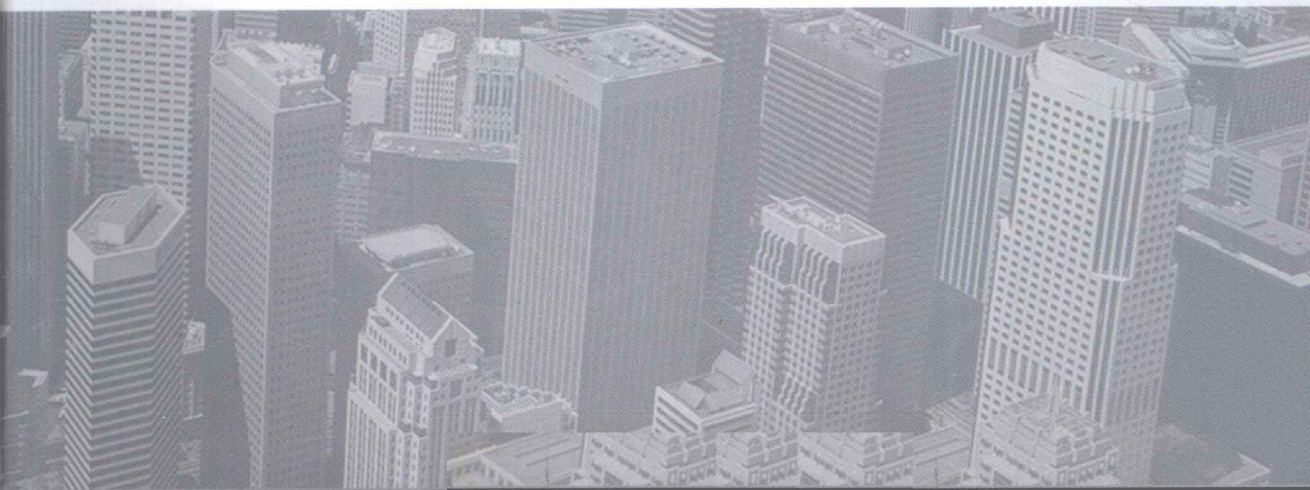


# BACnet标准与 楼宇自控系统技术

张少军◎编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



# BACnet 标准与楼宇 自控系统技术

张少军 编著



机械工业出版社

本书对 BACnet 标准、楼宇自控技术的应用做了较全面、深入和系统的论述,理论体系严谨、完整。

内容主要包括:工控领域和楼控领域的控制网络技术;BACnet 标准概述;BACnet 协议的体系结构和应用层;BACnet 的网络层、物理层和数据链路层;BACnet/IP 网络;BACnet 标准与 PTP 及 MS/TP 网络;BACnet 标准与 LON 及 ARCnet;BACnet 标准与以太网;工业以太网与实时以太网;楼宇自控系统及技术;系统集成;BACnet 网关以及 BACnet 网络与异构网的互联;应用系统举例及分析;BACnet 技术的发展和融合等。

本书可作为建筑类高等院校的建筑电气与智能化、电气工程与自动化、自动化、电气工程、机械电子工程专业的教材。对于建筑行业的相关专业和涉及建筑智能化、信息化技术专业企业的工程技术人员、设计人员、大学生、研究生和管理人员学习和应用建筑智能化技术、信息化技术具有较高的参考价值。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

BACnet 标准与楼宇自控系统技术/张少军编著. —北京:机械工业出版社, 2012.5

ISBN 978-7-111-38144-0

I. ①B… II. ①张… III. ①智能化建筑 自动控制系统 IV. ①TU855

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 077660 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:林春泉 责任编辑:顾谦 版式设计:霍永明

责任校对:张晓蓉 封面设计:路恩中 责任印制:乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2012 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 25.25 印张 · 706 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-38144-0

定价: 68.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

产业的发展一点不能离开系统性理论的支持，系统性理论能够为产业的发展提供一个明晰的方向，并为产业发展解决许多重大的关键问题。传统的智能建筑技术在许多重要的方面并没有系统性的理论作为支撑，表现在：构建楼宇自控系统（BAS）的控制网络在体系上有些混乱；不同的楼控系统核心部件不能彼此互换互用和互连互通，即楼控系统的开放性不好；实际运行的楼控系统的性能和节能指标与设计要求相距较大等。在建筑智能化技术中，传统的方法是将信息技术或控制理论和控制工程中的许多理论方法直接移植到建筑领域中来。随着楼宇自动控制系统在发展和应用中表现出越来越多的问题来看，不去系统地构建它的理论体系已经形成了阻碍楼宇自控技术和建筑智能化技术发展的瓶颈。因此，建筑智能化、信息化技术的发展也包括了建立关于楼宇自动化和智能化控制技术系统性理论的任务。这些系统性理论涉及的方面较多，其中：深入研究和应用 BACnet（楼宇自动控制网络）标准及 BACnet 应用系统；随着新技术的发展，修正和完善 BACnet 标准及 BACnet 应用系统技术，继续提高 BAS 开放性、互操作性等也是系统性理论中非常重要的组成部分。

BACnet 是架构楼控系统的基础，楼控系统的性能、楼控系统的开放性和互操作性能、楼控系统的性价比、系统的简约程度、系统日后的升级改造和维护保养都和 BACnet 有密切的关系。因此，规划、设计和使用一个 BAS，首先要规划设计一个适合具体应用环境、性价比高、开放性好、便于系统集成、既满足各种应用需求，又经济实用、便于日后系统升级改造和维护保养的 BAS。

不同的 BAS 使用了不同的通信协议和标准，如 BACnet 标准、LonTalk 协议、TCP/IP 等全局性的通信协议或标准，在不同的控制层又使用多种局部性的通信协议和标准，构成不同的通信协议组态。通信协议或组态的选择和使用，对系统的开放性、互操作性以及以后的系统集成影响很大。如在应用系统的开放性、互操作性和大范围内优良的系统集成方面，BACnet 应用系统明显地优于 LonTalk 应用系统，当然，LonTalk 应用系统在较狭义的系统范围内具有很好的开放性、互操作性。

BACnet 标准的颁布实施距今已经有 17 年了。楼宇自控技术在发展、控制理论与控制工程技术在发展，计算机控制技术在发展，还有与楼宇自控技术关系极为密切的现代计算机网络、现代通信技术都在迅速地发展，在今天，对 BACnet 标准的内容、应用情况、与新技术的融合以及为适应新形势的发展必须要做出的修正和改进，重新地做出审视是十分有必要的，对建筑智能化、信息化技术的发展是有重大意义的。本书就是在这样的背景下，对 BACnet 标准的内容、发展、应用现状以及和许多新出现并且发展迅速技术的关系及融合；BACnet 标准与 BAS 的关系；对 BACnet 标准发展面临的修正提出自己的看法，有些观点非常希望和业界继续深入具体商榷。

本书的内容主要包括：工控领域和楼控领域的控制网络技术；BACnet 标准概述；BACnet 协议的体系结构和应用层；BACnet 网络层、物理层和数据链路层；BACnet/IP 网络；BACnet 标准与 PTP 及 MS/TP 网络；BACnet 标准与 LON 及 ARCnet；BACnet 标准与以太网；工业以太网与实时以太网；BAS 及技术；系统集成；BACnet 网关以及 BACnet 网络与异构网的互联；应用系统举例及分析；BACnet 技术的发展和融合等。

有这样一个问题值得业界给予重视和关注：由于建筑智能化、信息化技术在技术体系上呈现一个交叉性很强和不同技术互相融合的特点，因此到现在为止，还没有真正建立起一个结构体系严密和完整的理论体系，相关的设计、施工和工程验收规范标准也还没有建立起一个完整的体系；尤其在 BACnet 的内容上，传统的控制总线、现场总线、工业以太网及实时以太网等标准及技术应用情况繁杂，缺少系统化理论支撑。目前，国内很多高等院校已经开设了建筑电气与智能化专业，因此建立起关于 BAS、建筑智能化、信息化系统性理论是业内研究人员共同面对的任务。

本书的撰写依托于北京建筑工程学院“建筑电气与智能化技术实验示范中心”中先进的楼宇智能化控制实验教学系统。

本书是北京建筑工程学院专著基金支持出版的项目，鉴于学校对建筑电气与智能化学科建设发展以及对本书出版的大力支持，本人在此表示感谢。

本书是建筑电气与智能化技术专著教材群的组成部分。这套专著教材群包括：①《建筑智能化信息化技术》；②《变风量空调技术》；③《以太网技术及在楼宇自控系统中的应用》；④《无线传感器网络技术及应用》（建筑行业特色较为明显）；⑤《建筑智能化技术素材图库及快速绘图》；⑥《智能建筑理论与工程实践》；⑦《计算机网络与通信》（建筑行业用）；⑧《楼宇自动化及智能控制技术》；⑨《BACnet 标准与楼宇自控系统技术》；⑩《现代建筑楼宇自控及网络工程案例解析》。

本书的“第 10 章 BAS 及技术”由北京建筑工程学院电信学院的周渡海高级工程师和张少军教授共同撰写，其余部分均由张少军编写。

本书由于编写时间仓促，难免有一些错误和缺点，恳请广大读者批评指正。

未经许可，不得复制和抄袭本书部分或全部内容。违者必究。

作者

2012 年 5 月 18 日

# 缩 略 语

A	应用层（前缀）				在语义上相等）
AE	应用实体	MA	媒体访问（前缀）		
ANSI	美国国家标准学会	MAC	媒体访问控制		
APCI	应用层协议控制信息	MPCI	MAC层协议控制信息		
API	应用编程接口	MPDU	MAC层协议数据单元		
ARCnet	附加资源计算机网络	MSDU	MAC层服务数据单元		
ASE	应用层服务单元	MS/TP	主从/令牌传递		
ASN.1	抽象句法结构符号1（ISO 8824）	N	网络层（前缀）		
B''	表示在单引号之间使用二进制符号	NP	网络优先权		
BAC	楼宇自动控制	NPCI	网络层协议控制信息		
CNF	证实原语	NPDU	网络层协议数据单元		
COV	值的改变	NRZ	反向不归零制		
CRC	循环冗余码校验	NSAP	网络层服务访问点		
D''	表示在单引号之间使用十进制符号	NSDU	网络层服务数据单元		
DA	本地目标 MAC 层地址	O	表明对某个属性的支持是可选的		
DADR	最终目标 MAC 层地址	OSI	开放系统互联		
DER	需要应答的数据	P	物理层（前缀）		
DES	数据加密标准（FIPS 46-1）	PAC	ARCnet 数据分组的头字节		
DID	ARCnet 目标 MAC 地址	PCI	协议控制信息		
DLEN	最终目标 MAC 层地址的一个字节长度	PDU	协议数据单元		
DNET	两个字节表示的最终目标的网络号码	PICS	协议实现一致性声明		
DSAP	LLC 目标服务访问点（对于 BACnet 为 X'82'）	PK	私有密钥		
EXEC	执行一个服务请求的能力	PPCI	物理层协议控制信息		
ICI	接口控制信息	PPDU	物理层协议数据单元		
IND	指示原语	PSDU	物理层服务数据单元		
IEEE	美国电气和电子工程师学会	PTP	点对点		
INIT	发起一个服务请求的能力	R	表明对某个属性是支持的，并且用 BACnet 设备可读该属性		
ISO	国际标准化组织	REQ	请求原语		
L	数据链路层（前缀）	RSP	响应原语		
LAN	局域网	S	选择		
LLC	逻辑链路控制（ISO 8802.2）	S(=)	选择（参数与服务原语中左边的参数在语义上相等）		
LPCI	链路层协议控制信息	SA	本地网络资源的 MAC 层地址		
LPDU	链路层协议数据单元	SAP	服务访问点		
LSAP	链路层服务访问点（对于 BACnet 为 X'82'）	SC	ARCnet 系统代码（对于 BACnet 为 X'CD'）		
LSDU	链路层服务数据单元	SDU	服务数据单元		
M	命令的	SID	ARCnet 源的 MAC 层地址		
M(=)	命令的（参数与服务原语中左边的参数				

---

SK	会话密钥	U(=)	用户选项 (参数与服务原语中左边的参数在语义上相等)
SLEN	源节点的 MAC 层地址的一个字节长度	UART	通用异步收发器
SNET	两个字节表示的源节点网络号码	VT	虚拟终端
SPC	标准工程委员会	W	表明对某个属性是支持的, 并且用 BACnet 设备可读和可写该属性
SSAP	LLC 源节点服务访问点 (对于 BACnet 为 X8'2')	X''	表示在单引号之间使用十六进制符号
TSM	事务处理状态机	XID	交换标识 (ISO 8802.2)
U	用户选项		

# 目 录

前言	
缩略语	
<b>第 1 章 工控领域和楼控领域的控制网络技术</b> .....	1
1.1 工控领域控制网络的发展及主要特点 .....	1
1.1.1 控制网络技术的发展 .....	1
1.1.2 控制网络的主要特点 .....	3
1.2 控制网络和信息网络的主要区别及常用的控制网络 .....	4
1.3 传统的控制总线 .....	6
1.3.1 RS-232 总线 .....	6
1.3.2 RS-485 总线 .....	8
1.4 现场总线 .....	9
1.4.1 什么是现场总线及主要种类 .....	9
1.4.2 PROFIBUS .....	11
1.4.3 LonWorks 总线技术 .....	13
1.4.4 ModBus .....	16
1.4.5 CAN 总线网络 .....	17
1.4.6 EIB .....	19
1.4.7 CEBus .....	22
1.5 工业以太网与实时以太网 .....	23
1.5.1 工业以太网及其特点 .....	23
1.5.2 工业以太网作为控制网络的技术优势 .....	24
1.5.3 实时以太网 .....	25
1.5.4 灵活组织控制网络的架构 .....	26
1.5.5 关于实时以太网的 IEC 61784-2 标准 .....	26
1.6 BACnet 标准支持的 control 网络 .....	26
1.6.1 楼宇自控系统通信网络架构 .....	26
1.6.2 BACnet 支持的 control 网络 .....	28
1.7 楼宇自控系统中常用 control 网络和底层 control 网络的选择 .....	28
1.7.1 楼宇自控系统中常用的 control 网络 .....	28
1.7.2 底层 control 网络的选择 .....	28
<b>第 2 章 BACnet 标准概述</b> .....	29
2.1 BACnet 标准 .....	29
2.1.1 BACnet 标准的推出 .....	29
2.1.2 BACnet 标准的推广 .....	29
2.1.3 采用 BACnet 标准构建 BAS 的优点 .....	30
2.2 SPC 135P 及工作组 .....	31
2.3 BACnet 标准的主要组成内容和概要 .....	32
2.3.1 BACnet 标准的主要组成内容 .....	32
2.3.2 BACnet 标准概要 .....	38
2.4 国际和国内推广 BACnet 标准的组织 .....	43
2.4.1 ASHRAE SSPC 135 委员会 .....	43
2.4.2 BACnet International .....	43
2.4.3 BACnet Interest Group Europe (BIG-EU) .....	43
2.4.4 Caba .....	44
2.4.5 IPC .....	44
2.4.6 PCI-SIG .....	44
2.4.7 ARCnet Trade Association (ATA) .....	44
2.4.8 BMA-BACnet 制造商协会 .....	44
2.4.9 国内的相关组织 .....	44
2.4.10 国内近两年来开展关于 BACnet 标准技术交流的情况 .....	45
2.5 BACnet 认证和 BTL 测试 .....	46
<b>第 3 章 BACnet 协议的体系结构和应用层</b> .....	48
3.1 OSI 七层参考模型和 BACnet 简化体系结构的提出 .....	48
3.1.1 OSI 七层参考模型及各层级数据的组织形式 .....	48
3.1.2 BACnet 简化体系结构的提出 .....	51
3.2 BACnet 简化的体系结构和支持的局域网 .....	52
3.2.1 BACnet 简化的体系结构和各层功能 .....	52
3.2.2 BACnet 标准支持的局域网 .....	53
3.3 BACnet 网络中的一些基本组件 .....	54
3.3.1 BACnet 网络中的物理网段、网段和网桥 .....	54
3.3.2 节点、半路由器和路由器 .....	54
3.4 BACnet 网络的拓扑结构 .....	55
3.5 应用层 .....	57



3.5.1	应用层的模型	57	5.3	BACnet/IP 网络	102
3.5.2	有证实的应用层服务和无证实的 应用层服务	59	5.3.1	BACnet/IP 互联网	103
3.5.3	BACnet 报文的分段	59	5.3.2	BVLL 协议	106
3.5.4	BACnet APDU 的传输	60	5.3.3	BBMD 和 FD	108
3.5.5	应用层协议状态机	63	5.3.4	BACnet/IP 网络互联及路由器	111
3.5.6	BACnet 对象	66	5.3.5	BACnet/IP 和 BACnet 设备的混合 网络	113
3.5.7	BACnet 标准的应用层服务	70			
3.5.8	应用层协议时序图	72	<b>第 6 章</b>	<b>BACnet 标准与 PTP 及 MS/TP 网络</b>	116
<b>第 4 章</b>	<b>BACnet 的网络层、物理层和 数据链路层</b>	77	6.1	MS/TP 控制总线	116
4.1	BACnet 网络层功能及对网络层的 说明	77	6.1.1	MS/TP 协议	116
4.1.1	BACnet 网络层功能	77	6.1.2	MS/TP 控制总线的基本组网 方式	116
4.1.2	BACnet 网络层与 TCP/IP 网络层 的区别	77	6.1.3	接收数据帧状态机和 Master 节点 状态机	118
4.2	BACnet 网络层服务与 PDU 结构	80	6.1.4	BACnet 数据包接收、发送和提高 BACnet MS/TP 设备数据访问 速度	119
4.2.1	BACnet 网络层服务	80	6.1.5	MS/TP 网络物理层中的 RS-485 总线	119
4.2.2	BACnet 网络层 PDU 结构	81	6.1.6	一个在 MCU 中实现的 BACnet- MS/TP 协议软件框架	122
4.3	网络层协议报文和运行规程	82	6.2	PTP 网络	123
4.3.1	网络层协议报文	82	6.2.1	BACnet PTP 通信	123
4.3.2	网络层协议运行规程	83	6.2.2	BACnet PTP 通信的服务规范	123
4.4	BACnet 路由器	85	6.2.3	PTP 的数据链路帧格式	124
4.4.1	路由表和路由表的管理方式	86	<b>第 7 章</b>	<b>BACnet 标准与 LON 及 ARCnet 网络</b>	126
4.4.2	路由器的运行和路由器流量 控制	86	7.1	LonWorks 网络	126
4.4.3	一种 BACnet 路由器产品	87	7.1.1	LonWorks 技术的主要组成	126
4.5	BACnet 数据链路和物理层规范	88	7.1.2	LonTalk 协议	127
4.5.1	BACnet 数据链路/物理层支持和 自定义的局域网技术	88	7.1.3	Neuron 神经元芯片	137
4.5.2	BACnet 的以太网规范	88	7.1.4	收发器	139
4.5.3	BACnet 的 ARCnet 局域网规范	89	7.1.5	LonWorks 节点技术	140
4.5.4	MS/TP 局域网规范	90	7.1.6	Neuron C 语言	141
4.5.5	BACnet 网络架构	94	7.1.7	I/O 对象	145
<b>第 5 章</b>	<b>BACnet/IP 网络</b>	95	7.1.8	网络变量	146
5.1	IP 网络与 BACnet/IP 互联协议的 提出	95	7.1.9	LON 网络	148
5.1.1	TCP/IP 体系中的 IP	95	7.1.10	LonWorks 总线网络在 BAS 中的 应用	152
5.1.2	BACnet/IP 网络的互联与 BACnet/IP 互联协议的提出	99	7.1.11	LonWorks 总线网络与 Internet 的 互联	152
5.2	B/IP PAD 技术	100	7.1.12	i. LON 600 LonWorks/IP 服务器	153
5.2.1	B/IP PAD 技术 (隧道技术) 的 基本原理	100			
5.2.2	B/IP PAD 的实现结构	100			

7.1.13 计算机网络与 LonWorks 控制网络的比较 .....	154	8.5.3 10000Base-LR、10000Base-L4、10000Base-SR .....	187
7.1.14 LonWorks 系统的设计 .....	154	8.5.4 10000Base-SW .....	188
7.1.15 LonWorks 网络控制技术系统开发实例 .....	157	8.5.5 万兆位以太网物理层标准和组网距离 .....	188
7.2 ARCnet .....	162	8.5.6 万兆位以太网的应用 .....	189
7.2.1 ARCnet 概述 .....	162	8.6 以太网信号帧结构 .....	189
7.2.2 ARCnet 逻辑环建立和数据的接收与发送 .....	163	8.7 物理层中数据的组织形态 .....	192
7.2.3 ARCnet 的实时性 .....	164	8.8 全双工交换式以太网 .....	193
7.2.4 数据链路层 .....	166	8.8.1 交换式以太网 .....	193
7.2.5 ARCnet 网卡和集线器 .....	168	8.8.2 全双工交换式以太网 .....	194
7.2.6 ARCnet 的网络结构和最大网络长度 .....	168	<b>第 9 章 工业以太网与实时以太网</b> .....	197
<b>第 8 章 BACnet 标准与以太网</b> .....	171	9.1 工业以太网与实时以太网概述 .....	197
8.1 以太网的标准系列 .....	171	9.1.1 工业网络 .....	197
8.1.1 IEEE 802 标准系列 .....	171	9.1.2 以太网、工业以太网和实时以太网 .....	197
8.1.2 IEEE 802.3 以太网标准 .....	172	9.1.3 关于现场总线和实时以太网的 IEC 61158 标准 .....	198
8.2 典型以太网技术 .....	173	9.1.4 工业以太网与普通商用以太网产品 .....	199
8.2.1 10Base-T 网络 .....	173	9.1.5 工业以太网的速度和覆盖距离 .....	200
8.2.2 10Base-F 网络 .....	174	9.1.6 全双工及自动协商 .....	200
8.2.3 IEEE 802.3u 快速以太网 .....	174	9.1.7 一个工业以太网控制系统 .....	201
8.2.4 千兆位以太网 .....	177	9.2 设计和实现工业以太网应用系统要考虑的部分因素 .....	202
8.3 从标准以太网、快速以太网到千兆位以太网的升级 .....	180	9.2.1 传输介质与拓扑结构 .....	202
8.3.1 网络环境需要更高的带宽 .....	180	9.2.2 以太网和控制网络的集成及硬件设备可靠性解决方案 .....	203
8.3.2 交换机到交换机连接信道的升级 .....	180	9.3 关于工业以太网和实时以太网技术的问题 .....	203
8.3.3 交换机到服务器连接信道的升级 .....	180	9.4 Ethernet/IP .....	205
8.3.4 对交换式快速主干以太网的升级 .....	181	9.4.1 Ethernet/IP 通信协议模型 .....	205
8.3.5 网络升级的一些注意事项 .....	181	9.4.2 Ethernet/IP 实时以太网系统结构 .....	207
8.3.6 从标准和快速以太网向千兆位以太网升级的举例 .....	181	9.5 PROFINET .....	208
8.4 以太网与楼宇自控网络 .....	182	9.5.1 PROFINET 简介 .....	208
8.4.1 以太网进入工控和楼宇自控领域 .....	182	9.5.2 PROFINET 通信协议模型 .....	208
8.4.2 实现千兆位以太网的方法和用于工业控制及工业环境中的千兆位以太网 .....	185	9.5.3 PROFINET 技术中的部分重要概念 .....	209
8.5 万兆位以太网 .....	186	9.5.4 PROFINET 组网拓扑和子网 .....	211
8.5.1 万兆位以太网的技术特点 .....	187	9.5.5 PROFINET 网络接口的技术规范 .....	211
8.5.2 10000Base-ER 和 10000Base-EW .....	187	9.5.6 优化的 PROFINET 网络 .....	212
		9.5.7 PROFINET 技术应用实例 .....	213
		9.6 EtherCAT .....	215

9.6.1	EtherCAT 系统的结构	216	10.1.2	BAS 的组成和监控对象	243
9.6.2	EtherCAT 网络中的主站、从站和通信协议模型	217	10.1.3	BAS 中的传感器和执行机构	244
9.6.3	EtherCAT 网络拓扑结构和传输介质	218	10.1.4	DDC 功能和结构	250
9.6.4	EtherCAT 技术特点	219	10.2	中央空调系统的冷源	252
9.7	EPA	220	10.2.1	中央空调及冷源	252
9.7.1	EPA 标准	220	10.2.2	冷水机组的分类及运行原理	252
9.7.2	EPA 通信协议和系统结构	221	10.2.3	制冷站的自动监测与控制	254
9.7.3	互通信与互操作	223	10.3	中央空调热源系统	259
9.7.4	开放性与安全	223	10.3.1	热网和自备热源	259
9.8	ModBus/TCP	224	10.3.2	电热锅炉的运行及控制	260
9.8.1	ModBus/TCP 工业以太网协议概述	224	10.3.3	热交换器及控制	260
9.8.2	ModBus/TCP 数据帧	224	10.4	新风机组及控制	261
9.8.3	ModBus/TCP 网络的体系结构及通信	224	10.4.1	新风机组的控制原理和运行状态及参量监控	261
9.9	工业以太网监控系统的结构	226	10.4.2	新风机组运行控制与节能控制	262
9.9.1	C/S 结构	226	10.5	空调机组及自动控制	263
9.9.2	B/S 结构	226	10.5.1	空调机组的安装位置关系	263
9.9.3	B/S 与 C/S 相结合的体系结构	227	10.5.2	四管制空调机组的工作原理	264
9.10	工业以太网的部分主要设备	227	10.5.3	定风量空调机组运行状态及参量监控	265
9.10.1	一个工业以太网的解决方案	227	10.5.4	定风量空调机组的运行控制与节能运行	266
9.10.2	工业以太网供电 PoE 交换机	228	10.6	风机盘管系统及控制	267
9.10.3	部分工业以太网 PoE 设备和终端	229	10.6.1	风机盘管空调系统的工作原理	267
9.10.4	工业以太网网关	229	10.6.2	风机盘管加新风系统	269
9.10.5	工业以太网中的交换机	230	10.7	变风量空调系统	270
9.10.6	工业以太网中的路由器	232	10.7.1	变风量空调系统简介	270
9.11	工业 IP 视频监控	232	10.7.2	VAV 空调系统组成	271
9.12	一些工业以太网的比较	233	10.7.3	VAV 空调机组的末端装置 (VAVBOX)	271
9.13	TCP/IP 与现场总线通信协议结构的比较	234	10.7.4	VAV 空调系统基本原理	272
9.14	工业以太网的规划安装调试	235	10.7.5	VAV 空调系统分类	273
9.14.1	工业以太网和商用以太网的主要区别	235	10.7.6	VAV 空调系统特点	276
9.14.2	MICE 环境参数和结构化布线标准	236	10.7.7	一个典型的 VAV 空调机组控制	276
9.14.3	工业以太网的网络结构和虚拟局域网	237	10.7.8	VAV 空调系统运行状态及参量监控	276
9.14.4	规划和组建一个工业以太网要考虑的问题	238	10.7.9	VAV 空调系统运行与节能控制	277
10	第 10 章 BAS 及技术	242	10.7.10	变风量空调系统的设计	279
10.1	BAS 基础知识	242	10.8	通风系统自动控制	282
10.1.1	BAS 的功能和特点	242	10.9	空调房间热负荷和湿负荷计算及新风量确定	282

10.9.1	空调房间热负荷及计算	282	11.3.3	系统集成的信息流及信息单元 矩阵描述	318
10.9.2	湿负荷及计算	284	11.4	BAS 集成的技术模式	320
10.9.3	空调房间送风量的确定和空调 系统新风量的确定	285	11.4.1	以 BMS 为中心的集成模式	320
10.10	BAS 设计的基础知识	286	11.4.2	采用 BACnet 或 LonWorks 技术的 模式	320
10.10.1	BAS 设计的范围和系统规模 确定	286	11.4.3	直接在以太网环境下进行系统 集成	320
10.10.2	通信网络设计	286	11.4.4	采用数据库集成模式	321
10.10.3	控制点规划	287	11.4.5	采用 OPC 技术及 ODBC 技术实现 智能建筑系统集成	321
10.10.4	中央管理机设计	287	11.5	BACnet 体系下的系统集成	322
10.10.5	现场分站设计	287	11.5.1	BACnet 体系在系统集成中具有 的优势	322
10.10.6	空调冷热水系统的一些参数 设置	288	11.5.2	BACnet 系统集成方法	323
10.10.7	中控室	289	11.6	智能楼宇系统集成工程应用实例	325
10.11	PID 控制	290	11.6.1	某标志建筑的智能化系统集成 工程	325
10.11.1	比例调节、积分调节和微分 调节	290	11.6.2	某大厦建筑智能化管理系统中的 系统集成案例	326
10.11.2	连续控制系统中的 PID 控制	292	11.7	智能楼宇系统集成的一部分问题 探讨	328
10.11.3	比例调节器的比例带	293	11.7.1	系统集成的一些新特点	329
10.11.4	三种调节作用的关系	293	11.7.2	使用以太网架构系统的集成技术 正在迅速发展	329
10.11.5	闭环控制和位式调节器	294	11.7.3	中间件技术在系统集成中的重大 作用	330
10.12	中央空调系统各子系统设计 要点	296	<b>第 12 章 BACnet 网关以及 BACnet 网络与异构网的互联</b>	331	
10.12.1	冷水机组控制系统设计要点	296	12.1	BACnet 网络的互操作域	331
10.12.2	新风机组、空调机组及风机 盘管控制设计要点	296	12.1.1	描述设备的通用方式和分层次的 体系结构	331
10.13	部分典型 BAS 的软硬件架构	297	12.1.2	BACnet 的互操作模型	331
10.13.1	卓灵 BAS	297	12.2	BACnet 网关	333
10.13.2	施耐德 TAC BAS	299	12.2.1	BACnet 网关的主要作用	333
10.13.3	METASYS BAS	302	12.2.2	一种支持 BACnet 总线的无线 传感器网关	334
10.13.4	BACTalk BAS	304	12.2.3	LonWorks 网络与 BACnet 网关	334
10.13.5	西门子 Apogee BAS	308	12.2.4	ModBus 与 BACnet MS/TP 互联的 网关主要技术参数	336
<b>第 11 章 系统集成</b>		314	12.3	部分网关产品及性能参数	337
11.1	BAS 集成概述	314	12.3.1	Rogerwe II 网关 (通信协议转换器 PC-GATEWAY)	337
11.1.1	BAS 的系统集成	314	12.3.2	EIB 转 BACnet /IP 网关	338
11.1.2	系统集成概念的扩充	315	12.3.3	ModBus RTU 转 LonWorks	
11.2	系统集成的特点和系统集成的基本 思想	316			
11.2.1	系统集成的特点	316			
11.2.2	系统集成的基本思想	316			
11.2.3	BAS 集成的步骤	317			
11.3	系统网络结构设计和系统集成的 水平层次	317			
11.3.1	系统网络结构设计	317			
11.3.2	系统集成的水平层次	318			

网关 .....	338	融合 .....	363
12.3.4 ModBus 转 BACnet/IP 网关 .....	339	14.1.1 现代建筑中的通信网络覆盖 .....	363
12.3.5 ModBus 转 BACnet MS/TP		14.1.2 网络融合 .....	364
网关 .....	339	14.2 信息域网络与测控网络的互联	
12.4 BACnet 与蓝牙网络的互联互通 .....	340	互通 .....	365
12.5 关于 BACnet 网关的开发 .....	343	14.3 短距离无线网络的互联互通 .....	368
12.5.1 BACnet 网关 .....	343	14.3.1 楼宇自控网络选择 .....	368
12.5.2 BACnet 网关开发中的程序		14.3.2 什么是短距离无线网络的互联	
调试 .....	343	互通 .....	368
<b>第 13 章 应用系统举例及分析 .....</b>	<b>345</b>	14.3.3 应用方向及前景 .....	370
13.1 BACnet 系统的说明和设计 .....	345	14.4 构建楼宇自控网络的优化模式 .....	371
13.2 应用 BACnet 协议的控制器产品		14.4.1 现有楼宇自控网络的结构特点及	
举例 .....	346	不足 .....	371
13.2.1 Delta 的 ORCA 系列产品和		14.4.2 现有楼宇自控网络的结构	
应用 .....	346	缺欠 .....	372
13.2.2 CornfortPoint 控制器及 BAS 的		14.4.3 架构楼宇自控网络的模式	
组织 .....	347	选择 .....	375
13.3 BACnet 标准在冷水机组群控方面的		14.4.4 优化的楼宇自控网络模式及	
应用 .....	350	组织 .....	376
13.3.1 系统组成 .....	350	14.5 BACnet 标准支持的楼宇自控网络的	
13.3.2 地址、设备编号与冷水机组内部		比较 .....	378
参数表 .....	350	14.5.1 性价比排序 .....	378
13.3.3 地址和通信接口绑定 .....	351	14.5.2 ISO 8802.3 局域网的优、	
13.3.4 有效的群控方法 .....	352	缺点 .....	378
13.4 BACnet 应用系统中的无线传感器		14.5.3 选用 ARCnet 的考虑 .....	379
网络 .....	352	14.5.4 选用 MS/TP 网络的考虑 .....	379
13.4.1 无线传感器网络 .....	352	14.5.5 选用 LON 网络的考虑 .....	379
13.4.2 ZigBee 网络与 BACnet 的互联 .....	354	14.6 BACnet 标准与 IPv6 .....	380
13.4.3 ZigBee 网络在 BACnet 系统中的		14.6.1 IPv6 的地址结构和地址配置 .....	380
扩展应用 .....	354	14.6.2 IPv6 地址体系结构 .....	381
13.5 基于 BACnet/Web Services BAS .....	356	14.6.3 IPv4 向 IPv6 的过渡 .....	382
13.5.1 Web 技术和 XML .....	356	14.6.4 新技术对网络地址资源的需求	
13.5.2 XML-Web Services .....	360	和 IPv6 .....	384
13.5.3 Web 集成技术 .....	361	14.6.5 BACnet 标准与 IPv6 .....	385
<b>第 14 章 BACnet 技术的发展和技术的</b>		14.7 关于 BACnet 标准有待商榷的问题 .....	386
<b>融合 .....</b>	<b>363</b>	<b>参考文献 .....</b>	<b>389</b>
14.1 现代建筑中的通信网络覆盖和网络			

# 第 1 章 工控领域和楼控领域的控制网络技术

工控领域中的控制网络叫做工业控制（以下简称“工控”）网络，直接面向生产过程和控制，承担着工业生产现场监测物理信息和传输控制信息的特殊任务，并实现各种各样特定目的工业生产现场监测和控制任务。控制网络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。

## 1.1 工控领域控制网络的发展及主要特点

### 1.1.1 控制网络技术的发展

#### 1. 什么是控制网络

在工控领域中，大量的现场控制场所中，将许多嵌入微处理器的控制器、控制装置、控制仪表、监测仪表用一个实时性好和可靠性高的可双向传输的全数字化网络连接起来，这样的—个连接网络就是控制网络。控制网络的作用域也叫控制域，控制网络也叫控制域网络，工控领域、楼控领域中的多种现场总线、控制总线都是控制网络，如 LonWorks 总线、C-Bus、EIB（欧洲安装总线）、PROFIBUS（过程现场总线）、FF（基金会总线）、RS-232 总线和 RS-485 总线等都是控制网络。控制网络也常称为控制总线。

控制网络是一种位于生产现场、用于完成自控任务的计算机网络系统。控制网络应用于企业生产现场的网络通信系统的底层，是由多个分散在生产现场、具有数字通信能力的测量控制仪表与控制器作为网络节点构成的。生产现场中的监测控制设备之间、现场设备与监控计算机之间、现场中的传感测量、控制计算机、执行器等功能模块之间的数据传递都是通过控制网络完成的。控制网络是生产现场中各控制设备、传感器和执行器之间沟通数据信息的通道。控制网络系统可以很好地完成监测和控制的—任务。

控制系统中，是将若干个监控点构成一个监控范围，采用同—种控制网络技术形成—个控制域。如果在—个系统中，采用了多种不同的控制网络技术就会形成多个离散的控制域，使用网关装置将不同的控制网络连接起来，就能将离散的控制域连通起来，将许多离散的控制域集成—个彼此连通的较大控制域。因此，控制网络选择合适与否对日后的系统扩展工作影响很大。

各类计算机、工作站、打印机、显示终端、各种可编程序控制器（PLC）、开关、电动机、变送器、阀门都可以作为控制网络的节点。在工业生产现场控制网络中，—部分节点是现场控制设备内嵌有 CPU、单片机或其他专用芯片的智能节点，节点本身具有微处理器，可以通过编制控制程序来实现常规控制和智能控制，有的节点只是功能相当简单的非智能设备。

个人计算机（PC）或其他种类的计算机、工作站可以成为控制网络的节点，但控制网络的节点大都是具有计算与通信能力的测量控制设备。具有通信能力的以下—些设备都可以作为控制网络的节点：

- 1) 限位开关、感应开关等各类开关；
- 2) 光电传感器；
- 3) 温度、压力、流量、物位等各种传感器、变送器；
- 4) 可编程序控制器；

- 5) 比例积分微分 (PID) 等数字控制器;
- 6) 监控计算机、工作站;
- 7) 各种调节阀;
- 8) 电动机控制设备;
- 9) 变频器;
- 10) 直接数字控制器 (DDC) 等。

控制网络中可以使用中继器来扩展网络, 使用网桥、网关来连接不同的局域网。

## 2. 控制网络由集中式系统向双向全数字总线网络 + 智能节点结构发展

控制网络由集中式控制结构向双向全数字总线网络 + 智能节点结构发展的过程如下: 集中式系统是将许多无智能的远程节点 (传感器和执行器) 连接到一个中央控制器上的系统, 如图 1-1 所示。当监控点数较多、系统规模较大时, 中央控制器承受的负担太重, 整个系统性能迅速下降, 使用接入一级中间智能控制器的方法, 将中央控制器的部分功能分散化, 大幅度降低系统运行时中央控制器的负担, 这样的系统如图 1-2 所示。再往后发展, 控制网络主要采用了双向全数字数据通信总线, 总线上挂接了智能传感器与执行器, 网络上的各个节点彼此之间实现了互通信, 并可以实现互操作, 形成开放性很好的控制网络, 如图 1-3 所示。随着控制系统的规模增大和复杂程度提高, 以及大区域互联并具有优良的远程监控性能和大区域覆盖控制能力, 不同的控制局域网可以通过网际协议 (IP) 网络来实现互联, 形成控制网络的网际网结构, 如图 1-4 所示。

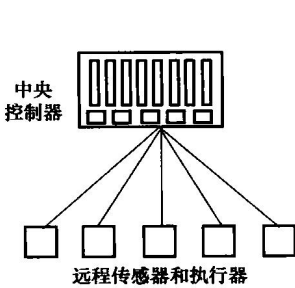


图 1-1 集中式控制结构

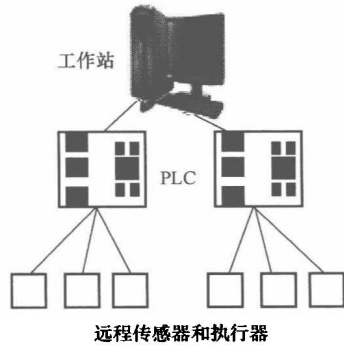


图 1-2 中央控制器部分功能分散到下一级

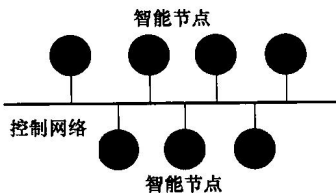


图 1-3 控制网络中挂接智能节点

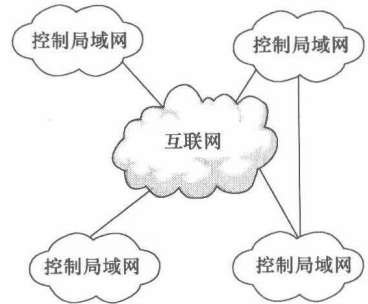


图 1-4 网际网结构

集中式系统并不适于分布式的用途, 因为集中式系统的通信能力满足不了许多分布式应用的要求, 在这种系统中, 对每一个应用都要进行专门通信模块的设计和配置, 这就导致出现封闭的专用系统和研发成本高。

### 3. DCS 和现场总线控制系统

网络控制是通过一个高效能的通信网络将监控节点分布式地组织起来, 并实现一定控制目的的控制技术, 通过网络控制技术可以实现各种复杂和不同规模系统的控制。

传统的电气设备控制方式是通过一个单一回路对一个设备进行控制。各个不同设备的控制回路之间不能够交换数据或信息, 每一个回路都是一个独立的控制域, 即使现场有多台设备, 则存在多个孤立的控制域; 彼此基本上没有关联性。现场分布着许多受控设备和相应的控制系统形成许多离散而不能连通的控制域, 使与整个控制系统对应的控制域变得复杂, 实现特定功能的监控成本较高。

随着计算机技术、现代通信技术、计算机网络技术、现代控制技术的发展, 计算机被引入控制系统, 可以对现场传感器采集的任何数据或信息进行特定的处理操作, 还可以对控制过程引入目标控制值, 通过 PID 控制算法、其他的常规逻辑控制、关联控制、顺序控制、程序控制的算法以及其他高级控制算法, 进行较为精细的控制, 通过执行机构完成特定的控制功能。这种控制方式属于集中式数字控制。集中式数字控制系统的结构还是较为简单, 并直接面向控制对象, 但没有一个通信网络架构将整个控制的核心单元纳入到一个高效能的网络体系中。

尽管将计算机引入控制系统使得一些高级控制算法得以实现, 但是随着生产过程控制的复杂化、被控对象的数量增加, 需要进行集中控制的物理回路数量大幅增加, 整个控制系统的实时性、可靠性得不到保证。同时, 系统的复杂性导致系统的支持软件系统相应变得复杂化, 升级工作难度也大为提高。

后来出现了第二代计算机控制系统——DCS (集散控制系统), DCS 的特点是“集中管理, 分散控制”。DCS 中, 现场设备之间相互通信必须经过主机, 这样一来整个系统的效率就会降低, 如果主机发生故障, 整个系统无法继续工作; DCS 中, 许多现场仪表仍然使用传统的 4 ~ 20mA 电流模拟信号, 数字化处理难度大; DCS 的开放性并不好。集中式控制结构就是 DCS。

现场总线 (是用于生产现场的设备或现场仪表互联的数据通信网络, 是一种全数字化、双向全分散、可实现现场设备和仪表互通信、互操作、开放式的通信网络。现场总线控制系统 (FCS) 将控制功能继续向现场底层方向迁移, 克服了 DCS 中的中央管理工作站 (主机) 负担过重和现场仪表及控制器之间无法实现互通信的缺点, 大大提高了控制系统的效能。

现有的不同现场总线标准种类较多, 各自独立并不兼容, 且各有自己的优势和适用范围, 用户选用哪种现场总线技术本身有一定的难度。在实际的工业应用中, 大量地存在这样一种情况: 控制系统中有多种现场总线同时存在, 如果要求将工控系统和管理域的数据信息网络进行无缝集成, 实现管理控制一体化, 对应地会使系统功能组态复杂化。还有现场总线技术在本质安全方面和数据传输速率方面都存在明显不足。

随着以太网技术的深入发展以及将以太网技术引入工控领域, 其技术优势非常明显, 以至于业界将现场总线视为传统的控制网络, 而将以太网中的工业以太网和实时以太网作为现代控制网络。

#### 1.1.2 控制网络的主要特点

##### 1. 控制网络通信的实时性与可靠性

控制网络 (工业控制网络) 中, 数据传输的实时性与被控系统响应具有很好的实时性和可靠性是其基本属性, 也是对通过控制网络组织的控制系统最基本的要求。

控制网络能够很好地支持实时数据信息的通信。实时性是指在网络通信过程中, 能够实时采集过程参数, 实时对采集到的数据信息进行计算及相关处理, 并迅速反馈给系统而完成过程控制, 满足过程控制对控制系统的响应时间的要求, 响应具有完全的确定性。控制网络在处理定时



事件和随机事件时，可以按照指定的策略依顺序进行实时处理。

一般来讲，控制网络通信过程中的数据信息量不是很大，多为简短的小数据量的测控指令，因此控制网络的数据传输速率一般不是很高，如传输速率一般不高于 1Mbit/s，但实时响应时间要求较高，为 0.01 ~ 0.5s。控制网络当然应具备一定的鲁棒性。

### 2. 采用同一通信协议时不同网络产品具有很好的兼容性

控制网络种类较多，主要的区别是彼此之间采用不同的通信协议和标准，一般情况下，只要采用了相同的通信协议或标准，不同厂商生产的相同的网络核心产品及组件能够互换互用、互连互通，控制网络构建的控制系统具有很好的开放性。换言之，既能够实现互通信，并在互通信的基础上实现互操作。因此，各制造商的产品要通过相应的一致性测试及互操作性测试，并通过专门的测试认证。

### 3. 网络通信具有极高的可靠性

控制网络必须连续运行，如果出现中断和故障都会导致控制系统的瘫痪，直接造成重大的生产损失及设备和人员损失，甚至出现安全事故。所以控制网络的通信过程及网络本身必须具有极高的可靠性，如要求过程数据信息和操作指令数据信息实现零丢包率。

通信的高可靠性表现在以下 3 个方面：

1) 网络设备质量优良。网络自身不易发生故障，平均故障间隔时间长，网络本身具备优良和有效的差错控制技术。

2) 容错能力强。网络系统局部单元出现故障时，不会导致整个控制系统的非正常工作。

3) 可维护性好。故障发生后，能及时发现和及时处理，通过维修使网络及时恢复。网络本身具有很强的自诊断能力，且能迅速排除故障。

### 4. 优良的适应恶劣环境的能力

控制网络能够在恶劣的生产现场环境下，保证数据通信有很高的可靠性。恶劣的生产现场环境包括：环境温度与湿度变化范围大和变化剧烈；空气质量很差，空间中粉尘污染严重；振动干扰源多且强度大；电磁干扰严重等。控制网络设备必须能够耐振动、适合在大温差环境下工作；耐腐蚀、防尘、防水能力强；电磁环境适应性强以及电磁兼容性好等。因此，控制网络设备需要经过严格的设计和测试。

### 5. 具备很高的网络安全性

控制网络构建的控制系统负责重要的生产过程和设备的控制及管理，网络系统的安全也至关重要，抵御恶意的非法入侵、保证监控信息安全的特定流向，都是网络应具备的基本属性。

## 1.2 控制网络和信息网络的主要区别及常用的控制网络

### 1. 控制网络和信息网络的主要区别

信息网络的作用域是一般意义的信息域，因此信息网络也叫信息域网络。对信息网络在以下方面不做较为苛刻的要求：既不要求网络具有强实时性和数据信息必须具有不能丢失的高可靠性和非常高的安全性，也不要求网络常年工作在恶劣的现场环境条件中。

#### (1) 网络传输的数据信息量大小不同

控制网络传输的信息多为短帧信息，数据信息量小，且信息交换频繁；而信息网络传输及处理的数据信息量一般较大，传输和处理多媒体文件、视音频文件是信息网络的工作常态，信息网络中信息交换也远比不上控制网络频繁。

#### (2) 数据信息流向有各自不同的规律

控制网络域中各种节点设备和现场传感器、变送器之间的数据信息流向是确定的，即从传感