

水泥工业设计

4

1985

国家建材局南京水泥工业设计院

目 录

自动控制预加水成球技术及装备.....钱启新 (1)

带预分解炉的干法生产的稳定性.....赵乃仁 (12)

经济效益动态不确定性分析.....徐剑英 (21)

控制水泥粉磨细度和掺加活性混
合材对水泥工业节能的影响.....谢国华 (39)

* * * * *

* 国外资料 *

* * * * *

线性目标规划在电厂混煤问题中的应用.....李维梁译 (50)

TQ1721/2

· 自动控制预加水成球技术及装备

钱启新

我们在国家建材局的直接领导支持下，在有关兄弟单位的大力协助下，在研究分析了大量国内外资料并进行模拟试验的基础上，研究设计了自控预加水成球系统设备，通过试制、试生产，说明该装备技术是先进的，经济效益是显著的。这项新技术与现有一般成球技术相比较，其预期效果如下：

- (一) 湿球强度提高30%，干球强度提高50%；
- (二) 料球炸裂温度提高100~200℃；
- (三) 料球粒度均齐， $\phi 10\sim 15$ 毫米的料球可达80%以上；
- (四) 料球抗冲击负荷可提高30%；
- (五) 料球孔隙率可达32%以上；
- (六) 机立窑产量可提高5%，熟料标号可提高30号以上，熟料可节约3%以上；
- (七) 成球系统无粉尘，可节约收尘设备的全部投资，实现无尘作业文明生产；
- (八) 设备运行可靠。刮刀刮料面积达98%以上。

若全国70%的立窑水泥厂采用该项新技术，则每年可增产水泥322万吨，节煤26万吨，为国家创造财富达2~2.5亿元。

实际情况是：自控预加水成球装备用在丹徒水泥厂（8.8万吨/年）及南通水泥厂（10万吨/年），经过三个多月的试生产，其效果均达到或超过上述预期的技经指标，如熟料标号提高50号以

上。由于用此技术使立窑产量增加、水泥质量提高、电耗、煤耗降低而增益丹徒厂每年为120万元，南通厂每年为80万元。

一、自控预加水成球装备研制的意义

目前，我国立窑水泥厂约有5000个，水泥产量仍占全国年总产量的70%。立窑厂在相当长一段时期还有存在的必要，国家计委要求在“七·五”期间将数百台普通立窑改为机立窑。个别地区由于石灰石资源等问题暂时还不具备建设大、中型水泥厂的条件，也仍将发展立窑生产来满足地方工农业建设的要求。随着国民经济的持续发展，不仅水泥需求量不断增加，同时对水泥的质量要求也提高了。当前325#水泥在某些地区已开始滞消。

要提高立窑水泥的质量及工厂的经济效益，必须解决影响质量重要因素之一的生料成球质量差的问题，因为料球质量的优、劣直接影响窑内通风及煅烧的好坏。

我国生料成球技术从五十年代到八十年代初一直沿用成球盘上加水的成球法，设备基本上都是采用五十年代末六十年代初的设计图纸制造的，设计本身存在不足之处，复盖法下料破坏成球机理，对盘底及盘边粘结料没有理想的清理装置，设备制造质量也很差等原因致使料球质量远远不能满足立窑煅烧工艺的要求，严重影响熟料质量。为此，研制先进的成球系统装备已是刻不容缓的工作了。我们就是本着这一精神，在短短的九个月（84年10月~85年7月）内完成调查、研究、设计并配合兄弟单位试制、安装、试运转整个过程的任务。

二、自控预加水成球装置的特点

(一) 加预湿搅拌设备

生料粉进入成球机前先经过搅拌机，在此给予一定比例的喷雾水使其湿润，并得到均匀搅拌，从而成为球核。由于球核在进成球盘前已经形成，故扩大了成球盘的成球区及停留区，这样就提高了料球的质量。这从分析成球过程可以说明这一问题。

1. 一般成球法（即目前使用的方法）

此法为在成球盘上加干料粉又同时加水（喷水、淋水）称之为滴水法。其成球过程有三个阶段。（1）基础 球核形成阶段：粉状物料进入成球盘中，被喷入的水滴湿润，这样，在干粉料中产生了许多湿润的小粒子，由于盘的旋转，使这些小粒子和其相邻的潮湿的粉粒子和干粉粘在一起形成基础小球即球核。（2）球核增长阶段：球核在盘中由上而下的运动，表面的水膜以及物料的粘结性，使球核逐渐增大，或者两个球核合并为一个小球，如果这些小球表面有足够的水份，则可以在滚动中再不断粘附新的粉粒子而继续长大。如果水份不够，则可以再喷水去粘附新的干粉粒子，使球体继续增大。（3）完成阶段：在成球机的各项参数（如盘的倾角、盘高、水份等）已定的条件下，由第（2）阶段已增大的球就离开盘底按螺旋线规律运动，在盘中不断滚动，这时球内的水份被不断地排挤出表面，并被自然蒸发，因此料球达到一定的坚实度，有一定的强度，然后被倾斜的盘体转动而排出机外。

2. 预加水成球法

预加水成球法是在搅拌机内喷雾湿润料粉并经搅拌形成非常均匀的球核，球核进入成球盘后立即成为母球，在成球盘内也就不存在一

一般成球法的第一阶段了。也由于这个原因，这种成球盘比一般成球法同规格的成球盘的能力提高20~30%。

一般成球法与预加水成球法在成球盘上的成球过程见图1、图2。

由图1可以看出，一般成球法是在球核形成后由γ区进入β区形成母球，其循环轨道比较窄，实际上在γ区域内已形成的母球在β区基本上不变而进入停留区。

预加水成球法是全盘成球法，由图2可以看出母球形成区相当窄，而成球区及停留区比较宽，因此料球在盘内滚动的时间长，料球滚动的次数多、行程远，故料球均匀而又圆滑，强度也高，大大提高了料球的质量。此外，预加水成球法在盘上没有干粉，因而可避免一般成球法产生的包壳粉料球的不利因素，孔隙率可以得到保证。由于预加水，也就解决了一般成球法成球时粉尘飞扬的问题。

(一) 自动控制物料和水份

自控预加水成球技术的成败与否不仅是装备本身的设计是否先进合理，还必须有合理的工艺条件来满足该系统的要求，其中最要者为来料稳定，计量准确；水量、水压有足够的保证；能及时调整料、水量。为此，设置了自动控制系统，以确保料球质量。

(二) 对成球盘作了较大的改进

1. 成球盘的边高可以调整

考虑到各地区水泥厂的原料情况不同，生产条件不一，有的厂还采用复合矿化剂，故对成球盘的生产能力要求可在一定范围内变化。

由有关资料推荐成球盘生产能力的计算公式：

$$Q = \frac{H \cdot U}{\rho_B R_T}$$

式中：

H——盘高

R_T ——物料在盘内的停留时间

可以看出，当要求成出的料球粒径及强度相同即物料在盘内的停留时间相同时，那么，生产能力 Q 是随着盘高 H 的变化而变化的。盘高可以调整，盘的倾角及盘的转速也可以变化，这样，就更为灵活了。调试中的盘高可参考下列公式计算。但在我们这次调试后认为，以公式(2)比较符合全黑生料的要求。

$$(1) H = 0.1 D^2 \text{ 米}$$

$$(2) H = 0.2 D \text{ 米}$$

式中：

D——成球盘的直径

2. 设置电动底刮刀及电动边刮刀

一般成球盘上采用固定刮刀，它不能全盘刮到，其阻力也大，还对成球有破坏作用。本装备采用回转式电动底刮刀及边刮刀，其作用是清理盘底、盘边的粘结料，使整个盘底基本上处于平整适合料球滚落的理想平面状态，以利全盘成球。

(1) 电动回转式底刮刀

能否对盘底的复盖面上的每个部位都能刮到是决定设计电动回转式底刮刀是否有优越性的主要条件。如何判断设计的刮刀参数有刮全性能且阻力不大？在研制时只能用两种方法来说明。一种是由轨迹方程通过电算法算出轨迹，但此法不直观。另一种是用作图法描绘轨迹，比较直观。刮刀在重复周期内的轨迹密度越大，则刮全性能越好。

用反转法使成球盘静止不动，而刮刀支架以角速度 ω_2 逆向转动，刮刀相对支架的角速度仍为 ω_1 （见图3），此时在 t 时间内刮刀相对它的支架角位移为 $\vartheta = \omega_1 \cdot t$ ；支架相对成球盘的角位移 $\vartheta_2 = \omega_2 \cdot t$ 。因此，当 ω_1 及 ω_2 确定之后在某一时间 t 刮刀刀刃M点和支架的角位移 ϑ_1 、 ϑ_2 值也已确定，即M点在盘上的位置可以绘出。当 t 连续变化时，则可绘出刮刀刀刃在盘面上的全部轨迹。

我们在 $\phi 3.6$ 米、 $\phi 3.2$ 米、 $\phi 2.8$ 米、 $\phi 4$ 米成球盘的技术设计中选择了一系列的参数，所得轨迹各不相同，针对若干轨迹图象进行分析比较，认为如图4所示更为合适。由于设计参数取值是固定的，而实际参数是变化的，例如大盘的转速根据不同的物料和不同的成球要求（如粒径、产量等）而变化，另外，刮刀盘的设计参数是固定的，但也有可变的或时变的因素，从图象上看到的轨迹为一条线，实际上设计的刀刃是 $\phi 25 \sim \phi 30$ 毫米的圆柱状，它运转起来的轨迹是一个面，故所刮到的面积远远大于理论上的轨迹——线。时变因素是外界的影响，如电压的波动、刮刀阻力的变化均能使参数发生时变。所以可以得出结论：刮刀的实际轨迹是不会重复的。这为刮刀的刮全性能创造了有利条件。试运转也证明了刮刀实际的轨迹比理论的轨迹要好得多。1号和2号刮刀盘（共10个刀刃）的各项参数都达到了预期的设计效果。

(2) 电动回转式边刮刀

边刮刀亦为回转式，它比上下移动式结构简单，制造容易。

边刮刀与盘壁接触一次所刮去的粘结料的长度（弧长）、刮刀数、刮全周期均可计算出来。刮刀盘的直径可根据成球机的各项参数去选取，如果选值过大，则对盘面占用面积过大，功率消耗也大，选值过

小影响刮全的效果。通过作轨迹计算选定较为理想，我们选用 $\phi 300$ 毫米的刮刀盘（共12个刀刃）。圆盘上同一高度内的刀刃数多少合适？数量多对刮全有好处，但结构复杂，生产过程中会产生卡料现象，母球会被破碎，还增加阻力，在保证刮料效果最佳的前提下尽量取少数，一般1~2个刀刃即可满足刮料要求。

3. 改进成球盘盘底结构型式

一般的成球盘盘底均未作任何处理，都是直接在钢板面上成球。它给人们的一个概念：就是将盘底刮得越光越好。但实际上并非十分正确。

从成球机理来说，并不是要求盘底越光越好，而是要求盘底平整且粗糙。因为料球在运动过程中，希望球由上而下沿着倾斜的盘面滚落，而不是滑落更不应该在高低不平的面上滑落。只有通过多次滚落才能得到良好的成球效果。预加水成球的特点是全盘成球，来料为经过润湿搅拌的球核，应在盘面上很快成为母球，并在盘速及其它参数不变的情况下，球核、母球、料球全面散开在整个盘面上，且为明显整齐的排列。要达此目的，盘底面要有足够的摩擦力，才能使料球按要求的轨迹运动，并使料球实实在在地滚动走完它的路程达到出球标准。假定有一部分料球边滑落边滚落或遇到底盘上的粘料跳跃过去，这种料球的质量肯定不好。

为使盘底面有足够的摩擦力，采取在盘底平面上加焊钢板网的措施（见图5）。在生产过程中，物料会很密实地嵌入钢板网内。刮刀刀刃头与钢板网离开少许距离，在成球过程中刮刀将始终与料层组成的假底面贴紧并不断刮平，此时的盘底面被认为是既平整又粗糙的理想底平面。凡是由于制造精度出现的盘底平面的不平度，以及在制造

运输、安装过程中造成的盘与轴的不垂直度，底刮刀与盘底面的不垂直度等误差都会因为有了理想的盘底平面使其基本上得到纠正。

实践证明，这种底盘结构型式的效果是理想的。但带来的问题是刮刀杆紧贴料层假底面，刀刃磨损较快，料层假底面的厚度随刀刃的磨损而加厚，因此，刮刀（杆）的耐磨问题一定要解决好。其办法较多，可采用硬质合金焊条堆焊或焊接硬质合金刀片均可。

4. 检修方便

在总体方案设计中针对日本、西德以及国内已有的成球设备进行分析比较，吸取先进技术并结合国情，除着重考虑有利于完球、制造、安装、运输及调整外，还特别注重了检修问题，我们将机架与刮刀架设计为一整体，盘与刮刀架可用绕机座轴承转动，能使整个盘面及三把刮刀一道仰起几乎达到水平位置，以利于检修。

5. 设置集中润滑站

由于设备的润滑点比旧式成球盘多，且设备的高度大，特别是对 $\phi 3 \cdot 2$ 米以上成球盘的刮刀轴承加油比较困难，因此，采用手动干油集中润滑站使操作方便，确保设备的正常运行。

三、自控预加水成球系统的工艺流程及主要设备的技术性能

(一) 工艺流程（见图6）

(二) 主要设备的技术性能

1. $\phi 3 \cdot 2$ 米、 $\phi 3 \cdot 6$ 米成球盘（见图7、表一）

表一

序号	名称	单位	技术性能	
1	成球机直径	毫米	3600	3200
2	成球机盘高	"	450~700	400~650
3	盘倾角		45°~55°	45°~55°
4	转速	转/分	9, 10, 11, 12	10, 11, 12, 13
5	生产能力	吨/时	18~22	14~18
6	底刮刀数	组	2×5	2×5
7	底刮刀功率	千瓦	1.1	1.1
8	边刮刀数	组	1×12	1×12
9	边刮刀功率	千瓦	1.1	1.1
10	主电动机功率	"	18.5	15
11	主减速机		NGW— BL—J—62	NGW—BL—J—52
12	干油润滑站		SGZ—8	SGZ—8
13	设备安装总功率		21.8	18.3
14	设备总重	吨	~7	~6
15	检修倾角		15°~20°	20°~25°

2. $\phi 450 \times 3260$ 双轴搅拌机 (见表二)

表二

序号	名称	单位	技术性能
1	长度(进、出口距)	毫米	3260
2	叶片直径	"	$\phi 450$
3	叶片形式		浆叶式
4	叶片角度(可调)		$12^{\circ} \sim 10^{\circ}$
5	减速机		2Q35—25—II
6	转速(可调)	转/分	40、48.5
7	电动机功率	千瓦	1.1
8	生产能力	吨/时	22(48转/分)
9	设备总重	吨	~ 1.5

3. 双管螺旋喂料机(见表三)

表三

序号	名称	单位	技术性能
1	规格	毫米	$\phi 200 \times 2000$
2	最大喂料能力	米 ³ /时	23
3	转速(可调)	转/分	7.5~75
4	电动机功率	千瓦	5.5
5	电动机型号		JZT42—4
6	减速机		ZL35—10—II
7	设备总重	吨	~ 1.4

44 自控预加水成球装备的系列化设计（见表四）

在已完成 $\phi 3.2$ 米成球机系统设备的基础上还完成了以下规格的设计，作为该装备的系列设计。 $\phi 4$ 米成球机为立波尔窑配套用。

表四

序号	规格名称	$\phi 2.8$ 米	$\phi 3.2$ 米	$\phi 3.6$ 米	$\phi 4$ 米
1	成球机直径	$\phi 2800$ 毫米	$\phi 3200$ 毫米	$\phi 3600$ 毫米	$\phi 4000$ 毫米
2	生产能力	10—14 吨/时	14—18 吨/时	18—22 吨/时	22—26 吨/时
3	主机功率	11千瓦	15千瓦	18.5千瓦	22千瓦

自控预加水成球装备已经试生产三个多月，即将（11月中旬）

组织鉴定，之后，再完成正式制造图供批量生产。

带预分解炉的干法生产的稳定性

赵乃仁

带预分解炉的大型干法生产要求有很好的稳定性，除了烧成系统要求很好的稳定煅烧外，还有入窑喂料的化学成份必须保证一定的标准偏差值。根据使用原料成份的波动情况相应选用各种预均化堆场和生料均化库，并采用质量控制系统来自动调节和控制入磨原料配比，以保证入窑喂料化学成份达到要求。

这些大型窑在实际生产中的稳定性达到何等程度？我们在考察T水泥厂和S水泥厂时根据当时的记录报表作了一些分析。

一、生料的预均化和均化效果

两厂均装备有较完善的预均化和均化系统，预均化堆场中配置有端部取料的桥式刮板取料机，均化库则为控制料流的CF库。两厂不同之处T厂是采用了混合预均化，喂入磨的原料比例为石灰石和粘土的混合料占56~79%，纯石灰石占16.5~39.5%，砂岩2.8~8.2%，铁矿石0.7~1.9%。S厂为分别预均化，原料为石灰石、页岩和铁矿石。

T厂预均化和均化的实际效果列于表一、二。

表一、#5窑系统生料各阶段的平均成份和
标准偏差S·D·(%)

		CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	LSF	SM	AM
预均化	平均	42.44	14.14	4.96	1.77	—	—	—
堆场后	S·D·	1.08	1.36	0.37	0.21	—	—	—
入磨成	平均	43.09	14.15	3.80	2.15	94.69	2.38	1.77
份	S·D·	—	—	—	—	7.08	0.745	0.159
出磨成	平均	43.08	14.15	3.80	2.16	95.06	2.38	1.77
份	S·D·	0.65	0.81	0.22	0.20	7.23	0.08	0.16
入窑成	平均	43.25	13.90	3.84	2.11	96.52	2.34	1.82
份	S·D·	0.17	0.14	0.04	0.02	1.17	0.02	0.02

表二、#6窑系统生料各阶段的平均成份和
标准偏差S·D·(%)

		CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	LSF	SM	AM
预均化	平均	41.98	14.47	5.05	2.08			
堆场后	S·D·	0.46	0.63	0.14	0.15			
入磨喂	平均	42.96	14.04	4.05	2.13	94.46	2.27	1.90
料	S·D·					5.837	0.069	0.34
出磨成	平均	42.96	14.04	4.05	2.13	94.77	2.27	1.95
份	S·D·	0.63	0.74	0.18	0.34	5.96	0.07	0.35
入窑成	平均	42.89	14.15	4.16	2.18	93.31	2.23	1.91
份	S·D·	0.13	0.12	0.05	0.06	0.98	0.02	0.06

表三、S厂#2窑生料各阶段的平均成份和
标准偏差S·D·(%)

		CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	LSF	SM	AM
入磨喂料	平均	43.71	13.34	3.06	2.06	103.4	2.61	1.46
	S·D·							
出磨成份	平均	43.71	13.26	3.02	2.03	104.8	2.65	1.50
	S·D·	0.74	0.77	0.33	0.31	9.08	0.23	0.10
入窑成份	平均	43.70	13.34	3.03	2.04	103.4	2.63	1.48
	S·D·	0.09	0.12	0.04	0.06	1.12	0.03	0.03

表中：

LSF：石灰石饱和系数

$$LSF = \frac{100 \text{ CaO}}{2.8 \text{ SiO}_2 + 1.65 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0.35 \text{ Fe}_2\text{O}_3}$$

SM：硅氧率

$$SM = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

SD：标准偏差 *Standard deviation*

按照下式计算标准偏差和依据分析误差进行校正：

$$S_{\text{CaO}} = \sqrt{S_t^2 - \frac{1}{2} S_a}$$

$$S_t = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}}$$

$$S_a = \sqrt{\frac{\sum (x_{i_1} - x_{i_2})^2}{2n}}$$

式中： n ：试样数目（ x_1, x_2, \dots, x_n ）。

x_{i_1} 和 x_{i_2} ：试样 i 的同样两次试验结果。

\bar{x} ：原料中 CaO 含量的平均值%。

\bar{x}_i ：试样 i 的同样两次试验的平均值。

S_t ：按照分析误差的 CaO 成份的标准偏差。

S_a ：原料中 CaO % 的分析确定的标准偏差。

表一、二中预均化堆场以后的成份是指石灰石和粘土混合均化后出预均化堆场的成份，从表一、二中可以看到通过预均化堆场后氧化钙的标准偏差可达 1 左右，从厂方介绍来看，即使具有完善的生料 X 射线荧光分析可以获得各化学成份，但是首先也仍然是重视对氧化钙成份的控制。

该厂的生料粉磨采用球磨系统，根据进、出料成份的分析可以看到粉磨过程没有明显的均化作用。

根据入窑成份和出磨成份的标准偏差对比就可以看出控制料流的连续均化 C F 库的均化效果，以 H_{CaO} 表示氧化钙的均化率， H_{LSF} 。

表四、均化库的均化率 H

		H_{CaO}	S_{CaO}	H_{LSF}
T 厂	# 5 窑	3.82	0.17	6.18
	# 6 窑	4.84	0.13	6.08
S 厂		8.2	0.09	8.10