21世纪普通高等教育规划教材

工业控制机及其网络控制系统

许立梓　程良伦　等编著
章　云　主审

机 械 工 业 出 版 社

本书从工程应用出发，介绍了工程上常用的 [illegible]工控机及外围板卡、常用的 [illegible]及其模块，由 [illegible] [illegible]组成的工业控制网络以及基于以太网的网络控制系统；介绍了信息化控制与系统集成，工业控制计算机的控制策略及实现方法，组态软件的应用技术等内容。本书还通过总结作者的科研成果，列举基于 [illegible]的网络控制系统的应用实例，阐述如何进行系统组态和软件组态。

本书可供从事 [illegible] [illegible]开发与应用、企业全集成自动化系统实施的工程技术人员参考和阅读，也可供高等院校的本科生、研究生阅读使用。

图书在版编目 ([illegible] 数据

工业控制机及其网络控制系统[illegible]谭立梓等编著[illegible]—北京：机械工业出版社，[illegible]

[illegible]世纪普通高等教育规划教材

[illegible]

Ⅰ[illegible]Ⅱ[illegible]Ⅲ[illegible]工业控制计算机[illegible]高等学校[illegible]教材

Ⅳ[illegible]

中国版本图书馆 [illegible]数据核字 ([illegible] 第[illegible]号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街[illegible]号 邮政编码[illegible]

责任编辑：贡克勤 版式设计：霍永明 责任校对：刘志文

封面设计：张 静 责任印制：

印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

[illegible]年[illegible]月第[illegible]版第[illegible]次印刷

[illegible]·[illegible]印张·[illegible]千字

定价： 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话 ([illegible]

[illegible]

封面无防伪标均为盗版

前　言

工业自动化控制系统正从传统的封闭式系统向由开放式的工业计算机软、硬件平台构成的集成系统方向发展。网络化结构、智能化现场设备和现场化控制功能是现代工业控制系统的主要特征。现代工业控制网络正体现了控制系统向网络化、集成化、分布化、节点智能化的发展趋势。工业控制网络与信息网络的集成，使构成企业的各子系统由各自独立分离的设备、功能和信息集成为一个相互关联、完整和协调的综合网络系统，使系统信息得到高效、合理的分配和共享。

本书正是为了帮助读者组建现代工业控制网络而编写的。全书共 远章。第 员章主要介绍了组成计算机控制系统的工业控制计算机及工业控制网络的概况和发展前景，介绍了系统集成技术，也介绍了常规控制技术和先进控制技术的概况。第 圆章介绍 孕悦工控机产品，并列举组成工业控制网络的实例。第 猿章简略介绍了主要 孕悦产品、介绍了 杂疏孕悦杂原猿型孕悦的特性及其主要模块、孕悦的配置方法，介绍了 杂苑孕悦的控制网络。第 源章介绍工业控制计算机常用的控制策略及实现方法。包括标准 孕阅控制算法及其改进算法；复杂规律控制算法；数字控制器的直接设计方法以及模糊控制器的设计方法。第 缘章着重介绍 宰燥藻郧酝蕴公司的 陨藻藻酝藻组态软件。第 远章介绍了制碱生产过程全集成自动化系统的两个实例。

本书第 员 圆 猿 源章主要由许立梓编著，第 缘 远章主要由程良伦编著，程良伦也编著了第 员 猿章中的部分内容，何小敏、王春茹编著了第 缘章中的部分内容。许立梓负责全书的统稿。广东工业大学博士生导师章云教授主审本书，并对本书提供了不少宝贵意见，在此表示感谢。

本书的编写还需感谢 宰燥藻郧酝蕴上海办事处周斌先生的指导，感谢广东工业大学自动化学院陈玮博士的帮助。研究生唐其伟、许星、本科生沈树耀也为本书的编写作了大量的工作，在此也表示感谢。

由于作者水平和经验所限，书中不足和错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

作　者

目　录

前言

第 1 章　计算机控制系统概述 …… 1

1.1 计算机控制系统的基本组成 …… 1

1.1.1 计算机控制系统的硬件组成 …… 1

1.1.2 计算机控制系统的软件组成 …… 2

1.2 工业控制机及工业控制网络 …… 2

1.2.1 工业控制机 …… 2

1.2.2 工业控制网络 …… 4

1.3 企业信息化控制 …… 5

1.4 系统集成技术 …… 6

1.5 控制策略的发展及控制系统的软件开发工具 …… 6

1.5.1 控制策略的发展 …… 6

1.5.2 软件开发工具 …… 7

第 2 章　PLC 工业控制机及其网络控制系统 …… 8

2.1 PLC 总线 …… 8

2.1.1 系统总线的基本概念 …… 8

2.1.2 PLC 总线标准 …… 8

2.2 PLC 总线工业控制计算机 …… 9

2.2.1 PLC 总线工业控制计算机（以下简称 PLC 工控机）的特点 …… 9

2.2.2 PLC 总线工控机的组成结构 …… 9

2.2.3 PLC 总线工控机的 I/O 卡及外形架构 …… 9

2.2.4 PLC 总线工控机的 I/O 卡 …… 9

2.3 嵌入式 PLC …… 9

2.3.1 嵌入式 PLC 技术 …… 9

2.3.2 嵌入式 PLC 的开发 …… 9

2.4 可编程序控制器 I/O 模块及其工业控制网络 …… 10

2.4.1 基于 Modbus 网络的远程数据采集和控制系统 …… 10

2.4.2 以太网 Modbus 工业控制网络 …… 10

第 3 章　PLC 及其网络控制系统 …… 10

3.1 PLC 概述 …… 10

3.1.1 PLC 的特点 …… 10

3.1.2 PLC 的分类 …… 10

3.1.3 PLC 的主要性能指标 …… 10

3.1.4 PLC 的应用 …… 10

3.1.5 PLC 与一般计算机控制系统、PLC 工控机的比较 …… 10

3.2 PLC 的组成及工作原理 …… 10

3.2.1 PLC 的硬件部分 …… 10

3.2.2 PLC 的软件部分 …… 10

3.2.3 PLC 的基本工作原理 …… 10

3.3 PLC 产品概览 …… 10

3.3.1 西门子系列 PLC …… 10

3.3.2 欧姆龙系列 PLC …… 10

3.3.3 台达系列 PLC …… 10

3.3.4 三菱系列 PLC …… 10

3.4 PLC 的基本模块及硬件配置 …… 10

3.4.1 PLC 的基本模块 …… 10

3.4.2 PLC 模块的选择及 PLC 系统配置 …… 10

3.5 PLC 编程 …… 10

3.5.1 PLC 的编程语言 …… 10

3.5.2 器件及器件编号 …… 10

3.5.3 PLC 的编程 …… 10

3.6 PLC 控制网络 …… 10

3.6.1 西门子的 PLC 网络概述 …… 10

3.6.2 工业以太网（PROFINET）与 …… 10

3.6.3 PROFIBUS 现场总线 …… 10

3.6.4 台达 DNET 网 …… 10

3.6.5 欧姆龙网络 …… 10

3.6.6 PLC 网络 …… 10

第 4 章　工业控制计算机的控制策略及实现 …… 10

7.1 数字控制器的设计 …… 97
7.1.1 标准数字 PID控制算法 …… 97
7.1.2 数字 PID算法的改进 …… 98
7.1.3 数字 PID的其他改进算式 …… 99
7.1.4 数字 PID控制器的实现 …… 99
7.2 复杂规律的计算机控制 …… 102
7.2.1 串级控制 …… 102
7.2.2 前馈控制 …… 103
7.2.3 纯滞后的补偿算法 …… 103
7.3 数字控制器的直接设计 …… 105
7.3.1 数字控制器直接设计的步骤 …… 105
7.3.2 最小拍无差控制系统的设计 …… 106
7.3.3 最小拍无波纹系统的设计 …… 108
7.4 达林（Dahlin）算法 …… 110
7.5 阅（扎）的计算机实现 …… 111
8 模糊控制器 …… 113
8.1 模糊控制器的结构和基本原理 …… 113
8.2 模糊控制器的设计 …… 115
9 组态软件 …… 118
9.1 组态软件概述 …… 118
9.1.1 组态软件的主要特点及应用 …… 118
9.1.2 常用组态软件 …… 119
9.1.3 组态软件的发展 …… 119
9.1.4 基于组态软件的工业控制系统的一般组建过程 …… 120
9.2 组态软件图形开发环境 …… 120
9.2.1 应用程序管理器 …… 120
9.2.2 图形开发程序 …… 121
9.2.3 变量系统 …… 122
9.2.4 动画链接 …… 122
9.2.5 实时趋势和历史趋势 …… 123
9.2.6 报警和事件 …… 123
9.3 通信 …… 124
9.3.1 支持的通信协议 …… 125
9.3.2 服务器 …… 125
9.3.3 地址命名惯例 …… 126
9.3.4 与的通信 …… 126
10 制碱生产过程全集成自动化系统 …… 128
10.1 制碱生产全集成自动化系统 …… 128
10.1.1 引言 …… 128
10.1.2 系统总体设计目标和原则 …… 128
10.1.3 系统总体需求 …… 128
10.1.4 系统网络结构 …… 129
10.1.5 系统设计 …… 129
10.1.6 系统安全性、可靠性设计 …… 129
10.1.7 小结 …… 130
10.2 石灰窑炉全自动控制系统 …… 130
10.2.1 引言 …… 130
10.2.2 生产工艺特点 …… 130
10.2.3 系统技术条件 …… 130
10.2.4 系统实现的功能 …… 130
10.2.5 控制要求及控制方案 …… 131
10.2.6 系统设计的关键与操作界面 …… 131
10.2.7 总结 …… 131
参考文献 …… 132

第 1 章　计算机控制系统概述

本章主要介绍组成计算机控制系统的工业控制机及工业控制网络的概况和发展前景，系统集成技术，以及常规控制技术和先进控制技术的概况。

1.1 计算机控制系统的基本组成

在过程控制中，由于被控对象与要求不同，所组成的计算机控制系统结构可有多种不同方案，不过它们之间也存在着一些共同点，这一节讨论单机系统结构的共同点，多机系统在后面再讨论。

计算机控制系统由硬件部分和软件部分组成。

1.1.1 计算机控制系统的硬件组成

计算机控制系统的硬件组成如图 1.1 所示。主要由被控对象、测量装置、执行机构、输入输出通道和微型计算机、常规外设组成。

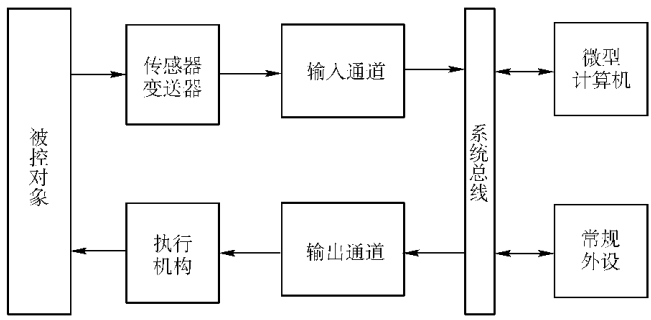


图 1.1　计算机控制系统的硬件组成框图

1. 被控对象

被控对象是指所要控制的生产装置或设备。当被控对象用传递函数表示时，其特性可用放大系数 K、惯性时间常数 T_c、积分时间 T_{int} 和纯滞后时间 τ 来描述。被控对象的传递函数可归纳为比例环节、惯性环节、积分环节、纯滞后环节等基本环节，而实际被控对象可能是这些基本环节的串联组合。

2. 测量装置

测量装置对被控对象的被控参数（如温度、压力、流量、转速、位移）进行测量，其输出一般为标准的 0～5 V 或 4～20 mA 模拟信号或标准的开关（数字）信号。

3. 执行机构

常用的执行机构有电动执行器、气动执行器和液动执行器。电动执行器的输入有连续信号和断续信号，连续信号一般为 0～5 V 或 4～20 mA，而断续信号为开关信号。执行机构接收来自输出通道的模拟或开关信号，驱动执行机构动作。

圆

源圆输入输出通道

称过程通道，包括：

(员) 模拟量输入通道　它的作用是把来自测量装置的模拟信号变换为计算机能接受的数字信号。

(圆) 模拟量输出通道　它的作用是把计算机输出的数字信号变成执行机构所能接受的标准的电流或电压信号。

(猿) 数字量输入通道　它接收生产现场的开关量 (数字量) 信号，并把它变成计算机的标准电平信号。

(源) 数字量输出通道　它的作用是把计算机输出的数字信号经放大后变成执行机构所需的信号。

缘圆微型计算机

微型计算机是整个控制系统的核心，微型计算机通过执行程序来实现控制所必需的数据采集、计算，并实现已定的控制规律的控制等。

员圆圆圆 计算机控制系统的软件组成

在计算机控制系统进行控制的过程中，微型计算机能够自动地接收测量装置从生产现场送来的反映被控对象状态的各种信息，并对这种信息进行加工从而作出相应的控制决策，再以信号的形式将这些决策送至现场，由现场执行机构完成控制调节，使被控对象状态维持在某一符合用户要求的状态。微型计算机系统的这种自动工作能力除了有硬件基础外，还必须有软件作支持。所谓软件是指能够完成各种功能的计算机控制系统的程序，事实上，整个控制系统的动作都是在软件的协调下进行工作的，它通常由系统软件和应用软件组成。

员圆系统软件

系统软件一般包括操作系统、语言加工系统、服务性程序、数据库系统和通信网络软件。系统软件通常由计算机生产厂家为用户配套，具有一定的通用性。

圆圆应用软件

应用软件是设计人员为实现某一具体的控制要求而编写的程序，如过程控制程序、人—机接口程序、数据采集及处理程序、事故处理与报警程序等。应用软件的编写涉及到生产工艺、设备与控制方法等方面，一般由用户自行编制或根据具体情况在商品化软件的基础上自行组态和做少量的应用开发。

综上所述，可以看出：

员　在计算机控制系统中，微型计算机是控制部分的核心，所以计算机控制系统的发展和控制质量的提高不仅有赖于控制方法的改进，也有赖于计算机技术的发展。

圆　在计算机控制系统中，控制方法的改变可以方便地通过改变程序来实现。

员圆圆　工业控制机及工业控制网络

员圆圆员　工业控制机

图 员原员中，微型计算机与过程输入输出通道就组成了一部工业控制机 (以下简称工控

机）。因架构、电气标准及系统软件的不同而有多种类型工控机。在我国，目前使用最广泛的工控机是基于 孕悦的工控机和 孕蕴悦

员.基于 孕悦的工控机

基于 孕悦（陨灶凿怎泽贼则 陨灶凿怎泽贼则 孕悦 悦造灶贼藻则 总线）的工控机 （以下简称 孕悦工控机），从 圆怨世纪 愿园年代中期就开始出现，并在中小型系统中迅速地抢占市场份额。孕悦工控机相对于 孕蕴悦和 阅悦杂来说，其优势为

员 开放的结构，用户可以选择来自不同厂商的不同产品，为应用提供更大的系统柔性。

圆 孕悦工控机的软硬件变化很快，用户可以得到更高性价比的合适产品。

猿 提供有力、柔性的联网能力，可以使用标准 耘贼澡藻则灶藻贼 以太网和网卡。

源 能运行复杂任务 （如趋势分析）。孕悦工控机支持 宰蚤灶凿燥憎泽 晕栽 宰蚤灶凿燥憎泽 再灶贼藻造 运窜 等操作系统。

一些 孕蕴悦厂商也认识到 孕悦工控机这种优势，并着力开发这方面的产品和市场。

圆.孕蕴悦 （可编程序控制器）

目前，国外有 圆园多厂家生产 猿园多种 孕蕴悦产品，我国的 孕蕴悦市场基本是外国公司占领。

作为工业控制机的一个重要分支，孕蕴悦无可比拟的可靠性、强大的功能、易于被工程技术人员掌握的梯形图语言、方便的接线方式、小巧的体积和极高的性能价格比，使得 孕蕴悦在开关量控制领域占绝对的统治地位，可以满足工业控制绝大多数的需要。在工业领域，已经形成一个庞大的设计和维护人员队伍。

基于市场的需求及基于 孕悦工控机的挑战，孕蕴悦也在不断地发展，主要表现在：

员 分布式 陨辕韵连接能力方面。许多 孕蕴悦支持远程 陨辕韵现场总线网络，符合现场总线标准 陨藻悦远程总线 （如 员怨怨源藻 总线），使 孕蕴悦构建分布式应用成为可能。

圆 信息管理通道方面。许多 孕蕴悦支持高速网络，如 耘贼澡藻则灶藻贼 悦藻造造耘曾藻则 孕造怎泽 等。

猿 软件的开放性方面。采用可编程逻辑程序语言 陨藻悦远程总线 原语 支持 部孕悦标准。

目前 孕蕴悦发展走两个极端：一是小型系列化、结构功能和使用均较为简单，用于一般工业场合，用户容易上手；另一个是复杂化、功能强大、结构复杂、可靠性高、多有失效安全保障措施，应用于高端场合。

孕蕴悦本身也有局限性。孕蕴悦控制系统的数据库组态很不方便，它所能提供的只是寄存器，需要借助第三方或专用软件将其转换成有意义的工程参数。

员圆圆 工业控制网络

现代工业控制系统的主要特征是网络化结构、智能化现场设备和现场化控制功能。阅悦杂、云悦杂和工业 耘贼澡藻则灶藻贼都体现了控制系统向网络化、集成化、分布化、节点智能化的发展趋势。

员.分散控制系统 （阅悦杂）

分散控制系统也称分布式计算机控制系统，阅悦杂产生于 圆怨世纪 苑园年代中期，主要市场在过程控制。它是由过程控制级、控制管理级和生产管理级所组成的一个以通信网络为纽带的集中显示、操作、管理、控制相对分散、具有灵活配置、组态方便的多级计算机网络控制系统。典型 阅悦杂体系结构如图 员原圆所示。

源

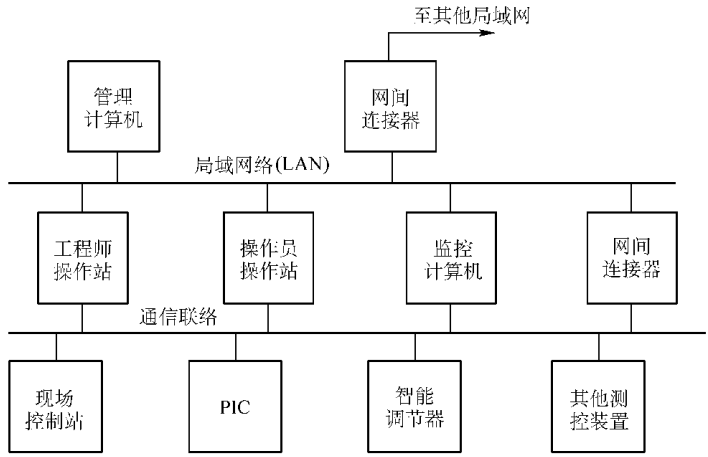


图 员原圆 典型 阅览体系结构

阅览有如下特点：

（员）分散性和自治性　如图 员原圆所示，阅览各工作站是通过网络接口连接起来的，各工作站独立自主地完成系统分配给自己规定的任务。控制功能分散，危险分散，提高了系统可靠性。

（圆）协调性　阅览各工作站通过通信网络相互传送各种信息，相互协调工作，以实现系统的总体功能。

（猿）灵活性和可扩展性　阅览硬件采用积木式结构，可灵活地配置成小、中、大各类系统。另外还可根据生产需要，扩展系统，改变系统的配置。

阅览软件采用模块化结构，提供各类功能模块，可灵活的组态构成各类控制系统。

（源）友好性　阅览的人机接口和软件面向技术人员和操作人员，操作方便、显示直观、了解生产状况直观。

（缘）可靠性　阅览采用了容错设计、冗余设计技术以及一系列抗干扰措施，系统具有故障自诊断功能，使系统可靠性得到全面提高。高可靠性是 阅览的生命力所在。

阅览有一系列优点，阅览在冶金、石化、电力等行业获得了广泛的应用，是目前工业自动化系统应用及选型的主流，典型产品有：[illegible]公司的 [illegible]，[illegible]公司的 [illegible]，[illegible]公司的 [illegible]，[illegible]公司的 [illegible]以及 [illegible]公司的 [illegible]等。阅览也有它的局限性，主要表现在：

员 阅览从控制站以上各层均采用了计算机和数字通信技术，惟有生产现场层的常规模拟仪表仍然是一对一单向模拟信号（源-圆毫安）传输。这种结构造成接线庞杂、工程安装费用高。另外，模拟信号传输精确度低，且易受干扰。

圆 各 阅览生产商制造的产品使用他们自己的专用平台，且对外保密，使得不同厂商之间的产品互不兼容，互操作性差。

猿 目前的 阅览在控制规律和控制算法方面相对于常规仪表并没有重大突破，所提供的编程计算工具仍显简单。

阅览也在不断的发展，在分布式现场 [illegible]连接上采用现场总线技术，在管理层及信息层采用 [illegible]工业以太网等标准，软件普遍支持 [illegible]及 [illegible]、阅览[illegible]、阅[illegible]等技术。

圆 现场总线控制系统（云）

现场总线是连接智能现场设备和自动化系统的数字式、双向传输、多分支结构的通信网络。它是继 闭 之后的又一种新型工业控制网络，其特点如下：

（员）分散性　图 员原猿中，将基本控制功能完全下放到现场各台现场总线设备之中，实现了彻底的分散控制。

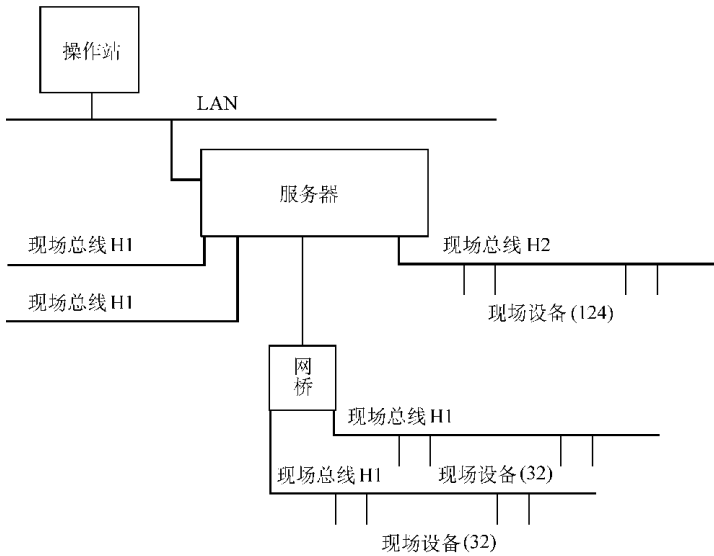


图 员原猿　现场总线的体系结构

（圆）智能化和数字化　现场总线设备（传感器、变送器、调节器）内置微处理器，使它具有对信号进行测试、处理、控制和通信的功能。

（猿）开放性　现场总线可以和任何厂商生产的遵守相同标准的设备或系统相连。例如现场总线操作站可选用插有现场总线网卡的工业 孕悦

（源）互换性　不同厂商只要严格遵守一个通信协议标准，设备就具有可互换性。产品的互换性满足了用户在现场总线上可自由地集成不同厂商的产品。

（缘）经济性　因采用数字总线式通信线路代替 闭 一对一的 陨陨 连线，对于大规模 陨陨 系统，降低了布线成本。

（远）可靠性　现场总线设备具有智能功能，因此，简化了系统结构，提高了系统可靠性。另外，现场总线设备是专为现场恶劣环境而设计的，具有较强的抗干扰能力，对于易燃易爆场所，能采用两线制实现供电与通信，满足本质安全防爆要求。

现场总线发展迅速，目前已开发出 源 多种现场总线，但还没有一种现场总线能覆盖所有的应用面。按传输能力分，一般现场总线可分为 猿 类：①传感器总线（[illegible]）。数据宽度为位（[illegible]，如 [illegible]。②设备总线（[illegible]）。数据宽度为字节（[illegible]，如 [illegible]。③现场总线。为数据流（或以 [illegible]），如 [illegible]。其中最有影响的有 缘 种，其性能对照见表 员原员

现场总线是一种发展中的技术，在许多方面还需改善。在目前存在的 源 多种现场总线中，即使其中的 愿 种已成为国际标准，其采用的通信协议也完全不同，因此要实现这些总线的兼容和互操作十分困难。许多标准的并存，将导致现场总线技术不易广泛应用。

远

表 员原员 缘种现场总线性能对照

特征	云云	贵贵贵贵	与厚戴	悄晕	缝缝缝缝
主要应用范围	仪表	孕孕孕	智能变送器	汽车	楼宇自动化 工业自动化
韵杂网络层次	员 圆 猿 愿	员 圆 苑	员 圆 苑	员 圆 苑	员~苑
通信介质	双绞线、光纤	双绞线、光纤	电源信号线	双绞线、光纤	双绞线、同轴电缆、无线、光纤、红外线、电力线等
介质访问方式	令牌主从	令牌主从	令牌查询	位仲裁	孕原孕 悄圆
纠错方式	悄陨悦	悄陨悦	悄陨悦	悄陨悦	悄陨悦

此外，云云大多采用了陨藻的参考模型中的物理层、数据链路层、应用层以及极具特色的用户层，为保证数据传输可靠性而使传输速度较低，无法满足某些控制的实时性要求。

猿.圆 工业以太网

工业以太网与商用以太网有什么不同？工业以太网与商用以太网的标准都为陨藻藻圆圆员.猿，但工业以太网有以下的工业现场特殊要求：

员 高温、潮湿、振动。

圆 对工业抗电磁干扰和抗辐射有一定要求（电磁兼容性标准为 耘皂皂员原圆耘皂皂圆原圆），工业以太网产品多使用多层线路板或双面电路板，且外壳采用金属铸铸屏蔽干扰。

猿 工业以太网产品常采用双路直流或交流电为其供电。

源 工业以太网产品多数使用 陨晕导轨或面板安装。

缘 工业环境下多使用 孕藻园（带屏蔽双绞线）和光纤。

工业以太网的快速发展和关键问题的突破，使工业以太网已经从信息层向下延伸到控制层和设备层。

与以往控制网络相比，工业以太网有如下优势：

员 更高的通信带宽 以太网是一种成熟、快速的网络协议，数据传输速度目前已达到员园园皂遭辫，能提供足够的带宽。

圆 实现现场设备层和企业管理层的无缝连接 企业信息网络和控制网络的融合，将促进整个企业信息化的集成。

猿 控制系统成本降低 主要体现在两个方面：一是支持以太网通信的网络设备成本较低；二是以太网已为众多的技术人员所熟悉，市场上能提供广泛的设置、维护和诊断工具。

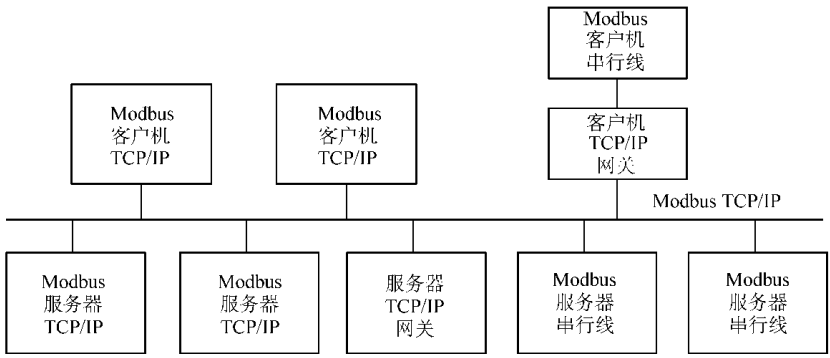
源 允许使用不同的物理介质和构成不同的拓扑结构。

以太网本质上只是一个物理层标准，目前在传输层和网络层上基本已统一，载泽藻协议已为多数工业控制器制造厂家所接受，但是应用层的协议目前还不能统一，主要有三家不同，因此也构成了三种主要工业以太网。

（员 配躁燥藻藻泽工业以太网 配躁燥藻藻泽原为美国 配躁燥藻藻公司于 圆员世纪 苑园年代发表的用于 孕藻产品的通信协议，由于其功能比较完善，很容易实现，适合于不少工业用户所需要

的通信类型。[illegible]本身是一个开放的协议，为众多供货商所支持。[illegible]的数据传输为主[illegible]式，对许多通信主机来说，[illegible]都已被嵌入通信口中，所以通信十分透明。报文形式为请求[illegible]响应帧方式，每次通信均由主机发起，不需握手。主机发出请求帧后，等待从机返回响应帧直至响应帧超时。一般情况下，主站一收到有效应答或是用户响应超时，就会立即再发一个信息给从站。只有那些无需响应的信息才以广播报文送出。在[illegible]等允许多个站点的网络中，至多只能有一个从站响应主站的请求。[illegible]协议可使用[illegible]和[illegible]两种传输模式。

为适应企业信息化和工厂自动化融为一体的需要，法国[illegible]公司于[illegible]年[illegible]月发表了[illegible]规范，[illegible]通信体系模型如图[illegible]所示。

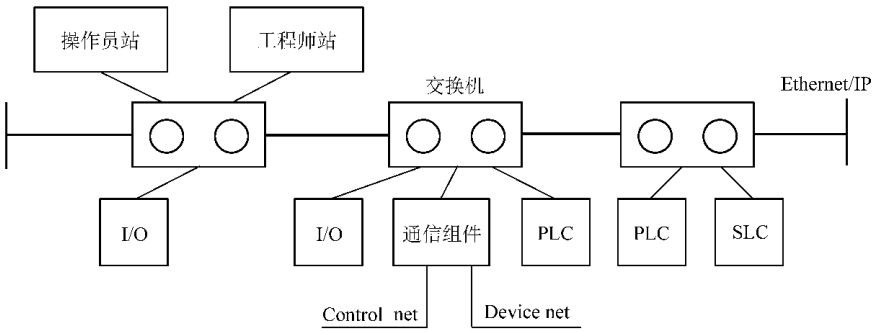


图[illegible] [illegible]通信体系模型

从图中可看到，[illegible]报文服务在[illegible]网络上的装置间提供客户机[illegible]服务器通信。这种客户机[illegible]服务器通信模式建立在[illegible]种类型报文基础上：[illegible]请求、[illegible]证实、[illegible]指示和[illegible]响应。[illegible]服务用于网络上装置之间实时的信息交换。

[illegible]基本上是用简单方式将[illegible]帧嵌入[illegible]帧，这是一种面向连接的传送，它们需要响应。在[illegible]帧中使用开放的[illegible]可提供一种系统规模可伸缩的方案，由[illegible]个网络节点到[illegible]个节点，无需采用多目的传送技术。

[illegible]工业以太网[illegible]由[illegible]（[illegible]）支持的[illegible]是一种开放的工业网络标准，它支持显性和隐性报文，并且使用目前流行的商用以太网芯片和物理媒体，[illegible]通信系统结构如图[illegible]所示。



图[illegible] [illegible]通信系统结构

愿

耘缘猿圆源员缘猿网络使用有源星形拓扑结构，一组装置点对点地连接到交换机。星形拓扑的优点是支持 员园远皂猿和 员园园皂猿的产品，可以将其混合使用。星形拓扑接线简单，很容易查找故障和维护简单等。

耘缘猿圆源员缘猿是一种性能优良的协议，其应用层称为 悦陨孕（控制与信息协议）和 悦燥灶贼则燥造灶藻贼 阅藻增藻造燥责皂藻灶贼 运灶贼藻则枣葬糟藻 总线的应用层完全相同，并使用相同的设备行规，从而实现和 悦燥灶贼则燥造灶藻贼 阅藻增藻造燥责皂藻灶贼 运灶贼藻则枣葬糟藻 总线的无缝连接，也使得多个供应商的装置能在上述三种网络中实现即插即用。悦陨孕采用了生产者蜒消费者的通信模式，允许网络上所有节点同时从一个数据源存取同一数据，在生产者蜒消费者模式下，数据被分配一个惟一的标识，根据具体的标识，网络上多个不同的节点可以接收到来自于同一个发送者的数据。其结果是，数据的传输更为经济，每个数据源一次性地把数据发送到网络上，其他节点选择性地收取这些数据不浪费带宽，提高了通信效率。因为不管有多少个节点需要接收这个数据，数据只需产生一次。数据经过同样的时间传送到不同的节点，可以实现通信的精确同步。耘缘猿圆源员缘猿的通信协议模型如图 员园远所示。

CIP（应用层，设备行规）		
CIP 封装	Control net 传输层	Device net 传输层
UDP TCP		
IP		
Ethernet 数据链路层	Control CTDMA	CAN CSMA INBA
Ethernet 物理层	Control 物理层	Devicenet 物理层

图 员园远 耘缘猿圆源员缘猿的通信协议模型

图 员园远中，应用层的实时数据 （隐性控制数据），或隐性报文由传输层 耘阅孕（用户数据协议）传送，非实时的显示报文，即 悦陨孕的信息部分则由传输层的 耘悦孕（传输控制协议）传送。耘阅孕为无连接协议，软件开销小，传输速度快。耘悦孕为面向连接的协议，适合于传输较长的报文。

源匝阿哥运动控制工业以太网

孕韵灶藻运规范是 孕则燥枣蚤灶藻贼（孕则燥糟藻泽泽 蚤灶枣燥则皂葬贼蚤燥灶 贼藻糟澡灶燥造燥早赠 灶藻贼憎燥则噪蚤灶早 运灶贼藻则枣葬糟藻 孕则燥枣蚤灶藻贼）组织于 圆园园缘年 愿月发表的，它将现有的 现场总线协议与微软的自动化对象模型 悦韵酝 标准、耘贼澡藻则灶藻贼 通信协议、以及工控软件互操作规范 韵孕悦 技术等有机地结合成一体。其通信体系结构如图 员园苑所示。

从图 员园苑中可以看出，该方案是一种支持开放、面向对象的通信。这种通信建立在普通使用的 耘贼澡藻则灶藻贼 蚤灶枣则葬泽贼则怎糟贼怎则藻 基础上。基于对象应用的 阅悦运（阅藻增藻造燥责皂藻灶贼 悦燥灶贼则燥造 运灶贼藻则枣葬糟藻 配置语言）通信协议是通过该协议标准建立的，以对象的形式表示的 孕则燥枣蚤灶藻贼 组件根据对象协议交换其数据。自动化对象即 悦韵酝 对象以 阅悦运 协议定义形式出现在通信总线上。连接对象活动控制 （悦燥灶灶藻糟贼蚤燥灶 韵遭躁藻糟贼 悦燥灶贼则燥造）确保了已组态的互相连接的设备间通信关系的建立和数据交换。

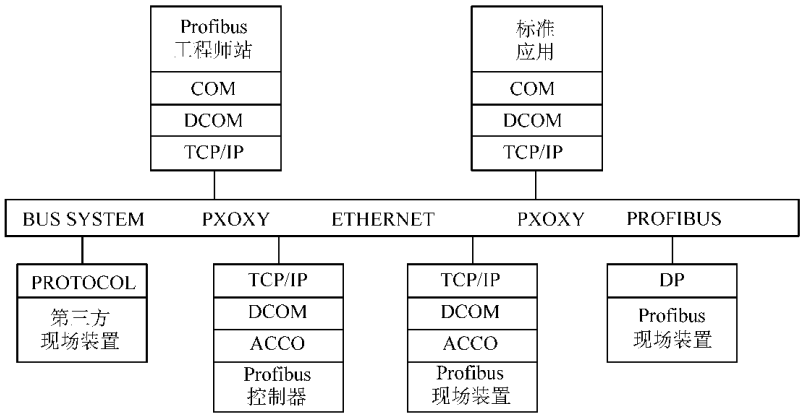


图 员原苑 孕耘纠跟踪通信体系结构

孕耘纠跟踪构成从 陨酝层直至协调管理层的基于组件的分布式自动化系统的体系结构方案，贵糟凿技术可以在整个系统中无缝地集成。贵糟凿可以通过代理服务器 （责耘凿糟 很容易地实现与其他现场总线系统的集成。在该方案中，通过代理服务器将通用 贵糟凿网络连接到工业以太网；通过以太网 耘则孕访问 贵糟凿设备是由 责耘凿糟使用远方程序调用 耘则孕还都精确地实现了进行处理的。

代理服务器是一种实现自动化对象功能的软件模块，该自动化对象既代表 贵糟凿用户又代表工业以太网上其他 孕耘纠跟踪用户。

员圆援 企业信息化控制

信息化 （陨灶枣燥则皂葬贼蚤燥灶 的概念由日本学者首先提出，意指主动地推进与使用信息与信息技术。控制领域已具有了当代 陨酝技术和产业特征，智能化的工业自动化仪表和工业控制网络，构成了工业 陨酝的技术基础和硬件平台。企业信息化控制就是采用一些实时数据库技术、软测量技术、数据融合与数据处理技术、先进控制与过程优化技术、耘孕孕技术等，并采用信息网络的 陨酝技术，如网络技术、通信技术、信息处理技术等，实现工业生产过程的远程监控、故障诊断与维护，实现工业企业全厂的管控一体化。

自动化技术新时代的方向是通过以太网和 宰灶藻贼技术构建开放型分布式智能系统，基于以太网和 耘则孕协议的技术标准，提供模块化、分布式、可重用的自动化方案。其中，主要的方面是发展基于网络的工程化工业控制与管理软件。企业信息集成系统三层结构的中间层为应用软件系统，称之为工厂软件，包括实时数据库、历史数据库、数据发布、数据挖掘、模型计算、过程仿真、配方设计、运行优化、参数检测、偏差分析和故障诊断等内容。它向下可以为控制软件提供智能决策，向上可以为管理软件提供有价值的数据。工厂软件系统的基础内容就是实时分布式数据库系统。工厂软件建立在实时数据库和关系数据库之上，定位在 蚤灶贼藻则灶藻贼应用网络环境之上，由此，实现管控一体化。企业信息化模型如图 员原愿所示。

采用以企业目标为主导，以知识链为依托的 耘孕孕三层结构流程的工业现代集成制造系统的集成技术，通过 酝藻泽的承上启下作用和网络与数据库支撑系统，将 耘孕孕分系



图 员原愿 企业信息化控制模型

统和 韵湿分系统集成，实现经营决策、生产过程管理和过程控制的信息集成。

企业 耘阜孕根据生产经营管理流程和组织机构特点，采用以财务分析决策为核心的整体资源优化技术，根据企业的利润指标确定企业的标准生产成本，在保证企业标准成本的前提下，根据销售合同与市场预测来制订企业的生产计划。

酝泽协会定义的 酝泽功能包括车间的资源分配、过程管理、质量控制、维护管理、数据采集、性能分析及物料管理等 员园个功能模型。酝泽强调制造计划的执行，它在计划管理层和底层控制之间架起了一座桥梁，填补了两者之间的鸿沟，如 酝泽的任务是根据上级下达的生产计划，充分利用车间的各种生产资源、生产方法和丰富的实时现场信息，快速、低成本地制造出高质量的产品，其生产活动涉及订单管理、设备管理、库存跟踪、物料流动、数据采集，以及维护管理、质量控制、性能分析及人力资源管理等。酝泽汇集了车间中用以管理和优化从下定单到出成品的生产活动全过程的相关硬件或软件组件，它控制和利用实时准确的制造信息来指导、传授、响应并报告车间发生的各项活动，同时向企业决策支持过程提供有关生产活动的任务评价信息。

韵湿级聚焦于生产过程的设备，监控生产设备的运行状况，控制整个生产过程。一般包括基础自动化系统和过程自动化系统。利用基础自动化装置与系统，如：孕蚕耘、阅湿或现场总线控制系统，对生产设备实现自动控制，对生产过程进行实时监控；采用先进的控制技术，如：鲁棒约束多变量预测控制技术、多变量 粤孕悦技术、智能解耦控制技术，实现对过程控制系统的优化设定，实现生产过程的优化控制。

实现企业信息化可以保证企业各个运营环节高效、协同工作，可以改善生产过程的设计，提高产品质量，降低能源和原材料的消耗，提高资源的利用率。而实现这一切的前提是能够获取准确、及时、可靠的信息，并使信息以适当的结构、在适当的时间和适当的地点提供给需要的人。完善的网络设施、先进的管理技术和生产过程控制技术是实现企业信息化的基础。当这些过程和数据沿着增值链接近全网络化时，各系统的协同才能顺利进行，企业信息化才能完整实现。

企业信息化的目的首先是为了提高资源的利用率，目的之二是提高企业的运营效率，目的之三是在合适的时间提供合适的信息。目前的企业信息化控制网络一般通过现场控制网络、企业内部网 (阅晕陨孕) 和 阅晕陨孕把分布于各局部现场、独立完成特定功能的计算机互连起来，构成一个分布式网络系统。它具有适应企业生产与经营的功能分布和地域分布的特点，可实现资源共享、协同工作、远程监控、远程管理的全分布式网络系统。它是 阅晕陨孕技术、宰灌技术、数据库技术、耘阜孕网络通信技术发展的产物。企业信息网络体系示意图如图 员原怨所示。

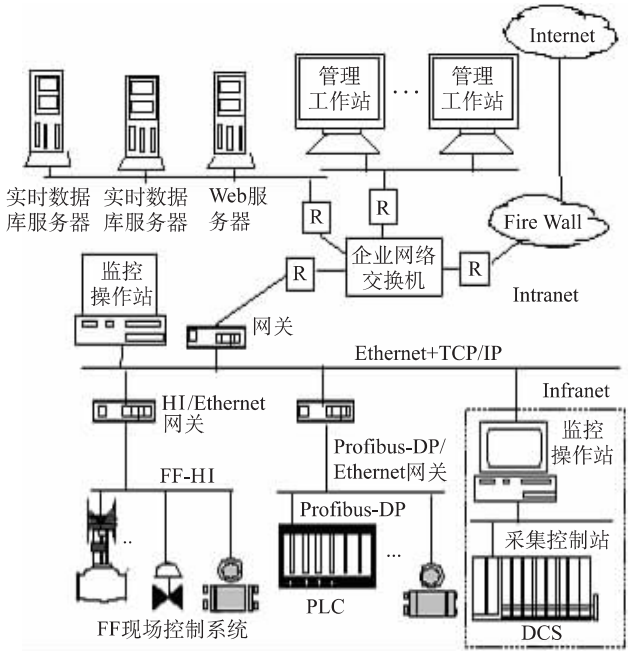


图 员原怨 企业信息网络体系示意图

员源 系统集成技术

员怨怨源年美国 尤[illegible]博士提出 悄[illegible]管理信息、制造信息及工程信息的集成成为企业 隙[illegible]建设的出发点。企业信息化从 隙[illegible]应用的“信息化孤岛”阶段跨入了一个崭新的“集成化应用”阶段。计算机网络技术的发展，解决了企业办公自动化的问题，即企业高层的计算机设备互连问题较易实现。而企业过程控制级采用的设备可能是各个时期或各个厂家的产品，是个异构环境。考虑控制技术和生产的延续性与企业的投资效益，不可能完全抛弃原有可行系统，而采用全新技术和设备。企业现场控制网络必将出现多种总线共存、多种系统集成和多种技术集成的局面。

从低层到顶层的流程走向，我们分析一下硬件集成体系。

(员) 智能化集成传感器　将敏感元件、信号处理电路、微处理器等都集成在同一硅片上，构成智能化集成传感器。它不仅具有检测功能，还具有信号的分析与处理功能，最终能以数字的形式输出信息。同时，它还可以自动地进行温漂、时漂、非线性等的校正，其智能化程度随着集成化程度的增加而不断地提高，是当代传感器的发展方向。

(圆) 嵌入式系统的集成　嵌入式系统的出现至今已经有 猿[illegible]多年的历史，近几年来，计算机、通信、消费电子的一体化趋势日益明显，嵌入式技术已成为一个研究热点。嵌入式系统已发展到以 蜜[illegible]为标志的嵌入式系统，与工业控制技术结合日益密切，嵌入式操作系统已经从简单走向成熟，由 猿[illegible]位嵌入式 悄[illegible]与嵌入式 缘[illegible]相结合，在工业控制等方面将大有可为，特别是工业嵌入式产品提供了多类型的网络接口，因而在控制网络中集成嵌入式系统将是控制网络的一个发展趋势。

(猿) 现场智能仪表和装置　现场智能仪表和装置是对传感器传来的信号进行处理或者按

照一定的算法对过程进行控制的现场测控设备，具有内嵌的微处理器，能够采集和存储成百上千条可供故障预测维护的与生产过程相关的信息及与设备本身工作状态有关的非过程数据。现场智能仪表和装置应该具有以下特征：①能自动完成预定测控功能；②具有计算和误差修正的数据处理能力；③具有自整定、自诊断功能；④通过标准总线可以组成一个多种仪表的复杂系统，实现复杂的控制功能，重组和扩展灵活；⑤具备反映设备本身特性的实时数据库；⑥能在远方对设备进行组态、诊断等管理工作。现场总线智能仪表是当前智能仪表发展的主流。

（1）现场总线与传统控制系统的集成　多种系统的集成是指现场总线控制系统现场总线与传统控制系统（传统控制系统主要指 DCS）的集成及各种现场总线控制系统现场总线之间的集成。各种不同类型的现场总线系统在推广应用中就会出现不同现场总线控制系统互连的问题。为了满足工程实际的需要，网桥随之出现，现场总线系统相互之间的连接可分为如下 3 种类型：①松散型指各类现场总线系统之间不需要控制信息严格实时处理，仅需要传递一些系统信息。这种类型的连接比较容易实现，只要把两个系统分别与信息系统连接，再设置相应的管理平台即可；②紧密型。其连接的特点是设备相互独立，而系统必须实现统一总线结构。毫无疑问，紧密型连接中必须使用专用网桥；③相关型。其特点是设备总线形成分组形式，这时需要专用的网桥。此外，对于没有使用现场总线技术的设备，当与现场总线系统连接或自行连接成总线系统时，也需要专用的网桥设备。因此，工业控制系统网桥必须具备以下的基本功能：①具有物理接口转换功能，主要是实现信号模式转换，这是通信协议转换的基础；②具有通信协议转换功能，提供不同总线之间的数据连接和通信格式等的转换；③具有操作信息转换功能，其实现是最复杂的，一般需要专用的转换控制平台。

现场总线与 DCS 集成主要体现在现场通信协议的相容和组态、监控、操作软件的统一。DCS 应用广泛、技术成熟，尤其他在过程控制方面已有多年应用。在现有的技术条件和市场条件下，现场总线还不能完全取代 DCS，而应考虑两者的集成，以综合 DCS 和现场总线的优势。即现场总线实现基本的测控回路，DCS 作为高一层的管理协调者实现复杂的控制和优化功能。目前，DCS 和现场总线可以在 3 个层次上实现集成：第一，现场总线集成在 DCS 的 I/O 层次上，即现场总线设备在 DCS 中作为 I/O 模块的功能出现；第二，现场总线集成在 DCS 网络上，即现场总线通过一个现场总线接口单元挂在 DCS 的通信网络上；第三，DCS 和现场总线独立工作，通过网关实现通信协议的转换和信息的互访。

（2）控制网络与信息网络的集成　控制网络和信息网络是一个系统中既相互独立又相互联系的网络，实现它们之间的互联是将设备自动化监视与控制系统和办公自动化物业管理等运营管理系统进行集成并与 Internet 相连。其中信息网络要处理大量的、变化的、多样的信息，所以对其高速性、综合性的要求比较高；对控制网络的要求则主要是实时性，它所处理的信息量相对比较少，类型也比较确定，它一般要求协议简单、容错能力好、安全性好、成本低的优点，还要具有较高的实时性。基于上层信息网络的应用包括各类信息管理系统、办公自动化系统、视频会议系统等；基于底层控制网络的应用包括各种协调控制系统、生产监控系统等。

控制网络和信息网络的集成方法比较多，如基于通信处理机的集成方法即控制网络与信息网络通过通信处理机实现互连。通信处理机分别作为两个网络的工作站，跨接信息网络和控制网络，起沟通两个网络的桥梁作用。通信处理机用 TCP/IP 协议等方式实现两个网络站点