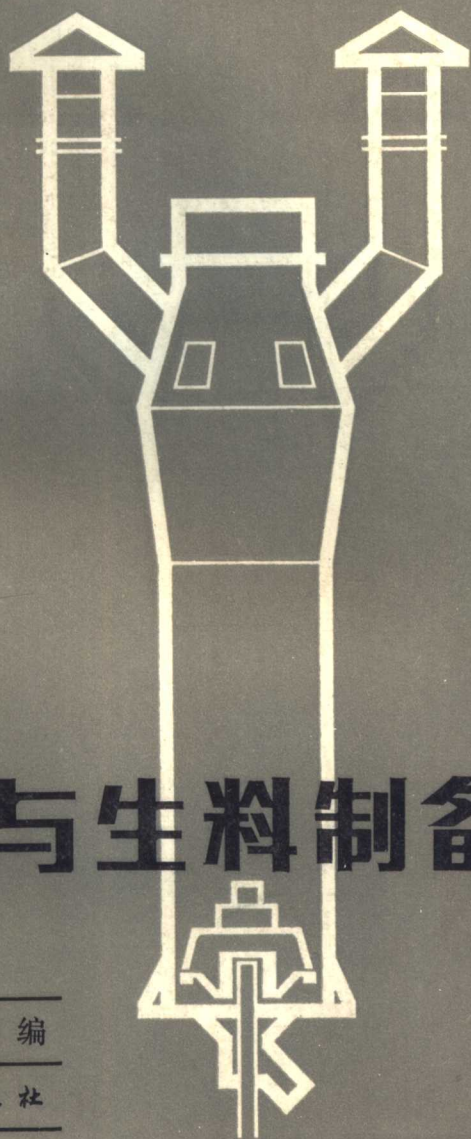


立窑水泥技术丛书



原料与生料制备

汪 宜 光 等 编

中国建筑工程出版社

593
29

立窑水泥技术丛书

原料与生料制备

汪宜光等 编

中国建筑工业出版社

本书较系统地叙述了生产水泥用的各种天然和人工的原材料、燃料以及生料的配制过程。

针对我国小型水泥厂遍布全国、资源情况各异的特点，对各地丰富的资源作了较全面的介绍，特别是对小厂较容易获得的和低品位原材料、劣质燃料，介绍了其有关的研究成果和使用经验。针对小厂生料制备环节薄弱的情况，除对配料计算辅以实例详细介绍外，对不同的生料及其制备工艺、配煤工艺作了分析比较，还介绍了适用于小厂的原料预均化和生料均化的方法与设施，并推荐了一些好的制备生料的经验和做法。

本书内容丰富，收集了近几年来新的成果、经验和数据，对小型水泥厂有较大的参考价值。

* * *

责任编辑：程佛根

立窑水泥技术丛书

原料与生料制备

任宜光 等 编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：5 $\frac{3}{8}$ 字数：120 千字

1984年12月第一版 1984年12月第一次印刷

印数：1—8,100册 定价：0.60元

统一书号：15040·4692

出版者的话

我社于1973年出版了《“小水泥”技术丛书》，共有八个分册：《水泥生产知识》、《原料与配料》、《粉磨》、《烧成》、《化学分析与生产控制》、《简易物理检验》、《生产设备》和《无熟料水泥》。这套丛书出版后，受到了广大立窑水泥工作者的欢迎，曾先后印行三次，仍不能满足需要。

鉴于十多年来我国立窑水泥迅速发展，生产技术水平和机械化程度有了较大的提高，生产规模不断扩大，管理水平和产品质量逐步提高，我们组织有关人员，将《“小水泥”技术丛书》改编成了这套《立窑水泥技术丛书》。新版《丛书》分为六个分册，即：《水泥生产知识》、《原料与生料制备》、《烧成与烘干》、《粉磨与制成》、《生产控制与检验》、《生产设备》。

这套丛书的编写提纲经作者共同讨论确定，各分册的体例、格式和技术内容都比较统一完整。书中删去了原《“小水泥”技术丛书》中陈旧过时的资料，充实了十年来发展的新的工艺技术、生产数据以及操作、管理经验，贯彻了新的水泥国家标准和有关规范、规程。为适应职工技术培训的需要，各分册加强了有关的基础知识内容。

《立窑水泥技术丛书》适于年产十万吨以下立窑生产工艺线的小水泥厂参考。主要读者对象为技术工人、管理干部和工程技术人员。

1983年9月

前 言

在立窑水泥生产中，原材料和燃料的选择以及生料的制备，占有相当重要的地位，目前生料的制备又是一个十分薄弱的环节。为此，我们根据我国立窑水泥厂当前的实际情况，编写了《原料与生料制备》这本小册子，作为《立窑水泥技术丛书》的一个分册，以期在进一步提高立窑水泥产量和质量方面，起到抛砖引玉的作用。

在编写这本小册子时，我们从生产实际出发，按照立窑厂的需要和可能，将目前较为先进，成熟的工艺技术编入书中。全书从原燃料的选择到生料制成，基本上是按立窑水泥厂的生产工艺顺序编写的。书中对各种天然和人工的原料、混合材料和燃料等作了详细的介绍和分析；列举了各种生料制备及配煤工艺流程，并对各自的优缺点作了评价；还介绍了几种简单易行的原燃料预均化及生料均化方法，供各厂参考运用。

本书第一、二章由黄锦扬编写，第四章由赵介山、汪宜光编写，第三、五章由汪宜光编写。全书由汪宜光修改整理。

由于编者学识水平有限，经验不足，谬误之处在所难免，望广大读者批评指正。

在这里，我们谨向对编写本书给以大力支持的同志和书中所引用的技术文献资料的有关作者，表示衷心的感谢。

编 者

1983年12月

目 录

第一章 概述	1
第一节 硅酸盐水泥的原材料和燃料	1
第二节 生料制备	4
第二章 原料和燃料	7
第一节 石灰质原料	7
一、天然石灰质原料	8
二、人工石灰质原料	14
第二节 粘土质原料	16
一、粘土	17
二、黄土	19
三、页岩	19
四、煤矸石	20
五、粉煤灰	24
六、矿渣	24
第三节 校正原料	25
一、铁质校正原料	26
二、硅质校正原料	28
三、铝质校正原料	29
第四节 燃料	30
一、无烟煤	31
二、焦炭屑	32
三、石煤	32
四、煤矸石	35

五、烟煤和褐煤.....	36
第三章 原燃料及生料均化	39
第一节 原燃料预均化.....	39
一、搭配预均化法.....	40
二、平铺切取预均化法.....	40
三、仓式预均化法.....	41
第二节 生料的均化.....	44
一、多库搭配均化.....	44
二、机械倒库均化.....	45
三、空气搅拌均化.....	46
第四章 生料制备	50
第一节 水泥生料.....	51
一、白生料.....	51
二、全黑生料.....	53
三、半黑生料.....	53
四、包壳料球.....	54
五、差热煅烧料.....	55
第二节 水泥生料成分的确定.....	56
第三节 配料计算.....	61
一、配料计算的常用公式.....	62
二、选择率值中的几个问题.....	68
三、配料计算方法.....	70
四、物料平衡计算.....	90
第四节 配料工艺及过程.....	96
一、配料工艺流程.....	96
二、各种配料工艺的比较.....	98
第五节 配煤工艺及过程	103
一、配煤工艺流程	104
二、几种典型的配煤工艺设施	106

第五章 水泥混合材	113
第一节 水泥中掺入混合材的意义	113
第二节 水泥混合材的分类	115
第三节 粒化高炉矿渣	117
一、高炉矿渣的形成	117
二、高炉矿渣的成粒	118
三、粒化高炉矿渣的化学组成与质量要求	118
四、矿渣硅酸盐水泥的生产与控制	121
五、矿渣硅酸盐水泥的水化	122
第四节 火山灰质混合材	124
一、火山灰质混合材的分类及其特征	125
二、火山灰质混合材对水泥性能的影响	136
三、火山灰质混合材的品质评定及技术指标	140
第五节 粉煤灰	142
一、粉煤灰的物理化学特征	143
二、粉煤灰对水泥性能的影响	143
三、粉煤灰混合材的技术指标及品质评定	145
第六节 非活性混合材	147
第六章 水泥的矿化剂与缓凝剂	148
第一节 水泥的矿化剂	148
第二节 水泥矿化剂的作用机理	149
第三节 水泥的缓凝剂	155
一、缓凝剂及其物理化学特征	155
二、石膏在水泥水化过程中的缓凝机理	156
三、石膏掺入量对水泥性能的影响	158
四、确定石膏最佳掺入量的有关问题	159
主要参考文献	164

第一章 概 述

第一节 硅酸盐水泥的原材料和燃料

水泥是一种加水后，成为塑性浆体，既能在空气中硬化，又能在水中硬化，并能把砂、石等材料牢固地胶结在一起的水硬性胶凝材料。水泥的种类很多，但用途最为广泛的是硅酸盐水泥。水泥的质量主要取决于熟料的质量。水泥熟料是以石灰质和粘土质原料，按适当比例配制成生料，烧至部分熔融并经冷却而获得的半成品。水泥之所以具有水硬性，是因为水泥熟料中含有硅酸三钙（ C_3S ）、硅酸二钙（ C_2S ）、铝酸三钙（ C_3A ）和铁铝酸四钙（ C_4AF ）等矿物，这些矿物遇水后即发生水化作用，产生新的水化物，进而凝结硬化，产生强度，并与其他材料结成坚固的整体。煅烧优质熟料的首要条件是制备质量均齐和成分合适的生料。生料的各种成分是由原料提供的，只有原料提供的成分符合要求，加上良好的煅烧与粉磨，才能制得优质的水泥。因此，了解和掌握原料的品质，正确选择和合理控制原料的质量，对水泥生产具有重要意义。

在自然界中，很少能在一种原料中含有水泥所需的主要组分——氧化钙（ CaO ）、氧化硅（ SiO_2 ）、氧化铝（ Al_2O_3 ）和氧化铁（ Fe_2O_3 ）。因此通常必须选用一种氧化钙含量较高的石灰质原料，与一种氧化钙含量低而氧化硅、氧化铝和氧

化铁含量较高的粘土质原料配合使用，组成配合原料，再把它粉磨到一定细度，即制成生料。

生产水泥所用的原料有以下三种：

1. 石灰质原料

主要成分为碳酸钙 (CaCO_3)，它是水泥熟料中氧化钙 (CaO) 的主要来源。常用的有石灰石、大理石、泥灰岩、白垩、贝壳和蛎壳等天然原料，以及某些工业废渣如电石渣、糖滤泥等。石灰质原料是制造水泥的主要原料，在配料中一般占80~86%。

2. 粘土质原料

最常用的是粘土、黄土，目前已开始利用某些工业废渣代替。它主要供给熟料中的二氧化硅 (SiO_2)、三氧化二铝 (Al_2O_3) 及少量三氧化二铁 (Fe_2O_3)，也是制造水泥的主要原料之一，在配料中一般占11~17%。

3. 辅助原料

制造水泥除石灰质和粘土质原料外，还需要一些辅助原料，主要是校正原料、矿化剂、缓凝剂和混合材等。

(1) 校正原料：在水泥生产配料时，当原料氧化硅、氧化铝、氧化铁成分中有某一成分含量不符合要求时，可采用校正原料。例如：当氧化硅含量不足时，可采用硅质校正原料；当氧化铝含量偏低时，可采用铝质校正原料；当氧化铁含量不足时，可采用铁质校正原料。

(2) 矿化剂：为了促进熟料煅烧过程、提高熟料的质量、降低燃料消耗，可在生料中加入少量矿化剂。常用的矿化剂有萤石及铜矿渣等。

生产水泥用的材料有：

1. 缓凝剂

为了调节水泥的凝结时间，在磨制水泥时，还要加入少量缓凝剂，延缓水泥的凝结速度，使其符合使用要求。

2. 混合材

为了改善水泥的性能，增加水泥品种，调节水泥标号，增加水泥产量，节约能耗，降低成本，综合利用工业废渣，在磨制水泥时，可以加入一定量的混合材。

把生料煅烧成水泥熟料，需要一定数量的燃料（主要是煤）。在立窑生产中，燃料有两种功能。首先燃料燃烧所放出的热量是烧成熟料的主要热源，其次，燃料燃烧后的残渣灰分成为熟料的组分之一。因此，在配料计算中，应当把全部燃料灰分作为一种原料组分加以考虑。

选择原燃料的原则是：

1. 质量符合要求，成分比较稳定，有害杂质含量低；
2. 储量丰富，运输方便，运输距离短；
3. 采挖、运输、加工成本低；
4. 尽量利用附近的工业废渣和劣质燃料。

作为水泥厂建设设计依据的水泥原料矿山的储量，根据水泥厂的规模不同而要求不同，其各级储量比例要求也不同。

水泥厂建设设计所需矿山储量可采用下式计算：

$$\begin{aligned} \text{所需矿山矿石储量（吨）} &= \text{水泥厂熟料规模（吨/年）} \\ &\quad \times \text{每吨熟料所需矿石用量（吨/吨）} \\ &\quad \times \text{矿山服务年限（年）} \end{aligned}$$

上述计算式中：①每吨熟料所需矿石用量，系考虑开采和加工后的损失，每吨熟料所需石灰质原料一般按2.0吨计算，粘土质原料可按0.4吨计算。②矿山服务年限，大、中型厂的矿山为50年，小型水泥厂的矿山为30年。

第二节 生 料 制 备

生料是由石灰质原料、粘土质原料及少量校正原料按比例配合，粉磨到一定细度，制成适当成分的物料。生料的制备方法根据采用的水泥生产工艺方法（干法或湿法）及所用窑型（回转窑或立窑）的不同而异。立窑生料制备的主要环节是原料预均化、配料、粉磨、生料的均化、煤料配合等工序。生料制备的要求是：成分合格、稳定；细度符合煅烧要求；配煤准确。

水泥厂的原料和生料均化程度是决定最终产品质量的重要因素。现代水泥工厂为充分利用低品位原料，扩大原料资源，提高熟料质量，很重视对原料预均化和生料均化。立窑水泥厂，由于立窑煅烧不够均齐，更需要减少生料成分的波动，提高入窑生料的均匀性，这是立窑优质高产的重要条件，原料和生料的均化是从矿山开采运输、破碎储存、粉磨、直至生料搅拌等各生产工序过程中完成的。每一生产工序都具有一定程度的均化作用，而最终达到入窑生料成分所要求的控制标准，其中原料预均化和出磨生料的均化是完成这一均化过程的两个最重要的均化工序。

我国立窑水泥厂一般机械化水平较低，很多工厂自己没有矿山，原料的开采和运输条件差，一般进厂原料成分波动较大，因此在立窑水泥厂的工艺设计和工厂生产管理时，都应十分注意加强各工序原料和生料的均化。

原料的预均化是原料在粉磨前的储存过程中，预先对原料成分进行均化的过程。对成分波动大的原、燃料要进行预均化，这是保证原料配比正确，出磨生料成分均匀和符合要

求的重要措施之一。

为了使立窑优质高产，还要控制生料的适当细度。熟料主要矿物的生成，要靠固相反应来进行。合适的生料细度，对形成熟料的矿物是有利的，生料磨得比较细，颗粒比表面积增加，颗粒间的接触面积增大，同时表面质点自由能大，易于参加反应， C_3S 吸收 CaO 生成 C_2S 的化学反应比较完全，使熟料的游离钙含量减少。因此，理论上生料粉磨愈细，对煅烧愈有利，从而提高熟料质量。但在实际生产中，生料粉磨愈细，磨机产量愈低、电耗愈大。故应结合工厂具体情况，进行综合技术经济比较，将细度控制在合理的范围内。

国外有人认为，生料细度以4900孔/厘米²筛筛余10~20%为宜，有的则认为8~10%合适。当细度由10%降到5%时效果不显著，细度18~20%筛余物均匀的生料，比细度为10%而颗粒不均匀并含有大颗粒筛余物的生料好烧。因颗粒大会恶化煅烧过程，故900孔筛筛余以1%左右为宜。

配煤是立窑水泥厂特有的一个工艺环节，入窑前煤和生料的配合是否准确、均匀乃是直接影响立窑煅烧及熟料质量的一个要害所在。

配煤在立窑生产中兼备着配热和配料的双重意义。即从热工角度说，煅烧熟料所需要的热量，其来源就是生料中配入的燃料。因此，配煤量就是配热量。从配料意义上说，由于燃料全部被预先混合在生料中，所以在煅烧过程中，燃料的灰分全部被残留在熟料内，并且组合到熟料的矿物里，这些灰分也和其它的配料组分一样，在一定程度上左右熟料的化学成份和矿物组成，即熟料的质量。在使用高灰分的劣质烧料时，这一“组分”的影响更为突出。因此，配煤实际上还具有配料的意义。

为了保证生料在立窑煅烧过程中能够均匀地获取所需要的能量，同时也使烧成的熟料在微观上达到化学组成的均齐一致，这就必须使生料中的燃料在数量上要有足够的准确性，在分布上要有充分的均匀性。并且也要避免过粗的燃料颗粒掺于生料中，因为粗粒煤同样会造成热量和灰分在微观上的配合误差，从而给立窑煅烧和熟料质量都带来不良影响。

第二章 原料和燃料

第一节 石灰质原料

凡是以碳酸钙或氧化钙、氢氧化钙为主要成分的原料都称为石灰质原料。它可分为天然石灰质原料和人工石灰质原料(即工业废渣)两类。水泥生产中常用的天然石灰质原料有石灰石、泥灰岩、白垩、贝壳、钙质料姜石、石灰质河卵石等。石灰质原料在自然界中分布较广、储量丰富。这些原料的共同特点是将稀盐酸滴在其上即有起泡现象,并在 1000°C 左右煅烧都能生成石灰。应用这些特性,可以简单地鉴别是否是石灰质原料。有些工业废渣,如化工厂的电石渣、制糖厂的糖滤泥等也是水泥生产中的石灰质原料。

对石灰质原料除要求有足够的储量和容易开采外,在质量上有如下要求:

1. 氧化钙 (CaO) 含量: 大于或等于48%, 对于氧化钙低于48%的石灰质原料可与氧化钙含量大于48%的石灰质原料搭配使用, 搭配后的石灰质原料其 CaO 含量必须在48%以上;
2. 氧化镁 (MgO) 含量: 小于3%;
3. 燧石质二氧化硅含量: 应低于4%;
4. 氧化钾 (K_2O) 和氧化钠 (Na_2O) 含量: 小于0.6%;
5. 三氧化硫 (SO_3) 含量: 小于1%。

一、天然石灰质原料

(一) 石灰石

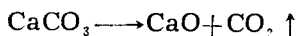
石灰岩俗称石灰石，又称“灰岩”、“青石”，属沉积岩的碳酸盐类岩石，以海相石灰岩较多，陆湖相沉积岩较少。化学成分以碳酸钙为主。主要矿物成分为方解石，常含有白云石、菱镁矿、石英、蛋白石、含铁矿物和粘土矿物等。根据石灰岩的成因可分为生物石灰岩（如有孔虫石灰岩、贝壳石灰岩、珊瑚石灰岩等）、化学石灰岩（如鲕状石灰岩、石印石、石灰华等）和碎屑石灰岩三种。根据石灰岩所含混合物的不同，又可分为白云质石灰岩、粘土质石灰岩和硅质石灰岩。纯净的石灰石为白色，一般为灰白色、浅灰色，有时因含杂质而呈现深灰、灰黑、浅黄、浅红等颜色。结构类型多种多样，常见有隐晶结构、结晶粒状结构、生物结构、碎屑结构及鲕状结构等。石灰石的硬度决定于它的地质年代。通常，地质岩层愈老，石灰石愈硬。一般石灰石的普氏硬度8~10，莫氏硬度1.8~3.0之间。用小刀可刻划出白色条痕。比重2.6~2.3。抗压强度一般在800~1200公斤/厘米²左右。

石灰岩中常有方解石细脉穿插。方解石是一种碳酸钙矿物，白色、半透明，完好的晶体呈菱面体及偏三角面体形，表面有玻璃光泽，易被小刀或玻璃刻划，条痕白色，它是石灰岩中的主要矿物。

石灰岩中还含有少量白云石和燧石。白云石通常为灰白色，也有呈白色、浅黄色或浅红色的，外观象石灰石，不易分辨，它是水泥中的有害物质——氧化镁的主要来源。燧石俗称“火石”，成分主要是二氧化硅，通常为褐黑色，凸出在石灰岩的表面或呈结核状夹杂在其中，硬度较大，小刀

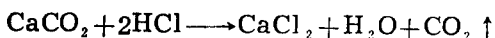
刻不动。燧石含量高会影响粉磨和烧成。作为水泥原料的石灰石，希望其中白云石和燧石含量尽量少。

石灰石的主要鉴定特征之一是加热时分解生成氧化钙并放出二氧化碳气体：



在实验室里这个反应于600°C开始，900°C结束。如果温度提高到1000~1100°C，石灰石的分解反应加速进行。一吨非常纯的石灰石，煅烧后可得560公斤石灰，并逸出440公斤CO₂气体。

石灰石的另一鉴定特征是遇盐酸立即分解，产生二氧化碳气泡，其反应如下：



人们常用石灰石的上述特性来寻找和鉴定石灰石。取一些小块矿石，于1000°C左右煅烧约二小时，冷却后放入水中，若发热量大，冒热气强烈，并于10~20分钟内消解完毕，表明氧化钙含量高；反之，若发热量小，冒热气微弱，消解缓慢，表明氧化钙含量低，氧化镁含量高。另一种方法是用5~10%的稀盐酸滴在矿石上，如迅速而激烈地产生气泡，则可以初步鉴定这种矿石是石灰石。白云石遇盐酸也产生气泡，但反应缓慢，与5%盐酸几乎不起反应，因此，可以用此方法区分石灰石和白云石。但这些都只是初步鉴定，还要通过化学分析才能最后确定。

一些水泥厂所采用的石灰石的化学成分见表2-1。

（二）大理岩

大理岩俗称大理石，因盛产于云南大理而得名。大理石主要由等粒或不等粒的方解石结晶颗粒所组成。这种方解石的结晶颗粒非常紧密地胶合在一起，甚至用显微镜也不能发