

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.12.013

基于 PLC 的泥沙输送实验平台冗余控制系统

蒋 爽^{1,2}, 倪福生^{1,2*}, 滕俊迪^{1,2}, 戴 伟^{1,2}

(1. 河海大学 疏浚技术教育部工程研究中心, 江苏 常州 213022; 2. 河海大学 机电工程学院, 江苏 常州 213022)

摘要:为了解决泥沙输送实验平台控制系统可靠性不高的问题,采用硬冗余技术,以西门子 400H PLC 为控制核心,分别在 CPU、通信网络和上位机等方面进行了冗余设计,并进行了组态和编程实现,建立了具有冗余和容错功能的泥沙输送实验台控制系统。同时,通过 USS 通信协议,实现了 315 kW 西门子 MIDIMASTER 系列变频器的控制和参数采集,并利用 Y-Link 组件将其融入到冗余系统中,降低了大功率变频器对控制系统的干扰,丰富了采集参数。实验结果表明,冗余控制系统具有很高的容错性能,可以有效避免因宕机、通信中断或 CPU 报错等故障所造成的实验平台失控现象,从而大大提高了实验平台的控制可靠性。

关键词:泥沙输送; PLC; 硬冗余; USS; 疏浚

中图分类号: TP271; TH39

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2016)12-1488-04

Redundancy control system of sand transport test stand based on PLC

JIANG Shuang^{1,2}, NI Fu-sheng^{1,2}, TENG Jun-di^{1,2}, DAI Wei^{1,2}

(1. Engineering Research Center of Dredging Technology (MOE), Hohai University, Changzhou 213022, China;

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Hohai University, Changzhou 213022, China)

Abstract: Aiming at the problem of lower reliability of a sand transport experiment, the hard redundancy technique was investigated. Based on SIEMENS PLC 400H, respectively in the CPU, communication network and the host computer, the control system of a sand transport test stand with redundancy and fault safety function was established. Meanwhile, the control and parameters acquisition of 315kw inverter of SIEMENS MIDIMASTER series were realized through USS protocol and Y-Link module, then the interference of high power inverter was reduced and the acquisition parameters were enriched. The results indicate that the fault-tolerance performance of the redundancy control system is very high, and the control failure which is caused by crash, communication interrupt, CPU fault and so on, can be effectively avoided. So the control reliability of the test stand is improved greatly.

Key words: sand transport; PLC; hard redundancy; USS; dredging

0 引 言

河海大学疏浚泥沙输送实验平台主要由变频驱动设备、泥泵、输送管路、数据采集及控制系统组成,可以满足不同土质条件下泥泵性能、输送机理等实验研究的需要^[1-3]。实验平台已承接包括国家自然科学基金项目在内的多个国家、省部纵向项目和国有大型疏浚企业的横向委托开发项目,成果已应用于疏浚生产实践。

由于疏浚实验管道的输送介质多为大颗粒泥砂、

砾石等,运行过程中一旦发生控制系统宕机、通信中断或 CPU 报错等故障引起的失控现象,会造成泥沙堵塞管道甚至泥泵堵转等严重后果,需要耗费大量的时间和人力进行管线排查和维修。而冗余技术通过增加多余的同等功能的部件,并通过一定的冗余逻辑使之协调的同步进行,从而使系统应用功能得到多重保证,是提高控制系统可靠性的最有效方法之一^[4]。

因此,本研究采用冗余技术,以西门子 400H 冗余 PLC 为控制核心,搭建包括 CPU、I/O 子站、通信网络、上位机等多环节冗余的控制系统,切换时间可达 μs

收稿日期:2016-07-06

作者简介:蒋 爽(1981-),男,河南南阳人,实验师,主要从事疏浚技术自动化方面的研究。E-mail: jiangshuang01@163.com

通信联系人:倪福生,男,教授,博士生导师。E-mail: jiangshuang01@163.com

级。同时为了降低大功率变频驱动设备对控制系统的干扰,丰富采集参数,本研究利用 USS(universal serial interface protocol)通信协议实现和西门子变频器的数据交换,并将其融入到冗余系统中。

1 冗余控制系统设计

冗余按照实现方式的不同可以分为软件冗余和硬件冗余。软件冗余主要通过程序的方法,如故障在线检测、专家系统诊断和自组织调整等实现数据的同步和主、备切换,考虑到软件的顺序实施体系,切换时间稍长,但成本相对较低;而硬件冗余通过在系统的关键部位采用特殊模块来实现主、备系统的自动切换,不需要用户程序的介入,冗余的可靠性和系统稳定性很高,主、备 CPU 切换时间极短(μs 级)^[5-8]。

由于进行管道输送实验时,一旦系统失控发生停机故障,往往在瞬间就会造成泥沙的沉淀、堵塞,而电脑病毒引起的计算机宕机、网络故障造成的上、下位机通信中断以及 CPU 死机等,则是引起意外停机的最常见原因。因此本研究采用基于西门子 S7-400H PLC 的硬冗余控制系统,可以实现上、下位机及网络结构的多层级冗余,而且主、备系统切换速度极快,大大提高了监控系统的可靠性和容错性。

1.1 冗余系统整体方案

根据集散控制系统(DCS)的分级原则,本研究将实验平台监控系统分为现场层、过程层和操作层。

实验平台监控系统总体结构如图 1 所示。

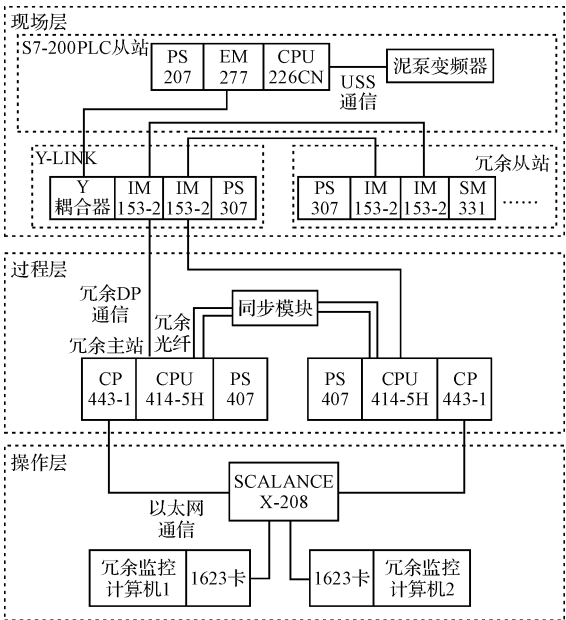


图 1 实验台监控系统总体结构图

现场层实现了对输送管道沿线各类仪表传感器的

参数采集和阀门、变频器等设备的控制,主要由冗余从站、单个设备接入冗余网络的 Y-LINK 从站和 S7-200PLC 从站组成。冗余从站由两个 IM153-2 模块和若干 PLC 采集、控制模块组成,可以配合冗余 CPU 完成对现场仪表传感器及各类装置的数据采集和控制。Y-LINK 从站由两个 IM153-2 模块和一个 Y-Coupler 模块组成,用来将西门子 400H 的冗余 PROFIBUS DP 链路转成单 DP 链路,去连接 S7-200PLC 从站和智能从站等非冗余设备。S7-200PLC 从站利用 CPU226 的 USS 协议控制泥泵变频器的启、停、调速和运行参数的采集,并通过 EM277 和 Y-LINK 从站,与冗余主站 CPU 之间进行各类控制指令和现场数据的交换。

过程层是硬冗余控制系统的核心部分,其硬件主要由两套高性能的 414-5H 冗余 CPU 和 CP443-1 模块组成,其中 414-5H 冗余 CPU 主要负责冗余系统的故障检测与主/备系统切换等任务,同时完成和现场层子站之间的 DP 通信;CP443-1 模块主要通过以太网和交换机等实现和操作层之间的数据交换及处理等。

操作层由两台配置有 CP1623 智能通信处理器的冗余监控计算机和 SCALANCE-X208 工业以太网交换机组成,主要负责完成监控系统调试、操作员收发指令和试验数据的显示、存储、处理、分析等工作。由于 CP1623 卡可以和冗余 CPU 进行自动匹配,当任何一台 CPU 或监控计算机宕机时,该系统均能正常工作,从而实现了操作员站的双机冗余。

1.2 冗余系统组态

硬冗余系统组态主要分为硬件组态和网络组态两部分,硬件组态主要是完成主、备 CPU,冗余子站、Y-LINK 站点和 S7-200 子站的添加,并进行各类冗余参数的设置等。

硬件组态的完成界面如图 2 所示。

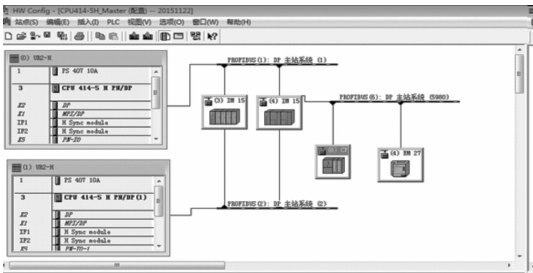


图 2 冗余控制系统硬件配置图

网络组态通过对以太网、Profibus DP 双网、单网等网络参数进行配置,从而实现冗余监控计算机与 CPU 之间,以及冗余 CPU 与各子站和智能从站之间的通信,具体配置及网络节点参数设置不再赘述。

最终的组态结果图如图 3 所示。

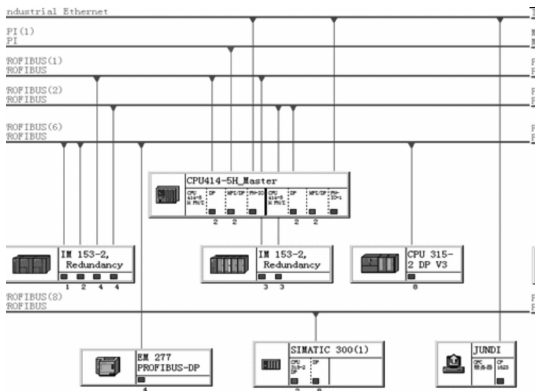


图 3 网络组态完成图

1.3 冗余上位机软件设计

操作层的两台上位机采用 Visual C++ 编写监控界面,通过 OPC 通信协议实现监控计算机和冗余 CPU 之间的数据通信^[9-10]。

监控界面如图 4 所示。

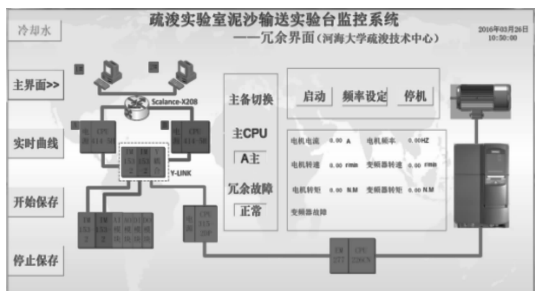


图 4 监控计算机冗余界面

界面由简化的冗余网络结构图、CPU 状态和泥泵变频器的控制及运行参数显示模块组成。界面中可以对主从 CPU 进行手动切换,并实时显示当前的工作/备用 CPU 状态及系统故障代码等,也可以对泥泵变频器进行基本的启动、停止、调速等操作。

2 泥泵变频器的 USS 通信控制

疏浚泥沙输送实验台采用 315 kW 的西门子 MIDIMASTER 系列变频器驱动异步电动机进行调速运行,进而改变泥泵转速,得到稳定、适合的管道流速。由于大功率变频器采用端子方式控制时,启停瞬间很容易造成传感器的数据跳变、毛刺增多等干扰,且最多只能提供两个变频器参数的采集端口。

因此,为了进一步提高控制系统的可靠性,丰富变频器的采集参数,本研究将原有的端子控制方式改为通信控制方式来实现对变频器的控制。但该变频器型号较老,仅支持 USS 通信协议,为了减少编程工作量,避免自行编写通信协议时出现错误,本研究在冗余控

制系统中,利用 EM277 模块将 S7-200 PLC 接入到 PROFIBUS DP 网络中,从而方便地调用 S7-200 PLC 自带的 USS 库对 USS 协议进行初始化,并通过 USS 控制程序块 USS_CTRL 以及参数读写程序块,方便、可靠的完成了对变频器的调速控制和参数读取^[11-13]。由于 S7-200PLC 程序中,每扫描一次只能完成对变频器一个参数的读写,当读取多个运行参数时,需要启动计数器,以轮询方式进行不同参数的读取。

具体操作流程如图 5 所示。

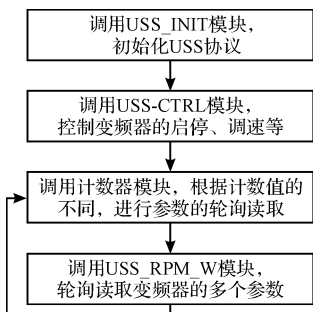


图 5 利用 USS 库实现对变频器的控制及参数读取流程

3 实验及结果分析

为了验证所搭建的冗余系统可靠性,本研究分别对下位机和上位机人为的制造出一些故障,并根据系统对故障的响应情况判断其可靠性是否达到预期^[14]。下位机故障主要通过 CPU 断电、拔掉 DP 接头等进行模拟,上位机故障主要通过将计算机断电、拔掉通信网卡等进行模拟。

具体的故障发生点如图 6 所示。

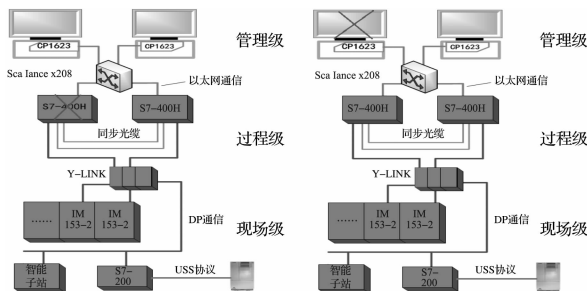


图 6 冗余系统故障模拟示意图

模拟下位机故障时,首先确保整个下位机硬冗余系统的各项指示参数均正常,且 CPU0 为主 CPU, CPU1 为备用 CPU,然后将 CPU0 的供电模块断电,此时冗余 CPU0 和 CPU1 的接口模块故障指示灯 IFMIF、IFM2F 灯常亮,系统状态指示灯 REDF 灯闪烁,且 CPU1 上的主 CPU 指示灯 MASTR 灯点亮。笔者通过 Step7 在线查看系统的组态信息,CPU1 以及两个同步模块均显示错误,Y-LINK 模块及两个从站正常运行。

通过 CPU1 查看系统运行模式,发现已经由冗余系统模式变为单机运行模式(Solo Mode),主 CPU 由 CPU0 转变为 CPU1,CPU0 显示已经不存在,同步连接模块失效。由故障模拟结果可知,实验过程中其中一个 CPU 发生供电问题或死机时,硬冗余系统可以很好地实现主、备 CPU 切换,保证控制系统的连续运行,操作人员也能通过 CPU 指示灯判断故障,及时对问题进行排查处理。类似的,当发生同步光缆或 PROFIBUS DP 网络中断时,硬冗余系统也会自动地进行 CPU 切换操作,不会影响系统的正常运行。

模拟上位机故障时,首先确保两台冗余计算机均能实现对控制系统的正常操作,然后将其中一台计算机直接断电。此时通过 Step7 查看两台 CPU 的在线信息,显示 CPU 均正常运行,通过未断电的另一台上位机对阀门、电机等进行控制,一切运行正常。表明了当其中一台上位机发生断电、宕机等意外情况时,不影响整个监控系统的正常运行,完全可以通过另一台计算机实现对控制系统的操作。

4 结束语

本研究采用硬冗余技术研制出了工作/备用双回路冗余的实验平台控制系统,并采用故障模拟的方式进行了冗余系统的切换调试。结果表明,当其中一台上位机故障时,另一台上位机自动接管系统,系统正常运行;当出现下位机主站或从站故障时,主/备 CPU 能够自动实现 μs 级的快速切换,不影响系统的正常运行。其次,利用 S7-200 PLC 实现了对西门子变频器的 USS 通信控制,丰富了采集参数,有效降低了大功率变频器对控制系统的干扰。

本研究利用冗余技术和 USS 通信技术,大大提高了系统的可靠性,有效避免了实验平台失控造成的管道泥沙堵塞甚至泥泵堵转等危险,为实验研究疏浚泥

泵及管道输送技术提供了有力保障。

参考文献(References):

- [1] 倪福生,赵立娟,齐 帆,等.粗砂水力输送多峰阻力特性[J].中国港湾建设,2010,2(1):23-24.
- [2] 杨 斌.泥沙输送实验台控制系统的研制[D].南京:河海大学机电工程学院,2011.
- [3] 李志强.绞吸式挖泥船的疏浚优化[D].镇江:江苏科技大学电子与信息学院,2011.
- [4] 吕京梅.PLC 软冗余系统的研究与应用[D].西安:西安电子科技大学机电工程学院,2008.
- [5] 余方超.基于冗余技术的疏浚实验台控制系统研制[D].南京:河海大学机电工程学院,2014.
- [6] 蒋基安,赵天彪,杨光华,等.疏浚底泥分离用旋流器的数值模拟与试验研究[J].液体机械,2013,41(8):12-15.
- [7] 宋秋娥.西门子 S7-400H 冗余系统在煤矿储装运系统中的应用研究[D].郑州:郑州大学系统工程学院,2011.
- [8] 杨红亮,徐国宝,马金凤,等.基于 PLC 控制的软袋落桶机的研发[J].包装与食品机械,2015,33(6):47-50.
- [9] 刘瑞祥,倪福生,顾 明.基于 VC++ 和 OPC 的冗余控制程序设计[J].机电工程,2014,31(8):1094-1097.
- [10] JANKE M. OPC simple software integration for legacy system. Advanced Process Control Applications for Industry Workshop[C]. New York: IEEE Industry Applications Society. 1999:9-14.
- [11] 杨胜利.利用 USS 通讯协议完成 S7-200 MM420 变频器的控制[J].价值工程,2013,32(3):23-24.
- [12] 侯云辉,刘志奇,卢菡涵,等.基于 S7-200 PLC 技术的机车升降平台控制系统设计[J].液压气动与密封,2013,33(2):41-44.
- [13] 姜 鑫.基于 S7-200PLC 全自动搅拌和面机的设计与控制[J].包装与食品机械,2015,33(4):48-49.
- [14] 王小军,贾其乾.S7-400H 冗余 PLC 系统冗余故障分析[J].电工技术,2012(11):40-43.

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

蒋 爽,倪福生,滕俊迪,等.基于 PLC 的泥沙输送实验平台冗余控制系统[J].机电工程,2016,33(12):1488-1491.

JIANG Shuang, NI Fu-sheng, TENG Jun-di, et al. Redundancy control system of sand transport test stand based on PLC[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(12):1488-1491.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>