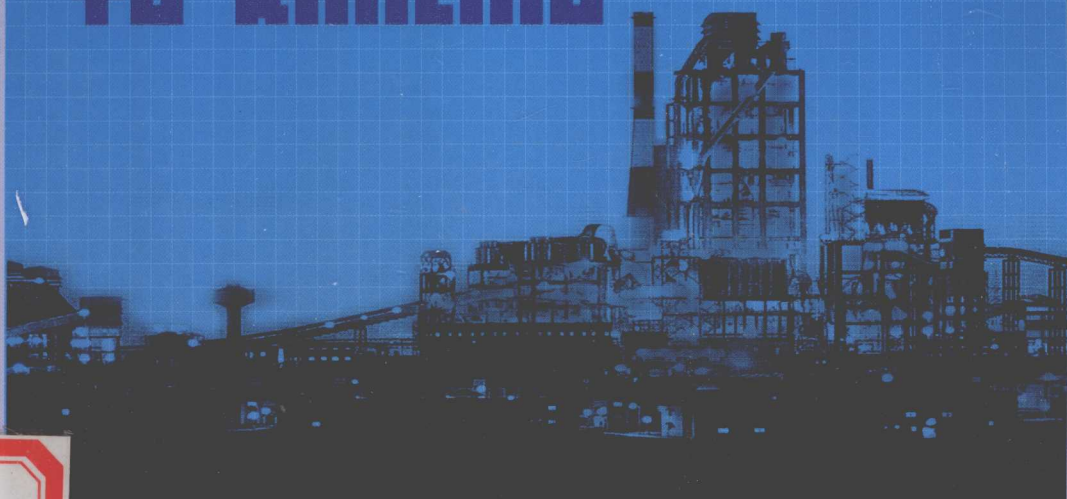


水泥生产技术丛书

水泥 的原料与燃料

丁奇生 王亚丽 崔素萍 等编著

SHUINI
DE YUANLIAO
YU RANLIAO



化学工业出版社

水泥生产技术丛书

水泥的原料与燃料

丁奇生 王亚丽 崔素萍 等编著

TQ172.6

D556



化学工业出版社

北京

青洲英坭有限公司

每册：4.50元

壹

本书是《水泥生产技术丛书》的一个分册,比较系统全面地介绍了硅酸盐水泥生产的原料和燃料,包括:钙质原料、硅铝质原料以及校正原料等;煤的燃烧性能、煤粉制备、预分解窑和立窑的用煤;天然石膏和工业副产石膏;常用混合材的特性及其作用;矿化剂和应用矿化剂的环保问题;晶种技术;原燃料预均化技术;生料配料的设计、计算与调整;生料均化和常用生料均化库;生料易烧性的影响因素;水泥厂物料特性试验研究实例。本书还特别介绍了水泥工作者普遍关注的替代原料和替代燃料。

本书既有关于原理的阐述,又有对实践经验和实际操作的介绍,可供水泥生产企业的技术人员、相关岗位员工、管理人员阅读,也可供科研开发、工程设计技术人员和高校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水泥的原料与燃料/丁奇生,王亚丽,崔素萍等编
著. —北京:化学工业出版社,2009.10
(水泥生产技术丛书)
ISBN 978-7-122-06589-6

I. 水… II. ①丁…②王…③崔… III. ①水泥-
原料-生产工艺②燃料 IV. TQ172.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第153837号

责任编辑:常青

文字编辑:冯国庆

责任校对:宋玮

装帧设计:张辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张17 字数332千字 2009年11月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:42.00元

版权所有 违者必究

《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	王杰曾	刘 龙	江丽珍
李威新	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	袁 林	顾惠元	倪竹君	郭随华	焦永道
曾大凡	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之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。在今后相当长的时期内，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，有较高的专业技术水平和丰富的实践经验，丛书中包含了作者们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，也有利于经济可持续发展。因此，本套丛书的内容既力求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

我国是水泥生产、消费大国，水泥年产量已超过世界水泥年产量的一半。2008年，我国的水泥产量高达13.9亿吨，生产水泥消耗的原料与燃料超过20亿吨。因此，水泥生产中不可再生的原料与燃料的合理利用、可替代原料与燃料的充分利用显得极为重要，它关系到水泥工业的可持续发展。

节约能源资源，既是一项紧迫的任务，更是一项长期的战略任务；既是当前转变经济发展方式的重要抓手，也是未来可持续发展的必然选择。水泥工业是我国发展循环经济的一个重点产业，为缓解我国能源资源与经济社会发展的矛盾，提高能源资源利用效率，使水泥企业更好地适应我国水泥工业的发展趋势，我们编写了本书。本书较全面地介绍了硅酸盐水泥生产中原燃料方面的知识，主要包括钙质、硅铝质原料的特性和分析方法以及替代原料、校正原料；煤的燃烧特性、分析方法、煤粉制备以及预分解窑和立窑用煤；天然石膏与工业副产石膏；常用混合材的特性及其应用；矿化剂和使用矿化剂的环保问题；晶种技术及应用；原燃料预均化技术；生料配料的设计、计算和调整；生料均化和常用生料均化库的比较及应用实例；生料易烧性的影响因素；水泥生产企业物料特性试验研究实例。

本书由丁奇生、王亚丽、崔素萍策划，由丁奇生提出编写大纲，并负责全书的审稿、统稿。各章编写人员如下：第一章丁奇生、王亚丽、崔素萍、程勋；第二章崔素萍、叶文娟、丁奇生；第三章王亚丽、孙启华、丁奇生；第四章王亚丽、李琛；第五章和第六章丁奇生、王亚丽；第七章崔素萍、王亚丽、陈新中、王健、孙启华、李慧群；第八章王亚丽；第九章和第十章崔素萍、张瑞；第十一章崔素萍、王亚丽。

本书的编写参考了大量的相关文献资料，汲取了众多同行的精华思想，得到了水泥界同仁的关心和鼎力支持，在此表示衷心的感谢！

由于笔者水平有限及时间仓促，书中难免存在不当之处，恳请广大读者批评指正。

编著者
2009年7月

目 录

第一章 原 料

第一节 钙质原料	1
一、钙质原料的特性及分析方法	2
二、钙质原料的品质要求	10
三、钙质替代原料	11
第二节 硅铝质原料	12
一、硅铝质原料的特性及分析方法	12
二、硅铝质原料特性对水泥熟料质量的影响	17
三、硅铝质替代原料	20
四、硅铝质原料的品质要求	21
第三节 校正原料	22
一、校正原料的作用与种类	22
二、硅质校正原料	22
三、铝质校正原料	23
四、铁质校正原料	23
五、校正原料的品质要求	24

第二章 燃 料

第一节 煤的组成与结构	26
一、煤的岩相组成与化学结构	26
二、煤质的鉴定指标	27
三、煤质指标的表示方法	28
四、煤的燃烧特性及其分析方法	30
五、煤中矿物质及其对水泥熟料煅烧的影响	33
六、水泥熟料生产对燃料的品质要求	34
七、水泥工业用煤粉的品质指标	36
第二节 用于水泥生产的燃料	38
一、烟煤	38
二、无烟煤	39
三、其他燃料	39
第三节 煤粉制备及质量控制	40

一、煤粉的制备及意义	40
二、煤粉制备系统	41
三、燃煤的质量控制	42
四、煤粉制备系统设计规范	44
第四节 预分解窑用煤	45
一、煤粉在预分解窑系统的燃烧进程	45
二、煤的挥发分对预分解窑煅烧的影响	46
三、预分解窑使用无烟煤	47
四、预热器窑使用无烟煤	55
第五节 立窑配煤	58
一、立窑配煤	58
二、采用烟煤煅烧立窑熟料	58
三、利用劣质煤煅烧立窑熟料	59

第三章 石 膏

第一节 石膏在水泥中的应用	62
第二节 石膏的分类及特性	63
一、石膏的分类与特性	63
二、石膏质量对水泥性能的影响	65
第三节 天然石膏	66
一、二水石膏	66
二、硬石膏	67
三、半水石膏	68
第四节 工业副产石膏	69
一、磷石膏	69
二、氟石膏	77
三、脱硫石膏	78
四、柠檬酸石膏	81

第四章 混 合 材

第一节 粒化高炉矿渣	88
一、高炉矿渣的形成和分类	88
二、粒化高炉矿渣基本组成	89
三、粒化高炉矿渣的水化机理及水化过程	91
四、粒化高炉矿渣的应用现状	92
第二节 粉煤灰	93
一、粉煤灰的特性	93

二、粉煤灰在水泥中的作用	95
第三节 火山灰质混合材	96
一、火山灰质混合材的种类	96
二、火山灰质混合材的活性	97
第四节 混合材的使用规定	98

第五章 矿 化 剂

第一节 矿化剂的作用	99
一、矿化剂的作用	99
二、矿化剂的类型	100
第二节 单一矿化剂	101
一、萤石	101
二、硫化物	103
三、重晶石	104
第三节 复合矿化剂	104
一、氟与硫复合矿化剂	105
二、萤石与重晶石尾矿复合矿化剂	108
三、萤石与铅锌尾矿复合矿化剂	108
四、使用复合矿化剂应注意的问题	109
第四节 使用矿化剂的环保问题	112
一、立窑熟料煅烧过程中 SO_2 与 HF 的产生	112
二、 SO_2 与 HF 对环境的影响	113
三、氟、硫复合矿化剂对环境的影响	114

第六章 晶 种

第一节 晶种的作用机理	115
一、晶种的核化作用机理	116
二、“诱导结晶”在熟料煅烧中的作用	116
三、从水泥熟料形成的热力学角度探讨晶种的作用机理	117
第二节 熟料晶种	119
一、熟料晶种的发明	119
二、熟料晶种的作用	120
第三节 非熟料晶种	120
一、矿渣	121
二、钢渣	121
三、磷渣	122
第四节 晶种技术的应用体会	122

30一、晶种的发育程度及其大小	122
30二、水泥熟料煅烧中 C_3S 的非均态成核	123
30三、晶种适用的煅烧环境	123
30四、晶种煅烧技术的工艺适应性	124
30五、晶种煅烧技术的生产操作	127

第七章 生料配料

第一节 生料配料设计	129
00一、生料配料设计的意义	129
00二、预分解窑生料配料设计	129
00三、立窑生料配料设计	134
第二节 生料配料计算	138
00一、递减试凑法	139
00二、EXCEL 方法	141
第三节 生料配料的调整	151
00一、单调黏土配比稳定生料 KH 与 SM 值	151
00二、单调石灰石	153
00三、利用钙、硅比率调整生料配比	158
00四、黏土及铁粉的调整	161
00五、灰色模型法	170

第八章 生料易烧性

第一节 生料易烧性的定义	175
第二节 生料易烧性的影响因素	176
一、生料的矿物组成	176
01二、生料的化学组成	177
01三、生料的颗粒组成	179
01四、生料灼热处理	180
01五、液相形成	180
01六、熟料质量	181
01七、燃料质量	181
01八、窑内气氛	181
第三节 生料易烧性的实验研究与评价	181
01一、理论方法	182
01二、半经验方法	182
01三、实验方法	183
第四节 改善生料易烧性的措施	184

一、调整原燃料的品种	184
二、充分粉磨、均化生料	185
三、根据烧成范围调整熟料率值	185
四、改善熟料煅烧操作	186

第九章 原燃料预均化

第一节 概述	187
一、预均化的基本原理	187
二、预均化的意义	188
三、原燃料预均化的选用条件	188
第二节 原燃料预均化的主要类型及特点	189
一、预均化堆场的类型	189
二、预均化堆场的布置形式	190
三、矩形和圆形预均化堆场的比较	192
四、其他形式的预均化库	193
第三节 原燃料预均化的堆取料	193
一、堆料和取料方式	193
二、常用的堆料机和取料机	196
第四节 预均化效果的评价方法	198
一、取样系统	198
二、评价方法	199
第五节 影响预均化效果的主要因素及防止措施	202
一、主要因素	202
二、防止措施	203
第六节 原燃料预均化及贮存设计规范	205

第十章 生料均化

第一节 生料均化的意义和工作原理	206
一、生料均化的意义	206
二、生料均化的工作原理	207
第二节 生料均化库的类型	208
一、单层间歇式均化库	208
二、双层式均化库	210
三、混合室与均化室连续均化库	210
四、多料流式均化库	212
第三节 影响均化效果的常见因素及防止措施	219
一、充气装置故障的影响及防止措施	219

二、生料特性变化的影响及防止措施	220
三、压缩空气的影响及防止措施	220
四、机电设备事故的影响及防止措施	220
五、影响连续式均化库均化效果的其他因素及防止措施	220
第四节 几种常用生料均化库的比较	221
第五节 生料均化、储存及入窑设计规范	222
第六节 常用生料均化库应用实例	223
一、混合室均化库	223
二、MF 型多料流均化库	225
三、CF 型控制流式均化库	227
四、中小型水泥厂生料均化	228

第十一章 水泥厂物料特性试验研究实例

第一节 LX 水泥厂物料特性试验研究实例	229
一、原料特性试验研究	229
二、生料易烧性试验及熟料微观结构分析研究	234
三、生料易磨性试验研究	242
四、熟料易磨性试验研究	243
五、结论与建议	243
第二节 XG 水泥厂物料特性试验研究实例	244
一、原料特性试验研究	244
二、生料易烧性试验研究	248
三、生料易磨性试验研究	253
四、结论与建议	254
参考文献	256

第一章 原 料

硅酸盐水泥熟料生产中,主要原料有钙质原料(石灰质原料)和硅铝质原料(黏土质原料)。凡是以碳酸钙为主要成分的原料统称为钙质原料;同理,主要提供二氧化硅、氧化铝的原料统称为硅铝质原料。

在我国,黏土质原料及煤炭灰分一般含氧化铝较高,含氧化铁不足。因此,使用天然原料的水泥厂,几乎都需要铁质校正原料,即采用钙质原料、硅铝质原料和铁质校正原料进行配料。

当黏土质原料中氧化硅含量不足时,可采用高硅原料进行校正,如砂岩、河砂等;当黏土中氧化铝含量偏低时,可掺入高铝原料进行校正,如煤矸石、粉煤灰、煤渣、铝矾土等。此外,为改善生料的易烧性,有时需要掺入少量的萤石、石膏、铅锌尾矿、重晶石尾矿、铜矿渣等作为矿化剂。

随着工业的发展,工业废渣的排放量在快速增长,综合利用工业废渣已成为水泥工业的一项重大而紧迫任务。目前,粉煤灰、硫铁渣、高炉矿渣等已广泛用作水泥原料或混合材料。另外,如电石渣、赤泥、油页岩渣、钢渣等也正逐步加以使用。近年来,用煤矸石、石煤等代替黏土质原料已取得很好效果。

第一节 钙 质 原 料

钙质原料可分为天然原料和工业废渣两大类。

钙质原料主要提供硅酸盐水泥熟料中含量最多的 CaO ,常用的天然钙质原料有:石灰岩、泥灰岩、大理岩、白垩、贝壳等、钙质料礞石。这些天然钙质原料的共同特点是:将稀盐酸滴在这些钙质原料上,即有起泡现象,并在 950°C 左右煅烧时生产石灰。

我国水泥厂常用的是石灰岩(俗称石灰石)、泥灰岩,少量水泥厂采用白垩或贝壳。可以部分替代石灰石的工业废渣主要有:矿渣、镁渣等;电石渣则可全部替代石灰石生产水泥熟料。

钙质原料是生产水泥熟料的主要原料,每生产 1t 水泥熟料约需消耗 1.5t 生料,其中约 1.1t 为钙质原料。

在世界上,我国属石灰岩资源丰富的国家之一,据国土资源部《2003年全国矿产资源储量通报》,我国水泥工业用石灰岩矿区达 1359 个,已查明资源储量为 634.12 亿吨。我国石灰岩储量较大的地区见表 1-1。

表 1-1 我国石灰岩储量较大的地区

序 号	地 区	矿区数/个	查明储量/亿吨	百分比/%
1	山东	63	45.64	7.2
2	河北	60	39.79	6.28
3	安徽	72	38.04	6.0
4	河南	67	37.71	5.95
5	广东	61	37.48	5.91
6	广西	71	37.14	5.86
7	湖南	45	29.3	4.62
8	江苏	60	27.08	4.27
9	浙江	44	25.5	4.02
10	四川	56	24.47	3.86
11	湖北	67	23.76	3.75
合计	全国	1359	634.12	100

我国石灰岩资源的时空分布较广泛，在各地质年代的许多层位的地层中均存有产出成矿时代、重要赋矿层位。北方地区从古元古代就开始成矿，主要赋存层位以寒武系、奥陶系为主；南方成矿时代较晚，以泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系为主。

一、钙质原料的特性及分析方法

1. 钙质原料的特性

石灰岩是由碳酸钙所组成的化学与生物化学沉积岩。主要矿物是由方解石 (CaCO_3) 微粒组成，并常含有白云石 ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)、石英 (结晶 SiO_2)、燧石 (又称玻璃质石英、火石，主要成分为 SiO_2 ，属结晶 SiO_2)、黏土质及铁质等杂质，是一种具有微晶或潜晶结构的致密岩石。纯的方解石含有 56% 的 CaO ，烧失量为 44%，随杂质含量增加 CaO 含量减少。在自然界中，因所含杂质不同，而呈灰白、淡黄、红褐或灰黑等颜色。石灰岩一般呈块状，无层理，常包含生物遗骸，结构致密，性脆，普氏硬度 8~10，有白色条痕，密度 $2.6 \sim 2.8 \text{ g/cm}^3$ ，分解速度较慢。水分随气候而异，通常小于 1.0% (表层水分较高)，含黏土杂质越多，水分越高。耐压强度随结构和孔隙率而异，在 30~170MPa 之间，一般为 80~140MPa。

最纯级的石灰石为方解石和文石。方解石属六方晶系，相对密度为 2.7；文石为斜方晶系，相对密度为 2.95；大理岩是粗粒方解石的变种。

生产硅酸盐水泥熟料时，石灰石中的氧化钙含量一般应不低于 45%~48%，以免配料发生困难。

方解石和白云石的特征见表 1-2。

表 1-2 方解石和白云石的特征

项 目	方解石	白云石
晶系	三方	三方
轴性	一轴负	一轴负
解理	(10 $\bar{1}$ 1)	(10 $\bar{1}$ 1)
显著的双晶	滑动(01 $\bar{1}$ 2)	滑动(02 $\bar{2}$ 1)
颜色	无 常含铁褐红色	无 常含铁褐红色
相对密度	2.72	2.86
N_g	1.658	1.679
N_p	1.486	1.502
硬度	3	3.5~4
晶型特征	多种多样	菱面体,常呈块状集合体
酸溶性	易溶	不易溶
染色	易被铬酸银染色	不被铬酸银染色
风化特征	不变色	因 Fe_2O_3 氧化呈黄色

泥灰岩是由碳酸钙和黏土物质同时沉积所形成的均匀混合的沉积岩。它是一种由石灰岩向黏土过渡的岩石,主要矿物为方解石。当泥灰岩中氧化钙含量超过 45%,石灰饱和系数衡量如大于 0.95 时,称为高钙泥灰岩。用它作原料时,应加黏土配合(如大同、洛阳、贵州等水泥厂);当氧化钙含量小于 43.5%,石灰饱和系数低于 0.8 时,称为低钙泥灰岩,通常与石灰石搭配使用。若氧化钙含量在 43%~45%,其各率值也和熟料相近,则称天然水泥岩,但自然界很少。泥灰岩硬度低于石灰岩,黏土物质含量愈高,硬度愈低,其颜色决定于黏土物质,从黄色到灰黑色,耐压强度通常小于 100MPa。泥灰岩是一种极好的水泥原料,因它含有的石灰岩和黏土混合均匀,易于煅烧,有利于提高水泥熟料的产量和质量,降低熟料烧成热耗。

白垩是海生生物(如贝壳、孔虫等)外壳堆积而成的沉积岩,富含生物遗骸,主要由隐晶或无定形细粒疏松的碳酸钙所组成的石灰岩。主要成分为碳酸钙,一般含碳酸钙 80%~90%,甚至高于 90%。我国白垩土一般在黄土层下,土层较薄,故埋藏量不大,主要分布在河南、陕西、四川等地。白垩以色白、发亮的为最纯,碳酸钙含量可达 90%以上。白垩中常夹有软的或硬白裂礞石(主要为 $CaCO_3$)、红黏土和燧石等。白垩易于粉磨和煅烧,是生产水泥熟料的优质钙质原料。但对湿法回转窑,用白垩制备料浆时,其需水量较高,料浆水分可达 40%以上,影响窑的产量和熟料烧成热耗。

部分产地钙质原料的化学成分见表 1-3。

低钙灰岩包括泥灰岩、粉质灰岩、砂质灰岩等,虽然 CaO 含量较低,但是用它们配制水泥生料时,可少用硅铝质原料,而所配生料的易烧性常常优于纯灰

岩配制的生料。中国建筑材料科学研究总院曾对不同品位的灰岩进行过分解温度的试验,不同品位石灰石分解温度见表 1-4。

表 1-3 部分产地钙质原料的化学成分

单位: %

产 地	名 称	烧失量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	总计
广西	石灰岩	43.41	0.12	0.21	0.04	55.39	0.59	99.76
四川	石灰岩	42.69	1.90	0.42	0.31	53.15	1.26	99.73
湖北	石灰岩	39.83	5.82	1.77	0.82	49.74	1.16	99.14
江西	石灰岩	42.35	1.65	1.07	0.38	53.48	0.82	99.75
山西	石灰岩	42.78	1.23	0.70	0.20	53.83	1.32	100.06
辽宁	石灰岩	41.84	3.04	1.02	0.64	49.61	3.19	99.34
北京	泥灰岩	38.02	8.64	2.20	0.99	46.98	1.30	98.13
贵州	泥灰岩	40.24	4.89	2.08	0.80	50.69	0.91	99.58
河南	白垩土	36.62	10.24	2.16	1.80	46.28	1.95	99.05
福建	蛎壳	40.42	0.88	0.40	1.62	50.73	—	94.05

表 1-4 不同品位石灰石分解温度

石灰石品位(CaO)/%	起始分解温度/℃	沸腾分解温度/℃	终止分解温度/℃	备 注
>52	830	950	1100	奥陶系灰岩
48~52	800	880	1000	石炭系灰岩
45~48	780	860	980	石炭系灰岩
40~45	720	840	950	寒武系灰岩
30~40	680	830	880	二叠系灰岩
15~30	650	750	800	砂卡岩中灰岩 CaCO ₃

石灰石的物理加工(破碎、粉磨、均化)性能和化学反应活性(熟料煅烧),主要受矿物的结晶完成程度、结晶颗粒的大小等矿物微观结构特点以及伴生矿物的种类、多少的影响。试验研究和生产实践均表明,硅质灰岩及方解石矿物结晶完整且颗粒较大的大理岩抗压强度较高,各种石灰岩抗压强度见表 1-5;而石灰石中方解石晶粒大小与分解速率、反应温度存在明确的相关关系,方解石的活性与结晶程度的关系见表 1-6。

表 1-5 各种石灰岩抗压强度

石灰石种类	构造和颗粒特征	单向抗压强度/MPa	范 例
泥晶灰岩	带有黏土胶结物	100 以下	北京怀北泥灰岩部分
细粒灰岩	细碎屑,带有松散胶结	约 100	云浮大岩山石灰岩
有机灰岩	生物灰岩,含有化石	约 130	四川峨眉石灰岩
粗晶灰岩	变质结晶石灰石	约 150	新疆热乎大理岩
硅质灰岩	硅质胶结并有石英、燧石	约 200	新疆和静砂质大理岩

表 1-6 方解石的活性与结晶程度的关系

结晶程度	颗粒尺寸/mm	分解速率	反应温度
特粗粒结晶	>1.00	最低	最高
粗粒结晶	$1.00\sim0.50$		
中粒结晶	$0.50\sim0.25$		
细粒结晶	$0.25\sim0.10$		
特细结晶	$0.10\sim0.01$		
微晶结晶	<0.01	最高	最低

石灰石变质程度影响易烧性，大理岩（灰岩重结晶，晶粒大）烧成热耗高。但有的准大理岩受热变质无重结晶，却很好烧。因此，在有选择余地时，应首选结晶颗粒小、结晶程度差的灰岩。

2. 化学成分分析方法

钙质原料的主要特性指标包括氧化钙含量、氧化镁含量、 SO_3 含量、碱含量、氯离子含量。钙质原料的化学成分分析方法有化学分析法和 X 射线光谱分析仪。

(1) 化学滴定法 按照有关标准中的化学滴定方法可以测定钙质原料的氧化钙、氧化镁、氧化硅、氧化铝、氧化铁、 SO_3 含量、碱含量、氯离子含量。

石灰石原料中重要成分的含量要求如下。

① 氧化钙含量 水泥生料中 CaO 的含量一般在 44% 左右。水泥生产企业可拥有多种不同品位、一定储量的钙质原料待使用，但要有一定数量 $\text{CaO} \geq 48\%$ 的钙质原料作为水泥生料的高钙校正料。

按国家的有关水泥原料标准，水泥工业对钙质原料的品位和质量一般要求 $\text{CaO} \geq 48\%$ ，低水平也要求 $\text{CaO} \geq 45\%$ ，然而我国水泥生产已突破这一限值，许多企业已经采用低品位的钙质原料，扩大了钙质原料的范围，节约了资源。

② 氧化镁含量 高镁含量的熟料会引起混凝土破坏性的镁膨胀，因此水泥原料中的 MgO 含量被严格限制。石灰石中的白云石 ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) 是熟料氧化镁的来源。为使熟料中氧化镁的含量小于 5.0%，应控制石灰石中氧化镁的含量小于 3.0%。

含有白云石的石灰石，在新敲开的断面上有时可以看到粉粒状的闪光。用 10% 的盐酸滴在白云石上有少量气泡产生，如滴在石灰石上，就沸腾起泡，这是识别白云石和石灰石的简单方法之一。

③ 三氧化硫含量 出于对水泥安定性、凝结时间等性能的要求，国标规定熟料中 SO_3 含量不大于 1.5%。从预分解窑生产角度出发，为减少硫酸盐结圈、结皮堵塞现象，也应限制各种原料中的 SO_3 含量，还应注意熟料中硫和碱的比例，即硫碱比问题。

我国“水泥原料矿产地质勘查规范”规定 $\text{SO}_3 \leq 1.0\%$ ；但对具体的矿山，应综合考虑企业使用的其他原燃料中 SO_3 及 K_2O 、 Na_2O 含量，以保证熟料中