

高职高专“十二五”规划教材

化工单元控制 及仿真操作

尹兆明 赵建章 主编

尉明春 主审



化学工业出版社

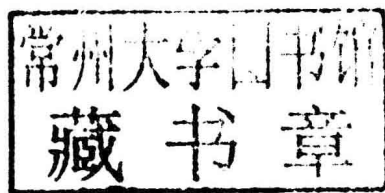
HUAGONG DANYUAN KONGZHI
JIFANGZHEN CAOZUO

高职高专“十二五”规划教材

化工单元控制及仿真操作

尹兆明 赵建章 主编

尉明春 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书介绍了常用化工自动化基础中单回路控制系统、各种复杂控制系统、DCS 系统,仿真的基本概念、系统仿真技术的应用、仿真培训系统学员站的使用方法和仿 DCS 系统的操作方法。重点介绍了化工单元操作系统的仿真培训使用方法,包括离心泵、换热器、加热炉、精馏塔、吸收解吸、压缩机(单级透平离心式压缩机以及二氧化碳压缩机)共七个单元。为配合职业教育和在职培训,各培训单元都是按照操作原理(过程原理、流程及控制系统)、设备、正常操作指标、冷态开车步骤以及其他控制方式进行编写,并配有带控制点的工艺流程图、仿 DCS 图、仿现场图。本书具有较强的实用性,符合培训实际情况。

本书可作为高职高专、中专、技校化工类专业学生和在职培训的化工厂操作工的实训教材,也可作为仪表及自动控制类专业学生培训参考书。

图书在版编目(CIP)数据

化工单元控制及仿真操作/尹兆明,赵建章主编.北京:
化学工业出版社,2012.1
高职高专“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-13057-0

I. 化… II. ①尹…②赵… III. 化工单元操作-高等职业教
育-教材 IV. TQ024

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 265360 号

责任编辑:张双进

文字编辑:云 雷

责任校对:战河红

装帧设计:王晓宇

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 刷:北京市振南印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 9½ 字数 229 千字 2012 年 3 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:20.00 元

版权所有 违者必究

前 言

从使用北京东方仿真软件技术有限公司化工单元实习软件以后，各院校一直致力于化工仿真操作课程的改革和实践，由最初的集中实训改为分散实训，由原有作为化工原理课程的实训环节改为独立的一门实训课程。

通过几年的教学实践，我们认为学生经过化工单元仿真学习应达到以下要求：

- (1) 能够完成各个仿真单元的开车、运行、停车操作及事故处理；
- (2) 能够识别和绘制各个仿真单元带控制点的工艺流程图；
- (3) 能够清楚各个仿真单元关键工艺指标，理解工艺流程中各个设备的作用、操作原理；

(4) 能够理解各个仿真单元关键工艺指标影响因素，掌握各个控制回路的控制目的及控制过程。

要完成以上教学目标，必须以化工原理、化工仪表及自动化、化工制图等课程为先导，在仿真教学中加强理论讲解，注重根据过程原理来分析控制系统，本书正是基于此编写而成的。

本书中 1 主要是介绍化工自动化基础，了解单回路控制系统、各种复杂控制系统以及 DCS 系统；2 为仿真操作用户手册及不同厂家的 DCS 操作方式介绍；3~8 分别介绍了离心泵、换热器、加热炉、精馏塔、吸收解吸、压缩机（单级透平离心式压缩机以及二氧化碳压缩机）共七个典型的单元操作，每个单元都是按照操作原理（过程原理、流程及控制系统）、设备、正常操作指标、冷态开车步骤以及其他控制方式进行编写。关于每个单元的故障和停车本教材中未进行说明。

在该课程实施过程中，应先上 1~2 课时理论课，讲清楚原理、流程、设备作用，尤其是各个控制系统，并要求学生会识别和绘制带控制点的流程图，随后进行上机练习，练习过程中应再上 1~2 课时理论课分析操作过程的问题。上述教学过程在我校仿真教学中被证实是相当有效的。

本书由尹兆明、赵建章主编。参加编写的人员有新疆工业高等专科学校化学工程系的尹兆明（1、6）、李培（3）、杨智勇（4）、蔡香丽（5）、陈爽（7）、赵建章（8），北京东方仿真软件技术有限公司的杨杰（2），北京东方仿真软件技术有限公司的尉明春担任主审。

由于编者水平有限，本书不妥之处在所难免，在此恳请广大读者和同行不吝赐教，以期再版时得以改正。

编 者

2011 年 12 月

目 录

1 化工自动化基础	1	2.4.1 TDC3000 专用键盘	48
1.1 化工过程概述	1	2.4.2 CS3000 键盘	50
1.1.1 化工过程	1	2.4.3 I/A 专用键盘	50
1.1.2 化工过程特点	2	3 离心泵操作技术	52
1.2 化工控制基础	3	3.1 离心泵操作原理	52
1.2.1 液位控制	3	3.1.1 离心泵的结构与工作原理	52
1.2.2 自动控制系统表达	5	3.1.2 本实训单元的工艺流程	53
1.2.3 化工控制流程图的表达	6	3.1.3 离心泵操作注意事项	54
1.3 复杂控制系统	8	3.1.4 离心泵的控制	55
1.3.1 液位精确控制	8	3.2 设备一览	56
1.3.2 压力控制	11	3.3 正常操作指标	56
1.3.3 温度控制	12	3.4 仿真界面	56
1.3.4 流量控制	14	3.5 开车步骤	59
1.4 DCS 系统	16	3.6 离心泵的其他控制方式	60
1.4.1 DDC 系统	17	3.6.1 旁路调节	60
1.4.2 DCS 的产生过程	20	3.6.2 变频调节	60
1.4.3 DCS 发展历程	21	4 换热器操作技术	62
1.4.4 DCS 的特点和优点	23	4.1 换热器操作原理	62
1.4.5 DCS 的体系结构	24	4.1.1 换热器操作任务	62
1.5 化工操作注意事项	27	4.1.2 换热器工作原理	62
2 化工仿真技术及仿真操作软件	30	4.1.3 换热器结构	64
2.1 认识化工仿真技术	30	4.1.4 本实训单元的工艺流程	66
2.1.1 仿真技术	30	4.1.5 换热器操作注意事项	67
2.1.2 仿真技术的应用	30	4.1.6 换热器的控制	67
2.1.3 仿真实训的一般方法	31	4.2 设备一览	68
2.1.4 化工仿真实训系统的组成	32	4.3 正常操作指标	68
2.2 学习化工单元实习仿真培训系统的 使用方法	32	4.4 仿真界面	68
2.2.1 仿真培训系统学员站的启动	32	4.5 冷态开车步骤	71
2.2.2 培训参数的选择	33	4.6 换热器的其他控制方式	72
2.2.3 认识教学系统画面及菜单功能	34	4.6.1 调节载热体的流量	72
2.2.4 认识操作质量评价系统	38	4.6.2 调节传热平均温差	73
2.2.5 仿真培训系统的正常退出	41	4.6.3 调节换热面积	73
2.3 不同厂家的 DCS 操作方式介绍	41	5 管式加热炉操作技术	75
2.3.1 通用 DCS2005 版	41	5.1 管式加热炉操作原理	75
2.3.2 TDC3000 系统	43	5.1.1 管式加热炉操作任务	75
2.3.3 通用 DCS2010 版	43	5.1.2 加热炉结构	75
2.4 认识专用操作键盘	48	5.1.3 管式加热炉燃料燃烧过程与加热 原理	76

5.1.4	本实训单元的工艺流程	77	7.2	设备一览	110
5.1.5	管式加热炉操作注意事项	79	7.3	正常操作指标	111
5.1.6	管式加热炉的控制	80	7.4	本单元仪表一览表	111
5.2	设备一览	81	7.5	仿真界面	111
5.3	正常操作指标	82	7.6	冷态开车	114
5.4	本单元仪表一览表	82	8 离心式压缩机操作技术	117	
5.5	仿真界面	82	8.1	离心式压缩机操作原理	117
5.6	冷态开车	85	8.1.1	离心式压缩机操作任务	117
5.7	管式加热炉的控制与联锁系统	87	8.1.2	离心式压缩机结构与工作原理	117
5.7.1	串级控制系统	87	8.1.3	离心式压缩机保护系统及附属 系统	119
5.7.2	安全联锁系统	89	8.1.4	离心式压缩机的控制	120
6 精馏装置操作技术	90	8.1.5	离心式压缩机喘振及防止措施	121	
6.1	精馏操作原理	90	8.2	汽轮机	124
6.1.1	精馏操作任务	90	8.2.1	工作原理	124
6.1.2	精馏工作原理	90	8.2.2	分类	125
6.1.3	精馏塔结构	91	8.2.3	系统组成	125
6.1.4	本实训单元的工艺流程	92	8.3	单级透平离心式压缩机	126
6.1.5	精馏操作注意事项	93	8.3.1	本实训单元的工艺流程	126
6.1.6	精馏塔的控制	95	8.3.2	压缩机的控制	128
6.2	设备一览	97	8.3.3	设备一览	128
6.3	正常操作指标	98	8.3.4	正常操作指标	128
6.4	本单元仪表一览表	98	8.3.5	本单元仪表一览表	128
6.5	仿真界面	98	8.3.6	仿真界面	128
6.6	冷态开车	101	8.3.7	开车步骤	131
6.7	精馏塔的控制方式	103	8.4	二氧化碳压缩机	132
6.7.1	物料平衡控制方案	103	8.4.1	本实训单元的工艺流程	132
6.7.2	能量平衡控制方案	103	8.4.2	压缩机的控制	134
7 吸收解吸装置操作技术	106	8.4.3	设备一览	135	
7.1	吸收解吸装置操作原理	106	8.4.4	正常操作指标	135
7.1.1	吸收装置操作任务	106	8.4.5	工艺报警及联锁触发值	136
7.1.2	吸收解吸装置工作原理	106	8.4.6	仿真界面	137
7.1.3	填料塔结构	107	8.4.7	开车步骤	139
7.1.4	本实训单元的工艺流程	108	参考文献	143	
7.1.5	吸收解吸装置的控制	108			

1 化工自动化基础

1.1 化工过程概述

1.1.1 化工过程

任何化工产品的生产都是通过一定的工艺过程实现的。工艺过程是指从原料到制得产品的全过程。

一般化学加工过程包括三个组成部分，如图 1-1 所示。

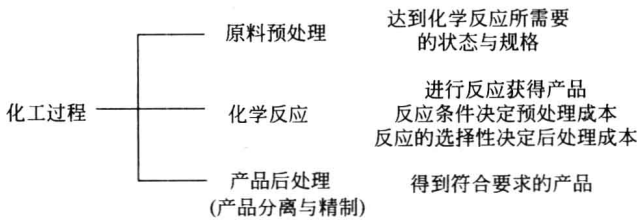


图 1-1 典型的化学加工过程

原料预处理和产品后处理两部分属于单元操作的研究范围；而化学反应部分是化学反应工程的研究对象，是生产过程的核心。

例如合成气（ $\text{CO} + \text{H}_2$ ）制甲醇生产过程，该过程原料是 $\text{CO} + \text{H}_2$ ，产品是符合国家标准甲醇产品， $\text{CO} + \text{H}_2$ 采用铜基催化剂，在 $240 \sim 270^\circ\text{C}$ 、 $5.0 \sim 6.0\text{MPa}$ 条件下进行反应生成甲醇。在反应前必须把 $\text{CO} + \text{H}_2$ 的杂质除去，同时调整其比例，并在进入反应前对其预热、加压以满足化学反应所需要的状态和规格；在反应后首先将未反应的合成气与产物分离，未反应的合成气循环回去继续反应，而产物则根据其组成选择合适的分离方法——精馏，最终获得合格产品。可以用图 1-2 表示。

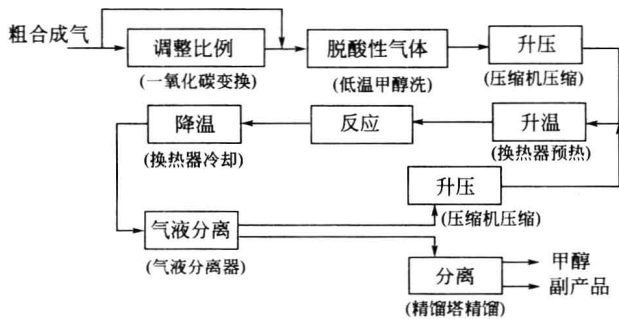


图 1-2 甲醇合成原理图

由图 1-2 可以看出，原料经化学加工制取产品的过程，是由各个功能单元组合而成的。工艺流程就是按物料加工的先后顺序将这些单元表达出来。如果以方框来表达各单元，则称为流程框图，如图 1-3 所示；每个功能单元都有相应单元设备实现，如果以设备外形或简图

表达的流程图则称为工艺（原理）流程图，如图 1-4 所示。

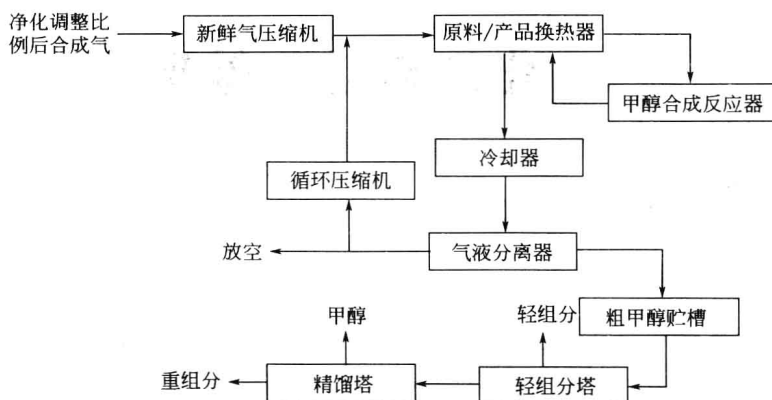


图 1-3 工艺流程框图

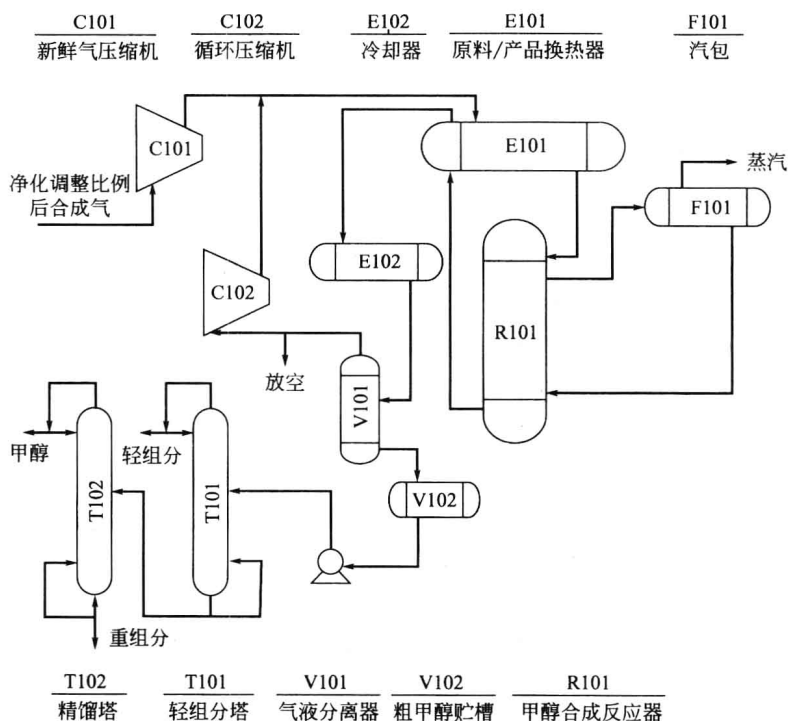


图 1-4 工艺（原理）流程图

1.1.2 化工过程特点

- ① 原料、方法和产品的多样性与复杂性。
- ② 大型化、综合化、精细化程度提高。
- ③ 多学科、生产技术密集型。
- ④ 能量合理利用、节能工艺和方法。
- ⑤ 资金密集，投资回收速度快，利润高。
- ⑥ 安全和环境保护。

- ⑦ 高新技术, 开发周期短。
- ⑧ 原料利用率极大提高。
- ⑨ 大力发展绿色化工。
- ⑩ 化工过程高效、节能、智能化。
- ⑪ 实施废弃物再生利用工程。

1.2 化工控制基础

1.2.1 液位控制

有如图 1-5 所示的一个液体贮槽, 有物料连续不断地流入槽中, 而槽中的液体又连续不断地流出。

1.2.1.1 问题提出

当流入量 q_{mi} 与流出量 q_{mo} 不等时, 槽内的液位不会恒定不变, 严重时会出现溢出或抽空。

1.2.1.2 问题分析

液位波动的原因是流入量 q_{mi} 与流出量 q_{mo} 不等, 同时液位的变化大小和方向也反映出流入量 q_{mi} 与流出量 q_{mo} 不等和差别程度。

1.2.1.3 问题解决

(1) 方案一 以贮槽液位为操作指标, 操作工以改变出口阀门开度来实现贮槽液位稳定。当液位上升时, 将出口阀门开大, 液位上升越多, 阀门开得越大; 反之, 当液位下降时, 则关小出口阀门, 液位下降越多, 阀门关得越小。为了使液位上升和下降都有足够的余地, 选择玻璃管液位计指示值中间的某一点为正常工作时的液位高度, 通过改变出口阀门开度而使液位保持在这一高度。这样就不会出现贮槽中液位过高而溢至槽外, 或使贮槽内液体抽空而发生事故的现象。

方案分析: 操作人员所进行的工作如下。

- ① 用眼睛观察玻璃管液位计中液位的高低, 并通过神经系统告诉大脑。
- ② 大脑根据眼睛看到的液位高度, 加以思考并与要求的液位值进行比较, 得出偏差的大小和正负, 然后根据操作经验, 经思考、决策后发出命令。
- ③ 根据大脑发出的命令, 通过手去改变阀门开度, 以改变出口流量 q_{mo} , 从而使液位保持在所需高度上。

- ④ 反复执行上述操作, 直到液位控制到所希望的数值上。

上述操作通过眼、脑、手三个器官, 分别起到了检测、运算和执行三个作用, 以此来完成测量、求偏差、操纵阀门以纠正偏差的全过程。由于人工控制受到人的生理上的限制, 因此在控制速度和精度上都满足不了大型现代化生产的需要。为了提高控制精度和减轻劳动强度, 可用一套自动化装置来代替上述人工操作, 这样就由人工控制变为自动控制。

(2) 方案二 设计一个自动化装置包含以下三个部分。

- ① 测量元件与变送器——替代人眼。它的功能是测量液位并将液位的高低转化为一种特定的、统一的输出信号 (如气压信号或电压、电流信号等)。
- ② 自动控制器——替代人脑。它接受变送器送来的信号, 与工艺需要保持的液位高度

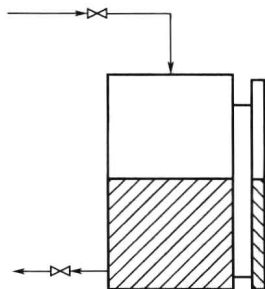


图 1-5 液位控制

相比较得出偏差,并按某种运算规律算出结果,然后将此结果用特定信号(气压或电流)发送出去。

③ 执行器——替代人手。通常指控制阀,它与普通阀门的功能一样,只不过它能自动地根据控制器送来的信号值来改变阀门的开度。

这样液体贮槽和自动化装置一起构成了一个自动控制系统。

方案分析:测量元件与变送器、执行器以及自动控制器的运算规律与人的眼、手、脑三个器官相比,控制速度和精度都大幅度提高,但是人脑具有具体问题具体分析的能力,能对出现的新情况进行逻辑分析,从而采用非正常的操作。

液位控制异常情况分析如下。

当液位与工艺需要保持的液位高度有偏差时,如果流入量 q_{mi} 与流出量 q_{mo} 相差不大,很短的时间液位就能恢复到正常值;或者贮槽的贮液能力很大,有足够的时间去控制出口流量,液位也能恢复到正常值。但出现以下情况:

- ① 出口阀门卡,不能实现控制作用;
- ② 进口流量突然增大很多,或者突然降低很多,甚至流量为零;
- ③ 与进出口流量相比,贮槽容积很小。

以上任何一种情况都会使液位不断增加或降低,直至溢槽或者抽空而出现事故。

(3) 方案三 在方案二的基础上,增加自动信号联锁装置。当液位超过了允许范围(譬如超过 85%),在溢槽即将产生以前,信号系统就自动地发出声光信号,告诫操作人员注意,并及时采取措施,取消自动控制,实施手动操作。如工况已到达危险状态时,联锁系统立即自动采取紧急措施,全开进口阀或切断进口阀,以防止事故的发生和扩大。

这样,该液位控制问题就得到了解决。通过该问题的解决,可以看出为了实现化工过程自动化,一般要包括自动检测、自动保护和自动控制等方面的内容。

化工控制的主要内容如下。

① 自动检测系统。利用各种检测仪表对主要工艺参数进行测量、指示或记录的自动系统,称为自动检测系统。它代替了操作人员对工艺参数的不断观察与记录,因此起到人的眼睛的作用。

② 自动信号和联锁保护系统。在生产过程中,有时由于一些偶然因素的影响,导致工艺参数超出允许的变化范围而出现不正常情况时,就有引起事故的可能。为此,常对某些关键性参数设有自动信号联锁装置。当工艺参数超过了允许范围,在事故即将发生以前,信号系统就自动地发出声光信号,告诫操作人员注意,并及时采取措施。如工况已到达危险状态时,联锁系统立即自动采取紧急措施,打开安全阀或切断某些通路,必要时紧急停车,以防止事故的发生和扩大。它是生产过程中的一种安全装置。例如某反应器的反应温度超过了允许极限值,自动信号系统就会发出声光信号,报警给工艺操作人员以便及时处理生产事故。由于生产过程的强化,往往靠操作人员处理事故已成为不可能,因为在一个强化的生产过程中,事故常常会在几秒钟内发生,由操作人员直接处理是根本来不及的。自动联锁保护系统可以圆满地解决这类问题,如当反应器的温度或压力进入危险限时,联锁系统可立即采取应急措施,加大冷却剂量或关闭进料阀门,减缓或停止反应,从而可避免引起爆炸等生产事故。

③ 自动控制系统。生产过程中各种工艺条件不可能是一成不变的。特别是化工生产,大多数是连续性生产,各设备相互关联着,当其中某一设备的工艺条件发生变化时,都可能引起其他设备中某些参数或多或少地波动,偏离了正常的工艺条件。为此,就需要用一些自

动控制装置,对生产中某些关键性参数进行自动控制,使它们在受到外界干扰(扰动)而偏离正常状态时,能自动地控制而回到规定的数值范围内,为此目的而设置的系统就是自动控制系统。

由以上所述可以看出,自动检测系统只能完成“了解”生产过程进行情况这一任务;信号联锁保护系统只能在工艺条件进入某种极限状态时,采取安全措施,以避免生产事故的发生;只有自动控制系统才能自动地排除各种干扰因素对工艺参数的影响,使它们始终保持在预先规定的数值上,保证生产维持在正常或最佳的工艺操作状态。

除以上三方面内容,对于一些特殊的化工过程,可以设置自动操纵系统,即根据预先规定的步骤自动地对生产设备进行某种周期性操作。例如合成氨造气车间的煤气发生炉,要求按照吹风、上吹、下吹制气、吹净等步骤周期性地接通空气和水蒸气,利用自动操纵机来代替人工自动地按照一定的时间程序扳动空气和水蒸气阀门,使它们交替地接通煤气发生炉,从而极大地减轻了操作工人的重复性体力劳动。

1.2.2 自动控制系统表达

1.2.2.1 问题提出

由上述可知,自动化装置包含测量变送、控制器、执行器三个部分,这三部分和被控对象构成自动控制系统,那么这四个部分关系如何呢?

1.2.2.2 问题分析

系统的每个部分可以称为“环节”,各个环节用方块表示,两个方块之间用一条带有箭头的线条表示其信号的相互关系,箭头指向方块表示为这个环节的输入,箭头离开方块表示为这个环节的输出。线旁的字母表示相互之间的作用信号。

1.2.2.3 问题解决

按以上所述,画成图形如图 1-6 所示。

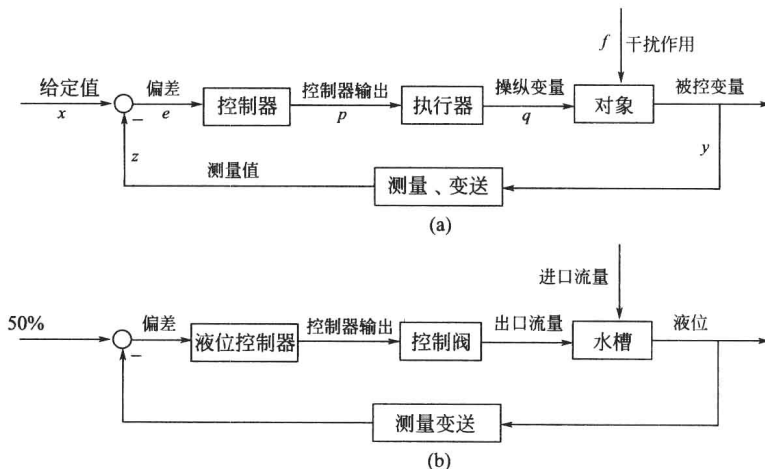


图 1-6 控制系统方框图

方案分析:用图 1-5 的液位控制分析图 1-6。

图 1-5 的贮槽在图 1-6 中用一个“对象”方块来表示,其液位就是生产过程中所要保持恒定的变量,在自动控制系统中称为被控变量,用 y 来表示。在方块图中,被控变量 y 就是对象的输出。影响被控变量 y 的因素来自进料流量的改变,这种引起被控变量波动的外

来因素，在自动控制系统中称为干扰作用（扰动作用），用 f 表示。干扰作用是作用于对象的输入信号。与此同时，出料流量的改变是由于控制阀动作所致，如果用一方块表示控制阀，那么，出料流量即为“控制阀”方块的输出信号。出料流量的变化也是影响液位变化的因素，所以也是作用对象的输入信号。出料流量信号 q 在方块图中把控制阀和对象连接在一起。

贮槽液位信号是测量元件及变送器的输入信号，而变送器的输出信号 z 进入比较机构，与工艺上希望保持的被控变量数值，即给定值（设定值） x 进行比较，得出偏差信号 e ($e = x - z$)，并送往控制器。比较机构实际上只是控制器的一个组成部分，不是一个独立的仪表，在图 1-6 中把它单独画出来（一般方块图中是以○或⊕表示），为的是能更清楚地说明其比较作用。控制器根据偏差信号的大小，按一定的规律运算后，发出信号 p 送至控制阀，使控制阀的开度发生变化，从而改变出料流量以克服干扰对被控变量（液位）的影响。控制阀的开度变化起着控制作用。具体实现控制作用的变量叫做操纵变量，如图 1-6（b）中流过控制阀的出料流量就是操纵变量。用来实现控制作用的物料一般称为操纵介质或操纵剂，如上述中的流过控制阀的流体就是操纵介质。

其实控制系统方块图表达了一个输入输出关系的图，具体见表 1-1。

表 1-1 输入输出关系表

环节	输入	输出	备 注
被控对象	干扰 f 操作变量 q	被控变量 y	
测量变送	被控变量 y	测量值 z	
控制器	偏差 $e = x - z$	控制器输出 p	比较机构实际上是控制器的一部分,这样控制器的输入便是测量值 z
执行器	控制器输出 p	操作变量 q	

1.2.3 化工控制流程图的表达

1.2.3.1 问题提出

用方块图能够清楚地表达某一个控制系统各个环节的关系，对分析控制系统各个环节之间的相互影响和信号联系很有帮助，甚至对于不同的被控对象相同的控制类型可用相同形式的方块图表示，但是控制是对化工过程的控制，如何才能把控制系统在化工流程图上表示出来呢？

1.2.3.2 问题分析

工艺原理图是由工艺管道、阀门和各个化工设备组成的，这样工艺原理图就具有了被控对象（化工设备、某一段工艺管道）、执行器（控制阀），只需把测量变送环节和控制器表达在工艺原理图上即可。

1.2.3.3 问题解决

（1）图形符号

① 测量点（包括检出元件、取样点）。是由工艺设备轮廓线或工艺管线引到仪表圆圈的连接线的起点，一般无特定的图形。

必要时，检测元件也可以用象形或图形符号表示。

② 连接线。通用的仪表信号线均以细实线表示。必要时也可用加箭头的方式表示信号的方向。在需要时，信号线也可按气信号、电信号、导压毛细管等采用不同的表示方式以示

区别。

③ 仪表（包括检测、显示、控制）的图形符号。仪表的图形符号是一个细实线圆圈，直径约 10mm，对于不同的仪表安装位置的图形符号如表 1-2 所示。

表 1-2 仪表安装位置的图形符号

序号	图形	说明	序号	图形	说明
1		就地安装	3		机旁柜仪表
2		中控室集散系统			

对于处理两个或两个以上被测变量，具有相同或不同功能的复式仪表时，可用两个相切的圆或分别用细实线圆与细虚线圆相切表示（测量点在图纸上距离较远或不在同一图纸上）。

(2) 字母代号 在控制流程图中，用来表示仪表的小圆圈的上半圆内，一般写有两位（或两位以上）字母，第一位字母表示被测变量，后继字母表示仪表的功能，常用被测变量和仪表功能的字母代号见表 1-3。

表 1-3 测量控制参数及测量控制功能

名称	参数	功能	其他	名称	参数	功能	其他
A	分析			I		指示	
C		控制		L	液位		
D		差值		N	轴位移		
E		检测元件		M	湿度		
ESC			程序控制	P	压力		
F	流量			Q		累计	
GO		阀位开		R		记录	
GC		阀位关		S	转速	联锁	
H			高值	T	温度	变送	
HC		遥控					

(3) 仪表位号 在检测、控制系统中，构成一个回路的每个仪表（或元件）都应有自己的仪表位号。仪表位号是由字母代号组合和阿拉伯数字编号两部分组成。字母代号的含义前面已经解释过。三位数字编号写在圆圈的下半部，其第一位数字表示工段号，后续数字（二位或三位数表示仪表序号）。

综上所述，可以把液位控制表达为图 1-7。

1.2.3.4 方案分析

在本控制系统中，被控对象为贮槽 a，被控变量 y 为贮槽液位 L，L 通过差压变送器（LT）（b、c 为引压管）测得并将其通过 d 送至控制器（LIC 101）；LIC 101 具有指示、控制功能，是 100 号工段第一个液位仪表，控制器把测量值与给定值（给定值在实际中含在控制器中）进行比较

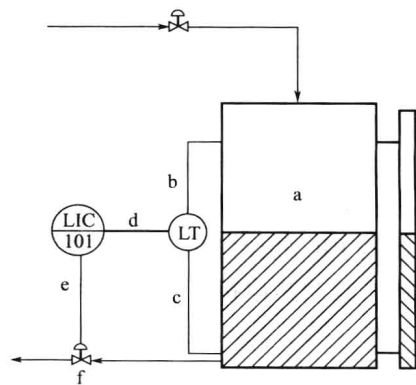


图 1-7 液位控制

并经过计算通过 e 送至执行器 f；执行器根据控制器的信号进行动作，并作用于被控对象贮槽 a。其中，干扰是通过工艺分析得出的，本系统的干扰主要来源于进出口流量。

1.3 复杂控制系统

1.3.1 液位精确控制

对于如图 1-7 所示的液位控制系统，通过改变出口流量来实现液位的稳定。

1.3.1.1 问题提出

当工艺过程中，对于液位的主要扰动是出口流量时，那么液位很难保持稳定，对于对液位要求严格的工艺来说，就不能满足要求了。

1.3.1.2 问题分析

液位稳定取决于流入量 q_{mi} 与流出量 q_{mo} 的关系，当流入量一定的情况下，只要保持流出量不变即可。所以可以对出口管路设置流量控制系统也能保持液位的稳定。

1.3.1.3 问题解决

(1) 方案一 通过分析设置如图 1-8 所示的流量控制系统。

方案分析：该控制系统中能较好的克服出口流量波动对液位的干扰，而且在出口流量尚未影响到液位时就给予控制，具有超前控制的特点。但是它不能克服来自于进口流量的干扰，当进口流量波动以后，系统不再处于平衡状态，就会出现溢槽或抽干现象。

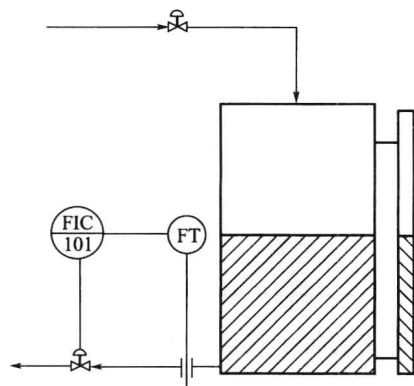


图 1-8 流量控制系统

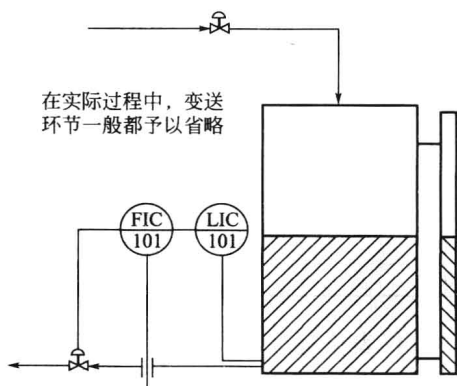


图 1-9 液位控制系统

(2) 方案二 在方案一的基础上再设置一液位控制系统，但此控制系统不能再在出口管路上设置一执行器，而是把液位控制的输出作为流量控制的给定值，具体如图 1-9、图 1-10 所示。

方案分析：由图 1-10 可以看出，在这个控制系统中，有两个控制器 LIC 和 FIC，分别接收该系统来自对象不同位置的测量信号 L 和 F。其中一个控制器 LIC 的输出作为另一个控制器 FIC 的给定值，而后的输出去控制执行器以改变操纵变量。从系统的结构来看，这两个控制是串接工作的，因此，这样的系统称为串级控制系统。

为了更好地阐述和研究问题，这里介绍几个串级控制系统中常用的名词。

① 主变量：是工艺控制指标，在串级控制系统中起主导作用的被控变量，如上例中的贮槽液位。

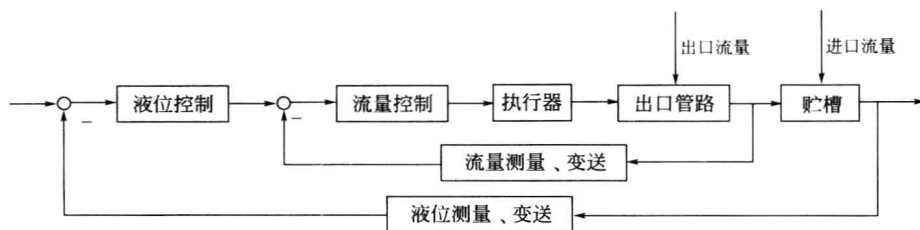


图 1-10 液位控制方框图

② 副变量：串级控制系统中为了稳定主变量或因某种需要而引入的辅助变量，如上例中出口流量。

③ 主对象：为主变量表征其特性的生产设备，如上例中贮槽。

④ 副对象：为副变量表征其特性的工艺生产设备，如上例中贮槽出口至流量检测点间管道。

⑤ 主控制器：按主变量的测量值与给定值而工作，其输出作为副变量给定值的那个控制器，称为主控制器（又名主导控制器），如上例中的液位控制器 LIC。

⑥ 副控制器：其给定值来自主控制器的输出，并按副变量的测量值与给定值的偏差而工作的那个控制器称为副控制器（又名随动控制器），如上例中的流量控制器 FIC。

⑦ 主回路：是由主变量的测量变送装置，主、副控制器，执行器和主、副对象构成的外回路，亦称外环或主环。

⑧ 副回路：是由副变量的测量变送装置，副控制器执行器和副对象所构成的内回路，亦称内环或副环。

根据前面所介绍的专用名词，各种具体对象的串级控制系统都可以画成典型形式的方块图，如图 1-11 所示。

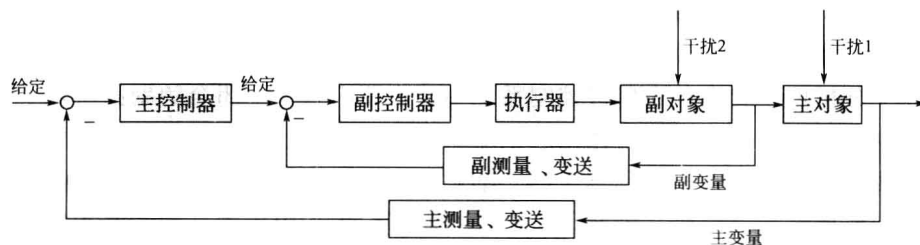


图 1-11 串级控制方框图

(3) 串级控制系统的工作过程

① 干扰进入副回路。当系统的干扰只是出口流量波动时，亦即在如图 1-11 所示的方块图中，干扰 1 不存在，只有干扰 2 作用在出口管路（副对象）上，这时干扰进入副回路。若采用简单控制系统（见图 1-7），干扰 2 先引起贮槽出口管路的流量变化。出口管路的流量变化一定时间后才能引起贮槽液位的变化。只有当液位变化以后，控制作用才能开始，因此控制迟缓、滞后大。设置了副回路后，干扰 2 引起出口流量变化，流量控制器 FIC 及时地进行控制，使其很快稳定下来，如果干扰量小，经过副回路控制后，此干扰一般影响不到贮槽的液位。在大幅度的干扰下，其大部分影响为副回路所克服，波及到贮槽液位已是强弩之末了，再由主回路进一步控制，彻底消除干扰的影响，使被控变量回复到给定值。

由于副回路控制通道短,时间常数小,所以当干扰进入回路时,可以获得比单回路控制系统超前的控制作用,从而大大提高了控制质量。

② 干扰作用于主对象。假如在某一时刻,由于贮槽进口流量发生变化,亦即在图 1-11 所示的方块图中,干扰 2 不存在,只有干扰 1 作用于贮槽上。若干扰 1 的作用结果使贮槽液位升高。这时液位控制器的测量值增加,因而 LIC 的输出升高 (LIC 是正作用),即 FIC 的给定值升高。由于这时出口流量暂时还没有变,即 FIC 的测量值没有变,因而 FIC 的输出将随着给定值的升高而升高 (因为对于偏差来说,给定值增加相当于测量值降低, FIC 是正作用的,故输出增加)。随着 FIC 的输出增加,阀门开度也随之增大,于是出口流量增加,促使贮槽液位降低直至恢复到给定值。在整个控制过程中,流量控制器 FIC 的给定值不断变化。

③ 干扰同时作用于副回路和主对象。如果除了进入副回路的干扰外,还有其他干扰作用在主对象上。亦即在图 1-11 所示的方块图中,干扰 1、干扰 2 同时存在,分别作用在主、副对象上。这时可以根据干扰作用下主、副变量变化的方向,分下列两种情况进行讨论。

一种是在干扰作用下,主、副变量的变化方向相同,即同时增加或同时减小。例如贮槽液位与出口流量同时增加。这时主控制器的输出由于液位升高而增加。副控制器由于测量值增加,给定值 (LIC 输出) 增加,如果两者增加量恰好相等,则偏差为零,这时副控制器输出不变,阀门不需动作;如果两者增加量虽不相等,由于能互相抵消掉一部分,因而偏差也不大,只要控制阀稍稍动作一点,即可使系统达到稳定。

另一种情况是主、副变量的变化方向相反,一个增加,另一个减小。譬如在上例中,假定液位升高,而出口流量变小。这时主控制器的测量值升高,则其输出增大,这就使副控制器的给定值也随之增大,而这时副控制器的测量值在变小,这时给定值和出口流量之间的差值更大,所以副控制器的输出也就大大增加,以使控制阀开得更大些,大大增加了出口流量,直至主变量恢复到给定值为止。由于此时主、副控制器的工作都是使阀门开大,所以加强了控制作用,加快了控制过程。

通过以上分析可以看出,在串级控制系统中,由于引入一个闭合的副回路,不仅能迅速克服作用于副回路的干扰,而且对作用于主对象上的干扰也能加速克服过程。副回路具有先调、粗调、快调的特点;主回路具有后调、细调、慢调的特点,并对于副回路没有完全克服掉的干扰影响能彻底加以克服。因此,在串级控制系统中,由于主、副回路相互配合、相互补充,充分发挥了控制作用,大大提高了控制质量。

(4) 串级控制系统的特点 由上所述,可以看出串级控制系统有以下几个特点。

① 在系统结构上,串级控制系统有两个闭合回路:主回路和副回路;有两个控制器:主控制器和副控制器;有两个测量变送器:分别测量主变量和副变量。

串级控制系统中,主、副控制器是串联工作的。主控制器的输出作为副控制器的给定,系统通过副控制器的输出去操纵执行器动作,实现对主变量的定值控制。所以在串级控制系统中,主回路是个定值控制系统,而副回路是个随动控制系统。

② 在串级控制系统中,有两个变量:主变量和副变量。

一般来说,主变量是反映产品质量或生产过程运行情况的主要工艺变量。控制系统设置的目的就在于稳定这一变量,使它等于工艺规定的给定值。

③ 在系统特性上,串级控制系统由于副回路的引入,改善了对象的特性,使控制过程

快,具有超前控制的作用,从而有效地克服滞后,提高了控制质量。

④ 串级控制系统由于增加了副回路,因此具有一定的自适应能力,可用于负荷和操作件有较大变化的场合。

由于串级控制系统具有上述特点,所以当对象的滞后和时间常数很大时,干扰作用强而频繁,负荷变化大,简单控制系统满足不了控制质量的要求时,采用串级控制系统是适宜的。

1.3.2 压力控制

对于如图 1-12 所示的容器,工艺要求其压力稳定在某一数值上(高于大气压),同时该容器有进料,有出料。

1.3.2.1 问题提出

在容器的液位不变的情况下,向容器充一定量惰性气体可以保持较高的压力。如果在向容器充液体物料时,容器内液面上空间越来越少,而惰性气体量没有变,那压力势必增加;或者对容器进行排料,容器内液面上空间越来越多,而惰性气体量没有变,那压力势必减少,这样压力就无法稳定。

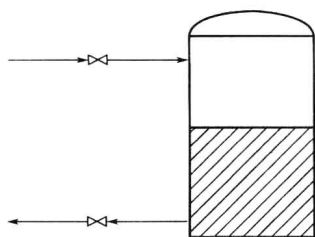


图 1-12 液位控制

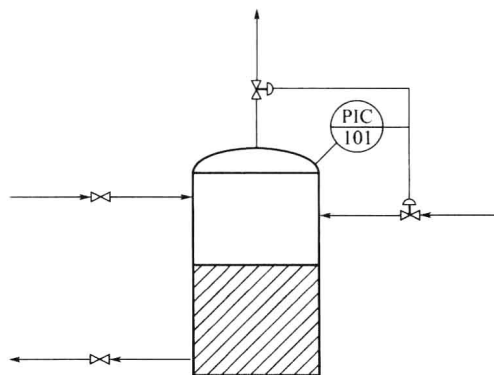


图 1-13 压力控制

1.3.2.2 问题分析

压力稳定取决于容器内气体的量和气体的空间大小,当气体空间变化时,气体的量也要随之变化,否则压力就要波动。对于常压容器来说,可以通过放散管来实现容器内气体的进入和排出。对于加压容器不能这样做,但可以设置两根管路——进气管和出气管。

1.3.2.3 问题解决

根据分析可以设置如图 1-13、图 1-14 所示的控制系统。

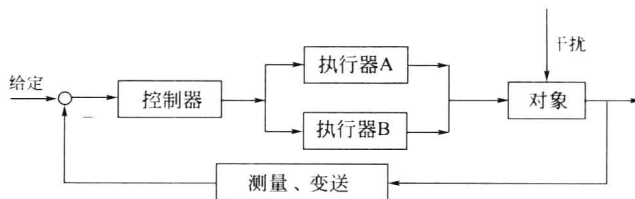


图 1-14 串级控制方框图