

基于 WinAC 和 Profibus 的大惯量 X—Y 航车 控制系统设计与实现

潘琼文, 崔岩

(中国船舶重工集团公司第七〇二研究所, 江苏 无锡 214082)

摘要: 在开发大惯量 X—Y 航车工程项目中, 既需要多个控制器之间可靠、实时、高刷新频率的数据交互, 又需要上位控制计算机具有 PC 机的强大性能、PLC 系统的组态式通信编程功能; 该文在综合分析主流通信网络及控制技术优缺点的基础上, 创新地提出了以 WinAC 软逻辑 PLC 为控制核心, 以 Profibus 现场总线为通信网络, 以 PC 机加 RTX 实时内核为上位机, 以 Visual Basic 结合第三方控件为人机界面工具的集成设计方案, 阐述了软硬件设计流程, 并介绍了系统调试结果; 实验结果表明, 上位机与 10 台下位机可实现 2 ms 周期的可靠实时数据交换, 基于此, 总重 110 吨的 X—Y 航车在携带船模做直径 6 m, 切向速度 1 m/s 的圆周运动时, 实现了位置误差小于 $\pm 2\%$ 、角度误差小于 $\pm 0.5^\circ$ 的精度。

关键词: WinAC; Profibus; X—Y; 航车; 船模水池拖车; 运动控制

Design and Implementation of Large Inertia X—Y Ship Model Towing Carriage Control System Based on WinAC and Profibus

Pan Qiongwen, Cui Yan

(China Ship Scientific Research Center, Wuxi 214082, China)

Abstract: In the development of large inertial X—Y ship model towing carriage, it not only needs reliable, real-time and high refresh frequency of data exchange between multiple controllers, but also needs upper control computer with powerful performance of PC and configuration communication programming function of PLC system. On the basis of comprehensive analysis of the mainstream communication network and control technology, this paper proposed an innovative and integrated design scheme, with WinAC as the control core, Profibus fieldbus as the communication network, PC plus RTX Real-time Kernel as Upper Computer, Visual Basic combined with third-party controls as man-machine interface development tools. Next, the hardware and software design processes are described, and the results of the system debugging are introduced. Experimental results show that the upper computer and the 10 lower computers can achieve reliable real-time data exchange of 2ms cycle. Based on this, the X—Y ship model towing carriage with a total weight of 110 tons can achieve the accuracy of position error less than $\pm 2\%$ and the angular error is less than $\pm 0.5^\circ$ when carrying the ship model to make circular motion of 6 m in diameter and 1 m/s in tangential velocity.

Keywords: WinAC; Profibus; X—Y; ship model towing carriage; motion control

0 引言

船模水池拖车是一种研究水动力学的试验装备, 国内外的船模水池拖车大都只能进行直线运动, 而本文介绍的 X—Y 航车其 X 车作为总的平台在 X 方向作直线运动, 搭载在 X 车上的 Y 车在 Y 方向作直线运动, X 方向与 Y 方向成直角, Y 车下挂旋转平台, 旋转平台吊挂试验模型, 旋转平台可在平面内 360° 旋转, 故试验模型可在水池的整个平面做进退、横移、旋转运动。通过组合, 可进行直线运动、斜向运动、蛇形运动、圆周运动、以及自定义曲线运动。可实现水动力快速性、操纵性、耐波性试验于一体。但由于本系统中 X 车和 Y 车不但惯量大, 而且惯量差距也较大, 要实现圆周运动等复合运动, 需 X 车和 Y 车的速度控制响

应很快, 并且其加速度和减速度要求在不同的工况下可灵活快速调整。这就对整套运动控制系统提出了很高要求, 要求上下位机通信实时性强、通信速率高、数据刷新频率快。在传统的测控系统设计中, 点对点的快速数据交换问题不大, 采用自定义通信编程可实现 ms 级的通信刷新率, 但是由于本系统比较复杂, 具有多个控制器, 需要多个控制器之间快速交换数据, 采用自定义通信编程工作量巨大, 且可靠性难以保证, 宜采用成熟的工业网络通信技术。但是主流的工业通信网络中其上下位机数据刷新率都在百 ms 级, 例如工厂 DCS 集散式控制系统中, 组态软件与下位现场级控制器之间的数据刷新率基本都在 150 ms 以上。要在采用成熟的工业通信网络的基础上实现 ms 级的数据刷新率, 必须另辟蹊径。而将西门子 WinAC 软逻辑 PLC 结合 Profibus 现场总线就提供了这种可能。本系统采用 Profibus 现场总线通信网络可将多个控制器互联以成熟、可靠的方式实现底层数据交互, 同时将通信主站以软件方式嵌

收稿日期: 2018-11-07; 修回日期: 2018-11-28。

作者简介: 潘琼文(1976-), 男, 湖南宁远人, 高级工程师, 主要从事工业电气自动化、舰船综合电力系统方向的研究。

入功能强大的 PC 机中, 使 ms 级的通信在 PC 机与多个下位机之间以成熟、可靠的组态式编程方式实现。在人机交互环节, 利用 Visual Basic 编程语言实现与 WinAC 之间的进程间通信, 并结合 NI 公司的 Measurement Studio ActiveX 组件可开发友好美观的人机交互界面。鉴于 PC 机多任务处理导致的实时性无法保证的缺陷, 采用增加 RTX 实时内核的方法可以在保留 PC 机强大性能的基础上解决此问题。

1 WinAC 与 Profibus 特性

1.1 WinAC 特性

WinAC 是西门子公司研发的一种软逻辑 PLC 的简称。它的核心思想是将传统的 SIMATIC S7 硬逻辑 PLC 具优势的控制、通信功能与 PC 机具优势的数据运算和处理功能及丰富的第三方软件兼容性能结合起来, 将控制、通信、数据处理、工艺与可视化功能集中于一台 PC 机上实现。其主要特点为:

1) 运行于采用主流的 Windows 2000/XP 等操作系统的标准 PC 机平台中。

2) 与传统的 SIMATIC S7 系列 PLC 使用同样的编程环境, 代码兼容性好。其生成的程序也可用于 SIMATIC S7 系列 PLC。

3) 与其它 PC 应用程序之间有多种接口方法, 如: ActiveX 控件、DCOM、OPC 等。

4) 接口开放, 易于构建软硬件高度结合的控制任务。

WinAC 特别适用于以下场合:

1) 由于性能需求和空间限制的原因, 需要将通信、控制、数据处理及可视化任务集中在同一台 PC 机平台上完成。

2) 由于特殊工艺的原因, 有复杂的软硬件集成要求。

1.2 Profibus 特性

Profibus 是目前国际上通用的现场总线标准之一, 是一种不依赖于特定生产厂家的、开放式的现场总线, 遵循该协议的不同生产厂家的自动化设备之间可实现可靠而高速的数据交互。Profibus 协议包括三个子集: Profibus-DP、Profibus-PA、Profibus-FMS, 其中 Profibus-DP 主要用于制造业自动化系统中现场级的通信, 它采用主站和从站之间轮询的通信方式, 支持高速的循环数据通信, 通信速率最高为 12 Mbps, 最大网络节点数为 127 点。本文中所述 Profibus 如无特别说明均指 DP 协议。

2 系统设计

2.1 系统概况

X-Y 航车系统主要由 X 航车、Y 航车和转台组成。X 航车横跨水池宽度架设做纵向运动 (沿水池长度 X 方向); Y 航车悬挂在 X 航车下, 做横向运动 (沿水池宽度 Y 方向); Y 航车的下面设一个工作室, 工作室底部有一个可 360° 旋转的转台 (以下简称转台), 转台的运动同时受控于

X 航车、Y 航车。由于 X 航车和 Y 航车两者运动方向互成直角, 故 Y 航车可在水池的整个平面做二元运动。X 航车、Y 航车的运动与转台的回转运动可以通过控制实现同步, 故可使船模艏向沿运动切线方向或任意迎角运动。其中 X 航车的重量约 100 吨, X 方向的最大速度为 3 米/秒; Y 航车重量约 10 吨, Y 方向的最大速度为 2 米/秒。

X-Y 航车控制系统的主要组成部分: 1) 上位机: 运动控制计算机; 2) 下位机: X 航车直流调速系统、Y 航车直流调速系统、转台交流伺服调速系统; 3) 通信网络。

在上位机层面, 采用高性能 PC 机作为硬件, 以西门子 WinAC 软件+ Ardence RTX 构成实时控制核心, 采用 Visual Basic 6.0 编程语言 (以下简称 VB) 结合 NI 公司的 Measurement Studio ActiveX 组件开发人机界面。在下位机层面, 分别采用西门子 6RA70 系列直流调速器、西门子 S7 系列 PLC、德国 LENZE 伺服控制器、意大利 ELTRA 绝对值编码器等; 通信网络采用 Profibus, 主站采用 CP5613 通讯卡。

2.2 硬件设计

X 航车驱动直流电机共 8 台, 主副轨道各 4 台, 主副轨均匀分布的各 4 台电机共用一台直流调速器, 采取电枢绕组串联和励磁绕组串联方式。直流调速器选用西门子 6RA70, 两台 6RA70 装置配置为主从模式, 主驱动装置的速度环输出通过 SIMOLINK 光纤网络同步给定从驱动装置的电流环输入, 使主从电机保持力矩一致, 均匀分担负载。

Y 航车驱动直流电机共 4 台, 共用一台直流调速器, 采取电枢绕组串联和励磁绕组串联方式。直流调速器选用西门子 6RA70。

转台的驱动电机为 2 台交流伺服电机, 分别由两台德国 LENZE 9300 伺服驱动器控制, 两台 9300 伺服驱动器配置为主从模式, 主驱动装置的速度环输出作为从驱动装置力矩环的输入, 使主从电机保持力矩一致, 均匀分担负载。

工控 PC 机通过 Profibus CP5613 通讯卡与 6RA70 装置、西门子 S7-200 PLC、X 轨道绝对值编码器组成 Profibus 通信网络交换数据。为满足特定场合下 X 航车、Y 航车、转台的独立控制需求, 工控 PC 机上配置 3 块 CP5613 通讯卡分别与 X 航车、Y 航车、转台的控制器组成三个 Profibus 通信网络实现数据的实时交互。图 1~3 分别为 X 航车、Y 航车、转台驱动控制系统组成框图。

2.3 软件设计

2.3.1 开发环境

操作系统选用 Windows XP, 操作系统实时内核选用 Ardence RTX。控制及通信编程环境为西门子 SIMATIC NET、WinAC 软逻辑 PLC 组件。人机界面编程工具选用 Visual Basic 6.0 及 NI 仪器公司的 Measurement Studio

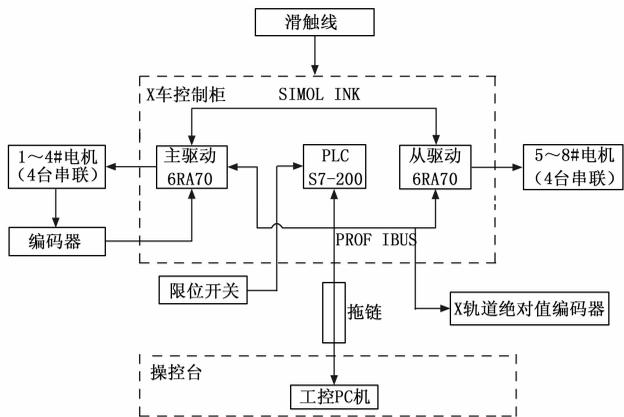


图 1 X 轨车驱动控制系统组成框图

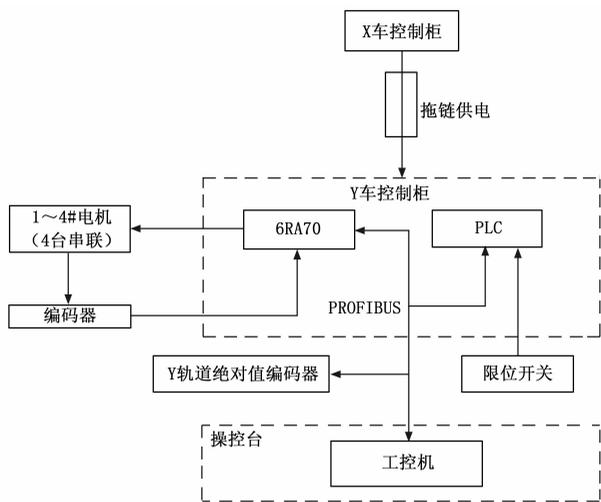


图 2 Y 轨车驱动控制系统组成框图

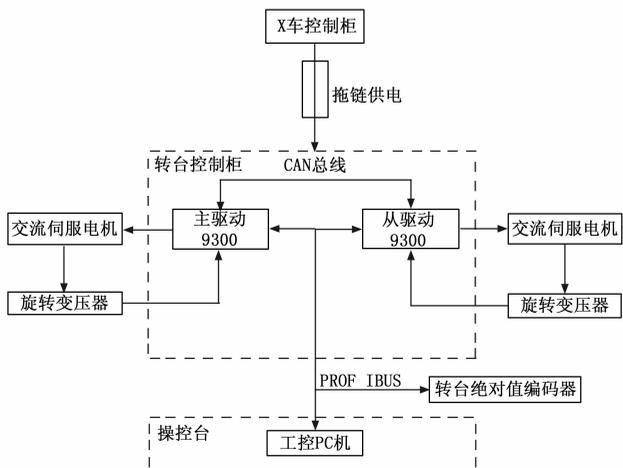


图 3 转台驱动控制系统组成框图

1) 在“Station Configuration Editor”中新增“WinLC”。

WinAC 安装完毕后，“Station Configuration Editor”会自动把“WinLC”加入到索引号为 2 的 PC 站中。索引号为 PC 站虚拟机架中虚拟插槽的编号（它与 PC 主板的实际 PCI 插槽顺序无关）。如果自动添加未成功，则在索引号为 2 的位置右键弹出式菜单中选择“Add”键，并从随后跳出的“Add Component”对话框中选择“WinLC”。此处的“Station”为计算机名。

2) 组态 CP5613 通讯卡。

(1) 首先打开组态控制台，方法为用鼠标依次单击菜单“开始”→“SIMATIC”→“SIMATIC NET”→“Settings”→“Configuration Console”。

(2) 在“Configuration Console”窗口中依次单击“Modules”和“CP5613/CP5614”前的符号“+”后选择“General”，在右边数据窗口中将“Mode of the module”的列表框选为“Configured mode”，列表框“index”选为 4。以相同方法分别添加另两块 CP5613 通讯卡，“index”分别为 5 和 6。

3) 绑定 CP5613 通讯卡为 WinLC 的子模块。

在 CP5613 通讯设置为组态方式后，还需将其设为 WinLC 的子模块，这样 WinLC 才可以驱动各种 DP 从站。每个 WinLC 最多可以有 4 个子模块。在“Station Configuration Editor”编辑器中，右键单击索引号为 2 的行（即 WinLC 行），从快捷菜单中选择“Edit”，打开“Edit Component”对话框，选择“Properties...”，弹出“WinLC Properties”对话框，右键单击索引号为 IF1 的行，并从快捷菜单中单击“Add”键，在打开的“Add CP Module to WinLC Interface IF1”对话框中选择 CP5613，单击“OK”键，关闭“Add CP module To WinLC Interface IF1”对话框，回到“WinLC Properties”窗口，可以看到 CP5613/CP5614 位于 IF1 索引号上，单击“OK”键。当再次打开“Station Configuration Editor”后，可发现 CP5613 已不在索引号为 4 的插槽上，原因是 CP5613 通讯卡已被当作子模块绑定到 WinLC 的“插槽”中。以同样的方法把索引号分别为 5 和 6 的另两块 CP5613 通讯卡绑定为 WinLC 的子模块。至此基本的 WinAC PC 站组态完毕。

2.3.3 WinAC 硬件组态

由于 WinAC 的站组态信息不能直接下载到 Step7 中，因此须手工在 Step7 中完成硬件组态，并且硬件组态信息必须和 PC 站组态编辑器中的信息保持一致。WinAC 硬件组态方法与传统的 SIMATIC S7 PLC 组态方法很相似，共用 STEP 7 集成式编程环境。在 STEP 7 编程软件的菜单中单击“Options”→“Configure Network”，进入网络组态“NetPro”窗口，在虚拟的硬件插槽位置按实际硬件板卡位置分别插入三块 CP5613 卡，界面会自动出现三条 Profibus

组件。

2.3.2 WinAC 站组态

首先需进行 WinAC 站组态，其步骤在 SIMATIC NET、WinAC 软件安装正确之后进行。详细步骤如下：

总线,然后在总线下分别按照实际控制器配置分别插入 6RA70 直流调速装置、S7-200PLC 通信模块 EM277、LENZE 伺服驱动器通信模块 2133、ELTRA 编码器。需要注意的是,STEP 7 软件内主要集成西门子自己厂家的设备,对于 LENZE 驱动器和 ELTRA 编码器,需从厂家官网下载 GSD 文件导入到 STEP 7 中,STEP 7 中才会出现该设备的图标。配置完后的组态图形如图 4 所示。组态完成后下载到 CPU 中。

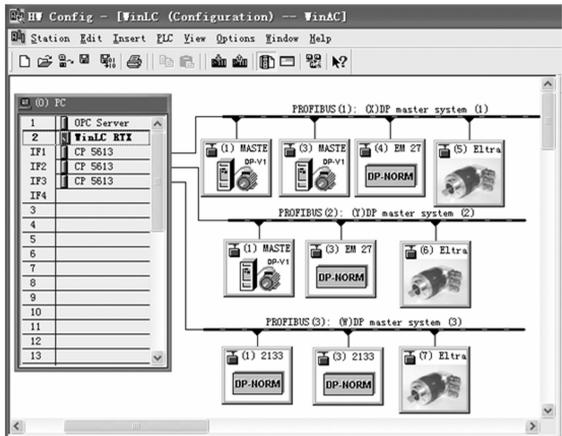


图 4 WinAC 组态图

2.3.4 通信编程

硬件组态完成后,WinAC 与下位机之间的数据交换可以在 STEP 7 集成环境中调用通信类的系统功能块来实现。可使用 BSEND (SFB 12)、BRCV (SFB 13)、USEND (SFB 8)、URCV (SFB 9)、GET (SFB 14)、PUT (SFB 15)。

为便于通信数据的集中管理,可在 WinAC 的 DB 数据块中规划好与各个下位机的控制字和状态字区间,然后在循环程序块中调用数据读写模块,引用 DB 地址进行集中读写操作。可按数据的重要程度在不同循环周期的程序块中进行读写操作,以实现重要数据和普通数据的差别化刷新。

以读取直流调速主驱动装置 6RA70 为例,在中断循环 OB37 程序块中梯形图编程如图 5 所示。

所用系统功能块为 GET (标识符“DPRD_DAT”)和 PUT (标识符“DPWR_DAT”);

DPRD_DAT 功能块的功能为读取 6RA70 装置的数据,将收到的 6RA70 装置的状态字 12 个字节存放在数据块 DB1 起始地址为 0 的连续空间;DPWR_DAT 功能块的功能为发送指令给 6RA70 装置,将存放在数据块 DB1 起始地址为 168 的连续 12 个字节的控制字发送给 6RA70 装置。

VB 与 WinAC 之间的通信采用 OPC 客户端/服务器方式,由于处于同一台 PC 机中,属于进程间通信,其通信时滞可以忽略。SIMATIC NET 提供一个工具 OPC Scout,它

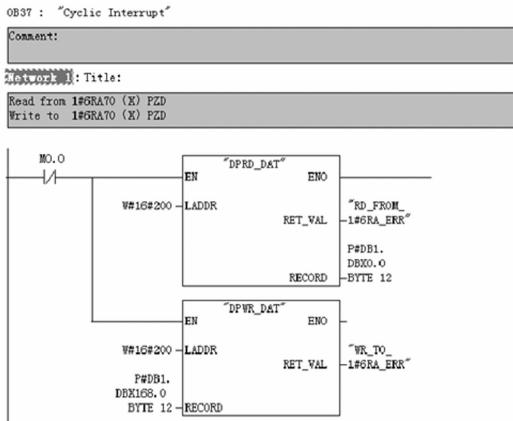


图 5 通信程序梯形图

是一个简单的 SIMATIC OPC 客户端工具软件,可浏览存在的 SIMATIC OPC 服务器名称、添加 OPC 组、添加项、监控项值等功能。

首先在 VB 的菜单“工程”→“部件”窗口中添加名称为“SIMATIC NET OPC DATA”控件。然后在 VB 的窗体上添加一个 DatCon 对象 DatCon1。打开 DatCon1 的属性设置窗口,选择“OPC Server”选项卡,Server 编辑框中输入 OPC 服务器名称“OPC. SimaticNet”,在 Node 编辑框中输入计算机名(与前述站组态时的计算机名称一致)。之后即可在 VB 的代码中以函数的方式读写 WinAC 的数据。读写数据代码为:DatCon1. ReadVariable (“s7: [s7 connection_1] DB1, int0, 84”, v1, q1, time1) 表示读取 DB1 数据块从地址 0 开始的 84 个整数值作为状态字;DatCon1. WriteVariable (“s7: [s7 connection_1] DB1, int168, 84”, Send) 表示将控制字发送给 DB1 数据块从地址 168 开始的 84 个整数值存储区间。

2.3.5 人机界面设计

软件人机交互主界面如图 6 所示。界面右侧为状态监视区,右上部以指示灯图形直观显示 X 航车、Y 航车、转台的主要驱动控制设备的通信状态、故障报警状态。正常工况时报警指示灯隐藏,异常工况时会显示报警或故障指示灯,点击报警或故障指示灯会有进一步的故障代码及解决措施建议的指示。右下部以文本方式显示与地面计算机之间的收发信息。界面下部为操作区,以选项卡方式分别布置三个自由度的独立操作区以及联动操作区。每个自由度的操控又分成“PC 机”、“操纵杆”、“外部给定”三种操控方式。界面左上部为航车位置监控组态区域,深色区域为水池。中间圆圈图标代表 Y 航车,其在坐标上的位置可直观显示 Y 航车在整个水池平面位置,箭头方向代表 Y 航车上的转台角度,也是船模艏向角度。组态区域下部的横向标尺代表 X 坐标,左部的竖向标尺代表 Y 坐标,“限位开关”指示安装在轨道上的行程开关位置,在每个轨道两端设置了多个行程限位开关,用于航车以不同速度行驶时既

保证足够的制动安全距离, 又尽量延长工作段。“软件限位点”用于控制航车自动停车, 其位置可调整, 鼠标双击后可在弹出的设置对话框中输入“软件限位点”的坐标位置。

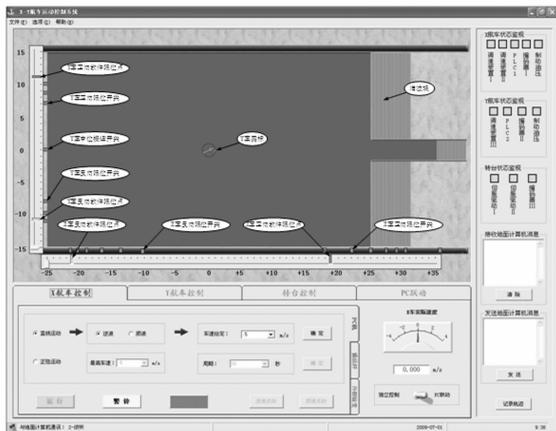


图 6 软件人机交互主界面

3 实验结果与分析

系统软硬件集成安装完毕后, 首先进行系统通信调试, 通信周期从低往高逐步调试, 实测结果表明, 上位机与 10 台下位机可实现可靠交换的最小通信周期为 2 ms, 再往小调时通信出现了不稳定的现象。分析发现主要原因为 PC 机本身的处理能力已到极限, CPU 使用率已接近 100%。在通信网络调试完毕后再分别对 X 车、Y 车、转台独立调试, 满足单自由度的运动控制指标后再进行三个自由度的联合运动调试。联合运动最高的技术要求指标为转台携带模型的状态下做直径 6 m, 切向速度 1 m/s 的圆周运动时, 位置误差须不大于 $\pm 2\%$, 角度误差须不大于 $\pm 0.5^\circ$ 。圆周运动是 X 车与 Y 车分别做相位相差 90° 的正弦运动的合成, 由于 X 车和 Y 车的惯量差距较大, 在设定为 90° 相位的情况下, 其实际相位有一定的偏差, 在调试时需测出其相位差值, 然后在给定量中以负反馈方式予以修正。通过进行不同直径和切向速度的圆周运动实验, 发现 X 车和 Y 车的正弦运动相位差的理论值和实际值之间的偏差量基本固定, 说明 X 车和 Y 车各自的机械传动系数稳定, 因此在控制给定中, 以固定的相位差修正量以负反馈方式叠加在 Y 车的正弦运动速度给定中。但 X 车和 Y 车的正弦运动幅值差修正值在做不同直径和切向速度的圆周运动时差别较大, 不能采取固定值, 所以设置在软件界面上可以随时修正。经 1—2 次调整后, 实际圆周轨迹即可收敛至可接受圆度。实测结果显示, 五次连续圆周运动 (直径 6 m, 切向速度 1 m/s) 的位置精度及角度精度均满足指标要求, 且圆心重合度非常好。

4 结束语

本系统设计基于 WinAC 及 Profibus 以组态式编程的方

式实现了 PC 机与多台下位机的可靠实时高速通信, 据实测, 上位机与 10 台下位机可实现 2 ms 周期的可靠实时数据交换。利用 Ardence RTX 实时控制核心, 可在保持 Windows 操作系统强大软件兼容性能的基础上实现过程控制数据的实时通信。基于高速且实时的数据通信, 实现了对 X 航车、Y 航车及转台的精确控制, 联合调试结果表明, 该航车在圆周运动 (画圆) 验收试验中, 重复性非常好, 圆度及圆心重合度都圆满达到了预定设计目标, 交付国内某重点实验室后运行稳定可靠。该工程设计方法对类似需要将 PC 机性能与 PLC 性能无缝结合以实现高刷新频率通信的控制系统设计有较强的借鉴作用。

参考文献:

- [1] 崔 坚, 李 佳. 西门子工业网络通信指南 [Z]. 西门子 (中国) 有限公司自动化与驱动集团, 2005.
- [2] 深入浅出 WinAC [Z]. 西门子 (中国) 有限公司自动化与驱动集团, 2005.
- [3] 周志敏, 纪爱华. Profibus 总线系统设计与应用 [M]. 中国电力出版社, 2009.
- [4] 侯维岩, 费敏锐. PROFIBUS 协议分析和系统应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [5] 赛奎春, 李俊民. Visual Basic 函数参考大全 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.
- [6] 吴作明, 杜明星. 深入浅出西门子 STEP7 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2012.
- [7] 郑小倩, 黄明琪. 基于 PROFIBUS-DP 通信研究与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2007, 15 (5): 695-697.
- [8] 李 潮, 张学东, 郭照新. 基于 PROFIBUS-DP 的污水处理监控系统 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14 (11): 1502-1503.
- [9] 肖红翼, 高建民, 刘洪亮. 基于 dsPIC 控制器的 J1939-profibus-DP 总线桥的设计与应用 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (8): 2217-2219, 2243.
- [10] 李木国, 陈永富, 王 静. 多控制器多轴同步技术用于造波机系统的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (11): 2985-2987.
- [11] 郭 欣, 李广年, 劳展杰. 船模水池拖车系统设计分析 [J]. 船海工程, 2013, 42 (3): 64-66.
- [12] 杨大明, 尹赞凯, 施 奇, 等. 拖曳水池船模对比试验研究 [J]. 船海工程, 2008, 37 (z1): 4-5.
- [13] 周亚萍, 李万军. 基于 Profibus-DP 的 WinAC 控制器在焦化厂控制系统中的应用 [J]. 工业控制计算机, 2008 (4): 24-25.
- [14] 高 昇, 白国振, 唐旭华. 基于 WinAC 的高速滚珠丝杠实验台电控系统设计 [J]. 工业控制计算机, 2009, 22 (4): 33-34.
- [15] 郭 凯, 何 芳. PROFIBUS 网络的实时性能 [J]. 济南大学学报 (自然科学版), 2008, 22 (4): 373-378.