

RANMEI DIANCHANG
DAISHI CHUCHENQI

燃煤电厂 袋式除尘器

胡满银 雷应奇 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

RANMEI DIANCHANG
DAISHI CHUCHENQI

燃煤电厂 袋式除尘器



胡满银 雷应奇



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书共分六章，分别介绍了我国燃煤电厂煤、灰特性和袋式除尘器的除尘机理、滤料的选用、结构、设计、性能特点、影响除尘性能的因素、运行维护管理、除尘过程的数值模拟以及电袋复合式除尘器等内容。

本书在编写上力求内容丰富翔实，突出先进性和实用性，可供袋式除尘器运行、维护和管理人员作为技术参考，亦可作为从事除尘技术工作的教学、科研、设计生产等专业人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

燃煤电厂袋式除尘器/胡满银, 雷应奇编著. —北京: 中国电力出版社, 2009

ISBN 978-7-5083-9150-2

I. 燃… II. ①胡…②雷… III. 发电厂-除尘器-基本知识
IV. TM621.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 121504 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 4 月第一版 2010 年 4 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.75 印张 283 千字
印数 0001—3000 册 定价 19.80 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

■ 燃煤电厂袋式除尘器

我国大气污染属煤烟型污染，除尘在大气污染的治理中仍占重要位置。在我国电力行业中，燃煤电厂仍然占据着主导地位，是大气污染的主要污染源之一。为了贯彻可持续发展方针，使污染得到有效控制，GB 13223—2003《火电厂大气污染物排放标准》规定新建火电项目其烟尘排放浓度应控制在 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。大气污染排放标准的日益严格使袋式除尘器广泛应用于燃煤电厂更加具有发展潜力，作者根据多年来掌握的除尘技术知识和实际工作中积累的经验，编写了本书，希望对提高袋式除尘器的运行维护管理水平，保障其长期安全、稳定、高效运行和保护大气环境能起到积极的推动作用。

本书对我国燃煤电厂煤、灰特性和袋式除尘器的除尘机理、滤料的选用、结构、设计、性能特点、影响除尘性能的因素、运行维护管理、除尘过程的数值模拟以及电袋复合式除尘器等内容进行了论述。本书在编写上力求内容丰富翔实，突出先进性和实用性，可供袋式除尘器运行、维护和管理人员作为技术参考，亦可作为从事除尘技术工作的教学、科研、设计和生产等专业人员的参考书。

限于作者水平，书中难免存在漏误之处，恳请读者给予批评指正。

作者

目 录

■ 燃煤电厂袋式除尘器

前 言	
第一章 我国燃煤电厂煤和灰的特性及烟尘排放	1
第一节 煤的术语定义和分类	1
第二节 我国燃煤电厂煤和灰的特性与除尘器选择	5
第三节 评定除尘器性能的指标	12
第四节 烟尘排放标准	15
第二章 袋式除尘器的除尘机理和滤料的选用	19
第一节 袋式除尘器的过滤机理	19
第二节 袋式除尘器的性能	23
第三节 滤料的特性和选用	33
第三章 袋式除尘器的结构和设计	48
第一节 袋式除尘器的分类	48
第二节 袋式除尘器的结构	50
第三节 袋式除尘器的选择和设计	61
第四节 袋式除尘器的应用	67
第四章 袋式除尘器的运行和维护管理	79
第一节 袋式除尘器的运行	79
第二节 袋式除尘器的维护和管理	81
第三节 运行与维护管理注意事项	85
第四节 袋式除尘器的运行故障及处理	86
第五章 电袋复合式除尘器	89
第一节 概述	89
第二节 电袋复合式除尘器的类型和性能	90
第三节 电袋复合式除尘器的经济技术分析	96
第四节 电袋复合式除尘器的总体设计	99
第五节 电袋复合式除尘器的运行仿真	102
第六章 袋式除尘器中流场的数值模拟	121
第一节 三维流动数值模拟理论基础	122
第二节 流动微分方程的离散化	126
第三节 离散化方程求解	132
第四节 内滤式布袋除尘器中流场的数值模拟	136
第五节 外滤式布袋除尘器中流场的数值模拟	156
第六节 电袋复合式除尘器中流场的数值模拟	161
第七节 生物质能电厂袋式除尘器中流场的数值模拟	164
参考文献	180

第一章

我国燃煤电厂煤和灰的特性及烟尘排放

我国煤炭资源丰富，其中动力煤占总储量的 70% 以上，主要集中在北方内蒙、陕西、山西、新疆、宁夏、河南等地，占全国煤储量的 91.74%。我国动力用煤产地众多、煤质千差万别，特别是对除尘器工作影响很大的特性，如热值、灰分、硫分、灰中的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 的含量等相差悬殊，对电除尘器的工作和设计都带来了很大的影响。其特性覆盖范围为：热值 10~26MJ/kg；灰分 10%~55%；硫分 0.14%~5.3%；水分 0.8%~9%。某些灰中 SiO_2 的含量高达 60% 以上， Al_2O_3 的含量高达 48% 以上， Na_2O 最低达 0.01%，给准确选择除尘器带来了困难。

第一节 煤的术语定义和分类

煤的术语定义见表 1-1。

表 1-1 煤的术语定义

序号	术语名称	英文名称	定义	符号
1	煤	coal	植物遗体被覆盖在地层下，压实、转化而成的固体有机可燃沉积岩	
2	煤的品种	Categories of coal	以不同方式加工成不同规格的煤炭产品	
3	标准煤	Coal equivalent	凡能产生 29.27MJ 的热量（低位）的任何数量的燃料折合为 1kg 标准煤	
4	毛煤	Run-of-mine coal	煤矿生产出来的，未经任何加工处理的煤	
5	原煤	Raw coal	从毛煤中选出规定粒度的矸石（包括黄铁矿等杂物）以后的煤	
6	商品煤	Commercial coal; Salable coal	作为商品出售的煤	
7	精煤	Cleaned coal	煤经精选（干选或湿选）后生产出来的、符合质量要求的产品	
8	中煤	Middings	煤经精选后、灰分介于精煤和矸石之间的产品	
9	洗选煤	Washed coal	经过洗选后的煤	
10	筛选煤	Screened coal; Sieved coal	经过筛选加工的煤	
11	粒级煤	Sized coal	煤通过筛选或精选生产的，粒度下限大于 6mm 并规定有限下率的产品	
12	粒度	Size	颗粒的大小	

续表

序号	术语名称	英文名称	定义	符号
13	粉煤	Fine coal (>0~6mm)	0~6mm 之间的煤	
14	煤粉	Coal fines (>0~0.5mm)	小于 0.5mm 的煤	
15	煤泥	Slime	煤经洗选或水采后粒度在 0.5mm 以下的产品	
16	矸石	Shale	采掘过程中从顶、底板或煤层混入煤中的岩石	
17	洗矸	Washery rejects	从洗煤中排出的矸石	
18	含矸率	Shale content	煤中大于 50mm 矸石的质量百分数	
19	煤样	Coal sample; Sample	为确定某些特性而从煤中采取的、具有代表性的一部分煤	
20	采样	Samping	采取煤样的过程	
21	随机采样	Andom sampling	在采取子样式, 对采样的部位或时间均不施加任何人为的意志, 能使任何部位的煤都有机会采出	
22	系统采样	Systematic sampling	按相同的时间、空间或质量的间隔采取子样, 但第一个子样在第一个间隔内随机采取, 其余的子样按选定的间隔采取	
23	商品煤样	Sample for commercial coal	代表商品煤平均性质的煤样	
24	实验室煤样	Laboratory sample	由总样或分样缩制的、送往试验室供进一步制备的煤样	
25	空气干燥煤样	Air-dried sample	粒度小于 0.2mm、与周围空气湿度达到平衡的煤样, 一般分析煤样	
26	标准煤样	Certified reference-coal	具有高度均匀性、良好稳定性和准确量值的煤样, 主要用于校准测定仪器, 评价分析试验方法和确定煤的特性量值	
27	煤样制备	Sample preparation	使煤样达到实验所要求的状态的过程, 包括煤样的破碎、混合、缩分和空气干燥	
28	工业分析	Proximate analysis	水分、灰分、挥发分和固定碳四个项目煤质分析的总称	
29	外在水分	Free moisture; Surface moisture	在一定条件下煤样与周围空气湿度达到平衡时所失去的水分	M_f
30	内在水分	Moisture in the air dried sample Moisture in the analysis sample	在一定条件下煤样达到空气干燥状态时所保持的水分	M_{inh}
31	全水分	Total moisture	煤的外在水分和内在水分的总和	M_t
32	空气干燥煤样水分	Moisture in the air dried sample Moisture in the analysis sample	用空气干燥煤样(粒度小于 0.2mm) 在规定条件下测得的水分	M_{ad}
33	最高内在水分	Moisture holding capacity	煤样在温度 0℃、相对湿度 96% 下达到平衡时测得的内在水分	M_{HC}
34	化合水	Water of constitution	以化学方式与矿物质结合的、在全水分测定后仍保留下来水分的	
35	矿物质	Mineral matter	赋存在煤中的无机物质	M_M
36	灰分	Ash	煤样在规定条件下完全燃烧后所得的残留物	A

续表

序号	术语名称	英文名称	定义	符号
37	挥发分	Volatile matter	煤样在规定条件下隔绝空气加热, 并进行水分校正后的质量损失	V
38	焦炭特征	Characteristics of char residue	煤样在测定挥发分后的残留物的黏结性柱状	
39	固定碳	Fixed carbon	从测定煤样的挥发分后的残渣中减去灰分后的残留物	FC
40	燃料比	Fuel ratio	煤的固定碳和挥发分之比	FC/V
41	有机硫	Organic sulfur	与煤的有机质相结合的硫	S
42	无机硫	Inorganic sulfur; Mineral sulfur	煤中矿物质内的硫化物硫、硫铁矿硫、硫酸盐硫和元素硫的总称	
43	全硫	Total sulfur	煤中无机硫和有机硫的总和	S _t
44	硫铁矿硫	Pyretic sulfur	煤的矿物质中以黄铁矿或白铁矿形态存在的硫	S
45	硫酸盐硫	Sulfate sulfur	煤的矿物质中以硫酸盐形态存在的硫	S _s
46	固定硫	Fixed sulfur	煤热分解后残渣中的硫	
47	真相对密度	True relative density	在 20℃ 时煤 (不包括煤的孔隙) 的质量与同体积水的质量之比	TDR
48	视相对密度	Apparent relative density	在 20℃ 时煤 (包括煤的孔隙) 的质量与同体积水的质量之比	ARD
49	散密度	Bulk density	容器中单位体积散状煤的质量	
50	块密度	Density of lump	整块煤的单位体积质量	
51	孔隙率	Porosity	煤的毛细孔体积与煤的视体积 (包括煤的孔隙) 之比	
52	恒容高位发热量	Gross calorific value at constant volume	煤样在氧弹内燃烧时产生的热量减去硫和氮的校正值后的热值	Q _{gr,v}
53	恒容低位发热量	Net calorific value at constant volume	煤的恒容高位发热量减去煤样中水和燃烧时生成的水的蒸发潜热后的热值	Q _{net,v}
54	元素分析	Ultimate analysis	碳、氢、氧、氮、硫五个项目煤质分析的总称	
55	煤中有害元素	Harmful elements in coal	煤中存在的、对任何生态有害的元素, 通常指煤中砷、氟、氯、磷、硫、镉、汞、碲、铍、砒、铅等元素	
56	煤中微量元素	Trace elements in coal	在煤中以微量存在的元素如锆、镓、铀、钍、铍、镉、铬、铜、锰、镍、铅、锌等元素	
57	燃点	Ignition temperature	煤释放出足够的挥发分与周围大气形成可燃混合物的最低着火温度	
58	收到基	As received basis	以收到状态的煤为基准	ar
59	空气干燥基	Air dried basis	以空气湿度达到平衡状态的煤为基准	ad
60	干燥基	Dry basis	以假想无水状态的煤为基准	d
61	干燥无灰基	Dry ash-free basis	以假想无水、无灰状态的煤为基准	daf
62	结焦性	Coking property	煤经干馏结成焦炭的性能	
63	黏结性	Caking property	煤在干馏时黏结其本身或外加惰性物质的能力	

续表

序号	术语名称	英文名称	定义	符号
64	结渣性	Clinkering property	在气化或燃烧过程中, 煤灰受热、软化、熔融而结渣的性质	Clin
65	可磨性	Grindability	煤研磨成粉的难易程度	
66	哈氏可磨性指数	Hardgrove grindability	用哈氏仪测定的可磨性表示硬煤被磨细的难易程度	HGI
67	磨损性	Abrasiveness	煤磨碎时对金属件的磨损能力	
68	灰渣融性	Ash fusibility	在规定条件下得到的随加热温度而变化的煤灰变形、软化和流动特征物理状态	
69	灰黏度	Ash viscosity	灰在熔融状态下的黏度	
70	灰的酸度	Ash acidity	灰中酸性组分(硅、铝、钛等的氧化物)与碱性组分(铁、钙、镁、锰等的氧化物)之比	
71	灰的碱度	Ash basicity	灰的碱性组分(铁、钙、镁、锰等的氧化物)与酸性组分(硅、铝、钛等的氧化物)之比	
72	类别	Class	根据煤的煤化程度和工艺性能指标把煤划分成的大类	
73	小类	Group	根据煤的性质和用途的不同, 把大类进一步细分成的小类	
74	褐煤	Brown coal; Lignite	煤化程度低的煤, 外观多呈褐色, 光泽黯淡或成沥青光泽, 含有较高的内在水分和不同数量的腐殖酸	HM
75	烟煤	Bituminous coal	煤化程度高于褐煤而低于无烟煤, 其特点是挥发分产率范围大, 单独炼焦时从不结焦到强结焦均有, 燃烧时有烟	YM
76	无烟煤	Anthracite	煤化程度高的煤, 挥发分低、密度大, 燃点高, 无黏结性, 燃烧时多不冒烟	WY
77	硬煤	Hard coal	一般指烟煤和无烟煤的总称, 或者指恒湿无灰基高位发热量等于或大于 24MJ/kg 的煤, 以及恒湿无灰基高位发热量等于或小于 24MJ/kg, 但镜质体平均随机反射率等于或大于 0.6% 的煤	
78	长焰煤	Long flame coal	变质程度最低、挥发分最高的烟煤, 一般不结焦, 燃烧时火焰长	CY
79	气煤	Gas coal	变质程度较低、挥发分较高的烟煤, 单独炼焦时, 焦炭多细长、易碎, 并有较多的纵裂纹	QM
80	肥煤	Fat coal	变质程度中等的烟煤。单独炼焦时, 能生成熔融性良好的焦炭, 但有较多的横裂纹, 焦根部分有蜂巢	FM
81	焦煤	Coking coal	变质程度较高的烟煤。单独炼焦时, 生成的胶质体热稳定性好, 所得焦炭的块度大、裂纹少, 强度高	JM
82	瘦煤	Lean coal	变质程度高的烟煤。单独炼焦时大部分能结焦。焦炭的块度大、裂纹少, 但熔融性较差, 耐磨强度低	SM
83	1/3 焦煤	1/3Coking coal	介于焦煤、肥煤与气煤之间的含中等或较高挥发分的强黏结性煤。单独炼焦时, 能生成强度较高的焦炭	QF
84	气肥煤	Gas-fat coal	挥发分高、黏结性强的烟煤。单独炼焦时, 能产生大量的煤气和胶质体, 但不能生成强度高的焦炭	QF

续表

序号	术语名称	英文名称	定义	符号
85	1/2 中黏煤	1/2Medium caking coal	黏结性介于气煤和弱黏煤之间的、挥发分范围较宽的烟煤	1/2ZN
86	贫瘦煤	Meager lean coal	变质程度高,黏结性较差、挥发分低的烟煤。结焦性低于瘦煤	PS
87	贫煤	Meager coal	变质程度高、挥发分最低的烟煤。不结焦	PM
88	不黏煤	Non-caking coal	变质程度较低的、挥发分范围较宽的烟煤。无黏结性的烟煤	BN
89	弱黏煤	Weakly caking coal	变质程度较低的、挥发分范围较宽的烟煤。黏结性介于不黏煤和 1/2 中黏煤之间	RN
90	天然煤	Carbonite	煤层中的煤因受岩浆热的影响而形成的焦炭	
91	风化煤	Weathered coal	受风化作用的影响,含氧量增高,发热量较低,并含有再生腐殖酸等明显变化的煤	

第二节 我国燃煤电厂煤和灰的特性与除尘器选择

一、我国火电厂燃煤特性

在我国目前的电力能源构成中,燃煤火电约占 3/4,而且在今后相当长的时期不会有很大的变化。火电厂在将一次能源煤炭转化为二次能源电力的过程中,会产生大气、水体、灰渣及噪声等污染物,其中烟尘和 SO_2 是大气的主要污染物。随着我国电力行业的迅猛发展和人们环保意识的增强,大幅提高电厂运行中产生烟气的治理力度来适应经济、社会和环境协调发展的要求、缩小和发达国家的技术差距是一项更高层次的挑战。因此,电厂烟气净化装置正在受到越来越多的关注。除尘器、脱硫脱氮装置已成为燃煤电厂继“机、电、炉”之后的第四大类基础设施。我国燃煤的特点是分布广,地区煤质差异性大,灰分较高且变化大,发热量和含硫量差异性也较大,而烟气装置的净化效率和经济性又和煤种及飞灰特性有着密切的关系,如电除尘器的选择和设计与煤种含硫量和飞灰比电阻及粒径分布相关。也就是说,煤、灰特性对电厂烟气净化装置选择有很大影响。根据不同煤种及飞灰特性选择合适的烟气净化装置将对电厂的经济性和环保性产生深远影响。

表 1-2 给出发电用煤分类。它以煤的可燃基挥发分 V_{daf} 、干燥基灰分 A_{d} 、外在水分 M_{f} 和全水分 M_{t} 、干燥基全硫 S_{d} 和煤灰软化温度 ST 作为主要质量分类指标,以收到基低位发热量 $Q_{\text{net,ar}}$ 作为 V_{daf} 和 ST 的辅助分类指标。上述各分类指标划分有若干等级。

烟煤在我国又分为长焰煤、不黏煤、弱黏煤、气煤、肥煤、瘦煤。我国某些煤矿所产的煤种分别如下:大同为弱黏煤;开滦为气煤、肥煤;阳泉为无烟煤;河北峰峰为肥煤、瘦煤、焦煤;鸡西为焦煤气煤;鹤岗为气煤;阜新为长焰煤;徐州为气煤;淮北为气煤、焦煤、瘦煤;淮南为气煤。表 1-3 列出我国产的某些煤种的煤质分析及成分和特性。煤的元素分析和挥发分含量用干燥无灰基表示。

表 1-2

发电煤粉锅炉用煤技术条件 (GB/T 7562—1998)

	符号	V_{daf} (%)	$Q_{net.ar}$ (MJ/kg)
	挥发分技术要求 V_{daf}	V_1	6.50~10.0
V_2		10.01~20.00	>18.50
V_3		20.01~28.00	>16.00
V_4		>28.00	>15.50
V_5		>37.00	>12.00
V_1 不宜单独燃用 V_5 适用于褐煤			
发热量技术条件 $Q_{net.ar}$	符号	$Q_{net.ar}$ (MJ/kg)	
	Q_1	>24.00	
	Q_2	21.01~24.00	
	Q_3	17.01~21.00	
	Q_4	15.51~17.00	
	Q_5	>12.00	
Q_5 适用于褐煤			
灰分技术条件 A_d	符号	A_d (%)	
	A_1	≤ 20.00	
	A_2	20.01~30.00	
	A_3	30.01~40.00	
全水分技术条件 M_t	符号	M_t (%)	V_{daf} (%)
	M_1	≤ 8.0	≤ 37.00
	M_2	8.1~12.0	≤ 37.00
	M_3	12.1~20.0	>37.00
	M_4	>20.0	
硫分技术条件 S_d	符号	S_d (%)	
	S_1	≤ 0.50	
	S_2	0.51~1.00	
	S_3	1.01~2.00	
	S_4	2.01~3.00	
煤灰熔融性软化温度 技术条件 ST	符号	ST (°C)	
	ST_1	>1150~1250	
	ST_2	1260~1350	
	ST_3	1360~1450	
	ST_4	>1450	
煤的哈氏可磨性 技术条件 HGI	符号	HGI	
	HGI_1	>40~60	
	HGI_2	60~80	
	HGI_3	>80	
粒度	<6mm, <13mm, <25mm, <50mm		

表 1-3

我国部分煤质资料

煤 种	成分分析 (%)							挥发分 (%)	低位发热量 (kJ/kg)
	C	H	O	N	S	A	M		
烟煤类									
大同煤	69.48	4.18	7.22	0.82	1.78	12.04	4.48	24	27 216
下花园煤	61.25	3.74	12.9	0.84	0.21	17.27	3.79	31	23 112
峰峰洗中煤	47.8	3.3	6.95	0.77	0.35	39.3	1.53	29.3	17 803
开滦煤	43.32	2.87	5.21	0.97	1.08	38.45	8	21.95	17 690
开滦 2 号煤	51.2	3.05	6.76	1.06	0.56	34	2.57	34.6	19 955
唐山 1 号末煤	60.16	3.54	7.4	1.24	0.54	26.03	1.09	24.21	21 731
兴隆煤	48.37	3.4	3.83	1.06	1.57	38.57	2.4	31.1	18 716
鹅毛口沟煤	70.8	4.5	3.13	0.72	2.21	11.66	2.98	24.64	27 797
朔县洗煤	44.6	3.3	5.7	0.9	1.3	34.2	10	40	17 502
朔县煤	38.15	3.65	8.64	0.96	0.94	22.2	5.4	38.86	23 054
峰峰野青煤	70.37	4.49	3.45	1.07	2.86	11.1	6.66	21.5	27 936
北票中煤	56.41	2.39	8.47	0.78	0.04	25.67	5.24	25.06	21 818
石拐沟选煤	55.12	4.11	7.01	0.81	0.33	29.42	3.2	40.9	21 982
山东张庄煤	69.4	4.73	7.93	1.59	1.28	11.52	3.55	37.2	28 011
洪山三井原煤	61.3	3.27	3.34	0.92	2.95	27.26	0.96	16.34	24 088
洪山煤	59.82	3.69	2.42	1.22	3.22	25	0.69	19.5	25 122
肥城煤 (三层)	63.27	4.57	7.86	1.03	0.43	14.48	8.55	35.65	24 640
肥城煤 (十五层)	59.94	4.42	6.71	0.94	2.38	21.16	4.46	37.71	23 799
抚顺煤	55.56	4.16	10.11	1.3	0.82	17.38	10.67	45	21 772
抚顺泥煤	44.9	3.56	9.26	0.72	0.45	28.67	12.44	32.54	16 999
抚顺胜利矿煤	61.82	4.95	9.71	1.26	0.42	11.2	10.64	44.53	24 553
抚顺西露天煤矿	56.44	4.4	9.93	1.38	0.57	13.38	13.9	44.4	22 095
阜新粉煤	56.74	3.37	8.73	0.9	0.63	17.16	12.45	33.54	21 697
阜新海州原煤	55.98	3.95	13.82	1.04	1.52	13.12	11.07	42.61	20 772
阜新煤	54.4	3.71	10	0.76	1.22	16.8	13.21	44.7	21 772
阜新劣煤	40.1	2.88	9.22	0.55	1.18	29.37	16.7	44.8	14 721
阜新劣煤	45.14	3.7	9.2	0.69	1.57	23.38	16.32	41.98	16 769
铁岭长焰煤	50.85	3.24	9.05	0.673	0.62	18.75	16.84	39.88	19 524
滴麻 2 号洗煤	42.28	2.69	4.26	0.52	0.24	42.06	7.95	24.4	16 266
准格尔煤	33.9	2.10	5.06	0.84	0.60	43.9	13.7		13 817
鸡西恒山煤	65.46	4.48	6.39	0.77	0.41	17.8	4.63		25 855
辽源原煤	57.28	4.58	17.96	0.97	0.33	14.09	4.79	46.7	22 501
鹤岗混煤	50.5	4.05	5.15	0.8	0.21	26.5	5.0	39.22	22 694
鹤岗煤	57.44	3.74	6.02	0.88	0.11	21	10.2	37.3	22 903

续表

煤种	成分分析 (%)						挥发分 (%)	低位发热量 (kJ/kg)	
	C	H	O	N	S	A			M
烟煤类									
鹤岗二槽混煤	58.14	3.86	8.09	0.62	0.22	2.007	9.0	34.76	22 677
蛟河煤	50.14	3.4	8.81	0.57	0.38	27.48	9.22	37	19 411
焦坪混煤	58.9	3.6	10.4	0.7	1.7	11.9	12.8	36.2	22 107
哈密煤	60.29	3.59	11.37	0.89	0.41	15.4	8.06	38	23 489
平顶山煤	47.99	3.02	6.61	1.19	1.11	38.33	1.75	39.5	18 716
大通原煤	50.6	2.5	11.1	0.9	0.9	18.4	15.6	37	18 255
中梁山煤	55.2	3.5	2.73	1.16	4.08	29.35	4.0	32.2	22 367
萍乡残渣	46.83	3.09	4.44	1.01	0.47	38.29	5.89	33.2	18 109
阿甘镇煤	68.18	3.73	9.4	0.65	0.69	9.07	8.28	28.8	22 968
太原煤	67.4	4.5	7.5	2.0	2.0	14.2	2.38	31.6	24 720
太原西山原煤	74.04	3.69	3.61	1.09	0.52	15.34	1.71	19	28 723
太原西山洗煤	55.09	3.69	5.23	0.97	0.39	24.63	10	17.7	21 940
佳木斯煤	70.12	4.45	4.59	0.93	0.53	15.28	4.46	24.47	27 534
淮阳煤	55.61	3.47	8.02	1.11	1.79	29.23	3.0	41.2	21 982
淮南煤	59.24	3.89	13.46	1.15	1.21	21.02	8.9	47	25 545
淮南丰城煤	55.28	3.02	7.26	0.88	5.45	26.71	1.39	33	23 200
东林混合煤	55.2	3.5	2.73	1.16	4.08	29.33	4.0	32.2	22 375
石钢厂洗中煤	49.11	3.43	4.84	0.96	0.55	28.66	8.45	30.73	19 072
南昌电厂煤	56.04	3.32	7.46	0.88	0.44	29.51	2.35	34.57	21 613
观音堂煤	64.74	3.78	4.74	1.17	0.97	22.57	2.03	20.1	25 993
林西洗3号	59.64	3.98	5.67	1.16	1.47	22.81	5.27	25.6	23 837
乌鲁木齐煤	72.97	4.56	9.33	0.86	0.81	5.27	6.2	38.5	29 443
甘肃密街煤	68.1	3.98	11.55	0.98	0.57	8.9	5.92	37	
双山煤	61.31	3.28	3.35	0.88	2.96	27.26	0.96		21 408
邯郸煤	54.5	3.44	4.11	0.84	1.4	32.2	3.5	27.22	21 772
六道湾原煤	59.6	3.5	9.2	0.7	0.7	17.1	9.2	37	22 861
褐煤类									
开远煤	43.31	2.33	1.43	14.94	0.65	9.21	28.13	51	14 026
云南凤鸣村柴煤	29.5	2.42	10.61	0.86	0.36	8.62	47.63	50	11 070
平庄元宝山混煤	43	3	11.3	0.5	1.3	12.2	28.7	43.8	15 115
贫煤类									
铜川混煤	67.75	3.61	3.18	0.82	4.77	17.11	2.76	9.92	27 278
资兴洗中煤	55.81	2.99	2.09	0.81	0.52	26.88	10	18.3	21 521

续表

煤种	成分分析 (%)							挥发分 (%)	低位发热量 (kJ/kg)
	C	H	O	N	S	A	M		
贫煤类									
本溪洗中煤	33.9	2.3	5.0	0.3	2.9	46.2	9.4	13.6	12 854
奎山煤	73	3.58	1.42	1.02	3.11	13.88	4.0	14	29 393
夏庄煤	67.85	3.0	2.35	1.28	2.42	19.23	3.87	14	26 010
龙泉煤	68.9	3.33	2.0	1.19	2.08	20.94	1.56	15	27 157
南桐煤	64.08	3.85	1.95	1.3	2.87	21.7	4.25	18.6	24 812
淄博煤	63.75	3.69	2.43	1.22	3.22	25	0.69	<19.5	25 130
新密原煤	68.1	3.6	5.9	0.5	0.4	13.9	7.6	14	25 122
无烟煤类									
阳泉煤屑	73.04	3.56	3.56	0.83	0.36	16.21	2.44	7.64	28 555
阳泉块煤	71.85	2.86	3.38	1.06	1.52	16.03	3.3	7.64	26 780
晋城煤末	79	2.4	1.8	0.8	0.4	13.2	2.3	6.1	29 058
翠屏山煤	73.45	1.85	0.92	0.68	0.36	15.74	7.0	3.1	26 546
韶关曲仁煤	72.93	3.2	3.08	1.32	1.66	14.56	3.25	8.89	28 099
郭二庄煤	75.65	0.84	0.94	0.75	0.26	13.28	8.26	2.06	25 901
松藻混煤	62.5	3.0	3.0	1.3	2.3	25.4	2.7	9.8	23 657
焦作煤	71.6	2.51	1.56	0.92	0.35	20.5	2.56	4.53	25 419
焦作原煤	59.6	2.0	0.8	0.8	0.5	26.3	10.0	8.2	22 191
阳泉混煤	67.7	3.1	4.7	1.0	0.7	16.8	6.0	8.0	26 294

二、我国燃煤电厂飞灰特性

表 1-4 所示为我国部分煤种飞灰资料。

表 1-4 我国部分煤种飞灰资料

燃用煤种	灰分 (%)	硫分 (%)	飞灰主要化学成分 (%)							飞灰比电阻 ($\Omega \cdot \text{cm}$)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	
水城混煤	35.2	1.87	45.63	22.19	19.13	6.58	0.86	—	—	150°C/6.2×10 ⁸
小龙潭褐煤	16.51	1.39	18.95	12.01	7.77	47.02	2~4			2.17×10 ¹³
肥城烟煤与洗中煤	24.44	3.27	56.08	31.44	6.93	2.76	0.59	1.23	0.19	5.0×10 ⁸ ~8.8×10 ^{1*}
唐村混煤	32.6	1.22	55.98	28.75	6.71	4.39	0.45	1.66	0.42	150°C/3.7×10 ¹¹
邵武烟煤	40~45	2.2	52.11	21.92	5.63	2.17				
永安混煤	28	1.17	56.41	25.12	8.97	6.58		3.05	0.59	3.7×10 ⁶
焦作 1 号无烟煤、贫煤	23.25	1.18	43.9	32						

续表

燃用煤种	灰分 (%)	硫分 (%)	飞灰主要化学成分 (%)							飞灰比电阻 ($\Omega \cdot \text{cm}$)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	
焦作2号无烟煤、贫煤	22.44	1.18	43.9	32						5.5×10 ⁸
末阳混煤	41.7	0.66	59.86	22.85	4.72			2.98		150℃/4.13×10 ¹¹
金竹山混合无烟煤	33.98	0.42	49.06	25.56	3.37	1.43	0.85	K ₂ O+Na ₂ O/ 1.40		140℃/2.1×10 ¹²
株洲劣质烟煤	39.59	0.9	60.90	29.58	3.25	2.12	0.3			4.42×10 ¹¹
阜新、南票煤	32.85	0.56	47.63	20.86	6.46	13.88	3.54	2.08	0.81	160℃/13.5×10 ¹¹
朝川、松宜混煤	40.08	1.64	41.38	23.63	4.18	3.85				150℃/9.4×10 ¹¹
南昌劣质烟煤	41.15	2.50	54.98~ 58.76	27.18~ 27.82	7.40~ 10.40	1.12	0.69~ 0.75	0.71~ 1.04	0.62~ 0.68	150℃/2.23×10 ¹¹
荆门贫煤	29.33	0.65	58.70	26.46	5.20	2.85	1.19	1.04	0.66	150℃/1.25×10 ¹²
石洞沟贫煤	29.0	0.8	60.36	30.97	2.29	2.80		0.68	1.00	140℃/3.63×10 ⁹
大同1号混煤	25~30		52.7	34.88		4.20		1.05	0.21	150℃/4.75×10 ¹²
大同2号混煤	18~ 34.7	1.50								6.27×10 ¹¹ ~ 2.3×10 ¹²
徐州烟煤	20.96	0.56	56.12	26.17	7.54	3.65	1.30			140℃/2.4×10 ¹²
徐州混煤、西山煤	26	1.03	53.85	31.33	1.94		1.94			130℃/4.64×10 ¹¹
扬州混(贫煤)	22.1	0.42	51.33	33.76	4.96	2.69	2.08			140℃/1.23×10 ¹²
徐州、枣庄混煤	27.33~ 35.54	0.57~ 1.03	51.80	31.25	6.00	6.05	0.7			150℃/1.11×10 ¹³
潞安贫煤 晋北烟煤	23~28	1.01~ 1.23	47.82	38.12	3.12	1.76	1.17			100℃/2.6×10 ¹²
淮南混合烟煤等	29.62	0.65	53.98	37.50	4.33	1.37	0.92	0.88		1.0×10 ¹¹
潘集原煤 洗中煤	25.28	0.6	57.10	31.40	4.90	1.90	1.70	0.60	0.60	120℃/1.5×10 ¹²
靖远烟煤	14~ 24.29	<1	42.38	16.06	13.62				0.51	150℃/4.99×10 ¹²
韩城贫煤	30	1.19~ 3.22	46.22	30.41	7.69	2.6				1~2×10 ¹²
大武口1号洗混煤、小窑煤	31.66	1.48	50.67	29.23	5.13	1.07	0.09	0.87	0.28	140℃/4.4×10 ¹²
大武口2号洗混煤、小窑煤	36.26	1.62	49.98	39.11	5.79	1.07	0.17	0.88	0.26	140℃/9.4×10 ¹²
大武口3号洗混煤、小窑煤	33.58	0.75	50.00	38.58	6.54	1.07	0.08	0.91	0.23	160℃/2.0×10 ¹²

续表

燃用煤种	灰分 (%)	硫分 (%)	飞灰主要化学成分 (%)							飞灰比电阻 ($\Omega \cdot \text{cm}$)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	
吉林烟煤、褐煤	30.46	0.34	63.92	24.48	3.57			4.09		8.31×10^{11}
吉林褐煤	38.48	0.33	64.60	27.43	4.67	2.55				1.6×10^{11}
鸡西原煤	36.78	0.42	65.87	23.27	3.54	0.12	0.18	3.28	0.32	$150^\circ\text{C}/1.8 \times 10^{13}$
天津混煤	28.27	1.08	50.30	35.77	8.09	2.51		0.85	0.25	$150^\circ\text{C}/3.3 \times 10^{11}$
大同轩岗煤 西山贫煤	32.32	1.34	48.31	16.63	0.28	0.28			1.11	$150^\circ\text{C}/1.45 \times 10^{11}$
东庞、葛泉 等地煤	27.76	1.0	58.12	33.08						$180^\circ\text{C}/1.0 \times 10^{11}$
保定混煤	31.6	1.46	54.29	34.16	5.37	1.87	0.13	1.01	0.24	$150^\circ\text{C}/7.56 \times 10^{11}$
邯郸峰峰、 山西煤	29	1.60	49.02	30.67	5.22	4.48	0.59	0.77	0.70	1.69×10^9
灵石、西山 小窑混煤	25~ 30	1.72~ 2.17	44.2	29.1	12.9					3.5×10^8
大同烟煤	16	1.11	54.16	23.39	13.41	4.80	0.65			2.65×10^{11}
漳泽 1 号贫煤	17.9	0.6	50.04	36.39			1.09			2.6×10^9
漳泽 2 号贫煤	21.5	0.35	49.03	37.54	2.83	4.99		K ₂ O+ Na ₂ O/ 2.14		$150^\circ\text{C}/1.23 \times 10^{12}$

我国燃煤电厂飞灰中 SiO₂ 含量一般为 40%~70%，不吸水，当温度在 120℃ 左右时，其比电阻达 $2 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ ；Al₂O₃ 一般含量为 20%~35%，个别特殊煤种的飞灰 Al₂O₃ 含量高达 40%~60% 以上，灰比较细，比电阻高；Na₂O 和 K₂O 的含量一般为 0.1%~4%，其含量提高，对电除尘有利；TiO₂ 比电阻低，其含量增加，对电除尘有利；SO₃（灰分硫酸根的折算值）含量提高，对电除尘有利；Fe₂O₃ 含量在 3%~35%，比电阻高，但 Fe₂O₃ 的存在对 K₂O 的导电起催化作用，对电除尘影响要看 Fe₂O₃ 和 K₂O 的多少。CaO 含量在 2%~3%，灰细，比电阻高，对 CaO 干粉尘，其比电阻高达 $10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ ，有削弱 SO₃ 的作用，容易形成 CaSO₄，MgO 比电阻高，有削弱 SO₃ 的作用；我国燃煤电厂飞灰比电阻较高，除尘器入口含尘浓度较大，灰比较细，这都给电除尘带来了很多问题，同时也给袋式除尘和电袋除尘的发展带来了机会。

三、煤、灰特性与除尘器的选择

电除尘器、袋式除尘器和电袋复合式除尘器是已在我国燃煤电厂得到广泛应用且技术比较成熟的烟气净化装置。除尘器的除尘效果主要受煤的含硫量、灰分、飞灰粒径分布、比电阻、黏附性、化学组成和烟气含尘浓度等因素的综合影响，所以，燃煤电厂应根据这些主要因素的不同和经济性，选择合适的除尘器。

一般建议对飞灰比电阻较高 ($\rho > 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$)、灰细、中等灰分以下的煤 ($A_d \leq 34\%$) 可选袋式除尘器或电袋复合式除尘器；对大约在中等飞灰比电阻范围 ($10^4 \Omega \cdot \text{cm} < \rho \leq 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$)、高灰分煤 ($A_d > 34\%$) 可选电除尘器或电袋复合式除尘器；对飞灰比电阻较

高、高灰分煤可选电袋复合式除尘器。

第三节 评定除尘器性能的指标

评定除尘器工作的性能有各种指标，如除尘效率、阻力、耗钢量、一次投资、运行费用等。在选择除尘器时，必须综合加以考虑。

一、除尘效率

除尘器的除尘效率系指含尘气流在通过除尘器时所捕集下来的粉尘量占进入除尘器的粉尘量的百分数 η (%)。考虑到进入除尘器的总尘量 G_i 应由除尘器排出的粉尘量 G_o 与捕集的粉尘量 G_c 之和 (见图 1-1)，即

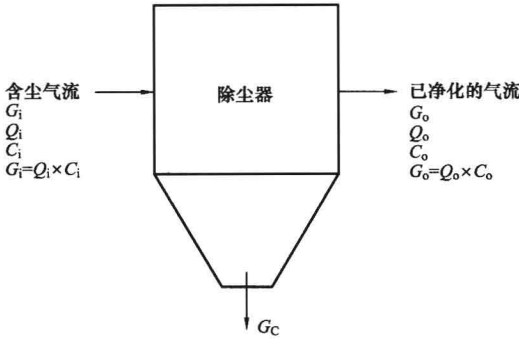


图 1-1 除尘效率计算示意

考虑到进入除尘器的总尘量 G_i 应由除尘器排出的粉尘量 G_o 与捕集的粉尘量 G_c 之和 (见图 1-1)，即

$$G_i = G_o + G_c \quad \text{g/h} \quad (1-1)$$

于是除尘器的效率 η 可表示为

$$\eta = \frac{G_c}{G_i} \times 100\% \quad (1-2)$$

或

$$\eta = \frac{G_c}{G_o + G_c} \times 100\% \quad (1-3)$$

或

$$\eta = \frac{G_i - G_o}{G_i} \times 100\% \quad (1-4)$$

因此，在实际上可根据具体条件，只要测出两个量，就可按相应的公式算出除尘效率，在有些情况下，测定气流中的含尘浓度更为方便，这样

$$G_i = C_i Q_i \quad \text{g/h} \quad (1-5)$$

$$G_o = C_o Q_o \quad \text{g/h} \quad (1-6)$$

式中 C_i, C_o ——除尘器进、出口气流中的含尘浓度， g/m^3 (标准状态下)；

Q_i, Q_o ——除尘器进、出口气体流量， m^3/h (标准状态下)。

当除尘器很严密没有漏风时， $Q_i = Q_o$ ，但是实际上除尘器经常有漏风，这时的除尘效率表示为

$$\eta = \frac{G_i - G_o}{G_i} \times 100\% = \frac{C_i Q_i - C_o Q_o}{C_i Q_i} \times 100\% = \left(1 - \frac{C_o}{C_i} \frac{Q_o}{Q_i}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{C_o}{C_i} K\right) \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 K ——系数。

当进入除尘器的含尘浓度很高，要求将几级除尘器串联使用时 (例如第一级采用旋风除尘器，第二级采用电除尘器)，设每一级的除尘效率为 $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots$ 则总效率可按式 (1-8) 计算，即

$$\eta_T = [1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2)(1 - \eta_3)\dots] \times 100\% \quad (1-8)$$

根据除尘效率的定义，除尘器对某一粒径 d (或在 Δd 范围内) 的除尘效率称为分级除尘效率 η_d ，即有