

立窑水泥生产节能新技术

朱尚叙等 编著

武汉工业大学出版社

鄂新登字13号

内 容 提 要

本书系统地汇集了适用于立窑水泥厂节能技术改造中的各项新技术,主要包括,原燃料预均化技术;粉状物料均化技术;配料控制技术;机立窑煅烧节能技术;粉磨节能技术;生产设备的收尘技术等方面,计有40多项现代新技术的内容。此外,还对各项新技术的应用条件、应用方法和方案实例作了简明介绍,并加以评述。

本书是为立窑水泥工厂综合节能技术改造,合理选用新技术、新设备而编著的技术参考书。主要是为立窑水泥厂的工程技术人员、生产管理干部和广大工人提供系统的水泥节能技术知识,并可作为立窑水泥厂干部的培训教材和参考书。亦可供大中型水泥厂和水泥设计研究部门的技术人员参考。

立窑水泥生产节能新技术

朱尚叙 等编著

※

武汉工业大学出版社出版发行

武汉工学院印刷厂印刷

※

开本850×1168毫米 1/32 印张:11 字数:280千字

1992年4月第一版 1992年4月第一次印刷

印数1-3000册

ISBN 7-5629-0609-2/TQ·52

定价:8.95元

前 言

我国立窑水泥生产在相当长的时期内，得到蓬勃发展。尤其是80年代以来，机立窑水泥生产已开始进入采用现代新技术改造立窑生产工艺的新阶段。

根据国家建材局《水泥机立窑技术改造专项规划》的精神，在“八五”乃至2000年期间，必须以节能为中心，在改造和发展大中型水泥企业的同时，狠抓机立窑水泥企业的综合节能技术改造，以现代新技术更新改造现有立窑生产技术装备，提高立窑水泥企业技术经济水平。

近10多年来，我国立窑水泥生产依靠我国自己的科技力量，开创了许多新技术和新经验。这些新技术经过生产实践的检验，证明行之有效，对加速立窑水泥工业技术进步，起到了积极作用，是老厂技术改造提高生产技术水平的重要途径。

本书是为了适应我国立窑水泥企业综合节能技术改造的需要而编写的。全书综合了适用于立窑水泥企业节能技术改造中各项新技术的内容。并将其应用范围和应用条件、应用方法和方案实例等方面加以分析和评述。

本书由朱尚叙主编，郑应国为副主编。参加编著的人员和分工是：湖北省建材总公司朱尚叙（第一、六、七章）；郑应国（第四、五章）；湖北省建材研究设计院姚大喜（第三章）和王建桥（第二章）。

书稿由湖北省建材工业协会黄关生秘书长组织审稿，武汉大学童大懋教授任主审，湖北省建材总公司杨家柱高级工程师、湖北省建材研究设计院喻特思高级工程师任副主审。参加审稿的还有湖北省建材工业协会黄关生秘书长、武汉建材设计研究

院沈园兴副总工程师、鄂城水泥厂徐志鹏总工程师、襄樊市第一水泥厂丁丕烈总工程师等。

由于编者水平有限，书中错误和不当之处在所难免，恳请批评指正。并向提供文献资料的有关单位和个人致以衷心的感谢。

编 者

1991年11月10日

目 录

第一章 总 论	(1)
第二章 原燃料预均化技术	(11)
第一节 预均化在水泥生产中的技术经济意义	(11)
第二节 原料矿山开采中的均化措施	(14)
第三节 预均化技术及均化效果评价	(17)
第四节 预均化技术方案的选择条件	(28)
第五节 立窑水泥厂预均化设施的主要类型及应用	(33)
第三章 粉状物料均化技术	(45)
第一节 粉状物料均化的意义	(45)
第二节 粉状物料均化基本原理和均化效果评价	(49)
第三节 机械混合均化工艺	(56)
第四节 间歇式空气搅拌库	(64)
第五节 连续式生料均化库	(80)
第四章 水泥生产中的配料控制技术	(93)
第一节 配料与计量设备	(94)
第二节 生料配料微机控制与成分检测	(118)
第五章 立窑煅烧节能技术	(131)
第一节 配煤技术	(131)
第二节 复合矿化剂技术	(143)
第三节 预加水成球技术	(161)
第四节 窑体综合改造技术	(171)
第五节 机立窑微机控制闭门操作技术	(188)
第六章 粉磨节能技术	(206)
第一节 辊压机粉磨技术	(206)
第二节 立式磨粉磨技术	(231)

第三节	发展闭路粉磨技术采用新型高效选粉机	(249)
第四节	球磨机系统的改进技术	(268)
第五节	物料预破碎和预烘干技术	(282)
第七章	生产工艺设备的收尘技术	(296)
第一节	主要尘源及含尘气体的性质	(296)
第二节	几种适用的袋式收尘器	(300)
第三节	几种适用的电收尘器	(319)
第四节	主要生产设备尘源的收尘器选择	(333)
参考文献		(344)

并且具有投资少、见效快、经济效益高的优点，需要对提出的改造项目作可行性研究，对各种可能采用的方案进行比较，从技术和经济两个方面作全面分析，计算和预测这个改造项目完成后可能取得的经济和社会效益。在此基础上提出是否值得改造，是否具备改造条件，应选用什么工艺技术，为作出技术改造项目投资决策，向银行申请贷款，并作为下一阶段项目设计和施工的基础。

技术改造项目，只有通过可行性研究，确定在条件上是可能的，在技术上是先进适用的，在经济上是有利的，才可确定该项目成立。

加强技术改造管理，才能保证取得预期的效果。

企业技术改造首先要制定技术改造规划，既要有长期规划，又要有短期实施计划；既要有总体改造规划，又要有单项改造和分期实施计划。把总体规划与单项改造结合起来，企业的整体的改造和局部改造有机结合，合理安排。

其二是要以节能和提高产品质量为中心带动企业技术改造。这是水泥工业现代发展生产的重要目标。而工艺、设备和技术则是达到这一目标的手段。对准那些工艺技术装备与生产能耗，产品质量要求不相适应的关键环节逐项进行技术改造，从而提高技术水平，提高综合生产能力。

其三是要解决好技术改造所需要的资金。筹措资金和管好用好资金是企业进行技术改造的重要保证。在资金比较紧张的条件下，要从资金的筹集来源和合理使用这两方面妥善加以解决。

企业进行技术改造，可以从以下几个方面筹措资金：（1）企业的基本折旧基金；（2）企业留用的一般发展基金；（3）新产品试制基金；（4）“三废”收益留用部分和环境污染收费返回部分；（5）银行提供的技术改造贷款；（6）国家预算拨款；（7）利用外资等。

其四是要组织技术改造队伍，提高技术管理水平。

企业技术改造，要优选设计队伍，优选技术设备制造厂家。在

企业内部要相应组织和造就一支技术管理和施工维修的技术队伍，还要加强对职工的技术培训，提高各类人员的技术知识和操作技能。

任何一项新技术的应用成功与否，是由工艺、管理、人员素质等综合因素决定的，其中人员素质条件尤为重要。技术改造一定要同提高职工技术水平和经营管理水平同步进行，这是使技术改造成果能够发挥作用，并且能够巩固发展的保证。只有这样，才能推广一项，见效一项，巩固以至发展。否则，尽管工艺、技术和设备都上去了，但由于操作技术和科学管理水平跟不上，掌握不了，照样收不到应有的经济效果。

二、机立窑水泥发展前景与技术改造目标

我国立窑水泥生产发展经历了60年代的普通立窑发展阶段，70年代从普通立窑向机械化立窑发展阶段；80年代以来，开始进入现代新技术立窑生产工艺阶段，使立窑水泥生产技术向高水平方向不断发展。

在相当长的时期内，我国水泥产量不能满足经济建设的需要，尤其是农村经济的发展更加大了对立窑水泥的需求，因而激发了各地纷纷发展立窑水泥生产。其中绝大多数立窑水泥企业的建设和改造，偏重于增加生产能力。不少企业由于资金有限，都是因陋就简，从小到大，从普通立窑到机立窑，滚动改造，逐步发展。因此，很多的立窑生产线不同程度地存在着工艺、装备不配套，生产和产品质量不稳定，能耗高，环境污染和经济效益不好等问题，以致造成企业、技术和产品结构不合理的严重状况。

立窑水泥生产要扭转上述状况，就必须依靠技术进步，调整好技术装备结构。

近十年来，我国的立窑水泥生产创造了许多新技术、新设备、新经验，并经过了生产实践的检验，证明行之有效，投入不多，经济效益较好，可以广为推广。另外，我国又先后从国外引

进几十项水泥先进技术装备，经过消化吸收，有的已移植到立窑水泥生产线上应用。

山东省和广东省有很多机立窑水泥厂的实践表明，机立窑通过技术改造可生产多品种、高标号质量的水泥，使产品畅销；机立窑水泥的煤耗和电耗低于旋窑水泥的消耗。因此，只有将一大批机立窑生产线采用现代新技术，通过综合节能改造达到现代新型机立窑生产线的技术水平，立窑水泥企业才能在未来的发展中立于不败之地。

根据国家《水泥机立窑技术改造专项规划》的精神，在“八五”乃至2000年期间，要明确这样的指导思想和发展方向，即：以国内外市场为导向，以节能和提高质量为中心，以技术进步为先导，以提高企业经济效益为出发点，在改造和发展大中型水泥企业的同时，狠抓地方水泥企业的综合节能技术改造，以现代新技术更新改造现有立窑生产技术装备，提高地方水泥技术经济和企业规模水平。

机立窑生产采用综合节能新技术进行技术改造，要达到如下几项目标。

一是水泥熟料标号达到550号以上；

二是熟料标煤耗一般低于130kg/t，示范线低于120kg/t；水泥综合电耗一般低于90kWh/t，示范线低于80kWh/t；

三是窑、磨主机的台时产量比原设计指标要提高10%以上；

四是主要废气排放点和扬尘点要基本达到规定排放标准，改善工厂环境，实现文明生产。

为了实现上述目标，立窑水泥工业首先要调整技术结构，大部分立窑水泥企业将加速推广应用我国已成熟的机立窑工艺现代新技术，进行综合节能改造，提高机立窑生产线成套技术装备水平，推广应用电子计算机控制立窑生产系统。此外，围绕降低水泥电耗，要推广选用辊压机和高效选粉机应用于水泥粉磨和生料磨，合理选用立式磨应用于生料粉磨系统。

三、机立窑水泥厂综合节能新技术

80年代以来,我国立窑水泥生产技术有了很大进展,取得了显著成绩。尤其是采用复合矿化剂、生料微机自动配料、预加水成球、机立窑闭门操作和腰风控制、预粉磨等新技术后,使熟料质量明显提高,熟料煤耗和水泥电耗显著下降。许多实例说明了新技术的采用和发展,是提高立窑水泥产、质量和降低能耗的可靠保证。

机立窑综合节能新技术的实质内容是:集中采用国内外新技术、新装备和最新科研成果,应用于机立窑水泥厂工艺线的主要工序和环节。重点是要解决以下几个方面的问题:

1. 原、燃料均化。包括原料、燃料、生料和水泥的均化。
2. 合理准确配料。包括生料的原料配比,成球料、煤、水配比,水泥磨喂入物料配比和装包重量的准确。
3. 稳定煅烧。包括合理的窑体结构、卸料结构和窑体保温隔热等。
4. 提高粉磨效率,降低电耗。
5. 过程自动控制。包括生料、水泥配料和负荷控制,立窑煅烧自动控制,装包计量自动控制等。
6. 粉尘治理。包括烘干、粉磨、破碎、煅烧和包装系统的收尘治理,实现文明生产。

当前,机立窑综合节能技术改造中可供选择的新技术有如下几项:

- 原、燃料预均化技术;
- 复合矿化剂应用技术;
- 生料微机自动配料(包括成分检测)技术;
- 生料均化技术;
- 煤、料分别粉磨和外配煤自动配合技术;
- 自动控制预加水成球技术;
- 窑体结构综合改造技术;

立窑热工仪表监测和微机控制闭门操作；
立窑腰风控制偏火系统；
辊压机粉磨技术；
新型高效选粉机技术；
生料立式磨和烘干粉磨技术；
球磨机内部结构改进技术；
磨机负荷自动控制技术；
磨机节能型衬板；
磨机研磨体、衬板和破碎机锤头等耐磨材料应用技术；
烘干机沸腾燃烧劣质煤供热技术；
粉尘综合治理技术；
综合利用粉煤灰等工业废渣技术等。

在推行节能新技术中，应把应用微电子技术改造传统产业列入计算机应用发展规划的目标，水泥行业将以机立窑水泥生产过程计算机控制作为重点，大力推广机立窑生产线的生料和水泥配料、生料磨和水泥磨负荷控制、预加水成球、立窑煅烧等工艺环节的计算机控制技术。必须把工艺、装备和控制紧密结合起来，工艺是生产基础，但它必须通过合理的、先进的装备来实现，而装备性能的发挥离不开控制系统，采用了微机控制技术，就可以使装备发挥出最大的效能。反之，没有先进完善的工艺，配套齐全的装备，性能再好的计算机也是使用不好的。所以，立窑水泥企业进行综合节能改造，使生产工艺先进，装备完善配套，再加上采用微机控制是提高经济效益的一条正确途径。

四、切实做好新技术的选用和推广工作

任何一项新技术的采用，必须结合生产实际情况和具体条件，因地制宜选择适用的新技术，才能取得应有的效果。在采用新技术之前应事先对每项新技术的作用、性能、适用范围和预测效果，进行详细地了解和分析。下面着重对几项主要的新技术作

一些原则说明。

(一) 机立窑微机自动控制闭门操作是以工艺稳定为核心的—种稳态控制。它是在入窑生料、燃料均化、料球质量和窑体结构等达到理想的条件下,采用合理的煅烧方法,保证热工制度稳定,然后通过热工仪表监测和微机控制,从而实现闭门操作。因此,要实现闭门操作,必须在工艺、装备、自动控制和科学管理等方面采取多种措施。

(二) 原、燃料预均化

要保证生料化学成分和含煤量的稳定,首先要对原、燃料进行预均化。要事先对将要进厂的石灰石、粘土和煤等做成份分析,并加以控制。

原、燃料预均化技术有多种形式可供选择,但作为立窑水泥企业常受到资金制约,对投资比较大的新型预均化堆场很少采用。但简易预均化措施还是必要的。当然如果某种原料的成分波动较小时,可以省去预均化环节。

对于进厂石灰石成分波动较大的机立窑水泥厂可以采用山东牟平水泥厂那样的大型断面切取式预均化库。

大多数的机立窑水泥厂可采用多库搭配的方式进行原料预均化。如山东临淄水泥厂的石灰石通过多库搭配后, CaO 标准偏差从 0.69 降至 0.21, 获得较好效果。

(三) 复合矿化剂应用

推广复合矿化剂已有十多年时间,似乎已不是新技术了。可是生产实践表明,机立窑应用复合矿化剂,对提高熟料质量、降低熟料煤耗,有显著的效果。有的厂没有能应用好这项技术,往往是由于技术上没有掌握好,或者是因为管理上缺乏严格要求。

应用复合矿化剂技术,要特别注意熟料三率值、矿化剂用量与熟料烧成热耗之间的匹配关系。其中矿化剂 CaF_2/SO_3 比值的严格控制尤为重要。

目前矿化剂的种类在近几年中已有新的出现,并且试用效果

更加显著，这说明立窑应用矿化剂技术还在继续发展之中。

（四）生料微机自动配料技术

生料微机配料是保证生料成分稳定的重要环节。若采用离线的、在线的生料成分自动检测与微机相结合配料，就能使出磨生料 CaCO_3 合格率达到60%以上的较高要求。

生料微机配料系统全国已有数十种，选用时要按“三优选”方针从事，首先要考核喂料计量设备的准确性、可靠性。目前可供选择的主要喂料计量微机控制设备有核子秤、调速秤、恒速秤和失重秤等系统。这几种配料系统都可采用成分配料方法，配备成分分析仪，根据出磨生料成分的变化，由微机自动计算调整各原料配比，以稳定生料成分为目的。

（五）生料均化

生料的均化方法有多种方式：机械倒库、多库搭配、间歇式空气搅拌、连续式空气搅拌等。均化效果以空气搅拌为好。在节能技术改造中，机立窑水泥厂的生料库要尽可能改造为均化库。如山东临淄水泥厂采用 $\phi 6 \times 14\text{m}$ 间歇式空气搅拌库四座，每座空气搅拌1.5小时后搭配出库，然后进入两座 $\phi 7 \times 18\text{m}$ 储存库，再进行搭配入窑。入窑的生料 CaCO_3 合格率达到85%以上。

（六）煤料分别粉磨

为了避免机立窑产生化学与机械不完全燃烧的热损失，可采用半黑生料或白生料与煤粉配合成球入窑煅烧的方法。推行这种方法一要考虑煤质情况，二要考虑煤粉与生料充分混匀的条件。由于大多数机立窑水泥厂煤质不良，故宜采用半黑生料和白生料法两用的方式，即既采用煤料分别粉磨后的外配煤，又保留一小部分煤从生料磨喂入，混合粉磨成半黑生料。

外配煤粉的细度要求既不过细又不过粗。目前可供选择的磨煤设备主要有超细碎煤机、组合式磨煤机和小型棒磨机。后者设备可由小球磨机改造而成。

（七）预加水成球技术

在一般情况下，预加水成球对改善料球的质量，改善窑内通风，提高立窑产质量，以及改善工作岗位劳动环境都有显著的作用。但是在选用该项技术时，要优选好控制设备和技术队伍。工艺上要解决好生料和煤粉的稳流装置；控制上要解决好水、料跟踪的微机控制。

（八）窑体综合改造技术

现有机立窑的窑体结构，一般应作如下几点改进。

1. 喇叭口适当缩小角度和提高喇叭口的高度；
2. 窑内几何形状，下部可砌成倒喇叭形，窑内径可适当调整，但要因地制宜，因窑设计；
3. 加厚窑衬和保温层的厚度，增加外保温，采用保温性能好的保温材料；

4. 卸料篦子要优选通风面积大，破碎大块熟料能力强的塔式或盘塔式篦子卸料，以及料封性能好的料封装置。

（九）立窑热工仪表监测与腰风控制

一般要设有以下五个方面的自动控制和仪表检测。

1. 通过连续测量废气温度来控制调节立窑的通风量大小；
2. 通过流量计的信号控制生料输送机的转速，保持入窑生料的料量稳定；
3. 通过生料流量信号控制预加水成球的加水量；
4. 根据窑面高度信号控制卸料速度；
5. 通过热工仪表测量，正确显示立窑热工状况。

腰风控制偏火技术，一般都应选用。因为立窑在稳态控制以后，偏火现象还可能发生。一旦发生偏火辅以使用腰风就可以克服短时偏火。

（十）高效粉磨技术

适用于立窑水泥厂应用的现代高效粉磨技术主要有：生料立式磨、辊压机和高效选粉机。

立式磨的优点很多，主要优点是：（1）能降低电耗15~20%；

(2) 适用于原料水分大，能够保证出磨生料水分小的要求；(3) 保持黑生料法工艺，而其煤粉细度较粗，有利于降低熟料热耗。对于原料性能是中等磨蚀性的水泥厂可优先考虑选用立式磨；但对含有较多结晶形 SiO_2 ，且晶体颗粒较粗，磨蚀性大的原料则不宜采用。

辊压机是80年代开发出来的粉磨新技术。近年来，我国已从洪堡公司引进辊压机制造技术，国内有关研究设计单位也已经开发出了适用于立窑水泥厂用的辊压机，经过试用节电效果非常显著。

我国引进技术制造的O-sepa高效选粉机也已投产使用。

对于计划实施综合节能改造的水泥厂，当水泥磨能力不足时，可以优先采用辊压机作为预粉磨系统，以提高产量和降低粉磨电耗；如果是开路粉磨系统则可增设高效选粉机与辊压机、球磨机组成闭路粉磨系统。

第二章 原燃料预均化技术

水泥工厂生产所用矿物原料及燃料进行必要的预均化不仅可以提高产品质量,而且可以利用低品位原料和燃料,从而获得较高的技术经济价值。目前世界上很多国家将预均化技术应用于冶金、电力、煤炭、化工、建材、运输等工业部门,获得了显著的效果。

第一节 预均化在水泥生产中的技术经济意义

众所周知,水泥是由水泥原料进行配料、经过粉磨、煅烧、再粉磨等一系列复杂的物理变化和化学变化反应过程而形成的。欲生产出质量高、性能好的水泥的关键是要有优质熟料,而煅烧优质熟料的最基本条件是制备质量合格而稳定的生料。

水泥生料化学成分和水泥熟料煅烧用煤灰份及热值的均匀稳定性,直接影响到熟料的产量、质量、热耗、窑的运转周期和耐火材料的消耗量等。湿法生产由于料浆成分较均齐且调整方便,故熟料质量较高且稳定,但其最大的缺点是煅烧的热耗高,一般达到 5859kJ/kg 熟料(1400 kcal/kg 熟料)以上。目前新型干法预热器窑的热耗一般为 $3139\sim 3767\text{kJ/kg}$ 熟料($750\sim 900\text{kcal/kg}$ 熟料),机械立窑的热耗一般为 $3976\sim 4604\text{kJ/kg}$ 熟料($950\sim 1100\text{kcal/kg}$ 熟料)。然而,在干法生产过程中,对原料的均齐和生料的均匀稳定性要求较高。随着干法生产工艺的迅速发展,原料的预均化和生料的均化技术也随之获得相应的提高。在工厂规模、技术装备、原材料等条件及管理水平的情况下,往往是对各种物料采取一些均化技术措施的企业所生产的产品质量高,性能好,品质均齐稳

定，经济效益显著，生产过程的工艺技术管理和繁重的生产控制工作量可以相对地减轻，这些突出的优点被大量生产实践所证明。

在当前我国水泥工业逐步转向以新型干法生产为主和要求地方水泥工业技术水平不断提高的情况下，重视并解决好物料的预均化技术问题，尤其在中小型水泥厂，结合我国的实际国情，对各种物料采用一些简便易行、经济合理的预均化技术措施，这对于发展水泥生产、保证产品质量、提高经济效益具有重要的意义。

在水泥生产中应用预均化技术，其主要技术经济意义有以下几个方面。

（一）有利于稳定水泥窑的热工操作制度，为水泥窑生产达到优质、高产、低消耗、长期安全运转创造良好的条件。

预均化技术目前主要在现代化大型干法水泥厂应用较为普遍，然而机立窑对入窑生料成分的均匀性及稳定性的要求虽不及现代大型水泥窑那么严格，但与机立窑的优质、高产、以及长期安全操作也是密切相关的。根据我国的长期实践经验，一般对入窑生料成分均匀性的要求为：

石灰饱和系数 KH 的波动值为 ± 0.02 ；

硅酸率 n 的波动值为 ± 0.1 ；

铝氧率 p 的波动值为 ± 0.05 ；

碳酸钙含量的波动值： $\pm 0.5\%$

由于生产水泥的主要原料大都是天然生成的，天然原料品质的均齐性是相对的，而不均齐是绝对的。若欲满足煅烧优质水泥熟料各化学成分要求，就必须对原料、生料及煤进行均化。一个正确而合理的配料方案的实现，是通过对原料进行均化与配料装置正常操作来实现的。为什么一些工厂设计确定的配料方案，总是与生产实际相差较大或不具有一定的规律呢？其主要原因是，由于对化学成分波动的原料未能进行很好的预均化。而在原料质量