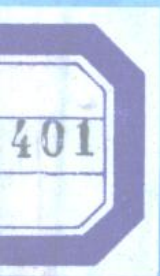


岩石力学与 工程论文集

东北勘测设计研究院科学研究院
水利水电岩石力学与工程信息网
编

吉林科学技术出版社

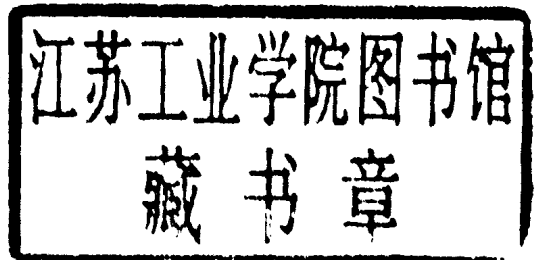
岩石力学与工程论文集



出版社

岩石力学与工程论文集

水利水电岩石力学与工程信息网 编
东北勘测设计研究院科学研究院



吉林科学技术出版社

内 容 提 要

本论文集共收入了岩石力学与工程方面论文 49 篇。包括专题论述、技术总结、设计施工、理论计算、工程试验、监测(观测)技术、(仪器测试)方法与应用、模型试验等 8 个专题。

本书可供有关部门从事勘测、设计、施工、科研、监测(观测)、管理、监理、运行等方面科技人员及大专院校有关专业师生参考。

ZW64/07

岩石力学与工程论文集

周增富 王 槲 主编

责任编辑:赵玉秋

封面设计:周增富

出版	吉林科学技术出版社	787×1092 毫米 16 开本	368 000 字	14.56 印张
发行		1999 年 2 月第 1 版	1999 年 2 月第 1 次印刷	
印刷	长春市华林印刷厂	ISBN 7-5384-1773-7/TK·26	定价:32.00 元	
地址	长春市人民大街 124 号	邮编 130021	电话 5635183	传真 5635185
电子信箱	JLKJCS @ public.cc.jl.cn			

前 言

本书编入的论文包括两部分：一部分是 1997 年 11 月在湖北宜昌召开的全国水利水电岩石力学与工程信息网第七届全网大会暨学术交流会的部分论文；另一部分为东北勘测设计研究院科学研究院近年来的部分优秀论文。

《岩石力学》是水利水电岩石力学与工程信息网网刊，为内部期刊，总计出版发行了 41 期。根据国家出版署的要求，自 1998 年起暂时停刊。《松辽科研》系东北勘测设计研究院科学研究院内部刊物。本论文集为《岩石力学》与《松辽科研》两者的延续。

本次出版目的是为了保持《岩石力学》与《松辽科研》的连续性，及时反映最新成果，开展正常的学术交流，促进我国岩石力学与工程学科的发展。以此奉献给水利水电岩石力学与工程信息网同仁和兄弟单位广大读者。

全书稿件由周增富审查，由王槟审定。

徐惠民、于淑彦、张雷参加了出版工作，表示感谢。

由于编者的水平有限，难免存在不足之处请予以批评指正。

编 者

目 录

专题论述

岩土工程安全监测技术·····	王永年	周增富	张钰华(1)
三峡工程岩石力学研究概要·····			董学晟(11)
三峡水利枢纽安全监测设计概况·····			李 迪(26)
人工大型水域地质灾害及工程安全监测预报新技术·····			鲁先元(32)

技术总结

收敛量测技术·····	周增富	王振生	沈广和(37)
锦屏等工程的岩石力学试验研究·····			何秀备(51)
滑坡稳定性多方法计算结果的综合评价·····			赵海斌(55)
岩石力学试验新方法的论述·····	周增富	于淑彦	于 震(59)
开挖过程中隧洞顶拱位移与开挖进尺关系·····			
·····	杜国文	刘汉丞	彭立斌 李 华 吴凤吉(66)
满拉水电站坝基混凝土防渗墙仪器埋设技术总结·····	李克绵	郭宝霞	谭继文 韩 林(69)

设计施工

天生桥二级坝索水电站地下工程设计施工·····	文亚豪	徐劲松(73)
二滩水电站地下厂房洞室的施工特点·····		高忠诚(79)
松山导流洞进口右侧冲沟堆渣体加固·····	王 槟 白云和 王金龙 蔡洪亮	冯克成(84)
三峡船闸高边坡施工工期安全监测设计·····	李 迪 刘祥生	廖勇龙(86)
土工膜在松子坑水库土坝防渗中的应用·····	刘育红	王万良(92)
满拉水利枢纽堆石坝某高程坝体碾压施工质量控制·····	徐小武 马玉华	王占臣(95)

理论计算

三维有限元仿真及其工程应用·····	何秀备 罗银森	陈文华(99)
白山水电站三机式抽水蓄能机组洞室结构及围岩稳定有限元计算研究·····		
·····	郝长生 王科峰 李克绵 李 华 吴凤吉	(105)
白山抽水蓄能泵站建设对大坝与电站安全运行影响的分析·····		
·····	黄 涛 徐岩彬 王科峰 张立英 梁国柱	(109)
荒沟蓄能电站地下压力钢管衬砌围岩联合结构体计算分析·····		
·····	郝长生 谷 玲 孟 中 王科峰 李克绵	(114)
丰满水电站大坝真空激光测坝位移分析·····	徐岩彬 郭宝霞 孟 中	刘青海(117)
尼尔基水利枢纽右岸副坝坝后区三维渗流电网络程序计算·····		
·····	陈晓霞 徐小武 于文涛 于艳丽	(123)
丰满水电站大坝坝基扬压力观测资料分析·····		
·····	郝长生 李克绵 孟 中 郭宝霞 刘青海	(126)
伊朗卡尔赫水电站基岩钻孔弹模测试成果分析·····	杜国文 彭立斌 梁成宾	栗桂华(131)

工程试验

- 富拉尔基热电总厂粉煤灰试验研究····· 张文殊 张喜发 李欣 杜学玲 赵红崑(136)
- 龙爪河引水工程坝址区软弱夹层的试验研究····· 杨建(140)
- 荒沟抽水蓄能电站岩体应力试验研究····· 朱奎卫 赵学文 杜国文 胡丽萍 掌于昶(143)
- 老松江水电站混凝土施工配合比试验研究·····
····· 黄如卉 叶远胜 李燕 李艳萍 王德库(145)
- 满拉水电站堆石坝石料开采爆破试验研究·····
····· 韩哲 刘汉丞 谭继文 刘凯 赵贵生(148)
- 尼尔基水利枢纽混凝土试验研究····· 李燕 黄如卉 王芳 王德库 于清(150)
- 满拉水利枢纽坝体宽级配心墙和滤料渗透试验研究·····
····· 卢兴良 漂集文 云宪义 黄福义(154)
- 尼尔基水利枢纽粘性土分散性分析····· 马玉华 张星 谢伟光(158)

监测技术

- 鱼潭水电站地下厂房洞室施工开挖的监测与分析····· 曹骏 李小平(160)
- 隔河岩水利枢纽施工工期安全监测····· 李迪 张漫 张保军(164)
- 清江水市垭水电站厂房洞室施工安全监测设计····· 应向东(169)
- 三峡水利枢纽永久船闸高边坡岩体深部变形监测分析····· 但云贵 杨健(173)
- 莲花水电站四通叉管监测研究····· 赵学文 白云和王锐 张文臣 王卓(177)
- 荒沟抽水蓄能电站下池进(出)口工程观测及初期观测资料分析·····
····· 姜盛吉 王科峰 黄涛 李克绵 徐岩彬(180)

方法与应用

- 真空激光准直测坝变形系统····· 冯林 孟中 李克绵 王瑾(186)
- 薄层夹极薄层岩体陡倾角结构面抗剪强度试验方法探讨····· 邹秋生(190)
- 砂砾石坝基现场抗剪试验研究····· 王保欣 周增富(195)
- 石灰桩加固软弱土层在广州经济技术开发区的应用····· 刘俊辉 李松涛(198)
- 喷射混凝土抗压强度检测····· 周增富 王振生(201)
- 莲花水电站面板混凝土裂缝调查研究····· 叶远胜 杨立峰 黄茹卉 李燕 王烈(203)

模型试验

- 大藤峡溢流坝坝基平面地质力学模型试验研究····· 于艳丽 王槟 沈广和(206)
- 布尔哈通河延吉市区段河道整治动床模型试验研究·····
····· 吴柏春 于文涛 韩爽 高树华 范宝山(212)
- 老松江水利枢纽溢洪道水工模型试验研究····· 韩爽 苑润保 于艳丽 李坚(217)
- 蒲石河抽水蓄能电站上池进/出水口水工模型试验研究·····
····· 朱奎卫 朱新华 苑润保 汤兆军(220)
- 乌宋岗(乌一)水电站泄洪消能试验研究····· 于文涛 高树华 李坚(223)

岩土工程安全监测技术

王永年 周增富 张钰华

(东北勘测设计研究院科研院 长春 130061)

【文摘】 岩土工程安全监测是岩土工程设计、施工和运行工作的重要组成部分。岩土工程安全监测技术日趋完善:监测工作调查、初步设计、仪器类型设计、埋设设计、监测系统、自动化和人工监测、监测频率、数据采集、信息处理、监测质量控制等等,目前已发展成为较完善系统的一门工程技术。该技术为岩土工程设计提供所需的技术参量,施工中可对原设计修正,运行中又可检验设计施工是否合理,工程是否既安全又经济,指导今后正确设计施工。安全监测涉及人类生命安全和财产损失,为工程建设和管理必不可少部分。三峡水利枢纽将其列为八大工程之一。

【关键词】 岩土工程 安全监测 监测工程 监测技术 监测仪器 监测系统 频率 控制

1 序 言

建筑物的安全不仅取决于合理的设计和施工,而且取决于建筑物最初几年以及在整个工程寿命内进行实际运行状况的监测。根据监测资料进一步对建筑物维护和保护,以确保安全。监测与安全的关系表明,岩土工程安全监测是岩土工程设计、施工、运行的一个重要组成部分。它的初级职能是为工程设计提供必要的岩土工程技术资料,因此,需要及早地编制和应用监测程序。在工程施工运行过程中,对原设计进行修改时,监测系统还将继续提供必要的设计资料。由于工程的地质条件复杂多变,设计阶段准确地预测岩土体的基本状况及其施工、运行过程中的变化,几乎是不可能的。因此,它的另一个基本作用是在施工和运行过程中,监测工程的稳定工作,可以保证安全施工和运行。目前,监测工程已成为工程勘测、设计、施工和运行过程中不可缺少的重要手段,被岩土工程界视为检验工程设计效果和施工、运行安全的直接指示器。安全监测日益得到国内外岩土工程界的重视的另一个原因是,安全监测与效益有直接关系。工程要做到即经济合理又安全可靠,重要的手段是通过安全监测来提供依据。八十年代以来,国内岩土工程发展迅速,安全监测工作也随之有了很大的进展,已经有了多年的实际经验,许多技术先进、性能优良的安全监测仪器设备也应运而生。为了统一安全监测要求,提高质量,

国家先后制定了一些标准,建立健全了一些安全监测组织,使安全监测工作逐步走向正规。

2 安全监测的必要性

建筑物建造在地质构造复杂、岩土特性不均匀的地基上和岩土体内,在各种力的作用和各种因素的影响下,其工作性态和安全状况随时都在变化。如果出现异常,而又不被我们及时掌握变化情况和性质,任其险情发展,其后果不堪设想。1954年建成的坝高66.5m的法国马尔巴塞(Malpasset)双曲拱坝,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。由于没有必要的安全监测设施,结果在管理人员没有丝毫的觉察下,于1959年12月2日突然溃决。短短45分钟,使坝下游8km处的一营500名士兵几乎全部丧生,距坝10km处的一城镇变成废墟,直接经济损失6800万美元。1978年夏,香港半山区一座27层大楼,因边坡滑动,整座大楼塌滑到山脚下,沿途又切断一座大楼和一些房屋,造成人民生命财产巨大损失。如果运用必要而有效的观测手段进行监测,及时发现问题,采取有效的措施,上述灾难就可避免。1962年11月6日,安徽梅山连拱坝右岸基岩发现大量漏水,右13号坝垛垂线座标仪测值3d内向左岸倾斜了57.2mm,向下游位移了9.4mm,且右岸各垛陆续出现大裂缝。经分析是右岸基岩发生错动。由于在垂线仪及时监测下,放空了库水,进行加固处理,避免了一场溃坝事故。1981

年8月,黄河上游龙羊峡水电站遇到了150年一遇的特大洪水,依靠埋在围堰混凝土心墙中的48支观测仪器提供的测量数据,表明围堰工作性态正常。使领导作出加高围堰4m的抗洪决策,确保了工程安全施工和渡汛。位于长江三峡的新滩滑坡,1985年6月12日发生大滑坡,2000万 m^3 堆积体连带新滩古镇一起滑入江中。由于险区居民全部提前安全撤出,全靠安全监测所作出的预报。以上正反两方面的实践充分证明了,采用仪器进行安全监测,对建筑物和人民的安危是何等的必要。

安全监测除了及时掌握建筑物的工作性态,确保其持续安全运行外,还具有多方面的必要性。美国垦务局论述,使用量测仪器和设备对建筑物及地基进行长期系统地监测,是诊断、预测、法律和研究等四个方面的需要:一是诊断的需要,包括验证设计参数,改进未来的设计;对新施工技术的优越性进行评估和改进;对不安全迹象和险情进行诊断并采取加固措施;验证建筑物运行处理持续良好的工作状态。二是预报的需要,运用长期积累的观测资料掌握变化规律,对建筑物的未来性态作出及时有效的预报。三是法律的需要,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其原因和责任,以便法庭作出公证判决。四是研究的需要,观测资料是建筑物工作性态的真实反映,为未来设计提供定量信息,可改进施工技术,利于设计概念的更新和对机理的了解。正是这些必要性,各国都很重视安全监测工作,使其成为工程建设和管理工作中极其重要的组成部分。

3 岩土工程安全监测技术的发展

岩土工程技术历史悠久。长期以来,工程安全主要依靠结构的可行度设计来保证。岩土工程的安全监测起步较晚,它是随着岩土工程的失事为人们提供教训后,不断地寻求监测和监测手段而逐步发展起来的。五十年代以来,岩土工程界逐步认识到大坝和上部结构的失事是因为地基失稳引起的。边坡工程、地下工程的事故也是岩土体失稳所致。如果能够

时采取有效防范措施,便可以制止事故的发生,于是监测工作逐步受到重视。由于岩土体复杂,岩土力学又是一门新的科学,尚属半经验半理论的学科。因此,在时间和空间上对岩土工程的安全度作出准确地判断还有很大困难。有关岩土工程安全问题的解决,更多的是依靠量测和观测。所以,人们越来越多地把工程安全情况的判断,寄希于工程建设过程中和竣工后的原位监测。通过监测保证工程运行安全;同时,又通过监测验证设计,优化设计和提高设计水平。

岩土工程的失稳破坏,都具有从渐变到突变的发展过程。一般单凭人们的直觉是难以发现的,必须依靠精密的监测仪器进行周密监测。为了做到这一步,首先要作出符合实际的观测设计,然而准确地作出一项监测布置和预计一项工程监测需用多少仪器、仪器类型是很困难的,特别是对工程安全有控制作用的仪器更为困难。因为仪器的选择要考虑整个工程的地质条件、地形地貌特点和岩土体的工程性质。此外,仪器的埋设、布置和数量,不但依靠计算,还要根据已知条件并分析条件,以工程和工程周围的特性决定。所以,近三十年来,对于监测项目的确定、仪器的选型、仪器的布置、仪器的埋设技术和观测方法、观测资料的整理分析等项目的研究在逐步加深。但是,由于起步较晚,还远不能适应岩土工程建设发展的需要。已经做过的工作,由于经验不足,存在许多亟待解决的问题。原位监测设计,由于无规范性的实施方案可循,很难做到经济合理、安全可靠,当然,也达不到时间和空间上连续性的要求。尤其是针对工程和地质结构特点进行布置,使其做到行之有效并经济合理还缺乏经验,因此情况不清,盲目布设仪器造成浪费的现象时有发生。在实际监测设计选用仪器时,如何考虑仪器的技术性能、埋设和测读的简繁以及费用的合理性,还缺少可靠的依据。由于仪器种类很多,各具特色,技术性能和运用条件各不相同,要做好原位监测,存在仪器选型的问题。许多工程由于没有质量标准 and 全面的选型原则,盲目采用进口仪器,或者主观采用自己习惯的自制的仪器,造成仪器

失效或是测得的资料不符合计量标准,无法分析。仪器埋设技术和观测方法也缺少标准,随着原位监测的发展,问题也愈加突出。有些新仪器虽然性能可靠,但由于实际应用的较少,在环境恶劣的岩土工程条件下,不敢使用;用得多的仪器,安装埋设技术要求得不到保证,观测方法又不当,大量的仪器因此而失效,或量测不到满意的成果。从八十年代初开始,国家通过“六五”、“七五”、“八五”科技攻关和工程实践,对上述问题进行广泛而深入地研究。监测设计、监测仪器、监测方法的研究成果均达到了国际先进水平。对一些大型工程深入研究了原位监测布置,提出了对地质地貌条件、岩土工程技术性质、工程布置、监测空间和时间连续性等因素要求和原位监测布置原则及方法。在充分研究了岩土工程原位监测仪器的使用经验和效果、仪器种类和技术性能、仪器质量标准等问题的基础上,选出了127种可作为岩土工程原位监测仪器选型用的仪器,给出了技术指标、适用条件,对仪器质量、稳定性、灵敏度作了评定,提出了原位监测仪器主要技术性能和质量的评定标准,以及仪器选型原则与方法。在大量收集国内外有关仪器埋设技术和观测方法的基础上,对已建工程监测仪器的埋设技术和观测方法进行了系统的研究,对15种仪器的埋设与观测提出了标准化、程序化的方法和质量控制措施。国家和各部相继编制了有关规程、规范、指南和手册,提高了岩土工程安全监测水平,使监测标准进一步完善。总之,目前岩土工程安全监测手段的硬件和软件发展迅速,监测范围不断扩大;监测自动化系统、数据处理和资料分析系统、安全预报系统也在迅速发展和完善。

当前岩土工程安全监测之所以发展迅速,其主要因素在于岩土工程设计,自采用新的可靠度设计理论与方法以来,原位监测不仅是工程安全监测和安全运行的重要手段,而且,成为提供工程设计依据、优化设计和可靠度评价不可缺少的手段,同时又是设计和施工质量的控制手段。在水利水电系统,几乎所有的大型地下工程,设计前期都要做一项比较准确的开挖中原位监测工程来满足设计要求。此外,在

所有的现行工程设计规范中,都有详细的安全监测规定,要求也在不断提高。

综上所述,岩土工程安全监测的发展现状是,把安全监测从为工程服务项目逐步发展形成有独立的设计、施工和运行的“监测工程”。在建的中国三峡水电站,对工程安全监测十分重视,监测工程被列为三峡八大工程之一。

4 监测工程

4.1 岩土工程安全监测条件

鉴于岩土工程给人类生命财产带来巨大损失这一事实,有必要对工程的性态进行连续长期监测。这种必要性如上所述已为所有国家承认和接受。如果说岩土工程的设计、施工和运行的水平和质量是工程的安全条件,那么贯穿在工程设计、施工和运行始终的安全监测,应该是工程安全的保证条件。因此,岩土工程安全的条件应具体到以下几个方面。

从观测仪器、数据传送和处理系统看,其可靠性、精确性和测量数据采集的速度等方面,最近均已取得重大进展,同时在测量结果的记录、比较和评价以及远距离传送方面也有重大进展。因此有必要对现行岩土工程安全监测和安全整体方法进行科学地选择,以便充分利用已有技术,减少已运行或拟建工程所构成的危险。

危险和安全的概念可按不同的方法进行定义,因此有着不同的经济和社会含义,对于建立正确的工程监测,并不要求严密的定义。不论是施工阶段还是运行阶段,监测系统必须查明工程的性态是否与设计预测一致。

只有这种一致性存在,才表明建筑物具有设计时由设计人员规定,并经管理部门核准的安全度。如果在施工运行,建筑物性态与设计预测的性态存在很大偏离,那么监测工作将揭示各种现象,并将其对建筑物有影响的参量联系起来。在这种情况下,必须对建筑物进行核查,修改设计。

确定工程安全和危险程度的最适宜时间是设计阶段。为了避免在施工和运行中对工程安全和主观臆断,应由监测系统来完成这个任务,需要在设计阶段确定参照模型,给出观

测参量及其变化范围。这些监测参量不仅包括与建筑物和工程有直接关系的参量,而且还包括环境和运行状况的参量。

对不遵循上述准则的已有建筑物,运行监测不能参照设计阶段确定的模型。对这些建筑物进行核查或修改设计不仅是可能的,也是必要的,可以采用“后验的”监测准则,根据统计方法对建筑物性态观测结果的分析及其全面评价来确定。

对于工程性态监测,有两个准则(可以替换的或互补的),它既可用于正在设计的建筑物,也适用于已建的和运行中的建筑物。

第一个监测准则:将监测的工程性态与设计确定的分析模型预测值进行对比,这种对比是通过分析一组描述建筑物当前性态的物理量来实现。预测值和与相应运行条件的允许偏离值均来自模型。因此必须观测最能说明建筑物性态特征的参量,以及那些能说明外部条件的参量,最需要将这些参量引入参照模型,以便得出与观测结果相比较的关系。

第二监测准则:将一组重要的观测结果与建筑物历年取得的相应值进行统计比较。换句话说,就是需要证实:能够说明建筑物性态的变量以及环境和运行条件的变量是否在观测值范围内,并且是否相互保持一致。如果取得的参量组很大,并能及时充分地扩大,足以重建一个建筑物性态的经验模型,那么这个监测准则实质上与前一个准则相似。

统计准则的重要性和效能,随建筑物的寿命的延长而增大,它能验证设计模型和用以确定模型参数。

上述监测准则在当前都是适用的,可以作为评定工程安全的客观工具,适用于各种类型的岩土工程。

危险性分析是工程安全的另一个重要条件。在确定安全核查的参照模型以前,重要的是确认能否危害建筑物或至少存在妨碍其运行的各种危险因素。

应当考虑到有些危险因素是建筑物(与基础或与围岩视为一体)本身固有的,有些因素则完全与建筑物无关,是由与建筑物所处的自然环境有关的外部物理事件引起。如以下列

物理事件为代表:地震事件、具有异常特征的水文和气象事件、地层错位。

通过与参照模型比较观察到,内在危险因素通常是随建筑物或其基础的不规则性暴露出来,例如:

①危及建筑物本身整体性,反过来影响其静力或水力功能的不规则性;

②建筑物材料(或围岩)基础强度特性的普遍下降;

③建筑物或基础地层变形性能的不规则性;

④大坝扬压力、地下洞室围岩结构应力或位移的不规则性,边坡滑动面的形状或抗剪强度大小和分布等的不规则性。

上列危险因素对每个建筑物都可能存在,其中有些因素可能有时表现较为突出。

设计人员或建立参照模型人员,其任务是确认建筑物具体的危险因素,并对建筑物本身在给定时期暴露出来的危险因素,进行“危险程度或危险概率”的评估。

这种危险程度不但取决于环境条件和建筑物的类型、尺寸、用途与年限,还取决于建筑物的结构和可靠性。

不管观测准则如何,岩土工程安全监测系统需要具有条件,监测系统的结构及数据采集和处理都应满足一定的条件,而且实用合理。这一点可以通过发展观测设备、改进信息传递和处理手段来实现。

监测系统的基本先决条件是,观测速度、频次与要观测演变速度之间协调一致。在这方面,采用自动数据采集方法代替人工方法,用电子数据系统代替机械式图表记录系统,可以对演变特别迅速的现象(如地震现象、弹性变形释放等)及其影响进行跟踪。

监测系统的另一个基本特点是,能同时全面地考虑观测结果并分析和比较全过程。核查工作的依据是全部观测参量(其一致性可预先确定)。还有一个特点是能把观测与数据处理、分析之间间隔限制在最小值(几乎为零)之内。

根据上述准则建立的自动监测系统具有灵活性,能在一个极小的时段内,根据实际性

态的监测及其分析,完成监控程序,从而消除了监测程序中最不利的固有局限性。

4.2 监测工程的作用

4.2.1 监测物理量及其监测仪器

建筑物在其服务期限内受周围环境的变化而变化,并根据环境的变化显现不同性质的反应。例如,在观测大坝的性态时,各物理量的获得取决于:原因或环境参量—由于它们的变化而引起建筑物的变化;结果参量—建筑物对原因参量而产生的反应。

对建筑物起作用的主要原因参量:水库水位,空气、水和混凝土的温度,降水量,大气条件(湿度、气压、风),冰厚,水库深度,地震事件,洪水流量,基础和河岸的独立运动,地温,地下水,地应力。

主要结果参量:内应变和内应力,局部应力,水平和垂直位移(绝对和相对的)转动,裂缝和接缝的移动,渗透量及其混浊度,扬压力和孔隙压力,总压力,沉降,材料物理力学特性的变化。

渗透损失和溶滤以及拱坝位移观测是最主要最有意义的工作。特别对混凝土坝温度荷载是不可忽略的物理量。近几年来人们把更多的注意力集中在坝基的变形和水力特性方面。

原因参量和结果参量随时间变化而变化。为评估与建筑物的反应模式的相关关系,必须对这些变化进行测量。由于这种测量要在建筑物寿命期限内系统重复地进行很多次,唯一实用的解决办法是配备专用于永久性的监视测量装置。

巡视检查是不可缺少的,它可进行一系列完整测量乃至自动测量的必要补充。许多国家巡视检查工作进行得很频繁,成果可靠。通过巡视检查可以发现观测仪器不能检测出的异常现象,如:裂缝、渗漏、局部材料老化、潮湿斑点等迹象及其产生和扩大。

对观测仪器的要求国内外基本一致,即观测仪器应该坚固、可靠、使用容易、维护简便。现在特别需要通过可靠的自动控制技术实现观测自动化。目前普遍认为对大坝观测正、倒垂线都很重要,是可以实现自动化的一种准确

的观测设备。

4.2.2 监测系统与自动化

建筑物及其基础的静态观测系统是由许多仪器设备组成的相互协调的整体,用来获取各物理量,并对取得的信息进行转换和处理。该测量系统根据建筑物的类型和使用年限,要求有统一的时间和空间基准。

一个完整的监测系统的确定,要涉及以下几个方面:

- ①表征建筑物和基础安全的要素;
- ②对建筑物与基础整体的安全起调节作用的单元;
- ③确定或者能够最好地描述建筑物性状的物理量;
- ④获得这些物理量的仪器设备及其安装方式、测量精度和可靠性;
- ⑤仪器的数量、分布与密度;
- ⑥观测频率。

监测系统与控制单元,是确保建筑物安全的单元。对混凝土坝主要安全单元有基础岩体、基础岩体与坝体接触面、大坝结构、接缝。对土石坝,观测要深入到坝与基础组合体内部。其主要安全单元有坝基、坝基与坝体的接触面、坝体、基础中的止水结构、上游防水面、防水心墙、伸入基础地层或坝体中的结构物(导管、泄水设施等)、排水和反滤设施。对地下建筑物主要安全单元是围岩易产生拉应变的部位,不利组合体、加固结构、衬砌结构单元。对边坡可为滑动面、切割面、临空面、边坡加固结构单元。

(1) 监测系统的必要条件

建筑物各单元与监测重要性因建筑物所处阶段(施工、临时运行、试运行、正常运行)以及监测的目的(安全、事故率、获取信息)而不同。

在施工和运行期间,通过全面揭示建筑物和基础这一整体的实际性态,核查建筑物当前安全状态。建筑物的实际性态有时也可能由一些在设计阶段预见不到的复杂因素决定。通过核查可使设计得到初步验证。如果需要的话,在施工期间亦有利于实现修改设计及实施方式的修改。

运行期间进行核查可提供建筑物的整体形态资料,亦可为特别重要的部位提供一定时间内的演变证据。

为了探讨解决超出建筑物设计考虑中的专门技术问题,需要进行某些观测。

建立监测系统时宜考虑下列要求:

①监测系统应由专业人员设计和安装。

②监测仪器的选型及数量要考虑经常出现的环境方面(气候、地质和地震等)的不利影响。

③不宜限定初期安装仪器数量和读次,因为核查的基本参数被确认后,可以做一些删减。考虑埋入仪器往往是不能更换的或者寿命可能很短的。

④在可能的情况下,宜采用几种仪器测取同一参量,以利于验证和核查。

⑤在实现测量自动化和数据传送的情况下,仍有现场人工测读的替代方案。

⑥一般优先采用“快速获取”的观测方式。类似系统使用大地测量法只限于单一情况。

⑦根据综合监测系统的获得资料,再用肉眼进行系统检查是必要的。

⑧监测系统应把几种完整性不同的观测和进一步的研究工作结合起来:在最重要的断面上进行最详细的观测工作,可取得最多的资料;而其它断面进行一种或几种不同程度的观测,将两种断面所提供的资料相比较,便能了解建筑物全面的性态。

(2)监测系统的确定和建立

监测系统的确定和建立取决于建筑物类型、规模、使用年限,对大坝来说又与库容及与下游人口密度有关的人为危险因素。

不同类型的建筑物只有几个观测物理量是相同的。工程类型、结构类型、所有材料、尺寸、使用年限等,这些使得与建筑物安全相关的参量,在各种情况下不尽相同。

可根据大坝、地下建筑物、边坡、工业民用建筑进行分类。如大坝可根据所用材料进行分类:混凝土、松散材料(土和堆石),混凝土坝又可根据结构型式分为拱坝、重力坝、支墩坝。土石坝具有上游防水面的坝,具有防水心墙的坝。对它们应分别列出需要进行观测的参量。

都要明确每个观测参量在建筑物寿命的各个阶段(施工期、运行期)的安全、事故率和科学发展方面的重要性,对所用的最普通的观测仪器,也要有概略地说明。

总之,确定一个标准的监测系统不是一件容易事,需要按每种不同情况分别确定。

(3)监测系统自动化

监测系统自动化在国外的一些大型工程上现已普及,国内的一些重点工程不同程度地安装了自动读数装置和采集系统。

关于静态或动态系统自动化问题,今日的专家面临作出负责任的选择。不可否认,由于计算技术的发展,使其有可能投入较大费用来解决大型建筑物的自动监测问题。然而,在做选择时,必须认真地评价自动监测系统的优缺点,必须了解这些新仪器设备能获得何种帮助和需要避免什么错误或误解。

人工读数的可靠性和连续性依赖于观测人员的水平、责任心和处理问题的能力。一般讲,自动检测可以实现连续读数,取得可靠的数据,质量优于人工测读数据。人工测读数据缺乏总体可靠性。自动测读数据可以消除人为误差,不过人为误差也可能被仪器误差所替代。因此仪器必须用预先制定的检查方法,由专门技术人员经常进行检查标定。

监测系统可按预定频率获取可靠均匀的数据,对观测数据初步证实。进行一套自动检测,确认传感器和系统运行是否正常,实现实时连续控制。

自动监测不仅观测数据不需人工收集,而且可将测量数据与由模拟的模型提供的同类预测数据联机,实时地进行比较,以便检查它们之间的差别是否在给定的允许范围内。经过比较认为是正确的就存储起来,而对不规律的和不满足设计基本假定的,则要给予适当注意,使管理部门处于待命状态,并根据反常现象的“重要性”制定不同等级的“技术报警”。据此可以进行深入地分析判别和人工巡视调查。自动监测系统似一种“技术过滤”,使得专家的注意力集中在那些性态异常的建筑物上。

应当注意,自动监测不仅要求对建筑物最终决定性的安全评价要由人工完成,而且必须

定期按一定步骤进行人工巡视检查。

自动化系统也可能发出错误的报警,所以应安装两个以上的报警系统,只有几个系统都报警时才能采取紧急行动。

4.2.3 监测频率

国内外专家几乎一致认为,根据监测类型将建筑物寿命的不同阶段(施工前、施工期及施工期各阶段、初次运行和正常运行期)联系起来确定观测频率。当发生非常事件和性态异常时,如高库水位期和水位骤降、大地震后、观测参量达到临界状态、观测参量变化速率异常加大、建筑物和地基运行不正常或出现建筑物老化迹象时,应对观测频率进行调整。目前各个阶段适宜的观测频率值各国相差不大。总之,测次应满足资料分析、各物理量变化稳定性和建筑物性态判断的需要。

监测工程有效性的必要条件,包括具代表性的建筑物参照模型,选择适当的读数频率,通过对比实测和预测资料得出正确的频率。此频率取决于:要观测的参量、观测参量所影响的参数变化速度、建筑物所处阶段、测量装置的灵敏度、特殊要求,如科研、管理可能发生的反常情况等具体要求。

总之,观测频率应与相关参量可能发生显著变化的时间间隔相适应,同时又要与测量装置相适应。

应注意,所有观测都应根据施工前的环境,确定十分准确的起始基准,作为读数资料对比的基础。因此施工前的观测次数应满足此要求。

4.2.4 监测数据处理和资料分析

大家都认为对岩土工程安全控制,要求在获得仪器读数后尽快对测得的数据进行解释,致于采取怎样的分析和解释方法,各家的观点和做法各异。利用计算机提供的便利条件将数据存储起来,在短时间内可以获得不同类型的图表,已成为通用的手段。大家公认,不论是人工还是自动数据处理,都是对观测进行初步检查。第二阶段是将观测资料与相应的预测值加以比较,国内外各专家都做了这方面的工作,但各家的重点和对这一段工作的重视程度以及获得预报资料的步骤有某些差异。

最简便应用最广泛的资料分析方法是统计方法,这种方法利用对建筑物演变历史的回归分析而获得预报资料。

采用确定性的方法是以建筑物的真实模型为基础的。事实上根据这种模型可以推导出被检查量的预报值,而与该量的时间无关。

在统计模型中允许将参数引入模型并进行改进,称混合方法。

除储存、绘图和初步分析一求平均值、动态平均值和傅里叶分析等,并与类似预报值进行比较,正确分析观测数据包括对离差趋势进行深入评价,即确定观测值和计算值差值的变化趋势。在这方面,可采用“容许区”,根据离差值所在范围确定建筑物性态演变(正常、轻度警报、严重警报)。

另一种分析方法是将实测参数值与设计相应参数值进行比较。由于计算技术进步,现在可将数学模型与实际建筑物进行比较。

各家共同认为,在进行数据分析时,不能根据某一次观测结果来评价建筑物的性状,而应将多次测得的几个量的变化趋势进行相关分析,评价建筑物的状况。

数据处理包括以下阶段:

- ①把仪器读数值整理成有意义的测量值;
- ②认真检查测量值,以便发现突变和确定要求采取措施的趋势,指出潜在问题;
- ③以图表形式汇总,指出工程安全监测必需的资料,将观测情况与预测情况比较;
- ④把所有资料存储在数据库中,便于将来出现问题时参考和分析。

如果没有计算机,数据整理应在为每一台仪器特制的计算机表格上进行。将处理数据所用公式,包括校准系统和修正数都填写在表格里。

以图的形式提出数据分析成果是数据处理的关键成果。在仪器数据分析成果的解释和对建筑物性态评估方面,它是主要依据。图的绘制应采用适当的比例尺,所有图的比例应有统一标准,以便于在此条件下,与其它时间或其它位置观测的数值进行对比。几种相关参数绘制在同一个图上,可以迅速评估各参数关系的建立和建筑物性状。

(1) 监测数据的自动处理

多年来,人们一直试图开发计算机的潜力,创立观测数据的处理方法。

这种处理方法,目前分为两部分:

① 联机实时采集观测数据,并进行初步处理;

② 采用数据库存入观测数据,以便以后进行详细联机研究。

后一部分中,人工和自动采集数据要送到工程师单位。该单位装有终端系统,此系统又可连接到远处的计算机中心,中心有可供使用的存储和处理系统。

目前已通用的系统,由显示器、键盘、打字机、记录器和绘图仪。该系统联机和脱机均可使用,其成本也远低于其效益。

为观测数据的存储和处理而建立的数据库和信息系统,能够存储有关建筑施工和运行状况、安装的仪器和观测工作状况等全部资料,以及对存储的观测数据处理成果。

这种处理方法所起的作用:

① 存储建筑施工前、施工期和运行期收集到的原始数据;

② 将观测数据转换成有意义的参量;

③ 按照预选制定的标准,对参量重新分组,打印并作图;

④ 进行初步分析,以便核实变化情况;

⑤ 对多种观测进行一致性检查;

⑥ 找出原因参量和结果参量之间的相关关系,开发各种回归模型;

⑦ 对实测参量值与参照模型的同类预测进行比较;

⑧ 作出建筑物所有观测参量图形,查明是否有用,并使观测更加合理;

⑨ 按使用者要求的图形格式,将每个重要参量迅速形象化;

⑩ 利用简单的初步处理方法或更高级的参照模型,对设计假定进行检查。

(2) 实测数据与预测数据比较

如前所述,定期检查建筑物,评估建筑物的安全情况,结合观测数据处理结果与预测模型进行比较,是客观评价建筑物真实性态的基础。

目前采用的比较模型:

① 后验回归模型

这种回归模型在模型中是最常见的一种简常模型,使用最广泛,不需要作复杂处理。用它可核查所有实测结果参量。建立此种模型需要在一定时期内,按时间序列测得原因参量和结果参量。

统计模型造价低,容易建立,在建筑物不出现特殊问题时,可取得满意的结果,所以得到广泛应用。

② 先验确定模型

通过建筑物结构分析,确定了原因参量和结果参量之间的相关关系,可利用先验确定模型进行参量核查。

建立先验确定模型,除了需要建筑物几何参数外,还需要全面了解材料的物理力学特性。确定模型在正常运行期间是一种有效的核查工具,此外,它还可作为特殊运行和维修条件下建筑物性态和手段。

利用反分析法建立确定模型比建立回归模型,需要更多的技术和经济投入,然而一旦建立起来,它就是一种适合建筑物各类实际运行条件的有效、客观而可靠的工具。

此外,还有一些类型的数值模型,例如把确定和回归技术结合在一起而建立的模型。

4.2.5 岩土工程稳定性评估

岩土工程稳定性评估应以各种参数值分析成果为基础。根据监测数据分析结果进行详细评估,并与设计假定进行对比。完成此项工作之前必须熟悉以下因素:整个监测设计的目的;仪器本身的物理偏差和限度;所评价建筑物的期望性能;超出误差范围读数的影响。

没有以上的评估,可能产生不正确的结论。

如果想从中得到最大效益,必须及时对所有观测成果进行详细评估和解释。在目前,最常见最不可原谅的缺点是对观测资料不作解释,而一直放到它们被更新的资料所代替。如果监测仪器系统与布设是正常的,那么及时维护、观测、数据分析和性能评估工作,则应是必须进行的。

评估应考虑以下几项原则:

①观测数据过程曲线和在建筑物平面与剖面上的分布曲线,是必备资料;

②不正确的比例尺会导致错误的解释和结论;

③数据中所有的问题或错误都要有逻辑解释,有无补充施工和运行的资料往往是决定因素;

④一般结论应建立在一定时期内形成的变化基础上;

⑤应建立不同类数据的相关关系,以便弄清监测系统的可靠性;

⑥所有仪器都是有限制的,超出限制范围观测数据都是有疑问数据;

⑦所有建筑物和基础的位移、压力等都存在一定偏差,在评估监测仪器之前,要合理的确定该偏差对工程性能的影响范围;

⑧所有监测仪器都应有使用寿命,已经实现其目标的仪器不应再测读,以免搞混有价值的数;

⑨虽然偏离假设,但仍可接受的监测数据,不能说是有问题数据;同样在允许范围内的数据不能保证没有问题;

⑩已经收集并分析完的监测数据,对建筑物性能作出评估时,必须做出结论和处理决定。这种决定不能包含来自各方的不科学的主观意愿,应是计划高效,但不能有不必要的压缩;对设计可做出必要的修改和补充;在补救施工期间和以后,应持续进行仪器观测、维护和评估。

对建筑物经常遇到的是,一些合理评估的意见,总是受到来自设计和业主的限制而不能实现。在施工期间,如果有承包商的索赔和额外投资的可能性,业主选择低廉的或不理睬的方法使问题化为最小。设计也存在类似问题,当然评估者走向另一个极端也是可以存在的,关键在于监理工程师应坚持上述提到的三个目标,不做任何形式的妥协。

在性能评估方面工程技术经验是十分重要的。应该清楚,观测、评价和结论的质量与承担各项任务的人员资格、经验和献身精神成正比。要认识到计划成败的关键在于观测、评估和结论实现的每一个人。

4.3 监测工程质量控制

监测工程,从设计到实施运行应有明确的质量标准和要求,以保证监测工程在规定期间内具有确定的可靠度。

4.3.1 监测质量控制环节

质量控制主要环节包括下列内容:

①收集各类反映质量的信息和检测数据,制定监测的每项工作、设备质量标准和控制方法的规定;

②对监测工作实施的每一个环节进行质量检验;

③对仪器设备进行定期检验和标定;

④根据观测值分析判断,反馈监测工作和仪器状态;

⑤根据质量标准作出评价和处理意见。

4.3.2 监测质量控制保证

应通过建立明确的责任制和检查校核制度保证监测工程质量控制:

①监测工程设计要保证基本资料完备,数据可靠,设计用的基本假定、计算方法、断面选择和仪器布置合理,设计文件、图纸符合有关规定,正确无误;仪器设备选型符合选型原则要求;对监测工程实施提出严格的技术要求和规定。

②监测人员在仪器组装率定、安装埋设、观测与记录、资料整理与分析、信息反馈与汇报等每个程序中要保证质量合格。

③监测工程质量的合格质量水平,应根据规范规定目标,制定可靠的指标。质量控制的内容、步骤和方法,应在监测规范和实施技术要求中明确规定。

④各类监测项目的设计文件应明确规定,监测仪器设备的运用条件和维护要求,提出正常运用的标准,并进行现场标定和检查。当仪器使用条件与设计预定条件不符时,应进行检测,根据需要采取适当的保证措施或更换。

4.3.3 监测质量控制步骤和方法

(1)初期控制 在设计阶段必须通过必要的勘测、试验和研究得到参数,以此确定仪器布置、埋深和数量,避免盲目和简单类比。工程施工前,必须进行各种试验,确定合理的标准和仪器安装工艺参数,以保证满足设计和规

范要求。

(2)施工控制 仪器安装埋设过程中,必须对仪器、传感元件、材料、设备、工艺等进行连续性的检验,以保证它们质量的稳定性。全过程都要做好安装记录:

- ①仪器种类、型号、编号和说明;
- ②仪器安设位置、座标和高程;
- ③仪器安装时间;
- ④环境即气候、温度、雨和风情况;
- ⑤安装期周围施工状况;
- ⑥钻孔(挖槽)时的记录,包括岩芯、地下水观测和任何例外观测的描述;
- ⑦安装过程中的记录,包括方法、材料和任何例外的观测;
- ⑧按比例绘制平面和剖面图表示仪器埋设处的结构、仪器位置、电缆的准确位置、电缆所有接头的部位和仪器安装所用的材料;
- ⑨安装时摄制彩色照片,包装仪器埋设前的特写镜头;
- ⑩安装调试及其测试数据;
- ⑪测取初始读数。

所有安装记录应由承包商和监理工程师双方签字。

(3)监测控制 监测包括工程施工期和运行期的数据采集(人工读数或自动采集)记录、数据处理与反馈、仪器维护与标定。该阶段首先根据规定的读数频率,满足系统性和时间上的连续性要求,以仪器的精度和准确度为标准,检测或判定数据的偏差是否正常。定期进行现场标定,以检查仪器工作状态,及时维修和校正。

(4)合格控制 合格控制分为仪器安装合格验收和工程交付使用前的合格验收。控制监测工程合格质量水平的一个重要环节,是控制仪器性能的均值及其标准差,使其满足设计规定的最小变化速率。

4.4 监测工程的组成

监测工程是岩土工程的重要组成部分,它平行于主体工程而与主体工程不可分割,又是

独立实施和运行的工程。缺少监测工程的岩土工程,是一个不完整的工程,也是一个没有安全保证的工程。

4.4.1 监测工程的组成与类型

(1)监测工程组成

监测工程由以下部分组成:

- ①监测工程中,为仪器安装埋设、电缆走线、巡视观测、仪器设备维护等项目所做的土建工程;
- ②仪器组装率定与安装埋设工程;
- ③电缆走线工程;
- ④仪器设备及电缆维护工程;
- ⑤观测与巡视及其有关工程;
- ⑥资料整理分析、反馈、安全预报及其有关工程。

监测工程随着岩土工程的设计、施工、运行三个阶段也分为相应的三个阶段。

(2)监测工程类型

监测工程的等级与岩土工程的等级相同。

监测工程分为三种类型:

- ①全面监测;
- ②查明潜在不稳定部位的监测;
- ③对实际不稳定部位的监测。

由于岩土工程的分类,其相应监测工程分为:

- ①地基基础监测工程(将上部结构与其地基作为一个整体考虑时,也包括上部结构,例如水工建筑物和桥梁);
- ②边坡监测工程;
- ③地下建筑物监测工程。

4.4.2 监测工程内容

根据岩土工程内容,监测工程有以下内容:

- ①大坝及坝基安全监测;
- ②边坡工程安全监测;
- ③地下工程安全监测;
- ④工业民用建筑安全监测。

大坝与工业民用建筑是将上部结构与地基基础作为一个整体地进行安全监测。

三峡工程岩石力学研究概要

董学晟

(长江科学院 武汉 430010)

【文摘】为了研究与长江三峡工程有关的岩石工程问题,在长达四十年的过程中进行了大量岩石力学试验和研究工作。本文对这些工作和成果作一简要的介绍,重点是岩石(岩体)的力学性质问题、大坝建基岩面利用问题、坝基稳定性和永久船闸高边坡稳定性问题。

【主题词】岩石力学 坝基 岩基稳定 岩石边坡 建基岩面 岩石性质 三峡工程

1 概述

在长江三峡河段兴建一座大坝是几代中国人民的梦想,是孙中山博士最先倡议的。早在五十年代初就为实现这个梦想采取了实际步骤,自那时起先后调查研究了四个坝址,直到1992年4月全国人民代表大会审查通过了兴建这个工程的决议。工程于1992年11月开始施工,到1997年底已经完成了准备阶段和第一期工程。

1.1 工程概况

三峡工程是中国最大的水利工程,是治理和开发长江的关键工程,具有防洪、发电、航运等多方面的综合效益。重力式的大坝长2331m,高175m,水库总库容为 $393 \times 10^8 \text{ m}^3$,溢流坝段位于中部,长483m,最大泄洪流量达 $116000 \text{ m}^3/\text{s}$ 。经水库调节,长江荆江河段的防洪标准可由目前十年一遇提高到百年一遇。发电厂房位于溢流坝段的两侧,装机26台,总装机容量为18200MW,年发电量为846.8亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

长江三峡河段客货运量到2000年将分别达到 $155 \times 10^5 \text{ t}$ 和250万人次。为了满足这一巨大的运量通过三峡大坝的需要,在大坝左岸设置的通航建筑物包括一座双线五级连续船闸能够通过万吨级船队,一座垂直升船机,单向年通过能力为 $5 \times 10^7 \text{ t}$ 。为满足施工期通航的需要,还设置了一座单级的临时船闸。此外,工程还具有为中、下游地区改善供水条件、

开发水产、旅游资源等的作用。三峡工程的总工程量为:土石方开挖与填筑 1.026 亿 m^3 ,混凝土浇筑2715万 m^3 。

1.2 坝址地质条件概述

1.2.1 岩性

坝址基岩为前震旦系的闪云斜长花岗岩和少量闪长岩,其中还包含许多侵入岩脉。花岗岩和闪长岩都很坚硬,其单轴饱和抗压强度分别达100MPa和140MPa。

1.2.2 岩体风化

地表出露的岩体已经完全风化,但随着深度增加,风化程度逐渐减弱,直到新鲜岩体。整个风化层可以划分为四带:全风化带、强风化带、弱风化带及微风化带,平均总厚度为20m,最大达85m。

1.2.3 断裂构造

坝区共有886条断层,其中长度大于400m、宽度大于2m的有16条。这些断层绝大部分呈陡倾角分布。构造岩一般胶结良好。

坝区内有4组陡倾角节理,一般间距在2.5m~3.5m之间,长度为2m~5m。缓倾角节理只占总数的13%,节理面多光滑或微弯曲,主要出现在左岸厂房坝段。

1.2.4 地应力和地下水

根据早期进行的现场岩体应力测试和按照构造运动所作的评估,坝区地应力场由重力和构造应力场组成,水平应力分量大于垂直应力分量。

坝区新鲜和微风化岩体实际上是不透水