

大坝安全监测技术国际学术讨论会 论文集

中国水力发电工程学会 主办
国际大坝委员会 协办
中国能源部大坝安全监察中心 协办

顾问委员会

特邀名誉主任

李鹗鼎

主任

潘家铮

副主任

许百立 沈崇刚 邹思远

委员 (按姓氏笔划为序)

冯鍾豫 李子铮 徐洽时

顾淦臣 曹克明 韩祖恒

Alison Bartle

C. V. J. Varma

L. A. Zolotov

Samuel M. Huston

组织委员会

主 任：张发华

副主任：赵政声、施济中、王理华、储海宁

委员：(按姓氏笔划为序)

叶丽秋、朱庆臻、李旦江、李光宗

吴熊飞、陈乃昌、张日光、侯广忠

莫国汉

秘书长：施济中(兼)

副秘书长：陈乃昌(兼)、张日光(兼)、池胡庆

主编
施济中
能源部大坝安全监察中心

中国杭州
邮编:310014
电传:35061 ECHID CN
传真:0086—571—876606
电话:0086—571—876860

出版单位
中国水力发电工程学会

赞助单位

碧口水电厂

广西水力发电学会西津电厂分会

四川省电力局大坝安全监控中心

国家自然科学基金委员会

湖南省电力局

江西省电力局

西北勘测设计研究院

成都勘测设计研究院

湖北省电力局

西北电业管局

广东省电力局

华中电业管局

沙溪口水电厂

前 言

这次大坝安全监测技术国际学术讨论会由中国水力发电工程学会主办、国际大坝委员会和中国能源部大坝安全监察中心协办,于1992年10月9日至14日在中国杭州举行。出席这次会议的有来自世界近20个国家和地区的专家、教授与学者,大家在金秋季节,会集在美丽的西子湖畔,共同交流研究大坝安全监测技术。这是一次值得留念的国际学术盛会。

本世纪来,人们修建了很多大坝,在防洪、发电、灌溉、供水、通航等各领域起了重大作用。但是,随着时间的推移,大坝将逐渐老化,需要精心的监测和维护,使其永葆青春。尤其近数十年来,大坝和水库的规模不断扩大,一座坝的失事后果将十分严重,所以大坝安全监测工作日益受到世界各国的重视,从1958年到1988年召开的11次国际大坝会议中有9次讨论了与大坝安全监测有关的课题,就是一个明证。确实,只有通过周密、有效的监测,才能及时了解大坝工作状态,发现隐患,判断安全性和采取必要的加固措施。不仅如此,通过对监测资料的反分析,还可以检验设计理论和方法,提高水平。所以,大坝监测已成为近代坝工技术中不可缺少的部分。

随着电子技术、自动化技术和计算机应用技术的飞速发展,目前大坝监测的理论、手段、资料分析和运行管理方面都有了巨大进步。中国由于建坝较多,在这个领域中也有一定发展。例如在监测仪器方面已有电阻式、电容式、电感式、步进电机式、激光等多种系列。在资料分析方面也在探索新的途径。但是,和今后的建设任务以及和国际先进水平相比,我们面前的征途仍然漫长。中国的坝工工程师真诚希望通过这次国际学术会议能和各国同行广泛深入地交流探讨共同关心的问题,并认真向他们学习。

这次讨论会的主要议题有:

1. 监测设计和仪器;
2. 监测技术和分析成果;
3. 分析方法和安全评估;
4. 大坝安全管理和工程加固;
5. 其它。

我们共征集到各位代表提交的80余篇论文,它们代表了当前国际监测技术的水平,是工程界的共同的珍贵资料。我们深信,通过交流研讨,大坝安全监测技术的水平将会进

一步提高。

最后,预祝大会圆满成功,预祝我们间的友谊和合作进一步发展,并希望与会的外国朋友们在中国过得愉快满意。

潘家铮

中国科学院学部委员
中国能源部总工程师
中国水力发电工程学会副理事长

目 录

中国的大坝安全监察	施济中 储海宁 叶丽秋 池胡庆 (1)
-----------------	-----------------------

专题 I :观测设计

1. 论三峡工程安全监测系统的设计	董学晟 王德厚 (8)
2. 潭岭大坝变形观测设计	赵志仁 张晏明 (12)
3. 万安水利枢纽坝基扬压力监测系统化设计	郝长江 (16)
4. 南水大坝变形及渗流观测系统改造	王文兴 龚玉珍 杨耀辉 梁昌明 傅祖得 (20)
5. 依靠科技进步,改进大坝自动化监测系统	Boonzi A, Menga R, Ruggeri G, Vavassoori M, Mazza G (25)
6. 塔斯马尼亚岛(Tasmania)大坝监测自动化的应用和发展	S. S. Y. 李, R. H. W. 尼特 (32)
7. 大坝安全智能地震监测系统	Tatsuo OHMACHI Atsushi SUZUKI, Masayuki KASHIWAYANAGI (38)
8. 大坝安全监测系统	N. kurosawa, jM. Nakuigawa, T. Terano (45)
9. 魁北克水电局的大坝计算机监测系统功能综述	P. 赫南代兹 S. 奥利格尼 J. G. 罗比乔德 (51)
10. Ancipa 坝的结构工程控制监测	M. Appendino, A. Garino, R. Perin, M. Ramello, L. Varetto (57)
11. 大坝安全监测的通用系统设计	J. M. Klebba, K. L. Huttman (63)
12. 龙羊峡大坝安全监测技术及反馈	丁国强 赵炳祯 李天扶 庄文中 郑建波 (70)
13. 二滩坝安全监测设计简介	张惠林 舒 涌 兰 建 (77)

专题 II :监测仪器及设备

1. 大坝变形自动监测仪器及监测系统在工程上的应用	吕 刚 潘普南 王向阳 刘广林 郑延海 (88)
2. 大坝监测设备可靠性	黄天成 任清珍 (95)
3. RDM-1 单片机遥测坐标仪	叶泽荣 王文兴 龚玉珍 王 伟 (100)
4. 大坝安全监测微机系统	罗训森 (105)
5. 真实世界中的传感器——对土工传感器及电缆的防雷保护	Shoup, Dale (111)

专题 III: 观测资料分析、分析方法和安全 评估

1. 已建水库土石坝安全度评价方法 李君纯 李 雷 (118)
2. 羊毛湾水库大坝渗流安全分析 刘嘉焯、杨正华 (125)
3. 混凝土坝坝基渗流场参数模型的优化反演研究 王士军、刘嘉焯 (131)
4. 应用模糊综合评判原理分析大坝异常工况 高 润 (139)
5. 土石坝沉陷预测的非线性灰色模型 马光文 王 黎 (144)
6. 测压管水位的反分析确定性混合模型 朱岳明 (150)
7. 大坝安全监测中的垂线变化 潘予生 任 叔 (155)
8. 监测数据的预处理及几种位移模型的分析 华锡生 岳建平 (161)
9. 混凝土坝空间位移场的动态监测 吴中如 王占锐 (169)
10. 混凝土温胀应力及拱坝应力指标的研究
..... 顾冲时 吴中如 阮焕祥 赵炳祯 费建东 李国正 (177)
11. 定量分析冻胀对土石坝变形的影响 刘望亭 顾淦臣 (183)
12. 利用灰色系统模型提高因子分解精度 刘观标 陆绍俊 (189)
13. 微机在线安全监控的方法及其应用 彭 虹 范学功 (196)
14. 从原型观测分析柘溪坝裂缝成因 王志远 潘 琳 (202)
15. 黄龙滩大坝裂缝监测与稳定性分析 李谷丰 林 兵 (208)
16. 混凝土大坝异常迹象诊断指标和大坝安全程度综合评价方法的探讨
..... 沈崇刚 庄万康 张进平 (213)
17. 陈村拱坝侧移变形性状分析 邢林生 方榴声 (219)
18. 由观测资料分析鲁布革大坝和坝基的工作状态 魏寿松 (227)
19. 丹江口水利枢纽混凝土坝渗流监测资料分析 沈淑英 熊支荣 (235)
20. 监控大坝位移性态的预报方程及参数反分析 张科锋 汪树玉 (240)
21. 大坝振动安全监测成果与分析 黄 涛 (245)
22. 葛洲坝工程基岩变形观测成果分析 冯兴常 李小平 (251)
23. 重力坝位移变化规律及其安全监控指标的探讨 李步娟 刘必秀 张晓林 (255)
24. 根据变形观测资料评述土坝安全的几个问题
..... 蒋玉田 邱福清 史兆琼 张朝礼 (262)
25. 某碾压混凝土坝段无应力变形分析 薛桂玉 李珍照 何金平 (268)
26. 七座混凝土坝实测变形性态的比较分析 李珍照 张淑丽 李 民 周绪银 (275)
27. 泉水双曲薄拱坝坝顶径向位移与坝内应变的相关分析
..... 唐寿同 李光宗 赖世和 董兆英 (281)
28. 碧石土石坝变形监测资料分析 李光宗 曾兼和 陈为人 (287)
29. 托海拱坝安全监测资料分析 卢新民 牟高峰 何 荣 张秀萍 张继军 (292)
30. 基于位移分布模型的弹模估计 史宇澄 李旦江 (296)
31. 中国华东地区六座混凝土重力坝可靠度分析 吴熊飞 聂广明 (304)
32. 混凝土坝裂纹形成与扩展计算模型 杨延毅 (312)

33. 已建土石坝的静力稳定性分析 阿斯霍克·K·丘夫(318)
34. 用实测值和有限元分析法评价 POIANA UZULUI 坝的安全
..... D·斯特马图, L·伊利换(323)
35. 应用监测和有限元分析评价海瓦西坝的补救措施 D.T. 泰纳尔(330)
36. 乌山头大坝之地震安全评估 陈锦清 李台生(337)
37. 大坝内部冲蚀及其安全——MATEMALE 坝和 NEPES 坝实例 J. J. Fry(344)
38. CHARVAC 高土石坝上采用的专家诊断系统
..... Radkerich D. B., Ledney M. N., Istochnikov V. V., Ivaskchenko I. N., Severov A. P. (349)
39. 水工建筑物安全概念
..... Zolotov L. A., Radkevick D. B., Semenov I. V., Ivaskchenko I. N. (354)
40. 牛路岭大坝坝内应力的统计分析 魏德荣 施济中 任永坚 钟秉章 王国庆(356)
41. 石门大坝溢顶风险分析 邱金火 洪章哲(363)

专题 IV : 大坝安全管理与工程加固

1. 梅山连拱坝右坝肩的失稳与加固 俞维扬 杨威义 金惠英(371)
2. 花溪水库大坝混凝土的病态诊断及处理 肖宁中(377)
3. 东江拱坝施工期裂缝及其处理 曹希克 涂传林 黄操衡 葛 辉 刘维富(383)
4. 新安江大坝第 2、3 坝段基础补强施工成果分析 吕兆富(391)
5. 丰满大坝病态分析及治理 曹钟毓(398)
6. 防洪与大坝安全 祝成润 王守谦(403)
7. 水电站大坝的安全检查 陈文清 戴成器(407)
8. 水电站大坝安全监测工作进展情况及改进意见 张日光 崔治平(413)
9. 利用高强度锚索加固混凝土坝 Fan, B. H., Wong, C. K. and Pataky, T. J. (417)
10. JOHN HART 坝考虑地震荷载后的加固和自动监测 Lou J. K., Lmrie A. S. (424)
11. 石门水库增建排洪隧道简介与探讨 江清乔 唐银山(432)
12. 大坝安全综合辅助培训 Samuel M. Huston(439)

专题 V : 其他

1. 大坝的环境水文地质及其效应 宋汉周 彭汉兴(444)
2. 正倒垂线观测大坝变形若干问题的探讨 张立英(450)
3. 喷灌结合处理水电工程渗漏技术 吕联亚(456)
4. 湖南镇大坝抗震分析和强震监测 李延芳 张日光 王正旭(461)
5. 浅谈水电厂水情自动测报系统在中国的发展应用 裴哲义 李明宗(469)
6. 受渗透水流影响的堆石坝的稳定性 Anders Worman(472)
7. 南华土坝现场碾压试验成果分析 林鸿达 仇·本·C·F 姚希林(479)
8. 工作室壁可变形的土工试验装置 Kheifitz V. Z., Petrashen I. R. (486)

中国的大坝安全监察

施济中^①、储海宁^②、叶丽秋^③、池胡庆^④

提要

本文简介了中国的大坝安全监察机构、立法、监测技术、安全管理状况。文中以较多的篇幅阐述了大坝安全监测技术和仪器的发展概况、在工程中的应用,及其对确保大坝安全的指导作用。文章最后指出了进一步推动中国的大坝安全监察工作的看法与建议。

1. 前言

我国水力资源十分丰富,理论蕴藏量达 676GW,可能开发的达 378GW,占世界首位,具有很多优良的水力地址。迄今为止,已有 38.3GW 被开发利用。目前正在施工的大中型水电站总装机容量达 19.139GW,预计到本世纪末,总装机可达 70~80GW。

我国有 2500 多年的筑坝史,但在 1949 年以前,建坝的速度很慢,仅建成数座坝。1949 年以来,在党和政府的正确领导下,建成各类大坝 86,000 多座,以满足防洪、发电、灌溉、航行及供水等不同功能的需要。据不完全统计,坝高大于 15m 的大坝有 18,670 多座(不包括台湾省)。在已建的大坝中,多数为土坝或堆石坝,而高坝的绝大多数为混凝土坝。在各类坝型中,最高的混凝土重力坝为刘家峡大坝($H=147\text{m}$),最高的重力拱坝为龙羊峡大坝($H=178\text{m}$),最高的连拱坝为长滩大坝($H=98.8\text{m}$),最高的支墩坝为湖南镇大坝($H=129\text{m}$),最高的砌石重力坝为朱庄水库大坝($H=95\text{m}$),最高的砌石重力拱坝为群英水库大坝($H=100.5\text{m}$),最高的土坝为石头河土坝($H=105\text{m}$)。正在兴建的二滩拱坝($H=245\text{m}$)和天生桥面板堆石坝($H=180\text{m}$)即将完建,这标志着我国坝工建设和大坝安全监察工作的新开端。

2. 我国的大坝安全管理与安全立法

2-1 大坝安全管理机构及职责

我国的大坝分别由能源部和水利部管辖,水电站大坝由能源部管辖,综合利用的水库大坝由水利部管辖。

① 中国水力发电工程学会理事、大坝安全监测专业委员会主任、高级工程师

② 中国水力发电工程学会大坝安全监测专业委员会副主任、高级工程师

③ 中国水力发电工程学会理事、大坝安全监测专业委员会副主任、高级工程师

④ 中国水力发电工程学会大坝安全监测专业委员会副秘书长、高级工程师

大坝安全涉及上、下游工农业生产、人民生命财产及国民经济的安全,因此必须贯彻预防为主、安全第一的方针,必须从设计、施工到运行的每个环节上都得到保证。

- 勘测、规划设计等前期工作中的大坝安全,由设计院负责,水利水电规划设计总院负审查责任。
- 施工中的大坝安全和工程质量由有关施工单位按工程招标合同的要求各负其责,业主单位和水利水电建设局负有监督责任。
- 竣工验收后,运行中的水电站大坝安全管理由水电厂负责,主管电管局、电力局、开发公司负有确保大坝完好、安全运用的责任。
- 能源部电力司负责水电站大坝安全管理的日常工作。
- 能源部大坝安全监察中心对运行中的水电站大坝实行安全监察,对部负责并报告工作。各电管局或电力局设立地区性安全监察机构,在部大坝安全监察中心的指导下,对所辖大坝开展具体的大坝安全监察业务。
- 能源部南京资料分析中心承担观测资料的分析工作,对大坝实际工作状态作出评价。
- 水利部水管司全权管理水利部所属大坝的安全管理工作。各地区水利主管部门承担本地区所辖坝的安全管理工作。
- 水利部大坝安全监测中心负责水利部所辖坝的监测技术工作。

2-2 大坝安全立法

为了加强大坝安全的全过程管理,我国在不断完善原有的大坝设计及施工方面的技术规范、规程的基础上,近几年来又相继颁发并实施相应的技术规范或法规:

- 1983 年,原水利电力部颁发的“水利水电工程管理条例”。
- 1987 年,原水利电力部颁发的“水电站大坝安全管理暂行办法”。
- 1988 年,中华人民共和国主席令第 61 号颁发的“中华人民共和国水法”。
- 1988 年,能源部颁发的“水电站大坝安全检查施行细则”。
- 1989 年,能源部、水利部颁发的“混凝土大坝安全监测技术规范”。
- 1991 年,国务院颁发的“中华人民共和国防汛条例”、“水库大坝安全管理条例”。

2-3 加强大坝安全管理的主要措施

- 设立安全管理机构,形成安全管理网络。
- 通过立法,明确各级机构及其领导的法律责任。
- 对涉及大坝安全的设计项目严格审查。
- 设置专职的施工质量检查机构负责大坝的质量检查及记录。
- 做好施工期和第一次蓄水的原型观测及检查。
- 开展大坝安全日常巡查、年度详查、定期检查和特种检查。
- 对有缺陷的大坝及时进行补强加固;对有严重缺陷的大坝编制“险情预计及处理计划”,并及时除险加固。
- 对老坝的监测设施进行鉴定,根据鉴定的结果进行更新改造。
- 对运行人员定期进行培训,不断提高运行管理水平。
- 切实保障用于大坝安全监察方面的经费。

2-4 大坝安全监测的学术团体与学术活动

从 1982 年以来,在中国水力发电工程学会和中国水利学会的支持下,先后成立了不少大坝安全监测方面的学术团体:

- 水工建筑物观测情报网。
- 大坝安全监测技术组。
- 中国水力发电工程学会水电站运行管理专业委员会大坝管理与监测分会。
- 中国水力发电工程学会大坝安全监测专业委员会。

这些学术团体,每年召开年会,进行大坝安全监测学术交流,先后组织大坝安全监测技术的研讨班、培训班数十期,并开展国际学术交流,大大地促进了我国的大坝安全监测工作。

3. 中国的大坝安全监测技术与实践

中国的大坝安全监测工作于 50 年代开始起步,监测技术随着坝工建设的发展而不断提高,近十余年来更有了长足的进步,大坝安全监测的各种设施正在起着大坝安全监测的耳目功效。

3-1 监测信息与大坝安全

由变形、渗漏、应力应变等监测仪器得到的信息,通过分析计算,可以判断大坝的工作性态,及时发现异常情况,以便采取措施,避免事故的发生:

- 梅山大坝从坝基大量漏水,垂线测值异常,裂缝等信息,分析出右岸基岩可能发生错动,因而及时采取措施,避免了恶性事故的发生。
- 龙羊峡工程的施工围堰在 150 年一遇的大洪水下能否安全渡汛,在很大程度上依靠埋在围堰中 48 支仪器及时提供的有效信息。
- 截流后的葛洲坝工程第一个汛期,就遇到历史上少有的洪水,也是依靠大量的监测仪器对结构物和地基工作状态监视的信息,安全渡过了汛期。
- 运行中的龙羊峡大坝,1988 年入库水量达 324 亿 m^3 ,为控制下游虎丘山岩坡滑塌,以免危及水电站安全运行,要求有节制地启用泄水道和限制流量,这就面临着能否将上游蓄水位 2545m 上升到 2575m 以抉择。根据业已进行的理论分析和模型试验结果,结合大坝安全监测资料分析判断,决定提高水位,这样不仅安全渡汛而且多发电 3900Gwh。
- 羊毛湾、王瑶、酒埠江等土坝,利用变形资料预测滑坡或潜在裂缝可能发生的部位、性质和发展趋势,解决了这些坝的加固和安全运行。

3-2 监测信息检验设计、指导施工

现代坝工理论尚不能对复杂的水工建筑物及其基础进行精确的计算,借助监测设施所得的资料来验证理论,修正设计是一种有效的途径:

- 丰满、云峰等大坝都以实测坝基扬压力图校正设计值,来复核大坝的稳定性。
- 葛洲坝二江泄水闸闸墩的配筋,理论计算为承受压应力,但埋设在闸墩中的钢筋计却显示出该处拉应力达 300MPa,在大江闸墩设计时及时进行了修正,使实测拉应力减少到 16MPa。

施工期的监测信息对了解施工质量及采取合理的施工措施有指导作用:

- 丹江口大坝施工时坝内温度资料分析,指导了纵缝灌浆作业,并为分析坝体裂缝的产生提供依据。
- 柘溪大坝施工期应变监测资料反映出坝体浇筑中采用两种不同水泥而产生两种不同的自生体积变化,对应力分布产生很大影响,从而在后续施工中注意采用水泥和工作缝的布置。
- 潘家口大坝施工中有的基础温差超过规范标准竟达 30°C 以上,而实测应力并没有出现过大的拉应力,甚至多数测点还处于压应力状态,这对施工中温控标准及裂缝产生的防止带来新的启示。
- 新安江等大坝的实测资料还反映出,设有竖向纵缝的混凝土坝,即使按常规进行冷却、灌浆处理,但在运行期季节性温差的影响下,纵缝的局部张开仍不可避免,因此有可能改进传统按整体断面核算坝体应力及灌浆工序。
- 西北口混凝土面板堆石坝在施工过程中,根据建立的变形监控模型及对坝料特性的非线性参数的反演分析,指导了施工和设计。

3-3 监测信息推动坝工技术的发展

迄今为止,坝工技术仍面临许多尚待进一步研究解决的课题,借助大坝安全监测及其资料分析所得的成果,不失为有效途径之一:

- 对坝体抗震问题的认识,就是随着建筑物实测震动反应资料的分析而加深的。新丰江大坝由于对水库诱发地震长期监测,获得大量资料,取得了水库地震与混凝土坝抗震方面的重要科研成果。
- 刘家峡大坝的横缝设有键槽并灌浆,从对几个坝段的水平位移资料分析,发现横缝实际上发挥了传力作用,为认识此类坝的空间作用提出了定量的依据。
- 乌江渡等大坝埋设在孔口上和水工钢筋混凝土中的钢筋计反映出完全出现拉应力的只占 8%,这给水工钢筋混凝土的应力分布与合理配筋提出了新的思索课题。
- 恒山等大坝利用监测资料对混凝土实际弹模、温度膨胀系数和断裂韧度进行反演,反演的结果混凝土弹模大于设计值,并且与钻孔取样相仿、负温下的膨胀系数比正温时剧增、断裂韧度也大得多。

这些大坝和地基的物理力学参数的反演,深化了人们的认识。

3-4 监测仪器与自动化

大坝安全监测不但需要有精通业务的观测人员,而且还需要有各类性能良好,经久耐用的仪器。从 50 年代中期起中国已开始研制和生产有关的监测仪器。经过几十年,特别是近十余年的努力,无论从仪器原理、品种、性能和自动化程度,都已取得了很大的发展。目前我国在混凝土坝中采用的仪器,除传统的差动电阻式仪器(卡尔逊仪器)、钢弦式仪器、精密光学测量仪器外,还采用陆续研制的电容式、电感式、步进电机式、激光等新型大坝监测仪器。这些仪器都具有不同程度的自动化遥测水平。这些仪器具有精度高、观测周期短、劳动强度低、便于计算机数据处理等优点,已用于工程实践,收到很好的效果。土石坝仪器稍逊于混凝土坝仪器,内部仪器主要采用传统的钢弦式仪器,有孔隙压力计、位移计和土压计。近 10 年也研制了一系列新型仪器。

为使国产仪器标准化,原水利电力部、能源部、水利部已先后颁布了《差动电阻式观测仪器的六项国家标准》、《土石坝测试仪器系列型谱》、《水利水电工程岩石测试仪器系列型谱》、《混凝土坝监测仪器系列型谱》等。现根据不同的用途简介如下:

3-4-1 变形监测仪器

- 电容式系列:有 RZ 型垂线座标仪,可用于量测水平位移;RY 型引张线仪,可用于量测水平布置的引张线和坝体测点之间的相对水平位移;SRY 型双向引张线仪,可用于量测单向水平位移及测点垂直位移。此类仪器测量位移的精度可达 0.15mm,遥测距离可达 1000m。
- 步进电机式系列:有 WYC 型垂线仪和三维垂线仪,可用于量测垂线与坝体的相对位移;WYY 型引张线仪,可用于量测水平位移。此类仪器测量精度可达 0.1mm。
- 激光准直仪:有真空管道与大气两类,可用于量测坝体水平、垂直位移。真空激光精度可达 0.1~0.2mm。
- 静力水准仪:VAMS 型大坝垂直位移自动监测系统,可用于量测坝体或坝基的垂直位移。测量精度为 0.1mm。
- 多点深层变位计:可用于量测基岩深层的变位,分辨率为 0.01mm。

3-4-2 渗流监测仪器

- GYY 型扬压力仪,可用于量测扬压力,精度为测量范围的 1.0%。
- 渗流量监测仪,可用于量测排水管、集水井的渗流量。

3-4-3 新开发的土石坝监测仪器

- 表面位移计:有 GXV 型、TSJ 型、3DM-200 型。
- 测斜仪:有 CX 型、BC 型、XCX 型。
- 沉降仪:有 CT 型、水管式、YS 型。
- 水位计:有多种类型的遥测水位计。

3-4-4 自动监测系统

- DAMS 大坝自动监测系统,主机包含集控单元,内部、倾斜、基岩、渗流、垂线、引张线检测等单元量测和控制设备,能实现监测数据采集自动化。
- DSIMS 大坝安全信息管理系统,通过 286 或 386 微机和上述 DAMS 型大坝自动监测系统联机运行,该系统共有 15 个子系统,包含 100 个主要功能模块,可以实现数据自动采集和自动处理。

上述 DAMS、DSIMS 系统,是 90 年代初的研究成果,该系统的试制产品已在一些工程中应用。

3-5 监测资料分析与数据库

近十年来,随着电子计算机的普及与应用,资料分析工作发展很快。统计模型、确定性模型及混合模型等分析方法已被普遍用于工程实践。此外,对建立大坝位移量的分布模型方法及将单个测点的确定性模型扩展为空间多测点确定性模型,也在一些工程中研究应用。有些学者正在利用随机有限元、模糊数学、灰色理论等寻求新的分析途径。据统计现已开展过资料分析的混凝土大坝有 40 座之多:

- 河海大学、武汉水利电力学院、南京资料分析中心等单位结合对刘家峡、佛子岭、丰

满、新安江等大坝性态的分析,探讨了非线性参数估计、冰胀因子的数学模型、最佳统计方程的连续自动计算、自变量因子密切相关对模型的影响、监测数据的处理和预报等问题。

- 成都勘测设计院、长江科学院、天津勘测设计院、广东省水利科学研究所、水利水电第八工程局等单位,结合对泉水、柘溪、龚咀、葛洲坝等大坝的内部监测资料,进行了分析,深化了人们对大坝结构性态的认识,为验证设计和改进施工方法,提供了重要信息和经验。
- 大坝中心、北京水利水电科学研究院、南京水利水电科学研究院、南京资料分析中心、长江科学院、甘肃省电力局、丰满电厂等单位,开发了微机数据库和信息管理系统,实现了资料存贮、加工、绘图和计算分析自动化,促进了大坝监测资料分析的规范化和制度化。

我国的大坝监测资料分析工作已开始从离线分析向在线分析发展。已完成研制,并在某电站试用的微机自动化监控系统就配备了,包括信息管理、数据处理、数学模型、监控指标、性态分析、异常报警在内的监控软件,以便进行实时监控。目前,有关部门还正在开发大坝安全综合评判专家系统,这一切表明我国的监测资料分析工作将走上一个新的台阶。

4. 结语

综上所述,我国的大坝安全监察工作已取得了可喜的成果,但随着高坝数量的不断增加,许多老坝坝龄的增长,老化问题的产生,使我国的大坝安全监察工作仍面临着繁重的任务,仍需重点抓好以下几个方面的工作:

4-1 完善法规体系

大坝安全法规是实行大坝安全监察的依据,一定要认真贯彻执行,并不断完善。

- 根据“水库大坝安全条例”和近几年的实践,对“水电站大坝安全管理暂行办法”和“水电站大坝安全检查施行细则”进行修改充实。
- 根据“水库大坝安全条例”编制“大坝加固和改造工程设计、施工、验收暂行规定”、“大坝安全注册规定”、“水电站大坝安全监测工作管理办法”等配套法规。
- 编制“土石坝安全监测技术规范”。

4-2 继续搞好大坝安全定期检查

大坝安全定期检查是加强安全管理、保证大坝安全运行的重要环节,一定要认真做好。根据“大坝安全定期检查规划”的安排,自1987年以来,已完成了24座大坝的定期检查工作,1992年正在进行的有47座,要求到1995年全部完成108座大中型水电站大坝的第一轮定期检查工作。

4-3 做好老坝的补强加固工作

大坝的完好是安全运行的基础,要根据大坝安全检查中发现的各种缺陷,认真做好补强加固设计,要确保补强加固的施工质量,要求在2000年以前,基本完成108座大中型水电站大坝的消缺工作。

4-4 抓紧做好老坝监测设施的更新改造工作

根据“老坝监测设施更新改造规划”的要求,在对现有监测设施进行全面鉴定的基础

上,做好监测设施的更新改造设计,然后按规定期限逐步实施,以提高大坝的安全监控水平。

4-5 进一步开展各项大坝安全监测技术活动

- 开展大坝老化机理研究及相应的监测方法研究。
- 开展补强加固新材料和加固方法的研究。
- 继续开发高质量的、可靠的自动化监测设施。
- 继续开展大坝安全监控指标研究,充分发挥观测资料分析成果的功能。
- 根据安全监测的实践成果,做好设计反馈工作,改进设计理论。
- 定期举办监测技术培训班,不断提高监测人员的技术水平。
- 加强国际间的学术交流,取长补短,不断提高我国的监测水平。