

煤粉制备系统 和计算方法设计

火力发电厂

赵仲琥 张安国 王文元 梁辉

中国电力出版社

HUOLIFABIANCHANG
MEIFENZHIBEIXITONGSHEJI
HEJISUANFANGFA

H

L

F

D

C

煤粉制
备系统
和计算
方法
火力发
电设计
厂

赵仲琥 张安国 王文元 梁辉

中国电力出版社

(H)

(L)

(F)

(D)

(C)

内 容 提 要

本书针对中国煤种结合长期以来的电站实践与科研成果系统地介绍适应中国现阶段需要的煤粉制备系统设计计算方法,内容包括煤和煤粉的特性、磨煤机选型、制粉系统型式和各种辅助设备与部件的合理选择、管道的布置以及整个系统和设备的参数计算与优化等。本书适合科研、设计、设备制造、电厂和生产管理部门的技术人员使用,高等专业院校师生也可参考。

图书在版编目(CIP)数据

火力发电厂煤粉制备系统设计和计算方法/赵仲琥等编.
—北京:中国电力出版社,1998.10
ISBN 7-80125-729-4

I.火… II.赵… III.①火电厂-燃煤制粉系统-设计 ②
火电厂-燃煤制粉系统-计算方法 IV.TM621.2

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第20347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)

列电印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1999年2月第一版 1999年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 11.5印张 280千字

印数 0001—3400册 定价 20.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

序 言

煤粉制备系统（以下简称制粉系统）是将煤磨制成一定粒度的煤粉并输送至锅炉进行燃烧的所有设备组成的系统。在现代煤粉锅炉中，它已成为与锅炉燃烧设备共同组成的不可分割的燃烧系统整体的重要部分。锅炉的安全经济运行与制粉系统的良好设计、布置及其运行情况密切相关。由于制粉系统设备上的问题或选型不当和系统设计参数不合理而影响锅炉正常运行或新机组不能顺利投产的事例不胜枚举。

制粉系统设计的主要任务是进行磨煤机的优化选型，合理选择制粉系统型式及其各种辅助设备和部件，进行管道的合理布置设计以及进行整个系统和设备的参数计算，以使制粉系统能适应煤的特性，具有良好的运行性能和技术经济指标。

以往我国在制粉系统设计中都利用外国的设计计算方法（标准）。但是这些方法存在着明显的缺陷（如磨煤机选型缺少煤磨损性这一重要因素，含粉气流的阻力与实际不符等等），在对我国煤种适应性方面也有许多问题，更重要的是这些 60 年代、70 年代的方法已远不能适应我国电力工业技术不断发展的要求。70 年代末以来，我国先后引进了西方一些国家的磨煤机设备和生产技术，也掌握了西方一些公司的磨煤机选型计算方法，但对于整个制粉系统设计来说，这些方法显得不够系统和完善，也存在着与中国煤种的适应性问题。因此，编制一个较为系统而完善的、适应于我国煤种特性和技术发展水平的制粉系统设计计算方法（标准）便成为迫切的需要。但要实现这个目标，需要解决一系列技术问题，需要进行大量深入细致的试验研究、调查分析和资料积累工作。70 年代后期以来，我国动力工作者和一些研究、设计单位、高等院校、制造厂和电厂，围绕这一目标进行了一系列富有成效的工作：

- 进行了大量的磨煤机和制粉系统试验改进研究，开发了一系列新的设备和部件；
- 研制了测定煤磨损特性的装置，积累了一大批煤磨损特性资料；
- 建立了磨煤机试验台，并结合现场试验对中速磨煤机特性与参数进行对比试验研究，积累了改进中速磨煤机计算方法的资料数据；
- 建立了气固两相流试验台，进行了若干条件下含粉气流阻力特性试验，得到了大量较以往更符合实际的结果；
- 进行了煤粉的输送、分配等方面的试验研究；
- 编制了一些制粉系统设计计算方法试用稿等等。

1989 年，原能源部正式把“磨煤机优化选型与制粉系统合理设计布置方法的研究”列为电力工业重点科技项目，由其所属西安热工研究所（负责）、华东电力设计院、东北电力设计院和电力建设研究所共同组成课题组进行研究，主要的研究和工作内容为：

- 煤的磨损性和煤的其他与制粉系统设计有关特性的研究；
- 各种型式磨煤机特性参数计算方法研究和磨煤机出力备用系数以及台数的合理选择；
- 含粉气流下制粉系统设备和元件以及管道阻力特性研究；
- 煤粉输送、分离、分选、分配以及粗、细粉分离器、煤粉分配器和制粉系统其他附属

ABD 75/09

设备及元、部件的选型；

- 在上述研究基础上编制“制粉系统设计计算方法（标准）”。

经过多年的努力，采用试验台研究和现场试验与调查研究相结合的工作方法，圆满完成了预定的各项专题研究，并在上述专题研究结果及以往的试验研究成果和运行、改进资料积累的基础上，本着科学性、先进性、实用性和覆盖面广的宗旨，编制了本制粉系统设计和计算方法，并经过了专家审查。

本设计计算方法正文的主要编写人员有赵仲琥（序言，1、2、6、7章及最后统稿）、张安国（3、4章、2.2、2.3、2.8初稿）、梁辉（第5章）、王文元（第8章）、张宁（符号和4.7节的初稿）、王月明（6.2、6.3初稿）、薛彦廷（7.7初稿），苏佩琴、薛彦廷等并作了大量辅助性的工作。

除上述人员外，课题组的其他成员也对本设计计算方法的编写作了应有的贡献，他们是：

左鸿恕、柴革非（以上属华东电力设计院）、肖文泽、白少林、张心、周群、张广才、刘文珍、陈孟丽、许世森（以上为西安热工研究所）、于长友、李新生、林延、康群利、仇锁成（以上为电力建设研究所）、王丽华、石亚东、王勇人（以上为东北电力设计院）等等。

邱长清、高汉襄作为课题组的顾问，对各项专题的研究、设计计算方法的编写起了指导性的作用。

课题工作是在原能源部科技司、原中国电力企业联合会科技工作部和原能源部电力规划设计总院的重视、支持和组织协调以及课题各成员单位领导部门的直接领导下进行的；在后期继续得到电力部科技司的重视和支持。谢长军、陈兆鲲直接参与了课题的组织领导和协调工作，对保证课题的顺利进行和本方法的编写起了重要作用。

本方法编写中利用了李芬和、吴邦本以及苏佩琴、陈炳荣、祝长根、李种仁、杨永德、翁德义等人以往的试验研究和工作成果。这些工作（含粉气流阻力特性、煤的磨损特性试验等）对编写本方法起到基础性作用。

本方法编写中还参考了我国动力工作者一系列试验研究成果和其他资料文献，并利用了有关的国家与行业的标准、规程、导则和技术规定。

1995年4月在西安召开了本方法的初稿审查会，贾鸿祥、吴振声、陈兆鲲、高汉襄、唐飞等提出许多重要修改意见。1997年，电力规划设计总院将本方法分送有关电力设计院征求意见，此次出版前，按各设计院的意见做了一些必要的修订。这些都促进了本方法的完善。

欢迎任何旨在进一步完善本方法的批评、修改意见，这些意见将在修订本方法时认真考虑。

编 者

1998年5月

常用符号

符号确定原则

1. 煤分析符号按 GB483—87 《煤质分析试验方法一般规定》。
2. 其他符号按 GB3100~3102—93 《量和单位》。
3. 下角标主要参照 IEC 标准 《量、单位和文字符号》，其中没有的按英文导出。
4. 尽量不用汉语拼音与上述原则混合的表示方式，除非该符号在其他领域已广为使用。

下角标及其意义

1. 表示量的性质、状态、类别等的下角标

符号	意义	依据
opt	最佳的	IEC
max	最大的	IEC
lim	极限的	IEC
min	最小的	IEC
cr	临界的	IEC
e	有效的	IEC
tot、t	总的	IEC
eq	等效的	IEC
av	平均的	IEC
ab	绝对的	IEC
rat	额定的	IEC
net	净的	IEC
sp	备用的、储备的	IEC
dr	传动	
cru	破碎	
v	通风	
rac	空转的	
fil	装满	
b	堆积	
ac	真实的	
ap	视在的、表面的	

s	静的、静态的	IEC
d	动力的、动态的	IEC

2. 表示量所属的介质

符号	意义
c	煤
pc	煤粉
rc	原煤
v	通风
ha	高温风(空气)、 热风
la	冷风(低温空气)
hg	热(高温)烟气
lg	冷(低温)烟气
s	密封风
le	漏风
a	大气、空气
dp	露点

3. 表示设备的所属(第一字母大写)

符号	意义
M	磨煤机
B	锅炉
F	炉膛
S	粗粉分离器

Cyc	细粉分离器
b	煤仓(为了与代表锅炉的下标区分,此处用小写字母)
Mot	电动机
Bur	燃烧器
Fan	风机
AH	空气预热器
SAH	暖风器

4. 用于煤质分析的下角标

符号	意义
ar	收到基(设计计算时可代表应用基)
ad	空气干燥基
d	干燥基
daf	干燥无灰基
dmmf	干燥无矿物质基
t	总的、全的,如 M_t 表示全水分
f	表面的、外在的
inh	内在的、固有的

常用物理量符号

1. 燃料

符号	单位	意义
A_{ad}	%	空气干燥基灰分
M_{ad}	%	煤空气干燥基水分
V_{ad}	%	煤空气干燥基挥发分
C_{ad}	%	煤空气干燥基碳含量
H_{ad}	%	煤空气干燥基氢含量
N_{ad}	%	煤空气干燥基氮含量
O_{ad}	%	煤空气干燥基氧含量
S_{ad}	%	煤空气干燥基硫含量
$Q_{net,ad}$	MJ/kg	煤空气干燥基低位发热量
$Q_{r,ad}$	MJ/kg	煤空气干燥基高位发热量
HGI	—	哈氏可磨性指数
K_{vTI}	—	BTI 可磨性指数
K_e	—	煤磨损性指数
R_w	—	煤着火性指数
M_{pc}	%	煤粉水分
M_{lim}	%	煤含水饱和时的极限水分
M_{max}	%	原煤最大水分
$R_{5.0}$	%	5×5mm 筛上的余量
$R_{10.0}$	%	10×10mm 筛上的余量
$R_{1.0}$	%	1×1mm 筛上的余量
R_{200}	%	200 μ m 筛上的余量
R_{90}	%	90 μ m 筛上的余量
$\rho_{c,ap}$	t/m ³	煤视在密度

$\rho_{c,ac}$	t/m ³ (g/cm ³)	煤真密度
$\rho_{c,o}$	t/m ³ (g/cm ³)	纯煤(无灰无水)真密度
$\rho_{c,b}$	t/m ³ (g/cm ³)	煤堆积密度
$\rho_{pc,b}$	t/m ³ (g/cm ³)	煤粉堆积密度
c_{pc}	kJ/(kg℃)	煤粉比热容
c_{dc}	kJ/(kg℃)	干煤比热容
c_A	kJ/(kg℃)	灰比热容
$c_{c,o}$	kJ/(kg℃)	纯煤(无灰无水)比热容

2. 磨煤机有关参数

符号	单位	意义
B_M	t/h	磨煤机出力(原煤)
B'_M	t/h	风扇磨煤机(实际)出力(煤粉)
B_{M0}	t/h	磨煤机(在一定条件下)的基本出力(原煤)
B'_{M0}	t/h	风扇磨煤机基本出力(煤粉)
B	t/h	锅炉燃煤量
B_0	t/h	单台磨煤机应有出力(原煤)
D	m	钢球磨煤机筒体直径
L	m	钢球磨煤机筒体长度
V	m ³	钢球磨煤机筒体容积
n	r/min	钢球磨煤机筒体转速
n_{cr}	r/min	钢球磨煤筒体临界转速

k_{ap}	—	护甲(衬板)形状(修正)系数
k_{jd}	—	由于护甲和钢球磨损使出 力降低的修正系数
k_{gr}	—	工作燃料可磨性(对出力 影响)的修正系数
S_2	—	原煤质量(按水分)换算系 数
S_1	—	原煤水分对可磨性影响的 修正系数
S_g	—	进入磨煤机的原煤粒度 (对出力影响)的修正系数
k_v	—	磨煤机筒体实际通风量 (对出力影响)的修正系数
φ_b	—	磨煤机钢球装载系数
$\varphi_{b,opt}$	—	磨煤机最佳钢球装载系数
$\varphi_{b,max}$	—	磨煤机最大钢球装载系数
G_b	t	磨煤机钢球装载量
ρ_b	t/m ³	钢球堆积密度
M_{av}	%	磨煤机(筒体)内的平均水 分
Q_v	m ³ /h	磨煤机(实际)通风量
$Q_{v,opt}$	m ³ /h	磨煤机最佳通风量
P	kW	磨煤机功率
P_{sh}	kW	磨煤机轴功率
η_G	%	磨煤机传动装置效率
η_{Mot}	%	电动机效率
K_{fd}	—	燃料种类与钢球装载对功 率影响的修正系数
f_H	—	计算出力时的煤可磨性影 响修正系数
f_R	—	计算出力时的煤粉细度影 响修正系数
f_M	—	计算出力时考虑水分影响 的修正系数
f_A	—	计算出力时考虑灰分影响 的修正系数
f_g	—	计算出力时考虑原煤粒度 影响的修正系数
δ	g/t	碾磨件磨损率
K_c	—	循环倍率
S	m ²	碾磨件表面积

$R_{A,C}$ kg/kg 磨煤机风煤比

3. 干燥剂和热力计算的有关参数

符号	单位	意义
g_1	kg/kg	制粉系统始端干燥剂量
t_1	℃	制粉系统始端干燥剂温度
t_2	℃	制粉系统终端干燥剂温度
$t_{M,1}$	℃	磨煤机入口温度
$t_{M,2}$	℃	磨煤机出口温度
t_{ha}	℃	热风温度
t_{le}	℃	漏风温度
t_{la}	℃	冷风温度
t_s	℃	密封风温度
t_{hg}	℃	热(高温)烟(气)温度
t_{lg}	℃	冷(低温)烟(气)温度
r_{pri}	%	锅炉一次风率
r_{sec}	%	二次风率
r_{ter}	%	三次风率
α_F	—	锅炉炉膛(出口)过量空气 系数
K_{le}	—	制粉系统漏风系数
V^o	m ³ /kg	理论(燃烧所需)空气量 (标准状态)
r_{ha}	—	热风(高温空气)在干燥剂 中的质量份额
r_{la}	—	冷风(冷空气)在干燥剂中 的质量份额
$r_{r,g}$	—	再循环气体在干燥剂中的 质量份额
r_{hg}	—	热(高温)烟气在干燥剂中 质量份额
r_{lg}	—	冷(低温)烟气在干燥剂中 的质量份额
$\rho_{hg}^{\ominus}$	kg/m ³	标准状态下高温烟气密度
$\rho_{lg}^{\ominus}$	kg/m ³	标准状态下低温烟气密度
q_{in}	kJ/kg	带入磨煤机的总热量
q_{gl}	kJ/kg	干燥剂的物理热
q_{le}	kJ/kg	漏风的物理热
q_s	kJ/kg	密封风的物理热
q_{mac}	kJ/kg	碾磨机械工作时产生的热

q_{out}	kJ/kg	带出磨煤机的热和消耗的热总和	Δp_t	Pa	全压降
q_{av}	kJ/kg	蒸发原煤水分所消耗的热	$p_{s,v}$	Pa	自生通风
q_{g2}	kJ/kg	干燥剂带出的热	ΔZ	m	高度差
q_f	kJ/kg	加热燃料消耗的热	Δp_f	Pa	摩擦阻力
q_s	kJ/kg	设备散热损失	$\Sigma \Delta p_f$	Pa	摩擦阻力总和
Q_s	kg/s	密封风质量流量	Δp_{ζ}	Pa	局部阻力
c_{ha}	$\text{kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$	热风(在 t_{ha} 下)的比热容	$\Sigma \Delta p_{\zeta}$	Pa	局部阻力总和
c_{la}	$\text{kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$	冷风(在 t_{la} 下)的比热容	Δp_{ξ}	Pa	设备或部件阻力
c_{hg}	$\text{kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$	高温烟气(在 t_{hg} 下)的比热容	$\Sigma \Delta p_{\xi}$	Pa	设备或部件阻力总和
c_{lg}	$\text{kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$	低温烟气(在 t_{lg} 下)的比热容	Δp_{f0}	Pa	纯气体下的摩擦阻力
c_s	$\text{kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$	密封风(在 t_s 下)的比热容	$\Delta p_{f\mu}$	Pa	含粉气流下的摩擦阻力
c_{ag}	$\text{kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$	干燥剂比热容	ρ_0, ρ_g	kg/m^3	纯气体的密度
c_{rg}	$\text{kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$	再循环气体(在 t_2 下)的比热容	K	—	计算含粉气流阻力系数时浓度修正系数

4. 空气动力计算有关参数

符号	单位	意义			
λ	—	纯气体下摩擦阻力系数	Δp_{gp}	Pa	纯气体下局部阻力
λ_{μ}	—	含粉气流摩擦阻力系数	$\Delta p_{\zeta\mu}$	Pa	含粉气流下局部阻力
μ	kg/kg	含粉气流煤粉浓度	L	m	管道(段)长度
Δ	m	管道粗糙度	D, d	m	管道直径
Re	—	雷诺数	Δp_M	Pa	磨煤机阻力
ζ_0	—	纯气体下局部阻力系数	Δp_l	Pa	煤粉提升压头损失
ζ_{μ}	—	含粉气流下局部阻力系数	Δp_r	Pa	煤粉加速损失
ξ_0	—	纯气体下设备或部件阻力系数	S_m	Pa	气体入口负压
ξ_{μ}	—	含粉气流下设备或部件阻力系数	Δp_{in}	Pa	入口阻力损失
p_n	kPa	当地大气压力	t_{av}	$^\circ\text{C}$	平均温度
w, u	m/s	气流速度	p_{cal}	Pa	风机计算压头
			$\Sigma \Delta p'_{Fan}$	Pa	风机前所有设备和管道中的全压降
			$\Sigma \Delta p''_{Fan}$	Pa	风机后所有设备和管道中的全压降
			$\Sigma \Delta p'_{Fan, f}$	Pa	风机前所有管道中的摩擦阻力
			$\Sigma \Delta p'_{Fan, \zeta}$	Pa	风机前所有管路元件的局部阻力

目 录

序 言

常用符号

1. 总则	1
2. 煤和煤粉特性	3
2.1 煤特性的常规分析和电厂用煤分类	3
2.2 煤的可磨性	4
2.3 煤的磨损性	5
2.4 煤的燃烧特性	6
2.5 煤粉的爆炸特性	7
2.6 煤和煤粉的水分	8
2.7 原煤粒度和碎煤尺寸	8
2.8 煤粉细度	8
2.9 煤和煤粉的密度	9
2.10 煤和煤粉的比热容	10
3. 磨煤机和制粉系统类型及其选择	12
3.1 磨煤机类型	12
3.2 制粉系统类型	16
3.3 磨煤机及制粉系统类型的选择	19
4. 磨煤机性能参数计算和台数的确定	22
4.1 总的原则	22
4.2 钢球磨煤机性能参数计算	22
4.3 轮式 (MPS 类型) 磨煤机性能参数计算	30
4.4 碗式磨煤机 (RP、HP 型) 性能参数计算	35
4.5 球环式 (E 型) 磨煤机性能参数计算	37
4.6 双进双出钢球磨煤机性能参数计算	42
4.7 风扇式磨煤机性能参数计算	45
4.8 磨煤机台数和出力裕度的选择	50
5. 制粉系统热力计算	52
5.1 一般原则	52
5.2 初始干燥剂量的确定	53
5.3 热平衡	56
5.4 干燥剂初温和终温的确定	59
5.5 干燥剂的比热容	62
5.6 初始断面干燥剂的组成及份额	66
5.7 终端干燥剂的成分、参数与份额	68
5.8 干燥管参数计算	75
5.9 干燥出力核算和制粉系统风机容量的确定	76

附录 5.1 理论空气量和烟气量与成分计算方法	77
6. 制粉系统的空气动力计算	82
6.1 基本原则	82
6.2 管道摩擦阻力	85
6.3 管路元件的局部阻力	89
6.4 设备和部件的阻力	103
6.5 煤粉提升的压头损失	105
6.6 煤或煤粉加速损失	106
6.7 气体入口处负压和入口阻力	106
6.8 制粉系统的自生通风	107
6.9 制粉系统的总阻力和全压降	107
6.10 并列送粉管道的阻力系数的均衡	107
6.11 制粉系统风机计算压头的确定	109
7. 制粉系统附属设备和部件的选择	112
7.1 原煤仓	112
7.2 煤粉仓	113
7.3 给煤机	114
7.4 给粉机	121
7.5 输粉机	123
7.6 锁气器	126
7.7 粗粉分离器	129
7.8 细粉分离器	136
7.9 节流元件	142
7.10 煤粉分配器	143
7.11 煤粉混合器	146
7.12 木块分离器与木屑分离器	147
7.13 制粉系统的风机	149
7.14 补偿器	157
8. 制粉系统管道布置和其他	159
8.1 制粉系统管道布置原则及要求	159
8.2 原煤管道布置	159
8.3 制粉管道布置	161
8.4 送粉管道布置	163
8.5 制粉系统防爆的技术措施	167
8.6 管道及部件强度要求	171
8.7 热工测点布置及位置	172

1 总 则

1.0.1 本方法适用于火力发电厂容量为 65t/h~2000t/h 级锅炉的煤粉制备设备及系统（以下简称制粉系统）的设计与计算。在火电厂工程设计和电厂改造中有关制粉系统的设计和计算均可按本方法进行。本方法也适用于地方电厂锅炉和企业自备电厂锅炉的制粉系统设计。

1.0.2 制粉系统的功能是制备合格煤粉输送至锅炉以进行燃烧。对于大型锅炉，制粉系统已成为与锅炉燃烧设备共同组成不可分割的燃烧系统整体的一部分，因而其设计要与锅炉燃烧设备综合考虑，以满足锅炉正常运行对燃烧的要求。

1.0.3 制粉系统的范围包括原煤仓至锅炉燃烧器之前所有的设备、部件、管道及其元件以及仪表、调节和控制装置。

除了基本的设备和部件如磨煤机、给煤机、煤粉分离器、一次风机或排粉风机、原煤仓、煤粉仓和给粉机、锁气器、木块和木屑分离器外，尚有下列的管道及其附属装置：

(1) 原煤管道：包括原煤仓至给煤机和给煤机至磨煤机的落煤管；金属小煤斗。

(2) 制粉管道：磨煤机至排粉风机间的制粉管道，旋风分离器至煤粉仓和输粉机的落粉管，输粉机至煤粉仓的落粉管，粗粉分离器的回粉管，煤粉仓的放粉管、吸潮管和防爆门引出管等。

(3) 送粉管道：排粉风机、粗粉分离器或一次风箱至燃烧器的一次风管、三次风管、乏风管，给粉管，干燥剂再循环管等。

(4) 冷风道：磨煤机调温用的压力冷风道，低温（冷）一次风机或低温干燥风机的出口风道，磨煤机和给煤机密封系统风道。

(5) 热风道：至磨煤机的热风道（对于冷一次风机则由空气预热器出口起），排粉风机进口热风道，高温一次风机进口热风道，烟气干燥混合器的热风道，风扇磨煤机的密封风管道以及空气预热器出口至磨煤机和排粉机的温风道。

(6) 用作干燥剂的烟气管道：包括高温烟气管道、低温烟气管道和混合室至磨煤机进口的干燥管等。

1.0.4 制粉系统设计的任务总的来说是根据锅炉燃用的煤的特性和锅炉采用的燃烧设备来选择制粉系统和磨煤机的型式和参数，并对 1.0.3 条规定的制粉系统范围内的其他设备、部件、管道及元件进行合理选型、布置和计算，以保证制粉系统具有良好的运行性能和技术经济指标。具体的内容为：

(1) 确认设计和校核煤种及其有关特性，作为制粉系统设计的基础；

(2) 选择适用的制粉系统；

(3) 进行磨煤机选型，确定磨煤机台数、出力和其他性能参数；

(4) 进行制粉系统热力计算；

(5) 选择制粉系统其他设备、部件的型式及参数；

(6) 进行管道布置和设计；

(7) 进行空气动力计算，确定制粉系统总的压降，选择一次风机或排粉风机；核校风扇

磨煤机的通风能力；

(8) 提出仪表及调节控制装置的设计要求；进行辅助装置（如密封、冷却、润滑系统）设计。

1.0.5 制粉系统设计应遵照运行安全可靠、技术先进、经济合理、安装维修方便、注意环境保护、布置美观等原则，符合下列具体要求：

(1) 制粉系统应能完全满足锅炉运行要求并具有良好的特性：

- 煤粉细度合格，出力满足锅炉运行要求；
- 运行可靠，能连续正常制粉、供粉；
- 调节灵活方便，能适应锅炉负荷变化的要求；
- 设备部件不易损坏，使用寿命长；
- 运行经济、电耗低；
- 各送粉管道风粉分配均匀。

(2) 投资省。

(3) 运行、维修和制造、运输、安装方便。

(4) 设备、部件、管道和元件有足够的强度和刚度。

(5) 考虑防爆、防磨、防堵、防漏、防震、防雨（雪）、防冻、防腐蚀、防噪声和热膨胀等问题，并有相应措施及其他环境保护措施，达到电力工业有关劳动安全与工业卫生标准的要求。

1.0.6 制粉系统必须按照电厂锅炉实际燃用的煤种进行设计。应当预先取得有代表性煤样进行必要的分析化验以得到设计所必需的资料和数据。对于已在电厂广为应用的熟知煤种，可进行必要的分析核定煤样的煤种归属；对应用较少或煤的特性尚不熟悉的煤种或者混煤，则须进行全面的化验分析（工业分析，元素分析，发热量、可磨性、磨损指数测定，有条件时最好测定煤的真密度以及原煤和煤粉的堆积密度，有时还要进行热分析测定代表煤燃烧特性的数据）。

除设计煤种外，还必须有校核煤种。校核煤种的特性不应与设计煤种相差过大。对于校核煤种的分析化验要求与设计煤种相同。

1.0.7 除 1.0.6 条规定的煤样化验分析项目外，遇有下列情况之一的，应进行磨煤机试验台的试磨，以确定煤的干燥及研磨参数，最佳磨煤机型式、参数和出力以及弄清其他须经过试磨才能明确的问题。

- (1) 新开发的煤矿；
- (2) 仅按煤化验分析的特性难以选定磨煤机最佳型式者；
- (3) 在磨煤机选型有争议时；
- (4) 其他必要情况。

1.0.8 对于海拔高度超过 300m 的地区，在进行制粉系统设计计算时，应考虑大气压力降低的影响，并对有关计算作必要的修正。具体内容见各有关章节。

1.0.9 本方法的编制以《火力发电厂设计技术规程》（DL5000—94）为基础。制粉系统设计与计算除了执行本方法外，还必须遵照《火力发电厂设计技术规程》以及其他有关的国家和行业标准以及部颁的规程、规定、导则等。

2 煤和煤粉特性

2.1 煤特性的常规分析和电厂用煤分类

2.1.1 煤的常规分析项目有工业分析（灰分、水分、挥发分、固定碳）、元素分析（碳、氢、氧、氮、硫）以及发热量和煤灰熔点等。

2.1.2 煤的组成可由不同的状态（基）下的数据表示，即：

收到基——以收到状态的煤为基准，可以此代表煤的应用状态；

空气干燥基——以与空气湿度达到平衡的煤为基准；

干燥基——以假想无水状态的煤为基准；

干燥无灰基——以假想无水、无灰状态的煤为基准。

2.1.2.1 不同基质的工业分析和元素分析参数以及高位发热量可利用表 2-1-1 所列的换算系数进行换算，即将已知基质参数乘以表中待求基质栏下的换算系数即得待求基质的参数。

表 2-1-1 燃料基质换算系数

已知燃料 基 质	待求燃料基质			
	收到基 ar	空气干燥基 ad	干燥基 d	干燥无灰基 daf
收到基	1	$(100 - M_{ad}) / (100 - M_{ar})$	$100 / (100 - M_{ar})$	$100 / (100 - M_{ar} - A_{ar})$
空气干燥基	$(100 - M_{ar}) / (100 - M_{ad})$	1	$100 / (100 - M_{ad})$	$100 / (100 - M_{ad} - A_{ad})$
干燥基	$(100 - M_{ar}) / 100$	$(100 - M_{ad}) / 100$	1	$100 / (100 - A_d)$
干燥无灰基	$(100 - M_{ar} - A_{ar}) / 100$	$(100 - M_{ad} - A_{ad}) / 100$	$(100 - A_d) / 100$	1

2.1.2.2 不同基质低位发热量的换算，除干燥基和干燥无灰基间相互换算可直接利用表 2-1-1 外，其余的都要考虑煤中水分汽化潜热的影响。例如：

$$Q_{\text{net,ar}} = (Q_{\text{net,ad}} + bM_{\text{ad}}) \frac{100 - M_{\text{ar}}}{100 - M_{\text{ad}}} - bM_{\text{ar}}$$

$$Q_{\text{net,ad}} = (Q_{\text{net,ar}} + bM_{\text{ar}}) \frac{100 - M_{\text{ad}}}{100 - M_{\text{ar}}} - bM_{\text{ad}}$$

式中 b ——系数，发热量以 MJ/kg 为单位时是 0.0251，以 kJ/kg 为单位时是 25.1。

2.1.3 中国发电煤粉锅炉用煤主要根据煤的燃烧特性以挥发分、灰分、水分、硫分和煤灰熔点作为主要分类指标，以发热量作为辅助分类指标，即 VAWST 分类标准。发电厂煤粉锅炉用煤质量标准（GB7562—87）见表 2-1-2。

表 2-1-2 发电厂煤粉锅炉用煤质量标准 (GB7562—87)

	符 号	$V_{\text{def}} (\%)$	$Q_{\text{net,ar}}^{\text{①}} [\text{MJ/kg (kcal/kg)}]$
按挥发分 (及相应 发热量) 分类等级	V_1	$>6.5 \sim 10$	>21.0 (>5000)
	V_2	$>10 \sim 19$	>18.5 (>4400)
	V_3	$>19 \sim 27$	>16.5 (>3900)
	V_4	$>27 \sim 40$	>15.5 (>3700)
	V_5	>40	>11.5 (>2800)
按灰分 分类等级	符 号	$A_d (\%)$	
	A_1	≤ 24	
	A_2	$>24 \sim 34$	
	A_3	$>34 \sim 46$	
按水分 分类等级	符 号	$M (\%)$	$V_{\text{def}} (\%)$
	M_f	$M_1 \leq 8$	$(\leq 40)^{\text{②}}$
		$M_2 > 8 \sim 12$	
	M_t	$M_3 \leq 22$	(> 40)
$M_4 > 22 \sim 40$			
按硫分 分类等级	符 号	$S_{\text{d,t}} (\%)$	
	S_1	≤ 1.0	
	S_2	$> 1.0 \sim 3.0$	
按煤灰熔融性 T_2 分类	符 号	$T_2 (^\circ\text{C})$	$Q_{\text{net,ar}} [\text{MJ/kg (kcal/kg)}]$
	T	>1350 不 限	>12.5 (>3000) ≤ 12.5 (≤ 3000)

① $Q_{\text{net,ar}}$ 系本级 V 所要求的低限值;

② 括号中 V_{daf} 值系水分划分所要求的挥发分范围。

2.1.4 除 2.1.3 的分类标准外,制粉系统设计时尚可采用挥发分大小的习惯分类,即无烟煤 ($V_{\text{daf}} \leq 10\%$)、贫瘦煤 ($10\% < V_{\text{daf}} \leq 20\%$)、烟煤 ($20\% < V_{\text{daf}} \leq 40\%$) 和褐煤。为适应实际情况,在分类中尚可增加超低挥发分无烟煤 ($V_{\text{daf}} \leq 6.5\%$) 和劣质烟煤 ($A_{\text{ad}} > 40\%$ 或 $Q_{\text{net,ar}} < 16.75 \text{ MJ/kg}$ 的烟煤)。

2.2 煤的可磨性

2.2.1 煤的可磨性标志煤磨碎的难易程度,一般以可磨性指数来衡量。该指数实质上表示在相同的磨碎能量下所形成的碎煤比表面积增大的程度。实际测量时,该指数系指空气干燥下将标准燃料与所测定的燃料由相同粒度磨碎到相同细度所消耗的能量之比。为便于测量,通常将规定粒度之煤在规定的研磨设备内以相同的磨制能量研磨,根据最终的磨制细度确定其可磨性指数。

2.2.2 本方法采用哈德格罗夫可磨性指数 (HGI) 和 BTI 可磨性指数 (K_{BTI})。两者的本质相同,只是研磨测定设备、规定的初始粒度、磨制能量和标准煤有所差别。

2.2.3 哈德格罗夫可磨性指数按国家标准 GB2565—87 进行测定。具体的方法为:

将粒度为 0.63mm 至 1.25mm 的空气干燥原煤样 $50 \pm 0.01\text{g}$ 放在测定仪内碾磨。测定仪碾磨荷重 $284 \pm 2\text{N}$ (约 $29 \pm 0.2\text{kgf}$)，转速为 $20 \pm 1\text{r/min}$ ，经过 60 ± 0.25 转以后，在筛孔直径为 0.071mm 筛子上测定其通过的质量 G ，然后利用经过校准的计算图 (HGI— G) 查取哈氏可磨性指数。

2.2.4 BTI 可磨性指数按电力工业标准 SD328—89 进行测定。具体方法为：

将粒度为 1.25 至 3.20mm 的空气干燥原煤样 $50 \pm 0.01\text{g}$ 放在测定仪内研磨。测定仪钢球质量为 $4 \pm 0.035\text{kg}$ ，直径为 $25 \pm 1\text{mm}$ ，筒体转速为 90r/min ，经过 $540 + 1$ 转以后，在筛孔直径为 0.090mm 的筛子上测定其残留量，算得被测样的 R_{90} ，利用下式进行 BTI 可磨性指数的计算：

$$K_{\text{BTI}} = 2.32 \left(\ln \frac{100}{R_{90}} \right)^{0.83} \quad (2-2-1)$$

式中 K_{BTI} ——BTI 可磨性指数；

R_{90} ——在孔径为 0.09mm 筛子上试样残留量占整个试样质量的百分数，%。

2.2.5 哈氏可磨性指数和 BTI 可磨性指数可近似用下式进行换算：

$$K_{\text{BTI}} = 0.0149\text{HGI} + 0.32 \quad (2-2-2)$$

根据两种可磨性指数对比试验结果，两种可磨性指数的相关点较分散。所以在进行磨煤机出力设计计算时，应以实测数为准。

2.2.6 钢球磨煤机设计计算用 BTI 可磨性指数，双进双出钢球磨煤机和其他磨煤机设计计算用哈氏可磨性指数。

2.2.7 混煤的可磨性指数应以实测为准。若进行估算则可按其质量加权平均计算：

$$K = K_1 r_1 + K_2 r_2 \quad (2-2-3)$$

式中 K 、 K_1 、 K_2 ——分别为混煤及煤种 1 和煤种 2 的可磨性指数；

r_1 、 r_2 ——煤种 1 和煤种 2 在混煤中所占质量份额。

2.2.8 水分和温度对煤可磨性指数的影响会因煤种不同而有所差别，应予以注意。

烟煤、无烟煤的可磨性指数随着原煤全水分的增加而下降；褐煤的可磨性指数随着水分的增加呈复杂的变化关系。 $V_{\text{daf}} < 30\%$ 的褐煤其可磨性指数随着水分的增加大部分呈下降趋势，而 $V_{\text{daf}} > 30\%$ 的褐煤其可磨性指数随着水分的增加大部分呈上升趋势。

烟煤、无烟煤的可磨性指数随温度的变化不明显；褐煤的可磨性指数与温度的关系较复杂。 $V_{\text{daf}} < 30\%$ 的褐煤其可磨性指数随温度增加呈抛物线上升， $V_{\text{daf}} > 30\%$ 的褐煤其可磨性指数随温度的增加呈 N 形上升趋势。不同煤种在温度上升过程中可磨性指数变化的幅度也往往不同。

2.3 煤的磨损性

2.3.1 煤的磨损性表示煤在碾磨过程中对碾磨设备研磨件的磨损强烈程度，用煤的磨损指数来表示。对于电厂磨煤机，我国现常用的是冲刷磨损指数。煤的冲刷磨损指数是进行电厂磨煤机选型的重要指标之一。

2.3.2 煤的冲刷磨损指数按 DL465—92《煤的冲刷磨损指数试验方法》进行测定。该冲刷磨损指数定义为煤样在冲刷试验过程中，从初始状态被破碎至 $R_{90} = 25\%$ 时，单位时间内磨损片的磨损量与标准煤样的磨损率之比。用公式表示为：

$$K_e = \frac{\delta}{A\tau} \tag{2-3-1}$$

式中 K_e ——煤的冲刷磨损指数；
 δ ——纯铁试片在煤样由初始状态破碎到 $R_{90} = 25\%$ 时的磨损量，mg；
 τ ——煤样碾磨至 $R_{90} = 25\%$ 所需时间，min；
 A ——标准煤的磨损率， $A = 10\text{mg/min}$ 。

2.3.3 煤的磨损性和冲刷磨损指数的关系列于表 2-3-1。

2.3.4 在未取得煤的磨损性指数的情况下，煤的磨损性也可按灰的成分粗略判别，作为参考。

2.3.4.1 如果灰中 $\text{SiO}_2 < 40\%$ ，磨损性属轻微； $\text{SiO}_2 > 40\%$ 时难以判断。

2.3.4.2 如果灰中石英含量少于 $6\% \sim 7\%$ ，则磨损性属不强以下；灰中石英含量大于 $6\% \sim 7\%$ 时难以判断。

2.3.4.3 如果 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 < 2.0$ 时，磨损性在较强以下； $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 > 2.0$ 时难以判断。

2.3.4.4 石英含量的估算：

表 2-3-1 煤的磨损性和冲刷磨损指数的关系

煤的冲刷磨损指数	磨损性
$K_e < 1.0$	轻 微
$K_e = 1.0 \sim 2.0$	不 强
$K_e = 2.0 \sim 3.5$	较 强
$K_e = 3.5 \sim 5.0$	很 强
$K_e \geq 5.0$	极 强

$$[\text{SiO}_2]_q = [\text{SiO}_2]_t - 1.5 [\text{Al}_2\text{O}_3], \% \tag{2-3-2}$$

式中 $[\text{SiO}_2]_q$ ——煤灰中石英含量，%；
 $[\text{SiO}_2]_t$ ——煤灰中 SiO_2 总量，%；
 $[\text{Al}_2\text{O}_3]$ ——煤灰中 Al_2O_3 含量，%。

2.4 煤 的 燃 烧 特 性

2.4.1 煤的燃烧特性是选择煤粉细度的依据，也影响磨煤机和制粉系统以及其他一些设备部件类型的选择，是制粉系统设计必须的重要的煤质特性之一。

2.4.2 煤的燃烧特性可以按照发电用煤分类标准中挥发分（结合发热量）、灰分、水分等分类指标的等级来大致判定（挥发分等级高的煤燃烧性能好，灰分和水分等级高的煤燃烧性能差），也可按煤的粗略分类（无烟煤、贫瘦煤、劣烟煤、烟煤和褐煤）来粗略判定。

2.4.3 在必要时可专门进行煤的热分析和比表面分析来得到判定煤着火和燃尽性能的指标，甚至进行煤粉燃烧试验台的试验以确定煤的燃烧性能。

以热分析确定煤的着火特性时系以热天平在规定的条件下测定煤的燃烧特性，按照所得的燃烧分布曲线，综合了着火温度 t （℃）、易燃峰最高时的温度 t_{imax} （℃）、易燃峰最高时的反应速度 W_{imax} （mg/min）和易燃峰下烧掉的燃料量 G_1 （mg）4 项指标，得到着火指数 R_w ，来确定煤的着火特性。一种规范性的结果见表 2-4-1。