

ICS 27.140

P 59

备案号: J2144—2016

**DL**

中华人民共和国电力行业标准

**P**

**DL / T 5178 — 2016**

代替 DL / T 5178 — 2003

---

# 混凝土坝安全监测技术规范

Technical specification for concrete dam safety monitoring

**2016-02-05 发布**

**2016-07-01 实施**

---

国家能源局 发布

中华人民共和国电力行业标准

混凝土坝安全监测技术规范

Technical specification for concrete dam safety monitoring

**DL/T 5178 — 2016**

代替 DL/T 5178 — 2003

主编机构：中国电力企业联合会

批准部门：国家能源局

施行日期：2016年7月1日

2016 北京

## 前 言

本规范根据《国家能源局关于下达 2011 年第二批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2011〕252 号）的要求进行修订。

本规范在修订过程中，修订组经过广泛的调查研究，总结了国内外近年来混凝土坝安全监测技术的新发展和成功经验，考虑了与现行国家和行业相关标准的协调，并在广泛征求意见的基础上，最后经审查定稿。

本规范规定了混凝土坝巡视检查、安全监测设计、监测设施及其安装和监测要求。

本规范对《混凝土坝安全监测技术规范》DL/T 5178—2003 在以下几个方面作了重大修订：

- 增加了全球导航卫星系统（GNSS）网的设计内容；
- 细化了拱坝变形和渗流监测内容；
- 规定了边坡锚杆、锚索的监测数量要求；
- 增加了应用 GNSS、滑动测微计进行变形监测的内容；
- 增加了无浮托引张线的设计要求；
- 修订和细化了量水堰的布置要求，修改和补充了量水堰的流量与堰型的要求；
- 修改了无应力计筒的结构；
- 统一了埋设前仪器的检验率定方法和计算公式；
- 对坝体地震动反应监测、泄水建筑物水力学观测、自动化监测、监测资料整理整编等已有专项监测规范规定的内容，本规范不另行规定。

本规范自实施之日起替代《混凝土坝安全监测技术规范》DL/T 5178—2003。

## DL / T 5178 — 2016

本规范由中国电力企业联合会提出。

本规范由电力行业大坝安全监测标准化技术委员会归口。

本规范主编单位：国家能源局大坝安全监察中心。

本规范参编单位：中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司、中国葛洲坝集团股份有限公司、中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司、中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司、国网电力科学研究院。

本规范主要起草人：王玉洁 赵志勇 邵乃辰 赵花城  
吕永宁 姚红兵 陈绪高 彭成军  
张志奎 郑晓红 刘观标 石建舟  
张礼兵 胡灵芝 邓检华 刘贝贝

本规范主要审查人：汪毅 张秀丽 谢霄易 沈海尧  
朱建业 刘世煌 王国进 汤献良  
耿贵彪 刘剑鸣 陈树莲 王跃  
谭恺炎 岳建平 卢正超 李端有  
刘果 尚宏 沈省三 王为胜  
周柏兵 於三大 胡晓云 宫玉强

本规范在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

## 目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	4
4	巡视检查	7
5	环境量监测	12
6	变形监测	15
7	渗流监测	25
8	应力、应变及温度监测	33
附录 A	混凝土坝安全监测项目分类和选择、项目测次、 监测精度	40
附录 B	电缆连接及敷设	45
附录 C	变形监测控制网的设计、安装和监测	51
附录 D	变形监测基点及测点结构示意图	62
附录 E	变形监测仪器设备的布置、安装和监测	69
附录 F	变形观测仪器的检验和校正	87
附录 G	水质分析项目及渗流监测设施	92
附录 H	埋入式监测仪器的检验和埋设	104
	本规范用词说明	119
	引用标准名录	120
附：	条文说明	121

**DL / T 5178 — 2016****Contents**

1	General	1
2	Terms	2
3	Basic provisions	4
4	Inspection tour	7
5	Environment monitoring	12
6	Deformation monitoring	15
7	Seepage monitoring	25
8	Stress, strain and temperature monitoring	33
Appendix A	Items, observation frequency and precision requirements of concrete dam safety monitoring	40
Appendix B	Cable splicing and laying	45
Appendix C	Design, installation and observation of deformation control network	51
Appendix D	Structural schematic illustration of datum marks and observation marks for deformation monitoring	62
Appendix E	Installation of deformation monitoring facilities and observation	69
Appendix F	Inspection and calibration of deformation monitoring facilities	87
Appendix G	Items of water quality analysis and seepage monitoring facilities	92
Appendix H	Inspection and installation of embedded type monitoring facilities	104
	Explanation of wording in this specification	119
	List of normative standards	120
	Addition: explanation of provisions	121

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范混凝土坝安全监测工作，及时获取准确、完整的监测资料，监控大坝安全，掌握大坝运行规律，指导大坝施工及运行，反馈设计，特制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于 1 级、2 级、3 级混凝土坝以及对大坝安全有重大影响的近坝岸坡和其他与大坝安全有直接关系的建筑物的仪器监测和巡视检查。混凝土坝的建筑物级别按《水电枢纽工程等级划分及设计安全标准》DL 5180 执行。

**1.0.3** 混凝土坝的安全监测设计应加强总体规划，明确监测目的，确定重点监测部位及监测项目。仪器监测应与巡视检查相结合。获取监测资料后，应及时对监测资料进行整编，并结合地质条件和工程特点进行综合分析。

**1.0.4** 混凝土坝安全监测除执行本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## DL/T 5178 — 2016

# 2 术 语

### 2.0.1 水平位移 horizontal displacement

平行于水平面的位移，即水平方向的位移。

### 2.0.2 垂直位移 vertical displacement

垂直于水平面的位移，即竖直方向的位移。

### 2.0.3 基准点 datum point

为变形监测而布设在施工和蓄水影响范围以外的稳定的测量控制点。

### 2.0.4 工作基点 working datum point

为直接监测位移测点而在位移测点附近布设的相对稳定的测量控制点。

### 2.0.5 位移测点 displacement measuring point

布设在建筑物上，并和建筑物牢固结合，能代表建筑物变形的监测点。

### 2.0.6 水平位移监测控制网 horizontal deformation control network

由水平位移基准点、工作基点及过渡点等控制点所构成的大地控制网。

### 2.0.7 垂直位移监测控制网 vertical deformation control network

由垂直位移基准点、工作基点及过渡点等控制点所构成的大地控制网。

### 2.0.8 变形监测控制网 deformation control network

水平位移监测控制网和垂直位移监测控制网的统称。

### 2.0.9 计算基准值 baseline value

作为计算起点的测值。

### 2.0.10 蓄水基准值 baseline value for first impoundment

首次蓄水前的测值。

**2.0.11 设计警戒值 design threshold**

设计阶段确定的大坝正常状态下的监测效应的量值及其变化速率的限值。

**2.0.12 监控指标 monitoring indices**

运行阶段根据大坝监测资料、结构和地质模型等综合分析成果确定的大坝各种工作状态下的监测效应的量值及其变化速率的允许值。

**2.0.13 监测仪器设备 monitoring instrument and equipment**

基于各种原理的传感器、监测装置及其相应的监测信息传输和采集设备的总称。

**2.0.14 监测设施 monitoring facilities**

各类监测仪器设备及其辅助设施（保护装置、观测房、观测便道等）的统称。

**2.0.15 有效孔径 effective aperture**

钻孔各高程的测量圆在水平面的投影图范围内的内切圆直径（即最小垂直净空）。

## DL/T 5178 — 2016

# 3 基本规定

### 3.0.1 混凝土坝的安全监测应遵循如下原则：

1 对各部位施工、蓄水、运行等不同时期监测项目的选定和监测仪器设备布置应相互兼顾，统一规划，分步实施。对关键和重要部位布置的监测仪器设备或项目应有冗余，在任何条件下均能进行重要项目的监测。

2 测站应布置在仪器比较集中、安全、通风、干燥、有电源设施及便于到达的地方。在设计时应规划监测仪器电缆线路，使电缆牵引的距离最短或施工干扰最小。各建筑物应设置必要的永久监测通道。

3 监测仪器设备应耐久、可靠、实用、有效，力求先进和便于实现自动化监测。当选用新型的监测仪器设备或监测方法时，需对其工作原理、埋设和监测方法以及测值分析技术进行必要的论证。

4 监测仪器设备应及时安装和埋设，保证首次蓄水期能够获得必要的监测成果。埋设完工后，应做好仪器的保护，并及时获得首次观测值，绘制竣工图，填写基本资料表，存档备查。

5 相关监测项目宜同步测读。应针对不同监测阶段，突出重点进行监测。发现测值异常，应立即复测，并同时记录相关施工干扰和环境量变化等情况。

6 监测资料应及时整编分析。一旦发现问题，应根据巡视检查情况，并结合工程特点，及时进行综合分析研究，评判大坝的工作状态。当发现有危及大坝安全的异常情况时，应立即上报。

7 对需要进行高频次或多项目同步监测以及受环境影响人工监测难以胜任的监测项目，宜实现自动化监测。

**3.0.2** 安全监测工作可分为五个阶段，各阶段的工作应满足以下要求：

**1** 可行性研究阶段。提出监测系统的总体设计、监测仪器设备的数量；监测系统的工程概算。对于高坝或者工程复杂的中、低坝，应提出监测系统设计专题报告。

**2** 招标设计阶段。以可行性研究阶段审批的监测方案为基础，复核监测系统设计，提出监测系统设计文件，包括主要部位监测方法、测点布置、电缆走线、测站位置，监测仪器设备的主要技术指标和数量清单、埋设安装和监测技术要求等，监测数据的采集、传输、处理和反馈的要求，以及监测系统布置图。

**3** 施工阶段。结合工程进展完善监测系统设计，提出施工详图；进行仪器设备的采购、检验、埋设、安装、调试和保护，编写埋设记录；绘制竣工图，编写竣工报告；监测工作应固定专人负责；按时进行监测资料分析，评价施工期大坝安全状况，为设计和施工提供决策依据。

**4** 蓄水阶段。制订监测工作计划，必要时设置临时监测设施，临时监测设施应与永久监测系统建立数据传递关系，确定蓄水基准值和主要监测项目的设计警戒值；按计划要求进行仪器监测和巡视检查；及时对大坝安全状态作出评价和反馈，为蓄水提供决策依据。

**5** 运行阶段。应进行日常和特殊情况下的监测工作，建立监测和信息技术档案。定期对监测设施进行检查、维护，并按国家和行业计量规定对监测仪器设备定期进行计量检定和鉴定。定期对监测资料进行整编和分析，对大坝的运行状态作出评价，为大坝运行提供技术支持。根据大坝实际运行性态、监测系统评价和监测资料分析成果，对必要的监测项目进行补充、完善和更新。

**3.0.3** 混凝土坝的安全监测项目分类和选择、项目测次、监测精度见附录 A。

**3.0.4** 各监测物理量的正负号应符合下列规定：

**1** 水平位移：向下游为正，向左岸为正；反之为负。

## DL/T 5178 — 2016

- 2 垂直位移：下沉为正，上抬为负。
- 3 倾斜：向下游转动为正，向左岸转动为正；反之为负。
- 4 接缝和裂缝开合度：张开为正，闭合为负。
- 5 边坡位移：水平向临空面为正，面向临空面左为正；反之为负。垂直下沉为正，上抬为负。
- 6 岩体轴向变形：拉伸为正，压缩为负。
- 7 应力应变：拉为正，压为负。
- 8 渗透压力：压为正。
- 9 界面压应力：压为正。

**3.0.5** 监测仪器设备的电缆连接及敷设要求见附录 B。

**3.0.6** 根据工程具体情况，必要时可选设下列专项监测：

- 1 近坝区边坡稳定监测。
- 2 坝体地震动反应监测。
- 3 泄水建筑物水力学监测。
- 4 自动化监测。

坝体地震动反应监测按《水工建筑物强震动安全监测技术规范》DL/T 5416 执行，泄水建筑物水力学监测按《水电水利工程水力学安全监测规程》执行，自动化监测按《大坝安全监测自动化技术规范》DL/T 5211 执行，监测资料整理整编按《混凝土坝安全监测资料整编规程》DL/T 5209 执行。

## 4 巡 视 检 查

### 4.1 一 般 规 定

**4.1.1** 巡视检查包括日常巡视检查、年度巡视检查及特殊情况下的巡视检查，重点检查坝基、坝体、坝身泄水建筑物及相关金属结构等部位的状况。

**4.1.2** 巡视检查应根据大坝的特点，分别制定施工期和运行期的巡视检查规程。

**4.1.3** 巡视检查由熟悉本工程情况的相对固定的技术人员参加。

**4.1.4** 巡视检查中发现大坝有新裂缝或渗漏增大，原有缺陷有进一步发展，近坝区边坡有滑移崩塌征兆或其他异常迹象，应同时对其周边仪器进行监测，并分析原因。必要时，及时增加监测设施或开展专项检查和处理。

### 4.2 检 查 内 容

**4.2.1** 坝体主要检查下列内容：

1 坝顶：坝面及防浪墙裂缝、错动；相邻两坝段间的错动；伸缩缝开合情况、止水破坏或失效；门机轨道错动等。

2 上、下游面：伸缩缝开合、错动、渗水；裂缝、析钙；膨胀；冻融破坏；疏松、脱落、剥蚀；露筋；渗漏；溶蚀；杂草生长等。

3 溢流面及闸墩：除上、下游面检查内容外，还需检查冲蚀、磨损、空蚀等。

4 廊道：裂缝、渗漏、析钙；剥蚀；伸缩缝开合、错动、渗

水等。

5 坝身排水系统：排水畅通情况；排水量变化；渗水浑浊度、水质、析出物等。

6 其他异常现象。

#### **4.2.2 坝基和坝肩主要检查下列内容：**

1 两岸坝肩区：渗漏；开裂、滑坡、沉陷等。

2 下游坝趾：集中渗漏、渗水量变化、渗水水质；管涌；沉陷；坝基冲刷、淘刷等。

3 坝体与岸坡交接处：坝体与岩体接合处错动、脱离；渗水等。

4 灌浆及基础排水廊道：排水畅通情况；排水量变化；渗水浑浊度、水质、析出物；结构裂缝、渗漏，伸缩缝错动；基础岩石挤压、松动、鼓出、错动等。

5 其他异常现象。

#### **4.2.3 坝身泄水建筑物主要检查下列内容：**

1 泄水建筑物：表孔主要检查混凝土空蚀、冻蚀、磨损、冲刷、露筋，裂缝、漏水、析钙，鼓胀，边墙倾斜、错动，掺气槛淤堵，漂浮物、堆积物；孔洞主要检查空蚀、冻蚀、磨损、冲刷、露筋，裂缝、漏水、析钙，鼓胀、错位等。

2 消能工：冲刷、磨损；鼻坎或者消力戽等结构振动空蚀；裂缝、接缝破坏；堆积物；下游基础淘蚀等。

3 下游河床、岸坡及防护结构：冲刷、淘刷；裂缝、沉陷、塌岸等。

4 泄流过程：流态；通气孔（槽）通气不畅或呼啸；结构振动；雾化等。

5 其他异常现象。

#### **4.2.4 近坝库岸及枢纽区工程边坡主要检查如下内容：**

1 近坝库岸：库区滑坡体、坍岸规模、方位；变形、崩塌；

对水库的影响和发展情况。

2 枢纽区工程边坡：支护外观形态；边坡表面裂缝、崩塌、渗水情况。

**4.2.5** 金属结构主要检查如下内容：

1 闸门、阀门：变形、裂纹、螺（铆）钉松动、焊缝开裂；锈蚀；钢丝绳锈蚀、磨损、断裂；止水损坏、老化、漏水；闸门卡阻、振动、空蚀等。

2 门槽：变形、锈蚀、空蚀；预埋件损坏；淤积等。

3 启闭设备：变形、裂纹、螺（铆）钉松动、焊缝开裂；锈蚀；润滑不良、磨损；控制系统和保护系统故障等情况。

4 备用电源：容量、可靠性；防火、排气及保卫措施；自动切换系统故障。

5 其他异常现象。

**4.2.6** 监测设施巡视检查项目及内容按《大坝安全监测系统运行维护规程》DL/T 1558 执行。

### 4.3 检查要求和方法

**4.3.1** 巡视检查规程应包括检查范围、项目、重点、顺序、方法、记录格式、编制报告的要求以及检查人员的组成、职责等内容。

**4.3.2** 日常巡视检查应满足下列要求：

1 施工期，宜 1 周~2 周 1 次；水库首次蓄水或提高水位期间，宜每天 1 次或每 2 天 1 次（依库水位上升速率而定）。

2 运行期，可逐步减少次数，但每月不宜少于 1 次。

3 汛期应增加巡视检查次数。

4 日常巡视检查结束后应及时编写报告。

**4.3.3** 年度巡视检查应满足下列要求：

1 在每年汛前、汛后、枯水期、冰冻期及高水位低气温时，应对大坝进行全面的巡视检查。

## DL/T 5178 — 2016

2 年度巡视检查除按规程对大坝各种设施进行外观检查外，还应检查大坝运行、维护记录和监测数据等资料档案，每年不少于2次。

3 年度巡视检查在现场工作结束后20天内提出详细报告。

### 4.3.4 特殊情况下的巡视检查应满足下列要求：

1 在坝区（或其附近）发生强震、特大暴雨、大洪水或库水位骤降、骤升，以及发生其他影响大坝安全运行的特殊情况时，应及时进行巡视检查。

2 特殊情况下的巡视检查，在现场工作结束后立即提交简报，现场工作结束后10天内提出详细报告。

4.3.5 巡视检查的方法主要依靠目视、耳听、手摸、鼻嗅等直观方法，可辅以锤、钎、量尺、放大镜、望远镜、照相机、摄像机等工器具进行。

4.3.6 每次巡视检查均应按巡视检查规程进行现场记录，宜附有略图、素描或照片及影像资料等，并将检查结果与上次或历次检查结果对比、分析。如有必要，可采用坑（槽）探挖、钻孔取样或孔内电视、注水或抽水试验、化学试剂测试、水下检查或水下电视摄像、超声波探测及锈蚀检测、材质化验或强度检测等特殊方法进行检查。

4.3.7 日常巡视检查报告内容应简单、扼要说明问题，必要时附上照片及略图。年度巡视检查报告和特殊情况下巡视检查报告的内容如下：

- 1 检查日期。
- 2 本次检查的目的和任务。
- 3 检查组参加人员名单及其职务。
- 4 对规定项目的检查结果（包括文字记录、略图、素描和照片）。
- 5 历次检查结果的对比、分析和判断。

- 6 不属于规定检查项目的异常情况发现、分析及判断。
- 7 必须加以说明的特殊问题。
- 8 检查结论（包括对某些检查结论的不一致意见）。
- 9 检查组的建议。
- 10 检查组成员的签名。

## 5 环境量监测

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 环境量监测项目主要包括水位、水温、气温、降水量、冰压力、坝前淤积和下游冲刷等。

**5.1.2** 环境量监测项目应结合大坝及枢纽建筑物特点按照附录 A.1 选择性设置，项目测次应符合本规范附录 A.2 的规定。

### 5.2 水位

**5.2.1** 水位观测站必须在蓄水前完成，并应设置在：

1 水流平稳，受风浪、泄水和抽水影响较小，便于安装设备和监测的地方。

2 岸坡稳固地点或永久建筑物上。

3 能代表上游、下游平稳水位，并能满足工程管理和监测资料分析需要的地方。

**5.2.2** 水位监测应设置具有自动化数据采集功能的水位计或水尺。当采用具有自动化数据采集功能的水位计时，还应设置可人工测读的水尺，其最大测读高程应高于校核洪水位。

**5.2.3** 水尺或水位计的零点标高每 1 年~2 年应校测 1 次。当发现水尺零点可能有变化时，亦应进行校测。水尺、水位计每年汛前均应进行检查。

**5.2.4** 水位观测除符合本规范外，还应满足《水位观测标准》GB/T 50138、《水文测量规范》SL 58 的要求。

### 5.3 水 温

**5.3.1** 在靠近上游坝面的库水中，布置垂直测温线，其位置宜与重点监测坝段相结合。监测混凝土上游坝面温度的测点亦可作为水库水温的测点。

**5.3.2** 水温测点布置应符合下列规定：

1 低坝宜在正常蓄水位以下 20cm、1/2 水深处及库底各布置 1 个测点，在可能淤积层上方也可布置 1 个测点。

2 中、高坝从正常蓄水位到死水位以下 10cm 处的范围内，每隔 3m~5m 宜布置 1 个测点，死水位以下 10cm 往下每隔 10m~15m 布置 1 个测点，必要时正常蓄水位以上也可适当布置测点。

**5.3.3** 当高拱坝下游水位较深时，应设置下游水温监测项目。

### 5.4 气 温

**5.4.1** 坝区附近至少应设置 1 个气温测点。

**5.4.2** 气温监测仪器应设在专用的百叶箱内。

### 5.5 降 水 量

**5.5.1** 坝区附近至少应设置 1 个降水量测点。

**5.5.2** 降水量监测仪器宜选用自记雨量计或自动测报雨量计等。

**5.5.3** 降水量观测除符合本规范外，还应满足《降水量观测规范》SL 21 的要求。

### 5.6 冰 压 力

**5.6.1** 结冰前，在冰面以下 20cm~50cm 处，每 20cm~40cm 设置 1 个压力传感器，并在旁边相同深度设置 1 支温度计，进行静冰压力及冰温监测，同时监测的项目还有气温和冰厚。

**5.6.2** 消冰前根据变化趋势，对预设在大坝上游坝面的压力传感器进行动冰压力监测，同时监测的项目还有冰情、风力、风向。

## **DL/T 5178 — 2016**

**5.6.3** 对受冰冻作用严重的建筑物，应进行封冰（冻）日期、解冰（冻）日期、流冰历时、冰厚、冰块尺寸、流冰量、流冰种类等进行观测和记录。

**5.6.4** 冰压力监测除符合本规范外，还应满足《河流冰情观测规范》SL 59 的要求。

### **5.7 坝前淤积和下游冲刷**

**5.7.1** 在坝前和沉沙池、下游冲刷的区域应至少各设 1 个监测断面。在每个监测断面的库岸设立相应的控制点。

**5.7.2** 可采用水下摄像、地形测量或断面测量法进行监测。

### **5.8 大气压力**

**5.8.1** 当大坝安全监测仪器或参数与大气压力相关时，应设大气压力观测。

**5.8.2** 大气压力测点应设置在受大气压力影响观测仪器附近，且应与其同步观测。

## 6 变 形 监 测

### 6.1 一 般 规 定

**6.1.1** 变形监测项目内容主要包括变形监测控制网、水平位移、垂直位移、倾斜、裂缝及接缝变形等。变形监测项目和测次选择应符合本规范附录 A.1 和附录 A.2 的规定，变形监测精度要求见附录 A.3。

**6.1.2** 工程区域变形范围和深度大，或枢纽区受施工、蓄水影响范围大的大、中型工程，宜建立变形监测控制网。小型工程亦可根据实际情况，采用倒垂线或在工作基点延长线或在下游岸坡稳定点设立基准点等方法，校测工作基点本身的稳定性。变形监测控制网的设计、安装及监测要求见附录 C。

**6.1.3** 变形监测仪器的量程选择宜根据结构计算、模型试验成果、类似工程监测成果等予以综合确定。

**6.1.4** 施工期坝体临时挡水度汛或蓄水前坝体永久监测设施不具备监测条件的混凝土坝，应布置临时变形监测点，并宜与永久变形监测点建立测值传递联系。

### 6.2 监 测 设 计

**6.2.1** 重力坝变形监测断面布置应符合下列要求：

1 变形横向监测断面垂直于坝轴线方向布置，应布置在地质或坝体结构复杂的坝段、最高坝段和其他有代表性的坝段。

2 变形横向监测断面的数量，应根据地质情况、坝体结构和坝顶轴线长度等因素确定，可设 1 个~3 个；对于坝顶轴线长度大于 800m 的，可设 3 个~5 个。当存在需兼顾准直系统基点、折

线坝型等特殊情况时，横向监测断面的数量可视需要布置。

3 变形纵向监测断面平行于坝轴线方向布置，纵断面上的测线沿高程方向宜设在坝顶和基础廊道，高坝宜结合坝内廊道及坝后交通设施，在坝体中间高程布置纵向测线。

#### 6.2.2 重力坝坝体变形测点布置应符合下列要求：

1 横向监测断面的水平位移监测设施宜采用垂线。测点宜布置在坝顶、坝基及各高程廊道内。

2 纵向监测断面的水平位移监测设施宜采用真空激光准直、引张线，若坝体较短、条件有利，也可采用视准线、边角交会或大气激光准直。测点宜在每个坝段的坝顶设 1 个，高坝宜结合坝内廊道及坝后交通设施，在坝体中间高程布置测点。

3 垂直位移测点应沿纵向监测断面布置，并宜与水平位移测点结合布置。坝顶和不同高程廊道各条水准路线的工作基点宜分高程设置，也可通过高程传递连接。

#### 6.2.3 重力坝坝体倾斜测点布置应符合下列要求：

1 倾斜可设 1 个~3 个监测断面，宜设在重点监测坝段的基础面高程附近；高坝宜在坝顶和坝体中部增设倾斜测点；未设置基础廊道的低坝，可在坝顶设置倾斜测点。

2 倾斜测点宜设在横向廊道内，也可在同坝段同高程不同纵向廊道内对应设点。布置在坝顶时，可在坝顶上下游对应各布置 1 个测点。不同高程的测点宜设在同一垂直面上，并宜与布置垂线的坝段结合布置。

3 采用精密水准法或静力水准法监测坝体倾斜时，在同坝段同高程沿上下游方向布置的测点应不少于 2 个，两测点间距离，在基础面附近不宜小于 20m，在坝顶不宜小于 6m。

4 深覆盖层坝基或软基上的闸坝倾斜监测可采用倾斜仪，其底座长度不宜小于 300mm。

#### 6.2.4 重力坝坝基内部变形测点布置应符合下列要求：

1 坝基可能存在深层滑动、不均匀变形或深覆盖层等地质条

件复杂的坝段，应布置内部变形测点。

2 坝基无特殊地质缺陷的，内部变形测点布置宜与横向监测断面坝段相结合，测点宜布置在坝踵和坝趾部位。

3 坝基内部变形宜采用基岩变位计、多点位移计、滑动测微计、测斜仪、双金属标及倒垂线等监测。

**6.2.5** 重力坝接缝变形测点布置应符合下列要求：

1 建基面接缝变形监测宜与横向监测断面坝段相结合，测点宜设在坝踵、坝趾、地质条件复杂、岸坡较陡等部位，并与坝基应力和渗流测点结合布置，宜采用测缝计监测。

2 坝体横缝变形监测宜选择基础地质或坝体结构形式差异较大的相邻两坝段处，可在坝顶、基础廊道布置测点，高坝宜在坝体中间高程增设测点，宜采用测缝计监测。

3 坝体纵缝、诱导缝及其他重要接缝变形监测，可选择有代表性的部位布置测点，宜采用测缝计或裂缝计监测。

**6.2.6** 拱坝变形监测断面布置应符合下列要求：

1 变形监测断面应构成拱梁监测体系，宜与拱梁分载法计算断面对应。

2 梁向监测断面应布置在拱冠梁坝段或拱坝中心线坝段、最大计算位移坝段、左右 1/4 拱弧坝段、地质或坝体结构复杂的坝段和其他有代表性的坝段，高坝宜在两岸拱座增设监测断面。

3 梁向监测断面的数量，应根据地质情况、坝体结构和坝顶弧线长度等因素确定，可设 3 个~5 个；对于坝顶弧线长度大于 500m 的，可设 5 个~7 个。

4 拱向监测断面沿坝轴线方向布置，沿高程方向宜设在坝顶和 2/3 坝高附近，高坝宜在 1/3 坝高附近增设断面，且拱向推力较大部位宜加密布置。

**6.2.7** 拱坝坝体变形测点布置应符合下列要求：

1 拱坝水平位移宜采用垂线法、边角交会法和准直线法监测，具备条件时可采用 GNSS（全球导航卫星系统）法监测。垂

## DL/T 5178 — 2016

直位移宜采用精密水准、静力水准及双金属标监测。

2 垂线应与梁向监测断面结合布置，在坝顶、坝基及各层廊道应布置测点。

3 拱向监测断面的水平位移测点宜间隔一个坝段在坝顶设 1 个，且垂线测点所在坝段、坝顶拱端应设测点。高坝宜结合坝内廊道及坝后交通设施，在坝体中间高程布置水平位移测点；具备条件时，宜在  $3/4 \sim 4/5$  坝高附近增设测点。

4 垂直位移测点应沿拱向监测断面布置，宜与水平位移测点相结合。坝顶和不同高程的廊道各条水准路线的工作基点宜分高程设置，也可通过高程传递连接。

5 在拱向推力较大高程的两拱端基本对称坝段，应布置弦长测点，宜采用直接测距法观测。

### 6.2.8 拱坝坝体倾斜测点布置应符合下列要求：

1 双曲拱坝倾斜测点宜布置在拱冠梁坝段或拱坝中心线坝段、最大计算位移坝段、左右岸  $1/4$  拱弧坝段的基础面高程附近和坝顶，高坝宜在梁向坝段倒悬突出部位附近增设测点。单曲拱坝倾斜测点布置可按本规范第 6.2.3 条的规定执行。

2 倾斜测点宜设在横向廊道内，也可在同坝段同高程不同纵向廊道内对应设点。布置在坝顶时，可在坝顶上下游对应各布置 1 个测点。不同高程的测点宜设在同一垂直面上，并宜与垂线坝段结合布置。

3 采用精密水准法或静力水准法监测坝体倾斜时，在同坝段同高程沿上下游方向布置的测点应不少于 2 个，两测点间距离，在基础面附近不宜小于 15m，在坝顶不宜小于 6m。

### 6.2.9 拱坝坝基及拱座内部变形布置应符合下列要求：

1 坝基地质条件复杂、存在可能变形的地质缺陷及岩体应力较高的部位，应布置内部变形监测点。

2 坝基无特殊地质缺陷的，内部变形测点布置宜与梁向、拱向监测断面相结合，宜利用坝基及拱座的平洞布置。梁向监测断

面的测点宜布置在坝踵和坝趾部位，拱向监测断面的测点宜沿拱推力向布置。

**3** 对拱推力较大、地质条件较差或地形为孤峰突出的拱座应布置拱座变形监测，测点布置宜与拱向监测断面的高程一致。

**4** 高坝或岸坡卸荷发育的拱座，宜在拱座两岸同高程垂直河流向成对布置谷幅变形测点。

**5** 坝基及拱座内部变形，宜采用基岩变位计、滑动测微计、多点位移计、测斜仪等监测。在坝基及拱座具备可利用洞室时，宜采用垂线、引张线、杆（线）式位移计、双金属标等监测。

#### **6.2.10** 拱坝接缝变形测点布置应符合下列要求：

**1** 建基面接缝变形监测宜与梁向监测断面坝段相结合，测点宜设在坝踵、坝基上游帷幕后、坝趾、地质条件复杂、岸坡较陡等部位，并与坝基应力和渗流测点结合布置，宜采用测缝计监测。

**2** 建基面和拱座混凝土置换处理部位，宜在置换混凝土与基岩间、置换混凝土分缝间布置接缝变形测点，并宜与接触面应力测点结合布置，宜采用测缝计监测。

**3** 坝体横缝每个灌区中部宜布置测缝计，监测横缝灌浆前后的变形。高拱坝梁向监测坝段的横缝距上、下游坝面 2m~3m 处宜各增设测缝计，监测横缝灌浆后坝体的整体性。

**4** 坝体周边缝、纵缝、诱导缝及其他重要接缝变形监测，可选择有代表性的部位布置测点，宜采用测缝计或裂缝计监测。

**6.2.11** 对施工或运行中出现的危害性裂缝，应选择有代表性的裂缝，在裂缝不同部位布置测缝计或裂缝计，监测裂缝的变形和扩展。

**6.2.12** 导流封堵体接缝变形，宜顺水流方向设 2 个~3 个监测断面，在封堵体顶部及两侧与洞壁接缝处，布置测点监测接缝张开和错动变形；在封堵体分缝处，宜布置测点监测接缝张开变形。宜采用测缝计监测。

**6.2.13** 近坝区边坡和滑坡体变形测点布置除满足《水电水利工程边坡设计规范》DL/T 5353 的相关内容外，还应符合下列要求：

1 应以整体稳定性监测为主，兼顾局部稳定性，表面监测与内部监测布置相结合。

2 在地质条件及加固措施复杂或有勘探、稳定性分析成果的部位，设 1 个~3 个表面变形主监测断面，并宜在主监测断面附近设 1 个~2 个辅助监测断面。

3 表面水平位移测点应沿监测断面布置，每个主监测断面不少于 3 个监测点。表面水平位移宜采用边角交会法、极坐标法或视准线法观测；具备条件时，可采用 GNSS 法监测。

4 表面垂直位移测点宜与表面水平位移测点结合布置，宜采用精密水准法观测。

5 内部变形测点宜与表面位移及地下水位测点结合布置，宜采用测斜仪、多点位移计及滑动测微计等监测，重要部位可采用垂线或其他适宜的方法监测。

6 地表或深部裂缝变形宜采用测缝计或土体位移计监测。

**6.2.14** 变形监测工作基点布置应符合下列要求：

1 引张线、激光准直装置的工作基点，应在准直线的两端同高程相对稳定点各布设 1 个工作基点。

2 视准线的工作基点，应在视线两端延长线与测点高程相近的相对稳定点各设 1 个工作基点。当坝轴线为折线或坝长超过 300m 时，可在折点处或视准线中间增设工作基点。

3 边角交会法的工作基点，宜在坝的下游两岸相对稳定点各设 1 个工作基点，高坝宜在坝的下游两岸不同高程相对稳定点设工作基点。

4 当采用 GNSS 法进行变形监测时，工作基点应布设在大坝影响范围之外基础稳固、多路径效应不明显、电磁波干扰小及卫星信号接收条件良好的部位。具备条件时，宜在两岸各设 1 个工作基点。

5 垂直位移监测的工作基点，应在两岸相对稳定点各设 1 个工作基点，高坝宜在坝的下游两岸不同高程相对稳定点设工作基点，宜采用岩石标。若在坝体廊道或两岸平洞内布设工作基点，宜采用钢管标或双金属标。真空激光系统和静力水准系统两 endpoint 应各设 1 个工作基点。

**6.2.15** 水平位移工作基点的位移，应根据工程具体情况，选用变形监测控制网、垂线、精密测距、延长线基点等校测。垂直位移工作基点的位移，应采用垂直位移监测控制网或双金属标等校测。

### 6.3 监测仪器设备及其安装

**6.3.1** 表面位移监测点的安装应符合下列要求：

1 表面水平位移观测墩宜高出表面 1.2m，墩顶部应设强制对中底盘，其对中误差应小于 0.2mm，倾斜度不得大于 4'。表面水平位移观测墩具体要求见附录 D.1。

2 坝体垂直位移测点宜采用地面标志、墙上标志、微水准尺标；坝外测点宜采用岩石标。水准标志具体要求见附录 D.1、附录 D.2。

**6.3.2** 应尽早进行倒垂孔施工，并埋设钻孔保护管。保护管有效孔径根据孔深、位移大小等因素确定，但安装后的有效孔径不得小于 75mm。坝体各高程正垂线悬挂点观测房形成后应及时安装正垂线，线体应安装在有效孔径中心点。正垂线及倒垂线的具体要求见附录 E.1。

**6.3.3** 廊道内引张线可采用壁挂式或支墩式安装，坝顶引张线宜采用预留槽安装，引张线线体应设防风保护管。浮托式引张线相邻两测点上测读尺尺面间高差不得超过  $\pm 3\text{mm}$ 。引张线安装具体要求见附录 E.2。

**6.3.4** 视准线的具体要求见附录 E.3。

**6.3.5** 真空管道安装测墩中心线对管道轴线位置的偏差应小于

3mm，相邻波带板间距偏差应小于 3mm，整个系统长度内的总偏差控制在 10mm~20mm 以内。真空钢管应采用无缝钢管，焊接方式为坡口对接焊。真空管道测量真空度应小于 66Pa，管道漏气率应小于 120Pa/h。具体要求见附录 E.4。

**6.3.6** GNSS 变形测点标墩要求与表面水平位移观测墩一致，采用棱镜和 GNSS 天线一体化装置的应采用托架支撑 GNSS 天线。天线安装时应按天线的方位标进行定向，使之指向磁北极。

**6.3.7** 双金属标的双金属管采用钢管和铝管，钢管和铝管安装前宜采样测定温度线膨胀系数。具体要求见图 D.8。

**6.3.8** 静力水准两端观测墩顶部应等高，墩面应水平，安装连通管时，应将水管中气泡全部排尽。具体要求见附录 E.5。

**6.3.9** 交会测点的具体要求见附录 E.6。

**6.3.10** 倾斜仪底座安装时，必须精确调平。调平的误差不得大于仪器量程的 1/10。

**6.3.11** 测斜仪、多点位移计和滑动测微计的具体要求见附录 E.7~附录 E.9。

**6.3.12** 各种测缝计的具体要求见附录 E.10。

## **6.4 监 测**

**6.4.1** 光学机械监测仪器、设备，在监测开始前，必须先使仪器、设备的温度与大气温度趋于一致，然后再精密调平，进行监测。在整个监测过程中，仪器不得受到日光的直接照射。主要变形观测仪器的检验见附录 F。

**6.4.2** 变形监测控制网的观测仪器及其配套设施的检验和校正，按《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897、《国家三角测量规范》GB/T 17942、《中、短程光电测距规范》GB/T 16818、《全球定位系统（GPS）测量规范》GB/T 18314、《全球定位系统（GPS）测量型接收机检定规程》CH 8016、《全球导航卫星系统（GNSS）测量型接收机 RTK 检定规程》CH/T 8018、《数字水准仪检定规程》

CH/T 8019、《光学经纬仪》JIG 414、《水准仪检定规程》JIG 425 等规范执行。

**6.4.3** 采用边角交会法进行表面水平位移观测时，观测要求见附录 E.6。

**6.4.4** 采用精密水准法观测坝体垂直位移和倾斜时，应采用一等水准测量；滑坡体的表面垂直位移观测在满足精度要求的前提下，可采用二、三等水准测量或三角高程法。垂直位移和倾斜观测方法的限差控制见附录 E.11。

**6.4.5** 垂线监测可采用电测垂线坐标仪、光学垂线坐标仪或其他同精度仪器。采用人工观测时，每一测次应测读两测回，两测回观测值之差不得大于 0.15mm。具体要求见附录 E.1。

**6.4.6** 引张线监测可采用电测引张线仪或读数显微镜、两线仪、两用仪、放大镜。严禁单纯使用目视直接读数。左右边缘读数差和钢丝直径之差不得超过 0.15mm，人工观测每一测次应测读两测回，两测回观测值之差不得超过 0.15mm。具体要求见附录 E.2。

**6.4.7** 视准线观测时，宜在两端工作基点上观测邻近的 1/2 的测点偏离值。视准线法监测要求见附录 E.3。

**6.4.8** 大气激光准直每一测次应测读两测回，两测回测得偏离值之差不得大于 1.5mm。真空激光准直每一测次应测读一测回，两个“半测回”测得偏离值之差不得大于 0.3mm。具体要求见附录 E.4。

**6.4.9** GNSS 变形监测宜采用实时在线自动监测方法，若采用人工观测，应采用 B 级及以上精度的 GNSS 静态测量法。

**6.4.10** 双金属标采用人工观测时，每一测次应测读两测回，两测回观测值之差不得大于 0.15mm。

**6.4.11** 静力水准采用人工观测时，每一测次应测读两测回，两测回观测值之差不得大于 0.15mm。具体要求见附录 E.5。

**6.4.12** 倾斜仪的气泡格值不应大于 5"。

**6.4.13** 单向机械测缝标点和三向弯板式测缝标点的监测，通常直

## **DL / T 5178 — 2016**

接用游标卡尺或千分卡尺量测。单向机械测缝标点也可用固定百分表或千分表量测。平面三点式测缝标点宜用专用游标卡尺量测。机械测缝标点每测次均应进行两次量测，两次监测值之差不得大于 0.2mm。

## 7 渗流监测

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 渗流监测项目包括扬压力、渗透压力、渗流量、绕坝渗流、地下水位及水质分析。渗流监测的项目、测次和精度要求，分别按附录 A.1、附录 A.2 和附录 A.3 执行。

**7.1.2** 扬压力监测宜采用测压管，帷幕上游渗透压力监测宜采用埋入式渗压计。测压管水位监测可采用电测水位计、渗压计、压力表及其他压力变送器等。

**7.1.3** 采用压力表量测测压管的水头时，应根据管口可能产生的最大压力值，选用量程合适的精密压力表，一般选最大可能压力值的 1.3 倍，精度不得低于 0.4 级。用渗压计量测测压管水位或监测渗透压力时，应根据可能承受的最大水压选择量程适合的渗压计和相应的读数仪进行测读。

**7.1.4** 当采用水尺法测量量水堰堰上水头时，水尺精度不低于 1mm；采用水位测针或量水堰水位计量测堰上水头时，精度不低于 0.1mm。

### 7.2 监测设计

**7.2.1** 重力坝渗流监测断面布置应符合下列要求：

1 应根据大坝特点、规模、坝地质条件和渗流控制的工程措施等布置渗流监测断面。

2 纵向监测断面设 1 个~2 个，宜布置在上游帷幕后或第一道排水幕线上；有多道排水帷幕或下游帷幕时，可增设纵向监测断面。

3 横向监测断面宜选择在最高坝段、水文地质条件复杂坝段、谷岸台地坝段及灌浆帷幕转折坝段。1级、2级坝的横向监测断面至少设3个，断面间距宜为50m~100m；如坝体较长、坝体结构和地质条件大体相同，则可加大断面间距。

#### 7.2.2 重力坝坝基扬压力测点布置应符合下列要求：

1 纵向监测断面上，每个坝段至少应设1个测点，宜布置在相邻两个排水孔中间。若地质条件复杂，如遇断层破碎带或强透水带时，测点数应适当增加。

2 横向监测断面上宜设3个~4个测点，宜布置在上游帷幕后和各排水幕线上。在软基或深覆盖层坝基的防渗墙或板桩后宜设测点。必要时可在灌浆帷幕前设少量测点。有下游帷幕时，应在其上游侧布置测点。当水文地质条件复杂或坝基存在影响坝基抗滑稳定的软弱结构面时，应增设测点。

3 坝后厂房的建基面上，宜设置扬压力测点。

#### 7.2.3 拱坝渗流监测断面布置应符合下列要求：

1 纵向监测断面至少设1个，宜布置在上游帷幕后或第一道排水幕线上。

2 横向监测断面宜设在拱冠、左右1/4拱弧、坝肩和地质条件复杂部位；对高拱坝，可适当增加2个~5个横向监测断面。

#### 7.2.4 拱坝坝基渗流测点布置应符合下列要求：

1 纵向监测断面每个坝段应至少布置1个测点。地质条件复杂部位，可适当增加测点数量。

2 横向监测断面测点沿径向布置不应少于3个测点，坝踵部位的测点宜与坝基应力和接缝监测点结合布置。上游测点宜布置在防渗帷幕后或第一道排水幕上，下游测点宜布置在坝趾附近。坝基设有多道排水幕时，可适当增加测点数量。当存在影响坝基抗滑稳定的软弱结构面时，应增加测点。

3 拱坝坝基深部渗透压力监测，可根据坝基地质条件及存在的主要地质缺陷，有针对性地布置测压管和渗压计，监测坝基深

部基岩或构造的渗透压力。

**7.2.5** 扬压力监测孔与排水孔不应互相代用。

**7.2.6** 测压管的孔深在建基面以下的深度不宜大于 1m，必要时可设深层扬压力孔。监测透水性大的岩层或断层、夹层及陡坡段、两岸抗力体等深层构造带、岩溶或潜在滑动面的渗透压力的测压管，其进水管段应穿过软弱带上、下 0.5m~1m。应做好软弱带处导水管外围的止水，防止下层潜水向上反渗，并采取反滤措施。坝基扬压力监测采用埋入式渗压计时，宜埋设在混凝土坝与基岩接触面。当存在多个含水层时，应分层布置测压管或渗压计。

**7.2.7** 高碾压混凝土坝应设坝体渗透压力监测。坝体渗透压力监测布置应符合以下要求：

1 坝体混凝土层间渗透压力横向监测断面，一般与坝基扬压力横向监测断面相结合，数量为 1 个~3 个，宜采用渗压计进行监测。

2 监测坝体的渗透压力测点，应设在上游坝面至坝体排水管之间，沿坝体两相邻排水管中间，顺水流方向设 1 个~2 个；需监测坝体排水管效能和坝体渗透压力分布，还需在排水管后顺水流方向再设 1 个~3 个测点。测点间距自上游面起，由密渐疏。靠近上游面的测点，与坝面的距离不宜小于 0.2m。

3 碾压式混凝土坝排水管前的测点，宜设在上游面防渗层与内部碾压混凝土交界处，测点间距从底部常态混凝土与碾压混凝土交界面起，高程向由密渐疏宜布置 2 个~3 个测点，同一高程宜布置 1 个~2 个测点。

**7.2.8** 结合工程渗流水的流向、集流和排水设施，布置渗流量监测。坝体和坝基渗水应分区监测，河床坝段和两岸坝段的渗水宜分段监测，必要时，可对每个排水孔、渗水点单独监测。廊道或平洞排水沟内的渗水，可用量水堰监测；当渗流量小于 1L/s 时，宜用容积法监测。单个排水孔的渗水宜用容积法监测。

**7.2.9** 当渗流量为 1L/s~30L/s 时，宜选用直角三角形薄壁堰；当

流量大于等于 30L/s 时，宜选用矩形薄壁堰或梯形薄壁堰。

**7.2.10** 坝体混凝土缺陷、冷缝和裂缝的漏水，漏水量较大时，宜集中后用容积法或量水堰监测。

**7.2.11** 应在导流封堵体顺水流方向设 2 个~3 个监测断面，每个监测断面宜在封堵体顶部和两侧与洞壁接缝处布设渗压计，渗压计应与测缝计相结合布置。

**7.2.12** 绕坝渗流的测点布置应符合下列要求：

1 应根据地形、地质、枢纽布置、渗流控制设施及绕坝渗流区渗透特性布置绕坝渗流测点。宜在两岸的帷幕后沿流线方向分别设 2 个~3 个监测断面。测点在断面的分布靠坝肩附近应较密，每个断面上布置不少于 3 个~4 个测点。必要时，帷幕前可布置少量测点。

2 绕坝渗流测点可结合排水洞或灌浆平洞、传力洞或抗剪洞等位置情况进行布置。

3 应将监测孔钻入各层透水带，至该层枯水期天然地下水位以下 1m 以上一定深度，一般为 5m~10m，埋设测压管或安装渗压计进行监测。监测多层渗水时，宜分别钻孔至不同的透水层进行仪器安装埋设。

**7.2.13** 消能建筑物渗流的测点布置应符合下列要求：

1 应根据水垫塘、二道坝及边墙布置情况，并结合地质条件进行渗流监测布置。

2 宜在水垫塘帷幕线布置 2 个~3 个监测渗流的断面，量水堰的位置及数量应结合水垫塘和二道坝的渗流分区情况布置。

3 宜在水垫塘基础廊道顺流向布设 2 个~3 个监测横断面，在每个断面布置不少于 2 个测点，可采用测压管监测。

4 宜在二道坝上游基础廊道主排水幕处和在下游基础廊道主排水幕处分别布置 1 个测压管监测断面，每个断面不少于 2 个测点；在横向排水廊道布置 1 个~2 个测压管监测断面，每个断面不少于 2 个测点。

5 宜在二道坝左、右近岸段上下层灌浆平洞布置 1 个~2 个监测断面, 每个断面不少于 2 个测点, 可安装测压管进行监测。

**7.2.14** 近坝区边坡和滑坡体的地下水位监测, 应根据工程具体地质条件布置, 宜利用不同高程的探洞布置测孔, 除满足《水电水利工程边坡设计规范》DL/T 5353 的相关内容外, 还应符合下列要求:

1 对大坝安全有较大影响的滑坡体或高边坡, 宜利用地质勘探钻孔作地下水位监测孔。

2 已查明有滑动面的近坝岸坡, 宜沿滑动面的滑移方向或地下水的渗流方向, 设 1 个~2 个监测断面。地下水位监测孔应深入滑动面以下 5m~10m。滑坡体内有隔水岩层时, 宜分层布置监测孔, 并应做好层间隔水措施。

3 无明显滑动面的近坝岸坡, 根据可能的滑移方向或地下水渗流方向, 布设监测断面。若滑动面距地表很深, 可利用勘探平洞或专设平洞, 设置测压管或安装渗压计进行监测。

4 有地下水溢出时, 应布置浅孔监测, 以监视表层水的流向和变化。

5 对坝基或坝肩的稳定性有重大影响的地质构造带, 沿渗流方向通过构造带至少应布置 1 个监测断面, 每个断面布置 2 个~3 个测点; 可采取从地表打测压管的方法或利用通过构造面的平洞或专门开挖平洞布置测点。

**7.2.15** 水质分析设计应符合下列要求:

1 应选择有代表性的排水孔、绕坝渗流监测孔或坝基、坝肩洞室渗水点, 定期进行水质分析, 水质分析取样宜选择流量较大的部位。若发现有析出物或有侵蚀性的水流出时, 应取析出物和水样进行全面分析。

2 在渗水水质分析的同时应作库水和地下水水质分析, 具备条件的, 宜对库水进行分层取样分析。

3 水质宜作简易分析, 必要时进行全分析或专门研究。简易

分析和全分析项目见附录 G.1，其中物理分析项目，宜在现场进行。

### 7.3 监测设施及其安装

**7.3.1** 测压管可选用镀锌钢管或硬质塑料管，直径以 50mm 为宜。进水管段必须保证渗水能顺利地进入管内。当遇泥质岩层、风化岩体或覆盖层等有可能塌孔或产生管涌时，应加设反滤装置。反滤装置的埋设方法见附录 G.2，管口有压时应安装孔口装置及压力表；管口无压时应安装保护盖，亦可在管内设置渗压计。管口装置见附录 G.2 和图 G.2.4。

**7.3.2** 单管式测压管有预埋式和钻孔式两种，坝基扬压力测压管依据基岩的完整性分为完整基岩和破碎基岩两种安装方式，具体埋设安装方法见附录 G.2。帷幕附近，不宜采用预埋式测压管，宜在灌浆后再钻孔安装。

安装单管式测压管时，应尽量使导管段和进水管段处于同一铅垂线上；需要埋设水平管段时，水平管段应略有倾斜，靠近进水管端应略低，坡度约为 5%。管口应引到不被淹没处。

采用钻孔式测压管，若遇破碎基岩时，可下套管至建基面，套管与孔壁间的间隙应以砂浆填封密实。

**7.3.3** 单孔多管式测压管或单孔单管分层渗压计宜在地质条件较复杂的多个含水层部位使用，进水管段或渗压计应分别安装在不同的岩层内。各岩层的进水管或渗压计之间应以水泥浆或水泥膨润土的混合浆封闭隔离，具体埋设方法见附录 G.2 和附录 G.3。

**7.3.4** 测压孔和排水孔的钻孔应在帷幕灌浆和固结灌浆后进行；测压孔钻孔达到设计深度后，应进行透水灵敏度检查，钻孔验收合格后，安装测压管和孔口保护装置。安装测压管时，应准确量测并记录进水管底、建基面和孔口高程、平面坐标等。

**7.3.5** 采用渗压计监测开敞式测压管内水位时，宜选用能消除气压的渗压计。渗压计的埋设方法见附录 G.2 和附录 G.3。渗压计埋设后应做好电缆的阻水措施，准确记录渗压计的埋设高程与平面

坐标。

**7.3.6** 量水堰的结构见附录 G.4。量水堰安装应满足以下要求：

- 1 堰板宜设计成可更换的，材质应为不锈钢等防锈材料。
- 2 堰板顶部厚度为 1mm~2mm，堰背加工成斜面，斜角（斜面与水平面的夹角）为  $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ，堰顶表面粗糙度不大于  $3.2\mu\text{m}$ ，堰板与侧墙的垂直度误差不大于  $30''$ ，堰板两侧高差不大于堰宽的  $1/500$ 。
- 3 量水堰应设在排水沟的直线段上，堰槽段应采用矩形断面，槽身等宽，槽壁长度应稍超过堰板位置，堰槽底部与两侧应不漏水，其长度应大于堰上最大水头的 8 倍，且总长不得小于 2m（堰板上、下游的堰槽长度不得小于 1.5m 和 0.5m）。
- 4 堰板应与堰槽垂直正交，堰板顶部应水平。
- 5 水尺或流量计装置应该在堰板上游 6 倍最大堰上水头处。
- 6 当流态不稳时，宜在堰板上游设置消浪栅，消浪栅距离堰板应为 10 倍最大堰上水头。
- 7 三角堰堰槽宽度应为 3 倍~4 倍最大堰上水头，缺口宜为等腰直角三角形，直角误差不大于  $30''$ 。
- 8 矩形堰堰板高度应大于最大堰上水头的 2 倍，堰板下水位与堰顶的高差不宜小于 7cm。

**7.3.7** 采用流量计监测渗流量时，须将坝基、坝体渗漏水引入流量计，直接测读渗流量。

## 7.4 监 测

**7.4.1** 采用压力表测读测压管内水压时，压力值应读到最小分度值的  $1/5$ ；对于拆卸后重新安装的压力表或刚进行卸压操作的压力表，应待压力稳定后才能读数；每年应对压力表进行校验。帷幕前的测压管不得任意排水，以防发生管涌。

**7.4.2** 采用电测水位计量测压管内水位时，应将测头缓慢放入管内，在指示器开始反应时，测量出管口至孔内水面的距离，两次

## **DL / T 5178 — 2016**

读数之差不应大于 1cm。测压管管口高程应每 1 年~2 年校测 1 次。

**7.4.3** 采用渗压计量测监测孔的水位时，在渗压计安装之初，应有足够的时间使管内水位达到平衡，以消除仪器及电缆在测压管内造成的水位壅高。

**7.4.4** 采用容积法监测渗流量时，需将渗水引入容器内，测定渗水的容积和充水时间（宜为 1min，但不得小于 10s），即可求得渗流量，两次测值之差不得大于平均值的 5%。

**7.4.5** 当测量量水堰堰上水头时，水头值应读到最小估读单位。若采用水尺读数，两次读数差不应大于 1mm；若采用测针读数，两次读数差不应大于 0.3mm。

**7.4.6** 水质分析样品的容器不应与待测组分发生化学反应，水样采集应按照《水电工程地质勘察水质分析规程》NB/T 35052 的相关条款执行。

## 8 应力、应变及温度监测

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 应力、应变及温度监测项目包括结构荷载、应力及应变、温度等，监测项目和测次按附录 A.1 和附录 A.2 执行。应力、应变及温度监测应与变形监测和渗流监测项目相结合布置，重要的物理量可布设互相验证的监测仪器。

**8.1.2** 在布置应力、应变监测项目时，应对仪器埋设部位相同混凝土的弹性模量、泊松比、徐变、自生体积变形、线膨胀系数等性能进行物理力学试验。

**8.1.3** 施工期混凝土温控监测仪器宜与永久监测仪器结合布置，相互兼顾。

### 8.2 监测设计

**8.2.1** 混凝土坝的应力、应变监测布置应符合下列要求：

1 应根据坝型、结构特点、设计结构计算、试验的应力状态以及分层分块的施工计划，合理布置测面和测点。

2 应变计组的支数和方向应根据应力状态而定。空间应力状态宜布置 7 向~9 向应变计，平面应力状态宜布置 4 向~5 向应变计。主应力方向明确的部位可布置单向或两向应变计。

3 每一应变计组旁 1.0m~1.5m 处应布置 1 支无应力计。当应变测点靠近坝体或孔洞表面时，无应力计和应变计组应与表面等距。

4 在坝体受压部位布置应变计组的同时，可布置压应力计，压应力计和其他仪器应保持 0.6m~1.0m 的距离。

**8.2.2 重力坝应力、应变监测布置应符合下列要求：**

- 1 应根据坝高、结构特点及地质条件选定重点监测坝段。
- 2 在重点监测坝段可设 1 个~2 个监测断面。在不同高程布设 3 个~5 个水平监测截面，水平监测截面宜距坝底 5m 以上；必要时可在混凝土与基岩结合面附近布置测点。
- 3 同一浇筑块内的测点应不少于 2 点，纵缝两侧应有对应的测点；通仓浇筑的坝体，其监测截面上一般布置 3 点~5 点。
- 4 坝踵和坝趾应加强监测，除布置应力、应变监测仪器外，还宜配合布置变形、渗流等监测仪器。
- 5 监测坝体应力的应变计（组）与上、下游坝面的距离宜大于 1.5m~2m（在严寒地区还应大于冰冻深度），纵缝附近的测点宜距纵缝 1.0m~1.5m。
- 6 陡峻的岸坡坝段，宜根据设计计算及试验的应力状态布设应变计（组）。
- 7 表面应力梯度较大时，应在应力梯度变化较大范围内，距坝面不同距离处布置 2 个~3 个测点，一般布设单向应变计或双向应变计组。
- 8 碾压式重力坝还宜结合坝体应力计算成果、混凝土分区、分层铺设的特点布置仪器。诱导缝两侧宜布设应力应变测点。应变计结合缝面按上中下或左中右布置，测点距诱导缝缝面距离 2m~3m。
- 9 整体式重力坝的仪器布置可参照拱坝进行。

**8.2.3 拱坝应力、应变的监测布置应符合下列要求：**

- 1 根据拱坝坝高、体形、坝体结构及地质条件，可在拱冠、1/4 拱弧及其他重要部位处，设 1 个~5 个竖向监测断面，在不同高程可设 3 个~5 个水平监测截面。竖向监测断面、水平监测截面宜与拱梁分载法计算断面、截面相对应。
- 2 在薄拱坝的监测截面上，靠上、下游坝面附近应各布置 1 个测点，测点距边界 1m~1.5m，应变计组的主平面应平行于坝面。

在厚拱坝或重力拱坝的监测截面上，沿上下游方向应布置 2 个~5 个测点。拱坝设有纵缝时，测点可多于 5 个。

3 监测截面应力分布的应变计组距坝面应不小于 1m。测点距基岩开挖面应大于 3m，必要时可在混凝土与基岩结合面附近布置测点。

4 拱座附近的应变计组的数量和方向，应满足监测平行拱座基岩面的剪应力和拱推力的需要，在拱推力方向还可布置单向应变计或压应力计。在陡坡坝段应增加测点布置。

5 坝踵、坝趾及表面应力和应变监测的布置要求与重力坝相同。

#### 8.2.4 无应力计的监测布置应符合下列要求：

1 无应力计与相应的应变计组距坝面的距离应相同。

2 无应力计与应变计组之间的距离一般为 1.0m~1.5m，对高坝也可以在坝踵离表面 0.1m~0.5m 部位专门布置观测湿度变形的无应力计。

3 无应力计筒内的混凝土应与相应的应变计组处的混凝土相同。

4 无应力计的筒口宜向上；当温度梯度较大时，无应力计轴线应尽量与等温面正交。

#### 8.2.5 坝基应力、应变监测布置应符合下列要求：

1 监测断面应选择地形、地质条件、结构形式、受力状态等具有代表性或关键部位，一般设置 1 个~3 个监测断面。宜与坝体主要监测断面对应布设 1 个主要监测断面，宜与位移及其他监测项目结合布置。

2 宜在大坝的坝踵和坝趾部位基础布置测点；对应力变化较大或控制部位基础，应加密测点布置。

3 在受力条件明确受压的部位可布置压应力计。

4 坝基采用锚杆、预应力锚索等加固措施时，需进行锚杆（锚索）应力监测。监测数量应根据实际需要确定。

锚杆应力监测宜选择有代表性的部位和各种形式的锚杆抽样进行。每根锚杆宜布置 1 个~3 个测点, 监测仪器采用锚杆应力计。

预应力锚索监测宜对各种吨位、长度的锚索抽样进行。监测仪器采用锚索测力计。

**5** 对高地应力区开挖后的高坝坝基或拱肩槽建基面岩体, 宜进行卸荷应变或应力释放监测, 监测仪器可采用滑动测微计、基岩应变计、锚杆应力计组等, 测点布置宜与变形测点相互验证, 并按三角形或矩形成组布置。

**6** 当基础或岩体有地质缺陷(断层破碎带、岩溶、软弱结构等)时, 应在相应范围布置应力应变监测断面和测点。

**8.2.6** 坝肩及近坝边坡应力、应变监测布置除满足《水电水利工程边坡设计规范》DL/T 5353 的相关内容外, 还应符合下列要求:

**1** 监测断面应选择地质条件、结构形式、受力状态等具有代表性或关键部位, 宜设 1 个~3 个主监测断面, 在其附近可设 1 个~2 个辅助监测断面。主监测断面宜与位移及其他监测项目结合布置。

**2** 当坝肩边坡存在地质缺陷(断层破碎带、岩溶、软弱结构等)时, 应在相应范围布置应力应变监测断面和测点。

**3** 边坡岩体采用锚杆、预应力锚索等加固措施时, 需进行锚杆(锚索)应力监测。

锚杆应力监测宜选择有代表性的部位和各种形式的锚杆抽样进行。每根监测锚杆宜布置 1 个~3 个测点, 监测仪器采用锚杆应力计。监测数量应根据实际需要确定, 宜不低于总量的 3%。

预应力锚索监测宜对各种吨位、长度的锚索抽样进行。监测仪器宜采用锚索测力计。监测数量宜不低于总量的 5%, 且不少于 3 根。

**8.2.7** 重要的钢筋混凝土建筑物, 应在应力较大部位布置钢筋应力测点。监测钢筋应力的钢筋计应焊接在同一轴线的受力钢筋上。当钢筋为弧形时, 其曲率半径应大于 2m, 并须保证钢筋计的钢套

不受弯曲。对预应力闸墩，应布置吨位匹配的锚索测力计。

**8.2.8** 压力钢管上布置钢板应力监测断面时，在圆形监测断面上至少布置 3 个测点。钢闸门的主梁及支承结构或其他水工钢结构上可根据应力分布的特点布置测点。每一测点宜布置环向（切向）和轴向的小应变计。布置测点处钢板的曲率半径不宜小于 1m。

**8.2.9** 温度监测布置应符合下列要求：

1 温度监测应设置在重点监测坝段。监测断面宜不少于 2 个。其测点分布应根据混凝土结构的特点和施工方法而定。

2 坝体温度测点应根据温度场的分布进行布置，以能绘制坝体等温线为原则，宜按网格布置温度测点。在温度梯度较大的坝面或孔口附近，测点宜适当加密。

3 在监测坝段的中心断面上，重力坝网格间距为 8m~15m，坝高 150m 以上的高坝，间距可扩大到 20m，碾压式重力坝的网格间距为 10m~20m。在靠近坝体表面、长间歇期缝面和孔洞周围等温度变化剧烈部位，宜适当增设必要的温度测点。引水及泄水坝段的测点布置应顾及空间温度场监测的需要。

4 在拱坝监测断面，宜根据坝高，同时结合浇筑分层和横缝灌浆分区，可布置 3 个~7 个水平监测截面。在截面和中心断面的每一条交线上可布置 3 个~5 个测点，在拱座应力监测截面上可增设必要的温度测点。

5 对重力坝纵缝、碾压重力坝诱导缝和拱坝横缝面各灌区宜布设温度计。温度计宜结合缝面按上中下或左中右布置，测点距界面的距离为 3m~5m。

6 可在距上游坝面 5cm~10cm 的坝体混凝土内沿高程布置坝面温度测点，间距一般为 1/15~1/10 的坝高，死水位以下的测点间距可加大一倍。多泥沙河流的库底水温受异重流影响，该处测点间距不宜加大。该表面温度计在蓄水后可兼测坝前库水温度。

可在重点监测断面及两岸拱座距下游坝面 5cm~10cm 的坝体混凝土内沿高程布置坝面温度测点，间距一般为 1/8~1/5 的坝

高。当拱坝两岸日照相差很大时，宜布置相应的温度测点。

**8.2.10** 基岩温度监测布置应符合下列要求：

1 温度测点宜布置在温度监测断面的底部，靠近坝踵和坝趾处各设置一个深 5m~20m 的铅直钻孔，在孔内不同深度处布置测点，并用水泥砂浆回填孔洞。

2 基岩岩层有承压水或不同水温时，可根据需要宜在相应岩层内钻孔布置温度测点，并用水泥砂浆回填。

### 8.3 监测仪器的埋设

**8.3.1** 应根据监测设计完成预留槽孔、导管、集线箱壁龛及各种预埋件的施工和加工，并对埋设点进行测量放样。埋设前需按附录 H.1 的方法对监测仪器进行检验。

**8.3.2** 应按设计要求和附录 H.2 的方法进行埋设，埋设时需采取必要的保护措施，保证埋设位置和方向正确，并防止仪器遭受损坏。

1 常态混凝土采用直接与混凝土浇筑同步埋设法或预留坑、槽或挖坑、槽埋等后埋法。碾压混凝土中仪器埋设宜采用后埋法。当采用直接与混凝土浇筑同步安装埋设时，混凝土进料、振捣需在仪器周围对称同步。当采用后埋法时，仪器安装完毕后，坑、槽内混凝土需用原混凝土剔除大于 40mm 粒径骨料的新鲜混凝土人工回填分层振捣密实。

2 坑槽仪器上部回填保护层厚度，对没有方向性要求的仪器和电缆应大于 200mm，对有方向性要求的仪器和电缆应大于 500mm。

3 仪器埋设后，应予标识和保护。当埋设区的回填混凝土未初凝或上层混凝土尚未摊铺时，各种施工设备不得在上面行驶。

4 仪器的电缆牵引必须相互隔开，分别被水泥浆包围包裹密实，电缆穿过渗透压力较大部位时，应加止水环等防止形成渗水通道。电缆在埋设点附近应预留一定的冗余长度。

**8.3.3** 对无应力计，宜根据结构应力大小及施工特点，采取必要

的工艺和措施，确保无应力桶内混凝土不受外力作用。

**8.3.4** 监测压力管道管壁或钢板应力的小应变计，需用专用夹具定位，并用外套与其外围混凝土隔离。

## 8.4 监 测

**8.4.1** 应按规定的测次和时间进行监测。各种相互有关的项目，应同时监测。

**8.4.2** 使用人工测量仪表进行测读时，每月应对测量仪表进行工作状态检查。如需更换仪表，应先检验是否有互换性。

**8.4.3** 必须认真填写观测记录，注明仪器异常、仪表或装置故障，电缆截短或接长及接线箱检修等情况。

**8.4.4** 仪表和设备应妥加保护。应防止电缆的编号牌锈蚀、混淆或丢失。电缆长度不得随意改变，必须改变时应记录改变长度前后的测值，并做好记录。

**8.4.5** 仪器埋设后，必须及时测读。应根据混凝土的特性、仪器的性能及周围的温度等，从初期各次合格的监测值中选定计算基准值，具体要求和办法见附录 H.3。

## 附录 A 混凝土坝安全监测项目分类和选择、项目测次、监测精度

### A.1 分类和选择

A.1.1 混凝土坝安全监测项目按表 A.1.1 进行分类和选择。

表 A.1.1 混凝土坝安全监测项目分类和选择

序号	监测类别	监测项目	重力坝级别			拱坝级别		
			1	2	3	1	2	3
一	巡视检查	坝体、坝基、坝肩及近坝库岸	●	●	●	●	●	●
二	变形	1. 坝体位移	●	●	●	●	●	●
		2. 坝肩位移	○	○	○	●	●	●
		3. 倾斜	●	○	○	●	○	○
		4. 接缝变形	●	●	○	●	●	●
		5. 裂缝变形	●	●	●	●	●	●
		6. 坝基位移	●	●	○	●	●	●
		7. 近坝岸坡位移	●	○	○	●	●	○
三	渗流	1. 渗流量	●	●	●	●	●	●
		2. 扬压力或坝基渗透压力	●	●	●	●	●	●
		3. 坝体渗透压力	○	○	○	○	○	○
		4. 绕坝渗流（地下水位）	●	●	○	●	●	●
		5. 水质分析	○	○	○	○	○	○
四	应力、应变及温度	1. 坝体应力、应变	●	○	○	●	○	○
		2. 坝基应力、应变	○	○	○	●	○	○
		3. 混凝土温度	●	○	○	●	●	●
		4. 坝基温度	○	○	○	●	●	●

续表 A.1.1

序号	监测类别	监测项目	重力坝级别			拱坝级别		
			1	2	3	1	2	3
五	环境量	1. 上、下游水位	●	●	●	●	●	●
		2. 气温	●	●	●	●	●	●
		3. 降水量	●	●	●	●	●	●
		4. 库水温	●	○	○	●	○	○
		5. 坝前淤积	○	○	○	○	○	○
		6. 下游冲刷	○	○	○	○	○	○
		7. 冰冻	○	○	○	○	○	○
		8. 大气压力	○	○	○	○	○	○

注：1 有●者为必设项目；有○者为可选项目，可根据需要选设。

2 坝高 70m 以下的 1 级重力坝，坝体应力、应变监测为可选项目。

3 裂缝监测，在出现裂缝时监测。

4 闸坝可按重力坝执行。

5 上、下游水位监测可与水情自动测报系统相结合。

## A.2 项目测次

A.2.1 混凝土坝安全监测项目测次按表 A.2.1 确定。

表 A.2.1 混凝土坝安全监测项目测次

监测项目	施工期	首次蓄水期	初蓄期	运行期
1. 位移	1 次/旬~1 次/月	1 次/天~1 次/旬	1 次/旬~1 次/月	1 次/月
2. 倾斜	1 次/旬~1 次/月	1 次/天~1 次/旬	1 次/旬~1 次/月	1 次/月
3. 大坝外部接缝、裂缝	1 次/旬~1 次/月	1 次/天~1 次/旬	1 次/旬~1 次/月	1 次/月

续表 A.2.1

监测项目	施工期	首次蓄水期	初蓄期	运行期
4. 近坝区岸坡稳定	2次/月~1次/月	2次/月	1次/月	1次/季
5. 渗流量	2次/旬~1次/旬	1次/天	2次/旬~1次/旬	1次/旬~2次/月
6. 扬压力	2次/旬~1次/旬	1次/天	2次/旬~1次/旬	1次/旬~2次/月
7. 渗透压力	2次/旬~1次/月	1次/天	2次/旬~1次/旬	1次/旬~2次/月
8. 绕坝渗流	1次/旬~1次/月	1次/天~1次/旬	1次/旬~1次/月	1次/月
9. 水质分析	按需要	按需要	按需要	按需要
10. 应力、应变	1次/旬~1次/月	1次/天~1次/旬	1次/旬~1次/月	1次/月~1次/季
11. 大坝及坝基的温度	1次/旬~1次/月	1次/天~1次/旬	1次/旬~1次/月	1次/月~1次/季
12. 大坝内部接缝、裂缝	1次/旬~1次/月	1次/天~1次/旬	1次/旬~1次/月	1次/月~1次/季
13. 钢筋、钢板、锚索、锚杆应力	1次/旬~1次/月	1次/天~1次/旬	1次/旬~1次/月	1次/月~1次/季
14. 上、下游水位	1次/天	4次/天~2次/天	2次/天	2次/天~1次/天
15. 库水温		1次/天~1次/旬	1次/旬~1次/月	1次/月
16. 气温		逐日量	逐日量	逐日量
17. 降水量		逐日量	逐日量	逐日量
18. 坝前淤积			按需要	按需要
19. 下游冲刷			按需要	按需要

续表 A.2.1

监测项目	施工期	首次蓄水期	初蓄期	运行期
20. 冰冻		按需要	按需要	按需要
21. 大气压力		按需要	按需要	按需要
22. 坝区水平位移监测控制网	取得初始值	1次/季	1次/年	1次/年
23. 坝区垂直位移监测控制网	取得初始值	1次/季	1次/年	1次/年

注：1 表中测次均系正常情况下人工测读的最低要求。特殊时期（如发生大洪水、特大暴雨、地震等），应增加测次。自动化监测可根据需要，适当加密测次。

2 施工期：坝体浇筑进度快的，变形监测的次数应取上限；埋入混凝土内的监测仪器在进行混凝土人工冷却或压力灌浆时，应增加测次。

首次蓄水期：库水位上升快的，测次应取上限。

初蓄期：开始测次应取上限。

运行期：当变形、渗流等性态变化速度大时测次应取上限，性态趋于稳定时可取下限。但当水位超过前期运行水位时，仍需按首次蓄水执行。每年泄洪后，宜施测1次下游冲刷情况。

3 运行期对于低坝的位移测次可减少为1次/季。

4 经运行期5次以上复测表明稳定的变形监测控制网，测次可减少为1次/3年~1次/2年。

5 在冰冻期，静冰压力观测宜为每日2次，若遇持续温升或温降天气，应适当增加测次。

6 巡视检查的次数按本规范第4.3.2条~第4.3.4条执行。

7 施工期：从施工起，到水库首次蓄水为止的时期。

首次蓄水期：从水库首次蓄水到（或接近）正常蓄水位为止的时期。若首次蓄水后一年内达不到正常蓄水位，则至首次蓄水后一年为止。

初蓄期：首次蓄水后的头三年。

运行期：初蓄期后的时期。若水库长期达不到正常蓄水位，则首次蓄水三年后为运行期。

## A.3 监测精度

**A.3.1** 混凝土坝安全监测精度按表 A.3.1 确定。

表 A.3.1 混凝土坝监测精度

项 目			监测精度	
变形监测控制网			±1.4mm	
水平位移	坝体	重力坝		±1.0mm
		拱坝	径向	±2.0mm
			切向	±1.0mm
	坝基	重力坝		±0.3mm
		拱坝	径向	±0.3mm
			切向	±0.3mm
坝体、坝基垂直位移		坝体	±1.0mm	
		坝基	±0.3mm	
倾斜	坝体		±5.0"	
	坝基		±1.0"	
坝体表面接缝和裂缝			±0.2mm	
坝基、坝肩岩体内部变形			±0.2mm	
近坝区岩体和高边坡		水平位移	±2.0mm	
		垂直位移	±2.0mm	
滑坡体		水平位移	±3.0mm (岩质边坡) ±5.0mm (土质边坡)	
		垂直位移	±3.0mm (岩质边坡) ±5.0mm (土质边坡)	
		裂缝	±1.0mm	
渗流		渗流量	±10%满量程	
		量水堰堰上水头	±1.0mm	
		绕坝渗流孔、测压管水位	±50mm	
		渗透压力	±0.5%满量程	

注：1 表中监测精度为最低要求，监测精度是指偶然误差和系统误差的综合值；特殊情况下的监测精度要求，可根据实际情况确定。

2 表中变形监测控制网监测精度是指工作基点在指定位移方向上的中误差。

3 表中坝体位移监测精度是指测点相对工作基点的测量中误差。

## 附录 B 电缆连接及敷设

### B.1 基本要求

**B.1.1** 埋设的仪器应连接耐酸、耐碱、防水、质地柔软的专用电缆，其芯线应为镀锡铜丝。

**B.1.2** 电缆及电缆接头在使用温度为 $-25^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ 、承受的水压为 $1\text{MPa}$ 时，绝缘电阻应不小于 $100\text{M}\Omega$ 。

**B.1.3** 电缆芯线应在 $100\text{m}$ 内无接头。

**B.1.4** 对差动电阻式仪器的三芯或四芯电缆，每 $100\text{m}$ 的单芯电阻应不超过 $1.5\Omega$ ，每 $100\text{m}$ 电缆芯线之间的电阻差值应不大于单芯电阻的 $10\%$ ；五芯电缆每 $100\text{m}$ 的单芯电阻应不超过 $3.0\Omega$ 。

**B.1.5** 电缆内通入压力为 $0.1\text{MPa}\sim 0.15\text{MPa}$ 的气体时，其漏气段不得使用。

### B.2 电缆的检验

**B.2.1** 电缆采用抽样法检验，抽样数量为本批的 $10\%$ ，不得小于 $100\text{m}$ 或一捆。

**B.2.2** 用电桥率定器标定数字电桥或水工比例电桥，保证数字电桥或水工比例电桥的正确性。

**B.2.3** 用数字电桥或水工比例电桥分别测量电缆黑、蓝、红、绿、白芯线的电阻，测值应不大于 $3\Omega/100\text{m}$ 。

**B.2.4** 用 $500\text{V}$ 直流电阻表测量被测电缆各芯线间的绝缘电阻，测值应不小于 $100\text{M}\Omega$ 。

**B.2.5** 根据电缆耐水压参数，把被测电缆置于耐水压参数规定的

## DL/T 5178 — 2016

水压环境下 48h, 用 500V 直流电阻表测量被测电缆芯线与水压试验容器间的绝缘电阻, 测值应不小于 100MΩ。

### B.3 电缆的准备

**B.3.1** 应根据观测设计和现场情况准备仪器的加长电缆, 其长度按式 (B.3.1) 计算:

$$L = KL_0 + B \quad (\text{B.3.1})$$

式中:  $L$ ——接长电缆总长度, m;

$L_0$ ——仪器到观测站牵引路线的长度, m;

$K$ ——接长电缆系数, 一般取 1.03~1.05;

$B$ ——观测端加长值, 对坝内仪器为 2m~3m, 对基岩仪器为 3m~5m。

### B.4 电缆的连接

**B.4.1** 按照图 B.4.1 剥制电缆头, 在去除芯线铜丝氧化物时, 不得折断铜丝, 如图 B.4.1 (a) 所示。

**B.4.2** 仪器出厂电缆一般为三芯, 与五芯水工电缆将仪器电缆接长。接长电缆的黑、蓝芯线与仪器电缆的黑芯线焊接在一起; 接长电缆的绿、白芯线与仪器电缆的白芯线焊接在一起; 接长电缆的红芯线与仪器电缆的红芯线焊接在一起。

**B.4.3** 电缆连接时不同芯数的电缆头长度按表 B.4.3-1 取值, 当需连接的两电缆之间的芯线数相同时, 电缆头长度按表 B.4.3-2 取值, 如图 B.4.1 (b) 所示。

**B.4.4** 连接时应保持各芯线长度一致, 并使各芯线接头错开, 采用锡和松香焊接, 焊后检查芯线连接质量。

**B.4.5** 芯线搭接部位用黄蜡绸、电工绝缘胶布和橡胶带包裹, 如图 B.4.1 (c) 所示。

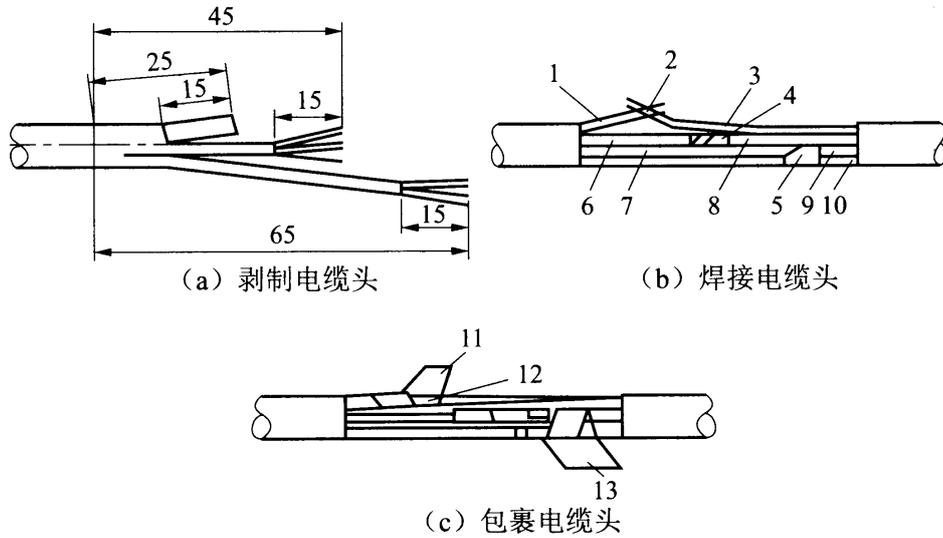


图 B.4.1 电缆连接 (单位: mm)

1、3—黑线芯线；2—铜丝塔接；4—扭紧铜丝；5—焊锡；6、8—红色芯线  
7、9—白色芯线；10—绿色芯线；11、13—电工胶布；12—黄蜡绸

表 B.4.3-1 不同芯线数的电缆头长度 (mm)

芯线颜色	仪器出厂电缆	接长电缆	
	三 芯	四 芯	五 芯
蓝			65
黑	25	65	65
红	45	45	45
绿		25	25
白	65	25	25

表 B.4.3-2 相同芯线数的电缆头长度 (mm)

芯线颜色	仪器出厂电缆			接长电缆		
	三 芯	四 芯	五 芯	三 芯	四 芯	五 芯
蓝			25			105
黑	25	25	45	65	85	85
红	45	45	65	45	65	65
绿		65	85		45	45
白	65	85	105	25	25	25

## B.5 硫化连接

**B.5.1** 电缆外套与橡胶带连接处应锉毛并涂补胎胶水，外层用橡胶带包扎，直径应大于硫化器钢模槽 2mm。

**B.5.2** 需耐 2MPa 水头的橡胶电缆应进行硫化连接，具体要求如下：

1 接头硫化时必须严格控制温度，硫化器预热至 100℃ 后放入接头，升温到 155℃~160℃，关闭电源，保持 15min，自然冷却到 80℃ 后脱模。

2 硫化接头在 0.1MPa~0.15MPa 气压下试验时不漏气，在 1MPa 压力水中的绝缘电阻应大于 50MΩ。

3 接头硫化前后应测量、记录电缆芯线电阻、仪器电阻比和电阻。

4 应在仪器端、电缆中部和测量端安放仪器编号牌。

5 电缆测量端芯线头部的铜丝应进行搪锡，并用石蜡封。

## B.6 热缩连接

**B.6.1** 耐水压 2MPa 以下的塑胶电缆连和接时可采用双套热缩接头代替硫化，耐压 0.5MPa 水头以下的橡胶电缆可采用双套热缩接头代替硫化，具体要求如下：

1 接线时，芯线宜采用  $\phi 5\text{mm} \sim \phi 7\text{mm}$  的热缩套管，加温热缩，从中部向两端均匀地加热，排尽管内空气，使缩管均匀地收缩，并紧密地与芯线结合。

2 缠好高压绝缘胶带后，将预先套在电缆上的  $\phi 18\text{mm} \sim \phi 20\text{mm}$  热缩套管移至缠胶带处加温热缩。

**B.6.2** 热缩前应在热缩管与电缆外皮搭接段涂上热溶胶。

**B.6.3** 接头热缩前后应测量、记录电缆芯线电阻、仪器电阻比和电阻。

## B.7 模 胶 连 接

**B.7.1** 耐水压要求大于 2MPa 的塑胶电缆宜采用密封电缆胶的模具连接，具体要求如下：

1 将密封电缆胶的模具预先套入电缆的两端头，模具头、管套入一头，盖套入另一头。

2 将绝缘颜色相同的导体分别叉接并绕接好，用电工绝缘胶布包扎使导体不裸露，并使导体间、导体与屏蔽间得到良好绝缘。

3 接好绝缘（可以互相压按在一起）和地线，将已接好的电缆用电工绝缘胶布螺旋整体缠绕在一起。

4 将电缆竖起固定，用电工绝缘胶布将底部的托头及管缠绕几圈，托头底部距接好的电缆接头根部 30mm。

5 将厂家提供的胶混合搅匀后，从模口上部均匀倒入，待满后将模口上部盖上盖子。

6 24h 后用万用表通电检测和做耐水压试验，若接线良好，电缆接头在 3.0MPa 压力水中的绝缘电阻大于 500MΩ，即可埋设电缆。

## B.8 敷 设 要 求

监测仪器电缆线路，在设计时应予以规划，尽量使电缆敷设牵引的距离最短和干扰施工最小。碾压混凝土坝电缆牵引宜沿坝轴线方向布置，然后再垂直牵引，以防形成渗漏通道。

电缆牵引路线与上、下游坝面的距离不得小于 0.5m。靠近上游面的电缆应分散牵引，必要时应采取止水措施。电缆水平牵引时可挖槽埋入混凝土内，垂直牵引时可用钢管保护。保护钢管的直径应大于电缆束的 1.5 倍~2 倍。跨缝时，应采取措施使电缆有伸缩的余地。

需要牵引电缆的廊道壁上宜设置托架，监测仪器电缆进入廊道后铺设在托架上。

## DL/T 5178 — 2016

电缆牵引方向应避免将来可能钻孔的位置，并绘制实际牵引图，做好现场牵引线路标志；水平牵引可直接埋设在混凝土内或加槽钢保护；向上牵引时可沿混凝土柱或钢筋上引；向下牵引时应预埋电缆或导管，导管中应设钢丝绳或其他承受电缆自重的附件。

埋设电缆时应避免电缆承受过大拉力或接触毛石和振捣器，电缆在导管的出口和入口处应用橡皮或麻布包扎，以防受损；混凝土浇筑后电缆未引入永久测站前，应用胶管或木箱加以保护，并设临时测站和防雨棚，严禁将电缆头浸入水中。

## 附录 C 变形监测控制网的设计、安装和监测

### C.1 设计

**C.1.1** 变形监测控制网的平面坐标及高程系统应与本工程施工测量控制网坐标系统一致。

**C.1.2** 变形监测控制网宜一次性建成，采取分步实施的，各阶段实施的变形监测控制网均应组成完整的观测图形，且各项指标达到整网的等级要求。

**C.1.3** 变形监测控制网应尽早建成投入使用，并在首次蓄水前取得蓄水基准值。

**C.1.4** 水平位移监测控制网的布置应统筹考虑，大坝及近坝区边坡水平位移的工作基点应纳入水平位移监测控制网。当水平位移监测控制网的网型复杂时，根据工程变形监测对象的分布，可将整网分为若干个相对独立的监测控制网，也可将整网分为若干层次的网。

**C.1.5** 水平位移监测控制网的设计，应进行现场踏勘。在踏勘中核定点位稳定性、可靠性条件，通视状况和观测环境是否满足要求。

**C.1.6** 水平位移监测控制网宜采用三角形网，三角形网包括测角网、测边网和边角网三种。在满足精度要求的条件下，可采用 GNSS 观测方法。

**C.1.7** 三角形网布置应符合下列要求：

1 三角形网设计应遵照网形结构简单及经济合理的原则，三角形的个数及布置范围，以能利用基准点校测坝区内工作基点为原则。

2 三角形网边长不宜超过 1000m，网点间垂直角不应超过

30°，高差不宜超过 100m。

3 三角形网宜采用边角网，当采用测角网或测边网时，各三角形宜布设成近似等腰三角形，其内角最小不宜小于 30°，最大不宜大于 120°。

4 三角形网的网点不宜少于 4 个，不应设在有强电磁场影响的范围内，测点布置应避免视线接近水面，视线离建筑物的距离不宜小于 2m。

5 三角形网的基准点宜布设在大坝下游，受大坝及库水压力影响较小且相对稳定的地方。基准点不应少于 2 个，并定期进行基准点稳定性校测，必要时可设置倒垂线作为基准点。

**C.1.8** 三角形网初步设计完成后，应根据观测方案采用模拟平差法计算，对精度、可靠性进行分析，并对设计方案进行优化调整。观测精度估算及可靠性评价可采用下列公式：

精度估算的公式：

$$m_i = \sigma \sqrt{2(Q)_{ii}} \quad (\text{C.1.8-1})$$

可靠性因子的计算公式：

$$\gamma_j = 1 - (AQA^T P)_{jj} \quad (\text{C.1.8-2})$$

其中：
$$Q = (A^T P A)^{-1}$$

式中： $m_i$  ——第  $i$  个位移量的中误差；

$\sigma$  ——单位权中误差；

$Q_{ii}$  ——矩阵  $Q$  的第  $i$  个对角元素；

$\gamma_j$  ——第  $j$  个观测量的可靠性因子；

$A$  ——观测方程的系数矩阵，又称设计矩阵；

$Q$  ——三角形网的协因数矩阵；

$A^T$  —— $A$  的转置矩阵；

$P$  ——观测的权矩阵；

$(AQA^T P)_{jj}$  ——矩阵  $(AQA^T P)$  的第  $j$  个对角元素。

**C.1.9** 三角形网优化调整遵循下列原则：

1 可靠性因子  $r_i$  (多余观测分量,  $0 \leq r_i \leq 1$ ) 的值不宜小于 0.2; 如因条件限制, 个别观测量不能满足此要求时, 则应在观测中采取特殊措施, 以排除测值含有粗差的可能性。

2 按最小二乘法进行精度预估, 测点在指定方向的位移量中误差不应大于  $\pm 2.0\text{mm}$ 。

#### C.1.10 GNSS 网布置应符合下列要求:

1 GNSS 网的布设应满足工程实际需要, 各测点至少有两个以上的通视方向。除边缘点外, 每点的连接点数应不少于 3 点。A 级、B 级 GNSS 网中, 最简异步环或附和路线的边数分别不应大于 5 条、6 条。

2 GNSS 网应同时采用高精度测距仪观测边长, 并联合平差, 测距仪测边的数量宜为 3 条~5 条。GNSS 网点与精密水准高程点联测不得少于 2 点。

3 GNSS 网点上空应尽可能地开阔, 在  $10^\circ \sim 15^\circ$  高度角以上不能有成片的障碍物; 网点附近的小环境应与区域大环境尽量一致。

4 GNSS 网点周围约 200m 的范围内不能有强电磁场干扰源; 网点距高压输电线和微波无线电信号传送通道等应大于 50m。

5 GNSS 网基准点应布设在不受大坝及库水压力影响的地区。

6 新布设的 GNSS 网宜与附近已有的国家高等级控制网点进行联测。

#### C.1.11 垂直位移监测控制网宜采用精密水准测量法。网点布置应符合下列要求:

1 网型宜采用闭合环线或附和路线, 不宜布设成支线形式。

2 基准点应埋设于大坝变形影响范围以外, 一般设置在大坝下游 1km~5km 处。基准点可采用基岩标或其他可靠的标石。基岩标应成组设置, 每组不得少于 3 个水准标石, 相邻两点间距宜在 30m~100m。若覆盖层较厚, 宜采用双金属标。

3 水准线路上的转点应布置在安全稳定处。

## C.2 监测仪器设备及其安装

**C.2.1** 水平位移监测控制网网点应采用现浇筑钢筋混凝土结构。网点基础应稳定、可靠，宜埋设于坚硬、完整的基岩上，所在部位坚硬基岩埋深较大时，可埋设倒垂线或钢管标。水平位移监测控制网网点的结构可见附录 D.1；对于进行较长时间观测的网点，宜建立观测房（亭）。

**C.2.2** 水平位移监测控制网网点观测墩宜高出测站地面 1.2m，墩顶部应埋设带有保护装置的强制对中底盘，其对中误差应小于 0.2mm，倾斜度不得大于 4'，在观测墩基座上设置水准标芯。

**C.2.3** 垂直位移监测控制网网点一般采用基岩水准标，基础条件良好的可按岩石水准标形式浇筑。各类水准基点结构可见附录 D.2。

**C.2.4** 垂直位移监测控制网网点应有可靠的保护装置。

## C.3 监 测

**C.3.1** 变形监测控制网在不同时期观测宜使用同一台或同一类型仪器设备，并采用相同的观测方法。水平位移监测控制网宜采用边角网法进行观测。网点间的高差可采用精密水准法或三角高程法观测；当采用三角高程法时，需在同时段或对称观测时段内对向观测垂直角。

**C.3.2** 变形监测控制网的观测仪器及其配套设施的检验和校正，按《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897、《国家三角测量规范》GB/T 17942、《中、短程光电测距规范》GB/T16818、《全球定位系统（GPS）测量规范》GB/T 18314、《全球定位系统（GPS）测量型接收机检定规程》CH 8016、《全球导航卫星系统（GNSS）测量型接收机 RTK 检定规程》CH/T 8018、《数字水准仪检定规程》CH/T 8019、《光学经纬仪》JJG 414、《水准仪检定规程》JJG 425 等规范执行。

**C.3.3** 对于规模较大或有特殊要求的变形监测控制网，应制订专

项监测方案。

### C.3.4 水平角观测应符合下列要求：

1 水平角观测仪器应采用精度不低于 J1 级的全站仪或经纬仪，达到一等三角测量精度。

2 水平角宜采用方向观测法观测 12 测回，全部测回应在两个异午的时间段内各完成一半，每一时间段观测的基本测回数不超过总基本测回数的 2/3。在全阴天，可适当变通。水平方向观测限差见表 C.3.4。

表 C.3.4 水平方向观测限差

序号	项 目	限 差
1	二次照准目标读数的差	4"
2	半测回归零差	5"
3	一测回内 2C 互差	9"
4	同一角度各测回角值互差	5"
5	三角形最大闭合差	2.5"
6	按菲列罗公式计算的测角中误差	0.7"
7	极条件自由项	$1.4 \sqrt{[\delta\delta]}$
8	边条件自由项	$2 \sqrt{0.49[\delta\delta] + m_{lg,s1}^2 + m_{lg,s2}^2}$

注：1 当照准点的垂直角超过 $\pm 3^\circ$ 时，该方向的 2C 互差可与同一观测时间段内的相邻测回进行比较。如按此方法比较，应在手簿中注明。

2 表中 $\delta$ 为求距角正弦对数秒差； $m_{lg,s1}$ 、 $m_{lg,s2}$ 为起始边长对数中误差。

3 2C 互差是指一个测回内盘左与盘右的差值的最大值与最小值之差。

3 水平角采用方向法观测时，水平方向观测采用“双照准法”：照准目标两次，读数两次，具体操作参照 GB/T 17942 执行。水平方向观测读数取至 0.1"，从测回角度值开始取至 0.01"。

4 水平角也可采用全组合测角法观测，其方向权  $m \cdot n=24$  (25)，其中  $n$  为方向数， $m$  为测回数。全组合测角法按照 GB/T

17942 的有关规定执行。

### C.3.5 边长观测应符合下列要求：

1 边长观测宜采用标称精度不低于  $\pm(1+D \times 10^{-6})$  mm ( $D$  为测量距离，单位 mm) 的测距仪或全站仪。

2 每条边需要对向观测，每单向边需分上午、下午或夜间时段中的两个对称时段观测，每单向一个时段观测二测回，一测回读数四次。边长观测限差要求见表 C.3.5。

表 C.3.5 边长观测限差

序号	项 目	限 差
1	一测回中各次读数差 (mm)	1 mm
2	一时段内测回差 (mm)	2 mm
3	各项改正后各时段观测边长较差 (mm)	$\sqrt{2}(A+B \times D)$ mm
4	各项改正后对向观测边长较差 (mm)	$\sqrt{2}(A+B \times D)$ mm
5	三角形中观测角与计算角的角值较差	$2\sqrt{2\left(\frac{m_s}{S}\rho''\right)^2(\operatorname{ctg}^2\alpha + \operatorname{ctg}^2\beta + \operatorname{ctg}\alpha \cdot \operatorname{ctg}\beta) + m_\beta''^2}$
6	测边为主的边角组合网角条件自由项	$2m_s\sqrt{[aa]}$

注：1 测回差应将斜距经气象改正后进行比较。

2 边长较差应将斜距化算到同一水平面上方可进行比较。

3  $(A+B \times D)$  为仪器标称精度。其中， $A$  为固定误差； $B$  为比例误差； $D$  为斜边长，km。

4  $\rho''$  为常数，其值为 206 265； $m_s/S$  为各边的平均测距相对中误差； $\alpha$ 、 $\beta$  为除观测角外的另两个角度； $m_\beta''$  为相应等级三角形网规定的测角中误差 (")。

5  $a$  为圆周角条件或组合角条件方程式系数； $m_s$  为 (所有) 观测边的平均测距中误差。

3 边长观测时必须使用规定的气象仪表观测当时的气象元素，用于观测边的气象改正。具体操作为：首先将仪器设定为不进行气象改正 (设置气象改正等于零)，记录观测边长 (斜距)，再进行气象改正和常数改正计算 (包括加常数、乘常数、周期误

差、气象等改正)。边长读数至 0.1mm，计算至 0.01mm。温度读至 0.1℃，气压读至 0.1hPa（毫巴）。

4 边长观测宜与垂直角观测采用同样的仪器高和目标高。量取仪器高（目标位置高）时需二次量取，读至 0.1mm，二次读数之差不超过规定限值。全站仪仪器高（棱镜高）二次量取应分别量测观测墩一侧底座面及其对角侧底座面至仪器（棱镜）中心高程面的垂直距离。

5 改正后的边长用精密水准或三角高程平差后的高程进行倾斜改正，倾斜改正后的边长投影至该测区平均高程面。

6 观测边长超限时，除明显的单向一时段超限可补测外，需重测该边长的所有观测值。

**C.3.6** 采用三角高程法进行水平位移监测控制网边长倾斜改正时，垂直角观测应符合下列要求：

1 垂直角观测仪器应采用精度不低于 J1 级的全站仪或经纬仪。

2 垂直角宜按中丝法观测 4 测回~12 测回，分别进行对向观测。对向观测两测站的垂直角应尽量在同时段或对称观测时段内进行，以中午附近大气垂直折光变化最小的时间段观测最为宜，取地方时 10 时至 14 时之间，一般情况下在 10 时至 16 时之间目标成像清晰时进行。垂直角观测限差要求见表 C.3.6。

**表 C.3.6 垂直角观测限差**

序号	项 目	限 差
1	二次照准目标读数的差	4"
2	一测回中各方向指标差互差	8"
3	测回差	5"

注：无竖盘指标自动归零补偿的经纬仪观测时测回差限差取 6"。

3 垂直角观测一测回的程序：盘左观测对向目标，再盘右观

测对向目标。

4 垂直角观测采用“双照准法”：照准目标二次、读数二次。垂直角读数取至  $0.1''$ ，从测回角度值开始取至  $0.01''$ 。

5 垂直角与边长宜同时观测，且垂直角观测宜与边长观测采用同样的仪器高和目标高。

6 计算高差时取本测站一个时段经气象及仪器常数改正后的边长观测值进行计算，高差及高程均取至  $0.1\text{mm}$ 。

### C.3.7 GNSS 网监测应符合下列要求：

1 GNSS 网监测应采用 B 级以上精度的 GNSS 静态定位法，对网中距离较近的点应进行同步观测，以获得它们间的直接观测基线，提高精度。当实行分区观测时，相邻分区间至少要有 2 个公共点。A 级、B 级网应逐点联测高程，联测等级不低于二等水准精度。

2 可通过增加观测期数（时段数）及重复设站次数的方法，使 GNSS 网点的位移量观测中误差满足规范规定的要求。具体观测要求见 GB/T 18314。

### C.3.8 垂直位移监测控制网应符合下列要求：

1 采用一等精密水准要求进行观测，应采用精度不低于  $S_{05}$  级的水准仪。

2 一条路线的往返测，应使用同一台仪器和转点尺承，沿同一道路进行。

3 同一测段的往测（或返测）与返测（或往测）应分别在上午与下午进行。在日间气温变化不大的阴天和观测条件较好时，若干里程的往返测可同在上或下午进行。

4 垂直位移监测控制网监测除符合本规范外，还应满足 GB/T 12897 的要求。

### C.3.9 一等精密水准观测应符合下列要求：

1 一等水准观测，须根据路线土质选用尺桩或尺台（尺台质量不轻于  $5\text{kg}$ ）作转点尺承，所用尺桩或尺台数应不少于 4 个，

特殊地段可采用大帽钉。

2 测站视线长度（仪器至标尺的距离）、前后视距差、视线高度按表 C.3.9-1 的规定执行。

表 C.3.9-1 水准观测测站视线规定 (m)

等级	仪器类型	视线长度	前后视距差		任一测站上前后视距差累积		视线高度	
			光学	数字	光学	数字	光学 (下丝读数)	数字
一等	DS <sub>05</sub>	≤30	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 1.5	≤3.0	≥0.5	≥0.65
二等	DS <sub>1</sub> 、DS <sub>05</sub>	≤50	≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 3.0	≤6.0	≥0.3	≥0.55

注：下丝为近地面的视距丝。

### 3 测站观测顺序和方法如下：

#### 1) 往测时，奇数测站照准标尺分划的顺序为：

- a. 后视标尺的基本分划；
- b. 前视标尺的基本分划；
- c. 前视标尺的辅助分划；
- d. 后视标尺的辅助分划。

这样的观测顺序简称为：后—前—前—后。

#### 2) 往测时，偶数测站照准标尺分划的顺序为：

- a. 前视标尺的基本分划；
- b. 后视标尺的基本分划；
- c. 后视标尺的辅助分划；
- d. 前视标尺的辅助分划。

这样的观测顺序简称为：前—后—后—前。

#### 3) 返测观测顺序，当往测总测站数为偶数时，奇、偶测站照准标尺的顺序分别与往测偶、奇测站相同，即奇

数测站采用前一后一后一前一前、偶数测站采用后一前一前一后的顺序。当往测总测站数为奇数时，奇、偶测站照准标尺的顺序分别与往测奇、偶测站相同。

4 测站观测限差见表 C.3.9-2。

表 C.3.9-2 水准观测测站限差 (mm)

等级	上下丝读数平均值与中丝读数的差		基辅分划读数的差	基辅分划所测高差的差	检测间歇点高差的差
	0.5cm 刻划标尺	1cm 刻划标尺			
一等	1.5	3.0	0.3	0.4	0.7
二等	1.5	3.0	0.4	0.6	1.0

5 往返测高差不符值、环闭合差和检测高差较差的限差见表 C.3.9-3。

表 C.3.9-3 水准观测闭合差限值 (mm)

等级	测段、区段、路线往返测高差不符值	附和路线闭合差	环闭合差	检测已测测段高差之差
一等	$1.8\sqrt{K}$		$2\sqrt{F}$	$3\sqrt{R}$
二等	$4\sqrt{K}$	$4\sqrt{L}$	$4\sqrt{F}$	$6\sqrt{R}$

注：K 为测段、区段或路线长度，km，当测段长度小于 0.1 km 时，按 0.1 km 计算；L 为附和路线长度，km；F 为环线长度，km；R 为检测测段长度，km。

6 每公里水准测量的偶然中误差  $M_{\Delta}$  和全中误差  $M_w$  的限差见表 C.3.9-4。

表 C.3.9-4 每公里水准测量的偶然中误差  $M_{\Delta}$  和全中误差  $M_w$  的限差 (mm)

测量等级	$M_{\Delta}$	$M_w$
一等	0.45	1.0
二等	1.0	2.0

**C.3.10** 变形监测控制网平差计算应符合下列要求：

1 变形监测控制网测站观测工作结束之后，应及时整理和检查外业观测成果。因观测成果含有误差致使观测值不可能完全满足相关条件的理论要求，会出现一定的闭合差。闭合差不应超过某一规定的界限，否则即可能含有粗差，需对观测成果进行重测。只有在剔除含有粗差的观测值，外业成果验算全部合格后，才能进行监测控制网平差计算。变形监测控制网外业成果验算参见《工程测量规范》GB 50026、GB/T 17942、GB/T 16818、GB/T 12897等相关规范。

2 首期水平位移监测控制网一般采用经典平差计算，平差时应确定一个起算点及一个起算方向。

3 水平位移监测控制网的复测平差计算，当无必要起算数据时，可采用秩亏自由网平差法；当有相对稳定点时，可采用拟稳平差；当能确定有两个以上稳定点或一个稳定点及一个起算方向时，应采用经典平差。

**C.3.11** 变形监测控制网点稳定性评判应符合下列要求：

1 变形监测网点的稳定性评判应根据各期复测成果及现场情况综合评判。

2 变形监测控制网的 1 次复测成果，可根据单点变形量与（取  $k$  倍中误差为极限的）极限变形误差椭圆的关系或采用统计检验法，判断是否发生变形。

3 网点坐标有一个方向被确定发生显著位移时，其三维坐标应采用复测后的成果，且与其相应的引用均需进行修正。

## 附录 D 变形监测基点及测点结构示意图

### D.1 水平位移监测控制网点及表面位移观测墩结构示意图

D.1.1 浅覆盖层混凝土观测墩结构示意图如图 D.1.1 所示。

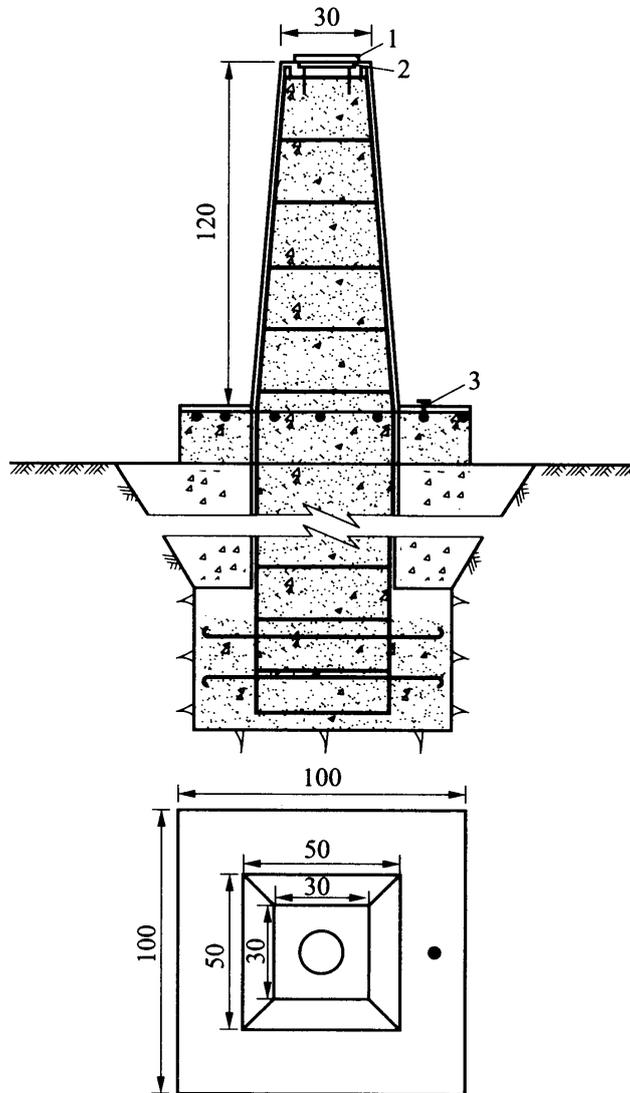


图 D.1.1 浅覆盖层混凝土观测墩结构示意图 (单位: cm)

1—保护盖; 2—强制对中底盘; 3—水准标芯



D.1.3 基岩混凝土观测墩结构示意图如图 D.1.3 所示。

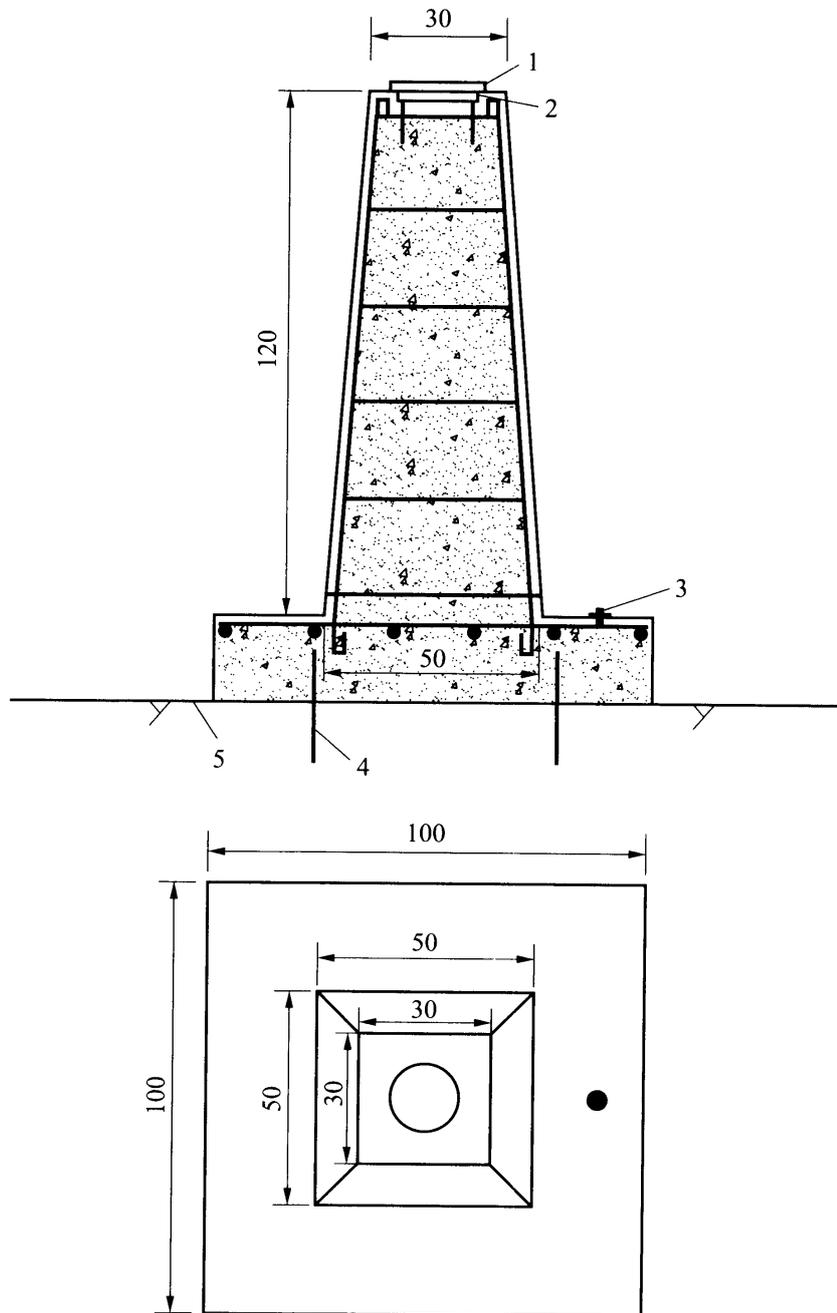


图 D.1.3 基岩混凝土观测墩结构示意图 (单位: cm)

1—保护盖; 2—强制对中底盘; 3—水准标芯; 4—插筋; 5—基岩面

D.1.4 坝体混凝土观测墩结构示意图如图 D.1.4 所示。

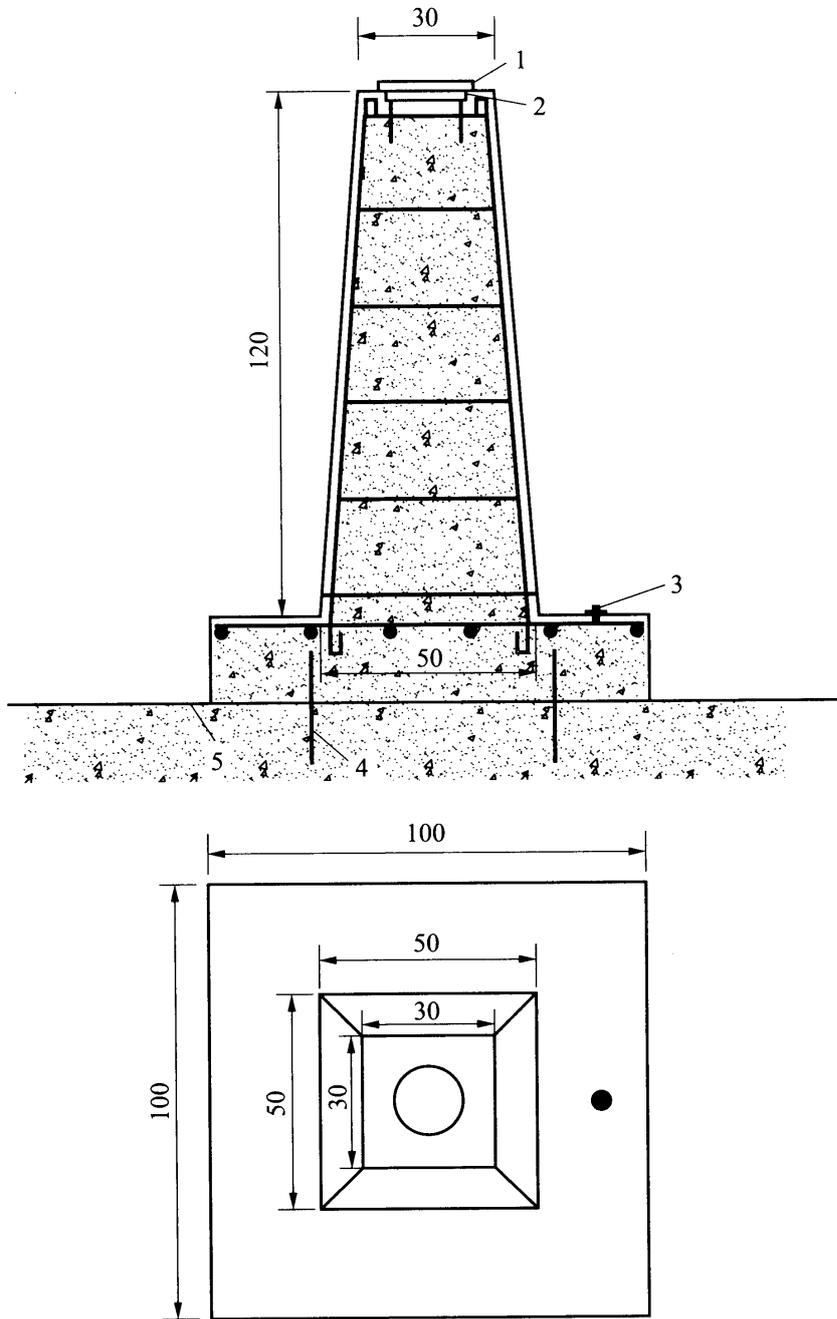


图 D.1.4 坝体混凝土观测墩结构示意图 (单位: cm)

1—保护盖; 2—强制对中底盘; 3—水准标芯; 4—插筋; 5—坝体混凝土面

## D.2 水准基点、工作基点、测点结构示意图

D.2.1 基岩标结构示意图如图 D.2.1 所示。

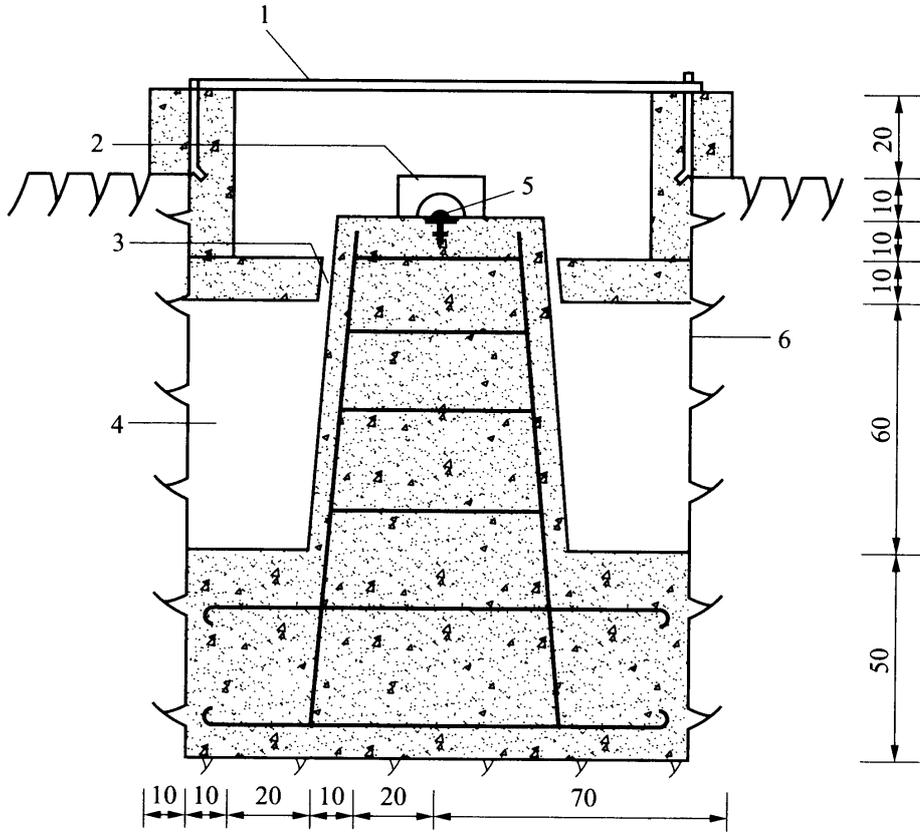


图 D.2.1 基岩标结构示意图 (单位: cm)

1—盖板; 2—混凝土盖; 3—沥青; 4—沙; 5—水准标芯; 6—岩基

**D.2.2** 岩石标结构示意图如图 D.2.2 所示。

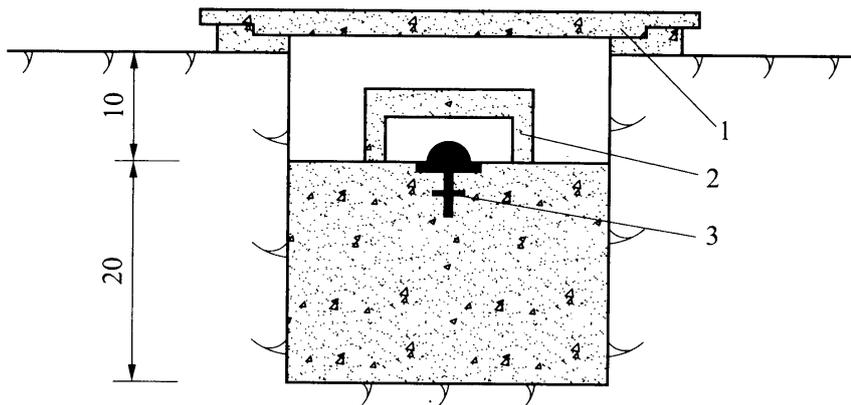


图 D.2.2 岩石标结构示意图 (单位: cm)

1—保护盖; 2—内盖; 3—水准标芯

**D.2.3** 钢管标结构示意图如图 D.2.3 所示。

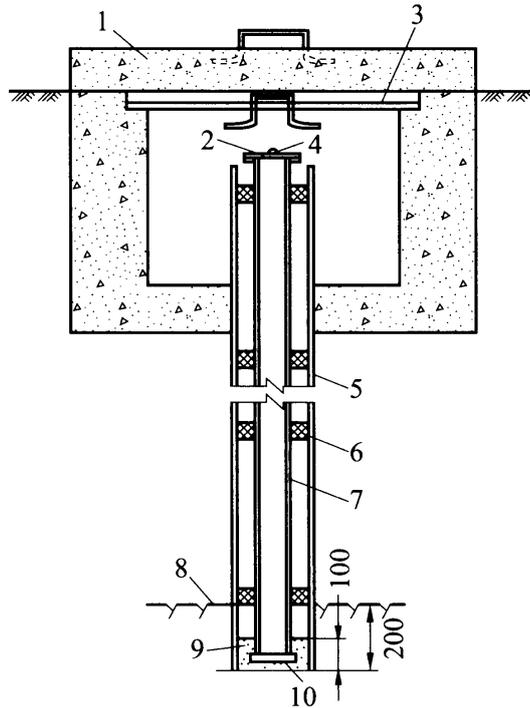


图 D.2.3 钢管标结构示意图 (单位: cm)

1—钢筋混凝土标盖; 2—测温孔; 3—钢板标盖; 4—标芯; 5—钻孔保护管(钢管);  
6—橡胶环; 7—芯管(钢管); 8—新鲜基岩; 9—水泥砂浆; 10—芯管底板

D.2.4 双金属标结构示意图如图 D.2.4 所示。

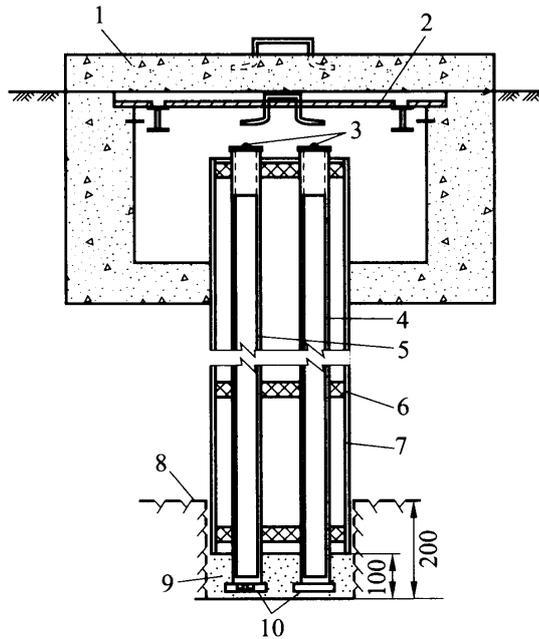


图 D.2.4 双金属标结构示意图 (单位: cm)

1—钢筋混凝土标盖; 2—钢板标盖; 3—标芯; 4—钢芯管; 5—铝芯管; 6—橡胶环; 7—钻  
孔保护管; 8—新鲜基岩; 9—水泥砂浆; 10—芯管底板

D.2.5 水准测点结构示意图如图 D.2.5 所示。

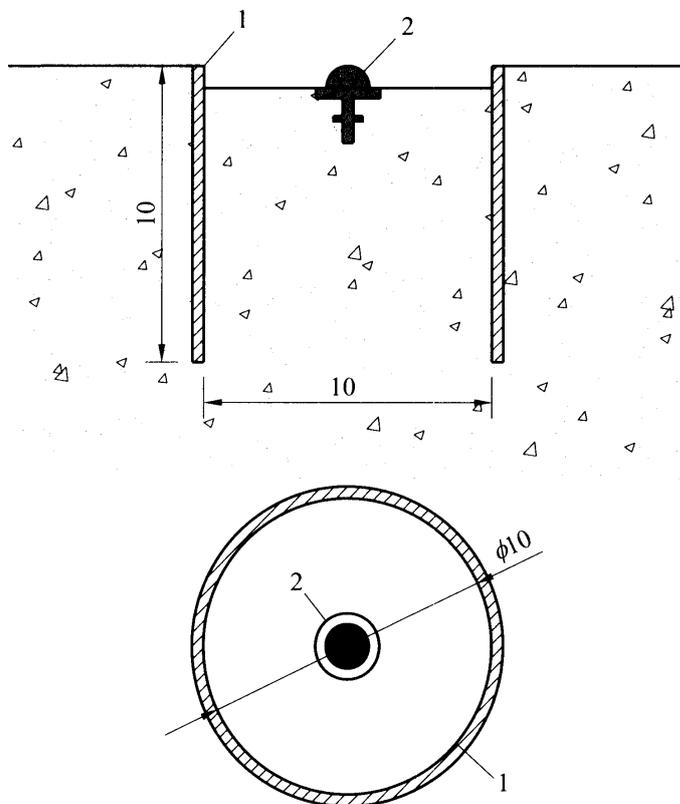


图 D.2.5 水准测点结构示意图 (单位: cm)

1—钢管; 2—标芯

## 附录 E 变形监测仪器设备的布置、安装和监测

### E.1 垂线的安装和监测

**E.1.1** 正垂线结构应符合下列要求：

**1** 正垂线宜采用“一线多测站式”，线体设在预留孔或钻孔内，也可利用其他竖井或宽缝布置。当需采用保护管时，保护管宜采用防腐抗老化的材料。悬挂点应尽量设在坝顶附近。必须保证换线前后位置不变，并应考虑换线及调整方便。

**2** 单段垂线的长度宜根据坝体廊道布置、仪器量程、防风措施及结构变形范围等因素确定。

**3** 重锤应设止动叶片。重锤质量一般按式（E.1.1）确定：

$$W > 20(1 + KL) \quad (\text{E.1.1})$$

式中： $W$ ——重锤质量，kg；

$K$ ——重锤质量系数，取 0.02kg/m；

$L$ ——测线长度，m。

**4** 测线宜采用强度较高的不锈钢丝，其直径应保证极限拉力大于重锤重量的 2 倍。宜适用直径为 1.0mm~1.2mm 的钢丝，一般垂线直径不宜大于 1.6mm。

**5** 阻尼箱内应装防锈、黏性小、抗冻液体，其内径和高度应比重锤直径和高度大 15cm~20cm，箱内灌装黏性小、不宜蒸发、防锈（严寒地区防冻）的阻尼液，重锤应全部没入阻尼液内。

**6** 观测站宜采用钢筋混凝土观测墩，观测站宜设防风、防潮保护室，并装门加锁。

**7** 在竖井、宽缝和直径较大的垂线井中，测线应设防风管。防风管内径视变形幅度而定，但不宜小于 100mm。安装后，有效

孔径应不小于 85mm。

**E.1.2** 倒垂线结构应符合下列要求：

1 倒垂线钻孔深入基岩的深度应综合考虑地质情况和计算分析结果确定，达到变形可忽略处。缺少计算分析结果时，可取坝高的 1/4~1/2，且不宜小于 10m。

2 倒垂孔内宜埋设保护管，必要时孔外还应装设测线防风管。

3 钻孔保护管宜用壁厚 5mm~7mm 的无缝钢管，内径不宜小于 100mm。安装保护管后，其有效孔径视变形幅度而定，不得小于 75mm。

4 浮体组宜采用恒定浮力式。浮子的浮力一般按式 (E.1.2) 确定：

$$P > 250(1 + K'L) \quad (\text{E.1.2})$$

式中：  $P$  ——浮子浮力，N；

$K'$  ——浮子浮力系数，取 0.01N/m；

$L$  ——测线长度，m。

5 测线宜采用强度较高的不锈钢丝，其直径的选择应保证极限拉力大于浮子浮力的 3 倍。钢丝直径宜选用  $\phi 1.0\text{mm} \sim \phi 1.2\text{mm}$ ，一般不宜大于  $\phi 1.6\text{mm}$ 。

6 当正、倒垂线结合布置时，正、倒垂线宜在同一个观测墩上衔接；不具备条件时，应选择在同坝段、同高程部位衔接。

**E.1.3** 倒垂孔保护管埋设：

1 全面冲洗钻孔，除净孔内残留的岩粉。

2 自下而上准确测定钻孔偏斜值，确定钻孔保护管埋设位置。

3 钻孔保护管应保持平直。底部宜加以焊封。底部 0.5m 的内壁应加工为粗糙面，以使用水泥浆固结锚块。各段钢管接头处，应精细加工，保证连接后整个保护管的平直度，并防止漏水。

4 下保护管前，可在钻孔底部先放入少量水泥浆（高于孔底约 0.5m）。保护管下到孔底后，宜略提起（不得提出水泥浆面）并用钻机或千斤顶进行固定，然后准确测定保护管的偏斜值。如

偏斜过大，应加以调整，直到满足设计要求，方可用水泥浆固结。待水泥浆凝固后，才允许拆除固定保护管的钻机或千斤顶。

5 其后应再次测定保护管的偏斜值，找出保护管安装后的有效孔径中心，其有效孔径中心即为倒垂线线体安装位置，有效孔径应不小于 75mm。

**E.1.4 垂线安装应符合下列要求：**

**1 正垂线安装应符合下列要求：**

- 1) 支点、固定夹线和活动夹线装置，一般都在竖井墙壁上留孔或预埋型钢。
- 2) 将垂线体一端固定在悬挂装置上，另一端穿过垂线孔，将线体调整到有效孔径的中心。
- 3) 将重锤悬挂于垂线体的适当长度上（一般重锤离阻尼桶桶底 5cm~10cm）放入油桶内。

**2 倒垂线安装应符合下列要求：**

- 1) 将线体对准有效孔径的中心，以水泥浆或水泥砂浆将锚块浇固在钻孔保护管底有效孔径中心部位，其偏差不得大于 4mm。
- 2) 浮体组安装，应使浮子水平、连杆垂直，浮子应位于浮桶中心，处于自由状态。若采用恒力浮子，应使整个浮子没入液体中，但不可触及浮桶底部；若采用其他类型的浮子，则应调整到设计浮力。

3 正、倒垂线观测墩制作时，应使墩边线平行于位移坐标轴线。

4 防风管的中心应尽量和测线一致，以保证测线在管中有足够的位移范围。

5 宜先安装测线（或临时测线），再安装坐标仪底盘。底盘的具体位置应根据仪器的量程或位移量的大小而定，但应使仪器导轨平行于监测方向，坐标仪底盘应调整水平。

**E.1.5 垂线监测应符合下列要求：**

- 1 垂线监测可用光学垂线坐标仪、垂线瞄准仪、遥测垂线坐

标仪。

2 垂线监测前必须检查该垂线是否处在自由状态；倒垂线还应检查调整浮体组的浮力，使之满足要求。

3 一条垂线上各测点的人工监测应从上而下，或从下而上，依次在尽量短的时间内完成。

4 用光学机械式仪器监测前后，必须检测仪器零位，并计算它与首次零位之差，取前后两次零位差之平均值作为本次监测值的改正数。

5 采用光学垂线坐标仪进行人工监测：将仪器置于底盘上，调平仪器，照准测线中心两次（或左右边沿各一次），读记监测值，构成一个测回。取两次读数的均值作为该测回之监测值。两次照准读数差（或左右沿读数差与钢丝直径之差）不得超过 0.15mm。每测次应监测两测回（测回间应重新整置仪器），两测回监测值之差不得大于 0.15mm。

6 自动化监测，首次观测前需进行灵敏度系数测定。

## E.2 引张线的安装和监测

E.2.1 引张线结构应符合下列要求：

1 可根据工程特点和运行环境，选择使用有浮托式引张线或无浮托式引张线，线体应设防风护管。

2 当采用无浮托式引张线时，各测点墩顶高程的连线和防风护管应设计成适合线体的悬链线。

3 单条引张线线体长度宜根据监测精度、仪器量程、防风措施及结构变形范围等因素确定。

4 端点装置宜采用一端固定、一端加力的办法。加力端装置包括定位卡、滑轮和重锤（或其他加力器），固定端装置仅有定位卡、固定栓。定位卡应使换线前后测线轴线位置差小于 0.2mm。

5 引张线重锤质量与悬链线垂径一般按式（E.2.1-1）和式（E.2.1-2）确定：

有浮托式引张线:

$$y = \frac{L^2 q}{8M} \quad (\text{E.2.1-1})$$

式中:  $y$  —— 计算点处悬链线高度, m;

$L$  —— 两浮托间线体距离, m;

$q$  —— 测线的线密度, kg/m;

$M$  —— 加力重锤质量, kg。

无浮托式引张线:

$$y = \frac{q}{2M} x^2 - \left( \frac{qL}{2M} - \frac{h}{L} \right) x \quad (\text{E.2.1-2})$$

式中:  $x$  —— 计算点与左端点间距, m;

$y$  —— 计算点处悬链线高度, m;

$M$  —— 加力重锤质量, kg;

$q$  —— 测线的线密度, kg/m;

$L$  —— 两端点间线体距离, m;

$h$  —— 两端点间线体高差, m。

无浮托式引张线安装示意图如图 E.2.1 所示。

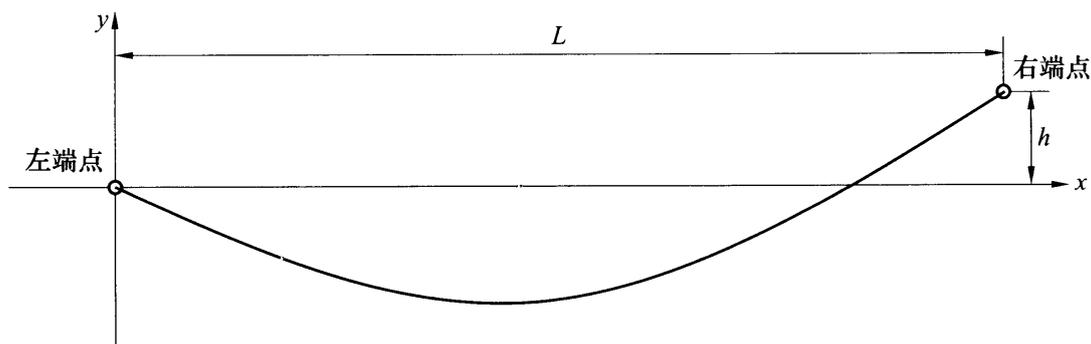


图 E.2.1 无浮托式引张线安装示意图

6 测线应采用圆形截面, 直径不宜超过 1.6mm; 测线的抗拉强度应不小于工作拉应力的 2 倍; 测线材料可采用复合材料或高强不锈钢丝。

7 浮船最大净浮力应大于其最大承载重量的 1.5 倍, 在浮箱内

的自由行程应满足设计要求,浮船与浮箱间的最小间隙应大于 30mm。

**E.2.2 引张线安装应符合下列要求:**

1 定位卡、读数尺(或仪器底盘)的安装通常宜在张拉测线之后进行。

2 定位卡的 V 形槽槽底应水平,方向与测线应一致。

3 安装滑轮时,应使滑轮槽的方向及高度与定位卡的 V 形槽一致。

4 同一条引张线的读数尺零方向必须统一,一般将零点安装在下流侧。尺面应保持水平;分划线应平行于测线;尺的位置应根据尺的量程和位移量的变化范围而定。

5 仪器底盘应水平,位置及方向应依据所采用的仪器而定。

6 有浮托装置的水箱水面应有足够的调节余地,以便调整测线高度满足量测工作的需要。寒冷地区应采用防冻液。

7 保护管安装时,宜使测线位于保护管中心,至少须保证测线在管内有足够的活动范围。端点装置、测点装置及保护管应相互连接,封闭防风。

**E.2.3 引张线监测应符合下列要求:**

1 各测点与两端点间距应在首次监测前测定,测距相对中误差不应大于 1/1000。

**2 人工监测:**

1) 一测次监测前,应检查、调整全线设备,有浮托式引张线使浮船和测线处于自由状态,并将测线调整到高于读数尺 0.3mm~3mm 处(依仪器性能而定),固定定位卡。

2) 一测次应监测两测回(从一端观测到另一端为一测回)。测回间应在若干部位轻微拨动测线,待其静止后再测下一测回。

3) 观测时,先整置仪器,分别照准钢丝两边缘读数,取平均值作为该测回的观测值。左右边缘读数差和钢丝

直径之差不得超过 0.15mm，人工观测每一测次应测读两测回，两测回观测值之差不得超过 0.15mm。

- 3 自动化监测，首次观测前需进行灵敏度系数测定。

### E.3 视准线的布置、安装和监测

#### E.3.1 视准线布置应符合下列要求：

- 1 视准线可按照实际情况选用活动觇牌法或小角度法，视准线应旁离障碍物 1m 以上。

- 2 视准线长度，重力坝不宜超过 300m，拱坝不宜超过 500m。当坝轴线为折线或坝长超过 300m 时，可在折点处或视准线中间增设工作基点（可用测点代替）。

- 3 测点宜设观测墩，墩上应设强制对中底盘，底盘对中误差不得大于 0.2mm。

- 4 各种混凝土观测墩的结构可见附录 D.1。

#### E.3.2 视准线安装应符合下列要求：

- 1 观测墩顶部的强制对中底盘应调整水平，倾斜度不得大于 4'。

- 2 视准线各测点底盘中心应埋设在两 endpoint 底盘中心的连线上，其偏差不得大于 10mm。

#### E.3.3 视准线监测应符合下列要求：

- 1 观测时，宜在两端工作基点上观测邻近的 1/2 的测点。

- 2 每一测次应观测两测回，每测回包括正、倒镜各照准觇标两次并读数两次，取平均值作为该测回之观测值。观测限差规定见表 E.3.3。

表 E.3.3 视准线观测限差

方 式	正镜或倒镜两次读数差	两测回观测值之差
活动觇牌法	2.0mm	1.5mm
小角度法	4.0"	3.0"

3 当采用小角度法观测时,各测次均应使用同一个度盘分划线;如各测点均为固定的觇牌,可采用方向观测法。

#### E.4 激光准直系统的布置、安装和监测

**E.4.1** 真空激光准直系统布置应符合下列要求:

- 1 真空激光准直系统宜设在坝顶,也可设在廊道内。
- 2 真空激光准直系统的小孔光阑的直径应使激光束在第一块波带板处的光斑直径大于波带板有效直径的 1.5 倍~2 倍。
- 3 真空管道应采用无缝钢管,其内径应大于波带板最大通光孔径的 1.5 倍,或大于测点最大位移量引起像点位移量的 1.5 倍,但不宜小于 150mm。
- 4 真空管道测量真空度应小于 66Pa,保持真空度应小于 20kPa,漏气率应小于 120Pa/h,抽真空时间小于 1h。

**E.4.2** 大气激光准直系统布置应符合下列要求:

- 1 大气激光准直系统宜设在廊道内,两端点的距离不宜大于 300m。在坝顶布置时,应使激光束高出坝面和旁离建筑物 1.5m 以上。
- 2 大气激光准直系统除真空系统外,其余与真空激光准直系统中的激光准直系统相同。
- 3 为减轻大气对测量的影响,宜在激光准直线路路上加装保护管。

**E.4.3** 真空激光准直设备安装应符合下列要求:

1 真空管道轴线高程放样时,应加地球弯曲差改正。改正值用式 (E.4.3) 计算:

$$\delta h = \frac{L^2}{2R} \quad (\text{E.4.3})$$

式中:  $\delta h$ ——放样点高程改正值, m;

$L$ ——放样点到起点的距离, m;

$R$ ——地球曲率半径, m, 取 6 370 000。

2 真空管道的内壁必须进行清洁处理：除去锈皮、杂物和灰尘。此项工作在安装前、后，以及正式投入运行前应反复进行数次。

3 测点箱和法兰短管的焊接，应采用内外两面焊；长管道的焊接，应在两端打出高 5mm 的 30° 坡口，采用两层焊。每一测点箱和每段管道焊接完成后，必须单独检测。检漏可采用充气、涂肥皂水观察法。检漏工作应反复多次，发现漏孔，应及时补焊。

4 长管道由几根钢管焊接而成。每根钢管焊接前或一段管道焊好后，均应作平直度检查，不平直度不得大于 10mm。

5 每段管道的中部应该用管卡将管道固定在支墩上，其余支墩上设活动滚杠，以便管道向两端均匀变化。

6 激光点光源、探测器和波带板的安装要求详见 E.4.4。

**E.4.4 大气激光准直设备安装应符合下列要求：**

1 点光源的小孔光栏和激光探测仪必须和端点观测墩牢固结合，保证两者的相对位置长期稳定不变。

2 波带板应垂直于准直线。波带板中心应调整到准直线上，其偏离值不得大于 10mm；距点光源最近的几个测点应从严要求，偏离值不得大于 3mm~5mm。

**E.4.5 真空激光准直监测应符合下列要求：**

1 观测前应先启动真空泵抽气，观测前应先检测管道内真空度是否在规定的真空度以下，具体要求在设计书中规定。

2 用激光探测仪观测时，每测次应往返观测一测回，两个“半测回”测得的偏离值之差不得大于 0.3mm。

**E.4.6 大气激光准直监测应符合下列要求：**

1 观测应在大气稳定、光斑抖动微弱时进行。如在坝顶，宜在夜间观测。

2 首次观测前应调整点光源位置和方向，使激光束中心与第一块波带板中心基本重合。

3 用手动（目测）激光探测仪观测时，每测次应观测两测回（每测回由往、返测组成。由近至远，依次观测完各测点，称为往

测；由远至近，依次观测各测点，称为返测）。观测限差与表 E.3.3 中“活动觇牌法”的限差同。

4 用自动激光探测仪观测，应先启动电源，使仪器预热（预热时间视仪器特性而定），认真进行调整后，按上述同样程序观测。

## **E.5 静力水准的布置、安装和监测**

**E.5.1** 静力水准布置应符合下列要求：

- 1 静力水准宜布置在廊道中，也可布置在坝顶。
- 2 单条静力水准线体长度不宜大于 300m，各测点布置的初始高程宜一致。
- 3 静力水准布置在坝顶时，应采用隔温材料对测点和管路进行保护。

**E.5.2** 静力水准安装应符合下列要求：

- 1 仪器墩应与被测基础紧密结合，各仪器墩面高程差应小于 10mm。
- 2 将钵体、水管、浮子清洗干净。
- 3 在钵体内注入蒸馏水，并仔细排除水管、三通、钵体内气泡，连接管路。

**E.5.3** 静力水准监测应符合下列要求：

- 1 可分目测和自动遥测，分别用数字显示器或数据采集器观测。
- 2 各测点观测依次在尽量短的时间内完成。

## **E.6 交会测点的布置、安装和观测**

**E.6.1** 交会测点布置应符合下列要求：

- 1 测角交会测点布置应符合下列要求：
  - 1) 在交会点上所张的角不宜大于  $120^\circ$ ，或小于  $60^\circ$ 。工作基点到测点的距离，在观测曲线坝体时，不宜大于 200m；在观测高边坡和滑坡体时，不宜大于 300m。

当采用三方向交会时，上述要求可适当放宽。

2) 测点上应设置觇牌或塔式照准杆。

2 测边交会测点布置应符合下列要求：

1) 交会点上所张的角不宜大于  $135^\circ$ ，或小于  $45^\circ$ 。工作基点到测点的距离，在观测曲线坝体时，不宜大于 400m；在观测高边坡和滑坡体时，不宜大于 600m。

2) 测点上应埋设安置反光镜的强制对中底盘，观测时安置与仪器配套的棱镜。应对棱镜偏心进行检验，以削弱棱镜偏心对监测值的影响，必要时应设法消除棱镜偏心的影响。

3 边角交会测点布置应符合下列要求：

1) 边角交会点上所张的角度要求可适当放宽。工作基点到测点的距离，在观测曲线坝体时，不宜大于 400m；在观测高边坡和滑坡体时，不宜大于 600m。

2) 测点上应埋设安置反光镜的强制对中底盘，观测时安置与全站仪配套的棱镜。棱镜要求同测边交会。

**E.6.2** 交会测点安装应符合下列要求：

交会法测点上的固定觇牌面应与交会角的分角线垂直，觇牌上的图案轴线应调整铅直，不铅直度不得大于  $4'$ 。塔式照准杆亦应满足同样的铅直要求。

**E.6.3** 交会测点观测应符合下列要求：

1 交会法宜采用测边测角交会法，位移量中误差应满足表 A.3.1 中的规定。

2 测角交会只观测水平角，测边交会只观测边长，边角交会观测水平角和边长。水平角观测仪器应采用 J1 级及以上精度经纬仪或相应等级全站仪。水平角观测时各测回均采用同一度盘位置，光学经纬仪测微器位置宜适当改变；观测方向的垂直角超过  $\pm 3^\circ$  时，该方向的观测值应加入垂直轴倾斜改正。边长观测时可直接观测平距或观测斜距通过高差倾斜改正。

3 水平角及边长观测的测回数应根据各工程情况进行精度评估,以保证各位移测点在规定方向上的位移量中误差满足表 A.3.1 的要求,宜观测四测回以上。

4 水平角观测及边长观测详见附录 C.3.4 和附录 C.3.5。若观测边长斜距需通过高差倾斜改正,垂直角的观测详见 C.3.6。

## E.7 测斜管的安装和监测

**E.7.1** 测斜孔造孔应符合下列要求:

1 钻孔一般呈铅直布置,测孔深度应达到变形相对稳定处,钻孔孔口应设保护装置。

2 宜采用活动式测斜仪,若采用固定式测斜仪,测点间间距不宜大于 5m。

**E.7.2** 测斜管安装应符合下列要求:

1 岩质边坡宜采用铝合金材质测斜管,土质边坡宜采用 ABS 材质测斜管。

2 测斜管安装时,导槽槽口应对准所测位移的方向。测斜管安装到位后,宜测量导槽的扭转角。

3 岩质边坡宜采用水泥浆回填,土质边坡宜采用黏土浆液或细砂回填。

**E.7.3** 测斜仪监测应符合下列要求:

1 在进行初期观测以确定初始值和测值异常时,无论单、双传感器的测斜仪,都应对 A、B 槽进行相同的操作。测值正常后对有双传感器的测斜仪,可不观测 B 槽。

2 测斜仪探头放入孔底,静置孔内使仪器温度基本稳定,从管底自下而上逐次测定,完成后将探头导轮反转 180° 放入同一组导槽内,重复上述观测过程。

3 对于单传感器测斜仪,应将探头放入垂直的 B 槽中,重复上述观测步骤。

## E.8 多点位移计的布置、安装和监测

### E.8.1 多点位移计布置应符合下列要求：

1 宜布置在有断层、裂隙密集带、软弱结构面等影响的部位，在需要监测的软弱结构面两侧应各设一个锚固点。

2 仪器计算基点宜布设在变形相对稳定处，钻孔孔口应设保护装置。

### E.8.2 多点位移计造孔应符合下列要求：

1 造孔直径根据测头的数量确定，宜为 75mm~130mm。

2 孔深应比设计要求深 20cm~50cm。钻孔宜取芯，并进行岩芯描述，孔壁平整、光滑。

3 造孔完毕应全面冲洗。

### E.8.3 多点位移计安装应符合下列要求：

1 按设计要求组装，调好传感器工作量程。

2 将组装好的多点位移计送入孔内，固定传感器装置，引出电缆和排气管。

3 孔口水泥砂浆固化后，若检查正常，开始封孔灌浆。

4 对于灌浆前没有安装传感器的，可在浆液终凝后安装上传感器。

### E.8.4 多点位移计监测应符合下列要求：

仪器安装完成，待浆液强度满足要求后，即可读取初始读数。

## E.9 滑动测微计的布置、安装和监测

### E.9.1 滑动测微计布置应符合下列要求：

1 宜布置在有断层、裂隙密集带、软弱结构面等影响的部位，在需要监测的软弱结构面两侧应各设一个锚固点。

2 仪器计算基点宜布设在变形相对稳定处，钻孔孔口应设保护装置。

**E.9.2** 滑动测微计造孔应符合下列要求:

- 1 在设定的孔位及方向上钻直径为 110mm 的孔。
- 2 钻孔宜取岩芯, 并进行岩芯描述。
- 3 孔壁应平整、光滑, 并冲洗干净。

**E.9.3** 导管安装应符合下列要求:

1 将环形测量标芯与导管按刻线方向用密封胶连接为 1m 一段, 孔底导管应装有底盖, 然后按编号顺序将逐段对接, 用螺钉加以固定。

- 2 灌浆要求同多点位移计。

**E.9.4** 滑动测微计监测应符合下列要求:

1 第 1 次测量时在导管管口做好探头进入导管方向的标记, 以后每次测量探头均从同一方向放入探头, 探头在孔内的基准方向由导向链控制。

2 每次测量前应采用标定筒对探头进行温度标定, 对测孔测量时宜采用两个测回, 计算测值采用两测回的平均值。

3 每次测量时宜读数三次, 若三次读数误差小于  $5\mu\text{m}$ , 其平均值即可作为该标距长度的观测值。

**E.10 测缝计安装**

**E.10.1** 平面三点式测缝标点结构图如图 E.10.1 所示。

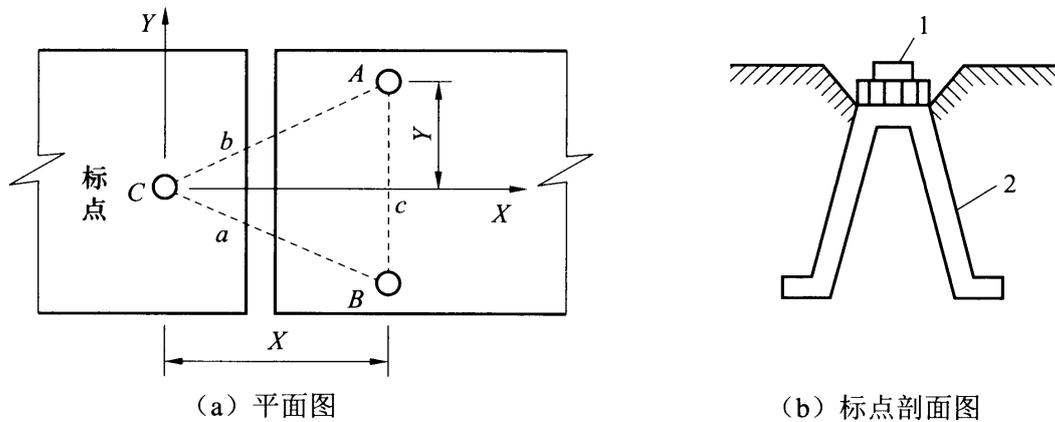


图 E.10.1 平面三点式测缝标点结构图

1—卡尺测针卡着的小坑; 2—锚筋

**E.10.2** 立面弯板式测缝标点结构图如图 E.10.2 所示。

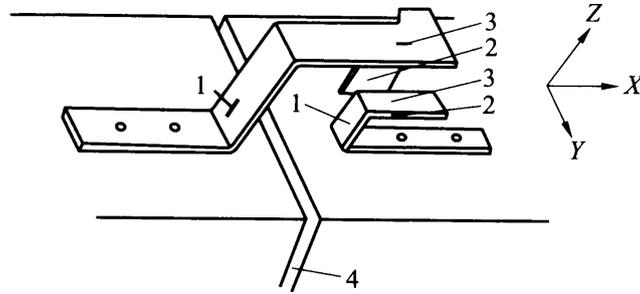


图 E.10.2 立面弯板式测缝标点结构图

1—观测 X 方向的标点；2—观测 Y 方向的标点；3—观测 Z 方向的标点；4—伸缩缝

**E.10.3** 埋入式测缝计埋设示意图如图 E.10.3 所示。

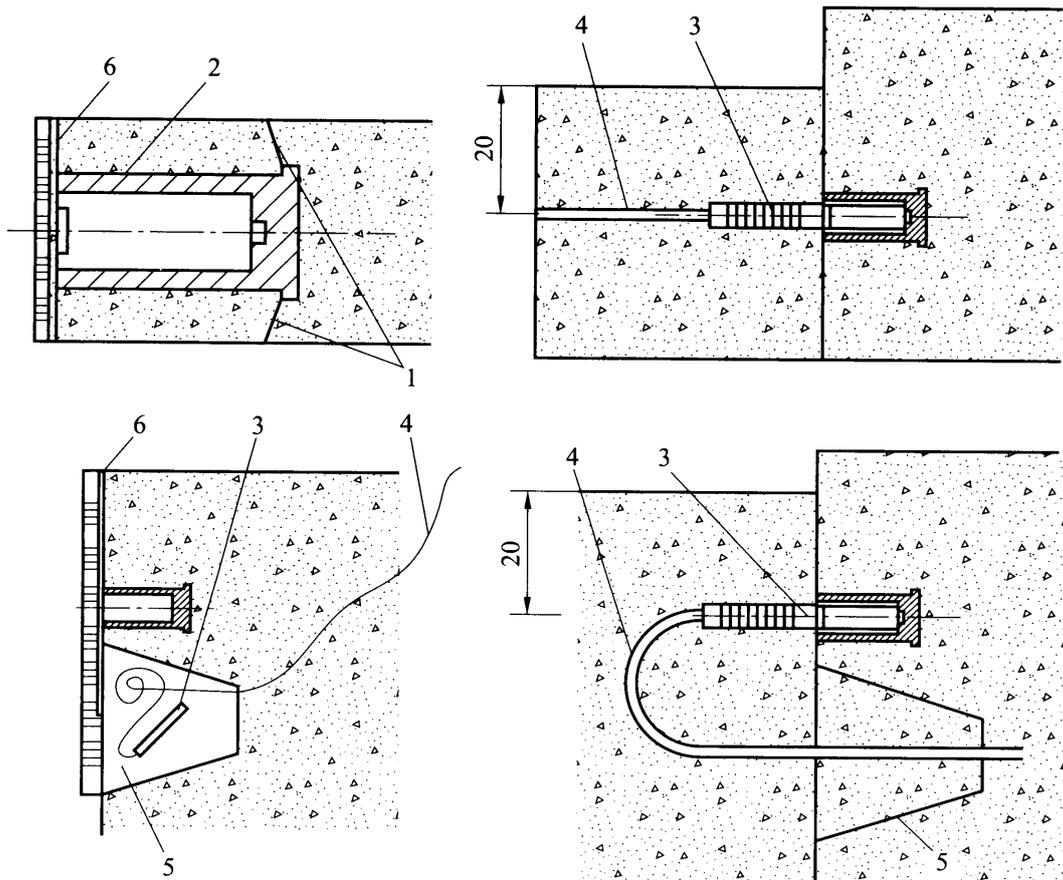


图 E.10.3 埋入式测缝计埋设示意图 (单位: cm)

1—铅丝；2—测缝计套筒；3—测缝计；4—电缆；5—储藏箱；6—模板

**E.10.4** 裂缝计埋设示意图如图 E.10.4 所示。

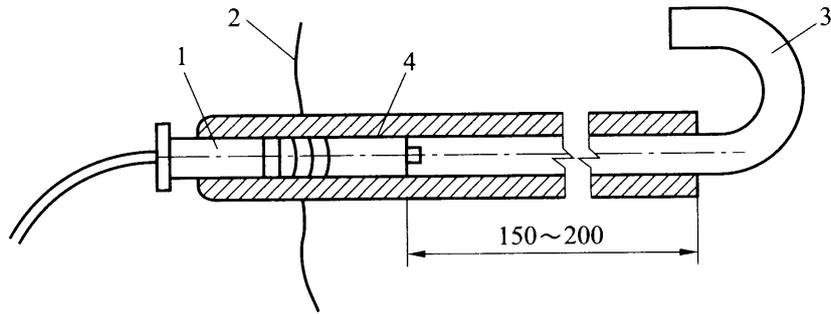


图 E.10.4 裂缝计埋设示意图 (单位: mm)

1—测缝计; 2—裂缝; 3—加长杆直杆 ( $\phi 32\text{mm}$  钢筋); 4—包塑料布涂沥青

**E.10.5** 坝基基岩变位计、测缝计埋设示意图如图 E.10.5 所示。

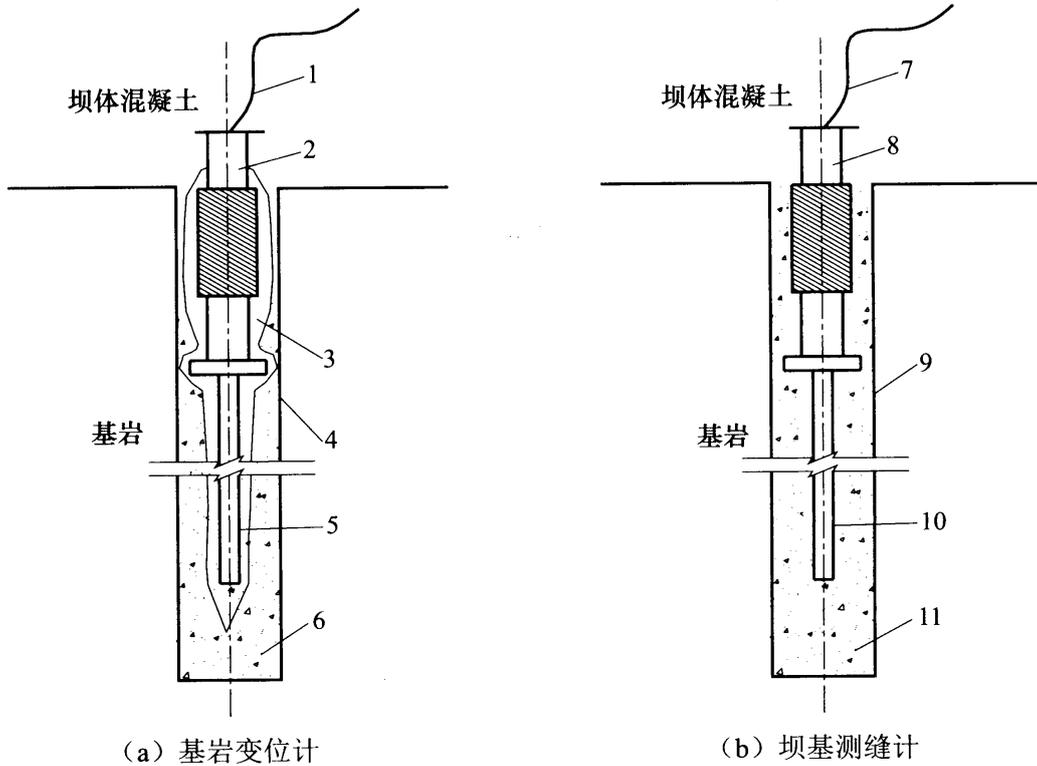


图 E.10.5 坝基基岩变位计、测缝计埋设示意图

1、7—电缆批; 2、8—测缝计; 3—沥青麻布包裹; 4、9—钻孔; 5—加长镀锌管;  
6、11—水泥砂浆; 10—加长钢筋

## E.11 垂直位移和倾斜的监测

**E.11.1** 精密水准法测量应符合下列要求:

- 1 在水准测量中, 应尽量设置固定测站和固定转点, 以提高

观测的精度和速度。

2 精密水准法观测的要求应按《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897 中的规定执行。

3 精密水准法路线闭合差不得超过表 E.11.1 的规定。

4 用精密水准法进行倾斜观测时，应满足表 E.11.1 关于一等水准的限差规定。观测时，必须保证水准标芯和标尺底面清洁无尘。每次观测均由往、返测组成，由往测转为返测时，标尺应该互换。必须固定水准仪设站位置，宜将水准仪装设在观测墩上。在基础廊道中观测时，应读记至水准仪测微器最小分划的 1/5。

表 E.11.1 精密水准路线闭合差限值 (mm)

等级		往返测不符值	附和路线闭合差	环闭合差
一 等	坝外环线	$1.8\sqrt{K}$		$2\sqrt{F}$
	坝体及坝基垂直位移	$0.3\sqrt{n_1}$	$0.3\sqrt{n_2}$	$0.3\sqrt{n_2}$
二 等		$4\sqrt{K}$	$4\sqrt{L}$	$4\sqrt{F}$
		$0.6\sqrt{n_1}$	$0.6\sqrt{n_2}$	$0.6\sqrt{n_2}$

注：K 为测段、区段或路线长度，km，当测段长度小于 0.1 km 时，按 0.1 km 计算；L 为附和路线长度，km；F 为环线长度，km； $n_1$  为测段站数（单程）； $n_2$  为附和路线或环线站数（单程）。

### E.11.2 三角高程测量应符合下列要求：

用于观测边坡垂直位移的三角高程测量要求如下：

1 推算高程的边长不应大于 600m，每条边的中误差不应大于 3mm。

2 垂直角观测应采用 J1 级及以上精度经纬仪或相应等级全站仪，宜对向观测（尽量做到同时对向观测）4 测回以上，测回差不得大于 6"。

3 仪器高和目标高需量取两次，两次量取应分别量测观测墩

## **DL/T 5178 — 2016**

一侧底座面及其对角侧底座面至仪器和目标中心高程面的垂直距离，读至 0.1mm，两次读数之差不超过 0.4mm。

**4** 三角高程观测时应明确计算改正用的大气折光系数，并应考虑大气折光变化的修正。

**E.11.3** 气泡倾斜仪观测应符合下列要求：

用气泡倾斜仪观测时，每测次均应将倾斜仪重复置放在底座上 3 次，并分别读数。读数互差不得大于 5"。

## 附录 F 变形观测仪器的检验和校正

### F.1 电磁波测距仪的检验

**F.1.1** 电磁波测距仪加常数和乘常数的测定应符合下列要求：

高精度测距仪常用比较法测定加常数和乘常数，即事先选择地质情况稳定、地形平坦的地段，建立一条比长基线。精确丈量基线长度，其精度至少应比仪器标称精度高一倍。为了增加多余观测，至少应埋设 6 个观测墩，总长应在 1000m 左右，如下所示：



依次设站于 1、2、3、4、5 号观测墩，用被检定的仪器施测 15 个距离，将测距仪的观测值与基线丈量值比较，可以获得 15 个观测方程，依最小二乘法求解，即可算得乘常数和加常数。

为达到较高的精度，也可采用六段法测加常数，用比较法测乘常数。

对于高精度电磁波测距仪，在计算时应注意以下两点：

- 1 应按标称精度对观测值赋权。
- 2 应在计算过程中检验并剔除粗差，以免检定结果失真。

**F.1.2** 气象仪表的检定应符合下列要求：

测边时所用气象仪表(阿斯曼通风干湿温度表及空盒气压表)应定期送气象部门检验。干湿温度表每 3 年检验 1 次，气压表每年检验 1 次。

空盒气压表检定的项目为：

- 1 补充订正值检定(主要是由于指针安装不准确所引起的误差)。

## DL/T 5178 — 2016

2 温度订正系数(由于温度变化引起空盒弹性改变而造成的误差)的检定。

3 示度订正值值的检定。

注:空盒气压表的补充订正值常因受震动而发生变化,故应配备1个标准气压表,施测期间一律放在驻地,以免受到震动。野外所用气压表在每期业务前后均应与标准气压表比较校准。野外气压表与标准气压表读数经改正后的差值不大于3mb时,可加在野外表的补充订正值上,若差值大于3mb,则该野外表应送气象部门重新检定。

通风干湿温度表的检定包括两个项目:

1 通风器的检定(通风器开动后4min;温度表球部风速不得小于2m/s,否则不得使用)。

2 温度表刻划的检定。

### F.2 全站仪的检验

F.2.1 初次使用的全站仪,首先进行一般的检查和调整,主要是调整仪器的三轴关系,然后对下述仪器误差进行检验:

1 双轴补偿纵、横向指标差;

2 垂直编码度盘指标差;

3 水平视准差;

4 水平轴倾斜误差;

5 (电动机驱动型自动寻找目标全站仪的)自动目标识别轴的准直差。

F.2.2 由于全站仪的上述误差随时间和温度而变化,因此下列情况需重新检校:

1 每次精密测量前;

2 长途运输后;

3 长期工作后;

4 温度变化大于20℃。

确定误差之前，仪器应当放置到与外界温度一致。在确定误差时，仪器应当安全、稳固，避免阳光直射引起某一面温度升高。

### F.3 光学垂线坐标仪零位置的检查校正

在室内建立稳定的检验平台，平台上仪器底盘和垂线的相对位置应保证不变。首先应对垂线仪水准气泡安置正确性进行检查校正。零位检查时，每次观测三测回，每测回均应将仪器重新整置调平。每测回照准垂线两次，并读数。两次读数差不得大于 0.15mm，三测回互差不得大于 0.15mm。

取三测回平均值与首次检查之值比较，如超过 0.3mm，须校正仪器零位。

### F.4 视准线活动觇牌的零位测定

在相距 5m~30m 的两个观测墩上，分别安置经纬仪（或全站仪）和固定觇牌，用经纬仪精确照准固定觇牌，固定经纬仪视线。将固定觇牌换成活动觇牌，并把活动觇牌的对称轴移到望远镜十字丝上，进行读数，如此反复进行 10 次，最后用固定觇牌检查视线是否移动，若视线未变动，则取 10 次读数平均值，即得觇牌的零位值。

### F.5 目标棱镜偏心检验

**F.5.1** 目标棱镜偏心包括棱镜基座偏心、支架偏心以及棱镜头偏心等。首先应对目标棱镜水准器安置准确性进行检查校正。

**F.5.2** 棱镜基座偏心检验：

**步骤 1** 在相距 5m~30m（目标清晰且尽量近的距离）的两个高程一致的观测墩上，分别安置全站仪、棱镜基座配基本无偏心的支架及目标棱镜（第 I 位置）。

**步骤 2** 用全站仪采用盘左或盘右“双照准法”观测目标水平方向及平距 4 个半测回，并取 8 个观测值中数作为第 I 位置的

水平方向  $l_1$  及平距  $S_1$  观测值。

**步骤 3** 旋转目标棱镜基座  $180^\circ$ ，重新整平棱镜基座并调整棱镜头的方向（第 II 位置）对准全站仪。

**步骤 4** 重复步骤 2 操作并取 8 个观测值中数作为第 II 位置的水平方向  $l_2$  及平距  $S_2$  观测值。

按下式计算棱镜基座偏心差  $e_1$ ：

$$e_1 = \frac{1}{2} \sqrt{S_1^2 + S_2^2 - 2S_1 \times S_2 \times \cos(l_1 - l_2)} \quad (\text{F.5.2})$$

上述检验过程中，棱镜头（镜框与镜头的组合）偏心差不能得到反映，得到的棱镜基座偏心差为棱镜基座和支架组合的偏心差，不包含棱镜头偏心差。如检验得到的偏心差满足要求，则表明棱镜基座与支架在这个方向组合一起使用可以满足要求。

#### F.5.3 棱镜支架偏心检验：

对目标棱镜支架亦应按照上述方法，在基座固定不动的情况下，在基座中按  $120^\circ$  旋转支架，分别三种位置进行观测，但观测回数可适当减少，分三次（第 I 位置与第 II 位置、第 II 位置与第 III 位置、第 III 位置与第 I 位置）计算出偏心差  $e_2$  并取其均值。棱镜支架偏心一般较小，在进行棱镜基座偏心检验时应使用基本无偏心的支架。

按式（F.5.3）计算棱镜支架偏心差  $e_2$ ：

$$e_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{S_1^2 + S_2^2 - 2S_1 \times S_2 \times \cos(l_1 - l_2)} \quad (\text{F.5.3})$$

#### F.5.4 棱镜头偏心检验：

棱镜头（镜框与镜头的组合）偏心差的检验可利用基本无偏心的标准棱镜头进行对比观测。在步骤 1 中安置标准棱镜头；按步骤 2 操作；在保持原基座及支架位置不变的情况下，将标准棱镜头更换为待检棱镜头；按步骤 4 操作。按式（F.5.4-1）计算棱镜头偏心差  $e_3$ ：

$$e_3 = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 - 2S_1 \times S_2 \times \cos(l_1 - l_2)} \quad (\text{F.5.4-1})$$

按式 (F.5.4-2) 计算目标棱镜偏心差  $e$ :

$$e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2} \quad (\text{F.5.4-2})$$

目标棱镜偏心直接导致水平方向及距离观测误差, 考虑到目标棱镜偏心检验时存在的误差约为  $\pm 0.1\text{mm}$ , 目标棱镜偏心差  $e$  在  $0.3\text{mm}$  以内则可认为待检验的目标无明显偏心, 一般可在视距大于  $50\text{m}$  的测点使用, 如用于更近的距离, 则有必要考虑其使用的可行性。

## F.6 经纬仪的检验

用于变形观测的经纬仪检定要求, 按照《光学经纬仪》JJG 414 和《全站型电子速测仪检定规程》JJG 100 的相关要求执行。

## F.7 水准仪的检验

用于变形观测的水准仪检定要求, 按照《水准仪检定规程》JJG 425 和《数字水准仪检定规程》CH/T 8019 的相关要求执行。

## F.8 GNSS 接收机的检验

用于变形观测的 GNSS 接收机检定要求, 按照《全球定位系统 (GNSS) 测量型接收机检定规程》CH 8016 和《全球导航卫星系统 (GNSS) 测量型接收机 RTK 检定规程》CH/T 8018 的相关要求执行。

## 附录 G 水质分析项目及渗流监测设施

### G.1 水质分析项目

**G.1.1** 全分析项目包括下列内容：

- 1 水的物理性质：水温、气味、浑浊度、色度。
- 2 pH 值。
- 3 溶解气体：游离二氧化碳（ $\text{CO}_2$ ）、侵蚀性二氧化碳（ $\text{CO}_2$ ）、硫化氢（ $\text{H}_2\text{S}$ ）、溶解氧（ $\text{O}_2$ ）。
- 4 耗氧量。
- 5 生物原生质：亚硝酸根（ $\text{NO}_2^-$ ）、硝酸根（ $\text{NO}_3^-$ ）、磷（P）、铁离子（ $\text{Fe}^{3+}$ ）、亚铁离子（ $\text{Fe}^{2+}$ ）、铵离子（ $\text{NH}_4^+$ ）、硅（Si）。
- 6 总碱度、总硬度及主要离子：碳酸根（ $\text{CO}_3^{2-}$ ）、碳酸氢根（ $\text{HCO}_3^-$ ）、钙离子（ $\text{Ca}^{2+}$ ）、镁离子（ $\text{Mg}^{2+}$ ）、氯离子（ $\text{Cl}^-$ ）、硫酸根（ $\text{SO}_4^{2-}$ ）、钾和钠离子（ $\text{K}^+\text{+Na}^+$ ）。
- 7 矿化度。

**G.1.2** 简易分析项目包括下列内容：色度、水温、气味、浑浊度、pH 值、游离二氧化碳、矿化度、总碱度、硫酸根、碳酸氢根及钙、镁、钠、钾、氯等离子。

### G.2 测压管的埋设方法

**G.2.1** 坝基扬压力单管式测压管埋设应符合下列要求：

1 测压管钻孔宜在坝基帷幕灌浆后在基础廊道内实施。在设计确定的位置打孔，钻孔开孔孔径宜大于 75mm，孔底在建基面下 50cm~100cm。

2 当基岩完整时，可先钻孔径大于 75mm、深度至基岩面



**G.2.2** 深孔单管式测压管埋设应符合下列要求：

- 1 在设计定位处钻孔，孔径 100mm~110mm，孔深依据设计要求而定，孔壁应力求完整、光滑。
- 2 在钻孔底部灌注 15cm 厚的水泥砂浆或水泥膨润土浆。
- 3 把内径 50mm 的镀锌钢管或硬质塑料管（下部管端应钻小孔）放入孔内。
- 4 先填入直径 10mm~20mm 的砾石厚约 40cm，再填入 20cm 厚的细砂。
- 5 若需测定地下水位，上部全灌注水泥砂浆或水泥膨润土浆。
- 6 管顶加盖保护。

测压管安装示意图见图 G.2.2。

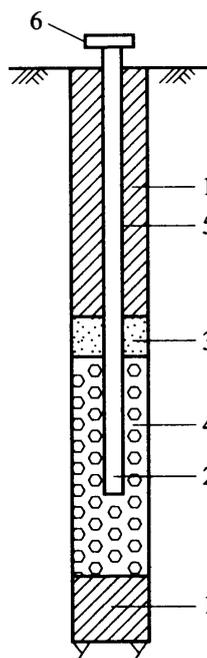


图 G.2.2 深孔单管式测压管

1—水泥砂浆或水泥膨润土浆；2—有孔管头；3—细砂；4—砾石反滤料；  
5—钢管或硬质塑料管；6—管盖

**G.2.3** 测压管进水管的反滤保护装置应符合下列要求：

- 1 将微孔塑料管（多孔聚氯乙烯管）外包土工布，置入有可能塌孔的钻孔，如覆盖层、泥质岩、风化岩、断层破碎带中的钻

孔内，作为保护装置。

2 组装式过滤体以聚氯乙烯硬质管为进水管段，其外包涤纶过滤布，过滤布外套上专用的泡沫软塑料做孔壁撑体，用土工布将泡沫软塑料缠紧，使其外径小于钻孔直径，并用胶粘紧，以便放入孔内，粘胶遇水自动脱开，组装过滤体则紧靠孔壁。这种装置适用于可能产生管涌的断层破碎带内。

**G.2.4 测压管管口装置及管内渗压计安装应符合下列要求：**

1 管口装置应根据测压管水位的测量方式，选择适用于无压、有压和自动化监测的要求进行设置，管口装置见图 G.2.4。

2 对进水段设有反滤保护的测压管，渗压计宜安置在测压管底部；对进水段无反滤保护的测压管，渗压计应用不锈钢丝吊装在底部可能淤积高度之上，安装完后，应测定渗压计实际安装高程，并用电测水位计校准。

3 管口保护装置要求结构简单、牢固，能防止雨水流入和人畜破坏，并能锁闭且开启方便。

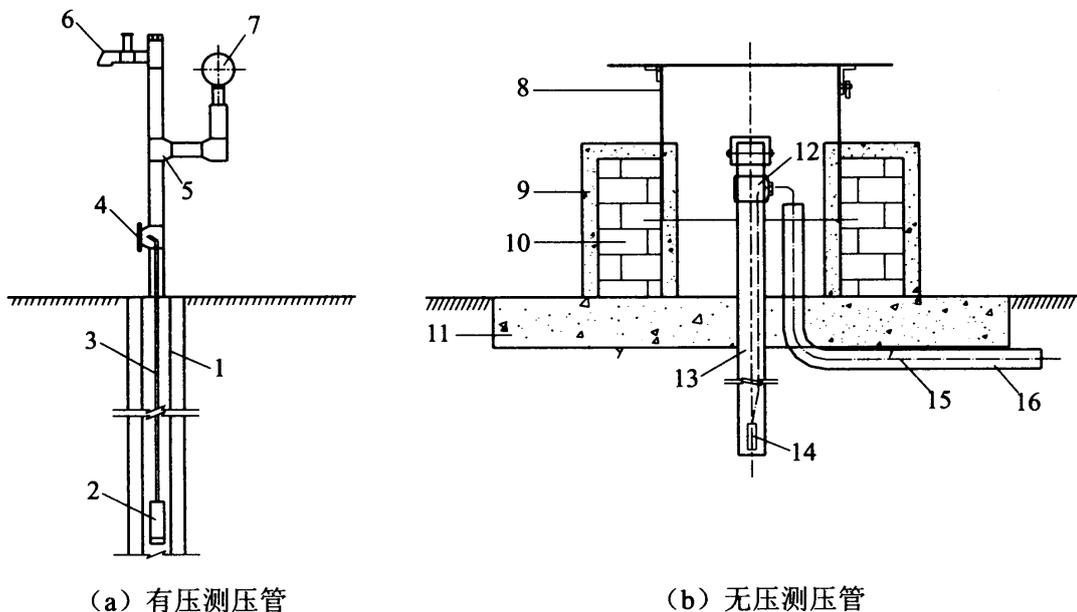


图 G.2.4 管口装置示意图

1、13—测压管；2—渗压计；3—电缆；4—闷头；5—三通；6—水龙头；7—压力表；8—保护盒；9—砂浆抹面；10—砌砖或混凝土；11—水泥砂浆垫层；12—三通管；14—渗压计；15—电缆；16—电缆预埋管

### G.3 渗压计的埋设方法

#### G.3.1 准备工作包括下列内容：

- 1 渗压计在埋设前，必须进行室内检验，合格后方可使用。
- 2 取下仪器端部的透水石，在钢膜片上涂一层黄油或凡士林油以防生锈。
- 3 按设计要求接长电缆。接长时必须将同型号同色芯线接在一起，并用锡焊牢，按防水要求连接电缆。电缆接长后须用测试仪器进行量测，并做好记录。
- 4 安装前需将渗压计在水中浸泡 2h 以上，使其达到饱和状态，再在测头上包上装有干净的饱和细砂袋，使仪器进水口通畅，防止水泥浆进入渗压计内部。
- 5 安装埋设前应在现场记录渗压计读数和埋设位置的气压值。

#### G.3.2 在混凝土浇筑层面埋设渗压计应符合下列要求：

- 1 应在浇筑下一层混凝土时，在埋设位置的层面预留一个深 30cm、直径 20cm 的孔，见图 G.3.2。
- 2 在孔内铺一层细砂，将渗压计放在砂垫层上。
- 3 用饱和细砂将渗压计埋好，孔口放一盖板，再浇筑混凝土。

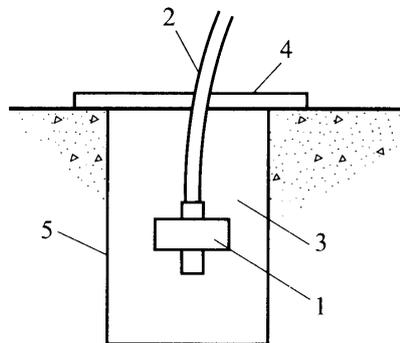


图 G.3.2 混凝土浇筑层面渗压计埋设图

1—渗压计；2—电缆；3—细砂；4—盖板；5—预留孔

**G.3.3** 在基岩面上埋设渗压计应符合下列要求：

1 在渗压计埋设的基岩位置钻一个孔深 100cm、孔径 5cm 的集水孔，见图 G.3.3。

2 将裹有渗压计的细砂包放在集水孔上，细砂包的体积应为  $1000\text{cm}^3$ 。

3 砂包用砂浆糊住，待砂浆凝固后，即可浇筑混凝土。

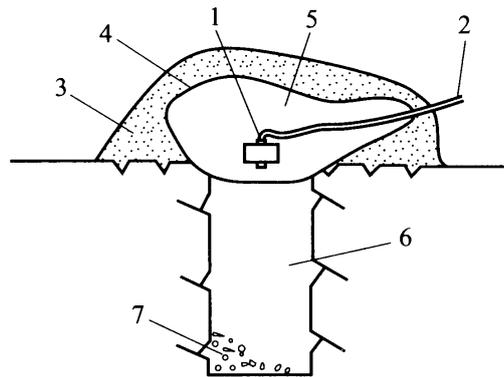


图 G.3.3 基岩面上渗压计埋设图

1—渗压计；2—电缆；3—砂浆；4—麻袋；5—细砂；6—钻孔；7—砾石

**G.3.4** 在水平浅孔内埋设渗压计应符合下列要求：

1 在埋设渗压计的位置钻一个孔深 50cm、孔径 15cm~20cm 的浅孔，如孔无透水裂隙，可根据需要的深度，在孔底套钻一个 3cm 的小孔，见图 G.3.4。

2 在小孔内填入砾石，在大孔内填细砂。

3 将渗压计埋在细砂中，孔口用盖板封上，并用水泥砂浆封住，待砂浆凝固后，即可填筑混凝土。

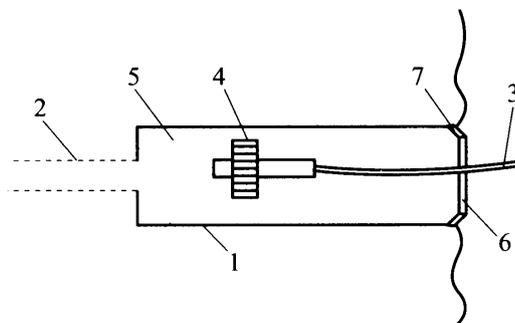


图 G.3.4 水平浅孔内渗压计埋设图

1—孔洞；2—钻孔；3—电缆；4—渗压计；5—细砂；6—盖板；7—砂浆

**G.3.5** 在坝基深孔内埋设渗压计应符合下列要求：

在坝基深孔内埋设渗压计时，深孔直径不大于 100mm。埋设前测量好孔深，先将仪器装入能放入孔内的砂包中，包中装细砂，向孔内倒入 40cm 深的砂砾石，其粒径约为 10mm，然后将装有仪器的砂包吊入孔底。如仪器砂包及电缆自重超过电缆强度，应用钢丝吊住砂包，并把电缆绑在钢丝上进行吊装，以免电缆损坏，再在上面填入 40cm 的细砂，然后填 20cm 粒径为 10mm~20mm 的砾石，再在余孔段灌入水泥膨润土浆或预缩水泥砂浆。坝基深孔渗压计埋设示意图见图 G.3.5。

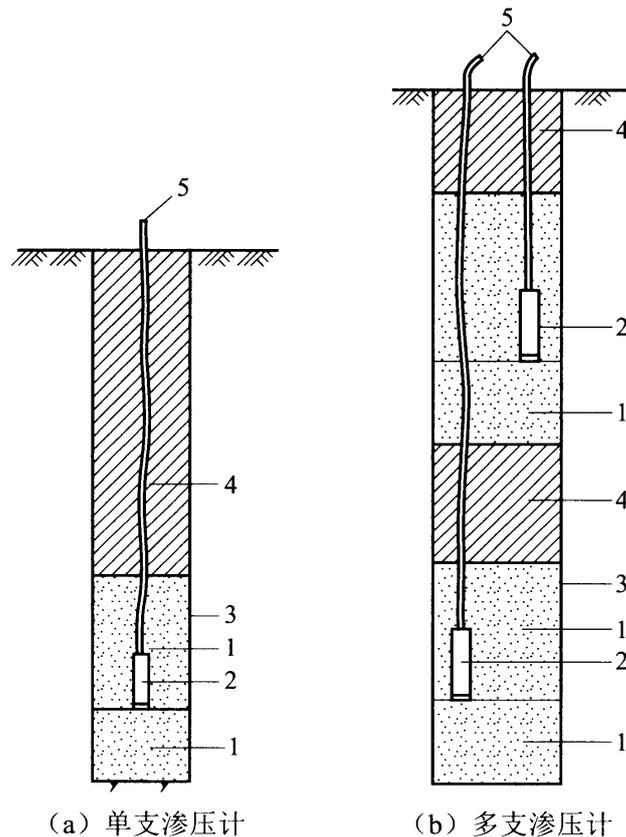


图 G.3.5 坝基深孔渗压计埋设图

1—中粗砂反滤；2—渗压计；3—钻孔；4—封孔料；5—仪器电缆

**G.3.6** 电缆敷设应符合下列要求：

渗压计埋设完后，按设计要求的走向敷设电缆，电缆尽可能向高处引，通过露天处或电缆跨缝时需进行保护。通过挡水体时，

应做好电缆的阻水措施。

### G.3.7 埋设记录应符合下列要求：

安装埋设后应准确记录渗压计的埋设高程与平面坐标。

## G.4 量水堰的结构

G.4.1 直角三角形堰的结构见图 G.4.1，流量可按式 (G.4.1) 计算，或按实际率定曲线确定。

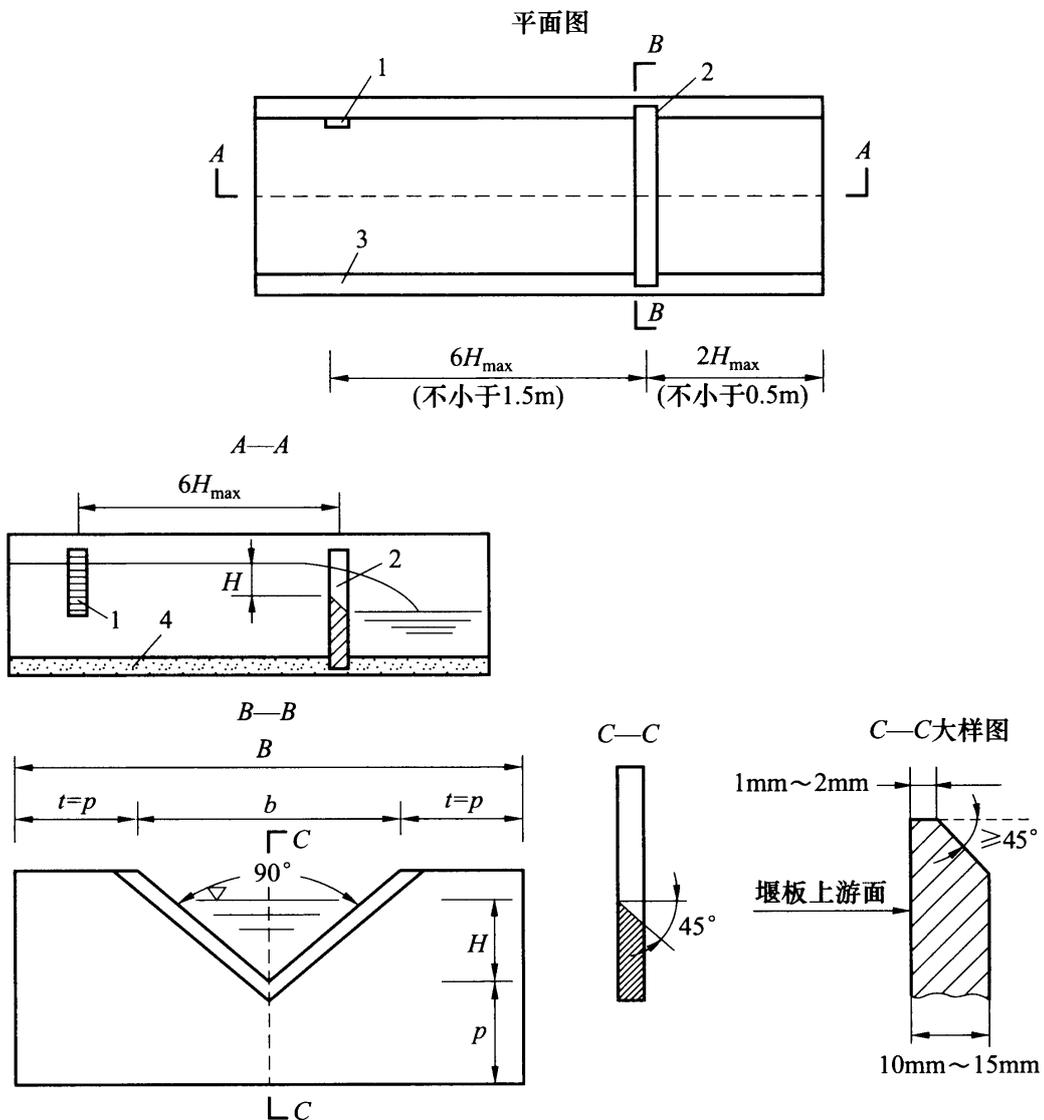


图 G.4.1 直角三角形薄壁堰结构示意图

1—水尺、测针或量水堰计；2—堰板；3—堰槽侧墙；4—堰槽底板

注：堰顶高于下游水位或  $p$  大于下游水深， $B \geq (3 \sim 4)H_{\max}$ ， $H_{\max}$  为最大堰上水头。

直角三角形量水堰流量  $Q$  计算公式如下:

$$Q = 1.4H^{2.5} \quad (\text{G.4.1})$$

式中:  $Q$  —— 渗流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$H$  —— 堰上水头,  $\text{m}$ , 适用范围为  $H=0.03\text{m}\sim 0.25\text{m}$ 。

**G.4.2** 矩形堰分有侧向收缩型和无侧向收缩型两类, 其结构见图 G.4.2-1、图 G.4.2-2, 流量可按式 (G.4.2-1)、式 (G.4.2-2) 计算, 或按实际率定曲线确定。

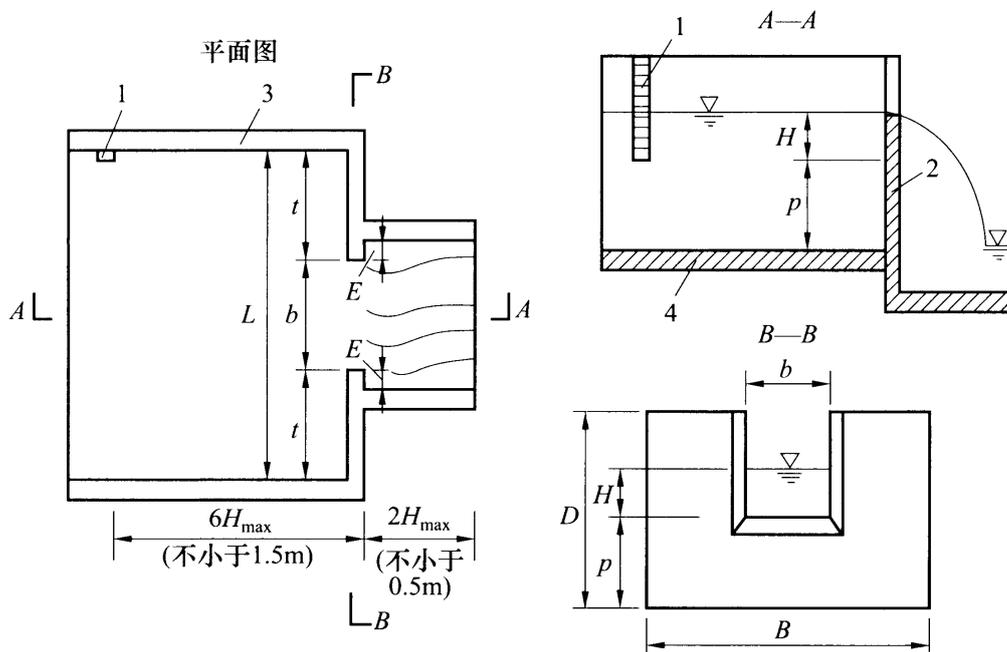


图 G.4.2-1 有侧向收缩的矩形薄壁堰结构示意图

1—水尺、测针或量水堰计; 2—堰板; 3—堰槽侧墙; 4—堰槽底板

注: 堰顶高于下游水位  $0.07\text{m}$ ,  $p$  大于  $2H_{\max}$ ,  $H_{\max}$  为最大堰上水头。E 为堰后侧收缩,  $E$  不小于  $H_{\max}$ 。

有侧向收缩的矩形薄壁量水堰流量  $Q$  计算公式如下:

$$Q = 2.95C_D b_e h_e^{1.5} \quad (\text{G.4.2-1})$$

其中:

$$b_e = b + K_b$$

$$h_e = H + K_h$$

式中:  $Q$  —— 渗流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$C_D$  —— 流量系数, 根据  $b/B$  值按表 G.4.2 查阅;

- $b_e$ ——有效宽度, m;  
 $h_e$ ——有效水头, m;  
 $K_b$ ——宽度改正值;  
 $K_h$ ——水头改正值;  
 $b$ ——堰宽, m;  
 $H$ ——堰上水头, m, 适用范围为  $H=0.03\text{m}\sim 0.75\text{m}$ 。

表 G.4.2 矩形薄壁堰流量系数表

$b/B$	$C_D$	$b/B$	$C_D$
1.0	$0.602+0.075H/p$	0.6	$0.593+0.018H/p$
0.9	$0.598+0.064H/p$	0.5	$0.591+0.058H/p$
0.8	$0.596+0.045H/p$	0.4	$0.589-0.0018H/p$
0.7	$0.594+0.030H/p$	0.3	$0.587-0.0023H/p$

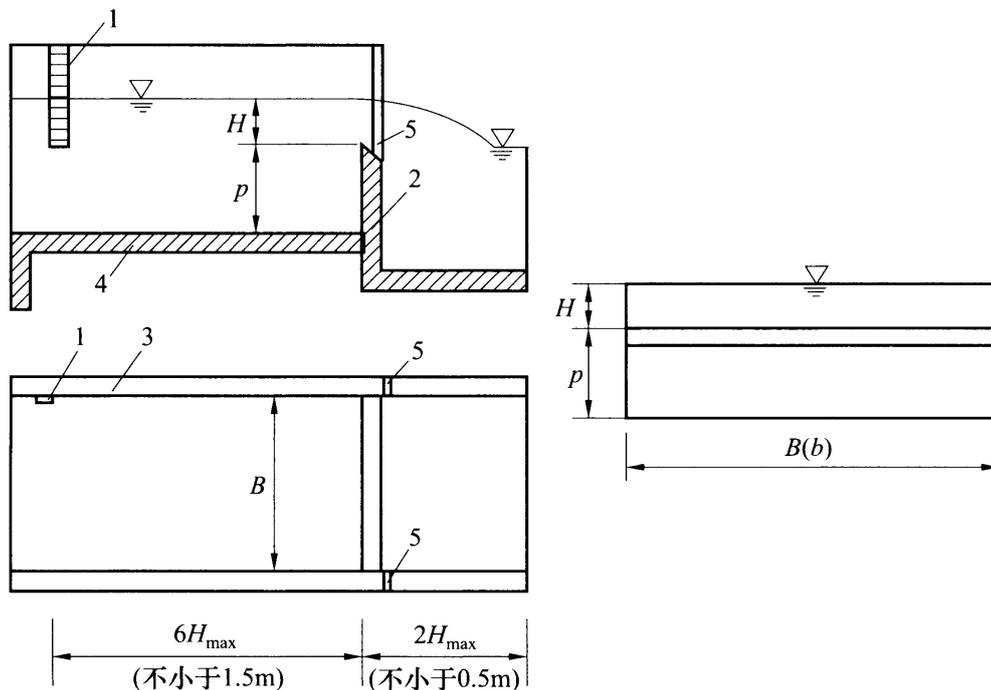


图 G.4.2-2 无侧向收缩的矩形薄壁堰结构示意图

1—水尺、测针或量水堰计；2—堰板；3—堰槽侧墙；4—堰槽底板；5—通气孔

注：堰顶高于下游水位 0.07m， $p$  大于  $2H_{\max}$ ，堰板下游槽身长度不小于  $1.4H_{\max}+0.07\text{m}$ ， $b$  不小于 0.3m， $H_{\max}$  为最大堰上水头；通气孔直径  $\phi=0.11hB^{0.5}$ 。

无侧向收缩的矩形薄壁量水堰流量  $Q$  计算公式如下：

$$Q = \left( 1.782 + 0.24 \frac{H}{p} \right) B H_0^{1.5} \quad (\text{G.4.2-2})$$

其中：  $H_0 = H + 0.001 \text{ m}$

式中：  $Q$  —— 渗流量，  $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$H$  —— 堰上水头，  $\text{m}$ ， 适用范围为  $H = 0.03\text{m} \sim 0.75\text{m}$ ；

$p$  —— 堰顶板至堰顶的距离，  $\text{m}$ ；

$B$  —— 堰宽，  $\text{m}$ ；

$H_0$  —— 修正后水头，  $\text{m}$ 。

**G.4.3** 梯形堰的结构见图 G.4.3 和表 G.4.3， 流量可按式 (G.4.3) 计算， 或按实际率定曲线计算。

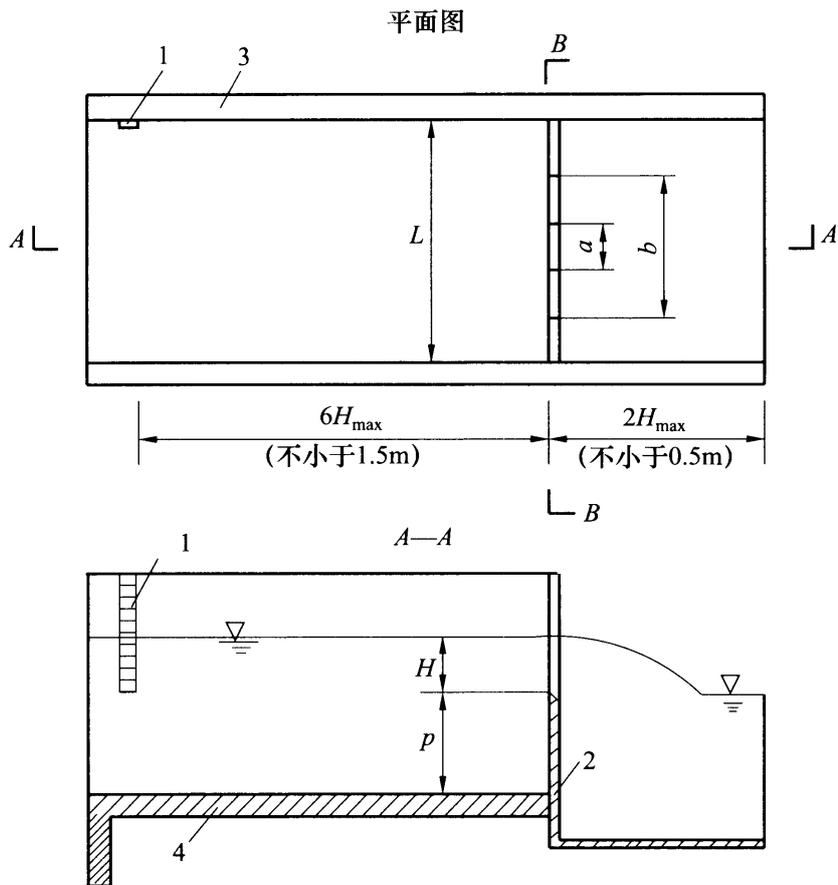


图 G.4.3 梯形薄壁堰结构示意图 (一)

1—水尺或测量仪器； 2—堰板； 3—堰槽侧墙； 4—堰槽底板

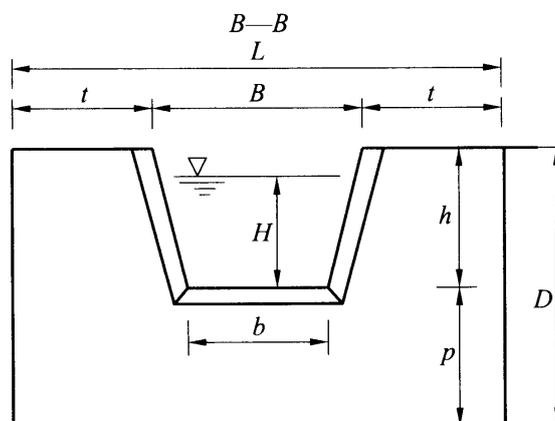


图 G.4.3 梯形薄壁堰结构示意图 (二)

注：堰口侧边为 4:1（竖:横）的斜边，堰顶长度  $b$  不宜小于  $H/3$ ， $H$  大于 0.05m。

表 G.4.3 常用梯形堰结构尺寸

$b$ (cm)	$B$ (cm)	$H$ (cm)	$h$ (cm)	$t$ (cm)	$p$ (cm)	$D$ (cm)	$L$ (cm)	适宜施测 流量 $Q$ (L/s)
25	31.6	8.3	13.3	8.3	8.3	26.6	64.2	2~12
50	60.8	16.6	21.6	16.6	16.6	43.2	110.0	10~63
75	90.0	25.0	30.0	25.0	25.0	60.0	156.0	30~178
100	119.1	33.3	38.3	33.3	33.3	76.3	201.7	61~365
125	148.3	41.6	46.6	41.6	41.6	93.2	247.5	102~640
150	177.5	50.0	55.0	50.0	50.0	110.0	293.5	165~1009

注： $D$  和  $B$  包括安装尺寸（5cm~8cm），安装尺寸可视实际需要适当增减。

梯形薄壁量水堰流量  $Q$  计算公式如下：

$$Q = 1.86bH^{1.5} \quad (\text{G.4.3})$$

式中： $Q$  —— 渗流量， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$b$  —— 堰顶长度， $\text{m}$ ；

$H$  —— 堰上水头， $\text{m}$ 。

限制条件为： $0.083\text{m} \leq H \leq 0.5\text{m}$ ， $0.25\text{m} \leq b \leq 1.5\text{m}$ ， $0.083\text{m} \leq p \leq 0.5\text{m}$ 。

## 附录 H 埋入式监测仪器的检验和埋设

### H.1 监测仪器检验

**H.1.1** 力学性能检验应符合下列要求：

**H.1.1.1** 检验条件、设备及注意事项如下：

1 参比工作条件：

1) 环境温度为  $10^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ ，检验时，环境温度应保持稳定。

2) 环境相对湿度不大于 80%。

2 主要设备：

1) 应变计标定架、零级千分表、10mm 和 15mm 的零级百分表。

2) 0.05 级活塞式压力计。

3) 压应力计的承压板、压块和球座。

4) 一级万能材料试验机。

5) 测量仪表。

3 注意事项：

1) 应将仪器在参比工作条件下预先置放 24h 以上。

2) 将仪器安装到检验设备上时，差动电阻式仪器应控制电阻比的变化不大于  $20 \times 0.01\%$ ；振弦式仪器应控制频率模数不大 20 个读数。

3) 检验前，应在测量范围上、下限值的 1.2 倍内预先拉压循环三次以上，直至测值稳定。

4 分档加荷规定：将被检验仪器的全量程均分为  $n$  个挡，共  $n+1$  个测点。 $n$  取 6~12，可根据仪器的量程而定。

**H.1.1.2 测值的理论直线和偏差检验应符合下列要求：****1 测值的理论直线计算方法如下：**

测值  $s$  对于差动电阻式仪器是电阻比  $z$ ，对于振弦式仪器是频率模数  $M$  或频率的平方  $f^2$ 。

先将仪器下行至下限值，量测测值之后，逐挡上行，每挡测试，全程共测得  $n+1$  个测值；然后向下行，逐挡测试，同样测得  $n+1$  个测值，共进行三次循环，分别计算各点测值的总平均值  $(s_a)_i$ ：

$$(s_a)_i = \frac{(s_u)_i + (s_d)_i}{2} \quad (\text{H.1.1.2-1})$$

式中：  $i$  ——测点序号（1、2、…、 $n+1$ ）；

$(s_u)_i$  ——上行第  $i$  挡测点测值的平均值；

$(s_d)_i$  ——下行第  $i$  挡测点测值的平均值。

以被检验的物理量值  $y$  为变量，以总平均值  $s_a$  为应变量作一元线性回归，得到回归直线方程：

$$s = b_0 + by \quad (\text{H.1.1.2-2})$$

式中：  $b_0$  ——回归常数；

$b$  ——回归系数。

式（H.1.1.2-2）即为测值的理论直线。将  $n+1$  个被检验物理量值  $y_i$  代入式（H.1.1.2-2），可求得相应的理论值  $(s_t)_i$ 。

**2 测值的实测值与理论值的偏差。**各测点测值的实测值与理论值的偏差为：

$$\delta_i = |(s_a)_i - (s_t)_i| \quad (\text{H.1.1.2-3})$$

**3 检验项目：****1) 非线性度  $\alpha_1$  检验：**

$$\alpha_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta s} \times 100\% \quad (\text{H.1.1.2-4})$$

式中：  $\Delta_1$  ——取  $\delta_i$  的最大值；

$\Delta s$  ——量程上限理论值与下限理论值之差。

- 2) 滞后  $\alpha_2$  检验。可利用本节非线性度检验的测值计算滞后  $\alpha_2$  :

$$\alpha_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta s} \times 100\% \quad (\text{H.1.1.2-5})$$

式中:  $\Delta_2$  ——每一循环中各测点上行及下行两个测值之间的差值取最大值。

- 3) 不重复度  $\alpha_3$  检验。可利用本节非线性度检验的测值计算不重复度  $\alpha_3$  :

$$\alpha_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta s} \times 100\% \quad (\text{H.1.1.2-6})$$

式中:  $\Delta_3$  ——三次循环中各测点上行及下行的各自三个测值之间的差值取最大值。

- 4) 检验标准。力学性能检验的各项误差的绝对值不得大于表 H.1.1.2 的规定。

表 H.1.1.2 力学性能检验标准

项 目	仪器类型	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$
限差 (%)	差动电阻式	2.0	1.0	1.0
	振弦式	2.0	1.0	0.5

**H.1.2** 仪器系数检验应符合下列要求:

- 1 一次直线仪器系数 (最小读数):  
变换式 (H.1.1.2-2) 得:

$$y = -\frac{b_0}{b} + fs \quad (\text{H.1.2-1})$$

式中:  $b$  ——回归系数;  
 $b_0$  ——回归常数;  
 $s$  ——测值;

$f$  ——仪器系数（最小读数）， $f = \frac{1}{b}$ 。

## 2 误差计算：

### 1) 误差系数：

$$\alpha_f = \left| \frac{f_T - f}{f_T} \right| \times 100\% \quad (\text{H.1.2-2})$$

式中： $f_T$  ——仪器生产厂家检验的仪器系数。

### 2) 检验标准：仪器系数误差 $\alpha_f$ 不得大于3%。

## H.1.3 二次曲线仪器的专项检验应符合下列要求：

有些振弦式仪器的物理量和读数之间的关系用直线拟合效果不佳，更接近于二次曲线，在用直线回归检验时非线性度误差 $\alpha_1$ 可能超限，则需要采用二次曲线公式计算；除进行滞后检验和不重复度检验外，还需进行不符合度和综合误差的专项检验。

### 1 理论曲线和偏差：

按式（H.1.1.2-1）计算出各点测值的总平均值后，以测值 $M$ 及其平方 $M^2$ 作因子，进行多元回归计算，建立二次曲线回归方程：

$$y = K_0 + K_1 M + K_2 M^2 \quad (\text{H.1.3-1})$$

式中： $K_0$  ——回归常数；

$K_1$ 、 $K_2$  ——回归系数，即二次曲线的仪器系数。

式（H.1.3-1）即为检验的理论曲线。将 $n+1$ 个被检验物理量值 $y_i$ 代入式（H.1.3-1），可求得相应的测值的理论值 $(M_t)_i$ 。

### 2 不符合度检验：

按式（H.1.1.2-3）计算出实测平均值与理论值的偏差 $\delta_i$ 。

不符合度为：

$$\alpha_4 = \frac{\Delta_4}{\Delta M} \quad (\text{H.1.3-2})$$

式中： $\Delta_4$  ——取 $\delta_i$ 的最大值；

$\Delta M$  ——量程上限理论值与下限理论值之差。

**3 综合误差检验:**

根据式 (H.1.1.2) 中上、下行各测点的三次平均测值, 分别计算与理论值的偏差  $(\delta_u)_i$  和  $(\delta_d)_i$ 。

$$\alpha_5 = \frac{\Delta_5}{\Delta M} \quad (\text{H.1.3-3})$$

式中:  $\Delta_5$  ——取  $(\delta_u)_i$ 、 $(\delta_d)_i$  中最大值。

**4 检验标准:**

振弦式仪器专项检验的各项误差的绝对值不得大于表 H.1.3 中的规定值。

表 H.1.3 振弦式仪器专项检验标准

项 目	仪器类型	$\alpha_4$	$\alpha_5$
限差 (%)	振弦式	2.0	2.5

**H.1.4 温度性能检验应符合下列要求:****H.1.4.1 检验条件、设备及注意事项:****1 参比工作条件:**

- 1) 环境温度为  $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 。
- 2) 环境相对湿度不大于 80%。

**2 主要设备:**

- 1) 双层保温桶。
- 2) 二级标准水银温度计。
- 3) 恒温水槽和水银导电表。
- 4) 测读仪表。
- 5) 100V 直流兆欧表。

**3 注意事项:**

- 1) 试验  $0^\circ\text{C}$  电阻时, 仪器之间需铺 8cm~10cm 厚直径小于 3cm 的碎冰层, 用洁净的自来水 (水与冰的比

例为 1:2) 或蒸馏水。保证仪器在 0℃ 情况下恒温 2h, 测值已稳定不变时再测读。

- 2) 试验温度系数时, 仪器要浸入水下 5cm, 勿使仪器碰到加热器, 保持温度变化在 ±0.1℃ 以内的情况下恒温 1h 以上, 测值已稳定不变时再测读。
- 3) 应在测记温度和电阻的同时, 测量仪器的电阻比和绝缘电阻。

#### 4 温度检验分档见表 H.1.4.1。

表 H.1.4.1 温度检验分档规定 (℃)

仪 器	检 验 温 度			
	温 度 计	0	35	70
监测仪器	0	20	40	60 (渗压计免做)

#### H.1.4.2 检验方法:

当仪器到达规定温度并恒温后, 读取标准温度计的温度  $t_B$ , 同时读取被检验仪器的温度电阻值  $R_t$ , 再分别用下面的公式计算温度  $t$ , 有的振弦式仪器可直接读取温度值。

##### 1 电阻温度计:

$$t = \alpha(R_t - R_0) \quad (\text{H.1.4.2-1})$$

式中:  $\alpha$  —— 温度系数,  $\alpha = 5^\circ\text{C}/\Omega$ ;

$R_0$  —— 温度计的零度电阻,  $R_0 = 46.60\Omega$ 。

##### 2 差动电阻式仪器:

$$t = \frac{-\alpha + \sqrt{\alpha^2 - 4\beta\left(1 - \frac{R_t}{R_0}\right)}}{2\beta} \quad (\text{H.1.4.2-2})$$

式中:  $\alpha$  —— 系数, 由厂家提供, 或取  $\alpha = 2.89 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$ ;

$\beta$  —— 系数, 由厂家提供, 或取  $\beta = 2.20 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}^2$ ;

$R_0$  ——温度计的零度电阻，取厂家给定值。

### 3 振弦式仪器：

$$t = \frac{1}{A + B \ln(R_t) + C \ln(R_t)^2} - D \quad (\text{H.1.4.2-3})$$

式中： $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ ——系数，由厂家给出。

### 4 温度绝缘检验：

- 1) 高温绝缘：在进行温度性能检验时，测量温度达到量程上限时的仪器绝缘电阻。
- 2) 低温绝缘：在进行  $0^\circ\text{C}$  电阻检验时，测量仪器处于  $0^\circ\text{C}$  时的绝缘电阻。

### 5 检验要求：

仪器温度性能检验后，计算温度  $t$  与标准温度计读数  $t_B$  之差的绝对值及绝缘电阻应满足表 H.1.4.2 的规定。

表 H.1.4.2 温度性能检验标准

项 目	温度计 ( $^\circ\text{C}$ )	监测仪器 ( $^\circ\text{C}$ )	绝缘电阻 ( $\text{M}\Omega$ )
限 差	$\leq 0.3$	$\leq 0.5$	$\geq 50$

## H.1.5 防水性能检验应符合下列要求：

### 1 主要设备：

- 1) 能承受  $4\text{MPa}$  的高压容器 1 个、相应压力的水压机 1 台。
- 2) 1 级~2 级压力表 3 支，量程分别为 1、2、 $4\text{MPa}$ ，根据被检验仪器需要承受的压力选用。
- 3)  $100\text{V}$  直流兆欧表。
- 4) 仪器专用夹具及电缆引出管止水橡皮塞。

### 2 注意事项：

- 1) 高压容器内的空气应排尽，高压容器和水压机中灌满水，防止漏水。

- 2) 在高压容器上设置电缆引出管,将仪器电缆头引出到容器以外。
  - 3) 螺杆螺母等要拧紧,保证试验安全。
- 3 防水检验:
- 1) 检验时一般仪器施加水压为 0.5MPa,承受高压的仪器应根据承受的压力决定,持续时间应不小于 0.5h。
  - 2) 量测仪器电缆芯线与外壳(或高压容器外壳)之间的绝缘电阻,量测温度为室温。
  - 3) 要求被检仪器的绝缘电阻不小于 50MΩ。

## H.2 监测仪器安装埋设

### H.2.1 一般规定:

1 埋设前宜先将埋设仪器及附件进行试安装,检查仪器性能,保证各项工作顺利、无误。

2 埋设时,应使仪器保持正确位置及方向,及时对仪器进行检测,发现问题应及时处理或更换仪器。埋设仪器周围的混凝土回填时,要小心填筑,剔除大于 40mm 的骨料,由人工分层振密实。混凝土下料时应距仪器 1.5m 以上,振捣时振捣器与仪器的距离应大于振动半径,一般不小于 1.0m。

3 当施工机械化程度高,浇筑强度大时,可采用预置埋设槽的方法。该方法是在混凝土浇筑后 48h 内拆除埋设槽模板,清理冲毛,将仪器埋入槽内,然后回填混凝土。

4 埋设后,应做好标记,以防人或机械损坏仪器;仪器顶部已终凝的混凝土厚达 60cm 以上时,守护人员方可离开。

5 监测仪器应做如下埋设记录:仪器设计代号和出厂编号、仪器的坐标位置和方向、电缆走向和高程、仪器埋设时间及埋设前后的检查和监测数据、混凝土入仓温度、气温及浇筑块周围环境情况。

### H.2.2 应变计安装埋设应符合下列要求:

- 1 单向应变计安装埋设应符合下列要求：
  - 1) 可在混凝土振捣后，及时在埋设部位造孔埋设。
  - 2) 埋设仪器的角度误差应不超过  $1^\circ$ ，位置误差应不超过 2cm。
- 2 两向应变计安装埋设应符合下列要求：
  - 1) 两应变计应保持相互垂直，相距 8cm~10cm。
  - 2) 两应变计的中心线与结构表面的距离应相同。
- 3 应变计组安装埋设应符合下列要求：
  - 1) 应变计组有三向、四向、五向、七向、九向等，应固定在支座及支杆上埋设，见图 H.2.2-1。
  - 2) 支杆伸缩量应大于 0.5mm，支座定向孔应能固定支杆的位置和方向。
  - 3) 应根据应变计组在混凝土内的位置，分别采用预埋锚杆或带锚杆预制混凝土块固定支座位置和方向。
  - 4) 埋设时，应设置无底保护木箱，并随混凝土的升高而逐渐提升，直至取出。
  - 5) 严格控制仪器方位，角度误差不得超过  $\pm 1^\circ$ 。

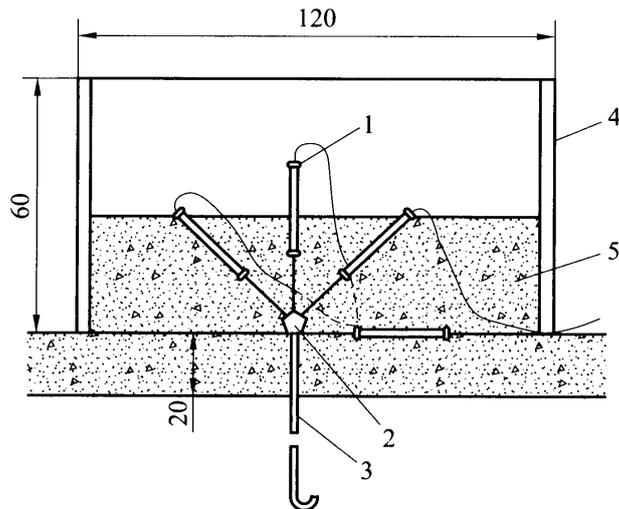


图 H.2.2-1 应变计组埋设示意图 (单位: cm)

1—应变计；2—支座（支杆）；3—预埋锚杆；4—保护箱；5—混凝土

#### 4 无应力计安装埋设应符合下列要求：

- 1) 无应力计套筒可采用锥形筒，见图 H.2.2-2 (a)；也可采用圆形筒，见图 H.2.2-2 (b)，并按图中尺寸加工。图中泡沫塑料加沥青内胆可用 50mm 的橡胶替换。
- 2) 埋设时，应变计置于套筒中下部，在无应力计筒内填满相应应变计组附近的混凝土，人工轻振捣密实。
- 3) 无应力计埋设在坝内部时，应将无应力计筒的开口向上；无应力计位置靠近坝面时，应尽量使无应力计筒的轴线与等温面垂直。

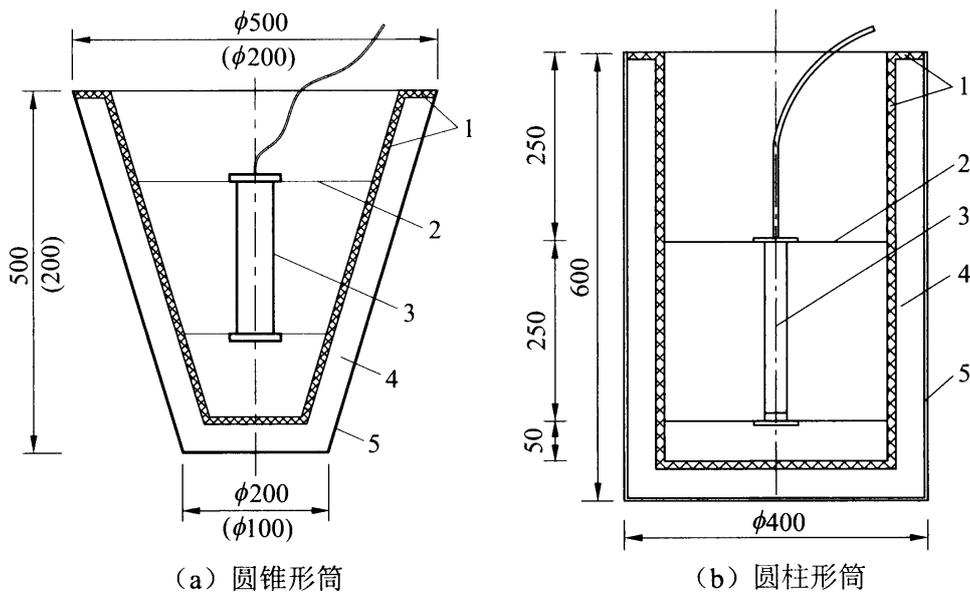


图 H.2.2-2 无应力计套筒（单位：mm）

- 1—沥青（厚 10mm）；2—钢丝；3—应变计；4—泡沫塑料内胆（厚 40mm）；  
5—双层套筒（内层壁厚 0.5mm，外层壁厚 1.2mm）

#### 5 基岩应变计安装埋设应符合下列要求：

- 1) 基岩应变计标距长度应为 1m~2m。
- 2) 埋设孔径应大于仪器最大直径 4cm~5cm，仪器应位于埋设孔中心，见图 H.2.2-3。

- 3) 孔内杂质要清除，并冲洗干净，排除积水。
- 4) 埋设时应用膨胀水泥砂浆填孔，如用普通水泥，需掺适量膨胀剂。
- 5) 为了防止砂浆对仪器变形的影响，应在仪器中间嵌一层 2mm 厚的橡皮或油毛毡。
- 6) 仪器方向的误差应不超过  $\pm 1^\circ$ 。

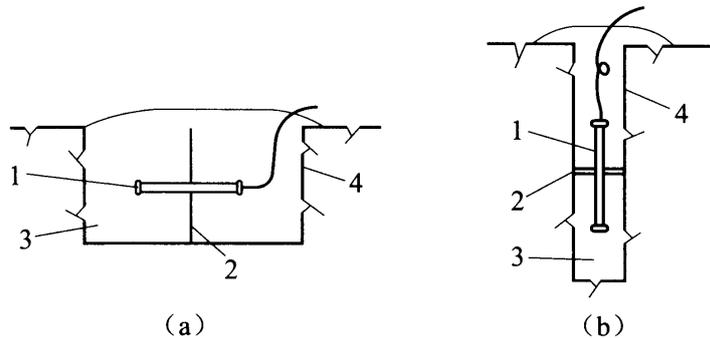


图 H.2.2-3 基岩内埋设应变计示意图

1—基岩应变计；2—隔层；3—水泥砂浆；4—岩石

6 钢板计安装埋设应符合下列要求：

- 1) 钢板计夹具与钢板焊接时应采用模具定位。
- 2) 夹具焊接后，应冷却至常温后安装应变计。
- 3) 埋入混凝土内的钢板计应设保护盖，见图 H.2.2-4；夹具表面应涂沥青。

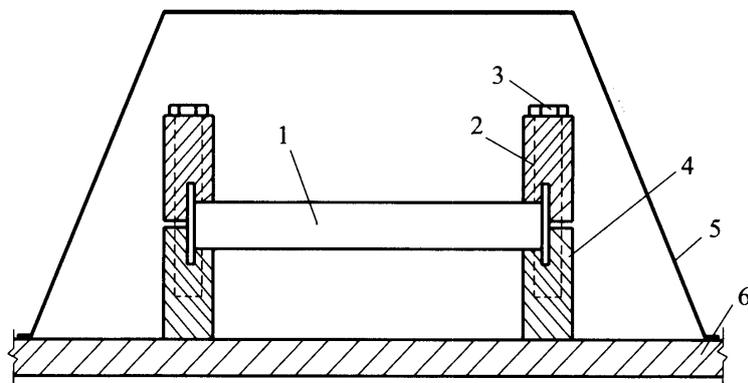


图 H.2.2-4 钢板计埋设示意图

1—应变计；2—上卡环；3—M8 螺钉；4—下卡环；5—保护罩；6—钢管

**H.2.3 压应力计安装埋设应符合下列要求:****1 垂直方向埋设:**

- 1) 埋设仪器的混凝土面应冲洗凿毛, 底面应水平, 在底面铺 6mm 厚的水泥砂浆垫层; 水泥砂浆配合比为 2:3, 水灰比为 0.5, 见图 H.2.3。

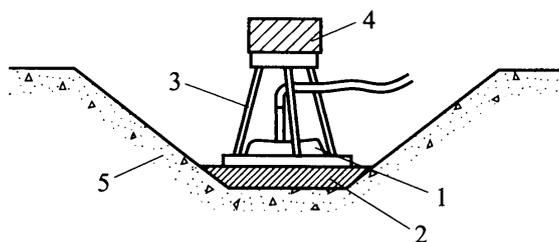


图 H.2.3 压应力计埋设示意图

1—压应力计; 2—砂浆垫层; 3—三脚架; 4—加重块; 5—混凝土

- 2) 水泥砂浆垫层初凝后, 用更稠的水泥砂浆放在垫层上, 将应力计放在水泥砂浆层上, 边旋转边挤压以排除气泡和多余的水泥砂浆, 置放三脚架和 10kg 压重。
- 3) 随时用手水准或水平尺校正仪器, 使其保持水平。
- 4) 压重 12h 后, 浇筑混凝土, 振捣后取出三脚架和压重。
- 5) 浇筑、振捣混凝土时不得碰撞三脚架和仪器。

**2 水平方向和倾斜方向埋设:**

- 1) 埋设时应注意振捣密实, 使混凝土与仪器承压面密切结合。
- 2) 应保证仪器的正确位置和方向。

**H.2.4 钢筋计安装埋设应符合下列要求:****H.2.4.1 一般规定:**

- 1 尽量按结构钢筋直径配置相同直径的钢筋计, 如果直径不同, 应尽量接近, 两直径之差不宜大于钢筋直径的 10%。

此时钢筋计的仪器系数 (最小读数) 应按式 (H.2.4.1) 修正:

$$f' = f \frac{A_1}{A_2} \quad (\text{H.2.4.1})$$

式中： $f'$  ——钢筋计的修正仪器系数（最小读数）；

$f$  ——钢筋计的出厂仪器系数（最小读数）；

$A_1$  ——钢筋计截面面积；

$A_2$  ——钢筋截面面积。

2 钢筋计与钢筋连接时应尽量保持在同一轴线上，受力钢筋之间的绑扎接头应距仪器 1.5m 以上。当钢筋为弧形时，其曲率半径应大于 2m，并须保证钢筋计的钢套不受弯曲。

3 钢筋计的焊接加长工作可在钢筋加工场内预先做好，也可在埋设现场时连接。

4 锚杆应力计需要锚杆的一处或多处安装钢筋计，安装方法和要求在结构上与钢筋上相似，接有钢筋计的锚杆应力计可安装在岩体的钻孔中。

#### H.2.4.2 连接方法如下：

##### 1 对焊应符合下列要求：

直径小于 28mm 的仪器可采用对焊机对焊，此法焊接速度快，可不必作冷却降温处理。

##### 2 熔槽焊（坡口焊）应符合下列要求：

将仪器与钢筋两端头部切削成  $45^\circ \sim 60^\circ$  的斜坡，用略大于钢筋直径、长 30cm 的角钢，摆正仪器与钢筋在同一中心线上。焊层应均匀，焊一层即用小锤打去蜂窝麻面，层层焊接到略高出为止。

焊接时，仪器要包上湿面纱并不断浇冷水，同时监测仪器温度，应低于  $60^\circ\text{C}$ 。焊接处不得浇水冷却，以免焊层变硬脆。

##### 3 螺纹连接应符合下列要求：

采用螺纹连接需要事先配置两根套管，内部车成阴螺纹；钢筋计的连接杆和结构钢筋的连接头加工成相同直径的阳螺纹。连

接时用套管将钢筋计的两端分别与结构钢筋连接起来，可在现场安装。

**H.2.5** 温度计安装埋设应符合下列要求：

1 埋设在坝体内的温度计一般不考虑方向，可直接埋入混凝土内，位置误差应控制在 5cm。

2 埋设在上游面附近的库水温度计，应使温度计轴线平行坝面，且距坝面 5cm~10cm，见图 H.2.5。

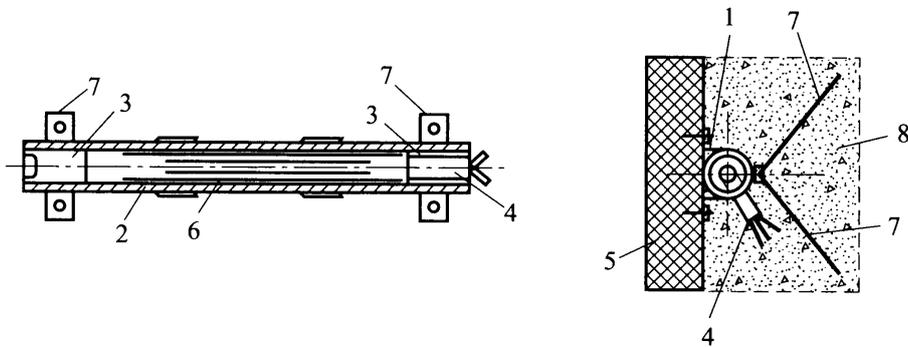


图 H.2.5 库水温度计夹具及埋设图

1—固定圈；2—保护套；3—密封胶；4—电缆；5—模板；6—温度计；7—锚固杆；8—坝体

3 埋设在混凝土表层的温度计，可在该层混凝土捣实后挖坑埋入，回填混凝土后用人工捣实。

4 埋设在浇筑层底部或中部的温度计，振捣时，振动器距温度计不小于 0.6m。

5 埋设在钻孔中的基岩温度计，可预先绑扎在细木条上，以便于控制仪器位置。

### H.3 埋入式仪器基准值的选定

**H.3.1** 应变计基准值的选定方法如下：

在混凝土浇筑后，72h 内，每隔 4h 测 1 次；以后每天观测 1 次，持续 1 旬；以后每旬观测 2 次，持续 1 个月；以后按第一次蓄水前规定的测次观测。

选取 24h~48h 内测值平稳，有规律的时刻为计算基准时间，

其测值为计算基准值。每组应变计组各支仪器（包括相应的无应力计）需取同一基准时刻的测值。

**H.3.2 钢筋计基准值的选定方法如下：**

钢筋计安装好后，混凝土浇筑前的读数为计算基准值（测读 3 次，取平均值）。

**H.3.3 锚杆应力计基准值的选定方法如下：**

锚杆应力计安装并灌浆后的读数为计算基准值（测读 3 次，取平均值）。

**H.3.4 锚索测力计基准值的选定方法如下：**

锚索测力计安装好后，取张拉前的读数为计算基准值（测读 3 次，取平均值）。

**H.3.5 混凝土内测缝计基准值的选定方法如下：**

在混凝土浇筑后，每隔 4h 测 1 次，直至水化热最高温升后 12h，取最高温度时刻为计算基准时间，其测值为计算基准值。

**H.3.6 渗压计基准值的选定方法如下：**

安装埋设前在施工现场的读数为计算基准值（测读 3 次，取平均值）。

## 本规范用词说明

**1** 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”。

2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

**2** 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 《工程测量规范》 GB 50026  
《水位观测标准》 GB/T 50138  
《国家一、二等水准测量规范》 GB/T 12897  
《中、短程光电测距规范》 GB/T 16818  
《国家三角测量规范》 GB/T 17942  
《全球定位系统（GPS）测量规范》 GB/T 18314  
《全球定位系统（GPS）测量型接收机检定规程》 CH 8016  
《全球导航卫星系统（GNSS）测量型接收机 RTK 检定规程》

### CH/T 8018

- 《数字水准仪检定规程》 CH/T 8019  
《大坝安全监测系统运行维护规程》 DL/T 1558—2016  
《水电枢纽工程等级划分及设计安全标准》 DL 5180  
《混凝土坝安全监测资料整编规程》 DL/T 5209  
《大坝安全监测自动化技术规范》 DL/T 5211  
《水电水利工程边坡设计规范》 DL/T 5353  
《水工建筑物强震动安全监测技术规范》 DL/T 5416  
《全站型电子速测仪检定规程》 JJG 100  
《光学经纬仪》 JJG 414  
《水准仪检定规程》 JJG 425  
《水电工程地质勘察水质分析规程》 NB/T 35052  
《降水量观测规范》 SL 21  
《水文测量规范》 SL 58  
《河流冰情观测规范》 SL 59  
《水电水利工程水力学安全监测规程》

中华人民共和国电力行业标准

混凝土坝安全监测技术规范

**DL/T 5178 — 2016**

条 文 说 明

## 目 次

1 总则 .....	123
4 巡视检查 .....	124
5 环境量监测 .....	125
6 变形监测 .....	126
7 渗流监测 .....	139
8 应力、应变及温度监测 .....	143
附录 C 变形监测控制网的设计、安装和监测 .....	153

## 1 总 则

**1.0.3** 混凝土坝安全监测工作应遵循仪器监测和巡视检查相结合的原则。国内外的监测实践都证明了这一原则的重要性。据捷克斯洛伐克和法国统计，大坝百分之七十的老化现象和异常现象是由有经验的技术人员在现场检查中发现的。我国柘溪和梅山大坝出现危情，也是在现场检查中发现的。1986年8月6日，丰满大坝泄洪时，12号和13号溢流坝段坝面被冲刷破坏800多平方米，冲走混凝土2000多立方米，也是由运行人员发现的。因此，在本条中增添了仪器监测应和巡视检查相结合的原则。

## 4 巡 视 检 查

### 4.1 一 般 要 求

**4.1.1** 巡视检查是监视大坝安全运行的一种重要方法。大坝的一些异常现象，通过巡视检查可以及时发现，如裂缝产生、新增渗漏点、混凝土冲刷和冻融、坝基析出物、局部变形等，这些缺陷在仪器上常常反映不出来；并且，当前仪器是采用单点监测的方法，很难做到监测部位恰恰是大坝出事地点，如美国 1971 年提堂坝失事，当时在右岸的一个窄断层突然发生管涌，不到 6h 就造成垮坝，而监测仪器对此却没有记录。因此，只有仪器监测是不够的，必须同时开展巡视检查。

### 4.2 检 查 内 容

**4.2.6** 大坝安全监测系统是大坝重要的附属设施，它广泛布置在大坝各个部位，有的在廊道里，有的在坝肩公路旁。各种监测设施极易受人造的碰撞、动物的侵袭和多种自然因素的影响，从而影响安全监测资料的准确性和可靠性。这次规范修订增加了对安全监测系统进行巡视检查的内容，以便及时发现问题，及时进行处理，保证大坝安全监测系统处于良好的状态。

## 5 环境量监测

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 环境量监测包括上下游水位、水温、气温、降水量、泥沙淤积、冲刷及冰冻等项目的监测。这些监测实质上是对大坝作用量的监测，其重要性与效应量（变形、渗流、应力应变等）监测一样。因此，这次修订把环境量监测从原规范附录移至正文，将它放在与变形、渗流、应力应变监测相同的位置。

为避免重复，本章规定：环境量监测除按各自有关专业方面的规定外，在监测布置上必须执行本章有关规定。

### 5.5 降水量

**5.5.1** 降水对大坝渗流监测，特别是对绕坝渗流监测的影响较大。为了准确地对大坝渗流作出解释，修订后增加了降水量监测项目。

### 5.6 冰压力

**5.6.1** 北方严寒地区，冰冻现象极为严重。冰层温升产生热膨胀及冰冻产生体积膨胀引起的冰压力不可忽视。因此，修订后的规范要求根据工程具体情况在大坝前缘设置压力传感器，对冰压力进行监测。

## 6 变 形 监 测

### 6.1 一 般 规 定

**6.1.2** 变形监测的精度是变形监测系统的基本指标，但精度要求需要恰当。要求过高，会使监测工作复杂化，费用大量增加；要求过低，又不能得出大坝性态变化的正确信息，影响大坝安全评价。因此，精度要求是一个很重要的问题。变形监测合理的精度要求，取决于必要性和可能性两个方面，并随着科学技术的发展逐步提高。

为了监控大坝安全，应该监测出大坝在正常情况下的一般变形规律。只有这样，才能及早发现异常现象，再通过分析判断，找出异常根源，采取措施，确保大坝安全。要测定出大坝的一般变形规律，监测值的误差应远小于变形量。国际测量工作者联合会（FIG）变形观测研究小组提出监测值的误差应小于变形量的 $1/20\sim 1/10$ ，苏联学者提出应在 $1/10\sim 1/4$ 之间。

大坝实测资料表明，大坝的一般变形规律是：在第一次蓄水后的最初几年，存在不可逆的时效变形，以后主要受水位和气温的影响，呈近似正弦曲线的规律而作年周期变化。具体测值则与坝型、坝高、坝的刚度、监测部位、水位和气温年变化幅值等一系列因素有关。坝顶水平位移的一般情况如下：对于100m级的大坝，重力坝约为10mm，也有的坝小至3mm~5mm，大至20mm；拱坝径向位移约为20mm，也有的小至几个毫米，大至30mm~40mm。对于坝基水平位移：重力坝为1mm~3mm，拱坝稍大。垂直位移表现为坝顶下游侧稍大于上游侧，一般约为10mm；坝基垂直位移为1mm~3mm；对倾斜而言，坝顶可达几百秒，坝基

仅为 $4'' \sim 8''$ 。

目前，几乎国内外所有大坝均采用精密水准法和静力水准法监测垂直位移，大多数大坝采用垂线、引张线和真空激光准直监测水平位移，少数大坝采用视准线法监测水平位移。精密水准法的精度和路线长度（测站数）相关，在严格遵守合理的作业规程的前提下，可以达到 $0.5\text{mm}/\text{km} \sim 1.0\text{mm}/\text{km}$ 。静力水准精度可达 $0.07\text{mm}$ 。垂线、引张线和真空激光准直的精度，都可达 $0.1\text{mm} \sim 0.3\text{mm}$ ，视准线精度为 $1\text{mm} \sim 3\text{mm}$ 。本条规定各监测项目的最低精度要求，主要依据上述普遍采用的方法实际可以达到的精度，适当兼顾了变形量的数值，使多数精度达到一般变形量的 $1/10$ ，少数不足变形量的 $1/4$ ，如坝基垂直位移。但是，对于重要的大坝，当前也可采用静力水准加双金属标的方法得以满足。由于近20年监测技术的快速发展，许多监测仪器的精度有了较大提高，许多高精度的仪器，如垂线、引张线、真空激光准直、静力水准等已普遍被采用，因此，在这次修订时，将拱坝和重力坝的坝基位移精度要求进行了统一，考虑到拱坝位移监测方法的多样化，坝体位移保持了原规范的精度要求。也就是说，拱坝的精度要求有了提高；并且，这次修订中去除了挠度监测和挠度监测精度要求，因为挠度监测其实是水平位移监测，原规范对它们的精度分别作出规定，造成了不应有的矛盾。在这次修订中，还将高边坡从滑坡体中分离出来，提高了高边坡变形监测的精度要求，使高边坡的安全监控得到了保证。

从实践情况来看，原规范规定的大坝变形监测的精度是总体合适的，因此，本次修订未作调整，考虑坝基坝肩岩体深部变形的重要性，结合目前很多变形监测传感器基本为位移计变化而来，参考测缝计等变形仪器的精度要求，增加了坝基坝肩岩体内部变形精度为 $\pm 0.2\text{mm}$ 的要求。

由于外部变形测量对位移的精度要求是指相对于工作基点的精度，因此有必要控制工作基点的精度。考虑到某些工作基点（如

视准线两 endpoint) 仅需要控制某一特定方向位移的精度要求, 提出了保证工作基点在指定位移方向中误差不大于 $\pm 1.4\text{mm}$ 的要求。当工作基点需要控制的位移方向不止一个时, 应理解为所有位移方向的中误差均不大于 $\pm 1.4\text{mm}$ 。

**6.1.3** 变形监测仪器的量程选择是一个多因素综合作用的结果。一般情况下, 应首先参考本工程建筑物结构计算和模型试验成果, 但由于结构计算存在边界条件的不完全确定性、本构模型的合理性、单元尺寸效应及计算方法差异等导致结果存在较大差异的局限性, 模型试验成果也存在比尺效应、模型制作材料的相似性及加载条件的差异等, 上述成果只能作为仪器量程选择的基本参考因素, 必须结合类似工程的监测成果等因素综合考虑, 但参考类似工程的监测成果时, 应考虑建基面不同地质岩性、地质条件、工程措施及坝顶长度等因素的差异性。

在工程实践中, 目前变形监测仪器的量程选择一般采用本工程建筑物结构计算和模型试验(若有)成果作为基准参考, 选择基本荷载组合工况计算成果的1.5倍~2倍、偶然荷载组合工况计算成果的1倍~1.5倍, 同时借鉴类似工程实测成果等予以适当修正。

**6.1.4** 根据目前高坝建设过程来看, 为提前发挥工程效益, 几乎所有高坝大库工程, 一定程度上存在诸如施工期坝体临时挡水、蓄水期分期蓄水、蓄水初期提前发电的需求, 导致很多大坝尚未封顶就开始蓄水。由于多种因素(如施工干扰、廊道布置等)制约, 一般情况下, 上述阶段很难形成完善的变形监测系统。这样, 在首次蓄水的时候, 基于当时的工程形象面貌就无法有效对变形进行监测, 导致很多实测的大坝变形均不是真正意义上的大坝全变形, 从而对客观评价大坝的真实变形工作性态造成一定程度的误导甚或得出错误的结论。故应在上述时段典型坝段设置临时变形监测点进行观测, 并应与后期建立的永久变形监测点在初期进行同步监测, 使得不同时段实施的永久变形监测点的初始值可统

一到典型的同一时刻（如首次蓄水、施工期临时挡水、某高程封拱时刻等），以反映不同部位的坝体真实变形。

## 6.2 监测设计

### 6.2.1 重力坝变形监测断面布置：

2 根据表 6-1 中对国内典型重力坝变形横向监测断面数量的统计来看，本条规定的重力坝变形横向监测断面布置数量是基本合适的，但需兼顾准直系统基点的或是折线坝型等特殊情况下，可视实际情况布置，不受此条规定的数量限制。

表 6-1 国内典型重力坝变形横向监测断面数量统计

序号	坝名	所在地	建设情况	坝高 (m)	坝顶长度 (m)	变形横向监测断面数量 (不含坝顶准直系统基点)
1	三峡	湖北	完建	181	2309	15
2	光照	贵州	完建	200.5	410	3
3	龙滩	广西	一期完建	192	761	6
4	水口	福建	完建	102	783	3
5	棉花滩	福建	完建	111	308	3
6	金安桥	云南	完建	160	640	6
7	阿海	云南	完建	130	482	6
8	景洪	云南	完建	108	704	5
9	漫湾	云南	完建	132	418	5
10	大朝山	云南	完建	115	460	4
11	彭水	重庆	完建	116.5	309	3
12	沙沱	贵州	在建	101	631	4
13	龙开口	云南	在建	116	768	7
14	观音岩	云南	在建	159	838/重力坝	6
15	向家坝	四川	在建	162	896	6
16	鲁地拉	云南	在建	140	622	3
17	黄登	云南	在建	203	464	5

### 6.2.2 重力坝坝体变形测点布置应符合下列要求：

1 目前引张线的布置方式，线体长度大于 200m 的主要采用有浮托式，反之则采用无浮托式引张线较多。如葛洲坝大坝在坝顶和基础廊道共计布置 11 条引张线，见表 6-2，线体长度介于 177m~512m，测点介于 11 个~20 个。从 20 世纪 90 年代中期开始对葛洲坝引张线逐步实施改造，第一次改造主要采用自动化代替人工观测。从多年观测成果来看，鉴于有浮托式引张线的特点，由于自动化观测没有解决自动拨线等问题，测值规律性较差。自 2003 年~2008 年陆续进行第二次改造，主要内容是采用无浮托式引张线观测。从观测成果来看，第二次改造后各条引张线测值规律性较好，测值总体呈年周期变化，过程线较为光滑，分析表明测值可靠、精度较高，见图 6-1。

表 6-2 葛洲坝大坝引张线特征参数统计

引张线编号	类型	线体直径 (mm)	测线长度 (m)	测点数量	测点浮托最大间距 (m)	钢丝安全系数	最大悬链线垂径 (mm)	垂度 (%)
EXC	无浮托	1.0	185.0	16	180.20	2.26	39	0.022
EX28			255.6	17	281.80	2.08	94	0.033
EX01			226.5	13	221.50	2.60	81	0.037
EX31			168.1	11	164.30	3.29	55	0.033
EX30			177.0	12	172.50	2.60	50	0.029
EX09			258.1	20	252.55	3.25	127	0.050
EX10			260.3	21	254.80	3.25	129	0.051
EX17N			507.2	14	499.25	2.60	391	0.078
EX18	有浮托	1.0	512.0	14	37.38	1.02	11	0.029
EX14			499.6	18	29.98	1.02	7	0.023
EX13			502.9	18	28.16	1.17	7	0.025

同时，在现场开展了引张线线体试验及复位差测试，测试结果表明无浮托式引张线测值与理论值最大较差 0.11mm，复位差最大较差 0.09mm。有浮托式引张线测值与理论值最大较差介于 0.33mm~0.45mm，个别测点最大较差达 1.78mm，复位差最大为 0.70mm。有浮托式张线线、无浮托式张线线体复位时间基本相同，约 3min。

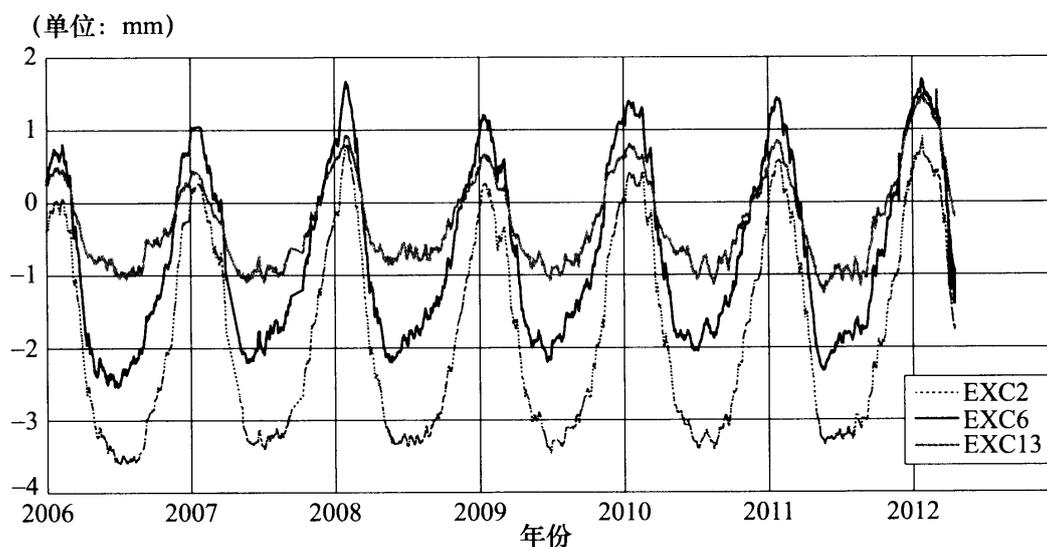


图 6-1 葛洲坝大坝典型无浮托式引张线测值历时曲线

葛洲坝大坝 11 条引张线运行情况表明，无浮托式引张线与有浮托式引张线相比，具有测值可靠、精度高、观测工作简单、日常观测工作的检查及维护工作量小等优点。故本条认为引张线也可采用无浮托式，为减小引张线的悬链线垂径，线体宜采用高强度轻质材料。

**2** 线体长度在 500m 左右时，无浮托式引张线的最大悬链线垂径较大，有浮托式引张线的线体安全系数仅介于 1.02~1.17，故建议单条引张线的线体长度不宜大于 300m。

**3** 由于众多高坝工程在满足检查、排水和结构需要的前提下尽量减少廊道的数量，坝体廊道间高差大于 50m 的并不鲜见。同时高坝变形较大，对垂线测量误差也可适当放宽。根据目前

部分工程的调研，三峡、二滩、小湾、拉西瓦、锦屏一级、溪洛渡大坝单条垂线长度分别为 93.0、78.0、73.7、55.0、69、75m，目前各垂线运行良好，与表面位移监测成果对比来看，无论规律和测值均吻合良好，故强调了单段垂线的长度宜根据坝体廊道设置、仪器量程、防风措施及结构变形范围等因素确定。根据目前的使用经验来看，对单段垂线长度建议调整为不宜大于 80m。

#### 6.2.5 重力坝接缝变形的测点布置：

1 坝与基础的结合部位是坝工的一个薄弱环节，也是大坝性态反应敏感的区域，是接缝监测的重点部位。重力坝受水压力的影响，其坝踵一般处于受拉状态，为了了解坝体混凝土与基岩面的结合情况，可在典型横断面的坝踵和坝趾部位，以及基岩与混凝土的结合处设竖直向测缝计。也可埋设用测缝计改装的基岩变位计或多点位移计，监测坝踵部位基岩的拉伸变形和坝趾部位基岩的压缩变形，判断大坝是否可能倾覆。

2 由于重力坝各个坝段一般是相互独立的，横缝监测的主要目的是监测相邻两坝段之间的不均匀变形，主要包括上下游方向的错动和竖直向的不均匀沉陷，同时可兼测接缝的开合度，以了解各坝段间是否存在相互传力。

3 对一些施工期设纵缝的重力坝，采用分缝浇筑，为了确定纵缝灌浆时间或了解不灌浆纵缝的状态以及纵缝对坝体应力的影响，可在纵缝不同高程处布置 3 支~5 支测缝计。

碾压混凝土坝通仓浇筑，为改善坝体应力状态，有些碾压混凝土重力坝设置各种形式的诱导缝，其接缝监测需根据其受力特点和计算成果进行针对性设置。一般监测诱导缝缝面法向的开合度和缝端的可能扩展，监测诱导缝缝面开合度的测缝计宜采用带有加长杆或线体式测缝计。

当存在回填混凝土或二期混凝土接缝，坝块并缝处、引水钢

管、机组蜗壳与周边混凝土接缝及防渗墙与铺盖之间接缝等其他重要接缝时，也应根据接缝特点布置相应测缝计。

### 6.2.6 拱坝变形监测断面布置：

3 根据表 6-3 中对国内典型拱坝变形梁向监测断面数量的统计来看，本条规定的拱坝变形梁向监测断面布置数量是基本合适的。

表 6-3 国内典型拱坝变形梁向监测断面数量统计

序号	坝名	所在地	建设情况	坝高 (m)	坝顶弧长 (m)	变形梁向监测断面数量 (不含坝顶坝肩监测)
at1	二滩	四川	完建	240	745	5
2	龙羊峡	青海	完建	178	393	3 (不含左右岸重力墩)
3	东江	湖南	完建	157	443	5
4	东风	贵州	完建	162	254	5
5	李家峡	青海	完建	155	457	3
6	隔河岩	湖北	完建	151	653	3
7	小湾	云南	完建	294.5	893	9
8	拉西瓦	青海	完建	250	467	5
9	构皮滩	贵州	完建	230.5	552	5
10	龙江	云南	完建	110	472	3
11	天花板	云南	完建	113	160	3
12	陈村	安徽	完建	76.3	419	3
13	江口	重庆	完建	140	394	3
14	紧水滩	浙江	完建	102	351	5
15	锦屏一级	四川	在建	305	552	7
16	溪洛渡	云南	在建	285.5	681	5
17	大岗山	四川	在建	210	635	5

### 6.2.7 拱坝坝体的变形测点布置：

1 在同等条件下，拱坝较其他混凝土坝型变形大。表 6-4 为国内典型 200m~300m 级拱坝拱冠梁径向变形监测值统计。随着众多的卫星导航系统的建立及 GNSS 变形测量技术的进步，众多工程实践证明，目前 GNSS 变形监测水平位移精度能达到 2mm~3mm，且有进一步提高的可能。根据前述 6.1.2 变形精度与变形量的关系以及拱坝水平位移监测手段的有限性，GNSS 变形监测不失为拱坝变形监测的一种可行的方法。故本条说明在 GNSS 系统接收卫星情况良好的、变形较大的拱坝，可采用 GNSS 法监测拱坝水平位移。

表 6-4 国内典型 200m~300m 级拱坝拱冠梁径向变形监测值统计

序号	坝名	坝高 (m)	坝顶 弧长 (m)	正常 蓄水位 (m)	正常蓄水位时拱冠 梁径向位移 (mm)
1	二滩	240	745	1200	120
2	小湾	294.5	893	1240	122.5
3	拉西瓦	250	467	2452	67.0
4	构皮滩	230.5	552	630	43.0
5	锦屏一级	305	552	1880	43.2
6	溪洛渡	285.5	681	600	21.8 (第一次达正常 蓄水位)

3 拱坝垂线监测坝段通常与梁向监测断面一致，考虑变形的重要性及在恶劣条件下仍需具备变形观测能力，一般要求布置表面位移监测点进行冗余设计，为相互验证，表面水平位移测点布置应与垂线测点布置一致。鉴于目前拱坝弧长多数介于 300m~600m，坝段数量基本介于 10 个~30 个，在拱冠梁、左右 1/4 拱弧、左右拱端等典型部位布置表面监测点后也基本达到了 2 个~3

个坝段布置一个表面位移监测点，为兼顾拱坝全局特点并考虑部分拱坝对称性较差的特点，本条建议拱坝表面位移监测点在垂线坝段布置的基础上，宜每间隔一个坝段布设 1 个监测点。

鉴于拱坝传统计算多采用一次性加载（坝体混凝土一次浇筑到坝顶、水库蓄水一次到正常蓄水位）的有限元计算成果，不能反映坝体施工期体形因素和分期蓄水对拱坝变形的时间和空间综合作用，目前高拱坝基本采用了模拟（或现场实际资料）分期浇筑和蓄水的计算条件，其计算成果表明，拱坝的顺河向变位极值一般不在坝顶，与传统的计算最大位移出现在坝顶差异较大，见图 6-2。故本条说明若在  $3/4 \sim 4/5$  坝体高程附近有坝后桥等条件时，建议在此高程的坝体设置表面水平位移监测点，对该范围变形作辅助监测布置，以捕捉坝体最大变形值。

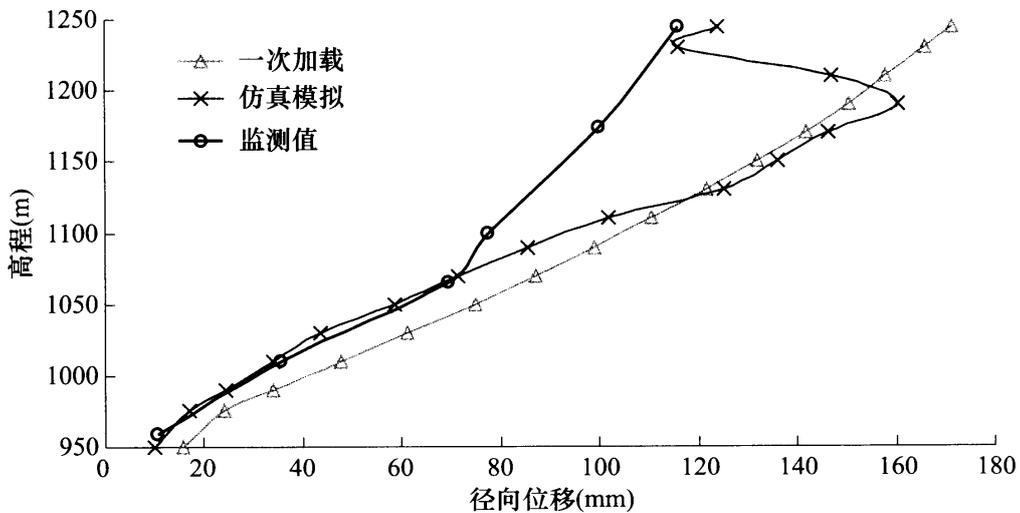


图 6-2 拱坝不同计算方法与监测对比位移

5 由于拱坝呈空间壳体的结构特点，坝体弦长变化综合反映了拱坝拱向传力以及坝基坝肩结构受力特性，故本条要求在拱推力较大高程的拱端对称设置弦长监测点。

### 6.2.9 拱坝坝基及拱座的内部变形测点布置：

1 可能变形的地质缺陷一般是指蚀变带、断层破碎带、卸荷岩体、深部裂隙带和软弱层带等。

**2** 拱坝对坝基岩体质量要求较高，若坝址部位岩体完整性好、应力较高，一般建基面开挖初期变形量很大，坝基变形监测宜充分利用坝基勘探平洞、排水洞、灌浆洞、交通洞及施工支洞等进行超前变形监测。超前变形监测可捕捉坝基岩体的真实变形量，可以反映坝基开挖、混凝土浇筑和蓄水等边界条件变化引起的坝基岩体真实变形的全过程。对于开挖后建基面出现的卸荷变形，超前变形监测还可为工程处理措施（清基、锚固、固结灌浆及坝体混凝土覆盖时机选择等）实施提供重要的参考信息。本条强调在具备条件时，应尽量利用各种洞室对坝基进行全变形监测布置。

**3** 与其他混凝土坝型相区别，拱坝主要依靠材料的强度，特别是抗压强度来保证大坝安全。坝体结构既有拱作用又有梁作用，其承受的荷载一部分通过拱的作用传向两岸山体或重力墩，另一部分通过竖直梁的作用传到坝底基岩。坝体的稳定主要是依靠两岸拱端的反力作用来维持，应该把坝体和坝基坝肩作为统一体来考虑。故拱坝的拱座稳定是拱坝结构安全的基本前提，也是历来工程界十分关注的问题。本条强调坝基及拱座变形监测的重要性。

拱座变形监测范围应参照坝工设计计算结果，缺少该项计算结果时，可取所在部位的  $1/4 \sim 1/2$  坝高或 1 倍~3 倍拱端基础宽度。

**4** 由于拱坝为空间整体结构特点，坝址区山体变形直接导致坝体拱梁的应力及变形等重分布，谷幅持续的张开和收缩变形对拱坝受力均是不利的。本条强调拱坝坝肩谷幅变形监测的重要性。

坝址上游受库水作用，下游受拱推力作用，故谷幅测点宜在坝址上、下游成对布置。在平面上，测线应尽量垂直于河流走向；在高程上，测点应尽量在同一高程，不在同一高程的测点应进行高程倾斜改正。坝址上游测线根据河道形状、库区地质条件等因素，布置范围一般不超过坝址 1km，其高程略高于坝顶高程。坝址下游测线布置重点为拱坝传力影响范围内的拱座，应在不同高程布置；为了对比自然山体的变形，也可在拱推力影响范围之外

适当布置测线。一般情况下，谷幅监测在岸坡表面布置测点，若两岸坝肩岩体卸荷较深，可专门布设垂直于岸坡向的谷幅监测平洞。

#### 6.2.10 拱坝接缝变形的测点布置：

3 拱坝需要进行接缝灌浆形成空间整体传力结构，横缝开度受温度、河谷形状、坝段高差及蓄水等因素影响较大，灌浆的时机、质量及灌浆后横缝开度的变化对拱坝整体结构影响较大。根据国内已建拱坝横缝灌浆的实践经验，本条强调了拱坝横缝开度监测的重要性。

施工期接缝灌浆最不易张开部位一般位于横缝中部，蓄水后根据部位的不同，灌浆后的横缝开度变化较大部位一般位于上、下游坝面附近，故说明横缝开度变化应根据布置目的选择针对性布设位置。

4 对于地形不规则的河谷或局部有深槽时，为调整和改善地基的受力状态，减少河谷地形的不规则性和地质上局部软弱带的影响，改进拱坝的支承条件，有的拱坝在建基面与坝体之间设置垫座，在垫座与坝体之间形成周边缝，其接缝监测需根据其受力特点和计算成果进行针对性设置。

#### 6.2.14 变形监测的工作基点布置应符合下列要求：

2 对于中小型工程，如条件合适，可在视准线两岸工作基点近岸坡侧视线较为开阔的延长线上两端各建立一个校核基点，由两岸的校核基点用视准线法分两段测定两工作基点的位移。校核基点距工作基点必须有一定的距离，以保证校核基点本身的稳定性。

4 GNSS 变形监测工作基点的选择一般优先考虑部位稳定和提高变形观测精度。若工作基点位于多路径效应明显、电磁波干扰大等地方，将导致 GNSS 测量产生随机误差，无法采用差分法消除或减小误差影响。

另外，因卫星星历（确定卫星在 WGS-84 坐标系中位置）、

钟差（卫星采用的原子钟与 GNSS 标准时间的偏差和漂移，且随时间的推移产生变化）、地球自转产生的影响（在某一时刻向地面发射信号，地面接收机收到此信号时，由于地球的转动，使与地球固连的坐标相对于卫星发生信号瞬间位置产生了相对变动）和相对论效应〔因卫星时钟和接收机时钟所处的状态（运动速度、重力位等）不同而引起两者之间产生相对时钟误差〕，以及信号传播过程的电离层及对流层等导致的电磁波传播延迟，这些因素都会引起 GNSS 测量的系统误差。通过工作基点和测点同时对多个卫星的同步观测，由于同一卫星的位置误差对不大范围内的工作基点和测点影响基本一致，卫星信号到达工作基点和测点的路径相近，所经过的介质状况相似，因此通过工作基点和测点对相同卫星信号的同步观测值求差，可显著减弱卫星轨道误差和电离层及对流层的折射影响。故强调工作基点应布设在多路径效应不明显、电磁波干扰小及卫星信号接收条件良好的部位。

布置 1 个 GNSS 变形监测工作基点即可正常解算变形成果，但采用双基点可实现双站联合解算以提高测量精度，同时可互为备份提高可靠性。故说明具备条件的，可在两岸各布设 1 个工作基点。

## 7 渗 流 监 测

### 7.1 一 般 规 定

**7.1.1** 渗流监测是大坝安全监测的主要项目，在第 3.0.3 条已作规定，此处不再重复规定。为突出绕坝渗流监测的重要性，增加绕坝渗流和地下水位监测项目。

**7.1.2** 坝基扬压力是影响坝体稳定的重要因素，测压管观测扬压力水位直观可靠，还可以安装压力传感器实现自动化测量，所以本次修订推荐优先采用测压管，但对于帷幕上游测点，测压管运行管理不当时容易造成管涌等事故，所以对帷幕上游测点推荐采用渗压计。测压管优于渗压计的特点一是直观、可维修，二是必要时便于对测压管渗水进行取样分析。另外，本次修订增加其他压力变送器，旨在推广引进工业领域先进的液体压力传感技术，如精度和可靠性满足要求，可用于测压管内自动压力测试。本次修订调整增加本条。

仪器精度要求放入基本规定第 3.0.3 条，此处不再对渗压计精度进行规定。

**7.1.3** 原规范用语是“根据不同量程的渗压计选择合适的读数仪”，而实际上读数仪与渗压计的类别有关，与量程关系不大，同时也未对传感器量程选择提出要求。

### 7.2 监 测 设 计

**7.2.2** 重力坝坝基扬压力测点布置：

2 为了检查深覆盖层坝基和软基的防渗墙或板桩的施工质

## DL/T 5178 — 2016

量和防渗效果，宜在其后布置测点。如果防渗墙和板桩较深，或者地层分层复杂、水文地质条件明显变化，宜每层布置测点，或每隔 10m 布置 1 个测点。

### 7.2.3 拱坝渗流监测断面布置：

2 对于高拱坝，希望加强对“坝基+坝体”统一体的防渗帷幕及排水系统的监测，考虑增加坝基横向监测断面。

7.2.4 拱坝关注坝踵应力以及坝踵与基岩接缝开度，为进一步佐证坝踵应力与接缝监测成果，推荐同步布置渗压计。

7.2.7 根据目前的施工技术水平，100m 以下的常态混凝土坝可不设坝体渗透压力监测，而碾压混凝土的坝体混凝土层间缝是薄弱环节，应加强渗透压力监测，所以增加了高碾压混凝土坝坝体渗透压力监测的规定。

### 7.2.12 绕坝渗流的测点布置：

2 绕坝渗流的测点布置包含了拱坝坝肩抗力体的布置。

3 单孔分段式测压管由于分层封堵不好控制，极易造成串孔，如需对分层地下水进行监测，建议采取对不同深度分别进行钻孔安装埋设的方案。

### 7.2.13 消能建筑物渗流的测点布置：

2 水垫塘封闭帷幕上游侧与大坝主帷幕衔接，下游侧与二道坝帷幕衔接，廊道内排水汇入二道坝集水井，量水堰布置应能监测不同区域的渗流情况。

3 边墙的排水结构置方式为封闭抽排式，在边墙底部排水廊道内设置封闭帷幕，应监测封闭帷幕的效果。

4 通过形成二道坝纵、横向渗压监测断面，以了解坝后水垫塘二道坝坝基渗压力分布情况。

### 7.2.15 水质分析设计：

3 水质分析的物理分析项目主要包含水温、外观、透明度、颜色、气味、pH 值等。

### 7.3 监测设施及其安装

**7.3.1** 增加了测压管管径要求，管径过大影响观测精度，管径过小则不利于水位观测。

**7.3.2** 坝基扬压力监测应包含坝基岩石与坝体混凝土结合面的渗透水压力，所以本次修订取消了坝基扬压力孔内结合面接触段灌浆要求。

**7.3.3** 单孔多管或单孔分层渗压计埋设由于各层封堵效果不易控制，故设计和安装时建议采用多管、多孔分层进行观测。

**7.3.4** 为了解测压孔孔深内地层的地质情况及透水能力，增加钻孔透水灵敏度检查，以便资料分析时参考。准确记录测压管参数是为以后资料分析时用，如基础灌浆廊道排水幕处扬压系数。

**7.3.5** 渗压计一般布置在有渗流或有地下水的部位，为防止水顺电缆进入观测房或坝体造成渗漏，增加了对其电缆阻水措施的要求。强调渗压计埋设高程的目的不仅是监测点位置确定，还要为日后准确换算水头用。很多情况下，渗压计埋设点是有水压的，一旦将仪器安装就位再进行监测，此时仪器已经承受荷载，如果不在现场埋设前测读仪器，就无法准确取得仪器计算基准值，因此增加此条规定。

**7.3.6** 量水堰是监测大坝渗流量的主要设施，但目前国内外参考资料和模型试验要求不一致，每种堰型也有许多不同的计算方法和边界条件限制要求。在流量与堰型的选择上主要有以下差别：

1 《水工（常规）模型试验规程》SL 155—2012 中要求流量小于 30L/s 时宜用直角三角堰，当流量大于等于 30L/s 时宜用矩形堰，当流量大于 2L/s 且小于 90L/s 时可用复式堰。

2 目前大学教材中，流量小于 100L/s 时采用直角三角堰或梯形堰，流量大于 100L/s 时采用矩形堰。

3 《水工建筑物与堰槽测流规范》SL 537—2011 对薄壁堰适用范围的要求是：直角三角形薄壁堰为 1L/s~1.8m<sup>3</sup>/s，矩形堰

薄壁堰为  $5\text{L/s} \sim 7.7\text{m}^3/\text{s}$ 。

本次修订采用 SL 155—2012 的直角三角堰、矩形堰计算公式以及 SL 537—2011 的梯形堰计算公式要求。

## 7.4 监 测

**7.4.1** 帷幕前虽推荐采用渗压计，但并未禁止布设测压管，如果布设测压管，应规定不得随意排水，故应保留此条。增加观测前轻敲压力表，这是度盘指针式仪表读数的一般规定，可提高观测精度。

**7.4.2** 混凝土坝的垂直位移相对于测压管水位变化是很小的，一般可忽略不计，但管口装置比较容易受外界影响变化，所以管口高程的校测一般是压力表中心线高程校测。当测压管位于变形较大部位时，则需要采用水准测量方法校测，即坝体和岩体内部测点采用钢尺校测压力表中心线，应每年 1 次；坝体以外的测点则采用水准测量方法校测。

**7.4.3** 当采用渗压计量测监测孔的水位时，若电缆较长、测压管孔径较小，电缆浸入测压管中造成的水位壅高比较显著，如普通四芯屏蔽电缆浸入  $\phi 50\text{mm}$  测压管以下 15m，造成水位升高达 25cm，因此仪器安装就位后，不能立即测读，需要有足够的时间使水位达到平衡，再测得孔内水位值。测压管内渗压计的基准值，应取现场仪器放入测压管前的读数（连续测 3 次，取其平均值）。原因在于测压管内一般都是有水的，如果取渗压计放入测压管后的读数为基准，则管内原有水柱被“基准”掉了，造成永远的系统误差，所以应取仪器放入测压管前的读数为基准值，这样渗压计安装稳定后的第一次读数就是测压管内的水头。

## 8 应力、应变及温度监测

### 8.2 监测设计

**8.2.1** 混凝土压应力计的传感器实际上是 1 支应变计，在压力机上标定时，将由外压力引起的压应变标定为压应力。但是，当压应力计埋设到混凝土中以后，测到的压变形中不仅有由外部压力产生的变形，还包含由混凝土温度变化、湿度变化、自生体积变形和徐变等因素引起的不产生应力的“虚假应变”，而真正产生应力的“真实应变”却测不到，所以压应力计测到的“压应力”并不是混凝土实际所受的压应力。鉴于此，目前已有一些设计单位不再布置混凝土压应力计。由于这种观点在观测界尚存在不同的看法，因此本次修编的条文中仍保留混凝土压应力计的布置，但希望谨慎使用，并在实践中不断探索、研究，以便取得一致的意见。

**8.2.2** 碾压式重力坝的仪器布置还宜结合坝体应力计算成果、混凝土分区、分层铺设的特点，在横向监测断面上根据坝高可设 1 个~3 个监测断面，最下面一个截面宜在距坝基 5m 以的混凝土铺筑层内，同一水平截面上游方向不少于 3 个测点。

**8.2.5** 高拱坝对拱肩槽基础要求高，基岩开挖较深，且置留时间长，会由于基础应力的释放而产生基础的卸荷回弹，尤其是高地应力，需从高拱坝建设的需要出发，本次修订增加了高地应力区开挖后深坝基回弹应力释放的监测内容。

**8.2.9** 随着计算机、互联网和仿真技术的发展，“施工数字化大坝”和“施工期温度动态反馈及仿真研究”技术已得到了普及和应用，对于需作混凝土温度控制全过程监控的特高拱坝（300m 级），宜采用上述技术开展施工期混凝土施工温控监测专项设计。

### 8.3 监测仪器的埋设

#### 8.3.1 内部监测仪器的检验：

1 目前我国大坝内部监测仪器主要有差动电阻式和振弦式两种，虽然它们的工作原理各不相同，但其监测对象、结构形式、工作方式和埋设安装方法等基本上是相同的。由于这两种仪器属于不同的生产厂家和管理系统，因此在检验项目、项目名称、检验方法、检验指标等方面也不尽相同，容易引起应用时的混乱。本规范从施工现场实际情况出发，在满足性能检验的基础上尽可能将两种类型仪器的检验项目名称、检验方法和检验指标等取得一致，主要有：

- 1) 统一检验项目名称：以应变计为例，有关规范和国家标准对检验指标的名称各不相同，本规范作了统一规定，见表 8-1。

表 8-1 检验指标内容和名称

项号	第一项	第二项	第三项	第四项
检验内容	物理量与测值间的线性关系	正、反行程输出量之差度	上下行测值的差值	与单位读数相当的物理量
DL/T 5178—2003 (差阻式仪器)	端基线性度	非直线度	不重复性误差	最小读数
DL/T 5178—2003 (振弦式仪器)	端基线性度	非直线度	不重复性误差	灵敏度系数
《大坝监测仪器应变计 第1部分：差动电阻式应变计》GB/T 3408.1—2008 (差阻式仪器)	端基线性度	滞后	不重复度	最小读数

续表 8-1

项号	第一项	第二项	第三项	第四项
《大坝监测仪器应变计 第2部分: 振弦式应变计》GB/T 3408.2—2008(振弦式仪器)	非线性度(不符合度)	滞后	不重复度	分辨力
本规范	非直线度	滞后	不重复度	仪器系数

- 注: 1 第一项: 当采用最小二乘法求取标准直线时, 已不存在“端基”的意义, 所以统一为“非直线度”。
- 2 第二项: 在 SDJ 336—1989 中该项称为“回差”, 比较符合检验内容, 但在 DL/T 5178—2003 中改为“非直线度”, 不符合检验内容, 本规范采用 GB/T 3408.1—2008 的名称“滞后”。
- 3 第四项: 这一项名称的分歧最大, 有“最小读数”“灵敏度系数”“分辨力”等, 考虑到这一项实际上就是计算物理量公式的系数, 国外仪器称为“gage factor”, 并已为大家所接受, 所以本规范定为“仪器系数”。

2) 调整检验项目: 仪器系数检验, 对用二次曲线表示仪器性能的振弦式仪器增加了不符合度和综合误差检验。

2 仪器检验时需要对被检验物理量值和检验测值建立一条理论直线, 然后从理论直线上求取被检验物理量值对应的理论值(电阻比、频率模数或频率平方), 从而进行非线性度检验。这条理论直线应该最能代表检验测值的规律, 也就是, 测值与理论直线上求得的理论值误差的平方和要最小。过去限于缺乏快速和高精度的计算工具, 加之统计理论不普及, 所以将量程上下限的测值连成直线作为理论直线, 缺乏严密性和科学性。本规范改为用最小二乘法原理, 对全部检验测值作回归拟合。由此求得的回归直线(曲线)是最优的, 也是唯一的, 所以理论值与检验测值的误差平方和最小。

同样, 用上下限检验值的连线作仪器系数检验也不合理, 事

实上最小二乘法得到的理论直线斜率的倒数，就是仪器系数的理论值，可直接用来进行仪器系数检验。

规范 DL/T 5178—2003 和国标 GB/T 3408—2008 中规定的仪器系数和线性度检验方法全盘照搬 SDJ 336—1989 的方法，显然已不适应新技术的发展，也无法进行对二次曲线的检验。早在 20 世纪 90 年代初，我国已有一些单位采用最小二乘法进行仪器系数和线性度检验，已被大家认同，并在现场检验中广泛采用，所以本规范全面采用最小二乘法技术进行仪器检验。

### 3 二次曲线公式的专项检验：

有些振弦式仪器的物理量和读数之间的关系更接近于二次曲线，用一元线性回归检验可能效果不佳，线性度检验超限，则需要采用二次曲线公式计算，即以频率模数  $M$  及其平方  $M^2$  作因子，进行多元回归拟合，建立二元回归方程，然后用不符合度取代直线拟合的非线性度检验。

有些振弦式仪器生产厂家在仪器出厂时同时给出了直线拟合和二元拟合曲线公式，使用者可以根据情况选择。按理在检验时应对二次曲线公式中的两个系数  $K_1$  和  $K_2$  进行检验，但是目前我国还没有这方面的检验限差标准，所以本规范暂不列入检验项目，用综合误差检验取代。

### 4 温度性能检验：

差动电阻式仪器中钢丝与温度具有二次方关系：

$$R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2) \quad (8-1)$$

式中： $R_t$ ——温度电阻， $\Omega$ ；

$R_0$ ——零度电阻， $\Omega$ ；

$t$ ——温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$\alpha$ ——系数， $1/^{\circ}\text{C}$ ；

$\beta$ ——系数， $1/^{\circ}\text{C}^2$ 。

式 (8-1) 可改写为计算温度的表达式：

$$t = \frac{-\alpha + \sqrt{\alpha^2 - 4\beta \left(1 - \frac{R_t}{R_0}\right)}}{2\beta} \quad (8-2)$$

本来用式(8-2)计算温度最合理,但是在半个世纪以前,由于缺少开方和高精度的计算工具,要用式(8-2)计算温度比较困难,为此,改用独立线性度方法作直线拟合,即以零度为折点,用零度以上和零度以下拟合成两条直线替代二次曲线,用计算零度电阻取代零度电阻,解决了计算温度的困难,这个方法一直沿用至今。

然而,这种方法在使用中逐渐暴露出一些不可克服的矛盾和缺点。

首先,用折线替代二次曲线时除了二次曲线和折线的两个交点以外,都存在误差,误差值为 $R_0\beta t^2/8$ ( $R_0$ 为零度电阻,对于应变计为 $75\Omega$ ;系数 $\beta=2.2\times 10^{-6}/\text{C}^2$ ;  $t$ 为温度)在仪器测量温度上限 $t=60\text{C}$ 处产生最大误差,有 $0.075\Omega$ ,相当于 $0.35\text{C}$ 。由于监测仪器温度误差的限差为 $0.5\text{C}$ ,因此在规范SDJ 336—1989中规定计算零度电阻 $R_0'$ 的检验误差不能大于 $0.03\Omega$ (相当于 $0.15\text{C}$ )。但是,在现场检验时由于条件所限,电阻测量很难达到 $0.03\Omega$ 的精度,造成许多本来合格的仪器被检验成不合格仪器。

规范DL/T 5178—2003将计算零度电阻限差提高到 $0.1\Omega$ ,解决了电阻测量精度的困难,然而没有改变计算温度的方法,这就产生了新的矛盾: $0.1\Omega$ 相当于 $0.5\text{C}$ ,在大多数温度范围内,满足了 $0.1\Omega$ 限差,却超出 $0.5\text{C}$ 的误差要求;要满足 $0.5\text{C}$ 的要求,计算零度电阻的限差只能是 $0.03\Omega$ ,不可以是 $0.1\Omega$ ,陷入了自我矛盾的尴尬境地。

产生这个矛盾的根本原因是用折线替代二次曲线计算温度,解决的唯一办法是回到事物的本来面目,按二次曲线计算温度,除此之外别无他法。

电子计算机的发展和普及为我们按二次曲线计算温度提供了

有力的工具。基于此，本规范不再检验计算零度电阻，而直接将实测温度电阻直接代入式(8-3)计算温度，与标准温度计测值比较，并用 $0.5^{\circ}\text{C}$ 作检验限差。

建议今后直接采用式(8-2)计算差动电阻式仪器的温度，并在修编《混凝土坝安全监测资料整编规程》DL/T 5209 时作相应修改。

铜电阻温度计仍按原有方法计算温度，并用 $0.3^{\circ}\text{C}$ 作限差。

振弦式仪器应根据仪器规定用公式计算温度或直接读数，限差为 $0.5^{\circ}\text{C}$ 。

**8.3.2** 关于保证应变计组埋设的角度、方向和方便监测资料整理计算，有以下几点说明：

**1** 应变计的新组合形式：

目前使用的应变计组结构方式难以保证仪器安装的角度和方向，虽然规定角度不可超过 $\pm 1^{\circ}$ ，但在现场埋设时，特别在回填混凝土和振捣后，仪器的安装角度很难保证，又没有有效的方法来检验，因此规定的角度误差实际上是一句空话。为此，有许多单位对应变计组的组合方式提出了改进方案。图8-1所示的应变计组新组合是其中的一种，其优点是可以比较好地保证应变计的埋设角度和方向，适用于单向、二向、四向、五向、七向和九向等应变计组。这种组合只是调换 $45^{\circ}$ 和 $135^{\circ}$ 仪器的位置，不改变其方向。由于在大体积混凝土中，应变组被认为是一个点，仪器的位置改变不会影响点应力的测量，因此新型应变计结构仍可按原有的公式和方法进行数据处理和计算应变、应力。

新型应变计结构内包含一个钢筋架，钢筋直径只有6mm，相对整组混凝土，其“配筋率”极小，不会影响其素混凝土的特性。这个支架可用来安装单向、两向、三向、四向、五向、七向和九向应变计组。如果改变钢筋架接头的结构，使钢筋自由可以伸缩，将更为完善，需要进一步试验研究。新型应变计结构已在西南地

区多个水电站工程中使用，取得了较好的效果。

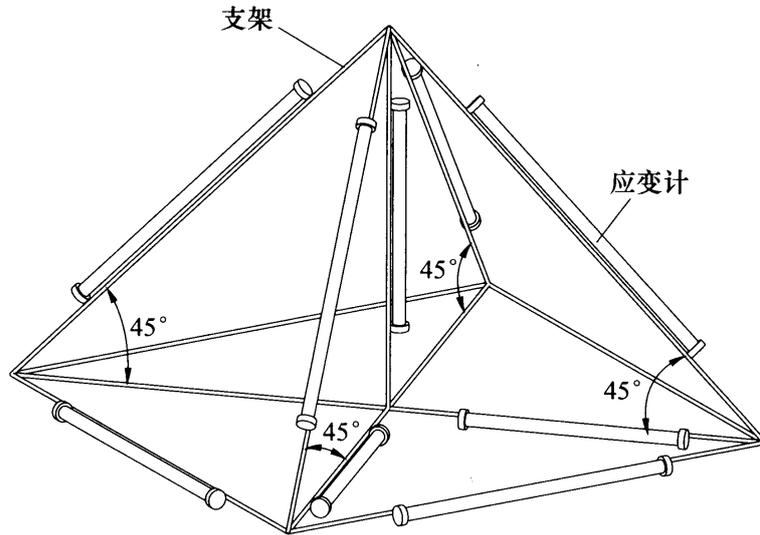


图 8-1 应变计组新组合示意图

## 2 应变计组的坐标和编号：

为了方便今后整理监测资料和计算应变、应力，在应变计组安装埋设时就应该确定应变计组的坐标和组内每支仪器的编号。从监测资料整理计算方便的原则出发并结合多数工程的习惯，两种应变计组合的坐标和编号规定如图 8-2、图 8-3 所示。

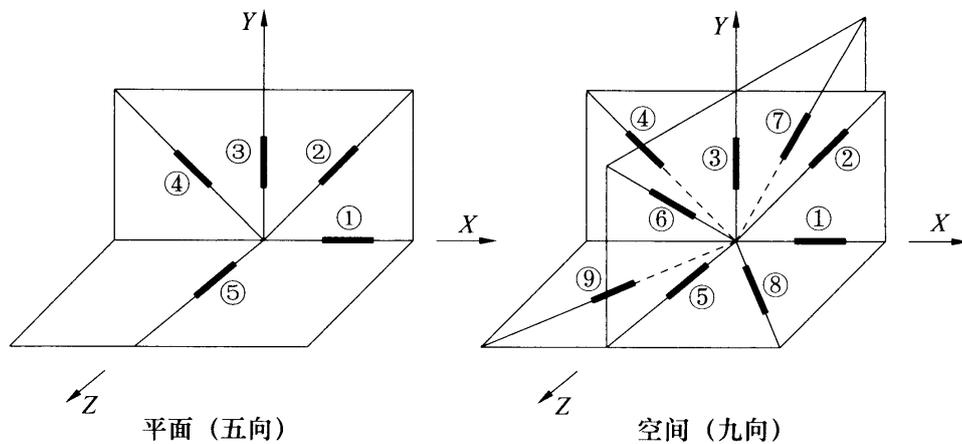


图 8-2 I 型应变计组的坐标和编号

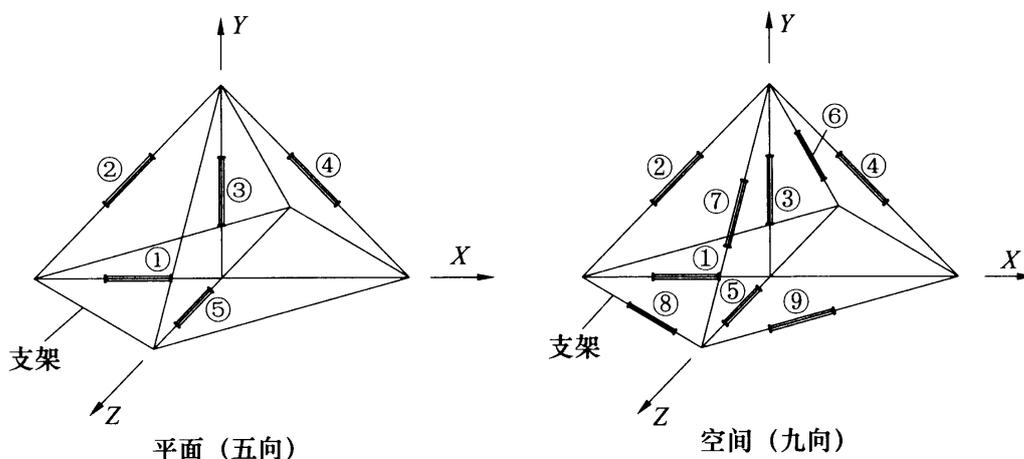


图 8-3 II 型应变计组的坐标和编号

图 8-2 和图 8-3 上仅规定了坐标跟仪器编号的相对关系，并没有规定坐标  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  具体对应的方向。这是因为应变计组的位置和方向要根据被监测建筑物应力情况而定，不能硬性规定  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  各是哪个方向。以五向应变计组为例，它是用来测量  $X$ - $Y$  面的平面应力的。这个平面可以平行于坝轴线，也可以垂直于坝轴线，还可以是水平面，所以图上的  $X$  轴不一定沿上下游方向， $Y$  轴也不一定为垂直方向。同样，九向应变计组如果埋设在泄水孔闸墩上，其  $Y$  轴是倾斜的， $X$ 、 $Z$  轴也不一定按上下游或坝轴线方向布置。

坐标轴  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  轴的方向应根据具体设计需要而定。

**8.3.3** 在整理分析高坝混凝土中无应力计资料时，发现其规律性较差，怀疑无应力计可能仍然是受力的，因而许多单位提出了改进无应力计筒结构、尺寸、形状以及施工工艺等建议，并进行了专门的研究和试验，取得了有益的成果。有单位通过有限单元法计算，认为现有无应力计筒内上部混凝土处在应力影响范围内，无应力计实际上确实是受力的，在相同的荷载条件下，套筒内相同位置的衰减剩余比例随筒高增加而减小，筒内相同位置竖直应力的衰减剩余比例与荷载大小无关，圆柱形套筒筒口的衰减剩余比例明显小于圆锥形套筒的衰减剩余比例，因此建议对套筒进行

改进。本规范综合各方面的意见，推荐了适用于高坝的加大无应力计筒结构，如图 H.2.2-2 (b) 所示。

1 无应力计筒形状改为圆柱形，深度由 500mm 加大到 600mm，直径为 400mm。

2 仪器上部混凝土厚度为 250mm，以使应变计脱离应力影响区。

3 为提高抗外压能力，外套筒采用双层套筒；为增加筒内混凝土的变形空间，内筒内侧设置 40mm 厚的泡沫塑料内胆，再涂 10mm 的沥青，泡沫塑料内胆加沥青涂层可用 50mm 的橡胶替换。

对无应力计结构的研究和改进是很有意义的，今后应结合工作实践，多开展对混凝土自生体积变形量测的原理、设备和施工工艺的研究，使混凝土应力应变的量测更科学、更准确。

## 8.4 监 测

**8.4.5** 关于监测仪器计算基准时间和计算基准值的选取，以前没有统一的规定。由于计算基准时间和基准值的选取关系到仪器观测时间、观测频次的安排以及监测资料的整理计算，本规范根据混凝土和监测物理量的特性，并参考有关设计、数据处理和施工部门的经验和意见，提出确定计算基准时间和基准值的方法。

- 1) 应变计：原则上，当混凝土固化到硬度与应变计刚度一致时，可以带动仪器工作的时刻为计算基准时间，此时的测值为计算基准值。这个时刻肯定存在，但很难捕捉到。根据经验，这个时刻一般发生在混凝土浇筑后 24h~48h 内，所以应该在这个时间范围内选取。要求在仪器埋设和混凝土浇筑后的 72h (3d) 内加密观测，每 4h 观测 1 次，选取 24h~48h 内测值比较平缓的时刻为计算基准时间。如果在此时间范围内测值波动较大，可进行人工光滑后再选取。工作应变计和无应力计应取同一计算基准时间。

- 2) 钢筋计：钢筋计安装好后，混凝土浇筑前的读数为计算基准值（测读 3 次，取平均值）。也有主张混凝土浇筑后硬化到能带动钢筋计时为计算基准时间。这个看法不全面。因为钢筋计测的是钢筋应力，混凝土浇筑后，即使还没有硬化到能带动钢筋，钢筋会随温度升高而产生温度应力，因此应该将混凝土浇筑前的测值为计算基准值。
- 3) 混凝土内测缝计：混凝土浇筑初期的缝隙开合度主要取决于温度，温度最高时缝隙最小，可取为计算基准值，以避免后期缝隙开合度出现负值。
- 4) 渗压计：埋设渗压计的测孔，特别是深孔内，一般都会有原始水头，如果将埋入后渗压计的首次测值作计算基准值（零值），势必丢失掉原始水头，造成永久性的系统误差，所以本规范规定在埋设前现场的读数作为计算基准值。

## 附录 C 变形监测控制网的设计、安装和监测

### C.1 设计

**C.1.1** 变形监测控制网与施工测量控制网进行联测时，各选取 3 个变形监测控制网的平面网点和水准点与相应的 3 个~4 个施工测量控制网点和水准点。

**C.1.3** 由于变形监测控制网点埋设需要扰动原状基础，必须在自身稳定后才能进行初始值的观测，故要求最迟应在首次蓄水前一个雨季前完成，并取得基准值。

**C.1.6** 随着 GNSS 技术的发展，其在监测控制网观测领域已逐渐开始应用，尤其是施工监测控制网和大面积的变形监测控制网观测有其独特的优越性，主要表现在：

1 选点灵活、布点方便：GNSS 测量，不要求测站间相互通视，GNSS 网中各个点的可靠性与点位无直接关系，对图形条件要求较低，可同时测量三维坐标。

2 全天候作业、观测时间短：在任何时间、任何气候条件下，均可以进行 GNSS 观测，大大方便了测量作业；在每个测站上的观测时间一般在几个小时左右。

3 与常规大地测量比较，由于 GNSS 测量比例误差较小，随着监测控制网范围的增大，GNSS 网点的相对精度（网中相邻点之间的距离精度）显著提高，这在大的监测控制网测量中常规大地测量法是难以做到的。随着 GNSS 测量技术的不断发展，采取一定的措施后 GNSS 用于大坝水平位移监测控制网可以满足精度要求或工程需要。

规模较小的 GNSS 网与常规的边角网比较，无论是观测精度

还是投资成本等方面均没有大的优越性，一般以边角网作为首选。

### C.1.7 三角形网布置：

2 三角形网视线不宜超过 1000m，垂直角不应超过  $30^\circ$ ，高差不宜超过 100m。一是考虑到视线过长以及垂直角或高差过大时将会导致较大的高差观测误差带来的边长倾斜改正（倾斜改正）误差过大。当两端点高差  $h$  的误差  $m_h$  一定时，倾斜改正误差  $m_D$  与视线垂直角的正切成正比。如观测视线超出上述范围，采用三角高程观测到的高差中误差对边长倾斜改正精度影响较大，这种情况下就必须采用精密水准进行高差测量。二是视线超过 1000m 后目前采用较多的 TCA2003 等全站仪的 ATR（自动目标识别）功能无法使用。

3 采用测角网或测边网时，各三角形应尽可能布设成等腰三角形，其内角最小不宜小于  $30^\circ$ 。这是考虑到无论是测角网还是测边网，当内角小于  $45^\circ$  时该点的点位误差明显增大至  $90^\circ$  左右的 2 倍以上，但考虑到大坝变形监测控制网往往受地形的限制，适当放宽至  $30^\circ$ ，甚至在更差的情况下还可采取特殊措施进行解决。最大内角超过  $120^\circ$  表明最小的一个内角必然小于  $30^\circ$ 。

对于边角网，由于边角测量其精度具有互补性，其图形本身对点位的精度影响较小，而误差主要与已知点至待定点之间的距离呈正相关，故边角测量受图形限制较小。但这种互补作用应建立在测角及测边精度相互匹配的前提下，否则互补作用难以取得理想的效果。即要求测角和测边精度基本满足  $m_\beta/\rho = m_s/S$ ，式中  $m_\beta$  为测角中误差秒值， $\rho$  为 206 265， $m_s$  为测边中误差， $S$  为边长。

4 大坝水平位移监测控制网，除大坝两端附近布设测点外，在大坝下游不受大坝及库水压力影响的地区，不宜少于 4 个网点，其目的是能保证有 2 个及以上的稳定点。但如布设倒垂线作为基准，则必须 2 个及以上。对于中小型工程，有时也可将相对稳定的工作基点纳入基准点组中通过稳定性检验判明点位的稳定性，

以确保有 2 个及以上稳定点，从而可适当减少基准点的数量。

高压电线周边的磁感应强度与距导线的距离成反比，离通电导线越近，磁感应强度越大。测线与 35kV~110kV 的高压输电线平行时，应离高压输电线 2m~10m 以上；测线与 110kV~500kV 的高压输电线平行时，应离高压输电线 10m~30m 以上；测线与高压线交叉时，不得从几条高压线之间穿过。

**C.1.8** 变形监测控制网的可靠性是指监测控制网抵抗观测粗差的能力。设计时应进行可靠性评价，整个网的总体可靠性因子  $\bar{r}_i$  (平均多余观测分量， $\bar{r}_i = r/n$ ，其中  $n$  为总的观测值数， $r$  为多余观测数)，反映了边角网三角形网能发现粗差的大小和某一固定的粗差被发现的可能性的的大小，以及未发现的粗差对平差结果的影响， $\bar{r}_i$  值越大，说明边角网三角形网能够发现的粗差越小和发现某一固定大小的粗差能力越强，以及未发现的粗差对平差结果的影响越小。

各观测值的可靠性因子  $r_i$  (多余观测分量， $0 \leq r_i \leq 1$ ) 反映了该观测值的局部可靠性。 $r_i$  越小，该观测值在网中的地位越高，该观测值的粗差越难被发现；当  $r_i=0$  时，该观测值不可缺少，即使有大的粗差或错误也无法发现，平差结果受粗差的影响随  $r_i$  的减小而增大。 $r_i$  越大，该观测值在网中的地位越低，较小的粗差也能发现；当  $r_i=1$  时，该观测值完全成为多余，观测值的粗差能完全确定，即使删除，其网平差结果也不变。为保证有必要的多余观测分量来发现并剔除粗差， $r_i$  不宜小于 0.2。目前随着全站仪自动观测的普及应用，边角网三角形网中大部分的边和角都同时自动进行了观测， $r_i$  一般都在 0.3~0.7 范围内。

边角网三角形网必须有一定的多余观测，平均多余观测分量  $\bar{r}_i$  越大，则网的可靠性越好。

变形监测控制网的灵敏度是指变形监测控制网发现变形、区分变形的能力，观测值的精度越高，则网的灵敏度越高，但建网费用也越高。灵敏度主要取决于测点平差后指定方向坐标的精度，

这在测点位移量中误差限值中已作了规定。

边角网三角形网优化设计时，在多余观测数一定的情况下，观测值之间的精度相差不要太大，边角观测值之间的精度应基本匹配；对于边角全测的初始方案，也可根据边角观测值的平均多余观测分量来判断边角精度匹配的情况。

网的初始观测方案应对所有可能观测的边和方向进行全测，模拟初始观测方案，进行平差计算，对精度、可靠性乃至灵敏度计算结果进行分析，首先确定观测精度（或指定方向的观测精度）是否达到设计要求，如果该方案还达不到设计要求，则说明所拥有的仪器设备精度不够高或者是设计要求太高，整个方案需作适当调整。在观测值精度达到设计要求的基础上，进行网的优化设计，对计算的观测值多余观测分量按从大到小的顺序排列，删去几个多余观测分量较大的那些观测值，然后重新作模拟计算，得到网的优化设计方案。

多余观测分量  $r_i$  以及监测控制网优化设计可采用监测控制网平差软件进行，无需人工计算。

#### C.1.11 垂直位移监测控制网布置：

3 每组基岩标中的水准标石，相邻两点间距宜在 30m~100m。这是考虑到距离太近不能代表各水准标石的可靠性和独立性，如建立在同一不稳定基岩上的 2 个水准标石可能产生相同的垂直位移而误判为稳定点，距离过远则会导致较大的观测误差，降低了判断稳定性的灵敏度。

考虑到水准基点的可靠性，布设双金属标或钢管标作为水准基点时应布设 2 组及以上，一般每组设 1 个。

### C.2 监测仪器设备及其安装

C.2.1 水平位移监测控制网工作基点一般均需安置观测仪器，进行较长时间的观测，建立观测房（亭）以利于观测人员及仪器设备避免日晒雨淋及雷、风等恶劣环境，营造较好的工作环境，同

时可提高观测质量。

**C.2.2** 在水平位移监测控制网观测墩基座设置水准标芯，是考虑到需要得到观测墩顶部高程，必要时进行水准观测。

### C.3 监 测

**C.3.1** 三角网观测时测定三角形的所有内角，三边网测边网是测定三角形的所有边长，边角网法则是对三角形的全部或部分边和角进行观测。边角网中监测控制网点间的高差主要是为了测点间观测到的斜距进行倾斜改正计算，如高差本身的误差较大，这将给倾斜改正计算直接带来较大的误差。当两端点高差观测误差一定时，斜距倾斜改正误差与视线垂直角的正切成正比。所以，当视线间高差较大或视线本身较长时，都应进行误差分析，估算高差本身误差对倾斜改正计算带来的误差是否会明显影响平距观测精度，必要时采用精密水准法观测高差。目前，随着全站仪自动观测的普及，边角网三角高程观测可以在边角观测过程中自动完成，在测点间垂直角及边长不很大的情况下可优先考虑三角高程观测，并通过平差计算得到制网点间的高差。

水平方向观测度盘配置仅适用于光学经纬仪，使用全站仪以后可以不考虑度盘配置。

大坝变形控制一测站方向数不会很多，加之目前普遍使用全站仪进行自动观测，观测时间也较以往光学经纬仪大大缩短，一测站中对方向总数的限制可以适当放宽，一测站分组观测机会不多。

方向观测成果的重测和取舍问题，目前普遍使用全站仪进行自动观测后均在程序中自动处理，能够满足规范规定要求。

对于垂直角超过 $\pm 2^\circ$ 的情况，垂直轴倾斜改正已在全站仪中自动完成，无需进行倾斜轴人工改正目。

对于现场观测，使用光学经纬仪人工观测的或有必要时，现场观测按照 GB/T 17942 执行。

为消除或削弱仪器系统误差，在不同时期观测宜使用同一台或同一类型仪器设备。

**C.3.3** 对于规模较大的大坝变形监测控制网，边长较长、传递的图形较多，如按常规的方法进行观测，可能导致最弱点位移量中误差达不到规范规定的要求，或工程有特殊要求时应制订专项观测方案，以使得监测控制网监测精度满足规范要求或工程要求。

**C.3.4** 大坝变形监测控制网一般边长不是很长，一测站方向数也不会很多，加之目前普遍使用全站仪进行自动观测，不需要进行调焦、照准、读数、记录等一系列操作，观测时间也较以往光学经纬仪大大缩短。再者，如果采用全组合法测角，每次只观测两个方向间的角度，发挥不了自动观测的优势。所以，水平角观测一般情况都可以按方向法进行，平差成果能满足规范要求的一等水平角观测技术要求。

**C.3.6** 垂直角观测现场限差的确定是考虑了使用无竖盘指标自动归零功能的经纬仪进行垂直角观测的情况，每次垂直角观测读数都包含有竖盘指标归零误差，且因一测站观测时间较长，观测过程中大气垂直折光变化的影响增大，同一方向各测回垂直角互差一般略大于归零水平方向各测回互差，取 6"。对于具有竖盘指标自动归零补偿器的高精度全站仪、经纬仪等，观测时同一方向各测回垂直角互差一般取 5"。

**C.3.10** 因变形监测控制网的主要目的是变形监测，对基准点的稳定性要求较高，尽管一般认为基准点是稳定或部分点是稳定的，但也不能排除其受外界因素影响而发生变化，因此，这种网的平差计算一般均采用专用监测控制网平差软件进行秩亏自由网平差或拟稳平差。

如果自由网中各测点都是变形点，也可以说它们是非固定不变的稳定点，根据观测数据和变形情况分析，认为它们是等概率形变的。在这种情况下，采用重心基准，相应地采用秩亏自由网平差为合适。这种方法缺乏稳定基础，而且重心基准与网形大小

有关。

如果自由网中存在一部分点相对另一部分是稳定点，但实际上它们不是固定不变的，则采用拟稳基准进行拟稳平差为好。这样对变形测点而言，也有了较稳定的基础。当然，首先要分析确定哪些点是相对稳定的。

如果自由网中存在不动点，则采用固定基准最好，它有坚实的稳定基础。例如滑坡监测，测站点相对位移测点在许多场合可认为完全不动。这种网相应地可采用经典平差。

由于采用不同的平差基准所得到的各点位移量存在差异（然而实际的位移场理论上是唯一的），因此在实际变形分析中，要注意研究所采用的基准是否合适，应该如何正确地选择与实际情况接近的基准，使变形分析结果尽量与实际相符。

**C.3.11** 一般监测控制网测点数量不多时，统计检验误差较大，实际使用可按测点坐标位移量是否超过其坐标位移量中误差的 2 倍或 3 倍来判断该测点是否发生了显著位移。