

燃煤工业锅炉自动调节

中国仪器仪表学会过程检测控制仪表学会

中国自动化学会 仪表与装置专业委员会

1985年 修改本 1988年 再 版

前 言

本书由中国仪器仪表学会过程检测控制仪表学会和中国自动化学会仪表与装置专业委员会为培训锅炉仪表工骨干组织编写的。在编写过程中，得到上海市自动化学会的热情支持，具体有吴斌昌、简政等同志发起并组织了这项编印工作。

本书介绍的是由国产 DDZ—II 型调节仪表组成的大、中型工业锅炉自动调节系统的组成、整定和投入。

全书共分六章。除第一章为自动调节原理及自动调节系统的基本概念外，第二章至第四章具体介绍了工业锅炉的给水、汽温和燃烧过程自动调节系统的组成以及分析和整定方法。第五章就工业锅炉自动调节系统在现场投入过程中所遇到的问题及可能出现的故障进行了探讨，并提出了一些处理方法，第六章就如何提高工业锅炉本体及辅机可控性设备改造进行了探讨。

本书由上海电力学院邹旭昭执笔编写，“提高工业锅炉本体及辅机可控性设备改造”由上海第五钢铁厂杜军编写。上海第五化纤厂步子祥同志提供了他们厂在燃煤工业锅炉自动控制工作中的宝贵经验，在此表示感谢。

本书由华东工学院蒋慰芬教授担任主审，邵惠鹤同志也参加了全书的审阅工作，对此表示衷心感谢。

中国仪器仪表学会过程检测控制仪表学会和中国自动化学会仪表与装置专业委员会以此书为教材分别在 1984 年 1 月，4 月，12 月举办好了三次全国性的培训班。全国各地参加学习的同志在肯定了这本书是比较适合于锅炉仪表工骨干阅读的教材的同时，对此书提出了不少宝贵意见。编者根据这些意见又重新作了修订。

针对本书的读者为锅炉仪表工，所以本书尽量避免过多的、复杂的数学公式，着重于基本概念的阐述，这是一种尝试。由于水平所限，书中定会存在不少缺陷及错误，诚恳地希望读者批评指正。

此书出版权属中国仪器仪表学会过程检测控制仪表学会和中国自动化学会仪表与装置专业委员会所有，任何其它单位或个人都不得私自翻印。

编 者

1985.7

绪 论

工业锅炉已被广泛地使用在国民经济的各个部门。工业用蒸汽锅炉的作用是把燃料的化学能转变为热能，进一步将热能传递给水，以产生蒸汽。工业锅炉所产生的蒸汽直接或者间接地用以生产冶金、纺织、化工、化肥、……和轻工产品。目前，我国工业锅炉的总数约有20万台，除一部分是用以产生生活用蒸汽的小型工业锅炉外，其余大部分工业锅炉均是层燃链条炉 蓖水管式锅炉。

当燃料在炉 蓖上燃烧时，炉 蓖上保持有燃料层。新燃料由煤斗经煤闸门送入后，落在正在燃烧的赤热燃料层上，因此新加入的燃料受到下部赤热燃料层的加热，同时炉膛内正在燃烧的高温火焰以及高温炉墙也向新燃料辐射放热，新燃料层上下受热，温度升高，放出水份和挥发份，开始燃烧。

助燃的空气由送风机鼓入，在空气预热器中经过烟气加热，温度升高。热空气从链条炉 蓖下的小风门进入锅炉炉膛，由链条炉 蓖下通过燃料层进入锅炉炉膛的空气一般称为一次空气。一次空气由炉 蓖下向上流，遇到赤热的燃料，一次空气中的氧与碳生成二氧化碳，空气中的氧很快耗尽。

已生成的二氧化碳在炉 蓖上向上升，再次遇到炉 蓖上层的赤热燃料，又进行还原反应，使二氧化碳还原成一氧化碳。

在层燃链条炉中，燃料的一部分热量在燃料层中发出，而另一部分则须在炉膛空间发出。燃烧中的固定炭主要在燃料层中进行燃烧，此外还可能有少量挥发份也在燃料层中燃烧。由燃料层放出的一氧化碳和大量挥发份，以及被吹起的小颗粒燃料则需在炉膛空间燃烧。

当一次空气穿经燃料层时，空气中的氧几乎已全部耗尽，故离开燃料层的气体中没有氧或含氧很少。因此，为了使由燃料层发出的可燃气体和小颗粒燃料燃烧，就需向炉膛空间另外供应空气，即所谓二次空气。在有些链条层燃炉中，没有专门向炉膛空间供应二次空气的装置，而由燃料层发生的火孔和炉门的漏风供应二次空气，但这些空气来源难以控制，而且难以利用，故而不是一个好方法。大量的挥发份及少量小颗粒燃料燃烧，消耗了二次空气中的部分氧气，多余的氧则留在燃烧产物（烟气）中。

应该把炉膛的前后墙做成部分向炉内凸出的形状，这样可以提高燃料层的温度，使新燃料易于着火，又可以改变可燃气体上升的方向，使可燃气体与多余的氧增加混合，以减少不完全燃烧损失。

前墙所做成的部分向炉内凸出的形状称之为前拱。装了前拱，可减少炉 蓖前部向锅炉受热面的辐射热反射到新燃料层上，以加速新燃料的着火。

后墙所做成的部分向炉内凸出的形状称之为后拱。装了后拱，可以将由后部上升的炽热烟气和燃料颗粒导向前端，这样就既可加速新燃料的着火，同时还减少了飞灰中含有的可燃固定炭。前后拱相互配合，形成炉膛的喉部，增加烟气的混合作用。

炽热的烟气从炉蓖向上升，烟气中的可燃物质继续燃烧放出热量，装置在炉膛两侧墙的蒸发管中的水吸收高温烟气的辐射热，使水蒸发变成蒸汽。同时烟气温度逐渐下降。高温烟气经过两个汽鼓之间的第一对流管束和第二对流管束，烟气温度进一步降低，但是仍然具有较高的温度。将这样高温的烟气排入大气，不仅会造成大量的热损失，而且还会造成对大气环境的热污染。为此，在锅炉的尾部烟道中装置省煤器和空气预热器。烟气在流经省煤器时，把热量传递给水，将水加热。烟气在流经空气预热器时，把热量传递给冷空气，将冷空气预热，在此同时，烟气温度进一步下降。

经过省煤器和空气预热器等尾部受热面的烟气含有大量的灰粒，如果这样肮脏的烟气直接排入大气，将会使大气受到严重污染，因此，在工业锅炉中装置了除尘器，把烟气中的大部分灰粒除掉，净化后的烟气通过引风机和烟囱排入大气。

锅炉用水必需预先经过包括沉淀、过滤、凝聚、阴阳离子交换等物理、化学水处理在内的预处理，然后经过除氧器，除去水中的游离氧气才能使用。符合锅炉用水标准的水经给水泵升压，在省煤器中加热后，进入上汽鼓（净鼓），上汽鼓中的水经过装置在炉外的下降管通过下联箱进入蒸发管，蒸发管中的水吸收炉膛中高温烟气的辐射热，使水变成蒸汽和水的汽水混合物，汽水混合物在上汽鼓中进行汽水分离，分离后的蒸汽在饱和型工业锅炉中直接通过蒸汽管道输送到用汽设备去。在过热型工业锅炉中，分离后的蒸汽输入过热器，在过热器中蒸汽受到经过防渣管束后的高温烟气加热，变为过热蒸汽，然后通过蒸汽管道输送到用汽设备中去。在上汽鼓中，汽水混合物分离下来的水含有较高的盐份成为炉水。进入下汽鼓（泥鼓），然后通过连续排污和定期排污，把这些污水排出炉外。

通过炉排的不断旋转把燃烧尽的煤渣可积聚在渣井中，每隔几小时排渣一次。渣井用水密封，不致使大量空气通过渣井漏入锅炉炉膛。出渣时，炉渣用刮板输送机送到渣斗中去。

层燃链条炉蓖工业锅炉的简单结构如图 0—1 所示。

经过初步了解，我国的工业锅炉目前存在以下几个问题：

1 运行热效率较低。工业锅炉的设计热效率约为 78%，接近于国际先进水平，但实际运行的热效率大大低于设计水准。操作水平较高的工业锅炉热效率只有 70% 左右，而那些操作水平较低的工业锅炉热效率则更低。

2 产生的蒸汽品质不良。工业锅炉产生的蒸汽，其压力、温度和蒸汽湿度等重要参数指标都没有加以严格控制。由于工业锅炉生产出来的蒸汽品质不佳，从而大大影响了直接使用此蒸汽或以此蒸汽作为动力的工业产品的质量和数量，这一点往往被人们所忽视。

3 工业锅炉的自动化水平极低。工业锅炉运行的安全性和经济性完全依赖于操作工的水平和“四勤”操作制度的执行，目前我国工业锅炉操作工大部分是七〇年以后进厂的青年工人，这些青年工人的操作水平很低。

4 锅炉操作工的劳动强度较大。

工业锅炉自动化是工业锅炉技术进步的重要标志。目前我国工业锅炉的薄弱环节是自动化水平低、辅机不配套以及消烟除尘设备性能差。为工业锅炉配备必要的运行监视仪表，实现其操作过程的自动控制，这样才能使我国工业锅炉的技术水平达到或

接近国际先进水平。

所谓工业锅炉操作过程的自动控制就是指对那些表征工业锅炉生产过程是否正常进行的重要热工参数如锅炉出口蒸汽压力、温度、上汽鼓水位、炉膛过剩空气系数、炉膛负压的自动控制，工业锅炉生产过程要求把上述参数控制在额定值或最佳值，因此这些参数的自动控制应该就是这些参数的恒值调节。

燃料在空气中的燃烧过程就是燃料中的碳、氢、硫及其它可燃物质与空气中氧进行氧化反应生成二氧化碳、水蒸汽、二氧化硫同时放出热量的过程。从氧化化学反应过程来看，燃料中含有多少碳、氢、硫及其它可燃物质就需要多少氧气量。需要多少空气量，这就是燃料燃烧所需要的理论空气量。燃料在工业锅炉炉膛内燃烧所需的实际空气量往往总是大于理论空气量的，常常把燃料燃烧时，炉膛内的实际空气量与理论空气量的比例称为炉膛过剩空气系数。

根据上述要求，工业锅炉的自动控制系统包括给水自动调节系统，这个系统用给水量控制上汽鼓水位；燃烧过程自动调节系统，这个系统用燃烧率控制锅炉出口蒸汽压力，用燃料量控制炉膛过剩空气系数，用烟气流控制炉膛负压；过热汽温自动调节系统，这个系统用减温水量控制锅炉出口过热蒸汽温度。

工业锅炉所需要控制的参数是通过调节机构改变输入到工业锅炉中的物质、能量来实现的。因此选择合适的调节机构是非常重要的，它不仅影响到自动调节系统的组成，还影响调节过程的质量。

设计一个自动调节系统或者提出一个自动调节系统的方案应以调节对象的动态特性为依据。调节对象动态特性目前大多用试验方法求取。可以通过阶跃扰动或脉冲扰动的试验方法获得对象动态特性的阶跃响应曲线或脉冲响应曲线。然后根据这些试验曲线设计合理的自动调节系统，在确定了自动调节系统以后，还要对自动调节系统进行整定，调节系统的整定也以对象的动态特性作为依据。只有在完成了上述一系列工作以后，才能把自动调节系统投入运行。

在大、中型工业锅炉上配备国产 DDZ—II 型调节设备组成的给水调节系统、过热汽温自动调节系统（过热型工业锅炉）和燃烧过程工业锅炉产生的蒸汽的参数（压力、温度、蒸汽湿度），提高蒸汽品质，从而提高了直接使用工业锅炉蒸汽或以此蒸汽作为动力的化工、纺织、轻工、……等工业产品的质量和数量。其次实现工业锅炉生产过程的自动控制，还可以提高工业锅炉膛燃烧温度，增强燃料在炉膛中的燃烧强度，因此就可以降低锅炉炉渣含炭率。实现工业锅炉燃烧过程的氧量控制，减少了炉膛内的过剩空气系数，降低了排烟温度，从而减少了锅炉的排烟损失。上述这些都可以提高锅炉的运行热效率，节省能源的消耗。另外由于减少了炉膛过剩空气系数，也相应减少了空气量和烟气流，这不仅可以节省送风机和引风机的电能消耗，还可以减轻省煤器，空气预热器等尾部受热面和除尘器、引风机的磨损程度，提高工业锅炉的使用寿命。

毫无疑问，实现工业锅炉的自动控制是需要增加一些控制仪表的投资的。目前，国产 DDZ—II 型调节仪表不仅价格比较昂贵，而且是分列仪表。为了降低仪表在整个工业锅炉成本中所占的比额，有必要研制专用的工业锅炉自动控制装置。

目 录

前 言

绪 论

第一章	热工自动调节的基本知识	(1)
第一节	自动调节的一般概念	(1)
第二节	自动调节系统的调节过程	(5)
第三节	调节对象的动态特性	(8)
第四节	调节器的调节规律及其参数对调节过程的影响	(13)
第五节	单回路调节系统的整定	(18)
第六节	两种常用的多回路反馈调节系统	(21)
第二章	给水自动调节系统	(24)
第一节	给水自动调节的任务及对象动态特性	(24)
第二节	单冲量和两冲量给水调节系统	(26)
第三节	三冲量给水调节系统	(30)
第四节	给水调节系统的整定	(35)
第三章	燃烧过程自动调节系统	(40)
第一节	燃烧过程自动调节的任务及其对象动态特性	(40)
第二节	燃烧过程自动调节系统的组成	(45)
第三节	氧化锆氧量计	(53)
第四节	送风量的测量	(58)
第五节	燃烧过程自动调节系统的整定	(66)
第四章	过热汽温自动调节系统	(73)
第一节	过热汽温自动调节的任务和对象动态特性	(73)
第二节	双回路汽温调节系统和串级汽温调节系统	(76)
第三节	过热汽温自动调节系统的整定	(80)
第五章	自动调节系统的投入	(85)
第一节	自动调节系统的跟踪	(85)
第二节	调节机构的特性	(92)

第三节	自动调节系统投入的注意事项及故障处理.....	(9 8)
第六章	提高工业锅炉本体及辅机可控性的设备改造.....	(108)
第一节	SHI型工业锅炉概述.....	(109)
第二节	锅炉炉膛结构型式与燃烧特性.....	(110)
第三节	炉排、送风系统的技术改造.....	(116)
第四节	烟气系统各设备的阻力与引风调节特性.....	(123)
第五节	烟气系统的漏风和氧量调节的稳定.....	(124)
第六节	燃料的准备与自动调节的关系.....	(126)
附录一:	有关调节对象,调节器的传递函数.....	(128)
附录二:	工业锅炉,自动控制,节能及其它.....	(141)
(8 1 )	.....	章五第
(1 8 )	.....	章六第
(1 3 )	.....	章二第
(1 3 )	.....	章一第
(1 3 )	.....	章二第
(0 8 )	.....	章三第
(2 8 )	.....	章四第
(0 1 )	.....	章三第
(0 1 )	.....	章一第
(2 1 )	.....	章二第
(2 2 )	.....	章三第
(8 3 )	.....	章四第
(3 3 )	.....	章五第
(3 7 )	.....	章四第
(3 7 )	.....	章一第
(3 7 )	.....	章二第
(0 8 )	.....	章三第
(2 2 )	.....	章五第
(3 3 )	.....	章一第
(3 2 )	.....	章二第

第一章 热工自动调节的基本知识

第一节 自动调节的一般概念

一、人工调节与自动调节

热工生产过程的自动调节来源于模仿热工生产过程的人工操作，凡是依靠人工操作都无法控制的热工生产过程一般也是无法进行自动调节的。那么自动调节较之人工操作的优越性表现在什么地方呢？这主要表现在：自动调节设备可以模仿最好的操作人员的人工操作，“不知疲倦”地将生产过程控制在最佳工况；自动调节不受操作水平的影响，不受操作人员情绪及其它因素的影响；还可以避免人为因素造成的操作人员对生产过程的错误操作，从而保证了热工生产过程的安全性和经济性。

下面将人工调节过程与自动调节过程进行一下对照，是很说明问题的。图1—1为工业锅炉汽鼓水位的人工调节与自动调节的对照示意图。

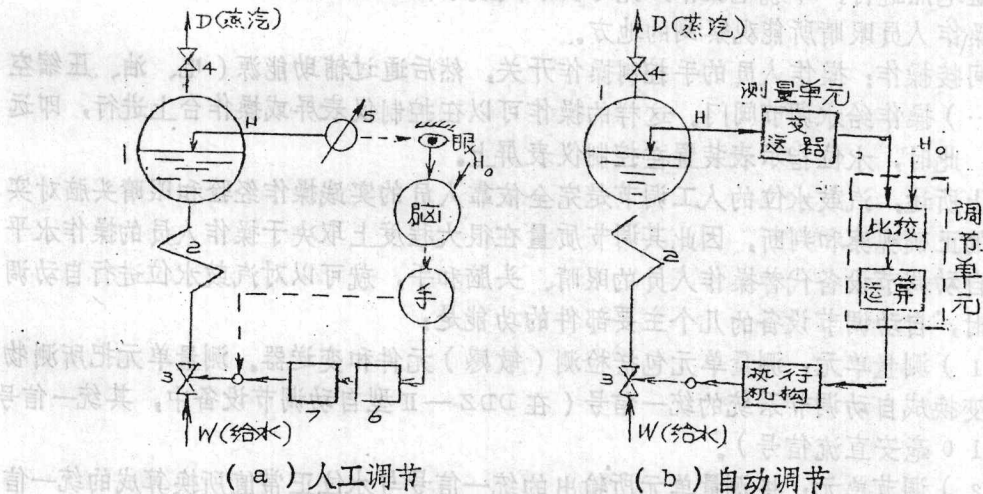


图1—1 工业锅炉汽鼓水位调节示意图

1—汽鼓；2—省煤器；3—给水调节阀门；4—蒸汽出口阀门；5—汽鼓水位指示仪表；6—操作开关，7—执行机构。H—汽鼓水位； H_0 —汽鼓水位正常值。

汽鼓水位是衡量工业锅炉运行是否正常的一个重要参数。在锅炉负荷稳定时，汽

鼓水位保持在正常水位；当负荷变化时，水位的变化应限制在其允许的变化范围之内，否则将会影响锅炉的水循环和蒸汽品质，水位变化过大，甚至会危及锅炉的安全运行。

汽鼓水位反映了锅炉进水量与输出蒸汽量的物质平衡。如果进水量大于蒸汽量，水位就会上升；反之，水位就会下降。在图1—1(a)所示的汽鼓水位的人工调节过程中，水位指示表5反映了水位的变化情况。当给水量与蒸汽量平衡，水位处于正常水位时，操作人员将不进行操作。当蒸汽量与给水量不平衡时，水位必然会发生变化，偏离正常水位，此时锅炉操作人员就应该根据蒸汽流量与给水流量不平衡情况及水位偏离正常水位的情况，操作给水调节阀门，改变给水流量，与蒸汽流量相适应，将水位恢复到正常水位。操作人员的操作过程大致可以分为以下几个步骤：

(1) 了解情况：水位指示表5反映了汽鼓水位的实际情况。当水位离开正常水位时，操作人员的眼睛观察了水位指示表所指示的水位变化情况。

(2) 分析决策：操作人员将眼睛观察到的水位指示值，在头脑中，与记忆中的水位正常值进行分析比较，并根据实际水位偏离正常值的情况，作出决策，发出指挥信号，一旦水位偏离正常值，就可以根据水位偏离正常的方向、大小和偏离速度，发出操作方向（开大或关小给水调节阀门）和操作规律（根据操作人员的经验，以怎样的规律去开大或关小给水调节阀门）的指挥信号。

(3) 操作执行：操作人员的手根据头脑所发出的操作指挥信号即操作方向和操作规律的指挥信号执行操作。根据在操作过程中是否借助辅助能源的情况，可以分为：

①直接操作：操作人员的手直接操作给水调节阀门。这样的操作必须在给水调节阀门装置地点进行，即就地操作，此时要求汽鼓水位指示表装置在操作人员眼睛所能观察到的地方。

②间接操作：操作人员的手控制操作开关，然后通过辅助能源（电、油、压缩空气、……）操作给水调节阀门。这样的操作可以在控制仪表屏或操作台上进行，即远方操作。此时，水位指示表装置在控制仪表屏上。

综上所述，汽鼓水位的人工调节是完全依靠人员的实践操作经验和眼睛头脑对实际水位的正确观察和判断，因此其调节质量在很大程度上取决于操作人员的操作水平。如果以自动调节设备代替操作人员的眼睛、头脑和手，就可以对汽鼓水位进行自动调节。此时，自动调节设备的几个主要部件的功能是：

(1) 测量单元：测量单元包括检测（敏感）元件和变送器。测量单元把所测物理参数转换成自动调节系统的统一信号（在DDZ—II型自动调节设备中，其统一信号为0~10毫安直流信号）。

(2) 调节单元：将测量单元所输出的统一信号与水位正常值所换算成的统一信号，在调节单元的比较部分中进行比较，比较后的信号输入运算部分，调节单元根据水位与水位正常值的偏差值大小和方向（正负值），按照一定的运算部分的运算规律发出指挥信号。

(3) 执行机构：根据调节单元所发出的指挥信号对给水调节阀门进行操作。在自动调节中，执行机构一定要借助辅助能源进行操作即远方操作。这样，自动调节设备无需与给水调节阀门装置在同一地点。

如果将自动调节中几个主要部件与人工调节中操作人员的人体器官作一对照比较

就可发现,测量单元起了眼睛的作用,调节单元起了头脑的作用,执行机构起了手的作用;自动调节过程则完全模仿了人工调节过程。

二、自动调节的一般概念

为了便于以后讨论问题的方便,这里先介绍热工自动调节中的几个常用术语。

- 1 调节对象:被调节的热工生产过程称为调节对象或被控过程。
- 2 被调量:表征热工生产过程是否正常进行的物理量,也就是调节所要维持为给定值的物理量。这些物理量是指一些热工参数,如液位、压力、温度、流量、化学成分等。
- 3 给定值:维持热工生产过程进行所需保持的被调量数值,有时也称为规定值。在很多情况下,给定值是不变的;但在有些情况下,给定值是变化的。
- 4 扰动:热工生产过程中,引起被调量偏离给定值的各种因素称为扰动。
- 5 调节量:通过调节作用改变调节对象输入或输出的物质流量或能量流量,控制被调量,使偏离给定值的被调量恢复给定值,称上述物质流量或能量流量为调节量。
- 6 调节机构:具体执行调节作用的设备。

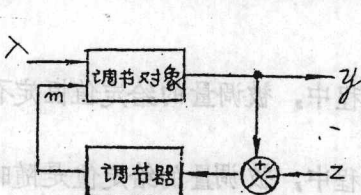
三、自动调节系统的分类

自动调节系统应用广泛,形式多样,其分类方法也各不相同。根据本书针对工业锅炉自动调节系统的特殊情况,自动调节系统可作下述分类:

按照自动调节系统的性质分类

1 反馈调节系统:反馈调节系统是根据被调量与给定值的偏差进行调节的自动调节系统。当被调量与给定值不存在偏差时,调节系统不产生调节作用,只有在被调量与给定值出现偏差时,这种类型的调节系统才会产生调节作用,调节的目的是为了消除偏差。调节作用改变调节对象的被调量,被调量被反馈到调节器的输入端,调节器则根据被调量与给定值的偏差产生调节作用,这样,调节对象与调节器之间构成了闭合回路,所以反馈调节系统又称闭环调节系统。

(1) 单回路反馈调节系统:反馈调节系统只有一个闭合回路。这是一种最简单的反馈调节系统,其系统示意图如图1—2所示。

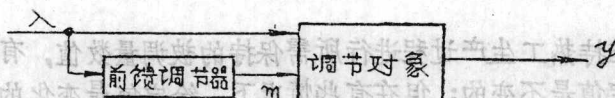


λ ——扰动量; m ——调节机构动作量; y ——被调量; z ——给定值。

图1—2 单回路反馈调节系统示意图

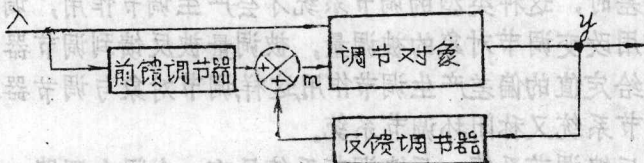
(2) 多回路反馈调节系统:反馈调节系统具有二个或二个以上的闭合回路。在工业锅炉自动调节系统中,最常见的多回路反馈调节系统为双回路调节系统及串级调

2 前馈调节系统：前馈调节系统是根据扰动进行调节的自动调节系统。当扰动进入调节对象时，这种类型的调节系统就会产生调节作用，抵消扰动对被调量的影响。反馈调节系统只有当扰动引起被调量偏离给定值以后才进行调节，前馈调节系统具有较反馈调节系统更加及时消除扰动对被调量影响的作用。但是这种调节系统不测量被调量，被调量的信号不反馈到调节器的输入端，因此前馈调节系统不能保证消除被调量与给定值的偏差即恢复被调量为给定值。图1—3为前馈调节系统的示意图。



从图 1—3 中可以看出, 由于被调量没有被反馈到调节器输入端, 因此调节对象与调节器之间没有构成闭合回路, 所以前馈调节系统是一种开环调节系统。

3 前馈—反馈调节系统



按照给定值信号的特点分类

- 1 恒值调节系统: 在自动调节系统运行过程中, 被调量的给定值恒定不变, 也就是被调量保持为某一固定数值。
- 2 随动调节系统: 在自动调节系统进行过程中, 被调量的给定值是随时间变化的, 而且是随机改变的。

第二节 自动调节系统的调节过程

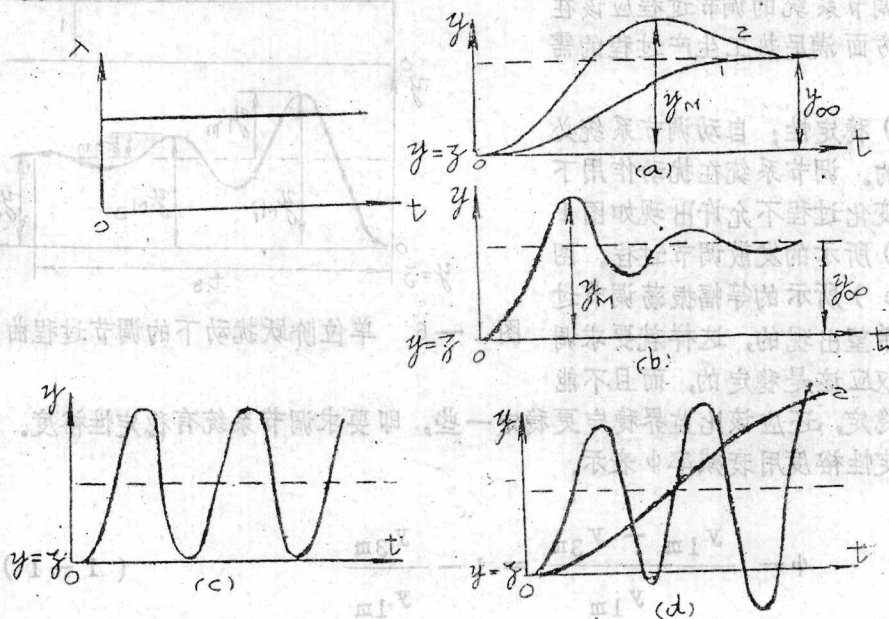
一、调节过程的基本概念

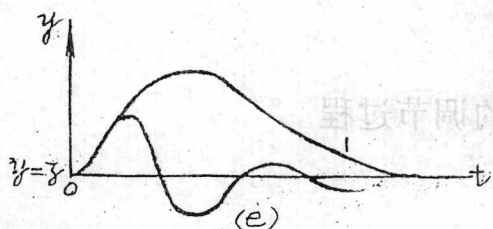
当自动调节系统处于平衡状态时，被调量不随时间变化而变化，称为系统处于稳态或称为系统处于静态；当被调量随时间变化而变化时，自动调节系统处于不平衡状态称之为系统的动态。

当调节系统在某一稳定状态时，被调量等于给定值，被控的热工生产过程正常进行，自动调节系统处于平衡状态即处于稳态。在某一时刻，被调量在扰动作用下，偏离了给定值，生产过程偏离正常工况破坏了自动调节系统的平衡，调节系统根据扰动、被调量与给定值的偏差进行自动调节，消除扰动所引起的被调量与给定值的偏差，调节结果被调量不再随时间变化而变化，此时调节系统处于新的平衡状态。可以把自动调节系统从某一平衡状态（此时被调量等于给定值），在扰动作用下，被调量偏离给定值，然后经过自动调节，被调量重新稳定下来，从而使调节系统处于新的平衡状态。这样一个被调量在扰动和调节作用下的变化过程称为自动调节系统的调节过程。

二、调节过程的品质指标

闭环自动调节系统在阶跃扰动作用下，被调量随时间的变化过程即自动调节系统的调节过程如图.1—5所示。





(a) 非周期有差调节过程; (b) 衰减振荡有差调节过程; (c) 等幅振荡过程;
(d) 发散调节过程; (e) 无差调节过程。
 λ ——扰动; y ——被调量; z ——给定值;
 y_m ——被调量的最大动态偏差; y_∞ ——被调量的稳态偏差。

图 1—5 几种典型的调节过程曲线

在图 1—5 所示的几种典型的调节过程曲线中, (a)、(b)、(c) 三种调节过程, 被调量最后都能稳定下来, 即自动调节系统能重新达到平衡状态, 这三种调节系统都是稳定的。其中图 (a)、(b) 被调量最后稳态值不能恢复到扰动前的给定值, 称为调节过程是有稳态偏差的, 简称有差调节过程; 图 (e) 被调量最后稳态值能够恢复扰动前的给定值, 称为调节过程是无稳态偏差的, 简称无差调节过程。图 (a) 和图 (e) 中曲线 1 都是非周期过程; 图 (b) 和图 (e) 中曲线 2 是衰减振荡过程; 图 (c) 是等幅振荡过程, 这种调节系统称为临界稳定; 图 (d) 是发散调节过程, 调节系统受扰动作用后, 被调节不能稳定下来, 被调量与扰动前的给定值之间偏差越来越大, 曲线 1 被调量振荡幅度越来越大, 称为发散振荡过程, 曲线 2 调节过程是非周期发散过程。一般热工生产过程所希望的自动调节过程为图 (e) 所示的衰减振荡或非周期的无差调节过程。

描述一个自动调节系统的调节过程, 常在单位阶跃扰动下进行。单位阶跃扰动下的调节过程如图 1—6 所示。

自动调节系统的调节过程应该在下述几个方面满足热工生产过程的需要:

(1) 稳定性: 自动调节系统必需是稳定的。调节系统在扰动作用下的被调量变化过程不允许出现如图 1—5 (d) 所示的发散调节过程。图 1—5 (c) 所示的等幅振荡调节过程也是不希望出现的, 这样就要求调节系统不仅应该是稳定的, 而且不能

只是临界稳定, 还应该比临界稳定更稳定一些, 即要求调节系统有稳定性裕度。调节过程的稳定性裕度用衰减率 ψ 表示。

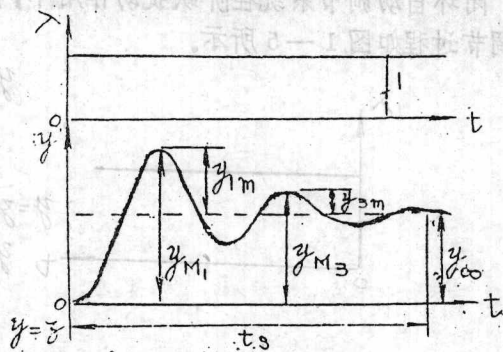


图 1—6 单位阶跃扰动下的调节过程曲线

$$\psi = \frac{y_{1m} - y_{3m}}{y_{1m}} = 1 - \frac{y_{3m}}{y_{1m}} \quad (1-1)$$

式中 $y_{1m} = y_{M1} - y_\infty$

$$y_{3m} = y_M, -y_{\infty}$$

y_{1m} 、 y_{3m} 分别反映了被调量在调节过程第一个波和第三个波中出现的过调现象, 即被调量在调节过程中超过被调量稳态值 y_{∞} 的动态数值。由于超调量反映了被调量在调节过程中的过调程度, 因此, 也反映了调节系统的稳定性, 超调量越大, 调节系统的稳定性越差, 反之调节系统稳定性好。

当 $\psi = 0$ 时, $y_{3m} = y_{1m}$ 调节过程等幅振荡, 调节系统临界稳定;

当 $\psi < 0$ 时, $y_{3m} > y_{1m}$, 调节过程发散振荡, 调节系统不稳定;

当 $0 < \psi < 1$ 时, $y_{3m} < y_{1m}$, 调节过程衰减振荡, 调节系统有稳定性裕度;

当 $\psi = 1$ 时, $y_{3m} = 0$, 调节过程为非周期过程, 调节系统稳定其稳定性裕度最大。

(2) 准确性: 指自动调节系统在调节过程中被调量偏离给定值的程度, 一般用被调量与给定值的差值来表示, 这里应包括动态偏差值 y_M , y_M , $\dots$ 和稳态偏差值 y_{∞} 。热工生产过程要求的调节过程准确性就是被调量与给定值的动态偏差和稳态偏差不超过生产过程所允许的限度, 特别是最大动态偏差 y_M , 实际上不仅应该考虑 y_M 的幅值, 还应该考虑超过生产过程所允许限度的动态偏差值所经历的时间。幅值越大、时间越长的动态偏差对生产过程所造成的危害性越大。

热工生产过程往往需要自动需要自动调节系统的调节过程是稳态无差的。如图 1—6 中所示的稳态偏差值 $y_{\infty} = 0$, 即调节结果被调量恢复给定值, 稳态偏差值 y_{∞} 又称余差。

(3) 快速性: 自动调节系统的快速性用调节过程时间 t_s 来描述。 t_s 是指被调量在扰动作用下偏离给定值开始到被调量重新稳定下来为止的整个被调量变化的时间。热工生产过程不希望调节过程时间过长, 一般应在下一个扰动来到之前结束, 也就是说, 调节过程时间应小于扰动的间隔时间。

调节过程的稳定性、准确性、快速性三方面品质指标, 往往是相互有联系的、矛盾的。譬如, 一个比较灵敏的自动调节系统, 其准确性、快速性较好, 而稳定性较差; 反之, 对一个灵敏性较差的自动调节系统, 则稳定性较好, 准确性、快速性较差。在提出调节过程品质指标时, 应该根据生产过程的需要, 统筹兼顾这三方面的要求, 当然首先应该考虑稳定性, 在满足一定的稳定性裕度前提下, 兼顾准确性和快速性。

三、影响自动调节系统调节过程品质的因素

自动调节系统由两部分组成, 一是调节对象, 另一是自动调节设备所组成的调节装置。调节系统的调节过程品质当然是与上述两部分的特性密切相关的, 尤其应该指出的是, 它在很大程度上取决于调节对象的特性, 即调节对象的可控性。如果发现调节系统的调节过程品质不能满足生产过程的需要, 首先应该从改善调节对象

的可控性方面着手，然后才是选择合适的自动调节设备组成比较合理的自动调节装置，调整调节装置的参数。调节对象的可控性较差，自动调节装置组成不当，参数调整不良就不可能得到较好的调节品质。

第三节 调节对象的动态特性

表征热生产过程是否正常进行的被调量是调节对象的输出量，引起调节对象输出量变化的因素是调节对象的输入量。当调节对象的输入量随时间变化时，其输出量也随时间变化，这时的输出量与输入量之间随时间变化的关系称为调节对象的动态特性。

引起被调量变化的诸多因素中，有一个用作调节作用，无论人工调节还是自动调节都是通过调节作用控制被调量。当被调量在扰动作用下离开给定值时，调节作用通过调节机构改变调节量，使被调量恢复给定值。通常把调节量随时间变化时，被调量随时间变化的动态特性称为调节对象调节通道动态特性，而把在扰动作用下，被调量随时间变化的动态特性称为调节对象扰动通道动态特性。

调节对象调节通道的动态特性对调节过程品质起主要影响，它影响调节过程的稳定性、准确性和快速性，而扰动通道的动态特性对稳定性没有影响。引起被调量变化的扰动因素是很多的，不可能对所有扰动的调节对象扰动通道动态特性进行了解和研究，一般只对主要扰动的扰动通道动态特性进行探讨。

一、调节对象动态特性的表示方法

调节对象动态特性的表示方法是多种多样的，常见的有下列几种表示方法。

1 微分方程：这是调节对象动态特性最根本的表示方法，但是这种表示方法比较复杂。

2 传递函数：这是调节对象动态特性最常见的表示方法。这种表示方法较微分方程表示方法简单。

3 阶跃响应曲线：这是调节对象动态特性图象曲线表示方法。这种表示方法直观、容易理解，但是不能用以计算。

二、调节对象动态特性的求取

调节对象动态特性可以用试验方法求取。目前在工程上较常用的方法是阶跃扰动试验方法和矩形脉冲扰动试验方法。前一种方法比较简单。但对生产过程有一定影响，试验结果即为阶跃响应曲线；后一种方法对生产过程影响较小，比较安全，但试验结果为脉冲响应曲线，需要经过数学处理，才能处理为阶跃响应曲线。

下面简单介绍一下阶跃扰动试验的主要步骤和注意事项：

(1) 在开始扰动前，要保证生产过程处于稳定工况，并把调节对象调整到预定的初始条件，即被调量稳定，调节对象的输入量不产生扰动。在作被调量上升曲

线时，被调量应预先稳定在允许变化范围的下限值。在作下降曲线时，则稳定在上限值。

(2) 在初始条件满足要求以后，突然加入扰动。加入的扰动应该是瞬时变化的，其变化速度应尽量大，扰动一般是通过改度调节机构的位移加入，扰动量应足够大，约为额定负荷的10~15%，使被调量有足够的变化量，可以减小试验过程中随机干扰对被调量的影响，提高试验的准确性。

(3) 在试验过程中，输入量的阶跃应一次加入，加入后则保持不变。除此之外，其它影响被调量的因素都保持不变。

(4) 试验应反复进行数次，以取得比较准确的阶跃响应曲线。试验应在两个扰动方向进行，以便求取被调量的上升曲线和下降曲线，并对两个相反扰动方向的试验曲线进行分析。

三、几种典型调节对象的动态特性及其动态参数

1 简单对象

图1-7所示的是两种类型简单对象动态特性的阶跃响应曲线。

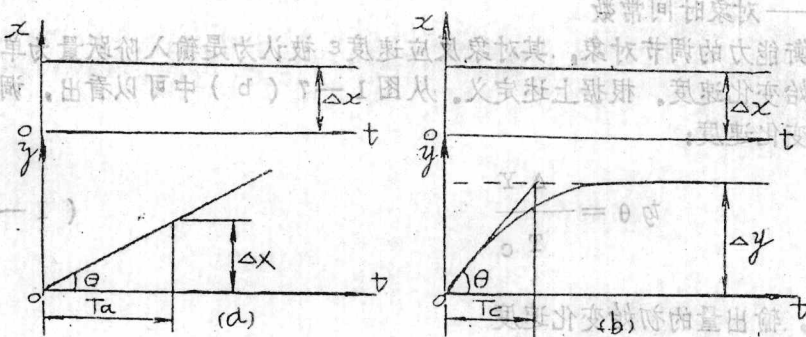


图1-7 简单对象动态特性

(a) 无自平衡能力 (b) 有自平衡能力

x ——输入量； Δx ——输入阶跃变化量； Δy ——输出稳态变化量。

T_a ——对象反应时间； T_c ——对象时间常数。

图1-7中(a)所示的是无自平衡能力对象的阶跃响应曲线，所谓无自平衡能力对象就是指输入量发生变化时，其输出被调量将按一定的速率持续变化；(b)所示的是有自平衡能力对象的阶跃响应曲线，当这种调节对象的输入量变化时，其输出被调量的变化能够稳定于某一数值，被调量的最终变化量为 Δy 。

调节对象的动态参数：

(1) T_a ——对象反应时间，指调节对象输出量变化到其输入量的变化量时所需的时间。