

SHUINI YUFENJIEYAO
DUANSHAO JISHU JI ZHUANGBEI

丁奇生 王亚丽 崔素萍 等编著

水泥预分解窑 煅烧技术及装备

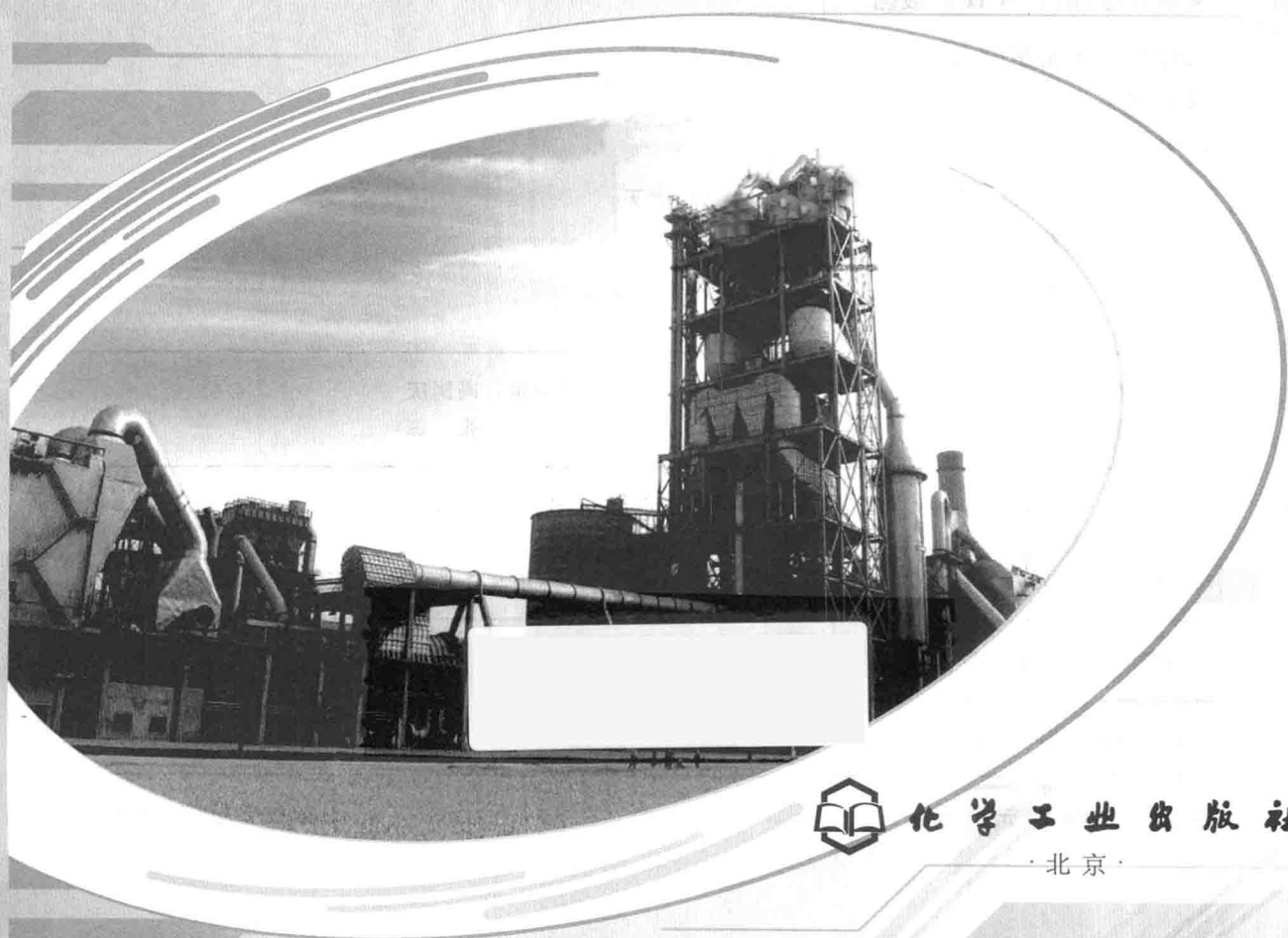


化学工业出版社

SHUINI YUFENJIEYAO
DUANSHAO JISHU JI ZHUANGBEI

丁奇生 王亚丽 崔素萍 等编著

水泥预分解窑 煅烧技术及装备



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

水泥预分解窑煅烧技术及装备/丁奇生等编著.
北京: 化学工业出版社, 2014. 5
ISBN 978-7-122-19790-0

I. ①水… II. ①丁… III. ①水泥-煅烧-化工
设备 IV. ①TQ172.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 027813 号

责任编辑: 常 青

文字编辑: 冯国庆

责任校对: 边 涛

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 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 21½ 字数 528 千字 2014 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

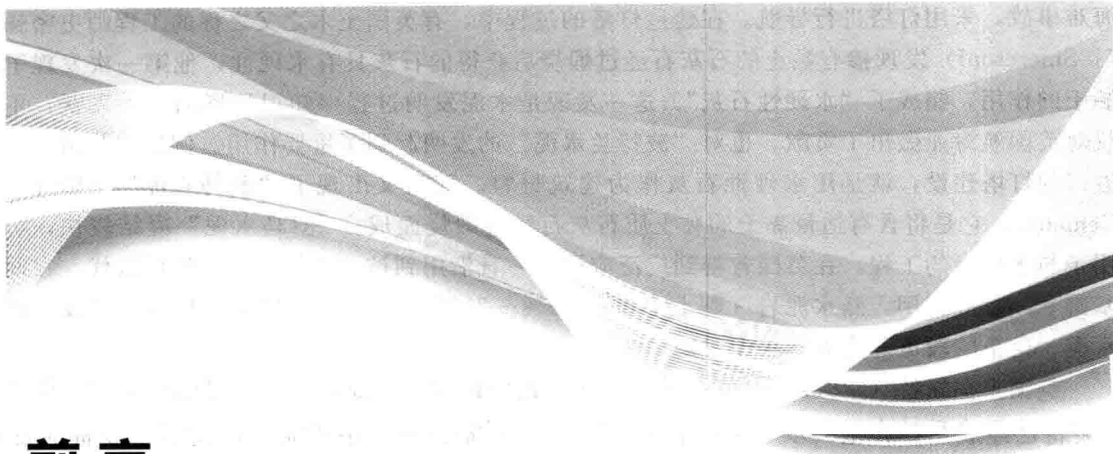
购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

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: 88.00 元

版权所有 违者必究



前言

FOREWORD

1824年10月21日，英国利兹（Leeds）城的泥水匠阿斯普丁（J. Aspdin）获得了英国第5022号的“波特兰水泥”（Portland Cement）专利证书，从此揭开了人工合成无机硅酸盐水硬性胶凝材料的历史，一举成为流芳百世的水泥发明人。然而，水泥的发明是一个渐进的过程，随着社会生产力的发展，水泥生产技术及装备也有一个不断进步、成熟和完善的过程。今天，人们把水泥的生产过程形象地概括为“二磨一烧”，即按一定比例配合的原料，先经粉磨制成生料，再在窑内烧成熟料，最后通过粉磨制成水泥。在这个过程中，窑是核心设备，所以人们在研究水泥技术发展史的时候，往往以窑为代表。当年，阿斯普丁采用的水泥熟料煅烧设备为瓶窑（Bottle Kiln），其形状像瓶子。回顾过去的190年，水泥熟料煅烧设备先后经历了瓶窑、仓窑、立窑、干法回转窑、湿法回转窑、立波尔窑、悬浮预热窑等发展阶段，然后才研究开发出现在的预分解窑。

悬浮预热技术是指低温粉体物料均匀分散在高温气流之中，在悬浮状态下进行热交换，使物料得到迅速加热升温的技术。预分解（也称窑外分解）技术是指将已经过悬浮预热后的水泥生料，在达到分解温度前，进入到分解炉内与进入炉内的燃料混合，在悬浮状态下迅速吸收燃料燃烧热，使生料中的碳酸钙迅速分解成氧化钙的技术。

预分解窑的关键技术及装备包括旋风筒、换热管道、分解炉、回转窑、冷却机、燃烧器，有人称之为“六位一体”。这些关键技术及装备彼此关联、互相制约，形成了一个完整的热工体系，承担着水泥熟料的预热、分解、煅烧、冷却任务。预分解窑诞生以来的发展、完善、提高，主要是围绕“六位一体”的技术发展和创新进行的。

新型干法水泥技术是以悬浮预热和预分解技术及装备为核心，以先进的环保、热工、粉磨、均化、储运、在线检测、信息化等技术为基础，采用新技术和新材料，节约资源

和能源，充分利用废料、废渣，促进循环经济，实现人与自然和谐相处的现代化水泥生产方法。

从发达国家的发展经验来看，水泥工业的可持续发展，不仅需要解决“洁身自好”的清洁生产问题，即成为资源节约型、环境友好型产业（所谓“两型”产业），还必须向环保型产业转型，成为社会和环境绿色可持续发展离不开的产业。这不是想象，而是国内外水泥工业发展实践所展现和证明的。

在中国，巨大的水泥产业市场培育了今天中国的预分解窑为核心的新型干法水泥生产技术，在广大水泥工作者的不懈探求下，并经业内企业家的大力推动，通过引进先进技术及装备、消化吸收、国产化等过程，具有自主知识产权的预分解窑熟料煅烧技术及装备已经成熟，并正一步一步顺应着世界水泥工业新型干法水泥生产技术及装备的发展潮流——大型化、信息化、节能、环保、安全、生态化，迅猛发展，令人瞩目。

中国建筑材料联合会乔龙德会长指出，中国水泥工业的发展经历了三个时期：一是跟随时期，完全是学习、引进、消化国外先进技术；二是追赶时期，集成创新，真正实现了低成本、国产化，达到了世界先进水平；三是超越和引领时期，今天我们的一些技术水平已经超越了世界先进水平，“过去当徒弟，现在当师傅”。

预分解窑水泥生产技术已在我国水泥工业中确立了主导地位，装备水平已经达到国际先进水平，中国建造的大型现代水泥生产企业不仅在国内淘汰落后的水泥生产企业，而且已经大批量地涉足国外的水泥行业。截至2013年年底，我国共有预分解窑生产线1714条，水泥熟料产能达17亿吨。2013年，我国水泥产量达24.14亿吨，其中预分解窑水泥产量占93%以上，我国水泥产量已超过世界水泥总产量的60%。值得一提的是，中国水泥工程技术已出口包括欧美国家在内的50多个国家和地区；在国际水泥工程建设市场，我国承建的国外工程已占50%以上的份额；截至2013年年底，以EPC和EP总承包模式完成和正在建设的国外水泥生产线已接近200条。

目前，我国水泥工业发展已经进入了一个新阶段——第二代新型干法水泥技术的研发阶段。第二代新型干法水泥技术，是指以悬浮预热和预分解技术为核心，利用现代流体力学、燃烧动力学、热工学、计算流体力学、粉体工学等现代科学理论和技术，并采用计算机及其网络化信息技术进行水泥工业生产的综合技术。其主要产品为波特兰体系胶凝物质，具有“协同处置”废弃物、充分利用余热、发展低碳技术、高效防治污染物排放、减少CO₂排放的功能，其产业不但可为国民经济建设提供高质量基础原材料，而且逐步发展成新型社会环保产业的一员。

为了适应我国水泥工业的发展趋势，总结水泥预分解窑煅烧技术及装备，我们编著了本书，力求全面介绍水泥预分解窑生产相关的最新技术及装备，尤其介绍了水泥工作者普遍关注的水泥窑低温余热发电、水泥窑协同处置城市生活垃圾和城市污泥、水泥窑减排氮氧化物等技术及装备的现状、展望。在内容上，既有必要的基本知识、理论阐述，同时更注重介绍水泥预分解窑系统相关的设计选型、实际操作要点和实践经验等实用性知识，以期对广大水泥工作者提供一定的帮助和启发。

本书由丁奇生策划，提出编著大纲，并负责全书的审稿、统稿。本书共分十二章，各章编著人员如下：第一章王亚丽、吕秋瑞；第二章丁奇生；第三章孙德群、陈建南、丁苏东、丁奇生、向泽强；第四章丁奇生；第五章丁奇生；第六章陈建南；第七章潘炯、丁奇生、陈建南、刘玲玲；第八章焦永道；第九章丁奇生、王亚丽、崔素萍、赵珏；第

十章丁奇生、王亚丽、崔素萍、侯伟芳、陈梦梦；第十一章丁奇生、崔素萍、王亚丽、马海峰、吴晨光；第十二章贾庆国、丁奇生、陈建南、王亚丽、郭志伟、陈新中、田国兰、张扬。

本书的编著参考了相关的文献资料，汲取了众多同行的精华思想，主要的参考资料已列在书后参考文献中，在此特向文献的作者致以诚挚的谢意！

本书在编著过程中，得到了业界同仁的关心和鼎力支持，在此表示衷心的感谢！

由于编著者水平有限及时间仓促，书中难免存在不妥之处，恳请广大读者批评和指正。

编著者

2014年6月



目录

CONTENTS

第一章 水泥熟料	1
第一节 水泥的发明	1
一、胶凝材料发展简史	1
二、现代水泥的发明	2
第二节 水泥熟料的组成	3
一、水泥熟料的化学组成	3
二、水泥熟料的矿物组成	5
第三节 水泥熟料的形成过程	8
一、生料的干燥与脱水	8
二、碳酸盐分解	8
三、固相反应	9
四、液相的形成与熟料的烧结	10
五、熟料的冷却	10
第四节 水泥熟料的煅烧过程	11
一、熟料在回转窑内的煅烧	11
二、熟料形成热	12
三、回转窑内热经济分析	13
四、回转窑煅烧对熟料质量的影响	14
第五节 水泥熟料的特性及分析方法	16
一、水泥熟料的结构特征及分析方法	16
二、水泥熟料的水化特征	19
三、影响水泥水化速率的因素	21
第二章 水泥窑的演变	23
第一节 瓶窑与仓窑	23

一、瓶窑	23
二、仓窑	24
第二节 立窑	24
一、立窑的发明	24
二、立窑水泥在我国的发展	25
三、立窑煅烧技术及装备在我国的发展	27
四、我国立窑水泥的逐步退出	28
第三节 干法回转窑	28
一、干法中空回转窑	28
二、余热锅炉窑	28
三、干法长窑	29
第四节 湿法回转窑	29
一、湿法回转窑的诞生	29
二、湿法回转窑的特点	30
三、湿法回转窑在我国的发展与淘汰	30
第五节 立波尔窑	32
一、立波尔窑的诞生	32
二、立波尔窑的特点	32
第六节 预分解窑	33
一、悬浮预热窑	33
二、预分解窑的发明	34
三、预分解窑技术	36
四、第二代新型干法水泥技术	37
第三章 预分解窑技术及装备	40
第一节 旋风预热器	41
一、预热器的作用	41
二、预热器的列数	42
三、预热器的级数	43
四、旋风筒	43
五、换热管道、撒料装置的作用及结构	47
六、换热管道中锁风翻板阀的作用及结构	48
七、提高预热器热效率的途径及预热器的发展趋势	49
第二节 分解炉	51
一、分解炉的作用	51
二、分解炉种类及原理	52
三、分解炉技术的发展方向	52
四、对分解炉的要求	53
五、分解炉内碳酸盐分解、煤粉燃烧	54
六、燃无烟煤分解炉的开发设计	55

七、燃无烟煤与低 NO_x 主流炉型	56
第三节 回转窑	62
一、回转窑的工作流程	62
二、回转窑的设备组成	63
三、回转窑内气固两相传热、固相反应	64
四、回转窑内物料的运动时间计算	66
五、回转窑的生产能力计算	67
第四节 篦式冷却机	68
一、水泥熟料冷却技术的发展	68
二、篦式冷却机的作用	68
三、对篦式冷却机的要求	69
四、篦式冷却机的工作原理	69
五、篦式冷却机的主要设计参数	70
六、篦式冷却机的结构	71
七、国内外几种冷却机的特点	73
第五节 多通道燃烧器	88
一、水泥窑用燃烧器的发展	88
二、煤粉气流的着火、燃烧及影响因素	89
三、热回流和浓缩燃烧技术	90
四、多通道煤粉燃烧器的燃烧机理	91
五、多通道煤粉燃烧装置的构成和操作使用	92
第六节 增湿塔	93
一、增湿塔的作用	93
二、增湿塔的工作原理	93
三、增湿塔的布置位置	94
四、增湿塔的喷雾系统	94
第七节 窑尾烟室、窑头罩及三次风管	95
一、窑尾烟室	96
二、三次风管	96
三、窑头罩	97
第八节 预分解窑系统主机设备配置	98
第四章 煤粉制备技术及装备	101
第一节 煤的组成与特性	101
一、煤的岩相组成与化学结构	101
二、煤质的鉴定指标	102
三、煤质指标的表示方法	103
四、煤的燃烧特性及其分析方法	105
五、煤中矿物质及其对水泥熟料煅烧的影响	107
第二节 预分解窑用煤	108

一、煤的分类	108
二、煤的质量控制	109
三、煤的品质指标	111
四、煤粉在预分解窑系统的燃烧进程	114
五、煤的挥发分对预分解窑煅烧的影响	114
六、预分解窑使用无烟煤	115
第三节 煤粉制备	122
一、煤粉的制备及意义	122
二、原煤的易磨性	122
三、煤粉细度	123
第四节 煤粉制备系统的设计	124
一、煤粉制备系统煤磨的选择	124
二、煤粉制备系统设计规范	125
三、煤粉制备工艺与系统主机配置	127
第五节 煤磨系统的安全运行	132
一、系统操作的安全注意事项	132
二、安全措施	132
三、安全检查	133
四、应急处理	135
五、消防要求	135
六、日常维护及保养	135
第五章 水泥窑用耐火材料	137
第一节 预分解窑对耐火材料的要求	137
一、窑温较高的影响	138
二、窑速较快的影响	138
三、碱等挥发性组成侵蚀的影响	139
四、窑系统结构复杂的影响	139
五、节能要求的影响	139
第二节 碱性耐火材料的损坏机理	140
一、熟料熔体渗入	140
二、碱盐渗入	140
三、还原和还原-氧化反应	140
四、过热	141
五、热震	141
六、机械应力	141
七、磨刷	141
第三节 水泥窑用碱性耐火材料品种和特征	141
一、镁铬砖	141
二、白云石砖	142

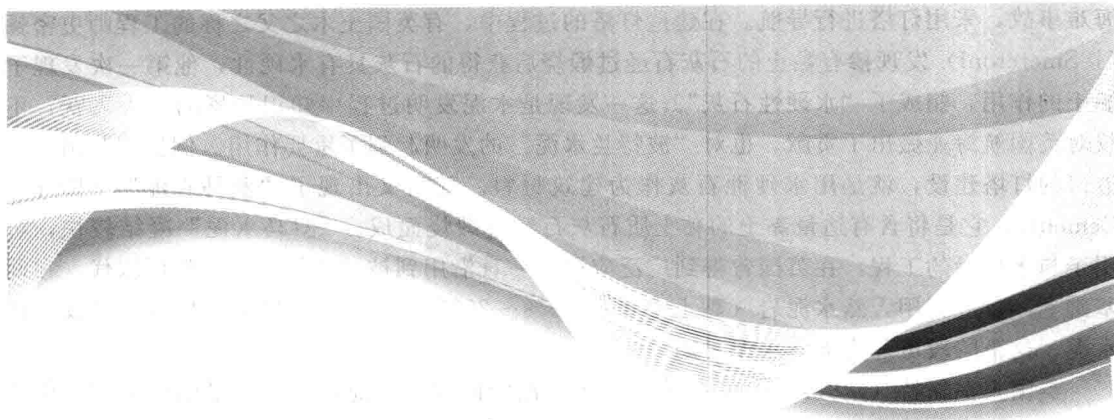
三、尖晶石砖	143
四、高铝砖	144
五、黏土砖	144
六、耐火浇注料	145
第四节 隔热材料	145
一、硅酸钙板的性能指标	145
二、隔热砖的性能指标	146
三、保温涂料性能指标	146
第五节 耐火材料的选择与砌筑	146
一、预分解窑系统配套窑衬材料选择	146
二、大型预分解窑用耐火材料选择	147
三、耐火砖砌筑要求	147
四、耐火浇注料施工要求	149
第六节 耐火材料的维护	151
一、减缓衬体受力	151
二、减少生产事故	151
三、稳定窑系统热工制度	152
第七节 水泥窑用耐火材料的发展趋势	152
一、内衬材料的发展	152
二、各种碱性砖的技术发展过程	153
三、内衬材料的技术发展趋势	154
四、展望	154
第六章 预分解窑的操作与维护	156
第一节 预分解窑工艺流程	156
一、生料预热与分解	156
二、窑头至分解炉热风管道	157
三、熟料煅烧	157
四、熟料冷却和破碎	157
第二节 耐火材料的烘干	158
一、耐火材料烘干的必要性	158
二、衬料烘干前的准备	158
三、预热器、分解炉和回转窑耐火材料的烘干操作要求	158
四、三次风管耐火材料的烘干	160
五、篦式冷却机耐火材料的烘干	160
六、衬料烘干操作注意事项	161
第三节 预分解窑操作及要求	161
一、第一次投料运转的操作原则	161
二、投料操作	162
三、正常操作原则	164

四、正常点火操作	165
第四节 预分解窑主机设备的日常维护	166
一、预热器与分解炉	166
二、回转窑	166
三、冷却机及冷却风机	167
四、窑头喷煤管	167
五、窑头除尘器引风机	167
第五节 预分解窑系统常见故障及处理方法	167
一、窑头点火喷油装置	167
二、窑头喂煤系统	168
三、分解炉喂煤系统	168
四、预分解窑通风系统	169
五、窑及预分解系统	169
六、冷却机及冷却风机系统	170
第六节 熟料质量的控制	172
一、原燃料质量的控制	172
二、熟料烧成系统的操作控制	172
三、熟料的颜色与直观判断	173
第七节 提高熟料产量的措施	173
一、优化设计和设备设施	174
二、选用优质原料和燃料	174
三、提高系统运转率	175
第七章 水泥窑余热发电	176
第一节 余热发电技术在我国的发展	176
一、余热发电的发展历程	176
二、水泥窑余热发电技术现状	177
第二节 低温余热电站主要设备	178
一、余热锅炉	178
二、汽轮发电机组	179
三、锅炉水处理设备	181
四、热力系统	181
第三节 低温余热电站技术参数	182
一、2500t/d 熟料生产线配套 4.5MW 低温余热电站	183
二、5000t/d 熟料生产线配套 9MW 低温余热电站	184
第四节 预分解窑配套建设余热电站	185
一、采用余热发电技术应遵循的基本原则	185
二、预分解窑配套建设余热发电系统技术方案	185
三、预分解窑余热发电系统的优化	188
四、影响水泥熟料生产的控制	189

第五节 低温余热发电工程实例	190
第八章 水泥窑除尘技术及装备	193
第一节 烟气调质	193
一、烟气调质的目的	193
二、烟气调质的方式	193
第二节 窑尾除尘技术及装备	196
一、窑尾废气特性	196
二、窑尾袋式除尘技术及装备	197
三、窑尾电除尘技术及装备	199
第三节 熟料篦冷机除尘技术及装备	203
一、窑头废气特性	203
二、篦冷机电除尘技术及装备	203
三、篦冷机袋式除尘技术及装备	205
第四节 电-袋复合除尘技术及装备	206
第五节 废气处理系统的检修维护和故障处理	207
一、检修与维护	207
二、常见故障及处理方法	208
第六节 除尘系统的运行与维护管理	208
一、一般规定	208
二、袋式除尘系统运行管理	209
三、电除尘系统运行管理	209
四、除尘系统维护管理	209
第九章 水泥窑协同处置城市生活垃圾	211
第一节 城市生活垃圾的主要成分	211
一、有机易腐败垃圾成分	211
二、可燃成分	212
第二节 城市生活垃圾的处置方法	212
一、城市生活垃圾的焚烧处理	212
二、城市生活垃圾的堆肥处理	213
三、城市生活垃圾的填埋处理	214
四、城市生活垃圾的其他处理	215
第三节 水泥窑协同处置城市生活垃圾的优势	215
一、良好的节能和经济效益	215
二、保护环境	216
第四节 国外水泥窑协同处置城市生活垃圾技术及装备	217
一、由垃圾制备垃圾衍生燃料	217
二、垃圾衍生燃料的技术特点及装备	218
三、日本利用水泥窑处置生活垃圾技术和政策	219

四、水泥窑已成为发达国家焚烧处置城市生活垃圾的重要设施	223
五、发达国家水泥窑处置城市生活垃圾的一些经验	223
第五节 我国水泥窑协同处置城市生活垃圾现状	226
一、“减量化、无害化、资源化”处理已成为一项紧迫任务	226
二、利用水泥窑协同处置城市生活垃圾的焚烧工艺	227
三、我国水泥窑协同处置城市生活垃圾已经起步	229
四、我国水泥窑协同处置城市生活垃圾展望	229
第六节 我国水泥窑协同处置城市生活垃圾实例	231
一、铜陵海螺水泥有限公司利用水泥窑处置城市生活垃圾	231
二、华新水泥（武穴）有限公司水泥窑协同处置城市生活垃圾	235
三、洛阳黄河同力水泥有限责任公司水泥窑协同处置城市生活垃圾	235
四、江苏天山水泥集团有限公司溧阳分公司水泥窑协同处置城市生活垃圾	236
第十章 水泥窑协同处置城市污泥	238
第一节 城市污泥的主要成分	238
一、污泥中的养分	238
二、污泥中的重金属	239
三、污泥中的有机污染物	240
四、污泥中的病原体	241
第二节 城市污泥的处置方法	241
一、城市污泥的处置方法	242
二、城市污泥各种处置方法的比较	244
第三节 水泥窑协同处置城市污泥	244
一、水泥窑协同处置城市污泥的优势	245
二、水泥窑协同处置城市污泥的典型工艺	245
三、水泥窑协同处置城市污泥原则	246
第四节 国外水泥窑协同处置城市污泥技术及装备	246
一、国外非主流干燥工艺及设备	247
二、国外主流干化工艺及设备	248
第五节 污泥处理处置的风险分析与管理	259
一、安全风险分析与管理	259
二、环境风险分析与管理	259
第六节 我国水泥窑协同处置城市污泥实例	260
一、广州越堡水泥有限公司利用水泥窑协同处置城市污泥	260
二、北京新北水水泥有限责任公司利用水泥窑协同处置城市污泥	260
三、北京市琉璃河水泥有限公司利用水泥窑协同处置城市污泥	261
四、拉法基瑞安公司南山水泥厂利用水泥窑协同处置城市污泥	261
第十一章 水泥窑减排 NO_x	263
第一节 NO _x 的危害	263

一、NO _x 对人的危害	263
二、NO _x 对植物的危害	263
三、NO _x 对生态环境的危害	263
第二节 水泥窑 NO _x 的形成机理	264
一、热力型 NO _x 形成机理	264
二、燃料型 NO _x 形成机理	264
三、瞬时反应型 NO _x 形成机理	267
第三节 水泥窑减排 NO _x 技术及装备	267
一、低氮燃烧器	268
二、分级燃烧	268
三、降低燃料量技术	268
四、选择性非催化还原技术	269
五、选择性催化还原技术	269
六、SNCR 技术与 SCR 技术的差异	270
第四节 国外水泥窑减排 NO _x 技术及实例	271
一、分级燃烧技术在水泥厂的应用	271
二、SNCR 技术在水泥厂的应用	271
三、SCR 技术在水泥厂的应用	272
第五节 我国水泥窑减排 NO _x 进展	273
一、我国水泥行业 NO _x 排放现状	273
二、SNCR 脱硝技术应用研究	274
三、SNCR 脱硝技术应用实例	277
四、SCR 脱硝技术应用研究	278
第十二章 预分解窑系统热工标定实例与先进生产线实例	280
第一节 预分解窑系统的热工标定实例	280
一、2500t/d 水泥熟料生产线烧成系统热工标定报告实例	281
二、5000t/d 水泥熟料生产线烧成系统热工标定报告实例	294
第二节 我国预分解窑先进生产线实例	307
一、天瑞集团汝州水泥有限公司 2500t/d、5000t/d 熟料生产线	307
二、山东水泥集团安丘水泥有限公司 5000t/d 熟料生产线	312
三、宝鸡市众喜金陵河水泥有限公司 5000t/d 熟料生产线	315
四、河北燕赵水泥有限公司 5000t/d 熟料生产线	316
第三节 国外预分解窑先进生产线实例	317
一、巴西 Mare Cimento 水泥公司 Mizu 水泥厂 3000t/d 熟料生产线	317
二、沙特北方水泥公司 6000t/d 熟料生产线	319
三、阿联酋联合水泥公司 10000t/d 熟料生产线	323
参考文献	330



第一章 水泥熟料

第一节 水泥的发明

一、胶凝材料发展简史

胶凝材料是人类在生产活动中，伴随着社会生产力的发展而发展起来的。一般来说，凡能在物理、化学作用下，从具有可塑性的浆体逐渐变成坚固石状体的过程中，能将其他物料胶结为整体并具有一定机械强度的物质，统称为胶凝材料。

胶凝材料的发展史极为悠久，可追溯到人类史前时期。它先后经历了天然黏土、石膏-石灰、石灰-火山灰、天然水泥、硅酸盐水泥、多品种水泥等各个阶段。

远在新石器时代，距今 4000~10000 年，由于石器工具的进步，劳动生产力的提高，人类为了生存开始在地面挖穴建室居住。人们利用黏土和水后具有一定可塑性、干硬后有一定强度的胶凝性来砌筑简易的建筑物，有时还在黏土浆中掺入稻草、壳皮等植物纤维，以起到加筋增强的作用。但未经煅烧的黏土不抗水且强度低。黏土是最原始的、天然的胶凝材料。这个阶段可称为天然黏土时期。

随着火的发现，在公元前 2000~3000 年，人们学会利用煅烧所得的石膏或石灰拌制砂浆作为胶凝材料。例如古埃及的金字塔、狮身人首石像、我国著名的万里长城以及其他许多宏伟的古建筑等，都是用石膏、石灰作为胶凝材料砌筑而成的。这个时期可称为胶凝材料发展的石膏-石灰时期。

约在公元初期，人们又开始学会应用石灰-火山灰水硬性胶凝材料。人们发现在石灰中加入某些火山灰后不仅强度提高，而且抵抗水侵蚀的能力明显提高。例如，罗马的“庞贝”城以及罗马圣庙等著名古建筑都是用石灰-火山灰材料砌筑而成的。

虽然按今天科学家的眼光来看，它们只不过是黏土、石膏、气硬性石灰和火山灰，但这些原始的发现为现代水泥的发明奠定了基础。

18 世纪中叶，英国航海业已较发达，但船只触礁和撞滩等海难事故频繁发生。为避免

海难事故，采用灯塔进行导航。在建造灯塔的过程中，有英国土木之父之称的工程师史密顿（J. Smetetonf）发现掺有黏土的石灰石经过煅烧后获得的石灰具有水硬性，他第一次发现了黏土的作用，制成了“水硬性石灰”。这一发现是水泥发明过程中知识积累的一大飞跃，不仅对英国航海业做出了贡献，也对“波特兰水泥”的发明起到了重要作用。例如，英国伦敦港口的灯塔建设，就是用水硬性石灰作为建筑材料。随后又出现了“罗马水泥”（Roman Cement），它是将含有适量黏土的黏土质石灰石经过煅烧而成。“罗马水泥”凝结较快，可用于与水接触的工程，在英国曾得到广泛应用，一直沿用到被“波特兰”水泥所取代。在此基础上，发展到用天然水泥岩（黏土含量在20%~25%的石灰石）煅烧、磨细而制成天然水泥，这个阶段可称为天然水泥时期。

英国人福斯特（J. Foster）是一位致力于水泥的研究者。他将两份质量的白垩和一份质量的黏土混合后加水湿磨成泥浆，送入料槽沉淀，置沉淀物于大气中干燥，然后放入石灰窑内煅烧，温度以料中碳酸气完全挥发为准，烧成产品呈浅黄色，冷却后细磨成水泥。福斯特称该水泥为“英国水泥”（British Cement），于1822年10月22日获得英国第4679号专利。“英国水泥”由于煅烧温度较低，其质量明显不及“罗马水泥”，所以售价较低，销售量不大。这种水泥虽然未能被大量推广，但其制造方法已是现代水泥制造的雏形，是水泥知识积累中的又一次重大飞跃。

二、现代水泥的发明

1824年10月21日，英国利兹（Leeds）城的泥水匠阿斯普丁（J. Aspdin）获得英国第5022号“波特兰水泥”专利证书，从而一举成为流芳百世的水泥发明人。

他的专利证书上叙述的“波特兰水泥”制造方法是：“把石灰石捣成细粉，配合一定量黏土，掺水后以人工或机械搅和均匀成泥浆。置泥浆于盘上，加热干燥。将干料打击成块，然后装入石灰窑煅烧，烧至石灰石内碳酸气全部逸出。再将煅烧后的烧块冷却和打碎磨细，制成水泥。使用水泥时加入少量水分，拌和成适当稠度的砂浆，可应用于各种不同的工作场合。”

显然，水泥生产过程已经开始采用人工配料、高温煅烧再经磨细的方法生产水硬性胶凝材料，其煅烧温度已经达到使物料部分熔融，即产生烧结的程度。该水泥水硬化后的颜色类似英国波特兰地区建筑用石料的颜色，所以被称为“波特兰水泥”，在我国称为硅酸盐水泥。这种水泥含有硅酸钙，不但能在水中硬化，具有抗渗性，而且其强度也比较高，具有优良的建筑性能，在水泥史上具有划时代意义。1825~1843年修建的泰晤士河隧道工程是其首批大规模使用的实例。

在英国，与阿斯普丁同一时代的另一位水泥研究天才是强生（I. C. Johnson）。他是英国天鹅谷怀特公司的经理，专门制造“罗马水泥”和“英国水泥”。1845年，强生在实验中一次偶然的机会发现，煅烧到含有一定数量玻璃体的水泥烧块，磨细后具有非常好的水硬性。另外还发现，在烧成物中含有石灰石会使水泥硬化后开裂。根据这些意外的发现，强生确定了水泥制造的两个基本条件：第一是烧窑的温度必须高到足以使烧块含一定量玻璃体并呈墨绿色；第二是原料比例必须正确而固定，烧成物内部不能含过量石灰，水泥硬化后不能开裂。这些条件确保了“波特兰水泥”的质量，解决了阿斯普丁无法解决的质量不稳定问题。从此，现代水泥生产的基本参数已被发现。这个阶段可称为硅酸盐水泥时期，也可称为水泥的发明期。