

中等专业学校試用教科书

发电厂热力設備的 自动調节

徐偉勇 張玉鐸 編著

学校内部教材



中国工业出版社

中等专业学校試用教科书



发电厂热力设备的 自动调节

徐伟勇 张玉鐸 編著

中国工业出版社

本书是中等专业教材會議确定編写的教材。其內容基本上符合中等专业学校“热工仪表和自动控制”专业本課程的教学大綱。

本书共分四篇：第一篇为自动調节原理，介紹自动調节的基本理論，并着重闡述了頻率法；第二篇为自动調节器和調节机构，对应用最广的电子式自动調节器作了較詳尽的敘述；第三篇为发电厂热力设备的自动調节，主要敘述了鍋炉的燃燒、給水和汽温的調节；第四篇为自动調节的整定，討論了电子式調节器的整定方法。

本书可作为中等专业学校“热工仪表和自动控制”专业的試用教科書，也可供从事发电厂热工自动化的工程技術人員作参考。

发电厂热力设备的自动調节

徐偉勇 張玉鐸 編著

*

水利电力部办公厅图书編輯部編輯(北京阜外月坛南甯房)

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第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·各地新华书店經售

*

开本787×1092¹/₁₆·印張22⁵/₈·插頁2·字数538,000

1964年6月北京第一版·1964年6月北京第一次印刷

印数0001—2,160·定价(科四)2.60元

*

統一书号: K15165·2802(水电-371)

序

本书是根据中等专业学校发电厂热工仪表和自动控制专业发电厂热力设备的自动调节这门课程的教学大纲编写的。

本书除绪论外共分四篇。这一篇为自动调节原理。这一部分的讲授应以传递函数为纲，使学生掌握分析研究自动调节系统的一般方法。鉴于中等专业学校学生的数学水平有一定限制，故在阐述时力求从物理概念出发，避免繁深的数学推演。第二篇讲述自动调节器和调节机构。这一篇以电子式自动调节器为主，并作了相当详细的说明。对于其他类型的调节器，在本书中也都一一予以介绍，但教师可结合各地区电厂的具体情况有选择地加以讲述。第三篇为发电厂热力设备的自动调节，其中着重讨论了鼓型锅炉的自动调节系统。自动调节系统方案的拟订，在很大程度上是取决于作为调节对象的热力设备的特性，因此，关于这方面书中也作了比较充分的叙述。第四篇讲解自动调节系统的整定。提高自动化装置利用率的关键在于合理地选择调节系统和正确地进行调节器的整定，而整定工作同时又是调节理论与实际设备结合的一个重要方面，因此，阐述较为详细。

近几年来，自动化技术发展很快，故在编写中曾尽量吸取国内外先进技术成就，并删去了若干已经显得陈旧的内容。

关于发电厂热工控制设计方面的内容，因已另开专门课程，本书不再讲述。

本书由徐伟勇和张玉铎同志编写，邓天日和陈克信同志参加了部分章节的校对工作。由于编者水平所限，加上时间的仓促，书中难免有失误之处，希望使用本书的教师、同学及其他读者提出批评并予以指正。

吉林电力学院自动控制教研室

1962年11月

目 录

序

緒論	1
第一节 自动化的意义和发展	1
第二节 自动化装置的組成	2

第一篇 自动调节原理

第一章 调节对象及其特性	5
第一节 基本概念	5
第二节 调节对象的性质	6
第二章 等速自动调节系統	10
第一节 无反饋的调节系統	11
第二节 具有刚性反饋的调节系統	14
第三节 具有弹性反饋的调节系統	16
第四节 具有被調量导数冲量的调节系統	18
第三章 自动调节系統的組成环节及其特性	19
第一节 环节的基本特性	19
第二节 基本环节及其特性	24
第三节 基本环节的连接	32
第四章 调节系統的稳定性及品质評定	36
第一节 綫性系統稳定的条件	36
第二节 胡尔維茨准則	37
第三节 乃奎斯特准則	39
第四节 米哈依洛夫准則	40
第五节 调节过程品质的評定	41
第五章 热力调节对象的特点	45
第一节 热力调节对象的特点	45
第二节 复杂调节对象的簡化	48
第三节 热力调节对象特性对调节过程的影响	52
第六章 热力过程调节方法	54
第一节 最简单的自动调节器	54
第二节 利用反饋改善调节过程品质	57
第三节 利用被調量导数作为补充冲量改善调节过程品质	59

第二篇 自动调节器和调节机构

第七章 自动调节器的特性	62
第一节 自动调节器的基本元件	62
第二节 调节器的调节規律及其动态特性	67

第三节	利用线性环节组成各种调节规律调节器的方法	70
第四节	具有等速伺服机的调节器的脉动工况	76
第八章	液动调节器	78
第一节	液动调节器的基本原理	78
第二节	测量装置	80
第三节	喷管式放大器	82
第四节	液动伺服机	83
第五节	反馈装置	84
第六节	调节器及其附件的组合系统	87
第九章	气动调节器	89
第一节	O4 型气动调节器	89
第二节	AУС 型气动单元组合调节器	91
第三节	捷克的气动调节器	110
第十章	ЦКТИ 型电气机械式自动调节器	114
第一节	调节器的组成	114
第二节	调节箱	114
第三节	测量装置	119
第四节	执行机构	122
第十一章	ВТИ 型电子式自动调节器	126
第一节	调节器的组成	126
第二节	一次仪表	127
第三节	ЭР-III 型电子调节器	135
第四节	ЭР-III-59 型电子调节器	148
第五节	ЭР-Т 型电子调节器	151
第六节	ЭР-С 型电子调节器	157
第七节	ЭКП-3/6 型及 ЭКР-III 型电子校正调节器	158
第八节	ЭР-МК 型磁性氧量电子调节器和 ЭКП-МК 型磁性氧量电子校正调节器	163
第九节	ЭР-НП 型电子调节器	168
第十节	ЭД 型电子微分仪	172
第十一节	ЭД-59 型电子微分仪	173
第十二节	ЭСП 型电子跟踪仪	179
第十三节	ЭОС-И-58 型电子限制器和信号器	180
第十四节	КДС 型动态联系装置	184
第十五节	КДУ 型操作箱	185
第十二章	捷克、德意志民主共和国的电气式自动调节器	186
第一节	捷克的电气式自动调节器	186
第二节	德意志民主共和国的电气式自动调节器	190
第十三章	各种型式调节器的比较及综合式调节器	191
第一节	各种型式调节器的比较	191
第二节	综合式调节器简介	192
第十四章	调节机构	200
第一节	调节机构的型式和任务	200

第二节	調節閥門	201
第三节	轉動式节流擋板	212
第四节	风机出力的調節	214
第五节	固体燃料量的調節	216

第三篇 发电厂热力设备的自动调节

第十五章	带有中間煤粉仓的汽鼓型鍋炉的燃烧过程自动调节	220
第一节	燃燒調節的任务	220
第二节	燃燒調節对象的动态特性	221
第三节	并列运行鍋炉原則性燃燒調節系統	226
第四节	单元机組的原則性自动調節系統	235
第五节	采用ШКТИ型电气机械式調節器的燃燒过程調節系統	239
第六节	采用ВТИ型电子調節器的燃燒过程調節系統	241
第七节	采用液动調節器的燃燒过程調節系統	249
第八节	采用气动調節器的燃燒过程調節系統	250
第十六章	汽鼓型鍋炉的給水自动調節	251
第一节	給水自动調節的任务	251
第二节	給水調節对象的特性	251
第三节	給水自动調節的原則性系統	255
第四节	“柯普斯”式給水調節器	258
第五节	“特魯布庚”式給水調節器	258
第六节	液动給水調節器	260
第七节	三冲量电子式給水調節器	261
第八节	捷克三冲量給水調節器	262
第九节	給水調節器的設置方案	263
第十七章	鍋炉过热蒸汽温度和連續排污的自动調節	264
第一节	鍋炉过热蒸汽温度的自动調節	264
第二节	鍋炉連續排污的自动調節	271
第十八章	直流鍋炉的自动調節	272
第一节	直流鍋炉自动調節的任务	272
第二节	直流鍋炉的特性	272
第三节	直流鍋炉給水与燃料的調節	276
第四节	直流鍋炉的送风調節	278
第五节	直流鍋炉的噴水調節	279
第十九章	制粉设备的自动調節	281
第一节	具有中間煤粉仓的鋼球磨煤机的自动調節	281
第二节	带豎井式磨煤机的鍋炉机組的燃燒过程自动調節	289
第二十章	汽機車間輔助设备的自动調節	292
第一节	除氧器的自动調節	292
第二节	減溫減压器的自动調節	294
第三节	汽輪机曲徑(迷宫)軸封蒸汽联箱压力的自动調節	297
第四节	汽輪机凝汽器水位的自动調節	300

第五节	高压加热器的自动调节	303
第二十一章	化学水处理设备的自动化	305
第一节	石灰乳液量的自动调节	305
第二节	生水预热器水温的自动调节	306
第三节	机械式过滤器的自动化	306
第四节	钠离子交换器的自动化	308
第五节	氢离子交换器的自动化	310

第四篇 自动调节系统的整定

第二十二章	整定的一般问题	312
第一节	对自动调节过渡过程的要求及整定的主要步骤	312
第二节	远方操作系统的整定	313
第三节	求取调节机构的特性曲线	313
第四节	求取调节对象的动态特性	314
第五节	调节器整定参数的确定	322
第二十三章	锅炉燃烧调节系统的整定	326
第一节	负压调节器的整定	326
第二节	热负荷和压力调节器的整定	330
第三节	送风调节器的整定	340
第二十四章	锅炉给水调节系统的整定	342
第一节	准备工作	342
第二节	调节器参数的整定	342
第三节	给水调节的甩负荷试验	344
第二十五章	锅炉过热蒸汽温度调节系统的整定	346
第一节	调节系统的分析	346
第二节	准备工作	348
第三节	调节器参数的整定	352

緒 論

第一节 自动化的意义和发展

在現代工业企业中，生产过程的机械化和自动化已經得到了蓬勃的发展。

在技术发展的早期、生产主要是依靠人工劳动，依靠工人的技能。随着工业生产的发展，随着生产过程机械化的出現，才有可能逐步地实现生产过程的自动化。

机械化是在生产过程中采用机器和机械，以代替繁重的体力劳动；而自动化是在生产过程中采用仪器和机械来控制生产过程，它是机器生产发展的最高形式。

在热工設備中，具有工业上意义的第一批自动化装置是热工保护装置。巴班 (Papin) 在1680年所发明的安全閥应当被认为是在蒸汽鍋炉上采用的第一个自动化装置。

世界上第一个工业用自动調節器是俄国杰出的机械师波尔祖諾夫 (И. И. Ползунов) 在1765年所发明的鍋炉給水調節器，它是用浮子来直接控制給水閥門的开度。以后，在1784年瓦特 (James Watt) 发明了蒸汽机的轉速調節器。經過若干年以后，瓦特也在自己的鍋炉中采用了浮子式調節器。

但是，在十九世紀只有蒸汽机的轉速調節器得到了很快的发展和广泛的应用，这是因为蒸汽机內过程的进行速度相当快，对維持轉速的要求很高，尤其是当紡織工业中采用了蒸汽机以后。那时的蒸汽鍋炉却很少采用給水調節器，更談不上采用燃燒自动調節器了，这是因为火管鍋炉給水过程一般是不連續的，水位允許有相当大的波动；它的燃燒过程也是不連續的。

从二十世紀开始，由于水管鍋炉得到越来越多的应用和鍋炉容量的不断增大，因而，采用給水調節器的鍋炉也就逐漸增多。以在額定蒸发量下，当給水完全停止时鍋炉汽鼓中水位降低 100 毫米所需的时间来计算，低压兰开夏式鍋炉約为40秒，中压拔柏葛式鍋炉約为6秒，而高压单汽鼓鍋炉只有0.2~0.5秒。由此可见，給水調節器必須成为現代鍋炉的必备元件。根据我国“电力工业技术管理法規”的規定：鍋炉应装設自动給水調節器和最高最低水位警报器。

从二十世紀二十年代以后，由于鍋炉出力的增加和采用了机械化的层燃炉和煤粉炉，燃燒过程的自动調節也逐漸得到了越来越多的应用。我国目前一般是75吨/时以上的鍋炉采用燃燒自动調節装置。

发电厂热力设备实现自动化以后，有着下列优点：

1. 提高设备工作的經濟性，节省煤耗和厂用电。例如，当鍋炉实行燃燒自动調節以后，可以使效率提高0.5~3%，并由于汽压汽温保持得比較稳定，使汽輪机的效率也得到了相应的提高。

2. 减少事故，提高设备工作的安全性。这是因为机組采用了热工保护设备，当万一发生事故时，可以自动处理，不致使事故扩大。

3. 改善劳动条件。例如，在鍋炉給水沒有实现自动化以前，需要由司水員在炎热的鍋

炉頂部根据玻璃水位表的指示，頻繁地手动操作給水調节閥門；而当給水实现自动調节以后，便用不着工人的直接操作，只需在旁監視水位就可以了。

4.减少运行人員。由于电厂中采用了大量的自动化設備的結果，运行人員可以减少，从而提高劳动生产率。

这里必須指出，在两种不同的社会制度下，自动化有着两种不同的影响和后果。

在資本主义制度下，采用自动化只是給資本家带来巨額利潤，同时却严重地威胁劳动人民，迫使更多的工人失业。自动化加深了資本主义社会內在的对抗性矛盾。

但在社会主义制度下，广泛地实现生产自动化，就可以从根本上改善劳动条件，急剧地提高劳动生产率，并为消灭脑力劳动和体力劳动之間的差別創造条件。

在旧中国的发电厂中，絕大多数的設備都不是自动化的，甚至有不少电厂連机械化都談不上，大都是人工操作，体力劳动强度很大(如鍋炉除灰和上煤部分)。

中华人民共和国成立以后，开始了一个新的历史时期。由于党的英明领导，全国人民的忘我劳动，我国已經兴建和扩建了不少座高度机械化和自动化的发电厂。

第二节 自动化裝置的組成

实现生产过程自动化是需要采用各种自动化裝置的，其中主要有：

- 1.自动調节；
- 2.热工檢查；
- 3.远方操纵；
- 4.自动联鎖；
- 5.热工保护；
- 6.自动投入备用設備；
- 7.技术訊号。

一、自动調节

任何一个热力过程的調节，其目的都在于維持一个或几个能够决定設備正常工作状况的物理量为規定值，或使它按照一定的規律变化。以鍋炉給水过程的自动調节为例，为了保証鍋炉正常的运行，必須使汽鼓中的水位保持在中間位置。如果水位发生变动，这就表示鍋炉的給水量与蒸汽負荷不相适应。因此，必須相应地調节給水量，保持水位为規定值。

发电厂热力設備的自动調节系統包括下列几个主要部分：^①

- 1.蒸汽鍋炉燃烧过程的自动調节；
- 2.蒸汽鍋炉給水过程的自动調节；
- 3.蒸汽鍋炉过热蒸汽温度的自动調节；
- 4.其他輔助热力設備的自动調节，如制粉設備、除氧器、减压减温設備等。

近年来，对热力网供热設備、化学水处理設備、凝汽器水位、汽机曲徑軸封的汽源汽压、鍋炉連續排污等也开始在某些电厂中实行自动調节。

^① 汽輪机的調速系統也是热力設備自动調节的一个組成部分，但这将在“汽輪机”課程中讲述。

自动调节是热力过程自动化中的一个最重要的组成部分。

二、热工检查

热力设备在运行中必须用热工测量仪表不断地检查和监视其工况。热工检查的目的在于：

1. 保证热力设备工作的安全性；
2. 保证热力设备工作的经济性；
3. 记录和积累热力设备的各种运行参数，作为分析运行工况和进行统计的原始数据。

发电厂热力设备在运行中需要连续地进行检查的参数有：温度、压力、水位、流量、气体成分、汽水品质、转速……等。测量这些参数的热工仪表可以是就地安装，或者是集中在操作盘上。近几年，随着机组容量的日益增大，监视点的不断扩充，这就要求最大限度地减少热工仪表的外形尺寸和能够快速、准确地远距离传递指示，以便进行集中监视。

三、远方操纵

远方操纵就是手动远距离操作。近代的自动调节器能从“自动”位置切换到“手动”位置，由运行人员手动地远方操作调节器的伺服机，控制调节机构的开度。远方操纵也可以作为一个独立的装置，与自动调节器不设置在一起。远方操纵可以是机械的，用杠杆传动；也可利用辅助能源，如电动式、油压式、气动式等。我国常用的是电动式。

四、自动连锁

连锁装置是用来当设备不正确动作或是误操作时，避免事故的发生。例如：当锅炉所有的吸风机停止工作时，全部的送风机、磨煤机、排粉机、给煤机、给粉机等都应该自动停止工作；当排粉机停止工作时，则磨煤机和给煤机应该停止工作，但它不影响送风机和吸风机的工作；当运煤皮带因意外而停止工作时，则在这条皮带前面所有的运煤设备都应该自动停止工作。

五、热工保护

热工保护装置的功用是保护设备，避免事故扩大。例如：汽轮机设有真空继电器，当真空降到600毫米水银柱时，发出灯光信号及音响信号；而当真空降到350毫米水银柱时，关闭主汽门，使汽轮机解列；锅炉设有电动脉冲安全门，当汽压超出允许值时，自动开启，使蒸汽排出。随着大容量单元机组的出现，热工保护起着越来越重要的作用。

六、自动投入备用设备

发电厂的某些机器需要有备用设备，它可以在必要时自动投入运行。例如：备用给水泵，当给水母管压力低于某个极限值时，便能自动启动，不致使锅炉给水中断；汽轮机的油系统中也设有电动辅助油泵，当油压过低时，便自动投入，维持所需要的调速油压和润滑油压。

七、技术訊号

技术訊号主要有下列几种:

1. 标志訊号——标志設備是工作还是停止, 例如紅綠灯。
2. 預报訊号——当設備已处于异常工况时(例如汽压高、水位低、真空低等)发出訊号。这种訊号通常是利用灯光訊号和音响訊号。
3. 事故訊号——当設備已經发生事故时发出訊号, 通常是利用警笛(喇叭)。
4. 指揮訊号——用以在設備操作人員之間进行指揮和联络, 例如在主配电盘和汽机操作台之間就設有“并列”、“解列”、“停机”、“轉速正常”……等指揮訊号。

随着大容量单元机組的出現, 热力設備的控制方式也由就地控制轉向集中控制, 由局部的生产过程的自动化逐步地朝着全盘綜合自动化的方向发展。

第一篇 自动调节原理

第一章 调节对象及其特性

第一节 基本概念

任何一个生产过程都可以用一个或几个量来表征其工作状态，并且这些量往往需要保持为规定值。它们的变化表示生产过程中所发生的变化。这些量称为被调量。例如：在水位调节中，水位就是被调量。

被调量只能表示在一定区域内进行着的生产过程。被调量所表示的生产过程的那一区域称为调节区域。同一生产过程各个调节区域的总和称为调节对象。如锅炉就是一个调节对象，而汽鼓部分(从给水阀门到蒸汽阀门)就是一个调节区域。有时调节对象只包括一个调节区域，此时这两个概念就成为等同的了。

输入调节区域(或调节对象)的物质或能量，称为流入量；而从调节区域(或调节对象)输出的物质或能量，称为流出量；流过或位于调节区域(或调节对象)之中的物质或能量称为被调介质。作用于调节对象或调节区域(某些情况下则是作用于调节器)而与被调量无关的外来影响的变化称为扰动。

在没有扰动的情况下，流入量等于流出量，被测量保持不变，这时称为稳定工况。当有外来扰动时，流入量和流出量之间平衡破坏，这时就需要改变流入量，以便重新达到平衡。用来改变流入量的机构称为调节机构。

在工业上采用的大多数自动调节系统中，在稳定的情况下，都要求被调量维持一定的数值，即等于所谓被调量的规定值，这种调节系统称为恒值的调节系统。如果在各种稳定情况下被调量的数值不变，这种系统就称为无差调节系统。如果在各种不同的稳定情况下被调量的数值是变化的，那么这种系统就称为有差调节系统。在实际的自动调节系统中，稳定时被调量的数值往往不可能准确的等于其规定值，两者之间有一定的差值，这个差值反映了调节系统的准确性。

在某些情况下还采用一种所谓循序调节系统(图形调节)，其被调量的规定值按一定规律随时间变化。热力设备中循序调节应用很少，如在汽轮机的程序启动中转速的调节就属于循序调节，而在各种加热炉，干燥炉等加热设备的温变调节中却应用极广。

有时还会遇到所谓跟踪[随动]调节系统，它的被调量的规定值随着时间变化的规律不是预先给定的，而是由调节对象以外的过程所决定。如电厂中两台送风机的调节机构要求有相同的位置，其中一台的挡板位置由负荷决定，而另一台的挡板位置随着作相应的变化，以保证两台风机挡板的“同步”，这种“同步”系统就属于跟踪调节系统。另外，有时会遇到所谓比例调节系统，它要求两个被调量之间保持一定的比例，这是跟踪系统的特例。

近年来又提出自寻最佳点调节系统，这种系统的特点是保证被调量为最大或最小值。如以调节锅炉效率为例，它通过给煤量及空气量的调节，以保证最高的锅炉效率。只有当

鍋炉效率达到最高时，調節系統才会稳定。

調節系統除了按調節任务分类外，还可以按調節作用的性质分为連續作用的、脉冲作用的和继电器型作用的。連續作用的調節系統中，各元件輸出端的訊号作用是時間的連續函数；脉冲作用的調節系統，其調節作用是借助于間歇装置，使它周期性地接通和切断；而继电器型作用的調節系統，其調節作用則是按某一函数接通和切断，即在某一被調量的規定值作用下动作或切断。

第二节 調節对象的性质

热工調節对象的特点是結構复杂，即使在稳定工况下，在对象的各个不同空間点上，被調量的数值也是不同的。这种对象称为具有分布参量的对象(多容对象)。討論这种对象的特性是很复杂的。

为了簡便起見，我們首先討論比較簡單的調節对象。有一些实际热力生产过程，其动态特性与这些简单的对象的动态特性相当接近，而另外一些实际生产过程，則与此相差很远。

我們假定这种简单的調節对象只包括一个調節区域，其生产过程可以用一个被調量来表示。此外，还假定在調節对象的各个不同空間点上被調量是相等的。这种对象称为单容調節对象。

为了使討論具有普遍性，并且使数学討論具有通用性和最簡單的形式，一般均将所討論的各个量改用无因次的相对量表示。例如：在給水調節中，流入量或流出量是采用与最大負荷或額定負荷的比值，分別以符号 ν_n (流入率)和 ν_c (流出率)表示；被調量采用与其額定值或最大值的比值，以符号 σ 表示：

$$\nu_n = \frac{Q_n}{Q_m}, \quad \nu_c = \frac{Q_c}{Q_m}, \quad \sigma = \frac{H}{H_n} \quad (1-1)$$

式中 Q_n ——鍋炉的額定蒸发量，吨/时；

Q_n ——流入量，吨/时；

Q_c ——流出量，吨/时；

H_n ——汽鼓的額定水位，毫米；

H ——汽鼓水位，毫米。

稳定工况的条件就是 $\nu_n = \nu_c$ ， σ 保持不变，但 σ 的数值却不一定是額定值，可以是任意值。

当調節对象的負荷发生变动时，輸入量不再等于輸出量，表明整个系統受到了扰动，扰动可用流入率与流出率之差来表示：

$$\lambda = \nu_n - \nu_c \quad (1-2)$$

当系統受到扰动后，如果不改变調節机构的位置，被調量将自发的发生变化。被調量在阶跃扰动下随時間自发的变化規律可用調節对象的飞升曲綫表示。

图1—1表示一种水箱水位的調節系統。图中水箱为調節对象，进水量为流入量，水泵排水量为流出量，水位为被調量，当流入量等于流出量时，被調量不变。如果在某一瞬間突然开大进水閥門，而水泵出力仍然不变，这时流入量大于流出量，于是被調量(水位) H 将直綫上升(因为水箱的截面积不变)。

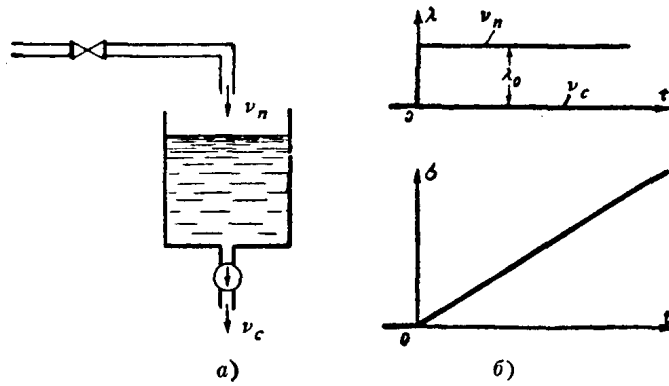


图 1-1 水箱水位的调节系统及其飞升曲线
a—水箱水位调节系统； b—飞升曲线。

为了衡量调节对象的容量，采用蓄积能力的概念。严格地说，蓄积能力是在被调量改变时，对象改变被调介质蓄积量的能力。对水箱而言，蓄积能力 W 可由下式决定：

$$W = F \times H_{\text{maxc}}; \quad (1-3)$$

式中 F ——水箱的断面积；

H_{maxc} ——从最低液面高度算起的最高液面高度。

蓄积能力是对象的静态特性。为了表示调节对象的动态特性，通常用飞升时间 T_a 或其倒数——飞升速度 ε 来表示：

$$\varepsilon = \frac{1}{T_a}. \quad (1-4)$$

飞升时间 T_a 就是在 100% 的扰动量下（即当流入量与流出量达到最大差值时），被调量以其最大变化速度改变 100%（即从起算点改变到最大值，相当于改变全部蓄积能力）所需的时间。用公式表示为

$$T_a = \frac{W}{Q_{\text{maxc}}}; \quad (1-5)$$

式中 Q_{maxc} ——流入量与流出量之间的最大差值；

W ——调节对象蓄积能力。

由上述可知，飞升速度 ε 就是在 100% 的扰动下飞升过程中被调量的最大变化速度。用公式表示为：

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{maxc}}}{W}. \quad (1-6)$$

飞升时间的量纲是时间，一般以秒为单位，而飞升速度的量纲是 1/秒。

现以上述水箱为例，讨论飞升速度与扰动的关系。由上述讨论可知：

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{maxc}}}{F H_{\text{maxc}}}. \quad (1-7)$$

如果在 dt 时间内流入量与流出量之差为 ΔQ ，水箱中水位高度变化为 dH ，则

$$\Delta Q dt = F dH,$$

或

$$\frac{dH}{dt} = \frac{\Delta Q}{F}. \quad (1-8)$$

从上式中求出 F 的值，代入 (1-7) 式，可得：

$$\frac{1}{H_{\max}} \cdot \frac{dH}{dt} = \varepsilon \frac{\Delta Q}{Q_{\max}};$$

即

$$\frac{d\sigma}{dt} = \varepsilon \Delta\nu,$$

或

$$\sigma' = \varepsilon \Delta\nu. \quad (1-9)$$

因为 $\Delta\nu$ 就是扰动 λ ，所以也可写成：

$$\sigma' = \varepsilon \lambda. \quad (1-9a)$$

显然，水位变化速度与扰动大小成正比；飞升时间(或飞升速度)的数值不仅与调节对象的蓄积能力(又称为对象的容量)有关，而且还和对象的额定工作状态有关(即 Q_{\max} 及 H_{\max})。水箱的蓄积能力是指它的蓄水量。一个底面积大的水箱在受到相同的扰动(水量变化)后，其水位变化速度也一定要比底面积小的水箱来得慢，换句话说，它的飞升速度比较小。由此可见，蓄积能力愈大，则其飞升速度愈小。

同理可知，多汽鼓锅炉由于它的蒸发系统的蓄水容积和蓄热量比单汽鼓锅炉大，所以当负荷变化时汽压的变化较小，飞升时间较大。

某些热力设备还具有所谓“自衡”性能，图 1—2 表示一种有着自衡性能的水箱水位调节系统。中间的那个水箱是调节对象，它由上面的一个固定水位的水箱供水，向下面的一个固定水位的水箱排水。流入水量(或流出水量)不仅与阀门的开度有关，而且还与水位差有关。如果中间的水箱水位高，会使流入量减少，流出量增大。如果中间水箱水位低，会使流入量增大，流出量减少。总之，被调量(中间水箱的水位)的变化能自发地引起流入量与流出量的相应变化，这是有自衡性能调节对象的一个重要特征。

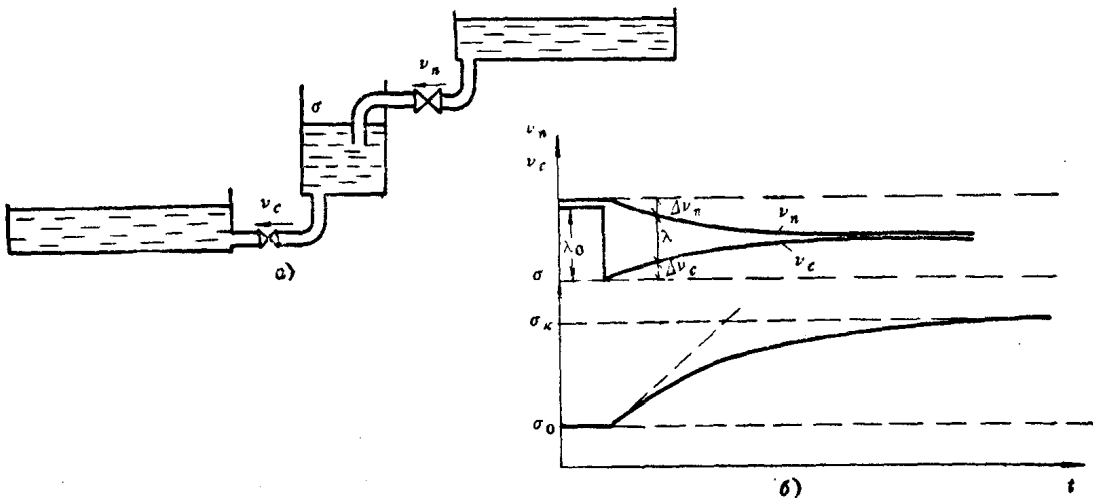


图 1—2 具有自衡性能的水箱水位调节系统及其飞升曲线

a—调节系统；b—飞升曲线。

如果在某一瞬间突然关小出口阀门，使流出量小于流入量，水箱中的水位将上升。但是，随着水箱中水位的上升，会反过来影响流入量和流出量，使流入量减少，流出量增加。当水箱中的水位上升到某一数值后，流入量又重新等于流出量，过程再度趋于平衡。这时水位已不是原先的数值，而是一个新的稳定值。

所谓“自衡”就是当调节对象受到扰动后，没有运行人员的操作，也没有自动调节器的

动作，对象本身能够自动地恢复稳定工况的能力。稳定后的被调量趋于一个新的数值。

自衡过程的特点在于被调量的变化能够引起流入量与流出量间差额的减少。当水位由 σ_0 升到 σ 时，流入量将减少 Δv_n ，流出量将增加 Δv_c ， Δv_n 和 Δv_c 都是水位变化 $\sigma - \sigma_0$ 的函数。

这时
$$\Delta v_n = \rho_n (\sigma - \sigma_0); \tag{1-10}$$

$$\Delta v_c = \rho_c (\sigma - \sigma_0). \tag{1-11}$$

式中 ρ_n ——流入侧的自衡率；

ρ_c ——流出侧的自衡率。

在任一瞬间的扰动

$$\begin{aligned} \lambda &= \lambda_0 - \Delta v_n - \Delta v_c = \lambda_0 - (\rho_n + \rho_c) (\sigma - \sigma_0) \\ &= \lambda_0 - \rho (\sigma - \sigma_0). \end{aligned} \tag{1-12}$$

式中 λ_0 ——初扰动；

ρ ——调节对象的自衡率，它等于 ρ_n 和 ρ_c 之和，并为无量纲。

当系统重新稳定后，扰动 λ 消失，水位上升至 σ_k ，这时

$$\lambda_0 = \rho (\sigma_k - \sigma_0),$$

$$\therefore \rho = \frac{\lambda_0}{\sigma_k - \sigma_0}. \tag{1-13}$$

式中 σ_0 ——初被调量；

σ_k ——终被调量。

图1—3表示在不同自衡率下的飞升曲线。从图中可以看出，自衡率愈大，自衡性能愈强，系统受到扰动后，愈容易恢复稳定，被调量的偏差值愈小。如果 $\rho = 0$ ，则表明调节对象没有自衡性能。

锅炉炉膛负压的调节系统可以看作是具有自衡性能的，因为炉膛负压的变动会影响到送入的送风量和吸出的烟气量。在热交换器中的热平衡过程也可以看作是自衡过程，如果加热介质的温度突然增加，将引起被加热介质温度的升高，被加热介质温度的升高达到某一数值后，便不会再增加，因为这时热交换器中已建立起新的热平衡状况。

不一定所有的调节对象都具有自衡性能，有的只是流入侧有自衡，有的只是流出侧有自衡，也有的根本没有自衡性能。

有时我们还会遇到自衡率是负值 ($\rho < 0$) 的调节对象。它的方程式和具有正自衡率调节对象的方程式没有区别，仅仅自衡率为负值而已。

球磨机就是这种调节对象的例子。在低于正常负荷时，它具有正的 ($\rho > 0$) 自衡率，当给煤量增加时，煤粉量也随着增加，所以是稳定的。在正常负荷时，自衡率为零。当负荷

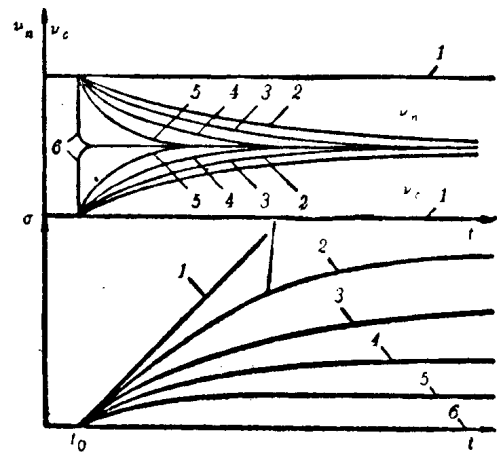


图 1—3 各种自衡率下的飞升曲线

1—自衡率等于零；2—自衡率很小；3—自衡率较小；
4—自衡率较大；5—自衡率很大；6—自衡率趋于无穷大。