

水泥科技

□
2019

SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CEMENT

善用资源 服务建设



主办单位：

合肥水泥研究设计院有限公司

Email: snkj@hcrdi.com

水泥科技

(季刊 1988年创刊)

2019年第1期

主办单位:

合肥水泥研究设计院有限公司

编委会

名誉主任: 周云峰

主任: 包 玮

副主任: 朱大来、丁奇生

主 编: 陆树标

委 员: (按姓氏笔划排序)

王仕群 王学敏 毛志伟 邓小林

朱文兵 许 涛 邱文斗 何宏涛

张平洪 张自力 陆树标 武青山

林红星 周 啸 郑 青 侯贵斌

施德祥 姚 强 熊焰来

本期编辑: 解姗姗 胡春静

编辑出版: 《水泥科技》编辑部

地 址: 合肥市望江东路60号

邮 编: 230051

编辑部电话: (0551) 63439575

广告部电话: (0551) 63439575

传 真: (0551) 63439575

网 址: <http://snkj.hcrdi.com>

投稿邮箱: snkj@hcrdi.com

目次

| | |
|------------------------|---------------|
| 基于数值模拟的预分解系统开发研究 | 崔洪坤 李洋/1 |
| 辊压机柱钉辊面失效及受力分析 | 黄贺/9 |
| 新型金属基陶瓷复合耐磨材料的试制 | 谢志勇 刘小磐 许涛/16 |
| 浅谈hrm立式磨半终粉磨系统改造经验 | 刘福永/26 |
| 高压辊磨机柱钉辊面的受力分析和应用 | 陈代彦 许鹏云 高霖/37 |
| 一种基于传感器集成控制的一氧化碳含量检测装置 | 李林桃/44 |
| 水泥生产协同处理生活垃圾技术进展 | 段圆圆 施德祥/49 |
| 改性玄武岩纤维滤料耐温性能研究 | 童庆 王浩明/58 |
| 生物纳膜源头抑尘技术在水泥行业中的应用前景 | 李联康/62 |
| 浅谈招聘与培训在企业人力资源管理中的重要性 | 马宏瑞/67 |

基于数值模拟的预分解系统研究开发

崔洪坤 李洋

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

1 引言

近年来我国水泥工业取得了较大的发展,但在热耗、电耗、污染物排放等方面同国际先进水平仍存在一定差距,有很大的潜力可挖。预分解系统是实现节能、降耗、减少污染物排放的关键设备,因此开展预分解系统的研究不仅能促进我国水泥技术的发展,增强我国水泥技术的国际竞争力,而且对实现我国水泥工业节能、降耗、清洁生产发展目标也具有重要的现实意义。

本项目以 5000t/d 预分解系统为研究对象,来源于国家科技部“十一五”科技支撑计划重大项目:“绿色制造工艺与装备”的“高性能水泥绿色制造工艺和装备”课题及后续研究。结合流体动力学基本原理,采用 Fluent 软件模拟旋风筒、分解炉内的气流速度场、温度场、颗粒浓度场及气体组分场等分布状况,对了解和掌握煤粉在分解炉炉内燃烧过程及其规律,为水泥工业热工设备的设计、燃烧装置的正常运行和控制燃烧过程提供理论基础和实践指导意义。由于篇幅限制,本文仅以分解炉(含鹅颈管)部分为代表介绍数值模拟在设备开发研究中的应用。对项目研究成果——HF5000 高效预分解系统在示范线上的使用情况做以阐述。

2 5000t/d 分解炉的数值模拟

分解炉是预分解窑的关键设备,具有燃料燃烧,气固换热和碳酸盐分解等多种功能。是一个非常复杂的气固反应器、换热器、输送器。必须使风、煤、料在炉内混合分布均匀,煤粉才能迅速燃烧,从而使放出的热量及时被生料吸收用于 CaCO_3 分解。所以清楚地了解和分析炉内物料运动、煤粉燃烧与碳酸钙分解,对优化分解炉内燃烧过程、提高生料分解率,进而研究其结构优化具有重要的理论价值与实际意义。

2.1 分解炉的模型建立

该部分由炉体、炉腔及上下锥体、鹅颈管组成。在下锥体左侧部三次风旋转进入分解炉，三次风管边部及对面各设有一燃料喷嘴，在下锥体上部两侧设有物料喂入装置。其几何模型与实体结构如图 1(a)、(b)所示，其几何尺寸如表 1。

表 1 分解炉有效尺寸

| 项目 | | 规格尺寸 (D×L) |
|-----|----|------------|
| 分解炉 | 型式 | 在线喷腾 |
| | 主体 | ∅ 7.0x30 |
| | 管道 | ∅ 5.1x42.8 |

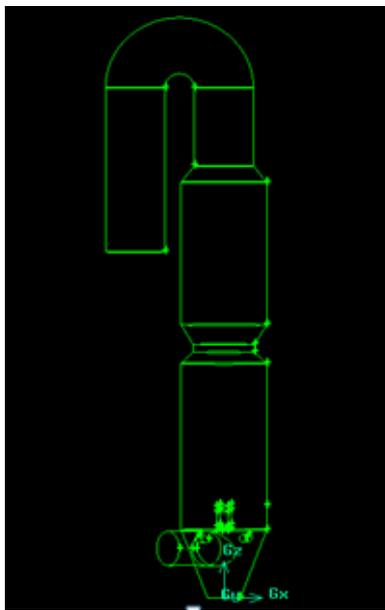


图 1(a) 分解炉的几何模型

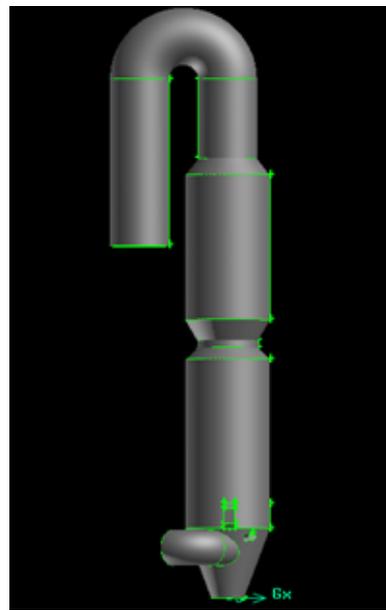


图 1(b) 分解炉的实体模型

2.2 计算区域与网格的生成

网格的生成在流场数值模拟中属于前处理过程。模型的网格划分是进行数值计算的前提，也是关键的一步。网格质量的好坏，不仅仅会影响计算结果的精度，对模拟结果与真实情况的吻合程度也有较大影响。针对预分解系统的结构特点，本项目在研究过程中在划分网格时，采用 T-Grid 网格技术方法生成网格，如图 2 所示。

2.3 数学模型

假设分解炉内流体的流动为稳态湍流流动，窑尾烟气入口处与三次风进口处初始速度皆为均匀分布，颗粒间相互碰撞仅考虑重力和阻力。气体流动采用重整

化群 (RNG) 的 $k-\varepsilon$ 模型, 燃料燃烧及碳酸钙分解采用有限速率/涡耗散模型, 辐射传热模型采用 DO 模型。其三维流动的控制方程可写成如下统一形式:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u \phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v \phi) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w \phi) = \frac{\partial}{\partial x}(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial z}) + S_\phi + S_{p\phi} \quad (2-1)$$

方程中 ϕ 分别代表速度 u, v, w 、湍流动能 k 、湍流动能耗散率 ε 、焓 h 及各组分的质量分数 Y , 当 $\phi=1$ 时为连续性方程, S_ϕ 是由气相引起的源项或汇项, $S_{p\phi}$ 是由固体颗粒引起的源项。

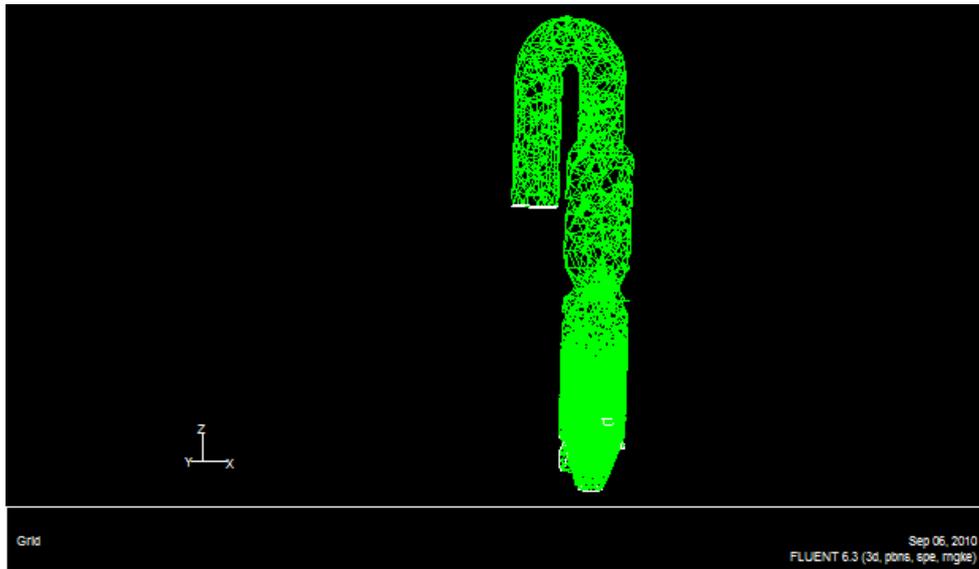


图 2 分解炉的网格划分

燃料颗粒作为离散相, 在拉格朗日 (Lagrangian) 坐标系中描述, 同时考虑它与气相之间的质量、动量和能量交换作用。颗粒的运动方程可表示为:

$$\frac{du_p}{dt} = F_D + g_x(\rho_p - \rho) + F_x \quad (2-2)$$

方程(2-2)的右边依次为气相阻力、重力 (包括浮力) 和其他作用力。

燃烧颗粒的能量方程为:

$$m_p c_p \frac{dT_p}{dt} = hA(T_\infty - T_p) + A_p \varepsilon_p \sigma (\theta_R^4 - T_p^4) + \frac{dm_p}{dt} h_{fg} - f_h \frac{dm_p}{dt} H_{\text{reac}} \quad (2-3)$$

式中, 右边依次为对流传热、辐射传热、热解挥发分析出热和反应放热; 其中 m_p 为颗粒的质量, c_p 为颗粒的比热, T_p 为颗粒的温度, h 为对流换热系数, A_p 为颗粒表面积, T_∞ 为气相温度, ε_p 为颗粒的发射率, σ 为波尔兹曼常数, θ_R 为辐

射温度, $(I/4\sigma)^{1/4}$, (I 是辐射强度), h_{fg} 为汽化潜热, f_h 份额常数, H_{reac} 为表面反应释放的热量。

2.4 初始、边界条件及计算方法

为了使流动过程与方程组能够用数值方法求解, 必须给定相应的边界条件和初始条件, 并且初始条件和边界条件给定合理与否将直接影响方程组解的收敛性和正确性。

分解炉各入口边界与出口边界条件见表 2, 固体壁面边界采用标准壁面函数, 无滑移边界, 壁面粗糙度为 0.5。煤粉(取自示范线)的成分分析见表 3。

对于所有相的控制方程采用控制容积法进行离散, 离散方程组的速度与压力的耦合采用 SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation 即半隐式压力相关方程解法) 算法, 该方法优点是可以直接求出压力场和速度场, 收敛性好。所有方程都采用二阶迎风差分格式, 低松弛算法联合求解。收敛标准能量耗散项为 10^{-6} , 其他各项为 10^{-3} 。

表 2 分解炉计算的边界条件和初始条件

| | | | | | |
|-------|-----------------------------|--------|-------|---------|-------|
| 三次风入口 | 温度 (°C) | 1020 | 窑气入口 | 温度 (°C) | 1150 |
| | 风速 m/s | 22 | | 风速 m/s | 30 |
| 送煤风入口 | 温度 (°C) | 30 | 鹅颈管出口 | 温度 (°C) | 890 |
| | 煤风量(Nm ³ /kg.cl) | 0.0517 | | 压力 (Pa) | -1200 |

表 3 煤样的工业分析和元素分析

| 样品名称 | 工业分析/% | | | | 元素分析/% | | | | |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| | M _{ad} | A _{ad} | V _{ad} | FC _{ad} | C _{ad} | H _{ad} | O _{ad} | N _{ad} | S _{t,ad} |
| 煤样 | 3.68 | 26.86 | 28.58 | 40.88 | 53.08 | 3.10 | 11.17 | 0.54 | 0.47 |

2.5 数值模拟结果分析

通过上面的建模、网格划分、定义边界条件和计算, 可以得出分解炉内的速度场、温度场、气体组分分布、颗粒运动轨迹等信息。如图 3、4、5 为分解炉 $Y=0$ 的截面上速度分布填充图、温度填充图、气体质量分数分布图, 图 6 给出了分解炉内颗粒运动轨迹图。

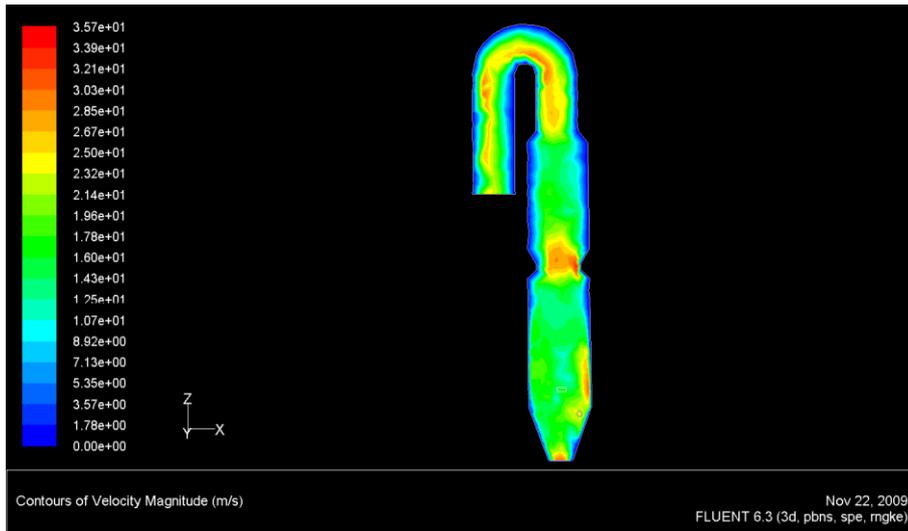


图 3 Y=0 截面上速度分布填充图

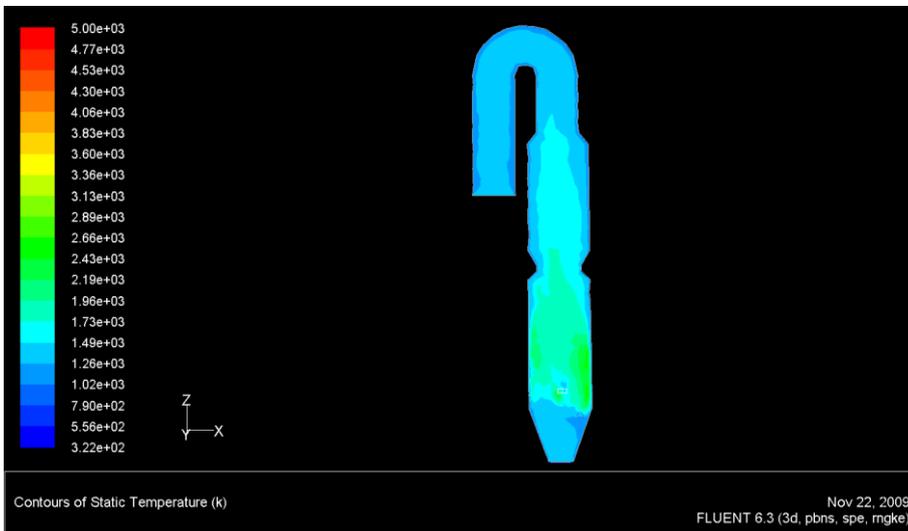


图 4 Y=0 平面的温度填充图

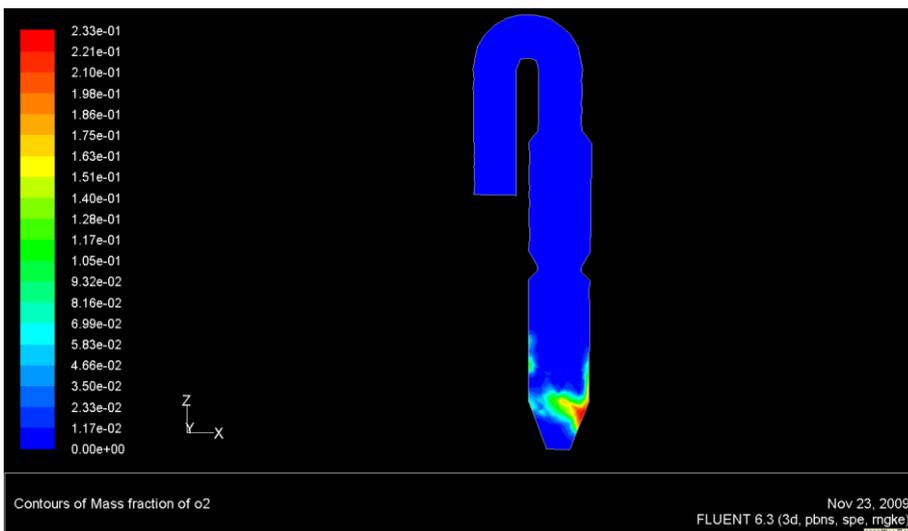


图 5 Y=0 平面的 O₂ 质量分数分布填充图

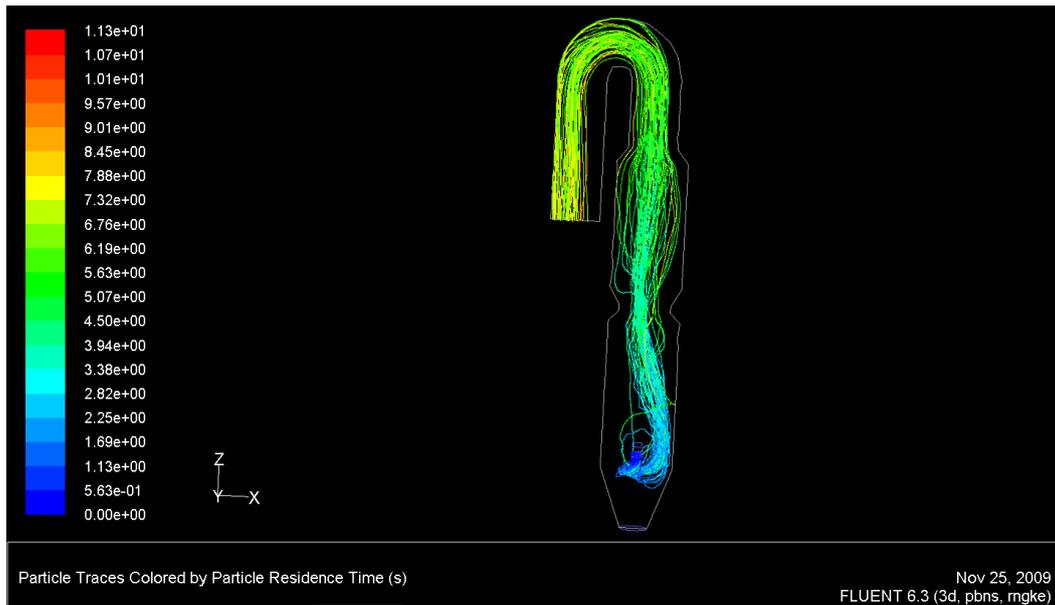


图 6 分解炉内颗粒运动轨迹图

通过对分解炉数值模拟的研究应用，全面分析了分解炉内部的气固两相流场，对模拟结果进行了详细分析计算，为进一步研究提供了依据。从数值计算结果可以发现：

1、速度分布可以看出，窑气从窑内喷腾而入，具有明显的喷射流特征，三次风切向而入与喷射而入的窑气在窑炉锥体部形成叠加的强流场。在三次风入口处有强的旋流运动，且靠近三次风管一面比另一面有强的速度场。由于三次风的作用在靠近分解炉的锥体处出现负的速度分布，说明有下降气流出现，即有环状立涡，这些速度的变化将都有利于增加物料停留时间、提高换热效率和碳酸盐的分解率，增加分解炉容积利用率；

2、从运动轨迹模拟看出符合旋流喷腾的设计要求；

3、通过温度分布看出分解炉内温度区域分布均匀合理，在下锥体部分有局部高温利于燃料的及时燃烧，炉膛温度分布符合喷旋分解炉燃烧的规律；

4、通过气体组分模拟结果可发现，三次风、煤粉的进入点的布置合理，三次风进入方式符合要求，分解炉内的燃烧非常完全。

3 示范线运行情况

通过数值模拟与实际相结合的方法，圆满完成子课题设计要求，取得了

水泥科技 STC

丰硕成果——HF5000 高效预分解系统经在宝鸡市众喜金陵河水泥有限公司使用，运行良好。经国家建筑材料工业水泥能效环保评价检验检测中心标定，主要运行指标如下：烧成系统熟料产量 5816t/d，烧成热耗 2939.77Kj/kg-cl，1#筒出口温度 280℃；三次风温度 1080℃，出冷却机熟料温度 93℃，冷却机热回收效率 76.18%，单位熟料冷却风量 1.8238Nm³/kg-cl；燃烧器一次风量 7%，火焰热力强度高，调节灵活，对煤质的适应能力强。表 4、5 分别给出了国内 5000t/d 生产线运行指标（平均）、新型干法生产线生产水平比较。通过以上参数比较可以看出该系统各项技术指标均居国内同类型生产线领先水平。图 7 为示范线中央控制系统。



图 7 宝鸡市众喜金陵河水泥有限公司中央控制系统

表 4 国内 5000t/d 生产线运行指标（平均）

| 熟料烧成热耗 (KJ/kg-cl) | C1 出口风温 (℃) | 三次风温 (℃) | 冷却机出料温度 (℃) | 冷却机冷却风量 (Nm ³ /kg-cl) |
|----------------------|----------------|-------------|----------------|-------------------------------------|
| 3160 | 330 | 955 | 162 | 2.1 |

表 5 新型干法生产线生产水平比较

| 项目 | 国际水平 | | 国内水平 | |
|--------------|------|------|------|-----------|
| | 先进水平 | 一般水平 | 先进水平 | 一般水平 |
| 熟料烧成热耗 kJ/kg | 2842 | 2970 | 2970 | 3344~3762 |
| 熟料强度 | 70 | 65 | 62 | 58 |
| 窑系统年运转率% | 95 | 85 | 90 | 80 |

4 总结与展望

本课题利用计算流体动力学 CFD 商业软件 FLUENT 对预分解系统进行了数值模拟研究。在深入了解预分解系统结构及各单体结构的基础上，模拟研究了多种情况下的气相流场、颗粒运动轨迹、温度分布、气体组分等性能，与生产实际相结合，对设备的开发研究、优化设计起到了很好的预判和直观的指导作用。通过示范线的运行情况也证明了该科研方法的合理性、科学性和先进性。

虽然本次取得了良好的成绩，但如何进一步发挥数值模拟对生产实际的作用还有很长的路要走。迄今为止，由于预热系统内部流场及粒子运动的复杂性，人们尚未对预热器旋风筒的研究形成完整的理论，更不能从理论上建立一套完整成熟的通用数学模型，因此还需要在今后的理论研究及工程实践中不断地积累经验，提高模拟精度，以更好的指导工程实践，进一步提高我院设备水平。

参考文献：

- [1]叶旭初，胡道和.CFD 技术与工程应用.中国水泥，2003，(2):29~32
- [2]李祥东.分解炉内燃烧与分解的 CFD 技术应用研究.[硕士学位论文].南京:南京工业大学，2003
- [3]尹晔东，等.计算流体力学 CFD 在化学工程中的应用.石化技术 2000,7(:3)166 — 169
- [4]Fluent 用户帮助手册.Fluent 公司.2008
- [5]黄来，陆继东，任合斌，等.旋喷结合分解炉内流场的数值模拟.燃烧科学与技术，2003，9(:3) 274 — 279

辊压机柱钉辊辊面失效及受力分析

黄 贺

(中建材(合肥)粉体科技装备有限公司, 安徽 合肥 230051)

0 引言

目前辊压机在行业中已经得到了广泛的推广和应用^[1], 它的应用, 一方面降低系统整体的电耗, 另一方面也提高了产品产量, 在综合成本上得到降低, 为相关企业带来很大的经济效益。但辊压机辊面磨损和修复问题经常影响正常生产, 为提高辊压机的运转周期和辊面寿命, 进一步降低生产成本, 很多企业纷纷推出“冷镶柱钉”的超高耐磨辊套^[2], 在辊套表面按一定排布规律, 加工一定直径和深度的孔, 不少厂家在柱钉和孔的配合上采用间隙配合方式, 方便安装和拆卸维护, 通过利用固持剂将柱钉和孔进行连接, 挤压工作时物料在辊面上和柱钉间隙间形成一层密实的物料垫, 起到缓冲作用, 能够有效的吸收辊面承载的压力, 如图 1 所示, 并且在料垫的作用下, 挤压物料的拉入角得到优化^[3]。

然而, 在实际的生产中, 存在诸多不确定性, 柱钉辊面承受着巨大的交变压力和切向力等, 受力情况非常复杂, 柱钉辊面的磨损及失效现象经常发生, 如何提高柱钉辊面的耐磨性和可靠性已成为亟待解决的一大难题, 本文通过对部分现象进行分析讨论, 提出改进建议。

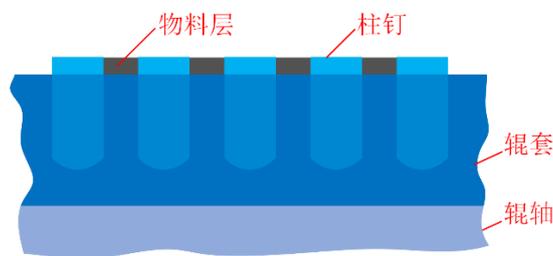


图 1 柱钉辊结构示意图

1 柱钉辊面失效形式介绍

1.1 柱钉及辊面受力形式

柱钉及辊面受力如图 2 所示, 柱钉所受力主要位于其端部, 来自挤压物料产生

的交变压力， θ 取 $0\sim 10$ 度^[4]，同样有一部分力来自于柱钉孔的挤压反力，其他受力如物料对柱钉侧面以及压力角在 10 度以上的作用力较小，可忽略。辊面所受力分为柱钉孔承受的物料挤压柱钉传递的压力及辊面承受的物料挤压力。

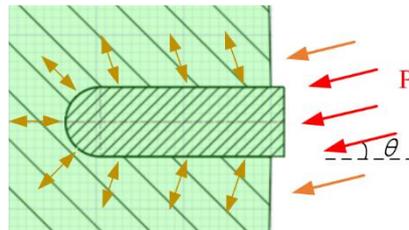


图 2 柱钉及辊面受力示意

1.2 柱钉和辊面失效形式及原因分析

1.2.1 柱钉脱落

在实际的工况中，柱钉受到非轴向循环交变应力作用，当物料中存在不易挤压的大块物料或金属杂质等，导致应力远大于固持剂所能承受的强度时，固持剂将慢慢丧失其连接作用。当固持剂不再起作用时，物料挤压产生的循环交变应力将直接作用于柱钉孔上，对硬度较低的柱钉孔产生不断的冲击，导致孔产生变形，柱钉与孔间间隙增大，增大到一定程度时，柱钉便会从孔中脱落下来，如图 3 所示。

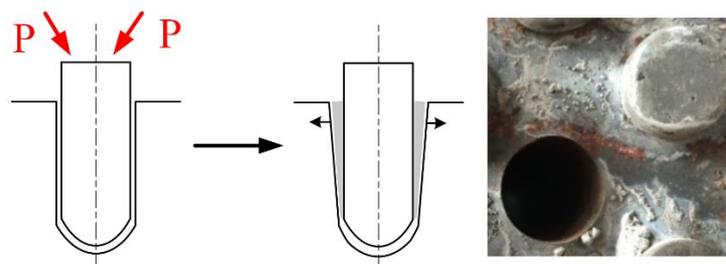


图 3 柱钉脱落过程示意

1.2.2 柱钉断裂、蹦角

柱钉的端部设计为高于辊面若干毫米，用于在辊面上形成耐磨料垫，但辊面的硬度较低、耐磨性差，一旦未在辊面上形成合适的料垫，辊面的磨损将会很严重，在柱钉端部与辊面的结合处，柱钉高出辊面的部分便会由承受交变应力变为承受交变弯矩作用，随着辊面磨损的加剧，弯矩逐渐增加，超过柱钉承载能力时，柱钉端部便会出现断裂或蹦角的情况，如图 4 所示。

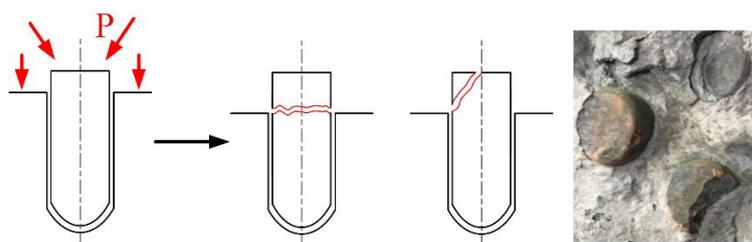


图4 柱钉断裂和崩角过程示意

1.2.3 辊面裂纹、掉块



图5 柱钉区域性掉块

辊面剥落、掉块如图 5 所示，产生可分为两种情况进行讨论，一种是当柱钉承受交变应力轴向分力过大时，由于柱钉强度远高于辊面强度，当柱钉将力传递至辊面柱钉安装孔底部，对孔底部套体进行挤压撕裂，循环往复作用后孔底部薄弱区域率先产生裂纹，逐渐延伸，从而在柱钉孔底部区域形成大面积的裂纹、空鼓现象，裂纹进一步往辊面表面延伸形成掉块现象，如图 6(a)所示。

另一种情况是当柱钉受到非轴向交变应力分力过大时，由于柱钉强度远高于辊面强度，柱钉将其通过固持剂传递至柱钉孔内测和表面，将孔冲击变形，孔逐渐被拉伸，孔径增大，随着孔径增大，柱钉将会慢慢的偏向一侧，导致非轴向应力有效作用力增大。一种结果是作用力增大到一定程度后辊面孔口薄弱处便会率先出现微裂纹，随后向孔底部和临近孔延伸，一旦裂纹形成封闭的或比较完整的一块后，应力作用便会继续往下作用到套体，并且由于套体中柱钉孔的部位较为薄弱，因此裂纹会慢慢向孔处延伸，直至形成整体掉块，如图 6(b)所示。另一种结果是柱钉在非轴向交变应力的作用中偏向一侧后，柱钉头部所受的非轴向交变应力，经柱钉传递至孔底部附近，类似于杠杆作用，柱钉对孔底部薄弱区域产生较大挤压倾覆力，形成微裂纹，不断的延伸汇聚，同样在孔底部形成空鼓现象，裂纹继续沿着相对薄弱的孔往外延伸，直至形成整体掉块现象，如图 6(c)所示。

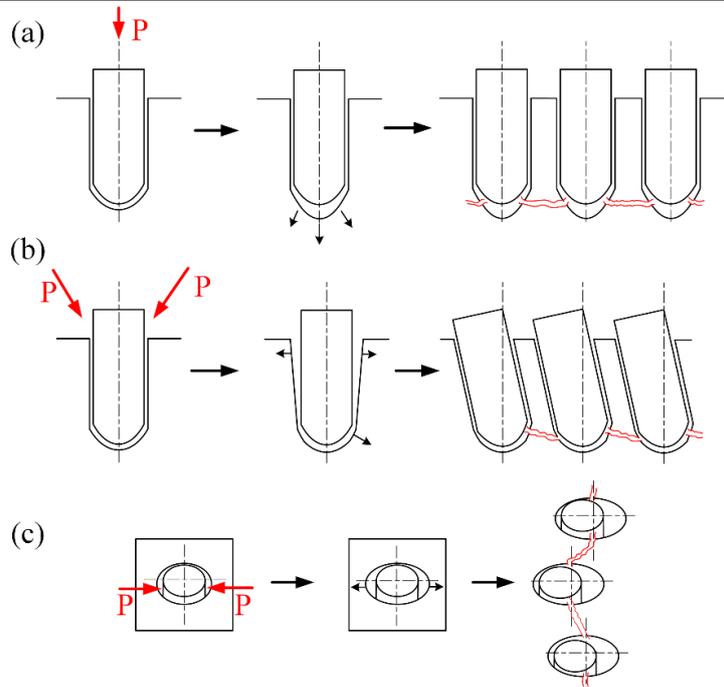


图 6 辊面裂纹产生及掉块过程示意

2 柱钉及辊面受力仿真分析

辊压机工况不同时，产生的挤压力大小往往会出现较大的波动，正常工作时，平均辊压力 P_{av} ^[5]可按照如下计算：

$$P_{av} = \frac{2F}{B \cdot D \cdot \sin\alpha} \quad (1)$$

式中 F -液压缸提供的压力，kN；

B -辊宽，m；

D -辊直径，m；

α -拉入角，(°)；

P_{av} -平均辊压，kN/m²；

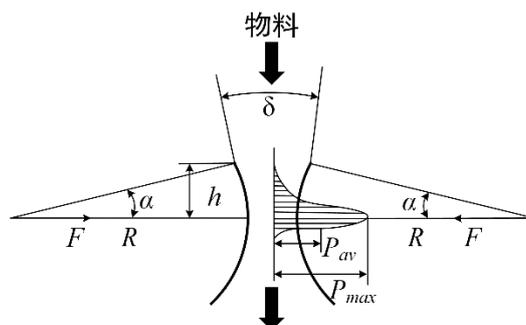


图 7 辊压机受力概况

R -辊子半径； δ -夹角； h -压力区高度

由于 α 在一定范围内随辊面、物料变化，也可采用辊子投影压力 P_T 作为设计参数。

$$P_T = \frac{F}{B \cdot D} \quad (2)$$

目前联合粉末系统辊压机投影压力一般在 $5000 \sim 7000 \text{ kN/m}^2$ ，相当平均压力 $70 \sim 100 \text{ MPa}$ 。但实际对辊面和物料起作用的是最大压力 P_{\max} 。

本次仿真分析将柱钉承受的最大压力固定为 120 MPa ，压强角 $0 \sim 10$ 度，作用于柱钉端部。仿真目的主要是为了观察柱钉和辊面受挤压力时的应力集中区域及不同参数影响下的变化趋势。

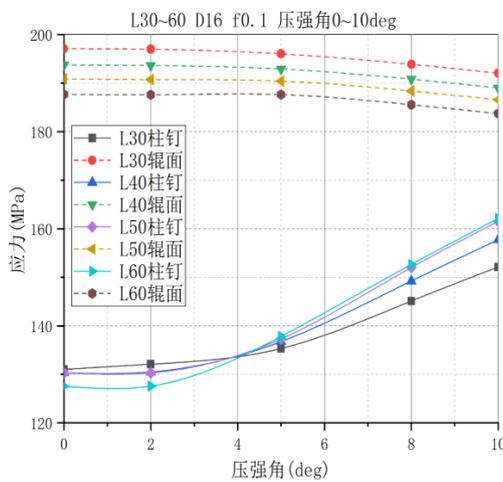


图 8 不同长度柱钉，不同压强角下柱钉及辊面受力结果

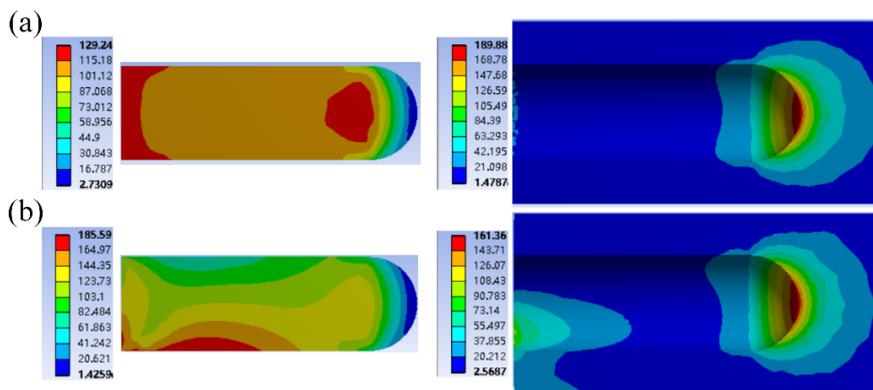


图 9 柱钉及辊面应力仿真结果 (单位 MPa)

针对不同的柱钉长度和不同压强角的条件进行仿真分析，仿真条件为柱钉长度 $30 \sim 60 \text{ mm}$ (L30~L60)，柱钉及柱钉孔摩擦系数 f 取 0.1 ，柱钉与孔间无间隙，仿真结果如图 8 所示，图中数值均为柱钉及辊面的最大应力值，由图中可知，同

压强角下，随柱钉长度增加，辊面最大应力下降，5 度以下，柱钉最大应力缓慢减少，5 度以上，柱钉最大应力缓慢增加。同长度柱钉下，压强角增大，辊面最大应力下降，柱钉最大应力增加，5 度以下，增加趋势平缓，5 度以上，增加趋势加剧。具体的应力分布云图如图 9(a)和(b)所示，分别为压强角 0 度和 10 度条件下的应力结果，压强角 0 度时，柱钉端部和靠近头部区域为应力集中区域，柱钉孔最大应力区域位于孔底部中心球面区域。压强角 10 度时，柱钉应力集中区域移动到柱钉与孔的接合面处，柱钉孔的应力集中区域变化不大，但辊面与柱钉结合处的应力明显增加，其他长度和不同压强角下变化趋势类似。

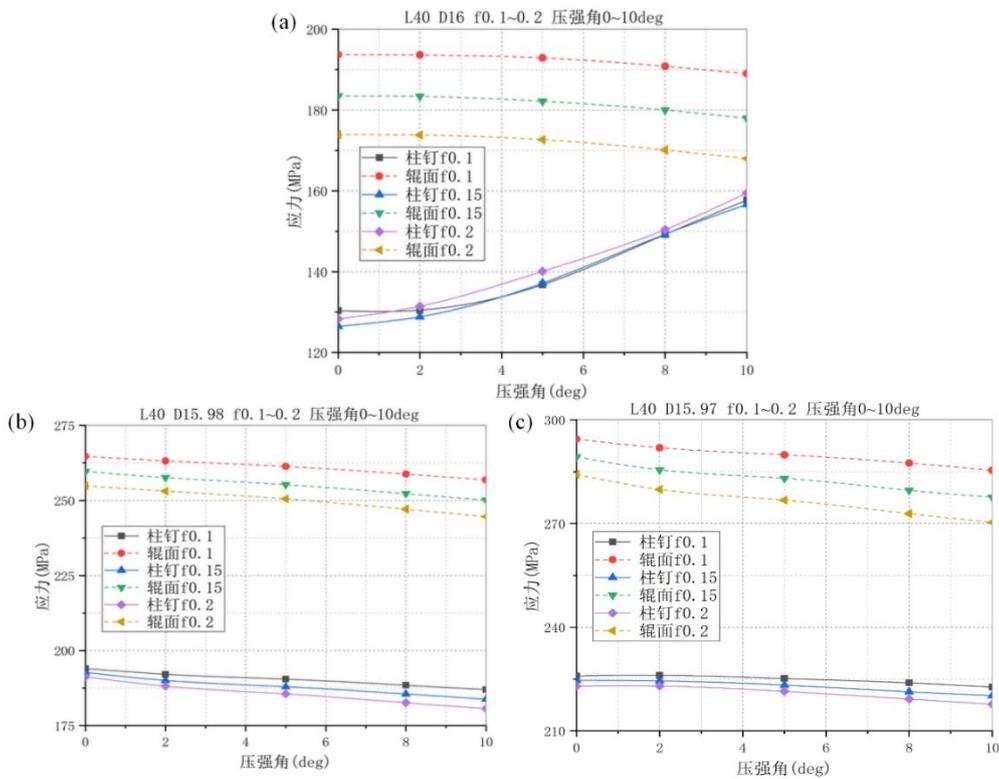


图 10 同长度柱钉，不同配合形式、摩擦系数和压强角下柱钉及辊面受力

针对柱钉长度固定为 40mm，柱钉直径 15.97mm、15.98mm、16.00mm，柱钉与孔不同配合形式、不同摩擦系数和不同压强角的情况进行仿真分析，结果如图 10。

从图 10(a)中可知，柱钉与孔无间隙时，同压强角下，随相互间摩擦系数增加，辊面最大应力下降，柱钉应力最大值缓慢增加；同摩擦系数下，压强角增大，辊面最大应力下降，柱钉最大应力增加。

从图 10(b)(c)中可知,柱钉与孔采用相同间隙配合时,同压强角下,随摩擦系数增加,孔最大应力下降,柱钉最大应力下降;同间隙配合,同摩擦系数时,压强角增大,孔最大应力下降,柱钉最大应力下降。

并且对比图 10(a) (b) (c),可知随着柱钉与孔间间隙的增大,其他条件不变时,柱钉和孔的最大应力值快速上升,最大值提升了近 35%。

3 结语

针对以上现象的分析及仿真结果,正在积极开展后续的实验验证和优化工作。目前,针对辊压机柱钉辊的应用,有以下几点建议:

(1) 增大辊面的整体硬度,提高抗大冲击应力的承受能力,控制物料中大块物料的占比以及金属杂质含量,减少高应力源;

(2) 可通过增大柱钉长度,或者提高柱钉与孔之间的摩擦系数来减少应力集中现象;

(3) 采用过渡配合或过盈配合有利于减少柱钉及柱钉孔的整体应力值。

另外还可以通过改变柱钉的形状将应力集中现象减弱,分布更加均匀化。

参考文献:

- [1] 包玮,王学敏,张永龙. HFCG 辊压机及挤压粉磨技术的进展与实践[J]. 中国水泥, 2003(01):49-53.
- [2] 陈代彦,许鹏云,高霖. 高压辊磨机柱钉辊面的受力分析与应用[J]. 现代矿业, 2013(11):132-134.
- [3] Oberheuser G. Wear protection of surfaces from high pressure grinding rolls: possibilities and limits[M]. Int J Mineral Processing, 1996:561-568.
- [4] Torres M, Casali A. A novel approach for the modelling of high-pressure grinding rolls[J]. Minerals Engineering, 2009, 22(13):1137-1146.
- [5] 王仲春. 水泥工业粉磨工艺技术[M]. 中国建材工业出版社, 2000:265-277.

新型金属基陶瓷复合耐磨材料的试制

谢志勇¹ 刘小磐² 许涛¹ 熊晖¹ 余仲元¹

(1 合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051;

2 湖南大学材料学院, 湖南 长沙 410012)

1 序言

金属基陶瓷复合材料是由良好朔韧性的金属相和高硬脆性的陶瓷相组成的一种典型的粒子增强复合材料。其主要采用粉末冶金、SHS、铸造、渗铸等制备成型工艺,使得良好朔韧性的金属相与硬度高、耐高温、耐腐蚀的金属氧化物、碳化物、氮化物等进行冶金复合,牢牢粘结在一起。通过相应的热处理工艺,复合材料具有陶瓷相的高硬度,同时具有金属相的良好塑韧性。

目前国内外矿山、砂石、建材等行业应用比较成熟的金属基陶瓷复合耐磨材料主要采用镶铸铸造复合工艺。国内极具代表的产品有江苏常熟电力、福建龙岩泰美生产的高锰钢镶 TiC/WC 钢结硬质合金反击破板锤、转子破碎锤头和圆锥破轧臼壁,江苏南通高欣、重庆罗曼生产的陶瓷预制体增强高铬铸铁立磨磨盘,郑州鼎盛生产的 ZTA 陶瓷颗粒增强高锰钢圆锥破轧臼壁和颚式破碎颚板。国外极具代表的产品有比利时 Magotteaux 公司生产的 Xwin 立磨磨辊、磨盘和 DUOCAST Xwin 辊压机辊套,印度 VEGA 公司生产的 Sinter Cast 立磨磨辊和磨盘^{[1],[2]}。

针对设备易损件经受较硬物料较高冲击或挤压粉碎工况条件,对其磨损失效规律进行分析总结,研制一种新型金属陶瓷复合材料,大幅度提高易损件产品使用寿命。复合材料主要工作磨损部位采用高硬度金属陶瓷预制体,非主要工作磨损部位选用具有较高硬度和良好韧性的中碳多元合金钢,采用经济环保的消失模铸造工艺,将两种材料进行冶金复合。

2 金属陶瓷成分设计与试验制备

在 SiC+C 坯体中掺入 Fe 粉,并用纯 Si 进行浸渗。通过调整 Fe 含量,制备出完

全致密的具有高硬度和较高断裂韧性的不含残 Si 的 SiC/FeSix 金属陶瓷复合材料。

2.1 试验制备

采用的原料为：工业用石油焦、工业用 SiC 粉、食用淀粉、分析纯铁粉、工业用 Si 粉。其特征参数见表 1。按设定配比称取 C 粉、SiC 粉和铁粉，加入适量的分散剂，以无水乙醇为液体介质球磨 0.5 h；然后加入联结剂、淀粉，球磨 3 min。通过调整淀粉的加入量使坯体密度为恒定值。混合粉料在室温下干燥 24 h，在 50 MPa 的压力下压制成 4×6×40 mm 的试条。试条在 80 °C 干燥 24 h 后，在 N₂ 气保护 900 °C 环境中排胶，通过真空排煤油法测出各种试样的密度。试条置于涂有 BN 的 SiC 坩锅中，以理论需要量 1.3 倍的 Si 粉掩埋，采用不同工艺制度进行烧结。各试样的成分及烧结工艺制度见表 2。

采用 STA-449C 热分析仪测定排胶后坯体在加热过程中的变化。不同工艺制度得到的块体试样物相组成，用 X 射线衍射仪（XRD，Model D/MAX-RB，RIGAKU Corporation，Japan，测试条件：40kv/30Ma，CuKa，DS/SS：10，RS：0.15mm，石墨单色器）确定。通过 Neophot—21 型金相显微镜观察试样的物相分布，采用扫描电镜（SEM，Model JSM-5610LV，JEOL Ltd.，Japan）观察试样断口形貌。在美国 MTS 力学实验机上测定试样三点弯曲强度，试样尺寸 3×4×38 mm。

表 1 试验原料的特征参数

| | 石油焦 | SiC | 淀粉 | Si | Fe |
|--------|--------|--------|---------|--------|-------|
| 纯度 (%) | 98.7 | 98 | 98 | 98 | 98 |
| 平均粒径 | 34.3μm | 24.7μm | 16.8 μm | 3~5 mm | 108μm |

表 2 不同试样的成分、烧结工艺制度和坯体的密度

| 编号 | SiC (wt.%) | Fe (wt.%) | 密度(g/cm ³) | 烧结制度 |
|----|------------|-----------|------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 30 | 20 | 1.51 | 真空下，1300°C 保温 3 小时，1600°C 保温 1 小时 |
| 2 | 30 | 25 | 1.52 | 同上 |
| 3 | 30 | 30 | 1.54 | 同上 |
| 4 | 30 | 30 | 1.54 | 真空下，快速升温至 1600 °C 保温 1 小时 |

2.2 Fe 含量对烧结体相组成的影响

坯体密度一定时，Fe 含量的降低对应着烧结体中 SiC 含量的升高，第二相的体积分数减小，第二相反而向富铁相转变。图 1 为不同 Fe 含量烧结体的 XRD 图谱(烧

结体的实际相组成与理论相组成见表 3)。实验结果表明,当 Fe 含量较高时实际相组成与理论推算一致。当 Fe 含量较低时,烧结体中出现了 Fe_5Si_3 。图 2(a)、(b)分别为试样 1 和 3 的金相照片。图中灰色区域为 SiC, 1 试样的白色亮点为 Fe-Si 化合物, 3 试样的白色亮点为残余 Si 和 Fe-Si 化合物。图 2 表明,随着 Fe 含量的降低,第二相由网络结构变为孤岛结构。当第二相为网络结构时,坯体中的局部 Fe 含量波动可以通过扩散消除。而当第二相为孤岛结构时,因为反应烧结过程中, SiC 的生成很快,局部的不平衡 Fe 含量来不及通过扩散消除就被 SiC 包围,使第二相与理论计算产生不一致。另外图 2 显示 y_2 与 y_3 的函数图象极为靠近,因此在实验成分点在 y_1 , y_2 之间时易于生成 FeSi。同时 Fe 含量升高, SiC 被溶解析出现象明显。这主要是在渗 Si 开始阶段, Fe 粉周围的 Si 液是富 Fe 的,当 Si 含量低于 23.1% 时, Fe 夺去周围 SiC 中的 Si, 溶解 C, 随着保温时间延长, 由于扩散作用 Fe 含量趋于平衡。合金熔液中 Si 含量高于 23.1% 时, C 又以 SiC 的形式从合金液中析出。Fe 含量越高, 不平衡区域越多, SiC 的溶解析出越显著。表 3 中实际密度与理论密度略有差异, 这是烧结体中存在少量残碳、气孔和不平衡相 FeSi。

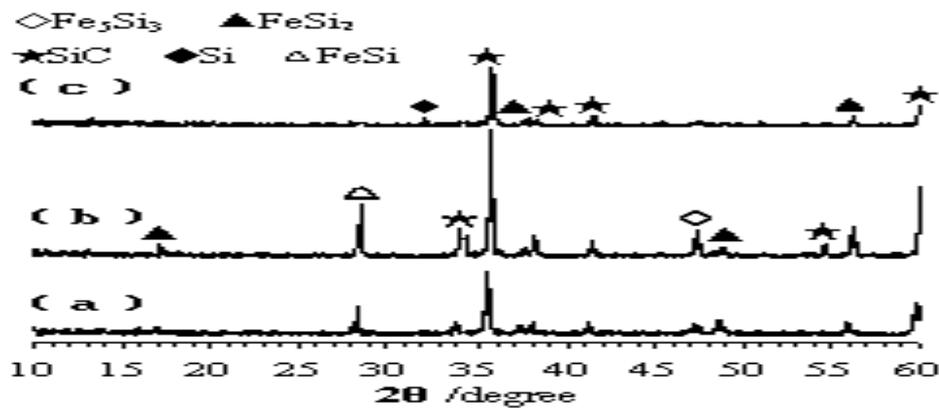


图 1 不同原始配比得到烧结体的 XRD 图谱

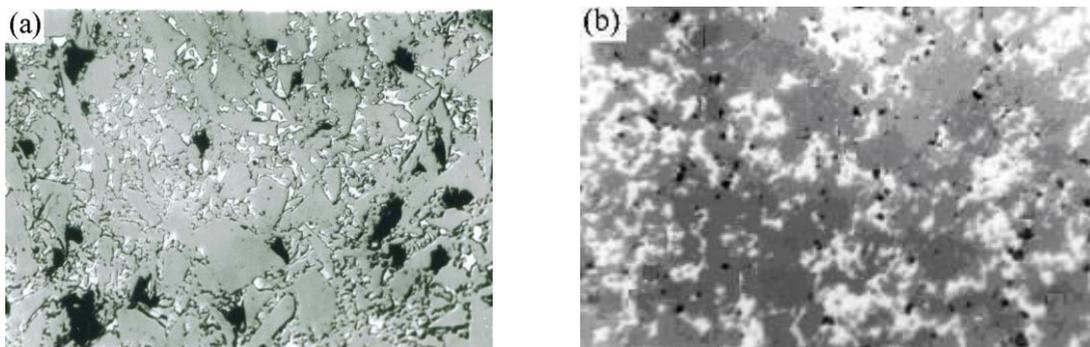


图 2 烧结体显微组织 ($\times 500$) (a) No. 1, (b) No. 3

表 3 不同试样的相组成和密度列表

| 编号 | 理论相组成 | 实际相组成 | 理论密度 (g/cm ³) | 实际密度 (g/cm ³) | 室温下抗弯强度 (MPa) |
|----|------------------------------|--|------------------------------|------------------------------|------------------|
| 1 | SiC+FeSi ₂ + FeSi | SiC+FeSi ₂ +FeSi+Fe ₅ Si ₃ | 3.43 | 3.25 | 196±9 |
| 2 | SiC+FeSi ₂ + FeSi | SiC+FeSi ₂ +FeSi+ Fe ₅ Si ₃ | 3.49 | 3.30 | 220±10 |
| 3 | SiC+Si+ FeSi ₂ | SiC+Si+ FeSi ₂ | 3.52 | 3.36 | 204±10 |

2.3 热处理制度对坯体反应烧结的影响

以上 No.1、2 和 3 试样都未观察到开裂、变形等宏观缺陷。No. 4 试样仅在表面形成一层厚约 1mm 的反应烧结 SiC 层。图 3 为 900°C 排胶后的试样 4 坯体的热重-差热图。该图表明，试样在 1100°C 以上有气体放出，气体主要来自于两方面：一方面掺入的 Fe 粉在制样过程中会在表面形成一层 Fe₂O₃，在 600°C Fe₂O₃ 转变为 FeO，1100°C 时 FeO 与 SiC 按下式反应：



另一方面所引用的 SiC 粉，在空气中常温下会在表面形成 SiO₂ 薄膜，在 Fe 存在的条件下，1200°C 以上发生如下反应：



试样 4 在 1100~1650 °C 时，升温速度较快，在 1420 °C，熔 Si 开始浸渗坯体，表面会很快形成致密 SiC 层，但坯体心部还有未反应完全的 FeO、SiO₂，它们产生的气体阻止了 Si 的进一步浸渗。相同配方的试样 3，在 1300°C 保温 3h 后，FeO、SiC 反应完全，因此要制得致密的 SiC/FeSi_x 复合材料在 1300°C 长时间保温必不可少^[3]。

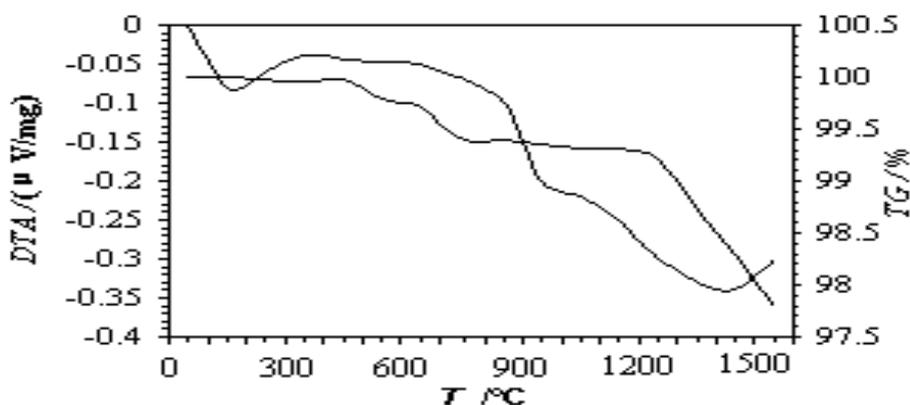


图 3 试样 4 坯体的热重图 (20°C/min)

2.4 力学性能

试样 2 的室温三点抗弯强度测试结果为 $220 \pm 10 \text{Mpa}$ 。图 4 为试样 2 的断裂面 SEM 图片。由图可知，材料的部分断裂表面呈典型的镜面反射区。这是由受张力表面的断裂区对应的直的断裂线组成。试样中存在的残留 C 孔和受到机械损伤的表面，降低了材料的强度。材料的失效模式为脆性断裂，裂纹扩展以穿晶断裂为主。同时试样 2 的 TEM 照片显示由于材料的各相热膨胀系数不一 ($\alpha_{\text{FeSi}_2} = 11.6 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$, $\alpha_{\text{SiC}} = 5.4 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$) 冷却过程中产生的热应力将导致晶体内部产生裂纹，使强度下降。

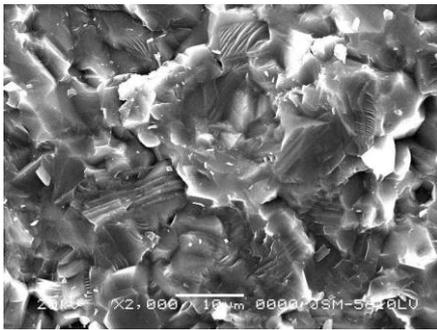


图 4 试样 2 SEM 断口照片 ($\times 2000$)

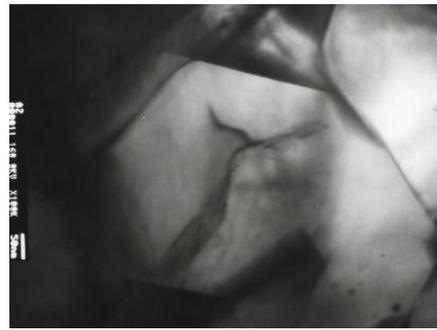


图 5 试样 2 TEM 照片 ($\times 10000$)

断裂韧性是评价材料抵抗断裂的能力。对陶瓷金属材料的断裂韧性虽然进行了许多研究，目前有多种测试方法，通常大多沿用传统金属材料的实验方法。其常见的测试方法有 SENB 法、DT 法、CN 法、IM 法等。本实验采用最简单的压痕裂纹法及用半月状系统方程计算出各试样的室温断裂韧性值。

$$K_{IC} = 0.016(E/H)^{0.5} PC^{-1.5} \quad (3)$$

其中：P 是压头载荷；C 为压痕裂纹半长；H 是硬度值取随机五点的平均值；E 是弹性模量，采用复合近似计算 E 值：

$$E = V_1 E_1 + V_2 E_2 + V_3 E_3 \quad (4)$$

V_i ($i=1, 2, 3$) 为复合材料各相百分比， FeSi_2 的弹性模量取 410GPa ， SiC 取 420GPa ，用方程计算出各试样的室温断裂韧性值见表 4。

表 4 FeSi_2/SiC 复合材料的断裂韧性

| 试样编号 | 压痕参数 (2C) | 维氏硬度(GPa) | $K_{IC}(\text{GPa} \cdot \text{m}^{1/2})$ |
|------|-----------|-----------|---|
| 1 | 0.0853 mm | 11.04 | 3.91 |
| 2 | 0.0886 mm | 10.28 | 3.82 |
| 3 | 0.0836 mm | 11.75 | 4.03 |

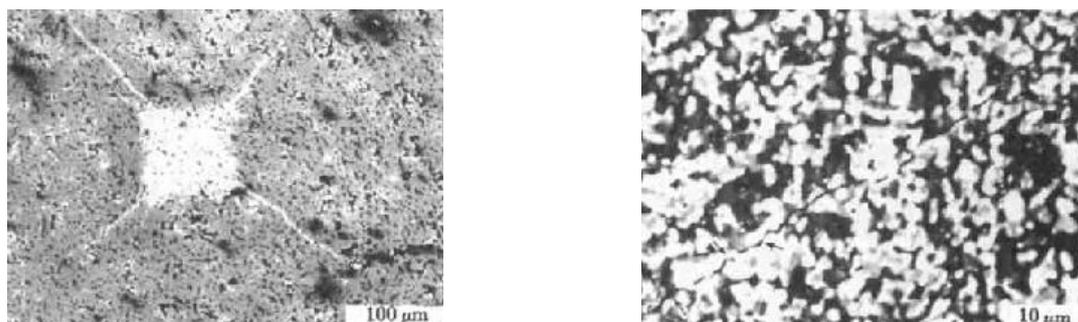


图 6 试样 2 的维氏压痕及裂纹

3 中碳多元合金钢成分设计

3.1 碳含量

碳是钢中的主要元素之一,对材料机械性能的影响十分明显。钢中碳含量增加,碳化物数量增多,屈服点和抗拉强度升高,但塑性和韧性降低。为获得较高的硬度并保证足够的韧性,碳含量设计为 0.3~0.5%。

3.2 铬含量

铬是钢中重要的合金元素,铬固溶在奥氏体中增加淬透性和热强性,提高钢的硬度和强度。随着铬含量的增加,残余奥氏体量增加,硬度下降。同时碳化物类型发生变化,碳化物类型由 MC_3 向 M_7C_3 、 $M_{23}C_6$ 过渡,其中 M_7C_3 型碳化物显微硬度可达到 HV1300~1800。综合考虑,铬含量设计为 3~5%。

3.3 钼含量

钼是钢中主要合金化元素之一,强烈阻抑奥氏体向珠光体转变,大大提高钢的淬透性。

钼能降低或抑制其它合金元素导致的回火脆性,并在较高回火温度下形成弥散分布的特殊碳化物,产生二次硬化。考虑到钼铁价格较贵,钼含量控制在 0.3~0.5%。

3.4 镍含量

镍是固溶强化基体元素,全部溶入奥氏体,稳定奥氏体,提高淬透性和韧性。加入量大时,残余奥氏体量增加,基体组织硬度降低。考虑到镍板价格较贵,镍含量控制在 0.3~0.5%。

3.5 硅含量

硅是钢中常存元素之一，显著提高钢的弹性极限、屈服极限和屈强比。固溶强化铁素体，提高钢的强度，降低钢的塑性和韧性，为此我们确定硅含量为 0.3~0.8%。

3.6 锰含量

锰是钢中常存元素之一，显著固溶强化奥氏体，提高钢的淬透性和强度。锰含量较高时，残余奥氏体量增加，降低材料硬度，同时增加钢的回火脆性，为此我们确定锰含量为 0.5~1.0%。

3.7 硫磷含量

硫磷在钢中易形成低熔点硫化物夹杂和脆性磷共晶物，是有害元素，在生产中一般控制在 0.05%以下。

3.7 复合变质孕育剂

复合变质孕育剂的加入可以净化晶界，减少夹杂，并降低成分偏析；同时其中微量的合金元素钒、钛与钢液中的碳形成高熔点高硬度碳化物，作为异质结晶核弥散分布，细化晶粒，提高钢的硬度和韧性，为此我们确定复合变质剂加入量为 0.2~0.3%。

表 5 中碳多元合金钢化学成分 (%)

| C | Cr | Mo | Ni | Si | Mn | S、P |
|---------|-----|---------|---------|---------|---------|-------|
| 0.3~0.5 | 3~5 | 0.3~0.5 | 0.3~0.5 | 0.3~0.8 | 0.5~1.0 | ≤0.05 |

4 消失模镶铸铸造工艺

4.1 模具制作与填埋造型

选用 EPS 泡沫或 STMMA、PMMA 共聚物作为制作材料，采用人工或机器分别制作产品模具和浇注系统模具。金属陶瓷预制体表面焊接钢钉，防止浇注时被钢水冲刷移位，依次间隙排列镶入模具，钢钉裸露在模具外面。预制体与模具表面平齐或凸出 2~5mm，用消失模专用胶密封衔接处，避免后期涂料流入覆盖预制体表面，影响与钢水冶金结合效果。模具进行三次浸入涂料三次烘干晾晒，确保涂

料均匀致密覆盖，同时完全去除模具和涂料里的水分。模具三次浸入涂料时，涂料粘度分别按稠、正常、稀进行配制。

选用底注式浇注系统，确保模具按顺序气液化，钢水平稳充型。将烘干晾晒好的模具放入专用砂箱，用 20~50 目干石英或宝珠砂进行填埋，采用雨淋式加砂，边加砂边振动，确保模具填紧实。填埋过程中，一旦发现模具表面涂料出现破损，应立即用胶布粘贴修补并补刷涂料，然后用电吹风吹干。

4.2 熔炼与浇注

采用 1000Kg 中频电炉熔炼生产，熔炼前加入石灰石+碎玻璃复合造渣剂，待大部分炉料熔化后扒渣，然后加入锰铁、硅铁脱氧调整成分，插入铝丝进行终脱氧后出炉浇注。出炉温度控制在 1630~1650℃，钢水镇静若干分钟后浇注，浇注温度控在 1600~1620℃。

将浇包预热至 600~800℃，浇注前在浇包内加入一定量的 Re-A1-Bi-Mg 复合变质剂和 V-Ti-Zn 复合孕育剂^[4]。钢水倒入浇包后立即铺撒聚渣剂，使残余熔渣迅速聚集，进一步净化钢水，同时形成一层保温覆盖膜。钢水浇注时，砂箱抽真空形成一定负压，模具迅速气化，钢水慢慢占据模具位置，将金属陶瓷预制体紧紧包裹。在高温钢水的热作用下，预制体表面金属与钢水发生冶金反应。钢水凝固冷却后，与预制体冶金复合成型^[5]。

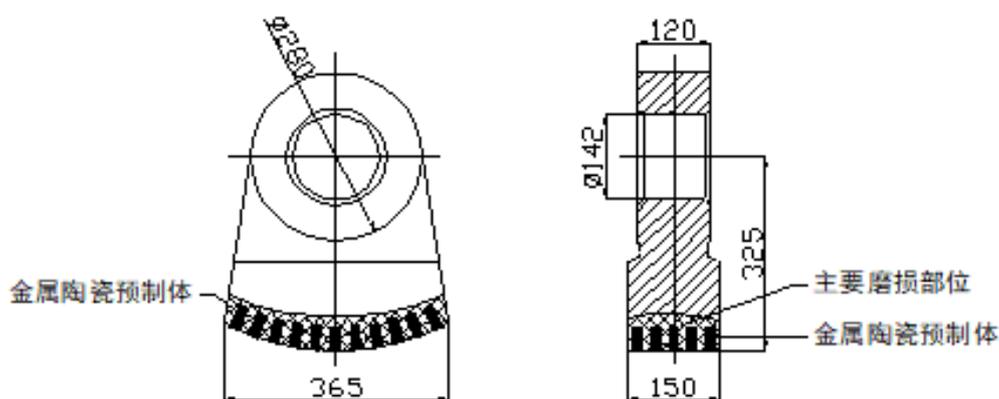


图 7 金属陶瓷复合锤头示意图

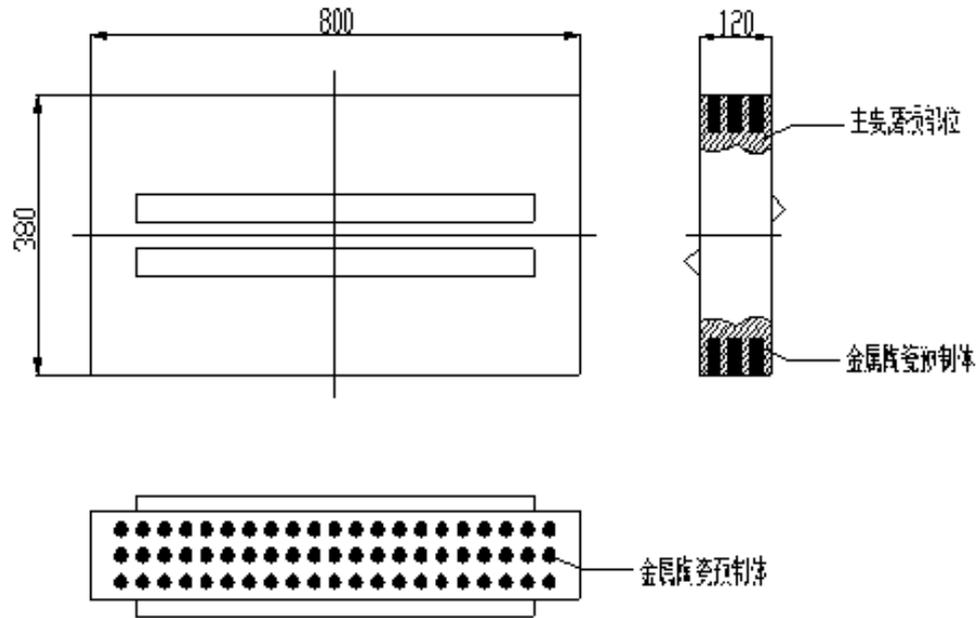
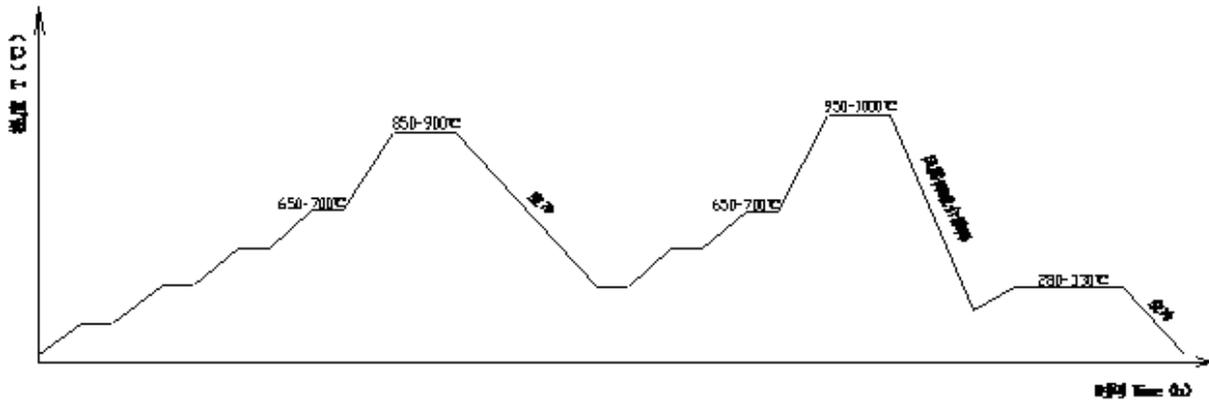


图8 金属陶瓷复合板锤示意图

5 热处理工艺的确定

在淬火升温过程中，中碳多元合金钢中的合金元素在奥氏体中的溶解度随温度的升高而增大。淬火温度较低时，碳、铬在奥氏体中的溶解度较低，淬火马氏体中的含碳量及合金元素含量较低，基体组织硬度较低。随着淬火温度的提高，奥氏体中的含碳量及合金含量增加，转变后形成的马氏体中的含碳量及合金元素含量增加，基体组织硬度增加。如淬火温度过高时，奥氏体中的含碳量及合金含量过高，奥氏体稳定性大大提高，淬火后残留奥氏体含量增加，马氏体含量减少，基体组织硬度降低^[6]。

鉴于设备易损件现场服役工况十分恶劣，经过前期大量试验摸索与研究，我们设计了正火+淬火+回火热处理工艺。复合材料热处理后，非主要工作磨损部位中碳多元合金钢组织为马氏体+少量弥散碳化物 M_7C_3 +少量残余奥氏体，硬度40~50HRC，冲击韧性 $20\sim 50J/cm^2$ ($10\times 10\times 55mm$ 无缺口试样)；主要工作磨损部位金属陶瓷维氏硬度 $\geq 10Gpa$ ，断裂韧性 $\geq 4 GPa\cdot m^{1/2}$ ，具有较高的综合耐磨性能。



6 结语

(1) 复合材料主要工作磨损部位采用高硬度金属陶瓷预制体，非主要工作磨损部位选用具有较高硬度和良好韧性的中碳多元合金钢，采用经济环保的消失模铸造工艺，将两种材料进行冶金复合。

(2) 在 SiC+C 坯体中掺入 Fe 粉，并用纯 Si 进行浸渗。通过调整 Fe 含量，制备出完全致密的具有高硬度和较高断裂韧性的不含残 Si 的 SiC/FeSi_x 金属陶瓷复合材料。

(3) 复合材料热处理后，非主要工作磨损部位中碳多元合金钢组织为马氏体+少量弥散碳化物 M₇C₃+少量残余奥氏体，硬度 40~50HRC，冲击韧性 20~50J/cm² (10×10×55mm 无缺口试样)；主要工作磨损部位金属陶瓷维氏硬度 ≥10Gpa，断裂韧性 ≥4 GPa·m^{1/2}。

参考文献：

- [1] 钱兵,等. 中速磨煤机金属陶瓷复合磨辊及磨盘的研究及应用[J]. 第五届水泥工业耐磨材料技术研讨会论文集, 139-144
- [2] 蒋业华. 蜂窝状陶瓷颗粒增强表层复合材料研究与应用[J]. 第五届中国耐磨材料与铸件年会, 2014
- [3] 武安华,等. SiC 烧结的研究进展[J]. 《粉磨冶金工业》, 2002, 12(3)
- [4] 郭长庆,等. 复合变质处理高铬铸铁破碎机锤头的研制[J]. 包头钢铁学院学报, 2006, (6)
- [5] 卓荣明, 杨大春. 表面陶瓷复合层耐磨锤头铸造工艺及组织的研究[J]. 《铸造技术》, 2009, 30(12)
- [6] 夏立芳,等. 金属热处理工艺学(修订版)[M]. 哈尔滨工业大学出版社, 2008-5-1

浅谈 HRM 立式磨半终粉磨系统改造经验

刘福永

(合肥中亚建材装备有限责任公司, 安徽 合肥 230051)

0 引言

江苏某厂有一条年 120 万吨水泥粉磨站, 2 号粉磨系统采用 HRM3400P 立式磨做预粉磨, 配备 PS 双分级筛型选粉机+Φ 3.8m×13m 球磨机组成的联合粉磨系统, 由于采用的分级设备尚处于实验阶段导致立磨运行不稳定, 水泥性能不好。若改为立磨半终粉磨即可选出大部分立磨所产生的微分(主要为<30μm, 比表面积>420m²/kg 的微分)直接进入成品, 一方面稳定了立磨料床, 很大程度上减轻了磨机的振动; 另一方面, 减少了球磨机内的“糊球”现象, 提高了球磨机的粉磨效率, 成品质量提高的同时, 产量大幅度提高, 经济效益十分显著。为此, 我们于 2015 年年底对该粉磨系统进行了水泥半终粉磨工艺改造, 取得了很好的增产节能效果。

1 改造前基本情况

改造前主机设备见表 1, 工艺流程图见图 1。

表 1 改造前主机设备

| 序号 | 设备名称 | 规格及主要参数 |
|----|----------|--|
| 1 | 循环提升机 | 提升能力 800m ³ /h, 电机功率 2×110kW |
| 2 | PS 分级筛×2 | 入机粒度≤40mm, 出料粒度≤3mm, 处理能力 400~550t/h, 细粉能力 200~300t/h |
| 3 | HES 型选粉机 | N3000, 处理能力 540t/h, 成品细度 220~300 m ² /kg, 产量 120~180t/h, 电机功率 1160kW |
| 4 | 预粉磨立式磨 | HRM3400P 生产能力 180~210t/h, R0.08≤20%或比表面积: 250±20m ² /kg, 通过量 800~1000t/h, 电机功率 2800kW |
| 5 | 入磨提升机 | 提升能力 250m ³ /h, 电机功率 37kW |
| 6 | 脉冲式布袋收尘器 | 处理风量: 21000m ³ /h, 过滤面积: 4050m ² |
| 7 | 系统风机 | 处理风量 22000m ³ /h, 全压 5100Pa, 电机功率 500kW |
| 8 | 球磨机 | Ø3.8×13m 两仓水泥磨, 电机功率 2500kW |
| 9 | 磨尾收尘器 | 处理风量: 48000m ³ /h, 过滤面积: 744m ² |
| 10 | 球磨通风机 | 处理风量: 52000m ³ /h, 全压 4500Pa, 电机功率 110kW |
| 11 | 板链式提升机 | 板链式提升机, 功率: 37kW |

物料经中心下料管进入由减速机驱动的磨盘上，由于离心力的作用，物料向磨盘周边移动，进入粉磨辊道。在磨辊压力的作用下，物料受到挤压、研磨和剪切作用而被粉碎后，全部进入磨机的排料槽排出磨外，通过外循环提升系统进入分级筛进行筛分， $>3\text{mm}$ 的物料重新返回立磨继续粉磨 $\leq 3\text{mm}$ 的物料进入 HES 型选粉机进行分级，入球磨机粒度要求 $R_{80\mu\text{m}} \leq 20\%$ 或比表面积 $220 \sim 260\text{m}^2/\text{kg}$ 。

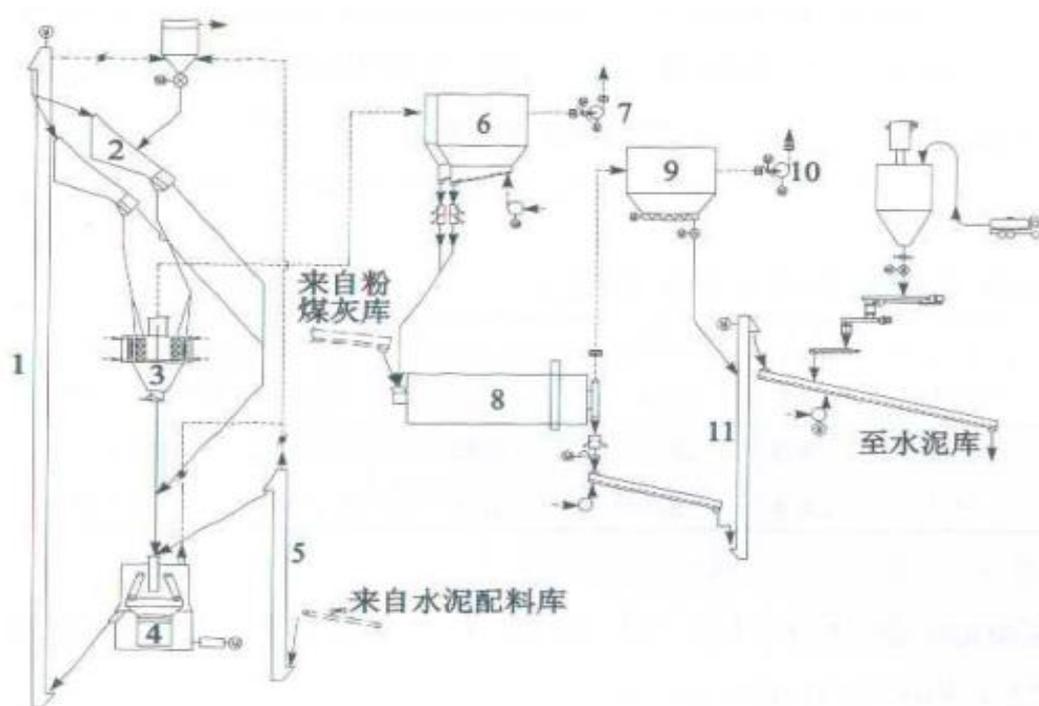


图 1 改造前系统工艺流程

2 改造前存在的主要问题

在系统改造前运行的两年时间里，暴露出了很多问题，包括工艺、设备、原材料等方面。

问题 1：缺少磨头仓。当配料秤一台或多台出现故障或入磨物料波动时，会破坏磨盘上稳定的料床，导致磨机振动，同时增加了操作者的难度。球磨机同样没有磨头仓，一方面入磨物料由较高处高速冲击进入球磨一仓，造成物料在磨内流速很快，未受到充分粉磨就进入二仓；另一方面，很细的物料如粉煤灰无法直接加到球磨机内。

问题 2：选粉效率低，循环负荷大。筛分设备采用的是新开发节能无动力 PS 自流型分级筛，筛网篦缝为 3mm ，水平角度 52° ，物料经过立磨一次粉磨后全部

外排进入 PS 分级筛分选，物料为不规则形状颗粒，筛网篦缝很容易堵塞，导致筛分效果极差，筛上料返回立磨物料中含有大量细粉料，取样测得 <3mm 含量在 50%、<0.08mm 含量在 13%，因此造成立磨运行很不稳定，在此情况下立磨中必须增加助磨剂才能稳定运行（掺量 0.02%）。此时立磨产生的半成品不能及时送入下一道工序，循环量达到 5 倍之多，循环提升机电流不断上升，接近额定值 200A。同时大量的循环料加速了分级筛的磨损，而约 3mm 的粗颗粒进入选粉机，不但增加了选粉机的负荷，还大大加剧了选粉机、溜槽的磨损。

问题 3：球磨机粉磨效率差，立磨预磨系统产生的大量细粉经筛分、选粉、布袋收尘器后全部入球磨，细度 80 μ m 筛余 16~18%，比表面积达 250~270m²/kg，而出球磨机细度 80 μ m 筛余在 2.0%左右，比表只有 350m²/kg 左右，而且水泥性能不好。入球磨和出球磨物料粒度分布见表 2。

表 2 入球磨和出球磨物料粒度分布 %

| 项目 | <1 μ m | <3 μ m | 3~32 μ m | 32~45 μ m | 45~65 μ m | <65 μ m | <80 μ m |
|------|------------|------------|--------------|---------------|---------------|-------------|-------------|
| 入磨物料 | 3.35 | 13.90 | 40.85 | 10.62 | 11.59 | 76.96 | 83.24 |
| 出磨物料 | 5.11 | 20.97 | 54.07 | 10.65 | 8.62 | 94.31 | 97.42 |

从表 2 可以看出，入球磨物料中 3~32 μ m 含量 40.85%，32 μ m 及以下的微粉含量高达 54.75%；出球磨物料 3~32 μ m 含量只有 54.07%，研磨体及衬板表面出现严重黏附现象（见图 2），降低了球磨机粉磨效率，球磨机粉磨效率每米增长比表面积只有 6.23m²/kg，远远小于额定值 10m²/kg。球磨机粉磨效率测试结果见表 3。

表 3 球磨机粉磨效率测试

| 取样点 | | 200 μ m 筛余/% | 80 μ m 筛余/% | 比表面积/ (m ² /kg) |
|-----|--------|------------------|-----------------|----------------------------|
| 一仓 | 1 | 1.35 | 17.4 | 263 |
| | 2 | 0.88 | 16.39 | 273 |
| | 3 | 0.52 | 12.98 | 286 |
| 二仓 | 4(隔仓板) | 0.32 | 8.35 | 279 |
| | 5 | 0.32 | 6.25 | 291 |
| | 6 | 0.24 | 5.20 | 302 |
| | 7 | 0.16 | 3.49 | 308 |
| | 8 | 0.13 | 3.06 | 317 |
| | 9 | 0.07 | 2.05 | 343 |
| | 10 | 0.07 | 2.00 | 344 |



图 2 改造前研磨体黏附现象

问题 4: 球磨机隔仓板篦板篦缝及出料篦板篦缝经常堵塞。减少了球磨机的通风面积, 在风量一定的情况下, 篦缝风速较高, 造成大量未经充分研磨的粗颗粒物料进入后仓, 降低球磨机粉磨效率的同时出磨水泥细度还会出现“跑粗”现象。

问题 5: P·042.5 水泥性能较差, 表现为标准稠度用水量高、早期强度高、后期强度偏低、预拌混凝土施工性能较差。对比试验数据见表 4。

表 4 改造前后立磨预粉磨系统与辊压机联合粉磨系统水泥性能对比

| 生产线 | 配比/% | | | | 80μm 筛余 /% | 比表 面积 /(m ² /kg) | 抗压强度 /MPa | | 净浆 流动 度/mm | 标准稠度 用水量/% | 坍塌 度 /mm |
|-----------|------|----|----|----|------------------|-----------------------------------|--------------|------|------------------|---------------|----------------|
| | 熟料 | 石子 | 石膏 | 钢渣 | | | 3d | 28d | | | |
| 立磨预粉磨系统 | 82 | 12 | 6 | 0 | 2.2 | 352 | 28.5 | 48.5 | 220 | 28.2 | 180 |
| 辊压机联合粉磨系统 | 79 | 9 | 6 | 6 | 2.3 | 363 | 26.8 | 52.4 | 230 | 26.0 | 220 |

针对以上不利因素的影响, 该公司曾通过采取增加熟料配比、加大助磨剂使用量(掺量 0.05%)等措施, 明显增加了生产成本。

3 改造措施

3.1 试验

总结以上问题主要为立磨运行稳定性差(回料细粉多)和球磨机磨细功能差(比表面积增长幅度低)。解决上述问题主要从两个方面入手, 一是立磨增加变频器, 降低立磨转速, 稳定磨机运行; 二是分析入球磨机物料易磨性对球磨机的影

响。为此，我们做了如下试验。

3.1.1 立磨变频调速试验

采用变频降低磨机转速，解决了磨机运行的稳定性，采用工频和变频状态下的立磨振动值见表 5。

表 5 工频和变频状态下的立磨振动值

| 主机状态 | 产量/ (t/h) | 80 μ m 筛余/% | 比表面积/(m ² /kg) | 振动值/ (mm/s) |
|------|-----------|-----------------|---------------------------|-------------|
| 工频 | 160 | 2.2 | 352 | 2.7 |
| 47Hz | 170 | 2.0 | 363 | 2.0 |
| 43Hz | 170 | 2.4 | 343 | 1.6 |

3.1.2 半终粉磨可行性试验

取入球磨机物料进行小磨试验，用 80 μ m 筛筛分出约 50%细粉后再次进行小磨试验，测其粉磨至 350m²/kg 所用时间，再对筛分出的立磨产生的成品和球磨粉磨的成品水泥进行物理性实验，实验结果如表 6、表 7 和、表 8 和图 3 所示。

表 6 两种物料小磨时间

| 物料 | 80 μ m 筛余/% | 比表面积 / (m ² /kg) | 粉磨时间 / (min) | 80 μ m 筛余/% | 比表面积 / (m ² /kg) |
|-----------------|-----------------|-----------------------------|--------------|-----------------|-----------------------------|
| 入球磨机物料 | 15.6 | 273 | 16 | 0.4 | 354 |
| 80 μ m 筛余物料 | 36.4 | 163 | 18 | 1.2 | 353 |

注：原料配比 82%熟料，12%石灰石，6%石膏，小磨时间 60min，80 μ m 筛余 2.4%，比表面积 349m²/kg。

表 7 立磨成品和球磨成品水泥物理性实验

| 编号 | 80 μ m 筛余/% | 比表面积 / (m ² /kg) | 标准稠度/ (%) | 初凝/ (min) | 终凝/ (min) | 3d 抗压/ (MPa) | 28d 抗压/ (MPa) |
|--------|-----------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|---------------|
| 立磨水泥 | 0.4 | 413 | 28.2 | 197 | 254 | 29.5 | 52.6 |
| 球磨水泥 | 1.2 | 353 | 25.8 | 182 | 240 | 24.5 | 46.6 |
| 1:1 混合 | 0.9 | 371 | 27.4 | 188 | 250 | 25.3 | 48.4 |

表 8 立磨成品和球磨成品颗粒级配对比

| 编号 | <3 μ m (%) | 3~32 μ m (%) | >65 μ m (%) | X' | n 值 |
|--------|----------------|------------------|-----------------|-------|------|
| 立磨水泥 | 12.54 | 73.8 | 0.65 | 17.89 | 1.2 |
| 球磨水泥 | 10.55 | 59.99 | 5.5 | 23.35 | 1.04 |
| 1:1 混合 | 11.87 | 65.57 | 3.21 | 22.76 | 1.07 |

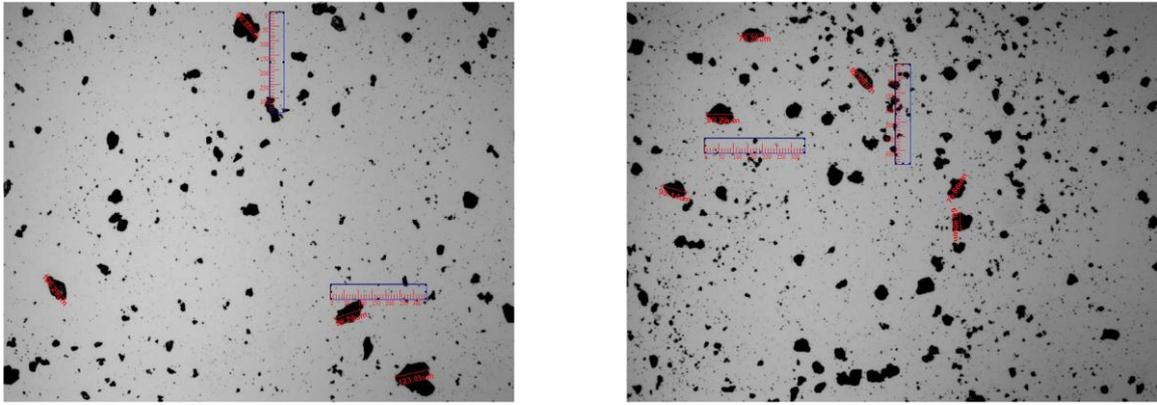


图3 立磨水泥（左）和球磨水泥（右）颗粒形态比较

试验表明：入球磨机物料中细粉（80 μm ）筛出前、后的小磨实验，同样的比表面积下粉磨时间差别不是很大，如若系统改造成半终粉磨，系统产量将大幅度提高。立磨产生的成品和球磨机磨制水泥有一定差异性，立式磨水泥的颗粒级配分布过窄，均匀性系数偏大，其颗粒堆积密度将会下降；另外 $<3\mu\text{m}$ 含量明显大于球磨机水泥，标准稠度需水量高于球磨机水泥； $3\sim 32\mu\text{m}$ 含量明显高于球磨机水泥，强度明显高于后者。混合后的水泥颗粒级配接近最佳水泥级配，水泥性能指标优良。故该系统改造半终粉磨是可行的。

3.2 制定方案

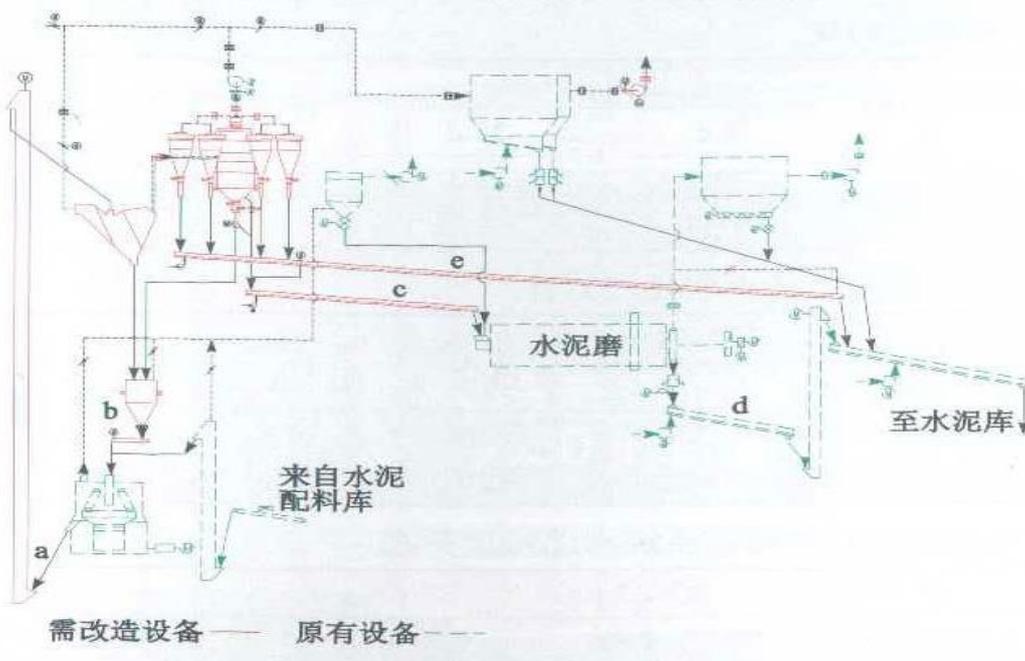


图4 改造后系统工艺流程

采取半终粉磨工艺，将立磨预粉磨系统中40~50%的合格细粉通过选粉机分

选出来，直接通过斜槽输送入水泥库。改造后的工艺流程图见图 4。

3.3 具体措施

3.3.1 拆除部分

拆除 PS16090 型分级筛和 HES—N3000 型选粉机。

3.3.2 新增部分

新增一台 V4000 型选粉机：处理能力 1200t/h；处理风量 220000~250000m³/h。
新增一台组合式选粉机：选粉风量 240000m³/h；系统产量 200~260t/h(比表:370~410m²/kg)；电动机功率 75 kW；选粉机主轴转速 100~200r/min；新增一台尾排风机：风量 65000m³/h，压力 4700 Pa，电机 160kW（利用原 HES—N3000 型选粉机电机）；增加空气输送斜槽，将选出的成品水泥汇入原有斜槽，经提升机进入水泥库。

循环风机利用原预粉磨系统风机：处理风量 220000m³/h，全压 51000Pa，电动机功率 500kW。经工艺计算，该风机的风量、风压能够满足需要。

改联合粉磨为选择性半终粉磨，将立磨粉磨出的物料经 V 型选粉机分级机打散分级后， $\geq 200\mu\text{m}$ 的物料返回立磨粉磨，小于 200 μm 的物料经 ZH4000 型高效分级机将 45 μm 以下（主要 32 μm ）的从预粉磨系统中分离出来进入旋风收尘器收集进成品斜槽与球磨机出来的物料混合后入水泥库；45~200 μm 的物料进入球磨机系统继续粉磨至成品。若球磨机能力不足，亦可将部分 45-200 μm 的物料返回立磨继续粉磨。

3.3.3 立磨优化改进措施

增加立磨磨头仓和定量給料称，稳定进入立磨的物料流量；增加立磨内磨盘边缘挡料装置，防止未经粉磨的大颗粒“逃逸”；增加立磨内通风系统，将立磨粉磨产生的微粉及时通过收尘器收集进入成品斜槽；V 型选粉机物料入口增加撒料装置，提高 V 型选粉机分级效率。

3.3.4 球磨机优化改进措施

将传统的双层隔仓板的盲板改为防堵塞篦板，有效增加了隔仓板的通风面积，降低了磨内物料通过隔仓板时的流速；二仓增加两道活化环装置。

4 改造后效果

4.1 各测点物料粒度分布对比

改造前后粉磨系统各测点数据分析见表 9 和表 10。

表 9 出立磨物料与回立磨物料粒度分布

%

| 项目 | | >5mm | >2mm | >0.9mm | >0.2mm | >0.08mm |
|-----------------|-----|-------|-------|--------|--------|---------|
| 出立磨物料 (测点 a) | 改造前 | 14.00 | 28.80 | 44.60 | 64.40 | 80.50 |
| | 改造后 | 9.98 | 25.87 | 31.55 | 56.08 | 72.14 |
| 回立磨物料 (测点 b) | 改造前 | 20.42 | 40.75 | 56.05 | 70.85 | 86.90 |
| | 改造后 | 19.03 | 40.55 | 47.05 | 75.90 | 91.15 |

表 10 入球磨和出球磨物料粒度分布

| 项目 | | 粒度分布/% | | | | 比表面积/ (m ² /kg) |
|-----------------|-----|--------|-------|-------|--------|-------------------------------|
| | | ≥200μm | ≥80μm | ≥45μm | 3~32μm | |
| 入球磨物料 (测点 c) | 改造前 | 1.73 | 15.4 | 43 | | 256 |
| | 改造后 | 13.52 | 37.6 | 60.5 | | 156 |
| 出球磨物料 (测点 d) | 改造前 | | 2.2 | 8.3 | 54.07 | 344 |
| | 改造后 | | 1.2 | 6.1 | 57.52 | 351 |

改造后出立磨物料>5mm 颗粒明显减少，挡料装置有效地阻止了大颗粒的“逃逸”。同时，回立磨物料≤80μm 微粉明显减少，说明 V 型选粉机分选效果明显好于 PS 自流筛。

立磨产生的成品由选粉机选出后直接进入成品库，出旋风筒（测点 e）成品量在 20%左右，比表面积 413 m²/kg，45μm 筛余 6.3%，激光粒度分析 3~32μm 颗粒含量 61.4%，单独测其标准稠度用水量 27.9%。

改造后球磨机粉磨效率测试结果见表 11。

表 11 改造后球磨机粉磨效率测试

| 取样点 | | 200μm 筛余/% | 80μm 筛余/% | 比表面积/ (m ² /kg) |
|-----|--------|------------|-----------|----------------------------|
| 一仓 | 1 | 13.52 | 37.6 | 156 |
| | 2 | 11.86 | 26.2 | 176 |
| | 3 | 9.32 | 21.04 | 187 |
| 二仓 | 4(隔仓板) | 9.26 | 20.22 | 203 |
| | 5 | 7.58 | 15.25 | 231 |
| | 6 | 5.32 | 10.42 | 297 |
| | 7 | 4.21 | 7.59 | 318 |
| | 8 | 3.16 | 4.06 | 327 |
| | 9 | 1.6 | 2.07 | 343 |
| | 10 | 0.3 | 1.2 | 351 |

改造后球磨机粉磨效率每米增长比表面积 $15 \text{ m}^2/\text{kg}$ ，远远大于改造前的 $6.23 \text{ m}^2/\text{kg}$ 。研磨体表面黏附现象消除，见图 5。



图 5 改造后研磨体消除黏附现象

4.2 水泥对比

改造前后出厂水泥性能对比见表 12。

4.3 与辊压机系统对比

改造后立磨半终粉磨系统与辊压机联合粉磨系统水泥性能对比见表 13。水泥粒度分布比较见表 14。水泥电镜分析比较见图 6。

表 12 改造前后出场水泥性能对比

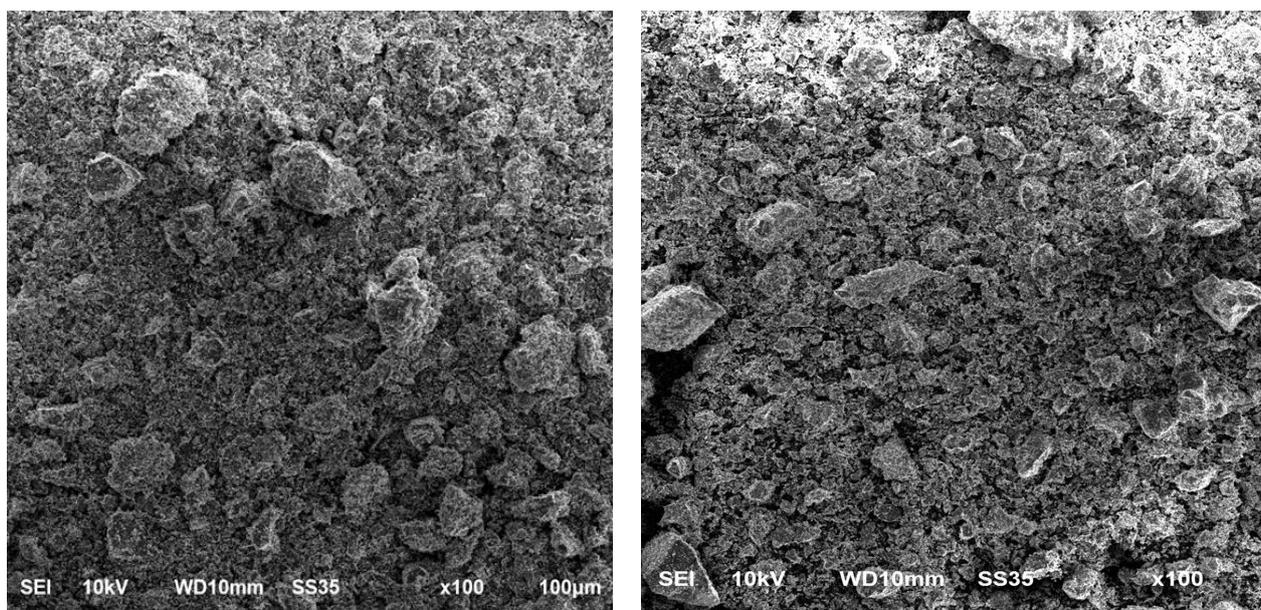
| 项目 | 水泥品种 | 产量 /(t/h) | 电耗 /(kWh/t) | 80 μm 筛 余/% | 比表 (m^2/kg) | 抗压强度/Mpa | | 标准稠度 用水量/% |
|-----|---------|--------------|----------------|---------------------------|----------------------------------|----------|------|---------------|
| | | | | | | 3d | 28d | |
| 改造前 | P·042.5 | 170 | 35.0 | 2.2 | 352 | 28.5 | 48.5 | 28.2 |
| 改造后 | P·042.5 | 200 | 26.8 | 1.2 | 390 | 28.8 | 52.4 | 27.3 |

表 13 改造后的立磨半终粉磨与辊压机联合粉磨系统水泥性能对比

| 生产线 | 配比/% | | | | | 80 μm 筛余 /% | 比表面 积 /(m^2/kg) | 抗压强度 /Mpa | | 净浆 流动 度/mm | 标准稠 度用水 量/% | 坍塌 度 /mm |
|-----------------|------|----|----|----|----|------------------------------|---|--------------|------|------------------|-------------------|----------------|
| | 熟料 | 石子 | 石膏 | 钢渣 | 炉渣 | | | 3d | 28d | | | |
| 立磨半 终粉磨 | 75 | 14 | 6 | 0 | 5 | 1.5 | 390 | 28.8 | 52.4 | 220 | 27.3 | 240 |
| 辊压机 联合粉 磨 | 79 | 9 | 6 | 6 | 0 | 2.3 | 363 | 26.8 | 48.5 | 220 | 26.0 | 220 |

表 104 改造后立磨半终粉磨与辊压机联合粉磨系统水泥粒度分布

| 生产线 | <1 μ m | <3 μ m | 3~32 μ m | 32~45 μ m | 45~65 μ m | <65 μ m | <80 μ m |
|-----------|------------|------------|--------------|---------------|---------------|-------------|-------------|
| 立磨半终粉磨水泥 | 2.15 | 13.03 | 63.88 | 11.71 | 8.17 | 96.79 | 99.09 |
| 辊压机联合粉磨水泥 | 4.41 | 18.35 | 57.34 | 11.47 | 8.66 | 95.82 | 98.48 |



立磨半终粉磨水泥

辊压机联合粉磨水泥

图 6 改造后研磨体消除黏附现象

改造后立磨的运行更加平稳,振动值在 1~1.2mm/s(取消了主电机变频调速),循环量大大降低,循环提升机电流由 180~200A 降低到 100~120A。系统台时产量由 160~170t/h 稳步提高到 200~210t/h,系统粉磨电耗由 35kWh/t 降低到 27kWh/t 以内,水泥在拌制混凝土过程中与外加剂的相容性问题彻底解决,水泥性能超过了老线辊压机联合粉磨水泥,更受市场上欢迎。生产 P·042.5 水泥熟料配比由 82%降低到 75%,水泥早期抗压强度比改造前增加 0.3MPa 左右,后期抗压强度提高了 6MPa 左右,标准稠度用水量较改造前降低了 1.4 个百分点左右,水泥的颗粒级配更加合理,3~32 μ m 含量由 54.07%增加到 63.88%,水泥性能得到明显提高。同时助磨剂使用量有 0.05%降至 0.03% (立磨中可不加助磨剂)。生产成本大幅度降低,经济效益十分显著,达到了本次改造的目的。

5 结束语

本次改造主要针对工艺系统进行，更换选粉机设备改善了立磨的运行工况，改联合粉磨为半终粉磨系统，明显提高了球磨机的粉磨效率。通过此次改造说明了立磨作为半终粉磨是完全可行的，半终产品的含量在 40%时对水泥成品的需水量没有明显的影响，将立磨产生的 $\leq 45\mu\text{m}$ 的微粉选入成品，很大程度上提高了整个粉磨系统的粉磨效率。



高压辊磨机柱钉辊面的受力分析和应用

陈代彦 许鹏云 高霖 沈心

(中建材(合肥)粉体科技装备有限公司, 安徽 合肥 230051)

1 前言

高压辊磨机技术的应用始于二十世纪八十年代,从80年代中期到90年代初期,该项技术主要用于水泥行业和金刚石矿业,并逐步成为生产工艺中的关键装备。从90年代中期至2000年代初期,随着技术的日益完善和改进,最为关键的耐磨柱钉辊面技术的研发应用,使得高压辊磨机在矿物加工领域的应用得到了快速推广,自2000年代中期起,开始在有色和贵金属矿山的硬质矿石上得到较大规模应用。高压辊磨机采用高压料床粉碎原理(如图1所示),来自活动辊液压系统的巨大压力作用在物料上,在压力区,其压力达到50MPa-300MPa;柱钉辊面在运转过程中承受着巨大的正压力、切向力及交变应力,受力情况非常复杂,在这种情况下,柱钉辊面的磨损及失效现象经常发生,如何提高柱钉辊面的耐磨性和可靠性成为各研究单位及制造商的一大课题,并在应用中不断地探索。

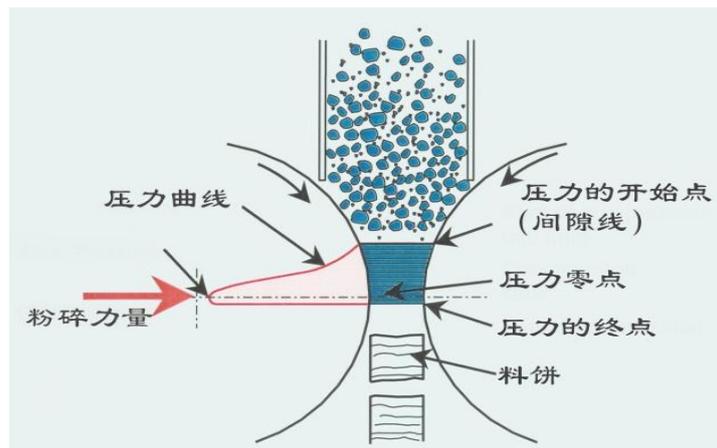


图1 高压辊磨机的工作原理图

2 柱钉辊面自生成料衬原理及辊面失效形式的介绍

柱钉辊面采用自生成料衬原理,即柱钉与柱钉之间填满了结实的物料细粉,高压

辊磨机工作时，含有一定水分的细粉物料在高挤压力作用下而被充填在柱钉之间，在整个辊面包裹了一层结实的料衬，从而有效的保护了辊套基材；而突出的柱钉选用高硬度、高耐磨并具高韧性的硬质合金，该合金由粉末冶金烧结而成；柱钉与辊套基材采用不同的材质而有机地结合在一起，如图 2 所示。

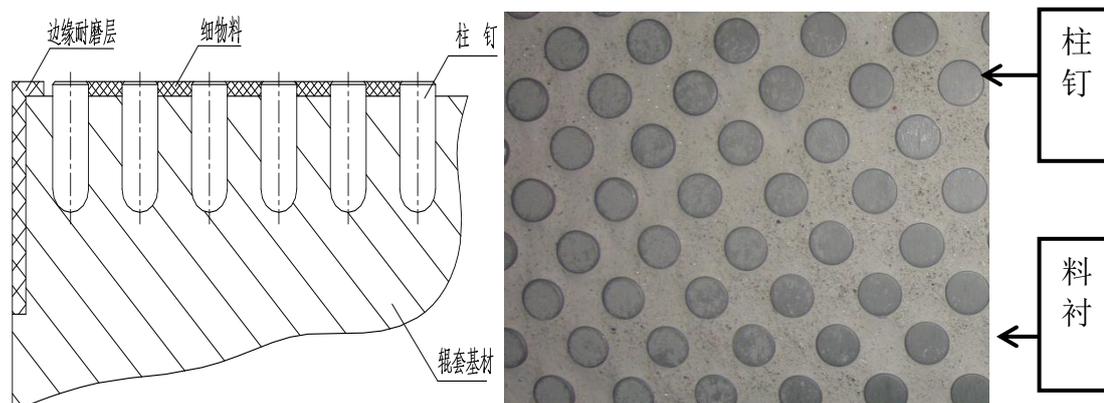


图 2 柱钉辊面自生成料衬原理图

柱钉辊面的失效形式主要有三种，第一种是辊面磨损厉害且不均匀，导致两辊子间缝隙过大，不能形成稳定、连续的料床，挤压效果变差。第二种是断钉现象，如图 3 所示，一旦发生断钉，柱钉间的料衬就遭到破坏，并随着断钉数量的增加，自生成料衬的难度也就越大，从而使辊子基材直接与颗粒物料接触，导致磨损加剧，甚至剥落和被坚硬物料啃出大坑。第三种情况是掉钉，即柱钉从柱钉孔里脱落出来，处理方式自然是将新的柱钉重新植入辊套，但由于新植入的柱钉与原有的柱钉存在高度差，所以会导致辊面不平整，新植入柱钉容易发生第二种失效形式，如图 4 所示。



图 3 柱钉断裂照片图 4 新植入的柱钉

3 柱钉辊面断钉的原因分析

从柱钉断裂截面形状可以看出柱钉是受到了很大的切向力而被剪断的（如图 3 所示），按最理想的运行状态分析，当高压辊磨机辊柱钉辊面只承受正压力时，其寿命及可靠性会大大提高，但高压辊磨机在生产过程中由于种种原因，如：辊子转速不一致以及大块坚硬物料进入辊子等，柱钉辊面承受很大的切向力，当应力超过柱钉的材料极限时，辊面断钉现象就随之发生。下面通过 ANSYS 软件模拟载荷加载方向不同时柱钉的应力状态。由于柱钉尺寸远远小于辊面，故在模型中只取辊面的一部分，然后将柱钉镶嵌其中，辊面采用粗网格划分，柱钉采用细网格划分。在辊面的上下和左侧定义全位移约束，在柱钉孔和柱钉接触的地方定义接触约束，在柱钉端面添加负载。

1、当负载为 100MPa 的压强，其方向与水平方向成一定的夹角 $\alpha = 0^\circ$ （如图 5 所示），即柱钉辊面只承受正压力而没有承受切向力，柱钉的应力分析如下：

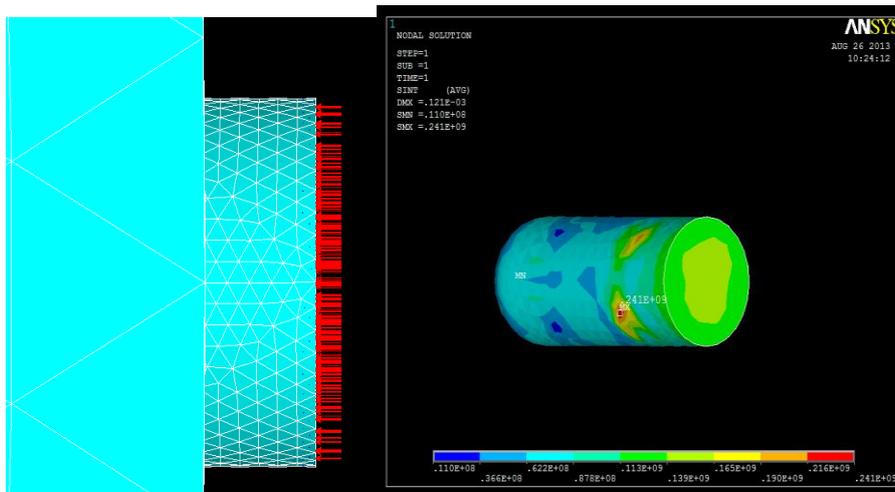


图 5 $\alpha = 0^\circ$ 负载 $P=100\text{MPa}$ 时柱钉的应力状态

从上图可以看出，当 $\alpha = 0^\circ$ 时，柱钉所承受的最大应力值为 241MPa, 远远低于柱钉材料的抗弯强度 $\delta_b=2800\text{MPa}$, 高压辊磨机在这种工作条件下，柱钉处于非常安全的状态。

2、当负载为 100MPa 的压强，其方向与水平方向的夹角 $\alpha = 6^\circ$ ，柱钉的应力分析如下：

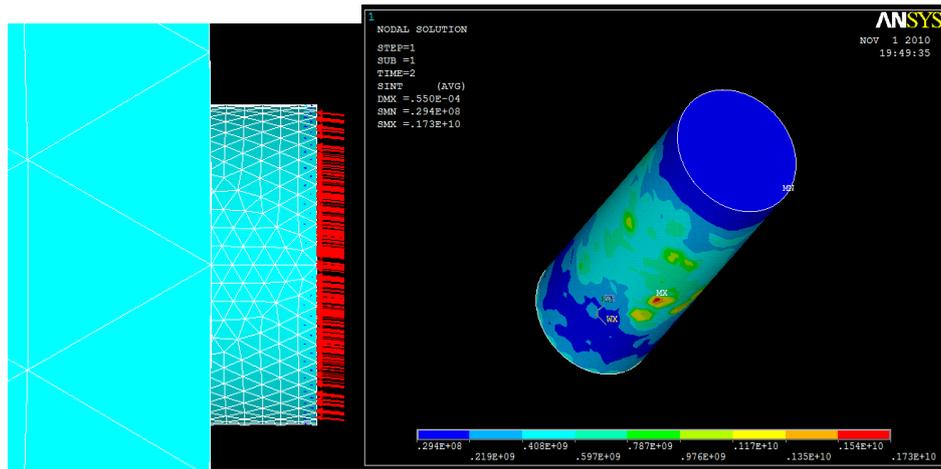


图 6 $\alpha = 6^\circ$ 负载 $P=100\text{MPa}$ 时柱钉的应力状态

从上图可以看出，当 $\alpha = 6^\circ$ 时，柱钉的最大应力值为 1730MPa，而高压辊磨机安全系数一般取 $[S]=2.0$ ，计算可以得出实际安全系数 $S=1.6 < [S]$ ，并且此时负载载荷取值 $P=100\text{MPa}$ 是高压辊磨机相对比较平稳的工作状态，当挤压物料非常不均齐，粒径超出允许范围时，高压辊磨机瞬间的负载载荷可能达到 150MPa 甚至更高，此时柱钉就有断裂的危险。

根据以上实验结果的分析，在载荷值相同条件下，载荷方向会引发柱钉应力值的巨大变化，所以高压辊磨机在生产应用中一定要控制好物料粒径、两辊子转速等影响因素。

4 大柔性液压系统对柱钉的保护

高压辊磨机采用高压压力粉碎不均匀的块状物料，为保证粉碎效果，挤压应力必须高于某一特定值（50MPa-300MPa），因此，系统长期处于高负荷和高冲击的恶劣工作状况下。若高压辊磨机液压系统采用大容量蓄能器并在工作时处于开启状态，可以大幅度提高液压系统的柔性，我们称之为“大柔性液压系统”，在异物和大块物料进入高压辊磨机机时，可以大幅降低系统受到的冲击，使高压辊磨机在高负荷、低冲击的状态中稳定可靠的运行，不仅有效地降低传动系统冲击负荷，也为延长柱钉辊面的使用寿命提供有利条件。图 7 表达的是不同容量蓄能器的液压系统在有异物进入高压辊磨机系统时，柱钉辊面所承受的不同冲击应力值。

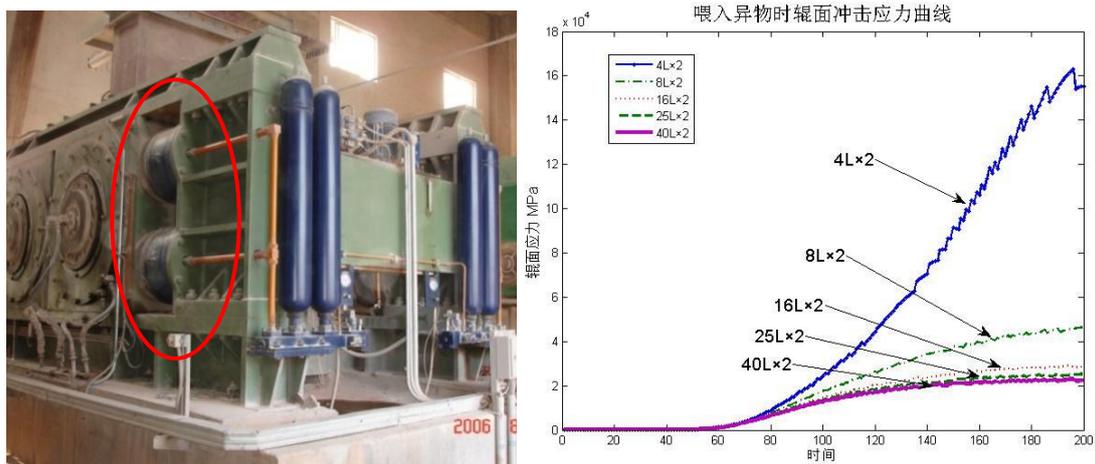


图 7 异物进入高压辊磨机时不同液压系统辊面所受的冲击应力

从上图可以看出，当液压系统采用的蓄能器容量为 2x4L 时，其柱钉辊面所承受的冲击应力值高达 $16 \times 10^4 \text{MPa}$ ，当蓄能器容量为 2x8L 时，柱钉辊面所承受的冲击应力值降至 $5 \times 10^4 \text{MPa}$ ，当蓄能器容量增加值 2x40L 时，柱钉辊面所承受的冲击应力值只有 $2.2 \times 10^4 \text{MPa}$ ，所以大柔性液压系统对柱钉辊面具有很强的保护作用，避免了由于异物的进入而导致柱钉承受巨大的冲击应力，从而也避免了柱钉断裂的可能性。

5 高压辊磨机使用中的几点经验

为了提高高压辊磨机辊面的寿命、可靠性及挤压效果，在进行工艺设计及现场使用中须注意如下几点：

1、在矿石配料系统中必须设置除铁器以及金属探测仪，众所周知，高压辊磨机柱钉辊面最怕的就是金属异物进入，一旦进入高压辊磨机系统很有可能发生断钉及柱钉崩块的现象，甚至啃伤辊子的基材。

2、严格控制入高压辊磨机的矿石粒度，某些制造厂家为了宣传高压辊磨机，称研制的高压辊磨机能处理大粒径的矿石，殊不知，大粒径的矿石会对辊面造成很大的损害，图 3 所示断裂的柱钉就是某高压辊磨机生产厂家对矿石粒度控制宽松造成的，当然，这可能还与柱钉材质选择及辊面设计有一定的原因。许多经验表明，当矿石粒度为 30mm 时效果最佳，既可以大大提高柱钉辊面寿命和其他各部件的可靠性，同时不影响高压辊磨机的处理量。

3、矿石物料的水分控制，水分太高肯定是不行的，挤压后的料饼物料会由于水分太高而不容易分散，导致细粉不能有效地分选出来，而且高压辊磨机的处理量会减少；但是矿石物料太干也是不可取的，太干的矿石物料会影响高压辊磨机辊面料衬的形成，导致柱钉辊面磨损加剧，其次还影响高压辊磨机料床的稳定性，水分控制在 4%左右时，高压辊磨机会处于较理想的工作状态。

4、高压辊磨机的压力控制，图 8 反映的是高压辊磨机挤压效果与投影压力之间的关系，挤压效果指的是挤压后细粉颗粒含量的百分数，投影压力为 F/A ，其中 F 为高压辊磨机液压系统提供的整体压力， A 指的是物料受力面积，从图中可以看出投影压力在 80-120MPa 之间细颗粒增加速度最快，粉碎效率较高，超过 150MPa 后不再增加。所以在实际使用必须结合高压辊磨机的规格型号、液压缸的大小及数量来调节其工作压力，同时还要根据各自的物料特点，如矿物的易磨性及组成成份来进行不同的操作压力。由于物料的受力面积受高压辊磨机咬入角 α 的影响， α 角随辊面、物料的变化而变化，很难得到准确数据，一般采用投影压力 $P_1=F/B \cdot D$ 来进行计算， B -高压辊磨机辊子的辊宽， D -高压辊磨机辊子的直径，实践经验表明，当 $P_1=3-4N/mm^2$ 时（具体数值与矿石有关），高压辊磨机的挤压效果最佳。

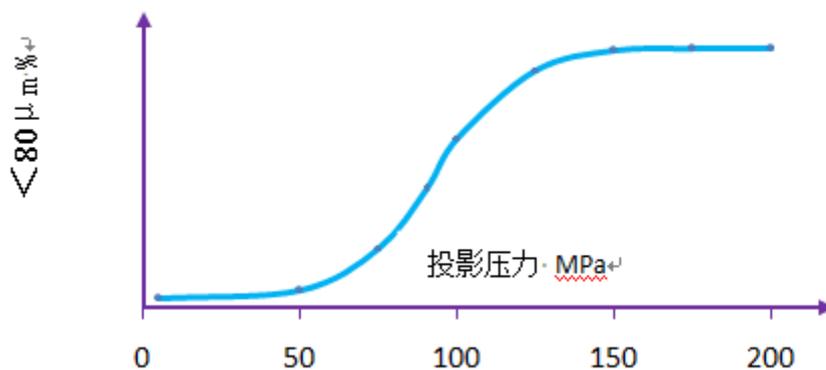


图 8 高压辊磨机的挤压效果与压力的关系

6 结束语

近年来，随着国民经济的迅猛发展，对钢铁的需求量日益增加，铁矿石供需矛盾日趋紧张，合理有效开发我国铁矿资源，是缓解铁矿石供应紧张、降低对外资

源依存度，实现国民经济可持续发展的必由之路。因此，迫切需要依靠技术进步来最大限度地利用铁矿资源，实现铁矿石的高效开发利用，提高国内资源保证程度。经过多年的研究与生产实践，多碎少磨、降低入磨粒度是有效的措施已取得共识，目前国内外开发出的各类超细粉碎设备中高压辊磨机在金属矿山选矿厂具有明显的应用优势，主要表现在节能降耗、提高作业效率、增加有用矿物回收率等方面，已成为新建或改扩建选矿厂时的重要考虑方案；在国外，特别是大型铁矿选矿厂，高压辊磨工艺已成为优选方案，在国内，随着结构、材料及性能上的不断改进，高压辊磨技术将逐步在冶金、有色矿山普及使用。我国是铁矿石消耗大国，占世界总消耗量的 55%，预估 2015 年我国铁矿石年消耗量将达 15 亿吨，按单台高压辊磨机平均矿石处理量 1000t/h 计算，则需配套高压辊磨机 400 台套以上，其他的有色金属矿业、贵金属矿业等大约有 400 台套高压辊磨机市场规模，由此可见，高压辊磨机具有巨大的市场前景。

参考文献：

- [1] 葛新建. 高压辊磨工艺在我国冶金矿山的应用现状[J]. 金属矿山, 2009. 09
- [2] 王仲春. 水泥工业粉磨工艺技术. 2000. 06
- [3] 倪日亮, 郑广智, 张翼飞. 金属矿用高压辊磨机及其工艺系统的发展概况[J]. 矿山机械, 2011. 05
- [4] 刘建远, 黄瑛彩. 高压辊磨机在矿物加工领域的应用[J]. 现代矿业, 2010. 11

一种基于传感器集成控制的一氧化碳含量检测装置

李林桃

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

1 前言

煤粉制备车间属于易燃易爆场所, 虽然设备在制造和使用时都采用了有效措施, 但由于煤质不同加大了防爆难度, 系统难免偶发燃烧和爆炸的危险。其中爆炸因素主要有煤粉的浓度, 气体混合物中 CO 和 O₂ 含量以及温度等因素, 对可燃气体的浓度检测是工业防爆预警的重要手段。目前常用的一氧化碳含量检测装置体积较大, 预处理较为复杂, 随之成本也较高, 为节省投资, 目前多采用单一样气处理与测量系统, 配合多点取样, 分时检测的模式, 导致实时在线检测能力下降, 有些关键位点的 CO 检测只能放弃, 结果是增加了生产系统的安全隐患。

2 装置概述

2.1 装置特点

我公司研发的一种基于传感器集成控制的一氧化碳含量检测装置, 采用单片微处理器完成气体实时检测, 数据修正和标定, 压力监控与反吹扫, 将所有功能集成到一块线路板上, 免去了一般气体分析装置在仪表柜面设置的功能开关和调节旋钮, 可靠性更高。不但可以节约成本, 而且节省了安装调试时间, 在同样投资额情况下实现现场一点一套检测装置, 切实提高安全生产的技术水平。装置外围采用 IP65 防护等级的壳体, 壳体尺寸为 760*600*350 (mm), 使得装置可以在取样点附近直接挂壁安装, 大大提高预警响应时间。

2.2 装置架构

本装置包括: 取样探头, 样气预处理及反吹扫, 集成式 CO 检测控制器和气体传感器。取样探头增加了粉尘分离罩, 依据斯托克斯 (Stokes) 定律, 流速 10~

15m/s 的烟气，在零差压的分离罩缓冲区的流速降至 4m/s，样气中的粉尘和液滴会借助重力自然沉降，不再悬浮，可使进入取样口的样气粉尘大比例减少。

工艺流程上，首先通过带分离罩的取样探头将煤粉制备系统中重要工艺位置的气体抽出，再通过取样管将其输送到箱体内进行样气处理，后由集成式 CO 检测控制器得到 CO 浓度显示并输出模拟信号(4~20mA)，同时，检测控制器实时对检测结果进行联动干预，超限时发出声光报警。集成式 CO 检测控制器是本装置核心模块，用以完成测量探测器和参考探测器的滤波、放大、AD 转换工作，温度、压力、CO 传感器的接收检测工作，反吹扫电磁阀、CO/空气转换电磁阀的控制工作。

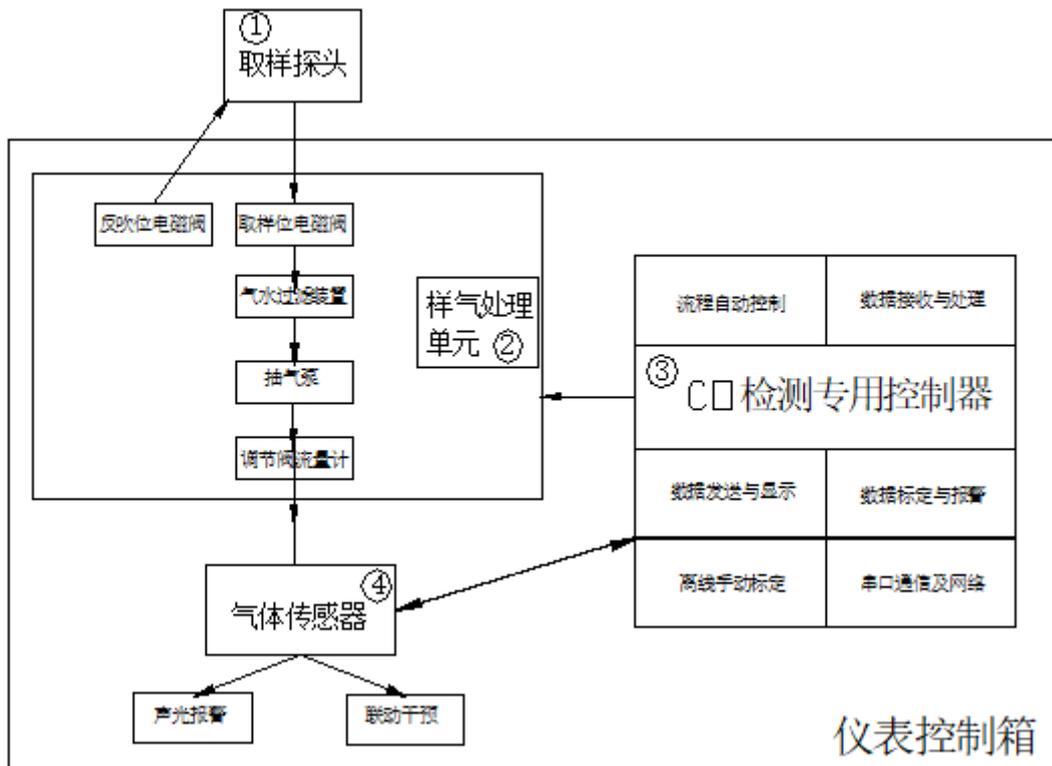


图 1 装置结构示意图

2.3 工作原理

控制器的工作原理是基于不同气体具有不同导热率以及混合气体的导热率随其组份含量变化而不同的这一物理特性。采用铂丝作为敏感元件组成不平衡电桥，以实现非电量与电量的转换。电桥的参比臂内部封装仪器基础气样，电桥的工作臂通过被测气体。当仪器通入基础气样时，电桥处于平衡状态，输出信号为零；当样气含量不等于基础气样时，电桥失去平衡，其不平衡输出信号的大小与被测

成份的体积百分含量相对应。二次线路板将传感器的微小信号进行放大、相敏检波、滤波后得到反映气体含量的电位信号；电位信号经 AD 转换后同温度信号一起交予微处理器（MCU）进行处理，经运算和温补后，得到被测气体的含量和当时的温度值。

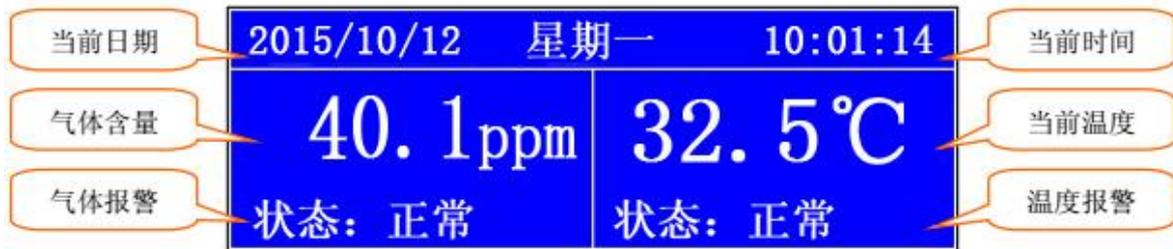


图 2 控制器运行显示主菜单

3 运行实践

3.1 重复性误差

实验向测量气室充入 1000ppm 的 CO 气体，待稳定后，对 CO 浓度进行检测，对其进行连续 10 次测量，其 CO 浓度值如表 1 所示：

表 1 装置重复性实验

| 实验次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|
| CO 浓度 /ppm | 983 | 1003 | 979 | 997 | 1006 | 978 | 985 | 1004 | 996 | 974 |

系统期望值公式为式 1

$$\bar{u} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i \quad (\text{式 1})$$

系统标准差公式为式 2

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2} \quad (\text{式 2})$$

将实验数据代入误差计算公式，可得到平均值 $\bar{u} = 990.5$ ，标志差 $s = 12.01$ 。因此装置测量的相对标准差为 $s_r = s/\bar{u} \times 100\% = 1.21\%$ ，满足要求（最大误差为 4%）。

3.2 稳定性误差

实验向测量气室充入 1000PPM 的 CO 气体，待稳定后，对 CO 浓度进行检测，连续 9 个小时，每个小时检测一次数据，其 CO 浓度值如表 2 所示：

表 2 装置稳定性实验

| | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| 时间/h | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| CO 浓度/ppm | 992 | 987 | 979 | 1006 | 975 | 1009 | 982 | 989 | 996 | 967 |

系统稳定性公式为式 3

$$\Delta h = \max \left| u_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i \right| \quad (\text{式 3})$$

将表 2 的值代入公式, 可得系统稳定性误差为 $\Delta h = 21.2$, 其相对误差为 2.12%, 符合要求。

3.3 现场测量

安徽巢湖某水泥厂煤粉制备车间用了我公司两套 GMS 气体分析系统, 用于对煤粉仓和收尘器中 CO 含量的检测, 目前运行超过 5 年, 使用良好。今年 10 月份, 我们对比了集成式 CO 含量检测装置和 GMS 气体分析系统用户现场使用情况, 在一周的时间内, 每天上午 10 点开始, 每隔 5 分钟记录一次数据, 每次记录 18 组数据, 两套装置测量的 CO, 7 天平均浓度值如表 3 所示:

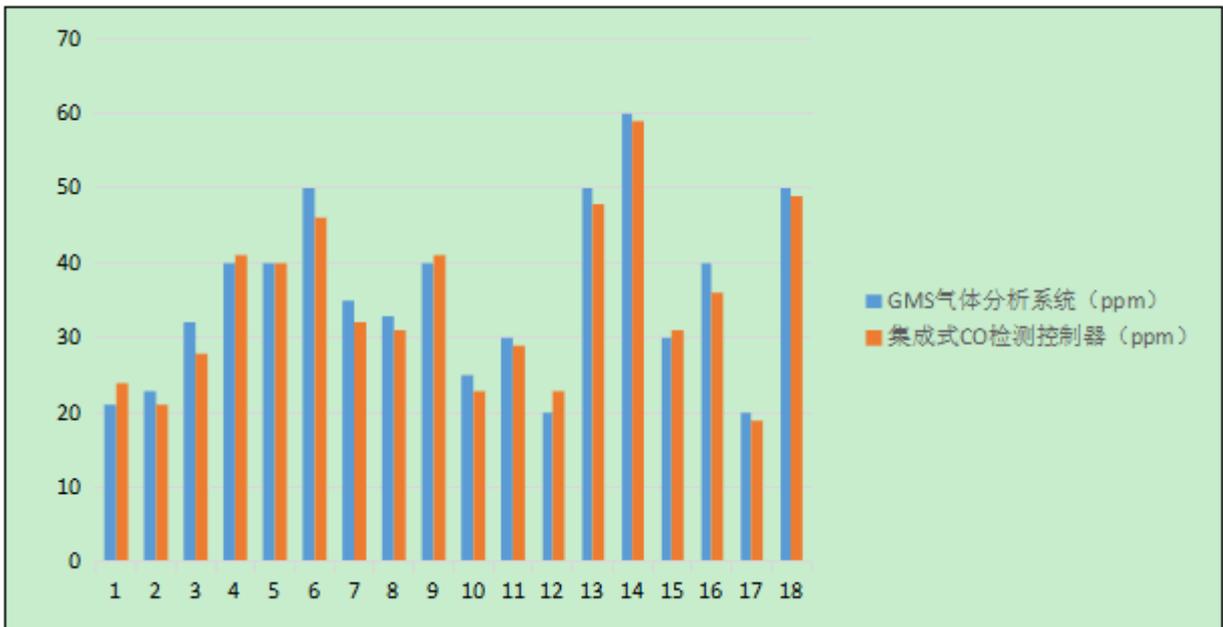


图 3 装置现场对比实验

由图 3 可以看出: 集成式 CO 含量检测装置和 GMS 气体分析系统在测量得到的

数据趋势上基本一致, 相对平均误差值 $\bar{u} = \frac{1}{n} \left| \sum_{i=1}^n u_i - \sum_{j=1}^n v_j \right|$ (式 4), 两组数据代入可

得 $\bar{u} = 1\text{ppm}$ ，原先 GMS 气体分析系统在测量数据平均值为 $\bar{w} = 35.5$ ，因此集成式 CO 含量检测装置测量的相对标准差为 $\Delta s = \frac{\bar{u}}{\bar{w}} * 100\% = 2.82\%$ ，符合设计要求。（最大误差为 4%）

4 小结

我公司研发的一种基于传感器集成控制的一氧化碳含量检测装置，在实验室和工业现场的使用都取得了一些论证，稳定性和准确度都能满足设计要求。与我公司现有的 GMS 气体分析系统相比，它不但外型体积缩小一半、响应更为迅速，而且在传感器所覆盖的测量范围内实现量程自动转换，满足工业现场不同工段的使用要求；在单套成本只有原先装置一半的情况下，还加强了煤粉制备生产环节的消防安全隐患的排查。

同时，本系统还存在着不足，需要日后进行完善和处理。比如进一步深入研究温度、压力与 CO 浓度的关系，建立更加科学的温度压力补偿算法，提高系统测量精度与抗干扰性等。

参考文献：

- [1] 李林桃. 一种基于传感器集成控制的一氧化碳含量检测装置, 实用新型专利, 2015
- [2] 李林桃, 丁涛. 气体浓度监测在煤粉制备系统火灾预警中的应用, 四川水泥, 2014. 10: 141
- [3] 邢希东. 直吹式制粉系统给煤机自燃原因分析及措施[J], 中国电力, 2012, 45(5)
- [4] 郑海明, 铁桥. 磨煤机火灾探测预警系统的设计与应用, 工矿自动化, 2009, 03 :58-61

水泥生产协同处理生活垃圾技术进展

段圆圆 施德祥

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

0 引言

城市生活垃圾快速增加, 以至形成公害, 如何妥善处理, 实现垃圾无害化、减量化和再资源化, 已引起世界各国的高度关注。水泥回转窑燃烧温度高, 物料在窑内停留时间长, 窑内又处于负压状态运行, 工况稳定, 对各种有毒性、易燃性、腐蚀性、反应性的危险废弃物具有很好的降解作用, 可以说, 用水泥回转窑处理城市垃圾最为彻底。但要取得较好的社会和经济效益, 仍要进一步研究处理方法和相应装备。中国水泥工业已经完成了追赶世界先进水平的阶段, 正进入超越引领阶段, 利用水泥生产过程处理城市生活垃圾及其它有毒有害废弃物, 实现废弃物资源利用、环境零污染, 作为水泥行业新的发展目标, 将利于水泥行业的可持续发展。本文从与水泥生产相关的处理生活垃圾专利着手, 介绍我国水泥生产协同处理生活垃圾技术。

1 与水泥生产相关的处理生活垃圾专利情况

2013年10月25日在国家知识产权局——专利检索网页上名称栏用“垃圾 and 水泥”字段检索, 检索出与水泥生产有关的垃圾处理专利74件, 其中发明专利60件, 实用新型16件。发明专利中失效专利21件, 有效专利21件, 处于公开和实质审查阶段专利18件。除去失效专利, 上述发明专利涉及建筑垃圾7件、与水泥生产过程无关的2件、利用立窑或立窑类方法处理的3件, 仅处理垃圾灰渣或飞灰的9件, 余下18件使用回转窑烧成系统处理生活垃圾。18件专利情况见表1, 其中, 申请人为自然人的1件, 企事业单位17件, 企事业单位中有清华、哈工大、郑州大学3所高校; 有金隅红树林、中材国际工程、合肥水泥院、华新环境工程、中信重工机械、海螺建材设计院、天津水泥院、大连创达技术交易、

南京凯盛、广西中盟世纪环保有限公司，可见，水泥生产技术研发、装备制造和生产大户均进行了有关研发，并取得了水泥生产处理生活垃圾专利。

2 专利技术方案分类和简评

研究有关水泥生产处理生活垃圾的 60 件发明专利可知，在水泥生产中处理垃圾焚烧厂产生的灰渣和飞灰，把这些灰渣和飞灰作为水泥生产原料，通过配料的方法掺入，磨制成水泥生料，相比直接处理生活垃圾要简单些；还有些专利利用立窑处理生活垃圾，由于立窑的烧成机理，会使垃圾中的有机成分在较低温度下分解和逃逸，形成更大污染，笔者认为，立窑处理生活垃圾无实用性。鉴于上述原因，与其有关专利未列入表 1，也不作为本文方案分类和研讨的内容。表 1 中专利按垃圾在水泥生产过程的焚烧方式可分为三大类：第一类为可燃物与不可燃物分别处理类，有 7 件。第二类为设置垃圾焚烧装置，垃圾焚烧炉和水泥窑联合处理混合垃圾类，也有 7 件。第三类为垃圾制成衍生燃料后由水泥窑处理类，有 4 件。

表 1 与水泥生产有关处理生活垃圾中国专利情况

| 发明名称 | 申请号 | 技术方案简介 | 处理类型 |
|---------------------------|----------------|--|-------------------------------------|
| 垃圾衍生筛上物替代水泥窑燃料的方法 | 200710177260.6 | 垃圾回收站的生活垃圾经过分筛处理、破包、破碎并充分搅拌、混合后，一部分进入窑尾预燃炉进行燃烧，另一部分从窑头进入水泥窑进行燃烧，成为水泥生产的替代燃料。 | 筛上物(可燃物)经破碎分别进窑尾和窑头处理。 |
| 利用新型干法水泥生产系统处理城市生活垃圾的方法 | 200410066088.3 | 收集后的城市生活垃圾进行分选、破碎处理，并将其分为塑料、渣土、玻璃陶瓷、厨余等不可直接用于燃烧的部分，纸张、织物、植物枝叶等可燃物三部分；当塑料中氯的总含量过高，超过控制标准要求时，进行二次分选，将含氯塑料分选出另作处理；渣土、玻璃陶瓷、厨余不可直接用于燃烧的部分参与原料配制；纸张、织物、植物枝叶和二次分选后的塑料可燃物部分送入烧成系统作为水泥生产替代燃料。 | 分选后，不可燃烧的部分参与原料配制，可燃物部分送入烧成系统作替代燃料。 |
| 水泥回转窑和焚烧炉联合处理城市生活垃圾系统及其应用 | 200610076668.X | 系统包括垃圾焚烧装置、水泥生产设备，垃圾焚烧装置包括依次连通的回转式垃圾焚烧炉、垃圾喂料机、垃圾储池、袋式除尘器与排风机；水泥生产设备包括水泥回转窑，窑头连通熟料冷却机，其窑尾与预热器连通；垃圾焚烧装置与水泥生产设备由其管道连通，联合用于处理原生城市生活垃圾。 | 设置垃圾焚烧炉(回转式)，垃圾焚烧烟气进窑尾，灰渣入窑或做混合材。 |

水泥科技 STC

| 发明名称 | 申请号 | 技术方案简介 | 处理类型 |
|----------------------------|----------------|--|--------------------------------|
| 一种水泥窑综合利用垃圾衍生燃料的系统 | 201110072007.0 | 一种水泥窑综合利用垃圾衍生燃料的系统，它包括 RDF 联合储库、桥式垃圾起重机、喂料机、螺旋输送机、计量秤、大倾角皮带输送机、皮带输送机、三通阀、回转阀；桥式垃圾起重机将 RDF 联合储库内的垃圾衍生燃料转运至喂料机，喂料机的出口与计量秤之间设有螺旋输送机；三通阀的第一出口由输送装置与窑尾烟室的输入口相连通，三通阀的第二出口由输送装置与回转阀的输入口相连通，回转阀的出口由输送装置与燃烧炉内的燃烧器相连通。 | 垃圾先制成衍生燃料（RDF），然后进入水泥窑尾和分解炉燃烧。 |
| 市政垃圾预处理与水泥窑资源综合利用的联合工艺及其系统 | 201110221010.4 | 包括如下步骤：（1）市政垃圾经计量、放射性检测后，进入垃圾接收系统；（2）预破碎；（3）利用干化处理系统对破碎垃圾进行干化、稳定；（4）利用机械处理系统对干化垃圾进行机械处理；（5）分选出的可燃物质经细碎系统细碎后，再经计量系统计量，送入水泥窑系统的窑头燃烧器、窑尾分解炉或预燃室煅烧，替代水泥生产过程中使用的传统燃料；分选出的惰性组分，参与水泥原料的配料，由生料磨进入水泥窑系统。 | 干化分选后，分别作水泥原料和燃料。 |
| 生活垃圾与生物秸秆制备水泥窑用垃圾衍生燃料的方法 | 201210323796.5 | 首先将生活垃圾输送至反应仓中，向其中强制通风，利用好氧微生物堆肥发酵，使垃圾的含水率降低至 40% 以下；然后将干燥处理后的生活垃圾进行筛分处理，去除无机不燃物，获得可燃生活垃圾；再利用破碎机分别破碎生物秸秆、煤和可燃生活垃圾；将碱性添加剂和经破碎处理的生物秸秆、煤以及可燃生活垃圾按照一定的比例混合均匀后挤压成型，然后自然通风晾晒，即得垃圾衍生燃料。 | 分选后，加生物秸秆、煤制成衍生燃料（RDF），供水泥窑使用。 |
| 一种适合于水泥窑联合处置垃圾衍生燃料的制备方法 | 201210323820.5 | 首先将生活垃圾进行筛分处理，去除其中的无机不燃物，然后用破碎机将生活垃圾破碎，再掺入重量比为 10~20% 经破碎后的煤和占重量比为 5~10% 的碱性添加剂，将混合物充分搅拌、混合均匀；然后强制通风将混合物干燥后利用成型设备挤压成型即为垃圾衍生燃料。 | 分选后，加煤制成衍生燃料（RDF）。 |
| 适合于水泥窑联合处置矿化垃圾衍生燃料的制备方法 | 201210324662.5 | 首先将开采的矿化垃圾进行筛选处理，除去腐熟的土质类有机细料；然后将其中的无机不燃物除去，得到含有塑料、橡胶、纤维和竹木等可燃物的可燃垃圾；将前述的可燃垃圾自然晾晒，去除残留在可燃垃圾表面的水分，得到风干的可燃垃圾；将煤和前述的可燃垃圾破碎后和碱性添加剂按一定比例混合，搅拌均匀，送入成型设备挤压成型即得到垃圾衍生燃料。 | 分选后，加煤制成衍生燃料（RDF）。 |
| 一种水泥转窑协同生活垃圾焚烧烟气净化处理方法 | 200810136801.5 | 净化方法：一、焚烧；二、脱酸和除尘；三、除尘后的烟气送入煅烧水泥的回转窑二次焚烧；四、二次焚烧后的烟气通入移动床式填料塔，尾气经除尘后即可排入大气。 | 与水泥生产相结合，垃圾焚烧烟气送入回转窑二次焚烧。 |
| 生活垃圾分拣后残余灰渣直接用于生产水泥的方法 | 200710054732.9 | 包括以下步骤：（1）生活垃圾的分拣；（2）分拣残渣的除臭灭菌；（3）灰渣的陈化；（4）确定灰渣的掺入量；（5）入窑煅烧；（6）煅烧所得熟料与石膏配合入水泥磨，制成水泥。 | 分选后，仅处理无机物，作为生料配料的原料。 |

水泥生产协同处理生活垃圾技术进展

| 发明名称 | 申请号 | 技术方案简介 | 处理类型 |
|---------------------------|-----------------|---|--|
| 一种水泥回转窑处理城市生活垃圾的工艺系统 | 200910065584. X | 包括人工分拣、预脱水、破碎处理、使用辅助焚烧炉，对经过破碎处理的生活垃圾进行烘干及焚烧，产生的废气和释放出的热量进入水泥窑预热分解系统中，再完成水泥生料的烘干、预热及部分焚烧功能，焚烧灰渣通过水泥分解炉进入水泥窑作为原料生产水泥熟料。 | 分拣、预脱水、破碎后的垃圾经辅助焚烧炉焚烧，灰渣进窑，废气进预热器。 |
| 生活垃圾新型干法水泥回转窑焚烧方法 | 200910114490. 7 | 采用均匀垃圾破碎机、均匀旋转锁风喂料机、垃圾集装箱设备，设计封闭的垃圾筛分车间，提高垃圾分选、集装、破碎及喂料处理的质量效果，解决垃圾喂料时对焚烧炉炉温的影响及垃圾堆积导致燃烧不完全的技术问题。不可燃垃圾和可燃垃圾的灰渣作为水泥原料的混合材料使用。 | 分选后，可燃物入分解炉，可燃物灰渣和不可燃物做混合材。 |
| 在水泥干法窑生产中应用的垃圾处理系统及其处理方法 | 200910258960. 7 | 垃圾处理系统，包括垃圾储料仓、垃圾破碎机、垃圾供给装置及干法水泥生产中的分解炉、回转式的水泥窑，垃圾处理系统设垃圾气化燃烧炉，垃圾供给装置与垃圾气化燃烧炉的垃圾进口连通，垃圾气化燃烧炉的排气口通过管道与所述分解炉连通，所述的分解炉的物料出口与所述的水泥窑进料口连通。 | 不分选，垃圾由气化燃烧炉焚烧，热烟气进窑尾。 |
| 水泥窑处理生活垃圾筛上物和/或固体可燃废弃物的方法 | 201010132030. X | 包括以下步骤：（1）在水泥窑系统的窑尾烟室和/或分解炉上和/或窑头相关部位开设废弃物入料口；（2）将水分质量百分比 $\leq 20\%$ 的生活垃圾筛上物和/或固体可燃废弃物经破碎机破碎，粒度控制在 $\leq 25\text{mm}$ ；（3）将破碎后的生活垃圾筛上物和/或固体可燃废弃物经除铁处理后加入水泥窑预分解窑的窑尾烟室和/或窑头燃烧器和/或分解炉内进行焚烧，焚烧后全部转变为水泥熟料组分。 | 仅处理分选后筛上可燃物。 |
| 利用水泥回转窑处理生活垃圾的设备工艺配置方法 | 201010567035. 5 | 包括预处理设备工艺配置法和焚烧设备工艺配置法，预处理设备配置法对生活垃圾实施破碎处理全过程，焚烧设备配置法对破碎的生活垃圾实施焚烧全过程。焚烧设备工艺配置包括双层电动翻板阀、L型焚烧炉；双层重锤翻板阀、振动输送机和斗提机，从窑三次风管上截取的部分三次风进入L型焚烧炉并对炉内的生活垃圾进行高温焚烧，产生的烟气通过出风管再与三次风管汇合。 | 不分选，破碎后垃圾进L型焚烧炉用三次风焚烧，烟气与三次风管汇合。 |
| 一种以城市垃圾为原料的水泥制作方法 | 201010553599. 3 | 本方法分为四个步骤，分选后的无机成分，除去金属，余下全作水泥原料，将其送入焚烧炉煅烧为垃圾灰。生成废气也在立筒预热器系统中经过高温CaO的吸收，将有害气体变为无害物，烧完的垃圾灰一部分送干法原料磨和其他配料配成生料；另一部分送到水泥磨头仓和水泥一同粉磨作为水泥的混合材。 | 分选后的无机成分先烧成垃圾灰，磨制水泥生料或作混合材。 |
| 水泥熟料生产线协同处置垃圾系统及方法 | 201210233389. 5 | 将垃圾喂进垃圾焚烧炉；含氧热气与富氧气体混合提供给垃圾焚烧炉，并通过富氧管道阀门和热风管道的阀门来调节富氧气体氧含量及流量；垃圾经过垃圾焚烧炉干燥、燃烧、燃烬，燃烧烟气通过烟气管道进入分解炉里，然后经过烟气净化系统处理，燃烧后的垃圾残渣直接进入回转窑或进入堆场。 | 垃圾分选，设置焚烧炉，富氧焚烧，烟气进窑尾烟气净化系统，灰渣入窑或进入堆场。 |

| 发明名称 | 申请号 | 技术方案简介 | 处理类型 |
|------------------|----------------|--|---------------------|
| 新型干法水泥窑焚烧生活垃圾的方法 | 201310112738.2 | 将生活垃圾通过破碎后，加入发酵菌群，利用发酵菌对生活垃圾的陈腐作用和陈腐过程中产生的热量蒸发脱除部分水分，磁选金属，用计量喂料器将生活垃圾沿三次风管口与分解炉交汇处沿三次风管切线方向喂入分解炉内，借助于三次风在窑内快速打散、引燃、煅烧。 | 垃圾中入发酵菌群脱水，喂入分解炉焚烧。 |

2.1 可燃物与不可燃物分别处理

该类处理方法代表专利为《利用新型干法水泥生产系统处理城市生活垃圾的方法》，专利号为 200410066088.3。本发明是利用新型干法水泥熟料烧成系统处理城市生活垃圾的方法，它的方法步骤分为四步，一是对收集的城市生活垃圾进行分选、破碎处理。二是当塑料中氯的总含量过高，超过控制标准要求时，对分选出的塑料、废纸、植物枝叶等可燃物进行二次分选，将含氯塑料分选出另作处理。三是分选出的渣土、玻璃陶瓷、厨余不可直接用于燃烧的部分，均匀拌入的生料粉或窑灰与城市生活垃圾的重量比=1：5~10，在遏制厨余物发酵的同时进行均化处理，然后参与水泥原料的配料，送至生料磨中，经烘干、粉磨成水泥生料粉，进入均化库均化储存，而后一起喂入烧成系统；四是分选出的纸张、织物、植物枝叶和二次分选后的塑料可燃物部分经细碎后，送入烧成系统作为水泥生产替代燃料。

该类技术以分选为基础，把可燃物与不可燃物分别替代水泥生产的燃料和原料，对水泥生产的影响较小。由于城市生活垃圾组成的复杂性，分选流程复杂，还需要破碎，甚至烘干和粉磨，上述前处理造成使用装备繁多，效率低下，能耗高，结果是处理成本很高。复杂的前处理也很难把可燃物与不可燃物完全分开，遗留在不可燃物中的塑料、废纸、植物枝叶等会降低生料制备效率和增加设备故障，这些可燃物入预热器后，在较低的温度下即可燃烧，产生有机污染物。同时复杂的前处理过程，难免垃圾臭气泄露。为提高分选效果和分选效率，稍后专利对生活垃圾陈化（增加存放天数，让其发酵），甚至接种发酵菌；为防止臭气泄露，加强处理过程的密封；上述措施使处理过程更加复杂，尚不能降低处理成本。

2.2 设置垃圾焚烧装置和水泥窑联合处理混合垃圾

该类处理方法代表专利为：《水泥回转窑和焚烧炉联合处理城市生活垃圾系统及其应用》，该专利号 200610076668. x，系统流程见图 1。该系统包括垃圾焚烧装置、水泥生产设备、控制装置和若干管道；其中，水泥生产设备包括水泥回转窑（15）、窑头罩（1）、熟料冷却机（21）、预热器（12）与鼓风机（20）；所述水泥回转窑（15）的窑头通过窑头罩（1）连通熟料冷却机（21），其窑尾通过管道与所述预热器（12）连通；其特征是：所述垃圾焚烧装置包括依次连通的回转式垃圾焚烧炉（7）、垃圾喂料机（6）、垃圾储池（4）、袋式除尘器（3）与排风机（2）；所述垃圾焚烧装置与所述水泥生产设备联合用于处理原生城市生活垃圾；其处理步骤为：由所述水泥回转窑（15）的窑头罩（1）处抽取燃烧空气，该燃烧空气经管道（19）送入回转式垃圾焚烧炉（7）内对其内送入的垃圾进行焚烧；焚烧后的热烟气经预热器（12）换热后再经所述水泥回转窑（15）的废气处理系统净化排放；焚烧后的灰渣经回转式垃圾焚烧炉（7）尾部设置的锁风阀（8）卸出，直接进入所述水泥回转窑（15）作为生产水泥熟料的原料或者外排作为水泥混合材；所述垃圾储池（4）存放的垃圾，其臭味及有害气体经与垃圾储池（4）连接的袋式除尘器（3）除去粉尘后经管道（22）输送到熟料冷却机（21）与高温熟料接触，将所述的臭味及有害气体分解、燃烧。（23）用计算机控制垃圾焚烧系统和水泥烧成系统的协调运行。

该类技术以在水泥回转窑旁建垃圾焚烧炉为基础，利用水泥回转窑联合处理生活垃圾。对垃圾焚烧炉运行，有的专利利用冷却机热空气，有的提出富氧燃烧，由于垃圾焚烧炉对垃圾适应性很强，可以省去复杂的垃圾分检过程，原生垃圾被处理成垃圾灰和热烟气入窑，对水泥生产的影响较小。系统简单，降低了处理费用。垃圾焚烧炉建在水泥回转窑旁，还要建垃圾储存设施，要求回转窑附近应有较大空间。

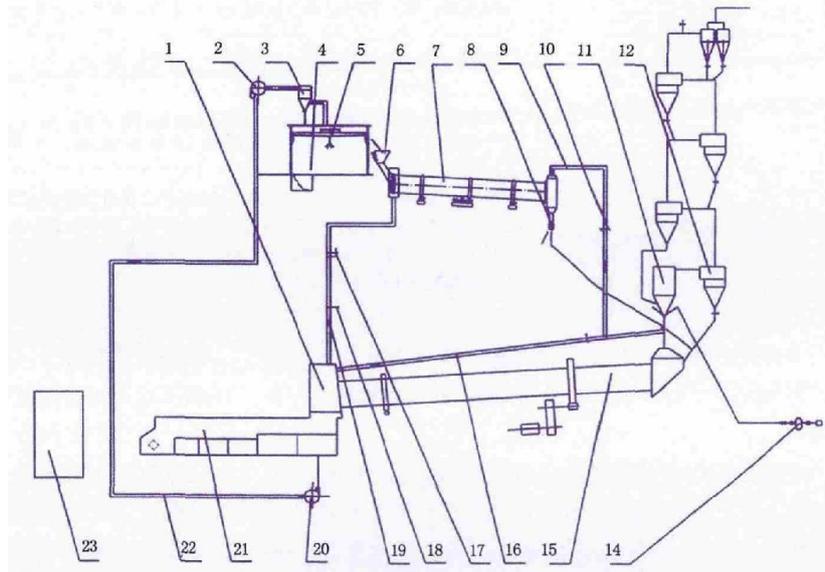


图 1 水泥回转窑和焚烧炉联合处理城市生活垃圾系统流程图

3 垃圾制成衍生燃料后由水泥窑处理

该类处理方法代表专利为《一种水泥窑综合利用垃圾衍生燃料的系统》，专利号为：201110072007.0，系统流程见图 2。

本发明涉及一种水泥窑综合利用垃圾衍生燃料（RDF）的系统。一种水泥窑综合利用垃圾衍生燃料的系统，其特征在于它包括 RDF 联合储库、桥式垃圾起重机、喂料机、螺旋输送机、计量秤、大倾角皮带输送机、皮带输送机、三通阀、回转阀；桥式垃圾起重机将 RDF 联合储库内的垃圾衍生燃料转运至喂料机，喂料机的输出口与计量秤之间设有螺旋输送机；三通阀的第一输出口由输送装置与窑尾烟室的输入口相连通，三通阀的第二输出口由输送装置与回转阀的输入口相连通，回转阀的输出口由输送装置与燃烧炉内的燃烧器相连通。本发明可连续稳定精确计量 RDF，减少由于 RDF 在量和质上的波动对燃烧炉热工制度的干扰，有效的利用垃圾衍生燃料（RDF）。

该类技术以先把生活垃圾制成垃圾衍生燃料（RDF）为基础，优点是：RDF 可以较远距离运送，可连续稳定精确计量 RDF，减少由于 RDF 在量和质上的波动对燃烧炉热工制度的干扰，有效的利用垃圾衍生燃料（RDF）。缺点是：垃圾衍生燃料（RDF）制作需要多次破碎和分选，再进行粉碎和成形，过程复杂，处理费用高。垃圾处理过程产生的有机废气难于利用水泥生产余热处理。

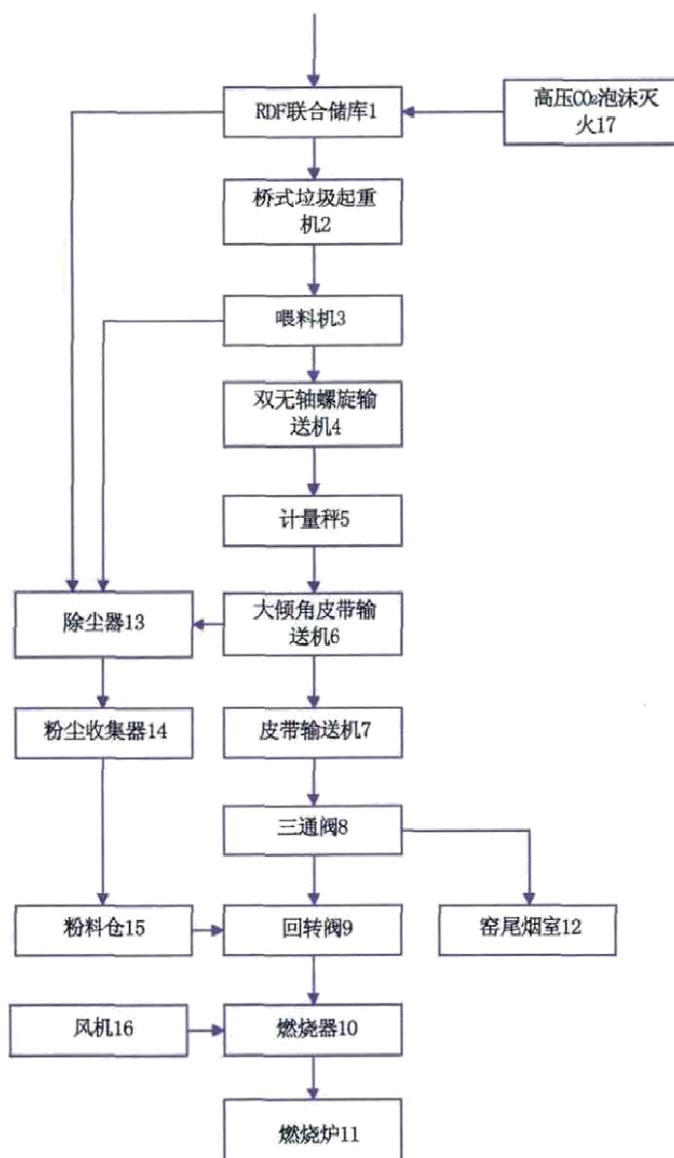


图2 一种水泥窑综合利用垃圾衍生燃料的系统流程图

4 水泥生产协同处理生活垃圾技术实施情况

早在上世纪90年代一些立窑水泥厂就进行过处理垃圾的试验，或做配料，或直接入窑，后来，大家认识到只有新型干法水泥窑处理生活垃圾才符合环保要求。实施水泥生产协同处理生活垃圾工程的范例：合肥水泥研究设计院在四川川煤集团天台水泥厂，采用回转式垃圾焚烧炉联合水泥窑处理生活垃圾，该技术处理城市生活垃圾不用外加燃料，还起到了替代水泥生产燃料和原料的作用，垃圾中的硫和氯等污染环境的有害物质被构成水泥熟料主要成分的CaO吸收，对水泥熟料烧成和产品质量无不良影响，对外界环境无污染。海螺集团在铜陵水泥厂采用新

型干法水泥窑和气化炉相结合的方法处理城市生活垃圾（简称 CKK 系统），是一种比以往的流化床燃烧方式更先进的焚烧形式。它将垃圾的一部分热量用于燃烧，将剩余的可燃部分作为可燃气体从炉中导出有效利用到水泥工艺中去。该系统利用水泥窑稳定高温环境完全降解垃圾焚烧产生的二噁英，实现无害化处理；系统采用特殊的供风系统和负压操作，有效控制和处理臭气，防止了臭气排放；垃圾中的污水收集后采用密闭的泵将污水喷射到气化炉内，通过高温水泥窑进行蒸发氧化处理，完全分解有机成分，实现无害化和污水零排放；焚烧时利用垃圾自身热量实现自然，一般不需要燃料，且垃圾燃烧的热能可替代水泥熟料生产所需要的部分燃料，灰烬用作水泥原料，无废弃物排出；对水泥生产及产品品质不产生任何影响。华新水泥武穴预处理工厂采用垃圾制成衍生燃料后由水泥窑处理技术，对生活垃圾分选，无机非金属部分在水泥原料粉磨及烧成过程中得到处理；可燃部分制成衍生燃料进入水泥窑进行高温焚烧处理，垃圾生化过程中产生的渗滤液经收集后再经过泵送入水泥窑焚烧处理……，水泥生产协同处理生活垃圾工程实施愈来愈多，各有千秋，将呈现百花齐放的态势。

5 技术进展小结

水泥生产处理生活垃圾相关专利和实践说明，我国水泥工业协同处理生活垃圾技术已从简单的把原生生活垃圾投入水泥窑焚烧，发展到先对原生生活垃圾预处理到适应水泥生产各阶段要求，再投入相应生产工序处理，以及垃圾焚烧炉和水泥回转窑联合处理技术，由落后的立窑焚烧发展到采用新型干法回转窑焚烧，从而使水泥工业处理和处置生活垃圾过程更加环保。但是，水泥工业协同处理生活垃圾技术推广十分缓慢，投资和运行费用高是重要因素，目前的技术发展表现在如何保证水泥产品质量和消除处理过程的二次污染方面，从而节省处理消耗、提高处理量及水泥企业处置生活垃圾效益。在国家科技政策的引导下，科技工作者和企业家的携手探索，“十二五”期间会取得较大技术突破，使水泥生产协同处理生活垃圾技术成为我国环保且经济的处理生活垃圾主导技术。

改性玄武岩纤维滤料耐温性能研究

童庆 王浩明

(合肥中亚环保科技有限公司, 安徽 合肥 230051)

0 引言

高温滤料在水泥、化工、冶金、电力等行业高温烟气净化技术中已得到广泛应用, 市场需求量巨大。目前, 普遍使用的高温滤料用纤维包括PPS、P84、Nomex、PTFE、玻璃纤维等, 但上述滤料最高持续耐温不超过250℃、且在耐水解、抗氧化、耐腐蚀等方面性能优劣不一。玄武岩纤维因其特有的物理、化学组成, 使其在耐高温(持续耐温时间约300℃~500℃)、稳定性、耐腐蚀性、耐水解性、绝缘性等许多技术指标方面优于玻璃纤维和化学纤维, 而成为理想的高温烟气过滤材料^[1-5]。本研究针对玄武岩纤维滤料表面改性前后及表面改性后玄武岩纤维滤料与无碱玻纤滤料的耐温性能、结构形态进行对比研究。

1 试验部分

1.1 试验材料

玄武岩纤维滤料, 其中玄武岩纤维基布: 由玄武岩长丝合股并经过机织而成, 其面密度为420g/m², 经纱密度为48根/10cm, 纬纱密度为51根/10cm, 其中经向拉伸强力为1774N, 纬向拉伸强力为2073N。普通无碱滤料。

1.2 试验仪器及试验条件

YG065H型电子织物强力仪、BPG-9100BH高温干燥箱、JSM-5610LV型扫描电子显微镜, 高真空模式分辨率为3.0 nm, 放大倍数为18X~300000X, 加速电压为0.5 KV~30 KV。滤料耐温性能试验方法按照 GB/T 6719-2009 执行。

1.3 试样预处理

由于各行业工业炉窑产生的烟气粉尘化学成分、烟气的温湿度等差别很大,

采用后整理浸润剂技术对玄武岩纤维滤料表面进行改性处理，针对玄武岩纤维滤料表面改性前后及表面改性后玄武岩纤维滤料与无碱玻纤滤料的耐温性能、结构形态进行对比研究，以进一步提高其使用性能。步骤如下：

(1) 首先将各测试滤料样品（包括玄武岩纤维滤料及其他比对滤料）经高温预处理，以去除原有滤料纤维表面化学物质干扰；

(2) 将各种改性原料按比例配制成浸润剂，再将浸润剂均匀的分别涂覆在经高温预处理后的各测试滤料样品表面，再次经过高温热定型；

(3) 将表面改性处理后的各测试滤料样品放置在烘箱内经高温处理，冷却至室温，对滤料耐温性能指标进行检测。

2 结果与讨论

2.1 玄武岩纤维滤料表面改性处理前后经、纬向断裂强力分析

图1为玄武岩纤维滤料表面改性处理前后在常温、250℃、300℃、350℃、400℃条件下的经、纬向断裂强力曲线。由图1中可以看出经过表面处理的玄武岩纤维滤料经、纬向强力明显高于未经表面处理的滤料，这是因为滤料表面经浸润剂处理后，部分浸润剂已深入滤料内部，滤料表层及内部纤维间相互粘结，抱合力得到明显增强；在250℃~300℃之间滤料强力损失较大，表明随着温度的升高，浸润剂中的化学有机成分在不断挥发，纤维间的抱合力消失迅速，但在300℃附近滤料经、纬向强力仍保持在1500N以上，这正是玄武岩纤维本身优异的耐温性能所致；

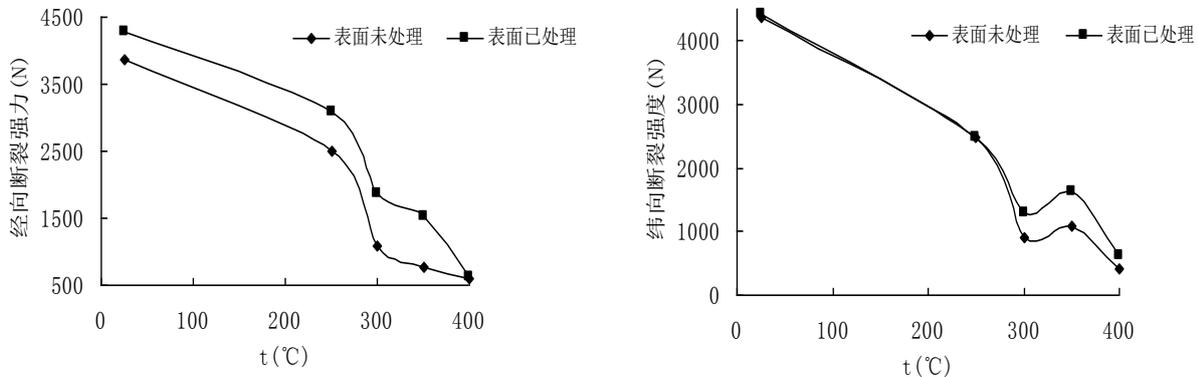


图1 玄武岩纤维滤料表面改性处理前后经、纬向断裂强力曲线

图2、图3分别为表面改性处理后玄武岩纤维滤料在常温及400℃条件下的SEM图，由图中可以看出经过300℃~400℃高温处理后浸润剂中的化学有机成分已基本消失，滤料纤维内部结构遭到破坏导致强力进一步下降。图4、图5分别为未经表面改性处理玄武岩纤维滤料在常温及400℃条件下的SEM图，由图中可以看出无论在常温还是高温条件下滤料纤维间由于失去了浸润剂的粘结从而丧失抱合力，其强力均明显低于改性处理后的滤料。

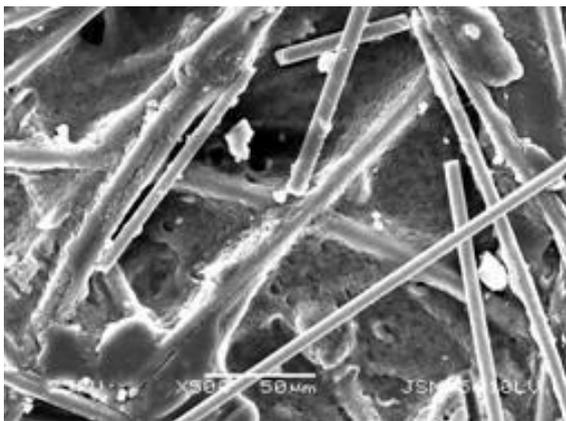


图2 表面处理后常温条件下滤料纤维SEM图

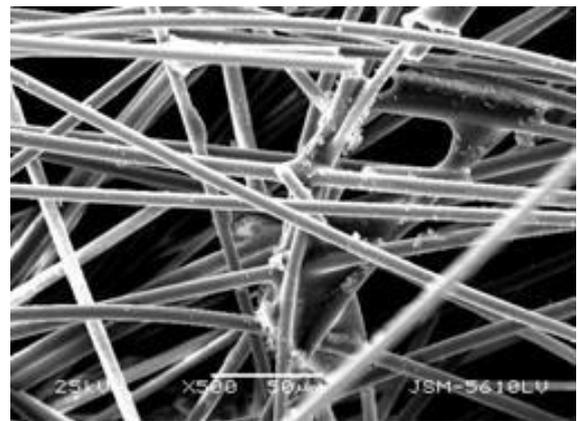


图3 表面处理后400℃条件下滤料纤维SEM图

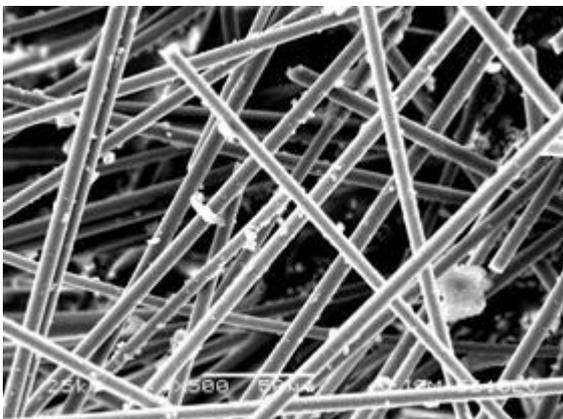


图4 未经表面处理常温条件下滤料纤维SEM图

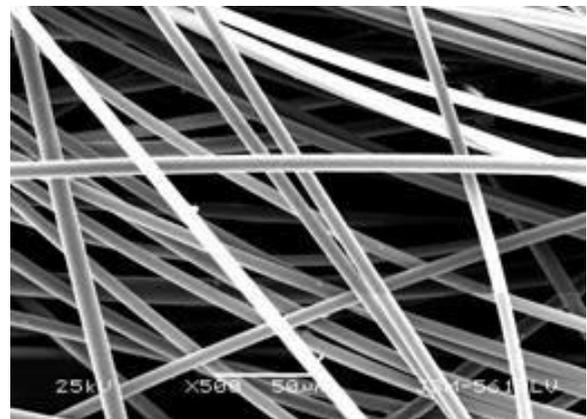


图5 未经表面处理400℃条件下滤料纤维SEM图

2.2 表面改性处理后玄武岩纤维滤料与无碱玻纤滤料经、纬向断裂强力分析

图6为表面改性处理后玄武岩纤维滤料与无碱玻纤滤料在常温、250℃、300℃、350℃、条件下的经、纬向断裂强力曲线。由图6中可以看出表面改性处理后玄武岩纤维滤料经、纬向断裂强力均大大高于无碱玻纤滤料。玄武岩特殊的化学组分及晶体结构决定了其纤维产品较之于无碱玻纤具有更高的耐温性能、力学性能及

化学性能。

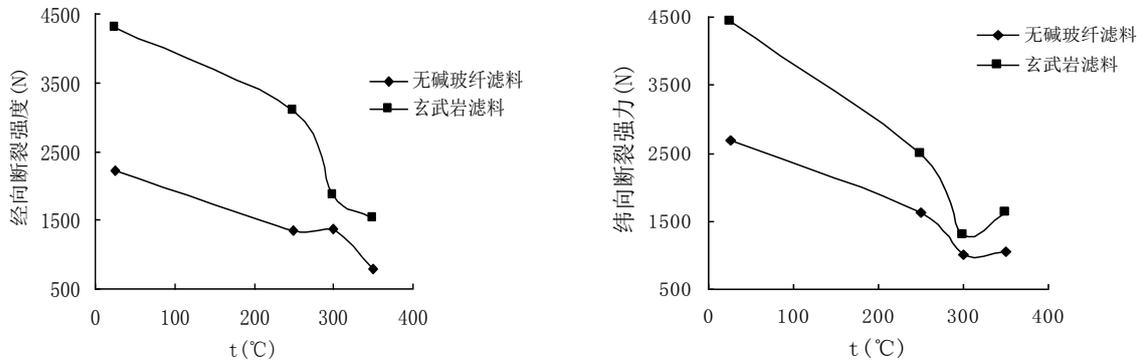


图6 玄武岩纤维滤料与无碱玻纤滤料经、纬向断裂强力曲线

3 结论

(1) 经过表面处理的玄武岩纤维滤料经、纬向强力明显高于未经表面处理的滤料；在250℃~300℃之间滤料强力损失较大，300℃~400℃高温处理后浸润剂中的化学有机成分已基本消失，滤料纤维内部结构遭到破坏导致强力进一步下降。

(2) 表面改性处理后玄武岩纤维滤料在常温、250℃、300℃、350℃条件下经、纬向断裂强力均大大高于无碱玻纤滤料。

参考文献：

- [1] MEDVEDYEV O, TSYBULYA Y. Basalt use in hot gas filtration[J]. Filtration and Separation, 2005, 42(1): 34-37.
- [2] WANG Mingchao, ZHANG Zuoguang, LI Yubin, et al. Chemical durability and mechanical properties of alkali-proof basalt fiber and its reinforced epoxy composites [J]. Reinforced Plastics and Composites, 2008, 27(4): 393-407.
- [3] KNOTKO A V, GARSHEV A V, DAVYDOVA I V, et al. Chemical processes during the heat treatment of basalt fibers [J]. Protection of Metals, 2007, 43(7): 694-700.
- [4] 张小良, 沈恒根. 高温烟气除尘用纤维滤料研究进展[J]. 中国安全生产科学技术, 2009, 5(5): 13-16.
- [5] 梁凤静, 杨彩云. 玄武岩纤维织物耐酸碱性试验研究[J]. 产业用纺织品, 2010(4): 21-23.

生物纳膜源头抑尘技术在水泥行业中的应用前景

李联康

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

0 引言

纵观整个水泥行业,乃至拓展到建材、冶金、化工、煤炭等领域,其生产过程中的粉尘治理都是亟待解决的问题,据统计,水泥行业原料段的粉尘排放占总排放量的 50%左右,而原料段排放以无组织排放居多,它作为粉尘治理中的难点,尤其需要引起足够的重视。

近年来水泥行业的发展基本已经进入了平稳期,各种技术装备也已经基本发展成熟。对于粉尘治理这一块,粉磨及煅烧工段仍然是以干式除尘为主,主要有窑头除尘,窑尾除尘,水泥磨除尘,煤磨除尘等,并且应该暂时不会出现其他颠覆性的新技术手段;但是对于其他工段,特别是原料工段,现在并没有非常有效的粉尘治理手段,当今最常用的就是收尘器加喷雾除尘的综合治理手段。但是值得注意的是,这些发展较成熟的原料段粉尘治理手段基本都是属于末端治理,也就是这种手段的实施是建立在粉尘已经产生的基础上的。那么有没有一种手段可以实现从源头上杜绝原料粉尘的产生,生物纳膜源头抑尘技术应运而生。

生物纳膜源头抑尘技术是从国外引进的最先进的源头抑尘技术,不仅能够有效解决水泥生产原料处理环节中的有组织和无组织的粉尘污染,而且由于省去了粉尘散发后捕集的过程,大幅度降低能耗,降低了管理成本。

1 源头抑尘技术的开发背景

粉尘治理主要分为末端治理和源头抑尘两大流派,末端治理关注粉尘产生后的搜集和捕捉,源头抑尘着力于从源头抑制粉尘的产生和散发。

水泥行业中主要的粉尘来源于原料的开采、破碎过程和粉磨、煅烧过程。对

于粉磨、煅烧过程，由于其系统具有密封和高温的特性，其粉尘治理宜采用除尘器除尘方式，而除尘器除尘就是典型的末端治理手段。对于原料的开采、破碎过程，以前常用的手段也是除尘器除尘，例如在石灰石破碎车间设置一套收尘系统，对破碎产生的粉尘进行治理，但是收集的粉尘最后还是送到破碎机下游输送皮带上，在后面的工段：堆料、取料、转运等环节，又会重复扬尘、收集、卸灰的过程，这在无形中增加了水泥生产的投资和能耗，导致成本增加。另外在一些不宜设置除尘器的生产环节，例如原料的堆料部位，常规的除尘器除尘方式无法实现，这就需要我们开发一种新技术，可以实现从源头上抑制粉尘的产生。

源头抑尘的优点是阻止了粉尘的产生，在后期的生产环节中基本不需要再另行设置收尘器，不必再烦恼于一些大型敞开空间的无组织排放除尘问题，也摆脱了粉尘反复收集、排放的尴尬处境。

2 生物纳膜源头抑尘技术的原理

国际标准化组织规定：粒径小于 $75\mu\text{m}$ 的固体悬浮物定义为粉尘，那么我们可以将粉尘的产生要素概括为两点：第一、细小的固体颗粒；第二、悬浮在空中。要想实现源头抑尘，无非从两个方面下手：阻止细小固体颗粒的产生或者阻止其悬浮于空中。

而生物纳膜源头抑尘技术的开发就是着眼于粉尘产生的两要素。生物纳膜是层间距达到纳米级的双电离层膜，能最大限度增加水分子的延展性，并具有强电荷吸附性；将生物纳膜喷附在物料表面，能吸引和团聚小颗粒粉尘，阻止细小固体颗粒的产生，而如果对粉尘进行喷洒，则生物纳膜同样会吸附细小颗粒，并使其聚合成大颗粒状尘粒，自重增加而沉降，阻止其悬浮于空中；另外，生物液膜药剂会在一定时间后自行分解，一般约 3 小时内降解 70%，48 小时后降解 95% 以上，完全不会影响到后续产品的质量，该技术的除尘率最高可达 99% 以上，平均运行成本为 0.05~0.5 元/吨。

喷洒过足够剂量生物液膜的物料，细小粉尘已经聚合成足够大粒径的粉尘聚合物，并且可以保证在药剂降解之前，在物料倒运、堆存、取料环节不会再次产

生扬尘。

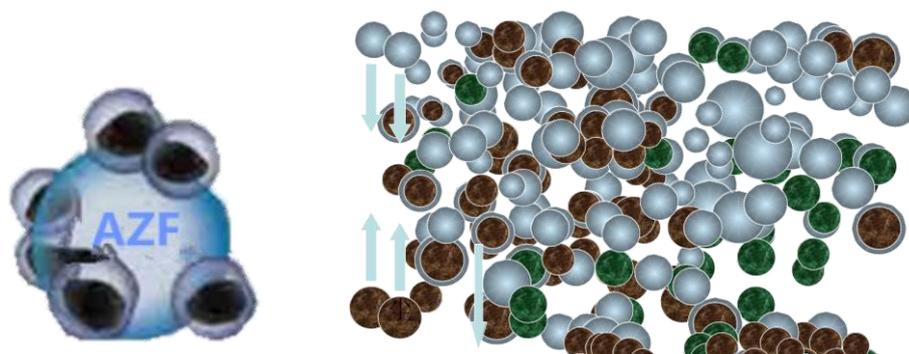


图1 生物液膜抑尘原理图（吸附→团聚→沉降）

3 生物纳膜源头抑尘技术的工艺流程

生物纳膜源头抑尘技术需要将泡沫抑尘和干雾抑尘结合为一体，在一个控制系统下，两种抑尘方式综合运用，使抑尘系统高度集中，提高抑尘效率，降低抑尘成本。其典型的工艺流程如下图（以骨料破碎生产线为例）：

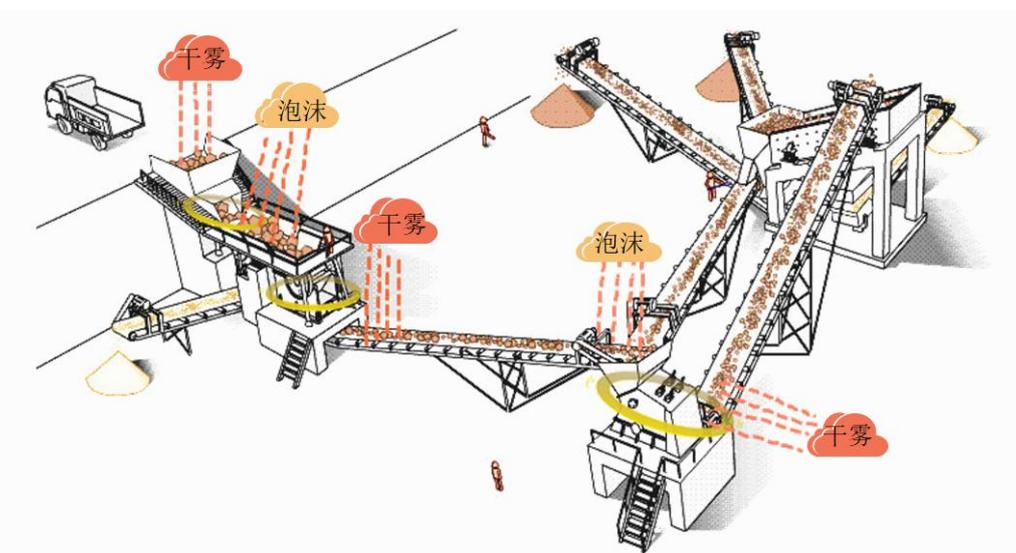


图2 工艺流程图

泡沫抑尘的主要机理为借助泡沫本身所形成的大表面，粘附、过滤、润湿粉尘，从而使含尘气流得到净化。捕集粉尘后的泡沫，覆盖在物料的表面，防止了因抖动造成的粉尘二次飞扬，同时也较好地解决了粉尘的回收问题。

干雾抑尘是通过“云雾”化的水雾来捕捉粉尘，因水雾颗粒与粉尘大小一致、比重相近，在空气中滞留时间相等，充分让水雾与空气中的粉尘颗粒结合，形成粉尘和水雾的团聚物，受重力作用而沉降下来。



开始喷雾



“云雾”释放 15s

4 生物纳膜源头抑尘技术应用实例



图3 案例1 治理前后现场图

案例一：安徽广德某石灰石矿山，800-1200 吨/小时破碎系统，原有生产线设计复杂，产尘量很大，特别是中细碎下排料口及运输巷道，设备运行时，粉尘浓度非常高，能见度在1米以内。经过多次考察和比较，该矿山选用了 AZF-G800 生物液膜抑尘主机一台，干雾除尘主机 530 一台，并对原有除尘器进行改造，同时对破碎落料口处进行了密闭。系统从设计、安装到交付使用耗时 3 周。

2018年1月10日下午17:35-18:15对抑尘效果进行实测：系统开启后，粉尘排放量迅速降低，空气能见度明显提高。开启15分钟后，鄂破、锤破、筛分以及中细碎落料处产生尘点的有效抑尘率都达到90%以上，除尘效果显著，达到设计及安装要求。



图4 案例2治理前后现场图

案例二：江西抚州某矿山，单位产量500吨/小时，选用了1台AZF-G600生物液膜抑尘主机及辅助管路，针对破碎段粉尘进行治理。系统从设计到交付使用耗时2周，总装机容量仅为22kW。

2015年10月16日，对抑尘效果进行实测：系统开启后，粉尘排放量迅速降低，空气能见度明显提高。开启15分钟后，有效抑尘达到96.2%，除尘效果显著，达到设计及安装要求。

5 结语

生物纳膜源头抑尘技术在水泥行业还是具有较大的发展前景的，喷附过生物纳膜的物料在药剂降解之前不会再次产生扬尘，这样就可以较完美的解决水泥厂中原来各种原料采用堆料机、S小车或者铲车等方式堆料时，散逸的无组织排放粉尘无法有效治理的难题。

但是该技术的一次性设备投资较高，后期运行起来需要源源不断的消耗生物药剂，运行成本与普通的水雾喷淋相比也略显昂贵。但是不可否认的是，随着国家环保要求的不断提高，国家政策面会倒逼着水泥企业采用这些虽然看上去更昂贵，但是更有效的抑尘措施，所以我们有理由相信，生物纳膜源头抑尘技术在未来的一段时间内，在水泥行业内还是大有市场的。

浅谈招聘与培训在企业人力资源管理中的重要性

马宏瑞

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

0 引言

对于现代企业来讲, 人才招聘是企业人力资源管理中最先行的一步, 在企业长期发展和行业竞争中的作用尤其重要, 优秀的人才可以给企业带来更多的活力, 可以有更多新的创新, 好的员工可以有比较强的执行力, 可以提高企业的运行效率, 好的招聘能为企业选择出更优秀的人才, 促进企业的发展。企业拥有合适的人才之后, 就需要激发员工的潜力, 使员工更适合在他的岗位上, 这样就需要有员工培训来提高员工能力和素质, 培训工作在人力资源管理有着举足轻重的作用, 培训工作受到了更多企业重视, 培训内容也更加丰富, 有更多的精力放在了培训发展上。因此如何能更好的发挥招聘的作用和提高招聘的效率, 以及做好培训工作和提升员工素质, 在人力资源管理中就显得尤为重要。

1 招聘在人力资源管理中的作用及重要性。

员工招聘渠道有很多种, 如校园招聘、社会招聘、互联网招聘、报纸广告、人才中介服务机构、猎头公司、员工推荐、企业内部招聘等。现代社会丰富的招聘渠道, 可以充分的满足各种招聘需求, 给应聘者带来便利的同时, 也为企业招聘工作提升了效率。人力资源管理的初期需要有一个成功的招聘, 需要通过高效的招聘来选拔优秀的员工, 这样才会做到为企业减少成本, 使企业能够得到长期的发展。

通常来讲, 企业的招聘者更关注求职人员个人的基本素质及表现, 容易忽视求职者想要做什么。求职者的能力是由他本人的知识和技能决定的, 而想要做的条件包含有兴趣爱好、行为出发点和本人的内在需求。这就需要招聘人员依据面

试中的一些问题来推断、判断。更需要关注的还有一个就是求职者的价值观，在社会地位、自我价值的实现、收入待遇、职位的安稳中他更看重哪些，要是求职者的价值观没有在工作中得到满足，他在以后的工作中就缺少了主观能动性。

2 企业培训在人力资源管理中的作用

培训是企业人力资源管理中不可缺少的一步，员工培训受到了更多的企业的关注，开发成本也逐渐提升，培训方式及内容也涵盖更多，包括内部培训、外部培训、技能培训、技术培训、管理培训等。

人才的培养是企业发展最有力的驱动力，是否能做好企业人力资源管理中的员工培训将影响到企业未来的发展。加强企业人力资源管理中的员工培训工作，将有利于促进企业的劳动生产率，有利于建立学习型企业，有利于加强企业的核心竞争力，有利于促成企业员工集体整体素质的提高，以使得有利于企业在激烈的市场竞争中脱颖而出，立于不败之地。

3 如何做好企业的招聘工作。

人员招聘从来都是企业人力资源管理中首要的一项，它的作用在于为企业的发展提供充足的人才储备，不得不说人员招聘是企业加强核心竞争力最有利的方式之一。

(1) 位得其人，人尽其才，适才适所，人事相宜。合适的招聘是人力资源管理的出发点。只有合适的人员安排到适合的工作岗位中才能更有效的发挥人员在工作岗位中的作用，进而达到企业效益的最大化，为企业的长期发展奠定基础。

(2) 要有针对性的招聘渠道，对所招聘岗位的招聘要求描述要具体详实，在简历投递的渠道上要优化设置。能够让应聘者了解所应聘岗位的合适程度，能够使得简历投递规范化，提高筛选效率。现代招聘中互联网的应用极大的方便了招聘的渠道，也提高了招聘的效率，在招聘宣传上也是更加广泛了。在极大地提高信息传递速度的同时，信息的极大丰富也带来了信息的极大泛滥，对于同一个职位有时应聘者的数量会非常多，收到简历的种类更加多种多样，同时简历数量也趋于巨大，招聘人员需要利用更多的时间进行筛选，忙于重复性的劳动。

(3) 强有力的薪资福利是吸引人才、留住人才最有利的手段之一。现代职场中人员流动最大的驱动力之一是薪资待遇方面的吸引，也是一般求职人员首要考虑的方面。一般薪资福利优于应聘者之前的工作岗位，或是满足应聘者的需求，应聘者则会更加愿意考虑留在更好薪资福利的企业。企业在招聘的过程中应该结合当地的薪资水平和岗位需要，提供具有竞争力的薪酬福利，这样在招聘中才会具有更大的优势，招聘到优秀人才的概率才会大大的提高。

(4) 不拘一格降人才，激发和释放年轻人的能力和潜能，给有灵性的年轻人破格晋升的机会。眼界的不同注定了很多事情的看法都不同，从 2018 年年初至今，纵观全球有名的科技企业，哪一家不是吸纳人才积极拓展自己的业务边界。对于自身有核心技术的企业而言，在经济低迷时期不仅不会削减人力资源开支，反而会利用人力成本下降的趋势，去大规模抢夺人才继续加强自己的技术储备优势。

燕雀安知鸿鹄之志，因为经济增速放缓就顺理成章的想到“停止招聘”。将人才看做随时可以舍弃的部件，这些做法看来并不是十分重视人才，殊不知这种恐慌情绪，实际上是因为自身缺乏足够的技术储备，所导致对未来的迷茫与困惑。试问，这种动不动就“停止招聘”的企业，真的有未来吗？

4 招聘工作的现行措施。

结合本单位招聘工作的实际情况，现简单总结出以下高校毕业生招聘措施：

4.1 招聘原则

- (1) 专业对口，毕业生所学专业须与招聘专业一致；
- (2) 毕业生招聘应根据工作需要和岗位空缺情况而定，不得超职数招聘；
- (3) 招聘毕业生，应本着“先调整，后招聘”的原则，确实无法在内部调剂的，经领导办公会议批准转为外部招聘；
- (4) 毕业生招聘工作由人事部统一组织实施；
- (5) 凡需外部招聘毕业生的，一律公开招聘条件，择优录用。

4.2 招聘渠道

依据招聘专业不同，选用不同的招聘渠道。

- (1) 招聘会招聘：本市人才招聘会、外地人才招聘会和集团专场人才招聘会；
- (2) 学校招聘：委托学校选拔、学校现场招聘；
- (3) 媒体招聘：通过网络、报纸等实施招聘。

与以上各招聘渠道保持良好的联系和沟通，在招聘过程中尽量节约成本，提高招聘时效。

4.3 毕业生选拔、面试

(1) 初试

由人事部组织和安排，用人单位各级领导及主管领导参加。通过初试，对应聘毕业生的学习经历、职业筹划、性格倾向、敬业及团队精神等进行初步了解。

(3) 复试

通过初试的毕业生，由用人单位进行复试。用人单位侧重在专业知识掌握及应用等方面，对应聘毕业生做进一步考察，确定是否符合拟聘岗位要求。

(3) 资格复审

根据用人单位的复试意见，人事部对各单位拟录用的毕业生进行资格审查：

- a、查验提供的学历、资历等证件的真实性；
- b、对存有疑点的事项，在必要时进行背景调查。

5 如何做好企业的培训工作

企业留住人才之后，需要对人才的潜能进一步的开发，这是最有价值的部分，可以通过培训来提高员工的技能，同时提高企业的运行效率，使员工能够得到整体素质上的提升，也能够从企业发展中得到实惠。这就需要完善培训管理，使培训更具有科学性。

(1) 做好培训的前期调查工作，使培训满足需求，更有针对性。结合问卷调查，走访工作岗位，进行现场调研，面对面的进行座谈，整理需求反馈结果，进行系统的分析，掌握科学的分析方法，准确的了解培训需求所在。

(2) 丰富培训方式，加强培训质量。以往的培训多以讲课为主，单项的灌输方式，很难调动学员们的积极性，培训效果很难达到理想。培训方式要以受训者

为中心，使培训者能够更好的参与到培训当中去，加强培训交流，最后应用到实际工作岗位中。

(3) 发挥企业内部培训资源的价值。企业拥有着一批人才优势，利用绩效考核制度，成立一支企业兼职培训队伍，对专业知识过硬，业务能力资深的员工发展其成为讲师，并对其有一定的奖励。内部培训讲师更加了解本企业，培训更会有针对性，同时在企业内部的讲师人力资源部门对其比较了解，更有利于培训质量的掌握和发展长期培训。

6 员工培训现行管理办法

结合本单位目前培训工作的实际情况，对已经制度化的培训工作进行完善与补充，总结出以下培训管理办法：

6.1 培训方式

实行内部培训和外部学习相结合，教育开发与自我开发相补充的培训方式，培训方法包括：讲授教学法、参观考察法、师徒结对式、参与竞赛式、业务研讨会、自我学习等。

讲授教学法主要由本单位专家或业务骨干担任培训讲师，或邀请国内外专家或学者来单位举行专题讲座。参观考察法是指组织人员到国内外相关企业、科研院所等参观考察。师徒结对式是指每年新入职大学生在见习期期间，安排指导老师给予工作上的指导。参与竞赛式是指组队参加与工作岗位和专业性质相关的院内外竞赛。业务研讨会是指根据业务发展需求，开展各类技术学术交流。自我学习是指员工自学外语、攻读硕士研究生学历或专业学位、参加各类短期培训班等。

6.2 培训内容

培训内容包括新员工入职培训、学历学位培训、业务培训、职业资格培训、任职资格培训、技能培训、管理培训、思想理念培训。

(1) 新员工入职培训。主要内容有院况介绍、发展历史、规章制度、企业文化、专业技术基本知识、工作流程和方法、进厂参观学习等。

a、新录用毕业生发放院《员工手册》，并进行基础培训和入职指导；

b、人事部组织毕业生参加新员工培训，培训内容主要包括：科研、设计、产业和工程总承包基本概况，组织构架及人事、财务、企业管理等规章制度；参观展厅、产业园，了解单位发展概况；根据实际情况适当安排现场实习等；

c、培训结束后，毕业生撰写实习报告，并参加培训考试，成绩合格后，正式步入工作岗位。

（2）学历学位培训。

主要包括攻读知名大学或省委党校研究生学历，攻读知名大学工商管理硕士（MBA）或工程硕士专业学位。

a、申请条件

攻读在职研究生学历（学位）必须符合单位人才培养和发展方向，遵循学以致用、适应职业发展需要、提升本人所从事专业的理论水平和专业技能的原则，具体条件要求如下：

①拥护党的路线、方针、政策，与时俱进，开拓创新，思想品德良好，遵守院的各项规章制度，敬业爱院，上进心强；

②在单位工作满2年（至本人申请时间），并列入所在单位当年培训计划；

③能出色完成本职工作，自申请时前两年年度考核结果皆为B级以上；

④申请攻读的专业，原则上要求与申请人所从事的工作一致；

⑤攻读在职研究生期间，不得影响单位安排的工作，保证完成工作任务。

b、申请程序

①申请人必须向所在单位提交书面申请及报考院校的招生简章，并填写审批表。

②各单位要根据本单位具体情况，全面考虑、统筹安排，认真核实员工填写的内容，做好推荐工作

③申请人被报考院校录取后，须签订《员工学习、培训协议书》。

（3）业务培训。主要包括企业信息化培训、财务知识培训、外语培训、人事管理培训、针对出国人员的国家安全知识、涉外礼仪、国际贸易、派往国家（地

区)的政治、经济、人文、地理、法律、宗教、民俗等的培训。

(4) 职业资格培训。主要包括各类注册工程师培训、项目管理师、国际项目经理、全国工程总承包项目经理教育和培训。

(5) 任职资格培训。主要包括会计师、经济师、统计师、审计师、人力资源管理师任职资格培训。

(6) 技能培训。针对岗位需要开展的培训，主要指工人技能等级考试培训。

(7) 管理培训。包括高级管理人员培训、中层管理人员培训、业务骨干培训等。主要内容有现代企业管理理论、企业战略管理、人力资源管理、财务管理、市场营销管理、企业文化建设等。

(8) 思想理念培训。包括我院改革发展思路的培训、党团思想工作培训、法制纪检培训、其他拓展思维的培训等。

6.3 培训计分办法

(1) 计分标准

员工培训工作实行计分办法，鼓励员工参加培训活动，各类培训项目的计分标准见表 1。

表 1 各类培训项目计分标准

| 项目 | 认定条件 | 标准 |
|----------------|-----------|--------|
| 新员工入职培训 | 出勤情况、考试合格 | 10 分 |
| 本市或外地短期培训班 | 结业证明 | 5-10 分 |
| 自学与岗位工作相关课程并考试 | 考试合格证书 | 5 分 |
| 继续教育 | 出勤情况 | 1 分/学时 |
| 专业讲座、研讨会 | 出席情况 | 3 分 |
| 与岗位或专业相关的竞赛 | 获奖证书或参与证明 | 3 分 |
| 担任本院培训活动讲课教师 | 登记记录 | 3 分/学时 |
| 担任新员工实习老师 | 登记记录 | 8 分 |
| 新员工见习期担任指导老师 | 指导老师安排表 | 12 分 |
| 1 个月内国外考察 | 考察报告 | 3 分 |
| 超过 1 个月国外考察 | 考察报告 | 5 分 |
| 1 个月内国内考察 | 考察报告 | 2 分 |
| 超过 1 个月国内考察 | 考察报告 | 3 分 |

凡需考试合格的培训活动，参加人员通过考核方可获得规定分值。全勤参加培训但未通过考核，或通过考核但未全勤参加培训，按标准分乘 0.5 系数计分。

(2) 考核

每年培训计分结果作为加分项，纳入到年终个人绩效考核。培训计分结果与绩效考核加分对应关系见表 2。

表 2 培训计分与绩效考核加分对应关系

| | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 培训计分 | 70 以上 | 60-70 | 50-60 | 40-50 | 30-40 | 20-30 | 20 以下 |
| 绩效考核加分 | 3 | 2.5 | 2 | 1.5 | 1 | 0.5 | 0 |

7 结束语

总的来说，招聘工作是企业人力资源管理中对人员管理中最初一步，通过招聘使企业选择优秀的人才，企业有了人才才能发展，有了适合岗位需求的人才才能更好的发挥企业运行效率；通过培训加强了员工个人技能和素质，从而提高员工整体的工作效率，使企业更有效的运行，为企业带来更大的利润，在市场经济环境中获得更大的竞争优势。一个企业的成败在于人，对人才的重视，决定了企业在市场环境中是否存在核心竞争力。

参考文献：

- [1] 万希. 组织的内部招聘和外部招聘. 交通企业管理[J], 2006(12).
- [2] 谢晋宇. 人力资源开发概论. 清华大学出版社, 2005.
- [3] 孙旭辉. 加强员工培训. 提高队伍素质. 实现企业与员工的“双赢” [J]. 金山企业管理, 2008(02) .
- [4] 宋本江, 胡跃福. 人才招聘. 另请高明还是自己培养[J] 中国人才, 2003(8).
- [5] 樊昀瑛. 企业培训：如何成功实施[J]. 人才资源开发, 2006.



2019年3月 安徽 合肥

第二十届中国国际水泥技术及装备展览会

