

高含硫高细度硫铁矿砂沸腾法 和悬浮法焙烧的实践

中国硫酸工业协会行业专家组副组长、江苏庆峰
工程集团国际环保公司总工程师 刘少武

随着选矿工艺和设备的进步、金属收率要求的提高，在上世纪 60 年代中期，市场上出现了高含硫高细度的选铜“尾砂”。以江西永平铜矿产的选铜“尾砂”为例，含硫就达 42%以上、粒度通过 200 目筛孔达 70%。到了 80 年代中期后，市场上更高含硫、更高细度的硫铁矿砂逐渐增多，进入本世纪后增速明显加快。（硫铁矿砂，是指选有色金属的“尾砂”和硫铁矿选硫的“硫精砂”其习称）。如何把这些矿砂通过焙烧制成硫酸？一时间就成了行业上的难题。首先接触到的南化集团公司氮肥厂硫酸车间，当时我们不约而同的，就想以沸腾炉掺烧来解决高含硫高细度“矿砂”的焙烧问题。

1 以沸腾炉固体流态化理论和维持稳定的沸腾层为标志、掺烧高含硫高细度硫铁矿砂

1956 年在进行沸腾炉研究试验和 1957 年正式投产时，都是以固体流态化理论、建立并控制一定高度而又稳定的沸腾层为其试验或生产操作成功与否的唯一标志。沸腾层又称沸腾床、流化床、假液化床，停车静止时的料层称固定层或固定床。

当时使用的物料均是铜官山铜矿的选铜“尾砂”，含硫 30%左右、粒度 80 目筛通过 70%。是用上下一般粗的直筒型 16 m²沸腾炉来焙烧此矿，操作风速 0.5m/s 左右、沸腾层和上部分离空间的气速均在此范围，风帽孔眼气速 23m/s 左右，炉气停留时间 8 秒左右。操作上用喷水量和二次风调节炉子的上下部温度，排出的矿渣粒径 0.28mm 左右、灰尘粒径 0.12mm。操作中，有时在加料区会堆积矿料、会满炉堂高温结疤等。为保证系统能均衡的每年产出 8 万吨硫酸，后将两台八层机械炉也改成直筒型沸腾炉，两开一备。

1964 年到厂的永平铜矿选铜“尾砂”，含硫 42-45%、含水 10-12%、80%通过 200 目筛孔、平均粒度 0.055mm。这种高含硫高细度选铜“尾砂”，是化工部以试烧任务下达的。厂部试烧领导小组在掺矿渣、还是掺贫矿焙烧的问题上，选择了先买进一批含硫 20%左右的贫硫块矿，破碎后经过 4mm 方孔筛的粉矿，以 1:1 的重量配比，“一掺三拌”，控制入炉矿料的含硫、含水和原来一样，所有操作指标按原范围调控。每次投运在不长的时间内，沸腾层都会先后出现“沉渣”、下料区堆积、“沟流”、高温结疤、“气涌”凹坑等致“死炉”现象发生。掺烧前后变化如表一所示。

表一 直筒型沸腾炉掺烧贫矿或“返渣”前后变化

项 目	掺 烧 前	掺 烧 后
沸腾层稳定性	很稳定，炉底压力波动 <3mmH ₂ O 柱	不稳定，“沉渣”，经常“料堆积”、“气涌”、“沟流”、“死炉”
炉底压力 mmH ₂ O 柱	650~750、连续排渣	650~750、间断排渣或“放冷渣”
固定层高度 mm	500~600	600~700
入炉矿含硫 %	29~31	29~31
矿渣:矿灰 %	0.7:0.3	0.3:0.7
矿渣残硫 %	0.8~1.5	1.0~1.8
矿灰残硫 %	0.3~0.6	0.3~0.6
炉底温度 °C	800~830	800 或 120±、“沉渣”
炉气出口温度 °C	830~850	850~880
炉气出口 SO ₂ 浓度 %	11.0~12.0	11.0~12.0
转化进口 SO ₂ 浓度 %	7.0~7.3	7.0~7.3
炉子能力 t 酸/日	120(100%H ₂ SO ₄)	120(100%H ₂ SO ₄)
矿渣含铁 %	40±	40±
炉气出口 SO ₃ 含量 %	~0.1	~0.1
炉子连续运行时间 天	120~240	2~4

以上情况发生 5、6 次后，经多次检查、计算、研究，一致确认为：主要是矿料粒度级别差距过大、沸腾层和风帽孔眼气速偏低所造成。根据这个认识，在后一、两年内，先后采取了改变矿料掺烧配比，改小破碎矿筛孔，改掺矿渣，增设排放“沉渣”设备，加料区增设“前室”，炉堂内均匀拔除部分风帽、盖死孔眼、放置耐火水泥墩或耐热铁墩，改小沸腾层面积把炉堂砌成长方形，把炉型改成下小上大的即现在用得较多的“扩大型”炉子等一系列技术措施后，终于使沸腾炉成功实现了掺烧高含硫高细度“尾砂”的试验任务。到上世纪 80 年代中期开始，沸腾炉又经逐步改进、发展成具有“8 高技术”的现代型沸腾炉。

现在用的、“返渣”焙烧高含硫高细度矿砂的沸腾炉，它所依据的理论和沸腾层等所操控的指标，均与掺烧贫矿粉一样，生产上只需增设一些返渣的运输和掺拌设备即可。它最大的优点是不会降低矿渣中的含铁量，返渣量多少对含铁量不影响。其次，返渣可降低入炉矿料水分，使矿渣余热得到了部分利用。含硫≥48%的矿砂，可稳定产出含铁量≥62%的“铁精砂”，这对我国铁矿资源严重不足是个补充，售价较高，是标准铁矿砂的 70%左右，企业可大幅度降低成本。多家实践证明，“返渣”和掺烧贫矿焙烧，两者都可，都属沸腾法焙烧，要因地制宜。一般而言，“返渣”焙烧在效益上要比掺贫矿明显占优，且沸腾层更易控制。

“返渣”或“掺贫矿”沸腾焙烧，不时会产生“沉渣”，能否如意排出“沉渣”是沸腾炉长期安全运转的关键。

高含硫铁矿砂，采用“返渣”或“掺贫矿”进行沸腾焙烧，因粒级差别大、又很不均匀，焙烧中产生“沉渣”或称“冷渣”是必然的，只是快慢、多少和部位的区别而已。只有少数低床速或高床

速的沸腾炉，因较多排渣量（间断或连续）而不形成“沉渣”。对“沉渣”如操作处理不当、就会使物料“堆积”、“死炉”，操作得当却没关系。如何能将“沉渣”，如意排出，而不使它影响炉子的正常运行？一般工厂遇到较大量“沉渣”从炉子出渣口排不出来时，首先就会开大炉底风量，想把它吹出或冲散一下，实际不然，一般床速的沸腾炉、“沉渣”往往会更严重，只对高床速的沸腾炉有效。对一般床速的沸腾炉，此时却应减小些炉底风量和增大二次风量，对解决沉渣反而有效。

其次，在操作调节无效后，就会从炉子投料口附近的例面、距风帽约 50mm 高的炉身上开一个约 $\phi 100\text{mm}$ 的孔，外接带插板的短管，想放出“沉渣”，放不出就用人工捅捣，在人工连续作业下，排出的渣也十分甚少，赶不上“沉渣”的产生量，炉内“沉渣”越积越高，数天后只好停炉从炉门处扒出“沉渣”、或“死炉”后重新开炉。如山东一个厂，前两年每开 7-8 天就要停炉清理“沉渣”一次，往复循环，真叫人头痛。

这样开孔放“沉渣”，实际上是未掌握沸腾炉内“沉渣”的特性，实践证明只要改变成如下图所示的位置和方法，即可很容易的放出炉内“沉渣”。炉堂面积 $\leq 10\text{ m}^2$ 的，只需在加料口下方拔除一个风帽、将花板开一个 $\phi 100\text{mm}$ 左右的放渣孔，接一根带插板控制的 $\phi 100\text{mm}$ 左右的放渣管，下管口离地面高度以运渣小车或运渣设备定，根据炉内“沉渣”量多少、间断操作。炉堂面积大者，可考虑在等部位设 2-3 个放渣管即可。经验证明，防止产生“沉渣”的根本办法，是要控制掺入的贫矿或矿渣的粒度、平均粒度要细些 $\leq 0.08\text{ mm}$ 、颗粒要均匀些。

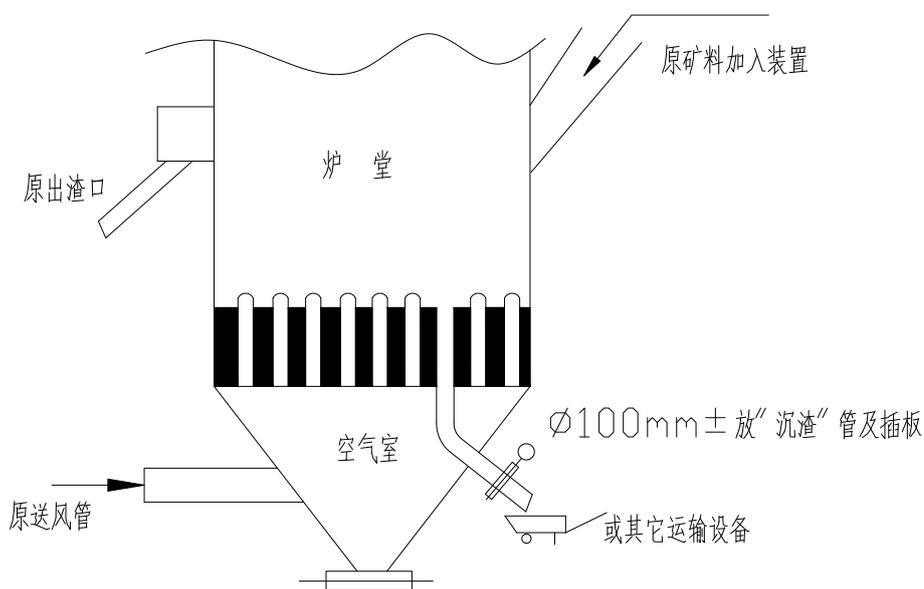


图 1 排放“沉渣”位置及装配示意图

2 以沸腾炉固体悬浮化理论和无需维持沸腾层为标志，直接焙烧高含硫高细度硫铁矿砂

本世纪初受市场铁矿砂价高的推动，高含硫高细度硫铁矿砂供应量迅速增大的情况，“返渣”操作污染、麻烦，和对沸腾炉“返渣”焙烧核心技术的掌握等。2005 年后数家采用“返渣”焙烧的单

位，萌生出沸腾炉直接焙烧高含硫高细度硫铁矿砂的想法。即抛开固体流态化理论和沸腾层的概念及其控制指标，实行固体悬浮化焙烧法。这个想法在工业生产上能否实现长周期经济运行呢？作者应邀参加了江苏亚中公司的试烧实验。

扩大型沸腾炉“悬浮法”焙烧试验、操作控制原则。当时研定出三条：

- ① 转化鼓风机抽气量、转化进口 SO_2 浓度，试烧前后保持不变，即保持系统产量不变；
- ② 炉底压力不控制，逐步关小和调节炉子送风阀门、保持炉子总送风量恒定；
- ③ 先减 15% 左右的投矿量，然后用加减矿量来调节转化进口 SO_2 浓度、维持在原来范围。

试烧情况比预料的容易，概括起来如工人们说的三句话：操作简单，非常平稳，省事多了。“返渣”沸腾法焙烧与直接悬浮法焙烧，两种不同方法的操作指标和技术经济效果变化情况如表二所示。

表二 扩大型沸腾炉“返渣”和直接焙烧前后变化

项 目	返渣焙烧（沸腾焙烧）	直接焙烧（悬浮焙烧）
沸腾层稳定性	稳定，炉底压力波动 $5\text{mmH}_2\text{O}$ 柱 \pm	没有沸腾层，炉底压力稳定
炉底压力 mmH_2O 柱	1200~1400，间断排渣或有“沉渣”	250~350，不变
固定层高度 mm	1000~1200	~350~400
入炉矿含硫 %	34~36	47~50
矿渣:矿灰 %	25 \pm :75 \pm	~0:~100
矿渣残硫 %	0.3~0.5	无渣样品
矿灰含硫 %	0.2~0.3	0.2~0.3
炉底温度 $^{\circ}\text{C}$	820~850 或 120 \pm	120 \pm
炉气出口温度 $^{\circ}\text{C}$	850~900	880~950
炉气出口 SO_2 浓度 %	11.0~12.0	11.0~12.0
系统能力 t 酸/日	300(100% H_2SO_4)	303(100% H_2SO_4)
转化进口 SO_2 浓度 %	8.4~8.6	8.4~8.6
转化风机进口负压 mmH_2O 柱	-1030~1050	-1030~1050
炉气出口 SO_3 含量 %	0.04~0.05(净化间断排稀酸)	0.02~0.04(净化无稀酸排出)
锅炉产汽量 t 汽/t 酸	1.0~1.05	1.08~1.10
矿渣含铁 %	60~63	60~63
系统产酸能力 %	100	101 \pm
炉子连续运行时间 天	7~330 \pm	330 \pm

3 初步看法

江苏亚中、广东湛化等公司实践证明，用沸腾炉以固体悬浮化直接焙烧高含硫高细度的硫铁矿砂，这是我国硫酸工业生产操作技术上的一大突破性创新、效益显著，将载入硫酸工业发展史

册。

沸腾炉实现悬浮法焙烧,从实践到理论计算得知:风帽孔眼气速 60~80m/s、沸腾层气速 0.8~2.5m/s、炉子上部扩大区空间气速 0.4~0.8m/s(此空间,固体流态化法焙烧称固体分离空间,悬浮法焙烧称悬浮化焙烧空间)、炉气停留时间 8~22 秒;在这个范围内的沸腾炉(现今焙烧硫铁矿、锌矿、金矿等的沸腾炉大多都在此范围),运行中都可灵活的、平稳的、简单的变固体流态化为固体悬浮化操作,或固体悬浮化变回固体流态化操作。

入炉矿料的平均粒度和粒度均匀性、是能否实现沸腾炉悬浮法焙烧的关键。目前一般以 70% 通过 200 目筛孔的矿料或更细些为宜。矿料细度与脱硫速度成反比,即矿料越细脱硫速度越快,需要的悬浮化焙烧空间愈小。当前对通过 200 目(70%)的磁硫铁矿的悬浮焙烧,尚无经验,有待实践。因在选矿后,堆积、运输、焙烧中会结集,使颗粒增粗。若要悬浮化焙烧、一般除炉子风速需加速、焙烧时间需加长外,入炉料还需过 4×4 mm 筛,再把团料粉碎。否则会使渣硫增高、产生“沉渣”等。

入炉矿料含硫高低,是影响焙烧效益和炉温度分布的主要因素。直接焙烧高含硫高细度硫铁矿砂,炉温上移、灰渣带出热量减少、矿料带入水量下降等,在系统产酸量同等情况下,其炉温和蒸汽产量等的变化量一般在 5%左右,都在沸腾炉等设备设计富余系数 10%左右的范围内,故一般工厂的换热设备和排灰设备,都不需要作任何改变。若已超负荷生产,炉内需加汽化冷却设备,或适当降低系统生产负荷,以维持炉温在合适范围。烟道锅炉一般富余量较大,都不需要加大。

开停车操作:短期停车,在 5 小时内,一般不需作任何处置,开车时只需送风投料即可,半小时内可恢复正常。长期停车,同一般沸腾炉一样,需降温、清理、检查修理等。长期停车后开车,现在一般采用两种方法:一是,仍按你厂的老办法开车,开起来后再逐步转成悬浮法操控;二是,在风帽上铺一层 200~400mm 厚的载热体(如大粒子矿渣、耐火球等),用轻柴油或液化气、木柴、无烟煤等,把炉温升到 850℃左右,即可送风、投料、开车。

从我国有色金属工业发展的趋势和硫铁矿选硫的发展情况来看,在一些地区能获得高含硫高细度硫铁矿砂长期稳定供应的单位,应利用新建项目或炉子报废更新的机会,采用适宜的技术参数设计出全新的悬浮化焙烧炉,可节省大量建设投资和获得更好的效益。这是硫铁矿焙烧重要的发展方向之一。从这个角度看,若有富氧空气的厂,采用富氧悬浮法焙烧,那更是锦上添花。当前用沸腾炉来焙烧高含硫高细度硫铁矿砂应属过渡性的权宜之计,但它给我们提供了设计和操作悬浮炉的技术和经验,是技术发展中非常宝贵的一大步。

【参考文献】

- [1] 刘少武等.《沸腾焙烧》. P11-12. 1978 年.石油化学工业出版社