第十一章

水利工程测量

第十一章　线状工程测量

主要内容

- 河流梯级开发规划阶段的测量
- 水利枢纽工程设计阶段的测量
- 水利枢纽工程的施工控制测量
- 水利枢纽工程的施工放样
- 水利枢纽工程的变形监测

重点

- 水利枢纽工程各阶段的测量工作

11.1 概述

11.1.1 发展历史

公元前21世纪，禹奉命治水，已有“左准绳，右规矩”，以测定远近高低。公元前13世纪埃及人于每年尼罗河洪水泛滥后，即用测量方法重新丈量划分土地。20世纪50年代以后，测量工作吸收各种新兴技术，发展更加迅速。

中国水利工程测量，从70年代后期以来，

- 控制测量方面，普遍采用电子计算机计算技术以及电磁波测距导线、边角网等形式与优化设计方法。
- 陆上地形测量，广泛应用航测大比例尺成图和地面立体摄影测量，由模拟测图逐步转向数字化、自动化测图；

11.1 概述

- 水下地形测量普遍应用回声测深技术，大面积水域测量开始应用微波测距自动定位系统。
- 施工测量中，电磁波测距仪、激光导向仪、激光投点仪、陀螺经纬仪、坡面经纬仪及地面摄影测量技术正在普及。
- 大坝变形观测及地壳形变观测广泛采用了正倒锤、引张线、大气激光波带板准直、真空管道激光波带板准直、短基线、短水准、近景摄影测量等设备和技术，测量精度和效率不断提高，某些观测仪器已开始实现自动化和遥测。
- 近年来，遥感技术已应用于地图编制、土壤侵蚀测绘和水深测量等方面。

11.1.2 主要工作内容

水利工程测量是指在水利工程规划设计、施工建设和运行管理各阶段所进行的测量工作。

水利工程测量的主要工作内容有：平面、高程控制测量、地形测量（包括水下地形测量）、纵横断面测量、定线和放样测量、变形观测等。

11.1 概述

1 施工控制测量

为工程建筑物的施工放样、验收及其他测量工作建立平面控制网和高程控制网。

- ✓ 首级平面控制网常用高精度测角网、边角网或电磁波导线等形式布设，再以插网、插点或导线加密。随着GPS应用技术的推广和应用，在许多大型工程中已开始采用GPS建立平面施工控制网，并用动态GPS技术进行施工放样工作，这对提高施工测量的效率是十分有益的。
- ✓ 首级高程控制网一般为高精度的水准网，然后以较低等级的附合水准路线或结点水准网加密，地形起伏较大时则用电磁波三角高程测量或解析三角高程测量代替适当等级的水准测量。

11.1 概述

2 施工放样及贯通测量

①施工放样及收方。

将设计图上建筑物的轴线、细部轮廓点标定到实地，并进行填挖方量的验收测量。一般由基本控制网测设建筑物的主要轴线点和施工水准点，布设成施工方格控制网或放样网，再以极坐标法、直角坐标法、角度或距离交会法等平面放样方法和水准测量、三角高程测量等高程放样方法，测设、检测建筑物轮廓点与立模点、填筑点、开挖点，并随施工进展测绘挖填断面，并计算验收完成工作量。

2 施工放样及贯通测量

②安装测量。

为安装闸门、拦污栅、起重轨道、发电机组等金属或混凝土构件以及机电设备进行的测量。安装点位置一般由施工方格控制网或轴线点以直角坐标法或其他方法测设；高程由高程基点以水准测量方法测定。

11.1 概述

2 施工放样及贯通测量

③隧洞贯通测量。

- 进行贯通测量设计；
- 建立洞外（地面）平面和高程控制；
- 进行联系测量，布设洞口控制点或通过竖井、斜井、支洞将坐标、方位角和高程传入洞内；
- 敷设洞内基本导线、施工导线和水准路线，并随施工进展而不断延伸；
- 在开挖掌子面上放样，标出拱顶、边墙和起拱线位置，立模后检测；
- 测绘竣工断面。

2 施工放样及贯通测量

④附属工程测量。

为施工服务的附属工程（如铁路、公路、输电线路、通讯线路、压力管道等）所进行的测量工作。

3 变形观测

按照设计文件布设变形观测控制网和监测点，埋设观测设备，及时开始观测工作。控制网点和监测点应布设在不受淹没及施工爆破等影响的稳定地区。对重要建筑物，从基坑开挖开始即须进行变形观测，以测定建筑物基础和地基在施工期间因荷载变化所引起的形变。

11.1 概述

4 竣工测量

①单项工程完成后，要施测开挖、填筑竣工断面图和竣工平面图。

②主体工程开挖至建基面时，要测绘建基面的大比例尺地形图。

③竣工后，要测绘过流部位的形体断面及综合反映工程全貌的竣工总平面图。这些资料是工程验收及管理的重要依据。

11.2 河流梯级开发规划阶段的测量

一般来讲，山区河流的开发目标以发电为主，而平原河流的开发目标则以航运、灌溉为主。这种对整条河流（或局部段）综合开发的规则称为流域规划，它是国民经济发展计划的一个组成部分。

流域规划的主要内容之一是制定河流的梯级开发方案，合理地选择枢纽位置和分布。

在进行梯级布置时，不仅需要在地形图上确定合适的位置，而且还应确定各水库的正常高水位。

11.2 河流梯级开发规划阶段的测量

测量人员应提供该流域内的地形图、河流纵断面图以及河谷地形图。

整个流域范围内可提供1:50000～1:100000的流域地形图。

为初步确定各梯级水库的淹没情况及库容，需用1:10000～1:50000的地形图。

可收集国家基本图或其他勘测单位的现有图提供设计使用。在收集资料时，除具体成果、成图外，还应收集下列资料：施测单位、时间、作业规范，标石耐久程度和保存情况，实测结果所达到的各项精度指标，所采用的坐标系统等。

11.2 河流梯级开发规划阶段的测量

11.2.1 河流水面高程的测定

在河流上每隔一定的间距设有水文站，但为详细了解河流水面的变化特征，还须沿河流布设一定数量的水位点，水位点应尽可能位于河流水面变化的特征处。

11.2 河流梯级开发规划阶段的测量

11.2.1 河流水面高程的测定

① 水位点的密度应根据河流的比降、落差、横断面形态变化等来确定，同时也要考虑各设计阶段的要求。在流域规划时期，水位点的间距可长一些。根据不同的比例尺要求，从0.4～2.5km不等。对于水面比降急剧变化的地段，应适当增设水位点。

② 水位点的平面位置可根据地形图上的测站点或明显地物点用解析或图解支导线或图解交会法测定；其精度与编绘纵断面图时地形图上的平坦地区地物点的精度要求一致。

③ 为测定水面高程，首先沿河流建立统一的高程控制，然后再设立水位点进行水位观测。控制点的高程一般采用等级几何水准法测定，其精度要求视地形条件、水面比降和路线长度而定。

11.2 河流梯级开发规划阶段的测量

11.2.2 横断面测量

- 横断面的位置一般可根据设计用途由设计人员会同测量人员先在地形图上选定 ；
- 横断面的间距视河流大小和设计要求而定
- 断面基点应埋设在最高洪水位以上，并与控制点联测，以确定其平面位置和高程，作为横断面测量的平面和高程控制;
- 横断面的编号可以从某一建筑物的轴线或支流入口处由上游向下游或由下游向上游按顺序统一编号，并在序号前冠以河流名称或代号

11.2 河流梯级开发规划阶段的测量

横断面测量常用方法：断面索法、交会法、GPS（RTK）法等。

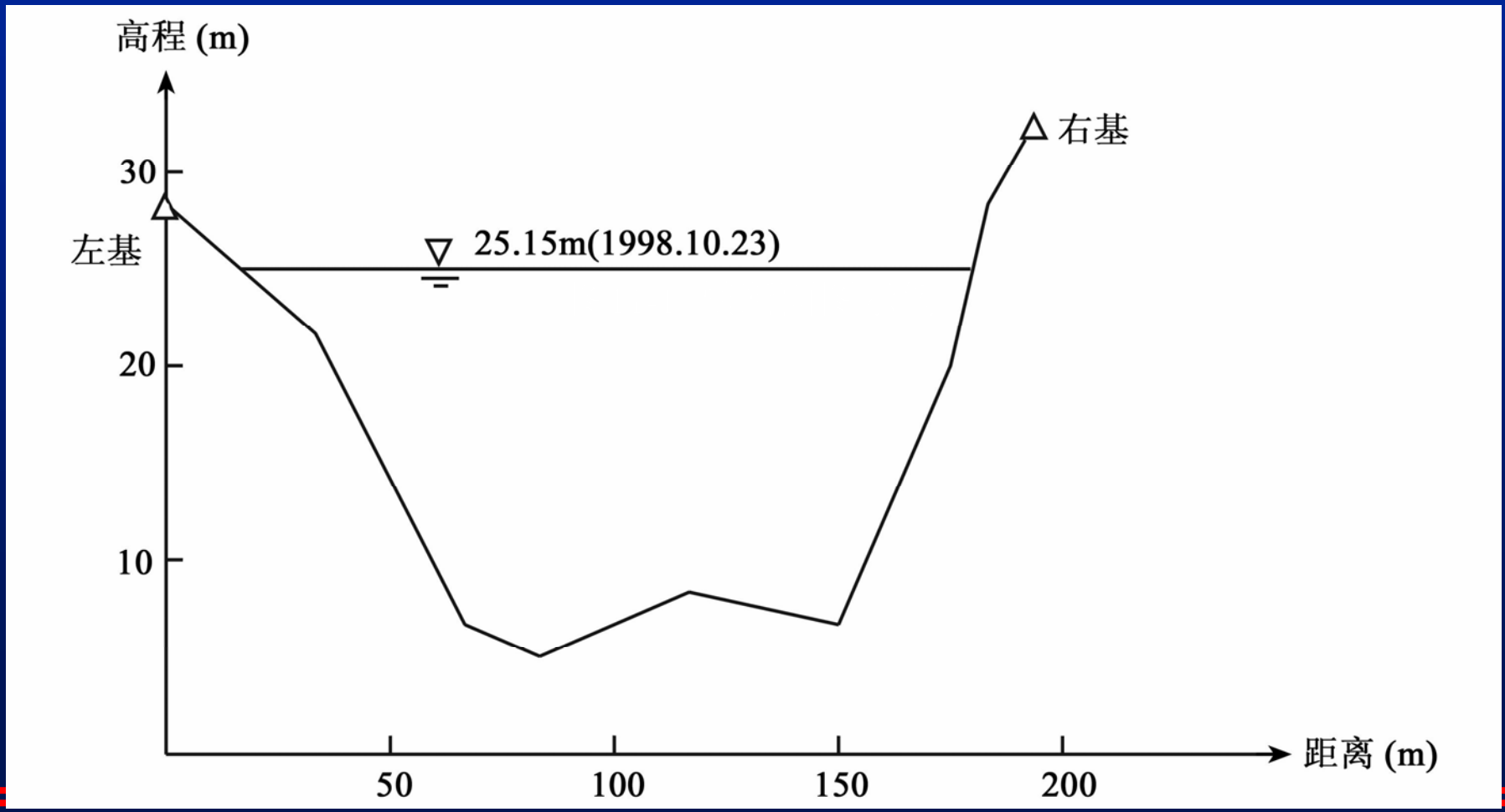


图11-1 横断面图示例

11.2 河流梯级开发规划阶段的测量

11.2.3 纵断面编绘

河流纵断面是指沿着河流深泓点（即河床最低点）剖开的断面。

河流纵断面图一般是利用已有的水下地形图、河道横断面图及有关水文资料进行编绘的，其基本步骤如下：

1. 量取河道里程；

2. 换算同时水位，同时水位的计算一般根据距离或时间作线性内插 ；

3. 编制河道纵断面表，内容包括：点编号、点间距、累计距离、深泓点高程、瞬时水位及时间、洪水位及时间、堤岸高程等；

4. 绘制河道纵断面图，一律从上游向下游绘制 。

11.3 水利枢纽工程设计阶段的测量

11.3.1 工程设计阶段的控制测量

- 平面控制网

  建网方法：三角测量、导线测量、三边测量和边角测量 、GPS等；

- 高程控制网

  建网方法：水准测量和三角高程测量；

  布设方式：一次全面布网，或分级布设。首级网一般布设成环形网，加密时可布设成附合线路或结点网。

11.3 水利枢纽工程设计阶段的测量

11.3.2 水库淹没界线测量

水库淹没界限测量： 测设移民线、土地征用线、土地利用线、水库清理线等各种水库淹没、防护、利用界线的工作。

测设目的：

- 测定水库淹没、浸润和坍岸范围，由此确定居民地和建筑物的迁移、库底清理、调查与计算由于修建水库而引起的各种赔偿；
- 规划新的居民地、确定防护界线等

11.3 水利枢纽工程设计阶段的测量

11.3.2 水库淹没界线测量

测设依据：

- 以设计正常蓄水位为基础；
- 结合浸没、坍岸、风浪影响等因素综合确定，根据需要测设其中的一种、几种或全部。

测设方法：

- 根据边界种类和现场条件而有所不同，各种边界线的测设精度要求也有一定的差异；
- 在通常情况下，一般采用几何水准测量法和经纬仪高程导线法进行。

11.3 水利枢纽工程设计阶段的测量

11.3.3 地质勘察测量

配合水利工程地质勘察所进行的测量工作称为地质勘察测量。

基本任务：

①为坝址、 厂址、 引水洞、水库、堤线、料场、 渠道、排灌区的地质勘察工作提供基本测量资料；

②主要地质勘探点的放样；

③联测地质勘探点的平面位置、高程和展绘上图。

11.3 水利枢纽工程设计阶段的测量

11.3.3 地质勘察测量

具体工作：

- 钻孔测量、井硐测量、坑槽测量、地质点测量、剖面测量等。
- 一般应用经纬仪、水准仪和电磁波测距仪等进行。

11.3 水利枢纽工程设计阶段的测量

11.3.3 地质勘察测量

精度要求：

- 水工建筑物地区的钻孔以及竖井、平硐的起点高程和平面位置按厘米级精度测定；
- 查明地下水水位或观测地下水动态的钻孔、井、泉和江、河水位点，其高程按厘米级、平面位置按分米级精度测定；
- 地质点（构造点、岩性点、地貌点、岩层界线点等）、物探点、坑槽点、剖面点、料场和一般地区的钻孔、高程和平面位置的测量精度均取至分米。

11.3 水利枢纽工程设计阶段的测量

11.3.4 河道测量

为河流的开发整治而对河床及两岸地形进行测绘，并相应采集、绘示有关水位资料的工作称为河道测量。

主要内容 ：

①平面、高程控制测量；

②河道地形测量；

③河道纵、横断面测量；

④测时水位和历史洪水位的联测；

⑤某一河段瞬时水面线的测量；

⑥沿河重要地物的调查或测量。

11.4 水利枢纽工程的施工控制测量

施工控制网应作为施工总平面图设计的一部分，设计点位时应充分考虑建筑物的分布、施工的程序、施工的方法以及施工场地的布置情况，将施工控制网点画在施工总平面图相应的位置上，并教育工地上的所有人员爱护测量标志，注意保存点位。

11.4 水利枢纽工程的施工控制测量

11.4.1 平面控制网的建立

分级：一般按两级布设。

- 基本网，首级平面控制网起着控制各建筑物主轴线的作用；
- 定线网，定线网直接控制建筑物的辅助轴线及细部位置。

网形：

- 首级平面施工控制网一般布设成三角网形式，也可布设GPS网，在首级网中应尽可能将坝轴线纳入网中作为网的一边；
- 定线网有矩形网、三角网、导线网等形式。

11.4 水利枢纽工程的施工控制测量

11.4.1 平面控制网的建立

布设 ：

- 基本网一般布设在施工区域以外，以便长期保存；
- 定线网应尽可能靠近建筑物，以便放样。

精度 ：

- 根据建筑物竣工时对于设计尺寸的容许偏差(即建筑限差)来确定 ，建立施工控制网时应使控制点误差引起细部点的误差，相对于施工放样的误差来说，小到可以忽略不计 ；
- 定线网的测量精度不一定比基本网的测量精度低，有时定线网的内部相对精度甚至比基本控制网精度要高得多。

11.4 水利枢纽工程的施工控制测量

11.4.2 高程控制网的建立

高程控制网一般也分两级，一级水准网与施工区域附近的国家水准点联测，布设成闭合(或附合)形式，称为基本网，基本网的水准点应布设在施工爆破区外，作为整个施工期间高程测量的依据。另一级是由基本水准点引测的临时性作业水准点，它应尽可能靠近建筑物，以便做到安置一次或二次仪器就能进行高程放样。

高程控制的基本网是整个水利枢纽的高程基准，其基准点应稳定可靠，且能长期保存。为此，水准基点一般应直接埋设在基岩上，当覆盖层较厚时，可埋设基岩钢管标志。

11.5 水利枢纽工程的施工放样

11.5.1 大坝的施工放样

1 坝轴线的测设

坝轴线的位置一般是在图纸上设计选定，用图解方法量算出坝轴线两端点的坐标。再在现场测设出坝轴线的两个端点。

2 清基中的放样工作

清基放样的主要工作是确定清基范围和各位置的高程，一般根据设计数据计算而得。目前，清基放样工作一般采用全站仪坐标法和GPS（RTK）法进行 。

11.5 水利枢纽工程的施工放样

11.5.1 大坝的施工放样

3 坝体分块控制线的测设

分块控制线一般是平行于坝轴线的一组直线，分段控制线则是垂直于坝轴线的一组直线。应建立大坝分段、分块的基本控制线。

4 坝体浇筑中的放样工作

放样分块线、立模线 、标高线。

11.5 水利枢纽工程的施工放样

11.5.2 水工隧洞施工测量

主要内容：

- 洞外控制测量
- 洞内控制测量
- 联系测量
- 隧洞中心线放样
- 开挖断面和衬砌断面的放样等。

11.5 水利枢纽工程的施工放样

11.5.3 水电站厂房施工测量

主要内容：

- 厂房施工控制网的建立
- 基础开挖测量
- 厂房建筑放样测量

11.5 水利枢纽工程的施工放样

11.5.3 水电站厂房施工测量

- 厂房施工控制网的建立
  - 一般布设成矩形方格网，其主轴线可根据首级施工控制网测设并调整；
  - 精度应根据工程的规模和具体要求确定。
- 基础开挖测量
  - 开挖边界放样，用全站仪坐标法；

11.5 水利枢纽工程的施工放样

11.5.3 水电站厂房施工测量

- 厂房建筑放样测量
  - 厂房两侧边墙放样，用厂房中心轴线设置平行轴线的方法控制，高程悬吊钢尺的方法控制。
  - 吊车梁及轨道安装，精度要求相对较高，一般设置平行轴线，利用激光经纬仪进行测量，为保证两轨道间的相对距离，可采用量距法对轨道的中心间距进行调整和检核。

11.5 水利枢纽工程的施工放样

11.5.4 金属结构安装测量

金属结构安装测量的精度一般较高，需建立独立的控制网。金属构件与土建工程有一定的关系，所建立的安装测量控制网与土建施工测量控制网轴线关系应保持一致。

11.5 水利枢纽工程的施工放样

11.5.4 金属结构安装测量

1 闸门安装测量

以建筑物的轴线为依据进行，主要工作：

（1）测定底枢中心点。为确保中心点与一期混凝土的相对关系，可用土建施工控制点进行初步放样，检查两点连线是否与中心线垂直平分，并根据实际情况调整。

（2）顶枢中心点的投影。可用经纬仪交会投影或精密投点仪进行。投影结束后，可采用吊锤球的方法进行检核。

（3）高程放样。应保证两蘑菇头的相对高差，绝对高程只需与一期混凝土一致。两蘑菇头的高程放样须用同一基准点。

11.5 水利枢纽工程的施工放样

2 发电机组安装测量

发电机组各部分之间的相对位置精度要求较高，在放样时应建立高精度的放样基准。安装放样主要有：

- 吸出管安装放样一般用机组纵轴线和机组中心线所建立的坐标系进行，轴线上控制点离机组中心的距离应根据机组的大小而定。高程放样一般采用水准测量进行。
- 座环上水平面高出吸出管口一段距离，需将上述建立的控制点位置抬高，可在原控制点上搭建测量台架，并将控制点投影到台架顶面上。座环安装完成后，应进行检查验收测量。
- 蜗壳的安装放样一般也是直接利用前述的纵横轴线控制点，此外还需放样出钢管中心线的控制点。蜗壳的中心高程一般通过水准测量方法放样。

11.5 水利枢纽工程的施工放样

3 压力管道安装测量

- 水电压力管道一般都是倾斜管道，结构上分为水平段、弯段和斜段。压力管道钢管的安装放样随施工进程分两步进行，首先放样承重支墩，并在支墩上铺设输送钢管的导轨，然后进行钢管的安装放样。
- 支墩放样主要是根据管道的设计中心线和墩距计算和放样各墩的位置，一般可利用施工控制点，采用全站仪放样。压力管道的总体高差一般较大，各项测量数据应投影到合适的平面上。
- 压力管道钢管一般为圆柱体，放样点一般以3个测点为一组，为钢管底板中心点和左右腰线高程点。钢管就位时，以中腰线为转轴，按设计倾角旋转，致使管口平面倾斜，所以3个测点在一倾斜面内。
- 腰线高程点的放样一般根据管道里程和倾斜角，采用水准测量的方法进行。

11.6 水利枢纽工程的变形监测

11.6.1 主要观测项目

1 水平位移观测

- 基准线法是通过一条固定的基准线来测定监测点的位移，主要包括：视准线法、引张线法、激光准直法和垂线法。
- 大地测量方法主要用于水利工程的外部变形监测，主要包括：交会法、精密导线法、三角测量方法和GPS观测法。

2 垂直位移观测

常用观测方法：几何水准测量法、液体静力水准法和三角高程测量法。

11.6 水利枢纽工程的变形监测

11.6.1 主要观测项目

3 挠度观测

一般是在坝体内设置铅垂线作为基准线，然后测量坝体不同高度相对于铅垂线的位置变化，以测得各点的水平位移，从而得知坝体的挠度。

设置铅垂线的方法有正垂线和倒垂线两种。

4 裂缝观测

对水工建筑物产生的裂缝进行位置、长度、宽度、深度和错距等的定期观测。

通常可分为两类：土工建筑物裂缝观测和混凝土建筑物裂缝观测。

11.6 水利枢纽工程的变形监测

11.6.1 主要观测项目

5 应力/应变观测

①混凝土应变观测：在混凝土内埋设应变计和无应力计，根据观测资料和混凝土徐变试验资料可以计算混凝土的应力，了解坝体内的应力分布。

②土坝应变观测：在土坝内埋设土应变计，根据观测资料研究坝体内的应力分布，分析产生内部裂缝或局部破坏的可能性。

③基岩变形观测：在坝基内埋设岩石应变计或多点基岩变形计用以观测坝基变形，分析坝基产生滑动的可能性。

11.6 水利枢纽工程的变形监测

11.6.1 主要观测项目

6 分层沉降观测

在土坝内部用十字臂固结管、深式标点组、电磁式沉降仪或水管式沉降仪等观测坝体内部不同高程点位上的沉降量，以便了解坝体内部土料的固结程度，评估设计施工质量，保证大坝安全运行。

7 倾斜观测

在土石坝或岩土边坡的钻孔内用倾斜仪观测不同高程点位的倾斜度，用以计算岩土体内部的水平位移，以便分析岩土体的稳定性或产生内部裂缝的可能性。

11.6 水利枢纽工程的变形监测

11.6.1 主要观测项目

8 渗流观测

在土坝内部用十字臂固结管、深式标点组、电磁式沉降仪或水管式沉降仪等观测坝体内部不同高程点位上的沉降量，以了解坝体内部土料的固结程度，评估设计施工质量，保证大坝安全运行。

9 温度观测

专用的温度传感器埋设在混凝土建筑物内部对建筑物的温度状态所进行的测量 。

混凝土温度观测使用的仪器有电阻式温度计、热电阻等温度传感器。

11.6 水利枢纽工程的变形监测

11.6.1 主要观测项目

10 检查观测

对水利工程在施工和运用期间工作情况和状态变化的表面观察和原型观测。

11 滑坡崩岸观测

滑坡监测是对可能滑动的山坡、明堑和填筑坡变形的观测，通常根据具体情况选定观测范围，布设垂直位移和水平位移标点，定期进行观测。

垂直位移宜采用精密水准测量，水平位移可根据情况采用视准线法或三角网法进行观测，在降雨或融冻季节，位移出现异常时期，要增加测次。

11.6.2 变形监测的精度与周期

1）变形监测的精度要求

项目				位移中误差限值
水平位移	坝体	重力坝		±1.0mm
		拱坝	径向	±2.0mm
			切向	±1.0mm
	坝基	重力坝		±0.3mm
		拱坝	径向	±1.0mm
			切向	±0.5mm
坝体、坝基垂直位移				±1.0mm
坝体、坝基挠度				±0.3mm
倾斜	坝体			±5.0″
	坝基			±1.0″
坝体表面接缝与裂缝				±0.2mm
近坝区岩体	水平位移			±2.0mm
	垂直位移	坝下游		±1.5mm
		库区		±2.0mm
滑坡体和高边坡		水平位移		±0.3～3.0mm
		垂直位移		±3.0mm
		裂缝		±1.0mm

11.6 水利枢纽工程的变形监测

2）观测周期

- 在施工期和水库蓄水时，建筑物的变形发展较快，所以观测的时间间隔不宜过大，它与预期的变形值及水库蓄水阶段有关。在施工期间，若遇特殊情况（暴雨、洪水、地震等），应进行加测。
- 在施工结束、水库开始蓄水，库水位下降、水库放空等有代表性的阶段，要进行变形测量工作。
- 在大坝运行期间，建筑物及其基础变形过程已变得缓慢，因而周期可以放长，而各观测周期应尽量在每年相同的情况下进行。
- 在时效变形基本停止以后（这一过程一般需十年以上），测量工作并不能停止，继续观测的任务是为了保证大坝的安全运行，以防事故的发生。

11.6 水利枢纽工程的变形监测

11.6.3 观测资料的整编与分析

资料整编的主要内容：

①收集资料（如：工程或观测对象的资料、考证资料、观测资料及有关文件等）。

②审核资料（如：检查收集的资料是否齐全、审查数据是否有误或精度是否符合要求、对间接资料进行转换计算、对各种需要修正的资料进行计算修正、审查平时分析的结论意见是否合理等）。

③填表和绘图（将审核过的数据资料分类填入成果统计表；绘制各种过程线、相关线、等值线图等；按一定顺序进行编排）。

④编写整编成果说明（如：工程或其他观测对象情况、观测情况、观测成果说明等）。

11.6 水利枢纽工程的变形监测

11.6.3 观测资料的整编与分析

对水利工程及有关的各项观测资料进行综合性的定性和定量分析，找出变化规律及发展趋势称为观测资料分析，其目的是对水利工程系统和各项水工建筑物的工作状态做出评估、判断和预测，达到有效地监视建筑物安全运行的目的。

11.6 水利枢纽工程的变形监测

11.6.3 观测资料的整编与分析

常用分析方法：

- 作图分析
- 统计分析
- 对比分析
- 建模分析

11.6 水利枢纽工程的变形监测

11.6.3 观测资料的整编与分析

1 作图分析

将观测资料绘制成各种曲线，常用的是将观测资料按时间顺序绘制成过程线。通过观测物理量的过程线，分析其变化规律，并将其与水位、温度等过程线对比，研究相互影响关系。也可以绘制不同观测物理量的相关曲线，研究其相互关系。这种方法简便、直观，适用于初步分析阶段。

11.6 水利枢纽工程的变形监测

11.6.3 观测资料的整编与分析

2 统计分析

用数理统计方法分析计算各种观测物理量的变化规律和变化特征，分析观测物理量的周期性、相关性和发展趋势。这种方法具有定量的概念，使分析成果更具实用性。

3 对比分析

将各种观测物理量的实测值与设计计算值或模型试验值进行比较，相互验证，寻找异常原因，探讨改进运行和设计、施工方法的途径。由于水工建筑物实际工作条件的复杂性，必须用其他分析方法处理实测资料，分离各种因素的影响，才能对比分析。

11.6 水利枢纽工程的变形监测

11.6.3 观测资料的整编与分析

4 建模分析

采用系统识别方法处理观测资料，建立数学模型，用以分离影响因素，研究观测物理量变化规律，进行实测值预报和实现安全控制。

常用数学模型：

①统计模型：主要以逐步回归计算方法处理实测资料建立的模型；

②确定性模型：主要以有限元计算和最小二乘法处理实测资料建立的模型；

③混合模型：一部分观测物理量（如温度）用统计模型，一部分观测物理量（如变形）用确定性模型。这种方法能够定量分析，是长期观测资料进行系统分析的主要方法。

谢 谢 大 家!