

现场总线控制系统原理及应用

王慧锋 何衍庆 编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

现场总线控制系统原理及应用/王慧锋, 何衍庆编著.
北京: 化学工业出版社, 2005.9
ISBN 7-5025-7702-5

I. 现… II. ①王…②何… III. 总线-自动控制系统
IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 114410 号

现场总线控制系统原理及应用

王慧锋 何衍庆 编著

责任编辑: 刘 哲 宋 辉

责任校对: 王素芹

封面设计: 尹琳琳

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

[http:// www.cip.com.cn](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 21 $\frac{3}{4}$ 字数 538 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7702-5

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

对不同的应用，现场总线有不同的类型，它们已在不同行业得到认可。

现场总线技术和现场总线控制系统是自动化仪表和控制系统的发展方向。目前，现场总线的教材和相关资料尚少，为推动现场总线在我国的应用和普及，配合我国应用现场总线的要求，我们编写了本书。

本书以介绍基金会现场总线技术和基金会现场总线控制系统为主，包括数字通信技术、现场总线技术、现场总线设备和现场总线控制系统的设计、组态、安装和维护等内容，也简单介绍了其他用于工业过程控制的现场总线。

为便于学习，本书采用循序渐进的编写方式，读者可从基本概念和术语开始，逐步深入，从而对现场总线有全面了解。

本书分6章。第1章介绍现场总线的基本概念和现场总线控制系统的基本构成。第2章数据通信基础，介绍数据通信的基本概念，现场总线通信和功能模块的基本概念，是本书的基础。第3章是现场总线模型，包括开放系统互连参考模型、现场总线通信模型、OPC 技术等内容。第4章主要介绍用于过程控制的一些现场总线和应用，例如基金会现场总线、PROFibus 过程现场总线、WorldFIP 现场总线等，也介绍了介于模拟和数字通信之间的HART 现场总线。第5章介绍现场总线设备，包括现场总线变送器类设备、执行器类设备、信号转换类设备、指示记录类和接口类设备等，也介绍了相关的现场总线辅助设备，例如电源、电源调整器和其他附件设备。第6章讨论了基金会现场总线的设计、组态、安装、维护等内容，介绍了它们在工业过程控制中的应用。

本书可供工业生产过程控制领域和设计部门的工程技术人员、设计人员和维护人员作为参考书，也可作为相关专业师生的参考教材。

本书由王慧锋、何衍庆编著。本书编写工作得到华东理工大学教务处、信息科学与工程学院及自动化系有关领导的关心和帮助，贺正勤、严伟达、沈伟愿、吴亚平、肖克、王瑜、姚永斌、卢焕青、何乙平、王朋、倪雁、P Kim、M Stephen、纪军、范秀兰、何展敏等为本书编写做了不少工作，并提供帮助和支持，谨此一并表示衷心感谢！

由于现场总线技术发展迅速，加之编著者水平所限，书中错误和不当之处，恳请读者不吝指正。

编著者

2005年4月于华东理工大学

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 总线	1
1.1.1 总线	1
1.1.2 总线的特点	3
1.1.3 现场总线的发展	6
1.1.4 现场总线的展望	9
1.2 现场总线选用准则	11
1.2.1 选用现场总线的准则	11
1.2.2 典型现场总线技术	12
1.3 现场总线控制系统的构成	16
1.3.1 现场总线控制系统的基本构成	16
1.3.2 现场总线控制系统构成示例	18
1.3.3 几个容易混淆的概念	20
1.3.4 现场总线控制系统体系框架	21
第 2 章 数据通信基础	23
2.1 计算机网络及其拓扑结构	23
2.1.1 计算机网络及局域网	23
2.1.2 网络拓扑	24
2.1.3 开放系统互连参考模型	25
2.2 现场总线基本概念	27
2.2.1 现场总线的基本术语	27
2.2.2 现场总线的基本操作	31
2.3 数据通信基础	36
2.3.1 数据通信的信号	36
2.3.2 编码技术	38
2.3.3 数字数据的传输	41
2.3.4 通信传输媒体	47
2.3.5 通信媒体共享技术	50
2.4 差错控制和流量控制	51
2.4.1 产生差错的原因	51
2.4.2 错误检测	52
2.4.3 差错控制和纠正	55
2.4.4 流量控制	55

2.5	数据交换技术	56
2.5.1	电路交换	56
2.5.2	报文交换	57
2.5.3	分组交换	57
2.5.4	快速分组交换	58
2.6	通信媒体存取控制技术	62
2.6.1	IEEE802.3 协议	62
2.6.2	IEEE802.4 通信协议	68
2.6.3	IEEE802.5 通信协议	71
2.6.4	IEEE802.2 通信协议	72
2.6.5	基金会现场总线的通信媒体访问协议	73
2.7	网络互连	75
2.7.1	TCP/IP	75
2.7.2	现场总线的高层协议	84
2.7.3	网络管理协议	91
2.8	现场总线控制系统中的模块及其属性	96
2.8.1	现场总线设备的模块	96
2.8.2	常用功能模块	112
2.8.3	功能模块组态示例	127
第 3 章	现场总线模型	133
3.1	开放系统互连参考模型	133
3.1.1	开放系统互连参考模型的结构	133
3.1.2	开放系统互连模型的分层和功能	133
3.2	现场总线通信模型	136
3.2.1	现场总线通信模型的特点	136
3.2.2	现场总线通信模型	137
3.3	OPC 技术	145
3.3.1	OPC 技术	145
3.3.2	OPC 技术的应用	149
第 4 章	现场总线技术	154
4.1	典型现场总线和性能比较	155
4.1.1	典型现场总线	155
4.1.2	现场总线的比较	163
4.2	基金会现场总线	163
4.2.1	基金会现场总线的通信	165
4.2.2	基金会现场总线的功能	166
4.3	PROFibus	167
4.3.1	过程现场总线的分类和通信	167
4.3.2	过程现场总线的功能实现	175
4.3.3	过程现场总线的实现	189

4.3.4	过程现场总线的应用	190
4.4	WorldFIP 现场总线	193
4.4.1	WorldFIP 现场总线的通信	193
4.4.2	WorldFIP 现场总线的应用	201
4.5	LON 总线	203
4.5.1	LON 总线的通信	203
4.5.2	LON 总线的应用	210
4.6	HART 现场总线	213
4.6.1	HART 现场总线的通信	213
4.6.2	HART 现场总线的应用	219
第 5 章	现场总线设备	224
5.1	现场总线设备分类	224
5.1.1	现场总线设备的分类	224
5.1.2	现场总线仪表的特点	225
5.2	现场总线变送器类设备	226
5.2.1	现场总线差压变送器	226
5.2.2	现场总线温度变送器	237
5.3	现场总线执行器类设备	243
5.3.1	概述	243
5.3.2	工作原理	244
5.3.3	组态	244
5.4	现场总线信号转换类设备	245
5.4.1	电流-现场总线转换器	245
5.4.2	现场总线-电流转换器	246
5.4.3	现场总线-气压转换器	246
5.5	现场总线指示记录类设备	248
5.5.1	概述	248
5.5.2	安装	248
5.5.3	显示	249
5.5.4	操作和维护	250
5.6	现场总线接口类设备	251
5.6.1	概述	251
5.6.2	工作原理	252
5.6.3	安装与组态	255
5.6.4	现场总线接口卡的维护	256
5.6.5	其他总线接口设备	256
5.7	现场总线电源类设备	257
5.7.1	概述	257
5.7.2	现场总线供电系统	257
5.8	现场总线附件类设备	261

5.8.1	接线盒	261
5.8.2	现场总线本安栅和多路隔离器	262
第6章	现场总线控制系统	264
6.1	现场总线控制系统的设计和组态	264
6.1.1	现场总线控制系统的设计准则	264
6.1.2	现场总线控制系统的控制组态	275
6.1.3	上位机系统的组态	287
6.1.4	现场总线控制系统的工程设计	293
6.2	现场总线控制系统的工程实现	299
6.2.1	现场总线控制系统的布线和安装	299
6.2.2	本安型现场总线控制系统的特点	307
6.2.3	本安型现场总线控制系统的工程实现	312
6.2.4	现场总线控制系统的操作	316
6.2.5	现场总线控制系统的维护	318
6.3	现场总线控制系统的应用	319
6.3.1	现场总线控制系统在硝铵装置中的应用	319
6.3.2	现场总线控制系统在煤气混合装置中的应用	322
附录一	部分现场总线压力变送器所带功能块	327
附录二	部分现场总线流量仪表所带功能块	328
附录三	部分现场总线产品的性能	329
附录四	功能模块允许的操作模式	331
附录五	已在 FF 注册现场总线设备	332
	参考文献	337

第 1 章 概 述

现场总线是在过程自动化和制造自动化中，实现智能化现场设备与高层设备之间互连的、全数字、串行、双向传输的、多分支结构的通信系统。

1.1 总线

1.1.1 总线

1.1.1.1 总线及其分类

总线是 bus 的译文，它的原意是公共路径或公共汽车，即将乘客或货物从一个固定地点运送到另一个固定地点。自动化术语中，总线被定义为从多个源中的任何一个源向多个目的地的任何一个传递信息的通路。计算机技术中，总线表示数据传送的公用通道，乘客或货物是信息和数据，在计算机内部发送或接收信息的地点称为模块（Block），在计算机外部发送或接收信息的地点称为站（Station）或节点（Node）。网络技术中，总线是一种网络的拓扑结构，它表示网络中各节点之间的一种物理或逻辑连接关系。

总线可按不同分类方法进行分类。按一次传送数据量的多少可将总线分为串行总线和并行总线。串行总线每次传送一位数据，例如，RS-485 是串行总线。串行总线所需的电缆少，传输距离远，但信号传输速度慢，接口复杂。并行总线可一次传送多位数据，通常可传送 8 位、16 位、32 位等数据，例如 STD 总线、Modbus 总线等。并行总线的信号线相互独立，信号传输快，但传输线多，传输距离近。

按总线对应于计算机的位置不同可分为内部总线和外部总线。计算机内部总线又称系统总线。内部总线用于计算机内部各种功能模块之间的连接，并进行信息交换，例如 PC 总线、PCI 总线、EISA 总线、VME 总线等。不同类型的计算机，其内部总线不同，但从功能看，内部总线可分为地址总线、数据总线、控制总线和电源总线等 4 类。内部总线传输的距离近，因此，内部总线通常采用并行总线。计算机外部总线又称通信总线，外部总线用于计算机与计算机或其他外部设备之间的通信，实现信息共享和交换，例如 GPIB 总线、CAMAC 总线、现场总线等。外部总线传输距离较远，通常采用串行总线。

按制定总线规范的时间前后可分为传统总线和现代总线。传统总线有 STD 总线、PC 总线、S-100 总线等；现代总线有 EISA 总线、位总线、M 总线、VXI 总线、现场总线等。

总线的主要功能是通过这些公用的信号线将计算机内部各种模块之间或计算机与各种外部设备之间连接成一个整体，便于进行相互之间的信息交换。

1.1.1.2 现场总线及其分类

现场总线是应用于现场智能设备之间的一种通信总线，它广泛应用于制造工业自动控制和过程工业自动控制领域。按现场应用的不同要求和规模，现场总线可分为执行器传感器现场总线、设备现场总线和全服务现场总线。按照国际电工委员会 IEC/SC65C 的定义，安装在制造或过程区域的现场装置与控制室内的自动控制装置之间的数字式、串行和多点通信的数据总线称为现场总线。

执行器传感器现场总线（Actuator Sensor Bus）是用于现场设备的底层现场总线，它适用于简单的开关装置和输入输出位的这类通信，数据宽度仅限于“位”。其结构简单，成本低，数据信息短，需快速和有预知的响应时间，具有简化现场接线，不支持本安回路，不支持总线供电，传输距离在 500m 以下等特点。典型的执行器传感器现场总线有 Seriplex 总线、AS-i 总线。连接到执行器传感器现场总线的设备主要是接近开关、液位开关、开关式控制阀、电磁阀、电动机和其他两位式操作的设备。

设备现场总线（Device Bus）是中间层的现场总线，它适用于以字节为单位的设备和装置的通信，例如用于分析器、编码器、流程参数传感器、电机启动器、接触器、电磁阀等的信息传输。其特点是成本适中，数据信息包括离散量和模拟量，要求有快速通信和预知的响应时间，它支持总线供电，不支持本安回路，可采用双绞线作为通信媒体。典型的设备现场总线有 Interbus-S 总线、DeviceNet 总线、PROFibus-DP 总线、ControlNet 总线、SDS 总线和 CAN 总线等。在许多场合，这类总线被首先考虑用于电机控制中心的控制系统，操作人员可直接从设备现场总线获得诸如电机温度、转速、电压降和其他运行数据。由于它可直接与其他控制和操作设备，例如与现场的操作盘、过载继电器、开关、按钮操作站和模拟传感器等进行通信而得到广泛应用。在离散控制领域，它可用于将多个可编程逻辑控制器和有关设备连接在一起。

全服务现场总线（Fieldbus）又称为数据流现场总线，它是最高层的现场总线。该总线以报文通信为主，包括一些复杂的对过程控制装置的操作和控制等功能。其特点是开放性、互操作性及分散控制等。它的通信数据信息长，最大传输距离根据采用通信媒体的不同而变化。传输时间较长，传输数据类型较多，例如，可传送离散、模拟、参数、程序和用户信息等。虽然已经有多种现场总线得到 ISO 国际标准化组织的批准，但较多地实际应用于过程控制领域的现场总线仅几种。这类总线有基金会现场总线（FF）、PROFibus-PA 总线、WorldFIP 现场总线、HART 总线和 LON 总线等。其中，HART 总线是过渡性的现场总线。表 1-1 是三类典型现场总线的性能比较。

表 1-1 典型现场总线的性能比较

项 目	传感器现场总线	设备现场总线	全服务现场总线
报文长度	<1 字节	多达 256 字节	多达 256 字节
传输距离	短	短	长
数据传输速率	快	中到快	中到快
信号类型	离散	离散和模拟	离散和模拟
设备费用	低	低到中	低到中
组件费用	非常低	低	中
本质安全性能	没有	没有	有
功能性	弱	中	强
设备能源	多种	无	多种
优化	无	无	有
诊断	无	最小	广泛

根据应用场合的不同，经常使用的现场总线类型也不同。主要用于过程控制的现场总线有 HART、基金会现场总线、PROFibus PA、ControlNet、DeviceNet 和 AS-i 等；主要用于汽车工业的现场总线有 CAN、DeviceNet 和 AS-i 等；主要用于楼宇自动化的现场总线有 LON、BACnet 等；主要用于工业自动化的现场总线有 DeviceNet、Modbus、ControlNet、PROFibus-DP、CAN 和 Ethernet 等。真正满足过程控制的现场总线很少，例如基金会现场总线。本书所述现场总线指全服务现场总线。

1.1.2 总线的特点

1.1.2.1 总线的特点

总线技术在系统设计、生产、使用和维护等方面具有下列特点。

① 标准化。采用总线可实现标准化。每种总线都规定了标准，即总线标准规定了模板的几何尺寸、外部连接用接插件尺寸、针脚数量、位置和功能、编码规则等。这些标准使系统设计变得简单，设计时可根据系统总体要求分解为若干子系统或功能模块，再用总线将各子系统或功能模块连接起来，实现系统协调和运行。设计时只需要与总线进行通信，因此，设计简单，更改方便。标准化总线结构也为与第三方系统的连接提供了途径。

② 经济性。总线结构减少了各模块或站之间的连接线，使连接线上信息交换的利用率提高，因此，提高了系统的性价比。例如，计算机内部的 N 个模块，如果两个模块之间要用 p 根连接线，见图 1-1，则全连接的结构所需连接线数 M 为：

$$M = pC_N^2 = \frac{pN(N-1)}{2} \quad (1-1)$$

采用总线结构，只需连接线数

$$Z = pN + p = p(N+1) \quad (1-2)$$

因此，当模块数 N 较多时，总线结构的连接线数量约为全连接结构的 $\frac{N}{2}$ 。对于外部总线，由于传输距离远，更可节省大量的连接线费用。

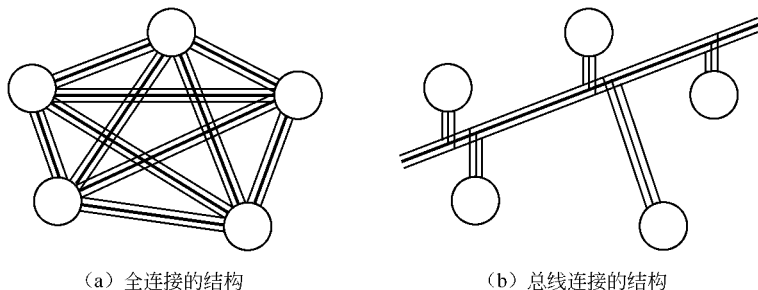


图 1-1 连接的关系

③ 简易性。简易性表现为设计简易性、安装实施简易性和维护简易性。设计简易性是采用总线结构，不同制造商不仅可根据各自优势生产有关总线产品，提高产品竞争力，而且由于总线产品的功能单一，投资和产品测试用的仪器价格较低，有利于产品功能的改进和质量提高；安装实施简易性使安装总线产品十分方便，通常采用插拔方式、可带电操作等；维护简易性表现为对维护技能要求的降低，各模块或站的维护可以独立进行等。

④ 灵活性。总线结构的灵活性是总线技术发展的重要原因。设备可以方便地挂接到总线上，也可方便地从总线上拆除，使系统可扩展性大大增强。此外，随着高新技术的发展，可对某些总线产品进行更新换代，增强产品功能，而不必重新设计整个系统。

1.1.2.2 现场总线的特点

① 开放性。现场总线是开放的网络，符合现场总线通信协议的任何一个制造厂商的现场总线仪表产品都能方便地连接到现场总线通信网，符合通信标准的不同制造商的产品可以互换或替换，而不必考虑该产品是否是原制造商的产品。因此，用户可以购置不同制造商的现场总线产品，把它们集成在一个控制系统中，并进行相互的信息交换。此外，第三方的软件可以方便地移植到系统中，缩短了系统开发周期。

② 智能化。现场总线仪表把微处理器引入仪表，使仪表本身成为网络的一个站，并参与通信，表明现场总线采用数字通信。在现场总线仪表中可以完成原来需在分散过程控制装置或回路控制器中才能完成的各种运算和控制。由于在现场就可完成控制系统的各种基本功能要求，送控制室的数据全部是数字信号，保证了功能的自治性。

③ 互操作性。互操作性包含设备的可互换性和可互操作性。可互换性指不同厂商的设备在功能上可以用其他厂商同一功能的同类设备互换。可互操作性指不同厂商的设备可相互通信，并能在各厂商的操作环境中完成其功能。为了使制造商发展其特有的功能，现场总线技术还为制造商留有可供其发挥的余地。

④ 环境适应性。现场总线专门为现场应用而设计。因此，现场总线能很好适应现场的操作环境。表现为通信媒体可采用双绞线、同轴电缆和光缆等多种类型；对电磁干扰的抗扰性强；可实现本安回路；可总线供电等。

⑤ 分散控制。现场总线技术使控制分散到现场级，从而真正实现分散控制。一些复杂控制，例如过程优化控制等，可以在上位机实现，而一些原先要在上位机实现的部分先进控制功能也已在现场总线设备中实现。

1.1.2.3 现场总线的优点

① 节省硬件数量和投资。安装在现场的现场总线仪表具有一表多能的特色。例如，一台控制阀不仅可有控制流量的功能，还有控制和运算等功能；一台流量仪表不仅有流量检测功能，还有温度和压力补偿功能。因此，用一台控制阀和一台流量仪表就可组成一个简单的流量控制系统，从而减少了控制系统的硬件数量和费用。另一方面，控制功能下移到现场级，减少了DCS系统所需空间，减少输入输出接口和相应的机柜空间和附属设备，使总的硬件设备减少，虽然现场仪表的投资增加，但总投资仍是减少的。

② 节省安装费用和维护费用。通常现场总线系统采用双绞线实施通信，在一对双绞线上可以挂接多台现场总线设备，因此，安装用的电缆、桥架、接线端子等费用大大下降，一般，安装费用可减少约60%；安装后的调试和校对工作量也大大下降，当需新增现场总线设备时，可就近连接到原有现场总线电缆，减少新增电缆量。此外，相应的设计工作量也大大减少。

对某一工程项目的统计分析表明，与采用一般集散控制系统比较，采用现场总线控制系统约可节省5%~6%的总费用。其中，由于采用现场总线仪表，投资费用从21.7%（占总投资费用的百分数，下同）增加到28.2%；系统组态和管理费用从11.3%增加到

14.9%；人工费用从 6.6% 增加到 7.1%，材料消耗从 17.9% 增加到 19.6%；但控制系统的总投资费用从 36.1% 下降到 27.5%；机柜等费用从 6.5% 下降到 2.1%。汇总后，整体系统的成本，对非本安应用约从 100% 下降到 94%，对本安应用约从 100% 下降到 95%。

此外，现场总线设备的自诊断和故障预警信息有利于及时发现故障；方便的带电插拔功能使维护变得方便；现场总线仪表的互换性和互操作性使仪表备品备件数量和类型减少；方便的维护画面降低了对维护人员的技能要求，并使维护工作量下降。

③ 多变量检测和传输。现场总线仪表可检测多个变量，例如，一台差压变送器不仅检测差压，也可检测流体的温度和压力，完成对流量温度和压力的补偿运算。这些变量还可方便地传输到在现场总线上的其他节点或站。

④ 缩短安装时间和投运时间。由于需安装的电缆、机柜等工程量减少，连接端子的连接量减少，相应地安装时间也大大缩短。此外，调试工作要比传统仪表控制系统简单，因此，系统投运时间缩短。

⑤ 消除模拟仪表通信的瓶颈现象。采用模拟仪表通信时，通信是单向的模拟通信，而现场总线仪表的通信是双向的数字通信。因此，现场总线仪表与仪表计算机控制系统间的通信不需要进行模数信号的转换。同时，在同一通信线上可以进行多个变量的双向通信，消除了模拟仪表通信的瓶颈现象。

⑥ 增大用户对产品的选择性。现场总线仪表的互操作性和互换性，使用户能在最大限度下选择高性价比的产品，不必为所选仪表能否与原用仪表适配而烦恼。

⑦ 提高仪表检测精度和鲁棒性，提高产品质量。采用数字通信后，信号传送误差减小，噪声影响降低，同时，减少模数和数模转换环节，使信号检测精度和可靠性得到提高，相应地使产品质量提高。现场总线采用数字传输，因此，误差仅由数字传输引入，而模拟信号传输不仅增加模拟信号传输误差，还要增加模数转换和数模转换造成的误差。所以，采用现场总线后，可大大提高仪表检测精度和鲁棒性。

⑧ 增强的管理信息。现场总线设备不仅增强了控制信息量，例如，除了设定、测量操纵变量的值以外，还可有相应的状态信息，便于操作员监视和控制，大大增强了管理功能。此外，各种管理信息，包括功能模块的组态、参数状态、诊断和校验、设备材质和过程条件等信息可方便地获得，并上传到上位机。

⑨ 增强数据传输能力。采用现场总线，可传输各种类型的数据，可进行双向传输，传输速率加快，多个设备可同时获得信息，使系统和设备间、设备与设备间的传输瞬时完成，大大提高数据传输能力。

⑩ 提高安全性。设备状态信息和故障预警信息为设备运行状态的评估提供了条件，使故障未发生时就能得以消除；故障发生时能及时对故障定位，及时处理；故障发生后，提供的故障信息便于对故障的分析，从而提高系统安全性。

1.1.2.4 集散控制系统与现场总线控制系统

集散控制系统与现场总线控制系统都是用于生产过程控制的重要计算机控制装置，因此，从生产过程控制的目标来看，两者没有本质的冲突。

① 分散控制、集中管理。集散控制系统诞生于 20 世纪 70 年代中期，现场总线技术诞生于 20 世纪 80 年代中期。集散控制系统与现场总线控制系统都基于分散控制、集中管理的

理念，但集散控制系统的分散尚不够彻底，集散控制系统分散到装置级，现场总线控制系统是将基础控制分散到现场级。

② 数字传输技术。现场总线控制系统脱胎于集散控制系统，它将集散控制系统的优点集中，使控制功能更完善，操作更方便，组态更容易。它与集散控制系统的—一个重要区别是采用数字传输技术代替模拟传输技术，因此，也获得数字传输技术的各种优点。

③ 综合自动化的组成部分。现场总线控制系统和集散控制系统是用于过程控制的重要装置，从当前应用情况分析，它们将与其他过程控制装置，例如紧急停车系统、可编程逻辑控制系统、资源管理系统、先进控制系统等集成在一起组成综合自动化系统。但是，随着现场总线控制系统的逐步完善，现场总线设备功能的不断增强，操作的方便、成本的降低和功能的完善等将使现场总线控制系统应用越来越广，并将逐步替代传统意义的集散控制系统。

④ 通信和传输的差别。集散控制系统传输的信号是 4~20mA 模拟信号，采用 HART 协议仪表的传输采用混合传输，即 4~20mA 模拟信号加数字信号，而现场总线传输的信号是数字信号。各种传输方法的性能比较见表 1-2。

表 1-2 通信传输性能的比较

通信类型	现场总线	混 合	模 拟
拓扑结构	多站	点对点	点对点
传输方法	数字信号	4~20mA DC 模拟+数字	4~20mA DC 模拟
传输方向	双向	单向(模拟)、双向(数字)	单向
信号类型	多路信号	部分为多路信号	单一信号

现场总线控制系统中信号的标准、通信标准和系统标准与集散控制系统不同。表现为：传输的变量从集散控制系统的单一模拟信号向现场总线控制系统的多变量数字信号发展；通信采用多站双向；系统控制分散到现场等。

1.1.3 现场总线的发展

现场总线的发展是与计算机技术、通信技术、网络技术、控制技术、信息技术等高新技术的发展分不开的。早在 1983 年，Honeywell 公司就推出 Smart 智能变送器，它采用在模拟信号上叠加数字信号的方法，为现场总线仪表提出了新的方向。其后，Rosemount 公司推出 1151 智能变送器，Foxboro 公司推出 820、860 智能变送器等，这些智能变送器带有微处理器和存储器，能够进行模拟信号到数字信号的转换处理，还可进行各种信号的滤波和预处理，例如，差压信号的开方，流量小信号的切除，热电阻或热电势的非线性补偿、冷端温度的补偿等，为自动化仪表的现代化和现场总线仪表的诞生奠定了基础。

1984 年，美国仪表协会 (ISA) 属下的 SP50 工作组开始制订现场总线标准，1985 年，国际电工委员会 (IEC) 成立 IEC/TC65/SC65C/WG6 工作组，开始研究和制订现场总线体系结构和标准。1986 年，德国开始制订现场总线标准，即过程现场总线 (PROFIBus; Process Fieldbus) 标准，该标准于 1990 年问世，并成为欧洲标准 EN50170。1992 年，国际电工委员会批准了 ISA/SP50 的物理层标准，同年，由 Siemens、Foxboro、Rosemount、Fisher、ABB 和横河等著名仪表制造商成立 ISP (Interoperable System Protocol) 组织，以德国 PROFIBus 标准为基础，制订现场总线标准，当年，第一个现场总线的芯片诞生。1993

年，由 Honeywell 公司等百余公司成立 World FIP (Factory Instrumentation Protocol) 组织，以法国 FIP 标准为基础，开始研究并制订现场总线标准。

1986 年，Rosemount 公司提出 HART (可寻址远程传感器数据通路) 通信协议，在 4~20mA 模拟信号上叠加频移键控 (FSK) 的调制数字信号，实现了混合信号的传输，它使模拟信号和数字信号可在同一线路中实现通信，是模拟通信向数字通信的过渡。1993 年，成立了 HART 通信基金会 HCF。

虽然各仪表制造商已经看到制订统一现场总线标准的重要性，广大用户对现场总线控制系统的需求也十分强烈，但现场总线标准的制订并非想像的那样顺利，受经济利益的驱使，各制造商都希望他们的产品是符合国际标准的现场总线产品，但因现场总线产品应用时间、应用地域的不同和发展的不平衡，使现场总线标准的制订工作进展十分缓慢，直到 1993 年现场总线物理层规范 IEC61158.2 才正式成为国际标准。

1994 年，ISA 的 ISP 组织和 World FIP 北美分部合并，成立了不以赢利为目的的现场总线基金会 (Fieldbus Foundation)，开始了现场总线标准制订的新篇章。1996 年，现场总线基金会发布 H1 低速总线标准。1997 年，应用层服务定义 IEC61158.5 和应用层协议规范 IEC61158.6 成为国际标准最终草案，并发布对基金会现场总线性能实验和互操作性测试结果，同时，现场总线通信栈圆片被注册。1998 年，现场总线的链路层服务定义 IEC61158.3 和链路层协议规范 IEC61158.4 成为国际标准最终草案，并通过放弃原定的高速 H2 现场总线开发计划，转而开发高速以太网 HSE 的高速现场总线方案。1999 年，高速以太网草案发布，并根据渥太华会议纪要，将原 IEC61158.3~IEC61158.6 的技术规范作为新标准 IEC61158 的类型 1，而其他总线按原技术规范作为新标准的类型 2~类型 8 (Type 2~Type 8)。2000 年，修改后的 8 类现场总线国际标准最终获得通过。2003 年，经修改后，国际标准 IEC61158 的现场总线有 10 类。

类型 1 (Type 1): 1999 年 IEC61158TS 技术规范全面定义的现场总线，即 FF 基金会现场总线 H1。

类型 2 (Type 2): Control Net 现场总线。

类型 3 (Type 3): PROFibus 现场总线。

类型 4 (Type 4): P-Net 现场总线。

类型 5 (Type 5): FF HSE 高速以太网总线。

类型 6 (Type 6): Swift Net 现场总线。

类型 7 (Type 7): Interbus 现场总线。

类型 8 (Type 8): WorldFIP 现场总线。

类型 9 (Type 9): IEC/ISA SP50 现场总线。

类型 10 (Type 10): PROFInet 现场总线。

与此同时，一些制造商也从各自经济利益出发，在一些大公司现场总线标准的基础上开发用于实际过程的现场总线标准。例如，由 BOSCH 公司推出，1991 年 Philips 公司制订了广泛应用于汽车行业的 CAN (Controller Area Network) 控制器局域网总线标准第 2 版，该标准在 1993 年正式成为国际标准 ISO 11898。基于 CAN 现场总线技术的 DeviceNet 现场总线由 Allen Bradley 公司设计开发，并在离散控制和低压电器中得到飞速发展，它已成为国际标准 IEC62026 的第 3 部分和欧洲标准 EN50325。美国 Echelon 公司在 1991 年推出了第一代 LON 现场总线，它采用 Lonworks 技术，以神经元芯片为基础，集成了 ISO 开放系统

互连参考模型的全部七层，采用 LonTalk 通信协议，实施 LonMark 互操作性标准，被广泛应用于楼宇自动化、工业自动化和家庭自动化。

低压电器现场总线标准的制订过程比过程控制现场总线标准的制订过程简单，根据 IEC62026 标准，有下列现场总线已经成为国际标准。它们是 AS-i 现场总线（第 2 部分）、DeviceNet 现场总线（第 3 部分）、SDS（Smart Distributed System）现场总线（第 4 部分）和 Seriplex 现场总线（第 5 部分）。

根据现场总线基金会的统计，到 2003 年 10 月，已有 32.5 万多台现场总线设备在全球各地安装和运行，它们分布在 5000 多套现场总线控制系统中，各行业的分布见表 1-3。到 2003 年 10 月，已经注册的单一类型或功能的基金会现场总线设备多达 176 种，包括控制器、变送器、电磁流量计、旋涡流量计、分析仪、阀门定位器、数据采集仪、施工用分析仪等。设备分布情况见表 1-4。基金会现场总线设备的总类型已达 256 种。目前，已有 9 家公司的 12 种现场总线上位系统通过现场总线基金会上位机互操作性支持测试（HIST）。

表 1-3 各行业使用现场总线控制系统和设备的情况

行业	化工	石油天然气	能源	医药	食品	造纸	教育	材料	其他
百分比	29%	22%	13%	9%	9%	4%	3%	3%	8%

表 1-4 现场总线设备类型

类型	链路设备	流量	压力	执行器	液位	温度	分析	控制、指示	其他
种类	8	25	36	39	14	18	18	2	16

基金会现场总线技术已经在全球顶级企业中得到应用。据统计，石油天然气的 10 个顶级企业中已有 9 个应用，25 个化工顶级企业中已有 23 个应用，25 个制药顶级企业中已有 24 个应用，20 个制浆造纸顶级企业中已有 15 个应用，20 个顶级食品饮料企业中已有 10 个采用基金会现场总线技术。现场总线的应用正从小规模的应用向大型项目及全企业应用发展。

现场总线基金会的统计表明，在我国，已经运行的基金会现场总线控制系统和检测系统有 100 多套，已经安装并运行的现场总线设备已达 4000 多台。在北京已经建立了基金会现场总线的演示中心，它包括 7 个经 HIST 认证的不同制造商的上位机、32 台经认证的 8 类设备。每个上位机连接 4~5 台来自不同制造商的不同设备，为现场总线的推广提供了基地。此外，还在北京燕山成立了仿真培训中心。近年来，更有多家大型工业企业采用现场总线技术。例如，英国 BP 公司与中国石化、上海石化合资的上海赛科（SECCO）石油化工有限责任公司，在以石脑油为原料的乙烯裂解和下游装置（包括 90 万吨乙烯，60 万吨聚乙烯，25 万吨聚丙烯，50 万吨苯乙烯，30 万吨聚苯乙烯，26 万吨丙烯腈，9 万吨丁二烯和 20 万吨芳烃）等共十套装置中全面采用基金会现场总线，组成各种控制系统和检测系统，总计有输入输出点 8 万多个，现场总线设备 2.3 万台，其总投资达 27 亿美元，整套装置将于 2005 年陆续投入运行。

现场总线技术的发展也推动了自动化仪表和装置的发展。对自动化仪表的发展主要表现在变送器和执行器的发展。

① 变送器。现场总线技术对变送器的发展主要表现如下。

- 传送和测量精度提高。由于数字化，减少了传送和转换环节，提高了仪表的传送精度

和测量精度。

- 仪表检测功能增强。各种多变量变送器诞生。例如，差压式流量计可用于检测质量流量、体积流量、压力和温度；电磁流量计可用于体积流量检测及电导和温度的检测；差压式液位计可用于检测液体的液位、密度、储罐内的压力及温度；超声液位计可检测液位和温度；温度变送器可检测温度、湿度和振动等。

- 多功能仪表。现场总线可传输除了测量值以外的其他信号，因此，扩展了仪表功能。例如，结合仪表检测功能扩展，添加计算功能块可对流量进行温度和压力的补偿计算，直接获得温度压力补偿后的流量值；添加控制功能块可完成控制运算等。

- 仪表的远程监视和控制。对变送器、传感器和检测元件的运行状况进行远程监视和控制，可提供预警和预测诊断的信息等。

② 执行器。现场总线技术对执行器的发展主要表现如下。

- 改进控制阀的可控性。由于采用现场总线技术，可用一台控制阀完成多种检测，例如开关时间、冲击周期等，从而预测阻塞、泄漏等事故。

- 控制阀流量特性的改进。采用现场总线后，阀门的流量特性不再在反馈回路进行调整，而是设置在设定通道，从而大大改进阀门定位器的副环特性。并且，流量特性可由用户设置，在低压降比系统应用中也可获得良好的流量特性。

- 功能的改进。阀门定位器、控制阀和 PID 功能块结合，并与流量的检测组合，就可以组成一台带流量检测和控制功能的多功能设备。

- 远程诊断和控制。对控制阀可进行远程监视，预测控制阀的故障，获得控制阀开度和状态等信息，为设备的合理维护提供分析和建议。

- 稳定控制阀的运行。改进控制阀的静态特性，稳定控制阀的运行。

- 控制阀附件减少。有利于对控制阀的维护和控制阀备件的准备等。

1.1.4 现场总线的展望

现场总线已经广泛应用于各个领域。虽然现场总线的类型众多，现场总线的标准难统一，但已经发布的现场总线标准说明这些现场总线是有生命力的，已经在相关的应用领域取得广泛应用并获得成功。现场总线的发展方向如下。

① 通信协议。对通信的实时性要求更高。现场总线技术是用于控制装置和现场设备、在现场设备之间实行双向、串行、多点的数字通信技术。因此，实时性是现场总线的发展方向之一。从数字通信要求看，就是应如何提高数据传输速率，减少无效通信量，扩大通信距离，采用塌缩通信模型等。此外，还包括制订与互联网通信的通信协议，使现场总线设备成为互联网的一部分，实现一网到底，实现互联网访问，使 e 网进入工业控制领域，例如，用于用户层的通信协议 IEC61804 等。近年来，一些国际标准化组织正致力于工业以太网应用协议标准的开发和制订工作，以 TCP/IP 协议为基础，开发实时性强的通信协议，实现具有互操作性的工业以太网。

建立满足开放性要求、满足可互操作性和通信一致性要求的应用层和用户层通信协议，建立有效的通信模型，协调现场通信中实时和非实时信息的通信服务，使通信协议能有效协调，满足工业生产过程控制应用的要求。

② 硬件。向无线通信方向发展，向网络化方向发展。与无线通信技术相适应，在现场总线中采用无线通信将成为现场总线的发展方向。由于现场总线设备大多数集中在较小的范

围内，通信距离短，因此，相应的无线通信技术得到开发，制订了无线通信的 IEEE802.11 标准；一些无线通信技术得以开发，例如蓝牙技术、ZigBee 技术和部分专用技术的应用。无线通信可以将通信用电缆减到极限，当现场总线设备采用无线技术，例如蓝牙技术后，现场总线设备可直接安装到现场，组成微微网（Piconet），微微网可重叠交叉，从设备单元可共享，多个相互重叠的微微网还可组成散射网（Scatter net）。由于无需安装连接电缆，因此，大大降低安装费用和维护费用。使用无线通信需解决安全性、抗扰性等技术问题。目前，无线智能变送器已问世。

网络化是信息时代的重要特征。网络化使现场设备的信息到全厂全公司，直至全企业的信息可以通过网络化实现信息资源共享，使信息传递更及时，信息执行更快捷。

硬件发展的另一个重要特点是机电仪一体化，现场总线设备是机电仪一体化的具体体现。例如，一个现场总线变送器不仅有与生产过程的接口和与现场总线的接口，而且有对相应数据的转换、处理和传输等功能，即一台设备可完成过程变量检测、变送、数据处理、信号传输等功能。此外，所具有的功能模块类型和数量增加，功能模块执行时间缩短。

硬件的高可靠性、强鲁棒性、开放性和实时性等性能将得到强化和改善。由于现场总线设备安装在现场的工业恶劣环境条件下，因此，对环境适应性也有更高要求。

将 DCS 的控制器分散到现场，组成通信组件，所需的功能块软件可根据要求下装，实现现场设备所需的功能，是现场总线控制系统的一个发展方向。

③ 软件。采用 XML 和 OPC 技术。XML 和 OPC 都是 COTS（Commercial Off-The-Shelf）商业应用技术的两个标准。它们允许控制和管理软件与其他硬件和软件产品实现无缝集成。XML（eXtensible Markup Language）是实际工业中商务数据交换的主要媒体，它用于作为数据定义的标准，在互联网上建立和传送结构化的文本。不同的工业应用可以定义各自的 XML 语言集，就像是 XML 的方言，例如，石化工业可定义针对该工业应用的 XML 集，并作为该工业中传送数据信息的标准。由于 XML 标准工具的多样性，使不同应用项目中数据的传送变得极为方便，它不仅提高系统的可靠性和冗余性，也为提高信息吞吐量、为用户项目的开发、应用和集成的灵活性提供了保证。

OPC 是 OLE for Process Control 的缩写，它指用于过程控制的对象链接和嵌入技术（OLE：Object Linking and Embedding）。OPC 技术的应用为硬件和软件的共同发展提供了可能。通过 OPC 技术使驱动软件接口标准化，OPC 针对过程控制问题提供了数据交换的标准。OPC 基金会已经有 250 多个成员，有 450 多个已认证的 OPC 产品，包括服务器、客户机、服务器/客户机开发工具等。OPC 客户机能够发送和接收数据和信息等到 OPC 服务器。对于工业控制的实时应用，已经制订了多个 OPC 标准，例如，用于过程数据的 OPC 数据接收标准，用于报警和事件数据的 OPC 报警和事件标准，用于历史数据的 OPC 历史数据接收标准，用于批量控制数据的 OPC 批量控制标准和用于数据交换的 OPC 数据交换标准等。基金会现场总线已经支持 OPC 的有关标准，例如，OPC DX 标准能够简化企业数据的集成，OPC DX 定义了一系列接口，用于互操作性数据的交换和实现经以太网的服务器到服务器的实时通信访问。

标准化软件是重要发展方向。一些国际标准化组织，例如工业自动化开放网络联合会（IAONA：Industrial Automation Open Network working Alliance）、工业以太网协会（IEA：Industrial Ethernet Association）等正致力于工业以太网现场应用有关技术和标准的研发。