

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—2003

代替 SDJ 336—1989

目 次

1 范围	和内容
2 规范性引用文件	附录 C (规范性附录) 变形监测设施的设计、安装和观测
3 术语和定义	附录 D (规范性附录) 渗流监测设施及水质分析项目
4 总则	附录 E (规范性附录) 应力、应变及温度监测仪器检验及埋设
5 巡视检查	附录 F (规范性附录) 地震测站的安装和运行
6 环境量监测	附录 G (规范性附录) 泄水建筑物水力学监测
7 变形监测	附录 H (规范性附录) 监测资料分析的方法和内容
8 渗流监测	条文说明
9 应力、应变及温度监测	
10 监测自动化系统	
11 监测资料的整理整编和分析	
附录 A (规范性附录) 混凝土坝安全监测项目和测次	
附录 B (资料性附录) 巡视检查程序	

1 范 围

本标准包括对坝体、坝基、坝肩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和设备的仪器监测和巡视检查。

本标准适用于 1 级、2 级、3 级混凝土坝的安全监测工作，4 级、5 级混凝土坝可参照使用。混凝土坝级别按 DL5180 执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修改版均不适用本标准，然而鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GBJ138	水位观测标准
GB12897	国家一、二等水准测量规范
GB12898	国家三、四等水准测量规范
GB/T17942	国家三角测量规范
DL5180	水电枢纽工程等级划分及设计安全标准
SL21	降水量观测规范
SL58	水位普通测量规范
SL59	河流冰情观测规范
能源电 [1988] 37 号	水电站大坝安全检查施行细则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.0.1 施工期 **construction period**

从开始施工，到水库首次蓄水为止的时期。

3.0.2 首次蓄水期 **frist impound period**

从水库首次蓄水到（或接近）正常蓄水位为止的时期。若首次蓄水后长期达不到正常蓄水位，则至竣工移交时为止。

3.0.3 初蓄期 **initial impound period**

首次蓄水后的头三年。

3.0.4 运行期 **operation period**

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。

3.0.5 变形 **deformation**

因荷载作用而引起结构外形或尺寸的改变为变形。结构任一点的变形为位移。

3.0.6 垂直位移 **vertical displacement**

竖直方向的位移。

3.0.7 滑坡 **slide**

土体或岩体顺坡向地向下移动。

3.0.8 渗流 **seepage**

水通过坝体、坝基或坝肩空隙的流动。

3.0.9 渗漏 leakage

通过坝体接缝、裂缝和缝隙流出的非期望的水流。

3.0.10 扬压力 uplift pressure

作用在坝基面向上的水压力。

3.0.11 孔隙压力 pore pressure

岩石或混凝土内部孔隙内的水压力。

3.0.12 应力 stress

作用于单位面积的荷载或力。

3.0.13 中误差 mean error

偶然误差和系统误差的综合值。

3.0.14 初始值 initial value

仪器设备埋设安装后的首次测值为初值。仪器设备埋设安装后正常稳定工作前的测值为初始值。

3.0.15 基准值 fiduciale value

作为计算起点的测值为基准值，其中最重要的是蓄水前的基准值。

3.0.16 故障率 failure rate

发生故障的事件数和总事件数之比。

3.0.17 异常 anomaly

背离正常或一般规律的现象。

3.0.18 监控指标 monitor index

对已建坝的荷载或效应量所规定的界限值。该值可以是设计值；当有足够的监测资料时，也可是经分析求得的允许值（或允许范围）。前者称设计监控指标，后者称运行监控指标。

4 总 则

4.0.1 混凝土坝必须设置必要的监测项目，用以监控大坝安全、掌握运行规律、指导施工和运行、反馈设计。

4.0.2 混凝土坝的安全监测工作应遵循如下原则：

1 监测仪器和设施的布置，应明确监测目的，紧密结合工程实际，突出重点，兼顾全面，相关项目统筹安排，配合布置。应保证具有在恶劣气候条件下仍能进行重要项目的监测。

2 仪器设备要耐久、可靠、实用、有效，力求先进和便于实现自动化监测。

3 仪器的安装和埋设必须及时，必须按设计要求精心施工，应保证第一次蓄水期能够获得必要的监测成果，并应做好仪器的保护；埋设完工后，及时作好初期测读并绘制竣工图、填写考证表，存档备查。

4 仪器监测严格按照规程规范和设计要求进行，相关监测项目力求同时监测；针

对不同监测阶段,突出重点进行监测;发现异常,立即复测;做到监测连续、数据可靠、记录真实、注记齐全、整理及时,一旦发现问题,及时上报。

5 仪器监测应与巡视检查相结合。

4.0.3 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。提出安全监测系统的总体设计专题、监测仪器及设备的数量;监测系统的工程概算。

2 招标设计阶段。提出监测系统设计文件,包括监测系统布置图、仪器设备清单、各监测仪器设施的安装技术要求、测次要求及工程预算等。

3 施工阶段。提出施工详图;应做好仪器设备的检验、埋设、安装、调试和保护,应绘制竣工图,编写埋设记录和竣工报告;应固定专人进行监测工作,保证监测设施完好和监测数据连续、可靠、完整,应按时进行监测资料分析,评价施工期大坝安全状况,为施工提供决策依据。

4 首次蓄水阶段。应制定首次蓄水的监测工作计划和主要的设计监控技术指标;按计划要求做好仪器监测和巡视检查;拟定基准值,定时对大坝安全状态作出评价并为蓄水提供依据。

5 运行阶段。应进行经常的和特殊情况下的监测工作;定期对监测设施进行检查、维护和鉴定,以确定是否应报废、封存或继续观测、补充、完善和更新;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;建立监测技术档案。

4.0.4 混凝土坝的安全监测项目和各监测项目的测次一般应遵守附录 A 中表 A.1 和表 A.2 的规定。

当发生地震、大洪水以及大坝工作状态异常时,应加强巡视检查,并对重点部位的有关项目加强观测,增加测次,必要时还应增加监测项目,发现问题,及时上报。

4.0.5 首次蓄水阶段的临时监测系统,应与永久监测系统建立数据传递关系,保证永久监测系统获得初始数据。监测自动化系统应有适当的措施保证实测数据的不间断采集。

4.0.6 已建坝监测设施不全或发生损坏失效时,应根据实际情况,择要予以补设或更新改造。

4.0.7 应定期对监测结果进行分析研究,并按下列类型对大坝的工作状态作出评估:

1 正常状态,指大坝(或监测的对象)达到设计要求的功能,不存在影响正常使用的缺陷,且各主要监测量的变化处于正常情况下的状态。

2 异常状态,指大坝(或监测的对象)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,因而影响正常使用的状态。

3 险情状态,指大坝(或监测的对象)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。

4.0.8 应按国家及行业计量规定对监测仪器定期由有资质的单位进行计量检定。

4.0.9 根据工程具体情况,经论证后,可选设下列专项:

- 1 近坝区岸坡稳定监测。
- 2 地下洞室稳定监测。
- 3 坝体地震反应监测。
- 4 泄水建筑物水力学监测。

5 巡 视 检 查

5.0.1 巡视检查应满足以下一般要求：

- 1 从施工期到运行期，各级大坝均须进行巡视检查；
- 2 巡视检查应根据每座大坝的具体情况和特点，制定检查程序，携带必要的工具或具备一定的检查条件后进行；
- 3 巡视检查中发现大坝有损伤，原有缺陷有进一步发展，近坝岸坡有推移崩塌征兆或其他异常迹象，应分析原因。

5.0.2 巡视人员应按预先制定的巡视检查程序（参见附录 B.1）对大坝作例行检查。对于不同的巡视检查应采用下列相应的巡视次数：

1 日常巡视检查。在施工期，宜每周二次；水库第一次蓄水或提高水位期间，宜每天一次或每二天一次（依库水位上升速率而定）；正常运行期，可逐步减少次数，但每月不宜少于一次；汛期应增加巡视检查次数；水库水位达到设计洪水位前后，每天至少应巡视检查一次。

2 年度巡视检查。在每年汛前、汛后或枯水期（冰冻严重地区的冰冻期）及高水位低气温时，对大坝进行较为全面的巡视检查。年度巡视检查除按规定程序对大坝各种设施进行外观检查外，还应审阅大坝运行、维护记录和监测数据等资料档案，每年不少于二次。

3 特殊情况下的巡视检查。在坝区（或其附近）发生有感地震、大坝遭受大洪水或库水位骤降、骤升，以及发生其他影响大坝安全运用的特殊情况时，应及时进行的巡视检查。

5.0.3 检查的内容可根据具体情况确定。

1 坝体主要检查如下内容：

- 1) 相邻坝段之间的错动；
- 2) 伸缩缝开合情况和止水的工作状况；
- 3) 上下游坝面、宽缝内及廊道壁上有无裂缝，裂缝中漏水情况；
- 4) 混凝土有无破损；
- 5) 混凝土有无溶蚀、水流侵蚀或冻融现象；
- 6) 坝体排水孔的工作状态，渗漏水的漏水量和水质有无显著变化；
- 7) 坝顶防浪墙有无开裂、损坏情况。

2 坝基和坝肩主要检查如下内容：

- 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）结合处有无错动、开裂、脱离及渗水等情况；

- 3) 两岸坝肩区有无裂缝、滑坡、溶蚀及绕渗等情况;
- 4) 基础排水及渗流监测设施的工作状况、渗漏水的水量及浑浊度有无变化。

3 引水建筑物主要检查进水口和引水渠道有无堵淤、裂缝及损伤,控制建筑物及进水口拦污设施状况、水流流态。

4 泄水建筑物主要检查如下内容:

1) 溢洪道(泄水洞)的闸墩、边墙、胸墙、溢流面(洞身)、工作桥等处有无裂缝和损伤;

2) 消能设施有无磨损冲蚀和淤积情况;

3) 下游河床及岸坡的冲刷和淤积情况;

4) 水流流态;

5) 上游拦污设施的情况。

5 近坝区岸坡主要检查如下内容:

1) 地下水露头及绕坝渗流情况;

2) 岸坡有无冲刷、塌陷、裂缝及滑移迹象。

6 闸门及金属结构主要检查如下内容:

1) 闸门(包括门槽、门支座、止水及平压阀、通气孔等)工作情况;

2) 启闭设施启闭工作情况;

3) 金属结构防腐及锈蚀情况;

4) 电气控制设备、正常动力和备用电源工作情况。

7 监测设施巡视检查项目参见附录 B.2。

8 过坝建筑物、地下厂房等的巡视检查,可参照以上条款进行。

5.0.4 巡视检查应做好准备工作。

1 巡视检查主要由熟悉本工程情况的人员参加,并相对固定,每次检查前,均须对照检查程序要求,做好准备工作。

2 年度巡视检查和特殊情况下的巡视检查,还须做好下列准备工作:

1) 做好水库调度和电力安排,为检查引水、泄水建筑物提供检查条件及动力和照明;

2) 排干检查部位积水或清除堆积物;

3) 水下检查及专门检测设备、器具的准备和安排;

4) 安装或搭设临时设施,便于检查人员接近检查部位;

5) 准备交通工具和专门车辆、船只;

6) 采取安全防护措施,确保检查工作及设备、人身安全。

5.0.5 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;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、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。

5.0.6 巡视检查应做好记录,每次检查均应按各类检查规定的程序做好现场填表和记录,必要时应附有略图、素描或照片。现场检查表可参照能源电[1988]37号文执

行。

现场记录及填表必须及时整理，并将本次检查结果与上次或历次检查结果对比，分析有无异常迹象。在整理分析过程中，如有疑问或发现异常迹象，应立即对该检查项目进行复查，以保证记录准确无误。重点缺陷部位和重要设备，应设立专项卡片。

5.0.7 巡视检查应及时编制报告。年度巡视检查在现场工作结束后 20d 内提出详细报告。报告内容参见附录 B.3。特殊情况下的巡视检查，在现场工作结束后，还应立即提交一份简报。

巡视检查中发现异常情况时，应立即编写专门的检查报告，及时上报。

各种填表和记录、报告至少应保留一份副本，存档备查。

6 环境量监测

6.1 一般规定

6.1.1 环境量监测，除应按 GBJ138、SL21、SL58、SL59 等水文、气象专业方面相应的规定外，应执行本章有关规定。

6.1.2 环境量监测主要包括水位、库水温、气温、降水量、冰压力、坝前淤积和下游冲刷等项目。

6.2 水位

6.2.1 水位观测站必须在蓄水前完成施工，并应设置在：

- 1 水流平稳，受风浪、泄水和抽水影响较小，便于安排设备和监测的地方。
- 2 岸坡稳固地点或永久建筑物上。
- 3 基本能代表上游、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。

6.2.2 水位监测一般应设置遥测水位计或水尺。当采用自动遥测时，在设置遥测水位计的同时，还应设置人工观测的水尺，其最大测读高程应高于校核洪水位。

6.2.3 水尺或遥测水位计的零点标高每隔 3 年 ~ 5 年应校测一次。当怀疑水尺零点有变化时，亦应进行校测。遥测水位计每年汛前应进行检查。

6.3 库水温

6.3.1 在靠近上游坝面的库水中，布置测温垂线，其位置宜与重点监测坝段一致。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。

6.3.2 对于坝高在 30m 以下的低坝，至少应在正常蓄水位以下 20cm、1/2 水深处及库底各布置一个测点。

对于坝高在 30m 以上的中、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。

6.4 气 温

6.4.1 坝区附近至少应设置一个气温测点。

6.4.2 气温监测仪器应设在专用的百叶箱内。

6.5 降 水 量

坝区附近至少应设置一个降水量测点。

6.6 冰 压 力 监 测

6.6.1 结冰前, 在冰面以下 20cm ~ 50cm 处, 每 20cm ~ 40cm 设置一个压力传感器, 并在旁边相同深度设置一个温度计, 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。

6.6.2 消冰前根据变化趋势, 在大坝前缘适当位置及时安设预先配置的压力传感器, 进行动冰压力监测, 同时监测的项目还有冰情、风力、风向。

6.7 坝前淤积和下游冲刷

6.7.1 在坝前、沉沙池、下游冲刷的区域至少应各设置一个监测断面。

6.7.2 可采用水下摄像、地形测量或断面测量法进行监测。

7 变形监测

7.1 一 般 规 定

7.1.1 变形监测项目主要有坝体变形、裂缝、接缝, 以及坝基变形、滑坡体和高边坡的位移等。

7.1.2 变形监测用的平面坐标及水准高程, 应与设计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。

7.1.3 各项位移的测量中误差不应大于表 7.1.3 的规定。坝体、坝基、近坝区岩体、滑坡体、高边坡的位移量中误差相对于工作基点计算。

特殊情况下监测精度要求可根据实际情况, 在设计中确定。

表 7.1.3 变形监测的精度

项 目			位移量中误差限值	
水平位移 mm	坝顶	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		
		拱坝	径向	± 0.3
			切向	± 0.3
坝体、坝基垂直位移 mm		坝顶	± 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	
滑坡体		水平位移 mm	± 3.0 (岩质边坡) ± 5.0 (土质边坡)	
		垂直位移 mm	± 3.0	
		裂缝 mm	± 1.0	

特长大坝、特大滑坡等特殊情况下监测的精度要求可根据实际情况，在设计中确定。

7.1.4 各项监测设施，应随施工的进展及时埋设安装，并在首次蓄水前取得基准值。各种基准值至少应连续观测两次，合格后取均值使用。

7.1.5 变形监测工作应遵守下列规定：

1 建筑物上各类测点应与建筑物牢固结合，能代表建筑物变形。建筑物外各类测点，应尽可能埋设在新鲜或微风化基岩上，保证测点稳固可靠，能代表该处岩体变形。基准点应建在稳定区域。

2 监测设备应有必要的保护装置。

3 变形监测所用的仪器、设备，必须与表 7.1.3 的精度要求相适应，并应长期稳定可靠，使用、维护方便。

4 相关的各监测项目,应尽量同时监测,户外监测应选择有利时段进行。

7.1.6 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,向左为正,反之为负。

7.2 监测设计

7.2.1 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引张线法、真空激光准直法和垂线法监测。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。

3 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、多点位移计和倒垂线组监测其变形。

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。个别点可采用倒垂线或其他适宜方法监测,深层位移可采用倒垂组、多点位移计、挠度计或测斜仪等进行监测。

5 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。

6 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。

7 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量组成边角网。

7.2.2 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他有代表性的坝段。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,应尽量在坝顶和基础附近设置。高坝还应在中间高程设置。

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设测点外,下游不宜少于4个测点。

7.2.3 垂线按下列要求进行布置设计:

1 正垂线宜采用“一线多测站式”,线体设在预留的专用竖井内,也可利用其他竖井或宽缝设置。

2 倒垂线钻孔深入基岩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, 可取坝高的 $1/4 \sim 1/2$, 钻孔深度不宜小于 **10m**。

3 单段垂线的长度不宜大于 **50m**。

4 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。

5 垂线设计的具体要求见附录 C.1。

7.2.4 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 设计的具体要求见附录 C.2。

7.2.5 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。

7.2.6 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。

具体设计要求见附录 C.4。

7.2.7 边角网包括三角网、测边网和测边测角网三种。边角网设计时应作可靠性评价, 可靠性因子 γ 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。

必须根据被监测对象的特殊要求和具体条件做好优化设计, 按最小二乘法进行精度预估, 保证测点在指定方向的位移量中误差不大于表 7.1.3 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.11。

边角网的具体设计要求见附录 C.5。

7.2.8 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精度预估进行设计, 位移量中误差必须不大于表 7.1.3 中的规定, 一般情况下的布置要求见附录 C.6。

7.2.9 钻孔测斜仪包括固定式和活动式二种。钻孔测斜仪宜布置在边坡监测断面的各级马道上。钻孔一般呈铅直布置。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。具体设计要求见附录 C.7。

7.2.10 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。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。仪器可在水平的、垂直的、或任何方位的钻孔中安装, 水平钻孔宜略向上成 $5^\circ \sim$

10°倾角布置,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,孔口附近应设大地水平位移测点。具体设计要求见附录C.8。

7.2.11 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。具体设计要求见附录C.9。

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。工作基点应设在距坝较近处,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。坝顶和不同高程的廊道的水准路线,可通过高程传递连接。近坝区岩体垂直位移测点的间距,在距坝较近处一般为0.3km~0.5km;距坝较远处可适当放长,一般不超过1km。

7.2.12 连通管法(即流体静力水准法)和真空激光系统适用于测量坝体和坝基的垂直位移,连通管和真空激光系统应设在水平廊道内,两端应设垂直位移工作基点。

7.2.13 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”。具体设计要求见附录C.9。

7.2.14 坝体和坝基的倾斜,应采用一等水准监测,也可采用连通管和遥测倾斜仪监测;坝体倾斜还可采用气泡倾斜仪监测。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 当整个大坝倾斜时,在基础高程面附近宜设置1个~3个测点,在高坝坝顶和中部宜设置2个~4个。

3 用精密水准法监测倾斜,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 气泡倾斜仪宜用于坝体中、上部。其底座长度不宜小于300mm。

7.2.15 表面接缝和裂缝的变化,可选择有代表性的部位埋设单向或三向机械测缝标点或遥测仪器进行监测;对运行或施工中出现危害性的裂缝,宜增设测缝计进行监测。

7.2.16 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。一般一个孔内从里到外设4个~5个测点为宜。

7.3 监测设施的安装

7.3.1 在基础开挖到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。应尽量减小倒垂孔的倾斜度,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.13。

正垂线安装的具体位置视垂线井(竖井、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。

7.3.2 各种水平位移监测设备及接缝裂缝监测设备安装前,必须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。

7.3.3 建筑物外的水准点不应设在地下水位高或易受剧烈振动的地点,并须便于观测。

水准基准点的主标和双金属标应设置保护装置。

7.3.4 微水准尺标安装时,应精确将标柱调整铅直。标尺距地面的高度,应便于观测。

7.3.5 连通管两端观测墩顶部应等高,墩面应水平;安装连通管时,必须将水管中气泡全部排尽。具体要求见附录 C.10。

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

7.4 观 测

7.4.1 垂线观测可采用光学垂线坐标仪或其他同精度仪器,也可采用遥测垂线坐标仪。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。

7.4.2 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。严禁单纯使用目视直接读数。每一测次应观测两测回,当使用读数显微镜时,两测回观测值之差不得超过0.15mm;当使用两用仪、两线仪或放大镜时,两测回观测值之差不得超过0.3mm;具体要求见附录 C.2。

7.4.3 视准线应采用视准仪或 J₁ 型经纬仪或精度不低于 J₁ 型经纬仪的全站仪进行观测。每一测次应观测两测回,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";具体要求见附录 C.3。

7.4.4 大气激光准直每一测次应观测两测回,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观测一测回,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 C.4。

7.4.5 采用边角网和交会法观测时,水平角应以 J₁ 型经纬仪或精度不低于 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10"。

边长用标称精度优于 $1\text{mm} + 1/10^6 \times D$ (式中 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。

7.4.6 一等水准应以 S_{05} 型水准仪和因瓦水准标尺进行观测。二等水准也可用 S_1 型水准仪。

三角高程测量中, 天顶距应以 J_1 型经纬仪或精度不低于 J_1 型经纬仪的全站仪进行观测。

气泡倾斜仪的气泡格值不应大于 $5''$ 。

各种观测方法的具体要求见附录 C.9。

7.4.7 单向机械测缝标点和三向弯板式测缝标点的观测, 通常直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, 两次观测值之差不得大于 0.2mm 。

7.4.8 光学机械监测仪器、设备, 在监测开始前, 必须先晾仪器, 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。在晾仪器和整个监测过程中, 仪器不得受到日光的直接照射。

8 渗流监测

8.1 一般规定

8.1.1 混凝土坝必须进行渗流监测。监测项目包括扬压力、渗透压力、渗流量及水质监测。

8.1.2 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, 使读数在 $1/3 \sim 2/3$ 量程范围内, 精度不得低于 0.4 级。

用渗压计量测监测孔的水位时需根据不同量程的渗压计, 采用相应的读数仪进行测读, 精度不得低于满量程的 $5/1000$ 。

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

8.2 监测设计

8.2.1 坝基扬压力监测应根据建筑物的类型、规模、坝地质条件和渗流控制的工程措施等进行设计布置。一般应设纵向监测断面 1 个 ~ 2 个, 1 级、 2 级坝横向监测断面至少 3 个。

纵向监测断面宜布置在第一道排水幕线上, 每个坝段至少应设一个测点; 若地质条件复杂时, 测点数应适当增加, 遇大断层或强透水带时, 可在灌浆帷幕和第一道排水幕之间增设测点。

横向监测断面宜选择在最高坝段、地质构造复杂的谷岸台地坝段及灌浆帷幕转折的坝段。横断面间距一般为 $50\text{m} \sim 100\text{m}$; 如坝体较长, 坝体结构和地质条件大体相同, 则

可加大横断面间距。对支墩坝，横断面可设在支墩底部。横断面上一般设 3 个~4 个测点，宜布置在各排水幕线上。若地质条件复杂时，测点可适当加密。在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。

8.2.2 扬压力监测孔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。扬压力监测孔与排水孔不应互相代用。

8.2.3 坝基扬压力一般埋设测压管进行监测，必要时，亦可在管内放置渗压计进行监测。

8.2.4 坝基若有影响大坝稳定的浅层软弱带，应增设测点。采用测压管时，测压管的进水管段应埋设在软弱带以下 0.5m~1m 的基岩中，应做好软弱带处导水管外围的止水，防止下层潜水向上渗漏。

地质条件良好的薄拱坝，经论证后可少作或不作扬压力监测。

坝后厂房的建基面上，宜设置扬压力测点。

8.2.5 监测坝体水平施工缝上的渗透压力，宜采用渗压计。测点应设在上游坝面至坝体排水管之间。测点间距自上游面起，由密渐稀。靠近上游面的测点，与坝面的距离不应小于 0.2m。

埋设截面宜与坝体应力监测截面相结合。

8.2.6 应结合枢纽布置对渗漏水的流向、集流和排水设施的统筹规划，进行渗流量监测设计。河床和两岸的渗漏水宜分段量测，必要时可对每个排水孔的渗漏水单独量测。

廊道或平洞排水沟内的渗漏水，一般用量水堰量测，也可用流量计量测。排水孔的渗漏水可用容积法量测。

8.2.7 坝体渗漏水 and 坝基渗漏水应分别量测。

坝体靠上游面排水管渗漏水，流入排水沟后，可分段集中量测；坝体混凝土缺陷、冷缝和裂缝的漏水，一般用目视观察。漏水量较大时，应设法集中后用容积法量测。

8.2.8 绕坝渗流的测点布置应根据地形、枢纽布置、渗流控制设施及绕坝渗流区渗透特性而定。在两岸的帷幕后沿流线方向分别布置 2 个~3 个监测断面。断面的分布靠坝肩附近应较密，每条测线上布置不少于 3 个~4 个测点。帷幕前可布置少量的测点。

对于层状渗流，应利用不同高程上的平洞布置监测孔；无平洞时，应分别将监测孔钻入各层透水带，至该层天然地下水位以下的一定深度，一般为 1m，埋设测压管或安装渗压计进行监测；必要时，可在一个钻孔内埋设多管式测压管，或安装多个渗压计。但必须做好上下两个测点间的隔水设施，防止层间水互相贯通。

8.2.9 近坝区的地下水位监测，应根据工程具体条件统筹布置，应尽量利用不同高程的探洞布置监测孔，对以下几种情况，应分别作出专门设计：

1 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做地下水位监测孔。

已查明有滑动面者，宜沿滑动面的倾斜方向或地下水的渗流方向，布置 1 个~2 个

监测断面。地下水位监测孔应深入滑动面以下 $0.5\text{m} \sim 1\text{m}$ 。若滑坡体内有隔水岩层时,应分层布置监测孔,同时亦应做好层间隔水。

无明显滑动面的近坝岸坡,应分析可能的滑动面,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,设置测压管安装渗压计进行监测。若有地下水露头时,应布置浅孔监测,以监视表层水的流向和变化。

2 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一排测压管。也可利用通过构造带的平洞或专门开挖平洞布置测点。监测地下水位的状况。

8.2.10 应选择有代表性的排水孔或绕坝渗流监测孔,定期进行水质分析。若发现有析出物或有侵蚀性的水流出时,应取样进行全分析。在渗漏水水质分析的同时应作库水水质分析。

水质一般可作简易分析,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.4,其中物理分析项目,宜在现场进行。

8.3 监测设施及其安装

8.3.1 测压管可选用金属管或硬工程塑料管。进水管段必须保证渗漏水能顺利地进入管内。当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 D.1,管口有压时应安装压力表,并应“一管一表”;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 D.1。

8.3.2 单管式测压管有预埋式和钻孔式两种,具体埋设安装方法见附录 D.1。帷幕附近,不宜采用预埋式测压管。

安装单管式测压管时,应尽量使导管段与进水管段处于同一铅垂线上;若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。

采用钻孔式测压管时,应对混凝土与基岩接触段进行灌浆处理,亦可下套管至建基面,套管与孔壁间的间隙应以砂浆填封。

在完整的基岩中安装测压管时,则不需要进水管和导管,仅安装管口装置。

8.3.3 多管式测压管宜在地质条件较复杂的部位使用,进水管段应分别安装在不同的岩层内,再用导管分别引到管口。各岩层的进水管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 D.1。

8.3.4 测压孔和排水孔的钻孔应在帷幕灌浆和固结灌浆后进行;采用预埋式测压管时,应防止灌浆时测压管被浆液堵塞。安装测压管时,应准确地量测并记录进水管底和孔口高程、平面坐标。

使用渗压计时,电缆的连接应按照附录 E 的有关要求执行。

8.3.5 渗压计量程应与测点实有压力相适应,必要时宜选用能消除气压的渗压计。埋设方法应根据不同的部位而异,各种方法见附录 D.2。

8.3.6 量水堰一般选用三角堰或矩形堰,三角堰适用于流量为 $1\text{L/s} \sim 70\text{L/s}$ 的量测范围;矩形堰适用于流量大于 50L/s 的情况;当渗漏量小于 1L/s 时,可采用容积法。

量水堰的结构见附录 D.3。

8.3.7 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。

8.4 观 测

8.4.1 当采用压力表测量测压管内水压时，压力值应读到最小估读单位；对于拆卸后重新安装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。

8.4.2 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，两次读数之差不应大于 1cm。

8.4.3 当采用渗压计量测监测孔的水位时，两次读数之差应不大于仪器的最小读数。

8.4.4 容积法观测渗流量时，需将渗漏水引入容器内，测定渗漏水的容积和充水时间（一般为 1min，且不得小于 10s），即可求得渗流量，两次测值之差不得大于平均值的 5%。

8.4.5 当测量量水堰堰顶水头时，水头值应读到最小估读单位。

8.4.6 水质分析所需水样应在规定的监测孔、排水孔或廊道排水沟内取得。在监测孔中取样时，同时也应在水库内取水样，以便分析比较。

8.4.7 坝体混凝土中或基岩中的析出物，应取样做成分分析，检查是否有化学管涌或机械管涌发生。

9 应力、应变及温度监测

9.1 一 般 规 定

9.1.1 应力、应变及温度监测项目主要有应力、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、接缝裂缝开度监测和地震反应监测等。

9.1.2 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，重要的物理量可布设互相验证的监测仪器。在布置应力、应变监测项目时，应对所采用的混凝土进行热学、力学及徐变、自身体积膨胀等性能试验。设计选用的仪器设备和电缆，其性能和质量应满足监测项目的需要。

9.2 监 测 设 计

9.2.1 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，合理地布置测点，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，以及与其他监测资料综合分析。

2 测点的应变计支数和方向应根据应力状态而定。空间应力状态宜布置 7~9 向应

变计, 平面应力状态宜布置 4~5 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 处布置一支无应力计。

4 坝体受压部位可布置压应力计, 以便与应变计组相互比较, 压应力计和其他仪器的间距应保持 0.6m~1.0m 的距离。

9.2.2 重力坝应力和应变的监测布置宜按下列步骤进行:

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一般布置 5 点。

4 坝踵和坝址应加强监测, 除布置应力、应变监测仪器外, 还应配合布置其他仪器。

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 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设应变计组。

7 表面应力梯度较大时, 应在距坝面不同距离处布置测点。一般布设单向或两向应变计。

8 整体式重力坝的仪器布置可参照拱坝进行。

9.2.3 拱坝应力和应变的监测布置宜按下列步骤进行:

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压应力计。

5 坝踵、坝址及表面应力和应变监测的布置要求与重力坝相同。

9.2.4 无应力计与相应的应变计组距坝面的距离应相同。无应力计与应变计组之间的距离一般为 1.5m; 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、湿度条件相同。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。

9.2.5 坝基、坝肩及近坝边坡岩体应力、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,

宜选择一个主监测断面，在其附近设辅助监测断面 1 个~2 个。重点监测断面宜与其他监测项目结合布置。

2 宜在重力坝的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 岩体表面测点宜采用基岩应变计，其标距应为 1m~3m，宜单向或 2~3 向布置。

4 在受力条件明确的部位可布置压应力计。

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

锚杆监测宜选择有代表性的部位和各种形式的锚杆抽样进行，监测数量应根据实际需要确定。每根锚杆宜布置 3 个~5 个测点，仪器采用锚杆应力计。

预应力锚索监测宜对各种吨位的锚索抽样进行，监测数量应根据实际需要确定，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。

9.2.6 地下洞室应力和应变的监测布置宜按下列要求进行：

1 应按工程的需求、地质条件及施工条件选择有代表性的部位作为永久监测断面，必要时可增设临时监测断面。

2 监测断面布置要合理，应注意时空关系。应考虑表面与深部结合、重点与一般结合、局部与整体结合，使断面、测点、测站形成一个系统，能控制整个工程的各关键部位。

3 测点布置应在考虑围岩应力分布、岩体结构和地质代表性的基础上，依据其变化梯度来确定测点数量。梯度大的部位，点距小；梯度小的部位，点距大。

4 当洞室围岩采用锚杆支护时，应根据围岩条件和洞室结构布置锚杆应力计测点，可布置单测点或多测点。监测锚杆数量应根据实际需要确定。当需要了解应力分布情况时，一根锚杆至少布置 3 个测点。

5 当采用预应力锚索加固岩体时，可布置锚索测力计，监测锚索数量应根据实际需要确定。

6 在大型洞室顶拱设钢筋混凝土衬砌结构时，可根据顶拱受力方向在断面上沿拱圈外缘和内缘布置单向混凝土应变计测点。受力方向不明确时，宜采取成组布置，每组 2 支，分别沿洞轴向和切向布置。

围岩内的应变计一般呈径向和切向布置。

7 宜在围岩与支护结构的接触界面上布置压应力计。拱部的压应力计布置应与应变计相同；围岩内部和结构内部的压应力计应根据压力分布和方向布置。

9.2.7 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，并须保证钢筋计中间的钢套部分不受弯曲。

对预应力闸墩应布置预应力锚索测力计。

9.2.8 引水和泄水钢管布置钢板应力监测断面时，在圆形监测断面上一般至少布置 3 个测点。钢闸门的主梁及支承结构、蜗壳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，用专用夹具定位。布置

测点处钢板的曲率半径不宜小于 1m。

9.2.9 坝体和坝基温度监测布置原则如下:

1 温度监测坝段应为监测系统的重点坝段,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状态进行布置。在温度梯度较大的坝面或孔口附近测点宜适当加密。坝体温度测点应结合安全监控预报模型需要而设置,不做预报模型的坝段,温度测点可适当减少,也可采用能满足施工监测要求的使用期限较短的温度计或热电偶。

3 在能兼测温度的其他仪器处,不宜再布置温度计。

9.2.10 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。若坝高 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。

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

在重力坝纵缝和拱坝横缝面每个灌区宣布设温度计和测缝计。

9.2.11 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。

9.2.12 基岩温度的监测布置按下列要求进行:

在温度监测断面的底部,宜在靠上、下游附近各设置一排 5m~10m 深的钻孔,在孔内不同深度处布置测点,并用水泥砂浆回填孔洞。

9.2.13 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、并缝处、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,宜在混凝土内布置裂缝计。

2 宜在重力坝纵缝不同高程处布置 3 支~5 支测缝计,必要时也可在键槽斜面处布置测点。

3 在坝踵、岸坡较陡坝段的基岩与混凝土结合处,宜布置单向、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 在强震区的拱坝横缝宜布置 2 支~3 支测缝计。

9.2.14 在地震区的大坝应设置强震仪,监测坝体在地震时的振幅、频率、振动速度和加速度。监测布置宜采用如下方式:

1 在重力坝和支墩坝溢流坝段和非溢流坝段应各选一个最高坝段或地质条件较为

复杂的坝段进行监测。测点应布置在坝顶和坝基廊道内；高坝可在中间不同高程加设 1 个~3 个测点。并应根据结构特点选择其他 3 个~4 个坝段，在坝顶各布设 1 个测点；在“局部应力集中部位及局部薄弱环节也宜布置测点；在离坝址 2 倍坝高附近的基岩上应设置 1 个测点。

2 拱坝应在拱冠梁从坝顶到顶基布置 3 个~4 个测点；在 1/4 拱圈处，坝肩处沿顶拱各布置 1 个测点。拱坝的拱座沿不同高度应布置 1 个~3 个测点；在离坝址 2 倍坝高附近的基岩上应设置 1 个测点。

薄拱坝应在 2/3 坝高附近布置测点。

9.2.15 监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，并具有一定的空间，观测站应设计安置集线箱和测量仪表的壁龛和工作台。

在施工期间应设置临时观测站，保证施工期能正常观测或自动采集数据的需要。

9.2.16 电阻式温度计的连接电缆宜采用三芯水工电缆，其他差动电阻式仪器宜采用五芯水工电缆。钢弦式仪器的连接电缆应采用屏蔽电缆。

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干扰施工最小。

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 1.5~2 倍。跨缝时，应采取措施使电缆有伸缩的余地。

9.3 监测仪器的埋设

9.3.1 埋设仪器前，应编制施工的进度计划和操作细则（包括仪器检验、电缆连接和走向、埋设方法、现场观测及资料整理等方面的规定），并须对仪器进行检验（见附录 E.1）。

9.3.2 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，对各种监测仪器进行检测；应按监测设计要求进行电缆连接和编号，具体方法见附录 E.2。

宜先将埋设仪器及附件进行试安装，检查仪器性能，保证各项工作无误。

9.3.3 应按监测设计要求及附录 E.3 和附 F.1 的方法进行各种仪器埋设。必须保证仪器埋设的位置和方向正确，并防止仪器受到损坏。

9.3.4 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，严禁将电缆观测端浸入水中，以免芯线锈蚀或降低绝缘度。

9.3.5 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。

9.4 观 测

9.4.1 应按照规定测次和时间进行观测。各种互相有关的项目，应同时监测。

9.4.2 使用直读式接收仪表进行观测时，每月应对仪表进行一次准确度检验。如需更换仪表时，应先检验是否有互换性。地震反应监测仪器检查要求见附录 F2.2。

9.4.3 必须认真填写观测记录，注明仪器异常、仪表或装置故障、电缆剪短或接长及集线箱检修等情况。

9.4.4 应对现场观测值进行质量控制，具体要求见附录 E.4。

9.4.5 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。电缆长度不得随意改变，必须改变电缆长度时，应在改变长度前后读取监测值，并做好记录。集线箱及测控装置应保持干燥。

9.4.6 仪器埋设后，必须确定基准值。基准值应根据混凝土的特性、仪器的性能及周围的温度等，从初期各次合格的观测值中选定。

9.4.7 在泄水情况下，对泄水建筑物进行观测时，宜同时进行泄水建筑物水力学观测（见附录 G）。

10 监测自动化系统

10.1 一 般 规 定

10.1.1 监测自动化系统包含数据自动采集、数据传输、数据存储和数据管理等几部分。

10.1.2 大坝安全监测自动化系统，应具备下列基本功能要求：

1 数据采集功能，能自动采集各类传感器的输出信号，能把模拟量转换为数字量；数据采集能适应应答式和自报式两种方式，能按设定的方式自动进行定时测量，能接收命令进行选点、巡回检测及定时检测；

2 掉电保护功能，在断电情况下确保持续工作 3d 以上；

3 自检、自诊断功能；

4 现场网络数据通信和远程通信功能；

5 防雷及抗干扰功能；

6 数据异常报警及故障显示功能；

7 数据备份功能。

10.1.3 监测自动化系统的选择，应符合下列基本性能要求：

1 采样时间：巡测时小于 30min；单点采样时小于 3min。

2 测量周期为 10min ~ 30d，可调。

3 监控室环境温度保持 20℃ ~ 30℃；湿度保持不大于 85%。

- 4 系统工作电压为 $220(1 \pm 10\%)$ V。
- 5 系统故障率不大于 5%。
- 6 防雷电感应为 1000V。
- 7 采集装置测量精度不低于本标准对测量对象精度的要求。
- 8 采集装置测量范围满足被测对象有效工作范围的要求。
- 9 系统能稳定可靠地工作。

10.1.4 监测自动化系统宜有自动监测与人工观测的比测设施。

10.1.5 监测自动化系统应经常保持良好工况，监测设备应定期检查和更新。

10.2 监测自动化系统设计

10.2.1 监测自动化系统的布置，应符合下列要求：

- 1 纳入监测自动化系统的测点应以满足监测工程安全运行需要为主，施工期监控及为科学研究而设置的测点原则上不纳入监测自动化系统。
- 2 监测自动化系统的更新改造设计应在完成原有仪器设备检验和鉴定后进行。
- 3 监测自动化系统控制室的设置应符合国家现行的有关控制室或计算机机房的规定；控制室应有独立的接地线。

10.2.2 监测自动化系统可选用下列三种基本形式：

- 1 集中式。
- 2 分布式。
- 3 混合式。

10.2.3 对于监测范围广、测点数量多、工程规模巨大的水利水电枢纽，宜采用二级管理方案。即根据枢纽结构的特点，以建筑物为基本单元，将枢纽划分为若干监测子系统；由各子系统再组成上一级管理网络，并对各子系统现场网络进行管理。

10.2.4 监测自动化系统设备的选择应符合下列要求：

- 1 数据采集装置。应具有 10.1.2 所列的基本功能。
- 2 计算机系统。与数据采集装置连接在一起的监控主机和监测中心的管理计算机配置应满足监测自动化系统的要求，并应配置必要的外部设备。计算机房应配置打印机，必要时也可配置扫描仪和绘图仪等外部设备。计算机房应配置专用电源和不间断电源（UPS），并应设置独立的接地线设施。
- 3 数据通信。数据采集装置和监控主机之间宜采用现场总线，监控主机和管理计算机之间应采用局域网或远程通信；通信介质可根据两者之间的距离和工程环境要求选用有线和（或）无线（包括卫星）等。大坝安全监测站或网络工作组应根据电厂/管理局 MIS 系统的要求提供网络通信接口。

4 大坝安全监测自动化系统软件。应具有在线采集软件和大坝安全监测管理软件。大坝安全监测管理软件宜包含离线分析、图形报表制作、数据库管理、网络系统管理、远程辅助监测等功能模块。

10.2.5 接入监测自动化系统的传感器应选用经过长期运行考验和成熟的产品，它们应该结构简单、传动部件少、容易维修，且可靠性高、稳定性好，并能在潮湿环境下

长期正常工作。

10.3 安装和调试

10.3.1 对有相对位置和方向要求的监测设备(如垂线和引张线仪等)的安装,在现场放样时,应严格控制坐标位置;监测自动化设备的安装支架应埋设牢靠,水平度和垂直度应满足设计要求;对扬压力、绕坝渗流等监测仪器,在安装前应先检查测孔的状态,必要时应进行冲孔或扫孔,然后再安装仪器设备。

10.3.2 自动化系统安装过程中,应对系统设备进行线体试验、参数标定,并作好详细记录。

10.3.3 对于老坝监测设施更新改造的工程,在自动化监测传感器安装时,应尽量不破坏原有可用的监测设施。

10.3.4 监测自动化系统调试时,应与人工观测数据进行同步比测,并应将监测自动化的基准调整到与人工观测相一致,应进行整机和取样检验考核。

10.4 运行和管理

10.4.1 应对监测自动化系统每年进行一次系统检查,做好正式记录,存档备查。

10.4.2 应设法改善测点和监测站的工作环境,不允许水滴直接溅落到监测设备上,应尽量避免气流对垂线和引张线造成的振荡。

应对量水堰进行定期清理,防止排水析出物及其他杂物附着在堰板上,影响流量测量的精度。

10.4.3 必须对监测自动化系统加以防护:

1 系统应采用专用电源供电,不应直接用现场照明电源。系统电源应有稳压及过电压保护措施,以避免受当地电源波动过大的影响。

2 系统应有可靠的防雷电感应措施,系统的接地应可靠,接地电阻应满足电气设备接地要求。

3 电缆应加以保护,特别是室外电缆应布设在电缆沟或电缆保护管内。电缆沟宜封闭,并应做好排水措施。

4 易受周围环境影响的传感器应加以保护;安装在坝体外部的设备,应考虑日照、温度、风沙等恶劣天气对监测设备的影响,必要时应采取特殊防护措施。

5 野外及离坝较远的设备(如绕坝渗流的监测仪器)应采取防雷措施,并予以封闭,以利防盗。

11 监测资料的整理整编和分析

11.1 一般规定

11.1.1 每次仪器监测或巡视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。

11.1.2 资料整理和分析中，如发现异常情况，应及时做出判断，有问题的须及时上报。

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

11.1.4 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 竣工验收时。
- 4 大坝安全定期检查时。
- 5 出现异常或险情状态时。

在第一次蓄水、竣工验收及大坝安全定期检查时均应先做较系统的资料分析，分别为蓄水、验收及大坝安全定期评价提供依据。

11.1.5 蓄水后，每次分析资料时应根据 4.0.7 的规定，对大坝工作状态做出评估。

11.1.6 应建立监测资料数据库或信息管理系统。

11.1.7 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，对一些重要监测项目提出预计的测值变化范围，对 1 级、2 级混凝土坝关键部位的测值，提出设计监控指标。

在坝投入运行后，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。

11.2 资料整理和整编

11.2.1 人工监测、自动化监测和巡视检查均应做好所采集数据（或所检查情况）的记录。记录应有固定的格式，数据和情况的记载应准确、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。

11.2.2 应做好原始监测数据的记录、检验，监测物理量的计算、填表和绘图，初步分析和异常值之判识等日常资料整理工作。

11.2.3 监测资料除在计算机磁、光载体内存储外，尚应打印出主要图表供查用。

11.2.4 每年汛前必须将上一年度的监测资料整编完毕。资料整编应包括整理后的资料的审定及编印等工作。

11.2.5 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。

11.3 资料的分析

11.3.1 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、渗漏量、扬压力（扬压力非大坝基本荷载者除外）及巡视检查的资料必须进行分析。首次蓄水时的分析工作可根据资料条件及实际需要酌情处理。

11.3.2 资料分析通常用比较法、作图法、特征值统计法及数学模型法（见附录

H.1)。使用数学模型法作定量分析时，应同时用其他方法进行定性分析，加以验证。

11.3.3 资料分析应分析了解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，并确定安全监控指标，预报将来的变化。资料分析的内容见附录 H.2。

11.3.4 资料分析后，提出资料分析报告，资料分析报告的主要报告的内容见附录 H.3。

11.3.5 监测报告和整编资料，应按档案管理规定，及时存档。

附录 A

（规范性附录）

混凝土坝安全监测项目和测次

A.1 分类和选择

混凝土坝安全监测项目按表 A.1 进行分类和选择。

表 A.1 混凝土坝安全监测项目分类表

序号	监测类别	监测项目	大坝级别		
			1	2	3
1	巡视检查	坝体、坝基、坝肩及近坝库岩岸	●	●	●
2	变形	1) 坝体位移	●	●	●
		2) 倾斜	●	○	
		3) 接缝变化	●	●	○
		4) 裂缝变化	●	●	●
		5) 坝基位移	●	●	●
		6) 近坝岸坡位移	○	○	○
3	渗流	1) 渗流量	●	●	●
		2) 扬压力	●	●	●
		3) 渗透压力	○	○	
		4) 绕坝渗流	●	●	●
		5) 水质分析	●	●	○

续表

序号	监测类别	监测项目	大坝级别		
			1	2	3
4	应力、应变及温度	1) 应力	●	○	
		2) 应变	●	○	
		3) 混凝土温度	●	●	○
		4) 坝基温度	●	○	
5	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) 下游冲淤	●	○	
		7) 冰冻	○		

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。

A.2 项目测次

混凝土坝安全监测项目测次按表 A.2 确定。

表 A.2 混凝土坝安全监测项目测次表

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、裂缝变化	1 次/旬 ~ 1 次/月	1 次/天 ~ 1 次/旬	1 次/旬 ~ 1 次/月	1 次/月
4) 近坝区岸坡稳定	1 次/月 ~ 2 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

续表

监测项目	施工期	首次蓄水期	初蓄期	运行期
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	1次/季	1次/月	1次/季	1次/年
10) 应力、应变	1次/旬 ~ 1次/月	1次/天一 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		4次/天 ~ 2次/天	2次/天	2次/天 ~ 4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) 冰冻		按需要	按需要	按需要
20) 坝区平面监测网	取得初始值	1次/季	1次/年	1次/年
21) 坝区垂直位移监测网	取得初始值	1次/季	1次/年	1次/年
22) 下游冲淤			每次泄洪后	每次泄洪后

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, 但应报主管部门批准; 但当水位超过前期运行水位时, 仍需按首次蓄水执行。

注3: 对于低坝的位移测次可减少为1次/季。

注4: 巡视检查的次数按5.0.1执行。

附录 B

(资料性附录)

巡视检查程序和内容

B.1 巡视检查程序

每座大坝都应根据工程的具体情况和特点,制订巡视检查的程序。程序应包括检查项目、检查顺序、记录格式、编制报告的要求及检查人员的组成职责等内容。

B.2 监测设施巡查检查内容

日常巡查包括下列检查内容:

- 1 边角网及视准线各观测墩。
- 2 引张线的线体、测点装置及加力端。
- 3 垂线的线体、浮体及浮液。
- 4 激光准直的管道、测点箱及波带板。
- 5 水准点。
- 6 测压管。
- 7 量水堰。
- 8 各测点的保护装置、防潮装置及接地防雷装置。
- 9 埋设仪器电缆、监测自动化系统网络电缆及电源。
- 10 其他监测设施。

B.3 巡视检查报告的内容

B.3.1 日常巡视检查报告的内容

报告内容简单扼要说明问题,必要时附上照片及略图。

B.3.2 年度巡视检查报告的内容

- 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。

附录 C

(规范性附录)

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

2 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。

3 重锤应设止动叶片。重锤重量一般按下式确定：

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

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因瓦丝，其直径应保证极限拉力大于重锤重量的2倍。宜适用 $\phi 1.0\text{mm} \sim \phi 1.2\text{mm}$ 的钢丝，一般垂线直径不宜大于 $\phi 1.6\text{mm}$ 。

5 阻尼箱内应装防锈、黏性小的抗冻液体，其内径和高度应比重锤直径和高度大 $15\text{cm} \sim 20\text{cm}$ 。

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，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，最小有效管径应不小于 85mm 。

C.1.2 倒垂线设计

1 倒垂线主要包括浮体组、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，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：

$$p > 250 (1 + 0.01L) \quad (\text{C.2})$$

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因瓦丝，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，建造观测室。

7 当正、倒垂线结合布置，两者间距较长，不在同一观测墩上衔接时应在两个观测墩上设置标志，用因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，一般都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，应以水泥浆或水泥砂浆将锚块浇灌在钻孔保护管底。

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; 若采用其他类型浮子, 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 若用遥测垂线坐标仪观测, 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, 也可采用两端加力的办法。

3 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~600m** 的引张线, 一般采用 **40kg~80kg** 的重锤张拉。

重锤重量计算如下:

$$H = \frac{S^2 W}{8Y} \quad (\text{C.3})$$

式中:

S ——引张线长度(两浮托间距), **m**;

W ——引张线钢丝单位重, **kg/m**;

H ——水平拉力(近似于重锤重), **kg**;

Y ——引张线悬链线垂径, **mm**。

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1.5~2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。

2 定位卡的“V”形槽底应水平,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。

9 遥测引张线仪宜在引张线体安装后进行安装。

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。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1m以上。

2 工作基点应采用钢筋混凝土观测墩,并修建观测室。

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

4 觇标应高于地面1.2mm以上。

5 各种混凝土观测墩的结构见附录C.11。

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 $1/2$ 的测点。
- 2 每一测次应观测二测回，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.1。

表 C.1 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）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 $1.5 \sim 2$ 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 $1\text{MW} \sim 3\text{MW}$ ）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，应尽量采用自动探测，激光探测仪的量程和精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 120Pa/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:

$$\hat{\sigma}_h = \frac{L^2}{2R} \quad (\text{C.4})$$

式中:

$\hat{\sigma}_h$ ——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 点光源的小孔光栏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, 使管道内压强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 大气激光准直的观测

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)。观测限差与附表 C.1 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 100kV 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 精度估算及可靠性评价可采用下列公式:

精度估算的公式如下:

$$m_i = \hat{\sigma} \sqrt{2(Q)_{ii}} \quad (\text{C.5})$$

可靠性因子的计算公式如下:

$$\gamma_j = 1 - (AQA^T P)_{jj} \quad (\text{C.6})$$

式中:

m_i ——第 i 个位移量的中误差;

$\hat{\sigma}$ ——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务完成约一半, 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/T17942 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.2。

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.2 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) 的要求读数; 顺时针方向旋转照准部依次进行其他各方向的观测, 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.2 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) 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.3。

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.3 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	$1.4 \sqrt{[\ddot{\rho}\rho]}$
8	边条件闭合差	$2 \sqrt{0.49 [\ddot{\rho}\rho] + m_{1gs1}^2 + m_{1gs2}^2}$

注 1: 观测方向之垂直角超过 $\pm 3^\circ$ 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: $\ddot{\rho}$ ——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/T17942。
- 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：

“重测”：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。

$$\text{“方向测回总数”} = (n - 1) \times 12$$

式中：

n ——方向数。

“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 测斜孔的造孔

1 钻孔开口直径不小于 110mm , 终孔直径不小于 91mm 。

2 钻孔宜取岩芯, 并进行岩芯描述。

3 孔壁要求平整光滑。

4 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 测斜管的安装

1 测斜管可采用带导槽的铝合金管或 PVC 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

用测斜仪探头从管底自下而上，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。正反测两次测值的平均值作为常数进行计算。

将探头放入另一对导槽中，重复上述步骤进行观测。

C.8 多点位移计的安装和观测

C.8.1 安装

1 造孔直径根据测头的数量决定，一般为 75mm ~ 130mm。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，造孔完毕应全面冲洗。

2 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.8.2 观测

观测仪器组装完毕后，即读取初读数作为基准值。

C.9 垂直位移和倾斜的观测

C.9.1 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，以提高观测的精度和速度。

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.4 的规定。

表 C.4 精密水准路线闭合差之限值 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——环线长度符合线路长度，km；

n_1 ——测段站数（单程）；

n_2 ——环线符合线路站数。

4 用精密水准法进行倾斜观测,应满足表 C.4 关于一等水准之限差规定。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.9.2 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 J_1 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.9.3 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"**。

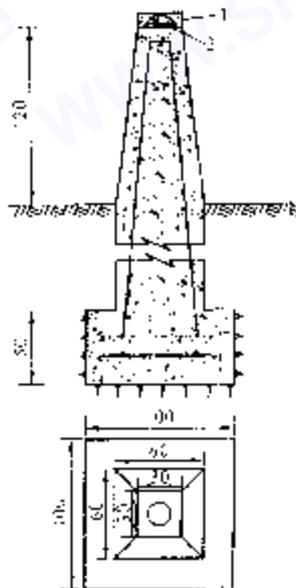
C.10 静力水准仪的安装和观测

C.10.1 静力水准仪的原理和组成

根据连通管内液面保持自然水平的原理, 用传感器测量各测点液面高度变化, 测出二点或多点之间的高差。

仪器主要由钵体、水管、浮子、三通等组成。

基准点可为水准点或双金属标。



1—标盖; 2—仪器基础

图 C.1 普通钢筋混凝土观测墩

(单位: cm)

C.10.2 安装

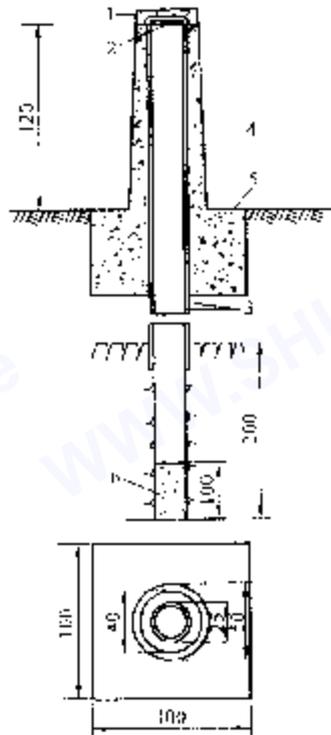
- 1 仪器墩应与被测基础紧密结合，各仪器墩面高程差应小于 10mm。
- 2 将钵体、水管、浮子清洗干净。
- 3 在钵体内注入蒸馏水，并仔细排除水管、三通、钵体内气泡。
- 4 连接管路。

C.10.3 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.11 各种标石结构图

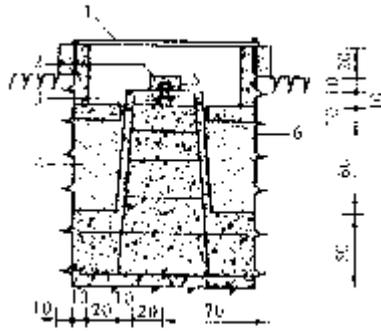
边角网及视准线观测墩结构图，如图 C.1、图 C.2 所示；水准点结构图，如图 C.3 ~ 图 C.6 所示。



- 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

C.2 双层观测墩

(单位: cm)

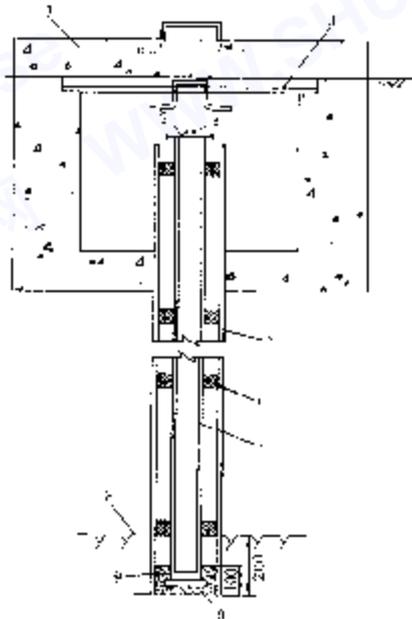


1—盖板；2— $20 \times 20 \times 10$
混凝土盖；3—沥青；4—砂；
5—铜标心；6—岩石

图 C.3 基岩标结构图 (单位: cm)

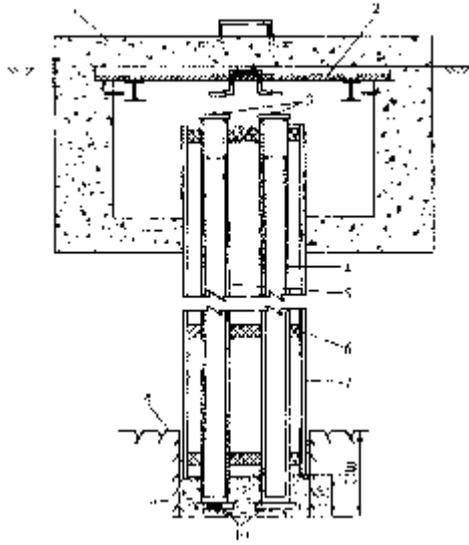


1—保护盖；2—内盖；3—标志
图 C.4 岩石标结构图 (单位: cm)



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

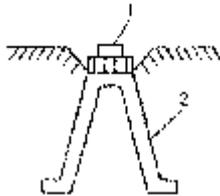
图 C.5 钢管标结构图 (单位: cm)



1—钢筋混凝土标盖；2—钢板标盖；3—标心；
 4—钢心管；5—铝心管；6—橡胶环；
 7—钻孔保护管；8—新鲜基岩；
 9—200号水泥砂浆；10—心管底板和根络
 图 C.6 双金属标结构图（单位：cm）



(a)

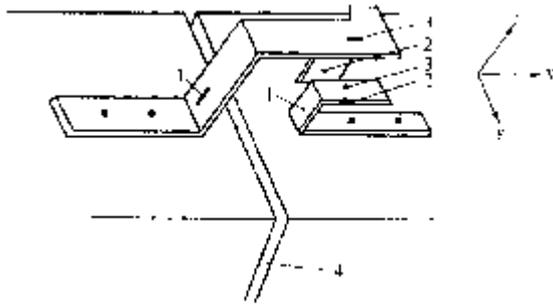


(b)

(a) 平面图；(b) 标点剖面图
 1—卡尺测针卡着的小坑；2—锚筋
 图 C.7 平面三点式测缝标点结构图

C.12 测缝标点结构图

平面三点式和立面弯板式测缝标点结构, 分别如图 C.7、图 C.8 所示。



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.8 立面弯板式测缝标点结构图

C.13 倒垂造孔注意事项

C.13.1 钻孔注意事项

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 $8\text{m} \sim 10\text{m}$, 钻具上部宜装设导向环。导向环外径可略小于导向管内径 $2\text{mm} \sim 4\text{mm}$ 。

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 $1\text{m} \sim 2\text{m}$ 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.13.2 保护管埋设注意事项

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 再次测定保护管的偏斜值，以便确定倒锤锚块的埋设位置。

C.14 变形观测仪器之检验和校正

C.14.1 经纬仪之检验

初次使用的经纬仪，首先要进行一般的检查和调整，主要是调整仪器的三轴关系，再按 GB/T17942 规定进行检验。

C.14.2 水准尺及水准仪之检验和校正

对于初次使用的水准尺和水准仪，应按照 GB12897 的要求进行检验和校正。

C.14.3 电磁波测距仪之检验

1 电磁波测距仪加常数和乘常数的测定。

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，如图 C.9 所示：

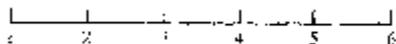


图 C.9 比长基线

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。

2 气象仪表之检定。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。干湿温度表每三年检验一次，气压表每年检验一次。

空盒气压表检定的项目为：

- 1) 补充订正值之检定（主要是由于指针安装不准确所引起的误差）；
- 2) 温度改正系数（由于温度变化引起空盒弹性改变而造成的误差）的检定；
- 3) 刻度改正值检定。

注：空盒气压表之 1) 项订正值常因受振动而发生变化，故应配备一个标准气压表，施测期间一律放在驻地，以免受到振动。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 3mm 时，可加在野外表 1) 项订正值上，若差值大于 3mm，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) 通风器之检定（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) 温度表刻划之检定。

C.14.4 全站仪之检验

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校：

- 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。

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°C 时。

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。

C.14.5 光学垂线坐标仪零位置之检查校正

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。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 0.2mm ，三测回之互差不得大于 0.2mm 。

取三测回平均值与首次检查之值比较，如超过 1mm ，须校正仪器零位。

C.14.6 视准线活动觇牌的零位测定

在相距 $20\text{m} \sim 40\text{m}$ 的两个观测墩上，分别安置经纬仪和固定觇牌，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，取 10 次读数平均值，即得觇牌的零位值。

附录 D

(规范性附录)

渗流监测设施及水质分析项目

D.1 测压管的埋设方法

D.1.1 埋设在坝底基岩面下的单管式测压管

1 测压管孔宜在坝基帷幕灌浆后在基础廊道内钻设。在设计确定的位置打孔，孔径一般为 50mm ；孔底在建基面下 $0.5\text{m} \sim 1.0\text{m}$ 。

2 钻孔时应严格控制深度和垂直度，如有倾斜，应测出其斜度，以便准确计算底部高程。

D.1.2 深孔单管式测压管

1 在设计定位处钻孔，孔径 $100\text{mm} \sim 110\text{mm}$ ，孔深依据设计的要求而定，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。

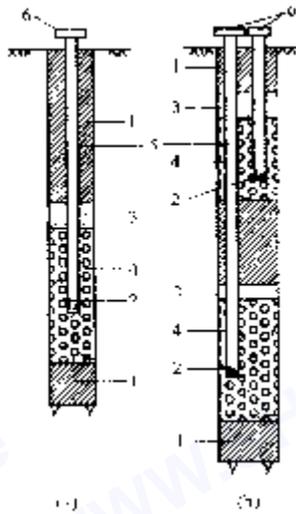
3 把内径 50mm 的塑料管（下部管端应钻小孔）放入孔内。

- 4 先填入约 40cm 厚的、粒径为 10mm ~ 20mm 砾石，再填入 20cm 厚的细砂。
- 5 上部全灌注水泥砂浆或水泥膨润土浆。
- 6 管顶加盖保护。

见图 D.1 (a)。

D.1.3 深孔多管式测压管

多管式测压管的埋设方法与深孔单管式测压管的埋设方法基本相同，钻孔的直径应由埋入的塑料管的根数决定，孔内反滤料、细砂及水泥浆的分布情况见图 D.1 (b)。应注意做好各岩层进水管之间封闭隔离工作。



(a) 单管式测压管；(b) 多管式测压管

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—聚氯乙烯管；6—管盖

图 D.1 测压管

D.1.4 测压管进水管的反滤保护装置

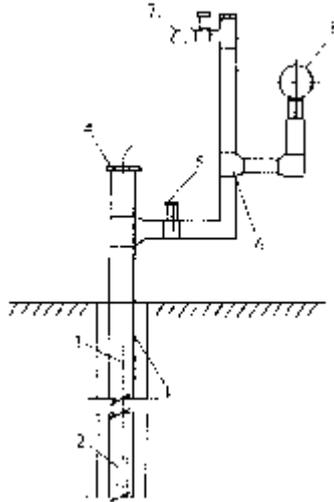
1 将微孔塑料管（多孔聚氯乙烯管），外包土工布，置入有可能塌孔的钻孔，如断层破碎带中的钻孔内，作为保护装置。

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。

D.1.5 测压管管口装置及保护

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，管口装置见附图 D.2。

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



1—测压管；2—渗压计；3—电缆；4—闷头；5—阀门；
6—三通；7—水龙头；8—压力表

图 D.2 管口装置示意图

D.2 渗压计的埋设方法

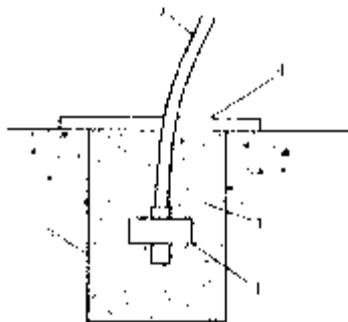
D.2.1 准备工作

- 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，认真进行硫化。亦可用双层热塑型套管，进行热塑处理连接电缆，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。

D.2.2 在混凝土浇筑层面埋设渗压计

- 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 D.3。
- 2 在孔内铺一层细砂，将渗压计放在砂垫层上。
- 3 用细砂将渗压计埋好，孔口放一盖板，再浇筑混凝土。

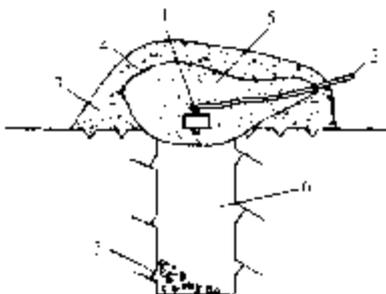


1—渗压计；2—电缆；3—细砂；4—盖板；5—预留孔

图 D.3 浇筑层面渗压计埋设图

D.2.3 在基岩面上埋设渗压计

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 D.4。



1—渗压计；2—电缆；3—砂浆；4—麻袋；5—细砂；6—钻孔；7—砾石

图 D.4 基岩面上渗压计埋设图

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 1000cm^3 。

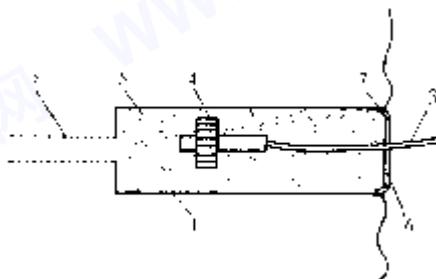
3 砂包用砂浆糊住，待砂浆凝固后，即可浇筑混凝土。

D.2.4 在水平浅孔内埋设渗压计

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 D.5。

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。



1—孔洞；2—砾石；3—电缆；4—渗压计；5—细砂；6—盖板；7—砂浆

图 D.5 水平浅孔内渗压计埋设图

D.2.5 在坝基深孔内埋设渗压计

在坝基深孔内埋设渗压计时，深孔直径不小于 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 厚的砾石，其粒径约为 10mm，然后将装有仪器的砂包吊入孔底。如孔太深，砂包及电缆自重超过电缆强度时，可用钢丝吊住砂包，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 厚细砂，然后填 20cm 厚、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。

D.2.6 电缆敷设

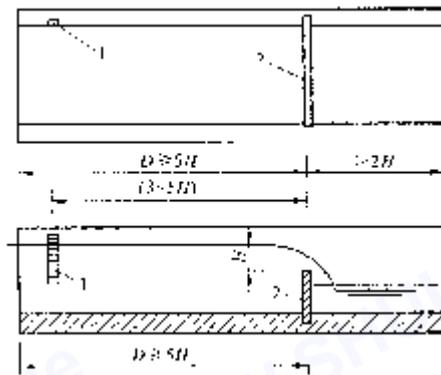
渗压计埋设完后,按设计要求走向敷设电缆,电缆尽可能向高处引,通过露天处需进行保护。

D.3 量水堰的结构

D.3.1 量水堰应设在排水沟的直线段上,堰槽段应采用矩形断面,其长度应大于堰上最大水头 7 倍,且总长不得小于 2m (堰板上、下游的堰槽长度分别不得小于 1.5m 和 0.5m)。堰槽两侧应平行和铅直。堰板应与水流方向垂直,并需直立,水尺或水位计装置应该在堰板上游 3~5 倍堰上水头处。

D.3.2 量水堰一般选用三角堰,三角堰缺口为等腰三角形,底角为直角,堰口下游边缘呈 45°。矩形堰堰板应严格保持堰口水平,水舌两侧的堰墙上应留通气孔。

D.3.3 量水堰的结构如图 D.6、图 D.7 所示。



1—水尺; 2—堰板

图 D.6 量水堰结构示意图

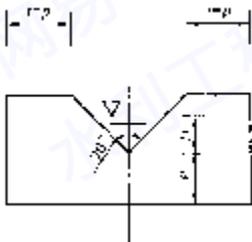


图 D.7 直角三角形量水堰板示意图

D.4 水质分析项目

D.4.1 全分析项目

- 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—— CO_2 , 侵蚀性二氧化碳—— CO_2 , 硫化氢—— H_2S , 溶解氧—— O_2 。
- 4 耗氧量。
- 5 生物原生质: 亚硝酸根—— NO_2^- , 硝酸根—— NO_3^- , 磷—— P , 铁离子 (高铁—— Fe^{3+} 及亚铁—— Fe^{2+}), 铵离子—— NH_4^+ , 硅—— Si 。
- 6 总碱度、总硬度及主要离子: 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-} , 钾和钠离子—— $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 。
- 7 矿化度。

D.4.2 简易分析项目

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。

附录 E

(规范性附录)

应力、应变及温度监测仪器检验及埋设

E.1 监测仪器检验

E.1.1 差动电阻式仪器

E.1.1.1 力学性能检验

1 试验条件、设备及注意事项

1) 参比工作条件：环境温度为 $10^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ ，试验时，环境温度应保持稳定；环境相对湿度不大于 80% 。

2) 主要设备：

a) 应变标准仪，零级千分表， 10mm 和 15mm 的零级百分表。

b) 一级活塞式压力计。

c) 压应力计的承压板、压块和球座。

d) 一级万能材料试验机。

e) 水工比例电桥。

3) 注意事项：

a) 应将仪器在参比工作条件下预先置放 24h 以上。

b) 将仪器安装到检验设备上时应控制电阻比的变化不大于 $20 \times 0.01\%$ 。

c) 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) 分挡加荷规定：

a) 应变计，见表 E.1。

b) 钢筋计，见表 E.2。

c) 压应力计，见表 E.3。

E.1.1 E.1.1

d) 测缝计，见表 E.4。

e) 渗压计，见表 E.5。

表 E.1

应变计

规格	S-100	S-150	S-250
测点数	11	7	9
间距 10^{-6}	250	400	200

表 E.2 钢筋计

规格	R-16	R-18	R-20	R-22	R-25	R-28	R-32	R-36	R-40
测点数	9	6	7	9	6	7	9	6	6
间距 MPa	25	40	35	25	40	35	25	40	40

表 E.3 压应力计

规格	WL-30	WL-60
测点数	6	6
间距 MPa	0.5	1.0

表 E.4 测缝计

规格	J-5	J-10-1
测点数	7	12
间距 mm	1	1

表 E.5 渗压计

规格	P-1	P-2	P-4	P-8	P-16	P-24
测点数	6	6	6	6	9	7
间距 kPa	20	40	80	160	200	400

2 端基线性度检验

先将仪器下行至下限值，量测电阻比之后，逐挡上行，每挡测试，全程共测得 n 个电阻比。后向下行，逐挡测试，同样测得 n 个电阻比，共完成三次循环，分别计算下列各值：

1) 各点总平均值计算公式如下：

$$(z_a)_i = \frac{(z_u)_i + (z_d)_i}{2} \quad (E.1)$$

式中：

$(z_u)_i$ ——上行第 i 挡测点电阻比测值的平均值；

$(z_d)_i$ ——下行第 i 挡测点电阻比测值的平均值。

2) 各挡测点的理论值计算公式如下：

$$(z_t)_i = \frac{\Delta z \times i}{n-1} + (z_a) \quad (E.2)$$

式中：

i ——测点序号 (0、1、…、 $n-1$)；

Δz ——量程上下限各自六次电阻比测值的平均值之差。

3) 各测点电阻比测值的偏差计算公式如下:

$$\delta_i = (z_a)_i - (z_t)_i \quad (\text{E.3})$$

4) 仪器端基线性度误差计算公式如下:

$$\sigma_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta z} \times 100\% \quad (\text{E.4})$$

式中:

Δ_1 ——取 δ_i 的最大值。

3 非直线度 α_2 检验

可利用本节端基线性度检验的测值计算非直线度:

$$\alpha = \frac{\Delta_2}{\Delta z} \times 100\% \quad (\text{E.5})$$

式中:

Δ_2 ——每一循环中各测点上行及下行两个电阻比测值之间的差值取最大值。

4 不重复性误差 α_3 检验

可利用本节端基线性度检验的测值计算不重复性误差:

$$\alpha_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta z} \times 100\% \quad (\text{E.6})$$

式中:

Δ_3 ——三次循环中各测点上行及下行的各自三个电阻比测值之间的差值取最大值。

5 最小读数 f 检验

可利用本节端基线性度检验的测值计算和检验各仪器的最小读数 f 。

1) 应变计:

$$f = \frac{\Delta L}{L \Delta z} \quad (\text{E.7})$$

式中:

ΔL ——相当于全量程的变形量, mm;

L ——应变计标距, mm。

2) 钢筋计:

$$f = \frac{P}{A_e} \times \frac{1}{\Delta z} \quad (\text{E.8})$$

式中:

P ——检验时的最大拉力, N;

A_e ——钢筋计钢套截面积, cm^2 。

3) 压应力计:

$$f = \frac{P}{A \Delta z} \quad (\text{E.9})$$

式中:

P ——检验时的最大压力，N；

A ——压应力计的有效面积， cm^2 。

4) 测缝计：

$$f = \frac{\Delta L}{\Delta z} \quad (\text{E.10})$$

式中：

ΔL ——相当于全量程的变形量，mm。

5) 渗压计：

$$f = \frac{P}{\Delta z} \quad (\text{E.11})$$

式中：

P ——检验时的最大压强，kPa。

6) 误差计算：

$$\alpha_f = \frac{f_T - f_i}{f_T} \times 100\% \quad (\text{E.12})$$

式中：

f_T 、 f_i ——分别为仪器厂家和用户检验的 f 值。

6 误差要求

力学性能检验的各项误差，其绝对值不得大于表 E.6 的规定。

表 E.6 力学性能检验标准

项目	r_1	r_2	r_3	r_f
限差 (%)	2	1	1	3

E.1.1.2 温度性能检验

1 试验条件、设备及注意事项

1) 参比工作条件：

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

2) 主要设备：

- a) 双层保温桶；
- b) 二级标准水银温度计；
- c) 恒温水槽和水银导电表；
- d) 水工比例电桥；
- e) 500V 直流兆欧表。

3) 注意事项：

a) 试验 0°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（水与冰比例为 1：2）或蒸馏水。保证仪器在 0°C 情况下恒温 2h，测值已稳定不变时再测读。

b) 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 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以内的情况下恒温 **1h** 以上, 测值已稳定不变时再测读。

c) 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) 分挡规定见表 E.7。

表 E.7 分挡规定 $^{\circ}\text{C}$

仪器	检验温度			
温度计	0	35	70	—
差动式仪器	0	20	40	60 (渗压计免做)

2 0℃电阻检验

1) 温度计: 测量 0°C 时仪器的电阻。

2) 差动电阻式仪器: 除温度计外, 其他差动电阻式仪器测量 0°C 电阻后, 均应按式 (E.13) 计算出计算 0°C 电阻:

$$R'_0 = R_0 \left(1 - \frac{\beta}{8} T_1^2 \right) \quad (\text{E.13})$$

式中:

R'_0 ——计算 0°C 电阻;

R_0 ——实测 0°C 电阻;

β ——由厂家提供, 或取 $\beta = 2.2 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-2}$;

T_1 —— 60°C , 渗压计取 40°C 。

3) 温度常数检验。

a) 温度计的温度常数 α 按式 (E.14) 计算:

$$\alpha = \frac{1}{R_0 \alpha_0} \quad (\text{E.14})$$

式中:

α_0 ——铜丝材料的电阻温度系数, 由厂家提供, 或取 $\alpha_0 = 42.5 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

b) 除温度计外, 其他差动电阻式仪器的 0°C 以上和 0°C 以下的温度常数 α' , α'' 按式 (E.15)、式 (E.16) 计算:

$$\alpha' = \frac{1}{R_0 (\alpha + \beta T_1)} \quad (\text{E.15})$$

$$\alpha'' = (1.066 \sim 1.097) \alpha' \quad (\text{E.16})$$

式中:

α ——由厂家提供, 或取 $\alpha = 2.89 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

4) 温度绝缘检验。

a) 高温绝缘: 在进行温度性能检验时, 应测量温度达到量程上限时的仪器绝缘电阻。

b) 低温绝缘: 在进行 0°C 电阻检验时, 应测量仪器处于 0°C 时的绝缘电阻。

5) 检验要求。仪器温度性能检验后, 各项指标与出厂系数计算结果之差的绝对值及绝缘电阻应满足表 E.8 的规定。

表 E.8 温度性能检验标准

项目	R'_0 Ω	$R'_{0r'}$ $^{\circ}\text{C}$	T $^{\circ}\text{C}$		R_x $\text{M}\Omega$
			温度计	差动电阻式仪器	绝缘电阻绝对值
限差	≤ 0.1	≤ 1	≤ 0.3	≤ 0.5	≥ 50

E.1.1.3 防水性能检验

1 主要设备

- 1) 能承受 **2.0MPa** 的高压容器一个, 相应压力的水压机一台;
- 2) **1~2** 级压力表, 量程为 **1.0MPa**;
- 3) **500V** 直流兆欧表;
- 4) 测缝计专用夹具及电缆引出管止水橡皮塞。

2 注意事项

- 1) 在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) 螺杆螺帽等要拧紧, 保证试验安全。

3 防水检验

1) 检验时对仪器施加水压为 **0.5MPa**, 持续时间应不小于 **0.5h**, 渗压计应在规格范围内加压。

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 **200M Ω** 。

E.1.1.4 水工比例电桥检验

1 试验条件

- 1) 参比工作条件:
 - a) 环境温度为室温 **10 $^{\circ}\text{C}$ ~ 30 $^{\circ}\text{C}$** ;
 - b) 环境相对湿度不大于 **80%**。

2) 主要设备:

- a) 水工比例电桥率定器;
- b) 光点反射式检流计;
- c) 水工比例电桥及凯惠电桥;
- d) **100V** 直流兆欧表。

2 检验项目

- 1) 绝缘电阻 R_x ;
- 2) 零位电阻 \bar{r}_0 及变差 $\bar{\Delta r}_0$;

- 3) 电阻比 z 及电阻 R 的准确度;
- 4) 内附检流计灵敏度 f_g 及工作时间 t_g 。

3 检验要求

各项限差见表 E.9 之规定。表中 z 与 R 的限差, 适用于电阻比率定器法; 如采用简易率定法时, 则该限差可放宽 1 倍。

表 E.9 水工比例电桥检验的标准

项目	R_x MΩ	\bar{r}_0 Ω	$\Delta \bar{r}_0$ Ω	$z \times 10^{-4}$ (绝对值)	R Ω (绝对值)	$f_g \times 10^{-4}$ mm	T_g s
限差	≥ 200	≤ 0.01	≤ 0.002	≤ 1	≤ 0.02	> 3	≤ 3

E.1.2 钢弦式仪器

各种规格和类型的钢弦式仪器的检验项目、检验条件、设备及检验方法可参照差动电阻式仪器进行。在检验时主要有以下几点不同:

1 测量仪表

测量仪表由水工比例电桥改为钢弦频率计。

2 系数检验

最小读数 f 检验改为灵敏度系数 K 的检验。

1) 应变计:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{L}}{\sum_{i=1}^n (f_i^2 - f_0^2)} \tag{E.17}$$

式中:

L_i ——各级拉压长度, mm;

L ——仪器长度, mm;

f_0 ——拉压前的初始频率, Hz;

f_i ——各级拉压时的频率, Hz;

n ——拉压次数。

2) 钢筋计 (锚杆应力计):

$$K = \frac{P}{A_e (f^2 - f_0^2)} \tag{E.18}$$

式中:

P ——检验时的最大拉力, N;

A_e ——钢筋计钢套截面面积, cm^2 ;

f ——最大拉力时的频率, Hz;

f_0 ——未拉时的初始频率, Hz;

3) 测缝计:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n (f_i^{\rho} - f_0^{\rho})} \quad (\text{E.19})$$

式中:

L_i ——每次拉压长度, mm;

f_i ——每次拉压 L_i 长度的频率, Hz;

f_0 ——拉压前的初始频率, Hz;

n ——拉压次数。

4) 渗压计:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n (f_i^{\rho} - f_0^{\rho})} \quad (\text{E.20})$$

式中:

p_i ——各级压力时的压强, kPa;

f_i ——各级压力下的频率, Hz;

f_0 ——压力为零时的频率, Hz;

n ——加压次数。

5) 误差计算:

$$\alpha_K = \frac{K_T - K_i}{K_T} \times 100\% \quad (\text{E.21})$$

式中:

K_T 、 K_i ——分别为仪器厂家和用户检验的 K 值。

6) 误差要求。灵敏度系数检验的误差 α_K , 其绝对值不得大于 1%。

3 其他

由于温度对钢弦式仪器的影响较小, 现场若无条件可免做, 但厂家应给出有关系数。

E.2 电 缆 连 接

E.2.1 本节是以差动电阻式仪器对电缆的要求为例提出, 其他类型仪器对电缆的要求可参照执行。

E.2.2 基本要求

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 电缆及电缆接头在使用温度为 $-25^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$; 承受的水压为 1.0MPa 时, 绝缘电阻应不大于 $100\text{M}\Omega/\text{km}$ 。

3 电缆芯线应在 100m 内无接头。

4 三芯或四芯电缆每 100m 的单芯电阻应不超过 1.5Ω , 每 100m 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 100m 单芯电阻应不超过 3.0Ω 。

5 电缆内通入 $0.1\text{MPa} \sim 0.15\text{MPa}$ 气压时, 其漏气段不得使用。

E.2.3 电缆的检验

成批电缆采用抽样检查法, 抽样数量为本批的 **10%**, 不得小于 **100m**。

1 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;

2 用数字电桥或水工比例电桥分别测量电缆芯线黑、蓝、红、绿、白的电阻, 测值应不大于 $3\Omega/100\text{m}$ 。

3 用 **500V** 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**。

4 根据电缆耐水压参数, 把被测电缆置于耐水压参数规定的水压环境下 **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**。

E.2.4 电缆的准备

应根据观测设计和现场情况准备仪器的加长电缆, 其长度按下式计算:

$$L = KL_0 + B \quad (\text{E.22})$$

式中:

L ——加长电缆总长度, **m**;

L_0 ——仪器到观测站牵引路线长度, **m**;

K ——加长电缆系数, 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**。

E.2.5 电缆的连接

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

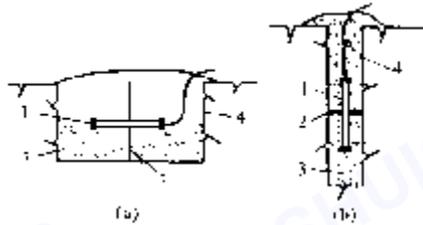
2 仪器出厂电缆一般为三芯, 与加长电缆连接时按表 E.10 进行, 当需连接两电缆之间的芯线数相同时, 按表 E.11 进行 [见图 E.1 (b)]。

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 E.1 (c)]。

表 E.10 不同芯线数的电缆端头长度 mm

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

- 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 $\pm 1^\circ$ 。
- #### 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.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 $\pm 1^\circ$ 。



(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.3 基岩内埋设应变计示意图

5 无应力计

- 1) 无应力计筒应按图 E.4 加工。
- 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（图 E.4）；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。

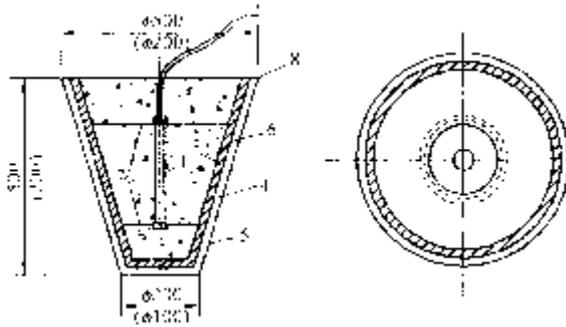
6 钢板计

- 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.5；夹具表面应涂沥青。

E.3.3 压应力计

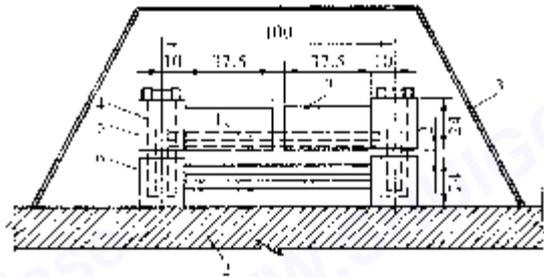
1 垂直方向埋设

- 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.6。
- 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。



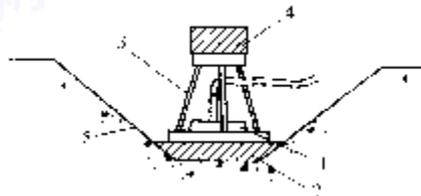
- 1—应变计；2—电缆；3—沥青层（5cm厚）；
 4—内筒（厚0.5mm）；5—外筒（厚1.2mm）；
 6—空隙（可填木屑或橡胶）；7—16号铅丝
 拉线；8—周边焊接

图 E.4 无应力计套筒（单位：mm）



- 1—应变计；2—钢管；3—保护盖；
 4—M8 螺钉；5—上卡环；6—下卡环

图 E.5 钢板计埋设示意图（单位：mm）



- 1—应力计；2—砂浆垫层；3—
 三脚架；4—加重块；5—混凝土

图 E.6 压应力计
 埋设示意图（单位：mm）

- 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。

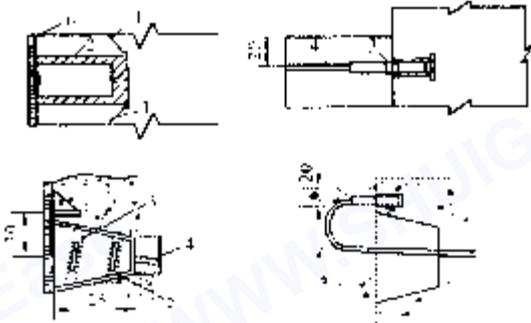
E.3.4 钢筋计

- 1 钢筋计应尽量焊接在同一直径的受力钢筋并保持在同一轴线上, 受力钢筋之间的绑扎接头应距仪器 **1.5m** 以上。
- 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.3.5 测缝计

1 坝缝测缝计埋设

- 1) 在先浇混凝土块上预埋测缝计套筒, 见图 E.7。
- 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—侧缝计;
4—电缆; 5—储藏箱; 6—模板

图 E.7 测缝计埋设示意图 (单位: cm)

2 基岩与混凝土交接面上的测缝计埋设

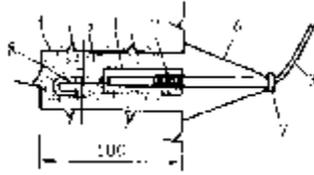
- 1) 应在基岩中打孔, 孔径应大于 **9cm**, 深度为 **50cm**, 在孔内填入一大半膨胀水泥砂浆, 将套筒或带有加长杆的套筒挤入孔中, 使筒口与孔口平齐。
- 2) 将套筒内填满棉纱, 螺纹口涂上机油或黄油, 旋上筒盖。
- 3) 混凝土浇至高出仪器埋设位置 **20cm** 时, 挖去捣实的混凝土, 打开套筒盖, 取出填塞物, 旋上测缝计, 回填混凝土, 见图 E.8。

E.3.6 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.9。

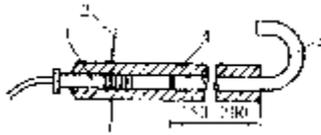
E.3.7 温度计

- 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**。
- 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 ~**



- 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

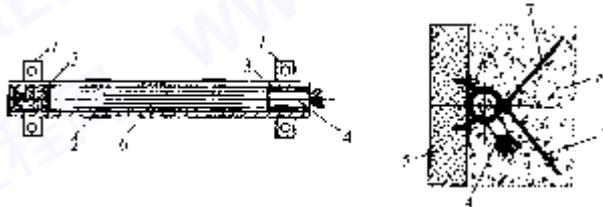
图 E.8 接触缝面测缝计埋设示意图 (单位: cm)



- 1—测缝计；2—裂缝；
- 3—加长杆 (φ32mm 钢筋)；
- 4—包塑料布涂沥青

图 E.9 裂缝计埋设示意图 (单位: cm)

10cm, 见图 E.10。



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

图 E.10 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。

E.4 质量控制

E.4.1 电阻比测值

用水工比例电桥测量仪器电阻比时, 对四芯线仪器应正测电阻比 Z 及反测电阻比 z' , 按表 E.12 进行质量控制。

表 E.12 电阻比质量控制表 ($\times 10^{-4}$)

Z 或 z' 观测值	Z + z' 的控制值	Z 或 z' 观测值	Z 或 z' 控制值
9600	20016 ± 2	10100	20001 ± 2
9700	20009 ± 2	10200	20004 ± 2
9800	20004 ± 2	10300	20009 ± 2
9900	20001 ± 2	10400	20016 ± 2
10000	20002 ± 2		

E.4.2 电阻值

用水工比例电桥测量各芯线电阻与仪器电阻之和按表 E.13 进行质量控制，白、绿、红、黑、蓝芯线以 1、2、3、4、5 表示。

表 E.13 电阻值质量控制表 Ω

电缆芯数	观测值	计算值	中值	上下限
三	$R_{13}、R_{34}、R_8$	$R_{13} + R_{34} - R_8$	2r	$2r \pm 0.04$
四	$R_T、R_8$	$R_8 - R_T$	2r	$2r \pm 0.03$
五	$R_{12}、R_{14}、R_{25}$	$R_{14} - R_{25}$	0	0 ± 0.04

E.4.3 水工比例电桥检查

现场检查结果按表 E.14 进行质量控制。

表 E.14 直读式仪表检查控制表 Ω

方 法	电阻比 ($\times 10^{-4}$)	电阻值 Ω
率定器法	± 1.0	± 0.02
简易率定法	± 2.0	± 0.04

E.4.4 自动检测装置检查

自动检测装置应具有自校和自检功能，每次自校和自检的误差不得超过表 E.14 中率定器法的规定误差，否则应自动报警。

E.4.5 集线箱检查

现场检查结果按表 E.15 进行质量控制。

表 E.15 集线箱检查控制表 Ω

项 目	限 差
各接点内阻	≤ 0.03
各接点内阻之差	≤ 0.005
各接点内阻变差	≤ 0.002
绝缘电阻	≥ 100 × 10 ³

E.4.6 电缆检查

现场检查结果按表 E.16 进行控制。

表 E.16

四芯电缆检查控制表

Ω

观测值	计算值	中值	上下限
R_8 、 R_T	$(R_8 - R_T) / 2$	r_1	$r_1 \pm 0.02$
R_{13} 、 R_{23} 、 R_{24} 、 R_T	$(R_{23} + R_{24} - R_{13} - R_T) / 2$	r_2	$r_1 \pm 0.04$
R_{13} 、 R_{34} 、 R_8	$(R_{13} + R_{34} - R_8) / 2$	r_3	$r_3 \pm 0.04$

附 录 F

(规范性附录)

地震测站的安装和运行**F.1 测站监测设施的安装****F.1.1 拾振器安装应符合下列要求：**

- 1 地震反应测点应采用钢筋混凝土观测墩，观测墩露出部分尺寸为 $40\text{cm} \times 40\text{cm} \times 20\text{cm}$ 。
- 2 观测墩浇筑前在大坝测点位置打孔预埋插筋，将面打毛，冲洗干净后再用砂浆混凝土现浇；预留出导线穿入孔。
- 3 观测墩上应设置拾振器底板，二者用环氧树脂黏结，保证牢固接触。
- 4 拾振器安装后，再安装保护罩。

F.1.2 电缆安装应注意下列问题：

- 1 信号电缆采用多芯屏蔽防水电缆。
- 2 电缆宜沿坝内廊道电缆沟敷设，对裸露部分应采取适当的保护措施。
- 3 在信号线与记录线的连结处应设置电话接线盒，以供检查方便。

F.1.3 记录部分安装应符合下列要求：

- 1 记录器应固定在监测室的工作台。
- 2 监测室应有抗震设计，保证强震时记录器能正常工作；室内有独立的配电盘和过压安全保护设施，并备有补充直流电源及照明的 $220(1 \pm 10\%) \text{V}$ 市电，室温不应低于 0°C 。
- 3 信号接通后，应确定拾振器的振动方向与记录图上振动波形方位的对应关系；应根据欲测地震的强度调整各记录道的灵敏度，使仪器处于待触发状态，一旦地震发出，仪器就能自动记录。

F.2 测站的运行**F.2.1 大坝强震测站运行采取“无人看管，定期巡回”的形式。****F.2.2 定期巡回时主要检查如下内容：**

- 1 环境检查：仪器有无干扰和破坏。
- 2 记录指示系统检查：仪器是否触发运行，若仪器已触发，需按时收取记录。
- 3 电源检查：电池工作电压是否正常，如发现电压不足，需按规定给电池充电。

- 4 驱动系统检查: 驱动系统工作是否正常。
- 5 拾振器检查: 拾振器系统工作是否正常。
- 6 触发—控制系统检查: 触发—控制系统工作是否正常。
- 7 时标检查: 时标工作是否正常。
- 8 记录介质检查: 介质是否需要更换。

F.2.3 完成各项检查之后, 认真填写“常规记录检查”, 恢复工作, 将仪器各部分置于待触发工作状态。

附 录 G

(规范性附录)

泄水建筑物水力学监测

G.1 水流流态

G.1.1 泄水、引水、过坝建筑物的进口流态观测包括水流侧向收缩、回流范围、旋涡漏斗大小和位置、波浪高度、水流分布情况等。

G.1.2 泄水建筑物泄槽流态观测包括水流形态、折冲水流、冲击波、弯道水流及其产生的横比降、闸墩和桥墩的绕流流态等。

G.1.3 泄水建筑物出口流态观测包括上下游水面衔接形式、底流、面流、岸流、挑流等消能工流态观测。

G.1.4 泄水建筑物下游河道流态观测包括水流流向、回流形态和范围、冲淤区、波浪及水流分布对岸边和其他建筑物的影响等。

G.1.5 水流流态可采用文字描述、摄影、录像进行记录, 也可采用地面同步摄影测量等方法进行观测。

G.2 水 面 线

G.2.1 上下游水面衔接特性观测包括挑流水舌轨迹线和水跃情况等。

G.2.2 水面线观测可在闸墩及其导墙上绘出方格网, 或在消力池边墙、挑流鼻坎边墙和泄槽边墙立水尺, 泄洪时用望远镜或经纬仪观测, 也可采用地面同步摄影测量等方法进行观测。

G.2.3 挑流水舌轨迹线应测量水舌出射角、入水角、水舌上、下缘轨迹线、水舌挑距、平面扩散等。

G.2.4 水跃应测量消力池内水面线、水跃长度、平面扩散等。

G.3 动 水 压 力

G.3.1 动水压力观测包括平均压力和瞬时压力(脉动压力、波浪压力、水锤压力)。

G.3.2 溢流堰面、闸底板中线、闸墩下游中线、消力池底板和边墙挑流鼻坎反弧段和边墙体型突变部位的动水压力测点, 应沿水流方向选定若干控制断面布置, 有条件的可与模型试验相对应。

C.3.3 泄水孔、洞的动水压力, 应测定边壁压力。

G.3.4 有压隧洞动水压力, 应选定若干控制断面测量洞壁动水压力, 确定压坡线。

G.3.5 动水压力可采用测压管或压力传感器等进行观测。

G.4 流 速

G.4.1 泄水、引水建筑物前沿、消能建筑物（消力池、挑流鼻坎）和电站尾水渠内布置测点。

G.4.2 顺水流方向选择若干观测断面，在每一断面上测量不同水深点的流速，特别应注意水流特征与边界条件有突变部位的流速观测。

G.4.3 流速可采用浮标、流速仪或底流速仪等进行观测。

G.5 泄 流 量

G.5.1 泄流量监测，须在工程建成后，积累过流水位与流量关系的资料，直到可绘出水位与流量关系曲线。在有闸门控制时，应绘出闸门不同开度下的水位与流量关系曲线。

G.5.2 按测试需要布置固定测流断面和临时测流断面。

C.5.3 根据水文测流断面水尺、流速及水流断面面积推算流量。

G.6 空 蚀

G.6.1 在下列部位宜布置测点：

1 水流曲率突变或水流发生分离现象的下游处、扩散段、弯道岔道、消力墩背水面及底部。

2 隧洞、闸门门槽和门框、溢流面反弧段、挑流鼻坎、辅助消能工。

3 高水头底孔出流与坝面溢流交汇处，水流受到干扰而流速达到 15m/s 以上的区域。

4 施工不平整、人工突体处。

5 模型试验中容易发生空蚀的部位。

G.6.2 在可能出现空穴处，用水下噪声探测仪监听空泡溃灭时噪声强度变化进行空蚀监测。可用地面近景摄影测量的方法测出空蚀量，大型空蚀应量测空蚀的面积和深度，计算空蚀量。观测空蚀的平面分布，在整个空蚀破坏范围内，设置各种标记，用照相机、录像机拍摄记录空蚀破坏全貌，同时记录相应的水流条件（上、下游水位、流量、闸门开度等）。

G.7 通 气 量

G.7.1 在通气孔、槽区等部位，通气管形状比较规则且前后均有一定直段的部位设置通气量测点。

G.7.2 可采用孔板法、毕托管、风速仪等方法，测出通气孔风速，计算通气量。观测负压值可用测压管或压力表。

G.8 掺 气 浓 度

G.8.1 在坝后掺气水流底层设置测点，观测掺气平均浓度及其发展过程，研究掺气浓度分布规律。

应加密水舌落点和冲击力的测点，测出沿流向底部的含气浓度，并延伸至上游空腔中，测出水舌落点附近的最大掺气浓度和冲击力。

C.8.2 可采用掺气仪（电测法）、水尺和测压管法等进行观测。

G.9 振 动

G.9.1 在薄拱坝坝身和坝体上部结构、溢流厂房的顶部面板、高压闸门、弧形支撑梁、导墙、输水管道段、开关站等易产生振动的部位布置测点。

G.9.2 可采用加速度计、拾振器、测振仪等仪器进行观测。

G.10 泄 洪 雾 化

G.10.1 在下游两岸岸坡、开关站、高压电线出线处、发电厂房等受泄洪雾化影响部位布置测点。

G.10.2 可用雨量器、自记雨量计、比色法、目测、地面摄影测量法等进行量测。

附 录 H

(规范性附录)

监测资料分析的方法和内容

H.1 资料分析的方法

H.1.1 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。

H.1.2 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、渗漏量及扬压力等设计值,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。

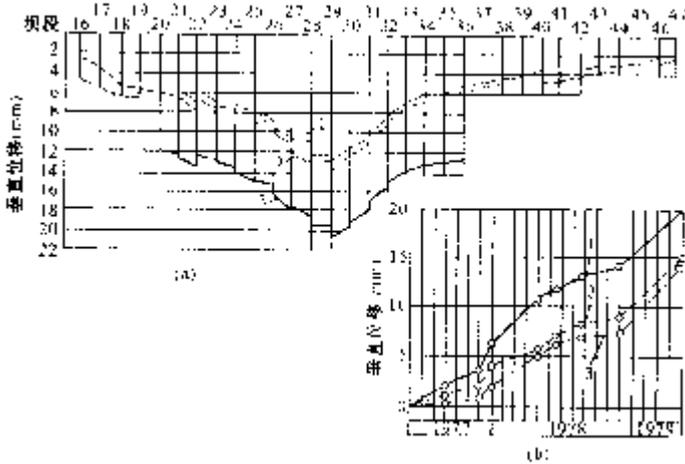
例如,图 H.1 是坝基垂直位移观察结果,图 H.1(b) 是某大坝在灌浆廊道内测得的坝基垂直位移过程线,三条过程线相应的测点分别位于 25 号、30 号、33 号坝段。这些过程线表明在 1978 年上半年前,30 号坝段与 25 号及 33 号坝段的观测值变化速率是不一致的。经检查 30 号坝段处在基岩破碎带范围内,于是对该坝段基岩部位进行了灌浆处理。从 1978 年下半年开始,30 号坝段的垂直位移增长速率与其他两坝段的垂直位移增长速率基本上就一致了。

3 监测成果与理论的或试验的成果相对照比较其规律是否具有的一致性和合理性。

例如:图 H.2 是某大坝坝踵混凝土应力 σ_y 与上游水深之间的相关图。从这张相关图可以看出,第 32 号坝段实测坝踵部位混凝土应力 σ_y 曲线与上游水位的升高无关,且与有限单元计算的曲线及 39 号、26 号坝段坝踵部位实测应力的变化规律也不一致。经研究,第 32 号坝段坝踵接缝已经裂开,因而产生这种现象。

H.1.3 作图法

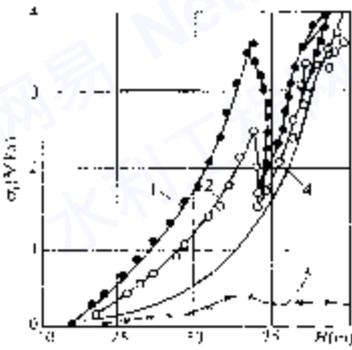
根据分析的要求,画出相应的过程线图、相关图、分布图以及综合过程线图(如将上游水位、气温、监控指标以及同坝段的扬压力和渗漏量等画在同一张大图上)等。由图可直观地了解和析观测值的变化大小和其规律,影响观测值的荷载因素和其对观测值的影响程度,观测值有无异常。



(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 H.1 坝基垂直位移观测结果

图 H.3 是某坝坝基发生漏水事故时 13 号垛水平位移过程线。由过程线可知, 1962 年 11 月 6 日该垛位移值突然增大, 向下游达 19.56mm, 向右达 14.53mm, 位移的上下游向和左右向的变化率亦与以前的速率有着显著差异, 这是该事故在水平位移观测值中的异常反映。



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 H.2 坝踵混凝土应力 σ_y 与上游水位之间关系图

H.1.4 特征值统计法

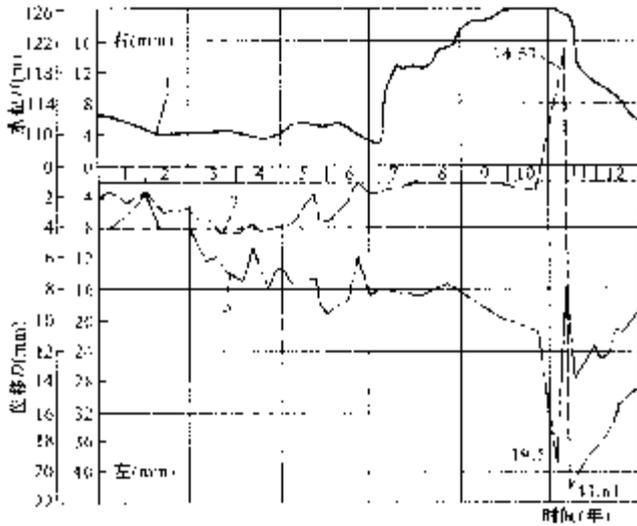
特征值包括各物理量历年的最大值和最小值 (包括出现时间)、变幅、周期、年平均值及年变化趋势等。通过特征值的统计分析, 可以看出监测物理量之间在数量变化方面是否具有一致性和合理性。

H.1.5 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。有较长时间的观测资料时, 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位分量、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, 图 H.4 为时效分量的三种形态。对于异常变化需及早查明原因。

H.2 资料分析的内容



1—库水位；2—左右向；3—上下向

图 H.3 某坝 1962 年 13 号垛水平位移过程线

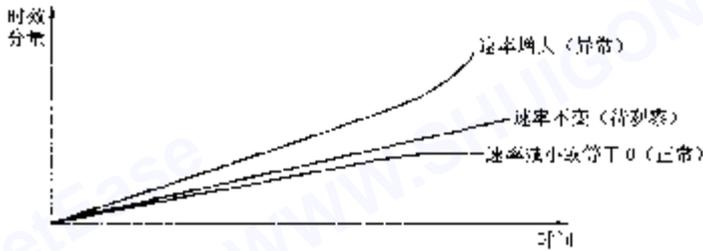


图 H.4 时效分量主要类型示意图

资料分析一般包含以下内容：

1 分析监测资料的准确性、可靠性和精度。

对由于测量因素（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。

2 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。

3 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。

4 判别监测物理量的异常值：

1) 观测值与设计计算值相比较。

2) 观测值与数学模型预报值相比较。

3) 同一物理量的各次观测值相比较, 同一测次邻近同类物理量观测值相比较。

4) 观测值是否在该物理量多年变化范围内。

5 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。

6 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。

7 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。

8 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漏量和扬压力观测资料, 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, 应注意渗漏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。

9 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。

10 分析巡视检查资料:

应结合巡视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; 有否渗漏量急骤增加和浑浊度变化。

2) 坝体、坝基的渗漏量有无过量; 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, 水平施工缝上的渗漏量有无显著变化。

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。

11 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做出评估。

H.3 各时期监测资料分析报告的主要内容

H.3.1 第一次蓄水时

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 巡视检查的主要成果。
- 4 蓄水前各有关监测物理量测点(如扬压力、渗漏量、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 根据巡视检查和监测资料的分析,为首次蓄水提供依据。

H.3.2 蓄水到规定高程、竣工验收时

1 工程概况。

2 仪器安装埋设监测和巡视工作情况说明。

3 巡视检查的主要成果。

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。

H.3.3 大坝定期检查时

1 工程概况。

2 仪器更新改造及监测和巡视工作情况说明。

3 巡视检查的主要成果。

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、处理的情况和其效果。

8 拟定主要监测量的监控指标。

9 根据监测资料的分析和巡视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、精度及测次等提出改进意见。

H.3.4 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 根据巡视和监测资料的分析,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。

混凝土坝安全监测技术规范

DL/T 5178—2003

条文说明

目 录

- | | |
|---------|-----------------|
| 4 总则 | 8 渗流监测 |
| 5 巡视检查 | 9 应力、应变及温度监测 |
| 6 环境量监测 | 10 监测自动化系统 |
| 7 变形监测 | 11 监测资料的整理整编和分析 |

4 总 则

4.0.1 自 SDJ336—1989《混凝土大坝安全监测技术规范》颁发试行以来，大坝安全监测工作得到了高度重视，大坝安全监测工作在保证大坝安全，充分发挥大坝安全耳目作用方面发挥了越来越重要的作用。本条对这一点进行了确认，明确规定了混凝土坝必须设置必要的监测项目，从而使安全监测工作在制度上得到保证。

另外，在试行《混凝土大坝安全监测技术规范》时，各地也普遍存在着求大求全的情况，为了避免安全监测无针对性设置项目，导致过多过滥的弊端，这一条又把监测项目的设置与监测目的结合起来。从而根据不同时期不同监测目的，突出不同的监测项目，使安全监测少而精，针对性强，成效大。

4.0.2 混凝土坝安全监测工作应遵循仪器监测应和巡视检查相结合的原则。国内国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，也是由运行人员及时发现。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。

4.0.4 混凝土坝的安全监测项目和各监测项目测次的规定，参考了国际大坝委员会第41期会刊推荐的风险度方法，并参考了国外有关大型水坝的安全管理经验。

大坝风险度方法是评价大坝风险的一种方法，它是根据环境中潜在的危险因素、大

坝技术状态及因溃坝对国民经济的影响等诸种因素对大坝风险指数进行估算，步骤见表1。

表1 大坝风险指数估算表

建议的危险状态评价											
分指标 (x)	外部的或环境的条件 (指数 E)					坝的状态/可靠性 (指数 F)				居民/经济方面的潜在 危险 (指数 R)	
	地震强度	库岸坍塌 的危险	超设计洪水 的危险	水库的功用 (蓄水类型 与管理)	侵蚀性环境 的作用(气 候、水)	结构 的基 础配 置	泄洪 设施	维护 状态	水库的 库容 m ³	下游设施	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1	最小或零 (v < 4cm/s)	最小或零	可能性很小 (对于混凝土坝)	多年的、年的、或季调节的水库	很弱	适当	很好	可靠	很好	小于10万	没有经济价值的非居民区
2	低 (4cm/s) < v < 8cm/s	低			弱		好		好	10万 ~ 100万	孤立的区域、农业
3	中 (8cm/s) < v < 16cm/s		可能性很小 (对于土石坝)	周调节的水库	中	合格	合格		良好	100万 ~ 1000万	小城镇、农业、手工业
4	强 (16cm/s < v < 32cm/s)			日调节的水库	强					1000万 ~ 10亿	中等城镇、小工业
5	很强 (v > 32cm/s)			抽水蓄能水库	很强		差			大于10亿	大城镇、工业、核设施
6		大滑坡的危险	可能性大			不适当	差或坏	不足不起作用	不良		

注： $E = \frac{1}{5} \times \sum_{i=1}^5 \alpha_i$; $F = \frac{1}{4} \times \sum_{i=6}^9 \alpha_i$; $R = \frac{1}{2} \times \sum_{i=10}^{11} \alpha_i$; 总指数 $\alpha_g = EFR$ 。

国际大坝委员会推荐的监测项目的选定方法取决于风险指数和坝高，见表2。测次的确定，也取决于大坝运行的阶段、水库功能及大坝风险指数，见表3。风险度方法建议的监测项目，把巡视检查和渗漏量放在首位，建议的测次则按照大坝运用的不同时期和监测项目的类别来确定。本规范采取了上述监测项目简明、测次较为合理的内容，因考虑使用方便，统一采用了表格的形式。

1988年，国际大坝委员会发表了题为“大坝监测的一般原理”的60号公告，对测次作了如下建议：

1 施工前，进行坝座地形量测、测压量测和地震量测是有益的。

2 首次蓄水，开始蓄水（初始运行）之前，应进行全部量测。随后逐次测量的日期将依库水位升高程度而定；水越接近高水位，量测的间隔就越短。例如，如果我们把有关仪器进行的一系列量测称做“观测”，那么，量测可包括：

1) 当水位达到 1/4 坝高时，进行一次观测；

- 2) 当水位达到 1/2 坝高时, 进行一次观测;
- 3) 当水位趋向 3/4 坝高时, 每升高 1/10 坝高, 就观测一次;
- 4) 当水位在 3/4 坝高至坝顶时, 每升高 2m 观测一次。

此外, 在蓄水完成之前, 连续两次观测的时间间隔决不应超出一个月。若有可能, 使蓄水过程中的几天间歇期与观测日期一致; 在间隔期的始末进行监测。

除此之外, 每天都可做一些简单的监测; 如用肉眼检查坝面和坝座、渗漏、下游附生泉流、垂线和排水系统。

为获得令人满意的结果, 整个量测应委托一位经验丰富的技术人员负责, 由他亲自指导从事各种量测的操作人员。

3 运行期: 首次蓄水后的几年内, 风险率较高, 量测应频繁一些, 如果没有特殊的需要, 可用以下测次:

- 1) 沉降阶段。
 - a) 地形量测: 每年四次;

表 2 建议的监测项目

坝高 h m	A 类		B 类				C 类		其他		警报
	简易 目检	渗漏量 (包括 浑浊度)	测压管	位移 沉降	接缝与裂 隙的活动	气象 状态	混凝土 温度	应变与 应力	地震	自动化记 录	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
< 15	*	* 总渗漏量当 $\alpha_g > 10$ 或 $R > 3$	* 当 $\alpha_g \geq 15$	* 当 $\alpha_g > 20$	○ 当 $\alpha_g > 30$	—	—	—	—	—	—
15 ~ 30	*	* 总渗漏量	*	* 当 $\alpha_g > 10$	○ 当 $\alpha_g > 20$	○	—	—	* $\alpha_1 = 5$	○ 当 $\alpha_g > 20$	○ 当 $\alpha_g \geq 25$, 或 $\alpha_{11} \geq 3$
30 ~ 50	*	* 分部渗漏量	*	*	*	*	○ 当 $\alpha_g > 20$	—	* $\alpha_1 = 4$	○ 当 $\alpha_g > 20$	○ 当 $\alpha_g > 25$, 或 $\alpha_{11} \geq 3$
50 ~ 100	*	* 分部渗漏量	*	*	*	*	○	○	* $\alpha_1 = 3$	○	○ 当 $\alpha_g > 25$, 或 $\alpha_{11} \geq 3$
> 100	*	* 分部渗漏量	*	*	*	*	○	*	*	○	○ 当 $\alpha_g > 25$, 或 $\alpha_{11} \geq 3$

注: * 表示必须有的监测项目; ○ 表示按需要选用; — 表示不设。

表 3 在正常情况下建议的测次

大坝运用时期	水库的功用(蓄水类型与管理)	按照监测项目的类别来确定测次		
		A类	B类	C类
第一次蓄水		多到每天几次(在水位上升时或根据蓄水速度)	每周一次至每天几次(取决于蓄水的速度和水位)	每周一次
	日调节水库, 抽水蓄能水库	每周一次	每周一次	
第一次蓄水后的头五年	周调节	每月二次($r_g < 15$), 或每周二次($r_g > 15, h > 30m$)	每月二次($r_g < 15$), 或每周一次($r_g > 15, 或 h > 50m$)	每月一次或二次
第一次蓄水后使用期超过五年		半年一次($r_g < 10$ 或 $h < 15m$) 每月一次($10 < r_g < 15$ 或 $15m < h < 30m$) 每月二次($r_g > 15$ 或 $h > 30m$)	每月一次($r_g < 15$), 或每月二次($r_g > 15, 或 h > 50m$)	每季度一次或每月一次
第一次蓄水后使用期超过 20 年	在重新规定监测项目和测次时, 必须考虑大坝的维护状态。			

b) 垂线、测斜仪: 每周一次;

c) 应变计: 每周两次;

d) 测压计: 每周一次;

e) 渗漏、排水系统: 每日一次。

若是自动量测, 量测可以更频繁一些(甚至一天数次), 以便为了解结构实际性态提供大量有用数据。

2) 正常运行(沉降稳定后)。

上述测次可减半。不仅减少测次, 而且测读的仪器数量也可根据运行最初几年所了解的情况予以减少。

以上规定并非一成不变。对于首次蓄水, 可以考虑具体的条件和现行规定而作较大的修改。

显然, “公告”对测次的规定与本规范有较大的不同, 对首次蓄水期间的安全监测, “公告”依库水位升高程度而决定测次, 较为科学; 而本规范依时间而决定测次, 便于操作。对于高坝的首次蓄水监测, 可参照“公告”试行, 对蓄水后的头几年监测, “公告”推荐的测次比本规范更频繁。本规范主要考虑了我国国情, 我国当前大量采用的是

人工监测，人工监测频次不能太高，随着安全监测自动化程度的提高，与“公告”的差距将会消失。

4.0.5 首次蓄水，对大坝是一次重大考验，由于设计参数取用不当，基础情况未查明，施工中留下的工程隐患未发现，这时都会对大坝安全产生危害。国际大坝委员会调查表明，多数失事坝为新建造的坝，有的在试运行的头一年就失事。因此，要加强对首次蓄水的安全监测。但是，许多工程为了提高工程效益，往往未等大坝浇筑到顶就提前蓄水，这时，不少监测仪器安装埋设尚未到位，致使蓄水阶段能投运的仪器不多，形成必须设置临时监测系统以解燃眉之急的局面。实践表明，首次蓄水阶段的临时监测系统不同于永久的监测系统。临时监测系统有两大任务，一是蓄水阶段的安全监测任务，二是为永久的监测系统获取初始值。但实际情况表明，一些工程的临时监测系统只注意了第一项任务，而忽视了第二项任务。在临时测点的布置上考虑与永久的监测系统测点的关系不够。关键测点缺少相互之间的互换性和传递性，致使日后永久系统得不到绝对测值，给大坝安全评价造成困难。在这次修订中，明确规定：首次蓄水阶段的临时监测系统，应与永久监测系统建立数据传递关系，保证永久监测系统获得起始数据。

监测自动化系统也存在数据连续性问题。由于这样或那样的原因，我国一些工程的监测自动化系统存在较多的故障，由此常常引起测值的丢失，造成数据的不连续，影响监测资料的分析。为了避免这种情况的发生，在这次修订中，也明确规定了“监测自动化系统应有适当的措施保证实测数据的不间断采集。”

4.0.6 大坝安全监测设施如同大坝一样，也要逐渐老化，性能变异，失效或造成损坏。因此，安全监测设施需要进行定期检查，对于仪器精度较难满足要求或监测系统不合理，或仪器损坏，则需要对原有的监测系统进行更新改造。但是，监测设施更新改造不同于原有的监测系统设计，特别是一些老坝的运行规律已基本掌握，潜在的安全隐患也已清楚，国外对这些坝增设的监测系统都比较简单，它们只要求能监测影响安全的异常现象即可，而不必增设为了解和认识老坝性状的监测设施。因此，已建坝监测设施不全或发生损坏失效时，应根据实际情况，择要予以补设或更新改造。

4.0.8 监测仪器是安全监测的基础。只有好的监测仪器，才能获得好的监测资料，因此，监测仪器必须耐久、可靠、实用、有效。监测仪器在长期使用中，由于环境因素作用、操作影响、材料老化，监测仪器的性能会发生变异。监测仪器可分为传感器和量测仪器两大部分，为保证获得准确可靠的资料，规范规定，传感器应定期进行工作状态鉴定，量测仪器应按国家及行业计量规定定期由有资质的单位进行计量检定。

5 巡 视 检 查

5.0.1 巡视检查是监视大坝安全运行的一种重要方法。大坝一些异常现象，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 6b 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。

5.0.3 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。

5.0.4 为了保证巡视检查有效，经验表明，巡视检查应根据每座大坝的具体情况和特点，制定详细的检查程序，做好事前准备。检查程序包括检查人员、检查内容、检查方法、携带工具、检查路线等，详尽且便于操作。并且，巡视检查前，需要做好必要的准备工作，特别是年度巡查和特殊情况的巡查，本规范列了6条，根据情况可增减。实践表明：准备工作越充分越好，只有做好准备，才能保证检查顺利进行。

6 环境量监测

6.1 一般规定

6.1.1 环境量监测包括上下游水位、水温、气温、降雨量、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。

6.5 降水量

6.5.1 降水对大坝渗流监测资料特别是对绕坝渗流监测资料的影响较大。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。

6.6 冰压力监测

6.6.1 北方严寒地区，冰冻现象极为严重。冰冻产生体积膨胀，引起巨大的冰压力不可忽视。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。

7 变形监测

7.1 一般规定

7.1.3 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，精度要求过高，会使监测工作复杂化，费用大量增加；精度要求过低，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,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,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精度作了适当调整。

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 $1/10 \sim 1/20$,苏联学者提出应在 $1/4 \sim 1/10$ 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 0.07mm 。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,拱坝的坝基位移精度要求有了提高;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。

7.2 监测设计

7.2.1 水平位移监测方法较多,近20年,随着大坝安全监测工作的受到重视,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、精度高、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。但是,它可以同时监测水平和垂直位移,精度高,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,精度也高,在重力坝水平位移监测中,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精度要求,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,成功事例不多。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,精度高,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。

7.2.3 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。

影响垂线精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精度将受影响。经调查了解,在实际使用中,按原规范确定的浮力偏小,影响观测精度。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因瓦丝,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。

7.2.9 ~ 7.2.10 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。

8 渗流监测

8.1 一般规定

8.1.1 渗流监测是大坝安全监测的主要项目，大坝一旦出现险情，渗流状况就会及时出现变化。因此，坝体和坝基需要布设一套科学合理的渗流监测系统。

原规范经 10 多年的试行，表明所做规定基本合理，这次修订，仅对坝基横向扬压力监测布置作了少量调整，一是取消了岸坡坝段作为横向监测断面布置扬压力测点的规定，因为岸坡坝段水头小，实测扬压力都很小，它往往不是大坝稳定的控制坝段，测值用处不大，若为监测帷幕运行情况，纵向监测断面已在各坝段布置了一个测点，这已足够了；二是增加了灌浆帷幕转折的坝段作为坝基横向监测断面的规定，这是因为该坝段是一个薄弱环节，多个工程实例表明，该坝段扬压力测值较高，并且坝段受力复杂，常常是大坝稳定的一个控制坝段。

8.3 监测设施及其安装

8.3.1 测压管是进行渗透压力监测和地下水位监测的基本设施，在国内应用较广。为了提高测压管的观测精度，修订后的规范规定：测压管安装压力表应做到“一管一表”，对于拆卸后重新安装的压力表应待压力稳定后才能读数。并且，推荐使用测压管管口保护装置，以防止雨水倒灌入内。

对于 U 形测压管，通过国内工程的大量实践，目前已基本没有采用，因此，本次修订予以取消。

8.3.6 量水堰是监测大坝渗漏量的主要设施，可采用三角堰或矩形堰，三角堰适用流量为 $1\text{L/s} \sim 70\text{L/s}$ 的量测范围；矩形堰适用于流量大于 50L/s 的情况。

量水堰的观测精度，与量水堰位置关系很大。量水堰应设在排水沟的直线上，堰槽段应是矩形断面，其长度应大于堰上最大水头 7 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 ）。

量水堰的观测精度，与量水堰本身结构关系也很大。三角堰缺口应为等腰三角形，底角为直角，堰口下游边缘呈 45° ；矩形堰堰板应严格保持堰口水平。不论三角堰还是矩形堰，堰板应与水流方向垂直，并需直立。

测得堰上水头后，渗漏量可按下述公式计算：

1) 直角三角堰。

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

式中：

Q ——渗漏量， m^3/s ；

H ——堰上水头， m 。

2) 矩形堰。

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

$$m = \left(0.402 + 0.054 \frac{H}{P} \right)$$

式中:

Q ——渗流量, m^3/s ;

b ——堰宽, m ;

H ——堰上水头, m 。

P ——堰顶板至堰顶的距离, m 。

9 应力、应变及温度监测

9.1 一般规定

9.1.2 新中国成立几十年, 大坝内部监测仪器一直主要采用差动电阻式仪器, 现在, 钢弦式仪器已被广泛采用。这为大坝安全监测仪器选型提供了多种可能。

差动电阻式仪器经过 40 多年的研制和改进, 已形成了一个品种多、规格全的仪器系列, 性能和质量已经能满足水工建筑物监测的需要, 它经久耐用, 性能稳定; 近年来, 在检测技术上有了新的突破, 仪器成了可供数字测量仪表和自动化采集系统测量的传感器, 但是, 差动电阻式仪器电阻值较低, 易受测量系统的电阻影响, 而且仪器在施工埋设时, 因碰撞而容易引起内部弹性钢丝的折断。钢弦式仪器的优点是钢丝频率讯号的传输不受导线电阻的影响, 适宜于远距离测量, 仪器灵敏度高, 稳定性好, 易实现自动化监测。因此, 可根据工程实际情况, 选用差动电阻式仪器或钢弦式仪器。

仪器在使用前要进行检验。各种规格和类型的钢弦式仪器的检验项目、检验条件、设备及检验方法可参照差动电阻式仪器进行。

关于差动电阻式仪器和钢弦式仪器的质量控制标准, 应参照各自的仪器标准。

9.2 监测设计

9.2.5 ~ 9.2.12 由于坝基和坝肩周围的岩体是大坝安全的薄弱环节, 因此, 在规范修订中, 在增加了岩体变形监测的同时, 增加了岩体的应力和应变监测。根据国内外大坝失事的模式, 规范对坝基、坝肩及近坝库岸边坡岩体的应力应变监测作了具体的规定, 对洞室围岩的应力应变监测也作了详细的规定。

9.2.13 为了避免因混凝土内大量水化热引起坝体膨胀而开裂, 大坝设置了一些接缝。接缝实质上是各种有规律的人为裂缝。它是大坝变形的敏感部位, 因此, 除坝体纵缝规定布设测缝计外, 对强震区的拱坝, 横缝也建议布设测缝计。

在预留宽槽内回填混凝土, 常常因混凝土收缩而产生裂缝, 成为工程隐患。对此, 应根据回填混凝土产生裂缝的危害情况, 在宽槽上、下游面布设测缝计进行监测。

9.2.14 强地震是大坝安全的一大威胁，1962年3月广东新丰江水库诱发6.1级地震，使混凝土大头坝上部发生贯穿性的水平裂缝，并使有的坝段间接缝止水受损，漏水增加。为了监测大坝在地震作用下的安全状况，也为了验证设计，为抗震理论的发展提供依据，对地震区的大坝应进行强震安全监测。

大坝强震安全监测的布置要考虑大坝的强震反应特征，要考虑坝基、坝肩山体的影响，在总结已有强震安全监测资料的基础上，提出了典型坝型强震监测的推荐方案：

1 重力坝

选择了一个主监测断面，在坝顶和坝基廊道内各布置一个测点，高坝可在中间不同高程增设1~3个测点，并应根据结构特点，在主监测断面二侧坝顶各布置1个测点，在局部应力集中部位以及局部薄弱环节也宜布置测点；在离坝址2倍坝高的基岩上设置1个测点。

2 拱坝

在拱冠梁从坝顶到坝基布置3个~4个测点，在二侧坝顶各布置1个测点，二侧拱座宜各布置1个测点，在下游基岩上设一个测点。薄拱坝应在2/3坝高附近布置测点。

9.2.16 随着安全监测仪器质量的提高，监测仪器电缆成了提高监测系统质量的一个重要问题，因此，在这次修订中，增加了监测仪器电缆条款。

在监测系统中，所用电缆较多。差动电阻式仪器一般采用三芯和五芯水工电缆；钢弦式仪器应采用屏蔽电缆；网络应采用网络专用电缆。

由于电缆作为监测仪器的延伸部分，因此，选用的电缆必须经过严格的检验；规范增加了“电缆检验”的内容，只有符合规定要求的电缆才可采用。

仪器电缆连接，目前采用的主要有二种方法，一是硫化接头，二是热缩接头。在使用时，应按规定的操作步骤和技术要求进行，严防接头漏水。

10 监测自动化系统

10.1 一般规定

10.1.1 监测自动化是20世纪60年代发展起来的一种全新的监测技术，它是随着计算机技术、网络通讯技术的发展而发展起来的。由于监测系统的各个环节都可以实现自动化，因此，自动化监测就有多种含义。国外区分为三种含义，或三种形式，第一种是数据处理自动化，俗称“后自动化”，代表的国家有法国、葡萄牙。法国对监测数据处理集中地搞自动化，葡萄牙的自动化系统，通常经人工采集数据后，按照数据处理、储存和解释三个步骤进行；第二种是实现数据采集自动化，俗称“前自动化”，代表的国家有西班牙；第三种是实现在线自动采集数据，离线资料分析，俗称“全自动化”，代表的国家有意大利。我国监测自动化经过20余年的发展，在理论上，产品质量上都已达到相当水平，并经过上百个工程的实践，考虑到水电站大坝地处偏僻山区，根据我国国情，监测自动化宜定位为“前自动化”。因此，本条定义监测自动化包含数据自动采集、数据传输、数据存储和数据管理等部分。

10.1.2 监测自动化系统是高科技的产物，它有一定内涵，也有一定标准。本条对自动化监测系统的7项基本功能作了明确规定。

10.1.3 为了保证大坝监测的质量，本条对监测自动化系统的性能作了规定，如：采样时间、采样装置测量精度和测量范围、系统的故障率、系统的运行性能和系统的工作环境等都作了明确规定，以保证监测自动化系统获得满意的资料。

10.2 监测自动化系统设计

10.2.1 监测系统的布置设计是安全监测设计的主要内容，由于自动化监测系统不仅测读快，测读及时，能够做到相关量同步测读，能够胜任多测点、密测次的要求，提供在时间上和空间上更为连续的信息，而且测读准确性和可靠性高，因此，应普遍使用监测自动化系统。但是，监测自动化系统较为昂贵，对环境条件要求也比较高，根据我国国情，监测自动化不宜一刀切，也不宜包罗万象；因此，本条规定纳入自动化系统的测点应以满足监测工程安全运行需要为主，纯粹为施工服务及为科学研究而设置的测点，原则上不纳入自动化系统。人工监测能满足要求或难于实施监测自动化的监测方法和设施（如大地测量）可不纳入自动化系统。

对于老坝的监测系统更新改造，应强调实事求是，有针对性的原则，并不提倡“推倒重来”，而是在原有的仪器设施作出检验和鉴定的基础上，只对不足或不符合要求的部分仪器设施进行更新改造，并注意使新的部分和原有部分融为一体。

10.2.2 经多年的研制和开发，监测自动化系统的布置形成三大基本形式：集中式监测系统、分布式监测系统和混合式监测系统。这三大基本形式各有优缺点：集中式监测系统的高技术部件均集中在机房，工作环境好，便于管理，系统重复部件少，相对投资也较少，但系统传输的是模拟量，易受外界干扰，系统风险集中，可靠性不高，技术复杂，电缆用量大，维护不便；分布式监测系统传输的是数字量，传输距离长，精度高，风险分散，可靠性高，技术简单，电缆用量小，布置灵活，观测速度快，但系统重复部件多，投资相对较大。由于监测自动化系统各种布置形式具有各自的优缺点，因此，在选用时，应根据具体情况做出抉择。

10.2.3 对于监测范围广，测点数量多，工程规模巨大的水利水电枢纽，本规范推荐采用分级计算机监控系统。具体做法是：根据枢纽结构的特点，以建筑物为基本单元，将枢纽划分为若干监测子系统，这些子系统可以采用集中式、分布式或混合式监测系统。各子系统再组成上一级计算机监控管理系统，对各子系统进行管理。

在这个系统中，许多计算机通过通信线路联成网络。网络的结构形式可以采用星型结构或总线型结构。在星型结构中，只有上、下级计算机之间才能进行通信；在总线型结构中，不仅上、下级计算机之间能进行通信，同级计算机之间也能进行通信，进一步提高了系统的可靠性。

10.2.4~10.2.5 大量事实表明，监测自动化系统设备的优劣决定着监测自动化系统的成败，因此，规范对监测自动化系统的功能要求作了规定，并要求接入监测自动化系统的传感器应选用经过长期运行考验和成熟的产品，它们应该结构简单，传动部件少，容易维修，可靠性高，稳定性好，并能在潮湿环境下长期正常工作。在管理上，

规定了设备安装后需要试运行一年，进行实际考验，再进行竣工验收，以保证设备性能满足运行要求。

11 监测资料的整理整编和分析

11.1 一般规定

11.1.1 大坝安全监测是监视大坝安全运行的耳目。通过监测，可取得大量大坝运行性态的资料，但是，这些资料是原始的、片断的、零散的，甚至是杂乱无章的。为了深刻揭示大坝运行规律，从繁多的监测资料中找出存在的问题，得出科学结论，必须对监测资料进行整理整编和分析，因此，本规范规定，每次仪器监测或巡视检查后应随即对原始记录加以检查和整理，并及时做出初步分析。每年应进行一次监测资料整编。在整理和整编的基础上，定期进行监测资料分析。

11.1.6 随着计算机技术的推广和普及，大坝安全监测工作应推行建立以计算机为基础的监测资料数据库或信息管理系统。这不仅仅因为监测数据量大，整编工作繁重，而且，可使监测数据的调用快速方便，满足对大坝安全监控的需要。

计算机信息技术是近 30 年发展起来的计算机技术。一般信息系统都具有输入、输出、数据传输、数据存储和数据加工处理等五大功能。这些功能由计算机完成，部分也可由人工承担。

为了实现统一管理，大坝安全监测资料数据库应力求统一，尽量避免低水平重复开发。

11.1.7 运行中混凝土坝安全监控指标是指对已建坝的荷载或效应量所规定的安全界限值。它是对大坝进行安全性态评价的一个十分重要的依据。当实测值在指标规定的范围以内或数值以下时，可认为坝是安全或正常的，否则认为坝是不安全或不正常的。因此，安全监控指标在大坝安全管理中具有重要的作用。

大量事例说明，大坝安全监控指标不是一个固定不变的值，而是随着坝龄的增长，筑坝材料的老化，大坝安全监控指标是不断变化的。因此，运行管理部门应定期组织专家分析论证，及时提出变化后的监控指标。

在工程施工阶段和第一次蓄水阶段，大坝安全监控指标宜根据设计理论计算和模型试验成果，并参考类似工程经验提出。

在运行阶段，大坝安全监控指标可根据极限状态法和置信区间法提出。这时，确定大坝安全监控指标的基础是监测资料，因此，必须十分注意监测系统的可靠性、稳定性，以及大坝监测资料的连续性、准确性。

11.2 资料整理和整编

11.2.1 本节做了较大压缩，将一些条目移至“混凝土坝监测资料整编规程”，以免两个标准过多的重复。