

[美] 沃尔特·H·杜达著

石必孝 译

cement data- book

国际先进水泥工艺与装备手册

武汉工业大学出版社

国际先进水泥工艺与装备手册

[美] 沃尔特·H·杜达兹

石必孝 译

武汉工业大学出版社

本书汇集了近代各国水泥工业的生产方法、工艺布置和机械设备等方面的大量资料,其中包括水泥原料预均化和生料均化技术、粉磨工艺和烧成工艺的最新进展情况,经作者提炼整理,着重于基本原理、计算公式及各种实用数据图表的介绍,内容叙述简明,是一本手册性的国际水泥工艺技术资料专集。

本书可供水泥工业生产、科研、设计人员日常工作查阅,亦可供大专院校师生教学参考。

本书由石必孝翻译,卢善全、石昌和整理。

Walter H. Duda

CEMENT-DATA-BOOK

International Process Engineering in the Cement Industry

3rd Edition

BAUVERLAG GMBH, WIESBADEN, BERLIN (West Germany)

(-1985-)

* * *

国际先进水泥工艺与装备手册

石必孝 译

*

武汉工业大学出版社出版发行(武昌珞狮路14号)

湖北省黄石市软科学应用技术研究所以微光照排

黄冈日报印刷厂印刷

※

开本:787×1092毫米 1/16 印张:29.75 字数:761千字

1989年12月第一版 1989年12月第一次印刷

印数:1-3000册 定价:16.00元

ISBN7-5629-0436-7/TQ·29

译文前言

提起 Cement-Data-Book,我国广大水泥科技工作者都会很熟悉,早在 1981 年,中国建筑业出版社就曾以《国际水泥工艺资料集》(增订二版)为名出版中译本,先后印行两次仍不能满足广大读者需求。1985 年,联邦德国建筑出版有限公司又出版了该书的增订第三版,内容较前版大为丰富,并增加了 1/3 的篇幅。现在,我们与武汉工业大学出版社合作,将这本流行于各国水泥界的好书再次翻译出版,把它奉献给我国广大水泥科技工作者。新版中译本的翻译工作仍请华新水泥厂石必孝高级工程师担任。

自该书第二版于 1977 年问世以来,特别是进入 80 年代以后,世界各国水泥工业的窑外分解技术都有了巨大的进展,生产设备也有很大改进,随着能源供应的紧张,世界各国烧煤的回转窑显著增加,劣质资源的利用和环境保护、安全生产等越来越受到重视,各国新的标准、法规也不断产生。有鉴于此,原书作者 Walter H. Duda 又收集各国新的资料,在原书基础上增订为第三版,并将 Cement-Data-Book 扩充为三卷本,使这本资料集的内容更加系统完善。

本书的主要特点是资料丰富,内容实用。书中不仅广泛收集了世界上水泥工业发达、技术先进的国家的大量资料,而且也吸收了发展中国家有益的经验,基本上反映了有代表性的不同国家的情况,使读者的眼界超出了一国或几国的范围,可向国际上的同行们学习到新的东西和好的工作经验。本书的另一特点是叙述简明,使用方便。作者将大量的资料加以提炼,综合整理,着重于基本原理、计算公式和实用图表的介绍,成为一本手册性的国际水泥资料专集。

我国的水泥工业正处在发展、提高阶段,吸收国际上的先进技术和经验仍然是我国水泥科技工作者的重要任务,我们希望本书能在这方面起到一点积极的作用。

华新水泥厂

1990 年 10 月

第三版前言

水泥资料集第一卷第一版和第二版的指导原则是从多方面叙述国际上闻名的生产工艺和机械装备,让水泥工程师们能够评价许多可以利用的可能性。这个目标也为水泥资料集的第一卷第三版所保持。

本书第一版和第二版分别于1976年和1977年付印以来,推广预分解工艺取得了重要的进展。

用煤煅烧的回转窑显著增加以后,在许多国家里还推行了新的安全规程。

在水泥工业已经使用多年的机器装备中,好多项目已由机械制造厂加以改进,使它们达到了最新的技术水平。

水泥资料集第一卷第二版自1977年出版以来,美国的水泥工业分别采纳了米制和标准国际制作为测量的标准。

所有这些新的情况都已编入了第三版中,英文版里老的美国测量制基本上都由米制所取代。

在本卷一、二、三版的开始两章里,都论述了矿物和生料成分的计算。这些数据、公式和计算都是基于长期的实际经验,并且数十年来为水泥界所熟知。它们形成了水泥工程师和化学家专业知识的基础。然而,节省燃料的煅烧工艺系统被推广以来,它们的重要性又增加了。过去,在操作长回转窑时,还有可能允许石灰饱和率和硅铝比有较大的波动。今天,在采用节省燃料的煅烧工艺系统时,这种较大的偏差就会增加热耗,而且还有可能导致往往是相当大的操作困难。任何电子控制装置或者窑系统的自动化,不管它是否达到了象水泥资料集第二卷所描述的那样技术先进和最新水平,都不能补偿对生料成分的忽视。

感谢所有水泥机械制造厂的合作并提供资料。没有他们的合作就很难使这本书达到现代化水平。感谢我的朋友乔·H·赫茨(Joe H. Herz),感谢他指导和帮助我们取得许多有关这方面的资料。还要感谢鲍弗拉格(Bauverlag)出版社的工作人员,感谢他们的许多宝贵建议。对发行人为了使水泥资料集第一卷第三版能够精致出版所给予的精心专注,必须加以表扬。

沃尔特·H·杜达(Walter H. Duda)

于美国宾夕法尼亚州阿伦市

第二版前言

本书第一版出版以后,几个月就售完了。读者对本书提出的一些增补要求,已由世界各地的许多专家作了回答,我们对此表示感谢。由于得到了这些资料的帮助,才有可能决定扩充为本书的第二版,使它成为国际水泥工业能够持续较久的一本参考书。

作者和出版者

初版前言

写这本水泥资料集的目的,是为了对当代国际水泥工业所采用的各种生产方法、工艺布置和机械装备作出多方面的简要说明。特别注重了各种图、表和数据。这本专集本来的目的是为水泥工程技术人员提供迅速答疑的基本数据。

不打算对各种生产方法作出评价,因为就国际观点而言,这是不可能的。鉴于地理、技术和经济各方面的条件不一样,一些不同生产能力的特定水泥厂,其生产方法和布置,在一个国家里被证实是令人满意的,而在另一地区并不一定可取。本书所引述的只限于成为事实加以确认无疑的那些特性、应用范围或限度。考虑到这本专集的篇幅,删去了那些对将来失去重要性的生产方法。同样地,把那些早期发展阶段的生产方法也省略了,免得那些新的研究成果反被忽视。

本书编辑时对来自英语、德语和斯拉夫语的参考文献给以同等重视,也同样注意来自法语和日语的资料。

同时,希望这本水泥资料集能促进国际间水泥工业方面的经验、数据、计算方法等方面的交流,并尽量减少语言方面,特别是那些地区性的独特语言的困难。

根据建筑出版公司的建议,这本专集用英、德两种文字并列。这对于懂得水泥工业技术词汇的德语和英语读者都会有所帮助。

德语本的数据、公式和计算例题主要都用公制。英文本则采用美国习用的度量衡制,这里只采用在使用公制的国家里水泥工业中常用的那些公制单位,其它公制单位就不采用。由于有些国家是把公制和美国惯用的度量衡制同时并用的,因此,把这两种制度互相对照,可能会帮助水泥专家们学会应用一种不习惯的或不太熟悉的度量衡制。

为了保持两种文本的一致性,本书所用的计数分组方法一律采用美制,以逗号(,)作为千位的符号^①,用黑点(.)把整数与小数分开。

鉴于当前世界能源危机的形势,对“水泥工业用燃料”这一章作了特别详细的论述。对于水泥工业指望在多种情况下用煤来代替燃料油,以及对煤粉燃烧的应用,都作了充分的讨论。在“发展中的粉磨方法”这一章里,介绍了可能推动能量节约进一步发展的粉磨方法。

沃尔特·H·杜达
于美国宾夕法尼亚州,阿伦布

^① 中译本不采用千位符号。——译注

出版者的话

这本作为多年工作成果的专集,在它尚未出版之前就引起了人们异常大的兴趣。它的独特之处,是作者对参考文献进行了大量有准备的评价,并包罗了许多往往只为局部地区所知道和应用的一些专门技术报告、计算方法和生产方法。这样,它为不同语言的、不同工作地区的水泥专家之间互通情报和讨论各个领域的经验,作出了重要的贡献。这在一定程度上增加了这本专集的重要性,也有助于读者理解外国同行们的思想方法和工作方法。

为了保持这本专集的适当篇幅,只选用了那些对日常工作具有重要性的资料。但也有些资料并不是经常普遍用到的。如果想要得到更加详尽的资料,就必须参考原著。

请读者们为这本专集的增补和改进提出建议,以便再版时加以考虑。意见和建议可以寄交出版者或本书作者。

建筑出版有限公司

D6200 威斯巴登

邮政信箱 1460

联邦德国

目 录

1. 原 料

1-1 石灰质原料	1
1-1-1 石灰石	1
1-1-2 白垩	1
1-1-3 泥灰岩	1
1-2 粘土质原料	2
1-3 校正原料	4
1-4 水泥原料的次要组分	4
1-4-1 氧化镁	4
1-4-2 碱	4
1-4-3 硫	5
1-4-4 氯化物	6
1-4-5 氟化物	6
1-4-6 磷	6
1-5 波特兰水泥熟料的矿物相	6
1-6 潜在熟料矿物组成	8
1-7 水泥率值	9
1-7-1 水硬率	9
1-7-2 硅氧率	10
1-7-3 铝氧率	10
1-8 石灰公式	10
1-8-1 石灰饱和系数	10
1-8-2 石灰标准值	11
1-9 其它率值	12

2. 生料成分的计算

2-1 混合交叉法	14
2-2 根据水硬率计算	14
2-3 根据石灰饱和系数计算	16
2-4 用石灰饱和系数和硅氧率计算	16
2-5 熟料吸收煤灰量的计算	20
2-6 四种原料组分的配料计算	23
2-7 获得所需潜在熟料矿物组成的 生料算法	24

2-8 氧化物含量和潜在矿物组成	27
------------------------	----

3. 原料的粗粉碎

3-1 粉碎的机械和方法	29
3-2 系统概述	29
3-3 破碎比	30
3-4 表面的产生和所需功率	31
3-5 破碎机规格的选择	32
3-6 颚式破碎机	32
3-7 圆锥式破碎机	39
3-8 旋回式破碎机	40
3-9 西蒙式圆锥破碎机	42
3-10 辊式破碎机	45
3-11 锤式破碎机	48
3-12 反击式破碎机	54
3-13 复合反击式破碎机	59
3-14 反击—锤式破碎机	59

4. 原料的烘干

4-1 逆流烘干机	61
4-2 顺流烘干机	61
4-3 转筒烘干机的选择	62
4-4 水分的种类	62
4-5 热的传递	62
4-6 温度	63
4-7 压力降	63
4-8 内部装置	64
4-9 扬料	64
4-10 单位热耗	65
4-11 转筒烘干机的热平衡	65
4-12 蒸发速度	65
4-13 转筒烘干机的生产能力	66
4-14 燃料	66
4-15 物料通过转筒烘干机的时间	67

4-16 烘干—粉磨	68
4-16-1 在球磨机内烘干—粉磨	68
4-16-2 在机械空气选粉机内烘干	70
4-16-3 在风扫磨内进行烘干—粉磨	71
4-16-4 在辊式磨内进行烘干—粉磨	72
4-16-5 快速烘干机	73
4-16-6 用作烘干—粉磨设备的伯力鸠斯 气落磨	74
4-17 在反击式破碎机内烘干	76
4-18 坦登烘干—粉磨设备	78
4-19 烘干—粉磨机	79
4-20 中卸式磨机	81
4-21 各种烘干—粉磨系统所需的 动力	83
4-22 烘干和收尘	84

5. 水泥生产和粉磨作业

5-1 磨机的临界转速	86
5-2 磨球的动态休止角	87
5-3 研磨体在磨机横断面上的分布	87
5-4 在磨机每转中磨球的冲击次数	88
5-5 磨球对磨内物料的冲击次数	88
5-6 磨内磨球的装填量	88
5-7 磨球的总装填量	89
5-8 对装填研磨体的提示	90
5-9 磨球装填量与熟料负荷	90
5-10 磨机内研磨体的装填	91
5-11 磨球直径的公式	92

6. 邦德粉磨工作指数

6-1 哈德格罗夫易磨性额定值	95
6-2 斯塔克公式	97
6-3 球磨机所需功率	97
6-4 比表面积和粒度大小	98
6-5 开路粉磨的换算	99
6-6 球磨机的生产能力	99
6-6-1 按照托瓦洛夫公式	99
6-6-2 按照雅各布公式	102
6-7 各种粉磨系统所需的动力	103

7. 磨机研磨体的资料

7-1 磨球的大小和质量	104
7-1-1 米制磨球数据	104
7-1-2 美国通用单位的数据	104
7-2 钢球的化学成分	105
7-3 合金锻钢球的硬度	105
7-4 粉磨与金属磨耗	106
7-4-1 机械化学反应	106
7-5 磨球的磨耗率	106
7-6 用镍—硬钢的磨球粉磨	108
7-7 铬—钼钢球的线性磨耗率(研磨 每小时的磨耗微米数)	108
7-7-1 单位磨耗率	109
7-7-2 研磨体单位磨耗率的降低	109
7-7-3 开路水泥磨使用高耐磨磨球(59RC) 的磨耗率	109
7-7-4 煤磨用非合金钢研磨体的单位 磨耗率	109
7-7-5 水泥磨用耐磨钢磨球的单位磨 耗率	110
7-7-6 舒尔曼引用的研磨体和衬板的 磨耗率	110
7-7-7 苏联水泥工业磨机研磨体和衬 板的磨耗率	110
7-7-8 瑞典水泥工业磨机研磨体的磨 耗率	110
7-7-9 磨机直径与衬板磨耗的关系	111

8. 磨机的传动装置

8-1 磨机中心传动装置的改进	113
8-1-1 带有两级行星齿轮的中心传动 装置	113
8-1-2 用行星齿轮和伞齿轮级传动的 辊式磨	116
8-1-3 对称式齿轮中心传动装置	118
8-2 齿轮圈传动装置的改进	119
8-2-1 磨机电机容量的选定	119
8-3 无齿轮球磨机传动装置	119

9. 磨机筒体的最佳尺寸

9-1 磨机筒体的厚度	125
-------------------	-----

9-2 磨机筒体的标准 125

9-3 磨头 125

9-4 磨机轴承 126

9-4-1 磨机滑瓦轴承 127

9-5 管磨机轴承的冷却 129

9-6 磨机衬板的表面形状 129

9-6-1 磨机分级衬板 130

9-6-2 槽沟形衬板 132

9-7 磨机衬板的紧固 133

9-8 磨机隔仓板 134

9-9 磨机隔仓板的有效面积 136

9-10 挡料圈 137

9-11 物料在管磨内的停留时间 137

9-12 新安装管磨机的起动 138

10. 水泥的粉磨

10-1 瓦格纳和布莱恩比表面积数 140

10-2 助磨剂 141

10-3 研磨体上的物料包层 142

10-4 化学成分和潜在矿物组成对
易磨性的影响 143

10-5 水分对粉磨过程的影响 145

10-6 粉磨中产生的热量 145

10-7 水泥粉磨期间的降温方法 146

10-7-1 磨机通风 147

10-7-2 磨机筒体的水冷却 147

10-7-3 向磨内喷水 147

10-7-4 说明水泥磨内喷水冷却效果的
实例 148

10-7-5 水泥在机械空气选粉机内冷却 153

10-7-6 水泥在富勒水泥冷却器内冷却 154

11. 磨机的单位容积和所需动力

11-1 管磨的长径比和所需动力的
关系 155

11-2 磨机直径和所需动力 156

11-3 管磨的投资费用 156

11-4 粉磨设备的技术数据 157

11-5 管磨尺寸 160

12. 闭路粉磨

12-1 磨机生产能力的比较 163

12-2 粉磨车间的建筑空间 164

12-3 开路多仓磨和闭路磨的调查 164

12-4 用小研磨体进行细粉磨 165

12-4-1 康比丹磨 166

13. 辊式磨

13-1 莱歇辊式磨 168

13-2 磨球滚道磨——彼得斯磨 171

13-3 碗环式雷蒙磨 173

13-4 MPS 型辊碗磨 173

13-5 伯力鸠斯辊式磨 176

13-6 气体管道的截流装置 181

14. 发展中的粉磨方法

14-1 行星式球磨机 182

14-2 利用爆炸电火花进行粉磨 185

14-3 带高压磨辊的粉磨系统 186

15. 空气选粉机

15-1 一般空气选粉机的尺寸比例 192

15-2 空气选粉机的尺寸 192

15-3 空气选粉机所需的单位功率 193

15-4 有可调速辅助风叶的空气选
粉机 193

15-5 可调速选粉机的尺寸和能力 194

15-6 循环负荷和水泥细度 196

15-6-1 涡旋选粉机 TURBOPOL 196

15-6-2 旋风式空气选粉机 197

15-6-3 鼓风机设在外部的选粉机 200

15-6-4 旋风式空气选粉机 CYCLOPOL 201

15-6-5 有外部风机的通道旋轮式选粉机 202

15-6-6 O-Sepa 空气选粉机 203

15-6-7 Sepax® 空气选粉机 206

15-7 选粉机能力和水泥细度 208

15-8 空气选粉机的公式 208

15-8-1 第一种闭路循环系统 209

15-8-2 第二种闭路循环系统 210

15-8-3 细粉回收百分率的确定 211

15-8-4 使用两台选粉机的第二种闭 路系统	211	18-1-10 煤粉的制备	254
15-9 分选空气量	212	18-1-11 煤的烘干	254
16. 闭路湿法粉磨		18-1-12 煤的粉磨	255
16-1 DSM 筛性能举例	215	18-1-13 煤磨的操作方式	256
16-2 用 DSM 筛的粉磨流程图	216	18-1-13-1 直接烧窑的煤磨	256
16-3 DSM 筛的操作	216	18-1-13-2 中心磨煤设备或煤粉仓 烧窑系统	257
16-4 水泥料浆	217	18-2 液体燃料——燃料油	259
16a. 原料的预均化		18-2-1 粘度	259
17. 生料的气力均化		18-2-2 密度	260
17-1 富勒充气混合均化法	228	18-2-3 热值	262
17-2 伯力鸠斯均化法	231	18-2-4 火焰温度	263
17-3 SKET/ZAB 均化法	233	18-2-5 燃料油的制备	263
17-4 F. L. 史密斯公司的 CF(控制 流)库	234	18-2-6 燃料油的燃烧	266
17-5 穆勒均化法	236	18-2-7 燃料油的雾化	267
17-5-1 切变流均化法	236	18-2-8 煤和燃料油的比较	267
17-5-2 用顶层小库进行均化	237	18-3 气体燃料——天然气	268
17-5-3 在锥形室拌和库内的通过式 均化法	238	18-3-1 热值	269
17-6 IBAU 中央锥均化装置	238	18-3-2 火焰温度	270
17-7 彼得斯混合室拌和库均化法	240	18-3-3 燃烧气体的体积	270
17-7-1 彼得斯均化室拌和库均化法	243	18-3-4 天然气的燃烧	271
17-7-2 建造料库的成本分析	243	18-3-5 煤、燃料油和天然气的燃烧 气体容积	273
18. 水泥工业用燃料		19. 回转窑	
18-1 固体燃料——煤	247	19-1 回转窑的类型	276
18-1-1 挥发物	248	19-1-1 回转窑的填充率	276
18-1-2 煤的分析	248	19-1-2 回转窑的斜度	277
18-1-3 热值	249	19-1-3 回转窑斜度的标示法	278
18-1-4 热值与热耗	249	19-1-4 回转窑的转速	279
18-1-5 热化学反应和气体容积	249	19-1-5 回转窑内物料的通过	279
18-1-6 煤的着火温度	251	19-1-6 回转窑需用功率的计算	280
18-1-7 燃烧时间	251	19-1-7 回转窑的热膨胀	283
18-1-8 煤粉火焰的传热	251	19-1-8 回转窑的各带	284
18-1-9 燃烧气体	252	19-1-9 回转窑的空气密封装置	285
18-1-9-1 水泥回转窑废气中的 NO _x 含量	252	19-1-10 回转窑轮带的相对运动	287
		19-1-11 自己调节的支承托轮	288
		19-2 回转窑的煅烧	289
		19-2-1 燃烧喷管装置	289
		19-2-2 煤粉燃烧器	290
		19-2-3 燃料油喷管	292
		19-2-3-1 喷孔固定而油压可变的压力 油雾化器	292

19-2-3-2 喷孔可变而油压不变的压力 油雾化器	292
19-2-3-3 有回油的燃烧喷管	292
19-2-3-4 皮拉德双通道燃烧喷管	293
19-2-3-5 超声波燃烧喷管	293
19-2-4 天然气燃烧喷管	294
19-3 回转窑水泥生料的制备方法	295
19-3-1 干法与湿法的比较	295
19-3-2 回转窑的生产能力	296
19-3-2-1 湿法长回转窑——尺寸大小 和生产能力数值	298
19-3-2-2 苏联湿法长回转窑的数据	299
19-3-3 快速烧成的短回转窑	300
19-4 料浆脱水方法	301
19-4-1 料浆的化学脱水——料浆稀释剂	302
19-4-2 料浆的机械脱水方法	303
19-4-2-1 链条装置	303
19-4-3 湿法回转窑内其它热交换装置	305
19-4-3-1 料浆预热器	305
19-4-3-2 料浆烘干机	306
19-4-4 湿法回转窑的外部热交换器	307
19-5 干法长回转窑	309
19-5-1 陶瓷热交换器	309
19-5-2 陶瓷扬料器	310
19-5-3 单级悬浮预热器	311
19-5-4 干法长回转窑的规格和生产 能力	311
19-6 回转窑筒体的冷却	312
19-7 回转窑废气的冷却	313
19-8 立波尔窑	314

20. 生料悬浮预热器与预分解炉

20-1 第一个旋风预热器专利	318
20-2 洪堡型旋风预热器	319
20-2-1 颗粒大小与分离作用	319
20-2-2 颗粒大小与加热时间	319
20-2-3 旋风预热器的尺寸	320
20-2-4 旋风预热器内的热交换	320
20-2-5 气体和物料温度	321
20-2-6 窑的单位容积生产能力 ——分解率	321
20-3 苏联的旋风预热器	322
20-4 单位热耗和电耗	322

20-5 热平衡	323
20-5-1 熟料烧成的理论需热量	324
20-6 预热器的旁路系统	325
20-6-1 水泥和混凝土集料中的碱	325
20-6-2 烧成过程中的碱与碱循环	326
20-6-3 碱的挥发	327
20-6-4 碱旁路的计算	327
20-6-5 旁路装置的设计型式	329
20-7 两级和五级旋风预热器	330
20-8 各种预热器系统	331
20-8-1 克虏伯-伯力姆公司的多波 尔预热器	331
20-8-2 O+K 生料预热器	332
20-8-3 ZAB 生料悬浮预热器	333
20-8-4 Gepol 逆流悬浮预热器	334
20-8-5 捷克普雷洛夫逆流悬浮预热器	336
20-9 带预分解炉的悬浮预热器	338
20-9-1 石川岛播磨公司的 SF 悬浮 预热器	338
20-9-2 MFC 悬浮预热器	343
20-9-3 RSP 悬浮预热器	345
20-9-4 伯力姆预分解法	346
20-9-5 F. L. 史密斯预分解炉法	348
20-9-6 KHD 洪堡-韦达格派洛克朗 预分解炉	354
20-9-7 川崎重工业公司 KSV 预分解炉	356
20-9-8 按 MB 法进行预分解	360
20-9-9 PASEC 预分解炉法	361
20-9-10 DD 法	364
20-9-11 巴斯-凸圆体-煅烧法	365
20-9-12 其他预分解法	366

21. 熟料冷却

21-1 熟料冷却的速度	368
21-2 水泥的安定性与熟料冷却	368
21-3 熟料的冷却与抗化学浸蚀性	369
21-4 熟料的冷却与易磨性	369

22. 熟料冷却机

22-1 单筒冷却机	371
22-2 多筒冷却机——初期的设计	372
22-3 多筒冷却机——新的设计	373

22-3-1 冷却机的容积与窑的生产能力	374
22-3-2 回转窑的直径与多筒冷却机 的关系	374
22-3-3 多筒冷却机的扬料装置	375
22-3-4 多筒冷却机的热平衡	376
22-3-5 多筒冷却机的传动及所需功率	377
22-3-6 多筒冷却机的水冷却	378
22-3-7 洪堡-韦达格多筒冷却机	378
22-3-8 克虏伯-伯力玛斯单筒/多筒 冷却机组合	379
22-4 篦式冷却机	379
22-4-1 富勒篦式冷却机	380
22-4-2 富勒复式冷却机	380
22-4-3 热空气两次循环	383
22-4-4 富勒冷却机的规格名称	383
22-4-5 富勒冷却机的热平衡	383
22-4-6 冷却机效率	384
22-5 其它熟料篦式冷却机	384
22-5-1 伯力玛斯雷库波尔冷却机	386
22-5-2 史密斯福莱克斯篦式冷却机	388
22-5-3 彼得斯康比阶梯型冷却机	391
22-5-4 彼得斯“g”式冷却机	391
22-5-5 IKN 篦冷系统	392
22-6 立筒冷却机	392
22-7 熟料输送	394
22-8 粉煤灰筒库	398

23. 窑 衬

23-1 机械强度	400
23-2 耐火度	401
23-3 抵抗温度变化的性能(抗热 震性)	401

23-4 抵抗化学侵蚀的性能	401
23-5 热膨胀或体积稳定性	402
23-6 导热性	403
23-7 耐磨性	404
23-8 孔隙率	405
23-9 回转窑内耐火窑衬的镶砌方法 ...	405
23-9-1 回转窑镶砌窑衬的例子	407

24. 收 尘

24-1 粉尘的种类	408
24-2 与收尘有关的空气量参考 数据	409
24-3 水泥工业排出的空气和通风中的 粉尘含量——用于收尘的近似值	411
24-4 有关水泥工业粉尘粒径分布的 数据	412
24-5 大气污染的标准	413
24-6 收尘器的类型	416
24-6-1 重力沉降室	417
24-6-2 旋风收尘器	417
24-6-3 复式或多管旋风收尘器	418
24-6-4 织物收尘器	419
24-6-5 玻璃纤维袋收尘器	421
24-6-6 砂粒层收尘器	422
24-6-7 电收尘器	424
24-6-8 带有气体增湿塔的电收尘器	426

参考文献	428
作者索引	439
主题索引	443

1. 原 料

可以用天然矿物，也可以用工业产物来生产水泥。用于水泥生产的原料是含有水泥主要成分氧化钙、氧化硅、氧化铝和氧化铁的某些无机化合物。很难找到一种原料，其中这些成分是按照需要的比例存在的。因此，通常必须选用一种氧化钙含量较高的石灰质原料，与一种氧化钙含量较低，而氧化硅、氧化铝和氧化铁含量较高的粘土质原料进行调配。这样的两种主要原料通常是石灰石和粘土，或者是石灰石和泥灰岩。

1-1 石灰质原料

1-1-1 石灰石

碳酸钙 (CaCO_3) 在自然界分布很广。所有地质岩层的碳酸钙都可用于生产波特兰水泥。最纯级的石灰石是方解石和文石。方解石属六方晶系，其密度为 2.7g/cm^3 ；文石属斜方晶系，其密度为 2.9g/cm^3 。一种粗粒状方解石的变种就是大理石。用大理石来生产水泥是不合算的。碳酸钙最普通的形态是与大理石最相似的石灰石和白垩。石灰石为显著的细粒晶体结构。其硬度决定于它的地质年代。通常，地质岩层越老，石灰石越硬。石灰石的硬度在莫氏硬度标 $1.8\sim 3.0$ 之间，它的密度为 $2.6\sim 2.8\text{g/cm}^3$ 。只有最纯的石灰石品种是白色的。石灰石通常含有粘土物质或铁化合物等混合物，这些化合物影响其颜色。

1-1-2 白 垩

地质年代为白垩纪形成的沉积岩，在地质上它是相当年轻的。与石灰石相反，白垩具有软泥状的特性，这种性质使白垩特别适合于作为湿法生产水泥的原料。由于开采白垩不需要爆破，而且破碎工序也可以省掉，因此，采用这种原料能够大大降低水泥的生产成本。在某些白垩沉积岩中，碳酸钙的含量达到 $98\sim 99\%$ ，只含有少量的 SiO_2 、 Al_2O_3 和 MgCO_3 等混合物。

在水泥生料中，石灰质原料的总量通常达到 $76\sim 80\%$ 。因此，这种原料的化学和物理性质，对于选择水泥的生产方法和生产设备的类型，具有决定性的影响。

1-1-3 泥 灰 岩

含有二氧化硅、粘土物质和氧化铁等混合物的石灰石称为泥灰岩。泥灰岩是一种向粘土过渡的物质。由于泥灰岩分布很广，所以常用来作为生产水泥的原料。

在地质上，泥灰岩是由碳酸钙和粘土物质同时沉积所形成的沉积岩。泥灰岩的硬度低于石灰石，它的粘土物质含量愈高，其硬度就愈低。有时泥灰岩还含有沥青成分。泥灰岩的颜色决定于粘土物质，从黄色到灰黑色。泥灰岩是生产水泥的一种极好原料，因为它含有的石灰和粘土组分已呈均化状态。化学成分与波特兰水泥的生料成分相同的石灰质泥灰岩可用来

生产所谓天然水泥，但这种石灰质泥灰岩的矿床是不常见的。

按照水泥原料中石灰和粘土组合含量的多少，列出分类表，见表 1-1-3-1。

用于生产波特兰水泥的各种石灰石和泥灰岩所含的化学成分，列于表 1-1-3-2。

表 1-1-3-1

	CaCO ₃ 含量 (%)
高级石灰石	96~100
泥灰质石灰石	90~96
泥灰石或石灰质泥灰岩	75~90
泥灰岩	40~75
粘土质泥灰岩	10~40
泥灰质粘土	4~10
粘土	0~4

表 1-1-3-2

成 分	1	2	3	4	5	6	7
	石灰石	石灰石	石灰石	石灰石	泥灰岩	泥灰岩	泥灰岩
SiO ₂	3.76	6.75	4.91	4.74	27.98	33.20	21.32
Al ₂ O ₃	1.10	0.71	1.28	2.00	10.87	8.22	4.14
Fe ₂ O ₃	0.66	1.47	0.66	0.36	3.08	4.90	1.64
CaO	52.46	49.80	51.55	51.30	30.12	27.30	39.32
MgO	1.23	1.48	0.63	0.30	1.95	1.02	0.75
K ₂ O	0.18	微量	微量	0.16	0.20	0.12	0.06
Na ₂ O	0.22	微量	微量	0.28	0.33	0.18	0.08
SO ₃	0.01	1.10	0.21	—	0.70	0.37	—
烧失量	40.38	39.65	40.76	40.86	24.68	24.59	32.62
总和	100.00	99.96	100.00	100.00	99.91	99.90	99.93

1-2 粘土质原料

生产水泥的另一种重要原料是粘土。粘土是由含碱元素和碱土元素的硅酸铝以及它们的化学转化产物（主要是长石和云母）经风化后形成的。

粘土的主要组分是由含水硅酸铝形成的。粘土划分为下列矿类^[6]：

高岭土类：

高岭土（石）	Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ · 2H ₂ O
地开石	Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ · 2H ₂ O
珍珠陶土	Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ · 2H ₂ O
多水高岭土	Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ · 2H ₂ O

蒙脱石类（微晶高岭土类）：

蒙脱石 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + n\text{H}_2\text{O}$

贝得石 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

绿脱石 $(\text{Al}, \text{Fe})_2 \text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

皂石 $2\text{MgO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

含碱粘土类

粘土云母包括伊利石 $\text{K}_2\text{O} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$

（数量可变）

高岭土类矿物有不同的 SiO_2 含量以及不同的晶体结构和光学特征。高岭土这个名称指的是纯高岭土矿物。在结构上，粘土是细粒的，它的颗粒直径通常在 $2\mu\text{m}$ 以下。

粘土矿物的比表面积 (m^2/g) 是^[7]：

高岭土	约 15
多水高岭土	约 43
伊利石	约 100
蒙脱石	约 800

密度 (g/cm^3) 为^[8]：

高岭土	2.60~2.68
多水高岭土	2.00~2.20
伊利石	2.76~3.00

粘土的熔点在 $1150^\circ\text{C} \sim 1785^\circ\text{C}$ 之间〔塞格示温熔锥 (Seger cone) 第 1 号至第 35 号，或相当的示温熔锥〕。

粘土的化学成分可能从接近纯粘土的成分变化到含有相当大量化学混合物如氢氧化铁、硫化铁、砂、碳酸钙等的成分。氢氧化铁是粘土中的着色剂；有机物质也会使粘土具有不同的颜色。不含杂质的粘土为白色。水泥中的碱主要来自生料的粘土质组分。

表 1-2-1 列举了用于生产波特兰水泥的几种粘土的化学成分。

粘土的化学成分

表 1-2-1

成 分	粘土 1	粘土 2	粘土 3	粘土 4
烧失量	7.19	8.67	10.40	6.40
SiO_2	67.29	62.56	52.30	60.10
Al_2O_3	8.97	15.77	24.70	18.00
Fe_2O_3	4.28	4.47	6.10	8.20
CaO	7.27	4.80	4.40	0.80
MgO	1.97	1.38	0.10	0.20
SO_3	0.32	—	1.10	3.80
K_2O	1.20	} 2.35	} 0.80	} 2.50
Na_2O	1.51			
总和	100.00	100.00	99.90	100.00