

回转式盾构刀具切削性能测试平台监控系统设计

夏毅敏¹, 杨添任¹, 黄秀祥^{1,2}

(1. 中南大学 机电工程学院, 湖南 长沙 410083; 2. 湖南师范大学 工学院, 湖南 长沙 410081)

摘要:介绍了回转盾构刀具切削性能测试平台结构及组成,该测试平台用于研究各种因素对盾构刀具切削性能的影响,为分析盾构刀具切削性能提供数据.为了确保测试平台安全、可靠地运行,并获得准确的实验数据,监控系统的设计就显得尤为重要.根据测控方案以及测试平台监控系统的要求,设计了基于PLC和WinCC的监控系统.该监控系统采用PROFIBUS现场总线进行通信,PLC控制器对测试平台进行逻辑控制,上位机为HMI(触摸屏)和安装有WinCC的IPC(工控机).HMI主要负责实验过程中工艺参数的设置,WinCC可对测试平台运行情况进行实时监控和提供报警保护,并记录试验数据.多次的试验结果表明,该监控系统运行稳定,控制灵敏度高,采集的数据精度高,达到了预定的设计要求.

关键词:盾构;测试平台;监控系统;PLC;WinCC

中图分类号:TP31;TU621

文献标志码:A

0 引言

盾构掘进机是一种现代施工机械,随着盾构技术的发展,盾构掘进机械已经广泛运用于地铁和地下隧道的施工建设.我国盾构技术的发展相对缓慢,所用的关键盾构设备和技术基本都是依靠从国外进口,这大大阻碍了我国城市化进程的速度和对城市地下空间的利用.城市地下工程施工技术的研究与发展已成为我国所面临的非常重要的问题.因此,为了使盾构技术更适用于中国实际的施工条件,一些基本的试验研究必不可少.随着国家城市建设的加快发展,地下工程项目越来越多,盾构技术在我国具有非常大的市场需求.为了提高我国盾构机械的设计和制造水平,扩大国产化率^[1-5],搭建了回转式盾构刀具切削性能测试平台,与以往研究盾构技术的直线式试验台不同,该测试平台采用回转式切削试验台,是目前国内研究盾构刀具切削性能的第一台回转式试验台,可以进行多种典型地层的模拟掘进试验.

监控系统是盾构试验控制的重要部分.该测试平台采用电液控制系统,由于液压系统具有滞后性,且开关、模拟量较多,使得测试平台的控制

比较复杂.如何实现对测试平台准确控制,确保测试平台安全、可靠的运行,并采集到精确的实验数据是设计人员必须解决的问题.在现有的各种盾构模拟试验中,盾构的控制有些是通过工人进行,有些使用了PLC和各种组态软件.但是这些组态软件都是参照工程施工中的监控组态软件设计的,并不能满足该测试平台的使用技术要求.基于此,有必要为该测试平台专门设计开发配套监控系统^[6].

1 测试平台结构组成及监控要求

测试平台其结构简图如图1所示,由切削试验台、液压系统、电气控制系统和IPC等组成.

切削试验台的外形尺寸为2 220 mm × 1 550 mm × 3 200 mm,核心部分为活动横梁和回转台.φ1 200 mm的盾构刀盘安装在活动横梁上,刀盘上安装有等角度不同半径分布的3把滚刀.活动横梁通过液压缸提供的动力带动刀盘在其导轨上做上下往复运动.回转台为内凹槽形,内径为1 270 mm、深250 mm,用于盛放岩石或混凝土等,其下部外圆制成轮齿,并通过回转支承安装在试验台上,工作时由液压马达通过齿轮啮合带动回

收稿日期:2011-01-28;修订日期:2011-04-09

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2007CB714002);国家自然科学基金资助项目(51074180);湖南省科技重大专项(2010FJ1002);湖南省博士后基金资助项目(2009RS3023)

作者简介:夏毅敏(1967-),男,江西永新人,中南大学教授,博士生导师,研究方向为液压传动与控制、机械设计理论和方法,E-mail:xiaymj@mail.csu.edu.cn.

转台左右旋转.出于安全性的考虑,切削试验台后面安装有透明的护门,试验时需将护门关闭以防止碎石片飞出造成事故.液压系统主要由两台三相异步电动机、一个液压马达、两个定量轴向柱塞泵和一些液压阀等组成,并自带有大量的传感器,负责为切削试验台提供动力,并可通过调节比例板的电压改变压力流量,进而改变回转和推进速度.切削试验台工作时,两个电机同时启动,回转台先做旋转运动,刀盘再做向下运动,实现对岩石的切割,从而模拟实际盾构施工过程.

为使测试平台安全可靠的运行,并满足切削试验台进行不同地质的切削试验,对不同切削深度和回转速度的要求,获得准确的试验数据,测试平台的监控系统需要满足以下功能:(1)对切削试验台和液压系统的控制;(2)实现不同工艺参数的设置;(3)友好的人机交互界面设计;(4)重要参数的实时监控;(5)为测试平台提供报警保护;(6)能获取准确的试验数据;(7)具备扩展功能以备日后系统的改善.

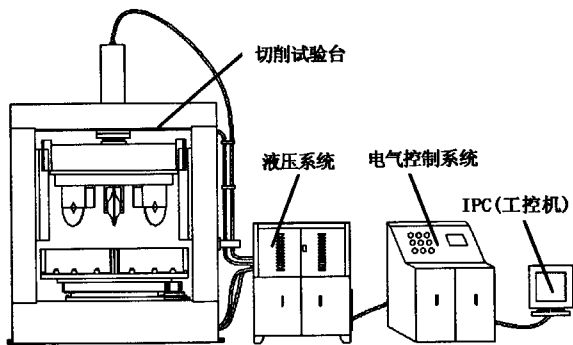


图1 测试平台结构简图

Fig.1 Structure diagram of Test Platform

2 监控系统设计

回转式盾构刀具切削性能测试平台监控系统主要有硬件部分和软件部分组成.根据测试平台的功能特点,并考虑系统的安全性和经济性,确定以安装有西门子公司的组态软件 WinCC 的 IPC 和 HMI 作为上位机^[7],选择西门子 S7-300 系列 PLC 控制器作为下位机,PLC 向上位机传递设备实时状态,接受并执行上位机的实时控制指令^[8].IPC 通过通讯卡 CP-5611 和 PROFIBUS-DP 总线,选择 MPI 通道与下位机进行通讯,实现对下位机的控制和对试验数据的采集、显示和处理,并通过 HMI 设置试验过程中的工艺参数.

2.1 监控系统硬件组成

回转式盾构刀具切削性能测试平台监控系统

结构如图2所示.测试平台采用电液控制系统,且实验过程中用到大量传感器来采集信息,考虑到液压系统控制的复杂性和信息在传递过程中的易干扰性,采用 PROFIBUS-DP 总线进行通信,传输电缆采用 RS485 系列.该总线传输速度快,最高可达 12 Mbps,且可靠性高.

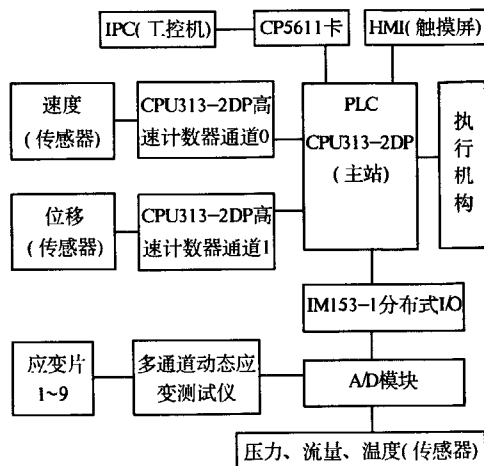


图2 测试平台监控系统结构图

Fig.2 Structure diagram of monitoring sysstem for test platform

两台 6 通道动态应变仪用于接收从应变片传递过来的数据,并传递给上位机.

测试平台用到的传感器有霍尔传感器、电子尺、应变片和流量压力传感器等,霍尔传感器用来测量回转工作台的转速,电子尺用来测量刀盘的推进位移.在每个刀架上粘贴有 3 个用来测量滚刀工作时产生的垂直力、滚动力和侧向力的应变片,应变片通过电桥盒连接到多通道动态应变仪上.测试平台采用可编程控制器 PLC 作为控制核心^[9],PLC 为西门子 S7-300 系列,用 CPU313-2DP 作主站,接口模块 IM153-1 作为标准从站,分布式 I/O 端口,连接到 PROFIBUS-DP 网络中,能高效、快速地处理信息.

系统采用 IPC 作为上位机,IPC 的机箱、电源和底板专为工业现场设计,具有较强的抗干扰性能,且具有强大的图形处理和计算功能,IPC 配备 CP5611 通讯卡能够方便地与其他总线设备组网.现场 HMI 采用西门子 TP177A6,安装在电气控制系统柜台上.

2.2 监控系统软件设计

测试平台监控系统软件设计主要考虑软件的可行性、软件的运行性能以及软件实现的难易程度^[6],监控系统用到的软件主要有 WinCC,WinCC flexible 和 STEP7 等.

STEP7 是一种用于对 SIMATIC 可编程逻辑

控制器进行组态和编程的标准软件,该监控系统的 STEP7 软件为 V5.4 版本. 根据测试平台所用 PLC 进行硬件组态,先选择机架,然后按图 3 所示顺序将电源、CPU 和 I/O 模块插入插槽中,其中 3 号插槽为预留插槽不能插入模块,添加接口模块,即可生成一个 PROFIBUS-DP 网络. STEP7 的模块化结构优化了用户程序,下位机程序采用 LAD/STL/FBD 设计,由主程序和各子程序组成. PLC300 系列的 CPU 对少量的位存储区有掉电保护功能^[7],一些重要的工艺参数和采集到的重要数据在编写程序时可以将它们存入断电保护区,这样在断电的情况下,这些数据会被自动保存起来,再次开机时会显示断电前保存的数据,程序编写完成后,进行编译,编译程序没有出现错误,便可将程序下载至 PLC 的 CPU 中.

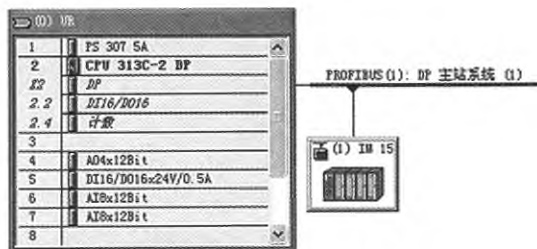


图3 STEP7 硬件组态

Fig.3 Hardware configuration of STEP7

回转式盾构刀具切削性能测试平台是多路传感器信号的输入输出,信息采集时需要进行过滤,这主要以 WinCC 为主的软件平台来实现. WinCC 集成了 SCADA、OPC、组态和脚本语言等先进技术,为用户提供了 Window 操作系统环境下使用各种通讯软件的功能. 通过 OPC 通讯,使 WinCC 还可以与更多的第三方控制器进行通讯. WinCC 在数据管理方面,具有数据存储、查询和报表功能,使用户能方便的查看历史数据. 该监控系统的 WinCC 软件为 V6.2 版本. 软件的算法采用卡尔曼(Kalman)滤波和预见控制. 卡尔曼滤波算法通过抑制干扰信号或伪信号对系统产生的影响,从而提高系统的控制和检测能力,是一种比较实用的滤波算法. 预见控制是建立在对过程的未来表现进行准确预测的基础上,过程控制的模型在很大程度上决定了整个算法的控制效果. WinCC 软件在该监控系统中肩负着工艺参数的设置、试验过程监控和数据采集显示等重任. 首先,在 WinCC 中建立一个新项目^[10];然后,在 WinCC 界面下的变量管理中选择 SIMATIC S7 PROTOCOL SUITE 通讯驱动程序中的 MPI 通道,站地址为 2,根据 STEP7 程序中提供的相应地址建立变

量. 在图形编辑器中利用其丰富的图形库资源和基本绘图元素绘制所需要的画面,然后将画面中的对象与相应的变量进行连接,即相当于画面中每个对象与现场设备相连,从而实现在画面上监视和控制现场设备^[8].

在该监控系统中需要绘制的画面有启动画面、调试画面、参数设置画面、过程监控画面、数据采集画面、历史曲线画面和报警画面等,并通过按钮的单击动作实现画面的切换. 调试画面用于每次试验前对测试平台进行调试,以确保测试平台可以进行正常的试验. 参数设置界面主要用于设置工艺参数,如推进油缸流量、压力,回转马达流量、压力,滚刀切削深度,回转台旋转圈数等. 过程监控画面用于实时显示要监控的工艺参数,保证试验台正常运转. 数据采集画面用于显示切削过程中 3 个滚刀所受的垂直力、滚动力和侧向力随时间的变化趋势图. 历史曲线画面用于显示重要工艺参数(如油液压力、推力和扭矩等)在切削过程中随时间变化的历史曲线,通过查看历史曲线可以确定在工作过程中油液压力是否稳定. 报警画面用于当试验台运行出现异常时发出报警,并显示可能的故障原因,保障系统设备的安全使用. 在绘制画面时,可以先绘制一幅主画面即启动画面,主画面中包括静态文本、时钟、所有用于切换图形的按钮以及返回按钮. 在主画面的中间区域插入一个画面窗口,用于显示各个按钮想要切换到的画面. 如图 4 所示为试验台监控系统的调试画面,单击右边的按钮在中间的画面窗口便会显示相应的画面,这样绘制画面使操作显得更具有



图4 调试画面

Fig.4 Debug screen

STEP7 程序编写完成后再插入新对象 SIMATIC HMI Station, WinCC Flexible 是专门用于西门子 MP 系列控制面板的组态软件,该监控系统的 WinCC Flexible 软件为 2007 版本. 在 Flexible 软件中选择 TP177A6 型号触摸屏,根据 STEP7 提供的变量组态画面. 在 Flexible 中组态画面步骤基本与 WinCC 中的相同,由于 HMI 的尺寸相对

比较小,但操作方便,在该监控系统中,HMI主要负责参数设置和运行过程中油液压力等的监控.在HMI中添加一个用户登录界面,以限制操作权限.画面组态完成后,编译无误,可进行仿真以查看画面组态的效果,最后再将程序传输至HMI,传输时选择MPI模式,站地址为1.

3 结论

随着工业控制系统的不断发展,监控系统的不断完善,根据回转式盾构刀具切削性能测试平台的功能要求设计开发了配套的监控系统.该监控系统界面友好、操作简单方便、可靠性高,自投入使用以来,为测试平台提供了监控和报警保护,并能方便地采集到精确的试验数据.该测控系统达到了预期的设计目的,满足了回转式盾构刀具切削性能测试平台对监控的要求.

参考文献

- [1] YANG Hua-yong, SHI Hu, GONG Guo-fang. Motion control of thrust system for shield tunneling machine [J]. Journal of Central South University of Technology, 2010, 17(3): 537 - 543.
- [2] KOYAMA Y. Present status and technology of shield tunneling method in Japan [J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2003, 18(2): 145 - 159.
- [3] ZHU He-hua, XU Qian-wei, LIAO Shao-ming. Experimental study on working parameters of earth pressure balance shield machine tunneling in soft ground [J]. Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China, 2008, 2(4): 350 - 358.
- [4] 潘国荣,王穗辉,陈传林,等.盾构姿态自动测量的开发与应用[J].同济大学学报:自然科学学报, 2010, 38(3): 459 - 463.
- [5] 赵秀绍.盾构模拟试验台电气控制系统设计[J].煤矿机械, 2008, 29(5): 120 - 122.
- [6] 胡国良,龚国芳,杨华勇.盾构模拟试验平台监控系统[J].农业机械学报, 2007, 38(1): 164 - 167.
- [7] PAN Hong-xia, GUO Yan-qing. Automatic control of deep-hole chrome-plated system basing on WinCC [C] // IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2009) Proceedings. Seoul Korea, 2009: 954 - 959.
- [8] 杨路明,雷亚军.组态软件 WinCC 在自动监控系统中的应用[J].计算技术与自动化, 2003, 22(4): 21 - 24.
- [9] 贺玲芳.液压升降横移式全自动立体车库运动控制系统[J].机械科学与技术, 2001, 20(4): 550 - 552.
- [10] 潘庭龙,纪志成.基于 WinCC6.0 的食品烘烤生产线监控系统设计[J].控制工程, 2008, 15(5): 590 - 593.

Monitoring System Design of Rotary Test Platform for Cutting Performance of Shield Tool

XIA Yi-min¹, YANG Tian-ren¹, HUANG Xiu-xiang^{1,2}

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China; 2. Polytechnic College, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: On the basis of understanding the development status of Chinese shield tunneling technology, the structure and component of rotary test platform for cutting performance of shield tool is introduced in this article. The test platform is used to study the effect on cutting performance of shield tool by the various factors, and provides the data for analyzing the cutting performance of shield tool. To ensure the test platform to run safely and reliably, and to obtain accurate experimental data, the design of monitoring system is very apparently important. According to the testing project and the requirement of the monitoring system of the test platform, the monitoring system based on PLC and WinCC is designed. The monitoring system realizes communication by using PROFIBUS, PLC controller realizes logic control of the test platform, the host computer consists of HMI (Human Machine Interface) and IPC (Industrial Personal Computer) installed WinCC. HMI is mainly responsible for setting processing parameters during the experiment, WinCC can provide real-time monitoring for running conditions of the test platform and provide alarm protection, record the experimental data. Many of the test results showed that the monitoring system is stable with high sensitivity of control, high accurate data acquisition, and attains the intended design requirements.

Key words: shield; test platform; monitoring system; PLC; WinCC