

中 速 磨 煤 机

戴为 牛海峰 马洪顺 编著



机 械 工 业 出 版 社

数字
资源
PDG

前 言

近年来,电力工业发展迅速,中速磨煤机使用较广泛,广大电力工作者迫切需要了解掌握有关中速磨煤机知识,而目前国内类似的书籍出版尚属空白,为此我们编写了此书。

本书是在总结国内近年来中速磨煤机理论与实践经验的基础上,结合一些新型中速磨煤机的使用和研究成果及作者的试验研究成果编著而成的。

全书共分八章和二附录,主要内容包括电厂锅炉中速磨煤机及制粉系统计算;中速磨煤机的结构和工作原理;中速磨煤机的安装、调试与运行;各种中速磨煤机的性能试验;中速磨煤机的检修、维护与改造;中速磨煤机碾磨件的抗磨性研究等。书中附录主要列出了RP型中速磨煤机出力计算曲线图。

本书可供电力部门、火力发电厂及有关科研和设计单位的工程技术人员参考,也可作为大中专院校热能动力、热能工程等专业师生的参考教材,同时也可供矿山、冶金、建材、化工、粮食加工等使用碾磨装置部门有关技术人员参考学习。

本书由戴为、牛海峰、马洪顺共同编写。由于作者水平有限,不足之处在所难免,敬请有关专家批评指正。

作者
1998年11月

目 录

前 言

第一章 煤粉制备	1
第一节 煤粉	1
一、燃煤元素成分分析和性质	1
二、燃煤工业分析	3
三、燃煤成分分析基础及其换算	4
四、电厂锅炉用煤的一般分类	6
五、煤的各种特性对锅炉工作的影响	10
第二节 制粉系统的磨煤机	24
一、磨煤机的工作特性	25
二、对选择磨煤机的建议	26
第三节 制粉系统的选择与分类	33
一、制粉系统概述	33
二、直吹式制粉系统	34
第二章 中速磨煤机和制粉系统计算	42
第一节 E 型中速磨煤机的计算	42
一、出力计算	42
二、功率计算	46
第二节 平盘式中速磨煤机的计算	47
第三节 MPS 型中速磨煤机的计算	49
一、出力计算	49
二、功率计算	62
三、MPS 型中速磨煤机结构及尺寸计算	64
第四节 RP 型中速磨煤机的计算	77

一、煤质及磨煤机出口温度	77
二、出力计算	79
三、功率计算	85
第五节 中速磨煤机阻力计算	86
第六节 中速磨煤机制粉系统热平衡计算	88
一、热平衡方程式	88
二、输入热量 Q_{in}	88
三、输出热量 Q_{out}	90
四、热平衡校验	92
五、热平衡计算程序	95
第七节 RP-1003 型中速磨煤机制粉系统计算实例	98
第三章 中速磨煤机的结构和工作过程	105
第一节 中速磨煤机概述	105
第二节 中速平盘式磨煤机	108
一、历史回顾	108
二、结构和工作方式	109
第三节 中速球式磨煤机	111
一、结构和工作过程	111
二、动力传动	113
三、加载系统	116
四、润滑系统	122
五、碾磨装置	124
第四节 中速辊环式磨煤机	127
一、发展及使用情况	127
二、MPS 磨煤机结构及工作过程和特点	130
三、动力传动	133
四、碾磨装置	134
五、液压加载系统	140
第五节 中速辊碗式磨煤机	145

一、结构特点	145
二、工作原理	147
三、动力传动与润滑	148
四、碾磨装置	150
五、液压加载系统	151
第六节 中速 HP 型磨煤机	163
一、概述	163
二、结构特点	165
三、动力传动	169
四、润滑系统	171
五、碾磨装置	173
六、加载方式	174
第七节 中速 MBF 型磨煤机	175
第八节 中速磨煤机配用的分离器	179
一、离心式分离器	179
二、旋转式分离器	180
三、组合式分离器	183
第四章 中速磨煤机的安装	187
第一节 概述	187
第二节 E 型磨煤机的安装	187
一、安装程序	187
二、安装注意事项	189
第三节 RP 型中速磨煤机的安装	190
第四节 HP 型中速磨煤机的安装	193
一、HP 型中速磨煤机的布置及主要部件	193
二、台板安装及灌浆	195
三、本体设备安装	196
四、内部组件及其它辅助设备安装工艺流程	197
五、内锥体陶瓷衬垫铺设及弹簧装置预紧	198

第五节 MPS 型磨煤机的安装	199
一、安装程序	199
二、安装技术数据	206
三、安装检查验收	207
四、安装要点分析	211
第五章 中速磨煤机的调试与运行	218
第一节 中速磨煤机的调试	218
一、起动前的准备检查	218
二、首次起动要点	219
三、RP-903 型中速磨煤机调试方案分析	223
第二节 中速磨煤机的运行	241
一、MPS 型中速磨煤机的运行控制	241
二、RP 型中速磨煤机的运行	246
第三节 中速磨煤机常见故障及解决方法	253
一、影响中速磨煤机正常运行的外部因素	254
二、常见故障及解决方法	256
第四节 中速磨煤机着火及防治	263
一、意义	263
二、中速磨煤机着火原因分析	263
三、中速磨煤机着火爆炸的防治	265
第六章 中速磨煤机的性能试验	269
第一节 性能试验的必要性	269
第二节 中速磨煤机的模化与试磨方法	270
第三节 试验前的准备	274
第四节 试验的主要内容简介	275
第五节 试验结果分析	277
一、给煤机特性试验	278
二、风量调平试验	279
三、分离器性能试验	282

四、出力特性试验·····	295
五、加载压力试验·····	305
六、石子煤排放量试验·····	319
七、中速磨煤机噪声与振动试验·····	321
第七章 中速磨煤机的检修与改造 ·····	325
第一节 E 型磨煤机的检修·····	325
第二节 RP 型中速磨煤机的检修·····	329
一、设备规范·····	329
二、磨煤机内部出清与系统隔绝·····	330
三、磨辊装置检修·····	330
四、磨碗检修·····	335
五、减速箱的检修·····	336
六、液压加载装置检修·····	340
七、润滑系统检修·····	347
八、液压系统的冲洗·····	348
第三节 MPS 型磨煤机的检修·····	348
一、碾磨件的检修·····	348
二、减速箱的润滑·····	350
三、检修程序·····	350
四、分离器的拆除·····	351
第四节 中速磨煤机的维护·····	353
一、中速磨煤机的检修维护时间间隔·····	353
二、中速磨煤机的维护管理·····	354
第五节 中速磨煤机的改造·····	356
一、平盘式中速磨煤机风环的改进·····	356
二、分离器的改造·····	357
三、RP 型磨煤机入口测风装置和一次风均匀性的改变·····	360
四、MPS 型磨煤机防泄漏和堵煤装置的改造·····	363
五、碾磨件的改进·····	364

第八章 中速磨煤机碾磨件的抗磨性研究	366
第一节 概述	366
第二节 磨料磨损	367
一、磨料磨损的定义和分类	367
二、磨料磨损研究的现状	370
三、影响磨料磨损的因素	373
四、减少磨料磨损的措施	403
第三节 中速磨煤机新型抗磨材料的开发	409
一、E 型磨煤机	409
二、RP 型磨煤机辊套	422
三、MPS 型磨煤机辊套	428
附录	433
附录 I E 型磨煤机系列简要规范	433
附录 II RP 型中速磨煤机出力计算曲线图	434
参考文献	452

第一章 煤粉制备

第一节 煤 粉

一、燃煤元素成分分析和性质

锅炉燃料有煤、油页岩、石油制品和天然气等。我国以煤为最主要的锅炉燃料，为了进行燃料的燃烧计算和了解煤的某些特性，常将燃料成分分为：碳（C）、氢（H）、氧（O）、氮（N）、硫（S）、水分（W）和灰分（A），如图 1-1 所示，其含量以质量分数表示。除灰分及水分之外，其它元素多以化合物状态存在。

1. 碳 碳是煤中含量最多的可燃元素。地质年代长的无烟煤，其中碳的质量分数可高达 90%（按可燃基成分），而地质年代短的煤则只有 50% 左右。每公斤碳完全燃烧时可放出约 32866kJ 的热量。碳是煤发热量的主要来源。煤中一部分碳与氢、氮、硫等结合成挥发性有机化合物，

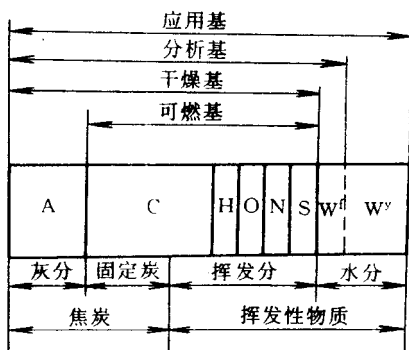


图 1-1 煤的成分及其与各种成分基准间的关系

其余部分则呈单质状态,称为固定碳。固定碳要在较高的温度下才能着火燃烧,煤中固定碳的含量越高,就越难燃烧。

2. 氢 煤中氢的含量大多在3%~6%的范围内。煤中的氢,一部分与氧结合成稳定的化合物,不能燃烧;另一部分则存在于有机物中,在加热时挥发出氢气或各种碳氢化合物(C_mH_n)。这些挥发性气体较易着火和燃烧。氢的发热量很高,每公斤氢燃烧放出的热量约为120370kJ。

3. 氧和氮 氧和氮是有机物中的不可燃成分。燃料中的氧,一部分与氢或碳结合成化合状态。氧在各种煤中的含量差别很大。年代短的泥煤含氧量较高,最高的可达40%左右。随着煤化程度的提高,氧的含量逐渐减少。煤中氮的含量一般不多,只有0.5%~1.5%。氮在燃烧时会有一部分转化为氧化氮(NO_x),对大气有污染作用。

4. 硫 煤中的硫以三种形态存在:有机硫(与C、H、O等结合成复杂的化合物)、黄铁矿硫(FeS_2)和硫酸盐($CaSO_4$ 、 $FeSO_4$ 等)。硫酸盐一般不再氧化,表现为灰分。可燃硫只包括前面两种形态。每公斤硫完全燃烧时可放出热量9050kJ。

5. 水分 将煤样在102℃~105℃条件下干燥到恒重,失去的重量就是水分(全水分)。各种煤的水分含量差别很大,最少的仅2%左右,最多的可达50%~60%。一般来讲,随着地质年代的增加,水分逐渐减少。

6. 灰分 将煤样在空气中加热到800℃±25℃,灼烧2h,余下的重量就是灰分。灰分是燃料完全燃烧后形成的固体残余物的统称。其主要成分是由硅、铝、铁、钙,以及少量镁、钛和钠等元素组成的化合物。各种煤中灰分含量差别很大,少的只有10%左右,多的可达50%。煤的灰分和水含量还与煤的开采方法、运输和贮存条件有关。

二、燃煤工业分析

煤质的分析项目有许多，而对于锅炉燃烧而言，经常要进行的是煤的工业分析。燃煤的工业分析是一种实用性的技术分析，方法比较简便，应用广泛。通常所指煤的工业分析，包括水分测定、灰分测定、挥发分产率测定和固定碳含量测定。

1. 燃煤水分测定 煤中所含水分包括外在水分、内在水分和结晶水分三部分。测定水分有重量比较法和快速测定法。而重量比较法比较常用，即把已知重量的煤样置于烘箱内干燥，失去的重量则可认为是水分的含量。这样测定的水分称为煤的全水分，不包括结晶水分。褐煤的水分测定都用快速法，烟煤和无烟煤只在急需时应用此法。

全水分含量 W_q (%) 按下式确定：

$$W_q = W_1 + \frac{G_1}{G} (100 - W_1) \quad (1-1)$$

式中 W_1 —— 试样在运输中失去的水分 (%)；

G_1 —— 试样干燥后失去的重量 (g)；

G —— 试样的重量 (g)。

2. 煤的灰分测定 灰分是指煤在完全燃烧后所残留的物质，煤的灰分包括成煤植物本身所包含的原生矿物质、成煤过程中外界进入煤层的次生矿物质等。灰分的测定也是用称重的方法进行。

确定分析煤样灰分含量 A^f 按下式确定：

$$A^f = \frac{G_1}{G} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 G_1 —— 煤样灼烧后残余物的重量 (g)；

G —— 分析煤样的重量 (g)。

3. 燃煤挥发分率测定 煤的挥发物是煤在加热过程中分解出来的气态物质，如碳氢化合物、碳氧化合物等。挥发分含量与煤的碳化程度有密切关系，它是鉴别煤种的重要指标。

挥发分产率的测定采用称重比较的方法，即在高温下加热，然后称重，再由加热前后煤样的重量比较，求得挥发分含量。

确定分析煤样挥发分含量 V^f 的公式为：

$$V^f = \left(\frac{G_1}{G} \times 100 \right) - W^f \quad (1-3)$$

式中 G_1 ——分析试样加热后减轻的重量 (g)；

G ——分析试样的重量 (g)；

W^f ——分析试样的水分含量 (%)。

4. 煤的固定碳含量测定 做完上述水分、灰分和挥发分的测定后，煤的固定碳含量即可确定。分析煤样的固定碳含量 C_{gd}^f 按下式确定：

$$C_{gd}^f = 100\% - (W^f + A^f + V^f) \quad (1-4)$$

式中 W^f ——分析试样的水分含量 (%)；

A^f ——分析试样的灰分含量 (%)；

V^f ——分析试样的挥发分含量 (%)。

因此，用工业分析所表示的煤的组分可写为：

$$W^f + A^f + V^f + C_{gd}^f = 100\% \quad (1-5)$$

三、燃煤成分分析基础及其换算

煤中水分和灰分的含量会随外界条件变化而变化，其它成分的百分含量也将随之变化。所以，在说明煤中各种成分的百分含量时，必须同时注明百分数的基准。常用的基准有

以下几种。

1. 应用基 应用基(也称工作质),是对进入锅炉的燃料而言的,各种成分的应用基以上标 Y 表示,即:

$$C^Y + H^Y + O^Y + N^Y + S^Y + W^Y + A^Y = 100\% \quad (1-6)$$

在锅炉热力计算中,均采用应用基成分。原煤的水分也常以应用基来表示。

2. 分析基 对在实验室中经过自然干燥后的煤进行分析时采用分析基,以上标 f 表示。

即:

$$C^f + H^f + O^f + N^f + S^f + W^f + A^f = 100\% \quad (1-7)$$

3. 干燥基 干燥基是针对去掉水分的煤样而言,以上标 g 表示。

即:

$$C^g + H^g + O^g + N^g + S^g + A^g = 100\% \quad (1-8)$$

灰分的含量常以干燥基表示,因为无论煤的水分含量如何变化,对干燥基成分均无影响。

4. 可燃基 煤中除去水分和灰分后,余下的成分称为可燃基成分,虽然其中还有不可燃的元素。可燃基成分以上标 r 表示。

$$C^r + H^r + O^r + N^r + S^r = 100\% \quad (1-9)$$

可燃基常用来表示煤的有机物中各种元素的成分和煤的挥发分。

各种基准所包括的成分示于图 1-1 中,不同基准的换算系数列于表 1-1 中。表中的换算系数是根据质量守恒定律推导出来的。

如已知某一基质的数值,乘以表 1-1 所列的换算系数,即可换算为其他基质的数值。例如已知可燃基成分数值,要把

表 1-1 换算系数

已知的“基”	所要换算到的“基”			
	应用基	分析基	干燥基	可燃基
应用基	1	$\frac{100-W^f}{100-W^y}$	$\frac{100}{100-W^y}$	$\frac{100}{100-A^y-W^y}$
分析基	$\frac{100-W^y}{100-W^f}$	1	$\frac{100}{100-W^f}$	$\frac{100}{100-A^f-W^f}$
干燥基	$\frac{100-W^y}{100}$	$\frac{100-W^f}{100}$	1	$\frac{100}{100-A^g}$
可燃基	$\frac{100-A^y-W^y}{100}$	$\frac{100-A^f-W^f}{100}$	$\frac{100-A^g}{100}$	1

其换算为应用基,从表 1-1 中查出换算系数为 $\frac{100-W^y-A^y}{100}$,
故;

$$C^y = C^r \left(\frac{100-W^y-A^y}{100} \right) \%;$$

$$H^y = H^r \left(\frac{100-W^y-A^y}{100} \right) \% ; \dots\dots$$

$$\text{同样, } V^y = V^r \left(\frac{100-W^y-A^y}{100} \right) \%。$$

四、电厂锅炉用煤的一般分类

我国现行煤碳分类是以干燥无灰基（或燃基）挥发分的产率和最大胶质层厚度作为标准的。这种分类方法对于发电用煤并不完全合适，对于发电用煤来说，目前的分类方法在烟煤范围内分得过细；而在无烟煤、褐煤范围内，又显得过粗。另外一些对锅炉燃烧过程有重要影响的特性，却没有作为分类指标。

为了更加合理地利用煤碳资源，为运行锅炉配给质量适宜的煤种，西安热工研究院等单位提出了我国发电煤粉锅炉用煤分类标准 GB 7562—87 (VAMST)，如表 1-2 所示。

表 1-2 发电煤粉锅炉用煤我国分类标准 (VAMST)^①

分类指标	煤种名称	等级	代号	分 级 界 限	辅助分类指标限值	鉴定方法
挥发分 V_{daf} ^②	超低挥发分无烟煤	特级	V_0	$\leq 6.5\%$	$Q_{ar,net,p} > 23 \text{ MJ/kg}$	煤的工业分析方法 (GB212—77) 煤的发热量测定方法 (GB213—87)
	低挥发分无烟煤	1级	V_1	$> 6.5\% \sim 9\%$	$Q_{ar,net,p} > 20.9 \text{ MJ/kg}$	
	低中挥发分贫瘦煤	2级	V_2	$> 9\% \sim 19\%$	$Q_{ar,net,p} > 18.4 \text{ MJ/kg}$	
	中挥发分烟煤	3级	V_3	$> 19\% \sim 27\%$	$Q_{ar,net,p} > 16.3 \text{ MJ/kg}$	
	中高挥发分烟煤	4级	V_4	$> 27\% \sim 40\%$	$Q_{ar,net,p} > 15.5 \text{ MJ/kg}$	
灰分 $A_d(A^*)$ ^③	高挥发分烟褐煤	5级	V_5	$> 40\%$	$Q_{ar,net,p} > 11.7 \text{ MJ/kg}$	煤的工业分析方法 (GB212—77)
	常灰分煤	1级	A_1	$\leq 34\% (\leq 7)$		
	高灰分煤	2级	A_2	$> 34\% \sim 45\% (> 7 \sim 13)$		
	超高灰分煤	3级	A_3	$> 45\% (> 13)$		
	常水分煤	1级	M_1	$\leq 8\%$		
表面水分 M_f	高水分煤	2级	M_2	$> 8\% \sim 12\%$	$V_{daf} \leq 40\%$	煤中全水分的测定方法 (GB211—84) 煤的工业分析方法 (GB212—77)
	超高水分煤	3级	M_3	$> 12\%$		
	常水分煤	1级	M_1	$\leq 22\%$		
全水分 M_t	高水分煤	2级	M_2	$> 22\% \sim 40\%$	$V_{daf} > 40\%$	煤中全水分的测定方法 (GB211—84) 煤的工业分析方法 (GB212—77)
	超高水分煤	3级	M_3	$> 40\%$		
	低硫煤	1级	S_1	$\leq 1\% (\leq 0.2)$		
全硫 $S_{d,t}(S_t^*)$ ^④	中硫煤	2级	S_2	$> 1\% \sim 2.8\% (> 0.2 \sim 0.55)$		煤中全硫的测定方法 (GB214—83)
	高硫煤	3级	S_3	$> 2.8\% (> 0.55)$		
	不结渣煤	1级	ST_1	$> 1350^\circ\text{C}$		
煤灰熔融性 软化温度 ST	易结渣煤	2级	ST_2	不 限	$Q_{ar,net,p} > 12.6 \text{ MJ/kg}$	煤灰熔融性的测定方法 (GB219—74) 煤的发热量测定方法 (GB213—87)
				$\leq 1350^\circ\text{C}$	$Q_{ar,net,p} \leq 12.6 \text{ MJ/kg}$	

① 煤的采样按商品煤采样方法 (GB 475—83); 煤样缩制按煤样的制备方法 (GB 474—83)。

② $Q_{ar,net,p}$ 低于下限时应划归 V_{daf} 数值较低的 1 级。③ $A^* = 4.1816 A_{ar} / Q_{ar,net,p}$, $Q_{ar,net,p}$ 的单位为 MJ/kg。④ $S_t^* = 4.1816 S_{ar} / Q_{ar,net,p}$, $Q_{ar,net,p}$ 的单位为 MJ/kg。