

DDZ-II型

仪表在电厂中的应用

太原工学院 东北电力学院

水利电力出版社

内 容 摘 要

本书主要写DDZ-Ⅱ型电动单元组合仪表在火电厂中组成各种不同的热力调节系统,它是与水利电力出版社已出版的“DDZ-Ⅱ型仪表中的晶体管线路”和“DDZ-Ⅱ型电动单元组合仪表”两本书配套的。书中介绍了调节系统的一般组成方法,DDZ-Ⅱ型的PID特性,调节机构特性,单回路调节系统调节器参数整定原则。然后根据不同的调节对象,如汽鼓锅炉、直流炉单元机组、煤粉炉、燃油炉……等设计不同的汽温、给水、燃烧调节系统,总结了几年来我国采用DDZ-Ⅱ型设备的投试运行经验,并对调节器参数整定作了一定的理论分析。最后介绍新近发展起来的协调控制和全程调节。本书的读者对象为火电厂从事热工自动化工作的工人、工程技术人员,也可作为大专院校本专业学生的参考读物。

DDZ-Ⅱ型仪表在电厂中的应用

太原工学院 东北电力学院

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 17¹/₈印张 453千字 插页2张

1979年10月第一版 1979年10月北京第一次印刷

印数 00001—18270册 每册1.65元

书号 15143·3444

前 言

我国火电厂热工自动化设备发展很快，变化很大，从 DRT 型直到今天的 DDZ-Ⅱ型和组装式仪表，中间经过了多次改变，颇有使人难于应付之感。但是，尽管采用了许多新型调节设备，而问题却并未得到满意解决，热工自动化的水平仍然不高。本书目的，在一定程度上是想探讨这些问题。由于影响热工自动化上不去的原因很多，要想将这些问题阐述得很全面是相当困难的，也是作者力所难及的。所以，本书只想比较系统地总结最近十多年来各电厂应用 DDZ-Ⅱ型设备的经验，并从理论上对各种类型的热力调节系统的组成原则及参数整定方法作一分析。尤其是想从热工自动化的角度对调节对象(电厂主设备)的结构特性如何适应自动控制的要求，或反过来调节系统如何适应调节对象的要求作一些必要的说明。经验告诉我们，热工自动化的问题往往是由于调节对象结构上的不合理，或者是“耳、目、手、足”不灵，而人们往往不注意这些，却过多地把注意力集中在调节设备上了。调节设备和系统线路是比较容易改变的，而调节对象的特性如事先考虑不周，安装好以后，热工人员再要改造主设备就显得无能为力了。所以，本书在介绍调节系统的同时，花了一定笔墨介绍调节对象的结构特性、调节机构特性、检测元件特性和阀门特性，其用意也就在此。这也是本书与过去出版过的热工自动调节系统方面的书籍所不同之处。

本书在编写过程中得到水电部热工研究所、南京工学院、上海市发电厂、北京电力试验研究所、东北电力设计院、北京电力学校等单位的热情帮助和支持，并引用了南京工学院等一些单位的科研成果和资料，在此向上述单位的领导及有关同志表示谢意。

本书前六章是由太原工学院工业自动化仪表教研室熊淑燕同志执笔的，巴筱云、赵锡玲等同志对这六章的初稿提了不少宝贵意见；后四章由东北电力学院热工自动化教研室王满稼同志执笔。由于作者水平有限，搜集资料尚不够全面，又比较缺乏现场实践经验，尤其是后两章所述内容国内尚无长期运行经验，故书中错误和不妥之处在所难免，热诚希望读者批评指正。

编 著 者

1978年12月

目 录

前 言

第一篇 自动调节系统的基本知识

第一章 自动调节系统的一般概念	1
第一节 自动调节系统组成的一般概念	1
第二节 自动调节系统的分类	7
第三节 自动调节系统的调节品质	10
第二章 调节系统各组成环节的特性	14
第一节 热工调节对象的特性	15
一、用试验方法测定对象的动态特性 二、热工对象的典型阶跃反应	
曲线及其近似传递函数 三、负荷变化对调节对象特性的影响	
第二节 调节机关的特性	41
一、调节阀的流量特性 二、对调节阀流量特性的要求	
第三节 测量元件和变送器的特性	56
一、测温元件 二、压力和压差信号的测量	
第四节 调节设备的调节规律	63
一、比例调节规律(P 作用) 二、比例积分调节规律(PI 作用)	
三、比例积分微分调节规律(PID 作用)	
第三章 自动调节系统的工程整定	73
第一节 关于调节系统整定的一般概念	73
一、自动调节系统的过渡过程和系统稳定性及其与特征方程的关系	
二、调节系统的质量与特征方程式根的关系 三、整定计算中的	
比例带折算 四、调节系统在不同扰动作用下的过渡过程的性质	
第二节 单回路调节系统的整定方法	84
一、根据边界稳定条件整定调节系统 二、根据一定的衰减率整	
定调节系统 三、调节系统的现场投运	
第三节 复杂调节系统及其整定方法的讨论	108
一、串级调节系统 二、具有导前微分信号的双冲量调节系统	
三、分段调节系统 四、前馈调节及其复合调节系统 五、多	
冲量调节系统 六、复杂调节系统整定方法的讨论	

第四章 DDZ-Ⅱ型调节设备的特性分析及

使用中的有关问题	135
第一节 PID调节器的动态特性和参数设置	137
一、PID调节器的动态特性 二、PID调节器的干扰系数和参数设置	
第二节 微分器及带有微分输入通道的调节器	164
一、微分器 二、带有微分输入通道的多输入通道调节器	
第三节 电动执行机构	170
一、执行机构的原理方框图及其近似的传递函数 二、DDZ-Ⅱ型调节器执行机构的特点	
第四节 DDZ-Ⅱ型调节设备的手动与自动切换问题	176
一、执行机构操作中的切换方式 二、调节器在“手动”状态下的自动跟踪	
第五节 DDZ-Ⅱ型调节设备的信息制特点以及在组成系统时应注意的几个问题	184
一、调节设备单边信息制的特点 二、输入回路各通道之间的“共点”问题 三、各单元的负载能力	

第二篇 汽鼓锅炉的自动调节

第五章 汽鼓锅炉给水的自动调节	188
第一节 汽鼓锅炉水位调节的任务和调节对象的动态特性	188
一、汽鼓锅炉水位调节的任务 二、水位调节对象的动态特性	
第二节 单级三冲量给水调节系统	196
一、调节系统的结构原理 二、调节系统的分析和整定	
第三节 串级三冲量给水调节系统	213
一、调节系统的分析和整定 二、用磁放大器代替副调节器的串级三冲量给水调节系统 三、应用串级三冲量给水调节系统时应注意的两个问题	
第四节 采用DDZ-Ⅱ型调节设备的给水调节系统的现场准备工作及试投步骤	223
一、投运前的现场准备工作 二、投试步骤	
第五节 采用DDZ-Ⅱ型调节设备的系统中执行机构的振荡原因及其消除方法	232
第六章 汽鼓锅炉过热蒸汽温度的自动调节	239

第一节 汽温调节对象的特性	239
一、锅炉蒸汽负荷的变化对过热汽温的影响	
二、烟气侧的扰动对过热汽温的影响	
三、减温水扰动对过热汽温的影响	
第二节 具有导前微分信号的双冲量汽温调节系统	248
一、调节系统的结构原理	
二、双冲量汽温调节系统的整定	
第三节 过热汽温的串级调节系统	275
一、调节系统的结构原理	
二、汽温串级调节系统的整定	
第七章 汽鼓锅炉燃烧过程的自动调节	286
第一节 燃烧过程自动调节的任务	286
第二节 锅炉的燃烧方式及其对燃烧调节的影响	288
一、中间储粉仓式制粉系统	
二、直吹式制粉系统	
三、燃油锅炉的控制方式	
第三节 汽压调节对象的动态特性	294
一、汽压调节对象示意图	
二、燃烧率扰动时汽压变化的动态特性	
三、负荷扰动时 (μ_q 扰动), 汽压变化的动态特性	
四、几台锅炉并列运行时的汽压动态特性	
五、并列运行锅炉燃烧自动调节系统必须注意的问题	
第四节 有中间储粉仓的并列运行汽鼓锅炉燃烧调节系统的组成	310
一、“燃料-空气”系统	
二、利用热量信号的燃烧调节系统	
三、测量烟气中含氧量的调节系统	
四、用DDZ-Ⅱ型电动单元组合仪表组成并列运行锅炉燃烧调节系统	
五、采用DDZ-Ⅱ型电动单元组合仪表的并列运行锅炉燃烧调节系统的分析与整定	
六、系统采用DDZ-Ⅱ型电动单元组合仪表时的投运及应注意事项	
第五节 煤粉直吹制锅炉的燃烧自动调节	381
一、竖井式磨煤机锅炉的自动调节	
二、风扇磨直吹系统锅炉的燃烧调节	
三、中速磨直吹式锅炉燃烧自动调节系统	
四、钢球磨直吹式锅炉燃烧自动调节系统	
第六节 燃油微正压低氧燃烧锅炉燃烧自动调节	400
一、油泵房的自动调节	
二、燃油锅炉的控制方式	
三、燃油锅炉的自动调节系统	
第七节 锅炉-汽轮机单元机组的燃烧自动调节系统	409
一、单元机组锅炉调节的特点	
二、单元机组控制方式必须考虑的问题	
三、用DDZ-Ⅱ型电动单元组合仪表组成单元机组燃烧调节系统的分析与整定	
四、用DDZ-Ⅱ型电动单元组合仪表组成单元机组燃烧调节系统的投运步骤	

第三篇 直流炉、大型机组协调控制和 全程调节系统简介

第八章 高压直流炉的自动调节	446
第一节 直流炉的特点及其对调节的影响	446
一、直流炉的工作原理 二、直流炉自动调节的任务	
三、直流炉结构特点及其对调节的影响	
第二节 直流炉的动态特性	452
一、汽机调节阀扰动下的动态特性 二、燃烧率扰动下的动态特性	
三、给水量扰动下的动态特性	
第三节 直流炉自动调节系统	458
一、带基本负荷的直流炉自动调节系统 二、带变动负荷的直流炉自动调节系统	
第九章 大型机组自动化——协调控制	473
第一节 大型单元机组协调控制	474
第二节 单元机组主控制系统概要	477
一、主控制系统具有五种调节方式可供切换 二、主控制系统的组成	
第三节 负荷指令处理装置	479
一、外部对单元机组的负荷指令 二、机组运行人员“手动”给定负荷的处理	
三、电网中心调度所负荷指令信号的处理	
四、由电网“频率偏差”(Δf)产生的负荷指令	
第四节 机组实际可能出力的计算回路	491
一、机组最大可能出力的估算 二、实际可能出力的计算	
第五节 机炉主控制器	496
一、机炉协调控制方式(方式Ⅰ) 二、机跟随炉调节方式(方式Ⅱ)	
三、炉跟随机调节方式(方式Ⅲ)	
第十章 全程调节系统	507
第一节 改变给水阀门开度的给水全程调节系统	507
一、水位信号的测量和校正 二、两种调节系统及其切换	
第二节 改变给水泵转速的给水全程调节系统	515
一、分离器水位调节 二、分离器水位调节原理分析及各调节器参数整定原则	
第三节 气动执行机构	525

一、电动执行器的缺点 二、气动执行器的优点 三、气动执行器的结构原理

附录一	几种典型环节的动态特性	529
附录二	关于无自平衡多容对象 $T_a = \frac{\Delta z}{y_0} t_a$ 及 $nT = t_a$ 两式的证明	531
附录三	四种调节阀的理想流量特性及其方程	532
附录四	关于 DDZ-II 型调节器中 $\left(\frac{T_d^*}{T_i^*}\right)_{max}$ 值的求解	536

第一篇 自动调节系统的 基本知识

为阅读第二、三篇内容作必要的理论上的准备，本篇在调节原理的基础上，介绍组成调节系统的一般概念、调节系统中各基本环节的特性以及调节系统的工作原理和整定原则。

为缩减篇幅，这里不准备系统地论述有关调节理论方面的全部知识（如有必要，读者可参阅调节理论方面的有关书籍），而只重点介绍，如何运用传递函数及阶跃反应曲线对调节系统中各主要环节及整个调节系统的动态特性进行分析。本篇重点讨论热工调节对象的特性及通过试验求取其特性参数的方法，DDZ-Ⅱ型调节设备的特点及其在使用中的有关问题，调节阀的特性，简单调节系统及电厂常用的几种复杂调节系统的工作原理，以及有关调节系统整定的概念和方法（包括理论计算和试验方法）。

第一章 自动调节系统的 一般概念

本章通过具体实例分析自动调节系统各环节的功能和调节系统的基本概念，调节系统的分类以及对调节系统调节质量的基本要求等。

第一节 自动调节系统组成的一般概念

为了了解自动调节系统组成的一般概念，让我们以锅炉汽鼓

水位人工调节为例，来分析完成一个调节任务，需要具有哪些功能以及这些功能在自动调节系统中又是如何实现的问题。图 1-1 是锅炉汽鼓水位人工调节的示意图。

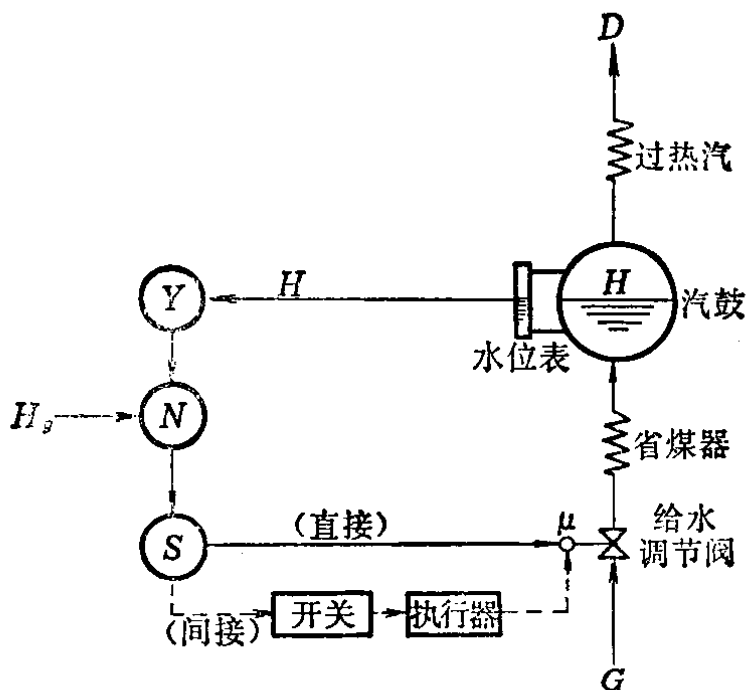


图 1-1 锅炉汽鼓水位人工调节示意图

为了保证锅炉的安全运行，操作人员应该设法使汽鼓中的水位稳定在一定的范围内。一般说来，当锅炉的供水量小于流出的蒸汽量时，水位将不断下降；当锅炉的供水量大于流出的蒸汽量时，水位将不断上升。蒸汽量的大小是由锅炉负荷决定的。因此，要保持水位一定，就应该操作给水阀门，改变给水量，以随时适应负荷的变化或其它原因所引起的水位变化，使水位维持在规定的范围内。这里，水位 H 就是我们调节的直接目标。我们把水位 H 称为“被调量”或“被调参数”；给水调节阀门称为“调节机关”；给水流量 G 称为“被调介质”或“调节参数”。工艺上所规定的正常水位 H_g 称为“给定值”。所以，操作人员的任务就是观察汽鼓实际水位 H 并和给定值 H_g 进行比较。当 H 和 H_g 存在偏差时，应按一定的规律去操作给水阀门，改变阀门开度 μ 使给水量 G 与蒸汽量 D 相适应，进而使水位 H 恢复到给定值 H_g 。所谓“按一定的规律操作给水阀门”，就是指操作人员根据自己

的实际经验来选择控制阀门的动作规律——是大开大关还是缓慢操作，或是先过头再回头等。操作规律不同，就会有不同的调节效果。所谓调节效果，就是指：在操作过程中被调量和给定值之间的偏差大小，被调量趋向给定值的快慢，以及被调量的波动程度等。一个没有经验的操作人员，如果操作不当，就会使被调量来回波动，经过较长时间才能恢复到给定值，甚至有可能使被调量波动幅度越来越大，更加远离给定值而使锅炉最后因满水或干锅而停炉。一个有经验的操作人员，首先应对他所控制的生产设备的性能有一个比较全面的了解。例如，哪些因素会引起被调量变化，变化的快慢、大小和方向如何，以及调节机关动作后的效果如何等。其次，他要根据生产设备的这些特性，总结出一套能使被调量既快又准地恢复到给定值的操作规律。

综上所述，可以把操作人员进行调节时的工作内容归纳如下：

1. 通过指示仪表，用眼（ Y ）观察被调量是否正常或发生了变化。

2. 用脑（ N ）思考（运算）所观察的结果，即将观察到的实际水位 H 与给定值 H_0 进行比较（看是否有偏差，以及偏差的大小与方向），并作出判断（是否要对给水调节阀门进行操作，往哪个方向操作，应按什么动作规律去操作等）。

3. 手（ S ）根据脑（ N ）的指挥命令，按照所规定的规律去操作给水阀门。对于小型阀门，可以直接用手操作；对于较大的阀门，可以通过遥控开关和执行器间接操作。

由上述可见，操作人员的眼、脑、手三个器官，分别起着观察、运算和执行三个作用，从而完成水位调节的任务。

如果用自动化装置代替上述人工操作，就叫做“自动调节”。锅炉汽鼓水位的自动调节示意图如图1-2所示。

自动装置包括三个部分。第一部分的作用是测量汽鼓水位，并将水位的高低用一种特定的信号 σ （ σ 称为被调量测量值，如电流、电压、气压或机械位移等）表示出来，这部分元件叫做

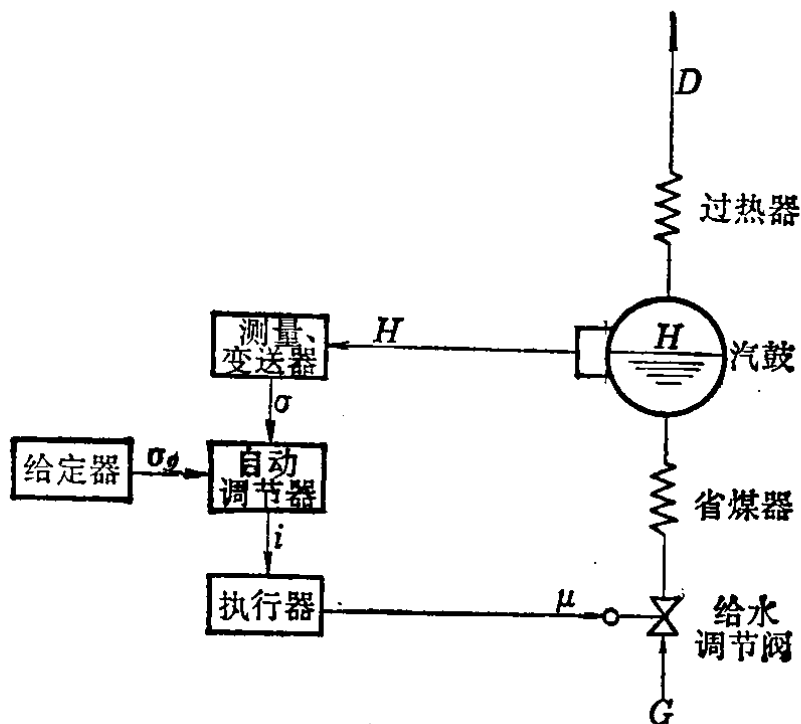


图 1-2 锅炉汽鼓水位自动调节示意图

“测量元件”和“变送器”，它代替人工调节中人眼的作用。第二部分是自动调节器。它把变送器送来的被调量的测量信号 σ 与水位的给定值信号 σ_0 进行比较（图中， σ_0 代表水位给定值 H_0 的大小，用给定器给出。）调节器将比较后的偏差值（ $\Delta\sigma = \sigma_0 - \sigma$ ）按预定的运算规律进行计算，然后将结果 i 送给执行器。这个信号 i 就是“调节命令”。可见，自动调节器代替了人脑的功能。第三部分就是执行器（电动的、气动的或液动的）。它根据自动调节器的调节命令去操作给水调节阀门的开启度。所以，执行器代替了人手的作用。这样，就用一整套自动装置代替了人的手工操作，实现了自动调节。由以上的分析可知，一个自动调节系统总是由两方面的设备所组成：一是起调节作用的全套自动装置，它包括测量元件、变送器、自动调节器，总称为“自动调节装置”；二是在自动调节装置控制下的生产设备，这里就是锅炉汽鼓水位调节区域，称为“调节对象”。自动调节装置与调节对象相互作用，构成了自动调节系统。可以用一个方框图来表示上述汽鼓水位自动调节系统中各设备相互作用的关系，如图1-3所示。

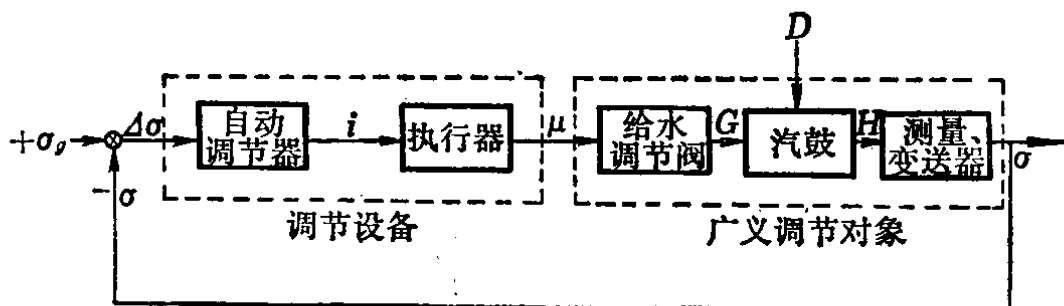
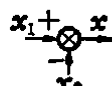
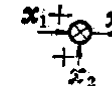


图 1-3 锅炉汽鼓水位自动调节系统方框图

图中每一个方框代表系统中的一个设备、一个元件或是几个设备的组合体，称为一个“环节”。方框图是指系统中各环节之间信号的传递和相互关系的示意图，它表示调节系统在运行中几个变化着的信号之间的因果关系。凡是引起环节变化的原因都是该环节的输入信号，而环节变化的结果都是该环节的输出信号。在图 1-3 中，引起汽鼓水位变化的原因是给水量 G 或蒸汽量 D 的变化，它们都是汽鼓的输入信号。水位 H 的变化是由 G 或 D 的变化引起的，所以 H 是汽鼓的输出信号。测量元件及变送器感受水位 H 的变化，将 H 按比例或按一定的函数关系转换成调节设备所能接受的信号 σ 。 σ 称为被调量测量值。 σ 作用到调节器的输入端，与生产上要求保持的被调量给定值信号 σ_g 进行比较。图中，符号 $\otimes$ 表示调节器中的“比较环节^①”，它将进入该环节的信号进行加减运算，被调量偏差值 $\Delta\sigma$ 就是给定值信号 σ_g 与被调量测量值 σ 相减的结果，即 $\Delta\sigma = \sigma_g - \sigma$ 。被调量偏差值 $\Delta\sigma$ 是引起调节器动作的原因，调节器根据 $\Delta\sigma$ 值按预定的规律对执行器发出调节命令 i ，执行器按此规律去控制给水调节阀的开度 μ ，从而改变给水量

① 在方框图中，经常用符号 $\otimes$ 表示汇入到这一点的各信号之间的加减关系。

例如：图  表示 $x = x_1 - x_2$ ；

而图  则表示 $x = x_1 + x_2$ 。

G ，使水位向接近于给定值的方向变化。从图 1-3 可知，自动调节系统中的各个环节是按信号的箭头方向串联成一个闭合回路的。实际水位的变化通过测量、变送、调节等又反过来影响水位本身。所以，这是一个闭环系统，或称为“反馈系统”。由于传送到调节器去的信号是给定水位和实际水位的偏差值，即当水位升高时， $\Delta\sigma = \sigma_g - \sigma$ 是一个负值，其意义是要求阀门关小^①，使水位向反方向变化。因此，自动调节系统是一个“负反馈系统”。这种负反馈系统的实质是“基于偏差去消除偏差”。如果不存在被调量偏差，也就不会产生调节作用，而调节作用的最终目的是要消除偏差。

首先必须指出的是：方框图和生产流程图在形式上有某些相同之处，但是它们所表达的内容却有本质的差别。在方框图中，箭头的方向表示信号的传递方向，或者说表示了信号变化的因果关系，而不是物质或能量的流动方向。例如，图 1-3 中蒸汽量干扰信号的箭头方向，表示了蒸汽流量的变化对汽鼓水位有影响，而绝不是指蒸汽流向汽鼓。其次，根据我们所分析和研究问题的目的，可以将一个设备按内部各元件的相互关系再细分成几个环节，也可以将几个设备合并为一个环节。例如，在分析一个调节器的特性时，可以把调节器细分成比较、放大、反馈等环节。在研究整个调节系统的特性时，又可以将测量、变送、调节对象和调节阀门合并为一个环节，称为“广义调节对象”，而将调节器、执行器等设备合并为另一个环节，称为“调节设备”，如图 1-3 中虚线框内所示。因此，可将一个自动调节系统按调节设备与广义调节对象两大环节画成如图 1-4 的形式。图中 Z 代表引起被调量变化的各种扰动因素， σ 是被调量的测量值。从整个系统来看，给定值 σ_g 和扰动量 Z 的变化是引起被调量变化的外来原因， σ 的变化则是 σ_g 或 Z 变化造成的结果。因此， σ_g 和 Z 是整个系

① 如果调节机关装在调节对象的流出侧(例如，调节一个水箱的水位)，那么，当干扰作用使水位升高时，调节作用应使阀门开大，才能使水位向相反方向变化，以实现负反馈调节。

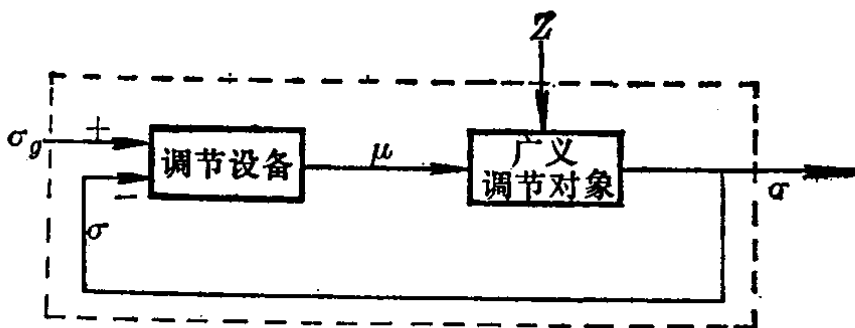


图 1-4 自动调节系统简化方框图

统的输入信号，而 σ 则是系统的输出信号。在研究整个系统的特性时，就是研究 σ 在 Z 或 σ_g 作用下的变化特性。

第二节 自动调节系统的分类

在实际生产过程中自动调节系统的类型是多种多样的，所以自动调节系统有多种分类方法，每一种分类方法都反映了自动调节系统的某一个特点。例如，可以按被调量的物理性质如温度、压力、流量等分类，也可以按给定值的变化规律分类，还可以按调节系统的结构分类，等等。

1. 按给定值的变化规律分类：

按此分类有恒值调节系统，程序调节系统和随动调节系统。

恒值调节系统的给定值保持不变，从而使被调量保持不变。本书讨论的调节系统多属这类调节系统，例如汽鼓水位、主蒸汽温度和压力调节系统等。

程序调节系统的给定值是按已知的时间函数变化的。例如，汽轮机启停过程中，要求汽轮机的转速按一定程序升降；进行热处理的工件，要求工件的温度随时间按一定规律变化等。这些变化规律都是预先根据工艺要求规定好了的。

随动调节系统的给定值是按预先不能确定的一些随机因素而变化的，因而被调量也是跟随给定值而随机变化的。例如，雷达跟踪系统；并列运行汽鼓锅炉的负荷调节系统中，各台炉的燃料及送风调节跟踪于主压力调节器输出的负荷给定信号，等等。

2.按调节系统的结构分类：

按此分类有开环调节系统、闭环调节系统和复合调节系统等。

“开环调节系统”，是调节设备和调节对象在信号关系上没有形成闭合回路的调节系统，也就是说，其被调量没有反馈到调节设备的输入端。本书第三章第三节将讲到的“前馈调节系统”就是开环调节系统的一个例子。如图 1-5 所示，调节设备接受的是某一个主要的扰动作用 Z （例如，负荷变化），当扰动 Z 发生后，调节作用能够及时抵销（或叫“补偿”）扰动 Z 对调节对象的直接影响。但是，这种调节作用无法抵销其它扰动因素对被调量的影响。

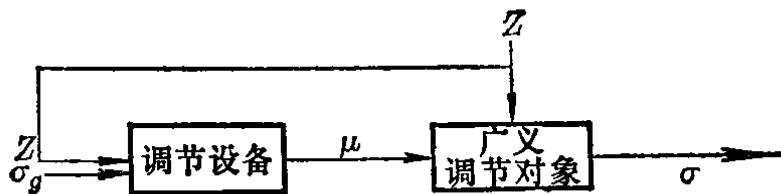


图 1-5 开环调节系统方框图

闭环调节系统也就是反馈调节系统，其被调量变化信号反馈到调节设备的输入端，成为调节设备产生调节作用的依据，只要存在着被调量的偏差，调节设备就要对调节对象施加作用，直到被调量符合要求值为止。所以，闭环调节系统可以克服各种扰动对被调量的影响，它比开环调节系统的调节效果好。但是，由于闭环调节系统的调节设备与调节对象互相之间的反复作用，当系统调整不当时，有可能使被调量不断反复振荡，甚至最后不断扩大而稳定不下来。这就是说，闭环调节系统存在着一个“稳定性”问题，这是保证调节系统安全可靠运行的一个首要问题。其次，当对象的被调量对于干扰作用的反应不及时，也就是说存在延迟时，由于调节设备是在被调量出现偏差之后才开始动作的，因此这种系统的调节作用是“落后于干扰”的调节，相对于上述开环调节系统来说是一种“不及时”的调节。当对象的延迟较大时，会使被调量出现比较大的动态偏差。