

大跨度水文缆道自动测流系统设计

周 巍, 武利生

(太原理工大学机械工程学院, 山西 太原 030024)

摘要 介绍了大跨度水文缆道自动测流系统的功能、原理及软硬件设计, 重点阐述了测验信号实时采集技术、无线信号传输技术和工控机及 PLC 测控处理技术在该系统中的应用。运行实践证明, 系统稳定可靠, 具有良好的应用和推广价值。

关键词 水文测验 水文缆道 测流系统 PLC

中图分类号 TP368.1 P335

文献标识码 A

文章编号 1006-7647(2008)S1-0156-03

水文测验是一项关乎国民经济发展的基础性工作, 水文资料的精度和时效性对于防汛抗旱、水资源规划和利用具有很大的影响。吴堡水文站是黄河中游北干流上最重要的国家级水文站。该段黄河流量测验断面相对较宽, 缆道跨度大(670 m), 由于驱动循环索张力较大等缘故, 致使常规铅鱼缆道测流系统难以适应。

目前, 吴堡水文站缆道测流系统需与人工测流配合才能完成任务, 整个系统自动化程度以及水文测量精度较低。因此, 黄河水利委员会中游水文水资源局与太原理工大学合作开发研制了大跨度水文缆道自动测流系统。

1 系统概述

1.1 系统组成及工作原理

大跨度水文缆道自动测流系统(以下简称自动测流系统)集交流变频调速技术、光电编码器测距技术、无线信号传输技术、计算机及可编程序控制器(PLC)测控处理和数据实时采集处理技术于一体, 选用工控机、PLC 等工业级高可靠性的元器件, 保证在野外的正常操作, 并设计了多种保护、报警功能, 可以自动或半自动方式对人工或天然河道的任意断面实施流量测验。

吴堡水文站铅鱼缆道采用吊箱式结构, 由岸上主控机房设置的一台工控机与吊箱内的一台 PLC 组成两级控制系统, 工控机通过 RS232C 串行通信接口与无线数据传输电台连接, 与安装在吊箱中的 PLC 上的无线数据传输电台组成无线双向通讯回

路, 进行数据与指令的传输, PLC 完成对垂直升降的测控, 并采集流速仪、水面、水底等信号, 实时无线传回主控计算机。

自动测流系统的水面信号设计采用一个胶木板, 胶木板中间开一个缺槽, 两边各有一个电极, 固定在铅鱼尾翼上, 与流速仪中轴位置保持一致。入水后靠水的导电性导通, 产生水面信号。河底信号由失重器产生。它安装在起重索的固定端, 平时靠弹簧的拉力使开关保持断开, 当铅鱼落到河底时, 钢丝绳由于失去铅鱼的重量而产生松弛, 使弹簧复位, 开关闭合发出河底信号。失重器实际感应的是钢丝绳的张力。自动测流系统的信号通过水下信号采集模块将水面、流速仪信号调制后以不同频率的交流脉冲信号发出, 接收器经过放大、整形并采用锁相环音频译码电路将信号分离开来, 该信号具有很强的抗干扰能力和很高的灵敏度, 避免了信号传输过程中的相互干扰现象。起点距的测量采用光电编码器直接安装在绞车的牵引出线上, 克服了绞车计数盘因传动轮内槽各部位直径不一致而产生的计数误差。

另外, 自动测流系统采用一种全新的铅鱼自动拉偏法, 拉偏索的长度可以根据实际情况自动调节, 这种方法结构简单、控制准确, 可以大大提高测深精度。工作原理如图 1 所示。在吊箱中安装电动拉偏绞车, 钢丝绳一端固定于卷筒上, 另一端绕过安装于定长拉偏缆上的定滑轮后与铅鱼固定。通过调节卷筒到铅鱼之间钢丝绳的长度来实现拉偏。

1.2 系统功能

该系统可以提供连续完整、及时可靠的水文资料, 弥补了人工定时观测的不足, 提高了水文测验的

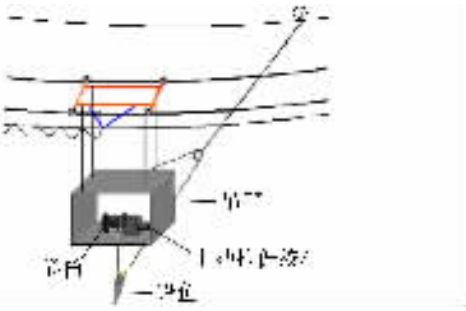


图1 铅鱼自动拉偏系统工作原理示意图

质量与效率。系统主要功能如下：①具有手动、自动控制功能及各种运行状态显示功能；②具有水平、垂直2个方向的调速、定位功能，精度分别为0.1 m和0.01 m；③施测过程可从任意垂线开始，能实时测量流速和水面、水底信号，并计算水深和测点位置，各垂线点具有重测、测控数据无线传输及图像远程监视功能；④具有自动采集、存储、打印功能，能够实时生成曲线、报表，完成全自动测量过程。

2 系统的硬件设计

控制系统硬件原理如图2所示。

2.1 工业控制计算机选型及接口电路

自动测流系统中的主机选用研华工控机，并增加下列板卡：PCL-818L/LS，PCL-833，PCLD-785和PCLD-782，构成系统实时采集信号、控制输出信号等输入输出信号的接口电路。

2.2 可编程控制器选型及扩展

自动测流系统选用德国SIEMENS公司的SIMATIC S7-200型PLC^[1]和相应的扩展模块作为吊箱垂直升降的控制单元。其中PLC主要由主模块CPU226、模拟量扩展模块EM235组成。EM235具有1路模拟量输出、4路模拟量输入，其中A通道输入力传感器信号，B通道输入倾角传感器信号，C通道输入变频器信号，D通道为预留的扩展接口。根据实际需要还可以继续增加扩展模块^[2]。

2.3 无线数据传输系统

无线数据传输系统具有工作可靠、误码率低、施工简便等优点。鉴于吴堡缆道的实际情况，无线传输方式是最佳选择。故选用ND250A专业数据传输电台构成数据传输系统。

2.4 传感器的选择

a. 力传感器：在拉偏机构的设计中，为了反映拉偏索的倾斜角度，选用PST系列力传感器，PLC通过模拟量扩展模块EM235将信号采集回来，并根据其值的大小变化控制拉偏索的长度，保证拉偏索的倾斜角介于30°~45°之间。

b. 倾角传感器：为了反映吊箱的倾斜角度，在其中安装一个HG系列倾角传感器，其信号经PLC采集处理后，用于修正铅鱼吊索偏角。

c. 光电编码器：除了反映吊箱水平运行距离的编码器外，在吊箱的卷筒和铅鱼的滑轮上各安装一个编码器，用来检测吊箱和铅鱼在垂直方向的位移。两者均选用欧姆龙的E6B2-CWZ6C型集电极开路输出(NPN输出)编码器，分辨率为1000脉冲/转，PLC根据计数值和设定的系数值即可得到对应的水深位置。

d. 缆道综合信号仪：通过水下信号采集模块将水面、流速仪信号调制后以不同频率的交流脉冲信号发出，接收器经过放大、整形并采用锁相环音频译码电路将信号分离出来，该信号具有很强的抗干扰能力和很高的灵敏度，避免了信号传输过程中的相互干扰现象。

e. 变频器：在系统中增加变频调速控制，不仅可使系统以不同速度运行，更能减小电机起停时对系统的冲击，减小钢丝绳的弹性振荡，提高系统定位测试精度。而且由于变频器应用大量最新电子技术，具有对外界电网干扰较小、控制可靠、扩展功能方便等特点，所以自动测流系统选用MICROMASTER420型变频器^[3]，设计出具有良好调

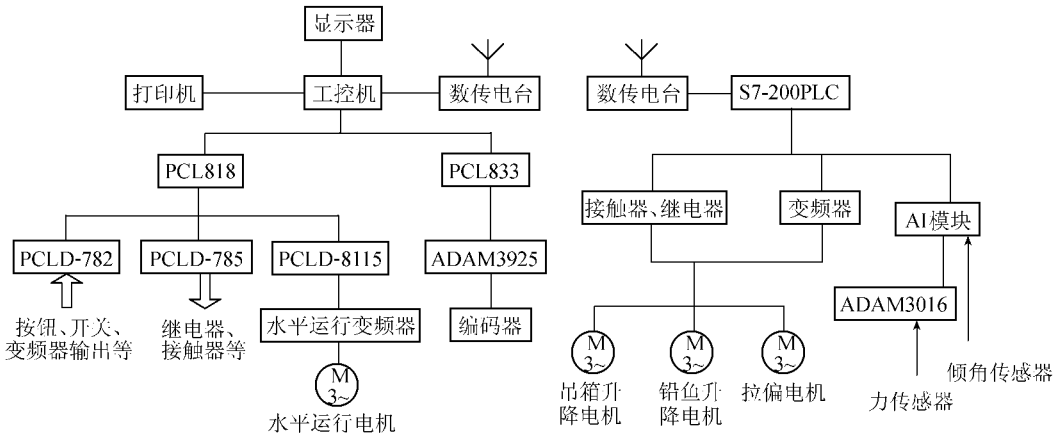


图2 控制系统硬件原理示意图

速性能,操作方便,能接受计算机控制的交流电机变频调速系统,从而取代了晶闸管直流调速设备和其他以拖动方式作为测站铅鱼的动力拖动装置。

3 系统的软件结构

3.1 软件功能

水文缆道自动测流系统的软件是一套集硬件控制、数据接收与处理为一体的应用软件。它采用模块化结构,具有先进性、实用性、可靠性和可扩充性。软件设计包括两部分:第一部分为 PC 机软件设计,选用 VC 编程语言,测验项目以菜单形式提供,以便自由选择,并具有纠错、应急等功能;第二部分为水文测验控制台控制软件设计,主要是完成各种输入信号的接收,对铅鱼和摄像机云台运行的控制,各种测量数据的处理、计算、显示、存储、传送等。软件的内容包括数据通信、运行控制、数据处理、保存、打印输出等。根据水文测验工作需要,按照设计目标要求,整个测流系统软件应具备自动测量、人工测量、半自动测量、自检测试、数据保护(纠错)、抗干扰等功能。

3.2 软件结构

3.2.1 PLC 软件结构

PLC 是吊箱的控制核心,负责完成对铅鱼升降电机、吊箱升降电机、拉偏电机的自动控制,此外还负责拉偏力信号、倾角信号、编码器信号等的数据采集处理以及与主控计算机的通讯。PLC 的程序用梯形图编制,主要分为三大模块,即运动控制模块、数据采集处理模块、通讯模块,其结构如图 3 所示。

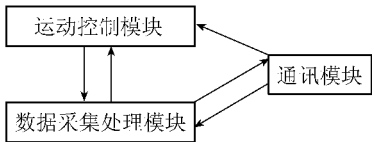


图 3 PLC 软件结构

- a. 运动控制模块 接受现场操作盒和通讯模块从上位机接收的指令,结合数据采集处理模块自动采集处理的数据,判断是否满足运行条件,从而控制电机实现各种动作,完成测流任务。
- b. 数据采集处理模块 实时采集吊箱升降编码器信号、铅鱼升降编码器信号、水面信号、水底信号、流速信号、拉偏卷筒计数器信号等,同时通过模拟量输入通道采集电机工作状态、力传感器的测力值以及倾角的大小值,经过硬件、软件滤波后,发送给通讯模块,并通过数据传输电台报告上位机。
- c. 通讯模块 接收上位机发来的指令传给运动控制模块及数据采集处理模块,并将数据采集处理模块加工后的数据传回工控机,除实现这一功能外,

通讯模块还负责指令的校验工作,确保接受指令的正确性。

3.2.2 工控机软件结构

工控机(IPC)是整个缆道自动测流系统的核心,除直接控制岸上的一台水平巡回电机,采集水平巡回位移数据外,还要发出指令控制吊箱中的设备运行,并负责整个系统的运行控制以及水文测验数据的采集、处理、存储、打印等工作。设计软件用 VC 开发,并要求 PRODAVE 软件支持,IPC 软件结构如图 4 所示。

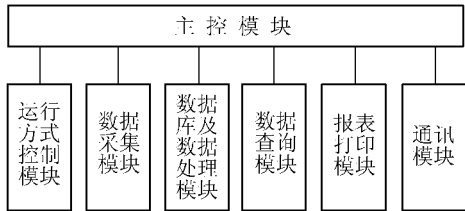


图 4 IPC 软件结构

- a. 主控模块。该模块是整个程序的主线程,完成人机界面的设计,控制程序的运行流程,实现对各功能模块的管理和调用。
- b. 运行方式控制模块。按照设定的运行方式控制各电机的运行,包括手动运行方式和自动运行方式。手动运行方式是指完全根据操作者的要求对吊箱电机、铅鱼电机、拉偏电机进行分别控制,完成任意垂线点的重测;自动运行方式是指根据程序中设置的不同测验模式,自动地完成对各个电机相应的控制,获取各个测点的数据。
- c. 数据采集模块。①根据测流铅鱼定位控制信号定时记录流速仪的转数,并将该参数存入原始参数数据库,当遇到流速仪被水草阻挡停转时,程序设置有自动诊断功能,能立即返回和存储相应标志信号,对该测线重新测量,保证测量的准确性。②采集测流铅鱼的垂直位置信号,通过数据采集电路硬件配合,根据各基准参量的接点动作顺序确定测流铅鱼的位置。
- d. 数据库及数据处理模块。该程序设置有 2 种数据库,即原始参数数据库和流量数据库,原始参数数据库存放每个测点的流速仪转数、流速仪型号、水深。测流过程完成后这些参数经数据处理模块处理,计算出各点流速和总流量存入流量数据库,该数据库的数据可作为历史资料保存。
- e. 数据查询模块。该模块可以实现按时间、位置对数据库中流速、流量、水深等各项历史数据的查询。

(下转第 171 页)

- dam failure flood [J]. J of Hydraulic Research, 1982, 20 (4) : 317-328.
- [6] 陈洪凯,唐红梅,张录坤. 渗流自由面求解的基本方法、修正及应用[J]. 重庆交通学院学报, 1997, 16(3) 5-10.
- [7] 李春华. 稳定渗流有限元计算时采用固定网格的初步研究[C]//刘子方. 第三届全国渗流力学讨论会论文汇编(3). 武汉: 长江科学院, 1986 67-75.
- [8] 王贤能,黄润秋. 有自由面渗流分析的高斯点法[J]. 水文地质工程地质, 1997, 6(2) 1-4.
- [9] 舒仲英,邓建霞,李龙国. 加密高斯点单元传导矩阵调整法在有自由面渗流分析中的应用[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2007, 39(1) 48-52.
- [10] 速宝玉,郭洪兴,詹美礼. 非稳定渗流用截止负压法求解的研究[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(6) 711-714.
- [11] 张乾飞,吴中如. 有自由面非稳定渗流分析的改进截止负压法[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(1) 48-54.
- [12] 张有天,陈平,王镭. 有自由面渗流分析的初流量法[J]. 水利学报, 1988(8) 18-26.
- [13] 王媛. 求解有自由面渗流问题的初流量法的改进[J]. 水利学报, 1997(3) 68-73.
- [14] 梁业国,雄文林,周创冰. 有自由面渗流分析的子单元法[J]. 水利学报, 1997(8) 34-38.
- [15] 吴梦喜,张学勤. 有自由面渗流分析的虚单元法[J]. 水利学报, 1994(8) 67-70.
- [16] 彭华,曹定胜,王家荣,等. 有自由面渗流分析的弃单元法及其应用[J]. 人民长江, 1997, 28(8) 38-40.
- [17] 凌道盛. 有自由面渗流分析的虚节点法[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2002, 36(3) 243-246.
- [18] 张宜虎. 采用等效渗透系数法搜索渗流自由面[J]. 工程地质学报, 2004, 12(2) 187-192.
- [19] 党发宁,王晓章,郑忠安,等. 有自由面渗流分析的变单元渗透系数法[J]. 西北水力发电, 2004, 20(1) 1-3.
- [20] 郑宏,戴会超,刘德富. 改进的有自由面渗流问题的 Bathe 算法[J]. 岩土力学, 2005, 26(4) 505-512.
- [21] 曹文贵,胡坚丽,卢山. 加权截距法确定渗流自由面的有限元方法探讨[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2006, 33(2) 6-9.
- [22] 李连侠,廖华胜,刘达,等. 渗流计算中求解浸润面的自适应网格方法[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2006, 38(5) 76-81.
- [23] 李宝元,任亮. 求解带自由面渗流问题移动网格法的改进及其工程应用[J]. 计算力学学报, 2007, 24(3) 370-374.
- [24] NIWA A, CLOUGH R W. Non-linear seismic response of arch dams [J]. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1982, 10 267-281.
- [25] 柴军瑞,仵彦卿. 采用边界元法确定渗流自由面的一种改进方法[J]. 陕西水力发电, 2003, 16(1) 11-12.
- [26] 薛馨,金吾根,李珏,等. Trefftz 直接法解渗流自由面问题[J]. 岩土力学与工程学报, 2005, 24(13) 2322-2326.
- [27] BELYTSCHKO T. Element-free Galerkin methods [J]. Int J Num Meth Eng, 1994, 37(6) 229-256.
- [28] 周维垣,寇晓东. 无单元法及其工程应用[J]. 力学学报, 1998, 30(2) 193-202.
- [29] 曾清红,卢德唐,齐岩. 无网格法求解稳定渗流问题[J]. 计算力学学报, 2003, 20(4) 440-445.
- [30] 李广信,葛锦宏,介玉新. 有自由面渗流的无单元法[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2002, 42(11) 1552-1555.
- [31] 葛锦宏,李广信,介玉新. 无单元法在有自由面渗流计算中的应用[J]. 计算力学学报, 2003, 20(2) 241-243.
- [32] 李晓春. 小湾水电站坝肩岩体裂隙网络渗流的三维网络与无网格法耦合模型研究[D]. 长春: 吉林大学, 2005.
- [33] 沈振中,陈小虎,孙粤琳. 用罚函数无单元法分析有自由面的稳定渗流场[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2007, 22(2) 92-95.

(收稿日期 2008-03-17 编辑 高建群)

(上接第 158 页)

f. 报表打印模块。该模块可实现 3 种报表打印 ①打印每次测流时各测点的流速、总流量和水深 ②打印每天的流速、流量、水深统计表 ③打印每月的放水天数、流速、流量及水深统计表。

g. 通讯模块。该模块接收数据传输电台传来的 PLC 实时采集的数据,并将运行方式的设定信息发至 PLC,完成铅鱼手动和自动控制,同时负责指令的校验工作,确保接收指令的正确性。

4 结 语

该系统现已在吴堡水文站投入使用,使用情况

表明:系统性能良好、运行稳定、操作简便、实用性强、测验精度符合水文规范要求,具有较高的社会效益和经济效益,对水文测验设备的控制具有普遍的使用价值和广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 廖常初. PLC 编程及应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2006.
- [2] SIEMENS AG. SIMATIC S7-200 可编程序控制器系统手册[R]. 北京:西门子中国公司, 2002.
- [3] SIEMENS 公司. MICROMASTER420 通用型变频器使用大全[R]. 北京:西门子中国公司, 2003.

(收稿日期 2008-04-01 编辑 方字形)