

中国水泥协会标准宣贯指定教材
依据《水泥工业大气污染物排放标准》(GB 4915-2013)编写

TECHNOLOGIES AND CASE STUDIES FOR EMISSION STANDARD OF
AIR POLLUTANTS FOR CEMENT INDUSTRY

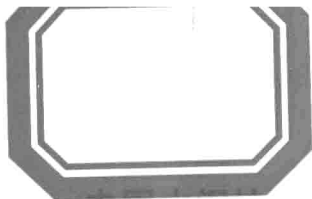
水泥工业大气污染物 排放标准达标实用技术及实例

中国水泥协会 组织编写

陈章水 主编



中国建材工业出版社



标准宣贯指定教材

依据《水泥工业大气污染物排放标准》(GB 4915—2013) 编写

水泥工业大气污染物 排放标准达标实用技术及实例

Technologies and Case Studies for Emission
Standard of Air Pollutants for Cement Industry

中国水泥协会 组织编写

陈章水 主编

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水泥工业大气污染物排放标准达标实用技术及实例:
中国水泥协会标准宣贯指定教材 / 陈章水主编. —北京:
中国建材工业出版社, 2014. 4
ISBN 978-7-5160-0796-9

I. ①水… II. ①陈… III. ①水泥工业—大气污染物
—污染物排放标准—中国 IV. ①X-652

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 068051 号

内 容 简 介

新修订的《水泥工业大气污染物排放标准》(GB 4915—2013) 已于 2013 年 12 月 27 日发布, 于 2014 年 3 月 1 日正式实施。该标准严格了现有企业、新建企业大气污染物排放限值, 增加了适用于重点地区的大气污染物特别排放限值。

为切实做好新标准的宣传贯彻和污染治理达标工作, 中国水泥协会从行业环境保护出发, 站在行业全局高度, 策划编辑出版新排放标准宣贯教材。应中国水泥协会的安排, 由合肥水泥研究设计院的标准编制组成员负责本书的编写工作。

本书主要包括: 标准修订概况、新排放标准的主要内容、标准实施的技术分析、颗粒物治理技术方案和工程实例、氮氧化物治理技术方案和工程实例。本书旨在为水泥工业污染达标治理工作提供可靠的技术方案和工程应用指导。

本书读者对象为水泥生产企业、设备企业技术和管理人员, 高等院校相关专业师生, 科研院所设计人员等。

水泥工业大气污染物排放标准达标实用技术及实例

中国水泥协会 组织编写

陈章水 主编

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京雁林吉兆印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 17.25

字 数: 308 千字

版 次: 2014 年 4 月第 1 版

印 次: 2014 年 4 月第 1 次

定 价: 86.80 元

本社网址: www.jcbs.com.cn 微信公众号: zgjcgychs

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 88386906

本书编委员会

主 任: 孔祥忠
副 主 任: 陈章水 王郁涛 张建新
编 委: 张国宁 徐 涛 王焕忠 范晓红 郑 青 毛志伟
张鉴秋 吴德厚 马明亮 赵洪义 范永斌 何宏涛
曹 伟 袁文献 刘怀平 李 宇 宋尚军 吴振山
贺 悦

主 编: 陈章水
副 主 编: 何宏涛 陈学功
策划统筹: 张建新 范永斌
责任编辑: 贺 悦

特别鸣谢

江苏科行环保科技有限公司
西安西矿环保科技有限公司
中材科技膜材料公司

序——把标准约束力变成企业发展动力

今天，几乎所有的城市人都活动于城市的水泥森林中。

处于经济高速发展中的中国，城市在规划中拆迁、改造，基础和路面被水泥硬化，一座座大厦拔地而起；重点工程和交通建设一路高速；“新农村建设”让农民家家户户房子不断变新变美。这一切都离不开水泥。作为水泥业界人士，我为水泥在国家建设和人民生活改善过程中所作出的贡献而自豪。

和发展所有的工业项目一样，水泥产品在给社会带来财富和提升人们生活水平的同时，也给自然环境带来不同程度的破坏。水泥生产需要消耗大量的矿石、煤和电资源，生产过程中二氧化碳、氮氧化物和颗粒物排放也是避免不了的。水泥行业的科技人员长期致力于水泥生产中的环境保护研发工作，《水泥工业大气污染物排放标准》每一次的修订，都不断地强化了对企业的环境约束力。

3月13日下午，我刚从国家环保部参加完《京津冀地区水泥行业大气污染防治综合整治方案》研讨会回到办公室，协会秘书处的张建新主任就给我拿来了《水泥工业大气污染物排放标准达标实用技术及实例》书稿的目录，请我为即将出版的新书写几句话。去年年底，环保部刚刚颁布了新修订的《水泥工业大气污染物排放标准》（GB 4915—2013），标准中的多项排放指标限额可谓世界领先水平。中国水泥协会也将贯彻新标准作为协会今后几年的工作重点之一，这本书的及时出版正好配合了新标准的贯彻执行，我理所当然地答应为这本书写上几句话。

《水泥工业大气污染物排放标准》（GB 4915—2013）颁发后，中国水泥协会高度重视宣贯新标准工作，协会环资委多次开会研究策划和组织编写一本书，在行业内迅速宣贯执行新标准。合肥水泥研究设计院的标准编制组成员承担了本书的具体编写工作，为了赶时间与读者见面，春节期间合肥院的同仁加班加点，现在本书将由中国建材工业出版社正式出版，很快要和大家见面了。这本书不仅详细解读了新标准修订的内容，而且还做了颗粒物和氮氧化物的治理技术方案和工程应用实例介绍，是水泥企业领导、环保工作者开展污染达标治理工作一本实用、适用的工具书。

当然，这并不是我愿意为之作序的全部理由。这本书的主编陈章水和主要章节的编写者袁文献、何宏涛、曹伟都是曾经和我一起工作过的合肥水泥研究

设计院的老同事，陈章水先生早已是副院长了，他们几人都是 GB 4915 标准两次修订的参与者。朋友的盛情总是难却。

这些年，我见过安徽海螺水泥池州厂的湿地风光、南方水泥湖州的绿色矿山、金隅水泥北京厂的危废处置系统、华新水泥秭归厂的三峡大坝漂浮物煅烧、中联水泥枣庄厂的果树成林、华润粤堡广州厂的污泥处置、拉法基瑞安水泥都江堰厂中的文物博物馆、江苏溧阳天山水泥厂的垃圾焚烧、云南蒙自瀛洲水泥公司的废渣利用、大连小野田水泥公司的有毒砂土处理、西藏拉萨高争和山南水泥厂为高海拔地区植被的保护、山西高平维高水泥厂的噪声治理……还有很多很多与自然和谐共生的“花园式”水泥厂。中国的水泥企业在自身发展的同时，也为社会环境改善、循环经济作出了许多贡献，这是每一个水泥人引以为豪的。但全国有一千多条水泥线，我们所做的总是有限。

没有对生活的信仰，人就会表现浮躁；没有对自然的敬畏，人类的生产活动就会失去约束。标准只是一个技术法规，需要人去执行，需要制度去监管、需要实用技术去支撑、需要资金投入去实现。树立和谐的企业发展理念，热爱自然、敬畏自然、回馈自然，才能把标准的约束力变成企业的发展动力。

离开城市的水泥森林，当我们行走在乡间小路上时，我想，我们总应该为大自然再做点什么！

中国水泥协会秘书长



二〇一四年三月十三日星期四夜于北京

前言

水泥工业是我国国民经济的重要基础工业，进入新世纪以来，我国水泥工业实现了跨越式发展，满足了国家基础建设和城乡建设的需要。我国是水泥生产大国与消费大国，2013 年全年水泥产量达 24.14 亿吨。在水泥工业生产过程中排放的大气污染物主要有烟（粉）尘、SO₂、NO_x、CO、氟化物等，这些污染物的危害性极大，一直受到国家环境保护部门的极大关注。

为适应“十二五”和今后一段时间环境管理的需求，加强对颗粒物、SO₂、NO_x 等污染物的排放控制，环境保护部将《水泥工业大气污染物排放标准》（GB 4915—2004）的制修订项目列为 2012 年标准制修订计划重点项目，由环境保护部科技标准司负责组织，中国环境科学研究院联合合肥水泥研究设计院等单位共同成立了标准编制组，开展相关标准编制工作。新修订的《水泥工业大气污染物排放标准》（GB 4915—2013）已于 2013 年 12 月 27 日发布，于 2014 年 3 月 1 日正式实施，该标准严格了现有企业、新建企业大气污染物排放限值，增加了适用于重点地区的大气污染物特别排放限值。

为切实做好新标准的宣传贯彻和污染治理达标工作，中国水泥协会从行业环境保护出发，站在行业全局高度，策划编辑出版新排放标准宣贯用书。应中国水泥协会的安排，由合肥水泥研究设计院的标准编制组成员负责本书的编写工作。本书从标准修订概况入手，围绕新排放标准主要内容这个中心，紧扣标准实施的主题，详细分析了新标准实施的实用技术，重点介绍了颗粒物和氮氧化物的治理技术方案和工程应用实例，给水泥工业污染达标治理工作提供可靠的技术方案和工程应用指导。

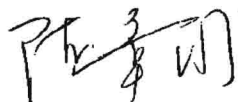
本书分为五章，由陈章水担任主编，参加编写的有合肥水泥研究设计院陈章水、何宏涛、袁文献，合肥丰德科技股份有限公司曹伟、吴振山，江苏科行环保科技有限公司陈学功。第 1 章标准修订概况，介绍了标准修订的背景、必要性、基本原则、工作过程、标准限值与规定的制订依据及标准修订的主要内容等，由陈章水、何宏涛编写；第 2 章新排放标准的主要内容，对标准的适用范围、大气污染物排放控制限值及要求、监测要求及实施与监督进行重点介绍，由何宏涛、袁文献编写；第 3 章标准实施的技术分析，介绍了水泥工业生产排污情况，综述烟气调质技术、颗粒物治理技术、二氧化硫污染治理技术和

氮氧化物污染治理技术，由何宏涛编写；第4章颗粒物治理技术方案和工程实例，分别介绍了新建水泥生产线和现有水泥企业颗粒物达标治理方案，分类列举了除尘工程实例、除尘改造工程实例和滤料工程实例，由何宏涛编写；第5章氮氧化物治理技术方案和工程实例，分别介绍了现有水泥企业、新建水泥企业和重点地区企业氮氧化物达标治理方案，列举了典型规模的水泥窑烟气脱硝工程实例，由曹伟、吴振山、何宏涛、陈学功编写。全书由何宏涛整理，由袁文献审核，最终由陈章水审阅定稿。

为编写本书提供工程实例资料的单位有：西安西矿环保科技有限公司、合肥中亚环保科技有限公司、合肥水泥研究设计院资源与环境公司、合肥水泥研究设计院热工装备公司、江苏科行环保科技有限公司、合肥丰德科技股份有限公司、中材科技膜材料公司、安徽锦鸿环保科技有限公司，在此对提供资料的单位和有关人员表示衷心的感谢！本书参考了书后所列的文献，在此对本书引用文献的作者表示衷心的感谢！

中国水泥协会、中国建材工业出版社领导及有关编辑为本书策划、编辑、出版付出的努力，在此表示感谢！

由于时间仓促，水平有限，本书中难免有疏漏不足之处，敬请读者批评指正。



2014年3月6日



中国建材工业出版社
China Building Materials Press

我们提供

图书出版、图书广告宣传、企业/个人定向出版、设计业务、企业内刊等外包、
代选代购图书、团体用书、会议、培训，其他深度合作等优质高效服务。

编辑部

010-68365565

图书广告

010-68361706

出版咨询

010-68343948

图书销售

010-68001605

设计业务

010-88376510转1005

邮箱：jccbs-zbs@163.com

网址：www.jccbs.com.cn

发展出版传媒 服务经济建设

传播科技进步 满足社会需求

(版权专有，盗版必究。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。举报电话：010-68343948)

目 录

第1章 标准修订概况	1
1.1 标准修订的背景	1
1.1.1 我国水泥工业概况	1
1.1.2 水泥生产工艺现状	2
1.1.3 水泥行业产排污情况及污染控制技术	4
1.1.4 相关国外和国内地方排放标准	11
1.2 标准修订的必要性	15
1.2.1 GB 4915—2004 标准实施情况	15
1.2.2 环保形势变化要求对水泥行业严格排放控制	16
1.3 标准修订的基本原则	17
1.4 标准修订工作过程	17
1.4.1 标准开题论证	17
1.4.2 标准草案编制	17
1.4.3 标准讨论会	18
1.4.4 标准征求意见	19
1.4.5 标准预审会	19
1.4.6 标准审议会	19
1.4.7 编制报批稿和报批	19
1.5 标准修订的主要内容	20
1.5.1 标准的适用范围	20
1.5.2 标准的内容框架	20
1.5.3 标准限值与规定的制订依据	21
1.5.4 污染物项目与考核指标	31
1.5.5 标准修订的主要条款	32
第2章 新排放标准的主要内容	34
2.1 适用范围	34
2.2 大气污染物排放控制限值及要求	34

2.2.1	排气筒大气污染物排放限值	34
2.2.2	无组织排放控制要求及排放限值	37
2.2.3	有关废气收集、处理与排放的规定	37
2.2.4	有关对周围环境质量监控的要求	37
2.3	监测要求及实施与监督	38
2.3.1	污染物监测要求	38
2.3.2	实施与监督	39
第3章	标准实施的技术分析	40
3.1	水泥工业生产排污情况	40
3.1.1	水泥工业大气排放源	40
3.1.2	水泥生产（设施）设备排出废气的性质	42
3.1.3	水泥生产设施（设备）废气排放量	43
3.1.4	熟料烧成过程有害气体生成机理和在废气中的浓度	53
3.1.5	水泥生产工艺及生产线规模对环境污染的差别	63
3.2	水泥工业污染治理技术	68
3.2.1	烟气调质技术	68
3.2.2	颗粒物治理技术	79
3.2.3	二氧化硫污染治理技术	114
3.2.4	氮氧化物污染治理技术	118
第4章	颗粒物治理技术方案和工程实例	155
4.1	新建水泥生产线的颗粒物治理技术方案	155
4.1.1	总体原则和要求	155
4.1.2	袋式除尘器的规格和性能	156
4.1.3	常用电除尘器的规格和性能	173
4.1.4	水泥窑窑尾及窑尾余热利用系统的除尘技术方案	173
4.1.5	窑头冷却机的除尘技术方案	180
4.1.6	煤磨的除尘技术方案	183
4.1.7	通风生产设备的除尘技术方案	186
4.1.8	独立粉磨站烘干机的除尘技术方案	187
4.2	现有水泥企业的颗粒物治理技术方案	189
4.2.1	颗粒物无组织排放控制方案	189
4.2.2	颗粒物有组织排放控制措施	190
4.3	颗粒物治理技术应用工程实例	197
4.3.1	水泥窑尾及窑尾余热利用系统的除尘工程实例	197

4.3.2	水泥窑头冷却机的除尘工程实例	201
4.3.3	煤磨除尘工程实例	203
4.3.4	除尘改造工程实例	205
4.3.5	滤料或滤袋工程实例	220
第5章	氮氧化物治理技术方案和工程实例	226
5.1	氮氧化物治理技术概述	226
5.2	氮氧化物治理技术方案	227
5.2.1	水泥窑 NO_x 的控制和减排措施	227
5.2.2	水泥窑 NO_x 控制措施效果	228
5.2.3	水泥窑 NO_x 治理总体方案	228
5.2.4	现有水泥企业氮氧化物治理方案	229
5.2.5	新建水泥企业氮氧化物治理方案	232
5.2.6	重点地区企业氮氧化物治理方案	232
5.3	SNCR 脱硝工艺设计原则和要求	233
5.3.1	设计合理的脱硝效率	233
5.3.2	设计完善的工艺系统	233
5.3.3	使用规范的材质材料	234
5.3.4	规范安全的措施标准	234
5.3.5	严控还原剂的来源	234
5.4	氮氧化物治理工程实例	235
5.4.1	2500 ~ 4500t/d 水泥窑脱硝工程实例	235
5.4.2	5000t/d 水泥窑脱硝工程实例	254
参考文献		263

第 1 章 标准修订概况

《水泥工业大气污染物排放标准》(GB 4915—2004)是我国水泥工业环境管理的重要依据,在“十一五”污染减排工作中发挥了重要作用。为适应“十二五”环境管理需求,加强对颗粒物、SO₂、NO_x等的排放控制,亟需修订。为此,环境保护部将其列为 2012 年标准制修订计划的重点项目,由中国环境科学研究院牵头组织制订。

根据工作需要,中国环境科学研究院联合合肥水泥研究设计院等单位共同成立了标准编制组,拟定工作计划并开展相关标准编制工作。

1.1 标准修订的背景

1.1.1 我国水泥工业概况

我国是水泥生产与消费大国,2011 年我国水泥产量达到 20.9 亿 t,占世界水泥产量的一半以上,其中新型干法水泥比例接近 90%,前 10 强企业(集团)水泥熟料产量占全国 42%,结构调整取得突破性进展。截至 2011 年底,规模以上水泥生产企业约 4000 家,新型干法水泥生产线 1500 多条。

表 1-1 是对我国水泥产量及新型干法水泥发展情况的统计。表 1-2 为截至 2011 年底的新型干法水泥生产线的规模分布情况。

表 1-1 我国新型干法水泥发展情况

年份	水泥产量 (亿 t)	新型干法水泥产量 (亿 t)	新型干法水泥比例 (%)	新型干法生产线条数
2000	5.97	0.60	10.1	133
2001	6.64	0.94	14.2	170
2002	7.25	1.23	17.0	222
2003	8.62	1.90	22.0	320
2004	9.70	3.16	32.6	504
2005	10.6	4.73	44.6	624
2006	12.4	6.02	48.5	715

水泥工业大气污染物排放标准达标实用技术及实例

续表

年份	水泥产量 (亿吨)	新型干法水泥产量 (亿吨)	新型干法水泥比例 (%)	新型干法生产线条数
2007	13.6	7.15	52.6	802
2008	14.0	8.58	61.3	934
2009	16.5	12.7	77.0	1113
2010	18.8	14.9	79.3	1273
2011	20.9	18.6	89.0	1513
2012	21.8			1637

表 1-2 2011 年新型干法水泥生产线统计

规模 (t/d)	700	1000 ~ 1800	2000 ~ 2500	3000 ~ 3500	4000 ~ 4500	5000 及以上	合计
生产线数	30	309	568	81	66	459	1513
生产线 比例 (%)	2	20.4	37.5	5.4	4.4	30.3	100
熟料产能 (t/a)	674.25	11234.4	42333.6	7765.5	8246.0	73488.6	143742.35
产能比例	0.47%	7.82%	29.45%	5.4%	5.74%	51.12%	100%

另据环保部开展的水泥行业 NO_x 减排全口径统计，2011 年水泥熟料生产企业 2468 家（1203 企业有新型干法生产线），熟料产量 12.9 亿 t。其中新型干法生产线 1601 条，熟料产量 11.5 亿 t；立窑熟料产量 1.4 亿 t。

1.1.2 水泥生产工艺现状

如图 1-1 所示，水泥生产分为三个阶段：石灰质原料、黏土质原料与少量校正原料经破碎后，按一定比例配合、磨细并调配为成分合适、质量均匀的生料，这一过程称为生料制备；生料经预热器或预分解系统预热/分解后，在水泥窑内煅烧至部分熔融所得到的以硅酸钙为主要成分的水泥熟料，称为熟料煅烧；第三阶段为水泥粉磨，即熟料加入适量石膏，有时还有一些混合材料或外加剂共同磨细成为水泥成品。水泥在贮存时应进行检验，合格的水泥可以包装或散装出厂。

水泥熟料煅烧主要有两种方式（图 1-2）：一种是以回转窑为主要生产设备，包括新型干法窑、预热器窑、余热发电窑、干法中空窑、立波尔窑、湿法回转窑；另一种则是以立式窑为主要生产设备，包括普通立窑和机械化立窑。不同的水泥生产工艺与设备在规模效益、能源消耗、资源利用、污染排放等方

第1章 标准修订概况

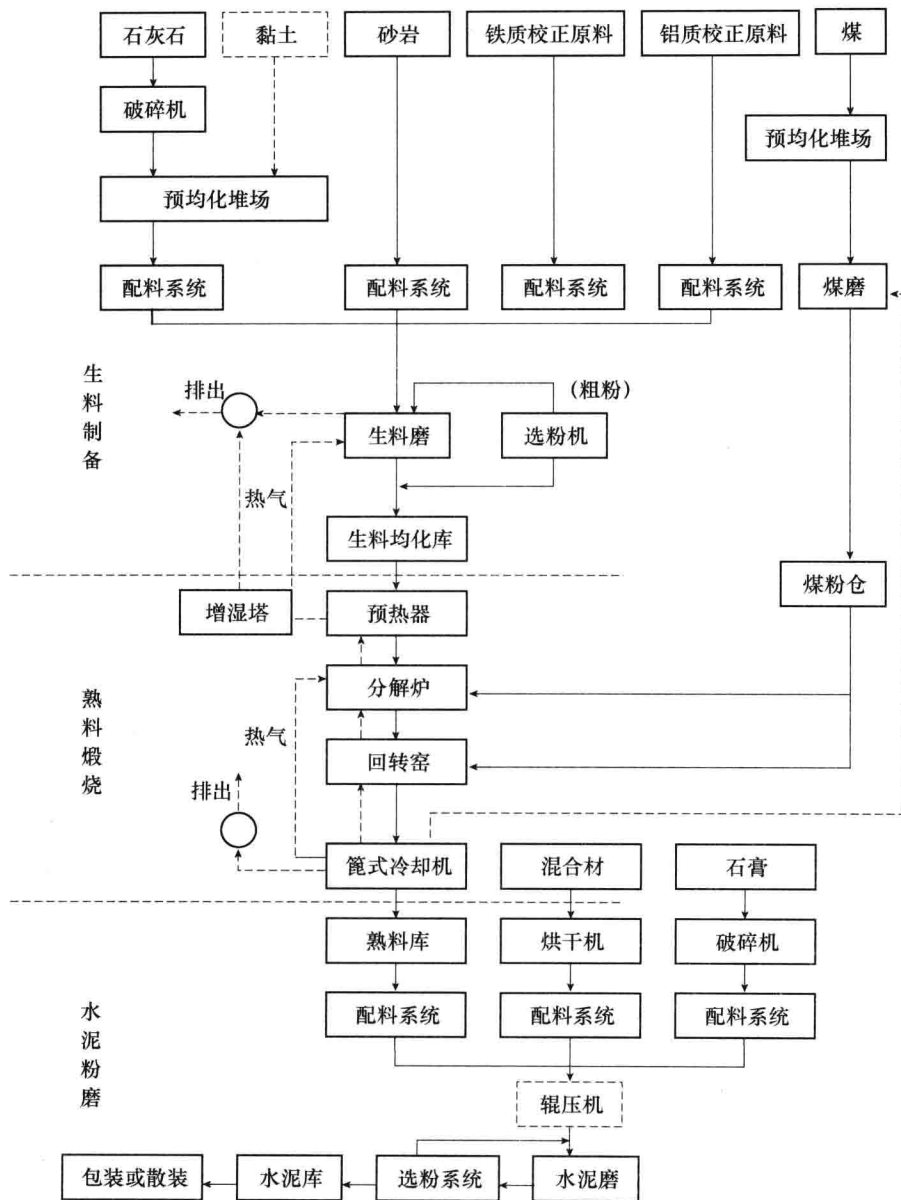


图 1-1 水泥生产工艺流程图

面存在较大差别。根据国家产业政策要求，窑径 2.5m 以下干法中空窑（生产高铝水泥的除外）、立波尔窑、湿法回转窑（主要用于处理污泥、电石渣等的除外）、窑径 3.0m 以下机械化立窑、普通立窑等近年来已逐步淘汰，水泥生产格局发生了显著变化。新型干法窑外预分解技术已成为我国水泥生产的主导

工艺，中国建材、海螺等一大批企业集团迅速成长，带领中国水泥工业向着大型化、集约化方向迈进，我国最大规模的新型干法水泥生产线日产熟料 1.2 万 t，主要经济技术指标已达到国际一流水平。

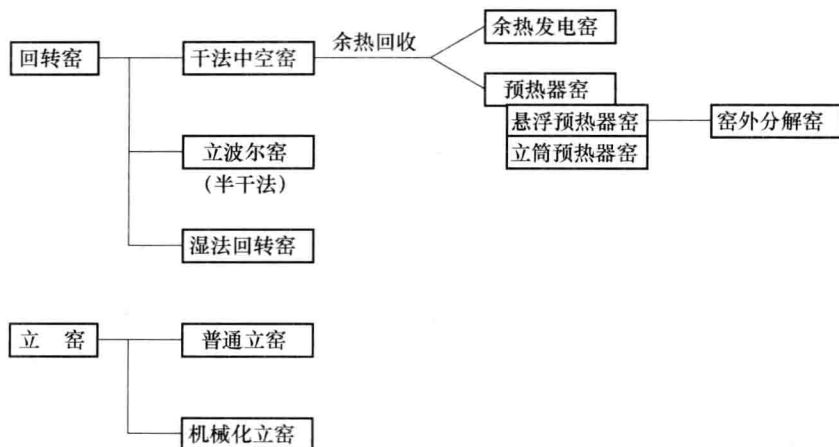


图 1-2 水泥窑类型

新型干法技术的核心是水泥熟料煅烧的窑外预分解技术，它是在悬浮预热技术的基础上发展起来的，不同型式的分解炉与各种预热器组成了不同类型的窑外分解系统。与在回转窑内完成预热、分解、烧成多个过程的传统工艺相比，它将熟料煅烧过程变成为在两套独立的设备内进行的两阶段操作：即在悬浮预热器和分解炉内完成生料预热和石灰石分解（ $\text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ，900℃）；在回转窑内高温条件下（1400 ~ 1500℃）完成熟料烧成（形成硅酸三钙、硅酸二钙、铝酸三钙等）。由于在分解炉内引入第二热源（使用约 60% 的燃料），降低了烧成带热负荷，提高了回转窑运转率和生产能力，同时也使能源消耗、污染物（特别是 NO_x 、 SO_2 ）排放大大降低。

现代化新型干法系统集成五级悬浮预热器、改进型分解炉和回转窑、多通道燃烧器、第四代篦冷机、窑头窑尾余热发电等多项技术于一体，再与新型节能粉磨系统、原燃料预均化系统、计量与自动化控制系统等组合在一起，代表着当代水泥生产的最高技术水平。

1.1.3 水泥行业产排污情况及污染控制技术

1.1.3.1 水泥工业大气排放源

水泥工业大气排放源主要包括矿山开采、水泥制造（含粉磨站）、散装水泥中转站和水泥制品生产。

在矿山开采过程中，主要存在粉尘无组织排放，有组织排放源主要是破碎机，还有装卸、输送设备等其他设备，需要通风除尘。

在水泥制造过程中，从原料破碎、原料烘干、生料粉磨、煤粉制备、熟料煅烧、熟料冷却、水泥粉磨到成品包装，都存在有组织或无组织的颗粒物排放，其中水泥窑系统集中了70%的颗粒物有组织排放和几乎全部气态污染物的排放。独立粉磨站的污染排放与水泥制造的后续过程基本相同。

散装水泥中转站的排放源主要是卸船机、空气输送斜槽、提升机、水泥仓、散装机等。

水泥制品生产主要包括预拌混凝土、预拌砂浆、混凝土预制件，其主要污染排放源是水泥仓的进出料过程。

1.1.3.2 废气排放性质

水泥生产是通过生产线各设施（设备）的运行，把原料加工成水泥，不仅有对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。在这个过程中，排放的大气污染物主要有烟（粉）尘、 SO_2 、 NO_x 、 CO_2 、CO、氟化物等。由于各设备处理物料不同、工作原理和工作过程不同，排出废气的性质也各不相同，如污染物种类、浓度、烟气温度、含湿量、比电阻等。表1-3列出了一些主要生产设备的废气排放性质。

表1-3 主要生产设备的废气排放性质

设备	新型干法窑			篦冷机	生料立磨	水泥管磨	煤磨
污染物	PM	SO_2	NO_x	PM	PM	PM	PM
原始浓度 (g/m^3)	30~80	0.05~0.2	0.8~1.2	2~20	400~800	20~120	250~500
气体温度 ($^{\circ}\text{C}$)	300~350			150~300	70~110	90~120	60~90
含湿量, 体积 (%)	6~8			—	10	—	8~15
露点 ($^{\circ}\text{C}$)	35~40			—	45	—	40~50
比电阻 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	$\geq 10^{12}$			$10^{11} \sim 10^{13}$	—	—	—

1.1.3.3 主要污染物的危害

(1) 粉尘的危害

①粉尘对人体健康的危害

粉尘的化学组成及粉尘粒度对人体健康起着重要的作用，而粉尘的密度、溶解度、荷电性以及放射性等与其危害程度密切相关。

粉尘的化学成分直接影响着对人体的危害程度，其中粉尘中游离二氧化硅危害更大。长期大量吸入含结晶型二氧化硅的粉尘可引起矽肺病。粉尘中游离二氧化硅的含量越高，引起病变的程度越重，病变的发展速度越快。粉尘分散