

技工学校交流讲义

发电厂热力过程的自动控制

沈阳电力学院 合編
青山电力技工学校

学校内部使用



中国工业出版社

本书内容包括自动调节的一般原理，发电厂热力过程中所采用的液力、气力、电气机械式和电子式调节器的原理和构造，以及校验、调整、安装和运行的一般方法。并且还讨论了发电厂热力过程常用的自动调节系统及调节过程，介绍了技术信号和联锁的基本知识。

本书系水利电力火电技工学校热工仪表专业用的教材，也可作为现场热工自动控制人员参考。

本书由沈阳电力学院任锁泰、蒋世激和青山电力技工学校刘古襄编写和修订；并经水利电力部技术改进局王兴礼、李希武和鄂县热电厂热工室审查。

发电厂热力过程的自动控制

沈阳电力学院
青山电力技工学校 合编

*

水电技工教材编辑组编辑（北京阜外月坛南营房）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本787×1092 $\frac{1}{2}$ ·印张11·字数225,000

1961年12月北京第一版·1961年12月北京第一次印刷

印数0001—2,600·定价(7-2)0.87元

*

统一书号：15165·994(水电-155)

緒論	1
第一章 自动调节的基本知識	4
第一节 自动調节的过程	4
第二节 調节过程的品质	10
第三节 基本調节系統	21
第二章 液力和气力式自动調节器	31
第一节 液力式自动調节器	31
第二节 气力式自动調节器	42
第三章 电气机械式自动調节器	49
第一节 电气机械式調节器的基本概念	49
第二节 КРД 型压力調节器	51
第三节 КРВ 型送风調节器	69
第四节 КРР 型負压調节器	71
第五节 КС 型跟踪調节器	72
第六节 电气机械式調节器的試驗和調整	75
第四章 电子式自动調节器	86
第一节 电子式自动調节器的基本概念	86
第二节 电子式調节器所用的一次仪表	88
第三节 9P-III 型电子調节仪表	96
第四节 9KP 型电子校正仪表	111
第五节 9Д 型电子微分仪表	117
第六节 9СII 型电子跟踪仪表	119
第七节 9P-T-54 型电子調节仪表	123
第八节 9P-C-54 型电子調节仪表	134
第九节 动态联系裝置	136
第十节 电子調节器的执行机构和动力回路	138
第十一节 电子式自动調节器的校驗	142

第十二节 电子式自动调节器的安装和运行	168
第五章 锅炉给水的自动调节	181
第一节 锅炉给水自动调节的基本概念	181
第二节 单冲力给水自动调节器	185
第三节 双冲力给水自动调节器	192
第四节 电子式三冲力给水自动调节器	207
第六章 过热蒸汽温度的自动调节	221
第一节 过热蒸汽温度调节的基本概念	221
第二节 过热蒸汽温度调节区的动态特性及调节系统	226
第三节 过热蒸汽温度调节器的调整	229
第七章 锅炉燃烧过程的自动调节	234
第一节 燃烧过程自动调节的基本概念	234
第二节 液力式燃烧过程自动调节系统	236
第三节 气力式燃烧过程自动调节系统	241
第四节 电气机械式燃烧过程自动调节系统	249
第五节 电子式燃烧过程自动调节系统	269
第八章 制粉系统的自动调节	298
第一节 制粉系统调节的基本概念	298
第二节 电气机械式制粉自动调节系统	301
第三节 电子式制粉自动调节系统	305
第九章 汽机分场的自动调节	309
第一节 除氧器的自动调节	309
第二节 减温减压器的自动调节	314
第三节 凝汽器水位的自动调节	316
第四节 汽机轴封蒸汽母管汽压的调节	318
第五节 发电机氢气冷却的自动控制	320
第十章 技术信号和自动联锁装置	327
第一节 技术信号装置	327
第二节 自动联锁装置	336

緒 論

在現代火力发电厂中，热力生产过程自动化得到了蓬勃的发展。在热力生产过程中采用自动化設備的优点是：

可以提高設備运行的經濟性；减少事故；改善劳动条件和节省人力。

我們知道，热力生产的全部主要生产过程都是連續进行的，如果蒸气或电能的消耗量增加了，就应当相应增加热的产量。生产每千瓦小时的电能必須消耗一定数量的燃料，供給一定的水和空气。这样，它的生产过程就显得复杂，而要实现这个生产过程的自动化就相应的更加复杂。象供給汽輪机的蒸汽，供給鍋爐的燃料、水和空气，都应该严格地与热能和电能的消耗相适应，并应随着消耗的改变而变化。与此同时，必須保証机組工作的一系列质量指标不变。例如进入汽輪机的蒸汽压力和温度应保持不变，这些数值只允許与其額定值有很小的偏差。

在鍋爐汽鼓中的水位和汽輪机凝汽器中的水位等，也都应该保持在指定的范围以內。

此外，机組运行中的安全和工作順序也由自动控制来保証。

生产过程中的自动化設備，由下列几部分组成：1) 自动調節；2) 远方操作；3) 联鎖；4) 热工测量；5) 程序控制；6) 保护；7) 工艺信号。

所有自动化設備中最先应用的是热工测量，即广泛地采用热工测量仪表，关于热工仪表的作用已在本专业的另一門

課程中介紹了，这里不再重述。現將其他自动控制設備的性質介紹如下：

1)自动調節 使生产过程中所应保持的质或量，自动保持不变，或按一定的規律自动变化的过程就叫自动調節。如鍋炉产生的蒸汽压力應該保持不变，采用自动調節器后就可以达到自动保持压力不变的目的。

2)远方操作 远方操作設備，是由人在远距离操纵机組的开启和关闭的設備。現代化的自动調節器，一般均有当自动調節器发生故障时改由远方操作的裝置。

3)联鎖 在自动化发电厂的工作条件下，使机組按順序接入的自动联鎖有着特殊重要的意义。在設備的个别部分发生故障时，联鎖就能够防止事故的扩大。例如运煤皮帶中有一个机械停止时，装在它前面的全部机械都應該立刻停止。沒有这种自动联鎖裝置，輸送到发生故障的机构去的煤就会堆积起来，这样就会长時間破坏全部运煤設備的正常工作。

上述联鎖过程，同样运用在鍋炉的送风机、吸风机、磨煤机、排粉机等上面，在給水泵中也采用着。联鎖裝置是由一些继电器和电气綫路所組成的。

4)程序控制 程序控制和联鎖性质相类似。所謂程序控制，就是按照机組的启动、运行和停止的要求和順序，通过继电器和电气綫路組成程序的控制过程。当运行的机組发生事故时，还可以自动启动备用的机組，停止运行的机組，以保护机組的安全。

5)保护 用来防止机組設備发生事故和防止事故的扩大，例如当汽輪机轉速超过許可限度时，或軸向位移超过規定时，就自动把汽輪机停下来。又如当鍋炉汽压超过額定值时，安全門就自行开启，放出多余汽压；煤粉管道压力过大

时，防爆門即自行动作等等。保护装置通常装設在設備上，根据机組的要求，作成单独的或联鎖的装置。

6) 工艺信号 自动化設備中的工艺信号很重要。它可分为四类：指揮、技术、事故和檢查的信号。

指揮信号用以从一个操作地点到另一个操作地点、傳遞指揮生产性质的信号，象主控制室向汽輪机操作盘发出的信号就是指揮信号的例子。

技术信号，用来自动通知机組发生了危险的工况变化，这种工况变化有繼續扩大而成为事故的危險。技术信号的工况变化脉冲常常来自热工仪表，象給水压力、主蒸汽温度、汽鼓水位等的脉冲。这些信号往往伴随着灯光和音响在操作盘上出現。

事故信号用以自动通知操作人員机組已因事故而停掉，它同样以灯光和音响在操作盘上出現。

檢查信号是用以表示机組在运行或者是在停止状态。如停止用“灯灭”表示；运行用“紅灯亮”来表示；备用用“綠灯亮”表示等。

随着科学技术的向前发展，火力发电厂也日趋高度自动化，自动控制設備的采用也愈来愈广泛。而自动控制設備的完善和准确，取决于我們維護和修理的技术水平，对于我們从事自动控制設備的运行、檢修的人員來說，这个任务是非常光荣而艰巨的，它對我們提出了严格的要求，要求我們掌握它們的原理、构造、性能和試驗調整的方法，从而正确地熟練地去从事自动控制設備的运行和檢修的实际工作。

第一章 自动調節的基本知識

第一节 自动調節的过程

一、調節过程的基本概念

热力設備自动調節的目的，在于能保持机組运行中的一个或几个物理因素在規定数值以內，以保証安全和經濟的生产。所謂調節过程，即是維持需要調節的物理因素不变的过程。自动調節时，不需有人参加就能实现这个过程。自动調節器就是保証实现調節过程的一些部件裝置及彼此間連系的总称。

調節过程可分为复杂的和简单的，在調節时只保持一个定值时，是简单过程。如給水調節只保持汽包內水位一定，过热蒸汽温度調節，只保持一定的温度等。

在調節时要保持多个量为一定值时，则为复杂的过程。如鍋炉燃燒的調節，要保持汽压、炉膛負压及二氧化碳为一定值等。

任何简单的过程都有三个变量。

第一个变量为对象的負荷：即单位時間內对象所产生物质或能量的数量。

例如：汽輪机需要蒸汽量的变化，使鍋炉生产的蒸汽量也要相应的变化，其变化范围由設備的构造及其大小所限制。这样，鍋炉即为一調節对象，汽机需要的蒸汽量即为对象的負荷。

第二个变量是調節规范：即是想要保持規定值的量，該值能表示出調節对象所产生的物质能量或数量的状态。所以

調節規範的變化情況可以表明調節過程的進行情況。

第三個變量是調節介質進入量：即是要恢復調節規範至規定值時所需進入對象的物質或能量的數值。

例如：給水的調節，如圖 1-1 所示，汽鼓為調節對象，調節對象負荷是蒸汽量，調節介質進入量是給水量，調節規範是水位。調節規範要保持一定，調節對象的負荷與調節介質的進入量保持相等（對其它對象，或許是成一定的比例）的數值，才能達到調節對象的正常運行；反之，調節對象便不能正常運行。

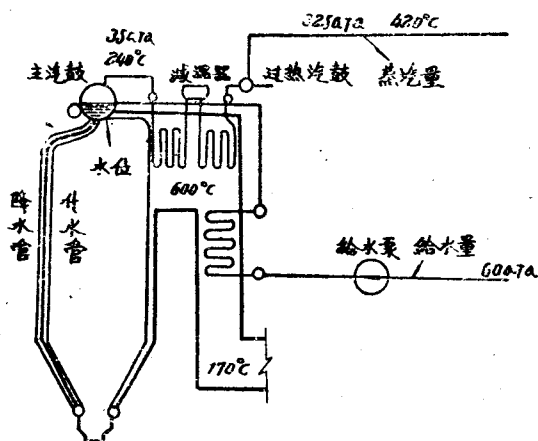


圖 1-1 給水的調節

在自動調節過程中，特殊機件代替了人力獨立的控制對象的工作，從而減輕了運行人員的體力勞動。

不需人力操作而能保持調節對象正常運行的裝置稱為自動調節器。

調節對象和調節器的總稱叫做調節系統。自動調節的全部系統如圖 1-2 所示。

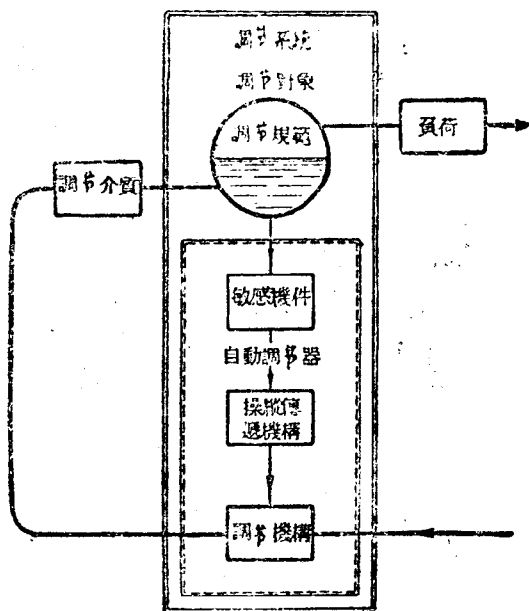


图 1-2 自动调节过程的基本系统

自动调节器由下列几个主要部分组成：

- 1) 敏感机件：能接受调节规范的变化(冲力)，并能反映出规范的变化而动作的装置。
- 2) 调节机构：用来控制进入调节对象的介质进入量的机构。
- 3) 传递机构：把敏感机件发出的冲力传给调节机构的装置(冲力经放大或不经放大)。

二、自动调节器的种类

自动调节器的种类和型式很多，我们仅就几个主要方面的分类来进行讨论。

依照測量元件和調節機構間的聯系方法，調節器可分為直接作用和間接作用的兩種。

直接作用的調節器，是利用測量元件直接發生的力量來變更調節機構的位置，通常是用機械的直接傳動。

間接作用的調節器，是利用外來的輔助能量來變更調節機構的位置。依照輔助能量的種類，間接作用的調節器又可分為液力的、氣力的和電力的幾種。

液力調節器的主要優點是它們運行的可靠性很高。因為調節器的構造簡單明晰，而且還因為這種調節器在工作時各部分的速度相當低，所用的工作液體是油，滑動面的潤滑便獲得了良好的條件。它的缺點是放大器和執行機構之間的距離受到限制；在實際運用中，漏油也是一個缺點。

氣力調節器的優點是反應迅速。它的構造比較複雜，運用距離也受到一定的限制，但是目前還正在研究推廣使用。

電力調節器，運用的可靠性和氣力調節器差不多，它的優點就是在距離上不受限制。電力調節器在目前又分為電氣機械式和電子式兩種。電子式在現代高溫高壓火力發電廠中，已經得到廣泛的運用，它的反應迅速、可靠是它的最大優點。當然，在電力式調節器中，由於接點過多，增加了電路中的電阻，引起調節過程的遲延，影響了準確度。但是目前正在改進成為無接點的電力調節系統，可以預料這種改進後的電力調節系統，發展前途是極其遠大的。

調節器按被調量的保持值還可分為無差調節和有差調節兩類，按反饋性質可分剛性反饋和彈性反饋兩種。

按照接受沖力的數目，調節器又可分為單沖力、雙沖力、三沖力等等。

通常自動調節器的名稱，是取決於調節量（如壓力調節

器、溫度調節器、水位調節器等)或調節過程(如鍋爐給水調節器、除氧器壓力調節器等)。

三、調節過程的形成

所謂調節過程，就是當調節系統受到干擾時，即調節介質進入量與負荷不相應，這種情況便引起自動調節器動作，通過自動調節使調節系統恢復平衡狀態。這個過程就是調節過程。

在許多情況下，最良好的調節過程是不振蕩型的過程，在這個過程里，當調節系統受到擾動後，經過調節器的調節時被調量並不波動不停，而是穩定地逐漸轉變到新的平衡狀態。

在不振蕩型的過程里，負荷與調節介質進入數量的差別，在擾動後經過一個時間逐漸減小，而在過渡過程終了的時候，調節介質進入數量與負荷重新達到互相符合的數值。此時調節規範達到符合於新負荷的規定數值。

圖 1-3 中的 I 闡明不振蕩型的調節過程。曲綫 a 表示調節對象的負荷，由於在時間 t_1 時，系統發生瞬時擾動，負荷的數值減少到 D_1 。

曲綫 b 表示系統從一個平衡狀態到另一個平衡狀態時，在過渡過程進行中，調節介質進入數量的變化。在過程終了時，調節介質供給的數量減少到 B_1 ，達到和負荷相符合的數值。

曲綫 c 表示調節規範 P 的變化。

調節過程可能隨着調節規範和調節介質進入數量的變化而波動，這種過程稱為波動型過程。如波動逐漸地減小，則此種波動過程稱為衰減型過程。衰減型過程中的調節規範和調節介質進入數量的變化實例用圖 1-3 中的 II 所示。

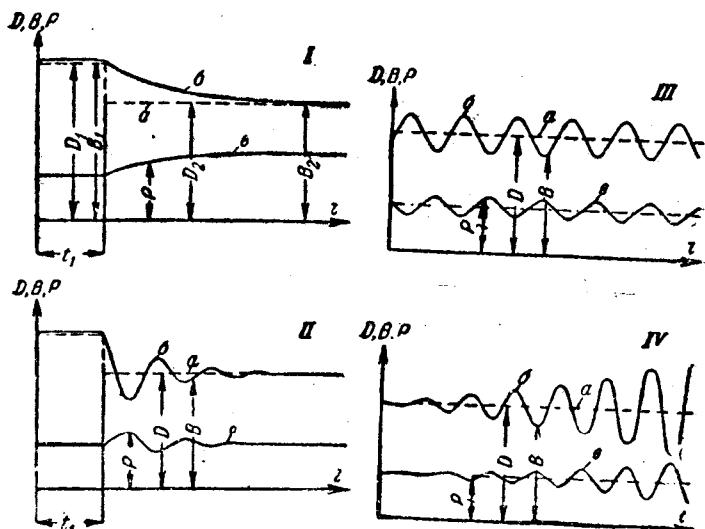


图 1-3 调节过程的形式

I—不振荡过程；II—衰减过程；III—不衰减过程；IV—渐扩过程。

在某些特殊的调节系统中，过程可能以不衰减(等幅)的波动进行。不衰减型的调节过程实例如图 1-3 的 III 所示。

在某些情况下，调节系统波动的振幅逐渐地增加，而调节过程达到一种状态，在这种状态时，调节介质进入的数量在两个极限值之间作周期性的变化。这种调节过程称为渐扩过程。这一类过程的实例可以由图 1-3 中的 IV 来说明。

因此，在不振荡型及衰减型过程中，调节系统在扰动后能到达平衡状态，我们称这些过程为稳定过程。

不衰减性过程及渐扩型过程是属于不稳定过程。在这些过程进行的时候，当调节系统受到扰动后，不能恢复平衡状态。

第二节 调节过程的品质

一、调节过程品质的衡量标准

上述调节过程形式曲线的获得，是通过自动调节器在调节过程中求出来的，描繪的方法是在自动调节过程中，取記被调节规范值和时间对应值，以调节规范为纵坐标，时间为横坐标逐点繪出。

我們已經知道稳定过程要比不稳定过程来得优越，严格來說，调节过程品质是根据下面的几个准则来衡量的（图 1-4）：

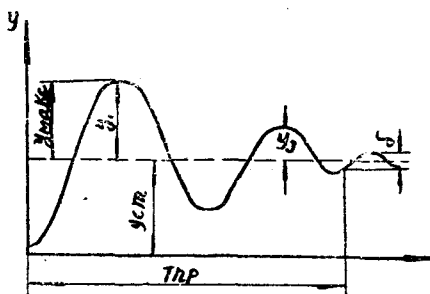


图 1-4 调节过程的品质

1) 过程的稳定程度 η ，它表征了过程的衰减程度。实际上常采用波动分量强度的衰减率 ψ 来表示：

$$\psi = \frac{y_1 - y_3}{y_1} \quad (1-1)$$

式中 y_1 ——第一个波的振幅；

y_3 ——第三个波的振幅。

它的物理意义可以理解为波动的高度的减弱性质。

2) 过程的波动程度 m (衰减系数), 它用来说明调节过程波动分量的衰减程度。从物理概念可以理解为变化波形愈少愈好, 如果没有波的变化就更好, 如图 1-3 中曲线 I 所示。

3) 调节的动态误差 $y_{\max}$, 是调节过程中调节规范变化的最大偏差值, 如图 1-4 中的 $y_{\max}$ 。

4) 调节的静态误差 y_{cm} , 是新的平衡状态下被调规范对原来平衡状态的规范值的偏差。如图 1-4 中的 y_{cm} 。

5) 调节过程的持续时间 T_{np} , 它是指从调节规范偏离规定值起, 到后来便调定在原来规定值止 (允许范围内) 所经过的时间。如图 1-4 中的 T_{np} 。

总起来说, 调节过程的稳定程度愈大, 波动愈少, 动态和静态误差越小, 持续时间愈短则调节品质就愈好。

二、影响调节品质的因素

影响调节品质的因素不外乎是调节对象的特性、调节器的特性和调节机构的特性等。

1. 影响调节对象的基本性质 影响调节对象的基本性质有: (1) 负荷; (2) 容量; (3) 自平衡; (4) 迟延 (滞后) 等。现分述如下:

1) 对象的负荷: 对象负荷的变动, 对调节系统有很大的扰动作用。扰动作用的大小决定了对象是否便于调节, 例如: 锅炉负荷变化大, 即扰动作用大, 汽鼓内的水位就不易调节。如果负荷变化小, 即扰动小, 则汽鼓内的水位容易调节。

2) 对象容量: 所有被调节的对象, 多少都有积蓄物质或能量的能力。对象中能量或物质的储藏量称为对象的容量。

对象的容量与规范的数值可用下列关系表示, 即:

$$U = K \cdot P \quad (1-2)$$

式中 U ——对象质或能蓄存量；

P ——代表规范数值；

K ——容积系数（即为对象的积蓄能力，其大小与对象的几何尺寸有关）。

从(1-2)式看出，积蓄的能量愈大，则规范值愈大。规范在运行时要保持定值，但受负荷等干扰时要变化，变化的快慢与容积系数 K 、及调节介质进入量与对象负荷的差额有关，即容积系数愈大及调节进入量与对象负荷的差额愈小，则规范变化的愈慢，也就愈易调节；反之，就不易调节。

3)自平衡：所谓自平衡，就是对象内受到干扰后，调节介质进入量可不用调节机构的动作，本身就能达到重新平衡状态的这一性质。

图1-5表示具有自平衡性质的调节对象。

如果閥門2突然关小，就是使输入与输出不相适应，而使水箱中水位上升，但是，随着水位上升，减少了A、B之间的压差而减少B的输入，由于水位上升，增加了B、B之间的压差而使输出增加。当水箱中水位达到某一数值后，输入重新等于输出。这个过程重新平衡，这时水位是一个稳定值。

自平衡可能是在输入侧，也可能在输出侧。

4)迟延(滞后)：在许多调节过程中，当调节机构动作后，到作用效果显示时，中间需经过一定时间，也就是说调节规范变化落后于调节机构动作的时间，这种现象称为迟延。

因此，当调节规范的数值和额定数值发生偏差以后，恢复是很困难的。这种迟延性，是所有热力过程特有的。

迟延可分为两种：转换迟延及传递迟延。

轉換遲延是由對象阻力所引起的。

例如：圖 1-6 所示的減溫器，當汽溫規范增高了，應該增加冷卻水；但是，在冷卻水門 1 動作後，由於從冷卻水門到對象有一段管路，所以需一定的時間才能使冷卻水送到對象內。這段時間即為傳遞遲延。傳遞遲延時間與調節機構到減溫器的距離及水流速度有關，傳遞遲延愈大，調節過程愈困難。

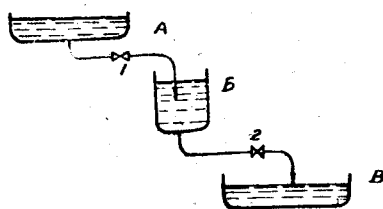


圖 1-5 具有自平衡的調節對象

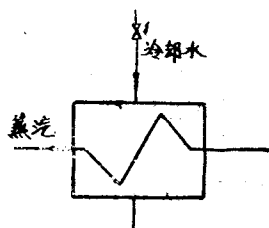


圖 1-6 減溫器的遲延

另外，還有轉換（傳導）遲延。例如：冷卻水已到減溫器內，由於管壁有一定厚度，又需一定時間才能把熱量傳給冷卻水；這樣，才能使蒸汽的溫度降低。這段遲延稱為轉換遲延。

轉換遲延時間與設備構造及運行情況有關。轉換遲延時間愈長，則保持規范為一定值愈困難。

總的來說，遲延時間愈大（轉換及傳遞），則過程愈不易調節，規范不易保持定值。所以遲延給自動調節造成了困難。

2. 調節器的特性 不同類型的調節器，具有不同的特性，而調節器的特性對於不同的調節對象影響的程度也是不同的。在這裡我們討論一般調節器的幾個特性以及它們對調節過程的影響。