

化工及炼油生产中的自动调节

石油化工自控设计建设组
一九七二年

化工及炼油生产中的自动调节

石油化工自控设计建设组
一九七二年

化工及炼油生产中的自动调节

编写：“化工及炼油生产中的自动调节”编写小组

出版发行：化工第五设计院石油化工自控设计建设组

（兰州西固区）

印刷：北京第二新华印刷厂

1972年10月第一版

内部资料 每册 0.90 元

135303

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

自然科学是人们争取自由的一种武装。人们为着要在社会上得到自由，就要用社会科学来了解社会，改造社会进行社会革命。人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。

要认真总结经验。

认识从实践始，经过实践得到了理论的认识，还须再回到实践去。

前 言

我们伟大的社会主义祖国经历了轰轰烈烈的无产阶级文化大革命和深刻的批修整风运动，显得更加朝气蓬勃。

在自动化战线上，我国广大工人和工程技术人员在毛主席无产阶级革命路线指引下，坚持“独立自主、自力更生”，“打破洋框框，走自己工业发展道路。”的伟大方针，也取得了巨大的成绩，对于自动化系统的设计和运行积累了丰富经验。为了使这些经验得到及时总结和推广，化工第五设计院石油化工自控设计建设组在组织编写了“调节器参数工程整定与调节器校验”一书以后，又及时组织了“典型化工单元控制方案调查小组”并编写了本书。

作为整个自动化工作，既包括控制方案的选择，还应包括调节器参数整定和调节器校验，所以上述二书的内容是关联的，阅读时应相互参考。

本书主要阅读对象是从事化工、炼油自动控制专业的工程技术人员及工人同志阅读。为了满足广大工人同志和外专业同志学习自动控制基本知识的需要，本书还编写了有关内容。

根据一般自动化书籍的章节排列，往往总是自动调节的基础理论在前，具体控制方案在后。但我们这次工作主要是“典型化工单元控制方案”的调查，为了突出这一重点，所以将它编为第一篇，而把自动调节的基础理论编为第二篇。在第三篇中，我们讨论了调节系统设计和运行中的几个问题，这在实际工作中是经常要碰到的。

参加本书编写工作的有：浙江大学、北京化工学院、兰州化工厂、兰州合成橡胶厂和化工第五设计院石油化工自控设计建设组。本书全部内容由浙江大学化自教研组审阅。在整个调查和编写工作中，还得到各有关单位的大力支持，在此表示深切的感谢。

由于我们马列主义、毛泽东思想水平不高，业务的熟悉程度有限，加之时间匆促，本书的缺点和错误一定很多，恳切地希望同志们批评指正。

“化工炼油生产中的自动调节”编写小组

一九七二年

目 录

前 言	1
第 I 篇 典型单元的控制方案	3
第一章 精馏塔的控制	4
1.1 精馏操作的分析	4
1.1.1 精馏的基本知识	4
1.1.2 操作要求与影响因素	7
1.1.3 塔控制的基本想法	13
1.2 压力控制	21
1.2.1 常压塔的压力控制	22
1.2.2 真空蒸馏的压力控制	23
1.2.3 加压精馏的压力控制	24
1.3 温度控制	33
1.3.1 提馏段温度控制	33
1.3.2 精馏段温度控制	35
1.3.3 根据精馏段温度去改变再沸器加热量	37
1.3.4 关于温度控制中的一次元件安装位置	38
1.3.5 关于温差控制	44
1.4 流量控制	48
1.4.1 恒定进料量的控制	48
1.4.2 恒定回流量的控制	50
1.4.3 恒定加热蒸汽量的控制	52
1.5 液面控制	53
1.5.1 塔釜液面控制	53

1.5.2	回流罐液面控制	55
1.5.3	油水分離罐的界面控制	56
1.6	共沸精餾與萃取精餾塔的控制	58
1.6.1	共沸精餾塔的控制	59
1.6.2	萃取精餾塔的控制	59
1.7	具有側線產品的精餾塔的控制	61
1.7.1	具有一側線產品的精餾塔的控制	61
1.7.2	具有多側線產品的精餾塔的控制	64
1.8	利用常規儀表實現內回流及熱焓控制	69
1.8.1	內回流控制	70
1.8.2	熱焓控制	74
第二章	換熱器的控制	77
2.1	傳熱的基本知識	77
2.1.1	傳熱的基本方程式	77
2.1.2	換熱器的分類	78
2.2	無相變換熱器的溫度控制	80
2.2.1	逆流型換熱器的溫度控制	80
2.2.2	多管路換熱器的溫度控制	85
2.3	有相變換熱器的溫度控制	85
2.4	典型控制方案	89
第三章	泵和壓縮機的控制	94
3.1	容積式泵和壓縮機	94
3.1.1	結構原理	94
3.1.2	工作特性	95
3.1.3	一般控制方法	98
3.2	葉片式泵和壓縮機	98
3.2.1	結構原理	98
3.2.2	工作特性	99
3.2.3	一般控制方法	102

3.3 泵、压缩机、风机的控制方案	104
3.3.1 活塞泵、柱塞泵和计量泵	104
3.3.2 齿轮泵	106
3.3.3 离心泵和通风机	107
3.3.4 压缩机	109
3.3.5 真空泵	114
第四章 加热炉温度控制	116
第五章 沸腾床反应器的自动控制	120
5.1 重油并列式流化催化裂化	120
5.1.1 工艺说明	120
5.1.2 温度控制	123
5.1.3 压力控制	123
5.1.4 压差控制	123
5.2 丁烯氧化脱氢制丁二烯	123
5.2.1 原理	123
5.2.2 工艺说明	124
5.2.3 影响因素及控制方法	126
第六章 液—液抽提塔的控制	128
附录 某些工业装置上精馏塔的控制方案示例	131
第II篇 自动调节理论基础	235
第一章 系统动态分析的基本方法	236
1.1 传递函数的求取和方框图的绘制	237
1.2 环节连接形式和方框图的简化	247
1.3 干扰作用下系统的过渡过程	251
1.4 典型环节和方框图的简化附表	261
1.4.1 典型环节的传递函数	262
1.4.2 方框图简化附表	273
第二章 系统过渡过程分析	274

2.1	给定作用下系统的过渡过程	274
2.2	调节规律、参数整定与系统过渡过程	281
2.3	调节规律的选择原则	291
2.4	外扰施加点与系统过渡过程	295
第 III 篇	调节系统设计运行中的若干问题	301
第一章	调节阀与阀门定位器	302
1.1	调节阀的选用	302
1.2	阀门定位器的使用	309
第二章	被调参数的测取和变送	314
2.1	呈周期性的脉动信号	314
2.2	变送器所引起的振荡现象	316
第三章	滞后及系统间的相互影响	318
3.1	关于测量点位置所引入的纯滞后	318
3.2	测量元件的测量滞后	319
3.3	信号传送滞后	323
3.4	系统间的相互影响	326
第四章	关于复杂调节系统	330
4.1	串级调节	330
4.2	均匀调节	339
4.3	比值调节	350
4.4	前馈控制	353
后 语		358

前 言

我们伟大的社会主义祖国经历了轰轰烈烈的无产阶级文化大革命和深刻的批修整风运动，显得更加朝气蓬勃。

在自动化战线上，我国广大工人和工程技术人员在毛主席无产阶级革命路线指引下，坚持“独立自主、自力更生”，“打破洋框框，走自己工业发展道路。”的伟大方针，也取得了巨大的成绩，对于自动化系统的设计和运行积累了丰富经验。为了使这些经验得到及时总结和推广，化工第五设计院石油化工自控设计建设组在组织编写了“调节器参数工程整定与调节器校验”一书以后，又及时组织了“典型化工单元控制方案调查小组”并编写了本书。

作为整个自动化工作，既包括控制方案的选择，还应包括调节器参数整定和调节器校验，所以上述二书的内容是关联的，阅读时应相互参考。

本书主要阅读对象是从事化工、炼油自动控制专业的工程技术人员及工人同志阅读。为了满足广大工人同志和外专业同志学习自动控制基本知识的需要，本书还编写了有关内容。

根据一般自动化书籍的章节排列，往往总是自动调节的基础理论在前，具体控制方案在后。但我们这次工作主要是“典型化工单元控制方案”的调查，为了突出这一重点，所以将它编为第一篇，而把自动调节的基础理论编为第二篇。在第三篇中，我们讨论了调节系统设计和运行中的几个问题，这在实际工作中是经常要碰到的。

参加本书编写工作的有：浙江大学、北京化工学院、兰州化工厂、兰州合成橡胶厂和化工第五设计院石油化工自控设计建设组。本书全部内容 by 浙江大学化自教研组审阅。在整个调查和编写工作中，还得到各有关单位的大力支持，在此表示深切的感谢。

由于我们马列主义、毛泽东思想水平不高，业务的熟悉程度有限，加之时间匆促，本书的缺点和错误一定很多，恳切地希望同志们批评指正。

“化工炼油生产中的自动调节”编写小组

一九七二年

第 I 篇 典型单元的控制方案

对典型化工、炼油的生产过程，人们总是习惯于将它们按化工的单元来分类。这可分为：流体输送、热交换、精馏和化学反应等等。在本篇讨论自控方案时，也基本上采用了这一分类方法。虽然这对自动控制来说似乎是并不理想的，因为后者总希望将对象按所谓静态和动态特性的差别来加以区分。但是由于化工、炼油对象还比较复杂，不同对象有不同的工艺特点，而自动控制是建立在一定的工艺基础上的，按化工原理的典型单元分类将有利于工艺和自控的密切联系。

在几个典型单元中，我们以精馏塔作为重点进行剖析。这固然是由于精馏操作正随着石油化工的迅速发展而应用越来越广泛，更重要的是精馏过程从化工原理角度看，它包含了传热和传质，从自控角度看，它又是个多变量的复杂对象，人们对它已做了大量研究工作，对它的深入分析有较好的代表性。为此，我们还把在调查中收集来的精馏自控方案整理为附录，放在本章后面供参考。

在换热器部分，因为机理比较简单，我们介绍了一些数学理论推算，作为定量分析的示例。

需要指出的是，本篇对自控方案的讨论，都是从工程技术角度来考虑的，但是在实际的设计工作中，还必须根据党的方针政策及需要与可能，综合各方面因素，才能最后确定。

第一章 精馏塔的控制

精馏过程是化工、炼油生产中广泛用来使混合物分离为较纯组分的单元操作。

近几年来,随着我国石油和石油化学工业的飞速发展,精馏操作得到了越来越广泛的应用。由于所分离的物料组分不断增多,以及对被分离产品的纯度的要求的不断提高,这不仅需要对精馏设备和方法加以改进,而且对精馏操作自动控制也提出了更为广泛的要求。此外,对于精密蒸馏由于所分离产品纯度的要求很高,若没有相应的自动控制与其配合,就很难达到预期的效果。因此,对精馏操作自动控制进行探讨,有着很重要的意义。

1.1 精馏操作的分析

1.1.1 精馏的基本知识

用精馏来分离液体混合物为纯组分,主要是利用了各组挥发度不同的原理。

精馏可分间歇精馏和连续精馏二种,我们这里讨论的是指连续精馏。它的操作可以用分离苯—甲苯混合物为例。参见图 I-1-1, 图中 1、2、3 为蒸馏釜。苯—甲苯混合物的原料连续加入釜 1。釜中液体被底部加热管加热到一定的温度 t_1 时, 部分液体变成蒸气。由于苯比甲苯容易挥发, 所以苯在气相中的浓度比在液相中为

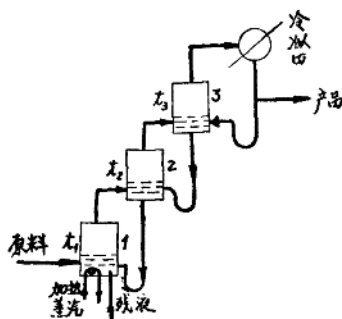


图 I-1-1

大。残液在釜 1 底部排出。苯、甲苯蒸气通入釜 2 的底部，并被冷凝。冷凝时放出热量将釜 2 中的液体加热到 t_2 ，这时釜 2 中液体也开始部分气化，气化蒸气中苯的浓度比液相中的浓度进一步增加。其部分液体流回到釜 1。而从釜 2 出来的蒸气又通入釜 3 底部，并被冷凝。其冷凝时放出的热量又去将釜 3 中的液体加热到 t_3 ，这又使釜 3 中的液体部分气化，其部分液体流回釜 2。从釜 3 得到的蒸气经过冷凝器冷凝为液体后，一部分作为产品外，仍有一部分返回釜 3，称为顶回流。由于连续地供给原料并从釜底供给热量，以及釜顶的回流和各釜间的回流作用，使各釜温度可以按规定保持在 t_1 、 t_2 、 t_3 。同时各釜保持一定的液体量，以便连续地进行气化和冷凝过程。

从图 I-1-1 我们看到了原料混合液经历了三次部分气化和部分冷凝的过程。而每蒸发一次和冷凝一次，从馏出物得到的冷凝液中，易挥发的组分（或称轻组分）苯的浓度一次比一次增高。也就是说蒸发气体中苯的浓度由釜 1 到釜 3 依次增高。同样在液体中苯的浓度也依次增高。用这样的方法，只要釜足够多，就能使顶部馏出物接近为苯的纯组分。

实际上图 I-1-1 的各釜可以重叠为塔状，这就成了简单的精馏塔；见图 I-1-2。有加热管的塔底部分相当于釜 1，而上面的二层塔板相当于釜 2 和釜 3。塔板上的孔，

可以使下面的蒸气经过它而进入上一塔板的液体中。为了使蒸气和液体很好地接触，塔板上盖有带锯齿形的罩子，叫泡罩（指泡罩塔）。蒸气从泡罩的缝隙冒出分成小气泡进入上层塔板，而上层塔板上的剩余液体则由降液管流到下一层去。

当然实际的精馏塔的塔板数决不是只有二、三块，而往往有几十块到数百块。这实际

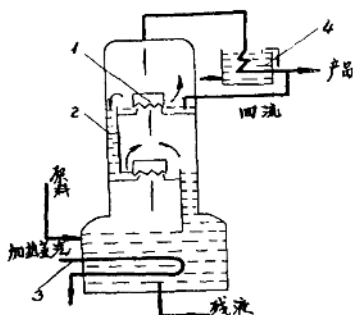


图 I-1-2

1—泡罩， 2—降液管， 3—加热蒸汽管， 4—冷凝器

塔板数是由混合物性质和产品纯度的要求来决定的。若组成混合物的二种组分的挥发度相差很大，也就是说用蒸馏方法很易分离，则板数可以少些。又若对产品纯度要求不高，则板数也可相应少些。除以上二个因素外，回流的大小也会影响所需要的板数。回流量增加，易挥发组分较多地进入下一塔板，使这板上轻组分含量增加，也就使由这板上蒸出的蒸气中轻组分浓度增加。所以若要求的轻组分产品纯度不变，则塔板数可以减少。

由上面的讨论可知，对进料口在塔底的这种情况由塔底排出的残液中不易挥发的组分（或称重组分）甲苯并没有很好提纯。为了提纯甲苯，就必须在进料板下再设置塔板，

使混在甲苯中的易挥发组分苯进一步因气化而除去。这就要将图 I-1-2 改为图 I-1-3 的形式。图 I-1-3 中，进料板上面的部分称塔的精馏段，下面的部分称为提馏段。在整个塔内易挥发组分浓度由下而上逐渐增加，与此同时，难挥发组分的浓度由下而上逐渐减少。最终顶部得到的是较纯的易挥发组分，底部得到的是较难挥发的组分。

另外，由于在一定压力下，气液平衡时的混合物组成与它的气化温度有一定的对应关系。一

般说来混合物中易挥发组分浓度越高，这温度就越低。所以塔由下而上随着轻组分浓度的增加，温度是依次减小的。

从上面讨论使我们知道要维持普通精馏塔连续操作，塔底部必须要有热量加入，这是使从混合物中蒸出易挥发组分所必须的，同时在顶部又必须有回流，以建立板与板间的内部回流。若没有这种回流来补充

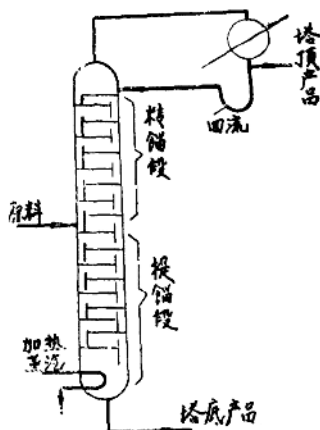


图 I-1-3

下一块板的轻组分含量，那末各塔板上液体中的轻组分将越蒸越少，而重组分却越聚越多，使操作无法稳定地进行下去。

1.1.2 操作要求与影响因素

(1) 对于一个正常操作的精馏塔主要有二方面要求：

(i) 能达到规定的产品分离纯度。

(ii) 塔的生产效率要高，并且热剂和冷剂的消耗要尽量少。

要达此目的，就需将塔操作在一种最佳的工况下。也就是使塔操作在最大可能的负荷下，以提高塔的生产率，并且在达到规定的产品纯度的前提下尽量节省热剂和冷剂用量。

(2) 影响因素：

作为精馏过程的影响因素（即变量）是比较多的，如图 I-1-4 所示，它可以是：

- a. 塔压，
- b. 进料量，
- c. 进料组成，
- d. 进料温度，
- e. 加入热量，
- f. 去除的热量，
- g. 塔底釜液流量，
- h. 馏出物量。

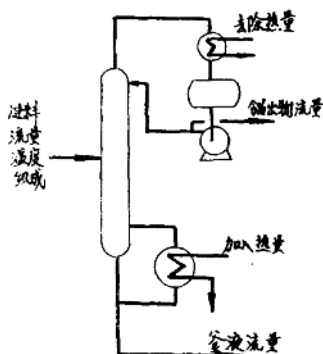


图 I-1-4

塔的操作往往是按照塔顶产品

组成 x_D 和塔底产品组成 x_B 这二

个变量来确定的，但是这二个变量

并没有被列入上述变量中，这是因

为这二个变量不是自变量，它们的数值是随其他变量数值的变化而变化的。

同样，对它们数值的控制也可以通过对其他变量的数值控制来实现。

定值的自动调节是为了克服干扰对稳定操作的影响。对精馏操作来说，

也就是要克服其他变量的变化对产品组成 x_D 、 x_B 的影响，使 x_D 、 x_B

保持为规定值。为了要对精馏操作的自动控制进行较深入的讨论，这就