



中等专业学校教材

化工自动化基础

上海市化工学校
侯奎源 主编

化学工业出版社

中等专业学校教材

化工自动化基础

上海市化工学校 侯奎源 主编

化学工业出版社
· 北 京 ·

(京) 新登字039号

图书在版编目 (CIP) 数据

化工自动化基础/侯奎源主编.-北京:化学工业出版社, 1994.4 (1997重印)

中等专业学校教材

ISBN 7-5025-1284-5

I.化… II.侯… III.化工过程-自动控制-专业学校-教材 IV.TQ056

中国版本图书馆CIP数据核字 (95) 第15784号

中等专业学校教材

化工自动化基础

上海市化工学校 侯奎源 主编

责任编辑:梁虹

封面设计:宫历

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京市朝阳区东华印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

*

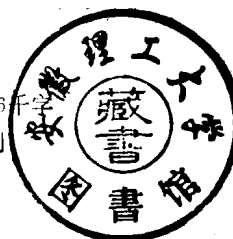
开本 787×1092 毫米 1/16 印张 22 1/2 字数 536 千字

1994年4月第1版 1997年4月北京第3次印刷

印数: 11 001-17 000

ISBN 7-5025-1284-5/G·333

定价: 17.70元



版权所有 盗印必究

凡购买化工版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社发行部调换。

前 言

本书是参照“化工仪表和自动化专业编审委员会”1986年制订的初中四年制《化工自动化基础》教学大纲编写的。同时由于化工工艺生产的迅猛发展,为了适应生产过程的连续化、复杂化以及高产优质和安全生产的需要,生产过程的自动化水平已从常规仪表与控制逐渐走向计算机控制,为适应形势发展,我们编写了此教材。

全书共分二篇九章。从第一章到第五章系统地介绍了自动控制系统的基础理论及自动控制系统的分析和设计,各校可根据具体情况对内容进行增减。第六章到第八章是自动化工程的内容,着重介绍了不同的控制方案及其设计方法,自动调节系统的操作和参数整定,除此以外,还介绍了近年来迅速发展的新型控制系统。第九章是计算机控制系统。本书的特点是起点较低,力求深入浅出,便于学生自学。

本教材由化工中专化工自动化专业编审委员会组织审稿,通过并推荐作为专业教材。

全书由上海市化学工业学校侯奎源主编,第五章由孙鸣执笔,其余各章由侯奎源执笔。广西化工学校钟汉武同志为主审,辽宁石油化工学校勾义文、四川泸州化工学校李传辉、陕西化工学校奚宛裴等同志也参加了审稿工作,对本书提出了许多宝贵意见,在编写中本书参考并选取了叶昭驹主编的《化工自动化基础》一书的部分内容,在此一并表示衷心感谢。由于我们水平经验等诸方面的限制,如有错误和不妥之处,真诚地希望读者批评指正。

作者

1993年7月于上海市化工学校

内 容 提 要

本书较系统地介绍了化工过程控制的基本理论及化工过程控制系统的分析方法和设计。

全书分两篇共九章。第一篇为化工过程自动化分析方法基础,由前五章组成,主要介绍自动调节系统的基本概念,组成控制系统各环节的动态特性,自动调节系统的微分方程分析方法、根轨迹分析法、频率特性分析法,以及离散系统、状态空间分析法。第二篇为化工过程控制工程,自第六章至第九章组成。重点介绍简单调节系统的设计和 操作,对于串级、均匀、比值、前馈、自动保护系统的设计作了相应的介绍。同时,对近年来飞速发展的计算机控制系统,也进行了简单的讨论。

本书为化工中等专业学校仪表和自动化专业教材,也可供化工、炼油等行业具有中专以上文化水平的读者参考。

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 化工过程自动化分析方法基础

第一章 自动调节系统的基本概念	4
第一节 自动调节系统的组成及分类	4
一、自动调节系统的组成	4
二、自动调节系统的方块图	5
三、自动调节系统的分类	6
第二节 自动调节系统的过渡过程和质量指标	7
一、自动调节系统的过渡过程	7
二、自动调节系统过渡过程的基本形式	7
三、过渡过程的质量指标	8
第二章 调节系统的分析基础	11
第一节 拉氏变换	11
一、拉氏变换定义	11
二、拉氏变换的性质	12
三、拉氏反变换	14
四、用拉氏变换方法解线性微分方程	16
第二节 调节对象和环节的动态特性	19
一、RC电路接通直流电源 E	20
二、液位对象的动态特性及非线性特性的线性化	20
三、简单传热对象的动态特性	24
四、对象的纯滞后特性	26
五、对象方程式的讨论	27
六、二阶对象的动态特性	30
第三节 其它环节的动态特性	32
一、测量元件和变送器的动态特性	32
二、气动薄膜调节阀的动态特性	34
第四节 调节器的调节规律	35
一、比例调节器的调节规律	35
二、比例积分调节规律 (PI)	37
三、比例微分调节规律	38
四、比例积分微分调节规律	40
第五节 传递函数和方块图的变换	40

一、传递函数	40
二、方块图及方块图的变换	42
三、方块图变换举例	47
第六节 自动调节系统的传递函数和余差	49
一、随动调节系统的传递函数	50
二、定值调节系统的传递函数	50
三、定值调节系统的偏差传递函数及其余差	50
四、随动调节系统的偏差传递函数和余差	52
第七节 对象动态特性的测试和数据分析	53
一、阶跃扰动法	53
二、矩形脉冲扰动法	54
三、周期扰动法	55
四、统计相关法	55
第三章 微分方程分析方法	56
第一节 微分方程分析方法的基本步骤	56
一、自动调节系统微分方程式的列写	57
二、系统微分方程式的解	60
三、过渡过程曲线和系统质量指标分析	61
四、系统在干扰作用下的解和过渡过程曲线	61
五、被调参数测量值 $z(t)$ 和被调参数真实值 $y(t)$ 的讨论	63
第二节 线性二阶系统的标准过渡过程曲线和应用	64
一、二阶微分方程式的标准形式(无因次方程)	64
二、二阶系统的阶跃响应	65
三、标准过渡过程曲线的应用	66
四、调节系统质量指标和衰减系数 ζ 的关系	67
五、二阶系统的质量指标在根平面 $[s]$ 上的表示	71
第三节 闭环系统的稳定性和劳斯稳定判据	74
一、系统稳定性的概念	74
二、劳斯稳定判据	74
三、劳斯判据的其它应用	77
第四节 调节器的调节规律及其对调节系统质量的影响	78
一、常规调节器的调节规律	78
二、调节器调节规律对过渡过程的影响	79
第四章 调节系统的其它分析方法	87
第一节 根轨迹法	87
一、概述	87
二、根轨迹的绘制	88
三、附加零点的作用	101
第二节 频率特性法	104

一、频率特性及其表示方法	104
二、奈魁斯特稳定判据	120
三、稳定裕度在自动调节系统分析设计中的应用	126
第五章 计算机控制系统分析方法基础	135
第一节 离散系统	135
一、连续系统的离散化	136
二、离散系统的数学描述	140
三、离散系统的稳定性	148
第二节 状态空间分析法	150
一、状态变量和状态空间	151
二、系统的状态空间表达式	153
三、状态空间分析法	165
四、离散系统的状态空间分析法	172

第二篇 化工过程控制工程

第六章 简单调节系统的分析和设计	181
第一节 生产过程对自动调节系统的要求和系统被调参数的选择	181
第二节 调节对象特性对调节质量的影响和调节参数的确定	182
一、对象的静态特性对调节质量的影响	183
二、按静态特性选择调节参数	183
三、对象的动态特性对调节质量的影响	186
四、按动态特性选择调节参数	189
第三节 负荷变化对调节质量的影响及调节阀的选型	189
一、负荷变化对调节质量的影响	189
二、调节阀及其调节阀特性的选择	190
三、调节阀气开、气关的选择	197
四、阀门定位器的正确使用	198
第四节 测量滞后对调节质量的影响及克服测量滞后的方法	202
一、纯滞后 τ	203
二、测量滞后	203
三、传送滞后	207
四、脉动信号的测量和传送	207
第五节 工业用常规调节器的选择及调节器正、反作用的确定	209
一、调节器调节规律的选择	209
二、调节器正反作用的选择	209
第六节 调节系统间的相互关联及对调节质量的影响	210
第七节 简单调节系统的方案实施	213
第八节 简单调节系统的操作和调节器参数的工程整定	218
一、简单调节系统的投运	218

二、调节器参数的工程整定	221
第九节 简单调节系统的故障及其故障排除	224
第七章 复杂调节系统	228
第一节 串级调节系统	228
一、串级调节系统概述	228
二、串级调节系统的特点	232
三、串级调节系统的设计	236
四、串级调节系统的方案实施	240
五、串级调节系统的投运和主、副调节器参数的整定	242
第二节 均匀调节系统	243
一、均匀调节系统的产生和要求	243
二、均匀调节系统的组成结构	245
三、调节器参数的整定	247
第三节 比值调节系统	248
一、比值调节方案	248
二、比值调节方案中比值系数的计算	253
三、比值控制系统设计中的几个问题	259
四、比值调节系统的投运和调节器参数整定	259
五、比值调节系统设计举例和比值调节系统中气体流量的温度、 压力校正	260
第八章 其它调节系统	265
第一节 前馈调节系统	265
一、概述	265
二、前馈控制调节器的调节规律	266
三、简单前馈控制方案举例	270
第二节 自动保护系统	276
一、信号报警和信号联锁系统的设计要点	276
二、自动选择性调节系统	277
第三节 新型控制系统	282
一、纯滞后补偿控制系统	283
二、解耦控制系统	285
三、预测控制	286
四、自适应控制	289
第四节 精馏塔的自动调节	290
一、精馏塔工艺操作的基本原理和基本关系	290
二、精馏塔主要扰动因素分析和操作	294
三、精馏塔被调参数的选择及基本控制方案	295
第五节 带控制点工艺流程图	301
一、反应原理	301

二、流程说明.....	302
三、生产过程控制方案.....	304
第九章 计算机控制系统.....	306
第一节 概述.....	306
第二节 控制系统的数学模型.....	308
第三节 计算机的DDC控制系统	312
第四节 计算机的SCC控制系统.....	315
第五节 集中、分散控制系统.....	317
一、概述.....	317
二、微处理器化的过程控制仪表的特点.....	318
三、微处理器化的集中分散控制系统.....	319
四、应用举例.....	322
习题和思考题.....	334
参考文献.....	350
附录.....	351

绪 论

自本世纪40年代以来,随着工业生产迅速发展,自动化技术发展很快,在国防建设、交通运输,工业生产等方面应用很广。如飞机、导弹和宇航器等的起飞、发射、航行、投弹、着陆等,火车运输中的自动调度等都应用了自动控制,在工业生产上有机床的自动控制,对各种原动机的转速实行自动调节,锅炉设备中蒸汽温度、压力的自动调节等。特别在化工生产过程中,为保证产品的质量与产量,需要对温度、压力、流量、液位及成分等五大类参数实行自动控制。当然,化工自动化与其它工业部门的自动化相比,其水平和程度尚存在一定差距。这是因为一方面它在化工领域中引入较晚,控制理论是在电子工业应用较成熟后,才借用来解决化工生产过程中的控制问题;另一方面是化工生产过程的特点是长年连续运转,生产流程复杂,化学反应机理尚未全部掌握,原料、能源、自然环境等干扰因素变化频繁,与其它行业相比生产对象更为复杂,控制更为困难。

早在40年代以前,绝大多数化工生产处于手工操作状态,化工生产凭经验进行,用人工来改变操作条件。对于那些连续生产的化工厂,在进出物料彼此联系中装设了大的贮罐,起着克服干扰影响和稳定生产的作用,显然生产是低效率的,花在设备上的投资也是庞大的。那时的化工自动化技术选配一些仪表似乎就是它的全部工作了。

50年代和60年代,人们对化工生产中各种单元操作进行了大量的开发研究,使得化工生产过程朝着大规模、高效率、连续生产、综合利用方向迅速发展,生产强度不断加强。因此,要使这类工厂正常运行,如果仍然采用人工操作,没有良好的自动控制系统和仪表,那已是不可能了。于是就促使此时期的自动控制理论和技术有了很大的发展。这个时期自动控制理论集中地反映在自动调节原理之中,并体现了化工过程控制特色。我国当时的自动化技术工具主要是仿制的各种类型的基地式气动仪表、电动仪表和气动Ⅰ型、电动Ⅰ型单元组合仪表。分析自动调节系统的基本理论为微分方程分析法、频率特性分析法和根轨迹分析法,它对自动调节系统的分析、设计、运行发挥了作用,并积累了丰富的经验。同时,促进了一大批理论问题的解决。此时,在实际生产中应用的自动调节系统主要是温度、压力、流量和液位四大参数的单回路调节,串级、比值、多冲量调节系统也得到了一定程度的发展。由于还不能深入了解化工对象的动态特性,因此,应用半经验、半理论的设计准则和整定公式,对自动调节系统的设计、应用和推广起了相当重要作用。

70年代以来,化工自动化技术又有了新的发展,出现了新的起色。在自动调节理论方面,经典反馈控制理论,仍是进行自动调节系统设计、分析、参数整定的主要理论,它对于处理单输入、单输出的单变量控制系统是颇有成效的。但是随着化工生产的日益强化,控制系统的不断发展,出现了多变量、时变、非线性等控制系统和最优控制系统,于是产生了以状态空间分析方法为基础的现代控制理论。在自动化技术工具方面,新产品如雨后春笋,气动Ⅱ型和电动Ⅱ型单元组合仪表刚投入生产不久,气动Ⅲ型和电动Ⅲ型单元组合仪表也相继问世,为实现各种特殊控制规律提供了条件。新型调节器的问世为仪表和计算机直接联系创造了条件,自从计算机问世后人们试图用它代替常规控制仪表,到70年代逐

渐形成了集中分散计算机分级控制,可使整个企业用计算机实现科学管理,也可以实现设定值控制及其它各种高级控制。这些新型自动化工具的出现,使一个复杂控制方案的实施大为简化,系统的可靠性和灵活性也得到提高,因此具有较强的生命力,对化工自动化的发展起强大的推动作用。在控制系统方面,由于控制理论和技术工具的发展,给自动控制系统的发展创造了各种有利条件。在这个时期,比值调节、均匀调节与串级调节系统的设计和整定方法有了新的进展,并在现场得到了应用和推广。各种新型调节系统,如解耦调节系统,大纯滞后对象的自动调节,非线性调节等等系统的相继推出,已经在化工生产过程中显示出各自的威力,为化工生产自动控制增加了新的手段。

化工自动化的发展概况,使我们比较清楚地看到了化工自动化从无到有,从低级到高级的发展过程,使我们增强了信心。但化工自动化要适应化工生产工艺的发展,不仅要深入研究控制理论及其在化工生产上的应用,而且要对作为控制对象的化工生产过程本身的性质和规律进行深入研究,要透过化工生产过程复杂的现象,真正抓到它不同于其它行业的实质,以便针对化工生产的特点,采取行之有效的措施,从根本上解决化工自动化问题。

化工自动化是生产过程自动化在化工、炼油等化工类型中自动化的简称,亦即在化工设备上、配置一些自动化装置(自动化仪表),替代化工操作人员部分直接脑力劳动和体力劳动,使某些化工参数能准确地按照预期需要规律变化,使生产在不同程度上自动地进行,这种通过自动化装置来管理化工生产过程的方法称为化工自动化。

实现化工生产过程自动化,对发展化工生产有十分重要的意义。

(1) 加快生产速度,降低生产成本,提高产品质量和产量。因为在用人工操作的生产过程中,虽然人的思维是无限的,但人的五官,手脚,对外界的观察、反应与控制,其精确度和速度是有一定限度的。而且由于体力关系,人直接操纵设备功率也是有限的。如果用自动化装置代替人的操纵,则以上情况可以得到避免和改善,并且通过自动控制系统,使生产过程在最佳条件下进行,从而可以大大加快生产速度,降低能耗,实现高产优质。

(2) 减轻劳动强度、改善劳动条件。多数化工生产过程是在高温、高压、低温、低压、易燃易爆及有毒、有腐蚀性、有刺激气味的条件下进行的,实现化工自动化,工人只需要对自动化装置进行监视和操作,而不需要在现场直接从事大量的操作。

(3) 能够保证安全生产,防止事故发生或扩大,达到延长设备使用寿命,提高设备利用率的目的。如离心压缩机,往往由于操作不当引起喘振而损坏机体;带有催化剂的反应器,往往因反应过程中温度过高而烧坏催化剂,假如对这些设备采用自动控制,就可以防止或减少事故的发生。

(4) 生产过程自动化的实现,能根本改变劳动方式,提高工人文化技术水平,为逐步地消灭体力劳动和脑力劳动之间的差别创造了条件。

化工自动化的内容较广泛,它包括自动检测、自动调节、自动保护和程序控制等方面,现分别介绍如下。

(1) 自动检测。

在化工生产过程中,需要掌握和了解各处的生产情况及工艺参数,以便加以调整,得到合格的产品,就需要自动测量。在自动调节和自动保护中,自动测量也是基础。例如进

入生产装置的物料量和物料性质、组成，需要用流量测量仪表及成分仪表进行测量，有时需记录下来以备操作和检查。所谓自动检测装置就是指常用的各种测量、指示以及记录仪表。

（2）自动调节。

自动调节是在测量的基础上，用自动化装置代替人工的直接操作，进而使生产过程自动地进行，它是一种较复杂的自动化过程。自动调节是自动化系统中的核心问题，在本课程中将予以重点讨论。

（3）自动保护。

在化工生产过程中，当某些工艺参数超过一定限量时，就会影响生产，甚至发生各种严重的事故，如爆炸、燃烧以及损坏设备等。为帮助操作人员及时发现问题和采取紧急措施，以保证设备和人身的安全，免除事故的发生，设计自动保护装置。最简单的为自动报警如当工艺参数达到极限值时用灯光信号和声响信号以引起操作人员的注意。

（4）程序控制。

程序控制系统是指连续量控制中的反馈调节系统，它和自动调节系统的区别在于给定值是变化的，但它是一个已知的时间函数，如冶金工业中金属退火炉的温度控制等。

在连续量控制系统中反馈控制占绝大多数，在断续量控制系统中顺序控制占绝大多数。所以有时将自动控制分为反馈控制和顺序控制，反馈控制适合生产过程自动化，顺序控制适合机械加工自动化，信息处理适合业务管理自动化，三者相互渗透组成了品种繁多的自动化系统。

应当指出，上述分类中的程序控制和顺序控制系统是有区别的。这里所谓的程序控制是属于对给定值进行跟踪的非二进制控制系统。程序控制系统作为过程控制已有悠久的历史 and 明确的定义，国际电工委员会（IEC）电工技术词汇自动控制部分已将程序控制定义为纯属按时间函数进行的控制，属于连续控制系统。而顺序控制属于另一类控制系统，即开关量控制系统。后者有二个特点，一是输入输出信号均为开关量信号，二是生产过程的操作规律要遵循事先规定的顺序或取决于被测变量的逻辑组合关系。在国外，凡是按照一定规律或逻辑关系对过程各阶段进行开关量控制的系统都称为顺序控制系统。在我国，由于顺序控制的概念引入较晚，加上“程序”与“顺序”中文含义比较接近，不少行业部门都将上述开关量控制也称为程序控制系统，造成同一术语有两种不同含义。

程序控制系统是由程序控制信号发生器和相应的执行机构（如电磁阀等）组成，前者按规定程序产生讯号，推动执行机构动作，达到自动控制。

近来，程序控制系统应用日益广泛，一些定型的和非定型的控制装置越来越多地被应用到化工生产中。

化工生产过程自动化是工业生产自动控制中一个方面，因此它已成为实现四个现代化所必不可少的一门技术。而且目前一些国家用自动控制水平作为衡量该国家的生产技术与科学水平发达与否的一项重要标志。可见，实现化工自动化是极其重要的。

第一篇 化工过程自动化

分析方法基础

第一章 自动调节系统的基本概念

第一节 自动调节系统的组成及分类

一、自动调节系统的组成

初期的化工生产，没有仪表，生产人员凭经验操作，至今该种操作仍在不少地方占据统治地位，随着生产过程的强化，人们在总结手工操作时，逐步产生自动调节。

图1-1是一个液位贮槽，从前一工序来的半成品或者成品源源不断地流入槽中，而槽

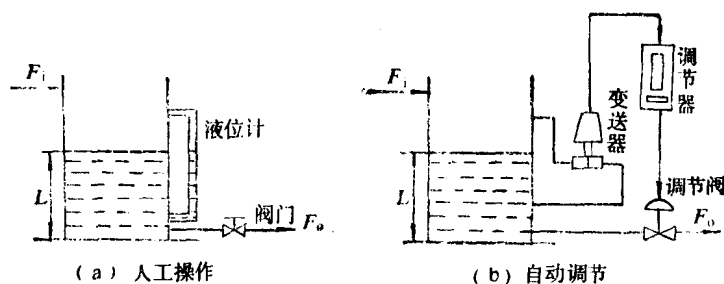


图 1-1 液位贮槽的人工操作和自动调节

中的物料又连续不断地送往后工序或者进行成品包装。设置一个操作岗位，它的任务是不使液位过低以免抽空、或液位过高而产生事故。为使液位升高或者下降都有足够的余地，选择以玻璃管液位计的中点为工艺指标，则操作工定期的①观察玻璃液位计的液位指示值（称为测量），②将指示值与液位计中点刻度进行比较算出两者的差值（差值包括符号和数值两个方面），③根据比较结果，决定是开大（或关小）阀门、以及开多大（或关多少）。前者的操作取决于差值的“+、-”号，而后者决定于数值的大小，④则完成了一个操作周期，并不断重复进行。从此贮槽的液位在液位中心点附近上下波动，称为人工操作。人们在模仿人工操作过程中，改进用一些自动化仪表，代替操作者的直接劳动，形成了自动调节。它首先用液位变送器的仪表，测量液位并转化为气动信号中20~100kPa的标准统一信号（电动Ⅲ型4~20mA DC的标准信号），并送到调节器中，调节器的作用是代替操作者的判断和大脑的计算。调节器的输出，直接控制阀门的开大或者关小。这一受信号指挥的自动阀门，称调节阀。当液位贮槽配以一套自动化仪表以后，用自动化装置代替人工的操作，称为自动控制或自动调节。操作者不再直接对生产设备进行操作，而由自动化仪表进行自动调节，使液位保持在规定的数值上。操作者的任务转化为对自动调节系统（包

括仪表)的管理。因此从人工操作进化到自动调节是质的飞跃。

现在结合图1-1液位调节系统的例子来说明控制系统中常用的几个术语。

被调对象或过程 简称对象或过程,如上例中的液位贮槽,它是需要实现控制的工艺设备、机器或者生产过程。

被调参数 是表征生产设备(过程)运行情况是否正常而需要加以调节的物理量,通常有温度、压力、流量、液位等,例如贮槽的液位。

调节参数 受到控制装置(如液位调节器)操纵,并用以使被调参数保持给定值的物理量或者能量,称为调节参数,如出料流量。

给定值 给定值是一个数值,表示被调参数应具有数值,或者说是一个恒定的与要求的被调参数相对应的信号值。

偏差 偏差理论上应该是被调参数的给定值与真实值之差。但是,能够直接获取的信息是被调参数的测量值而不是真实值,因此通常把给定值与测量值之差作为偏差。应该注意的是调节仪表中偏差的定义和自动化中有所不同,两者相差一个负号。

干扰 被调参数除受到调节参数的影响外,作用于对象并引起被调参数偏离给定值的外来因素,称为干扰。处理量(负荷)变化就是一种典型的扰动,如进料流量的变化。

二、自动调节系统的方块图

在研究自动调节系统时,为了寻找普遍适用的分析方法,更清楚地表示出自动调节系统各组成环节之间的相互影响和信号联系。在不考虑原设备的大小和结构复杂程度后用一个形象化的方块,并将若干个方块按一定的关系组成自动调节系统。图1-1(b)的液位自动调节系统用方块图表示时如图1-2。

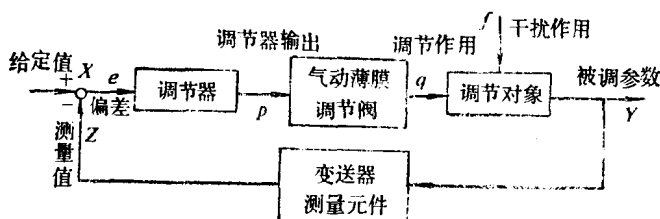


图 1-2 自动调节系统的方块图

如图中所见,一个自动调节系统是由对象和三个方块自动化仪表共同组成,每个方块表示组成系统的一个基本环节,方块之间用带箭头的线段连接,指向方块的线段表示输入信号,指离方块的线段表示输出信号。因此这些线和箭头能科学地反映了相互间的信号传递关系。特别要强调的是方块图各线表达的是信号关系,而不是指具体的物料或能量。方块图是自动调节系统分析中一个有力的工具和重要的概念。

方块图信号线上的箭头含有单向性的意义,所谓单向性,即方块的输入能够影响输出,而输出不能影响输入。图1-2的方块图是一种基本的形式,代表一般单参数和简单调节系统。多参数调节系统的方块图要复杂一些,在第二篇中介绍。

在自动调节系统中,干扰是破坏系统平衡状态,引起被调参数发生波动的外部因素,

例如生产过程中前后工序的相互影响, 负荷的变化等等。大多数对象往往有数种干扰同时存在, 在方块图中为方便起见, 把干扰用一条带箭头的直线表示。实际生产中干扰作用对象的种类和形式不固定, 多半属于随机性质。对自调系统的讨论和分析而言, 规定一个统一的干扰形式是十分必要的, 为了安全和方便起见, 我们确定一种称为阶跃干扰的输入,

它的数学表达式为:

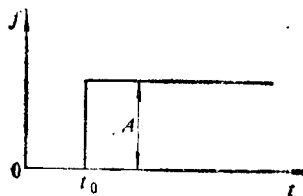


图 1-3 阶跃干扰

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{当 } t < t_0 \text{ 时} \\ A \text{ (常数)} & \text{当 } t > t_0 \text{ 时} \end{cases}$$

图1-3为它的图形。当阶跃干扰的幅度 $A=1$ 时, 称为单位阶跃干扰, 它是输入信号的一种标准形式。由图1-3可见, 阶跃干扰是一种

突变的干扰, 而且一经产生就永不消失, 其危害性最大, 另外, 阶跃干扰在实际生产中也很容易实现。

在自动化技术中, 除了广泛采用阶跃干扰信号外, 其它还有如线性输入信号; 加速度输入信号; 矩形脉冲信号和正弦输入信号等。

在分析控制系统的工作过程时, 有四个很重要的概念:

1) 信息的概念。图1-2中的 $x(t)$ 、 $y(t)$ 、 $e(t)$ 、 $p(t)$ 、 $q(t)$ 、 $z(t)$ 和 $f(t)$ 尽管是实际的物理量, 然而它们是作为信息来转换和作用的。图1-2中的每一部分称为一个环节, 作用于它的信息称为该环节的输入信号, 它送出的信息称为输出信号。上一环节的输出信号就是下一环节的输入信号。每一环节的输出信号与输入信号之间的关系仅仅取决于该环节的特性。从整个系统来看, 给定值和干扰是输入信号, 被调参数或其测量值是输出信号。

2) 反馈的概念。每个环节的信号流向是单向的, 由输入端流向输出端, 把一个或几个环节的输出信号送回到输入端, 叫做反馈。在反馈控制系统中, 系统输出端送回的信号与给定值相减, 亦即取负值后与给定值相加, 这属于负反馈。反馈信号取正值与输入信号相加则称正反馈。自动控制系统中采用的是负反馈。

3) 闭环的概念。在方块图中, 任何一个信号沿着箭头方向前进, 最后又回到原来的起点, 构成一个闭合回路, 这种系统称为闭环系统, 闭环系统一定要有反馈。

4) 动态的概念。 $x(t)$ 、 $y(t)$ 、 $e(t)$ 、 $p(t)$ 、 $q(t)$ 、 $f(t)$ 和 $z(t)$ 都是时间函数, 它们随时间而变, 是不断运动的。在定值控制系统中, 干扰使被调参数偏离给定值, 控制作用又使它恢复到给定值。干扰作用与控制作用构成一对主要矛盾时, 被调参数则处于不断运动中。

三、自动调节系统的分类

自动调节系统有多种分类方法。可以按被调参数的物理性质、如温度、压力、流量等分类; 也可按调节器的调节规律来分类; 也有按构成自动调节系统结构的复杂程度来分类。在闭环控制系统中, 也可按给定值信号的不同, 可分为三种类型:

1. 定值调节系统

所谓定值调节系统, 是指这类控制系统的给定值是恒定不变的。例如贮槽中液位工艺上要求保持不变, 因而它是一个定值调节系统。定值调节系统的基本任务是克服干扰对被调参数的影响。

化工生产领域里的自动调节系统，凡要求工艺条件平稳不变的，都属于这种范畴。

2. 随动调节系统

随动调节系统也称为自动跟踪系统，这类系统的给定值是事先未知的时间函数。这类控制系统的主要任务是使被调参数能够尽快地、准确无误地跟踪给定值的变化，而不考虑扰动对被调参数的影响。在化工自动化中，有些比值调节系统就属于此类。

3. 程序（顺序）控制系统

这类控制系统的给定值也是变化的，但它是时间的已知函数，即给定值按一定的时间程序变化。在化工自动化中，间歇反应器，玻璃熔化炉的升温控制系统都属于此类系统。近年来，程序控制系统应用日益广泛，一些定型和非定型的程序控制装置越来越多地被应用到化工控制中。

除了闭环控制系统外，还有一类称为开环控制系统，两者有本质上的区别。图1-4是开环液位调节系统的例子，它是按扰动量进行控制的，即所谓前馈控制。图1-4(b)是它的方块图，被调参数的变化没有反馈到调节器的输入端，没有用偏差来产生调节作用影响被调参数。

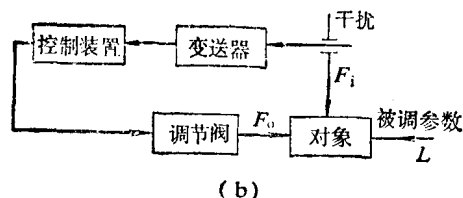
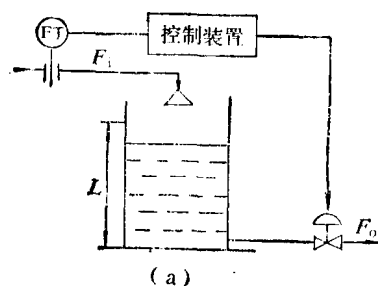


图 1-4 开环液位调节系统

第二节 自动调节系统的过渡过程和质量指标

一、自动调节系统的过渡过程

在图1-1中，当进料流量和出料流量相等时，水位保持不变，系统处于平衡状态，简称稳态或静态。它是指系统或环节在某一输入下，当时间 $t \rightarrow \infty$ 时达到平稳时的情况。对于化工对象来说，静态特性是由物料平衡、能量平衡及化学反应平衡等规律所确定。从严格的意义上说，应该称为稳态特性，因为它所反映的是动态平衡情况。

所谓动态，是指在输入信号作用下，系统或环节从原来的静态出发，逐渐随时间变化的过渡过程。如液体贮槽，当流入量多于流出量，物料平衡被破坏，多余出来的液体积蓄于槽内，使液位随时间逐渐升高，这种过程就是动态。动态特性亦称暂态特性，可以认为静态是动态特性在时间 $t \rightarrow \infty$ 时的特例。

化学工程经典内容的主体，实质上就是化工对象的静态特性。要对自动控制系统进行分析，需要增加对动态特性的分析和探讨。也就是说，要分析物料进入量和流出量不等时，物料的积蓄与亏缺引起被调参数的变化过程等等。

二、自动调节系统过渡过程的基本形式

一个处于平衡状态的自动控制系统，在受到外来作用时，即在干扰或者给定作用下，