# 矿浆搅拌装置改进*

赵启东,白 伟,丁 杰

(包头钢铁(集团)有限责任公司宝山矿业公司,内蒙古 包头 014010)

**摘 要**:针对矿浆搅拌系统因长期处在高温、蒸汽大、矿浆浓度高的环境下运行,导致搅拌叶片脱落、减速机齿轮及轴承损坏、搅拌体轴承损坏、设备故障率高、维护费用大等问题,进行了矿浆搅拌系统优化研究,通过改进搅拌叶轮组结构、减速机呼吸器、蒸汽流动状态、蒸汽加热管等措施,降低了设备故障率,提高了矿浆搅拌系统使用寿命,实现了矿浆搅拌系统稳定运行。

**关键词**:矿浆搅拌;减速机;搅拌叶轮

**中图分类号**:TD45 **文献标识码**:B **文章编号**:1009-5438(2020)05-0008-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.05.004

# Improvement for Mixing Plant of Ore Pulp

*Zhao Qi-dong, Bai Wei, Ding Jie*

(*Baoshan Mining Co. of Baotou Iron & Steel (Group) Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

**Abstract**: The optimization for mixing system of ore pulp is studied aiming at such problems as the mixing blade drops out, gear and bearing of reducer and bearing of agitator damage, equipment failure rate is high as well as maintenance cost is much due to the system operates in the environment of high temperature, much steam and high ore pulp density for a long time. The equipment failure rate is reduced and service life of the system is improved through such measures as improving the structure of mixing impeller assembly, breather of reducer, flow condition of steam and steam heating tube so that stable operation of the system is realized.

**Key words**: ore pulp mixing; reducer; mixing impeller

矿浆搅拌槽内流体流动形式与搅拌叶轮形状和槽体内部结构密切相关,大型搅拌槽的搅拌叶轮直径、扭矩和弯矩都很大,并且还会受到搅拌介质、搅拌叶轮形式、施工质量的影响。对搅拌槽内流体流动规律的深入了解和对搅拌桨叶轮的形状设计是搅拌设备优化设计的基础[1]。稀土浮选矿浆搅拌系统采用减速机传动方式,因长期处在70 ℃高温、70%矿浆浓度的环境下运行,经常出现搅拌叶片脱落、减速机齿轮及轴承损坏、搅拌体轴承损坏,设备故障率高,维护费用大。其中叶片平均使用寿命为2个月,减速机平均使用寿命为1.7个月。本文分析了搅拌叶轮组结构、减速机呼吸器堵塞、蒸汽流动状态、蒸汽加热管振动、润滑油黏度的变化等因素对搅拌系统寿命的影响,并针对性地提出了改进方案,提高了搅拌系统的使用寿命。通过开展矿浆搅拌系统优化来延长设备使用寿命,可提高系统稳定性,实现矿浆搅拌均匀。

* **收稿日期**:2020-07-16

**作者简介**:赵启东(1984-),男,内蒙古和林格尔县人,工程师,现从事机械设备技术管理工作。

# 1　存在问题及改进措施

## 1.1　搅拌装置叶轮组形式改进

原系统叶片与轮毂连接采用平行连接方式，可靠度较差，导致叶片容易脱落，使搅拌系统失去平衡，导致搅拌轴承、减速机损坏，一般使用寿命为 2 个月。为了保证搅拌系统平稳运行，改进了搅拌系统叶轮组形式，叶片与轮毂由平行连接改为垂直连接，提高了连接的可靠性，防止叶片掉落后破坏系统平稳旋转，提高了减速机、搅拌桶轴承、叶轮组的使用寿命。

### 1.1.1　理论分析

搅拌装置的有效面积为其运动一侧与矿浆接触的面积，而搅拌叶片的工作面积为有效面积乘以 $\cos\alpha$，$\alpha$ 为搅拌叶片安装角，叶片安装角是指搅拌叶片斜面与搅拌轴线间的夹角。通常情况下，在搅拌机搅拌过程中，搅拌叶片的安装角为 45°，能够满足搅拌机叶片对于混合物料纵向及横向推动，实现流体循环运动，且混合物料的搅拌品质与搅拌效率相对较高。

### 1.1.2　搅拌叶片受到的阻力及扭矩分析

阻力的改变就是驱动力的改变，而驱动力直接影响减速机的扭矩，因此需要对叶片的阻力进行分析计算。搅拌装置中搅拌臂是不变的，只需计算搅拌叶片的工作面积。因搅拌工作时搅拌叶片和搅拌臂所受阻力是不断变化的，因此阻力系数也是不断变化的，它与转速、物料的属性和状态有关。为便于对迎面阻力进行比较，试验时搅拌材料是相同的，迎面阻力系数均为 7 N/cm$^2$。根据经验公式得出搅拌叶片所承受的工作阻力 $F$ 为[2]：

$$F = S \times K \times \cos 45° \tag{1}$$

式中：$S$—— 叶片工作面积，mm$^2$；

$K$—— 迎面阻力系数。

由式(1) 可见，通过叶片受到阻力计算公式得出改型前搅拌叶片受到阻力为 6 326 N。搅拌叶片所受扭矩为 16 331 N·m。

### 1.1.3　减速机与搅拌叶片扭矩匹配计算

搅拌叶片的旋转运动是由搅拌轴通过减速机驱动完成运动的，搅拌叶片所受阻力大小会影响到减速机扭矩，所以，选择合适的叶片才能保证减速机的稳定运转，减速机扭矩 $T$ 根据式(2) 计算[3]。

$$T = 9\,550 \times P \times i \times \mu \div r \tag{2}$$

式中：$P$—— 电机功率，kW；

$i$—— 减速机速比；

$\mu$—— 使用系数；

$r$—— 电机输入转速，r/min。

由式(2) 减速机扭矩计算公式得出减速机扭矩为 16 333.4 N·m。减速机扭矩与改进前搅拌叶片扭矩 16 331 N·m 较接近，导致改造前搅拌装置减速机扭矩与叶片搅拌扭矩接近，随着矿浆浓度变化，搅拌叶片所受阻力大于减速机扭矩时，发生减速机损坏，或者导致搅拌叶片折断。因此，将搅拌叶片连接方式由平行连接方式改为垂直连接方式，增强了搅拌叶片连接的可靠性，搅拌叶片平均使用寿命达到了 8 个月，使用寿命提高了 4 倍。

为了防止搅拌叶片扭矩和减速机扭矩接近发生减速机损坏，需要对搅拌叶片进行改型，降低叶片搅拌扭矩。按照叶片搅拌扭矩为减速机设计余量的 75% 计算，改型后搅拌叶片搅拌扭矩为 12 250 N·m，叶片搅拌受到阻力为 6 125 N，叶片面积为 87 500 mm$^2$，比改型前叶片面积减小 3 773 mm$^2$。改型前后搅拌叶片的相关参数如表 1 所示。

**表 1　两种搅拌叶片的参数**

| 项目 | 工作面积/mm$^2$ | 安装角/(°) | 叶片数量/个 | 阻力/N | 扭矩/(N·m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 改型前 | 91 273 | 45 | 8 | 6 326 | 16 331 |
| 改型后 | 87 500 | 45 | 8 | 6 125 | 12 250 |

通过搅拌叶片受到的阻力及扭矩分析和减速机与叶片搅拌扭矩匹配计算，减速机扭矩为 16 333.4 N·m，大于改型后搅拌叶片搅拌扭矩 12 250 N·m，解决了减速机因叶片搅拌扭矩过大而造成的损坏问题。

## 1.2　润滑油选用

改进前搅拌装置减速机润滑油为 L－CKD 150 润滑油，因使用工况温度较高，L－CKD 150 润滑油黏度随温度升高急剧下降，不能满足当时使用条件。因此，选择黏度随温度变化较为缓慢的克鲁勃

C－F 3润滑剂与 L－CKD 150 润滑油混加，混合比例为体积比 1∶1。

根据润滑油的黏温特性和黏度指数的关系可知，润滑油的黏度随着温度的升高而变小，随着温度的降低而变大，黏温特性对润滑油的使用有重要的意义。当温度高时，黏度变小，则不易在摩擦面上形成适当厚度的油膜，失去润滑作用，易使摩擦面产生擦伤或胶合。因此，要求油品的黏温性能要好，即油品黏度随工作温度的变化越小越好。评价油品的黏温特性普遍采用黏度指数( VI) 来表示，这也是润滑油的一项重要质量指标。黏度指数 VI 大于 100 时为高黏度指数状态，表示为黏温关系好; 黏度指数 VI 小于 100 时为低黏度指数状态，表示为黏温关系相对较差。图 1 为 L－CKD 150 润滑油温度和黏度关系[3]，图 2 为克鲁勃 C－F 3 润滑剂温度和黏度关系。

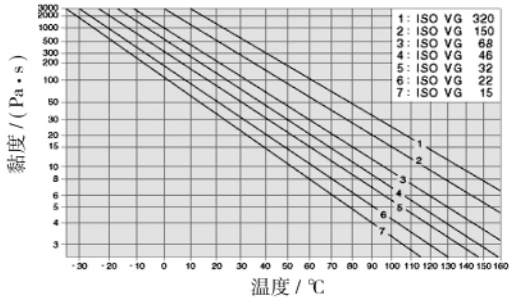



图 1 L－CKD 150 润滑油温度和黏度关系

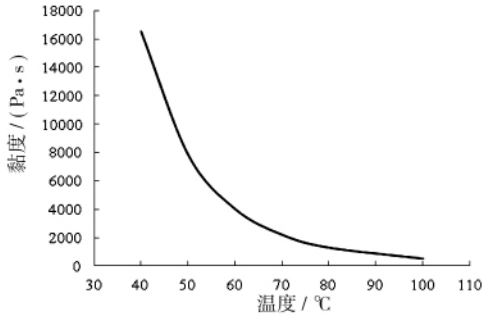



图 2 克鲁勃 C－F 3 润滑剂温度和黏度关系

由图 1 可见，L－CKD 150 润滑油随着温度的升高黏度在急剧下降，40 ℃黏度为 150 Pa·s，50 ℃黏度为 90 Pa·s，60 ℃黏度为 62 Pa·s，70 ℃黏度为 40 Pa·s，现有工况用 L－CKD 150 油不合适。克鲁勃 C－F 3 润滑剂随着温度的升高润滑油的黏度变化较小，40 ℃黏度为 16 500 Pa·s，50 ℃黏度为 7 820 Pa·s，60 ℃黏度为 4 000 Pa·s，70 ℃黏度为 2 190 Pa·s，克鲁勃 C－F 3 润滑剂适合在高温环境下使用，适合高温矿浆搅拌系统减速机润滑。

在 70 ℃高温下，克鲁勃 C－F 3 润滑剂与 L－CKD 150润滑油 1∶1 混加后使用寿命可达 5 000 h，可以有效的保护减速机齿轮及轴承。

### 1.3 减速机呼吸器改进

由于改进前减速机呼吸器呼吸孔较小，排气不畅，减速机箱体润滑油温度较高，经常发生漏油，导致减速机上端轴承缺油损坏，减速机齿轮点蚀。因此，通过改进减速机呼吸器提高减速机使用寿命。

因为减速机内部润滑油随温度而变化，需要通过呼吸器排气和吸气，要保证减速机呼吸器与大气连通，保持减速机内部在一定温度下压力不能太高，损坏减速机油封，导致减速机润滑油泄漏。搅拌减速机增设大口径呼吸器，降低减速机箱体内温度、压力，减少减速机漏油，解决了减速机高温缺油发生轴承和齿轮损坏的问题。

### 1.4 控制蒸汽降低减速机温度

减速机在工作中，原搅拌槽顶部为隔栅板结构，矿浆加热到 70 ℃左右，蒸汽从隔栅板孔隙扩散到减速机本体，使减速机温度升高，导致减速机密封装置失效漏油，影响减速机寿命。

搅拌槽顶部用钢板进行密封，防止蒸汽大量向上扩散，降低了减速机周围环境温度，解决了减速机受蒸汽外溢扩散高温问题。

### 1.5 蒸汽加热管减振改造

原固定蒸汽加热管的支撑点在搅拌槽本体盖板上，在通入蒸汽后会导致搅拌槽整体抖动严重，减速机安装在搅拌槽上，从而带动减速机振动。

通过在固定蒸汽加热管的支撑点增设缓冲垫，可以降低搅拌槽运转过程的振动。蒸汽加热管减振改造解决了搅拌槽振动问题，一定程度延长了搅拌装置的使用寿命。

## 2 改进效果

矿浆搅拌装置改进前，减速机年消耗量为 7 台，消耗费用为 3.6 万元。改进后第二年减速机没有消耗，第三年上半年减速机消耗量为 1 台，减速机使用寿命由改进前 1.7 个月提高到了改进后 6 个月以上，使用寿命提高了 3.5 倍。搅拌叶片改进前的平均使用寿命为 2 个月，改型后搅拌叶片平均使用寿命达到了 8 个月，使用寿命提高了 4 倍。

( 下转第 33 页)

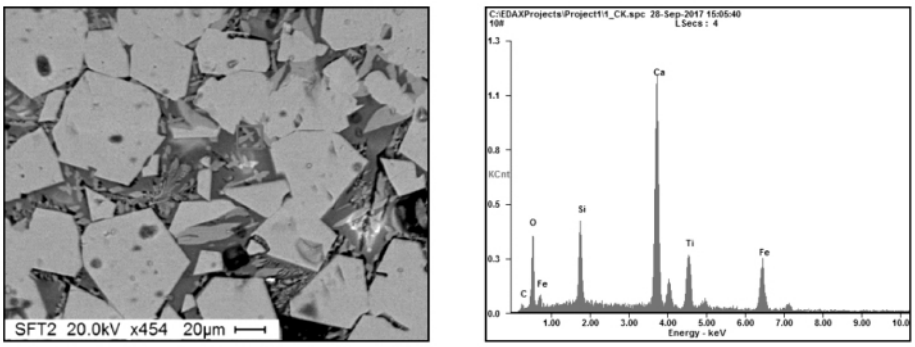



图 3　钙钛矿能谱分析

由图 1—3 可以看出，Ti 在烧结过程中进入磁铁矿形成钛磁铁矿，分布在玻璃相中，在玻璃相中与 CaO 反应生成钙钛矿。

## 4　结论

(1) 随着混合矿 $TiO_2$ 含量的增加，同化性变差，液相流动性指数降低，铁酸钙生成量减少，黏结相强度呈降低的趋势，连晶强度呈增加的趋势。

(2) 烧结配加钛矿后，烧结矿转鼓强度较基准点有下降的趋势，并且随着 $TiO_2$ 含量的增加，烧结矿矿物组成中钙钛矿的含量增加，固体燃耗呈增加的趋势，低温还原粉化性能恶化，熔滴性能略有改善。

### 参　考　文　献

[1] 信自成，李杰，张玉柱，等. 钒钛高炉渣的流动性 [J]. 钢铁研究学报，2017，29 (10)：787－791.

[2] 吕庆，刘旭升，刘小杰，等. 钛对烧结矿基础性能的影响 [J]. 钢铁，2015，50(5)：13.

[3] 罗果萍，孙国龙，赵艳霞，等. 包钢常用铁矿粉烧结基础特性 [J]. 过程工程学报，2008，8 (S1)：198－201.

[4] 刘然，刘朝卿，刘小杰，等. 钙钛矿含量对钒钛磁铁矿烧结性能的影响 [J]. 过程工程学报，2015，15(1)：62－67.

(上接第 10 页)

## 3　结束语

通过改进措施的实施，搅拌装置减速机使用寿命提高 3 倍以上，搅拌叶片使用寿命提高 4 倍以上，提高了矿浆搅拌槽整体使用寿命，保证了系统运行稳定。

### 参　考　文　献

[1] 李星明. 大型搅拌槽叶轮形状对矿浆浓度分布影响的研究 [D]. 沈阳：沈阳工业大学，2017.

[2] 吴宗泽. 机械设计手册(下册) [M]. 北京：机械工业出版社，2019.

[3] 张福臣. 液压与气压传动 [M]. 北京：机械工业出版社，2006.