

高土石坝工程安全评价与预警信息管理系统

张宗亮¹, 于玉贞², 张丙印²

(1. 中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院, 昆明 650051; 2. 清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084)

[摘要] 基于现场监测数据及先进的数值分析方法, 建立土石坝全生命周期的工程安全评价及预警信息系统, 是目前土石坝发展的必然趋势。以糯扎渡高心墙堆石坝为依托, 开发了理论严密、方法先进且可靠实用的大坝工程安全评价与预警信息管理系统。该系统由系统管理模块、安全指标模块、监测数据与工程信息模块、数值计算模块、反演分析模块、安全预警与应急预案模块和数据库及管理模块共 7 个模块构成。其中, 数值计算和反演分析模块可利用所取得的坝体监测数据, 进行渗流、大坝应力变形、坝体裂缝、地震动力反应和坝坡稳定等土石坝关键计算分析, 是本系统的核心部分。利用工程前期已经取得的坝体变形监测数据, 对坝体进行了变形反演分析并对大坝关键时间结点的形态进行了预测分析。

[关键词] 糯扎渡水电站; 大坝; 安全评价; 预警; 信息管理系统; 反演分析

[中图分类号] TV7; TV8 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)12-0033-05

1 前言

我国在建和拟建的多座土石坝达 250 ~ 300 m 级。随着大坝规模的增大和社会的发展, 人们对工程施工及运营期间的安全问题提出了更高的要求。如何快速准确地对大坝进行安全评价和预警是一个重点挑战。信息技术及信息管理系统的发展为解决这类问题提供了强大的技术支持。

在工程安全管理信息系统的研究和应用方面, 国外起步相对较早。20 世纪 80 年代, 美国的 Intel Corp 公司及 PowerUP 公司均推出了有关施工安全管理的专家系统^[1]。Coble 等人提出了通过软件系统来实现项目进度计划与安全管理相结合的理论和方法, 并强调了网络信息的运用^[2]。在我国, 周剑岚等^[3]提出了大型水电工程安全生产和应急管理平台的设计方案和相应的关键技术问题。马洪琪等研究了高心墙堆石坝施工质量实时监控关键技术并成功地应用于糯扎渡工程^[4]。

目前, 关于水电工程施工及运营期的安全评价

及预警信息管理系统方面的工作尚属起步阶段。笔者以在建的糯扎渡高心墙堆石坝为依托, 基于全生命周期安全与质量控制的理念开发理论严密且可靠实用的大坝工程安全评价与预警信息管理系统。

2 系统结构

糯扎渡大坝工程安全评价与预警信息管理系统主要由 7 个模块构成(见图 1): 系统管理模块, 是本

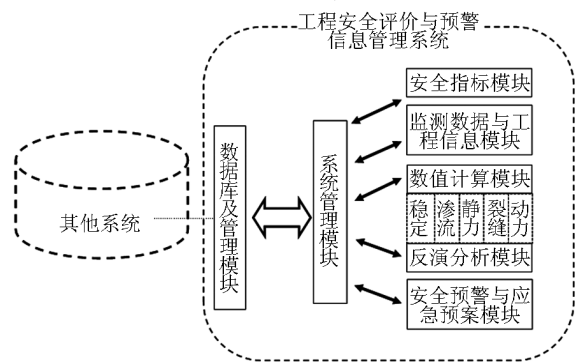


图 1 系统总体结构图

Fig. 1 Architecture of the system

[收稿日期] 2011-09-16; 修回日期 2011-10-10

[基金项目] 国家重点基础研究发展计划 973 项目(2010CB732103); 国家自然科学基金资助项目(50879039, 51179092)

[作者简介] 张宗亮(1963—), 男, 山东商河县人, 教授级高级工程师, 主要研究方向为高土石坝工程; E-mail: zhang_zl@khdidi.com

系统的枢纽;安全指标模块,是安全控制与评价的基础;数值计算模块和反演分析模块,是本系统的核心;安全预警模块和应急预案模块,是本系统的目标;数据库与数据管理模块,是本系统的资料基础,它一方面存储本系统的数据信息,另一方面实现与其他已有或拟建系统的接口功能。图2显示了系统的整体界面布局。

2.1 系统管理模块

系统管理模块主要是用于实现本系统信息集成以及系统各模块间的信息交换与共享,并提供本系

统运行的管理与操作界面,同时通过数据库与其他系统实现数据信息的交互。

2.2 安全指标模块

安全指标模块包括大坝安全控制指标和监测数据合理性判别指标两个部分。大坝安全控制指标是在对已有案例分析、已有研究成果、规范及监测资料的基础上建立和完善高心墙堆石坝的综合安全评价指标体系,提出各因素安全控制标准,并在此基础上采用

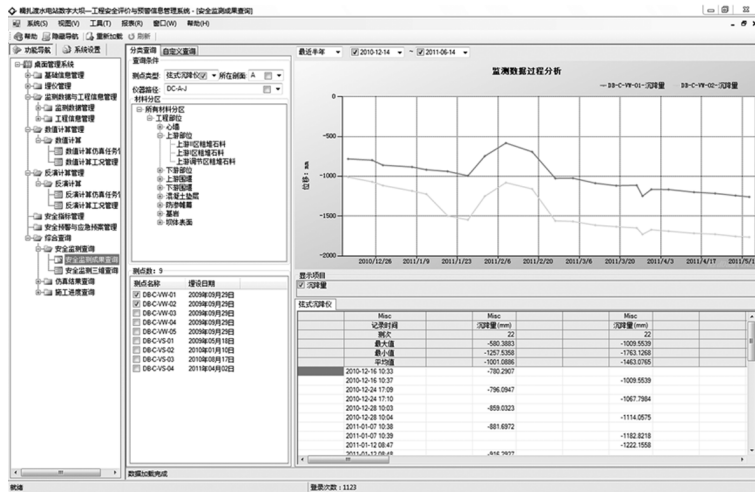


图2 糯扎渡水电站大坝工程安全评价与预警信息管理系统界面

Fig.2 A interface of the safety assessment and warning information management system for Nouzhadu Project

单项或耦合的方式建立综合评定指标体系以用于大坝的安全预警及警戒等级划分(见图3)。监测数据的合理性判别指标是通过大坝监测数据的综合分析,建立各测值时程控制范围指标,从而实现对监测数据的合理性判断,对于超出预测控制的测值进行警示。

2.3 监测数据和工程信息模块

监测数据和工程信息模块对大坝各类动态信息进行查询、分析、可视化展示及报表等。

2.3.1 监测数据

监测数据包括环境量(如气温、降雨和泥沙淤积等)和效应量(如位移、土压力、水压力、渗流量和裂缝等)。可对这些数据进行如下操作。

1) 数据查询:可根据大坝三维模型中的各种仪器的类型和分布进行直观查询,也可采用其他传统的方式查询,如确定条件查询、组合条件查询和模糊

查询等。

2) 统计分析:对各监测量的时间序列进行统计分析,或对不同量的相关性进行分析。所采用的模

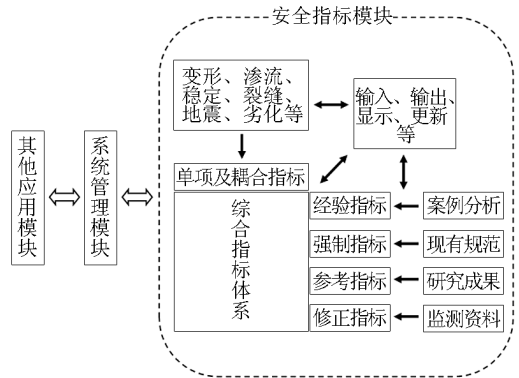


图3 安全指标模块结构示意图

Fig.3 The safety index module

型包括统计性模型、混合模型、分布模型、确定性模型等。

3) 可视化展示及报表: 可绘制测值过程线、测值分布图、测值相关图、等值线图、二维或三维动态分析图等, 并可采用图形和表格联动的方式展示结果。

2.3.2 工程信息

工程信息展示主要包括大坝施工进度查询和动态演示, 如三维和典型剖面施工形象图、具体位置施工过程线等, 以及施工质量, 如压实度、填筑密度、含水量等的三维信息查询。

2.4 数值计算模块

数值计算模块包含渗流计算、静力计算、裂缝计算、稳定计算及动力计算 5 个计算分析单元, 可对大坝的相应特性进行不同条件下数值仿真分析; 同时, 系统中还嵌入了各种计算的执行程序, 用户可变换

一定的条件自行计算分析。图 4 显示了数值计算模块的各个计算单元基本功能及相应的数据流程。所有的计算结果均可供用户查询和可视化展示, 并与监测结果进行比较。仅以静力计算为例加以说明。

从计算方案库选择计算文件, 对于每一工况可显示如下信息: a. 计算条件, 包括大坝及坝基几何模型(网格、材料分区、边界条件、施工分级)图形显示; 坝料物理力学参数, 列表显示; 施工蓄水过程: 图形、列表显示。b. 计算结果, 包括三维等值线、矢量图, 整体形态旋转、平移、缩放等; 二维纵横剖面等值线、矢量图, 平移、缩放等; 位移变化过程动画演示。相关力学量包括结点位移 (u_x 、 u_y 、 u_z); 结点应力 (σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{xy} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} 、 σ_1 、 σ_2 、 σ_3); 结点应力水平; 结点孔隙水压力等, 并可与实测结果进行比较。进行嵌入计算时, 可修改材料系数, 延长后续蓄水变化过程, 对流变计算, 延长流变时间。

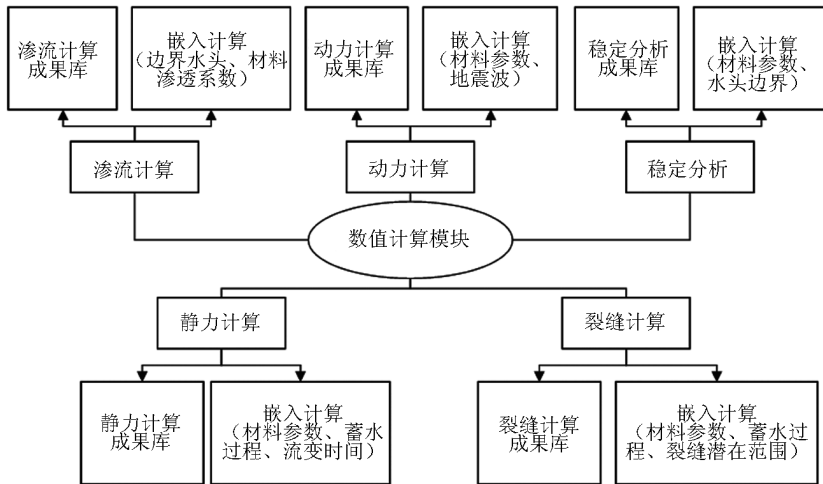


图 4 数值计算模块基本功能流程图

Fig. 4 The flow chart of the Numerical Calculation Module

2.5 反演分析模块

反演分析模块包含渗流反演分析、静力反演分析、裂缝反演分析及动力反演分析 4 个计算分析单元。用于根据所要反演参数的类型及数量, 确定所需要的信息; 通过有限元计算生成训练样本; 训练和优化用于替代有限元计算的神经网络, 并进行土体参数的反演计算。将反演参数、误差以及必要的过程信息通过系统管理模块存入数据库供其他单元调用。为了系统开发的方便, 反演分析模块各计算单元的基本功能流程在组织结构上与数值计算模块近似。

与数值计算模块一样, 反演分析模块包含良好的

计算分析成果的动态展示、嵌入式计算分析、成果查询及对比分析等功能。反演分析模块与数值计算模块相结合可对大坝性态进行分析预测, 是糯扎渡大坝工程安全评价与预警信息管理系统的关键部分。

采用反演得到的糯扎渡大坝主要坝料模型参数对大坝性态进行数值分析, 图 5 为心墙内沉降计算结果与实测结果的对比图, 从中可以看出, 数值反演得到的计算成果与实测结果无论在规律上还是在数值上都具有很好的一致性, 从而也验证了系统所包含的反演分析模块的可行性和可靠性。

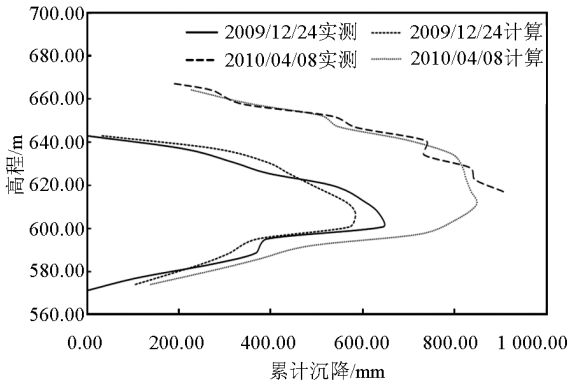


图5 基于施工动态的土石坝反演计算
成果与实测成果对比图
(静力反演分析模块)

Fig. 5 The comparison between the calculated
results based on back-analyzed parameters
and the measured values (static inverse
analysis module)

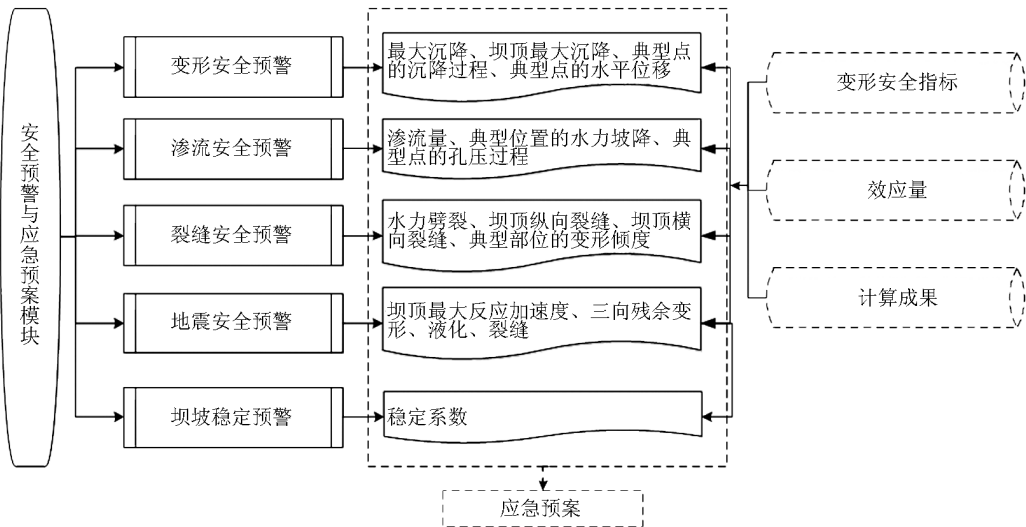


图6 安全预警与应急预案功能及数据

Fig. 6 The safety warning and emergency countermeasure module

2.6 安全预警与应急预案模块

安全预警与应急预案模块在同时考虑影响大坝安全的各因素之间的内在联系及耦合作用的基础上,根据动态监测信息以及计算成果,进行施工质量与大坝安全分析,建立大坝安全评价模型;结合安全指标模块中各个因子的安全阈值,针对不同的异常状态及其物理成因,对异常状态进行分级(红色、橙色、黄色)并建立预警机制。根据不同的预警机制本模块又包含变形安全预警与预案、渗流安全预警与预案、裂缝安全预警与预案、坝坡稳定预警与预案及地震安全预警与预案5个子单元(见图6)。

本模块可进行分级适时报警,并可给出安全评价健康诊断报告。根据安全预警与预案判别分析结果,对可能出现的安全问题,建立相应的应急预案与措施,确保工程安全、顺利、高质量实施,并在出现紧急情况时自动给出应急措施,也可人工修改应急方案。

2.7 数据库管理模块

数据库管理模块主要用于系统管理员进行数据操作,同时也可实现与其他系统的数据共享及传递。为保证数据的安全性,系统研发中主要限于管理员用户进行相应的操作。该模块的主要功能包括:

1) 对各种类型的数据均提供相应的数据库

接口;

2) 与其他系统进行必要的信息共享与交流;

3) 对大量的监测和计算数据以及工程信息,可批量导入、文件导入;

4) 对少量的监测和计算数据以及工程信息可采用手工录入;

5) 对工程档案资料进行收录、整编,可供用户

检索、借阅;

6)采用 Web 技术发布系统信息、工程信息以及其他需要公布的信息。

3 结语

文章基于目前水电工程建设全生命周期管理的理念,设计了糯扎渡水电站大坝工程安全评价与预警信息管理系统,整个系统由系统管理模块、安全指标模块、监测数据与工程信息模块、数值计算模块、反演分析模块、安全预警与应急预案模块和数据库及管理模块共 7 个模块构成,其中数值计算和反演分析模块是本系统的核心部分。根据上述技术方案,目前该系统整体框架已经搭建完毕,并且监测数据与工程信息管理模块、数值计算模块中的静力计算单元及反演分析模块中的静力反演分析单元已经

开发完毕,并且实现了在线查询和演示功能。根据现场应用来看,目前该系统设计理念可以很好地指导工程的施工和运营,对于以全新理念推动土石坝建设具有重要的实践意义。

参考文献

- [1] 徐伟,李炳钊. 建筑工程施工的智能方法[M]. 上海:同济大学出版社,1997.
- [2] Coble R J, Hinze J W, Haupt T C. Construction Safety and Health Management [M]. USA: Prentice Hall, 2000.
- [3] 周剑岚,裴金勇,王红卫. 大型水电工程安全生产与应急管理平台设计及关键技术分析[J]. 计算机应用研究,2008,25(11):3225-3227.
- [4] 马洪琪,钟登华,张宗亮,等. 高心墙堆石坝施工质量实时监控关键技术及工程应用[Z]. 科技成果,2010.4.

An information management system of safety assessment and warning for high earth-rockfill dam

Zhang Zongliang¹, Yu Yuzhen², Zhang Bingyin²

(1. Kunming Hydropower Investigation Design & Research Institute, CHECC, Kunming 650051, China;

2. State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

[Abstract] Based on the monitoring data, a practical information management system of safety assessment and warning for Nuozhadu earth-rockfill dam is developed. The system includes system management module, safety criteria module, monitoring data and engineering information module, numerical calculation module, back-analysis module, safety warning and contingency plan module, and data base and management module. The numerical calculation and back-analysis modules are the key parts, which perform analysis of seepage, stress and deformation of dam, crack of dam, dynamic response and slope stability. The parameters of constitutive model are back-analyzed by using the monitoring data and the behaviors of the dam at some important time are predicted.

[Key words] Nuozhadu Hydropower Station; dam; safety assessment; warning; information management system; back-analysis