

冶金过程污染控制与资源化丛书

冶金过程废气污染 控制与资源化

唐 平 曹先艳 赵由才 主编



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

冶金过程污染控制与资源化丛书

冶金过程废气污染控制 与资源化

唐 平 曹先艳 赵由才 主编

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2008

图书在版编目 (CIP) 数据

冶金过程废气污染控制与资源化/唐平, 曹先艳, 赵由才主编. —北京: 冶金工业出版社, 2008.9

(冶金过程污染控制与资源化丛书)

ISBN 978-7-5024-4608-6

I. 冶… II. ①唐… ②曹… ③赵… III. 冶金—过程—废气—污染控制 IV. X756

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 114321 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 程志宏 美术编辑 李 心 版式设计 张 青

责任校对 石 静 责任印制 丁小晶

ISBN 978-7-5024-4608-6

北京鑫正大印刷有限公司印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销
2008 年 9 月第 1 版, 2008 年 9 月第 1 次印刷

850mm × 1168mm 1/32; 13.375 印张; 355 千字; 407 页; 1-3000 册

40.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

冶金过程污染控制与资源化丛书

编 委 会

主 任 赵由才

副主任 刘 清

委 员	马建立	唐 平	曹先艳	孙晓杰
	孙英杰	宋立杰	李鸿江	招国栋
	钱小青	肖 灿	王金梅	牛冬杰
	柴晓利	郭 斌		

丛 书 前 言

冶金工业是一门既古老又现代的工业门类。黑色金属(钢铁)、有色金属(包括铜、锌、铅、铬、镍等)、稀有金属(包括钨、钼、钽、铌等)、贵金属(包括金、银、铂、钯等)、放射性金属(铀、钋等)、稀土金属等的各种形态物质的生产、加工等均属于冶金工业的范畴。

冶金工业是我国国民经济的支柱产业之一,为社会的发展做出了重要贡献。然而,冶金企业造成的环境污染与资源浪费也是相当严重的。每生产1t钢的总耗水量为100~300t。虽然水的循环使用率已大大提高,但每吨钢需要处理的废水一般仍达50t左右。废水中带有大量有害的悬浮泥渣及溶解物质,而且温度较高(30~60℃),直接外排会造成热污染。钢铁工业造成的大气污染尤为严重,每生产1t钢要产生废气10000m³,粉尘100kg,废气中含有一氧化碳、二氧化硫及氧化铁等有害物质。此外,生产1t钢还要产生近0.5t钢铁废渣。由于冶金工业产生的污染物数量大、毒性强、品种多,造成的环境问题极为严重,因此对冶金工业污染的处理处置及资源化有着巨大的环境价值、经济价值和社会价值。多年来,我国各级政府、相关企业对冶金污染控制与资源化做了大量研究开发和整治工作,取得了明显的成效,积累了大量的经验教训。然而,国内外相关资料比较分散,部分冶金学术著作中对其污染控制与资源化虽有所描述,但并不全面和系统,读者难以系统深入了解和掌握,故实用性较差。

本丛书全面系统地描述了国内外冶金污染控制与资源化

的原理、技术、应用工艺、管理、法律和法规等内容,包括冶金过程固体废物处理与资源化、冶金过程废气污染控制与资源化、冶金过程废水处理与利用、矿山固体废物处理与资源化、冶金企业废弃生产设备设施处理与利用、冶金企业污染土壤和地下水整治与修复、绿色冶金与清洁生产等。

这套丛书适合于大、中专院校教学使用,也可供从事环境保护的工程技术人员、国家和地方政府的工业管理部门以及科技管理部门的相关人员阅读和参考。

本丛书中所引用的国内外文献资料均在参考文献或文中列出,但由于参考文献来源广泛,如编者在归纳、整理中出现遗漏,请有关资料作者谅解。

赵由才

2007年1月

于同济大学明净楼

前 言

冶金工业是人类历史上最古老的工业之一。自 18 世纪产业革命后，由于钢铁工业迅速发展，造成严重的烟尘污染，有色冶炼工业又随之兴起，进而产生了重金属和二氧化硫的污染问题。近 50 年来，工业发达国家发生了几十起重大公害事件，有代表性、闻名于世界的八大公害事件中，就有四件其直接肇事者就是冶金工业，其中包括：英国伦敦烟雾事件（1952 年 12 月）、比利时马斯河谷烟客事件（1930 年 12 月初）、美国密歇根州锡拉丘斯烟雷事件（1948 年 10 月）和日本富山事件（1968 年查明），而前三件主要是钢铁工业含二氧化硫的重金属烟尘造成的大气污染事件。在炼铁及有色冶金等生产过程中，能产生焦油、铁及其氧化物颗粒、氧化镉、铬酸盐等致癌污染物，使冶金行业成为环境污染的严重危害者。

在火法冶金过程中，除产出成品金属外，还副产大量的烟气和粉尘。由于各国对环境保护的要求日趋严格，火法冶金厂的烟气处理任务愈加繁重，用于烟气处理方面的投资和经营费用也就日益高涨。有资料表明，这方面的投资已占火法冶金厂总投资的 25% ~ 50%。如何对烟气粉尘进行污染控制、减少烟气处理费用以及对烟气的综合利用是火法冶金厂亟需解决的重大课题。

因此，对冶金行业废气的处理和资源化是全球生态环境和可持续发展的必然要求。冶金工业废气所采用的净化技术基本上可分为两大类：分离法和转化法。分离法是使污染物从废气中分离的过程，而转化法是使废气中污染物发生某些

化学反应,分解转化为其他物质,再利用其他方法进行净化。对于烟尘等颗粒物,可采用各种除尘器使之分离。气态污染物,利用其不同的理化性质,采用冷凝、吸收、吸附、燃烧、催化转化等方法进行净化处理。

冶金工业是我国国民经济建设的支柱产业,同时也是环境重要的污染源,为了促进冶金工业的绿色健康发展以及环境保护事业的进步,本书力图系统详细的描述冶金过程废气处理的原理和基本方法及冶金工业中各种典型废气的处理方法。根据冶金行业的不同类别,分别介绍铝工业废气、钢铁冶金行业废气、有色冶金和稀有金属冶金行业废气的处理和资源化利用技术。在第7章和第8章对冶金粉尘除尘及冶金粉尘的综合利用技术进行了介绍。最后在第9章对冶金废气净化系统的设计、施工及营运进行描述。本书可供高等院校有关专业的师生、工厂和科研院所从事冶金工业和环境保护事业的工程技术人员和管理工作者参考。

本书由唐平、曹先艳、赵由才主编。参加编写的人员包括:曹先艳(第1、2、4章),王文梅、盛耘(第3章),唐平、于娟(第5章),唐平(第6、7章),曹先艳、赵由才(第8章),李倩、李鸿江(第9章)。

此外,在编写过程中得到了刘清的大力帮助,周永潮在书稿整理编排方面做了大量的工作,在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,编写过程中的缺点和不足,恳请有关专家及广大读者批评指正。

编 者

2007年4月28日

于同济大学污染控制与
资源化研究国家重点实验室

目 录

1 冶金过程大气污染源	1
1.1 冶金过程大气污染物及其来源	1
1.1.1 大气组成及其大气污染	1
1.1.2 大气污染物	4
1.1.3 钢铁工业废气中的大气污染物来源	9
1.1.4 有色冶金工业生产中的大气污染物来源	12
1.2 冶金过程废气的特点	14
1.2.1 钢铁工业废气特点	14
1.2.2 有色冶金工业废气特点	16
1.3 冶金过程废气治理现状	18
1.3.1 国内冶金过程废气治理现状	18
1.3.2 国外冶金过程废气治理现状	21
2 冶金过程废气的管理	29
2.1 冶金过程废气的环境管理	30
2.1.1 环境管理的概念、内容和特点	30
2.1.2 我国的环境管理制度	34
2.1.3 冶金过程中废气的环境管理	38
2.2 冶金过程废气污染物的环境标准	45
2.2.1 环境标准的概念	45
2.2.2 我国的环境标准体系	45
2.2.3 冶金过程废气相关环境标准	47
2.3 冶金过程废气的环境监测	50
2.3.1 环境监测的意义	50

2.3.2	环境监测的内容	51
2.3.3	环境监测的方法	51
3	废气处理及利用的基本方法	54
3.1	吸收法净化技术	54
3.1.1	吸收原理	54
3.1.2	吸收剂	59
3.1.3	吸收设备	60
3.2	吸附法净化技术	62
3.2.1	吸附理论	62
3.2.2	吸附剂	66
3.2.3	吸附装置	67
3.3	燃烧法净化技术	70
3.3.1	燃烧原理及燃烧类型	71
3.3.2	燃烧装置	73
3.4	冷凝法净化技术	74
3.4.1	冷凝量的计算	74
3.4.2	冷凝类型与设备	75
3.5	催化法净化技术	78
3.5.1	催化反应原理	78
3.5.2	催化剂	79
3.5.3	气固催化反应器	80
3.6	二氧化硫污染净化技术与利用	82
3.6.1	石灰石/石灰法脱硫	83
3.6.2	氨法脱硫	89
3.6.3	活性炭吸附法脱硫	90
3.6.4	催化转化法脱硫	91
3.6.5	国外净化二氧化硫的先进方法	94
3.6.6	废弃物再利用脱硫技术	94
3.7	氮氧化物污染控制技术	97

3.7.1	催化还原法脱氮	98
3.7.2	吸附法脱氮	104
3.7.3	液体吸收法脱氮	107
3.8	二氧化碳控制技术及利用	110
3.8.1	含 CO_2 废气的分离回收	111
3.8.2	含 CO_2 废气的固定及综合利用	114
3.9	含氯和氯化物气体的净化与利用	118
3.9.1	含氯废气的液体吸收净化法	118
3.9.2	含氯废气氢氧化钙-硫酸法	127
3.9.3	含氯废气燃烧-水吸收和燃烧- 水吸收-电解法	129
3.9.4	含氯废气吸附法	130
3.9.5	含氯废气冷凝-淋洗-压缩冷冻法	131
3.10	含氟气体的净化与利用	131
3.10.1	含氟废气干法净化	131
3.10.2	含氟气体湿法净化	132
4	钢铁冶金过程中废气的处理与利用	134
4.1	钢铁冶金工业概述	134
4.2	钢铁冶金工业废气来源、组成与性质	135
4.2.1	钢铁冶金工业废气来源	135
4.2.2	钢铁冶金工业废气组成及性质	137
4.3	焦化厂烟气的治理	138
4.3.1	焦化厂废气概述	138
4.3.2	焦炉装煤烟气治理	140
4.3.3	焦炉炉体烟气治理	142
4.3.4	焦炉推焦烟气治理	144
4.3.5	焦炉熄焦烟气治理	145
4.3.6	筛、贮焦烟气治理	146
4.3.7	煤气净化及化学产品车间烟气治理	147

4.3.8 焦炉煤气脱硫	149
4.4 烧结厂粉尘的净化和利用	152
4.4.1 烧结厂废气概述	152
4.4.2 原料准备系统除尘	153
4.4.3 混合料系统除尘	155
4.4.4 烧结机废气治理	156
4.4.5 烧结机尾除尘	157
4.4.6 整粒系统除尘	158
4.4.7 球团竖炉烟气治理	159
4.5 炼铁厂粉尘的净化和利用	160
4.5.1 炼铁厂废气概述	160
4.5.2 炼铁厂废气处理技术	160
4.5.3 国内外动态及其发展趋势	161
4.6 炼钢厂烟气净化	162
4.6.1 炼钢厂废气概述	162
4.6.2 炼钢厂废气外理技术	162
4.6.3 国外动态及其发展趋势	163
4.7 轧钢厂及金属制品厂烟气的净化	163
4.7.1 轧钢厂及金属制品厂烟气概述	163
4.7.2 轧钢厂及金属制品厂烟气治理技术	165
4.7.3 国内外动态及其发展趋势	166
4.8 铁合金炉烟气的净化	167
4.8.1 铁合金炉烟气概述	167
4.8.2 矿热电炉废气治理	167
4.8.3 钨铁电炉废气治理	169
4.8.4 钼铁车间废气治理	170
4.8.5 钒铁车间回转窑废气治理	171
4.8.6 金属铬熔炼炉废气治理	171
5 有色金属冶金废气的处理	172

5.1 有色冶金工业废气的来源、组成和污染	
影响	172
5.1.1 有色冶金工业废气的来源和组成	172
5.1.2 有色冶金工业废气对环境的影响	173
5.2 有色冶金工业烟气治理方法概述	176
5.2.1 冷凝法	176
5.2.2 吸收法	177
5.2.3 吸附法	177
5.2.4 燃烧法	178
5.2.5 催化转化法	179
5.2.6 生物净化	179
5.2.7 电子束照射法	179
5.2.8 膜分离法	180
5.3 铜、镍、铅、锌冶炼烟气的治理	180
5.3.1 铜、镍冶炼烟气的治理	180
5.3.2 铅、锌冶炼烟气的治理	189
5.4 钛冶炼烟气的治理	197
5.4.1 钛的冶炼	197
5.4.2 钛冶炼废气的治理	199
5.4.3 含氯废气治理实例	200
6 铝工业废气治理	204
6.1 铝工业概述	204
6.1.1 原生铝工业	204
6.1.2 再生铝工业	208
6.2 铝工业烟气来源和排放量	208
6.2.1 氧化铝工业	208
6.2.2 电解铝工业	208
6.3 铝工业废气的治理技术及现状	212
6.3.1 氧化铝生产窑炉含尘废气治理	212

6.3.2 铝电解槽含氟烟气治理	213
6.4 铝工业废气净化治理实例	220
6.4.1 铝电解烟气干法净化在某铝厂的应用	220
6.4.2 逆向二段烟气干法吸附净化技术	222
6.4.3 含氟化合物及沥青的烟尘处理	225
7 冶金行业的烟气除尘	228
7.1 粉尘粒径及粒径分布	228
7.1.1 单一颗粒粒径	228
7.1.2 平均粒径	231
7.1.3 粉尘的粒径分布	232
7.1.4 粒径分布测定方法	238
7.2 粉尘的物理性质	240
7.2.1 粉尘的密度	240
7.2.2 粉尘的比表面积	243
7.2.3 粉尘的含水率和润湿性	243
7.2.4 粉尘的黏附性	244
7.2.5 粉尘的荷电与导电性	245
7.2.6 粉尘的安息角和滑动角	246
7.2.7 粉尘的爆炸性	247
7.2.8 粉尘的放射性	247
7.2.9 粉尘的磨损性	247
7.2.10 粉尘的光学性质	248
7.3 除尘设备概述	248
7.3.1 除尘器的分类	249
7.3.2 除尘器的性能	251
7.4 机械式除尘器	256
7.4.1 重力沉降室	257
7.4.2 惯性除尘器	258
7.4.3 旋风除尘器	260
7.5 电除尘器	271

7.5.1 电除尘器的工作原理及结构	272
7.5.2 电除尘器的分类	278
7.5.3 电除尘技术的发展动态	281
7.6 过滤式除尘器	284
7.6.1 袋式除尘器	284
7.6.2 颗粒层除尘器	297
7.7 湿式除尘器	300
7.7.1 湿式除尘器的工作原理和分类	301
7.7.2 水膜除尘器	304
7.7.3 泡沫除尘器	312
7.7.4 冲击式水浴除尘器	317
7.8 工业炉窑烟气除尘	319
7.8.1 锅炉烟气除尘	319
7.8.2 吹氧炼钢转炉烟气除尘	322
7.8.3 炼钢电弧炉烟气除尘	323
7.8.4 烧结机烟气	325
7.8.5 铜冶炼烟气除尘	326
8 冶金粉尘的综合利用	330
8.1 火法冶金粉尘的来源	330
8.1.1 钢铁企业粉尘来源	330
8.1.2 有色冶金工业粉尘来源	333
8.2 火法冶金粉尘的特点	334
8.2.1 钢铁工业粉尘的特点	334
8.2.2 有色冶金工业粉尘的特点	335
8.3 火法冶金企业粉尘的回收利用	335
8.3.1 从冶炼厂粉尘中回收铜	335
8.3.2 钢铁厂粉尘造团利用	337
8.3.3 从锌精炼厂烟道粉尘中回收镉	341
8.3.4 从黄铜厂粉尘中回收铜	344
8.3.5 从轧钢厂烟尘中回收铁	346

8.3.6	从钛铁矿氯化炉粉尘中回收氧化铁	359
8.3.7	含锗氧化锌烟气提锗	362
8.3.8	从锌精炼厂烟尘中回收铅	365
8.3.9	从烟尘中回收氧化铅	366
8.3.10	从锡反射炉烟气中提锡	368
9	废气净化系统的设计、施工和运转	370
9.1	废气净化系统设计的基本程序	370
9.1.1	废气净化系统的组成及作用	370
9.1.2	废气系统设计的基本程序	371
9.2	净化方案的选择	373
9.2.1	气溶胶状态污染物的净化方案的选择	374
9.2.2	气体状态污染物的净化方案的选择	374
9.3	净化设备选型	375
9.3.1	净化设备选型的一般步骤	376
9.3.2	净化设备的选型	376
9.4	排气筒设计	383
9.4.1	烟囱高度的设计	384
9.4.2	烟囱出口直径的设计	386
9.4.3	烟囱设计中的注意事项	387
9.5	管道设计和计算	388
9.5.1	管道设计的原则	388
9.5.2	管道的设计和计算	390
9.5.3	管道保护	395
9.6	净化系统的施工安装	398
9.6.1	准备工作	399
9.6.2	安装	399
9.6.3	验收	400
9.7	净化系统的运转管理	400
9.7.1	试运行前的准备工作	400

9.7.2 试运行	401
9.7.3 正常运行与管理	402
参考文献	403