

中国矿业大学研究生教材

Kongzhi Wangluo Yu Xianchang Zongxian

控制网络与现场总线

丁恩杰 刘晓文 赵小虎 马方清 编著

KONGZHI WANGLUO YU XIANCHANG ZONGXIAN
China University of Mining and Technology Press

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

TP273

438

2006

中国矿业大学研究生教材

控制网络与现场总线

丁恩杰 刘晓文 编著
赵小虎 马方清

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书简要介绍了计算机工业过程控制技术的发展过程,详细论述了 DCS、CIMS 系统及流程工业信息化技术,全面介绍了 CAN 总线的技术规范及基于 CAN 智能电子装置的设计开发实用技术,并就现场总线控制系统集成技术、工业以太网技术、Ethernet/IP 技术和工业组态软件进行了较为全面的介绍。本书内容丰富、新颖,侧重于基本理论和工程应用与开发,反映了国内外工业自动化及信息技术的最新研究成果。

本书可作为信息工程、自动化等专业研究生、本科生的教材或参考书,也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

控制网络与现场总线/丁恩杰等编著. —徐州:中国
矿业大学出版社,2006. 11
ISBN 7 - 81107 - 461 - 3

I. 控… II. 丁… III. 总线—自动控制系统
IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 137671 号

书 名 控制网络与现场总线
编 著 丁恩杰 刘晓文 赵小虎 马方清
责任编辑 何 戈
责任校对 杜锦芝
出版发行 中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail cumtpvip@cumtp.com
排 版 中国矿业大学出版社排版中心
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
经 销 新华书店
开 本 787×960 1/16 印张 18.5 字数 350 千字
版次印次 2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷
定 价 30.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

众所周知,计算机控制系统已经从集中控制系统发展到了 CIMS 系统和现场总线控制系统,随着信息技术的飞速发展,对工业自动化提出了越来越高的要求。一方面要求工业自动化系统采用现场总线技术、信息技术和通信技术的发展优势,优化工业自动化的体系结构,提高工业自动化的整体性和稳定性;另一方面,企业信息系统的发展,要求自动化系统的组成部分具有网络功能和开放性,克服自动化或信息化孤岛问题,利用信息技术、网络技术和开放性技术,构建企业的信息化网络平台,实现企业的信息化。

现场总线诞生于 20 世纪 80 年代中期,到目前已经趋于实用化并得到了广泛的应用,现场总线的标准也从 2000 年 1 月 4 日通过的 IEC61158 国际标准的 8 种类型变为了 18 种,最突出的变化是工业以太网进入现场总线标准,并发展迅猛,有取代现有总线成为事实上的统一的标准总线的趋势。但是,我们也看到,工业以太网中专有技术的发展使得实现现场总线标准的统一还有待时日。现场总线系统在节省控制电缆,缩短设计、安装调试周期,优化管理,预测检修和预防维修方面有着明显的优越性,体现了信息化技术在工业自动化领域的发展,代表工业自动化的发展方向。

从整体上看,我国传统产业在技术装备、能源和原料消耗、产品质量和管理水平方面与发达国家相比仍存在很大差距。提升、改造传统产业的关键,是软件技术和硬件技术的开发与应用。软件技术包括:先进控制技术,过程优化技术,实时监控软件平台,系统集成技术等;硬件技术包括:计算控制系统,现场总线控制系统,智能传感器技术,成套专用控制装置等。应用自动化技术、信息技术和计算机技术,实现以提高经济效益为总体目标的传统产业的技术改造,已经成为提高综合国力的重要手段之一。

本书第 1 章简述了计算机控制技术的发展,介绍了计算机控制系统的基本组成及其主要实现的功能,并对计算机控制系统的分类、控制规律、控制系统性能指标、计算机控制系统研究方向等进行简介;第 2 章首先介绍了集散控制系统的发展过程、技术要点和基本组成,并进一步介绍了集散控制系统的结构特征和分类;第 3 章介绍了 CIMS 的基本概念,CIMS 的基本组成要素及作用,CIMS 的体系结构和 CIMS 的发展趋势;第 4 章介绍了离散工业和流程工业的基本分类,流程工业信息化体系结构,三层构架体系在煤矿信息化中的应用和相关核心技

术;第5章介绍了现场总线控制系统的集成技术,包括:系统集成的含义、现场总线控制系统集成框架、现场总线控制系统集成方法、现场总线控制系统集成的原则、现场总线控制系统集成时应注意的问题、现场总线的选型、工业企业网等,并以实例说明现场总线技术的集成;第6章介绍了控制器局域网 CAN 总线的性能特点和技术规范、CAN 总线的相关器件;第7章介绍了 CAN 的开发与设计,其中包括 SJA1000 的功能介绍和系统组成、CAN 总线通信控制、PeliCAN 特殊功能介绍等;第8章介绍了工业以太网和 EtherNet/IP,包括:以太网及 TCP/IP、工业以太网、EtherNet/IP、EtherNet/IP 设备开发、EtherNet/IP 组网、EtherNet/IP 应用实例等;第9章介绍了工业过程控制组态软件,包括:组态软件产生的背景、组态软件在我国的发展及国内外主要产品介绍、组态软件的功能特点及发展方向、组态软件比较,并较为详细地介绍了 iFIX 组态软件且以实例说明了 iFIX 组态软件的应用。

本书是作者近年来科研和教学工作的部分总结,是在本科生和研究生课程教学基础上整理修改而成的。本书第1章至第4章由马方清编写,第5章由丁恩杰编写,第6章、第7章由刘晓文编写,第8章、第9章由赵小虎编写。

作者在此感谢在书稿编写中提出宝贵建议和指导的老师及专家,还要感谢在书稿整理过程中做了很多工作的同事和研究生。由于作者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳切希望读者不吝赐教。

作 者

2006年10月

目 录

1 计算机控制系统	1
1.1 计算机控制系统的发展	1
1.1.1 典型计算机控制系统	2
1.1.2 计算机控制系统的特点	5
1.1.3 计算机控制系统的分类	7
1.2 计算机控制系统的结构与组成	12
1.2.1 控制对象	12
1.2.2 执行器	13
1.2.3 测量环节	13
1.2.4 数字调节器与输入输出通道	14
1.3 计算机控制系统的性能指标	14
1.4 计算机控制研究的内容	15
1.4.1 数学描述和分析方法	15
1.4.2 计算机控制系统设计	15
1.5 计算机控制系统的发展方向	16
1.5.1 最优控制	16
1.5.2 自适应、自学习和自组织系统	16
1.5.3 系统辨识	16
1.5.4 分级控制	16
2 集散控制系统(DCS)	17
2.1 集散控制系统的发展阶段	17
2.1.1 第一阶段:1975~1980年	17
2.1.2 第二阶段:1980~1985年	17
2.1.3 第三阶段:1985年以后	18
2.2 集散控制系统的技术要点	19
2.2.1 分级递阶结构	19
2.2.2 分散控制	20

2.2.3 局域通信网络	21
2.2.4 高可靠性	22
2.3 集散控制系统的基本构成	23
2.3.1 集散控制系统各层的功能	23
2.3.2 集散控制系统的基本组成	25
2.4 集散控制系统的结构特征和分类	27
2.4.1 集散控制系统的结构特征	27
2.4.2 集散控制系统的结构分类	31
3 CIMS 概论	32
3.1 概述	32
3.2 CIMS 的基本要素及其作用	34
3.2.1 人/机构在 CIMS 中的作用	34
3.2.2 管理在 CIMS 中的作用	35
3.2.3 技术在 CIMS 中的作用	36
3.3 CIMS 的基本组成	37
3.3.1 管理信息分系统	37
3.3.2 工程设计自动化分系统	38
3.3.3 制造自动化分系统	38
3.3.4 质量保证分系统	38
3.3.5 计算机通信网络分系统	39
3.3.6 数据库分系统	39
3.4 CIMS 体系结构	39
3.4.1 集成制造系统体系结构的定义	39
3.4.2 集成制造系统体系结构的分类	39
3.5 CIMS 技术的发展	46
3.5.1 并行工程	46
3.5.2 敏捷制造	48
3.5.3 拟实制造	50
3.5.4 精益生产	52
3.5.5 绿色制造	55
4 流程工业信息化建设	57
4.1 离散工业和流程工业	57

4.1.1 离散工业的特点	57
4.1.2 流程工业的特点	58
4.1.3 流程工业 CIMS 与离散工业 CIMS 的主要区别	59
4.2 流程工业信息化体系结构	61
4.2.1 普渡企业参考体系结构	61
4.2.2 基于三层构架的流程工业现代集成制造系统	62
4.3 三层构架体系在煤矿信息化中的应用	73
4.3.1 过程控制层(PCS)	75
4.3.2 生产执行层(MES)	75
4.3.3 资源管理层(ERP)	76
4.4 核心技术	76
4.4.1 统一的综合网络传输平台	76
4.4.2 统一的数据处理中心——数据仓库	76
5 现场总线控制系统的集成技术	78
5.1 系统集成的含义	78
5.2 现场总线控制系统集成框架	81
5.2.1 过程控制层	81
5.2.2 制造执行层	82
5.2.3 企业资源规划层	82
5.3 现场总线控制系统集成方法	83
5.3.1 FCS 和 DCS 的集成方法	84
5.3.2 FCS 和网络的集成方法	86
5.4 现场总线控制系统集成的原则	88
5.5 现场总线控制系统集成时应注意的问题	89
5.5.1 项目是否适于使用现场总线	89
5.5.2 系统实时性要求	90
5.5.3 采用什么样的系统结构配置	90
5.5.4 网络具有什么样的性能	91
5.5.5 如何与车间自动化系统或企厂自动化系统连接	91
5.6 现场总线的选型	91
5.6.1 通信需求	92
5.6.2 技术先进性	93
5.6.3 应用领域	93

5.6.4 有无应用先例	94
5.6.5 市场因素	94
5.7 工业企业网	95
5.7.1 工业企业网的基本概念和特性	95
5.7.2 工业企业网的发展历程	95
5.7.3 控制网络与信息网络的互联	96
5.7.4 工业企业网的体系结构	97
5.7.5 工业企业网的一般实现结构	100
5.7.6 以现场总线与 Intranet 为基础的工业企业网结构	102
5.8 现场总线控制系统集成实例	106
5.9 本章小结	108
6 控制器局域网总线——CAN	110
6.1 CAN 的性能特点	110
6.2 CAN 的技术规范	111
6.2.1 CAN 的一些基本概念	111
6.2.2 CAN 节点的分层结构	113
6.2.3 报文传送及其帧结构	114
6.2.4 错误类型和界定	121
6.2.5 位定时与同步	123
6.2.6 CAN 总线媒体装置特性	125
6.3 CAN 总线有关器件介绍	130
6.3.1 CAN 通信控制器 SJA1000	131
6.3.2 通用寄存器	171
7 CAN 的开发与设计	178
7.1 功能回顾	178
7.1.1 SJA1000 的功能小结	178
7.1.2 CAN 模块的结构	179
7.1.3 功能概图	180
7.2 系统构成	181
7.2.1 SJA1000 的应用	181
7.2.2 电源	181
7.2.3 复位	183

7.2.4	振荡器及时钟的提供方法	183
7.2.5	CPU 接口控制	184
7.2.6	物理层接口	184
7.3	CAN 通信的控制	186
7.3.1	控制 SJA1000 通信的基本功能和控制寄存器	186
7.3.2	发送/接收缓冲器	187
7.3.3	认可滤波器	188
7.4	CAN 通信功能的应用	194
7.4.1	初始化	194
7.4.2	数据的发送	197
7.4.3	中止发送	199
7.4.4	接收报文	199
7.4.5	中断	204
7.5	PeliCAN 方式的特殊功能	207
7.5.1	接收栈/报文计数器/直接内存访问	207
7.5.2	错误分析功能	209
7.5.3	仲裁丢失捕捉	213
7.5.4	单次发送	215
7.5.5	监听模式	215
7.5.6	波特率自动检测	216
7.5.7	CAN 自检	217
7.5.8	接收定时脉冲	218
8	工业以太网和 EtherNet/IP	219
8.1	以太网及 TCP/IP	219
8.1.1	以太网概况	219
8.1.2	以太网的物理层	220
8.1.3	以太网的数据链路层	224
8.1.4	TCP/IP 概况	225
8.1.5	TCP/IP 网络层	226
8.1.6	TCP/IP 传输层	229
8.1.7	TCP/IP 应用层	230
8.2	工业以太网	231
8.2.1	工业以太网的基本概念	231

8.2.2 工业以太网的关键技术	234
8.3 EtherNet/IP	238
8.3.1 概况	238
8.3.2 EtherNet/IP 网络模型	239
8.3.3 CIP 的封装	240
8.3.4 EtherNet/IP 底层	243
8.4 EtherNet/IP 设备开发	244
8.4.1 需求分析	245
8.4.2 硬件开发	246
8.4.3 软件开发	247
8.5 EtherNet/IP 组网	248
8.5.1 系统规划	248
8.5.2 网络规划与网络安装	249
8.5.3 设备配置	250
8.6 EtherNet/IP 应用实例	251
8.7 本章小结	251
9 工业过程控制组态软件	253
9.1 组态软件产生的背景	253
9.2 组态软件在我国的发展及国内外主要产品介绍	254
9.3 组态软件的功能特点和发展方向	256
9.3.1 数据采集的方式	256
9.3.2 脚本的功能	256
9.3.3 组态环境的可扩展性	257
9.3.4 组态软件的开放性	257
9.3.5 对 Internet 的支持	257
9.3.6 组态软件的控制功能	258
9.3.7 组态软件的发展趋势	258
9.3.8 组态软件功能的变迁	259
9.3.9 用户对组态软件的需求变化	259
9.4 组态软件比较	260
9.4.1 iFIX 组态软件	261
9.4.2 Cimplicity 组态软件	261
9.4.3 InTouch 组态软件	262

9.4.4 WinCC 组态软件	262
9.4.5 数据点管理	262
9.4.6 网络功能	263
9.4.7 通信功能	263
9.4.8 管理方面	263
9.4.9 加锁方法	264
9.4.10 几种监控软件的综合比较	264
9.5 iFIX 组态软件介绍	265
9.5.1 iFIX 概况	265
9.5.1 iFIX 主要功能与特性	265
9.5.3 iFIX 对系统硬件的要求	271
9.6 iFIX 组态软件应用实例	271
9.6.1 iFIX 在钢厂热轧自动化系统中的应用实例	271
9.6.2 iFIX 组态软件在钢铁厂生产调度监控系统中的应用	274
9.6.3 iFIX 组态软件在电厂辅控系统中的应用	275

1 计算机控制系统

1.1 计算机控制系统的发展

在现代科学技术领域中,自动控制技术与计算机技术被认为是发展最快的两个分支。自动控制技术对于工农业生产和科学技术的发展具有越来越重要的作用。自动控制技术不仅对航空航天、导弹制导、核技术、生物工程等新兴学科领域的发展必不可少,而且在金属冶炼、仪器制造以及一般工业过程生产如煤炭、建筑、石化等同样具有重要的意义,计算机控制技术对工业过程实现自动控制、提高生产效率、改善劳动强度、高产稳产、提高经济效益起到决定性作用。古典控制理论是在 20 世纪 40 年代发展起来的,现在仍是分析、设计自动控制系统的主要理论基础,应用较多的是频率法和根轨迹法。这些方法用来处理单输入单输出(SISO)的单变量线性系统控制非常有效。生产力的发展,使控制对象越来越复杂,自动控制要解决的问题也越来越难,出现了 MIMO 多变量系统、非线性系统、系统参数随时间变化的时变系统、分布参数控制系统以及最优控制系统等。古典控制理论难以分析设计上述复杂系统。进入 20 世纪 60 年代,逐渐形成了以状态空间法为基础的现代控制理论,现代控制理论的形成与发展为数字计算机应用于自动控制领域创造了条件。

生产技术的进步和科学技术的发展,要求有更加复杂、更加完善的控制装置,以期达到更高的精度、更快的速度和更大的经济效益,而常规控制方法却难以满足如此高的性能要求。电子计算机的出现并应用于自动控制,使得自动控制发生了巨大飞跃。因为电子计算机具有精度高、速度快、存储量大以及具有逻辑判断的功能等,因此可以实现高级复杂的控制算法,获得快速精密的控制效果。电子计算机所具有的信息处理能力,能够将过程控制和生产管理有效结合起来,从而对工厂、企业或企业体系的管理实现信息自动化和信息资源共享。

计算机控制技术的发展始于 20 世纪 50 年代。20 世纪 70 年代以后,由于微电子技术迅猛发展,计算机技术本身也得到飞速发展,每 5~8 年计算机的速度提高约 10 倍,其体积缩小 90%,成本降低 90%。现代计算机在速度、性能、可靠性、能耗、性价比等方面都有了突飞猛进的变化,一台普通的个人 PC 其运算速度已经相当于原来的大型机甚至巨型机的速度。计算机信息处理能力也从数

字发展到文字,从黑白到彩色,从无声到有声,从本地到远方。计算机正向微型化、网络化、智能化方向发展。

计算机控制理论是以自动控制理论和计算机技术为基础发展起来的,是一门新兴学科,与自动控制理论和计算机技术有密切关系。早在 20 世纪 50 年代就形成采样控制系统理论,随着计算机控制技术的推广和应用,人们不断总结、提高,逐步形成了计算机控制理论。计算机控制已成为自动控制的重要手段,广泛应用于各种生产过程和生产设备,构成计算机控制系统。计算机控制系统的分析与设计方法也在不断得到提高与完善。

1.1.1 典型计算机控制系统

计算机控制的应用领域非常广泛,控制对象从小到大,从简单到复杂。计算机可以控制单台或单个阀门,也可以控制和管理一个车间、整个工厂、一座大厦以至整个企业。计算机控制既可以是单回路参数的简单控制,也可以是复杂控制规律的多变量解耦控制、最优控制、自适应控制乃至具有人类智慧的智能控制。下面介绍几个典型的计算机控制系统,以对计算机控制有一个概貌性的认识,了解计算机控制系统的结构、功能以及计算机控制的特点。

例 1.1 制冷过程计算机控制系统。

某工厂的冷库是国内第一个采用计算机控制的万吨级冷库,它有三个制冷系统,即结冻系统、低温冷藏系统和高温冷藏系统。采用计算机对制冷工艺进行实时控制,要求为:

- (1) 实现能量匹配的自动调节,以提高制冷效率。
- (2) 对各制冷系统作闭环调节,使高温、低温冷库分别实现恒温控制,结冻系统达到速冻、低耗。
- (3) 对现场参数实现巡回监测、报警监测。

制冷控制是以 1 台工控机为中心,通过 AI 通道、DI 通道以及中断扩展接口,采集有关工艺参数,并送到计算机进行运算、分析和判断,再通过 AO、DO 通道以及有关接口进行调节控制。当主机检修时,可进行人工集中检测和遥控。控制系统的结构如图 1.1 所示。

计算机控制系统的功能:

- (1) 通过 AI 通道对现场 75 路温度、5 路压力的参数进行巡回监测,定时打印制表。

- (2) 对现场 84 个限值监视点进行声、光报警监视。

- (3) 对温度进行闭环控制,包括:

- ① -15℃高温冷藏库房(5 间)恒温调节;

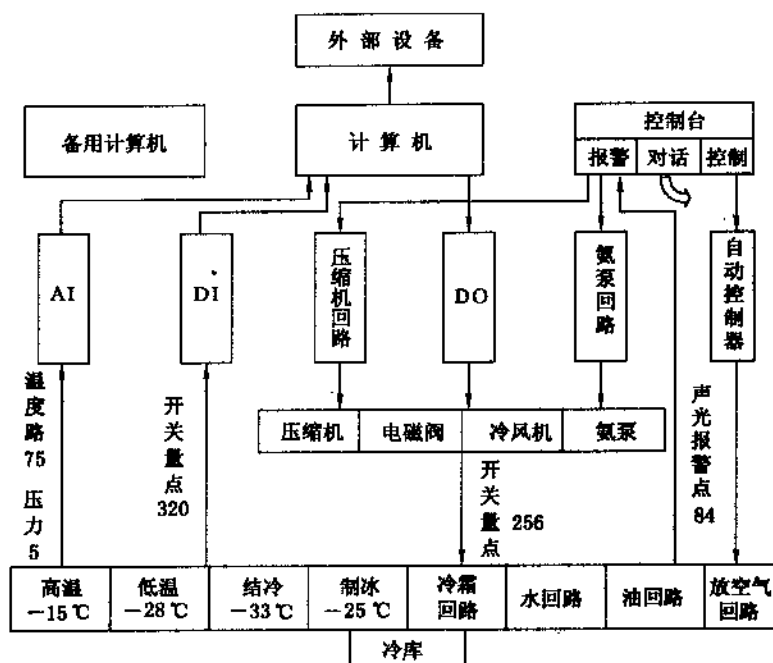


图 1.1 制冷过程计算机控制系统

- ② -28°C 低温冷藏库房(34 间)恒温调节;
- ③ -33°C 结冻系统(8 间)进行速冻、低耗的最优控制;
- ④ 系统蒸发温度的调节。
- (4) 自动启停和能量匹配,包括:
 - ① 对 10 台氨压缩机进行自动起停、配组及能量匹配控制;
 - ② 对氨泵回路进行自动起停控制;
 - ③ 对冷风机进行自动起停控制。
- (5) 事故处理,包括:
 - ① 设备异常事故的处理及备用设备的投入运行;
 - ② 系统及重要设备的事故处理。

制冷过程计算机控制系统操作简便、维修容易、切换灵活、投资少、见效快,系统运转较为稳定可靠,在保鲜质量、降低食品干耗、节约电能、减轻劳动强度、安全生产等方面取得了显著的经济效果。

例 1.2 水泥厂生料系统质量计算机控制系统。

水泥厂生料系统质量控制直接影响到水泥质量,生料系统的控制对水泥厂

提高水泥质量、产量具有非常重要的意义。生料计算机控制系统(图 1.2)是典型的基础控制与先进控制的例子。

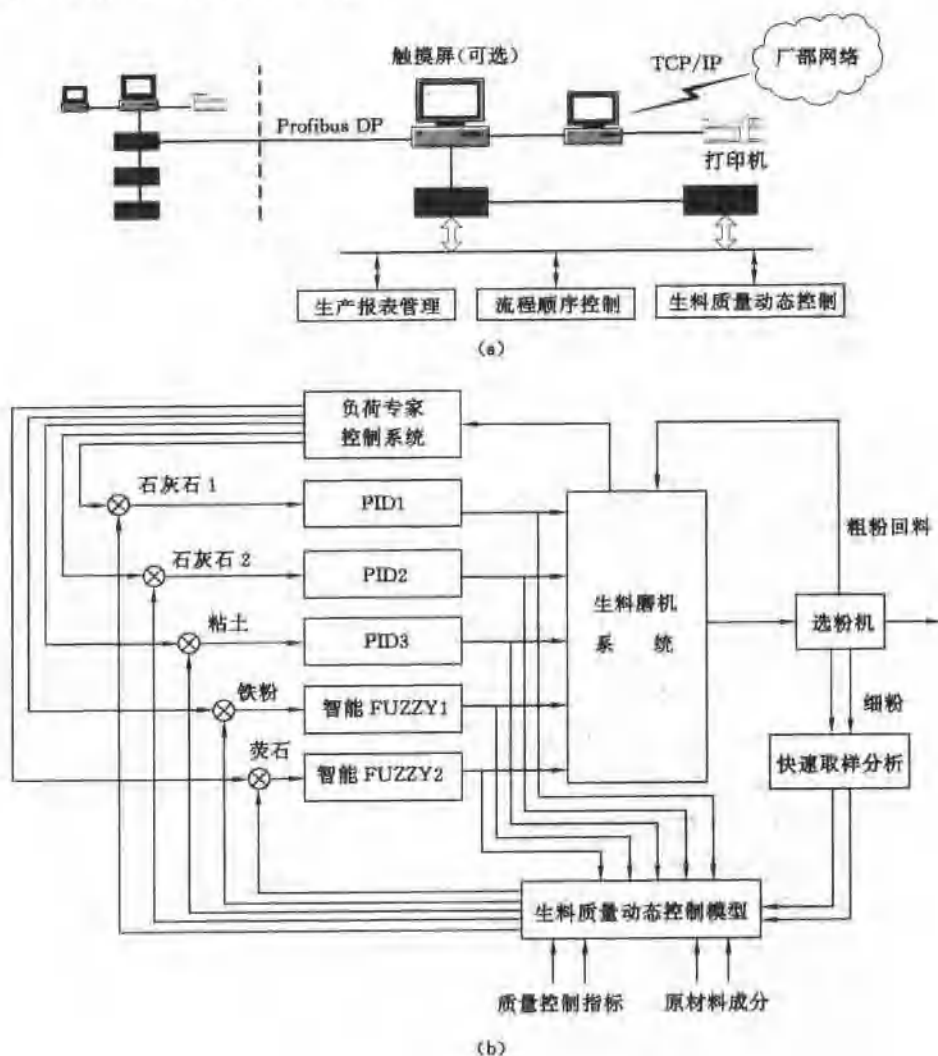


图 1.2 生料计算机控制系统

计算机控制系统的基本功能包括：

- (1) 生料生产过程控制(设备控制有起停、急停、就地、集中、逻辑闭锁等)。
- (2) 石灰石、铁粉、粘土、萤石配料闭环控制。

(3) 生料磨机负荷最优控制;磨机轴瓦温度检测与控制。

(4) 生料率值质量先进控制。

水泥生料系统质量控制在全厂 DCS 中实现,作为 DCS 系统的子环节,计算机控制系统的主要功能为:

(1) 模拟量输入 20 路,完成对现场温度、仓位、给料量、磨机负荷等的检测,并直接生成产量统计报表,发送至网络服务器,以便决策层及时根据生产实际情况作出决策。

(2) 控制系统对生料磨机的负荷进行实时检测,并控制系统总的给料量,使磨机始终处于最佳负荷工作状态,防止磨机空磨和饱磨的发生。

(3) 四个给料环节通过 PID 或 FUZZY 控制,使物料配比精确,保证产品质量。

(4) 以三个率值为目标,用先进控制理论建立水泥质量控制模型,对系统实现动态质量控制,实现高产高效。

(5) 开关量输入输出 60 点,完成对生产过程设备的状态监测,对故障、超限等进行声光报警。

1.1.2 计算机控制系统的特点

计算机控制系统与常规仪表控制系统相比,在工作方式上有很多特点。图 1.3 是一个按偏差进行控制的单回路系统框图。



图 1.3 单回路控制系统

被控对象的输出 $y(t)$ 是被控量,如转速、位移、温度、压力、流量、液位、成分等。控制的目的是使被控量尽可能精确、及时地与给定信号 $r(t)$ 相等。为了对被控对象进行控制, $y(t)$ 经传感器及变送器的测量、变换后与给定信号 $r(t)$ 相比较。如有偏差,控制器将根据偏差产生控制信号 $u(t)$,通过执行机构,使被控量达到预定值。

在控制系统中,控制器是核心部分。常规控制系统的控制器是模拟电路构成的模拟控制仪表,其主要缺点是功能单一、缺乏灵活性,若改变系统的控制方案就要更换模拟控制仪表,这对工程系统是不方便的。由于模拟控制仪表是随偏差出现的时间连续起作用的,所以又称为连续控制器。以连续控制器为核心的控制系统称为连续时间控制系统。