

基于 LabVIEW 的数字化大坝监测管理系统 Digital Dam Monitor & Management System Based on LabVIEW

作者：李亚奎¹ 李亚伟²

工作职务：在读本科生¹ 博士研究生²

机构名称：武汉理工大学自动化学院¹ 大连理工大学土木水利学院²

应用领域： 工业自动化

使用的产品： LabVIEW 6i、分布式 I/O 系统(CFP-2020、cFP-TC-120、cFP-AI-110、DI-301、cFP-BP-4、CB-37FV 和带电缆 DIN 螺丝导轨)、嵌入式实时 PXI 控制器 PXI-8146 RT、PXI-1006、PXI-8211、NI 4351 等

挑战： 利用 NI 公司的软硬件产品设计一个高度智能化的水库大坝监测管理系统，由它来完成对水库、大坝全方位的准确、及时的监测，改变传统的监测管理模式，实现对大坝监测的高度数字化的管理。

应用方案： 应用美国 NI 公司的虚拟仪器技术，采用 PXI 系统，以 LabVIEW 6i 为开发平台，建立起了功能强大的水库、大坝监测管理系统。

介绍

当前，水资源在全球资源结构中的重要地位日益突显，水库大坝的安全监测和稳定运行显得更加关键。随着计算机和网络技术的飞速发展，以及 NI 的产品在数据采集、分析和仪器控制等方面的优秀表现，使建立数字化大坝监测管理系统成为可能。本文采用 NI 的 LabVIEW、分布式 I/O 产品 (Compact FieldPoint) 等构建集变形、应力和沉降监测、安全评估等多方位的分布式数字化大坝监测管理系统，充分发挥 LabVIEW 强大的人机交互功能。实现监测大坝的应力变化以及三维变形，根据应力变化以及变形情况预测未来趋势，对大坝的安全进行评估。具有实用性强、性能稳定、运行可靠的优点，可以有效的改变当前传统的监测管理模式，加速水资源管理的信息化步伐。

Introduction

Nowadays, the status of water resource is becoming more and more import in global resource structure, so, the safety monitoring and stable operation of the dam has been a crucial issue. With the fast development of the computer science and network technology as well as the leading performance of American NI, which is widely applied in data collection & analysis, instrument control etc, Digital Dam Monitor & Management System (DDMMS) can be realized based on NI. This paper applies U.S.A LabVIEW, distributed I/O products (Compact Field Point) to establish a distributed Digital Dam Monitor & Management System that includes transmute monitoring section, stress monitoring section, sedimentation monitoring section and dam safety evaluation & prediction. It takes full advantage of the powerful abilities of LabVIEW to develop highly compact human-machine interface, the main function of the system is monitoring the stress alteration and transformation in 3 dimension, when the stress and transformation approach the valve value, the system will give out alert, additionally, it can predict and

evaluate the operation

condition of the dam in the future, DDMMS has good practicability, stable function and operation creditability; it can effectively change the traditional dam monitoring & management mode and improve the water resource information development.

当前我国绝大多数的水库运行管理中，依然采用传统的监测设备与管理模式，其缺点日益暴露：设备成本居高不下，维护难度大，设备通用性差。本文建立了数字化大坝监测管理系统能对水库大坝进行实时地监测管理，通过对监测数据采集、分析、处理、查询，掌握水库大坝的实时运行状况，及时发现异常情况并采取措施。此外监测管理系统具有广泛的适应性、较强的通用性、运行可靠、维护简便、建设费用合理，可从根本上改变传统的监测管理模式。本系统监测设备主要由美国国家仪器的嵌入式实时 PXI 控制器、分布式 I/O 系统配合高精度的光纤传感器等一系列国际上广泛采用的精密传感器件经过优化组网构成，监控软件由 NI 的 LabVIEW 6i 生成，其人机交互功能强大。

监测管理模式的选择

目前，国内外多数监测系统采用集中控制模式和分布式控制模式两种，也有一部分系统是二者兼有的混合型。

集中控制模式的监测系统主要是由工业计算机作为中央控制装置配合监测设备共同组成。它可以实现对被测对象的数据采集、分析、处理、数据存储、显示、超限报警等功能，这些功能一般集中于一个庞大的一体化的监控设备之中。但是集中控制模式的监测系统有其固有的缺陷：系统软件开发难度大，人机交互功能不强，通用性差，硬件设备故障集中，随监测对象的增加系统处理速度急剧下降，传感器输出的模拟信号易受噪声的干扰。对于像水库大坝等这样的大型监控系统，监测对象众多，形式多样，用集中控制模式的系统在国内外成功的案例较少，因而不适应于开发数字化水坝监测管理系统。

分布式控制系统由集中操作管理单元、分布的测控单元和通信网络构成。它是在网络技术、大规模集成电路和嵌入式技术的基础上发展起来的，其主要特点有：可将复杂的系统分解为相对简单的独立模块，系统层次清晰。本系统在建设初期对监测系统进行分解时采用了优化的遗传算法，对整个系统进行了优化分解，监测任务合理分配，有效的提高了系统的运行速度，数据采集由分布在监测现场附近的高精度传感元件配合智能节点（本文使用美国国家仪器的 Compact FieldPoint CFP-2020 等）来承担，有效的提高了测量精度。

数字化大坝监测管理系统涉及各智能节点（CFP-2020 与多个智能化的 I/O 模块组成）与上位机（嵌入式实时 PXI 控制器 PXI-8146 RT、PXI-1006、PXI-8211、NI 4351 等组成）之间的数字信号通讯采用以太网传输，抗干扰能力强，各通讯接口的硬件（物理层）和软件（通讯协议）都采用 NI 的产品，消除了兼容性的问题，各种硬件执行标准统一，信号传输可靠，单个故障不会严重影响系统正常运行，并且容易维护，另外，本文涉及的监测管理系统适应能力强，可根据现场的要求，灵活配置各智能节点的位置与数量，中央控制单元只需要对各个智能节点传来的数据进行接受和处理即可，有效的减轻了主机的负担。总之，分散式的监测控制模式以后必将会成为水利工程的一个最佳选择。

数字化水坝监测管理系统的主体构成

监测管理系统的网络结构合理、层次简明是十分重要的，如图 1 所示，在数字化水坝监测管理系统分为三个子系统，即水力学监测子系统，动力学监测子系统，安全监测子系统，对于某些重要的监测对象（如位移、渗流、应力应变异常、渗压等信息），本系统采用专项监测，便于监测系统迅速地反映水库运行中出现异常时的信息，有利于及时采取措施。

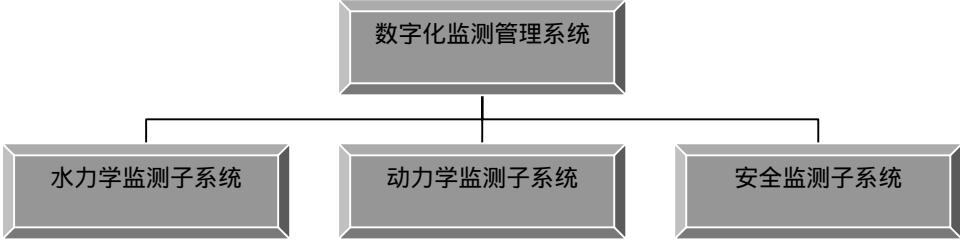


图1 数字化水坝监测管理系统主要组成

大坝变形监测网络的构建

为实现大坝的数字化监测与管理，我们抛弃传统的监测检测方式，采用美国国家仪器的分布式 I/O 系统（CFP-2020、cFP-TC-120、cFP-AI-110、DI-301、cFP-BP-4、CB-37FV 和带电缆 DIN 螺丝导轨）配合光纤传感器实现高精度快速的监测，图 2、图 3、图 4 分别描述了数字化水坝坝体形变监测网络的架构图。

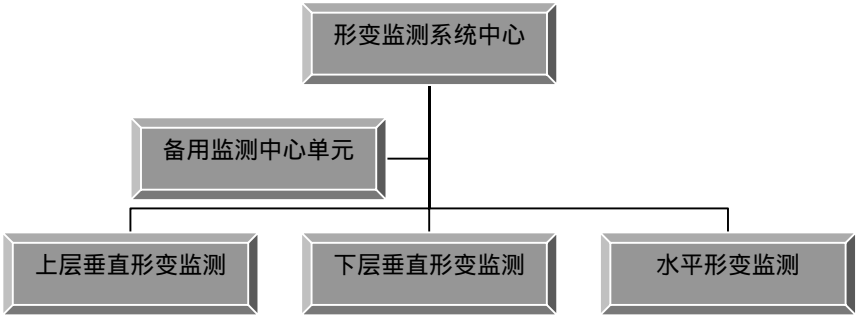


图2 数字化水坝坝体形变监测网络框图

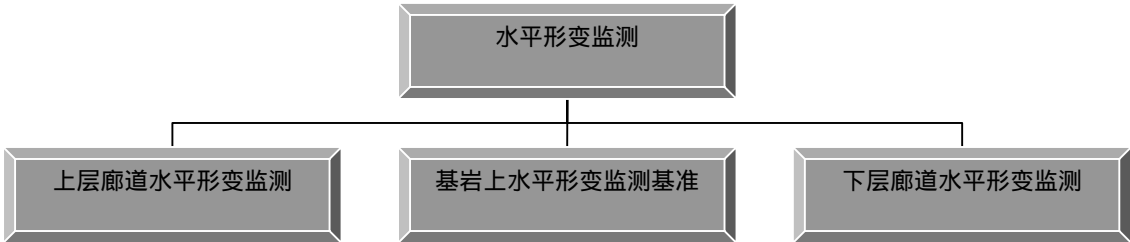


图3 数字化水坝坝体水平形变监测组成

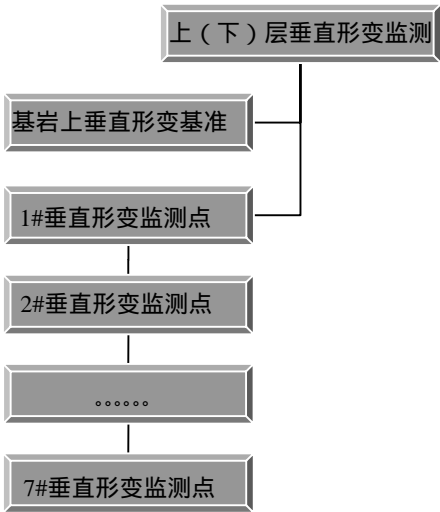


图4 数字化水坝坝体垂直形变监测组成

大坝形变监测采用阵列式光纤和高精度应力应变传感器，配合分布式 I/O 系统，组建分布式光纤传感器模块；同时智能化的 I/O 模块 cFP-TC-120、cFP-AI-110 的高精度低噪声的特点保证了系统的监测精度；智能型以太网控制器 CFP-2020 位系统提供了强大的网络交换功能，保证了数据存储的安全性。在变形监测网中基准网的构建由建立在基岩上的监测点组成，用于测量变形体上目标点的“绝对”变形。基准网的精度直接影响着对大坝变形监测的实时性和准确性，为保证监测的实时性和准确性 NI 的分布式 I/O 系统毫无疑问的成为我们的最佳选择。为形象地反映大坝实际形变，在监测网络构造时采用了多路分布式 I/O 分别对大坝的多层水平形变和多点垂直形变进行实时监控，并根据大坝混凝土和基岩特性，编制相应的有限元程序，根据程序处理结果，链接模型库，并构建大坝三维监测模型，从而给决策者提供快捷、有效的决策信息。

数据库与模型库的组建

数据库与模型库的建设直接关系到系统运行的可靠性与稳定性,该监测管理系统的数据库与模型库由各级洪水预报调度、水情自动遥测、气象自动采集、水库日常调度、雨水情自动采集、历史数据管理与查询、水库数字三维模型、大坝安全监测数据采集与数据综合分析系统共同提供支持。其承担各智能节点传输的监测数据的记录，同时为管理人员提供各种数据查询、信息综合分析以及水坝运行三维数字模型的构建等重要任务。我们采用双闭环的网络，并配合智能型以太网控制器 CFP-2020（配有大容量的存储器）为系统稳定运行提供双重保证。

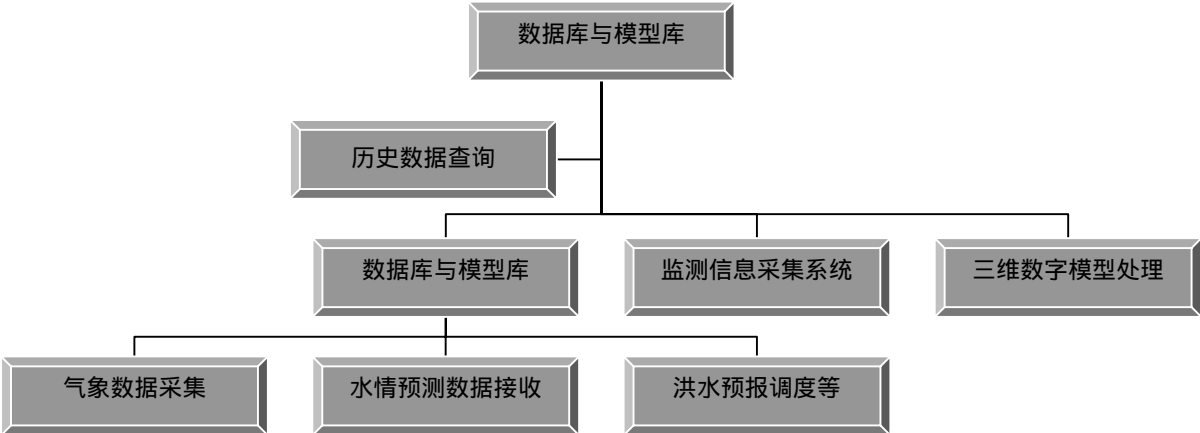


图5 数字化水坝数据库系统与模型系统

其它子系统的构建同样以提高监测精度以及系统运行可靠性，节约系统建设费用，易操作与维护简便为目标，与大坝形变监测网的建设思想基本相同。

数字化大坝监测管理系统的各个监测工作站采用普通PC机以以太网的组网方式或无线连接的方式连接在监测网络中，这些监测工作站广泛的分布在政府、大坝安全技术监督机构、流域管理部门和大坝安全监测现场，为各级部门和机构实时地提供监测信息，为大坝的安全运行提供有力的决策依据。

系统测试与实际应用

为了验证此数字化大坝监测管理系统的实际运行状况，对某水电站大坝进行了局部测试，系统在测试过程中表现出令人满意的效果，图6显示了测试中一个监控站上的实际信息，此次测试整个系统共运行了5天，并与水坝内原有的监测系统进行了对比，这套基于LabVIEW和NI的Compact FieldPoint表现出明显的优势，原有的监测系统无论是在使用还是在维护方面与该基于LabVIEW的数字化水坝监测管理系统都有较大差距，并且数字化大坝监测管理该系统在建设费用上只有原系统的2/3，操作简便，扩展方便，通用性强，管理人员对此评价较高。



图6 数字化水坝监测管理系统的监测界面
(图上显示了在2004年5月11日的一次监测时安全监测子系统的检测结果)

结论

基于 LabVIEW 的数字化大坝监测管理系统中重点研究了系统结构层次的构建、网络结构模式的优化和数据管理系统总体结构的建立，采用系统分析、功能对比等方法，其突出的优点在于： 监控模式采用分布式控制； 各监控子系统采用简洁的总线形网络结构； 在分布式控制系统中，采用 NI 的具有独立功能的智能化节点； 数据库系统采用分级管理模式； 系统结构具有开放性、可扩充性； 具有强大的人机交互界面，维护简便； 从系统的稳定性和建设费用等多方面综合考虑，系统适当的加入冗余设计，有效的保证了系统的可靠性； 便于和 NI 的其他软硬件结合起来，构建功能更加强大、完整的测量系统，便于形成标准化，有效的加快我国水电事业数字化建设的步伐。