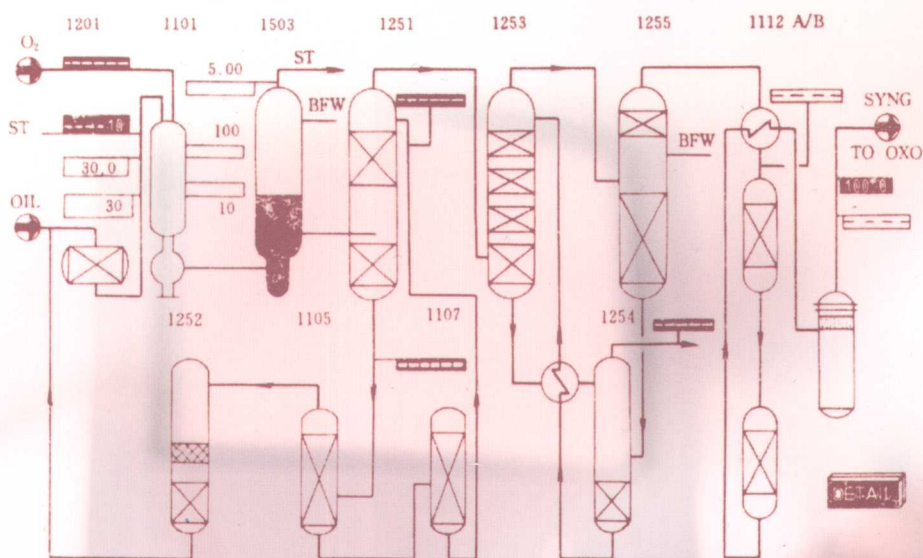


中等职业教育规划教材

综合控制系统

——自动控制专业项目教学教程之五

乐建波 蔡夕忠 主编 开俊 主审



化学工业出版社

中等职业教育规划教材

综合控制系统

——自动控制专业项目教学教程之五

乐建波 蔡夕忠 主编
开俊 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书作为自动控制专业项目教学系列教程之五,从精馏塔控制方案入手,介绍与精馏塔相关的工艺设备、工艺流程、控制过程及DCS控制系统常识;重点讲述精馏塔控制系统所涉及到的检测仪表及DCS控制装置的基础知识。

本书的特点是以精馏塔的控制项目为出发点,将DCS系统基础知识贯穿于其中,注重应用,在内容上涵盖了与过程参数检测控制有关的应知应会知识;在编排上采用项目教学法做引导,将教学目标和内容贯彻于项目中,从需求出发,循序渐进,将知识点和难点分散,使学生容易接受。

本书可作为中等职业学校仪器仪表、自动控制专业的教材,也可作为职工培训和从事仪表自动化工作人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

综合控制系统/乐建波,蔡夕忠主编. —北京:化学工业出版社,2007.7

中等职业教育规划教材 自动控制专业项目教学教程之五
ISBN 978-7-5025-9493-0

I. 综… II. ①乐…②蔡… III. 自动控制系统-专业学校-教材 IV. TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第096048号

责任编辑:张建茹

文字编辑:廉 静

责任校对:陶燕华

装帧设计:关 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京市兴顺印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张5½ 字数118千字 2007年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:11.00元

版权所有 违者必究

前 言

“给你 55 分钟，你可以造一座桥吗？”这是德国教育专家弗雷德·海因里希教授对“项目教学法”的介绍引入词。

“项目教学法”通过选取现实中一个“造一座桥”的项目，让学生进行讨论，按照“项目分析→制定计划→正式实施项目”的学习步骤，利用一种被称为“造就一代工程师伟业”的“慧鱼”模型拼装桥梁，使课堂教学中把理论与实践教学有机地结合起来，培养学生的职业能力。

职业院校以往在自动控制专业的教学方案设计和实施过程中，通常是以《过程检测技术》、《过程控制装置》和《过程控制技术》三门课程的经典设计来构成专业课程教学平台，在自动化技术飞速发展的今天，这种以学科为本位、相对独立的课程体系同目前职业院校的实际生源状况很难适应，同生产岗位对专业操作人员的实际职业能力的要求也不相协调。

为在教学中激发学生在专业学习中的兴趣，培养自发的学习能力，训练实践能力和综合能力，挖掘创造潜能，达到提升学生综合职业能力的目的。我们首次尝试对传统的教学设计予以改革，突破传统的课程体系，依据自动控制专业学生应具有的职业能力，根据“项目教学法”的教学思维，按压力控制、液位控制、流量控制、温度控制和综合控制的教学顺序，循序渐进，将应涵盖的教学内容进行融合调整，形成《自动控制专业项目教学系列教程》一套共 5 册教材。在各分册中，通过对教学项目和控制系统所涉及能力点的合理选择，自简单而复杂，先易后难，逐册递进，前后呼应，将自动控制专业学生应具备的知识能力，系统有机地融合进全套教程中。同时，在具体的教学设计安排中，充分利用现代化教学与实训手段，围绕一个完整的项目，按“预演项目结果→阐述项目设计思想→组织项目实施→系统评估”的过程，完成系统的教学活动。

作为自动控制系统项目教学教程的综合篇，本教材从精馏塔控制方案入手，介绍与精馏塔相关的工艺设备、工艺流程、控制过程及 DCS 控制系统常识；重点讲述精馏塔控制系统所涉及到的检测仪表及 DCS 控制装置的基础知识。其特点是以精馏塔控制系统项目为出发点，将基础知识贯穿于其中，注重应用，在内容上涵盖了与 DCS 控制系统有关的应知应会知识。

本书由乐建波和蔡夕忠主编，并负责全书的统稿，付志钢参编，由开俊主审。其中任务一、任务三和任务六由乐建波编写，任务二和任务五由蔡夕忠编写，任务四由付志钢编写。

汲取以往的教学精华，借助于成功的教学思维，力图改革，推陈出新，这是我们推出此套教程的主旨。因首次进行尝试，不足之处在所难免，恳请各位专家和读者不吝赐教，提出宝贵意见，对教程中出现的不足予以批评指正。

本套教材在编写过程中,得到全国化工中等职业教育教学指导委员会和广大职业院校及化学工业出版社的大力支持,在此一并表示衷心感谢。

全国化工中职机电仪表信息类专业教学指导委员会

《自动控制专业项目教学系列教程》编写组

2007年6月于北京

目 录

项目描述	1
任务一 项目分析	2
一、精馏设备介绍	2
二、精馏工艺控制任务分析	2
习题一	4
任务二 控制方案确定	6
一、精馏塔的精馏段控制方案	6
二、精馏塔的提馏段控制方案	15
习题二	17
任务三 检测装置选择	18
一、检测仪表的选用原则	18
二、检测装置的选择	18
习题三	20
任务四 控制装置选择	21
一、现场控制站的选择	21
二、操作员站的选择	31
三、工程师站的选择	46
四、阀门的选择	52
习题四	53
任务五 网络的选择	55
一、概述	55
二、常用协议	59
三、本系统中的通信	60
习题五	60
任务六 控制系统的安装与投运	62
一、接线图	62
二、相关装置的安装	65

三、准备及调试	74
四、投运	79
习题六	81
参考文献	82

项目描述

精馏过程是把混合物分离，使其达到规定纯度的传质过程。精馏是利用两种物质的沸点不同，多次进行混合蒸汽的部分冷凝和混合液体的部分蒸发的过程，以达到分离的目的。

两种沸点不同的物质组成的混合液体，在吸收热量而部分蒸发时，易挥发组分将较多地蒸发；而混合蒸汽在放出热量而部分冷凝时，难挥发组分将较多地冷凝。如果将温度较高的饱和蒸汽与温度较低的饱和液体接触，蒸汽将放出热量给饱和液体。蒸汽放出热量将部分冷凝，液体将吸收热量而部分蒸发。蒸汽在部分冷凝时，由于难挥发组分冷凝得较多，所以蒸汽中的低沸点组分的浓度有所提高。液体在部分蒸发过程中，由于易挥发组分较多的蒸发，液体中高沸点组分的浓度有所提高。如果进行了一次部分蒸发和部分冷凝后，低沸点组分浓度较高的蒸汽及高沸点组分浓度较高的液体，继续分别与温度不同的液体及蒸汽进行接触，再次发生部分冷凝及部分蒸发，使得蒸汽中的低沸点组分浓度及液体中的高沸点组分浓度将进一步提高，这样的过程进行多次，蒸汽中的低沸点组分浓度越来越高，液体中的高沸点组分浓度越来越高，最终达到两种沸点不同的物质的分离。

概括地说，精馏过程的实质是上升蒸汽和下流液体充分接触，两相间进行物质和能量的相互传递。

任务一 项目分析

任务目标：精馏塔的作用及控制要求。

知识目标：1. 精馏塔的结构原理；

2. 精馏塔的工作原理。

能力目标：精馏塔的控制任务分析。

一、精馏设备介绍

精馏塔是精馏过程的关键设备。精馏塔有板式塔和填料塔两大类，从生产实际情况看，板式塔更适于精馏，所以本项目选用板式塔。图 1-1(a) 所示为板式精馏塔结构图，它由塔釜、塔板、冷凝蒸发器三部分组成。塔釜通常为圆柱形，一般由钢板焊接而成，全塔可分成若干节，塔节之间用法兰盘连接。

精馏塔进料段一般设在塔中部，进料口以上称为精馏段，以下称为提馏段（含进料板）。精馏段的作用是浓缩易挥发组分并回收难挥发组分，提馏段的作用是浓缩难挥发组分并回收易挥发组分。由塔顶导出的蒸汽经冷凝器冷凝成液体，一部分作为精馏产品输出，另一部分作为回流液返回第一塔板。

回流液是让蒸汽部分冷凝的冷却剂，也是稳定蒸馏操作的必要条件。而向塔底蒸馏釜的加热管不断通入蒸汽，则是维持部分汽化的必要条件。塔内蒸汽沿塔釜逐板上升，回流液由塔顶逐板下降，在每块塔板上二者互相接触，进行多次部分的汽化和部分的冷凝。上升的蒸汽每进行一次部分冷凝，易挥发组分含量就增加一次，使易挥发组分逐板增浓，下降的回流液，则在多次部分汽化过程中使易挥发组分逐板增浓。

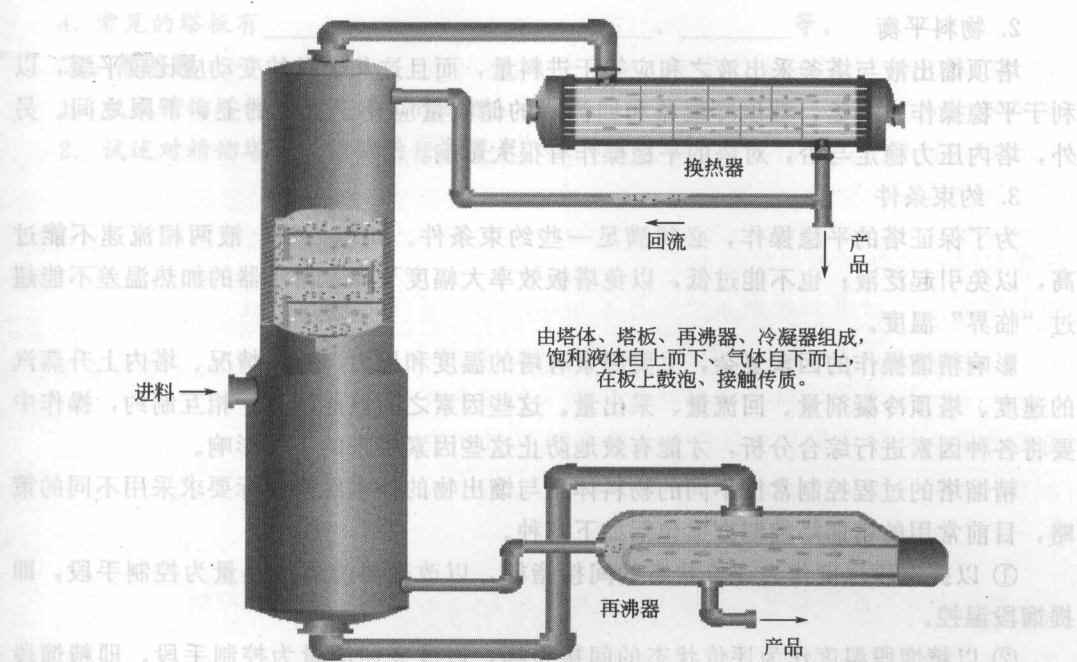
塔板的作用是为气液两相物流进行热量和质量传递提供场所。整个精馏过程就是通过精馏塔内每块塔板上的作用而实现的。在塔板数足够多的情况下，塔顶可得到较纯的易挥发组分，塔釜可得到较纯的难挥发组分。常见的塔板有浮阀板、泡罩板、筛板、浮舌塔板，如图 1-1(b) 所示。塔板上有溢流堰和降流管，如图 1-1(c) 所示。

二、精馏工艺控制任务分析

在精馏的操作中，被控变量多，可选用的操纵变量也多，被控对象的通道多，内在机理复杂，变量互相关联，要求一般较高。基本要求如下。

1. 质量指标

根据分离产品的性质，决定在塔顶或塔底产品中至少应保证其中一种的分离纯度，而其他产品应保证在某一范围内。分离纯度应作为精馏塔的控制的主要指标，由于分离纯度较难在线连续检测，因此一般在操作中以精馏塔的温度和压力为主要指标。



(a) 板式精馏塔结构图

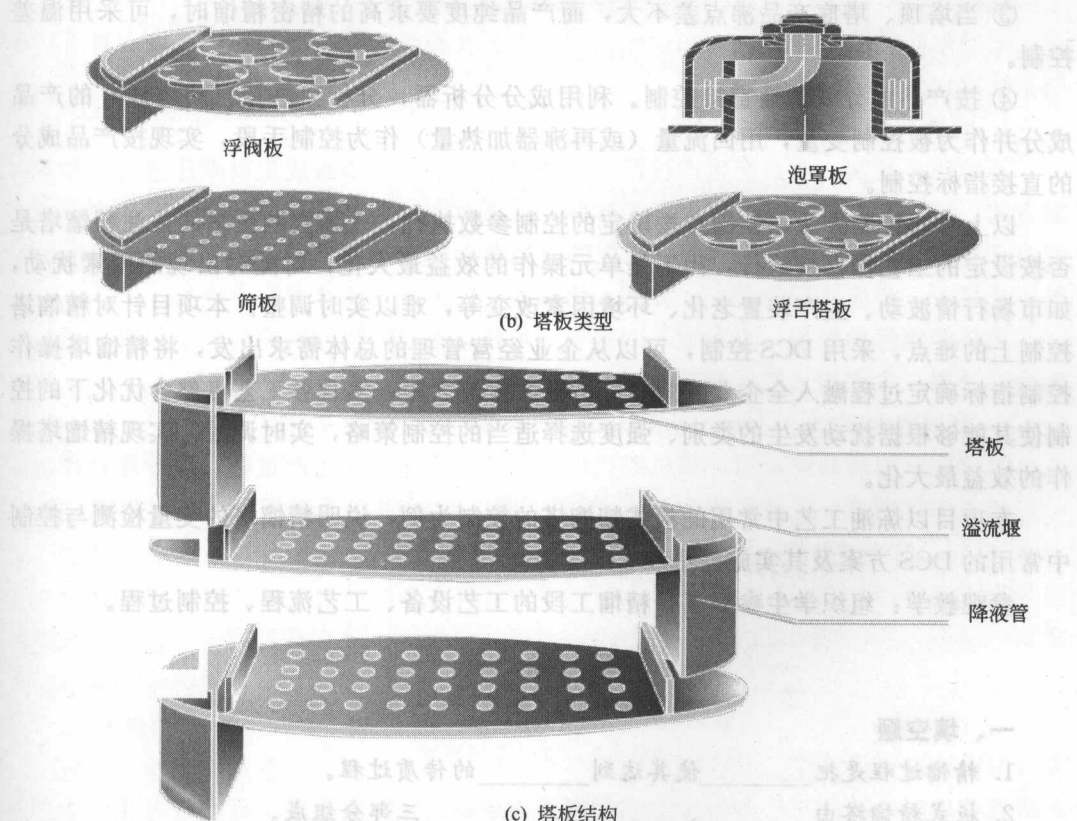


图 1-1 板式精馏塔及内部结构

2. 物料平衡

塔顶馏出液与塔釜采出液之和应等于进料量，而且这几个量的变动应比较平缓，以利于平稳操作。塔釜、塔顶冷凝器和回流罐的储液量应介于规定的上、下限之间。另外，塔内压力稳定与否，对塔的平稳操作有很大影响。

3. 约束条件

为了保证塔的平稳操作，必须满足一些约束条件。如塔内汽、液两相流速不能过高，以免引起泛液；也不能过低，以免塔板效率大幅度下降。再沸器的加热温差不能超过“临界”温度。

影响精馏操作的因素复杂，主要因素有塔的温度和压力、进料情况、塔内上升蒸汽的速度、塔顶冷凝剂量、回流量、采出量。这些因素之间彼此联系，相互制约，操作中要将各种因素进行综合分析，才能有效地防止这些因素带来的不良影响。

精馏塔的过程控制常按不同的物料体系与馏出物的技术经济指标要求采用不同的策略，目前常用的精馏塔控制方案包括如下几种。

① 以提馏段温度作为评价状态的间接指标，以改变再沸器加热量为控制手段，即提馏段温控。

② 以精馏段温度作为评价状态的间接指标，以改变回流量为控制手段，即精馏段温控。

③ 当塔顶、塔底产品沸点差不大，而产品纯度要求高的精密精馏时，可采用温差控制。

④ 按产品成分或物性直接控制。利用成分分析器，分析出塔顶（或塔底）的产品成分并作为被控制变量，用回流量（或再沸器加热量）作为控制手段，实现按产品成分的直接指标控制。

以上常规控制方法，控制点按确定的控制参数执行，现场控制更多的关注精馏塔是否按设定的工艺操作线运行，而不是单元操作的效益最大化，对随时出现的因素扰动，如市场行情波动、生产装置老化、环境因素改变等，难以实时调整。本项目针对精馏塔控制上的难点，采用 DCS 控制，可以从企业经营管理的总体需求出发，将精馏塔操作控制指标确定过程融入全企业的效益分析与决策流之中，实现各工艺点整合优化下的控制使其能够根据扰动发生的类别、强度选择适当的控制策略，实时调控，实现精馏塔操作的效益最大化。

本项目以炼油工艺中常用的板式精馏塔的控制为例，说明精馏塔的变量检测与控制中常用的 DCS 方案及其实施办法。

参观教学：组织学生参观某厂精馏工段的工艺设备、工艺流程、控制过程。

习 题 一

一、填空题

1. 精馏过程是把_____使其达到_____的传质过程。
2. 板式精馏塔由_____、_____、_____三部分组成。
3. 塔板的作用是为气液两相物流进行_____和_____传递提供场所。

4. 常见的塔板有_____、_____、_____、_____等。

二、简答题

1. 板式精馏塔的结构及其工作原理。
2. 试述对精馏塔进行控制的任务要求。

任务二 控制方案确定

任务目标：选择精馏塔的控制方案。

知识目标：1. 计算机控制系统的基本知识；DCS 系统的基本构成；

2. TDC3000 控制系统的构成和主要特点；

3. 掌握精馏塔提馏段和精馏段的控制方案。

能力目标：根据工艺要求能确定精馏塔的控制方案。

一、精馏塔的精馏段控制方案

根据企业生产的要求，对该工艺过程采用 DCS 控制系统来完成控制。

(一) DCS 概述

随着计算机技术的进步，计算机逐渐应用于生产的控制和管理中，其作用也日益明显，已经取代模拟控制、显示和检测仪表。根据计算机用于生产的功能不同，计算机控制系统可以分为以下几类。

1. 顺序控制和数值控制

所谓顺序控制，就是使生产过程按事先规定好的时间函数或逻辑顺序进行工作的控制方式。它可以是按照预先规定好的顺序，在各时间段应进行的控制动作，依次逐步进行（开环控制方式），如 PLC 主要完成的控制多为这类形式。也可以是根据前阶段的结果，选择下一步应执行的动作，并转入相应的下一阶段（闭环控制方式）。

数值控制简称数控，是将输入的数字信号转换成自动执行机构的控制信号，用以控制生产过程。主要用于机床及有关加工装置的控制。

2. 直接数字控制 (Direct Digital Control, DDC)

直接数字控制系统是用计算机取代模拟控制器直接面对生产过程，是计算机控制的一种最基本的型式，又被简称为 DDC 控制。图 2-1 为 DDC 系统组成的基本框图。

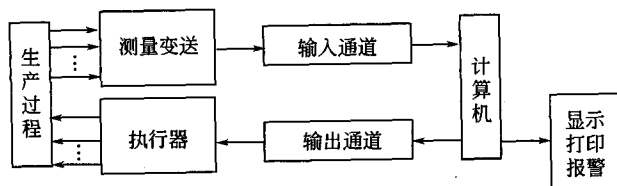


图 2-1 DDC 系统框图

在直接数字控制系统中给计算机配以适当的输入、输出设备，可直接对几十个甚至上百个控制回路进行自动显示和数字控制。由于计算机是按巡回控制的方式逐路顺序进

行, 因此 DDC 系统又称为多通道数字巡回控制系统。

生产过程(被控对象)的各种变量(温度、压力、流量、液位等)的变化情况, 由一次仪表检测变送后转换成标准信号(如 $4\sim 20\text{mA}$)。采样器顺序地、周期地把各个信号传送给数据放大器, 被放大后的信号经模/数转换器(A/D)转换成二进制的数字代码输入计算机。计算机按照预先存放在存储器中的程序和数据; 对被控变量按控制规律进行运算, 并以二进制代码的形式输出运算结果, 再经数/模转换器(D/A)转换成标准模拟信号(如 $0\sim 10\text{mA}$ 或 $4\sim 20\text{mA}$), 然后送给输出扫描装置。输出扫描装置按照与采样相同的顺序和周期依次接通相应控制回路, 或直接操纵电动执行器, 或经电气转换装置转换成 $0.02\sim 0.1\text{MPa}$ 的气压信号, 控制气动执行器的动作, 从而实现对生产的闭环控制。

同时, 一台 DDC 控制计算机还配以打印机、CRT 显示器、控制台、报警装置等, 分别用以完成测量值打印、显示制表、各种信息显示、各种参数调整、手动控制、参数超限报警等功能。

3. 计算机监督控制 (Supervisory Computer Control, SCC)

在这种控制系统中, 计算机根据生产过程和其他的有关信息, 按照描述生产过程的数学模型进行计算、处理, 得出操作指令, 自动改变 DDC 工业控制器或模拟控制器的设定值, 或改变控制器的类型, 以实现以物料平衡或热量平衡为基础的平稳操作或获得某个给定的性能指标的最优值。

SCC 系统有两种结构形式: 其一是由上、下位机构成, 上位机起监控作用, 下位机起 DDC 作用 [如图 2-2(a)]; 另一种结构形式是由监督计算机与模拟控制器构成 [如图 2-2(b)]。SCC 计算机按照生产过程工况、操作条件的变更信息和数学模型进行必要的处理, 向 DDC 计算机或模拟控制器提供最佳的给定值和最优控制量等控制信息。

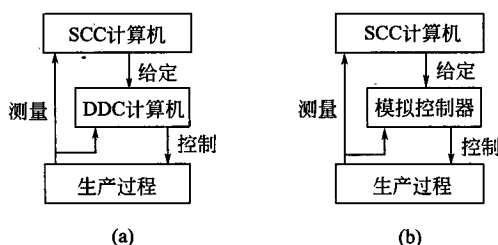


图 2-2 SCC 系统原理图

就其功能而言, 也有两种形式: 一种是寻求控制手段的最优设定值, 又称之为 SPC 控制系统, 即根据工况的变化, 计算出最优的控制指标作为 DDC 计算机或模拟控制器的设定值。另一种是设计一个最优控制器, 以满足一个控制系统的最优指标, 即根据工况来确定控制方式或控制器的控制规律。

4. 递阶控制

现代工业的特点是生产规模大型化, 生产过程连续化, 各装置之间关系复杂化, 这给企业的综合管理和控制带来困难, 用单台计算机是无法实现的, 只能采用递阶控制系统的结构形式来实现。

递阶控制系统中包含有若干台计算机，并分成几个层次。处于最基层的“工作计算机”直接控制生产过程。在它上层的“监督计算机”则根据数学模型按控制方案计算，指挥其下一级的“工作计算机”的工作。再上一层的“经营管理计算机”则进行全局规划、管理和调度，向它下一级的“监督计算机”下达指令。就构成了一个金字塔形的计算机控制系统，即为递阶控制系统，又称分布式计算机控制系统（Distributed Control System, DCS），即集散控制系统（集中分散控制系统的简称）。

(1) 集散控制系统的基本概念 集散控制系统是计算机技术、控制技术和通信技术发展到一定阶段的产物。该系统利用计算机对生产装置进行分散控制，减少了用一台计算机进行集中控制的危险性，同时也充分利用了计算机控制的记忆、判断、通信和控制规律多样性等优点。而在管理层面上的集中更便于系统操作和统一管理。总之，集散控制系统的出现使生产过程控制过渡到一个新的阶段。

集散控制系统的基本组成通常包括现场监控站（监测站和控制站）、操作员站（操作员站和工程师站）、上位机和通信网络等部分，如图 2-3 所示。图 2-4 为横河 CENTUM-CS 系统的外观图，图中前排为操作台，即操作员站和工程师站；后排立柜为现场监控站。

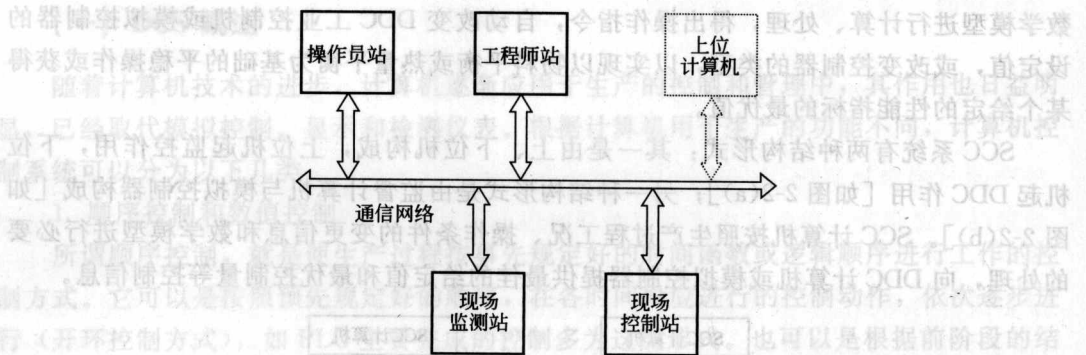


图 2-3 集散控制系统基本构成图



图 2-4 横河 CENTUM-CS 系统的外观图

① 现场监测站又叫数据采集站，直接与生产过程相连接，实现对过程非控制变量进行数据采集。由它完成数据采集和预处理，并对实时数据进一步加工，为操作站提供数据，实现对过程变量和状态的监视和打印，实现开环监视，或为控制回路运算提供辅助数据和信息。

现场控制站直接与生产过程相连接，对控制变量进行检测、处理，并产生控制信号驱动现场的执行机构，实现生产过程的闭环控制。它可控制多个回路，具有极强的运算和控制功能，能够自主地完成回路控制任务，实现连续控制、顺序控制和批量控制等。

② 操作员站简称操作站，是操作人员进行过程监视、过程控制操作的主要设备。操作站提供良好的人机交互界面，用以实现集中显示、集中操作和集中管理等功能。一些操作站具有进行系统组态的部分或全部工作，兼具工程师站的功能。

工程师站主要用于对 DCS 进行离线的组态工作和在线的系统监督、控制与维护。工程师能够借助于组态软件对系统进行离线组态，并在 DCS 在线运行时实时地监视 DCS 网络上各站的运行情况。

③ 上位计算机用于全系统的信息管理和优化控制，而在早期的 DCS 产品中一般不设上位计算机。上位计算机通过网络收集系统中各单元的数据信息，根据建立的数学模型和优化控制指标进行后台计算、优化控制等功能。

④ 通信网络是集散控制系统的中枢，它连接 DCS 的监测站和控制站、操作站、工程师站、上位计算机等部分。各部分之间的信息传递均通过通信网络实现，完成数据、指令及其他信息的传递，从而实现整个系统协调一致地工作，进行数据和信息共享。

操作站、工程师站和上位计算机构成集中管理部分；现场监测站、现场控制站构成分散控制部分；通信网络是连接集散系统各部分的纽带，是实现集中管理、分散控制的关键。

集散型控制系统的结构不断更新，其层次化体系结构已成为它的显著特征，使之充分体现集散系统集中管理、分散控制的思想。按照功能划分，集散型控制系统的分层体系结构分为四层，如图 2-5 所示。直接控制级主要完成控制监视站的功能，而其他三级为管理级，只是向上功能更加丰富，将办公自动化与企业管理自动化等方面的内容也引入到集散控制系统中，便于企业的经营管理与控制。目前，国内企业大都只是用到过程管理和直接控制级，经营管理级则更少使用。

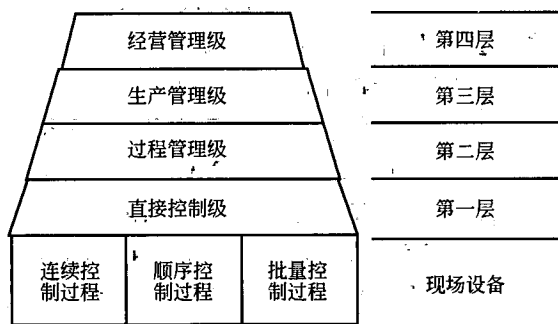


图 2-5 集散型控制系统的体系结构

(2) TDC-3000 系统介绍 不同的 DCS 控制系统在硬件配置和软件组态等方面有很大的区别, 并且采用不同的通信协议; 因此, 不同厂家的 DCS 系统相互之间是不兼容的。

霍尼韦尔公司在 1975 年推出了 TDC-2000 集散控制系统, 是世界最早的 DCS 产品。1983 年 10 月, 霍尼韦尔公司推出了 TDC-3000LCN, 系统增加了过程管理层, 后又推出了 TDC-3000UCN。图 2-6 为 TDC-3000 系统构成图。进入 21 世纪, 霍尼韦尔又推出了新型的 DCS 控制系统——“全厂一体化解决方案系统”, 简称 TPS。

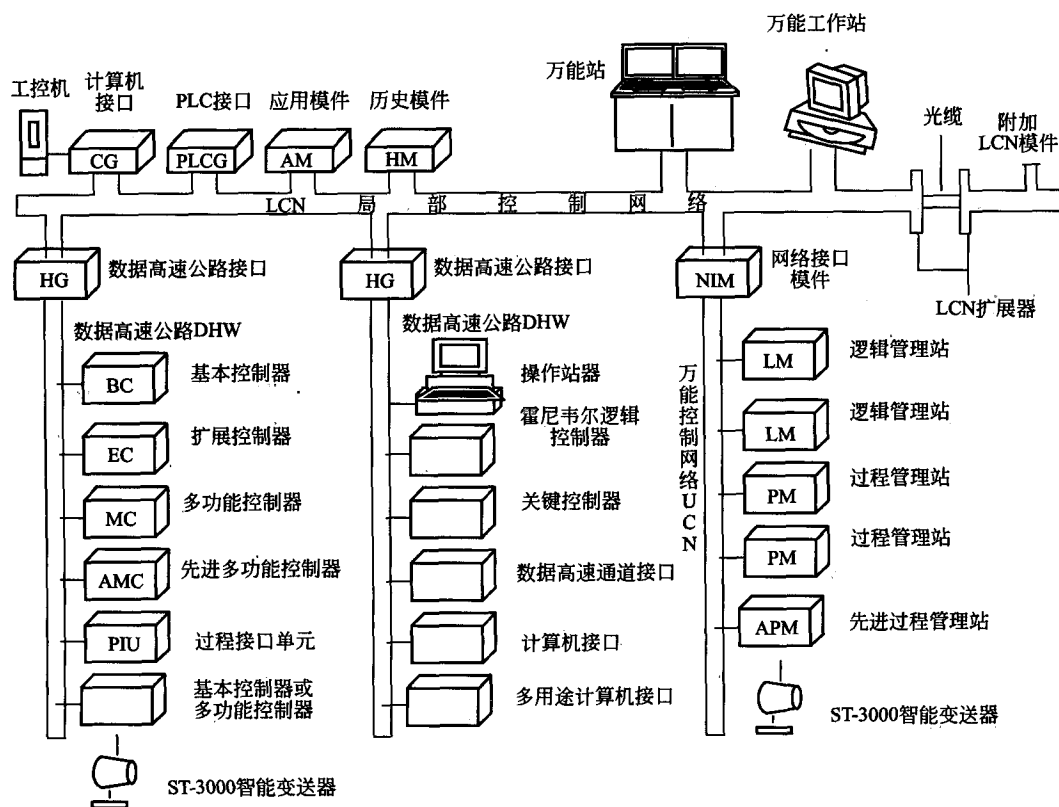


图 2-6 TDC-3000 系统构成图

TDC-3000 控制系统是在 TDC-2000 基础上发展起来, 兼容 TDC-2000 的产品, 增加新的通信网络。从结构层次上看增加了新的管理层。新增加了管理局部控制网络 LCN (Local Communication Net) 和用于生产控制用万能控制网络 UCN (Universal Communication Net)。DHW 及其挂接件相当于原来的 TDC-2000 产品, 又称为 TDC-3000BASIC 系统。DHW 上挂接的 BC、EC、MC、AMC 与 UCN 上的 LM、PM、APM 等都属于现场控制站, PIU 是 TDC-2000 系统控制站与现场仪表连接的接口。在 LCN 上又增加万能控制站、历史模件、应用模件等。图中 DHW 中的操作站, LCN 上的万能工作站、万能站、历史模件、应用模件等属于操作站。

UCN 上的过程管理站 PM 和 APM 较 DHW 上的 BC、EC、MC 等在功能上进一步加强。PM 由过程管理模件 PMM 和 I/O 系统两部分组成。PMM 由通讯控制器和调制