

锅炉经济运行和改造

李朝绪 编著

能 源 出 版 社

1985



京电力大 00120658

期 限 表

锅 炉 经 济 运 行 和 改 造

李 朝 绪 编 著

能源出版社出版 新华书店天津河东区店发行
铁道部第三勘测设计公司印刷厂印制

787×1092 1/32 开本 12.88印张 290千字

1985年7月第一版 1985年7月第一次印刷

印数 1—35000

书号15277·53 定价 2.60元

内 容 提 要

本书是根据锅炉运行和改造的实践经验编写的。

该书较系统地论述了中、小型层燃锅炉的经济运行，围绕节能要求，对锅炉合理改造技术进行了阐述，并附有国家有关锅炉节能的政策和指令。

本书可供能源管理人员、工程技术人员和锅炉工人阅读，也可供有关院校动力、能源专业师生参考。

目 录

序 言

第一章	燃料的管理和分析	(1)
第一节	煤的形成和分类	(2)
第二节	煤的特性、成分和工业分析	(5)
第三节	煤的贮存效率	(26)
第四节	对贮煤场的要求	(31)
第五节	燃料的合理搭配	(32)
第二章	锅炉运行的经济指标	(34)
第一节	灰中可燃物	(34)
第二节	排烟温度	(46)
第三节	二氧化碳含量	(67)
第四节	锅炉用水的水质标准	(74)
第五节	锅炉热效率	(79)
第三章	锅炉经济运行的几个问题	(82)
第一节	煤掺水	(82)
第二节	二次风	(86)
第三节	燃烧的稳定性	(91)
第四节	劣质煤的燃烧技术	(103)
第五节	锅炉运行压力的选择	(105)
第四章	锅炉附机的经济运行	(107)
第一节	附机的自耗能量	(107)
第二节	给水泵的经济性分析	(109)

第四节	汽水两用锅炉	(259)
第五节	热水采暖系统的调节和故障消除	(270)
第十一章	凝结水和余热利用	(275)
第一节	余热利用的重要意义	(275)
第二节	余热利用的方法	(277)
第十二章	热力设备的保温	(289)
第一节	保温的作用和计算	(289)
第二节	保温的合理性	(295)
第三节	保温材料的选择	(300)
第四节	保温结构和施工方法	(305)
第十三章	锅炉设备的合理改造	(310)
第一节	手烧炉的改造	(315)
一、	简易煤气	(315)
二、	炉膛改造	(320)
三、	下饲式给煤机	(322)
第二节	机械化层燃炉的改造	(325)
一、	前拱	(326)
二、	后拱	(331)
三、	烟气再循环	(332)
四、	混合燃烧技术	(336)
五、	煤闸门的改进	(337)
六、	松煤器	(338)
七、	花洞墙	(340)
第三节	沸腾燃烧	(343)
一、	沸腾燃烧原理	(343)
二、	沸腾燃烧的优缺点	(345)
三、	沸腾燃烧实例	(346)

第三节	风机的经济性分析·····	(115)
第四节	锅炉附机的调速·····	(127)
第五章	消除跑、冒、滴、漏·····	(134)
第一节	跑、冒、滴、漏的损失分析·····	(134)
第二节	减少跑、冒、滴、漏的方法·····	(136)
第三节	疏水器的可靠性·····	(138)
第六章	锅炉排污的合理性和热能利用·····	(155)
第一节	锅炉排污的重要性·····	(155)
第二节	锅炉排污的合理性·····	(156)
第三节	排污水热能的利用·····	(161)
第七章	锅炉热效率试验·····	(164)
第一节	锅炉热效率的计算通式·····	(164)
第二节	锅炉正平衡热效率的测定方法·····	(167)
第三节	锅炉反平衡热效率的测定方法·····	(175)
第四节	正、反平衡热效率的试验条件和要求·····	(205)
第八章	消烟除尘·····	(208)
第一节	消烟除尘与节能·····	(208)
第二节	解决消烟除尘的方法·····	(209)
第九章	锅炉设备的维修和除垢·····	(218)
第一节	锅炉维修的内容·····	(218)
第二节	受热面内外部污垢的危害·····	(222)
第三节	受热面外部污垢的清除·····	(223)
第四节	受热面内部污垢的清除·····	(231)
第十章	热水锅炉·····	(246)
第一节	热水采暖的优越性·····	(246)
第二节	热水锅炉·····	(248)
第三节	汽炉改热水锅炉的实例·····	(256)

第十四章	水处理设备的合理改进	(349)
第一节	在节约燃料中水处理的作用	(349)
第二节	水处理设备合理改进的方法	(351)
第三节	改进后的几个问题	(358)
第四节	逆流再生的优越性	(360)
第五节	改善锅炉水质的几点建议	(362)
附录 I	我国部分煤种特性	(363)
附录 II	天津常用煤种特性	(366)
附录 III	燃料各种质的换算关系	(368)
附录 IV	煤、灰的比热及导热系数	(368)
附录 V	饱和水和饱和水蒸气表	(369)
附录 VI	锅炉注水器性能	(371)
附录 VII	汽泵工作性能	(372)
附录 VIII	GB型锅炉给水泵性能	(373)
附录 IX	GC型锅炉给水泵性能	(376)
附录 X	4-72型高效中、低压离心通风机性能表	(378)
附录 XI	小型水管锅炉主要数据估算表	(382)
附录 XII	汽管、水管、风道的经济流速	(384)
附录 XIII	过热蒸汽的焓和比容	(386)
附录 XIV	钠离子交换法原理	(388)
附录 XV	火管锅炉炉内水处理方法	(389)
附录 XVI	BA型泵工作性能	(391)
附录 XVII	自然对数 $\ln b$ 的值	(394)
附录 XVIII	不同管径保温材料和管道本身的重量	(395)
附录 XIX	各种耐火、保温材料的导热系数	(396)
附录 XX	煤、灰的近似堆积比重及自然堆积角	(398)
附录 XXI	采暖房间空气温度控制值	(398)

附录 X Ⅺ 国务院关于节约工业锅炉用煤的指令… (399)

附录 X X Ⅻ 国家对工矿企业中锅炉节能的要求…… (402)

第一章 燃料的管理和分析

几乎各行各业的工厂都有锅炉房。大家知道，锅炉是一次能源(煤、石油、天然气)变换为二次能源(水蒸气)的一种转换设备。它是消耗燃料能源的最大用户之一，因而，对节约能源有着十分重要的意义。

锅炉将燃料的化学能变为蒸汽的热能，供工业部门的各种工艺过程加热和动力机械做功，它的能量变换效率说明锅炉运行的经济性，通常以锅炉热效率这个指标来衡量。根据统计资料指出，各种型式(尤其是旧型式)锅炉的热效率水平如表 1 所列。

各种炉型的热效率

表 1

炉 型	立式炉	火管炉	热水炉	水火管炉	水管炉	电站炉
热效率(%)	30~35	40~50	40~45	50~55	60~70	80~90

从表中可以看出，除电站锅炉的热效率比较高以外，其它类型的中、小型锅炉的热效率普遍很低，达不到国家规定的锅炉热效率的要求。

锅炉热效率低，说明锅炉在运行时能源变换损失很大。在我国，中、小型工业锅炉数量庞大，总数近20万台，每年消耗的燃料就有两亿吨以上，几乎占我国煤炭产量的三分之一。这样大的煤炭消耗量，而锅炉平均热效率又只在50%左右，这就是说，有50%的燃料即每年约有一亿吨煤，白白地浪费掉了，实在可惜。

因此，提高数量众多的中、小型工业锅炉的经济性，使热效率接近和达到电站锅炉的水平，从而节省大量燃料，是节约能源很重要的技术环节。

锅炉运行的经济性，包括能量转换过程中的各个环节，如燃料、锅炉本体设备和辅助设备等的运行经济性。

所谓燃料，就是指含有或是能够放出可燃质的物质。我们使用的所有天然燃料都是有机化合物构成的。从技术角度来看，凡具有下列三个主要特征的物质都可以作为燃料。

1. 有足够大的发热率，常用 1 公斤燃料的发热值表示；
2. 在空气中能够很快地燃烧起来；
3. 分布很广容易取得，以便满足大量使用。

液体燃料(石油)和气体燃料(天然气)都是轻纺、化工工业生产的重要原料，又是国家的重要战略物资。目前，我国石油、天然气的产量还不多，所以，我国规定锅炉不准使用石油作燃料，过去已烧油的锅炉，也都得改回烧煤。因此，本书只讨论燃煤锅炉。

第一节 煤的形成和分类

煤炭是生物的残体，由陆生高等植物和有机物质变成的。煤炭形成需要有丰富的有机质，需要沉积下来的有机质有一定的厚度和一定的富集程度，并且很快地被埋覆，不致遭受氧化。在地下一定的深度处，有机质经过厌氧细菌的生物地球化学转化(成岩作用)及地压地温条件的催化(深埋作用)作用，逐渐变成了煤炭。煤形成于“泽”，这就是说，煤的沉积形成必需在水下进行，以免被大气氧化而消失。

随着成煤过程和年代的不同，煤质有着显著的差别。煤在形成过程中，沉积速度较慢时，掺合作用(非煤杂质的掺入)较

弱，使形成的煤中灰分含量较低。否则，沉积速度快了会“泥砂俱下”，灰分含量增多。古代的高等植物有机体，在没有水淹没的干燥地层土壤中经历腐烂、蒸馏和碳化过程，形成烟煤；随着地质化学年代的增加，逐渐放出那些不稳定气体可燃成分和氧，而碳的比例逐渐增大，形成无烟煤。无烟煤的碳化程度达95%~97%。然而聚积在沼泽中的高等植物，若在水的掩盖下隐藏起来，及由于化学年代较浅，就形成褐煤、泥煤等其他各种性质的煤。

我国煤的种类，国家科委曾推荐分为十大类别，如表2所列。

我国煤料的分类

表2

类别	可燃体挥发分(V%)	胶质层厚度(δ毫米)
无烟煤	0~10	—
贫煤	10~20	0(粉状)
瘦煤	14~20	0~12
焦煤	14~30	>8~25
肥煤	不限	>25
气煤	>30	>5~25
弱粘煤	>20~37	0~9(块状)
不粘煤	>20~37	0(粉状)
长焰煤	>37	0~5
褐煤	>40	—

注：胶质层厚度系把磨碎的煤样加热时，煤质所析出的一层塑性物（即胶质物）的厚度。

煤按煤种产品的用途、加工方法和质量规格，在实用上又分为五类，即：

1. 精煤：经洗煤厂加工供炼焦用的精选煤有：

1) 冶炼用炼焦精煤：灰分等于或小于12.5%，简称冶炼精

煤，

2)其他用炼焦精煤：灰分在12.5%~16.0%，简称其精煤。

2. 粒级煤：经洗选或筛选加工，清除大部或部分杂质与矸石，其粒度分级下限在6毫米以上，灰分小于或等于40%。粒度分为特大块、大块、中块、小块、煤粒等。

3. 洗、选煤：经洗选或筛选加工，清除大部或部分杂质与矸石的原煤，粒度分级上限在50、25、20、13或6毫米以下，灰分小于或等于40%。

4. 原煤：指煤矿生产出来，未经洗选、筛选加工而只经人工拣矸石的煤，包括水采原煤，灰分小于或等于40%，粒度分为末煤、混煤、粉煤等。

5. 低质煤：指灰分大于40%的各种煤、粒度不限。

关于煤的粒度规定，如表3所示。

煤 的 粒 度 规 定

表 3

名 称	粒 度 (毫米)
块 煤	特大块>100 大块>50 中块20~50 小块13~20
混 煤	0~20
末 煤	0~13
粉 煤	0~6
粒 煤	6~13
煤 泥	0~1
原 煤	不 限

煤按灰分含量大小，又可分为25个等级。如一级煤的灰分含量为4.01%~5%，而25级煤的灰分含量为46.01%~49%，其中1~8级灰分间隔为1%；9~22级灰分间隔为2%；23~25级灰分间隔为3%。

我国部分煤种的特性列于附录 I，供参考。

第二节 煤的特性、成分和工业分析

如上所述，随着煤的碳化程度不同，其中固定碳、挥发分和灰分的比率也大不相同。它们是衡量煤的品质的主要指标。

我国中、小型锅炉常用的煤种，基本上是无烟煤、烟煤、褐煤、煤矸石及其混合物。

一、常用煤的特性

无烟煤：又称白煤，或红煤。生成于3亿年以前的石炭纪，煤化程度最深。它质地坚硬，断面呈深黑色，有金属光泽，具有象玻璃一般的平滑表面，密度大，比重约为1.4~1.8。优点是固定碳多，发热量大，约为6500~8000千卡/公斤。可燃基挥发物太少，仅为0~10%，因而不易着火，燃烧时火焰短。我国晋城、阳泉、京西煤均属无烟煤。

烟煤：生成于中生代的侏罗，距今有1亿8千万年，质软、色深黑为半无光泽的煤，比重1.1~1.5，固定碳含量在50%~60%之间，可燃基挥发分含量在20%~35%之间。烟煤容易着火燃烧，火焰长，发热量比较大，约为2500~6000千卡/公斤；当含硫化铁多时，燃烧时容易粘结。烟煤按其发热量分为三个类别，见表4。

烟 煤 的 类 别

表 4

类 别	发热量 (Q_{dw}^y)	可燃基挥发分 (%)	全硫分 (%)	灰分 (%)	全水分 (%)
一 类	2500~3500	>20	1.3	43~49	7~15
二 类	3500~4500	>20	1.3	24~40	7~15
三 类	>4500	>20	1.3	20~30	7~15

我国开滦、萍乡、本溪、大同、六河沟、博山等处均产烟煤。

褐煤：又称棕煤，生成于新生代的第三纪，距今2千5百万年。化学年代浅，碳化程度低，外表尚有木纹呈现，质脆弱，比重为1.04~1.25，干燥时易自行破碎，不结焦，无金属光泽，水分多，可燃基挥发分高，大于40%。发热量低，为2500~4000千卡/公斤，火焰长，含碳量低，小于50%。我国内蒙、黑龙江、吉林、云南、河南都有生产，用于大型电站，工业锅炉亦有使用。

泥煤：或叫草炭，形成于250万年前的第四纪，含碳量少，含氧量高达30%以上，水分也很多，可达60%~90%。因此，发热量低，约为2000~3000千卡/公斤。其可燃基挥发分高，约为50%~75%，故易着火，易破碎，不结焦，比重为1.0~1.04。

实际供应的煤种常常是千变万化。为了将好煤支援其他工业部门，中、小型锅炉的用煤多为十级以上的混煤。这种煤一般为含灰多、含挥发分和固定碳少、发热量低的劣质煤，不好烧。尤其是小型锅炉，炉灰中的可燃物含量普遍很高。

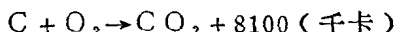
天津用煤特性可参见附录Ⅱ。

二、煤的成分

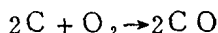
除了含有灰分 (A^y) 和水分 (W^y) 外，煤是由碳(C)、

氢(H_2)、氧(O_2)、氮(N)、硫(S)等元素成分所组成。其中碳、氢、可燃硫是可燃成分；其余都是不可燃成分。

碳(C)：碳是各种燃料的主要可燃物，一公斤碳完全燃烧时能放出8100千卡的热量，产生二氧化碳，其化学反应方程式为：

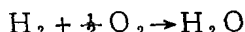


不完全燃烧时，除放出二氧化碳外，还产生一氧化碳(CO)，其化学反应方程式为：



煤的固定碳含量变化很大约为27%~90%，碳的燃烧必须在比较高的温度下进行，固定碳是较难燃烧的。所以，在燃料中含碳量愈多，就愈不易着火和燃烧，比如，无烟煤就是如此，很难着火。

氢(H_2)：煤中含氢量很少，它是第二项主要的可燃成分，工作基含量约在2%~4%左右。氢在燃烧时能放出大量的热量，一公斤(煤中氢)完全燃烧时放出的热量，为碳的三倍左右。其化学反应方程式为：



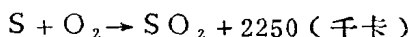
燃烧时氢以碳的化合物参加反应。这些化合物在加热时成气体状态挥发出来，着火温度较低，可以帮助加速点火。这就是燃料中含氢愈多，就愈易着火的缘故。

氧：氧含量随着煤的化学年代的增长逐渐降低，如化学年代最浅的木材，其含氧量达43%左右，泥煤为33%~39%，而年代最久的无烟煤仅为1%~3%，煤中氧不起助燃作用，而且将降低发热量。

氮：煤中含氮量很少，一般只为0.5%~2%。氮不能燃

烧，燃烧时随燃烧后的气体排出锅炉，带走煤燃烧产生的热量。

硫：煤中的硫分以两种形态存在，一种叫有机挥发硫，属可燃成分；另一种叫矿物硫，其中的硫化物硫可燃，硫酸盐中的硫不参加燃烧，而随灰渣排出。可燃硫燃烧时，可放出2250千卡/公斤的热量，其化学反应方程式为：



生成的二氧化硫和三氧化硫气体，随烟气带走。若与烟气中的水蒸气化合时，会生成亚硫酸和硫酸，腐蚀锅炉尾部受热面及引风设备。二氧化硫排放到大气，会污染环境。据计算一吨含可燃硫3%的煤能产生近60公斤二氧化硫。所以，燃料中的含硫量应越小越好。

灰分：灰分是煤中不能燃烧的固体矿物杂质，它是在燃料形成初期、开采及运输中掺入来的，是燃料杂质的主要成分，比重约2.9。不同煤种的灰分含量很不相同。各类煤种的含灰量如表5示。

各类煤种的含灰量

表 5

煤 种	泥 煤	褐 煤	长焰煤	肥 煤	瘦 煤	无烟煤	烟 煤
灰分 (%)	3.5 ~ 20	10 ~ 45	7 ~ 28	5 ~ 30	4 ~ 34	2 ~ 27	24 ~ 40

灰分中的物质大多是如下的一些金属或非金属氧化物和盐类。

氧化物有：氧化硅 SiO_2 ，氧化铁 FeO ， Fe_2O_3 ， Fe_3O_4 ，铝矾土 Al_2O_3 ，氧化钙 CaO ，氧化镁 MgO ，碱类氧化物 K_2O ， Na_2O 和稀有金属的氧化物等。

盐类有：硫酸盐 MSO_4 ，磷酸盐等。

在高温半还原性（炉膛的实际情况）状态下，灰分中的氧化亚铁（ FeO ）和氧化硅（ SiO_2 ）及氧化钙（ CaO ）等化合成低熔点的共晶体系统，如铁橄榄石（ $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ）的熔点为 1050°C ，钙铁橄榄石（ $\text{CaO} \cdot \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ）的熔点为 1100°C 。这就是有些煤的灰分易熔融成熔渣堆积在炉排上造成燃烧不良，损坏燃烧设备的原因。灰分的熔点一般在 $1130 \sim 1590^\circ\text{C}$ 之间，随着灰中氧化物含量的不同而不同。一般地说，氧化硅和氧化铝含量高的灰分，熔点较高，氧化铁、氧化钾（ K_2O ）和氧化钙（ CaO ）等碱性物质含量高的灰分熔点较低。灰分中几种氧化物和化合物（共晶体）的熔点列于表6中。

几种氧化物和化合物的熔点

表 6

氧化物	熔点（ $^\circ\text{C}$ ）	化 合 物（共晶体）	熔点（ $^\circ\text{C}$ ）
SiO_2	2230	耐火硅酸铝 $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1850
Al_2O_3	2050	铝酸钙 $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1500
CaO	2570	硅酸钙 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	1540
MgO	2800	$2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$	1065
FeO	1420	$\text{CaO} \cdot \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$	1100
Fe_2O_3	1550		
Fe_3O_4	1540		

从表中可知，灰分的实际熔化温度（因煤灰多系共晶体系统）总是比具有较高熔点的纯氧化物要低得多。

燃料中灰分多了，可燃成分就少了，燃烧时放出热量也就少了。对煤的分析表明，当煤中灰分增加10%，其发热量约降低12%。再者，燃料灰分的增加将会从几方面引起锅炉热效率