

渔洞水库大坝安全监测自动化及专家系统设计

何勇军

(河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要 介绍渔洞水库大坝安全监控系统的设计目标、网络结构和主要功能, 以及部分监测项目的自动化改造和主要技术指标, 论述人工分析专家系统的结构组成和实现方法。渔洞水库大坝安全监控系统将安全监测自动化与人工专家分析相结合, 形成了功能齐全的集数据采集、辅助决策、专家综合诊断和安全评价于一体的实时监控系统。

关键词 大坝安全; 安全监测; 监测系统; 专家系统; 渔洞水库

中图分类号 :TV698.1 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-764X(2001)04-0059-03

渔洞水库是一座以灌溉为主, 兼有防洪、发电、城镇及工业供水、养鱼和旅游等综合利用的大(二)型水利工程。总库容 3.55 亿 m^3 , 它是洒渔河上的龙头水库。坝型为细骨料混凝土重力坝, 坝高 88 m, 坝顶长 225.5 m, 共分 10 个坝段。坝后式厂房安装 2 台 6300 kW 立式机组, 总容量 1.26 万 kW。

右岸距坝轴线 30 m 处有一个由垂直张裂缝和断层带组成的松动体, 长 92 m, 宽 52 m, 最大深度 35 m, 体积为 6.2 万 m^3 。进行了监测和加固处理, 以防止失稳下滑危及大坝安全。

1 自动化监测项目

为了监控大坝运行性态, 渔洞水库大坝布设了比较全面的监测设施和仪器, 符合规范要求, 满足了安全需要。但为了实现自动化, 对个别项目尚需适当改造。原监测系统及选定实现自动化的项目和测点如下:

a. 1963 m 廊道水平位移。原设计在 1 号至 10 号坝段布置引张线 1 条, 端点分别布设在 1 号、10 号坝段, 各有倒垂线 1 条, 共设置 8 个自动化测点。

b. 挠度监测。5 号坝段原布设倒垂线 1 条和正垂线 2 条, 共设 4 个自动化测点。

c. 扬压力。大坝布设纵向扬压力测压管 10 根, 每坝段布设 1 根, 5 号和 6 号坝段各布设了 U 型测压管共 8 根, 用以测量横向扬压力分布, 共 18 个自动化测点。

d. 量水堰。5 号和 6 号坝段布置了两个量水堰, 可用测量堰前水位的传感器实现自动化监测。

e. 绕坝渗流。左、右岸各布设了 5 根绕坝渗流测压管, 共 10 个自动化测点。

f. 差阻式仪器。5 号和 6 号坝段布设了 108 支差阻式仪器, 埋设后失效 2 支, 尚余 106 支。

g. 多点位移计。5 号和 6 号坝段各埋设多点位移计一支, 每支 4 个测点, 共有 8 个自动化测点。

h. 坝前在 5 号和 6 号坝段之间布设一条水温测线, 共布设 5 支水温计, 共有 5 个自动化测点。

i. 5 号和 6 号坝段基础横向排水廊道内各设置一条连通管式静力水准仪, 上游下游各一个测头, 用以测量坝基转动, 共有 4 个自动化测点。

j. 在大坝蓄水加地震荷载作用下, 松动体有可能沿深层滑动失稳, 对工程安全运行威胁很大。在用抗滑桩和锚固索进行整治时, 安装了 5 根锚索测力计, 用以监测松动体的活动, 共有 5 个自动化测点。

2 自动化监测系统设计

自动化监测系统由自动化数据采集系统和大坝安全信息管理系统两部分组成。自动化数据采集系统采用分布式系统结构, 见图 1。由传感器至中央控制装置属于数据采集系统部分, 用以进行渔洞大坝各种自动化监测项目的数据采集, 为提取大坝安全信息提供基本资料。

大坝安全信息管理系统, 由一台信息管理主机和“大坝安全信息管理系统”软件组成。通过这个系统, 集中进行监测数据的检验和处理, 从中提取大坝安全监测数据信息, 为大坝运行管理服务。

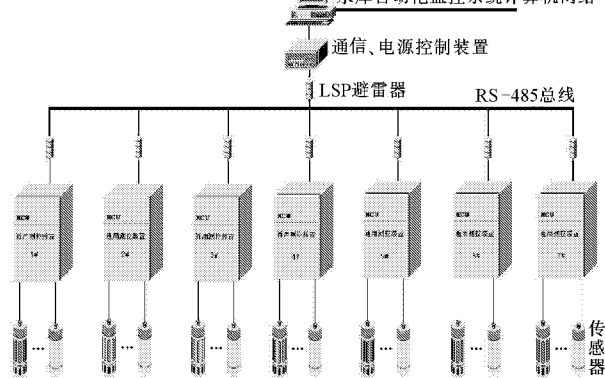


图1 渔洞水库大坝安全监测自动化系统结构拓扑示意图

2.1 分布式数据采集系统

2.1.1 分布式数据采集系统的组成

分布式数据采集系统由中央控制装置和通用测控装置构成数据采集网络,网络的中央节点为中央控制装置,其主要功能是对数据采集网络进行管理并为数据采集网络提供电源。

数据采集网络节点为通用测控装置,主要功能是对接入的仪器进行巡回测量或任选的单点测量。

数据采集网络用 RS-485 数据总线联接成总线拓扑,数据总线采用屏蔽芯线,其中传输信号为数字量,因而有较强的抗干扰能力。

2.1.2 中央控制装置

中央控制装置是数据采集网络的中央节点装置,需用 1 台,安装在坝后中央监测室内,其主要功能是进行数据采集网络管理,以数据管理主机作为备用,其具体功能如下:

a. 控制功能.通过键盘操作,启动数据采集系统实现数据采集,具备三种运行方式供运行人员选择,即:中央控制方式(应答方式)、节点自动控制方式(自报方式)和特殊自控方式。

b. 通信功能.与测控装置之间为全双工双向通信,通信距离 1200 m,4 号、5 号及 6 号测控装置与中央控制装置的联接中采用了总线驱动器以增加通信距离。

c. 数据存储功能.有 540 MB 存储容量,可暂存监测数据。

d. 数据管理功能.暂存数据可查阅、检索、绘制过程线、拷盘、打印。

e. 系统自检功能.可对系统各部位运行状态自检,显示通信、测控装置的故障信息。

f. 供电功能.为数据采集网络提供稳定的工作和加热电源,并具有防雷、抗干扰等保护功能。

2.1.3 通用测控装置

通用测控装置是数据采集网络的节点装置,共

需 7 台,是数据采集的重要设备,且具有备用的蓄电池电源,在电厂供电完全中断的情况下仍能每天巡逻一遍,正常自动工作一周,该装置安装在大坝不同部位,与所在部位附近的监测仪器联接,其故障备用为便携式检测仪,在中央控制装置或 RS-485 总线发生故障时,可用检测仪直接控制测控装置进行巡逻、选测或提取数据,其主要功能如下:

a. 测量功能.根据设计布设的位置配置有关的传感器通道板,以便接入步进式仪器、差阻式仪器、进口单线圈弦式仪器、差动变压器、浮子式等类传感器,能进行 6 种方式测量:常规巡逻、定时巡逻、常规选箱测量、检查选箱测量、常规选点测量和检查选点测量,用密封插头接入传感器,必要时可进行人工测量。

b. 控制功能.与中央控制装置相应,有 3 种运行方式:中央控制方式、自动控制方式和特殊自控方式,可供运行人员选用,后者是在通信和电源因故断开时,一周内依靠自备电源仍能按每天 1 次自动定时巡逻并储存。

c. 存储功能.所测数据可以暂存,等待中央控制装置/笔记本电脑/便携式检测仪提取,存储容量 64KB,存储空间用完后自动覆盖。

d. 通信功能.具有 RS-485 和 RS-232 接口,分别与中央控制装置或便携式检测仪联接,实现双向通信。

e. 自检功能.能够自动检查各部位运行状态,将故障信息传输到中央控制装置或便携式检测仪显示,以便维修。

f. 保护功能.具有防雷、防潮、抗干扰能力,防水机箱具有密封结构及加热去潮电阻,全部电路板进行三防处理,接插件触点镀金或镀银,以保证在水工环境中长期稳定工作。

2.2 大坝安全信息管理系统

大坝安全信息管理系统安装在信息管理主机中,与分布式数据采集系统联机运行,为渔洞水库大坝安全运行提供所有历史的和实时的监测数据和管理用的有关报表、曲线和报告,它作为管理局局域网的一个子系统联网运行,达到在网络中交换信息和资源共享的目的,它是一套为大坝安全运行管理服务,实现检测数据储存和自动化处理的专用软件,其程序结构是由各种功能模块组成的树状结构,由一个顶层模块统一管理,分层功能模块按需要调用,集数据库管理子系统和数据处理子系统于一体,以 Windows 95/NT 环境为基础,实现不同软件的接口和通信,数据库储存各种有关大坝安全的数值、图形和文字数据,其数据库管理系统能对这些数据库实施高效管理,能够和分布式数据采集系统联机运行,实现在线监测,其主要功能如下:

a. 联机运行和在线监测. 具有和数据采集软件通信的接口, 可以联机运行, 将自动采集的各个监测项目的监测数据, 经过粗差检验, 输入有关的监测数据库储存.

b. 数据库管理. 设置各种数据库, 包括: 工程基本资料(文字和图形), 工程特性参数和计算成果, 大坝安全检查记录, 监测系统信息, 监测数据, 巡视检查信息, 监测成果. 通过本系统可对这些数据库中的数值、文字和图形信息进行增加、修改、删除、插入、排序、浏览、查询、输出.

c. 输出信息和运行管理. 通过数据处理、作出的各种图形、数据均可以报表、报告、图形的形式输出, 供运行管理和上报之用, 以保证大坝安全, 优化调度, 取得更大的工程效益.

2.3 系统的性能

a. 数据采集的监测仪器类型. 系统可接入下列 7 类监测仪器: 步进电机式仪器, 差动电阻式仪器, 单线圈振弦式进口仪器和单线圈、双线圈振弦式国产仪器, 电感式仪器, 差动变压器式仪器, 可变电阻式仪器, 浮子式仪器.

b. 数据采集周期和速度. 采集周期根据工程要求可在中央控制装置中设定或修改. 采集速度巡测一遍时间不大于 10 min, 选测一测点时间不超过 1 min.

3 人工专家分析系统

原型观测资料分析与安全分析专家系统是在 Windows95/NT 环境下, 采用面向对象设计思想和面向对象的知识库组织, 以在领域内的通用性为基本原则而设计开发的. 它主要由数据处理、知识库维护和安全状态评价三大模块组成^[1], 另附加一个工程资料辅助功能. 其主要功能模块见图 2.

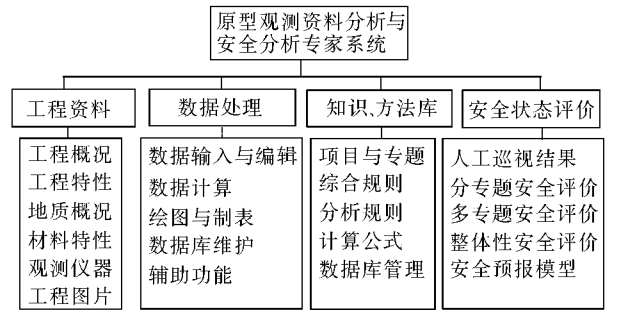


图 2 人工分析专家系统主要功能模块

3.1 资料处理信息库

观测资料处理是专家系统的基础, 也是其重要功能. 观测资料库可以独立于专家系统单独运行, 也可在专家系统中调用. 它与专家系统共享相同的数据库.

3.1.1 数据库管理系统

数据处理信息库和专家系统中必然要涉及大量

的数据库操作. 为高效、灵活地处理数据, 方便信息和专家系统各模块之间的信息库和专家系统各模块之间的信息交换和相互调用, 应建立一个独立的关系型数据库.

3.1.2 信息库数据组织与处理

每次观测获得的原始数据量大、种类多, 因而数据库组织与管理就成为数据处理的首要问题. 信息库中的数据根据其所起的作用分成 3 个级别. 第 1 级为原始观测数据, 这种数据完全独立存放, 一般不予修改; 第 2 级为物理量数据, 是从原始数据利用仪器的率定参数通过公式计算得到的, 它们具有直接的物理力学意义, 这种数据与原始数据分开存放, 并且可以在剔除粗差时加以修改; 第 3 级是计算数据, 这是对物理量数据进行数学处理所获得的结果.

信息库中设置一个测点参数表, 存放各测点的编号位置、率定参数、初始值等全部有关信息. 在由原始数据获得计算数据时, 以及将观测数据写库时都要反复调用这个表, 它也是专家系统的主要静态表之一. 所有计算和调用均根据测点进行, 增加和删除测点的工作全部在这个表中进行.

3.2 专家系统的知识库和方法库

一个专家系统的核心在于知识库的内容、组织、管理和使用, 知识库中的内容及其表现形式同样是很重要的. 在知识库中建立相对独立的若干个项目, 每一个项目下设若干专题. 专题的评价成果来自分析规则和综合规则. 渔洞水库大坝安全问题的整体评估在系统中分解为既相互联系又相对独立的若干分析专题. 专家系统可对各专题进行单独调用, 也可进行综合评价.

系统知识主要包括各类规范知识和专家经验的启发性知识, 以构成各类评判准则, 并应用模式识别的映射理论, 评价大坝的安全状况.

实时分析系统的评判准则主要包括时空评判准则、力学规律评判准则、数学模型评判准则、监控指标评判准则和关键问题评判准则等^[2~4].

方法库是用于观测资料处理、分析、反分析、结构和基础扬压力分析及综合评判等的各类程序. 主要有:

a. 结构和基础扬压力分析类程序: 有限元或数值流形方法分析程序, 松动体稳定分析程序, 刚体稳定分析程序和渗流分析程序等.

b. 观测资料分析程序: 观测资料预处理程序; 回归分析程序; 各类监控模型程序; 参数反分析程序; 监控指标反分析程序等.

c. 综合评判程序: 多层次、多目标的专家综合评判程序等.

(下转第 63 页)

Windows 计时器编辑的,虽然计时器独立于 CPU 的时钟速度,但由于 Windows 不是一个实时操作系统,计时器的消息同 Windows 的其他消息一样也可能被其他控制函数所阻塞.不过计时器的消息不会倍加起来,如果消息队列中已经有了计时器消息的话,Windows 就不会把同样的计时器消息再放到队列中,所以当时钟控件的 Interval 属性的值太小时,时钟可能会不太精确,但不会使计算机因计时器的消息太多无法处理而死机.

因此采用中断方式,并用 DMA 数据传送进行 A/D 采样,选用适当的采样频率,满足控制系统的要求.

3.2 采样频率的确定

Pcl-812pg 板允许在中断方式 DMA 传送模式下的最大采样频率为 30 kHz,采样频率的选择,既要保证采样时间不能大于控制程序循环执行的时间,还要考虑数字滤波对循环采样的次数的要求,另外还必须兼顾计算机的运行速度. SY300-1 型高压三轴仪的控制系统的循环执行时间为 50 ms,结合数字调理仪的硬件滤波,通过试验确定 A/D 的采样次数是 50 次,每次采样 16 路,所以一轮采样所需时间 $t = 50 \times 16 / F$,即采样频率 $F = 800 / t$,因为 t 不大于 50 ms,取 $t = 40$ ms,采样频率 $F = 20$ kHz,满足 Pcl-812pg 板的频率. 试验结果证明控制系统的实时性很好.

(上接第 61 页)

3.3 人工专家分析系统

人工专家分析系统是收集各种类型的资料(包括设计、施工、观测与目测等资料),对这些资料进行不同层次的分析(包括单项分析、反馈分析、混合分析以及非确定性分析),找出荷载集和效应集之间的关系,拼出一幅综合反映大坝运行的图案,然后凭借专家的经验和洞察力,运用归纳、演绎中的逻辑思维和逻辑思维,经过推理评判,得出大坝的综合工作性态.其过程见图 3.

人工专家分析系统通过荷载集与效应集、效应

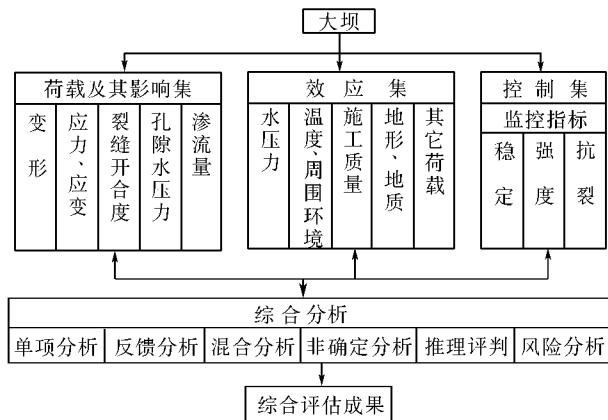


图 3 人工专家分析系统流程

4 结 语

a. SY300-1 型高压三轴仪控制系统在 Windows 9x 操作系统 VB5.0 开发环境下,数据采集系统采用中断方式并且选用 DMA 数据传送模式的方法是可行的.

b. 采样频率的确定要恰当,对于 SY300-1 型高压三轴仪控制系统采用的采样频率 20 kHz,能满足控制系统对数据采集的要求,达到较好的控制效果.

c. 利用微型计算机作为控制用主机,在 Windows 操作系统下研制控制系统软件,由于 Windows 本身是一个非实时系统,所以对微机的运行速度和总线速度要求较高.

d. 利用 VB5.0 开发环境在 Windows 9x 平台下成功开发 SY300-1 型高压三轴仪控制系统,说明在合适的数据采样方法、PID 控制参数和运行节奏等条件下,能够充分利用 Windows 的友好界面及多任务性缩短控制软件的开发周期,降低研制的费用并且便于软件的维护和升级.

参考文献:

[1] 王克己. Visual Basic 5.0 中文版参考手册 [M]. 北京:人民邮电出版社,1988. (收稿日期 2000-01-03 编辑 熊水斌)

集与控制集以及控制集与荷载集之间的确定性和非确定性关系的正逆分析,对大坝的结构性态和运行工况作出全面评估,摸清薄弱部位及其原因,确定不同级别的控制荷载以及监测和警报方案、决策防范措施,并对这些措施作出风险估计.

4 结 语

水工建筑物的安全监测自动化已成为一种发展趋势,被越来越多地采用.监测数据的采集并非监测目的,其最终目的应该是通过对监测数据的分析,确定水工建筑物的安全状态.本系统将安全监测自动化与人工专家分析相结合,形成了功能齐全的集数据采集、辅助决策、专家综合诊断和安全评价于一体的实时监控系

参考文献:

[1] Portela E T A. Knowledge-based expert system an application to the safety control of dams [A]. In :Eighteenth Congress on Large Dam [C]. 1994. 1019 ~ 1033.
[2] 吴中如,顾冲时.大坝安全综合评价专家系统 [M]. 北京:北京科学技术出版社,1997.
[3] 赵斌,吴子平,马福恒.分布式大坝安全评价专家系统的开发 [J].大坝安全监测,1999(1):137 ~ 143.
[4] 沈振中,吴中如,温志萍,等.二滩拱坝安全监测在线监控系统 [J].水利水电科技进展,2000,20(3):33 ~ 35.

(收稿日期:1999-12-06 编辑 熊水斌)