

(苏联) П. П. 叶连萨罗夫著 朱泰 罗仲译

发电厂高压锅炉 装置的运行



中国工业出版社

本书叙述大型火力发电厂高压鼓型锅炉和直流锅炉运行的主要问题；研究锅炉机组在运行方式变化时的工作情况；详细叙述锅炉机组的启动和停运；介绍燃烧装置和燃料制备设备的运行经验；阐明锅炉设备的监督、遙控和自动控制的方法；讨论锅炉机组的水工况、蒸汽净化、受热面的温度工况和水动力特性以及锅炉运行经济等问题；并扼要说明运行试验方法和附属设备的运行要点。此外，本书还列举锅炉机组及其附属设备的一些运行破坏事例，介绍他们的防止措施和消除方法。

本书供火力发电厂工程技术人员阅读，也可供大专学校热能动力装置专业的学生参考。

本书的序至第十章由朱泰同志翻译，自第十一章至附录由罗仲同志翻译，最后并经罗仲同志统一校阅，全书译者注均系罗仲同志所加。

П. П. Елизаров
ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОТЕЛЬНЫХ
УСТАНОВОК ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ
НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ
МОСКВА 1961 ЛЕНИНГРАД

发电厂高压锅炉装置的运行

朱 泰 罗 仲 译

水利电力部办公厅图书编辑部编辑(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)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张23·插页2·字数535,000

1965年2月北京第一版·1965年2月北京第一次印刷

印数0001—3,590·定价(科六)3.50元

统一书号: 15165·3178(水电-435)

序

动力工业的蓬勃发展，对迅速掌握新型设备和具备高度的运行技术修养提出了严格的要求。

由于高蒸汽参数和超大型机组的采用，在现代火力发电厂中，运行问题越来越复杂。为了很好地分析在所维护的设备内部所进行的复杂过程，运行人员应具备高深的专业知识。

本书供研究大型锅炉设备运行之用。最早的这类书籍之一，为B.A.葛鲁柏佐夫和П.П.叶里查洛夫合著的《发电厂锅炉设备的运行》(苏联国立动力出版社，1950年版)。近年来锅炉技术的发展，要求彻底修改原有的资料，并在利用本国科学研究机构和锅炉制造厂研究成果的基础上，以及在总结已经积累起来的锅炉设备的运行经验的基础上，汇编新的材料。按照这个要求，作者以阐明大型锅炉机组运行中的一些主要问题，首先是尽可能论述锅炉设备运行过程中所发生的各种物理现象，作为自己的目标。

阐明运行的基本知识是复杂的，因为所发生的问题是多种多样的，并且，在现代锅炉技术飞速发展的情况下，搜集投入设备的实际运行数据就十分困难。这种情况可能成为本书存在缺陷和不足之处的原因。因此作者请求读者将自己的批评和建议寄来，并将以感谢的心情在将来工作中加以采纳和考虑。

本书总的结构与作者从1942年起在荣获列宁勋章的莫斯科动力学院讲授《锅炉设备》时所用的教学大纲相符。当编写本书时，已经考虑到按照热能动力装置专业新的教学计划，即锅炉设备运行课程的很大部分将由学生在生产实习期间(在电厂工作时)进行自学，也就是不进行讲授。

本书的纲要和内容的初步讨论是在莫斯科动力学院《锅炉设备》教研组中，在教研组主任，苏联科学院通讯院士M.A.史特理科维奇教授总指导下进行的。书中的个别章节曾由教研组成员B.П.伏罗诺娃，A.K.达也夫，K.Я.卡特科夫斯卡娅，Ю.М.里波夫，Л.Л.别克尔，M.И.理兹尼科夫和E.П.西洛夫等人参加审阅。

全书经莫斯科电业局工程师С.Е.歇茨玛恩详细校阅，他提出了很多有益的意見和实际的建議，对此作者深表谢意。作者在定稿时参考这些意見进行了修改。

作者对莫斯科动力学院《锅炉设备》教研组的同事和苏联电站部技术改进局工程师E.Г.格尔歇切英和П.Ф.奥西波夫斯基在审阅部分原稿后提出的宝贵意見表示谢意。

K.Я.卡特科夫斯卡娅在編輯全书时，提出了許多宝贵的意見，在筹备本书的出版等方面，付出了巨大而烦杂的劳动，作者对此特别表示感謝。

关于锅炉设备自动控制的章节(§4-3~4-6)，是由П.П.叶連薩罗夫編写的。

目 录

序

引言	1
第一章 锅炉机组的稳定运行工况	4
1-1 概述	4
1-2 自然循环锅炉的运行控制	4
1-3 无分离器的直流锅炉的运行控制	8
1-4 带分离器的直流锅炉的运行控制	11
1-5 多次强迫循环锅炉的运行控制	13
第二章 锅炉在变动的运行工况下的热力特性	15
2-1 概述	15
2-2 锅炉负荷的变化	16
2-3 给水温度的变化	18
2-4 锅炉机组配风工况的变化	21
2-5 燃料质量的变化	24
2-6 几种工况的同时变化	28
第三章 锅炉机组的起动和停用	29
3-1 鼓型锅炉的起动	29
3-2 直流锅炉的起动	42
3-3 从锅炉到母管的蒸汽管道的暖管	43
3-4 锅炉和汽轮机的成套起动法	45
3-5 锅炉机组的停用和冷却过程	52
3-6 锅炉起动和停用时的热损失	54
第四章 锅炉设备的操作控制	57
4-1 概述	57
4-2 监督和远方控制	58
4-3 锅炉设备的自动控制	60
4-4 鼓型锅炉的自动化	61
4-5 直流锅炉的自动化	67
4-6 锅炉和汽轮机成套机组的自动化	70
第五章 水工况和保证蒸汽清洁的方法	72
5-1 锅炉的给水	72
5-2 锅炉机组的水工况	75
5-3 清洁蒸汽的获得	79
5-4 受热面内沉积物的清除	83
第六章 受热面的温度工况。蒸汽过热度的调节	86
6-1 辐射受热面	86
6-2 对流受热面	87
6-3 蒸汽过热度的调节	90

第七章 锅炉机组的流体动态	99
7-1 自然循环受热面内流体动态的破坏	99
7-2 强迫循环受热面内流体动态的破坏	102
7-3 过渡过程中锅炉的运行	105
第八章 受热面的脏污和冲蚀	108
8-1 外部脏污的特性和它们对传热及气流动态的影响	108
8-2 密实沉积物的形成机理及其防止方法	110
8-3 受热面的飞灰污染过程	113
8-4 冲蚀及其防止	116
8-5 清除受热面外部脏污的方法	120
8-6 吹灰器及其运行	126
8-7 钢珠除灰及其功效	128
第九章 锅炉机组金属的腐蚀	130
9-1 高温区金属的外部腐蚀	130
9-2 低温区金属的外部腐蚀	131
9-3 管子内壁的腐蚀	137
9-4 金属的腐蚀疲劳和脆性破坏	139
9-5 锅炉的停用腐蚀和停炉保护	140
第十章 锅炉机组金属元件的运行和损坏	143
10-1 概述	143
10-2 金属结构变化的运行监督	144
10-3 锅炉元件连接处的损坏	146
10-4 锅炉机组元件的机械性损坏	151
第十一章 管道和汽水系统附件的运行	153
11-1 管道的主要概况	153
11-2 蒸汽管道的运行	153
11-3 给水管道的运行	155
11-4 汽水系统附件的主要概况	158
11-5 开闭门的工作特点	166
11-6 调节门的工作特点	170
11-7 安全门的工作特点	173
11-8 水位指示计的工作特点	176
11-9 汽水门电气传动装置的工作	178
第十二章 燃料制造设备的运行	180
12-1 概述	180
12-2 煤粉的运行特性	182
12-3 竖井磨煤机制粉系统的运行	184
12-4 钢球磨煤机制粉系统的运行	192
12-5 中、高速磨煤机和风扇磨煤机的运行特点	207
12-6 开路制粉系统的运行特点	209
第十三章 燃烧装置的运行	211
13-1 概述	211

13-2 直吹式煤粉炉的运行	213
13-3 带中间储粉仓的炉子的运行	219
13-4 液态排渣炉的运行	225
13-5 燃烧元件结构情况对煤粉炉运行的影响	235
13-6 燃气炉的运行	239
13-7 气、粉混烧炉的运行	247
13-8 重油炉及气、油混烧炉的运行	249
13-9 锅炉机组炉墙的工作	252
第十四章 除尘装置和锅炉除灰设备的运行	259
14-1 关于收捕烟气飞灰问题的概述	259
14-2 多管式除尘器的运行	259
14-3 电气过滤器的运行	261
14-4 湿式除尘器的运行	261
14-5 百叶窗除尘器的运行	267
14-6 水力除灰系统的运行	268
第十五章 送吸风装置的运行	275
15-1 送吸风机运行中的主要指标	275
15-2 风机的联合运行	279
15-3 送吸风机的调节	282
15-4 防止和消除送吸风机运行缺陷的一些措施	285
第十六章 锅炉设备进行检修的主要概况	288
16-1 检修的种类和内容	288
16-2 计划检修工作的组织问题	290
16-3 进行检修工作的方式	291
16-4 锅炉机组移交检修和检修验收的程序	292
第十七章 锅炉机组的运行试验	294
17-1 运行试验的目的和类别	294
17-2 运行试验的测量方法	296
17-3 锅炉的热力特性和动力特性的确定(热平衡试验)	301
17-4 锅炉设备烟风通道和送吸风机的试验	306
17-5 制粉设备的试验	311
17-6 编制锅炉机组的运行卡片	314
第十八章 锅炉设备的运行经济	316
18-1 技术经济指标	316
18-2 锅炉机组运行可靠性的指标	318
18-3 锅炉设备的生产和成本计划	321
附录 I. 苏联电力工业技术管理法规(ИТЭ)及国家矿山技术监察局	
蒸汽锅炉安全运行规程的主要条例	331
附录 II. 俄罗斯苏维埃联邦社会主义共和国国家矿山技术监察局关于 1 级	
蒸汽管道和热水管道的结构和安全运行的规程中的主要条例	339
附录 III. 锅炉设备的运行破坏以及消除和防止它们的方法	341
参考文献	356

引言

目前苏联的发电任务主要是由火力发电厂担任的。在最近的将来，由于装有20~30万瓩的成套组合机组，总容量为120和240万瓩的发电厂投入运行，火力发电厂的运行人员面临着掌握新发电设备的复杂任务。

锅炉设备为火力发电厂综合经济中的主要环节之一，它的运行安全性和经济性决定着整个发电厂总的运行特性。在发电厂锅炉设备方面工作的人员，应贯彻执行对发电厂全体工作人员都有效的生产任务和运行规程。

主要任务是：完成国家的发电计划；担负规定的最高负荷；保证设备的安全运行和对用户不间断的供电；改善技术经济指标，并借助于减少燃料、水、汽、电力和材料的耗用率和损失率，来降低发电成本。

锅炉设备的技术运行，是以概括在一系列的指示性和指导性正式文件中的多年运行经验作为基础的。主要的文件是苏联部长会议直属工矿企业安全运行监察委员会（全苏国家矿山技术监察局）所批准的规程，即关于蒸汽锅炉〔文献1〕^①，蒸汽和热水管道〔文献2〕，以及承压容器等三个运行规程〔文献3〕。这几个一切机构都必须遵守的规程，决定了蒸汽锅炉、过热器、省煤器、蒸汽管道等等在构造、安装、保养和检验等方面的要求。

关于锅炉结构的正确性，它的强度计算和材料选择，制造和安装质量，锅炉和它的装置是否符合国家矿山技术监察局的规程规定等问题，由进行相应工作的机构负责。关于锅炉的维护、保养和检验等方面的规定是否遵守，则由该设备的运行机构负责。

国家矿山技术监察局所批准的有关蒸汽锅炉和蒸汽管道运行的规程，对锅炉设备的保养和维护，对锅炉的技术检验，对是否遵守规程规定的监督工作（由国家矿山技术监察局的机构办理），以及对管理和维护锅炉机组的人员的任务等，都作了指示（参看附录I）。

同时，火力发电厂的锅炉设备应按照苏联《技术管理法规》〔文献5〕和根据新设备或新操作方法对法规进行补充或修改的指示性文件（通告）来运行。这些文件以汇编的形式颁发〔文献6和7〕。

法规说明了发电厂的组织机构以及工作人员的义务和责任范围，并对运行技术问题、经济性、技术报表等作了具体指示。除法规以外，为了直接和有效的进行指导，还颁布了有关设备的起动、停用和正常运行维护，以及有关消除事故和运行破坏现象的典型规程，还颁布了关于防止事故的指示。

安全工作的组织应遵照《发电厂维护热力分场设备的安全技术规程》〔文献8〕进行。

火力发电厂运行管理机构的组织，根据设备划分的原则系统，采用分场制或部门制。

目前在大型发电厂中采用最广的是按设备划分的分场制，并且认为燃料运输、锅炉、汽轮机、电气等是主要分场。按照这个系统，每个分场均有独自的领导，直接受电厂总领导（厂长）^②的管辖。辅助的（也是独立的）分场包括：化学分场，热工仪表和自动化分场，以及机修分场。分场制的优点是人员高度专业化，适合于复杂的现代化设备（图0-1）。

① 相当于以前电站部国家锅炉监察局颁发的规程〔文献4〕。

② 我国电厂所执行的是党委领导下的厂长负责制。——译者

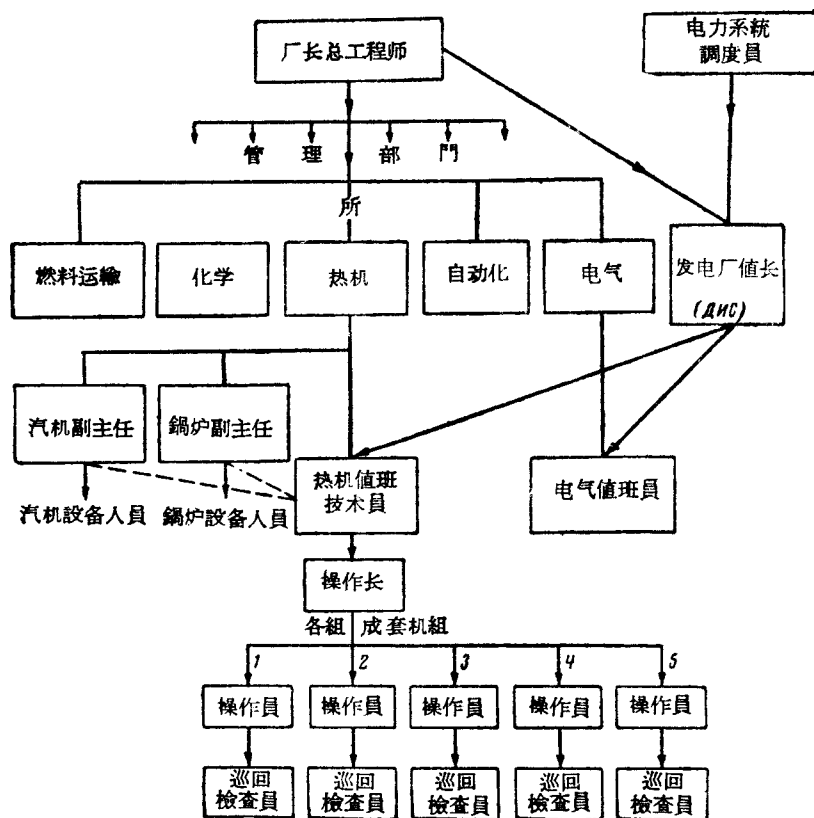


图 0-2 成套組合机组发电的組織机构及其相互之間的联系

为了提高工作人員的技术熟练程度，使之掌握最完善的工作方法，以及發揮他們处理事故时机智和迅速判断的能力，应系統地对发电厂的值班人員进行讲解，举行业务會議和反事故演习，并定期考查他們的通曉程度。

在业务會議上进行事故分析，說明工作中发生的缺点和疏忽以及传达发电厂和分場领导的紧急命令。

人員的反事故演习用来教会他們防止和迅速处理故障和事故的方法。此时可以檢查他們对設備結構、控制机构布置的通曉程度，評定人員在設備运行工况变更时和消除事故时的迅速和正确判断能力，并考核他們对安全技术規程的通曉程度。对人員进行运行条件下的培訓工作，是技术领导的重要任务之一，也是他职责範圍內的一个不可缺少的部分。

第一章 鍋炉机組的稳定运行工况

1-1 概 述

鍋炉机組的运行是由許多过程組成的：燃料的燃燒，烟气和被加热介质之間的热交换以及鍋內过程。所有这些过程都是互相联系的，并影响到机組的出力、蒸汽参数、运行安全性和經濟性。

在实际情况下，鍋炉的运行工况从来不是稳定的；各种各样的原因不断的引起这种或那种原始因素的变化，最后都反映到鍋炉运行指标上。甚至在負荷平稳的条件下，也可能出現自发的微小波动，引起蒸汽参数的变化。这种现象能够在下述情况下发生，例如：当燃料供給不均匀（給粉机給粉不均，气体燃料压力波动）或它的热量不均匀，通风机械运行不够平稳，給水不均时，等等。因此，为了保持鍋炉的运行参数（ D ， p 和 $t_{n,n}$ ）不变和运行經濟性，必須經常以調整的方法来监督和校正它的运行。值班員可根据仪表的指示，利用稍微变更調节机构的位置（吸风机和送风机的导向器或擋板，給粉机电动机的变阻器或气体燃料調节器的擋板，减温器供水閥或噴水閥門，等等）来实现此項任务。当有数台鍋炉并列运行时，将其中一台划为調节炉，使其余各炉担任基本負荷，是适宜的。

当外界負荷变化很大时，必須对鍋炉运行工况作有計劃的改变，这时就要求調节幅度大一些。倘若負荷的变化幅度是在各运行机組的出力范围之內，那么，借助于相应的鍋炉控制机构，进行燃料供給、吸风和送风以及給水量的調节即可。当負荷增减超过了运行（投入的）机組的調节限度时，就应从保証整个运行工况的最大經濟性出发，考虑投入备用或停用多余的鍋炉机組。

在外界因素影响下，鍋炉运行工况的事故性变化（例如，发电厂甩負荷，汽輪机大量减少用汽），将引起鍋炉汽压的急剧升高。当电网內汽輪发电机的負荷增大或并列运行的鍋炉停炉以致鍋炉蒸发量急剧增加时，将引起汽压的剧降。

鍋炉汽压的突降或突升，可能造成鍋炉水循环破坏和汽质恶化。在这种情况下，为使机組的工作过程不致受到破坏，要求采取紧急的措施。自动保护装置可預防运行事故，或限制它們的破坏范围，并有可能加速消除事故。这就是說，应当将可以停止某些机械（例如，給粉机，吸风机，磨煤机，等等）运行的連鎖装置投入运行。倘自动装置对防止已經发生的工况破坏的規模不能胜任时，則必須用手动帮助，或从自动調节完全切换到手动調节。

鍋炉机組的維護、控制人員的任务在于，按照給定的曲綫保持出力，保持正常参数和蒸汽清洁度，保証安全运行，即防止发生任何种类的工况破坏（受热面結焦，結垢，旋轉机械振动，等等），保証工作过程的經濟性，使电能损失为最小（排烟损失，未完全燃燒损失，厂用电，等等）。

1-2 自然循环鍋炉的运行控制

鍋炉的主要运行参数为汽压和过热蒸汽温度。

按照锅炉汽压的指示可判断锅炉的出力是否与用汽量相适应：如果用汽量增加，而供给的燃料量不变，则汽压下跌（热量不足的不平衡）；反之，当用汽量减少而供给的燃料量不变时，则锅炉汽压上升（热量过剩的不平衡）。应按照蒸汽压力进行锅炉燃烧工况的调节，即使燃料、空气的供给与负荷相适应和保持必需的通风。

锅炉的出力或汽压能够在下述两个因素的影响下发生变化：蒸发受热面热负荷的变化以及省煤器和过热器热负荷的变化。在燃烧工况破坏后，前一因素能够很快地引起压力变化。变化速度主要与锅炉的水容积和金属量的大小有关。

省煤器热负荷的变化对锅炉压力变化的影响则带有时滞，要到给水流过省煤器进入了汽鼓，并反映到了新的燃烧工况时才开始。此外，在鼓型锅炉内，给水量和蒸汽量可能在每个瞬间都不相同。

只有在用减温器调节过热蒸汽温度时，蒸汽过热器吸热量的变化才会影响锅炉的蒸汽负荷：用喷水调节过热度时影响快，用表面式减温器时则带有很大的时滞，因为，表面式减温器减温吸热量的变化将引起省煤器前给水的焓发生变化。

因此，自然循环锅炉具有一定的惰性。而机组对燃烧室燃料供给量的变化反应迅速，对燃料供给量减少（或增加）时锅炉压力升高（或下降）速度的变慢反应迅速，是有利于锅炉机组的调节的。

锅炉的动态稳定性或调节稳定性，即锅炉接受负荷的能力，称为“接带能力”；它是锅炉的主要特性之一，并取决于增荷的速度和锅炉的储蓄能力值。当机组负荷在广阔范围内变化时，保持过热蒸汽温度不变的可能性问题也具有同样重要的意义。这些任务可采取结构措施或合理运行来达到。

如所周知，随着蒸汽参数（ p 和 $t_{n,n}$ ）的变化，液体热、汽化潜热和过热的热量的比例关系发生改变。随着蒸汽压力的提高，液体热（ i' ）增加，而汽化潜热（ r ）减少；蒸汽的过热热量随蒸汽参数同时增大。因此，用于汽化的热量减少了，而加热水和过热蒸汽的热量增加了很多。

随着压力的提高，在对流省煤器内水的欠沸腾度增大了。因此水在辐射受热面内的加热量很大。完全蒸发是在辐射受热面范围内完成的，剩余的辐射热则用来过热蒸汽。

当燃烧室出口燃烧产物的温度相同时，辐射热为燃烧室内总有效释放热量的一部分，与锅炉压力无关。

燃料的发热量愈大和热空气的温度愈高，被称为燃烧室直接输出的辐射热的份额也愈大。

燃料的水分对燃烧室直接输出的热量数值也有影响。当燃料干燥时输出的热量增大，而潮湿时减少。因此，当燃烧较湿的燃料时，辐射受热面的作用就减少了。

表示锅炉运行特性的第二个参数为过热蒸汽温度 $t_{n,n}$ ，它与运行因素和锅炉的结构特性有着复杂的依赖关系。对于过热器完全布置在对流烟道内的锅炉机组，燃烧室中工况的变化对蒸汽温度有明显的影响。例如，当燃烧室辐射吸热量因水冷壁表面结焦而有所变化时，进入对流烟道的燃料燃烧产物的温度就上升了；这就引起过热器的温压增大，提高了它的吸热量。在辐射和屏式过热器内，辐射吸热量对过热蒸汽温度有直接影响。

可见，在锅炉机组的炉内过程、辐射吸热量、负荷与蒸汽参数之间，存在着密切的相互联系。

正确組織爐內過程同時就決定了燃料燃燒的經濟性，因而也決定了主要的燃燒損失：燃料的化學未完全燃燒損失(q_3)和機械未完全燃燒損失(q_4)。

所以，爐內過程乃是鍋爐運行調節的重要項目之一。

為使鍋爐正常運行，要求對它保持正確的給水。在給水量和蒸發量之間應保持應有的比例關係；通常在數量上略有不平衡，一般是給水量多一些，以補足可能的損失和進行排污，雖然在個別較短的時期內，由於汽鼓內水的儲蓄容量的影響，能夠出現相反的差額。但是現代鍋爐的水含量是不大的，不容許發生較大的給水波動。因此，在鍋爐汽鼓內保持固定水位乃是正常運行的一項主要條件。給水量由給水母管的壓力來保證，並由調節閥的開度來調整。給水母管與鍋爐汽鼓之間水的壓差一般不應太大，因為，過大的節流將造成電廠循環中電能的損失，並引起其他許多缺點（參看 §11-4）。通常採用的壓差不大於鍋爐工作壓力的10%，這個儲備用作事故時加強進水之用。

鍋爐給水的均勻性具有很大意義。除了不正確的維護可不必討論之外，應當指出，有種種不同的因素可能造成給水不均勻：由於鍋爐負荷不穩定或爐內過程脈動引起汽鼓汽壓的波動；給水泵運行不均勻或併列運行中的其他鍋爐產生了水壓的擾動，以致給水母管壓力變化。但給水不均勻多半是由給水調節閥工作失常引起的（例如，當調節閥節流太多，造成水流脈動時）。因此，鍋爐給水應首先實現自動化。

給水溫度的變化會影響到機組的蒸發量，如果負荷不變，則會影響燃料消耗量、排煙溫度，因而影響鍋爐的效率。它們對過熱蒸汽溫度的影響特別強烈。引起給水溫度變化的原因為汽輪機回熱循環的運行發生了變化（啟用或停斷到加熱器的抽汽）。

在機組正常運行時，對它的監督和調節應包括下列內容：燃料製備和到噴燃器的燃料供給，燃燒室的工作情況，給水、過熱蒸汽的壓力和溫度，蒸汽內的雜質含量和鍋爐的運行經濟性。

對各種極不相同的鍋爐設備的控制方法，一一加以說明是不可能的，因此這裡只討論從熱力盤進行控制或自動控制的高壓鍋爐的一些典型系統。

鍋爐給水用自動或手動（當停用自動裝置或當自動裝置處在事故情況下時）調節閥不斷地進行控制；此時汽鼓水位應保持在正常水位。在低負荷時（通常不小於50%），給水通過旁路手動或從熱力盤上遙控調節。當負荷增加時投入給水自動裝置。當鍋爐房內裝有兩條給水母管時，給水由其中的一條供給，並由第二條供給不大的固定的流量，以便熱力控制盤上的值班人員可在任何瞬間將給水切換到第二條母管。

水位計內的水位應微微波動。水位不容許接近水位計的上下極限位置（鍋爐排污前的進水例外）。低置水位計指示正確性的檢查每值不得少於三次。裝置在鍋爐汽鼓上的水位玻璃，在運行期內每值至少應沖洗二次。水位計閥門泄漏將使讀數失真，因而是不能容許的。必須監察給水母管上的壓力表，保持正常的壓力，當壓力偏离正常值時，應通知泵房進行調整。

必須定期按給水母管上的熱電偶或溫度計檢查水溫，水溫偏离標準值時要通知汽輪機司機。

應調節燃燒室的工作狀況來保持鍋爐汽壓正常。蒸汽壓力波動的允許值為工作壓力的 $\pm 2 \sim 5\%$ 。當用手動調節來保持固定的汽壓（或者也就是，鍋爐的負荷）時，在偏差不大時可先變更送吸風然後再調節燃料供應量。當負荷變化較大時，為了保持汽壓不變，可按運

行卡片調節燃料供給量并相应地調節吸风和空气量，不让負荷超过或低于正常汽压下的規定限度。为避免循环破坏，不允许急剧变化鍋炉压力。鍋炉的增减負荷的速度应符合运行卡片的規定。

当压力上升超过容許值时，鍋炉的安全閥将动作：起初是蒸汽过热器上的，倘压力繼續上升，汽鼓上安全閥也将动作。通常，安全閥起座是由于鍋炉負荷急剧降低所引起的，它要求迅速减少燃料供給量和送吸风量。此时通常发生汽鼓水位的急剧下降(缺水)，因此必須加强鍋炉的进水。應該考虑到，在这种时候可将鍋炉的自动給水切换到手控，以免水位过高。

大多数型式的現代鍋炉的过热蒸汽温度(一次过热蒸汽的)的調節，都利用变更进入减温器的蒸汽量或給水量来达到(依减温器的型式而定)。减温器的最大冷却能力約为 50°C 。

蒸汽过热器出口的过热蒸汽温度波动值应不大于 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。若减温器投入而蒸汽过热器后的汽温仍超过規定范围(对该級过热器而言)，必須采取下列措施：1)清洁(吹去)水冷壁管，費斯通管或第一列沸騰管上的焦渣和积灰，以降低过热器前烟气温度和提高鍋炉的出力；2)轉动可旋轉的噴燃器到較低位置或換用下排噴燃器运行；3)將燃燒室过剩空气减少到容許的低限(例如，减少到乏气噴燃器去的一次风，减少二次风和消除漏风)；4)降低鍋炉負荷。在此情况下不宜对蒸汽过热器进行吹灰，因为这样做将提高它的吸热量。

在綜合型(輻射-对流的)蒸汽过热器內，照例蒸汽温度的波动小于純对流式的。

减温器供水的調節門可以从热力盘上进行遙控或自动控制(参看§4-5)。

鍋炉的运行經濟性取决于与运行有关的三个主要因素：第一，以最小的热量损失进行炉內过程，即减少燃料的化学和机械未完全燃燒損失，以及保持最小的燃燒室和鍋炉烟道冷风漏入量，从而降低排烟損失；第二，减少自用电能的耗用量；第三，保持受热面內外壁比較清洁。

可按风压表和烟气分析器的指示来建立和监督炉內过程；这些指示数值根据所采用的燃料，按不同負荷規定在鍋炉的运行卡片內。吸风的調節应使燃燒室上部的負压不大于2~5毫米水柱。鍋炉机組或它的个别元件(例如，蒸汽过热器，省煤器，空气預热器)的烟气阻力与該炉运行卡片上的数据不应有显著的偏差。当烟道阻力上升时，必須进行吹灰，清焦，檢查擋板的位置和漏风值。后面一項应用烟气分析器定期进行监督，且每月不得少于二次。关于空气預热器的不严密問題，可按空气預热器后空气压力的下降和鍋炉通风恶化(吸风机过負荷)来加以判定。

吸风和送风通常用遙控导向器、液压联轴器等轉动式擋板等等同时調節。送吸风的监督按热力盘上的仪表，烟气分析器和风压表(建議采用可立即指示出鍋炉个别烟道的工作状况的差动风压表)进行，并将它們的指示值与运行卡片对照。

自用电耗量为送吸风机和烘干-碾磨机組运行工况的函数。保持它們的适当指标，可以达到最低的耗电率。应利用电表[大型电动机(吸风机，送风机，磨煤机等)的电流表、功率表或电度表]的讀数作为监督参量，其最佳的指标列在运行卡片內。

运行过程中受热面外壁清洁程度，可按烟道內烟气的温度以及受热面吸热量来判断；后者反应在工作介质温度、空气温度或鍋炉出力的变化上。第二个标志为烟气的阻力。当这个指标偏离相应負荷下的規定参量时，就要采取有效的行动。值班人員应按鍋炉房值班长的指示或預先規定的图表进行受热面的清灰和吹灰。在最新的結構上，吹灰器由

司炉从鍋炉操纵台上进行控制，并且它們的动作系按預先規定的程序自动进行的(參看第八章)。

鍋炉的运行监督对象还包括蒸汽內的杂质含量和水工况。当該机组在規定的正常工况下时，应遵守加磷酸盐到汽鼓內的給水炉內处理程序。鍋炉机组的值班人員应当执行电厂化学試驗室关于加入磷酸盐，进行連續排污和定期排污的指示。

当鍋炉运行时，必須注意汽水系統附件的一般状态，出現泄漏时可擰紧填料压盖，必須檢查人孔、手孔、磚衬的状况，諦听烟道內的噪音(微开窺視孔或人孔)，定期檢查吸风机、送风机等等的运行情况。当檢查旋轉机械时，应监督电动机靜子和軸承的温度：温度应不太高(用手摸得上)。当这些地点装有引到热力盘上的测温热电偶时，以及有高温报警信号时，監視数目众多的机组就要方便得多。当巡回檢查机器时，应檢查一般情况，如設备的清洁度，照明度；諦听吸风机和送风机的噪音。噪音应是單調的，无相碰的声音和振动(用手摸主軸承和底板来檢查振动)。底脚螺絲应十分紧固。

1-3 无分离器的直流鍋炉的运行控制

在稳定的运行状态下，直流鍋炉的給水量等于它的供汽量，即 $D_{n.s} = D$ 。沿着鍋炉水汽管路的伸延，工作介质的状态不断发生变化：在省煤器区，焓和温度的增加程度不大，比容实际上不变，而压力稍有降低(图 1-1)；在蒸发区内混合物的焓和比容急剧增加，压力繼續下降，汽水混合物的温度也相应降低；在蒸汽过热器区内，焓、比容和温度增大，而压力則由于阻力增大而急剧下降。

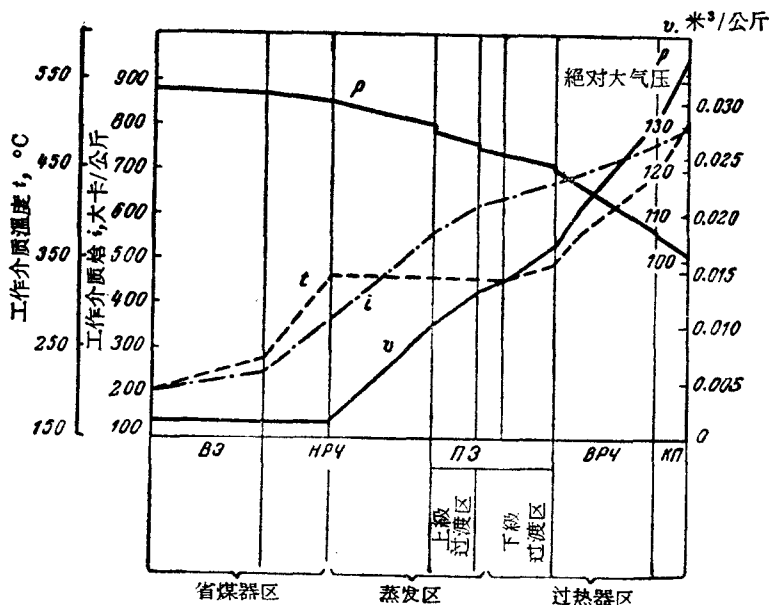


图 1-1 直流鍋炉 ($p=100$ 表压力, $t_{n.n}=510^{\circ}\text{C}$) 工作介质状态的变化曲线

直流鍋炉燃烧室放热量的变化并不直接引起出力的变化。当給水量固定不变时，燃料供給量的增加将使过热蒸汽温度升高，反之则使过热蒸汽温度降低。这是由加热給水到沸腾、汽化和蒸汽过热的热量相互之間的比例关系的变化所引起的。当出力不变时 ($D=$ 定

值),随着燃烧室放热量的增加,用于蒸汽过热的热量份额增大,而加热和蒸发水的热量份额减少了。按照这个变化,重行分配了作为省煤器,蒸发和过热器的受热面。

当同时变化给水量和燃料供给量时,这就等于变更了锅炉的负荷,在蒸汽温度不变的情况下,各个受热面区域也将变更[文献9]。

因此,当直流锅炉的总受热面积为一定值时,各部分受热面的大小按它们所起的实际作用来看,则是随过热蒸汽温度和出力的变化而改变的。蒸发受热面和过热受热面之间的交界点(蒸发区的终点)将相应的发生移动:当过热温度上升时,蒸发区终点向进水侧移动,而当过热度降低时,则向出汽侧移动。当机组负荷变化时,蒸发区终点的移动方向与锅炉机组的系统有关:若蒸发区布置为辐射受热面(水冷壁),过热器区布置为对流受热面,则当负荷上升时,蒸发区终点向出汽侧移动,当负荷下降时,则向进水侧移动。

应当补充,随着蒸发区向进水侧的移动机组的水容积将减少。变更燃料供应量前后锅炉水容积的差别,产生了超过相应的给水量附加蒸汽量;因而,当蒸汽温度波动时,蒸汽负荷也将稍有波动。

蒸发区的移动影响到锅炉运行的稳定性,特别是在中压锅炉上;因此,为了提高稳定性,力图固定省煤器区的界限。对于高压锅炉,如经验所表明的,不需要使省煤器区的界限固定起来;因为,这种锅炉的蒸汽过热器的储蓄容积大,从而提高了它们的稳定性。

直流锅炉工作过程的上述特性确定了它们的调节条件。

因为任何锅炉的调节任务都是在蒸汽参数不变的条件下保持负荷固定,所以,鼓型锅炉由于汽鼓水容积的作用,在调节过程中不需要严格保持蒸汽量与燃料供给量的固定比例。

当直流锅炉的负荷变化时,应同时变更供给的燃料量 B 和给水量 $D_{n.s.}$ 来进行调节。过热蒸汽温度可作为 B 和 $D_{n.s.}$ 比值是否适当的指标。例如,当给水量不变而燃料供给量改变1%时,过热蒸汽温度将变化 10°C (在蒸汽参数为100表大气压、 500°C , $t_{n.s.}=220^{\circ}\text{C}$ 的锅炉机组中)。

因而,直流锅炉的调节方法与自然循环的锅炉有所不同。

当直流锅炉的给水量与燃料量的比例关系改变时,发生了与新的比值相适应的蒸汽温度的变化,但此数值并非立刻达到的,而是要经过为锅炉惰性所决定的若干间隔时间。

相应地,直流锅炉的惰性决定于在燃烧室负荷变化后,过热蒸汽温度变化的快慢程度如何。

显然,惰性与工作介质流过受热面的通过时间以及锅炉热储蓄能力的大小有关。

储蓄能力可理解为当运行工况(燃烧室放热量)变化时,在一定的时间间隔内自行保持出力的能力(例如,当压力降低时发出补加的蒸汽量或压力上升时减少发出的蒸汽量)。储蓄能力与锅炉机组的水、蒸汽和金属内含有的热量有关。

直流锅炉内所储有的沸腾温度下的水很少,因而,依靠水的蒸发的储蓄能力不大。例如,在压力为135绝对大气压的直流锅炉中,依靠水的蒸发的储蓄能力仅为锅炉总的储蓄能力的7%,而鼓型锅炉则为60%。直流锅炉储蓄能力的很大部分依靠锅炉管子内蒸汽的膨胀;当压力提高时,蒸汽重度增加,储蓄能力便增大。

图1-2表示给水量与燃料供应量比例破坏时过热蒸汽温度随时间而变化的曲线。这个曲线称为惰性特性(或飞升特性)。曲线I为蒸汽过热器出口点的情况,曲线II则为蒸汽过

熱器的中間點。在發生擾動的瞬間後，經過若干滯後時間 τ ，過熱蒸汽溫度開始按曲線的陡峭部分變化，經時間 τ_n 達到過熱蒸汽終溫 t_k 。在溫度變化曲線的最陡部分作切線，求得切線與蒸汽初溫水平線 t_{naq} 的交點(K)和與終溫水平線 t_k 的交點(M)。時段 T_n 等於滯後時間 τ 加上飛升時間 T_a ，稱為總飛升(或惰性)時間。

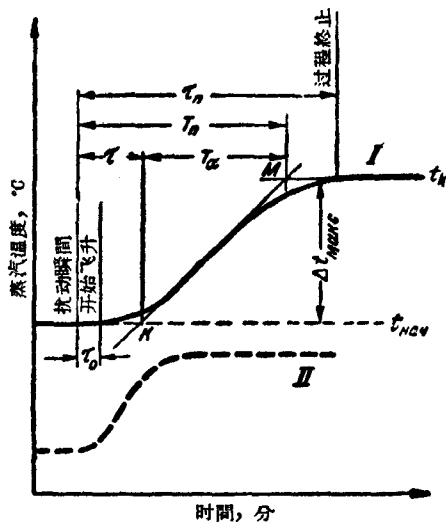


圖 1-2 直流鍋爐的惰性(飛升)特性

I—蒸汽過熱器末端蒸汽溫度的變化曲線；II—蒸汽過熱器中間點蒸汽溫度的變化曲線； t_{naq} —蒸汽的初溫； t_k —蒸汽的終溫； τ —滯後時間； T_a —飛升時間； T_n —總飛升時間； τ_n —過程的全部時間； τ_0 —開始加速的滯後時間。

爐的系統確定。

當按無分離器的系統運行時，噴水點分設在過渡區以及對流蒸汽過熱器之前。

改變直流鍋爐負荷時應同時改變給水量和燃料供給量，並且新的蒸汽負荷並非立刻達到穩定的，而是要經過若干時間間隔；這就構成了接受負荷的時滯或惰性。鍋爐的「接帶能力」便決定於這一時間間隔的長短。該時間間隔愈長，鍋爐的「接帶能力」或儲蓄能力便愈大。

當實行手動控制時，直流鍋爐的負荷應當階梯式地改變，並且每個變化都將引起微小的溫度失調，需要若干時間才能穩定。

為了提高鍋爐的負荷，先增加燃料的供給量，使過熱器後煙溫上升大約 10°C ，隨後增加給水量(大約為額定蒸发量的 $2\sim 3\%$)。在鍋爐負荷變化的同時，汽輪機的負荷增大。當蒸发量變更時，應校正過熱蒸汽溫度。

下述參數的波動幅度不超過所列數值時，容許不進行燃料的調節：蒸汽過熱器後煙溫， $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ；蒸发量，額定容量的 $\pm 2\%$ ；鍋爐出口汽壓， ± 1.0 大氣壓。當偏差大於上述範圍時，必須變更燃料供給量。

可見，調節鍋爐負荷 D 時，應以反映過熱蒸汽溫度變化的過熱器後煙溫 $\theta''_{n,n}$ 的脈沖作為指導，調整燃料供給量 B ，同時調整給水量 $D_{n,s}$ ，以保證固定的 $(D_{n,s}:B)$ 比值。 $\theta''_{n,n}$ 和

比較曲線 I 和 II 可見，蒸汽過熱器中間點的溫度完成變化過程並達到穩定狀態，早於蒸汽過熱器的出口點。這個脈沖可在運行中用來調節過熱溫度(即水和燃料比例的变化)以便降低溫度的變化幅度。

直流鍋爐的燃燒室工作情況，顯然與它的總調節是直接有關的。當燃燒室工作不良時就難以保持均勻的蒸汽溫度。

當直流鍋爐正常運行時，應當對蒸汽溫度不斷進行調節，正同自然循環鍋爐調節壓力一樣。當直流鍋爐機組的調節質量良好時(調節質量隨着蒸汽過熱器受熱面與蒸发部分受熱面之比的增大而改善)，可以獲得良好的蒸汽溫度調節性能，可以少動作燃料供給機械，因而可以較好地調節爐內過程。

上述方法可作為過熱蒸汽溫度的基本的，但是粗糙的調節。

直流鍋爐蒸汽溫度的細調節是用噴射部分給水到汽水路線內來達到的。噴水量和噴水點按鍋

D的脉冲在燃烧室吸热量变化后大约30秒钟后开始变化，且是同方向的。

当直流锅炉与鼓型锅炉并列运行时，为了达到并列工作的稳定性和简化调节，压力调节由自然循环锅炉担任，负荷调节则由直流锅炉担任。

当只有一些直流锅炉并列运行时，手动调节实际上是不可能的，因此全部过程（给水、燃烧和过热蒸汽温度）都要转到完全的自动调节，只有这样才能达到平稳的工况变化。

无分离器的直流锅炉不可能进行排污：水中杂质的浓度随蒸发程度的加深而逐渐增大。在过渡区内，部分杂质在受热面内壁上形成沉积物，一部分杂质则被蒸汽带走。

构成硬度的盐类（钙和镁）的主要部分沉积在锅内，只有极少数为蒸汽带走。钠的化合物以及硅酸多半被蒸汽从锅炉带入汽轮机。

尽管《过渡区》布置在烟气温度较低（600~700°C）的区域内，在其中也不许有大量沉积物存在。因此对直流锅炉的给水品质提出了特别高的要求。在运行过程中对过渡区的管子应定期冲洗，以清除盐类沉积物，这就限制了直流锅炉的持续运行时间。

无分离器的直流锅炉的特点，为燃烧室放热量（锅炉负荷）变化时，由于过渡区内盐类沉积区域的移动，过热蒸汽的含盐量也发生变动。

1-4 带分离器的直流锅炉的运行控制

为了将给水带入的盐类从直流锅炉内排出，采用冲洗分离器，由此而改善了机组送出的蒸汽质量，延长了锅炉的持续运行时间（两次冲洗之间的时间），并且降低了对给水平盐量的要求〔文献10〕。

现代锅炉的分离器装在第一、二级过渡区之间（图1-3）。为了冲洗蒸汽，在第一级过渡区之前以及直接在分离器之前的路线上进行喷水。在分离器内进行干燥，同时也清除蒸

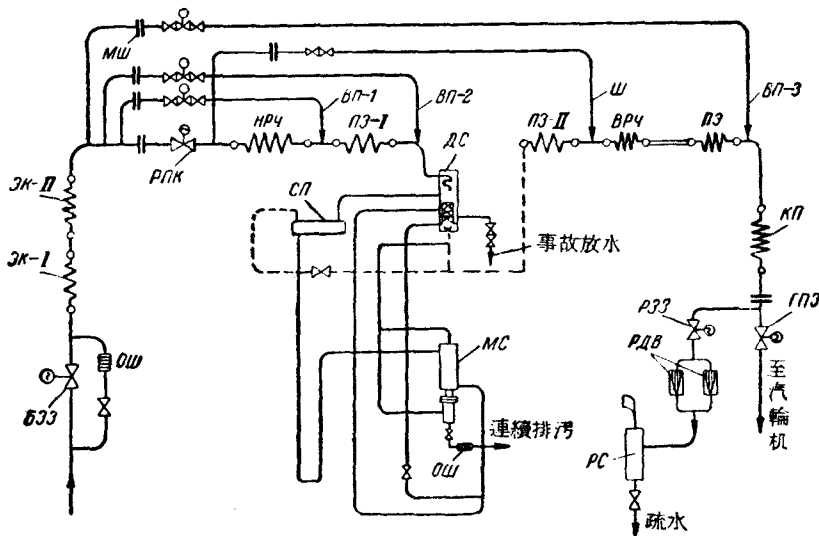


图 1-3 带冲洗-分离装置的67-2CH型锅炉的汽水原理系统图

БЗЗ—快关截门；ОШ—限流垫圈；ЭК-I 和 ЭК-II—第一及第二级省煤器；ППК—给水管；НПЧ—下辐射部分；ПЗ-I 和 ПЗ-II—第一和第二级过渡区；АС—二级分离器；СП—通过分离器；МС—量筒；БПЧ—上辐射部分；ПЗ—主汽门；БП-1, БП-2, БП-3—第一、第二和第三级喷水；КП—对流过热器；РЗЗ—升火开闭形门；РДБ—升火节流球形门；РС—升火分离器；Ш—旁路管。