

Winner 2001
Raymond D. Molloy
Award—Best Selling Book



过程控制现场总线

—— 工程、运行与维护

**Fieldbuses for Process Control:
Engineering, Operation, and Maintenance**

[瑞典] Jonas Berge 著
陈小枫 董景辰 曹迎东 等译
魏英民 审校

ISA—The Instrumentation, Systems, and Automation Society



清华大学出版社

Winner 2001
Raymond D. Molloy
Award—Best Selling Book

过程控制现场总线

—— 工程、运行与维护

**Fieldbuses for Process Control:
Engineering, Operation, and Maintenance**

[瑞典] Jonas Berge 著
陈小枫 董景辰 曹迎东 等译
魏英民 审校

ISA—The Instrumentation, Systems, and Automation Society

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书为美国“仪表、系统及自动化学会”(ISA)所出版的第一部现场总线专著。作者 Jonas Berge 着眼于应用和实施,根据自己多年研究、应用现场总线的实践经验,结合从全球各个工业领域的最终用户搜集来的第一手材料,简明阐述了如何在过程控制领域应用现场总线。从工程设计到设备及控制策略组态、安装及调试、诊断及故障寻查、运行、校准及维护,作者对现场总线系统生命周期各个阶段的“怎么做”作了详尽论述。书中重点讨论三种领先的现场总线技术——HART,基金会现场总线(FF)和 PROFIBUS PA,涵盖现场级和基于以太网的主站级网络。第7章(系统运行)还讲述了使用 OPC 技术进行软件集成。对于在互操作性、集成及迁移、有效性及安全性等方面普遍存在的疑惑和相应解决方案,书中也作了讨论。第2章所阐述的现场总线技术特点将有助于工程师向决策层论证现场总线的优越性。最后一章专为爱钻研的人了解现场总线如何工作而编写。

本书是系统设计人员、仪表工程师和技术人员的必读专著,也是系统组态和故障寻查的必备参考。即使是工艺工程师,亦可从了解现场总线的功能中获益。书中各章所附的习题使其可作为大专院校的理想教材,也可供自学。

Fieldbuses for Process Control: Engineering, Operation, and Maintenance

Jonas Berge

Copyright © 2002 by ISA—The Instrumentation, Systems, and Automation Society

All rights reserved. Reprinted in limited copies with permission. Photocopies are prohibited under international copy laws.

本书中文版由 ISA 授权清华大学出版社独家出版发行。未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的内容。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2003-2669

图书在版编目(CIP)数据

过程控制现场总线——工程、运行与维护 [瑞典] 乔纳斯·伯格著,陈小枫等译. —北京:清华大学出版社,2003

书名原文:Fieldbuses for Process Control: Engineering, Operation, and Maintenance

ISBN 7-302-06297-8

I. 过... II. ①乔... ②陈... III. 总线—过程控制 IV. TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 008501 号

出 版 者: 清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机: 010-62770175

责任编辑: 王一玲

版式设计: 韩爱军

印 刷 者: 北京市人民文学印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 印张: 22.75 字数: 467 千字

版 次: 2003 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-06297-8/TP·4758

印 数: 1~5000

定 价: 68.00 元

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

Dedication

Till min pappa och till minne av min mamma

译序一

人类进入信息社会,信息技术必将渗入各行各业。信息技术与各个技术领域的结合既促进了相关领域的提高发展,又展现了信息技术的应用普遍性、渗透力及其功能的不可比拟性。测量控制技术是多学科的综合,是多种技术的融汇。测量控制技术是具有高敏感性和强包罗性的技术领域,各种自然学科的发明和高科技成就往往首先在测量控制领域得到实现和应用,并又反馈促进这些学科和技术的发展。信息技术的主体侧重于信息的通用性处理和传输,测量控制技术侧重于信息的获取和专业性处理及其应用。在广义上,同属信息技术范畴。如果说信息技术与其他技术领域的结合在一般情况下往往具有明显的可分离性的话,那么信息技术与测量控制技术的结合却往往是不可分的相互渗透和融合。

现场总线技术是信息技术与测量技术结合的典型成果,是测量控制技术的高敏感性和强包罗性在信息化时代的体现,也是信息技术在测量控制领域的渗透、延伸和发展。现场总线技术的出现及其广泛应用将使长达数十年的以模拟量传输为主的测量控制领域产生巨大的变化。现场总线技术已经从研发、试验、局部和小系统运用开始进入到复杂系统和大工程项目的大量应用阶段。现场总线技术将逐步成为测量控制领域的基本技术之一。不用很长时间,不了解现场总线技术的工程技术人员将难以从事有关测量控制系统的工程设计、操作运行和研制开发。

现场总线技术的工业性研究和应用已经有二十来年的历史。阐述现场总线技术理论和内容的中文文献已经很多,但是应用现场总线技术的实用性书籍十分匮乏而急需。我国虽然不是现场总线技术研究开发领先的国家,但由于经济的快速发展和新工程项目的大量启动,将成为应用现场总线技术最多最快的国家之一。本书中译本的出版将为与测量控制系统有关的工程设计、安装调试、运行操作、设备维护等工程技术人员提供现场总线技术的实用性知识,对于已经熟悉传统测量控制系统并具有现场总线基本理论基础的工程技术人员最为适用,也适合具有现

场总线功能的仪器仪表和测量控制设备研制部门的工程技术人员参阅。愿本书的翻译出版对现场总线技术在我国推广和信息时代测量控制技术的发展起到良好的作用。

奚家成
中国仪器仪表协会
于 2002 年 8 月

译序二

根据 ISA 的统计,本书在 2001 年 ISA 所出版的书目销售中排名第一,并荣获 ISA2001 年度最佳畅销书奖 **Raymond D. Molloy** 奖。这说明三个问题:第一,现场总线已从标准的争论跃升到普及工程应用阶段,它的优点得到方方面面的认同;第二,作者根据自己的实践经验写出的内容,对许多从事过程控制的工程技术人员有很大帮助;第三,ISA 出版本书,再次证明 ISA 是先进技术应用的倡导者。

Smar 公司的 **Jonas Berge** 先生主要利用休息时间,花了一年的功夫,把自己在现场总线方面理论和多年的实践经验总结出书,是对现场总线技术的普及应用工作的突出贡献,本书简体中文版的出版得到 ISA 的鼎力支持,我本人并代表广大的通过本书受益的读者,对 ISA 的支持表示深深的感谢。同时,我也为北京华控技术有限责任公司有机会组织翻译这本书感到荣幸。

现场总线技术是新生事物,是数字化、智能化、网络化技术在现场仪器仪表应用中的体现,是新一代管控一体化系统的基础。正因为如此,本书翻译的难度大大增加。对于书中出现的许多新技术概念,词汇的对应理解,若没有从事有关工作的经验,是很难准确表达原书中含义的。我对参加本书翻译和审校工作的人员顺致深深的谢意,他们是:陈小枫高级工程师、董景辰高级工程师、曹迎东工程师、夏得海教授级高级工程师、刘权高级工程师。全书由魏英民先生审校。

虽然作者在著书、译者在翻译的过程中本着科学、严谨的工作态度,并结合多年从事专业工作的理论知识和实践经验,真诚地想呈献给读者一本完美的参考书,但是现场总线毕竟是一种新技术并且在不断发展,本书中未免会出现这样或那样的不妥之处,希望广大读者批评指正。

最后,对清华大学出版社参与本书出版的有关人员,表示衷心的感谢。

张广川

北京华控技术有限责任公司

2002 年 12 月

译者的话

在本书第 11 章“现场总线是如何工作的”开始,作者 Jonas Berge 先生就说这一章是专为“propeller heads”而写的。我们在定稿时将“propeller heads”翻译为“爱追根究底的人”。其实,该词直译是“螺旋桨脑袋”,英文俚语的意思是“对技术着迷的人”。作为我多年的同事,原书作者给我的印象恰恰是一位对技术,特别是现场总线技术,着迷的人。

本书浓缩了作者十余年研究、开发、应用现场总线技术的实践经验。自 20 世纪 90 年代初,作者便开始潜心研究现场总线技术,后来在现场总线基金会(Fieldbus Foundation™)成立后又直接参与了基金会现场总线(FOUNDATION Fieldbus)规范的制定,并参加了基金会现场总线的早期现场实验。此外,作者还参与了国外多套现场总线系统的设计、安装和调试。在国外一些著名专业杂志及国际会议上,作者曾发表过百余篇文章。

我曾有幸在本书英文版出版的前后多次同作者交谈。当我问及撰写本书的初衷时,作者坦诚地告诉我,他在走访用户的过程中,感到他们都在关心同样的问题。他们需要了解现场总线的优越性,并有效地向工厂管理层阐明这些优越性,以便在投资下一个系统时做出明智的决策;需要了解现场总线系统如何安装、如何组态;需要了解工厂现行的工程及维护规程将受到什么影响;需要了解如何将工厂的旧系统同现场总线系统集成在一起;等等。此外,市场上还存在诸多对现场总线的误解。这也就使作者感到用户亟需一本有关现场总线的书。而系统阐明这些用户共同关心的问题,正是本书的重点。

尽管此前已有一些现场总线方面的著作,但它们往往要么因偏重于功能性理论而不适合工厂用户,要么因试图覆盖太多总线,而结果只能停留在运行和安装上,未能涉及用户所关心的重点,如组态、工程设计、互操作性、安全性等难题。而本书则只选取与过程控制相关的三种总线——基金会现场总线(FF),PROFIBUS 和 HART,偏重于实施及应用,从工程设计、组态,到安装、调试,到故障诊断、系统运行、校验及维护,着重阐述控制系统生命周期各个阶段的“怎么做”。随着现场总线技术在中国

日益广泛的推广,我们相信本书将成为过程控制工程技术人员的实用案头参考书。

因书中广泛涉及自动控制、网络、通信及计算机等领域的前沿技术,许多词汇在国内还没有统一的中文译法。我们在翻译的过程中,除了参考多种最新的技术辞典外,还尽可能地征求相关行业专家的意见,以求使读者易于理解。对于一些较难翻的词汇、句子和段落,我们还反复征求作者的意见。考虑到本书读者中相当一部分有一定的英文基础,我们在大部分关键词汇后加注了原文,供这些读者参考。

最后,我谨代表全体校译人员向在本书翻译过程中给予我们大力支持的作者 Jonas Berge 先生、版权持有者 ISA 及北京华控技术有限责任公司张广川先生表示衷心的感谢。鉴于校译者水平有限,错误和不妥之处在所难免,敬请读者不吝指正。

魏英氏

Smar 北京办事处

2002 年 12 月

目录

1	引言	1
1.1	数字通信网络	1
1.2	自动化网络的应用领域	5
1.3	现场总线的沿革	11
1.4	控制系统体系结构的演变	14
1.5	网络的基本差异	18
	习题	19
	参考文献	20
2	优越性、成本节约及疑问	21
2.1	认识现场总线的优点	21
2.2	实现现场总线的成本节约	31
2.3	现场总线疑问解答	45
	习题	49
	参考文献	50
3	安装和调试	51
3.1	HART	51
3.2	IEC 61158-2 (基金会现场总线 H1 和 PROFIBUS PA)	60
3.3	以太网和 IP (基金会 HSE 和 PROFINet)	89
	习题	114
	参考文献	115

4	组态	116
4.1	网络组态	118
4.2	设备组态	120
4.3	控制策略组态	152
	习题	205
	参考文献	206
5	集成与迁移	207
5.1	混合 I/O	208
5.2	迁移	210
5.3	集成	213
	习题	218
	参考文献	218
6	故障排查	219
6.1	设备	219
6.2	通信	224
6.3	控制策略	230
	习题	234
7	运行	235
7.1	最大限度地利用现场总线的性能	236
7.2	组态过程显示画面	237
7.3	性能方面的考虑	246
7.4	操作一个现场总线控制回路	247
	习题	249
	参考文献	249
8	工程与设计	250
8.1	概念设计与功能说明	251
8.2	工程设计	251
8.3	工厂验收测试(FAT)	266
8.4	现场验收测试(SAT)	267
	习题	268
	参考文献	269

9	维护及设备管理.....	270
9.1	具有设备管理功能的系统	271
9.2	校验现场总线设备	272
9.3	诊断现场总线设备	277
9.4	预测现场总线设备故障	278
9.5	来自现场总线设备的信息	280
9.6	现场总线设备的更换	282
	习题.....	283
	参考文献.....	283
10	有效性和安全性	284
10.1	容错与安全系统	284
10.2	提高有效性	287
10.3	增加安全性	296
10.4	平衡有效性和安全性	301
	习题	305
	参考文献	305
11	现场总线是如何工作的	306
11.1	入门	306
11.2	物理层	308
11.3	数据链路层	312
11.4	应用层	317
11.5	系统管理和网络管理	326
11.6	用户层	327
11.7	以太网和 IP 上的现场总线	333
	习题	334
	参考文献	335
	附录 A 习题解答.....	336
	中英文词汇对照表.....	341

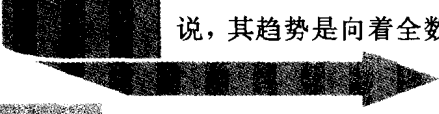
引言

可以理解,最初的过程控制系统都是由模拟的、简单的设备组成的。由于 CPU 价格昂贵,所以需求最少数量 CPU 的体系结构决定了设备所采用的信号格式。直到 20 世纪 70 年代,网络才开始被引入到工业自动化领域中,而且最早在直接数字控制 (DDC) 系统中的计算机与 I/O(输入/输出)之间获得应用。后来,网络在集散控制系统(DCS)与可编程逻辑控制器(PLC)系统中用来连接控制器与操作站。然而,直到 80 年代,在工厂底层上较小的设备,如变送器上,才出现数字通信。而真正的现场仪表通信总线网络直到 90 年代才开始被广泛接受。

在另一极端,企业通过因特网将其跨越全球的各个工厂与其总部连接在一起。生产与其他企业功能的协调已成为信息技术(IT)结构的一个有机部分。网络可以从工厂中收集更多的信息并使之广泛而远距离地传遍整个企业。在地理位置上分散但蕴涵众多智能的企业组分,目前有望能工作在一起。网络已经对自动化变得必不可少,而且正在变革着工厂和企业的运作方式。

1.1 数字通信网络

许多网络,如电话、无线电与电视最初都是模拟的,但肯定地说,其趋势是向着全数字化通信的方向发展。因此,在自动化所



用的网络中,处于主导地位的也是数字通信,也就是说,数据在各设备间以 1 及 0 的信息流串行地进行传输。也正是数字通信才使得诸如变送器、阀门定位器、控制器、工作站及服务器间的数据传递成为可能。

1. 信息更多

数字通信的主要优点在于能在一根电缆上传输大量信息。上千甚至几百万条的信息可以只用一根网络电缆来传输,而不再是对每个变量都用一根硬连线连接。与模拟信号相比,采用数字信号可以从每台设备获得更多的信息。例如,在数字通信诞生以前,除了单一的 I/O 外不可能远距离传输任何其他信息。整定与控制器的设置不得不就地进行(图 1-1)。因此,所有的控制器不得不固定在沿着控制室墙壁放置的大型仪表盘上。这样才可以在控制器的面板上直接进行操作。传感器与执行器只能用一根专用的双绞线同控制器硬连线。而且,除了传输单一的过程或操纵变量外不能再传送其他任何信息。模拟信号只能单向传送,即只能从变送器送往控制器,或者从控制器送往定位器。

数字通信的来临,使得可以将 DCS 及 PLC 的控制器远离控制室而放置到辅助的机柜室内。几百个回路及监测点的所有监控信息可以通过单一的网络传送到控制室内的操作站上。

数字通信不仅传送 I/O,如过程及操纵变量,而且还双向传递进出控制室的运行信息,如设定点与模式、报警以及整定。这样的通信可以实现分散处理,并将诊断、组态、量程、识别以及其他信息最初加到控制器内,而后加在诸如变送器及阀门定位器的现场仪表中。多亏有了通信,现在的现场仪表不但可以完成基本的检测或执行功能,而且还具有控制以及设备管理功能。

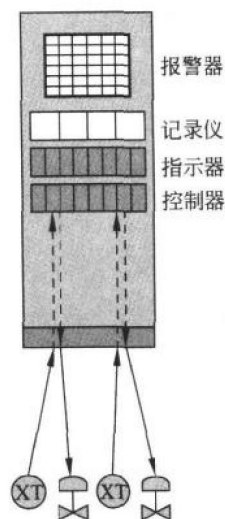


图 1-1 过去,控制器必须置于控制室机柜中

2. 多挂接

数字通信的另一个好处是能在一根双绞线上连接多台设备组成多挂接网络,使设备共享通信介质(见图 1-2)。与每台设备使用各自的电缆相比,这样可以减少线缆。特别是在现场设备多、距离控制室远的情况下,线缆节省会更加可观。即使在每对导线上只连接少数设备,减少的电缆量也相当显著,从而降低硬件与安装费用。

在网络上的通信设备称为节点。每个节点被分配不同的地址以与其他设备相区别。这样,便可对每台特定的设备进行询问和发送信息。

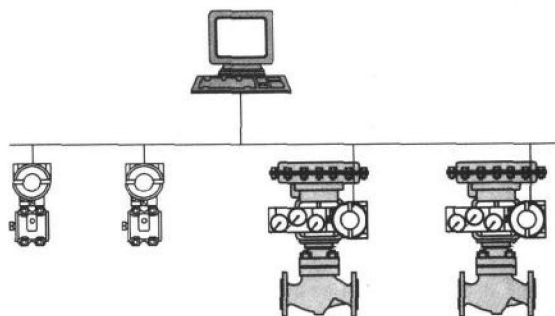


图 1-2 网络节点共享通信介质

在最简单的通信模式中,一台作为主设备的工作站或 PLC 向其他(如现场仪表等设备)发送请求,以读取或写入一个值。这些现场仪表称为从设备(图 1-3)。被寻址的从设备继而产生响应,例如通过 HART 或 PROFIBUS 主设备组态工具或手持终端时而非周期性地往作为从设备的定位器内写入一个参数。在没有特定主设备或从设备的网络中,如基金会现场总线,这种模式称为“客户-服务器”(client/server),即一台设备作为客户发出请求,而另一台设备作为服务器作出响应。另一个主设备/从设备模式的例子是一台作为主设备的 PLC 从一台作为从设备的变送器读入过程参数,在执行控制算法后,将其输出写入到作为从设备的定位器中去。对于 PROFIBUS 的闭环控制来讲,其读/写周期性地重复。

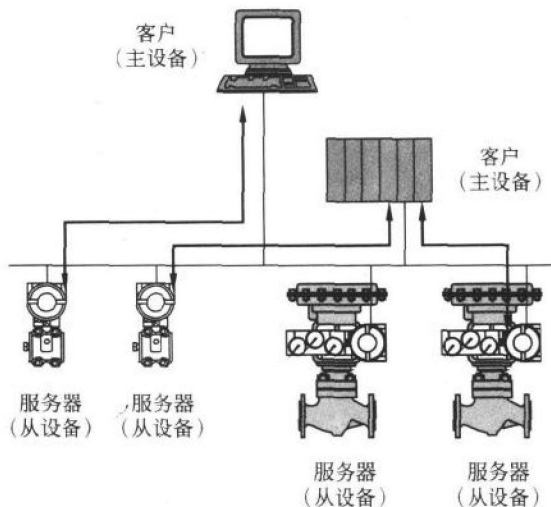


图 1-3 客户-服务器(主-从)关系

另一种通信模式是周期性通信的理想选择。其中作为“发布方”(publisher)的一台设备广播一个值,供所有感兴趣的、作为“接受方”(subscriber)的设备来使用(见图

1-4)。这种做法效率很高,因为该值从一台现场设备一次性直接传送给其他现场设备,并立即到达多个接受方。基金会现场总线在闭环控制中就采用了这种模式。不通过中央主站,而从一台设备到其他设备的通信称为“对等通信”(peer-to-peer communication)。

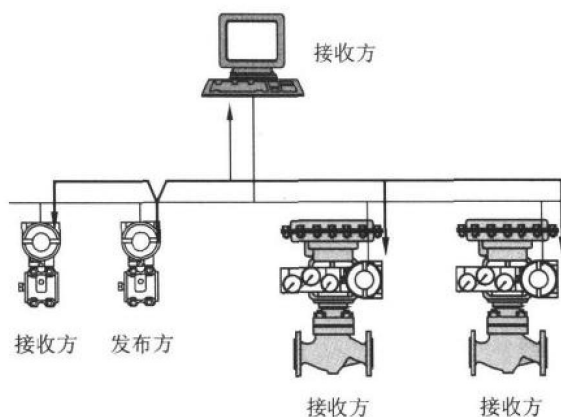


图 1-4 发布方-接收方关系

在第三种通信模式中,一台设备作为“源点”(source),将一个报文传送给一台作为“收点”(sink)的设备,而无需收点请求该数据(图 1-5)。当状态保持不变时,不发生通信。只有当该状态发生变化,如发生报警时,此类通信才发生。有时称之为“例外报告”(report by exception)。在一些应用环境下,操作员只需要设备及时报告报警或故障,而在其他的情况下保持沉默。这时,这种通信模式是理想的。

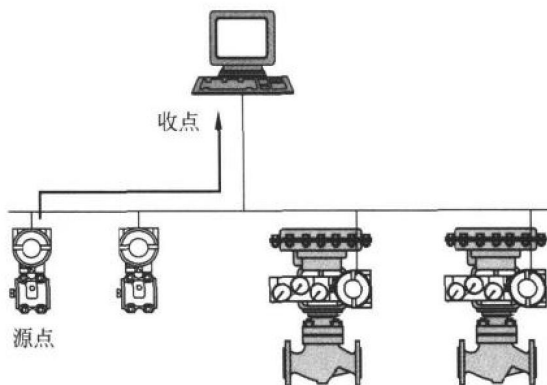


图 1-5 源点-收点关系

所有协议都采用经过精心设计的方案以确保两台设备不会在同一时刻进行通信。这一点以及数字通信网络的其他方面将在第 11 章中详述。

3. 坚实可靠

在 4~20mA 的模拟系统中,数值的传送通过电流的无限变化而实现。信号误差只会将一个有效信号变为另一个有效信号。即使从最精确的模拟变送器送来的信号,当它到达控制器时也可能已变得完全不准确。数字信号的优点在于,它只有两个有效的状态(0 或 1),所以非常坚实可靠。它可以直接传送或者以某种方式进行编码。因此,与模拟信号相比,其抗畸变的能力强。更为重要的是,检错机制可以检测数字信号失真。一旦发现失真,就可以废除相关报文,并可能要求再重新传送一次。在模拟信号系统内不可能检测到信号的畸变,这是因为一个畸变的信号看起来仍然像是一个有效的过程信号。一个 19mA 的模拟信号,由于电气干扰可以跃变在 18.97~19.03mA 之间;或者由于电源电压的不足而固定在 18mA。由于它仍然属于一个有效的信号,因此没有一种方法可告知我们信号的误差。操作员可以怀疑信号受到了干扰或者限制,但是没有办法确定究竟是畸变还是过程发生了变化。然而,一个接收到的数字信号则忠实于起始被传送的信号。数字信号优越的保真度正是它们被光盘和自动化领域采用的原因。它不但带来了较高的精度,还带来了较高的置信度。

4. 互操作性

数字通信的一个潜在的问题是可以有许多不同的途径。表征、编码与传输数据的方法被称为协议。制造厂商已经制订了许多不同的协议,然而根据一种协议所设计出的产品是不能与按另一种协议所设计出的产品一起工作的。标准化委员会的目的之一就是要定义出一种标准的协议,让各种设备都能遵循,以使得不同制造厂商所生产的设备可以互操作,或者说可以在一起工作。关键的一点在于系统的能力不应该靠系统中设备各自的功能来确定,而应该由这些设备相互通信的能力来决定。两台具备顶级功能的设备,如果不能无缝地集成在一起,则其产生的效果还不如两台虽功能较简单但却采用一种标准协议相互通信的设备。基于相同的原因,工厂中所用的各种基本、关键与先进控制的子系统也必须具有开放的接口。在第 11 章中将描述在过程控制中所用的这些协议的工作原理及其异同点。然而,使用总线技术并不意味着我们必须了解总线本身是如何工作的。相反,总线的设计隐藏了其功能的复杂性,因而使它们易于使用。

1.2 自动化网络的应用领域

网络已应用于自动化的所有领域。在工厂自动化、过程自动化及楼宇自动化的领域内,网络完成各种各样的任务。而且,由于不同的工业领域具有各自的特性和各种不同的要求,不同自动化网络所执行的任务也有明显的差异。此外,网络中设备的