



燃煤黑烟防治与 节煤减排技术

史君洁 史力 编著



化学工业出版社

燃煤黑烟防治与 节煤减排技术

史君洁 史力 编著



化学工业出版社

本书介绍了煤质的基本知识和划分黑烟治理难度类别的方法；论述了燃煤挥发分不完全燃烧产生黑烟的机理以及保证完全燃烧的四大要素；还分别介绍了手烧炉和机烧炉的各种消烟技术及其所适用的消烟难度类别，治理技术的科学评价、治理方案的制订，消烟同时的节煤及其他污染治理技术。

本书可作为环保公司消烟技术手册、大专教材和关心 $\text{PM}_{2.5}$ 治理的广大读者。

图书在版编目 (CIP) 数据

燃煤黑烟防治与节煤减排技术/史君洁, 史力编著. —北京: 化学工业出版社, 2014. 3
ISBN 978-7-122-19706-1

I. ①燃… II. ①史…②史… III. ①煤烟污染-空
气污染控制-研究 IV. ①X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 022570 号

责任编辑: 戴燕红

文字编辑: 刘砚哲

责任校对: 吴 静

装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

850mm×1168mm 1/32 印张 8 $\frac{3}{4}$ 字数 217 千字

2014 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

前言

煤炭孕育了第一次工业革命。烟囱林立、“黑龙”飞舞成了兴旺繁荣的象征，每年向天空中排放数亿吨废气。20世纪中叶，燃煤的烟尘和 SO_2 酿成了数天内因呼吸系统疾病死亡 4000 人，此后 2 个月中又有 8000 人提前死亡的“伦敦烟雾事件”，惊醒了人类，掀起了第一次环保浪潮，喊出了“还我蓝天”的口号。

21 世纪以来， $\text{PM}_{2.5}$ 登上了新华社“2011 年热词榜”。世界卫生组织称， $\text{PM}_{2.5}$ 主要来源于燃料燃烧产生的废气；联合国《以亚洲为重点的区域评估报告》称，煤烟遮蔽阳光，使中国的一些城市日照减少了 20%。罪魁祸首就是“燃煤工厂、柴油卡车和烧柴炉灶的含碳烟尘”。

煤烟即通常说的黑烟，其粒度在 $\text{PM}_{0.1}$ 范围内，是 $\text{PM}_{2.5}$ 中数量最多、危害最大的超细颗粒物。其含碳量高达 95.2%，故有“碳黑”等称谓。归根结底是烃类化合物不完全燃烧产生的烟炱，随烟气排出即为黑烟。烟炱即苯并[a]芘，是苯并芘类中致癌作用最强的物质。

英国《自然》周刊发表一份研究报告称，煤烟是全球变暖的第二大元凶。联合国环境规划署的研究报告称，由于 CO_2 在大气中可存留数十年，现行减排 CO_2 以防止地球变暖的方法，对今后二三十年减轻气候变暖几乎不起作用。而减少“碳黑”和甲烷，今后几年全球温度上升就可减少一半。

《中国技术前瞻报告 2004》称，可吸入颗粒物是城市最严重的污染物；现在大气细粒子污染已成为国际大气环境科学研究的重点领域。细粒子的健康和气候效应以及细粒子的控制技术是世界性

难题。

“伦敦烟雾事件”后，发达国家研究燃煤黑烟防治数十年，认为间歇式投煤不可能消除黑烟，最后用油、气、电取代了燃煤，消灭了手烧炉；对规模受限的链条炉等机烧层燃炉也宣布已过时，仅存大功率的电站煤粉锅炉。然而发展中国家由于经济、资源和人口等条件的制约，在向发达经济过渡时期，目前还不得不大量采用层式燃烧的炉排炉。仅中国一年就要在层燃炉中燃烧煤超过 15 亿吨。全球最少有一半的煤炭和约 20 亿吨柴草在层燃炉中燃烧。然而，如何消除层燃炉的黑烟，国内外都无资料可以借鉴。特别是在 20 世纪末的“一控双达标”中，一台造价仅数万元的窑炉，花上百万元治理后竟仍浓烟滚滚的事例，深深地刺痛了我！

在强烈的历史责任感和使命感驱使下，我这个以改灶为生的工匠，抱着“为人类作点贡献”的一腔热血，从 1969 年起开始研究节煤技术，先后借完了一个省级图书馆和两个大专院校中有关燃料和燃烧的所有书籍，还在南京能源工程学院工业炉节能函授班结业；并在炉前熬磨了 40 多年，特别是 1995 年受前国家环保局国家环保最佳实用技术推广办的指令，着重研究窑炉黑烟治理以来，积累了大量的知识和经验教训，也小有心得，如今我已年逾古稀，无力再臻完善，抱着病体从 2005 年起撰写本书，但愿有助于环保与经济的和谐发展，有益于人民的身体健康，我就心满意足了；如能得到读者批评指正，尚能做些修改的话，那更是喜出望外了。请赐教于 jjjm5662487@126.com。

编著者
2014 年 1 月

目 录

1 煤炭东山再起 / 1

- 1.1 石油的黄金时代即将结束 1
- 1.2 煤炭热潮席卷全球 2
- 1.3 煤炭是中国不可替代的主要能源 2
- 1.4 燃煤是中国大气污染控制的出发点和立足点 3
- 1.5 中国需要适合国情的洁净煤实用技术 3

2 煤炭的组分及其燃烧性质 / 5

- 2.1 煤的基本组分及其对燃烧的影响 5
 - 2.1.1 水分 6
 - 2.1.2 矿物质 6
 - 2.1.3 纯煤 7
- 2.2 煤的工业分析 7
- 2.3 煤的元素分析 9
 - 2.3.1 煤中的碳 9
 - 2.3.2 氢 10
 - 2.3.3 氮 10
 - 2.3.4 硫 10
 - 2.3.5 氧 10
- 2.4 发热量 11
 - 2.4.1 低位发热量 11
 - 2.4.2 煤的氧化 12

2.4.3	标准煤	12
2.5	煤中各组分对燃烧的影响	12
2.5.1	水分	12
2.5.2	灰分	13
2.5.3	挥发分	13
2.5.4	固定碳	14
2.6	煤的燃烧工艺性质	14
2.6.1	煤的粒度	14
2.6.2	机械强度	16
2.6.3	黏结性	16
2.6.4	结焦性	16
2.6.5	热稳定性	17
2.6.6	结渣性	17
2.6.7	影响结渣的因素及其防治措施	19

3 中国煤炭分类 / 23

3.1	解读中国煤炭分类图	24
3.1.1	无烟煤	24
3.1.2	褐煤	24
3.1.3	烟煤	24
3.2	中国煤炭的技术分类	25
3.2.1	煤炭的牌号	25
3.2.2	煤质数码	25
3.3	各类煤的性质与主要用途	26
3.3.1	无烟煤 (WY ₁ 01、WY ₂ 02、WY ₃ 03)	26
3.3.2	褐煤 (HM ₁ 51、HM ₂ 52)	27
3.3.3	烟煤 (YM)	27
3.4	煤炭的简易识别	29

3.4.1	无烟煤	29
3.4.2	烟煤	29
3.4.3	褐煤	29
3.5	煤炭分类方案以外的其他固体燃料	30
3.5.1	泥炭	30
3.5.2	石煤	30
3.5.3	天然焦	31
3.5.4	风化煤	31
3.5.5	油页岩	31
3.5.6	煤矸石	31
3.5.7	洗中煤和煤泥	31
3.5.8	煤渣	32
3.5.9	污泥	32
3.6	生物质燃料	32
3.6.1	生物质燃料的重生	32
3.6.2	生物质能的十大特点	33
3.6.3	生物质固体燃料的燃烧方式	34
3.6.4	生物质固体燃料的发热量	35

4 煤的燃烧 / 36

4.1	煤的转化	36
4.1.1	液化	36
4.1.2	气化	37
4.2	燃煤方式	37
4.2.1	移动床(层燃式)燃烧	37
4.2.2	流化床燃烧	39
4.2.3	气流床燃烧	39
4.3	燃烧基本原理	39

4.3.1	燃烧是放热发光的剧烈氧化反应·····	39
4.3.2	燃烧三大要件·····	40
4.3.3	完全燃烧四个基本要素·····	41
4.3.4	煤的燃烧过程·····	42
4.4	层燃炉的稳定燃烧·····	43
4.4.1	保证稳定供风·····	43
4.4.2	新加煤炭的稳定着火·····	44

5 燃煤大气污染与污染防治 / 49

5.1	煤炭本身不是污染，关键在于如何利用·····	50
5.2	燃煤大气污染及其危害·····	50
5.2.1	烟尘·····	51
5.2.2	二氧化硫·····	52
5.2.3	氮氧化物·····	52
5.2.4	一氧化碳·····	52
5.2.5	二氧化碳·····	52
5.2.6	氟·····	53
5.2.7	重金属·····	53
5.3	除尘·····	54
5.3.1	减少燃煤烟尘排放量的办法·····	54
5.3.2	除尘器选用的原则·····	55
5.4	燃煤脱硫·····	56
5.4.1	燃料脱硫（前脱硫）·····	57
5.4.2	炉内脱硫（中脱硫）·····	58
5.4.3	烟气脱硫（后脱硫）·····	58
5.4.4	高烟囱排放·····	58
5.5	经济可行性是治污技术的基本原则·····	58
5.6	实用简易达标排放法·····	59

5.6.1	煤的最大排硫浓度	59
5.6.2	低硫煤能达标排放	62
5.6.3	煤灰的最高固硫量	64
5.7	脱硝（脱氮）	65
5.7.1	NO 生成量	66
5.7.2	燃煤干烟气生成量	67
5.7.3	层燃锅炉烟气 NO 浓度估算值	67
5.7.4	窑炉烟气 NO 浓度估算值	68
5.7.5	改进燃烧方法对层燃炉脱硝作用不大	68
5.7.6	值得开发应用的两项脱硝技术	69
5.8	脱氟	70
5.9	其他污染物的脱除	70
5.10	生物质燃料的污染特点与防治	71
5.10.1	有些污染物比煤炭轻	71
5.10.2	有害有机物污染比燃煤重	72

6 燃煤及消烟过程中的节煤 / 73

6.1	能源不足是中国经济社会发展最主要的制约因素	73
6.2	提高能源效率,充分挖掘节能潜力	74
6.3	节约用煤可以有效地防治污染	74
6.3.1	CO 来源于不完全燃烧	74
6.3.2	黑烟更因燃烧不完全所致	75
6.4	燃煤过程中的节能技术措施	75
6.4.1	煤质与节煤（对路供煤）	75
6.4.2	配煤	79
6.4.3	分层均匀燃烧	79
6.4.4	型煤	80
6.4.5	低过剩空气系数（适量供风）	80

6.4.6	降低排烟温度	82
6.4.7	预热空气	83
6.4.8	关闭孔洞	84
6.4.9	控制炉膛负压	84
6.4.10	保温	86
6.4.11	采用节能涂料	87
6.4.12	改炉	87
6.4.13	燃烧调整试验	88
6.4.14	热平衡分析	88
6.5	消除黑烟可实现环境与经济的双赢	89
6.6	节能已成为全球的共同行动	90

7 燃煤黑烟产生机理 / 91

7.1	煤挥发分的产生及其影响因素	91
7.1.1	煤阶	91
7.1.2	粒度	92
7.1.3	受热温度	92
7.1.4	加热速率	92
7.1.5	压力和气流速度	92
7.1.6	矿物质成分	92
7.2	黑烟生成原理	93
7.3	影响燃煤黑烟生成的因素	94
7.3.1	煤挥发分产率	94
7.3.2	挥发分的化学组分	94
7.3.3	燃煤方式	95
7.3.4	炉温水平不够高	96
7.3.5	空气供给不足	98
7.3.6	空气与挥发分混合不匀	98

7.3.7 燃烧的时间和空间不足	99
7.4 烟黑物质的性质	99
7.4.1 烟气黑度取决于烟黑的数量	99
7.4.2 烟尘浓度与烟炱的质量没有直接关系	99
7.4.3 化学组分	100
7.4.4 烟黑的粒度很小	100
7.4.5 黏附性	100
7.4.6 浸润性	101
7.4.7 比电阻	101
7.5 烟黑的危害	101
7.5.1 降低大气的能见度	101
7.5.2 影响植物的光合作用	101
7.5.3 对人体的危害	102
7.5.4 经济损失巨大	102
7.5.5 加剧温室效应	103
7.6 上饲炉黑烟产生过程	103
7.7 下饲炉黑烟产生的原因	105
7.8 侧饲炉黑烟的来源	106
7.9 其他燃煤方式黑烟产生原因	106

8 层燃炉型及其在国外的发展历程 / 108

8.1 层燃炉（炉排炉）炉型评述	109
8.1.1 上饲炉	109
8.1.2 下饲炉	114
8.1.3 侧饲炉	118
8.1.4 中饲炉	123
8.2 工业发达国家走过的层燃历史进程	124
8.2.1 取缔手烧炉	124

8.2.2	研发机烧炉	125
8.2.3	层燃炉将被煤粉炉取代	125
8.2.4	发展中国家正需要完善层燃炉	126

9 斩“黑龙”——全国进行消烟试验 / 127

9.1	中国大气污染治理任重而道远	127
9.2	全面禁煤不合国情	128
9.3	单纯追求 SO ₂ 脱除率难见实效	129
9.4	除尘技术成熟，但应选择得当	130
9.5	大中型燃煤锅炉烟尘防治的关键在管理	131
9.6	手烧锅炉和燃煤工业炉窑的烟尘防治技术十分混乱	132
9.6.1	煤改油不是良策	133
9.6.2	不能用除尘器消烟	133
9.6.3	滥用“二次风”危害不小	139
9.6.4	尾部消烟不可取	145
9.6.5	煤粉燃烧是画蛇添足	145
9.6.6	下饲式燃煤机不能普遍适用	146
9.6.7	链条炉和往复炉不太适用	146
9.6.8	固定挤入式加煤机尚不成熟	146
9.6.9	水煤浆需加速研究	146
9.6.10	添加剂作用有限	147
9.6.11	人当机器行不通	147
9.6.12	明目张胆造假更该惩	147
9.7	手烧小型锅炉的技术出路	147
9.7.1	手烧小型锅炉不可能被消灭	147
9.7.2	懒汉炉不应提倡	148
9.7.3	下饲式反烧炉不能广泛应用	148
9.7.4	旋风炉不值得推广	148

9.7.5	型煤炉应鼓励使用	148
9.7.6	电、气锅炉最好	148
9.7.7	煤气发生炉消烟效果好	148
9.7.8	双层炉排炉早该下课	149
9.7.9	机械挤入式加煤人工司炉的小型锅炉有推广 前景	149
9.7.10	水煤浆锅炉应大力推广	149

10 消烟原理和消烟技术的科学评价 / 150

10.1	消烟的根本在于炉膛内挥发分的多少	150
10.1.1	燃用无烟煤不冒黑烟	150
10.1.2	半无烟煤容易消烟	151
10.2	燃煤黑烟防治难度类别	152
10.3	炉排烟负荷和炉膛烟负荷	153
10.4	侧饲机烧炉消烟原理	155
10.4.1	控制加煤量,降低炉内烟负荷	155
10.4.2	供氧适量	155
10.4.3	稳定的高水平炉温	156
10.4.4	有炉气搅拌设施	156
10.4.5	延长了可燃气体在炉内的燃烧时间	156
10.5	反烧法消烟原理	156
10.5.1	控制析出速率降低炉内烟负荷	157
10.5.2	持续稳定的高温	157
10.5.3	空气充足而新鲜	157
10.5.4	稳定可靠的搅拌	157
10.5.5	绰绰有余的燃烧时间	158
10.6	手烧炉消烟的几种可行技术	158
10.6.1	首选清洁能源	158

10.6.2	非不得已不应燃油	158
10.6.3	煤气发生炉消烟效果较好	158
10.6.4	型煤反烧	159
10.6.5	双炉膛先反烧后正烧	159
10.6.6	中饲式先反烧后正烧燃煤法	159
10.7	燃煤黑烟治理技术的科学评价	160
10.7.1	消烟原理的科学分析	160
10.7.2	适用炉型	161
10.7.3	消烟难度级别和炉内烟负荷	162
10.7.4	经济效益	162
10.7.5	操作简便程度	162
10.7.6	达标稳定性	163
10.7.7	燃煤黑烟治理技术示例	163

11 消烟工程技改方案的制订 / 165

11.1	污染源现场诊断	165
11.1.1	燃煤设备原始资料	165
11.1.2	查清煤质	166
11.1.3	观察燃烧工艺状况	167
11.1.4	排烟黑度和规律	168
11.1.5	曾经技改与治理情况	169
11.1.6	司炉工的要求	169
11.1.7	排污单位的要求	169
11.2	技术分析	169
11.2.1	煤质指标的校核	169
11.2.2	燃烧工况评价	169
11.2.3	燃煤设备的评价	170
11.2.4	找出症结所在	170

11.3	治理技改方案	170
11.4	环境与经济效益分析	170
11.4.1	环境影响预测	170
11.4.2	投资回收期	171
11.5	技改实施进度安排	171

12 手烧炉消烟技术 / 172

12.1	确定煤的消烟难度和炉内烟负荷	172
12.2	燃用无烟燃料	172
12.3	改烧低挥发分或与无烟煤混烧	173
12.4	一次性上点火反烧（“懒汉”炉）	173
12.5	双层炉排倒置式反烧炉	174
12.6	合理使用二次风	175
12.7	燃煤消烟添加剂	176
12.8	工业型煤	176
12.9	下饲式螺旋送煤燃烧机	177
12.10	人工煤气	178
12.10.1	发生炉管道煤气	178
12.10.2	简易煤气（热煤气、脏煤气）	178
12.11	半气化明火燃烧	180
12.12	提高炉温强化燃烧	180
12.13	双炉膛先反烧后正烧技术	181
12.13.1	两段燃烧方案	182
12.13.2	除尘原理	184
12.13.3	其他烟气的净化措施	184
12.13.4	技术经济评价	184
12.13.5	司炉管理问题	185
12.14	技改施工图	186
12.15	专用炉具	190

12.15.1	专用司炉工具	190
12.15.2	改窑专用配件（以单个燃烧室为准）	190
12.16	司炉规程	191
12.16.1	设备特性	191
12.16.2	主要特点	191
12.16.3	司炉目的	192
12.16.4	司炉常规	192
12.17	多燃烧室外燃煤石灰立窑	195
12.17.1	各种石灰窑型简介	195
12.17.2	混料式立窑的环境问题严重	196
12.17.3	多燃烧室立窑	199
12.17.4	多燃烧室燃煤立窑的特点	199
12.18	应用实例	200

13 半机械化消烟手烧炉 / 202

13.1	无黑烟手烧炉改进历程	202
13.2	移动式加煤机及中饲式先反烧后正烧燃煤法	204
13.2.1	原理浅析	204
13.2.2	专利说明书	204
13.2.3	应用范围	210
13.2.4	移动式中饲式加煤机使用说明书	210
13.2.5	应用的局限	214
13.3	移动式炉内燃料层撬煤开缝机	214
13.3.1	专利说明书摘要	214
13.3.2	专利说明书	215

14 机烧层燃炉消烟技术 / 218

14.1	配煤	218
14.1.1	机烧炉燃用的煤必须符合设计煤质	218