**ICS编号**

**CCS编号**

团 体 标 准

**T/CHES XXX—20XX**

**寒冷地区渠道安全监测技术规程**

Technical code for monitoring canal safety in cold regions

（报批稿）

20XX-XX-XX发布 20XX-XX-XX实施

**中国水利学会 发布**

前 言

本规程根据中国水利学会《关于批准<寒冷地区渠道安全监测技术规程>等2项标准立项的通知》（水学（2019）77号）计划安排，按照《工程建设标准编写规定》(建标[2008]182号)的要求起草。

本规程共8章和4个附录，主要技术内容包括：总则、术语、基本规定、巡视检查、常规监测、专项监测、监测自动化系统，以及监测资料整理与整编等。

本规程的某些内容可能涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本导则由中国水利学会归口。

主编单位：南京水利科学研究院

参编单位：新疆水利水电科学研究院 西北农林科技大学 新疆额尔齐斯河流域开发工程建设管理局 黑龙江省水利科学研究院 中水东北勘测设计有限责任公司

主要起草人：蔡正银 石泉 高长胜 贺传卿 王正中 何宁 黄英豪 苏珊 王怀义 张晨 张桂荣 苏安双 李登华 李卓 武颖利 周彦章 郭万里 钱亚俊 何斌 詹小磊 马栋和 汪璋淳 朱洵 谭春 王骥玮 韩迅

主要审查人：顾冲时 温彦锋

**目 次**

[前 言 I](#_Toc46067129)

[1 总 则 1](#_Toc46067130)

[2 术 语 2](#_Toc46067131)

[3 基本规定 3](#_Toc46067132)

[4 巡视检查 4](#_Toc46067133)

[4.1 一般规定 4](#_Toc46067134)

[4.2 检查内容 4](#_Toc46067135)

[4.3 检查要求和方法 5](#_Toc46067136)

[5 常规监测 7](#_Toc46067137)

[5.1 一般规定 7](#_Toc46067138)

[5.2 设计与布置 7](#_Toc46067139)

[5.3 环境监测 8](#_Toc46067140)

[5.4 渗流监测 8](#_Toc46067141)

[5.5 变形监测 9](#_Toc46067142)

[5.6 应力应变监测 10](#_Toc46067143)

[6 专项监测 11](#_Toc46067144)

[6.1 一般规定 11](#_Toc46067145)

[6.2 冻胀过程监测 11](#_Toc46067146)

[6.3 冬季输水监测 11](#_Toc46067147)

[7 监测自动化系统 12](#_Toc46067148)

[7.1 一般规定 12](#_Toc46067149)

[7.2 系统设备 12](#_Toc46067150)

[7.3 系统设计 13](#_Toc46067151)

[7.4 安装与调试 13](#_Toc46067152)

[7.5 运行管理 14](#_Toc46067153)

[8 监测资料整理与整编 15](#_Toc46067154)

[8.1 一般规定 15](#_Toc46067155)

[8.2 监测基本资料整理 15](#_Toc46067156)

[8.3 资料分析 16](#_Toc46067157)

[8.4 监测数据整编 16](#_Toc46067158)

[附录A 巡视检查内容与记录格式 18](#_Toc46067159)

[附录B 衬砌渠道常规、专项监测项目及内容分类 20](#_Toc46067160)

[附录C 分布式测量光纤及监测设备使用方法 21](#_Toc46067161)

[附录D 冻胀监测及监测设备使用方法 23](#_Toc46067162)

[D.1 冻胀变形监测 23](#_Toc46067163)

[D.2 冻胀力监测 23](#_Toc46067164)

[标准用词说明 25](#_Toc46067165)

[条文说明 26](#_Toc46067166)

1 总 则

1.0.1 为适应渠道工程建设与管理要求，做好寒冷地区渠道安全监测工作，规范安全监测技术内容及方法，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于2级及以上渠道的安全监测工作，其他等级渠道的安全监测也可参照执行。

1.0.3 安全监测的对象以衬砌渠道为主，兼顾渠系建（构）筑物。

1.0.4 安全监测类型包括巡视检查、常规监测以及专项监测。

1.0.5 安全监测类型、项目及内容应在设计阶段、施工阶段、运行阶段根据工程级别、结构类型以及工程所在区域确定。

1.0.6 安全监测结果应及时整编和分析并归档保存。

1.0.7 本规程主要引用下列标准：

|  |  |
| --- | --- |
| GB 50176 | 民用建筑热工设计规范 |
| GB 50324 | 冻土工程地质勘察规范 |
| GB/T 50328 | 建设工程文件归档整理规范 |
| GB/T 50600 | 渠道防渗工程技术规范 |
| GB/T 50662 | 水工建筑物抗冰冻设计规范 |
| SL 21 | 降水量观测规范 |
| SL 23 | 渠系工程抗冻胀设计规范 |
| SL 530 | 大坝安全监测仪器检验测试规程 |
| SL 551 | 土石坝安全监测技术规范 |
| SL 599 | 衬砌与防渗渠道工程技术管理规程 |
| SL 601 | 混凝土坝安全监测技术规范 |
| SL 616 | 水利水电工程水力学原型观测规范 |
| SL 725 | 水利水电工程安全监测设计规范 |
| SL 764 | 水工隧洞安全监测技术规范 |
| SL 768 | 水闸安全监测技术规范 |
| SL/T 794 | 堤防工程安全监测技术规程 |
| JGJ 118 | 冻土地区建筑基础设计规范 |

2 术 语

2.0.1 寒冷地区 cold regions

最冷月月平均气温≤-3℃的地区。

2.0.2 输水渠道 canal

承担灌溉、供水、发电、调水等任务的渠道工程，主要结构包括衬砌渠道和渠系建（构）筑物。

2.0.3 季节性输水渠道 seasonal canal

冬季不存水渠道，存在通水期、运行期、退水期等阶段。

2.0.4 渠道安全监测 canal safety monitoring

对渠道工程有关安全状态信息进行采集和分析的过程，包括巡视检查、常规监测、专项监测等。

2.0.5 巡视检查  routine patrol or visual monitoring

通过现场人工巡查或视频系统等方式对渠道安全状态及完整性进行检查、记录的工作。

2.0.6 冻胀力 frost-heave pressure

土体在冻结过程中因体积膨胀受到约束形成的力。

2.0.7 冻胀变形 frost-heave

土在冻结过程中因体积膨胀产生的变形。

2.0.8 冬季输水监测 special monitoring of conveying water in winter

对有冬季输水任务的渠道开展的安全监测工作。

3 基本规定

3.0.1 安全监测工作应根据渠道工程等级、结构类型以及地质条件和地理环境等因素，确定监测等级，按照监测等级选择监测类型，安排监测设计及监测布置。

3.0.2 渠道安全监测等级应按照不同工程等级及其对应的土壤冻深确定，包括I、II、III三个等级，详见表3.0.2。

表3.0.2 寒冷地区渠道安全监测等级

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **工程等级** | **土壤冻深 *h* /cm** | | | | |
| *h*≤2 | 2<*h*≤5 | 5<*h*≤15 | 12<*h*≤22 | *h*＞22 |
| **1级** | I | II | III | III | III |
| **2级** | I | II | II | III | III |

3.0.3 根据不同监测等级，应按以下要求选择监测类型：

1 I 级：以巡视检查为主。

2 II 级：以巡视检查为主，有条件的可开展常规监测。

3 III级：做到常规监测和巡视检查并重，且互为补充。

3.0.4 巡视检查应作为渠道安全监测的主要类型，按要求的时间和频次进行，并做好巡视检查记录。

3.0.5 常规监测应遵循以下要求：

1 项目种类和测点布置应能反映渠道运行的主要工作状况。

2 监测断面和部位的选择应具有代表性。

3 深挖方、高填方、高地下水位及不良地质渠段等特殊渠段，应增加监测项目和监测断面。

4 对有穿渠建筑物渠段，应根据建筑物与渠道接合部特点进行设计。

3.0.6 施工阶段可设置临时监测设施开展常规监测。临时监测设施应与运行阶段的监测设施建立数据传递关系。

3.0.7 根据工程具体情况或科研、试验需要，可设置但不限于以下专项监测：

1 冻胀过程监测。

2 冬季输水监测。

3.0.8 监测工作中的相关物理量及其符号要求，应符合《水利水电工程安全监测设计规范》SL 725和《土石坝安全监测技术规范》SL 551中的有关规定。

3.0.9 所选择的监测设备和仪器，应保证低温环境下的适用性。布置工作期间应做好仪器标定、线路检查、标识与保护等。

3.0.10 变形、渗流及压力（应力）监测仪器，应结合工程施工或检修、翻修过程适时安装埋设。当监测仪器失效时，应在确保结构、渗流安全情况下进行仪器补设或更新改造。

4 巡视检查

4.1 一般规定

4.1.1 应根据工程特征和具体情况，编制巡视检查方案。

4.1.2 对巡视检查中发现的问题，应做好记录，及时保存。问题较严重的应及时报上级主管部门。

4.1.3 巡视检查宜采用人工巡查和图像视频监视相结合的形式，也可运用无人机、物联网等技术辅助巡查。

4.1.4 巡视检查分为例行检查、定期检查和专项检查。检查频次和要求应符合下列规定：

1 统筹安排，分阶段开展例行检查。渠道施工阶段应每周检查2次；季节性输水渠道的通水期、退水期应在每周2次的基础上，适当增加例行检查频次，运行期可减少频次，但每月检查不宜少于2次。冬季输水渠道，冬季运行时的检查频次宜根据渠道的重要性、所处位置及其运行状态等因素确定，每周不应少于2次。

2 冬季和春季前后应组织一次定期检查，遇特殊情况时应增加检查频次。

3 极端天气等渠道非常规运行情况下，以及发生重大事故后，应组织专项检查。专项检查期间，检查频次每天不应少于1次。

4.2 检查内容

4.2.1 例行检查项目及内容应符合下列要求：

1 衬砌渠道：

1）渠顶：是否坚实平整，有无凹陷、起伏、裂缝、残缺、积水，相邻两渠段之间有无错动，马道是否平整、有无冲沟等。

2）渠堤：包括坡面检查、衬砌检查两个环节。坡面检查应检查是否平整、完好，有无滑坡。衬砌检查应检查混凝土衬砌有无大面积冻害、溶蚀、侵蚀、裂缝、蜂窝麻面、破损等；浆砌石衬砌有无松动、塌陷、脱落、隆起或架空、垫层淘刷等现象；变形缝和止水是否完好无损，是否有局部侵蚀剥落、裂缝或破碎老化等。

3）渠底：季节性输水渠道应在冬季、春季检查渠底有无隆起或架空、沉陷、渗漏、护面裂缝或破碎老化等。

4）深挖方渠道还应检查渠堤外坡、外堤脚及排水结构等是否完好；填方渠道还应检查排水孔是否顺畅，背水面有无雨淋沟、隆起或架空、滑坡、裂缝、塌坑、洞穴，有无杂物垃圾堆放，有无害渠动物洞穴或活动痕迹，有无渗水，堤脚有无隆起、下沉，有无冲刷、残缺、洞穴等。

2 渠系建筑物：

1）隧洞：应检查洞脸有无沉陷或掏空，结合部回填土是否夯实、沉陷等。

2）倒虹吸：应检查管线及建筑物有无损坏或异常情况，放空系统、进气阀、人孔和伸缩节有无损坏或异常情况。

3）管道、渡槽等穿渠建筑物和管线接合部：应检查接合是否紧密，临水侧截水设施是否完好，背水侧反滤排水设施有无阻塞现象。穿渠建筑物应检查变形缝有无错动、渗水，有无不均匀沉陷、裂缝、空隙等。

4）闸室：应参照《水闸安全监测技术规范》SL 768第3章执行。

3 监测设施：

1）应检查安全监测仪器设备、传输电缆、通信设施、防雷和保护设施、供电系统是否正常工作。

2）应检查监测系统是否正常。

4 管理与保障设施：

1）应检查与渠道安全有关的供电系统、预警设施、通信、交通、应急抢险、安全标示等。

2）应检查管理范围内有无危害工程安全的活动。

4.2.2 定期检查项目和内容应符合以下要求：

1 冬季检查：

1）应检查重要渠段、改建渠段、穿堤建筑物（管线）与渠道接合部的完整性，还应检查气象、变形等观测、监测设施的有效性。

2）应检查渠道断面损坏情况，有无变形，保温、防渗层是否完好，衬砌表面有无冻害，有无发生沉陷、滑坡、崩塌等；填方渠道内部有无隐患，外部有无冲沟、洞穴、裂缝、陷坑、堤身残缺，防渗铺盖及盖重有无损坏，以及有无影响渠道安全的违章建筑等。

2 春季检查：对渠堤外侧的山体、马道及马道边坡、隧洞进出口的积雪量进行徒步检查。

4.2.3 专项检查包括事前检查和事后检查：

1 事前检查应在极端天气到来前开展，检查内容应包括各项防灾害准备工作，工程可能存在的问题及出险部位等。

2 事后检查应在重大事故后对渠道工程及附属设施的损坏情况开展。

4.3 检查要求和方法

4.3.1 应根据年度计划要求做好检查准备，检查人员应为专业技术人员。

4.3.2 检查方法应符合下列规定：

1 外观检查应采用人工、仪器、工具及视频进行，必要时可采用无人机等设备进行巡视；

2 害渠动物的检查应根据其习性因地制宜进行。

4.3.3 巡视检查应有清晰、完整、准确、规范的检查记录，每次检查完毕后，应及时整理资料，编写检查报告。

4.3.4 巡视检查记录应符合下列规定：

1 渠道工程管理单位应结合所辖工程的具体情况，参照附录A.0.2制定符合实际的检查记录表，必要时可附简图、照片或影像记录。

2 检查记录应及时整理分析，并与历史检查结果对比，如发现异常应及时分析原因。

3 对出现严重冻胀、融沉的渠段、滑坡段，以及重大缺陷部位应设立专项记录。

4.3.5 巡视检查报告应包括以下内容：

1 检查基本情况，包括检查目的、参加人员以及检查日期、检查环境条件、检查方法与手段等。

2 检查结果分析，包括检查过程、方法和结果，相应的文字记录、图表、影像资料等与以往检查结果的对比分析，以及发现的特殊或异常问题及原因分析等。

3 检查结论与建议，包括对检查工作的总体评价，发现的问题及处理意见。

5 常规监测

5.1 一般规定

5.1.1 常规监测项目包括环境、渗流、变形和应力应变监测；对破坏后果影响较大、水文地质条件复杂的高风险渠段，以及需要进行试验研究的渠段等，应适当增加监测项目及内容。

5.1.2 监测精度应按《水利水电工程安全监测设计规范》SL 725的规定执行。

5.1.3 仪器设备选型应根据气候与地质条件，以及类似工程经验等确定，且便于实现自动化。

5.1.4 仪器设备的检验、校验方法，应参照《大坝安全监测仪器检验测试规程》SL 530执行。

5.1.5 监测地点应具备满足观测要求的交通、照明等条件，监测设施应配备满足安全要求的保护装置。

5.1.6 穿渠建筑物（管线）及接合部位的监测应结合建筑物（管线）的监测统一布置。

5.2 设计与布置

5.2.1 监测设计应围绕渠道潜在的破坏类型和模式进行，包括监测项目种类选择、监测方法拟定、监测周期设定和监测设施布置，以及资料整理分析要求等内容。

5.2.2 监测设计应收集下列基本资料：

1 工程规模、设计标准和渠道类型、级别、施工方法以及环境保护要求等资料。

2 水文气象资料。

3 地形、地质资料。

4 试验及检测资料。

5 安全评价成果。

6 监测仪器设备资料。

7 其它相关资料。

5.2.3 监测渠段应充分结合渠道工况、环境及地质情况，以及渠道破坏历史部位等内容综合确定。对拟监测的渠段宜布置监测断面1～2个，监测断面应按横断面布置且跨度不应大于500m，断面间距应结合现场地质条件控制在1~10km。

5.2.4 衬砌渠道的常规监测项目设置应符合附录B的规定。不良地质、深挖方、高填方、高地下水位等特殊渠段选择常规监测项目时，可在附录B规定的基础上适当增加项目。

5.2.5 渠系建筑物的监测项目应在《水利水电工程安全监测设计规范》SL 725有关规定的基础上，结合实际需要设置。

5.2.6 监测设施的布置应符合有效、可靠、牢固、方便及经济合理的原则，并应符合下列要求：

1 仪器设备安装埋设或使用前，应进行检测、校准，测量仪表应定期检定/校准。

2 仪器设备安装埋设和使用时，应采用专业化施工或操作，以减少对主体工程的影响。

3 仪器监测应根据技术标准和生产厂家指标，适时建立基准值或背景值。

5.2.7 仪器监测应做到监测连续、记录真实、注记齐全、整理及时，发现问题应及时上报。监测仪器安装埋设考证表、现场监测记录表格式应规范，具体格式可参照《土石坝安全监测技术规范》SL 551、《混凝土坝安全监测技术规范》SL 601、《水闸安全监测技术规范》SL 768中的有关规定。

5.3 环境监测

5.3.1 环境监测应以气温、降水量、渠道水位及流量监测为主，兼顾渠基温度监测。

5.3.2 气温、降水量、水位及流量观测可结合基层站点的气象、水文测站进行。若无可用站点，应在监测渠段附近设置1个环境监测站。

5.3.3 降水量观测应包括雨量观测和雪量观测。雨量监测仪器宜选用雨量计、遥测雨量计或自动测报雨量计等，雪量观测宜选用标准容器量度。降水量的观测方法参见《降水量观测规范》SL 21。

5.3.4 在监测断面处应设渠道水位及流量测点，测点应设置在水流平顺、便于安装设备和观测的部位，水位及流量观测方法应符合《水利水电工程水力学原型观测规范》SL 616的有关规定。

5.3.5 气温、降水量和水位观测的监测频次应按照《水利水电工程安全监测设计规范》SL 725附录C表C.0.12执行。

5.3.6 渠基温度监测应符合下列规定：

1 宜采用热敏电阻等温度传感器，也可结合具有测温功能的渗压计、分布式测量光纤监测。

2 温度传感器量程应在-40℃~+40℃范围内，精度0.1℃。

3 温度传感器的监测布置应符合以下要求：

1）测点应按渠基中心线对称、竖直向下布置。

2）渠顶部位自顶标高起，按所在地历年最大冻深以上每间隔0.5m布设，最大冻深以下每间隔1m布设；渠堤、渠底测点应自保护层以下布设，间距宜在0.25m~0.5m并结合当地冻深适当调整。渠顶、渠堤的测线上不宜少于8个温度测点，渠底测线不宜少于4个测点，每个断面不应少于3条测线。

3）季节性输水渠道，以及需要进行试验研究的断面，可适当增加测点；

4 采用分布式测量光纤监测渠堤温度的布置和使用方法，详见附录C。

5 渠基温度在冬季时应逐日监测，非冬季可根据实际气温适当调整频次。

5.4 渗流监测

5.4.1 渗流监测应包括渠堤、渠底的渗透压力等，必要时可进行渗流分析。

5.4.2 应在监测断面渠基内至少设置2条渗流测线，每条测线上应设置3~5个测点。渠堤测点应根据渠道结构类型、渠基土质、防渗材料，以及典型渗流场特征确定预计的浸润线位置，沿不同高程布点。

5.4.3 渠堤渗透压力监测宜采用测压管或孔隙水压力计（渗压计）。渗压计宜采用钻孔、一孔单只或少只埋设。测压管和渗压计的安装布置方法可参照《土石坝安全监测技术规范》SL 551附录D.1、D.2条，基准值应取埋设前处于饱和状态时的有效测值。

5.4.4 采用分布式测量光纤监测渗流（渗漏）时，单点布置时的埋设要求应参照其他类型的渗压计，连续测点布置时应按附录C的方法进行光缆接续和传感器保护。

5.4.5 当渠堤有渗水出逸时，应观测渗水水质情况，渗水量较大时可在背水堤脚附近设导渗沟，采用容积法测其流量。

5.4.6 可视具体情况进行接触面渗流监测。接触面渗流监测宜采用渗压计，并在穿渠建筑物两侧各布置1～2个测点，背渠坡面及坡脚位置各布置1个测点。当穿渠建筑物宽度较大时，应沿建筑物轴线方向布置至少1个监测断面。

5.4.7 深挖方和高地下水位渠道，应在监测断面设置地下水位观测点，可与渗流监测结合布置。地下水位观测可采用测压管或孔隙水压力计（渗压计）。

5.4.8 监测频次应满足《水利水电工程安全监测设计规范》SL 725附录C表C.0.11要求。季节性输水渠道还应适当增加通水期、停水期的监测频次。

5.5 变形监测

5.5.1 变形监测除渠道表面变形、内部变形外，还应包括渠基冻胀变形。监测应以表面变形、冻胀变形监测为主，对典型渠段或重要部位可设置内部变形监测项目。

5.5.2 测点布置宜与温度、渗流监测位于同一断面。变形监测平面坐标及高程应与设计、施工和正常运行阶段的控制网相一致，并宜与国家控制网建立联系。

5.5.3 表面变形应包括堤身垂直位移和水平位移，监测工作除满足《水利水电工程安全监测设计规范》SL 725第12.1条、本章5.2条中的基本要求外，还应符合下列规定：

1 监测点不应少于3个。测点应设置在渠顶、渠堤等主要位置，其中高填方渠段，宜布置在堤顶、内坡和外坡的一级马道处。深挖方渠段宜布置在各级马道处。

2 应在渠顶、渠坡马道等部位埋设精密水准点，测量区域以外还应布置位移基点。可采用三角网、GPS网等建网方式，也可将水平、垂直位移监测联合建立三维网。

3 水平位移可采用视准线法（非弯曲段）、交会法、三角网法等监测，垂直位移可采用精密水准法、三角高程法等监测，具体方法可参考《土石坝安全监测技术规范》SL 551附录C。

4 监测设施及相应安装方法应满足《土石坝安全监测技术规范》SL 551第4.2.3条的规定。

5 原始监测数据应及时检查、整理，剔除粗差。平差后应对监测成果统计检验，评定成果精度。

5.5.4 冻胀变形监测应符合以下要求：

1 冻胀变形宜使用冻胀位移计或分层冻胀仪，具体要求及操作方法详见附录D.1。

2 季节性输水渠道的冻胀变形监测测点应按渠基中心线对称布置。梯形渠道设置在渠底中部，以及从渠底量起的1/3坡长的渠坡处；U型渠道设置在渠底中部、坡板与弧板交界处，以及板缝结构处。

5.5.5 内部变形测点应设置在渠顶、渠坡以及施工薄弱部位，可采用，测斜管、多点位移计等监测渠基的垂直、水平方向的内部变形，仪器安装、使用方法参见《土石坝安全监测技术规范》SL 551附录C。基准值应取安装后连续观测稳定值的平均值。

5.5.6 渠系建（构）筑物的变形监测，应符合《水利水电工程安全监测设计规范》SL 725第11章中的有关规定。

5.5.7 隧洞、水闸等渠系建（构）筑物的变形监测，应符合《水工隧洞安全监测技术规范》SL 764、《水闸安全监测技术规范》SL 768中的有关规定。

5.6 应力应变监测

5.6.1 应力应变监测应包括渠基冻胀力监测和结构应力应变监测。

5.6.2 冻胀力监测可在渠堤、渠底的衬砌与渠基的接触面上开展，监测断面宜与渗流、变形监测断面相结合布置。

5.6.3 冻胀力监测可采用土压力计或冻胀力计进行，量程0~100kN，精度1%。具体操作方法详见附录D.2条。

5.6.4 渠系建（构）筑物可视具体需要进行结构应力应变监测。

5.6.5 结构应力应变监测包括混凝土应力应变、钢筋应力、土压力、地基反力、锚杆应力等，仪器布置应符合下列规定：

1 分、退水闸应根据闸型、结构特点、应力状况、地质条件等，在中部、底部及牛腿等应力集中区布置钢筋计、应变计。对于所在地条件较差、土压力和边荷载影响程度高的水闸，宜在水闸基底布设土压力计。

2 渡槽应根据结构特点，在进出口、槽身、支承结构处设置钢筋计。

3 箱涵可在箱底土与结构接触部位设置土压力计。

4 对于有需要的混凝土结构部位，可设置温度计。

5.6.6 土压力计、钢筋计、应变计、温度计等仪器的安装，应在《水利水电工程安全监测设计规范》SL 725第11章规定的基础上，应按照《土石坝安全监测技术规范》SL 551、《混凝土坝安全监测技术规范》SL 601、《水利水电工程水力学原型观测规范》SL 616、《水工隧洞安全监测技术规范》SL 764的有关规定执行。锚杆应力计的安装方法参照《土石坝安全监测技术规范》SL551执行。

5.6.7 采用分布式光纤传感器进行应力应变监测时，应符合下列规定：

1 宜采用基于布里渊散射的全分布式光纤监测技术进行应力应变监测。

2 所采用的传感器应以传感光缆为主要形式，以紧包封装方式实现。传感光缆的规格应结合被测物体性状、光缆的强度、弹性模量、形状、直径和封装材料等因素综合确定。

3 混凝土应力应变监测，施工期安装时，传感器（光缆）宜布设在钢筋上。运行期安装时，传感光缆宜采用开浅槽的方式埋设，安装结束后应采用环氧砂浆修补构筑物表面。

4 宜按照一定的拓扑结构布置形成二维或三维感测网络，实现二维或三维的全域监测。

5.6.8 监测仪器埋设时，应记录仪器及电缆埋设参数及附近浇筑的混凝土情况和环境条件。安装后应做好标示与防护。

5.6.9 仪器电缆连接和编号要求参照《水工隧洞安全监测技术规范》SL 764附录C执行。

6 专项监测

6.1 一般规定

6.1.1 专项监测应包括冻胀过程监测和冬季输水监测。

6.1.2 应根据监测目的、渠道工况、运行状况和现场条件，选用适用的方法和设备，必要时可进行不同方法的对比验证。

6.1.3 监测项目设置应符合附录B的规定。

6.2 冻胀过程监测

6.2.1 冻胀过程监测应包括渠基含水率、冻深、融化深度等物理量监测。

6.2.2 渠基含水率监测应符合下列要求：

1 应在渠坡设置1条渠基含水率测线，测线宜结合渠基温度测点布置。

2 水分传感器性能应满足工作温度-10℃~40℃，精度±1~3%，量程0~100%。

6.2.3 渠基冻深可采用直接测量法或间接测量法观测，融化深度可采用间接测量法观测。间接测量法可参考《冻土工程地质勘察规范》GB 50324附录J的规定。直接测量法可选用冻土器观测冻深，观测点可设在渠顶，冬季不存水渠道也可在渠坡、渠底的已开挖部位开展。

6.2.4 监测频次宜参照渗流、变形监测的监测频次确定。

6.3 冬季输水监测

6.3.1 对于有冬季输水任务的渠道，应开展冬季输水监测。

6.3.2 冬季输水监测应包括冰凌监测、冰压力监测等，应与环境监测结合开展。

6.3.3 监测布置应符合以下要求：

1 衬砌渠道的监测部位宜设置在宽口、弯曲段处。

2 倒虹吸及渡槽、闸室、拦冰设施等的监测，宜设置在入口和出口、闸门、拦冰设施前端等部位。

6.3.4 冰凌监测应包括冰棱面密度、流凌密度、流凌速、冰盖发展位置、冰速、岸冰长度、宽度，以及渠道水位、流量等。

6.3.5 冰凌监测宜采用图像法，在具备通信条件的闸室等处设置工业摄像机，通过图像识别技术计算流凌密度、流速分布等。

6.3.6 冰压力监测方法和频次要求可参考《水利水电工程安全监测设计规范》SL 725第14.3.6条的规定。

7 监测自动化系统

7.1 一般规定

7.1.1 监测自动化系统应充分考虑渠道监测的特点，安全、实用、可靠、先进、经济，结构简单、性能稳定、维护方便、扩展性好，易于升级和改造。

7.1.2 自动化监测系统可使用分布式网络结构，由监测仪器、数据采集与处理系统、数据传输系统和网络发布系统4个子系统构成。

7.1.3 应在靠近监测结构的相对稳定区域设置监测站、基准站。监测站宜配备太阳能电源，及相关通讯设备、模块等。采用移动通信或GNSS传输数据的，应配置有效的人工观测、比测手段，且宜具备与其他自动化系统、局域网或广域网连接的接口。

7.1.4 运行管理单位应根据管辖渠段工程特点和监测系统情况，制定监测自动化系统管理制度，包括仪器设备日常管理与维护、监测数据记录与处理、数据安全与应急管理预案等。

7.1.5 自动化系统宜适应智慧水利的发展趋势，在确保系统安全可靠的基础上积极采用云平台、移动终端和大数据技术等数据处理技术。

7.2 系统设备

7.2.1 系统设备基本功能应符合以下要求：

1 具备低温环境运行功能。

2 具有自动巡测、选测、自检、自诊断功能。

3 具有掉电保护功能。

4 具有现场网络数据和远程通信功能。

5 具有网络安全防护功能。

6 具有防雷及抗干扰功能。

7 具备人工测量接口，可以进行补测、比测。

8 系统软件应具有以下功能：

1）基于通用的操作环境，具有可视化、图文并茂的用户界面，可方便地修改系统设置、设备参数及运行方式。

2）在线监测、离线分析、人工输入、数据库管理、数据备份、图形报表制作和信息查询、发布。

3）系统管理、安全保密、运行日志、故障日志记录等。

7.2.2 基本性能应符合以下要求：

1 采集信号型式：可接入模拟量、数字量信号。

2 平均无故障时间（MTBF）：≥6000h。

3 数据采集缺失率：≤2%。

4 系统采集与人工比测数据偏差：≤2σ。

5 防雷电感应：≥500W。

6 瞬态电位差：＜1000V。

7 测量装置掉电运行时间：≥72h。

8 定时采集间隔：10min~3d，可调。

9 单点采集时间：＜30s。

10 巡测时间：＜30min。

11 存储容量：不小于50测次存储数据容量。

12 适用工作环境：温度为-30~50℃，相对湿度不大于95%RH。

13 供电电源：交流220V±10%，50Hz±1Hz或直流小于36V。

14 接地电阻：不大于10Ω。

15 通信接口：支持符合国际标准的通用电气接口，如RS232、RS485、CANbus，以太网等。可支持GSM、GPRS等其他通信方式。应提供软件接口（如控件、函数库、动态链库等）或开放通用通信协议规约。

7.3 系统设计

7.3.1 监测自动化系统应包括监测仪器、数据采集装置、计算机及外部设备、网络通信设备、电源及防护设备、数据采集软件与安全监测管理软件等。

7.3.2 监测自动化系统设计应满足下列规定：

1 应具有自检和远程诊断功能，宜优先采用低功耗、高可靠性的现场仪器设备。

2 应具有多种电源和通讯接口，并宜采用光缆（光纤）或无线公网通信。

3 宜采用太阳能（风能）/蓄电池或市电/蓄电池供电，并具有自动切换功能。

4 应具有特殊工况和应急条件下，保证系统供电、通信和数据可靠性的具体措施。

5 应具有可靠的防水、防尘、抗干扰能力以及防人为破坏的措施。

7.3.3 自动化系统配套软件应具有数据采集和信息管理模块，并应符合下列规定：

1 数据采集模块应具有仪器设备、通信链路和电源供电等检测功能，以及任意测点组合选测和自动测量设置功能。

2 信息管理模块应具有针对渠道工程特点的过程线、分布图和相关线绘制功能，以及特征值统计功能、报警功能。

7.3.4 自动化系统功能及性能、数据采集装置主要技术指标以及监测站、网络通信、电源及防护、防雷接地等设计应符合《水利水电工程安全监测设计规范》SL 725第15章中的规定。

7.4 安装与调试

7.4.1 自动化系统安装时，应对系统仪器设备进行检验、试验、参数标定，并做好详细记录。

7.4.2 电缆布线不应明线敷设，应布置整齐，并设置必要的防护措施。

7.4.3 监测设备支座及支架应安装牢固，确保与被测对象连成整体。

7.4.4 逐项检查系统功能，应满足设计要求，同时确保设备安装方向与《土石坝安全监测技术规范》SL 551、《水工隧洞安全监测技术规范》SL 764、《水闸安全监测技术规范》SL 768中的有关要求一致。

7.4.5 监测自动化系统调试时，自动采集数据应与人工监测数据同步比测。

7.4.6 系统调试完成后，应提交系统安装调试报告。

7.5 运行管理

7.5.1 运行管理应按照监测自动化系统管理制度，做好系统的日常运行和维护工作，定期提出分析报告，适时提出完善制度的建议。

7.5.2 应做好监测系统运行记录、监测数据及视频资料的保存，发现异常及时上报。

7.5.3 监测自动化系统的运行与管理应符合下列规定：

1 制定操作性较强的监测自动化系统运行管理规程。

2 监测数据备份每月不少于1次。

3 系统时钟每年应校正1次。

4 监测自动化系统运行情况应每季度检查一次，并做好记录，存档备查。

5 系统维护维修应及时进行，并做好记录。

6 系统自动采集的数据宜每年进行1次人工比测，并编写监测报告。

7 应适时开展监测自动化系统维护。

7.5.4 应定期进行系统防雷击专项检查，每年应至少检测1次接地电阻。

7.5.5 应定期通过检验测试、校验测试和数据分析等，分析监测系统运行情况，提出运行维护或升级改造意见。

8 监测资料整理与整编

8.1 一般规定

8.1.1 监测资料整编的范围应包括巡视检查、常规监测、专项监测等获得的资料。除每月提交的月报外，每年应对监测资料进行一次资料整编和年度分析，并根据实际需要，提出安全运行监控建议方案。

8.1.2 施工阶段和正常运行阶段应对监测资料进行日常整理，应定期进行资料整编分析，评估渠道工作状态。在竣工验收、出现异常或险情状态时应进行资料分析，提出资料分析报告。

8.1.3 监测资料整理与成果整编，应项目齐全、考证准确、数据可靠、方法合理、图表完整、格式统一、说明完备。必要时可运用数据结构和数学模型对相关数据进行资料分析。整编所用方法、图表等可参照《土石坝安全监测技术规范》SL 551、《混凝土坝安全监测技术规范》SL 601执行。

8.1.4 监测资料整编应建立监测资料数据库，并宜建立监测数据信息管理系统。

8.1.5 监测资料除在计算机磁、光载体内存储外，巡视检查、常规监测和专项监测的原始记录、图表、影像资料以及全部资料整编、分析成果应按时间顺序建档保存，并应按分级管理制度报送备案。

8.1.6 应随时补充或修正监测系统及监测设施的变动或检验校（引）测资料，以及各种考证图表等，确保资料的衔接与连续性。

8.2 监测基本资料整理

8.2.1 监测基本资料应包括安全监测系统设计、布置、埋设、竣工等资料，以及系统运行后的维护和更新改造资料，并应包括下列内容：

1 监测系统设计、布置、埋设、竣工资料。

2 监测设施及测点平面、纵横剖面布置图。

3 有关各水准基点、起测基点、工作基点、校核基点、监测点，以及监测设施平面坐标、高程、结构、安设、设置日期和测读起始值、基准值等文字和数据考证表。

4 仪器资料。

5 安装考证资料。

6 其他相关资料。

8.2.2 安装埋设考证资料记录应及时、准确、完备、规范，并应符合下列规定：

1 初次整理时，应按渠段监测项目对各项考证资料全面收集、整理和审核。

2 运行阶段，发生校测高程改变，设施和设备检验维修，设备或仪表损坏、失效、报废、停测、新增或改扩建等情况时，应重新填制或补充相应的考证图表，并注明变更原因、内容、时间等有关情况。

8.3 资料分析

8.3.1 监测资料分析分为初步分析和系统分析：

1 初步分析是在对资料进行整理后，采用绘制过程线、分布图、相关图及测值比较等方法对其进行分析与检查。

2 系统分析是在初步分析的基础上，采用有关方法进行定性、定量地综合性分析，并对工作状态做出评价。

8.3.2 季节性输水渠道，应在停水后、翌年通水前进行监测资料系统分析，必要时提出专题分析报告。

8.3.3 对监测资料进行分析时，应对各类监测因素产生的异常值进行处理，以保障分析的有效性和可靠性。

8.3.4 监测资料分析可用比较法、作图法、特征值统计法，以及数学模型法等。具体方法可参照《土石坝安全监测技术规范》SL 551第9.4.5条。

8.3.5 资料分析的内容应包括以下内容：

1 根据巡视检查资料，定性判断渠道断面运行安全情况。

2 依据监测值的过程线图或数学模型，判断有无异常和向不利于安全方向发展的时效作用，以及断面有无异常区和不安全部位（或层次）。

3 分析各有关监测量的特征值和异常值，并与相同条件下的设计值、试验值、模型预报值以及历年变化范围比较。当有关监测值超出技术警戒值后，应及时对工程进行相应的安全复核或专题论证。

4 资料系统分析应包括以下各项：

1）输水渠道的环境特征，重点分析气温、渠基温度特征。

2）季节性输水渠道通水期、运行期、退水期内的渠基渗流状态，绘制渠基浸润线。

3）季节性输水渠道退水期、不存水时的渠堤整体稳定性、局部变形，以及衬砌裂缝、鼓胀等局部损毁特征。

4）冬季输水渠道冬季输水期的冰害特征。

8.4 监测数据整编

8.4.1 相关物理量计算方法可参考《土石坝安全监测技术规范》SL 551附录J、《水工隧洞安全监测技术规范》SL 764附录E3。

8.4.2 各监测物理量应及时形成电子文档，并打印出主要图表供查用。

8.4.3 监测资料整编应包括监测资料统计、绘制有关图表、初步分析、系统分析等。

8.4.4 监测资料整理整编后，应参照《建设工程文件归档整理规范》GB/T 50328的具体要求，编写安全监测专题报告及年度整编报告，并及时归档。

8.4.5 年度整编报告应包括以下内容：

1 年度巡视检查情况。

2 年度内工程监测资料及初步分析、系统分析情况。

3 存在的问题、综合评价及其结论。

4 对今后工程安全管理、监测工作、运行调度，以及安全防范措施等方面的建议。

8.4.6 渠道出现异常或险情时，应包括以下各项。

1 出险部位和险情状况的描述。

2 根据巡视和监测资料分析，判断原因和近期发展趋势。

3 提出加强监测的意见和建议，以及处理异常或险情的建议。

附录A 巡视检查内容与记录格式

A.0.1 巡视检查内容按表A.0.1进行分类和选择。

表A.0.1 巡视检查内容表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 类别 | 项目（部位） | | 例行检查 | 定期检查 | 专项检查 |
| 衬砌渠道 | 渠顶 | 砌石 | ★ | ☆ | ☆ |
| 马道 | ★ | ★ | ☆ |
| 渠堤 | 坡面 | ★ | ★ | ☆ |
| 衬砌 | ★ | ★ | ☆ |
| 控制缝 | ★ | ☆ | ☆ |
| 渠底 | 护面 | ★ | ★ | ☆ |
| 挖方渠道 | 背水坡 | ★ | ☆ | ☆ |
| 防护结构 | ★ | ☆ | ☆ |
| 填方渠道 | 排水孔 | ★ | ☆ | ★ |
| 背水面 | ★ | ☆ | ☆ |
| 堤脚 | ★ | ☆ | ☆ |
| 冬季输水渠道 | 冰情 | ☆ | ★ |  |
| 渠系建筑物 | 隧洞 | 洞脸 | ★ | ★ |  |
| 倒虹吸 | 放空系统 | ★ |  |  |
| 进气阀 | ★ |  |  |
| 人孔及伸缩节 | ★ |  |  |
| 管道、渡槽 | 接合部 | ★ | ☆ |  |
| 排水设施 | ★ | ☆ |  |
| 变形缝 | ★ | ☆ |  |
| 支墩 | ★ | ☆ |  |
| 水闸 | 闸室 | ★ |  |  |
| 闸门 | ★ |  |  |
| 其他设施 | ☆ |  |  |
| 其他 | 监测设施 | 监测仪器 | ★ | ★ | ☆ |
| 监测设施、通信线路 | ★ | ★ | ☆ |
| 管理及保障设施 | 照明与应急抢险设施 | ★ | ★ | ★ |
| 机电设施 | ★ | ☆ | ★ |
| 交通设施 | ★ | ☆ | ★ |
| 安全标示 | ★ | ☆ | ★ |

注：★为必做项目，☆为可选项目，空白表示不作要求

A.0.2 渠道巡视检查记录格式按照表A.0.2填写。

表A.0.2 巡视检查记录表

工程名称： 标段：

日 期： 天气：

检查负责人： 检查人：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 巡视检查部位 | | | 损坏或异常情况描述 | 备注 |
| 衬砌渠道 | | 渠顶  渠坡  渠底  混凝土衬砌  浆砌石衬砌  其他部位 |  |  |
| 渠系建筑物 | 隧洞 | 洞脸  结合部 |  |  |
| 倒虹吸 | 管线  放空系统  进排气阀、人孔  伸缩节  其他部位 |  |  |
| 水闸 | 闸室  闸门  其他设施 |  |  |
| 管道、渡槽、穿渠建筑物等 | 结合部  排水设施  变形缝  支墩 |  |  |
| 其他 | | 机电设施  交通设施  监测仪器  监测设施  通信线路  供电系统  应急抢险设施  安全标示 |  |  |
| 注：被巡视检查部位若无损坏和异常情况时应写“无”。有损坏或出现异常情况的部位，应在做好记录的同时，尽可能获取影像资料，并及时存储归档。 | | | | |

附录B 衬砌渠道常规、专项监测项目及内容分类

表B 衬砌渠道常规、专项检测项目及内容分类

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 监测项目和内容 | | | 工程等级 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 季节性输水渠道 | | | | | | | | | | 冬季输水渠道 | |
| 一般渠道 | | 深挖方渠道 | | 高填方渠道 | | 不良地质渠道 | | 高地下水位渠道 | |
| 常规监测 | 环境监测 | 渠内水位 | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ |
| 气温 | ★ | ☆ | ★ | ☆ | ★ | ☆ | ★ | ☆ | ★ | ☆ | ★ | ☆ |
| 降水量 | ★ | ☆ | ★ | ☆ | ★ | ☆ | ★ | ☆ | ★ | ☆ | ★ | ☆ |
| 渠基温度 | ★ | ☆ | ★ | ☆ | ★ | ☆ | ★ | ★ | ★ | ★ |  |  |
| 变形监测 | 表面变形 | ★ | ☆ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ☆ |
| 冻胀变形 | ★ | ☆ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ |  |  |
| 内部变形 |  |  | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ |  |  |
| 渗流监测 | 渗透压力 | ☆ | ☆ | ★ | ☆ | ★ | ☆ | ★ | ☆ | ★ | ☆ | ☆ | ☆ |
| 渗漏情况 | ☆ |  | ☆ | － | ★ | ☆ | ★ | ☆ | ★ | ☆ |  |  |
| 应力应变监测 | 冻胀力 | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ |  |  |
| 结构应力应变 | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ |
| 专项监测 | 冻胀过程监测 | | ☆ | － | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ | ☆ |  |  |
| 冬季输水监测 | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ★ | ☆ |

注：有★者为主要项目（必设）；有☆者为建议项目（可选）；“－”表示结合工程具体情况，如有需要；无内容表示该部位无此项目或不做要求

附录C 分布式测量光纤及监测设备使用方法

C.0.1 本附录涉及的分布式测量光纤及监测设备的设计、安装和观测方法，适用于渠基温度及渗流（渗漏）监测。

C.0.2 宜选用基于拉曼（ROTDR）散射原理的传感光缆进行渗漏监测，使用时需利用加热设备对传感光缆加热。

C.0.3 分布式测量光纤与包层、涂覆层等保护结构组成传感光缆，基本结构如图C(A)。分布式光纤监测设备主要包括调制解调仪、OTDR测试仪、跳线（或尾纤），以及加热设备等。加热设备包括电阻转换器、电阻导线和万用电表。分布式测量光纤渗漏监测工作原理见图C（B）。

C.0.4 传感光缆布置符合下列规定：

1 布置前需进行渗流（渗漏）监测指标（含水率或渗流速率）与温度特征值的标定，得到温度标准值与渗流（渗漏）监测指标的计算参数。

2 采用人工或机械方式开挖沟槽布置测量光缆，沟槽宽度宜在10~15cm，开挖完成后应在沟槽底部人工摊铺原状土料保护层。

3 布设传感光缆时应避免打结，相互缠绕，防止人员踩踏。

4 使用OTDR测试仪检测传感光缆是否工作正常，检测合格后将沟槽回填，并用小型振动碾压密实。

5 宜采用警示标识对传感光缆的跳线接头进行保护。

C.0.5 数据测读应符合下列规定：

1 在监测断面附近放置调制解调仪。

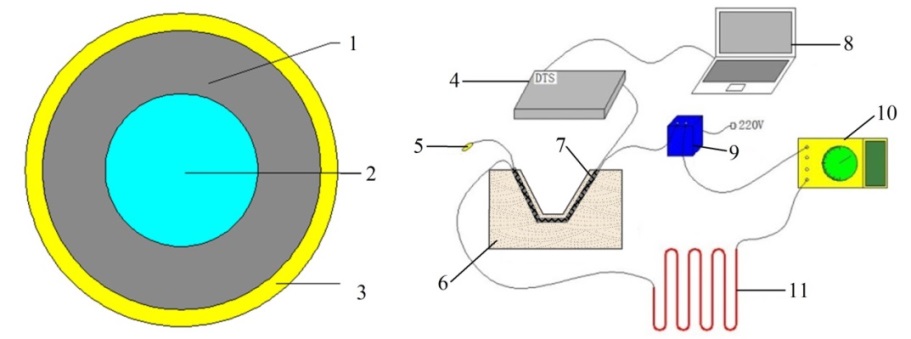
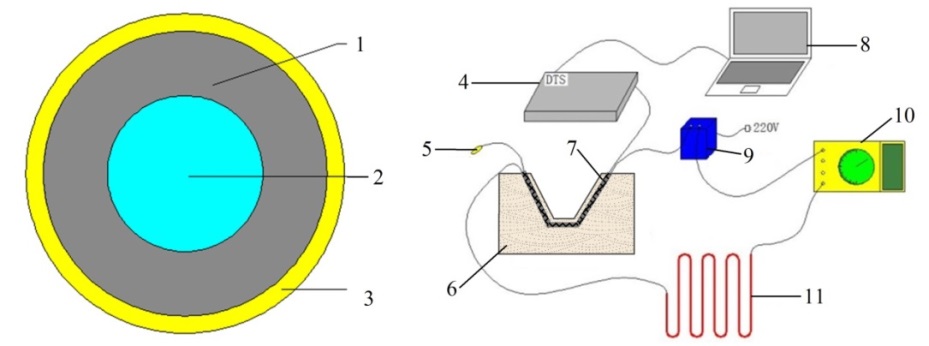
2 检查待测光缆的跳线接头是否连通。

3 将待测光缆与调制解调仪连接，开启调制解调仪测数初值。可取平均值作为测量的温度基准值，以降低光纤测量系统的随机误差对测值的影响。

4 开启电阻转换器加热电阻导线，期间使用万用电表测读加载功率，待测量光缆电流变化趋于稳定后，再测量10~30min后关闭设备。记录加热过程期间的调制解调仪读数，完成数据温度基准值转换并得到温度特征值。

5 依据温度标准值与渗流（渗漏）监测指标的计算方法，将温度特征值转换为渗流（渗漏）监测指标特征值。

6 依据各时期的测值绘制“温度-时间”“渗漏水水位-时间”曲线、“渠水位、渗流速率-时间”曲线等，分析渗漏水分分布情况、变化特性和趋势等。

(A) (B)

1——包层；2——光纤纤芯；3——涂覆层；4——调制解调仪；5——跳线（尾纤）；6——监测断面；7——传感光缆；8——读数设备；9——电阻转换器；10——万用电表；11——电阻导线

图 C 光缆及监测设备

附录D 冻胀监测及监测设备使用方法

D.1 冻胀变形监测

D.1.1 使用冻胀位移计进行冻胀变形监测，其基本构造见图D。无监测自动化要求的断面，渠底部位可采用分层冻胀仪进行冻胀变形测量。

D.1.2 冻胀位移计的布置应符合下列规定：

1 揭开渠道衬砌板，采用机械或人工开挖至浅层基岩面，如浅层无基岩，应在开挖面以下设置一混凝土基墩，基墩底部标高至衬砌板底的垂直距离不应大于30cm。

2 在基岩或混凝土基墩表面开凿一钻孔，用于固定位移计。

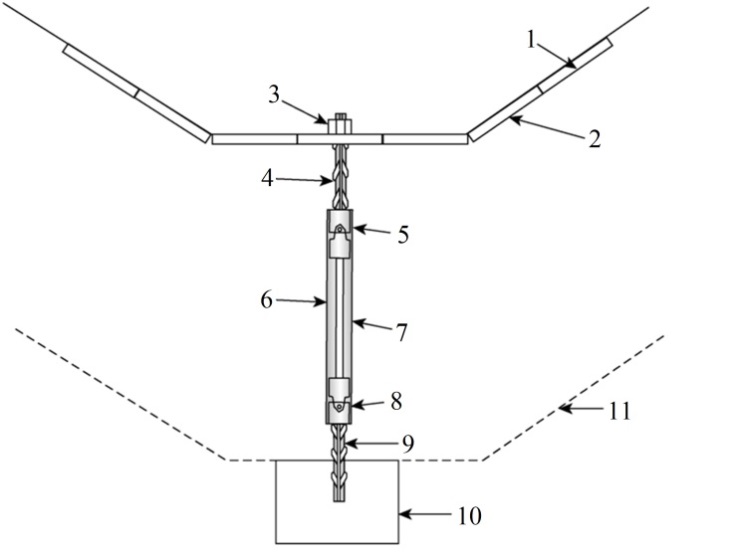
3 放置位移计的固定钢筋，并用水泥浆将钻孔处灌封密实，确保固定钢筋在渠道冻胀力作用下不发生滑动。

4 将位移计下端的万向节与固定钢筋连接，位移计上端的万向节与固定钢筋拧紧后与渠道表面混凝土衬砌板固定。

D.1.3 分层冻胀仪的布置及量测方法参见《冻土工程地质勘察规范》GB 50234附录G。

D.1.4 应采用人工或自动化方式获取位移计读数，仪器埋设后、衬砌恢复前应至少测读3次，取其稳定值作为基准值。采用自动化方式读数时，应将位移计电缆导线埋置保护。

D.1.5 冻胀位移的监测频次可在变形监测要求的基础上，根据工作需要适当增加频次。



1，2——渠道衬砌板；3——固定螺母；4，9——锚固段；5，8——万向节；6——量测单元；7——套筒；10——基岩或混凝土墩；11——开挖面

图D 冻胀位移计构造示意

D.2 冻胀力监测

D.2.1 采用土压力计监测冻胀力时，安装埋设应符合下列要求：

1 应安装在衬砌板下方与衬砌平行，深度不宜超过10cm，并使感应膜与需测定土压力的方向垂直。

2 衬砌表面应清理整平，防止应力集中。

3 土压力计埋设部位铺放约10cm厚的细砂，并回填黏土压实。

4 土压力应在仪器埋设后、回填前应至少测读3次，取其稳定值作为基准值。

D.2.2 采用冻胀力计监测冻胀力时，所用监测设备应由锚固部分和量测部分组成。

D.2.3 冻胀力监测设备的使用应注意下列事项：

1 锚固部分入土深度宜超过标准冻深1m；量测部分的工作面应平整。

2 监测设备应尽可能具备自动化观测功能，埋设时应做好电缆的防护。

3 监测设备的锚固部分不应对原状土体产生较大干扰。

4 根据量测读数，得到被测土体的冻胀力主应力大小和方向。

标准用词说明

|  |  |
| --- | --- |
| 标准用词 | 严格程度 |
| 必须 | 很严格，非这样做不可 |
| 严禁 |
| 应 | 严格，在正常情况下均应这样做 |
| 不应、不得 |
| 宜 | 允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做 |
| 不宜 |
| 可 | 有选择，在一定条件下可以这样做 |

团 体 标 准

寒冷地区渠道安全监测技术规程

T/CHES xxx-2020

# 条文说明

目 次

1 总则......................................................................28

2 术语......................................................................29

3 基本规定..................................................................30

4 巡视检查..................................................................31

5 常规监测..................................................................32

6 专项监测..................................................................35

7 监测自动化................................................................36

8 资料整编与分析............................................................37

1 总则

1.0.1 渠道结构物因厚度小、自重轻而对地基土冻融作用十分敏感。根据我国水利行业大量统计数据及研究资料，冻胀破坏是北方寒冷地区渠系工程主要破坏形式，为此，GB 50288、GB/T 50600、SL 599等标准均对冻胀观测及其测验方法提出了原则性要求。然而，受技术、经济条件等因素制约，寒冷地区渠道安全监测工作未能实现标准化。随着区域经济战略的深入推进，以及生态环境变化的客观情况，我国北方寒冷地区水资源配置需求将进一步扩大，按照水利改革发展总基调要求，加强并规范寒冷地区渠道安全监测技术是十分必要的。

1.0.2 我国多年冻土与季节性冻土区域面积约占国土面积75%。位于我国寒冷地区的输水渠道大多面临极端寒冷、异常干旱、复杂地质环境等恶劣自然条件，使得渠道除发生冻胀破坏以外，还会出现大面积滑坡、水胀、盐胀等灾害，这些工程灾害极大影响了渠道供水效率，严重威胁渠道运行安全，每年需要耗费大量人力、物力和时间去维护。因此，开展安全监测工作有利于提高安全预警效率，提升工程管理水平。考虑到工程重要性，2级以下渠道参照时，可以巡视检查、观测为主，有条件的也可开展监测工作。

1.0.3 衬砌渠道即输水明渠，是受冻害破坏最为严重的结构。

1.0.5 渠道和输水管道线路漫长，渠系建（构）筑物较分散，不同结构、不同区段面临的损毁风险程度不同。另一方面，不同区域气候条件不同，管理水平也有差异。因此，按照地质条件及气候条件，根据不同类型实施分等级、差异化的监测，符合工作实际。

2 术语

2.0.1 寒冷地区是我国气候的一个分区，GB 50176表4.1.1给出了其明确定义。本规程所指的寒冷地区，强调低温对渠道工程地基的影响，采用GB/T 50662第3.0.3条对寒冷地区的定义，更贴合工程实际。

2.0.3 季节性输水渠道是寒冷地区渠道的一种主要输水形式，其中冬季不存水阶段受冻害影响最为突出。

2.0.4 本条借鉴了SL 551、SL/T 794等其他行业监测现行规范、规程，扩展了安全监测的概念，把巡视检查和专项监测纳入安全监测范畴中。

3 基本规定

3.0.1 渠道工程具有建设时间跨度大、轴线长、占地多、工程量大、管护维修任务重等特点，同时工程结构相对复杂，非一次性建成工程，可能内部夹杂历史工程，且结合部多。因此，安全监测除充分考虑上述特点外，还应充分考虑严寒气候、渠身渠基组成复杂、破坏模式多等特点，根据渠道的潜在破坏模式及破坏后造成的损失等因素，合理确定重要渠段和重点部位开展监测。

3.0.2 安全监测等级应根据不同工程、不同渠段的运行风险等级确定，其中风险等级由潜在风险因素、破坏模式、后果及影响程度确定，可通过专业机构完成。本规程考虑到监测工作实际，结合实践经验，参照在GB/T 50662中第3.0.9款“土壤冻胀级别”的规定，划分了监测等级。

3.0.3 按照SL 725中对渠道安全监测的工作的有关规定，结合寒冷地区渠道安全风险区划和管理工作所需，本条规定了对2级及以上输水渠道的监测要求。另一方面，不同监测方式获得的监测信息不同，具体选择时应在所对应的监测等级的基础上，有所侧重、综合考虑。

3.0.4 巡视检查，侧重渠道工程表面的缺陷和险情巡查，是一项必不可少的工作。

3.0.5 为增强监测工作的针对性和操作性，提升工作效率，本条强调了寒冷地区一般渠道，以及深挖方、高填方、高地下水位及不良地质渠段等特殊渠段监测工作的基本要求。

3.0.6 对新建或改建、扩建的渠道，施工期监测一般要与运行期监测相结合开展，以降低监测成本并得到连续的监测数据。

4 巡视检查

4.1 一般规定

4.1.1 具体情况是指巡视检查期间的工程工况、所处区域的气候条件等对开展相关工作具有影响的客观情况。

4.1.2 巡视检查工作应当与管理单位检查工作相结合。对检查中发现的一般问题，应及时进行处理；情况较严重的，除查明原因采取措施外，还应报告上级主管部门；情况严重的，应对异常和损坏现象做详细记录，主管部门应分析原因，提出处理意见。

4.1.3 在预警发生后，对输水工程进行及时的现场溯源和风险追踪，是采取措施进行灾后恢复和降低损失的前提。寒冷地区输水渠道，往往具有空间跨度大，气候严寒等特点，传统人工巡查风险追踪方式追踪效率较低，难以覆盖长距离输水工程的全线，发现异常情况后，传统追踪方式缺乏有效直观的工程信息来辅助决策。近年来，无人机巡查技术的发展为水利工程预警预报工作提供了新的方案。利用无人机技术进行渠道巡检前，应对无人机续航能力，以及低温环境下无人机机械部件的正常运作进行检查。

4.1.4 例行检查，主要为工程外观检查；定期检查，主要针对寒冷地区渠道因冻害造成运行风险进行排查；专项检查，用于应对极端工程风险进行的检查。巡视检查可由各站、各段等渠道工程基层管理部门组织开展。

4.2 检查项目和内容

4.2.1 害渠动物检查可参考SL/T 794中的有关规定和方法；渗漏观测可按SL 599中的有关规定执行。

4.2.2 春季检查，是考虑积雪融化后对工程可能造成的危害而设置的。应形成专题雪情分析报告，上报渠段雪情分析，制订防洪预案，组织人员或机械清除积雪，对马道、防洪堤外影响工程安全的积雪融水进行疏导抽排。季节性输水渠道还应检查渠道及渠系建（构）筑物、机电设备等是否具备通水条件。

4.2.3 事前检查工作，以检查防洪功能为主要内容，对重点部位进行徒步检查，各部门对发现的问题汇总后，及时上报。事后检查工作以基础设施检修为主要内容，仍以徒步检查形式为主。

5 常规监测

5.1 一般规定

5.1.1 常规监测目的，一是要根据监测工程安全状况，指导施工和运行；二是要检验工程质量，反馈设计；三是要为科研工作服务。从影响渠道破坏的主要因素出发，根据监测目的和渠道实际情况开展常规监测设计，可及时发现并预警渠道冻胀、渗漏、失稳等破坏，以弥补人工查险方式的不足，为分析输水渠道安全状况提供更多数据支撑。

5.1.3 总体上说，寒冷地区的渠道工程受地形地质条件和综合环境因素的影响较突出，故监测设计要统筹规划、合理布局、突出重点。常规监测要根据监测目的，考虑监测设施埋设与运行期费用，并进行技术经济比较后确定。

5.1.5 寒冷地区渠道监测设施处在低温环境或在水中，对监测设施的保障显得更加重要。

5.1.6 穿渠建筑物的沉降尤其是不均匀沉降、止水的好坏会直接造成土石接合部脱空、渗漏隐患，因此接合部监测布置要结合穿堤建筑物的特点进行。

5.2 设计与布置

5.2.1 根据长期工程运管实践，可总结出寒冷地区渠道主要破坏类型，包括鼓胀及裂缝（混凝土衬砌板的冻胀裂缝多出现在渠道坡脚以上1/4～3/4坡长范围和渠底中部，裂缝一般出现在渠道混凝土板水位线附近）、隆起架空（一般出现在坡脚或水面0.5～1.0m坡长处和渠底中部）、错位及坍塌（渠道混凝土衬砌板的冻融滑塌，以及渠坡失稳坍塌）、整体上抬（衬砌结构因冻胀整体上移）、剥落及酥松（衬砌混凝土表面出现的酥松、剥落等现象）等。主要破坏模式包括冻胀破坏、冻融破坏、失稳破坏、渗透破坏、冰冻破坏、漫顶破坏、地震破坏、人为破坏等，其中冻胀破坏、冻融破坏、失稳破坏、渗透破坏、冰冻破坏等为较常见的破坏形式。

5.2.3 监测断面的选择是监测设计的一个重点和难点，包括拟监测堤段的监测断面位置、断面间距和断面数量。监测断面要集中布置在工程结构及地形地质条件有显著特征和特殊变化的渠段和建筑物处，并结合渠段材料、结构类型以及改扩建、除险加固、抢修等情况，所处区域水文地质特征、历史险情等综合确定，使其对工程全局有较好的控制性和代表性。

5.2.4 本条充分考虑了寒冷地区渠道破坏的影响因素，对环境、变形监测做了必设要求。另一方面，实践表明，水热过程对于渠堤的稳定性至关重要，因此本规程在寒冷地区的高填方、深挖方、不良地质、高地下水位等重点渠段，将渗流监测规定为必设内容。对于冬季输水渠道，渠基水分变化程度相对较小，渠道行水对渠坡稳定也是有利的，故在此未对渗流监测做必设要求。此外，本规程中的应力应变监测的项目设置与SL 725的相关要求一致。

5.2.6 本条对监测设施的布置提出了原则性要求。监测设施的安装埋设至关重要，如安装埋设不当，可能引起仪器无法正常工作。设计时需考虑施工条件，提出保护措施，并尽量降低安装困难，保证精度达到要求，方便检测。施工时要保护监测设施的完好。

5.3 环境监测

5.3.1 除严寒气候引起的渠道各类破坏以外，在一些地区，强降水也是诱发渠道破坏的重要因素。此外，直接获取渠基温度情况也有利于对渠道冻害过程的把握。在保证气温和降水量监测的前提下，因地制宜合理设置，可提升相关工作效率。

5.3.5 渠道水位的监测已较为成熟，自动水位计的应用也较为广泛，因此，在满足监测要求下，可优先采用管理部门的水位记录数据。当渠道无水或低于水尺零点高程时，要在记录中予以标注，以便监测资料分析时考虑。

5.3.6 本条目涉及的测点布置方法，与GB 50324中的有关要求一致。

5.4 渗流监测

5.4.1 渗流监测的目的主要是掌握渠堤自由水的流动特征，判断渠堤渗水、管涌、及滑塌的性质及发展趋势，如出现浑水、渗流量逐步增大情况则是管涌的征兆，除加强观测外，还需抓紧采取抢护措施。另一方面，对于季节性输水渠道，渠基的赋存水将是停水期渠道产生冻融破坏的主要来源，因此也要做好停水期的渗流监测。

5.4.2 本条是在SL 725中的有关要求基础上，充分考虑渠基土渗流各项异性可能导致的较大浸润线变幅情况，进一步完善了测点的数量要求。

5.4.3 测压管底部高程或渗压计埋设高程应在停水期地下水位以下。

5.4.4 利用分布式测量光纤监测渠道渗流（渗漏），基于温度示踪原理，通过渗流水流参与到光纤和周围环境之间的热交换过程来判断渠堤渗流、渗漏通道是否存在，并能对其定位，在定性判断方面具有优势，同时具有抗高压能力强、抗电磁干扰能力强、耐腐蚀性强、耐高温、防雷击、成本低廉、施工过程简单等特点。分布式光纤技术应用于寒冷地区渠道监测时，所用传感器的光缆结构应兼顾抗压性、光缆接续性和温感性。

5.4.7 地基冻胀过程与水分迁移和补给密切相关，寒冷地区输水渠道应重视地下水位监测。

5.4.8 实践表明，季节性输水渠道的退水期是渠坡整体稳定性的最不利工况，而通水期增加渗流监测频次有利于判断渠道的渗漏情况，因此增加这两个阶段的渗流监测频次，有利于对渠道边坡稳定性的整体把握。

5.5 变形监测

5.5.1 变形监测应充分考虑工况对变形的影响，具体来说主要是施工荷载和运行水位变化产生的影响，例如常规渠道在施工期应开展控制不均匀沉降的变形监测；而在水位变化的影响下，一些填方渠道有水平位移的趋势，这一期间需要做好水平位移监测。

5.5.3 位移测量多采用视准线法、交会法和三角网法，也可根据渠道自身条件采用其它监测方法。如对表面位移观测，必要时可采用效率较高、精度也能满足安全管理要求的激光雷达(LiDAR)方法。

5.5.4 本条涉及的冻胀变形测点位置，是在长期实践中总结提出的。

5.5.5 除冻胀位移计观测冻胀外，较为常用的冻胀位移观测方法还包括定点法，这种方法需设置固定点，采用钢丝绳等丈量，但该方法不适用于大跨度渠道，且依赖人工观测，因此本规程不做推荐。

5.5.7~5.5.8 渠系建（构）筑物等受冻胀作用影响相对较小，相应的变形监测内容与非寒冷地区渠道并无显著差别，因此不做专门要求。

5.6 应力应变监测

5.6.2~5.6.3 冻胀力测试数据可直观反映冻胀程度，并用以反馈设计、指导施工。但相较温度、变形、应力应变等监测，目前冻胀力测试方法还欠成熟，主要原因是被测土体的约束难以保证，渠道斜面更是增加了工作难度。本规程提供了基本方法，具体方法可参考有关文献。

5.6.4~5.6.7 与变形监测类似，渠系建（构）筑物受冻胀作用影响相对较小，其应力应变监测不做专门要求，但因注意寒冷地区输水埋管的应力应变监测。

6 专项监测

6.2 冻胀过程监测

6.2.1 冻结作用将导致土体表面产生冻胀变形，并改变内部的水分分布。对冻深、含水率等指标监测，可更好的掌握渠基的冻结过程，为预警预报机制提供基础数据。

6.2.2~6.2.3 土壤湿度传感器是目前较为成熟适用的含水率监测设备。考虑到含水率变化与温度密切相关，因此建议含水率传感器布置与温度监测相结合，提高监测效率。

6.2.4 冻深观测时可考虑渠道走向，在阴、阳坡分设测点以便对比。

6.3 冬季输水监测

6.3.1 我国寒区大部分渠道在冬季停止输水，但少数冬季兼有发电和输水功能的渠道，在负温期间通水时，渠道里的水体常常会结冰，产生冰冻破坏。渠道水完全封闭后，冰冻层逐渐加厚，对渠道衬砌体产生冰压力，造成衬砌体的位移和破坏或在冰压力和渠基土冻胀力的作用下鼓胀，发生破坏变形。同时，漂浮的冰块或冰屑团会在局部积累，减少过水断面，严重时使断面完全封闭，形成冰坝，造成渠水漫溢，甚至溃渠的事故。鉴于此，本规程将这一类特殊工况下的安全监测划为专项监测。

6.3.2 流凌、冰压力与温度和流量有关，调水工程中的渠水流量与调度模式有关。

6.3.4 冬季输水监测还应关注冬季输水渠道的水位、以及岸滩受流棱侵蚀破坏情况。

7 监测自动化

7.1 一般规定

7.1.1~7.1.2 “物联感知、互联互通、科学决策、智能管理”是“智慧水利”建设要求的核心思想。寒冷地区输水渠道是作为水利工程的节点，应依托现代化技术手段推动监测工作信息化、智能化；同时，考虑到寒冷地区渠道工程战线长、地理位置偏僻、气候环境恶劣等特点，应积极提高监测的信息化水平。

7.1.4 监测自动化系统应积极采用成熟的技术，宜与办公自动化系统、日常巡查系统、视频监视系统等结合，提高系统利用率、便于管理。

7.3 系统设计

7.2.1~7.2.4 SL 725对有关问题已做了比较详细的规定。在具体执行时，要充分考虑渠道战线长，监测数据分散、有限，室外设施保护及供电困难、电磁干扰源不确定等特点，合理统筹设计。系统建成后应对监测系统各项功能指标与性能参数进行测试验收。

8 监测资料整编与分析

8.1 一般规定

8.1.1 监测资料是得出科学结论，提出相关管理措施和处置方案的重要依据，因此要重视监测资料的整编与分析工作。寒冷地区渠道监测资料包括巡视检查、常规监测和专项监测资料。整编时应根据各类监测的特点分类整理。巡视检查结果整编以年度大事记形式表现为宜，专项监测以报告形式为宜，常规监测以本规程8.2、8.3规定方法进行整编为宜。对出现的重大险情，要围绕险情发生的原因、发展过程、监测抢护及后续处置等宜形成专题报告。

8.2 监测基本资料整理

8.2.1 强调对监测设施有关资料的整理与存档，监测设施也包括视频监视系统。资料整理在每次观测结束后进行，以便及时对观测资料进行计算、校核、审查。

8.2.2 本条强调监测工作的规范性，并强调对监测设施变化的情况要及时进行记录和更新。

8.3 资料分析

8.3.1 监测数据初步分析可根据物理量的性质及时间序列的长短采取不同的方法进行，包括监测资料的趋势性分析、特征值分析、相关性分析、突变值判断等内容。如有异常，应检查计算有无错误和监测系统有无故障，经综合比较判断，确认监测物理量异常时，应及时上报，必要时还需要及时进行安全复核或专题论证，适时启动预警机制。

8.3.5 相关监测资料可作为渠道冻害安全评价的参考数据。

8.4 监测数据整编

8.4.1 对有关物理量计算公式、整编所用图表和方法，SL 551、SL 764等水利行业标准都有详细描述，可参照。