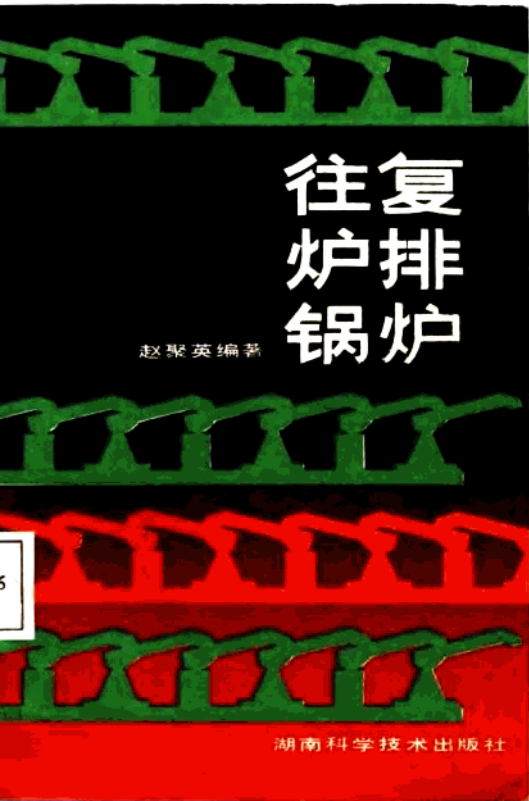




往复排 炉锅炉

赵聚英编著

湖南科学技术出版社

往复炉排锅炉

赵来英 编著

责任编辑：李遂平

*

湖南科学技术出版社出版发行

(长沙市展览馆路3号)

湖南省新华书店经销 衡阳印刷厂印刷

*

1988年元月第1版第1次印刷

开本：787×1092毫米 1/32 印张：7 字数：156,000

印数：1—5,000

ISBN 7-5357-0027-6

TH·1 定价：1.75元

湘科67-29

内 容 提 要

本书是近十几年来我国研究设计的往复炉排锅炉，特别是以作者为首研究成功的水平往复炉排的设计、试验、施工和运行经验的总结。水平往复炉排具有显著的经济、节能和环保效益。书中重点阐述了往复炉排的基本原理、试验结果、设计方法、施工技术、运行操作方法、现场改炉经验、运行故障的原因分析和排除措施。此外，还简述了燃料、燃烧、锅炉本体的基本知识和锅炉热效率试验方法。

前 言

煤炭是我国当代最主要的能源。它既是最基本的工业燃料和重要的化工原料，也是人们生活的必需品。千方百计地节约煤炭，尽量使用当地次劣煤种，减少燃煤对环境的污染，是加速实现四个现代化的需要，也是广大群众的迫切愿望。

锅炉是动力设备，也是供热设备。用于发电的称动力锅炉。工矿企业、医院、学校和建筑工地等所配用的供热锅炉和生活锅炉，统称工业锅炉。工业锅炉的耗煤量，约占全国煤炭总产量的三分之一，因此节约工业锅炉用煤是节约能源的重要方面。

燃烧是工业锅炉的关键。发展我国工业锅炉的燃烧技术，不能脱离我国的燃料情况。在本世纪50、60年代，由于耗煤量少，主要开采优质煤，形成了燃烧优质煤的局面。随着工业的迅速发展，耗煤量成倍地增长，加上运输量猛增而带来的交通运输紧张、繁忙，迫使各地燃用地产煤。我国煤质的变化幅度很大，这给工业锅炉的燃烧带来了极大的困难。在煤质下降和煤质多变的情况下，曾经使锅炉运行长期达不到额定出力，热效率偏低且不稳定，甚至着火困难，炉渣含碳量高，产汽量不足等，影响生产的正常进行和生活供热。

往复炉排特别是水平式往复炉排燃烧技术，就是为了适应煤质多变的情况而研究成功的新型燃煤设备。斜往复炉排是以

北京地区为中心研制成功的，而水平往复炉排是以长沙地区为中心研制成功的。往复炉排以很强的生命力问世，以极快的速度普及全国。近几年来，各地普遍应用水平往复炉排改造旧锅炉和制造新锅炉，以及改造工业窑炉，都收到了显著的经济、节能和环保效益，深受用户欢迎。对其漏煤多、炉排片易烧损等问题，经过广大科技人员多年的深入研究都得到了解决，提高了可靠性和燃烧效率，使其完善和定型。各地在普及应用中，也积累了丰富的设计、施工和运行管理经验。但至今我国还没有关于往复炉排的专门书籍，本书是填补这一空白的初次尝试。书中重点阐述了往复炉排的基本原理、试验结果、设计方法、施工技术、运行操作方法、现场改炉经验、运行故障的原因分析和排除措施。此外，还简述了燃料、燃烧、锅炉本体的基本知识和锅炉热效率试验方法。

本书可供从事工业锅炉研究、设计、管理的工程技术人员和大专院校有关师生参考，也可作为往复炉排锅炉和窑炉司炉工的参考书。

本书是作者和湖南大学有关人员十多年研究和实践的总结。由于作者水平所限，书中难免有错误和不足之处，欢迎读者批评指正。

赵聚英于湖南大学

1987年1月

目 录

第一章 燃料、燃烧的基本知识.....	(1)
第一节 煤的基本知识.....	(1)
一、煤的元素成分及分析基准.....	(1)
二、煤的工业分析成分.....	(6)
三、煤的分类.....	(10)
第二节 煤的燃烧及燃烧产物.....	(12)
一、燃烧过程.....	(12)
二、煤充分燃烧的条件.....	(14)
三、煤的燃烧和炉内传热计算简便方法.....	(16)
第二章 锅炉本体的基本知识.....	(23)
第一节 传热过程.....	(23)
一、导热.....	(23)
二、对流.....	(24)
三、辐射.....	(27)
第二节 影响锅炉传热的因素.....	(27)
一、烟气温度.....	(27)
二、受热面.....	(30)
三、管子布置.....	(31)
四、烟道的布置.....	(32)

五、积灰	(33)
六、水垢	(33)
第三节 小型锅炉受热面的总体布置和要求	(34)
第四节 水循环和汽水分离	(35)
一、锅炉水循环	(35)
二、汽水分离	(38)
第五节 锅炉给水要求	(39)
 第三章 往复炉排的基本知识	 (42)
第一节 往复炉排的研制和发展	(42)
第二节 煤在往复炉内的燃烧过程	(43)
第三节 往复炉内影响燃烧的因素	(45)
一、煤的颗粒 度大小	(46)
二、煤的水分	(46)
三、挥发分的含量	(47)
四、煤的灰分含量	(47)
五、灰熔点的高低	(47)
六、煤的结焦性能	(48)
第四节 煤在水平式往复炉排面上的移动规律和 特点	(48)
一、炉排片的运动规律	(50)
二、煤层的运动规律	(51)
三、煤层的移动与拌和	(51)
四、煤层的移动速度	(52)
五、煤在炉排面上运动的特点	(57)
第五节 水平式往复炉排运行的特点	(57)
一、燃烧特点	(57)

二、环境效益好.....	(58)
三、安全可靠 性 提 高.....	(59)
四、推广应用 和 维 修 方 便.....	(60)
第四章 往复炉排燃烧机构的设计.....	(61)
第一节 炉膛设计的基本要求.....	(61)
第二节 炉子的工作强度.....	(62)
第三节 炉排长度、宽度的确定.....	(64)
第四节 炉膛容积的确定.....	(66)
第五节 炉拱的设计.....	(67)
第六节 水平往复炉排各主要组件的设计.....	(81)
一、炉排片	(82)
二、炉排梁	(88)
三、连杆及滚轮.....	(90)
四、过渡炉排片.....	(90)
第七节 改配往复炉排锅炉设计中应注意的几个问题.....	(90)
一、辅机的配用.....	(90)
二、快装锅炉改装设计时应注意的问题	(100)
三、立式锅炉改装设计时应注意的问题	(105)
第八节 改善往复炉燃烧的措施	(109)
第五章 旧式锅炉改造方案总图	(114)
第六章 往复炉排的安装与验收	(129)
第一节 技术要求	(129)
第二节 安装方法	(132)
第三节 验收	(134)

第七章 往复炉排的运行、操作与维护	(136)
第一节 运行管理	(136)
第二节 炉排温度场试验结论	(138)
第三节 燃烧调整与运行操作	(142)
第四节 往复炉排各项热损失的形成和影响因素	(153)
第五节 锅炉的维修保养	(165)
第六节 水平往复炉排运行中出现一些问题的原因 和解决措施	(171)
第八章 锅炉热平衡及热效率的测定	(180)
第一节 锅炉热平衡概要	(180)
第二节 热效率测定的组织和要求	(183)
第三节 热效率测定方法	(185)
第四节 热效率测定的结果分析	(201)
第五节 热效率测定计算举例	(204)
主要参考资料	(214)

第一章 燃料、燃烧 的基本知识

第一节 煤的基本知识

一、煤的元素成分及分析基准

目前工业锅炉主要燃料是煤。了解煤炭的组成，掌握其特性，分析这些特性对燃烧过程的影响，才能做到合理调整操作以及经济运行。

煤是由碳〔C〕、氢〔H〕、硫〔S〕、氧〔O〕、氮〔N〕、灰分〔A〕和水分〔W〕所组成的。C、H、S（其中的一部分）是可以燃烧的，并放出大量的热量；其余成分是不可燃烧的。下面简单介绍煤的各种组成成分。

1. 碳〔C〕：碳是煤中的主要可燃成分。一公斤碳完全燃烧时，能放出8100大卡的热量。但碳本身要在比较高的温度下才能燃烧，所以在燃料中含碳量愈多就愈不容易着火和燃烧，如无烟煤就是一例。

2. 氢〔H〕：煤中的氢含量变化在2~10%的范围内。氢在燃烧时能放出大量的热量。一公斤氢在锅炉内完全燃烧时（生成水蒸汽），能放出28600大卡热量，是碳的3.5倍。在燃料中氢与碳以化合物形式存在。这些化合物在加热时，成气体

状挥发出来，所以燃料中含氢愈多，挥发分也多，就愈容易着火和燃烧。年代愈久的煤，含氢量就愈少，如无烟煤。

3. 硫〔S〕：煤中硫分包括有机硫和无机硫。一部分为不可燃硫（ FeSO_4 、 CaSO_4 ），它不再参加燃烧；另一部分为可燃硫（ H_2S 、 FeS_2 ），它可以燃烧，并放出热量。每公斤硫燃烧时可放出2200大卡的热量。但硫燃烧后生成的二氧化硫（ SO_2 ）及三氧化硫（ SO_3 ），可与烟气中的水蒸汽化合成亚硫酸 H_2SO_3 和硫酸 H_2SO_4 的蒸汽，当它们凝结时，会对锅炉的金属部件起腐蚀作用。而且含硫的烟气由烟囱排入大气，对人体和动、植物都有害，严重地区已形成酸雨，严重污染环境。所以硫是煤中的有害物质，煤中的含硫量愈少愈好。

4. 氧〔O〕：是煤中的不可燃成分。含量随煤种而异，低的仅1~3%，高的超过20%。随着煤的年龄增长，氧的含量降低。

5. 氮〔N〕：煤中的不可燃成分。含量很少，一般为0.5~2%。

6. 灰分〔A〕：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、开采以及运输中掺入燃料中的。各种煤的灰分含量差异很大，如油页岩中可达50~60%，石煤灰分竟高达75%左右，同一煤种灰分的含量也相差很大。灰分多了，可燃成分也就少了，燃烧时放出的热量也少，同时还要增加燃烧时的热量损失，增加运输费用。所以燃用多灰分煤时，锅炉的工作条件是不利的：燃烧困难，且不完全燃烧，损失增加。但灰分过低，会使炉排面上渣层很薄，使炉排得不到保护，以致烧坏。另外，如果灰分的熔点过低，会造成结渣，破坏正常燃烧。

7. 水分〔W〕：也是煤中的杂质。因水分吸收燃烧放出的热量而汽化，降低煤的发热量，使炉膛燃烧温度降低，造成煤的着火困难，增大排烟热损失。但对于层燃炉，当煤中的细碎

煤粒多时，为了防止煤屑飞扬与减少漏煤，维持煤中有适当水分是必要的。同时煤中水分受热蒸发、热裂燃烧，还可减少结渣，改普通风，故层燃炉维持煤中有适当的水分，对节约用煤是有好处的。

煤的组成成分，都采用占总煤重量的百分数表示。为了确切地对煤的特性进行评价和比较，通常用四种不同的分析基准表示煤的组成成分。

1. 应用基。以进入锅炉房准备燃烧的炉前煤的分析结果为基准。各成分的应用基以其符号右上角加角码“y”表示。如C_y表示应用基含碳量。在锅炉的热力计算和热平衡测定中都以应用基表示煤的组成成分。

2. 分析基。在实验室里，对煤进行分析时，必须进行一定的干燥，将煤制成干煤粉来进行。用风干后的煤样分析煤中各组成成分称为分析基成分，在符号上加角码“f”表示。

3. 干基。因煤中的水分是经常变动的，如天雨淋湿，应用基成分中的含量也将变动，为了表示同一种煤的比较稳定的成分含量，人为地将煤中的水分扣除，就得到煤的干基成分，用右上角码“g”表示。

4. 可燃基。将应用基成分扣除水分和灰分以后，换算成无水、无灰基准的稳定组成便是可燃基成分。用右上角码“r”表示。可燃基成分更能表征同一种煤炭的组成特性，常以可燃基挥发分含量(V_r)来划分煤的类别。

煤的应用基水分(即全水分)，包括煤本身的固有水分(即内在水分 W_{nz})和煤炭表面留存的水分(外在水分 W_{wz})。在实用中先从实验室分析，知道煤的全水分和分析基成分，可以换算出炉前煤的应用基成分或其他成分。另外也可用简单的工业分析方法换算出来。其四种基准的相互关系如表1-1。

工作中若已知某种基准成分，而要求出另一种基准成分时，可进行换算，即将已知基准成分乘以换算因数。各种基准之间的换算因数如表 1—2 所示。

表 1—2 燃料各种基之间的换算因数

已知燃料基	燃 料 基			
	应用基	分析基	干燥基	可燃基
应用基	1	$\frac{100 - W^f}{100 - W^y}$	$\frac{100}{100 - W^y}$	$\frac{100}{100 - W^y - A^y}$
分析基	$\frac{100 - W^y}{100 - W^f}$	1	$\frac{100}{100 - W^f}$	$\frac{100}{100 - W^f - A^f}$
干燥基	$\frac{100 - W^y}{100}$	$\frac{100 - W^f}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A^s}$
可燃基	$\frac{100 - W^y - A^y}{100}$	$\frac{100 - W^f - A^f}{100}$	$\frac{100 - A^s}{100}$	1

例题：已知开滦煤的可燃基成分 $C^r = 83.5\%$, $H^r = 5.2\%$, $O^r = 8.4\%$, $N^r = 1.5\%$, $S^r = 1.4\%$, 应用基灰分 $A^y = 23.25\%$, 应用基水分 $W^y = 7.0\%$, 试求各组成成分的应用基百分比。

首先在表 1—2 中左行的已知燃料基内找到可燃基一排与右边所求燃料基中的应用基一行的交点得出换算因数公式：

$\frac{100 - W^y - A^y}{100}$ 。将已知的 W^y 、 A^y 代入公式，得换算因数为

$\frac{100 - 7.0 - 23.25}{100} = 0.6975$ 。所求的应用基成分为可燃基成分乘

以换算因数 0.6975。所以应用基百分比如下：

$$C^y = C^r \times 0.6975 = 83.5 \times 0.6975 = 58.24\%$$

$$H^y = H^r \times 0.6975 = 5.2 \times 0.6975 = 3.63\%$$

$$O^r = O^r \times 0.6975 = 8.4 \times 0.6975 = 5.86\%$$

$$N^r = N^r \times 0.6975 = 1.5 \times 0.6975 = 1.05\%$$

$$S^r = S^r \times 0.6975 = 1.4 \times 0.6975 = 0.97\%$$

最后要检验计算是否有误，可将各应用基成分集加起来，看是否为100%。否则计算错误。

$$\text{即： } C^r + H^r + O^r + N^r + S^r + A^r + W^r$$

$$= 58.24 + 3.63 + 5.86 + 1.05 + 0.97 + 23.25 + 7$$

$$= 100\%$$

二、煤的工业分析成分

锅炉设计计算时，我们以煤的元素成分分析作为原始数据。但在运行中，常用煤的工业分析成分来判断煤在锅炉中燃烧的特性，并依此采取种种相应的技术措施，合理调整燃烧过程。煤的工业分析成分包括：固定碳、挥发分、灰分、水分和发热量。必要时测定灰熔点和粘结性。对一般运行用户，只对煤进行工业分析。而煤的元素分析、灰熔点和粘结性测定，大都送专业化实验室进行。下面择要介绍一下分析项目的含义及其影响。

1. 水分：将原煤的试样在 $102^{\circ}\text{C} \sim 105^{\circ}\text{C}$ 下干燥到恒重，所测得的水分称为全水分。

2. 灰分：将分析基试样在 $800 \pm 20^{\circ}\text{C}$ 的温度下，在马弗炉中灼烧至恒重，灼烧后残渣的重量占原试样重量的百分数，即为煤的分析试样的灰分。

3. 挥发分：在隔绝空气的情况下，将煤加热到 850°C 左右，所放出来的气态可燃物质称为挥发物。挥发物极易燃烧。煤中挥发物的含量多，则着火容易，燃烧时有长的火焰。可燃质中挥发分所占的百分比用 V_1^r 来表示，是煤炭分类的主要指标之

一。各种不同的煤，挥发分析出的百分比是不相同的。

4. **固定碳**：煤中的水分及挥发物析出后所残留下来的固体物质叫焦炭，焦炭包括固定碳和灰分两项。焦炭的粘结特性，也是煤分类的指标之一。

5. **发热量**：煤的发热量是指一公斤煤完全燃烧时所放出的热量，单位用大卡/公斤表示，是用煤质量好坏的主要指标。发热量可用专门的氧弹测热计来测定，分为高位发热量、低位发热量和弹筒发热量三种。测定煤的发热量时，把煤的试样放在充有25~30个大气压氧气的弹筒中，使它完全燃烧，放出热量传给弹筒周围的水，根据水温变化，计算所得的发热量，称为弹筒发热量（ Q_{dt} ）。煤在充氧的弹筒中燃烧和在空气中燃烧有所不同：首先是煤在弹筒中燃烧时，可燃硫被燃烧生成的二氧化硫，最终要溶于水，放出溶解热。其次是氮气在燃烧中，部分形成二氧化氮，最终形成硝酸，也放出溶解热。把硫酸和硝酸的溶解热，从弹筒发热量中扣除之后，所得到的发热量，称为煤的高位发热量（ Q_{gw} ）。此外，煤在氧弹中燃烧时，氢元素燃烧所生成的水和燃料本身所含的水分，先是呈汽态，然后都会凝结成水，放出汽化潜热。而在实际燃烧中，考虑到煤燃烧时形成的水被汽化成蒸汽要吸收热量，煤在炉膛中燃烧时，烟气中的水蒸汽是不会凝结放出汽化潜热的，这部分热量在锅炉中，实际上随烟气排出烟囱，不能利用，因此在燃料发热量中应扣除这部分热量。从高位发热量中，扣除水蒸汽汽化潜热后所得的发热量，称为燃煤的低位发热量（ Q_{dw} ）。煤的发热量是煤的一个重要指标，是锅炉工作和计算的主要依据之一。在锅炉设计和运行管理中，一般都是采用应用基低位发热量（ Q_d^y ）来计算煤的用量和热效率，不能采用弹筒发热量或高位发热量。此外应采用应用基，而不能采用其他的基准值。

若已知其他基准值，则应换算到应用基再用。

煤的灰分、水分、挥发分及发热量的大小都随着煤的工作基成分的变化而不同，可用换算因数换算。煤的这些性质对煤在锅炉内的燃烧过程影响是很显著的，因而在工业锅炉的运行中应经常对煤进行工业分析，以便根据煤质的特性，调节和控制燃烧过程，提高锅炉运行的经济性。

煤的发热量也可以利用工业分析结果计算，其经验公式是煤炭科学研究院提出的，如下：

(1) 对于无烟煤

$$Q_g^f = 80 [100 - (W^f + A^f)] + K_0 - 10A^f \text{ 大卡/公斤} \quad (1-1)$$

式中： K_0 是随无烟煤可燃基氢含量(H^f)变化的一个常数，可以从表1-3查得。

表1-3 无烟煤 K_0 值与 H^f 的对应表

$H^f(\%)$	<1.2	>1.2-1.6	>1.6-2.0	>2.0-2.5	>2.5-3.0	>3.0-3.5	>3.5-4.0
K_0	-100	+50	+200	+300	+350	+450	+550

如果不知道煤的含氢量，也可近似地按煤的可燃基挥发分 V^f 从表1-4中查得 K_0 之值。

表1-4 无烟煤的 K_0 值与 V^f 的对应表

$V^f(\%)$	≤ 2.5	>2.5-5.0	>5.0-7.5	>7.5-10
K_0	+200	+300	+400	+500

(2) 对于烟煤

$$Q_g^f = K_1 [100 - (W^f + A^f)] - 6A^f \quad (1-2)$$

式中的常数 K_1 根据燃煤的 V^f 及其焦渣特征从表1-5中选定。