

现代工业企业自动化丛书

可 编 程 控 制 器 网 络 通 信 及 应 用

主编 邱公伟

参编 杨富文 巫淑萍 林 军

王高峰 张小清 杨震力

清 华 大 学 出 版 社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

这是一本专门介绍 PLC 网络通信及应用的著作。全书共分 8 章。第 1 章导论介绍 PLC 联网通信的基础。第 2 章论述个人计算机与 PLC 网络的联网通信。第 3 章~第 7 章分别介绍最有代表性的 A-B 公司、西门子公司、欧姆龙(OMRON)公司及松下电工公司的 PLC 网络的通信机理、网络配置、系统组态、通信程序编制方法等。第 8 章通过典型实例介绍了 PLC 网络的应用。

PLC 及其网络品种繁多,本书注意突出典型性、同一性及实用性。通过对典型 PLC 网络的剖析,抓住不同公司 PLC 网络内在的一致性,达到举一反三的效果,并使读者能较快进入自主开发。

本书是由院校、工厂、研究所的科技人员联合编写的,是“产学研”结合的产物。本书适用于广大从事 PLC 及其网络开发应用的技术人员及大、中专自动化专业师生使用。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

书 名: 可编辑控制器网络通信及应用

作 者: 邱公伟 主编

出版者: 清华大学出版社 (北京清华大学学研楼,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者: 清华大学印刷厂

发行者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 印张: 24.75 字数: 613 千字

版 次: 2000 年 3 月 第 1 版 2000 年 3 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-01460-4/TP·575

印 数: 0001~3000

定 价: 32.00 元

《现代工业企业自动化丛书》编委会

名誉主任：张钟俊

顾问：吴钦炜

主任：白英彩

副主任：邵世煌 王行愚 吴启迪 孙廷才

编委：（按姓氏笔划）

于海川 王行愚 白英彩 孙振飞 孙廷才

江志道 刘元元 邵世煌 吴启迪 张兆琪

杨德礼 周德泽 柴天佑 虞孟起 魏庆福

序

当今世界先进工业国家正处于由“工业经济”模式向“信息经济”模式转变的时期,其中技术进步因素起着极为重要的作用,它在经济增长中占 70% ~ 80%。“以高新技术为核心,以信息电子化为手段,提高工业产品附加值”已经成为现代工业企业自动化重要的发展目标。从我国经济发展史来看,其工业经济增长主要是依靠投入大量资金和劳动力来实现的,尚未充分发挥技术进步在工业经济增长中的“二次效益倍增器”的作用。“如何加快发展电子信息技术、调整产业结构,适应世界经济发展需求”是当前我国工业企业自动化界研究的重要课题之一。

工业自动化是一门应用学科,它主要包括单机系统自动化、工业生产过程自动化和工业系统管理自动化等三个方面。企业自动化包括企业生产管理信息电子化、信息处理的自动化以及网络化。现代工业企业自动化涉及到自动化技术、计算机技术、通信技术、先进制造技术和管理学等诸多学科,它需要各学科的专家和工程技术人员通力合作,从而形成“多专业知识与技术集成”的现代工业自动化发展思路。目前工业企业自动化系统主要呈现开放性、集散性、智能性和信息电子化与网络化的特点。在现代工业企业自动化中,计算机控制技术充当了极为重要的角色,它是计算机技术和控制理论有机的结合。自动控制理论的发展是伴随着被控制对象的复杂性、不确定性等因素的研究成果而发展的,它由经典控制理论(频域方法)和现代控制理论(时域方法)发展到第三代控制理论——智能控制理论。计算机控制系统分为数据采集与处理系统、计算机在线操作指导控制系统、直接数字控制系统、监督控制系统、分级控制系统和集散控制系统以及分布式智能控制系统。从当前计算机技术和自动控制技术发展状况来看,高性能工业控制机系统、智能控制系统和基于网络系统的虚拟企业自动化系统将是未来工业企业自动化的重要发展方向。

从系统工程的角度来看,工业自动化技术研究与应用过程分为三个阶段:自动化技术研究阶段、科研成果向实用转化阶段和产品应用阶段。经过我国科技工作者半个世纪卓有成效的研究,在自动化技术研究与应用方面取得可喜的成绩,并给我国的工业自动化事业带来了深刻影响和变革,产生了巨大的社会和经济效益,其中有的技术已经接近或达到世界先进水平,但从应用以及成果向产品的转化的总体发展角度来看,仍存在着一些问题,仍需花大力气进一步探索和研究。例如,我国在工控机及其配套设备的生产方面尚需进一步构成规模经济;建立并发展企业网络及其协议和数据库集成技术,为全面实现我国“金企工程”提供技术和手段;开发系列的工控机软件包、实时操作系统,以提高工控机系统的总体水平;充分运用以工控机为核心的电子信息技术来改造我国各类传统工业的工装设备及产品;在我国的部分现代企业中大力倡导推行 MIS, MRP- 和 CIMS/CIPS 以及信息网络系统,以提高企业管理水平和竞争能力等。在 20 世纪 40 年代,计算机刚问世不久,它的应用除在军事、政要部门之外,主要是在各传统工业领域的应用。在 60 年代 ~ 70 年代,各国的工业计算机应用极为普遍,促进了其工业企业自动化高速发展,而我国的工业企业自动化非但没有大踏步前进,反而停滞不前。到了 90 年代这个问题就显得十分严重了,因此我们必须“补上这一课”。

我们编写了《现代工业企业自动化丛书》(以下简称《丛书》, 目前暂定 42 册, 并根据实际需要不断增加新的书目), 该《丛书》内容既包括工业生产过程自动化, 又包括现代企业管理自动化技术, 如基于总线工控机系统、工程数据库、CIMS/CIPS 以及企业网络技术等。其编写原则为:“ 理论与实践密切结合, 为实现工业企业自动化提供典型示范系统 ”。编委会特邀请了国内在该领域有扎实理论基础和富有实践经验的专家分别承担各分册的编审任务, 以期在向读者展示国内外相关技术的最新成果和发展动态的同时, 提供解决现代企业自动化的思路、方法、技术和设备等。

该《丛书》以工程技术人员为主要读者对象。我们相信该《丛书》的出版必将在推动我国工业企业自动化应用的普及和发展进程中起到积极的作用, 为进一步提高我国工业企业自动化水平做出贡献。

清华大学出版社颇具魄力和眼光, 高瞻远瞩, 及时提出策划组织这套《丛书》的任务, 他们为编好《丛书》做了认真、细致的准备工作, 并为该丛书的出版提供了许多有利的条件, 在此深表谢意。同时对于参加各分册编审任务的专家、学者所付出的艰辛劳动表示衷心感谢。编审《丛书》的任务十分繁杂而艰巨, 加之时间仓促, 书中出现疏漏、欠妥之处也是难免的, 希望广大读者不吝赐教, 以使我们逐步完善这个《丛书》系列。

中国科学院院士、上海交通大学教授

前 言

可编程控制器(PLC)及其网络是构成 CIMS 系统的基础,是现代工业自动化三大支柱(PLC、机器人、CAD/CAM)之一。从世界范围看,PLC 及其网络的产量、销量、用量高居各种自动化设备的榜首。PLC 及其网络在我国也同样受到广泛的重视,其用量呈直线上升,几乎在国民经济的所有部门都得到了迅速的普及与推广。

PLC 产品五花八门,不同公司的产品使用起来差异很大,这给用户开发应用造成许多困难。PLC 网络组成比较复杂,规模较大,一次性投资大。如果预先不搞清楚它的工作机理,没有对多种 PLC 网络进行分析、对比就匆忙购置,将会造成很大的损失。目前市面上还见不到一本专门介绍 PLC 网络的著作,这与迅速推广及普及 PLC 与 PLC 网络的形势不相适应,社会迫切希望有 PLC 网络方面的著作,本书正是在这一背景下编写的。

PLC 网络品种繁多,不同公司的产品相差甚远,就是同一公司的不同 PLC 网络也有许多不同,而且每种 PLC 网络都涉及到浩繁的资料,为了在这种纷杂的局面中抓住中心,在编写本书时我们突出了 PLC 网络的同一性、典型性及实用性。

尽管各种 PLC 网络差异很大,但是从本质上看,同一性却是主要的。透过外表的差别,认识到内在的一致性,就如同找到了一条红线,把散乱的珍珠穿在了一起。不同 PLC 网络的同一性既表现在网络拓扑结构的同一性、通信机理的同一性上,也表现在编写 PLC 通信程序的同一性、系统配置与系统组态的同一性上。抓住了 PLC 网络的同一性就能从更深层次上认识 PLC 网络,达到举一反三的效果。当读者遇到一种从未见过的 PLC 网络时,才会有一种似曾相识的感觉,这将明显缩短学习新的 PLC 网络的过程。

全世界制造 PLC 及其网络的公司有 200 多家,生产着 400 多个系列的产品。但若按其发展的历史渊源及所受的地域影响来划分,大体可分为三个流派,即美国产品、日本产品及欧洲产品。本书从三个流派中选出各自的典型代表加以介绍以突出典型性。在美国产品中选了 A-B 公司的 PLC 网络,在欧洲产品中选了西门子(SIEMENS)公司的 PLC 网络,日本产品中以欧姆龙(OMRON)公司的 PLC 网络为代表,另外还把近年来世界 PLC 市场上的一匹黑马——松下电工的 PLC 网络——加以介绍。典型产品不仅占有市场份额大,使用面广,而且在技术上具有代表性与先进性。同一流派的其它许多产品在技术上与它们一脉相承。突出典型性既是为了通过对典型产品的剖析,达到对所属流派 PLC 网络的深入了解,又是为了通过不同典型产品的比较,认识到不同流派的 PLC 网络的差异。有对比才可能有所发现,有所创新。

PLC 及其网络是用得最多,应用范围最广的自动化产品,也可以说是最实用的自动化设备。本书特别注重了实用性,论述中避免了单纯的机理分析,而将工作机理与具体实现(比如配置 PLC 网络,进行系统组态,编写通信程序)结合起来。同时还注意了与我国工业企业的实际相结合,重点介绍了把廉价的个人计算机开发成工作站连入 PLC 网络的技术。

全书分 8 章。第 1 章导论介绍 PLC 网络通信的基本理论,第 2 章介绍了个人计算机与 PLC 网络的联网通信。第 3 章至第 7 章介绍了 A-B 公司、西门子公司、欧姆龙公司、松下电

工的 PLC 网络, 最后一章介绍了 PLC 网络的应用。

本书是院校、工厂、研究所的科技人员通力合作编写的, 是“产学研”结合的产物, 并包含了我们从事福建省自然科学基金 E96010 的主要研究成果。在本书的编写与出版过程中, 我们得到了《现代工业企业自动化丛书》编委会、清华大学出版社的悉心指导及多方帮助, 各编者所在单位的领导、同行给予了全力支持与关心, 在此一并致谢。

由于水平有限, 错误及不妥之处在所难免, 望大家斧正。

编 者

1999 年 8 月

目 录

第 1 章	可编程控制器网络通信导论	1
1.1	可编程控制器及其网络概述	1
1.2	PLC 网络的拓扑结构及其各级子网通信协议配置的原则	5
1.3	PLC 网络中常用的通信方法	10
1.4	OSI 7 层模型与 LAN-RM 局域网参考模型	16
1.5	IEEE 802.4 令牌总线协议与 MAP 规约概述	21
1.6	Ethernet 协议与 TCP/IP 技术概述	29
第 2 章	个人计算机的通信机制及其与 PLC 网络的联网通信	34
2.1	个人计算机与 PLC 联网通信的条件	34
2.2	个人计算机的异步通信适配器	36
2.3	用汇编语言编制通信程序	41
2.4	用 BASIC 语言编制通信程序	58
2.5	用 Turbo Pascal 语言编写通信程序	66
2.6	个人计算机与 PLC 联网通信的 C 语言通信程序编制举例	71
2.7	IBM 微型机通过电话网的互联通信	80
第 3 章	A-B 公司的 PLC-5 系列可编程控制器网络	87
3.1	A-B 公司的 PLC 及其通信系统概况	87
3.2	远程 I/O 链路	94
3.3	DH+ 工业局域网	112
3.4	PI 系统与信息管理网络	121
3.5	DH 485 工业局域网与 0 [#] 通道通信链路	127
第 4 章	OMRON 公司 C 系列可编程控制器网络	135
4.1	OMRON 的 C 系列可编程控制器及其网络概况	135
4.2	下位连接系统	138
4.3	同位连接系统	145
4.4	上位连接系统	155
4.5	OMRON C 系列其它 PLC 网络简介	172
第 5 章	松下电工的 FP 系列可编程控制器网络	181
5.1	松下电工的 PLC 与 PLC 网络概况	181
5.2	远程 I/O 系统	184
5.3	松下电工的专用通信协议 MEWTOCOL	193
5.4	C-NET 工业局域网	201
5.5	P-Link 工业局域网	205

5.6	FP 系列的以太网	215
第 6 章	西门子公司 SIMATIC S5 系列可编程控制器网络	223
6.1	西门子的可编程控制器及 PLC 网络概况	223
6.2	S5-115U 与 S5-155U 的远程 I/O 系统	227
6.3	数据管理功能块	237
6.4	SINEC-L1 工业局域网	248
6.5	SINEC-H1 工业局域网	273
第 7 章	PROFIBUS 现场总线	298
7.1	两种现场总线概念	298
7.2	SINEC-L2/L2F0 工业局域网的结构与组成	300
7.3	SINEC-L2 工业局域网的通信原理	302
7.4	PROFIBUS-DP 的数据传输方式	311
7.5	CP5430 通信模板的初始化组态	333
第 8 章	PLC 网络的应用	346
8.1	点对点式 PLC 网络在高炉上料控制与酸洗生产线控制中的应用	346
8.2	上位连接式 PLC 网络在立体自动化仓库及群控电梯中的应用	359
8.3	带工作站的 PLC 网络在带钢精轧、板坯连铸及人造板生产线上的应用	366
8.4	多级分布式 PLC 网络在钢铁工业的 CIMS 系统中的应用	377
主要参考文献		383

第 1 章 可编程控制器网络通信导论

在介绍具体的可编程控制器网络之前安排这章导论,一个目的是把各种不同的 PLC 网络产品所表现出的共性、相似性、同一性、统一性提纲挈领地加以集中介绍,它将成为贯穿于各家公司不同 PLC 网络产品中的一条主线,让读者认识到,尽管各种 PLC 网络产品千差万别,但只要了解本质就可以深刻地理解与抓住 PLC 网络通信的实质。此外,各公司 PLC 网络通信都用到许多相同的通信基础知识,在全书一开始加以简单扼要地回顾,有助于后面深入学习与研究。本章主要介绍了 PLC 网络的复合型拓扑结构、各级 PLC 子网通信协议的配置规律、PLC 网络常用的通信方法、ISO 7 层模型、LAN-RM 局域网模型、IEEE802.4 标准、MAP 规约、Ethernet 协议及 TCP/IP 技术。

1.1 可编程控制器及其网络概述

1.1.1 可编程控制器的发展演变历史

1968 年,美国通用汽车公司(GM)根据市场形势与生产发展的需要,提出了“多品种、小批量、不断翻新汽车品牌型号”的战略。要实现这个战略决策,依靠原有的工业控制装置显然不行,而必须有一种新的工业控制装置,它可以随着生产品种的改变,灵活方便地改变控制方案以满足对控制的不同要求。这种新的工业控制装置,应当是什么样子,大家还都不知道。GM 公司用它应当达到的十项功能指标描述了这个设想中的全新的工业控制装置,并向社会公开招标。1969 年著名的美国数字设备公司(DEC),按 GM 的功能要求研制出了这种新的工业控制装置,并在 GM 公司的一条汽车自动化生产线上(位于底特律)首次运行取得成功。人们根据这种新型工业控制装置可以通过编程改变控制方案这一特点,以及专门用于逻辑控制的情况,称这种新的工业控制装置为可编程逻辑控制器(programmable logic controller),简称为 PLC。

从 1968 年到现在,PLC 经历了四次换代:第一代 PLC,大多用一位机开发,用磁芯存储器存储,只具有单一的逻辑控制功能。在第二代 PLC 产品中换成了 8 位微处理器及半导体存储器,PLC 产品开始系列化了。第三代 PLC 产品随着高性能微处理器及位片式 CPU 在 PLC 中大量的使用,PLC 的处理速度大大提高,从而促使它向多功能及联网通信方向发展。第四代 PLC 产品不仅全面使用 16 位、32 位高性能微处理器,高性能位片式微处理器,RISC(reduced instruction set computer)精简指令系统 CPU 等高级 CPU,而且在一台 PLC 中配置多个微处理器,进行多道处理。同时生产了大量内含微处理器的智能模板,使得第四代 PLC 产品成为具有逻辑控制功能、过程控制功能、运动控制功能、数据处理功能、联网通信功能的真正名符其实的多功能控制器。同一时期,由 PLC 构成的 PLC 网络也得到飞速发展。PLC 与 PLC 网络成为工厂企业中首选的工业控制装置,由 PLC 组成的多级分布式 PLC 网络成为 CIMS(computer integrated manufacturing system)系统不可或缺的基本组成部

分。人们高度评价 PLC 及其网络的重要性,认为它是现代工业自动化的三大支柱之一。

随着可编程控制器的发展,它已经完全不是一开始只能进行逻辑控制那个状态,因而用“PLC”是不能描述其多功能的特点的。1980 年,美国电气制造商协会(NEMA)给它一个新的名称“programmable controller”,简称 PC。1982 年国际电工协会(IEC)专门为 PC 下了严格的定义。然而 PC 这一缩写在我国早已成为个人计算机(personal computer)的代名词,为避免造成名词术语混乱,因此在我国仍沿用 PLC 表示可编程控制器,当然这绝不意味着 PLC 只具有逻辑控制功能。

1.1.2 PLC 的几种流派

1969 年美国的 DEC 公司研制成功了世界第一台 PLC。1971 年日本从美国引进了 PLC 技术加以消化,由日立公司试制成功了日本的第一台 PLC。欧洲走的是独立研制 PLC 的道路,1973 年由德国的西门子公司研究成功了欧洲的第一台 PLC。从 70 年代初开始,在不到 30 年时间里,PLC 生产发展成一个巨大的产业,据不完全统计,现在世界上生产 PLC 及其网络的厂家有 200 多家,生产大约 400 多个品种的 PLC 产品。其中在美国注册的厂商超过 100 家,生产大约 200 个品种;日本有 60~70 家 PLC 厂商,也生产 200 多个品种的 PLC 产品;在欧洲注册的也有几十家,生产几十个品种的 PLC 产品。

PLC 产品的产量、销量及用量在所有工业控制装置中居首位,市场对其需求仍在稳步上升。进入 20 世纪 90 年代以来,全世界 PLC 年销售额已达百亿美元而且一直保持 15% 的年增长势头。面对 200 多 PLC 厂家,400 多个品种的 PLC 产品,令人目不暇接、眼花缭乱。这无疑会给广大的 PLC 用户在选择、开发、使用及学习 PLC 时造成许多困难。

学通一种 PLC,是否能举一反三,一通百通呢?如果说对于单纯的逻辑控制还有一点可能的话,那么现在随着 PLC 功能的发展,要想一通百通几乎是完全不可能了。熟悉西门子 S5 系列 PLC 的人都知道,它是采用结构化编程的方法,尽管它也设有梯形图、逻辑图等多种其它编程语言,但稍许复杂一点的问题就必须采用语句表,通过 STEP5 语言,调用各种功能块来实现。然而美国 A-B 公司的 PLC-5 系列可编程控制器则与西门子 S5 系列 PLC 相去甚远,A-B 的 PLC-5 根本就没有语句表,它所有的程序都要依靠梯形图编制,因而 A-B 的梯形图与西门子的梯形图在形式、含义、功能及用法上相差很大。

日本的微型小型 PLC 产品是非常有特色的,它对梯形图、语句表并重,而且配置了包括功能指令在内的功能很强的指令系统。用户常常会发现,同一个应用问题,选用日本的小型 PLC 产品就能解决,而用欧美产品常要选中型乃至大型 PLC 才行。这主要是欧美小型 PLC 产品指令系统太弱所致。

随着 PLC 功能的发展,企图学通一种就一通百通显然是不可能的,那么是否要对每种 PLC 都学习呢?这样做既不现实,也没有必要。

追溯 PLC 的发展历史可以看到,世界上 200 多家 PLC 厂商,400 多品种的 PLC 产品大体可以按地域分成三个流派:一个流派是美国产品,一个流派是欧洲产品,还有一个流派是日本产品。同一地域的产品相互借鉴比较多,相互影响比较大,技术渗透得比较深,面临的主要市场相同,用户要求接近,这一切就使得同一地域的 PLC 产品表现出比较多的相似性。

美国 PLC 技术的形成与欧洲 PLC 技术的形成是在相互隔离的情况下,独自研究开发获得的,因此美国的 PLC 产品与欧洲的 PLC 产品常表现出明显的差异性。日本的 PLC 技

术是由美国引进的,因此日本产品对美国产品有一定的继承性。但日本把自己主推产品定位在小型 PLC 上,因面临的主要市场在亚洲,因此它对美国的 PLC 技术既有继承,更多的是发展。在小型 PLC 方面,它已是青出于蓝而胜于蓝,日本产品在世界小型 PLC 市场上占 70% 的份额。

按照把 PLC 产品划分成三种流派思路,从每一流派中选择最有代表性的几家厂商,再结合它们的产品在我国的用量来决定本书内容的取材。据不完全统计,我国每年引进的 PLC 产品价值在 5 500 万美元左右,其中美国产品约 2 000 万美元,欧洲产品约 2 500 万美元,日本产品约 1 000 万美元。欧美产品以大中型 PLC 为主,基本上是德国西门子公司与美国 A-B 公司平分秋色。小型 PLC 主要是日本产品,其中 OMRON 公司占首位,而松下电工是后起之秀,大有后来居上之势。本书将主要介绍美国 A-B 公司、日本 OMRON 公司、日本松下电工公司及德国西门子公司 PLC 网络产品,每种流派都选有代表。

按地域划分 PLC 产品流派的作法并不很科学,但它有一定实用价值,同一流派 PLC 产品表现较多的相似性,不同流派 PLC 产品表现出的明显差异性,这启示我们介绍每一流派中最有代表性的产品,以后遇到其它品种时,就比较容易举一反三,触类旁通。

1.1.3 PLC 及其网络是现代工业自动化的支柱

PLC 及其网络被公认为现代工业自动化三大支柱(PLC、机器人、CAD/CAM)之一。从近年的统计数据看,在世界范围内,PLC 产品的产量、销量、用量高居各种工业控制装置榜首,而且市场需求量一直在按每年 15% 的比率上升。形成这一局面有其深刻的原因。

1. PLC 集三电于一体

工业自动化系统通常分成三类:一类是控制开关量的逻辑控制系统,一类是控制慢连续量的过程控制系统,一类是控制快连续量的运动控制系统。在传统上对于这三种控制系统使用不同的控制装置。逻辑控制用电控装置(电气控制装置即继电器接触器控制柜),过程控制用电仪装置(电动单元组合仪表),运动控制用电传装置(电气传动控制装置)。所谓三电指的就是电控、电仪、电传。

在一家工厂、一个车间、一个工段,甚至在一台设备上,这三种控制系统常常并存在一起,但却各不相干。这主要是因为这三种控制装置相差太远,无法兼容。长久以来,人们一直希望能把它们用一种控制装置统一起来,协调地进行控制。这对于提高生产效率,保证产品质量,实现优化控制无疑是很有意义的。把三电合成于一体就叫做三电一体。

从现代控制装置来看,无论是逻辑控制、过程控制还是运动控制都使用的是计算机开发的控制装置,计算机成为三电一体的物质基础。

有两种实现三电一体化的思路:一种思路是在网络一级实现三电一体化,逻辑控制装置、过程控制装置、运动控制装置尽管各不相同,但如果它们都可以连入同一网络,则网络就成了三电统一的载体,在网络一级实现了三电一体化。另一种思路是在控制装置一级实现三电一体化,一台控制装置既有逻辑控制功能,又有过程控制功能,还有运动控制功能。DCS (distributed control system) 系统沿着前一种思路发展三电一体化,它花费较大,适合于大型自动化系统。PLC 则沿着后一种思路发展三电一体化,它灵活机动,三电一体集成度高,适合于各种规模的自动化系统。

众所周知,研制开发 PLC 的最初动因是为了取代继电器,构成新型的控制开关量的装

置,因此,从一开始,逻辑控制就是 PLC 的长项。随着 PLC 的换代,PLC 中处理器处理速度的不断增加,PLC 的功能也在不断增多,现在发展成具有逻辑控制功能、过程控制功能、运动控制功能、数据处理功能、联网通信功能的名符其实的多功能控制器。在 PLC 从逻辑控制功能向多功能的发展过程中,制造商们曾发生过争论,出现过短暂的停顿时期。曾经怀疑在 PLC 上增加对连续量的控制功能是否有意义,与同一时期兴起的专用于过程控制的可编程调节器、工业 PC、DCS 系统相比较,是否具有竞争力,是否会有市场。停顿是短暂的,大家很快意识到,在 PLC 上增加连续量控制功能的生命力并不在于其配置的控制算法的复杂程度,而在于多种功能的集成。PLC 的主要优势在于它把三电集于一体,在装置一级实现了三电一体化。

为什么 PLC 有能力在装置一级集三电于一体,而专门用于过程控制的计算机控制装置实现三电一体却比较困难呢?其中有三个原因。第一是 PLC 是以控制开关量起家的,它采用循环扫描方式,通过串行处理使其在逻辑上等效于并行处理的继电器逻辑控制系统,为了不丢失输入信号,要求循环扫描周期愈短愈好,这就使得在 PLC 中配置的处理器性能好,速度快。这些高性能的微处理器本身有很大的潜能,早期 PLC 只利用其速度快这一条,其它潜能并没有得到充分利用。后来发现只要处理好不同性质的实时多任务的调度,在 PLC 中加入针对慢连续量的过程控制并不困难。反过来,让针对慢连续量的过程控制计算机,改成周期循环扫描并加入大量开关量控制却是力不能及的。第二个是在大中型 PLC 中普遍采用了多微处理机结构进行多道处理。例如西门子的 S5-155U, S5-135U 内最多配置 4 个 CPU 加一个协处理器,德州仪器公司的 TI565 可编程控制器最多可装入 8 台 MC68000 的处理器,这使得 PLC 不仅速度快,而且可以独立各自处理不同问题,也可分解协调,共同处理非常复杂的问题。第三个是 PLC 配置着大量内含 CPU 的智能模板,有些专用于 PID 控制,有些用于运动控制,有些用于高速计数,有些用于联网通信,它们采用模块结构,通过背板并行总线连成有机的整体,所有这一切为 PLC 在装置一级实现三电一体奠定了坚实的基础。当然从目前看,PLC 在装置一级的三电一体化并不是很完善的,复杂过程控制还欠缺一些,运动控制能力也还不全面,这些都有待于进一步开发。尽管如此,在装置一级实现三电一体化本身,使得 PLC 在竞争中居于强有力的地位。

2. PLC 网络的性能价格比高

PLC 网络经过多年的发展,已成为具有 3~4 级子网的多级分布式网络。加上配置强有力的工具软件,使它成为具有工艺流程显示、动态画面显示、趋势图生成显示、各类报表制作的多种功能的系统,在 MAP 规约的带动下,可以方便地与其它网络互联。所有这一切使 PLC 网络成为 CIMS 系统非常重要的组成部分之一。

若把 PLC 网络与其它工业局域网比较,从功能上看,PLC 网络并没有什么特别之处,它的特别之处在于:PLC 网络具有较高的性能价格比。

我们知道 DCS 系统具有优良的通信子网。但是为了取得网络级的高可靠性,DCS 系统普遍对通信网络采用了 1+1 冗余措施,这包括通信信道的 1+1 冗余、通信接口的 1+1 冗余,还包括当通信系统发生故障时,对故障检测及自动切换到备用子网的装置。诸如此类,导致尽管 DCS 系统性能优良,但价格也非常昂贵,性能价格比并不很高。

PLC 网络则不同,一般在网络级它不搞 1+1 网络冗余,仅在关键部位选用冗余结构的 PLC。这样一种处理方案,在价格上将大大低于 DCS 系统是不言而喻的。在可靠性上是否一定低于 DCS 系统呢?其实也不一定。由于 PLC 集三电于一体,使其本身具有很强的自治性,

它对 PLC 网络的通信速度要求比较低, 需要通过网络交换的数据量相对比较少, 这使得 PLC 网络变得比较简单。而 DCS 系统在网络一级实现三电一体化, 它对网络通信速度的要求比较高, 需要通过网络交换的数据量比较大, 这使得 DCS 系统的通信网络比较复杂。简单通信网络的可靠性总归比复杂通信网络的可靠性容易保证。从这个角度看, PLC 网络尽管没有 1+1 冗余, 可靠性也未必低。更何况 PLC 本身具有良好的自治性, 在关键场合又选用 PLC 冗余结构, 这样即使 PLC 网络发生故障, 仍可维持生产进行。

正是由于 PLC 网络具有较高的性能价格比这一特点, 使它倍受用户欢迎, 在中小企业的自动化系统中向 DCS 提出了严峻挑战。

3. PLC 的高可靠性

大家都知道, PLC 是一种具有很高可靠性的控制装置, 它与可编程序调节器、DCS 系统同被列为“不损坏仪表”。这当然是由于在硬件上它们都采取了诸如隔离、滤波、屏蔽、接地等一系列抗干扰措施, 在模板机箱进行了完善的电磁兼容性设计, 对元器件进行了精心的挑选; 而且更重要的是它们采用了诸如数字滤波、指令复执、程序卷回、差错校验等一系列软件抗干扰措施及故障诊断技术, 以及在系统一级的冗余配置等。

对于 PLC 系统来说, 它的高可靠性还得益于其特殊的工作方式。PLC 采用周期循环扫描方式工作, 对输入输出集中进行。这种工作方式本身就具有抗干扰功能。在一个循环扫描周期 T 中, 仅只有一小段时间集中进行 I/O, 也只有在这一小段集中 I/O 时间中的干扰才会被引入 PLC 内部, 在扫描周期的其余大部分时间, 干扰都被阻挡在 PLC 之外。因此 PLC 的这种工作方式本身就具有抗干扰能力。

通常, 为了防止输入开关量丢失, 要求把循环扫描周期控制在 100 ~ 200 ms 之内, 这个时间比 PLC 所带的执行器的机电时间常数小得多。这样一来, 即使在某个扫描周期, 干扰侵入, 并造成输出值错误, 但当它还没有来得及使执行器发生错误的动作, 下一个扫描周期正确的输出就会将其纠正。上面这些原因使 PLC 的可靠性显得更高。

正是由于 PLC 具有多种功能, 集三电于一体, PLC 网络具有优良的性能价格比和 PLC 具有高可靠性等等, 使得 PLC 在工厂中倍受欢迎, 用量高居首位, 成为现代工业自动化的支柱。

1.2 PLC 网络的拓扑结构及其各级子网通信协议配置的原则

1.2.1 生产金字塔结构与工厂计算机控制系统模型

可编程控制器制造厂家常用生产金字塔 PP(productivity pyramid)结构来描述它的产品所能提供的功能。图 1.1 列举了有代表性的几个厂家的生产金字塔, 其中(a)为美国 A-B 公司的生产金字塔, (b)为 AEG-MODICON 的生产金字塔, (c)为 SIEMENS 公司的生产金字塔。尽管这些生产金字塔结构层数不同, 各层功能有所差异, 但它们都表明 PLC 及其网络在工厂自动化系统中, 由上到下, 在各层都发挥着作用。这些金字塔的共同特点是: 上层负责生产管理, 底层负责现场控制与检测, 中间层负责生产过程的监控及优化。

美国国家标准局曾为工厂计算机控制系统提出过一个如图 1.2 所示的 NBS 模型, 它分为 6 级, 并规定了每一级应当实现的功能, 这一模型获得了国际广泛的承认。

图 1.1 生产金字塔结构示意图

国际标准化组织(ISO)对企业自动化系统的建模进行了一系列研究,也提出了一个6级模型(如图 8.30)。它的第 1 级为检测与执行器驱动,第 2 级为设备控制,第 3 级为过程监控,第 4 级为车间在线作业管理,第 5 级为企业短期生产计划及业务管理,第 6 级为企业长期经营决策规划。尽管它与 NBS 模型各级内涵,特别是高层内涵有所差别,但两者在本质上是相同的。

1.2.2 PLC 网络的拓扑结构

如果把金字塔结构与 NBS 模型或 ISO 模型比较一下,就会发现,PLC 及其网络发展到现在,已经能够实现 NBS 模型/ISO 模型要求的大部分功能,至少可以实现 4 级以下的功能。

图 1.2 NBS 模型

PLC 要提供金字塔功能或者说要实现 NBS/ISO 模型要求的功能,采用单层子网显然是不行的。因为不同层所实现的功能不同,所承担的任务的性质不同,导致它们对通信的要求也就不一样。在上层所传送的主要是些生产管理信息,通信报文长,每次传输的信息量大,要求通信的范围也比较广,但对通信实时性的要求却不高。而在底层传送的主要是些过程数据及控制命令,报文不长,每次通信量不大,通信距离也比较近,但对实时性及可靠性的要求却比较高。中间层对通信的要求正好居于两者之间。

由于各层对通信的要求相差甚远,如果采用单级子网,只配置一种通信协议,势必顾此失彼,无法满足所有各层对通信的要求。只有采用多级通信子网,构成复合型拓扑结构,在不同级别的子网中配置不同的通信协议,才能满足各层对通信的不同要求。

PLC 网络的分级与生产金字塔的分层不是一一对应的关系,相邻几层的功能,若对通信要求相近,则可合并,由一级子网去实现。采用多级复合结构不仅使通信具有适应性,而且具有良好的可扩展性,用户可以根据投资情况及生产的发展,从单台 PLC 到网络,从底层向高层逐步扩展。下面列举几个最有代表性公司的 PLC 网络。

1. A-B 公司的 PLC 网络

A-B 公司是美国最大的 PLC 制造商,占据全美市场份额的 45%。图 1.3 表示了 A-B 公司

的 PLC 网络,它采用的是 3 级总线复合型拓扑结构。最底一级为远程 I/O 系统,负责收集现场信息,驱动执行器,在远程 I/O 系统中配置周期 I/O 通信机制。中间一级为高速数据通道 DH+ (或 DH, DH⁻),它负责过程监控,在高速数据通道中配置令牌总线通信协议。最高一级可选用 Ethernet(以太网)或者 MAP 网,这一级负责生产管理。在 Ethernet 网中配置以太网协议,在 MAP 网中配置全 MAP 规约。

图 1.3 A-B 公司的 PLC 网络

2. SIEMENS 公司的 PLC 网络

西门子公司是欧洲最大的 PLC 制造商,在大中型 PLC 市场上,西门子与 A-B 公司的产品齐名。图 1.4 表示了西门子公司的 S7 系列 PLC 网络,它采用 3 级总线复合型结构,最底一级为远程 I/O 链路,负责与现场设备通信,在远程 I/O 链路中配置周期 I/O 通信机制。中间一级为 Profibus 现场总线或主从式多点链路。前者是一种新型现场总线,可承担现场、控制、监控三级的通信,采用令牌方式与主从轮询相结合的存取控制方式;后者为一种主从式总线,采用主从轮询式通信。最高一层为工业以太网,它负责传送生产管理信息。在工业以太网通信协议的下层中配置以 802.3 为核心的以太网协议,在上层向用户提供 TF 接口,实现 AP 协议与 MMS 协议。

3. MODICON 公司的 PLC 网络

20 世纪 90 年代初德国奔驰集团属下的 AEG 公司全资收购了 MODICON 公司,现在称之为 AEG-MODICON。MODICON 的 PLC 产品在美国市场上所占份额居第二位。图 1.5 表示了 AEG-MODICON 的 PLC 网络,它也采用 3 级总线复合型拓扑结构。其最高一级为 Ethernet 或 MAP 网,分别配置 Ethernet(DECnet)协议及 MAP 规约,负责传输生产管理信息。最下一级为远程 I/O 链路,采用周期 I/O 方式通信,负责 PLC 与其现场设备的通信。中间一级为 Modbus+ 或者 Modbus 网,配置 Modbus 协议,采用主从方式通信。

图 1.4 SIEMENS 公司的 S7 系列 PLC 网络

图 1.5 AEG-MODICON 公司的 PLC 网络

4. 松下电工公司的 PLC 网络

日本松下电工公司推出的 FP 系列 PLC 是世界 PLC 市场上的一匹黑马, 大有后来居上之势。图 1.6 表示了松下电工公司的 PLC 网络, 这是一种 4 级子网的复合型网络, 既可采用总线/ 总线/ 总线/ 总线 4 级复合, 也可采用总线/ 总线/ 环/ 总线 4 级复合。

松下电工的 PLC 网络最高一级为以太网, 配置以太网协议, 可与商用以太网互联, 负责传输生产管理信息。最下一级为远程 I/O 链路, 采用周期 I/O 通信方式, 与现场设备交换信息。中间两级负责过程监控, 无论环形还是总线型, 其应用层均采用 MEWTOCOL 协议。

5. GE-FANUC 公司的 PLC 网络

最近美国的通用电气公司(GE)与日本的数控之王 FANUC 公司合并成立了 GE-FANUC 公司, 其 PLC 产品在美国市场所占份额居第三位。GE-FANUC 的 PLC 网络产品是在标准化方面进展最快的产品, 图 1.7 表示了 GE-FANUC 的 PLC 网络。