

小水泥生产技术

西南水泥工业设计院编



中国建筑工业出版社

本书从小水泥厂的生产实际出发，结合一些厂的经验，重点介绍普通立窑生产水泥的技术知识，包括原料与配料、破碎与粉碎、立窑煅烧、生产控制和生产检验，以及所需主要设备（包括一些土、简设备）的构造、性能和操作等，并附有立窑生产和筹建新厂的参考资料。

本书可供小水泥厂职工阅读参考。

小水泥生产技术

西南水泥工业设计院 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

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：13 15/16 字数：303千字

1975年4月第一版 1976年11月第 次印刷

印数：16,631—36,930册 定价：0.85元

统一书号：15040·3178

毛主席语录

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

前 言

无产阶级文化大革命以来，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的指引下，我国小水泥工业得到了迅速的发展。现在，全国已有百分之八十的县，建立了二千多个规模不等的小水泥厂，生产出了大量的水泥，为支援社会主义农业和地方工业建设作出了积极的贡献。

当前，全国小水泥厂深入开展批林批孔运动，狠批林彪的反革命罪行及其修正主义路线，狠批林彪宣扬的反动没落阶级的意识形态孔孟之道，高举“鞍钢宪法”旗帜，深入地开展“工业学大庆”的群众运动，继续发扬自力更生、艰苦奋斗的革命精神，大搞技术革新，挖掘生产潜力，努力增加产量，提高质量，降低成本，小水泥工业呈现蓬蓬勃勃的兴旺景象。随着群众性的技术革新活动的开展，各地很需要小水泥生产方面的技术资料，因此，我们将原来编写的《小水泥生产技术参考资料》加以修改，以期对广大职工的技术学习能有一些帮助。

在本书编写、修改过程中，曾到部分水泥厂和设计、科研单位学习和收集资料，得到有关单位和同志们的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢。

由于我们的政治、技术水平不高，缺乏生产实践经验，加之调查研究工作做得不够深入，因此书中谬误之处一定不少，希望读者批评指正。

编 者

一九七四年七月

目 录

第一章 水泥原料及配料	1
第一节 水泥的一般概念	1
一、概述	1
二、水泥熟料的化学成分	3
三、水泥熟料的矿物组成	6
四、熟料的各率	8
第二节 水泥原料和燃料	11
一、水泥原料的种类及选择	11
二、原料化学成分及物理性能对水泥生产的影响	20
三、石膏、混合材料及燃料的选择	27
第三节 配料	37
一、配料计算的意义	37
二、熟料各率和矿物组成的选择	39
三、配料计算方法	49
第二章 物料的烘干、破碎及粉磨	59
第一节 物料的烘干	59
一、转筒烘干机	59
二、流态烘干机	72
三、烘干塔	75
四、烘干机用燃烧室	79
第二节 物料的破碎	81
一、颧式破碎机	82
二、锤式破碎机	86
三、反击式破碎机	91
四、小型水泥厂自制破碎机介绍	95
第三节 物料的粉磨	99
一、物料粉磨的作用	99

二、入磨物料的技术条件和产品的质量要求	99
三、粉磨设备概述	104
四、球磨机与管磨机	106
五、提高磨机产质量的措施	126
六、磨机安装与操作的注意事项	139
第三章 立窑与煨烧	143
第一节 立窑的构造	143
一、普通立窑的构造	143
二、机械化立窑构造简介	150
第二节 生产工艺	156
一、对燃料的要求	156
二、生料搅拌和配煤	158
三、生料成球	163
四、立窑的鼓风	175
五、立窑的收尘	184
六、立窑设计的简易工艺计算	186
第三节 煨烧方法	190
一、熟料的形成过程	190
二、白生料法	192
三、黑生料法	193
四、包壳料球法	195
五、差热煨烧法	199
六、立窑煨烧操作	204
第四节 其它生产方法介绍	223
一、全黑生料三差煨烧法	223
二、矿化剂的使用	225
三、蛋窑和轮窑	229
第四章 生产控制	234
第一节 概述	234
第二节 生产控制方法	236
一、原料、燃料及其它材料的控制	236

二、生料的控制	238
三、熟料的控制	242
四、水泥的控制	245
五、生产控制中的注意事项	252
第三节 水泥熟料性能不正常现象的原因及其处理方法	253
一、熟料生烧的原因及处理方法	253
二、熟料粉化的原因及处理方法	255
三、水泥安定性不良的原因及处理方法	257
四、水泥凝结时间不正常的原因及处理方法	261
第五章 简易化学分析	262
第一节 试样的采取和制备	262
一、试样的采取	262
二、平均试样的制备	265
第二节 水泥原料酸碱滴定法	266
一、酸碱滴定法的主要设备与试剂	266
二、试剂的配制与标定	268
三、水泥原料的滴定	271
四、水泥生料碳酸钙滴定值的测定	277
第三节 简易化学全分析	278
一、简易化学全分析的设备与试剂	281
二、水泥原料分析	304
三、水泥生料分析	338
四、水泥熟料分析	338
五、水泥分析	344
第四节 化学分析参考资料	347
一、化学分析结果允许误差范围	347
二、国际原子量表(1971年)	348
三、强酸的比重与浓度	350
四、强碱的比重与浓度	351
五、氨溶液的比重与浓度	351
六、重量分析的换算因数	352

七、容量分析的当量·····	353
八、常用指示剂变色的pH范围及配制方法·····	354
第六章 简易物理检验 ·····	356
第一节 水泥熟料容重的测定·····	358
第二节 水泥比重的测定·····	359
第三节 水泥细度的检定·····	361
第四节 水泥凝结时间和体积安定性的检定·····	370
第五节 水泥强度的检定·····	377
一、抗压强度的检定·····	377
二、抗拉强度的检定·····	396
三、抗折强度的检定·····	400
第七章 筹建小水泥厂应注意的几个问题 ·····	409
第一节 建设小水泥厂应具备的基本条件·····	409
第二节 做好厂址的选择工作·····	411
第三节 生产车间总平面布置·····	412
附录 ·····	416
一、普通立窑水泥厂规模及主要设备配套表·····	416
二、普通立窑设计参考资料·····	422
三、部分水泥厂普通立窑生产指标·····	424
四、部分水泥厂机械化立窑生产指标·····	426
五、几种磨机规格及技术性能·····	428
六、钢球级配参考资料·····	430

第一章 水泥原料及配料

第一节 水泥的一般概念

一、概 述

水泥是以石灰质原料、粘土质原料及其它辅助原料，按一定比例配合，磨细成适当成分的生料，烧至部分熔融，得到以硅酸钙为主要成分的熟料，再加入适量的石膏，磨成细粉而制得，其全称为普通硅酸盐水泥。

在熟料粉磨时，若按水泥成品重量均匀地掺入15%以下的水硬性(或活性)混合材料(如粒化高炉矿渣、火山灰质的物质)或10%以下的非水硬性(或填充性)混合材料(如砂岩、石灰石等)，再加入适量石膏磨成细粉所制得的水泥，亦称为普通硅酸盐水泥。若在水泥中同时掺入活性和填充性两种混合材料，只要其总量不超过15%，且其中填充性混合材料的含量不超过10%，则水泥名称仍然不变，仍称为普通硅酸盐水泥。

若在水泥中掺入的混合材料为20~85%的粒化高炉矿渣，这种水泥称为矿渣硅酸盐水泥(简称矿渣水泥)。在立窑水泥厂生产中，矿渣的掺量一般为25~55%。

若在水泥中掺入的混合材料为20~50%的火山灰质材料(火山灰、烧粘土、烧页岩等)，这种水泥称为火山灰质硅酸盐水泥(简称火山灰水泥)。

水泥是重要的建筑材料，为了满足工程建设的需要，对其各种性能就提出了一定的要求。

水泥具有水硬性。加水拌和后，无论在空气中或水中都能硬化。它加水拌和后，在一定时间内有可塑性，然后逐渐硬结，称之为凝结。若凝结太快，当水泥还未做成所需形状的水泥制品时即失去可塑性而结硬，就会来不及进行施工；如果凝结过慢，则水泥浆的泌水现象严重，影响混凝土的质量，并增加养护和拆除模板的时间。因此，国家标准规定，其初凝时间不得早于45分钟，终凝时间不得迟于12小时。但是，如因需要，根据具体情况也可变动。

水泥在凝结初期，硬度极小，经相当时间后，逐渐坚硬而产生一定的强度，称之为硬化（硬化与凝结的过程，难以截然分开，但亦不能完全混同）。工程建设中，要求水泥在一定时期内具有足够的强度，故由国家规定了标准的强度检验方法，测定其3天、7天、28天的抗拉和抗压强度，水泥的标号就是以28天抗压强度而定，各龄期强度不得低于国家规定的数值（表1-1）。

水泥在硬化后，要求不开裂，不溃散，不然会导致工程的毁坏，即要求水泥有良好的安定性。

另外还规定水泥的细度在4900孔筛上的筛余不得超过15%；普通硅酸盐水泥的烧失量不得超过5%（立窑制造的普通硅酸盐水泥的烧失量允许达到7%）等。水泥以上的这些性质，是与其本身的化学成分和矿物组成直接有关的。

水泥中含有多种氧化物，它们按照一定的组成以化合物状态存在于水泥熟料中，这些化合物称之为水泥熟料矿物。水泥熟料就是由这些矿物按一定比例组成的混合物，矿物按一定比例的组成就叫做水泥熟料的矿物组成。水泥熟料主要的矿物有硅酸三钙（ C_3S ）、硅酸二钙（ C_2S ）、铝酸三钙（ C_3A ）和铁铝酸四钙（ C_4AF ）等，这些矿物及其结晶的

水泥强度国家标准

表 1-1

水泥标号	普通硅酸盐水泥			火山灰质硅酸盐水泥		矿渣硅酸盐水泥	
	3天	7天	28天	7天	28天	7天	28天
抗 压 强 度 (公斤/厘米 ²)							
200	—	100	200	90	200	90	200
250	—	140	250	110	250	110	250
300	—	180	300	140	300	140	300
400	160	260	400	190	400	190	400
500	220	350	500	270	500	270	500
600	260	420	600	—	—	—	—
抗 拉 强 度 (公斤/厘米 ²)							
200	—	12	18	11	18	11	18
250	—	12	18	11	18	11	18
300	—	15	22	14	22	14	22
400	15	19	24	18	24	18	24
500	19	23	27	22	27	22	27
600	21	27	32	—	—	—	—

形态不同，直接影响到水泥的各种重要性能。熟料和生料的组成，通常还用率值来表示。现将水泥熟料的氧化物、矿物组成和各率的作用及其性能分别介绍如下。

二、水泥熟料的化学成分

水泥熟料中主要的化学成分有氧化钙 (CaO)、二氧化硅 (SiO_2)、氧化铝 (Al_2O_3) 和氧化铁 (Fe_2O_3)。这四种氧化物按一定的比例存在于水泥熟料中，它们的含量之和一般在95%以上。其次，在熟料中还含有少量的氧化镁 (MgO)、三氧化硫 (SO_3)、氧化钾 (K_2O) 和氧化钠 (Na_2O)。它们的含量有一定的限制，一般要求熟料中氧化镁的含量不超过4.5%；氧化钾和氧化钠的含量之和不超过

过1.2%；水泥中三氧化硫的含量不超过3%。

目前国内立窑水泥厂的生产中，水泥熟料主要氧化物的含量大致如下：

CaO	62~66%	Al ₂ O ₃	5~7%
SiO ₂	20~22%	Fe ₂ O ₃	4~5%

熟料中各种化学成分的含量不同，水泥的性质也随之而变化，现将各氧化物对水泥性质的影响及其作用分别叙述如下：

1. 氧化钙：它是水泥熟料中的主要成分。它在高温煅烧时与SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃化合而生成C₄AF和C₃A，其余的CaO与SiO₂生成C₂S，C₂S再最后与剩余的CaO生成C₃S。在配料适当、细度合格、搅拌均匀、煅烧正常的情况下，CaO含量高，可使熟料得到较高的C₃S含量，从而加速水泥的硬化，提高水泥的强度。如果上述任何一个过程不符合要求时，如CaO过高、煅烧温度不够等，就可能产生游离氧化钙（*f* CaO）。它在熟料中不以化合物状态存在而在煅烧过程中成死烧状态。加水后，与水作用极慢，在水泥硬化后才进行消解，消解时体积发生膨胀，致使水泥制品产生裂缝，严重时，甚至彻底崩溃。故回转窑生产的熟料，要求游离氧化钙含量不超过1%，立窑生产的熟料，希望其游离氧化钙含量不超过2.5%。若游离氧化钙含量在一定极限内，增加其数值，即使不引起水泥的安定性不良，也会导致水泥强度的显著降低，尤其对抗拉强度的影响较大。但在目前立窑水泥厂的生产中，实际的游离氧化钙含量大多偏高，平均样约在1~4%。

2. 二氧化硅：它也是水泥熟料中的主要成分之一。它以足够的数量供给CaO使之生成的C₂S和C₃S有较高的总量。

当CaO的量一定时，二氧化硅的含量愈高，生成 C_2S 的量愈多， C_3S 就少。增加 SiO_2 的含量，水泥的凝结时间就慢，早期强度低，水泥的标号亦低，但28天以后的后期强度较高。若 SiO_2 过高，CaO的含量相对不足，就大量地生成 C_2S ，由于 C_2S 在 $675^{\circ}C$ 时，晶型会转化，它由 $\beta-C_2S$ 转化成 $\gamma-C_2S$ ，前者比重为3.27，后者比重为2.97，转化时其体积约膨胀10%，因而产生内部应力，大块熟料出窑后，似有虫蛀似的变成细粉，这种现象称之为熟料的粉化，粉化后的熟料几乎没有强度，致使出窑熟料的成品率低。

3. 氧化铝：它与CaO、 Fe_2O_3 化合生成 C_3A 和 C_4AF 起助熔作用。增加水泥熟料中 Al_2O_3 含量，水泥凝结时间快，早期强度较高，但水泥后期强度增长较慢，并降低水泥抗硫酸盐性能。

4. 氧化铁：它主要起助熔作用，与CaO、 Al_2O_3 生成 C_4AF 。提高水泥熟料中 Fe_2O_3 的含量，能降低熟料的烧成温度。但含量过高，熟料在窑内易结大块，形成炉瘤，妨碍窑的正常操作。

5. 氧化镁：在熟料中含少量的MgO，有降低熟料熔融温度的作用。若其含量高，由于它在高温时生成游离状态的方镁石结晶，其水化速度极慢，水泥硬化后，它尚在进行水化，水化时其体积膨胀，产生内部应力，已经硬化了的水泥制品和建筑物就会产生裂缝，甚至被破坏，这种现象发生在水泥硬化的后期，即在施工后相当长的时期以后。但是，MgO在熟料中，若不以方镁石结晶存在，而呈玻璃体，则有害作用小。在一般情况下，MgO在水泥熟料中的含量，要求不超过4.5%。

6. 三氧化硫：它的含量过多会造成水泥安定性不良，建

筑物遭到破坏。当水泥和水后，它与含水铝酸钙作用而生成硫铝酸钙，体积显著地增大，产生内部应力，致使建筑物破坏。根据我国现行的国家标准， SO_3 在水泥中的含量不得超过3.0%。

7. 碱性氧化物 ($K_2O + Na_2O$)：微量的碱有降低熟料熔融温度促进烧成的作用。生料中的碱在煅烧过程中，一部分挥发掉，一部分留在熟料中。当熟料中含量较多时， K_2O 和 Na_2O 分别与有胶凝性能的 C_3S 和 C_2S 作用，生成无用的稳定化合物，并产生游离氧化钙，使熟料形成过程缓慢，阻碍 C_3S 形成，熟料强度降低。含碱高的水泥风化后，生成碳酸钾、碳酸钠，会引起水泥的快凝现象，它在混凝土中引起起霜现象，使水泥表面褪色。用含硅页岩、蛋白石或其它非晶形氧化硅作骨料所制成的水工混凝土，碱会与它们起反应，引起体积膨胀而崩坏。在水泥熟料中，一般要求其含量不超过1.2%。

三、水泥熟料的矿物组成

水泥熟料中的矿物组成是十分复杂的，它们不仅受各主要氧化物的影响，而且与微量的氧化物及冷却速度等因素有关。这里仅介绍 C_3S 、 C_2S 、 C_3A 、 C_4AF 四种矿物组成。它们与氧化物之间的关系可用下列公式表示：

$$\begin{aligned} C_3S &= 3.8SiO_2 (3KH - 2) \\ &= 4.07CaO - 7.60SiO_2 \\ &\quad - 6.72Al_2O_3 - 1.42Fe_2O_3 \\ C_2S &= 8.6SiO_2 (1 - KH) \\ &= 8.6SiO_2 + 5.07Al_2O_3 \\ &\quad + 1.07Fe_2O_3 - 3.07CaO \end{aligned}$$

$$C_3A = 2.65 (Al_2O_3 - 0.64Fe_2O_3)$$

$$C_4AF = 3.04Fe_2O_3 \quad (p \geq 0.64)$$

$$C_4AF = 4.77Al_2O_3 \quad (p \leq 0.64)$$

根据化学全分析得熟料各氧化物的含量后，用上述公式即可计算出矿物组成的含量，故亦称计算矿物组成。它们的组成不同，水泥的性能也随之而变化，所以，用这四种矿物来表示水泥熟料的组成，还是有其现实意义的。

根据目前国内立窑水泥厂生产的统计，水泥熟料矿物组成的一般波动范围大致如下：

C_3S	45~56%	C_3A	6~10%
C_2S	20~30%	C_4AF	13~17%

上述四种矿物组成，又分为硅酸盐矿物和熔剂矿物两类，前者是指 C_3S 和 C_2S ；后者包括 C_3A 和 C_4AF 。硅酸盐矿物与熔剂矿物之比值，其波动范围一般较狭窄，但在硅酸盐矿物或熔剂矿物内，各矿物的含量变化较大，不管其中哪一种矿物变化，都会影响水泥的性质，现将四种矿物的特性分述如下：

1. 硅酸三钙：它是产生强度的主要因素。特别能发挥28天以内的早期强度，它在28天内就水化69%左右。所以， C_3S 含量高，水泥的标号就高，而且容易粉磨，但 C_3S 高的熟料所需的烧成温度高。

2. 硅酸二钙：它也起强度作用。其早期强度低，28天内仅水化11%左右。 C_2S 高的熟料，水泥的早期强度低，凝结时间缓慢，但后期强度增长率较高。当硅酸盐矿物总和固定时， C_2S 高的熟料在窑内易于烧成，但熟料较难粉磨，并易产生粉化现象而致使熟料的成品率低。

3. 铝酸三钙：它与 C_4AF 在1300°C高温下熔融呈液态，

故称为熔剂矿物。它在熟料煅烧过程中起助熔作用。在许可范围内含量高，可促使水泥水化和加快凝结时间，它在28天内就水化84%左右，故能使水泥的早期强度高。若含量过高，会造成水泥凝结太快（称之快凝），甚至加水后，在几分钟内即凝结（称之瞬凝），故在普通硅酸盐水泥的熟料中，其含量一般不希望超过10%。同时， C_3A 的液相粘度较大，含量过高，还会使料子的煅烧发生困难，熟料的游离氧化钙高。

4. 铁铝酸四钙：它主要起助熔作用。它不仅能降低熟料的烧成温度，由于它的液相粘度较低，在煅烧过程中还能促使游离氧化钙的吸收，有利于形成 C_3S ，有利于提高熟料的产质量。但它的含量过多，立窑煅烧时容易结大块熟料，形成窑瘤，妨碍正常操作。

四、熟料的各率

表示水泥熟料组成的各率，通常采用的有石灰饱和系数或称石灰饱和比（ KH ）、硅酸率（ n ）和铝氧率或称铁率（ p ）。它们还可用来表示生料的组成及评定原料的品位。这三个率值不仅表示水泥熟料中各氧化物之间的关系，而且也决定了水泥熟料矿物间的关系，其关系可用下列公式表示：

1. 各率与氧化物之间的关系：

当 $p > 0.64$ 时

$$KH = \frac{CaO - fCaO - (1.65Al_2O_3 + 0.35Fe_2O_3 + 0.7SO_3)}{2.8SiO_2}$$

当 $p \leq 0.64$ 时

$$KH = \frac{CaO - fCaO - (1.1Al_2O_3 + 0.7Fe_2O_3 + 0.7SO_3)}{2.8SiO_2}$$

$$n = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

$$p = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

2. 各率与矿物组成之间的关系:

$$KH = \frac{C_3S + 0.8838C_2S}{C_3S + 1.3256C_2S}$$

$$n = \frac{C_3S + 1.3254C_2S}{1.4341C_3A + 2.0464C_4AF}$$

$$p = \frac{1.1501C_3A}{C_4AF} + 0.6383$$

在运用上述公式计算配合原料时, KH 计算公式中的 $f\text{CaO}$ 及 SO_3 含量无法预先确定, 故略去不计。

石灰饱和系数: 它表示了 SiO_2 被 CaO 所饱和的程度。即在水泥熟料中, 总的 CaO 之量减去饱和酸性氧化物 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 SO_3 所剩下的与 SiO_2 作用的 CaO 之量, 和理论上 SiO_2 全部被饱和成 C_3S 所需 CaO 的量之比。对于完全饱和的熟料而言, KH 应等于 1, 硅酸盐矿物全部以 C_3S 存在。在生产中, 熟料的 KH 都小于 1。 KH 的高低, 不仅取决于 CaO 含量的多少, 在一定程度上取决于煅烧温度和反应条件, 只有在生成条件允许的情况下, KH 高, 熟料的 C_3S 含量亦高, 即硅酸盐矿物中 C_3S 与 C_2S 的比值高, 水泥熟料的标号就高。 KH 直接影响水泥熟料的强度和煅烧的难易。

硅酸率: 它不仅表示了水泥熟料中 SiO_2 与 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 之和的比例, 而且也决定了水泥熟料中硅酸盐矿物和熔剂矿物之间的比例。它除了关联水泥的强度外, 主要影响熟料的易烧性。 n 过高时, 液相量少, 熟料难以烧成, n 太低, 液相量多, 易结大块。