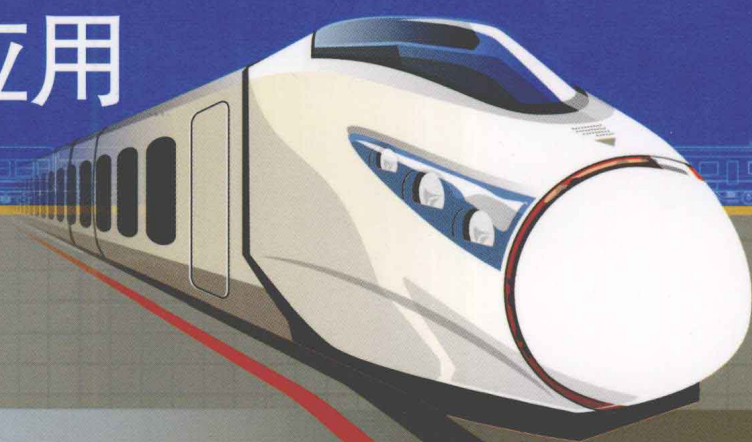


LIECHE WANGLUO KONGZHI JISHU
YUANLI YU YINGYONG

列车网络控制技术

原理与应用

主 编 ● 陶 艳
副主编 ● 龚 娟



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书内容全面,理论和实际应用结合紧密。每章的“学习要点”和“技能目标”环节可帮助读者有针对性和目的地学习。

本书主要内容包括:计算机网络基础、计算机控制基础、列车通信网络标准、CRH 系列动车组的网络控制系统和列车自动运行控制系统。其中网络基础部分包括网络的组成、网络拓扑结构、数据通信方式、交换方式、介质访问控制方式、网络协议等;控制基础部分主要介绍了控制系统的组成及各组成部分的功能原理,控制系统的类型和控制应用举例等;列车网络标准部分主要介绍了常用于列车通信的几种网络标准,包括 LonWorks、ARCNET、CAN 等现场总线标准,TCN 列车通信网络标准以及新兴的控制网络——工业以太网等;应用部分 CRH1、CRH2、CRH5 的列车网络控制系统 TCMS 和中国列车自动运行控制系统 CTCS。

本书可作为高等院校相关专业师生的专业教材,也可供从事列车网络控制的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

列车网络控制技术原理与应用/陶艳主编. —北京:中国电力出版社,2010.8

ISBN 978-7-5123-0661-5

I. ①列… II. ①陶… III. ①计算机网络-自动控制-系统-应用-列车-运行 IV. ①U284.48

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 132788 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 8 月第一版 2010 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.25 印张 414 千字

印数 0001—3000 册 定价 32.00 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

提高列车运行速度是铁路技术发展的重要目标,保证列车运行安全是实现我国列车提速战略的重要保证,而列车控制系统则是实现这一重要保证的技术支持手段。随着牵引动力的交流化和列车运行速度的提高,机车和列车上采用微机实现智能化控制的部件或装置也越来越多。各微机系统间的协调和信息交换显得越来越重要,特别是对动力分散型的动车组,为提高旅客列车的舒适度,各种辅助装置的控制和服务装置的控制都必须纳入到这个微机控制系统中来。因此,列车控制也由单台机车的牵引传动控制逐渐向列车的网络控制方向发展,列车网络控制技术已经成为高速动车组、城轨车辆的核心技术之一。

本书编写的初衷就是为了向读者简要介绍列车网络控制这项关键的新技术,并引导其理解列车网络控制的应用原理。

本书以网络通信基础知识和计算机控制基础知识作为铺垫,在此基础上详细讲述了能够用于列车通信的几种网络标准,包括 LonWorks、ARCNET、CAN 等现场总线标准,TCN 列车通信网络标准以及新兴的控制网络——工业以太网等。与此对应还介绍了应用不同网络标准的 CRH 系列动车组网络控制系统 TCMS,最后简单介绍了列车自动运行控制系统。

本书内容全面,且理论和实际应用结合紧密。各章都设置了“学习要点”和“技能目标”环节,每小节的前面也设置了“问题导入”环节,旨在引导读者有针对性、有目的地进行学习。

本书可作为高等院校相关专业师生的专业教材,可供从事列车网络控制的工程技术人员参考。

由于时间紧迫,限于编者水平,书中谬误和不妥之处,真诚希望读者和专家给予批评指正。

作 者

2010 年 6 月



目 录

前言

第 1 章 绪 论

1.1 网络控制系统概述	1
1.1.1 网络控制系统的概念	1
1.1.2 网络控制系统的产生和发展	2
1.1.3 网络控制系统的组成结构及层次模型	5
1.1.4 网络控制系统的特点	6
1.2 控制网络与信息网络	8
1.2.1 控制网络与信息网络的区别	8
1.2.2 控制网络与信息网络的互联	10
1.3 列车网络控制系统概述	11
1.3.1 列车网络控制系统的结构和功能	11
1.3.2 列车网络控制技术的发展	11
1.3.3 我国列车网络控制技术的应用	13
1.4 几种典型的列车网络控制系统	15
1.4.1 SIBAS 系统	15
1.4.2 MITRAC 系统	15
1.4.3 AGATE 系统	16
1.4.4 TIS 信息系统	17
1.4.5 DTECS 系统	18

第 2 章 网络与通信基础

2.1 计算机网络概述	19
2.1.1 计算机网络的定义	19
2.1.2 计算机网络的功能	20
2.1.3 计算机网络的系统组成	21
2.1.4 计算机网络的逻辑结构	22
2.1.5 计算机网络的分类	23

2.2 数据通信基础	23
2.2.1 基本概念.....	23
2.2.2 通信系统的基本组成.....	24
2.2.3 数据通信系统的性能指标.....	25
2.2.4 数据编码与调制技术.....	27
2.2.5 数据的传输方式.....	29
2.2.6 串行通信数据传输方式.....	30
2.2.7 同步方式.....	30
2.2.8 数据传输的基本形式.....	31
2.2.9 数据交换技术.....	32
2.2.10 信道复用技术	36
2.2.11 差错控制技术	39
2.3 计算机网络体系结构	41
2.3.1 网络体系结构的基本概念.....	41
2.3.2 系统互联参考模型.....	44
2.4 网络硬件设备介绍	49
2.4.1 网络传输介质.....	49
2.4.2 网络连接设备.....	52
2.5 拓扑结构	55
2.5.1 拓扑结构.....	55
2.5.2 介质访问控制方法.....	57
2.6 串行通信接口	59

第3章 微机控制基础

3.1 微型计算机概述	63
3.1.1 微型计算机系统的三个层次.....	63
3.1.2 微型计算机系统的组成.....	64
3.1.3 微型计算机系统各组成部件简介.....	65
3.1.4 微型计算机系统中数值的表示方法.....	69
3.1.5 微型计算机的特点.....	70
3.1.6 微型计算机的分类.....	70
3.2 微机控制系统概述	71
3.2.1 自动控制系统的基本概念.....	71
3.2.2 微机控制系统的基本概念.....	74
3.2.3 微机控制系统的组成	75
3.2.4 计算机控制系统的特征.....	77
3.3 几种典型的计算机控制系统	79
3.3.1 操作指导控制系统.....	79

3.3.2	直接数字控制系统	79
3.3.3	监督计算机控制系统	80
3.3.4	集散控制系统	81
3.3.5	现场总线控制系统	82
3.4	输入/输出通道	83
3.4.1	模拟量输入通道	84
3.4.2	模拟量输出通道	88
3.4.3	数字量输入通道	90
3.4.4	数字量输出通道	94
3.5	计算机接口	96
3.5.1	I/O 接口的基本功能	96
3.5.2	I/O 端口的概念和编址方式	97
3.5.3	数据传送的控制方式	98
3.6	微机控制应用举例	100
3.6.1	中小功率直流电动机的速度调节	100

第 4 章 列车通信网络

4.1	列车通信网络概述	106
4.1.1	应用列车通信网络的必要性	106
4.1.2	列车通信网络的概念和任务	106
4.1.3	列车通信网络的特点	107
4.1.4	常见的列车通信网络	107
4.2	LonWorks 网络	116
4.2.1	LonWorks 概述	116
4.2.2	LonWorks 网络拓扑结构	117
4.2.3	Neuron 芯片	119
4.2.4	LonTalk 协议	121
4.2.5	LonWorks 产品	129
4.3	ARCNET 网络	129
4.3.1	令牌总线简介	130
4.3.2	ARCNET 协议	131
4.3.3	ARCNET 帧的类型及其结构	131
4.3.4	ARCNET 的工作机制	132
4.3.5	ARCNET 网络的性能分析	135
4.4	CAN 总线	136
4.4.1	CAN 总线的发展概况	136
4.4.2	CAN 总线通信的特点	137
4.4.3	CAN 总线的体系结构	137

4.4.4	CAN 报文帧的类型与结构	139
4.4.5	CAN 的非破坏性位仲裁机制	142
4.4.6	SJA1000 CAN 通信控制器	143
4.4.7	CAN 总线收发器 82C250	145
4.4.8	CAN 节点设计	147
4.5	列车通信网络 TCN	149
4.5.1	TCN 的标准化进程	149
4.5.2	TCN 的内容及适用范围	149
4.5.3	TCN 的网络拓扑结构	151
4.5.4	TCN 的网络体系结构	152
4.5.5	MVB 总线	152
4.5.6	WTB 总线	161
4.6	工业以太网	170
4.6.1	工业以太网概述	170
4.6.2	通信非确定性的缓解措施	173
4.6.3	TCP/IP 协议的体系结构	174
4.6.4	IP 协议	176
4.6.5	其他协议	180
4.6.6	PROFINET	182

第 5 章 CRH 系列动车组网络控制系统

5.1	CRH2 动车组网络控制系统	188
5.1.1	CRH2 动车组概述	188
5.1.2	CRH2 动车组网络控制系统概述	190
5.1.3	CRH2 动车组网络控制系统的拓扑结构	192
5.1.4	CRH2 动车组网络控制系统主要节点设备	198
5.1.5	信息传输及其冗余特性	201
5.2	CRH1 动车组网络控制系统	205
5.2.1	CRH1 动车组概述	205
5.2.2	CRH1 网络控制系统概述	206
5.2.3	TCMS 的网络拓扑结构	208
5.2.4	TCMS 的 MITRAC 网络控制设备	210
5.3	CRH5 动车组网络控制系统	218
5.3.1	CRH5 动车组概述	218
5.3.2	CRH5 动车组网络控制系统概述	219
5.3.3	CRH5 动车组网络控制系统的拓扑结构	222
5.3.4	CRH2 动车组网络控制系统主要部件	224
5.3.5	CRH5 动车组 TCMS 的冗余性及故障对策	228

5.3.6 CRH5 动车组维修信息的传输 229

第 6 章 列车自动运行控制系统

6.1 列车自动运行控制系统概述 232

6.1.1 世界高速铁路列车控制系统应用及发展 233

6.1.2 列车运行自动控制系统的功能 235

6.1.3 列车运行自动控制系统的分类 236

6.1.4 常见的列车运行自动控制系统 239

6.2 中国列车运行控制系统 244

6.2.1 CTCS 列控系统的应用等级划分 246

6.2.2 CTCS 应用等级划分的特点 247

6.2.3 CTCS2 列控系统 248

6.3 地铁运行自动控制系统 253

6.3.1 列车运行自动控制系统 ATC 253

6.3.2 列车自动防护子系统 ATP 257

6.3.3 列车自动驾驶子系统 ATO 258

6.3.4 列车自动监控子系统 ATS 260

附录 书中常见缩写对照表..... 264

参考文献..... 265



第 1 章

绪 论

【学习要点】

1. 网络控制系统的概念和结构。
2. 网络控制系统的特点。
3. 列车网络控制系统的结构和功能。
4. 几种典型的列车网络控制系统的特点。

【技能目标】

1. 能复述网络控制系统的概念和结构，并指出它与传统控制系统的区别。
2. 能描述控制网络和信息网络的特征，并有效区分。
3. 能复述列车网络控制的结构和功能。
4. 能指出几种典型列车控制系统的技术特点。



网络控制系统 (Networked Control System, NCS) 的概念最早于 1999 年出现在马里兰大学 GC. Walsh 的论著中, 文中指出, 在该系统中控制器与传感器通过串行通信形成闭环。那么, 在计算机网络、通信、传感器和控制技术日益发展与交叉融合的今天, 网络控制系统又被赋予了怎样的定义? 它具备哪些和传统点对点控制系统不一样的特点呢?

1.1 网络控制系统概述

1.1.1 网络控制系统的概念

网络控制系统又被称为基于网络的控制系统, 它是一种完全网络化、分布化的控制系

统，是通过网络构成闭环的反馈控制系统。

狭义的网络控制系统是以网络为基础，实现传感器、控制器和执行器等系统各部件之间的信息交换，从而实现资源共享、远程检测与控制。例如，基于现场总线技术的网络控制系统就可以看成是一种狭义的网络控制系统。广义的网络控制系统不但包括狭义的网络控制系统在内，还包括通过 Internet、企业信息网络以及企业内部网络，实现对工厂车间、生产线以及工程现场设备的远程控制、信息传输、信息管理以及信息分析等，典型的网络控制系统如图 1-1 所示。

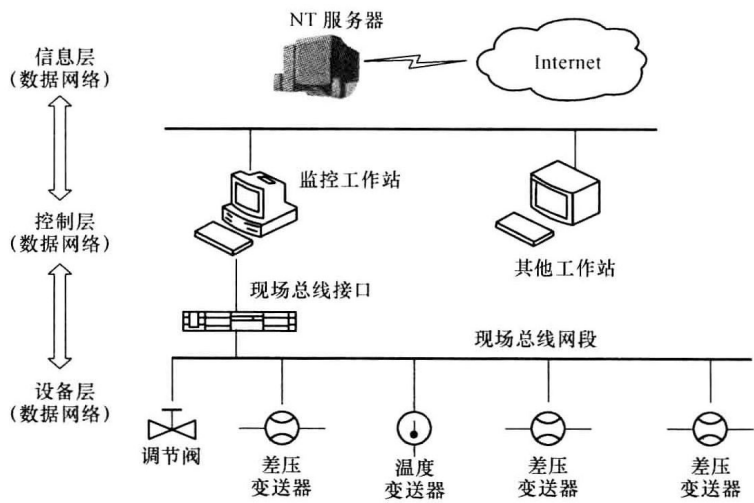


图 1-1 典型的网络控制系统

1.1.2 网络控制系统的产生和发展

早期的过程控制系统中，控制装置是安装在被控装置附近的，而且每个控制回路都有一个单独的控制器。这些控制装置就地测量出过程变量的数值，并把它与给定值相比较从而得到偏差值，然后按照一定的控制规律产生控制信号，通过执行机构去控制生产过程。运行人

员分散在全厂的各处，分别管理着自己所负责的那一部分生产过程。

随着生产规模的扩大，运行人员需要综合掌握多点的运行参数与信息，需要同时按多点的信息实行操作控制。于是，出现了气动、电动系列的单元组合式仪表，出现了集中控制室。气动组合仪表控制系统的结构如图 1-2 所示。生产现场各处的参数通过统一的模拟信号，如 0.002~0.01MPa 的气压信号，0~10mA、4~20mA 的直流电流信号，1~5V 直流电压信号

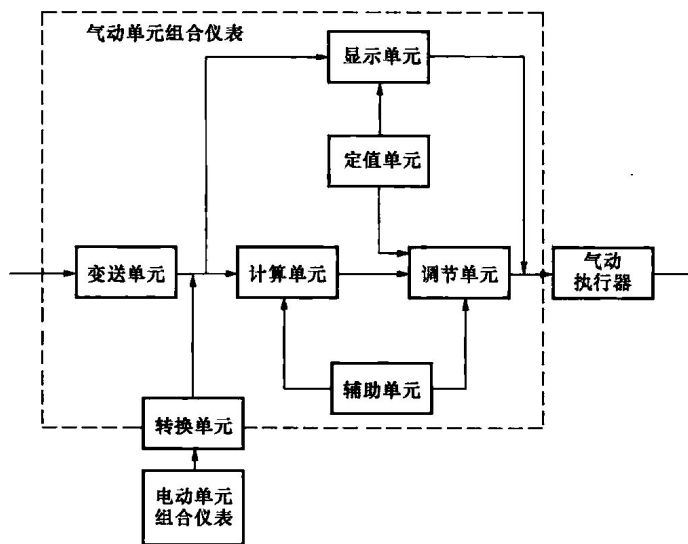


图 1-2 气动单元组合仪表系统框图

等,送往集中控制室,在控制盘上连接。运行人员可以坐在控制室纵观生产过程各处的状况,获得整个生产过程中的有关信息。这是一种集中式的模拟控制系统。

集中控制系统能够及时、有效地进行各部分之间的协调控制,有利于生产过程的安全运行。然而,随之而来的问题就是信息的远距离传输。要想在集中控制室内实现对整个生产过程的控制,就必须把反映过程变量的信号传送到集中控制室,同时还要把控制变量传送到现场的执行机构,因而变送器、控制器和执行器是分离的,变送器和执行器安装在现场,控制器安装在集中控制室。而且,由于模拟信号的传递需要一对一的物理连接,信号变化缓慢,提高计算速度与精度的开销、难度都较大,信号传输的抗干扰能力也较差。于是,人们开始寻求用数字信号取代模拟信号,用数字控制器取代模拟仪表盘,用数字控制取代模拟控制。

20 世纪 50 年代末,计算机开始进入过程控制领域。最初它只是用于生产过程的安全监视和操作指导,后来用于实现监督控制,这时计算机还没有直接用来控制生产过程。

到了 20 世纪 60 年代初期,计算机开始用于生产过程的直接数字控制。但由于当时的计算机造价很高,所以常常用一台计算机控制全厂所有的生产过程。这样,就造成了整个系统控制任务的集中。由于受当时硬件水平的限制,计算机的可靠性比较低,一旦计算机发生故障,全厂的生产就陷于瘫痪,因此,这种大规模集中式的直接数字控制系统基本上宣告失败。但人们从中认识到,直接数字控制系统的确有许多模拟控制系统无法比拟的优点,只要解决了系统的可靠性问题,计算机用于闭环控制还是有希望的。

20 世纪 60 年代中期,控制工程师分析了集中控制失败的原因,提出了集散控制系统的概念。他们设想像模拟控制系统那样,把控制功能分散在不同的计算机中完成,并且采用通信技术实现各部分之间的联系和协调。这种系统比常规模拟仪表有更强的通信、显示、控制功能,并且又比集中过程控制计算机更安全可靠。这是一种分散型多微处理机综合过程控制系统,又称分散型综合控制系统,俗称集散控制系统,简称 DCS,属于典型的网络控制系统。如图 1-3 所示,DCS 的特点是“集中管理,分散控制”,它完整地体现了分散化和分层化的思想,有力克服了集中式数字控制系统中对控制器处理能力和可靠性要求高的缺陷。

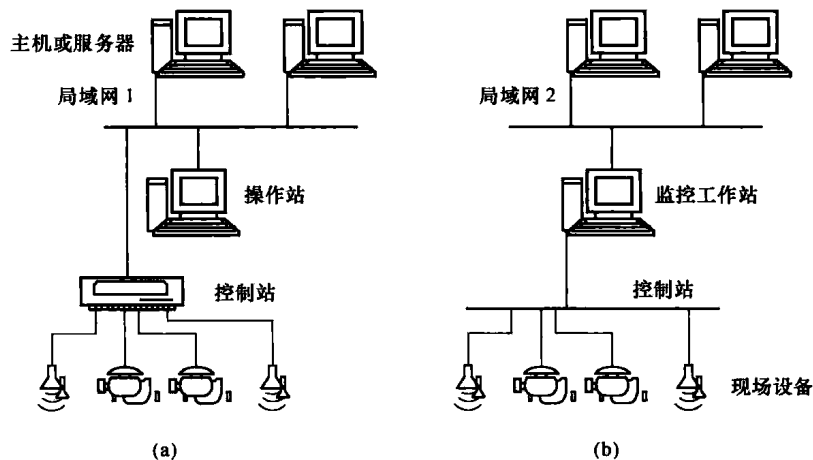


图 1-3 集散控制系统和现场总线控制系统

(a) 集散控制系统; (b) 现场总线控制系统

然而, DCS 也有其明显的缺点。首先, 它的结构是多级主从关系, 现场设备之间相互通信必须经过主机, 使得主机负荷重、效率低, 且主机一旦发生故障, 整个系统就会崩溃; 其次, 使用大量的模拟信号, 很多现场仪表仍然使用传统的 $4\sim 20\text{mA}$ 电流模拟信号, 传输可靠性差, 难以数字化处理; 第三, 各系统设计厂家制定独立的 DCS 标准, 通信协议不开放, 极大地制约了系统的集成与应用, 不利于相关企业的发展。因此 DCS 从这个角度而言实质是一种封闭专用的、不具有互可操作性的分布式控制系统, 且 DCS 造价也昂贵。在这种情况下, 用户对网络控制系统提出了开放性和降低成本的迫切要求。

为了顺应以上潮流, 克服 DCS 的技术瓶颈, 进一步满足工业现场的需要, 现场总线控制系统 (Field Control System, FCS) 应运而生。如图 1-3 所示, FCS 用现场总线这一开放的、具有可互操作的网络将现场各控制器以及仪表设备互联, 构成现场总线控制系统, 同时将控制功能彻底下放到现场, 降低了安装成本和维护费用。因此, FCS 实质上是一种开放的、具有可互操作性的、彻底分散的分布式控制系统。

现场总线控制系统作为新一代控制系统, 一方面突破了 DCS 系统采用专用通信网络的局限, 采用了基于公开化、标准化的解决方案, 克服了封闭系统所造成的缺陷; 另一方面把 DCS 的集中与分散相结合的集散系统结构, 变成了新型全分布式结构, 把控制功能彻底下放到现场。与传统的控制系统相比, 它具有体系结构开放、系统集成灵活方便、硬件智能化、传输数字化、控制计算高品质化的特点。

但是 FCS 也有许多瓶颈问题。首先, 现有的现场总线标准种类过多, 且各有各的优势和适用范围, 用户如何取舍是比较棘手的问题; 其次, 控制系统中如果有多种现场总线同时存在, 而用户又希望将工业控制系统与企业信息网络实现无缝集成, 真正实现企业级管控一体化, 系统功能组态会变得相对复杂; 第三, FCS 在本质安全、系统可靠性、数据传输速度等方面存在一些技术瓶颈或不符合现代企业对信息的要求。

而工业以太网 (Ethernet) 具有传输速度快、低耗、易于安装、兼容性好、软硬件产品丰富和技术成熟等方面的优势, 几乎支持所有流行的网络协议, 能够有效地促进了现场仪表的智能化、控制功能分散化、控制系统开放化, 符合工业控制系统的技术发展趋势, 在工业现场得到越来越多的应用, 在控制领域中占有更加重要的地位, 其技术优势非常明显, 主要有以下优点:

(1) 以太网是全开放、全数字化的网络, 遵照网络协议, 不同厂商的设备可以很容易实现互连。

(2) 以太网能实现工业控制网络与企业信息网络的无缝连接, 形成企业级管控一体化的全开放网络, 如图 1-4 所示。

(3) 软硬件成本低廉。由于以太网技术已经非常成熟, 支持以太网的软硬件受到广大厂商的高度重视和广泛支持, 有多种软件开发环境和硬件设备供用户选择。

(4) 通信速率高。随着企业信息系统规模的扩大和复杂程度的提高, 对信息量的需求也越来越大, 有时甚至需要音频、视频数据的传输, 目前标准以太网的通信速率为 10Mb/s , 100Mb/s 的快速以太网已广泛应用, 千兆以太网技术也逐渐成熟, 10Gb/s 的以太网也正在研究, 其速率比目前的现场总线要快很多。

(5) 可持续发展潜力大。在这信息瞬息万变的时代, 企业的生存与发展在很大程度上依赖于一个快速而有效的通信管理网络。信息技术与通信技术的迅速发展和成熟, 保证了以太网技术不断地持续向前发展。

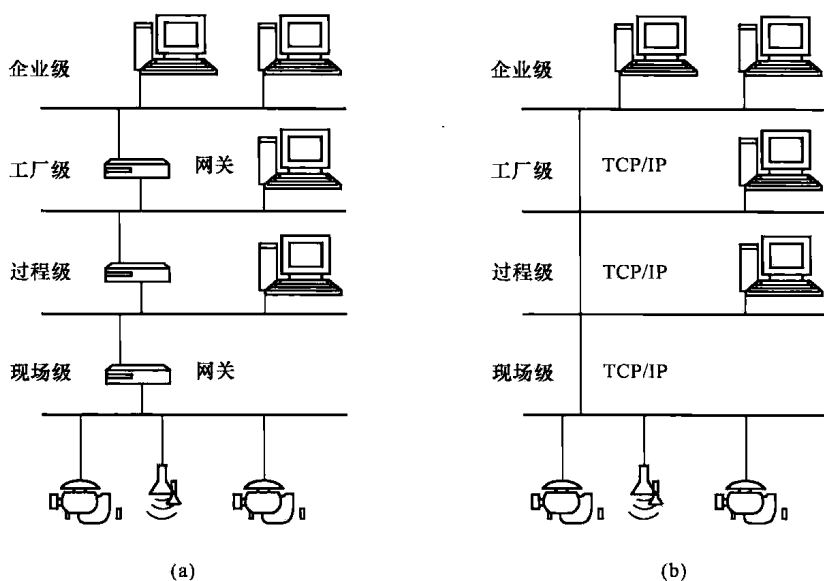


图 1-4 传统工业控制网络和工业以太网控制网络

(a) 传统工业控制网络; (b) 工业以太网控制网络

以太网进入工业控制领域，同样也存在以下问题。

(1) 实时性问题。以太网采用载波监听多路访问/冲突检测 (CSMA/CD) 的介质访问控制方式，其本质上是非实时的。一条总线上有多个节点平等竞争总线，等待总线空闲。这种方式很难满足工业控制领域对实时性的要求。这成为以太网技术进入工业控制领域的技术瓶颈。

(2) 对工业环境的适应性与可靠性。以太网是按办公环境设计的，需要使抗干扰能力、外观设计等符合工业现场的要求。

(3) 适用于工业自动化控制的应用层协议。目前，信息网络中应用层协议所定义的数据结构等特性不适合应用于工业过程控制领域现场设备之间的实时通信。因此，还需定义统一的应用层规范。

(4) 本质安全和网络安全。工业以太网如果用在易燃易爆的危险工作场所，必须考虑本质安全问题。另外，工业以太网由于使用了 TCP/IP 协议，因此可能会受到包括病毒、黑客的非法入侵与非法操作等网络安全威胁。

(5) 服务质量问题。随着技术的进步，工厂控制底层的信号已不局限在单纯的数字和模拟量上，还可能包括视频和音频，网络应能根据不同用户需求及不同的内容适度地保证实时性的要求。

1.1.3 网络控制系统的组成结构及层次模型

网络控制系统一般由三部分组成：控制器、被控对象以及通信网络，被控对象一般为连续系统，而控制器一般采用离散系统。被控对象的输出通过传感器采样的方式离散化并通过网络发送到控制的输入端。控制器进行运算后，将输出通过网络发送到被控对象的输入端，并由零阶保持器生成分段连续函数作为连续系统的输入。

常见的网络控制系统结构有径直结构和分层结构，如图 1-5 和图 1-6 所示。

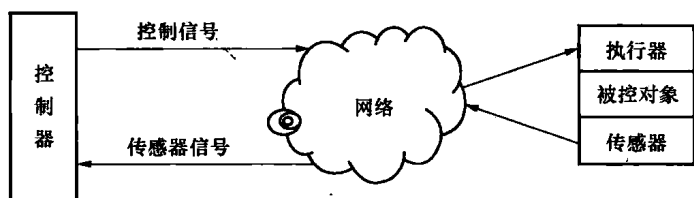


图 1-5 网络控制系统的径直结构

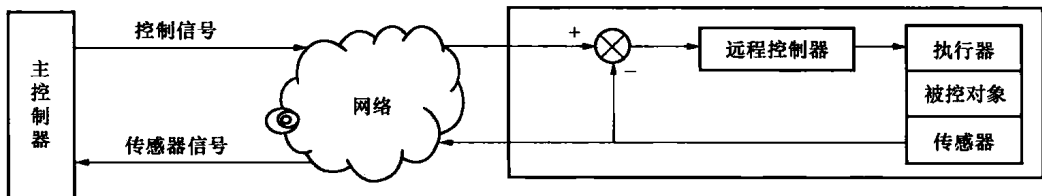


图 1-6 网络控制系统的分层结构

在径直结构中，控制器将传感器等检测装置从现场检测到的实际参数和预定的期望参数值进行比较计算，得出相应的控制结果后，输出到执行器，作用于被控对象。

在分层结构中，主控制器将计算好的参考控制信号通过网络发送给远程控制系统，远程控制器根据参考信号执行本地闭环控制，并将传感器测量数据传给主控制器。

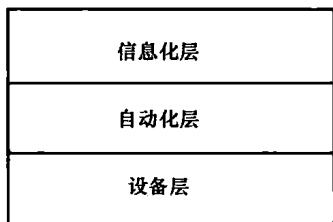


图 1-7 网络控制系统层次模型

网络控制系统的层次模型如图 1-7 所示。

(1) 设备层。设备层中的设备种类繁多，有智能传感器、启动器、驱动器、I/O 部件、变送器、变换器、阀门等。设备的多样性要求设备层满足开放性要求，各厂商遵循公认的标准，保证产品满足标准化。来自不同厂家的设备在功能上可以用相同功能的同类设备互换、实现可互换性；来自不同厂家的设备可以相互通信，并可以在多厂家的环境中完成功能，实现可互操作性。

设备层中的设备是智能化的。它们可独立完成系统的传感测量、补偿计算、工程量处理与控制等自动控制的基本功能，并可随时诊断设备的运行状态。设备控制功能的自治化使得分散在现场不同物理位置的现场设备之间以及现场设备与远程监控计算机之间，能够实现数据传输与信息交换，从而形成各种适应实际需要的自动控制系统。

(2) 自动化层。自动化层实现控制系统的网络化，控制网络遵循开放的体系结构与协议。对设备层的开放性，允许符合开放标准的设备方便地接入；对信息化层的开放性，允许与信息化层互联、互通、互操作。

(3) 信息化层。信息化层已较好地实现了开放性策略，各类局域网满足 IEEE 802 标准，信息网络的互联遵循 TCP/IP 协议。信息网络的开放性为实现控制网络与信息网络的集成提供了有力支持。

1.1.4 网络控制系统的特点

1. 传统控制系统与网络控制系统的比较

传统控制系统采用一对一的设备连线，按控制回路的信号传递需要连线。位于现场的测

量变送器与位于控制室的控制器之间,控制器与位于现场的执行器、开关、电动机之间均为一对一的物理连接。网络化控制系统则借助网络在传感器、控制器、执行器各单元之间传递信息,通过网络连接形成控制系统。图1-8所示为网络控制系统与传统控制系统的结构比较。由图可见,网络控制系统中,网络化的连接方式简化了控制系统各部分之间的连接关系,为系统设计、安装、维护带来了很大方便。

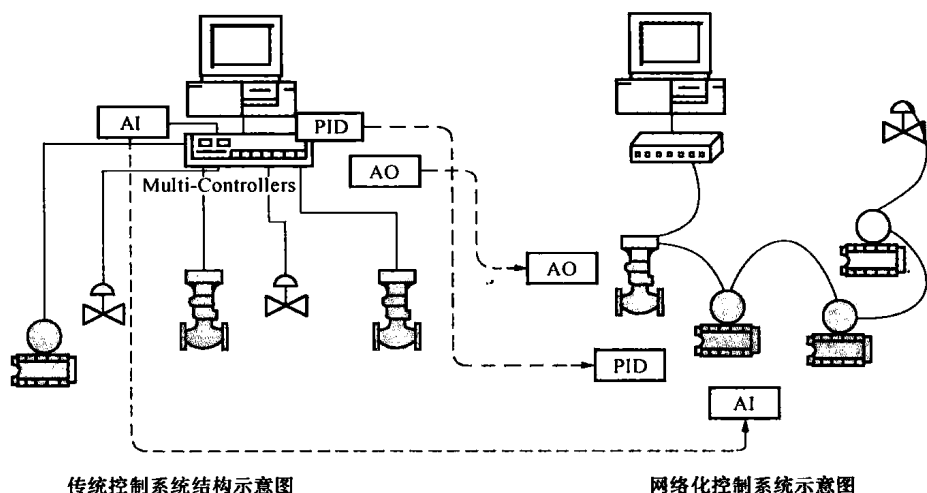


图 1-8 网络控制系统与传统控制系统的结构比较

2. 网络控制系统的优缺点

网络控制适用于大范围区域的控制,系统包含大量的相互交换信号信息的设备。网络控制系统的特征是通过一系列的通信信道构成一个或多个控制闭环,同时具备信号处理、优化决策和控制操作的功能,控制器可以分散在网络中的不同地点。与传统的点对点控制系统相比,网络控制系统具有共享信息资源、远程监测与控制,减少系统布线、易于扩展和维护、增加了系统的灵活性和可靠性等优点。

(1) 能以较小的信息传输代价实现远程操作和远程控制,用数字信号取代模拟信号在数字网络上传输,实现控制设备间的数字化互联。

(2) 互操作性。即不同厂商的产品在同一网络中可以相互兼容,相互通信。可以不同程度地减少中间环节的信息处理设备,降低控制成本。

(3) 开放性。系统扩展容易,增加或减少节点比较简单、维护性增强。可以实现决策管理层、调度层到现场控制设备层的全系统控制和全过程优化。

(4) 节点智能化。很多节点都是带有 CPU 的智能终端,能够记录、处理数据,节点之间通过网络实现信息传输和功能协调,每个节点都是组成网络控制系统的一个细胞,且具有各自相对独立的功能。

(5) 控制现场化和功能分散化。网络化结构使原先由中央控制器实现的任务下放到智能化现场上执行,这使危险因素得到分散,从而提高了系统的可靠性和安全性。

此外,基于无线网络技术还可以利用广泛散布的传感器与远距离的控制器和执行器构成一些特殊用途的无线网络控制系统,这是传统的控制系统不能实现的。正是由于这些显著特点,网络控制系统在汽车控制系统、列车控制系统、航天航空系统、电力系统和工业过程控

制系统等工业领域获得了广泛的关注和应用。

但是,网络介入控制系统后,由于数据在网络中传输时延的不确定性,再加上数据出错和丢失等现象,网络控制系统不可避免地带来了以下问题。

(1) 定常性的丧失。数据到达的时刻不再是定常和有规则,更不能再用简单的采样时间来刻画。

(2) 完整性的丧失。由于数据在传输中可能发生丢失和出错,数据不再是完整的。

(3) 因果性的丧失。由于网络传输时间的不确定,先产生的数据可以迟于后产生的数据到达远程控制系统。因此,数据到达的次序不再遵守因果关系。

(4) 确定性的丧失。由于数据到达的随机性,整个控制系统已不再是一个确定性的系统。



在广义的网络控制系统中,处在企业上层,处理大量、变化、多样的管理与决策信息的信息网络与位于企业网下层,处理现场传感器和执行器等设备实时现场信息的控制网络紧密地集成在一起。控制网络服从信息网络的操作,同时又具有独立性和完整性。同样都是通信网络,你知道两者有什么样的区别吗?两者的集成又有什么意义呢?

1.2 控制网络与信息网络

1.2.1 控制网络与信息网络的区别

在通常意义上,计算机网络是指已在办公和通信等领域广为采用的、由包括 PC 在内的各种计算机及网络连接设备构成的系统,也被称之为信息网络。计算机之间通过信息网络共享资源与数据信息,人们也可以直接从数据网络获取数据信息。这类网络的特点是:

(1) 瞬间传送的数据通信量较大,即发送的数据包大。需要支持传送文档、报表、图形,以及信息量更大的音频、视频等多媒体数据。

(2) 发送频率相对比较低,要求以高数据传送速度来传输比较大的文件。

(3) 对实时性没有苛刻的限制。

而在工业控制领域,在计算机网络技术的推动下,控制系统已向开放性、智能化与网络化方向发展,产生了控制网络。控制网络作为一种特殊的网络,直接面向生产过程和控制过程,肩负着工业生产运行一线测量与控制信息传输的特殊任务,并产生或引发物质、能量的运动和转换。相对普通计算机网络系统而言,控制网络的组成成员种类比较复杂。除了作为普通计算机网络系统成员的各类计算机、工作站、打印机、显示终端之外,大量的网络节点是各种可编程控制器、开关、变送器、阀门、按钮等,其中大部分节点的智能程度远不及计算机。有的现场控制设备内嵌有 CPU、单片机或其他专用芯片,有的只是功能相当简单的非智能设备。因此,它通常应满足强实时性与确定性、高可靠性与安全性、工业现场恶劣环境的适应性、总线供电与本质安全等特殊要求。工业控制网络与信息网络的主要区别有:

(1) 工业控制网络传输的信息多为短帧信息,长度较小,且信息交换频繁;而信息网络

传输的信息长度大,互相交换的信息不频繁。

(2) 工业控制网络周期与非周期信息同时存在,在正常工作状态下,周期性信息(如过程测量与控制信息、监控信息等)较多,而非周期信息(如突发事件报警、程序上下载等)较少;而信息网络非周期信息较多,周期信息较少。

(3) 工业控制网络有很强的实时性要求。一般来说,过程控制网络的响应时间要求为 $0.01\sim 0.5\text{s}$,制造自动化网络的响应时间要求为 $0.5\sim 1.0\text{s}$,而信息网络的响应时间要求为 $2.2\sim 6.0\text{s}$,信息网络中大部分响应的实时性是可以忽略的。为了满足传输的实时性,控制网络往往要求信息的传输具有确定性和可重复性。确定性是指有限制的延迟和有保证的传送,也就是说,一个报文能在可预测的时间周期内成功地发送出去。可重复性是指网络的传输能力不受网络上节点的动态改变(增加节点或者删除节点)和网络负载的改变而影响。这是信息网络没办法做到的。

(4) 工业控制网络的信息流向具有明显的方向性,如测量信息由变送器向控制器传送,控制信息由控制器向执行机构传送,过程监控与突发信息由现场仪表向操作站传送,程序下载由工程师站向现场仪表传输等;而信息网络的信息流向不具有明显的方向性。

(5) 工业控制网络中测量,控制信息的传送有一定的顺序性,如测量信息首先需要传送到控制器,由控制器进行控制运算,再将发出的控制信息传送给执行机构,控制相关阀门的动作;而信息网络的信息传送没有一定的顺序性。

(6) 工业控制网络应具有良好的环境适应性,即在高温、潮湿、振动、腐蚀以及电磁干扰等工业环境中长时间、连续、可靠、完整地传送数据的能力,并能抗工业电流的浪涌、跌落和尖峰干扰;而信息网络对环境适应性的要求不高。

(7) 在可燃与易爆场合下,工业控制网络还应具有自动防止故障发生或者安全停止运行的能力,即本安防爆性能;而信息网络不需要本安防爆性能。

(8) 工业控制网络的通信方式多为广播或组播的通信方式;而信息网络的通信方式多为点对点的通信方式。

(9) 工业控制网络必须解决在同一网络中多家公司产品与系统的相互兼容性问题,即协议一致性与互可操作性问题;而信息网络只需要解决互联互通问题,以及协议的一致性问题。

控制网络的出现,打破了自动化系统原有的信息孤岛的僵局,为工业数据的集中管理与远程传送,以及自动化系统与其他信息系统的沟通创造了条件。控制网络与办公网络、Internet 的结合,拓宽了控制系统的视野与作用范围,为实现企业的管理控制一体化、实现远程监视与操作提供了基础条件。如操作远在数百公里之外的电气开关、在某些特定条件下建立无人值守机站等。

控制网络的出现,导致了传统控制系统结构的变革,形成了以网络作为各组成部件之间信息传递通道的新型控制系统,即网络化控制系统 NCS。网络成为这种新型控制系统各组成部分之间信息流动的命脉,网络本身也成为控制系统的组成环节之一。



提示

区分信息网络和控制网络的关键因素是看网络是否具有支持实时应用的能力。