



普通高等教育“十一五”精品规划教材

大坝变形监测技术

DABA BIANXING JIANCE JISHU

邓念武 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十一五”精品规划教材

大坝变形监测技术

邓念武 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共分5章。第1章介绍了大坝变形监测的目的和意义、内容和要求,以及大坝变形监测技术的发展。第2章至第4章在介绍了水平位移观测和垂直位移观测的基本概念后,主要介绍了测量水平位移和垂直位移的多种方法。不仅包含了单独测量水平位移和垂直位移的方法,而且还包括了一些同时能测量水平位移的两个方向,或同时能测量水平位移和垂直位移的方法。第5章简单地介绍了监测资料的整编和分析的基本方法。

本书可作为水利水电类专业的必修课或选修课教材,也可作为其他相关专业学生了解大坝变形监测的公共选修课教材同时可供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大坝变形监测技术 / 邓念武主编. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2010.11
普通高等教育“十一五”精品规划教材
ISBN 978-7-5084-8087-9

I. ①大… II. ①邓… III. ①大坝—变形—监测—高等学校—教材 IV. ①TV698.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第225218号

书 名	普通高等教育“十一五”精品规划教材 大坝变形监测技术
作 者	邓念武 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 8印张 190千字
版 次	2010年11月第1版 2010年11月第1次印刷
印 数	0001—2500册
定 价	16.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

为了适应高等学校教学改革的需要,方便不同专业的学生了解水利水电事业、了解大坝变形观测,为了满足水利类专业的学生进一步了解大坝变形观测的需求,笔者在总结多年的教学实践经验,以及现场施工实践经验的基础上编写了本教材。全书紧紧围绕大坝的变形展开介绍,为初学者打开一扇了解大坝变形观测的窗口,为专业人士学习相关知识提供了一个平台。

本书首先讨论了大坝变形观测的目的和意义、内容和要求、以及目前大坝变形观测的发展现状,在介绍了大坝水平位移和垂直位移基本概念的基础上充分阐述了各种观测方法的观测原理、施工方法、观测方法、仪器使用方法以及注意事项等。使读者对每种观测方法有一个全面的了解,同时也可以指导工程技术人员的现场工作,具有较强的实践指导价值。

鉴于目前大坝变形观测的现状和发展趋势,本书主要介绍了水平位移观测中的活动觇牌法、小角度观测法、引张线观测法和钢丝位移计观测法;垂直位移观测法中的精密水准测量法、水管式沉降仪观测法和垂直传高观测法;以及能观测多个方向位移的挠度观测法、激光准直观测法、前方交会观测法、测斜仪观测法、多点位移计观测法、接缝及裂缝观测法、测量机器人观测法和全球定位系统(GPS)观测法等。本书最后简单介绍了观测资料整编和分析的一般方法。

本书可作为水利水电专业的教材,或用于其他相关专业学生了解大坝变形监测的公共选修课教材,也适用于相关专业工程技术人员参考。

本书由武汉大学水利水电学院邓念武担任主编,参加编写的人员有邓念武(第1章、第3章3.1、3.2、3.6节、第4章4.1~4.3节),刘玉新(第2章2.1~2.4节、第3章3.4节、第4章4.4节)、金银龙(第3章3.3节、第4章4.8、4.9节)、黄小红(第2章2.5节、第3章3.5节、第4章4.6~4.7节)、谭凯炎(第4章4.5节)、张晓春(第5章)。全书由武汉大学叶泽荣审稿。

由于笔者水平有限,缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2010年8月

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 大坝变形监测的目的和意义	1
1.2 大坝变形监测的内容和要求	2
1.3 大坝变形监测技术的发展	6
第 2 章 水平位移观测	8
2.1 概述	8
2.2 活动觇牌法	9
2.3 小角度法	29
2.4 引张线法	32
2.5 钢丝位移计观测法	43
第 3 章 垂直位移观测	47
3.1 概述	47
3.2 测点布设	47
3.3 精密水准测量	51
3.4 静力水准测量	56
3.5 水管式沉降仪观测	61
3.6 垂直传高观测法	64
第 4 章 多维位移观测	67
4.1 概述	67
4.2 挠度观测	67
4.3 激光准直观测	76
4.4 前方交会法	81
4.5 测斜仪观测法	86
4.6 多点位移计观测法	92
4.7 接缝及裂缝观测法	95
4.8 测量机器人观测法	107
4.9 全球定位系统 (GPS) 观测法	109

第 5 章 观测资料的整编和分析.....	115
5.1 概述	115
5.2 观测资料整编	115
5.3 观测资料分析方法简介	117
参考文献	120

第 1 章 概 述

1.1 大坝变形监测的目的和意义

大坝安全监测 (Safety Monitoring of Dams) 是通过仪器观测和巡视检查对大坝坝体、坝基、坝肩、近坝区岸坡及坝周围环境所作的测量和观察。此处的“大坝”一般泛指与大坝有关的各种水工建筑物和设备;“监测”既包括对坝固定测点一定频次的仪器观测,也包括对大坝外表及内部大范围对象的定期和不定期的直接检查和仪器检查。大坝变形监测是大坝安全监测的重要组成部分,它是利用仪器通过一定的观测手段量测出某点某一时刻的位置与起始位置的变化量,包括大坝、电站厂房、溢洪道等水工建筑物的变形监测、基岩和滑坡体变形监测以及现场巡视检查等。将这些观测资料进行综合分析比较,可以直观地反映大坝的工作状态。由于大坝变形监测在监视大坝安全运行方面发挥着重要作用,所以越来越受到水利水电工作者的重视。

大坝变形监测首要目的是掌握大坝的实际变形状况,为大坝的安全运行提供必要的信息。尽管大坝在设计时采用了一定的安全系数,使大坝能安全承担所考虑的各种荷载组合,但是由于设计中不可能对坝的工作条件及承载能力作出完全准确的估计,施工质量也不可能完美无缺,另外坝在运用过程中还可能发生一些不可知的不利变化,所以必须对大坝进行变形监测,当发现异常时可以采取必要的补救措施,以防重大事故的发生,造成巨大灾害。国内外不少实例证明:由于缺少必要的观测措施,以致有些工程隐患未能及时发现而发生了重大事故。如法国 67m 高的马尔巴塞 (Malpasset) 拱坝,1959 年垮坝是由于没有对坝体扬压力进行监测而导致垮坝;意大利 262m 高的瓦依昂 (Vajont) 拱坝,1963 年因库岸大滑坡导致涌浪翻坝且水库淤满失效;我国板桥和石漫滩两座土坝,1975 年洪水漫坝失事等,都是一些典型的事例。根据国际大坝委员会 (ICOLD) 对 33 个国家的统计,1.47 万座大坝中有 1105 座存在恶化现象,105 座已经遭受了破坏。由此可见,保证大坝安全是一个十分重要的实际问题。

根据观测结果可以推断大坝在各种水位下的安全度,确定安全控制水位,指导大坝的运行,使其在安全的前提下充分发挥效益。例如泉水双曲拱坝建成后,因地质条件差和坝型单薄,担心坝肩稳定问题而不能正常蓄水,只在低水位运行。后来经过专门进行蓄水观测验证坝体工作正常,从而使蓄水位达到了正常高水位。又如刘家峡重力坝,根据外部观测资料的综合分析,表明大坝的工作偏于安全,因而决定把运行水位提高,在 1979 年提高运行水位 0.49m,1985 年又提高运行水位 0.8m,可见对大坝运行进行实时监测能挖掘大坝安全运行的潜力。又如在 1998 年洪水时,通过全球卫星定位系统监测清江隔河岩大坝在超高水位下的运行状况,使得长江洪峰与清江洪峰顺利错峰,确保了长江中下游的

安全。

坝工技术研究主要依靠理论计算、模型试验和原型观测三种手段，由于影响因素较多，一般理论计算和模型试验都存在一些假定或简化，特别是对新型和复杂结构更是如此。而原型观测项目全、测点多，观测频次密，跨越时间长，能体现现场复杂的实际条件及反映大坝的真实状态，因此，可以作为检验设计方法、计算理论、施工措施、工程质量和材料性能的有效手段。它可以改变和加深人们对坝工有关问题的认识，开发更合理的设计准则，改善设计和施工，从而促进坝工学科的发展。因此，原型观测是坝工技术革新实际的、行之有效的手段，可以说具有不可替代性。在坝工史上诸如对混凝土坝坝基扬压力的存在和分布规律的了解，对帷幕及排水降压作业的验证，对混凝土坝变形与应力受温度变化的影响的认识等，都是通过实际监测得到的。

1.2 大坝变形监测的内容和要求

1.2.1 各阶段的变形监测工作

变形监测工作贯穿于坝工建设与运行管理的全过程。监测工作包括观测方法的研究，仪器设备的选型，监测设计，监测设备的埋设、安装和维护，数据采集、传输和存储，资料整编和分析，大坝实测性态的研究和评价等。

在工程设计阶段，需要提出大坝安全监测系统的总体设计方案，监测布置图，仪器设备的选型要求及清单，施工详图及埋设安装的技术要求，各监测项目测次的规定，监测系统的工程概算以及检查、监理制度等。在施工阶段，需要做好仪器设备的检查、率定、埋设、安装、调试、维护和施工期的监测，竣工报告及监测报告的编写等。在施工期和运行期进行监测时，均应按规定要求、频次及时间要求进行。特别需要提出的是在第一次蓄水期是大坝安全的一个关键时间，应专门制定此时期的监测计划，拟定主要的安全监控指标，精心做好监测工作。

1.2.2 主要变形监测内容

由于大坝的结构型式、尺寸、地形、地质等条件的不同，其观测项目也不完全相同。可根据大坝的具体情况和对观测的要求选定，在观测过程中，还可以根据实际情况的变化进行适当的调整。总的来讲，变形观测主要项目有：大坝的垂直位移观测，水平位移观测，挠曲，倾斜，基岩变形，滑坡变形，土坝的固结等。

1.2.3 变形监测的工作过程

1. 监测设计

在观测设计时，首先应该有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。其次要有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。再次要有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。最后要有必要的经济性和合理性。监测项目宜简化。测点要优选、施工安装要方便。对变形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。

2. 设备的选型、购置与埋设安装

根据设计要求对观测仪器进行选型，监测仪器设备应以精确可靠、稳定耐久、具有良好的防潮性能为原则、自动化监测设备应具有自检自校功能，并能防潮防水防锈，长期稳定，还应具有人工检测手段，以防数据中断，设备的附件和配件应选择更换简单、更换时不影响观测数据连续为原则。

埋设安装前应对设备进行必要的检验、率定及配套验收，严格按设计施工，若需修改设计，应报请上级主管批准备案备查，施工时做好安装记录，绘制竣工图已备移交。

3. 现场观测与检查

现场观测与检查应按操作规程及制度进行，观测要求做到四无、四随、四固定。四无即无缺测、无漏测、无违时、无不符精度。四随即随观测、随记录、随计算、随校核。四固定即人员、仪器、测次、时间固定。同时应做好巡视检查。及时整理、整编和分析监测成果并编写监测报告，建立监测档案，做好监测系统的维护、更新、补充、完善工作。

4. 资料整编与分析

资料整编是观测人员必备的素质之一。对观测成果进行校对，计算机输入、输出，造册并及时分析。发现异常时应找出原因并采取措施。定期做好观测工作总结，根据要求做好月报表、年报表。一般包括以下内容。

(1) 情况说明。观测方法，观测仪器，特殊情况说明（如更换仪器、加测、漏测、补测等）。

(2) 资料整理说明。平均值、最大值、最小值，中误差的平均值和最大最小值，进行长系列比较，初步提出影响因素及变形规律等。

(3) 其他说明。运行、维护情况及改进意见等。

(4) 在规定期限内的所有观测资料报表。

以上内容宜用图表文字并举，力求简单明了，并进行计算机存档。

资料分析是一门专业性较强的重要工作，它对改进观测方法，了解大坝运行规律和现状具有重要意义。此项工作是在历年资料整编的基础上进行的，一般应聘请专门人员进行。对于已实现了自动化观测的大坝，全部资料已进入观测系统的数据库，资料分析在计算机上由信息管理软件完成。

1.2.4 变形监测具体要求

1. 测点布置

要突出重点、照顾全面，以便于全面掌握大坝的工作状态和变化规律。首先要选择有代表性的部位布置较多的测点进行重点观测，对于位移基本项目最好大部分坝段都设置测点，同时还要注意各个观测项目的联系和校核。布点范围应包括坝体、坝肩、基岩及水库岸坡等。必要时可适当调整测点、测次和项目。

2. 基准点和工作基点的建立

基准点是变形观测的依据，它的位置选择与埋设至关重要。基准点应选择在变形范围以外的稳定地区，如水准基点一般应选在离大坝 1~3km 以外的稳定地区。倒垂深度宜参照坝工设计计算结果，达到变形可忽略不计处，一般为坝高 $1/4 \sim 1/2$ 处，但最小不能小于 10m。视准线的基准点应选在平洞深处或两岸离坝较远的山头上，并应埋设在新鲜基岩和原状土上。

所有基准点是测定位移点的基础，应力求选在不易变化，便于测定位移点的地区，离测点不能太远，且有可靠的校核工作基点。

3. 基准值的观测

对新建大坝，各项观测设施，应随施工的进展及时埋设安装，各种监测项目安装完毕即观测基准值。主要监测项目，第一次蓄水前必须取得基准值。老坝观测系统的改造亦应在投入运行时测定基准值。各基准值至少连续观测两次，合格后取平均值作为基准值，数据存档以供资料整编和分析使用。

4. 测次安排

测次的安排原则是能掌握各点变化的全过程并保证观测资料的连续性。一般在施工期及蓄水运行初期测次较多，经长期运行掌握变化规律后，测次可适当减少，各种监测项目应配合进行观测，宜在同一天或邻近时间内进行。有联系的各种监测项目，应尽量同时观测。野外观测应选择有利时间进行。如遇地震、大洪水及有其他异常情况时，应增加观测次数；当第一次蓄水期较长时，在水位稳定期可减少测次。大坝经过长期运行后，可根据大坝鉴定意见，对测次作适当调整。各项目各阶段的观测次数见表 1.1。

表 1.1 变形监测项目各阶段的测次

项目	测次	阶段			
		第一次蓄水前	第一次蓄水期	第一次蓄水期后的头 5 年运行期	第一次蓄水期后运行超过 5 年以后
水平位移		1 次/旬~1 次/月	1 次/天~1 次/旬	1 次/旬~1 次/月	1 次/月~1 次/季
垂直位移		1 次/旬~1 次/月	1 次/天~1 次/旬	1 次/旬~1 次/月	1 次/月~1 次/季
挠度		1 次/旬~1 次/月	1 次/天~1 次/旬	1 次/旬~1 次/月	1 次/月~1 次/季
倾斜		1 次/月~1 次/季	1 次/旬~1 次/月	1 次/月~1 次/季	1 次/季~1 次/年
大坝外部接缝、裂缝		1 次/旬~1 次/月	1 次/天~1 次/旬	1 次/旬~1 次/月	1 次/月~1 次/季
近坝区岸坡稳定		1 次/季~1 次/年	1 次/月~1 次/季	1 次/季~1 次/年	1 次/年~1 次/3 年

5. 精度要求

根据 DL/T 5178—2003《混凝土坝安全监测技术规范》的规定，各项位移量的测量中误差不应大于表 1.2 中的规定，表中位移量中误差是偶然误差和系统误差的综合值，坝体、坝基的位移量中误差相对于工作基点计算，近坝区岩体位移量中误差相当于基准点计算，滑坡体和高边坡位移量中误差相当于工作基点计算。

表 1.2 变形监测的精度要求

项 目			位移量中误差限差	
水平位移	坝体	重力坝、支墩坝	±1.0mm	
		拱坝	径向	±2.0mm
			切向	±1.0mm
	坝基	重力坝、支墩坝	±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″	
坝体表面接缝和裂缝			±0.2mm	
近坝区岩体	水平位移		±2.0mm	
	垂直位移		±2.0mm	
滑坡体和高边坡	水平位移		±0.5~±3.0mm	
	垂直位移		±3.0mm	
	裂缝		±1.0mm	

在变形监测中，对位移的方向和符号也进行了严格的规定，见表 1.3。

表 1.3 变形监测符号规定

变形项目	正	负
水平位移	向下游、向左岸	向上游、向右岸
垂直位移	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	向下游转动、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

1.3 大坝变形监测技术的发展

大坝监测是顺应大坝安全的需要并随着坝工建设的进展而发展起来的,可划分为三个阶段。

第一阶段:从远古到 19 世纪末,是早期阶段。筑坝材料是土石,对坝的监测、了解只是外表观察、感性认识。

第二阶段:20 世纪初到 20 世纪 50 年代末,是发展阶段。坝工理论逐渐形成体系,混凝土坝大量建成,当地材料坝也有很大发展。为监测混凝土坝的扬压力普遍安设了测压管;为测定水平位移和垂直位移出现了三角测量法、视准线法和精密水准法;以后又出现了观测大坝挠曲的垂线法和观测倾斜的静力水准法;1919 年谢弗(Schaefer Otto)首创了弦式仪器;1932 年卡尔逊(R. W. Calson)发明了差动电阻式仪器。此后许多坝埋设了上述电测仪器,开展了坝内温度、应变、应力、接(裂)缝张合和孔隙压力等观测项目。到 20 世纪 50 年代,大坝监测已形成较齐全的体系,坝的各主要监测项目都有了成型的观测仪器,光学的、机械的和电测的方法得到了普遍应用。这一阶段取得了大量监测资料,对实测值与设计值及实测值与模型试验值之间作了许多比较。一些设计计算方法如拱坝试载法、重力坝坝基扬压力计算法等被观测资料所验证而得到肯定和推广。

第三阶段:20 世纪 60 年代以来的成熟阶段。新建的高坝、大库迅速增加,许多坝建筑在复杂的地形、地质条件下,涌现了一些新的结构形式和新的施工方法,坝工建设对大坝监测提出了更高的要求。同时马尔巴塞、瓦依昂及提堂等坝的失事引起了公众及各国政府对大坝安全的深切关注,大坝安全监测被提到了更重要的地位。这一阶段大坝监测的对象从坝体及坝基浅部扩展到坝基深处及近坝区更大范围,对地基、坝肩及岸坡的监测给予了更多的重视,出现了监测深部岩体变形的多点位移计、滑动测斜仪等新仪器。监测技术向更高水平发展,自动化和半自动化仪器逐渐取代了手工观测仪器。大坝监测从逐个单点就地观测发展为遥测、遥控、自动成批地观测,采用了与计算机网络相连接的自动化监测系统。在监测资料分析上普遍应用了数学模型技术,正分析和反分析方法都有不少进展,监控指标的建立被深入研究,不少坝建立了监测数据库或监测信息系统,基于监测资料的大坝实际性态研究取得了丰富成果,有的坝已实现了远距离在线实时监控。

我国的大坝监测起步于 20 世纪 50 年代,50 多年来特别是近 10 余年来有了很大发展。大中型混凝土坝及大型土坝一般都设置了监测系统,配备了专职人员进行常年观测。先后成立了电力工业部大坝安全监察中心、水利部大坝安全监测中心、中国水力发电学会大坝安全监测专业委员会、全国大坝安全监测信息网等全国性归口管理机构或学术组织。颁布了 DL/T 5178—2003《混凝土大坝安全监测技术规范》、SL 60—1994《土石坝安全监测技术规范》等标准、规范。按照原水利电力部《水电站大坝安全管理办法》及原能源部《水电站大坝安全检查施行细则》的规定,约有 100 座水电站大坝进行了定期检查,检查中对大坝监测资料都做了系统整理分析,并用作评价大坝安全的重要依据。经过不断改

进，我国已能生产各种大坝观测仪器及自动化监测系统，其中有的已达到国际领先或先进水平。我国一些高等学校和科研、设计单位致力于大坝安全监测技术及分析理论、方法的研究，取得了不少新成果。长江三峡水利枢纽工程，其大坝安全监测的规模和先进性是国际国内前所未有的。我国大坝监测正和坝工建设同步迅速发展，并逐渐步入这一领域的世界前列。

第2章 水平位移观测

2.1 概 述

在水压力、坝身材料、温度和坝内渗水等因素的影响下大坝将产生水平方向的位移。水平位移的大小及其变化规律对分析大坝是否安全运行以及论证坝工设计理论等方面均有重要作用。因此，水平位移观测是大坝原型观测中重要观测项目之一。

大坝的水平位移观测，包括对坝顶、坝基及坝身不同高程上的水平位移观测。一般在坝顶、坝基以及坝身不同高程沿坝轴线方向每隔一定距离布设水平位移观测点，对大坝的水平位移进行全面观测。这些观测成果，与第3、第4章介绍的垂直位移观测和挠度观测等结合起来，进行分析比较，借以全面地了解大坝的运行状态。

目前观测水平位移的方法，主要有视准线法（包括活动觇牌法和小角度法）、引张线法、钢丝位移计观测法、前方交会观测法、激光准直观测法、测量机器人观测法和GPS观测法等，本章介绍视准线法、引张线法、钢丝位移计观测法，其余方法将在后续章节中介绍。

水平位移观测方法多样，但其观测断面和观测点的布设原则是一样的，现归纳如下。

1. 观测断面布设原则

(1) 土石坝（含堆石坝）。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、坝体与岸坡连接处、不同坝料的组合坝型交界处以及土坝与混凝土建筑物连接处。横断面一般不少于2~3个。观测纵断面在坝顶的上游和下游侧均应布设。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。内部观测横断面一般布置在最大横断面及其他特征横断面处，可视需要布设1~3个，每个断面可布设1~3个观测点，观测点还应尽量形成纵向观测断面。

(2) 混凝土坝（含支墩坝、砌石坝）。在坝顶及坝基廊道设置观测纵断面，观测纵断面通常平行于坝轴线。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，也可布设在平行于坝轴线的下游坝面上。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。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。滑坡体顺滑动方向布设1~3个观测断面，包括主滑动断面及其两侧特征断面。必要时可大致按网格法布置。

2. 观测点的类型及布设原则

(1) 水平位移标点。水平位移标点是设置在变形体上能反映变形特征作为变形测量用的固定标志。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。水平位移标点的纵向间距，一般做如下规定：当坝长小于300m时取30~50m，当坝长大于300m时，一般取50~100m。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。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。工作基点是直接测定观测点的较稳定的控制点。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。混凝土坝可将工作基点布设在两岸山体的岩洞内或水平位移测线延长线的稳定岩体上。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。校核基点是检验固定工作基点是否有变动的基准点。土石坝可采用延长方向线法，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。必要时可设置倒垂线或采用边角网定位。混凝土坝的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为一。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。

2.2 活动觇牌法

2.2.1 观测原理

活动觇牌法是视准线法的一种，多用于测定大坝表面的水平位移。视准线法是以两固定点间的连线作为基准线测量变形观测点到基准线间的距离确定偏离值的方法。即建立一条通过或平行于坝轴线的固定不变的视准线，定期观测各位移标点至视准线的垂直距离，计算其偏离值的变动情况，借以确定各位移标点的位移量及其变化规律。

如图2.1所示，若在坝端两岸山坡上设置固定工作基点A和B，在坝面沿AB方向上设置若干个水平位移标点a、b、c、d等。由于A、B点埋设于山坡稳固的基岩上，其位置可以认为不变（或变化很小并可以测量其位移）。如果将经纬仪安置在基点A，照准另一基点B，就构成了一条视准线，该视准线可以作为基准线观测坝体观测点的位移量。将第一次测定各位移标点至视准线的垂直距离（偏离值） l_{a0} 、 l_{b0} 、 l_{c0} 、 l_{d0} 作为起始数据。若干天后，又安置经纬仪于基点A，照准基点B，测得各位移标点对视准线的偏离值 l_{a1} 、 l_{b1} 、 l_{c1} 、 l_{d1} 。若前后两次测得的偏离值不相等。对a点来说，其差值为 $\delta_{a1} = l_{a1} - l_{a0}$ ，即为第一次到第二次的时间内a点在垂直于视准线方向的水平位移值。同理可根据观测成果，算出其他各点的水平位移值，从而了解整个坝体各部位的水平位移情况。

如上所述，若将活动觇牌安置于水平位移标点上，令觇牌图案的中线与视准线重合，

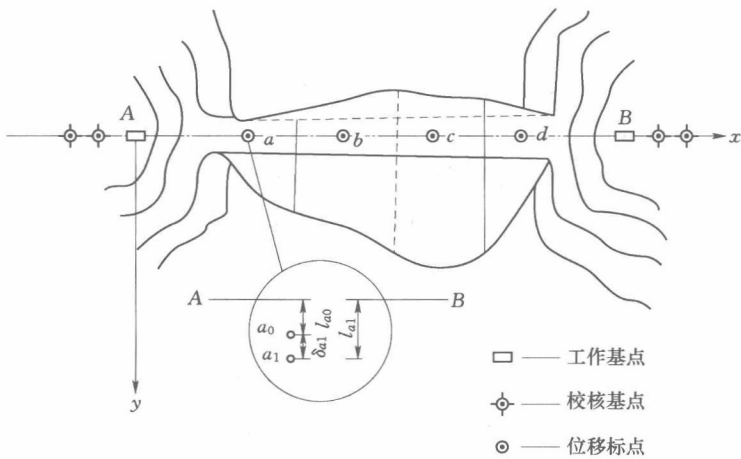


图 2.1 视准线法观测原理示意图

然后利用觇牌上的分划尺及游标读取偏离值，即为活动觇牌法；若将仪器置于固定点，测定视准线与水平位移标点间微小的水平夹角，并根据该夹角以及固定点至水平位移标点的水平距离算出水平位移标点的偏离值，即为小角度法。本节介绍活动觇牌法，小角度法将在下节介绍。

一般规定，水平位移值向下游为正、向上游为负，向左岸为正，向右岸为负。如图 2.1 所示，如果将坐标原点设在右岸，以视准线方向为 x 轴。则 x 轴正向为正， y 轴正向为正，与上述规定相一致。

2.2.2 观测仪器及设备

一般情况下，大坝的变形是不大的，要测出其微小的变形值，就要采用较为精密的仪器和某些特殊设备。

1. 经纬仪

如采用活动觇牌视准线法观测水平位移，关键在于提供一条视准线，这时照准误差是影响观测精度的主要因素，因此其观测精度与经纬仪望远镜的放大率和旋转轴的精度有关，而与仪器的读数精度无关。一般来说，望远镜的放大率越大，照准精度越高，故选用仪器时，首先应考虑其望远镜放大率及轴系精度。目前国内生产的 J2 型，其望远镜放大率一般为 28~30 倍，J1 型及进口的威特 T3 经纬仪（图 2.2）为 40 倍，由于混凝土坝变形观测精度要求较高，除大坝较短（如在 200m 以内）受设备限制，可采用 J2 型经纬仪外，一般应用 J1 型经纬仪进行观测。

2. 观测墩

固定工作基点或非固定工作基点均需安置仪器和觇标。为了使点位稳定，减少仪器和觇标的对中误差，观测墩一般采用钢筋混凝土浇筑而成（图 2.3）。在观测墩的顶部埋设固定的强制对中设备，一般可使对中误差小于 0.2mm。

3. 觇标

(1) 固定觇标。固定觇标安置于工作基点上，供经纬仪瞄准构成基准线，其形式有多种。

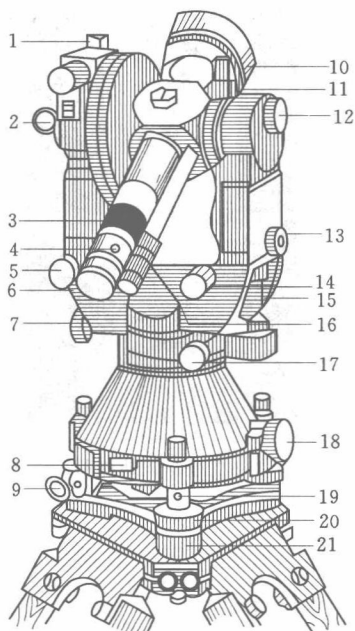


图 2.2 威特 T3 经纬仪

1—垂直水准器观测棱镜；2—垂直度盘照明反光镜；3—望远镜调焦螺旋；4—十字丝校正螺丝；5—垂直度盘水准器微动螺旋；6—望远镜目镜；7—照准部制动螺旋；8—仪器装箱扣压垛；9—水平度盘照明反光镜；10—望远镜制动螺旋；11—十字丝照明转轮；12—测微螺旋；13—换像螺旋；14—望远镜微动螺旋；15—照准部水准器；16—测微器读数目镜；17—照准部微动螺旋；18—水平度盘变位螺旋的护盖；19—脚螺旋调节螺丝；20—脚螺旋；21—基座底板

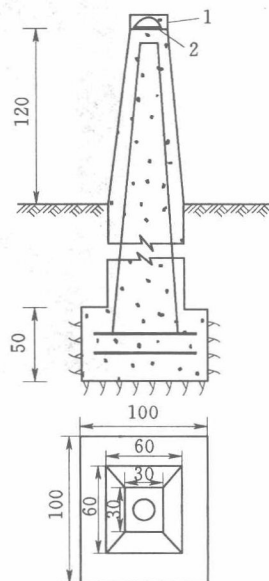


图 2.3 普通钢筋混凝土观测墩 (单位: cm)

1—标盖；2—仪器基座

图 2.4 为觇牌式固定觇标，其基座与工作基点相连接，借助圆水准器及脚螺旋可将基座整平，从而使觇牌上图案的竖线处于铅垂位置，以利瞄准。

(2) 活动觇标。活动觇标安置于位移标点上，供经纬仪瞄准，从而在活动觇标上读取位移标点的偏离值。图 2.5 为活动觇标的一种形式，其结构与上述觇牌式固定觇标基本相同，但它在觇标上附有微动螺旋、分划尺和游标（或测微鼓），转动微动螺旋时，可使觇牌连同游标在基座的分划尺上左右移动，从而利用游标（或测微鼓）读数，一般可读至 0.1mm 或 0.01mm。

使用活动觇标前，应求出觇标的零位，所谓觇标零位就是觇牌图案对称轴（即图案中心线）与觇标旋转轴重合时的读数（又称觇标始读数）。测定方法是：在相距约 30m 的两个观测墩上，分别安置经纬仪和固定觇标，令经纬仪瞄准觇牌的中心线，将视线固定。然后卸下固定觇标，安上活动觇标，转动活动觇标的微动螺旋，使觇牌的中心线与经纬仪的十字丝重合，在觇标上利用游标读取读数，随即旋转微动螺旋，令觇牌离开视线，再以相反方向旋转微动螺旋，令觇牌中心线再次与视线重合，读取读数，如此反复读取 10 次读数，最后检查视线是否有变动，如没变动，则取 10 次读数的平均值作为觇牌的零位读数，并按式 (2.1) 及式 (2.2) 分别计算测定零位一次观测中误差及算术平均值中误差。