

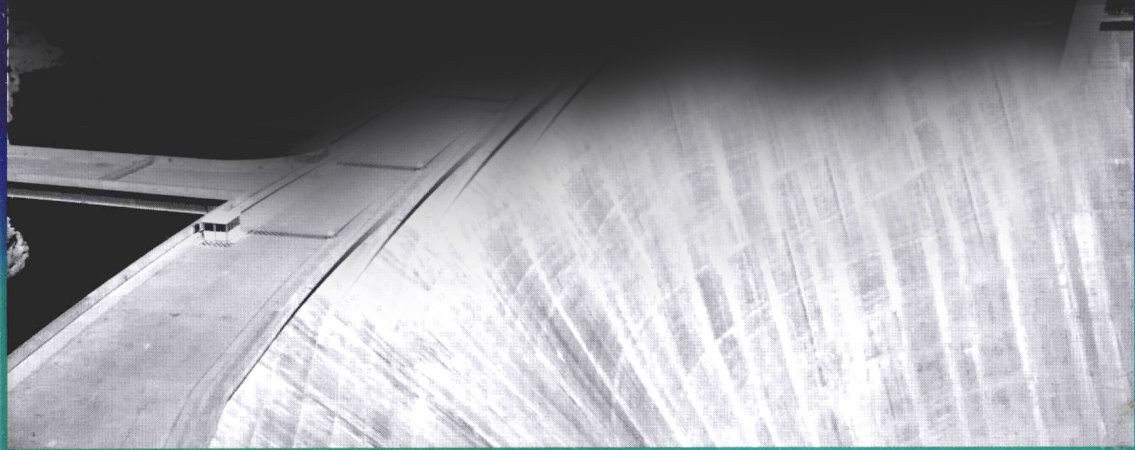


新型干法水泥 生产工艺读本

第二版

王君伟 编著

XINXING GANFA SHUINI SHENGCHAN GONGYI DUBEN



化学工业出版社

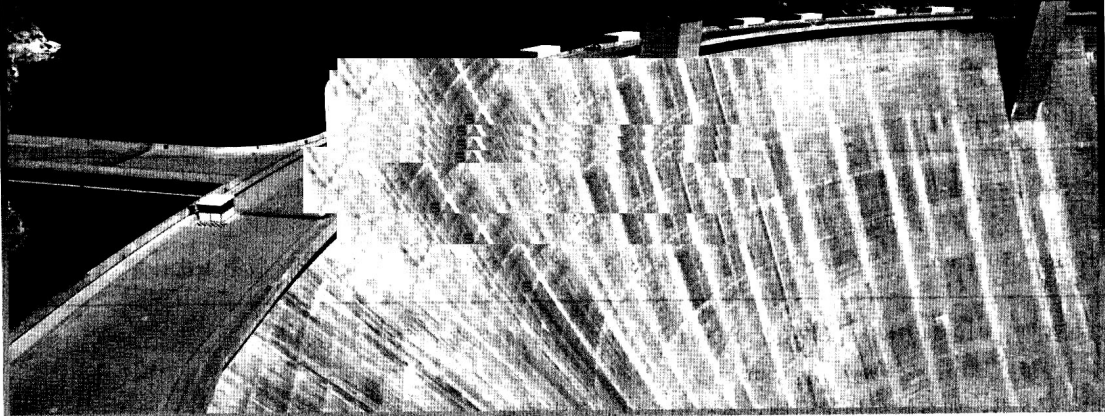


新型干法水泥 生产工艺读本

第二版

王君伟 编著

XINXING GANFA SHUINI SHENGCHAN GONGYI DUBEN



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. —2 版.
北京: 化学工业出版社, 2010. 12
ISBN 978-7-122-09563-3

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 (2010) 第 189557 号

责任编辑: 常 青

文字编辑: 冯国庆

责任校对: 战河红

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 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13 $\frac{1}{2}$ 字数 313 千字 2011 年 1 月北京第 2 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: 38.00 元

版权所有 违者必究



第二版前言

《新型干法水泥生产工艺读本》第一版问世至今已有 3 年多,在这期间,我国水泥工业在生产、科研等方面有很大进展。为了反映水泥工业技术进步的新成就、新内容,笔者在第一版基础上对相关内容进行补充和修订,重点有以下三方面。

一是根据新发布的标准、规范和产业政策,对相关内容作了必要论述和数值修正。

二是除保留反映硅酸盐水泥生产基础知识外,新融入了近三年来日产熟料 5000 吨规模新型干法生产线的新信息、新实践和新数据。

三是补充了近年来我国和世界水泥工业在生产、科研等方面的新举措、新成果和新概念,目的是希望读者通过阅读本书,获得水泥技术发展的“新思维、新趋势、新热点”等信息。如:第一章补充了可以享受增值税即征即退政策的废渣目录、中国煤炭编码总表;第五章对使用水泥助磨剂时应注意的问题作了进一步补充;第六章对篦式冷却机和低温余热发电作了补充修正;第九章介绍了水泥工业协同处置废弃物的技术途径、节能减排技术和低碳经济的知识。

第二版仍然是一本适合水泥企业职工的专业科普读物。在进入 21 世纪的今天,需要“用科学头脑去思考,用科学方法去工作”,希望本书能为水泥生产一线职工提供一些简明信息,供实践中参考和验证。

本书在编写过程中参考了一些文献资料和水泥、水泥技术、水泥工程、新世纪水泥导报、中国水泥等专业杂志,在此向原作者和这些杂志的编辑致以真诚的谢意。本书的编写也得到了陕西秦岭水泥股份公司和陕西声威建材集团有限公司的帮助,在此一并表示感谢!笔者还要感谢李薇、隋建平、杨林、赵桂珍、林莹、张小芬等对书稿顺利完成给予的热情帮助。

由于笔者水平有限,书中如有疏漏和不妥之处,请水泥同行和读者指正。

编著者
2010 年 9 月

第一版前言

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。

编著者
2006 年 12 月

目 录

绪论	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	6
一、天然硅铝质原料	6
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 校正原料和混合材	10
一、校正原料	10
二、混合材	10
第五节 燃料煤	11
第六节 原燃料的综合要求	12
一、对石灰质原料和黏土质原料矿山的要求	13
二、原材料选择上的注意要点	13
附录 1-1 不同水泥熟料品种对水泥原料质量的一般要求	16
附录 1-2 煤的等级分类	17
附录 1-3 水泥生产常用原料（或外加剂）种类简表	19
附录 1-4 水泥生产常用硅酸盐、碳酸盐、铝酸盐、硫酸盐矿物	20
附录 1-5 原料物性检测与工艺性能试验项目	20
附录 1-6 煤的物性检测与工艺性能试验项目	21
参考文献	21
第二章 原料的配合	22
第一节 硅酸盐水泥熟料矿物组成计算	22
第二节 预分解窑烧制的熟料率值范围	24

第三节	生料配料计算	25
一、	配料工作主要任务	25
二、	水泥熟料率值的选择	25
三、	生料配料计算	26
第四节	配料的自动控制及岩相观察	30
一、	配料的生产自动控制	30
二、	岩相观察	31
附录 2-1	水泥熟料中矿物组成与成分的技术要求	32
附录 2-2	物料成分、用量、配比基准换算表	33
附录 2-3	煤基准换算表	33
参考文献	33
第三章	石灰石破碎	34
第一节	破碎的基本概念	34
一、	破碎机分类	34
二、	粒度及破碎比	34
三、	矿石的破碎性能	35
第二节	单段锤式破碎机	36
一、	概述	36
二、	锤式破碎机使用时的注意事项	37
第三节	其他物料的破碎机	38
一、	常用破碎机	38
二、	专用破碎机	39
参考文献	40
第四章	原燃料预均化堆场和生料均化库	41
第一节	衡量均化程度指标	41
第二节	预均化堆场	42
一、	预均化堆场的形式	42
二、	堆场的堆料和取料方式	43
第三节	堆料机和取料机	44
一、	堆料机	44
二、	取料机	44
第四节	生料均化库	45
一、	生料均化库的作用	45
二、	连续式生料均化库形式	45
三、	影响均化效果的主要因素	49
参考文献	49
第五章	物料粉磨	50
第一节	生产工艺控制参数和物料的粉磨性能指标	50

一、物料粉磨性能测试指标及粉体物理性能	50
二、细度	55
三、颗粒级配	59
四、粉磨系统产量	63
第二节 粉磨工艺流程	65
一、粉磨系统	65
二、预粉碎	66
三、辊式磨流程	66
四、辊压机流程	67
第三节 磨机简介	68
一、钢球磨	69
二、辊式磨	70
三、辊压机	71
四、筒辊磨	72
五、超细磨	73
六、粉磨设备和系统的特点及选择	73
第四节 选粉设备	76
一、选粉性能评价	76
二、选粉机	77
三、打散分级机	79
四、调节细度	80
第五节 研磨体	80
一、研磨体的种类和作用	81
二、级配	82
三、配球方案和调整	83
第六节 水泥粉磨厂(站)	86
一、对水泥熟料的质量要求	86
二、部分水泥粉磨厂(站)设备配置情况	86
第七节 带负荷试车及操作要点	88
一、中卸烘干磨	88
二、风扫式煤磨	90
三、尾卸中长闭路水泥磨	91
四、辊式磨	92
五、辊压机	95
附录 研磨体	97
参考文献	99

第六章 熟料煨烧	100
第一节 预分解窑系统技术特点	101
一、系统工艺技术特点	101
二、系统生产能力经验统计式	101
三、发挥预分解窑技术优势以提高系统产量	102

四、预分解窑系统流程	103
第二节 旋风预热器	105
一、预热器的工作参数	105
二、旋风预热器	106
第三节 分解炉	107
一、评价分解炉工作性能的主要参数	108
二、分解炉中煤粉燃烧的特点和对策	109
三、分解炉结构形式	111
第四节 回转窑	116
一、生料煅烧性能指数	116
二、回转窑的特点	117
三、窑内工艺带的划分	118
四、窑头燃无烟煤的技术措施	119
第五节 煤粉燃烧器	120
一、燃烧器各风道作用简介	121
二、结构形式	121
三、燃烧器的生产调节	122
第六节 篦式冷却机	123
一、冷却机评价	124
二、推动式篦式冷却机	125
第七节 中低温余热发电技术	127
一、带补燃锅炉的中低温余热发电系统	127
二、不带补燃锅炉的纯低温余热发电系统	128
第八节 试生产点火操作	129
一、试车前准备工作	129
二、烘窑	130
三、点火投料	130
四、系统停车	133
五、达标考核	133
六、挂窑皮及窑衬	133
七、生产操作参数与调节	136
八、窑正常情况下的工艺参数	140
九、常见工艺故障的分析、判断和处理	143
附录 6-1 5000t/d 新型干法熟料生产线主机设备设计配套示例	147
附录 6-2 预分解窑系统耐火材料的配置 (摘自 GB 50295—2008《水泥工厂设计规范》)	147
附录 6-3 硅酸盐水泥熟料颜色对应烧成状况的初步判断	149
附录 6-4 硅酸盐水泥熟料煅烧的理论热耗	150
参考文献	150
第七章 水泥包装和散装	151
第一节 水泥包装	151
一、回转式包装机	151

二、大袋包装	151
三、码袋机	152
第二节 水泥散装	152
一、我国散装水泥的发展	152
二、推广散装水泥的好处	153
三、水泥散装率	153
第三节 水泥的贮存性	153
一、水泥贮存条件与贮存时间和强度的关系	154
二、水泥结块现象	154
三、常用水泥包装袋的防潮性能	155
四、熟料露天存放后对质量的影响	155
参考文献	155
第八章 环保与收尘	156
第一节 环境保护	156
一、烟尘和粉尘污染	156
二、烟气	158
三、噪声	159
四、重金属污染	159
五、烟尘排放监测系统及生命周期评价	160
第二节 收尘器	161
一、收尘参数	162
二、收尘器	162
第三节 工业固体废渣与生活废弃物的资源利用	165
一、水泥工业综合利用再生资源的可行性	166
二、水泥行业大量利用废弃物的有效途径	168
三、微量元素的影响	169
四、用水泥窑处置可燃性废料	173
五、综合利用和处理废弃物中需注意的问题	176
附录 8-1 国外有关水泥窑煅烧废料的部分环保标准和规定 (摘要)	178
附录 8-2 GB 18484—2001《危险废弃物污染控制标准》限值 (摘要)	179
附录 8-3 我国水泥企业利用工业废渣品种、成分示例	179
参考文献	181
第九章 新技术、新设备、新概念	182
第一节 新技术	183
一、生态水泥开发研究技术	183
二、纳米技术	184
三、捕捉 CO ₂ 技术	185
四、富氧燃烧技术	186
五、水泥复合化技术	187

第二节 新设备	188
一、两挡窑	188
二、三喷腾分解炉	189
三、六级旋风预热器	190
四、步进式无漏料篦冷机	191
五、水泥料床终粉磨	192
六、热盘炉	193
第三节 新概念	194
一、低碳经济	194
二、淘汰落后水泥产能	195
三、精细化管理	197
四、企业对标管理	198
五、协同处置废弃物	199
附录 9-1 河北燕赵 5000t/d 级烧成系统配置	202
附录 9-2 水泥单位产品能源消耗限额 (GB 16780—2007)	202
附录 9-3 不同规模水泥生产线能耗水平	203
附录 9-4 水泥工业清洁生产指标——资源能源利用指标 (HJ 467—2009)	205
附录 9-5 我国水泥制造业不同生产方法主要技术经济指标统计值	205
参考文献	206

绪 论

20世纪50~70年代出现的悬浮预热和预分解技术（即水泥新型干法生产技术）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、并购重组”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窑）的结构比例，截止到2009年12月底，我国预分解窑已投产1017条，水泥生产结构及其规模比例情况分别见表0-1和表0-2。

表 0-1 2005~2009 年新型干法熟料产量比重变化

项 目	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
熟料总产量/亿吨	—	—	—	8.98	10.79
新型干法熟料产量/亿吨	—	—	—	5.57	7.70
占总量比重/%	39.49	46.01	53.79	63.29	72.25

表 0-2 2008 年和 2009 年已投产预分解窑数量及比例

规模/(t/d)		<2000	2000~2500	2700~4000	4000~5000	6000~6500	≥7200	合计
2009 年	数量/条	284	371	46	293	16	7	1017
	数量比例/%	27.92	36.48	4.52	28.81	1.57	0.70	100
	产能比重/%	10.88	30.63	4.92	48.30	3.36	1.91	
2008 年	数量/条	307	323	41	221	14	6	912
	数量比例/%	33.66	35.42	4.50	24.23	1.53	0.66	100
	产能比重/%	13.92	31.61	5.21	43.50	3.49	2.26	

又据《中国水泥》2010年第3期报道，中国水泥协会经调查核实统计，截至2009年底，全国有1113条新型干法水泥生产线在运行，年设计熟料产能95859万吨，其中规模≥5000t/d的占新型干法水泥熟料产能的比重为45.27%。

水泥生产主要工艺过程简要概括为“两磨一烧”或“三磨一烧”。按主要生产环节分为：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）与水泥的包装（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，使每一个生产工序都综合利用新技术、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，如纯低温余热发电以及废渣、废料利用等，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、贮运、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图 0-1 所示。

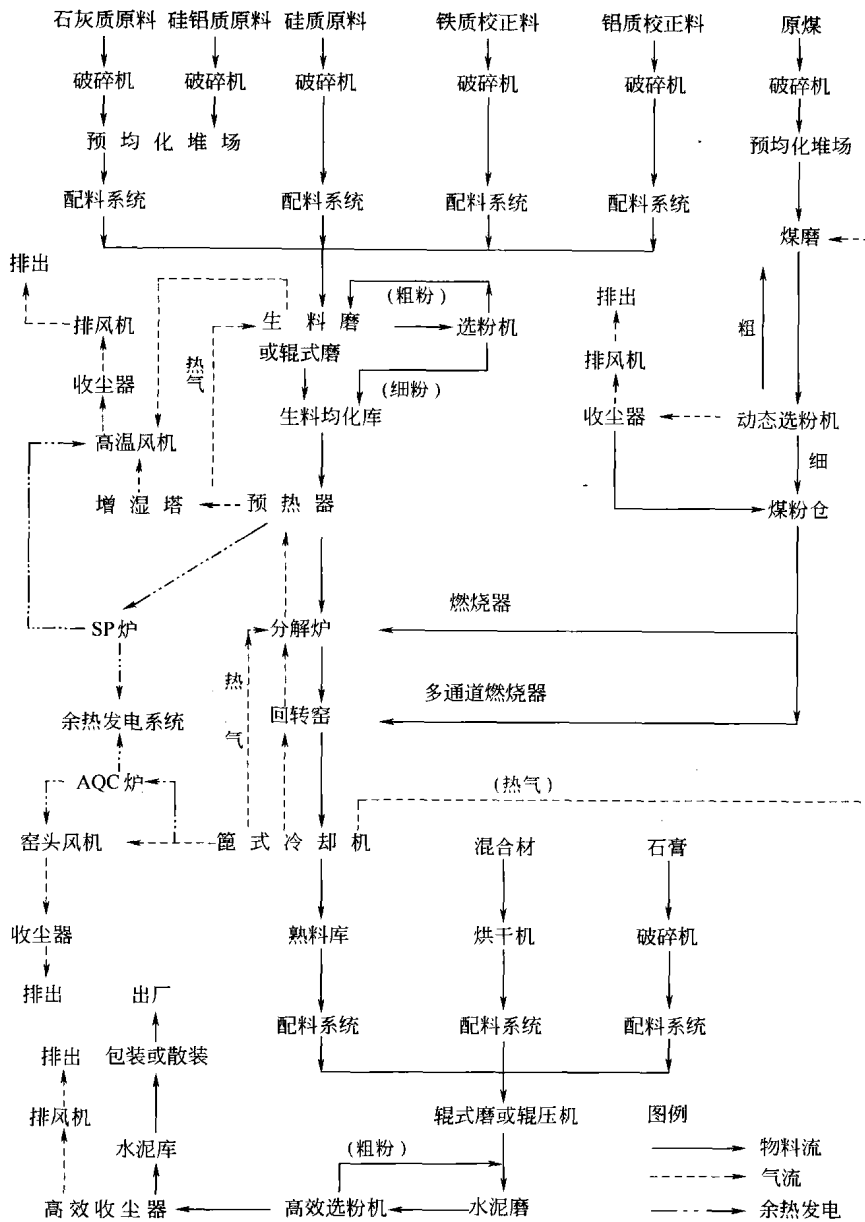


图 0-1 新型干法水泥生产工艺流程

第一章 原燃材料

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的情况；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的情况，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，已从传统使用天然矿石资源型向低品位化、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，为促进资源综合利用，推动循环经济发展，财政部、国家税务总局联合出台了财税 2008 [156] 号文和财税 2009 [163] 号文，规定了采用旋窑法工艺生产的水泥，水泥原料中掺兑废渣比例不低于 30% 时，可以享受增值税即征即退政策。

来自财税 2008 [156] 号文，享受增值税优惠政策的废渣具体如下：

① 采矿选矿废渣，是指矿产资源开采加工过程中产生的废石、煤矿石、碎屑、粉末、粉尘和污泥；

② 冶炼废渣，是指转炉渣、电炉渣、铁合金炉渣、氧化铝赤泥和有色金属灰渣，但不包括高炉水渣；

③ 化工废渣，是指硫铁矿渣、硫铁矿煅烧渣、硫酸渣脱硫石膏、碎石膏、磷矿煅烧渣、含氰废渣、电石渣、磷肥渣、硫黄渣、碱渣、含钡废渣、铬渣、盐泥、总溶剂渣、黄磷渣、柠檬酸渣、脱硫石膏、氟石膏和废石膏模；

④ 其他废渣，是指粉煤灰、江河（湖、海、渠）道淤泥、淤沙、建筑垃圾、城镇污

水处理厂处理污水时产生的污泥。

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 各体系水泥熟料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(如城市垃圾焚烧灰或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
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都称为石灰质原料。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 。按目前年生产水泥水平和吨水泥耗 1.1~1.2t 石灰石计,现已探明用于水泥生产的石灰石储量用不了 40 年。加上我国石灰石资源开采利用率低,一般为 80%~90%,个别企业使用民采的石灰石,其矿产利用率更低,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、回采率。矿石搭配开采使用,适度贫化,以延长矿山使用年限。

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

CO₂，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%的盐酸滴在岩石上，能迅速激烈发生气泡的是石灰石，无气泡的是白云石（用10%的盐酸时，白云石有少量气泡）。

表 1-2 按成分划分石灰岩种类 单位：%（质量分数）

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，CaCO₃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CaCO₃，含量80%~90%，质软，易开采、破碎和粉磨。

③ 贝壳珊瑚类，CaCO₃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CaCO₃量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（成分为氢氧化钙）、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，用于干法生产时应注意烘干脱水、烟气中露点和可燃物对预热器运行的影响等问题。废渣中含有CaO、Ca(OH)₂或低级硅酸盐矿物，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。衡量黏土的质量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。

一、天然硅铝质原料

天然硅铝质（黏土质）原料是由沉积物经过压固、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。黏土矿物主要有三种类型：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	$\text{R}_2\text{O}/\%$	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，风化淋溶作用较弱，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）和南方地区的红壤及黄壤（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