水头、大流量倒虹吸管工程为方便施工，多采用矩形箱涵。例如南水北调滹沱河倒虹吸，设计流量  $170\text{m}^3/\text{s}$ ，加大流量  $200\text{m}^3/\text{s}$ ，采用矩形箱涵式钢筋混凝土管身，为 3 孔一联结构，单孔断面  $6.0\text{m} \times 6.2\text{m}$ 。又如北京永定河倒虹吸，设计流量  $Q = 50\text{m}^3/\text{s}$ ，加大流量为  $60\text{m}^3/\text{s}$ ，采用 4 孔一联，单孔断面为  $3.8\text{m} \times 3.8\text{m}$  的矩形箱涵式。目前的工程现状是：高、中水头的小流量倒虹吸管多采用圆形断面，低水头、大流量倒虹吸管，多采用矩形箱式断面。结合地形、地质条件和管座型式，经过论证还可以采用其他合适的断面型式。

(2) 管身通常采用地埋式和露天桥式两种布置型式，应视当地的地形、地质条件、河沟水文气象条件以及运行要求，经技术经济比较而定。一般来说，地埋式比桥式经济，但通过深沟大河时也常采用桥式露天布置。例如深圳大坝河倒虹吸管，系深圳市东部供水水源工程跨大坝河穿越坑梓—坪地公路的建筑物，总长  $951\text{m}$ ，设计流量  $30\text{m}^3/\text{s}$ ，工作水头  $35\text{m}$ ，采用长  $840\text{m}$  的两根  $\phi 3100\text{mm}$  钢管，其中管桥段长  $159\text{m}$ ，最大跨度  $30\text{m}$ 。又如湖南欧阳海灌区大市倒虹吸管，设计流量  $20\text{m}^3/\text{s}$ ，工作水头  $18\text{m}$ ，跨末水段采用桥式结构共 14 跨，每跨宽  $28\text{m}$ 。

(3) 在管道材料选择时，应综合考虑地形、地质条件、流量大小、水头高低、建筑材料及施工条件等，其中流量大小及水头高低是主要因素。通常以工作水头  $H$  和管径  $D$  的乘积  $HD$  值来确定各种管道材料的适用范围。目前国内各种管材的实际运用情况如下：

a) 钢筋混凝土管适用于中水头工程（一般水头小于  $30\text{m}$ ，

个别情况下,水头可达 50~60m),管径  $D$  一般不大于 3.0m,  $HD=20\sim150\text{m}^2$ 。当前,国内倒虹吸管圆管的最大管径达 4.8m (东深供水工程)和 3.5m (湖南大市倒虹吸管),例如陕西宝鸡峡漳水倒虹吸管,水头 50m,管道内径 3.25m,  $HD=162.5\text{m}^2$ 。平原区的低水头、大流量倒虹吸管工程多采用矩形箱涵式。其中南水北调河北南沙河倒虹吸管 ( $Q_{\text{设计}}=320\text{m}^3/\text{s}$ ,为 2 孔箱形,每孔内径  $9.6\text{m}\times9.6\text{m}$ ),白河倒虹吸管 ( $Q_{\text{设计}}=330\text{m}^3/\text{s}$ ,采用 4 孔一联  $6.2\text{m}\times6.2\text{m}$  的箱形管道),滹沱河倒虹吸管 ( $Q_{\text{设计}}=170\text{m}^3/\text{s}$ ,为 3 孔一联的箱形管道,断面  $6.0\text{m}\times6.2\text{m}$ )是目前国内断面尺寸最大的几个矩形箱涵式倒虹吸管。

b) 预应力钢筋混凝土管 (PCP) 较钢筋混凝土管具有更高的弹性、不透水性和抗裂性,可以承受更高的水头。一般情况下管径在 2.2m 以内,工作水头 40~80m,  $HD=100\sim300\text{m}^2$ 。国内采用 PCP 管的倒虹吸管最大水头 212m,相应管径  $D=1.25\sim1.30\text{m}$ 、 $HD=275.6\text{m}^2$ 。湖南新安铺倒虹吸管  $D=2.0\text{m}$ 、 $H=140\text{m}$ 、 $HD=280\text{m}^2$ 。

c) 预应力钢筋混凝土管 (PCCP) 是我国近年来在大、中型输水工程中广泛采用的一种新管型。参考新疆三个泉倒虹吸管 ( $H=160\text{m}$ 、 $D=2.8\text{m}$ 、 $HD=448\text{m}^2$ ) 和南水北调北京总干倒虹吸管双排 ( $D=4.0\text{m}$ 、 $H=60\text{m}$ 、 $HD=240\text{m}^2$ ) 的实际工程经验,目前国内 PCCP 管的适用范围为  $HD=200\sim500\text{m}^2$ 。

d) 玻璃钢夹砂管 (GRP) 具有质量轻、高强、耐高温、防腐蚀等特性。参考新疆小洼槽倒虹吸管 ( $D=3.1\text{m}$ 、 $H=46\text{m}$ 、 $HD=142.6\text{m}^2$ ) 等工程的经验,目前国内玻璃钢夹砂管应用的  $HD=100\sim200\text{m}^2$ 。

e) 钢管适用于工作水头在 60m 以上的高水头和地形比较复杂的倒虹吸管。在引水式电站中,广西天湖水电站水头最大,  $H=1074\text{m}$ 、 $D=2.0\text{m}$ 、 $HD=2148\text{m}^2$ 。在倒虹吸管中,昆明掌鸠河引水工程中的岔河倒虹吸管  $H=420\text{m}$ 、 $D=2.2\text{m}$ 、 $HD=924\text{m}^2$ 。目前国内钢管和钢衬混凝土管适用范围为  $HD$

$\leq 1000\text{m}^2$ ;

f) 球墨铸铁管 (DIP) 具有强度大、延伸率高、耐冲击、耐腐蚀等优点, 国内一些中、小型输水工程中已广泛采用。如正在施工中的湖南省长沙市引水工程, 设计流量  $950000\text{m}^3/\text{d}$ , 设计水压  $1.8\text{MPa}$ , 在地势较平坦的  $51\text{km}$  线路上采用了 DN2400、DN2200 和 DN1800 三种球墨铸铁管, 其中跨浏阳河的倒虹吸管采用了双线 DN2000 的球墨铸铁管。

综上所述, 根据已有工程设计、施工经验和各种材料管道的生产技术水平, 将各种材料管道的适用范围推介如附录 C 中表 C.1.1, 供选择参考。

#### **6.2.4 有关进、出口段布置说明如下:**

(1) 倒虹吸管的进水口前是否设置沉沙池, 应根据渠道来水的含沙量多少和渠道的整体设计来确定。一般在黄土高原区、花岗岩地区以及沿渠道坡面来水处理不当、泥沙容易入渠的倒虹吸管进水口前宜设置沉沙池。在沉沙池下游侧还需配套设置冲沙闸, 此闸亦可兼作泄水闸, 冲沙泄洪时与进口节制闸配合使用。

(2) 进水口前拦污栅一般布置在管道进口工作闸门之前, 不宜太靠近管口。拦污栅有活动式及固定式两种, 栅面倾角一般为  $70^\circ \sim 80^\circ$ , 栅条距  $100 \sim 250\text{mm}$ , 采用人工清污时, 过栅流速控制在  $0.8 \sim 1.0\text{m/s}$ ; 采用机械清污时, 过栅流速控制在  $1.0 \sim 1.25\text{m/s}$ 。

(3) 进水口型式应比较圆顺, 具有较好的水流条件, 以减少水头损失, 增大泄量。对大型倒虹吸管, 进水口顶部宜采用椭圆曲线, 侧壁的曲线亦宜圆顺。进水口与管身常用弯道连接, 转弯半径一般采用  $2.5 \sim 4$  倍管径, 如图 1 所示。对于小型工程, 为方便施工, 也可将管身直接插入挡水墙内, 而不用弯管连接, 如图 1 所示。

**6.2.5 封闭式镇墩与管的连接分刚性和柔性两种。**采取刚性连接的镇墩适用于坡度大的斜管且其地基应为岩基或承载力大的较好土基。否则, 应进行地基处理, 以免由于不均匀沉降而使管身

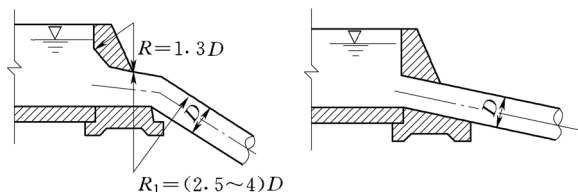


图 1 进水口示意图

产生裂缝，甚至开裂漏水。柔性连接的镇墩适应不均匀沉降，管身伸缩变形能力较好，但施工较复杂。位于斜坡上的中间镇墩，应采取上游端为刚性连接、下游端为柔性连接的型式，使管身纵向只受压不受拉。水平管段可一端做成刚性的；另一端做成柔性的，以适应纵向伸缩变形。

## 6.3 水力设计

**6.3.1 倒虹吸管通过水力设计选定管道横断面尺寸、管道数量和进、出口段各部分的布置型式、尺寸和有关高程。**为此，在渠道工程规划或初步设计中，应给出上、下游渠道的断面形状、糙率、流量、水深、上游渠底高程，同时还应给出倒虹吸管的设计流量和允许的水头损失作为设计计算的条件。

倒虹吸管水力设计和计算的内容包括根据工程具体情况和设计条件，通过工程总体布置和管道的布置，初步拟定管道及其进、出口的布置型式和结构型式，选择适宜的流速和经济过水断面，按压力流公式计算管道的实际水头损失及进、出口的水面衔接。通常存在下列三种情况：

(1) 已知设计流量、倒虹吸管的纵向布置、轴线长度和上、下游渠道水位，要求计算管道根（孔）数和经济过水断面或直径。

(2) 已知设计流量、倒虹吸管纵向布置、轴线长度和允许的最大总水头损失，要求计算所需的管道横断面尺寸及实际水头损失，确定下游渠道水面和渠底高程。

(3) 已知倒虹吸管的纵向布置、轴线长度、管道横断面尺寸和水头损失，验算其过水能力。

当出现在最小流量时进、出口管道没有充分淹没、管内流速和总水头损失不符合设计条件或出口需要消能等情况时，应调整布置和管道横断面重新计算。

**6.3.2 倒虹吸管管内平均流速**一般根据允许的水头损失和管内不淤的允许流速值来选取。平均流速与管材、制造与安装能力和造价有关。水头损失与流速的平方成正比，流速越大，水头损失越大，因此流速的选择对于倒虹吸管，特别对于平原地区水头宝贵的渠道上的倒虹吸管尤为重要。从一些已建和在建工程的统计，倒虹吸管设计流量工况下的平均流速多在  $1.5 \sim 2.5 \text{ m/s}$  范围以内。个别工程为了减少过水断面和工程量，也可适当增加管道平均流速。如南水北调穿越黄河的孤柏咀倒虹吸管工程，通过设计流量  $440 \text{ m}^3/\text{s}$  时，选择了双排  $D=8.2 \text{ m}$  的倒虹吸管，其平均流速达  $4.16 \text{ m}^3/\text{s}$ 。已建和在建倒虹吸管的平均流速见表 1。

表 1 倒虹吸管平均流速选择统计表

| 工程名称     | $Q_{\text{设}}$<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 管径<br>(m)       | 面积<br>( $\text{m}^2$ ) | $v_{\text{平}}$<br>( $\text{m/s}$ ) |
|----------|---------------------------------------------|-----------------|------------------------|------------------------------------|
| 新安铺 (湖南) | 7.5                                         | 2.0 (圆管)        | 3.14                   | 2.39                               |
| 大市 (湖南)  | 20.0                                        | 3.5 (圆管)        | 9.62                   | 2.10                               |
| 黄庄 (山东)  | 176.0                                       | 7-4.2×4.0 (矩形管) | 117.6                  | 1.50                               |
| 四头河 (山东) | 58.0                                        | 4-2.5×2.9 (矩形管) | 29.0                   | 2.00                               |
| 白河 (河南)  | 330.0                                       | 4-6.2×6.2 (方管)  | 153.16                 | 2.15                               |
| 孤柏嘴 (河南) | 440.0                                       | 2-8.2 (圆管)      | 105.62                 | 4.16                               |
| 西赵河 (河南) | 630.0                                       | 8-5.8×5.8 (方管)  | 269.12                 | 2.34                               |
| 小洼槽 (新疆) | 30.5                                        | 2-3.1 (圆管)      | 15.1                   | 2.00                               |
| 三个泉 (新疆) | 30.5                                        | 2-2.8 (圆管)      | 12.32                  | 2.48                               |
| 永定河 (北京) | 50.0                                        | 4-3.8×3.8 (方管)  | 57.76                  | 0.90                               |
| 滹沱河 (河北) | 170.0                                       | 3-6×6.2 (矩形管)   | 111.60                 | 1.52                               |

表 1 (续)

| 工程名称        | $Q_{\text{设}}$<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 管径<br>( $\text{m}$ ) | 面积<br>( $\text{m}^2$ ) | $v_{\text{平}}$<br>( $\text{m}/\text{s}$ ) |
|-------------|---------------------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------------------------|
| 深圳大坝河 (广东)  | 30.0                                        | 2-3.1 (圆管)           | 15.1                   | 1.99                                      |
| 重庆过江隧道 (重庆) | 16.2                                        | 3-2.0 (圆管)           | 9.42                   | 1.72                                      |
| 漳水 (陕西)     | 52.0                                        | 2-3.25 (圆管)          | 8.30                   | 3.13                                      |
|             |                                             | 2.0 (钢管)             | 3.14                   | 3.94                                      |

为了防止泥沙在倒虹吸管内淤积,管道的最小平均流速应大于按附录 C 中公式 (C.1.2-1) 计算的有压管流挟沙流速  $v_{\text{np}}$ 。如  $v_{\text{平}} < v_{\text{np}}$ , 则应缩小管径、增加管道数或加大上下游水面高差。

### 6.3.3 关于水头损失计算说明如下:

(1) 根据工程具体情况,倒虹吸管的总体布置不同时,其水头损失和水面降落计算也因具体布置而各不相同。

如图 C.1.3-1、图 C.1.3-2 所示,一般渠道与倒虹吸进水口之间设一渐变段,平顺连接。水流过渐变段时,由于断面和流速的变化,会产生某一水面落差  $\Delta Z_1$ 。该水面落差  $\Delta Z_1$  可按附录 C 中公式 (C.1.3-2) 进行计算。

水流由进口渐变段末端断面进入进水口,截至出口,由于管道的沿程损失和各个局部阻力的影响,会造成水头损失  $\Delta Z_2$ 。该水头损失  $\Delta Z_2$  可按附录 C.1.3 进行计算。

倒虹吸管道出口与下游渠道之间通常也设渐变段平缓连接。由于能量的转化,将产生某些水面恢复  $\Delta Z_3$ 。该水面恢复值  $\Delta Z_3$  可按附录 C 中公式 (C.1.3-4) 进行计算。

(2) 倒虹吸管的局部损失系数:对于圆形管道按附录 C.1 选取。对于矩形压力管的局部损失系数,目前研究尚不充分,一般也仿照圆形管的局部损失系数来选取。鉴于南水北调采用矩形断面的倒虹吸管较多,长江科学院选择西赵河渠道倒虹吸管(总长 277m,管道由 8 根  $5.8\text{m} \times 5.8\text{m}$  的方管组成,最大过流量为

800m<sup>3</sup>/s，其布置见图 2）和堰子河段的河道倒虹吸管（总长 298m，管道由 6 根 5m×5m 的方管组成，百年一遇洪水流量达 655m<sup>3</sup>/s）分别进行了专门的水工模型试验，获得管道局部和沿程损失系数见表 2，可供类似工程参考。

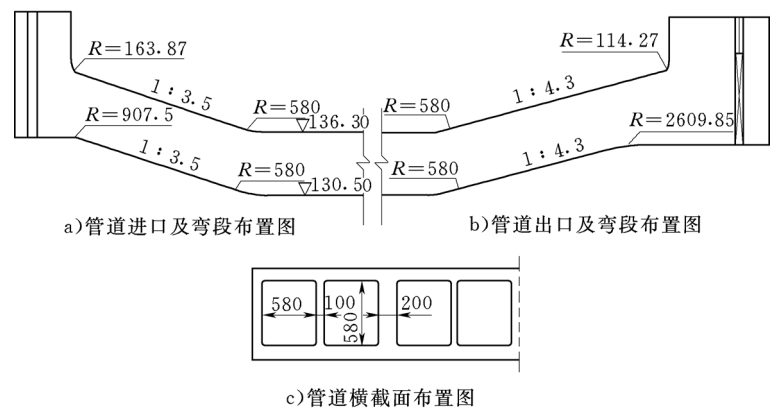


图 2 西赵河倒虹吸管布置示意图

表 2 管道局部和沿程损失系数表

| 建筑物型式  | 流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 局部水头损失系数          |                     |                     |                   | 沿程损失系数 λ |
|--------|---------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-------------------|----------|
|        |                           | 进口 ξ <sub>1</sub> | 上游弯道 ξ <sub>2</sub> | 下游弯道 ξ <sub>3</sub> | 出口 ξ <sub>4</sub> |          |
| 渠道倒虹吸管 | 630                       | 0.06              | 0.04                | 0.03                | 0.08              | 0.016    |
|        | 800                       | 0.06              | 0.04                | 0.03                | 0.09              | 0.016    |
|        | 885                       | 0.06              | 0.05                | 0.03                | 0.10              | 0.016    |
| 河道倒虹吸管 | 405                       | 0.07              | —                   | 0.04                | 0.15              | 0.014    |
|        | 542                       | 0.10              | 0.08                | 0.04                | 0.12              | 0.015    |
|        | 655                       | 0.08              | 0.06                | 0.03                | 0.17              | 0.016    |
|        | 828                       | 0.10              | 0.05                | 0.03                | 0.17              | 0.017    |

倒虹吸管的进、出口渐变段均采用扭曲面型式与渠道相接。渐变段的水头损失系数分别为：ξ<sub>1</sub>=0.10，ξ<sub>4</sub>=0.30。

(3) 压力管道边壁的糙率 *n* 值与管道材料及其表面的光洁程

度有关。鉴于  $n$  值的选用对管道断面的大小及工程造价影响很大, 故应慎重选取。对于焊接钢管:  $n=0.011\sim0.0125$ , 正常值为 0.012; 对于铆接钢管:  $n=0.0125\sim0.015$ , 正常值为 0.0135; 对于钢筋混凝土管, 我国早期用  $n=0.016\sim0.017$ , 随着施工工艺水平的提高, 现在多用  $n=0.014\sim0.015$ 。

工程实际运行情况:

a) 钢筋混凝土管的  $n$  值:

湖南新安铺倒虹吸管, 设计流量  $Q=7.5\text{m}^3/\text{s}$ , 管径 2m, 全长 4368.08m, 最大工作水头 140m, 采用一阶段预应力钢筋混凝土管, 设计糙率系数  $n=0.015$ 。运行 19 年后, 于 1998 年进行了原型观测。施放  $Q=3.67\text{m}^3/\text{s}$ 、 $v=1.16\text{m/s}$  时, 实测水头损失 4.03m, 推算得  $n=0.0164$ , 实测  $n$  值大于设计  $n$  值。究其原因, 是由于在磨损和侵蚀的双重作用下, 孔壁出现了许多的空穴和凹凸不平的麻面所致。

引滦入津尔王庄泵站至市区宜兴埠泵站全长 26km, 2 孔  $3.35\text{m}\times3.35\text{m}$  方涵, 用钢模板浇筑。1996 年, 在工程运行 13 年后进行了原型试验, 6 组流量下实测的  $n=0.0116\sim0.0107$ , 平均  $n=0.0113$ 。

引滦入津明流隧洞, 长 12km, 断面为城门洞型, 净宽 5.7m。设计流量  $60\text{m}^3/\text{s}$ , 洞壁采用钢筋混凝土衬砌, 设计糙率系数  $n=0.015$ , 1983 年通水。钢模板接缝处凹凸不平, 平均高差 4.3mm。电力部昆明勘测设计院和天津市引滦隧洞管理处合作于 1985 年和 1996 年做了两次原型观测。流量范围为  $22.3\sim62.36\text{m}^3/\text{s}$ , 7 个流量、5 个区段的糙率值  $n=0.01125\sim0.0128$ , 区段平均值  $n=0.0124$ 。2004 年对壁面进行加固处理后重新观测, 得  $n=0.0122$ 。

三个工程的原型观测表明, 新安铺倒虹吸管由于壁面磨损和侵蚀, 凹凸不平,  $n$  值偏大; 引滦入津两个工程, 用钢模板施工, 平均  $n$  值分别为 0.0113 和 0.0122。足见随着施工水平的提高 (采用钢模板等措施), 钢筋混凝土的  $n$  值有逐渐减小的趋势。

对比欧美一些国家采用钢模板施工的工程所取的  $n=0.0118\sim 0.0125$ ，我国采用类似方法施工的  $n$  值取  $0.012\sim 0.013$  也不是没有可能的。

b) 预应力钢筒混凝土管是标准化、工厂化和特别工艺生产的混凝土管。我国自 1998 年引进专门生产线以来，已有许多厂家和生产线生产，最大管径已达到 4m。1992 年山东省水利科学研究院曾对 PCCP—E 管（浇筑管）做过野外测试，7 组试验的总平均值  $n=0.0107$ 。另外测得 PCCP—L（离心管） $n=0.012$ 。

为积累经验，在天津市丽湖新地河扬水泵站进行了 PCCP—E 原状管的糙率测试。测试段长 45m，最大供水流量  $7.5\text{m}^3/\text{s}$ ，管内平均流速  $1.5\sim 3.75\text{m/s}$ 。13 组试验获得的平均糙率值  $n=0.01005$ （由  $\lambda=0.0109$  换算， $n=0.0102$ ）。

对比国际上 PCCP—E 管取  $n=0.010$ ，我国暂取  $n=0.011$  左右也是有可能的。

c) 玻璃钢管同样为工厂化生产，厂家提供的糙率系数  $n=0.008\sim 0.009$ ，目前国内还无原型观测资料可供参考。

### **6.3.5 关于进、出口水面衔接形式说明如下：**

#### **(1) 倒虹吸管进口的淹没条件。**

为了避免在倒虹吸管内产生急流水跃等不良流态，要求在通过不同流量，特别是通过小流量时管道进口处仍保持充分淹没状态，亦即要求倒虹吸管始终按压力流态工作。

根据地形、地质条件、流量大小、水头高低和管道铺设型式等的差别，通常倒虹吸管的进水口和管身的连接有如下三种型式：

a) 深式进水口。例如引黄入卫穿卫倒虹吸管和南水北调北京永定河倒虹吸管等均采用此类深式进水口，其特点是工作闸门后有较长一段水平管道段，然后接斜坡管身段，如图 3 所示。

b) 竖井式进水口。例如重庆城区过江排污倒虹吸管和南水北调孤柏嘴倒虹吸管工程均采用此种布置型式，如图 4 所示。

c) 斜坡式进水口。进水口的管身沿斜坡铺设，管身头部直

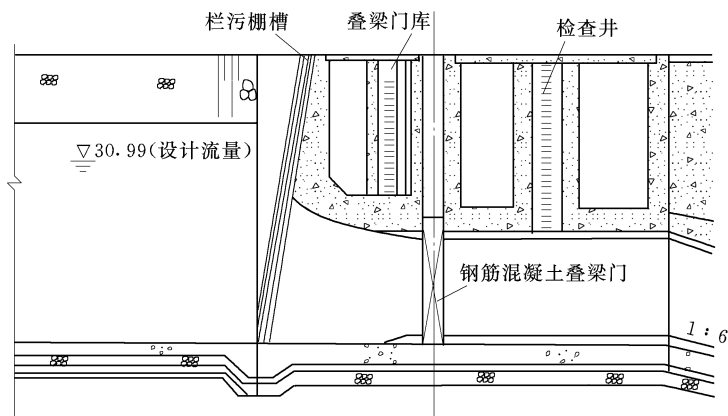


图 3 某倒虹吸管深式进水口示意图

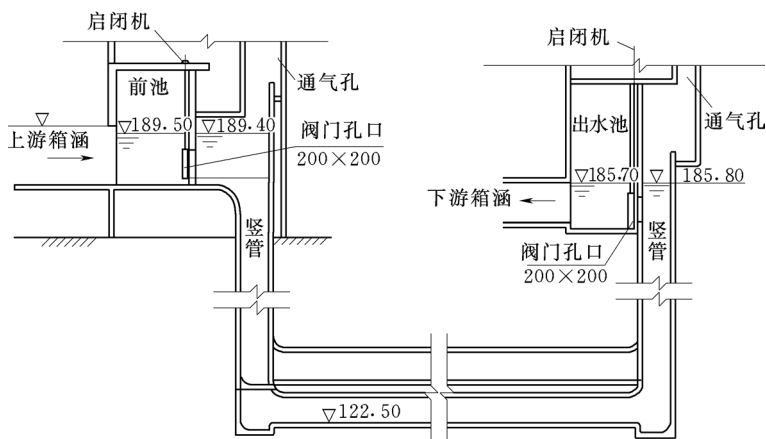


图 4 某倒虹吸管竖井式进水口示意图

接插入挡水胸墙，管身底部平渠底或低于渠底。例如湖南的新安铺、大市等多处倒虹吸管和陕西宝鸡峡漳水倒虹吸管以及河北的南排水河穿南运河等采用矩形压力箱涵的倒虹吸管工程，都采用了类似的布置，见图 5。

以上三种进水口布置型式的工程实例情况见表 3。

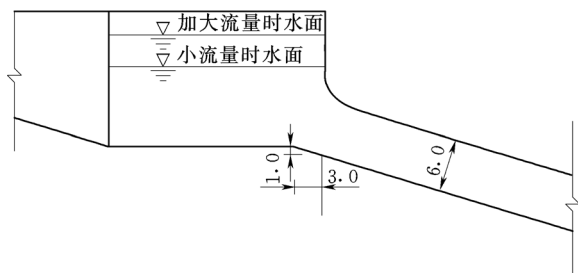


图 5 某倒虹吸管斜坡式进水口示意图

表 3 进水口布置型式和特性表

| 工程名称                      | 进口与管道连接型式      | 设计流量<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 断面形状 | 孔数和孔径<br>(m)        | 通气孔  | 管长<br>(m)        | 水头损失<br>(m)  |
|---------------------------|----------------|-----------------------------------|------|---------------------|------|------------------|--------------|
| 引黄入卫<br>(山东)              | 深式             | 75                                | 方形   | 3-3.5 $\times$ 3.5  | 设检查孔 | 238.2            | 0.65         |
| 永定河<br>(北京)               | 深式             | 50                                | 矩形   | 4-3.8 $\times$ 3.5  | 设通气孔 | 2500             | 0.65         |
| 主城区<br>过江排<br>污工程<br>(重庆) | 竖井式            | 16.2                              | 圆形   | 3-20                | 设通气孔 | 水平段<br>长约<br>900 | 进出口<br>高差    |
| 孤柏嘴<br>(河南)               | 进口竖井式<br>出口斜井式 | 440                               | 圆形   | 2-8.2               | 设通气孔 | 3752             | 进出口<br>高差 3m |
| 新安铺<br>(湖南)               | 斜坡式            | 7.5                               | 圆形   | 1-2.0               | 未设   | 4368.3           | 14.36        |
| 大市<br>(湖南)                | 斜坡式            | 20                                | 圆形   | 1-3.5               | 未设   | 1251.7           | 1.68         |
| 漳水<br>(陕西)                | 斜坡式            | 52                                | 圆形   | 2-3.25;<br>1-2.9    | 未设   | 880              | 3.29         |
| 南排水河<br>(河北)              | 斜坡式            | 526                               | 方形   | 22-3.5 $\times$ 3.5 | 未设   | 133.1            | 0.50         |
| 长江河渠<br>倒虹吸管              | 斜坡式            | 40                                | 方形   | 2-3.0 $\times$ 3.0  | 未设   | 135.0            | 0.50         |
| 黄庄<br>(山东)                | 斜坡式            | 176                               | 矩形   | 7-4.2 $\times$ 4.0  | 未设   | 378              | 0.48         |

进水口与管身的连接型式不一样,则倒虹吸管压力流形成的条件也不一样。

深式进水口与通常水电站的压力进水口以及压力泄洪洞进水口的工作条件类似。由于工作闸门后有较长一段水平管道,充水过程中必然存在明满流过渡,并在水平管道内产生水跃连接。为防止工作闸门后出现负压等不良情况,一般在门后设通气孔或检修孔加以改善。经验表明,当进水口淹没深度不够高时,上游水面常出现串通的挟气漩涡,并把空气带到管道内,不利于管道的运行。对于此种布置型式的倒虹吸管的进水口,在通过小流量时宜按《水利水电工程进水口设计规范》(SL 285—2003)附录B.2的要求进行复核,保证进水口有最小的淹没深度。反之,要采取其他补救措施,如加大进水口埋深、关小出口闸门壅高进口水位等措施来达到上述要求。

竖井式进水口水流从孔口或闸门下进入竖井。当竖井内的水位低于孔口时,孔口或出闸水流以跌水或水跃型式进入竖井,不利于竖井的运行。这时,若孔口以上的竖井顶部封闭,则应预留通气孔,否则将造成竖井上方的负压,不利于运行。为保证出闸孔的水流平稳进入竖井,其必要条件是闸孔为淹没出流。由此,倒虹吸管通过小流量时,应复核竖井里的水位高程是否能形成闸孔的淹没出流,即下游渠道水位加上倒虹吸管的水头损失值后所形成的上游竖井水位是否构成闸孔的淹没出流。

斜坡式进水口为堰流与管道压力流相衔接。如管道内水位过低,则有可能在管道内形成跌水或水跃,不利管道的运行。为使整个管道按压力流工作,其必要条件是下游渠道水位加上倒虹吸管水头损失值后的管道进口处水位,应使进水口的控制堰(平底宽顶堰或实用堰)为淹没出流并能淹没管口。

(2) 倒虹吸管出口的淹没条件。

倒虹吸管出口段的水流流态一般为有压流与明流的淹没缓流结构,即出口  $Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} < 1.0$ , 管顶以上淹没水深应为  $\Delta h = \frac{v^2}{g}$ ,

几个已建和在建倒虹吸工程出口管顶以上淹没水深与计算淹没水深的对比见表 4。由表 4 可见，除新安铺、大市两个倒虹吸管出口淹没度尚嫌不足以外，多数工程的出口淹没度均满足要求。

表 4 倒虹吸工程出口管顶以上淹没水深与计算淹没水深的对比表

| 工程名称              | 孔径或孔高<br>(m) | 孔口流速<br>(m/s) | 出口孔顶以上水深 (m)  |       |
|-------------------|--------------|---------------|---------------|-------|
|                   |              |               | $v^2/g$ (计算值) | 采用值   |
| 新安铺 (湖南)          | 2.0          | 2.39          | 0.54          | -0.38 |
| 大市 (湖南)           | 3.5          | 2.10          | 0.45          | -0.10 |
| 黄庄 (山东)           | 4.0          | 1.50          | 0.23          | 0.72  |
| 四头河 (山东)          | 2.5          | 2.00          | 0.41          | 1.10  |
| 西赵河 (河南)          | 5.8          | 2.34          | 0.56          | 2.44  |
| 主城区过江排污工程<br>(重庆) | 2.0          | 1.72          | 0.30          | 1.10  |
| 白河 (河南)           | 6.2          | 2.15          | 0.47          | 3.80  |

## 6.4 结构设计

**6.4.2** 本条只考虑了几种常见的荷载组合。对某些工程因结构不同、施工方法不同、设计运行要求不同，还须考虑有可能出现的其他不利组合。

(1) 内外水压若同时作用时，可先将均匀内水压力和均匀外水压力叠加后再计算内力。由于外水压力可以抵消一部分管内静水压力，为安全计，也可在荷载组合中不计外水压力。

(2) 校核内水压力应包括管道试验内水压力。

(3) 试水、运输或施工中的荷载，应根据实际情况进行组合。

(4) 管道试验内水压力按有关规范采用，一般应为设计内水压力的 1.2~1.5 倍。

(5) 温度变化的影响也和其他恒载一样，对管道是经常存在且影响较大的，故此处将其列为基本荷载组合。对钢筋混凝土

管，虽然 SL 191—2008 第 8.1.2 条的注解规定：构件正截面抗裂验算“所指裂缝不包括因温度变化、干缩等非荷载原因产生的裂缝”。但本规范认为，对于倒虹吸管的抗裂验算，应将采取保温措施后仍可能出现的温度变化值作为基本荷载列入基本荷载组合。

(6) 混凝土收缩的影响可采取施工等措施解决，设计时不考虑。

(7) 埋管土压力计算公式，在《水工建筑物荷载设计规范》(DL 5077—1997) 中所推荐采用的土压力系数，是对应于埋管上填土的压实度不低于 95% 的情况。但对于未能压实的疏松填土，则垂直土压力系数将大于该规范所给数值，需经专门研究确定。《倒虹吸管》(取水输水建筑物丛书，2006 年) 一书中，对高填土建议将 DL 5077—1997 中推荐垂直土压力系数乘以 1.25 系数。

**6.4.3** 对管道较长、水头较大的倒虹吸管，按不同水头分段计算荷载时，通常对 50m 以下水头的管段，用 10m 一级进行计算；对 50m 以上水头的管段，用 5m 一级进行计算。

**6.4.4、6.4.5** 关于现浇钢筋混凝土管说明如下：

(1) 现浇钢筋混凝土管（包括圆形和矩形）具有耐久、价廉、变形小、节约钢材、制造简便、糙率变化小、抗震性能好等优点，应用非常广泛。按其过水断面形状不同，常用的有钢筋混凝土圆形管与钢筋混凝土矩（箱）形管两大类。

(2) 钢筋混凝土圆形管由于其受力条件和水力条件均较好，在一般倒虹吸管设计中是优先考虑采用的结构型式。但由于受施工条件限制，一般其管径不宜大于 4m，否则施工难度增大，因此过水流量受到一定限制。另外因其抗裂性能较差，所以能够承受的水头（内水压力）也受到了一定限制，因此当水头  $H > 50 \sim 60\text{m}$  时，一般要采用抗裂性能和防渗性能均较好的其他材料管道，如预应力钢筒混凝土管、钢管等。

a) 钢筋混凝土圆形管管身内力计算是弹性理论空间问题，

计算复杂,适用于特殊重要管道。对于常规管道宜简化为纵、横向两个平面问题分别计算。即横向按封闭的圆环形结构计算,纵向按截面为圆环形的梁计算。

b) 横向内力计算:通常取 1m 管长作为计算单元,按管壁厚度  $\delta$  和平均半径  $r_c$  的比值  $\delta/r_c$  先判别属于薄壁管还是厚壁管,然后进行内力计算。

$$\text{薄壁管} \quad \frac{\delta}{r_c} \leq \frac{1}{8}$$

$$\text{厚壁管} \quad \frac{\delta}{r_c} > \frac{1}{8}$$

薄壁管内力计算:按一个三次静定的圆环形结构计算,当作用在管道上的荷载及其相应的管座反力确定后,即可按结构力学的弹性中心法求解内力。宜分别计算在各项荷载作用下的管道内力,然后叠加求出管道在设计荷载组合作用下的截面最大内力 ( $M$ 、 $N$ )。

厚壁管内力计算,在理论上应按弹性力学平面问题求解内力。由于计算工作量大,故除均匀内(外)水压力作用下所引起内力(应力)按此方法计算外,其他荷载所引起内力宜按薄壁管的结构力学方法计算。

c) 纵向内力计算:圆形钢筋混凝土管的纵向管座型式,分为连续式管座与间断式管座两大类,其纵向的结构计算也相应分为两大类。

连续式刚性管座上管身的纵向内力计算,宜按弹性地基上的梁计算。由于管座是刚性结构,其弧形支承面上都铺设便于管身随温度变化而自由滑动伸缩的材料(如沥青油毡等),管身每节长度均控制在一定的防裂范围之内,因此采用这类管座型式的管身纵向内力通常不是设计控制条件,可不进行计算,在管壁内按抗裂的构造要求布置纵向钢筋即可。

间断式管座上管身的纵向内力计算,宜按横断面为圆环形的梁式管计算。其应力状态与管道跨长  $L$  与管身内径  $D$  (宽度)

的比值有关：

当  $\frac{L}{D} \geq 3$  时，按长壳近似用梁理论计算；

当  $\frac{1}{2} < \frac{L}{D} \leq 3$  时，按圆柱形中长壳的弯曲理论或半弯曲理论计算；

当  $\frac{L}{D} < \frac{1}{2}$  时，按短壳的弯曲理论或半弯曲理论计算。

拟定架空梁式管道的跨度时，应尽量使其  $\frac{L}{D} \geq 3$ ，满足长壳条件，以便采用比较简单的梁理论进行计算（按圆环形截面的简支梁、双悬臂梁、连续梁等）。

（3）钢筋混凝土矩形箱式管施工方便，适用于过水流量较大，地基条件较差的倒虹吸管。若管顶填土压力较大时，则需将其顶底部改成圆弧形，以改善其受力条件，减少工程量和工程造价。

a) 钢筋混凝土矩形倒虹吸管按规模大小其各部位壁厚可设计为等截面或变截面，按布置方式可分为单孔管和多孔管。

b) 矩形管的横向内力计算的计算简图应按布置取为单孔或多孔闭合刚架，各个杆件的计算长度为杆件形心轴之间的距离，即水平杆件的计算长度为竖直杆件形心轴轴线间的距离，竖直杆件的计算长度为顶底板形心轴轴线间的距离。矩形管内角加腋的作用显著，但加腋边长  $\beta \leq 0.1L$ （ $L$  为孔跨）时应不考虑其影响，按等截面计算。

c) 单孔或等跨多孔等截面矩形倒虹吸管的横向内力计算应沿水流方向截取一米长管段，按闭合刚架计算其内力。根据各项不同外荷载分别采用相应公式计算出各杆内力，然后按荷载组合将其迭加求得最终的各项内力。不等截面或不等跨矩形倒虹吸管的横向内力计算宜用结构力学方法进行计算，特大型矩形倒虹吸管宜采用有限元方法进行应力分析。

**6.4.6** 关于预应力钢筋混凝土管说明如下：

(1) 预应力钢筋混凝土管由于抗裂和抗渗性能均比普通钢筋混凝土管好, 而且比同直径、同水头条件下的普通钢筋混凝土管省 20%~30% 钢筋, 比钢管省 60% 以上的钢材, 因此在我国应用比较广泛。但预应力混凝土管壁薄、性脆、抗外压能力低、施工技术比较复杂、远程运输后预应力可能会有一定损失等, 所以在推广使用上受到一定限制。

(2) 预应力钢筋混凝土管按其施加预应力方法不同, 分为三阶段工艺法、一阶段工艺法和自应力制管工艺法三种。其中自应力制管工艺法, 限于管径  $D \leq 600\text{mm}$  及承受水头较低的中小型管道的制作。三阶段法具有工艺较简单、设备投资少、钢筋预应力值容易控制、承接口光滑等优点, 但其质量不如一阶段法好, 加之车间卫生条件差、耗用水泥多等缺点, 现很少采用。目前一般工厂或现场生产多采用一阶段法生产, 其质量好、水泥省。如湖南大圳灌区新安铺倒虹吸管, 管径  $D=2.0\text{m}$ , 设计水头  $H=140\text{m}$ , 管壁厚  $\delta=130\text{mm}$ , 就是采用一阶段法生产的。

#### 6.4.7 关于钢管说明如下:

(1) 钢制倒虹吸管由于管壁材料具有很高强度和不透水性, 并具有管节可以较长 (伸缩节之间间距可达  $70\sim 80\text{m}$ )、接头少、表面光滑、糙率系数小、水头损失小等特性, 故可用于一般水头较高 ( $H>50\text{m}$ )、管径较大的倒虹吸管工程。其缺点是刚度较小, 承受外荷的能力较小, 不宜用于回填土较大的情况。而且其制造技术要求较高, 防锈与维护费用也高, 其耐久性不及钢筋混凝土管, 故在倒虹吸管中采用得也较少, 常被预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管所取代, 只在桥式倒虹吸等有特殊要求地方采用。如引大入秦灌溉工程总干渠上的先明峡倒虹吸管, 设计水头  $167\text{m}$ , 设计流量  $32\text{m}^3/\text{s}$ , 采用 2 根管径为  $2.65\text{m}$  钢管。

(2) 钢制倒虹吸管的结构设计, 实质就是压力钢管设计问题。其具体计算要求、理论公式及方法与水电站压力钢管设计基本一样。因此在本条中, 只列出了设计中对几个主要问题 (管壁厚度、允许应力、应力计算要求等) 的要求, 其详细设计计算要

求及计算公式参见《水电站压力钢管设计规范》(SL 281—2003)。

#### 6.4.8 关于预应力钢筒混凝土管说明如下:

预应力钢筒混凝土管又称 PCCP 管 (Prestressed Concrete, Cylinder. PiPe), 在美国、加拿大等国的管网工程应用比较普遍。我国于 1987~1988 年引进 PCCP 管生产技术, 目前在我国的引水工程中, 已有不少工程开始大量采用, 因它可以工厂化、标准化、定型化、成批量生产, 适用于高水头, 大流量 (管径较大)。它比钢管造价低, 维修工作量小, 是一种具有推广价值的好管材, 缺点是重量较大, 运输和施工不便。

我国目前尚未制定这种管材的管道设计规范, 但建材行业颁布了其生产标准《预应力钢筒混凝土管》(JC 625—1996), 对保证这种管材生产的质量提供了必要的依据。

(1) 预应力钢筒混凝土管是在带钢筒 (薄钢筒的厚度约 1.5mm 左右) 的混凝土管芯上, 缠绕一层或二层环向预应力钢丝, 并用水泥砂浆作保护层而制成的管子。实质上是一种钢板与预应力混凝土的复合材料管, 它具有比一阶段、三阶段工艺法制成的预应力管具有更好的抗渗性, 且可用于较大管径和更高水头。

(2) 钢筒制作: 钢筒由符合规定的薄钢板卷制后焊接成筒体。制作好筒体应作静水压试验, 在达到检验压力稳压 3min 后, 及时检验钢筒的所有焊缝, 如发现焊缝有漏水时, 应及时作好标记。待卸压后重新补焊。并再次进行水压检验, 直至所有焊缝无渗漏为止。

钢筒检验压力按公式 (1) 计算:

$$P_g = \frac{2\delta T_y}{D_1 - 2T_y} \quad (1)$$

式中  $P_g$ ——钢筒检验压力, MPa;

$\delta$ ——钢板承受的拉应力, MPa, 卧式水压时为 140MPa, 立式水压底部的应力为 175MPa;

$D_1$ ——钢筒外径, mm;

$T_y$ ——钢筒壁厚, mm。

### (3) 管芯成型及养护:

a) PCCP—L 管管芯混凝土一般采用离心法成型, PCCP—E 管管芯混凝土一般采用立式振动法成型。

b) 管芯成型时, 钢筒应准确地固定在模具内, 避免在成型过程中产生松动和位移。

c) 管芯混凝土养护应采用能满足质量要求的蒸汽养护法。

### (4) 缠绕:

a) 管芯混凝土强度达到缠绕强度方可缠丝, 同时缠丝产生混凝土中的初始压应力, 不应超过缠绕时混凝土抗压强度的 55%。

b) 缠绕时, 预应力钢丝在张拉控制应力下按设计的螺距呈螺旋形缠绕在管芯上, 钢丝的起始端应牢固固定。钢丝净距应不小于 5mm, 且不大于 35mm。

c) 双层缠绕时, 内层钢丝应以水泥砂浆覆盖并进行蒸汽养护, 覆盖层的净厚应不小于缠绕钢丝的直径, 养护后水泥砂浆的抗压强度不应低于 28MPa。

(5) 预应力钢管混凝土管已经定型化、标准化, 可在工厂中成批生产, 其管道配件齐全、简便、可靠。其设计工作由厂家自主完成。在采购中应明确管径、管长度、工作压力、覆盖土厚度、地面荷载、土壤类别、土壤腐蚀性、及密封圈(要求采用单条或双条)等技术参数和要求, 有特殊需要的可与工厂联合设计生产。

(6) 预应力钢筒混凝土管产品分类: 按我国建材行业 JC 625—1996 标准进行产品分类。

a) 产品型号: 预应力钢筒混凝土管(PCCP), 按其结构分为内衬式(PCCP—L)、埋置式(PCCP—E)。

b) 管道压力级别: 根据管道使用时承受静水压力的的大小分为九级(0.4MPa, 0.6MPa, 0.8MPa, 1.0MPa, 1.2MPa,

1.4MPa, 1.6MPa, 1.8MPa, 2.0MPa), 以罗马字母 I 级、II 级、…、IX 级表示。

c) 管道内径及适用静水压力: 目前我国工厂生产的预应力钢筒混凝土管, 管道内径 600~4000mm, 静水压力为 0.4~2.0MPa (相当于承受内水压力为 40~200m 水头)。

我国已采用预应力钢筒混凝土管 (PCCP) 的工程有深圳输水工程 ( $D=2.6\text{m}$ , 长 9.5km)、引黄工程连接段 ( $D=3.5\text{m}$ , 每节管长 5m)、南水北调中线北京段 ( $D=4.0\text{m}$ , 长 100km) 等。

目前我国生产预应力钢筒混凝土管厂家较多, 有山东电力管道工程公司, 万联管道集团公司, 无锡华毅管道有限公司, 北京华腾远通综合管道有限公司, 北京河山引水管业有限公司等。

#### 6.4.9 关于玻璃钢夹砂管说明如下:

玻璃钢夹砂管又称 GRP 管 (Glass Reinforced Plastics), 通常是指玻璃纤维增强树脂塑料管, 属热固性塑料管。

(1) 玻璃钢夹砂管特点:

a) 耐腐蚀性能好。在一般情况下, 能够长期保持管道的安全运行。

b) 抗老化性能和耐热性能好。玻璃钢夹砂管可在 40~70℃ 温度范围内长期使用, 采用特殊的耐高温树脂还可在 200 以上温度下正常工作, 也可长期用于露天使用的管道。其外表添加有紫外线对管道的辐射, 可延缓玻璃钢夹砂管的老化。

c) 抗冻性能好。可用于零下 20℃ 以下, 管内结冰后, 不会发生冻裂。

d) 重量轻, 强度高, 运输方便, 安全技术简单, 容易安装各种分支管。

e) 水力条件好, 内壁光滑, 不结垢, 不生锈, 水阻小。

f) 在阳光直接照射下易老化, 不宜露天式布置。

g) 受力不均时管身容易变形, 并导致接头处漏水。

(2) 玻璃钢夹砂管管壁一般按其功能不同可分为三大层: 防

防腐防渗内衬层、结构层、表面层（外保护层）。

防腐防渗内衬层又分为内表面层和次内层。其中内表面层的树脂含量在 90% 以上，也称作富树脂层，可根据介质不同选用合适树脂。内表面层的作用主要是防腐蚀、防渗漏。次内层含一定量的短切纤维，但树脂含量仍高达 70%~80%，其作用是防腐、防渗的第二道防线。内衬层总厚度为 1.5~5.0mm。

结构层的作用主要是承受荷载，抵抗变形，它是由连续纤维缠绕层和树脂砂浆层组成。

表面层由抗老化添加剂（如紫外光吸收剂）和树脂配制而成。它主要是防老化。管外表面的巴氏硬度应不小于 40。

（3）玻璃钢夹砂管在我国已经标准化、定型化在工厂成批生产，其管道配套件齐全，设计工作可由生产厂家自主完成。在采购中只须明确管径、管道长度（纵剖面布置）工作压力、覆盖土厚度、土壤类别、以及地面荷载等技术参数和要求即可。

（4）玻璃钢夹砂管产品分类：

玻璃钢管按我国城镇建设行业标准《玻璃纤维增强塑料夹砂管》（CJ/T 3079—1998），其产品按制作工艺方法、压力等级、管道刚度等级进行分类。

a) 按工艺方法分类：①定长缠绕工艺；②离心缠绕工艺；③连续缠绕工艺。

b) 按压力等级  $PN$  分类：压力等级：0.1MPa，0.6MPa，1.0MPa，1.6MPa，2.0MPa，2.5MPa。

c) 按刚度等级  $SN$  分类： $SN = EI/D^3$ ，通常以  $N/m^2$  作单位，其中  $EI$  为沿管轴方向单位长度管壁环向弯曲刚度， $D$  为管道平均直径。管道刚度等级：1250 $N/m^2$ ，2500 $N/m^2$ ，5000 $N/m^2$ ，10000 $N/m^2$ 。

（5）目前我国有许多厂家生产玻璃钢夹砂管，管径 300~3100mm，压力等级 0.1~2.5MPa，管道刚度 1250~10000 $N/m^2$ 。主要生产厂家有河北中医玻璃钢有限公司、辽宁水业玻璃钢管道有限公司等。采用玻璃钢夹砂管的工程也很多，如新疆某

供水工程，全长 400km，全部采用玻璃钢夹砂管。其中小洼槽倒虹吸管全长 13km，直径为 3100mm，刚度为  $7500\text{N/m}^2$ ，压力为 0.4MPa，总工程量达 1.433 万 t，是目前我国采用玻璃钢夹砂管口径最大、用量也最多的工程实例。

#### 6.4.10 镇墩结构计算应包括以下内容：

- (1) 校核镇墩的整体抗滑与抗倾稳定性。
- (2) 验算镇墩的结构强度。
- (3) 验算镇墩地基的强度及稳定性，必要时进行沉陷验算。

## 6.5 管 座

**6.5.1~6.5.4** 管座是管身的一种支撑结构。管座型式选择是一项比较复杂的工作。选择时应考虑当地的地形地质条件、管身断面型式、管材特性及管身结构的受力条件等，其主要目的是，应使选用的管座在当地自然地理条件下，既能改善管身的应力状态，又便于施工。

一般钢管都采用间断式支座（管座），3 级以上的钢筋混凝土管则大部分采用连续式管座，对 3 级以下的钢筋混凝土管，上述两种管座型式均可采用，视具体条件经比较分析研究后确定。

连续式管座最常用的是刚性弧形管座，对 1~3 级倒虹吸管应采用浆砌石或混凝土的刚性管座，以增加管身的抗滑稳定性，并改善地基的受力条件，其包角采用  $90^\circ\sim 135^\circ$ ，包角越大，则管壁应力越均匀（基础应力也均匀），因此对大直径、高填土的钢筋混凝土倒虹吸管，从施工及受力条件考虑，以采用包角  $2\alpha = 180^\circ$  为宜。座垫厚度可采用 1.5~2.0 倍的管壁厚度，座垫肩宽可采用 1.0~1.5 倍的管壁厚度，从施工考虑，座垫厚度和肩宽均不宜小于 300mm，管道与管座之间应涂沥青或铺设沥青油毡（见图 6），以利于管道纵向自由滑动。

对素土平基及弧形土基础的两种管座，只在管径较小、地基条件良好时，方可考虑采用。

间断式管座，多用于钢管或预制混凝土管材的倒虹吸管或 3

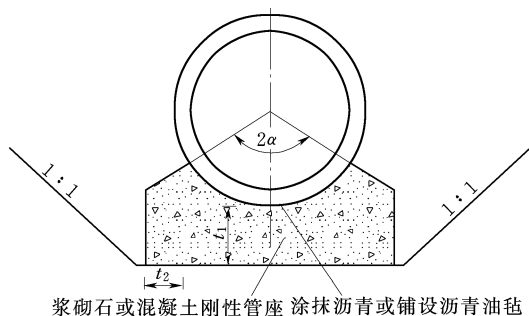


图 6 刚性弧形管座

级以下钢筋混凝土倒虹吸管。对钢管，其支座型式与管径大小有关，其管座型式选择可按水电站钢管设计的有关规范要求进行。

## 6.6 细部结构设计

**6.6.1** 钢筋混凝土管裂缝产生原因是错综复杂的，一般主要是由于温度应力过大（超过混凝土抗裂强度允许值），设计不当（分节过长，支座型式不适宜，配筋不当）或施工不当（质量差，养护不到位）等所致，其中由于温度应力过大而引起裂缝是最常见的。根据湖南新安铺预应力钢筋混凝土管的现场观测，夏天管身内外最大温差可达  $26.4^{\circ}\text{C}$ ，试验表明，采取管身外侧填土（厚度  $0.5\sim 0.8\text{m}$ ）或采用泡沫混凝土作保温层（厚度  $0.1\text{m}$ ）对减小温度应力效果显著，是防止裂缝最有效的措施。其他如选择合适的管道分节长度、选配合适的变形钢筋也是较为理想的措施，对高水头倒虹吸管宜采用预应力钢筒混凝土管等。

**6.6.2** 为适应地基不均匀沉降而引起的弯曲变形和由于温度降低和混凝土凝固而引起的纵向收缩变形，管道应设置永久性伸缩缝，缝间设止水。缝的间距：土基上宜取  $20\sim 25\text{m}$ ，岩基上可取  $15\sim 20\text{m}$ ，露天取小值，完工后及时填土的埋管可取大值。管壁与管座接触面上铺设沥青油毡（中间  $1/3$  管长可不设），以减小摩阻力。对于预制安装的管道，每节间一般均采用柔性接头；设于刚性管座或坚实地基上的预制管，可采用刚性接头，但每隔一

定长度仍需设一柔性接头。缝间止水，对于较高水头过去常用金属止水片，随着塑料工业的发展，已逐渐被无套管的塑料止水接头所取代，加固时或采用环氧基液贴橡皮止水。各种接缝止水形式中，应注意塑料（或橡皮）不能直接与沥青类材料接触，以免加速其老化。

**6.6.5** 进入孔通常可与泄水孔结合布置在镇墩内。若布置在管身上，则应将管壁局部加厚，并设密封盖（或泄水闸阀）以防漏水。进入孔有斜向、水平向和竖向布置几种，前一种适用于露天管，后两种适用于浅埋式管，且盖板宜高出地面。在生产中，由于盖板密封不严而引起漏水的教训不少，故要求制作工艺应严密精细。这些孔洞的盖板或者闸阀还应不为非管理人员轻易打开，以确保输水安全。

## 7 涵 洞

### 7.1 一 般 规 定

**7.1.1** 渠道穿越道路、圩堤、高地时宜选用渠道涵洞（简称渠涵），填方渠道被沟溪、道路或其他渠道穿越时宜设渠下排洪、交通或输水涵洞（统称渠下涵）。上述涵洞的进、出口均不设闸门，采取明挖、建涵、填埋的方式施工。

本章内容不宜直接应用于进（出）口设置闸门控制水位、流量的涵洞式水闸，以及渠首引水、分水和渠道泄水、冲沙等建筑物中的涵洞部分。

涵洞分为以下类型：

- （1）按作用划分——渠涵、渠下涵。
- （2）按流态划分——无压流、半压力流和压力流涵洞。
- （3）按型式划分——盖板涵、圆涵、拱涵和箱涵。
- （4）按材料划分——以钢筋混凝土、混凝土、浆砌石、成品管道等一种材料为主修建的涵洞。

在过水能力相同的条件下，单孔涵洞比多孔涵洞经济，应优先选取单孔涵方案。

### 7.2 总 体 布 置

**7.2.1** 涵洞平面布置的总体原则是进、出口及洞身水流应顺畅，对于渠下排水涵，当河沟与渠（路）大致成一角度时，不宜强求正交。但当渠（路）与河沟夹角小于 $45^\circ$ 很多时，一般不应采用小于 $45^\circ$ 夹角的斜交涵洞，可在河沟上下分别采取改沟、加设导流和构造物方法，增大水流方向与渠（路）相交的夹角。在河沟十分弯曲地段，为使水流畅通，可采用裁弯取直或改移河沟办法，正交设涵。

**7.2.4** 涵洞的水流形态与洞型选择两者是紧密连系、相互关联

的，应统筹考虑。涵洞一般均优先选用无压流态。其理由是：①虽然在通过相同流量时其断面尺寸比有压和半有压涵洞大，但其水头损失小、出口流速低、出口只需简单防冲加固，而有压及半有压涵洞则要设消能防设施；②其上游壅水低于有压和半有压涵洞，可降低对渠（路）堤的高度及质量要求，能减少进口护砌工程量；③由于整个断面不充满水及上游水深较小，故对防渗要求也相应降低；④有压流虽可减小涵洞断面尺寸，但由于洞内流速较高，压力大，涵前积水较深，因而水流对涵洞和渠（路）基的破坏性较大。此外，有压排水涵洞在排泄洪水时，因流量变化大，可能出现明满流交替状态而产生振动，影响工程安全，一般应慎用。半有压流由于在流量变化大时流态更不稳定，也不宜随意采用。

**7.2.5** 涵洞的各种横断面型式具有明显的构造和受力特点，合理利用这些特点是保证工程安全和经济的前提条件。盖板涵的盖板结构虽然不能承担很大压力，但其空间高度小、可预制安装、施工方便，适用于涵洞高度受限或者施工条件苛刻的场合。盖板涵的结构缝多，不适宜有较大内水压力的有压流。拱涵受力条件好，适用于涵顶填土较高及跨度较大的无压涵洞。箱涵多为刚结点矩形钢筋混凝土结构，具有较好的静力工作条件，承载能力高，对地基不均匀沉降的适应性能好，适用于洞顶覆土较厚、洞跨较大和地基较差的无压和低压涵洞，唯施工较复杂。圆管主要用于小流量的排水涵洞，便于采用预制管安装，一般多不进行结构设计，可直接根据设计荷载，按定型产品的性能指标，选用相应规格的圆涵即可。

关于净空面积和高度的要求，是在实践中总结出的保持无压流态的必要条件，应按本条规定执行。

**7.2.8** 渠下涵孔径尺寸的选定主要有两种情况：一种情况是已知设计流量、进口水深及出口水深，确定洞身断面尺寸。对于矩形断面，此时的洞高及洞宽均为未知，且涵洞流态判别又与洞高有关，有的流量计算公式还含有洞高要素，故需试算；另一种常

见情况是，对从渠底穿过的排水涵洞，多需根据拟定的洞身断面尺寸及出口水深，计算确定进口壅高水深。此时，一般是拟定多个不同断面尺寸的布置方案，分别计算确定进口水深，然后根据上游地形、地物允许的淹没条件，经方案分析比较后，确定出比较经济合理的洞身断面尺寸布置方案。当上游沟、河断面较大，或有低洼地带，具有一定的蓄水容积和调蓄作用，可使设计洪水时涵洞的下泄流量相应减小，则往往还应结合调洪演算确定比较经济合理的洞身断面尺寸。

考虑涵前积水时，不应使选定的涵洞设计水流形态有所改变，或使涵洞出口流速过大。如果考虑涵前积水，由于积水的调蓄作用，通过涵洞的最大流量必然小于上游天然来水的最大流量，从而使涵洞设计流量减小，达到使涵洞孔径尺寸减小，降低工程造价的目的。但由于涵前壅水计算影响因素众多，较难得出切合实际的计算结果，为安全计，其最大减小值不应超过对应于防洪标准时的洪水流量的 25%。

## 7.3 水 力 设 计

**7.3.2 排水涵洞的流量计算**属小流域洪水流量计算。在渠系建筑物中，排水涵洞所在河（沟）道的流域面积一般较小，多在  $100\text{km}^2$  以下。例如湖南韶山灌区的穿渠排水涵洞，上游流域面积多在  $10\text{km}^2$  以内；河南省陆深灌区总干渠及东一干渠 170 余座穿渠排水涵洞，除极少数上游流域面积为  $5\sim 10\text{km}^2$  外，其余均小于  $5\text{km}^2$ ；南水北调中线工程，在其总干渠规划中，将河渠交叉建筑物中河（沟）道上游流域面积小于  $20\text{km}^2$  的排水建筑物称作“排水建筑物”，穿渠排水涵洞就包括在其中；平原地区排水涵洞所在河（沟）道的流域面积大些，但一般也多不超过  $100\text{km}^2$ 。

小流域洪水的特征是：洪水暴涨暴落；流量小而洪水历时短；没有实测的洪水流量资料，设计流量只能按无实测资料进行推算，暴雨往往是形成洪峰流量的根本原因。

推算无实测资料设计洪水流量的方法很多，在我国水利系统中，对于山丘区，是按推理公式由设计暴雨间接计算洪峰流量，在推理公式中有一些设计参数，我国各省区水利系统均编制有用于本地区查算确定这些参数值的图集供选用；对于平原地区，则由设计暴雨确定的排涝模数计算洪峰流量。我国公路系统计算洪水流量的方法一般有径流形成法、形态调查法、直接类比法等。由于影响小流域流量计算的因素错综复杂，采用的计算确定方法又多，在选用时，应尽量选用适合本地区情况且比较成熟的地方性计算方法及公式，并尽可能与其他计算公式所得结果进行比较对照，在设计中要注意某些简化的条件及使用范围，切忌随意搬用。

**7.3.3** 20 世纪 50 年代我国较早而全面系统介绍有关涵洞水力计算方法及计算公式的是原苏联版的《水工手册》，以后的《水工设计手册》、《水力计算手册》以及一些水力学书籍和某些规范等所介绍的基本计算方法与计算公式也多与《水工手册》相同，但在某些方面相互间又有一定出入，有的所介绍的个别计算公式尚有值得商讨之处，且计算方法较为繁琐。最近出版的取水输水建筑物丛书中的《涵洞》一书，在长期生产实践中，对上述各种文献中介绍的有关涵洞水力计算方法及计算公式曾作了较全面的对比、分析和校正，根据生产实践经验，对原公式进行了改进，提出了一套实用而合理的计算方法与计算公式，这些方法与公式经长期生产实践中证明是正确合理而简便实用的，附录 D 给出了这一计算方法与相应的计算公式。

## 8 水 闸

**8.0.1** 为了避免与《水闸设计规范》(SL 265—2001)重复,本章只就渠道水闸设计特点进行补充性的规定,具体设计应执行SL 265—2001的规定。

**8.0.2** 对本条关于水闸分类和功能的有关款项补充以下说明:

冲沙闸常设在有坝或无坝渠首中配合其他设施冲沙。特殊需要时才配合节制闸在干、支渠一侧设置冲沙闸,排泄淤积于部分渠段中的泥沙。由于其在渠系中使用较少,且其组成、构造及设计要点与一般水闸相同,故未列入条款。

斗门是小型分水闸,用于调节、控制进入斗渠的流量,设于干、支渠渠岸侧旁。一般以 $90^\circ$ 的分水角引水,多采用涵洞式,规模较小,故未列入条款。

本条第2款提倡将就近的多个闸集中在一起,建成水闸枢纽。

排水闸、泄水闸、退水闸的分类,各种书中不尽一致。例如,《中国水利百科全书》(水工建筑物分册)将泄水闸、退水闸、挡潮闸等均归并到排水闸一类中,然后根据水闸所处位置与具体作用再加以区分与定义。其定义如下:排水闸是“排泄洪涝渍水的水闸,又称排涝闸。通常设在洪涝地区向江河排水的出口处。灌溉渠道上的排水闸用来排出灌溉渠道内多余的水量,如洪水期排除渠系集水面积内的洪水,一般称为泄水闸。位于渠道末端,用以排除渠内积水、便于检修渠道,称为退水闸。建于沿海排水河道出口处的排水闸,亦称挡潮闸”。在《水闸设计规范》(SL 265—2001)中,则将排水闸(排涝闸)、泄水闸(退水闸)、挡潮闸分别列出,但把排水闸与排涝闸、泄水闸与退水闸等同定义(即括号内部分)。在《灌溉与排水工程设计规范》(GB 50288—99)中,把泄水闸与退水闸分别列出,但采用了退(排)

水闸的表示，即将退水闸与排水闸等同定义。本规范基本按 SL 265—2001 的规定采用，退水闸虽单独列出，但在条文中作为泄水闸的一种特例。

排水闸常建于排水渠道末端的江河堤防上。当外河水位高于堤内水位时，关闸挡水，当堤外江河水位低于堤内涝水位时开闸排水，减免农田遭受洪涝灾害。当堤内农田有蓄水灌溉要求时，根据需要可关闸蓄水或从外河引水，因此排水闸常具有双向挡水和双向泄水的特点。

**8.0.3** 渠道水深有限、灌溉渠道水头宝贵，采用开敞式水闸的过闸水头损失和工程量均较小。对过水流量和孔口尺寸较小并位于渠堤上的水闸，以涵洞及填土代替桥梁沟通渠堤交通，同时也经济美观。

**8.0.4** 关于渠系水闸的总体布置说明如下：

(1) 闸址选择应以渠道规划为主，同时考虑地形、地质等条件。

闸址宜优先选用地质条件良好的天然地基，最好选用新鲜完整的岩石地基，或承载力大、抗剪强度高、压缩性低、透水性小、抗渗稳定性好的土质地基。淤泥、淤泥质黏土或粉沙、细沙地基最差，特别是粉沙、细沙地基抗渗稳定性差，应尽可能避开。中等土质地基若设计采取的措施失当，也有可能发生局部渗流破坏或局部冲刷，对此应予以注意。

分水闸闸址宜选择在顺直渠段或弯道凹岸顶点稍偏下游处。因为在弯曲渠段深槽一般都是靠近凹岸一侧，无论水位高低，主流随着深槽而偏向弯道凹岸，不仅对分水闸引水有利，而且由于弯道环流作用，底沙向凸岸推进，从而减少底沙被挟带入渠。

泄水闸、退水闸、排水闸闸址宜选择在距离容泄区近、地势低洼、出水通畅处，这样可缩短水头损失和土方量，增加有效排水量，减少工程投资。渠道上的泄水闸一般都建在傍山塬腰、河旁沟边、高边坡等地形条件较差的渠段上，布置时应确保自身稳定性，闸后应设相应的泄水渠道，将渠水引入容泄区。例如陕西

省宝鸡峡引渭灌溉工程塬上总干渠有 98km 长的渠段位于渭河地塬北坡的黄土塬边半腰上，渠段所经之处塬高坡陡、沟壑纵横、连续分布古老滑坡 170 多处，最高边坡达 80m，塬下即有陇海铁路和城镇。渠道沿线设置了多处泄水闸和退水道，以便发生事故时能及时泄空，确保下游塬边渠道和塬下人民生命安全。目前工程已安全运行了 30 多年，泄水闸的安全作用功不可没。

(2) 为了保证过闸单宽流量和过闸水头损失不致影响渠道运行，闸孔净面积与渠道过水面积大致相等。

闸孔总净宽的确定主要涉及两个问题：一是过闸单宽流量的大小；二是闸室总宽度与渠道总宽的关系。渠系上的节制闸闸孔总净宽一般应等于、略小于或略大于渠道总宽。分水闸、泄水闸闸孔总净宽一般应等于或略小于闸后的渠道总宽。

水闸总净宽可根据闸的具体结构型式和设计水流条件进行计算。开敞式分水闸、涵洞式分水闸分别按宽顶堰或压力涵管淹没出流的条件进行计算；闸底与渠底齐平的节制闸按淹没式宽顶堰计算；泄水闸设计流量应等于或大于渠道设计流量，水力计算应分淹没出流或自由出流两种情况进行，详见 SL 265—2001 的规定。

在水闸设计中，过闸单宽流量的采用，对水闸的工程造价和下游消能防冲设施的安全运用都有直接的影响。根据长江中、下游各省土基上建闸的经验，在水闸的可行性研究阶段，其过闸单宽流量可按下列数据选用：粉砂、细砂、粉土和淤泥  $5 \sim 10 \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot \text{m})$ ，砂壤土  $10 \sim 15 \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot \text{m})$ ，壤土  $15 \sim 20 \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot \text{m})$ ，黏土  $15 \sim 25 \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot \text{m})$ 。

奇数闸孔便于使过闸水流对称于渠道中心线，从而减少渠道冲刷。根据水闸的运用要求，其上、下游水位，过闸流量，以及泄流方式（如闸门的开启程序、开启孔数和开启高度）等常常是复杂多变的，因此水闸的闸下消能防冲设施应能够满足任何可能出现的水力条件下，消散动能、均匀扩散水流的要求，且应与下游渠（河）道有良好的连接。

(3) 为了保证分水闸能得到足够的分水量，减少分水闸闸前泥沙淤积，泄水闸能够及时有效地排除渠道内的余水，分水闸、泄水闸的中心线与渠道中心线的交角宜为  $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 。对分水闸较多的闸枢纽，因位置所限，也有交角更小的可能，但不宜小于  $30^{\circ}$ 。泄水闸下游的引渠宜短而直，以利迅速泄水，并减少泥沙在下游引渠中淤积。

(4) 闸底板或闸槛高程的确定，不仅对闸孔的型式、尺寸和闸室的稳定有着决定性的影响，而且直接关系到整个水闸工程的工程量和造价。应根据渠底高程、水流、泥沙、闸址地形、地质等条件，结合选用的堰型、门型，经技术经济比较确定。多泥沙河流上的分水闸，在满足分水条件下，闸槛高程可比渠底高程略高一些，以防止大量推移质泥沙被挟带入渠。排水闸、泄水闸，在满足排水、泄水条件下，闸底板或闸槛高程应尽量定得低些。以保证渠系集水面积内的洪水迅速排走。据调查了解：渠道泥沙少的江苏、河南、四川等省的水闸闸底板或闸槛高程多数与渠底齐平，安徽等省某些水闸闸槛高程比渠底高程略高一些，认为只要满足泄流条件就可以了。

(5) 工作闸门门槽应设在闸墩水流较平顺部位，这是一条基本原则。这样可以避免产生因水流流态不好对闸门运行带来不利的影响。

(6) 水闸的墙体相对单薄，我国北方地区的水闸常因冻胀原因造成墙体歪斜倾倒。抗冻胀措施以加大尺寸、加强排水为主，在墙背换填砂砾料、泡沫塑料板等措施也常采用。

## 9 隧 洞

**9.0.1** 隧洞设计应执行 SL 279—2002 的规定。本章仅做了一些补充性的规定，以方便理解和使用。

**9.0.2** 为了减小水头损失，渠道上常选用无压隧洞。关于洞线布置说明如下：

(1) 洞线不得偏离渠道规划线路太远。洞线选择时隧洞上覆岩体厚度应适中，而不是越厚越好，这是因为随着隧洞埋深加大，不仅增加了施工难度，也在施工条件、临时工程、对外交通、检修条件、地应力等方面带来新的问题，有的甚至影响工期，增加工程投资，故只要埋深能满足上覆岩体厚度和其他布置要求，不一定越深越好。

(2) 由于隧洞工程施工比一般明渠艰巨，单位长度造价高，当傍山渠道长度超过渠道直穿山岭的长度 5 倍时，选用隧洞输水可能是经济的。

(3) 泥沙不能淤积在隧洞中。设置集渣坑、沉沙池以促进推移质为主的泥沙沉积在洞前，再用定期清理或水力冲刷的方式排除。

**9.0.3** 无压隧洞洞身断面型式和尺寸很大程度上决定于围岩特性和地应力分布情况。圆拱直墙式断面轴线与实际内力分布状态有较大差别，但施工方便、水流平稳，适用于地质条件较好，铅直围岩压力较小而无侧向围岩压力情况。其断面高宽比宜为 1 : 1.5，洞内水位变化较大时取大值，垂直地应力大于水平地应力时宜采用较大高宽比，反之取用小值。

当地质条件差，岩石较破碎，铅直及侧向围岩压力均较大时，可选用马蹄形。马蹄形断面有两种标准型式，即顶拱内缘均为半径  $R_1$  的圆弧，而侧墙及底板内缘侧分别为  $R_2 = 2R_1$  或  $R_2 = 3R_1$  的圆弧。

蛋形断面在最大宽度以上的轮廓线一般由三圆心曲线组成，其受力条件比前两者好，适合于地质条件差、围岩压力大的情况。

**9.0.5~9.0.8** 这几条中所引出的几个附录，其内容是对 SL 279—2002 的规定的补充，以方便设计使用。

(1) 在洞身水力计算中，糙率  $n$  值的选用是一个较为重要的问题，因其直接关系到洞身断面大小。 $n$  值不仅与衬砌材料有关，而且还与施工质量、流量大小、流速大小及断面型式等有关。由于影响因素较多，故很难精确选定。

对于大型工程应通过试验并参照类似工程实际观测成果确定。关于锚喷支护隧洞的糙率，实践资料还不多。《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB 50086—2001) 中介绍了两个喷射混凝土支护糙率系数的计算公式 [见该规范公式 (4.4.18-1) 和公式 (4.4.18-2)]，但公式中洞壁平均起伏差较难操作及准确测定，该规范曾对三个隧洞的喷射混凝土支护的糙率进行过实测，并与公式的计算值进行过对比，对比表明，当开挖采用光面爆破时，其壁面的平均起伏差可控制在 115mm 左右，其实测的糙率值为 0.0248，计算的糙率值为 0.025 左右，基本相同。在初步计算时，如表面可达到基本平整的要求，其糙率值可采用 0.025。

(2) 关于隧洞支护与衬砌设计的原则说明如下：

a) 隧洞支护是指通常所称的施工期的临时支护，其作用是加固围岩，提高围岩的自承能力，保证施工期的围岩稳定或提供必要的稳定时间。隧洞衬砌是指保证围岩稳定及使洞内有良好水流条件的洞壁支护结构，是隧洞永久运行所采用的专门衬护结构，包括在施工完成后又作为永久支护的一部分或全部的临时支护，本规范是将支护与衬砌分开的，支护仅指施工期的临时支护。对于施工后作为永久衬砌的临时支护则归为衬砌。

b) 理论和实践都证明，稳定和基本稳定的围岩具有自承和承载能力，将围岩作为与支护衬砌结构联合工作的承载体，而围

岩作为荷载承载的主体，以共同承担水压力及各种荷载，这是水工隧洞设计理论的进步，设计中应充分发挥这种能力，以节省工程投资。

c) 支护的型式选择应根据具体情况，在满足施工期围岩稳定或给后续工作留有足够稳定时间的前提下，通过方案比选确定。如果拟将支护作为永久衬砌，或必须留作永久衬砌，在支护方式的选择时，应考虑运行要求。选择支护型式时，应进行必要的计算（或估算）、分析，以确定支护结构所承受的荷载、支护可能达到的效果和安全程度。工程类比法是选择支护型式的有效方法，结合本工程实际情况，参照类似工程的实例进行支护型式选择有许多成功的例子。

d) 进行隧洞衬砌型式选择时，对于无压隧洞，可不考虑承担内水压力问题，也不要求满足最小覆盖厚度，但要考虑内水外渗问题。对有严格防渗要求的，可采用钢筋混凝土结构并加防渗措施。工程实践证明，水工隧洞采用钢筋混凝土衬砌结构，由于各种原因都存在裂缝而起不到抗裂作用，因此对有严格防渗要求的无压隧洞，若采用非预应力钢筋混凝土结构时，应与防渗措施联合使用。对一些特殊的地质条件，可研究采用预应力混凝土结构，并通过技术经济比较确定。有一般防渗要求的无压隧洞，对Ⅰ类、Ⅱ类围岩多采用锚喷结构，但考虑内水外渗会恶化围岩条件时，为安全计也常采用钢筋混凝土衬砌，应通过技术经济比较确定，当围岩是Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类时宜采用钢筋混凝土结构，主要是为了保证围岩稳定，满足安全运行要求。无防渗要求的无压洞，应以维护围岩稳定为条件来确定衬砌型式，具体采用哪种型式主要取决于地质条件，宜经过技术经济比较确定。

e) 如围岩坚硬完整、透水性小，且内水外渗不致影响相邻建筑物及围岩和山坡稳定时，通过技术经济比较，也可采用不衬砌隧洞。不衬砌隧洞可显著缩短工期，提前发挥工程效益，但糙率大、水头损失大，需要加大断面尺寸。

混凝土和钢筋混凝土衬砌厚度在满足强度和构造要求前提

下,应采用较薄衬砌。理论分析和工程实践表明,用增加衬砌厚度提高结构的抗弯曲破坏能力是有限的,甚至是不合理的。SL 279—2002 第 6.3.1 条给出的最小厚度是从施工要求出发的,实践证明,该厚度可保证施工质量。

传统的结构力学方法是将衬砌与围岩分开,以研究衬砌本身为主的方法。其主要缺点是,仅能求得衬砌应力,不能求出围岩应力,也无法对围岩进行稳定分析;由于以衬砌为承载结构,不仅使衬砌设计断面过大,也无法反映隧洞开挖所采取的加固措施,以及防止围岩变形、最大限度发挥围岩自承作用的设计思想。尽管该法存在上述一些缺点,但该法在我国隧洞设计中已运用了几十年,已形成一套完整的计算体系。设计实践证明,对Ⅳ类、Ⅴ类围岩隧洞和无压隧洞衬砌的结构设计,只要荷载作用分析合理,计算边界条件清楚,采用该法的力学概念明确,计算简单,经验较成熟,在工程中仍多采用此法,并运行良好。目前有关结构力学方法的计算机程序已普遍使用,程序很多,各有特点,但尚无经过鉴定的水工隧洞专用程序,在设计中可结合工程的实际情况选用。

(3) 关于围岩压力、弹性抗力及荷载组合中的几个问题说明如下:

a) 普氏山岩压力计算方法是以松散体理论为基础的分析法。该法是 1908 年由俄国人普罗托基雅柯诺夫 (М. М. Протопьяконов) 提出的。该理论认为,隧洞开挖后,岩体被节理裂隙切割成松散岩体而失去平衡并坍落,在洞顶形成一个稳定的坍落拱(自然平衡拱),作用在衬砌上的垂直压力即为坍落拱以下全部岩石的重力。在计算垂直围岩压力强度时,近似认为洞顶均匀分布,相当于坍落拱高为  $h$  的岩体重力,即均布的垂直围岩压力强度  $q$  为:

$$q = \gamma h \quad (2)$$

式中  $\gamma$ ——岩石容重,  $\text{kN/m}^3$ 。

我国自 20 世纪 50 年代以来,很长一段时间都采用该理论来估算围岩压力,尽管这一方法与实际有较大出入,但在长期实践

中积累了较成熟的经验，故在无压隧洞衬砌设计中仍多采用此法。

b) 不能形成坍落拱的浅埋隧洞并非单纯指隧洞的覆盖厚度，而是指由于地质条件、地下水、断面型式尺寸、施工方法等综合因素造成的全部坍落的上覆岩体。水工隧洞不能形成坍落拱的浅埋隧洞多出现在无压隧洞，特别是无压土洞中。要严格地确定深浅埋的界限很困难。因此，在土洞中多用荷载等效高度来判断，在岩洞中多用工程类比、地质预报和实际地质情况来分析确定。

土洞按荷载等效高度分界的判定式如下：

$$H_p = 2.5 H_g \quad (3)$$

$$H_g = \frac{q}{\gamma} \quad (4)$$

式中  $H_p$ ——深浅埋土洞的分界深度，m；

$H_g$ ——荷载等效高度，m；

$q$ ——深埋土洞按松散介质平衡理论（普氏理论）计算出的垂直均布压力，MPa，见公式（2）；

$\gamma$ ——土的容重， $103\text{kN/m}^3$ 。

c) 围岩弹性抗力是衬砌在主动荷载作用下向外变形受到围岩抵抗而施加于衬砌外壁的反作用力，方向为法向。由于其能帮助衬砌分担部分外荷载，对衬砌是有利的，故选用弹性抗力应慎重。衬砌与围岩间存在弹性抗力是有条件的，除考虑洞壁的变形情况外，衬砌与围岩应紧密结合，围岩应坚硬完整，并有足够的覆盖厚度，此外，隧洞开挖的形状和尺寸及作用于衬砌上的荷载性质及分布情况均影响弹性抗力系数。如果围岩很破碎，或衬砌与围岩结合不紧密以及预制装配式衬砌等，均不考虑弹性抗力作用。按弹性理论推导出的弹性抗力系数的公式仅适用于承受均匀内水压力的有压圆形隧洞，而无压隧洞多为非圆形断面，且不承受均匀内水压力，故不能使用。附录 E 表 E.0.1 给出的无压隧洞岩石抗力系数引自我国 1966 年颁布的《水工隧洞设计暂行规

范》，可供参考。该值适用于 5~10m 跨径的无压隧洞，对跨径较大的隧洞该值适当降低，跨径较小时可相应提高。

对于圆拱直墙式、马蹄形及蛋形无压隧洞弹性抗力的大小及分布，根据隧洞在垂直山岩压力及内水压力作用下的变形特点，可得出其分布图形，参见附录 E 第 E. 0.1 条。

随着计算机的普遍使用，使用计算机还可对衬砌的弹性抗力分布不作任何假定，而由程序迭代计算自动得出，较前述假定弹性抗力分布更为合理。

d) 在荷载基本组合中分为考虑围岩抗力和不考虑围岩抗力两种情况，这是因为岩石弹性抗力是岩石抵抗衬砌向围岩方向变形的能力。当考虑侧向水平围岩压力时，则说明衬砌可能产生不是向围岩方向而是离开围岩的变形，即不会产生围岩弹性抗力。反之，考虑围岩弹性抗力时，则不考虑侧向水平围岩压力。

无压输水隧洞荷载组合较为简单，其偶然组合即为基本组合与偶然荷载中的加大水位时的内水压力或施工荷载、灌浆压力中的一种或几种的组合。

**9.0.9** 鉴于《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008) 已经颁布实施，故增加本条规定，并应注意采用 SL 279—2002 的最新版本。

## 10 跌水与陡坡

### 10.1 一般规定

**10.1.3** 在我国西北黄土高原及国内其他丘陵地区的灌排渠道中，跌水与陡坡是较为普遍的建筑物，其用途很广泛。除了在通过高差较大或坡度较陡地段作为调整渠道比降和避免深挖方或高填方的上、下游渠道连接建筑物外，在干支渠分水处，如两者高差较大时，常作为连接两级渠道的建筑物。在渠道与塘、库、沟等串联补水工程中，常作为进水道等的连接建筑物。为保证渠道安全、调节干支渠流量等，一般在渠道的适当地段，或在重要渠系建筑物（如渡槽、倒虹吸）上游处均设置安全退水、泄水或调节分水的闸（堰），其后也需要使用跌水或陡坡来连接渠道或河（沟）道。

跌水与陡坡型式的选择，应根据当地具体情况及技术经济条件确定，通常主要决定于地形、落差、流量等因素。从地形上说，要满足安全经济则应是挖填方工程量少（水面线宜低于地面），即要选择地面落差集中处布置，或者随地形坡降而布置。由于跌水的土方开挖量、跌水墙的工程量和跌水产生的噪声污染均与落差成正比，所以全国各地已建成的灌区中，跌水的落差很少有超过 5m 的。加之跌水的消能效果又远比陡坡好，故跌差小于 5m 时一般均采用跌水。在实际工程中，陡坡比跌水的应用要广泛，如地形合适，陡坡可以顺地面布置，土方量较小，只要陡槽土坡稳定，槽内水流流速不超过建筑材料的耐冲流速，跌差可以较大，工程实践中常见几十米落差的陡坡仍安全无恙。陡坡的适应性强，当陡槽纵坡在  $1:3 \sim 1:5$  时，陡槽材料只是护面性质。如跌差较大，可做多级跌水或多级陡坡。

斜管式跌水和跌井为地下封闭结构，具有土方开挖量、工程量和占地面积都小的优点，斜管段覆土后可以绿化复耕，恢复景

观或者通行道路，特别是能很好地适应高寒地区的抗冻胀要求，在我国东北等寒冷地区的多年运用经验表明，其防冻胀效果明显。在我国北方黄土高原沟壑区的大落差塬边和城市给排水管道上，为了节省土方开挖量，也常采用跌井型式。此外，有些退水渠，如遇有陡坎且落差较大，土质较好且边坡稳定时，则宜用跌井，特别是当退水闸靠近河岸，水流要直接退到河道时，采用跌井则工程量更小。一般已建成的斜管式跌水和跌井的流量多不超过  $6\text{m}^3/\text{s}$ ，大流量高跌差的跌井则应按照水库工程中的竖井式溢洪道设计。

跌水与陡坡运行时，会因水流跌落和强烈的水跃碰撞产生较大的噪声，故要求跌水和陡坡避免建在党政、文教、机关办公区，教学区，旅游宾馆，疗养区，居民区附近，以尽量减少其运行噪声对周围环境的影响。噪声对这些区域产生的影响应满足环境法的规定，以体现工程设计注重以人为本，努力营造良好人文环境的时代特色。

**10.1.5** 陡坡陡槽段的轴线如为折线会产生折冲波、水流不对称、淤积和空蚀等一系列问题，应慎重对待或采取相应处置措施。

## **10.2 总体布置**

**10.2.3** 跌水与陡坡进口段的主要任务是：满足泄流能力的要求；使水流尽量平顺通过进口控制段进入跌落或陡坡；在通过各级流量时，均能保证上游渠道要求的水位，不发生过大的壅水和降水现象，同时做好防渗。为此，本规范规定了进口的形状、长度并要求设置缩小过水断面的跌口。对上游水面降落渠段内无分水口和已衬砌耐冲的渠道，就不需要再设跌口，以加大单宽流量，节约工程投资。

**10.2.4** 陡坡陡槽段的主要水力特性是坡陡、流急，水流对边界条件的变化非常敏感，故应尽量减少陡槽边墙的扩散、收缩和转弯，使其保持同一纵坡或者采用越来越陡的纵坡，这对防止出现

折冲波和水流不脱离槽底，以减少空蚀是十分必要的。

必须转弯的陡坡应设置缓流段进行转弯，并应在陡槽转弯段采取克服急流折冲波的有效措施。

陡槽段的纵坡涉及陡槽长短及材料用量，一般应随地形而定，过陡会增大土方开挖量并可能造成土坡失稳。只要陡槽段斜面与水平面之夹角（倾角）小于地基土壤潮湿或者饱和水状态（以陡槽衬砌效果确定）下的内摩擦角，就能保证陡槽土坡稳定。

陡槽段流速较急，实验表明，一般当流速达到  $7\sim 8\text{m/s}$  时，水流会出现掺气现象，掺气后水深加大，陡槽边墙应随之加高。当流速超过  $14\text{m/s}$  后就增加了空蚀破坏的可能性，因此，限制表面平整度和采用人工掺气都是行之有效的减蚀措施。

人工加糙会使陡槽糙率增加，从而加大水深并降低水流速度，减小陡坡下游消能压力，效果比较显著，在落差不大的工程中采用较多。人工加糙一般由一定型式、一定间距、高于陡槽的突出物组成。若其间距过小或者型式及其他参数选取不当，轻者会使槽内急流脱离陡槽底面而产生不同程度的负压，造成空蚀破坏，重者能引起陡槽底板或边墙振动，严重影响建筑物自身安全，所以选择加糙型式时必须慎重或经试验确定。工程中常用的加糙型式有棋盘式、交错式、单人字形、双人字形、矩形横条和台阶式加糙等，可根据具体情况选择，同时应加大陡槽边墙高度。

陡槽段的主要任务是平稳安全地输送水流，矩形断面是最合适的型式。但在宽度大、水深浅、坡度大的陡槽中，可能发生横贯陡槽连续不断的滚波，造成急流不稳。通过限制湿周来限制陡槽宽度或者采用人工加糙来增加水深都是防止滚波现象的措施。

陡槽的衬砌应设置沉陷伸缩结构缝，接缝处若不平整而存在升坎、跌坎、凸起体时，往往会成为高速水流产生空蚀的最重要的原因。此外，高速水流若沿伸缩缝钻入衬砌底面或岩石缝隙还会产生动水压力，掀起底板，引起工程安全事故，因此应严格控制接缝的施工质量。

**10.2.6** 跌水与陡坡设计中最关键的问题是防止下游渠道的冲刷。根据我国西北地区渠道的调查,跌水与陡坡几乎普遍存在着严重的冲刷问题。虽然采取了延长护坦及其他措施来维护渠道的稳定,但冲刷问题仍未得到根本解决。陡坡和跌水(主要是陡坡)下游冲刷的影响因素很多,最主要的是跌水口的单宽流量,消力池的长度、深度和型式,消力池与下游渠道的连接型式以及运行管理情况等。根据对陡坡、跌水下游渠道产生冲刷原因分析,可采取以下一些措施:

(1) 根据实地观测,下游冲刷往往是由于跌口单宽流量过大所致,故设计跌口时,不仅应满足过水能力及不使建筑物前产生过大壅水和降水,而且应使跌口单宽流量  $q_k$  与上游渠道单宽流量  $q_0$  维持一定比例,该比值以  $q_k/q_0 = 1.3 \sim 1.6$  为好。有时为了使跌口单宽流量不致过大,可采用台堰式跌口,或在跌口前设置跌舌,对于陡坡则可采用扩散式陡槽。

(2) 消力池的宽度应能使消力池的单宽流量不大于  $10 \sim 15 \text{ m}^3/\text{s}$ ,跃前水流佛劳德数大于 2.5,在 4.5~9.0 之间;消力池深度应按照水跃跃后水深大于下游渠道水深和淹没系数等于 1.05~1.10 倍的原则选取。池长应大于陡坡的水跃长度或者跌水自由跌落水舌的水平投影长度与水跃长度之和,详细计算见附录 F.2。跌差较小而流量较大的陡坡,  $b_2$  型降水曲线长度多大于陡槽长度,陡槽末端出现水跃跃前水深。跌差较大而流量较小的陡坡,降水曲线会在陡槽内结束,陡槽末端水深已经趋于正常水深,其所需消力池的长度不再随跌差增加而增大。应注意,消力池的最大池长和池深并不一定与渠道最大设计流量相对应,应将通过陡坡或者跌水的流量按数值分级并分别求其水跃跃后水深和下游渠道水深,选用水跃跃后水深和下游渠道水深之最大差值所对应的流量值来设计消力池。

(3) 应保证消力池出口断面的流速分布均匀。消力池设计过小或过短,是造成下游冲刷的重要原因,应予以重视。为了降低出口平均流速,出口流速最好控制在下游渠道最大允许流速的 0.5

~0.7 倍范围内。

(4) 国内外在渠系建筑物新型消能设备方面的研究成果较多,在大量试验的基础上提出了一些新型消力池,如格栅式、USB式、SAF式、冲击式和菱形陡坡消力池等,多数已经过实践考验,设计思想新颖,消能效果明显,工程费用节省。但其针对性很强,各有不同的适用条件,应结合具体工程情况详细类比选择,跌差较大而重要的跌水或陡坡的消力池的布置型式,宜进行水工模型试验确定。

**10.2.8** 跌水与陡坡本身是连接落差的建筑物,渗透水流具有较大的水头位能。因渗流及其冻胀作用会造成地基土壤、砌体的淘刷破坏,河旁库边的大跌差陡坡会在河库水位骤降时引发地基土壤滑塌失稳,会加大跌水墙背的填土容重,因此在进口加强防渗措施的同时,应在布置陡槽及消力池段时设置基础排水设施。陡坡基础排水设施一般可分段设置横向排水沟(管),并与沿陡坡两侧或中轴线设置的纵向排水沟(管)相连通,使渗水沿纵、横向排水网和分段设在陡坡衬砌体水面以上的排水孔排入消力池或下游渠槽中。消力池水深以上的跌水墙上应视渗流水量设1~2层排水孔将渗水排入消力池。所有排水孔内侧应做好反滤。

**10.2.9** 要求多级跌水(多级陡坡)在各级消力池末端至下一级的跌口(或下一级陡坡的陡槽起点)之间设置一段底坡为零的整流段,整流段的纵向顶长应大于其水跃的跃后水深,是为了使从消力池出来的极度紊乱水流能在整流段中得到调整并达到稳匀后再进入下一级,使下级陡槽中不出现折冲波。为了适应地形,各级消力池后还可以用渠道连接再伺机下跌。最后一级采用消力池时,应保证下游渠槽水深大于池中跃后水深。如果池后为河道或宽阔沟道,则应按出口断面处河道或宽阔沟道的实际水深来确定消力池深度,无水河沟的水深应取为零。要求各级的落差基本相同,主要是为了减小设计工作量和方便施工。

**10.2.10** 为了保证斜管式跌水管内为压力流态,应确保进口充分淹没或者限制其工作跌差小于6m,以便在管末不能保持满管

压力流态时负压有限。斜管式跌水管内若为全无压明流状态，则浪费了管道断面，如无充分理由不应采用。斜管跌水应满足下述要求：管道接头不漏水、斜管的坡度应大于临界底坡、纵断面不应从陡坡变为缓坡以免在管内发生水跃、因地制宜地采用特殊型式的消力池。

**10.2.11** 我国东北寒冷地区为了保温，城市市政暗渠或为了使暗管少占地，多采用跌井型式，其流量、跌差一般均不大，且井筒全部砌护。我国西北黄土地区塬高沟深，一些小流量支、斗渠上人工开挖的跌井工程量显著较小，跌差有时超过 20m。跌井的竖井为上小下大形状的，设计简单，而上大下小的竖井、弯管和横洞不应为满管有压流，设计比较复杂。跌井存在的主要问题一是进口淹没水深小、进口和井口顶坎的形状欠佳而常出现漏斗状漩涡，二是消能不完全，常造成出口冲刷破坏。

## 10.3 水力设计

**10.3.1、10.3.2** 在跌水与陡坡水力设计中，过流能力和水跃消能计算是必须进行的基本内容。推求陡槽段水面线和掺气水深计算是大跌差、大流量、高流速陡坡或者重要工程必须进行的内容。

水跃计算首先应确定跃前水深，跃前水深一般由降水曲线推求。对下游水深较大，淹没式水跃在陡槽末端开始的情况应利用参考书籍介绍的方法推求跃前水深，再利用水跃公式求跃后水深。各种消力池均有特定的设计方法，本规范不便详述。本规范只简述了平底矩形消力池的设计原则，并在附录 F.2 中给出了其计算公式。消力池应能导致发生并容纳整个淹没式水跃，池深应能使跃后水面略低于下游渠道水面。跌水的消力池长度应略大于跌水水舌与水跃长度之和，池宽应大于经全部跌口后扩散下泄后的水舌宽度，单宽流量愈小，消能效果愈好。

**10.3.3** 陡坡上的水面线为  $b_2$  型降水曲线，推求陡槽水面线时首先应确定起始断面及其水深。大量试验表明，陡坡起始断面的

水深一般小于临界水深，临界水深发生在跌口上游，距离跌口控制断面大约 1 倍临界水深的范围内。在跌口控制断面及其下游一段距离内水流为急变流，并逐渐过渡到渐变流，最终向正常水深趋近。在实际工程设计中，为了简化计算，一般可采用临界水深作为陡坡起始断面即控制断面的水深，并以此推求陡坡中的水面线。这样算出的水面线高于实际值是偏于安全的，对于一般陡坡是适宜的。但对流量、跌差较大的重要陡坡，则应准确计算控制断面的水深，进而推求水面曲线或由水工模型试验确定陡槽水面曲线。

## **10.4 结构设计**

**10.4.7** 关于跌水与陡坡消力池挡土墙及陡槽荷载的计算方法，可参考《溢洪道设计规范》（SL 253—2000）附录的规定。北方一些跌水与陡坡的消力池经常淤积严重且石块巨大，需要用机械清除，凡可能发生这种情况的，消力池底板设计中应考虑清淤机械的荷载。

# 11 排洪建筑物

## 11.1 一般规定

**11.1.1、11.1.2** 灌溉渠道由于下列原因易遭受洪水破坏：傍山修建的盘山渠道截断了天然洪水排泄的通道导致暴雨洪水夺渠而入，渠道因大量塌方、渠旁树木、杂物进入渠中阻塞漫溢而形成的意外事故，渠首或其他闸门操作失误造成的事故，以及渠道下游泵站或水电站突然停机关闭使引水渠道水位上涨漫溢等。我国四川等地区还有灌溉汛期兼做排洪渠道的习惯。修建排洪建筑物的目的就是为了防止由于上述原因而造成渠水漫溢、渠堤决口垮塌及对渠系建筑物的破坏。此外，在一定长度的渠道上或重要渠系建筑物、重点保护区上游也需设置兼有泄空退水功能的排洪建筑物。

当洪水水位等于或高于渠道且流量不大，而渠道设计水位以上的超高断面可以容纳该洪水顺利通过时，或者渠道可以停水全力排洪时，可引其进入渠道择机排出。流量较大、污染严重的洪水应视其与渠道高程的关系，采取跨渠或穿过渠底的建筑物排泄。对排、引结合且水面高程基本持平的可采用平交排洪建筑物，在条件允许时，应尽量采用非入渠排洪建筑物，不让洪水入渠以减轻渠道负担并方便管理。

本章主要规定渠道排洪建筑物的设计，不包括相关的河流、沟溪防洪保护、坡面排水、退水渠道和容泄区整治等工程设计内容。

**11.1.3** 排洪建筑物的数量、位置、结构型式、功能和布置应根据地形、地质和运用条件通过方案比较综合确定，满足渠道防洪设计的统一要求。不必强求等距离设置或过分集中排泄，应尽量减少附属工程数量。排洪建筑物应尽量利用原有的洪水通道，新建的也应尽量与原洪水通道连通。

在不影响自身运用且有条件时，与其他渠系建筑物结合布置可以减少对渠道的干扰和工程量。例如：排洪闸与泄空退水闸结合、排洪渡槽与桥结合、渠下排洪涵洞与交通涵洞结合等。

**11.1.4** 渠道洪水的成因类型通常有暴雨型、融雪型、沟溪小水库的溃坝型或其复合型。形成渠道洪水的汇流面积一般不大，应采用小流域设计洪水的计算方法或当地适用的经验、推理公式计算。对于非入渠洪水的设计方法可参见 11.3.2 条、11.3.3 条的条文说明。对入渠的洪水，常常是在渠道以外先行收集洪水，经入渠口引入渠道。沿途汇集几个入渠口引入的洪水后，再经渠侧排洪建筑物排出，故其设计流量应是几个入渠口所引入洪水的流量之和。

**11.1.5** 一般的排洪建筑物应尽可能可以自动启用运行，以提高安全可靠。

## 11.2 总体布置

**11.2.1、11.2.2** 入渠排洪建筑物的功能是将洪水安全的引入渠道，以便增加灌溉水源或者利用渠道超高断面的过流能力输送洪水并将其由排洪建筑物泄入天然溪沟。

(1) 引洪入渠口宜结合地形或防洪设计分散、多处设置。应准确推算入渠洪水流量，确保引洪入渠口正常运行，使洪水安全通过。实际工程中常见因洪水超过设计流量以及施工弃渣改变了洪水流道位置等原因，导致毁坏入渠口，使洪水不能从设计的引洪入渠口顺利入渠的事故。含沙量大的引洪入渠口前应设置沉沙池，避免泥沙入渠。

四川省等一些多雨地区的灌溉渠道，是唯一便利的泄洪通道。在灌溉季节遭遇洪水时宁肯停止灌溉，也要腾出渠道全力泄洪。

(2) 进入渠道的洪水流量应不大于渠道设计水位以上安全超高断面所具有的泄洪能力。

**11.2.3** 溢洪侧堰是最简单的开敞式渠堤溢洪建筑物，过堰水流

方向与渠道水流方向垂直，其泄流能力主要由堰顶长度、高度和堰型决定。堰顶应与渠道设计水位齐平，溢流时，堰前最高水位允许达到渠道加大水位。应以组合洪峰流量和渠道设计流量的差值作为设计流量，其宣泄能力较小，宜作为渠道上的辅助泄洪建筑物。为加大泄量，常采用降低堰顶，并加设自动翻板闸门、自溃式子坎等措施。溢洪侧堰应设在稳定的场地和良好的地基上，堰后有完善的消能防冲设施和洪水出路，确保安全泄洪。

**11.2.4 虹吸溢流堰**是在渠堤上利用虹吸作用自动渲泄水量的泄洪建筑物，由设于渠顶的矩形过水断面虹吸管、驼峰状堰、通气孔和末端消力池组成。堰顶高程与渠道设计水位或加大水位齐平，虹吸管断面尺寸根据作用水头和要求泄量按有压流估算，一般不宜过小，以便进行检修。其特点是：在相同水头下，其有压流的泄量远大于溢洪侧堰无压流的泄量，或者是泄量相同时需要的水头及堰顶长度较小。虹吸管道进口应有足够的淹没深度，进口断面尺寸至少为堰顶断面的两倍以上，以避免带入空气、漂浮物和减少水头损失。在堰顶下游具有一定水头的堰面上设挑流低坎，将刚开始溢出的水流（尚未充满虹吸管的）成水帘状挑向对面管顶以封闭虹吸管，避免空气由管尾进入，促进形成有压流。虹吸溢流堰结构紧凑，能自行启闭，可作为单独的安全溢流设施，也可作为重要排洪闸的安全保险措施同时建设，实用效果好。

**11.2.5 排洪闸**泄量大并可很快泄空渠道水量，兼有排洪、排沙和事故退水功能，分开敞式和涵洞式两种。排洪闸底槛高程宜与渠道底齐平或降低，出口宜设置陡坡或跌水及消能防冲设施。与渠道节制闸联合布置的排洪闸，可加快泄洪、拉沙，便于管理。陕西省 20 世纪 70 年代开始采用一种在被泄渠道上不设节制闸的无闸式泄洪闸。其潜没式泄洪闸开启后，被泄渠道的水流全部进入闸前渠底凹槽后泄出，这种型式具有投资少、效果好等优点，可以推广。

提高排洪闸自动运行能力是十分必要的安全措施。加强养

护、提高遥控能力、允许从关闭的闸门顶部溢流和闸旁设置虹吸式溢洪堰都是实践证明可行的方法。排洪闸的设计流量应包括渠道设计流量和进入该渠段的洪水流量。

**11.2.6~11.2.8** 非入渠排洪建筑物包括与渠道立体交叉的排洪渡槽（桥）、涵洞、倒虹吸管等渠系建筑物，用以将被渠道截断的天然溪沟洪水、收拢的坡面雨洪和洼地积水通过渠顶或渠下排走，不让洪水入渠。

排洪渡槽（桥）的布置和设计方法与常规渡槽相同，所不同的是对水头损失和进、出口水流平顺条件要求不严格，故可以采用较大的纵坡，简化细部结构，必要时增设出口陡坡和消能防冲措施，以减小槽身段过水断面，节约投资。排洪渡槽（桥）不应阻断渠顶检修道路，渡槽两端过渠顶段应采用过水路面或埋设涵洞等型式，既满足渡槽过水，又保障渠顶道路畅通。排洪渡槽（桥）下部构造和净空应满足渠道运行要求，不影响渠道正常输水和渠堤道路畅通。北方地区的排洪渡槽每年泄洪次数有限，可以兼作农桥沟通日常交通，做到物尽其用。

渠下倒虹吸管、渠下涵洞的设计要点：一是要防止其淤积堵塞，进口应设沉沙池，断面不应过小；二是对水头损失要求不高，可采用较大纵坡；三是应注重维护渠道各类设施安全，确保渠道和排洪建筑物共同安全正常运行。

采用渠下涵洞泄洪时，有条件的宜兼作交通涵洞。

**11.2.9** 在湖北、湖南两省的平原、圩垸水网发达区，溪沟或河道的洪枯水量差别不大，含沙量较小，渠道与溪沟的水面高程接近，且水稻等农作物需水量较大。针对这些特点采用平交排洪建筑物可以使两相交水流在不同的时段内，根据需要或将河水引入渠道灌溉，或将渠道洪水泄向下游溪沟，同时满足了渠道和河道安全运行的需要。

可将平交的河沟与渠道比拟为十字路口交叉的两条大街，把节制闸比拟为设于路口的红绿灯，就可充分体会到平交排洪建筑物之妙处。

## 11.3 水力设计

**11.3.2、11.3.3** 渠系排洪建筑物的设计洪水一般为小流域洪水，推求排洪建筑物的设计洪水流量时，首先应确定小流域集水面积和洪水成因。按成因划分的洪水类型一般有暴雨洪水、融冰雪洪水、降水和冰雪混合洪水以及沟道谷坊小水库的溃坝洪水，均有相应规范指导具体计算。主要推求设计洪峰流量、洪量、洪水过程线及相应的洪水位。但是一般小流域常常缺乏水文观测资料，需要采取推理公式法、地区经验公式法、综合参数法等经验方法推算。这类小流域设计洪水的计算方法各地的差异较大，故应以各省（自治区、直辖市）水文系统总结的成熟方法为主进行计算，参见本规范第 7.3.2 条条文说明。积水计算参见本规范第 7.2.8 条条文说明。

**11.3.4** 排洪建筑物的型式不同，其过流能力应采用不同方法计算。排洪渡槽（桥）、倒虹吸管、涵洞、排洪闸的水力计算分别参见本规范第 5 章～第 8 章，溢洪侧堰的水力计算可按水力学中分水角为  $90^\circ$  时的实用堰水力计算方法进行计算。其结构计算和地基处理方法也同样参见上述各章。

## 12 农 桥

### 12.1 一 般 规 定

**12.1.1** 本章的规定只适用于与渠道相关的桥梁。跨渠桥中数量最大的是乡村道路桥（即国家4等公路以下的等外级道路桥梁）。渠堤顶部都设有宽度不等的巡查检修道路，3级以上渠道的渠顶检修路可通行原汽—15级中型汽车。

**12.1.2** 《中华人民共和国水法》第四十三条规定：“国家对水工程实施保护。国家所有的水工程应当按照国务院的规定划定工程管理和保护范围。

国务院水行政主管部门或者流域管理机构管理的水工程，由主管部门或者流域管理机构商有关省、自治区、直辖市人民政府划定工程管理和保护范围。

前款规定以外的其他水工程，应当按照省、自治区、直辖市人民政府的规定，划定工程保护范围和保护职责。

在水工程保护范围内，禁止从事影响水工程运行和危害水工程安全的爆破、打井、采石、取土等活动”。

根据这一法律规定，所有在渠道管理或保护范围内兴建的所有行业的任何建筑物，都应服从本规范的规定。

**12.1.4** 我国交通运输部公路规范仅适用于四级及四级以上各级公路及其桥梁，没有对四级公路以下道路进行分级的规定。因此，本规范规定四级公路以下的乡村道路和渠堤专用检修路为等外级道路，在其上的桥梁为等外级桥梁，并定义为农桥。本章对农桥的设计等级与荷载作出了规定。乡村道路泛指村与村、乡镇与村庄之间交通部没有规定等级的公路，田间道路是指村庄和种植田园之间或者种植田园内部的机耕路，放牧道路是指牧区很少通行中型车辆的道路，渠堤检修路也属于该范围，为了统一名称又不要分级过多，把与渠道相关的乡村道路上的桥梁统一命名为

农桥。

按本章规定的农桥的定义可知：一是农桥属于等外级桥梁；二是农桥不能通行重型车辆，只能通行中型汽车（按农桥—Ⅰ级汽车荷载设计的农桥）或小客车（按农桥—Ⅱ级汽车荷载设计的农桥），或者只能通行分别与中型车、小客车荷载相同的拖拉机、低速货车、三轮汽车；三是农用人行桥只能通行人群。否则应按国家等级公路桥梁设计。

根据国家发展和改革委员会决定，从 2006 年起取消“农用汽车”称谓，与汽车管理相衔接。按照《汽车产业发展政策》、《车辆识别代号管理办法（试行）》和有关国家标准的要求，三轮农用运输车更名为三轮汽车，四轮农用运输车更名为低速货车。

**12.1.6** 公路设计速度是公路设计时确定几何线形的基本要素。它是在气象条件良好、车辆行驶只受公路本身条件影响时，具有中等驾驶技术的人员能够安全、舒适驾驶车辆的速度，因此它与运行速度有密切关系。根据国内外观测研究，当设计速度高时，汽车运行速度低于设计速度；当设计速度低时，汽车运行速度高于设计速度。这也说明设计速度与汽车运行安全有关。表 5 摘录了我国交通运输部规定的各级公路设计速度，说明农桥已经采取了与四级公路相同的设计速度。

表 5 各级公路设计速度

| 公路等级           | 高速公路 |     |    | 一级公路 |    |    | 二级公路 |    | 三级公路 |    | 四级公路 |
|----------------|------|-----|----|------|----|----|------|----|------|----|------|
| 设计速度<br>(km/h) | 120  | 100 | 80 | 100  | 80 | 60 | 80   | 60 | 40   | 30 | 20   |

四级公路可以是双车道，也可以是单车道。因此交通量更低的农桥按单车道设计是可行的，仅对特殊情况予以放宽。

12.2 总体布置

**12.2.2** 桥孔布置关系渠道运行安全、渠道输水能力、灌溉或排水面积及效益，所有跨渠桥梁的桥孔布置应符合本条规定，才能

确保不影响渠道功能和安全。同一渠道上的桥梁宜采用同一结构型式，以有利于优化设计和便于施工，且美观整齐。实现桥梁结构型式和跨度的标准化，可以达到提高质量、缩短工期、减小造价的目的。

**12.2.3** 本条第1款的安全高度值系参考《灌溉与排水工程设计规范》(GB 50288—99)及《碾压式土石坝设计规范》(SL 274—2001)的有关规定制定。

**12.2.4** 参考《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)第3.3节的规定，考虑单车道农桥长度较小，为了便于农业机械通行，一般可以按人与汽车不同时过桥的情况设计，不设人行道而且只设路缘石。

关于农桥宽度，本规范编制组调查了国内农业机械生产供应情况，调查结果表明条文内容是合适的。调查结果如下：

为了解目前国内大型农业机械的结构外形尺寸，先后对国内20多家大、中型农机制造企业进行了调查考证，其中包括目前全国较大的农机制造公司约翰迪尔佳联合收获机械有限公司和山东双力集团股份有限公司。

目前手扶拖拉机宽度基本上在0.96~1.929m范围内。常州东风农机集团有限公司生产的东风牌系列手扶拖拉机最小宽度为0.96m，江苏悦达盐城拖拉机制造有限公司生产的黄海金马系列拖拉机宽度在0.96~1.929m范围内。

农机尺寸大小不等，大多在0.5~2.7m之间。江苏悦达盐城拖拉机制造有限公司生产的1LS—125型单铧犁宽度仅0.5m，单铧犁可以组装成三铧犁、六铧犁等。湖州中收星光收割机有限公司生产的新三王一骄子联合收割机4LZ—2.5型宽度为2.7m。目前国内最大的收获机械为山东双力集团股份有限公司生产的双力3588自走式纵向轴流广谱联合收割机，最大割幅达4.0m(大豆)，据厂家专业人员介绍，机械最大零部件均可拆卸，能满足公路运输。约翰迪尔佳联合收获机械有限公司专业人员介绍，该公司生产的大型收获机械一般适用于大型农场，不适用于山区，

但这些机械都采用把部件运至使用地点再组装成型的方式，每个部件及其包装均能满足公路运输的要求。

目前，公路运输最宽的平板挂车为郑州白云机电装备股份有限公司生产的 YMK9270 栏板半挂车，宽度 2.5m。

因此，目前生产的农机，符合公路运输的规范要求。本规范采用的车行道宽度与公路规范一致，并考虑大型农机只是季节性过桥下田，无须因此而增加桥面宽度。

**12.2.5** 本条要求当跨渠桥从渠堤检修路上空立体交叉通过时，其桥下净空除应满足桥下公路的功能要求外，还应满足视距和前方信息识别的要求，同时应满足渠堤宽度的要求。

**12.2.7** 本条内容基本上是《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)第 3.3.6 条的原文。

**12.2.8** 本条内容是长期实践的总结，合适的桥上和桥头引道纵坡可使桥路衔接顺畅，满足行车要求，充分发挥桥梁作用。

**12.2.9** 对小农桥可以采用一侧栏杆一侧路缘石的布置型式，既方便了满载秸杆的车辆通行，行人也有一侧栏杆保护。对跨度和高度更小的农桥，即万一有人掉下去也无危险的可只设路缘石。

## 12.3 农桥荷载标准

**12.3.1** 表 12.3.1 内容摘自 JTG D60—2004 的规定。本规范中其他渠系建筑物设计均采用 SL 191—2008 的规定，并使用“荷载及荷载组合”等术语，而现行公路桥涵设计规范采用分项系数极限状态法并代之以“作用和作用效应”这一术语。这里，作用是指外界环境施加给建筑物的影响，而作用效应是指结构受到作用后产生的内力变形、振动等。按作用随时间的变异性可分为永久作用、可变作用和偶然作用。在设计表达式中作用变量所采用的值称为作用代表值，对于永久作用和可变作用采用标准值作为代表值。本章为了方便引用公路规范，故采用了公路规范的说法。

**12.3.2** 本条所说的公路—I 级和公路—II 级汽车荷载，分别相

当于已作废的《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89) 的汽车—超 20 级和汽车—20 级荷载等级。但车道荷载的计算图式等发生了很大变化。

实践表明, 原规范荷载的计算图式对人工和计算机加载计算都不很方便, 且计算效应随桥梁跨径的变化是不连续的。现行公路规范采用由均布荷载  $q_k$  和集中荷载  $P_k$  组成的图式, 只要知道梁的影响线面积和最大竖坐标值, 荷载效应即可算出来, 而这些影响线面积和竖坐标值可在桥梁设计的有关手册查得或通过较为简单的计算得到。

**12.3.3** 本规范增补农桥 I 级和农桥 II 级两个汽车荷载等级是出于下述原因: 交通运输部公路设计中已经淘汰了汽车—15 级和汽车—10 级荷载。由于现有四级公路多数按原 JTJ 021—89 的汽车—15 级荷载设计, 故 JTG D60 第 4.3.1 条第 3 款最后一段所表述的汽车荷载即为汽车—15 级的荷载, 本规范将其命名为农桥—I 级汽车荷载。同理考虑到大量生产桥实际上以通行载质量为 2t 以下各种车辆为主, 故本规范所命名为农桥—II 级的汽车荷载实际就是原 JTJ 021—89 规范的汽车—10 级荷载。

所增补的两个汽车荷载等级的计算图式仍为由均布荷载和集中荷载组成的车道荷载计算图式。但没有明确的荷载标准值, 而是用其荷载效应和乘了折减系数后的公路—II 级荷载效应相等的方式表达的。其车辆荷载可以采用这种打折的方式表达, 当然也可以直接使用汽车—15 级和汽车—10 级的汽车荷载或其车队中的加重车后轴重 (分别为 130kN 和 100kN) 来计算。

关于农桥—I 级汽车荷载折减系数的计算方法, 系 JTG D60 第 4.3.1 条第 3 款已经采用的方法。而关于农桥—II 级汽车荷载折减系数的计算方法, 本规范征得中交公路规划设计院同意后采用了分别计算跨度为 2~50m 的简支农桥在汽车—10 级或公路—II 级汽车荷载作用下的内力, 然后以两者跨中最大弯矩和支座最大剪力关系的平均值作为折减系数。实际设计中对其他跨度和支承方式桥梁的折减系数则可照此推理计算确定。

在我国经济发达地区，相当于汽车—15 级的中型货车经常进入乡镇工厂或进入农田蔬菜大棚、果园、养殖厂运输货物，本规范规定采用农桥—Ⅰ级汽车荷载设计这类等外乡村道路上的农桥，其实是将这类农桥与重型车辆较少的四级公路桥涵同样对待。

而在我国经济欠发达地区，大多数乡村道路只通行汽车—10 级以下吨位的车辆，即按原 JTJ 021—89 规范设计的乡村道路桥梁仍然适用，因此本规范采用农桥—Ⅱ级汽车荷载设计。

由于田间道路通车情况复杂且不便划分太多的等级，故采用农桥—Ⅱ级荷载等级或按专用人行农桥设计。

中型车指载质量小于 5t 的汽车。小客车指载客量为 19 座以下的客车，即载质量小于 2t 的汽车，以及载质量更小的低速汽车、三轮汽车、小四轮拖拉机等车辆。

《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)中关于中型车的定义为：大于 19 座的客车和载质量大于 2t 至不大于 7t 的货车。小客车的定义为：不大于 19 座的客车和载质量不大于 2t 的货车。

《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)根据公路功能和适应的交通量，将公路分为五个等级。公路功能是指二级以上为干线公路，二级至四级为集散公路，而且三级、四级公路的主要技术指标按供汽车行驶的要求设计，但同时也允许拖拉机、畜力车、人力车等非汽车交通使用车道的混合交通公路。

桥梁设计中采用的车辆荷载将涉及设计车辆的外廓尺寸、代表车型与车辆折算系数、干扰因素等，现分述如下：

(1) 设计车辆外廓尺寸。按照设计车辆外廓尺寸以及行驶于公路上各种车辆的交通组成是公路几何设计中的重要控制因素。在公路设计过程中，“设计车辆”是设计所采用的有代表性的车型，其外廓尺寸、载质量和运行性能是用于确定公路几何设计、交叉几何设计和路基宽度的主要依据。

根据我国行驶车辆的具体情况、汽车发展远景规划和经济发

展水平，出于经济和实用的考虑，设计车辆的外廓尺寸是按现有车型的尺寸进行统计后，以满足 85% 以上车型的外廓尺寸作为设计标准。公路设计所采用的设计车辆外廓尺寸见表 6。

表 6 设计车辆外廓尺寸

| 车辆类型 | 总长<br>(m) | 总宽<br>(m) | 总高<br>(m) | 前悬<br>(m) | 轴距<br>(m) | 后悬<br>(m) |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 小客车  | 6         | 1.8       | 2         | 0.8       | 3.8       | 1.4       |
| 载重汽车 | 12        | 2.5       | 4         | 1.5       | 6.5       | 4         |
| 鞍式列车 | 16        | 2.5       | 4         | 1.2       | 4+8.8     | 2         |

(2) 各汽车代表车型与车辆折算系数。根据 2001 年交通调查资料统计，大部分国道、省道的交通流以小客车为主，小客车已占汽车交通量的 36.3%，超过了中型车等其他车型所占比例，而拖拉机与人、畜力车、自行车等非机动车的比重逐年下降，分别占交通量的 7.6%、2.2% 和 2.5%。随着全国干线公路网的逐步完善，高速公路通车里程的增加，特别是加入 WTO 后汽车产业政策与结构的调整，交通流中的小客车和大型客货车以及集装箱车的比重将会随着平均距离的增加而逐年增长，而拖拉机与非机动车交通量所占比重将会继续下降。因此，根据今后的交通发展趋势，同时也为与国际接轨的需要，将涵盖小客车与小型货车的“小客车”定为各级公路设计交通量换算的标准车型。

用于交通量换算的车辆折算系数是在特定的公路、交通组成条件下，所有非标准车相当于标准车（小客车）对交通流影响的当量值。根据“九五”攻关项目《公路通行能力研究》的成果，以车辆运行特性（运行速度和总体标准差）作为车辆分类标准，从对交通运行的影响考虑，将公路上的常见机动车归并为小客车、中型车、大型车和拖挂车四类，交通量采用小客车为标准车型进行统计。各种汽车换算为小客车时的折算系数见表 7。

公路通行能力分析所要求的车辆折算系数应针对路段、交叉口等型式，按不同的地形条件和交通要求，采用相应的折算

系数。

表 7 各汽车代表车型与车辆折算系数

| 汽车代表车型 | 车辆折算系数 | 说 明                             |
|--------|--------|---------------------------------|
| 小客车    | 1.0    | 不大于 19 座的客车和载质量不大于 2t 的货车       |
| 中型车    | 1.5    | 大于 19 座的客车和载质量大于 2t 至不大于 7t 的货车 |
| 大型车    | 2.0    | 载质量大于 7t 至不大于 14t 的货车           |
| 拖挂车    | 3.0    | 载质量大于 14t 的货车                   |

(3) 干扰因素。根据公路上拖拉机和非机动车交通量所占比重持续下降这一趋势，将构成比例小于 5% 的行人、畜力车与自行车等非汽车交通不再作为交通流中的独立车型，仅作为路侧干扰考虑。

拖拉机则分为两种情况予以考虑，一是在行车道两侧设有慢车道的二级公路，拖拉机遇汽车时向右侧避让，很少挤占机动车道，此时拖拉机对车流的运行影响，同自行车与行人、畜力车等非汽车交通一样，作为路侧干扰因素考虑而不再参与交通量换算；另一种情况是在路面较窄的三级、四级公路上，拖拉机混行于机动车道内，对车流形成纵向干扰，此时拖拉机应按交通流的一部分参加折算，每辆拖拉机折算为 4 辆小客车。

**12.3.4** 考虑到专用人行农桥过桥的人负重较大，所以人群荷载标准值取值为  $4.0\text{kN/m}^2$ ，稍大于公路专用人行桥的  $3.5\text{kN/m}^2$ 。农桥栏杆的设计荷载值与公路规范相同。

## 13 量 水 设 施

### 13.1 一 般 规 定

**13.1.1** 本章从渠系建筑物设计角度看，本应只规定量水测站布置及量水设施的结构设计。考虑到量水技术不为大部分水工专业设计人员所熟悉，内容又涉及水文水资源、量水设备和仪表、供电、交通和房建等多个专业。因此本章依据已有的《灌溉渠道系统量水规范》（GB/T 21303—2007）等的规定，对量水站网、量水方法等作了一些介绍性的、提示性的规定，具体设计应执行GB/T 21303—2007等的规定。至于量水设备和仪表、供电、交通和房建等专业设计也请执行相关规范。

**13.1.3** 作出本条规定的目的，是为了帮助水工专业设计人员理解渠道量水方法的实质。今后可能还有新技术诞生。

### 13.2 量 水 测 站 布 置

**13.2.1、13.2.2** 量水技术的发展首先是从实行灌溉计划用水制度开始的。20世纪60年代，陕西省关中地区的泾、洛、渭等灌区已经普遍实行了按照农作物灌溉制度编制用水计划，灌区管理局依据河道来水多少统一调配水量，争取最大灌溉效益，按斗渠为单位按用水量收费的灌溉管理制度。当时灌区内斗渠以上各级渠道的量水设施已经是比较完善的，巴歇尔量水堰是当时量水设施的主体型式。现在全国各个灌区都普遍实行了灌溉计划管理，先进灌区已经实现了全灌区联网自动化、遥控化的量水配水管理。量水技术在全国大发展是从水利工程的水费征收开始的。1985年，国务院发布了《水利工程水费核订、计收和管理办法》，首先是灌区量水技术受到重视。“九五”期间，国家将“灌区量水新技术研究”作为一项重要的攻关课题，促进了量水技术的发展。随着工业的发展，对有限水资源的要求与日俱增，而水

的开发成本又日益加大。为解决一些大城市缺水问题，实施了引滦济津等跨省区的一批大型调水工程。在此情况下，对用水进行有效的控制与量测的要求也越来越迫切，精度要求越来越高。渠系量水的任务已从水费征收向合理调度水资源，正确执行用水计划，加强渠系科学管理等多方面提出了要求，以达到水资源的合理运用。

(1) 渠系量水的任务主要包括：

- a) 按用水计划准确、合理地向各级渠道和田间输配水量。
- b) 为合理征收水费提供依据。
- c) 根据量水结果，检验水的利用效率，改进用水管理工作，促进节约用水。
- d) 在渠道系统运行中，提供实时的量测信息，为渠系实时控制提供依据。

e) 为科学研究和灌区改建、扩建及新建提供基本资料。

(2) 渠系量水站网是在渠系上设立的，按一定技术标准，用适当数量的测水站构成的水量资料收集系统的总称。因此，设置一定密度的量水站网，对于提高水资源的利用效率非常重要。

(3) 基本测站是为综合需要的共用目的，经统一规划而设立的测站。基本测站应保持相对稳定，在规定的时期内连续进行观测。

(4) 辅助站是基本站的补充，可以弥补基本站观测资料的不足，是帮助基本站正确控制水文情势变化而设立的一个或一组测站。

(5) 布置测水站时，首先应根据各个测水站的作用和要求，在渠系平面图上，全面规划，统一布置，优先保证渠首等大用水单元和受水区分界点的水量计算。然后设立标志及施测断面，鉴别建筑物类型或安设特设量水设施。测站布置完毕后，应将测站类别、位置的测流方法等，编表列册，并分别标示在渠系平面图上，以备查用。

**13.2.6** 在选择量水方法时，应充分考虑渠道的水流等各种情

况，同时应对各种量水建筑物与量水设施的基本性能及适用情况充分掌握，只有将两者科学地结合起来考虑，才能选择出经济而合理的量水方法。在综合分析上述两方面的因素时，根据我国目前情况，应遵循以下一些要求：

(1) 经济性。就目前现状，还不大可能对量水工作投入大笔资金，故在满足量水要求的前提下，其成本及运行费用应在可能承受范围内。

(2) 实用性。所采取的量水措施，应在技术上可行，便于操作。应充分考虑从事量水工作人员的文化技术水平，对于原理上难以理解且操作复杂，甚至性能不稳定、不可靠的量水方法应尽量避免采用。

(3) 精确性。量水对精度的要求常受经济条件限制，过高会导致过大的投资，过低则不能起到为合理使用水资源提供正确依据的目的，对于渠系量水，量水结构的计量误差可在  $5\% \sim 10\%$  范围内。

(4) 适用性。量水方法各有其适用情况，应根据不同的条件及量水要求，选择合适的方法。

(5) 水头损失小。渠道特别是灌溉渠道一般坡度缓，故量水结构不能允许大的水头损失。一般的量水堰槽，在自由出流情况下，量水精度较高，但往往要求较大的水头损失。如果使用淹没流计算公式，往往要增加量测下游水位的装置，提高了造价，也带来了误差。因而，在其他条件相同的情况下，宜选择非淹没限高的量水结构。

(6) 测流范围大。各种量水设备的适用流量范围和价格相差很大，根据测流范围选取合适的量水设备，可以做到又准确又省钱。任何测流范围都有对应的量水方法和设备，这一因素一般不会成为影响量水设备选择的制约因素。

**13.2.7** 应避免急流状态的渠段或将急流状态的渠道转为缓流状态后再量水。

**13.2.8** 到目前为止，国内外投入使用的灌区量水设备已超过

100 种，但在量水设备的选型上，存在两个较为突出的问题：一是选型时，不注意我国灌区的特点，不作比较，随意选用，甚至盲目推广一些国外业已淘汰或不适用的设备，带来很大浪费；二是尽管量水设备的型式及种类很多，但就灌溉系统而言，能全面满足结构简单、坚固耐用、精度合理、水头损失小、基建和维护费用低、操作简单等要求的却很少。特别在田间进水口小型建筑物方面，由于小支渠和田间进水口数量很大，不能采用昂贵复杂的量水设备，应使用简单、经济、具有合理精度，既能量水又能调节的建筑物。以上问题给我们提出了两方面的任务：一是发展新型量水结构去满足上述要求；二是在使用时进行优化选型，尽可能做到经济合理。

与天然河道相比，灌区量水由于它的使用场合特定，自然条件及考虑因素较之天然河道简单，其他方面的要求也明确，这就有可能从目前众多的设备和方法中优选出适用于灌区量水的少数特定的型式和方式，在使用中加以大面积推广，以带来巨大的经济效益。

近些年国内有关单位对灌区量水优化选型作了大量工作，根据我国目前灌区量水的条件和要求，提出了以下建议：

(1) 在能满足测流精度要求的前提下，尽可能优先选用渠道上原有的水工建筑物测流。尽管有时为保证量水精度及其他要求进行局部整修或改造，添置一些量测设备，但由于不需增加额外水头损失，并省去另建量水结构投资，总体来说，在技术上和经济上是合理的。

(2) 在需要特设量水设施的渠道上，建议首先选用长喉道槽。同其他型式的量水堰槽比，长喉道槽的优点是：临界淹没度高，水头损失小，量水精度高，能较好地防止泥沙淤积和漂浮物阻塞，适用于水头宝贵平原灌区及坡降较缓的灌溉渠道，造价低（比巴歇尔槽和无喉道槽的低），型式简单，施工工艺要求不高，是较能全面满足量水条件，值得推广的型式。1984 年，M. G. Bos, J. A. Replogle 和 A. J. Elemmens 根据自己多年研究

成果出版了《渠系测流槽》一书，该书中应用边界层理论，不但能计算流量系数  $C_d$ ，而且能比较精确计算长喉槽的水头损失、淹没界限等，首次实现了测流堰槽各项设计参数的理论计算，完善了长喉槽的设计计算方法；所推荐的结构淹没度大于 0.85，可达 0.93。上述成果，使长喉槽研究和应用进入了新的阶段，被国际上认为是 20 世纪 70 年代灌溉排水主要技术进步之一。美国垦务局最新版《量水手册》已按新的长喉槽结构型式及设计理论对长喉槽进行介绍，本规范第 13.6.4 条根据国外最新资料已将长喉槽的结构型式及设计技术理论列入规范。

(3) 短喉道量水槽是一种喉道长度大为缩短的临界水深槽，代表性槽型为巴歇尔槽和无喉道槽。有关巴歇尔槽的适用条件及优缺点见《堰槽测流规范》(SL 24—91)。无喉道槽是将巴歇尔槽喉段切去而得的改进槽，水力特性复杂，目前国外大多不推荐使用此种结构，美国垦务局编写的最新版《量水手册》，对无喉槽也不予以具体介绍，限制应用。

**13.2.9** 有些量水测站的量水设备需要渠旁测量水井，测头安装桥，机械式流速仪的测流桥、测流船或缆索，以及保护通信设备和工作人员的办公、住宿用房等附属设施。

### 13.3 量水方法选择

**13.3.2** 从经济、实用的角度看：利用渠系建筑物量水是最合理的方法，其次是结构最简单的标准断面法，再次是修建量水堰槽，最后是对管流采用量水仪表。还有一种适应范围最大、最基本的量水方法就是流速仪测流法，在 13.3.3 条中单独特别介绍。各种方法的优缺点在相关规范和书籍中已经讲的很多了，这里不赘述。

作为量水槽的一种，长喉道槽也要靠利用两侧或抬高渠底压缩水流，制造临界流态然后量水，必然也有相应的水头损失。长喉道槽是一种在明渠上设置缩窄喉段，使水流加速，形成临界流的测流设施。收缩段应有足够长度，以保证产生平行水流。加速

方式可以是收缩边墙、抬高底板，或两者结合起来。当下游水位较低，喉道段存在足够收缩时，形成临界水深水流，此时，喉道内流线接近平行，因而水流向心加速度与静水压力分布的偏差可忽略不计。为获得上述流态，水流方向喉道长  $L$  与堰上水头  $H_1$  之间应满足关系  $0.10 \leq H_1/L \leq 1.0$ 。此时，水流具有不受下游水流条件影响的单一水位—流量关系。故长喉道槽通常也叫临界水深槽。

**13.3.3** 流速仪测流量水法适用范围广，增加测点可以达到较高精度，但需要人工操作。相关规范已有详细介绍，本规范不再单独立节作重复规定。

## **13.4 利用渠系建筑物量水**

**13.4.1** 在有条件的渠段上，利用渠系建筑物量水应是首选方法。用于测流的渠系建筑物应具备本条规定的边界条件、水力条件和精度指标才符合标准。但渠系建筑物一般均不完全具备这些条件，故需按条件要求进行局部整修或改造，以达到标准型建筑物的要求。标准型建筑物应在现场率定流量系数和水位—流量关系，以便读取水深便可查算出流量。详细方法应按 GB/T 21303—2007 和《水工建筑物测流规范》(SL 20—92) 等的规定执行。

## **13.6 堰槽量水**

**13.6.2、13.6.3** 这两条是堰槽量水所涉及到的行近渠道、水头损失、渐变收缩、测量精度、下游渠槽及建筑物安装的基本规定。

**13.6.4** 长喉道槽的断面型式，矩形喉道槽比较常见，也最容易修建，它适用于流量变化较小或不要求精确测定小流量的渠槽。梯形喉道槽可以设计成适应多种不同水位条件的测流槽，它适用于流量变幅较大，以及要求精确测量小流量的渠道。U 形槽槽底为水平轴圆柱面，特别适于装设在 U 形渠道或装在需测

定 U 形及圆形断面管道通过流量的地方。当行近渠槽为 U 形时，有两种基本型式：水平槽底型，槽底拱起型。

各种形状断面长喉道槽的结构和安装型式如图 7 所示。

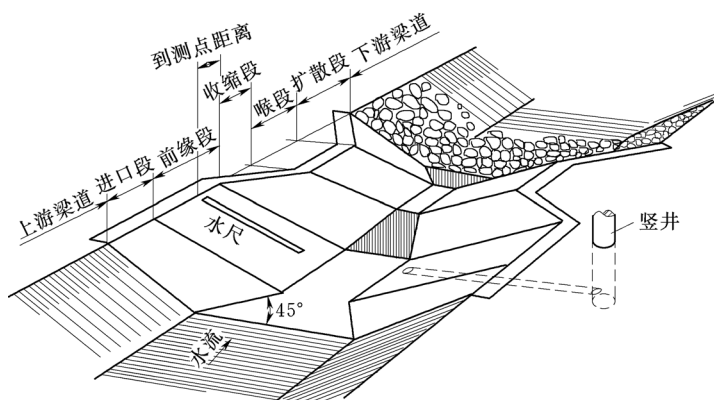


图 7 长喉道槽结构示意图

**13.6.5** 为了减小水面波动的影响，保证观测点与喉道间的能量损失可以忽略不计，使观测点充分靠近长喉道槽，一般取上游观测点位置距喉道槽上游收缩段起始点 1~2 倍上游观测点最大水头处。

**13.6.6** 为了在喉道槽段获得较平顺水流流态，也为了方便计算，采用的喉道槽边坡通常与引渠一致，这样可减小局部水头损失。边坡也可根据实际需要由用户给定。

确定适宜的上、下游渐变段长度，对于矩形、梯形及 U 形等不同型式长喉道槽而言，可根据实际需要将上、下游渐变段设计成不同型式，但不论采用哪种型式，其上游收缩段应尽量使得水头损失最小，同时又要保证流线比较平顺。通过长喉道槽水力学实验，所获得的最佳尺寸为：两侧边收缩比为 1:3（垂直水流方向：顺水流方向），底收缩比为 1:3。出口段采用 1:6（垂直水流方向：顺水流方向），扩散比可以使能量得到充分恢复，并得到较高的淹没度。在尾水回升影响不是很大时，可将渐扩段

截短。

**13.6.7** 喉道长度一般选用最大水深的 1.5~1.7 倍，以保证临界断面处形成平行水流。其具体采用值与喉道宽、 $H_1/L$  值（ $H_1$  为通过渠道设计流量时喉道以上的能头， $L$  为喉道长度）有关，通过优选，使拟定的长度可以得到较高的淹没限值，可确保在整个测流范围内均能满足测流精度要求。

**13.6.9** 流量计算公式（13.6.9-1）中如果去掉  $C_d$  及  $C_v$ ，则为理想状态下推出的流量计算公式，为了反映实际情况，引入了流量修正系数  $C_d$  及流速修正系数  $C_v$ 。 $C_d$  是用于校正由于测量断面和控制断面间的摩擦、流速分布不均，以及这两个断面间的流线弯曲所引起的水头损失； $C_v$  是引渠流速校正系数，用来校正因用水头  $h_1$  代替水头  $H_1$ ，忽略了速度水头  $\alpha v^2/2g$  而引起的误差。

## 13.7 结构设计

**13.7.1** 量水设施的设计级别和洪水标准应不低于所在渠道的设计级别和洪水标准。

附属设施的含义同第 13.2.9 条的条文说明。

## 14 安全监测设计

### 14.1 一般规定

**14.1.1** 根据建筑物的具体情况和特点,做好不同级别的安全监测设计,设置必要的监测项目、监测设施和制度是十分必要的。这样可以监视渠系建筑物在施工期、首次通水期和运行期的实际工作状态并鉴定其安全可靠程度,监督施工、指导运行和工程维修,提供竣工验收、施工与管理交接的基础资料,积累设计、施工及科学研究资料。

20 世纪 90 年代水利部农水司曾组织对全国 195 处大型灌区 10 多万座老化损坏的渠系建筑物进行过大规模调查,调查结果是:工程基本完好,仅通过正常维修和养护就可正常运行的仅占 30% 左右;已经报废和处于冒险运行或降低标准运行而无维修价值的约占 30%;其余 40% 处于严重老化病害,亟待进行大修、加固和改造。以上情况说明渠系建筑物安全监测的重要性和迫切性,做好安全监测设计是为及时消除建筑物隐患,维护其正常运行和延长使用寿命,保证其安全的重要措施。

**14.1.2** 由设计部门编制安全监测概算,更能接近实际情况,避免漏项,特别注意应计入工程施工期间的安全监测运行费。

**14.1.3** 本条根据渠系建筑物的重要性,划分了安全监测的等级。大量的渠系建筑物采用以巡视检查为主的方法进行一般安全监测。在总体布置、结构型式或地基条件等某个方面具有代表性或具有科研意义的一类或一个渠系建筑物可进行专门安全监测。重要的或发现有问题的渠系建筑物需进行重点安全监测。

**14.1.4** 监测标准值是用来评判渠系建筑物是否安全的重要数值。监测标准值应采用设计选取值,并写出相关规范的允许范围,超出该范围的就是不安全的。设计规范不详、不足的,按序用其他规范或标准值补充。

**14.1.5** 监测时段和频次是安全监测的重要内容，可根据全国各地和各类渠系建筑物的具体情况，因地制宜地作出决定。按照灌溉、排水区经验，最重要的监测是基层进行的日常检查和年度检查，发现问题后可报上级部门组织力量，分别主次，有针对性的转入特殊检查或专门监测。所取得的经验又用来指导日常检查和年度检查。

## **14.2 监 测 项 目**

**14.2.1** 根据实践经验，本条列出了影响工程安全和正常运行的重点安全监测项目。可按照具体情况进一步调整增选，同时应根据确定的项目制定详细的监测实施计划，以便取得完整的监测数据，以指导安全施工和积累经验。

渠系建筑物在施工和运行中的某些工作状态、采用的施工方法和数据，会对建筑物的安全产生重大影响，应对这些过程是否合理或符合设计要求进行必要监测。例如第2款规定要监测施工吊装构件的结构完好性。实际上是应对选用的吊装机械、吊装方法和场地安全、吊点的数目、位置、吊件的受力状态及稳定性等进行全面监控。再如对分段砌筑拱圈的加载顺序及其应力与稳定性，也应在整个施工过程中不断进行监控，才能获得有价值的数据和直到施工完成。

通过监测信息反馈，及时确认和调整施工参数，以保证施工安全和稳定运行，是安全监测的重要作用。这些年来监控信息反馈设计和施工在水利水电工程中得到了广泛应用，对成功处理施工难题，改进工程设计和施工方法，提高综合技术水平起到了重要作用。例如本条第4款的规定，就体现了隧洞采用新奥法施工的精髓所在，即应通过监测信息反馈及时确认和修改支护参数，确定支护方式，以确保施工安全和隧洞长期稳定运行。

**14.2.2** 应根据渠系建筑物的不同种类及要求，选择下列专门性安全监测项目的全部或部分：

(1) 水流流态及水面衔接：渡槽、倒虹吸管和隧洞在通过各

级流量时进、出口水面衔接；跌水与陡坡在通过各级流量时进口水面衔接；排水涵洞在各种上、下游水位时洞内流态；水闸闸下流态及冲刷；跌水与陡坡下游渠道及两侧堤岸冲刷。本条是监测渡槽、倒虹吸管、隧洞、跌水与陡坡在通过各级流量时水面衔接情况。重点是在通过加大流量或小流量时是否会在上游渠道发生过大的壅水或降水现象；通过小流量时，倒虹吸管是否会发生水流跌落、掺气及振动，以便采取措施，使建筑物正常运行。对于排水涵洞，则应监测其在各种上、下游水位时，洞内是否保持设计的水流流态。

(2) 渗流：包括建筑物与渠道两岸连接处的渗流，进、出口底部和两侧的渗流，建筑物本身及伸缩缝渗流的监测。

(3) 扬压力：测点的位置及数量应根据建筑物的结构型式、基础轮廓线形状和地质条件等因素确定，以能测出扬压力的分布及其变化为原则。本条不仅指水闸底板的扬压力，其他建筑物如需监测某些部位的渗透压力时，也应按本款的规定执行。

(4) 应力及土压力：应根据建筑物强度、稳定控制的要求，选择有代表性的控制部位设置测点，测定其应力及分布；对挡土或有较厚覆土的建筑物应测定其土压力及分布。本条所提出的应力监测，对于不同的建筑物，其监测的部位及测点位置是不同的，应根据建筑物的不同特点进行选择。

(5) 挠度、纵向伸缩变形及伸缩缝：桥梁、梁式渡槽及间断管座上的倒虹吸管应监测其挠度与纵向伸缩变形；各类建筑物的伸缩缝应监测其开合程度、止水材料有无损害及其可靠程度，掌握其变化规律。本条主要是监测渡槽、倒虹吸管纵向挠度是否在设计允许范围；监测伸缩变形主要是为分析裂缝产生的原因、计算渡槽支座摩阻力和计算倒虹吸管纵向应力提供依据。

(6) 变形：监测变形量一是间接地监测了应力变化；二是由此判断建筑物的稳定性。例如隧洞围岩变形、应力以及隧洞衬砌结构的应力、变形和裂缝的监测，挡土墙整体变形监测等。

(7) 裂缝：渡槽、倒虹吸管应监测有无裂缝及裂缝的分布、位置、形状、长度、宽度及深度。根据情况，可选择有代表性裂缝，也可选择重要裂缝区或全部裂缝进行监测，并应同时监测气温、水温、混凝土温度及荷载情况。渡槽单薄槽身、倒虹吸管现浇钢筋混凝土管身及隧洞衬砌混凝土的抗裂能力，与混凝土的入仓温度以及养护过程的温度变化关系极大，应紧密配合温度应力及变形监测的需要合理布置测点，掌握槽身及管身混凝土由于气温、水温、太阳辐射等因素形成的温度分布和变化过程。工程实践表明，裂缝是渡槽槽身及倒虹吸管管身存在的普遍现象，应进行专门性监测，为分析裂缝形成的原因及计算温度应力提供依据。

(8) 边坡稳定：指深挖高填的渠段或建筑物两端连接段的边坡稳定监测。例如隧洞进、出口洞脸和两侧边坡应设置与施工监测相结合的位移安全监测点，监测地面下沉及边坡稳定情况。本款的边坡稳定监测，是因为在工程实践中，隧洞（特别是土洞）洞脸及两侧边坡易失稳坍塌造成严重后果所提出的，对此应特别引起重视。根据监测，发现问题及时采取补救措施，以防造成更大危害。

(9) 伸缩沉陷缝等关键部位的完好性：渡槽、涵洞等伸缩沉陷缝的完好性与安全密切相关。

(10) 寒冷地区的渠系建筑物，应对其所受到的冻胀力及其在冻融作用下引起的变形和破坏进行监测。我国东北、华北、西北等地区广泛分布着季节性冻土，这些地区的渠系建筑物基础或支挡建筑物，在冻胀力及地基土冻融作用下常发生破坏。据黑龙江省某灌区 1978 年调查，有 80% 的建筑物都遭到不同程度的冻胀破坏。本款提出对这些地区应进行冻胀破坏的监测，以便根据冻害破坏的特征及原因，采取冻害防治措施。

本条各款列出的专门性监测项目，适用于不同的建筑物。

**14.2.3** 渠系建筑物的一般安全监测项目是常规监测项目，也是渠系建筑物施工和运用过程中最基本的监测项目。由于渠系建筑

物种类多，本规范规定的 6 种监测项目可以概括各种渠系建筑物的一般监测需要。对具体的一个渠系建筑物，可根据不同型式、特点和要求，再对一般监测项目进行必要的增减。

特殊安全监测的项目应包括专门和一般安全监测的全部项目内容。专门安全监测的项目应包括一般安全监测的全部项目内容。

## 14.3 监测方法

**14.3.2** 灌溉排水区内的渠系建筑物具有分布广、种类多、数量大的特点，实践证明采取先面后点、先易后难、先一般后重点（或专门）的监测方法是科学有效的。即采用简单易行的巡视检查方法进行全面的、日常的一般安全监测，对发现的小问题及时修复纠正，而对发现较大问题的重要建筑物再采取重点或专门安全监测，以求查明原因，再制定修复方案及检验实施效果。

**14.3.3** 渠系建筑物通常产生的变形、裂缝、沉陷、渗漏、冲刷等故障或破坏苗头，均会在其外露部位及周围环境外表有所表现，巡视监查方法是适合日常性的一般安全监测的重要和有效手段。具有及时、易行的特点，可及早发现问题，及时解决，防微杜渐。

**14.3.4** 精确监测应使用仪器设备，配合测量、分析、实验等其他手段，有利于发现深层次的根本原因，但费时耗财，适用于重要渠系建筑物的重点及专门安全监测。

精确监测的具体内容在本规范第 14.1.6 条所指的相关规范中已有详细规定，本条不再重复。

**14.3.5** 作出典型设计有利于展示设计思路，检查设计的全面、协调及合理性，也有利于在相关检测点上推广。

**14.3.6** 记录是监测工作的成果，是下一步分析解决问题的原始依据和以后查询参考的宝贵资料，没有记录的监测就不能称为安全监测。

## 14.4 监测资料整编

**14.4.2** 按照规定的管理制度和技术要求所分析整理出来的资料，才便于供各地各行的使用。监测原始资料是分析研究的基础，分析研究的结果是决策的基础，也是检验决策正确性的基础。符合规范要求的整编资料不仅具有时效性，还将是历史性的宝贵财富。