

现场总线系统设计与应用丛书

FF总线控制系统 设计与应用

钟耀球 张卫华 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内容提要

本书主要介绍基金会现场总线控制系统的工程设计和应用。全书共分5章。第1章主要对FF现场总线的概念、特点和发展现状进行概述。第2章介绍了FF现场总线的基本原理、数据通信、开放系统OSI工作模型以及相关的基础知识。第3章介绍了现场总线FCS控制系统的发展过程、特点以及FF现场总线H1网络设备。第4章主要介绍了FF现场总线的工程设计和组态、安装、诊断维护等内容。第5章主要通过工程案例介绍了现场总线控制系统在实际工程中的应用。这些案例分别涉及有色冶金、石油化工以及石油天然气方面的应用。

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使用,也可作为高等院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

FF总线控制系统设计与应用 / 钟耀球, 张卫华编著.
北京: 中国电力出版社, 2009
(现场总线系统设计与应用丛书).
ISBN 978-7-5083-9371-1

I. F… II. ①钟…②张… III. 总线—系统设计 IV. TP336

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第153927号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010年1月第一版 2010年1月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 16印张 388千字
印数 0001—3000册 定价 28.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

Preface

现场总线技术作为当今自动化领域技术发展的热点之一，它的出现标志着自动化系统进入了一个真正意义上的全数字化、网络化、智能化、集成化、开放式的发展时代，而 FF 现场总线 FCS 控制系统正是自动化仪表和控制系统的发展方向 and 产物。现场总线技术的工业性研究和应用已经有 20 多年的历史。虽然阐述现场总线技术理论和内容的书和文献已经很多，但是现场总线应用性书籍仍十分匮乏。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。

本书以介绍基金会现场总线控制系统的工程设计和应用为主，包括了 FF 现场总线基本原理、FF 现场总线设备和现场总线控制系统的设计原则、组态、安装、调试、维护诊断和设备资源管理系统等内容。本书的突出特点是实用性，本书工程应用方面的内容均是作者实际工作中的总结，具体的实例也是来自工程中的实践应用。通过具体的应用案例讲解 FCS 总线控制系统工程实施和应用中的问题和解决方案，读者可以从了解到现场总线系统的设计原则、技巧和实施的方法，对于读者今后自己进行总线系统的工程设计将有很好的参考价值。

本书主要介绍基金会现场总线控制系统的工程设计和应用。全书共分 5 章。第 1 章主要对 FF 现场总线的概念、特点和发展现状进行概述。第 2 章介绍了 FF 现场总线的基本原理、数据通信、开放系统 OSI 工作模型以及相关的基础知识。第 3 章介绍了现场总线 FCS 控制系统的发展过程、特点以及 FF 现场总线 H1 网络设备。第 4 章主要介绍了 FF 现场总线的工程设计、组态、安装、诊断维护等内容。第 5 章主要通过工程案例介绍了现场总线控制系统在实际工程中的应用。这些案例分别涉及有色冶金、石油化工以及石油天然气方面的应用。有的是本作者参与的，有的是引用其他作者专家在出版刊物中的，其中部分做了修改，如有不妥之处，恳请谅解。

本书在编写过程中，得到了南昌大学自动化系相关老师的关心和帮助，贺有恒、曹长刚审阅了全书，并提出了修改意见，还得到了西仪横河公司和艾默生罗丝蒙特公司技术人员的支持并提供了很多资料，在此一并表示衷心的感谢！

限于编者水平，加之时间仓促，现场总线技术的发展也很迅速，不断在推陈出新，我们掌握的资料仍不够全面，书中难免有疏漏及错误之处，恳请读者批评和指正。

编著者

2009 年 8 月

目 录

Contents

前 言

1 现场总线技术	1
1.1 现场总线技术的概念	1
1.2 现场总线技术的优势和发展预测	1
1.3 基金会现场总线	3
2 FF 基金会总线技术	4
2.1 基金会现场总线的主要技术	4
2.2 通信模型	6
2.3 物理层	9
2.4 数据链路层	12
2.5 应用层	17
2.6 网络管理(NM)	27
2.7 FF 应用模块	29
2.8 系统管理(SM)	38
2.9 设备信息文件	42
2.10 高速以太网	46
3 FCS 现场总线系统及 FF-H1 现场设备介绍	56
3.1 FCS 现场总线控制系统	56
3.2 基金会现场总线 H1 网络/网段 FF 设备介绍	72
4 现场总线控制系统设计应用与实施	90
4.1 现场总线系统设计规范准则	90
4.2 FF 现场总线网段设计	101
4.3 FF 现场总线工程应用设计	132
4.4 FF 现场总线装置的组态应用	143
4.5 现场总线系统的工厂验收测试、安装、现场验收测试和调试	173
4.6 现场总线系统的维护和诊断	184
4.7 现场总线设备高级诊断和设备管理系统介绍	190
5 FF 现场总线控制系统应用案例	199
5.1 FCS 系统在制氧系统中应用	199
5.2 FCS 系统在某冶炼厂铜酸系统中的应用	208
5.3 FF 现场总线技术在煤气化装置中的应用	222
5.4 FF 总线技术在石油化工方面的应用	224
5.5 FCS 现场总线控制系统在工程项目中的应用设计和经验总结	235
参考文献	248

现场总线技术

现场总线技术是当今国际上自动化领域技术发展的一大热点,现场总线的出现给自动化领域带来了又一重大革命,其深度与广度将超过历史上的任何一次。现场总线及现场总线控制系统(Fieldbus Control System, FCS)将取代传统的集散控制系统(Distributed Control System, DCS)。

1.1 现场总线技术的概念

现场总线技术是数字化技术的产物,它集控制、计算机和通信技术于一体。现场总线技术将专用微处理器置入传统的测量控制仪表,使它们各自都具有数字计算和数字通信能力,采用可进行简单连接的双绞线作为总线,把多个测量控制仪表连成网络系统,并按公开规范的通信标准,实现远程计算机与现场仪表之间的数据传输与信息交换,形成各种适应实际需要的自动控制系统。换言之,它把单个分散的测量控制设备变成网络节点,以现场总线为纽带,把它们连接成可以互通信息、共同完成控制任务的网络控制系统。

现场总线于20世纪80年代在欧洲出现,随后发展至北美。随着微处理器与计算机技术的飞速发展和价格的急剧下降,计算机及其网络系统得到迅速发展,而处于生产过程底层的测控系统,采用一对一连线,采用电流、电压的模拟信号进行测量控制,或采用半开放的集散系统,难以实现设备之间以及系统与外界之间的信息交换,使自动化系统成为“信息孤岛”。要实现整个企业的信息集成即管控一体化,就必须设计出一种能在工业现场环境下运行、性能可靠、造价低廉的通信系统,形成工厂底层网络,实现现场仪表与上位机之间的通信,现场自动化设备之间的多点数字通信,以及生产现场与管理网络的信息交换。从而,现场总线在这种实际需求的驱动下应运而生,并得到发展。它作为过程自动化、制造自动化、楼宇、交通等领域现场智能设备之间的通信网络,建立了生产过程现场控制设备之间及其与更高控制管理层网络之间的联系,开拓了自动化系统的崭新局面。

1.2 现场总线技术的优势和发展预测

1.2.1 现场总线技术的优势

现场总线技术突破了传统控制系统的结构形式,采用智能现场设备,把原先DCS系统中处于控制室的控制模块、各输入输出模块置入现场设备,现场测量变送仪表通过现场总线与执行机构直接数字通信,信号无需进入控制室,实现了彻底的分散控制。数字信号代替模拟信号,从而实现了一线多信号,一线多供电,现场设备以外不再需要模/数、数/模转换部件。加之现场总线技术的诸多技术特点,使控制系统在生命周期中都体现出优越性。应用现场总线技术,也将获得巨大的效益。现场总线技术的主要优势如下:

一、获取更多数据

现场总线使来自于每台设备的多种数据进入控制系统,以利于存档、趋势分析、过程

优化和生成报告。数字通信的高分辨率和不失真性,提高了控制性能,从而增加了产品产量。

二、拓宽过程的视野

基于微处理器的现场总线设备有自检和通信能力,有助于减少停车时间和提高工厂的安全性;同时可实现设备的动态监测,为预防维护和预知维修提供基础数据。当检测到异常情况或需要进行预防维护时,工厂操作和维护人员将会得到提示,以便尽早正确和安全地采取措施。

三、节省硬件数量与投资

由于现场总线系统的设备标准化和功能模块化,使分散在现场的智能设备能直接执行多种传感控制报警和计算功能,因而可减少变送器的数量,不再需要单独的调节器、计算单元等,也不再需要DCS的信号调理、转换、隔离等功能单元及其I/O和复杂接线,还可以用工控PC机作为操作站,从而节省了一大笔硬件投资,并可减少控制室的占地面积。

四、节省安装费用

现场总线的接线十分简单,一对双绞线或一条电缆上通常可挂接多个设备,因而电缆、端子、分线盒、桥架和本质安全栅的用量大大减少,连接设计与接头校对的工作量也大大减少。当需要增加现场控制设备时,无需增设新的电缆,可就近连接在原有的电缆上,既节省了投资,也减少了设计、安装和现场调试的工作量。据几个典型工程项目的测算资料表明,现场总线可节约安装费用60%左右。

五、提高系统的准确性与可靠性

由于现场总线设备的智能化、数字化,与模拟信号相比,它从根本上提高了测量与控制的精确度,减少了传送误差;同时由于系统的结构简单化,设备与连线减少,现场仪表内部功能加强,减少了信号的往返传输,提高了系统的工作可靠性。

此外,由于它的设备标准化、功能模块化,因而还具有设计简单、易于重构等优点。

1.2.2 现场总线技术发展预测

目前,现场总线的标准统一还有诸多问题,但现场总线控制系统的发展却已经是一个不争的事实。随着现场总线思想日益深入人心,基于现场总线的产品和应用不断增多;最后,现场总线控制系统大量地采用成熟的、开放的、通用的技术,现场总线控制系统体系结构日益清晰。具体发展趋势表现在以下几个方面:

一、以太网成为新热点

以太网正在工业自动化和过程控制市场上迅速增长,几乎所有远程I/O接口技术的供应商均提供一个支持TCP/IP协议的以太网接口,如Siemens、Rockwell、GE-Fanuc等,他们除销售各自PLC产品外,同时还提供与远程I/O和基于PC的控制系统相连接的接口。FF现场总线也正在开发高速以太网,这无疑大大加强了以太网在工业领域的地位。

二、网络结构趋向简单化

早期的MAP模型由7层组成,Rockwell公司提出了3层结构自动化,Fisher Rosemount(Emerson爱默生)公司提出了2层自动化,还有的公司甚至提出1层结构,由以太网一通到底。目前比较达成共识的是3层设备、2层网络的3+2结构。3层设备是位于底层的现场设备,如传感器/执行器以及各种分布式I/O设备等;位于中间的控制设备,如PLC、工业控制计算机、专用控制器等;位于上层的是操作设备,如操作站、工程师站、数

据服务器、一般工作站等。2层网络是现场设备与控制设备之间的控制网，以及控制设备与操作设备之间的管理网。

三、大量采用成熟、开放和通用的技术

在管理网的通信协议上，越来越多的企业采用最流行的 TCP/IP 协议加以以太网，操作设备一般采用工业 PC 甚至普通 PC，控制设备一般采用标准的 PLC 或者是工业控制计算机等，而控制网络就是各种现场总线的应用领域。

四、多种总线共存

现场总线国际标准 IEC61158 中采用的 10 种类型，因为每种现场总线背后都有实力雄厚的国际大公司甚至大集团的支持，它们为了自己的利益会采取一切手段推广自己的产品，虽然用户和市场有统一的需要，但是短时间内还不会实现统一。因此，现场总线会朝着相互兼容、接纳和共存的方向发展。

1.3 基金会现场总线

基金会现场总线是在过程自动化领域得到广泛支持和具有良好发展前景的一种技术。同时，基金会现场总线标准是现场总线基金会（Fieldbus Foundation, FF）组织开发的，它综合了通信技术和分散控制系统 DCS 技术。FF 基金会总线技术起源于以美国 Emerson 爱默生为首的企业集团，联合 Foxboro、横河、ABB、西门子等 80 家公司制订的 ISP 协议和以 Honeywell 公司为首，联合欧洲等地的 150 家公司制订的 World FIP 协议。屈于用户的压力，这两大集团于 1994 年 9 月合并，成立了现场总线基金会，致力于开发出国际上统一的现场总线协议。它以 ISO/OSI 开放系统互联模型为基础，取其物理层、数据链路层、应用层为 FF 通信模型的相应层次，并在应用层上增加了用户层。用户层主要针对自动化测控应用的需要，定义了信息存取的统一规则，采用设备描述语言规定了通用的功能块集。由于这些公司是该领域自控设备的主要供应商，对工业底层网络的功能需求了解透彻，也具备足以左右该领域现场自控设备发展方向的能力，因而由它们组成的基金会所颁布的现场总线规范具有一定的权威性。

基金会现场总线是一种全数字、串行、双向的通信自动化系统。作为一种通信系统，它具有开放型数字通信功能，可与各种通信网络互联；作为自动化系统，它区别于传统自动化系统，其各台自动化设备作为总线节点安装于生产现场，并通过现场总线构成全分布式网络自动化系统。

基金会现场总线分为低速 H1、高速 H2 和 HSE 三种通信速率。H1 的传输速率为 31.25kbit/s，H2 的传输速率为 1Mbit/s 和 2.5Mbit/s。低速通信距离可达 1900m（可加中继器延长），支持总线供电，支持本质安全防暴环境。物理传输介质可支持双绞线、光缆和无线发射，协议符合 IEC1158-2 标准。其物理媒介的传输信号采用曼彻斯特编码。HSE 使用标准的以太网 IP/TCP/UDP 协议和 IEEE80、RFC894 规定的工业标准以太网技术，速率可达 10/100Mbit/s。目前，HSE 还是一项新技术，国内外厂商正在积极开发和完善其产品和系统，但正式注册的产品还不多，只有以下 4 个公司的 5 件产品在现场总线基金会通过注册：艾默生过程管理（Emerson Process Management）公司的 Linking Device HSE，Softing AG 公司的 FG-100FF/HSE，Smar 公司的 DF51 HSE 和 ABB 公司的 F10-100 以及 LD800 HSE。国内产品主要有北京华控技术有限公司的 FC6000 现场总线 HSE 网络互联单元（系统）。

FF基金会总线技术

基金会现场总线 (Foundation Fieldbus, FF) 不仅是通信系统, 而且是一种分布式的自动化系统。它作为一种通信系统, 有别于一般的网络系统, 位于工业现场, 其通信是围绕实现自动化任务。它作为一种网络自动化系统, 有别于一般的自动化系统, 其网络节点是现场仪表或现场设备, 它们既有通信功能, 又有信号测量输入、运算、控制和操作输出功能, 通过网络组态和控制组态即可在工业生产现场构成分布式网络自动化系统。

2.1 基金会现场总线的主要技术

现场总线基金会的目标是致力于开发出统一标准的现场总线, 并已于 1996 年颁布了低速总线 H1 的标准。经过几年的发展, H1 低速总线发展为 H1 和 H2 两类, 其传输速率的典型值为 31.25kbit/s, 1Mbit/s 和 2.5Mbit/s, 低速总线已经步入实用成熟阶段。同时, 高速总线的标准——高速以太网 (HSE) 也于 2000 年制定出来, 其产品也正在不断涌现。以下内容主要介绍基金会现场总线 FF-H1 的技术。

2.1.1 FF-H1 的主要技术

FF-H1 作为工厂的底层网络, 相对一般广域网、局域网而言, 它是低速网段。它可以由单一总线段或多总线段构成, 也可以由网桥把不同传输速率、不同传输介质的总线段互连而构成。网桥在不同总线段之间透明地转换传送信息。还可以通过网关或计算机接口板, 将其与工厂管理层的网段挂接, 彻底打破了多年来未曾解决的自动化信息孤岛的局面, 形成了完整的工厂信息网络。FF-H1 围绕工业生产现场的通信系统和分布式的网络自动化系统两个方面形成了它的技术特色, 技术上综合了通信技术和网络自动化技术, 其主要技术包括如下方面:

(1) 通信技术。FF-H1 的通信技术主要包括通信模型、通信协议、网络管理和系统管理等。它涉及一系列与通信相关的硬件与软件技术, 如专用集成电路、通信圆卡、计算机接口卡、中继器、网桥、网关、通信栈软件、网络软件和组态软件等。

(2) 功能块技术。FF-H1 借鉴 DCS 的功能块及功能块组态技术, 在现场总线仪表或设备中定义了多种标准功能块 (FB), 每种功能块实现某种算法或应用功能。也就是说, FF-H1 把实现控制系统所需的各种功能划分为功能块, 再规定它们各自的输入、输出、算法、事件、参数和块图, 并使其标准化。这样既便于用户对功能块组态构成所需的控制回路, 也便于不同的制造商产品中的功能块混合组态或调用。功能块的标准化结构是实现总线系统开放的基础, 也是实现网络自动化的基础。

(3) 设备描述技术。FF-H1 为了支持标准的功能块操作, 实现现场总线仪表或设备的互操作性, 共享不同制造商总线设备中的功能块, FF-H1 采用了设备描述 (DD) 技术。为了进行设备描述, FF-H1 规定了相应的设备描述语言 (Device Description Language, DDL), 采用设备描述编译器, 把 DDL 编写的设备描述的源程序转成计算机可读的目标文

件。控制系统正是凭借这些可读的目标文件来理解不同制造商的总线设备的数据意义。现场总线基金会把 FF-H1 标准的 DD 和经 FF-H1 注册过的制造商附加 DD 写成 CD-ROM, 提供给用户。

(4) 系统集成技术。FF-H1 是通信系统和控制系统的集成, 是集通信、网络、计算机、控制于一体的综合性技术, 如网络技术、网络系统组态技术、控制技术、控制系统组态技术、人机接口技术、网络管理技术、诊断维护技术和 OPC 技术。OPC 技术指的是用于过程控制的对象链接嵌入 (Object Linking Embedding, OLE) 技术, 即 OLE in Process Control (OPC)。OPC 技术的引入使现场总线控制系统非常容易的与现有的计算机控制系统结合起来, 使得控制网络和管理网络可以在网络上共享数据信息。

(5) 系统测试技术。FF-H1 为了保证系统的开放性和通用性, 规定了一致性测试技术、互操作性测试技术、系统功能和性能测试技术、总线监听和分析技术。一致性测试技术和互操作性测试技术是为保证系统开放性采取的措施, 其中一致性测试技术保证通信网络系统符合规范, 互操作性测试技术保证不同制造商的总线设备的功能块可以混合组态和协同操作。同时, 为了保证现场总线设备所组成的实际网络能正常运行, 并达到所要求的系统性能指标, 还需要对系统功能和性能进行综合性测试。监听和分析技术用于测试判断总线上通信信号的流通状态, 以便于通信系统的调试、诊断和维护。

2.1.2 FF-H1 主要技术特点

适用于过程自动化的低速部分 (FF-H1) 是参考了 ISO/OSI 参考模型并在此基础上根据过程自动化系统的特点进行演变而得到的。除了实现现场总线信号的数字通信外, FF-H1 具有适用于过程自动化的以下特点:

(1) 支持总线供电。FF-H1 采用了基于 IEC1158-2 的双线信号传输技术, 并为现场设备提供两种供电方式: 非总线供电和总线供电。非总线供电的现场设备的工作电源直接来自外部电源。总线供电方式是总线上既要传送数字信号, 又要由总线为现场设备提供电能。按 FF-H1 的技术规范, 携带协议信息的数字信号以 31.25kHz 的频率、0.75~1V 的峰值电压被调制到 9~32V 的直流供电电压上。

(2) 支持本质安全。FF-H1 的现场设备按照设备是否为总线供电, 是否可用于易燃、易爆环境以及功耗类别而区分的。根据本质防爆的要求, 应用于易燃、易爆场合的设备, 除了应保证能完成测量、控制、通信等正常工作外, 还应在任何情况下 (如断路、短路、故障以及在操作过程中的维护、接通、断开等), 不至于产生火花和引发燃烧、爆炸等重大事故。对此, FF-H1 技术规范规定的总线供电的本质安全型标准设备的推荐参数为最高输入电压低于 24V, 最大输入电流小于 250mA, 最大输入功率小于 12W, 最大内部电容小于 5nF, 最大内部电感小于 20 μ H。

(3) 令牌总线访问机制。FF-H1 采用了令牌传递的总线控制方式。从物理上看, 这种方式是一种总线型结构的局域网, 站点共享的传输介质为总线。但从逻辑上看, 它是一种环状结构的局域网, 连接到总线上的站点组成一个逻辑环, 每个站点被赋予一个顺序的逻辑位置, 站点只有取得令牌才能发送数据帧, 该令牌在逻辑环上依次传递。FF-H1 中令牌传递是由链路活动调度器 (LAS) 进行控制的。FF-H1 的通信活动分为调度通信和非调度通信。FF-H1 采用的这种基于 LAS 的链路活动调度, 确保了控制系统中信息传输的及时性。

(4) 内容广泛的用户层。FF-H1 在应用层上增加了一个内容广泛的用户层, 它由两个

重要的部分组成，即功能块和设备描述语言，从而使设备与系统的集成以及互操作更加易于实现。

2.1.3 HSE 高速以太网

现场总线基金会放弃了其原来规划的 H2 高速总线标准，并于 2000 年 3 月 29 日公布了基于以太网的高速总线技术规范，即 HSEFS1.0 版，它迎合了控制和仪器仪表最终用户对可互操作的、节约成本的、高速的现场总线解决方案的要求。HSE 充分利用低成本和商业可用的以太网技术，并以 100Mbit/s 到 1Gbit/s 或更高的速度运行。HSE 支持所有的 FF 低速部分 31.25kbit/s 的功能，如功能模块和设备描述语言，并支持 H1 设备与基于以太网的设备通过链接设备接口进行连接。

HSE 现场总线技术的另一个关键特点是 HSE 现场设备支持标准的基本功能模块，如模拟输入 (AI)、模拟输出 (AO) 和比例积分微分 (PID)，也包括新的、具体应用于离散控制和 I/O 子系统集成的柔性功能模块 (FFB)。FFB 使用标准的编程语言，如 IEC61131。尽管 FFB 是 HSE 的一部分，它也适用于 H1。链接设备和 HSE 现场设备可以结合成一个单一的、节约成本的、强大的物理设备，用于各种批处理、PLC 和连续控制。另外，所有或部分的 HSE 和设备可实现冗余，以适应应用中容错的需要。

2.2 通信模型

2.2.1 OSI 通信模型

OSI 通信模型是为实现开放系统互联所建立的分层模型，其目的是为异种计算机互联提供一个共同的基础和标准框架，并为保持相关标准的一致性和兼容性提供共同的参考。OSI 参考模型的基本内容是开放系统通信功能的分层结构，它把开放系统的通信功能划分为七个层次。从邻接物理媒体的层次开始，分别赋予 1, 2, ..., 7 层的顺序编号，相应地称之为物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层。OSI 模型如图 2-1 (a) 所示。

FF 现场总线采用了 OSI 模型中的三层：物理层、数据链路层和应用层，隐去了 3~6 层，保证了 FF 的共性；另外针对自生的特点，增加了用户层，保证了 FF 的个性。FF 现场总线模型如图 2-1 (b) 所示。其中物理层和数据链路层采用 IEC/ISA 标准，物理层

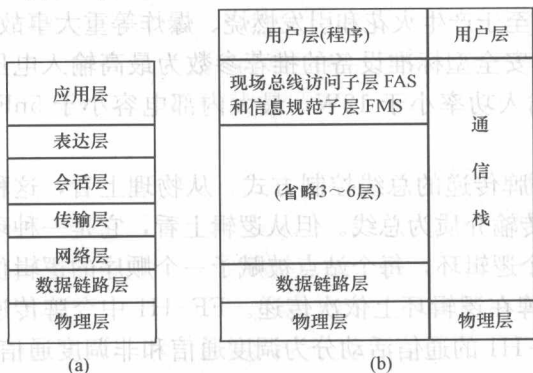


图 2-1 OSI 与 FF 现场总线模型

(a) OSI 模型；(b) FF 现场总线模型

(Physical Layer, PHY) 与传输介质相连接，规定了如何发送信号和接收信号；数据链路层 (Data Link Layer, DLL) 规定了现场总线仪表或设备如何共享网络，怎样进行通信调度和数据传输服务。应用层有两个子层：现场总线访问子层 (Fieldbus Access Sub-layer, FAS) 和现场总线信息规范子层 (Fieldbus Message Specification, FMS)，并将从数据链路到 FAS、FMS 的全部功能集成为通信栈 (Communication Stack)。FAS 的基本功能是确定数据访问的关系模型

和规范，根据不同要求，采用不同的数据访问工作模式。现场总线信息规范子层 FMS 的基本功能是面向应用服务，生成规范的应用协议数据。现场总线访问子层和信息规范子层的任务是完成一个进程应用到另一个应用进程的描述，实现应用进程之间的通信，提供应用接口的标准操作，实现应用层的开放性。用户层规定标准的功能模块、对象字典和设备描述，供用户组成所需要的应用程序，并实现网络管理和系统管理。在网络管理中，为了提供一个集成网络各层通信协议的机制，实现设备操作状态的监控与管理，设置一个网络管理代理和一个网络管理信息库，提供组态管理、性能管理和差错管理的功能。在系统管理中，设置系统管理内核、系统管理内核协议和系统管理信息库，实现设备管理、功能管理、时钟管理和安全管理等功能。

FF-H1 通信模型按功能分为 3 大组成部分，即通信实体、系统管理内核和功能块应用，如图 2-2 所示。各部分之间通过虚拟通信关系（Virtual Communication Relationship, VCR）来传递信息，相当于逻辑通信通道。VCR 表示了两个或者多个应用进程之间的关系，是各应用进程（Application Process, AP）之间的逻辑通信信道。

在 FF-H1 通信模型的相应软件和硬件开发过程中，将数据链路层、应用层、用户层（功能块、网络管理和系统管理）的软功能集成为通信栈，供软件开发商开发，通过软件编程来实现，另外再开发 FF-H1 专用集成电路及相关硬件，用硬件来实现物理层和数据链路层部分功能。这样通过软件和硬件相结合来在物理上实现 FF-H1 的通信模型。

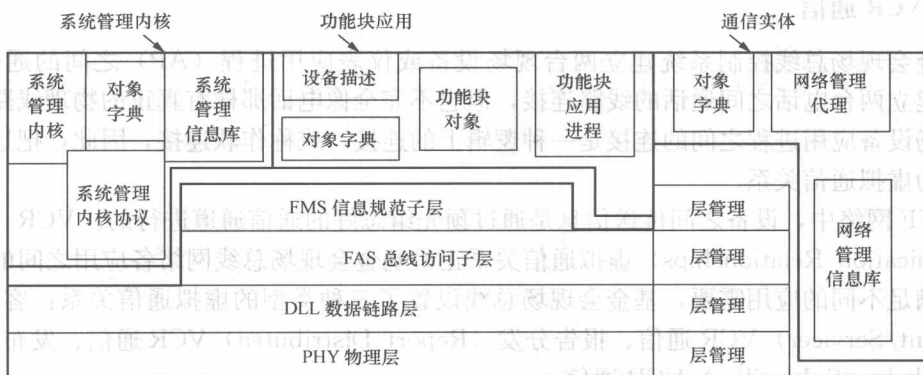


图 2-2 FF-H1 通信模型

2.2.2 协议数据单元

FF 现场总线在传输系统的每一层都将建立协议数据单元（Protocol Data Unit, PDU）。PDU 包含来自上层的信息，以及当前层的实体附加的信息。然后，这个 PDU 被传送到下一较低的层。物理层实际以一种编帧的位流形式传输这些 PDU，但是由通信栈的较高层建造这些 PDU。接收系统自下而上传送这些分组通过通信栈，并在通信栈的每一层分离出 PDU 中的相关信息。图 2-3 所示为现场总线协议数据的内容和模型中每层应该附加的信息。它也从一个角度反映了现场总线报文信息的形成过程。如某个用户要将数据通过现场总线发往其他设备，首先在用户层形成用户数据，并把它们送往总线报文规范层处理，每帧最多可发送 251 个 8 位字节的用户数据信息，然后依次送往现场总线访问子层（FMS）和数据链路层（DLL）；用户数据信息在 FAS、FMS 和 DLL 各层分别加上各层的协议控制信息，在数据链

路层还加上帧校验信息后，送往物理层将数据打包，即加上帧前、帧后定界码，也就是开头码、帧结束码，并在开头码之前再加上用于时钟同步的前导码（或称之为同步码）。图 2-3 还标明了各层所附的协议信息的字节数。信息帧形成之后，还要通过物理层转换为符合规范的物理信号，在网络系统的管理控制下，发送到现场总线网段上。

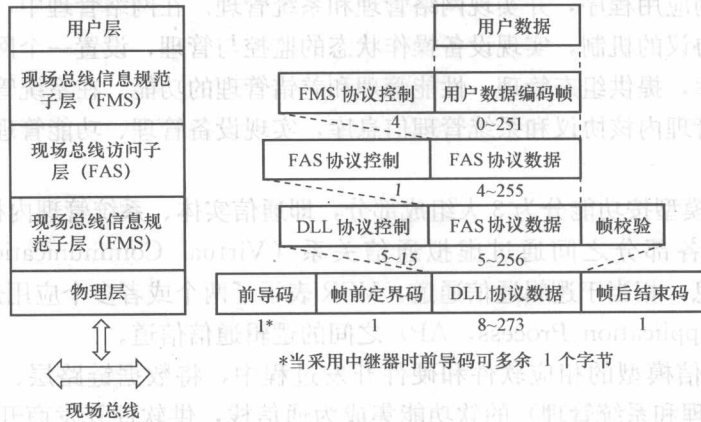


图 2-3 FF 的协议数据单元报文结构

2.2.3 VCR 通信

基金会现场总线控制系统建立两台现场设备或仪表应用进程（AP）之间的通信连接，有点像建立两台电话之间通话的线路连接，但它不完全像电话那样有真正的物理线路上的连接。现场设备应用进程之间的连接是一种逻辑上的连接，或称作软连接，因此，把这种通信连接称为虚拟通信关系。

在 FF 网络中，设备之间传送信息是通过预先组态好的通信通道进行的。VCR（Virtual Communication Relationships）虚拟通信关系正是基金会现场总线网络各应用之间的通信通道。为满足不同的应用需要，基金会现场总线设置了三种类型的虚拟通信关系：客户/服务器（Client/Server）VCR 通信、报告分发（Report Distributed）VCR 通信、发布方/接受方（Publisher/Subscriber）VCR 通信。

一、客户/服务器 VCR 类型

当总线上台设备从链路活动调度器（LAS）得到一个传输令牌（PT）时，它可以发送一个请求报文给现场总线上的另一台设备，请求者被称为“客户（Client）”，而收到请求的设备被称为“服务器（Server）”，当服务器收到来自于 LAS 的 PT 时发送相应的响应。同一台设备在不同的时刻，既可以看作请求者也可以看作被请求者，也就是说，该设备在不同的时刻既可以作为客户也可以作为服务器。客户/服务器 VCR 类型用以实现现场总线设备间的通信，它们是排队的、非调度的、用户初始化的、一对一的，常用于操作员产生的请求，诸如设定点改变、整定参数的存取和改变、报警确认和设备的上载/下载。

这种非周期性通信是在周期性通信的间隙中进行的，两台设备之间采用令牌传递机制共享周期性通信以外的间隙时间，所以存在传送中断的可能，当发生这种情况时，采用再传送程序以恢复中断了的程序。

二、报告分发 VCR 类型

当总线上台设备有事件或者趋势报告，收到来自链路活动调度器（LAS）的一个传输

令牌 (PT) 时, 将报文发送给由该 VCR 定义的一个“组地址”——总线设备。在该 VCR 中被组态为接收的设备, 将接收这个报文。该发布者称为报告分发者。这种采用一个报告者对应一组接收者的通信关系被称为报告分发 VCR 类型。

报告分发 VCR 类型属于队列化的、非调度的、用户初始化的、一对多的通信。它一般用于现场总线设备发送报警通知、趋势数据给操作员控制台。

三、发布方/接受方 VCR 类型

当一台总线设备从链路活动调度器 (LAS) 得到一个传输令牌 (PT) 时, 该设备就将其缓冲器中的信息向总线上的多台设备发布或广播这些信息, 这个广播信息者被称为发布方 (Publisher), 收听这些信息的设备被称为接收方 (Subscriber)。这种采用一台设备广播其缓冲器信息而多台设备同时接听的通信关系称为发布方/接受方 VCR。

这种通信关系的特点是发布方缓冲器的内容会在一次广播中传送到所有接受方的缓冲器内。同时通信关系的建立可以是周期性或非周期性的, 既可以由链路活动调度者按准确的时间周期发出令牌, 也可以由用户非周期方式发起。

发布方/接受方 VCR 类型属于总线上一台设备与多台设备之间的缓冲式的、一对多的通信。

缓冲意味着在网络中只保留数据的最新版本, 新数据完全覆盖以前的数据, 它常用于刷新功能块的输入输出数据, 如刷新过程变量 (PV) 和操作输出 (OUT) 等。表 2-1 总结比较了上述三种 VCR 通信类型。

表 2-1

VCR 通信类型

VCR 类型	客户/服务器型	报告分发型	发布方/接受方型
通信类型	排队、一对一、非周期	排队、一对多、非周期	缓冲、一对多、周期或非周期
信息类型	设置参数或操作模型	事件报告、趋势报告	刷新功能块的输入输出
典型应用	改变设定值、改变模式、调整控制参数、上载/下载、报警管理、远程诊断、访问显示画面	向操作台报告报警信息和历史趋势数据	向 PID 等控制功能块和操作台发送过程变量 (PV) 和操作输出 (OUT)

2.3 物理层

FF-H1 的物理层 (PHY) 符合国际电工委员会 (International Electrotechnical Commission, IEC) IEC1158-2 (1993 年) 和 ISA-S50.02 中有关物理层的标准, 其基本任务有两点: 一是从传输介质上接收信号, 经过处理后传给数据链路层 (DLL); 二是将来自数据链路层的数据加工后变为标准物理信号发送到传输介质上。现场总线基金会为低速总线颁布了 FF-816 31.25kbit/s 物理层规范, 也称为低速现场总线的 H1 标准。

2.3.1 31.25kbit/s 现场总线

31.25kbit/s 现场总线属于基金会低速现场总线 H1, 可用于温度、物位和流量控制等控制应用场合, 其设备可由现场总线直接供电, 支持非现场总线供电, 也能在原有的 4~20mA 设备的线路上运行。31.25kbit/s 现场总线也以总线供电设备方式支持本质安全 (IS)。为此, 应在安全区域的电源和危险区域的本质安全设备之间加上本质安全栅。

2.3.2 31.25kbit/s 现场总线信号

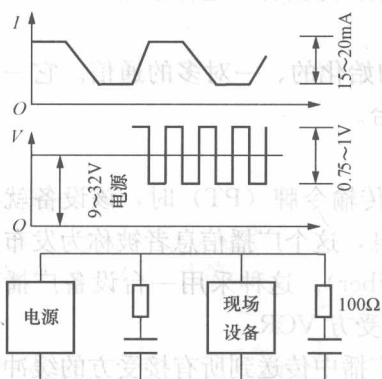


图 2-4 FF-H1 总线电压模式信号波形

31.25kbit/s (H1) 现场总线为电压型信号类型, 发送设备以 31.25kbit/s 的速率将±10mA 电流信号传送给一个 50Ω 的等效负载, 产生一个调制在直流 (DC) 电源电压上的 1V 峰—峰值的电压信号; DC 电源电压范围为 9~32V; 电压模式的现场总线信号波形如图 2-4 所示。然而对于本质安全应用场合, 允许的电源电压应由安全栅额定值给定。

根据 FF-H1 的报文结构, H1 物理层 (PHY) 信号通信由以下几种信号编码组成。

一、协议报文编码

这里的协议报文编码是指携带了现场总线要传输的数据报文, 这些数据报文由上层的协议数据单元生成。基金会现场总线采用曼彻斯特编码技术将数据编码加载到直流电压或电流上形成物理信号, 如图 2-5 所示。在曼彻斯特编码过程中, 每个时钟周期被分成两半, 用前半周期为低电平、后半周期为高电平形成的脉冲正跳变来表示 0; 前半周期为高电平、后半周期为低电平的脉冲负跳变表示 1, 这种编码的优点是数据编码中隐含了同步时钟信号, 不必另外设置同步信号。这种数据编码在每个时钟周期的中间, 都必然会存在一次电平的跳变。每帧协议报文的长度为 8~273 个字节。

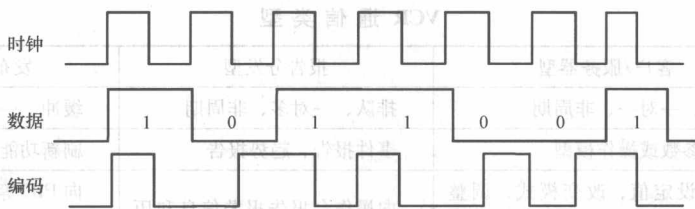


图 2-5 FF-H1 协议数据编码

二、前导码

前导码是为置于通信信号最前端而特别规定的 8 位数字信号: 10101010, 即一个字节: 一般情况下, 它是 8 位的一个字节长度。如果采用中继器, 则前导码可以多于一个字节。收信端的接收器正是采用这一信号, 与正在接收的现场总线信号同步其内部时钟的。

三、帧前定界码

它标明了现场总线信息的起点, 其长度为 8 个时钟周期, 也就是一个 8 位的字节。帧前定界码由特殊的 N+ 码、N- 码和正负跳变脉冲按规定的顺序组成。在 FF 总线的物理信号中, N+ 码和 N- 码具有自己的特殊性。它不像数据编码那样在每个时钟周期的中间都必然会存在一次电平的跳变, N+ 码在整个时钟周期都保持高电平, N- 码在整个时钟周期都保持低电平, 即它们在时钟周期的中间不存在电平的跳变。收信端的接收器利用帧前定界码信号来找到现场总线信息的起点。帧前定界码波形如图 2-6 所示。

四、帧结束码

帧结束码标志着现场总线信息的终止, 其长度也为 8 个时钟周期, 或称一个字节。像起始码那样, 帧结束码也是由特殊的 N+ 码、N- 码和正负跳变脉冲按规定的顺序组成, 当

然，其组合顺序不同于起始码。图 2-6 中也画出了帧结束码的波形。

前导码、帧前定界码、帧结束码都是由物理层的硬件电路生成并加载到物理信号上的。这几种编码形成如图 2-6 所示的编码序列。作为发送端的发送驱动器，要把前导码、帧前定界码、帧结束码增加到发送序列之中，而接收端的信号接收器则要从所接收的信号序列中去掉前导码、帧前定界码、帧结束码。

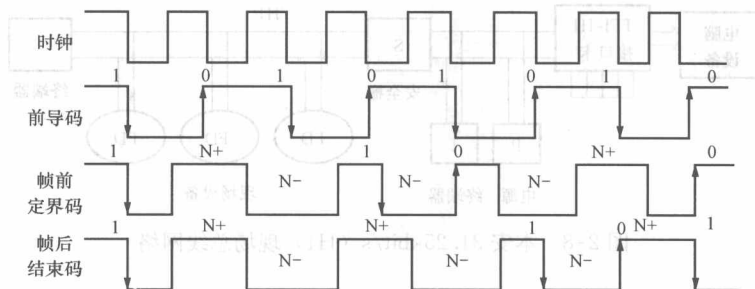


图 2-6 FF-H1 的几种编码波形

2.3.3 31.25kbit/s 现场总线布线

31.25kbit/s (H1) 现场总线拓扑结构支持总线型、菊花型、树型、单点（点对点）型，以及前三种的混合型，其中总线型用得最多，单点型很少采用。根据网络拓扑结构进行现场布线或接线，另外，还要注意接地、屏蔽和极性，并符合基金会现场总线（FF）规范，其中规定信号导线不能接地。

现场总线 H1 网段分为干线、支线、现场设备（FD）、电源（P）、终端器（T）、总线接口等，如图 2-7 所示。现场总线长度由通信速率、电缆类型、线径、总线供电选择和 IS 选择决定。电缆长度 = 干线长度 + 所有支线长度，最大长度可达 1900m（A 型电缆）。当现场设备间距离超出规范要求的 1900m 时，可采用中继器延长网段长度或增加网段上的连接设备数；也可采用网桥或网关与不同速度、不同协议的网段连接。终端器置于干线的每一端点，每段支线一台设备——在支线上每加一台设备，支线长度须减 30m。如果采用总线供电式现场设备，则应该保证每台设备的供电电压不小于 9V（DC）。现场总线可挂接的设备数将依赖于：①每台设备功耗；②所有电缆类型及总线电缆的直流电阻；③总线电源供电电压及其在网段中的位置；④中继器的使用等因素。

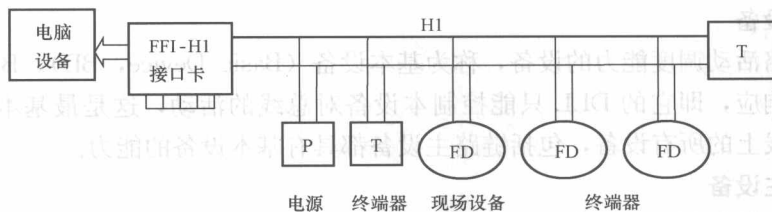


图 2-7 31.25kbit/s (H1) 现场总线网络

2.3.4 本安 IS 现场总线布线

FF 现场总线本质安全（简称本安 IS）技术是在爆炸性环境下使用电气设备时保证安全

的一种方法。通常我们把存在有爆炸危险的区域称作危险场所。这种场所一般含有下列物品：原油及其衍生物、酒精、天然气或合成过程气体、金属粉尘、炭粉尘、面粉、淀粉、谷物颗粒、纤维和浮状物。为确保现场人员人身安全和控制系统的安全，必须采取预防措施，以保证这些具有可燃性物质的环境不被点燃，本安 IS 现场总线网段也必须配有本质安全防暴栅，图 2-8 为本安 31.25kbit/s (H1) 现场总线网络。

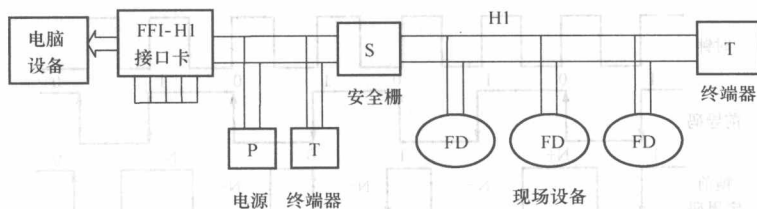


图 2-8 本安 31.25kbit/s (H1) 现场总线网络

2.4 数据链路层

2.4.1 数据链路层

基金会现场总线 (FF) 的数据链路层位于物理层与总线访问子层之间，为系统管理内核和总线访问子层访问总线媒体提供服务。在数据链路层上所生成的协议控制信息就是为完成对总线上的各类链路传输活动进行控制而设置的。数据链路层实现总线通信中的链路活动调度，数据的接收发送，活动状态的探测、响应和总线上各设备间的链路时间同步。每个总线段上有一个媒体访问控制中心，称为链路活动调度器 (Link Active Scheduler, LAS)。LAS 具备链路活动调度能力，便可形成链路活动调度表，并按照调度表的内容形成各类链路协议数据，链路活动调度是该设备中数据链路层的重要任务。对没有链路活动调度能力的设备来说，其数据链路层要对来自总线的链路数据做出响应，控制总设备对总线的活动。此外，在 DLL 层还要对所传输的信息实行帧校验。

2.4.2 通信设备类型

基金会现场总线 (FF) 根据设备的通信能力，DLL 规范定义了三种类型设备：基本设备、链路主设备和网桥。

一、基本设备

不具备链路活动调度能力的设备，称为基本设备 (Basic Device, BD)。BD 只能接收总线命令并做出响应，即它的 DLL 只能控制本设备对总线的活动，这是最基本的通信功能。因而可以说总线上的所有设备，包括链路主设备都具有基本设备的能力。

二、链路主设备

链路主设备是指那些有能力成为总线段上链路活动调度中心的设备，称之为链路活动调度器 LAS。LAS 具备链路活动调度能力，便可形成链路活动调度表，并按照调度表的内容形成链路协议数据，链路活动调度是该设备中 DLL 的重要任务。

三、网桥

网桥用于连接不同传输速率或不同传输介质的网段，由于它担负着对其下游各总线段的