

化工自动化

下 册

化工自动化编写组 编



燃料化学工业出版社

内 容 简 介

“化工自动化”一书共分上、下两册,包括四篇十一章。第一、二篇为上册内容。第一篇叙述自动调节系统的组成和过渡过程,并分析自动调节系统中各个元件的特性及其对调节质量的影响。第二篇介绍自动调节系统常用的数学方法,并应用这些方法对几种调节系统进行分析研究和整定计算。

第三、四篇为下册。第三篇主要阐述简单及复杂调节系统的方案设计方法,并分析一些典型化工单元的调节方案,同时还介绍几种新的控制方法。第四篇介绍化工自动化工程设计和调节器参数的工程整定。

本书由浙江大学、北京化工学院、上海化工学院、华东石油学院、河北化工学院和上海化工专科学校编写。具体执笔人有:周春晖、孙优贤、凌秋明、沈振刚、蒋慰孙、俞金寿、郑永基、吕明瑾、龙潜光、侯奎源等同志。由周春晖、蒋慰孙二同志审阅。

本书可供从事化工自动化和有关专业人员阅读参考,也可作为大专院校化工自动化专业师生的教学参考书。

化 工 自 动 化

下 册

化工自动化编写组

燃料化学工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

北京印刷八厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

* * *

开本 $850 \times 1168^{1/2}$ 印张 $15^{1/8}$

字数398千字 印数1—36,850

1973年11月第1版 1973年11月第1次印刷

* * *

书号 15063·2036(化-124) 定价 1.85 元

毛 主 席 语 录

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

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。

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。

前 言

我们的国家是历史悠久的伟大国家，我们的人民是勤劳勇敢的伟大人民，在科学技术上，我国人民有过很多重大的发明创造。但是，解放前，在帝国主义，封建主义和官僚资本主义三座大山的压迫下，使我国科学技术长期停滞在落后状态，化工生产自动化也几乎是一个空白。解放后，在伟大领袖毛主席和中国共产党的正确领导下，在“**鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义**”总路线的指引下，我国的社会主义建设事业突飞猛进，科学技术亦得到了迅速发展，自动化技术越来越普遍地得到了应用，无论是大型化工、炼油厂或是中小型化工厂，不少工段和车间实现了集中控制。特别是通过无产阶级文化大革命和批修整风运动，从事化工自动化工作的广大工人和技术人员，认真学习马列主义、毛泽东思想，深入批判刘少奇一类骗子的修正主义路线，进一步激发了社会主义革命和建设的积极性。在毛主席关于“**我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化强国**”教导的鼓舞下，他们奋发图强，大搞工业仪表和自动化的群众运动，各种新型自动化技术工具不断出现，使化工自动化出现了崭新的局面。在这样一派大好形势下，为了满足广大从事化工自动化工作的工人、技术人员和大专院校工农兵学员的需要，在燃化部石油化工自动控制设计建设第三届工作会议上，由石油化工自动控制设计建设组组织浙江大学、北京化工学院、上海化工学院、华东石油学院、河北化工学院和上海化工专科学校等院校编写了《化工自动化》一书。

本书共分上、下两册，第一、二篇为上册，第三、四篇为下册。第一篇是一般性的介绍，从定性的角度讨论了自动调节系统的组成和过渡过程，从中引出了自动调节系统的基本概念，并分析了自动调节系统中各个环节的特性及其对调节质量的影响，以此作为一个入门，为学习其后各章打下一定的基础。

第二篇介绍了自动调节系统和对象的动态特性、传递函数和方块图及其应用。本篇着重阐述了分析自动调节系统的微分方程法、根轨迹法和频率法，并应用这些方法对具体的调节系统进行分析研究和整定计算，一方面使读者能够了解和应用基本方法，另一方面通过定量的计算，加深定性的概念。

第三篇的主要内容是自动调节系统的设计。本篇首先定量地分析了简单调节系统各个环节对调节质量的影响，提出了克服各种影响的具体方法和简单调节系统设计的一般原则，并列举了大量实例，从中引出各种复杂调节系统的特点和应用场合，论述了各种复杂调节系统的设计和实现方法。其次，讨论了典型化工单元的自动调节。根据“洋为中用”的方针，介绍了几种国外新的控制方法，并用实例说明了这些方法的应用。

第四篇的主要内容是化工自动化工程设计和工程整定。本篇一开始提出了工程设计的基本任务和主要内容，然后介绍了自动调节系统的投运和维护以及各种投运方法。最后，着重讨论了自动调节系统的整定，一方面提出了便于在实际应用的工程整定方法，另一方面阐述了这些工程方法的理论基础。

为了能够满足从事化工自动化工作的工业人员和大专院校工农兵学员的需要，在编写过程中在广度和深度上作了某些考虑。在广度上，从自动调节系统的基本概念、自动调节系统的分析、设计、安装、整定，直到投运、维护，对于进行一项自动化工程所需的每个步骤，都进行了介绍；在深度上，对于一般线性调节系统的分析和设计都用数学方法进行了分析。

本书在编写和调查研究过程中得到了石油化工自控设计建设组的大力支持，受到了有关工厂领导、工人和技术人员的热情接待，很多工厂还寄来了不少资料，在此表示深切感谢。

由于我们马列主义、毛泽东思想水平不高，特别是学习毛主席的哲学思想还很不够，加之时间匆促，学识浅陋，本书的缺点和错误一定很多，深切希望读者批评指正。

编 者

目 录

第三篇 自动调节系统的方案设计	1
第六章 简单调节系统	1
第一节 生产过程对自动调节的要求及被调参数的选择	1
第二节 对象特性对调节质量的影响及调节参数的确定	4
一、对象静态特性对调节质量的影响	4
二、按静态特性选择调节参数	6
三、对象动态特性对调节质量的影响	9
四、按动态特性选择调节参数	24
第三节 负荷变化对调节质量的影响及调节阀的选型	28
一、负荷变化对调节质量的影响	28
二、调节阀的选型	33
三、阀门定位器的正确使用	47
第四节 测量滞后对调节质量的影响及克服滞后的办法	50
一、测量、传送滞后对调节质量的影响	51
二、克服测量滞后的几种办法	60
三、脉动信号的测量与变送	65
第五节 调节规律对调节质量的影响及调节器的选型	68
一、调节规律对调节质量的影响	68
二、调节器的选型	72
第六节 调节系统相互之间的影响及克服影响的办法	73
一、独立的不相关调节	74
二、相关参数的不相关调节	79
第七节 简单调节系统的设计举例及调节方案的实现	84
一、沸腾炉 SO_2 浓度调节系统	85
二、反应器 pH 值调节系统	93
第七章 复杂调节系统	100
第一节 串级调节系统	100
一、概 述	100
二、串级调节系统的特点	106
三、串级调节系统的应用范围	114

四、串级调节系统主、副回路的选择	121
五、串级调节系统中主、副调节器的选型	128
六、串级调节系统的实施方案	131
第二节 均匀调节系统	133
一、均匀调节的目的和要求	136
二、均匀调节方案	139
第三节 比值调节系统	145
一、比值调节方案	145
二、比值调节系统的实施方案	152
三、比值系数的计算问题	156
第四节 多冲量调节系统	161
第八章 典型化工单元的调节方案	170
第一节 流体输送的自动调节	171
一、泵和管路系统的静态特性及调节方案	173
二、压气机的特性及调节方案	179
三、流量调节中的若干具体问题	183
第二节 传热设备的自动调节	185
一、换热器两侧都不起相变化时的对象特性及调节方案	187
二、载体体进行冷凝的加热器对象特性及调节方案	194
三、载体体进行汽化的冷却器对象特性及调节方案	196
四、加热炉的调节方案	198
第三节 精馏塔的自动调节	201
一、干扰因素	202
二、精馏塔的静态特性	203
三、精馏塔的动态特性	209
四、按物料(及热量)平衡关系来控制精馏塔	211
五、质量指标的选取	214
六、按精馏段指标控制	218
七、按提馏段指标控制	223
八、按塔顶塔底两端指标控制	225
九、塔顶的调节方案	226
十、塔底的调节方案	232
十一、恒沸蒸馏和萃取蒸馏的调节方案	235
第四节 化学反应器的自动调节	238
一、化学反应器的类型	238

二、化学反应器的热稳定性	243
三、反应器的调节要求及被调参数选择	245
四、绝热反应器的调节方案	247
五、非绝热反应器的调节方案	253
第九章 其他的控制方法介绍	262
第一节 按计算指标进行调节	262
一、内回流调节	263
二、热焓调节	267
三、模拟计算机的应用	271
第二节 前馈调节	278
一、反馈调节与前馈调节	278
二、单纯的前馈调节与加上反馈回路的前馈调节	281
三、比值调节与前馈调节	283
四、前馈调节的应用	284
第三节 自动选择性控制	286
一、氨氧化过程的保护控制	286
二、砷钾碱液再生塔的极限值保护控制	287
三、精馏塔的选择性控制	289
第四节 非线性的连续调节	293
一、塔组间的中间容器的液面流量调节	293
二、补偿对象的静态非线性特性	296
第五节 采样调节	297
一、控制溶液中和点的采样调节	297
二、调节系统具有较大的纯滞后时的采样调节	299
三、直接数字控制	301
第六节 最优控制	305
一、常规的调节方法与最优控制	307
二、寻找最优工艺条件的搜索法	309
三、寻找最优工艺条件的数学模型法	311
四、实现最优控制的方法	321
第四篇 化工自动化工程设计和调节系统的工程整定	324
第十章 化工自动化工程设计	324
第一节 工程设计与安装概述	324
一、工程设计与安装任务	324

二、工程设计的基本程序	326
第二节 工程设计的主要内容	340
一、控制流程图的制定	340
二、各种仪表的选型	341
三、控制室及仪表盘的设计	345
四、信号联锁系统的设计	351
五、仪表供气系统的设计	366
六、供电系统的设计	369
七、各种导管导线的选择	373
第三节 各种仪表设备的防护	381
一、关于防爆问题	382
二、关于防腐蚀问题	383
三、关于防冻及防热问题	387
四、关于防尘问题	389
五、关于防震问题	390
第四节 自动调节系统的安装	392
一、一次元件的安装	392
二、调节阀的安装	406
三、气电管线的安装	407
四、仪表盘后的配线	412
第十一章 自动调节系统的投运和整定	414
第一节 自动调节系统的投运	414
一、气、电线路的检查	415
二、仪表和调节阀等的现场检查	419
三、开车时检测仪表的投运及调节器的手动操作	422
四、手动和自动的切换	425
五、自动调节系统的维护	431
第二节 自动调节系统的整定	433
一、简单调节系统的工程整定	435
二、参数整定的理论基础	448
三、复杂调节系统的整定	467

第三篇 自动调节系统的方案设计

我们为了使一个生产过程自动化，必须对该生产过程的规律有深刻的了解，根据实际的生产条件，应用自动调节的基本理论，确定合理的调节方案，经过实践考验，保证能够正常运行，这就是自动调节系统方案设计的重要内容。

本篇着重讨论简单调节系统、复杂调节系统的设计以及典型化工单元的自动调节，同时，扼要地介绍几种其他的调节方法。

第六章 简单调节系统

这一章主要介绍简单调节系统的设计，所谓简单调节系统，是指由一个调节对象、一个测量元件、一只调节器和一个调节阀所组成的单回路调节系统。这里，从分析调节系统各个环节对调节质量的影响出发，介绍克服各种影响的具体办法，提出调节系统设计的一般原则。在学习和应用这些办法、原则时，必须根据对象特性和工艺条件，进行具体分析，灵活运用。

第一节 生产过程对自动调节的要求及被调参数的选择

被调参数的选择是自动调节系统设计的核心部分，它对稳定生产操作，增加产品产量，提高产品质量以及改善劳动条件，具有决定性的意义。如果被调参数选择不当，不管组成什么样的调节系统，不管配上多少仪表调节器，都不能达到预期的调节效果。

我们知道，影响一个生产过程正常操作的因素是很多的，但并非所有影响因素都要加以自动调节。设计人员必须深入实际，调查研究，熟悉工艺，找出其中的关键所在，正确选择被调参数。所谓“关键”，是指这样一些参数：它们对产品的产量、质量以及安全具有决定性的作用，而人工操作又难以满足要求的；或者虽

然人工操作可以满足要求，然而，这种操作是既紧张而又频繁的。为了找到这个关键，就应当深入研究生产过程对自动调节的要求，认真分析各种因素对正常操作的影响。

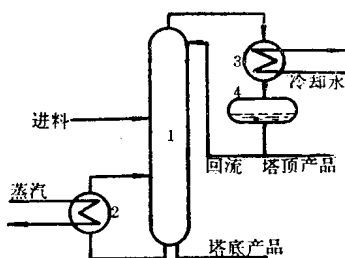


图 6-1 精馏过程示意图

1—精馏塔；2—蒸汽加热釜；3—冷凝器；
4—回流罐

图 6-1，是一个精馏过程示意图，它的工作原理是利用被分离物各组分的挥发度不同，把混合物分离为组分较纯的产品。这一生产过程对自动调节的要求，就是要使产品达到规定的纯度，并希望在最高生产负荷下尽可能地节省冷剂和热剂。因此，在塔顶处，馏出物的浓度 X_D 应该作为被调

参数，因为它最直接地反映了生产过程的要求，反映了产品的质量。但是，目前对成分参数的准确测量还有一定困难，为此，必须找一个与 X_D 有关的参数作为被调参数。

以苯、甲苯二元系统的精馏为例，在气液两相并存时，塔顶易挥发组分的浓度 X_D 、温度 T_D 、压力 P 三者之间有一定的关系，可表示为：

$$X_D = f(T_D \cdot P) \quad (6-1)$$

以上三个变量中，有的是独立变量，有的并非独立变量。我们可以通过下面的关系式，求取自由度，找出独立变量数。

$$C = K - \phi + 2 \quad (6-2)$$

式中 C ——表示自由度：

K ——表示组分数，这里是苯、甲苯， $K=2$ ；

ϕ ——表示相数，这里是气相和液相， $\phi=2$ 。

因此，在苯、甲苯精馏过程中：

$$C = 2 - 2 + 2 = 2$$

这就是说，在组分 X_D 、温度 T_D 和压力 P 三个变量中，有两个是独立变量。当压力 P 恒定时，组分 X_D 和温度 T_D 之间，存在

着单值对应关系，见图 6-2 所示：易挥发组分浓度越低，与之对应的温度越高；反之，易挥发组分浓度越高，相应的温度就越低。当温度 T_D 恒定时，组分 X_D 和压力 P 之间，也存在着单值对应关系，见图 6-3 所示：易挥发组分越高，与之对应的压力就越高；反之，易挥发组分的浓度越低，相应的压力也就越低。所以，在组分、温度和压力三个变量中，只要固定一个变量 (T_D 或 P)，另一个变量 (P 或 T_D) 就可以代替组分 X_D ，作为 X_D 的间接指标。这就是说，温度和压力都可以选择为被调参数。

可是，在实际生产中，常常选择温度作为被调参数。这是因为：第一，在精馏塔操作中，压力往往是固定的。只有将塔操作

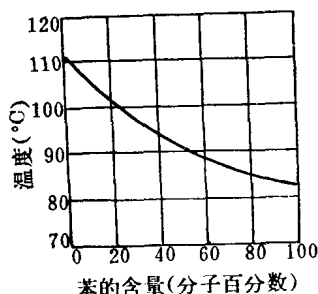


图 6-2 苯、甲苯溶液的 $T-X$ 图

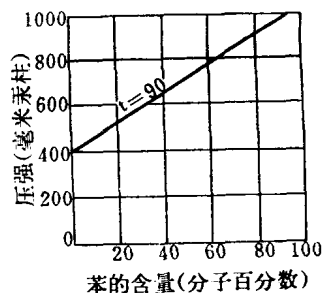


图 6-3 苯、甲苯溶液的 $P-X$ 图

在规定的压力之下，才易于保证塔的分离纯度，保证塔的效率和经济性。如塔压波动，就会破坏原来的气液平衡，影响相对挥发度，使塔工作在不良的情况之下。同时，随着塔压的变化，往往还会引起与之相关的其他物料量的变化。第二，在塔压固定的情况下，精馏塔各层塔板上的压力是近乎恒定的，这样各层塔板上的温度与组分之间就有一单值对应关系。由此可见，固定压力，选择温度作为被调参数是可能的，也是合理的。

但是，在选择被调参数时，除了考虑单值对应关系和工艺的合理性之外，还必须同时考虑被调参数的变化灵敏度。就是说，当组分 X_D 变化时，温度的变化必须灵敏，并且要有足够的变化数值。假如没有足够的灵敏度，就无法得到精度较高的调节质量。

为此,当选择温度作为被调参数时,为了提高它的变化灵敏度,常常把测温点向下移动几块塔板。

通过以上的分析,我们可以得到这样一些被调参数选择的原则:

- (1) 用质量指标作为被调参数最直接也最有效;
- (2) 当不能用质量指标作为被调参数时,应选择一个与产品质量有单值对应关系的参数作为被调参数;
- (3) 当被表征的质量指标变化时,被调参数必须具有足够的变化灵敏度;
- (4) 选择被调参数时,必须考虑到工艺过程的合理性和国内仪表生产的现状。

被调参数的选择是十分重要的,它是自动调节系统设计的第一步,我们应该从生产过程对自动调节的要求出发,合理地选择被调参数。如果被调参数选择不当,以后的各项工作都是没有意义的。

第二节 对象特性对调节质量的影响及调节参数的确定

选择了被调参数之后,下一步的工作是组成什么样的调节回路来调节它,使被调参数保持在给定值。为此,设计人员必须认真地分析各种干扰,深入地研究对象特性,正确地选择调节参数。干扰是影响调节系统正常平稳运行的破坏性因素,调节参数是克服干扰的影响使调节系统重新平稳运行的因素。没有干扰,就没有调节;有了干扰,才需要调节。干扰和调节是互相矛盾的,对立的,只要我们合理地确定调节参数,正确地选择调节通道,组成一个可控性良好的调节系统,就能有效地克服干扰的影响,使矛盾得到统一。现在,让我们来详细地讨论对象特性对调节质量的影响以及调节参数的选择。

一、对象静态特性对调节质量的影响

对象干扰通道和调节通道对于调节质量的影响,可以分为静态和动态两个方面,我们首先研究它们的静态影响。

今有一个简单调节系统，系统的方块图如下：

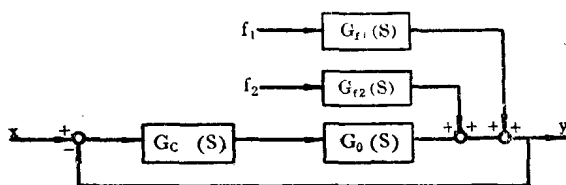


图 6-4 简单调节系统方块图

图中： $G_c(S)$ 表示调节器的传递函数； $G_0(S)$ 表示对象调节通道的传递函数； $G_{f1}(S)$ 、 $G_{f2}(S)$ 表示对象干扰通道的传递函数。

从图 6-4 中可以看出，对象干扰通道和调节通道的静态特性对于调节质量的影响，取决于 $G_f(S)$ 、 $G_0(S)$ 中的放大系数 K_f 、 K_0 。我们知道在合适选择调节器放大倍数 K_c 时， K_0 、 K_f 不影响到根平面上根的分布，故它不影响调节过程的形状，而仅仅影响调节过程的幅值。在阶跃干扰作用下，与调节过程幅值有关的质量指标——余差和超调量可按式求得。

$$\begin{aligned} \text{余差} &= \frac{K_f}{1 + K_c K_0} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{K_f} + K_c \frac{K_0}{K_f}} \end{aligned} \quad (6-3)$$

对于衰减度 $m=0.221$ 的二阶振荡系统：

$$\begin{aligned} \text{超调量} &= \frac{1.5K_f}{1 + K_c K_0} \\ &= \frac{1.5}{\frac{1}{K_f} + K_c \frac{K_0}{K_f}} \end{aligned} \quad (6-4)$$

由此可见，调节过程的余差和超调量，随着比值 K_0/K_f 的增加而减小。因此，可以得到这样的结论：如果在一个调节系统中，存在着若干个干扰，它们对调节过程的静态影响，取决于各干扰通道传递函数的放大系数 K_f 的数值， K_f 越大，影响越显

著。同时，如果采用不同的调节参数，来克服同一个干扰，则调节通道传递函数的放大系数 K_0 越大，从静态看克服干扰的效果越显著。

为了分析这些静态影响的关系，必须求出 K_i 、 K_0 的具体数值。对于一个既定的工艺设备，可以根据设备的结构尺寸和操作条件，通过工艺计算求得这些数据，也可以通过现场的调查研究获得解决，还可以通过实验方法得到这些数据。如果在寻求 K_i 、 K_0 的过程中，发现它们不是常数，就需要在工作点附近进行线性化，这样做一般不会引起太大的误差。

二、按静态特性选择调节参数

现以合成氨厂的变换炉为例，介绍如何按静态特性来选择调节参数。图 6-5，是一氧化碳变换过程示意图。变换炉的作用，是将一氧化碳和水蒸汽在触媒存在的条件下发生作用，生成氢气和二氧化碳，同时放出热量。生产过程要求一氧化碳的变换率要高，蒸汽消耗量要少，触媒寿命要长。因此，生产上通常是用变换炉一段反应温度作为被调参数，来间接地控制变换率和其他指标。

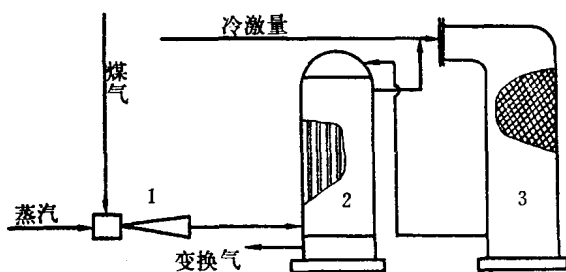


图 6-5 一氧化碳变换过程示意图

1—蒸汽喷射泵；2—换热器；3—变换炉

我们知道，影响变换炉一段反应温度的因素是很复杂的，总结起来有煤气流量、煤气压力、煤气温度、煤气成份、蒸汽流量、蒸汽压力、冷激流量、触媒活性等。

可以看出，在以上这些因素中，触媒活性的变化是一种不可控的因素，不可能根据我们的要求而任意改变。

煤气成分(不论是氧气或是一氧化碳)的波动，都将引起反应温度的显著变化，然而，它也是一种不可控因素，调节煤气成分是不实际的。同时，由于造气车间出来的煤气，经过煤气气柜，这不仅使压力变得比较稳定，而且其成分也相当均匀。

煤气温度的变化，即热水饱和塔出口煤气温度的变化，对反应温度的影响较大，但只要热水饱和塔操作平稳，煤气温度的变化就不会很大。

蒸汽压力在变换工段之前是进行定值调节的。

这样，排除了以上这些因素之后，我们可以选择冷激量；煤气量；蒸汽量，作为调节参数。

通过调查研究和静态测试，各通道的放大系数如下。

冷激量对反应温度通道的绝对放大系数：

$$K_1 = \frac{\text{温度变化量}}{\text{冷激量变化量}} = \frac{10}{100} = 0.1 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{米}^3/\text{小时}} \right]$$

相对放大系数：

$$k_1 = \frac{\text{温度变化的百分数}}{\text{冷激量变化的百分数}} = \frac{\frac{10}{500}}{\frac{100}{4000}} = 0.8 \quad (6-5)$$

煤气量对反应温度：

$$K_2 = \frac{\text{温度变化量}}{\text{煤气量变化量}} = \frac{2.5}{100} = 0.025 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{米}^3/\text{小时}} \right]$$

$$k_2 = \frac{\text{温度变化的百分数}}{\text{煤气量变化的百分数}} = \frac{\frac{2.5}{500}}{\frac{100}{6250}} = 0.31 \quad (6-6)$$

蒸汽量对反应温度：

$$K_3 = \frac{\text{温度变化量}}{\text{蒸汽量变化量}} = \frac{14.5}{1} = 14.5 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{吨/小时}} \right]$$

$$k_3 = \frac{\text{温度变化的百分数}}{\text{蒸汽量变化的百分数}} = \frac{\frac{14.5}{500}}{\frac{1}{16.5}} = 0.48 \quad (6-7)$$

通过各通道放大系数的简单计算，我们可以对如下三个调节方案进行比较。

(1) 调节进入变换炉的冷激量，见图 6-6，图中 1 表示调节参数为冷激量时的调节系统。这一方案，可以得到较大的调节通道放大系数，见式(6-5)，这样，系统具有很强的抗干扰能力。但是，工艺上安排这一管线，为的是开车、停车的方便，为的是手动粗调变换炉反应温度，在通常情况下，冷激量阀门是关着的。事实证明，当选择冷激量作为调节参数时，温降太甚，而且太猛，影响变换反应，使生产很难控制，也很难稳定，因而，在通常情况下选择这一方案是不合理的。

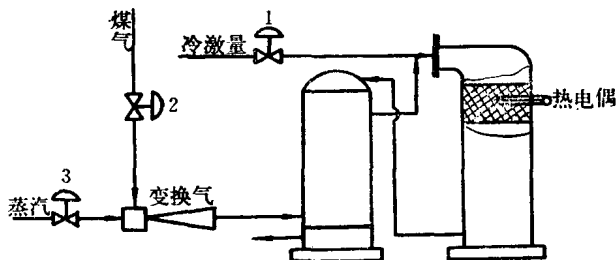


图 6-6 变换炉反应温度调节系统示意图

(2) 调节进入变换炉的煤气量，见图 6-6，图中 2 表示调节参数为煤气量时的调节系统。比较式(6-6)和式(6-7)可以看到，若以煤气量作为调节参数，不能得到较大的调节通道放大系数 K_0 ；相反地，如果蒸汽量的变化是主要干扰，则干扰通道的放大系数 K_f 就比较大。这样，从余差和超调量的角度来看是不利的。

(3) 调节进入变换炉的蒸汽量，见图 6-6，图中 3 表示调节参数为蒸汽量时的调节系统。以蒸汽量作为调节参数，假如煤气