水泥工业
自动控制预加水成球技术及装备

江苏科学技术出版社

SHUINIGONGYE
ZIDONGKONGZHI YUJIASHUI
CHENGQIUJISHU JI
ZHUANGBEI



需要全本请访问 www.ertongbook.com

水泥工业
自动控制预加水成球
技术及装备

编著　阎瑞敏　常　敏
刘冬宝　屈鸿匡
吕正阳　李古香
主审　黄有丰

江苏科学技术出版社

内 容 简 介

本书主要介绍成球质量与机立窑煅烧的关系；成球机理；自动控制预加水成球装备的结构、性能及特点，控制原理，主要技术参数的确定，正确操作和使用，工艺布置的原则和方案，安装与调试方法，常见故障的分析及处理方法；预加水料球技术性能指标的检测方法；自控预加水成球技术对水泥厂生产工艺的要求；综合经济效益的分析等等。

本书重点是新技术的应用，它是机立窑水泥厂成球工序工人的培训教材和自学课本，同时也可供工程技术人员和管理干部参考。

封面设计　温克信
责任编辑　沃国强

水泥工业
自动控制预加水成球技术及装备
编著：阎瑞敏　常　敏
刘冬宝　屈鸿屋
吕正阳　李占香
主审：黄有丰

出版发行：江苏科学技术出版社
印　刷：句容县工商印刷厂

开本：787×1092 毫米　1/16　印 张：29.25　字 数：715 千字
1990 年 10 月第一版　1990 年 10 月第一次印刷
印 数：1——6000 册

ISBN　7--5345—1103--8

TU·25　定价：12.60 元

前　言

自动控制预加水成球装备于1985年由国家建筑材料工业局、江苏省建筑材料工业局组织，由南京水泥工业设计研究院、合肥水泥工业设计研究院，南京水泥机械厂、国营海安建材机械厂、哈尔滨水泥厂、南通市水泥厂、丹徒县水泥厂等单位共同开发研制。同年11月通过了部级鉴定，1986年获布鲁塞尔世界发明博览会尤里卡银质奖章。预加水成球新技术，可使机立窑产量提高5～10%，水泥熟料标号提高30～50号，综合能耗降低3～5%，全年净增经济效益50万元以上（以$\phi 2.5\times 10$米机立窑计算），是国家"七五"期间在水泥行业重点推广应用的新技术项目，被国家建筑材料工业局列为当前机立窑节能新技术中的15项之一。

我国现有立窑水泥厂约5000家，如果都能逐步地应用该项新技术，对我国地方水泥企业的降耗节能起到重大的作用，并将产生巨大的经济效益和社会效益。

目前，全国采用预加水成球技术的水泥厂有1000余家，但真正发挥其优越性，并取得应有效果的厂所占比例还不大。其关键是没有真正掌握该项新技术，未能正确操作和使用自动控制预加水成球装备。为此，本书全面系统地讨论了成球质量与机立窑煅烧的关系；成球机理；自动控制预加水成球装备的结构、性能及特点，控制原理，操作使用，工艺布置，安装与调试，常见故障的分析及处理方法等等。力求通俗易懂，并配有图表说明。凡具备初中以上文化程度者，均可看懂，并能正确掌握该项新技术。

本书着重在新技术的应用，主要对象是机立窑水泥厂成球工序工人，可作为培训教材和自学课本，同时也可供工程技术人员和管理干部参考。

本书第一至七章、第十二章由阎瑞敏，常敏编著；第八章由刘冬宝编著；第九章由吕正阳、华班稳、刘冬宝、胡士甬、郭桂银、芮万翔、刘国田编著；第十章由屈鸿厓、沈阳、周杰、龚晨海、钱永平编著；第十一章由李古香编著。蒋琥勤参加了第一章的编写。

本书由国家建筑材料工业局科学技术委员会委员、中国建筑材料工业协会水泥协会副理事长、高级工程师黄有丰主审；《中国建材报》江苏记者站站长、经济师李柏芬审核；盐城工业专科学校沈习学副教授、乘大同、朱启宗、蒋煜林、倪文龙讲师审核了第一至七章和第十二章；蒋琥勤助理工程师审核了二至七章和十二章；合肥工业大学史斌宁副教授、吕正阳、郭桂银、胡士甬、华班稳、吴叶军讲师审核了第八、第十、第十一章；史斌宁副教授审核了第九章；全书由阎瑞敏总纂统稿。

本书编写中，参考了中国建材技术经济和管理现代化研究会1985年印发黄有丰编著的《地方水泥新技术讲座资料》；国家建筑材料工业局科技开发中心、全国建材行业技术市场协作网1987年印发的《地方水泥新技术资料汇编》（一）中，黄有丰、刘进之编写的"自动控制预加水成球技术"和钱启新编写的"自动控制预加水成球装备"两篇文章。

本书在编写过程中，国营海安建材设备厂、国营海安建材机械厂、南京水泥机械厂、镇江市建材机械厂、泰县建材机械厂提供了宝贵的资料。同时还得到了合肥工业大学、盐

城工业专科学校、常州建材职工大学、《中国建材报》江苏记者站、国家建材局无锡自动控制设备研究设计所、南京进相机厂、泰州电子仪器厂等单位的大力支持和协助。在此，一并表示衷心地感谢。由于编著者水平有限，加之时间仓促，错漏之处在所难免，诚恳希望读者批评指正。

编著者

1990年1月

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目 录

第一章 成球质量与立窑煅烧的关系 …… 1
第一节 概述 …… 1
第二节 立窑煅烧 …… 2
一、水泥熟料成分 …… 2
二、硅酸盐水泥熟料形成过程 …… 7
三、立窑水泥熟料煅烧过程中各带划分 …… 10
四、料球在立窑中燃烧过程及其特点 …… 11
第三节 料球质量对立窑煅烧影响 …… 13
一、料球粒径均匀性对立窑料层阻力影响 …… 14
二、料球粒径大小对煅烧传热影响 …… 14
三、滴水球、预湿球和预加水球对煅烧速度影响 …… 16
四、料球耐压强度对煅烧过程影响 …… 17
五、料球内部孔隙率与结构对煅烧影响 …… 17
六、料球炸裂温度和爆破率对煅烧影响 …… 17
第四节 立窑煅烧工艺对料球质量具体要求 …… 18
一、料球外形质量 …… 18
二、料球粒径 …… 18
三、干湿球耐压强度 …… 18
四、料球耐撞击强度 …… 18
五、料球粒径级配 …… 19
六、料球内部孔隙率与结构 …… 19
七、料球炸裂温度和高温爆破率 …… 19
第二章 成球机理及成球设备 …… 20
第一节 滴水成球机理及成球设备 …… 20
一、成球意义 …… 20
二、成球设备 …… 20
三、成球盘成球方式 …… 23
四、生料成球方法及过程 …… 24
五、盘式成球机优点 …… 25
六、滴水成球法成球机理 …… 25
七、成球过程中物料运动规律 …… 29
八、滴水成球弱点 …… 30
第二节 预加水成球机理 …… 31

一、预加水成球优点 …… 31
二、预加水成球机理 …… 32
三、滴水成球法与预加水成球法成球效果对比 …… 35
第三节　三种成球的成球方法、工艺流程、机理和工作原理比较 …… 37
一、三种成球方法比较 …… 37
二、工艺流程比较 …… 38
三、工作原理比较 …… 38
四、成球机理比较 …… 39
第三章　自动控制预加水成球工艺及其装备 …… 41
第一节　自动控制预加水成球工艺流程 …… 41
一、自动控制预加水成球工艺流程 …… 41
二、预加水成球工艺流程举例 …… 41
第二节　预加水成球装备 …… 43
一、管式螺旋喂料机 …… 43
二、双轴搅拌机 …… 49
三、新型盘式成球机 …… 56
四、预加水成球装备配用电机和减速器 …… 62
第三节　新型盘式成球机构造特点 …… 63
一、盘体要求 …… 63
二、电动底刮刀 …… 65
三、电动边刮刀 …… 69
四、变速传动装置 …… 69
五、盘倾角可调装置 …… 69
六、机体与锁紧机构 …… 69
七、成球盘系列化 …… 69
第四节　预加水成球装备改进与发展 …… 70
一、双管螺旋喂料机改进 …… 70
二、双轴搅拌机改进 …… 70
三、盘式成球机的改进与发展 …… 70
第四章　预加水料球技术性能指标及检测方法 …… 75
第一节　预加水料球技术性能指标 …… 75
第二节　预加水料球技术性能指标检测方法 …… 76
一、料球含水率测定 …… 76
二、料球级配测定 …… 76
三、湿球耐压强度测定 …… 76
四、干球耐压强度测定 …… 77
五、料球内部孔隙率测定 …… 77
六、球与球之间空隙率测定 …… 78

七、料球炸裂温度测定 …… 79
八、料球高温爆破率测定 …… 79
九、料球耐撞击强度测定 …… 79
十、料球颗粒分析和收缩率的测定 …… 79
第五章　预加水成球技术及装备的应用 …… 81
第一节　盘式成球机主要技术参数确定 …… 81
一、倾角确定 …… 81
二、成球盘转速确定 …… 86
三、盘边高确定 …… 89
四、成球盘转速、倾角、边高与成球质量关系 …… 89
五、成球时间和盘内存料量确定 …… 90
第二节　盘下料口位置确定 …… 91
第三节　双轴搅拌机叶片角度选取 …… 94
第四节　双轴搅拌机进出料口中心距长度选取及物料在机内停留时间与所走距离关系 …… 95
一、双轴搅拌机进出料口中心距长度选取 …… 95
二、物料可塑性与停留时间关系 …… 96
三、物料停留时间与所走距离关系 …… 96
四、物料在搅拌机内三阶段与所走距离和停留时间关系 …… 97
第五节　预加水成球含水率确定 …… 99
第六节　水的雾化及雾化器 …… 99
一、水的雾化 …… 99
二、预加水成球对雾化器技术要求 …… 99
三、NP-1型离心压力喷嘴式雾化器 …… 100
四、MP型离心压力喷嘴式雾化器 …… 103
第七节　预加水料球技术指标与其他因素关系 …… 104
一、料球粒径大小与耐压强度关系 …… 104
二、料球水分与炸裂温度关系 …… 105
三、料球内部孔隙率及其结构与炸裂温度和爆破率关系 …… 105
四、水分与料球直径关系 …… 106
五、水分与料球耐压强度关系 …… 107
六、原料塑性与成球关系 …… 107
七、料层空隙率与料层阻力关系 …… 110
八、料球直径与耐磨强度关系 …… 110
九、料球级配与料层阻力关系 …… 110
第八节　预加水成球装备工艺布置 …… 113
一、基本型预加水成球装备工艺布置 …… 114
二、改进型预加水成球装备工艺布置 …… 114
三、自动控制预加水成球工艺流程 …… 115

四、工艺布置原则 …… 115
第九节 预加水成球装备安装与调试 …… 117
一、预加水成球装备单机安装 …… 117
二、预加水成球装备试运转 …… 129
三、预加水成球装备调试 …… 138
第十节 预加水成球装备常见故障分析及处理方法 …… 149
一、管式螺旋喂料机常见故障分析及处理方法 …… 150
二、双轴搅拌机常见故障分析及处理方法 …… 152
三、盘式成球机常见故障分析及处理方法 …… 155
第六章 预加水成球技术对水泥厂生产工艺要求 …… 158
第一节 成球工艺对原料要求 …… 158
一、生料均匀性要求 …… 158
二、生料细度要求 …… 158
三、煤粉细度要求 …… 159
四、生料粉温度要求 …… 160
五、生料粉湿度要求 …… 160
六、原料配制要求 …… 160
第二节 给料系统和供水系统等方面要求 …… 161
一、给料系统要求 …… 161
二、供水系统要求 …… 161
三、旧窑房空间位置和旧设备改造要求 …… 162
第三节 机立窑煅烧工艺要适应预加水料球性能 …… 163
第七章 预加水成球装备维护、润滑及修理 …… 164
第一节 预加水成球装备使用维护和防尘与密封 …… 164
一、预加水成球装备使用维护 …… 164
二、预加水成球装备防尘与密封 …… 165
第二节 预加水成球装备润滑 …… 166
一、润滑材料作用 …… 166
二、常用润滑材料 …… 168
三、润滑材料选用和典型零部件润滑 …… 179
第三节 预加水成球装备修理 …… 190
一、成球盘修理 …… 190
二、双轴搅拌机修理 …… 194
三、管式螺旋喂料机修理 …… 196
第四节 预加水成球装备主要易损零部件加工与修理 …… 198
一、成球盘底刮刀和边刮刀加工 …… 198
二、双轴搅拌机叶片加工 …… 200
三、管式螺旋喂料机螺旋叶片加工与修理 …… 201
四、滚动轴承修理 …… 202

五、齿轮修理 …… 208
六、轴修理 …… 212
第八章 预加水成球仪表控制系统 …… 215
第一节 概述 …… 215
第二节 仪表控制系统工作原理 …… 215
第三节 拖动控制系统组成及工作原理 …… 216
一、拖动控制系统组成 …… 216
二、工作原理 …… 216
三、端子板接线 …… 217
第四节 仪表控制系统装备 …… 217
一、LFD-125 型冲量流量计 …… 217
二、LZD-40 型电远传转子流量计 …… 230
三、ZAZP-64K 型电动调节阀 …… 233
四、DK-2 型调速电机控制器 …… 240
第五节 仪表控制系统安装、调试及故障分析与处理方法 …… 243
一、安装 …… 243
二、系统调试 …… 244
三、操作规程 …… 244
四、常见故障分析与处理方法 …… 244
第九章 YW-02（原 HC-02）型预加水成球微机自动控制系统 …… 247
第一节 HC-02B 型微机控制系统结构、工艺流程及原理 …… 247
一、结构及其组成 …… 247
二、基本参数和技术性能 …… 247
三、工艺流程 …… 249
第二节 基础知识 …… 251
一、数制及其转换 …… 251
二、数字逻辑 …… 259
第三节 CPU 模板 …… 269
一、CPU 模板基本结构 …… 270
二、CPU 模板基本工作原理 …… 272
第四节 A/D、D/A 模板 …… 297
一、A/D 转换器及其接口 …… 297
二、D/A 转换器及其接口 …… 305
三、A/D、D/A 模板结构及使用方法 …… 308
四、A/D、D/A 模板故障分析 …… 309
五、V/I、I/V 转换电路 …… 311
第五节 CRTC 模板 …… 319
一、CRTC 模板基本结构 …… 319
二、CRTC 模板工作原理 …… 319

第六节　开关量模板 …… 326
一、开关量模板结构 …… 326
二、开关量模板工作原理 …… 327
三、数据锁存和光电隔离 …… 327
四、报警电路 …… 328
第七节　键盘模板 …… 331
第八节　屏幕内容和键功能 …… 333
一、CRT 屏幕显示 …… 333
二、键功能 …… 335
第九节　HC-02B 型微机控制系统的安装、调试及操作规程 …… 337
一、外型结构和安装尺寸 …… 337
二、系统安装 …… 337
三、系统调试 …… 337
四、操作规程 …… 339
第十节　直流稳压电源 …… 341
一、整流、滤波电路概述 …… 341
二、集成稳压电路 …… 344
三、HC-02 微机系统稳压电源 …… 348
第十一节　系统故障分析及处理方法 …… 350
第十章　QYS-200 型预加水成球自动控制系统 …… 354
第一节　概述 …… 354
一、预加水成球控制特点 …… 354
二、控制系统设计原则 …… 354
三、控制系统原理及特点 …… 355
第二节　QYS-247 型预加水成球动力控制柜 …… 356
一、设计特点 …… 356
二、操作面板 …… 357
三、端子排 …… 358
四、安装、调试及整定 …… 359
第三节　QYS-216 型预加水成球信号处理器 …… 360
一、工作原理 …… 360
二、部分元器件基本知识、性能及其应用 …… 361
三、电源板原理与调试 …… 376
四、生料流量累计板原理及调试 …… 380
五、V/I 转换电路原理及调试 …… 386
六、输入放大板原理及调试 …… 387
七、接线及布线 …… 391
八、机箱面板布置 …… 391
九、与控制系统连接 …… 392

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第四节　QYS-135型预加水成球微机自动控制系统 …… 392
一、简介 …… 393
二、结构 …… 394
三、工作原理 …… 398
四、硬件设计 …… 399
五、软件设计 …… 404
六、安装、调试及操作规程 …… 404
七、维护及常见故障处理方法 …… 409
第五节　SLK-3型预加水成球专用水路控制系统 …… 411
一、用途及特点 …… 411
二、主要技术性能 …… 412
三、系统工作原理 …… 412
四、结构 …… 414
五、安装、接线、调整及常见故障检修 …… 414
六、成套性检查 …… 418
第十一章　NC-86型预加水成球微机自动控制系统 …… 419
一、NC-86A系统控制原理 …… 419
二、控制柜结构、安装与操作 …… 419
三、整定说明 …… 421
四、NC-86B型微机概述——智能化仪表 …… 424
五、NC-86B型微机硬件和软件 …… 425
六、微机结构、安装与操作 …… 427
七、微机功能说明 …… 429
八、测试及故障处理 …… 430
第十二章　应用预加水成球技术经济效益分析 …… 433
附录 …… 438
附录一　自动控制预加水成球装备和其他产品介绍 …… 438
附录二　常州建材职工大学举办自动控制预加水成球技术培训班启事 … 456
附录三　国家建筑材料工业局科技开发中心盐城分部关于自控预加水成球技术及装备技术咨询服务启事 …… 456
附录四　《水泥工业自动控制预加水成球技术及装备》征订启事 …… 457
参考资料 …… 457

第一章　成球质量与立窑煅烧的关系

第一节　概　述

立窑是一种填满料球的竖式固定煅烧设备，分普通立窑和机械化立窑。立窑的筒体由窑壳、内壁（窑衬）及窑体保温层所组成。含煤的生料球从窑顶加入，助燃空气从窑底部或窑下侧鼓入，空气通过料球之间空隙流通，与料球表面接触，就这样，燃料燃烧与物料煅烧的过程从料球表面开始。燃烧发出的热量直接加热料球表面生料，生料料球表面受热发生一系列物理化学变化，同时将热量逐渐传到料球内层。由于燃料的燃烧和生料的脱水分解，使料球内部形成孔隙，空气进入孔隙，供给内层燃料燃烧。燃烧产生的热量加热料球内层生料，料球内层生料受热也发生一系列物理化学变化。料球的煅烧过程就是这样由料球表面逐渐向料球内部进行，经过预热、分解、烧成和冷却，形成熟料后从窑底部卸出，废气经窑罩、烟囱排出。上述工艺过程具有以下特点：

(1)整个窑内填满着物料；

(2)物料自上而下移动，气流自下而上地通过料层；

(3)料球的干燥与脱水、碳酸盐分解、固相反应、烧成及冷却等过程全部在窑内完成；

(4)高温带（俗称底火）的位置、形状及稳定程度是水泥熟料烧成的关键。

以上特点使立窑煅烧水泥熟料工艺始终存在着中间上火慢（通风不良），底火不易控制（通风不均匀）的问题。目前我国立窑生产中，还不能保持稳定煅烧，经常出现翻风洞、卡窑、结大块、偏火、塌窑等不正常的现象。其根本原因是窑的断面通风状况不合理且难以均齐、平稳所致，中部通风不良是要害。为此，经常采用撬边、插风洞、移火块等不正常的操作方法，影响了熟料的质量，人为地造成通风阻力的不平衡。在我国，多年来为解决中间通风不良的问题，在煅烧工艺上曾采取了一系列煅烧方法，例如：白生料法、半黑生料法、黑生料法、包壳料球法、差热煅烧法等一系列措施和手段；在窑的结构上也采取了一系列措施，如将普立窑改机立窑，将定量风机改为定压风机，还改进了炉箅形式，增设中间风管，配备二次进风，甚至在塔卸顶帽上钻孔等。过去所有改进都是围绕着"风若稳定、火便均齐"这一立窑煅烧基本原则。但所有的改进仅从外部条件着手，没有在煅烧物料（料球）的结构和性能上做文章，因此效果不理想。

生料成球是立窑生产的一个重要的工艺过程。料球的质量直接影响立窑熟料产量、质量、热耗、电耗、粉尘量等。享有世界声誉的立窑专家 W·Anscm 曾指出：生料球的质量和大小是影响煅烧过程最重要的因素，它仅次于窑的规格。所以，料球粒径的均匀性、孔隙率、透气性、热稳定性、干湿球耐压强度等，都直接影响煅烧工艺的实施及其效果。

因此，料球粒径大小、均匀程度、几何形状，料球内部的孔隙率及其结构，干湿料球的耐压强度，料球的炸裂温度等，对提高立窑的热效率具有重要意义。

预加水成球新技术、新工艺的特点就是针对被煅烧的料球，从改革成球工艺来改变料球的结构，从而使料球获得比较适应立窑煅烧的特点，有利于窑内通风和热工制度的稳定，达到了"快烧速冷"的要求，为水泥熟料在窑内的形成创造了有利的条件。

第二节　立窑煅烧

一、水泥熟料成分

水泥熟料中，CaO、SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3 不是以单独的氧化物形式存在的，而是以两种或两种以上的氧化物反应生成的多种矿物的集合体组成，它的结晶比较细小（一般小于 100 微米）。因此水泥熟料是一种多矿物组成的、微小的结晶人造岩石。

（一）水泥熟料矿物组成

硅酸盐水泥熟料含有以下四种主要矿物：

硅酸三钙	$3CaO \cdot SiO_2$	可简写成 C_3S
硅酸二钙	$2CaO \cdot SiO_2$	可简写成 C_2S
铝酸三钙	$3CaO \cdot Al_2O_3$	可简写成 C_3A
铁铝酸四钙	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	可简写成 C_4AF

另外，还有少量的游离氧化钙、方镁石、含碱矿物及玻璃体等。通常熟料中 C_3S 和 C_2S 含量在 75%左右，称为硅酸盐矿物。C_3A 和 C_4AF 占 22%左右，它们在 1250～1280℃会与氧化镁、碱等逐渐熔融成液相以促进 C_3S 的顺利形成，故称为熔剂矿物。

1. 硅酸三钙与 A 矿

纯的硅酸三钙分子式为 $3CaO \cdot SiO_2$(缩写成 C_3S)，为 20～40 微米的六角形棱状或柱状无色晶体，密度 3.15，熔融温度为 2150℃，它是硅酸盐水泥熟料的主要成分，含量为 35～55%。

硅酸三钙在 1250～2150℃温度范围内稳定，低于或超过此温度会发生分解，析出氧化钙（二次游离氧化钙）。

水泥熟料中并不是以纯的硅酸三钙存在，而是在硅酸三钙中含有少量其他氧化物，如 Al_2O_3，MgO，FeO、K_2O、Na_2O。含有少量氧化物的硅酸三钙，一般称为 A 矿（或称阿利特）。

2. 硅酸二钙和 B 矿

硅酸二钙是水泥熟料中另一重要的矿物，其分子式为 $2CaO \cdot SiO_2$(缩写为 C_2S),它与 C_3S 构成熟料的主要矿物——硅酸盐矿物。

在水泥熟料中，C_2S 含量一般为 25～35%。纯 C_2S 有四种晶型，即 α-C_2S、

α'-C_2S、β-C_2S、γ-C_2S。α'-C_2S 又分为高温型 α'_H-C_2S 和低温型 α'_L-C_2S。上述晶型被加热或冷却时会发生晶型转变，转变的温度和途径如图 1-1 所示。

C_2S 的四种晶型中，α 型和 α'型的水硬性很小，γ 型几乎没有水硬性，β 型具有较好的水硬性。

α-C_2S 和 α'-C_2S 是在高温下生成的，当温度降低时会很快转变为 β-C_2S 或 γ-C_2S。因而，一般情况下，熟料中不存在 α-C_2S 和 α'-C_2S。

β-C_2S 是介稳型，缓慢冷却至 500℃（通过 675℃时为最好）以下时，会转变成 γ-C_2S。β-C_2S 转变为 γ-C_2S 后会使熟料活性大大降低，且使体积膨胀约 10%，导致熟料粉化。这是由于两者密度变化引起的（β-C_2S 密度为 3.28，而 γ-C_2S 密度为 2.97）。

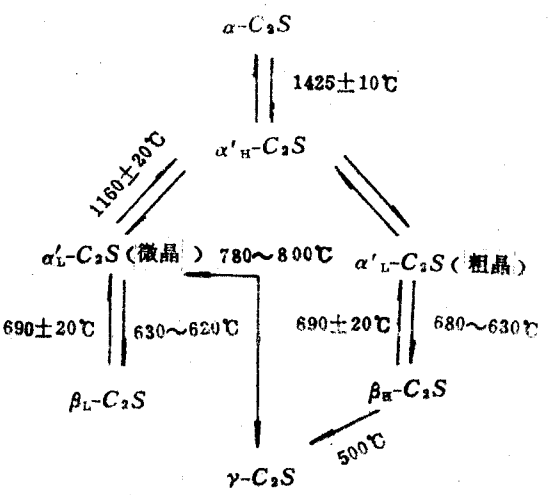


图 1-1　硅酸二钙晶型转变示意图

熟料中的硅酸二钙并不是以纯的形式存在的，而是 C_2S 与 MgO、Al_2O_3、Fe_2O_3、R_2O 等氧化物形成固溶体矿物，通常称为 B 矿（或贝利特），为 15～20 微米的圆形或椭圆形晶体。纯的 C_2S 为无色晶体，含有 Fe_2O_3 时呈棕黄色，密度为 3.28，熔融温度为 2130℃。

3. 铁铝酸钙与 C 矿（或称才利特）

硅酸盐水泥熟料中含铁矿物为铁铝酸四钙(缩写为 C_4AF)，是铁铝酸四钙的连续固溶体之一，呈黄褐色或褐色。如熟料中含有较多氧化锰时则呈深褐色或黑色。

C 矿在硅酸盐水泥熟料中，含量一般为 10～20%，它和铝酸钙矿物构成熟料的熔剂矿物，对熟料的烧成起较大作用。

C 矿硬化较慢，后期强度较高，水化热较低，具有弹性，抗冲击力强，抗硫酸盐腐蚀性能较好，但 C_4AF 高的慢冷熟料非常难磨。

4. 铝酸钙

硅酸盐水泥熟料中，铝酸盐矿物有二种，即铝酸三钙（$3CaO \cdot Al_2O_3$，缩写为 C_3A）和七铝酸十二钙（$12CaO \cdot 7Al_2O_3$，缩写为 $C_{12}A_7$），后一种铝酸钙在硅酸盐水泥熟料中很少存在，主要为铝酸三钙。

铝酸三钙在熟料中含量为 7～15%，纯的铝酸三钙为无色晶体，密度为 3.04，熔融温度为 1535℃，在 1000～1300℃温度下由固相反应生成。当温度在 1300℃以上时，呈熔融状态，它是煅烧硅酸盐水泥熟料的熔剂矿物。C_3A 水化迅速，放热多，易使水泥急凝。故早期强度较小，但数值不高，甚至倒缩，抗硫酸盐性能差。

5. 游离氧化钙

游离氧化钙是指配料不当，生料过粗或煅烧不充分时熟料中没有被吸收的呈游离状态

的氧化钙。游离 CaO 如未经高温死烧，则水化作用较快；如经高温死烧则水化速度很慢。在水泥硬化后，游离 CaO 才开始水化，其速度较慢，三天后才明显起来，水化生成氢氧化钙时，体积膨胀 97.9%，在硬化水泥石内部造成局部膨胀应力，破坏了水泥石的结构。

由于熟料慢冷，还会生成二次游离 CaO，这部分游离 CaO 由于高温死烧，水化速度很慢，影响水泥石的安定性。

立窑熟料中游离 CaO 的含量应控制在 3%以下。

6. 方镁石

MgO 溶解于 C_4AF、C_2S 中形成固溶体或溶于玻璃体中，对水泥石没有破坏作用。如果以结晶状态的 MgO 存在于熟料中，由于方镁石水化速度非常慢，要在半年至一年后才明显起来。水化生成氢氧化镁，体积膨胀 148%而导致水泥安定性不良，国家标准限制了熟料中方镁石的含量不得超过 5%。

7. 玻璃体

硅酸盐水泥熟料中，除 A 矿和 B 矿外，其他统称中间物质。这些中间物质熔融液相在平衡条件下冷却，可全部结晶析出而不存在玻璃体中。由于冷却较快，会有一部分液相来不及结晶就成为过冷液相即玻璃体存在。普通冷却的熟料含玻璃体 2～21%，急冷的熟料含玻璃体 8～22%，慢冷的熟料含玻璃体 0～2%。

由于玻璃体处于不稳定状态，水化较快。但当玻璃体包裹住 β-C_2S 时，可阻止其转变成 γ-C_2S。

（二）水泥熟料化学成分

1. 水泥熟料化学成分

硅酸盐水泥熟料成分主要由 CaO、SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3 四种氧化物组成。此外还有少量的其他氧化物，如 MgO、SO_3、Mn_2O_3、Na_2O、K_2O、P_2O_3 及未经化合的游离 SiO_2 等。

立窑生产所得硅酸盐水泥熟料的主要氧化物含量波动在以下范围内：

CaO 62～68%；SiO_2 20～24%；Al_2O_3 4～7%；Fe_2O_3 3～5.5%。

2. 水泥熟料化学成分对煅烧的影响

(1) CaO 含量变化对煅烧的影响

CaO 是水泥熟料中最重要的化学成分，它与熟料中 SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3 反应生成 C_3S、C_2S、C_3A 和 C_4AF。熟料中 CaO 的含量高，则 C_3S 的含量就高，水泥强度高，硬化过程快。但 CaO 含量过高，煅烧温度不够时，则会产生大量游离 CaO，影响水泥的安定性；若熟料中 CaO 含量过低，虽然游离 CaO 的含量低，但生成 C_3S 太少，C_2S 相应增加，水泥强度不会高。如果煅烧或冷却不好，会引起熟料粉化，使水泥强度更低。

(2) SiO_2 含量变化对煅烧的影响

SiO_2 在水泥熟料中是主要成分之一。它与 CaO 在高温下化合成 C_2S 和 C_3S。当熟料中 CaO 含量一定时，SiO_2 含量越多，则生成 C_2S 含量就越多，C_3S 含量相应减少，会影响水泥熟料的质量。水泥熟料随着 SiO_2 含量增加而凝结硬化变慢，早期强度不高，但后

期强度不断提高，抗水性特别是抗硫酸盐性提高。

SiO_2 含量对水泥熟料的煅烧也有影响。若含量不高，SiO_2 偏低，相应地提高了 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 的含量，使熟料煅烧出现过量液相而结大块，影响操作；SiO_2 过高，相应地会降低 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 的含量，煅烧时液相量太少，使烧成困难，熟料也易粉化。

(3) Al_2O_3 含量变化对煅烧的影响

Al_2O_3 在煅烧过程中与 CaO、Fe_2O_3 作用生成 C_3A 和 C_4AF，并熔融为液相，促使 C_3S 形成。当熟料中 Al_2O_3 多时，C_3A 生成量增多，熟料早强提高，凝结硬化快，但液相粘度大（与 Fe_2O_3 比）。在机立窑煅烧中如液相粘度大，物料容易结大块，对熟料的烧成不利。

(4) Fe_2O_3 含量变化对煅烧的影响

Fe_2O_3 在煅烧中与 CaO、Al_2O_3 生成 C_4AF。当温度达到 1300℃以上时，熔融成粘度较小的液相，可降低熟料形成的温度，加速 C_3S 的形成。增加熟料中 Fe_2O_3 的含量，能降低煅烧温度，但会使水泥凝结硬化过程变慢，并具有较好的抗酸性能力。

氧化铁含量高的熟料液相比氧化铝含量高的液相粘度小，较易烧成；但若含量不适当地提高，烧成过程中会造成液相量过多且增长快，则易使物料结成大块形成料柱，从而影响操作，还会损坏窑壁，烧成也困难。因在还原气氛作用下，Fe_2O_3 还原成 FeO，降低了系统的共熔点，使物料过早出现液相。同时在配煤过量情况下，还易形成窑盖卡窑，如不能及时发现处理，将出现喷窑大事故。

(5) MgO 对煅烧的影响

在水泥熟料中含少量的 MgO，有降低熟料熔融温度的作用，但不得超过 5%，过高会造成水泥石的安定性不良。

(6) R_2O 对水泥质量的影响

水泥熟料中含碱会使水泥的凝结时间不正常，使水泥的强度降低。水泥熟料含碱量，以 Na_2O 计应小于 1.3%，生产大坝水泥时应小于 0.6%。

(7) 水泥熟料中 SO_3 含量变化对水泥质量的影响

适量的 SO_3 可以调节水泥凝结时间，过多则造成水泥石安定性不良。

（三）硅酸盐水泥熟料的率值

目前，我国水泥工业普遍采用石灰饱和系数（*KH*）、硅酸率（*SM*）、铁率（*IM*）三个率值来控制生产。要求熟料的三个率值合理稳定，三个率值应同时控制，并要互相配合适当，不能单独强调其中某一个率值。同时还应考虑到水硬系数（*M*）的值。

1.率值

(1) 水硬系数（*M*）

$$M=\frac{CaO\%}{SiO_2\%+Al_2O_3\%+Fe_2O_3\%}$$

(2) 硅率（或称硅酸率，用 *n* 或 *SM* 表示）

$$n\ (SM)\ =\frac{SiO_2\%}{Al_2O_3\%+Fe_2O_3\%}$$

需要全本请访问 www.ertongbook.com