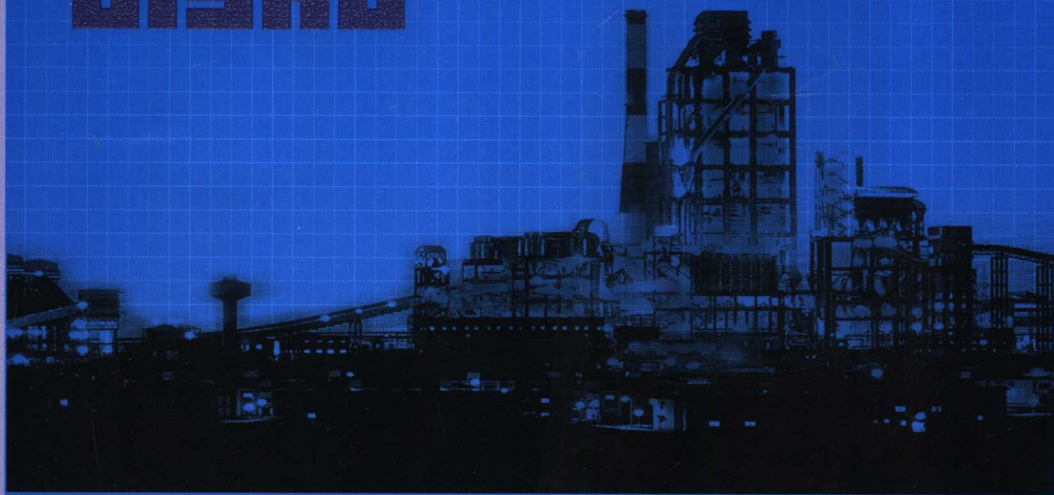


水泥生产技术丛书

水泥工艺 外加剂技术

赵洪义 编著

SHUINI
GONGYI
WAIJIAJI
JISHU



化学工业出版社

水泥生产技术丛书

水泥工艺外加剂技术

赵洪义 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是《水泥生产技术丛书》的一个分册。

本书比较全面系统地介绍了目前较为成熟的水泥工艺外加剂技术,包括矿化剂、生料速烧剂、助磨剂、早强剂、激发剂和缓凝剂等在水泥生产过程中使用的各类工艺外加剂及其应用技术,并简要介绍了利用工艺外加剂生产特种水泥和绿色高性能水泥的相关技术知识。

本书内容丰富实用,叙述深入浅出,通俗易懂,可操作性和启发性较强。书中不仅有相关原理的阐述,同时列举了大量生产应用实例,适合水泥生产企业技术人员阅读,也可供大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水泥工艺外加剂技术/赵洪义编著. —北京:化学工业出版社, 2006. 11

(水泥生产技术丛书)

ISBN 978-7-5025-9693-4

I. 水… II. 赵… III. 水泥外加剂 IV. TQ172.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第135542号

水泥生产技术丛书 水泥工艺外加剂技术

赵洪义 编著

责任编辑:常青

文字编辑:管景岩

责任校对:李林

封面设计:张辉

*

化学工业出版社出版发行

(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

购书咨询:(010)64518888

购书传真:(010)64519686

售后服务:(010)64518899

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 11¼ 字数 212千字

2007年1月第1版 2007年1月北京第1次印刷

ISBN 978-7-5025-9693-4

定价:25.00元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

《水泥生产技术丛书》编委会

主任：陈益民

副主任：顾惠元

委员：（按姓氏笔画排列）

丁奇生	王文义	王迎春	刘 龙	江丽珍	李维新
杨华全	肖忠明	辛志军	张大同	张绍周	张朝发
陈绍龙	陈益民	金烈火	赵介山	赵洪义	赵慰慈
倪竹君	郭随华	顾惠元	焦永道	颜碧兰	

丛书前言

水泥是社会经济发展最主要的建筑材料之一，在今后几十年甚至上百年内仍然是无可替代的基础材料，对人类生活文明的重要性不言而喻。我国是水泥生产和消费大国，自1985年以来，我国水泥年产量一直居世界首位，目前占世界总产量的比重已近50%，2005年的产量已超过10亿吨。全国有水泥生产企业数千家，从业人员数百万人。在今年相当长的时期内，我国水泥的产量仍将持续增长，最终稳定在一个较高的水平上。

水泥工业的快速发展，以及水泥生产装备水平和生产技术的逐步提高，使越来越多的工程技术人员投入到水泥行业中。一方面，很多企业规模扩张较快，一些技术人员的专业水平跟不上生产技术的发展；另一方面，由于高等院校对于学生的培养趋于重基础、宽专业，专业授课时数减少，从事水泥生产的专业技术人员需要在生产实践中学习和掌握更多的专业知识。为此我们组织编写了这套水泥生产技术丛书，以期对水泥生产企业的技术人员有所帮助。

本套丛书共有《水泥的原料与燃料》、《水泥熟料烧成工艺与装备》、《水泥生产破碎与粉磨工艺技术及设备》、《水泥化学分析》、《水泥物理检验》、《水泥岩相》、《水泥工业大气污染治理》、《水泥窑用耐火材料》、《水泥混合材和混凝土掺合料》和《水泥工艺外加剂技术》10个分册，基本上涵盖了水泥生产工艺全过程、产品性能控制、生产装备及其维护保养等各方面的知识。丛书的作者均为长期从事水泥行业科研、教学和生产一线工作的高级专业技术人员，有较高的专业水平和丰富的实践经验，丛书中包含了作者多年的经验积累和部分研究成果。考虑到目前我国水泥工业的生产装备仍然是窑外分解窑和机械化立窑共存的局面，虽然新型干法窑逐步占据主导地位，但是在今后一段时期仍然会有部分机立窑存在，在提高新型干法窑水泥企业技术水平的同时，提高机立窑企业技术人员的技术水平进而提高机立窑水泥质量和降低资源消耗，也有利于社会可持续发展。因此，本套丛书的内容既力求比较全面系统地反映水泥新型干法生产工艺技术，也兼顾机立窑存在的客观需求。丛书尽可能从实用的角度总结和反映近年来国内外水泥生产技术方面的新进展和新成果，并给出一些生产实例，相信对于水泥生产企业的技术人员及管理人员会有所帮助，对于从事水泥专业研究和教学的科技人员、教师和研究生也会有较好的参考价值。

由于作者的知识水平和掌握的资料有限，丛书所述内容难免有疏漏和不妥之处，我们真诚欢迎读者提出宝贵的意见和建议，以便再版时使其得到改进和完善。

《水泥生产技术丛书》编委会

2006年11月

前 言

社会发展离不开水泥，水泥消耗则随人口及经济快速增长而急剧攀升。我国是世界水泥生产、消费大国，水泥年产量已突破 10 亿吨。但在传统硅酸盐水泥生产中，需要耗费大量的不可再生资源（石灰石、黏土等），以及消耗大量的能源，同时给生态环境带来一定的负面影响。跨世纪以来，国家提出要注重“人口、资源、环境、发展”四位一体总协调，珍惜资源、节约能源、保护环境，走发展循环经济的道路。水泥行业的科技工作者近十几年来围绕该课题进行研究、创新、开发，取得了较大成效；与此同时，也积极寻找新的办法和途径，将原来不具备水化活性的物质或混合物，经适当的物理化学方法处理后，转变为具有胶凝性质的材料，以逐步减轻水泥工业对环境、资源的压力。其中水泥工艺外加剂技术就是符合科学发展观、有利于水泥工业可持续发展、促进传统水泥生产工艺改造的适用技术和产品更新的有效办法。

为满足广大水泥企业员工了解绿色高性能生态水泥的需要，在水泥生产过程中进一步实现优质、高产、节能、环保和清洁生产，加快建设“资源节约型、环境友好型”水泥企业的进程，本书以作者近二十年来从事水泥工艺外加剂研究开发工作的经验、体会为基础，在国内首次比较全面、系统地阐述本行业所研究、应用的水泥工艺外加剂技术最新理论和科研成果，以及合成绿色高性能生态水泥的生产工艺方法。书中主要介绍了在水泥生产过程中掺入的各类工艺外加剂，如矿化剂、生料速烧剂、助磨剂、早强剂、激发剂、缓凝剂等的基本原理及应用技术，并列举了大量的水泥企业应用实例，以利于读者结合本厂生产实际，在解决具体技术问题和开发新产品时借鉴与参考。

本书力求原理明确、论述精辟、视野开阔、资料丰富、数据准确、深入浅出、通俗易懂，强调可操作性和启发性，适合水泥企业技术人员在进行生产及工艺创新时阅读，也可以作为大专院校有关专业师生了解水泥工艺外加剂的参考用书。

本书的编著得到了行业内李俭之教授、杨南如教授、赵介山教授、席耀忠教授和陈绍龙教授等水泥界资深专家的关心和指导；同时，也得到了研发工艺外加剂的同仁们鼎力支持和资料帮助，在此表示诚挚的感谢！由于作者水平所限，难免存在不当之处，恳请业内专家、学者和企业界朋友提出批评并指正。

作 者

2006 年 11 月于山东宏艺科技有限公司

目 录

第一章 概 述

第一节 水泥工艺外加剂定义、分类及国内外发展动态	1
一、定义	1
二、分类	1
三、国内外发展动态	2
第二节 水泥工艺外加剂对水泥工业发展的重要作用	3
一、珍惜资源	3
二、节约能源	4
三、保护环境	4

第二章 水泥矿化剂技术

第一节 水泥生料易烧性	6
一、易烧性的定义及其试验方法	6
二、原料性能测试试验方法	6
三、影响生料易烧性的因素	7
四、生料易烧性的评价	11
第二节 水泥复合矿化剂技术	12
一、复合矿化原理	12
二、矿化剂的选择	15
三、使用矿化剂的配料方案设计	18
四、矿化剂对熟料煨烧的影响	19
五、使用复合矿化剂的煨烧操作	24
六、其他矿化剂的应用效果	27
第三节 微量元素对熟料煨烧的影响	32
一、常见微量元素对熟料煨烧过程影响的机理	32
二、常见微量元素对熟料煨烧的影响	34

第三章 水泥生料速烧剂技术

第一节 熟料形成机理与反应动力学	37
一、固相反应的活化能	37

二、熟料形成中的液相烧结	40
第二节 生料速烧剂的应用	41
一、生料速烧剂的作用机理	41
二、应用速烧剂的技术措施	42

第四章 水泥助磨剂技术

第一节 助磨剂作用原理及分类	46
一、助磨剂作用原理	46
二、助磨剂分类及作用	48
第二节 助磨剂应用技术	50
一、影响助磨剂使用效果的因素	50
二、助磨剂的选择	53
三、助磨剂对粉磨过程及产品质量的影响	55
四、应用实例	58

第五章 水泥早强剂技术

第一节 提高水泥强度的途径	63
一、提高熟料强度	63
二、充分发挥熟料活性	65
三、稳定水泥质量	67
第二节 水泥早强剂技术	68
一、早强剂分类及增强机理	68
二、早强剂应用技术	69
三、应用实例	70

第六章 激发剂技术

第一节 碱激发胶凝材料的命名与分类	76
一、命名	76
二、分类	77
第二节 碱激发机理简介	79
一、碱激发溶解-聚合理论	79
二、溶解-絮凝-聚合结晶碱激发理论	81
三、碱激发胶凝材料水化过程的两种模型	82
第三节 高效复合水泥添加剂技术	83
一、水泥激发剂分类	83
二、水泥激发剂作用原理	83

三、水泥激发剂的应用	84
四、试验实例	85
第四节 碱-集料反应膨胀破坏及其防治	88
一、碱-集料反应定义	89
二、碱-硅酸反应机理	89
三、抑制碱-集料反应的外加剂	89
四、碱-集料反应的预防	92

第七章 水泥缓凝剂技术

第一节 水泥凝结硬化机理	94
一、水泥的凝结硬化及其影响因素	94
二、水泥急凝及其预防	97
三、水泥缓凝及其预防	101
第二节 缓凝剂技术	104
一、缓凝剂作用机理	104
二、缓凝剂分类	106
三、缓凝剂的应用	107
四、试验实例	109

第八章 利用外加剂技术生产特种水泥

第一节 国内外部分特种水泥矿物组成与性能	113
一、国内外部分特种水泥生产现状	113
二、部分特种水泥生产现状简介	116
三、我国特种水泥发展途径	117
第二节 利用外加剂生产特种水泥	119
一、用于特种水泥生产的外加剂简介	119
二、利用外加剂生产特种水泥的品种	120
三、利用外加剂生产特种水泥的生产技术	125

第九章 利用工艺外加剂合成绿色高性能水泥

第一节 利用工艺外加剂煅烧绿色高性能水泥熟料	130
一、低钙高性能水泥生产技术	131
二、高钙高性能水泥熟料生产技术	137
第二节 利用工业外加剂合成绿色高性能水泥	140
一、增加高性能水泥品种	140
二、改善水泥使用性能	140

第三节 合成绿色高性能水泥的工艺方法	141
一、合成组分构成及生产方法	141
二、高细混合粉磨工艺	142
三、分别粉磨生产工艺	143
四、高活性掺合料合成工艺	144
五、试验实例	145
参考文献	149

附 录

一、中华人民共和国建材行业标准《水泥助磨剂》(JC/T 667—2004) (摘录)	150
二、用于制造水硬性水泥的工艺外加剂标准(ASTM C 465—99) (摘录)	154
三、用于制造水硬性水泥的功能外加剂标准(ASTM C 688—00) (摘录)	159
四、企业标准《水泥粉磨用功能外加剂》(Q/LHY 001—2004)	164

第一章 概述

第一节 水泥工艺外加剂定义、分类及国内外发展动态

一、定义

水泥工艺外加剂是指在水泥生产过程中有利于节能高产，掺入后能够改善工序产品性能、降低生产成本的少量物质。原则上掺量小于1%，一般不大于5%（特殊情况除外）。

水泥工艺外加剂是水泥外加剂的重要组成部分。水泥外加剂分为水泥生产过程用外加剂（又称水泥工艺外加剂）、水泥使用过程用外加剂（又称水泥混凝土外加剂）和水泥基特种工程材料用外加剂。

水泥工艺外加剂研究和生产的基本原则是：水泥工艺外加剂不仅要在水泥生产过程中的优质、节能、高产、改善产品性能等某一方面或几方面有积极作用，无副作用；而且掺工艺外加剂的水泥产品，必须符合国家标准的水泥质量要求，并与水泥混凝土外加剂具有良好的适应性；不影响或有利于提高水泥混凝土的使用性能和耐久性，尤其是其中有害成分不能超标。

二、分类

(1) 按掺加工序不同，可分为：生料制备用外加剂和水泥粉磨用外加剂。

(2) 按物理形态不同，可分为：固态外加剂和液态外加剂。

(3) 按化学成分不同，可分为：有机外加剂、无机外加剂和有机与无机的复合外加剂。

(4) 按用途不同，可分为：原料校正用外加剂、矿化剂、速烧剂、助磨剂、缓凝剂、激发剂等。水泥工艺外加剂的主要作用和成分见表1-1。

表 1-1 水泥工艺外加剂的主要作用和成分

工艺外加剂品种	主要作用	主要成分
原料校正用外加剂	加速碳酸盐分解 降低烧成温度，降低液相黏度 促进早强矿物的形成 提高产、质量，降低能耗	萤石、石膏、稀土、合金矿渣等
晶种	诱导结晶，加速矿物的形成或提高产、质量，降低能耗	熟料、矿渣、炉渣等

续表

工艺外加剂品种	主要作用	主要成分
生料速烧剂	起矿化剂和晶种的助熔、助燃双重作用 对主导矿物起稳定作用 对硅酸盐晶体起活化作用,抑制晶体长大造成晶体缺陷 提高产、质量,降低能耗	萤石、石膏、工业废渣、微量元素、稀土、助熔剂、助燃剂等
调凝剂	调节凝结时间,调节水泥的凝结和硬化,分促凝和缓凝两类	铝氧熟料、部分碳酸盐、硫酸盐、石膏、磷石膏、羟基羧酸及其盐、锌盐、铁、铜硫酸盐等
助磨剂	提高水泥比表面积,增加反应活性,提高磨机产量,降低电耗	含有氨基、羟基、羧基的表面活性剂
激发剂	生产高强度等级水泥(比熟料强度高的水泥) 生产低碱水泥 大量利用工业废渣,节约资源、降低能耗、变废为宝、减少污染 提高产、质量,降低成本,改善性能	碱类、硫酸盐类 HY-I 型高效复合水泥添加剂 (助磨增强剂)
生产特种水泥 用外加剂	改变生产模式(以硅酸盐水泥熟料或其他特种熟料为基础)	根据特种性能设计

三、国内外发展动态

1796年,英国人杰姆斯·帕克(James Parker)用含有黏土的不纯石灰石球,烧制成天然水硬性胶结材料。1813年,法国人维卡(Vicat)用石灰石和黏土的合成物,经煅烧制成了人造水硬性胶结材料。他还发明了沿用至今的维卡针,用以测定水泥的凝结时间。1824年,英国人约瑟夫·阿斯普丁(Joseph Aspdin)提出了“波特兰”水泥的一个专利。他先煅烧某些磨细的石灰石(粉状或浆状),掺入磨细的黏土,再将混合物在窑内煅烧至 CO_2 被分解逸出,最后将烧成物磨细制成水泥应用。因为硬化后的水泥酷似英国波特兰石场的天然石料,故而命名为“波特兰水泥”。尽管它并未达到真正水泥的烧成温度,但因为市场上取得了很大的成功,故约瑟夫·阿斯普丁被后人确定为水泥的发明人。

国外工艺外加剂技术发展较早,大约有100年的历史。最早使用的工艺外加剂主要是用于控制水泥凝结时间的水泥缓凝剂(如 CaCl_2 、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 等)。随着水泥工业及水泥混凝土应用的发展,对水泥的性能提出更高的要求,水泥工艺外加剂技术也随之得到了广泛的应用。20世纪20年代,英国人J.F.Goddard应用树脂作为水泥粉磨的助磨剂,取得了英国的专利,随后在欧美、日本得到了普及与应用。国外使用的水泥工艺外加剂主要品种是助磨剂和生产混凝土改性材料的外加剂(即混合材活性激发剂),如前苏联、德国、印度、美国等国家广泛使用水泥工艺外加剂,并制定了相应的标准。

我国水泥工艺外加剂技术起步较晚，但发展比较迅速。主要目的是提高生产控制水平和产品质量，同时节能高产，降低生产成本。20世纪50年代起就开始应用水泥助磨剂技术，70年代开始应用推广水泥矿化剂技术，80年代开始应用晶种技术等。进入21世纪后，水泥生料速烧剂、水泥助磨剂、水泥混合材激发剂等，都得到了进一步的发展。特别是我国政府提出大力发展循环经济，实现资源的高效利用和循环利用，建设资源节约型社会，使经济建设全面协调可持续发展的战略后，能源消耗、资源消耗及环境污染密集型的水泥工业面临着严峻的挑战。水泥工业必须向绿色和高性能方向发展，低消耗、低排放、高效率、多途径生产各类胶凝材料成为水泥工业发展的必由之路。因此，水泥工艺外加剂技术的研究、开发进入了一个快速发展的高峰期。与此同时，为确保水泥质量和水泥应用的建筑工程质量，也亟待国家出台一些有针对性的行业标准，来规范水泥工艺外加剂的生产和应用。1997年，我国制定了中华人民共和国建筑材料行业标准《水泥粉磨用工艺外加剂》，并在2004年修改为《水泥助磨剂》(JC/T 667—2004)。部分外加剂的应用限值通过水泥质量标准体现出来。如水泥缓凝剂中的石膏，SO₃起主要作用，国家水泥标准GB 175—1999、GB 1344—1999、GB 12958—1999中，对石膏的品质、水泥凝结时间以及SO₃含量都进行了具体规定。根据形势发展的需要，高效、多功能复合外加剂的研究、开发和应用，是水泥工艺外加剂今后发展的方向。

第二节 水泥工艺外加剂对水泥工业发展的重要作用

一、珍惜资源

根据有关资料报道，我国矿产人均资源量仅为世界平均水平的58%，终端资源支出占GDP的13%，高出美国一倍；每万元GDP资源消耗是日本的9.7倍，而我国创造的GDP不到世界总量的4%。上述数字表明，必须改变我国“地大物博，矿产丰富”的观念，珍惜有限的不可再生资源（包括石灰石和黏土）。我国水泥年产量超过10亿吨，所需石灰石为8.5亿吨/年，要消耗黏土1.8亿吨/年。目前我国探明石灰石资源储量约为550亿吨，可开采利用的约为250亿吨，每年耗用量若按8.5亿吨计，服务年限不足30年。我国人均耕地资源不到世界平均水平的40%。耕地面积仅占国土面积的10%，其中30%的市、县人均耕地面积已低于联合国规定的人均0.8亩（约533.36m²）的警戒线。

如何解决水泥生产的资源已成为迫在眉睫的问题。实际上，目前各类工业生产中排放出的大量副产品和废弃物，每年约12亿吨，大多数可以作为生产水泥的原料，它们涉及范围广、量大。2005年以来，水泥工业年利用工业废弃物仅

为 2 亿吨左右, 仍然有大部分没有得到利用。它们不仅占用了土地, 同时对环境也造成了污染。因此, 充分利用工业废弃物, 把它作为水泥原料的主要来源, 可以减少对天然原料的开采, 对保护不可再生的资源、保护生态环境和减少能源消耗都有积极作用。水泥工艺外加剂可以加速工业废弃物转化为胶凝材料的物理化学变化过程, 是水泥中不可缺少的重要组分。

二、节约能源

水泥行业是燃料消耗大户。据不完全统计, 目前全水泥行业每年消耗标准煤 8700 万吨, 占全年标准煤生产量的 9% 左右, 而我国煤炭储采比不足百年。全国电力装机总容量达到 5 亿千瓦, 但各地用电量激增, 许多城市不得不采取限电措施。水泥生产单位产品电耗比世界先进水平高出 50%, 水泥行业每年总电耗超过 800 多亿千瓦·时, 可见节约资源和能源势在必行。这迫使水泥行业除了对传统生产工艺进行技术改造之外, 还必须寻找新的节能降耗措施。水泥工艺外加剂就是最经济、适用的得力帮手。水泥生产过程资源、能源消耗情况及预测见表 1-2。

表 1-2 水泥行业资源、能源消耗情况及预测

项目 年份	水泥产量 /亿吨	熟料产量 /亿吨	电耗 /亿千瓦·时	标准煤耗 /万吨	石灰石 /万吨	黏土 /万吨
2002	7.25	5.1	580	7650	66300	9180
2003	8.36	5.8	670	8700	75400	10440
2004	9.7	6.8	776	10200	88400	12200
2010	13	9.1	1040	13700	118300	16400

三、保护环境

根据目前技术经济状况测算, 生产 1t 水泥熟料, 需排放粉尘 20kg, 排放 CO₂ 1000kg, 排放 SO₂ 0.24kg, 排放 NO_x 0.15kg。水泥工业是粉尘、CO₂ 和 SO₂ 的排放大户, 其排放量分别为全国工业生产总排放量的 27.10%、21.8%、4.85%。CO₂、SO₂ 和 NO_x 是造成地球温室效应和酸雨的有害气体, 要想尽一切办法减少这类气体的排放。近几年水泥生产对环境的污染情况及预测见表 1-3。

表 1-3 水泥工业大气污染物排放情况及预测

项目 年份	粉尘/万吨	CO ₂ /万吨	SO ₂ /万吨	NO _x /万吨
2002	1450	51000	122	77
2003	1670	58000	139	87
2004	1940	68000	163	102
2010	2600	91000	218	137

水泥工艺外加剂在水泥生产中的应用,可以降低熟料的煅烧温度,抑制 NO_x 的生成量;同时,在烧成反应中加大水泥熟料对某些有害元素的固化量,减少对外排放;更重要的是,在制成水泥时,可以增加工业废弃物的掺加量,减少熟料的使用量,从两个方面加大对环境保护的作用;在满足社会对水泥需求的同时,促进工业废弃物的循环再利用和减少水泥生产资源、能源消耗的力度。

第二章 水泥矿化剂技术

第一节 水泥生料易烧性

一、易烧性的定义及其试验方法

水泥生料易烧性是评价水泥原料和生料的重要工艺指标，是正确选择原料、设计生料、确定生产工艺方法、设备选型及保证优质高产低耗的重要依据和参数。要研究生料的易烧性，首先要研究原料的地质、矿物和物理特性，其次是研究影响易烧性的各种生料制备因素，如生料化学成分、生料细度、生料均匀性等。

易烧性是指生料在煅烧过程中形成熟料的难易程度，理论上是指生料组分经过煅烧转变成熟料相对传质的数量。通常，易烧性是用生料在一定温度(T)下煅烧一定时间(t)后，测定其 $f\text{-CaO}$ (游离氧化钙) 百分含量来度量的。

易烧性试验可按照 GB 9965—88《水泥生料易烧性试验方法》进行。

具体方法是：取代表性生料试样 100g，加入 20ml 蒸馏水，拌和均匀。每次取湿生料 $3.6\text{g} \pm 0.1\text{g}$ ，置于试样成型模内，手工捶制成 $\phi 13\text{mm} \times 13\text{mm}$ 的小试样。将试体在 $105 \sim 110^\circ\text{C}$ 的烘箱内烘 60min 以上，然后放入 950°C 恒温的高温炉内预烧 30min，再将试体分别置于 1350°C 、 1400°C 、 1450°C 的高温炉内煅烧 30min 后，将试体自然冷却。把煅烧后的试体磨细，测定其 $f\text{-CaO}$ 含量，并以此表示该生料在各种煅烧温度下的易烧性。

二、原料性能测试试验方法

原料性能的研究主要是研究石灰质原料和黏土质原料的性能。原料的诸多性能中对易烧性影响最大的是分解性能和反应活性。随着现代测试技术的进步，已经可以对石灰质原料和黏土质原料的化学成分、矿物组成和微观结构进行定量研究，从而揭示原料性能对易烧性的影响和作用机理。

1. 石灰质原料性能的研究内容和测试方法

石灰质原料在生料配比中占 70%~75% (回转窑的生料中占 80%左右)，其物理化学性质决定了熟料煅烧过程中的碳酸盐分解过程，并进而影响固相反应和熟料烧结反应过程，因此对其性能的研究最为重要。

① 用化学分析方法定量确定石灰质原料中各种元素（或氧化物）的含量，从而确定其品位；

② 用差热分析法确定石灰质原料的分解温度；

③ 用 X 射线衍射方法进行物相定性分析，确定石灰质原料中的主要矿物组成；

④ 用透射电子显微镜来研究方解石晶粒形态、晶粒大小、分布均匀程度；

⑤ 用电子探针研究杂质组分的形态、含量、颗粒大小、分布均匀程度。

在进行上述分析的基础上，再综合分析测试结果，找出影响易烧性的主要因素，并采取相应的技术措施，以提高石灰质原料的反应活性。

2. 黏土质原料性能的研究内容和测试方法

黏土质原料的矿物颗粒比较细小，大部分颗粒为 $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ ，研究要困难些。一般用化学分析方法测定其化学组成，用 X 射线衍射和透射电镜观察其矿物组成和矿物形态，用差热分析法确定黏土质原料的脱水温度。尤其是要查明粗粒石英的含量、晶粒大小和形态，因为当石英含量 $\geq 0.5\%$ 、粒径 $\geq 0.5\text{mm}$ 时，会显著影响生料的易烧性。

对采用立窑或立波尔窑煅烧的，还必须测定黏土质原料的可塑性、热稳定性、需水量等。

三、影响生料易烧性的因素

1. 生料的矿物组成

生料中的石灰质组分主要为含 CaO 的方解石，它的反应活性与其类型、晶体结构、晶体的粒度和存在的杂质有关。实验表明，微晶或隐晶质的石灰石反应很快。石灰石中杂质含量高、分布广也有助于石灰石反应活性的提高。

生料中黏土质组分的主导矿物有高岭土、蒙脱石、绿泥石、伊利石、云母等。它们和石灰石的反应活性通常按下列次序增加：

云母-蒙脱石-绿泥石-伊利石-高岭土

非结晶型的 SiO_2 或与 Al_2O_3 和 CaO （或与 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 ）相结合的 SiO_2 ，比游离 SiO_2 表现出较好的活性。与 CaO 反应的各种形态的 SiO_2 的反应活性通常按下列次序增加：

石英-玉髓- α -方石英- α -磷石英-云母中的 SiO_2 -黏土中的 SiO_2 -非结晶型的 SiO_2

2. 生料的化学组成

生料的主要化学组成可集中地反映在其三率值（即饱和比 KH 、硅酸率 n 、铝氧率 p ）上。表 2-1 为生料的三率值和其他少（微）量组分对生料易烧性的影响。