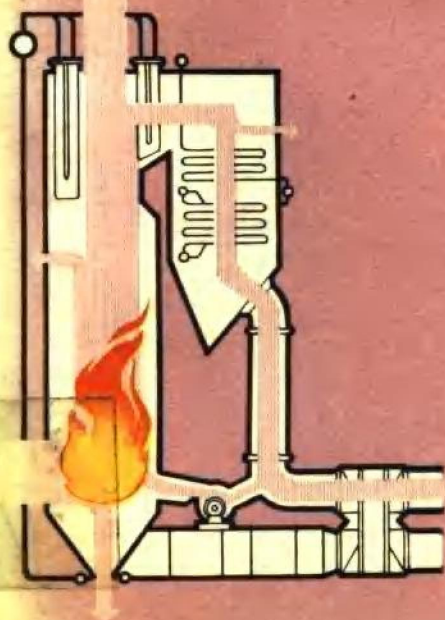


燃煤锅炉 燃烧调整试验方法

西安热工研究所 编著
东北电力局技术改进局



水利电力出版社

内 容 提 要

本书是根据国内电厂燃煤锅炉燃烧调整试验的实践经验编写的。书中较系统地介绍了煤粉炉、液态排渣炉、链条炉和抛煤炉的燃烧调整，锅炉热平衡、风平衡和灰平衡的测定和计算，炉膛的冷态空气动力场试验，炉膛及烟道漏风系数的测定等方法；阐述了调整试验使用的温度、压力、速度及流量的测量方法，烟气成分的分析方法，以及煤、灰和粉尘的采样方法；概述了煤质对锅炉燃烧工况的影响，介绍了误差分析方法，并附有燃烧调整试验工作常用的数据和资料。

本书主要供火力发电厂锅炉试验和运行人员阅读，也可供其他工业锅炉工作者和大、中专院校动力专业师生参考。

燃煤锅炉燃烧调整试验方法

西安热工研究所 编著
东北电力局技术改进局

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

1974年12月北京第一版

1974年12月北京第一次印刷

印数 00001—24350 册 每册 1.45 元

书号 15143·3106



序 言

党的十大政治报告中指出：“我国在经济上还是一个穷国，还是一个发展中的国家。我们要贯彻执行鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义的总路线，抓革命、促生产。要继续执行‘以农业为基础、工业为主导’的方针和一系列两条腿走路的政策，独立自主，自力更生，艰苦奋斗，勤俭建国。”在毛主席革命路线的指引下，我国电力工业战线的革命和生产形势一派大好。随着电力工业高速度的发展，火力发电厂的燃料需要量日益增多，因此，提高火力发电厂的热效率，节约燃料，是我们电业职工贯彻执行建设社会主义总路线的一项长期而光荣的任务。马克思指出：“最强大的一种生产力是革命阶级本身”。我们坚信，通过无产阶级文化大革命、批林整风和批林批孔运动锻炼的广大革命群众，必将发挥更大的干劲、智慧和创造性，在加速发展电力工业的同时，在节约燃料方面也一定会做出更大的贡献。

做好锅炉机组的燃烧调整工作，提高其运行的经济性和安全性，是降低煤耗、节约燃料的一个重要途径。在这方面，当前还有相当大的潜力可挖。为了掌握锅炉机组的运行特性，提高其热效率，就需要进行锅炉燃烧调整试验。对于新装的机组，从加强安全运行和技术管理方面来说，这项工作也是必不可少的。

建国二十多年来，各电厂、研究试验单位及领导机关对这项工作均很重视，也积累了相当丰富的实践经验。我们根据工作中积累的资料和兄弟单位的一些经验，编写了这本《燃煤锅炉燃烧调整试验方法》，以供从事锅炉试验和运行的同志参考。

本书内容只限于燃煤锅炉的燃烧调整试验。全书共分十五章，章节顺序基本上是按照调整试验的进程安排的。在第一章中概括阐述了试验工作的一般要求，随后各章分别叙述了调整方法、测量方法、燃料燃烧特性和锅炉热效率的计算方法，最后编

入了误差分析及燃煤特性对燃烧过程的影响两章，并收集了部分常用数据和资料做为附录。我们考虑，这样编排比较便于在实际工作中查阅。对于初接触这方面工作的同志来讲，建议先阅读第十二、十三及十五章较好。

在本书编写过程中，得到许多电厂、中心试验所同志的支持、关心和帮助，在此谨致谢意。

由于我们水平有限，调查研究工作做得不够，可能有很多兄弟单位的先进技术经验没有得到反映，书中不妥之处也在所难免，希读者指正。

编 著 者

一九七四年五月

常用符号及单位说明

一、必须上标的角码

角	码	角码表示的意义
	f	燃料成分分析基的
	g	燃料成分干燥基的
	r	燃料成分可燃基的
	y	燃料成分应用基的
	'	入口的
	"	出口的
	0	理论的或标准状态的

二、必须下标的角码

角	码	角码表示的意义
	r	燃料的或输入的
	y	烟气的

三、上、下标通用的角码

角	码	角码表示的意义	角	码	角码表示的意义
(一)设备(大写字母)				QG	汽鼓的
C		发电厂的		GR	过热器的
G		管道的		JW	减温器的
L		锅炉的		ZR	再热器的
B		锅炉外壁的		ZJ	再热汽减温器的
T		炉膛的		P	屏 的

续表

角 码	角码表示的意义	角 码	角码表示的意义
<i>SB</i>	水冷壁的	<i>1k</i>	一次风的
<i>LP</i>	炉排的	<i>2k</i>	二次风的
<i>SM</i>	省煤器的	<i>3k</i>	三次风的
<i>KY</i>	空气预热器的	<i>zz</i>	有组织进入炉膛的
<i>QR</i>	前置式空气预热器的	<i>gy</i>	干烟气的
<i>CC</i>	除尘器的	<i>py</i>	排烟的
<i>SF</i>	送风机的	<i>xy</i>	再循环烟气的
<i>XF</i>	吸风机的	<i>h</i>	灰 的
<i>YX</i>	烟气再循环风机的	<i>lz</i>	炉渣的
<i>MM</i>	磨煤机的	<i>fh</i>	飞灰的
<i>PF</i>	排粉机的	<i>lm</i>	漏煤的
<i>ZF</i>	制粉系统的	H_2O	水或水蒸汽的
(二)燃料、工质		RO_2	二氧化碳及二氧化硫的
<i>m</i>	煤的、原煤的	CO_2	二氧化碳的
<i>mf</i>	煤粉的	N_2	氮 的
<i>gq</i>	过热蒸汽的	(三)其 它	
<i>zq</i>	再热蒸汽的	<i>e</i>	额定的
<i>bq</i>	饱和蒸汽的	<i>z</i>	总 的
<i>bs</i>	饱和水的	<i>j</i>	净 的
<i>gs</i>	给水的	<i>max</i>	最大的
<i>ls</i>	炉水的	<i>min</i>	最小的
<i>ps</i>	排污水的	<i>dl</i>	当量的
<i>jw</i>	减温水的	<i>zs</i>	折算的
<i>zj</i>	再热汽减温水的	<i>n</i>	内部的
<i>wh</i>	雾化蒸汽的	<i>w</i>	外部的
<i>wl</i>	外来燃烧产物的	<i>b</i>	表面的、变更后的
<i>fr</i>	废热的	<i>d</i>	对流的、电的
<i>k</i>	空气的 (指一般湿度 的空气)	<i>f</i>	辐射的、附加的
<i>gk</i>	干空气的	<i>x</i>	物理显热的
<i>rk</i>	热空气的	<i>zy</i>	自用的

四、常用符号

符 号	单 位	符 号 表 示 的 意 义
(一) 燃 料		
B	吨/时	燃料消耗量
C	%	燃料成分中的碳含量质量百分率
H	%	燃料成分中的氢含量质量百分率
O	%	燃料成分中的氧含量质量百分率
N	%	燃料成分中的氮含量质量百分率
S_Q	%	燃料成分中的全硫含量质量百分率
S_R	%	燃料成分中的可燃硫含量质量百分率
S_{BR}	%	燃料成分中的不可燃硫含量质量百分率
S_{LY}	%	燃料成分中的硫酸盐硫含量质量百分率
S_{LT}	%	燃料成分中的硫化铁硫含量质量百分率
S_{YJ}	%	燃料成分中的有机硫含量质量百分率
S_h	%	灰中含硫质量百分率
A	%	燃料成分中的灰分含量质量百分率
W	%	燃料成分中的水分含量质量百分率
W_{NZ}	%	燃料成分中的内在水分含量质量百分率
W_{WZ}	%	燃料成分中的外在水分含量质量百分率
V	%	燃料成分中的挥发分含量质量百分率
FC	%	燃料成分中的固定碳含量质量百分率
Q_G	大卡/公斤	燃料的高位发热量
Q_D	大卡/公斤	固体或液体燃料的低位发热量
	大卡/标米 ³	气体燃料的低位发热量
t_1	°C	煤灰的开始变形温度
t_2	°C	煤灰的软化温度
t_3	°C	煤灰的熔化温度
I_{rx}	大卡/公斤	燃料的物理显热
R_{200}	%	200微米孔径筛子上的剩余量
R_{90}	%	90微米孔径筛子上的剩余量
β	—	燃料特性系数

续表

符 号	单 位	符 号 表 示 的 意 义
(二) 蒸 汽、水		
D	吨/时	锅炉蒸发量; 汽、水流量
i	大卡/公斤	汽、水热焓
p	公斤/厘米 ²	汽、水压力
t	°C	汽、水温度
S_{os}	毫克/升	给水含盐量
S_{ls}	毫克/升	炉水含盐量
(三) 空 气		
P_a	毫米汞柱	当地大气压力
H	毫米水柱	风 压
$H_s(P_s)$	毫米水柱	静 压
$H_d(P_d)$	毫米水柱	动 压
t_k	°C	空气(风)温度
d_k	克/公斤	空气的绝对湿度
r	%	一、二、三次风量占入炉风量百分率
α	—	空气过剩系数
$\Delta\alpha$	—	漏风系数
(四) 烟 气		
S	毫米水柱	烟气负压
ϑ	°C	烟气温度
χ	—	实际烟气与空气比
RO_2	%	烟气成分中二氧化碳及二氧化硫的体积含量百分率
O_2	%	烟气成分中氧的体积含量百分率
CO	%	烟气成分中一氧化碳的体积含量百分率
H_2	%	烟气成分中氢的体积含量百分率
CH_4	%	烟气成分中甲烷的体积含量百分率
C_mH_n	%	烟气成分中其它烃类气体的体积含量百分率
N_2	%	烟气成分中氮的体积含量百分率

续表

符 号	单 位	符 号 表 示 的 意 义
-----	-----	---------------

(五) 灰 渣

a	%	炉渣、飞灰、漏煤占总灰量的质量百分率
C	%	炉渣、飞灰、漏煤的可燃物含量百分率
t_{lz}	°C	炉渣温度

(六) 热 平 衡

Q_r	大卡/公斤	相应于每公斤燃料的输入热量
Q_1	大卡/公斤	锅炉的输出热量
Q_2	大卡/公斤	排烟损失的热量
Q_3	大卡/公斤	可燃气体未完全燃烧损失的热量
Q_4	大卡/公斤	灰渣未完全燃烧损失的热量
Q_5	大卡/公斤	锅炉设备散热量
Q_6	大卡/公斤	灰渣物理损失的热量
q_1	%	锅炉输出热量百分率
q_2	%	排烟热损失百分率
q_3	%	可燃气体未完全燃烧热损失百分率
q_4	%	灰渣未完全燃烧热损失百分率
q_5	%	锅炉设备散热损失百分率
q_6	%	灰渣物理热损失百分率
q_{zy}	%	自用电能损失百分率
η	%	锅炉热效率
η_j	%	锅炉净效率
b	公斤/度	标准煤耗率
q_v	大卡/米 ³ ·时	炉膛容积热强度
q_F	大卡/米 ² ·时	炉排热强度或炉膛断面热强度
N	千瓦	功 率
	度/时	耗电量
$\bar{N}$	度/吨	相应于每吨燃料的耗电率
E	度/吨	相应于每吨蒸汽的耗电率

续表

符 号	单 位	符 号 表 示 的 意 义
-----	-----	---------------

(七)其它通用符号

D, d	米	直 径
R, r	米	半 径
L, l	米	长 度
B, b	米	宽 度
H, h	米	高 度
F, f	米 ²	面 积
V	米 ³	体积或容积
	米 ³ /时	体积流量
G	公斤	质 量
	公斤/时	质量流量
w	米/秒	速 度
τ	小时, 分钟	时 间
ρ	公斤/米 ³	密 度
ν	米 ² /秒	气体或液体的运动粘度
c	大卡/公斤·°C	固体的比热
c_p	大卡/标米 ³ ·°C	气体的平均定压容积比热
χ	—	气体的绝热指数
g	公斤·米 /公斤力·秒 ²	换算因数 $g=9.81$ 公斤·米/公斤力·秒 ²
K, k	—	常 数
Y	—	阀门、挡板等的开度及位置指示
δ		极限误差
δ_0	%	相对极限误差
σ		标准误差
σ_0	%	相对标准误差

五、关于使用单位的一点说明

本书使用的单位，参照了国际单位制的规定，凡物质的量，皆是泛指质量（气体以体积表示者除外），单位为[公斤]。在国际单位制中，力的单位是[牛顿]，即 $1\text{ [牛顿]} = 1\text{ [公斤]}[\text{米}]/[\text{秒}]^2$ 。考虑到它在当前尚未通用，故本书仍沿用重力单位制中的力单位，即[公斤力]。这样，凡涉及力和压力的计算，都需要引入一个换算因数（即重力加速度的标准值）：

$$\begin{aligned} g &\approx 9.81\text{ [牛顿]}/[\text{公斤力}] \\ &= 9.81\text{ [公斤]}[\text{米}]/[\text{公斤力}][\text{秒}]^2 \end{aligned}$$

目 录

序 言

常用符号及单位说明

第一章 概 论	1
1-1 基本概念	1
1-1-1 燃烧调整试验的目的及意义; 1-1-2 燃烧调整试验的设备对 象; 1-1-3 测验和试验; 1-1-4 正平衡法及反平衡法	
1-2 试验的组织	5
1-3 试验前的检查、准备及辅助性试验	6
1-3-1 设备检查; 1-3-2 测量装置的准备; 1-3-3 辅助性试验	
1-4 试验及测验的技术条件	14
1-4-1 试验负荷的选择及测验次数; 1-4-2 测验持续时间及测验前 的稳定阶段; 1-4-3 煤质及锅炉主要参数的允许波动范围; 1-4-4 测量间隔时间; 1-4-5 风平衡及灰平衡测定	
1-5 试验数据的整理、计算及技术报告	18
1-5-1 数据的整理及计算; 1-5-2 试验的准确度; 1-5-3 试验取得 的运行特性; 1-5-4 试验报告	
第二章 炉膛冷态空气动力场试验	25
2-1 概 述	25
2-2 试验观测要点	29
2-3 观测方法	31
2-4 几种观测方法的示例	33
2-4-1 火花法; 2-4-2 纸屑和飘带法; 2-4-3 测速管法	
2-5 链条炉及抛煤炉的冷态空气动力场试验	47
2-6 抛煤机冷态试验	48
2-6-1 机械抛煤机冷态试验方法; 2-6-2 气力抛煤机冷态试验方	

法; 2-6-3 注意事项

第三章 炉膛及烟道的漏风试验	57
3-1 概 述	57
3-2 烟道的漏风试验	58
3-3 炉膛及炉膛出口水平烟道的漏风试验	61
3-3-1 基本正压法; 3-3-2 烟道阻力正压法; 3-3-3 烟道阻力负压 外推法	
第四章 固态排渣煤粉炉的燃烧调整	76
4-1 概 述	76
4-2 燃烧器出口风速及风率的调整	78
4-3 燃烧器的负荷分配及投停方式	91
4-4 空气过剩系数的调整	92
4-5 煤粉细度的调整	94
4-6 竖井磨煤机锅炉的燃烧调整	95
第五章 液态排渣煤粉炉的燃烧调整	99
5-1 析铁问题	100
5-2 高温腐蚀问题	102
5-3 燃烧调整	109
5-3-1 空气过剩系数的调整; 5-3-2 燃烧器出口风速及风率的调整; 5-3-3 煤粉细度的调整; 5-3-4 临界负荷试验	
第六章 链条炉及抛煤炉的燃烧调整	115
6-1 链条炉的燃烧调整	115
6-1-1 概述; 6-1-2 煤层厚度的调整; 6-1-3 分段风门的调整; 6-1- 4 燃煤水分的调整; 6-1-5 二次风的调整; 6-1-6 空气过剩系数的 调整	
6-2 抛煤炉的燃烧调整	119
第七章 风平衡及灰平衡测定	123
7-1 炉膛风平衡测定	123

7-1-1 炉膛出口或过热器烟道出口的折算空气量; 7-1-2 入炉空气量; 7-1-3 风量百分率及漏风系数; 7-1-4 喷嘴出口风速	
7-2 炉膛灰平衡测定	128
7-2-1 概述; 7-2-2 灰平衡的测定方法	
第八章 温度测量	134
8-1 概 述	134
8-2 热电偶高温计	135
8-2-1 热电偶元件; 8-2-2 二次仪表; 8-2-3 补偿导线、自由端温度补偿器、多点转换开关及接线; 8-2-4 测量读数的更正; 8-2-5 测量误差的分析	
8-3 热电阻温度计	153
8-4 实验玻璃水银温度计	155
8-5 隐丝式光学高温计	158
8-5-1 构造原理及基本参数; 8-5-2 关于非黑体状态的更正问题; 8-5-3 使用注意事项	
8-6 高温烟气温度的测量	165
8-6-1 组合热电偶; 8-6-2 抽气热电偶; 8-6-3 气力式高温计; 8-6-4 套式热电偶	
8-7 温度场及平均温度场的测量	188
8-7-1 “场”平均温度的计算; 8-7-2 温度场和速度场的标定	
第九章 压力及流量测量	196
9-1 概 述	196
9-2 单圈弹簧管压力表	198
9-3 流量测量——节流装置	201
9-3-1 标准节流装置的结构特点; 9-3-2 节流装置前后直管段长度的要求; 9-3-3 节流装置和传压管路的安装要求; 9-3-4 双管差压计; 9-3-5 流量的计算; 9-3-6 节流装置的压力损失; 9-3-7 节流装置的基本测量误差; 9-3-8 特殊节流装置	
9-4 流量测量——动压测定管	229
9-4-1 皮托管; 9-4-2 便携式倾斜微压计; 9-4-3 测量截面上测点的选择; 9-4-4 测量的准备和操作注意事项; 9-4-5 测量结果的计算;	

9-4-6 控制点测定法; 9-4-7 笛形测定管; 9-4-8 用于含尘气流的测定管

9-5 空间气流的测量249

9-5-1 五孔球头测速管的结构; 9-5-2 五孔球头测速管的工作原理和计算方法; 9-5-3 五孔球头测速管的使用方法; 9-5-4 四孔斜头测速管

第十章 烟气成分分析261

10-1 烟气取样261

10-1-1概述; 10-1-2取样设备; 10-1-3取样点的标定

10-2 奥氏分析器265

10-2-1 奥氏分析器的结构及吸收剂的配制; 10-2-2 使用方法及注意事项; 10-2-3奥氏分析器的改进

10-3 烟气全分析器270

10-3-1结构; 10-3-2 分析前的准备工作; 10-3-3 常规操作程序; 10-3-4 计算方法; 10-3-5 简化操作程序; 10-3-6 注意事项

第十一章 燃料及灰渣的采样283

11-1 概 述283

11-2 入炉原煤的采样.....286

11-2-1 采样地点和起迄时间; 11-2-2 采样工具; 11-2-3 每份煤样量; 11-2-4 采样份数; 11-2-5 燃煤不均匀度的测定方法

11-3 原煤试样的加工制备290

11-3-1 制样地点和工具设备; 11-3-2 试样制备的程序和方法; 11-3-3 全水分试样的制备; 11-3-4 粒度分析试样的制备

11-4 煤粉采样295

11-4-1活动取样管法; 11-4-2 沉降取样器法; 11-4-3 抽气取样器法

11-5 煤粉的细度特性312

11-6 飞灰采样316

11-7 炉渣采样328

第十二章 燃料成分及燃烧特性的计算332

12-1	燃煤成分的基质及其换算	332
12-2	发热量的计算与换算	334
12-3	含碳酸盐煤种分析值的修正	339
12-4	中储式煤粉炉入炉煤工业分析的修正	340
12-5	液体燃料及气体燃料	341
12-6	理论空气量	344
12-7	干烟气成分及特性	344
12-8	烟气的体积	346
12-9	空气过剩系数	348

第十三章 锅炉热效率计算.....357

13-1	锅炉的热平衡及热效率.....	357
13-2	输入热量	361
13-3	输出热量	364
13-4	排烟热损失	368
13-5	可燃气体未完全燃烧热损失	373
13-6	灰渣未完全燃烧热损失.....	374
13-7	灰渣物理热损失.....	375
13-8	锅炉散热损失	376
13-9	锅炉的净效率	389
13-10	燃烧效率及燃烧热强度	391
13-11	入炉空气温度及给水温度变更时效率的估算	391

13-11-1 进风温度变更时的换算; 13-11-2 给水温度变更时的修正

第十四章 误差分析

14-1	测量误差概述	398
14-1-1	测量的分类; 14-1-2 测量误差的分类; 14-1-3 精确度与准确 度; 14-1-4 偶然误差的表示方法; 14-1-5 系统误差的表示方法; 14-1-6 绝对误差与相对误差; 14-1-7 误差的有效数字位数; 14-1-8 测量仪表的误差表示方法	
14-2	偶然误差	410

14-2-1 偶然误差的正态分布定律; 14-2-2 合理的极限误差范围;

14-2-3 平均测值的偶然误差

14-3 间接测量中误差的传递.....415

14-4 系统误差417

14-4-1 系统误差的检查和消除方法; 14-4-2 系统误差的数学处理

14-5 疏失误差421

14-6 误差分析方法提要423

14-7 举 例425

14-7-1 正平衡热效率的误差分析; 14-7-2 反平衡热效率的误差分析;
14-7-3 极限误差的简单传递方法及其在误差分析中的应用举例

第十五章 煤质对锅炉燃烧及运行的影响.....452

15-1 挥发分452

15-2 水 分459

15-3 灰 分461

15-4 灰熔融性466

15-5 灰渣粘度471

15-6 硫 分480

附 录

附录一 常用符号字母表487

1.汉语拼音字母487

2.拉丁字母487

3.希腊字母488

附录二 常用计量单位及换算关系488

附录三 常用化学元素表493

附录四 水和水蒸汽的焓及比容494

1.饱和状态参数表(按压力排列)494

2.水和过热蒸汽的焓.....496

3.水的比容.....502

4.过热蒸汽的比容.....503