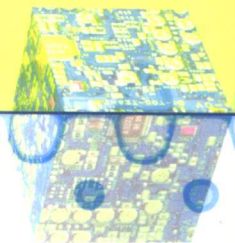


高 等 学 校 教 材

# 过程控制 工程



孙洪程 李大字 翁维勤



高等教育出版社

高等学校教材

# 过程控制工程

孙洪程 李大字 翁维勤

高等教育出版社

## 内容提要

全书共分三篇 18 章。第一篇基本过程控制系统,对工业过程中常用的或较为成熟的控制系统作了比较详细的讨论。第二篇先进控制系统,结合石油、化工、热电、轻工等工业过程中具有代表性的典型单元操作过程,从被控过程的特性、基本控制方案到新型控制方式做了简明扼要的叙述,为读者确定生产过程的控制方案打下了扎实的基础。第三篇过程控制工程,分析了流程工业中常用的流体输送设备、传热传质设备,蒸发精馏设备和各种反应器的工艺流程和典型的控制系统。

本书根据近些年来控制系统实验装置的状况,根据现在市面上常见的实验设备,在相应章节中给出了实验建议,对过程控制系统的实验目的、方法等内容作了适当的介绍。由北京化工大学信息科学与技术学院自动化系自主开发研制、采用虚拟现实技术的实验装置——微型液位实验装置已经被许多院校采用,因此本书中也介绍了这些实验装置。此外,在每个章节的后面都附有思考题及习题,用以加深和巩固学习效果。

全书共 18 章,其中由第 1、2、3、4、5、6、7 章由孙洪程编写,第 8、9、10、11、12、13、14 章由李大宇编写,第 15、16、17、18 章由翁维勤编写,各章节所附思考题和习题,以及本书的附录由孙洪程编写。

本书由浅入深、重点突出、便于自学,可作为自动化、测控技术与仪器等专业本科生的教材,也可作为化学工程、环境工程、生物工程等专业的选修课教材。

由于编者水平所限,在内容选择、组织及编写上,难免有不妥之处,恳请读者予以指正。

## 图书在版编目(CIP)数据

过程控制工程/孙洪程,李大宇,翁维勤编著. —北京:高等教育出版社,2006.2  
ISBN 7-04-018465-6

I. 过... II. ①孙...②李...③翁... III. 过程控制 - 高等学校 - 教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 003872 号

策划编辑 吴陈滨 责任编辑 欧阳舟 封面设计 李卫青 责任绘图 朱 静  
版式设计 马静如 责任校对 王 超 责任印制 杨 明

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010-58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	<a href="http://www.landrace.com">http://www.landrace.com</a>
印 刷	北京机工印刷厂		<a href="http://www.landrace.com.cn">http://www.landrace.com.cn</a>
		畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
开 本	787×960 1/16	版 次	2006 年 2 月第 1 版
印 张	25	印 次	2006 年 2 月第 1 次印刷
字 数	460 000	定 价	31.10 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 18465-00

# 前 言

过程工业是工业生产的一个大领域,例如化工、石油、天然气、冶金等。现代过程工业中生产物料都是以气态、液态方式在密闭的管路和容器中高速、大负荷进行着各种物质的、能量的变化。这些过程的特点是生产过程中各个环节相互关联、存在明显的容量滞后、生产参数随时间连续变化。由于这些特点,一旦生产过程中某个局部发生变化,往往会影响到其上游、下游其他生产环节。如果只靠手工操作,显然是不能满足生产需要的,因此,过程自动化已经变为过程工业中密不可分的重要部分了。

过程自动化是自动化一大分支学科,除了需要了解控制理论之外,还需要深入地了解过程工业生产的特点。由于过程工业生产过程中物质的变化、能量的变化往往是同时发生的,因此其数学模型非常复杂。近年来随着对过程内在规律的深入了解,以及智能仪表、计算机技术的不断发展,过程自动化获得了很大的发展。因此,有关过程控制技术的文章、论著大量问世。在自动控制领域中,过程控制现在已经变为一个比较大的、相对独立的学科。要想在一本书中,把过程控制技术的有关内容全面地包括进去是不现实的,因此,本书的内容定位在基本的过程控制系统与基本控制方案上,把目前在工业生产过程中应用比较成熟的控制系统和控制方案作为重点内容,进行较为系统的阐述。而过程控制中的其他相对独立的内容,诸如系统辨识、过程动态学、计算机控制与集散系统等,因它们均已自成体系,各高等院校已分别开设了相应的课程,并已有各自的教学用书,因此不再把它们编写在本书中。这样使得本书线索清晰、条理分明、便于学习和掌握。由于近些年来新型控制系统(自适应控制、预测、推断控制、内模控制、神经网络、人工智能等)逐渐在工程实践中得到应用,所以本书也对这些内容进行了一些基本介绍。

本书的特点是运用控制理论对常见的过程控制系统加以论证,进行必要的定量或定性分析。对工程性的内容则侧重从物理概念上予以解释。考虑到本书涉及的是一门工程实践性很强的学科,许多知识只有通过亲自动手实践,才能真正掌握,所以本书尽量把实验内容结合到各相关章节中去。

清华大学信息学院的王俊杰教授、萧德云教授对本书进行了认真的审核修改,提出了非常宝贵的意见;北京化工大学信息学院吴重光教授为本书实验部分提供了大量的指导意见和实验素材,在此表示诚挚的感谢。

编者

2005年8月于北京化工大学信息科学与技术学院

# 目 录

## 第一篇 基本过程控制系统

第 1 章 单回路反馈控制系统 .....	3
1.1 单回路系统的结构组成 .....	3
1.2 被控变量的选择 .....	7
1.3 对象特性对控制质量的影响及控制变量的选择 .....	10
1.3.1 干扰通道特性对控制质量的影响 .....	11
1.3.2 控制通道特性对控制质量的影响 .....	15
1.3.3 控制变量的选择 .....	20
1.4 控制阀的选择 .....	20
1.4.1 控制阀口径大小的选择 .....	21
1.4.2 控制阀气开、气闭形式的选择 .....	21
1.4.3 控制阀流量特性的选择 .....	23
1.4.4 控制阀结构形式的选择 .....	28
1.4.5 阀门定位器的选用 .....	28
1.5 测量、传送滞后对控制质量的影响及其克服办法 .....	30
1.5.1 测量滞后的影响 .....	30
1.5.2 信号传送滞后的影响 .....	31
1.5.3 克服测量、传送滞后的办法 .....	32
1.6 控制器参数对系统控制质量的影响及控制规律的选择 .....	34
1.6.1 控制器参数对系统静态误差的影响 .....	34
1.6.2 控制器参数对系统动态误差的影响 .....	36
1.6.3 控制规律的选择 .....	38
1.7 系统的关联及其消除方法 .....	38
1.7.1 系统关联及其影响 .....	38
1.7.2 分析系统关联的方法 .....	39
1.7.3 削弱或消除系统间关联的方法 .....	42
1.8 单回路系统的投运和整定 .....	43
1.8.1 控制系统的投运 .....	45
1.8.2 控制系统的整定 .....	46
本章附录 .....	52

实验一 单回路控制系统组成实验 .....	52
实验二 单回路控制系统的投运和整定 .....	53
实验三 单回路控制系统的质量研究 .....	54
本章思考题及习题 .....	54
<b>第2章 串级控制系统 .....</b>	<b>57</b>
2.1 概述 .....	57
2.2 串级控制系统的实施 .....	61
2.2.1 用电动Ⅲ型、Ⅱ型仪表构成串级控制方案 .....	62
2.2.2 串级控制系统的实施 .....	63
2.3 串级控制系统的投运和整定 .....	68
2.3.1 串级控制系统的投运 .....	68
2.3.2 串级控制系统的工程整定方法 .....	69
2.4 串级控制系统的特点 .....	70
2.5 串级控制系统副回路的设计 .....	76
本章附录 .....	82
实验一 串级控制系统组成实验 .....	82
实验二 串级控制系统的投运和整定 .....	83
实验三 串级控制系统主、副环抗干扰能力的比较 .....	83
实验四 串级控制系统与单回路控制系统质量的比较 .....	84
本章思考题及习题 .....	85
<b>第3章 比值控制系统 .....</b>	<b>87</b>
3.1 概述 .....	87
3.2 比值控制系统的类型 .....	88
3.2.1 开环比值控制系统 .....	88
3.2.2 单闭环比值控制系统 .....	88
3.2.3 双闭环比值控制系统 .....	90
3.2.4 其他类型的比值控制系统 .....	91
3.3 比值系数的计算 .....	95
3.3.1 流量与测量信号成线性关系时的计算 .....	96
3.3.2 流量与测量信号成非线性关系时的计算 .....	96
3.4 比值控制方案的实施 .....	97
3.4.1 两类实施方案 .....	98
3.4.2 比值控制方案实施举例 .....	98
3.4.3 比值控制系统中非线性环节的影响 .....	102
3.4.4 比值控制系统中的信号匹配问题 .....	104
3.5 比值控制系统的投运与整定 .....	106

3.6 比值控制系统的其他问题 .....	107
3.6.1 流量测量中的压力、温度的校正 .....	107
3.6.2 主、副流量的动态比值问题 .....	108
3.6.3 具有逻辑规律的比值控制 .....	110
3.6.4 副流量供料不足时的自动配比 .....	111
3.6.5 主动量与从动量的选择 .....	112
本章附录 比值控制系统实验 .....	113
本章思考题及习题 .....	114
<b>第4章 均匀控制系统</b> .....	<b>116</b>
4.1 均匀控制问题 .....	116
4.2 均匀控制方案 .....	118
4.2.1 常用的几种结构形式 .....	118
4.2.2 控制规律的选择 .....	120
4.2.3 参数整定 .....	121
4.3 均匀控制系统的理论分析 .....	122
4.4 其他需要说明的问题 .....	125
4.4.1 气体压力与流量的均匀控制 .....	125
4.4.2 实现均匀控制的其他方法 .....	125
本章附录 均匀控制系统实验(选做) .....	126
本章思考题及习题 .....	126
<b>第5章 前馈控制系统</b> .....	<b>127</b>
5.1 前馈控制系统的特点 .....	127
5.2 前馈控制系统的几种主要结构形式 .....	129
5.2.1 单纯的前馈控制系统 .....	129
5.2.2 前馈-反馈控制系统 .....	131
5.2.3 前馈-串级控制系统 .....	133
5.3 前馈控制规律的实施 .....	134
5.4 前馈控制系统的应用 .....	136
5.5 前馈控制系统的参数整定 .....	138
5.5.1 $K_f$ 的整定 .....	138
5.5.2 $T_1$ 、 $T_2$ 的整定 .....	140
5.6 多变量前馈控制 .....	142
5.6.1 由工艺机理建立多变量前馈控制模型 .....	142
5.6.2 以线性叠加为基础建立多变量前馈控制方程 .....	143
5.6.3 多输入-多输出的多变量前馈控制系统 .....	145
本章附录 前馈控制系统实验 .....	148
本章思考题及习题 .....	149

<b>第 6 章 选择性控制系统</b> .....	151
6.1 概述 .....	151
6.2 选择性控制系统的类型及应用 .....	152
6.2.1 开关型选择性控制系统 .....	152
6.2.2 连续型选择性控制系统 .....	155
6.2.3 混合型选择性控制系统 .....	158
6.3 选择性控制系统的设计 .....	159
6.4 积分饱和及其防止措施 .....	160
6.4.1 积分饱和的产生及其危害性 .....	160
6.4.2 抗积分饱和措施 .....	162
本章附录 选择性控制系统实验 .....	162
本章思考题及习题 .....	163
<b>第 7 章 分程及阀位控制系统</b> .....	165
7.1 分程控制系统 .....	165
7.1.1 概述 .....	165
7.1.2 分程控制的应用场合 .....	166
7.1.3 分程控制系统控制器参数的整定 .....	170
7.1.4 分程阀总流量特性的改善 .....	171
7.2 阀位控制系统 .....	177
7.2.1 概述 .....	177
7.2.2 阀位控制系统的应用 .....	177
7.2.3 阀位控制系统的设计及整定 .....	179
本章附录 分程控制系统实验 .....	181
本章思考题及习题 .....	183

## 第二篇 先进控制系统

<b>第 8 章 非线性控制系统</b> .....	189
8.1 线性过程的非线性控制 .....	189
8.1.1 液位的非线性控制 .....	189
8.1.2 线性过程的其他非线性控制 .....	192
8.2 非线性过程的非线性控制 .....	194
8.2.1 pH 控制过程的非线性控制 .....	195
8.2.2 反应器的非线性控制 .....	197
8.2.3 人工智能在非线性控制中的应用 .....	198
8.3 位式控制 .....	199
8.3.1 位式控制的改进及其发展 .....	200
8.3.2 Bang - Bang 控制 .....	201



本章思考题及习题 .....	204
<b>第 9 章 纯滞后补偿控制系统 .....</b>	<b>205</b>
9.1 纯滞后补偿原理 .....	205
9.2 纯滞后补偿控制的效果 .....	206
9.3 史密斯补偿的实现 .....	208
本章思考题及习题 .....	212
<b>第 10 章 解耦控制系统 .....</b>	<b>213</b>
10.1 关联系统解耦条件 .....	214
10.2 解耦控制方案 .....	215
10.3 解耦控制应用实例 .....	219
本章思考题及习题 .....	221
<b>第 11 章 按计算指标及推断控制系统 .....</b>	<b>223</b>
11.1 按计算指标的控制系統 .....	223
11.2 推断控制系统 .....	228
本章思考题及习题 .....	233
<b>第 12 章 按 <math>z</math> 变换设计的控制系统 .....</b>	<b>234</b>
12.1 最小拍控制算法 .....	234
12.2 大林(Dahlin)控制算法 .....	235
12.3 采样控制系统 .....	239
本章思考题及习题 .....	242
<b>第 13 章 模型预测控制 .....</b>	<b>243</b>
13.1 模型算法控制(MAC) .....	244
13.2 动态矩阵控制 .....	246
本章思考题及习题 .....	251
<b>第 14 章 其他新型控制方法 .....</b>	<b>253</b>
14.1 最优控制系统 .....	253
14.1.1 最优控制问题的描述 .....	253
14.1.2 最优控制的常用求解方法 .....	254
14.1.3 最优控制的实现 .....	256
14.2 自适应控制 .....	256
14.2.1 程序自适应 .....	256
14.2.2 自校正控制 .....	258
14.2.3 模型参考自适应 .....	260
14.3 多变量现代频域方法 .....	260
14.3.1 逆奈奎斯特阵列法(INA) .....	261
14.3.2 特征轨迹法 .....	263

本章思考题及习题 .....	264
----------------	-----

### 第三篇 过程控制工程

<b>第 15 章 流体输送设备的控制</b> .....	267
15.1 泵的常规控制 .....	268
15.1.1 离心泵的控制方案 .....	268
15.1.2 容积式泵的控制方案 .....	271
15.2 压缩机的常规控制方案 .....	272
15.3 离心式压缩机的防喘振控制 .....	273
15.3.1 喘振现象及原因 .....	273
15.3.2 防喘振控制系统 .....	276
15.3.3 压缩机串、并联运行及防喘振控制 .....	282
15.4 长输管线的控制 .....	283
本章思考题及习题 .....	285
<b>第 16 章 传热设备的控制</b> .....	287
16.1 概述 .....	287
16.1.1 传热设备的类型 .....	287
16.1.2 传热设备的控制要求 .....	288
16.2 传热设备的特性 .....	289
16.2.1 传热设备的静态特性 .....	289
16.2.2 传热设备的动态特性 .....	292
16.3 一般传热设备的控制 .....	294
16.3.1 换热器的控制 .....	294
16.3.2 蒸汽加热器的控制 .....	296
16.3.3 冷凝冷却器的控制 .....	297
16.4 锅炉设备的控制 .....	299
16.4.1 概述 .....	299
16.4.2 锅炉汽包水位的控制 .....	300
16.4.3 蒸汽过热系统的控制 .....	308
16.4.4 锅炉燃烧过程的控制 .....	309
16.5 加热炉的控制 .....	313
16.5.1 采用压力平衡式控制阀(浮动阀)的控制 .....	314
16.5.2 特殊温度-流量串级控制系统 .....	315
16.6 蒸发器的控制 .....	315
16.6.1 蒸发器产品浓度的控制 .....	316
16.6.2 蒸发器其他相关参数的控制 .....	317
本章思考题及习题 .....	318

<b>第 17 章 精馏塔的控制</b> .....	321
17.1 概述 .....	321
17.1.1 精馏原理 .....	321
17.1.2 精馏塔的主要干扰因素 .....	322
17.1.3 精馏塔的控制要求 .....	322
17.2 精馏塔的特性 .....	323
17.2.1 精馏塔的静态特性 .....	323
17.2.2 精馏塔的动态特性 .....	324
17.3 精馏塔被控变量的选择 .....	326
17.3.1 采用产品成分作为直接质量指标 .....	326
17.3.2 采用温度作为间接质量指标 .....	327
17.3.3 用压力补偿的温度参数作为间接指标 .....	328
17.4 精馏塔的整体控制方案 .....	331
17.4.1 传统的物料平衡控制 .....	331
17.4.2 质量指标反馈控制 .....	331
17.4.3 按两端质量指标控制 .....	336
17.4.4 串级、均匀、比值、前馈等控制系统在精馏塔中的应用 .....	338
17.4.5 精馏塔塔压的控制 .....	339
17.5 精馏塔的新型控制方案 .....	342
17.5.1 内回流、热控控制 .....	342
17.5.2 解耦控制 .....	342
17.5.3 推断控制 .....	343
17.5.4 精馏塔的节能控制 .....	343
17.5.5 精馏塔的最优控制 .....	347
本章思考题及习题 .....	350
<b>第 18 章 化学反应器的控制</b> .....	352
18.1 概述 .....	352
18.1.1 化学反应的一些基本概念 .....	352
18.1.2 化学反应器的类型 .....	354
18.1.3 化学反应器的控制要求 .....	355
18.2 反应器的特性 .....	356
18.3 反应器的热稳定性分析 .....	358
18.3.1 反应器静态工作点的热稳定性 .....	359
18.3.2 开环不稳定, 闭环稳定的条件 .....	360
18.4 反应器的基本控制方案 .....	362
18.4.1 反应器的温度控制 .....	363
18.4.2 反应器的进料流量控制 .....	366

---

18.4.3 反应器的压力控制.....	367
18.5 反应器的新型控制方案 .....	368
18.5.1 聚合釜的温度-压力串级控制系统.....	368
18.5.2 具有压力补偿的反应釜温度控制.....	369
18.5.3 变换炉的最优控制.....	370
18.5.4 连续搅拌槽反应器的自适应控制.....	372
本章思考题及习题.....	372
<b>附录 实验装置介绍 .....</b>	<b>375</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>385</b>

# **第一篇 基本过程控制系统**

---

---



# 第 1 章 单回路反馈控制系统

单回路反馈控制系统是应用最为广泛的一种控制系统,生产过程中 70% ~ 80% 的控制系统都是单回路反馈控制系统。由于这种控制系统结构上只有一个反馈回路(环路),所以称之为单回路反馈控制系统,简称单回路控制系统。在所有反馈控制系统中,单回路反馈控制系统是最基本、最简单的一种,因此又常常称为简单控制系统。

单回路控制系统的分析方法以及分析结论是所有控制系统的基础。复杂控制系统分析、设计都是以单回路控制系统的分析和设计方法为基础的,掌握了单回路控制系统的分析、研究方法,对复杂控制系统的分析和研究是十分必要的。

## 1.1 单回路系统的结构组成

单回路反馈控制系统由四个基本环节组成,即被控对象(简称对象)或被控过程(简称过程)、测量变送装置、控制器和控制阀。有时为了方便分析问题,把控制阀、被控对象和测量变送装置合在一起,称为广义对象。这样系统就归结为控制器和广义对象两部分。

下面结合一个具体例子,说明这四个基本环节如何构成一个单回路控制系统。

假定图 1.1 中所示是一个中间储水槽,流入量和流出量分别为  $Q_1$  和  $Q_2$ ,生产要求是维持水槽液位  $L$  不变。为了控制液位,调整流出量  $Q_2$ 。为此选择相应的液位变送器、液位控制器和控制阀,并按图 1.2 所示构成单回路反馈控制系统。

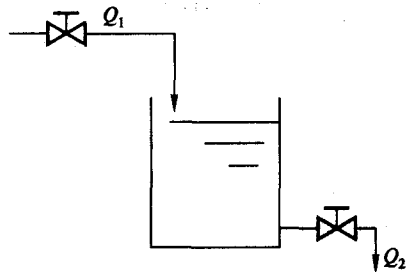


图 1.1 储水槽

图 1.2 是控制系统的结构原理图,也简称为结构图。⊗表示液位变送器,LC表示液位控制器,sp 代表控制器的给定值。

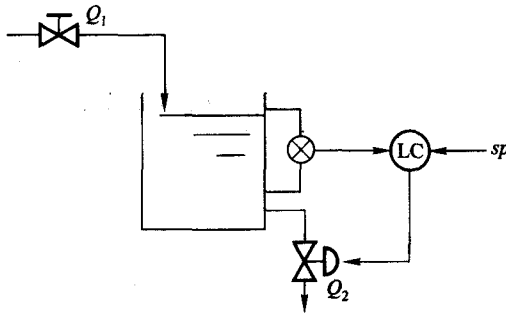


图 1.2 储水槽液位控制系统的结构原理图

下面简要分析该系统的工作情况。假定控制阀为气闭式<sup>①</sup>、控制器为反作用<sup>②</sup>（关于控制阀开、闭形式及控制器的正反作用选择问题，以后将专门介绍），定义偏差为测量值与给定值之差。当测量值大于给定值时，偏差为正，反之则为负，即偏差 = 测量值 - 给定值<sup>③</sup>。

首先假定在干扰发生之前系统处于平衡状态，即流入量等于流出量，液位等于给定值。当有干扰发生，平衡状态将被破坏，液位开始变化，于是控制系统开始动作。

① 假定在平衡状态下流入量  $Q_1$  突然变大（例如入口阀突然开大或入口阀前压力突然增高）。此刻就使得  $Q_1 > Q_2$ ，于是液位  $L$  将上升。随着  $L$  的上升，控制器将感受到正偏差（因为给定值没有变），由于控制器是反作用的，因此其输出将减小。因为控制阀是气闭式的，随着控制器输出的减小，控制阀开度变大。流出量  $Q_2$  将逐渐增大，液位  $L$  将慢慢下降并逐渐趋于给定值。当再度达到  $Q_2 = Q_1$  时，系统将达到一个新的平衡状态。这时控制阀将处于一个新的开度上。

② 如果在平衡状态下，流入量突然减小（例如入口阀突然关小或入口阀前压力突然降低），那么，将出现  $Q_1 < Q_2$ ，液位  $L$  将下降，控制器感受到负偏差，控制器输出将增大，控制阀开度变小，流出量减小，液位慢慢回升，逐渐回复到给定值而达到新的平衡。

① 气闭式控制阀用 A.C 表示，即 Air Close。气闭式控制阀定义是：当其输入的气压信号增加，则其流通面积减小，既流过它的流量减小，阀门趋向关闭。气开式控制阀用 A.O 表示，即 Air Open。气开式控制阀定义是：当其输入的气压信号增加，则其流通面积增加，即流过它的流量增加，阀门趋向开大。

② 反作用控制器的输入偏差增大，其输出减小；正作用控制器的输入偏差增大，其输出增大。

③ 系统以外的因素作用在系统上称之为系统的输入。对于控制器来说，测量信号是它的外部输入，给定是由其内部电路产生的信号，因此控制器的偏差定义为测量值 - 给定值。对于控制系统来说，给定的是它的外部输入，所以系统的偏差定义为给定值 - 测量值。特别要注意的是控制器的偏差定义与系统偏差的定义是不一样的。



③ 在平衡状态下,  $Q_2$  突然增大。这就使  $Q_2 > Q_1$ ,  $L$  将下降。这时, 控制器输出将增大, 控制阀开度变小, 于是  $Q_2$  将随之逐渐减小,  $L$  又会慢慢上升而回到给定值。如果在平衡状态下,  $Q_2$  突然减小了。此时,  $L$  将上升, 控制器输出将减小, 控制阀开度变大, 重新使  $Q_2$  增大而使其逐渐恢复到给定值为止。

由上述分析可知: 不论液位在何种干扰作用下出现上升或下降的情况, 系统都可通过变送器、控制器和控制阀等自动控制装置, 最终把液位拉回到给定值上。

从上例可见, 单回路反馈控制系统是由一个测量变送装置、一个控制器、一个控制阀和相应的被控对象所组成。这是单回路反馈控制系统的第一个特点。对于图 1.2 所示的液位控制系统可以画出它的方块图, 如图 1.3 所示。

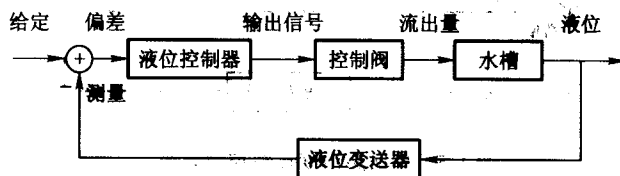


图 1.3 单回路液位反馈控制系统

下面再看一个加热炉的例子。

图 1.4 利用燃料油在加热炉内燃烧对原料进行加热。工艺要求原料出口温度恒定在规定数值上。假定燃料油控制阀为气开阀, 温度控制器为反作用控制器, 温度设定为  $sp$ 。假定加热炉工作在稳定状态, 所有参数都恒定在某个数值上。

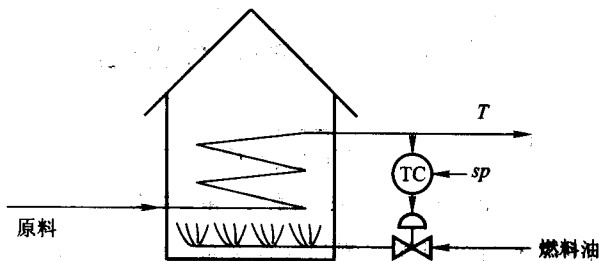


图 1.4 加热炉温度控制系统

① 原料流量增加时, 原料出口温度就会下降。温度控制器的测量值就会小于设定值, 由于温度控制器是反作用控制器, 其输出将会增加; 又由于控制阀是气开阀, 控制器增大的输出将会使控制阀的开度增加, 从而流过控制阀的燃料油流量增加, 燃烧加强, 原料出口温度就会增加, 重新回到设定值上。