

化工自动化丛书

锅炉设备 的自动调节

孙优贤 孙 红 编

化学工业出版社

化工自动化丛书

锅炉设备的自动调节

孙优贤 孙 红 编

化 工 自 动 化 社

《锅炉设备的自动调节》一书是《化工自动化丛书》的一个分册，共分五章。第一章介绍了汽包锅炉自动调节的任务和各个系统的动态特性；第二、三、四章着重地介绍了给水调节系统、汽温调节系统和汽压调节系统的分析、设计和整定；第五章简单地讨论了废热锅炉和无烟锅炉自动调节系统的设计和运行。

本书的第一、四、五章由浙江大学孙优贤同志执笔，第二、三章由孙红同志执笔，最后由天津大学韩建勋同志审阅。

本书较为通俗，可供从事化工自动化的工人和技术人员阅读使用，也可供有关大专院校的师生参考。

化工自动化丛书
锅炉设备的自动调节

孙优贤 孙 红 编

*

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本787×1092¹/₃₂ 印张6³/₄ 插页1 字数146千字 印数1-10,690

1982年5月北京第1版 1982年5月北京第1次印刷

统一书号15063·3374 定价 72元

编写说明

近年来，随着化学工业和自动化科学技术的迅速发展，化工自动化技术有了新的进展。以现代控制理论为基础的各种新型控制方法和调节系统相继成功地应用于化工生产；新型的自动控制技术工具以及电子计算机也日益广泛地用于化工自动化领域。

为了总结交流我国化工生产应用自动化技术的经验，介绍新的调节理论和控制方法，提高从事化工自动化工作的工人和技术人员的理论和技术水平，促进化工自动化工作的发展，一九七五年在《炼油、化工自动控制设计业务建设会议》上，决定由化工部炼油、化工自动控制设计技术中心站负责，组织有关院校、科研设计单位和工厂，编写一套《化工自动化丛书》

《化工自动化丛书》是在普及基础上侧重提高的一套读物，主要包括经典和现代控制理论、各类调节系统和化工单元操作控制等方面的题材。“丛书”内容力求密切反映化工应用的特点，做到理论联系实际，既阐明基本概念，作出理论分析，又叙述工程应用方法和应用实例，说明具体实施方案和现场运行经验。

化工自动化丛书

1. 调节器的工程整定和校验〔已出版〕
2. 均匀调节〔已出版〕
3. 前馈调节〔已出版〕
4. 传热设备的自动调节〔已出版〕
5. 现代控制理论基础（上册）〔已出版〕
6. 流体输送设备的自动调节〔已出版〕
7. 现代控制理论基础（中册）〔已出版〕
8. 现代控制理论基础（下册）〔即将出版〕
9. 锅炉设备的自动调节〔已出版〕
10. 串级与比值调节〔即将出版〕
11. 选择性调节〔即将出版〕
12. 化工对象动态特性测试方法〔即将出版〕

《化工自动化丛书》编委会成员

主任委员	周春晖	(浙江大学)
副主任委员	蒋慰孙	(华东化工学院)
	万学达	(化工部化工设计公司)
	王骥程	(浙江大学)
	沈承林	(北京化工学院)
委 员	韩建勋	(天津大学)
	庄兴稼	(抚顺石油学院)
	李乾光	(化工部第一设计院)
	林秋鸿	(北京燕山石油化学总公司设计院)
	王 翼	(南开大学)
	徐炳华	(化工部第三设计院)
	钱积新	(化工部自动控制设计技术中心站)
	俞金寿	(华东化工学院)
	孙优贤	(浙江大学)
	罗秀来	(上海炼油厂)
	蔡鸿雄	(兰州化学工业公司石油化工厂)

目 录

第一章 概述

第一节 锅炉设备工艺流程的简述	1
第二节 汽包锅炉自动调节的任务	3
第三节 锅炉设备动态特性的分析	6
一、动态特性分析的重要意义	6
二、锅炉调节对象的物理特性	8
三、动态特性分析的假定条件	9
四、锅炉燃烧系统的动态特性	12
五、蒸汽发生系统的动态特性	21
六、蒸汽处理系统的动态特性	32
七、小结	35

第二章 锅炉汽包水位的自动调节

第一节 汽包水位调节对象的特性	40
一、汽包水位在给水量作用下的动态特性	40
二、汽包水位在蒸汽流量扰动下的动态特性	44
第二节 汽包水位调节系统的设计	47
一、单冲量水位调节系统	47
二、双冲量水位调节系统	49
三、三冲量水位调节系统	51
四、三冲量水位调节方案比较	56
五、三冲量调节系统小结	63
第三节 汽包水位调节系统的投运和整定	64
一、汽包水位调节系统的投运准备	64
二、汽包水位调节系统的投运	72

三、汽包水位调节系统的参数整定	73
四、汽包水位调节系统的品质检查	76

第三章 蒸汽过热系统的自动调节

第一节 过热蒸汽温度调节对象的特性	79
一、减温水扰动下汽温对象的动态特性	79
二、烟气侧热量扰动下汽温对象的动态特性	80
三、蒸汽流量扰动下汽温对象的动态特性	81
第二节 过热蒸汽温度调节系统的设计	82
一、调节参数的选择	82
二、调节系统的组成	85
第三节 过热蒸汽温度调节系统的分析	87
一、串级汽温调节系统的分析	87
二、汽温双冲量调节系统的分析	88
第四节 过热蒸汽温度调节系统的整定	92
一、串级调节系统的投运	92
二、串级调节系统的整定	93
三、双冲量调节系统的整定	97

第四章 锅炉燃烧系统的自动调节

第一节 锅炉燃烧系统自动调节的任务	105
一、锅炉燃烧系统自动调节的基本任务	105
二、锅炉燃烧系统自动调节的关键问题	107
三、锅炉燃烧系统自动调节的基本方案	109
第二节 锅炉燃烧系统动态特性的分析	111
一、单独运行锅炉燃烧系统的动态特性	112
二、并列运行锅炉燃烧系统的动态特性	122
第三节 燃油锅炉燃烧调节系统的设计	125
一、并列运行锅炉	126
二、单独运行锅炉	133
三、系统设计小结	143
第四节 燃煤锅炉燃烧调节系统的设计	145

一、按热量信号设计	145
二、按氧量信号设计	147
三、按功率信号设计	150
第五节 燃油锅炉燃烧调节系统的整定	155
一、汽压串级调节系统的整定	155
二、空燃比值调节系统的整定	161
三、氧量校正调节系统的整定	167
四、炉膛负压调节系统的整定	168
五、调节系统有关系数的设置	170
第六节 燃煤锅炉燃烧调节系统的整定	178
一、给煤调节系统的整定	179
二、一次风调节系统的整定	186
第五章 几种特殊锅炉的自动调节	
第一节 废热锅炉的自动调节	187
一、工艺流程概述	187
二、调节系统的设计	190
三、调节系统的整定	193
四、调节系统的分析	195
第二节 无规锅炉的自动调节	200
一、无规锅炉工艺流程简述	200
二、无规锅炉调节方案选择	201
三、无规锅炉调节系统分析	205
参考书目	208

第一章 概 述

第一节 锅炉设备工艺流程的简述

锅炉是化工、炼油、发电、造纸和制糖等工业部门必不可少的重要的动力设备。由于锅炉的燃料种类、燃烧设备、制粉系统、炉体型式、锅炉功能和运行要求的不同，锅炉有各种各样的流程。

按燃料种类分：在各类生产部门中，应用最多的有燃油锅炉、燃气锅炉和燃煤锅炉。在石油化工、油品炼制的生产过程中，往往产生各种不同的残油、残渣、驰放气、炼厂气，为了提高经济技术指标，降低生产成本，减少对环境的污染，用多种燃料燃烧，因而出现了油、气混合燃烧锅炉和油、气、煤混合燃烧锅炉。在化工、造纸和制糖的工艺生产中，还会产生各种毫无规律的聚合物，各种浓度的酸泥、浆液、残液、废水，为了充分利用这些“燃料”，化废为宝，做到综合利用，因此，又出现了无规锅炉和废液锅炉。在化工生产和石油炼制中，为了合理地利用热源，用化学反应中生成的热量，产生各个部门所需的蒸汽，因此又形成了废热锅炉。所有这些锅炉，燃烧条件各有千秋，但蒸汽发生系统和蒸汽处理系统是基本相同的，见图1-1所示，图中虚线箭头表示热量传递的方向。

由图可知，燃料B和空气V按一定的比例进入炉膛燃烧，生成的热量Q传递给蒸汽发生系统，产生饱和蒸汽D₀。然后经过过热器，通过两级过热，形成一定汽温的过热蒸汽

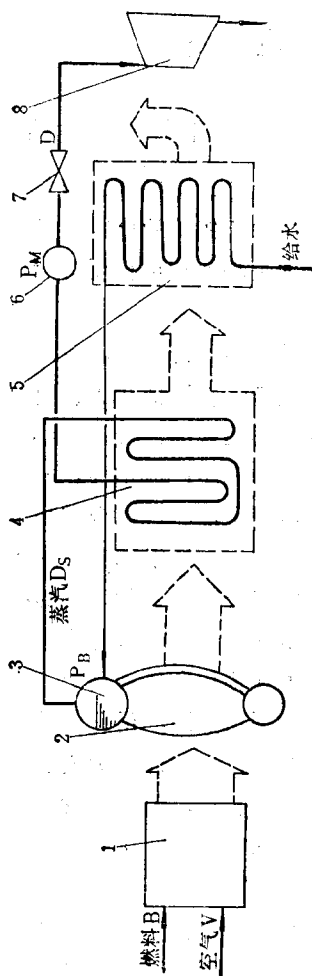


图 1-1 锅炉设备工艺流程图

1—燃烧室；2—炉膛；3—汽包；4—过热器；5—省煤器；6—蒸汽母管；7—负荷设备调节阀；8—负荷设备

D, 汇集到蒸汽母管。压力为 P_M 的过热蒸汽, 经过负荷设备调节阀供负荷设备使用。与此同时, 燃烧过程中产生的烟气, 其中含有大量显热, 除了将饱和蒸汽变成过热蒸汽外, 还预热锅炉给水和空气, 最后经烟囱排入大气。

按制粉系统分: 对于燃煤锅炉, 有的设有中间储粉仓, 粉煤从中间储粉仓由给粉机把煤送入炉膛燃烧, 这叫储仓制锅炉; 有的不设中间储仓, 原煤通过磨煤机, 将块煤变成粉, 然后由一次风将煤粉直接吹入炉膛燃烧, 这叫直吹制锅炉, 见图1-2。

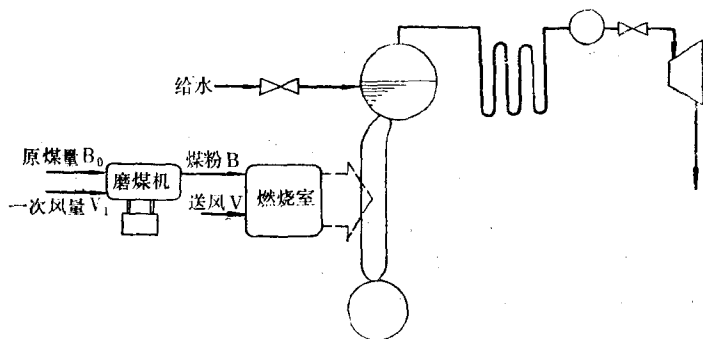


图 1-2 直吹制锅炉工艺生产流程图

当然, 按照锅炉功能和运行要求分, 还可以有并列运行锅炉, 单独运行锅炉, 调频锅炉和调压锅炉, 这些不再一一阐述。

第二节 汽包锅炉自动调节的任务

锅炉是全厂的重要动力设备, 为了保证提供合格的蒸汽, 必须使锅炉的蒸发量随时适应负荷设备的需要量。为此, 生产过程的各个参数, 特别是新汽的压力和温度, 必须严格

控制。

（一）控制汽包水位

锅炉汽包水位高度，是确保安全生产和提供优质蒸汽的重要参数，对现代工业生产来说尤其是这样。因为现代锅炉的特点之一就是蒸发量显著提高，汽包容积相对减小，水位变化速度很快，稍不注意就容易造成汽包满水，或者烧成干锅。在现代锅炉操作中，即使是缺水事故，也是非常危险的，这是因为水位过低，就会影响自然循环的正常进行，严重时会使个别上水管形成自由水面，产生流动停滞，致使金属管壁局部过热而爆管。无论满水或缺水都会造成事故，因此，必须严格控制水位在规定范围之内。

（二）控制蒸汽温度

过热蒸汽的温度是生产工艺确定的重要参数，蒸汽温度过高会烧坏过热器水管，对负荷设备的安全运行带来不利因素。因为现代的蒸汽锅炉，金属强度的安全系数设计得都比较小，超温严重会使汽机或其它负荷设备膨胀过大，使汽机的轴向推力增大而发生事故。汽温过低直接影响负荷设备的使用，对汽机来说，会影响它的效率，进汽温度每降低 5°C ，效率约降低1%。因此从安全生产和技术经济指标上看，必须保持蒸汽温度在额定值范围之内。

（三）控制蒸汽压力

蒸汽压力是衡量蒸汽供求关系是否平衡的重要指标，是新汽的重要工艺参数。蒸汽给定压力过高或过低，对于金属导管和负荷设备都是不利的：压力太高，会加速金属的蠕变，压力太低，就不可能提供各负荷设备符合质量的蒸汽。在运行过程中，蒸汽压力降低，表明蒸汽消耗量大于锅炉发汽量；反之，蒸汽压力升高，说明蒸汽消耗量小于锅炉发汽

量，因此严格控制蒸汽压力，是确保安全生产的需要，也是维持正常生产负荷的需要。

（四）维持经济燃烧

使空气和燃料维持适当比例，是燃烧过程的最佳操作条件，是提高锅炉效率和经济性的关键措施。对于燃油锅炉，现代的运行水平可以将燃烧室里自由氧控制在 $0.5\sim 1\%$ 之内，即过剩空气为 $2.4\sim 5\%$ 左右。将过剩空气降低到近于理想水平而又不出现CO和冒黑烟，这就需要快速而精确的燃烧过程的自动调节，最佳的空气、燃油配比。如果离开最适宜的空燃比，势必增加热量损失，降低经济技术指标，并造成对周围环境的污染。

（五）控制炉膛压力

锅炉在正常运行中，炉膛压力也必须保持在规定的范围之内。如果是负压操作，则负压偏正，局部地区容易喷火，不利于安全生产，不利于环境卫生；负压过大，漏风严重，总风量增加，烟气热损失增大，不利于经济燃烧。由于燃烧室的空间很大，加之介质密度差产生的自升引力，使沿着炉膛向上负压越来越大，所以保持某个高度上的负压是必要的，可行的。

（六）控制一次风量

粉煤直吹制锅炉，为了安全地、经济地将粉煤输入炉膛，保证良好的燃烧条件，一次风量也需要自动调节。对于高压锅炉，有时还需自动调节锅炉的连续排污量，以保证锅炉水中含盐量为额定值。

第三节 锅炉设备动态特性的分析

一、动态特性分析的重要意义

现代石油化工正以一日千里的速度向前发展，生产规模不断扩大，生产过程不断强化，生产设备不断革新，作为全厂动力设备的锅炉，也随着向大容量，高参数，高效率发展，在这种情况下，要实现上述提出的锅炉设备自动调节的各项任务，就必须研究锅炉设备的动态特性。

动态特性分析为设计调节系统提供依据。生产过程和设备的现代化，最大的特点之一是加快了生产过程的速度和强度，为此，对自动调节提出了越来越高的要求，单凭经验的、比较盲目的设计方法，已经无法满足工艺指标。生产的发展，设备的改进，控制要求的提高，要求设计人员深入研究生产过程的内在机理，掌握必要的动态分析和静态分析数据，透过现象，抓住本质，从中找出规律性的东西，得出指导性的结论，全面地完成各个调节系统的设计任务。

动态特性分析为调整调节系统指出方向。生产过程和设备的现代化，最大的特点之二是增进了各个生产设备之间的动态联系。因此，各设备的生产操作也都是相互影响，相互关联的，在这种情况下组成的自动调节系统也往往是综合协调的、相互牵连的。因此，只有通过动态特性的分析，吃透调节系统的设计意图，了解调节系统的构成原理，深入分析系统之间的相互关系，正确地整定调节器的各个参数，合理地设置辅助单元的有关系数，才能迅速地安全地投入自动，保证调节系统在最适宜的条件下运行，以得到满意的调节过程。必须指出，各种现场的工程整定方法和经验整定方法，

也需要以动态特性分析为指导，盲目地毫无规律地凑试，不仅浪费时间，也不可能得到满意的调节过程。

动态特性分析为改进调节系统指出方向。生产过程和设备的现代化，最大的特点之三是大力开展对旧有设备和装置的技术改造。对于调节系统来说，调节品质的好坏与调节对象，调节机构，测量元件和调节器的设计，选择、调整等一系列因素有关。为了找到问题的关键，然后对症下药，就必须进行动态特性的分析。例如，解放初期从苏联进口的许多中小型动力锅炉，由于原设计单纯从结构设计考虑问题，主要着眼于降低过热器管壁的平均温度，而把减温器设置在靠近过热器进口的饱和段，结果由于滞后很大，动态性能很差，不能发挥自动调节系统的效能，无法保持出口温度在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围之内，温度偏差很大，调节过程很长。这时，想从调节系统的参数整定上设法改进，但总是效果不大。实际上经过过热器的动态特性分析和试验研究，问题就变得十分明显：因为作为调节参数的减温水，是作用在过热器进口的不饱和段，要求保持的被调参数是过热器出口联箱中的蒸汽温度，中间隔着很长很长的过热器管束，从过热器前调节减温水开始，一直到出口联箱中蒸汽温度的变化，要经历很长的蒸汽流动过程和换热过程，调节通道滞后很大，反应不及时。经过动态特性分析找到了关键所在，明确了要改进调节质量，必须把减温器移到中间，并采用喷水减温。经过这样的改进，再加上调节系统的适当改变，才有效地解决了调节品质问题。所以最近各国制造的锅炉，均采用了上述的改进措施，可以保证过热器出口温度在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围之内。

由此可见，动态特性的分析，对于调节系统的分析、设计、运行甚至于安装都是十分重要的，因此必须充分利用数

学分析和试验研究等方法，进行定量或定性的动态特性分析，促使调节系统正确的设计，合理的调整，有效的分析。

二、锅炉调节对象的物理特性

锅炉设备是一个复杂的调节对象，有许多个调节参数和被调参数，还存在着错综复杂的扰动参数，见图1-3所示。

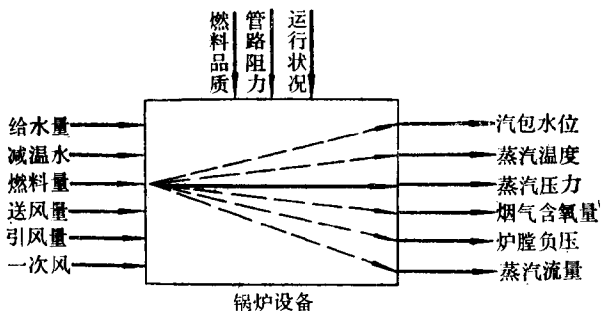


图 1-3 锅炉设备输入参数与输出参数之间的相互影响示意图
注：图中虚线只表示燃料量与各输出参数的关系

这些调节参数与被调参数之间，存在许多交叉的影响。例如燃料量的改变，不仅会影响蒸汽压力和蒸汽流量，同时还会影响汽包水位，蒸汽温度，烟气含氧量和炉膛负压等输出参数的变化，同时输出参数的变化又会影响另一些输出参数，譬如，蒸汽流量的变化，不仅会影响蒸汽压力，还会影响汽包水位，从而形成了若干个闭合的相互交叉的调节回路。

锅炉设备中许多物理特性是非线性的，它们的不少物理参数不是常数，例如介质的比热就不是常数，随着温度升高，在不同的温度下，每升高 1°C 所需的热量是大小不同的；同样，随着温度的降低，在不同的温度下，每降低 1°C 所放