



# 水泥 生产新技术

主 编：三 木

副主编：汪海滨

中国建材工业出版社

# 水泥生产新技术

主 编 三 木

副主编 汪海滨

中国建材工业出版社

(京)新登字 177 号

**图书在版编目(CIP)数据**

水泥生产新技术/三木主编.-北京:中国建材工业出版社,1995.12

ISBN7-80090-413-X

I.水… II.三… III.水泥-生产-新技术 IV.TQ172.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 21863 号

**水 泥 生 产 新 技 术**

主编 三木 副主编 汪海滨

\*

**中国建材工业出版社**

(北京百万庄国家建材局内 邮政编码 100831)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京巨山印刷厂印刷

\*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:20 字数:486 千字

1996 年 2 月第 1 版 1996 年 2 月第 1 次印刷

印数:1-3000 册 定价:26.00 元

ISBN7-80090-413-X/TQ·16

## 前 言

地方水泥是我国水泥工业的重要组成部分,其产量占全国水泥产量的 80% 以上。近年来,随着改革开放的深入,基建规模的扩大,地方水泥工业得到了蓬勃发展,无论技术水平还是产量、质量都有了较大的提高。一些企业同大专院校、科研院所携手,积极采用新技术,大规模的进行技术改造,取得了可喜的效果。

但是从总体上看,大部分地方水泥企业还不同程度地存在着工艺装备不配套、技术落后、产品质量不稳定、能耗高、劳动生产率低、环境污染严重、经济效益差等问题。针对全国中小水泥企业普遍存在的问题,应以提高产品质量和节能降耗为中心推广应用水泥生产新技术,促使地方水泥工业从“量”到“质”的转变。

地方水泥企业由于生产方式、技术水平、产品结构、生产规模等差异较大,而各自存在的主要问题又不尽相同,本书选择了 50 多家单位,从不同角度论述了新技术的应用情况及技术改造措施。它们包括:原料预均化技术、生料微机自动配料技术、生料均化技术、微介质水泥粉磨技术、应用晶种的煅烧技术、立窑热工参数的微机监测与控制技术、复合矿化剂应用技术、低质煤的应用技术、立筒预热器节能改造技术、粉尘综合治理技术、节能型沟槽衬板与耐磨材料、物料的计量和测量控制、高效节能烘干技术及工艺系统、机立窑新型保温隔热材料的研制与应用等。通过这些新技术的应用,各企业均取得了不同的良好效果,有些技术经过较长时间生产实践的检验而比较成熟,对同类型企业具有一定的指导作用。

本书的目的在于通过对有关技术的介绍,使星罗棋布的地方水泥企业能够不断地掌握各种新技术,逐步改变落后的生产环节,不断地提高水泥的质量,降低热耗,改善环境,减轻污染,减轻工人劳动强度,提高劳动生产率,使地方水泥企业在较短的时间内有一个较大的提高。

由于水平有限,书中难免有不妥之处,谨请读者提出宝贵意见。

编者

1995 年 9 月 25 日

# 目 录

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 水泥工业新技术应用概况             | (1)   |
| 水泥立窑等温烧成方法              | (6)   |
| 水泥机械立窑闭门操作新技术           | (11)  |
| 在线钙铁分析成分配料微机控制系统        | (21)  |
| 立窑熟料的低质烟煤煅烧             | (32)  |
| 微介质水泥粉磨技术               | (37)  |
| 降低立窑水泥熟料 $f_{-cao}$ 的技措 | (43)  |
| 略论立窑熟料冷却技术              | (46)  |
| 浅析熟料急冷的其它优点             | (49)  |
| 中小型水泥厂的均化与储存系统设计        | (51)  |
| 加强生料均化 提高熟料质量           | (55)  |
| 机立窑新型隔热保温砖的研制及应用        | (58)  |
| 浅析煤矸石制水泥工艺与效果           | (66)  |
| 炉渣、煤矸石代替粘土生产熟料          | (69)  |
| 沸腾炉渣作水泥混合材机理探讨          | (72)  |
| 采用复合混合材改善矿渣水泥性能         | (79)  |
| 熟料的岩相结构、煅烧条件和强度的关系      | (85)  |
| 浅谈劣质煤的应用                | (87)  |
| 略谈晶核的应用                 | (90)  |
| 推广应用晶种煅烧技术              | (92)  |
| 用玄武岩代替粘土做水泥基料的探讨        | (95)  |
| 高碱水泥的生产与使用              | (99)  |
| $K_2O$ 对熟料标号的影响与控制措施    | (105) |
| 水泥生料 $CaO$ 与 $KH$ 之间的关系 | (110) |
| 掺复合矿化剂的配料公式             | (116) |
| 高效节能烘干机技术及工艺系统          | (120) |
| 浅谈预分解窑熟料成分的设计           | (128) |
| 立筒窑煤嘴的研究、改进与应用          | (134) |
| 立筒预热器窑的设计与生产            | (138) |
| 立筒预热器窑的研究改造与发展          | (142) |
| 预热器回转窑工艺特性及节能效果         | (150) |
| 湿法回转窑链条装置的改进            | (154) |
| FD 型与 PPCS 型袋式收尘器的应用    | (157) |
| 节能衬板与耐磨材料               | (160) |

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 新型干法喂料系统的调试·····          | (164) |
| 提高立窑预热器热效率的探讨·····        | (171) |
| 影响水泥物理强度的主要因素分析·····      | (175) |
| 关于机立窑降低煤耗的探讨·····         | (178) |
| 浅析入窑煤灰分波动对熟料质量的影响·····    | (183) |
| 高铁水泥的生产控制及经济效益·····       | (186) |
| krupp 型立筒预热器窑系统的技改·····   | (191) |
| 如何提高 ZAB 型立筒预热器窑生产能力····· | (195) |
| 双阳水泥厂窑尾预分解系统工艺特点·····     | (200) |
| 高温烟气沸腾炉在烘干机上的应用·····      | (204) |
| Φ3.0m×55m 回转窑的提产降耗措施····· | (208) |
| 控制合理的填充率 稳定提高预分解窑产质量····· | (214) |
| 耐磨材料在水泥磨的使用·····          | (217) |
| 机立窑闭门操作仪表选用及热工参数检测·····   | (220) |
| 水泥立窑热工仪表的应用·····          | (225) |
| 立窑“塌窑喷火”防治·····           | (249) |
| 浅析窑尾余热综合利用·····           | (254) |
| 依据热能流向谈立波尔窑节能途径·····      | (257) |
| 粉煤灰水泥新型早强激发剂·····         | (261) |
| 水泥厂物料计量和测量控制·····         | (266) |
| 立窑废气成分自动取样分析检测系统·····     | (292) |
| 浅谈机械立窑水泥厂的自动化·····        | (302) |

## 水泥工业新技术应用概况

解放以来,我国水泥工业有了很大发展。尤其是改革开放以后,水泥科研、技改和引进消化吸收工作取得了巨大成就,使我国水泥的年产量平均每年以 14.18% 的速度递增,这样的发展速度是很快的,据统计,截止 1989 年,我国水泥总产量已达到 2.16 亿 t,居世界首位。

然而,从 1984 年世界主要水泥生产国的统计资料来看,各国全员实物劳动生产率平均在 3000t/人·年左右,日本最高为 8000t/人·年,我国(以下指大中型厂)只有 208t/人·年,到 1989 年也只达到 300t/人·年;吨熟料标煤耗发达国家一般在 100kg 左右,我国却高达 205kg,到 1989 年也为 188.43kg;国外吨水泥电耗一般在 110kWh 以下,我国为 138.7kWh。可见我国水泥工业生产水平低,各项技术经济指标差距也很大。

更为突出的是,我国大中型水泥企业仅有 65 个,产量只占水泥总产量的 17%,其余的 83% 均为地方水泥企业所生产,而在这 65 个大中型企业中,新型干法仅占 10%,湿法生产仍占主要优势。也就是说我国的 65 个大中型水泥企业中还有 90% 的生产方法、技术装备和 83% 地方水泥企业的生产能力是处于落后的或比较落后的基础上,仅 10% 左右企业的生产方法、技术装备和 17% 的生产能力是比较先进的,这就是我国水泥工业的现状。

要改变我国水泥工业的落后现状,只能依靠先进的科学技术,走技术进步的道路,采用高、新技术改造传统工艺才是水泥企业摆脱困境的唯一出路,也是节能改造的根本措施。只有这样才能顺利完成 2000 年的奋斗目标,现将我国水泥工业新技术应用情况概述如下:

### 一、窑外分解技术

我国对新型干法生产技术的发展,采取了两条腿走路的方针。(1)从国外引进先进成套设备和设计制造技术;(2)通过科学试验和借鉴国外技术自行开发新工艺、新设备,建设生产线。几年来,取得了可喜的成绩。

自 70 年代初,日本推出窑外分解技术后,我国不少科研、设计单位就着手研究窑外分解技术,研制开发了日产 700~1200t 窑外分解窑,先后在石岭、新疆、本溪等水泥厂建成生产线,熟料热耗为 3760~3970kJ/kg,设备全部国产化。为加快应用步伐,1978 年国家建材局开始从日本石川岛播磨和三菱公司引进日产 4900t 熟料窑外分解新型干法生产线成套设备。首先在冀东水泥厂建成了我国第一条 4000t/d 熟料窑外分解生产线,投产后,实际平均每天熟料产量达到 4057t,平均标号 715 号,熟料热耗 3578kJ/kg、电耗 132.51kWh/t(1987 年统计)。企业的生产效益很好,居全国同行首位,估计在 7~8 年内可收回全部投资。以后又相继从丹麦引进 2000~4000t/d 的生产线,建成了珠江、柳州、顺昌等水泥厂。

在消化、吸收引进技术的基础上,80 年代初国家建材又组织中国建材研究院水泥所、天津、南京、合肥等设计研究院自行设计开发 2000t/d 新型干法生产线成套设备的设计制造和建设。目前其装备国产化率已达到 80% 以上,如建成的江西水泥厂,1986 年投产后运转正常,熟料热耗为 3340~3550kJ/kg,它标志着我国新型干法技术已达到一个新水平。目前,我国已能独立开发 1000~2000t/d 窑外分解生产线,已基本具备设计、开发 4000t/d 熟料大

型窑外分解生产线的技术条件。

截止 1989 年底,我国已建成投产新型干法生产线 24 条,形成生产能力 1148 万 t,在新建生产线中窑外分解技术占有很大比例,我国还在水泥工业技术政策中确定,要加速发展大中型企业,主要采用 1000t/d、2000t/d 和 4000t/d 的窑外分解干法工艺,在近期内,以发展 2000t/d 的为主,除特殊情况外,一般不再扩建和新建湿法生产线。

## 二、引进 20 项先进设备,为提高我国技术装备水平奠定了基础

为加速和提高我国水泥生产企业的装备水平和设计制造能力,从 80 年代以来,我国建材装备公司先后向国外几家大水泥机械制造公司引进了 20 项水泥生产关键设备的设计和制造技术,为我国水泥工业的老厂改造和迅速缩短与先进国家的差距奠定了良好的基础。截止 1989 年,我国引进的技术装备中,预热器分解炉、往复推动蓖式冷却机、高效斗式提升机、电收尘器、包装机生产线及辅助设备、大型管磨机减速器、罗茨鼓风机、罗茨真空泵等 7 项已经形成批量生产能力;MAMNOT 锤式破碎机、立式磨、辗压机、O-sepa 高效选粉机、水泥生产线计量喂料设备、气力输送系统、袋式收尘器、高温风机等 8 项有的已制造出样机在试运转中,有的正在制造首台样机;原料圆形预均化堆场、生料空气均化库和窑喂料系统、耐磨耐热件工艺生产技术及造型设备、结构件关键加工设备、水泥熟料质量及过程控制系统等 5 项正在消化吸收。预计不需要很长时间我国老厂的技术改造可以立足于国内装备加工,不仅可加速老企业的技术装备更新,而且还能制造出一批适合国情并接近或超过国际先进水平的装备,使我国装备技术水平提高一大步。

此外,我国科研、设计、高校和企业广大科技人员还借鉴国外经验,自行研制开发了适合大中小型企业用的如单段锤式破碎机、湿粘土破碎烘干机、煤细碎机、立式磨、挤压磨、新型高细磨、新型节能衬板和耐磨研磨体以及助磨剂等成熟技术成果和发明专利,可供各地推广选用。

## 三、旧窑改造技术

### 1. 机立窑改造技术

我国目前共有 5600 多个地方水泥企业,其中约有 2800 台机立窑,其余绝大多数是普立窑。立窑水泥生产装备立足国内自制,操作管理方便,可就地取材,就地销售等特点,它的发展适合我国国情,也为繁荣地方经济,支援农村和城市建设起着重要作用。但我们必须看到,这些立窑厂多数是土法上马,从小到大逐步发展起来的,它们有许多先天不足之处。尽管国家建材局在“六五”“七五”期间相继进行普改机立窑和节能技术的推广,使大多数立窑厂的面貌有所改观,但多数机立窑企业生产技术水平低、人员素质差、企业管理仍十分落后,故普遍存在生产不稳定、熟料质量差、装备不配套、能耗高、粉尘污染严重等突出问题还待解决,立窑厂技术改造任务十分艰巨。

近几年来,我国水泥工业广大科技人员和职工,在吸收国外先进技术与装备的同时,还自力更生研制开发了立窑节能实用新技术,尤其是自动化技术。这些现代先进技术逐步进入立窑水泥厂,使我国立窑企业在综合节能技术改造中取得了良好效益。一些企业在科研部门、高校的协作下自行开发研制了不少新工艺、新技术和新设备。如山东临淄、诸城、招远、牟平、安徽滁县地区水泥厂在生料微机自动配料、预加水成球、磨机负荷自控,机立窑微

机控制闭门操作以及高效除尘技术等方面都取得显著成绩。有的填补了国内空白,有的达到国内先进水平。尤其在自动化技术方面推广应用,山东省居全国首位,为发展地方水泥工业作出了贡献,同时他们还在提高科学管理水平和组织文明生产中为全国树立了典范。

现将国家建材局在我国南北建立的节能技改示范生产线——安徽滁县地区水泥厂和山东牟平县水泥厂的情况简述如下:

滁县地区水泥厂示范线是在合肥水泥研究院和滁州无线电厂的技术协作下完成技改任务的。主要内容包括:窑体综合改造技术,外配煤微机自控,立窑微机检测和控制,立窑废气CO分析预处理,立窑电视监视,萤石-硫精矿复合矿化剂,炉渣代替部分粘土配料,预加水成球自控,生料磨机负荷自控,微机多组分配料自动控制等10个项目,另外辅以防尘、防毒和绿化工程等,总投资157万元。改造后取得的效益为(1)吨熟料烧成温度降低 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ ,标煤耗降低27.8%;(2)水泥综合电耗下降14%;(3)熟料标号由488增到572;(4)预计全年增产熟料1.54万t,估计一年可收回投资,取得了较为显著的增产、节能效果。

山东牟平县水泥厂节能示范生产线是在中国建材研究院水泥所的合作下完成的。他们是以提高质量、降低能耗为中心,集中采用了多项新技术、新工艺、新设备和最新科研成果,根据牟平县水泥厂的特点,主要解决了“三个三”即:(1)三个均化(原料、生料和水泥均化);(2)三个准确(原料配比,料、煤、水配比,水泥、石膏、混合材配比);(3)三个自动化(生料磨、水泥磨机配料、立窑操作)。取得了较好的增产、节能效果,总投资237.46万元,可在2~2.5年内收回投资。

国家计委和国家建材局根据国内近几年节能技改示范线所取得的经验和各地应用的较为成熟的节能技术成果,归纳总结出十余项机立窑综合节能改造技术,发出专文提出在全国推广应用。它们包括:原料预均化、微机配料、生料均化、复合矿化剂、煤料分别制备、窑体综合改造、预加水成球、热工微机监控、立窑偏火监控、磨机负荷自控、沟槽衬板、高细磨、粉尘综合治理以及计量秤,14项先进技术,为提高我国机立窑生产技术和挖潜奠定了基础。

## 2. 小型回转窑改造技术

我国现有小型回转窑( $\Phi 3\text{m}$ 以下)约370台,其中除有90台左右为立筒预热器窑和少数带余热发电窑外,其余均为中空干法窑,中空干法窑不仅产量低、热耗高(单位标煤耗在 $170\sim 300\text{kg}$ 之间),而且它的窑尾废气温度高达 $400^{\circ}\text{C}$ 以上,其热量未被利用,对此类窑的改造曾做过很多工作,如将90余台改造成立筒预热器窑,把100多台改成余热发电,虽余热利用了,但余热锅炉效果不理想。此外又借鉴国外经验进行了试点,目前主要采用三种改造途径:

### (1)改造成带五级旋风预热器窑

1987年江苏省邗江和南京水泥厂分别从日本引进五级旋风预热器回转窑进行改造,取得了较好效果。如邗江水泥厂将 $\Phi 2.4\text{m}\times 40\text{m}$ 中空窑改造后,产量由 $4.5\text{t/h}$ 增加到 $12.2\text{t/h}$ ,提高1.7倍;熟料热耗由 $7823.75\text{kJ/kg}$ 降到 $4176.63\text{kJ/kg}$ ,降低43%。同样南京水泥厂将 $\Phi 2.4\text{m}\times 44\text{m}$ 中空窑改造后,产量提高1.9倍,熟料热耗降低56%,吨水泥投资仅增加160元,约为新建一个水泥厂投资的三分之一。因此,国家建材局和国家能源投资公司节能公司将此列为中小型回转窑技术发展方向,目前该技术已经我国有关设计院消化吸收,完全可以国产化。

## (2) 流态化预分解并利用余热发电技术

80年代以来,日本在水泥工艺研究方面最有效的成果,就是利用熟料冷却机 SP 和 NSP 窑外分解窑废气进行中低温余热发电,目前日本已有 40% 以上的水泥厂采用,余热发电量一般在 11~37kWh/t 熟料范围内;原料含水量低时,取得的经济效益更大,一般可补充所需电力的 20%~35%。

中国建材研究院在借鉴日本经验的基础上,结合国情研制开发的利用流态化窑外分解余热发电技术已通过部级鉴定,并申请了国家专利(专利号:851008984)。它的特点是:在利用窑外分解技术使窑增产的同时,并利用窑尾旋风筒 800~900℃ 余热发电。1987 年在抚顺水泥厂 2 号窑( $\Phi 3.7\text{m} \times 70\text{m}$ )上应用成功,年增产熟料 3 万 t,年增发电量 740 万 kWh,效益显著,国家建材局已将它列入“八五”改造中空干法窑余热发电推广应用项目。

## (3) 改造成带立筒预热器回转窑

在回转窑尾加立筒预热器,使生料由提升机送入立筒预热器与窑尾废气进行热交换,经预热后入窑煅烧。改造后,一般热耗可降到 4565kJ/kg(熟料),降低 50%,产量可增加 15%,效果也比较好。国内主要采用三种立筒预热器即:根据西德克虏伯型改进后在杭州水泥厂使用的,又称杭州型,全国已有不少厂采用;第二种是根据捷克型改进的在我国宝山水泥厂使用,又称宝山型;第三种是按西德 ZAB 型改进的,在我国泾阳县水泥厂使用,又称泾阳型,全国各地均有采用。

总的说来,以上三种改造途径各具特色,都是具备较成熟的技术和装备条件,可供各厂推广应用。

## 四、水泥窑用新型耐火材料的开发应用

80 年代,由于我国相继研制开发和引进的一批 700~1200t/d、1000~2000t/d、3000~4000t/d 窑外分解生产线已投入运行,加上数量庞大的机立窑也都需要进行窑体改造,因此对水泥窑用耐火材料的需求量也逐年增加,面临大型窑外分解窑窑温高、窑速快、碱蚀严重、设备结构复杂和节能要求高等严重挑战,再沿用普通镁铬砖、高铝砖和粘土砖以及耐火浇注料等传统耐火材料是不能满足要求的。为此,中国建材研究院水泥所耐火材料室开发研制了一系列新型耐火材料,并广泛应用于各类水泥窑上,取得了良好的效果。

目前,有优质硅酸钙板、EMM 直接结合镁铬砖、低水泥用量型耐火浇注料、尖晶石砖、碳化硅复合砖、系列耐碱砖、系列隔热砖、抗剥落高铝砖等八大类 25 个品种,形成 18 条生产线,实现年供 2 万 t,100 多种型号的生产规模。其中部分产品质量已达到甚至超过进口产品,估计到 1990 年底,2000t/d 新型干法生产线配套优质耐火材料可全部国产化。

## 五、自动化技术

国家建材局十分重视水泥工业自动化技术的应用和推广工作,1987 年成立计算机推广应用领导小组,制定了《建材行业电子计算机应用振兴大纲》和相应的规划。故自动化技术应用速度和规模发展较快,技术水平也有较大提高。

目前,全国已有 15%~20% 左右的县以上水泥企业至少采用了一项计算机控制技术,山东省淄博市已有 80% 县以上水泥厂、50% 以上的乡镇建材企业应用了微机控制技术。如由中国建材工业自动化集团完成的山东省招远水泥厂生产过程控制和管理网络系统,运用

高可靠性的工业控制计算机,实现了对生料配料、均化系统、机立窑配煤、预加水成球、立窑煅烧、水泥磨机负荷等生产环节的自控系统,并将过程控制与生产管理结合在一起,形成了国内第一条采用国产工业控制机的机立窑水泥生产线,使熟料标号由 584 号上升为 596 号,立窑台时产量提高 10%,吨熟料标煤耗为 109.15kg,吨水泥电耗为 77.05kWh,每年可提高经济效益约 40 万元。

我国在水泥生产自动化方面,包括智能在线钙铁仪、生料质量自控系统、磨机负荷最佳自控系统、窑计算机管理系统、喂煤喂料计量控制系统等技术和装备,基本实现了自主开发能力。

四川省建材科研所 张世燕 劳菊香

# 水泥立窑等温烧成方法

## 一、前言

立窑煅烧水泥熟料有着悠久的历史,但随着科学技术的发展,在经济发达国家立窑已基本或全部被回转窑取代。而在我国,近十年来立窑水泥却得到了迅速发展,1986年我国立窑水泥产量已达1亿3千万吨,占全国水泥总产量的百分之八十,可以说立窑水泥在水泥工业中占有举足轻重的地位,而且在今后相当长一段时间内仍将具有强大的生命力。如果能把立窑水泥质量普遍提高到回转窑的水平,它将在我国经济建设中发挥更大作用。因此如何提高立窑水泥质量是水泥工作者的当务之急。

影响立窑水泥质量的因素很多,诸如原料均化差,配料配煤的工艺技术、计量装置和成球技术落后,窑内通风和烧成带温度场不均衡,以及生产控制和生产管理水平低等。围绕这些问题,国内外曾做过大量工作,特别是采用生料均化库、磨机自动配料、预加水成球、窑体保温、热工仪表测量新技术和加强生产管理等措施以后,立窑熟料的质量有了较大的提高,但立窑内通风和温度场不均匀这一关键问题尚未解决,使立窑水泥还未能完全与回转窑相媲美。研究数据表明,立窑烧成带中部温度可达 $1550^{\circ}\text{C}$ (或更高),而边部的温度为 $1200\sim 1300^{\circ}\text{C}$ (或更低)。中部高温物料因液相较多,剧烈收缩结成大块,严重影响通风;边部温度低,物料液相少,收缩小,气孔率大,结块小,通风力小而致边风大。捷克 Emil Jirku 的试验研究表明,由于窑壁的散热和边风、边料带走的热损失,使窑内边、中部物料热耗的差值高达 $1256\sim 1675\text{kJ/kg}$ 熟料。因此若按同样的配煤量(如普通煅烧法、黑生料法和包壳料球法),不是边部生烧、垮边,就是中部过烧、结大块,破坏了窑内正常的热工制度,降低了熟料质量。

差热煅烧法可以补偿边部散热,但若管理不严或操作不当,易造成混料乱烧而恶化窑内煅烧状况。

使用矿化剂可以扩大烧成范围,有助于边部物料的煅烧,提高熟料质量,但窑的边部和中部仍有较大温差,熟料质量还是不均齐。

H. Eigenr 的研究表明,总热耗随着窑壁热损失的倍数变化,如果窑壁热损失降低 $104.67\text{kJ/kg}$ 熟料,由于边风减少,则总热耗约降低 $992.3\text{kJ/kg}$ 熟料。此外,还会得到一系列较好的连锁反应结果。因此,加厚保温层提高热阻,减少窑体散热,可在一定程度上降低热耗,提高熟料质量。但是保温层的厚度不能随季节和窑内温度的变化而变化,效果有限。

综上所述,当其它条件相同时,保证窑内通风和烧成带温度场均匀就成为提高立窑熟料产质量的关键。为此,我们提出立窑等温烧成技术的构想,即在立窑烧成带采用外加电热源的方式,以补偿窑壁散失的热量,来实现等温烧成。该项技术以《水泥立窑等温烧成方法》向中国专利局申请发明专利,于1987年11月17日通过湖北省科委组织的技术鉴定,并于1987年11月25日获发明专利。该项技术已在武汉第一砖瓦厂、河南息县水泥厂、湖北黄梅水泥厂、湖北江陵水泥厂等实施,已见成效。目前已有二十个省、一百多厂家要求转让该项技术,我校已组织有关技术力量积极推广实施。

## 二、立窑等温烧成技术简介

立窑等温烧成技术的方案见图1:在烧成带内壁1和外壁2的两层砖之间敷设电加热元件3。加热元件沿窑的圆周分为若干组,每组能和各自的开关或自动控制仪相连,可以单独通、断,并用热电偶监控。如果烧成带某一区域温度降低,则电热元件接通加热,使边部温度和窑中部温度保持基本均衡,达到等温烧成的目的。每组电热元件和热电偶均由自动控制仪控制或由计算机控制。

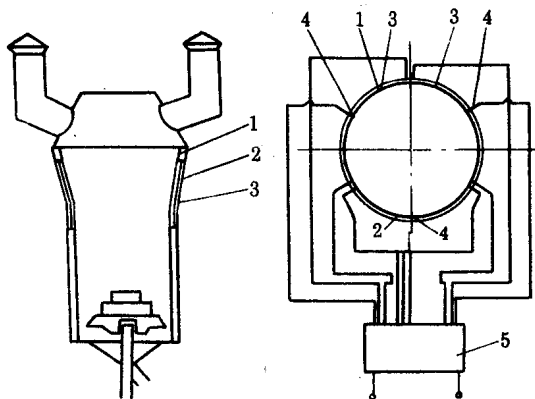


图1 等温烧成立窑示意图

1——烧成带内壁;2——烧成带外壁;3——电热元件;4——热电偶;5——自动控制仪

## 三、实施效果

在武汉市第一砖瓦厂一台  $\Phi 0.7\text{m} \times 2\text{m}$  的简易机立窑、河南息县水泥厂一台  $\Phi 2.2\text{m} \times 8.5\text{m}$  塔式机立窑上实施情况表明,采用该项技术具有良好的技术和经济效果。

### 1. 技术效果

(1)底火均匀上火快。采用外加热后,边部温度明显提高,烧成带中部上移,窑面温度均匀,停料提火快;烟气升腾有力,CO含量降低。未采用外加热时,边部温度较低(即使热耗高至  $5024.16\text{kJ/kg}$  熟料仍然如此),底火不匀,中部结大块。

(2)窑内通风良好。采用外加热后,由于边部温度提高约  $200^\circ\text{C}$  以上,熟料热耗可以降低至  $3768.12\text{kJ/kg}$  左右,避免了中部过烧、结大块和边部生烧、跑生料的现象,未出现边风过大、馐风等不正常现象。

采用该项技术后,大大改善了窑内煅烧状况,减轻了看火工人的劳动强度,深受他们的欢迎。

### 2. 经济效果

#### (1)提高熟料质量

保持工厂所用熟料率值不变,采用全黑生料,按不同热耗配制四种生料与不采用外加热方式进行对比试验,试验安排及结果分别如表1、表2、表3所示。该组生产试验是在武汉市第一砖瓦厂的一台  $\Phi 0.7\text{m} \times 2\text{m}$  简易机立窑上进行的。

X射线定量分析表明,采用外加热后,即使熟料热耗较低,熟料中A矿含量还是明显增加,如H900中A矿含量高达60%,显微镜下可以发现A矿发育良好,晶体尺寸均齐。

表1 生产试验方案

| 编 号                 | NH1200        | NH950         | NH950        | H850         | H900         |
|---------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| 是否外加热<br>熟料热耗 kJ/kg | 不加<br>5024.16 | 不加<br>3977.46 | 加<br>3977.46 | 加<br>3558.78 | 加<br>3768.12 |

表2 熟料的化学成分及各率值

| 编 号    | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | Σ     | KH   | n    | P    |
|--------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|------|------|------|
| NH1200 | 21.20            | 6.38                           | 4.86                           | 60.21 | 0.94 | 93.59 | 0.81 | 1.89 | 1.31 |
| NH950  | 20.64            | 6.26                           | 4.30                           | 57.70 | 1.02 | 89.92 | 0.79 | 1.95 | 1.46 |
| H950   | 21.55            | 6.24                           | 4.47                           | 62.54 | 0.90 | 95.70 | 0.84 | 2.01 | 1.40 |
| H8590  | 22.40            | 6                              | 4.44                           | 62.92 | 0.94 | 96.86 | 0.82 | 2.11 | 1.39 |
| H900   | 19.10            | 5.55                           | 5.54                           | 65.10 | 1.03 | 96.32 | 1.01 | 1.72 | 1.00 |

表3 熟料的部分质检数据

| 编 号    | f-CaO% | 比面积<br>cm <sup>2</sup> /g | 抗 折 强 度 |    |     | 抗 压 强 度 |     |     |
|--------|--------|---------------------------|---------|----|-----|---------|-----|-----|
|        |        |                           | 3d      | 7d | 28d | 3d      | 7d  | 28d |
| NH1200 | 6.45   | 3610                      | 45      | 52 | 69  | 200     | 276 | 385 |
| NH950  | 6.73   | 3640                      | 32      | 41 | 58  | 170     | 223 | 363 |
| H950   | 4.10   | 3580                      | 50      | 71 | 85  | 302     | 445 | 564 |
| H890   | 4.90   | 3590                      | 52      | 70 | 82  | 277     | 467 | 513 |
| H900   | 1.40   | 3540                      | 75      | 86 | 94  | 569     | 655 | 801 |

注: NH1200、NH950、H950、H850 为武汉市第一砖瓦厂检测

H900 为湖北省建材产品质量监督检验中心站测定

由表3可见,采用外加热后,熟料的游离氧化钙减少,安定性合格,标号明显提高。最后一次烧成的熟料H900,效果尤为明显。该熟料由湖北省建材产品质量监督检验中心站进行物检试验,熟料的 $7d$ 、 $28d$ 抗压强度分别达到655、801kg/cm<sup>2</sup>(表3)。熟料标号显著高于该厂 $\Phi 2.2m \times 8m$ 塔式机立窑所产熟料的平均标号462kg/cm<sup>2</sup>

该项技术在河南息县水泥厂的 $\Phi 2.2m \times 8.5m$ 塔式机立窑上应用情况表明,即使在入窑生料 $T_{CaCO_3}$ 月平均合格率只有15.64%、窑的运转率仅为77%的不利条件下,也可使熟料稳定在525号以上,比原来提高127kg/cm<sup>2</sup>。

## (2) 提高熟料产量

从表4数据可以看出,在同一配煤量时,H950的产量比NH950提高19%,单位截面积产量达2106kg/m<sup>2</sup>·h。

表4  $\Phi 0.7m \times 2m$  简易机立窑熟料的部分经济数据

| 编 号    | 熟料产量<br>(kg/h) | 截面产量<br>(kg/m <sup>2</sup> ·h) | 熟料煤耗<br>(kg/t) | 加热电耗<br>(kWh/t) |
|--------|----------------|--------------------------------|----------------|-----------------|
| NH1200 | 700            | 1820                           | 213            |                 |
| NH950  | 680            | 1760                           | 169            |                 |
| H950   | 810            | 2106                           | 169            | 20              |
| H850   |                |                                | 151            | 20~23           |
| H900   | 810            | 2106                           | 160            | 20              |

河南息县水泥厂生产表明,可使其  $\Phi 2.2\text{m} \times 8.5\text{m}$  机立窑台时产量由 4.04~4.60t 提高到 5.52t 以上,比其平均水平 4.32t/h 提高约 28%。

### (3)降低能耗

#### ①热耗与电耗

以 NH1200 和 H900 熟料相比

H900 比 NH1200 少耗热  $12.56 \times 10^5 \text{kJ/t-sh}$

H900 比 NH1200 多耗电 20kWh/t-sh

该发电的热效率为 30%,将电能换算为热能,净节约热能为  $2.43 \times 10^5 \text{kWh/t-sh}$ ;节煤费用为 4.2 元/t-sh;耗电费用 2.4 元/t-sh。煤、电费用相抵后节约 1.8 元/t-sh,若按该厂机立窑装 30kW 电热装置计算,热耗可由 4814.82 降至 3768.12kJ/t-sh,产量可由 4.2 提高至 5.5t/h。

节热  $(4814.82 - 3768.12) \times 1000 = 10.467 \times 10^5 \text{kJ/t-sh}$ ; 电耗  $\frac{30}{5.5} = 5.46 \text{kWh/t-sh}$

转换成热能  $6.57 \times 10^4 \text{kJ/t-sh}$ ;净节约热能  $9.80 \times 10^5 \text{kJ/t-sh}$ ;节约费用 2.84 元/t-sh。

#### ②总电耗

武汉第一砖瓦厂机立窑产量为 4.2t/h,每吨熟料电耗为 50kWh/t-sh,装设 30kW 电热装置,其电耗见表 5。

表 5 熟料电耗变化

| 窑产量<br>(t/h) | 截面产量<br>(kg/m <sup>2</sup> ·h) | 非电热电耗<br>(kWh/t) | 电热电耗<br>(kWh/t) | 总电耗<br>(kWh/t) | 电价增减<br>(元/t) |
|--------------|--------------------------------|------------------|-----------------|----------------|---------------|
| 4.5          | 1433                           | 46.64            | 6.67            | 53.3           | + 0.396       |
| 5.0          | 1592                           | 42               | 6               | 48             | - 0.24        |
| 5.5          | 1752                           | 38.2             | 5.45            | 43.65          | - 0.72        |
| 6.0          | 1911                           | 35               | 5               | 40             | - 1.20        |
| 6.5          | 2070                           | 32.3             | 4.62            | 36.92          | - 1.56        |

从表 5 可以看出,随着窑产量的提高,每吨熟料的总电耗亦随之下降,当该厂机立窑产量增加到 5t 以上时,则每吨熟料的电耗费用比该厂现生产的电费要低,产量愈高,电费愈低。

河南息县水泥厂实施情况表明,熟料热耗可减少 1046kJ/kg,折合每吨熟料节约实物煤 42.62kg;电加热电耗为每吨熟料 2.77kWh(比预计的还要低约 50%)。若按煤价 70 元/t,

电价 0.2 元/kWh 计算,煤、电费用相抵后可节约 2.42 元/t-sh。

#### (4)提高水泥利润

由于节能、产量提高和水泥标号提高,带来明显的经济效益。

武汉第一砖瓦厂数据表明,仅节能和提高标号这两项就可使每吨水泥新增利润 11.8 元。如果考虑熟料产量增加的因素,实际利润还可以提高。

据河南息县水泥厂统计,仅提高熟料标号一项,当年就可获纯利润 36 万元之多,每生产 1 吨水泥可以比原来新增利润约 20 元。

#### •四、结论

1. 采用外加热的方法,可以明显地改善立窑烧成过程,整个窑面温度均匀,从而使熟料产量提高,热耗下降,安定性合格,熟料标号显著提高,具有较高的经济效益。

2. 立窑烧成带采用外加热的方法,克服了边部温度过低的缺陷,使进一步扩大窑径,以便大幅度提高水泥产量成为可能,并便于自动控制或计算机管理。

3. 该项技术易于在现有立窑水泥厂的改造和新建立窑厂的设计中采用,具有普遍的推广价值。

武汉工业大学 童大懋 陶景勋 马才鑫 余其俊 程新

## 水泥机械立窑闭门操作新技术

我国现有立窑水泥厂 5000 余家,年产量约为 1 亿多吨,占全国水泥年产量的 75% 以上,居非常重要的地位。

根据我国国情,立窑水泥还将继续增长。但是,目前机立窑煅烧水泥熟料还主要凭有经验的工人进行操作,产品质量不能保证,工人劳动强度大,而且还常常发生喷窑事故而造成人身伤亡,这种状况迫切需要改变。

由山东省建材局、山东省建研所、诸城县水泥厂、山东大学共同承担的《水泥机立窑闭门操作新技术及微机应用的研究》科研项目,已于 1986 年 5 月通过部级鉴定。在诸城水泥厂  $\Phi 2.7\text{m} \times 9.3\text{m}$  摆辊式机械立窑上成功地实现了闭门操作,正式投入生产。运转一年以来,情况良好,运转率达 95% 以上;熟料标号达 550# 左右;熟料标准煤耗 130kg/t。取得了显著的经济效益与社会效益。继诸城县水泥厂之后,我们与山东潍坊市水泥厂合作,在该厂 2# 机立窑上应用了本项新技术,目前该窑煅烧已达到闭门要求。

下面将机立窑闭门煅烧新技术简介如下:

### 一、立窑煅烧中存在不正常工况的根源

目前,我国的绝大部分机立窑所存在的问题是煅烧不均衡,质量不稳定,经常出现偏火燎边、龛火等不正常工况,有时甚至会塌窑、喷窑,不能实现闭门操作。那么,存在这些问题的根本原因是什么?

实践证明,造成以上问题的原因,是由立窑煅烧工艺的特点所决定的。其主要问题就是在窑的整个断面上,高温层分布很不均衡,中部高温层较厚,而二肋区高温层较薄,这就造成了中部与二肋区高温层厚度差别较大,一般情况下,中间高温层厚度可达 1.5~3.0m,而二肋区只有 30~50cm。图 1 为一般情况下,立窑煅烧高温带形势图。

由于这一较大厚度差的存在,就使高温层的阻力不均衡,这就导致沿窑面风量分布的不均匀,所以仍然陷于立窑煅烧的老弊病中:中部通风不良,二肋区风大,这也是立窑煅烧中所出现的许多不正常情况的根源。

### 二、实现立窑闭门操作的技术措施

我们认为,实现立窑闭门操作的根本途径是首先稳定立窑热工制度,基本上解决龛火、偏火、燎边、卡窑等不正常工况,使窑内底火稳定,在这个基础上,进行仪表检测,微机控制,从而达到立窑

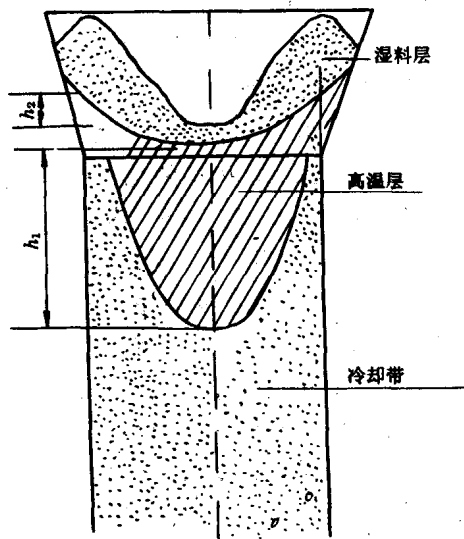


图 1 立窑高温带位置分布情况示意图