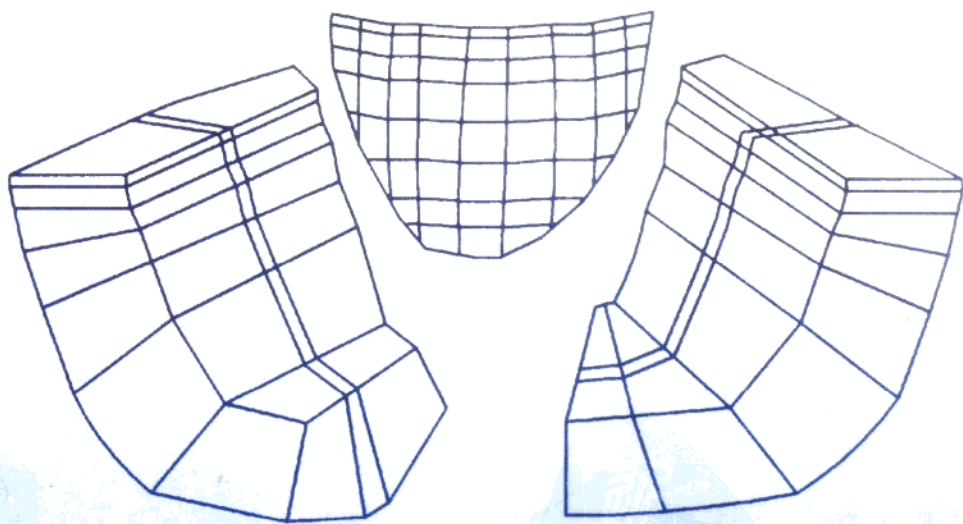

大坝安全监测技术

李彦军 郭秀兰 等编著



西安地图出版社

前 言

我国已建成近 8.6 万座水库,数量居世界首位,水库蓄水总量 5000 亿 m^3 ,相当于全国河流年径流量的 1/6,这些水库在防洪、灌溉、工业和居民供水、发电以及水产养殖、旅游资源的开发利用等方面发挥了重要的作用,取得了令人瞩目的社会效益和经济效益。但是,由于历史原因,这些水库大部分防洪标准偏低,且大都存在不同程度的质量问题,一些水库大坝的病险情况较为严重,影响了水库综合效益的发挥,也严重威胁着人民的生命财产安全。为了确保水库大坝的安全运行,充分发挥水利工程的预期效益,对水库大坝实施安全监测和科学管理,已成为中国各级水利行政主管部门所面临的一个十分迫切需要解决的重大问题。

水库大坝的安全管理是一项十分重要的工作。建立完善的法规,制定完善的管理制度,通过先进、可靠、完善的安全监测设施实现水库的安全运行管理,是大坝安全管理的重要环节。而据统计分析,大型水库,安装观测设施较全的占总数 30%,仅有基本观测设施的占 30%,基本观测设施不全的占 30%,没有观测设施或已有观测设施全部破坏的占 10%。中型水库,据不完全统计,仅有 20%有基本观测设施。至于小型水库,不论混凝土坝或土坝,一般均无观测设施。为了充分发挥工程效益,确保安全运行,当前加强大坝安全监测工作尤为重要。为此我们编写了本书。

全书共分十一章,具体编写者为:李彦军(第一、二、六章),郭秀兰(第三、四章),郑文新(第五、七章),邯郸市水利工程处王学武(第八章一、二节、九章),宿辉(第八章三、四节、十章),姜新佩(第十一章)。各章经专人审查,编写人修改后,由主编李彦军、副主编郭秀兰对全书进行修改定稿。

本书由贵州省大坝安全监测中心教授级高工蔡守敬审阅,对本书提出了不少宝贵的修改意见,对提高本书的质量起了重要作用。

由于编者水平所限,书中难免有错误和不当之处,希望读者给予批评指正。

编者
2000 年 8 月

目 录

前 言	
第一章 绪 论	1
第一节 坝工监测的目的和意义	1
第二节 监测的内容和要求	3
第三节 大坝安全监测发展概述	4
第二章 现场检查	6
第一节 现场检查的必要性	6
第二节 混凝土坝可能产生的缺陷	7
第三节 现场检查的范围	9
第四节 现场检查的方法	10
第五节 土坝的现场检查	20
第六节 安全改善与应急措施	22
第三章 位移监测	24
第一节 表面位移监测	24
第二节 土坝内部位移监测	33
第三节 裂缝与伸缩缝监测	37
第四节 建筑物变形监测资料的整理	42
第四章 混凝土坝挠度及倾斜监测	50
第一节 挠度监测	50
第二节 倾斜监测	56
第五章 渗流监测	63
第一节 土坝的渗流监测	63
第二节 坝基渗水压力和绕坝渗流监测	68
第三节 土坝渗流监测资料整理	69
第四节 扬压力监测	79
第五节 渗流水质监测	85
第六章 混凝土坝温度及应力监测	88
第一节 内部监测系统	88
第二节 监测仪器介绍	89
第三节 内部观测设计	91
第四节 重力坝及支墩坝内部观测设计	97

第五节	拱坝内部监测设计	99
第六节	其他水工建筑物观测设计	100
第七节	浆砌块石坝观测设计	108
第八节	新坝型监测	109
第九节	内部观测自动化	110
第七章	土石坝的应力监测	115
第一节	孔隙水压力监测	115
第二节	土压力监测	119
第八章	基岩变形及滑坡监测	127
第一节	监测的目的和意义	127
第二节	基岩相对变形监测	128
第三节	基岩绝对变形监测	137
第四节	滑坡监测	142
第九章	水文监测	144
第一节	监测的目的和意义	144
第二节	水位监测	145
第三节	水深监测	150
第四节	流态监测	153
第五节	水温监测	158
第六节	气温监测	161
第十章	监测自动化	167
第一节	大坝安全监测系统及其自动化	167
第二节	分布式大坝安全监测系统的应用	172
第三节	大坝安全监控管理系统	185
第十一章	监测资料分析	190
第一节	资料的收集与积累	190
第二节	资料的整理与整编	190
第三节	观测资料的初步分析	192
第四节	大坝实测性态模型	196
第五节	分析监测资料的常用数学方法	210
参考文献	220

第一章 绪 论

坝工观测是通过仪器对大坝本体、地基及周围环境所做的持续的观察及测量,并对测得的资料计算分析作出判断的全过程。

坝工观测的基本出发点是掌握坝的实际状况,为大坝安全运用提供依据。众所周知,大坝常修建在各种各样的地形、地质、水文环境中,承受着静水、动水、渗水的各种作用,工作条件十分复杂。它在正常运用时有着巨大的经济和社会效益,但万一失事又会带来严重危害。因此保证大坝安全就显得非常重要。为了确保坝的正常工作和发挥效益,首先要切实做好坝的勘测、设计、施工。但是,由于客观条件的复杂性和技术水平的限制,即使是精心设计、精心施工的坝,也不能做到尽善尽美,万无一失。实际上许多坝都存在着某种缺陷。随着时间的推移,坝还会老化、衰弱,所处的环境也在不断变化。因此必须从建坝起就严密地对坝进行监测,掌握它的性态和动态,及时发现不安全迹象,从而采取措施防患于未然。

目前全世界坝高 15m 以上的大坝达 35 000 座,我国已建坝 86 000 余座,其中高于 15m 的约有 18 600 座,数量居世界首位。随着大坝数目的增多,坝工失事的机会也相应增大。大坝下游人口日趋密集,垮坝洪水所造成的灾害比以往更加严重。同时,一些早期修建的大坝,限于当时的技术水平和材料条件,存在不少弱点,现在陆续进入老年期,出事的危险性也在增加。20 世纪以来,世界上重大坝工失事已近 200 次,其中 1975 年我国板桥和石漫滩两座水库漫顶垮坝,正是重大损失的客观实例。引起人们对大坝安全的普遍严重关切,也使坝工观测更受到重视。

坝工观测的另一个目的,是检验大坝的设计和施工,促进坝工技术的发展。通过坝工观测进一步认识在不同条件下大坝的工作状态,也必将在促进坝工技术进步中发挥应有的作用。

第一节 坝工监测的目的和意义

通过坝工监测能够综合而直观地反映大坝的工作状态。

一、确保大坝安全运用

对大坝进行认真系统的观测,能及时掌握性态变化,当发现异常时采取相应的补救措施,以防重大事故。国外不少垮坝实例证明,由于缺少必要的观测,以致有些工程隐患未能及时发现,进而导致垮坝失事,造成巨大灾害。例如,法国的马尔巴塞双曲拱坝(Malpasset),高 66.5m,于 1954 年建成,施工质量良好。但由于左坝肩岩体由带状片麻岩组成,断裂构造发育,使拱坝推力与片麻岩的片理平行,当推力传入地基时,并不像均质弹性体那样向四周扩散,而是集中在一个狭长地带,蓄水后在扬压力作用下,左坝肩部分岩体产生不均匀变形和滑动,最后导致大坝完全毁坏,遂使全世界的坝工建设者认识到,拱坝的主要危险在于两岸坝座的岩体不稳定,因而将观测范围从坝体扩展到地基、坝肩及库岸。

该坝于 1959 年 12 月 2 日溃决后,历时仅 45min,坝下游 8km 处一兵营的 500 名士兵几乎全部死亡,距坝 10km 处的弗雷茹斯城变成废墟,坝体荡然无存,仅剩右坝肩及一小部分坝基已向下游移动了 80cm,左岸重力墩向下游移动 208cm。事后调查委员会认为:该坝运

行期间没有系统地设置观测仪器及对建筑物缺少定期检查是失事的原因之一,并在主要经验教训中认为“应配备足够数量的人员和仪器,对大坝进行系统的观测”。该坝只进行过少量位移观测,没进行渗流观测。

我国尚未发生过类似事故,这与开展了观测工作是分不开的,但也出现过一些险情。例如,1962年11月2日,发现梅山连拱坝右岸基岩漏水严重,垂线仪观测出第13#坝垛向左岸倾斜达57.2mm,向下游位移9.4mm,因而引起了警惕,及时在垂线仪监测下放空水库进行加固处理,避免了事故扩大。如果没有仪器观测是难以发现大坝位移的,若延误了处理时间可能会造成不堪设想的后果。又如佛子岭大坝运行后,观测发现不均匀沉陷和裂缝严重,使某些坝段的抗滑稳定性发生问题。因此,决定于1965~1966年断然放空水库予以加固,并经受了1969年特大洪水的考验。

二、充分发挥工程效益

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,丰满重力坝系伪满时所建,当初工程质量十分低劣,观测发现坝体渗透流量、坝基扬压力及坝顶位移值很大,如有百年一遇洪水,大坝将有倾覆的危险,据此采取了灌浆、预应力锚固等加固措施,不仅保证了大坝安全,而且经受了汛期水位高于正常高水位的考验。

又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。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运行发电。

刘家峡水电厂重力坝,根据观测结果的综合分析,表明大坝的工作安全,因而决定把运用水位比正常高水位提高1.0m,在1979年即超蓄0.49m,1985年又超蓄0.80m,可见观测挖掘了大坝潜力。

三、验证设计数据,提高设计水平

由于对自然规律的认识有待深入,目前尚不能对影响大坝的各种因素都进行精确计算,设计时往往采用一些经验公式、实验系数或简化公式作为近似解。已建大坝是真正的原型,通过观测可验证设计的正确性。例如,混凝土重力坝的扬压力是设计的重要荷载,而规范规定的设计图形和系数却是假定的。通过新安江、刘家峡等大坝的观测发现实测值均小于设计假定。因此,1984年12月原水利电力部颁发了《混凝土重力坝设计规范 SDJ21—78(试行)补充规定》,其中第3条对作用于坝基的扬压力作了重新规定,进一步减小了灌浆和排水的扬压力折减系数。由于通过观测修订了规范,就减小了设计荷载,节约了投资。

又如上犹江大坝设计最高水位为198m,经过对历年观测值的综合分析,确认可以改变设计标准而提高到200m,1970年,汛期水位曾达到200.27m,大坝仍安然无恙。

四、鉴定施工质量,加快施工进度

大坝在施工期间的变化反映了施工质量,并为改进施工提供了信息,例如葛洲坝大坝是建在产状平缓多软弱夹层的地质上,岩性的特点是砂岩、砾岩、粉岩及粘土质粉砂岩互层状。因此担心开挖后基岩稳定被破坏,影响坝体安全运行。通过安装基岩变形计,在施工期间,大江截流及百年一遇洪水期间的观测表明,加固处理后基岩变形量在允许范围以内,齿墙接缝没有发生变化,从而保证了正常施工和蓄水发电。

五、为科学研究提供资料

目前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,特别对新型和复杂结构更是如此,而原型观测则是反映了各种因素的影响,通过对观测结果的反馈及分解,可修正理论的不足和试验的局限性,进一步提高坝工建设的技术水平。因此,原型观测是起决定作用的,它是坝工技术革新实际的、行之有效的、行之有效的手段,可以说具有不可替代性。

例如,根据观测结果对刘家峡大坝进行反演分析,得出了初期时效位移分量、坝体混凝土弹性模量、渗透扩散率及横缝对大坝整体结构的作用等有关结构特性的信息,这说明通过观测可获得关于建坝材料和基础总体老化演变各阶段定量的全过程。近年来工程实践表明,跟踪效应量的缓慢变化或偏离,对评价大坝安全是十分重要的。

由上述可见,大坝受到各种外界因素的影响,始终处于运动状态,通过原型观测可以了解随着时间的推移能否安全运用,所以观测是管理工作中不可缺少的组成部分。因此在我国以及世界各国陆续开展并普遍重视不是偶然的,而是随着生产的需要发展起来的。

第二节 监测的内容和要求

一、观测项目

由于各坝的结构形式、尺寸、地形、地质等条件的不同,其观测项目也不完全相同,可根据各坝的具体情况和对观测的要求而定,在观测过程中,还要根据实际情况变化进行适当的调整。这里我们将观测项目概括为以下五个方面。

1). 工作条件观测:上下游水位、冰冻、岸坡地下水位、气温、坝前水深、坝体温度、坝前淤积、坝区地震活动。

2). 渗流观测:坝体及坝基渗漏量、水质分析,土石坝坝体浸润线及坝基测压管水位,混凝土坝坝基扬压力及坝体渗压力。

3). 变形观测:水平位移、垂直位移(沉陷)、裂缝、土石坝内部分层固结、混凝土坝挠曲、倾斜、结构缝变化。

4). 结构内部观测:混凝土温度、应变、应力、钢筋应力、填土压力、土体内应力、应变、孔隙压力。

5). 外观检查:包括对坝体、坝基、坝肩、库岸及附属工程进行检查。项目有裂缝、渗水、冻胀、冲蚀、磨损、松软老化、塌方、掏刷及止水、排水情况等。

此外,根据需要还可进行过水建筑物的水流观测,库坝区地形变化、危岩、滑坡监测,坝体地震反应等。

二、工作过程

1. 观测设计布置

应在大坝结构设计的同时进行观测系统的设计,包括观测方案、项目及仪器设备的选定,观测布置图、施工详图及某些特殊仪器和附件的设计加工图,编写观测设计说明书、技术要求及检查制度等。

2. 设备埋设安装

安装前要对仪器设备进行必要的检验、标定及配套,然后严格按设计图施工。如欲修改

设计,应经上级批准并备案留查。要做好安装记录、填写考证表及绘制竣工图。

3. 现场检查观测

可分为现场检查和定期观测两方面,均应按规定要求、频次及时间进行。观测要求做到四无、四随及四固定。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。当观测规定需要改变时,要经过上级批准。

4. 资料整编分析

对现场观测成果要进行校对、造册并及时整编分析,发现异常应找出原因并采取措施。同时要定期对观测工作进行总结,对大坝工作状态进行鉴定,研究影响因素及大坝变化规律,提出工程运用和维修意见。

三、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及变化规律。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,对于渗漏、位移等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. 测次安排

原则是能掌握测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初期测次较多,经长期运行观测掌握变化规律后,测次可适当减少。各种观测项目应配合进行观测,宜在同一天或邻近时间内进行。

当遇最高、最低水位,最高、最低温度,水位急变,地震及其它各种异常情况时,应增加测次。

3. 观测组织

为了搞好大坝的观测工作,组织一个精干的观测班(组)是完全必要的。在人员问题上的疏忽,会给工作带来不应有的损失。观测组织应有技术人员和有经验的工人参加,这些人员要热爱这项工作,并且应该是实事求是的,决不可把不正常的观测成果掩盖起来。他们应该是大坝的知心朋友,在大坝性态稳定以前,主要人员应避免调动。

4. 竣工移交

当大坝竣工移交给运行单位时,应交出全部观测仪器和设备的竣工文件和观测资料。为了保证观测工作的顺利进行,移交人员和接收人员的工作要有一个交接和熟悉的过程。

在观测工作中,还必须注意人身安全,防止发生事故。对于观测仪器、设备、资料等要妥加保管和维护。

第三节 大坝安全监测发展概述

为了掌握水工建筑物在施工期间和运行过程中的工作情况,以便校核设计,监控建筑物的安全运行和为同类水工建筑物的设计和施工提供科学研究的数据,必须对水工建筑物进行观测。国外在40年代开始研究和推广水工建筑物的观测工作,在建筑物中埋设大量的监测仪器,例如前苏联的萨杨舒申斯克拱坝内埋设了3000多个监测仪器,这些仪器除可监视

大坝的安全运行外,在大坝的温度控制、灌浆、控制水库分期蓄水位、混凝土浇筑等方面都起到了积极的作用。

我国的水工建筑物观测工作是从 50 年代开始的,在官厅、大伙房等土石坝中埋设了横梁固结管式沉降仪、测压管、孔隙水压力计、土压力计等观测仪器,在三门峡、新安江等混凝土坝中埋设了应变计、应力计、温度计、测缝计、钢筋计、渗压计、土压计等观测仪器,这些仪器对大坝的施工和安全运行也都起到了积极的作用。目前我国大、中型混凝土坝都已开展了变形、渗流量、基础扬压力、应力和温度等项目的观测;土石坝大都已开展了竖直位移、水平位移、测压管和渗流量等项目的观测。

80 年代以来我国水工建筑物的观测工作有了较大的发展,1983 年 9 月成立了“水电站大坝安全监测技术组”,1984 年 3 月建立了“南京大坝观测资料分析中心”,1985 年底建立了“水电站大坝安全监察中心”,1987 年又建立了“水利大坝安全监测中心”,并且相应地开展了各种学术活动,推动了观测工作的开展。

在观测设备的研制方面也取得了较大的进展,研制出不少新仪器,例如在变形观测的仪器方面有南京自动化研究所的 QX 型电感式倾斜仪,BW 型电感式变位仪,RZ—50 型电容式垂线仪,WYC100—B 型微机遥测垂线仪,WYY100—B 型微机遥测引张线仪和他们与福建水利所合作研制的 CZ100 型数字显示遥控觇标等。在土石坝变形观测仪器方面有南京电力自动化设备厂等单位的 BC 型电阻应变式倾斜仪,CT—1 型电磁式沉降仪;南京水文水利研究所 TS 型滑线电阻式位移计;南京水利科学院的 YS—1 型水平垂直位移计和水利水电科学研究所的水管式沉降仪。在渗流观测仪器方面有北京自动化仪器设备厂的 SD—A 型电压式水位遥测仪,江西柘林水电厂的光电式水位遥测装置,安徽龙河口水库的大坝渗流量水位遥测仪,可同时遥测水位、水温和气温。在孔隙压力观测仪器方面有南京水利科学院的 GKD 型钢弦式孔隙压力计和北京水利科学研究所的双管式孔隙水压力计。在应力观测仪器方面有南京自动化研究所和南京自动化设备厂的 TY—25 型电阻片式应变计,南京自动化研究所的 TT 型电阻片式土压计和 SDY—1 型多用数字应变仪,南京水利科学院的 GJZ 型钢弦式土压计。在探测仪器方面有山东水利科学研究所等单位的土坝探伤仪,能够探测土坝裂缝、软土夹层、白蚁洞穴、坝基渗漏、管涌通道、岩溶裂隙漏水带等隐患。

在观测资料整理分析方面,近年来许多单位开展了研究工作,取得了一定的成果。例如南京观测资料分析中心对里石门、陈村、新安江、恒山、参窝大坝的观测资料进行了整理分析,得到了大坝变形的统计模型和混合模型,并且通过对观测资料的分析肯定了恒山水库提高蓄水位的可能性。长委勘测总队将逻辑分析法和统计法相结合,建立了葛洲坝的变形预报模型。河海大学利用模糊数学和结构可靠度理论进行大坝的位移预测及安全度评价。武汉水利电力大学提出了用 IBM 微机的观测资料统计分析软件包。成都勘测设计院科研所和中科院计算中心等单位合作研究了纵缝张开的重力坝的应力和变形问题。天津院对刘家峡大坝一期和二期混凝土的冷却和接缝灌浆效果进行了详细分析。长江科学院对葛洲坝工程的应力资料进行了系统分析,提出在二期工程冲沙闸中增加配筋的方案。

第二章 现场检查

第一节 现场检查的必要性

一、检查目的

为了掌握大坝的工作状态,使用以下各章所述的仪器设备进行观测是主要的方法,可获得比较精确的数据。但也存在一定的局限性,因为固定的观测点的布设仅是大坝上某几个典型断面的一些测点,而大坝的损坏通常是从局部开始的,如渗水、裂缝、塌陷等往往不一定正好发生在测点位置上,也不一定正好发生在进行观测的时候。因此,为了及时全面地发现大坝的各种异常情况,以及便于对观测值的解释和综合判断,必须经常到现场进行巡回检查观察。不少实例说明,现场检查可与仪器观测值互相补充,是观测工作的重要组成部分,应给予足够的重视。

例如,三门峡大坝于1960年建成后,因泥沙淤积问题,曾于1964年开始先后进行了两次改建,并于1973年投入运行发电。直至1980年12月发现含沙水流对底孔造成严重磨损,根据水利电力部指示,于1981年4~6月组织力量对大坝深孔、底孔和隧洞三部分建筑物进行了现场检查,结果发现各部分都有不同程度的破坏,其中以底孔尤为严重,1981年8月提出的《检查报告》结尾明确指出:“通过这次检查,有力地说明了投入运用的水工建筑物加强经常性的管理维护的迫切性。三门峡水工建筑物有些部位的破坏比我们预计的要严重,如果逐年及时检查,采取经常维修措施,就不致造成现在的严重破坏程度”。随后于1982年5~6月再次进行检查,发现了在1981年检查中未曾发现但当时已经存在的更为严重的破坏。最后得出结论,一致认为该工程必须进行大修处理。

在国外,日、美、法等发达国家,也非常重视对大坝的检查。例如日本《坝工建筑物管理准则》中,对现场检查有详细的规定,日本建设省从1969年起对大坝进行了普遍检查,在已经检查的331座混凝土坝中,有问题的有83座,占25%。

法国的日·贡帕勒(J·Combelles)对法国电力公司管辖的高度20m以上的大坝进行了统计,发现从1961年1月到1983年7月之间,花费在5万美元以上的事故和缺陷共126起,其中有54起是单纯通过现场检查发现的,占43%。另外还有13起与现场检查有关,可见现场检查对大坝的安全管理起到了不可忽视的作用。

近年来,美国对大坝现场检查进行了大量工作,1981年底陆军工程师团完成了对8800个非州属大坝的调查,结果表明有2900个坝占(33%)是没有安全保证的,其中131个坝正在处于事故状态,并对它们进行了维修和改建。

总之,现场检查可以弥补仪器观测的不足,确定大坝在全部运用期间是否安全可靠,及时查明并揭露出存在的隐患、缺陷和问题,提出相应的补救措施和改善意见,以确保大坝安全运用,充分发挥工程效益。现场检查工作着眼于大坝安全,亦可对维护工作提供基本信息,对设计、施工提供反馈信息。

二、检查分类

一般可分为以下四类:

(1)日常巡查 是从实用角度出发对坝进行连续监视观察。特别要注意坝体的渗水、浸蚀、渗坑、管涌、裂缝、位移、磨损、冲刷等运行不正常的迹象。主要是依靠人工或简单工具进行的。

(2)年度详查 是在每年汛期、枯水期和冰冻期对大坝及水库上下游进行的全面检查,了解防汛、防冻措施及运用条件对大坝的影响,要事先作好计划和准备,才能获得预期的效果。

(3)定期检查 在大坝竣工验收移交前应进行首次定期检查作为对大坝初步鉴定的依据,之后每隔5~10年进行一次。不仅要大坝及附属设备包括水下部分的工作情况进行全面彻底的检查,而且也要根据现行的技术标准和规程、规范对坝的设计、施工和运行进行再评价,对大坝安全稳定情况进行鉴定。

(4)特种检查 是当大坝发生严重的破坏现象,或改变运用条件对大坝安全有重大怀疑时,组织专门力量所进行的检查。必要时对可能出现险情的部位应昼夜监视,对屡经观察而无明显变化的部位,可适当减少观察次数。

三、检查要求

1)检查的程序一般是先审查了解有关大坝的技术资料,然后到现场进行实际的检查,最后对大坝安全管理和运用维护提出评价。

每次检查都应有专人负责进行详细记录,必要时应就地绘出草图并加以说明。发现重要问题应及时上报,并要抓紧分析研究进行处理。

2)每个大坝都要根据工程具体情况和特点,制定一套切实可行的现场检查制度,具体规定检查时间、部位、内容和要求,并确定现场巡回路线和检查观察顺序。

在高水位、暴雨、大风、泄洪、结冰、地震及水位急变等不同运用情况和外界温度影响下,应对容易发生变化和遭受损坏的部位加强检查观察。

3)所有检查记录都应妥为保存,建立档案,不得任意转移或损坏。对于检查中发现的问题、故障或缺陷的处理情况及有关的结论和建议等,应写入现场检查报告备查或上报。

第二节 混凝土坝可能产生的缺陷

一、缺陷的分类

现场检查应力求找出大坝可能产生的缺陷和隐患,并从中分析、判断大坝可能发生的问题,从而进一步采取加强观测和养护修理措施,以改善运用条件,保证工程的安全和完整。大坝在运用期间可能产生的缺陷主要有以下几种:

(1)渗透 水是无孔不入的流体,只要大坝和基岩有裂缝及孔隙等渗透途径,有压水流的渗透则是难以避免的。但渗透的逐步扩大,将会增加渗透水量和渗透压力,降低大坝稳定性及地基的承载能力,使大坝产生不均匀沉陷变形,对安全是不利的。

当两岸绕坝渗流和基础中的坝下渗流失去控制时,可能引起渗流通道,甚至在坝基形成洞穴使围岩滑塌,最后导致坝体出现裂缝或使坝体遭受破坏。

(2)裂缝 大坝表面和内部常易产生裂缝,原因是温度收缩、材料干缩、不均匀沉陷、荷载过大及抗拉强度不足等,裂缝特别是贯穿裂缝会增加水的渗透作用,削弱大坝的整体性、耐久性和承载能力,影响大坝的安全。

(3)材料破损 混凝土破损最常见的原因有碱——活性骨料反应和其它化学反应、冻融作用、溶蚀作用、水流浸蚀、泥沙磨损、气蚀及过应力等。大坝混凝土破坏有以下外观表现:

第一,有范围较大的裂隙,但分布很不规则,甚至混凝土表面出现开度可达1.2~2.5cm的宽裂缝,但深入混凝土内的深度仅15~20cm。

第二,在混凝土的表面和内部出现严重的膨胀现象,或有胶体析出和无定形沉积现象,在新破裂的混凝土外表面有白垩。

第三,在骨料颗粒的外围,有明显老化、严重蚀变和渗入区。

(4)冲刷 冲刷有两种:一种是属于磨损性质的,如高速水流特别是当挟带有大量泥沙时对混凝土表面的冲刷和磨损作用,使表面逐渐削弱;另一种是属于冲击性质的,如水流对下游消能防冲设备的冲毁,以及对下游河床的冲刷,对大坝安全也有一定威胁。

此外,大坝上下游的护坡混凝土及消力池、渠道等护面混凝土,常易遭受冲刷破坏。

(5)滑坡 库区内可能产生重大问题的因素有塌方、断层活动、“震潮”冲击(地震或滑坡引起水库水面的波动)、岸边冲刷等。为了确定库区岩石有无问题,首先要仔细查阅航测照片、区域地质图、地形图等资料,然后再进行现场检查。

(6)气蚀 在高流速溢流坝和泄水孔内部及混凝土或金属结构表面破折处与不平整处,有可能出现气蚀。气蚀发生在水流内部产生最大真空的区域中,在真空地带压力较低形成气泡,气泡移动到压力较高的区域受到压缩作用,随之突然破裂产生猛烈的冲击作用,从而破坏混凝土表面,这种现象就称为“气蚀”。由于气蚀作用会使混凝土大量破坏,改变原设计的边界条件,增加水流的阻力,发生振动影响安全,如通过现场检查发现后,应尽量设法避免和消除。

(7)变形 对于正常运用的坝,其变形是有一定规律的,但当各坝段的基础条件及外荷载不同时,可能发生不均匀沉降等异常变形,导致大坝产生裂缝、倾斜、甚至塌毁。

如果大坝的滑动力超过基础面上的抗滑能力时,则可能产生沿基础面的滑动,这是非常危险的。

二、破坏的原因

根据历史资料的分析,混凝土坝破坏的原因,主要有以下几方面:

(1)勘测设计因素 对大坝所处自然条件调查研究不充分或处理不当,以及设计时对大坝未来工作条件估计错误或考虑不周等。

(2)施工因素 施工时未很好执行设计要求,所用建筑材料或施工方法不当,质量不合规定或缺乏有效的现场检查和监督制度。

(3)管理因素 初次蓄水时及竣工运用后管理不当,缺乏应有的现场检查、仪器观测及运行状态分析。

(4)自然因素 大坝受到了自然界各种不能预见的破坏作用。如遇非常洪水、风暴、地震、山崩、滑坡和某些潜在的地质作用等。

事实上,绝大多数大坝并非突然破坏,而是有一个从量变到质变的过程。所以即使大坝存在上述某些缺陷或不利因素,若能通过认真仔细的现场检查和仪器观测,一般是可以及时发现而加以补救的。

第三节 现场检查的范围

现场检查的范围是比较广泛的,包括观测项目较多的主体工程 and 较少的附属工程,都应进行检查。具体可分以下几方面:

一、坝体

①检查坝顶、坝面和廊道内有无裂缝。对一般性裂缝要将所在坝段、桩号、高程、走向、长度、宽度等详细记录,绘制平面图及形状图,必要时拍摄照片。对于较重要的裂缝,应埋设观测设备,定期观测裂缝长度和宽度的变化。

②检查下游坝面、溢流面、廊道及坝后地基表面有无渗透现象,特别是高水位期间要加强观察。如发现渗水现象,应记录渗水部位、高程、桩号等。要绘制渗水位置图或拍摄照片,必要时需定期进行渗透流量观测。当在下游坝面或廊道内发现渗水出逸点,经分析怀疑上游面有渗水孔洞时,应查明处理。

③检查坝面有无脱壳、剥落、松软、浸蚀等现象,并记录位置、面积、深度及观察其前后的变化。对溢流坝面要注意观察有无冲蚀、磨损及钢筋裸露现象。

④检查集水井、排水管排水情况是否正常,有无堵塞或恶化现象。在严寒地区的混凝土坝,冬季结冰期间要注意观察库面冰盖对坝体的影响及渗透水的结冰情况。

⑤检查相邻两坝段之间有无不均匀位移,伸缩缝有无严重的扩张或收缩,止水片和缝间填料是否完好及有无损坏流失等情况。

二、坝肩与坝基

①如果水库蓄水,则需有专门的水下检查设备才能对上游坝肩接头和上游坝基进行检查。因此一般检查多局限于大坝的下游坝肩接头部分、坝体与岸边的交接处以及大坝下游坝脚。此外有些部位可以通过坝体廊道,特别是灌浆排水廊道来检查,如地下水 and 渗透水的检查。

②检查坝体和坝基的接岸部分岩质风化特性,可从公路的削坡或从其它开挖地点加以鉴定。对基础岩质含水饱和的情况,可从库水位变动区的岩石露头上观察。

③检查出坝体的反常现象往往也是基础变化的一种反映。例如,伸缩接缝发生的错距,可反映坝基的变化及缺陷;大坝附属设施的下沉或倾斜,则表明基础部分有过度变形或压缩。

三、水库

①检查库区附近的渗水坑、地槽、公路及建筑物的沉陷情况,以及矿物、煤、气、油和地下水的开采情况,与大坝在同一地质构造上的其它建筑物的反映,也可以提供大坝工作情况的信息。

②利用低水位时对上游坝肩及库盆情况进行检查,也可对一些重点怀疑部位进行水下检查,要注意库盆表面有无缺陷、渗水坑和原地面剥蚀的现象。

③要检查水库库盆上方有无严重淤积,因为库盆上的大量淤积可能加重大坝的荷载负担,有时还能对溢洪道、泄水孔的进水情况产生不利影响。

四、滑坡

①对库区已经发现的和可能发生的每个滑坡区都应进行深入的检查。库区滑坡有时会

引起库水面的剧烈波动,甚至漫过坝顶,威胁到附近附属建筑物的安全,造成库边严重冲刷。要记录滑坡的特征参数,包括规模、方位及与水库形状的相对关系,滑坡离开大坝、附属设施和一些关键地段的距离,下滑速度,滑坡体的类别及下滑机理。

②在大多数情况下,大坝、附属工程及道路等的施工开挖会破坏山体的天然坡度和自然排水,以致需要检查一些不稳定的情况。修建大坝会改变地下水的分布状态,可能影响山坡面的稳定。此外小的边坡剥落可能堵塞排水沟,导致雨水积滞和坡面浸水饱和。若岩石的喷锚加固不好,可能造成岩石松弛,而导致边坡的滑塌。

③对已有的和可能出现的滑坡区,在大雨、地震、库水位下降、特高洪水位、波浪淘刷等情况下,可能出现的后果进行检查。对进水渠和尾水渠两侧的边坡应进行鉴定。并检查溢洪道和泄水孔的泄流能力是否由于边坡原因而受到影响。还应检查公路和重要建筑物上方坡面是否稳定,这些地点出问题,会妨碍交通和影响运行操作。

五、附属工程

①应检查渠道地段有无渗水坑、冒泡和管涌现象。检查渠道进水和出水建筑物的水流有无漩涡危害。对于出水渠应检查有无严重冲刷,对于进水渠特别是溢洪道的进水渠附近应设有安全栅。

②检查溢洪道、泄水设施和发电隧洞等建筑物混凝土有无风化、过应力、碱——活性骨料反应、冲刷、气蚀、磨损及人为作用等引起的破损和裂缝情况。所有伸缩缝均不应生长植物。通气槽内应无淤泥和碴屑。

检查过水建筑物的填方有无下陷现象,填方与建筑物的接触部分有无管涌现象,并要检查附近挖方和填方的边坡是否有不稳定以及下游冲刷坑的长度和深度情况。

③检查大坝上的机械设备运行是否正常,电力供应是否有保证,辅助电源、通讯和遥控是否稳妥可靠。

检查闸门变形情况及门槽和导轨止水有无损坏、开裂、磨损、气蚀和漏水现象。集水坑的水泵工作及水库水位观测装置的运行是否可靠,以及爬梯、便道和栏杆是否损坏、折断或有其它不安全情况。

④检查所有观测设备、标点、基点等是否完好,对观测用的仪器量具,要定期进行检查,防止损坏。

第四节 现场检查的方法

根据现场检查部位的不同,其检查方法也不相同。下面分为表面检查、内部检查及水下检查三方面进行说明。

一、表面检查

(1)目测检查 目测检查主要靠人工进行,其检查工具主要有:钢卷尺、花杆、量具、水准、地质镐头、罗盘仪、取样器、温度计、照相机、手电筒、测船及记录本等。用来对大坝和水库周围的外部情况进行目视巡回检查或拍摄照片并作详细记录,上游坝面可在测船上检查观察。

其中对于混凝土表面的冲刷、气蚀、脱壳、渗水、流浆等应记录其面积和体积,对于裂缝则记录其条数和长度。

例如,当检查出气蚀或磨损破坏时,一般是先把破坏部位绘成 1/50 或 1/100 的图纸,在图纸上标明破坏的部位、范围,注明典型破坏坑、洞的深度等。还可用松香、石膏、橡皮泥等塑性材料,填平破坏坑洞,然后再取出来以测定破坏的体积和质量。

对于严重破坏的部位,可以破坏部位附近的某边棱线为基线,在破坏范围内打成网格,进行定点破坏深度的观测。网格疏密程度,以能控制破坏范围和深度为准,以便绘制破坏等深线图。如破坏部位系钢筋混凝土结构,则应在图上绘出断筋位置及数量。

此外,对于大面积的破坏,还可采用水准仪进行方格测量或断面测量的方法定量的测出各部位的深度。在检查测绘过程中,还可在整个破坏区内作出各种标记,然后用摄影、录像及拍摄电影等方法把破坏的全貌记录下来。

(2)望远镜检查 是借助于望远镜来检查大坝混凝土表面特别是不易到达部位的裂缝、蜂窝、渗水露头和湿润面积等。根据大坝各部位的轮廓线按其相对位置、形状和尺寸绘图,并按坝段计算出各种现象的总和。这种检查宜在晴天进行,如有阳光照射则效果更佳。

(3)平面摄影检查 使用摄影经纬仪或焦距在 50mm 以上的普通摄影机,按中心投影使物体成像于底片上,可按相似三角形的几何原理计算物体与物像的几何关系。当量取摄影机至检查表面的水平距离后,可按下面两种方法进行计算:

1)当检查表面为垂直面,各点到摄影机距离近似相等,一般为 50m 左右,可按下式计算:

$$X = \frac{y}{fK}x; Z = \frac{y}{fK}z; A = \left(\frac{y}{fK}\right)^2 a \quad (2-1)$$

式中 X —— 物体沿水平方向的长度;

Z —— 物体沿垂直方向的长度;

A —— 物体沿摄影机方向投影的面积;

f —— 摄影机物镜的焦距;

y —— 物体至摄影机的水平距离;

K —— 像片相对底片的放大倍数;

x —— X 像的长度;

z —— Z 像的长度;

a —— A 像的面积。

对裂缝长度和检查对象的形心坐标可按式(2-1)的前两式计算,对检查的面积可按式(2-1)的第三式进行计算。

2)当检查表面为倾斜面时,例如大坝的下游面常具有一定坡度,可按物体的形心至摄影机的水平距离进行计算,算式如下:

$$X = \frac{y_0}{fK}x; Z = \frac{y_0}{mfK}z; A = \frac{a}{m} \left(\frac{y_0}{fK}\right)^2 \quad (2-1)$$

式中 y_0 —— 检查物体或面积形心到摄影机的水平距离;

m —— 检查面的坡度。

此外,国外已开始在大坝上安置电视摄像机进行检查,该机可上、下、前、后移动,能遥控监视坝的各种情况,便于发现异常及时处理。

(4)光电测距仪检查 对于库区岸坡或距离比较远的部位,可采用长距离红外线光电测

距仪进行检查,将仪器的反射镜置于测点上,测站上安置仪器,量测距离变化来检查测点移动。例如瑞士 D120 型测距仪最大测距达 14km,在 $-20^{\circ}\text{C}\sim+50^{\circ}\text{C}$ 范围内精度标准差为 $3\text{mm}\pm 1\text{mm}/\text{km}$,该仪器的优点是测距长、误差小、全部自动测量,只要对准反射镜掀下测键,即由微机系统控制全部测量过程,测值用 8 位液晶显示,同时显示标准差并设有温度校正装置,自动消除温度变化的影响。另有一种瑞士 ME-300 型精密光电测距仪,其精度可达 $0.2\text{mm}\pm 1\text{mm}/\text{km}$ 。光电测距仪不仅适用于高精度的现场检查 and 距离观测,而且特别适用于水库岸坡变形及滑坡位移的检查和观测。

(5) 遥感技术检查 这是根据电磁波的原理从高空或远距离通过传感器进行检查的一种技术,可分为航天、航空和地面遥感三种。近年来已开始用来检查库区边坡稳定。例如,曾利用航空摄影检查潘家口库区及岸坡的变化情况;日本曾对奈川渡水库进行面积为 4000km^2 的航空摄影,从而发现 20m 以上崩塌岩壁达 419 处。

利用航空照片可检查边坡不稳定地段的大致范围,可从照片上分辨出大型滑坡或新发生的滑坡。借助于双目立体镜观察航片,可更加直观地看到滑坡地形、地貌形态,确定滑坡的变形特性,例如铜街子水电站利用航空照片发现了左岸大滑坡体的全貌。此外,在龙羊峡水电站右岸边坡稳定观测及二滩水电站上游金龙山滑坡体观测中,分别采用了地面可见光摄影和地面多波段摄影的方法进行定期遥感观测,节省了人力物力并提高了成果的质量。

对于交通困难部位的库岸滑坡,借助于重复航测摄影,可及时判读变形边坡的发展趋势,特别是对变形较大的滑坡区,此法可同时得到测点的大致位移量和位移方向。根据日本大阪府龟之瀨滑坡区航测经验,在 16 个月内航测 11 次,测定位移精度为航高的 $1/5000$ 。在该区航摄时,航高 1500m,比例 $1/10000$,误差为 0.3m。因此,遥感技术仅适用于对变形量较大测点的检查。

此外,有些国家利用直升飞机进行现场检查,取得了较好的效果。

二、内部检查

对大坝混凝土内部的质量检查多采用在外部进行的非破损试验的方法,其中可分为回弹法、谐振法、超声法及综合法等。回弹法主要是利用回弹仪检查混凝土的抗压强度,适用于高标号混凝土,测量方便但误差较大,使用时必须对回弹仪进行定期和及时标定。谐振法对试件要求较高,主要是在试验室内使用。

目前国内外广泛利用测定超声脉冲速度的方法对现场混凝土进行检查,它可以探测混凝土的缺陷、裂缝、强度及弹性模量等,并可了解混凝土的均质程度及老化过程。除混凝土以外,也应用于岩石的检查和分级。近年来,又发展了超声法与回弹法相结合的综合法,取得了更好的效果,现介绍如下。

1. 超声法

(1) 基本原理 工程中介质振动所产生的声波频率高于 $16\sim 30\text{kHz}$ 时,人的耳朵就听不到了,即称为超声波。由于混凝土质量不同,超声波在其内部的传播速度也不同,所以超声检测的实质就是测量超声脉冲在不同混凝土中的传播速度,其原理见图 2-1。

超声仪内的超声波发生器,将发射的电信号传给装在发射换能器(探头)中的钛酸钡石英晶体,经压电作用将电信号变成超声脉冲信号,即超声振动,并将超声振动传给被测的混凝土,接收换能器(探头)收到由混凝土中传来的超声振动再转换成电信号,经放大后送到电子射线管,再由显示器表示出接收信号,即超声波的传播时间和波形。天津市建筑仪器厂生

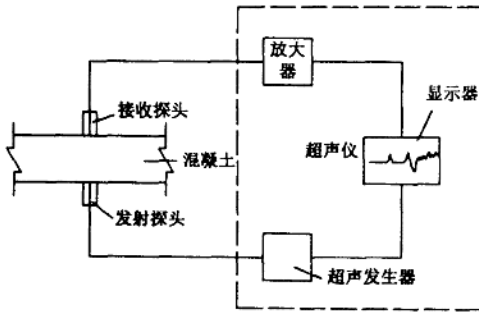


图 2-1 超声法工作原理

当超声波通过良好的混凝土时呈现的波形如图 2-2(a)。当超声波通过不良的混凝土时,有下列两种情况出现:一是混凝土质量不好,密度较小时,波形仍呈正弦但有所衰减,如图 2-2(b);另一种是遇到蜂窝、狗洞等障碍物,由于在混凝土和空气两种介质界面上,一部分超声能因反射和衍射现象而被吸收,使波形减弱,另一部分声能通过界面绕射,使通过时间增长,且改变了正弦波形为不规则波形,如图 2-2(c)。

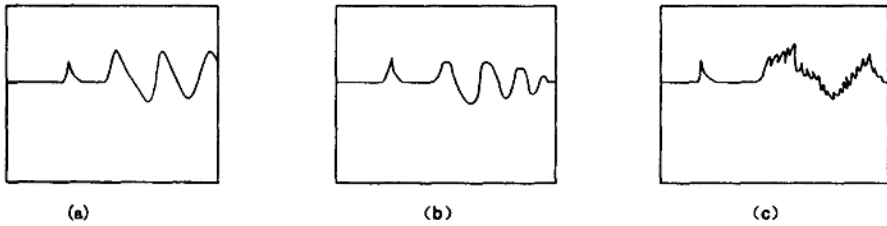


图 2-2 超声波波形

(a) 良好混凝土; (b) 密度小的混凝土; (c) 有蜂窝狗洞的混凝土

通过上述情况的比较,可在实际检查过程中仔细观测仪器显示的时间和波形变化情况,这两种情况给超声检查提供了主要依据。实际检查时有三种布置换能器的方法。

①表面透声法:将换能器布置在同一个表面上,适用于无裂缝或裂缝深度不大于 50cm 的坝体表面检查,如图 2-3(a),图中 E 为发射探头,R 为接收探头。

②贯穿透声法:将换能器布置在互相相反的表面,适用于闸墩等结构。国产 SYJ-1 型声波检测仪的最大贯穿距离可达 50m。如图 2-3(b)。

③钻孔透声法:当裂缝深度大于 50cm 时,可将换能器布置在钻孔中检查,如图 2-4。

为了更好地传送声学能量,必须把换能器与混凝土之间很好地联系起来,为此一般要添加耦合介质,如硅脂、机油等。当被测表面较粗糙时,可加工磨平或覆盖一薄层环氧树脂等。

(2)检查裂缝深度 当声波通过混凝土的裂缝时,将绕过裂缝的顶端而改变方向,使传

产的 SC-2 型数字超声波检测仪,就是这种双显型的仪器,它由示波管显示波形并同时由数码管显示传播时间,给测试工作提供了很大方便。超声波在混凝土中的传播速度为:

$$V = \frac{s}{t} \quad (2-3)$$

式中 V ——超声波在混凝土中的传播速度(m/s);

s ——超声波在混凝土中的传播距离(m);

t ——超声波在混凝土中的传播时间(s)。