

室温自动调节原理和应用

施俊良 著



· 中国建筑工业出版社

本书前五章叙述室温自动调节原理，供阅读后面的研究成果作基础。书中提出了用解析法研究继电调节系统，可计算双位调节精度及位式恒速调节系统的稳定条件，较其他方法简便而精确。后半部分结合国产仪表在实际中的应用，介绍了各种室温调节系统的设计计算方法，并与实测数据对比分析。通过学习本书，可对室温自动调节系统中各个参数间的关系有一个全面的了解。

本书的研究方法和有关结论也可推广到其他热工对象的调节系统中。全书由浅入深，条理清晰，概念明确，论证严密。

本书可供从事空调、热工自控及调节仪表等专业的研究、设计人员使用，也可作暖通专业学习《自动调节》课程的参考书。

室温自动调节原理和应用

施俊良 著

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：14¹/₈ 字数：380千字

1983年7月第一版 1983年7月第一次印刷

印数：1—11,600册 定价：1.80元

统一书号：15040·4395

前 言

随着生产的日益发展和技术的不断进步，生产过程的自动化程度将越来越高，介绍自动调节技术的书刊也越来越多。在空气调节工程中，为了实现房间空气温度（简称室温）的自动控制，需要懂得自动调节技术的基本知识。

由于室温调节过程的某些特点，即使学习过自动调节技术的人也并不一定能马上掌握室温自动调节系统的设计方法。在常见的自动调节技术书刊中，多数以介绍线性调节理论为主。而在室温自动调节中，常见的是继电调节系统，它是一种不能线性化的非线性系统。不少书上用相平面法或用频率法（谐波平衡法）或用描述函数法来研究这种系统。由于室温调节对象的滞后时间不能忽略，用相平面法就不合适，而频率法和描述函数法都是近似方法，作图也较复杂。鉴于上述原因，一般书刊中在介绍室温自动调节时，大多数只是泛泛的叙述。本书根据作者多年的研究结果，认为用解析法来研究继电调节系统较好，不仅有定性的分析，而且有定量的计算。

本书的前五章介绍室温自动调节原理，也是先从研究线性调节系统入手，结合室温调节对象介绍自动调节的基本概念，介绍线性系统微分方程的拟定及求解，介绍拉氏变换和传递函数及其应用，介绍线性系统的分析和计算。在此基础上应用继电系统的理论，用解析法分析继电调节系统产生自振荡的条件，以电子计算机作工具，对常用的二阶和三阶双位调节系统以及三阶位式恒速调节系统求解出计算曲线。应用这些计算曲线来计算双位调节精度和位式恒速调节系统的稳定条件，比用相平面法、描述函数法和频率法方便，而且结果精确。此外，在室温自动调节中常用

加校正装置的继电调节系统，如时间比例调节系统、双位比例积分微分调节系统和三位比例积分调节系统以及带送风补偿的调节系统，本书对这些调节系统的工作原理和参数整定有较详细的说明。

本书的后四章是室温自动调节原理的应用部分，介绍恒温室的特性，结合国产仪表介绍常用的室温调节装置，介绍调节阀和电加热器的选用，举例说明各种室温调节系统的设计计算方法并将计算结果与实测数据进行对比分析。对于机械工业的恒温恒湿室，由于调节室温只是手段，目的在于控制工件温度，因此本书的最后一章讨论工件温度的控制质量。

读者如能应用高等数学的知识看完这本书，对室温自动调节系统中各个参数之间的关系会有一个全面的了解，对于分析、研究和设计室温自动调节系统将是有益的。

本书虽然只写室温自动调节原理和应用，但其研究方法和有关结论可以推广到其他热工对象的调节系统中。

在本书写作过程中，得到我院(机械工业部第六设计研究院)领导的支持，得到我院董大俭同志、李志浩同志和胡运康同志的帮助。本书第九章中的试验得到我院杨寅安等同志的合作和陕西汉川机床厂、三门峡中原量仪厂的大力协助。此外，还得到中国建筑科学研究院空调研究所吴元炜同志和电子工业部第十设计研究院阮启玄同志的帮助，他们为我提供了很有用的参考材料，值此一并表示衷心的感谢。

由于作者的水平所限，错误和不妥之处，恳请读者批评。

施 俊 良

1981年9月

目 录

前 言

第一章 自动调节的基本概念	1
第一节 自动调节和手动调节	1
第二节 自动调节系统的组成和分类	3
第三节 室温调节系统的调节过程和品质指标	6
第二章 微分方程的拟定及求解	13
第一节 系统各环节的特性	13
第二节 系统微分方程的拟定及求解	25
第三章 拉氏变换和传递函数	38
第一节 拉氏变换	38
第二节 用拉氏变换法解微分方程	53
第三节 传递函数及其应用	69
附 录 有关公式的证明	85
第四章 线性系统的分析和设计	90
第一节 基本调节规律及其实现方法	91
第二节 调节器的特性对调节质量的影响	95
第三节 广义对象的特性对调节质量的影响	106
第四节 二阶系统的综合分析和工程设计方法	113
第五节 系统的稳定性和对象的调节性能	125
附 录 试差分离系数除法	134
第五章 继电系统的分析和计算	138
第一节 继电系统的自振荡	139
第二节 双位调节系统	152
第三节 位式恒速调节系统	188
第四节 带校正装置的继电调节系统	201
附 图 5-0-1 $f(\alpha)th = \frac{\alpha}{2}$	236

5-0-2	$y=f(\alpha, \beta)$	237
5-1	一阶双位调节计算曲线 $\alpha=f(t, m)$	237
5-2-1~5	二阶双位调节计算曲线 $\alpha=f(t, \beta)$	238
5-3-1~23	三阶双位调节计算曲线 $\alpha=f(\beta_2, \beta_3)$	240
附 录	有关公式的推导证明	247
第六章	恒温室的特性和常用的室温调节装置	261
第一节	恒温室的特性	261
第二节	感温元件	274
第三节	电子调节器	277
第四节	执行器	299
第七章	调节阀的选择	311
第一节	概述	311
第二节	调节阀的流量特性及选择	317
第三节	调节阀口径的选择	333
第四节	调节阀选择要点	343
第八章	室温调节系统的计算和实验整定	358
第一节	室温双位调节系统的计算	358
第二节	室温恒速调节系统的计算	371
第三节	P、PI和PID 调节系统的计算	377
第四节	室温调节系统的实验整定	386
附 录	双容对象简化为带滞后的单容对象	393
第九章	工件温度的控制质量	396
第一节	工件温度和室温的关系	396
第二节	工件温度的加速飞升	402
第三节	工件温度控制效果的试验	404
第四节	隔热罩的使用和冷却液恒温	412
附 录	工件及隔热罩的计算	418
符号检索		439
参考文献		445

第一章 自动调节的基本概念

第一节 自动调节和手动调节

为了便于理解自动调节的基本概念，我们先从手动调节开始分析。

一、手动调节

图 1-1 为室温手动调节示意图。蒸汽加热器 1 装在送风管道上。水银温度计 2 装在恒温室内，反映室内空气温度（简称室温）。工作人员观察水银温度计 2，根据室温的高低关小或开大装在蒸汽管道上的手动调节阀 3，使室温保持在规定的温度范围内。蒸汽加热器通过送风气流不断地向室内输入热量，而回风气流不断地带走热量，同时又由于室内和室外空气温度的不同使室内的热量通过围护建筑物不断地散失到室外。当室内空气温度保持不变时，表明流入室内的热量和流出的热量相等，或者说是平衡的。当室外空气温度升高或降低时，上述的热量平衡将被破坏。如当室外空气温度升高时，散失的热量减少，流入的热量大于流出的热量，于是室内空气温度开始上升。工作人员根据水银

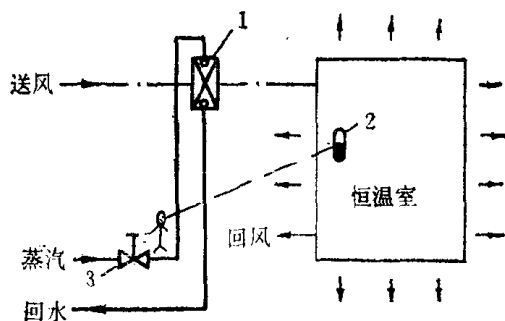


图 1-1 室温手动调节示意图

1—蒸汽加热器；2—水银温度计；3—手动调节阀

温度计指示值的升高程度，凭经验关小蒸汽管道上的调节阀，即减少流入蒸汽加热器的蒸汽量，减少由送风流入室内的热量，使流入和流出的热量恢复平衡，室内空气温度就可维持在给定的数值上或在一定的范围内变化。当室外空气温度降低时，流出的热量将多于流入室内的热量，因而使室内空气温度开始降低。这时工作人员根据水银温度计指示值的降低程度，凭经验开大蒸汽管道上的调节阀，增加流入室内的热量，其结果也使流入室内的热量和流到室外的热量恢复平衡，以维持室温在给定的温度范围内。

除了室外空气温度的变化会使室温发生变化外，蒸汽加热器前送风温度的变化，蒸汽压力的变化，室内照明灯的开关和设备的开停，都会使室温发生变化，使室温的实际值与要求值之间产生偏差。这些引起室温产生偏差的外界因素统称干扰。工作人员就是根据这个偏差的正负和大小，凭经验开大或关小调节阀，改变流入蒸汽加热器中的蒸汽流量，用来克服干扰对室温的影响，使室温偏差的绝对值减小。这就是手动调节过程。

在手动调节过程中，要求工作人员有一定的经验，当干扰变化比较剧烈时，调节动作就较频繁。长期重复的调节动作容易使人厌倦，精神不集中还容易出错。为了保证调节质量，避免烦琐的重复劳动，有必要采用自动调节装置来代替人的工作，实现室温的自动调节。

二、自动调节

图1-2是室温自动调节示意图。图中温度敏感元件2（简称感温元件）反映室温，通过温度调节器3将室温的实际值与要求值进行比较和运算，根据运算结果控制调节阀5上部的执行机构4，改变调节阀的开度，使流入室内（通过送风）的热量与流到室外的热量自动地保持平衡，实现室温的自动调节。

显然，为了实现室温的自动调节，首先要用温度测量元件（它包括感温元件）把室温参数测量出来，然后将测得的信号送到温度调节器的比较元件中去和室温要求值进行比较。室温要求值通过调节器的给定元件给定，故又叫给定值。比较结果就是温

度的给定值与实测值之间的差值，称为偏差值。这个偏差信号在调节器中经过某些运算和放大处理，再由调节器将处理结果送到执行机构去控制阀门的开度。这里，调节器代替人的眼睛和大脑，而执行机构则代替人的双手。在手动调节中，是根据偏差值凭经验支配双手开关调节阀，手动调节的效果在很大程度上取决于工作人员的经验是否正确。而在自动调节中，是调节器根据偏差信号按一定调节规律去指挥执行机构来开关调节阀的，自动调节效果的好坏在很大程度上取决于调节器调节规律的选用是否得当。

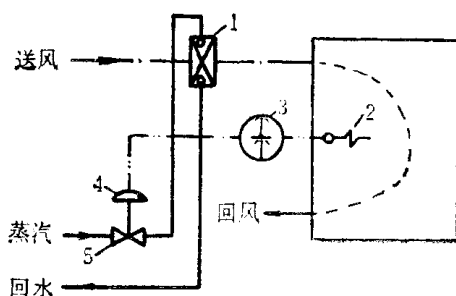


图 1-2 室温自动调节示意图

1—蒸汽加热器；2—感温元件；3—调节器；4—执行机构；5—调节阀

第二节 自动调节系统的组成和分类

一、自动调节系统的组成

图1-2所示的室温自动调节系统，是由恒温室、蒸汽加热器、感温元件、调节器、执行机构和调节机构（调节阀）所组成。其中恒温室和蒸汽加热器组成调节对象，简称对象，而感温元件、调节器和执行机构组成调节装置。因此，有时把自动调节系统看成由调节对象、调节装置和调节机构三部分组成。有时，为了研究问题方便，把恒温室、蒸汽加热器、感温元件、执行机构和调节机构并在一起叫调节对象（广义对象），这样，自动调节系统就只有调节对象和调节器两部分组成。

为了便于研究自动调节系统的结构，常常用若干方框来表示系统内的各个元件。方框的输入信号表示输入该元件的物理量；方框的输出信号，表示该元件受到输入作用后所引起的反应。图1-2所示的系统可以用图1-3所示的方框图来表示。

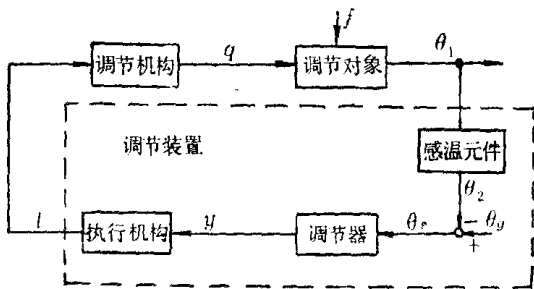


图 1-3 室温自动调节系统的方框图

恒温室内的空气温度，即调节对象的输出，用 θ_1 表示，它是被调节参数，或称被调量。使室温 θ_1 偏离给定值的外部因素，如前所述，叫做干扰，用 f 来表示。使室温变化的另一个因素是 q ，它往往是自动调节的结果，是自动调节系统中赖以补偿干扰的作用，亦即使被调量保持在给定值上的调节参数（操作参数），或称调节量（操作量）。调节量 q 和干扰 f 对调节对象的作用方向是相反的，如 f 使 θ_1 增大，要使 θ_1 不变， q 的作用必须使 θ_1 减小。图中的符号  表示比较元件，在这种元件上往往作用

着好几个输入量和一个输出量，输出量等于输入量之和或差，由输入信号线上的正负号表明。 θ_2 是感温元件的输出量，即室温的测量值，与室温给定值 θ_g 相比较，由室温偏差信号 $\theta_s = \theta_g - \theta_2$ 作用在温度调节器上，使调节器输出一控制信号 y 去操纵执行机构，如改变执行机构的行程 l ，改变调节阀的开度，即控制进入蒸汽加热器的蒸汽流量 q 。

在方框图中，每一个方框上都有两个信号，一个是它的输入量，另一个是它的输出量。从整个系统来说，它有两个以上的输入量，例如图 1-3 中，一个是调节对象的干扰 f ，另一个是系统

的给定值 θ_0 。根据系统研究的要求，可以取室温 θ_1 （或测量值 θ_2 ）作为系统的输出，也可以取室温偏差值 θ_0 作为系统的输出。

自动调节系统的作用就是按被调量与给定值的偏差，使系统产生足够的调节量去抵消干扰的作用，从而保持被调量在一定的精度范围内等于给定值。由此可知，系统的输出量一定要反馈回来和给定值相比较，再去控制系统的调节量，调节的结果是随时利用这种反馈的方法来加以检查和校正的。目前，绝大多数自动调节系统都是利用反馈原理构成的反馈调节系统，室温自动调节系统当然也不例外。

二、自动调节系统的分类

1. 根据室温给定值的变化规律，可以分为如下三类：

（1）定值调节系统。在这类调节系统中，被调量的给定值 θ_0 保持恒定不变或者在某段时间内保持不变。这类室温自动调节系统，因温度给定值是恒定的，所以又叫恒温调节系统。

（2）程序调节系统。在这类调节系统中，被调量的给定值 θ_0 在调节过程中是变动的，或者按照一定的规律随时间改变；或者按照一定的规律随其他参数的数值改变。前者叫做时间程序调节系统，后者叫做参数程序调节系统。环境试验室的室温自动调节系统，往往是时间程序调节系统。

（3）随动调节系统。在这类调节系统中，调节过程中被调量的给定值是随机变化的。

本书主要讨论室温定值调节系统，即讨论恒温调节系统。

2. 根据调节装置实现的调节动作与时间的关系分为如下的两类：

（1）连续调节系统。如果系统中所有参数的变化是连续进行的，就称为连续调节系统。

（2）断续调节系统。如果系统中有一个以上的断续变量，这种系统就叫做断续调节系统。图 1-4 所示的室温双位调节系统就是断续调节系统的例子。当室温升高时，电接点水银温度计 2 的水银柱升高使继电器 4 的线圈接通，通过它的常闭触头断开电

电磁阀 3 的线圈，切断蒸汽管路，停止供热，使室温降低。由于室温下降又使电接点水银温度计中的水银柱下降，导致继电器 4 的线圈失电，电磁阀 3 的线圈通电，接通蒸汽管路，继续供热，使

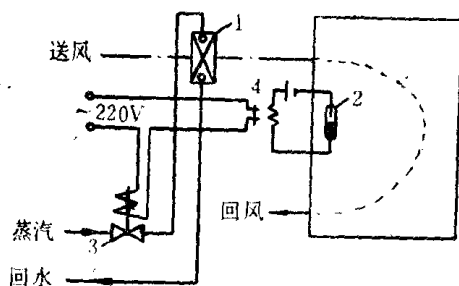


图 1-4 室温双位调节系统示意图

1—蒸汽加热器；2—电接点水银温度计；3—电磁阀；4—继电器

室温上升。继电器 4 和电磁阀 3 的断续工作使室温不断地上下波动，这是双位调节系统的特点。这种系统的调节装置很简单，在室温自动调节中得到了广泛的应用。

除了上述两种分类方法外，还有其他的分类方法。如按调节器实现的调

节规律来分，则可分为双位调节、恒速调节、比例调节、比例积分调节、比例微分调节和比例积分微分调节等系统。而按调节过程结束后被调量对给定值的偏差来分，又可分为有静差系统 and 无静差系统。还可按系统的组成中是否有非线性元件来分，分为线性系统和非线性系统。

第三节 室温调节系统的调节过程和品质指标

为了分析室温自动调节系统的品质指标，首先得分析室温自动调节系统的调节过程。假定图 1-2 中的室温调节系统原来处于一个稳定平衡的工况，即流入恒温室的热量等于流出恒温室的热量，室温将稳定在某个数值上。如果在某个时刻，室内的设备突然开动起来，或者突然进来几个人，即流入恒温室的热量突然增加了，破坏了这种平衡状态，室温就会变化，自动调节的作用就在于克服干扰的影响。以干扰的发生，经过调节，直到系统重新建立平衡，在这一段时间中整个系统的各个环节和参数都处于变动状态之中，这种状态又叫做动态。对应地，干扰作用前的稳定

平衡工况就叫做静态。了解系统的静态固然重要，但了解系统的动态更为重要。当室温调节系统在动态阶段中，室温是不断变化的，这一随时间而变化的过程称为自动调节系统的过渡过程，也就是系统从一个平衡状态过渡到另一个平衡状态的过程。

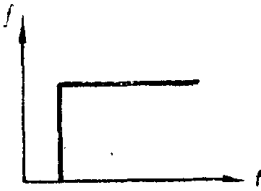


图 1-5 阶跃干扰

下面，我们就来分析一下在阶跃干扰作用下，室温将如何变化，即分析可能出现的各种调节过程。为什么把阶跃干扰作为一种典型干扰呢？因为阶跃干扰是一种突然变化的干扰，用图 1-5 来表示。它是

最不利的干扰形式，如果一个调节系统能很好地克服阶跃干扰的影响，那么它对于其他形式的干扰也就不难克服，所以，我们常把对阶跃干扰的反应作为判别系统抗干扰能力好坏的标准。

一、各种调节过程

当系统受到阶跃干扰的作用时，系统的过渡过程有以下几种典型情况：

第一种情况如图 1-6 所示，室温的变化幅度越来越大，表现为发散振荡。这是一种不稳定的调节过程，室温越来越偏离给定值，既不准，又不稳。这样的情况在自动调节系统中是应该避免的。

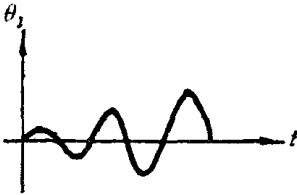


图 1-6 发散的不稳定的调节过程

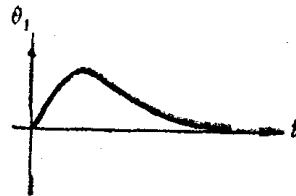


图 1-7 非周期的调节过程

第二种情况如图 1-7 所示。这是一种非周期过程，室温偏离给定值以后，经过相当长的时间慢慢地接近给定值。这样的调节过程是允许的，但很不理想。

第三种情况如图 1-8 所示。室温经两三个周期波动后就回复

到给定值。在比较了各种情况之后，认为这样的调节过程是比较理想的。

第四种情况如图 1-9 所示。这是一种等幅振荡的过程，既不衰减，又不发散，振荡的幅度相等，处于临界状态。图 1-4 所示的室温双位调节系统，就呈现这样的等幅振荡调节过程。在连续调节系统中，如出现这样的过渡过程就认为系统是不稳定的而不予采用。但在室温自动调节系统中，双位调节应用得十分广泛。本书将在第五章以较多的篇幅研究这种等幅振荡的幅值、周期和系统中结构参数的关系。

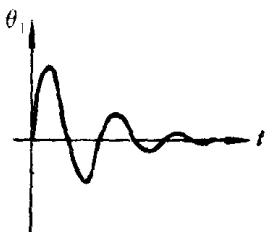


图 1-8 衰减振荡的调节过程

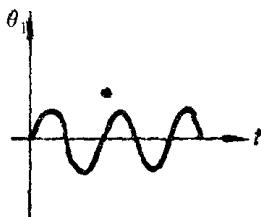


图 1-9 等幅振荡的调节过程

上面，我们叙述了在室温自动调节系统中可能出现的各种调节过程，那末，到底从哪些方面来衡量一个调节过程的质量呢？

二、调节过程的品质指标

我们先分析一个典型的室温调节系统的过渡过程的情况，如图 1-10 所示。其中 (a) 是阶跃干扰作用影响下的过程，(b) 是阶跃给定作用影响下的过程，前者是定值调节系统的过程，后者是随动调节系统的过程。用过渡过程衡量系统质量时，习惯上用下面几个指标：

1. 衰减比 n

虽然前面已提及一般希望得到衰减振荡的过渡过程，但是衰减到什么程度为适当呢？表示衰减程度的指标是衰减比，也就是前后两个峰值的比，在图 1-10 中衰减比 $n = \frac{\theta_{1B}}{\theta'_{1B}}$ 。假若 n 只比 1 稍大一点，显然过渡过程的衰减程度很小，与等幅振荡过程接

近，由于振荡过于频繁，不够安全，一般不采用。如果 n 很大则又太接近非周期过程，通常也不是大家所欢迎的。一般以 n 为 $4 \sim 10$ 之间为宜。图1-10中的曲线就是 n 接近于 4。因为 n 在 $4 \sim 10$ 之间时，过渡过程开始阶段的变化速度比较快，被调量在受到干扰的影响和调节作用的校正后，能比较快地达到一个高峰值，然后就马上下降又较快地达到一个低峰值。当操作人员看到这种现象后，心里很安定，因为他知道被调量再振荡数次后就会稳定下来的，并且最终的稳定值必然是在高低峰值之间，决不会出现太高或太低的现象，更不会出现造成事故的数值。选择衰减振荡的过渡过程并规定 n 在 $4 \sim 10$ 之间，是操作经验的总结^[29]。

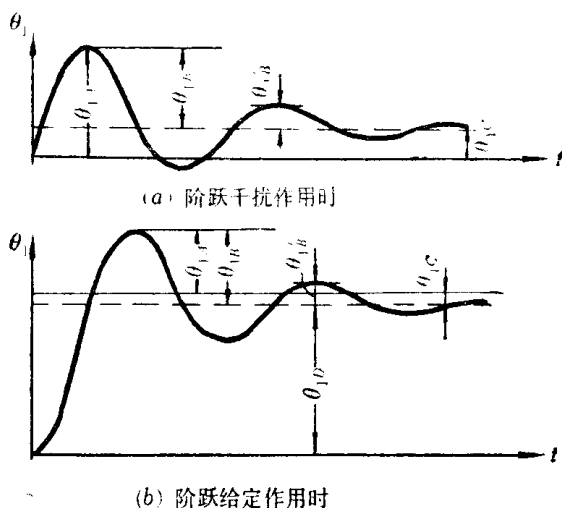


图 1-10 室温调节过程的品质指标示意图

2. 静差 θ_{10}

静差是过渡过程終了时的残余偏差，在图1-10中以 θ_{10} 来表示，它也就是被调量的稳定值与给定值的差，其值可以为正也可以为负。在室温调节系统中，室温给定值 θ_0 是生产工艺所要求的室温基数，被调量室温越接近给定值越好。关于室温基数及其对静差的要求，应当与工艺人员一起商量决定。

3. 最大偏差 θ_{1A}

前已述及偏差是被调量 θ_1 (或其测量值 θ_2) 与室温给定值 θ_g 的差。对于衰减振荡过程, 最大偏差是第一个波的峰值, 在图 1-10 中以 θ_{1A} 表示。最大偏差表示被调量偏离给定值的程度, 若偏离越大并且偏离的时间越长, 则系统离开工艺所要求的状态就越远, 这是不希望得到的情况。因此, 最大偏差也是衡量调节品质的一个指标。对于室温自动调节系统, 在决定最大偏差的允许值时, 应与工艺人员商量决定。

有时也用超调量来表征被调量的偏离程度, 在图 1-10 中室温超调量用 θ_{1B} 来表示, 从图看出它是第一个峰值与新稳定值之差, 并且 $\theta_{1A} = \theta_{1B} + \theta_{1C}$ (在 (b) 图中, θ_{1C} 为负值)。

4. 过渡时间

从干扰发生起至被调量又建立新的平衡状态止, 这一段时间叫过渡时间。从严格的意义上讲, 被调参数完全达到新的稳定状态需要无限长的时间。实际上由于仪表的灵敏度的限制, 当被调量室温靠近稳定值时, 室温 θ_1 (或测量值 θ_2) 就不再改变了。所以有必要在可以测量的区域内, 在稳定值上下规定一个小的范围, 当测量指示值进入这一范围而不再越出时, 就认为被调量已经达到稳定值。这个范围一般定为稳定值的 $\pm 5\%$ 。按照这个规定, 过渡时间就是从干扰开始作用之时起, 直至被调量进入稳定值上下 $\pm 5\%$ 的范围之内所经历的时间。过渡时间短, 表示过渡过程进行得比较迅速, 这时即使干扰频繁出现, 系统也能适应, 调节质量就高。反之过渡时间太长, 几个叠加起来的干扰影响, 可能会使系统不符合工艺的要求。

5. 振荡周期或频率

过渡过程从一个波峰到第二个波峰之间的时间叫周期或工作周期, 其倒数为振荡频率。在衰减比相同的条件下, 周期与过渡时间成正比。一般希望周期短一些为好。

上述五个指标是对室温自动调节的要求, 可以概括为三性: 稳定性、准确性和快速性。稳定性就是指调节过程要达到一定的稳定程度, 一般要求衰减比 n 为 4~10。准确性就是指调节过程

中被调量偏差的大小，即最大偏差 θ_{1d} 和静差 θ_{10} 。快速性是指过渡时间要尽可能短。

用上述五个指标来衡量室温双位调节系统的调节过程时就会发生困难，因为双位调节过程是如图1-11所示的稳定振荡过程，它的品质指标将用如下的三个参数来表征：

- (1) 室温波动范围 θ_{1d} 。常用它的振幅 $\frac{1}{2}\theta_{1d}$ 表示动态偏差，虽然不很确切，但容易理解。
- (2) 室温波动周期 T_n ，即室温波动一次所需要的时间。
- (3) 室温平均值偏差 θ_{10} ，常常又称它为静态偏差

$$\theta_{10} = \frac{1}{T_n} \int_0^{T_n} \theta_1(t) dt.$$

因为室温自动调节系统中，双位调节应用得相当广泛，所以这里着重提一下它的品质指标。

在懂得了室温调节过程好坏的品质指标以后，下一步是要研究如何达到这些要求。为什么调节过程会有稳定和不稳定，调节时间有长和短，偏差有大和小。为了回答这个问题，我们先看室

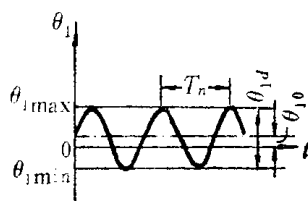


图 1-11 室温双位调节过程的品质指标

温手动调节过程（图 1-1），由于蒸汽加热器和恒温室的实际特性是比较复杂的，当工作人员对调节阀进行一定的操作动作（例如开大或关小）以后，室温并不象一般人所想象的那样立即变化（上升或下降），而是需要等一段较长的时间（从几十秒到几分钟）才变化。工作人员是否掌握这个特点是调节得好坏的关键。

如果这个工作人员是个新手，没有上述经验，他看到室温上升就关小阀门，由于恒温室有反应迟钝的特性，手动调节的效果不能立即反映出来，因而室温不但不马上降低，可能还在继续升高，这个缺乏经验的工作人员就进一步关小调节阀，等到室温回