



普通高等教育“十二五”规划教材

云南省“十二五”重点规划教材

工程检测与大坝安全

杨华舒 闫毅志 魏海 杨宇璐 董卫 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

云南省“十二五”重点规划教材

工程检测与大坝安全

杨华舒 闫毅志 魏海 杨宇璐 董卫 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共有 9 章,通过对典型水工建筑物病害特点的阐述,讲评工程检测的重要性和应用领域;结合编者承担的大量科学基金项目 and 工程技术项目,系统讲解水工监测和结构测试所需的设施选用、测点设计、数据分析、规范应用等诸方面的知识,并归结于大坝安全鉴定的各单项和总体目标。读者通过学习应逐步掌握变形、渗流、应力等安全要素的测试原理和监测设计方法,并在传感器和设备选择、数据筛选分析、结构病害诊断和老化评判、大坝安全综合鉴定等方面获得系统的知识储备。

本书可作为高等学校水利水电工程、农业水利工程、水利工程施工等专业的教材,也可供地质灾害防治、尾矿坝病害诊断、岩土工程、工程监测、大坝安全鉴定等领域的科技人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程检测与大坝安全 / 杨华舒等编著. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2013. 5
普通高等教育“十二五”规划教材 云南省“十二五”
重点规划教材
ISBN 978-7-5170-0864-4

I. ①工… II. ①杨… III. ①大坝—安全监察—高等
学校—教材 IV. ①TV698.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第120206号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 云南省“十二五”重点规划教材 工程检测与大坝安全
作 者	杨华舒 闫毅志 魏 海 杨宇璐 董 卫 编著
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 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京时代澄宇科技有限公司
刷 印	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 9印张 214千字
版 次	2013年5月第1版 2013年5月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	18.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言 /

我国的水库及大坝的数量居世界首位。这些水库在防洪、灌溉、供水、发电以及水产养殖、旅游资源等开发利用等方面发挥了巨大的作用，取得了令人瞩目的社会效益和经济效益。但由于历史原因，大部分水库的防洪标准偏低，建筑物存在不同程度的质量问题，许多大坝的病险情况十分严重，这不仅明显影响了综合效益的发挥，更严重威胁着人民的生命财产安全。如1975年8月河南省板桥、石漫滩两座大型水库的土坝溃塌，造成了2.6万余人死亡，冲走牲畜30万头、猪72万头、火车车厢1180节，冲毁58座小型水库、40座桥梁，直接受灾人口达1100余万。

统计数据表明：已经建成的大型水库中，大坝监测设施较全的仅占30%，而中型水库仅有20%具备基本观测设施，至于小型水库则绝大多数没有进行监测设计。缺乏监测和安全鉴定，显然是导致诸多溃坝灾难的重要原因。为了充分发挥工程效益，确保安全运行，加强大坝运行监测、定期进行安全鉴定尤为重要。工程检测和安全鉴定涉及各种力学、传感器与设备、噪声与误差、数据分析等知识的应用，属于综合性、系统性很强的工作。自2003年水利部颁布[2003]271号文件及《水库大坝安全鉴定办法》以来，国家和各级地方政府每年都筹集数百亿元专项资金用于水利工程的安全鉴定及除险加固工作，长期的市场和巨量的项目使得相关的企事业单位亟须工程检测、分析鉴定以及加固设计等专门人才，具备相关知识和技能的专业人士供不应求。高等学校的对应课程和教材已经滞后，大多数学校迄今未能形成有针对性的系统教育。因此，在全国水利学科教学指导委员会、水利教育协会、中国水利水电出版社以及省、校的大力支持下，整合三十余年的教学、科研成果，编著了这本“十二五”重点规划教材。

本书涉及的前期课程较多，包括材料力学、结构力学、钢结构、钢筋混凝土结构学、电工学与电子技术、建筑材料等等内容，属于综合性较高的教材。但本书并不侧重于算式的推导或者繁杂的演算，而是将重点放在已有知识的链接和贯通之上，并适当地将这些知识融合于工程实践之中，促使读者获得科学的、新颖的工程观念，重视工程适应性和创新能力的培养。按照知识的相关性和系统性，将教材设计为综述、传感器与测试设备、监测设计与数据采集、大坝安全评价等四个部分。其中的“监测设计与数据采集”为教材的编撰重点，涵盖了变形监测、渗流监测、应力与温度监测、水情观测等4章内容；“大坝安全评价”则包含了钢闸门安全检测、土石坝

安全鉴定、结构混凝土老化评价等内容。

建议课堂讲授安排 48 学时。其中,课程综述 6 学时;传感器与监测设备 8 学时;第 3~6 章建议 21 学时;7~9 章 13 学时。本书可作为高等学校水利水电工程、农业水利工程、水利工程施工等专业的教材,主讲教师可根据本专业的特点和知识链对教学内容适当增删;本书也可供地质灾害防治、尾矿坝病害诊断、岩土工程、工程监测、大坝安全鉴定等领域的科技人员参考使用。

本书由精品课程及重点规划教材建设组编著,昆明理工大学的杨华舒教授/博导担任主编,闫毅志、魏海、杨宇璐、董卫等副教授/博士合编。中国中铁二院昆明勘察设计院有限责任公司的杨宇璐女士承担了教材的整理校对任务,并编绘了书中的全部表、图。相关研究工作得到了国家自然科学基金(50869003、51069003、51169009),云南省科技厅(1991E016Q、1995YI016、1997E047M、2010ZC048),以及云南省教育厅、昆明理工大学(10968137)等多次立项资助;研究成果已在岩土工程学报、建筑材料学报、水力发电学报、Advanced Materials Research、Applied Mechanics and Materials 等国内外著名期刊上发表,并被 EI、ISTP 等国际检索机构收录。本教材的编著工作还得到了中国水利水电出版社、云南省教育厅、中国水利水电昆明勘察设计院等诸多单位的大力支持,特致谢忱。

限于编者水平,书中难免谬误和遗漏,恳盼读者不吝指正。

编 者

2013 年 1 月

目 录 /

前言	
第 1 章 课程综述	1
1.1 大坝带来的利与弊	1
1.2 主要坝型的破坏类型	2
1.3 大坝监测简述	3
1.4 大坝安全监测的设计原则	10
第 2 章 传感器与监测设备	14
2.1 概述	14
2.2 力敏传感器	18
2.3 其他传感器简介	22
2.4 自动化监测系统	29
第 3 章 水工建筑物的变形监测	33
3.1 表面位移监测	33
3.2 土坝的内部位移	41
3.3 裂缝与伸缩缝监测	44
3.4 混凝土坝的挠度及倾斜	46
3.5 变形监测的资料整理	52
第 4 章 渗流监测	59
4.1 扬压力	59
4.2 渗流压力观测	62
4.3 孔隙压力	65
4.4 绕坝渗流	66
4.5 地下水位监测	67
4.6 渗流量测读	69
4.7 水质监测	72
第 5 章 坝体应力与温度监测	74
5.1 结构混凝土的应力	74
5.2 岩体的应变监测	76
5.3 钢材的应力及应变	77
5.4 与应力无关的应变监测	78
5.5 土石压力监测	79

5.6	温度观测	81
5.7	坝体的地震反应观测	82
第6章	坝工水情观测	84
6.1	水位的监测设计	84
6.2	降水观测	86
6.3	泄洪水压监测	87
6.4	消能形态观测	88
6.5	冲淤高程探测	91
6.6	波浪的观测	93
第7章	钢闸门安全检测	97
7.1	检测之前的准备	97
7.2	机械性能测试	98
7.3	闸门应力检测	98
7.4	启闭机考核	100
第8章	土石坝安全鉴定	102
8.1	需要收集的资料	102
8.2	现场踏勘	104
8.3	工程质量鉴定	106
8.4	大坝运行管理评价	106
8.5	防洪标准复核	107
8.6	结构安全评价	109
8.7	渗流安全评价	110
8.8	抗震安全复核	112
8.9	金属结构安全	112
8.10	大坝安全的综合鉴定	113
	【实例】土坝安全鉴定	113
第9章	混凝土建筑物老化程度评价	121
9.1	结构混凝土测试	121
9.2	老化评价方法	122
9.3	老化评价实例	128
9.4	快速监控混凝土质量	130
	参考文献	133

第 1 章 课 程 综 述

本章的主要内容：

大坝的兴利除害功能和安全隐患；主要坝型的破坏形式；监测的目的与用途，大坝安全的评价体系；大坝安全监测的设计准备、设计原则、通用符号，以及误差控制等。

1.1 大坝带来的利与弊

全世界高度超过 15m 的挡水坝已有 35000 余座。中国的大坝数量居世界第一，高于 15m 的挡水坝约 19000 座，大坝总数已经超过 86000 座。其他挡水坝数量较多的国家依次为：美国、日本、印度、韩国、西班牙等。

发达国家的水能开发率很高，有的高达 90% 以上，接近饱和；而发展中国家一般在 10%~20%。中国的水利设施大量服务于农田灌溉与供水目标，水电资源开发率约 18% 左右。

1.1.1 兴利除害功能简介

大坝的主要兴利功能：①抬高水位、积聚水能，这使得水力发电成为可能，亦拓展了自流灌溉的面积和供水的高程；②扩大库容、蓄积水量，这使得干旱时节有水可用，亦稳定了发电的水头与流量。

大坝的主要除害功能：①调节洪峰流量与水量，大坝将来势凶猛的洪水暂时阻挡在坝的上游，而以下游能够承受的流量连续下泄，这可避免下游因水位过高、流速过大导致河岸滑塌、农田淹没等灾害；②与土石坝结构相同的堤坝，大量用于规范河道、防范河流自行改道引发灾难。

1.1.2 大坝引至的安全隐患

泥沙淤积是大坝带来的主要问题之一。由于大坝上游形成的库区流速明显放缓、出口受限，水流中携带的泥沙得以下降停留。这不仅使得河床逐年上升、减小了兴利库容，还导致大坝和库区地壳承受的压力增大，为相关灾害附加了诱因，在极端情况下还将导致江河断流。

地震是大坝带来的另一个重要安全隐患。巨型大坝拦截的水量可达百亿立方米、库区水位可达数百米，河床承担的水压可剧增至原来的百倍以上。这对相关基岩的运动无疑会产生明显的影响，并在相当大的区域上破坏其中的薄弱岩层，从而诱发地壳的能量释放。

大坝集聚了巨大的势能和水量，这对于下游的农田和民居等无疑是一个潜在的危险。如果说前述两种隐患是水库大坝在规划、建设过程中必须研究的课题，那么大坝的破坏和溃塌所导致的库水无节制下泄、强力冲击下游地区或泛滥成灾，就属于工程运行时期需要

认真面对并谨慎防范的重大事故。

水利部组织的普查调研表明：我国早期建成的大坝（尤其是土石坝）普遍质量很低。由于缺乏科学的检测和安全鉴定措施，迄今已经溃坝 3500 余座，20 世纪 70 年代平均每年 200 多座，其中仅 1973 年就溃坝高达 554 座。

1975 年 8 月，河南省驻马店附近的板桥、石漫滩两座大型水库的土坝失事（图 1-1），下泄水流冲毁了 58 座小型水库，造成 2.6 万余人死亡，冲走牲畜 30 万头、猪 72 万头、火车车厢 1180 节，毁坏 40 座桥梁，受灾人口高达 1100 万。

2008 年 9 月 8 日，山西襄汾县境内骤降暴雨，导致新塔矿业公司所属铁矿选矿用的 30 万 m^3 尾矿库溃坝。26.8 万 m^3 泥石流直接冲击下游附近的办公大楼和农贸集市等，造成 270 人死亡，直接经济损失 1.26 亿元。



图 1-1 1975 年驻马店水库群溃坝灾难

国外也有大量类似的灾难报道。如法国马而巴塞双曲拱坝，1959 年 12 月 2 日突然溃决，45min 的库水宣泄致使附近 500 多名士兵丧生，一座驻军城镇变为废墟。

这些溃坝大坝的共有缺陷是：坝体坝基未配置监测设备，大坝运行状况的数据未收集或不规范；未建立故障后检测、定期检测分析等制度；无安全鉴定和病险预警等安保机制。显然，对来袭洪水的强度不了解、泄洪设施发生故障，对大坝的健康状况和现有承载能力不清楚、病害量变积累成质变，乃是导致溃坝灾难的根本原因。

1.2 主要坝型的破坏类型

为了保障大坝的运行安全，必须掌握大坝病害的发展情况和结构的薄弱指标，这就要求有针对性的监测和分析。大坝的破坏或失事类型不仅决定了病害监测的部位和方法，还为大坝安全鉴定的科目设定提供了依据。

1.2.1 重力坝的病害与失事

重力坝是依靠重量来抵御水力的挡水建筑物。重力坝的主要病害包括：表面冲刷、空

蚀、碳化、裂缝，内部架空、溶蚀、冻融等，其中可能导致严重后果的，主要是与整体承载能力关系密切的内部病害。重力坝的失事类型主要是滑动或倾覆，因此首先涉及的是坝体重量或者平均密度、扬压力；其次还涉及与滑动阻力直接相关的指标，如材料的凝聚力、抗拉强度、界面摩擦系数等。

1.2.2 拱坝

拱坝主要依靠拱式结构将库水的推力传递到两岸坝肩，其次以梁式结构将荷载传递给河床基岩。拱坝破坏主要是应力超过材料的强度引起的，毁坏多发生在两岸拱端或最高坝断面（拱冠）附近。裂缝、架空、溶蚀、冻融等均是可能导致拱坝失事的重要病害。

1.2.3 土石坝

由于对施工技术的要求较低、工程造价相对低廉，土石坝是地球上兴建数量最多、占地面积最大的挡水建筑物，也是遭受破坏数量最多的大坝，主要有洪水漫顶、渗透破坏、坝坡失稳这三种导致溃坝灾难的破坏类型。土石坝属于相对松散的坝体，因此洪水超标、泄洪故障、异常渗流、排水设施堵塞、地震是大坝破坏的主要原因，而坝体裂缝、架空、密度下降、材料变异、黏结物减少等，则是诱发破坏的重要隐患。

1.3 大坝监测简述

大坝含有隐患的诸多部位是隐蔽工程，大坝的日常变化细微、绝大多数肉眼难以发现，病害的发展有一个量变到质变的过程。因此，必须设置大坝安全监测系统，按时科学观测，并用科学的方法进行资料分析，进行安全鉴定，才能及时发现问题，实施有效的除险加固。

大坝安全监测是通过仪器观测和人工的现场巡视，对大坝坝体、坝肩、近坝区岸坡及坝周围环境进行测量及观察，并对收集的数据进行科学的计算和分析，从而了解工程的运行状态、预测结构未来性态的发展，以确保大坝的安全。获得的资料还可在工程设计的改进、施工技术的提高、科研理论的验证等方面发挥重要的、不可替代的作用。

1.3.1 监测的目的与用途

安全监测除了及时掌握建筑物的工作状态，确保安全运行之外，还能在病害诊断、工况预测、法律证据、成果验证等方面发挥作用。

水库建成后，水工建筑物在复杂的自然条件影响下，在各种外力的作用下，其状态和工作情况始终在不断地变化着。大坝究竟有没有病害和险况，能否安全运用、发挥工程效益，必须通过全面系统的监测，随时掌握大坝的运行状态来进行判断。

事物的发展必然有一个由量变到质变的过程。大量事实证明，水库大坝发生破坏事故，事前是有所预兆的，对水库进行认真系统的检查监测，就能及时掌握水库的状态变化、及时发现不正常情况，从而采取除险加固措施、把事故消灭在萌芽状态，确保水库大坝的安全运行。

由于我们对自然规律的认识还有待深入,不可能对大坝的所有复杂因素都进行精确的计算,因此在水工设计中往往采用了一些经验公式、实验系数,或用简化公式作为相关指标的近似解。已经建成的水库及大坝是1:1的原型,对已建成水库进行全面系统的检查监测,不仅能验证设计成果的正确性和鉴定施工质量,而且可以取得最可靠的第一手资料,从而提高科学技术水平。

对水库大坝实施监测具有十分重要的意义,其工作成果可以用于多种领域:

(1) 病害诊断。包括验证设计参数、改进设计;对施工技术进行评估和改进;对不安全迹象和险情的根源诊断,以便有针对性地采取加固措施等。

(2) 工况预测。运用长期积累的观测资料分析变化规律,对建筑物的未来运行状态作出及时有效的预报,为调度方案的制定和调整提供依据。

(3) 法律证据。对由于工程事故而引起的责任和赔偿问题,观测资料有助于确定原因和责任,以便法庭作出公正判决。

(4) 成果验证。理论分析、模型试验、数值仿真、室内实验等科学研究过程,由于各种原因往往需要忽略某些参数或限制,这使得研究结论不可避免地出现了或多或少的误差,从而使得结论的可信度受到质疑。观测数据真实反映了建筑物原型的工作形态,可为研究成果的优劣提供最终的量化验证。

在我国以及世界各国陆续开展大坝安全监测、并且受到普遍重视绝不是偶然的,而是随着社会和生产的需要而发展起来的。大坝受到各种外界因素的影响,始终处于运动变化状态。通过工程监测可以了解随着时间的推移大坝能否安全运行,所以监测是水库和大坝运行管理工作中不可缺少的组成部分。

随着水库的大量兴建,大坝安全监测工作也得到迅速发展、取得了显著的成绩。早在20世纪50年代,国内的很多大中型水库就普遍开展了垂直位移、水平位移、渗流量、土坝浸润线、混凝土坝扬压力等多项监测。各地还研制了多种监测测压管水位的电测水位器,以及三向测缝标点、测点保护设备等。此外,还成功地利用方格坐标法监测了水跃,用透明度管监测了渗流水的浑浊度等。

改革开放后,我国的大坝安全监测工作发展和提高到了一个更新的阶段。其中,水平位移监测由于采用强制对中器和前方交会法而大大提高了精度,并将真空激光等先进技术应用于监测水平位移;混凝土坝普遍采用精度较高的引张线、正锤、倒锤等方法监测变形;而水位、降水量、测压管水位等监测则朝着自记、远传和自动控制方向发展。如北京市官厅水库成功地实现了土坝浸润线的全自动监测。超声波探伤、水下检查、水下电焊、水下摄影、水下电视等技术也日益普及。

近年来使用计算机对监测资料进行分析研究、对水工建筑物进行安全评估,也获得了很大的发展和提高,这不仅保证了水库和大坝的安全运行,而且为病险大坝的修复,乃至设计、施工、科学研究工作都提供了大量宝贵的原型资料。例如,广东鹤地水库根据扬压力监测资料的分析,发现溢洪道的滑动安全系数偏低,得以及时采取了加固措施;河南南谷洞水库堆石坝出现基础渗漏后,通过对监测数据的分析采取了混凝土防渗墙处理,保证了水库安全;北京官厅水库运行初期曾发现绕坝渗流引起坝脚下游冒水,通过实施监测研究进行了有针对性的处理,至今已经安全运用数十年,发挥了巨大的效益。

1.3.2 监测的内容与要求

监测内容可分类为仪器监测和人工巡视。

人工巡视主要涉及肉眼可见的病害表征,包括大坝影响范围内的现场巡检记录,重点部位的定时监视等。

仪器监测涵盖了大坝安全的主要指标,包括变形监测,渗流监测,应力监测,水质监测,水文、气象监测等内容。

1. 监测项目

由于各坝的结构形式、尺寸、地形、地质等条件的差异,监测项目也不尽相同,应当依据现行规范,参考各坝的具体情况而取舍。在观测过程中,还要根据实际情况变化进行适当的调整。主要的观测项目可概括如下:

(1) 大坝的工作条件: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) 渗流量和渗透压力:坝体、坝基的渗漏量,水质分析,土石坝的坝体浸润线及坝基测压管水位,混凝土坝的坝基扬压力及坝体渗压力。

(3) 大坝变形指标:水平位移,垂直位移(沉陷),裂缝,土石坝的内部分层固结,混凝土坝的挠度、倾斜、结构缝变化。

(4) 结构内部指标: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) 人工现场巡检。包括对坝体、坝基、坝肩、库岸及附属工程进行巡查记录:裂缝,渗水,冻胀,冲蚀,磨损,掏刷,松软老化,坍塌,止水、排水等项目。

此外,根据需要还可进行过水建筑物的流态,库坝区地形变化,危岩、滑坡,坝体对地震的反应等监测。

各等级大坝对应的监测项目见表1-1和表1-2,对各监测项目的测次要求如表1-3和表1-4所示。各国各业的标准和规范都在随着科学技术的发展而更新,因此本教材各图、表中涉及的强制性参数仅供参考,请读者依据届时有效的标准或规范进行选用。后文不再赘述。

表 1-1 混凝土坝的安全监测项目

大坝级别	安全监测项目
一	位移,挠度,倾斜,接缝和裂缝,下游冲淤,坝前淤积;渗漏量,扬压力,绕坝渗流,水质分析,应力、应变,混凝土温度,坝基温度,水位,库水温,气温
二	位移,挠度,接缝和裂缝,下游冲淤,坝前淤积;渗漏量,扬压力,绕坝渗流,水质分析;混凝土温度,坝基温度,水位,库水温,气温
三	位移,渗漏量,扬压力,水位,气温
四	坝体位移,渗漏量,扬压力;水位,气温

2. 工作原则

(1) 观测的设计与布置。应在大坝结构设计的同时进行观测系统的设计,包括确定观

测方案，选择项目及仪器设备，设计观测布置图、施工详图及某些特殊仪器和附件的加工图，编写观测设计说明书、技术要求，编制巡检时间表及检查制度等。

(2) 设备的埋设安装。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，应先获得批准并备案留查。要做好安装记录、填写考证表、绘制竣工图的工作。

(3) 现场巡检观测。可分为现场巡检和定期观测两方面，均应按照现行规范所要求的频次及时间进行。观测应当做到四无、四随及四固定。四无即无缺测、无漏测、无违时、无超过误差的观测。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。当观测制度需要改变时，要经过有关部门的批准。

(4) 资料整编分析。对现场观测成果要进行校对、造册，并及时进行整编分析，发现异常数据应找出原因并采取对应措施。要定期对观测工作进行总结，按规范对大坝的工作状态进行鉴定，研究影响安全的因素及大坝安全指标的变化规律，提出工程的调度和维修意见。

表 1-2 土石坝的安全监测项目

序号	监测类别	观 测 项 目	建筑物级别		
			I	II	III
一	巡视检查	巡视检查 (含日常、年度和特别三类)	★	★	★
二	变形	①表面变形； ②内部变形； ③裂缝及接缝； ④岸坡位移； ⑤混凝土面板变形	★ ★ ★ ★ ★	★ ☆ ☆ ☆ ☆	★
三	渗流	①渗流量； ②坝基渗流压力； ③坝体渗流压力； ④绕坝渗流	★ ★ ★ ★	★ ★ ★ ☆	★ ☆ ☆ ☆
四	压力（应力）	①孔隙水压力； ②土压力（应力）； ③接触土压力； ④混凝土面板应力	★ ☆ ★ ★	☆ ☆ ☆ ☆	
五	水文、气象	①上、下游水位； ②降水量、气温； ③水温； ④波浪； ⑤坝前（及库区）泥沙； ⑥冰冻	★ ★ ☆ ☆ ☆ ☆	★ ★ ☆	★ ★ ☆
六	地震反应	①地震强度； ②动孔隙水压力	☆ ☆	☆	
七	水流	泄水建筑物水力学	☆		

注 有★者为必设项目；有☆者为一段项目，可根据需要选设。对必设项目，如有因工程实际情况难以实施者，应报上级主管部门批准后缓设或免设。

1.3 大坝监测简述

表 1-3 各阶段的监测频次

监测项目 \ 各阶段	第一次蓄水前	第一次蓄水期	第一次蓄水期后的头五年运行	第一次蓄水期后运行超过五年后
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/旬~1 次/季	1 次/旬~1 次/月	1 次/旬~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
下游冲淤			每次泄洪后	每次泄洪后
渗漏量	2 次/旬~1 次/旬	1 次/天	2 次/旬~1 次/旬	1 次/旬~2 次/月
扬压力	2 次/旬~1 次/旬	1 次/天	2 次/旬~1 次/旬	1 次/旬~2 次/月
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~1 次/季
水质分析	1 次/季	1 次/月	1 次/季	1 次/季
大坝及坝基的应力、应变	1 次/旬~1 次/月	1 次/天~1 次/旬	1 次/旬~1 次/月	1 次/月~1 次/季
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
水位		1 次以上/天	1 次以上/天	1 次以上/天
库水温		1 次/天~1 次/旬	1 次/旬~1 次/月	1 次/季~1 次/年
气温	温度计自动监测	温度计自动监测	温度计自动监测	温度计自动监测
近坝区岸坡稳定	视具体情况确定	视具体情况确定	视具体情况确定	视具体情况确定
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
钢筋钢板、锚索锚杆应力 泥沙压力, 坝前淤积	1 次/旬~1 次/月	1 次/天~1 次/旬	1 次/旬~1 次/月 视淤积情况而定	1 次/月~1 次/季 视淤积情况而定

3. 相关的具体要求

(1) 测点布置。要突出重点、照顾全面, 以便全面掌握大坝的运行状态及安全指标的变化规律。为了避免坝体受到过多的扰动, 在满足需要的前提下测点的设计应当坚持“宜少不宜多”的原则。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, 同时还要注意各观测项目之间的联系, 相互校核。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。应能掌握测点指标变化的全过程, 并保证观测资料的连续性。一般在施工期及蓄水初期的测次较多, 经长期运行观测并掌握测点指标的变化规律后, 测次可适当减少。各种观测项目应当施行配合观测, 宜在同一天或邻近时间内进行。

当遭遇最高、最低水位, 最高、最低温度, 水位急变, 地震及其他各种异常情况时, 应增加测次。

(3) 观测组织。观测组应当有技术人员和有经验的工人参加, 这些人员需要兢兢业业、实事求是地按制度观测和记录数据, 杜绝敷衍塞责, 决不可把异常的观测成果掩盖起来。他们是大坝的知心朋友, 因此在大坝的运行性态稳定以前, 主要观测人员应当避免调动。

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

(4) 竣工移交。当大坝竣工移交给运行单位时,应提交全部观测仪器和设备的竣工文件和观测资料。为了保证后续观测工作的顺利进行,移交人员和接收人员的工作需要一个交接和熟悉的过渡时段。

表 1-4 土石坝各阶段的监测频次

监测项目 \ 各阶段	第一阶段 (施工期)	第二阶段 (初蓄期)	第三阶段 (运行期)
日常巡视检查	10~4 次/月	30~8 次/月	4~2 次/月
表面变形	6~3 次/月	10~4 次/月	6~2 次/月
内部变形	10~4 次/月	30~10 次/月	12~4 次/月
裂缝及接缝	10~4 次/月	30~10 次/月	12~4 次/月
岸坡位移	6~3 次/月	10~4 次/月	12~4 次/月
混凝土面板变形	6~3 次/月	10~4 次/月	12~4 次/月
渗流量	10~4 次/月	30~10 次/月	6~3 次/月
坝基渗流压力	10~4 次/月	30~10 次/月	6~3 次/月
坝体渗流压力	10~4 次/月	30~10 次/月	6~3 次/月
绕坝渗流	10~4 次/月	30~10 次/月	6~3 次/月
孔隙水压力	6~3 次/月	30~4 次/月	6~3 次/月
土压力(应力)	6~3 次/月	30~4 次/月	6~3 次/月
接触土压力	6~3 次/月	30~4 次/月	6~3 次/月
混凝土面板应力	按需要	按需要	按需要
上、下游水位	2 次/日	4~2 次/日	2~1 次/日
降水量、气温	逐日量	逐日量	逐日量
水温	按需要	按需要	按需要
波浪	按需要	按需要	按需要
坝前(及库区)泥沙	按需要	按需要	按需要
冰冻	按需要	按需要	按需要
地震强震	按需要(自动测记加定期人工检查、校测)		
动孔隙水压力	按需要(自动测记加定期人工检查、校测)		
泄水建筑物水力学	按需要		

注 1. 表中测次,均系正常情况下人工测读的最低要求。如遇特殊情况(如高水位、库水位骤变、特大暴雨、强地震等)和工程出现不安全征兆时应增加测次。

2. 阶段的划分如下:

第一阶段:原则上从建立观测设备起,至竣工移交管理单位止。坝体填筑进度快的,变形和应力观测的次数应取上限。若本阶段提前蓄水,测次需按第二阶段执行。

第二阶段:从水库首次蓄水至达到(或接近)正常蓄水位后再持续3年止。在上蓄过程中,测次应取上限;完成蓄水后的相对稳定期可取下限。若竣工后长期达不到正常蓄水位,则首次蓄水3年后可按第三阶段要求执行。但当水位超过前期运行水位时,仍需按第二阶段执行。

第三阶段:指第二阶段之后的运行期。渗流、变形等性态变化速率大时,测次应取上限;性态趋于稳定时可取下限。若遇工程扩(改)建或提高水位运行,或经长期干库又重新蓄水时,需重新按第一、二阶段的要求执行。如因水库淤满、废弃、改变用途,或因多年运行性态稳定等,需减少测次、减少项目或停测时,应报上级部门批准。

1.3.3 大坝安全评价体系

大坝安全评价体系由日常巡检、仪器监测、年度检查、特别检查、安全鉴定等环节构成。应当遵照有效规范订立的项目、方法和频次，及时进行相关的检查、记录、整理分析。

必须严格按照规定的测次和时间进行全面系统、连续的观测。各种相互联系的观测项目应配合进行。应当掌握特征测值和有代表性的测值，用以研究工程运行状况是否正常，了解工程重要部位和薄弱环节的变化情况。要保证观测成果的真实性和准确性。对观测记录的数据应及时整理分析，绘制图表，并做好观测资料的整编工作。如发现观测对象的变化不符合规律或有突变，则应进行复测，并根据复测结果分析原因、进行检查、研究处理对策。所有检查都要认真进行，详细记载。发现问题应暂时保持现场，迅速研究处理。如情况严重则应采取紧急措施，并及时报告上级主管部门善后。

1. 日常巡检

需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。日常巡检制度应当张贴在醒目位置，并由责任心强、有经验的监测或工程运行人员实施相关的巡视检查，及时上报相关病害。

巡检主要依靠巡查员的视觉和触觉查找问题，也可适当采用锤、钎、钢尺、放大镜、望远镜、量杯、石蕊纸、回弹仪、照相机、录像机、闭路电视等工具，必要时可进行潜水观察。

2. 仪器监测

记录频次较高、部位较多、数据量较大、参数变化细微以及结构内部的变化等，需要用仪器进行监测。现代的仪器监测系统主要由传感器、变送器、信号匹配分配装置、采集记录和分析设备（计算机）、遥测远传遥控设施（网络服务器和上位机）等构成。现场运行人员主要负责监测结果的定时分析预警和数据备份，监测系统的日常维护等工作。

3. 年度检查

在每年汛期、枯水期、冰冻期及蚁害显著时期等，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，结合前两个环节发现的问题，确定是否需要进行原型的现场勘察、检测，是否需要进行抽样实验等更为深入的工作。

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、红外温度检测仪、超声检测仪、水声检测仪、水下电视检测仪、潜水器、潜水船等。

4. 特别检查

当遭遇特大洪水、强烈地震、重大事故等严重影响安全运用的特殊情况后，应当由主管部门及时组织特别检查。一般应组织人员和设备对可能出现的险情进行现场检查，并按大坝安全鉴定的相关资料要求实施现场勘测、原型试验、抽样检测等作业，并结合巡检及监测结果进行病害分析，获得初步结论。

5. 大坝安全鉴定

大坝运行达到规范确定的年限，或者实施了特别检查之后，都应当对水库枢纽的主要建筑物（大坝、泄洪及输水设施、运行监测所需的房院等）进行系统全面的安全鉴定，以期掌握工程的安全现状，确定相应的运行调度措施，分析工程病害和隐患的类型、部位以及严重程度，为有针对性的除险加固提供决策依据。

1.4 大坝安全监测的设计原则

监测设计的重点是测点的布置和设施选择。在设计过程中应当遵循的主要原则是：分析参数和边界特征，测点应集中于参数变化较大的区域；为了避免对结构产生不利的扰动，测点在够用的前提下宜少不宜多。传感器除了在感量、精度、使用环境等方面需要匹配之外，尚应重视其信号传输长度、有效寿命和数据漂移指标等参数，以免因数据采集失效，难以替换而造成监测故障。

1.4.1 设计准备

1. 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。

2. 熟悉工程的设计资料

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

3. 掌握各阶段的主要工作内容

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，预计所需仪器设备的数量，估算投资。

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、通信方式及网络结构等，初步确定主要监测仪器及设备的数量，进行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后的清单、软件配置及土建配套方案，各主要监测项目的测次等，并对监测系统进行工程预算。

在施工阶段，则应根据监测系统的设计和技术要求，提出施工详图和部件加工图、仪器安装埋设精度和相关指标等。

在蓄水阶段，主要是参与制定监测工作的计划，确定主要监控技术指标，并对大坝工作状态进行评估。

在正常运行阶段，则是对监测资料分析、安全检查和鉴定工作提供必要的指导，并负责对监测系统进行技术改造优化设计。

1.4.2 设计原则

1. 明确的针对性和实用性

设计人员应当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，力求以最少的投入取得最好的监测效果。