

● 中国建筑工业出版社

● 陈全德 曹辰 等编著

新型干法水泥生产技术

新型干法水泥生产技术

陈全德 曹辰等 编著

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国建筑工业出版社

以悬浮预热和窑外分解技术为核心的新型干法水泥生产技术，是七十年代发展起来的新工艺、新技术，也是我国今后水泥工业发展的方向。本书汇集了国内外各种类型、不同规格的以悬浮预热器和窑外分解窑为中心的有配套设备、生产管理、操作、自动调节等方面的资料和数据，并加以评述；书后还列举了国外的几个用新型干法技术改造老厂的实例。

本书可供从事水泥生产的技术人员、领导干部和工人参考，亦可供本专业的设计与科研人员和院校师生参考。

新型干法水泥生产技术

陈全德 曹辰等 编著

*

中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）
· 新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷（北京阜外南礼士路）

*

开本：787×1092毫米 1/16印张：25 字数：604千字
1987年12月第一版 1987年12月第一次印刷
印数：1—7,000册 定价：4.75元
统一书号：15040·5220

前 言

水泥是国民经济基本建设中不可缺少的建筑材料。为了加速水泥工业发展,节能,增产,提高经济效益,赶超世界先进水平,满足四个现代化建设的需要,国家建筑材料工业局在最近制订的《建筑材料工业发展纲要》中指出:今后水泥工业的发展主要采用窑外分解技术和其它新型干法工艺。

以悬浮预热和窑外分解技术为核心的新型干法水泥生产技术,是七十年代以来发展起来的新工艺、新技术,目前世界各国水泥工业都在重点发展和普遍采用。我国也已有多条采用新型干法水泥生产技术的大型现代化生产线投入生产。“七五”期间和以后还将有更多的新型干法水泥生产线相继建设和投产。新型干法水泥生产在世界水泥工业发展中已占据主导地位,它已成为标志着水泥工业现代化的新技术。

本书是为了适应我国新型干法水泥生产的发展而编写的。全书综合了近年来国内外新型干法水泥生产技术发展的多方面资料,以工艺为中心,将有关设备、生产管理与操作、自动调节控制等方面的内容揉合其中,并加以评述。本书由陈全德、曹辰主编,参加编著的人员和分工是:武汉工业大学北京研究生部陈全德(第一、四、五、六、七、十、十一章),国家建材局技术发展司曹辰(第二、三、八、十二章),中国建材装备公司刘澄(第九章)、刘德庆(第八章),原中国水泥工业开发公司余立毅(第十三章)。

由于时间短促和水平所限,错误和不当之处在所难免,望加以批评指正。并向提供资料的有关单位和同志致以衷心感谢。

编 者

1986年3月

目 录

第一章 概 论..... 1	第三节 生料均化库的作业原理和性能..... 38
第一节 新型干法水泥生产的特点..... 1	一、间歇式均化库..... 38
第二节 新型干法水泥窑生产的客观规律..... 5	二、混合室(均化室)均化库..... 40
第三节 “均衡稳定”是搞好新型干法生产 的关键..... 6	三、多料流式均化库..... 43
第二章 原料预均化 9	第四节 生料均化库的应用..... 46
第一节 预均化的基本原理..... 10	一、各种均化库的综合比较..... 46
一、基本原理及其技术经济意义..... 10	二、选择均化库的基本原则..... 49
二、评价均化效果的方法..... 12	三、各种均化库的具体应用..... 50
第二节 怎样判断原料和燃料应否采用预均 化堆场..... 15	第五节 影响均化效果的常见因素及防止 方法..... 53
一、原料预均化堆场的选用条件..... 15	一、影响均化效果的常见因素..... 53
二、煤炭预均化堆场选用的条件..... 16	二、作业技术条件和装备技术状况的变 化因素..... 53
第三节 预均化堆场的布置型式及堆取料 方式..... 18	三、无法严格控制的因素影响均化效果..... 54
一、堆场的布置型式及其比较..... 18	第四章 烘干粉磨 57
二、堆料方式..... 20	第一节 粉磨作业的客观规律..... 57
三、取料方式..... 22	一、粉碎作业的基本原理..... 57
第四节 几种主要堆料机和取料机..... 23	二、粉磨作业中提高粉磨功有效利用率的 规律..... 61
一、堆料机..... 23	第二节 生料磨机系统发展的特点..... 63
二、取料机..... 24	第三节 各种烘干粉磨系统的特性及其选 用条件..... 63
第五节 影响预均化效果的若干主要因素 及其防止措施..... 29	一、风扫磨系统..... 63
一、原料成分波动呈非正态分布..... 29	二、尾卸提升循环磨系统..... 65
二、物料离析作用..... 29	三、中卸提升循环磨系统..... 65
三、料堆端部锥体部分所造成的不良影 响..... 30	四、辊式磨系统..... 66
四、堆料机布料不均造成的影响..... 31	五、无介质磨(气落磨)系统..... 68
五、堆料总层数的影响..... 31	六、其它粉磨系统..... 71
第三章 生料的均化 34	七、各种粉磨系统的选用条件..... 72
第一节 生料均化库在新型干法生产中的 地位..... 34	第四节 烘干粉磨系统的调节控制原则..... 77
第二节 均化库的发展过程..... 35	一、原料配料控制..... 78
一、国外发展过程..... 35	二、磨机负荷控制..... 79
二、国内发展情况..... 37	三、温度控制..... 79
	四、压力控制..... 80
	五、开车喂料程序控制..... 80

第五节 几种烘干粉磨系统的特点及调节控制实例.....80	二、日本大船渡厂的RSP窑.....140
一、RFN厂的带立式烘干塔及烘干仓的尾卸提升循环磨系统.....80	三、法国莱克斯斯水泥厂的RSP窑.....141
二、CJD厂的磨及选粉机内同时烘干的尾卸提升循环磨.....85	四、对RSP窑烧煤的研究.....143
三、CNK厂中卸提升循环磨.....90	五、我国日产700t及2000t的RSP窑.....146
第五章 悬浮预热窑.....96	六、RSP窑用于生产白水泥及特种水泥.....153
第一节 悬浮预热窑的发展.....96	七、RSP窑采用四级及五级悬浮预热器比较.....155
第二节 各种悬浮预热窑的特性.....96	第五节 KSV-NKSV窑.....156
一、以多级旋风筒组合的悬浮预热窑.....99	一、KSV窑.....156
二、旋风筒与立筒混合组合的悬浮预热窑.....104	二、NKSV窑.....160
三、以立筒为主组合的悬浮预热窑.....105	第六节 史密斯型预分解窑.....165
第三节 悬浮预热器的结构及主要技术参数的确定.....109	一、FLS分解炉的特点.....165
一、旋风预热器的主要结构及技术参数的确定.....109	二、FLS预分解窑的分类及其特性.....166
二、旋风预热器系统设计参考资料.....113	三、三台日产4000tSLC窑生产实例.....175
三、立筒预热器的主要结构及技术参数的确定.....114	第七节 普列波尔型窑与派洛克朗型窑.....179
第四节 悬浮预热窑产量的确定.....121	一、普列波尔及派洛克朗型窑的特点.....179
一、南京化工学院统计公式.....121	二、普列波尔型窑.....179
二、日本官泽清公式.....121	三、派洛克朗型窑.....183
三、日本池田公式.....121	第八节 MFC-NMFC窑.....189
四、日本水泥工业协会统计公式.....121	一、MFC窑的特点.....190
五、德国R.Frankenberger公式.....121	二、MFC炉结构设计中应考虑的主要因素.....191
第五节 悬浮预热窑的旁路放风技术.....122	三、MFC炉生产中的监控.....191
一、碱、硫、氯等有害成分的循环富集及危害.....122	四、N-MFC预分解系统.....193
二、预热器系统的结皮堵塞.....122	五、生产操作控制实例.....195
三、旁路放风系统.....124	第九节 其它预分解法.....198
四、防止粘结堵塞的其它措施.....125	一、DD法.....198
第六章 预分解窑.....127	二、GG法.....200
第一节 预分解窑的发展.....127	三、SCS法.....202
第二节 预分解窑的分类.....128	四、宇部预分解法.....203
第三节 SF-NSF-CSF窑.....131	五、法国FCB法.....208
一、SF窑.....131	六、捷克斯洛伐克普列洛夫预分解法.....209
二、N-SF窑.....132	七、ZAB预分解法.....212
三、C-SF窑.....136	八、PRE-AXIAL预分解系统.....213
第四节 RSP窑.....138	第十节 各种预分解窑的综合对比与评价.....213
一、RSP窑的特点.....139	一、从分解炉(室)的结构型式方面分析.....216
	二、从分解炉与窑的联接方式方面分析.....216
	三、从分解炉的煤、料、风管设置方面分析.....217
	四、从燃料燃烧环境方面分析.....217

五、从系统阻力、热负荷及 NO _x 排放 浓度等技术性能方面分析	217	燃烧的影响	275
第七章 悬浮预热窑及预分解窑的调节 控制	221	第三节 常用的几种煤粉制备系统	279
第一节 窑系统的调节控制原则	221	一、煤粉粉磨设备	279
第二节 窑系统操作控制实例	224	二、煤磨系统与使用煤粉设备的联接方 式	279
一、日产4000tN-SF窑	224	三、几种典型的煤磨系统	279
二、日产4000tMFC窑	229	第四节 煤粉的计量、喂料、贮存及输 送	282
三、日产3000tSP窑	237	一、燃煤进厂时的检验和贮存	282
四、日产700t RSP窑	239	二、煤的烘干	282
五、日常生产中应注意的几个问题	240	三、煤粉的计量与喂料装置	283
第八章 熟料冷却机	245	四、煤粉的输送	283
第一节 熟料冷却机的发展及其特点	245	第五节 煤粉制备系统的安全规程	284
一、冷却机的主要作用	245	第十章 耐火材料	288
二、冷却机发展的简要回顾	245	第一节 耐火材料的主要性能及其对耐久 性的影响	288
三、冷却机发展的特点	246	第二节 水泥工业常用的几种耐火材料	294
第二节 单筒冷却机	248	一、粘土砖	294
一、过去被它种冷却机替代的原因	248	二、高铝砖	294
二、单筒冷却机的改进	249	三、磷酸盐结合高铝质窑衬砖	294
三、单筒冷却机的展望	251	四、镁砖	295
第三节 多筒冷却机	253	五、镁铝尖晶石砖	295
一、多筒冷却机的重新崛起	253	六、普通镁铬砖	295
二、若干操作数据和指标	254	七、直接结合镁铬砖	296
三、新型多筒冷却机的若干工艺特性	256	八、聚磷酸钠结合镁砖	296
第四节 篦式冷却机	258	九、耐碱砖	297
一、回转篦式冷却机	259	十、隔热材料	297
二、富勒型推动篦式冷却机	259	第三节 新型干法水泥生产对耐火材料的 要求	298
三、史密斯(FOLAX)型推动篦式 冷却机	264	一、窑内热负荷对衬料耐久性的影响	298
四、组合型(台阶型)篦式冷却机	265	二、窑系统耐火材料承受的应力	299
五、其他推动篦式冷却机	266	三、窑系统各部位对耐火衬料的要求	300
第五节 其他类型的熟料冷却机	268	四、对窑衬的加热升温要求	301
一、立筒式冷却机	268	五、统一砖型及规格	301
二、“g”型冷却机	268	六、窑衬砌筑技术	304
第六节 各种熟料冷却机的比较	269	第四节 大型窑使用耐火材料实例	306
第九章 煤粉制备	273	一、CJD水泥厂φ4.7×74mNSF窑系 统(日产4000t熟料)实例	306
第一节 煤粉制备在新型干法水泥生产中 的重要性	273	二、CHH水泥厂φ5.8×9.7mSP窑系统 (日产3000t熟料)实例	307
第二节 煤粉质量对生产的影响	273	三、日本ET水泥厂φ5.4×90mMFC窑	
一、影响煤粉质量的几个主要因素	273		
二、煤粉细度及挥发份含量对分解炉内			

(日产 6300t 熟料) 实例	310	二、石膏掺加量及矿渣掺加量的控制	346
四、日本TU厂及HL厂两台大型NSP 窑窑内各部位使用的耐火砖品种 及寿命	311	三、磨内喷水量的控制	349
五、日本旭硝子公司提供的日本预分解 窑使用的耐火材料状况	311	四、水泥成品细度控制	350
六、丹麦史密斯公司对 $\phi 4.75 \times 75\text{m}$ 带 史密斯型分解炉的预分解窑系统 (日产4000t 熟料) 耐火材料供 应方案	311	五、CJD厂及CNK 厂实际生产状况	350
第十一章 水泥粉磨	320	第十二章 水泥的包装和运输 设施	353
第一节 水泥粉磨系统的发展特点	320	第一节 水泥包装机	355
第二节 几种主要的水泥粉磨系统	321	一、水泥包装机的发展	355
一、闭路粉磨系统	321	二、回转式包装机的种类	356
二、开流粉磨系统	323	三、各种自动插袋包装机的特点及在我 国推广使用的问题	358
三、康比丹磨	323	第二节 水泥袋的装车装船设备	362
四、辊式磨	325	一、火车装车设备	362
五、双辊磨 (Roller Press)	327	二、汽车装车设备	363
第三节 选粉机	330	三、水泥袋装船和从成品库内取水泥袋 装车装船	364
一、普通空气选粉机	330	四、热缩包装	365
二、丹麦史密斯公司生产的选粉机	332	第三节 散装	368
三、旋风式选粉机	333	一、工厂散装装车(包括中转库的装 车)	368
四、涡旋式选粉机	334	二、运输	370
五、O-SEPA 型空气选粉机	336	第十三章 用新型干法技术进行老厂 技术改造	380
六、IHI-SD 型选粉机	339	第一节 用新型干法技术进行老厂技术改 造的意义	380
七、MDS 型选粉机	339	第二节 制订老厂技术改造方案的原则	381
八、风动式选粉机	340	第三节 用新型干法技术进行立波尔窑厂 技术改造的举例	383
第四节 水泥的冷却	341	第四节 用新型干法技术对湿法厂进行技 术改造的举例	385
第五节 水泥磨系统的调节控制	344		
一、磨机的负荷控制	344		

第一章 概 论

水泥生产自1824年诞生以来，160年间生产技术历经多次变革。作为水泥熟料的煅烧设备，开始是间歇作业的土立窑，1885年出现了回转窑。以后在回转窑规格不断扩大的同时，窑的型式和结构也都有新的发展，除直筒窑外，曾出现过窑头扩大，窑尾扩大及两端扩大的窑型，窑尾曾装设了各种热交换装置，如格子式热交换器，悬挂链条等。1930年德国伯力鸠斯公司研制了立波尔窑，用于半干法生产，1950年联邦德国洪堡公司研制成功悬浮预热窑，称洪堡窑，1971年日本石川岛公司和秩父水泥公司研制成功预分解法，称SF法。特别是六十年代以来，悬浮预热窑发展很快，各种悬浮预热器相继出现，并且日趋大型化。七十年代初，窑外分解技术出现后，更加受到世界各国的重视，并且很快出现了许多各具特点的预分解技术。与此同时，生料制备、水泥粉磨等各种水泥生产技术装备，也与之配套，同步发展，现代电子技术及科学管理方法在水泥工业生产中也得到了广泛应用。以悬浮预热和窑外分解技术为核心的新型干法水泥生产，采用了现代最新的水泥生产工艺和装备，正在逐步取代湿法、老式干法及半干法生产、独占鳌头，把水泥工业生产推向一个新的阶段。

第一节 新型干法水泥生产的特点

新型干法水泥生产，就是以悬浮预热和窑外分解技术为核心，把现代科学技术和工业生产成就，如原料预均化、生料气力均化、烘干粉磨、各种新型耐热耐磨耐火材料以及电子计算机、自控技术等等，广泛地应用于水泥干法生产的全过程，使水泥生产具有高效、优质、低耗、符合环保要求和大型化、自动化的特征的现代水泥生产方法。新型干法生产包含了一整套现代化水泥生产新技术和与之相适应的现代化科学管理方法。与传统的湿法、干法、半干法水泥生产相比，新型干法水泥生产具有均化、节能、环保、自动控制、长期安全运转和科学管理六大保证体系。其特点如下：

1. 生料制备全过程广泛采用现代化均化技术

化学成分均齐的生料是保证水泥生产优质、高效、低耗的基本条件。传统湿法生产的主要优点之一就在于生料浆易于搅拌均匀化，使入窑料浆成分比较均匀，而传统干法、半干法生产，生料粉均化困难，特别在原料成分波动时，入窑生料成分很难稳定。新型干法生产的特点之一，则在于生料制备全过程全面采用现代化均化技术，使矿山开采，原料预均化、原料配料及粉磨、生料气力均化四个关键环节，互相衔接，紧密配合，形成生料制备全过程的均化控制保证体系，满足悬浮预热、窑外分解新技术以及生产大型化对生料质量提出的严格要求。

(1) 矿山开采方面

首先在矿石开采过程中，从两个方面做好质量控制。一是，做好生产勘探和矿山网，甚至在穿孔时，从钻孔取样，切实掌握矿体质量；二是，根据矿山资源状况，制定合理的开采

计划,选择相应的开采方式和采掘设备,对不同质量的矿体进行选择性的开采,搭配使用,并在采掘、运输过程中,做到粗略均化,缩小化学成分波动,为充分发挥预均化堆场的作用创造条件。

(2) 原料预均化

创始于钢铁工业的预均化堆场,1959年首次应用于美国水泥工业,1965年法国拉法日公司又用于对石灰石、粘土两种组分进行预配料,均取得良好效果,以后许多国家,特别是原料资源较少,品位较低的国家广泛采用。预均化堆场的显著作用是有良好的预均化效果,均化效果(e)一般为 $5\sim 8$,最高可达 10 ,有利于充分利用低品位原料;有利于利用矿石的夹层和覆盖物,降低剥采比,提高采矿效率;可在堆场内对不同组分原料进行预配料。总之,有利于为生产提供长期稳定的原料,进行均衡稳定的生产。

(3) 原料配料及粉磨

在原料预均化的基础上,为了制备化学成分均齐稳定的生料,新型干法生产广泛地把X荧光分析仪、电子计算机和电子喂料秤用于原料配料和粉磨过程,使粉磨生料质量显著提高。

(4) 生料的气力均化

气力均化是生料制备过程中的最后均化工序。过去的干法生产,生料粉均化主要靠物料在库内重力卸料时产生的漏斗效应混合均化,或采用多库搭配出料,均化效果很差。近20年来,随着新型干法水泥生产的发展,各种空气搅拌均化库相继问世,库的型式也由间歇式发展成连续式,由双层库发展为单层库,单位电耗不断降低,均化效果不断提高,可达 10 以上。

由于新型干法生产,重视在生料制备全过程采用现代化的均化技术,在生产过程中做到“事先控制”,从而满足了悬浮预热窑和预分解窑对生料均齐稳定的要求,促进了新型干法生产的发展。

2. 采用高效率多功能设备

节约能源,提高经济效益是现代工业生产的总趋势。新型干法生产由于熟料煅烧采用悬浮预热及窑外分解新技术,热耗大幅度降低,但电耗却有升高,因此近年来更加重视采用高效率多功能新设备,力求进一步降低能源消耗。

新型干法生产,在生料粉磨工序普遍采用烘干粉磨系统,一般地将烘干和粉磨作业同时在磨内完成。为了提高烘干和粉磨效率,扩大对原料的适应范围,也往往将选粉机等辅助设备用于烘干过程,有的还在磨前增设预烘干装置或预破碎烘干机组。目前,烘干粉磨系统使用最广泛的是钢球磨机系统,包括风扫磨及尾卸或中卸提升循环磨,单位电耗一般在 $20\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}$ 生料左右。但是,近年来随着结构及材质的改进,辊式磨又得到迅速地发展。与钢球磨机相比,辊式磨有粉磨效率高,烘干能力大,建筑面积小,噪音小,允许入磨粒度大以及生料化学成分易于调整,颗粒级配比较均齐等优点,并且更易于同悬浮预热窑及预分解窑串联操作,联合生产,单位电耗也较钢球磨机系统低,一般仅 $11\sim 17\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}$ 生料,很有发展前途。但在粉磨难磨原料时,对辊轮及转盘衬板磨耗较大,所以,在物料磨蚀性大或设备材质不过关时,不适于选用。烘干粉磨系统通常采用悬浮预热窑及预分解窑预热器的废气或篦式冷却机的废气作为烘干介质。由于利用了废气余热降低了废气带走热损失,节省了用于原料烘干的热耗约 $168\sim 251\text{kJ}/\text{kg}$ 熟料,使单位产品的综合能耗进一步降低。

在原料破碎方面,新型干法生产则发展了一段反击锤式破碎机代替以往的二段或三段破碎,简化了生产流程,降低了能耗。

最近,国外在节能方面又出现了新的动向,例如:在粉状物料输送方面采用超高超重提升机及密封式皮带机等机械输送方法,代替气力输送;在余热利用方面,发展了五级旋风预热器,并且使用预热器及篦冷机废气作为低温发电的热源等,这都有利于进一步降低能源消耗。

3. 用悬浮预热及预分解技术代替回转窑内物料的堆积态预热和分解方法

利用传统的湿法、干法回转窑生产水泥熟料,生料的预热(包括湿法窑料浆的烘干)、分解和烧成过程均在窑内完成。回转窑作为烧成设备,由于它能够供断面温度分布比较均匀的温度场,并能保证物料在高温下有足够的停留时间,尚能满足要求。但作为传热、传质设备则不理想,对需要热量较大的预热、分解过程则甚不适应。这主要由于窑内物料堆积在窑的底部,气流从料层表面流过,气流与物料的接触面积小,传热效率低所致。同时,窑内分解带料粉处于层状堆积态,料层内部分解出的二氧化碳向气流扩散的面积小、阻力大、速度慢,并且料层内部颗粒被二氧化碳气膜包裹,二氧化碳分压大,分解温度要求高,这就增大了碳酸盐分解的困难,降低了分解速度。悬浮预热、窑外分解技术的突破,从根本上改变了物料预热、分解过程的传热状态,将窑内物料堆积态的预热和分解过程,分别移到悬浮预热器和分解炉内在悬浮状态下进行。

由于物料悬浮在热气流中,与气流的接触面积大幅度增加,因此传热速度极快,传热效率很高。同时,生料粉与燃料在悬浮态下,均匀混合,燃料燃烧热及时传给物料,使之迅速分解。因之,由于传热、传质迅速,大幅度提高了生产效率和热效率。

4. 装备大型化

随着工业发展和技术进步,水泥生产装备逐步大型化,单机产量大幅度提高。这样,不仅简化了生产流程,减少了占地面积,也便于管理和实现自动化,有利于降低生产成本和提高劳动生产率。

四十年代以前,窑磨规模增大50%左右。五十年代,窑增大一倍,磨增大50%,大型窑日产量都在2000t以下,磨机传动功率一般在2000kW以下,水泥磨小时产量在60t/h以下。六十年代,日产4000吨的窑,传动功率为5000kW的磨机已在运转。而七十年代,随着窑外分解术的出现,虽然窑的规格没有增加,生产能力都大幅度提高,单机日产量已达9000t。目前,最大的几种窑型为:美国的 $\phi 7.62/6.40/6.91 \times 232\text{m}$ 的湿法窑,日产量3600t;联邦德国的 $\phi 5.6 \times 90\text{m}$ 的立波尔窑,日产量3300t;日本宇部公司伊佐水泥厂的 $\phi 6.2 \times 125\text{m}$ 悬浮预热窑,日产量5500t,及该厂 $\phi 6.2 \times 125\text{m}$ 的KSV型预分解窑,日产量9000t。为同大型窑相匹配,大型磨机也得到较快发展,目前钢球磨机直径已达5.5m以上,传动电机功率7000kW以上,用于磨制生料时台时产量已达300t以上。大型辊式磨机的台时产量已超过500t。

装备大型化并不是小型设备简单地模拟放大,它对工厂设计、设备、设计、制造、材质,生产管理和技术操作等许多方面都提出了许多新的要求,同时,在设备大件运输方面也带来许多困难,而且在技术经济指标方面,如单位产品的设备投资及窑衬寿命等,也都有一定的局限性。设备过大,全厂投资并不经济,并且运转中,备品配件费用增高,窑衬寿命缩短。因此,大型化的发展并不是没有限度的。各个国家,必须结合本国的实际情况,确定设备大型化的合理规模。目前,一般认为日产2000~4000t的生产线比较合适。

5. 生产控制实现自动化

新型干法水泥生产过程、环节多、连续性强,许多工序联合操作,相互影响,相互制约。因此,生产过程本身要求具有高度的稳定性、设备运转的可靠性和调节控制的及时性。这些要求都是靠人工技术操作所不能达到的。

生产过程自动控制,具有反映灵敏,控制及时,调整精确的特点,是保证现代化连续性大生产安全稳定运行的必不可少的工具。生产规模愈大,生产连续性愈强,对生产稳定性要求愈高,实现生产自动化的必要性愈加明显。目前,生产过程自动控制已经日益广泛地应用于新型干法水泥生产的各个环节。

6. 采用新型耐热、耐磨、耐火材料

新型干法水泥生产的另一特点,是在不断改进设备结构,提高设备加工精度的同时,重视采用新型耐热、耐磨和耐火材料,以延长设备运转周期,减少设备故障和维修时间,保持全系统实现高效率、无事故、持续稳定地安全运转。

7. 重视消音除尘,满足环境保护要求

水泥生产粉尘污染,曾经是世界范围内大气污染的主要尘源之一。七十年代以来,世界各国对环境保护的要求越来越加严格,因此促使新型干法水泥生产必须顺乎潮流,重视消音除尘,满足环保要求。

世界各国对于防止粉尘污染,对于烟囱排尘浓度都有自己的规定标准,例如:联邦德国规定不装配电收尘器的设备,排放气体中的粉尘量不得超过 $120\text{mg}/\text{m}^3$;一般装配电收尘的设备,如水泥窑、熟料冷却机、烘干机、烘干粉磨设备、排出含湿气体的球磨机等不得超过 $120\text{mg}/\text{m}^3$;装配电收尘器而由于粉尘的高电阻使除尘有实际困难的设备,不得超过 $150\text{mg}/\text{m}^3$ 。日本规定,水泥厂烟囱排尘浓度,老厂为 $200\text{mg}/\text{标m}^3$,新厂为 $150\text{mg}/\text{m}^3$ 。苏联规定,水泥工业回转窑废气在电收尘净化后容许最大的含尘量为 $90\text{mg}/\text{标m}^3$ 我国规定为 $150\text{mg}/\text{m}^3$ 。由于各国对环境保护要求越来越高,促使水泥工厂收尘设备的投资不断增加,不但日益广泛地采用各种新型收尘设备,同时在物料储存设计上,也废弃了原来粉尘污染大而又难于治理的“联合储库”方案,采用了崭新的“圆库”化方案,既改善了工厂的总体布局,也充分地满足了环保要求。

与此同时,各国水泥工厂也十分重视消除噪音、废水污染和环境绿化,使水泥工业实现文明生产。

8. 实行现代化科学管理

为了同现代化大生产相适应,充分发挥现代化科学技术和先进的技术装备作用,新型干法水泥生产,必须采用与之相适应的生产组织形式和科学方法,实行现代化科学管理。例如,实行以中央控制室为中心的设备巡回检查制,设备的定期预防性检修制,生产人员轮训制等等。

新型干法水泥生产,把许多现代科学技术和工业生产成就,广泛应用于水泥干法生产的全过程,不仅在生产技术与装备上具有许多新的特点,而且在企业管理上也提出了许多新的课题,各国都必须结合自己的实际情况,研究和采用与这些生产力发展相应的现代科学管理方法,促进生产发展。否则,没有现代化的科学管理,先进的技术和装备也就不能发挥它们的应有作用。

第二节 新型干法水泥窑生产的客观规律

一切事物，都有其内在运动的客观规律，对于新型干法生产，也是这样。新型干法生产是以悬浮预热、窑外分解技术为中心发展起来的，因此，研究新型干法生产的规律，首先要研究悬浮预热窑和预分解窑的规律。

各种类型的窑，都受着燃料燃烧规律，热传递规律和热力平衡分布规律制约。不同的燃烧条件，不同的热传递条件，在窑系统就有不同的热力分布，也同时产生了不同类型的窑系统。悬浮预热窑就是将原来在窑内堆积态进行的物料预热及部分分解功能，移到窑后悬浮预热器内在悬浮状态下进行，从而改变了热传递状态，使物料在悬浮状态下与热气流充分接触，传热面积比在回转窑内成千倍地增加，因而传热速率大大加快，使在窑内约需一小时的预热升温及部分分解过程，在悬浮预热器内只需约30秒钟即可完成。而预分解窑，由于在悬浮预热器与回转窑之间增设一个分解炉(或利用垂直烟道)，在其中加入30~60%的燃料，改变了燃烧条件，使燃料燃烧的放热过程与生料分解的吸热过程同时在悬浮状态下极其迅速地进行，因而使生料在入窑前基本完成了碳酸盐分解过程，从而使窑系统生产效率大幅度地提高。

一般化学反应，一是要求反应物间均匀混合，紧密接触；二是要求创造化学反应需要的客观环境(如：高温、高压、触媒等)，加快反应速率。水泥工业生产中，生料的配料，粉磨和均化等工序，就是为了使原料按预定的化学成分配合，增大反应物的表面积，使之做到均匀混合，紧密接触，为各水泥组分间进行化学反应创造条件；烧成工序则是为了形成化学反应所需的环境，供给吸热反应所需的热量及温度场，加快反应速率。

水泥生料在较低温度下进入水泥窑系统，大约于450℃开始高岭土脱水，800℃左右开始碳酸盐分解，然后逐步开始水泥矿物的形成，直至1450℃左右烧成熟料后，又开始冷却。由于这些物理、化学反应要求的温度环境等不同，需要的热量也不同，因之要求水泥窑系统有一定的热力分布制度，这就是所说的窑系统的热工制度，即窑系统热力平衡分布规律。不同类型的水泥窑系统的热工制度不同，这是由于设计条件不同所造成。但对于一种设计条件和生产条件已经定型的窑系统来说，其最佳的热工制度却是大体固定的。因此，就一个工厂、一台窑来说，遵循窑系统的热力平衡分布规律，经常保持最佳的稳定的热工制度，则是组织好窑系统生产的最重要的任务。

对于一个具体的窑系统来说，最佳的稳定的热工制度，也受到燃料燃烧规律和热传递规律的制约。即要求有一个正常的、良好的燃料燃烧条件和热传递条件，来保证一个给定的热工制度。前两者紊乱，必然使热力平衡分布遭到破坏；热力平衡分布遭到破坏，也必然使燃料燃烧和热的传递不能正常进行。它们之间是互相关联，互相制约的。为了保证窑系统的良好燃料燃烧和热传递条件，从而保证窑系统的最佳的稳定的热工制度，在生产中必须做到生料化学成分稳定，生料喂料量稳定、燃料成分(包括热值、煤的细度、油的雾化等)稳定、燃料喂入量稳定和设备运转稳定(包括通风设备)，即“五稳保一稳”。这是水泥窑生产中一条最重要的工艺原则。在新型干法生产中，采用的许多新技术、新装备，如：原料的预均化、生料空气搅拌、X荧光分析仪、电子计算机、电子秤、自动化仪表、自动调节回路以及各种耐热、耐磨、耐火新材料，都是为了这个目的。水泥窑生产，只有做到“五稳保一稳”，才能保证各个技术参数经常处于最佳值，生产经常处于最佳状态，才能取得最佳的经

济效益。否则，不尊重客观规律，忽视科学管理，忽视均衡稳定生产，甚至盲目追求产量，就会人为地造成窑系统热工制度的紊乱，结果只能事与愿违，得不偿失。尤其对于悬浮预热器和预分解窑来说，由于生料与高温气流之间传热快，物料在窑系统内停留时间短，化学反应迅速，故对热工制度的波动更为敏感。热工制度不稳，轻者会打乱正常的生产秩序，严重时则会造成预热器系统的粘结堵塞，甚至威胁设备安全，因此，对此更应特别重视。

第三节 “均衡稳定”是搞好新型干法生产的关键

根据新型干法生产的特点及新型干法水泥窑生产中应遵循的科学规律，可以看出：“均衡稳定”是新型干法水泥生产过程中最为重要的问题，是搞好新型干法生产的关键所在。它不但关系到生产能否正常进行，也直接影响到产品质量、产量、消耗，生产的安全、成本、效益和环境保护工作。

1. “均衡稳定”是提高原料预均化要求

原料预均化的原理是：采用“平铺直取法”，用堆料机把物料按一定方式堆成许多相互平行、上下重叠的料层，取料机取料时则按垂直于料层方向的截面对所有料层切取一定厚度的物料。由于取料中包含了所有各层的物料，所以在取料的同时完成了物料混合均化的过程。堆料层数愈多，取料时同时切取的层数也愈多，混合均匀性就愈好，出料成分也就愈均匀。

但是，物料的均化效果又受到其它许多因素的影响，例如：进料成分波动呈非正态分布，物料离析，料堆端部锥体状部分的影响，堆料机行走速度及来料量不均衡等。这些影响因素产生的原因，虽是多方面的，但大都与生产非均匀稳定有关。如果矿山开采，尤其在利用夹层和低品位原料时，不考虑均匀搭配，就会造成进料成分波动远离正态分布曲线，甚至呈周期性剧烈波动，使原料在沿纵向布料时也产生周期性波动，造成所谓长滞后的影响，从而增大出料的标准偏差。因此矿山开采时一定要注意各品位矿石的合理搭配，特别在利用夹层和低品位矿石时，更应注意“均衡稳定”问题。同样，在堆料机布料时也应重视“均匀稳定”，使料堆中每一料层在每米长度上的物料都保持相同数量。如果堆料机行走速度或进料量不能均匀稳定，也必然造成布料不匀，出现长滞后现象。此外，矿石破碎粒度不均，大颗粒物料过多，亦势必加大物料离析作用，引起料堆横断面上成分的波动，产生所谓短滞后现象。这些也都会降低均化效果。因此，为了提高原料预均化效果，生产中必须十分重视“均衡稳定”问题。

2. “均衡稳定”是实现原料配料和烘干粉磨最优控制的必需

烘干粉磨是将原料烘干和粉磨两个工序在磨机系统同时完成，并日益广泛地利用窑尾预热器废气作为烘干介质，以节约能源。磨机系统一般采用自动调节回路或电子计算机进行自动控制，主要的自动调节系统有：控制原料配料的电子秤—X荧光分析仪—电子计算机系统；利用磨音、提升机负荷及选粉机粗粉量控制磨机负荷调节系统；控制物料烘干过程的温度调节系统等。实现磨机系统生产的最优控制必然要求原料配料，烘干及粉磨三个环节均衡稳定地协调进行，任何环节的波动，必然引起磨机生产的变化，如不及时调整，甚至会造成生产过程的紊乱。例如，当某种原料水份变化特别是有较大变化时，原料配比必然要发生变化，随之要求对烘干用热风的温度或风量进行相应调整；原料水份及配比的变化，又引起易磨性的变化，对磨机的负荷控制也要作出相应的调整。哪一个环节不能随客观变化作出相应的及时

的调整，都会影响正常生产。同样，由于种种原因引起的粉磨过程变化，必然会引起原料粉磨及烘干过程的变化；物料烘干过程的变化，也必然引起磨机负荷控制的变化及各种原料喂入量的相应调整。因此，“均衡稳定”对于磨机系统生产的最优控制也是十分必需的。

3. “均衡稳定”是保持新型干法水泥窑最佳热工制度的关键

“均衡稳定”对新型干法水泥窑的生产最为重要，因为它不仅是气流和物料在悬浮状态下保持良好的热交换的必需，也是保持悬浮预热器及分解炉各部位合理风速的要求。物料在预热器及分解炉系统分布不均，必然影响气、料之间的热交换；燃料分布不均或与物料混合不均，则影响燃料燃烧，气料热交换及分解炉内温度的均匀分布；燃料或生料的化学成分或喂入量的波动，影响废气生成量，致使窑系统各部位的风速发生变化；设备不能稳定运转，甚至故障频繁，生产更难以正常进行。

根据理论分析及生产实践证明，窑系统各部位风速（包括窑内、分解炉及预热器各部位及联接管道等），都有一定的合理范围。风速过大，系统阻力加大并缩短燃料、物料及气流在系统各部位的停留时间；风速过低，影响它们之间的均匀混合，降低传热系数，严重时则影响物料在气流中的悬浮，甚至发生沉降、堵塞。因此，必须充分认识“均衡稳定”在新型干法水泥窑生产中的重要意义，把“五稳保一稳”作为新型干法水泥窑生产中最重要工艺原则。

4. “均衡稳定”是实现生产过程自动化的基础和目的

生产过程自动化是利用各种检测仪表、控制装置、计算机及执行机构等，对生产过程进行自动测量、检验、计算、控制和监测，以保证生产的“均衡稳定”与设备的安全运行，使生产过程经常处于最优状态，达到优质、高效、低消耗的目的。但是，反过来，“均衡稳定”又是实行生产过程自动化的基础，没有“均衡稳定”，生产过程频繁地较大幅度地波动，自动化装置则难以正常工作，自动控制也不能正常进行。例如，某厂采用电子计算机对N—SF窑系统进行自动控制，控制方式分为三种：第一，稳定控制：即窑的生产过程稳定，被控参数处于给定值范围内的正常控制。计算机每分钟进行综合计算一次；第二，回复控制：当生产发生一定波动，被控参数中任何一个超过给定值的上、下限，即进行回复控制，使生产尽快回复到稳定控制状态；第三，修正控制：当窑和分解炉发生较大波动时，计算机则要求操作人员进行修正控制。这时计算机不再进行自动控制，而由操作人员通过修正计算机原来的设定值的办法控制。这样做是为了通过人工干预，由操作人员根据自己的判断，作出必要的调整，使生产更快地恢复正常，恢复“均衡稳定”状态，然后再转用计算机控制。可见，“均衡稳定”与生产过程自动化互为因果，只有实行生产过程的自动控制，才能保证生产的及时灵敏地调节，促进生产的“均衡稳定”；也只有生产的“均衡稳定”才能满足自动化装置的工作条件，为自动化装置的正常使用打下基础。

5. “均衡稳定”是提高收尘设备效率的需要

各种类型的收尘设备都有其具体的设计条件，对气流及物料的性质、入口及排放粉尘的浓度、风量、风速等都有一定的要求。只有在设计条件允许范围内工作，才能使收尘设备经常处于良好工作状态，发挥其应有的收尘效率。生产波动必然会使收尘设备工作状态波动，不仅会降低收尘设备效率，严重时还会影响其安全运转。例如，窑炉系统使用的电除尘器，在燃料不完全燃烧，可燃气体（CO + H₂等）含量超过标准时，如果保安装置灵敏，电除尘器的高压供电系统将会自动跳闸，电除尘器停止工作；如果保安装置失灵，则容易引起燃烧

和爆炸。布袋收尘器在入口粉尘浓度过高,风速过大时,则难以正常工作,气温过高或含有明火时,也会发生燃烧事故,损坏设备。旋风收尘器在风速风量超过设计允许范围时,收尘效率也会降低。可见,“均衡稳定”生产对于提高收尘设备效率和保证收尘设备安全运转同样是十分重要的。

综合上述,为了把新型干法水泥生产切实搞好,我们必须充分认识新型干法生产的特点,不断总结经验,探索和掌握其客观科学规律,把“均衡稳定”做为组织和管理生产中的一个最重要的问题来抓。只有这样,才能充分发挥新型干法生产的优势,充分发挥新工艺、新技术、新装备应有的作用,促进生产不断发展,提高经济效益。

参 考 文 献

- 〔1〕 乔龄山,《国外窑外分解窑的新发展与对我国发展窑外分解窑的几点看法》,建材部技术标准情报研究所,1981年3月。
- 〔2〕 陈全德,《“均衡稳定”是搞好新型干法水泥生产的关键》,《中国建材》1985年第3期。
- 〔3〕 高长明,《矿物原料预均化》,中国建筑工业出版社,1983年。
- 〔4〕 沈曾荣、耿光斗等译,《水泥工艺进展》,中国建筑工业出版社,1983年。

第二章 原料预均化

水泥工业在生产工艺过程中要力求生料质量的均齐，以保证熟料在煅烧时热工制度的稳定和熟料成品的质量优良，这是管理水泥工业生产工艺的技术人员和管理人员所共知的常识。五十年代以及更早的时期，水泥生产偏重于湿法，主要原因就在于料浆易于均化，较易于定量均质地喂入窑内。自从1951年出现旋风预热器以后，悬浮预热和煅烧技术日益发展。为了使熟料煅烧时的热效率由湿法的25~29%提高到新型干法的50%左右，研究生料均化技术也随干法生产的发展而不断深入并得到成功。为了使生料均齐，可以在生料制备过程中的四个环节采取措施，这四个环节是：

第一，矿山采掘原料时，按质量情况搭配使用。

第二，原料（包括石灰质和粘土质原料）在堆场或储库内的均化。

第三，生料在粉磨过程中的均化。

第四，生料粉磨后进入生料储库的均化。

应该指出，水泥生产的整个过程就是一个不断均化的过程，每经过一个过程都会使原料或半成品进一步得到均化。也有人把生料入窑前的一系列制备工作看成是生料均化工作的一条完整链环，上述四个环节就是链环的全部组成。这四个环节中最重要的环节，也就是均化效果最好的第二、第四两个环节。这两个环节占生料全部均化工作量的80%左右，当然第一、第三两个环节也不能忽视。

1977年在联邦德国召开的第二届国际水泥工艺技术会议上，瑞士的霍尔德帮克公司发表了他们在哈待格森（Hardeggen）水泥厂所进行的从矿山开采到熟料烧成为止的数学均化模型的研究情况^[1]。从试验研究结果可以看到，从原料的开采到原料的预均化，再从生料的粉磨和均化，一直到最后的熟料烧成，每个工序都分别使原料、生料和熟料不断地得到均化。研究方法是在每个工序前后按一定的方法取样，检验原料或半成品的石灰饱和系数，比较它们的标准偏差，从而求得该工序的均化效果。图2-1是哈待格森厂的生产流程图和检验取样点。根据此图可知矿山开采搭配均化效果就是钻孔机泥灰岩钻屑试样与预均化堆场入料口泥灰岩采样的比较结果。根据试验和计算，泥灰岩搭配开采均化效果 $e_1 = 1.64$ ，泥灰岩预均化堆场效果 $e_2 = 3$ ，两台生料磨（只喂泥灰岩和反馈自动控制各一台）的均化效果各为 $e_3 = 1.01$ ， $e_4 = 1.57$ ，生料预存库均化效果 $e_5 = 2.11$ ，双层生料均化库均化效果 $e_6 = 5.07$ ，带有预热器的回转窑均化效果 $e_7 = 1.44$ 。霍尔德帮克公司认为这个厂的整个生料制备系统的均化效果是 $e_1 \times e_2 \times e_4 \times e_6 = 20 \sim 82$ ，平均是31。包括熟料在内的总均化效果是 $e_1 \times e_2 \times e_4 \times e_6 \times e_7 = 21 \sim 157$ ，平均是45。由于这个厂采用了泥灰岩预均化堆场，又有生料的预存库和双层均化库，所以熟料成分波动很小（熟料的石灰饱和系数波动值，原文中采用的是KSt，相当于我国通常用的KH值的0.01）。不过从分析结果看，这个厂的预均化堆物，甚至生料均化库的均化效果并不理想，由于均化环节多，综合总均化效果已经满足需要，所以也就没有必要再提高这两个主要环节的均化效果了。从这个厂的例子，可见提高各个环节的工作，均化潜力很大。