

文章编号: 1000-8055(2005) 06-01072-06

燃机发电机组控制中现场总线技术的发展

薛银春^{1,2}, 孙健国¹

(1. 南京航空航天大学 能源与动力学院, 江苏 南京 210016;

2. 中国航空动力控制系统研究所, 江苏 无锡 214063)

摘要: 综述了燃机发电机组控制中现场总线技术的发展, 指出了燃机传统控制结构中存在的问题以及现场总线控制技术的特点, 阐述了用于现场总线控制的组态软件的发展, 论述了现场总线技术在燃机控制中的应用, 最后, 对我国燃机动力工程应用现场总线控制技术提出了建议。

关键词: 航空、航天推进系统; 综述; 燃气轮机; 控制系统; 现场总线; 组态软件
中图分类号: V 233. 7 **文献标识码:** A

Development of Field-Bus Technique in Gas Turbine Generator Sets Control

XU E Yin-chun^{1,2}, SUN Jian-guo¹

(1. College of Energy and Power,

Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. China Aviation Motor Control System Institute, Wuxi 214063, China)

Abstract: This paper surveyed the progress of field-bus technique in the gas turbine generator sets control, and pointed out the defects of traditional control design and the characteristics of field-bus control technique. The progress and application of field-bus and configuration software in gas turbine control were discussed. On this basis, suggestions to the application of field-bus technique to the control of gas turbine power engineering were provided.

Key words: aerospace propulsion system; gas turbine; control system; field-bus; configuration software; summary

1 燃机及其控制技术发展现状

近年来, 在我国随着西气东输的战略实施, 加上为了改善能源结构而正在进行的近海油气开发, 进口液化天然气, 俄罗斯等周边国家天然气资源的利用等, 为燃气轮机动力提供了十分广阔的市场。尤其在电力行业, 燃机电站以其污染排放

小、热效率高、建设周期短、调峰性能好和运行灵活等显著特点而被世界各国选为电网的重要组成部分^[1]。据统计, 美国自2000年开始, 新增发电设备的2/3是燃气轮机联合循环机组, 燃气轮机发电量占全国总发电量的45%左右。我国近年也显著加快了燃机发展的步伐, 截止到1998年底, 仅用于发电的燃机就超过200台套, 装机容量近8 000

收稿日期: 2004- 11- 29; 修订日期: 2005- 04- 21

作者简介: 薛银春(1962-), 男, 江苏江阴人, 南京航空航天大学能源与动力学院博士生, 中国航空动力控制系统研究所研究员, 主要从事燃机动力控制研究。

MW, 2002年以后的发展则更为迅猛。但国内的燃气轮机发电无论是总装机容量还是机型, 与国外发达国家相比都有很大差距, 燃气轮机发电容量仅占全国发电装机容量的2.4%, 发展前景广阔!

由于国产燃气轮机设备制造水平较低, 不能很好地满足用户要求, 据不完全统计, 目前国产燃气轮机在国内的市场占有率仅为5.4%, 除了机组本身的性能和可靠性等因素外, 控制系统的落后也是一个重要原因, 预计随着我国加强对环境的治理, 燃机动力的市场空间将会更加巨大。在这千载难逢的历史机遇面前, 国内企业能否具备足够的燃机工程成套能力, 控制系统是关键之一。

在世界发展工业燃气轮机的初期, 使用液压机械式的控制系统, 该类控制系统通过机械连杆, 凸轮等机构实现各种控制规律和控制算法, 导致结构十分复杂, 难以获得良好的控制品质, 对控制对象的适应性修改非常困难, 是控制系统的初级形式。

从20世纪70年代开始研制模拟式的燃气轮机控制器。美国大陆公司为GE公司的LM1500燃气轮机配套的就是由模拟式电子控制器实现逻辑顺序控制、由液压机械式控制器实现燃油控制的混合式控制系统, 该控制系统用模拟电子装置实现逻辑控制, 大大扩展了程控范围, 丰富了顺序控制的功能, 使得原来必须由操作员手动实现的功能变成自动控制, 提高了自动化程度, 另外在程控灵活性方面也前进了一大步。

进入20世纪90年代, 先进工业国家生产的燃气轮机无一例外地配置了数字控制系统。GE公司的LM2500、LM5000、LM6000系列, P&W公司的FT8, 德国的V94.2等各种燃气轮机都是如此。并且, 燃气轮机的数字电子控制系统正在向标准化、系列化、硬件模块化和开发软件菜单化的方向发展, 这不仅可以充分利用电子硬件发展的最新成果, 而且为燃机控制采用先进复杂的控制规律和控制算法创造了条件, 同时软件开发工具的使用又促进了该类控制系统的工程实用。

国外燃气轮机(组)控制已有多种控制系统, 例如: 美国著名的WOODWARD调节器制造公司上世纪80年代推出的Netcon5000数字式涡轮控制系统广泛用于FT8和LM6000等燃机发电机组、汽轮发电机组和涡轮机的过程控制, 能实现对燃机、发电机组、配变电、燃油系统和滑油系统等的全部控制和管理。Netcon5000是以MC68030CPU为核心的单通道多机系统。编程语

言MOE, 是WOODWARD公司开发的一种用于控制系统编程的专用语言WGSPL(Woodward Governor Sequencer Programming Language), 编写应用程序比较方便, 可以现场调整控制参数, 可独立于硬件的语言编程, 硬件升级不必修改软件, 是一种典型的集中式控制系统。SIEMENS公司稍后成套的V94.2采用了西门子公司SIMADYN-D专用控制器, 实现转速燃油控制, 而辅助系统的过程控制则采用S5 PLC实现了网络控制, 监控系统也实现了网络配置, GE公司的PG6000系列机组则采用了GESPEED TRONIC的MARK V^[2], 推出时间为1991年, 技术上与Netcon5000相近, 为完全数控系统, 既可三重冗余配置, 也可单机配置。这些控制系统都为集中式结构。

直到1998年, GE Power System和GE Fanuc联合在北美市场推出的MARK VI控制系统, 则彻底改变了这一状态^[3], MARK VI控制系统可带现场总线和远程I/O, 可实现燃机和电站的全厂一体化控制, 操作系统也从MARK V的DOS升级到Win NT。

国内在20世纪80年代发展轻型燃气轮机的同时, 也迅速开展了燃机数控系统的研制。WJ6、WJ5、WP6和WZ5等工业燃机数字电子控制器已应用于工业现场。最近推出的QD100、QD128、QD70也都配置了数控系统。但总体上还处于个别开发、一机一用、集中结构的阶段, 技术水平与国外同类产品差距较大。

2 燃机传统控制结构存在的问题

在工程实践中, 我们认识到, 现在普遍采用的专用集中式燃机控制装置存在以下几个方面的问题, 已难以很好地满足燃机工程日益复杂的控制要求。

2.1 控制系统日益庞杂维护性差

随着对燃机性能要求的日益提高, 燃机对控制系统的要求也越来越高, 控制的内容和调节的参数不断增加, 例如, 一个48 MW的FT8双联机组的闭环调节回路有8路, 总的监控I/O达到近500点, 而控制系统性能、功能和控制任务的提高和增加必然会增加集中式控制系统的复杂性。使得系统维护比较困难, 维护成本也随之增加。

2.2 控制系统通用性差、成本高

燃气轮机用于发电、泵站、舰船动力或海上平

台等,用途越来越广,具体控制对象和控制范围各不相同,针对某一方面用途而专门的控制系统往往不能用于其它使用行业,设计修改工作无论是硬件还是软件均有许多工作,导致了集中式控制系统工期加长、成本增加、质量难以保证。

2.3 可靠性的提高受到制约

集中式控制系统可靠性的提高受到了3个方面的制约:(1)提高完成任务可靠性,集中式控制系统一般设计成多余度结构,造成基本可靠性的降低。(2)系统中众多的信号电缆、连接器和接头等电气组件及连接又增加了控制系统的故障率。(3)集中型控制系统在处理集中、控制集中的同时也集中了系统的危险,控制计算机一旦出现故障,容易造成整个系统的失效。

另外,控制回路越多,控制变量越多,使得控制软件的任务成倍增加,系统负荷率提高导致稳定性必然下降。而且软件要完成的功能越多,软件的编制难度就越大、越复杂,软件发生故障的几率也就越高。

2.4 不利于全厂控制系统的一体化

由于燃气轮机集中式控制系统不可能承担燃机电厂等整个工程任务的控制,使得以燃机为动力的工艺过程控制中经常存在着两套以上独立的控制系统,这样一方面不利于全厂生产信息的统一,另一方面不利于燃气轮机和其它设备的协调控制,而燃机联合循环电厂的协调控制是现代化电力生产企业的重要标志^[4],同时给生产运行管理和设备维护增加了难度,同时制约了生产过程进一步优化。为了解决数据孤岛现象,许多厂家寻求通过数据通讯的方式将燃机控制与全厂控制联为一体,虽然实现了信息的共享,但信息的实时性和完整性已大受影响,难以满足生产的需求。

3 现场总线控制技术

传统的控制系统基本上采用一对一连线,通过电流或电压等模拟信号进行检测与控制,致使设备之间、系统之间、系统与外界之间难以进行信息交换。随着控制技术、计算机技术、通信技术、网络技术和系统集成技术的发展,在生产过程控制需求的推动下,大约在1984年产生了现场总线控制(FCS)技术,彻底改变了一定程度上存在的“信息孤岛”现象。FCS将专用的微处理器置入测量仪表和执行机构等现场设备内,使现场节点具备数字计算、逻辑判断、数字通信等智能化功能。

FCS典型结构如图1所示^[5]。

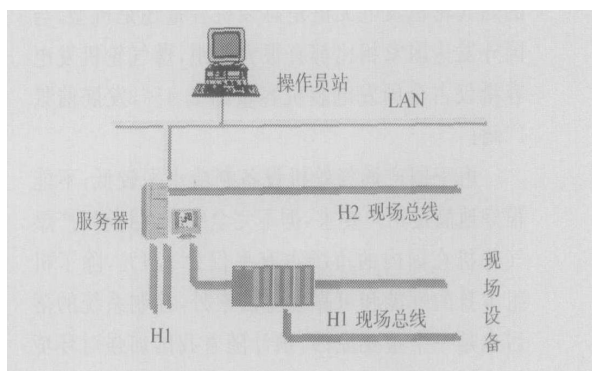


图1 FCS 结构图

Fig. 1 FCS Configuration

现场总线是一种用于智能化设备和自动化系统的全开放、数字化、双向通讯、多节点的通信总线,作为新一代控制系统的体系结构,现场总线技术具有以下主要特点^[6~8]:

- (1) 数字信号完全取代4~20 mA等模拟信号;
- (2) 使基本过程控制、报警和计算功能等完全分布在现场完成,使控制周期大为缩短,目前可从DCS的每秒2~3次提高到FCS的每秒10~20次,改善了调节性能;
- (3) 可以减少一半到2/3的隔离器、端子柜、I/O卡及柜子,节省了I/O装置及空间;
- (4) 传输的信号不再仅仅是物理量信号等控制信息,而且包含了与设备运行有关的状态、补偿和诊断等管理信息;
- (5) 实现了现场管理与控制的统一;
- (6) 真正实现系统的开放性和互操作性;
- (7) 便于用户择优选用,实现最佳集成。

由于实现全分散处理和控制在,提高了可靠性、系统开放性强、现场设备可具有智能化和自治性、互操作性和互用性、现场环境适应性强,从而,具有节省硬件数量和投资、减少安装及维护费用、用户具有高度的系统集成自主权、系统准确性和可靠性高等优点。

由于FCS相对于传统控制系统的显著优势和市场前景的良好预期,世界各主要控制厂商纷纷投入很大的人力和物力进行研发,FCS技术发展迅速,到目前为止,已有40余种现场总线相互竞争,直到2000年1月4日,历时12年,国际电工委员会(IEC)发布了最终认定通过的8种现场总线为现行的现场总线技术标准(IEC 61158),它们是^[9]:

- (1) 基金会现场总线 FF (Foundation Fieldbus)
- (2) ControNet
- (3) Profibus
- (4) P-Net
- (5) FF (Fieldbus Foundation) 高速以太网 HSE
- (6) SwiftNet
- (7) WorldFIP
- (8) Interbus-S

在上述总线标准中, PROFIBUS 现场总线技术可望在燃机发电机组应用的电力行业得以推广^[10], 因为 PROFIBUS 现场总线是一种开放型不依赖于生产厂商的总线, 在现场级、车间级有良好的应用, 而且可以扩展到工厂级、电网等更高级别的应用领域。经过我们的实践证明, PROFIBUS 现场总线完全能够满足燃机发电机组及其全厂控制的实时性和多样性要求。

4 控制软件

传统的燃气轮机控制软件往往是针对某一特定的机组和某一特定的使用要求专门开发而成的, 燃机对象改变或者使用场合改变时, 控制软件的修改必须从源程序开始, 周期长、出错率高、技术继承性差, 几乎与重新开发相差无几。控制软件重复使用率过低一方面阻碍了工程质量的提高, 另一方面还直接导致软件成本的昂贵。随着个人计算机的普及, 产生了监控组态软件, 而监控组态软件为解决这一工程实际问题提供了有效的方法。组态软件的发展与网络技术的发展密不可分, 尤其随着现场总线技术的发展, 现场总线设备将逐步取代现有的现场设备, 众多的数字式现场设备必将带来新的软件需求, 给组态软件提供新的发展机遇^[11、12]。

组态软件的作用是针对不同的具体工艺过程(或被控对象), 组态生成合理的数据实体(包括图形文件、报表文件和控制回路文件等)。组态过程是针对具体应用的要求, 进行各种与实际使用有关的系统配置及实时数据库、历史数据库、控制算法、图形、报表等的定义, 使系统满足应用要求的过程。

燃机控制组态软件除了具有一般控制组态软件所具有的可扩充性、通用性强和组态过程的简便性以外, 对软件的实时性、最终应用系统的运行稳定性和代码效率均有更高的要求, 另一方面, 为最大限度地提高燃机性能、发挥燃机潜力, 还应具有实施燃机控制所需的先进控制算法, 如解析余

- IEC 技术报告(FF H1)
- 美国 Rockwell 公司
- 德国 SIEMENS 公司
- 丹麦 Process Data 公司
- 美国 Fisher-Rosement 公司
- 美国 Boeing 公司
- 法国 Alsthom 公司
- 德国 Phoenix Contact 公司

度、预估控制、多变量控制、自适应控制等基于现代控制理论的算法, 这些方方面面的要求给燃机控制组态软件的开发与应用带来了严峻的挑战。

燃机控制组态软件包括起动、加/减速、加/减载、停机、报警保护等过程控制软件的组态和工艺监视画面、操作、报表、历史趋势、事件记录等监控操作软件的组态。

5 现场总线技术在燃机控制中的应用

从现场总线的技术特点不难看出, 将现场总线技术应用于燃气轮机控制具有明显的优越性:

- (1) 可以大大简化控制系统结构, 可以结束过去燃机控制一机一控的模式, 降低燃机配套成本;
- (2) 现场设备自治性加强, 燃油控制、防喘控制和注汽控制等完全可以在现场分别实现, 有利于降低负荷率提高稳定性和控制性能;
- (3) 数字信号传输抗干扰能力强, 提高了信号的准确性和可靠性;
- (4) 实现了燃气轮机控制的全分散、全数字化控制网络, 便于全厂控制的一体化, 避免了燃机控制的信息“孤岛”;
- (5) 系统集成极为方便, 针对不同功率等级, 不同使用要求和不同控制规模的燃机发电机组, 可以方便地配置硬件和软件, 通过系统集成和调试的方式, 方便地得到个性化的解决方案。

在现有的 FCS 中, 最有影响力的 5 种现场总线分别为 FF、Profibus、HART、CAN 和 Lon-Works, 性能对照见表 1^[9]。

国外在电厂现场总线控制技术和燃机现场总线控制技术研究方面均已经做了许多工作^[13], GE 公司 1998 年就推出了可带现场总线和远程 I/O 的 MARK VI 一体化控制系统^[3], 该系统将燃机电站的燃气轮机、余热锅炉、蒸汽轮机和全厂 BOP 控制集成在统一的网络结构内, 能完成动力装置及全厂辅助系统的全部控制、保护和监控任务, 并可在同一个组态软件平台下开发各设备的控制软件和监控操作软件 HMI, 对于特定控制功

表1 现场总线性能对照表

Table 1 The Performance Comparison of FCS

特征	应用范围	OSI 网络层次	通信介质	介质访问方式
FF	仪表	1, 2, 3, 8	双绞线、电缆、光纤、无线等	令牌、主从
Profibus	PLC	1, 2, 7	双绞线、光纤	令牌、主从
HART	智能变送器	1, 2, 7	电源信号线	令牌、查询
CAN	汽车	1, 2, 7	双绞线、光纤	位仲裁
LonWorks	楼宇自动化	1~7	双绞线、电力线、电缆、光纤、无线	P-P CSM A

能的执行周期已经达到10 ms 的实时性量级。我国从上世纪90年代中期也将现场总线智能仪表与系统作为关键技术列入国家“九五”科技攻关计划,以中科院自动化所和浙江大学为代表的研究单位已经在现场总线技术的研究和应用方面取得了可喜的进步。2004年,江苏中航动力控制有限公司采用 PROFIBUS 现场总线技术的燃机控制系统也已成功地应用于 LM 5000STIG 燃机发电机组燃机及余热锅炉的工程实践。但客观地说,国内至今尚无真正具有自主知识产权的成套现场总线产品,因此,加强我国对现场总线技术产品的应用研究刻不容缓^[14],将现场总线技术应用于燃机动力控制是历史的必然。

6 对我国发展燃机现场总线控制技术的建议

6.1 基准系统的确定

现场总线控制技术中,多种标准的并存给我们的选用带来了一定的困难,如何从众多的产品中合理选择最适合燃机控制的基准系统呢?除了遵循FCS选型的一般性原则外^[15],还应考虑燃机动力装置本身的特点。我们认为:燃机控制系统的现场总线型式的确定主要应考虑以下几个方面:

- (1) 充分考虑总线技术的技术特点和成熟程度,发展趋势良好;
- (2) 该现场总线必须符合 IEC61158 的规定,同时要有较大的影响力;
- (3) 总线产品具有品种齐全的控制模件,能够满足现阶段燃机发电机组各类参数的采集需要;
- (4) 控制器具有较强的处理能力,能方便地实现燃机控制所要求的模拟量控制要求和过程控制要求,满足燃机实时控制对控制周期的要求,并

- 有足够的稳定裕度;
 - (5) 在电厂等燃气轮机使用的行业具有良好的业绩或较好的发展前景,便于燃机控制和电厂控制的一体化和远程监控^[16, 17];
 - (6) 具备配套齐全功能丰富易学易用的组态软件、维护软件和监控软件,便于燃机动力工程技术改造时软件的修改和现场调整;
 - (7) 具有较为完善的故障诊断能力和排故手段,维修性好;
 - (8) 工程性好,系统集成方便快捷、现场调试简单。
 - (9) 产品通用性强,备品备件获取方便,一次投资低,全寿命周期经济性好。
- 根据对比分析^[18, 19],我们认为德国 SIEMENS 公司的 PROFIBUS 总线产品比较适合燃机控制的应用,这既是当前最有影响力并符合国家标准的一种总线,也是电站控制行业使用较为普遍的现场总线产品。而且,科技部在2003年度科技创新基金指南中也明确规定“…在断续(即:离散)生产过程控制行业,在电力、交通等基础设施建设行业,鼓励优先使用 PROFIBUS 现场总线技术;在连续生产过程控制行业,鼓励优先使用 FF 现场总线技术和 PROFIBUS-PA 现场总线技术…”。
- ### 6.2 PROFIBUS 总线简介
- SIEMENS 公司的 PROFIBUS 总线系统是电站自动化部 DCS TELEPERM ME/XP、过程自动化部 DCS TELEPERM M 和自动化系统部 PLC 技术与经验的有机结合体,消除了 DCS 和 PLC 系统间的界限,真正实现了仪控和电控的一体化,充分体现了全集成自动化的特点,使得系统应用范围变广,是一种适用于现在、面向未来的开放型过程控制系统。其产品的可靠性已得到了时间验证,在国内火力电厂等行业已有很好应用业

绩^[10, 20]。另外该系统采用具有标准化、开放性、功能强大的关系型、分布式数据库作为平台。系统提供接口组件, 该接口组件支持将控制系统连接到工厂管理级, 可以集成到全厂范围内的网络式信息和计划系统中, 如 MIS 系统等。便于将来系统的扩展和与第三方产品的互联工作。

7 结束语

面对燃机动力快速发展对燃气轮机控制系统的需求, 本文综述了现场总线控制技术的现状及发展, 指出了燃机传统控制结构中存在的问题以及现场总线控制技术的特点, 阐述了用于现场总线控制的组态软件的发展, 论述了现场总线技术在燃机控制中的应用, 最后, 对我国燃机动力工程应用现场总线控制技术提出了建议。

参考文献:

[1] 侯志兴. 世界燃气轮机手册[Z]. 北京: 航空工业出版社, 1994.

[2] Johnson D, Miller R W, Ashley T. SPEEDTRONICTM Mark V Turbine Control System[Z]. GER- 3658E, 1996.

[3] SPEEDTRONICTM Mark VI Turbine Control[Z]. GE Co., 2000.

[4] Sanchez-Parra Marino, Castelo-Cuevas Luis. Coordinated Control System Modernization for a Combined Cycle Power Plant[J]. *Advances in Instrumentation and Control, Publication Year*, 1996: 1365~1374.

[5] 王鑫鑫, 徐向东. 现场总线控制在电厂中的应用研究[J]. 电站系统工程, 2001, 17(4): 243~246.

WANG Xin-xin, XU Xiang-dong. Research on Application of fieldbus Control Technology in Power Plant[J]. *Power System Engineering*, 2001, 17(4): 243~246.

[6] 吴誉. 现场总线技术展望及我国的发展策略[J]. 测控技术, 1999, 18(11): 1~4.

WU Yu. The Prospect of Fieldbus and its Development Strategy of China[J]. *Measurement & Control Technology*, 1999, 18(11): 1~4.

[7] 庞彦斌. 现场总线与 DCS 的网络集成[J]. 测控技术, 1999, 18(9): 20~22.

PENG Ye-bing. Network Integration of Fieldbus Into DCS[J]. *Measurement & Control Technology*, 1999, 18(9): 20~22.

[8] 夏德海. 现场总线的困惑、无奈与出路[J]. 仪器仪表标准化与计量, 2001, (5): 10~15.

XIA De-hai. The Perplexity, Embarrassment and Solution of Fieldbus[J]. *Standardization and Measurement of Instrumentation*, 2001, (5): 10~15.

[9] 李炳宇. 网络控制系统的应用现状与发展方向[J]. 测控技术, 2002, 21(4): 1~3.

LI Bin-yu. Present Application and Development Tendency of

Networked Control System[J]. *Measurement & Control Technology*, 2002, 21(4): 1~3.

[10] 赵君. 现场总线技术进展[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2002, 7(2): 57~60.

ZHAO Jun. Summary of Field-Bus Technique[J]. *Journal Harbin University SCI. & TECH.*, 2002, 7(2): 57~60.

[11] 魏捷. DCS、FCS 与监控组态软件在工业控制中的应用[J]. 世界仪表与自动化, 2003, 7(4): 46~48.

WEI Jie. Application of DCS, FCS and Supervisory Control Configuration Soft in Industrial Automation[J]. *International Instrumentation & Automation*, 2003, 7(4): 46~48.

[12] 马国华. 监控组态软件及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社.

[13] Man nila Pek ka Lehtonen. Matti Decentralized Electrical Distribution Network in Power Plants Source: Publications - Technical Research Centre of Finland[M]. N 2016, 2000: 33. ISSN: 1235- 0621 CODEN: PTRFDT ISBN: 951- 38- 5639- 9 Publisher: Technical Research Cent of Finland.

[14] 郑萍. 现场总线产品的技术创新[J]. 测控技术, 2001, 20(7): 30~32.

ZHEN Ping, et al. Technological Innovations in the Fieldbus Products[J]. *Measurement & Control Technology*, 2001, 20(7): 30~32.

[15] 郭芳瑞. 现场总线及其在应用中应考虑的问题[J]. 测控技术, 2003, 22(10): 33~35.

GU O Fang-rui. Some Considerations For Fieldbus in Practical Application[J]. *Measurement & Control Technology*, 2003, 22(10): 33~35.

[16] 赵维铎. 基于 Web 和现场总线的数控系统远程监控研究[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2003, 33(1): 45~48.

ZHAO Wei-duo, et al. Research on Remote Monitoring and Control of CNC System Based on Web and Fieldbus[J]. *Journal of Southeast University (natural Science Edition)*, 2003, 33(1): 45~48.

[17] 张凤登. 现场总线与电厂综合自动化系统集成技术[J]. 动力工程 2001, , 21(3): 1267~1270.

ZHANG Feng-deng, et al. Fieldbus and Integration Technology of Comprehensive Automation System in Power Plant[J]. *Power Engineering*, 2001, 21(3): 1267~1270.

[18] 西门子产品介绍: 全集成自动化与新一代过程控制系统 PCS7[S]. 西门子(中国) 有限公司, 2002.

[19] 颜渝坪. 现场总线控制系统- 火电厂现代化控制、管理和决策的基石电力自动化[J]. 中国电力2003, 36(3): 54~58.

Yan Yu-ping. Fieldbus Control System-Foundation of Modernized Control, Management and Decision-Making of Thermal Power Plant[J]. *Electric Power*, 2003, 36(3): 54~58.

[20] 李子连. 现场总线技术在火电厂自动化系统的应用意见[J]. 中国电力2003, 36(3): 49~52.

Li Zi-lian. Opinions on The Application of Field Bus Technology in Automation System of Thermal Power Plant[J]. *Electric Power*, 2003, 36(3): 49~52.