

基于 Ethernet 的新一代现场智能控制器

The reflections upon Ethernet Field Intelligent Controller

摘要：本文阐述了 Ethernet 将成为主要的工业现场网络之一，并据此详细分析了 Ethernet 现场控制器的发展趋势，如嵌入式 WEB 技术将在设备管理系统中发挥重要作用、B/S 与 C/S 的融合将成为新的应用模式、基于浏览器的监控将挑战传统组态软件、控制功能将被进一步下放到底层等。最后，介绍了上海天控智能科技有限公司研发的新一代 Ethernet 现场智能控制器。

Abstract: The article believes that Ethernet Controllers would enter shop floor eventually, with the features: a) embedded web technologies would help assets management and remote control, b) B/S and C/S modes would be integrated for the features of control applications, c) Browser-based control software would become an important HMI, and d) Control functions would be implemented directly in controller, etc. At last, a new Ethernet Field Intelligent Controller designed by STIT is introduced.

关键词： Ethernet 现场智能控制器 WEB 设备管理 B/S 基于浏览器的控制

Keywords: Ethernet Field Intelligent Controller, WEB, Asset Management, B/S, Browser-based Control

相信大家对于当年的 VHS 与 Beta 之争还记忆犹新，先进性并不能保证某项技术在市场竞争中不立于不败之地。因此，Ethernet 虽然不一定是世界上最好的工业网络，但 25 年来，它在现代科技的各种挑战和人们的各种指责中顽强地生存着，也许仅仅因为其接入 IT 世界非常容易，就足以保证它最终会赢得这场战争，并接管所有的通信网络，一切只是时间问题。

1 Ethernet 将成为工业现场网络的主要选择之一

现场总线作为工业现场网络，其数字化、智能化、全分散等等特性曾给工业自动化领域带来了革命，但随之而来的安装、组态复杂，对维护使用人员要求较高，尤其是多达 120 种总线并存，造成系统集成困难，因而导致应用比较迟缓。厌倦了现场总线标准之争的广大用户和厂商，纷纷将目光转向了工业以太网。

如今，已无法想象一个现代化的企业在办公大楼和厂区内没有安装 Ethernet 网络。而非屏蔽电缆和光纤作为 OSI 模型物理层和数据链路层的一部分，意味着 Ethernet 已天生获得了进入工厂现场的许可；更主要的是，Ethernet 本身易安装、成本低、普遍应用、资源广泛、速度快，可以很方便和低成本地将现场信号传递到工厂的另一端乃至世界的任何角落，这些都深深地吸引着工业自动化领域。

导致 Ethernet 长期以来没有进入工业自动化领域，饱受诟病的问题，如实时性差、确定性较难保证、安全性有隐患和现场环境适应性需提高等，随着具优先权传送机制全双工环型冗余网络的广泛应用、高速智能交换机、工业等级通信接口芯片、接插件的出现以及加密、认证等安全技术的提高，已得到极大程度的改善和解决。同时，为了促进 Ethernet 在工业领域的应用，国际上也成立了工业以太网协会，开展工业以太网关键技术的研究。所以，随着 802.11 af 以太网供电等一系列国际标准的通过，现场总线与以太网之间的区别将越来越少。而国内浙大中控 EPA 标准的推出，也使得我们看到了中国在这一领域的希望，积极参与到这个过程去，将是缩小技术差距，赢得商机的一次绝好机遇。因此，抛开工业以太网的细节问题，研究如何将商业级的 Ethernet 技术真正应用到现场控制器乃至传感器、变送器、执行器中去，应成为国内中小企业关注的重点，这样一旦工业以太网国际标准确定，就可以及时跟进，成为真正的赢家。

2 基于Web的解决方案将在企业设备管理中扮演重要角色

根据 ARC Advisory Group 的最新研究报告《EAM/CMMS Solutions Worldwide Outlook》，企业设备管理 EAM 的全球市场目前为 1.6 亿美金，预计今后每年增长 3.1%，在 2007 年将达到 1.9 亿美金；其中增长主要得益于利用 IT 技术进行工业企业设备管理和应用服务提供商基于 WEB 的解决方案；报告预测基于 WEB 的解决方案将提高设备管理、电子采购和其它企业应用的性价比，提供更快的执行速度和简化的支持，从而降低企业的总成本。

同时，ARC Advisory Group 将标准设备管理模型 CALM 划分为 4 个重要领域，包括：设备维护计划、设备状态和条件监控、设备人力管理和设备资源管理。其中，设备状态指设备的物理位置、组态和运行状态等，条件指设备的完好程度、工作能力和性能等。

考虑到 Ethernet 现场控制器的应用本身，使得整个企业网络只有一种底层通讯协议，实现了垂直集成，在满足控制系统各个层次的要求的基础上，不仅使得企业信息网络和控制网络得到统一，更易于和 Internet 实现无缝连接，是进行设备状态和条件监控的理想工具。因此，随着后 PC 时代的来临和嵌入式操作系统的流行，Ethernet 现场控制器最优先考虑采用的就是嵌入式 Internet 技术。

拥有自己的 IP 地址，嵌入了 WEB Server 的 Ethernet 现场控制器能够发送状态信息、功能和维护请求，不仅可以告诉你他们在遥远的生产现场所监测的一切和自身的各类“健康”信息，而且你还可以告诉他们何时和如何完成何种工作，所有的一切，只需要通过一个 WEB 浏览器。因此，用户可以在任何时候、任何地方监控现场数据和设备，还对其进行远程诊断、维护、组态和升级。通过网络实现了故障预测智能化，可以避免故障的发生，因而维护模式从被动维护转为了预测性维护，增加了收益。此外，由于 Ethernet 的物理层允许多种协议，如 TCP、IP、UDP、SNMP、HTML、SMTP、Modbus/TCP 和 OPC 等，同时并行工作，（这对现场总线来讲是不可想象的），预防性维护工作人员可以在不影响生产的情况下快速诊断和调试。

同时，对于企业来说，只有动态计算出生产设备的工作能力，并据此进行生产作业调度，才能优化企业资源，所以企业 ERP 系统必须获得访问设备资源的数据库接口。但传统的 SCADA/PLC 系统所提供的实时数据库中含大量的重复性的过程数据，虽然可以经过 MES（制造执行系统）提炼，但费时、复杂。而如今这些数据已经包含在现场控制器的 Web Server 中，设备数据库可以轻松构建，与工厂的电子商务、物资供应链和 ERP 等作为整体集成在一起。根据 M2M 数据公司报道，利用基于 WEB 的 SCADA 对天然气气井进行监控，项目投资回报率因此超过 500%。

因此，在现场控制器中应用嵌入式 WEB 技术，将有助于提升工业现场的自动化水平，进一步消除自动化孤岛，并使企业尽快从实时企业向网络时代的虚拟企业转变，提高企业的生产水平和竞争力，从而在激烈的竞争中立于不败之地。

3 B/S 和 C/S 结构将在现场控制层进一步融合

信息技术的高速发展推动了自动化领域数据及计算应用模式的不断更新。传统的 Client/Server 客户服务器两层结构存在灵活性差、升级困难、维护工作量大等缺陷，客户端访问服务器的数据需要保证数据的唯一性，尤其是较难适应 IT 领域与自动化领域的应用差异，这是因为在 IT 领域，服务器的数量比例为 20%，客户端为 80%；而自动化领域恰恰相反，服务器为 80%，客户端为 20%，导致客户机的负担过重。所以随着 WEB 技术的日益成熟，Browse/Server 应用体系结构因其具有良好的跨平台特性，更简单、更低成本、能提

供更多信息且符合自动化领域应用特点等诸多优势越来越引起关注。

在 B/S 体系结构系统中，用户通过浏览器向分布在网络上的许多现场服务器发出请求，服务器对浏览器的请求进行处理，将用户所需信息返回到浏览器。B/S 结构简化了客户机的工作，客户机可采用不同的操作系统平台，且只需配置少量的客户端软件。服务器将担负更多的工作，对数据库的访问和应用程序的执行将在服务器上完成。浏览器发出请求，而其余如数据请求、加工、结果返回以及动态网页生成等工作全部由 Web Server 完成。实际上 B/S 体系结构是把二层 C/S 结构的事务处理逻辑模块从客户机的任务中分离出来，由 Web 服务器单独组成一层来负担其任务，这样客户机的压力减轻了，把负荷分配给了 Web 服务器。这种三层体系结构如图 1 所示。



图 1 B/S 体系结构

这种结构不仅把客户机从沉重的负担和不断对其提高的性能的要求中解放出来，也把技术维护人员从繁重的维护升级工作中解脱出来。由于客户机把事务处理逻辑部分分给了功能服务器，使客户机一下子“苗条”了许多，不再负责处理复杂计算和数据访问等关键事务，只负责显示部分，所以维护人员不再为程序的维护工作奔波于每个客户机之间，而把主要精力放在功能服务器上程序的更新工作。这种三层结构在层与层之间相互独立，任何一层的改变不会影响其它层的功能。

但纯粹的 B/S 体系结构也存在一些不足地方，主要表现为：一方面 HTTP 可靠性低，有可能造成应用故障，特别是对于管理者来说，采用浏览器方式进行系统的维护非常不安全与不方便；另一方面，WEB Server 成为对数据库的唯一的客户端，所有对数据库的连接都通过该服务器实现，WEB Server 同时要处理与客户请求以及与数据库的连接，当访问量小时，服务器端负载过重。

为克服以上不足，在原有 B/S 体系结构基础上，Ethernet 现场智能控制器构成的系统应采用一种新的体系结构，如图 2 所示。

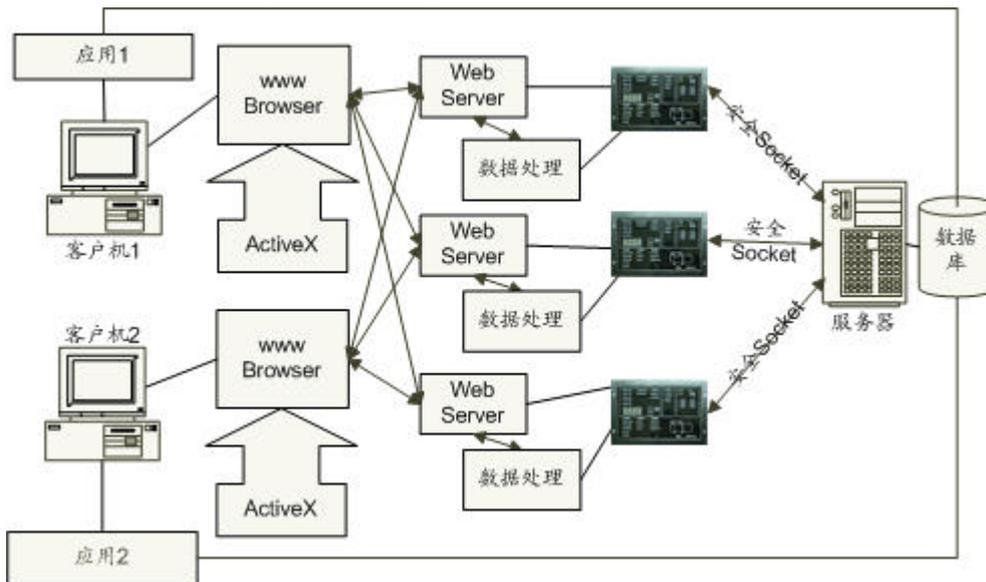


图 2 Ethernet 现场智能控制系统体系结构

在该种结构体系中，一些需要用 WEB 处理的，满足大多数访问者请求的功能界面（如对现场控制器的组态配置、图形监控等）采用 B/S 结构。客户端发出 HTTPS（具安全保障

的 HTTP) 请求到 WEB SERVER。WEB SERVER 将请求传送给数据处理程序。数据处理程序将数据转换后, 读/写相应的存储单元, 完成后返回, 然后再由 WEB SERVER 将数据传送给客户端。

后台只需少数人使用的功能应用(如系统的历史数据记录等)采用 C/S 结构。现场控制器通过 SSL、XML 或 FTP 等方式定时将历史数据传递给系统服务器备份, 客户端当需要处理涉及大量数据的复杂算法或历史趋势浏览等任务时直接从系统服务器上读取数据。

采用这种结构优点在于:

(1) 充分发挥了充分了 B/S 与 C/S 体系结构的优势, 弥补了二者不足。保证浏览查询者方便操作的同时也使得系统更新简单, 维护简单灵活, 易于操作。

(2) 实时监控采用 B/S 结构, 保持了瘦客户端的优点。装入客户机的软件可以采用统一的 WEB 浏览器。而且由于 WEB 浏览器和网络综合服务器都是基于工业标准, 可以在所有的平台上工作。

(3) 数据库端采用 C/S 结构, 通过 ODBC/JDBC 连接。这一部分只涉及到系统维护、数据更新等, 不存在完全采用 C/S 结构带来的客户端维护工作量大等缺点。并且在客户端可以构造非常复杂的应用, 界面友好灵活, 易于操作, 能解决许多 B/S 存在的固有的缺点。

(4) 对于原有基于 C/S 体系结构的应用, 可以非常容易地升级到这种体系结构, 只需开发用于发布的 WEB 界面, 可以保留原有的 C/S 结构的某些子系统, 充分地利用现有系统的资源。使得现有系统或资源无需大的改造即可以连接使用, 保护了用户以往的投资。

4 基于浏览器的监控将挑战传统组态软件

由于许多工业应用只需要对有限的几个关键点进行频繁监控, 而带 Web Server 的 Ethernet 现场智能控制器又允许任何人使用浏览器通过局域网访问该类数据, 所以昂贵的 HMI 软件及授权再也不是必需的了, 浏览器除了用于大家熟悉的 internet 浏览外, 已成为新一代人机界面的重要组成部分。

事实上, 浏览器技术的发展, 使得在浏览器中运行插件(如 Java 小程序 Applet、ActiveX 控件或文档)成为可能。基于这种思路, 在上位机中, 一些复杂功能或图形, 例如, 图形的动态填充、图块的移动、颜色的变化等等, 均可通过最新的 WEB 技术来实现, 这样, 用户通过在浏览器上访问该 Web 页面即可进行远程监控。

选择用来开发 WEB 用户界面的技术, 必须能支持高动态、具有动画显示且能提供高水平可用性的网页的开发。而像 HTML、JavaScript、Macromedia Flash 这些标准 WEB 开发技术, 是用来开发自动化控制显示页面的理想工具。尤其是通过在浏览器中嵌入 ActiveX 控件, 可以实现在浏览器中看似不能实现或实现起来比较困难的功能, 比如通过浏览器进行复杂报表的生成。另外, 在客户端 ActiveX 控件的加盟, 也可以丰富 HTML 页面, 取得令人满意的图形监控效果。

更进一步, 即使是运行在客户机上的采用 C/S 模式与系统服务器通信的复杂应用, 同样可以利用标准浏览器。此时, 数据服务器作为 Web Server 在局域网上发布, 各客户机依然通过浏览器访问相关数据和进行动态图形和报警监控、历史数据浏览、报表制作、控制功能及算法配置、用户管理等等。目前, 国内外已有了部分完全基于浏览器的监控实例和相应软件包, 如 Solidyne 的 i3、Action 的 WebOPC 和 BroadWin 的 WebAccess 等。与传统的 HMI/组态软件所不同的是, 这些软件提供了真正透明的 I/O 层, 可以被普通浏览器所访问, 从而提供了远程组态、远程监控、远程维护等功能。

虽然基于标准浏览器的软件开发起步较晚, 各类插件还不够丰富和全面, 功能也不够强大, 暂时还无法完全取代传统的组态软件, 但像 Ethernet 一样, 由于其开放、移植方便、

技术资源众多、免费、用户无需培训等突出优势，今后将不断挑战当前组态软件的统治地位，最终占据重要的一席之地。

5 控制功能被进一步下放到底层

控制功能将被逐步下放到底层工业设备和控制装置中去，本身并不会引起太多异议。但如何下放，却始终是个问题。而如今，集成了 RTOS（实时操作系统）、RTC（实时时钟）和 RTCE（实时控制引擎）的 Ethernet 现场控制器，使得控制功能可以被进一步下放到底层，控制和算法功能不再需要通过昂贵的 PLC 完成。

商业的实时操作系统（如 WindRiver）和实时控制引擎（如 IsaGraph）通常功能比较完善，但价格昂贵，考虑到财力的限制，基于 Linux 的免费开源项目将更适合国内的中小企业。

目前，主要的实时 Linux 系统有 RT-Linux、RTAI、LXRT、KURT 等，其中，RT-Linux 和 RTAI 架空了 Linux 内核，直接用可加载式核心模块处理实时进程，事实上是一种 real-time 驱动程序；LXRT 使用 RT-FIFO 将 RTAI 实时内核模块和真正的 Linux 进程连接在一起，由这个进程做代理为其呼叫 Linux 系统呼叫；而 KURT 则直接使用系统呼叫。某种程度上，这些 RTOS 都是在 Linux 系统上做的实时补丁，且代码量并不大，以 RTAI 为例，仅几百 K。因此，我们可以在消化吸收这些开源的实时 Linux 系统的基础上，改进实时性能，如重新定义 RTAI 的 RTHAL，使用 Linux 系统呼叫，采用非常有弹性的调度器架构，利用“抢先检查点 (preemption point)”方式改善系统的反应速度，从而将反应延迟缩短到 100 us 左右，构建一个实用的软实时操作系统。

同时，由于是实时 Linux 平台，我们可以比较方便地设计了一个通用的、可移植性强、轻便的实时控制引擎，该控制引擎位于实时操作系统与应用程序之间，且与硬件平台无关，从而使客户不需重新设计整个系统，就可以不断获得提升、升级的系统性能。而传统的 PLC 由于建立在各厂家专有架构的基础上，为了实现越来越多的功能和不断提高控制系统在工厂网络上的通讯性能，不得不频繁进行系统硬件的重新设计和软件的重新编程。因此，Ethernet 现场智能控制器极大地提高了控制系统的灵活性、开放性和整体性能。

目前，基于 Linux 的“OpenPLC”开源项目吸引了众多 Linux 程序员、工业控制开发人员和工控厂商的参与，其中，在此基础上开发的 MatPLC 已得到量产。此外，美国 SixNet 公司基于 uCLinux 的 OpenController 也得到了市场的认可。同时，越来越多的公司在控制器中支持符合 IEC61131-3 标准的编程语言，完成原本用 PLC 实现的控制算法。所有趋势都表明控制功能正在被进一步下放到底层的 Ethernet 现场智能控制器中，并且开放、得到了国际标准的认可。

6 上海天控智能科技有限公司在 Ethernet 现场智能控制器上的尝试

基于以上想法和分析，上海天控智能科技有限公司（STIT）正在开发新一代的 Ethernet 现场智能控制器，其结构示意图如下：

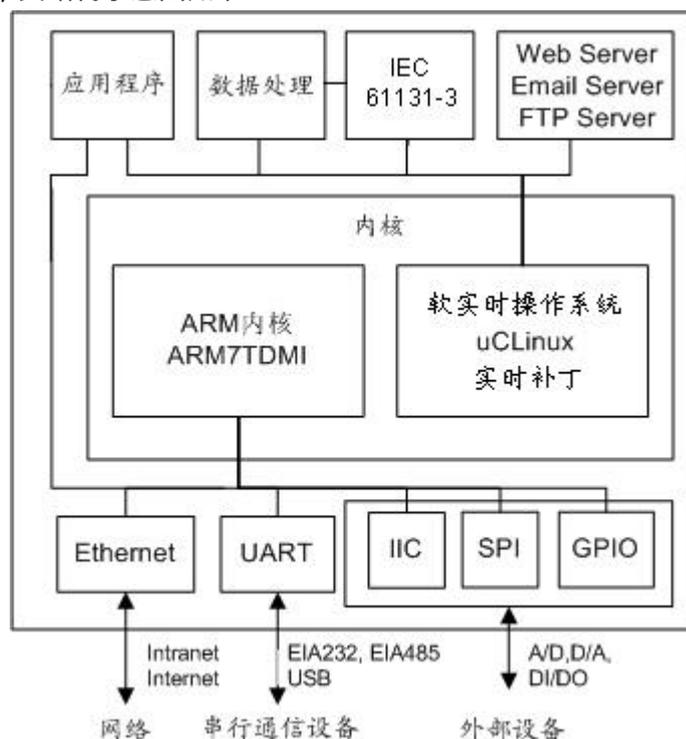


图 3 Ethernet 现场智能控制器结构示意图

该智能控制器采用基于 ARM7TDMI 内核的 32 位芯片，并嵌入带实时补丁的 uCLinux 软实时操作系统。其外围电路的主要特性为：

- 扩展了大容量外部存储器 8M Flash 和 16M SDRAM，存储历史数据、Web 页面和 Email 信息
- 带 10/100Mbps 以太网控制器，接入 Ethernet
- 两个 UART，支持 EIA232 或 EIA485 接口，且其中的任一 EIA232 接口可作为在线编程口
- 扩展了实时时钟，与片内可编程计时器一起，共同实现事件调度和保持网络时钟同步
- 18 路可编程输入输出，连接各类现场信号
- 带 I2C Master 接口，可扩展各类输入输出芯片和接口，提供符合工业要求的模块
- 针对扩展模块，利用若干串行 64K EEPROM，存储组态信息和调校参数

软件主要由以下几个部分组成：

- WEB 核心程序，支持 TCP/IP、UDP、SNMP、DHCP、HTTP 等多种协议，包括 FTP Server、Email Server 和 Web Server 等部分，其中，FTP Server 进行实时数据、历史数据采集和视频等文件的传送，EMAIL Server 提供新的 EMAIL 报警方式，而 Web Server 则除了提供对现场控制器自身的配置，如 IP 地址、端口、路由/网关、串口通信参数等，还提供对外部 I/O 的配置，如 I/O 通道数、类型、参数设定等，以及与内部其他程序进行数据交换的接口等。

- Web 后台数据处理接口：一方面与 Web 核心程序进行数据交换，读写数据存储单元及在此过程中的数据格式转换等；另一方面进行数据定时采集和记录，即通过安全 Socket 编程，向指定目标服务器定时传送当前数据；

- 应用程序，包括 I/O 数据采集及处理，即采集外部数据并进行相应算法处理，如滤波、延迟、死区等，并将最终数据保存至指定存储单元；人机接口处理，提供 LCD/LED 显示、接受键盘输入等；以及针对具体设备的相应算法、调度和控制策略等；

· 工业控制编程语言编辑和编译程序，目前支持 LD 语言，完全符合 IEC61131-3 国际标准。用户可根据应用要求，自行编制梯形图，经语法检查后下载到控制器中，进行编译和解释，并执行相应算法和操作，从而实现特定的控制功能；

· 人机接口程序，主要包括 Internet Explore 的后台插件，如 JavaScript、ActiveX 等，支持浏览器的动态图形显示，且插件的源代码完全开放。

整个系统的集成完全基于 WEB 方案，采用 B/S 与 C/S 混合体系，利用标准浏览器进行监控，通过 IEC61131-3 梯形图编程实现控制要求，应用示例参见图 4。

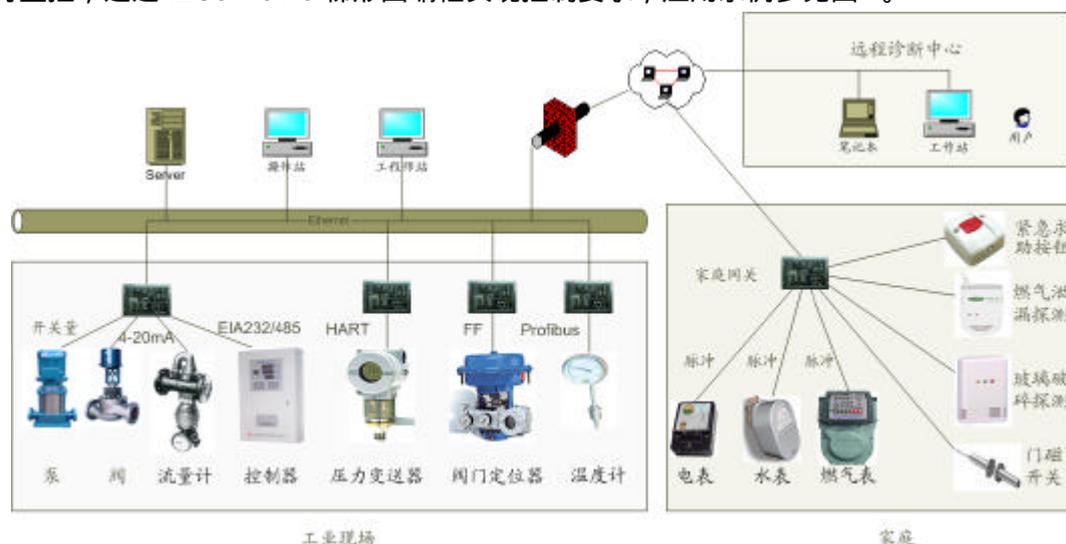


图 4 应用示例

该系统体现的主要优点和特性，除了前文分析要点外，最重要的核心思想是通过采用开放的标准，降低总体成本。体现在开放的系统环境可向现存和未来的自动化系统提供方便的接口，可利用现有的网络框架和 IT 世界丰富的资源，从而提高生产效率、维护诊断和故障排除能力，对用户需求进行快速响应，降低系统管理和员工培训成本等等。而国内外同类产品 and 系统的出现，也使得我们有理由相信，Ethernet 现场智能控制器有着巨大的生命力、光辉的前途和良好的市场前景。