

水泥工艺

新进展



9

8

884

水泥工艺新进展

水泥技术丛书之二

江苏工业学院图书馆
藏书章

合肥水泥研究院情报室
《四川小水泥》编辑部

• 1985 •

编者的话

为了适应水泥工业发展对图书资料与日俱增的需要，我们特以水泥技术丛书形式，陆续将有关国内外新著、分若干册介绍给水泥生产管理、施工、教学、科研设计等部门的广大读者，供阅读参考。愿在为您的工作顺利开展中起到一定的帮助、促进作用。

本套丛书每册虽独立成章，但因丛书内容不限某个方面，又将继续编下去，恕不能一一列出丛书每册之要目；著、译、校对者也不能一起编入此处。在此，对支持我们的所有著、译、校对者一并致谢！

水泥工艺新进展

水泥技术丛书之二

合肥水泥研究院情报室

编辑出版

《四川小水泥》编辑部

四川省自贡新华印刷厂

印刷

1985年8月

内部发行

合肥水泥研究院（安徽省合肥市青年路）

《四川小水泥》编辑部（四川自贡大安凉水井）

水泥工艺新进展

——水泥技术丛书之二

第一部分

水泥生料易烧性和熟料形成

第二部分

水泥烧成工艺

目 录

第一部分

水泥生料易烧性和熟料形成

1 前言	3
2 易烧性	4
2.1 定义	4
2.2 说明	4
2.3 影响易烧性的因素	4
2.3.1 生料矿物组成	6
2.3.1.1 CaO物质	6
2.3.1.2 酸性氧化物(硅、铝、铁)物质	6
2.3.1.3 校正组分	7
2.3.1.4 改良剂	7
2.3.2 生料化学组成	19
2.3.3 生料颗粒组成	19
2.3.3.1 细度和颗粒级	19
2.3.3.2 均匀性	20
2.3.4 生料的煅烧	21
2.3.4.1 煅烧温度	21
2.3.4.2 保温时间	21

2.3.4.3	煅烧速率	21
2.3.4.4	煅烧活化作用	21
2.3.5	液相形成	21
2.3.6	熟料质量	22
2.3.7	煤灰分影响	22
2.3.8	窑气氛	22
3	生料特性描述和评价	24
3.1	理论计算方法	25
3.2	半实验方法	25
3.2.1	游离氧化钙温度积分法	25
3.2.2	统计模型	26
3.2.3	化学粒度方法	26
3.3	实验计算方法	27
3.3.1	易烧性尺度 (Scale)	27
3.3.2	实际易烧性测定法	27
4	反应性	29
4.1	定义	29
4.2	影响反应性的因素	29
4.3	划分和特性	29
4.4	测定	29
5	反应过程	31
5.1	窑温度曲线	31
5.2	基本反应—实验观察结果	31
5.3	二次反应—微量组分和催化添加剂	35
5.4	熟料相—冷却速率的影响	39

6 热力学研究	41
7 反应机理和动力学	43
7.1 简单二元系统.....	43
7.2 多元系统.....	44
7.3 固相反应过程中的活化能.....	45
7.3.1 石灰石离解的活化能.....	46
7.3.2 熟料矿物形成的活化能.....	47
7.4 固相反应的扩散系数.....	48
7.5 熟料形成过程中的液相.....	50
7.5.1 苏联学派的研究结果.....	51
7.5.2 日本学派的研究结果.....	52
7.5.3 丹麦学派的研究结果.....	53
7.6 微量催化成分对 C_3S 形成速率的影响.....	56
7.7 相平衡研究.....	56
7.8 非等温反应动力学.....	58
8 结束语	59
参考文献.....	60

第二部分

水泥烧成工艺

1 前 言	69
2 带外部预热器的回转窑	70

3 分解炉类型	73
3.1 预分解的理论基础.....	73
3.2 预分解系统的种类.....	74
3.3 部分预分解的特殊情况.....	78
3.4 全部窑外预分解技术.....	79
4 各种预分解系统	83
4.1 IHI型快速分解炉	83
4.2 MFC型分解炉	85
4.3 RSP型分解炉.....	86
4.4 川崎KSV(Kawasaki)型分解炉.....	88
4.5 神户制钢所(Kobe Steel)DD型分解炉.....	89
4.6 F.L.史密斯(F.L.Smith)型分解炉	90
4.7 F.C.B(Five—Cail Babcock)型分解炉	93
4.8 洪堡—维达格 (Humboldt-Wedag) 型分解炉.....	95
5 降低热耗的途径	96
5.1 气体剩余显热的利用.....	96
5.2 从工艺上降低热耗的可能性.....	99
6 废弃燃料和可燃性废物的利用	101
6.1 燃用城市垃圾.....	103
6.2 燃用沥青页岩.....	103
6.3 燃用废旧轮胎.....	104
6.4 燃用废弃液体燃料.....	105
7 挥发物在窑内的性状	106
7.1 窑内的碱、硫循环.....	106

7.2 气体的旁路排放·····	108
8 熟料冷却机 ·····	113
8.1 单筒冷却机·····	114
8.2 多筒冷却机·····	116
8.3 篦式冷却机·····	116
8.4 彼得斯 (Clausius Peters) g—型冷却机·····	119
9 熟料联合烧成法 ·····	121
9.1 湿法工艺·····	121
9.2 联合烧成法·····	122
9.3 料浆过滤·····	122
9.4 滤饼的干法煨烧·····	122
10 窑的耐火材料 ·····	125
11 窑气体除尘 ·····	127
11.1 窑灰特性·····	127
12 电收尘发展新趋势 ·····	130
12.1 织物收尘器·····	131
12.2 颗粒层收尘器·····	132
参考文献 ·····	134

第一部分

水泥生料易烧性和熟料形成

[印度] T.K.Chatterjee

贾 若 译

1 前 言

水泥原料和生料的评价及其特性的描述对于实现合理配料设计,以及窑与冷却机的平稳运转是必不可少的。生料的化学、物理和矿物特性明显影响易烧性和反应性。生料在正常温度区间内,在固—液—气环境中,经过相当复杂的物理—化学变化,形成熟料的情况最终由反应性和易烧性来说明。生料烧结过程中的反应顺序涉及正常中间化合物形成与分解的固相和液相机理。中间化合物转为主要的熟料相,如 C_3S , $\beta-C_2S$, C_3A 和 C_4AF 。

本文试图着重论述生料的易烧性和反应性,及原料特性对熟料形成的影响,反应顺序和熟料形成动力学,以确定其在熟料生产过程中的重要性。这些方面的研究显然十分困难,并且至少尚未完全得以确立。这一研究有利于推动如自动化,现有工艺的强化,能耗降低,熟料质量,系统设计最佳化等工艺过程科学观点的进一步发展。

2 易烧性

在水泥生产工艺中，生料的易烧性研究已成为一个重要课题。生料在烧结过程中的特性受其自身化学、矿物和颗粒组成的影响很大。这几方面的变化影响着窑的运转、耐火窑衬、燃料消耗、以及熟料质量。每种生料在其自身特定的条件下煨烧，熟料质量是变化的。

2.1 定义

水泥生料易烧性的概念意味着生料在形成熟料相的过程中，组分间质量交换的难易程度。按照惯例，生料在一定温度(T)条件下经一定时间(θ)煨烧后，通过测定CaOf(游离氧化钙)衡量其易烧性，即 $\text{CaOf} = f(\theta, T)$ 。当温度超过 1300°C ，熔融相形成时，易烧性随这一参数(指CaOf—译者注)的增大而降低。

2.2 说明

易烧性通常用下述两个量中的一个来表示：

——在给定温度条件下，准等时线($\theta = \text{常数}$)CaOf的测定值。CaOf的值增加，易烧性降低。

——准等温线($T = \text{常数}$)，CaOf $\leq 2\%$ 的时间(θ)测定值。 θ 增加，易烧性降低。

2.3 影响易烧性的因素

下述主要参数对生料易烧性有明显影响。

2.3.1 生料矿物组成

—氧化钙组分

—粘土组分

—校正组分

—改良剂

2.3.2 生料粉化学组成

—主要组分间的比例关系

—微量非挥发物组分

—微量挥发物组分

2.3.3 生料粉颗粒组成

—细度

—颗粒级配

—均匀性

2.3.4 生料粉煅烧

—煅烧温度

—加热速率

—煅烧时间

—煅烧活化

2.3.5 液相形成

—液相出现温度

—形成量

—粘度

—表面张力

—离子流动性

2.3.6 熟料质量

—硅酸盐相

—铁铝酸盐相

2.3.7 煤灰分

—吸收量

—组成

—细度

2.3.8 窑气氛

—氧化气氛

—还原气氛

2.3.1 生料矿物组成

生料是多矿物和不同粒度颗粒的混合物料，其矿物组成可能因所用原料特点不同而变化的幅度很大。在熟料生产过程中，90%的生料组分由四种主要氧化物构成，即C、A、S和F，其余的10%为微量组分。这些氧化物以矿物和化合物形态存在于原料之中，经过窑内高温煅烧分解成氧化物。生料组分和组成如表1所示。

2.3.1.1 含CaO物质

方解石、文石、白云石、铁白云石是提供CaO的主要物质。生料中碳酸盐分解动力学取决碳酸盐种类，晶体结构，显微结构特征，晶体分散度，以及杂质等情况。各种矿物的碳酸盐分解温

表1 生料组分和矿物组成

氧化钙组分	粘土组分	校正组分	改良剂
主要由CaCO ₃ 和极少量下列成分构成，次序为： S-M-R*-F-S-N-K	主要由SiO ₂ 和较多量的下述成分构成，次序为： R*-F-C-M-S-N-K	主要包括下列氧化物之一 (C/A/S/F)	由不同无机化合物构成，有利于加速熟料形成反应。

*原文如此，可能为A—译者注

度和CaO最佳活性按下列顺序依次降低。

方解石(文石)—白云石—铁白云石⁽¹⁾

2.3.1.2 含酸性氧化物(S, A和F)物质

众所周知，在生料中以多种形态存在的粘土矿物（高岭土、蒙脱石、水云母、绿泥石等），云母，闪石，绿帘石，叶蜡石，长石等中含有 SiO_2 和 Al_2O_3 ；在水矾土，一水软铝石，水赤铁矿，水针铁矿和针铁矿中常常含有 Fe_2O_3 和 Al_2O_3 。粘土矿物与 CaCO_3 的反应能力按下列顺序依次增强：

白云母—蒙脱石—绿泥石—伊利石—高岭土^[2,3]

非晶质的 SiO_2 ，与 Al_2O_3 、 CaO 、 Fe_2O_3 的化合显示了比游离 SiO_2 更好的反应性能。不同形式的二氧化硅与 CaO 反应的性能按下面顺序依次增强。

石英—玉髓—蛋白石— α 方晶石— α 鳞石英—长石二氧化硅—云母和闪石二氧化硅—粘土矿物二氧化硅—玻璃矿渣二氧化硅

微量挥发组分和非挥发组分通常存在于含主要氧化物物质中。生料中微量组分含量的排列顺序为^[4]：

$\text{M} \text{---} \text{K} \text{---} \overline{\text{S}} \text{---} \text{N} \text{---} \text{Ti} \text{---} \text{Mn} \text{---} \overline{\text{P}} \text{---} \text{Sr} \text{---} \overline{\text{F}} \text{---} \overline{\text{Cl}} \text{---} \text{Cr}$

微量挥发组分的挥发温度和挥发率取决于含有该组分矿物的形态。例如，硫铁矿中 $\overline{\text{S}}$ 的挥发温度比石膏中 $\overline{\text{S}}$ 的挥发温度低许多。同样，二氧化硅中的碱气化温度低于长石中碱的气化温度。

2.3.1.3 校正组分

必要时，需用少量校正组分对生料进行校正，以使生料组分在设计所要求的范围内，通常使用硅质原料，如红土、矾土、硫铁矿、烟灰或砂子^[6]，视氧化物缺少情况和有利于获得最低原料成本而定。

2.3.1.4 改良剂

改良剂是微量组分，被称之为助熔剂和矿化剂，在液相和液—固相方面发挥作用。助熔剂降低液相出现温度，而矿化剂起到加快熟料形成速率的作用^[6]。 CaF_2 ， Na_2SiF_6 ， $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ， $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 等常常作为改良剂掺入生料中用，量很少。

表2 生料—参数 / 特性、范围、范围和影响

参数/特性	经验公式	极限范围	可取范围	影响
<u>A. 主要组分关系</u>				
1. 硅酸率 (MS)	S/A + F	1.9~3.2	2.3~2.7	Ms高 1. 难烧, 熟耗高 2. 引起安定性不良 (C ₂ O ₃ 高) 3. 窑皮形成困难, 胴体辐射热高 4. 损害窑衬 5. 水泥凝结、硬化缓慢
2. 铝氧率 (MA)	A/F	1.5~2.5	1.3~1.6	MA高 1. 难烧, 燃料消耗量高 2. C ₈ A比例增加, C ₄ A,F减少 3. C ₃ S和C ₂ S均增加 (C ₈ S > C ₃ S) 4. 液相减少, 窑产量