

文章编号: 1000-8055(2003)01-0032-06

民航发动机远程故障诊断 若干关键技术研究

张天宏¹, 左江福²

(1 南京航空航天大学 能源与动力学院, 江苏 南京 210016;

2 南京航空航天大学 民航学院, 江苏 南京 210016)

摘要: 本文提出的民航发动机远程故障诊断技术将 Internet 网络技术与民航发动机故障诊断技术有效地结合起来, 旨在将民航发动机的维护和故障诊断手段提升到远程的网络环境, 以极大提高故障诊断的水平 and 时效性。本文从工程应用角度出发, 对其中的几个关键技术问题进行了讨论。首先分析了民航发动机故障诊断的技术现状, 提出了民航发动机远程故障诊断系统的结构体系。提出一种诊断设备网络化的设计思想, 即采用上下位机的结构和 COM 组件技术, 实现远程操作、状态监视和控制。采用 COM 组件技术和网络数据库技术实现了在 Web 服务器上的知识的存储与推理。分别基于 NI 的 Labview /G Web Server 和 DataSocket 技术, 开发了两种多功能的远程故障诊断的协同工作环境(CSCW)。

关键词: 航空、航天推进系统; 民航发动机; 故障诊断; 远程诊断; 因特网

中图分类号: V 263. 6

文献标识码: A

Study of Several Key Technical Problems for Civil Aeroengine Remote Diagnosis

ZHANG Tian-hong, ZUO Hong-fu

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: The network technology based on Internet and fault diagnosis technology of civil aeroengine are combined in this paper. It is believed that this approach can promote the maintenance and fault diagnosis methods to network environment. As a result, the capability and efficiency of the civil aeronautical maintenance system will be significantly improved. From the point of engineering application, several key technical problems are discussed. The technology status of fault diagnosis for civil aeroengine is analyzed first, and the architecture of remote fault diagnostic system for civil aeroengine is then demonstrated. An idea of improving diagnostic system network is presented that techniques of up-down computer structure and Component Object Module (COM) are employed to realize remote operation, status monitoring and controlling. With COM and network database techniques, knowledge storage and inference are realized in web server. Two versatile Computer Supported Cooperate Work (CSCW) environments for remote fault diagnosis are developed, which are based on Labview /G Web Server and Datasocket technology of National Instrument (NI) respectively.

收稿日期: 2002- 02- 06; **修订日期:** 2002- 05- 15

作者简介: 张天宏(1968-), 男, 江苏仪征人, 南京航空航天大学能源与动力学院副教授, 博士, 主要从事航空发动机控制、故障诊断及计算机应用的研究

Key words: aerospace propulsion; civil aviation engine; fault diagnosis; remote diagnosis; internet

1 引言

民航发动机因其结构复杂及高温高速的恶劣工作环境, 时刻都可能发生故障。据国际民航组织统计, 1988~1993 年的 6 年间, 因机械故障原因造成事故的比例在 25%~30%。在造成各类飞行事故的诸机械因素中, 发动机是关键, 6 年间由于发动机起火、叶片故障、发动机脱离机翼等原因而发生的飞行事故达 34 起^[1]。由此可见, 发动机安全可靠地运行和故障预防是保障飞行安全的关键, 也是政府、制造商、航空公司和有关研究机构共同关心的重要问题。对航空发动机进行状态监测与故障诊断是保证飞行安全的根本途径。

目前, 民航发动机故障诊断的主要技术手段有: (1) 基于状态信息和发动机模型的趋势分析技术。相应软件有 GE 公司的 ADEPT 和 AGE, R·R 公司的 COMPASS, P&W 公司的 ECM II 和国内改进的 EMD 等。(2) 无损探伤技术。常见的有孔探、超声波和声发射。(3) 基于滑油的故障分析技术。一类为机载滑油系统状态监控, 另一类为实验室中的故障分析, 即维修人员利用滑油取样进行光谱和铁谱分析, 或者对磁塞进行检测。(4) 振动分析。在不停车的情况下, 通过测量转子有关部位振动, 分析信号的频谱特征, 诊断转子有关部位的故障状态。(5) 专家系统。不少科研院所开展的发动机故障诊断专家系统研究成果, 在进一步完善后可望得到实用。

上述诊断手段都有各自的适用范围, 在实际使用中应相互补充。但是, 航空公司的航线遍布世界各地, 大航空公司又下辖多个小航空公司, 每个航空公司在各个机场都设立完善的技术支持体系是不经济的也是不现实的。这样, 由于诊断能力和设备的分散, 经常因为地理空间的限制, 而延误问题的有效解决, 造成经济效益和社会效益的巨大损失。这就要求大航空公司之间、小航空公司和大航空公司之间以及航空公司和科研机构之间实现技术手段和技术人员资源的共享。具体地说, 存在着这样的一些需求: (1) 现场采集结果需要进行进一步的分析; (2) 小公司需要借助大公司的技术资源; (3) 需要借助专家的经验; (4) 需要得到发动机或有关零部件厂商的技术支持。

解决上述问题的一个有效途径就是利用网络

技术实现远程故障诊断。而 Internet 技术和设备诊断技术的发展为民航发动机实现远程故障诊断提供了良好的发展机遇。由于现代设备的复杂性、分散性, 设备诊断技术发展趋势正逐渐从传统的单机现场诊断方式, 向分布、远程的方向发展, 而远程方式也逐渐从第一代的专用网络和专线连接向第二代的基于 Internet 的方式发展^[2~4]。采用远程故障诊断带来的好处是信息集中、资源共享、效益提高, 而基于 Internet 的远程故障诊断更具有良好的性能价格比、开放性好、有利于技术的发展等特点。

本文从民航发动机远程故障诊断的工程实现角度出发, 研究了远程故障诊断的结构体系、诊断设备的网络化、远程故障诊断专家系统、协同诊断工作环境等关键技术问题^[5]。

2 建立远程故障诊断的体系结构

首先确定基于 Internet 跨地域远程协作网架构技术方案。考虑到民航发动机的应用领域、航空公司的技术手段和技术力量, 决定在航空公司的企业站点建立现场故障诊断内部网, 以解决日常故障诊断维护工作。在科研院所或大航空公司建立拥有大型数据库、推理机服务器的信息和诊断服务中心。在需要远程诊断时, 企业站点将诊断任务提交服务中心, 中心将诊断结果回送给相应的请求者。图 1 是民航发动机远程故障诊断系统的结构体系。

民航发动机远程故障诊断服务中心是该结构体系的枢纽, 也是一个标志性的环节。它可以提供如下服务:

(1) 远程故障诊断信息。提供包括产品使用手册、技术规范数据、诊断案例和 FAQ 等在线文档和多媒体资料, 供用户在浏览器上查阅。该项服务应具有强大的交互能力, 可以提供信息搜索、信息上载。采用网络数据库技术, 使信息管理更加科学、规范。

(2) 远程故障诊断专家系统。采取客户机/服务器的工作模式, 在客户端的浏览器上提供用户接口, 基于网络数据库建立知识库, 在诊断服务中心的专家系统服务器上实现逻辑推理。

(3) 技术论坛。开辟关于远程故障诊断技术的专题讨论组 (Discuss Group), 供专家和用户进

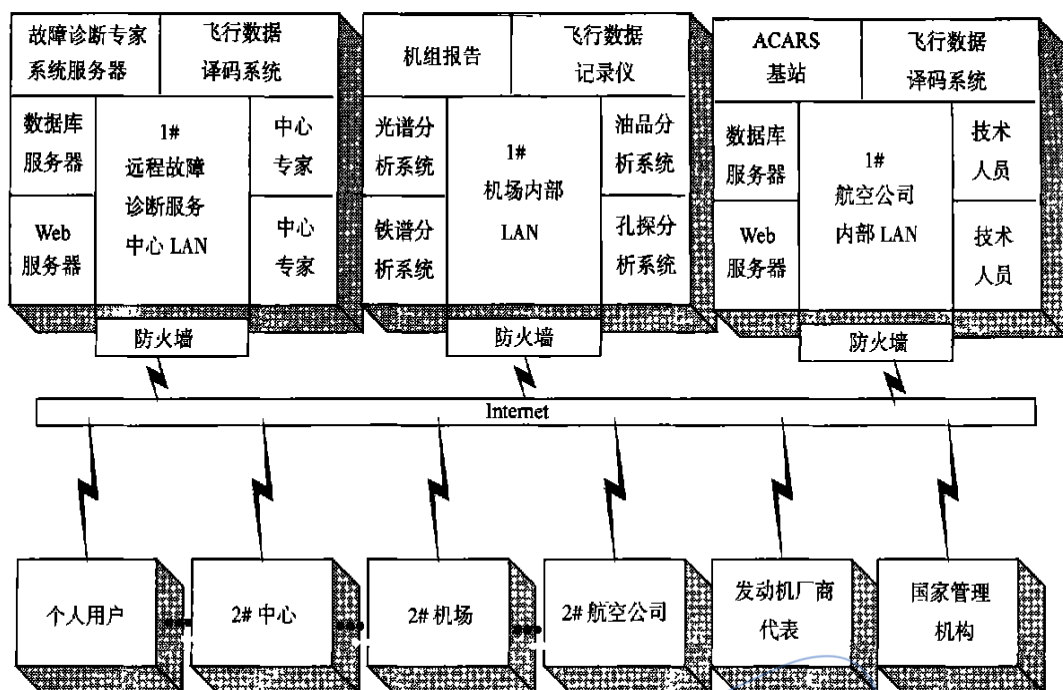


图 1 民航发动机远程故障诊断系统的结构体系

Fig 1 The architecture of remote fault diagnostic system for civil aviation engine

行广泛的技术交流。

(4) 新闻组(U senet)。为诊断专家和普为用户提供新闻组服务,可以及时向他们提供有关故障诊断方面的最新信息。

(5) 网络会议(N etM eeting)。可以采用文本形式进行实时对话。随着网络带宽的进一步提高,可望实现语音和视频的实时传输,从而提供真正意义上的会议服务。

(6) 诊断设备的共享。如飞行数据记录仪的译码装置及软件系统,一般被大航空公司拥有,可以通过网络被其他航空公司共享。对于ACARS系统,应能允许具有一定权限的用户及时访问发动机的运行状态。

远程故障诊断服务中心的建立不是一朝一夕可成的,需要经过不断的技术积累,分阶段实施。

3 诊断设备的网络化

对于诊断设备的网络化,必须解决网络环境下设备的远程数据采集与操纵,使传统意义上的设备状态监测终端通过 Intranet 和 Internet 从运行现场延伸到诊断中心以及有关部门和专家的桌面微机上。为此,应开展如下方面的研究工作:

(1) 现场数据采集终端的网络化; (2) 诊断设备的远程操纵与控制; (3) 现有诊断设备的网络化

改造。

数据采集是设备故障诊断的重要环节,首先要加以解决。Internet 技术能够迅速发展的主要动力之一是广为流行的 PC 机工业,所以现有远程数据采集技术的一般工作模式是,在设备现场采用基于 PC 的数据采集系统,再通过一个通信服务器(如 Web 服务器)将结果延伸到远程用户端。这对于现场分布范围广、数据采集点较多的场合是非常不利的。一方面占用的硬件资源太多而费用昂贵,另一方面占用太多的空间且不利于移动和携带。于是迫切需要一种价廉、便携并带网络接口功能的智能数据采集终端。实现这种数据采集终端的关键环节之一就是网络接口。因为这种数据采集终端一般采用简单的控制器,它们的系统资源和运算速度根本无法运行复杂的 TCP/IP 网络协议,必须寻找相应解决方案。作者提出一种灵巧型远程数据采集终端设计思想^[6]。灵巧型远程数据采集终端是一种基于高性能单片机 A-DuC812 和网络接口芯片 WebChip/PS2000 实现的轻量级、多功能、高性能、便携的并且可以和 Internet 接口的数据采集设备,特别适合于分布广泛的远程诊断应用环境。

为了对远端的现场诊断设备(如铁谱显微镜、孔探仪等)进行远程操纵,从而使设备诊断专家获

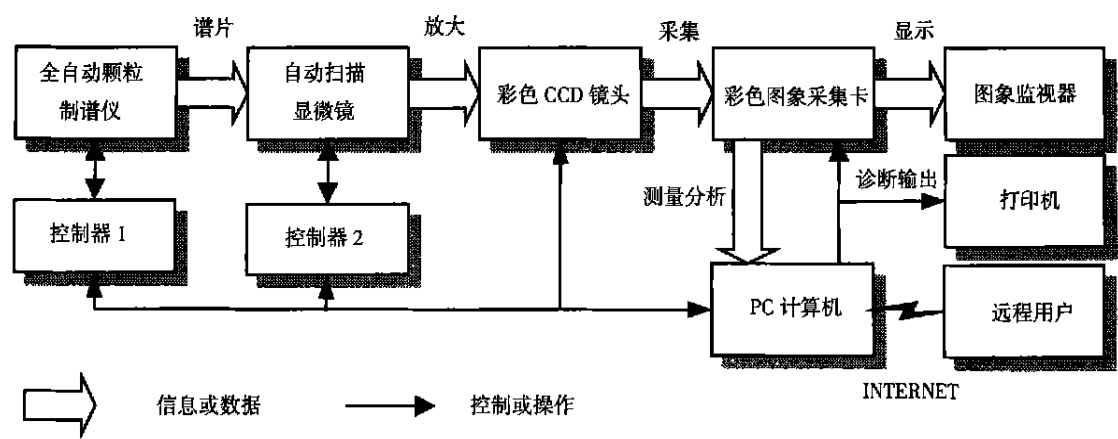


图 2 DMA SIII的总体结构
Fig 2 The architecture of DMA SIII

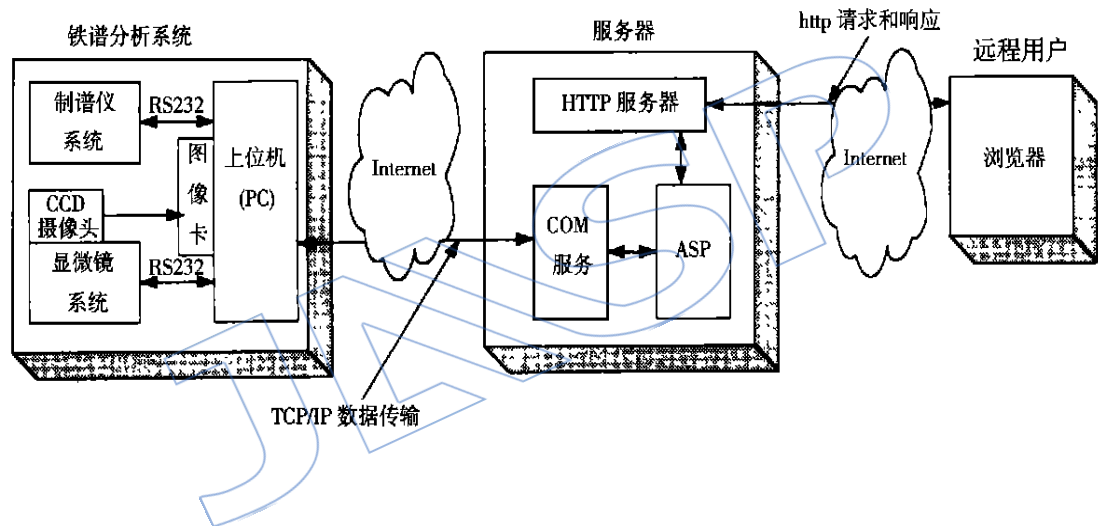


图 3 铁谱分析系统的远程监控体系结构

Fig 3 The architecture of remote monitoring system for ferrous spectrum analysis system

取最有效的诊断信息, 甚至可以通过带有触觉的机械手及虚拟现实技术, 感受被诊断设备的表面创伤和裂纹等, 作者开展了基于 Internet 的远程控制技术研究。基于 Internet 的远程控制系统, 由于网络传输的延迟, 而且延迟大小呈现很强的随机性, 甚至出现数据包的丢失, 可能导致控制系统的性能下降直至出现不稳定。作者提出采用双向缓冲区并结合一定的逻辑以克服不确定延迟问题, 并采用动态前馈神经网络进行状态预测, 利用鲁棒性强和适应能力强的广义预测控制策略, 对远程对象加以控制, 达到了良好的控制效果。

本文针对DMA SIII铁谱分析系统开展了诊断设备网络化的研究。铁谱分析系统的作用是诊断机械设备的磨损类故障, 在民航发动机故障诊断领域得到广泛应用。DMA S系列铁谱分析系统

是由南京航空航天大学发动机故障诊断研究所于1991年推出的, 目前正在向智能化、自动化和网络化的方向发展。

图2是DMA SIII的总体结构。其工作流程是, 通过全自动颗粒制谱仪获取谱片, 利用自动扫描显微镜自动获取清晰的图像, 再由图像采集系统采集图谱。获取的图谱可以由现场的智能诊断软件进行模式分析和故障诊断, 也可通过Internet传输给远程用户作进一步诊断分析。

这里采用上下位机、模块化的设计思想。上位机(PC机)处于主动呼叫模式, 下位机(控制器)处于被动呼叫模式, 下位机采用查询通信标志位的工作方式, 远程用户通过Web服务器获取图谱并实现对设备的远程操纵。铁谱分析系统的远程监控体系如图3所示。这里通过COM组件和ASP编程实现了Internet的访问。

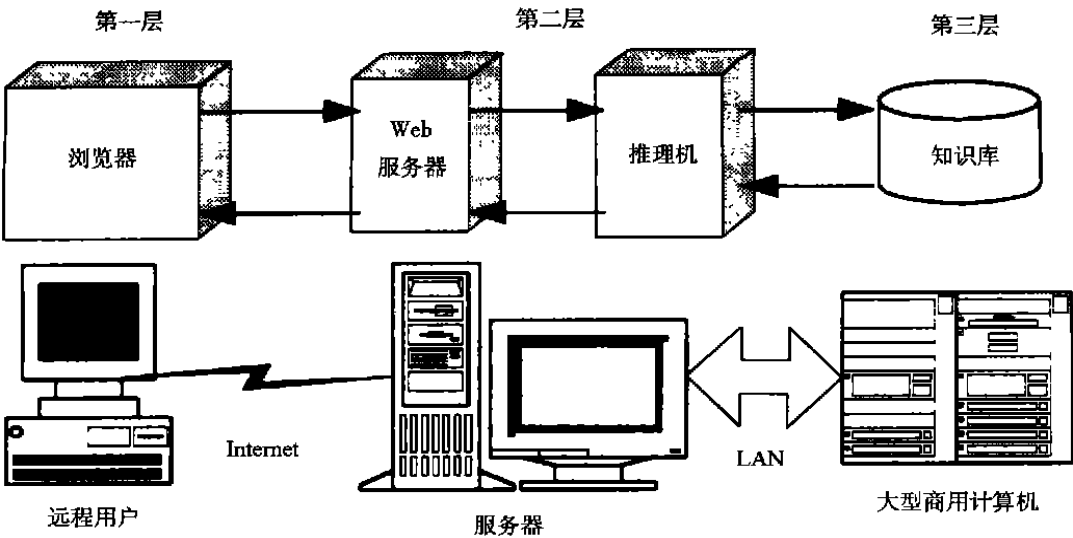


图 4 基于动态Web 的专家系统基本结构

Fig 4 The architecture of an Expert System based on dynamic Web

规则 ID	前提 (IF)	结论 (THEN)	可信度	权值	使用标志
-------	---------	-----------	-----	----	------

图 5 知识表的结构

Fig 5 The structure of a know ledge table

4 远程故障诊断专家系统

专家系统网络化是现有诊断手段网络化的一个重要研究内容。传统专家系统的缺点是：(1) 知识的存储与处理能力有限；(2) 作用领域大多被限制在很窄的范围内。基于 Web 数据库的开放式故障诊断专家系统，其知识库可以在使用过程中通过专家的知识、故障诊断的案例及设备制造商的设计和安装数据得到不断的扩充，并可分布于不同区域的数据库中而得到充分的共享；专家系统的用户不受地域的限制，采用浏览器作为用户界面而无需培训学习，并且可以允许多个用户同时进行故障诊断。

专家系统一般由知识库、推理机、知识获取器、推理解释器、人机交互界面等部件组成。但在 Web 环境下，这些部件的结构关系不同于传统专家系统。本质上，基于动态 Web 系统建造专家系统，就是要在三层系统结构中让专家系统扮演扩展程序的角色。图 4 表示了基于动态 Web 技术的专家系统的基本结构。目前，实现动态交互式 Web 应用的解决方案繁多，令人目不暇接，但总体上可按客户端扩展和服务端扩展的观点把

握。综合考虑系统的性能和开发效率，本文采用 ASP 方案。

专家系统网络化重点需要解决知识的存贮和推理过程的网络化两方面问题。将知识库用关系数据库技术加以实现，如图 5 所示。这是一种松耦合的基于规则的产生式知识表示方式，与紧耦合的表示方式（即将诊断推理过程中用到的逻辑判断过程信息存储在知识库中）相比，具有通用性强的特点。本文采用普通的正向演绎推理实现故障诊断和隔离过程，即根据用户提交的故障现象或故障指示信息，由推理机组件匹配知识库中的规则前件，得到排故操作提示，再进一步确认，得到新的反馈信息，直至故障隔离过程结束。

5 协同诊断工作环境

CSCW，即计算机支持的协同工作，正在随着网络技术的深入发展而逐渐成为一种高效的工作方式。远程故障诊断的一个重要工作模式就是在计算机网络环境的支持下，多个专家针对某个疑难故障现象进行协同诊断。作为协同诊断工作环境，一方面要提供协同诊断的共享工作空间，另一方面应能提供现场运行的工作状态，使远程诊断

增加临场感达到召开现场会议的效果。

作者首先开展了虚拟仪器网络化的研究^[7]。利用 NI 的虚拟仪器技术, 采用两种方式实现了虚拟仪器的网络化: (1) 基于 G Web Server 机制。它是基于图片传输机制工作的, 速度上会受到网络带宽的限制。这种方式实现便捷, 但速度慢, 临场感不强。(2) 基于 DataSocket 机制。它利用 DataSocket 实现网络环境下数据和控制信息的传输, 在客户端重现真正的虚拟仪器。这种方式速度快, 临场感强, 是将来的发展方向。

作者分别基于 ASP 和 DataSocket 实现了两种 CSCW 平台。基于 ASP 的 CSCW 平台嵌入在一个面向故障诊断的综合站点中。该网站的功能包括: 管理、自动登记、会议招集、参加会议、CSCW 平台及其它相关功能。其中论坛部分是网站的核心。CSCW 平台提供了文字交流、图片白板和语音的交互, 并通过虚拟仪器技术实时提供诊断现场的状态信息。此外可以提供讨论议题窗口、参加会议专家列表, 在专家列表中可以链接到专家的个人资料。这种 CSCW 平台通用性强, 但交互能力弱。由于 DataSocket 通信机制的灵活性, 采用 DataSocket 技术实现的 CSCW 平台可以充分实现各种交互功能, 如灵活的图形交流、语音对话等功能。

6 结束语

本文主要介绍了作者在“民航发动机远程故障诊断”方面开展的几项关键技术研究, 提出了民航发动机远程故障诊断的体系结构, 给出了诊

断设备的网络化、远程故障诊断专家系统和协同诊断工作环境的技术方案。作者深感在我国民航领域建立远程故障诊断体系的迫切性, 呼吁首先建立民航发动机远程故障诊断服务中心的示范性工程。当然, 基于 Internet 的远程故障诊断技术是一个多个新兴学科相互交叉渗透的新型技术领域。随着 Internet 技术日新月异的发展, 有许多内容和方向值得开展进一步的研究: (1) 将 ACARS 的飞行中无线传输信息用于实时故障诊断; (2) 基于 CORBA 的并行远程故障诊断专家系统技术的研究; (3) 将知识挖掘技术应用于远程故障诊断专家系统, 使知识库得到不断的完善。

参考文献

- [1] 左洪福. 发动机磨损状态监控与故障诊断技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 1996
- [2] Gower A, Boning D, McIlrath M. A Flexible, Distributed Architecture for Semiconductor Process Control and Experimentation[J]. SPIE 2912, 1997: 146- 158
- [3] Nichols H M C, Bernard C B, David M H. Remote Instrument Diagnosis on the Internet[J]. IEEE Intelligent System, 1998, (5): 70- 76
- [4] 何岭松, 王竣峰, 杨叔子. 基于因特网的设备故障远程协作诊断技术[J]. 中国机械工程, 1999, 10(3): 336- 338
- [5] 张天宏. 民航发动机远程故障诊断技术研究[R]. 南京: 南京航空航天大学, 2001
- [6] 张天宏, 左洪福, 黄向华. 基于 AD μ C812 单片机和 WebChip/PS2000 的灵巧型远程数据采集终端[J]. 单片机与嵌入式应用系统, 2001, (3): 43- 47
- [7] 张天宏. NI 若干技术在设备远程故障诊断中的应用[J]. 仪表技术, 2001, (5): 9- 11