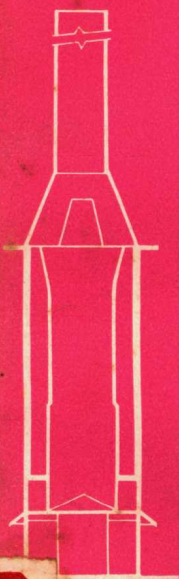




“小水泥”技术丛书

烧 成



72.06

94



中国建筑工程出版社

本书着重介绍普通立窑的烧窑技术和操作方法，系供小水泥厂广大工人、技术人员阅读的一本通俗小册子。

内容主要包括：生料成球、普通立窑的结构、立窑的简易工艺计算、普通立窑的操作、立窑煅烧技术、地窑等；还简单介绍了熟料的化学成分和矿物组成，以及对生料和燃料的工艺要求。

本书由浙江省基建局组织杭州市重工业局、富春江水泥厂等有关人员编写。

“小水泥”技术丛书

烧 成

“小水泥”技术丛书编写组

中国建筑工业出版社出版（北京西外向东路19号）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京印刷六厂印刷

开本：787×1092毫米 1/32 印张：2 9/16 字数：53千字

1973年5月第一版

1973年5月第一次印刷

印数：1—23,770册

定价：0.18元

统一书号：15040·3050

毛主席语录

鼓足干劲，力争上游，多快好省
地建设社会主义。

马克思主义者认为人类社会的生
产活动，是一步又一步地由低级向高
级发展，因此，人们的认识，不论对
于自然界方面，对于社会方面，也都
是一步又一步地由低级向高级发展，
即由浅入深，由片面到更多的方面。

出版者的話

在毛主席制定的“以农业为基础、工业为主导”的发展国民经济总方针和一整套“两条腿走路”方针指引下，我国小水泥工业得到了蓬勃的发展。广大群众发扬自力更生、艰苦奋斗的革命精神，就地取材，土法上马，使一个个小水泥厂迅速建成，投入生产，有力地支援了农田水利建设和地方工业基本建设。目前，各省、市、自治区都在以路线斗争为纲，坚持为农业服务的方向，狠抓巩固提高，有计划地发展小水泥生产。

为了适应小水泥工业的发展形势以及加强企业管理和进行技术教育的需要，我们请山东省建委、广东省建工局、江苏省基建局、浙江省基建局、四川省建委组织有关单位编写了这一套“小水泥”技术丛书，给小水泥厂广大职工提供必要的生产知识和技术资料。

这一套丛书共分为《水泥生产知识》、《原料与配料》、《粉磨》、《烧成》、《生产设备》、《化学分析与生产控制》、《简易物理检验》和《无熟料水泥》八个分册，将陆续出版。

这一套丛书从当前大多数小水泥厂的实际情况出发，重点介绍年产量在一、二万吨左右的小水泥厂有关生产设备、操作技术以及简易检验方法等。为了便于新工人学习技术，有些分册还专门写了一些基础知识。

在编写过程中，承蒙山东省建委、广东省建工局、江苏

省基建局、浙江省基建局、四川省建委的大力支持，组织编写人员深入到小水泥厂作了一些调查研究，收集了有关的技术资料，征求过一些小水泥厂工人、技术人员的意见；同时还得到国家建委设计、科研单位的帮助。“小水泥”技术丛书编写组同志，集体讨论审查了各分册的具体内容，力求使这套丛书能适合初中文化程度的广大职工阅读。但是，由于小水泥工业是个新事物，经验总结得还不够，书中缺点、错误在所难免，希望广大读者提出意见，以便再版时订正。

目 录

第一章 概述	1
第一节 熟料的化学成分和矿物组成	2
第二节 对生料的工艺要求	5
第三节 对燃料的工艺要求	7
第二章 生料成球	10
第一节 成球的目的和对料球的要求	10
第二节 成球设备	11
第三节 成球盘操作要点	13
第三章 普通立窑的结构	16
第一节 规格和形状	16
第二节 窑体结构和耐火砖的镶砌	20
第三节 加料门和加料装置	22
第四节 炉箠子和窑门	23
第五节 烟囱	25
第六节 鼓风	26
第四章 立窑的简易工艺计算	29
第一节 立窑生产能力的计算	29
第二节 风量和风压的计算	31
第三节 用煤量的计算	32
第五章 普通立窑的操作	34
第一节 物料在立窑中的煅烧过程	34
第二节 烘窑和点火	36
第三节 操作方法	39
第四节 正常情况下的操作	41
第五节 不正常情况下的操作	46

第六章 立窑煅烧技术	55
第一节 差热煅烧法	55
第二节 黑生料法	56
第三节 包壳料球法	58
第四节 矿化剂	60
第五节 用劣质煤作燃料	61
第七章 地窑	63
第一节 蛋窑	63
第二节 輪窑	68

第一章 概 述

世界上用立窑生产水泥已有二百来年的历史了。最初生产水泥是将生料制成块晒干，与燃料一起从窑顶放入窑内，由窑的底部自然吸风，一窑生料全部烧成熟料后，才由窑内卸出，每烧一窑熟料须经一个星期左右。这种窑叫做间歇式窑，它的煤耗大，熟料的产量和质量都低。后来，由间歇式窑发展为连续作业的立窑（与普通立窑相似），先是采用一层料一层煤的煅烧方法，逐步改成将生料与碎煤混拌成球送入窑内煅烧的方法。

用立窑生产水泥，基建投资少，占地面积小，建厂快，煤耗较低，对燃料要求不高，而且可以充分利用地方资源，形成合理的工业布局；因此，我国在发展回转窑的同时，立窑也在不断地发展。

解放后，在毛主席的革命路线和一整套“两条腿走路”方针指引下，在新建一批规模较大的回转窑水泥厂的同时，全国各地还普遍地办起了小型立窑水泥厂。近年来，小型立窑水泥厂在我国水泥工业的发展中发挥了重要的作用，有力地支援了农田水利建设和地方工业基本建设。

随着立窑水泥厂的蓬勃发展，立窑的结构不断改进，煅烧技术不断提高，煤耗逐步降低，产量迅速增长，熟料质量也有了提高。目前，普通立窑的单位容积产量约在70~120公斤熟料/立方米·小时，机械化立窑的单位容积产量约在150~200公斤熟料/立方米·小时；普通立窑的熟料热耗一般约为1000~1200千卡/公斤熟料，机械化立窑的热耗一般约为850~950千卡/公斤熟料，水泥标号稳定在400号。

第一节 熟料的化学成分和矿物组成

大家知道，水泥是用石灰质原料、粘土质原料和辅助原料，先制成生料，然后在窑内高温下煅烧成熟料，再掺以适量的石膏和混合材经过粉磨制成的。生料在窑内经过高温煅烧发生化学反应，生成新的矿物；所以，熟料是由新的矿物所组成的，与生料有质的区别。一般熟料含有四种主要矿物：硅酸三钙（ $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ，简写为 C_3S ）、硅酸二钙（ $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ，简写为 C_2S ）、铝酸三钙（ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ，简写为 C_3A ）和铁铝酸四钙（ $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ，简写为 C_4AF ）。这四种矿物各有其特性。

硅酸三钙，由氧化钙和二氧化硅化合而成，凝结硬化较快，早期强度和后期强度都较高。

硅酸二钙，由氧化钙和二氧化硅化合而成，凝结硬化较慢，早期强度低，后期强度较高。

铝酸三钙，由氧化钙和三氧化二铝化合而成，叫做熔媒矿物，它凝结硬化快，强度发挥也快，但强度低。

铁铝酸四钙，由氧化钙、三氧化二铝和三氧化二铁化合而成，叫做熔媒矿物，它凝结硬化速度比较正常，但强度较硅酸三钙低。

一般，立窑煅烧的熟料，其矿物组成的范围如下：

立窑熟料的矿物组成

表 1

C_3S (%)	C_2S (%)	C_3A (%)	C_4AF (%)	$\text{C}_3\text{S} + \text{C}_2\text{S}$ (%)	$\text{C}_3\text{A} + \text{C}_4\text{AF}$ (%)
33~53	22~41	6~12	10~18	70~75	20~24

为了使烧制的熟料的矿物组成在上述范围内，就要将熟料的化学成分控制在一定的范围内。立窑水泥厂一般控制熟料的化学成分在下述范围内（表 2）：

立窑熟料的化学成分

表 2

烧失量 (%)	CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)
< 5	60~66	19~24	4~7	3~6	<4.5	<2.7

氧化钙（CaO），是熟料中最主要的成分。生产高质量的水泥，要求熟料中的氧化钙含量高，而且与二氧化硅、三氧化铝、三氧化二铁等氧化物完全化合，且尽量避免氧化钙以游离状态存在。

二氧化硅（SiO₂），也是水泥熟料中的主要成分之一，与氧化钙在高温下化合生成硅酸二钙和硅酸三钙。这两种矿物是熟料中的主要矿物，硅酸三钙对水泥强度的影响最大。

三氧化二铝（Al₂O₃），与氧化钙在高温下化合生成铝酸三钙矿物。三氧化二铝起着助熔作用，可使生料容易煅烧，但是，如其含量过高，则由于液相粘性变大，氧化硅被吸收生成硅酸三钙矿物发生困难，反而影响煅烧。

三氧化二铁（Fe₂O₃），与氧化钙、三氧化二铝在高温下能化合生成铁铝酸四钙。在煅烧时，三氧化二铁起着助熔作用，能降低熟料矿物形成的温度，使生料好烧。但是，如其含量过高，则窑内易结大块，影响煅烧。

在生产中，通常用下面三个率值表示熟料化学成分中各个氧化物之间的关系。

石灰饱和比（简称饱和比）KH，表示熟料中二氧化硅

被氧化钙所饱和的程度。

$$KH = \frac{CaO - 1.65Al_2O_3 - 0.35Fe_2O_3}{2.8SiO_2}$$

硅酸率 n ，表示水泥熟料中硅酸盐矿物（硅酸三钙和硅酸二钙）与熔媒矿物（铝酸三钙和铁铝酸四钙）的相对含量。

$$n = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

铝氧率 P ，表示熟料中生成熔媒矿物的三氧化二铝与三氧化二铁的比值。

$$P = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

立窑水泥厂的熟料各率值一般控制在如下的范围内：

$$KH = 0.82 \sim 0.89,$$

$$n = 1.9 \sim 2.3,$$

$$P = 0.9 \sim 1.3.$$

各率值的大小，不仅取决于原料的成分，还与窑的操作水平和煅烧技术有关。确定各率值的大小时，应从各个厂的具体条件出发，根据优质、高产、低消耗的要求，在生产中找出一合适的数值。

一般来说，熟料的饱和比高，其中氧化钙的含量就多，硅酸三钙矿物多，水泥强度高。但是，饱和比过高时，煅烧困难，煤耗大，熟料中氧化钙难以与其他氧化物完全化合，游离氧化钙含量增加，导致安定性不良、水泥强度下降。

硅酸率高，硅酸盐矿物含量高，熔媒矿物的含量相应地减少，料子难烧，但烧出的熟料强度比较高；硅酸率过低，因熔媒矿物过多，窑内容易结大块，对煅烧和冷却不利。

铝氧率高，料子难烧；铝氧率低，铝酸三钙含量相对减少，铁铝酸四钙含量相对增多，料子好烧，但是在窑内容易结大块。

第二节 对生料的工艺要求

上面提到，熟料是生料在高温下煅烧的产物，因此，生料的成分与制备是保证熟料质量的先决条件。为此，生料必须符合下述的工艺要求。

一、恰当的生料成分

生料的成分决定着熟料的化学成分和矿物组成。恰当的生料成分，应根据所要求的熟料成分（或各率值），并考虑到各种原料的成分、立窑的结构、煅烧技术、操作水平以及燃料的情况等因素选定。同时，由于在窑内的煅烧过程中煤灰完全掺入到熟料中，所以还必须考虑到煤灰掺入对熟料成分的影响。通常，煤灰掺入会使熟料的饱和比下降 $0.04\sim 0.10$ ，硅酸率下降 $0.05\sim 0.20$ ，铝氧率提高 $0.05\sim 0.20$ 。

二、成分均匀稳定

除了选定恰当的生料成分外，还必需保持生料成分的均匀稳定。生料成分均匀稳定，就是指生料中四个主要氧化物的含量波动不大。因生料中最主要的成分是氧化钙，一般从生料中氧化钙含量的跳动大小，也就是说从生料碳酸钙滴定值的跳动大小，来判断生料成分的均匀与否。生料中碳酸钙滴定值的跳动大，表示生料成分不均匀；生料的碳酸钙滴定值跳动小，表示生料成分均匀稳定。因此，在生产控制中，不仅对生料的碳酸钙滴定值大小应加控制，而且还要控制生

料碳酸钙滴定值的合格率。通常所规定的生料碳酸钙滴定值上下跳动在0.50之内均属合格。合格率越高，则生料成分越均匀稳定。

如果生料成分不均匀、跳动大，就会直接影响到物料在窑内的煅烧情况，甚至使窑内出现不正常情况，影响立窑的产量和熟料的质量。遇有这种情况，应该尽可能将成分不同的生料，即将碳酸钙滴定值高的生料与碳酸钙滴定值低的生料，按比例相互搭配，混合均匀，而后将其成球入窑煅烧。

三、应有一定的细度

生料应该细一些为好，生料磨得细，在窑内煅烧时各种氧化物之间的化学反应便迅速，有助于熟料矿物的形成。但是，生料细度细时，生料磨的产量低、电耗大，所以不能要求生料磨得很细。在实际生产中，生料的细度一般控制在10%左右（4900孔筛筛余）。

如果在石灰石中含有害杂质（燧石）或氧化镁含量较高，粘土中含砂量较大，或者是生料的饱和比偏高，则生料的细度应比通常情况下细一些，才有利于生料的煅烧。

四、具有良好的成球性能

为了减少料层在窑内的阻力、有助于窑内的通风，生料入窑前需要成球，而且料球应该结实，不易破裂或炸裂。因此，生料应具有良好的成球性能。

生料的成球性能，主要取决于生料中粘土的粘性（或者叫可塑性）。凡是粘土的粘性好，则生料的成球性能便好，所成的料球也较结实。

第三节 对燃料的工艺要求

一、立窑常用的燃料

燃料可分为三种，即固体燃料、液体燃料和气体燃料。目前，我国立窑用燃料一般都是固体燃料，常用的是无烟煤，也有用焦炭末和烟煤的。

烟煤、无烟煤和焦炭末，这三种燃料的热值，一般都在5000千卡/公斤燃料以上，其区分就在于燃料中的挥发份多少。一般挥发份在10%以上的，称之为烟煤；挥发份在6~10%之内，称之为无烟煤；焦炭的挥发份接近于零，但是焦炭末（又叫焦屑）的挥发份则略为高些，有时甚至达到3~4%。

如果用烟煤，必须采取适当的措施。因为，立窑上部的空气中氧气是不足的，烟煤中的挥发份多，就势必会有一部分没有燃烧完而随废气跑入烟囱，增加了热损失。所以最好是将烟煤、焦炭末搭配使用，控制挥发份的含量，或者是全部用烟煤，就得采取降低热耗的措施。

对于小型立窑水泥厂来说，尽可能地利用地方煤源是有着现实意义的。目前，我国许多地方的立窑水泥厂在使用当地的劣质煤（灰份大、热值低的燃料）的过程中，已取得了一些成熟的经验。

二、对燃料的工艺要求

1. 煤的工业分析最好符合下列要求：
发热量在5000千卡/公斤燃料以上；
固定炭在60%以上；
挥发份在10%以下；

灰份在20%以下（在高压鼓风的立窑中，可允许灰份在30%左右）。

2. 煤的粒度大小应合适。

什么样的粒度合适？应该根据立窑的鼓风能力和操作方法，以及燃料的种类和质量而定。

鼓风能力小的立窑，煤的粒度应该是细一些好，以便燃料能够充分燃烧；鼓风能力大的立窑，则煤的粒度可粗些。浅暗火操作，煤的粒度应细一些；明火操作，则煤的粒度可粗些，否则，煤粒易从废气中带走。

目前，从立窑的煅烧情况来看，为了使窑内高温层集中，热工制度稳定，煤的粒度以细些为好。通常，无烟煤的粒度控制在3毫米以下，而且小于2毫米的煤粒占极大多数。烟煤因其燃点低，燃烧速度快，粒度不宜过细，可比无烟煤的粒度稍大些。焦炭末的粒度应细一些，往往将部分焦炭末与各原料一起入磨，粉磨成半黑生料。

如果用劣质燃料，不论是无烟煤，还是烟煤，其粒度都应该细些，以便燃烧速度加快，高温层集中，煤灰均匀掺入生料中。因此，最好是采用半黑生料法，而且外掺煤的粒度还得控制在3毫米以下。

燃料在立窑内的燃烧过程中，煤的灰份完全掺入到熟料中去。因此，煤灰的含量和成分对熟料的质量都有影响，灰份大的劣质煤，影响尤甚，必须在配料和操作中予以充分注意。

三、生料中的配煤

生料成球前应先配入所需的燃料。配煤，必须根据窑内煅烧要求的煤量准确地称量，并使煤粒均匀地分布在生料

内，也就是说要注意准确性和均匀性的问题。在生产中，配煤的数量是根据配料的要求和窑内燃烧的情况确定的。

最常见的配煤设备是圆盘喂料机。圆盘喂料机是通过圆盘的旋转而将圆盘上的煤连续不断地掺入到生料中去。配煤量的大小，是借助于圆盘上套筒提升的高度和刮板所处的角度调节的。为了保证配煤的准确性和均匀性，除了及时调节外，还必须注意使圆盘喂料机顶上的小煤库中尽可能存有一定数量的煤。圆盘喂料机的圆盘直径要大，转速要慢，使得配煤量不至于忽高忽低。为了防止小煤库出口被堵塞，煤的水份不可大；最好控制在10%以下。

第二章 生 料 成 球

第一节 成球的目的和对料球的要求

一、成 球 的 目 的

立窑烧水泥，须预先将生料成球而后送入窑内煅烧。成球的目的在于，使料层（由许多小料球堆成）内有孔隙，从而减少物料在窑内的阻力（此阻力又叫做料层阻力），有助于通风，使窑内煅烧正常。料球质量的好坏，是影响物料在立窑内的煅烧过程的重要因素之一，决不可忽视。

二、对 料 球 的 要 求

1. 料球应具有一定的大小，而且粒度均匀。料球的大小一般应控制在5~10毫米的范围内。如果料球过小，料球间的孔隙便减少，则物料在窑内的阻力增大，影响通风，不利于煅烧；如果料球过大，虽然料球间的孔隙增大，物料在窑内的阻力减小，有利于窑内的通风，但是料球不容易烧透，影响物料的煅烧速度，甚至会出现黄心料（黄心料是指料球中心未能烧透而呈黄色的物料）。

2. 料球应结实，有一定的机械强度和孔隙率。一般料球的孔隙率小，料球就结实；料球的孔隙率大，料球便不结实。如果料球疏松不结实，则料球在加入窑内和在窑内预热过程中容易破裂，影响窑内通风和煅烧的均匀。但是料球过于结实，也就是料球的孔隙率过小，则物料的煅烧速度受到