

中华人民共和国水利行业标准

SL 601—2013

替代 SDJ 336—89

混凝土坝安全监测技术规范

Technical specification for concrete dam safety monitoring

2013-03-15 发布

2013-06-15 实施



中华人民共和国水利部 发布

前 言

根据水利部水利水电规划设计管理局水总局科（2001）1号文《关于下达2001年度水利水电勘测设计技术标准制定、修订项目计划及主编单位的通知》，对《混凝土大坝安全监测技术规范》（SDJ336-89）进行修订。

《混凝土坝安全监测技术规范》（SL***-2012）共11章36节219条和9个附录，主要技术内容有：

- 现场检查；
- 环境量监测；
- 变形监测；
- 渗流监测；
- 应力、应变及温度监测；
- 专项监测；
- 监测自动化系统；
- 监测资料的整编与分析；
- 监测系统运行管理。

本规范主要修订内容有：

- 增加了术语及引用标准；
- 增加了专项监测，包括地震反应监测及水力学监测；
- 增加了监测自动化系统；
- 增加了监测系统运行管理；
- 修订了混凝土坝巡视检查；
- 环境量监测列入正文。

本标准所替代标准的历次版本为：SDJ336-89

本规范批准部门：中华人民共和国水利部

本规范主持机构：水利部建设与管理司

本规范解释单位：水利部建设与管理司

本规范主编单位：水利部大坝安全管理中心

本规范参编单位：南京水利科学研究院

中国水利水电科学研究院

河海大学

国网电力科学研究院

本标准出版、发行单位：

本规范主要修编人员：王士军 张国栋 卢正超 顾冲时 彭虹 杨正华

何勇军 葛从兵 郭永刚 杨立新 谷艳昌

本规范审查会议技术负责人：施济中

本规范体例格式审查人：牟广丞

目次

1	总则	1
2	术语	3
3	现场检查	4
3.1	一般规定	4
3.2	检查内容	4
3.3	检查方法	6
3.4	检查记录和报告	6
4	环境量监测	7
4.1	一般规定	7
4.2	水位	7
4.3	坝前水温	7
4.4	气温	8
4.5	大气压力	8
4.6	降水量	8
4.7	冰冻	8
4.8	坝前淤积和下游冲刷	8
5	变形监测	9
5.1	一般规定	9
5.2	监测设计	10
5.3	监测设施及其安装	13
5.4	观测	13
6	渗流监测	15
6.1	一般规定	15
6.2	监测设计	15
6.3	监测设施及其安装	17
6.4	观测	17
7	应力、应变及温度监测	19
7.1	一般规定	19
7.2	监测设计	19
7.3	监测设施及其安装	21
7.4	观测	21
8	专项监测	22
8.1	地震反应监测	22
8.2	水力学监测	23
9	监测自动化系统	26
9.1	一般规定	26

9.2	系统设计	26
9.3	系统安装与调试	27
9.4	监测	27
10	监测资料的整编与分析	29
10.1	一般规定	29
10.2	监测资料整编	29
10.3	监测资料分析	30
11	监测系统运行管理	31
11.1	一般规定	31
11.2	运行管理	31
11.3	设施维护	31
附录A	监测项目与测次	33
附录B	现场检查内容与格式	35
附录C	变形监测设施的设计、安装和观测	38
附录D	渗流监测设施及水质分析项目	52
附录E	应力、应变及温度监测仪器埋设	61
附录F	电缆布置与连接	66
附录G	地震反应监测	69
附录H	监测自动化系统可靠性及人工比测指标	72
附录I	监测资料整编与分析的方法和内容	73
	标准用词说明	92
	条文说明	93

1 总则

1.0.1 为规范混凝土坝安全监测、掌握大坝运行性态、指导工程施工和运行、反馈设计、降低大坝风险制定本标准。

1.0.2 本规范适用于水利水电工程等级划分及设计标准中的1级、2级、3级、4级混凝土坝的安全监测，5级混凝土坝可参照执行。

1.0.3 混凝土坝安全监测范围应包括坝体、坝基、坝肩、对大坝安全有重大影响的近坝区岸坡以及与大坝安全有直接关系的其它建筑物和设备。

1.0.4 安全监测方式应包括现场检查和仪器监测。

1.0.5 安全监测应遵循下列原则：

1 应根据工程规模、等级，并结合工程实际及上、下游影响进行监测布置；相关监测项目应配合布置，突出重点，兼顾全面，并考虑与数值计算和模型试验的比较和验证。关键部位测点宜冗余设置。

2 监测仪器设备应可靠、耐久、实用，技术性能指标满足规范及工程要求，力求先进和便于实现自动化监测。

3 监测仪器安装应按设计要求精心施工，在尽量减少对主体工程施工影响的前提下，及时安装、埋设和保护；主体工程施工过程中应为仪器设施安装、埋设和监测提供必要的时间和空间；及时做好监测仪器的初期测读，并填写考证表、绘制竣工图，存档备查。

4 监测应满足规程规范和设计要求，相关监测项目应同步监测；发现测值异常时立即复测；做到监测资料连续，记录真实，注记齐全，整理分析及时。

5 应定期对监测设施进行检查、维护和鉴定，监测设施不满足要求时应更新改造。测读仪表应定期检定或校准。

6 已建坝进行除险加固、改（扩）建或监测设施进行更新改造时，应对原有监测设施进行鉴定。

7 必要时可设置临时监测设施。临时监测设施与永久监测设施宜建立数据传递关系，确保监测数据的连续性。

8 自动化监测宜与人工观测相结合，应保证在恶劣环境条件下仍能进行重要项目的监测。

1.0.6 大坝安全监测各阶段工作应满足下列要求：

1 可行性研究阶段。提出安全监测规划方案，包括主要监测项目、仪器设备数量和投资估算。

2 初步设计阶段。提出安全监测总体设计，包括监测项目设置、断面选择及测点布置、监测仪器及设备选型与数量确定、投资概算。1、2级或坝高超过70m的混凝土坝，应提出监测专题设计报告。

3 招标设计阶段。提出安全监测设计或招标文件，包括监测项目设置，断面选择及测点布置、仪器设备技术性能指标要求及清单、各监测仪器设施的安装技术要求、观测测次要要求，资料整编及分析要求和投资预算等。

4 施工阶段。提出施工详图和技术要求；做好仪器设备的检验、埋设、安装、调试

和保护工作，编写埋设记录和考证资料，及时取得初始（基准）值，固定专人监测，保证监测设施完好和监测数据连续、可靠、完整，并绘制竣工图和编制竣工报告；及时进行监测资料分析，编写施工期工程安全监测报告，评价施工期大坝安全状况，为施工提供决策依据。工程竣工验收时，应提出工程安全监测专题报告，对安全监测系统是否满足竣工验收要求作出评价。

5 初期蓄水阶段。首次蓄水前应制订监测工作计划，拟定监控指标。蓄水过程中应做好仪器监测和现场检查，及时分析监测资料，评价工程安全性态，提出初次蓄水工程安全监测专题报告，为初期蓄水提供依据。

6 运行阶段。按规范和设计要求开展监测工作，并做好监测设施的检查、维护、校正、更新、补充和完善。定期对监测资料定期整编和分析，编写监测报告，评价大坝的运行状态，提出工程安全监测资料分析报告，及时归档；发现异常情况应及时分析、判断；如分析或发现工程存在隐患，应立即上报主管部门。

1.0.7 按国家及行业有关规定，安装埋设前，监测仪器设备应由具备资质的机构进行检测、检定或校准。监测仪器设备应由具备资质的机构进行安装调试。

1.0.8 混凝土坝的安全监测项目及其测次应遵守附录A中表A.0.1和表A.0.2的规定。当发生地震、大暴雨、库水位骤变、高水位且低气温、水库放空以及大坝工作状态异常时，应加强现场检查、增加测次，必要时应增加监测项目，发现问题，及时上报。

1.0.9 应定期对监测资料进行整编分析，并按下列分类对大坝工作状态作出评估：

1 正常状态。系指大坝达到设计要求的功能，无影响正常使用的缺陷，且各主要监测量的变化处于正常运行状态。

2 异常状态。系指大坝的某项功能已不能完全满足设计要求，或主要监测量出现某些异常，因而影响工程正常运行的状态，但在一定控制运用条件下工程能安全运行。

3 险情状态。系指大坝出现危及安全的严重缺陷，或环境中某些危及安全的因素正在加剧，或主要监测量出现较大异常，若按设计条件继续运行将出现大事故的状态。工程不能按设计正常运行。

当大坝运行状态评为异常或险情时，应立即上报主管部门。

1.0.10 本标准的引用标准主要有：

- 《水位观测标准》（GB 138）；
- 《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）；
- 《全球定位系统（GPS）测量规范》（GB/T 18314）；
- 《大坝安全监测系统验收规范》（GB/T 22385）；
- 《大坝安全监测仪器安装标准》（SL 531）；
- 《大坝安全监测仪器检验测试规程》（SL 530）；
- 《降水量观测规范》（SL 21）；
- 《水利水电工程等级划分及洪水标准》（SL 252）；
- 《水库大坝安全评价导则》（SL 258）；
- 《大坝安全自动监测系统设备基本技术条件》（SL 268）；
- 《地面气象观测规范》（QX/T 49）。

1.0.11 混凝土坝安全监测除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 大坝安全监测 dam safety monitoring

利用现场检查、仪器监测与分析手段对大坝安全信息进行采集和分析的过程。

2.0.2 现场检查 observation in-situ

对水库大坝的安全进行的巡视检查、检测与探测。

2.0.3 仪器监测 instrumentation

通过在大坝布置仪器，对控制大坝安全性态的参量进行的测量。

2.0.4 施工期 construction period

从开始施工，到首次蓄水为止的时期。

2.0.5 初蓄期 initial impounding period

从水库首次蓄水到正常蓄水位的时期。若水库长期达不到正常蓄水位，初蓄期则为首次蓄水后的头3年。

2.0.6 运行期 operation period

初蓄期后的时期。

2.0.7 初始值 initial value

仪器设备安装埋设后开始正常工作的测值。

2.0.8 基准值 fiducial value

作为计算起点的测值。

2.0.9 监控指标 monitoring index

大坝的荷载和监测效应量及其变化速率的限值。

3 现场检查

3.1 一般规定

- 3.1.1 从工程施工期到运行期，各级大坝均须进行现场检查。
- 3.1.2 应根据大坝的运行情况和阶段制定现场检查程序，规定检查的时间、路线、设备、内容、方法与人员等。
- 3.1.3 现场检查应包括日常检查、年度检查、定期检查和应急检查，其检查内容见附录 B.0.1。

1 日常检查。应由有经验的大坝运行维护人员对大坝进行日常巡视检查。日常检查的次数：施工期，宜每周2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）；正常运行期，可逐步减少次数，但每月不宜少于1次；汛期及遭遇特殊工况时，应增加检查次数。检查结果以表格方式记载。

2 年度检查。在每年汛前、汛后，冰冻严重地区的冰冻及冻融期，水库管理单位应组织大坝运行维护专业人员按规定的检查程序，对大坝进行全面详细的现场检查，并审阅大坝检查、运行、维护记录和监测数据等档案资料；提出大坝安全年度检查报告。

3 定期检查。定期进行大坝安全鉴定前，主管单位(或业主)应按规定组织运行、设计、施工、科研等有关单位的专家，查阅工程勘察设计、施工与运行资料，对大坝外观状况、结构安全情况、运行管理条件等进行全面检查和评估，编制大坝现场安全检查报告，为大坝安全鉴定提供依据。

4 应急检查。在坝区（或其附近）发生地震、遭受大洪水、库水位骤变、高水位、低气温、水库放空以及发生其它影响大坝安全运用的特殊情况时，主管单位(或业主)应组织安全检查组及时进行应急检查，必要时还应派专人进行连续监视。

- 3.1.4 现场检查中如发现大坝有异常现象，应分析原因并及时上报。

3.2 检查内容

- 3.2.1 坝体检查项目应包括下列内容：

1 坝顶：坝面及防浪墙有无裂缝、错动、沉陷；相邻坝段之间有无错动；伸缩缝开合状况、止水设施工作状况；排水设施工作状况。

2 上游面：上游面有无裂缝、错动、沉陷、剥蚀、冻融破坏；伸缩缝开合状况，止水设施工作状况。

3 下游面：下游面有无裂缝、错动、沉陷、剥蚀、冻融破坏、钙质离析、渗水；伸缩缝开合状况。

4 廊道：廊道有无裂缝、位移、漏水、溶蚀、剥落；伸缩缝开合状况、止水设施工作状况；照明通风状况。

5 排水系统：排水孔工作状况；排水量、水体颜色及浑浊度。

- 3.2.2 坝基及坝肩检查项目应包括下列内容：

1 基础岩体有无挤压、错动、松动和鼓出。

2 坝体与基岩（或岸坡）接合处有无错动、开裂、脱离及渗水等情况；两岸坝肩区

有无裂缝、滑坡、沉陷、溶蚀及绕渗等情况。

3 坝趾：下游坝趾有无冲刷、淘刷、管涌、塌陷；渗漏水量、颜色、浑浊度及其变化状况。

4 廊道：廊道有无裂缝、位移、漏水，溶蚀、剥落；伸缩缝开合状况；止水设施工作状况；照明通风设施工作状况。

5 排水系统：排水孔工作状况；排水量、水体颜色及浑浊度。

3.2.3 输、泄水设施检查项目应包括下列内容：

1 进水口和引水渠道有无淤堵、裂缝及损坏；进水口边坡有无裂缝及滑坡体。

2 进水塔（或竖井）有无裂缝、渗水、空蚀或其它损坏现象；塔体有无倾斜或不均匀沉降。

3 洞（管）身有无裂缝、坍塌、鼓起、渗水、空蚀等现象；放水时洞内声音是否正常。

4 放水期出水口水流形态、流量是否正常，有无冲刷、磨损、淘刷；停水期是否有水渗漏；出水口有无淤堵、裂缝及损坏；出水口边坡有无裂缝及滑坡体。

5 下游渠道及岸坡有无异常冲刷、淤积和波浪冲击破坏等情况。

6 工作桥是否有不均匀沉降、裂缝、断裂等现象。

3.2.4 溢洪道检查项目应包括下列内容：

1 进水段有无堵塞，上游拦污设施是否正常，两侧有无滑坡或坍塌迹象；护坡是否有裂缝、沉陷、渗水；流态是否正常。

2 堰顶或闸室、闸墩、胸墙、边墙、溢流面、底板等处有无裂缝、渗水、剥落、冲刷、磨损和损伤；排水孔及伸缩缝是否完好。

3 泄水槽有无气蚀、冲蚀、裂缝和损伤。

4 消能设施有无磨损、冲蚀、裂缝、变形和淤积。

5 下游河床及岸坡有无冲刷、淤积。

6 工作桥是否有不均匀沉降、裂缝、断裂等现象。

3.2.5 闸门及金属结构检查项目应包括下列内容：

1 闸门有无变形、裂纹、螺（铆）钉松动、焊缝开裂；门槽有无卡堵、气蚀等；钢丝绳有无锈蚀、磨损、断裂；止水设施有无损坏、老化、漏水；闸门是否发生振动、气蚀现象。

2 启闭机是否正常工作；制动、限位设备是否准确有效；电源、传动、润滑等系统是否正常；启闭是否灵活；备用电源及手动启闭是否可靠。

3 金属结构防腐及锈蚀状况。

4 电气控制设备、动力和备用电源工作状况。

5 闸门顶是否溢流。

3.2.6 近坝库岸检查项目应包括下列内容：

1 库区水面有无漩涡、冒泡现象、严冬不封冻。

2 岸坡冲刷、塌陷、裂缝、滑移、冻融迹象；是否存在高边坡和滑坡体；岸坡地下水出露及渗漏情况；表面排水设施或排水孔工作是否正常。

3.2.7 监测设施检查项目应包括下列内容：

水雨情及工程安全监测仪器设备、传输线缆、通信设施、防雷和保护设施、供电系统是否正常工作。

3.2.8 管理与保障设施检查项目应包括下列内容：

与大坝安全有关的电站、供电系统、预警设施、备用电源、照明、通信、交通与应急设施是否损坏，工作是否正常。

3.3 检查方法

3.3.1 日常检查，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、照相摄像设备等工（器）具，也可利用视频监视系统辅助现场检查。

3.3.2 年度检查和定期检查，除采用日常检查方法外，还可采用钻孔取样、注水或抽水试验，水下检查或水下电视摄像等手段，根据需要进行适当的检测与探测。

3.3.3 应急检查包括即时检查、详细检查和后续检查。即时检查和后续检查的方法见

3.3.1，详细检查方法见3.3.2。检查信息应及时上报主管部门。

3.4 检查记录和报告

3.4.1 检查记录和整理应符合下列要求：

1 每次检查应详细填写现场检查表，其格式及内容见附录B.0.2。必要时附简图、照片或影像记录。

2 应及时整理现场记录，并将本次检查结果与上次或历次检查结果对比分析，同时结合相关仪器监测资料进行综合分析，如发现异常，应立即在现场对该检查项目进行复查。重点缺陷部位和重要设备，应设立专项记录。检查记录应形成电子文档。

3.4.2 检查报告应符合下列要求：

1 日常检查中发现异常情况，应立即提交检查报告。

2 年度检查和定期检查工作结束后，应及时提交检查报告；如发现异常，应立即提交检查报告，并分析原因。

3 应急检查结束后，应立即提交检查报告。

4 现场检查报告及其电子文档应存档备查，报告内容及格式见附录B.0.3。

4 环境量监测

4.1 一般规定

4.1.1 环境量监测项目应包括水位、坝前水温、气温、大气压力、降水量、冰压力、坝前淤积和下游冲刷等。水位、降水量、气温、大气压力观测可应用当地水文、气象站观测资料。

4.1.2 环境量监测除执行国家现行水文、气象相应的规定外，还应符合本章规定。

4.2 水位

4.2.1 上游（坝前）水位观测应符合下列要求：

1 测点设置

- 1) 测点应设在坝前水流平稳、受风浪和泄水影响较小、设备安装与观测方便处。
- 2) 测点应设在稳固的岸坡或永久建筑物上。

2 观测设备和测次

1) 水库蓄水前应完成水位观测永久测点设置。

2) 观测设备一般应选用水尺观测或自记水位计。有条件时，可设遥测水位计，其可测读水位应高于校核洪水位。

3) 水尺的零点标高每年应校测一次；水尺零点有变化时，应及时进行校测。水位计应在每年汛前进行检验。

4) 与库水位相关的监测项目应同时观测库水位。开闸泄水前、后应各增加观测一次，汛期还应根据要求适当加密测次。

4.2.2 下游（坝后）水位观测应符合下列要求：

1 测点应布置在近坝趾、水流平顺、受泄流影响较小、设备安装和观测方便处。

2 坝后无水时，下游水位应采用坝趾地下水位。

3 下游水位应与上游水位同步观测；有水时，观测设备及要求应符合本标准4.2.1的规定；无水时，观测设备应按渗流观测设施进行设置。

4.2.3 水位观测准确度应满足表4.2.3要求。

表4.2.3 水位观测准确度

水位变幅 (m) ΔZ	≤ 10	$10 < \Delta Z \leq 15$	> 15
综合误差 (cm)	≤ 2	$\leq 2\% \cdot \Delta Z$	≤ 3

4.3 坝前水温

4.3.1 测点布置应符合下列要求：

1 测温垂线：布置在靠近上游坝面的库水中，其位置宜和重点观测断面一致。上游坝面温度测点可兼作坝前水温观测点。

2 测点的垂直分布：水库水深较小时，至少应在正常蓄水位以下20cm处、1/2水深处及库底各布置一个测点。水库水深较大时，从正常蓄水位到死水位以下10m范围内，每隔3m~5m宜布置一个测点；再往下每隔10m~15m布置一个测点，必要时正常蓄水位以上也可适当布置测点。

4.3.2 观测设备应采用耐水压温度计。每年汛前应检验温度计。观测中对温度计有怀疑时，应及时检验。

4.3.3 水温观测准确度不大于 0.5°C 。

4.4 气温

4.4.1 坝址附近至少应设置一个气温观测点，宜在蓄水前完成观测点设置。

4.4.2 气温观测仪器应设在专用的百叶箱内。

4.4.3 气温观测准确度应不大于 0.5°C 。

4.5 大气压力

4.5.1 当大坝安全监测仪器或参数与大气压力相关时，应设大气压力观测项目，且应同步进行观测。观测点应设置在相应的观测仪器附近。

4.5.2 大气压力观测宜采用水银气压表或空盒气压计，也可采用电测大气压力传感器。

4.5.3 大气压力观测准确度不大于 0.3hPa 。

4.6 降水量

4.6.1 坝址附近应至少设置一个降水量观测点，应在蓄水前完成测点布置。

4.6.2 观测场地应在比较开阔和风力较弱的地点设置，障碍物与观测仪器的距离不应小于障碍物与仪器口高差的两倍。在降水倾斜下降时，四周地形或物体不影响降水落入观测仪器内。

4.6.3 坝区降水量观测设备应采用雨量器，有条件时可用遥测雨量计。

4.6.4 降雨量观测准确度应满足《降水量观测规范》（SL 21）要求。

4.7 冰冻

4.7.1 冰冻观测应包括冰压力、动冰压力、冰厚、冰温度等。

4.7.2 静冰压力及冰温观测应符合下列要求：

1 结冰前，可在坚固建筑物前缘，自水面至最大结冰厚度以下 $10\text{cm}\sim 15\text{cm}$ 处，每 $20\text{cm}\sim 40\text{cm}$ 设置一个压力传感器，压力传感器附近相同深度处设置一个温度计并同时观测。

2 自结冰之日起开始观测，每日至少观测两次。在冰层胀缩变化剧烈时期，应加密测次。

3 冰压、冰温观测的同时，应进行冰厚观测。

4.7.3 动冰压力观测应符合下列要求：

1 应在各观测点动冰过程出现之前，消冰尚未发生的条件下，在坚固建筑物前缘适当位置及时安设压力传感器进行观测。

2 在风浪过程或流冰过程中应进行连续观测。

3 应同时进行冰情、风力、风向观测。

4.8 坝前淤积和下游冲刷

4.8.1 坝前淤积和下游冲刷区域应至少各设置一个观测断面。库区应根据水库形状、规模，自河道入库区直至坝前设置若干观测断面，每个断面的库岸可设立相应的控制点。

4.8.2 可采用水下摄像法、地形测量法或断面测量法进行观测。

5 变形监测

5.1 一般规定

5.1.1 变形监测项目应包括坝体变形、裂缝、接缝，坝基变形以及近坝区岩体、高边坡、滑坡体和地下洞室的位移等。

5.1.2 变形监测平面坐标及水准高程应与设计、施工和运行各阶段的控制网坐标系统相一致。有条件的工程应与国家控制网坐标系统建立联系。

5.1.3 位移测量中误差应不大于表5.1.3的规定。坝体、坝基、近坝区岩体、高边坡、滑坡体的位移量中误差相对于工作基点计算。

表5.1.3 变形监测的准确度

项 目			位移量中误差限值	
水平位移 (mm)	坝体	重力坝、支墩坝	±1.0	
		拱坝	径向	±2.0
			切向	±1.0
	坝基	重力坝、支墩坝	±0.3	
		拱坝	径向	±0.3
			切向	±0.3
垂直位移 (mm)		坝体	±1.0	
		坝基	±0.3	
倾斜 (")		坝体	±5.0	
		坝基	±1.0	
坝体表面接缝和裂缝(mm)			±0.2	
近坝区岩体和高边坡		水平位移 (mm)	±2.0	
		垂直位移 (mm)	±2.0	
		倾斜 (")	±10.0	
滑坡体 (mm)		水平位移	±3.0 (岩质边坡) ±5.0 (土质边坡)	
		垂直位移	±3.0	
		裂缝	±1.0	
地下洞室 (mm)		表面变形	±2.0	
		内部变形	±0.3	

特长大坝、特大滑坡及其它特殊情况下监测的准确度要求可根据实际情况，在设计中确定。

5.1.4 各项监测设施应随施工的进展及时埋设安装，并观测初始值。各种初始值至少应观测两次，合格后取均值。主要监测项目初始值应在蓄水前取得。

5.1.5 变形监测工作应遵守下列规定：

1 被测物上的各类测点应与被测物牢固结合，能代表被测物的变形。被测物外的各类测点，应保证测点稳固可靠，能代表该处的变形。基准点应建在稳定区域。

2 监测设备应有必要的保护装置。各种表面变形电测设备不应设在可能被水淹没的部位。

3 变形监测仪器、设备的准确度应与表5.1.3的要求相适应，并应长期稳定可靠，使用、维护方便。

4 户外监测应选择有利时段进行。

5.1.6 变形量的正负号应遵守以下规定：

1 水平位移：向下游为正，向左岸为正，反之为负。

2 船闸闸墙的水平位移：向闸室中心为正，反之为负。

3 垂直位移：下沉为正，上升为负。

4 倾斜：向下游转动为正，向左岸转动为正，反之为负。

5 接缝和裂缝开合度：张开为正，闭合为负。

- 6 高边坡和滑坡体位移：向下滑为正，向河谷为正，向下游为正，反之为负。
- 7 地下洞室围岩变形：向洞室为正，反之为负。

5.2 监测设计

5.2.1 水平位移的监测方法，宜作以下选择：

1 重力坝或支墩坝坝体和坝基水平位移宜采用垂线法、引张线法和真空激光准直法监测。若坝体较短、条件有利，坝体水平位移也可采用视准线法或大气激光准直法监测。

2 拱坝坝体和坝基水平位移宜采用垂线法监测。若交会边长较短、交会角较好，坝体水平位移可采用测边或测角交会法监测。有条件时，坝顶水平位移也可采用视准线法监测。

3 重点监测断面混凝土与岩体接触面宜布置基岩变形计，对高混凝土坝，宜采用多点位移计；坝基和坝肩范围内的重要断裂或软弱结构面，可布置测斜仪、滑动测微计、多点位移计和倒垂线组监测。

4 近坝区岩体、高边坡和滑坡体的水平位移，采用边角网、视准线法和交会法监测。局部可结合倒垂线法或其它适宜的方法监测。在条件合适时，可采用GPS方法监测。深层位移可采用倒垂线组、多点位移计、测斜仪等进行监测。

5 隧道、洞室等地下结构物的表面变形，可采用收敛计、交会法监测。地下结构物围岩的变形，可采用多点位移计、滑动测微计监测。

6 准直线的两端点和交会法的工作基点，应尽量设置倒垂线作为校核基准点。引张线和真空激光准直的两端点，也可设在两岸山体深度足够的平洞内。视准线可在两端延长线外设基准点；交会法工作基点可用边角网校核。

7 重力坝或支墩坝如坝体较长，需分段设引张线时，分段端点应设倒垂线作为基准。

8 观测近坝区岩体、高边坡或滑坡体的水平位移时，基准点和工作基点应尽可能组成边角网。

5.2.2 水平位移的测点布置应符合下列要求：

1 垂线的设置，应首先选择地质或结构复杂的坝段，其次是最高坝段和其它有代表性的坝段。拱坝的拱冠和坝顶拱端应设置垂线，较长的拱坝还应在1/4拱处设置垂线。各高程廊道与垂线相交处应设置垂线观测点。

2 大坝水平位移测点，应在坝顶和基础附近设置。高坝还应在中间高程设置测点，并宜利用坝顶和坝体廊道延伸到两岸岩体内的平洞设置水平位移测点。

3 监测近坝区岩体水平位移的边角网，除坝轴线两端附近布置测点外，下游不宜少于4个测点。

5.2.3 垂线宜按下列要求进行布置设计：

1 正垂线可采用“一线多测站式”，线体设在预留的专用竖井或管道内，也可利用其它竖井或宽缝设置。单段正垂线体长度不宜大于50m。

2 倒垂线宜采用“一线一测站式”，不宜穿越廊道。倒垂钻孔深入基岩的深度应参照坝工设计计算结果，达到变形可忽略处；缺少该项计算结果时，钻孔深度可取坝高的1/4~1/2；钻孔深度不宜小于建基面以下10m。

3 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。

4 垂线设计的具体要求见附录C.1。

5.2.4 引张线的布置设计应考虑下列因素：

- 1 引张线宜采用浮托式。线长不足200m时，可采用无浮托式。
- 2 引张线应设防风护管。
- 3 引张线法设计的具体要求见附录C.2。

5.2.5 视准线可按照实际情况选用活动觇牌法或小角度法。视准线长度不宜超过下列规定：

重力坝—— 300m

拱坝 —— 500m

滑坡体—— 800m

设计的具体要求见附录C.3。

5.2.6 激光准直的布置设计应考虑下列因素：

- 1 真空激光准直宜设在廊道中，也可设在坝顶。
- 2 大气激光准直宜设置在坝顶，也可设在气温梯度较小、气流稳定的廊道内，两端点的距离不宜大于300m。在坝顶设置时，应使激光束高出坝面和旁离建筑物1.5m以上。
- 3 设计的其它具体要求见附录C.4。

5.2.7 边角网包括三角网、测边网和测边测角网三种。边角网设计时应做可靠性评价，可靠性因子值不宜小于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，以排除观测值蕴含粗差的可能性。

应根据被监测对象的特殊要求和具体条件做好优化设计，按最小二乘法进行准确度预估，测点在指定方向的位移量中误差应不大于表5.1.3中的规定。

边角网点均应建造观测墩，观测墩顶部应设强制对中底盘，各种观测墩的结构见附录C.12。

边角网的具体设计要求见附录C.5。

5.2.8 交会法包括测角交会、测边交会和测边测角交会三种。应依据实际情况结合准确度预估进行设计，位移量中误差应不大于表5.1.3中的规定。一般情况下的布置要求见附录C.6。

5.2.9 钻孔测斜仪的钻孔宜铅直布置，滑动测微计的钻孔宜沿结构面垂直方向布置。钻孔孔口应设保护装置，有条件时，孔口附近应设大地水平位移测点。

5.2.10 多点位移计宜布置在有断层、裂隙、夹层层面出露的边坡坡面和坝基上，以及隧道、洞室等地下结构物中。在需要监测的软弱结构面两侧各设一个锚固点，最深的一个锚固点宜布置在变形可忽略处。仪器可在水平、垂直或任何方位的钻孔中安装。一般一个孔内设3个~6个测点为宜。钻孔孔口应设保护装置，必要时可在孔口附近设大地位移测点。

5.2.11 精密水准法监测大坝垂直位移应符合下列要求：

- 1 坝体和坝基的垂直位移，应采用一等水准测量，并应尽量组成水准网。近坝区岩体、高边坡和滑坡体的垂直位移，可采用二等水准测量。一等水准网应尽早建成，并取得基准值。具体要求见附录C.10。

- 2 水准路线上每隔一定距离应埋设水准点。水准点分为基准点（水准原点）、工作基

点（坝体、坝基垂直位移观测的起测基点）和测点三种。各种水准点应选用适宜的标石或标志。水准基准点可设在坝下游1km~5km处。基准点宜用双金属标（或钢管标），若用基岩标应成组设置，每组不得少于三个水准标石，并宜采用深埋标志。工作基点应设置在距坝较远处，一般两岸各设一个，可采用基岩标、平洞基岩标、岩石标。坝体上的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、钢管标。水准标石结构见附录C.12。

3 应在基础廊道和坝顶各设一排垂直位移测点，高坝应根据需要在中间高程廊道内增设测点。各排测点的分布，一般每一坝段一个测点。坝顶和不同高程廊道的水准路线，可通过高程传递连接。近坝区岩体垂直位移测点的间距，在距坝较远处一般为0.3km~0.5km；距坝较远处可适当放长，一般不超过1km。

5.2.12 连通管法（即液体静力水准法）和真空激光准直系统适用于测量坝体和坝基的垂直位移，连通管和真空激光准直系统宜设在水平廊道内，也可设在坝顶，两端应设垂直位移工作基点。设在坝顶的连通管测量系统宜加隔热防冻保护设施。

5.2.13 三角高程法适用于近坝区岩体、高边坡和滑坡体的垂直位移监测。必要时可将此法与边角网结合组成“三维网”。

5.2.14 坝体和坝基的倾斜，应采用一等水准测量，也可采用连通管和遥测倾斜仪监测。测点布置应满足以下要求：

1 基础附近测点宜设在横向廊道内，也可在下游排水廊道和基础廊道内对应设置测点。坝体测点与基础测点宜设在同一垂直面上，并应尽量设在垂线所在的坝段内。

2 坝体倾斜监测布置宜在基础高程面附近设置1个~3个测点，高坝坝顶和中部高程廊道内宜设置2个~4个测点。

3 用精密水准法测量倾斜，两点间距离，在基础附近不宜小于20m，在坝顶不宜小于6m。

4 连通管应设在两端温差较小的部位。

5.2.15 接缝和裂缝开度的监测布置宜按下列要求进行：

1 在可能产生裂缝的部位（如坝体受拉区、接缝处、基岩面高程突变部位及碾压混凝土坝上游防渗层与内部碾压混凝土的界面处、坝内厂房顶部等）和裂缝可能扩展处，宜在混凝土内或表面布置裂缝计。

2 在重力坝纵缝面和拱坝横缝面每个灌浆区中心宜布置测缝计，高拱坝在横缝面距上下游面2.5m以上的位置还宜各增设一支测缝计。

3 在坝踵、岸坡较陡坝段的基岩与混凝土接合处，布置单向、三向测缝计或裂缝计。

4 在预留宽槽回填混凝土时，宜在宽槽上下游面不同高程处布置测缝计。

5 岩体地表裂缝一般采用大量程测缝计或土体位移计进行监测，仪器安装方向应与滑移方向一致并水平安设。

5.2.16 地下洞室壁面的位移宜采用收敛计、位移计、滑动式测微计监测，收敛计主要用于施工期洞室位移监测。围岩松动范围宜采用多点位移计、声波仪监测，声波仪应在洞室开挖前后监测。

5.2.17 大型地下厂房可采用引张线配合垂线进行水平位移监测，采用液体静力水准法进

行垂直位移监测，必要时也可采用真空激光准直系统进行监测。

5.2.18 围岩径向位移可采用多点位移计监测，多点位移计宜布置在围岩顶部及两侧，钻孔深度应根据地质条件，参照计算成果，达到变形可忽略处。一般一个孔内设3个~6个测点为宜。

5.3 监测设施及其安装

5.3.1 在基础开挖的设计高程或混凝土浇筑到基础廊道底板时，应及时进行倒垂孔的施工，并埋设钻孔保护管。应尽量减少倒垂孔的倾斜度，保护管有效孔径必须大于75mm。倒垂造孔的具体要求见附录C.14。

正垂线安装的具体位置视垂线井（竖井、预留孔、宽缝）壁的不铅直度和不平整度而定，在留足位移空间的前提下，应使测线与井壁的距离最小。

垂线安装的具体要求见附录C.1。

5.3.2 各种水平位移监测设备及接缝裂缝监测设备安装前，应按设计图纸做好放样工作。各种设备安装的具体要求见附录C.2~C.6和C.12~C.13。

5.3.3 建筑物外的水准点不应设在地下水水位高或易受剧烈振动影响的地点，并需便于观测。水准基点的主标和双金属标应设置保护装置。

5.3.4 微水准尺安装时，应将标柱精确调整铅直。标尺距地面的高度应便于观测。

5.3.5 连通管两端观测墩顶部应等高程，观测墩顶面应水平；安装连通管时，应将管中气泡全部排尽。具体要求见附录C.11。

5.3.6 测斜管安装时，测斜管的导槽应位于可能产生最大变形的方向。具体要求见附录C.7。

5.4 观测

5.4.1 垂线观测可采用光学垂线坐标仪、遥测垂线坐标仪，也可采用其它同准确度仪器。采用人工观测时，每一测次应观测两测回，两测回观测值之差不得大于0.15mm。具体要求见附录C.1。

5.4.2 引张线观测可采用读数显微镜、两线仪、两用仪或放大镜，也可采用遥测引张线仪。严禁单纯目视直接读数。人工观测时，每一测次应观测二测回。当使用读数显微镜时，两测回观测值之差不得大于0.15mm；当使用两用仪、两线仪或放大镜时，两测回观测值之差不得大于0.3mm。具体要求见附录C.2。

5.4.3 视准线应采用视准仪或J₁型经纬仪或准确度不低于J₁型经纬仪的全站仪进行观测。每一测次应观测二测回，采用活动觇标法时，两测回观测值之差不得超过1.5mm；采用小角度法时，两测回观测值之差不得超过3.0"。具体要求见附录C.3。

5.4.4 大气激光准直每一测次应观测二测回，两测回观测值之差应不大于1.5mm。真空激光准直每一测次应观测一测回，两个“半测回”测得偏离值之差应不大于0.3mm。具体要求见附录C.4。

5.4.5 采用边角网和交会法观测时，水平角应以J₁型经纬仪或准确度不低于J₁型经纬仪的全站仪进行观测，边角网测角中误差不得大于0.7"，交会法测角中误差不得大于1.0"。

边长用标称准确度优于 $1\text{mm}+10^{-6}\times D$ （D为所测距离，单位为mm）的测距仪或全站仪直接测量。

各种监测方法的具体要求见附录C.5及C.6。

5.4.6 一等水准应以S₀₅型水准仪和钢瓦水准标尺进行观测。二等水准可用S₁型水准仪进行观测。也可用准确度不低于相应等级的数字水准仪进行观测。

三角高程测量中，天顶距应以J₁型经纬仪或准确度不低于J₁型经纬仪的全站仪进行观测。

各种观测方法的具体要求见附录C.10。

5.4.7 单向机械测缝标点和三向弯板式测缝标点的观测，宜直接用游标卡尺或千分表量测。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，两次观测值之差不得大于0.2mm。

5.4.8 光学机械监测仪器、设备，在监测开始前，应先晾仪器，使仪器、设备的温度与大气温度趋于一致，再精密调平，进行观测。在晾仪器和整个监测过程中，仪器不应受到日光的直接照射。

5.4.9 收敛观测时，应将测桩端头擦拭干净，收敛计钢尺不得受扭。根据不同的尺长调节拉力装置，使钢尺达到选定的恒定张力。每一测次应观测二测回，二次读数差不应大于收敛计的误差范围。观测时，应同时测记环境温度。

5.4.10 安装在地下工程的多点位移计施工期间的观测，基准值确定后，当测点近区爆破时，爆破前后应各观测一次，以观测位移增量。爆前爆后位移变化较大或爆后位移变化较快时，应加密观测次数。施工期间开挖掌子面距离监测断面1倍洞径以内时，应加密测次。

5.4.11 测斜管观测，测斜仪放入测斜管，导向轮应置入要测量方向的导向槽中。测斜仪应至管底静置15min，自下而上测读至管口；再将测斜仪旋转180°放入管底，自下而上测读至管口，为一个测回。

6 渗流监测

6.1 一般规定

6.1.1 渗流监测项目应包括扬压力、渗透压力、渗流量、绕坝渗流和水质监测。

6.1.2 采用压力表测量测压管水头时，应根据管口可能产生的最大压力选择压力表量程。压力表量程以1.2倍最大压力为宜，准确度应不低于1.6级。

采用渗压计测量渗透压力时，应根据被测点可能产生的最大压力选择渗压计量程。渗压计量程以1.2倍最大压力为宜，准确度应不低于0.5%FS。

6.1.3 量水堰堰顶水头监测的准确度应不低于1.0mm。

6.2 监测设计

6.2.1 扬压力监测布置应符合下列要求：

1 坝基扬压力监测应根据建筑物的类型、工程规模、坝地质条件、渗流控制措施等进行布置，纵向和横向断面应结合布置。宜设纵向监测断面1个~2个，横向监测断面至少3个。

2 纵向监测断面宜布置在第一道排水幕线上，每个坝段应至少设一个测点；重点监测部位测点数量应适当加密。坝基有大断层或强透水带的，灌浆帷幕和第一道排水幕之间宜加设测点。

3 横向监测断面应选择最大坝高坝段、岸坡坝段、地质构造复杂坝段和灌浆帷幕折转坝段。横断面间距一般为50m~100m，如坝体较长，坝体结构与地质条件大致相同，则可加大横断面间距。对支墩坝，横断面可设在支墩底部。

4 每个断面设置3个~4个测点，测点宜布置在各道排水幕线上。若地质条件复杂，可适当加密测点。在防渗墙或板桩后宜设测点。有下游帷幕时，应在其上游侧布置测点。

5 扬压力监测孔在建基面以下深度不宜大于1m，与排水孔不应互换或代用。

6 坝基若有影响大坝稳定的浅层软弱带，应增设测点，一个钻孔宜设一个测点，浅层软弱带多于一层时，渗压计或测压管宜分孔安设。渗压计的集水砂砾段或测压管的进水管段应埋设在软弱带以下0.5m~1.0m的基岩内。应做好软弱带处导水管外围的止水，防止下层潜水向上层的渗透。

7 坝基扬压力可埋设渗压计监测，也可埋设测压管监测。

6.2.2 坝体渗流监测布置应符合下列要求：

坝体水平施工缝渗透压力宜采用渗压计进行监测。测点应布置在上游坝面至坝体排水管之间，测点间距自上游面至排水管间由密渐疏，上游第一个测点距坝面的距离应不小于20cm。埋设截面应与应力监测截面相结合。

6.2.3 渗流量监测布置应符合下列要求：

1 结合工程渗流水的流向、集流和排水设施，统筹规划渗流量监测布置。

2 坝基和坝体渗流量应分别监测。河床坝段和两岸坝段的坝基渗流量应分段监测，必要时可单独监测每个排水孔的渗流量。坝体上游侧排水管的渗漏水流入排水沟后，可采用分段集中的方式进行监测。

3 廊道或平洞排水沟内的渗漏水宜用量水堰法监测，也可用流量计监测。排水孔渗流量很小的渗漏点宜用容积法监测。坝体混凝土缺陷、冷缝和裂缝的渗漏水一般采用目测法检查，渗漏水量较大时，应采用容积法或量水堰法监测。

6.2.4 绕坝渗流监测布置应符合下列要求：

1 绕坝渗流监测点应根据坝址地形、枢纽布置、渗流控制工程措施及绕坝渗流区域的地质条件布置。宜在帷幕后沿流线方向分别布置2个~3个监测横断面，测点的分布靠坝肩附近应较密，每个横断面布置3个~4个测点；必要时，帷幕前可各布置1个~2个测点。

2 对于层状渗流地质情况，宜利用不同高程上的平洞布置监测测点；无平洞时，应将钻孔至各层透水带，各层透水带分别布置测点，若一个钻孔内埋设多个测压管或多个渗压计，应做好测点之间隔水设施。

3 绕坝渗流可采用测压管进行监测，也可采用渗压计进行监测。

6.2.5 地下水位监测布置应符合下列要求：

1 近坝区地下水位应根据坝址地质、地形条件和地下水分布状态进行监测，并尽量利用不同高程的探洞布置监测孔。

2 对大坝安全有较大影响的滑坡体或高边坡，应尽量利用地质勘探钻孔作为地下水位观测孔。

已查明滑动面的近坝岸坡，宜沿滑动面滑移方向或地下水渗流方向布置1个~2个监测断面，水位观测孔钻孔应伸入滑动面以下至少1m；如滑坡体或高边坡体内有不同的隔水层时，宜分层分别进行地下水位监测，并应做好层间隔水。

无明显滑动面的近坝岸坡，应分析可能的滑动面，根据可能的滑移方向或地下水渗流方向布置监测断面。如滑动面距地表很深时，可在勘测平洞或专设平洞内钻孔监测地下水位。

地下水逸出时，应布置浅孔监测，以监视表层水的流向和变化。

3 坝址外近坝区有对大坝坝基、坝肩的稳定性有重大影响的地质构造带，应进行地下水位监测。沿渗流流线方向通过构造带至少布置1个监测断面，每个断面设置2个~3个测点；也可利用通过构造带的平洞或专门开挖平洞布置测点。

4 近坝区地下水位监测宜采用测压管，也可采用渗压计。

6.2.6 地下洞室渗流监测应符合下列要求：

1 地下洞室渗流监测包括地下洞室外水压力、围岩渗透压力和渗流量监测。

2 洞室外水压力测点宜在洞顶、洞底、洞侧衬砌外与围岩界面处布设。

3 对覆盖层浅的洞室，可从地表竖向钻孔埋设测压管或渗压计；对覆盖层厚的洞室，可从洞内向围岩钻孔埋设渗压计；如果洞室周围有排水洞、勘探平洞等，也可利用洞室钻孔埋设。

4 在渗水处或排水孔处应按分区、分段原则集中进行渗水量监测。

6.2.7 水质分析应符合下列要求：

1 应选择有代表性的排水孔或绕坝渗流孔，定期进行渗流水水质分析。发现有析出物或侵蚀性水时，应取样进行全分析。

2 在对渗流水水质分析的同时，应进行库水水质分析。

3 水质宜进行简易分析，必要时应进行全分析或专门研究。简易分析和全分析项目见附录D.1，其中的物理分析项目应在现场进行。

6.3 监测设施及其安装

6.3.1 测压管应符合下列要求：

1 测压管包括进水管、导管与管口装置，进水管段应保证渗水能顺利进入管内。当有可能塌孔或产生管涌时，应加设反滤装置。在完整的基岩中安装测压管时，可不需要进水管和导管，仅安设管口装置，见附录D.2。

2 测压管可采用施工期预埋方式，也可采用钻孔安装方式。帷幕附近的测压管应在灌浆完成后钻孔安装，见附录D.2.2~D.2.3。

测压管一般采用竖直管并铅直埋设。需采用“L”型结构的测压管时，水平管进水管端应略低，竖管口应引至不被渗水淹没高程以上至少0.5m，见附录D.2.4。

3 采用压力表监测有压管时应一管一表，管内安装渗压计监测时管口出线应密封；无压测压管可采用钢尺水位计观测，也可在管内安装渗压计或水位计监测，管口应设保护装置。

4 测压管安装后，应做抽、注水试验，其灵敏度应满足要求。

6.3.2 渗压计应符合下列要求：

1 渗压计可采用施工期预埋方式，也可采用钻孔埋设安装方式。帷幕或固结灌浆带附近埋设安装的渗压计应在灌浆后钻孔安装，见附录D.3。

2 在混凝土浇筑面或基岩面预埋渗压计时，应采取措施，避免下一序混凝土浆液堵塞渗压计滤头，见附录D.3.4与D.3.5。

6.3.3 量水堰应符合下列要求：

1 量水堰应设在排水沟的直线段，堰身采取矩形断面。量水堰的具体要求见附录D.4。

2 量水堰宜采用直角三角堰或矩形堰，三角堰适用于流量为1L/s~70L/s的量测范围，矩形堰适用于流量大于50L/s的情形。当渗流量小于1L/s，可采用容积法。量水堰结构见附录D.4。

6.4 观测

6.4.1 采用压力表测量测压管内水压力时，初装及拆后重装的压力表应待压力稳定后测读。压力表校准或检定周期不大于1年。

- 6.4.2 采用钢尺水位计测量测压管水位时，应平行测定二次，其读数差应不大于**2cm**。
- 6.4.3 采用容积法测量渗流量时，容器充水时间根据渗流量的大小确定，一般应不小于**10s**，渗漏量两次测值之差不得大于其平均值的**5%**。
- 6.4.4 采用水尺、水位测针测量量水堰堰上水位时，应平行测定二次，其读数差应不大于**1mm**。
- 6.4.5 水质分析所需水样应在规定部位取样。在监测孔取样进行分析时，应取库水水样进行同比分析。
- 6.4.6 应对坝体混凝土或坝基础中的析出物取样进行化学分析，检查是否有化学管涌与机械管涌发生。

7 应力、应变及温度监测

7.1 一般规定

7.1.1 应力、应变及温度监测项目应包括混凝土或岩石内部及其表面（或接触面）的应力、应变监测、锚杆（锚索）应力监测、钢筋应力监测、钢板应力监测、温度监测等。

7.1.2 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，重要的物理量宜布置相互验证的监测仪器。

7.2 监测设计

7.2.1 混凝土的应力和应变监测布置应符合下列要求：

1 应根据坝型、结构特点、应力状况及分层分块的施工计划，合理布置测点，使监测成果能反映结构应力分布及最大应力的方向和大小，以便和计算成果及模型试验成果进行对比，以及与其它监测资料综合分析。

2 测点的应变计只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向或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 每一支应变计（组）旁1.0m~1.5m处布置一支无应力计。无应力计与相应的应变计(组)距坝面的距离应相同。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，以保证温度、湿度条件一致。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。200m以上特高拱坝的无应力计的结构型式及安装埋设方式宜进行专门论证。

4 坝体受压部位可布置压应力计，以便与应变计(组)相互验证。压应力计和其它仪器之间应保持0.6m~1.0m的距离。

7.2.2 重力坝应力和应变的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断面。

2 在重点监测坝段可布置1个~2个监测断面。在监测断面上，可在不同高程布置几个水平监测截面。水平监测截面宜距坝底5m以上，必要时另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，其监测截面上宜布置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，还应配合布置其它仪器。

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~2.0m（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 边坡陡峻的岸坡坝段，宜根据设计计算及试验的应力状态布置应变计(组)。

7 表面应力梯度较大时，应在距坝面不同距离处布置测点。宜布置单向或两向应变计。

8 整体式重力坝的仪器布置可参照拱坝进行。

7.2.3 拱坝应力和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拱圈处选择铅直监测断面1个~3个,在不同高程上选择水平监测截面3个~5个。

2 在薄拱坝的监测截面上,靠上、下游坝面附近应各布置一个测点,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应布置2个~3个测点。拱坝设有纵缝时,测点可多于3个。

3 监测截面应力分布的应变计(组)距坝面应不小于1.0m,测点距基岩开挖面应大于3.0m,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)支数和方向应满足监测平行拱座基岩面的剪力和拱推力的需要,在拱推力方向还可布置压应力计。

5 坝踵、坝趾表面应力和应变监测的布置要求与重力坝相同。

7.2.4 坝基、坝肩、边坡、地下洞室应力和应变的监测布置应按下列要求进行:

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,宜选择一个重点监测断面,在其附近设监测断面1个~2个。在重点监测断面,应力和应变宜与其它监测项目结合布置。

2 重力坝宜在坝踵和坝趾部位布置测点;拱坝的测点应布置在应力变化较大的部位。

3 坝基、坝肩、边坡、地下洞室采用锚杆、预应力锚索等加固措施时,应进行锚杆(锚索)应力监测。

锚杆监测宜选择有代表性的部位按锚杆的形式进行抽样,监测数量占锚杆总数的3%~5%。每根锚杆宜布置1个~3个测点,仪器采用锚杆应力计。

预应力锚索监测宜按锚索吨位进行抽样,监测数量占预应力锚索总数的3%~5%,每个典型地质地段或每种锚索应监测2根~3根,仪器宜采用锚索测力计。

7.2.5 在重要的钢筋混凝土建筑物内应布置钢筋应力测点。监测钢筋应力的钢筋计应与受力钢筋焊接在同一轴线上。当钢筋为弧形时,其曲率半径应大于2.0m,并须保证钢筋计中间的钢套部分不弯曲。

有条件时可在钢筋计附近混凝土内布置应变计及无应力计,同时监测钢筋和混凝土的受力状态。

对预应力闸墩及隧洞等结构,应布置预应力锚索测力计。

7.2.6 对于影响大坝或电站安全运行的压力管道、蜗壳等水工钢结构,应布置钢板应力监测断面。在圆形监测断面上宜至少布置3个测点。蜗壳或其它水工钢结构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,用专用夹具定位,布置测点处钢板的曲率半径不宜小于1.0m。

7.2.7 坝体和坝基温度监测布置宜按下列要求进行:

1 温度监测应设置在重点监测坝段,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特点进行布置。在温度梯度较大的坝面或孔口附近测点宜适当加密。布置坝体温度测点时,宜结合布置坝面温度和基岩温度测点。

3 在能兼测温度的其它仪器处,不宜再布置温度计。

4 在重力坝监测坝段的中心断面上，宜按网格布置温度测点，网格间距为8m~15m。对于坝高150m以上的高坝，间距可适当增加到20m，以能绘制坝体等温线为原则。引水坝段的测点布置应顾及空间温度场监测的需要。

5 在拱坝监测坝段，根据坝高不同可布置3个~7个监测截面。在截面和监测断面的每一条交线上可布置3个~5个测点。在拱座的应力监测截面上可增设必要的温度测点。

6 在重力坝纵缝面和拱坝横缝面各灌浆区如未布置兼测温度的测缝计，每个灌浆区宜布置温度计。

7 可在距上游5cm~10cm的坝体混凝土内沿高程布置坝面温度测点，间距宜为1/15~1/10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。表面温度计在蓄水后可作为坝前库水温度计。在受日照影响的下游坝面可适当布置若干坝面温度测点。当拱坝两岸日照相差很大时，下游面宜分别布置温度测点。

8 在坝体温度监测断面的底部，宜在靠上、下游附近各设置一个5m~10m深的孔，在孔内不同深度处布置测点监测基岩温度。钻孔孔洞应用水泥砂浆回填。

7.3 监测设施及其安装

7.3.1 仪器安装应保持正确位置及方向，及时对仪器进行检测，并防止仪器损坏，各种仪器的安装要求见附录E。

7.3.2 仪器周围回填混凝土时，应人工分层振捣密实。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，宜不小于1.0m。

7.3.3 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，即在混凝土浇筑后拆除埋设槽模板，清理冲毛，将仪器埋入槽内，然后回填混凝土。

7.3.4 监测仪器埋设时，应及时记录仪器及电缆埋设参数及附近浇筑的混凝土和环境条件。安装后，应及时做好标识与保护。

7.3.5 应按监测设计要求进行电缆连接和编号，具体要求见附录F。

7.4 观测

7.4.1 埋设初期一个月内，应变计、无应力计和温度计观测宜按如下频次进行：前24h，1次/4h；第2天~3天，1次/8h；第4天~7天，1次/12h；第7天~14天，1次/24h；之后按附录A的表A.0.2中施工期测次要求进行观测。

7.4.2 使用直读式接收仪表进行观测时，每月应对仪表进行一次检验。如需更换仪表，应先检验是否有互换性。

7.4.3 仪器设备应妥加保护。电缆的编号牌应防止锈蚀、混淆或丢失。电缆长度需改变时，应在改变长度前后读取测值，并做好记录。集线箱及测控装置应保持干燥。

7.4.4 仪器埋设后，应及时按适当频次观测以便获得仪器的初始值。初始值应根据埋设位置、材料的特性、仪器的性能及周围的温度等，从初期各次合格的观测值中选定。为便于监测资料分析，在各分析时段的起点应按适当频次观测，以便获得仪器的基准值。

8 专项监测

8.1 地震反应监测

8.1.1 一般规定

1 混凝土坝地震反应监测应监测强震时坝址地面运动的全过程及其作用下混凝土坝的结构反应，并通过强震记录的处理分析对大坝作出震害评估。监测物理量主要是加速度。

2 设计烈度为7度及以上的1级大坝，或设计烈度为8度及以上的2级大坝，应设置结构反应台阵，主要记录地震动加速度，对1级高混凝土坝，可增加动水压力监测。

3 结构反应台阵应根据大坝工程等级、设计烈度、结构类型和地形地质条件进行布置。

4 地震反应监测应与现场调查相结合。当发生有感地震时或坝基记录的峰值加速度大于0.025g时，应及时对大坝结构进行现场调查。

8.1.2 监测设计应符合下列要求：

1 地震反应监测设计应包括确定结构反应台阵的规模、布置、仪器的性能指标，仪器安装和管理维护的技术要求等。

2 结构反应台阵测点应包括河谷自由场测点和坝体结构反应测点。

1) 在坝址区附近、高程接近建基面的完好岩体上，应设置一个河谷自由场测点，测点宜布成水平顺河向、水平横河向、竖向三分量。

2) 混凝土重力坝和支墩坝，宜在溢流坝段和非溢流坝段各选一个最高坝段，或地质条件较为复杂的坝段布置坝体结构反应测点。测点宜布置在坝顶、下游面变坡部位、2/3坝高、1/3坝高、坝基等位置附近。传感器测量方向以水平顺河向为主，重要测点宜布置水平顺河向、水平横河向、竖向三分量。

3) 混凝土拱坝，宜在顶拱拱冠、拱冠梁2/3坝高、拱冠梁1/3坝高、拱冠梁坝基、左右1/4顶拱拱圈、两岸坝肩、两岸坝基1/2坝高处各布置一个测点。根据具体情况可增加测点。重要测点传感器测量方向应按水平径向、水平切向和竖向三分量布置，次要测点可视情况布置两分量或单分量。

4) 结构反应台阵的规模，1级大坝结构反应台阵应不少于18分量，2级大坝应不少于12分量，3级大坝不宜少于6分量。

8.1.3 记录分析系统应符合下列要求：

1 强震仪应具有自动触发功能，触发后地震记录信息应自动存储并传至计算机系统。

2 应配备适合工业应用环境，有较高运算速度和较大存储容量的工业PC机，并配有打印机等外围设备。

3 宜配置便携式计算机作为移动工作站。

4 应配置强震动加速度记录处理分析软件。

5 有条件的大坝可增加便携式强震仪。

8.1.4 大坝地震反应监测仪及传感器的技术参数应满足的指标见附录G。

8.1.5 监测设施及其安装应符合下列要求：

1 应根据监测设计要求对测点进行传感器安装及电缆布设，传感器安装要求见附录G.0.4，电缆布置与要求见附录F。

2 强震仪安装时应记录仪器出厂编号、仪器安装时间及埋设前后的检查和对大坝脉动响应的监测数据。

8.1.6 观测应符合下列要求：

1 地震反应监测系统安装完成后，应对系统的运行情况进行现场观测检查，确认各通道信号及背景噪声情况。

2 监测系统运行正常后，应进行场地地脉动和大坝的脉动反应测试，记录脉动加速度时程，并进行分析。

3 地震反应监测资料处理分析按附录G.0.9的要求进行。

8.2 水力学监测

8.2.1 水流流态监测应符合下列要求：

1 泄水、引水、过坝建筑物的进口流态应包括：来流对称性、水流侧向收缩、回流范围、旋涡漏斗大小和位置和其它不利流态。

2 泄水建筑物泄槽流态应包括：水流形态、折冲水流、波浪高度、水流分布、冲击波、旁道水流及其产生的横比降、闸墩和桥墩的绕流流态等。

3 泄水建筑物出口的流态应包括：上、下游水面衔接形式、面流、底流、挑流等。

4 泄水建筑物下游河道的流态应包括：水流流向、回流形态和范围、冲淤区、水流分布、对岸边和其它建筑物的影响等。

5 水流流态可采用文字描述、摄影或录像进行记录，也可采用地面同步摄影测量等方法进行测量。

8.2.2 水面线监测应符合下列要求：

1 水面线观测应包括明流溢洪道水面、明流泄洪隧洞水面、挑射水舌轨迹线及水跃波动水面等。

2 明流溢洪道等泄水建筑物沿程水面线，可用直角坐标网格法、水尺法或摄影法进行观测。

3 挑流水舌轨迹线，可用经纬仪测量水舌出射角、入射角、水舌厚度，也可用立体摄影测量平面扩散等。

4 水跃长度及平面扩散可用水尺法或摄影法进行测量。

8.2.3 动水压力监测应符合下列要求：

1 动水压力观测应包括时均压力、瞬时压力和脉动压力。输、泄水建筑物的动水压力观测布置应能反映过水表面压力分布特征。

2 动水压力测点应沿水流方向布置在闸孔中线、闸墩两侧和下游。溢流堰的堰顶、坝下反弧及下切点附近以及其相应位置的边墙等处，有压管道进口曲线段、渐变段、分岔段及局部不平整突体的下游壁面和过水边界不平顺及突变等部位，如闸门门槽下游边壁、挑流鼻坎、消力墩侧壁等。

3 对于泄水孔、洞，应测量其边壁压力。

4 对于有压隧洞，应选择若干控制断面，测量洞壁动水压力，以确定压坡线。

5 在脉动压力周围，应设置1个~2个测压管，以便测量时均压力，相互验证。

6 时均压力可用测压管水银比压计进行测量；瞬时压力及脉动压力可采用脉动压力传感器测量。

8.2.4 流速监测应符合下列要求：

1 流速观测应根据水流流态、掺气及消能冲刷等情况确定，宜布置在挑流鼻坎末端、溢流坝面、渠槽底部、局部突变处、下游回流及上下游航道等部位。

2 顺水流方向选择若干观测断面，在每一断面上量测不同水深点的流速，特别应注意水流特征与边界条件有突变部位的流速观测。

3 流速可用浮标、流速仪、毕托管等进行观测。

8.2.5 泄流量监测应符合下列要求：

1 流量观测按测试需要可包括固定测流断面和临时测流断面。固定测流断面应选择断面稳定的地段；临时测流断面视泄水建筑物具体情况确定，若用浮标法需同时选定投标断面和测量断面。

2 泄流量可根据流速及水流断面推算。

8.2.6 空化空蚀监测应符合下列要求：

1 空化空蚀观测应重点观测边界曲率突变或水流发生分离现象的部位，包括扩散处、弯道岔道、消力墩下游面及底部、闸门槽、溢流面反弧段、底孔出流与坝面溢流交汇处、不平整及突体处。

2 空化可用水下噪声探测仪观测。空蚀可用目测、摄影、拓模等计量。

8.2.7 掺气监测应符合下列要求：

1 掺气测点应设置在掺气减蚀设施后的水流底层，观测掺气量、掺气浓度及其发展过程，研究掺气浓度分布规律。

2 应加密水舌落点和冲击力的测点，测出沿水深方向的含气浓度，并延伸测至上游空腔中，测出水舌落点附近的最大掺气浓度和冲击力。

3 掺气量可采用毕托管、风速仪等进行测量。掺气可用取样法、电阻法和同位素法等进行观测。

8.2.8 振动监测应符合下列要求：

1 振动测点应布置在溢流厂房的顶部面板、泄水闸门、弧形支撑梁、导墙、输水管道段、开关站等易产生振动的部位。

2 振动观测可用拾振器和测振仪等观测。

8.2.9 下游雾化监测应符合下列要求：

1 雾化测点应布置在下游两岸岸坡、开关站、高压电线出线处、发电厂房、对岸坡稳定、生产生活、自然景观有影响的部位。

2 雾化观测可用雨量器、人工判断及地面摄影测量法。

8.2.10 消能监测应符合下列要求：

1 消能观测应包括底流、面流和挑流各类水流形态的测量和描述。其中对自由挑流需测量水舌剖面轨迹、平面扩散覆盖范围，碰撞挑流加测撞击位置。

2 消能观测可用目测法和摄影法，也可用单经纬仪交会法和双经纬仪交会法。

3 计算过坝水流的总消能率时，需测量通过下游标准河床断面的水位和流量。

8.2.11 冲刷监测应符合下列要求：

1 冲刷观测点应布置在溢流面、闸门下游底板、侧墙、消力池、辅助消能工、消力戽及泄水建筑物下游泄水渠道和护坦底板等处。

2 水上部分可直接目测和量测；水下部分采用抽干检查法、测深法、压气沉柜检测法及水下电视检查法等。

9 监测自动化系统

9.1 一般规定

- 9.1.1 监测自动化系统设计应遵循“实用、可靠、先进、经济”原则，并满足水库现代化管理需要。
- 9.1.2 监测自动化系统的建设应统筹规划，可分步实施。
- 9.1.3 仪器设备在满足准确度的前提下，系统结构力求简单、稳定、维护方便，易于改造和升级。
- 9.1.4 监测自动化系统的监测点或监测站，有条件的应配备独立于自动测量监测仪器的人工测量设备，以备监测自动化设备故障时有连续测值，也可作为检验监测自动化设备的参照设备。

9.2 系统设计

- 9.2.1 监测自动化系统应由监测仪器、数据采集装置、计算机及外部设备、数据采集和管理软件、通信线路及装置、电源线路及装置、防雷装置等组成。
- 9.2.2 监测自动化系统应具备下列基本功能：
 - 1 巡测、选测和定时测量功能；
 - 2 现场网络数据通信与远程通信功能；
 - 3 数据存储、管理及备份功能；
 - 4 掉电保护功能；
 - 5 网络安全防护功能；
 - 6 自检、自诊断功能；
 - 7 防雷及抗干扰功能；
 - 8 数据异常报警功能。
- 9.2.3 纳入监测自动化系统的测点应至少包括以下测点：
 - 1 需要进行高准确度、高频次监测而难以进行人工观测的测点。
 - 2 监测点所在部位的环境条件不允许或不可能用人工方式进行观测的测点。
- 9.2.4 监测仪器的技术性能指标应不低于被测量工程的要求，监测仪器品种、规格有条件时宜尽量统一，提高系统的可维护性。
- 9.2.5 数据采集装置应满足下列基本性能：
 - 1 测量准确度：不低于本标准对测量对象准确度的要求。
 - 2 采样时间：巡测时小于30min，单点采集时小于30s。
 - 3 数据存储容量：不小于50测次。
 - 4 平均无故障时间(MTBF)：大于6300h，其计算方法见附录H.1。
 - 5 数据采集缺失率：不大于2%，其计算方法见附录H.2。
 - 6 掉电运行时间：不小于3d(需强电驱动控制的设备除外)。
 - 7 防雷电感应：不小于500W。
 - 8 防潮、防锈蚀、防鼠、抗振、抗电磁干扰等。

9.2.6 数据采集装置宜分散设置在靠近监测仪器的监测站。监测站应具备一定的 workspace 和稳定可靠的电源。监测站不得设置在具有较强电磁干扰设备附近，并应有良好的接地和适当防护设施。

9.2.7 系统配置的监测计算机及外部设备位于监测管理站，监测管理站应配置可靠的专用电源、不间断电源和防雷接地设施。监测管理站应具备足够的设备空间和工作空间，并具备良好的照明、通风和温湿度调节环境，满足室内计算机及通信设备正常运行。

9.2.8 监测管理站配置的数据采集与管理软件应具有下列功能：

- 1 在线监测功能；
- 2 图表制作功能；
- 3 离线分析；
- 4 信息管理；
- 5 网络系统管理功能。

9.2.9 监测自动化系统可根据工程实际需要选用集中式、分布式或混合式的结构模式。集中式适用于测点数量少、布置相对集中和传输距离不远的工程；分布式适用于测点数量多、布置分散的工程；混合式介于以上两种之间。

9.2.10 数据采集装置和监测管理站计算机之间的通信可采用EIA-RS-232C、EIA-RS-485/422A、CANbus、Ethernet以及其它国际标准，通信介质可采用光纤、双绞线、电话线、无线等。通信线路布设时应考虑雷电感应对系统可能的影响，做好线缆的防护接地。监测管理站计算机与远程管理中心站可用局域网或广域网通信方式。

9.2.11 系统宜采用专线供电，配置稳压及过压保护措施，并设置供电线路安全防护及接地设施。

9.2.12 系统通信、电源线路及装置、监测管理站和监测管理中心站应采用防雷接地措施，有条件时系统设备应进行等电位联结，接地电阻不大于10Ω。

9.3 系统安装与调试

9.3.1 监测自动化系统安装过程中，应对系统仪器设备进行检查、检验、试验、参数标定，并作好详细记录。

9.3.2 系统设备安装及电缆布线应整齐，系统设备应采取必要的保护措施。系统设备支座及支架应安装牢固。

9.3.3 对于监测设施自动化更新改造的工程，在监测仪器设备安装时，应尽量不破坏原有可用的监测设施。

9.3.4 对每个自动化监测点进行快速连续测试，以检验测值的稳定性。

9.3.5 监测自动化系统调试时，与人工观测数据进行同步比测，将监测自动化的基准调整到与人工观测相一致。

9.3.6 应逐项检查系统功能，以满足设计要求。

9.3.7 系统安装调试完成后，应提交系统安装与调试报告。

9.4 监测

9.4.1 监测自动化系统在试运行期，测量频次应不少于1次/天；在正常运行期，其测量频

次在满足附录A条件下，应不少于1次/周；特殊情况（如高水位、库水位骤变、特大暴雨、地震等）下，可根据需要增加测量次数。

9.4.2 所有实测数据应全部存储至数据库。

9.4.3 应对每次测量数据进行检查甄别，发现异常，应及时复测。

10 监测资料的整编与分析

10.1 一般规定

10.1.1 每次仪器监测或现场检查后应随即对原始记录加以检查和整理，并应及时做出初步分析。每年应进行一次监测资料整编。在整理和整编的基础上，应定期进行资料分析。

10.1.2 应建立监测资料数据库或信息管理系统。

10.1.3 资料整理与分析过程中，发现异常情况，应立即查找原因，并及时上报。

10.1.4 整编成果应做到项目齐全，考证清楚，数据可靠，方法合理，图表完整，规格统一，说明完备。

10.1.5 在下列时期应进行资料分析，并提出资料分析报告：

- 1 首次蓄水时；
- 2 蓄水到规定高程时；
- 3 分阶段验收时；
- 4 竣工验收时；
- 5 大坝安全鉴定时；
- 6 出现异常或险情状态时。

在首次蓄水、竣工验收及大坝安全鉴定时均应先做全面的资料分析，分别为蓄水、验收及大坝安全鉴定评价提供依据。

10.1.6 蓄水后的每次分析资料，应根据1.0.9条的规定，对大坝工作状态作出评估。

10.1.7 工程施工阶段和首次蓄水阶段，宜根据理论计算或模型试验成果，并参考类似工程经验，对一些重要部位的监测项目提出预计的测值变化范围，对1级、2级大坝关键部位的测值，提出设计监控指标。

投入运行后，宜定期根据实测资料建立数学模型，提出或调整运行监控指标。

10.2 监测资料整编

10.2.1 人工观测、自动化监测和现场检查均应做好所采集数据（或所检查情况）的记录。记录的图和表应有固定的格式，具体要求见附录I.1。记录应准确、清晰、齐全，应记入监测日期、责任人姓名及监测条件的必要说明。

10.2.2 每次观测（包括人工观测、自动化监测和现场检查）完成后，应随即对原始记录的准确性、可靠性、完整性加以检查、检验。具体要求见附录I.2。

10.2.3 应及时将计算后的各监测物理量形成电子文档，并打印出主要图表供查用。物理量的计算公式见附录I.3。

10.2.4 应根据监测资料，及时检查和判断测值的变化趋势，作出初步分析。如有异常，应检查计算有无错误和监测系统有无故障，经综合比较判断，确认是监测物理量异常时，按10.1.3执行。

10.2.5 在施工期和初蓄期，整编时段应依工程施工和蓄水进程而定，不宜超过1年。在运行期，每年汛前应将上一年度的监测资料整编完毕。

10.2.6 凡历年共同性的资料，若已在前期整编资料中刊印，且其后不再重印时，应在整

编前言中说明已收入何年整编资料。

10.3 监测资料分析

10.3.1 监测资料分析的项目、内容和方法应根据实际情况而定。但对于变形量、渗流量、扬压力及现场检查的资料等必须进行分析。首次蓄水时的分析内容可酌情处理。

10.3.2 监测资料分析，通常采用比较法、作图法、特征值统计法及数学模型法，详见附录I.4。使用数学模型法作定量分析时，应同时用其它方法进行定性分析，加以验证。

10.3.3 监测资料分析应分析各监测物理量的大小、变化规律、趋势及效应量与原因量之间（或几个效应量之间）的关系和相关的程度。有条件时，还应建立效应量与原因量之间的数学模型，借以解释监测量的变化规律，在此基础上判断各监测物理量的变化和趋势是否正常、是否符合技术要求；并应对各项监测成果进行综合分析，揭示大坝的异常情况和不安全因素，评估大坝的工作状态，并拟定或修订安全监控指标。资料分析的内容见附录I.5。

10.3.4 监测资料分析后，应提出监测资料分析报告，其主要内容见附录I.6。

10.3.5 监测资料分析报告和整编资料，应按档案管理规定及时归档。

11 监测系统运行管理

11.1 一般规定

11.1.1 监测系统运行管理应包括监测制度、设备管理、检查维护、数据处理、人员要求等内容。

11.1.2 监测系统运行管理分为监测系统安装施工期的运行管理、监测系统安装完成后的试运行期运行管理及监测系统验收后的运行期运行管理。施工期的运行管理应由监测系统承建单位负责；试运行期的运行管理宜由监测系统承建单位负责，大坝建设单位或管理单位协助；运行期的运行管理应由大坝建设单位或管理单位负责。

11.1.3 监测系统交付大坝建设单位或管理单位运行管理前应当进行验收，监测系统承建单位向大坝建设单位或管理单位交付监测系统时应同时移交下列资料：

- 1 仪器设备出厂资料；
- 2 仪器设备安装考证资料；
- 3 施工期及试运行期监测资料及分析报告；
- 4 监测系统使用与维护说明；
- 5 监测系统安装工作报告。

11.1.4 监测系统运行管理单位应当制订监测系统运行管理制度，包括监测项目及其频次、仪器设备管理与维护、监测数据记录与处理、监测人员与岗位职责等要求。

11.1.5 运行管理单位应当安排具备相应基础知识、经过培训合格、能够稳定从事大坝安全监测工作的专职人员承担监测系统的运行管理，为监测人员提供正常工作和劳动保护条件。

11.2 运行管理

11.2.1 监测人员应严格执行监测系统运行管理制度，正确使用和操作监测系统，按附录A附录B规定开展现场检查、数据采集、记录、甄别和保存，保障数据的准确、可靠。

11.2.2 试运行期应对监测系统进行检测或比测，分析评价监测系统的工作状况与监测数据的合理性和准确性。

11.2.3 应及时分析监测数据及其反映的工程情况并及时上报。

11.2.4 监测数据应定期进行整理分析和刊印存档。

11.2.5 监测自动化系统应每个月校正1次系统时钟，监测数据应每3个月作1次备份。

11.3 设施维护

11.3.1 监测系统仪器设备、装置、线缆等应设置标识和采取必要的防护措施，避免暴雨雷击、动物侵害、人为损害等影响。对易受环境影响或安装在坝体外部的仪器设备，应考虑日照、雨淋、冰冻、风沙等恶劣天气的影响，必要时应采取特殊防护措施。

11.3.2 应按3.1.3规定，定期检查监测设备工作与运行状况，包括接线是否牢固，电触点是否灵敏，有无断线、漏电现象，防雷设施是否正常，接地电阻是否合格，电缆有无老化损坏等；对有问题的监测设备及时修复改善，必要时应更换。

11.3.3 监测仪器、仪表应定期进行保养、率定、检定，发现问题及时校准、维修或更

换。

11.3.4 监测自动化系统的部分或全部测点宜每年进行1次人工比测。监测站点和监测管理站房应保持各种仪器设备正常运转的工作环境条件。监测自动化系统宜配置足够的备品备件，并及时补充。

11.3.5 工程除险加固、扩（改）建或工程维修施工中，对留用监测设备与设施，均应妥善保护，对电缆应予特殊保护。

11.3.6 监测系统应定期进行鉴定，掌握系统运行状况，分析监测系统存在问题，提出系统改进或处置意见。首次鉴定在监测系统投入运行后的5年内进行，以后每6年~10年鉴定一次。如发现设备异常或难以维护处理时，可随时对监测系统进行鉴定。

11.3.7 监测系统鉴定应由相应资质的机构承担，通过检查测试、检验校验和数据分析等方法分析监测系统运行情况，提出运行维护或维修处理等指导意见。

11.3.8 应做好监测设施管理维护记录，并存档备查。

11.3.9 监测人员安全劳动保护用品应经常检查、维护或更新。

11.3.10 应每年安排一定的运行维护费用，保障监测系统正常运行。

附录A 监测项目与测次

A.0.1 混凝土坝安全监测项目按表A.0.1进行分类和选择。

表A.0.1 混凝土坝安全监测项目分类

序号	监测类别	监测项目	大坝级别			
			1	2	3	4
1	现场检查	坝体、坝基、坝肩及近坝库岸	●	●	●	●
2	环境量	1) 上、下游水位	●	●	●	●
		2) 气温、降水量	●	●	●	●
		3) 坝前水温	●	●	○	○
		4) 气压	○	○	○	○
		5) 冰冻	○	○	○	
		6) 坝前淤积、下游冲淤	○	○	○	
3	变形	1) 坝体表面位移	●	●	●	●
		2) 坝体内部位移	●	●	●	○
		3) 倾斜	●	○	○	
		4) 接缝变化	●	●	○	○
		5) 裂缝变化	●	●	●	○
		6) 坝基位移	●	●	●	○
		7) 近坝岸坡变形	●	●	○	○
		8) 地下洞室变形	●	●	○	○
4	渗流	1) 渗流量	●	●	●	●
		2) 扬压力	●	●	●	●
		3) 坝体渗透压力	○	○	○	○
		4) 绕坝渗流	●	●	○	○
		5) 近坝岸坡渗流	●	●	○	○
		6) 地下洞室渗流	●	●	○	○
		7) 水质分析	●	●	○	○
5	应力、应变及温度	1) 应力	●	○		
		2) 应变	●	●	○	
		3) 混凝土温度	●	●	○	
		4) 坝基温度	●	●	○	
6	地震反应监测	1) 地震动加速度	○	○	○	
		2) 动水压力	○			
7	水力学监测	1) 水流流态、水面线	○	○		
		2) 动水压力	○	○		
		3) 流速、泄流量	○	○		
		4) 空化空蚀、掺气、下游雾化	○	○		
		5) 振动	○	○		
		6) 消能及冲刷	○	○		
注1: 有●者为必设项目, 有○者为可选项目, 可根据需要选设。 注2: 坝高70m以下的1级坝, 应力应变为可选项。 注3: 坝址地震设计烈度为7度及以上的1级大坝和设计烈度为8度及以上2级大坝应设置地震反应监测项目。						

A.0.2 混凝土坝安全监测项目测次按表A.0.2进行选择。

表A.0.2 混凝土坝安全监测项目测次表

序号	监测类别	监测项目	施工期	首次蓄水期	运行期
1	现场检查	日常检查	2次/周~1次/周	1次/天~3次/周	3次/月~1次/月
2	环境量	1) 上、下游水位	2次/天~1次/天	4次/天~2次/天	2次/天~1次/天
		2) 气温、降水量	逐日量	逐日量	逐日量
		3) 坝前水温	1次/周~1次/月	1次/天~1次/周	1次/周~2次/月
		4) 气压	1次/周~1次/月	1次/周~1次/月	1次/周~1次/月
		5) 冰冻	按需要	按需要	按需要
		6) 坝前淤积、下游冲淤		按需要	按需要
3	变形	1) 坝体表面位移	1次/周~1次/月	1次/天~1次/周	2次/月~1次/月
		2) 坝体内部位移	2次/周~1次/周	1次/天~2次/周	1次/周~1次/月
		3) 倾斜	2次/周~1次/周	1次/天~2次/周	1次/周~1次/月
		4) 接缝变化	2次/周~1次/周	1次/天~2次/周	1次/周~1次/月
		5) 裂缝变化	2次/周~1次/周	1次/天~2次/周	1次/周~1次/月
		6) 坝基位移	2次/周~1次/周	1次/天~2次/周	1次/周~1次/月
		7) 近坝岸坡变形	2次/月~1次/月	2次/周~1次/周	1次/月~4次/年
		8) 地下洞室变形	2次/月~1次/月	2次/周~1次/周	1次/月~4次/年
4	渗流	1) 渗流量	2次/周~1次/周	1次/天	1次/周~2次/月
		2) 扬压力	2次/周~1次/周	1次/天	1次/周~2次/月
		3) 坝体渗透压力	2次/周~1次/周	1次/天	1次/周~2次/月
		4) 绕坝渗流	1次/周~1次/月	1次/天~1次/周	1次/周~1次/月
		5) 近坝岸坡渗流	2次/月~1次/月	1次/天~1次/周	1次/月~4次/年
		6) 地下洞室渗流	2次/月~1次/月	1次/天~1次/周	1次/月~4次/年
		7) 水质分析	1次/月~1次/季	2次/月~1次/月	2次/年~1次/年
5	应力、应变及温度	1) 应力	1次/周~1次/月	1次/天~1次/周	2次/月~1次/季
		2) 应变	1次/周~1次/月	1次/天~1次/周	2次/月~1次/季
		3) 混凝土温度	1次/周~1次/月	1次/天~1次/周	2次/月~1次/季
		4) 坝基温度	1次/周~1次/月	1次/天~1次/周	2次/月~1次/季
6	地震反应监测	1) 地震动加速度	按需要	按需要	按需要
		2) 动水压力		按需要	按需要
7	水力学监测	1) 水流流态、水面线		按需要	按需要
		2) 动水压力		按需要	按需要
		3) 流速、泄流量		按需要	按需要
		4) 空化空蚀、掺气、下游雾化		按需要	按需要
		5) 振动		按需要	按需要
		6) 消能及冲刷		按需要	按需要

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、地震等), 应增加测次。监测自动化可根据需要, 适当加密测次。

注2: 在施工期, 坝体浇筑进度快的, 变形和应力监测的次数应取上限。在首次蓄水期, 库水位上升快的, 测次应取上限。在初蓄期, 开始测次应取上限。在运行期, 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; 当多年运行性态稳定时, 可减少测次, 减少监测项目或停测, 但应报主管部位批准; 当水位超过前期运行水位时, 仍按首次蓄水执行。

注3: 现场检查的次数按3.1.3执行。

附录B 现场检查内容与格式

B.0.1 混凝土坝现场检查内容按表B.0.1进行分类和选择。

表B.0.1 混凝土坝现场安全检查内容表

项目（部位）		日常检查	年度检查	定期检查	应急检查
坝体	坝顶	●	●	●	●
	上游面	●	●	●	●
	下游面	●	●	●	●
	廊道	●	●	●	●
	排水系统	●	●	●	●
坝基及坝肩	坝基		●	●	●
	两岸坝段	○	●	●	●
	坝趾附近	●	●	●	●
	廊道	○	●	●	●
	排水系统	●	●	●	●
输、泄水洞（管）	进水塔（竖井）	○	●	●	●
	洞（管）身		○	●	●
	出口	○	●	●	●
	下游渠道	○	●	●	●
溢洪道	进水段（引渠）	○	●	●	●
	控制段	○	●	●	●
	泄水段	○	●	●	●
	消能设施	○	●	●	●
	下游河床及岸坡	○	●	●	●
闸门及金属结构	闸门	○	●	●	●
	启闭设施	○	●	●	●
	其它金属结构	○	●	●	●
	电气设备	○	●	●	●
监测设施	监测仪器设备	○	●	●	●
	传输线缆	○	○	●	○
	通信设施	○	●	●	●
	防雷设施	○	●	●	●
	供电设施	○	●	●	●
	保护设施	○	●	●	●
近坝岸坡	库面	○	●	●	●
	近坝区岩体	○	●	●	●
	高边坡	○	●	●	●
	滑坡体	○	●	●	●
电站	○	●	●	●	
管理与保障设施	应急预案		●	●	●
	预警设施		●	●	●
	备用电源	○	●	●	●
	照明与应急照明设施		●	●	●
	对外通信与应急通信设施		●	●	●
	对外交通与应急交通工具		●	●	●

B.0.2 混凝土坝现场安全检查记录格式按表B.0.2填写。

表B.0.2 混凝土坝现场检查表

项目（部位）		检查情况	检查人员	备注
坝体	坝顶			
	上游面			
	下游面			
	廊道			
	排水系统			
坝基及坝肩	坝基			
	两岸坝段			
	坝趾附近			
	廊道			
输、泄水洞（管）	进水塔（竖井）			
	洞（管）身			
	出口			
	下游渠道			
溢洪道	进水段（引渠）			
	控制段			
	泄水段			
	消能设施			
	下游河床及岸坡			
闸门及金属结构	闸门			
	启闭设施			
	其它金属结构			
	电气设备			
监测设施	监测仪器设备			
	传输线缆			
	通信设施			
	防雷设施			
	供电设施			
	保护设施			
近坝岸坡	库面			
	近坝区岩体			
	高边坡			
	滑坡体			
电站				
管理与保障设施	应急预案			
	预警设施			
	备用电源			
	照明与应急照明设施			
	对外通信与应急通信设施			
	对外交通与应急交通工具			
其它				

B.0.3 混凝土坝安全现场检查报告格式可按下列要求进行：

- 1 日常检查报告内容应简单、扼要说明问题，必要时附上影像资料。
- 2 其它检查报告的内容中应包括：
 - 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) 检查环境条件及结果（包括文字记录、略图、影像资料）；
 - 5) 历次检查结果的对比、分析和判断；
 - 6) 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；
 - 1 0) 检查组成员的签名。

附录C 变形监测设施的设计、安装和观测

C.1 垂线的设计、安装和观测

C.1.1 正垂线设计

1 正垂线包括支点装置、固定夹线装置、活动夹线装置、垂线、观测平台、重锤、油桶等。

2 正垂线最上部悬挂点应设在坝顶附近。悬挂点应保证换线前后位置不变，并应考虑换线及调整方便。

3 重锤应设止动叶片。重锤重量一般按下式确定：

$$W > 20(1 + 0.02L) \quad (\text{C.1.1})$$

式中 W ——重锤重量，kg；

L ——测线长度，m。

4 测线宜采用强度较高的不锈钢丝或不锈钢瓦丝，其直径应保证极限拉力大于重锤重量的2倍。宜选用 $\phi 1.0\text{mm} \sim \phi 1.2\text{mm}$ 的钢丝，一般垂线直径不宜大于 $\phi 1.6\text{mm}$ 。

5 阻尼箱内径和高度应比重锤直径和高度大 $150\text{mm} \sim 200\text{mm}$ ，箱内灌装黏性小、不易蒸发、防锈（严寒地区应防冻）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，观测墩上应设置强制对中底盘，底盘对中误差不应大于 0.1mm ，观测站宜设防风保护箱或修建安全保护观测室。

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，最小有效管径应不小于 85mm 。

C.1.2 倒垂线设计

1 倒垂线包括浮体组、垂线、观测平台、锚固点等。

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 $5\text{mm} \sim 7\text{mm}$ 的无缝钢管或不锈钢管，内径不宜小于 100mm 。测线防风管内径也不宜小于 100mm 。

4 浮体组宜采用恒定浮力式。浮子的浮力一般按下式确定：

$$P > 250(1 + 0.01L) \quad (\text{C.1.2})$$

式中 P ——浮子浮力，N；

L ——测线长度，m。

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

6 观测站的要求和正垂线观测站相同。设置浮体组的观测站，应建造观测室。

7 当正、倒垂线结合布置，两者间距较大、不在同一观测墩上衔接时，应在两个观测墩上设置标志，用钢瓦尺量取两观测墩间距离的变化。

C.1.3 垂线安装

1 正垂线安装，支点、固定夹线和活动夹线装置，一般在竖井墙壁上留孔或预埋型钢。

2 倒垂线安装：

- 1) 垂线造孔的要求见附录C.13。
- 2) 采用固定锚块时，应用水泥浆或水泥砂浆将锚块浇固在钻孔保护管底。
- 3) 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；若采用其它类型浮子，则应调整到设计浮力。
- 3 正垂线、倒垂线观测墩制作时应使墩边线平行位移坐标轴线。
- 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。

C.1.4 垂线观测

- 1 垂线观测可用光学垂线坐标仪、遥测垂线坐标仪。
- 2 垂线观测前，必须检查该垂线是否处于自由状态；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观测，应从上而下，或从下而上，依次在尽量短的时间内完成。
- 4 用光学机械式仪器观测前后，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观测值的改正数。
- 5 每一测点的观测：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），读记观测值，构成一个测回。取两次读数的均值作为该测回之观测值。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。每测次应观测两测回（测回间应重新整置仪器），两测回观测值之差不得大于0.15mm。
- 6 自动化观测，首次观测前需进行灵敏度系数测定。

C.2 引张线的设计、安装和观测

C.2.1 设计

- 1 引张线的设备应包括端点装置、测点装置、测线及其保护管。
- 2 端点装置可采用一端固定、一端加力的办法，或采用两端加力的办法；当实施自动化监测时，也可采用两端固定的方法，但应确保测线的张力大于设计张力。
- 3 加力端装置包括定位卡、滑轮和重锤（或其它加力器），固定端装置仅有定位卡、固定栓。定位卡应保证换线前后位置不变。测线愈长引张线所需的拉力愈大。长度为200m~400m的引张线，一般采用40kg~60kg的重锤张拉。
- 4 有浮托的引张线的测点装置包括水箱、浮船、读数尺或仪器底盘、测点保护箱。无浮托的引张线则无水箱及浮船。浮船的体积通常为其承载重量与其自重之和的排水量的1.5倍。水箱的长、宽、高为浮船的1.5倍~2倍。读数尺长度应大于位移量变幅，一般不小于50mm。
- 5 测线钢丝直径的选择宜使其极限拉力为所受拉力的两倍，一般采用直径为0.8mm~1.2mm的不锈钢丝。

C.2.2 安装

- 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。对气温年变

幅较大的部位，测线张拉宜选择在气温适中的时间进行。

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游侧。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 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。保护管和测点保护箱应封闭防风。

8 金属材料应作防锈处理。

C.2.3 观测

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

2 人工观测

1) 一测次观测前，应检查、调整全线设备，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) 一测次应观测两测回（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，先调整仪器，分别照准钢丝两边边缘读数，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，两测回观测值之差不得超过0.15mm（当使用两用仪、两线仪或放大镜观测时，不得超过0.3mm）。

3 自动化遥测，首次观测前需进行灵敏度系数测定。

C.3 视准线的设计、安装和观测

C.3.1 设计

1 视准线应旁离障碍物1.0m以上。

2 工作基点应采用钢筋混凝土观测墩，并设观测室。

3 测点宜设观测墩，墩上应设置强制对中底盘，底盘对中准确度不应低于0.2mm。

4 觇标应高于地面1.2m以上。

5 各种混凝土观测墩的结构见附录C.12。

C.3.2 安装

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端点底盘中心的连线上，其偏差不得大于10mm。

C.3.3 观测

1 观测时，宜在两端工作基点上观测邻近的测点。

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，取均值作为该测回之观测值。观测限差规定见表C.3.3。

表C.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 (mm)	2.0	1.5
小角法 (")	4.0	3.0

3 当采用小角法观测时，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。

C.4 激光准直系统的设计、安装和观测

C.4.1 真空激光准直系统设计

1 真空激光准直系统分为激光准直系统和真空管道系统两部分。

2 激光准直系统设计

1) 激光准直（波带板激光准直）系统由激光点光源（发射点）、波带板及其支架（测点）和激光探测仪（接收端点）组成。

2) 激光点光源包括定位扩束小孔光栏、激光器和激光电源。小孔光栏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1.5~2倍。激光器应采用发散角小（ $1 \times 10^{-3} \text{rad} \sim 3 \times 10^{-3} \text{rad}$ ）、功率适宜（一般用1MW~3MW）的激光器。激光电源应和激光器相匹配。外接电源应尽量通过自动稳压器。

3) 测点宜设观测墩，将波带板支架固定在观测墩上。宜采用微电机带动波带板起落，由接收端操作控制。波带板宜采用圆形。当采用目测激光探测仪时，也可采用方形或条形波带板。

4) 激光探测仪有手动（目测）和自动探测两种，有条件时，应优先采用自动探测，激光探测仪的量程和准确度必须满足位移观测的要求。

3 真空管道系统设计：

1) 真空管道系统包括：真空管道、测点箱、软连接段、两端平晶密封段、真空泵及其配件。

2) 真空管道宜选用无缝钢管，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象点位移量的1.5倍，但不宜小于150mm。

3) 管道内的工作气压应控制在66Pa以下，管道内非工作时的保持气压应控制在20kPa以下，并按此要求确定允许漏气速率，漏气速率不宜大于20Pa/h。

4) 测点箱必须和坝体牢固结合，使之代表坝体位移。测点箱两侧应开孔，以便通过激光。同时应焊接带法兰的短管，与两侧的软连接段连接。测点箱顶部应有能开启的活门，以便安装或维护波带板及其配件。

5) 每一测点箱和两侧管道间必须设软连接段。软连接段一般采用金属波纹管，其内径应和管道内径一致，波数依据每个波的允许位移量和每段管道的长度、气温变化幅度等因素确定。

6) 两端平晶密封段必须具有足够的刚度，其长度应略大于高度，并应和端点观测墩牢固结合，保证在长期受力的情况下，其变形对测值的影响可忽略不计。

7) 真空泵应配有电磁阀门和真空仪表等附件。

8) 测点箱与支墩、管道与支墩的连接，应有可调装置，以便安装时将各部件调整到设计位置。

9) 管道系统所有的接头部位, 均应设计密封法兰。法兰上应有橡胶密封槽, 用真空橡胶密封。在有负温的地区, 宜选用中硬度真空橡胶并略加大橡胶圈的断面直径。

C.4.2 大气激光准直系统设计

- 1 大气激光准直系统的设计与真空激光准直系统中的激光准直系统相同。
- 2 为减轻大气对测量的影响, 可在激光准直线路上加装保护管。

C.4.3 真空激光准直设备的安装

- 1 真空管道轴线高程放样时, 应加地球弯曲差改正。改正值用下式计算:

$$\delta_h = \frac{L^2}{2R} \quad (\text{C.4.3})$$

式中 δ_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, 取 $6.37 \times 10^6 \text{m}$ 。

- 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、激光探测仪和波带板的安装要求详见 C.4.4。

C.4.4 大气激光准直设备的安装

- 1 点光源的小孔光栅和激光探测仪必须和端点观测墩牢固结合, 保证两者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。

C.4.5 真空激光准直观测

- 1 观测前应先启动真空泵抽气, 使管道内压力降到规定的真空度以下, 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”测得偏离值之差不得大于 0.3mm。

C.4.6 大气激光准直观测

- 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)。观测限差与附表 C.3.3 中“活动觇牌法”的限差相同。

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。

C.5 边角网的设计、安装和观测

C.5.1 设计

1 视线坡度不宜过大，并应超越或旁离建筑物2m以上。

2 测距边应避开强电磁场的干扰，视线与大于110kV的高压输电线平行时，应旁离30m以上；与高压线交叉时，不得在几条高压线之间穿过。

3 观测墩应设置可靠的保护盖。基准点宜设计观测室。室内观测墩可采用普通钢筋混凝土墩，经常暴露在野外的观测墩宜采用双层观测墩（见附录C.11）。

4 边角网的设计，应进行现场踏勘。在踏勘中核定点位条件，通视状况和观测环境是否满足本规范的要求。

5 准确度估算及可靠性评价可采用下列公式：

准确度估算的公式如下：

$$m_i = \sigma \sqrt{2(Q)_{ii}} \quad (\text{C.5.1-1})$$

可靠性因子的计算公式如下：

$$\gamma_j = 1 - (AQA^T P)_{jj} \quad (\text{C.5.1-2})$$

式中 m_i ——第*i*个位移量的中误差；

σ ——单位权中误差；

γ_j ——第*j*个观测量的可靠性因子；

Q ——边角网的协因数矩阵 [$Q=(A^T P A)^{-1}$]；

A ——观测方程的系数矩阵，又称设计矩阵；

A^T —— A 的转置矩阵；

P ——观测的权矩阵；

$(Q)_{ii}$ ——矩阵 Q 的第*i*个对角元素；

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

C.5.2 安装

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'。

C.5.3 水平角观测

1 水平角一般采用方向法观测12测回，也可用全组合测角法观测，其方向权数 $m \cdot n = 24 (25)$ 。应使用具有调平装置的觇牌作为照准目标。

2 全部测回应在两个异午的时间段内各完成约一半，在全阴天，可适当变通。

3 方向法观测的要求见C.5.4。

4 全组合测角法按照GB/T 17942有关的规定执行。

C.5.4 方向观测

1 水平方向观测度盘及测微器位置见表C.5.4-1。

2 水平方向观测一测回的操作程序：

1) 照准起始方向按表C.5.4-1，对好度盘及测微器位置。

2) 顺时针方向旋转照准部1周~2周后，精确照准起始方向觇标，读出水平度盘及测微器数值（重合对径分划二次）。

3) 顺时针方向旋转照准部，精确照准第2个方向的觇标，按2)项的要求读数；顺时针方向旋转照准部依次进行其它各方向的观测，最后闭合到起始方向（方向数小于4者，不闭合到起始方向）。

表C.5.4-1 水平方向观测度盘及测微器位置

测回序号	度盘及测微器位置		
	(°)	(')	格
1	0	00	02
2	15	04	07
3	30	08	12
4	45	12	17
5	60	16	22
6	75	20	27
7	90	24	32
8	105	28	37
9	120	32	42
10	135	36	47
11	150	40	52
12	165	44	57

4) 纵转望远镜，逆时针方向旋转照准部1周~2周后，精确照准零方向，按2)项的要求读数。

5) 逆时针方向旋转照准部，按与上半测回相反的顺序依次观测各方向，直至起始方向。

3 水平方向观测的限差见表C.5.4-2。

4 分组观测的规定：当方向总数多于9个时，应分两组进行观测。两组方向数应大致相等，并须包括两个共同方向（其中一个为共同起始方向）。两组观测结果分别取中数后，共同方向之间的角值互差应不超过1.4"。分组观测的结果，应按等权分组观测进行测站平差。

表C.5.4-2 水平方向观测的限差

序号	项目	限差
1	光学测微器两次重合读数之差（"）	1
2	半测回归零差（"）	5
3	一测回内2c互差（"）	9
4	测回差（"）	5
5	三角形闭合差（"）	2.5
6	按菲列罗公式计算的测角中误差（"）	0.7
7	极条件闭合差	$1.4\sqrt{[\delta\delta]}$
8	边条件闭合差	$2\sqrt{0.49[\delta\delta] + m_{1gs1}^2 + m_{1gs2}^2}$

注1: 观测方向之垂直角超过±3°时，该方向2c互差可在同一时间段内各测回间进行比较，但应在手簿内注明。
注2: δ——求距角正弦对数1"表差，以对数第六位为单位；m_{1gs1}、m_{1gs2}——起始边长对数中误差。

5 水平方向观测注意事项

- 1) 观测时宜用灯光照明进行度盘及测微器读数。
- 2) 观测前, 应先精细调平水准气泡。在观测过程中, 气泡中心位置偏离整置中心不得超过一格。气泡位置接近限值时, 应在测回之间重新整平仪器。
- 3) 在使用微动螺旋照准目标或用测微器对准分划时, 其最后旋转方向应为“旋进”。
- 4) 方向的垂直角超过 $\pm 2^\circ$ 时, 须读记水准器, 进行垂直轴倾斜改正。

6 垂直轴倾斜改正数的测量和计算见GB/T 17942。

7 方向观测成果的重测和取舍

1) 凡超出本规范规定限差的结果, 均应重测。基本测回的“重测方向测回数”超过“方向测回总数”的 $1/3$ 时, 应将整份成果重测。

注1: 因超限而重测者, 称为“重测”。因度、分及气泡长度读、记错误, 以及对错度盘、测错方向而重新观测者, 不以“重测”论。

注2: “方向测回总数” = $(n-1) \times 12$, 式中: n —— 方向数。

注3: “重测方向测回数”: 在基本测回观测结果中, 重测1个方向, 算作1个“方向测回”; 一测回中有2个方向重测, 算作2个“方向测回”, 以此类推。因零方向超限而将该测回重测, 应算作 $(n-1)$ 个“方向测回”。

2) 在一测回中, 需要重测的方向数超过所测方向总数的 $1/3$ 时, 则此一测回应全部重测。观测三个方向, 有一个方向需要重测时该测回亦应全部重测。但计算重测方向测回数时, 仍按超限方向数计算。

3) 采用分组观测时, 各组的重测方向测回数须独立计算。

4) 测回互差超限时, 除明显孤立值可重测该测回外, 原则上应重测最大和最小值所在的测回。

5) 个别方向重测时, 只需联测零方向。

6) 基本测回的观测结果和重测结果, 均须抄入记录簿。重测与基本测回结果不取中数, 每一测回(即每一度盘位置)只采用一个符合限差的结果。

7) 因三角形闭合差、极条件闭合差或边条件闭合差超限而重测时应将整份成果重测。

C.6 交会点的设计、安装和观测

C.6.1 设计

1 测角交会

1) 在交会点上所张的角不宜大于 120° 或小于 60° 。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

1) 交会点上所张的角不宜大于 135° , 或小于 45° 。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。

C. 6.2 安装

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。

C. 6.3 观测

1 水平角观测应采用方向法观测4测回（晴天应在上、下午各观测两测回）。各测回均采用同一度盘位置，测微器位置宜适当改变。

2 每一方向均须采用“双照准法”观测，即照准目标两次，读测微器两次，两次照准目标读数之差不得大于4"。

3 各测次均应采用同样的起始方向和测微器位置。

4 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。

C. 7 测斜管的安装和测斜仪观测

C. 7.1 测斜孔造孔

1 测斜管钻孔偏斜应小于 1° 。

2 钻孔开口直径不小于110mm，终孔直径不小于91mm。

3 钻孔宜取岩芯，并进行岩芯描述。

4 孔壁要求平整光滑。

5 钻孔完毕后应全面冲洗，除净孔内残留岩粉，测定钻孔偏斜度。

C. 7.2 测斜管安装

1 测斜管可采用带导槽的铝合金管、ABS管或其它材质管。

2 相邻两根管需紧密连接，连接时应使导槽严格对正，不得偏扭。管接头处用生胶带密封防止水泥浆进入。

3 测斜管下放孔内时，需用绳束套牢，严禁导管接头受力。

4 测斜管安装时，导槽槽口应对准所需测位移的方向。

5 测斜管吊装到位后，在导管与孔壁间隙需进行回填灌浆，孔口需设保护装置。

C. 7.3 观测

1用测斜仪探头从放入管底，静置时间不少于15min，使之温度基本稳定，然后管底自下而上，一般每隔50cm一个测点，逐次测定，平行测读两次，正测完毕后，需进行反测。

2 正反测两次测值的平均值作为常数进行计算。

3 将探头放入另一对导槽中，重复上述步骤进行观测。

C. 8 滑动测微计的安装和观测

C. 8.1 造孔

1 在设定的孔位及方向上钻 $\phi 110\text{mm}$ 的孔。

2 钻孔宜取岩芯，并进行岩芯描述。

3 孔壁要求平整光滑，并冲洗干净。

C. 8.2 安装

1 将环形标与套管按刻线方向用环氧树脂对接成1m一段，逐段对接，旋紧定位螺栓，送入钻孔内，两头用塑料碗盖住，套管外部注入水泥浆。

2 灌浆施工要求与多点位移计相同。

C. 8.3 观测

套管及环形标安装定位后，用滑动测微计逐段读取环形标的初始读数作为基准值。

C. 9 多点位移计的安装和观测

C. 9.1 造孔

1 造孔直径根据测头的数量决定，一般为75mm~130mm。

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

3 造孔完毕应全面冲洗。

C. 9.2 安装

仪器主要由传感器、传递杆、锚头、护管、支架、排气管及注浆管组成，按设计要求组装，送入钻孔中，四周用堵料固定，并用水泥浆注入，待水泥浆初凝后，即拆下注浆管，剪去外露的排气管，装上传感器。

C. 9.3 观测

观测仪器组装完毕后，即读取初读数作为基准值。

C. 10 垂直位移和倾斜的观测

C. 10.1 精密水准测量

1 在水准测量中，应尽量设置固定测站和固定转点，以提高观测的准确度和速度。

2 精密水准观测的要求应按GB12897中的规定执行。

3 精密水准路线闭合差不得超过表C.10.1的规定。

表C.10.1 精密水准路线闭合差限值

单位：mm

等级	往返测不符值	符合线路闭合差	环闭合差
一等	$2\sqrt{R}$		$1\sqrt{F}$
	$0.3\sqrt{n_1}$	$0.2\sqrt{n_2}$	$0.2\sqrt{n_2}$
二等	$4\sqrt{R}$	$4\sqrt{F}$	$2\sqrt{F}$
	$0.6\sqrt{n_1}$	$0.6\sqrt{n_2}$	$0.6\sqrt{n_2}$

注：R——测段长度，km；
 F——环线长度或符合线路长度，km；
 n_1 ——测段站数（单程）；
 n_2 ——环线长度或符合线路站数。

4 用精密水准法进行倾斜观测，应满足表C.10.1关于一等水准限差规定。观测时，必须保证标心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。

C. 10.2 三角高程测量

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 天顶距应以J1型经纬仪对向观测6测回（宜做到同时对向观测），测回差不得大于6"。

3 仪器高的量测中误差不得大于0.1mm。

C. 10.3 气泡倾斜仪观测

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三次，并分别读数。读数互差不得大于5"。

C. 11 静力水准仪的安装和观测

C. 11.1 安装

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。

4 连接管路。

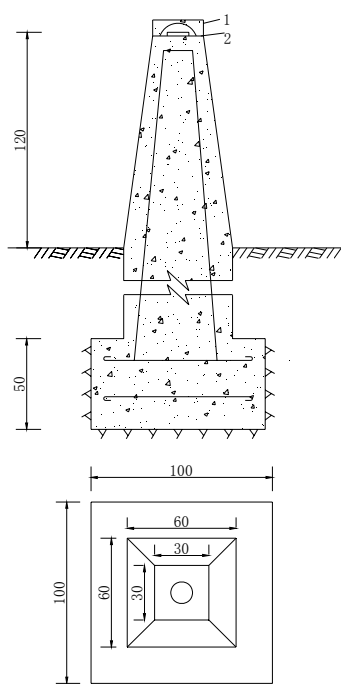
C. 11.2 观测

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。

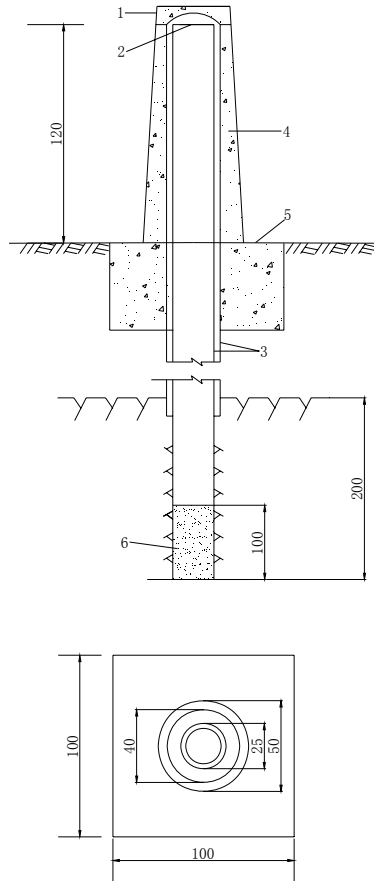
C. 12 各种标石结构图

C. 12.1 边角网及视准线观测墩结构，如图C.12.0-1、图C.12.0-2所示；水准点结构，如图C.12.0-3~图C.12.0-6所示。



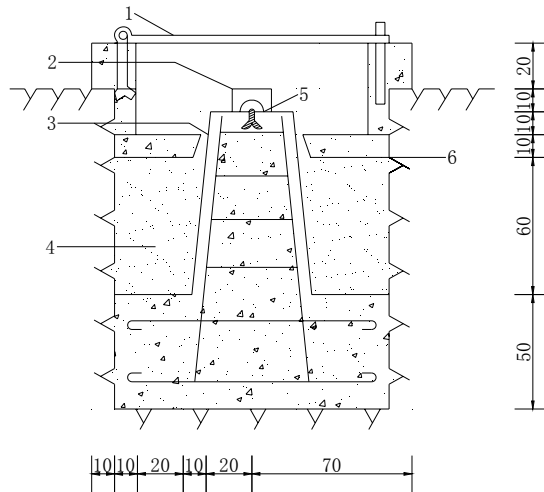
1— 标盖；2— 仪器基座

图C.12.0-1 普通钢筋混凝土观测墩（单位：cm）



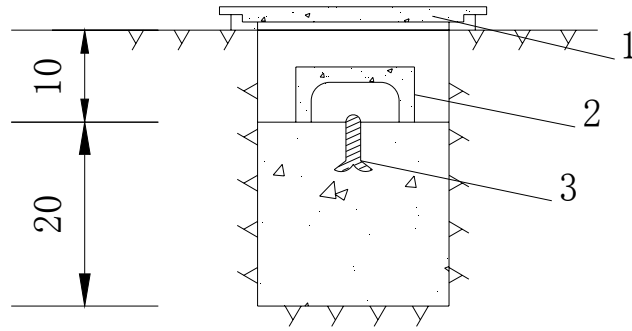
1—标盖；2—仪器基座；3—钢管；4—混凝土围井；5—围井垫座；6—水泥砂浆

图C.12.0-2 双层观测测墩（单位：cm）

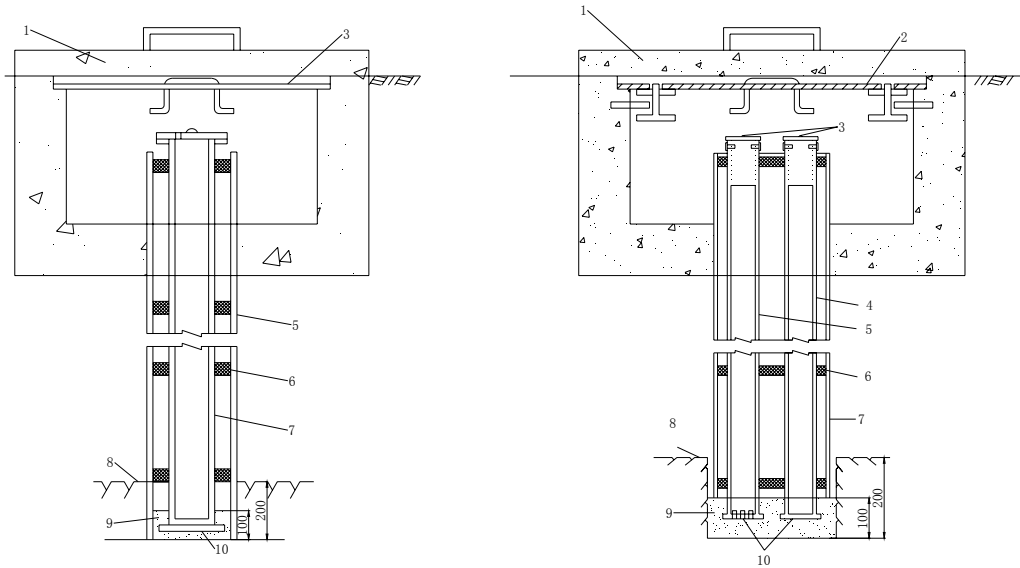


图C.12.0-3 基岩标结构图（单位：cm）

1—20×115钢板盖；2—20×20×10混凝土盖；3—沥青；4—沙；5—钢标心；6—岩石



1—保护盖；2—内盖；3—标志
图C.12.0-4 岩石标结构图（单位：cm）



1—钢筋混凝土标盖；2—测温孔；
3—钢板标盖；4—标心；
5—钻孔保护钢管；6—橡胶环；
7—钢管；8—新鲜基岩；
9—200[#]水泥砂浆；
10—心管底板和根络

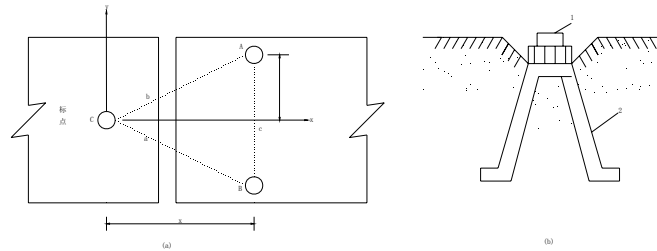
图C.12.0-5 钢管标结构图
（单位：cm）

1—钢筋混凝土标盖；2—钢板标盖；
3—标心；4—钢管；5—铝心管；
6—橡胶环；7—钻孔保护管；
8—新鲜基岩；9—200[#]水泥砂浆；
10—心管底板和根络

图C.12.0-6 双金属标结构图
（单位：cm）

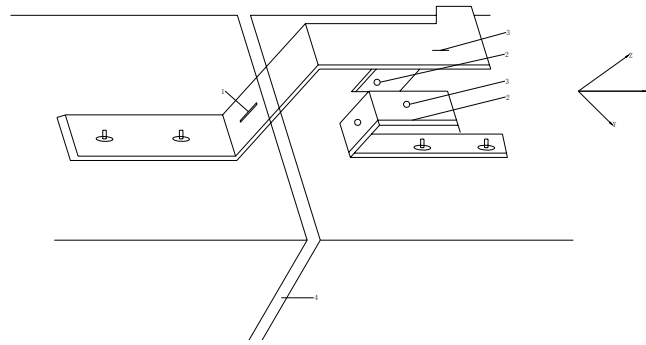
C.13 测缝标点结构图

C13.1 平面三点式和立面弯板式测缝标点结构，分别如图C.13.0-1、图C.13.0-2所示。



(a) 平面图；(b) 标点剖面
1——卡尺测针卡着的小坑；2——钢筋

图C. 13. 0-1 平面三点式测缝标点结构图



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

图C. 13. 0-2 立面弯板式测缝标点结构图

C. 14 倒垂造孔

C. 14. 1 钻孔

1 倒垂钻孔时，应选择性能好的钻机，钻机滑轨（或转盘）应水平，立轴应竖直。钻杆和钻具必须严格保持平直。

2 一般宜在钻孔处用混凝土浇筑钻机底盘，预埋紧固螺栓。严格调平钻机滑轨（或转盘），其倾斜应小于0.1%，然后将钻机紧固在混凝土底座上。

3 孔口处宜埋设长度大于3m的导向管。导向管必须调整垂直（倾斜度小于0.1%），并用混凝土加以固结。

4 钻具应尽量加长，深度大于25m的钻孔，钻具长应大于8m~10m，钻具上部宜装设导向环。导向环外径可略小于导向管内径2mm~4mm。

5 钻进时，宜采用低转速、小压力、小水量。一次投砂量不宜过大。

6 必须经常检测钻孔偏斜值，一般每钻进1m~2m即应检测一次。此项检测，一般采用倒垂浮体组配合弹性置中器进行。

7 发现孔斜超限，应及时采取相应措施加以纠正。

C. 14. 2 保护管埋设

1 全面冲洗钻孔，除净孔内残留岩粉。

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，以便用水泥浆固结锚块。各段钢管接头处，应精细加工，保证连结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 再次测定保护管的偏斜值，以便确定倒锤锚块的埋设位置。

附录D 渗流监测设施及水质分析项目

D.1 水质分析

D.1.1 水质简易分析项目包括色度、水温、气味、浑浊度、 pH 值、游离二氧化碳、矿化度、总碱度、硫酸根、重碳酸根及钙、镁、钠、钾、氯等离子。

D.1.2 水质全分析项目

1 水的物理性质，包括水温、气味、浑浊度、色度。

2 酸碱度，主要是 pH 值测定。

3 溶解性气体，主要包括游离二氧化碳（ CO_2 ）、侵蚀性二氧化碳（ CO_2 ）、硫化氢（ H_2S ）、溶解氧（ O_2 ）等。

4 耗氧量。

5 生物原生质，包括亚硝酸根（ NO_2^- ）、硝酸根（ NO_3^- ）、磷（ P ）、高铁离子（ Fe^{3+} ）、亚铁离子（ Fe^{2+} ）、铵离子（ NH_4^+ ）、硅（ Si ）等。

6 总碱度、总硬度及主要离子，包括碳酸根（ CO_3^{2-} ）、重碳酸根（ HCO_3^- ）、钙离子（ Ca^{2+} ）、镁离子（ Mg^{2+} ）、氯离子（ Cl^- ）、硫酸根（ SO_4^{2-} ）、钾钠离子总量（ $K^+ + Na^+$ ）等。

7 矿化度。

D.2 测压管的制作及埋设安装方法

D.2.1 测压管的制作

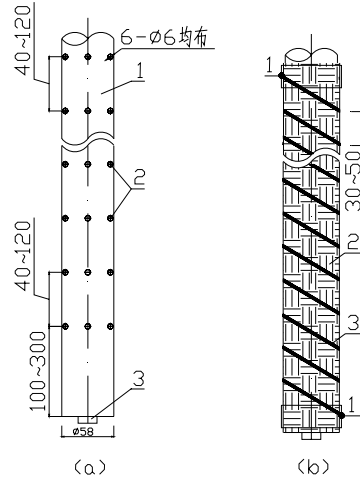
测压管可选用双面热镀锌无缝钢管或硬工程塑料管，有条件的也可选用无缝钢管。测压管内径一般为50mm，壁厚不小于3.5mm。测压管进水管段长度根据监测目的和设计确定。用于建基面上的渗透压力监测以及其它点式孔隙水压力监测的测压管，进水管段长度一般为0.5m左右；用于绕坝渗流、地下水位监测的测压管，进水管段长与可能的渗水层层厚相当；而用于地质条件复杂的层状渗流监测的测压管，进水管段应准确埋入被监测层位，进水管段长与软弱带层厚相当。

进水孔沿管周均布4排~8排，孔径 $\phi 4\sim\phi 6$ ，沿轴向可交错排列。沿轴向孔间距为50mm~120mm，进水管段较短时则孔较密，进水管段较长时则孔较疏。管壁内的钻孔孔周毛刺应去除。如管为钢质材料，进水管段及接（端）头应进行防腐防锈处理。

进水管段过滤层采用厚度2mm~3mm的无纺土工布或厚度2mm~3mm的孔隙小于100 μm 的涤纶过滤布，纵向紧密包裹不少于2层，其长度应比进水孔段两端各长100mm以上，用 $\phi 1$ 的铜丝（或高性能聚乙烯（钓鱼）线、或 $\phi 1$ 不锈钢丝绳），沿布表缠绕，节距10mm~20mm，两端可靠扎结。

测压管底盖采用适配闷头，导管连接采用导向性好的外接头，螺纹间以聚四氟乙烯密封止水。

测压管进水管段结构示意图见图D.2.1。



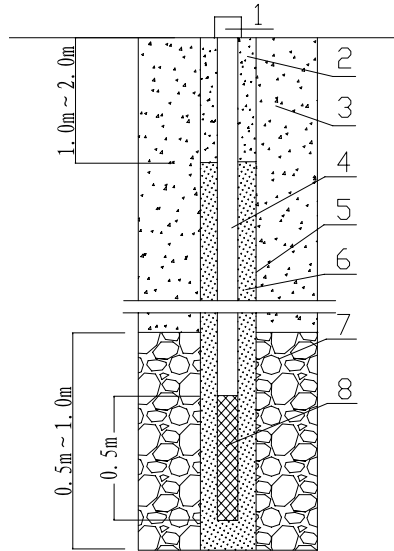
(a) 进水管管体结构示意图 (b) 进水管过滤层示意图

- | | |
|----------|--------------|
| 1—金属或塑管； | 1—箍带式卡箍； |
| 2—进水孔； | 2—土工布或涤纶过滤布； |
| 3—闷头。 | 3—不锈钢钢丝绳或铜丝。 |

图D.2.1 测压管进水管段结构示意图

D.2.2 坝底基岩面下的测压管埋设安装方法

- 1 测压管应在坝基帷幕灌浆后埋设安装，一般在基础廊道内采用钻孔安装。
- 2 按设计要求确定钻孔孔位，开孔直径宜为90mm；钻孔应伸入建基面以下0.5m~1.0m；钻孔倾斜度应小于1/100；终孔后用泵供清水清孔至孔内岩粉冲出钻孔为止。
- 3 测压管进水管段长度宜为0.5m。测压管就位后，管与孔壁间回填中粗砂至基础廊道地面以下1.0m~2.0m，上余孔段回填水泥砂浆后，安装孔口装置（图D.2.2）。
- 4 应及时填写测压管埋设安装考证表。



- | | | | |
|---------|---------|---------|--------|
| 1—管口装置； | 2—水泥砂浆； | 3—混凝土体； | 4—测压管； |
| 5—钻孔； | 6—砂砾； | 7—基岩体； | 8—进水管 |

图D.2.2 基础廊道基岩测压管钻孔安装埋设示意图

D.2.3 深孔单管式测压管

- 1 在设计定位处钻孔，孔径不小110mm，孔深以达到设计监测层位为准，钻孔倾斜

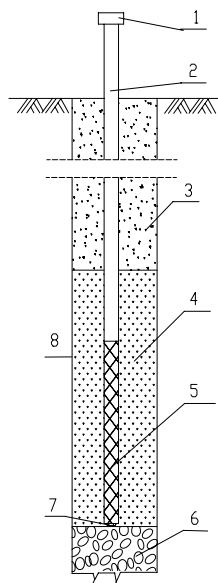
度应小于1/100。

2 终孔后用泵供清水清孔至孔内岩粉冲出钻孔为止，（可能的话）将孔中剩水泵出，按孔深和设计的进水管段长度制备测压管。

3 实测孔深和孔口高程，并在测深器具的控制下，在孔底回填20cm~30cm的粒径小于5mm的砾石。

4 按序装配或将预先装配好的测压管顺入钻孔中，并置于孔中心，缓慢向钻孔中填入粒径为2mm~3mm的粗砂，砂层厚度控制在比进水管段长约20cm，测量确认后，向孔内注入能够淹没砂层的适量的清水，再向孔内缓慢注入水泥砂浆，直至填满为止（图D.2.3）。

5 测压管安装时，应及时填写测压管埋设安装考证表。



1-管口盖；2-测压管导管段；3-水泥砂浆；4-净粗砂；
5-测压管进水管段；6-砾石；7-测压管底盖；8-钻孔

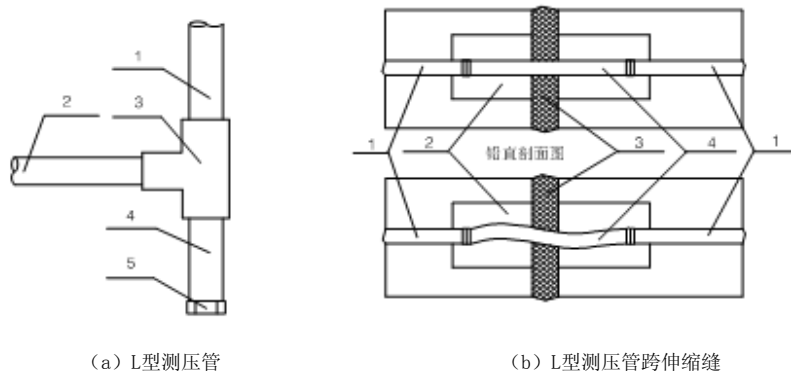
图D.2.3 深孔单管式测压管安装埋设示意图

D.2.4 “L”型测压管

1 “L”型测压管适用于铅直导管不能直通建筑物表面（含内部表面和外部表面）的情况。

2 “L”型测压管水平导管段应低于可能产生的最低扬压力水位高程，其与铅直的导管连接处宜采用三通连接，其铅直向下的一端作为沉淀管段，长约0.5m左右，如图D.2.4（a）所示。

3 当“L”型测压管的水平管段穿过伸缩缝时，在伸缩缝部位应采用适当长度的能够适应缝间错动、开合的波纹管段或铅管段，如图D.2.4（b）所示。



(a) L型测压管
 1-铅直导管；2-水平导管；3-三通；
 4-沉淀管；5-底盖（闷头）

(b) L型测压管跨伸缩缝
 1-水平导管；2-泡沫软塑料填充物；3-伸缩缝；
 4-铅管接头或波纹管接头

图D.2.4 “L”型测压管安装埋设示意图

D.2.5 深孔多管式测压管

1 在设计定位处钻孔，孔深以达到设计监测层位为准，钻孔倾斜度应小于1/100。钻孔直径依据测压管根数确定，两根测压管时，开孔直径宜为130mm；三根测压管时，开孔直径宜为150mm。

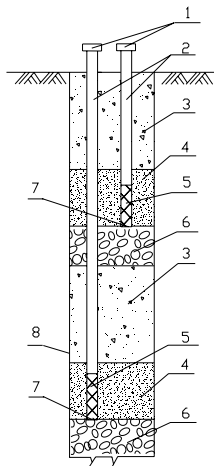
2 终孔后用泵供清水清孔至孔内岩粉冲出钻孔为止，（可能的话）将孔中剩水泵出，按设计的监测层位和进水管段长度制备各测压管。

3 实测孔深和孔口高程，并在测深器具的控制下，在孔底回填20cm~30cm的粒径小于5mm的砾石。

4 按序装配或将预先装配好的第一根测压管顺入钻孔中，根据测压管数量确定其在钻孔中位置，缓慢向钻孔中填入粒径为2mm~3mm的粗砂，砂层厚度控制在比进水管段长约20cm，测量确认后，向孔内注入能够淹没砂层的适量的清水，再向孔内缓慢注入水泥砂浆至下一根测压管安装高程以下约20cm。

5 安装下一根测压管，重复3和4条操作，直至最后一根测压管（图D.2.5）。

6 测压管安装时，应及时填写测压管埋设安装考证表。

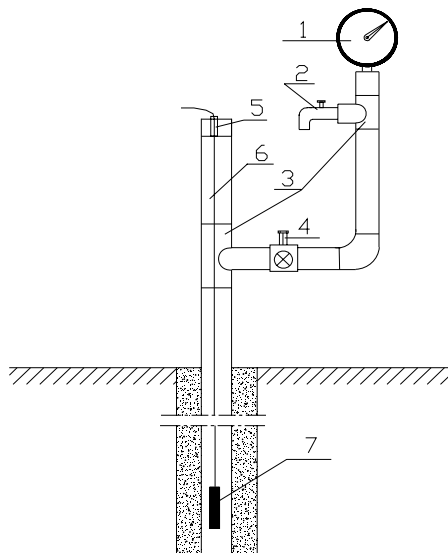


1-管口盖；2-测压管导管段；3-砂浆；4-净粗砂；5-测压管进水管段；6-砾石；7-测压管底盖；8-钻孔

图D.2.5 深孔多管式测压管安装埋设示意图

D.2.6 测压管管口装置及保护装置

测压管管口装置依据有压、无压特性以及人工观测、自动化观测方式确定，以可靠和操作简便为原则。有压测压管管口装置见图D.2.6；无压测压管管口保护装置结构应简单、牢固，能防止客水流入及人蓄破坏，并可锁闭以及便于开启。



1-压力表；2-水龙头；3-三通；4-阀门；5-渗压计电缆密封头；6-电缆；7-渗压计

图D.2.6 测压管管口装置示意图

D.3 渗压计埋设安装方法

D.3.1 渗压计安装埋设前的准备工作

1 备好足够的干净中粗砂、粒径小于5mm的砾石、回填材料及其它埋设辅材和专用工具等。

2 对渗压计及其电缆进行外观检查，并用适配仪表检测其有关参数，应满足安装要求。当渗压计自带电缆长小于孔深需接长电缆时，宜提前在室内接线，具体要求见附录F。

3 安装前先将渗压计透水石（滤头）取下，渗压计和透水石同置于饱和清水中浸泡2h以上；透水石（滤头）的安装应在饱和水中进行，并将渗压计留置饱和水中待用。

D.3.2 渗压计安装埋设的技术要求

1 钻孔埋设的渗压计，渗压计埋设高程的允许偏差为±5cm；坑、洞、平孔式埋设的，渗压计埋设高程允许偏差为±10cm。

2 渗压计的起始值应在安装现场确定。

3 渗压计埋设过程中，应及时填写埋设考证表。

D.3.3 深孔渗压计安装埋设方法

1 在设计定位处钻孔，孔深以达到设计监测层位为准，钻孔倾斜度应小于1/100。开孔直径宜为110mm，终孔直径不小于90mm。

2 终孔后用泵供清水清孔至孔内岩粉冲出钻孔为止，并尽可能将孔中剩水泵出。

3 实测孔深和孔口高程，并在测深器具的控制下，在孔底回填20cm的粒径为2mm~3mm的干净中粗砂。

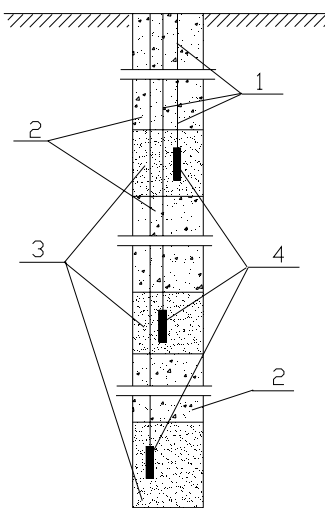
4 实测粗砂顶面高程后，提出测深器具。自渗压计透水石端起测，按孔深在电缆端做好长度标记。在水中将渗压计装上透水石，然后小心地提出水面，移入孔内，匀速缓慢下放。确认渗压计就位后，轻提电缆使之顺直但渗压计不致离开砂面，缓慢向钻孔中填入干净中粗砂，用于点压力监测的，砂层厚度约50cm；监测岩层压力的，依被测岩层集水层厚度确定。测量确认后，向孔内注入能够淹没砂层的适量的清水，再向孔内缓慢注入水泥砂浆至下一只渗压计安装高程以下约30cm。孔内安装一只渗压计者，水泥砂浆回填至孔口。

5 沿孔壁四周加适量的清水（如20L）冲洗孔壁砂浆，再采用配重锤吊装海绵等方式，将孔内砂浆顶面以上的水反复吸取去除，1h后（水泥砂浆初凝后），重复3和4条操作，即向孔内回填干净中粗砂至下一渗压计设计高程以下约30cm，安装下一只渗压计。依此类推（图D.3.3）。

当孔深较深，如超过30m时，渗压计可加装配重，或外束柱状砂袋，配重或砂袋外径应较钻孔直径小3cm左右，袋材以耐腐的编织材料或无纺土工布为宜，也可采用细铜丝网。

当孔深过大，渗压计、电缆、配重或砂袋总重超过普通电缆强度时，可订制带加强钢绞线的电缆，或在配重块、砂袋上固定足够强度的铅丝，电缆与铅丝分段捆扎，仪器安装时提拉铅丝放入钻孔中。

6 渗压计安装时，应及时填写渗压计埋设安装考证表。



1-渗压计电缆；2-水泥砂浆；3-干净粗砂；4-渗压计

图D.3.3 深孔渗压计埋设安装示意图

D.3.4 混凝土浇筑层面埋设安装渗压计

1 在设计定位处预留，或待混凝土初凝后终凝前人工制备一方圆约30cm、深约30cm的浅坑或孔。

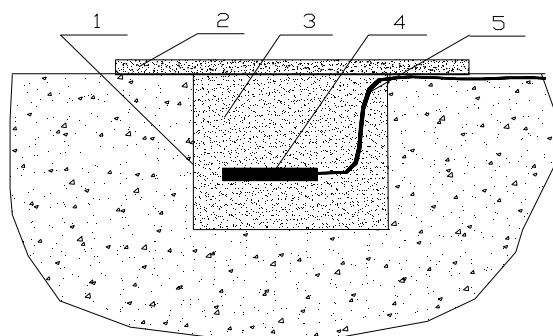
2 在孔或坑底铺一层约10cm的干净中粗砂后，将渗压计透水石（滤头）朝向上游或来水方向平卧，轻轻压入砂层至约半径处，使之水平；撒少许清水湿砂，使砂和渗压计较稳固；实测渗压计承压膜处上圆周边高程，扣除渗压计半径值作为其安装高程；或将渗压计透水石向下铅直安设，渗压计顶平面高程扣除其至承压膜的长度值即为渗压计安装高程。

3 读取初（起）始值后向孔或坑内回填中细净砂至与孔口或坑口平齐。

4 在孔口或坑口平面向电缆走线方向制备一略大于电缆直径的长约50cm的“S”型细沟槽，电缆沿沟槽嵌入后，在孔口或坑口周围以及电缆沟槽上铺设一层约1cm的水泥砂浆，并将预制混凝土盖板盖于孔、坑口，旋压使之与砂浆紧密接触后，再浇筑下一序混凝土（图D.3.4）。

如电缆由预制盖板预留孔穿出，出线处应加防水保护；必要时电缆出线处可设橡胶截水环。

5 渗压计安装时，应及时填写渗压计埋设安装考证表。



1-预留孔或制备坑；2-混凝土盖板；3-干净中细砂；4-渗压计；5-电缆

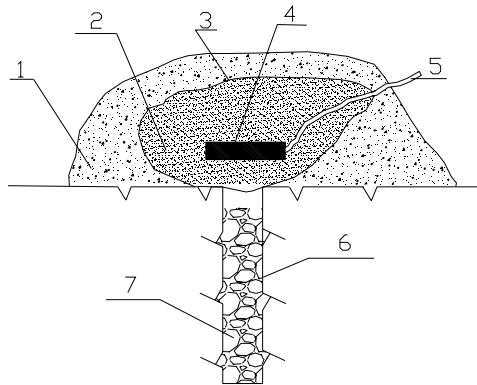
图D.3.4 混凝土浇筑层面渗压计埋设安装示意图

D.3.5 在基岩面上埋设安装渗压计

1 在设计位置钻孔，钻孔直径50mm~90mm，钻孔深度约1.0m。钻孔完成后，在孔内回填粒径5mm~10mm的砾石至与孔口平。

2 渗压计装入砂袋，电缆引出袋口扎紧后，将砂袋平放在集水孔口，根据渗压计在砂袋中的位置测算其安装高程；之后用砂浆糊住砂袋，待砂浆初凝后，即可在砂袋上浇筑混凝土（图D.3.5）。

3 渗压计安装时，应及时填写渗压计埋设安装考证表。



1-水泥砂浆；2-中粗净砂；3-麻袋；4-渗压计；5-电缆；6-钻孔；7-砂砾

图D.3.5 基岩面上渗压计埋设安装示意图

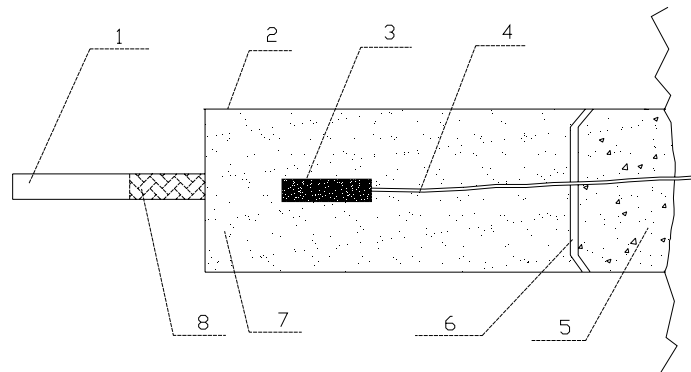
D.3.6 水平浅孔内埋设安装渗压计

1 在设计位置钻一个深50cm、方圆15cm~20cm的水平浅孔，如未见透水裂隙，可在孔底套钻一个直径30mm的水平小孔，其深度依工程实际需要确定。

2 在水平小孔孔口塞入约10cm的土工布卷或泡沫软塑料，在大孔内填中细净砂至半孔后，将渗压计移入孔中安设就位，再采用直径约30mm的活塞式筒状加砂器将大孔填实。以实测的大孔中心高程作为渗压计安装高程。

3 读取初（起）始值后将预制的孔口盖板嵌入大孔孔口处，板外采用水泥砂浆封堵，待砂浆凝固后即可填筑混凝土（图D.3.6）。

4 渗压计安装时，应及时填写渗压计埋设安装考证表。



1-引水孔；2-渗压计安装孔；3-渗压计；4-电缆；

5-水泥砂浆；6-盖板；7-中细净砂；8-过滤织物

图D.3.6 水平浅孔内渗压计埋设安装示意图

D.3.7 渗压计电缆敷设及其保护应符合附录F.0.10的规定。

D.4 量水堰结构及安装埋设

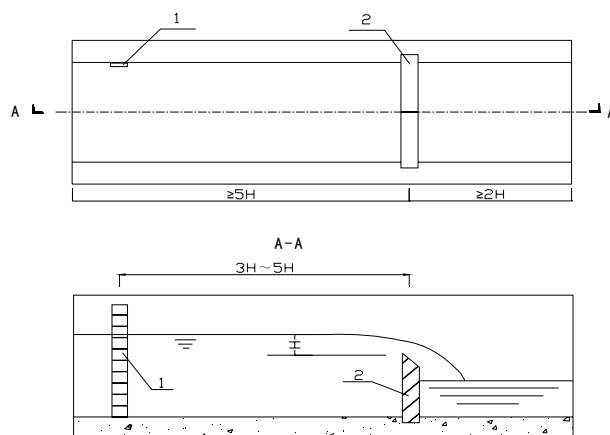
D.4.1 量水堰排水沟堰槽段应为直线型，其横断面应为矩形。堰槽段长度应大于堰上最大水头7倍，且其总长不小于2m，其中堰板上游长度不小于1.5m，下游长度不小于0.5m。堰槽侧墙与槽底要求如下：两侧侧墙应平行，平行度误差不大于1°；侧墙铅直度误差不大于

1°；侧墙前面不平整度误差不大于3mm，直线度误差不大于5mm；侧墙面与堰槽底面的垂直度误差不大于2°；槽底面沿槽纵向坡降不大于1%，见图D.4.1。

D.4.2 堰板应铅直，铅直度误差不大于1°，同时，堰板应与堰槽侧墙垂直，垂直度不大于2°。堰板过流堰口倒角为45°，尖角宜为R0.5~R1.0圆角，堰口高的一面为上游侧。堰板宜用不锈钢板制作。

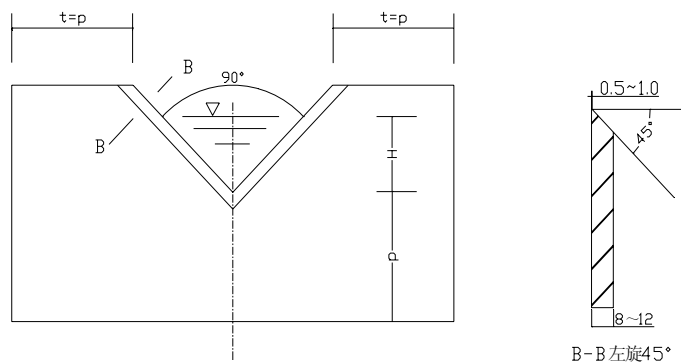
D.4.3 渗流量监测一般采用直角三角堰，其堰口为直角等腰三角形，见图D.4.3。量水堰还包括梯形堰和矩形堰。安装时应严格控制堰板顶水平，两侧水平高差不大于1mm。

D.4.4 测量堰上水头的水尺、水位测针或堰上水位计应安装于堰板上游3倍~5倍堰上水头处，尺、针等测读装置应保持铅直方向。



1-水尺或安装水位测针、水位计位置；2-堰板

图D. 4. 1 量水堰结构及安装示意图



图D. 4. 3 直角三角形量水堰板结构图

附录E 应力、应变及温度监测仪器埋设

E.1 应变计

E.1.1 单向应变计

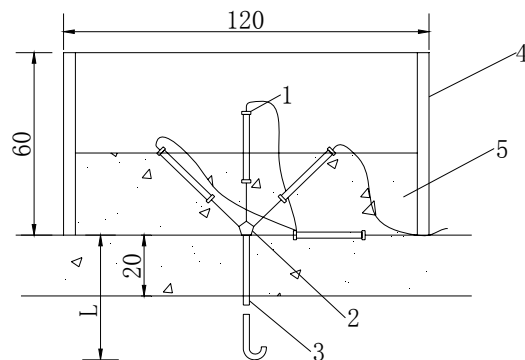
- 1 可在混凝土振捣后，及时在埋设部位造孔埋设；
- 2 埋设仪器的角度误差应不超过 1° ，位置误差应不超过2cm。

E.1.2 两向应变计

- 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。

E.1.3 应变计组

- 1 应变计组应固定在支座及支杆上埋设，见图E.1.3；
- 2 支杆伸缩量应大于0.5mm，支座定向孔应能固定支杆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，宜设置无底保护木箱，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，角度误差应不超过 $\pm 1^\circ$ 。

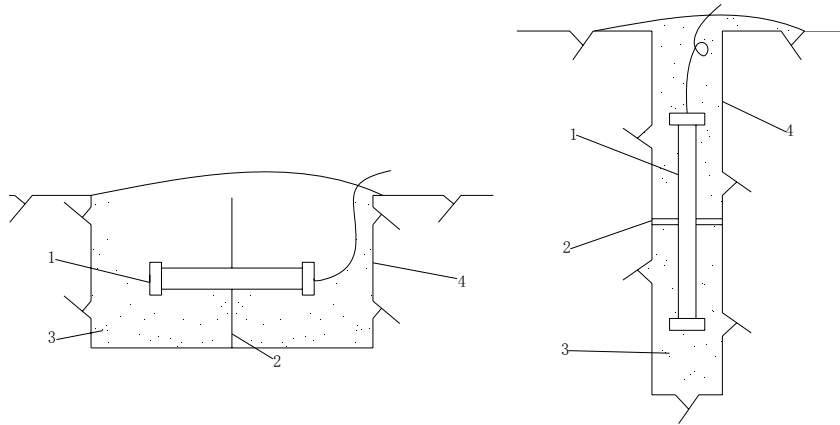


1-应变计；2-支座（支杆）；3-预埋锚杆；4-保护箱；5-混凝土

图E.1.3 应变计组埋设示意图（单位：cm）

E.1.4 基岩应变计

- 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E.1.4；
- 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 $\pm 1^\circ$ 。



(a) 坑埋式

(b) 钻孔式

1-基岩应变计；2-隔层；3-水泥砂浆；4-岩石

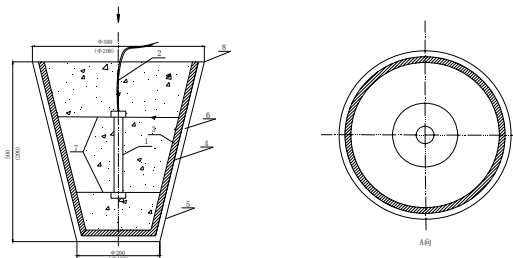
图E.1.4 基岩应变计埋设示意图

E.1.5 无应力计

1 无应力计筒一般应按图E.1.5加工，图中无括号的标注尺寸适用于仪器标距为25cm的大应变计，有括号的标注尺寸适用于仪器标距为10cm的小应变计，特高坝等特殊情况下其尺寸应当另外考虑；

2 埋设时，在无应力计筒内填满相应应变计组附近的混凝土，人工振捣密实；

3 无应力计埋设在坝内部时，应将无应力计筒的大口向上。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。



1-应变计；2-电缆；3-沥青层(厚5mm)；4-内筒(壁厚0.5mm)

5-外筒(壁厚1.2mm)；6-空隙(可填木屑或橡胶)；7-16号铅丝拉线；8-周边焊接

图E.1.5 无应力计套筒(单位: mm)

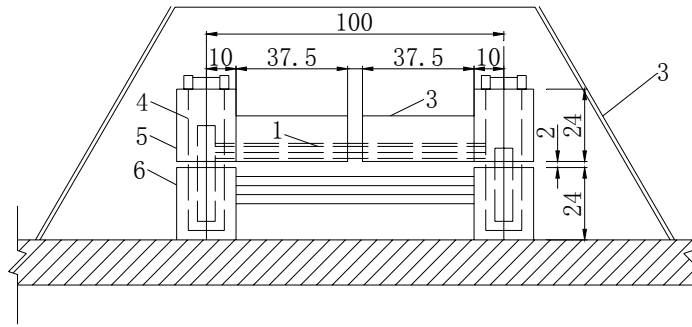
E.2 应力计

E.2.1 钢板计

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E.2.1，夹具表面应涂沥青。



1-应变计；2-钢管；3-保护盖；4-M8螺栓；5-上卡环；6-下卡环

图E.2.1 钢板计埋设示意图（单位：mm）

E.2.2. 压应力计

1 垂直方向

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厚水泥砂浆垫层；水泥砂浆配合比为2：3，水灰比为0.5，见图E.2.2；

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水泥砂浆，置放三脚架和10kg压重；

3) 随时用水准或水平尺校正仪器，使其保持水平；

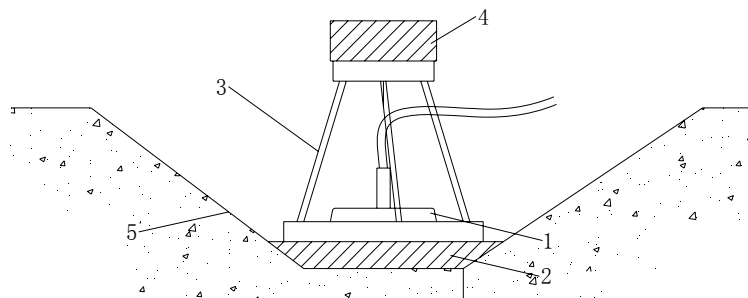
4) 压重12h后，浇筑混凝土，振捣后取出三脚架和压重；

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

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) 应保证仪器的位置和方向正确。



1-应力计；2-砂浆垫层；3-三脚架；4-压重块；5-混凝土

图E.2.2 压应力计埋设示意图（单位：mm）

E.2.3 钢筋计

1 钢筋计应尽量焊接在同一直径的受力钢筋上并保持在同一轴线上，仪器应距受力钢筋之间的绑扎接头应距仪器1.2m以上。

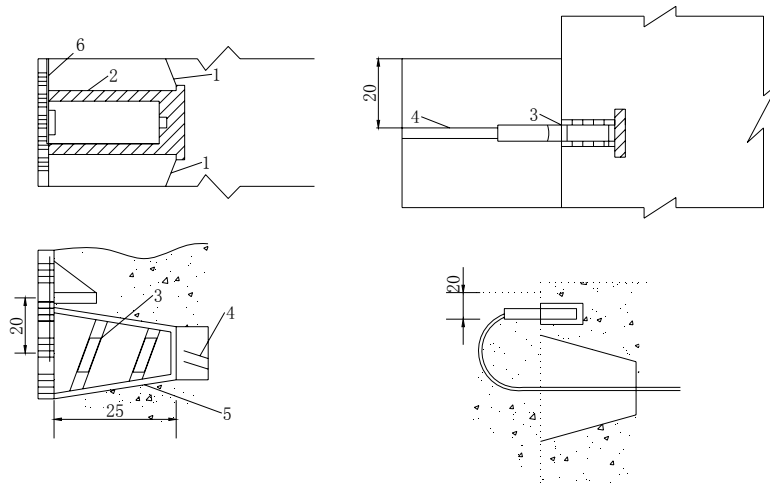
2 钢筋计的焊接可采用对焊、坡口焊或熔槽焊。

3 焊接时及焊接后，可在仪器部位浇水冷却，使仪器温度不超过60℃，但不得在焊缝处浇水。

E.3 测缝计

E.3.1 坝缝测缝计

- 1 在先浇混凝土块上预埋测缝计套筒，见图E.3.1；
- 2 当电缆需从先浇块引出时，应在模板上设置储藏箱，用来储藏仪器和电缆；
- 3 为避免电缆受损，必须将接缝处的电缆长约40cm范围内包上布条；
- 4 当后浇块混凝土浇到高出仪器埋设位置20cm时，振捣密实后挖去混凝土露出套筒，打开套筒盖，取出填塞物，安装测缝计，回填混凝土。

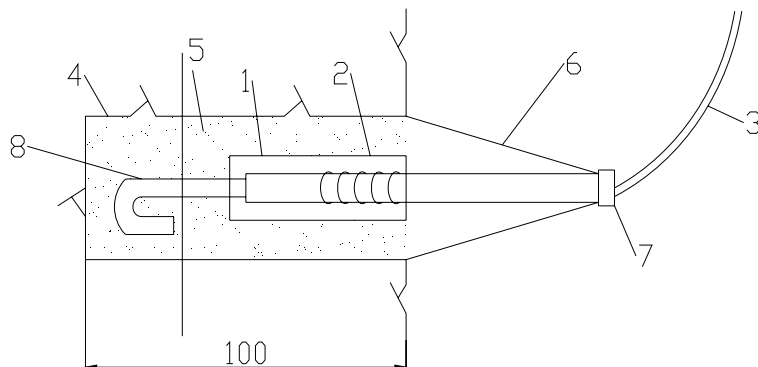


1-铅丝；2-测缝计套筒；3-测缝计；4-电缆；5-储藏箱；6-模板

图E.3.1 测缝计埋设示意图（单位：cm）

E.3.2 基岩与混凝土交接面上的测缝计

- 1 应在基岩中打孔，孔径应大于9cm，深度为100cm，在孔内填入一大半膨胀水泥砂浆，将套筒或带有加长杆的套筒挤入孔中，使筒口与孔口平齐；
- 2 将套筒内填满棉纱，螺纹口涂上机油或黄油，旋上筒盖；
- 3 混凝土浇至高出仪器埋设位置20cm时，挖去捣实的混凝土，打开套筒盖，取出填塞物，旋上测缝计，回填混凝土，见图E.3.2。



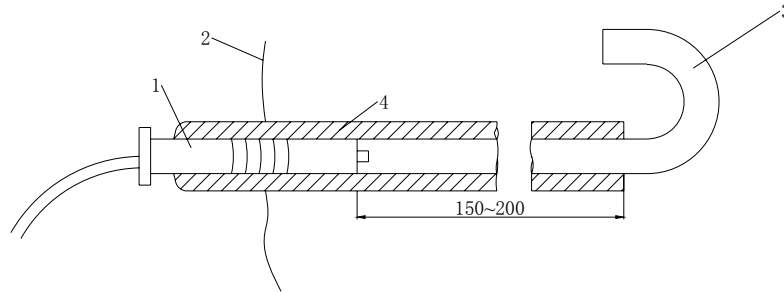
1-测缝计套筒；2-测缝计；3-电缆；4-钻孔；5-砂浆

6-支撑三脚架；7-预拉垫板；8-加长杆

图E.3.2 接触缝面测缝计埋设示意图（单位：cm）

E.3.3 裂缝计

- 1 除加长杆弯钩和仪器凸缘盘外应全部用多层塑料布包裹。
- 2 在埋设位置上将捣实的混凝土挖深约20cm的坑，将裂缝计放入，回填混凝土，见图E.3.3。



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

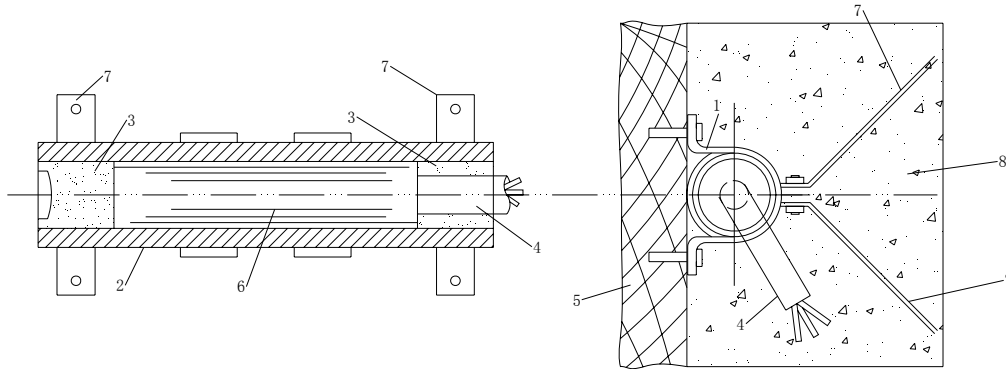
图E.3.3 测缝计埋设示意图（单位：cm）

E.4 温度计

E.4.1 温度计

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内。

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E.4.1。



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

图E.4.1 库水温度计夹具及埋设图

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。

附录F 电缆布置与连接

F.0.1 监测仪器应选用合适的专用电缆：电阻式温度计宜采用四芯水工电缆，差动电阻式仪器宜采用五芯水工电缆，振弦式仪器应采用屏蔽电缆，其它类型仪器应根据实际需要选择合适的水工电缆。

F.0.2 监测仪器电缆走线宜符合下列要求：

1 监测仪器电缆线路，在设计时应予以规划，尽量使电缆牵引的距离最短和施工干扰最小。

2 在建工程施工时电缆牵引路线与上、下游坝面的距离不得小于1.5m。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~2.0倍。跨缝时，应采取措使电缆有伸缩的空间。

3 混凝土坝施工期仓面钻孔作业前应标明已埋监测仪器电缆的准确位置，采取有效地避让、保护措施，确保不对电缆产生破坏。

F.0.3 橡胶护套电缆应采用硫化橡胶接头；PVC护套电缆可采用热缩管接头或专用防水接头。在高水头环境中的PVC护套电缆应采用专用防水接头。

F.0.4 监测仪器电缆选择应符合下列要求

1 埋设的仪器应连接具有耐酸、耐碱、防水、质地柔软的专用电缆，其芯线应为镀锡铜丝。

2 电缆及电缆接头在环境温度为-25℃~+60℃，承受的水压为1.0MPa时，绝缘电阻应大于100MΩ。

3 电缆芯线宜在100m内无接头。

4 电阻式温度计或差动电阻式仪器采用的电缆芯线间电阻的偏差应不大于5%。

5 电缆内通入0.1MPa~0.15MPa气压时，其漏气段不得使用，不得有漏气。

F.0.5 监测仪器电缆的检验

1 成批电缆采用抽样检查法，抽样数量为本批的10%，不得小100m。

2 检验用数字电桥或水工比例电桥应用标准率定器标定。

3 用标准电阻箱分别测量电阻式温度计或差动电阻式仪器采用的电缆芯线黑、蓝、红、绿、白的电阻，偏差应不大于5%。

4 用100V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100MΩ。

5 根据电缆耐水压参数，把待测电缆置于耐水压参数规定的水压环境下48h，用100V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。

F.0.6 监测仪器电缆的准备

应根据监测设计和现场情况准备仪器的加长电缆，其长度按下式计算：

$$L = KL_0 + B \quad (\text{F.0.6})$$

式中 L ——接长电缆总长度，m；

L_0 ——仪器到观测站牵引路线长度，m；

K ——接长电缆系数，一般取1.05；

B ——观测端加长值，对坝内仪器为2m~3m，对基岩仪器3m~5m。

F.0.7 橡胶护套电缆的连接

1 按照图F.0.7剥制电缆端头，在去除芯线铜丝氧化物时，不得折断铜丝[见图F.0.7 (a)]。

2 电阻式温度计或差动电阻式仪器仪器出厂电缆为三芯时，与接长电缆连接时按表F.0.7-1进行，当需连接两电缆之间的芯线数相同时按表F.0.7-2进行[见图F.0.7 (b)]。

3 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[见图F.0.7 (c)]。

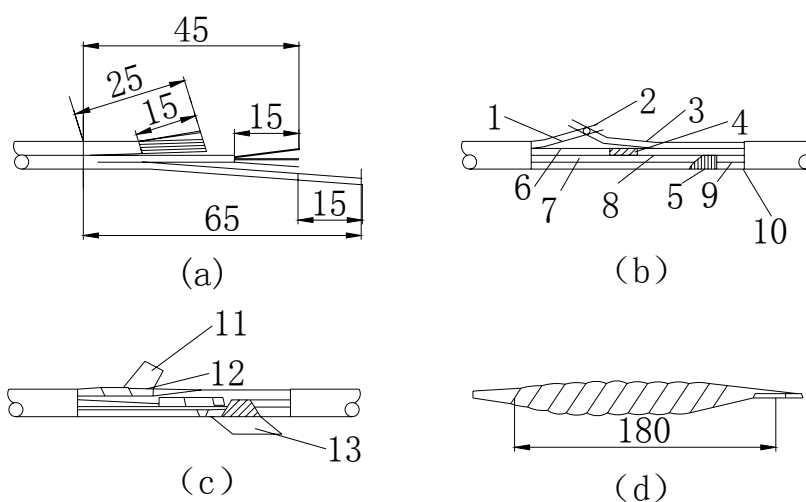
4 芯线搭接部位用黄蜡绸、电工绝缘胶布和橡胶带包裹，电缆外套与橡胶带连接处应锉毛并涂补胎胶水，外层用橡胶带包扎直径应大于硫化器钢模槽2mm[见图F.0.7 (d)]。

表F.0.7-1 不同芯线数的电缆端头长度 单位：mm

芯线颜色	仪器出厂电缆		接长电缆	
	三芯	四芯	四芯	五芯
蓝	-	-	-	65
黑	25	65	65	65
红	45	45	45	45
绿	-	25	25	25
白	65	25	25	25

表F.0.7-2 相同芯线数的电缆端头长度 单位：mm

芯线颜色	仪器电缆芯线			接长电缆芯线		
	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



(a) 步骤1； (b) 步骤2； (c) 步骤3； (d) 步骤4

1、3-黑线芯丝； 2-铜线搭接； 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

图F.0.7 电缆连接 (单位：mm)

F.0.8 橡胶护套电缆硫化要求

- 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℃，保持15min后，关闭电源，自然冷却到80℃后脱模。
- 2 硫化接头在0.10MPa～0.15MPa气压下试验时不漏气，在1.0MPa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。

F.0.9 电缆热缩管连接要求

- 1 接线时，芯线宜采用 $\phi 5\text{mm} \sim \phi 7\text{mm}$ 的热缩套管，加温热缩时，用火从中部向两端均匀地加热，排尽管内空气，使热缩管均匀地收缩，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。
- 3 热缩前应在热缩管与电缆外皮搭接段涂上热熔胶。
- 4 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。

F.0.10 电缆牵引应按设计要求实施；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；向下牵引时宜预埋电缆或导管，导管中应设钢丝绳或其它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，严禁将电缆观测端浸入水中，以免芯线锈蚀或降低绝缘度。

附录G 地震反应监测

G.0.1 监测系统由数字强震监测仪、加速度传感器、传输链路、信号传输和计算机5部分组成。

G.0.2 数字强震监测仪由数据采集单元、存储单元、通信单元、控制单元、显示单元及电源单元组成。

G.0.3 地震反应台阵辅助设备应配备程控电话或网络等通讯手段、不间断电源，避雷装置。G.0.4 加速度传感器安装

1 加速度传感器应固定安装在现浇的混凝土监测墩上，监测墩出露部分尺寸长、宽、高，宜为40cm×40cm×20cm，顶面要求平整，墩体应预留出导线穿入孔。

2 监测墩应与被测物牢固连成一体，其建造应符合下列要求：

1) 在混凝土坝及在新鲜基岩上，现浇混凝土观测墩前，应先将接触面打毛，并打孔预埋插筋，冲洗干净后，用混凝土现浇，待干后，将加速度传感器底板用环氧树脂或螺栓加以固定。尚应外加保护罩。

2) 固定前，应使加速度传感器符合设计要求的方位和初动方向。

G.0.5 传输链路

1 应采用多芯屏蔽电缆，布线不得设置在具有强电磁干扰设备的附近。电缆可沿坝内竖井、廊道、电缆沟铺设。电缆宜穿入管内加以保护。

2 传输电缆线应尽量减少接头。

G.0.6 监测室

1 监测室应符合水工建筑物抗震设计规范SL203的抗震设计要求。

2 监测室辅助设施：

1) 具备220V市电电源并配置不间断电源，其容量应使仪器在市电停电条件下能继续工作不低于1天。

2) 交流供电系统应采用接地保护措施，接地电阻应小于10Ω。

3) 电源、通道线路应分别安装防雷装置。

3 监测室环境要求：

1) 温度应在-5℃~+65℃之间。

2) 相对湿度不大于90%。

G.0.7 记录报告单格式见表G.0.7

表G.0.7 强震动安全监测记录报告单

台阵名称						台阵代号			
仪器型号						仪器编号			
场地条件						监测对象			
地震时间		年 月 日 时 分 秒				震级			
震中经纬度						震中地点			
震中距						震中烈度			
震源深度						记录编号			
仪器编号	通道编号	拾震器号	测点编号	测点位置	测点高程m	测点方向	灵敏度(mv/g)	最大加速度(cm/s ²)	记录长度s
震害等级评估		无震害		局部损坏			破坏		
检查人员					日期				

G.0.8 仪器的主要技术指标应符合表G.0.8-1和表G.0.8-2的规定

表G.0.8-1 加速度传感器的主要技术指标

序号	项 目	技术指标
1	测量范围	≥ ±2g
2	满量程输出 (V)	±2.5或±5.0; 单端、差分可选
3	频率响应 (Hz)	0.5~50
4	线性度误差	≤1%
5	横向灵敏度比	≤1% (包括角偏差)
6	噪声均方根值 (g _n)	≤10 ⁻⁶
7	零位漂移 (μg _n /°C)	≤500
8	运行环境温度 (°C)	-20~+65
9	相对湿度	<90%

表G.0.8-2 强震动记录器的主要技术指标

项目	技术指标
满量程输入 (V)	±2.5或±5, 单端、差分输入可选
动态范围 (dB)	≥90
分辨力 (位)	≥16
系统噪声 (LSB)	≤1 (均方根值)
触发模式	阈值触发、STA与LTA差、比值触发、手动触发等
采样率	50, 100, 200, 500 sps可编程
时间服务	标准UTC, 内部时钟准确度优于10 ⁻⁶
数据通信	RS-232实时数据流串口, 通讯速率9600, 19200, 57600, 115200bps可选
数据存储	CMOS静态或RAM固态硬盘, 容量≥80GB, 可扩充容量
道间延迟	无
零点漂移 (μV/°C)	<100
软件	包括通信程序, 图形显示程序, 其它实用程序和监控、诊断命令
环境温度 (°C)	-20~+65
环境湿度	<90%

G.0.9 地震反应监测资料处理与分析

1 在取得强震动加速度记录后，应及时读取各个通道最大加速度值，并备份，按照规定格式形成包括头段数据和记录波形数据两部分的未校正加速度记录。

2 场地峰值加速度记录大于0.002g时，应对所有通道加速度记录进行常规处理分析，其内容包括：

1) 校正加速度记录：对未校正加速度记录波形数据进行基线校正，形成校正加速度记录。

2) 速度和位移时程：对校正加速度记录波形数据进行一次、二次积分计算处理，形成速度时程和位移时程。

3) 反应谱：对基础测点三个方向的校正加速度记录计算5个阻尼比值（0，0.02，0.05，0.1，0.2）的反应谱。

4) 傅里叶谱：对所有通道的校正加速度记录计算傅里叶谱。

3 获得场地峰值加速度不小于0.025 g 的记录后，应填写监测记录报告单，并报告上级主管部门。监测记录报告单的内容，包括地震发生的时间，各通道地震记录的最大加速度值，地震记录的时间长度等。

4 当发生有感地震并取得地震反应记录后，立即根据测点的记录和预存的抗震设计参数，计算求得各个测点能抗御的最大加速度值，对大坝进行震害评估。

附录H 监测自动化系统可靠性及人工比测指标

H.1 平均无故障时间

H.1.1 系统可靠性可用平均无故障时间来考核，平均无故障时间（MTBF）是指两次相邻故障间的正常工作时间。

H.1.2 平均无故障时间可按式（H.1.2）计算：

$$MTBF = \sum_{i=1}^n t_i / \sum_{i=1}^n r_i \quad (\text{H.1.2})$$

式中 t_i ——考核期内，第 i 台设备的工作时数；

r_i ——考核期内，第 i 台设备出现的故障次数；

n ——系统内系统设备总数。

H.2 数据采集缺失率

H.2.1 数据采集缺失率是指在考核期内未能测得的数据个数与应测得的数据个数之比。错误测值和超一定误差范围的测值也作为缺失数据。

H.2.2 数据采集缺失率可按式（H.2.2）计算：

$$\eta = \rho / \omega \times 100\% \quad (\text{H.2.2})$$

式中 η ——数据采集缺失率；

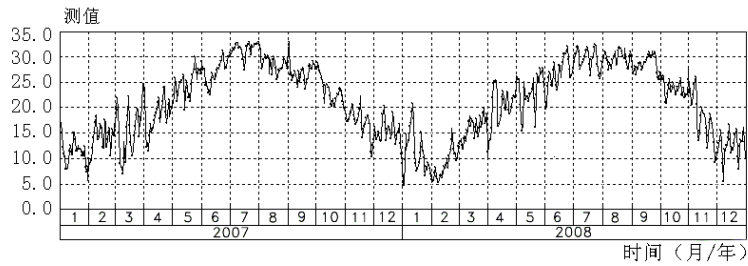
ρ ——未能测得的数据个数；

ω ——应测得的数据个数。

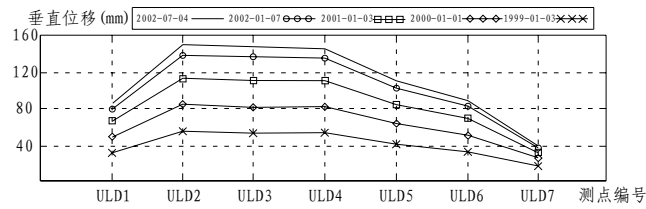
附录I 监测资料整编与分析的方法和内容

I.1 监测物理量相关图表

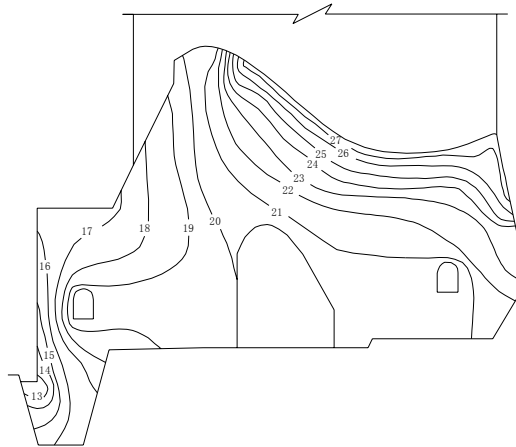
I.1.1 监测物理量过程线及相关图例



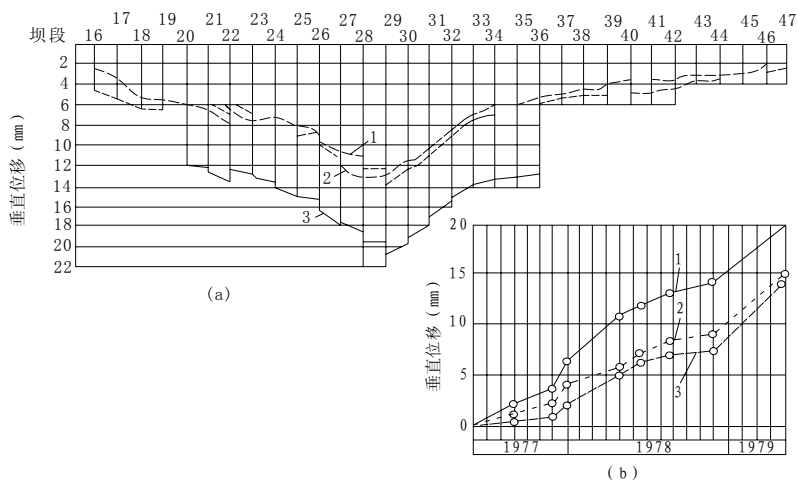
图I.1.1-1 某测值过程线



图I.1.1-2 某测值分布图

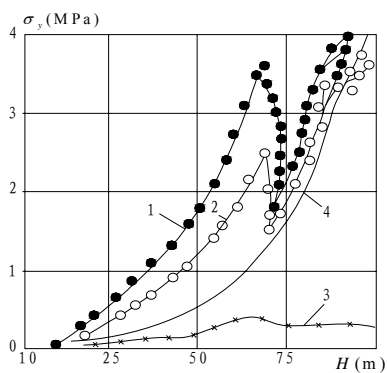


图I.1.1-3 某坝温度等值线图 (单位: °C)



(a) 沿大坝轴线垂直位移分布图 (1—1978年8月的垂直位移; 2—1978年11月的垂直位移; 3—1979年4月的垂直位移); (b) 垂直位移过程线 (1—30号坝段; 2—25号坝段; 3—33号坝段)

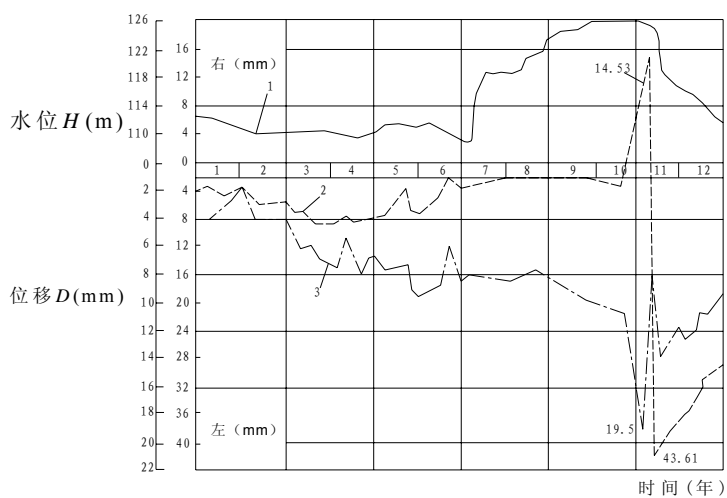
图1.1.1-4 坝基垂直位移监测结果



H ——上游水位; 1——第39号坝段; 2——第26号非溢流坝段; 3——第32号坝段; 4——按有限单元法计算的

$$\sigma_y = f(H)$$

图1.1.1-5 坝踵混凝土应力 σ_y 与上游水位之间关系图



1——库水位; 2——左右向; 3——上下向

图1.1.1-6 某坝1962年13号垛水平位移过程线

1.1.2 监测资料整编表格式

上游（水库）、下游水位统计表格式见表1.1.2-1。

表1.1.2-1 上游（水库）、下游水位统计表

		____年 _____游水位 单位: m											
日期		月份											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
01													
02													
...													
31													
全月统计	最高												
	日期												
	最低												
	日期												
全年统计	最高						最低						均值
	日期						日期						
备注	包括泄洪情况												

逐日降水量统计表格式见表1.1.2-2。

表1.1.2-2 逐日降水量统计表

		____年 _____ 单位: mm											
日期		月份											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
01													
02													
...													
31													
全月统计	最大												
	日期												
	总降水量												
	降水天数												
全年统计	最高						总降水量						总降水天数
	日期												
备注													

日平均气温统计表格式见表1.1.2-3。

表1.1.2-3 日平均气温统计表

		____年 _____ 单位: ℃											
日期		月份											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
01													
02													
...													
31													
全月统计	最高												
	日期												
	最低												
	日期												
全年统计	最高						最低						均值
	日期						日期						
备注													

水平位移统计表格式见表I.1.2-4。

表I.1.2-4 水平位移统计表

年		首测日期		测点编号及累计水平位移量								备注
日期 月.日		测点1		测点2		测点3		...		测点 <i>n</i>		
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
...												
全年特征值统计	最大值											
	日期											
	最小值											
	日期											
	平均值											
	年变幅											
注1: 水平方向正负号规定: 向下游、向左岸为正; 反之为负。 注2: X 方向代表上下游方向 (或径向); Y 方向代表左右岸 (或切向)。												

垂直位移统计表格式见表I.1.2-5。

表I.1.2-5 垂直位移统计表

年		首测日期		测点编号及累计垂直位移量					备注			
日期 月.日		测点1		测点2		测点3		...		测点 <i>n</i>		
		X	Y	X	Y	X	Y	X		Y	X	Y
...												
全年特征值统计	最大值											
	日期											
	最小值											
	日期											
	平均值											
	年变幅											
注: 垂直位移正负号规定: 下沉为正; 反之为负。												

接缝开合度统计表格式见表I.1.2-6。

表I.1.2-6 接缝开合度统计表

年		首测日期		测点编号及累计开合度变化量									备注	
日期 月.日		测点1			测点2			...			测点 <i>n</i>			
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y		Z
...														
全年特征值统计	最大值													
	日期													
	最小值													
	日期													
	平均值													
	年变幅													

绕坝渗流监测孔水位统计表格格式见表I.1.2-10。

表I.1.2-10 绕坝渗流监测孔水位统计表

_____年

日期 月.日	测点编号及孔内水位 (m)			上游水位 (m)	下游水位 (m)	降雨量 (mm)	备注
	测点1	测点2	...				
...							
全年特征值统计	最大值						
	日期						
	最小值						
	日期						
	年变幅						

渗流量统计表格格式见表I.1.2-11。

表I.1.2-11 渗流量统计表

_____年

日期 月.日	测点编号及渗流量 (L/s)			上游 水位 (m)	下游 水位 (m)	备注
	测点1	测点2	...			
...						
全年特征值统计	最大值					
	日期					
	最小值					
	日期					
	年变幅					

应力、应变及温度测值统计表格格式见表I.1.2-12。

表I.1.2-12 应力、应变及温度测值统计表

(应力单位为 MPa；应变单位为 10^{-6} ；温度单位为 $^{\circ}\text{C}$)

_____年

日期 月.日	测点1	测点2	测点3	测点4	测点5	...
...						
全年特征	最大值					
	日期					
	最小值					

	日期						
	平均值						
	年变幅						

1.2 各种监测物理量的整理与整编要求

1.2.1 应做好监测资料的收集工作

- 1 第一次整编时应完整收集基本资料等，并单独刊印成册，以后每年应根据变动情况，及时加以补充或修正。
- 2 收集有关物理量设计计算值和经分析后确定的监控指标。
- 3 收集整编时段内的各项日常整理后的资料。

1.2.2 监测等资料的整理与整编工作

在收集有关资料的基础上，对整编时段内的各项监测物理量按时序进行列表统计和校对等整理工作。如发现可疑数据，一般不宜删改，应标注记号，并加注说明。绘制各监测物理量过程线图，以及能表示各监测物理量在时间和空间上的分布特征图和与有关因素的相关关系图（见附录I中图I.1.1-1~图I.1.1-6）。在此基础上，对监测资料进行初步分析，阐述各监测物理量的变化规律以及对工程安全的影响，提出运行和处理意见。

监测自动化系统采集的数据可按监测频次的要求进行表格形式的整编，但绘制测值过程线时应选取所有测值进行，对于特殊情况（如高水位、库水位骤变、特大暴雨、地震等）和工程出现异常时增加测次所采集的监测数据也应整编入内。

对于重要监测物理量（如变形、扬压力、上下游水位、气温、降水等），整编时除表格形式外，还应绘制测值过程线、测值分布图等。变形测值分布图可选取每季度绘制一条，扬压力测值分布图可选取高水位时的测值进行绘制。

1.2.3 现场检查资料

1 每次整理与整编时，对本时段内现场检查发现的异常问题及其原因分析、处理措施和效果等作出完整编录，同时简要引述前期现场检查结果并加以对比分析。

2 将原始记录换算成所需的监测物理量，并判断测值有无异常。如有遗漏、误读（记）或异常，应及时补（复）测、确认或更正，并记录有关情况。原始监测数据的检查、检验内容主要工作有：

- 1) 作业方法是否符合规定。
- 2) 监测记录是否正确、完整、清晰。
- 3) 各项检验结果是否在限差以内。
- 4) 是否存在粗差。
- 5) 是否存在系统误差。

经检查、检验后，若判定监测数据不在限差以内或含有粗差，应立即重测；若判定监测数据含有较大的系统误差时，应分析原因，并设法减少或消除其影响。

1.2.4 环境量监测资料

1 水位监测资料整编，遵照附录I中表I.1.2-1的格式填制上游（水库）和下游水位统计表。表中数字为逐日平均值（或逐日定时值），准确到厘米。同时还须将月、年内的极值和均值以及极值出现的日期分别填入“全月统计”和“全年统计”栏中。

2 降水量监测资料整编，遵照附录I中表I.1.2-2的格式填制逐日降水量（日累计量）

统计表。同时还须将月、年内的极值及其出现的日期，以及总降水量、降水天数等分别填入“全月统计”和“全年统计”栏中。

3 气温监测资料整编，遵照附录I中表I.1.2-3的格式填制逐日平均气温统计表。同时还须将月、年内的极值和均值以及极值出现的日期分别填入“全月统计”和“全年统计”栏中。

4 水温监测资料可根据具体情况和需要，参照表I.1.2-3进行整编统计。

I.2.5 变形监测资料

1 变形监测资料整编，应根据工程所设置的监测项目进行各监测物理量列表统计，遵照附录I中表I.1.2-4、表I.1.2-5、表I.1.2-6、表I.1.2-7、表I.1.2-8的格式填制。

2 在列表统计的基础上，绘制能表示各监测物理量变化的过程线图，以及在时间和空间上的分布特征图和与有关因素的相关关系图（如蓄水过程、库水位、气温等）。

I.2.6 渗流监测资料

1 渗流监测资料整编，应将各监测物理量按坝体、坝基、坝肩等不同部位分别列表统计，并同时抄录监测时相应的上、下游水位，必要时还应抄录降水量和气温等。

2 坝体、坝基扬压力监测孔水位统计表遵照附录I中表I.1.2-9的格式填制。绘制扬压力监测孔水位和上、下游水位变化的过程线图，以及在时间和空间上的分布特征图。

3 绕坝渗流监测孔水位统计表遵照附录I中表I.1.2-10的格式填制。绘制绕坝渗流监测孔水位和上、下游水位变化的过程线图，以及坝区降水量过程线图。

4 渗流量监测统计表遵照附录I中表I.1.2-11的格式填制。绘制渗流量和上、下游水位变化的过程线图，必要时还需简述水质直观情况。

5 水质分析资料的整编，可根据工程实际情况编制相应的图标和必要的文字报告说明。

I.2.7 应力、应变及温度监测资料

1 应力、应变监测资料整编，遵照附录I中表I.1.2-12的格式填制，必要时同步抄录监测时对应的上、下游水位和气温等，根据需要绘制应力、应变与上、下游水位和测点温度或气温变化的过程线图，必要时还需绘上坝体混凝土浇筑过程线。

2 温度监测资料整编，遵照附录I中表I.1.2-12的格式填制。必要时同时抄录监测时对应的上、下游水位和气温等。根据需要绘制温度变化过程线图，必要时还需视情况不同，绘制水温分布图、坝体温度场分布图和等值线图。

I.2.8 其它资料

其它工作和为科研而设置的项目的成果整编，可根据具体情况和需要参照本标准编制有关图表和文字说明。

I.2.9 随时补充或修正有关监测设施的变动或检验、校测情况，以及各种基本资料表、图等，确保资料衔接和连续。

I.2.10 年度资料整编应包括整编后的资料审定及编印等工作。刊印成册的整编资料主要内容和编排顺序一般为：

——封面；

——目录；

——整编说明；

- 基本资料；
- 监测项目汇总表；
- 监测资料初步分析成果；
- 监测资料整编图表；
- 封底。

封面内容应包括工程名称、整编时段、编号、整编单位、刊印日期等。

整编说明应包括本时段内工程变化和运行概况，监测设施的维修、检验、校测及更新改造情况，现场检查 and 监测工作概况，监测资料的准确度和可信程度，监测工作中发现的问题及其分析、处理情况（可附上有关报告、文件等），对工程运行管理的意见和建议，参加整编工作人员等。

基本资料包括工程基本资料、监测设施和仪器设备基本资料等。

监测项目汇总表包括监测部位、监测项目、监测方法、监测频次、测点数量、仪器设备型号等。

监测资料初步分析成果主要是综述本时段内各监测资料分析的结果，包括分析内容、方法、结论和建议。对在本年度中完成安全鉴定的大坝，也可引用安全鉴定的有关内容或结论，但应注明出处。

监测资料整编图表（含现场检查成果表、各监测项目测值图表）的编排顺序可按监测项目的编排次序编印。

1.2.11 月报、季报等可参照年报执行，并可适当简化。

1.2.12 整编的成果

1 整编成果的内容、项目、测次等齐全，各类图表的内容、规格、符号、单位及标注方式和编排顺序等符合规定要求。

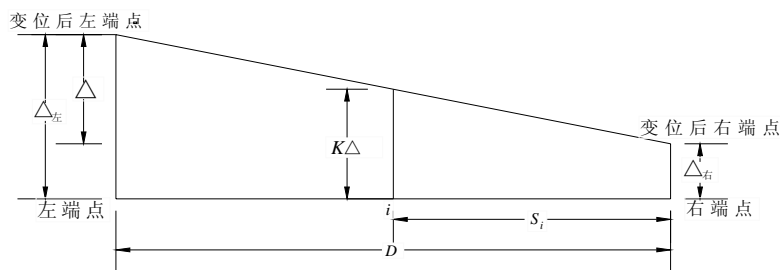
2 各项监测资料整编的时间与前次整编衔接，监测部位、测点及坐标系统等与历次整编一致。

3 各监测物理量的计（换）算和统计正确，有关图件准确、清晰，整编说明全面，需要说明的其它事项无遗漏，资料初步分析结论和建议符合实际。

1.3 常用监测物理量的计算公式

1.3.1 现场检查资料准直法监测时位移量的计算式（顾及端点位移）如下，其各计算式中相对应的部位如图1.3.1-1、图1.3.1-2、图1.3.1-3所示：

$$d_i = L + K\Delta + \Delta_{\text{右}} - L_0 \quad (1.3.1-1)$$



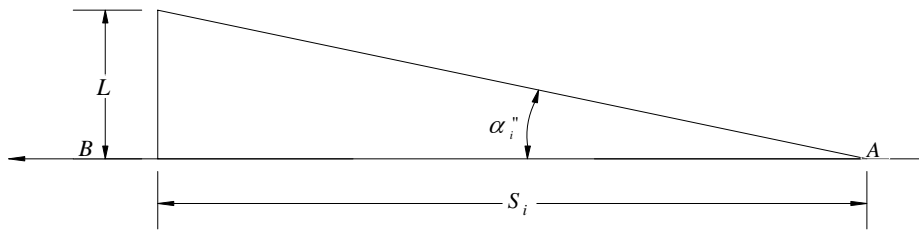
图I.3.1-1

- 式中 d_i —— i 点位移量, mm;
 K ——归一化系数, $K = S_i / D$;
 S_i ——测点至右端点的距离, m;
 D ——准直线两工作基点的距离, m;
 Δ ——左、右端点变化量之差, $\Delta = \Delta_{左} - \Delta_{右}$, mm;
 L_0 —— i 点首次监测值, mm;
 L —— i 点本次监测值, mm。

各种准直方法的监测值 L 的确定方法如下:

- 1 引张线: 监测值 L 等于监测仪器或分划尺的读数;
- 2 视准线活动觇标法: L 等于活动觇标读数;
- 3 视准线小角度法: L 值按下式计算:

$$L = \frac{\alpha_i''}{\rho''} S_i \quad (I.3.1-2)$$

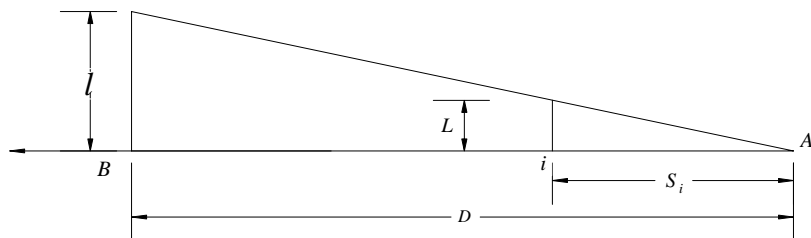


图I.3.1-2

- 式中 L ——监测值, mm;
 α_i'' ——监测之角值;
 ρ'' —— $206265''$;
 S_i ——工作基点至测点之距离, mm。

4 激光准直法

$$L = Kl \quad (I.3.1-3)$$



图I.3.1-3

- 式中 L ——监测值, mm;
 l ——接受端仪器读数值, mm;

K ——归化系数 $K = \frac{S_i}{D}$;

S_i ——测点至激光点光源的距离, m;

D ——激光准直全长, m。

1.3.2 正、倒垂线法监测时位移量的计算公式

1 倒垂测点位移量的计算。倒垂测点位移量指倒垂观测墩(所在部位)相对于倒垂锚固点的位移量,按式(1.3.2-1)和式(1.3.2-2)计算。

$$D_x = K_x(X_0 - X_i) \quad (1.3.2-1)$$

$$D_y = K_y(Y_0 - Y_i) \quad (1.3.2-2)$$

式中 X_0 、 Y_0 ——倒垂线首次值, mm;

X_i 、 Y_i ——倒垂线本次观测值, mm;

D_x 、 D_y ——倒垂测点位移量, mm;

K_x 、 K_y ——位置关系系数(其值为-1或1),与倒垂观测墩布置位置(方向)和垂线坐标仪的标尺方向有关。

2 正垂线测点相对位移量的计算。正垂线测点相对位移值指正垂线悬挂点相对于正垂观测墩的位移值,按式(1.3.2-3)和式(1.3.2-4)计算。

$$\delta_x = K_x(X_i - X_0) \quad (1.3.2-3)$$

$$\delta_y = K_y(Y_i - Y_0) \quad (1.3.2-4)$$

式中 δ_x 、 δ_y ——正垂线测点相对位移量, mm;

X_0 、 Y_0 ——正垂线首次值, mm;

X_i 、 Y_i ——正垂线本次观测值, mm;

K_x 、 K_y ——位置关系系数(其值为-1或1),与正垂观测墩布置位置(方向)和垂线坐标仪的标尺方向有关。

3 正垂线悬挂点绝对位移量的计算。正垂线悬挂点绝对位移量指正垂线测点相对位移值与该测点所在测站的绝对位移值之和。按式(1.3.2-5)和式(1.3.2-6)计算。

$$D_x = \delta_x + D_{x0} \quad (1.3.2-5)$$

$$D_y = \delta_y + D_{y0} \quad (1.3.2-6)$$

式中 D_x 、 D_y ——正垂线悬挂点绝对位移量, mm;

δ_x 、 δ_y ——正垂线测点相对位移量, mm;

D_{x0} 、 D_{y0} ——测点所在测站的绝对位移量, mm。

4 一条正垂线含多个测点时,悬挂点以外测点的绝对位移量按式(1.3.2-7)和式(1.3.2-8)计算。

$$D_x = D_{x0} - \delta_x \quad (1.3.2-7)$$

$$D_y = D_{y0} - \delta_y \quad (1.3.2-8)$$

式中 D_x 、 D_y ——测点绝对位移量, mm;

D_{x0} 、 D_{y0} ——悬挂点绝对位移量, mm;

δ_x 、 δ_y ——测点相对位移量，mm。

垂线垂直位移监测中，水准基点、工作基点、测点的引测、校测、监测的记录，按 GB/T 12897 中的记录要求执行。

1.3.3 渗压系数计算公式

1 坝体渗压系数：

$$\text{下游水位高于测点高程时, } \alpha_i = \frac{H_i - H_2}{H_1 - H_2} \quad (1.3.3-1)$$

$$\text{下游水位低于测点高程时, } \alpha_i = \frac{H_i - H_3}{H_1 - H_3} \quad (1.3.3-2)$$

式中 α_i ——第 i 测点渗压系数；

H_1 ——上游水位，m；

H_2 ——下游水位，m；

H_i ——第 i 测点实测水位，m；

H_3 ——测点高程，m。

2 坝基渗压系数：

$$\text{下游水位高于岩基高程时, } \alpha_i = \frac{H_i - H_2}{H_1 - H_2} \quad (1.3.3-3)$$

$$\text{下游水位低于岩基高程时, } \alpha_i = \frac{H_i - H_4}{H_1 - H_4} \quad (1.3.3-4)$$

式中 α_i 、 H_1 、 H_2 、 H_i 意义同前式(1.3.3-1)、式(1.3.3-2)；

H_4 ——测点处基岩高程，m。

1.3.4 渗流量计算公式：

1 容积法

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1.3.4-1)$$

式中 Q ——渗流量，L/s；

V ——充水体积，L；

t ——充水时间，s。

2 直角三角堰

$$Q = 1.4H^{\frac{5}{2}} \quad (1.3.4-2)$$

式中 Q ——渗流量， m^3/s ；

H ——堰顶水头，m。

3 矩形堰

$$Q = mb\sqrt{2g}H^{\frac{3}{2}} \quad (1.3.4-3)$$

$$m = 0.402 + 0.054 \frac{H}{P}$$

式中 Q ——渗流量, m^3/s ;
 b ——堰宽, m ;
 H ——堰上水头, m ;
 g ——重力加速度, m/s^2 ;
 P ——堰口至堰槽底的距离, m 。

1.3.5 差动电阻仪器测值换算监测物理量的公式

1 应变

$$\varepsilon = f' \Delta z + b \Delta T \quad (1.3.5-1)$$

式中 ε ——应变 ($\times 10^{-6}$) ;
 f' ——应变计最小读数, $10^{-6}/0.01\%$;
 Δz ——电阻比变化量 ($\times 0.01\%$) ;
 b ——应变计的温度补偿系数, $10^{-6}/^\circ\text{C}$;
 ΔT ——温度变化量, $^\circ\text{C}$ 。

2 缝的开合度

$$J = f \Delta z + b \Delta T \quad (1.3.5-2)$$

式中 J ——缝的开合度, mm ;
 f ——测缝计最小读数, $\text{mm}/0.01\%$;
 Δz ——电阻比变化量 ($\times 0.01\%$) ;
 b ——测缝计温度补偿系数, $\text{mm}/^\circ\text{C}$;
 ΔT ——温度变化量, $^\circ\text{C}$ 。

3 渗透压力

$$P = f \Delta z - b \Delta T \quad (1.3.5-3)$$

式中 P ——渗透压力, MPa ;
 f ——孔隙压力计最小读数, $\text{MPa}/0.01\%$;
 Δz ——电阻比变化量 ($\times 0.01\%$) ;
 b ——孔隙压力计的温度补偿系数, $\text{MPa}/^\circ\text{C}$;
 ΔT ——温度变化量, $^\circ\text{C}$ 。

4 钢筋应力

$$\sigma = f \Delta z + b \Delta T \quad (1.3.5-4)$$

式中 σ ——钢筋应力, MPa ;
 f ——钢筋计的最小读数, $\text{MPa}/0.01\%$;
 Δz ——电阻比变化量 ($\times 0.01\%$) ;
 b ——钢筋计的温度补偿系数, $\text{MPa}/^\circ\text{C}$;
 ΔT ——温度变化量, $^\circ\text{C}$ 。

5 压应力

$$\sigma = f \Delta z + b \Delta T \quad (1.3.5-5)$$

式中 σ ——压应力, MPa ;

f ——压应力计最小读数, MPa/0.01%;

Δz ——电阻比变化量 ($\times 0.01\%$);

b ——压应力计温度补偿系数, MPa/°C;

ΔT ——温度变化量, °C。

6 温度

$$\left. \begin{aligned} T &= \alpha' \Delta R, T \geq 0^\circ\text{C}; \\ T &= \alpha'' \Delta R, T \leq 0^\circ\text{C}. \end{aligned} \right\} \quad (1.3.5-6)$$

式中 T ——温度, °C;

ΔR ——电阻变化量 $\Delta R = R - R'_0$;

R ——实测的仪器电阻, Ω ;

R'_0 ——0°C时的仪器的计算电阻, Ω ;

α' , α'' ——温度常数, °C/ Ω 。

1.3.6 振弦式仪器测值换算监测物理量的公式

1 应变

$$\varepsilon = K(f_i^2 - f_0^2) + K_t(T_i - T_0) = K(F_i - F_0) + K_t(T_i - T_0) \quad (1.3.6-1)$$

式中 ε ——当前时刻相对于初始位置时的应变 ($\times 10^{-6}$);

K ——应变计系数, $10^{-6}/\text{Hz}^2$ 或 $10^{-6}/\text{kHz}^2$;

f_0 ——应变计初始的输出频率, Hz;

F_0 ——应变计初始的输出频率模数, kHz^2 ;

f_i ——应变计当前时刻的输出频率, Hz;

F_i ——应变计当前时刻的输出频率模数, kHz^2 ;

K_t ——应变计温度修正系数, $10^{-6}/^\circ\text{C}$;

T_i ——应变计当前时刻的温度值, °C;

T_0 ——取初始输出频率模数时对应的温度值, °C。

2 缝的开合度

$$J = K(f_i^2 - f_0^2) + K_t(T_i - T_0) \quad (1.3.6-2)$$

式中 J ——当前时刻相对于初始位置时的开合度, mm;

K ——测缝计系数, mm/Hz^2 或 mm/kHz^2 ;

f_0 ——测缝计初始的输出频率, Hz;

F_0 ——测缝计初始的输出频率模数, kHz^2 ;

f_i ——测缝计当前时刻的输出频率, Hz;

F_i ——测缝计初始的输出频率模数, kHz^2 ;

K_t ——测缝计温度修正系数, $\text{mm}/^\circ\text{C}$;

T_i ——测缝计当前时刻的温度值, °C;

T_0 ——取初始输出频率模数时对应的温度值, °C。

3 渗透压力或压力

$$P = K(f_i^2 - f_0^2) + K_t(T_i - T_0) \quad (1.3.6-3)$$

式中 P ——当前时刻相对于初始时刻的渗透压力或压力, MPa;
 K ——渗压计或压力计系数, MPa/Hz² 或MPa/kHz²;
 f_0 ——渗压计或压力计初始的输出频率, Hz;
 F_0 ——渗压计或压力计初始的输出频率模数, kHz²;
 f_i ——渗压计或压力计当前时刻的输出频率, Hz;
 F_i ——渗压计或压力计当前时刻的输出频率模数, kHz²;
 K_t ——渗压计或压力计温度修正系数, MPa/°C;
 T_i ——渗压计或压力计当前时刻的温度值, °C;
 T_0 ——取初始输出频率模数时对应的温度值, °C。

4 钢筋应力

$$\sigma = K(f_i^2 - f_0^2) + K_t(T_i - T_0) \quad (1.3.6-4)$$

式中 σ ——当前时刻相对于初始位置时的应力, MPa;
 K ——钢筋应力计系数, MPa/Hz² 或MPa/kHz²;
 f_0 ——钢筋应力计初始的输出频率, Hz;
 F_0 ——钢筋应力计初始的输出频率模数, kHz²;
 f_i ——钢筋应力计当前时刻的输出频率, Hz)
 F_i ——钢筋应力计当前时刻的输出频率模数, kHz²;
 K_t ——钢筋应力计温度修正系数, MPa/°C;
 T_i ——钢筋应力计当前时刻的温度值, °C;
 T_0 ——取初始输出频率模数时对应的温度值, °C。

1.3.7 由单轴应变 ε' 计算混凝土应力

1 计算混凝土应力时应有埋设应变计处混凝土弹性模数和徐变的试验资料。

2 将时间划分为 n 个时段, 每个时段的起始和终止时刻 (龄期) 分别为: τ_0 、 τ_1 、 τ_2 ; \dots 、 τ_{i-1} 、 τ_i 、 \dots 、 τ_{n-1} 、 τ_n 。各个时段中点龄期 ($\bar{\tau}_i = (\tau_i + \tau_{i-1})/2$) 为: $\bar{\tau}_1$ 、 $\bar{\tau}_2$ 、 \dots 、 $\bar{\tau}_i$ 、 \dots 、 $\bar{\tau}_n$ 。各时刻对应的单轴应变分别为: ε'_0 、 ε'_1 、 ε'_2 、 \dots 、 ε'_i 、 \dots 、 ε'_n 。各时段单轴应变增量 ($\Delta\varepsilon'_i = \varepsilon'_i - \varepsilon'_{i-1}$) 为: $\Delta\varepsilon'_1$ 、 $\Delta\varepsilon'_2$ 、 \dots 、 $\Delta\varepsilon'_i$ 、 \dots 、 $\Delta\varepsilon'_n$ 。

3 应力计算公式为:

1) 松弛法, 在 τ_n 时刻的应力为:

$$\sigma(\tau_n) = \sum_{i=1}^n \Delta\varepsilon'_i E(\bar{\tau}_i) K_p(\tau_{n-i}, \bar{\tau}_i) \quad (1.3.7-1)$$

式中 $E(\bar{\tau}_i)$ —— $\bar{\tau}_i$ 时刻混凝土的瞬时弹性模数;

$K_p(\tau_{n-i}, \bar{\tau}_i)$ ——加荷龄期为 $\bar{\tau}_i$, 持荷时间为 $\tau_n - \tau_i$ 时刻的松弛系数。

2) 变形法, 在 τ_n 时刻的应力混凝土实际应力按下式计算:

$$\sigma(\bar{\tau}_n) = \sum_{i=1}^n \Delta\sigma(\bar{\tau}_i) \quad (1.3.7-2)$$

$\Delta\sigma(\bar{\tau}_i)$ 为 $\bar{\tau}_i$ 时刻的应力增量, 按1.3.7-3式计算:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\sigma(\bar{\tau}_i) &= E'(\bar{\tau}_i, \tau_{i-1}) \cdot \bar{\varepsilon}'_i \quad (\text{当 } i=1) \\ \Delta\sigma(\bar{\tau}_i) &= E'(\bar{\tau}_i, \tau_{i-1}) \left\{ \bar{\varepsilon}_i - \sum_{j=1}^{i-1} \Delta\sigma(\bar{\tau}_j) \times \left[\frac{1}{E(\tau_{j-1})} + c(\bar{\tau}_i, \tau_{j-1}) \right] \right\} \quad (\text{当 } i > 1) \end{aligned} \right\} (1.3.7-3)$$

式中 $E'(\bar{\tau}_i, \tau_{i-1})$ —— 以 τ_{i-1} 龄期加荷单位应力持续到 $\bar{\tau}_i$ 时的总变形

$\left[\frac{1}{E(\tau_{j-1})} + c(\bar{\tau}_i, \tau_{j-1}) \right]$ 的倒数, 即称为 $\bar{\tau}_i$ 时刻的持续弹性模量;

$E(\tau_{j-1})$ —— τ_{j-1} 时刻混凝土的瞬时弹性模数;

$c(\bar{\tau}_i, \tau_{j-1})$ —— 以 τ_{j-1} 为加荷龄期持续到 $\bar{\tau}_i$ 时的徐变度。

1.4 资料分析的方法

1.4.1 资料分析目前常用的方法有比较法、作图法、特征值统计法及数学模型法。

1.4.2 比较法

比较法有监测值与监控指标相比较、监测物理量的相互对比、监测成果与理论的或试验的成果(或曲线)相对照等三种。

1 监控指标是在某种工作条件下(如基本荷载组合)的变形量、渗流量及扬压力等的设计值, 或有足够的监测资料时经分析求得的允许值(允许范围)。在蓄水初期可用设计值作监控指标, 根据监控指标可判定监测物理量是否异常。

2 监测物理量的相互对比是将相同部位(或相同条件)的监测量作相互对比, 以查明各自的变化量的大小、变化规律和趋势是否具有的一致性和合理性。

3 监测成果与理论或试验成果相对照比较其规律是否具有的一致性和合理性。

1.4.3 作图法

根据分析的要求, 画出相应的过程线图、相关图、分布图以及综合过程线图(如将上游水位、气温、监控指标以及同坝段的扬压力和渗流量等画在同一张图上)等。由图可直观地了解和监测值的变化大小和其规律, 影响监测值的荷载因素和其对监测值的影响程度, 监测值有无异常等。

1.4.4 特征值统计法

特征值包括各物理量历年的最大值和最小值(包括出现时间)、变幅、周期、年平均值及年变化趋势等。通过特征值的统计分析, 可以看出监测物理量之间在数量变化方面是否具有的一致性和合理性。

1.4.5 数学模型法

用数学模型法建立效应量(如位移、扬压力等)与原因量(如库水位、气温等)之间的关系是监测资料定量分析的主要手段。它分为统计模型、确定性模型及混合模型。有较

长时间的监测资料时，一般常用统计模型。当有条件求出效应量与原因量之间的确定性关系表达式时（一般通过有限元计算结果得出），亦可采用混合模型或确定性模型。

运行期的数学模型中包括水压分量、温度分量和时效分量三个部分。时效分量的变化形态是评价效应量正常与否的重要依据，对于异常变化需及早查明原因。

1.5 资料分析的内容

1.5.1 资料分析一般包含监测资料可靠性分析、监测量的时空分析、特征值分析、异常值分析、数学模型、坝体整体分析、防渗性能分析、坝体稳定性分析以及大坝运行状况评估等。

1.5.2 分析监测资料的准确性、可靠性

对于由于测量因素（包括仪器故障、人工测读及输入错误等）产生的异常测值进行处理（删除或修改），以保证分析的有效性及其可靠性。

1.5.3 分析监测物理量随时间或空间而变化的规律

1 根据各物理量（或同一坝段内相同的物理量）的过程线，说明该监测量随时间而变化的规律、变化趋势，其趋势有否向不利方向发展。

2 同类物理量的分布曲线，反映了该监测量随空间而变化的情况，有助于分析大坝有无异常征兆。

1.5.4 统计各物理量的有关特征值

统计各物理量历年的最大和最小值（包括出现时间）、变幅、周期、年平均值及年变化趋势等。

1.5.5 判别监测物理量的异常值

1 监测值与设计计算值相比较。

2 监测值与数学模型预报值相比较。

3 同一物理量的各次监测值相比较，同一测次邻近同类物理量监测值相比较。

4 监测值是否在该物理量多年变化范围内。

1.5.6 分析监测物理量变化规律的稳定性

1 历年的效应量与原因量的相关关系是否稳定。

2 主要物理量的时效量是否趋于稳定。

1.5.7 应用数学模型分析资料

1 对于监测物理量的分析，一般用统计学模型，亦可用确定性模型或混合模型。应用已建立的模型作预报，其允许偏差一般采用 $\pm 2s$ （ s 为剩余标准差）。

2 分析各分量的变化规律及残差的随机性。

3 定期检验已建立的数学模型，必要时予以修正。

1.5.8 分析坝体的整体性

对纵缝和拱坝横缝的开度以及坝体挠度等资料进行分析，判断坝体的整体性。

1.5.9 判断防渗排水设施的效能

1 根据坝基（拱坝拱座）内不同部位或同部位不同时间段的渗流量和扬压力监测资料，结合地质条件分析判断帷幕和排水系统的效能。

2 在分析时，应注意渗流量随库水位的变化而急剧变化的异常情况，还应特别注意渗

漏出浑浊水的不正常情况。

1.5.10 校核大坝稳定性

重力坝的坝基实测扬压力超过设计值时，宜进行稳定性校核。拱坝拱座出现上述情况时，亦应校核稳定性。

1.5.11 分析现场检查资料

应结合现场检查记录和报告所反映的情况进行上述各项分析。并应特别注意下列各点：

- 1 在第一次蓄水之际，有否发生库水自坝基部位的裂隙中渗漏出或涌出；有否渗流量急骤增加和浑浊度变化。
- 2 坝体、坝基的渗流量有无过量；在各个排水孔的排水量之间有无显著差异。
- 3 坝体有无危害性的裂缝；接缝有无逐渐张开。
- 4 在高水位时，水平施工缝上的渗流量有无显著变化。
- 5 混凝土有无遭受物理或化学作用的损坏迹象。
- 6 大坝在遭受超载或地震等作用后，哪些部位出现裂缝、渗漏；哪些部位（或监测的物理量）残留不可恢复量。
- 7 宣泄大洪水后，建筑物或下游河床是否被损坏。

1.5.12 评估大坝的工作状态

根据以上的分析判断，最后应对大坝的工作状态作出评估。

1.6 各时期监测资料分析报告的主要内容

1.6.1 首次蓄水时

- 1 蓄水前的工程情况概述。
- 2 仪器安装埋设监测和巡视工作情况说明。
- 3 现场检查的主要成果。
- 4 蓄水前各有关监测物理量测点（如扬压力、渗流量、坝和地基的变形、地形标高、应力、温度等）的蓄水初始值。
- 5 蓄水前施工阶段各监测资料的分析和说明。
- 6 根据现场检查和监测资料的分析，为首次蓄水提供依据。

1.6.2 蓄水到规定高程、分阶段验收及竣工验收时

- 1 工程概况。
- 2 仪器安装埋设监测和现场检查情况说明。
- 3 现场检查的主要成果。
- 4 该阶段资料分析的主要内容和结论。
- 5 蓄水以来，大坝出现问题的部位、时间和性质以及处理效果的说明。
- 6 对大坝工作状态进行评估，为蓄水到规定高程、分阶段验收及竣工验收提供依据。
- 7 提出对大坝监测、运行管理及养护维修的改进意见和措施。

1.6.3 大坝安全鉴定时

- 1 工程概况。
- 2 仪器更新改造及监测和现场检查情况说明。

- 3 现场检查的主要成果。
- 4 资料分析的主要内容和结论。
- 5 对大坝工作状态的评估。
- 6 说明建立、应用和修改数学模型的情况和使用的效果。
- 7 大坝运行以来，出现问题的部位、性质和发现的时间、处理的情况和效果。
- 8 拟定主要监测量的监控指标。
- 9 根据监测资料的分析 and 现场检查找出大坝潜在的问题，并提出改善大坝运行管理、养护维修的意见和措施。
- 10 根据监测工作中存在的问题，应对监测设备、方法、准确度及测次等提出改进意见。

1.6.4 大坝出现异常或险情时

- 1 工程简述。
- 2 对大坝出现异常或险情状况的描述。
- 3 根据现场检查和监测资料的分析，判断大坝出现异常或险情的可能原因和发展趋势。
- 4 提出加强监测的意见。
- 5 对处理大坝异常或险情的建议。

标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允许
不必	不需要、不要求	

中华人民共和国水利行业标准

混凝土坝安全监测技术规范

SL 601—2013

条文说明

目 次

1 总则	95
3 现场检查	96
4 环境量监测	97
5 变形监测	98
6 渗流监测	101
7 应力、应变及温度监测	102

1 总则

1.0.5 影响混凝土工程安全性态的关键部位的监测项目在工程竣工后不能布置时，考虑到关键部位的关键参数重要性，在施工期、运行期或极端条件下仪器损坏的可能性，建议在该部位布置测点时适当冗余，以保证观测资料获取。

安全监测是一项长期性与周期性的动态采集和分析判断的过程，根据大坝服役的不同阶段、目的与工况，采取相应的监测项目与监测频次，不同监测项目存在关联性，如大坝结构变形发生异常时，大坝应力和渗透压力可能也发生异常，在时间序列上观测信息符合渐变到突变的过程，故观测要求相关项目宜同步监测，时间序列应连续，以获取资料的完整性与规范性。

仪器监测与现场检查不同，仪器监测是定量的，可以量测到坝体及基础的性态，提供长期连续系列的资料，能发现大坝结构在不同荷载条件下微小变化趋势，定量评估大坝安全运行性态与发展趋势。现场检查能够在时间和空间上补充仪器量测的不足，更能全面地直观地对工程结构性态有快速、整体的初步诊断。

3 现场检查

3.1.2 据统计分析，大部分大坝突发事件的发生是有征兆的，是可以检查发现的。

检查在大坝安全监测与管理作用日趋重要，为扩充检查内涵与提高检查规范性、检查技术水平，本规范将巡视检查改为现场检查，现场检查是由工程技术人员及配合采用部分技术手段，对水库大坝的结构安全实施的巡视检查、检测与探测。除现场巡视检查外，还应采用现场检测、探测、仪器监测等方法，配置必要的适用于水库大坝测量、检测与探测专业设备进行。根据检查目的分日常检查、年度检查、定期检查和应急检查。

3.3.3 地震、大洪水等自然灾害对水库大坝安全影响是有过程的，如地震后大坝损伤的全部特征可能不会立即显现，可能数天甚至更长时间才能全部显现，因此，应急检查既包括时间发生后的即时检查和详细检查，也包括时间发生后某一时间段连续的后续检查，并与震前记录或基准值比较分析。

4 环境量监测

4.3.1 因库水温所定义的范围过大，而大坝安全监测所关心的只是坝前水温对水工建设物的影响，所以本次修订将库水温改为坝前水温。

5 变形监测

5.1.3 变形监测的准确度是变形监测系统的基本指标，但准确度要求需要恰当，准确度要求过高，会使监测工作复杂化，费用大量增加；准确度要求过低，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，准确度要求是一个很重要的问题。变形监测合理的准确度要求，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，因此，本次修订中，根据当前国内监测仪器发展情况和使用情况，对原规范规定的变形监测准确度作了适当调整。

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才是。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 $1/10\sim 1/20$ ，前苏联学者提出应在 $1/4\sim 1/10$ 之间，国内学者通过大量资料分析成果亦得出变幅与误差的实用准确度宜为 $1/10\sim 1/20$ 。

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，存在着不可逆的时效变形，以后主要受水位和气温的影响，呈近似正弦曲线的规律而做年周期变化。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：重力坝约为 10mm ，也有的坝小至 $3\text{mm}\sim 5\text{mm}$ ，大至 20mm ；拱坝径向位移约为 20mm ，也有的小至几个毫米，大至 $30\text{mm}\sim 40\text{mm}$ ；对于坝基水平位移：重力坝约为 $1\text{mm}\sim 3\text{mm}$ ，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 ；坝基垂直位移约 $1\text{mm}\sim 3\text{mm}$ ；对倾斜而言，坝顶可达几百秒，坝基仅为 $4''\sim 8''$ 。

目前，几乎国内外所有的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。精密水准法的准确度和路线长度（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 $0.5\text{mm}/\text{km}\sim 1.0\text{mm}/\text{km}$ 。静力水准准确度可达 0.07mm 。垂线、引张线和真空激光准直的准确度，都可达 $0.1\text{mm}\sim 0.3\text{mm}$ ，视准线准确度为 $1\text{mm}\sim 3\text{mm}$ 。本条规定各监测项目的最低准确度要求，主要依据上述普遍采用的方法实际可以达到的准确度，适当兼顾了变形量的数值，使多数准确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。由于近二十多年监测技术的快速发展，许多监测仪器的准确度有了较大提高，许多高准确度的仪器，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准确度要求进行了统一，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准确度要求。也就是说，拱坝的坝基位移准确度要求有了提高；并且，本次修订中去除了挠度监测和挠度监测准确度要求，因为挠度监测其实是水平位移监测，原规范对它们的准确度分别作出规定，造成了不应有的矛盾。在本次修订中，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准确度要求，使高边坡的安全监控得到了保证。此外，本次修订中增加了地下洞室变形监测的准确度要求。

5.2.1 水平位移监测方法较多，近二十多年，随着大坝安全监测工作受到重视，许多大坝都设置了水平位移监测系统，这方面实践较多，渐渐地形成了较合理的布置模式。在这次修订中，放进了新的规范中。

对于重力坝或支墩坝的坝体和坝基水平位移监测，新规范建议采用引张线法，真空激光准直法和垂线法监测。

引张线法由于设备简单、直观、准确度高、费用少，在国内大坝安全监测中使用较广，也较有成效。真空激光准直法，虽然费用高一些，但它可以同时监测水平和垂直位移，准确度高，性能稳定，也颇受大坝业主喜爱。垂线法可以同时测定大坝各个高程的水平位移，正倒垂结合，又可为各种水平位移准直法提供位移基准值，准确度高。在混凝土坝水平位移监测中，为优先选用项目。

视准线和大气激光准直受旁折光影响严重，不易达到变形监测最低准确度要求，故规定当坝长较短、条件有利时才可选用，一般只适用于中小工程。

对于拱坝坝体和坝基的水平位移，在这次修订中，废弃了导线法，而建议采用垂线监测。

导线法由于测量复杂，费时费工，误差较大，虽有设备上的改进，但成功事例仍不多。垂线法可以同时测得大坝不同高程径向和切向位移，方法简单，准确度高，易实现自动化监测，它已成为当今国内外拱坝水平位移监测布置的主流形式。

5.2.3 垂线在大坝水平位移的监测中处于中心的位置，它不仅能测读大坝有关高程的水平位移，而且它又常常为各类准直线提供位移基准值。因此，垂线的安装埋设质量要求较高。

影响垂线准确度的主要因素是气流，解决的办法有以下几种：

1 控制线体长度。修订后的规范规定，垂线的长度不宜大于50m。

2 加防风保护管。正垂线一般都应加防风保护管。

3 增大重锤重量或浮体的浮力。正垂线的重锤重量和倒垂线浮体的浮力取决于垂线长度，重锤重量越大，稳定的时间就越短，受气流等影响也就越小，但观测灵敏度和观测准确度将受影响。经调查了解，在实际使用中，按原规范确定的浮力偏小，影响观测准确度。原规范倒垂浮力的计算公式是前苏联的经验公式，这次修订对该式做了修改，修改后的浮力计算式如下：

$$P > 250(1 + 0.01L) \quad (1)$$

式中 P —— 浮子浮力，N；

L —— 测线长度，m。

和原式相比，对于50m长的线体，浮力增大75N，即增长7.5kg的力。

与上述修改相匹配，测线宜采用强度较高的不锈钢丝或不锈钢瓦钢丝，其直径应保证极限拉力大于浮子浮力的3倍。并推荐选用 $\phi 1.0\text{mm} \sim \phi 1.2\text{mm}$ 的钢丝。

5.2.4 采用钢丝作为线体的引张线准直系统，通常均需在测点处设置浮托装置，以克服因线体垂度大而造成测点处仪器设置的困难。近年采用高强质轻的碳纤维增强复合材料

(CFRP) 做线体，其垂度仅为钢丝线体的1/4~1/5，抗拉强度高于高强不锈钢丝1.4倍以

上。因此，采用CFRP材料作为线体的引张线准直系统，其线长可以大于200m，但不宜超过500m。

5.2.9~5.2.10 由于目前几乎是不可能实现要在工程设计阶段准确无误地预测岩体的基本状况及其在施工、运行过程中的变化情况，因此坝基、坝肩周围的岩体成了大坝安全的一个薄弱环节。近些年，国内一些工程高边坡和地下洞室暴露的问题，都说明了这一点。另外，根据对失事大坝的统计，大多数失事大坝也是由于基础存在问题而引起的。因此，在这次修订中，增加了岩体变形监测的内容。

测斜仪和多点位移计是近十多年来国内使用较为成功的仪器。测斜仪可以监测地下不同高程岩体的变形情况，可以测出边坡滑移面的位置。多点位移计可以用来监测地下断层位移或边坡滑移情况，可以测出地下洞室围岩松动圈的范围，使用较广。

5.4.4 激光准直系统的观测，目前基本上都采用自动化监测方法。大气激光准直系统因需修正大气环境的扰动影响，每一测次应观测两测回。真空激光准直系统管道内真空度若符合要求，测量系统基本不受环境影响。如果通过检验和测试，各测点多次测量中误差符合测量准确度要求，则可免去每一测次观测一测回，仅实施单次测量。

6 渗流监测

6.3.1 《混凝土大坝安全监测技术规范》（SDJ336—1989试行）已经20多年的试行，通过国内工程的大量实践，U型测压管已近10年鲜有采用，因此，本次修订予以取消。

单孔多管式测压管设置主要目的是监测基础分层水压力状态。从此类测压管运行情况看，各岩层间封闭隔离困难，虽节约了造孔费用，但很难达到预期的实用效果。为保证不同岩层地下水压力监测的可靠性，本次修订多管式测压管亦予取消。

7 应力、应变及温度监测

7.2.1 国内拉西瓦（H=250m）、小湾（H=294.5m）等工程均发现存在无应力计处于有应力的工作状态的情况。初步研究认为这种情况与无应力计的结构型式及安装埋设方式有关。故增加“200m以上特高拱坝的无应力计的结构型式及安装埋设方式宜进行专门论证”的内容。

7.2.4 坝基、坝肩岩体是大坝安全的薄弱环节，因此在规范修订中，在增加岩体变形监测的同时，增加了坝基、坝肩岩体的应力和应变监测。

7.2.7 为指导施工加强混凝土坝温控，在规范修订中，对重力坝纵缝及拱坝横缝面各灌浆区的温度监测提出了明确的要求。

7.4.1 为便于混凝土温控以及确定应变计、无应力计等的基准值，对应变计、无应力计和温度计的初期（第一周）观测的频次做出了明确规定，其它内部监测仪器如测缝计、钢筋计、锚杆应力计、压应力计等可参照执行。