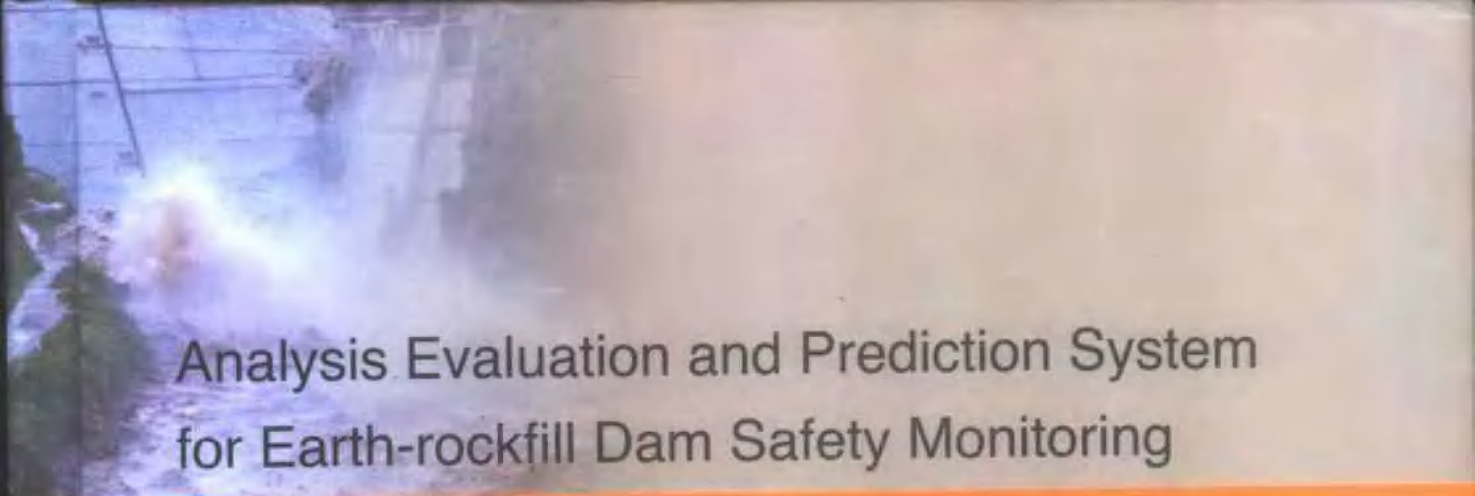




Analysis Evaluation and Prediction System
for Earth-rockfill Dam Safety Monitoring

土石坝安全监测 分析评价预报系统

酆能惠 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

土石坝安全监测 分析评价预报系统

Analysis Evaluation and Prediction System
for Earth-rockfill Dam Safety Monitoring

郦能惠 著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

该书介绍了土石坝安全监测分析评价预报系统软件,该系统包括:土石坝安全监测信息管理系统、土石坝安全监测分析评价系统、土石坝安全监测预报系统和土石坝安全监测实时监控平台系统,系统可及时整理分析土石坝安全监测资料,运用统计分析、灰色理论分析、模糊数学分析和反馈分析等方法及时进行大坝的安全评价,预测预报并反馈信息。对于确保大坝安全、充分发挥水利水电工程效益,提高设计施工水平有重要的应用价值。因而该书可供水利水电行业建设、管理、设计、科研、施工和运行等部门的技术人员使用,也可供高等院校师生参考或作为该系统软件用户的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

土石坝安全监测分析评价预报系统/郇能惠著. —北京:中国水利水电出版社, 2002

ISBN 7-5084-1334-2

I. 土… II. 郇… III. 土石坝-安全监察-监测系统-应用软件
IV. TV698.1-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第097131号

书 名	土石坝安全监测分析评价预报系统
作 者	郇能惠 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: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266(总机)、68331835(发行部) 全国各地新华书店
经 售	
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	涿州市星河印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 11.25印张 208千字
版 次	2003年1月第一版 2003年1月第一次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	35.00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

序

我国是世界筑坝大国，无论从筑坝数量和规模均居世界第一。在已建的86900多座大坝中，绝大多数是土石坝，在西部大开发的拟建大坝中，土石坝也占大多数。由于种种原因，目前全国20000多座病险水库大坝中绝大部分也是土石坝。因此，实施土石坝的安全监测、及时采集数据、及时分析评价，不仅对于全国病险水库大坝除险加固有重要实用价值，而且对于已建土石坝的正常运行和提高土石坝的筑坝技术水平也有重要的指导意义。在当前国内出版的有关书籍中，主要是针对混凝土坝工程的较多，但土石坝工程方面尚缺乏专著。在作者及其合作者主持完成的多项国家科技攻关项目和大、中型水库、水电站土石坝工程科研项目成果的基础上，撰写这本书，无疑对于我国土石坝的安全监测具有重要作用。

该书论述了我国土石坝安全状况、安全监测概况，针对当前土石坝工程发展的需要，提出了安全监测分析评价预报系统，该系统的目标明确，总体结构合理，信息管理分系统包括数据库、预处理和图形图像库子系统，实现了对安全监测数据有序的科学管理；安全分析评价分系统包括模型库、方法库和综合分析评价子系统，监测模型与分析方法先进，实现了对土石坝安全状况的科学分析和评价。该书是作者及其合作者多年科研成果的总结和提炼，并在实际工程中已经成功应用，对于推动我国土石坝安全监测具有重大作用，同对，对土石坝设计和施工也有参考价值。

中国工程院院士

吴中如

2001年11月

前言

我国水利水电建设需要在西北、西南等地区大江、大河的中、上游地区建设数十座高土石坝（包括面板堆石坝），其中已建的有坝高 178m 的天生桥一级水电站面板堆石坝，坝高 154m 的小浪底斜心墙堆石坝，在建的有坝高 233m 的水布垭面板堆石坝，坝高 183m 的洪家渡面板堆石坝。已建的坝高在 100m 以上的还有乌鲁瓦提、珊溪、金盘、黑泉、白溪、白云、占洞口、高塘、石头河、茄子山、鲁布革、柴石滩等工程。拟建和在建工程中，坝高超过 100m 的有近 20 座，其中，苗家坝、水布垭、糯扎渡、瀑布沟、锦屏一级、滩坑、三板溪、洪家渡、姚家坪等坝高都在 180m 以上，水布垭、苗家坝、糯扎渡坝等高达 230m 以上。根据我国水利水电工程需要与国外发展趋势，这些工程都设置或拟设置大坝安全监测仪器设备，有的已在设置或考虑设置大坝安全监测自动化系统（硬件系统），如十三陵抽水蓄能、天生桥一级等水电站，小浪底、乌鲁瓦提等水利枢纽，但是若没有与之相应的土石坝安全监测分析评价预报系统软件，仍然不能达到及时、有效地指导工程安全运行的目的。

我国已建成 86900 多座大坝，其中大多数是土石坝，而且大都没有实现大坝安全监测自动化，更没有配置大坝安全监测分析评价预报系统软件，资料的整理分析更是滞后于工程运行需要，直接影响到水利枢纽或水电站的安全运行，不能及时发现大坝的病害或隐患，有的工程只能降低水位运行，影响水利水电工程效益的发挥，因而数以万计的土石坝很有必要重新设置安全监测系统。

针对我国水利水电工程现状与水利水电建设发展的需要，开发出高水平的行业软件系统——土石坝安全监测分析评价预报系统，推广应用到每个水利水电工程，避免了每个水利水电工程都去重复开发，可以大大促进水利水电工程安全监测系统的建置和安全监测作用的发挥，可以及时掌握大坝的实际状态，进行安全评价，进行预测预报并反馈指导设计、施工，确保大坝工程安全，充分发挥水利水电工程效益，提高设计、施工、运行水平，具有巨大的经济效益与显著的社会效益。

通过“六五”、“七五”、“八五”和“九五”国家科技攻关，我国在土石

坝,乃至高土石坝的安全监测仪器设备研制、安全监测资料整理分析方法和反馈分析方法开发等方面都取得丰硕的成果和显著的进步,使我国土石坝安全监测仪器设备已进入了世界前列,研制了 520m 遥控遥测超长水平垂直位移计、高精度双向固定测斜仪、高精度孔隙水压力计、土压力计、应变计、测斜仪、分层沉降仪等一系列仪器,同时开发了一些先进的统计分析、灰色理论分析和模糊信息分析等在内的正分析与反馈分析的计算方法,并且已在天生桥、十三陵、万安溪、株树桥等水利水电工程中得到应用

国际上十分重视大坝安全监测,包括安全监测分析评价和预报报警。加拿大在 20 世纪 90 年代就已建立了大坝安全监测系统网络,从而当 1995 年 11 月 28 日的特大洪水与 1996 年 6 月 4 日 Benett 土坝发生沉陷坑洞时都能及时反应与采取对策,确保了大坝与下游地区的安全。与之相比,我国在土石坝安全监测自动化与安全监测评价分析预报系统研究方面开展较迟,但发展较快。我们开发土石坝安全监测分析预报系统软件的目的是使我国在土石坝安全监测技术,特别是在土石坝安全监测评价分析预报技术全面达到国际先进水平。

土石坝安全监测分析评价预报系统包括:

(1) 土石坝安全监测信息管理系统。土石坝安全监测信息管理系统包括下列子系统:数据库子系统、预处理子系统和图形/图像子系统。

(2) 土石坝安全监测分析评价系统。土石坝安全监测分析评价系统包括下列子系统:模型库子系统、分析/算法子系统和综合分析子系统。

(3) 土石坝安全监测预报系统。

(4) 土石坝安全监测实时监控平台系统。土石坝安全监测分析评价预报系统包含了国内外土石坝安全监测方面的研究成果,特别是南京水利科学研究院“八五”、“九五”国家科技攻关项目研究成果,建立了基于专家评判的综合分析系统,达到了当前土石坝安全监测分析评价预报的国际先进水平。

土石坝安全监测分析评价预报系统使土石坝的安全监测分析评价预报和管理实现了自动化、网络化,可以使水利水电工程管理部门和流域或电力系统等上级管理部门及时掌握大坝的实际状态,进行大坝安全评价,及时指导水利水电工程的安全运行,提高运行水平,充分发挥经济效益和社会效益。并且本系统可以用来反馈指导土石坝设计和施工,从而提高土石坝的设计和施工水平。

本书是在著者负责承担国家电力公司重点科技项目,与课题组人员一起开发了土石坝安全监测分析评价预报系统软件的基础上撰写的。开发工作得到了国家电力公司科技环保部的大力支持,同时,还得到了水利部大坝安全管理中心、河海大学和南京水利科学研究院许多专家的帮助,本书的出版得到中国水利水电出版社的大力支持,对此一并表示深切的谢意。出版此书,以期尽快地

将研究成果推广应用于我国的水利水电工程，使之取得显著的经济效益和社会效益。

全书共分六章，徐竹青同志参加了第五章第二节之二、第三节之二、第四节部分内容、第五节之二的编写，唐彤芝同志参加了第五章第五节之三的编写，蒋健、孔令川同志参加了第二章第三节和第三章部分内容的编写。中国科学院院士、教授级高工沈珠江及其助手提供了用 Fortran 语言编写的总应力法和有效应力法土石坝应力变形分析计算程序，对于本系统软件开发有很大帮助。参加开发土石坝安全监测分析评价预报系统软件的人员还有：李国英、周俊同和赵魁芝等同志，在此对他们一并表示深切的谢意。

中国工程院院士、河海大学技术委员会主任吴中如教授在百忙之中详细审阅了本书，并为本书撰写序言，河海大学水电学院副院长顾冲时教授也详细审阅了本书，提出了宝贵意见，谨致深切的谢意。

在编辑出版过程中承中国水利水电出版社林京、杨元月编辑的详细审阅，提出了宝贵的修改意见，在此谨表深切的谢意。

本书在撰写过程中，曾参阅大量科技文献和资料，由于篇幅所限，未逐一列出，特向有关作者表示衷心的感谢。

限于著者的水平，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

邴能惠

2001 年 8 月

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 土石坝安全状况概述	1
第二节 土石坝安全监测概况	2
第三节 本书内容概述	3
第二章 系统总体设计	5
第一节 系统目标	5
第二节 系统总体结构和流程	7
第三节 系统界面设计	10
第三章 系统的软/硬件平台	13
第一节 系统的软件平台	13
第二节 系统的硬件平台	16
第三节 系统网络结构	18
第四节 总控平台	18
第五节 实时监控平台	21
第四章 安全监测信息管理分系统	26
第一节 分系统结构和流程	26
第二节 数据库子系统	26
第三节 预处理子系统	34
第四节 图形/图像子系统	43
第五章 安全监测分析评价预报分系统	48
第一节 分系统结构和流程	48
第二节 模型库子系统	49
第三节 分析/算法子系统	63
第四节 综合分析评价子系统	97

第五节 预报子系统.....	108
第六章 工程应用实例.....	127
第一节 工程概况.....	127
第二节 原型观测布置与实施.....	127
第三节 观测资料分析.....	133
第四节 本系统应用实例.....	145
参考文献.....	170

第一章 绪 论

第一节 上石坝安全状况概述

1949年新中国成立时，全国仅有大、中型水库23座，目前我国已建水库86900多座，其中大型水库（库容1亿 m^3 以上）近400座，中型水库（库容0.1亿~1亿 m^3 ）约2640座，3000多座大、中型水库中有110多座以发电为主，由电力行业管理，其余均由水利行业管理，还有83000多座小型水库（其中小一型库容0.01亿~0.1亿 m^3 约14000多座，小二型库容10万~100万 m^3 约62000多座，其余为库容小于10万 m^3 的小型水库）。这些水库绝大多数是在20世纪50年代、60年代建造的，70年代又兴建了一批中小型水库，为我国水利水电建设奠定了基础。

水库的主要水工建筑物是挡水建筑物——大坝，我国已建的大坝是以土石坝为主，大型水库的大坝71%是土石坝，中型水库的大坝有92%是土石坝，而小型水库的大坝几乎都是土石坝，尤以均质土坝最多。

由于种种原因，许多水库存在着防洪标准低、工程质量差、病险隐患多等严重问题。目前约有24%的大、中型水库是（三类）病险水库，约有30%~40%的小型水库是（三类）病险水库。据1991年统计，我国已溃决的大坝近3000座，其中1500多座是坝高小于10m的低坝，坝高30~55m的大坝只有近100座溃决，值得注意的是，1975年特大洪水导致板桥、石漫滩两座大型水库土石坝溃决，1993年8月沟后水库坝高71m的混凝土面板堆石坝溃决。这说明我国大坝安全状况，特别是土石坝的安全状况令人忧患。

1975年特大洪水以后，特别是改革开放的20年来，我国对于大坝安全十分重视，国务院先后颁布了《中华人民共和国水法》、《中华人民共和国电力法》和《中华人民共和国防洪法》以及《中华人民共和国防汛条例》、《水库大坝安全管理条例》。有关部先后颁发了《水电站大坝安全检查施行细则》、《水电站大坝安全注册规定》、《水电站大坝安全监测工作管理规定》、《水库大坝安全鉴定办法》、《水库大坝注册登记办法》、SL60—94《土石坝安全监测技术规范》、SL169—96《土石坝安全监测资料整编规程》和SDJ336—89《混凝土大坝安全监测技术规范（试行）》，使得大坝安全监测、大坝安全检查、大坝安全

评价和鉴定及病险水库大坝除险加固有法可依、有章可循。

1985年水利电力部组建水电站大坝安全监察中心,1988年水利电力部成立水利大坝安全监测中心,并于1994年更名为水利部大坝安全管理中心。这两个中心受部委托对于大坝注册登记、大坝安全鉴定、人员培训等方面进行行业管理。

国家与各级地方政府很重视病险水库的除险加固工作,1986年水利电力部列项批准的全国首批43座病险水库已有37座完成加固脱险,1992年确定的全国第二批38座病险水库也有9座完成加固脱险,其余的在除险加固中。今后,我国将进一步加强除险加固的投资力度。

第二节 土石坝安全监测概况

20世纪50年代,我国南湾、官厅、大伙房等大型水库设置了土石坝变形和渗流监测设施,包括坝面沉降和水平位移观测、用横臂式沉降仪观测坝体内部沉降、用测压管观测坝体和坝基渗流压力。60年代以后,我国土石坝安全监测仪器有了发展,安全监测项目也逐步增加,在横山、铁山、升钟、羊毛湾等土石坝用双管式孔隙水压力计、钢弦式孔隙水压力计、细测压管等观测坝体和坝基的渗流压力,用电磁式分层沉降仪观测坝体内部沉降,用电阻应变片式测斜仪观测坝体内部水平位移,用钢弦式土压力计观测土中土压力或接触面土压力,用差动电阻式钢筋计、无应力计和应变计观测混凝土或钢筋混凝土应力应变。80年代以后,我国十分重视土石坝的安全监测工作,在“六五”、“七五”、“八五”和“九五”期间都将高土石坝原型观测(安全监测)列为国家科技攻关项目,20多年来,国家科技攻关项目负责承担单位南京水利科学研究院,该院先后开发了满足100m级高土石坝原型观测需要的原型观测仪器设备、开发了满足200m级高土石坝包括高面板堆石坝安全监测需要的大量程、高精度安全监测仪器,包括:开发了由引张线式水平位移计和水管式沉降计组成的水平垂直位移计,满足了观测压实堆石坝坝体内部变形的需要;开发了伺服加速度计活动式测斜仪和斜测斜仪,分别满足了高土石坝坝体内部水平变形观测和高面板堆石坝面板挠度观测的需要;开发了高精度、小直径压阻式和钢弦式孔隙水压力计,可以直接放置在测压管中,满足了已建土石坝原型观测设备更新改造的需要。特别是在“九五”国家科技攻关项目研究中,研制了N2000型遥控遥测水平垂直位移计和高精度双向固定测斜仪,满足了坝高233m的水布垭面板堆石坝及200m级高面板堆石坝洪家渡、吉林台、公伯峡、紫坪铺等工程坝体内部变形和面板挠度观测的需要,这两项仪器设备技术性能

达到了国际领先水平。几年来,还相继引进开发了电水平仪式固定测斜仪和电感式水平位移计等。可以讲,经过 20 多年的国家科技攻关,我国土石坝(包括面板堆石坝)安全监测仪器已经形成了可以监测 200m 级高土石坝与高面板堆石坝坝体和坝基变形、应力和渗流;面板堆石坝面板应力、应变和挠度;周边缝与垂直缝变形;坝体、坝基防渗结构物应力应变和渗流以及相邻混凝土结构物应力应变、土压力和渗流等项目的整套的安全监测仪器。20 世纪 90 年代以后,我国开始重视土石坝安全监测自动化,南京水利科学研究院和南京电力自动化研究院等开发了分布式土石坝安全监测数据采集系统,在采用计算机网络技术、通讯技术的基础上,实现数据自动采集、数字量传输和资料整理的自动化,首先设置在新疆最大的水库克孜尔水库,实现了大坝安全实时监测自动化,目前已陆续应用于乌拉泊、红雁池、坎尔其、引额济克、港口湾、东武仕、于桥、青狮潭等工程。

随着病险水库土石坝加固脱险、土石坝安全监测设施逐步得到更新改造,目前有近百座新建或已建的土石坝设置了较先进的安全监测设备,约有 20 座土石坝设置了安全监测数据自动化采集装置,其中包括中国与加拿大合作完成的密云、漳河、碧流河、升钟、冯家山、七一和赋石等 7 座土石坝安全监测设施更新改造。从而开发一个土石坝安全监测分析评价预报系统的通用软件成为我国水利水电建设的迫切需要,因而国家电力公司将此列为重点科技项目,以期通过这一重点科技项目开发,使我国水利水电行业土石坝安全监测提高到一个新的先进水平,而且避免每个水利水电工程或每座土石坝工程去重复开发。本书就是在这个重点科技项目《土石坝安全监测分析评价预报系统》的研究成果基础上撰写的。

第三节 本书内容概述

本书共分为六章,第一章绪论;第二章系统总体设计;第三章系统的软硬件平台;第四章安全监测信息管理分系统;第五章安全分析评价预报分系统;第六章工程应用实例。

第一章介绍了我国土石坝安全状况、我国土石坝安全监测概况,指出我国土石坝数量巨大,溃坝时有发生,土石坝安全状况令人忧虑;病险水库加固脱险工作取得显著进展;近 100 座土石坝设置了较先进的安全监测仪器设备,约有 20 座土石坝建置了安全监测数据自动化采集装置。当前迫切需要开发土石坝安全监测分析评价预报系统通用软件,本书对此通用软件作了较详细的阐述。

第二章介绍了土石坝安全监测分析评价预报系统的总体设计,包括系统目标的确定,系统的总体结构与数据流程以及系统的界面设计。确定系统目标的原则:依据法规,体现国内外土石坝安全监测技术新成果。在系统的软硬件总体结构与界面设计方面,充分做到先进性、可靠性、通用性和可扩充性。

第三章介绍了土石坝安全监测分析评价预报系统的软/硬件平台、网络结构和通讯、总控平台和实时监控平台,即本系统所采用的先进的计算机技术。

第四章介绍了土石坝安全监测信息管理分系统,该系统包括数据库子系统、预处理子系统和图形/图像子系统。系统依据 SL60—94《土石坝安全监测技术规范》等规范,完成土石坝包括面板堆石坝安全监测信息的数据采集、储存、调用、预处理、整编和绘制成图形/图像等功能。

第五章介绍了土石坝安全分析评价预报分系统,该系统包括模型库子系统,分析/算法子系统、综合分析评价子系统和预报子系统。系统既依据了我国 SL274—2001《碾压式土石坝设计规范》和 SL228—98《混凝土面板堆石坝设计规范》,又吸收了国内外土石坝工程研究的最新成果,建立了模型库和分析/算法库。模型库包括土石坝变形和渗流的计算模型,包括基于土石坝变形和渗流机理的统计模型、土石坝变形的灰色理论模型和模糊数学模型,模型库还包括土石坝应力变形分析的计算模型,即已经广泛应用于我国土石坝工程的双屈服面弹塑性模型(南水模型),分析/算法库包括土石坝的变形、渗流、稳定和应力变形分析的各种计算方法(简称为土石坝结构分析的计算方法)。综合分析评价子系统将土石坝安全监测信息预处理子系统疑点判别进行的成因分析和土石坝的结构分析,在此基础上进行综合分析,从土石坝变形、裂缝、渗流和稳定等各方面对土石坝安全状况进行综合评价,对辅助决策提供支持,或通过反馈分析验证计算模型、确定或修正计算参数,使结构分析或应力变形分析更符合实际;或根据预报模型,进行预测预报,对辅助决策提供支持。

第六章介绍了土石坝安全监测分析评价预报系统在新疆克孜尔水库的应用。克孜尔水库是新疆最大的水库,大坝为厚心墙砂砾石坝,设置了变形、渗流与应力观测的安全监测仪器设备 250 多台(套),从 1986 年以来一直运行正常,仪器完好率达到 95% 以上,该水库还设置了大坝安全监测自动化系统,积累大量安全监测资料,该工程经受了 1999 年 3 月 15 日 5.6 级地震考验。

第二章 系统总体设计

第一节 系统目标

依据我国 SL60—94《土石坝安全监测技术规范》、《水电站安全管理办法》和 SL169—96《土石坝安全监测资料整编规程》等，并结合我国大坝安全管理的现状，并参照国内外大坝安全监测和管理的成果与经验，根据当前计算机软件和控制在技术水平，确定土石坝安全监测分析评价预报系统研制开发的总体目标是：充分利用当今计算机先进的软硬件技术、国内外先进的大坝监测的成果和经验，利用南京水利科学研究院在大坝原型观测技术方面的领先技术，开发出一套具有先进性、可靠性、通用性和可扩充性的土石坝安全监测分析评价预报系统。实现对大坝的自动监测、对监测到的实时数据和人工观测的数据实现自动分析和人工干预反馈，准确地描述大坝的整体性状，对土石坝安全监测实现采集数据的保存、检验、整编、分析和辅助决策，实时监测土石坝运行状况，做出准确而高效的评判及决策，确保大坝安全，提高水利枢纽工程和水电站运行效益。

一、先进性

采用当前较先进的硬件设备、先进的网络平台、先进的三层架构开发技术，保证系统达到国际先进水平，并应有一定的超前性，可以满足水利水电工程土石坝安全监测发展的需要。

解决方法：

(1) 采用 HP 等专用网络服务器和 100Mb 网络交换机，保证硬件的先进性。

(2) 网络平台、软件平台和应用系统应该做到硬件无关性，方便硬件系统的升级。

(3) 充分考虑系统开发策略，应用系统保证留有好的扩展接口，便于将来采用更先进的软件开发技术来扩展系统。

(4) 充分考虑系统的 INTERNET 接口。

二、可靠性

系统从硬件到平台和应用系统都具备较强的可靠性。这就要求系统从总体

结构的设计上、硬件/软件平台的选型上、应用系统的开发上都要做到安全可靠，使系统在多种环境下正常可靠地运行。

依靠 Windows NT Server 4.0/Windows 2000 Server 可靠的安全性，使服务器的安全性能达到美国国家安全 C2 级标准。运用 SQL Server 7.0 的数据分析和数据挖掘功能，构造一个可以将自动采集资料、人工采集资料、整编资料、图形/图像库信息、模型库信息、分析/算法库信息和用户的操作信息集成一体，保证了数据的统一性和完整性。

解决方法：

(1) 采用安全可靠的硬件和软件平台，包括：

HP 服务器；

3Com/Cisco 的网络通讯设备；

Windows NT Server 4.0/Windows 2000 Server；

SQL Server (Sysbase Server, Oracle Server)；

VC/VB；

MDT/AU TOCAD。

(2) 在本系统的开发中，充分考虑系统的智能化。系统提供 Error Agent (错误代理)，使得系统即使在出错的状态下，也能安全可靠的运行，并可以安全恢复到系统的正确状态。

(3) 系统应按照标准的软件工程的模式去开发。

(4) 系统应经过严格的 α 和 β 测试，并经过实际大坝工程的测试。

三、通用性

系统应涵盖各种类型的水利水电工程土石坝工程，能够满足不同用户的不同需要。依据有关的国际标准、国家标准、行业规程、规范、岩土力学、土石坝工程、原型观测的基本规律与成熟经验，采用国内外先进的通用的土石坝安全监测评价准则。适应各种类型、多种用途的水利水电工程。系统软件，安装简单、操作方便，满足各种用户的不同需要。

解决方法：

(1) 在系统开发时，充分了解各种类型水利水电工程、土石坝工程的全面的业务需求，做到功能的通用性和全面性。

(2) 做好本系统对各种对象不同需要的服务的详细设计，做好系统的接口和界面的设计，保证接口的通用性。

(3) 在用户界面（人机对话）上提供多种情况的用户自定义参数等。

四、可扩充性

随着我国水利水电建设的发展，土石坝理论与实践水平的提高，或者是其

他情况发生变化的情况下，系统可以很容易地利用标准化开发工具加以扩展和升级，以满足需要

解决方法：

(1) 在设计和开发的过程中，充分考虑系统的可扩充性，即全面考虑需求、对象、服务、接口等

(2) 提供可变化的参数和二次开发的接口

第二节 系统总体结构和流程

一、系统总体结构

土石坝安全监测分析评价预报系统由下列子系统组成：

(1) 数据采集接口：系统与监测数据自动采集硬件部分用数据采集接口相连，监测数据自动采集硬件部分将自动采集到的数据存入采集接口，土石坝安全监测分析评价预报系统从采集接口读取自动采集的数据，系统完成大坝安全监测数据的预处理、整编、分析评价和预测预报等。所有自动采集的数据入口都设有人工输入的入口，不能自动采集的监测数据，系统用人工输入人工测读数据，系统仍然可以正常运行。

(2) 数据库系统：数据库系统是土石坝安全监测分析评价预报系统的重要组成部分，是评价大坝安全性状的数据基础，数据库包括设计、施工、运行期间的所有数据和资料，以及正分析和反分析的成果。数据库子系统内容包括：工程概况数据库、观测仪器考证库、原始观测数据库（又分为自动采集数据库和人工采集数据库）、整编数据库、参数库（包括大坝的监控指标）、生成数据库（存储分析成果）、巡视检查数据库等。

(3) 预处理系统：首先判断仪器的稳定性，校验监测资料的误差，将监测量转换成效应量；然后根据基本的参数资料和评判识别准则，对实测资料进行突变值识别、趋势性变化识别和异常值识别，再将经过预处理的观测资料存入整编数据库，并且传递给监控平台和分析/算法代理进行分析。系统制定一些评判准则，通过疑点判别，把各类整编后的观测数据和观测资料与上述评判准则作比较，以识别监测资料的性质——正常或异常，为判断大坝安全性状提供数据基础。

(4) 资料整编系统：可以把土石坝安全监测的各种原始数据和有关文字、图表（含影像、图片）和各种分析成果、专家系统的意见等材料经过审查、考证、编辑，综合整理成系统化、图表化的成果，并可排版，制成软盘。

(5) 图形/图像系统：图形/图像子系统是将图形/图像/视频/动画等各种

多媒体信息，保存在多媒体数据库中（图形/图像库），方便各类图形图表的存储和查询。

(6) 模型库系统：模型库是提供建模程序所需的各类统计模型、确定性模型、灰色理论模型和模糊数学模型。这些模型用来拟合与说明大坝工作性状并预测预报大坝的未来状况。模型库的基本内容包括：统计模型、确定性模型、灰色理论模型和模糊数学模型。模型库管理系统是对模型库进行管理的软件系统。

(7) 分析/算法库系统：包括土石坝安全监测分析评价预报系统可能用到的各种分析/算法，分析程序如：TOSS 分析程序、BISS 分析程序、渗流分析程序、稳定分析程序等；算法如：多元回归分析法、逐步回归分析法、差值回归法、时间回归法、极限平衡计算法、有限元分析法、反馈分析法等，均用 Visual C++ 开发成标准的分析/算法代理，分布于网络上，既提供独立的分析/算法程序，又提供代理的功能，使得系统的各个模块和各个用户可以在系统的任何地方，通过接口访问分析/算法代理，实现计算的分布化。

(8) 知识库系统：是用于知识信息的存储和查询的计算机软、硬件系统。对于已经存在的知识，系统提供方法和途径去检索、更新、增加知识，并可以根据知识的运用情况，知识的运用结果来判断知识的正确程度，对于不太正确的、过时的知识，加以修订或更新。另外，从实际发生的案例中，根据分析/算法计算的结果和专家的判定，系统可以通过知识/专家代理去完善知识库，从而实现知识的自学习。其内容包括：时空评判准则、物理力学规律评判准则、监控模型评判准则、监控指标评判准则、日常巡视检查评判准则、关键问题评判准则等。

(9) 综合分析推理系统：系统的功能包括数据流程设计、在线分析、成因分析、专家综合分析和决策支持等模块设计，系统能够对监测资料进行正、反分析，对不安全因素进行综合评判、辅助决策和土石坝安全度综合评价。该系统的内容包括：对异常的测点进行异常的成因分析（包括外因分析、内因分析和综合成因分析）、按照观测项目对土石坝进行综合分析（包括正分析和反分析），对土石坝存在的不安全因素进行辅助决策，对土石坝的整体安全度进行综合评价。

(10) 预报预测系统：建立预报模型，即运用统计理论、灰色理论和模糊数学等，建立各种统计模型、灰色预测模型和模糊推理模型，进行仿真分析，对可能遇到的某些突发性灾害进行预报，提供辅助决策及应急措施。

(11) 总控和实时监控。

1) 系统总控。在该平台可以实现实时监控的全部功能，还可以使用土石