

中华人民共和国水利行业标准

SL 74—2013

替代 SL 74—95

水利水电工程钢闸门设计规范

**Design code for steel gate in water resources
and hydropower projects**

2013-08-26 发布

2013-11-26 实施



中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部

关于批准发布水利行业标准的公告
(水利水电工程钢闸门设计规范)

2013 年第 41 号

中华人民共和国水利部批准《水利水电工程钢闸门设计规范》
(SL 74—2013)为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水利水电工程 钢闸门设计规范	SL 74—2013	SL 74—95	2013. 8. 26	2013. 11. 26

水利部

2013 年 8 月 26 日

前 言

根据水利部水利行业标准制修订计划,按照《水利技术标准编写规定》(SL 1—2002)的要求,对《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL 74—95)进行修订。

本标准共 9 章和 14 个附录,主要技术内容有:

- 总体布置;
- 荷载、材料及容许应力;
- 结构设计、零部件设计、埋件设计;
- 启闭力和启闭机。

本次修订的主要内容有:

- 修改了荷载的划分及组合;
- 增加了 Q390 钢等材料品种;
- 调整了材料的允许应力;
- 扩大了螺栓的应用;
- 增加了船闸的内容;
- 增加了施工导流的内容;
- 扩大了抽水蓄能电站的内容;
- 丰富了附录的内容。

本标准中的强制性条文有: 3.1.4 条、3.1.9 条。以黑体字标识,必须严格执行。

本标准所替代标准的历次版本为:

- SL 74—95

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总局

本标准解释单位: 水利部水利水电规划设计总局

本标准主编单位: 中水东北勘测设计研究有限责任公司

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：崔元山 马 军 李大伟 陆 阳

马会全 胡艳玲 田连治 何运林

本标准审查会议技术负责人：温续余 姚宇坚

本标准体例格式审查人：曹 阳

目 次

1	总则	1
2	术语	4
3	总体布置	6
3.1	一般规定	6
3.2	泄水系统	8
3.3	引水发电系统	10
3.4	水闸、泵站系统	11
3.5	施工导流系统	12
3.6	船闸系统	12
4	荷载	14
5	材料及容许应力	16
5.1	材料	16
5.2	容许应力	18
6	结构设计	24
6.1	结构布置	24
6.2	结构计算	28
6.3	拦污栅	30
7	零部件设计	32
7.1	一般规定	32
7.2	行走支承	32
7.3	吊耳、吊杆、锁定	33
7.4	止水装置	34
7.5	焊接和螺栓连接	35
8	埋件设计	37
9	启闭力和启闭机	39
9.1	启闭力计算	39

9.2 启闭机选择	42
9.3 自动挂脱梁	43
附录 A 闸门孔口尺寸和设计水头系列标准	44
附录 B 通气孔面积的计算	48
附录 C 平面闸门门槽型式的选择	50
附录 D 闸门荷载计算的主要公式	53
附录 E 闸门橡胶水封定型尺寸及性能	58
附录 F 几种支承材料性能表	61
附录 G 受弯构件的局部稳定计算	63
附录 H 面板验算公式及图表	67
附录 I 栅条稳定临界荷载计算	73
附录 J 栅条振动计算	74
附录 K 滚轮接触应力计算	76
附录 L 吊耳与吊杆的计算	78
附录 M 轨道的计算	80
附录 N 摩擦系数	83
标准用词说明	84
条文说明	85

1 总 则

1.0.1 为贯彻执行国家的技术经济政策，规范水利水电工程钢闸门设计，做到安全可靠、技术先进、经济合理，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于大中型水利水电工程钢闸门及拦污栅的设计。小型水利水电工程可参照执行。

1.0.3 水利水电工程的钢闸门，按其工作性质可分为工作闸门、事故闸门和检修闸门。

1 工作闸门是承担主要工作并能在动水中启闭的闸门。

2 事故闸门是闸门的下游（或上游）发生事故时，能在动水中关闭的闸门。当需要快速关闭时，也称为快速闸门。这种闸门，在静水中开启。

3 检修闸门是水工建筑物及设备检修时用以挡水的闸门。这种闸门，在静水中启闭。

1.0.4 设计闸门时，应根据具体情况分别具备下列有关资料：

- 水利枢纽的任务和水工建筑物的布置；
- 闸门的孔口尺寸和运用条件；
- 水文、泥沙、水质、冰情、漂浮物和气象方面的情况；
- 闸门的材料、制造、运输和安装方面的条件；
- 地震及其他特殊要求等。

1.0.5 闸门孔口尺寸和设计水头的选定，应符合附录 A 的规定。

1.0.6 应采用容许应力方法进行结构验算。

1.0.7 本标准的引用标准主要有以下标准：

《优质碳素结构钢》(GB/T 699)

《碳素结构钢》(GB/T 700)

《锅炉和压力容器用钢板》(GB 713)

《桥梁用结构钢》(GB/T 714)
《不锈钢焊条》(GB/T 983)
《铸造铜合金技术条件》(GB/T 1176)
《钢结构用高强度大六角头螺栓》(GB/T 1228)
《钢结构用高强度大六角螺母》(GB/T 1229)
《钢结构用高强度垫圈》(GB/T 1230)
《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》(GB/T 1231)
《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591)
《塑料和硬橡胶使用硬度计测定压痕硬度(邵氏硬度)》(GB/T 2411)
《合金结构钢》(GB/T 3077)
《不锈钢冷轧钢板和钢带》(GB/T 3280)
《塑料 硬度测定》(GB/T 3398)
《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》(GB/T 3632)
《不锈钢热轧钢板》(GB/T 4237)
《碳钢焊条》(GB/T 5117)
《低合金钢焊条》(GB/T 5118)
《灰铸铁件》(GB/T 9439)
《一般工程用铸造碳钢件》(GB/T 11352)
《水利水电工程钢闸门制造、安装及验收规范》(GB/T 14173)
《滑动轴承 铜合金镶嵌固体润滑轴承》(GB/T 23894)
《钢结构设计规范》(GB 50017)
《水工金属结构防腐蚀规范》(SL 105)
《水工混凝土结构设计规范》(SL 191)
《水工建筑物抗震设计规范》(SL 203)
《水工建筑物荷载设计规范》(DL 5077)
《抽水蓄能电站设计导则》(DL/T 5208)
《船闸闸阀门设计规范》(JTJ 308)
《船闸启闭机设计规范》(JTJ 309)

《大型低合金钢铸件》(JB/T 6402)

1.0.8 水利水电工程钢闸门设计除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行标准的规定。

2 术 语

2.0.1 平面闸门 plain gate

一般能沿直线升降启闭、具有平面挡水面板的闸门。

2.0.2 弧形闸门 radial gate

启闭时绕水平支铰轴转动、具有弧形挡水面板的闸门。

2.0.3 定轮闸门 fixed roller gate

闸门边梁上装设定轮作为支承行走部件的平面闸门。

2.0.4 滑动闸门 sliding gate

闸门边梁上装有滑道或滑块作为支承行走部件的平面闸门。

2.0.5 人字闸门 mitre gate

由两扇能绕其端部的竖轴转动的门叶组成的、门叶开启后分别隐入闸首的门龕内、关闭后其平面呈人字形的船闸闸门。

2.0.6 门叶 gate leaf

闸门上用于直接挡水的结构部件。

2.0.6 止水装置 water seal

闸门关闭后阻止门叶周边间隙漏水的装置。

2.0.7 充水阀 filling valve

附设在闸门门叶上、用于向门后充水使闸门前后水压力平衡的阀门。

2.0.8 拦污栅 trash rack

用于拦阻水流中的飘浮物进入引水道的过水栅条结构物。

2.0.9 门槽 gate slot

在过流孔口的两侧、用于约束闸门门叶运动位置的凹槽。

2.0.10 门楣 lintel

闸门孔口顶部的埋件。

2.0.11 底槛 embedded sill

闸门孔口门槽底部的埋件。

2.0.12 主轨 main track

门槽中承受闸门滑块或主轮等传来的力，并将其传递给坝体或闸墩的轨道。

2.0.13 副轨 auxiliary track

门槽中主轨以上部分的轨道。

2.0.14 反轨 opposed track

门槽中承受闸门反向支承传来的力，并将其传递给坝体或闸墩的轨道。

2.0.15 侧轨 side track

门槽中承受闸门侧向支承传来的力，并将其传递给闸墩的轨道。

2.0.16 启闭机 hoist

用于启闭闸门或阀门的机械。

2.0.17 自动挂脱梁 automatic hooking and hoisting beam

一种能自动连接闸门和启闭机的梁式起重部件。

2.0.18 锁定装置 dog device

将闸门门叶固定于闸孔某一位置的装置。

3 总体布置

3.1 一般规定

3.1.1 闸门应布置在水流较平顺的部位，并应避免出现以下情况：

- 门前横向流和漩涡；
- 门后淹没出流和回流；
- 闸门底部和闸门顶部同时过水；
- 闸门井与孔口同时过水。

3.1.2 闸门型式的选择应根据下列因素综合考虑确定：

- 水利枢纽对闸门运行的要求；
- 闸门在水工建筑物中的位置、孔口尺寸、上下游水位、操作水头和门后水流流态；
- 泥沙和漂浮物的情况；
- 启闭机的型式、启闭力和挂脱钩方式；
- 制造、运输、安装、维修和材料供应等条件；
- 技术经济指标。

3.1.3 泄水和水闸系统中的多孔口工作闸门，当需短时间内全部开启或均匀泄水时，应选用固定式启闭机。

3.1.4 具有防洪功能的泄水和水闸系统工作闸门的启闭机应设置备用电源。

3.1.5 两道闸门之间或闸门与拦污栅之间的最小净距应满足门槽混凝土强度与抗渗、启闭机布置与运行、闸门安装与维修和水力学条件等因素的要求，且不宜少于 1.50m。

3.1.6 检修闸门或事故闸门的设置数量应根据孔口数量、工程和设备的重要性、施工安装条件和工作闸门的使用状况、维修条件等因素综合考虑。

对泄水和水闸系统的检修闸门，10 孔以内的宜设置 1~2

扇；10孔以上的每增加10孔宜增设1扇。

对引水发电系统，3~6台机组宜设置尾水检修闸门2套，进口检修闸门1套；6台机组以上，每增加4~6台宜各增设1套。

特殊情况，经论证可予增减。

3.1.7 露顶式闸门顶部应在可能出现的最高挡水位以上有0.3~0.5m的超高。

3.1.8 闸门不得承受冰的静压力。防止冰静压力的方法，应根据气温及库水位变化等条件，因地制宜地选用。可采用冰盖开槽法、冰盖保温板法、压力水射流法、压力空气吹泡法和门叶电热法或其他方法，使闸门与冰层隔开。

需要在冰冻期间操作的闸门，除其止水宜严密外，尚应采取保温或加热等措施，使闸门与门槽不致冻结。

3.1.9 当潜孔式闸门门后不能充分通气时，则应在紧靠闸门下流的孔口顶部设置通气孔，其上端应与启闭机室分开，并应有防护设施。

3.1.10 通气孔面积应按附录B计算。

3.1.11 闸门的平压设施宜采用设置于门体上的充水阀，也可采用节间充水、小开度充水或其他有效设施。平压设施的尺寸应根据充水容积、漏水量和要求充满时间等确定。平压设施应使充水时流态平稳。充水阀体应有足够重量，其导向机构应灵活可靠。节间充水所需的启门力不宜大于整扇闸门的静水启门力。

平压设施的操作应和闸门启闭联动，并应在启闭机上设置小开度的行程开关。

对机组尾水闸门的平压设施宜利用机组排水系统从下游充水。

3.1.12 为便于制造、运输和安装，设计时应注意以下因素：

1 考虑制造、安装的具体条件。

2 运输单元应具有必要的刚度，外形尺寸和重量应满足运输的要求。

3 零部件、构件的品种规格应合理地减少，并应采用标准化、定型化的零部件。

4 结构构件的连接宜采用焊接，但应尽量减少现场焊接工作量。为减少拼装变形，闸门节间也可采用销轴或螺栓连接。

3.1.13 为便于闸门、拦污栅和启闭机的运行、维修，设计时应符合以下要求：

1 根据当地情况，启闭机可设机罩、机房或机室。位于坝内或地下洞室内的机室，应考虑通风防潮设施。

2 启闭机设置高程和机房尺寸应分别满足闸门和启闭机安装、维修的要求。

3 露顶式闸门，当不能提升到闸墩墩面时，宜在适当高程处设置检修孔或检修台。潜孔式弧形闸门，宜在其胸墙和侧止水导板的适当高程处，设置不小于 800mm 宽的检修台阶。在支铰处宜设检修平台。

4 启闭机室、闸门检修室和检修平台宜有足够的面积和高度。启闭机与机房墙面净距不少于 800mm，各台启闭机之间净距宜大于 600mm，闸门检修室或检修平台在闸门检修时四边净距均不少于 800mm。此外，尚应设置栏杆或盖板，以满足运行、维修及安全的要求。

5 在检修室和启闭机室内，宜埋设必要的吊环和锚钩。

6 检修闸门、备用拦污栅和其他附属设备宜设有存放场所，有条件者可设门库，门库底部应有排水设施。

7 启闭机室和闸门检修室的上、下交通宜设置走梯。

3.1.14 根据水质情况、运行条件、设置部位和闸门型式，应对闸门及附属设备采取有效的防腐蚀措施。

3.2 泄水系统

3.2.1 在溢洪道工作闸门的上游侧宜设置检修闸门；对于重要工程，必要时也可设置事故闸门。当水库水位有足够的连续时间低于闸门底槛，并能满足检修要求时，可不设检修闸门。

3.2.2 在泄水孔（洞）工作闸门的上游侧应设置事故闸门。对高水头和长泄水孔（洞）的闸门还应研究在事故闸门前设置检修闸门的必要性。

3.2.3 泄水系统工作闸门宜选用弧形闸门，水头较低时也可选用平面闸门。高水头小孔口也可采用其他型式的门（阀）。

3.2.4 泄水孔的工作闸门门后宜保持明流，门前的压力段宜保持有一定的收缩率。当泄水隧洞有弯道时，工作闸门宜布置在弯道下游水流平稳的直段上。

3.2.5 对于工作闸门在其运行过程中可能产生的空蚀、振动、磨蚀和启闭力等问题应作专门研究。可从通气孔、底缘型式、门槽型式、止水型式和操作方法等方面采取有效措施，以避免或减轻不利影响。必要时，应专门进行模型试验研究。

3.2.6 排沙孔（洞）宜用进口闸门挡沙，且宜采用上游面板和上游止水。门槽和水道边界应光滑平整，并选用合适的抗磨材料加以防护。根据排沙闸的具体条件，必要时可设高压水枪，以便冲沙启门。

3.2.7 对于潜孔式弧形闸门，门楣上应设置防射水封。当水头超过 85m 时，宜选用设有突扩门槽的压紧式或充压式止水的弧形闸门，并设置辅助止水。经常作变幅局部开启操作的高水头弧形闸门，宜选用压紧式止水。其突扩突跌门槽体型及尺寸应通过水力学模型试验确定。

3.2.8 当选用平面闸门时应采用合理的门槽型式。门槽型式应符合附录 C 的规定。对高水头平面闸门，可采取以下门槽减蚀措施：

- 1 力求减少门槽段初生空化数、增大水流空化数。

- 2 设置补气孔使水流掺气。

- 3 采用高抗空蚀性能护面，如钢板衬砌或高强混凝土衬砌等。

3.2.9 泄水建筑物出口处采用锥形阀时，应考虑喷射水雾对附近建筑物的影响和阀的检修条件。

3.3 引水发电系统

3.3.1 当机组或钢管要求闸门作事故保护时,对坝后式电站,其进水口应设置快速闸门和检修闸门;对引水式电站,除在明管及水轮机前不设进水阀的地下埋管首端设置快速闸门外,宜在长引水道进口处设置事故闸门。

河床式水电站,当机组有可靠防飞逸装置,其进水口宜设置事故闸门和检修闸门。经过论证,事故闸门具备检修条件,也可不设置检修闸门。

3.3.2 对设于调压井中的事故闸门,应考虑涌浪对闸门停放和下降的影响。必要时,应进行专门研究。

3.3.3 快速闸门关闭时间应满足对机组和钢管的保护要求,在接近底槛时其下降速度不宜大于 5m/min 。

快速闸门启闭机应能现地操作和远方闭门,并应配有可靠电源和准确的开度指示控制器。

3.3.4 电站进水口拦污栅应设有可靠的水位差检测装置,事故闸门、检修闸门也可设水位差检测装置。

3.3.5 拦污设施的布置型式应根据河流中污物的种类、数量及对清污的要求等来确定。

在污物较少的地区,可设置一道拦污栅。

在污物较多的河流,应设置有效的清污设施及卸污设施,必要时可设两道拦污栅槽,并设置适当的备用栅或采用连通式布置。

拦污栅均宜设置可靠的清污平台。

在寒冷地区,必要时应采取有效措施,以防止栅条结冰或冰屑堵塞。

3.3.6 抽水蓄能电站的拦污栅、闸门和启闭机布置,应符合 DL/T 5208 要求。

3.3.7 对贯流式机组电站,进水口应设置拦污栅、检修闸门(或事故闸门),尾水出口应设置事故闸门(或检修闸门)。拦污

栅设计应采取减少水头损失的措施,污物较多时应设清污机,必要时可设置拦污排。

3.4 水闸、泵站系统

3.4.1 水闸、泵站系统的工作闸门型式应根据工程特点因地制宜地灵活选用。可采用平面闸门、弧形闸门、拱形闸门、翻板式闸门、升卧式闸门、双扉闸门及其他型式的闸(阀)门等。

3.4.2 各类水闸工作闸门的上游侧,宜设置检修闸门,对特别重要的进洪闸或泄洪闸等可设置事故闸门。当下游水位经常淹没底槛时,应研究设置下游检修闸门的必要性。检修闸门的型式,可选用平面闸门、叠梁、浮式叠梁和浮箱闸门等。

3.4.3 闸门的选型和布置应根据闸门的受力条件、控制运用要求和闸室结构布置等因素选定。

需用闸门控制泄水的水闸宜采用弧形闸门。

有排冰、过木等要求的水闸,宜采用舌瓣闸门、下沉式闸门等。

当采用分离式底板时,宜采用平面闸门。如采用弧形闸门,应考虑闸墩间可能的不均匀沉陷对闸门的影响。

有通航或抗震要求的水闸,宜采用升卧式或双扉式闸门。

3.4.4 水位变化频率较快且泥沙淤积轻微,或有专门要求的河流上,可采用水力操作闸门,但应考虑闸门的水力学问题和闸门检修时的排水放空设施。对于防洪排涝及有控泄要求的工程,不宜采用水力操作闸门。

3.4.5 挡潮工作闸门,宜启闭迅速,闸门的面板应布置于迎海水侧,宜采用双向止水。

3.4.6 排灌闸工作闸门的支承、止水及底缘型式应考虑双向水压力作用。

3.4.7 在有较大涌潮或风浪的枢纽工程中,当采用潜孔弧形闸门且上游水位有时低于门楣时,应在进口胸墙段上设排气孔。

3.4.8 泵站进口应设拦污栅、检修闸门。出口断流方式,可选

用拍门或平面快速闸门，在出口应设置事故闸门或经论证设置检修闸门。根据当地污物特点，必要时，进口亦可设两道拦污栅和清污机。

3.5 施工导流系统

3.5.1 施工导流孔（洞）封堵闸门应布置在进水口处，并结合工程施工期和初期发电的各种运行工况和水位确定安装平台的高程，有条件时宜回收闸门或启闭机并考虑与永久性设备共用的可能性。

3.5.2 封堵闸门的设计应考虑下闸过程中，在一定水头下动水启门的情况。

3.6 船闸系统

3.6.1 闸门和阀门型式，应根据通过能力、通航净空、孔口尺寸、水位组合、水力学条件和水工建筑物型式等因素，通过技术经济比较选定。

3.6.2 船闸上、下闸首应设置工作闸门和检修闸门。当工作闸门失事可能引起严重后果时，上闸首应设置事故闸门。闸门的设置不应影响船闸的有效尺寸。

3.6.3 船闸输水廊道应设置工作闸（阀）门，其上、下游宜设置检修闸门，根据需要可设置拦污栅。

3.6.4 船闸承受单向水头，静水启闭的工作闸门、中高水头的工作闸门宜选用人字闸门；承受双向水头动水启闭或局部开启输水的工作闸门宜选用三角闸门；承受双向水头静水启闭的工作闸门宜选用横拉闸门；有帷墙的上闸首、井式船闸或动水启闭的工作闸门宜选用升降式平面闸门。

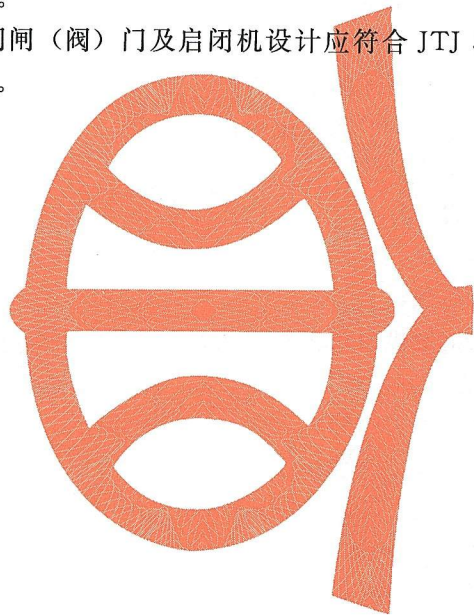
3.6.5 船闸输水系统工作闸（阀）门，当船闸水头小于 10m 时宜选用升降式平面闸（阀）门；当船闸水头为 10~20m 时宜选用升降式平面闸（阀）门或反向弧形闸（阀）门；当船闸水头大于 20m 时宜选用反向弧形闸（阀）门。

3.6.6 船闸检修闸门可根据闸首的布置及检修闸门的存放、启吊和运转等条件选用叠梁闸门、升降式闸门或浮式闸门等。

3.6.7 船闸启闭机宜布置在设计最高通航水位以上，并应考虑检修方便。启闭机布置不应影响船闸的通航净空尺寸。

3.6.8 船闸启闭机的选用应根据闸门的型式与使用工况确定。对上、下闸首人字闸门可选用液压或机械式启闭机，对输水廊道工作闸（阀）门可选用液压或固定卷扬式启闭机，并应考虑环保和景观要求。

3.6.9 船闸闸（阀）门及启闭机设计应符合 JTJ 308、JTJ 309 的相关规定。



4 荷 载

4.0.1 作用在闸门上的荷载可分为基本荷载和特殊荷载两类。

1 基本荷载主要有下列各项：

- 闸门自重（包括加重）；
- 设计水头下的静水压力；
- 设计水头下的动水压力；
- 设计水头下的波浪压力；
- 设计水头下的水锤压力；
- 淤沙压力；
- 风压力；
- 启闭力；
- 地震荷载；
- 其他出现机会较多的荷载。

2 特殊荷载主要有下列各项：

- 校核水头下的静水压力；
- 校核水头下的动水压力；
- 校核水头下的波浪压力；
- 校核水头下的水锤压力；
- 风压力；
- 冰、漂浮物和推移物的撞击力；
- 启闭力；
- 地震荷载；
- 其他出现机会很少的荷载。

4.0.2 闸门有特殊要求时（如水下爆破等），应专门研究作用在闸门上的荷载。

4.0.3 高水头下经常动水操作的工作闸门或经常局部开启的工作闸门，设计时应考虑闸门各部件承受不同程度的动力荷载，可

按闸门不同型式及其水流条件，并将作用在闸门不同部件上的静荷载分别乘以不同的动力系数来考虑。动力系数值宜取 1.0～1.2。对露顶式弧门主梁与支臂宜取 1.1～1.2。

大型工程中水流条件复杂的重要工作闸门，其动力系数应作专门研究。

当进行闸门刚度验算时，不应考虑动力系数。

4.0.4 设计闸门时，应将可能同时作用的各种荷载进行组合。荷载组合分为基本组合和特殊组合两类。基本组合由基本荷载组成，特殊组合由基本荷载和一种或几种特殊荷载组成，荷载组合应按表 4.0.4 采用。

表 4.0.4 荷载组合表

荷载组合	计算情况	荷 载											说明	
		自重	静水压力	动水压力	波浪压力	水锤压力	淤沙压力	风压力	启闭力	地震荷载	撞击力	其他出现机会较多荷载		其他出现机会很少荷载
基本组合	设计水头情况	√	√	√	√	√	√	√	√			√		按设计水头组合计算
	地震情况	√	√	√	√	√	√	√		√				按设计水头组合计算
特殊组合	校核水头情况	√	√	√	√	√	√	√	√		√		√	按校核水头组合计算
	地震情况	√	√	√	√		√	√		√				按校核水头组合计算
注：√表示采用。														

注：√表示采用。

4.0.5 作用在闸门上的荷载，按附录 D 和 9.1 节的规定计算。

5 材料及容许应力

5.1 材 料

5.1.1 闸门承载结构的钢材应根据闸门的性质、操作条件、连接方式、工作温度等不同情况选择其钢号和材质，其质量标准应分别符合 GB/T 700、GB/T 1591、GB 713、GB/T 714 规定的要求，并根据不同情况按表 5.1.1 选用。

表 5.1.1 闸门及埋件常用钢号

项次	使用条件	工作温度 t (°C)	钢 号
1	大型工程的工作闸门、大型工程的重要事故闸门、局部开启的工作闸门	$t > 0$ $-20 < t \leq 0$ $t \leq -20$	Q235B、Q345B、Q390B Q235C、Q345C、Q390D Q235D、Q345D、Q390E
2	中、小型工程不作局部开启的工作闸门，其他事故闸门	$t > 0$ $-20 < t \leq 0$ $t \leq -20$	Q235B、Q345B Q235C、Q345C Q235D、Q345D
3	各类检修闸门，拦污栅	$t \geq -30$	Q235B、Q345B
4	埋件部分 主要受力埋件	—	Q235B、Q345A、Q345B
5	按构造要求选择的埋件	—	Q235A、Q235B
注 1：当有可靠根据时，可采用其他钢号。对无证明书的钢材，经试验证明其化学成分和力学性能符合相应标准所列钢号的要求时，可酌情使用。 注 2：非焊接结构的钢号，可参照本表选用。 注 3：大型工程指Ⅰ等、Ⅱ等工程；中型工程指Ⅲ等工程；小型工程指Ⅳ等、Ⅴ等工程。			

5.1.2 闸门承载结构的钢材应保证其抗拉强度、屈服强度、伸长率和硫、磷的含量符合要求，对焊接结构尚应保证碳的含量符合要求。

主要受力结构和弯曲成形部分钢材应具有冷弯试验的合格

保证。

承受动载的焊接结构钢材应具有相应计算温度冲击试验的合格保证。

承受动载的非焊接结构，必要时，其钢材也应具有冲击试验的合格保证。

5.1.3 闸门支承结构（包括主轨）的铸钢件可采用 GB/T 11352 规定的 ZG 230—450、ZG 270—500、ZG 310—570、ZG 340—640 等铸钢，也可采用 JB/T 6402 规定的 ZG50Mn2、ZG35Cr1Mo、ZG34Cr2Ni2Mo 等合金铸钢。

5.1.4 闸门所采用的铸铁件应符合 GB/T 9439 规定的各项要求。

5.1.5 闸门的吊杆轴、连接轴、主轮轴、支铰轴和其他轴可采用 GB/T 699 规定的 35 号、45 号钢，也可采用 GB/T 3077 规定的 40Cr、42CrMo 合金结构钢。

5.1.6 闸门止水板及支承滑道所采用的不锈钢宜采用 GB/T 4237 规定的 12Cr18Ni9 或 12Cr18Ni9Si3 不锈钢。闸门结构及泄水孔道钢衬，如选用不锈钢或不锈钢复合板时，宜选用 GB/T 3280 规定的 06Cr19Ni10、022Cr19Ni10、022Cr19Ni5Mo3Si2N、022Cr22Ni5Mo3N 不锈钢。

5.1.7 闸门的止水材料可根据运行条件采用橡胶水封、橡塑复合水封或金属水封。橡胶水封或橡塑复合水封，其性能指标应符合附录 E 的规定。

5.1.8 闸门支承和零件所采用的铜合金，其性能应符合 GB/T 1176 规定的各项要求。支承滑道及轴承宜采用增强聚四氟乙烯材料、钢基铜塑复合材料、铜合金镶嵌固体润滑材料、工程塑料合金材料等时，其性能应符合附录 F 的规定。

5.1.9 焊条电弧焊用的焊条应符合 GB/T 5117、GB/T 5118、GB/T 983 规定的要求。

5.1.10 自动焊和气体保护焊应采用与母材金属强度相适应的焊丝和焊剂。

5.1.11 锚筋（锚杆）或锚板的材料可采用 GB/T 700 规定的 Q235 钢、GB/T 1591 规定的 Q345 钢。

5.1.12 高强度螺栓连接副应符合 GB/T 1228～GB/T 1231、GB/T 3632 规定的要求。

5.1.13 埋设件二期混凝土的强度等级可采用 SL 191 规定的 C20～C40，同时应根据运行条件与地区温度提出抗渗和抗冻等级的要求。

5.1.14 闸门防腐涂装材料应根据工作环境、环保要求、工作年限、使用工况选用，并符合 SL 105 规定的要求。

5.2 容许应力

5.2.1 钢材的容许应力应根据表 5.2.1-1 的尺寸分组，应按表 5.2.1-2 采用。连接材料的容许应力应按表 5.2.1-3、表 5.2.1-4 采用。

表 5.2.1-1 钢材的尺寸分组

单位：mm

组别	钢材厚度或直径	
	Q235	Q345、Q390
第 1 组	≤16	≤16
第 2 组	>16～40	>16～40
第 3 组	>40～60	>40～63
第 4 组	>60～100	>63～80
第 5 组	>100～150	>80～100
第 6 组	>150～200	>100～150

对下列情况，表 5.2.1-2～表 5.2.1-4 的数值应乘以调整系数：

——大、中型工程的工作闸门及重要的事故闸门调整系数为 0.90～0.95；

——在较高水头下经常局部开启的大型闸门调整系数为 0.85～0.90；

——规模巨大且在高水头下操作而工作条件又特别复杂的工作闸门调整系数为 0.80~0.85。

上述系数不应连乘，特殊情况应另行考虑。

表 5.2.1-2 钢材的容许应力 单位: N/mm²

应力种类	符号	碳素结构钢						低合金结构钢									
		Q235						Q345						Q390			
		第1组	第2组	第3组	第4组	第5组	第6组	第1组	第2组	第3组	第4组	第5组	第6组	第1组	第2组	第3组	第4组
抗拉、抗压和抗弯	$[\sigma]$	160	150	145	145	130	125	225	225	220	210	205	190	245	240	235	220
抗剪	$[\tau]$	95	90	85	85	75	75	135	135	130	125	120	115	145	145	140	130
局部承压	$[\sigma_{cd}]$	240	225	215	215	195	185	335	335	330	315	305	285	365	360	350	330
局部紧接承压	$[\sigma_{ej}]$	120	110	110	110	95	95	170	170	165	155	155	140	185	180	175	165
注 1: 局部承压应力不乘调整系数。 注 2: 局部承压是指构件腹板的小部分表面受局部荷载的挤压或端面承压（磨平顶紧）等情况。 注 3: 局部紧接承压是指可动性小的铰在接触面的投影平面上的压应力。																	

表 5.2.1-3 焊缝的容许应力 单位: N/mm²

焊缝分类	应力种类	符号	Q235				Q345					Q390				
			第1组	第2组	第3组	第4组	第1组	第2组	第3组	第4组	第5组	第1组	第2组	第3组	第4组	第5组
对接焊缝	抗压	$[\sigma_c^h]$	160	150	145	145	225	225	220	210	205	245	240	235	220	220
	抗拉，一类、二类焊缝	$[\sigma_t^h]$	160	150	145	145	225	225	220	210	205	245	240	235	220	220

表 5.2.1-3 (续)

焊缝分类	应力种类	符号	Q235				Q345					Q390				
			第1组	第2组	第3组	第4组	第1组	第2组	第3组	第4组	第5组	第1组	第2组	第3组	第4组	第5组
对接焊缝	抗拉, 三类焊缝	$[\sigma^h]$	135	125	120	120	190	190	185	180	175	205	205	200	185	185
	抗剪	$[\tau^h]$	95	90	85	85	135	135	130	125	120	145	145	140	130	130
角焊缝	抗拉、抗压和抗剪	$[\tau^h]$	110	105	100	100	155	155	155	145	145	170	165	165	155	155
注 1: 焊缝分类应符合 GB/T 14173 规定。 注 2: 仰焊焊缝的容许应力按本表降低 20%。 注 3: 安装焊缝的容许应力按本表降低 10%。																

表 5.2.1-4 普通螺栓连接的容许应力

单位: N/mm^2

螺栓的性能等级、锚栓和构件	应力种类	符号	螺栓和锚栓的性能等级或钢号						构件的钢号		
			Q235	Q345	4.6 级、4.8 级	5.6 级	8.8 级		Q235	Q345	Q390
A 级、B 级螺栓	抗拉	$[\sigma_t]$				150	310				
	抗剪	$[\tau^t]$				115	230				
C 级螺栓	抗拉	$[\sigma_t]$	125	180	125						
	抗剪	$[\tau^t]$	95	135	95						
锚栓	抗拉	$[\sigma_t^a]$	105	145							
构件	承压	$[\sigma_c]$							240	335	365
注 1: A 级螺栓用于 $d \leq 24\text{mm}$ 和 $l \leq 10d$ 或 $l \leq 150\text{mm}$ (按较小值) 的螺栓; B 级螺栓用于 $d > 24\text{mm}$ 或 $l > 10d$ 或 $l > 150\text{mm}$ (按较小值) 的螺栓。 d 为公称直径, l 为螺杆公称长度。 注 2: 螺孔制备应符合 GB/T 14173 规定。 注 3: 当 Q235 钢或 Q345 钢制作的螺栓直径大于 40mm 时, 螺栓容许应力应予降低, 对 Q235 钢降低 4%, 对 Q345 钢降低 6%。											

5.2.2 机械零件的容许应力应按表 5.2.2 采用。

表 5.2.2 机械零件的容许应力

单位: N/mm^2

应力种类	符号	碳素结构钢	低合金钢		优质碳素结构钢		铸造碳钢				合金铸钢			合金结构钢	
		Q235	Q345	Q390	35	45	ZG230 —450	ZG270 —500	ZG310 —570	ZG340 —640	ZG50 Mn2	ZG35 Cr1Mo	ZG34 Cr2Ni2Mo	42 CrMo	40Cr
抗拉、抗压和抗弯	$[\sigma]$	100	145	160	135	155	100	115	135	145	195	170 (215)	(295)	(365)	(320)
抗剪	$[\tau]$	60	85	95	80	90	60	70	80	85	115	100 (130)	(175)	(220)	(190)
局部承压	$[\sigma_{cd}]$	150	215	240	200	230	150	170	200	215	290	255 (320)	(440)	(545)	(480)
局部紧接承压	$[\sigma_{cj}]$	80	115	125	105	125	80	90	105	115	155	135 (170)	(235)	(290)	(255)
孔壁抗拉	$[\sigma_k]$	115	165	185	155	175	115	130	155	165	225	195 (245)	(340)	(420)	(365)

注 1: 括号内为调质处理后的数值。

注 2: 孔壁抗拉容许应力系指固定结合的情况, 若系活动结合, 则应按表值降低 20%。

注 3: 合金结构钢的容许应力, 适用于截面尺寸为 25mm。由于厚度影响, 屈服强度有减少时, 各类容许应力可按屈服强度减少比例予以减少。

注 4: 表列铸造碳钢的容许应力, 适用于厚度不大于 100mm 的铸钢件。

5.2.3 灰铸铁件的容许应力应按表 5.2.3 采用。

表 5.2.3 灰铸铁的容许应力 单位: N/mm^2

应力种类	符号	灰铸铁牌号		
		HT150	HT200	HT250
轴心抗压和弯曲抗压	$[\sigma_a]$	120	150	200
弯曲抗拉	$[\sigma_w]$	35	45	60
抗剪	$[\tau]$	25	35	45
局部承压	$[\sigma_{cl}]$	170	210	260
局部紧接承压	$[\sigma_{cj}]$	60	75	90

5.2.4 轴套的容许应力应按表 5.2.4 采用。

表 5.2.4 轴套的容许应力 单位: N/mm^2

材 料	符号	径向承压
钢对 10-3 铝青铜	$[\sigma_{cg}]$	50
钢对 10-1 锡青铜		40
钢对钢基铜塑复合材料		40
注：水下重要的轴衬、轴套的容许应力降低 20%。		

5.2.5 埋设件一期、二期混凝土的承压容许应力应按表 5.2.5 采用。

表 5.2.5 混凝土的承压容许应力 单位: N/mm^2

应力种类	符号	混凝土强度等级				
		C15	C20	C25	C30	C40
承压	$[\sigma_h]$	5	7	9	11	14

5.2.6 表 5.2.1-2、表 5.2.1-3、表 5.2.1-4、表 5.2.2 的容许应力值, 在特殊荷载组合下提高 15%, 在特殊情况下, 除局部应力外, 不超过 $0.85\sigma_s$ 。

5.2.7 钢材和铸钢件的物理性能可按表 5.2.7 采用。

表 5.2.7 钢材和铸钢件的物理性能

材料名称	弹性模量 E (N/mm ²)	剪切模量 G (N/mm ²)	线胀系数 α (K ⁻¹)	质量密度 ρ (kg/m ³)
钢材、铸钢件	2.06×10^5	0.79×10^5	1.2×10^{-5}	7850 (7800)
注：括号内为铸钢件的密度。				

6 结构设计

6.1 结构布置

6.1.1 闸门的梁系宜采用同一层的布置方式，并应考虑制造、运输、安装、检修维护和防腐蚀施工等方面的要求。

6.1.2 平面闸门可按孔口型式及宽高比布置成双主梁或多主梁型式。主梁布置应符合以下要求：

- 1 主梁宜按等荷载要求布置。
- 2 主梁间距应适应制造、运输和安装的条件。
- 3 主梁间距应满足行走支承布置的要求。
- 4 底主梁到底止水的距离应符合底缘布置的要求。工作闸门和事故闸门下游倾角应不小于 30° ；当闸门支承在非水平底槛上时，其夹角可适当增减。当不能满足 30° 的要求时，应采用适当补气措施；对于部分利用水柱的平面闸门，其上游倾角不应小

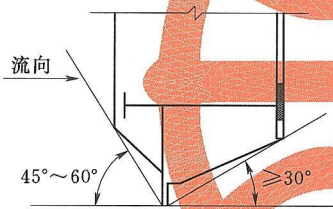


图 6.1.2 闸门底缘上下游倾角

于 45° ，宜采用 60° ，见图 6.1.2。

5 贯流式机组事故闸门和流速较低、淹没出流的闸门，上下游夹角可适当减小。

6.1.3 露顶式的双主梁平面闸门，主梁宜布置在静水压力线上下等距离的位置上，如图 6.1.3 所示。同时应符合以下要求：

- 1 两主梁间的距离 a 值宜大些。
- 2 上主梁到闸门顶缘的距离 a_0 宜小于 $0.45H$ ，且不宜大于 3.6m 。

6.1.4 主梁可按跨度和荷载采用实腹式或桁架式梁。

实腹式主梁高度的初选应接近经济梁高的要求。

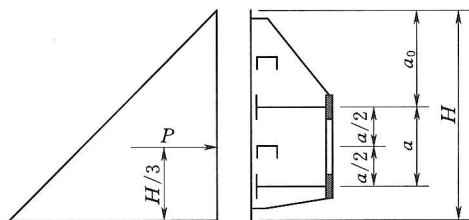


图 6.1.3 闸门主梁布置

对大跨度的闸门,可采用变截面的主梁,其端部梁高为跨中梁高的 0.4~0.6 倍。梁高改变的位置宜距离支座 $1/6 \sim 1/4$ 跨度处,同时应满足强度的要求。

6.1.5 平面闸门的边梁应采用实腹梁型式,滑动支承宜采用单腹板式边梁,简支轮支承宜采用双腹板式边梁。

6.1.6 可设置门背连接系(平行于面板)及竖向连接系(垂直于面板)。门背连接系宜采用桁架式结构或框架式结构。竖向连接系宜采用实腹式结构,也可采用桁架式结构。

6.1.7 弧形闸门支铰布置应考虑符合以下要求:

1 面板曲率半径与闸门高度的比值,对露顶式可取 1.0~1.5,对潜孔式可取 1.1~2.2。

2 弧形闸门支铰宜布置在过流时支铰不受水流及漂浮物冲击的高程上。

3 溢流坝上的露顶式弧形闸门,支铰位置可布置在闸门底槛以上 $(1/3 \sim 3/4)H$ (H 为门高)处。

4 水闸的露顶式弧形闸门,支铰位置可布置在闸门底槛以上 $(2/3 \sim 1)H$ 处。

5 深孔式弧形闸门,支铰位置可布置在底槛以上大于 $1.1H$ 处。

6.1.8 弧形闸门主梁的布置可根据孔口宽高比布置成主横梁式或主纵梁式结构。

宽高比较大的弧形闸门宜采用主横梁式结构,宽高比较小的

弧形闸门，可采用主纵梁式结构。

6.1.9 主横梁式弧形闸门的主框架型式如图 6.1.9 所示 a)、b)、c) 三种型式：

当支承条件许可时，宜采用 a) 型；当支承在侧墙上时，应采用 b) 型， l_1 宜取 $0.2L$ 左右；当孔口净空不适应采用 a) 型或 b) 型时，可采用 c) 型。

主纵梁式弧形闸门的主框架型式可采用 d) 型。

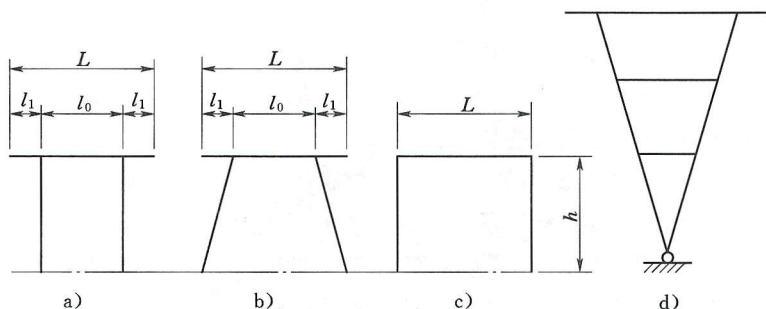


图 6.1.9 弧形闸门的主框架型式

6.1.10 弧形闸门的实腹式主横梁与支臂单位刚度比 K_0 值，可按下列两种情况分别进行选取：

——直支臂弧形闸门， $K_0 = 4 \sim 11$ ；

——斜支臂弧形闸门， $K_0 = 3 \sim 7$ 。

K_0 值应按式 (6.1.10) 计算：

$$K_0 = \frac{I_{l_0} h}{I_h l_0} \quad (6.1.10)$$

式中 I_{l_0} 、 l_0 ——主横梁的截面惯性矩及计算跨度；

I_h 、 h ——支臂的截面惯性矩及长度。

6.1.11 斜支臂弧形闸门，当支臂与主横梁水平连接时，在支铰处两支臂夹角平分线的垂直剖面上形成扭角 2ϕ (见图 6.1.11)。 ϕ 应按式 (6.1.11) 计算：

$$\phi = \arctan \frac{\tan \theta \sin \alpha}{\sqrt{\cos^2 \theta - \sin^2 \alpha}} \quad (6.1.11)$$

式中 α ——斜支臂水平偏斜角度；
 θ ——上下两支臂夹角的一半。

6.1.12 弧形闸门的支臂与主横梁应保证刚性连接。斜支臂与主横梁如采用螺栓连接，宜设抗剪板。抗剪板与连接板两端面应保证接触良好（见图 6.1.12）。

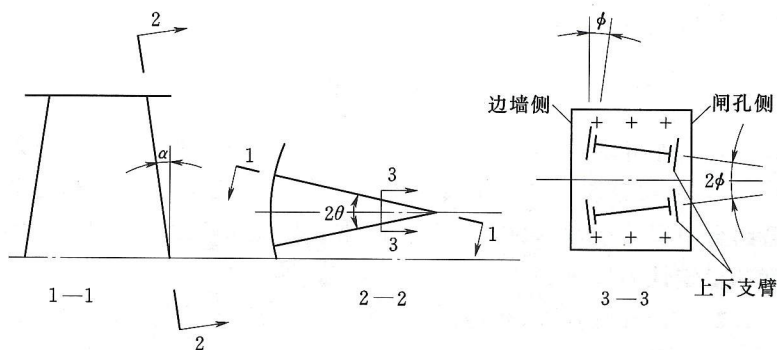


图 6.1.11 扭角计算简图

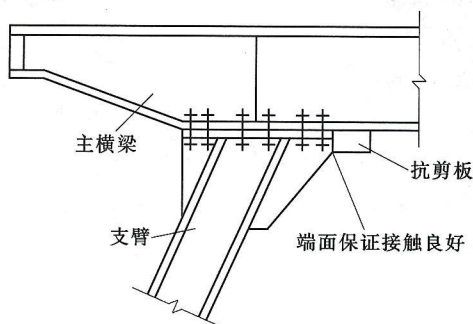


图 6.1.12 支臂抗剪板

6.1.13 低水头弧形闸门的支臂应根据具体工作条件，使结构符合以下要求：

- 1 应充分注意主框架平面外的稳定性，并从构造上予以保证。
- 2 应考虑支铰摩阻力对支臂所引起的附加弯矩。

3 露顶式弧形闸门的上支臂应适当加强。

6.1.14 选用浮式叠梁或浮箱闸门时，应使结构布置对称，保证闸门操作平稳，并宜减少漏水量。浮式叠梁应考虑互换性，单根浮力应选择适当，以保证按要求沉浮。

6.1.15 拱形闸门拱的圆心角宜采用 90° ，闸门的水平剖面及竖直剖面应设置连接系。

6.2 结构计算

6.2.1 闸门的结构计算，应按 1.0.6 条规定的计算原则及 4.0.1~4.0.5 条规定的荷载，根据实际可能发生的最不利的荷载组合情况，按基本荷载组合和特殊荷载组合条件进行强度、刚度和稳定性验算。

6.2.2 对于闸门的承载构件和连接件，应验算正应力和剪应力。在同时承受较大正应力和剪应力的作用处，还应验算折算应力。

计算的最大应力值不应超过容许应力的 5%。

弧形闸门的纵向梁系和面板，可忽略其曲率影响，近似按直梁和平板进行验算。

6.2.3 受弯构件的最大挠度与计算跨度之比，不应超过下列数值：

- 潜孔式工作闸门和事故闸门的主梁， $1/750$ ；
- 露顶式工作闸门和事故闸门的主梁， $1/600$ ；
- 检修闸门和拦污栅的主梁， $1/500$ ；
- 次梁， $1/250$ 。

6.2.4 受弯、受压和偏心受压构件，应验算整体稳定和局部稳定性。验算应按附录 G 及 GB 50017 进行。

6.2.5 闸门构件的长细比应符合以下要求：

- 1 受压构件的容许长细比不应超过下列数值：
 - 主要构件，120；
 - 次要构件，150；
 - 联系构件，200。

2 受拉构件的容许长细比不应超过下列数值:

——主要构件, 200;

——次要构件, 250;

——联系构件, 350。

6.2.6 面板及其参与梁系有效宽度的计算应符合以下要求:

1 为充分利用面板的强度, 梁格布置时宜使面板的长短边比 $b/a > 1.5$, 并将长边布置在沿主梁轴线方向。

2 面板的局部弯曲应力, 可视支承边界情况, 按四边固定 (或三边固定一边简支, 或两相邻边固定、另两相邻边简支) 的弹性薄板承受均布荷载 (对于露顶式闸门的顶区格按三角形荷载) 计算。初选面板厚度 δ , 应按式 (6.2.6-1) 计算:

$$\delta = a \sqrt{\frac{K_y q}{\alpha [\sigma]}} \quad (6.2.6-1)$$

式中 δ ——初选面板厚度, mm;

K_y ——弹塑性薄板支承长边中点弯应力系数, 按附录 H 表 H.0.1-1~表 H.0.1-4 采用;

α ——弹塑性调整系数, $b/a > 3$ 时, $\alpha = 1.4$, $b/a \leq 3$ 时, $\alpha = 1.5$;

q ——面板计算区格中心的水压力强度, MPa;

a 、 b ——面板计算区格的短边和长边长度, mm, 从面板与主 (次) 梁的连接焊缝算起;

$[\sigma]$ ——钢材的抗弯容许应力, 按表 5.2.1-2 采用。

3 当面板与主 (次) 梁相连接时应考虑面板参与主 (次) 梁翼缘工作, 其有效宽度按附录 H 确定。

4 验算面板强度时, 应考虑面板的局部弯应力与面板兼作主 (次) 梁翼缘的整体弯应力相叠加。叠加后的折算应力 σ_{zh} 应按附录 H 式 (H.0.1-1) 或式 (H.0.1-4) 计算。 σ_{zh} 应满足式 (6.2.6-2) 要求:

$$\sigma_{zh} \leq 1.1\alpha[\sigma] \quad (6.2.6-2)$$

5 计算所得面板厚度 δ 还应根据工作环境、防腐条件等因素, 增加 1~2mm 腐蚀裕度。

6.2.7 当验算支臂在框架平面内的稳定时, 弧形闸门支臂的计算长度应按式 (6.2.7) 计算:

$$h_0 = \mu h \quad (6.2.7)$$

式中 h_0 ——支臂的计算长度;

h ——支臂的长度 (由框架的形心线算起);

μ ——支臂的计算长度系数, 对主横梁式的矩形框架或梯形框架的支臂, μ 可取 1.2~1.5; 对主纵梁式多层三角形框架的支臂, μ 可取 1.0。

6.2.8 闸门承载构件的钢板厚度或型钢截面不应小于以下规格:

——6mm 的钢板;

——L 50mm×6mm 的等边角钢;

——L 63mm×40mm×6mm 的不等边角钢;

——I 12.6 的工字钢;

——C 8 的槽钢。

小型工程的闸门, 可不受此限。

6.3 拦污栅

6.3.1 拦污栅的设计荷载, 应根据河流污物性质、数量及清污措施决定。引水发电系统的拦污栅, 宜采用水位差 2~4m 设计, 抽水蓄能电站的拦污栅可采用水位差 5~7m 设计, 特殊情况应具体分析确定。

对污物较多的、清污条件差的河流, 应适当提高设计水头。

6.3.2 在满足保护机组的前提下, 栅条的净距应适当加大。

6.3.3 拦污栅宜做成活动式。

6.3.4 栅条截面高度不宜大于 12 倍厚度, 也不宜小于 50mm。

栅条的侧向支承间距, 不宜大于 70 倍栅条厚度。

6.3.5 栅条应进行强度及稳定性验算, 其稳定安全系数 K 不应

小于 2。栅条临界荷载计算应按附录 I 计算。

6.3.6 拦污栅的承载结构应根据布置及构造情况进行内力分析，并按 6.2 节进行各项验算。

6.3.7 抽水蓄能电站拦污栅设计应考虑双向水流作用下的水动力影响。栅条振动应按附录 J 计算。

7 零 部 件 设 计

7.1 一 般 规 定

7.1.1 主轮、支铰和吊耳的轴，其表面宜镀铬，也可根据具体工作条件采用其他镀层等防腐蚀措施。

腐蚀情况严重的重要连接件，宜采用不锈钢材料。水下工作的其他轴、螺栓和螺母等，或需经常拆卸的连接件应做防腐蚀处理。

7.1.2 滚轮、支铰的轴和轴套间应有良好的润滑，宜优先使用自润滑轴承。滚动轴承或在多泥沙水中工作的滑动轴承，除应保持润滑外，应设密封装置。润滑设施应便于加油。

7.2 行 走 支 承

7.2.1 平面闸门行走支承的型式，应根据工作条件、荷载和跨度选定。工作闸门和事故闸门宜采用滚轮或滑道支承。检修闸门宜采用滑道支承。

7.2.2 轮式支承宜采用筒支轮；当荷载不大时，可采用悬臂轮；当支承跨度较大时，可采用台车或其他型式支承。

滚轮硬度应略低于轨道硬度。

当轮压较大时，应对滚轮、轨道的材料及其硬度和制造工艺进行专门研究。

7.2.3 闸门上布置多滚轮时，为调整滚轮踏面在同一平面上，宜采用偏心轴（套）。

7.2.4 作用在滚轮上的最大设计荷载，应按计算最大轮压考虑一定的不均匀系数，对于筒支轮和设有偏心轴（套）的多滚轮，不均匀系数可取 1.1。

7.2.5 采用滑块支承时，应根据其构造、形状和接触特性，验算接触应力和连接螺栓的强度。

7.2.6 工作闸门和事故闸门的支承滑道应根据工作条件和地区特点,选用高比压、低摩阻材料。

7.2.7 弧形闸门的支铰型式,应根据闸门的荷载、跨度和支臂型式选定。宜采用圆柱铰、球形铰,也可采用锥形铰。

7.2.8 滚轮、支铰的支承轴承可选用平面或球面滑动轴承,滚轮也可选用滚动轴承。

7.2.9 各类行走支承的计算,可根据其结构特点进行,主滚轮接触应力应按附录 K 计算。

7.3 吊耳、吊杆、锁定

7.3.1 闸门采用单吊点或双吊点应根据孔口大小、宽高比、启闭力、闸门及启闭机布置型式等因素综合考虑确定。当宽高比大于 1.0 时,宜采用双吊点。

7.3.2 直升式平面闸门的吊耳应设置在闸门隔板或边梁的顶部,并应布置在闸门重心线上,水电站尾水检修闸门的吊耳可稍偏向止水侧,以提高止水效果。

露顶式弧形闸门的吊耳,采用液压启闭机时,宜布置在面板后面下主梁两端;采用卷扬式弧门启闭机时,可布置在闸门下主梁与支臂交点的面板前面。

潜孔式弧形闸门的吊耳宜布置在门顶。

7.3.3 作用在吊耳、吊杆、连接轴、连接板和连接螺栓上的荷载,应按所选启闭机的启闭力(对操作多种类型闸门的移动式启闭机,应取各门相应的计算启闭力)乘以 1.1~1.2 的超载系数计算,以考虑闸门启闭时的超载或不均匀影响。潜孔闸门上的吊耳,因工作条件复杂,除考虑上述系数外,尚应予以适当增强。

7.3.4 闸门(拦污栅)的启闭操作,应仅在下列情况采用吊杆:

- 用自动挂脱梁有困难时;
- 当启闭机滑轮组长期浸在水中时;
- 当采用螺杆或液压启闭机扬程不够时;
- 经综合比较造价低时。

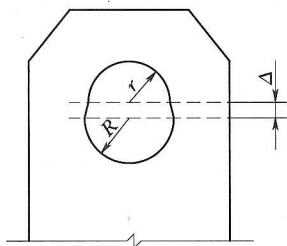


图 7.3.7 吊耳梨形孔

7.3.5 吊杆的分段长度应按孔口高度、启闭机的扬程和对吊杆装拆、换向等要求确定。

7.3.6 吊耳的宽度、厚度与孔径的关系尺寸及吊杆、吊耳的计算，应符合附录 L 的规定。

7.3.7 为保证吊杆轴孔和轴的接触紧密，又便于装卸连接轴，宜将轴孔

做成梨形孔（小圆宜接近 180° ，见图 7.3.7）。

对荷载不大的吊杆，可将轴孔加大 1mm。

7.3.8 锁定装置宜选用自动、半自动锁定器。锁定操作应在锁定平台或检修平台上进行。

锁定的结构型式应按不同用途进行设计。

7.3.9 作用在锁定装置上的荷载应按其不同用途而定。

供闸门检修或存放用的锁定装置应考虑闸门自重、加重、风荷载、地震荷载以及操作时可能引起的荷载。

对于供闸门局部开启用的锁定装置，尚应考虑闸门在动水中可能产生的吸力和脉动荷载。

7.3.10 锁定装置的活动和埋设部分，应按其受力及构造情况验算其强度及稳定性。

7.4 止水装置

7.4.1 闸门止水装置宜设在门叶上，如需将水封设置在埋件上，则应提供其维修更换的条件。

各部位的止水装置应具有连续性和严密性。

7.4.2 对于大跨度上游止水的潜孔闸门，其顶止水装置应考虑顶梁弯曲变形的影响。

应注意防止潜孔闸门顶水封在启闭过程中的翻卷现象，顶止水板靠水封头的边缘宜做成翘头形式。

7.4.3 闸门水封应预留压缩量。顶、侧水封的预留压缩量宜取

2~4mm。

7.4.4 闸门的顶、侧水封，可用圆头 P 形或 Ω 形断面型式；潜孔和露顶式弧形闸门的侧水封，可分别采用方头 P 形和 L 形断面型式；底止水宜采用刀型水封。对于高水头弧形闸门止水型式，可根据运用条件进行研究和试验确定。

止水压板的厚度不宜小于 10mm，小型闸门可适当减薄。

固定水封的螺栓间距宜小于 150mm。

7.4.5 中高水头弧形闸门的顶止水宜设置两道，即门叶上和门楣上各一道。

门楣上的水封和面板弧度的配合精度，应满足闸门启闭过程中的止水要求。

7.4.6 采用不锈钢板制造顶、侧止水板时，其加工后的厚度应不小于 4mm。

止水板应与所在的埋件做成一个整体，其构造型式应满足止水板焊接、加工等要求。

采用刚性止水兼作支承的平面闸门，其刚性止水与止水板的配合间隙应满足止水要求，其配合面的平面度不低于 5 级精度。采用铜合金的门槛应与闸门底水封保持平行。

7.5 焊接和螺栓连接

7.5.1 在设计中不应任意加大焊缝，避免焊接立体交叉和在一处集中多条焊缝，同时焊缝的布置宜对称于构件形心轴。

焊件厚度大于 20mm 的角接接头焊缝，应采用收缩时不易引起层状撕裂的构造。

对接焊缝出现 T 形交叉时，交叉点的间距不应小于 200mm。

搭接连接中，搭接长度不应小于较小厚度的 5 倍，且不应小于 25mm。

闸门及埋件结构，不应采用间断焊缝。

7.5.2 在闸门的结构及焊接件设计中应考虑施焊的方便、焊条角度要求及烟雾顺利逸出。

7.5.3 对承受动荷载或在低温（低于 0°C ）下工作的闸门，其主梁翼缘与腹板间，主梁腹板与边梁腹板间，支臂与两端支承板及承受弯矩段腹板与翼缘间的 T 形焊缝，应予焊透。腹板边缘尚应根据板厚和施焊条件进行加工。对于低温工作的一类、二类焊缝，焊接接头尚应进行冲击试验。

7.5.4 承受主要荷载的结构不应采用塞焊连接。

7.5.5 普通螺栓连接宜用 A 级、B 级螺栓。承受动荷载的剪力时，宜采用铰制孔螺栓。

7.5.6 当计算和构造要求不宜采用普通螺栓连接时，宜采用高强度螺栓。

7.5.7 焊接、螺栓连接的构造要求可按 GB 50017 的有关规定进行。



8 埋 件 设 计

8.0.1 闸门埋件应能将闸门所承受的荷载安全地传递到混凝土(或其他材料)中去。

门槽一期混凝土面与门叶间应有不小于 100mm 的距离。门槽高度小于 10m 的可适当减小。

8.0.2 闸门埋件应采用二期混凝土安装。二期混凝土宜有足够尺寸。

8.0.3 用于安装埋件和锚固二期混凝土的锚筋,其直径不宜小于 16mm,伸出一期混凝土面的长度不宜小于 150mm。

低水头小孔口闸门埋件所用的锚筋,其直径及外伸长度可适当减小。

为适应钢滑模板施工,一期锚筋也可采用锚板型式。但在构造上应加强锚板与二期混凝土的锚固措施。

8.0.4 多泥沙河流上的排沙泄水孔(洞)闸门的门槽埋件及其附近的衬护,应结合抗磨蚀和抗空蚀的要求进行设计。当水流中有大量推移质过闸时,闸孔底部应采取相应的衬护措施。

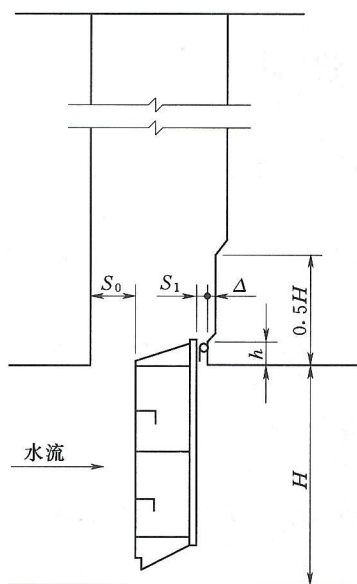
8.0.5 埋件分段时应考虑制造、运输和安装对其长度的限制及其本身刚度的要求。

8.0.6 闸门底槛埋件宜采用工字形断面。当水头较高时,为增加底槛埋件与混凝土的接触面并使其嵌固良好,底槛埋件的断面尺寸应适当增大。低水头小孔口闸门的底槛埋件可适当简化。

8.0.7 水电站进水口利用水柱下降的事故闸门,胸墙和门楣的相关尺寸可按图 8.0.7 所示尺寸采用。对于大型水电站的事故闸门,宜通过模型试验确定胸墙和门楣的相关尺寸。

8.0.8 滑道轨道的轨头尺寸应根据材料性能 and 设计条件及产品样本确定。

8.0.9 潜孔式平面工作闸门和事故闸门门槽主轨的高度应根据



注 1: $S_0 \geq 5S_1$ 。

注 2: $\Delta = 100\text{mm}$ 或 $\Delta \approx S_1$ 。

注 3: $h = (0.05 \sim 0.1) H$,
但不小于 300mm。

注 4: S_1 尽量小。

图 8.0.7 胸墙和门楣相关尺寸

使用条件确定, 可按 $1.5 \sim 2.0$ 倍的孔口高度选用。

8.0.10 为便于闸门的入槽, 轨道顶部应设导向坡度。

8.0.11 平面闸门主轨应按附录 M 计算。反轨、侧轨可按构造要求选择。

8.0.12 露顶式弧形闸门的支铰宜支承在钢筋混凝土牛腿上, 潜孔弧形闸门的支铰可支承在钢梁上。

8.0.13 平面闸门门槽的上、下游两侧宜设置金属护角。护角设置高度应根据其工作条件确定。

8.0.14 拦污栅槽埋件设计可按照平面闸门埋件的有关要求适当简化。

8.0.15 大、中型工程施工导流孔闸门底槛及其附近的衬护, 应根据导流期过闸水流流态、过流

时间长短及推移质过闸情况等因素确定其截面尺寸及衬护范围。

9 启闭力和启闭机

9.1 启闭力计算

9.1.1 平面闸门启闭力应按以下方法计算:

1 动水中启闭的闸门启闭力计算应包括闭门力、持住力、启门力的计算。

- 1) 闭门力应按式 (9.1.1-1) 计算。计算结果为正值时, 需要加重 (加重方式有加重块、水柱或机械下压力等); 为负值时, 依靠自重可以关闭。

$$F_W = n_T (T_{zd} + T_{zs}) - n_G G + P_t \quad (9.1.1-1)$$

- 2) 持住力应按式 (9.1.1-2) 计算:

$$F_T = n'_G G + G_j + W_s + P_x - P_t - (T_{zd} + T_{zs}) \quad (9.1.1-2)$$

- 3) 启门力应按式 (9.1.1-3) 计算:

$$F_Q = n_T (T_{zd} + T_{zs}) + P_x + n'_G G + G_j + W_s \quad (9.1.1-3)$$

- 4) 滑动轴承的滚轮摩阻力应按式 (9.1.1-4) 计算:

$$T_{zd} = \frac{P}{R} (f_1 r + f) \quad (9.1.1-4)$$

- 5) 滚动轴承的滚轮摩阻力应按式 (9.1.1-5) 计算:

$$T_{zd} = \frac{Pf}{R} \left(\frac{R_1}{d} + 1 \right) \quad (9.1.1-5)$$

- 6) 滑动支承摩阻力应按式 (9.1.1-6) 计算:

$$T_{zd} = f_2 P \quad (9.1.1-6)$$

- 7) 止水摩阻力应按式 (9.1.1-7) 计算:

$$T_{zs} = f_3 P_{zs} \quad (9.1.1-7)$$

式中 F_W 、 F_T 、 F_Q ——闭门力、持住力和启门力, kN;

n_T ——摩擦阻力安全系数, 可采用 1.2;

- n_G ——计算闭门力用的闸门自重修正系数，可采用 0.9~1.0；
- n'_G ——计算持住力和启门力用的闸门自重修正系数，可采用 1.0~1.1；
- G ——闸门自重，kN，当有吊杆时应计入吊杆重量；计算闭门力时可不计吊杆的重量，门重可采用浮重；
- W_s ——作用在闸门上的水柱压力，kN；
- G_j ——加重块重量，kN；
- P_t ——上托力，kN，包括底缘上托力及止水上托力，底缘上托力按附录 D 计算；
- P_x ——下吸力，kN，按附录 D 计算；
- T_{zd} ——支承摩阻力，kN；
- P ——作用在闸门上的总水压力，kN；
- r ——滚轮轴半径，mm；
- R_1 ——滚动轴承的平均半径，mm；
- R ——滚轮半径，mm；
- d ——滚动轴承滚柱或滚珠的直径，mm；
- f ——滚动摩擦力臂，mm，按附录 N 确定；
- T_{zs} ——止水摩阻力，kN；
- P_{zs} ——作用在止水上的压力，kN；
- f_1 、 f_2 、 f_3 ——滑动摩擦系数，计算持住力应取小值，计算启门力、闭门力应取大值，按附录 N 确定。

2 静水中开启的闸门，其启闭力计算除计入闸门自重和加重外，尚应考虑一定的水位差引起的摩阻力。露顶式闸门和电站尾水闸门可采用不大于 1m 的水位差；潜孔式闸门可采用 1~5m 的水位差。对有可能发生淤泥、污物堆积等情况时，尚应酌情增加。

9.1.2 弧形闸门启闭力应按以下方法计算：

1 闭门力按式 (9.1.2-1) 计算。计算结果为正值时, 需要加重; 为负值时, 依靠自重可以关闭。

$$F_W = \frac{1}{R_1} [n_T (T_{zd} r_0 + T_{zs} r_1) + P_t r_3 - n_G Gr_2] \quad (9.1.2-1)$$

2 启门力按式 (9.1.2-2) 计算:

$$F_Q = \frac{1}{R_2} [n_T (T_{zd} r_0 + T_{zs} r_1) + n'_G Gr_2 + G_j R_1 + P_x r_4] \quad (9.1.2-2)$$

式中 r_0 、 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 ——转动铰摩阻力、止水摩阻力、闸门自重、上托力和下吸力对弧形闸门转动中心的力臂, m;

R_1 、 R_2 ——加重(或下压力)和启门力对弧形闸门转动中心的力臂, m;

T_{zs} ——止水摩阻力, 按式 (9.1.1-7) 计算;

其他符号意义同前。

3 弧形闸门在启闭运动过程中, 力的作用点、方向和力臂随运动而变化, 因此, 必要时可绘制启闭力过程线, 以决定最大值。

9.1.3 拦污栅启吊力应按以下方法计算:

1 在静水中启吊时其启吊力应按式 (9.1.3) 计算:

$$F_Q \geq n'_G G + n_m m \quad (9.1.3)$$

式中 F_Q ——拦污栅启吊力, kN;

n_m ——污物的超重系数, 可采用 1.2;

m ——污物的重量, kN, 按栅条间部分堵塞考虑, 堵塞面积可根据污物情况决定;

G ——拦污栅自重, kN;

n'_G ——自重修正系数, 采用 1.0~1.1。

2 在动水中启吊时, 其启吊力除按式 (9.1.3) 计算外, 还

应考虑拦污栅部分堵塞后形成水位差的影响,选用水位差不应大于 2m。

9.1.4 闸门底部防渗漏应按式 (9.1.4) 进行验算:

$$\sigma_y \geq 0.0012\gamma H_s \quad (9.1.4)$$

式中 σ_y ——闸门底止水在底槛上的压应力, N/mm²;

γ ——水的容重, kN/m³;

H_s ——由底槛算起的水头, m。

9.1.5 在多泥沙水流中工作的闸门,计算启闭力时应做专门研究。除考虑水压力外,还应考虑泥沙影响,包括泥沙引起的支承、止水摩阻力,泥沙与闸门间的黏着力和摩擦力,门上淤积泥沙的重量等。黏着系数和摩擦系数可通过试验确定。此外,还应适当加大安全系数,以克服泥沙局部阻塞增加的阻力。淤沙压力按附录 D 计算。

9.1.6 计算小型闸门的启闭力时,安全系数应适当加大。

9.2 启闭机选择

9.2.1 启闭机型式,可根据闸门型式、尺寸、孔口数量及运行条件等因素,按以下要求选用:

1 靠自重或加重关闭和要求在短时间内全部开启的闸门宜选用固定卷扬式启闭机或液压启闭机。

2 需要短时间内全部开启或有下压力要求的闸门宜选用液压启闭机。

3 孔数多且不需要同时局部均匀开启的平面闸门宜选用移动式启闭机。启闭机台数应根据开启闸门的时间要求确定,并考虑有适当的备用量。布置门式启闭机应兼顾坝面金属结构设备及大坝的检修需要。

4 需要下压力的小型闸门宜选用螺杆式启闭机。

9.2.2 选用启闭机的启闭力不应小于计算启闭力。

9.2.3 启闭机扬程可根据运行条件决定,并应满足以下要求:

1 溢流闸门可提出水面以上 1~2m。

- 2 快速闸门可提到孔口以上 0.5~1.0m。
- 3 闸门检修更换可提到检修平台以上 0.5~1.0m。

9.3 自动挂脱梁

9.3.1 当采用移动式启闭机操作多孔口闸门或闸门在操作过程中,吊杆装卸频繁时,宜采用自动挂脱梁。

其型式可根据工作条件选用机械式或液压式等。

9.3.2 闸门设置自动挂脱梁时,应注意以下情况:

1 闸门宜设置上游止水。如闸门设置下游止水时,应注意自动挂脱梁水下工作的可靠性。

2 自动挂脱梁入水工作时,应注意水流扰动对其稳定性的影响。

3 应注意门槽施工安装精度,以适应自动挂脱梁能在多孔口槽内使用。

4 自动挂脱梁应设导向、定位、安全装置和排气(水)孔。

5 自动挂脱梁应作静平衡试验,以便操作平稳,入槽前不应有倾斜、阻卡等现象。

6 当工作温度低于 0℃ 时,还应有防止操作时或入水后挂脱部件结冰的措施。

附录 A 闸门孔口尺寸和设计水头系列标准

A.0.1 露顶式溢洪道闸门的孔口尺寸应按表 A.0.1-1 采用；潜孔式泄水孔闸门的孔口尺寸应按表 A.0.1-2 采用；其他闸门（尾水闸门除外）的孔口尺寸应按表 A.0.1-3 采用。

闸门孔口尺寸标准，表 A.0.1-1～表 A.0.1-3 中标有“○”者为推荐的孔口尺寸。应结合闸门和启闭机制造、安装和运行的具体条件，选用表列的孔口尺寸。

A.0.2 设计水头为 10～20m 时，按 0.5m 递增；设计水头为 20～50m 时，按 1.0m 递增；设计水头大于 50m 时，按 2.0m 递增。

表 A.0.1-1 露顶式闸门的孔口尺寸

孔口高度 (m)	孔 口 宽 度 (m)																						
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	
1.0	○	○	○																				
1.5	○	○	○	○																			
2.0		○	○	○	○	○	○																
2.5			○	○	○	○	○	○	○														
3.0				○	○	○	○	○	○	○													
3.5					○	○	○	○	○	○	○	○											
4.0							○	○	○	○	○	○	○	○									
4.5							○	○	○	○	○	○	○	○									
5.0									○	○	○	○	○	○		○	○						
6.0										○	○	○	○	○		○	○	○					
7.0											○	○	○	○		○	○	○					
8.0												○	○	○		○	○	○	○	○			

表 A.0.1-1 (续)

孔口 高度 (m)	孔 口 宽 度 (m)																							
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0		
9.0													○	○	○	○	○	○	○					
10.0													○	○	○	○	○	○	○	○				
11.0													○	○	○	○	○	○	○	○				
12.0														○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
13.0														○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
14.0															○	○	○	○	○	○	○	○	○	
15.0															○	○	○	○	○	○	○	○	○	
16.0															○	○	○	○	○	○	○	○	○	
17.0																○	○	○	○		○	○	○	
18.0																	○	○	○		○			
19.0																		○						
20.0																		○						
21.0																			○					
22.0																			○					

注：孔口高度为闸门高度。

表 A.0.1-2 潜孔式泄水闸门孔口尺寸

孔口 高度 (m)	孔 口 宽 度 (m)																	
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0
1.0	○	○	○	○														
1.5	○	○	○	○														
2.0	○	○	○	○	○	○												
2.5		○	○	○	○	○												
3.0			○	○	○	○	○	○	○									
3.5			○	○	○	○	○	○	○									

表 A.0.1-2 (续)

孔口 高度 (m)	孔 口 宽 度 (m)																		
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	
4.0				○	○	○	○	○	○	○	○	○							
4.5					○	○	○	○	○	○	○	○							
5.0					○	○	○	○	○	○	○	○	○						
6.0					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
7.0						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
8.0							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
9.0								○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
10.0									○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
11.0										○	○	○	○	○	○	○	○	○	
12.0										○	○	○	○	○	○	○	○	○	
13.0											○	○	○	○	○	○	○	○	
14.0											○	○	○	○	○	○	○	○	
15.0												○	○	○	○	○	○	○	
16.0												○	○	○	○	○	○	○	
18.0												○	○	○				○	

表 A.0.1-3 其他闸门(尾水闸门除外)的孔口尺寸

孔口 高度 (m)	孔 口 宽 度 (m)																		
	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	10.0	12.0
0.6	○																		
0.8	○	○																	
1.0	○	○	○																
1.2	○	○	○																
1.5		○	○	○															
2.0			○	○	○														
2.5				○	○	○													

表 A.0.1-3 (续)

孔口 高度 (m)	孔 口 宽 度 (m)																							
	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	
3.0				○	○	○	○	○																
3.5					○	○	○	○																
4.0					○	○	○	○	○															
4.5					○	○	○	○	○	○														
5.0						○	○	○	○	○	○													
5.5							○	○	○	○	○	○												
6.0							○	○	○	○	○	○	○	○										
6.5							○	○	○	○	○	○	○	○	○									
7.0							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○								
7.5									○	○	○	○	○	○	○	○								
8.0							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
9.0									○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
10.0							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
11.0												○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
12.0													○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
13.0																○	○	○	○	○	○	○	○	
14.0																	○	○	○	○	○	○	○	
15.0																		○	○	○	○	○	○	
16.0																		○	○	○	○	○	○	
18.0																		○	○	○		○	○	

附录 B 通气孔面积的计算

B. 0. 1 设于泄水管道中的工作闸门或事故闸门，其门后通气孔面积可按经验公式 (B. 0. 1 - 1)、式 (B. 0. 1 - 2) 计算，也可按半理论半经验公式 (B. 0. 1 - 3)、式 (B. 0. 1 - 4) 及式 (B. 0. 1 - 1) 计算：

$$A_a \geq \frac{Q_a}{[v_a]} \quad (\text{B. 0. 1 - 1})$$

$$Q_a = 0.09 v_w A \quad (\text{B. 0. 1 - 2})$$

$$\beta = \frac{Q_a}{Q_w} = K(Fr - 1)^{[a \ln(Fr - 1) + b]} - 1 \quad (\text{B. 0. 1 - 3})$$

$$Fr = v / \sqrt{9.81e} \quad (\text{B. 0. 1 - 4})$$

式中 A_a ——通气孔的断面面积， m^2 ；
 Q_a ——通气孔的充分通气量， m^3/s ；
 $[v_a]$ ——通气孔的允许风速， m/s ，采用 40m/s ，对小型闸门可采用 50m/s ；
 v_w ——闸门孔口的水流速度， m/s ；
 A ——闸门后管道面积， m^2 ；
 β ——气水比，通气流量与泄水流量之比；
 Q_w ——闸门一定开启高度下的流量， m^3/s ；
 Fr ——闸门孔口断面的弗劳德数；
 v ——闸门孔口断面平均流速， m/s ；
 e ——闸门开启高度， m ；

K 、 a 、 b ——各区间的系数，见表 B. 0. 1。

B. 0. 2 引水发电管道快速闸门门后通气孔面积可按发电管道面积的 $4\% \sim 7\%$ 选用，事故闸门的通气孔面积可酌情减少。

B. 0. 3 检修闸门门后通气孔面积，可根据具体情况选定，宜不小于充水管面积。

表 B.0.1 半理论半经验公式系数表

管道类型	区间号	门后管道长度 管道净高度	Fr 的范围	$\beta = K(Fr - 1)^{[aln(Fr-1)+b]} - 1$		
				K	a	b
设平面闸门的压力管道	I	6.10~10.66	3.96~20.30	1.158	0.112	-0.242
			3.87~3.960	1.0154	0	0
	II	10.66~27.40	1.94~6.290	1.0150	0.035	0.004
			1.61~1.940	1.0152	0	0
	III	27.40~35.78	1.91~17.190	1.042	0.039	0.008
			1.38~1.910	1.0413	0	0
	IV	35.78~77.00	1.08~15.670	1.1300	0.028	0.144
设弧形闸门的无压管道	V	6.10~10.66	4.57~32.590	1.342	0.173	-0.438
			3.49~4.570	1.0153	0	0
	VI	10.66~27.40	1.70~18.06	1.0540	0.019	0.013
			1.56~1.70	1.0515	0	0
	VII	27.40~35.78	2.45~10.81	1.073	0.053	0.070
	VIII	35.78~77.00	2.33~8.310	1.170	0.182	-0.019

附录 C 平面闸门门槽型式的选择

C.0.1 泄水系统平面闸门的门槽型式，可选用 I 型及 II 型门槽，其适用范围和体形参数见表 C.0.1。

表 C.0.1 平面闸门的门槽型式、体形参数和适用范围

槽型	图 形	门槽几何形状的参数	适用范围
I		①较优宽深比 $W/D=1.6\sim1.8$; ②合宜宽深比 $W/D=1.4\sim2.5$; ③门槽初生空化数的经验公式为：$K_i=0.38(W/D)$ (公式适用于 $W/D=1.4\sim3.5$)	①泄水孔事故闸门门槽和检修闸门门槽； ②水头低于 12m 的溢流坝堰顶工作闸门槽； ③电站进水口事故闸门、快速闸门门槽； ④泄水孔工作闸门门槽，当水流空化数 $K>1.0$ (约相当于水头低于 30m 或流速小于 20m/s) 时
II		①合宜宽深比 $W/D=1.5\sim2.0$; ②较优错距比 $\Delta/W=0.05\sim0.08$; ③较优斜坡 $\Delta/X=1/10\sim1/12$; ④较优圆角半径 $R=30\sim50\text{mm}$ 或圆角比 R/D 为 0.10; ⑤门槽初生空化数 $K_i=0.4\sim0.6$ (可根据已有科研成果及工程实例类比选用)	①泄水孔工作闸门门槽，其水流空化数 $K>0.6$ (约相当水头为 30~50m，或流速为 20~25m/s) 时； ②高水头、短管道事故闸门门槽，其水流空化数 $K>0.4$ 且小于 1.0 时； ③要求经常部分开启，其水流空化数 $K>0.8$ 的工作闸门门槽； ④水头高于 12m，其水流空化数 $K>0.8$ 的溢流坝堰顶工作闸门门槽

C.0.2 当门槽附近边界体形特殊, 流态复杂或要求经常部分开启的工作闸门门槽, 上述两种槽型无法适应时, 可参照已建工程的运行经验并通过水工模型试验选择合适的门槽型式, 以谋求增加门槽段水流空化数 K 值的合理措施或其他方法。

C.0.3 当水流空化数 $K < 0.6$ (约相当于水头高于 60m, 或流速大于 30m/s) 时, 除选用 II 型门槽或其他特殊槽型外, 根据工程具体情况, 在门槽上、下游一定范围内, 宜采用钢板、低水灰比的高强度等级混凝土或其他抗蚀护面材料衬护; 施工时应体形准确, 表面平整。

C.0.4 水流空化数 K 可用式 (C.0.4) 计算:

$$K = \frac{(P_1 + P_a - P_v)/\gamma}{v^2/2g} \quad (\text{C.0.4})$$

式中 P_1 ——紧靠门槽上游附近的断面平均压力, kPa;

P_a ——大气压力, kPa, 见图 C.0.4-1;

P_v ——水的饱和蒸汽压, kPa, 见图 C.0.4-2;

γ ——水的容重, kN/m³;

v ——紧靠门槽上游附近断面的平均流速, m/s;

g ——重力加速度, m/s²。

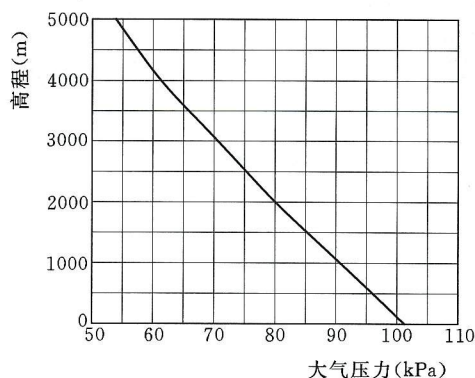


图 C.0.4-1 大气压力与高程的关系曲线

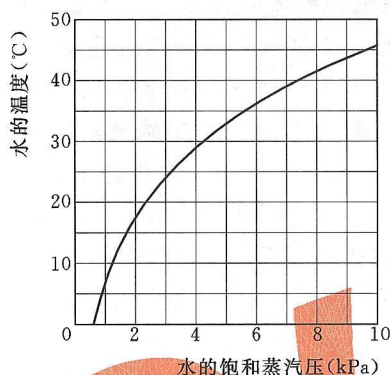


图 C.0.4-2 水的饱和蒸汽压与温度的关系曲线

如门槽形状不变，而水流空化数降低到某一数值时，则门槽段边界将发生空化现象。这一数值称为该门槽体形的初生空化数，通常以 K_i 表示。不同体形的门槽具有不同的初生空化数。

根据实际工程中门槽附近的水流空化数 K ，可选用合适的门槽型式。若 $K_i < K$ ，则这种型式的门槽一般不致于发生空化。 $K > K_i$ 的安全裕度，可根据闸门的重要性及工作条件选取安全系数 $n=1.2\sim1.5$ ，使 $K \geq nK_i$ 。

附录 D 闸门荷载计算的主要公式

D.0.1 作用在闸门上的静水压力可按表 D.0.1 中的公式计算。

表 D.0.1 静水压力计算

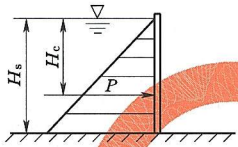
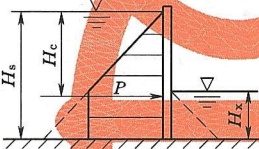
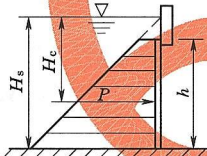
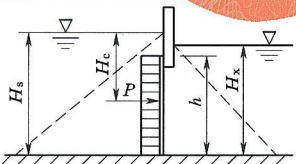
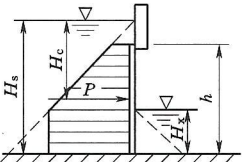
序号	水压力图形	计算公式
1		总水压力: $P = \frac{1}{2} \gamma H_s^2 B_{zs}$ P 力作用点位置: $H_c = \frac{2}{3} H_s$
2		总水压力: $P = \frac{1}{2} \gamma (H_s^2 - H_x^2) B_{zs}$ P 力作用点位置: $H_c = \frac{1}{3} \left(2H_s - \frac{H_x^2}{H_s + H_x} \right)$
3		总水压力: $P = \frac{1}{2} \gamma (2H_s - h) h B_{zs}$ P 力作用点位置: $H_c = H_s - \frac{h}{3} \frac{3H_s - 2h}{2H_s - h}$
4		总水压力: $P = \gamma (H_s - H_x) h B_{zs}$ P 力作用点位置: $H_c = H_s - \frac{1}{2} h$
5		总水压力: $P = \frac{1}{2} \gamma [(2H_s - h) h - H_x^2] B_{zs}$ P 力作用点位置: $H_c = \frac{3H_s H_x^2 - H_x^3 - 6H_x^2 h + 6H_s h^2 - 2h^3}{3H_x^2 - 6H_x h + 3h^2}$

表 D. 0. 1 (续)

序号	水压力图形	计算公式
6		$P_s = \frac{1}{2} \gamma H_s^2 B$ $V_s = \frac{1}{2} \gamma R^2 \left[\frac{\pi \phi}{180} + 2 \sin \phi_1 \cos \phi_2 - \frac{1}{2} (\sin 2\phi_1 + \sin 2\phi_2) \right] B$ $P_x = \frac{1}{2} \gamma H_x^2 B$ $V_x = \frac{1}{2} \gamma R^2 \left[\frac{\pi \beta}{180} + 2 \sin \beta_1 \cos \phi_2 - \frac{1}{2} (\sin 2\beta_1 + \sin 2\phi_2) \right] B$ 总水压力: $P = \sqrt{(P_s - P_x)^2 + (V_s - V_x)^2}$
7		$\phi_1 < \phi_2$ $P_s = \frac{1}{2} \gamma H_s^2 B$ $V_s = \frac{1}{2} \gamma R^2 \left[\frac{\pi \phi}{180} - 2 \sin \phi_1 \cos \phi_2 - \frac{1}{2} (\sin 2\phi_2 - \sin 2\phi_1) \right] B$ $P_x = \frac{1}{2} \gamma H_x^2 B$ $V_x = \frac{1}{2} \gamma R^2 \left[\frac{\pi \beta}{180} + 2 \sin \beta_1 \cos \phi_2 - \frac{1}{2} (\sin 2\beta_1 + \sin 2\phi_2) \right] B$ 总水压力: $P = \sqrt{(P_s - P_x)^2 + (V_s - V_x)^2}$
8		$\phi_1 > \phi_2$ $P_s = \frac{1}{2} \gamma H_s^2 B$ $V_s = \frac{1}{2} \gamma R^2 \left[\frac{\pi \phi}{180} - \sin 2\phi_2 - \sin (\phi_1 - \phi_2) - 2 \sin \phi_1 \sin^2 \left(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2} \right) \right] B$ $P_x = \frac{1}{2} \gamma H_x^2 B$ $V_x = \frac{1}{2} \gamma R^2 \left[\frac{\pi \beta}{180} + 2 \sin \beta_1 \cos \phi_2 - \frac{1}{2} (\sin 2\beta_1 + \sin 2\phi_2) \right] B$ 总水压力: $P = \sqrt{(P_s - P_x)^2 + (V_s - V_x)^2}$

表 D. 0. 1 (续)

序号	水压力图形	计算公式
9		$P_s = \frac{1}{2} \gamma (H_s + H'_s) h B$ $V_s = \frac{1}{2} \gamma R^2 \left[\frac{\pi \phi}{180} + 2 \sin \phi_1 \cos \phi_2 - \frac{1}{2} (\sin 2\phi_1 + \sin 2\phi_2) + \frac{2H'_s}{R} (\cos \phi_1 - \cos \phi_2) \right] B$ $P_x, V_x, P \text{ 计算公式同序号 6}$
注: P_s——上游水平分力, kN; V_s——上游垂直分力, kN; P_x——下游水平分力, kN; V_x——下游垂直分力, kN; H_s——上游水头, m; H_x——下游水头, m; R——弧门面板曲率半径, m; γ——水的容重, 对淡水可取 10 kN/m^3; 对海水可取 10.4 kN/m^3; 含沙水按试验确定; B_{zs}——两侧止水间距, m; B——孔口宽度, m; h——闸门高度 (计算到顶止水), m。		

D. 0. 2 作用在闸门上的动水压力, 可按下列规定计算:

1 闸门在动水中工作时, 作用在闸门上的动水压力包括时均值及脉动值两个部分。当符合 4. 0. 5 条的规定时, 脉动值的作用和影响应按动力系数予以考虑。垂直作用于闸面板的时均动水压力可按静水压力分布计算。

2 当采用如图 D. 0. 2 所示之底缘形式时, 上托力可按式 (D. 0. 2 - 1) 计算:

$$P_t = \gamma \beta_t H_s D_1 B_{zs} \quad (\text{D. 0. 2 - 1})$$

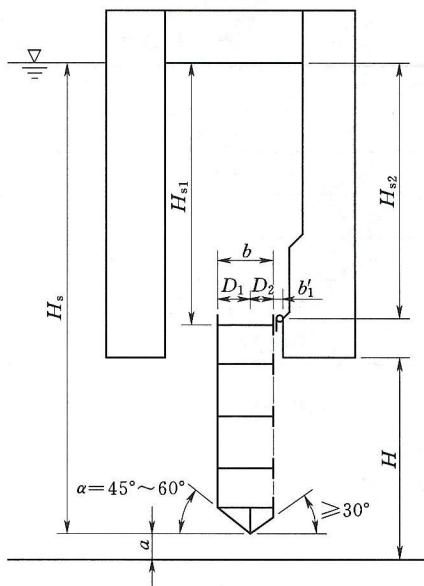


图 D. 0. 2 闸门底缘示意图

式中 P_t ——上托力, kN;

H_s 、 D_1 ——见图 D.0.2, m;

B_{zs} ——两侧止水距离, m;

γ ——水的容重, kN/m³;

β_t ——上托力系数, 当验算闭门力时, 按闸门接近完全关闭时的条件考虑, 取 $\beta_t = 1.0$, 当计算持住力时, 按闸门的开度考虑, β_t 可参照表 D.0.2 取用, 特殊情况应通过水工模型试验论证; 表 D.0.2 中 β_t 值适用于闸后明流流态, 且对泄水道闸门, $0 < a < 0.5H$ (H 为引水道的孔高); 对电站快速闸门, $0 < a < a_k$ (a_k 为电站快速闸门关闭时闸后明满流转换临界开度; 关于临界开度的确定问题, 可根据已成工程类比或参考有关试验研究报告计算, 必要时可通过水工模型试验确定; 亦可暂按 $a_k = 0.5H$ 估算)。

表 D.0.2 上托力系数 β_t

α (°)	a/D_1				
	2	4	8	12	16
60	0.8	0.7	0.5	0.4	0.25
52.5	0.7	0.5	0.3	0.15	—
45	0.6	0.4	0.1	0.05	—
注: a ——闸门开启高度, m; D_1 ——闸门底止水至上游面板的距离, m; α ——闸门底缘的上游倾角 (见图 D.0.2)。					

3 下吸力可按式 (D.0.2-2) 计算, 溢流坝闸门、水闸闸门和坝内明流底孔闸门当符合 6.1.2 条 4 款要求及下游流态良好、通气充分时, 可不计下吸力:

$$P_s = p_s D_2 B_{zs} \quad (D.0.2-2)$$

式中 P_s ——下吸力, kN;

D_2 ——闸门底缘止水至主梁下翼缘的距离, m;

p_s ——闸门底缘 D_2 部分的平均下吸强度，可按 20kN/m^2 计算，当流态良好、通气充分并符合 6.1.2 条 4 款要求时，可适当减少。

D.0.3 波浪压力可按 DL 5077 规定计算。

D.0.4 作用在闸门上的水平淤沙压力可按式 (D.0.4-1)、式 (D.0.4-2) 计算：

$$P_n = \frac{1}{2} \gamma_n h_n^2 \tan^2(45^\circ - \phi/2) B \quad (\text{D.0.4-1})$$

$$\gamma_n = \gamma_0 - (1-n)\gamma_w \quad (\text{D.0.4-2})$$

式中 P_n ——淤沙压力，kN；

γ_n ——淤沙的浮容重， kN/m^3 ；

γ_0 ——淤沙的干容重， kN/m^3 ；

γ_w ——水的容重， kN/m^3 ；

n ——淤沙的孔隙率；

h_n ——闸门前泥沙淤积厚度，m；

B ——闸门前泥沙淤积宽度，m；

ϕ ——淤沙的内摩擦角， $(^\circ)$ 。

当闸门挡水面倾斜时，应计及竖向淤沙压力。

D.0.5 漂浮物撞击力可按式 (D.0.5) 计算：

$$P_z = \frac{W_p v}{gt} \quad (\text{D.0.5})$$

式中 P_z ——漂浮物撞击力，kN；

W_p ——漂浮物重量，kN，根据河流中漂浮物情况，按实际调查确定；

v ——水流速度，m/s；

g ——重力加速度；

t ——撞击时间，s，应根据实际资料估算。

D.0.6 流冰撞击力可按 DL 5077 规定计算。

D.0.7 地震荷载可按 SL 203 规定计算。

D.0.8 风荷载可按 DL 5077 规定计算。

附录 E 闸门橡胶水封定型尺寸及性能

E.0.1 橡胶水封的定型尺寸应按图 E.0.1 及表 E.0.1 执行。

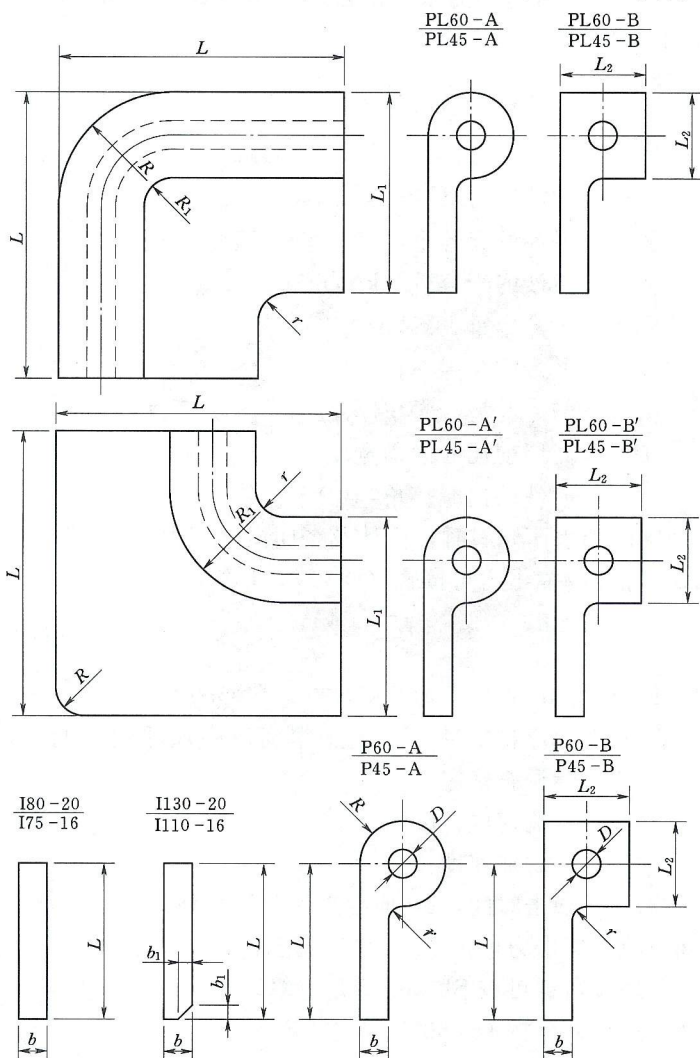


图 E.0.1 闸门橡皮水封定型尺寸

表 E.0.1 橡胶水封尺寸

闸门类别	止水部位	型 号	各部位尺寸 (mm)									应用范围
			<i>L</i>	<i>L</i> ₁	<i>L</i> ₂	<i>b</i>	<i>b</i> ₁	<i>R</i>	<i>R</i> ₁	<i>r</i>	<i>D</i>	
平面闸门和潜孔弧形闸门	顶侧止水	P60 - A	110	—	—	20	—	30	—	10	20	① P60 - A 适用于孔口大的闸门； ② P45 - A 适用于孔口中、小的闸门； ③ P60 - B 和 P45 - B 适用于潜孔弧形闸门
		P60 - B	110	—	60	20	—	—	—	10	20	
		P45 - A	100	—	—	16	—	22.5	—	8	20	
		P45 - B	100	—	45	16	—	—	—	8	20	
	转角止水	PL60 - A	350	140	—	—	—	80	20	20	—	① PL60 - A、PL45 - A、PL60 - B 和 PL45 - B 适用于下游止水的转角； ② PL60 - A'、PL45 - A'、PL60 - B' 和 PL45 - B' 适用于上游止水的转角
		PL60 - A'	350	140	—	—	—	20	80	20	—	
		PL60 - B	350	140	60	—	—	80	20	20	—	
		PL60 - B'	350	140	60	—	—	20	80	20	—	
		PL45 - A	350	122.5	—	—	—	55	10	10	—	
		PL45 - A'	350	122.5	—	—	—	10	55	10	—	
		PL45 - B	350	122.5	45	—	—	55	10	10	—	
		PL45 - B'	350	122.5	45	—	—	10	55	10	—	
	底止水	II30 - 20	130	—	—	20	10	—	—	—	—	
		II10 - 16	110	—	—	16	8	—	—	—	—	
	橡皮垫	I80 - 20	80	—	—	20	—	—	—	—	—	① I80 - 20 适用于 P60 - A； ② I75 - 16 适用于 P45 - A
		I75 - 16	75	—	—	16	—	—	—	—	—	

注：橡塑复合水封的型号尺寸同此表。

E.0.2 橡胶水封的物理力学性能应不低于表 E.0.2 的规定。

表 E.0.2 橡胶水封的物理力学性能

序号	性 能	指 标			
		I 类			II 类
		7774	6674	6474	6574
1	密度 (g/cm ³)	1.2~1.5	1.2~1.5	1.2~1.5	1.2~1.5

表 E.0.2 (续)

序号	性 能	指 标			
		I 类			II 类
		7774	6674	6474	6574
2	硬度 (邵氏 A)	70±5	60±5	60±5	60±5
3	拉伸强度 (MPa)	≥22	≥18	≥13	≥14
4	拉断伸长率 (%)	≥400	≥450	≥450	≥400
5	压缩永久变形 (B 型试样, 70℃×22h, %)	≤40	≤40	≤40	≤40
6	粘合强度 (试样宽度 25mm, kN/m)	≥10	≥10	≥10	≥10
7	压缩模量 (MPa)	20%	5.6~8.0	5.5~6.0	5.5~6.0
		30%	5.8~8.0	5.6~6.0	5.6~6.0
		40%	6.0~9.0	6.2~6.8	6.2~6.8
8	在-40~+40℃温度下工作	不发生冻裂或硬化			
注 1: I 类是以天然橡胶为基的材料, II 类是以合成橡胶为基的材料。 注 2: 第 6 项性能仅限于橡塑复合水封。 注 3: 高水头橡胶水封采用指标 7774。					

E.0.3 橡塑复合水封聚四氟乙烯薄膜厚度应大于 1.0mm, 磨损厚度(预压缩 3mm, 运行 3000m)应不大于 0.2mm。

附录 F 几种支承材料性能表

F.0.1 增强聚四氟乙烯材料性能应不低于下列规定：

1 增强聚四氟乙烯材料的物理力学性能应符合 F.0.1 的规定。

表 F.0.1 增强聚四氟乙烯材料的物理力学性能

序号	性 能	指标	备注
1	密度 (g/cm^3)	1.20~1.50	
2	抗压强度 (MPa)	120~180	
3	缺口冲击强度 (kJ/m^2)	>0.7	
4	球压痕硬度 (MPa)	≥ 100	GB/T 3398
5	容许线压强 (kN/cm)	≤ 80	
6	线胀系数 (K^{-1})	$\leq 7.0 \times 10^{-5}$	
7	吸水率 (%)	≤ 0.6	
8	热变形温度 ($^{\circ}\text{C}$)	185	

2 增强聚四氟乙烯材料滑块的宽度尺寸宜大于夹槽宽度 1%。

3 滑块表面粗糙度 Ra 应不大于 $3.2\mu\text{m}$ 。

F.0.2 钢基铜塑复合材料性能应不低于下列规定：

1 钢基铜塑复合材料的物理力学性能应符合表 F.0.2 的规定。

表 F.0.2 钢基铜塑复合材料的物理力学性能

序号	性 能	复合材料		备 注
		铜球/聚甲醛	铜螺旋/聚甲醛	
1	复合层厚度 (mm)	1.2~1.5	≥ 3.0	
2	抗压强度 (MPa)	≥ 250	≥ 160	
3	容许线压强 (kN/cm)	60	80	滑块
4	线胀系数 (K^{-1})	2.3×10^{-5}	2.3×10^{-5}	
5	工作温度 ($^{\circ}\text{C}$)	$-40 \sim +100$	$-40 \sim +100$	

2 钢基铜塑复合材料的表层应均匀一致, 无未溶化的塑料、无裂纹等缺陷。

F.0.3 铜合金镶嵌固体润滑材料性能应不低于下列规定:

1 铜合金镶嵌固体润滑材料的铜合金应符合 GB/T 23894 规定的要求, 其力学性能见表 F.0.3。

表 F.0.3 铜合金材料的力学性能

序号	性 能	指标	备注
1	抗拉强度 (MPa)	≥ 740	
2	断后伸长率 (%)	≥ 10	
3	布氏硬度	≥ 210	HB

2 固体润滑剂的化学成分应符合图样规定, 表面颜色一致, 无缺陷、无剥落、无裂纹, 镶嵌牢固, 不应松动。

F.0.4 工程塑料合金材料性能应不低于下列规定:

1 工程塑料合金材料的物理力学性能应符合表 F.0.4 的规定。

表 F.0.4 工程塑料合金材料的物理力学性能

序号	性 能	指标	备注
1	密度 (g/cm^3)	1.1~1.3	
2	抗压强度 (MPa)	90~160	
3	D 型邵氏硬度	> 66	GB/T 2411
4	容许线压强 (kN/cm)	< 83	滑块
5	吸水率 (%)	≤ 0.6	
6	热变形温度 ($^{\circ}\text{C}$)	186	

2 工程塑料合金材料滑块的宽度尺寸宜大于夹槽宽度 1%。

3 滑块表面粗糙度 R_a 应不大于 $3.2\mu\text{m}$ 。

附录 G 受弯构件的局部稳定计算

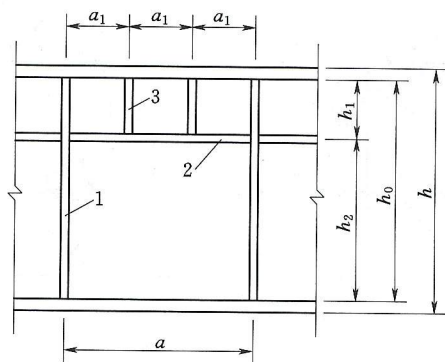
G.0.1 组合梁腹板配置加劲肋 (图 G.0.1) 应符合下列规定:

1 当 $h_0/t_w \leq 80 \sqrt{235/\sigma_s}$ 时, 可不配置加劲肋。其中 h_0 为腹板的计算高度, t_w 为腹板的厚度。

2 当 $80 \sqrt{235/\sigma_s} < h_0/t_w \leq 160 \sqrt{235/\sigma_s}$ 时, 应配置横向加劲肋, 并按 G.0.2~G.0.4 条的规定计算。

3 当 $h_0/t_w > 160 \sqrt{235/\sigma_s}$ 时, 应在弯曲应力较大区格的受压区增加配置纵向加劲肋, 并按 G.0.2~G.0.4 条的规定进行计算。

4 梁的支座处和上翼缘受有较大固定集中荷载处, 应设置支撑加劲肋。



1—横向加劲肋; 2—纵向加劲肋; 3—短加劲肋

图 G.0.1 加劲肋布置

G.0.2 梁腹板仅用横向加劲肋加强时, 加劲肋间距 a 应按式 (G.0.2) 计算:

$$a \leq \frac{615h_0}{\frac{h_0}{t_w} \sqrt{\eta\tau} - 765} \quad (\text{G. 0. 2 - 1})$$

$$\tau = V / (h_w t_w) \quad (\text{G. 0. 2 - 2})$$

式中 a ——加劲肋间距, mm, 式 (G. 0. 2 - 1) 右端算得的值大于 $2h_0$ 或分母为负值时, 取 $a=2h_0$;

h_0 ——腹板的计算高度, mm;

t_w ——腹板的厚度, mm;

η ——考虑 σ 影响的增大系数, 按表 G. 0. 2 采用;

τ ——所考虑梁段内最大剪力产生的腹板平均剪应力, N/mm², 按式 (G. 0. 2 - 2) 计算;

V ——剪力, N;

h_w ——腹板的高度, mm。

表 G. 0. 2 系 数 η

$\sigma \left(\frac{h_0}{100t_w} \right)^2$	100	120	140	160	180	200
η	1. 02	1. 03	1. 05	1. 06	1. 08	1. 10
$\sigma \left(\frac{h_0}{100t_w} \right)^2$	220	240	260	280	300	320
η	1. 13	1. 16	1. 19	1. 24	1. 29	1. 35
$\sigma \left(\frac{h_0}{100t_w} \right)^2$	340	360	380	400	420	440
η	1. 43	1. 53	1. 67	1. 85	2. 14	2. 65
注 1: σ —— τ 同一截面的腹板计算高度边缘的弯曲压应力 (N/mm ²), 按 $\sigma = M_{y1} / I$ 计算。其中 I ——梁毛截面惯性矩, y_1 ——腹板计算高度受压边缘至中性轴的距离。 注 2: 表中的系数 η 按下式算得: $\eta = \frac{1}{\sqrt{1 - \left[\frac{\sigma}{475} \left(\frac{h_0}{100t_w} \right)^2 \right]^2}}$						

G. 0. 3 梁的腹板同时用横向加劲肋和纵向加劲肋加强时, 横向

加劲肋间距 a 仍按式 (G. 0. 2 - 1) 确定, 但应以 h_2 代替 h_0 , 并取 $\eta=1.0$ 。

G. 0. 4 加劲肋宜在腹板两侧成对配置, 也可单侧配置, 但支承加劲肋, 不应单侧配置。

横向加劲肋的最小间距应为 $0.5h_0$, 最大间距应为 $2h_0$ 。纵向加劲肋至腹板计算高度受压边缘的距离 h_1 应在 $h_0/5 \sim h_0/4$ 范围内。

腹板两侧成对配置的横向加劲肋, 其外伸宽度 b_s 应符合式 (G. 0. 4 - 1) 规定:

$$b_s \geq h_0/30 + 40 \quad (\text{G. 0. 4 - 1})$$

腹板两侧成对配置的横向加劲肋, 其厚度 t_s 应符合式 (G. 0. 4 - 2) 规定:

$$t_s \geq b_s/15 \quad (\text{G. 0. 4 - 2})$$

腹板一侧配置的横向加劲肋, 其外伸宽度应大于按式 (G. 0. 4 - 1) 算得的 1.2 倍, 厚度不应小于其外伸宽度的 1/15。

在同时用横向加劲肋和纵向加劲肋加强的腹板中, 横向加劲肋的截面尺寸除应符合上述规定外, 其截面惯性矩 I_z 还应符合式 (G. 0. 4 - 3) 规定:

$$I_z \geq 3h_0 t_w^3 \quad (\text{G. 0. 4 - 3})$$

纵向加劲肋的截面惯性矩 I_y 应符合式 (G. 0. 4 - 4) 和式 (G. 0. 4 - 5) 规定。

当 $a/h_0 \leq 0.85$ 时:

$$I_y \geq 1.5h_0 t_w^3 \quad (\text{G. 0. 4 - 4})$$

当 $a/h_0 > 0.85$ 时:

$$I_y \geq (2.5 - 0.45a/h_0)(a/h_0)^2 h_0 t_w^3 \quad (\text{G. 0. 4 - 5})$$

短加劲肋的最小间距为 $0.75h_1$ 。短加劲肋外伸宽度应取横向加劲肋外伸宽度的 0.7~1.0 倍, 厚度不应小于短加劲肋外伸宽度的 1/15。

用型钢 (H 型钢、工字钢、槽钢、肢尖焊于腹板的角钢) 做成的加劲肋, 其截面惯性矩不应小于相应钢板加劲肋的惯

性矩。

在腹板两侧成对配置的加劲肋，其截面惯性矩应按梁腹板中心线为轴线进行计算。

在腹板一侧配置的加劲肋，其截面惯性矩应按与加劲肋相连的腹板边缘为轴线进行计算。

G.0.5 梁的支承加劲肋，应按承受梁支座反力或固定集中荷载的轴心受压构件计算其在腹板平面外的稳定性。此受压构件的截面应包括加劲肋和加劲肋每侧 $15t_w \sqrt{235/\sigma_s}$ 范围内的腹板面积，计算长度取 h_0 。

当梁支承加劲肋的端部为刨平顶紧时，应按其所承受的支座反力或固定集中荷载计算其端面承压应力。当端部为焊接时，应按传力情况计算其焊缝应力。

支承加劲肋与腹板的连接焊缝，应按传力需要进行计算。

G.0.6 梁受压翼缘自由外伸宽度 b 与其厚度 t 之比应符合式 (G.0.6-1) 规定：

$$b/t \leq 15 \sqrt{235/\sigma_s} \quad (\text{G.0.6-1})$$

箱形截面梁受压翼缘板在两腹板之间的无支承宽度 b_0 与其厚度 t 之比应符合式 (G.0.6-2) 规定：

$$b_0/t \leq 40 \sqrt{235/\sigma_s} \quad (\text{G.0.6-2})$$

当箱形截面梁受压翼缘板设有纵向加劲肋时，式 (G.0.6-2) 中的 b_0 取腹板与纵向加劲肋之间的翼缘板无支承宽度。

翼缘板自由外伸宽度 b 的取值应为：对焊接构件，取腹板边至翼缘板（肢）边缘的距离；对轧制构件，取内圆弧起点至翼缘板（肢）边缘的距离。

附录 H 面板验算公式及图表

H. 0. 1 面板的折算应力应按下列情况分别验算：

1 当面板的边长比 $b/a > 1.5$ ，且布置在沿主梁轴线方向时（见图 H. 0. 1-1），按式（H. 0. 1-1）～式（H. 0. 1-3）验算面板 A 点的折算应力：

$$\sigma_{zh} = \sqrt{\sigma_{my}^2 + (\sigma_{mx} - \sigma_{ox})^2} - \sigma_{my}(\sigma_{mx} - \sigma_{ox}) \leq 1.1\alpha[\sigma] \quad (\text{H. 0. 1-1})$$

$$\sigma_{my} = K_y q a^2 / \delta^2 \quad (\text{H. 0. 1-2})$$

$$\sigma_{mx} = \mu \sigma_{my} \quad (\text{H. 0. 1-3})$$

式中 σ_{zh} ——面板的折算应力；

σ_{my} ——垂直于主（次）梁轴线方向面板支承长边中点的局部弯曲应力，取绝对值；

σ_{mx} ——面板沿主（次）梁轴线方向的局部弯曲应力，取绝对值；

σ_{ox} ——对应于面板验算点的主（次）梁上翼缘的整体弯曲应力，取绝对值；

$[\sigma]$ ——钢材的抗弯容许应力，按表 5. 2. 1-2 采用；

α ——弹塑性调整系数，当 $b/a > 3$ 时，取 $\alpha = 1.4$ ；当 $b/a \leq 3$ 时，取 $\alpha = 1.5$ ；

K_y ——支承长边中点弯应力系数，按表 H. 0. 1-1～表 H. 0. 1-4 采用；

q ——面板计算区格中心的水压强度，MPa；

μ ——泊松比，取 0.3。

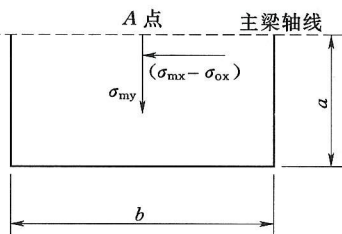
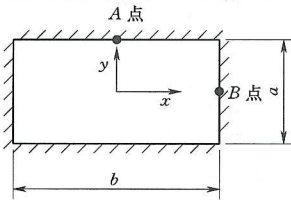


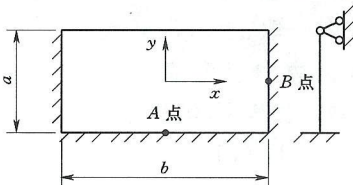
图 H. 0. 1-1 面板布置图 1

表 H. 0.1-1 四边固定矩形弹性薄板受均载的
弯应力系数 $K(\mu=0.3)$



b/a	支承长边中点 (A 点) K_y	支承短边中点 (B 点) K_x
1.0	0.308	0.308
1.1	0.349	0.323
1.2	0.383	0.332
1.3	0.412	0.338
1.4	0.436	0.341
1.5	0.454	0.342
1.6	0.468	0.343
1.7	0.479	0.343
1.8	0.487	0.343
1.9	0.493	0.343
2.0	0.497	0.343
2.5	0.500	0.343
∞	0.500	0.343

表 H. 0.1-2 三边固定一长边简支矩形弹性薄板
受均载的弯应力系数 $K(\mu=0.3)$

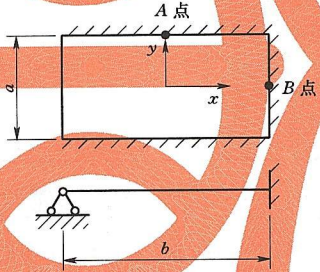


b/a	支承长边中点 (A 点) K_y	支承短边中点 (B 点) K_x
1.0	0.328	0.360

表 H. 0.1-2 (续)

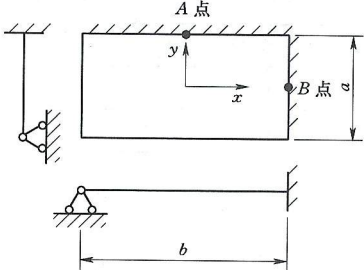
b/a	支承长边中点 (A 点) K_y	支承短边中点 (B 点) K_x
1.25	0.472	0.425
1.5	0.565	0.455
1.75	0.632	0.465
2.0	0.683	0.470
2.5	0.732	0.470
3.0	0.740	0.471
∞	0.750	0.472

表 H. 0.1-3 三边固定—短边简支矩形弹性薄板
受均载的弯应力系数 $K(\mu=0.3)$



b/a	支承长边中点 (A 点) K_y	支承短边中点 (B 点) K_x
1.0	0.360	0.328
1.25	0.448	0.341
1.5	0.473	0.341
1.75	0.489	0.341
2.0	0.500	0.342
2.5	0.500	0.342
3.0	0.500	0.342
∞	0.500	0.342

表 H. 0.1-4 两相邻边简支另两相邻边固定矩形弹性
薄板受均载的弯应力系数 $K(\mu=0.3)$



b/a	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
支承长边中点 (A 点) K_y	0.407	0.459	0.506	0.549	0.585	0.616	0.640	0.662	0.680	0.695	0.708
支承短边中点 (B 点) K_x	0.407	0.425	0.441	0.452	0.459	0.463	0.467	0.468	0.470	0.471	0.472

2 当面板的边长比 $b/a \leq 1.5$ 或面板长边方向与主梁轴线垂直时 (见图 H. 0.1-2), 还应按式 (H. 0.1-4) ~ 式 (H. 0.1-7) 验算面板 B 点的折算应力:

$$\sigma_{zh} = \sqrt{\sigma_{my}^2 + (\sigma_{mx} + \sigma_{ox})^2} - \sigma_{my}(\sigma_{mx} + \sigma_{ox}) \leq 1.1\alpha[\sigma] \quad (\text{H. 0.1-4})$$

$$\sigma_{mx} = Kqa^2/\delta^2 \quad (\text{H. 0.1-5})$$

$$\sigma_{my} = \mu\sigma_{mx} \quad (\text{H. 0.1-6})$$

$$\sigma_{ox} = (1.5\xi_1 - 0.5)M/W \quad (\text{H. 0.1-7})$$

式中 σ_{mx} ——面板沿主梁轴线方向的局部弯曲应力, 取绝对值,
K 值对图 H. 0.1-2 a) 取 K_x , 对图 H. 0.1-2 b)
取 K_y ;

σ_{my} ——垂直于主梁轴线方向面板的局部弯曲应力, 取绝

对值；

σ_{ox} ——对应于面板验算点主梁上翼缘的整体弯应力，取绝对值；

ξ_1 ——面板兼作主（次）梁上翼缘的有效宽度系数（见表 H. 0. 2）；

M ——对应于面板验算点主梁的弯矩；

W ——对应于面板验算点主梁的截面抵抗矩；

μ ——泊松比，取 0. 3；

其余符号意义同前。

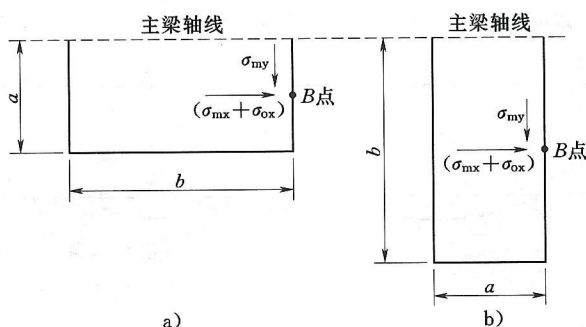


图 H. 0. 1 - 2 面板布置图 2

H. 0. 2 面板参与梁系有效宽度应按以下方法计算：

1 面板兼作主（次）梁翼缘的有效宽度 B ，对于简支梁或连续梁中正弯矩段，可按式（H. 0. 2 - 1）～式（H. 0. 2 - 3）计算（见图 H. 0. 2），取其中较小值。

$$B = \xi_1 b \quad (\text{H. 0. 2 - 1})$$

$$\left. \begin{aligned} B &\leq 60\delta + b_1 (\text{Q235 钢}) \\ B &\leq 50\delta + b_1 (\text{Q345、Q390 钢}) \end{aligned} \right\} \quad (\text{H. 0. 2 - 2})$$

$$b = (b_1 + b_2) / 2 \quad (\text{H. 0. 2 - 3})$$

式中 b ——主、次梁的间距，按式（H. 0. 2 - 3）计算（ b_1 、 b_2 见图 H. 0. 2）；

ξ_1 ——有效宽度系数，按表 H. 0. 2 采用；

δ ——面板厚度；

b_1 ——梁肋宽度，当梁另有上翼缘时，为上翼缘宽度。

表 H. 0.2 面板的有效宽度系数 ξ_1 、 ξ_2

l_0/b	0.5	1	1.5	2.0	2.5	3	4	5	6	8	10	20
ξ_1	0.2	0.40	0.58	0.70	0.78	0.84	0.90	0.94	0.95	0.97	0.98	1.00
ξ_2	0.16	0.30	0.42	0.51	0.58	0.64	0.71	0.77	0.79	0.83	0.86	0.92

注 1: l_0 为主 (次) 梁弯矩零点之间的距离。对于简支梁 $l_0 = l$ ；对于连续梁的正弯矩段可近似地取 $l_0 = 0.6l \sim 0.8l$ ；对于其负弯矩段可近似地取 $l_0 = 0.4l$ ，其中 l 为主 (次) 梁的跨度 (见图 H. 0.2)。

注 2: ξ_1 适用于梁的正弯矩图为抛物线图形； ξ_2 适用于梁的负弯矩图近似地取为三角形。

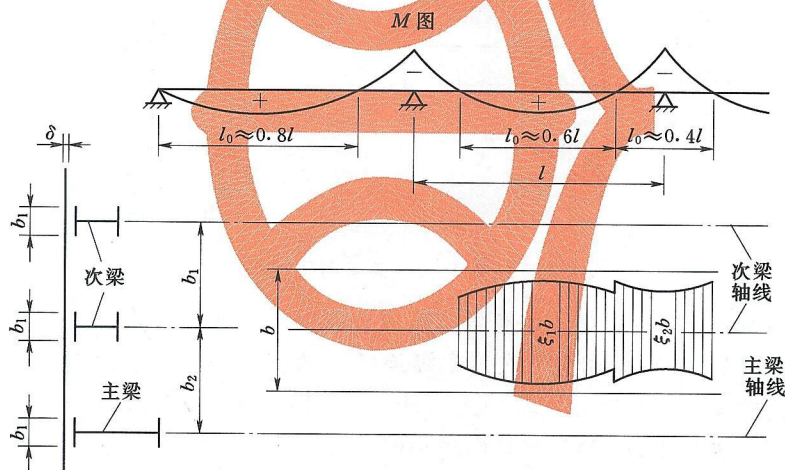


图 H. 0.2 面板有效宽度系数示意图

2 对于连续梁中负弯矩段或悬臂段，面板的有效宽度按式 (H. 0.2-4) 计算：

$$B = \xi_2 b \quad (\text{H. 0.2-4})$$

式中 ξ_2 ——有效宽度系数，按表 H. 0.2 采用。

附录 I 栅条稳定临界荷载计算

I. 0.1 受均布荷载的悬臂梁，长方形断面的栅条临界荷载应按式 (I. 0.1) 计算：

$$P_L = \frac{12.85}{l^2} \sqrt{EI_y GI_d} \quad (\text{I. 0.1})$$

式中 P_L ——栅条整体稳定的临界荷载，N；

l ——栅条的跨度，mm；

E ——钢材的弹性模量，N/mm²；

G ——钢材的剪切模量，N/mm²；

I_y ——栅条对 y 轴惯性矩， $I_y = h\delta^3/12$ ，mm⁴；

I_d ——栅条断面的抗扭惯性矩， $I_d = h\delta^3/3$ ，mm⁴；

h ——栅条断面高度，mm；

δ ——栅条断面厚度，mm。

I. 0.2 受均布荷载的简支梁，长方形断面的栅条临界荷载应按式 (I. 0.2) 计算：

$$P_L = \frac{28.3}{l^2} \sqrt{EI_y GI_d} \quad (\text{I. 0.2})$$

式中符号意义同式 (I. 0.1)。

I. 0.3 栅条临界荷载 P_L 应大于栅条荷载 P ，并应符合式 (I. 0.3) 规定：

$$P_L \geq kP \quad (\text{I. 0.3})$$

式中 P ——栅条荷载，N；

k ——整体稳定安全系数， $k=2$ 。

附录J 栅条振动计算

J. 0. 1 当过栅流速增大到某一范围时, 栅条尾部将出现交替的涡流脱落。涡流脱落产生的干扰频率按式 (J. 0. 1) 计算:

$$f = S_r \frac{v}{\delta} \quad (\text{J. 0. 1})$$

式中 f ——涡流脱落产生的干扰频率, Hz;

v ——过栅流速, mm/s, 有试验时为实测最大过栅净流速, 否则采用 2. 25 倍平均过栅净流速;

δ ——栅条断面厚度, mm;

S_r ——斯特劳哈尔数, 无量纲系数, 当迎水面为矩形时, 宜采用 0. 19~0. 23, 流速大、高厚比大者取大值。

J. 0. 2 单根栅条的固有振动频率按式 (J. 0. 2) 计算:

$$f_n = \frac{\alpha}{2\pi} \sqrt{\frac{EI_y g}{Wl^3}} \quad (\text{J. 0. 2})$$

式中 f_n ——单根栅条固有频率, Hz;

α ——固端系数, 两端简支条件下等于 π^2 ($=9.87$), 两端固定条件下等于 $4\pi^2/\sqrt{3}$ ($=22.79$), 当栅条两端焊接在支撑梁上, 宜采用 17~18;

E ——栅条材料的弹性模量, N/mm²;

I_y ——栅条对 y 轴惯性矩, mm⁴;

g ——重力加速度, mm/s²;

W ——栅条在水中的有效重量, N, 按式 (J. 0. 3) 计算;

l ——栅条的跨度, mm。

J. 0. 3 栅条在水中的有效重量按式 (J. 0. 3) 计算:

$$W = V \left(W_s + \frac{b}{\delta} W_0 \right) \quad (\text{J. 0. 3})$$

其中

$$V = lh\delta$$

式中 W ——栅条在水中的有效重量, N;

V ——栅条支点间体积, mm^3 ;

W_s ——栅条材料的容重, N/mm^3 ;

b ——栅条净距, mm;

W_0 ——水的容重, N/mm^3 ;

h ——栅条断面高度, mm。

J. 0. 4 拦污栅栅条固有频率 f_n 应大于涡流脱落干扰频率 f , 并应符合式 (J. 0. 4) 规定 (相应于 $S_r=0.2$):

$$\frac{f_n}{f} \geq 2.5 \quad (\text{J. 0. 4})$$

附录 K 滚轮接触应力计算

K. 0.1 圆柱形滚轮与平面轨道, 接触情况是线接触, 其接触应力可按式 (K. 0.1) 验算:

$$\sigma_{\max} = 0.418 \sqrt{PE/bR} \leq 3.0\sigma_s \quad (\text{K. 0.1})$$

式中 P ——作用在滚轮上的荷载, N;

b ——轮缘宽度, mm;

R ——滚轮的半径, mm。

K. 0.2 圆柱形或圆锥形滚轮与弧形轨头的轨道, 双曲率的滚轮与平面轨头的轨道, 接触情况是点接触, 其接触应力可按式 (K. 0.2-1) 验算:

$$\sigma = \xi \sqrt[3]{PE^2/R_1^2} \leq 1.15\sigma_s \quad (\text{K. 0.2-1})$$

当 R_1 与 R_2 之比在 0.3~0.8 之间, 也可按下列近似公式 (K. 0.2-2) 验算:

$$\sigma_{\max} = 0.24 \sqrt[3]{PE^2(1/R_1 + 1/R_2)^2} \leq 4.5\sigma_s \quad (\text{K. 0.2-2})$$

$$E' = \frac{2E_1E_2}{E_1 + E_2} \quad (\text{K. 0.2-3})$$

式中 R_1 、 R_2 ——两接触面的半径, mm, R_1 为小值, R_2 为大值;

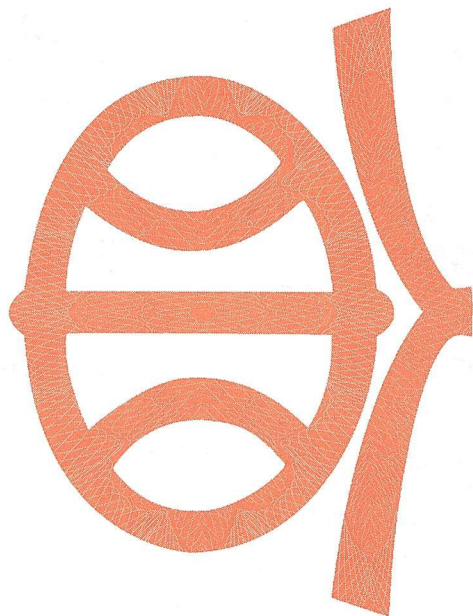
E ——材料的弹性模量, N/mm², 若两种弹性模量不同的材料接触时, 应按式 (K. 0.2-3) 采用合成弹性模量 E' 进行计算;

σ_s ——两种接触材料中较小的屈服强度, N/mm², 选用 σ_s 时, 应注意与材料表面的热处理硬度有关;

ξ ——由 R_1/R_2 比值确定, 按表 K. 0.2 采用。

表 K.0.2 ξ 系 数 值

R_1/R_2	1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.15	0.10
ξ_1	0.078	0.084	0.092	0.101	0.112	0.122	0.139	0.162	0.215	0.256	0.330
ξ_2	0.089	0.096	0.101	0.110	0.117	0.122	0.128	0.144	0.164	0.184	0.194
注： ξ_1 ——接触面中心处的应力系数； ξ_2 ——接触面的椭圆长径末端处的应力系数。											



附录 L 吊耳与吊杆的计算

L. 0.1 吊耳的宽度、厚度与吊耳孔直径的关系见图 L. 0.1，并按式 (L. 0.1) 选用：

$$\left. \begin{aligned} B &= (2.4 \sim 2.6)d \\ \delta &\geq B/20 \\ a &= (0.9 \sim 1.05)d \end{aligned} \right\}$$

(L. 0.1)

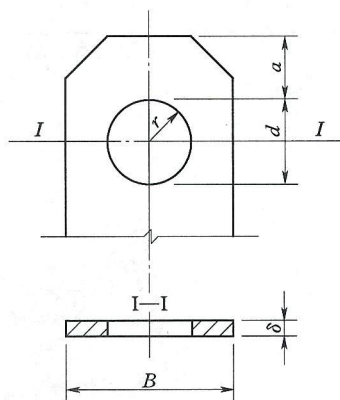


图 L. 0.1 吊耳计算简图

L. 0.2 吊耳孔壁承压应力应按式 (L. 0.2-1) 进行验算，吊耳孔拉应力应按式 (L. 0.2-2) 验算：

$$\sigma_{cj} = \frac{P}{d\delta} \leq [\sigma_{cj}] \quad (\text{L. 0.2-1})$$

$$\sigma_k = \sigma_{cj} \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} \leq [\sigma_k] \quad (\text{L. 0.2-2})$$

式中 P ——一个吊耳孔所承受的荷载，N；

δ ——吊耳板的厚度，mm；

r 、 R ——见图 L. 0.1， R 取 $B/2$ 与 $(r+a)$ 两者中之小者；

$[\sigma_{cj}]$ 、 $[\sigma_k]$ ——容许局部紧接承压应力和孔壁抗拉应力，按表 5.2.2 采用。

为调整吊耳孔位置而采用轴承板时，两块轴承板的总厚度应不小于 1.2δ 。

L. 0.3 吊杆最弱断面拉应力应按式 (L. 0.3) 验算：

$$\sigma = \frac{P}{A} \leq 0.9[\sigma] \quad (\text{L. 0.3})$$

式中 P ——闸门吊杆所承受的拉力, N;

A ——吊杆最弱断面面积, mm^2 ;

$[\sigma]$ ——容许拉应力, N/mm^2 , 按表 5.2.1-2 采用。

附录 M 轨道的计算

M. 0. 1 轨道与滚轮的接触应力应按附录 K 验算。

M. 0. 2 平面闸门主轨强度可按 M. 0. 3 条的方法进行验算，也可将轨道作为弹性地基梁进行验算。

M. 0. 3 滚轮作用下轨道验算应符合下列规定（见图 M. 0. 3）：

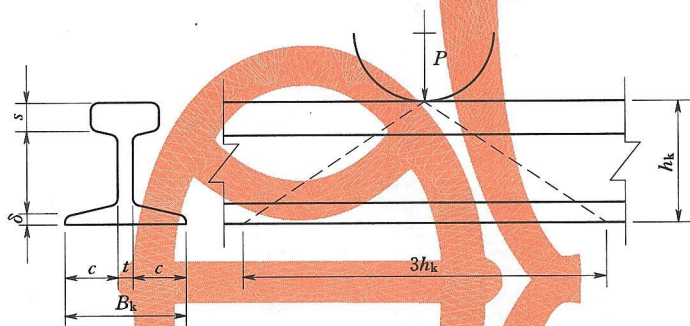


图 M. 0. 3 滚轮作用轨道计算简图

1 滚轮作用下轨道底板混凝土承压应力应按式 (M. 0. 3 - 1) 验算，当相邻两滚轮中心距小于 $3h_k$ 时，可按式 (M. 0. 3 - 2) 验算：

$$\sigma_h = \frac{P}{3h_k B_k} \leq [\sigma_h] \quad (\text{M. 0. 3 - 1})$$

$$\sigma_h = \frac{P}{B_k L} \leq [\sigma_h] \quad (\text{M. 0. 3 - 2})$$

式中 P ——滚轮的荷载，N；

h_k ——轨道高度，mm；

B_k ——轨道底板宽度，mm；

L ——相邻两滚轮的中心距，mm；

$[\sigma_h]$ ——混凝土的容许承压应力， N/mm^2 ，按表 5. 2. 5 采用。

2 滚轮作用下轨道横断面弯曲应力应按式 (M. 0.3 - 3) 验算:

$$\sigma = \frac{3Ph_k}{8W_k} \leq [\sigma] \quad (\text{M. 0.3 - 3})$$

式中 W_k ——轨道截面抵抗矩, mm^3 ;

$[\sigma]$ ——抗弯容许应力, N/mm^2 , 对铸锻件按表 5.2.2 采用。

3 滚轮作用下轨道颈部的局部承压应力应按式 (M. 0.3 - 4) 验算:

$$\sigma_{cd} = \frac{P}{3st} \leq [\sigma_{cd}] \quad (\text{M. 0.3 - 4})$$

式中 s ——颈部至轨面的距离, mm ;

t ——颈部厚度, mm ;

$[\sigma_{cd}]$ ——局部承压容许应力, N/mm^2 , 对铸锻件按表 5.2.2 采用。

4 滚轮作用下轨道底板弯曲应力应按式 (M. 0.3 - 5) 验算:

$$\sigma = 3\sigma_h \frac{c^2}{\delta^2} \leq [\sigma] \quad (\text{M. 0.3 - 5})$$

式中 c ——底板悬臂段长度, mm ;

δ ——底板厚度, mm ;

$[\sigma]$ ——抗弯容许应力, N/mm^2 , 对铸锻件按表 5.2.2 采用。

M. 0.4 滑块作用下轨道验算应符合下列规定 (见图 M. 0.4):

1 轨道底板的混凝土承压应力应按式 (M. 0.4 - 1) 验算:

$$\sigma_h = q/B_k \leq [\sigma_h] \quad (\text{M. 0.4 - 1})$$

式中 q ——滑块单位长度荷载, N/mm 。

2 轨道底板弯曲应力应按式 (M. 0.4 - 2) 验算:

$$\sigma = 3\sigma_h \frac{c^2}{\delta^2} \leq [\sigma] \quad (\text{M. 0.4 - 2})$$

式中 $[\sigma]$ ——容许弯应力, N/mm^2 , 按表 5.2.1 - 2 采用。

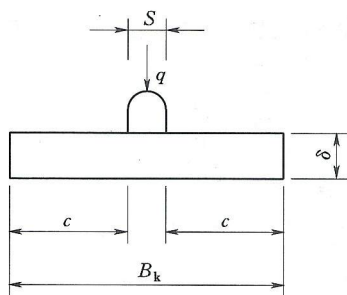


图 M. 0. 4 滑块作用轨道计算简图

附录 N 摩 擦 系 数

表 N 摩 擦 系 数 表

种类	材料及工作条件		系数值	
			最大	最小
滑动摩擦系数	钢对钢（干摩擦）		0.5~0.6	0.15
	钢对铸铁（干摩擦）		0.35	0.16
	钢对木材（有水时）		0.65	0.3
	钢基铜塑复合材料滑道及增强聚四氟乙烯板滑道对不锈钢，在清水中的压强 q	$q>2.5\text{kN/mm}$	0.09	0.04
		$q=2.5\sim2.0\text{kN/mm}$	0.09~0.11	0.05
		$q=2.0\sim1.5\text{kN/mm}$	0.11~0.13	0.05
		$q=1.5\sim1.0\text{kN/mm}$	0.13~0.15	0.06
		$q<1.0$	0.15	0.06
滑动轴承摩擦系数	钢对青铜（干摩擦）		0.30	0.16
	钢对青铜（有润滑）		0.25	0.12
	钢基铜塑复合材料对镀铬钢（不锈钢）		0.12~0.14	0.05
止水摩擦系数	橡胶对钢		0.70	0.35
	橡胶对不锈钢		0.50	0.20
	橡塑复合水封对不锈钢		0.20	0.05
滚动摩擦力臂	钢对钢		1mm	
	钢对铸铁		1mm	
注：轨道工作面粗糙度应达到 $Ra=1.6\mu\text{m}$ ，滑道工作面粗糙度应达到 $Ra=3.2\mu\text{m}$ 。				

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	