

复合耐磨材料在甲玛选矿厂的应用与实践

解钊, 白丽萍, 刘明实, 郭伟, 王海青

(西藏华泰龙矿业开发有限公司, 西藏 拉萨 850000)

摘要: 甲玛矿区地域偏远, 工业基础薄弱, 常用生产物资基本靠内地输入, 单一材料因其作用有限, 使用寿命不能有效延长, 成为了制约选矿厂设备运转率提升的关键因素。为解决此问题, 结合对工艺各环节物料的物理化学性质的研究和普查资料, 对标国内外先进耐磨材料特性, 通过对不同耐磨材料复合应用的实验, 研制出一批应对选矿厂不同作业条件的复合耐磨材料。连续三年的工业生产实践, 选矿厂设备运转率达 95% 以上, 远超同行 90% 的平均线, 由此带来的经济、生态和社会效益极其显著。

关键词: 甲玛选矿厂; 设备运转率提升; 复合耐磨材料

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.03.013

中图分类号: TD989 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2022) 03-0070-05

1 实施背景

选矿厂生产过程中因与高硬度的矿石高频接触, 材料和备件的磨损损失巨大。磨损是材料失效的三种主要方式之一, 据统计, 我国每年消耗金属耐磨材料达 300 万 t 以上, 造成经济损失约 400 亿元。为减少磨损, 可从两方面入手: 一是改善零件的服役条件, 二是提高材料本身的耐磨性^[1-2]。对于传统行业选矿厂来讲, 零件的服役条件难以改变, 因此就需要提高材料本身的耐磨性, 而不同的材料耐磨性有差异且对工作环境的适应有差异, 如何将好的耐磨材料应用在不擅长的工作环境里, 就需要对所有的材料属性进行研究, 发挥不同材料的自身特长, 做到不同材料的复合使用, 达到减少材料磨损损失的目的。

甲玛矿区海拔 4000~5407 m, 高寒缺氧, 工业基础极其薄弱, 选厂生产所用的材料备件均自内地采购, 为提高工作效率, 提高工艺指标, 降低工人劳动强度, 降低生产成本, 必须用新技术代替传统的生产技术。单一耐磨材料更换频繁, 高原人工劳动强度大, 成本居高不下, 选矿厂的生产成本中, 材料成本大约占到 37%, 提高材料耐磨性, 降低材料成本对选厂的生产成本降

低意义重大。自 2011 年起, 复合耐磨材料兴起, 耐磨材料的研究取得突破性进展, 复合耐磨材料销售连年增高, 以 20% 的速率增长, 复合耐磨材料的使用对降低材料成本, 提高产值效果非常显著, 复合耐磨材料代替传统材料已是大势所趋。

2 技术研究路线

研究各种耐磨材料的使用条件和使用范围, 实验在不同服役条件下使用合理的复合材料, 通过研究和创新, 在合适的位置应用理想的复合材料, 并归纳总结经验。选矿厂材料磨损方式分为材料与材料之间磨损和材料与物料之间的磨损, 材料与物料之间的磨损分为干物料与材料的磨损和湿物料(矿浆)与材料的磨损, 以及单一材料强度变弱后的磨损破坏损失, 其中干物料与材料的磨损分为高冲击磨损和低冲击滑动磨损两种方式, 低冲击滑动摩擦在选厂是常见材料磨损方式。

2.1 干物料与材料的低冲击滑动磨损

选厂通常用单一的合金耐磨钢材予以解决, 如高锰钢, 通过研究, 碳化钨堆焊钢板较单一高锰钢板优势显著, 可提高使用周期 5~12 倍, 碳

收稿日期: 2021-03-21

作者简介: 解钊 (1985-), 男, 高级工程师, 主要从事有色金属矿石选矿技术及管理领域工作。

化钨堆焊板中，碳化钨颗粒以其自身硬度高、耐磨性高的特点，对高锰钢基体以良好的保护作用，随着冲击功的增大，高锰钢的形变作用增大，对颗粒提供了更好的支撑，使堆焊板表现出更好的耐磨性。其优点是卓越的耐磨性、优越的熔接强度、耐磨层硬度分布均匀、优越的耐热性、易于其他构建相熔接、表明光滑。目前应用位置：各大矿仓转运溜槽、所有给料机边板底板、圆盘给料机内衬底板、振动筛筛片、颚式和圆锥破碎机边板、各布料小车边板底板，目前该材料在我厂使用面积达300余 m^2 ，涵盖了选厂所有干物料与材料的滑动磨损区域。

2.2 湿物料与材料的滑动磨损（学名为浆体冲蚀磨损）

因矿浆不为中性，往往伴随腐蚀磨损，常用材料为耐磨钢管、钢丝缠绕PE管、钢内衬陶瓷管，单一钢管耐磨性和耐腐蚀性均较差，钢丝缠绕PE管耐腐蚀但易变形且耐磨性不理想，钢内衬陶瓷管耐腐蚀且耐磨性强但在高原大温差下容易炸裂脱瓷，结合选厂和高原生产实际，提供设计图纸由管道生产厂家代工生产---钢内衬橡胶陶瓷片复合管，试用范围：所有浓度管道，浓度越大优势越明显如：旋流器沉砂管、旋流器上浆管、尾矿管、泵的软连接，拓展使用，研制钢骨架橡胶陶瓷复合浮选机定子转子盖板，优点是使用周期提高6倍，叶轮盖板间隙稳定，浮选稳定。延伸的应用有，钢骨架橡胶复合泵过流件和钢骨架橡胶陶瓷过流件等。

2.3 单一材料强度变弱后的磨损破坏

采用钢丝网和橡胶复合的皮带解决1#输送带被钢钎扎撕问题，使用周期延长4倍，事故率几乎降为零——采用钢丝和橡胶复合的皮带解决3#皮带易撕裂问题，使用周期延长6倍，事故率几乎为零——用钢骨架和胶复合的旋筛代替中信原厂旋筛，使用周期提高4倍——用滚筒包胶钢复合材料的方式解决滚筒使用寿命短，拉湿物料易打滑的毛病。

3 实施方案

3.1 干物料与材料的滑动磨损

3.1.1 碳化钨堆焊板的耐磨性能研究

碳化钨（WC）是一种钨和碳组成的化合物，硬度极高，摩氏硬度为8.5-9，熔点达到2870℃，是耐磨行业解决局部恶劣磨损的有效物质^[3]。设

备、备件等完全采用碳化钨制造，则成本过于高昂，在选厂实际生产中只需要增加局部磨损部位的耐磨强度就能很好的解决问题，且全部的碳化物设备、备件也难以实现与耐磨部位的有效拼接。在铸件表面加碳化钨—基体复合层，并保证该复合层与基体金属为冶金结合，就能使材料的耐磨性大大提高。堆焊与一般焊接方法不同，不是为了连接工作，而是对工件表面进行改性，以获得所需的耐磨、耐热、耐蚀等特殊性能的熔敷层，因此在选厂采用碳化钨堆焊板代替传统的钢板，在耐磨、耐热、耐蚀等特殊性能上有了很大的提高。

3.1.2 碳化钨堆焊板在低冲击高磨损部分的应用实践

材料与干物料间的低冲击滑动磨损（学名为冲蚀磨损）是选厂主要材料损失方式之一，选厂常用单一的合金耐磨钢材予以解决，如高锰钢，碳化钨颗粒/耐磨钢基复合材料（后简称碳化钨堆焊板）是最佳材料，卓越的耐磨性、优越的熔接强度、耐磨层硬度分布均匀、优越的耐热性、易于其他构建相熔接、表明光滑。

目前在选厂应用位置：所有大中小矿仓转运溜槽、所有给料机边板底板、圆盘给料机内衬底板、振动筛筛片、颚式和圆锥破碎机边板、各布料小车边板底板等——使用周期延长12倍。目前碳化钨堆焊板在我厂应用面积约200 m^2 ，平均使用周期提高约12倍，有效的降低了检修频率，很大程度上降低了检修所用的碎矿停产时间，间接的提高了选厂整体设备运转率约1%。具体参数及成本对比如下：

（1）直接材料成本节约值

从表1得出，直接材料成本本年节约126万元。

表1 碳化钨堆焊板和高锰钢耐磨钢板的使用对比
Table 1 Comparison of the use of tungsten carbide surfacing plate and high manganese steel wear-resistant steel plate

产品名称	更换周期/月	单价/（元· m^2 ）	更换数量/ m^2	年费用/元
普通耐磨钢板	1	768	2400	1843200
碳化钨堆焊板	12	2916	200	583200

（2）产值增加值

选厂设备运转率提高1个百分点，提高原矿处理量约2.5万t，多回收铜金银金属量约为200t、8kg、450kg。其产值=4.5万元/t×200t×0.82+360

元 /g×8×1000 g×0.78+3.7 元 /g×450×1000 g×0.78=1092.51 万元。

3.2 湿物料与材料的滑动磨损

3.2.1 陶瓷橡胶钢复合材料的耐磨性能研究

耐磨陶瓷是以 Al₂O₃ 为主要原料，以稀有金属氧化物为熔剂，经 1700 度高温焙烧而成的特种刚玉陶瓷，再分别有特种橡胶和高强度的有机/无机粘合剂组合而成的产品。它的性能特点是：1、硬度大；2、耐磨性能极好；3、重量轻，仅为钢铁的一半，可大大减轻设备负荷；4、粘接牢固、耐热性能好，可直接粘贴在设备内壁；5、适用范围广。

陶瓷橡胶复合材料与普通耐磨钢板相比，结合了橡胶的延展性和陶瓷片的高耐磨性，其目前主要应用于各泵口的软连接、高浓度上浆管路、高浓度沉砂管、高浓度尾矿管和浮选机叶轮盖板，其在各部分的作用不同，耐磨周期提高 4~10 倍不等，例如：西藏昼夜温差大，夏日温差在 20 度左右，冬季温差在 30 度左右，尾矿管路

因为外部的高温差和高压力致使管路伸缩度很大，普通的耐磨复合管路为钢和橡胶复合或者钢和陶瓷复合，因钢和陶瓷的延展性差异很大，高温差及高压力环境下易致使陶瓷片脱落影响管路耐磨性，钢和橡胶的耐磨管可以克服延展性差异的缺点，但是橡胶的耐磨性又远不如陶瓷，为综合各耐磨材料的优点，创造并使用了陶瓷橡胶钢的复合管路，具体为橡胶粘连在钢管上，无数个陶瓷片粘连在橡胶上，其耐磨周期成倍数上升。

选矿厂的湿物料在不同作业段其浓度、粒级组成和输送压力差异性很大，因浮选作业的要求，湿物料中又加入了调整剂、抑制剂、浮选剂和起泡剂等多种药剂，湿物料矿浆物理化学性质复杂，对输送管道及浮选机定转子等直接接触材料的要求极高，普通的单一材料或者常规的复合材料，不能满足选矿厂湿物料连续冲蚀磨损^[4]。常用的矿浆输送材料有：耐磨钢管道、耐磨钢衬瓷管、钢丝缠绕 PE 管。上述材料和陶瓷橡胶钢复合材料的对比见表 2。

表 2 优缺点对比
Table 2 Comparison of advantages and disadvantages

	优点	缺点
普通耐磨钢管道	连接方便、耐高压、较耐磨损。	不耐腐蚀，冲蚀磨损下使用周期短。
耐磨钢衬瓷管	连接方便、耐高压、耐磨损。	陶瓷贴合在钢管内壁，高原昼夜温差大，热胀冷缩使陶瓷大片脱落而周期变短。
钢丝缠绕PE管	质量轻、较耐磨、耐腐蚀。	高压冲蚀磨损下使用周期短。
陶瓷橡胶钢复合材料	具有钢管道连接方便、陶瓷的耐磨性、橡胶热胀冷缩的弹性等优点。具有耐磨、耐腐蚀、耐高压、适应高原昼夜温差大等特点。	造价高，但是性价比也高。

3.3 陶瓷橡胶钢复合管道代替传统管道的应用

选矿厂的上浆管、尾矿管等因承担输送量大、压力大、浓度高、粒度粗等原因，其使用周期短，更换频繁。通过合作研发陶瓷橡胶钢复合管代替传统管道，提高了其耐磨和耐腐蚀性，延长管道使用寿命。其具体参数和示意图见图 1。

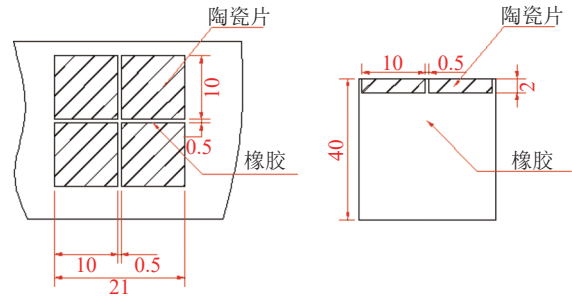


图 1 陶瓷橡胶钢复合管道剖面

Fig.1 Sectional view of ceramic rubber steel composite pipe

陶瓷片 10 mm×10 mm 为方形大小，厚度 2 mm，间隙为 0.5 mm，镶嵌在橡胶中，管壁厚度为 40 mm。

因尾矿管在选厂仍在使用的常规钢衬陶瓷管，其他无压或低压矿浆输送管道应用普通耐磨管效果尚佳，成本分析只做已经推广的旋流器上浆管和沉砂弯管等，直接成本节约见表 3。从表 3 得知，直接材料成本节约 27.3 万元。

3.3.1 陶瓷橡胶钢复合定转子在浮选机中的应用

定转子的完好性是影响浮选机工作性能的重要因素之一，定转子磨损严重，间隙变大会导致浮选液面翻浆，影响浮选稳定性，从而降低有价金属回收率。在浮选机直槽（吸浆槽应用不成功）采用陶瓷橡胶钢复合定转子后，耐磨性和耐腐蚀性提高，延长了其周期，对稳定提升浮选指标意义重大。具体参数见图 2，直接成本见表 4。

表3 陶瓷橡胶钢复合管道和普通管道的使用对比

Table 3 Comparison of the use of ceramic rubber steel composite pipes and ordinary pipes

产品名称	使用位置	更换周期/月	单价/元	更换数量/套	年费用/元
陶瓷橡胶钢复合管道	球磨机泵池至旋流器上浆管路	48	95000	4	95000
普通钢衬瓷管道		12	82000	4	328000
陶瓷橡胶钢复合管道	旋流器到球磨机的沉砂弯管	12	12000	2	24000
普通钢衬瓷管道		3	8000	2	64000

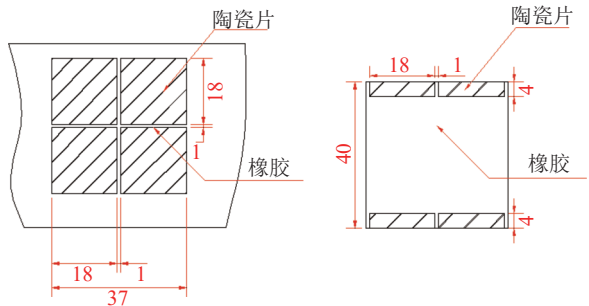


图2 陶瓷橡胶钢复合定转子剖面

Fig.2 Sectional view of ceramic rubber steel composite stator and rotor

陶瓷片 18 mm×18 mm 为方形大小，厚度 4 mm，间隙为 1 mm，镶嵌在橡胶中，叶片厚度为 40 mm。

从表4得出，直接材料成本年节约 47.6 万元

浮选机定转子耐腐耐磨使得其周期延长，稳定运转对可适当提升有价值金属回收率，做保守估计按照有价值金属铜金银分别提升 0.3% 计算，其效益值=22000 t×0.3%×0.82×4.5 万/t+360 元/g×1000 kg×1000 g×0.3%×0.78+3.7 元/g×64000 kg×0.3%×1000 g×0.78=381.19 万元。

3.4 单一材料强度变弱后的破坏磨损

选厂常用的一些备品备件承料面或者受力面因材料单一，被外力破坏或者集中磨损而带来备品备件寿命急剧下滑现象普遍，如何用复合材料增加其强度提升其整体寿命是实践研究方向，列举实例两处，见表5。

表4 陶瓷橡胶钢复合定转子和普通橡胶钢复合定转子对比

Table 4 Comparison of ceramic rubber steel composite stator and rotor and ordinary rubber steel composite stator and rotor

产品名称	使用位置	更换周期/月	单价/元	更换数量/套	年费用/元
陶瓷橡胶钢复合定转子	16 m ³ 浮选机直流槽	24	8000	34	136000
普通橡胶钢复合定转子		4	6000	34	612000

表5 普通尼龙带和复合皮带的对比

Table 5 Comparison of ordinary nylon belt and composite belt

产品名称	使用位置	更换周期/月	单价/元	更换数量/m	年费用/元
普通尼龙带	碎矿车间1#皮带	12	344	197	67768
钢丝网状复合皮带		24	800	197	78800
普通尼龙带	碎矿车间3#皮带	12	496	370	183520
钢丝+双网面防撕裂复合皮带		36	767	370	94596

3.4.1 碎矿使用耐磨皮带的改造研究

为了解决碎矿车间 1#皮带划伤问题、3#皮带因为仰角高、负荷大造成皮带撕裂问题，现将 1#皮带更换较原来加厚的钢丝网状带，3#皮带换成钢丝带。改造后不但有效解决 1#皮带划伤、划裂等问题及 3#皮带撕裂问题，而且延长了皮带的使用寿命，节约成本。

改造前 1#皮带与 3#皮带使用周期为 1 年，改造后在 1#皮带和 3#皮带使用寿命提高至 2 年和 3 年，年节约维修安装费 4 万元，累计年节约成

本 11.79 万元。

3.4.2 滚筒的包胶处理改造

碎矿车间 3#皮带仰角 14°，运输距离 170 m，皮带自重 45 kg/m，每小时输送矿量 900 t，为了满足布料需求，皮带头部呈“S”状，配套的滚筒和改向滚筒磨损严重，若维护保养及时，滚筒和改向滚筒不会因为内部损坏而报废，多因外部滚筒面磨穿而报废，更换用时高达 7 小时，费工费时。解决方法一是直接在滚筒外部挂胶，延长其使用寿命，缺点是胶层磨损后需

要拆下再次挂胶；二是制作钢和橡胶的复合材料，一片片焊接在滚筒表面，复合材料磨损后，可以不拆卸直接二次焊接，实现滚筒重复使用。

3#皮带有各类滚筒 5 个，现场执行第二个方案，普通滚筒一年一个（2 万元/个），每年共需

要 5 个，滚筒包胶处理后，使用周期提高以 3 倍计，滚筒包胶处理的成本为 2000 元/个，直接材料节约成本值为 9 万元。

4 效益分析

4.1 经济效益

表 6 经济效益
Table 6 Economic benefits

序号	磨损类别	应用案例	年节约材料成本/万元	年增加效益/万元	年增加产值/万元
1	干物料与材料的滑动磨损	所有给料机边板底板、圆盘给料机内衬底板、振动筛筛片、颚式和圆锥破碎机边板、各布料小车边板底等	126		1092.51
2	湿物料与材料的滑动磨损	旋流器的上浆管路和沉砂弯管	27.3		
3		16 m ³ 浮选机的直流槽定转子	47.6	381.19	
4		碎矿使用耐磨皮带的改造研究	11.79		
5	单一材料强度变弱后的破坏磨损	滚筒的包胶处理改造	9		
6		合计	221.69	381.19	1092.51

4.2 生态效益

选矿一厂采用复合耐磨材料代替传统材料，年节约钢材约 340 t。生产 1 t 钢锭需 500 kg 左右的焦煤，铸造成产品形状需 200 kg 焦煤，1.33 t 煤炭生产 1 t 焦煤，每吨煤炭会释放出 2.66 t 二氧化碳，每吨二氧化碳治理费用约为 80 元，由此每年减少碳排放量为： $340 \times (0.5 + 0.2) \times 1.33 \times 2.66 = 842.00$ t

4.3 社会效益

（1）该项目的改造投入少，见效快，降低直接生产运行成本。

（2）此技术的应用克服了普通材料耐磨效果不理想，使用寿命短，检修频繁的问题，确保了设备的高运转率。

（3）矿山企业尤其是黄金矿山多处偏远地区且大部分为老矿山，复合耐磨材料应用推广前景很大，对一些资源渐贫化的企业提高盈利能力意义重大。

（4）公司经济效益提高，增加了西藏地区财政收入，有益于提高西藏地区居民生活水平，促

进民族团结与边疆稳定。

参考文献：

- [1] 任耀剑, 江利. 耐磨材料的研究及进展[J]. 矿山机械, 2005, 33(6):173-176.
- [2] REN Y J, JIANG L. Research and development of wear-resistant materials[J]. Mining Machinery, 2005, 33(6):173-176.
- [3] 董世知, 周鹏, 马壮, 等. 碳化钨/高锰钢堆焊层的制备工艺及耐磨性能[J]. 金属热处理, 2012, 37(4):55-58.
- [4] DONG S Z, ZHOU P, MA Z, et al. Preparation process and wear resistance of tungsten carbide/high manganese steel[J]. Heat treatment of Metals, 2012, 37(4):55-58.
- [5] 赵昆, 包笑冰. 硬质合金复合材料耐磨块及生产应用[J]. 焊接, 1993(6): 22-23.
- [6] ZHAO K, BAO X B. Composite wear-resistant block and its production application[J]. Welding, 1993 (6) : 22-23.
- [7] 常征, 解钊, 李磊, 等. 钢胶复合衬板在西藏某选矿厂的应用研究[J]. 世界有色金属. 2018(16): 188-189.
- [8] CHANG Z, XIE Z, LI L, et al. Application research of steel rubber composite liner in a mineral processing plant in Tibet[J]. World Nonferrous Metals, 2018 (16): 188-189.

(下转第 106 页)