

第一章 概 述

第一节 一般原则

一、设计目的

(一) 保障建筑物安全运用

设计一套监测系统对建筑物及基础性态进行监测，是保证建筑物安全运行的必备措施 以便发现异常现象 及时分析处理 防止产生重大事故和灾害。同时根据已经取得的监测资料，可以预测和预报大坝的未来性态及发展趋势 并为大坝安全蓄水、鉴定和加固处理提供科学依据。

(二) 充分发挥工程效益

根据监测结果 将建筑物及基础视为一个统一体 确定在各种运用条件下的安全度 对工程进行控制运用 适时提高或降低运行水位 搞好水库调度 使之在安全运用的前提下充分发挥效益 避免或减少因加固处理引起的巨大投资。

(三) 检验设计、提高水平

水工建筑物的设计虽然已经积累了比较丰富的经验，但对各种影响因素的认识还有待深入，对设计中的未知数或不确定因素往往是根据经验或假定作为设计依据 已建工程是真正的原型 通过监测可反馈各种影响因素和检验设计的正确性，求得设计的合理、完善和创新 提高设计的技术水平。

（四）改进施工、加快速度

施工期间的监测结果，反映了施工质量和施工条件，为改进施工提供了信息。大多数施工新技术和新方法，只有当实际应用效果被证明是令人满意时，才易被人们接受和进一步推广。监测资料可以评价所采用的施工技术的适用性和优越性及改进的途径。

二、设计要求

（一）明确的针对性和实用性

设计人员应很好地熟悉设计对象，了解工程规模、结构设计方法、水文、气象、地形、地质条件及存在的问题，有的放矢地进行监测设计，特别是要根据工程特点及关键部位综合考虑，统筹安排，做到目的明确、实用性强、突出重点、兼顾全局，并在监测设计的各阶段全过程进行优化，以最少的投入取得最好的监测效果。

（二）充分的可靠性和完整性

对监测系统的设计要有总体方案，它是用各种不同的观测方法和手段，通过可靠性、连续性和整体性论证后，优化出来的最优设计方案。该方案要同时考虑施工期、蓄水期及运行期监测的需要，对不同建筑物及不同部位，要因地制宜，区别对待，统一规划，逐步实施。

（三）先进的监测方法和设施

设计所选用的监测方法、仪器和设备应满足精度和准确度要求，并吸取国内外的经验，尽量采用先进技术，及时有效地提供建筑物性态的有关信息，对工程安全起关键作用且人工难以进行观测的数据，可借助于自动化系统进行观测和传输。

（四）必要的经济性和合理性

监测项目宜简化、测点要优选、施工安装方便。对变形、渗流、应力等的监测项目要互相协调，并考虑今后监测资料分析的需要，使监测成果既能达到预期目的，又能做到经济合理，节省投资。

为此 按照文献[1]的规定, 监测设计必须由具有相应资格证书的设计单位承担。

三、设计准备

(一) 了解监测的原理与方法

设计人员应了解监测技术的基本知识, 监测仪器设备性能和测量原理 并在设计布置时能正确运用。要掌握变形、渗流、应力监测的特点及相互关系 还应考虑监测资料分析的要求 充分利用各测点的监测数据。

(二) 熟悉工程设计资料

认真了解工程结构设计和施工设计的说明书、图纸、试验和计算成果 熟悉工程的特点及存在的关键问题 以及蓄水运行的计划和要求等, 以便确定监测系统的任务和规模。

(三) 掌握监测设计的主要内容

在可行性研究阶段 应在设计优化原则下提出安全监测系统的总体设计方案、监测项目及预计所需仪器设备的数量和投资估算。

在初步设计阶段, 应进一步优化安全监测系统的总体设计方案、测点布置、通讯方式及网络结构 初步确定主要监测仪器及设备的数量, 以及监测系统的工程概算。

在招标设计阶段 应提出各种监测项目的安装技术要求 确定仪器设备优化选型清单、软件配置及土建配套 各主要监测项目的测次及监测系统的工程预算。

在施工阶段 应根据监测系统设计和技术要求 提出施工详图和加工图, 仪器安装埋设精度和要求。

在蓄水阶段, 参与制定监测工作计划和确定主要监控技术指标及对大坝工作状态的评估。

在运行阶段 参与监测资料分析、安全检查和鉴定工作 并负责对监测系统进行技术改造的优化设计。

第二节 监测项目

一、项目内容

(一) 安全监测范围

文献[1]第二条规定：“大坝包括永久性挡水建筑物以及与其配合运用的泄洪、输水和过船建筑物等”。文献[2,3]总则中也有相应规定。因此本书中“大坝”是广义词，可理解为包括各种水工建筑物及近坝区岸坡等，都属于安全监测的范围。

(二) 现场检查项目

著者认为，建筑物安全监测工作应包括现场检查和仪器监测两项不同的内容。其中，现场检查可分为巡视检查和现场检测两项工作，分别采用简单量具或临时安装的仪器设备在建筑物及其周围定期或不定期进行检查，可以定性或定量，藉以了解有无缺陷和隐患或异常现象。

现场检查的项目列入表 1-1。原则上对各级建筑物均需按表 1-1 要求进行现场检查。表中带“√”号者为必检项目，其余为选检项目，设计时应根据建筑物的不同情况进行选择，必要时也可作适当调整^[4]。

(三) 仪器监测项目

仪器监测应包括仪器观测和资料分析两项工作，是利用专门及固定安装的仪器设备对作用于建筑物的自变量和因变量进行长期连续测量，以定量为主。通过对观测值的计算和正反分析，了解其工作状态。

按不同工程及按建筑物级别划分的监测项目列入表 1-2，表中带“√”号者为必测项目，其余为选测项目，可根据各工程不同特点进行选择，上述各表中堆石坝包括面板坝。

表 1-1

现场检查项目

类别	项目	土石坝	堆石坝	混凝土坝	水闸、溢洪道	隧洞、地下厂房	水库
水文	侵蚀	✓			✓	✓	
	植被	✓			✓		✓
	兽穴	✓					
	淤积	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	冰冻			✓	✓	✓	✓
变形	开裂	✓	✓	✓	✓	✓	
	塌坑	✓	✓		✓		✓
	滑坡	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	隆起	✓	✓				
	错动	✓	✓	✓			
渗流	渗漏	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	排水	✓	✓	✓	✓	✓	
	管涌	✓					
	湿斑	✓					
	浑浊	✓	✓	✓	✓	✓	
应力	碳化			✓	✓	✓	
	锈蚀			✓	✓	✓	
	风化			✓			
	剥落			✓		✓	
	松软			✓			✓
水流	冲刷	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	流态			✓	✓	✓	✓
	气蚀			✓	✓	✓	
	磨损			✓	✓	✓	
	雾化				✓	✓	
	振动				✓	✓	

二、项目测次

(一 现场检查分类)

1. 日常检查

根据工程情况和特点制定切实可行的检查制度，具体规定检查时间、部位、内容和要求，并确定日常巡视检查的路线和检查程序，由有经验的监测和维护人员负责进行的巡视检查。

2. 年度检查

在每年汛期、枯水期、冰冻期及蚁害显著期等 按规定的检查项目,由管理单位负责组织比较全面或专门的检查。在巡视检查的基础上确定是否需进行现场检测,即进一步作现场检查。

3. 特别检查

当遇到严重影响安全运用的特殊情况时 如特大洪水、强烈地震、重大事故等 由主管部门负责组织的检查,一般应组织人员和设备对可能出现的险情进行现场检查,即进行巡视检查和现场检测。

(二) 仪器监测分期

1. 施工期

指从施工建立观测设备时起,至水库开始首次蓄水前为止。

2. 蓄水期

指从首次开始蓄水至库水位达到或接近正常高水位共 3 年的时间内。如水库放空后再次蓄水,则仍按此阶段监测。如 3 年内仍达不到正常高水位则转入运行期。

3. 运行期

指蓄水阶段之后的正常使用期。

(三) 现场检查次数

设计时宜根据检查类别不同进行选择 见表 1-3。对表 1-3 的检查方法说明如下。

表 1-3 现场检查次数

类别	施工期	蓄水期	运行期
日常检查(次/月)	10~4	30~8	4~2
年度检查(次/年)	4~2	8~4	3~2
特别检查	按需要	按需要	按需要

1. 日常检查方法

主要进行巡视检查。除直觉方法外,可采用锤、钎、钢尺、放大

镜、望远镜、量杯、石蕊纸、回弹仪、照相机、录像机、闭路电路、潜水员等。

2. 年度及特别检查方法

一般分别进行巡视检查或现场检测，其中现场检测主要采用无损探测方法 包括高压探地雷达、电磁剖面仪、电阻率成像仪、红外温度探测仪、超声检测仪、水声探测仪、水下电视探测仪、潜水器、潜水船等^[5,6]。

(四) 仪器监测次数

表 1-4 中均系正常情况下人工测读测次，如遇影响工程安全的特殊情况或采用自动化监测时应适当增加测次。水文水力学测次按实际需要决定，表中未列。对表 1-4 说明如下。

表 1-4 仪器监测次数

类别	项目	施工期	蓄水期	运行期
变形	表面	4~2 次/月	10~4 次/月	6~2 次/年
	内部	10~4 次/月	30~10 次/月	12~4 次/年
渗流	渗流	10~4 次/月	30~10 次/月	6~3 次/月
	水质	6~3 次/年	12~6 次/年	12~3 次/年
应力	应力	6~3 次/月	30~4 次/月	12~4 次/年
	温度	15~4 次/月	30~4 次/月	6~2 次/月

(1) 在施工期，坝体填筑速度较快时，变形和应力监测测次可取上限。

(2) 在蓄水期，上蓄过程中可取上限，完成蓄水后的相对稳定期可取下限。

(3) 在运行期，当观测值变化速率较大时可取上限，性态趋于稳定时可取下限。若遇工程扩建或改建、提高水位及长期放空水库又重新蓄水时，需重新按施工和蓄水期进行监测。

如因水库淤满、废弃、改变用途及经多年运行性态稳定等需

减少测次、减少项目或停测某些项目时，应报上级主管部门批准。

第三节 限差要求

一、变形监测

(一) 变形符号

变形符号见表 1-5，设计时应注意掌握，以便选择合适的方法和仪器

表 1-5 变形监测符号

变形	正	负
水平	向下游、向左岸	向上游、向右岸
垂直	下沉	上升
挠度	向下游、向左岸	向上游、向右岸
倾斜	向下游转动、向左岸转动	向上游转动、向右岸转动
滑坡	向坡下、向左岸	向坡上、向右岸
裂缝	张开	闭合
接缝	张开	闭合
闸墙	向闸室中心	背闸室中心

(二) 变形量

见表 1-6，表中中误差是偶然误差和系统误差的综合值。坝体和坝基及滑坡体和高边坡的中误差相对于工作基点计算，近坝区岩体的中误差相对于校核基点计算。

二、渗流监测

(一) 渗流符号及限差

渗流符号及限差见表 1-7，其中最小读数限差均宜小于或等于表中各值。

表 1-6

变形监测中误差限值(±值)

建筑物		水平 (mm)	垂直 (mm)	裂缝、接缝 (mm)	倾斜 (")	挠度 (mm)	
土石坝	表面	2	3	0.2	5	—	
	内部	1	1	0.2	3	—	
堆石坝	表面	2	3	0.2	5	—	
	内部	1	1	0.2	3	—	
重力坝	坝体	1	1	0.1	2	0.3	
	坝基	0.3	1	0.1	1	0.3	
支墩坝	坝体	1	1	0.1	2	0.3	
	坝基	0.3	1	0.1	1	0.3	
拱坝	坝体	径向	2	1	0.1	2	0.3
		切向	1	1	0.1	1	0.3
	坝基	径向	1	1	0.1	1	0.3
		切向	0.5	1	0.1	1	0.3
水闸、溢洪道		1	1	0.1	2	0.3	
高边坡、滑坡体		3	3	1	5	0.3	
近坝区岩体		2	2	0.5	3	0.3	

(二) 监测基准值

各渗流监测设施在设计时应规定随着施工进展的安装埋设时间和要求，主要渗流监测项目在第一次蓄水前必须取得基准值。各基准值至少应连续观测两次并满足限差要求合格后才取平均值使用。

三、应力监测

(一) 应力符号及限差

应力符号及限差见表 1-8，其中最小读数限差均应小于或等

表 1-7

渗流监测符号及限差

项目		符号		最小读数
		正	负	
测压管	开敞式	基准点以上	基准点以下	1cm
	封闭式	基准点以上	基准点以下	1cm
量水堰	遥测	基准点以上	基准点以下	0.1mm
	人工	基准点以上	基准点以下	0.1mm
水质	温度	>0	<0	0.1℃
	pH值	>0	—	0.01
	电导率	>0	—	0.01 μ s/cm
	透明度	>0	—	1cm
渗流压力	电感调频式	基准点以下	基准点以上	0.1% F.S
	钢弦式	基准点以下	基准点以上	0.1% F.S
	压阻式	基准点以下	基准点以上	0.1% F.S
	差动电阻式	基准点以下	基准点以上	0.25% F.S

表 1-8

应力监测符号及限差

项目		符号		最小读数
		正	负	
混凝土	应变	拉	压	4×10^{-6}
	应力	拉	压	0.05MPa
钢筋	应变	拉	压	5×10^{-6}
	应力	拉	压	1.0MPa
钢板	应变	拉	压	5×10^{-6}
	应力	拉	压	1.0MPa
土壤	压力	拉	压	0.1% F.S
	应力	拉	压	0.1% F.S
接触面	压力	拉	压	0.1% F.S
	应力	拉	压	0.1% F.S
温度	℃	>0	<0	0.05

于表中各值

(二) 监测仪器设备

设计时应选择与表 1-8 要求相适应的仪器设备。各种仪器都要长期稳定可靠，使用维护方便，并应按规范要求进行认真检验，对各项检验结果应做好记录，写出报告，存档备查。

第二章 变形监测

第一节 水平位移

一、监测布置

(一) 观测断面

1. 土石坝(含堆石坝)

(1)观测横断面。布置在最大坝高、原河床处、合龙段、地形突变处、地质条件复杂处、坝内埋管或运行可能发生异常反应处。一般不少于 2~3 个。

(2)观测纵断面。在坝顶的上游或下游侧布设 1~2 个 在上游坝坡正常蓄水位以上 1 个 正常蓄水位以下可视需要设临时断面,下游坝坡 2~5 个。

(3)内部断面。一般布置在最大断面及其他特征断面处,可视需要布设 1~3 个 每个断面可布设 1~3 条观测垂线 各观测垂线还应尽量形成纵向观测断面。

界面位移一般布设在坝体与岸坡连接处,不同坝料的组合坝型交界处及土坝与混凝土建筑物连接处。

2. 混凝土坝(含支墩坝、砌石坝)

(1)观测纵断面。通常平行坝轴线在坝顶及坝基廊道设置观测纵断面 当坝体较高时 可在中间适当增加 1~2 个纵断面。

当缺少纵向廊道时,也可布设在平行坝轴线的下游坝面上。

(2)内部断面。布置在最大坝高坝段或地质和结构复杂坝段,

并视坝长情况布设 1~3 个断面。应将坝体和地基作为一个整体进行布设。

拱坝的拱冠和拱端一般宜布设断面，必要时也可在 1/4 拱处布设。

3. 近坝区岩体及滑坡体

(1) 靠两坝肩附近的近坝区岩体，垂直坝轴线方向各布设 1~2 个观测横断面。

(2) 滑坡体顺滑移方向布设 1~3 个观测断面 包括主滑线断面及其两侧特征断面。

(3) 必要时可大致按网格法布置。

(二) 观测点

1. 位移标点

(1) 土石坝。在每个横断面和纵断面交点等处布设位移标点，一般每个横断面不少于 3 个。位移标点的纵向间距，当坝长小于 300m 时取 30~50m 坝长大于 300m 时，一般取 50~100m。

(2) 混凝土坝。在观测纵断面上的每个坝段、每个垛墙或每个闸墩布设一个标点，对于重要工程也可在伸缩缝两侧各布设一个标点。

(3) 近坝区岩体及滑坡体。在近坝区岩体每个断面上至少布设 3 个标点，重点布设在靠坝肩下游面。

在滑坡体每个观测断面上的位移标点一般不少于 3 个 重点布设在滑坡体后缘起至正常蓄水位之间。

2. 工作基点

(1) 土石坝。在两岸每一纵排标点的延长线上各布设一个工作基点。当坝轴线为折线或坝长超过 500m 时 可在坝身每一纵排标点中部增设工作基点兼作标点，工作基点的间距取决于采用的测量仪器。

(2) 混凝土坝。可将工作基点布设在两岸山体的岩洞内或位

移测线延长线的稳定岩体上。

(3)近坝区岩体及滑坡体。选择距观测标点较近的稳定岩体建立工作基点。

3. 校核基点

(1)土石坝。一般仍采用延长方向线法，即在两岸同排工作基点连线的延长线上各设1~2个校核基点如图2-1所示。必要时可设置倒垂线或采用边角网定位。

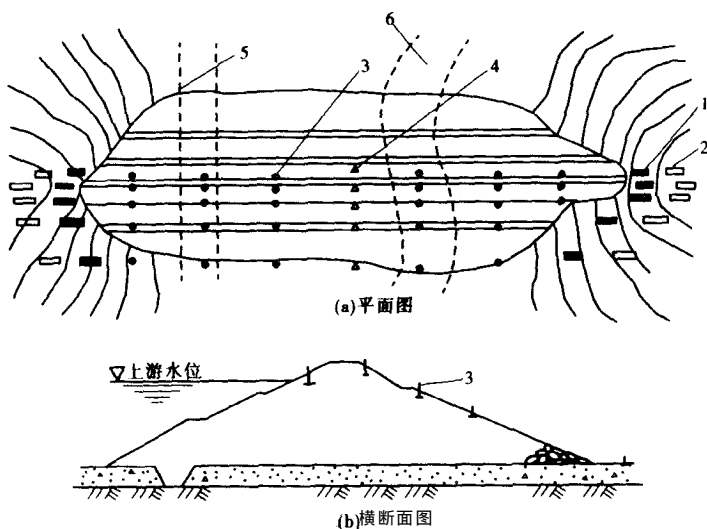


图 2-1 视准线法水平位移监测布置

1—工作基点；2—校核基点；3—位移标点；
4—增设工作基点；5—合龙段；6—原河床

(2)混凝土坝。校核基点可布设在两岸灌浆廊道内，也可采用倒垂线作为校核基点，此时校核基点与倒垂线的观测墩宜合二而一。

(3)近坝区岩体及滑坡体。可将工作基点和校核基点组成边

角网或交会法进行观测。有条件时也可设置倒垂线。

二、监测方法

见表 2-1，对表中未列出的部位可参照布设^[7]

表 2-1 水平位移监测方法

部 位	方 法	说 明
重力坝	引张线 视准线 激光准直	一般坝体、坝基均适用 坝体较短时用 包括大气和真空激光，坝体较长时可用真空激光
拱坝	视准线 导线 交会法	重要测点用 一般均适用，可用光电测距仪测导线边长 交会边较短、交会角较好时用
土石坝	视准线 大气激光 卫星定位 测斜仪或位移计 交会法	坝体较短时用 有条件时用，可布设管道 坝体较长时用（即 GPS 法，下同） 测内部分层及界面位移用 同拱坝
近坝区岩体	测斜仪 交会法 卫星定位 多点位移计	一般均适用 同拱坝 范围较大时用 也可用于滑坡体及坝基
高边坡、 滑坡体	视准线 卫星定位 直线测距 边角网 同轴电缆	一般均适用 范围较大时用 用光电测距仪或因钢线位移计、收敛计 一般均适用，包括三角网、测边网及测边角网 可测定位移深度、速率及滑动面位置（即 TDR 法）
断层、夹层	断层监测仪 变位计 测斜仪 倒垂线	可测断层水平及垂直三维位移 可测层面水平及垂直位移 一般均适用 必要时用
校核基点	岩洞稳定点 倒垂线 边角网 延长方向线 伸缩仪	也可精密量距或测角 一般均适用 有条件时用 有条件时用 用于基准点传递和水平位移观测

三、系统设计

(一) 引张线法

(1) 引张线是观测水平位移的重要方法,观测精度较高,可达 0.1~0.3mm。一般采用浮托式,当线长不足 200m 或采用“分段引张线法”时,也可采用无浮托式,主要根据引张线垂径大小及观测要求决定。垂径算式如下:

$$Y = \frac{S^2 W}{8H} \quad (2-1)$$

式中 Y ——引张线垂径, m;

S ——引张线长度,有浮托时为两浮托之间的长度, m;

W ——引张线钢丝的单位重, kg/m;

H ——水平拉力,近似于所挂重锤之重量, N。

测线一般采用 0.8~1.2mm 的高强不锈钢丝,要求其极限强度不少于 $1500\text{N}/\text{mm}^2$,钢丝直径选择宜使其极限拉力为所受拉力的 2 倍。

(2) 引张线的设备包括端点装置、测点装置、测线及保护管。端点装置可用一端固定、另一端加拉力的办法,加力端结构设计实例见图 2-2,加力大小可按式 (2-1) 计算。

(3) 有浮托的引张线测点装置包括水箱、浮船、读数设备及保护箱,无浮托的引张线则无水箱及浮船(盒),设计浮船的排水量按下式计算:

$$Q = K \left(\frac{S_1 + S_2}{2} W + G \right) \quad (2-2)$$

式中 Q ——设计浮船荷载, kg;

K ——系数,取值为 1.5;

S_1 、 S_2 ——一测点与相邻两测点的水平距离, m;

G ——浮船自重, kg。