

石油化工中等专业学校统编教材

石油化工自动化基础

黄安明 主编



中国石化出版社

石油化工中等专业学校统编教材

石油化工自动化基础

黄安明 主 编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书以经典控制原理为指导,应用传递函数作为分析自动控制系统动态过程的基本工具,以单变量线性反馈控制理论为研究自控系统的基础,介绍经典控制理论的基本知识和分析方法;探讨常见的简单和复杂控制系统的原理、结构、特点和应用,阐述自控工程设计的一般规定、要求和方法,并有一定实例介绍典型石油化工单元的操作和控制方案,同时对微型计算机和智能仪表的应用也作了一定的介绍。

本书可作为中等专业学校石油化工仪表及自动化类专业的教材,也可供从事生产过程自动化方面工作的工程技术人员参考。

石油化工中等专业学校统编教材

石油化工自动化基础

黄安明 主编

*

中国石化出版社出版发行

(北京朝阳区太阳宫路甲1号 邮政编码:100029)

海丰印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092毫米 16开本 23印张 585千字 印1—4000

1996年4月北京第1版 1996年4月北京第1次印刷

ISBN7-80043-589-X/TP·015 定价:19.00元

前 言

《石油化工自动化基础》是经中国石油化工总公司人事部教育处批准，由中石化总公司所属普通中专仪表及自动化专业指导组委托广东石油学校主编的，主要以1992年12月制订的石化普通中专《石油化工自动化基础》教学大纲为依据进行编写。本书主要是作为中专二、四年制石油化工仪表及自动化专业的教材，也可供石油化工等行业中具有中等文化水平，从事生产过程自动化方面工作的工程技术人员学习用书。

全书分三篇共十章，第一篇第一至四章为自动控制原理部分，除了阐述有关术语和概念、介绍环节或系统特性、传递函数、方块图变换、数学模型的建立等基本知识外，主要介绍自动控制系统的微分方程分析法；为了适应计算机控制系统的发展，还简要地介绍了离散系统的分析等内容。第二篇第五至七章为自动控制系统部分，重点讲述简单控制系统和串级控制系统的工作原理、结构特点、应用场合、设计方法、投运和参数整定等内容，对其它常用的复杂控制系统如均匀、比值、分程、前馈、选择性控制系统的原理、特点、应用和设计等也一一作了介绍；此外，还介绍了一些典型的石油化工单元如机泵、换热器、加热炉、锅炉、蒸馏塔、反应器的控制方案。第三篇第八至十章为自控工程设计部分，主要是从毕业设计出发，结合工程实际，介绍了石油化工自动控制系统设计的一些基本规定、要求和方法。为方便读者，本书后面附录有石油化工自控设计常用符号以及常用到的数学工具——拉氏变换表和 z 变换表。

本书所采用的有关名词术语和图形符号主要参照《工业自动化仪表术语》(ZB-Y247，中国机械工业部批准，1985年实施)，《过程检测和控制流程图用图形符号和文字代号》(中国国家标准GB2625-81)。

本书第一、二、四、五、六章由广东石油学校黄安明编写，第三、七章由广东石油学校林张贵编写。第八、九、十章由兰州石油学校吴晓帆编写。由于编者水平有限，书中难免存在许多不足之处，敬请读者批评指正。

兰州化工学校叶昭驹同志担任了本书的主审，上海化工学校郁操中同志、广东石化公司设计院吴琪瑞同志参加了最后审稿工作，对本书提出了许多宝贵意见，在此，谨向以上同志及其对本书给予大力支持和热情关心的有关部门表示衷心感谢。

绪 论

自动化是技术进步的一种体现，是新技术革命的重要组成部分，是工业企业现代化的重要标志之一。自动化除了在宇宙飞船、导弹、制导、船舶导航和飞机驾驶系统等领域中起着特别重要的作用外，对工业生产带来的经济效益也十分显著。

工业自动化一般是指石油、化工、冶金、机械、电力、轻工、建材、原子能等工业部门生产过程的自动化。通过采用自动化装置，如各种检测仪表、控制仪表、执行器及电子计算机等对整个生产过程进行自动检测、自动监督、自动控制、自动管理，以达到实现各种最优的技术经济指标，如保证产品质量，提高产量，降低原料和能量消耗，使设备安全长期可靠运行，改善劳动条件，减少环境污染，提高管理水平等。

早在 1930 年以前，工业生产大多处于手工操作状态，主要是凭经验用人工去控制生产过程，即靠人工观察过程的关键变量，靠人工执行过程的操作，因此，当时的劳动生产率是比较低的。

自动控制作为一门学科出现在 30 年代末期，当时的控制理论涉及的主要问题是控制系统的稳定性，主要分析方法是微分方程分析法。过程控制系统是简单的，仪表是基地式，大尺寸，适合当时的需要。40 年代，生产过程自动控制发展很快，到了 50 年代，以微分方程分析法、根轨迹分析法、频率特性分析法为基础的经典控制理论进入了成熟阶段，解决了大量生产过程控制中的实际问题。检测和控制仪表普遍采用基地式和部分单元组合仪表，但多数还是气动仪表；过程控制系统绝大部分是单输入、单输出的简单控制系统；被控变量主要是温度、压力、液位和流量；控制目的是保持这些变量的稳定，消除或者减少对生产过程的主要干扰，一些工厂实现了仪表化和局部自动化。

进入 60 年代，工业生产不断发展，对自动控制提出了新的要求，电子技术的迅速发展也为自动化技术工具的完善提供了条件。在仪表方面，开始大量采用气动和电动单元组合仪表，满足了定型、灵活、多功能的要求。接着又出现了组装式仪表，它将各个单元划分成更小的功能块，以适应比较复杂的模拟和逻辑规律相结合的控制系统的需要。在系统方面，为了提高控制精度和实现一些特殊的控制要求，相继出现了如串级、均匀、分程、前馈、比值、选择性等复杂控制系统。在控制理论方面，除了仍然采用经典控制理论之外，以状态空间分析法为基础的现代控制理论开始得到应用，控制系统由单变量转向多变量系统，以解决生产过程中遇到的更为复杂的问题。在此期间，工厂实现了车间或大型装置的集中控制。与此同时，电子计算机出现后被应用于自动控制领域，并取得了一些成果，但由于当时计算机在性能、价格和可靠性方面还不够理想，因此，在工业控制中的推广并不迅速，但借助数字计算机对控制系统进行分析和设计，大大促进了控制理论及系统设计方法的发展。

从 70 年代开始，电子计算机的研制产生了重大突破，微处理器出现了，以微处理器为主要构成单元的微型计算机也出现了，价格越来越便宜，功能越来越丰富。可靠性大大提高，具有 CRT 屏幕显示，便于人机联系，把微型计算机应用于自动控制，取得了巨大的成就。同时，新型仪表的研制与开发应用，使生产过程自动化的发展达到了一个新水平，进入了计算机控制时代。

近几年来研制出的可编程控制器，它是在普通的模拟仪表上装上微处理器，使仪表智能化，因而一台仪表能独立完成诸如串级、比值、前馈、选择性、大纯滞后、非线性、自适应等复杂的控制功能，并且可以通过接口装置和通信母线与上位计算机和 CRT 屏幕装置联接，使用起来十分灵活方便。这些新型自动化技术工具的出现，使一个复杂控制方案的实施大为简化，系统的可靠性，控制质量得到提高，使用和维护也更为简单，因而被广泛应用于各种生产过程控制中。

现代工业装置的规模很大，被控变量和控制回路数目很多，同时，对自动化的要求也越来越高，除了控制和检测之外，需要把管理职能也结合起来；而且除了连续过程以外，也需要考虑间歇（或批量）过程，在这种情况下，如果单纯用常规仪表来控制，则不仅仪表的数量多，仪表屏过于庞大，难以集中管理。若用一台计算机来集中控制，则一方面任务过重，要求计算机的容量、速度、性能等很高；另一方面由于过于集中，一旦计算机出现故障，便会影响全局。因此，过程控制的方式最好是分散进行，而监督与管理则以集中为好。于是，由多台微型计算机构成的各种集中（总体）分散型控制装置（简称集散系统）就迅速发展起来，并在大规模生产装置上得到日益广泛应用。今天已发展到信息时代，用微机网络或集散系统来控制和管理生产过程已成为现实，成为趋势。

应该指出，计算机不可能完全取代常规仪表，集散系统不能完全取代常规控制系统。常规仪表和系统是计算机控制和集散系统的基础，在中、小型工厂中，甚至在大型企业中，仍具有旺盛的生命力。

现代生产过程的不断发展，对自动控制不断提出新的要求，只用一般的控制系统已不能完全解决生产实际问题，需要更高一级的系统结构和控制规律。在这种情况下，多变量控制、数字控制、最优控制、自适应控制等各种高级控制结构以及多种特殊的控制规律应运而生，并促进了状态反馈、最优控制、解耦控制等现代控制理论在过程控制中的应用，加速了系统的建模、测试以及控制系统的分析、设计等理论和技术的发展，如大系统理论、人工智能控制等已取得了许多研究成果。

现代控制理论的发展，并不意味着经典控制理论已经完全过时，而是要不断补充新内容，开辟新的领域。事实上，直至今日，早期发展起来的经典反馈控制理论仍是分析设计控制系统的主要理论基础。在工程上应用的多是频率法和根轨迹法。随着计算机的广泛应用，重新显示出微分方程法是一种有用的分析方法，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。

石油化工自动化是工业生产自动化的一个方面，是炼油、化工类型生产过程自动化的简称。由于一方面自动控制技术在石油化工领域中引入较晚，控制理论是在宇航和电子工业应用得比较成熟以后，才借用来解决石油化工生产过程的控制问题的；另一方面是由于石油化工生产是长年连续运行，生产装置规模较大，工艺流程复杂，原料、能源、自然环境等干扰因素频繁；与其它行业相比，生产对象更为复杂，控制起来更为困难，所以石油化工自动化在初期的水平相对于其它工业部门要低一些。

随着石油化工生产在现代经济发展中取得越来越重要的地位，生产过程进一步朝着大规模、高效率、综合利用方向迅速发展，对生产过程控制提出了越来越高的要求，促使各种控制理论和控制在石油化工生产中的研究与应用，各种新型仪表和控制装置如可编程控制器、集散系统、在线成分分析系统等在石油化工过程中大量引入，取得了显著的经济效益，使石油化工自动化逐步跟上自动控制发展潮流，达到了一个新的水平。

目 录

绪论	
第一篇 过程控制原理 1	
第一章 自动控制系统的基本知识..... 1	
第一节 自动控制系统的组成及分类..... 1	
一、自动控制系统的组成..... 1	
二、自动控制系统方块图..... 2	
三、自动控制系统的基本控制方式..... 5	
四、自动控制系统的一般分类..... 6	
第二节 自动控制系统的过渡过程..... 7	
一、过渡过程的概念..... 7	
二、控制系统过渡过程的质量指标..... 9	
思考题与习题..... 11	
第二章 控制系统及其基本环节的动态特性..... 13	
第一节 典型环节特性..... 13	
一、一阶环节特性..... 13	
二、二阶环节特性..... 17	
三、纯滞后环节特性..... 19	
四、比例环节特性..... 20	
五、积分环节特性..... 21	
六、微分环节特性..... 22	
第二节 传递函数与方块图变换..... 24	
一、传递函数..... 24	
二、环节的联接方式及方块图变换..... 25	
三、自动控制系统的传递函数..... 31	
第三节 对象或环节数学模型的建立..... 33	
一、分析法..... 33	
二、实验法..... 43	
思考题与习题..... 49	
第三章 微分方程分析法..... 52	
第一节 系统微分方程式的建立与求解..... 52	
一、系统微分方程的建立..... 52	
二、系统微分方程式的解与过渡过程曲线..... 56	
第二节 二阶系统的标准数学模型与应用..... 59	
一、二阶系统数学模型的标准形式..... 59	
二、二阶系统的单位阶跃响应..... 60	
三、系统稳定的基本条件..... 63	
四、二阶系统阶跃响应的标准曲线及其应用..... 64	
五、系统的质量指标和衰减系数 ζ 的关系..... 67	
第三节 劳斯稳定判据..... 72	
一、劳斯稳定判据..... 72	
二、劳斯稳定判据的其他应用..... 75	
第四节 常规控制规律及其对系统控制质量的影响..... 76	
一、常规控制器的控制规律..... 76	
二、控制器参数对控制过程的影响..... 80	
思考题与习题..... 86	
第四章 离散系统的分析..... 88	
第一节 离散系统的基本知识..... 88	
一、概述..... 88	
二、采样过程和采样定理..... 89	
三、采样信号的复现..... 91	
第二节 z 变换与 z 反变换..... 92	
一、 z 变换..... 92	
二、 z 变换的求法..... 93	
三、 z 变换的基本定理..... 94	
四、 z 反变换..... 97	
第三节 脉冲传递函数..... 99	
一、脉冲传递函数的定义..... 99	
二、开环系统的脉冲传递函数..... 100	
三、闭环系统的脉冲传递函数..... 101	
第四节 离散系统的分析..... 104	
一、离散系统的稳定性..... 104	

二、离散系统的特性分析·····	108	五、串级控制系统的应用与示例·····	165
三、特征根位置与过渡过程的关系 ·····	111	第二节 均匀控制系统·····	168
思考题与习题·····	113	一、均匀控制的基本概念·····	168
第二篇 石油化工过程控制系统·····	116	二、均匀控制方案·····	170
第五章 简单控制系统·····	116	三、均匀控制系统的参数整定·····	172
第一节 系统被控变量与操纵变量的 确定·····	116	四、均匀控制应用例子·····	174
一、被控变量的确定·····	117	第三节 分程控制系统·····	175
二、操纵变量的确定·····	119	一、概述·····	175
第二节 测量与变送对控制质量的 影响·····	128	二、分程控制的应用·····	176
一、纯滞后问题·····	128	三、分程控制中应注意的几个问题 ·····	179
二、测量滞后问题·····	129	第四节 前馈控制系统·····	181
三、传输线的滞后问题·····	132	一、前馈控制与反馈控制·····	181
第三节 控制阀的选择·····	133	二、前馈控制系统的主要结构形式 ·····	184
一、控制阀流量特性的选择·····	134	三、前馈控制系统的工程整定·····	190
二、控制阀气开、气关方式的选择 ·····	140	第五节 比值控制系统·····	191
三、用阀门定位器改善控制阀特性 ·····	141	一、比值控制的几种方案·····	191
第四节 控制器规律的选择·····	143	二、比值系数的计算·····	195
一、控制器规律的选择·····	143	三、比值控制系统的实施·····	198
二、简单控制系统控制器正反作用的 确定·····	144	四、比值控制系统的工程整定·····	203
第五节 简单控制系统的投运和控制器 参数的整定·····	145	五、比值控制系统实施中的若干 问题·····	203
一、简单控制系统的投运·····	145	第六节 选择性控制系统·····	205
二、简单控制系统控制器的参数 整定·····	146	一、超驰控制系统·····	205
思考题与习题·····	150	二、选择性控制的应用·····	210
第六章 复杂控制系统·····	152	思考题与习题·····	214
第一节 串级控制系统·····	152	第七章 典型石油化工单元的控制·····	216
一、串级控制系统的基本原理和 结构·····	152	第一节 流体输送设备的自动控制·····	216
二、串级控制系统的特点·····	155	一、泵的控制·····	216
三、串级控制系统的设计·····	161	二、压缩机的控制·····	219
四、串级控制系统的投运和参数 整定·····	164	第二节 传热设备的控制·····	224
		一、两侧无相变的换热器控制·····	225
		二、利用载热体冷凝的蒸汽加热器 的控制·····	229
		三、利用载热体气化的低温冷却器 的控制·····	230
		四、锅炉设备的控制·····	231
		五、加热炉的控制·····	237
		第三节 精馏塔的控制·····	242

一、精馏塔的控制要求和约束条件	242	一、工艺控制流程图	275
二、精馏塔的静态特性和动态特性	244	二、仪表盘正面布置(总)图	277
三、精馏塔的干扰分析及可供选取的操纵变量	247	三、仪表盘背面气动管线连接图	279
四、精馏塔的基本控制方案	248	四、仪表盘背面电气接线图	279
五、精馏塔塔压控制的一般方案	252	五、控制室电缆管缆平面敷设图	281
第四节 反应器的自动控制	254	六、控制室外部电缆、管缆平面敷	282
一、化学反应器的控制要求	254	设图	282
二、釜式反应器的自动控制	255	七、气动管线外部连接系统图	283
三、固定床反应器的自动控制	256	八、电缆、电线外部连接系统图	284
四、流化床反应器的自动控制	257	九、供电系统图	284
思考题与习题	258	十、信号及联锁原理图	284
		十一、复杂控制系统图	284
		十二、标准节流装置制造、安	284
		装图	284
第三篇 石油化工自控工程设计		第十章 工程设计的主要内容	285
简介	260	第一节 控制方案的确定及各类仪表	
第八章 石油化工自控工程设计		的选型	285
概述	260	一、控制方案的确定	285
第一节 工程设计的一般过程	260	二、各类仪表的选型	285
一、工程设计的基本任务	260	第二节 控制室的设计	299
二、工程设计的基本程序	261	一、控制室的位置	299
三、自控专业与其它专业间的相互	262	二、控制室的面积	299
关系	262	三、控制室的进线方式和电缆、管缆	299
第二节 初步设计	264	敷设方式	299
一、初步设计说明书	264	四、仪表盘的设计	300
二、工艺控制流程图	264	第三节 仪表供电、供气设计	302
三、仪表设备及主要材料表	264	一、供电设计	302
第三节 自控设计的常用资料	265	二、供气设计	305
第九章 施工图设计	268	第四节 仪表配管与配线设计	307
第一节 设计说明书	268	一、测量管线	307
一、初步设计说明书	268	二、电线、电缆的选用	307
二、施工图说明书	269	三、气动信号管线选用	308
第二节 仪表设备、材料及数据表	269	四、电线、电缆及管线、管缆的	308
一、自控设备汇总表	269	敷设方式	308
二、自控设备表	272	第五节 信号报警系统的设计	309
三、电气设备材料表	272	一、设计原则	309
四、综合材料表	272	二、信号报警系统的设计	310
五、计算数据表	273	三、联锁系统设计	318
第三节 设计图纸	275	四、无触点信号报警及联锁系统	320
		简介	320

第六节 仪表设备的防护.....	323	一、干扰的产生.....	332
一、防爆问题.....	323	二、干扰的抑制.....	333
二、防腐蚀问题.....	327	三、接地.....	334
三、仪表及管线的保温问题.....	329	附录一 石油化工自控设计常用符号	
四、防尘问题.....	331	336
五、防震问题.....	332	附录二 拉氏变换对照表.....	353
第七节 信号传输中的防干扰和		附录三 常用函数的 z 变换表	355
接地.....	332	参考文献	355

第一篇 过程控制原理

第一章 自动控制系统的的基本知识

第一节 自动控制系统的组成及分类

一、自动控制系统的组成

在石油化工生产中，为了保证工况的连续最佳运行，要求生产过程中的某些工艺变量（表征生产设备正常运行的物理量，如流量、温度、压力、液位、物质成分等）保持在某一期望值上或者按照一定的规律作变化。但由于各种干扰因素的存在，会使得这些变量不稳定而影响正常生产，轻者可能造成产品产量或质量下降，重者造成停车事故，更有甚者会造成设备损坏和生产人员伤亡。因此，必须对生产过程中的关键工艺变量进行控制，使生产能安全、稳定、优质、高产、低耗地进行。这里所说的控制，就是克服干扰的影响，使工艺变量保持在期望值而进行的必要操作。控制的手段可以是人工控制，也可以是自动控制。

人工控制是指操作人员根据生产工况变化，人为地直接或间接操纵阀门，改变某些介质流量的大小，使工艺变量回到期望值；而自动控制则是在没有人直接参与的情况下，采用一套自动化装置来实现上述过程的操作，下面以一个简单例子，阐述人工控制和自动控制的区别与联系。

如图 1-1 所示为一个生产中常见的液体贮槽。液体从贮槽的上方流入，从贮槽的底部自由流出，工艺要求贮槽内的液位保持在高度 h_0 上。如果在某一时刻，由于某种原因使贮槽的入口流量 Q_i 突然发生变化，导致液位 h 偏离了工艺规定值 h_0 ，这时可以通过相应地改变出口阀门的开度，即改变贮槽出口流量 Q_o 的大小，使液位恢复到原来的规定值上。

为了分析和叙述的方便，在此首先介绍一些基本概念和术语。

在生产过程控制领域中，把能够表征工况并需要控制的工艺变量称为被控变量；把工艺上希望被控变量所保持的数值称为设定值；被控变量的设定值与测量值之差称为偏差；一切能引起被控变量偏离设定值的外部因素统称为干扰或扰动；把用于克服干扰影响，使被控变量按工艺要求变化的工艺变量称为操纵变量；一般地，把需要控制的工艺设备有关部分笼统地称为被控对象（常简称为对象）。被控对象比较确切的定义为：在控制系统中反映操纵变量、干扰与被控变量之间关系的有关工艺设备部分。在如图 1-1 所示的系统中，贮槽（包括部分进、出口管线）就是被控对象；被控变量是贮槽的液位 h ；设定值是工艺期望的液位高度 h_0 ；干扰主要是贮槽入口流量 Q_i 的变化；贮槽的出口流量 Q_o 被作为操纵变量，相应地改变 Q_o 可以克服干扰 Q_i 变化所引起的液

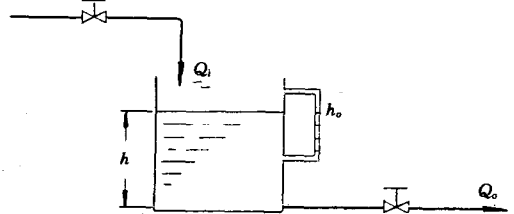


图 1-1 液体贮槽

位 h 变化, 使其保持在设定值 h_0 上。

人工控制贮槽液位时, 操作人员要随时随地通过液位计来观察液位变化的情况, 根据观察到的液位变化, 确定出口流量的改变量, 与此同时, 用手操纵出口阀门使 Q_0 作相应的改变, 从而使液位保持在设定值上。人工控制贮槽液位的过程可用以下几步简单概括:

- (1) 眼看: 观察和检测被控变量(液位)的变化情况;
- (2) 脑想: 比较液位的偏差和判断开大还是关小阀门;
- (3) 手动: 操纵阀门作相应的开度改变。

图 1-1 所示的贮槽液位用人工控制的方法来保持稳定在通常的条件下并非难事, 但如果是在干扰较厉害(如贮槽入口流量变化很频繁)时, 或进出贮槽的不是普通液体, 可能是某种有毒、有强腐蚀性的介质时; 或者操作是在高温、高压、易燃、易爆的场合下进行; 人们是无法时常近距离地进行观测和手动操作的, 特别是现代大型生产过程的许多设备结构及操作之复杂远非贮槽可比, 人工控制根本不能胜任。所以, 人工控制有着很大的局限性。为了维护操作人员的安全和健康, 减轻工人的劳动强度和难度, 保证和提高产品的产量和质量, 实现生产过程的自动控制是非常必要的。

从人工控制的过程可以受到启发, 如果用一些自动装置和仪表来代替人体器官的劳动, 如用测量变送器代替人的眼睛来观测被控变量的变化情况; 用控制器或计算机代替人的脑子来进行比较和判断; 用执行机构代替人的手脚去操纵阀门, 这样就可以构成一个自动控制系统, 实现生产过程的自动控制。一个好的自动控制系统其工作要比人工控制准确和可靠得多。

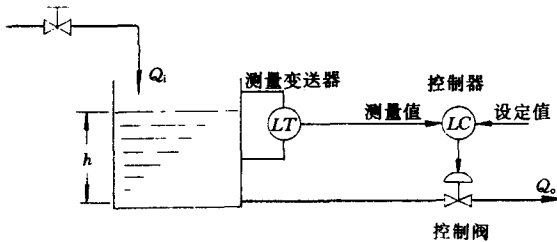


图 1-2 贮槽液位自动控制系统

如图 1-2 所示是贮槽液位自动控制系统流程图。该系统由对象贮槽和一个液位测量变送器、一个控制器(调节器)、一个执行器(控制阀或调节阀)所组成。它的工作过程是这样的: 在正常情况下, 液位稳定并对应于设定值, 贮槽的流出量等于流入量, 即 $Q_0 = Q_i$ 。如果在某一时刻, 贮槽的流入量 Q_i 发生变化(假设突然增加了 ΔQ_i), 在这个干扰作用下, 液位 h 升高, 测量变送器自动测量出液位的高度并转换成某种相应的输出信号送至控制器, 控制器则把液位的测量值与工艺设定值相比较, 根据两者偏差的大小和方向按一定规律不断地发出信号给控制阀, 控制阀依据控制信号作相应的开度改变(此时为开大), 使贮槽的流出量增大 ΔQ_0 , 当 $Q_0 + \Delta Q_0 = Q_i + \Delta Q_i$ 时, 液位又恢复到设定值上, 测量值应等于设定值。

由以上分析可知, 自动控制是人工控制的一种模仿和发展, 是利用自动控制装置代替了人的部分器官和操作。自动控制系统就是由被控制的有关生产设备和自动控制装置的组合。一个自动控制系统的基本组成部分是被控对象、测量变送器、控制器、控制阀, 这四大部分必须按一定的方式连接在一起, 并且通过某种传递信号连成一个整体, 完成自动控制任务。

二、自动控制系统方块图

图 1-2 所示的贮槽液位自动控制系统通常称为自动控制系统流程图, 它是把控制系统的有关部分用一些具体的图形符号来表示的一种方法, 具有直观明了的特点, 这种表示方法

在实际生产工艺流程图中用得较多。但是在分析研究自动控制系统的性能特点时，大多采用方块图（又称方框图）来表示自动控制系统。

所谓的自动控制系统方块图是把组成系统的各个部分如被控对象、控制器、测量变送器、控制阀等分别用一个一个的方块来代表，每个方块之间用一些带有箭头的线段连接起来。方块图的优点是能够评价每个部分对系统性能的影响，与较抽象的纯数学表达式相比，方块图可以清楚地表明实际系统中各组成部分之间的相互影响和信号联系，而与实际具体的系统流程图相比，方块图则更容易体现系统的输入和输出之间的数学关系，便于进行理论分析研究。图 1-2 所示的贮槽液位自动控制系统可用方块图表示，如图 1-3 所示。

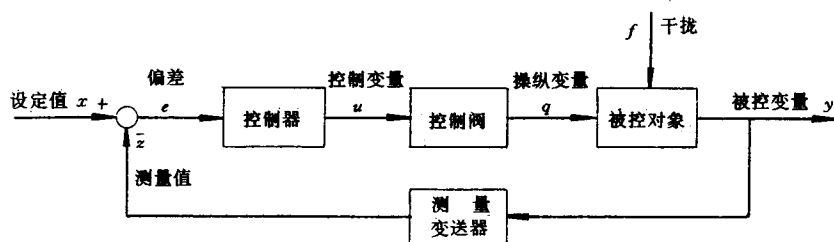


图 1-3 贮槽液位自动控制系统方块图

作方块图时，应注意以下几点：

(1) 每个方块代表系统的某一部分设备或一台仪表装置，通常称为一个环节。方块里的内容是该环节的特性，即是能表征该环节输入变量和输出变量之间关系的数学表达式（传递函数）。

(2) 方块图中带箭头的线段代表的是各环节之间的相互作用和信号联系，而不是实际物料或能量联系，因此，箭头的方向只是代表控制系统信号的作用方向，不是实际流体的流向。指向方块的箭头表示环节的信号输入，离开方块的箭头表示环节的信号输出。例如，在贮槽液位自动控制系统中，干扰 f 在方块图上的作用方向是指向对象的，作为扰动的入口流量 Q_i 的实际流向也同样是趋向对象，即进入贮槽；而操纵变量 q 在方块图上的作用方向也趋向对象，但在其流程图上可以看到，作为操纵变量的出口流量 Q_o 的实际流向却是离开贮槽的。

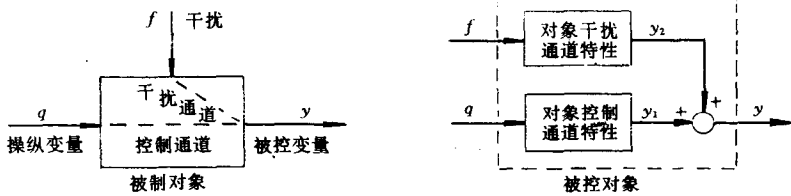
(3) 方块图的信号传递是单方向传递，即信号只能沿箭头的方向通过，不能逆箭头方向自动倒回，换句话说，就是环节的输入信号变化才会引起输出信号的变化，而输出信号的变化不会直接倒回去影响输入信号。

(4) 方块图中的小圆圈表示比较点。离开比较点的信号等于进入比较点的信号之代数和，具体是相加还是相减由箭头上标明的正负号决定。如图 1-3 所示的方块图中，离开比较点的信号 $e = x - z$ ，这表示控制器的输入信号偏差 e 是设定值 x 与测量值 z 之差。需要指出的是，图 1-3 所示方块图中的比较点是控制器中的一个比较机构或电路，在方块图里把它单独画出来是为了突出其比较作用，便于分析研究，它不是系统的一个独立环节。而在其他系统方块图中，比较点可能代表的是某一加法器或减法器，也可能是由于分析的需要而设置的。

(5) 方块图中直线上的字母代表各变量（或信号）的名称。如 x 表示设定值； y 表示被控变量； f 表示干扰； z 表示被控变量的测量值； e 表示偏差； u 表示控制变量，即控制器的输出值； q 表示操纵变量等。被控变量 y 既是对象的输出变量也是控制系统的输出变

量，而把设定值 x 和干扰 f 这两个对系统输出变量有直接影响的外界输入称为系统的输入变量。这样规定了系统各变量的代表符号之后，无需文字说明就能将方块图各变量之间的关系完整地表达出来，也便于进行数学分析。一般小写字母表示变量的时间函数，大写则表示变量的拉氏变换或 z 变换。

(6) 在自动控制领域里，把系统或环节某一信号的作用途径称为通道。在图 1-3 所示的系统中，从设定值 x 这个输入起，通过控制器、控制阀、对象直到输出变量 y 这条途径称为前向通道；从输出变量 y 起，通过测量变送器到比较点止这条途径称为反馈通道。对于被控对象这个环节，一般有干扰和操纵变量两个输入，通常把干扰输入 f 到对象输出 y 的作用途径称为对象的干扰通道；把操纵变量 q 到对象输出变量 y 的作用途径称为对象控制通道，如图 1-4 所示。对控制系统进行数学分析时，必须分别求出对象干扰通道和控制通道的特性，即干扰与对象输出变量，操纵变量与对象输出变量之间的数学关系式。此时，用方块图表示时就不采取图 1-3 所示方块图中对象的这种省略画法，必须采用如图 1-4 (b) 所示的形式表示。



(a) 对象方块图的简单画法

(b) 对象方块图的完整画法

图 1-4 对象方块图的表示方法

画方块图时，习惯地把系统设定输入端放在左边，输出端放在右边。即前向通道的方向是由左向右；而反馈通道是由右向左，一般放在前向通道的下方。如果系统结构复杂，反馈回路较多，在可能引起相互交叉时，也可以画在前向通道的上方。注意控制器的比较点必须单独画出。

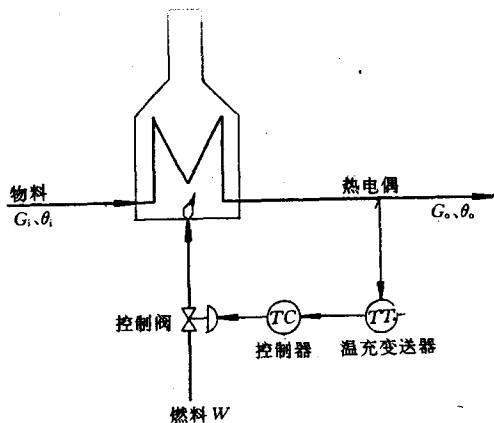


图 1-5 加热炉物料出口温度控制系统流程图

如图 1-5 所示为一个加热炉物料出口温度控制系统流程图，虽然它与图 1-2 所示的贮槽液位控制系统流程图有较大的差异，但它们的方块图结构形式完全相同，只不过是对象这

个方块一是代表加热炉，一是代表贮槽。

任何一个自动控制系统都是由对象和一些能够完成确定职能的仪表按一定的连接关系组合而成，尽管所组成的系统可能是多种多样的，但是从系统各部分的功能和特性以及它们互相连接的结构特点来看，可以发现它们几乎都是相同的，这主要是由自动控制系统内部的信号传递方向一致所决定。因此，不同的控制系统却可以有着相同形式的方块图。所以用方块图来表示自动控制系统有着普遍的意义，方块图是分析研究自动控制系统的的基本工具。

三、自动控制系统的的基本控制方式

利用方块图可以较方便，较清楚地分析自动控制系统的工作过程。下面以图 1-3 所示的系统方块图为例，分析自动控制系统的控制过程。

自动控制系统有两种主要的控制过程：一种是为了克服干扰对被控变量的影响，使被控变量始终保持在工艺设定值上，这种控制过程称为定值控制；另一种控制过程是使被控变量紧密地跟随设定值变动，称为随动控制。

假设控制系统是个无差系统（所谓无差系统，是指控制过程结束，系统稳定后，其被控变量的测量值等于设定值，即系统的偏差等于零），并且系统在一段时间内已处于平衡状态，即系统各环节的输入和输出都为某一定值，被控变量稳定并对应于设定值，有 $x = z$ ，控制器的输入信号——偏差 $e = x - z = 0$ ，此时，如果系统的输入变量之一，如扰动产生变化，破坏了系统的平衡，使系统的输出变量也就是被控变量偏离了设定值， $z \neq x$ ，测量变送器把被控变量的测量值 z 送回到控制器的输入端与设定值进行比较，由于设定值 x 不变，因而控制器的输入偏差不为零，即 $e = x - z \neq 0$ ，控制器根据此偏差的大小按某一预定的规律不断地进行工作，使操纵变量作相应的改变，去抵消干扰对被控变量的影响，直到被控变量回复并稳定在原来的设定值上，系统重新进入平衡状态。这一控制过程是系统克服干扰的影响，使被控变量保持在某一设定值的过程，所以这是定值控制过程。

再分析当系统的另一个输入变量设定值改变时（这时认为干扰输入不变化，不考虑其作用）系统的工作过程。在系统处于平衡状态时，应有 $e = x - z = 0$ ，当改变设定值至 x' 时，系统原平衡被打破， $e = x' - z \neq 0$ ，偏差产生，控制器的输出信号就作相应的改变，在此控制作用下，系统的被控变量随之改变，测量变送器不断将被控变量变化的测量值 z' 送回到系统的输入端与新设定值 x' 作比较，直到 $z' = x'$ ，这时 $e' = x' - z' = 0$ ，偏差消失，控制器停止控制动作（其输出稳定在某一值上不再改变），系统重新处于另一平衡状态，被控变量稳定在一个与新设定值 x' 对应的值上。这种使系统被控变量跟随设定值变动的控制过程即为随动控制。

从以上分析的系统在两种不同输入作用下的控制过程可知，输入变化使得输出也随之变化，而输出信号经测量变送器不断送回到系统输入端与设定值进行比较，一旦被控变量的测量不等于设定值，即偏差不为零，控制器就有输出变化，一直到消除偏差为止。这样，系统的信号传递从输入端开始到输出端，又从输出端通过某种方式返回到输入端，形成了一个闭合回路（或称为回路），系统这种控制方式称为闭环控制，又可称为调节。如果系统输出变量的测量值不是送回到输入端与设定值比较，即系统的信号传递只是从输入端到输出端而没有形成闭合回路时，则这样的控制方式称为开环控制，如图 1-6 所示为开环控制系统方块图。

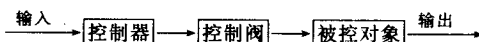


图 1-6 开环控制系统方块图

把输出信号通过某种途径又返回来馈送到系统的输入端进行比较后再作用到输出的方式称为反馈。反馈有正反馈和负反馈之分，如反馈的结果是使输出变化增强的则称为正反馈，如使输出变化减弱则为负反馈。在方块图中可以通过在比较点上代表反馈信号线段箭头旁标明的“+”或“-”符号说明，“+”号即表示为正反馈，“-”号则表示负反馈。一个较复杂的自动控制系统可能同时存在有负反馈和正反馈回路，但其总的反馈效应一定是负反馈，只有这样才能起到纠正偏差、消除偏差的作用。否则，若仅采用了正反馈，当 $x = z$ ，即系统输出变量的测量值等于设定值时，它表明被控变量已符合工艺设定值，这时控制器应停止控制动作，但由于是正反馈，则有 $e = x + z \neq 0$ ，这个偏差值很大，使得控制器的输出继续发生变化，并使控制阀的开度也不断朝着一个方向改变，从而产生了不应有的控制作用，使被控变量越来越偏离工艺设定值。因此，单纯的正反馈不但不能克服干扰的影响，反而会使系统的偏差越来越大，直至被控变量超出工艺允许的范围而破坏正常生产，所以，自动控制系统中是不能单独采用正反馈的。

闭环控制系统正是由于采用了负反馈，因而能自动地对干扰或设定值变化所引起的偏差进行纠正，故说这种系统具有良好的抗干扰能力和较高的控制精度。而开环控制系统则由于无反馈，故无自动纠正偏差的能力，它仅仅是根据控制信号对被控对象进行控制，其控制精度主要取决于系统的校准精度，取决于在控制过程中保持校准值及选择的控制装置的特性参数的稳定度。但开环控制系统的结构简单，成本低，容易实现，在干扰很小，控制精度要求不高的场合时仍有应用。虽然闭环控制系统相对来讲需要较多的仪表和有较复杂的结构，成本当然也比较高，但由于闭环控制系统的优点多，生产效益好，能满足大多数生产过程控制的要求，故在实际的过程控制系统中，闭环系统占了主导地位，所以说自动控制系统主要是基于闭环负反馈方式控制的。

近一段时期来，由于控制理论的发展，控制工具和方法的更新，控制的原理也有了改革，因而单纯从反馈闭环控制方式出发就不能作为高质量的象征了，出现了许多开环与闭环集于一身的复合控制系统，如近年来常见的前馈控制系统等就是应用开环控制改进系统质量的例子。尽管如此，闭环控制仍是最基本的控制方式。

四、自动控制系统的一般分类

分类的目的是为了突出各种控制系统的共性和特点，便于分析比较。

根据不同的需要，在不同的应用场合，从不同的角度来看，自动控制系统可以有多种的分类方法，每一种分类都只是反映了自动控制系统的某一方面的性能或结构特点。以下介绍的是几种较常见的自动控制系统分类方法。

1. 按被控制的工艺变量来分类

这种分类方法就是以被控变量来命名控制系统。在石油化工生产过程中主要有流量、温度、压力、液位、物质成分等几大变量，因此就有流量控制系统、温度控制系统、压力控制系统、液位控制系统、成分分析控制系统之分。

2. 按控制系统的控制方式来分类

有开环、闭环和复合控制系统。

如前所述，开环控制系统是指系统的输出变化对其控制作用没有影响的系统；闭环控制系统就是把其输出反馈回输入端进行比较而形成闭合回路的系统。闭环控制系统又可分为闭环调节系统，我们说的调节系统就是指具有闭环控制的系统。闭环控制系统有单闭环和多闭

环系统。

复合控制系统就是指开环和闭环控制相互配合使用的系统，这种系统综合了两种控制方式的长处，故能获得比单一方式控制的系统更好的控制效果。

3. 按设定值的作用方式来分类

有定值控制系统、随动控制系统、程序控制系统。

定值控制系统的设定值在系统工作过程中保持恒定，系统的输入变量是干扰，控制目的是克服干扰影响，使被控变量稳定在设定值上。这是在石油化工过程控制中应用最多的系统。

随动控制系统是指其设定值决定于外来某种因素变化而不能预定的系统，系统控制目的是使被控变量及时准确地跟踪设定值变化。如各种测量变送装置均可以看作作为一个随动系统，它的输出（指示值或记录值）应准确快速地跟随着输入（被测量值）而变化，测量精度才高。随动控制系统在宇航、制导、导航方面应用较多。

程序控制系统的设定值是某一预定时间函数，这种控制系统要保证被控变量按事先确定的时间变化规律（程序）来改变。

4. 按系统的动态特性来分类

有线性控制系统和非线性控制系统。

线性控制系统是指其输出变量与输入变量之间的关系可以用线性微分方程来描述的系统，这种系统动态方程中的各个参数是恒定不变的。或者在系统工作条件下可以近似看作是恒定的。一个重要性质是在几个干扰同时作用于系统时，其总效应等于各扰动单独作用时的效应之和，这就是线性控制系统的叠加原理。

非线性控制系统是指其动态方程各参数中至少存在一个不能保持恒定，随着系统被控变量的变化而变化的系统。这种系统的动态方程只能用非线性微分方程来描述，不能应用叠加原理。

5. 按系统控制动作和时间的关系来分类

有连续控制系统和断续控制系统。

连续控制系统是指系统各个环节的输出是其输入的连续函数的控制系统，如连续测量和连续控制系统。

断续控制系统中至少有一个环节以上的输出是其输入的断续函数或脉冲函数，数字计算机控制系统，采样分析控制系统等都属此类。

第二节 自动控制系统的过渡过程

一、过渡过程的概念

分析研究自动控制系统，一个主要的目的是要了解系统的输出和输入关系，即系统的特性，也就是要掌握控制系统的输出变量在输入变量作用下的变化过程。当一个自动控制系统的输入信号（设定值和干扰）恒定不变时，整个系统处于一种相对平衡的状态，各环节如控制器、测量变送器、控制阀及对象的输出都保持为某一定值，控制系统这种输出变量不随时间而变化的平衡状态称为系统的静态，亦称为稳态。如果系统的输出变量在输入变量作用下随时间变化，其各环节的输出也变化不定时，这样系统则处于一种不平衡的状态，称为系统的动态。