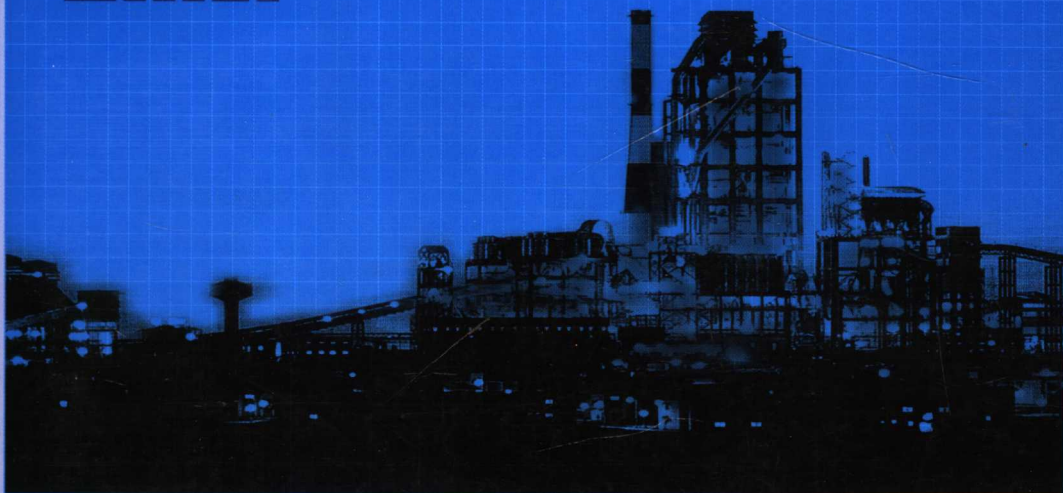


水泥生产技术丛书

水泥工业 大气污染治理

焦永道 编著

SHUINI GONGYE
DAQI WURAN
ZHILI



化学工业出版社

水泥生产技术丛书

水泥的原料与燃料

水泥熟料烧成工艺与装备

水泥生产破碎与粉磨工艺技术及设备

水泥化学分析

水泥物理检验

水泥岩相

水泥工业大气污染治理

水泥窑用耐火材料

水泥混合材和混凝土掺合料

水泥工艺外加剂技术

ISBN 978-7-5025-9799-3



9 787502 597993 >

定价：52.00元

■ 销售分类建议：建筑/建筑材料
材料/无机材料

水泥生产技术丛书

水泥工业大气污染治理

焦永道 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是《水泥生产技术丛书》的一个分册,主要介绍了在水泥生产过程中对大气污染物的治理技术措施,同时介绍了清洁生产、循环经济及水泥工业“四零一负”等有关方向性、前瞻性的内容。在治理技术措施中,重点围绕对大气污染物的重中之重——粉尘的治理展开,分别介绍了袋除尘,电除尘,重力、旋风除尘,烟气调质及通风机的基本原理、基本结构和设计、选型及运行、维护等方面的内容;同时针对新型干法窑、机立窑、煤磨及烘干机、通风设备的除尘(包括分散扬尘点的治理)进行专题叙述,引用了国内先进的研究与应用成果;对于袋除尘、电除尘器的改造技术做了推荐。本书还对有害气体的防治(包括对二氧化碳的减排等)进行了分析与探讨。

本书的内容较为全面、适用,既有必要的理论分析,又注重实际应用,叙述深入浅出,通俗易懂。本书可供水泥生产企业的技术人员、管理人员和操作人员阅读,也可供从事环境保护的科研、设计人员和工程技术人员参考,并可作为大专院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水泥工业大气污染治理/焦永道编著. —北京:化学工业出版社,2006.12
(水泥生产技术丛书)

ISBN 978-7-5025-9799-3

I. 水… II. 焦… III. 水泥-化学工业-空气污染-治理 IV. X781.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 161388 号

责任编辑:常 青

文字编辑:刘莉珺

责任校对:蒋 宇

装帧设计:张 辉

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:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市延风装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张 24 字数 464 千字 2007 年 3 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:52.00 元

版权所有 违者必究

《水泥生产技术丛书》编委会

主 任：陈益民

副主任：顾惠元

委 员：（按姓氏笔画排列）

丁奇生	王文义	王迎春	刘 龙	江丽珍	杨华全
李维新	肖忠明	辛志军	张大同	张绍周	张朝发
陈绍龙	陈益民	金烈火	赵介山	赵洪义	赵慰慈
顾惠元	倪竹君	郭随华	焦永道	颜碧兰	

丛书前言

水泥是社会经济发展最主要的建筑材料之一,在今后几十年甚至上百年之内仍然是无可替代的基础材料,对人类生活文明的重要性不言而喻。我国是水泥生产和消费大国,自1985年以来,我国水泥年产量一直居世界首位,目前占世界总产量的比重已近50%,2005年的产量已超过10亿吨。全国有水泥生产企业数千家,从业人员数百万人。在今后相当长的时期内,我国水泥的产量仍将持续增长,最终稳定在一个较高的水平上。

水泥工业的快速发展,以及水泥生产装备水平和生产技术的逐步提高,使越来越多的工程技术人员投入到水泥行业中。一方面,很多企业规模扩张较快,一些技术人员的专业水平跟不上生产技术的发展;另一方面,由于高等院校对于学生的培养趋于重基础、宽专业,专业授课时数减少,从事水泥生产的专业技术人员需要在生产实践中学习和掌握更多的专业知识。为此我们组织编写了这套水泥生产技术丛书,以期对水泥生产企业的技术人员有所帮助。

本套丛书共有《水泥的原料与燃料》、《水泥熟料烧成工艺与装备》、《水泥生产破碎与粉磨工艺技术及设备》、《水泥化学分析》、《水泥物理检验》、《水泥岩相》、《水泥工业大气污染治理》、《水泥窑用耐火材料》、《水泥混合材和混凝土掺合料》和《水泥工艺外加剂技术》10个分册,基本上涵盖了水泥生产工艺全过程、产品性能控制、生产装备及其维护保养等各方面的知识。丛书的作者均为长期从事水泥行业科研、教学和生产一线工作的高级专业技术人员,有较高的专业技术水平和丰富的实践经验,丛书中包含了作者们多年的经验积累和部分研究成果。考虑到目前我国水泥工业的生产装备仍然是窑外分解窑和机械化立窑共存的局面,虽然新型干法窑逐步占据主导地位,但是在今后一段时期仍然会有部分机立窑存在,在提高新型干法窑水泥企业技术水平的同时,提高机立窑企业技术人员的技术水平进而提高机立窑水泥质量和降低资源消耗,也有利于经济可持续发展。因此,本套丛书的内容既力求全面系统地反映水泥新型干法生产工艺技术,也兼顾机立窑存在的客观需求。丛书尽可能从实用的角度总结和反映近年来国内外水泥生产技术方面的新进展和新成果,并给出一些生产实例,相信对于水泥生产企业的技术人员及管理人员会有所帮助,对于从事水泥专业研究和教学的科技人员、教师和研究生也会有较好的参考价值。

由于作者的知识水平和掌握的资料有限,丛书所述内容难免有疏漏和不妥之处,我们真诚欢迎读者提出宝贵的意见和建议,以便再版时使其得到改进和完善。

《水泥生产技术丛书》编委会

2006年11月

前 言

水泥在生产过程中对环境会产生气、水及噪声等污染，其中主要的还是对大气排放的粉尘及有害气体的污染。我国水泥工业经过多年的发展，产量连续多年位居世界第一，在结构性调整和减少烟尘排放方面取得了重要进展。不少新型干法生产线的粉尘治理已接近国际先进水平，部分先进立窑也基本做到了无烟无尘。但是当前我国水泥工业的结构性矛盾仍十分突出，从总体上看，环境污染依然比较严重。截至目前，水泥工业的粉尘排放量仍占全国工业行业粉尘排放总量的40%左右，有害气体的治理仅刚刚起步，治理任务紧迫而又艰巨。

我国政府对防治水泥工业污染日益重视，并先后于1985年、1996年及2004年与时俱进地制定和修订了水泥工业对大气污染物的排放标准。新的《水泥工业大气污染物排放标准》(GB 4915—2004)已于2005年1月1日起实施。为配合新国家标准的执行，作者借《水泥生产技术丛书》编写的机缘，撰写了本书，谨供有关人员阅读参考。

本书较为系统地介绍了水泥工业对大气污染的特点、性质、危害及先进的治理措施，同时对有关方向性、前瞻性方面的内容进行了阐述。书中有必要的理论分析，但更侧重实际应用技术，在叙述上尽量避免烦琐难懂的计算公式，力求通俗、适用。本书的重点是对粉尘污染的治理，共占有10个章节。其中第二~六章为除尘基础篇，第七~十章为专题应用篇，第十一章推荐了袋除尘、电除尘器的改造技术。

本书在编写过程中得到了中国硅酸盐学会环境保护分会及其挂靠单位——合肥水泥研究设计院环保所的大力支持，可以说本书是业内同行多年心血和劳动的成果汇集。

这里，作者首先要感谢合肥水泥研究设计院毛志伟、袁文献、王琦、侯大刚、卢声超、唐国山、高进、曹伟、何宏涛、胡克强等同志提供的技术支持；感谢焦通对书稿的制作做了大量的工作。

作者同时十分感谢业内同行刘怀平等同志提供的最新成果，十分感谢著名专家高长明、蒋洋等先生提供的先进理念。

作者特别要提及的是，本书的撰写完成离不开李俭之教授的支持和陈益民教授、顾惠元主任、赵介山教授的精心组织，在此也向他们表示真诚的感谢！

由于本人水平及掌握的资料有限，加之时间仓促，书中疏漏和不足在所难免，恳请读者批评指正。

作 者
2006年12月

目 录

第一章 水泥生产与大气污染

第一节 水泥生产工艺及大气污染物	1
一、水泥生产工艺	1
二、大气污染物种类	2
三、大气污染物特征与危害	2
第二节 各生产设施对大气环境的污染	9
一、各生产设施排尘状况描述	9
二、各生产设施所排废气特性	14
三、各生产设施单位产品排出的废气量	15
四、水泥单位产品生产全过程最大废气排放量	19
第三节 水泥工业大气污染物排放标准修订前后的区别	20

第二章 袋式除尘器

第一节 基本理论	23
一、袋式除尘器的工作原理	23
二、主要技术参数及性能指标	25
第二节 袋式除尘器的结构及分类	29
一、基本结构	29
二、袋式除尘器的类型及结构形式	31
三、袋式除尘器的命名与分类	32
四、几种常用的袋式除尘器	33
第三节 过滤材料	38
一、纤维原料	38
二、滤料的分类	39
三、常用滤料及其性能	42
四、滤料的选用	53
第四节 袋式除尘器的选型	56
一、处理废气量的计算	56
二、过滤风速的确定	56
三、过滤面积的确定	57

第五节 袋式除尘器的运行与维护管理	58
一、一般要求	58
二、袋式除尘系统的运行	59
三、袋式除尘器的维护	59
四、停止运行后的维护	60

第三章 电除尘器

第一节 基本理论	61
一、电除尘的基本原理	61
二、电除尘过程的三个阶段	61
三、伏安特性与收尘效率	64
第二节 电除尘器的分类及特点	67
一、电除尘器分类	67
二、电除尘器的特点	68
第三节 电除尘器的机械结构	69
一、壳体	69
二、支架基础	70
三、烟箱与分布板	71
四、电晕极系统	73
五、收尘极系统	76
六、电晕极振打	77
七、收尘极振打	80
八、人孔门与轴端密封	80
第四节 电除尘器的高低压供电	80
一、高压供电机组	81
二、低压供电机组	84
三、智能计算机控制系统	84
第五节 电除尘器的选型、施工、调试、运行与维护	85
一、电除尘器的选型	85
二、工程施工	86
三、工程调试与验收	90
四、日常运行与维护	93

第四章 重力、旋风除尘

第一节 除尘机理和除尘效率	97
一、除尘机理	97

二、除尘效率	99
第二节 沉降室	100
一、概述	100
二、沉降室的参数计算	100
第三节 旋风除尘器	103
一、概述	103
二、工作原理	104
三、旋风除尘器类型	104
四、阻力和效率	105
五、常用的旋风除尘器	106
六、影响旋风除尘器性能的主要因素	119

第五章 烟气调质

第一节 概述	124
一、烟气调质的目的	124
二、调质方式分类及其特性	124
三、热平衡计算	124
第二节 增湿塔	126
一、概述	126
二、增湿塔规格及布置方式	127
三、喷雾系统及喷水量	129
四、常用的喷嘴结构与性能	131
第三节 冷却器	134
一、工作原理	134
二、冷却器的结构	135
三、间接风冷冷却器参数计算	136
第四节 冷风阀及管道增湿	141
一、冷风阀	141
二、管道增湿技术	144
第五节 典型设备的规格和性能	146
一、增湿塔的规格和性能	146
二、冷却器的规格和性能	148

第六章 通风机

第一节 主要性能	149
一、主要性能参数	149

二、通风机特性曲线	152
第二节 通风机的选型和工艺布置	155
一、通风机的选型计算及注意事项	155
二、除尘常用通风机性能和外形、安装尺寸	157
三、通风机工艺布置要点	176
四、风机电机的选择要点	176
第三节 窑尾高温风机	177
一、概述	177
二、性能范围	177
三、风机形式	178
四、结构	178
五、性能参数	179

第七章 新型干法窑除尘技术

第一节 篦冷机除尘技术	184
一、篦冷机电除尘	184
二、篦冷机袋除尘	185
第二节 窑尾除尘技术	186
一、窑尾袋除尘	187
二、三风机系统的窑尾电除尘	190
三、双风机系统的窑尾电除尘	194
第三节 废气处理系统的检修维护和故障处理	199
一、检修与维护	199
二、常见故障及处理方法	199

第八章 立窑除尘技术

第一节 概述	201
一、烟尘特点	201
二、国内拥有的立窑除尘技术	202
三、治理现状	203
第二节 立窑袋除尘技术	203
一、袋除尘的技术特点、不同形式及其应用	203
二、采用反吹风清灰（内滤式）的立窑玻纤袋除尘器（钢结构）	205
三、喷吹脉冲（外滤式）袋除尘器	207
四、圆筒形立窑袋式除尘器	209
五、反吹风清灰砖混结构袋式除尘器	212

六、集中除尘的应用	215
第三节 立窑电除尘技术	218
一、概述	218
二、研讨	218
第四节 对有关问题的建议	220
一、避免袋除尘器结露的工艺措施	220
二、关于回灰处理	221
三、关于立窑烟囱	221
四、初次投资与综合效益	221
五、除尘器的选用原则	221

第九章 煤磨及烘干机除尘技术

第一节 煤磨除尘技术	223
一、概述	223
二、MDC 防爆袋除尘器	224
三、FGM (M) 高浓度、防爆型煤粉袋除尘器	227
四、脉冲喷吹型煤磨防爆袋除尘器	232
五、通用的防燃防爆措施	235
第二节 烘干机除尘	239
一、烘干机含尘烟气的性质	239
二、烘干机反吹风专用袋除尘器	239
三、烘干机脉喷袋除尘器	243
四、应用及注意事项	244

第十章 通风设备除尘技术

第一节 磨机除尘	247
一、生料磨除尘	247
二、水泥磨除尘	248
三、对处理细而黏且高浓度的粉尘除尘器的选择	249
四、先进设计案例	251
第二节 破碎及扬尘点的治理	256
一、破碎机除尘	256
二、储存、包装和输送除尘	257
三、通风除尘系统	259

第十一章 袋、电除尘器的改造技术

第一节 概述	266
--------------	-----

一、改造的前提	266
二、改造的原则	266
三、改造的四种方式	266
第二节 袋除尘器的改造——袋改（为）袋	267
一、基本要求	267
二、技术手段	267
三、实例	268
第三节 电除尘器的改造——电改（为）电	268
一、改造途径	268
二、“留壳改仁”的改造内容	269
三、改造效果	270
第四节 电除尘器的改造——电改（为）袋	270
一、原窑尾除尘系统存在的问题	270
二、改造方案的确定	270
三、改造内容	271
四、技术优势	271
五、改造过程	271
六、改造后的效果	273
第五节 电除尘器的改造——电改（为）“电-袋”	274
一、概述	274
二、“电-袋”除尘器的由来	275
三、“电-袋”除尘器需解决的主要技术问题	275
四、具体改造内容	276
五、“电-袋”除尘器的调试和投运	280
六、结论	281

第十二章 水泥厂有害气体的防治

第一节 气态污染物控制技术	282
一、气体吸收	282
二、气体吸附	285
三、气体催化净化	286
第二节 二氧化硫污染治理技术	290
一、采用窑磨一体机运行和袋式除尘器	290
二、二次减排二氧化硫技术	291
第三节 氮氧化物及氟化物的污染防治	294
一、氮氧化物的治理	294

二、氟化物污染的防治	299
第四节 其他气态污染物治理技术	300
一、治理技术	300
二、恶臭的特征和治理	302
第五节 二氧化碳减排	304
一、水泥生产减排二氧化碳的途径	305
二、利用清洁发展机制 (CDM)	308

第十三章 清洁生产

第一节 概述	314
一、清洁生产的由来	314
二、水泥工业清洁生产的必要性	316
三、清洁生产在水泥工业中的作用和意义	319
四、水泥工业清洁生产的特点	320
五、国外清洁生产简介	322
第二节 水泥厂清洁生产审核	323
一、清洁生产审核的原则、类型和范围	323
二、清洁生产审核的内容	324
三、清洁生产审核的实施	324
第三节 水泥厂清洁生产机会识别	326
一、识别清洁生产机会的必要性	326
二、识别清洁生产机会的方法	326
三、识别清洁生产机会的示例及效果介绍	327
第四节 水泥工业清洁生产实施途径	328
一、原、燃料替代	328
二、生产工艺的优化	329
三、水泥新产品的开发	330
四、生产设备的改造革新	331
五、生产过程控制的更新	331
六、废弃物利用	332
七、技术与装备的创新	332
八、生态化创新	333
九、企业管理的改善	333
十、提高员工素质	334
第五节 持续清洁生产与企业清洁生产等级的评价	334
一、持续清洁生产	334

二、企业清洁生产等级的评价	335
第六节 植树绿化、改善生态环境	338
一、矿山绿化与植被恢复	338
二、厂区绿化	339

第十四章 水泥工业的光明前景

第一节 循环经济	340
一、概述	340
二、水泥工业在循环经济中的典型案例	340
三、水泥工业的生态设计	343
第二节 水泥工业的“四零一负”	352
一、“四零一负”的提出及其主要内容	352
二、十年来“四零一负”的进展	354
三、对“四零一负”的展望	359
附录 《水泥企业大气污染物排放标准》(GB 4915—2004) 摘录	362
参考文献	366

第一章 水泥生产与大气污染

第一节 水泥生产工艺及大气污染物

一、水泥生产工艺

水泥生产过程简单地说是二磨一烧，或三磨一烧。即把天然原料经过破碎、烘干（对含天然水分高的物料）调配后，粉磨成生料（0.08mm 方孔筛筛余 10% 左右的粉料）；把生料放进回转窑或立窑中煨烧成熟料，为提高燃料的燃烧效率，也必须把煤粉磨成 0.08mm 方孔筛筛余 10% 左右的粉煤；烧成的熟料加进少量的石膏和混合材再通过磨机磨成 0.08mm 方孔筛筛余 6% 以下的粉体，称为水泥。生料磨细为了加快物料之间的化学反应速率、提高热能利用率和单机台时产量，煤磨细是为其能够充分燃烧，水泥磨细是为了提高水泥强度。在物料进行粉磨和烧成中都需要输送和储存，生产工艺流程见图 1-1。

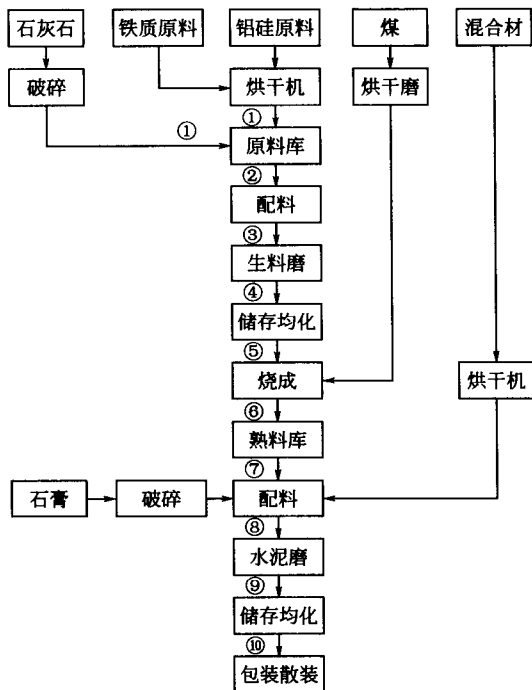


图 1-1 水泥生产工艺流程

二、大气污染物种类

水泥生产不仅有把物料破碎和粉磨的物理过程，还有燃料燃烧和物料分解、相互反应生成水泥熟料的化学过程。由于受水泥生产工艺、所采用的原料和燃料的影响，在水泥生产过程中，产生大量的烟尘、粉尘和有害气体而污染大气。水泥工厂对大气造成污染的污染物种类有：粉尘和烟尘，二氧化硫（ SO_2 ），氮氧化物（ NO_x ），氟化物，一氧化碳（ CO ），二氧化碳（ CO_2 ）。

除粉尘和烟尘外，其余各项又统称为有害气体。粉尘和烟尘产生于水泥生成的各个环节，有害气体则产生于发生化学过程的设备中。

水泥厂排放有害气体的设备有烘干机、粉磨设备和水泥窑。现代化干法水泥厂已很少采用烘干机，粉磨设备在使用有机化合物的助磨剂时，会有2%~8%的助磨剂挥发，随粉磨系统余风一起排放，排放量大约相当于20~40g/t水泥。有害气体排放量最大的是水泥窑，排放的废气中主要有 N_2 、 CO_2 、 O_2 、 H_2O 、气态的硫化物、氮氧化物、 CO 以及少量有机化合物等。 N_2 和 O_2 对环境无害； H_2O 无法控制； CO_2 受生产工艺所限； CO 除来源于水泥窑和分解炉中的燃料不完全燃烧外，还可能产生于原料中的有机碳化合物，这些有机化合物可在低温区分解，产生 CO_2 、 CO 和少量气态碳氢化合物（如甲烷等）。目前最受环保界关注的是 CO_2 、 SO_2 、 NO_x 和气相有机化合物。

三、大气污染物特征与危害

1. 粉尘

水泥生产过程中所产生的粉尘以一种不均质、不规则和不平衡的复杂运动状态存在，属于无机粉尘，一般粉尘本身无毒。熟料及水泥粉尘有水硬性，煤的粉尘有爆炸性，一般粉尘安息角为 $35^\circ\sim 55^\circ$ 。各种粉尘的化学成分见表1-1；水泥窑待净化废气的粉尘分散度见表1-2；车间粉尘分散度见表1-3；磨机粉尘分散度见表1-4。

表 1-1 水泥厂各种粉尘的化学成分

粉尘名称	化学成分/%							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	SO_3	烧失量
窑灰	47.2	19.6	5.95	2.89	1.17		10.08	8.40
窑灰	59.8	16.8	6.68	2.91	1.17		3.20	7.60
窑灰	44.4	13.7	2.65	1.97	0.95		13.06	7.36
熟料	22.9	1.80	3.00	65.50	0.80	0.90	0.50	0.006
熟料	22.2	4.00	3.50	65.10	0.40	1.20	0.90	1.2
水泥	21.67	5.17	3.03	65.00	1.81		1.41	0.71
石灰石	6.30	2.00	1.30	49.50	0.80		0.70	
黏土	60.90	10.80	11.00	2.20	2.40		1.90	
矿渣	30.70	17.70	0.50	43.50	5.00			