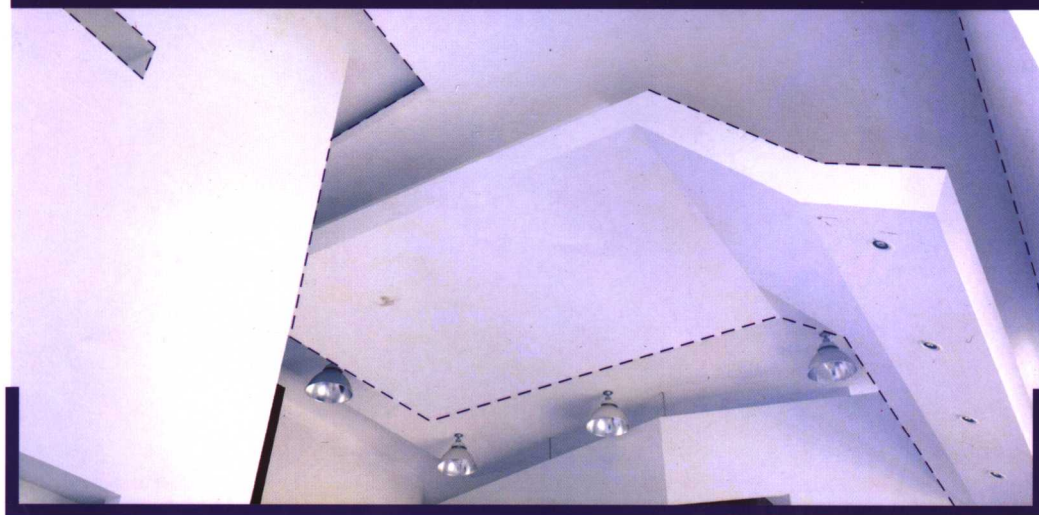


XINXING GANFA SHUINI SHENGCHAN GONGYI DUBEN

新型干法水泥 生产工艺读本

王君伟 编著



化学工业出版社

新型干法水泥生产工艺读本

王君伟 编著



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

新型干法水泥生产工艺读本/王君伟编著. —北京: 化学工业出版社, 2006. 12

ISBN 978-7-5025-9798-6

I. 新… II. 王… III. 水泥-干法-生产工艺 IV. TQ172.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 161389 号

责任编辑: 常 青

文字编辑: 李锦侠

责任校对: 洪雅姝

装帧设计: 胡艳玮

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

787mm×1092mm 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 300 千字 2007 年 3 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: 28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

这是一本以“读书笔记”方式编写的“科普读物”，也是一本面向广大水泥生产一线职工的读本。市场需求变化推动技术进步，科技进步促进生产发展；技术形势发展，需要综合技能型的操作人才和科技人才。我国正处于工业转型的重要时期，发展中的新生事物来势迅猛，人的认识也要跟随时代不断刷新和前进。知识具有共享性，人们会在反复应用中验证前人所给予的知识，从浩瀚的知识海洋中得到启示并消化、吸收，从而更新、发展、创造具有更高价值的技术产品，这种继往开来的“知识”演变为后人认识自然、改造自然、开拓未来的能力。

波特兰水泥自 1824 年诞生以来，生产技术和装备经历了多次重大变革，特别是 20 世纪 70 年代出现的预热预分解技术（新型干法技术），符合现代水泥工业时期所要求的“生产规模扩大、生产效率提高、物耗能耗下降、环保功能增强”。世界各国水泥科技工作者、生产者与时俱进，为之奋斗，取得令人瞩目的成就。我国水泥新型干法技术虽然起步晚，但在老一辈水泥工作者的关怀和重视下，新生代努力拼搏，相继开发出具有自主知识产权和我国特色的新型干法技术和设备，现已成为我国水泥工业结构调整的主导方向。

为了让读者更多地、更轻松地了解水泥工业发展的现状和趋势，本书以 2000t/d 及以上规模新型干法水泥生产线为主线，从原燃料、破碎、均化、粉磨、煅烧、环保和科技进展等方面，本着“工艺为主、兼顾设备，着重现在、展示发展”的意图进行编写，较系统地介绍了新型干法水泥生产工艺的基本知识。本书系采撷于浩瀚的书本、专业杂志和生产经验，经过取舍、加工整理出的一本反映水泥行业最新研究成果和成熟技术的读物，奉献给我国水泥企业工作者，希望以其知识性、普及性、新颖性和实用性能对水泥专业人员积累知识、更新知识有所帮助；也希望通过阅读本书，在获得新知识，开阔眼界的同时，能为企业腾飞插上知识飞翔的翅膀。本书编写的初衷是希望能为企业一线人员提供水泥生产基本知识，但由于作者长期在生产企业从事技术管理和技术服务工作，对生产实际操作知识的掌握不如一线人员，加上资料很欠缺，书中观点仅供参考，不足和疏漏之处恳请读者指出，以便修正、补充。

在此向所有被本书所引用和摘引资料的作者以及提供信息的专业杂志编辑们致以谢意！本书在编写中，得到原陕西秦岭水泥股份公司高级技术顾问李祖尚的指导；有关预分解窑操作部分，得到了陕西秦岭水泥股份公司 7 号窑分厂副厂长、总工程师王俊的帮助，在此一并表示感谢！作者还要感谢李薇、隋建平、杨林、赵桂珍、林莹、张小芬对书稿的顺利完成给予的热情帮助。

作者
2006 年 12 月

目 录

绪言	1
第一章 原燃材料	3
第一节 石灰质原料	4
一、天然石灰质原料	4
二、工业废渣	5
第二节 硅铝质原料	5
一、天然硅铝质（黏土质）原料	5
二、工业废渣和尾矿	7
第三节 铝质及硫质原料	8
一、铝质原料	8
二、硫质原料	9
第四节 校正原料	10
第五节 水泥混合材	10
第六节 燃料煤	10
第七节 原燃料的综合要求	12
一、水泥厂建设对石灰质原料和黏土质原料矿山的要求	12
二、原材料选择上的注意要点	12
附录 1-1 不同水泥熟料品种对水泥原料质量的一般要求	15
附录 1-2 煤的等级分类	17
附录 1-3 水泥厂常用原料（或外加剂）种类简表	18
附录 1-4 水泥行业常用的硅酸盐、碳酸盐、铝酸盐、硫酸盐矿物	18
附录 1-5 原料物性检测与工艺性能试验项目	19
附录 1-6 煤的物性检测与工艺性能试验项目	19
参考文献	19
第二章 原料的配合	20
第一节 硅酸盐水泥熟料矿物组成计算	20
第二节 预分解窑烧制的熟料率值范围	21
第三节 生料配料计算	23
一、配料工作主要任务	23
二、水泥熟料率值的选择	23
三、生料配料计算	24
第四节 配料的自动控制及岩相观察	27
一、配料的生产自动控制	27

二、岩相观察	28
附录 2-1 水泥熟料中矿物组成与成分的技术要求	30
附录 2-2 物料成分、用量、配比基准换算表	30
附录 2-3 煤基准换算表	30
参考文献	31
第三章 石灰石破碎	32
第一节 破碎的基本概念	32
一、破碎机分类	32
二、粒度及破碎比	32
三、矿石的破碎性能	32
第二节 单段锤式破碎机（石灰石）	34
一、概述	34
二、锤式破碎机使用时的注意事项	35
第三节 其他物料的破碎机	35
一、常用破碎机	36
二、专用破碎机	36
参考文献	38
第四章 原燃料预均化堆场和生料均化库	39
第一节 衡量均化程度指标	39
第二节 预均化堆场	40
一、预均化堆场的形式	40
二、堆场的堆料和取料方式	41
第三节 堆料机和取料机	42
一、堆料机	42
二、取料机	43
第四节 生料均化库	43
一、生料均化库的作用	43
二、连续式生料均化库型式	44
三、影响均化效果的主要因素	47
参考文献	47
第五章 物料粉磨	48
第一节 生产工艺控制参数和物料的粉磨性能指标	48
一、物料粉磨性能测试指标及粉体物理性能	48
二、细度	53
三、颗粒级配	57
四、粉磨系统产量	60
第二节 粉磨工艺流程	62
一、粉磨系统	62
二、预粉碎	62

三、辊式磨流程	63
四、辊压机流程	64
第三节 磨机简介	65
一、钢球磨	65
二、辊式磨	66
三、辊压机	67
四、筒辊磨	67
五、超细磨	68
六、粉磨设备和系统的特点及选择	69
第四节 选粉设备	71
一、选粉性能评价	72
二、选粉机	72
三、打散分级机	75
四、调节细度	76
第五节 研磨体	76
一、研磨体的种类和作用	76
二、级配	77
三、配球方案和调整	78
第六节 水泥粉磨厂(站)	81
一、对水泥熟料的质量要求	81
二、部分水泥粉磨厂(站)设备配置情况简介	81
第七节 带负荷试车及操作要点	83
一、中卸烘干磨	84
二、风扫式煤磨	85
三、尾卸中长闭路水泥磨	86
四、辊式磨	87
五、辊压机	90
附录 5-1 研磨体	92
参考文献	93
第六章 熟料煨烧	94
第一节 预分解窑系统技术特点	94
一、系统工艺技术特点	95
二、系统生产能力经验统计式	95
三、发挥预分解窑技术优势,提高系统产量	95
四、预分解窑系统流程	97
第二节 旋风预热器	99
一、预热器的工作参数	99
二、旋风预热器	100
第三节 分解炉	101

一、评价分解炉工作性能的主要参数	101
二、分解炉中煤粉燃烧的特点和对策	102
三、分解炉结构型式	105
第四节 回转窑	109
一、生料煨烧性能指数	109
二、回转窑(预分解窑)的特点	110
三、窑内工艺带的划分	111
四、窑头燃无烟煤的技术措施	112
第五节 煤粉燃烧器	113
一、燃烧器各风道作用简介	113
二、结构型式	114
三、燃烧器的生产调节	115
第六节 篦式冷却机	116
一、冷却机评价	117
二、推动式篦式冷却机	117
第七节 中低温余热发电技术	119
一、预分解窑的发电系统	119
二、流态化预分解余热发电技术	121
第八节 试生产点火操作	121
一、试车前准备工作	122
二、烘窑	122
三、点火投料	122
四、系统停车	125
五、达标考核	125
六、挂窑皮及窑衬	125
七、生产操作参数与调节	128
八、窑正常情况下的工艺参数	131
九、常见工艺故障的分析、判断和处理	134
附录 6-1 不同规模熟料烧成系统主机设备设计配套示例	138
附录 6-2 预分解窑系统的耐火材料的配置(摘自“水泥工厂设计规范”)	138
附录 6-3 硅酸盐水泥熟料颜色对应烧成状况的初步判断	140
附录 6-4 硅酸盐水泥熟料煨烧的理论热耗	141
参考文献	141
第七章 水泥包装和散装	143
第一节 水泥包装	143
一、回转包装机	143
二、大袋包装	144
三、码袋机	144
第二节 水泥散装	144

一、我国散装水泥的发展	144
二、推广散装水泥的好处	144
三、水泥散装率	145
第三节 水泥的存储性	145
一、水泥存储条件与储存时间和强度的关系	145
二、水泥结块现象	146
三、常用水泥包装袋的防潮性能	146
四、熟料露天存放后对质量的影响	146
参考文献	147
第八章 环保与收尘	148
第一节 环境保护	148
一、烟尘和粉尘污染	148
二、烟气	149
三、噪声	150
四、重金属污染	151
五、烟尘排放监测及生命周期评价	152
第二节 收尘器	153
一、收尘参数	153
二、收尘器	154
第三节 工业固体废渣与生活废弃物的资源利用	157
一、水泥工业综合利用再生资源的可行性	157
二、水泥行业大量利用废渣、城市垃圾、污泥的有效途径	160
三、微量元素的影响	161
四、用水泥窑处理可燃性废料	164
五、我国水泥厂综合利用和处理废弃物中需注意的问题	167
附录 8-1 国外颁发有关水泥窑煅烧废料时的部分环保标准和规定节摘	169
附录 8-2 GB 18484—2001《危险废弃物污染控制标准》限值（部分摘录）	170
附录 8-3 我国水泥企业利用工业废渣品种、成分示例	170
参考文献	172
第九章 新技术、新设备、新进展	173
一、原料——低品位化、岩矿化、废渣化	174
二、燃料——当地化、可燃性废料再利用化	174
三、矿山采破——大型化、连续化、液压化和大型一次破碎	175
四、粉磨设备——料床终粉磨技术与超细粉磨、筒辊磨的研制开发	175
五、煅烧技术——指标先进的预分解系统和沸腾煅烧技术	175
六、烘干技术——节能化和多功能化	178
七、水泥质量新概念和控制——水泥高性能化和前馈控制	179
八、大型化及自动化	183
九、纳米技术	183

参考文献	184
总附录	185
总附录 1 水泥工业大气污染物排放标准 (摘录)	185
总附录 2 水泥行业常用标准节选	186
总附录 3 水泥行业常用标准节选	187
总附录 4 通用水泥的强度等级与技术要求	188
总附录 5 水泥代号和标准标志	188
总附录 6 六大通用水泥及部分特种水泥适用范围简介	189
总附录 7 国际单位 (SI) 词头符号及 SI 单位制的基本单位	190
总附录 8 排放单位换算系数 (摘自《生态建材与环保》)	191

绪 言

20世纪50~70年代出现的悬浮预热和预分解技术（即新型干法水泥技术）大大提高了水泥窑的热效率和单机生产能力，以其技术先进性、设备可靠性、生产适应性和工艺性能优良等特点，促进水泥工业向大型化进一步发展，也是实现水泥工业现代化的必经之路。

我国预热预分解技术起步晚，但在“控制总量、调整结构、上大改小”的产业政策指导下和贯彻“发展与淘汰”相结合的结构调整机制下，大力开发、发展预分解技术，大大提升了新型干法预分解窑（PC）的结构比例，截止到2005年12月底，我国预分解窑已投产615条（不包括香港、澳门、台湾），水泥生产结构和其规模比例情况分别见表1和表2。

表1 1998~2005年PC窑产量比重变化

年 份	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年
水泥总产量/万吨	53600	57600	59700	66400	72500	86200	97000	106400
预分解窑产量/万吨	4580	5479	6060	8220	12270	18840	31480	47370
产量比重/%	8.5	9.5	10.15	12.38	16.92	21.86	32.45	44.52
资料来源	《新世纪水泥导报》 2004年增刊		《中国水泥》，2006，(3)：“水泥工业能源消耗现状与节能潜力”					

表2 2005年已投产的PC窑条数（按规模分类）及比例

规模/(t/d)	10000	5000~8000	4000~4500	3000~3500	2300~2800	2000
条数/条	4	85	15	16	165	46
比例/%	2.87	31.30	4.36	3.54	29.57	6.6
规模/(t/d)	1500~1800	1100~1400	1000	700~900	合计	
条数/条	26	75	142	41	615	
比例/%	2.91	6.54	10.19	2.12	100	

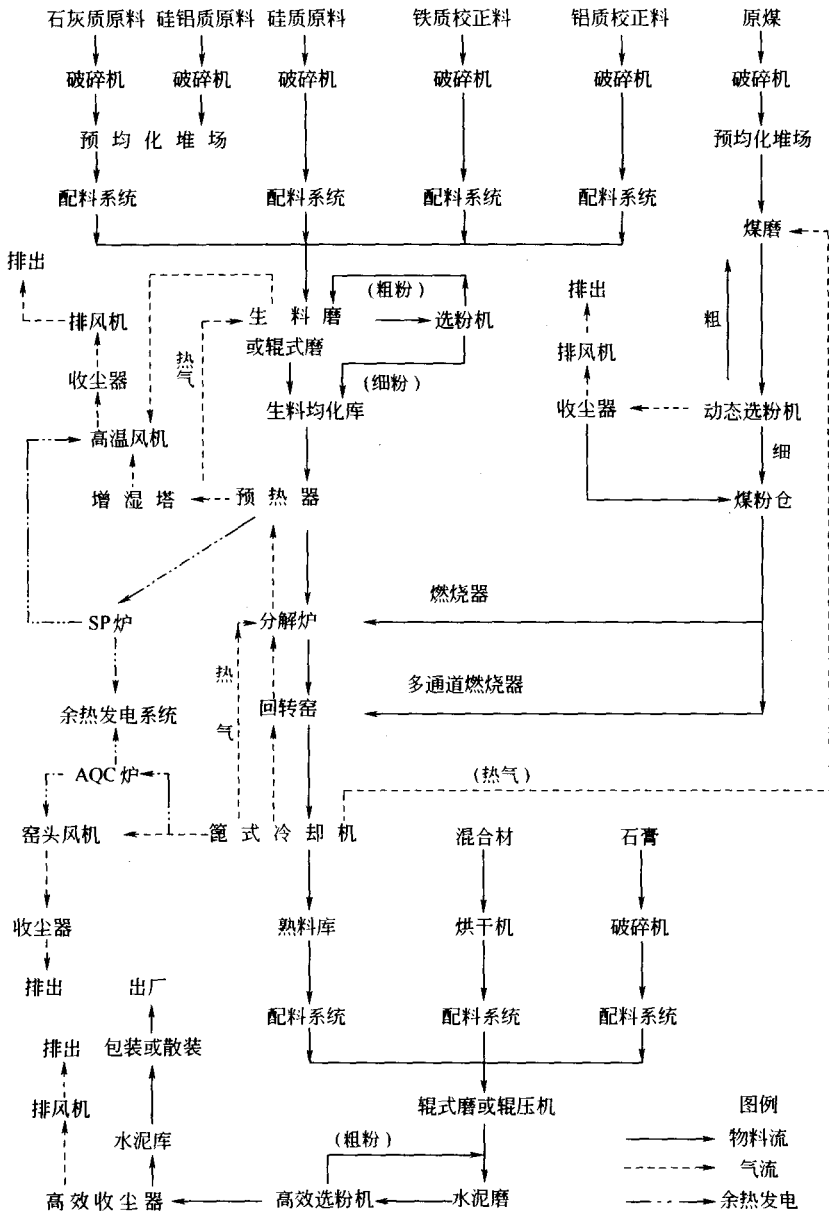
水泥生产主要工艺过程简要概括为“两磨一烧”。按主要生产环节论述为：矿山采运（自备矿山时，包括矿石开采、破碎、均化等）、生料制备（包括物料破碎、原料预均化、原料的配合、生料的粉磨和均化等）；熟料煅烧（包括煤粉制备、熟料煅烧和冷却等）；水泥的粉磨（包括粉磨站）与水泥包装（包括散装）等。

水泥生产工艺过程的变革，有赖于工艺设备的革新，有赖于过程控制技术的开发创新，有赖于世界经济发展趋势和我国国情（国产配套和部分引进）。这些机遇给新型干法水泥生产线（或熟料生产线）赋予了新的内容，使每一个生产工序综合利用新技术、新设备，如烧成系统采用预分解技术、粉磨的料床粉磨技术和短流程，在生产线上大力实施循环经济和清洁生产，如中低温余热发电以及废渣利用等，以保障水泥工业持续发展。

新型干法水泥生产是以悬浮预热和预分解技术装备为核心，以先进的环保、热工、粉

磨、均化、储运、在线检测、信息化等技术装备为基础；采用新技术和新材料；节约资源和能源，充分利用废料、废渣，促进环境经济，实现人与自然和谐相处的现代化水泥生产方法。新型干法水泥生产工艺流程如下。

新型干法水泥生产工艺流程



第一章 原燃材料

众所周知，水泥工业对原料自然资源的依赖性很大，原料的优劣是决定产品质量好坏的重要因素。预分解窑系统对原燃料中的有害成分（碱、 Cl^- 、 SO_3^{2-} 等）很敏感，因此在新型干法水泥生产线筹建初期，除需获得原料矿山的地质勘探报告并要查明储量外，对其中有害成分的含量应有所了解。使用工业废渣时，还需调查废渣中是否有放射性物质和微量元素情况；在水泥生产线的建设中，必须重视对原燃料的研究，根据其质量和物理性能情况，来选择或设计相应的预热预分解和粉磨生产系统；工厂投产后，也要经常对进厂原料进行检验，掌握其质量，制备出优质的水泥熟料和满足用户要求的水泥产品。

硅酸盐水泥熟料的基本化学成分是钙、硅、铁、铝的氧化物，主要原料是石灰质原料和硅铝质原料（或黏土质原料）。石灰质原料主要提供氧化钙成分，黏土质原料主要提供氧化硅、氧化铝成分。当黏土质原料中氧化硅含量偏低时，需补充硅质原料。生料配料中常掺加少量铁质原料，以补足所需氧化铁成分。我国回转窑、分解炉普遍采用煤粉作为燃料，所以配料中需考虑煤灰掺入量和成分。制成水泥时，除水泥熟料外，还需掺入缓凝剂，有的还掺加混合材、外加剂等。从环保和利用资源出发，水泥生产用的原燃料结构，已从传统型向低品位化、岩矿化、废渣化和当地化发展，尽最大可能降低对自然资源和能源的消耗，把水泥工业建设成“环境材料型”产业，走可持续发展之路。国家鼓励企业开展资源综合利用，水泥企业在生产原料中掺有不少于30%的煤矸石、石煤、粉煤灰、烧煤锅炉的炉底渣（不包括高炉矿渣）及其他工业废渣，实行增值税即征即退的优惠政策。

各体系水泥熟料的主要原料及水泥组分简介见表 1-1。

表 1-1 生产不同体系水泥的主要原料及水泥组分简介

水泥熟料种类	主要原料或组分
硅酸盐水泥熟料	石灰质原料、硅铝质原料、校正原料
铝酸盐水泥熟料	石灰质原料、铝质原料(铝矾土)
硫铝酸盐水泥熟料	石灰质原料、铝质原料(铝矾土)、硫质原料(石膏)
铁铝酸盐水泥熟料	石灰质原料、铝质原料(铁矾土)、硫质原料(石膏)
氟铝酸盐水泥熟料	石灰质原料、铝质原料(铝矾土)、萤石(有的还加石膏)
抗硫酸盐水泥熟料	石灰质原料、铁质原料、高硅质原料
防辐射水泥熟料	钡或铈的碳酸盐(或硫酸盐)、硅铝质原料
道路水泥熟料	石灰质原料、硅铝质原料、铁质原料或少量矿化剂
白水泥熟料	石灰质原料、硅铝质原料(如高岭土)、少量矿化剂和增白剂
生态水泥熟料	固体废弃物(如城市垃圾焚烧灰、下水道污泥或工业废渣等)、石灰石、黏土
土聚水泥熟料	高岭土(活化后)、碱性激发剂、促硬剂
彩色水泥熟料	直接煅烧法:石灰质原料、硅铝质原料、金属氧化物着色原料、校正原料及矿化剂
彩色水泥	混合着色法:白水泥、白石膏、颜料及少量外加剂

续表

水泥熟料种类	主要原料或组分
无熟料水泥	工业废渣(矿渣、钢渣等)、激发剂、石膏
少熟料水泥	工业废渣(煤矸石、粉煤灰等)、少量水泥熟料、石膏、激发剂
通用水泥	水泥熟料、石膏、混合材(生产P·I型不加)
膨胀水泥	硅酸盐水泥熟料或铝酸盐水泥熟料、石膏
低热微膨胀水泥	粒化高炉矿渣或沸腾炉渣、适量硅酸盐水泥熟料和石膏
砌筑水泥	活性混合材(如矿渣)加适量硅酸盐水泥熟料和石膏
碱-胶凝材料	工业废渣、尾矿、黏土类物质和碱激发剂
磷石膏制酸联产水泥	磷石膏(或硬石膏)、硅质原料、焦炭末(还原剂)

第一节 石灰质原料

凡是以碳酸钙为主要成分的原料称为石灰质原料。石灰质原料分天然的和工业废渣两大类，其主要成分为 CaO 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 或 CaCO_3 。预测我国石灰岩资源储量达 (3~4) 亿吨，目前已探明可用于水泥生产的石灰石矿石储量约 450 亿吨，可开采利用的约 250 亿吨。按目前年生产水泥水平和吨水泥耗 1.1~1.2t 石灰石计，现已查明的石灰石储量计用不了 40 年。还需指出的是我国石灰石资源开采利用率低，一般为 80%~90%，个别企业使用民采石灰石矿产利用率更低，仅达 30%~40%，对资源造成极大浪费。石灰石资源是水泥工业之本，矿产资源不可再生，企业既要为社会提供水泥，又要为持续发展考虑，所以水泥生产在原料上，一要尽可能多利用工业废渣和低品位岩石、尾矿，以减轻对天然石灰石资源的压力；二需加大对石灰石矿山的勘探力度，增加提供可采矿量和布点，便于规划；三要加强管理，避免乱开采所造成的浪费；四要采用先进开采技术，提高开采利用率。

一、天然石灰质原料

常用的天然石灰质原料有石灰岩、泥灰岩、白垩和贝壳等，我国大部分水泥厂使用石灰岩和泥灰岩，它们均属于不可再生资源，应珍惜。

1. 石灰岩

石灰岩是由碳酸钙所组成的化学与生物化学沉积岩，纯石灰石是白色的，性脆；按钙、镁、铝成分含量划分的石灰岩种类见表 1-2。石灰岩的化学成分主要为 CaO 、 MgO 和 CO_2 ，主要矿物为方解石，并常含有白云石、硅质（石英或燧石）、黏土质及铁质等杂质，结构致密。用“盐酸法”可鉴别石灰石和白云石，即用 5% 盐酸滴在岩石上，能迅速激烈发生气泡的是石灰石，无气泡的是白云石（用 10% 盐酸时，白云石有少量气泡）。

表 1-2 按成分划分石灰岩种类

成分	石灰岩	含云石灰岩	白云石灰岩	含泥石灰岩	泥灰岩	含泥含云石灰岩	含云泥石灰岩	含泥云石灰岩
CaO/%	53.4~56.0	49.6~53.4	43.2~49.6	49.6~53.4	43.2~49.6	43.2~49.6	43.2~49.6	43.2~49.6
MgO/%	0~2.17	2.17~5.43	5.43~10.85	—	—	2.17~5.43	2.17~5.43	5.43~10.85
Al ₂ O ₃ /%	—	—	—	3.95~9.88	9.88~19.75	3.95~9.88	9.88~19.75	3.95~9.88

2. 泥灰岩

泥灰岩是一种由石灰岩向黏土过渡的岩石，是由碳酸钙和黏土物质同时沉积的沉积岩，常以夹层或厚层出现，白色疏松土状，性软，易采掘和粉磨。矿物主要由方解石和黏土矿物组成，其氧化钙含量为 35%~44%。矿物粒径小，易烧性和易磨性较石灰石好，我国泥灰岩分布在河南新乡一带。

3. 其他

其他常用的天然石灰质原料还有以下几种。

① 大理石由石灰石或白云石受高温变质而成， CaCO_3 含量很高，但结构致密，不易磨细和煅烧，一般用作建材装饰品。

② 白垩是一种白色疏松的土块方解石或石英石，由海生物外壳和贝壳沉积而成，富含生物遗体。主要成分是 CaCO_3 ，含量 80%~90%，质软，易开采、破碎和粉磨。

③ 贝壳珊瑚类 CaCO_3 含量达 93% 左右，表面附有泥砂和盐类等杂质，贝壳韧性比较大，不易磨细，需经煅烧后再磨碎。钙质珊瑚石主要分布在海南和台湾，由于它们矿源分布窄和矿量小，不适合在规模大的新型干法生产线上采用。

4. 质量要求与评价

用作生产硅酸盐水泥原料的石灰石和泥灰岩的质量要求见附录 1-1。

评价石灰石质量主要是碳酸钙含量和燧石、石英含量。燧石和石英难磨，且对质量有影响，故要限制它在石灰石中的含量。石灰石含 CaCO_3 愈高需分解的温度就愈高，见表 1-13。而低品位石灰石含钙量低，需要分解的温度低，具有易烧、易磨、节能的特点。由于含杂质，成分波动大，碱含量较高，影响预热器窑的正常生产。管理人员从均化、配料方案选择和操作参数以及进厂原料质量控制等方面调整，使低品位石灰石能在预分解窑上使用。

二、工业废渣

主要成分为氧化钙、碳酸钙或氢氧化钙的工业废渣，均可作为石灰质原料来生产硅酸盐水泥熟料。如消解电石排出的电石渣（成分为氢氧化钙），生产双氰胺后的过滤残渣即双氰胺渣（成分为碳酸钙），制糖厂用碳酸法制糖后的糖滤泥（成分为碳酸钙），制碱厂的碱渣（成分为碳酸钙）及造纸厂的白泥（成分为氧化钙）等，它们质细、含水量高，用于干法生产时注意烘干脱水、烟气中露点和可燃物对预热器运行的影响等问题。废渣中有 CaO 、 Ca(OH)_2 或低级硅酸盐矿物出现，其分解热低，熔点低，故用作水泥原料时还应注意减少用煤量和预热器运行控制温度，避免结皮等不利影响。

第二节 硅铝质原料

主要成分为 SiO_2 ，其次为 Al_2O_3 的硅铝质原料（或黏土质原料），是生产硅酸盐水泥熟料的第二大原料，一般生产 1t 熟料约需 0.3~0.4t 硅铝质原料。硅铝质可分为天然黏土质原料和工业废渣。衡量黏土质量的主要有黏土的化学成分（硅酸率、铝氧率、氯离子）、含砂量、含碱量及热稳定性等工艺性能。近年来，为提高硅酸率值，多采用砂岩配料，故本节对硅质原料多加介绍，以飨读者。

一、天然硅铝质（黏土质）原料

天然硅铝质原料由沉积物经过压固、脱水、胶结及重结晶作用而成的岩石或风化物，如

黄土、黏土、页岩、泥质岩、硅石、粉砂岩及河泥等，其中黏土（包括黄土等）、页岩、粉砂岩用得最多。其质量受母岩影响，矿物组成比较复杂，大致包括黏土矿物和碎屑及伴生矿物两部分。黏土矿物主要有3种类型：高岭石类、蒙脱石类、水云母类。黏土矿物的共同特点是它们的晶体一般都很细小，由于沉积环境和形成条件不同，其化学成分中 SiO_2 、 Al_2O_3 、碱含量变化大。按硅酸率和铝氧率，硅铝质原料分类见表1-3。抗压强度，黏土最低，易开采；粉砂岩、页岩抗压强度中等，开采较困难；砂岩抗压强度最高，开采困难。硅酸率，黏土、页岩类较低；粉砂岩中等；砂岩最高。

表1-3 硅铝质原料分类

名称	成因	<5mm/%	SM	IM	R ₂ O/%	主要的黏土矿物
黄土	风积	20~30	3.0~4.0	2.3~2.8	3.5~4.5	伊利石、水云母
黄土类亚黏土	冲积	30~40	3.5~4.0	2.3~2.8	3.5~4.5	伊利石、水云母
黏土	冲积	40~55	2.7~3.1	2.6~2.8	3.0~5.0	蒙脱石、水云母
红(黄)壤	冲积	40~60	2.5~3.3	2.0~3.0	<3.5	高岭石
页岩	沉积		2.1~3.1	2.4~3.0	2.0~4.0	蒙脱石、水云母
粉砂岩	沉积		2.5~3.0	2.4~3.0	2.0~4.0	

1. 黄土类

黄土主要分布在华北和西北地区，由花岗岩、玄武岩等经风化分解后，再经搬运、沉积而成。“原生”以风积成因为主，“次生”以冲积成因为主，其黏土矿物以伊利石为主，其次为蒙脱石、石英、长石、方解石、石膏等。与黏土相比，黄土中含细砂较多，硅酸率高，但细小的微粒（又称黏粒）含量少，可塑性差。此外，由于常年干旱，风化淋溶作用较浅，含碱量高。

2. 黏土类

黏土类是由钾长石、钠长石或云母等矿物经风化及化学转化，再经搬运、沉积而成的。黏土具有可塑性，细粒状的岩石，主要矿物为石英和黏土矿物。因分布地区不同，矿物组成也有差异，如西北、华北地区的红土（主要矿物为伊利石与高岭石）、东北地区的黑土与棕壤（蒙脱石和水云母）和南方地区的红壤和黄壤（主要是高岭石，其次是伊利石）。使用黏土、黄土要占用大量农田，生产、设计中，要尽量考虑岩矿化和利用废渣；黏土质原料中一般均含有碱，它是由云母、长石等经风化、伴生、夹杂而带入的，若风化程度高、淋溶作用好，一般碱含量低。用窑外分解窑生产硅酸盐水泥时，要求黏土中碱含量小于4.0%。

3. 页岩类

页岩是黏土受地壳压力胶结而成的黏土岩，层理分明，颜色不定，其成分与黏土类相似，均以硅、铝为主，硅酸率较低。它的主导矿物是石英、长石类云母、方解石以及其他岩石碎屑，根据所含胶结物不同分硅质、铝质、碳质、砂质和钙质页岩等，结构致密结实，易磨性差。

4. 砂岩类 (SM>3.0)

砂岩（作为硅质原料）由海相或陆相沉积而成，是以 SiO_2 为主要成分的矿石。

(1) 硅质矿石种类和矿物 硅质矿石按种类分为石英砂（又称硅砂）和石英石（硅石）；按砂石类别分为岩类（石英岩、硅质岩、脉英石、石英砂岩）和砂类（石英砂、泥质石英砂）。

① 石英砂是指符合工业标准的天然生成的石英砂以及由石英石粉碎加工的各种粒度的

矿砂（人造硅砂），其矿物含量变化大，主要矿物成分为粉砂状石英含量 50%~60%，黏土矿物占 35%~45%和少量云母、铁质，易磨性较砂岩好。

② 石英石是指符合工业标准的天然生成的石英砂岩、石英岩和脉石英，岩类，固结的碎屑岩和石英的碎屑，占 95%以上。主要矿物为石英、长石、方解石、云母及碎屑。

硅质砂石都是以石英为主要矿物，其化学成分为 SiO_2 ，结晶型，莫氏硬度为 7，是一种坚硬、较难粉碎的硅酸盐矿物，化学性质稳定，耐高温，不溶于酸（除氢氟酸外），微溶于 KOH 溶液中。

(2) 硅质矿石性能 随着煅烧、粉磨的技术和设备优化，水泥厂采用砂岩类硅质原料替代或部分替代黏土质原料日益增多，为进一步了解砂岩结构对矿石工艺性能（破碎性、磨蚀性、易磨性）的影响，便于寻找和使用砂岩类矿石，摘录了天津水泥设计研究院倪祥平等对石英砂岩试样的研究^①，其结论是：“决定砂岩工艺性能的内在因素是石英颗粒大小、含量（主要影响砂岩的磨蚀性和易磨性）和胶结状态（主要决定砂岩的破碎性和磨蚀性）；石英颗粒较大、含量较高的砂岩易磨性较差，磨蚀性较大；砂岩的破碎性与 SiO_2 含量没有关系。砂粒细小的砂岩破碎性较差，磨蚀性大；煅烧可以使砂岩的易磨性得到不同程度的改善，而改善破碎性和磨蚀性程度则取决于其晶体结构。除石英晶体过小（隐晶）、结构疏松或泥质含量较高的砂岩，煅烧改善效果不明显外，其他砂岩通过煅烧其破碎性都能得到明显改善。”

5. 河泥、湖泥类

河泥、湖泥由于河流的搬运作用和泥沙淤积，成分稳定，颗粒级配均匀，成本低，且不占农田，因水分高，我国上海水泥厂湿法生产线，用黄浦江泥沙作为硅铝质原料。

二、工业废渣和尾矿

1. 工业废渣

用作硅铝质原料的工业废渣很多，如煤矿开采中煤矸石、发电厂排出的工业废渣（粉煤灰、液态渣）及开采白土矿时的尾矿（白土贫矿）等。当用湿磨干烧工艺时，用湿排渣应注意它对生料浆的泌水性和流动性的影响以及杂质对煅烧的影响。因废渣中含有可燃值或水泥熟料初级矿物 C_2S 而降低热耗，故利用废渣时应适当减少配煤量。赤泥是制铝工业排出的红色工业废渣，它含有害成分碱和钛的氧化物，会影响煅烧和熟料质量，使用时，要采取必要措施。

2. 尾矿

尾矿是指由选矿厂排出的尾矿浆，经自然脱水后所形成的固体废料，也包括与矿石一道开采出的废石。对水泥行业，主要利用尾矿的硅、铝、铁、钙化学组分以及尾矿中含有金属元素和硫化物、氟化物等具有矿化剂作用的成分。

硅酸盐型尾矿，按尾矿中主要组成矿物的组合情况，用次要成分命名的有：

- ① 镁铁型：无石英、碱含量低，如橄榄石；
- ② 钙铝型：石英含量较少、碱含量较高，如辉石；
- ③ 长英岩型：含石英、碱含量较高，如石英；
- ④ 碱性型：无石英、碱含量高，如长石；
- ⑤ 高铝型：碱含量较高，如叶蜡石；

① 详见《水泥技术》2004年第4期。