

大坝安全监测与监控

Dam Safety Monitoring and Controlling

王德厚 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

大坝安全监测与监控

Dam Safety Monitoring and Controlling

王德厚 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是一本以大坝安全监测和监控为主题的论文集,遴选了作者及其同事多年来在这一领域的很多重要研究成果,共计 29 篇。内容包括大坝安全监测总论、监测资料分析与大坝安全监控模型研究、三峡工程安全监测系统研究等三个部分。这些研究成果具有较高的理论价值和实用价值。

本书可供从事工程安全监测事业的技术人员、水利水电科技工作者和大专院校相关专业的师生参考、使用。

图书在版编目(CIP)数据

大坝安全监测与监控/王德厚编著. —北京:中国水利水电出版社, 2004

ISBN 7-5084-2365-8

I. 大 ... II. 王 ... III. 大坝—监测—文集
IV. TV698.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 093114 号

书 名	大坝安全监测与监控
作 者	王德厚 编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
经 售	
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京密云红光印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 17.25 印张 409 千字
版 次	2004 年 10 月第 1 版 2004 年 10 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	45.00 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

序

教授级高级工程师王德厚编著的《大坝安全监测与监控》一书，集中了作者和他的同事多年来在大坝安全监测和监控方面的研究成果，涉及大坝安全监测的理论和发展方向，总结了诸多工程实践经验和体会，思路正确，理念新颖，内容丰富，该书即将由中国水利水电出版社出版。很荣幸为该书写序。

修建大坝是人类开发利用水资源的重要手段，但也隐含着很多风险。为了保证大坝安全运行，大坝安全监测已越来越受到工程管理部门和工程设计、施工、科研单位的高度重视，大坝安全监测的理论和技术也得到不断的发展。作为一个新兴的科学技术领域，很多有才华的科技人员，为之投入精力，潜心研究，在大坝安全监测和监控的各个方面取得了大量有价值的成果，为现代工程安全监测和监控学科的发展打下了坚实的基础。

本人与作者有 20 多年的工作交往，在共同承担“三峡水工建筑物安全监测与反馈设计”、“三峡工程安全监测决策支持系统总体设计”等重大研究课题和监测项目中有密切的合作，感到作者对这一专业有深厚的造诣、执着的追求、认真的工作作风和不断探索的精神。

本书第一部分关于大坝安全监测系统的论文，阐述了作者基于对大坝安全与风险的认识，以系统学的观念，用系统工程的方法建立大坝安全监测和监控系统，发展安全监测技术的思路和方法。第二部分关于资料分析和大坝安全监控模型的论文，收集了作者对葛洲坝工程二、三江建筑物安全监测资料进行处理、分析和建立监控模型方面的一些研究成果。书中关于建立大坝变形的确定性模型的论文反映了作者在这一领域有较深入的研究，特别是关于大坝基础岩体力学性质和变形规律的模拟计算有不少独道

之处。第三部分汇集了近 10 年来作者和他的同事按照现代大坝安全监测和监控理论，对三峡工程安全监测系统设计和实施的意见和建议，包括监测系统结构优化、仪器布置优化、施工期监测、监理和管理、安全监测决策支持系统研究等内容。其中大部分成果已被工程设计部门和工程管理部门所采纳。

大坝安全监测和监控是一个有很大发展空间的新领域。本书在这一方面作了深入探索，理论结合实际，经验与教训并重，是一本适于从事工程安全监测专业人员阅读的书籍。我深信本书的出版对推动现代工程安全监测和监控理论的发展和技术水平的提高将会起到积极的作用。

中国工程院院士

吴中如

2004.7

前言

我国已建各类大坝 84000 多座（2001 年统计数据），分属两大系统管理。其中，国家电力公司系统负责管理 130 多座大坝，以大中型水电站为主；其他绝大部分水坝由水利部系统的企事业单位管理。由民营企业投资建设的水电工程近几年也已出现。为了保证大坝安全运行，对大坝的安全管理亟需加强。大坝安全监测是安全管理的耳目，是了解和掌握大坝性状变化和安全状态的主要手段。对此，不但大坝设计、建设和管理单位十分重视，而且，国家安全生产管理部门及社会各界也非常关心。当今大坝安全监测与监控已成为一个新的科学技术领域，它贯穿于水利水电工程、岩土工程的全过程，涉及工程结构、岩土力学、监测技术、仪器仪表、数值计算、随机数学、计算机技术、系统工程等，成为一个跨学科的专业。

大坝安全监测与监控也是一个正在发展的专业。它的基础理论需要逐渐夯实；它的发展方向需要进一步明确；它的很多新理念、新方法、新技术需要逐渐被人们所理解和熟悉，并逐步在工程设计、施工和管理的过程中得到应用，以发挥它的巨大潜能，促进水利水电工程技术的不断提高。

作者在大学所学的专业是固体力学，在水利科研部门已工作 30 多年，长期从事工程结构数值计算和安全监测工作，对这一专业有着浓厚的兴趣。近来把以往发表的一些论文和研究成果收拢起来再次品味，觉得仍有参考价值，特别是对一些刚刚步入这一领域的青年技术人员，本书有承前启后之作用。故把它们收集成册，付印出版，希望能对这一专业的发展起一些促进作用。

本论文集分三部分。第一部分：大坝安全监测总论。主要探讨有关安全监测的概念、内容、发展方向和若干一般性问题。读

者可以通过这几篇论文了解当今大坝安全监测和监控技术发展的
一些情况及存在的问题；其中，《简论水工建筑物及其基础安全
监测系统设计》是国家设计大师曹乐安教授生前关于水工建筑物
安全监测的一篇专论，文中的论点对现代工程安全监测与监控理
论的建立和发展具有指导意义，本人从中受益匪浅，特录为第一
篇。第二部分：监测资料分析与大坝安全监控模型研究。大部分
是本人及其同事在 20 世纪八九十年代从事工程安全监测资料处
理、分析、解释工作的一些成果，理论结合实际，有一定的示范
性，展示了一个完整的大坝安全监测资料分析报告所应包括的内
容，其中，很多计算分析方法是常用的、行之有效的，可供初学
者借鉴。第三部分：三峡工程安全监测系统研究。汇集了近 10
年来作者与其同事在三峡工程安全监测系统设计、建设各个阶
段的一些主要研究成果，内容丰富，有一定深度，可供从事大型水
利水电工程安全监测系统研究、设计、施工的工程技术人员
参考。

本文集虽然不是一本自成系统的安全监测专著，但它涉及了
大坝安全监测的各个方面；虽然不是一本正规的教科书，但它给
从事这一领域工作的技术人员指出了具体的工作程序和方法；虽
然不是一本理论著作，但它提出了现代工程安全监测和监控理论
的很多新理念、新思路，可供读者思考和研究。

本文集的作者除本人外都是曾与作者共同工作过的同事，是
他们的智慧和成就为本文集增添了光彩，在此一并表示谢意。中
国工程院院士吴中如教授欣然为本书作序，使本人受到很大鼓
舞，特表示感谢和敬意。

大坝安全监测和监控是一个广阔的专业技术领域，由于作者
水平有限，书中难免有说法不当、错误之处，恳求读者批评
指正。



2004 年 7 月

目 录

序
前 言

大坝安全监测总论

3	简论水工建筑物及其基础安全监测系统设计.....	曹乐安
15	大坝安全监测技术的发展趋势与三峡工程安全监测系统设计	王德厚
21	对大坝安全与监测若干问题的再认识	王德厚
26	论大坝安全监控的思想和方法	王德厚
32	浅论大坝安全判据研究	王德厚
39	大坝安全监测工作的一些历史回顾	王德厚

监测资料分析与大坝安全监控模型研究

49	大坝安全监测资料的采集、处理、解释及其自动化	王德厚
59	混凝土大坝安全监控方法与监控指标研究	冯兴常 王德厚
70	用决定论模型进行大坝安全监控	王德厚
81	岩体工程数值计算中的地质概化模型研究	王德厚
95	建筑物基础的地质概化模型	王德厚 曹乐安
101	岩体弹塑性问题的有限元计算	王德厚 黄自成
111	葛洲坝水利枢纽安全监测系统及预报模型检验	王德厚 赵全麟
120	葛洲坝二、三江主要建筑物观测资料分析和研究	王德厚 刘崇干
134	葛洲坝工程二江泄水闸监测资料分析及实际安全度评价	王德厚 刘崇干 王昌明 马能武
151	葛洲坝二江泄水闸预应力闸墩工作性态分析及安全评价	刘祥生 王德厚

164	隔河岩重力拱坝位移监控模型研究	王德厚 陈 进
175	三峡水利枢纽双线五级船闸高边坡安全监测资料研究分析 报告简述	王德厚 冯兴常

三峡工程安全监测系统研究

183	对三峡工程安全监测系统的基本考虑	董学晟 王德厚
190	关于三峡工程安全监测系统技术设计	成昆煌 王德厚
196	建立三峡工程安全监测系统需要研究解决的问题	王德厚 杨栽和
203	应该重视三峡工程施工期间的安全监测	王德厚 李 迪 等
209	对三峡工程安全监测数据采集和资料管理系统的建议	王德厚 杨栽和
217	三峡工程安全监测系统结构优化研究	王德厚 杨栽和 贺贵明
236	三峡工程安全监测系统信息网络研究	王德厚
243	三峡工程安全监测系统仪器布置优化研究	王德厚 刘景德 华锡生
248	三峡水利枢纽建筑物安全监测决策支持系统总体设计简介	王德厚 李端友
256	安全监测工程的实施与监理	王德厚
263	三峡工程安全监测系统的几个特点	王德厚 储传英 施济中

大坝安全监测总论

简论水工建筑物及其基础 安全监测系统设计

曹乐安

摘要:曹乐安(1915.11—1991.4)国家勘测设计大师,我国著名水利工程专家,水利部长江水利委员会原副总工程师。本文是曹总生前关于水工建筑物安全监测的一篇专论。其中关于安全监测的目的、安全监测系统的结构、量测系统的设计原则、资料管理系统的建立等论述,指导了葛洲坝、三峡等我国大型水工建筑物安全监测系统的设计,为现代安全监测和监控理论的发展做出了贡献。

关键词:水工建筑物;安全监测;量测系统;资料管理系统

1 引论

水工建筑物及其基础的设计、施工与运行,已经积累了相当丰富的实践经验,由于目前人们对建坝所需研究的地质条件、水文情况、自然环境因素的影响、水流的耗损作用等,在认识上尚有一定的局限性。因此,在大坝建设中还难免潜在万一的风险,再加上大坝下游,常有人烟稠密、经济发达的地区,一旦不测,损失惨重。所以,有关大坝及基础的安全问题,已引起普遍的关注与重视,对大坝及基础运行性状的监测,就成为保证其安全运行所必备的措施。

监测是指直接或藉专设的仪器,对基础岩体及建筑在其上的水工建筑物,从施工开始前及在施工过程中,水库第一次蓄水过程中以及随后的运行期间所进行的量测与分析,达到下面三个目的:

(1) 为了短期(水库第一次蓄水)和长期大坝及基础统一体的安全,对运行性状进行监测。

(2) 为了提高将来设计水平,将实际状况与设计预测的进行对比。

(3) 掌握施工过程中坝与基础的实际性状,据以修改、补充设计或施工技术方案。

要达到第一个目的,首先要能准确、及时地提出监测资料;特别要能及时检测出反常性状。完成第二、三个目的所要求的任务,必须要由有经验的工程技术人员掌握一个比较符合实际的设计模型或预报模型,通过预测与实测值的对比,来检验和判断设计所采用的参数和假设与实际相差的程度,做出相应的修改、补充,达到提高设计和施工水平的目的。

例如,葛洲坝工程的建设,虽有细致周到的勘探、测验工作,全面深入的科学研究,先进审慎的设计作为依据,但由于工程本身的重要性,对主要水工建筑物及其基础的实际性状,从施工开始到正常运行的漫长过程中的可能变化进行监测,仍属十分必要。为此,

在工程设计的初始阶段,就将观测设计列入设计整体计划。随着修改初步设计工作的展开,逐步明确必须针对葛洲坝工程本身在基础上和建筑物上的特殊问题与关键技术问题组织监测方案,而且要以建筑物与基础作为整体来衡量夹有多层剪切带的软弱岩体性能,以及在长期运行中的变化趋势,乃是整个工程的安危所系。因此,对基础的监测,应该列为监测的重点,从沿坝轴线的地质条件比较可知,二江泄水闸的一、二闸段六个闸孔的基础为薄层岩体,抗剪强度低的剪切带就处在建基面下,其下游部位又为一条倾向上游的小断层所切割,形成临界的浅层滑动格局,是影响整个枢纽安全的关键部位,而二江泄水闸在主要建筑物中,又担负着控制运行安全的重大任务,据以上两方面的情况,二江泄水闸也应是监测的重点。从而在葛洲坝工程的监测设计中,演变出既包括一般的监测内容,更着重工程本身的特殊与关键项目的监测方案。要把上述监测方案付诸实施,实践使我们认识到在安全监测系统的设计与管理方面必须正确处理以下几个问题。

(1) 安全监测系统的结构要完整。要形成比较完整、可行的安全监测系统,首先要转变设计方面的两种积习:一种是只重视布置为量测环境原因量(水位、气温、水温)和结构效应量(变形、应力、应变、坝体内温度、基础渗压、渗流、渗水水质等)的量测系统,而对从量测系统收集到的实测资料数据,至多在运行初期检验其变化趋势,或满足于查看大坝管理单位发送的定期表报,至于如何判别实测资料的可靠程度,如何及时处理分析实测资料,如何及时地根据对实测资料的处理分析结果来解释建筑物及其基础的实际运行性状与安全程度,则比较放任;有的则在布置观测仪器时倾向贪多,而对浩繁的观测资料堆积不问,对这种现象必须提醒。另一种是只尊重专业分工的规定,划分为“外部”和“内部”观测,既不顾对本结构整体反应的效应量,分裂地进行观测,也不顾综合“外部”和“内部”观测资料,对建筑物的整体性状进行评价。这两种积习是和当前国内外先进的大坝安全监测系统设计的发展趋势背道而驰的。回顾我国在50年代,基本上和某些外国同时开展对大坝的安全监测工作,时至今日,已经过去30余年,我们的水平不但提高不多,而且与那些国家的差距却拉大了,究其原因,与这两种积习是有千丝万缕的联系。从80年代初开始,我们紧密结合葛洲坝工程安全监测的实际需要,特别是要求从整体上,及时判明以二江泄水闸及其基础为代表的枢纽建筑物的实际性状,促使我们逐渐和这两种积习脱离,协调地开展探索工作,已经获得虽是初步的但是实用的成果。

据近几年的探索,我们认为安全监测系统的结构,应该包括两个子系统:第一个子系统为由量测或观测环境原因量与结构效应量的仪器设备以及人工测读所组成的量测系统;第二个子系统为对实测的原因量及效应量进行处理、解释、储存的资料管理系统。研制第二个子系统的目的,首先解决资料处理、解释和建立数据库的方法问题,其次则在运用近代计算技术和计算机技术的基础上,选用适合现场使用的硬件,并建立软件与之相适应,使其能自动进行资料处理、解释,以利及时掌握建筑物及其基础的运行性状,及时评价其安全程度。目前,葛洲坝工程安全监测系统的第一个子系统——量测系统已基本建成,第二个子系统已经初具规模,尚等在实践中进一步完善,其中,特别是实测值与预报模型理论值两者间偏差的容差限值是评价安全程度的一个重要标准,还须根据对正常运行后一定期间内统计值的分析,才能抉择。因此,在今后完善资料管理系统的一段过渡时期内,可采取以下两个步骤:

第一步,在人工采得效应量的资料数据后,可利用资料管理系统的数据处理及建立数据库的功能,画出变形、渗水量、渗压力、局部或个别重要部位的结构应力等效应量的变化趋势,据以衡量建筑物及其基础的安全状况。

第二步,与第一步基本同时,反复检验作为解释模型的统计学、决定论和混合模型^①,并积累上述实测值与理论值之间偏差的容差限值的统计资料,从而达到据预报(解释)模型及相应容差限值来衡量安全状况。

(2)参考国内外大坝安全监测的经验教训,有不少的坝出现险情的部位并不发生在装设仪器监测的断面上;也有监测仪器装设齐备的大坝然而却失事了。因此,安全监测系统并不能包揽大坝的安全,这是必须正确认识的,因为不论安全监测部位如何周到,监测项目如何齐全,但就枢纽整体而言,仍属局部;而且人们对事故类型、可能发生的部位和时间,尚不可能预料。为了确保枢纽整体的安全,纵使有了符合枢纽建筑物及其基础实际、具体条件比较周全的量测系统,也还必须要有掌握和熟悉建筑物及其基础全面情况的监测人员或设计人员,进行经常的或定期的全面、深入、认真的现场目视检查,与之紧密结合,庶几可以对整个枢纽的安全状况以及在后续运行中应该注意的事项或需采取的措施,作出可靠的评价。

(3)衡量效应量的变化,是以原始状态为依据的,所以量测系统中基点、工作点、测点、仪器设备等埋设装置的时间,都必须妥善地做出安排,以取得描述原始状态的初始值。为此,一方面要在设计中予以周到的考虑;另一方面要在施工中作为一道必不可少的工序,按规定要求进行,并在安装完成检查合格后,测量初始值,这里特别要提出:作为变形量测系统的控制网,必须在破土动工前建立好,也应测量得初始值。

(4)效应量的实测值,是我们据以判断建筑物及其基础运行性状和安全程度的根据。因此,它的首要的条件必须可靠,道理是很显然的,但在诸多的实测值中,由于种种原因,误差却是不可避免的。因此,首先对采集到的实测资料进行可靠性检查,然后才对可靠的实测资料进行其他处理、解释、归档,这是保证对实际性状和安全程度作出可靠评价,即是关系到整个监测系统有效性的重大问题,强调指出资料可靠性检查的意义,是不为过的!

由于坝与基础统一体是一个比较复杂的实体,因此,要求有一个周全而又适用的监测系统来进行监测。下面结合葛洲坝工程的具体实际,就监测系统的必备条件、监测内容以及量测、处理、解释、储存等子系统的主要设计进行阐述。

2 监测系统的必备条件

水工建筑物及基础受周围环境因素变化的作用,按各自的物理力学性能对那些作用作出不同的反应。于是,就监测建筑物及基础的性状而论,将视原因或环境量(由于其变化导致建筑物及基础内部的变化)与效应量(构成建筑物及基础对原因量的变化产生的反应)两类不同的物理量而定。

一般说,作用于建筑物及基础的主要原因量有:库水位、气温、水温及建筑物与基础

① 决定论模型(英文为 deterministic model)现翻译为确定性模型。

材料温度、降水（降雨和降雪）、大气状态（湿度、气压及风情）、冰厚、地震、洪水，基础及库岸岩体的失稳。就葛洲坝工程的具体情况来看，可能的影响因素有：降水而导致基础渗流的变化；大气状态导致建筑物体积与受力的变化；库水深度使库底倾斜导致位移的变化；超出设计的洪水导致漫溃；由于未能察觉整个坝基是古滑坡体的一部分导致整体滑走，或由于库岸坍塌导致巨大涌浪；坚厚冰体的推力；地震的破坏等。有的影响极微，有的可根据将来运行情况酌予考虑，有的影响根本不存在。因此，可以认为水位（包括上、下游的水位）及温度是起决定作用的原因量。

建筑物及基础一般产生下面一些效应量：内部应变及应力；局部应力集中；绝对的和相对的水平与垂直位移、偏转；接缝及裂缝的张合；渗流流量、渗水水化学及其浑浊度；扬压力及孔隙压力；以及坝与基础材料物理力学性能的改变等。例如，在葛洲坝枢纽建筑物及基础岩体特定条件下，有必要对上述效应量进行全面监测，但影响枢纽整体安全的关键效应量，则依次为：基础岩层的绝对水平位移（是否会沿抗剪能力弱的剪切带产生意料所不及的向下游大量滑动），基础岩体渗流变化（是否会削弱建筑物及基础的整体抗滑能力，是否会沿剪切带或断层产生意外的管涌现象变化），基础岩体不均匀垂直位移（是否会产生过大的不均匀沉降，导致建于其上的水工建筑物产生过分的变形，不但其本身发生影响安全的裂缝，而且波及装设在建筑物上的控制闸门，使之运转不灵），某些接缝的压缩变化（指监测岩体位移的某些接缝，如若压缩量比预期的大或压缩过程比预期的长，都将改变所在建筑物的受力条件，甚至影响安全），以及岩体中剪切带岩石物理、力学、化学性能的演变（是否会削弱强度和因软化而变形增加）。以上只是从两类物理量的静止状态来谈的，事实上，随着时间的推移，不论原因量或效应量都在不断地变化着，为了评价与建筑物及基础反应模式有关的相应相关程度，有必要测出两类物理量随时间的变化程度，从相应相关关系就可评价变化着的原因量与效应量对整体安全的影响。

要使监测系统能够完满地完成监测建筑物及其基础对水位、温度这两项主要原因量的反应任务，并且及时地评价各个效应量所表示的安全程度，一个有效的安全监测系统必须具备以下三个条件：

第一个必备条件是：量测的速度与频度需与量测物理量的演变速度相一致；量测的精度需与被量测物理量量级与变化幅度相适应。

第二个必备条件是：要有可能同时和全面地处理务实测量的分析与比较。事实上，对建筑物及其基础安全状态的检验，必须以所有实测量为根据，而不能视单个变量或单组变量为转移，当然，所有实测量的相容性，是要事先予以检查的。

第三个必备条件是：要能在量测完成之后，立即完成处理、分析工作。

在精密电子仪器技术、电子计算机技术、电信传输技术、数值计算技术发达的今日，完全可以制成联机实时的自动监测系统来满足上述三个必备条件的要求，当然，量测的精度、速度与全面及时的安全评价是必不可缺的，但是精度与速度都具有相对的概念，并且应该根据葛洲坝工程的具体条件来定量测快慢、评价时距短长的要求，更重要的是不能脱离当时的技术水平和当前国情来规定建筑物及其基础安全监测的人工与自动化所占的轻重。从葛洲坝工程的实践，比重是变化的，可分三个阶段：

第一阶段：量测系统的所有测点与埋设仪器都是由人工使用常规设备测读，并将读数

按规定格式记录。资料处理、解释、编制表报并最后归档，概由人工承担：资料处理开始，先检验原始读数（原始资料）的可靠性，再将经检验的读数转换成工程数值，然后结合过去实测资料进行统计学处理，得出相应的效应量实测值，于是将此实测值点绘于有关的曲线上，视其是否与总的变化趋势一致，或将此实测值与相应的设计预期值比较，并结合其他效应量和现场目视检查资料，判明是否运行正常。这种资料处理、解释的过程，是比较费力的，需要的时间比较长。所以，安全评价从完成原始资料采集记录到提出评价报告，历时就比较长。因此，全靠人工操作的这一阶段，其存在的致命问题，就在不能“及时”。如何使这些工作更快地完成，就是第二阶段的紧迫任务。

第二阶段：量测系统和第一阶段一样，使用常规仪器，靠人工采集资料，但资料的处理、解释、归档等工作则完全依靠微型电子计算机辅助自动地进行资料（数据）处理、资料解释、资料编辑、建立资料（数据）库，为此，要编制配套的软件包（称为资料管理系统），它有进行资料处理，编辑图表、报告的功能，还有建立容纳全部与监测有关资料的数据库（资料库）的功能，在资料解释软件中，有各种解释模型，评价安全度的容差带、超出容差带的技术报警。自动资料管理系统大大缩短了从资料处理到提出安全评价所需时间，完全可以满足及时的要求，也为监测系统提供同时全面处理所有实测量的分析、比较及在取得量测的原始读数后立即处理、分析的两个必备条件。必须在此着重指出的是：本阶段由人工采集资料的量测系统与自动资料管理系统组成的建筑物及基础安全监测系统（见图1）只有经常的或定期的目视检查紧密结合，才有可能及时地、可靠地、全面地对整个枢纽的整体安全程度作出正确评价。

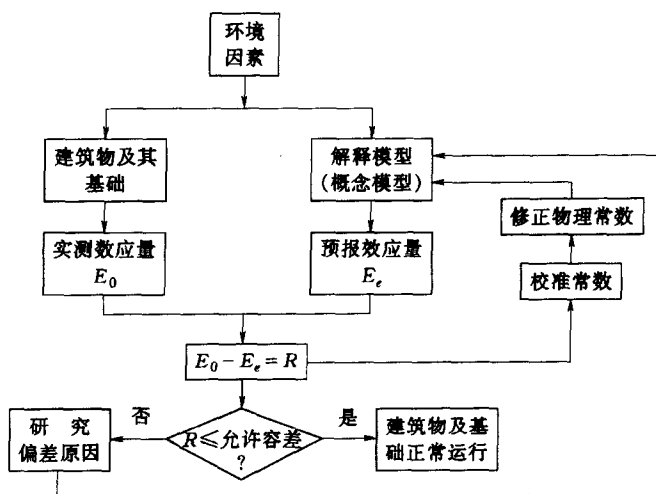


图1 建筑物及基础安全监测系统流程示意图

第三阶段：为了对枢纽的某些关键部位的某些重要效应量，实行联机实时的安全监测，要建立一个自动安全监测系统，即将第二阶段的第一部分，用能适应资料自动采集装置的量测系统取代人工采集资料的量测系统，与第二阶段的自动数据资料管理系统，通过专用电缆联接起来，就建成了自动监测系统，便可完满地提供全部三个必备条件。

3 量测系统

水工建筑物及其基础的安全监测系统里的量测系统，是由量测物理量及其必要转换的若干仪器设备组成的协调统一体。由于建筑物及基础的安全监测是具有时间和空间概念的，所以量测系统的组成，应该视坝的类型、规模及坝在施工过程与运行寿命中的各个不同阶段（第一次蓄水、投入试运行、正常运行以及超过正常寿命后等）而有所变化。

（1）就某一个坝及基础统一体的量测系统设计而论，一般包括对下列各点的分析研究：

第一点：制约坝与基础统一体的安全度的因素。

第二点：就每个因素来考虑，从安全角度出发，选出能显示坝及基础性状的物理量。

第三点：为量测所选定的物理量所采用的方法、仪器、安装方式、量测精确度及可靠性。

第四点：在坝与基础统一体的内部与外部，仪器装设的疏密与分布。

第五点：量测或观测的频度（次数）。

葛洲坝枢纽的主要水工建筑物为建在夹有多层剪切带的基础岩体上、但高度低的混凝土建筑物。制约安全度的主要因素为沿剪切带的浅层滑动面；夹有多层剪切带的基础岩体渗流与变形；砾岩层中断层及其强透水带，采用新技术的结构部位及部件，以及某些与岩体位移有关的接缝。

通过葛洲坝工程的实践，使我们认识到，在大坝及基础安全监测系统的设计中，就要预见到从施工过程到运行寿命中各个不同阶段，如何利用量测系统，使之发挥更大的效益，也要从监测的不同目的（当然，首要是监测建筑物及其基础的安全状态，但也可结合探明某些科学技术问题）来布置量测系统。

如在施工过程中以及第一次蓄水过程和运行初期，量测系统量测出坝与基础统一体的整体实际性状，可据以判明、检验其直接的安全度，因为整体实际性状由许多复杂因素所决定，而在设计阶段常不可能掌握，量测系统所测出的实际性状，就是对设计的初始检验，而且更为有益的是可根据实际性状，进行反馈分析，据以在施工过程中，对设计与施工技术方案做必要的修改补充。

又如在运行的长过程中，量测系统提供建筑物整体性状的信息，也指明某些特殊点的运行状态，还可探测出随时间推移的演变趋势。

（2）据葛洲坝枢纽监测的经验，我们认为：要建立一个能承担上述任务的量测系统，有必要提出下面几点要求：

第一，要由熟悉本枢纽建筑物及其基础具体结构与地质条件，又掌握量测系统技术的专业人员设计和安装量测系统。

第二，仪器系统种类、数量及量测（观测）频度的抉择，要考虑气候、地质等环境恶劣条件。

第三，坝及基础统一体是个复杂的实体，在设计阶段一般是不可能完全了解其复杂程度的，因而我们主张在全面监测各种效应量的同时，必须突出重点，当然主张仪器系统要少而精，不宜数量繁多。主客观的矛盾如何解决？就建在复杂自然环境中的重要枢纽而