

21世纪高等院校化工类专业实验规划教材
四川省特色专业实践教材

化工自动化实验 及 **MATLAB** 仿真教程

谭超 主编
张开仕 副主编



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21 世纪高等院校化工类专业实验规划教材
四川省特色专业实践教材

化工自动化实验及 MATLAB 仿真教程

谭 超 主 编

张开仕 副主编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

本书为四川省应用化学特色专业“化工仪表及自动化”课程的配套实验教材，共四章，包括实验系统软硬件认识、MATLAB/Simulink 过程控制仿真基础、9 个化工过程控制综合实验、7 个基于 MATLAB/Simulink 的过程控制仿真实验和 1 个软测量仿真实验。本书既可满足化工仪表及自动化实验的基本要求，同时也可满足开展综合实验、创新实验、课程设计、毕业设计及进行学生科技创新活动等方面的需要。

本书可以作为应用化学、化学工程与工艺、生物工程、制药工程、环境工程等专业的实验课教材，也可供从事相关工作的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

化工自动化实验及 MATLAB 仿真教程 / 谭超主编. —
成都: 西南交通大学出版社, 2010.6
21 世纪高等院校化工类专业实验规划教材
ISBN 978-7-5643-0710-3

I. ①化… II. ①谭… III. ①化工过程—自动控制系统—计算机仿真—软件包, MATLAB—高等学校—教材
IV. ①TQ056-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 118916 号

21 世纪高等院校化工类专业实验规划教材
化工自动化实验及 MATLAB 仿真教程
谭超 主编

责任编辑 牛君
封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行
(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>
成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 8
字数: 197 千字
2010 年 6 月第 1 版 2010 年 6 月第 1 次印刷
ISBN 978-7-5643-0710-3
定价: 17.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

伴随着科学技术的迅猛发展，自动化技术已成为当代举世瞩目的高新技术之一。由于生产过程日益连续化、大型化、复杂化，广大化工技术人员需要学习和掌握必要的检测仪表和自动化方面的知识，这既是现代工业生产实现高效、优质、安全、低耗的基本要求和重要保证，也是设计和开发现代化生产过程所必须具备的知识。在化工行业，生产工艺、设备、控制与管理已逐渐成为一个有机的整体。为此，各高校的化工（及其他轻工）类专业纷纷开设了化工仪表及自动化方面的专业课程。然而，化工仪表及自动化作为化工类专业必修的一门技术基础课，也是一门综合应用电子技术、控制原理、控制工程、仪器仪表和计算机技术等交叉学科，学生普遍感到难度较大、不易理解，学习效果不好。因此，结合理论课教学实践和现代化工企业对人才的需求，并追踪化工自动化发展方向，我们建立了基于浙大中控 CS4000 的检测仪表与过程控制实验室，它既能开展过程控制的验证性实验和设计性实验，也可开展控制算法研究实验，为培养学生的动手能力和创新精神提供一个良好的平台。在 5 年的教学实践和学生毕业设计应用中，该实验系统在提高教学质量，激发学生的实验热情，培养学生的实践能力、创新意识和综合素质等方面发挥了重要作用。为此，在总结多年教学经验的基础上，编写了本教材。

化工自动化属于过程控制的范畴，过程控制系统的实施是一项投资巨大的系统工程，为减小实验投入和缩短工程进度，计算机仿真就十分必要，它是架起过程控制理论与实践之间的重要桥梁。为此，我们编写了 7 个基于 MATLAB/Simulink 的过程控制仿真实验及 1 个软测量仿真实验，希望进一步培养学生分析问题和解决问题的能力，并为研究性实验的设计提供参考，也能更好地满足各学校由于实验条件差异而出现的不同需求。

在本书的编写过程中，得到了任根宽、朱登磊、尚书勇、张燕、李惟一等同事的帮助和宝贵意见，也参阅了前辈们的书籍文献，还得到了四川省应用化学特色专业建设经费的资助，在此一并致谢！

由于时间仓促、编者水平和经验有限，书中疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者
2010 年 3 月

目 录

第一章 实验系统软硬件认识	1
第二章 MATLAB/Simulink 过程控制仿真基础	14
第三章 化工过程控制综合实验	28
实验 1 单容水箱对象特性测试实验 (DCS)	28
实验 2 双容水箱对象特性测试实验 (DCS)	32
实验 3 纯滞后对象特性测试实验 (PLC)	36
实验 4 加热水箱温度双位式控制实验 (DCS)	40
实验 5 单容水箱液位 PID 控制实验 (DCS)	44
实验 6 双容水箱液位 PID 控制实验 (DCS)	47
实验 7 加热水箱温度 PID 控制实验 (PLC)	50
实验 8 电磁流量 PID 控制实验 (DCS)	54
实验 9 双容水箱液位串级控制实验 (DCS)	57
第四章 基于 MATLAB/Simulink 的过程控制仿真实验	60
实验 1 化工过程 pH 控制仿真实验	60
实验 2 阶跃响应法求解对象传递模型仿真实验	67
实验 3 Ziegler Nichols 法整定控制器参数仿真实验	74
实验 4 单闭环流量比值控制系统仿真实验	80
实验 5 前馈-反馈复合控制系统仿真实验	86
实验 6 对角矩阵解耦控制系统仿真实验	93
实验 7 精馏过程温度串级控制系统仿真实验	104
实验 8 造纸废水处理软测量技术应用仿真实验	111
参考文献	121

第一章 实验系统软硬件认识

一、DCS 硬件配置

本实验系统由浙大中控制造，包括 DCS 控制站、CS4000 型过程控制实验装置、西门子 PLC s7-200、PC 机等。DCS 工程师站配置 1 张网卡，IP 地址为 128. 128. 1. 130，操作员站配置 1 张网卡，IP 地址为 128. 128. 2. 130。

二、DCS 控制站工业标准机柜的组成

1. 电源部分

控制柜上方为系统供电电源部分 (5 V、24 V)。

2. DCS 控制站卡件 (JX-300X) (表 1.1)

表 1.1 控制站卡件一览

序号	卡 件	功能说明
1	SP243X	主控制卡
2	SP243X	主控制卡 (冗余)
3	SP233	数据转发卡
4	SP233	数据转发卡 (冗余)
0	SP314	4 路电压信号输入卡
1	SP314	4 路电压信号输入卡
2	SP314	4 路电压信号输入卡
3	SP314	4 路电压信号输入卡
4	SP314	4 路电压信号输入卡
5	SP322	4 路模拟量输出卡
6	SP322	4 路模拟量输出卡
7	SP000	空卡件
8	SP363	8 路触点型开入卡
9	SP364	8 路继电器开出卡
10	SP000	空卡件
⋮	⋮	⋮

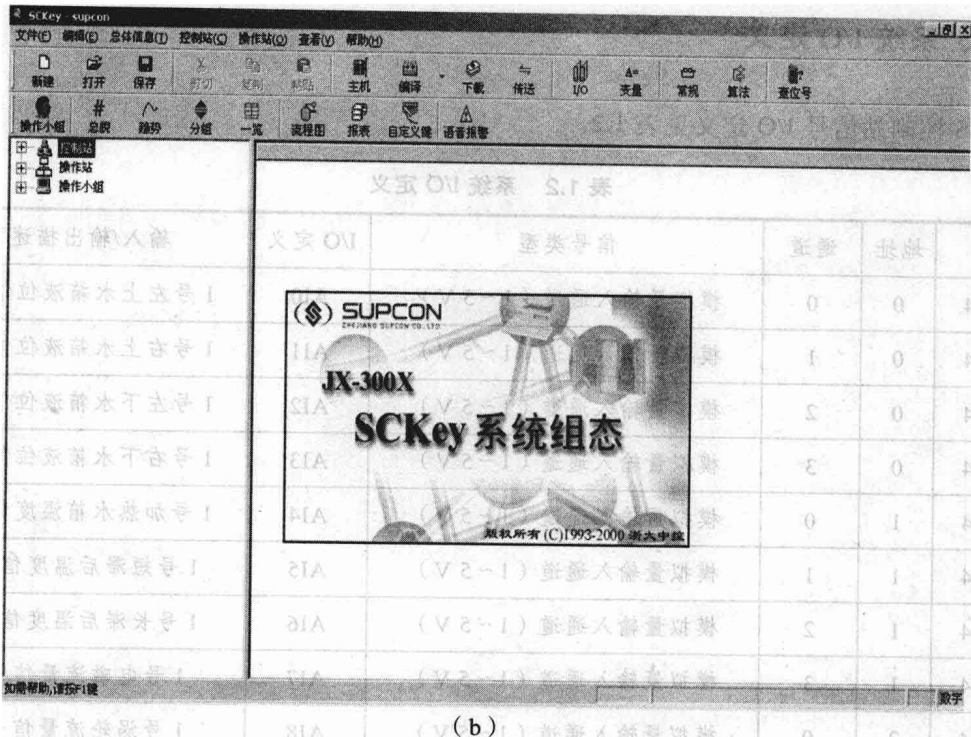


图 1.2 SCKey.exe 组态软件

(2) 采用 AdvanTrol.exe 监控软件实验，实验运行界面如图 1.3 所示。

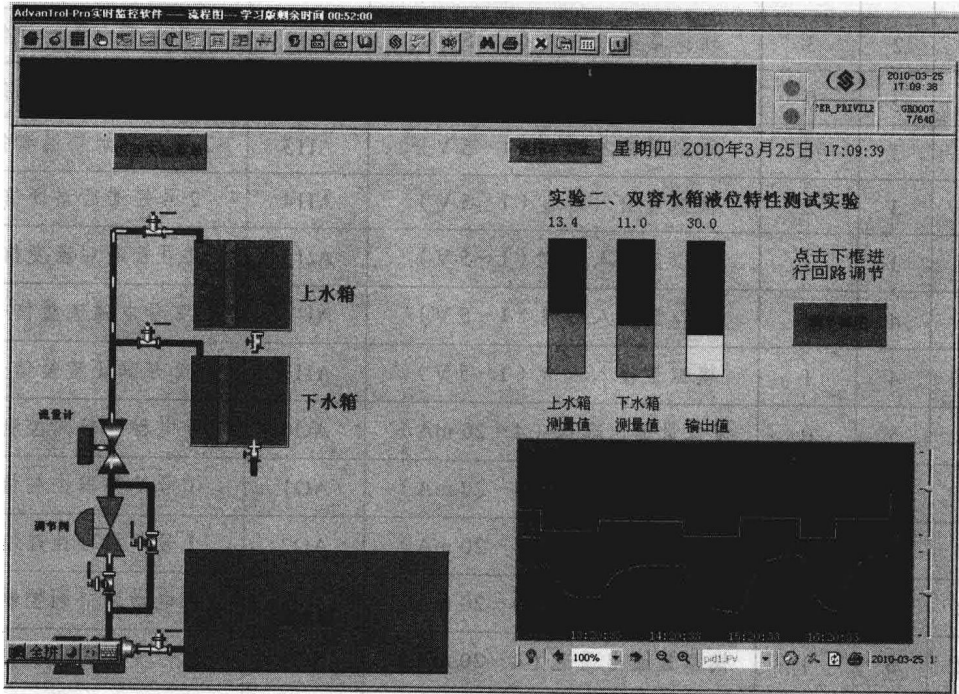


图 1.3 AdvanTrol.exe 监控软件

四、系统 I/O 定义

DCS 控制站信号 I/O 定义见表 1.2。

表 1.2 系统 I/O 定义

卡件	地址	通道	信号类型	I/O 定义	输入/输出描述
SP314	0	0	模拟量输入通道 (1~5 V)	AI0	1 号左上水箱液位信号
SP314	0	1	模拟量输入通道 (1~5 V)	AI1	1 号右上水箱液位信号
SP314	0	2	模拟量输入通道 (1~5 V)	AI2	1 号左下水箱液位信号
SP314	0	3	模拟量输入通道 (1~5 V)	AI3	1 号右下水箱液位信号
SP314	1	0	模拟量输入通道 (1~5 V)	AI4	1 号加热水箱温度信号
SP314	1	1	模拟量输入通道 (1~5 V)	AI5	1 号短滞后温度信号
SP314	1	2	模拟量输入通道 (1~5 V)	AI6	1 号长滞后温度信号
SP314	1	3	模拟量输入通道 (1~5 V)	AI7	1 号电磁流量信号
SP314	2	0	模拟量输入通道 (1~5 V)	AI8	1 号涡轮流量信号
SP314	2	1	模拟量输入通道 (1~5 V)	AI9	2 号左上水箱液位信号
SP314	2	2	模拟量输入通道 (1~5 V)	AI10	2 号右上水箱液位信号
SP314	2	3	模拟量输入通道 (1~5 V)	AI11	2 号左下水箱液位信号
SP314	3	0	模拟量输入通道 (1~5 V)	AI12	2 号右下水箱液位信号
SP314	3	1	模拟量输入通道 (1~5 V)	AI13	2 号加热水箱温度信号
SP314	3	2	模拟量输入通道 (1~5 V)	AI14	2 号短滞后温度信号
SP314	3	3	模拟量输入通道 (1~5 V)	AI15	2 号长滞后温度信号
SP314	4	0	模拟量输入通道 (1~5 V)	AI16	2 号电磁流量信号
SP314	4	1	模拟量输入通道 (1~5 V)	AI17	2 号涡轮流量信号
SP322	5	0	模拟量输出通道 (4~20 mA)	AO0	1 号电动调节阀控制信号
SP322	5	1	模拟量输出通道 (4~20 mA)	AO1	1 号变频器控制信号
SP322	5	2	模拟量输出通道 (4~20 mA)	AO2	1 号单相可控硅信号
SP322	6	0	模拟量输出通道 (4~20 mA)	AO3	2 号电动调节阀控制信号
SP322	6	1	模拟量输出通道 (4~20 mA)	AO4	2 号变频器控制信号
SP322	6	2	模拟量输出通道 (4~20 mA)	AO5	2 号单相可控硅信号

五、CS4000 型过程控制实验装置

1. 概述

CS4000 型过程控制实验装置是中控科教公司根据化工类专业的教学特点和学生培养目标,结合国内外最新科技动态而推出的集智能仪表技术、计算机技术、通讯技术、自动控制技术为一体的普及型多功能实验装置,能针对温度、压力、流量、液位等参数应用多种控制方案,同时让学生熟悉主流的工业控制产品,并具备一定操作、选型、设计能力,为学生就业时迅速进入角色打下基础。

CS4000 型过程控制实验装置的检测信号、控制信号及被控信号均采用 ICE 标准,即电压 1~5 V,电流 4~20 mA。实验系统采用单相 220 V 交流电供电。

整个系统由对象系统和控制系统两部分组成,如表 1.3 所示。

表 1.3 CS4000 型过程控制实验装置硬件配置

CS4000 过程控制 实验装置	对象系统	实验对象	双(主-副)管路流量系统
			四水箱液位系统
			加热水箱-纯滞后水箱温度系统
		检测机构	扩散硅式压力液位传感器
			涡轮流量计
			电磁流量计
			Pt100 热电阻温度传感器
		执行机构	可控硅移相调压装置
			电动调节阀
			变频器
		辅助系统	漏电保护器
			防干烧系统
	防高温系统		
	控制系统	智能数字仪表控制系统	
		DDC 计算机直接控制系统	
PLC 可编程控制器控制系统			

2. 对象系统

图 1.4 所示是 CS4000 型过程控制实验装置对象系统,主要包括三大部分:双管路流量系统、四水箱液位系统、加热水箱-纯滞后水箱温度系统。

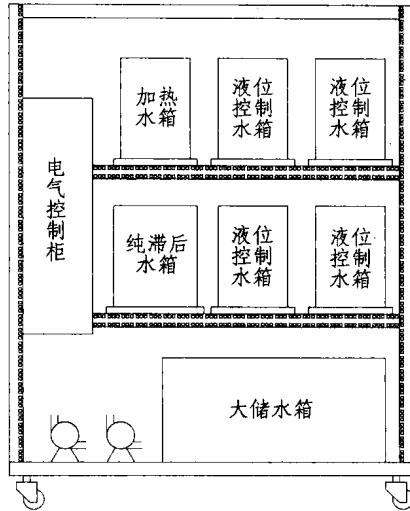


图 1.4 CS4000 对象系统

(1) 双管路流量系统。

如图 1.5 所示，包括两个独立的水路动力系统，一路由磁力驱动循环泵、电动调节阀、电磁流量计、自锁紧不锈钢水管及手动切换阀组成（主管路）；另一路由磁力驱动循环泵、变频调速器、涡轮流量计、自锁紧不锈钢水管及手动切换阀组成（副管路）。可开展单回路流量控制、流量比值控制等实验。另外，系统中还有一个不锈钢储水箱。

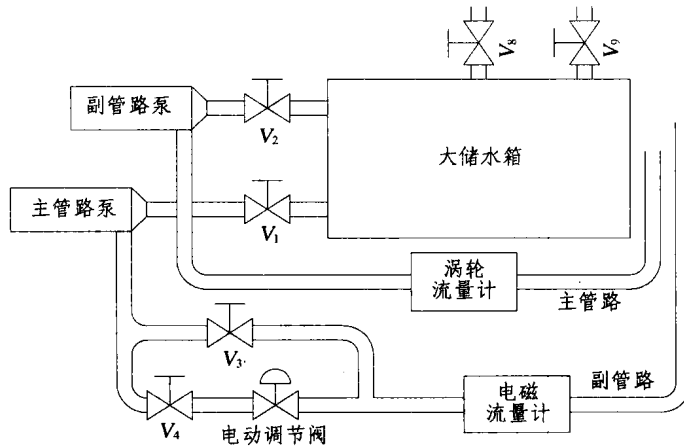


图 1.5 CS4000 双管路流量系统

(2) 四水箱液位系统。

如图 1.6 所示，包括四个有机玻璃水箱，每个水箱配有液位变送器，通过阀门切换，主副管路的水流均可到达任何一个水箱。可以完成多种方式下的液位、流量及其组合实验，如单容、双容（一阶、二阶）液位对象特性测试、单回路液位控制、不同干扰方式下液位控制、不同水箱液位串级控制、前馈-反馈控制、解耦控制实验。

(3) 加热水箱-纯滞后水箱温度系统。

如图 1.6 所示, 包括一个加热水箱和一个温度纯滞后水箱, 加热水箱及纯滞后水箱不同位置装有 Pt100 热电阻温度传感器, 由可控硅控制电加热管提供可调热源。可以完成多种温度实验, 如温度对象特性测试 (包括纯滞后特性)、不同水流状态温度单回路 PID 控制实验等。

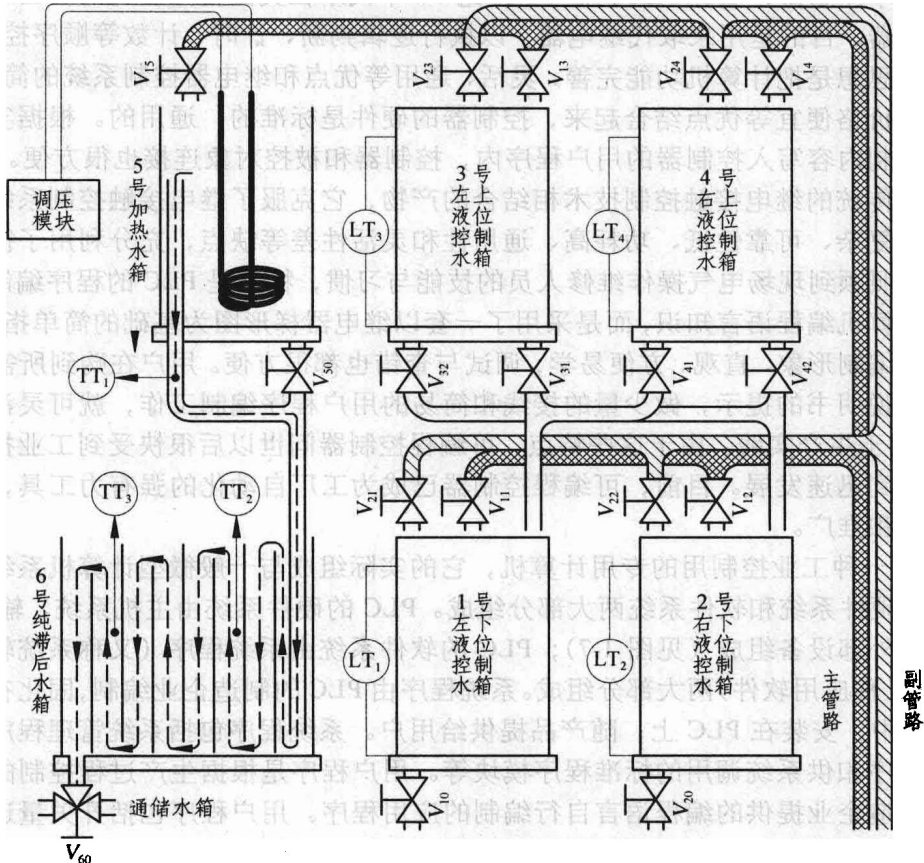


图 1.6 CS4000 四水箱液位系统和加热水箱-纯滞后水箱温度系统

CS4000 型系统主要特点:

- (1) 被控参数包括了流量、压力、液位、温度四大热工参数。
- (2) 执行器中既有电动调节阀、单相移相调压等仪表类执行机构, 又有变频器等电力拖动类执行器; 提供了如旁路阀等可加干扰的装置。
- (3) 一个被控参数可在不同动力源、不同的执行器、不同的工艺线路下演变成多种控制回路, 以便于讨论、比较各种控制方案的优劣。
- (4) 各种控制算法和 PID 规律在开放的组态实验软件平台上实现。
- (5) 实验数据及图表可以永久存储, 在组态软件 (如 MCGS) 中也可随时调用。
- (6) 含有大量的检测和执行装置: 如扩散硅压力液位传感器、电磁流量计、涡轮流量计、Pt100 热电阻温度传感器等检测装置; 采用单相可控硅移相调压装置来调节单相电加热管的工作电压, 采用电动调节阀调节管道出水量, 采用变频器调节小流量泵。

3. 控制系统

CS4000 型过程控制实验装置控制系统包括三部分：智能数字仪表控制系统、DDC 计算机直接控制系统、PLC 可编程控制器控制系统，在此仅考虑 PLC 系统。

可编程序控制器，简称 PLC，是 20 世纪 60 年代末在美国首先出现的，当时叫可编程逻辑控制器，目的是用来取代继电器，以执行逻辑判断、计时、计数等顺序控制功能。其基本设计思想是把计算机功能完善、灵活、通用等优点和继电器控制系统的简单易懂、操作方便、价格便宜等优点结合起来，控制器的硬件是标准的、通用的。根据实际应用对象，将控制内容写入控制器的用户程序内，控制器和被控对象连接也很方便。PLC 是微机技术与传统的继电接触控制技术相结合的产物，它克服了继电接触控制系统中机械触点的接线复杂、可靠性低、功耗高、通用性和灵活性差等缺点，充分利用了微处理器的优点，又照顾到现场电气操作维修人员的技能与习惯，特别是 PLC 的程序编制，不需要专门的计算机编程语言知识，而是采用了一套以继电器梯形图为基础的简单指令形式，使用户程序编制形象、直观、方便易学；调试与查错也都很方便。用户在购到所需的 PLC 后，只需按说明书的提示，做少量的接线和简易的用户程序编制工作，就可灵活方便地将 PLC 应用于生产实践。由于这些特点，可编程控制器问世以后很快受到工业控制界的欢迎，并得到迅速发展。目前，可编程控制器已成为工厂自动化的强有力工具，得到了广泛的普及和推广。

PLC 是一种工业控制用的专用计算机，它的实际组成与一般微型计算机系统基本相同，也是由硬件系统和软件系统两大部分组成。PLC 的硬件系统由主机系统、输入/输出扩展环节及外部设备组成（见图 1.7）；PLC 的软件系统由系统程序（又称系统软件）和用户程序（又称应用软件）两大部分组成。系统程序由 PLC 的制造企业编制，固化在 PROM 或 EPROM 中，安装在 PLC 上，随产品提供给用户。系统程序包括系统管理程序、用户指令解释程序和供系统调用的标准程序模块等。用户程序是根据生产过程控制的要求由用户使用制造企业提供的编程语言自行编制的应用程序。用户程序包括开关量逻辑控制程序、模拟量运算程序、闭环控制程序和操作站系统应用程序等。

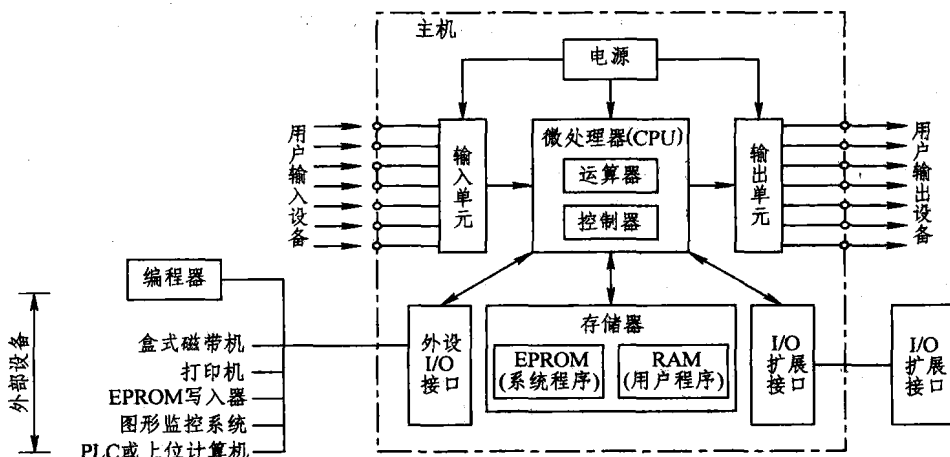


图 1.7 PLC 硬件结构

PLC 是采用周期循环扫描的工作方式，CPU 连续执行用户程序和任务的循环序列称为扫描。CPU 对用户程序的执行过程是 CPU 的循环扫描，并用周期性地集中采样、集中输出方式来完成。一个扫描周期（工作周期）主要分为以下几个阶段：输入采样扫描阶段、执行用户程序扫描阶段、输出刷新扫描阶段。

本系统配置 SIMATIC S7-200PLC 和 EM235 模拟量扩展模块，S7-200PLCPU 的外形结构见图 1.8，它适用于各行业中的参数检测、监测及控制的自动化，S7-200 系列 PLC 具有极高的性能/价格比，既能独立运行，又可相连成网络实现复杂控制功能。EM235 模拟量扩展模块具有与基本单元相同的设计特点，固定方式与 CPU 相同，可接 4 路模拟量输入和 1 路模拟量输出。在上位机上用 STEP 7-Micro/WIN 32 V3.2 编程软件编写应用程序（图 1.9），然后通过通信口下载到 PLC（图 1.10），上位机采用 MCGS 组态软件编写监视程序。

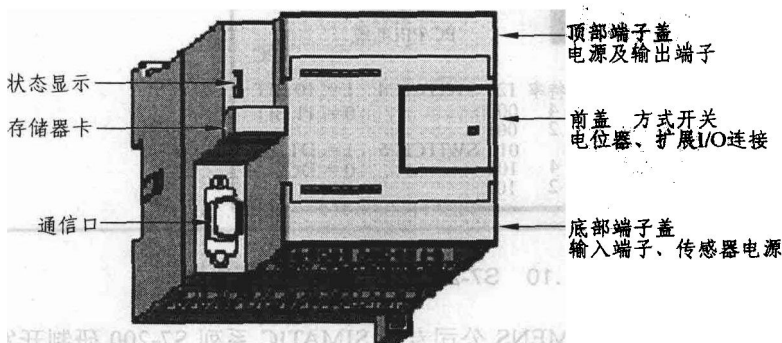


图 1.8 SIMATIC S7-200PLC

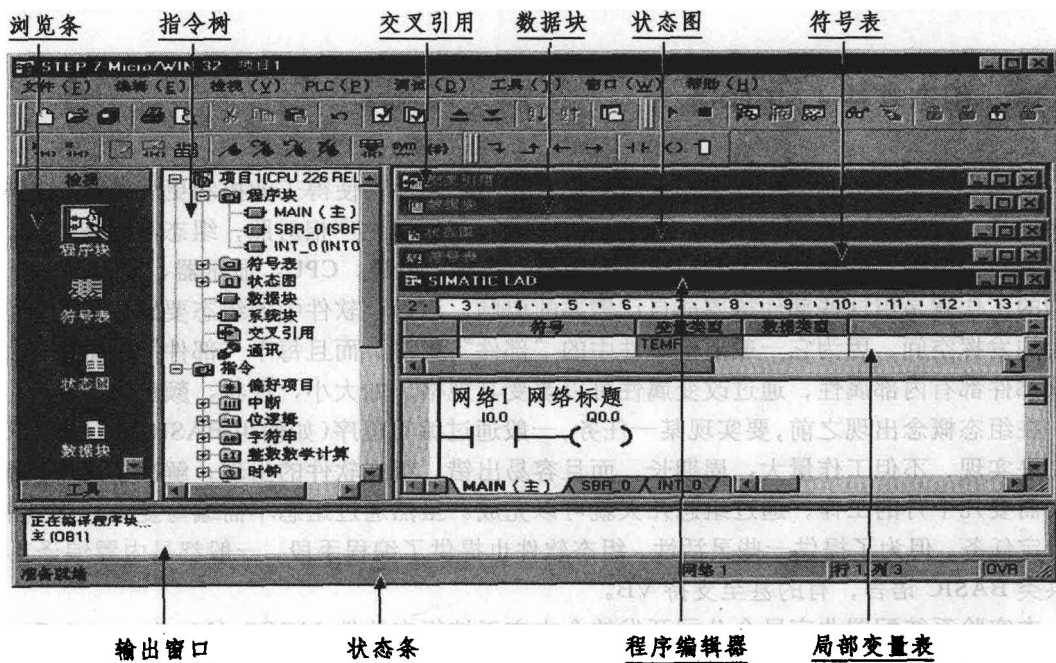


图 1.9 STEP 7-Micro/WIN 32 V3.2 编程软件

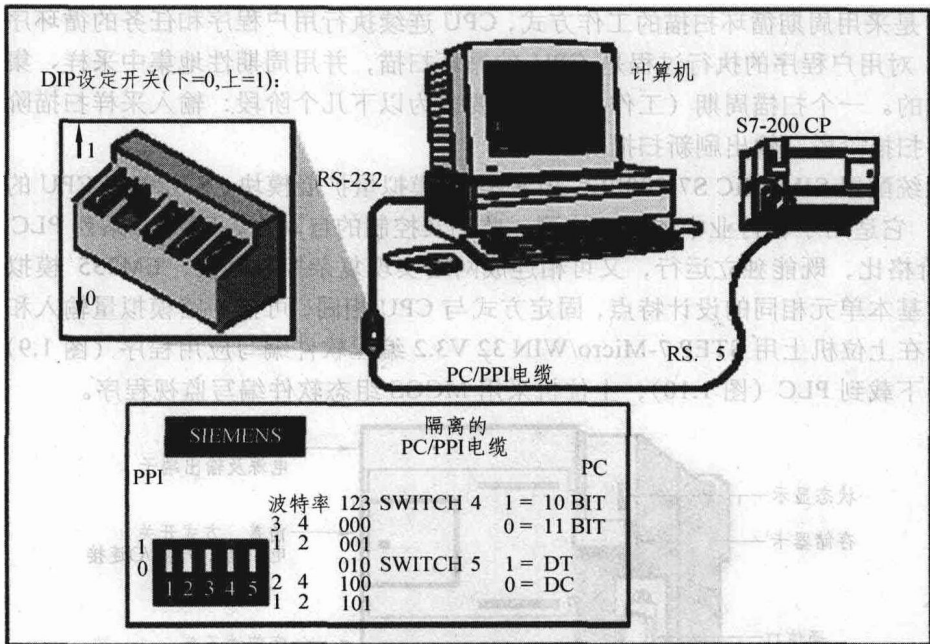


图 1.10 S7-200PLC 与上位机的连接

STEP7-Micro/WIN 32 是 SIEMENS 公司专为 SIMATIC 系列 S7-200 研制开发的编程软件，它是基于 Windows 平台的应用软件。STEP7-Micro/WIN 32 可以使用个人计算机作为图形编辑器，用于联机或脱机开发用户程序，并可在线实时监控用户程序的执行状态，其具体使用见参考书籍。

六、组态软件 (MCGS)

在当今的工业控制中广泛采用人机界面 (HMI) 软件，使得工业控制更加快捷、直观，大大提高了工业控制的工作效率。什么是组态呢？与硬件生产相对照，组态与组装类似。如要组装一台电脑，事先提供了各种型号的主板、机箱、电源、CPU、显示器、硬盘、光驱等，我们的工作就是用这些部件拼凑成自己需要的电脑。当然，软件中的组态要比硬件的组装有更大的发挥空间，因为它一般要比硬件中的“部件”更多，而且每个“部件”都很灵活（因为软部件都有内部属性，通过改变属性可以改变其规格，如大小、性状、颜色等）。

在组态概念出现之前，要实现某一任务，一般通过编写程序（如使用 BASIC, C, FORTRAN 等）来实现，不但工作量大、周期长，而且容易出错。组态软件的出现，解决了这个问题，过去需要几个月的工作，通过组态几天就可以完成。虽然通过组态不需编写复杂程序就能完成特定任务，但为了提供一些灵活性，组态软件也提供了编程手段，一般都是内置编译系统，提供类 BASIC 语言，有的甚至支持 VB。

本实验系统配置北京昆仑公司开发的全中文工控组态软件 MCGS (Monitor and Control Generated System, 通用监控系统，见图 1.11)，它是一套用于快速构造和生成计算机监控系统的组态软件，能够在基于 Microsoft 的各种 32 位 Windows 平台上运行，通过对现场数据的

采集处理，以动画显示、报警处理、流程控制和报表输出等多种方式向用户提供解决实际工程问题的方案，在自动化领域有着广泛的应用。

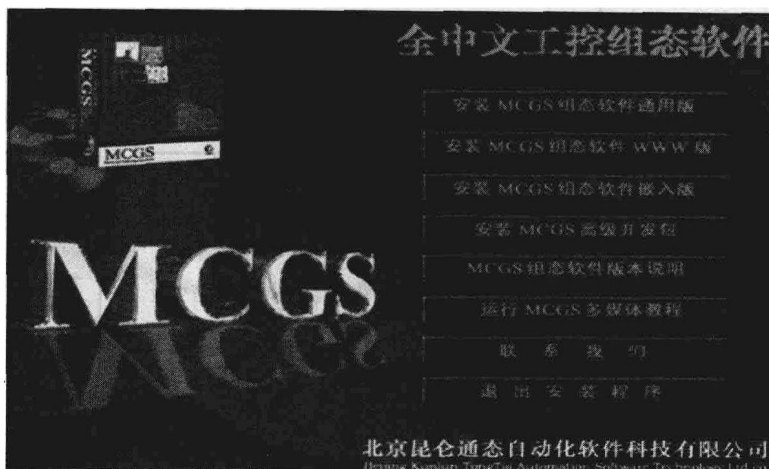


图 1.11 MCGS 组态软件安装画面

MCGS 系统包括组态环境和运行环境两部分。

(1) 用户的所有组态配置过程都在组态环境中进行，组态环境相当于一套完整的工具软件，它帮助用户设计和构造自己的应用系统。用户组态生成的结果是一个数据库文件，称为组态结果数据库。

(2) 运行环境是一个独立的运行系统，它按照组态结果数据库中用户指定的方式进行各种处理，完成用户组态设计目标的功能。运行环境本身没有任何意义，必须与组态结果数据库一起作为一个整体，才能构成用户应用系统。一旦组态工作完成，运行环境和组态结果数据库就可以离开组态环境而独立运行在监控计算机上。

由 MCGS 生成的用户应用系统，其结构由主控窗口、设备窗口、用户窗口、实时数据库和运行策略五大部分构成（图 1.12、图 1.13）：

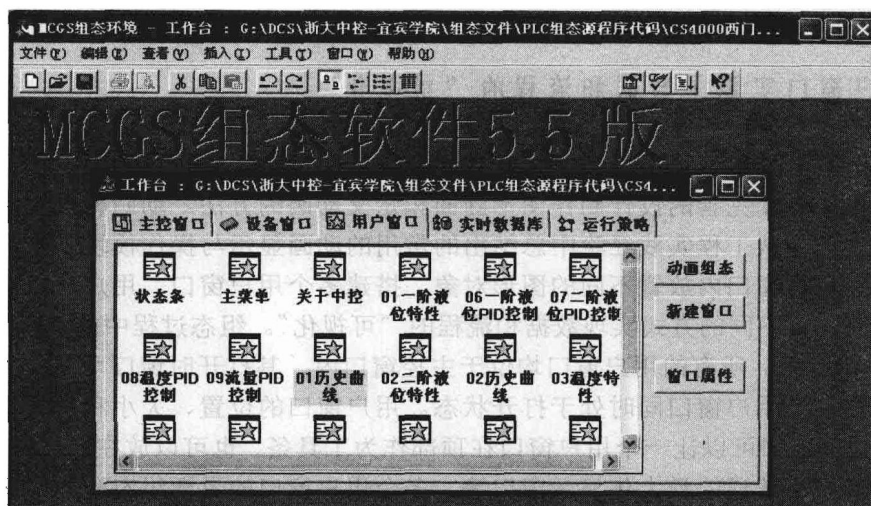


图 1.12 MCGS 组态软件

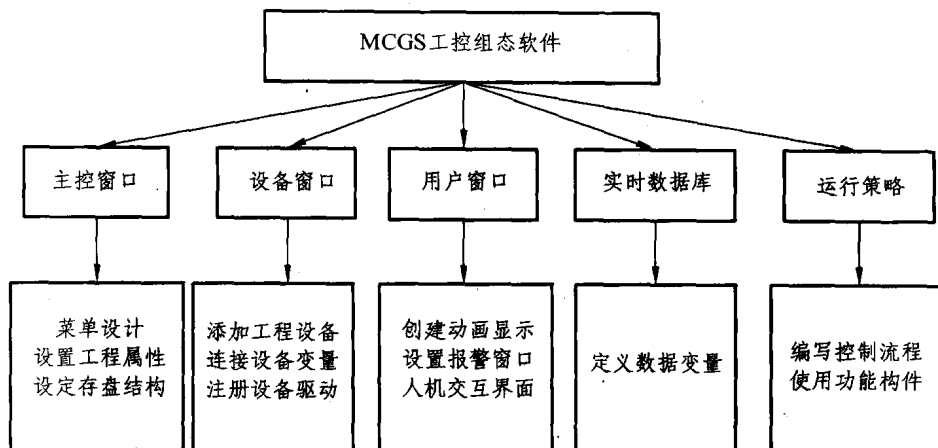


图 1.13 MCGS 组态软件五大组成部分

1. 主控窗口构造了应用系统的主框架

主控窗口确定了工业控制中工程作业的总体轮廓，以及运行流程、菜单命令、特性参数和启动特性等内容，是应用系统的主框架。

2. 设备窗口是 MCGS 系统与外部设备联系的媒介

设备窗口用来放置不同类型的设备构件，实现对外部设备的操作和控制。设备窗口通过设备构件把外部设备的数据采集进来，送入实时数据库，或把实时数据库中的数据输出到外部设备。一个应用系统只有一个设备窗口，运行时，系统自动打开设备窗口，管理和调度所有设备构件正常工作，并在后台独立运行。对用户来说，设备窗口是不可见的。

3. 用户窗口实现了数据和流程的“可视化”

用户窗口中可放置三种不同类型的图形对象：图元、图符和动画构件。图元和图符对象为用户提供了一套完善的设计制作图形画面和定义动画的方法。动画构件对应于不同的动画功能，它们是从工程实践经验中总结出的常用的动画显示与操作模块，用户可以直接使用。通过在用户窗口内放置不同的图形对象，搭建多个用户窗口，用户可以构造各种复杂的图形界面，用不同的方式实现数据和流程的“可视化”。组态过程中的多个用户窗口，最多可定义 512 个。所有的用户窗口均位于主控窗口内，其打开时窗口可见，关闭时窗口不可见。允许多个用户窗口同时处于打开状态。用户窗口的位置、大小和边界等属性可以随意改变或设置，如可以让一个用户窗口在顶部作为工具条，也可以放在底部作为状态条，还可使其成为一个普通的最大化显示窗口等。多个用户窗口的灵活组态配置，构成了丰富多彩的图形界面。