

水工业厂站级监控系统的最新模式研究

陈运珍

(北京市市政工程设计研究总院,北京 100045)

摘要:从城市供水、排污水流程企业的厂站级的现状出发,提出了构建最新的厂站级监控系统要解决的几个关键问题,为创建新世纪的中国水工业领域综合自动化最新模式提出一条切实可行的新思路。

关键词:水工业领域;以太网;透明网络

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 8829(2005)10 - 0006 - 05

Research on the Latest Mode of Metering and Control System in Water Plants

CHEN Yun-zhen

(Beijing Municipal Engineering Design & Research Institute, Beijing 100045, China)

Abstract: Based on the present system of water plants and their remote metering and control system in city water supply and sewage treatment, some new key elements in how to build water plants control system are presented. A brilliant clue and feasible way to create a newer mode of comprehensive automation at water utility in our country for this century is proposed.

Key words: water utility; Ethernet; transparent network

21世纪是计算机、数字化、网络化时代。自来水和排污水的流程企业是城镇建设的基础,供水系统和排水系统都越来越复杂,泵站越来越多,管网像蜘蛛网一样遍布城乡各个角落。新老泵站自动化水平差别越来越大。国务院拨巨资来发展水工业各领域(源水系统,自来水系统和排污水系统)的基础设施。建什么样的厂站级监控系统将面临巨大的挑战。

1 厂站级流程企业监控系统的发展历史和展望

1.1 发展历程

近40年来,作者参与了许多大中小型的给排水水厂站的电气与自动控制的设计项目,研究了国内外大中小型厂站级监控技术运行工况。我国给排水系统厂站级监控技术的发展也跟石化、电力、钢铁等领域一样,经历了几次重大的技术变革。

上世纪80年代初的监控系统,以分立元件、集成电路(低级)为主,系统功能简单,均手动按钮操作。执行器、变送器、一次仪表笨重粗大,功能低下,价格昂

贵,其系统构成却非常复杂。

上世纪90年代初,出现了PC计算机、Windows操作系统、PLC(可编程控制器)、显示图形功能低下的数据库技术。

近几年来,由于计算机、通信、网络高新技术的迅速发展,水工业监控系统也发展到了新一代的水平。

随着水工艺流程由简单过程向大型化、连续化、复杂化方向发展,控制系统由简单控制系统(如PD、串级、比值、前馈、后馈等)发展到先进控制系统(如多变量来水预测,神经元、模糊、鲁棒等控制)和综合自动化系统(生产流程控制、管理、决策一体化)。以计算机为主的控制系统也经历了单机控制系统(DDC, directed digital control)、集散控制系统(DCS, distributed control system)、PLC控制系统、现场总线控制系统(FCS, fieldbus control system)和Internet(以太网+TCP/IP)的5个发展阶段。

1.2 DCS、FCS的不足

国际电工委员会(IEC)历时12年,于2000年1月才正式公布了IEC61158现场总线全部技术标准,由于妥协了各大公司的既得利益,并没有实现标准的统一。在此标准中容纳了8种互不兼容的通信协议。其开放性全分散控制仍存在许多问题,有许多厂商不提供真正的开放平台。现场总线普遍采用的主从式层次的控制网络结构,从所有现场设备到主控器的数据传输,必需经过不同CPU和驱动软件,结果是传输速度

收稿日期:2005-07-22

作者简介:陈运珍(1942—),广东梅州市人,高级工程师,主要研究方向为水工业领域给排水厂站级最优化网络监控系统研究与开发、大中小型给排水厂站供配电系统工程的设计研究与咨询开发、城市交通监控系统工程的研究与开发。

慢,缺乏透明度,软件和维修费用高,控制器之间的垂直和水平通信非常困难,所有控制器是“孤岛”,独立于 Internet 之外,无法集成。FCS 总线存在瓶颈问题。

近 10 年来,FCS 大量涌进水工业各领域。FCS 具有数字化、分散控制等特点;采用一对 N 的连接方式,可省去大量的 AI/AO,DI/DO,PI/PO 中间模板,用数字信号代替模拟信号,在一根双绞线或一条电缆上可挂接多个现场设备,节省了硬件投资和安装费用,系统成本降低。曾几何时,一度被认为是未来控制系统的主要潮流。

FCS 现场总线技术对 DCS 无疑是一种重大挑战。但是,FCS 的功能模块比 DCS 少;DCS 灵活方便和丰富的组态功能,也比 FCS 强;在开关量与模拟量控制并存,相互关系十分密切的控制系统中,采用 FCS 就不方便了。

过去 25 年来,除北京、深圳、广州、上海、长春、成都外,还有许多大中小型城市的自来水公司、源水公司或排污水公司都先后用贷款和 BOT 等方式建立了先进一时的 SCADA 系统。它们的功能也远远没有达到设计的初衷:不能对过程变量进行预测,趋势显示和记录;许多关键装置不能进行远控;不能对调度工程师感兴趣的数据进行存储;人机界面不够友好,网络功能差,不能进行多媒体服务;系统对外通信能力有限,开放性差,一般没有网络信息功能;扩展性差,虽有双机热备,但冗余性能差。

1.3 用交换式以太网和 TCP/IP 协议来组建厂站级监控系统网络

工业以太网是当今信息网络领域应用最为广泛的局域网。流程企业控制领域需要一种高速价廉、实时性强、开放性好、可靠性高、e 网到底的网络系统。

工业以太网网络中,现场设备与交换机端口采用全双工通信线路,交换机内部实现了多对端口之间的并行交换,这样,彻底摆脱了 CSMA/CD 的限制,提高了信息传递的确定性和实时性。交换式以太网具有传输带宽高、网络容量大、组网方便等优点。同时,还支持虚拟网络,从而降低组网成本并提高网络灵活性。以太网电缆由早期的粗铜轴电缆发展到现在的双绞线电缆和光缆,大大提高了网络的传输速度和抗干扰的能力,同时成本也大大降低了。

工业以太网与 DCS、FCS 等控制网络相比还具有下列优势:

开放性好。几乎所有的编程语言都支持以太网的应用开发。以太网遵循的是 IEEE802.3 及 IEEE802.3U 系列国际标准,是最具有开放性的网络,其软硬件资源非常丰富。

集成度高。基于 TCP/IP 协议的以太网控制网络,一方面可实现本地工控系统纵向的现场设备监控

级在内的无缝集成;另一方面能方便地实现与 Internet (也遵循 TCP/IP 协议)互联。

高带宽。FCS 现场总线一般传输速率为几十 kb/s 至 1~2 Mb/s,以太网的最低带宽都为 10 Mb/s,100 Mb/s 和千兆快速交换机已非常成熟了。现在,千兆快速交换机也已经问世和运用了。

由于自来水公司和排污水公司的厂站越建越多,随着大量现场仪表智能化的迅速发展,传输的数据量将大大增加,未来传输的数据可能不再满足于几个字节,甚至可能是网页,网络传输信息的高速度在水工业流程企业中将越来越重要。以太网的高带宽完全可以满足给排水系统各个层次网络的要求。

成本低廉。组网成本下降,FF 等现场总线网卡要 1 万多美元一个,而以太网卡只有 20 美元以下。

可持续发展潜力大。以太网能实现与管网 GIS 及远程的取水厂站或井群监控的 I/O 接点实现无缝连接。以太网很容易跟 Internet 连接,可在任何地方用专用线、电话线、GSM 移动梦网或联通网通过 Internet 连接,进行厂站级的远程监控。

能很好解决异构网络连接技术。水处理厂早些时候用了某种 FCS 现场总线,采用以太网作为现场设备之间的通信网络平台,就可以进一步发挥 FCS 等现场总线的优势,又使现场总线技术不至于游离于计算机网络的发展主流之外。这一点是任何现场总线技术所无法比拟的。

创建最现代化的水工业领域广域网络系统的巨大动力是迅速发展的最新的电子元器件、软件技术。

2 厂站级监控系统总体要求

厂站级监控系统总的要求和总的原则是:

有先进性和开放性,原则上要建符合国际标准的以太网。网络传输介质可双环可单环,视厂站的规模容量大小而定,便于将公司内部局域网串联,支持不同网络、系统和介质。极易异构网络的互联和集成,易于网络的扩充和升级,易于网络管理平台统一操作。

有极强的实用性和可靠性,有极强的可操作性,人机界面友好,易于管理维护、发展,实时准确地监测水源及各水厂的供配水管网压力、流量、浊度。

网络的安全性和透明性,即要建“透明网络”。厂站级处理规模大、数据传输量大、实时控制要求苛刻的要建智能数据库。

现代流程企业是以数学和电子信息技术为基础的,在快速准确的数字信息基础上,利用管理经济学和运筹学,建立智能化的数学模型。

现代企业的目标是加快整个企业相关信息的传递、交流、共享和处理,自动进行工作流程控制,对市场、外部环境及企业内部生产、经营要素变化要能迅速

(即实时)响应或反馈,最大限度地减少等待时间和决策时间,做到生产与供应“同步”,经营与市场“同步”,信息与经营“同步”,这一切都说明要建立强大的智能数据库。其数据源是惟一的,信息在线,实时地更新和处理,构成经营决策的大闭环控制。

要双机群设置,工控机功能要强大,不仅要做到双机冗余,还要全面冗余。服务器软件采用动态容错技术,通过可靠手段保持双机的同步、数据互备、网络冗余、控制器冗余、I/O冗余、I/O Server冗余、操作站冗余。

建立可互操作性的软件平台,可在 Windows NT及互联网上直接用 Web浏览器操作。在工控机上构建功能强大的基于 Internet/ Intranet技术的集成平台,客户端软件简单而统一。用户主要通过 Web浏览器与工控机进行交互工作。

坚持信息采集高度集中,控制高度分散的原则。

3 流程工艺要尽量采用各种先进控制软件

一个水厂或排污污水处理厂,其规模大小复杂程度差别很大,有的日处理量为 $15 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$,有的几十万 m^3/d ,有的才几万 m^3/d 。像北京水源九厂,每天产量为 $15 \times 10^5 \text{ m}^3$ 的合格标准饮用水,有很多车间级现场设备,它的取水厂站在怀柔水库和密云水库,远隔 70 多 km,其供水管网和配水管网有几百 km 长,其本身就是非常复杂的流程企业。北京高碑店污水处理厂日处理量为 $10 \times 10^5 \text{ m}^3$,也是一个非常复杂的大容量的污水处理厂。上海长桥水厂、广州西村水厂规模都很大,各大城市也建立了很多大于 $5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ 的处理厂。

3.1 解决好厂站级先进控制优化运行的问题

创建符合水工业流程工艺监控系统的支持软件和应用软件。要建立的模块软件有:人机界面软件、数据预处理模块软件、通信模块软件、历史趋势和实时趋势模块软件、智能输入输出模块软件、系统状态显示模块软件、仿真或模糊神经元控制模块软件、软测量模块软件、虚拟仪器仪表监测模块软件、远程数据库访问模块软件、报警模块软件、运营管理模块软件、音频视频管理模块软件、管网管理系统模块软件等。

(1) 城市用水量预测监控软件。

一个城市用水量预测模型的建立,采用传统的时间序列分析法是难于在线预测的。预测控制理论通过近 30 年来的逐步发展,已有许多较为成功的建模方法和理论。

预测模型软件由第 1 代的 DMC 到第 2 代的 QD-MC,第 3 代为 MPC,主要有 DCOM-M, RMPCT, SMCA 等软件包。美国 Aspen Tech 公司在 1996 年推出了 DMC PLUS 预测控制软件包。该软件可处理大规模的

工业流程,提高经济效益,可以准确地辨识过程数学模型,并将过程控制在最优点上,从而获得最高的产量、最小的能耗、最大的转化率。

水工业领域的水量预测也大量采用神经网络元加模糊逻辑控制,理论上可近似任何连续非线性函数,具有良好的局部逼近能力。

(2) 用模糊控制理论来改造污水 SBR 工艺流程控制。

溶解氧控制方法是在曝气过程中控制其浓度为一完整值,是工艺流程成功与否的关键所在。而污水处理具有生化反应复杂非线性,检测困难是它最大的特点,采用 PD 技术建模预测是没有什么效果的。

天津市市政工程设计研究院采用 DO 模糊控制器在滕州市污水处理厂应用非常成功。其超调和过度时间都远远小于常规的 PD 控制。其优点是超调量和振荡小、过度时间短、稳定性好、抗干扰能力强。

(3) 净水厂最佳投药的先进控制。

一个大、中、小型的净水厂站,其水源水质差别很大,浊度、温度、流量、pH 值, TOC 或 COD 等含量变化都很大,采用固定 PD 调节控制投药是不可能达标的。

净水工艺的混凝投药是个长期困扰净水行业的最困难问题。给水处理工艺中,一般采用混凝、沉淀、过滤的基本工艺,影响混凝剂投加量的因素很多,主要有:原水浊度,处理水量,原水 pH 值、电导率,各种离子和有机物浓度,气候和水温,混凝剂自身的特性和浓度。一些专家研制了模拟沉淀池法、数字模型法、流动电流控制法、絮凝脉动法、絮凝图像法和模型的模糊控制法,这些方法均存有不完善的地方。

美国通控集团博软公司推出的无模型自适应 (MFA) 控制技术,可以方便地与各种测控仪表、PLC、DCS、FCS 等结合,具有很强的鲁棒性和自适应能力。它无需事先数学建模,免去了系统的辨识和模型训练,可以在任何时刻投入对复杂过程的闭环控制,即使操作条件改变,产品调整更换,外界扰动性大,也不必重新制定控制器参数。用户可方便地选择其中的无模型自适应控制器来解决流程工艺中非线性严重、时变参数多、大滞后、严重耦合、系统结构突变、约束条件苛刻等复杂的控制问题。MFA 采用了一个多层感知器人工神经网络,动态模块有一群加权因子,它们被设计成可以根据需要自动地修改模块的非线性特征,其目标是加权因子不断自适应调整的结果使控制器的偏差趋于零。MFA 充分利用了偏差中所含的过程信息,具有更强的鲁棒性和自适应性。MFA 从理论上讲,是一个非线性动态负反馈控制模块。

在水工艺流程中,利用 MFA 软件,克服了由于浊度闭环控制中的大滞后、大惯性和扰动大等问题,以沉淀池出口浊度为控制对象,絮凝剂投加量为调节手段,

与加药流量回路构成串级动态负反馈的控制系统,如图 1、图 2 所示。通过许多水厂多年的连续运转结果证明,MFA 解决了我国净水工艺流程中絮凝自动投药的长期以来一直研究和探索的控制难题。

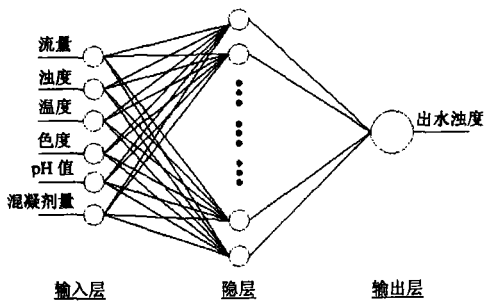


图 1 出水浊度神经网络模型结构图

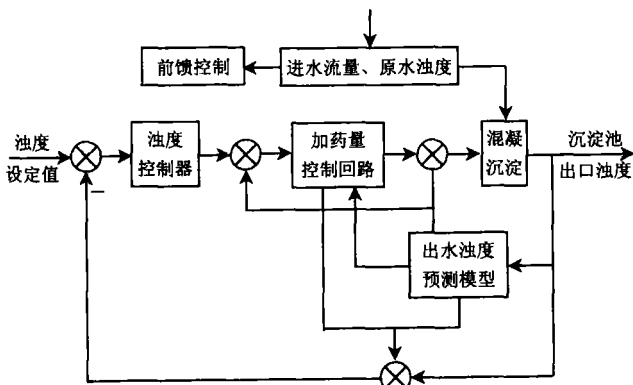


图 2 净水厂 MFA 自动投药控制系统示意图

(4)城市生活污水处理采用基于 RBF 人工神经网络的先进监控技术。

进水水质、水量时刻在变化,是一个复杂的、大滞后、多变量参数的动态非线性系统。机理复杂,难于建模。如何实现在线实时监测进水水质参数,设计网络在线的最优监控软件,是目前国际上尚需解决的重要难题,是当前对污水处理过程控制研究的热点课题。目前,现代人工智能技术起源于人脑系统,是复杂的非线性、不确定系统辨识的有效工具,被广泛应用于城市污水处理中。前些年,运用 BP 网络的最多。BP 算法是一种梯度下降算法。实际输出和理想输出之间有多个最小点,不能保证全局最小,产生一定的偏差,其学习收敛慢,不能在线校正。现在更多采用 RBF 人工神经网络技术。RBF 与 BP 结构相似,也是 3 层结构:输入层、隐含层和单数输出层。RBF 神经网络的运算速度是 BP 算法的 100 倍,并避免了局部极小的问题。RBF 网络有更强的非线性映射能力,节点函数是径向基函数,而网络输出对可调参数又是线性的,这样,网络权就可由线性方程式组直接演算。BP 网是采用静态模型,不太适合流程工艺的在线控制。采用 RBF 神经网络的软测量技术,在实际应用中计算速度快,能够

在线修改校正,更好地达到实时控制的目的。在生活污水处理中,BOD 是最重要的水质处理参数,输出层选 BOD 参数,输入量个数要与 BOD 输出有密切相关的参数变量,如 DO 值、进水 BOD、污泥浓度、反应时间、进水水量等,辅助变量、输入变量不能过多,也不能过少,如图 3 所示。在线检测 TOC 就可近似检测到 BOD。国内许多实例证明:采用 RBF 神经网络的污水处理工程中,其精度较高,速度较快,实现较容易,结构较合理,在线能校正,取得了令人瞩目的好效果。

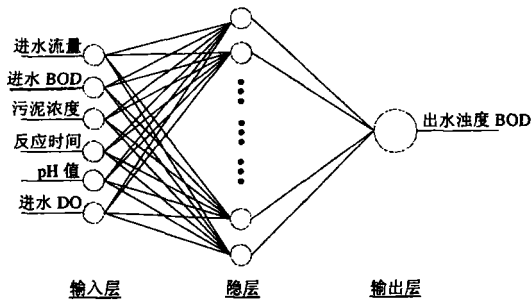


图 3 污水处理厂 RBF 神经网络监控结构图

3.2 建立智能化的、功能完善的数据库

众所周知,一个厂站级的给水排水处理厂数据库是对整个处理厂的生产工艺流程参数、报警、报表的及时采集记录、存储,并为服务器处理工作站的数据存储、查询、统计和分析提供依据,还应具备特殊数据系统管理、数据备份、数据迁移、安全管制等功能。

国内自来水厂和排污水处理厂的监控系统基本上都在 Windows NT 上运行,即采用 Client/Server (C/S) 运行模式。通常采用的数据库有 SQL、MYSQL、N-TERBASE 等。数据库在监控系统中扮演“服务器”的角色。

作为监控系统的数据库要为不同的应用系统服务,可能工作在不同的网络平台上,数据格式多种多样,要方便地进行数据转换,要定期对大量的各类数据进行纠错处理,保证数据完整性并及时传导到别的数据库中保存。只有建立基于 Web 方式的工业控制自动化数据库系统的强大的技术能力,才能使监控系统具有强大的生命力。

对于小规模、工艺流程非常简单的给排水厂站就不一定要建立数据库,用工控机的储存功能,就可以简化了。

3.3 仪器仪表要尽快虚拟化、网络化和智能化

几千万件的现场测控仪器仪表,加上它们配套的变送器和传感器、执行器是建立水工业领域公司级和厂站级监控系统的眼睛和基础。上世纪 80 年代初,一位美国专家就提出“软件就是仪器”的最新思想。虚拟仪器的核心思路,就是利用计算机强大的资源优势,使本来需要专用硬件实现的技术软件化,以便最大限

度地降低系统成本,增强系统功能和灵活性,随着 IPC 技术发展,国内外智能虚拟仪器 (VI, intelligent virtual instruments)正在蓬勃兴起。用户可在各处的 Web 浏览器上自动生成仪器驱动器代码,自动完成各种流程工业现场状态的检查、自动诊断、自动修改编程;可在强大的仿真功能支持下,不必连接实际仪器仪表,就可开发各种测试程序;更可贵的是,它可以结合专用集成电路 (ASIC)优点与计算机相结合重构计算机,对大量的可编程逻辑单元阵列 (FPGA)作出灵活的相应配置,还可通过流水线级甚至任务级的并行计算,使运行速度达到通用计算机的数百倍以上;更可随机按需要高速、远程联系网络上各类仪器。

基于工业以太网技术和 TCP/IP 协议的现场仪器仪表测控网络,使得仪器仪表不再受限于某一特定的计算机操纵,仪器仪表可以独立于计算机而存在,可以与所有的不同级别的计算机一样,在网络上是一个独立的节点,可以自由灵活地接入以太网的任何一点,就是说,可以在以太网或互联网络上被任何一台计算机访问,实时地动态在线监测。

TCP/IP 协议嵌入现场仪器仪表上,以 TCP/IP 方式收发信号,彻底实现互操作性、开放性强的总线标准,以太网和 TCP/IP 协议的标准就是现场仪器仪表测试系统的通信标准,开放的互联网结构就是所有厂站级 (乃至公司级的广域网络监控系统)的监控系统结构,可以很方便地在各监控级实行分散控制和冗余设置:系统故障就可以大大降低,监控系统的安全性和稳定性很高;增强了现场数据处理能力和关键的工艺流程闭环先进控制技术中的应用水平。

以 TCP/IP 协议为基础的现场监测系统,将每台网上计算机和各厂站级仪器仪表有机地联系在一起。如某一厂站采集数据后可按需拷贝多份送往各需要部门,或者定期将测量结果送往远方数据库保存,需要时可随时调用,即使身处异地的不同用户也可同时对同一过程进行监控。

接入以太网网络上的各处仪器仪表和计算机软硬件资源,其性能可能差别很大,然而一旦组成网络环境,就可对不同功能的计算机分配不同的任务,不同功能的仪器就可统一调用,从而使网络系统的性能达到最佳,不同用户可在网上任何地方进行数据采集、分析和在线修改。厂站级的以太网能把各种功能的计算机和各种功能的仪器仪表,最有效地连接到同一网络中,也可连接到互联网上,以便组成公司级的以互联网为基础的综合自动化监控系统。

4 工业以太网网络集成度要进一步发展和提高

历史经验告诉我们,过去构建的 SCADA 系统,一

般需要通过拨号方式登录远程服务器,这种方式对远程监控来说,带来高额的国内甚至国际长途电话费用,使用成本太高,进行新的拨号登录前要等到 Modem 复位之后才能进行,工作效率低,也无法做到同时监控多个不同对象。当系统发生故障时,直接拨号就不能接通,事故紧急报警也不能进行,其通道可用性不高,靠 Modem 连接的速度只有 19 kb/s 左右,传输速度太慢了,无法满足数据量大量增长的需要。

“网络就是控制器”。互联网技术为水工业领域提供了快捷经济的远程监控方式,而工业以太网技术的迅速发展使得水工业领域的厂站级网络监控系统变得越来越简单,建网成本越来越低廉,可靠性越来越高,功能越来越强大,监控速度变得快速无比。基于 TCP/IP 协议的工业以太网贯穿于公司系统各职能管理层部门到每个厂站级的各个层次,由于 e 网到底,数以万件的现场设备可极快地直接通信,实现企业控制、管理信息的无缝集成。

参考文献:

- [1] 胡俊. 工业以太网和基于 Internet 的远程监控系统 [J]. 世界仪表与自动化, 2002, (2): 43 - 46
- [2] 陈运珍. 水工业领域广域网络监控系统的最新模式研究 [J]. 给水排水, 2004, (2): 86 - 90
- [3] 刘磅. TCP/IP Ethernet——自控设备的新选择 [J]. 世界仪表与自动化, 2002, (1): 52 - 53
- [4] 余启刚. 仪器仪表的虚拟化、网络化和智能化 [J]. 自动化博览, 2003, (1): 32 - 34

□

(上接第 5 页)

建立一个以商品化、实用化为目标的集设计、生产、工艺和检测评价于一体的技术平台,使技术、产品赶上或超过国外的水平;

国家集中投资,重点扶持,加速关键技术与制造工艺技术的突破,尽快产品化、商品化,以满足军民领域的需求。新技术的发展,在带来新的竞争压力的同时,也给设计制造企业提供了新的机遇,只要充分把握机遇,迎接挑战,掌握企业技术和产品发展方向,轴角—数字变换必将迎来新的更大的发展。

参考文献:

- [1] Boyes G S, ed Synchro and resolver conversion [Z]. Norwood, MA: Analog Devices, 1980
- [2] AD2S1200 data sheet, 12-bit R/D converter with reference oscillator [Z]. Norwood MA: Analog Devices, 2003
- [3] 江苏自动化研究所自动控制器器件研究中心. 轴角型转换模块产品使用手册 [Z]. 2005
- [4] Attiaianese C, Tomasso G, Bonis D D. A low cost resolver-to-digital converter [A]. IEEE International Electric Machines and Drives Conference [C]. 2001

□