

XINXING GANFA SHUINI JISHU

新型干法水泥技术

YUANLI

YU YINGYONG

原理与应用

陈全德 著

中国建材工业出版社

# 新型干法水泥技术原理与应用

陈全德 著

中国建材工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

新型干法水泥技术原理与应用/陈全德著. —北京:  
中国建材工业出版社, 2004.3  
ISBN 7-80159-564-5

I. 新… II. 陈… III. ①水泥—干法—生产工艺  
—理论②水泥—干法—生产工艺—应用 IV. TQ172.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 000472 号

## 内 容 简 介

发展新型干法水泥生产是实现中国水泥工业现代化的必由之路, 已越来越被人们清晰认识。本书从基本原理出发, 力求涵盖国内外 30 多年来新型干法水泥生产发展的理论基础和实践经验, 从原料入厂至水泥成品制成, 分 17 章就相关内容进行分析研究, 并重点对近年来国际水泥工业发展趋势及中国大型新型干法生产线的科技创新加以介评。

本书可供水泥工业界生产、科研、设计、管理人员阅读, 亦可作为高等院校有关专业学生的参考教材。

### 新型干法水泥技术原理与应用

陈全德 著

责任编辑: 宋斌

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: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 21.5

字 数: 550 千字

版 次: 2004 年 2 月第 1 版

印 次: 2004 年 2 月第 1 次

印 数: 1 ~ 3000 册

书 号: ISBN 7 - 80159 - 564 - 5/TU · 296

定 价: 45.00 元

---

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) 68345931

# 前 言

水泥工业诞生近 180 年以来，作为其生产的主要工艺：熟料煅烧和粉磨过程，已历经了多次重大技术创新，各项技术经济指标已达到相当高的水平。但是，作为水泥工业的主导产品——硅酸盐水泥，由于其使用方便，性能优良，又具有同地球环境和大气圈亲和共融的生态产品属性，至今仍是人类文明建设的基础材料，尚无更合适的材料可以替代。

过去水泥工业的生产过程，由于技术落后，天然资源、能源消耗高，生产效率和产品质量低，对环境污染严重，往往给人们留下一个“污染型”传统工业的印象。发达国家也尽力将其向落后地区转移。20 世纪中期，悬浮预热和预分解技术发明以来，给水泥工业注入了新技术、新活力。新型干法水泥生产，以悬浮预热和预分解技术为核心，迅速把现代科学技术和工业生产高新技术成就广泛地应用于水泥干法生产的全过程，使水泥生产全过程具有了高效、优质、低耗、符合环保要求和大型化、自动化的特征。同时，水泥工业特别是预分解窑具有的可以有效地降解利用其他工业产生的废渣、废料和有毒、有害危险废弃物的优异功能，赋予了水泥工业环境保护新的内涵，推动水泥工业向同环境协调的可持续发展的方向迈进。

新型干法水泥生产已成为当代水泥工业发展的主流和最先进的工艺。新型干法水泥技术涵盖了许多丰富的理论和科研成果，指导着水泥工业设计、研发、生产等工作不断完善、优化和提升。因此，作为科技工作者，在实际工作中必须掌握技术原理和科学规律，不但做到知其然，并且做到知其所以然，方可切实做好各项工作。

为了交流、传播新型干法水泥生产技术理论和应用成果，作者曾出版了《新型干法水泥生产技术》（1987 年由中国建筑工业出版社出版）、《水泥预分解技术与热工系统工程》（1998 年由中国建材工业出版社出版）等专著。自 20 世纪 90 年代中期以来，中国新型干法水泥生产进入了大型化和集约规模化快速发展时期，产业结构正在发生巨大变化和提升。为了适应新的发展形势和读者要求，本书一方面保留和深化原来两部专著的基础内容，另一方面力求涵盖国内外新型干法水泥技术的最新发展成果，并从机理和实践应用两个方面进行分析、介评。由于原料矿山，清洁生产，水泥包装与散装，废渣、废料、有毒有害危险废弃物降解利用以及环境协调性评价（LCA）等内容涉及特定专题，本书未做专门论述。由于水平所限，错误及不当之处在所难免，望读者批评指正。在此，特对提供宝贵资料的单位、专家、学者及对本书提供宝贵意见的吴兆正教授致以衷心感谢！

作者

2003.9

# 目 录

## 第 1 章 新型干法水泥技术概论

1.1	新型干法水泥技术的发展 .....	1
1.2	新型干法水泥生产的定义 .....	1
1.3	新型干法水泥技术涵盖的理论与成果 .....	2
1.4	新型干法水泥生产的特征 .....	3
1.5	新型干法水泥生产的客观规律 .....	4
1.6	“均衡稳定”是搞好新型干法生产的关键 .....	5
1.6.1	“均衡稳定”是提高原料预均化效果的要求 .....	5
1.6.2	“均衡稳定”是实现原料配料和烘干粉磨最优控制的必需 .....	6
1.6.3	“均衡稳定”是保持预分解窑最佳热工制度的前提 .....	6
1.6.4	“均衡稳定”是实现生产过程自动化的基础和目的 .....	6
1.6.5	“均衡稳定”是提高收尘设备效率的需要 .....	7
1.6.6	“均衡稳定”是降解利用再生燃料和废弃物的最佳条件 .....	7
1.7	发展新型干法生产是实现中国水泥工业现代化的必由之路 .....	7

## 第 2 章 原料预均化

2.1	原料预均化的意义及发展 .....	8
2.2	预均化基本原理与功能 .....	8
2.3	预均化堆场的类型 .....	9
2.4	预均化效果的评价方法 .....	9
2.5	原料预均化堆场的选用条件 .....	12
2.6	煤炭预均化堆场的选用条件 .....	12
2.7	预均化堆场布置形式与比较 .....	12
2.7.1	矩形预均化堆场 .....	12
2.7.2	圆形预均化堆场 .....	13
2.7.3	其他形式堆场 .....	14
2.7.4	矩形和圆形预均化堆场的比较 .....	14
2.8	预均化堆场堆料方式 .....	14
2.8.1	人字形堆料法 .....	15
2.8.2	波浪形堆料法 .....	15
2.8.3	水平层堆料法 .....	15
2.8.4	横向倾斜层堆料法 .....	15
2.8.5	纵向倾斜层堆料法 .....	16

2.8.6	人字形与纵向倾斜层相结合的连续堆料法	16
2.8.7	其他堆料法	16
2.9	预均化堆场的取料方式	16
2.9.1	端面取料	17
2.9.2	侧面取料	17
2.9.3	底部取料	17
2.10	堆料机的分类	17
2.10.1	天桥(顶部)皮带堆料机	17
2.10.2	悬臂式皮带堆料机	17
2.10.3	桥式皮带堆料机	18
2.10.4	耙式堆料机	18
2.10.5	各种堆料机的比较	18
2.11	取料机的分类	19
2.11.1	桥式刮板取料机	19
2.11.2	桥式圆盘取料机	20
2.11.3	耙式取料机	20
2.11.4	叶轮式取料机	21
2.11.5	各种取料机的比较	22
2.12	影响预均化效果的主要因素	22
2.12.1	原料成分呈非正态分布的影响及防止措施	22
2.12.2	物料离析作用的影响及防止措施	23
2.12.3	料堆端锥影响及防止措施	23
2.12.4	堆料机堆料不匀的影响及防止措施	23
2.12.5	堆料总层数的影响及优化措施	24

### 第3章 生料均化技术

3.1	生料均化的重要作用	25
3.2	生料均化库的发展	25
3.3	生料均化原理	26
3.4	间歇式均化库	26
3.5	双层式均化库	27
3.6	连续式均化库	27
3.7	多料流式均化库	28
3.7.1	IBAU型中心室均化库	29
3.7.2	CF型控制流式均化库	29
3.7.3	MF型多料流式均化库	30
3.7.4	TP型多料流式均化库	31
3.7.5	NC型多料流式均化库	31
3.8	生料均化库选型原则	32
3.9	各种类型均化库的比较	32

3.10 影响均化效果的常见因素 .....	33
3.10.1 充气装置故障影响及防止措施 .....	33
3.10.2 生料物性变化影响及防止措施 .....	34
3.10.3 压缩空气或高压风质量变化的影响及防止措施 .....	34
3.10.4 其他机电设备事故影响及防止措施 .....	34
3.10.5 影响连续式均化库均化效果的其他因素及防止措施 .....	34

## 第4章 生料粉磨技术

4.1 生料粉磨作业的功能和意义 .....	36
4.2 粉磨的基本原理 .....	36
4.2.1 第一粉碎原理——粉碎表面积原理 .....	36
4.2.2 第二粉碎原理——粉碎容积或重量原理 .....	37
4.2.3 第三粉碎原理——邦德粉磨工作指数原理 .....	37
4.3 现代生料粉磨技术发展的特点 .....	39
4.4 风扫磨系统 .....	40
4.5 尾卸提升循环磨系统 .....	41
4.6 中卸提升循环磨系统 .....	42
4.7 辊式磨（立磨）系统的发展 .....	43
4.8 国际上五种主要类型辊式磨结构特点 .....	44
4.9 中国辊式磨的发展与特点 .....	45
4.10 辊式磨的基本工艺流程及选用条件 .....	45
4.11 其他粉磨系统 .....	46
4.12 生料粉磨系统的调节控制 .....	48
4.12.1 原料配料控制 .....	48
4.12.2 磨机负荷控制 .....	49
4.12.3 磨机系统温度控制 .....	50
4.12.4 磨机系统压力控制 .....	50
4.12.5 磨机开车喂料程序控制 .....	50
4.12.6 辊式磨的自动调节控制系统 .....	50

## 第5章 水 泥 粉 磨

5.1 水泥粉磨的功能和意义 .....	52
5.2 现代水泥粉磨技术发展的特点 .....	52
5.3 闭路钢球磨系统 .....	53
5.4 开流钢球磨系统 .....	54
5.5 康比丹磨 .....	54
5.5.1 康比丹磨的隔仓板 .....	55
5.5.2 康比丹磨与普通磨机的比较 .....	56
5.6 辊式磨在水泥粉磨系统的应用 .....	56
5.7 辊压机粉磨系统的发展 .....	57

5.8	几种辊压机水泥粉磨工艺方案	57
5.8.1	预粉磨系统	58
5.8.2	混合粉磨系统	58
5.8.3	联合粉磨系统	58
5.8.4	半终粉磨系统	58
5.8.5	终粉磨系统	58
5.9	水泥辊压机终粉磨研发进展	59
5.10	其他挤压粉磨系统	60
5.10.1	水平辊磨	60
5.10.2	Cemax 磨及 HXL 型筒辊磨	62
5.10.3	环形磨	62
5.11	打散机及打散分级机	62
5.12	选粉机	62
5.12.1	离心式选粉机	63
5.12.2	旋风式选粉机	64
5.12.3	O-SEPA 型高效选粉机	65
5.12.4	国外其他类型选粉机	66
5.12.5	中国新型高效选粉机	70
5.12.6	各种选粉机的分析评价	71
5.13	各种辊压粉磨工艺方案的分析评价	72
5.14	水泥产品的质量控制	74
5.15	闭路粉磨工艺中选粉机选粉质量控制	74
5.16	关于细粉颗粒分布 RRSB 方程的应用	75
5.17	关于颗粒形貌分析	76

## 第 6 章 悬浮预热技术

6.1	悬浮预热技术的内涵	81
6.2	悬浮预热技术的优越性	81
6.3	悬浮预热窑的特点	81
6.4	悬浮预热器的构成及功能	81
6.5	早期悬浮预热器的分类	82
6.6	旋风筒的功能与机理	83
6.7	新型旋风筒的结构优化改进	84
6.8	中国研发的新型旋风筒	86
6.8.1	TC 型新型旋风筒	86
6.8.2	NC 型新型旋风筒	86
6.9	旋风筒直径与断面	86
6.10	旋风筒进风口形式与结构	87
6.11	旋风筒内筒结构	87
6.12	换热管道结构与功能	88



6.13	换热管道中撒料装置的作用及结构	88
6.14	换热管道中锁风翻板排灰阀的作用及结构	89

## 第7章 预分解技术

7.1	预分解技术的内涵	91
7.2	预分解窑的特点	91
7.3	预分解技术的发展	91
7.4	预分解窑的关键技术装备	93
7.5	预分解窑与其他类型水泥窑的区别	93
7.6	分解炉内气、固流运动方式及功能	94
7.7	分解炉的分类	95
7.7.1	按制造厂名分类	95
7.7.2	按分解炉内气流的主要运动形式分类	95
7.7.3	按全窑系统气体流动方式分类	96
7.7.4	按分解炉与窑、预热器及主风机匹配方式分类	100
7.8	SF、N-SF、C-SF型系列分解炉的发展	101
7.8.1	SF型分解炉	102
7.8.2	N-SF型分解炉	102
7.8.3	C-SF (CHICHIBU-SF)型分解炉	103
7.8.4	SF、N-SF、C-SF系列分解炉型分析评价	104
7.9	RSP型系列分解炉的发展	105
7.9.1	RSP型分解炉的特点	105
7.9.2	RSP新炉型	106
7.9.3	RSP系列分解炉型分析评价	107
7.10	MFC型系列分解炉的发展	108
7.10.1	MFC型分解炉的特点	109
7.10.2	N-MFC型预分解系统的特点与改进	110
7.10.3	MFC系列分解炉型分析评价	111
7.11	FLC型系列分解炉的发展	111
7.11.1	FLS型上行式喷腾分解炉的特点	112
7.11.2	FLS型预分解窑的分类及特性	113
7.11.3	离线(或称异线)分解炉(SLC)窑	114
7.11.4	同线分解炉(ILC)窑	115
7.11.5	半离线型分解炉(SLC-S)窑	115
7.11.6	半离线两区段型分解炉(SLC-S <sub>x</sub> )窑	115
7.11.7	离线下引式分解炉(SLC-D)窑	116
7.11.8	使用窑内过剩空气的同线分解炉(ILC-E)窑	116
7.11.9	FLS系列炉型分析评价	117
7.12	普列波尔(Prepol)及派洛克朗(Pyroclon)型系列分解炉的发展	117
7.12.1	普列波尔型炉系列分类	118

7.12.2	P-AT (Prepol-Air Through) 型炉	118
7.12.3	P-AS (Prepol-Air Separate) 型炉	118
7.12.4	P-AS-LC (P-AS-Low-Grade Combustion) 型炉	118
7.12.5	P-AS-CC (P-AS-Combustion Chamber) 型炉	119
7.12.6	P-AS-MS (P-AS-Multi Stage Combustion) 型炉	119
7.12.7	派洛克朗型炉系列分类	119
7.12.8	P-S (Pyroclon-Special) 型炉	120
7.12.9	P-R (Pyroclon-Regular) 型炉	120
7.12.10	P-R-SFM (Pyroclon Regular-Special Fuels Materials) 型炉	120
7.12.11	P-RP (Pyroclon-Regular Parallel) 型炉	121
7.12.12	Pyroclon-R-Low NO <sub>x</sub> 型炉	121
7.12.13	PYROTOP 型炉	121
7.12.14	Pyroclon 炉系统对块状燃料及有毒有害废弃物的降解利用	122
7.12.15	普列波尔及派洛克朗系列炉型分析评价	123
7.13	DD 型分解炉的发展	123
7.13.1	DD 炉的特点	123
7.13.2	DD 型炉分析评价	125
7.14	KSV 型系列分解炉的发展	125
7.14.1	KSV 炉的特点	125
7.14.2	N-KSV 炉的特点	126
7.14.3	KSV 系列炉型分析评价	127
7.15	交叉料流型预分解法系列的发展	127
7.15.1	SCS 法 (RC 型炉)	127
7.15.2	PASEC 法 (SEPA 型炉)	128
7.15.3	交叉料流型预分解法系列分析评价	130
7.16	其他类型分解炉	130
7.17	中国预分解技术的发展	130
7.17.1	TDF 型炉的特点	131
7.17.2	TSD 型炉的特点	131
7.17.3	TWD 型炉的特点	132
7.17.4	TFD 型炉的特点	132
7.17.5	TSF 型炉的特点	132
7.17.6	NC-SST (或称 NST) 型炉的特点	132
7.17.7	CDC 型炉的特点	133
7.18	国内外预分解技术发展评析	134
7.19	分解炉型及结构的分析评价	135
7.20	分解炉与窑连接方式的分析评价	137
7.21	分解炉的燃料、生料及风管设置的分析评价	138
7.22	分解炉内燃烧环境的分析评价	138
7.23	分解炉系统阻力、热负荷及 NO <sub>x</sub> 排放浓度等技术性能的分析评价	138

7.24	中国新型分解炉系列分析评价 .....	139
7.25	国内外几种基本分解炉型结构性能综合对比 .....	139
7.26	预分解窑系统中碱、硫、氯等有害成分的富集及危害 .....	146
7.27	预分解窑系统的黏结堵塞故障 .....	146
7.28	预分解窑的旁路放风系统 .....	147
7.29	防止黏结堵塞的其他措施 .....	149
7.30	预防预分解窑黏结堵塞故障的最新科研成果 .....	149

## 第 8 章 回 转 窑

8.1	回转窑的功能 .....	150
8.2	回转窑的发展历程 .....	150
8.3	回转窑系统各反应带内物料的物理化学反应进程 .....	151
8.4	不同窑系统反应带的形成与划分 .....	152
8.5	水泥窑“两个热系统”理论为悬浮预热和预分解窑发展提供了理论基础 .....	153
8.6	湿法窑熟料煨烧进程 .....	154
8.7	立波尔窑熟料煨烧进程 .....	155
8.8	悬浮预热窑熟料煨烧进程 .....	155
8.9	预分解窑熟料煨烧进程 .....	155
8.10	短型预分解窑熟料煨烧进程 .....	156
8.11	各种类型回转窑熟料煨烧进程分析 .....	157
8.12	窑内物料煨烧进程的控制 .....	157
8.12.1	窑内物料填充率 .....	157
8.12.2	窑的斜度 .....	157
8.12.3	窑的转速 .....	159
8.12.4	窑内物料负荷率、滞留时间与运动速度之间关系及计算方法 .....	160

## 第 9 章 熟 料 冷 却 机

9.1	熟料冷却机的功能及发展 .....	161
9.2	熟料冷却机作业原理 .....	161
9.3	冷却机性能评价指标 .....	162
9.4	熟料冷却机的分类及其发展 .....	163
9.5	单筒冷却机 .....	164
9.6	多筒冷却机 .....	165
9.7	篦式冷却机的分类及其发展 .....	166
9.8	富勒型推动篦式冷却机 .....	167
9.9	福拉克斯型推动式篦冷机 .....	168
9.10	克劳迪斯-彼得斯型推动式篦冷机 .....	169
9.11	第三代新型控流推动式篦冷机 .....	169
9.12	各种阻力篦板 .....	170
9.13	KHD 公司 PYROSTEP 型篦冷机 .....	171

9.14	伯力休斯瑞波尔 (REPOL) RS 型篦冷机	173
9.15	克劳迪斯-彼得斯公司带有凹槽篦板的第三代篦冷机	174
9.16	F.L.Smith 公司 COOLAX 型篦冷机	176
9.17	中国天津院 TC 型第三代篦冷机	177
9.18	中国南京院 NC-Ⅲ型第三代篦冷机	179
9.19	SF 型推动棒式第四代篦冷机	180
9.20	IKN 悬摆式篦冷机	180
9.21	各种熟料冷却机的分析评价	181

## 第 10 章 煤粉制备及燃烧器

10.1	煤粉制备及燃烧器的重要作用	184
10.2	固体燃料的分类	184
10.3	影响煤粉燃烧的主要因素	185
10.4	中国新旧煤质测试标准中符号对照表	187
10.5	煤炭各种基的换算系数	187
10.6	煤炭的实际成分与不同表示方法	188
10.7	煤的发热量的各种计算公式	188
10.8	预分解窑系统煤粉燃烧进程	189
10.9	燃料特性及燃烧性能研究内容和意义	190
10.9.1	煤的着火温度	191
10.9.2	煤的反应指数	192
10.9.3	煤的熄火温度	192
10.9.4	煤的静态燃烧实验	192
10.9.5	煤的动态燃烧实验	192
10.9.6	煤的可燃性指数的测试与计算	193
10.9.7	煤的易燃性指数及燃尽度定义与测定	194
10.9.8	煤的粘结指数测定	194
10.10	窑与分解炉内加速燃料燃烧的控制措施	194
10.11	煤粉制备装备及其同窑的连接方式	195
10.11.1	煤粉粉磨设备	195
10.11.2	煤磨系统与窑的连接方式	196
10.12	钢球煤磨直接燃烧系统	196
10.13	钢球煤磨带有中间仓的非直烧系统	196
10.14	集中煤磨系统	197
10.15	在惰性气体中粉磨煤粉的系统	197
10.16	辊式磨直接燃烧系统	197
10.17	辊式磨间接燃烧系统	198
10.18	辊式磨半直接燃烧系统	198
10.19	燃煤入厂后的管理	198
10.19.1	煤的检验和贮存	198

10.19.2	煤的烘干	198
10.19.3	煤粉的计量与喂料装置	199
10.19.4	煤粉的输送	200
10.20	煤粉制备系统的安全生产	200
10.20.1	煤粉制备过程中常见的事故	200
10.20.2	防爆管理与措施	200
10.21	多风道煤粉燃烧器的功能	201
10.22	三风道燃烧器	201
10.23	PYRO-JET型燃烧器	202
10.24	Centrax型燃烧器	205
10.25	Rotaflam型燃烧器	205
10.26	TC型系列燃烧器	207
10.27	分解炉用多风道燃烧器	208
10.28	各种燃料燃烧器的分析评价及选用原则	209
10.28.1	燃料燃烧器历次改进要点	209
10.28.2	技术改进主要措施	209
10.28.3	多风道燃烧器的特点	209
10.28.4	各种类型燃料燃烧器的选用原则	209

## 第 11 章 耐 火 材 料

11.1	耐火材料在水泥工业生产中的重要作用	213
11.2	耐火材料的主要性能	213
11.2.1	耐火度	213
11.2.2	气孔率、密度、吸水率	214
11.2.3	常温耐压强度	216
11.2.4	高温结构强度	216
11.2.5	高温体积稳定性——重烧线变化，亦称残存收缩或膨胀	217
11.2.6	热震稳定性——温度急变抵抗性	217
11.2.7	抗侵蚀性	217
11.2.8	热传导性	217
11.2.9	热膨胀系数	218
11.2.10	耐磨性	218
11.2.11	电传导性	218
11.2.12	制品形状和尺寸的准确度	218
11.3	水泥工业常用的耐火材料及发展	219
11.3.1	黏土砖	219
11.3.2	高铝砖	219
11.3.3	磷酸盐结合高铝质窑衬砖	219
11.3.4	镁砖	220
11.3.5	聚磷酸钠结合镁砖	220

11.3.6	白云石砖	221
11.3.7	镁铬砖	221
11.3.8	普通镁铬砖	221
11.3.9	直接结合镁铬砖	221
11.3.10	镁铝尖晶石砖	221
11.3.11	镁铁尖晶石砖	222
11.3.12	耐碱砖	222
11.3.13	隔热材料	222
11.3.14	耐火浇注料	222
11.4	新型干法水泥生产对耐火材料的要求	224
11.4.1	窑内热负荷对衬料耐久性的影响	224
11.4.2	窑系统耐火材料承受的应力	224
11.4.3	窑系统各部位对耐火材料的要求	225
11.4.4	对窑衬的加热升温要求	227
11.4.5	窑衬砌筑技术	227

## 第 12 章 原料及生料特性研究

12.1	原料特性研究的内容及作用	229
12.1.1	差热分析对石灰石反应温度的研究	229
12.1.2	X 射线衍射对石灰石矿物的研究	230
12.1.3	X 射线对黏土质及砂质原料矿物的研究	231
12.1.4	透射电镜对石灰石矿物形貌的研究	231
12.1.5	透射电镜对黏土质及砂质原料矿物形貌的研究	235
12.1.6	电子探针对石灰石杂质微区分布的研究	238
12.1.7	对石灰质及黏土质、砂质原料研究结果分析	239
12.2	生料易烧性能研究的内容与作用	240
12.2.1	生料易烧性的定义	240
12.2.2	丹麦 Christensen 等人提出的计算生料易烧性指标 ( $X$ ) 的实验 相关参考公式	240
12.2.3	中国国家标准规定的生料易烧性试验方法	240
12.2.4	几种生料的易烧性试验	241
12.3	生料差热分析研究的内容与作用	241
12.4	熟料煨烧试样的 X 射线衍射研究的内容与作用	242
12.5	熟料煨烧试样扫描电子显微镜研究的内容与作用	242
12.6	生料的分解特性研究	244
12.7	几种生料易烧性能试验方法对比	245

## 第 13 章 熟料矿物成分优化设计

13.1	熟料矿物成分设计的重要意义及发展	246
13.2	熟料成分设计的理论分析	247

13.3	硅酸三钙是熟料优良品质的源泉 .....	248
13.4	硅酸盐矿物是熟料优良品质的保证 .....	249
13.5	熔媒矿物的作用 .....	249
13.6	预分解窑同湿法窑物料加热进程对比 .....	250
13.7	预分解窑同湿法窑物料物理化学反应进程对比 .....	250
13.8	预分解窑同湿法窑煅烧制度对比 .....	251
13.9	预分解窑同湿法窑燃料喂人和煤灰掺入方式及均化作用对比 .....	252
13.10	预分解窑同湿法窑对不同配料方案适应性对比 .....	253
13.11	预分解窑同其他窑型煅烧特征对比 .....	254
13.12	对预分解窑熟料成分优化设计的建议 .....	256

## 第 14 章 冷态模型试验及计算流体力学技术应用

14.1	冷态模型试验的作用 .....	258
14.2	相似原理与模型试验 .....	258
14.2.1	相似原理应用及应遵守的条件 .....	259
14.2.2	流体运动方式与雷诺数 .....	260
14.2.3	其他相似准数 .....	261
14.3	冷模试验内容与作用 .....	263
14.3.1	冷模试验的假设条件 .....	263
14.3.2	分解炉冷模试验基本流程 .....	263
14.3.3	分解炉内气体三维流场测定方法 .....	263
14.3.4	分解炉内阻力测定方法 .....	264
14.3.5	分解炉内物料滞留时间分布测定方法 .....	264
14.4	冷模试验科研应用实践 .....	265
14.4.1	气体流场测定 .....	266
14.4.2	阻力特性测定 .....	266
14.4.3	物料滞留时间测定 .....	267
14.4.4	对 LZ-SLC 型分解炉工作特性的分析与建议 .....	268
14.5	计算流体动力学 (CFD) 技术 .....	269
14.6	中国水泥工业 CFD 技术的发展 .....	270

## 第 15 章 热工系统工程研究

15.1	热工系统工程研究的内容及作用 .....	273
15.1.1	现场热态系统测试 (热工标定) 研究内容及作用 .....	273
15.1.2	反求工程计算与研究的内容与作用 .....	274
15.1.3	反求计算方法与步骤 .....	275
15.1.4	焓分析方法的作用和意义 .....	277
15.1.5	焓平衡计算方法与研究内容 .....	281
15.2	几种窑型热工系统工程研究实例 .....	283
15.2.1	热工标定物料平衡及热平衡计算结果 .....	283

15.2.2	反求工程计算结果 .....	286
15.2.3	回转窑生产能力的分析研究 .....	292
15.2.4	分解炉生产能力的分析研究 .....	294
15.2.5	篦冷机生产能力的分析研究 .....	295
15.2.6	预热分解系统各部位风速的分析研究 .....	297
15.2.7	各级旋风筒分离效率及其匹配的分析研究 .....	300
15.2.8	预热分解系统换热功能及其匹配的分析研究 .....	301
15.2.9	预热分解系统分解功能分布的分析研究 .....	303
15.2.10	关于分解炉内气固滞留时间的分析研究 .....	305
15.2.11	关于熟料热耗的分析研究 .....	308

## 第 16 章 预分解窑调节控制与工艺故障预防处理

16.1	预分解窑系统的调节控制原则 .....	309
16.2	预分解窑生产中重点监控的主要工艺参数 .....	309
16.3	预分解窑工艺控制的自动调节回路 .....	312
16.4	计算机调节控制的内容与功能 .....	312
16.4.1	计算机调节控制实例 .....	313
16.4.2	窑系统调控参数及控制程序实例 .....	313
16.5	预分解窑开窑点火操作 .....	315
16.5.1	回转窑的点火操作 .....	315
16.5.2	分解炉的点火与投料操作 .....	316
16.5.3	窑系统点火升温制度 .....	316
16.6	预分解窑异常状况调控及故障处理 .....	317

## 第 17 章 生态环境材料型水泥工业内涵与展望

17.1	地球环境与社会可持续发展 .....	320
17.2	生态环境材料型水泥产业是发展的必由之路 .....	320
17.3	生态环境材料名称的来源 .....	321
17.4	生态环境材料的定义 .....	321
17.5	生态环境材料的判据 .....	321
17.6	环境材料协调性评价方法—LCA 法 .....	322
17.7	新型干法生产具有的生态环境材料特征 .....	323
17.8	新型干法是建设环境材料型水泥工业的切入点和支柱 .....	325



# 第 1 章 新型干法水泥技术概论

## 1.1 新型干法水泥技术的发展

自 20 世纪 50 年代初期德国洪堡公司 (KHD) 研制成功悬浮预热窑、70 年代初期日本石川岛公司 (IHI) 发明预分解窑以来, 水泥工业熟料煅烧技术获得革命性突破, 并推动水泥生产全过程的技术创新。50 多年来, 新型干法水泥生产技术发展已经历了五大阶段。

第一阶段: 20 世纪 50 年代初期至 70 年代初期。

伴随悬浮预热技术突破并成功应用于工业生产, 新型干法水泥生产诞生, 并随着悬浮预热窑的大型化而发展。

第二阶段: 20 世纪 70 年代初期至中、后期。

伴随预分解窑诞生与发展, 新型干法水泥技术向水泥生产全过程发展。同时, 随着预分解技术日趋成熟, 各种类型的旋风预热器与各种不同的预分解方法相结合, 发展成为许多类型的预分解窑。在本阶段中, 悬浮预热窑的发展优势逐渐被预分解窑所替代。但是, 必须认识到悬浮预热窑是预分解窑的母体, 预分解窑是悬浮预热窑发展的更高阶段。至今各种新型旋风预热器在预分解窑发展的同时, 仍在继续发展完善, 发挥着重要作用。

第三阶段: 20 世纪 70 年代中后期至 80 年代中期。

1973 年国际石油危机之后, 油源短缺, 价格上涨, 许多预分解窑被迫以煤代油, 致使许多原来以石油为燃料研发的分解炉难以适应。通过总结改进, 各种第二代、第三代分解炉应运而生, 改善和提高了预热分解系统的功效。

第四阶段: 20 世纪 80 年代中期至 90 年代中期。

随着悬浮预热和预分解技术日臻成熟, 预分解窑旋风筒—换热管道—分解炉—回转窑—篦冷机 (简称筒—管—炉—窑—机) 以及挤压粉磨, 和同它们配套的耐热、耐磨、耐火、隔热材料, 自动控制, 环保技术等全面发展和提高, 使新型干法水泥生产的各项技术经济指标得到进一步优化。

第五阶段: 20 世纪 90 年代中期至今。

生产工艺得到进一步优化, 环境负荷进一步降低, 并且成功研发降解利用各种替代原、燃料及废弃物技术, 以新型干法生产为切入点和支柱, 水泥工业向生态环境材料型产业转型。

## 1.2 新型干法水泥生产的定义

新型干法水泥生产, 就是以悬浮预热和预分解技术为核心, 把现代科学技术和工业生产最新成就, 例如: 原料矿山计算机控制网络化开采, 原料预均化, 生料均化, 挤压粉磨, 新型耐热、耐磨、耐火、隔热材料以及 IT 技术等广泛应用于水泥干法生产全过程, 使水泥生产具有高效、优质、节约资源、清洁生产、符合环境保护要求和大型化、自动化、科学管理特征的现代化水泥生产方法。