

综述与专论

国内外锌冶炼技术的新进展

孙德堃

(中国有色工程设计研究总院,北京 100038)

[摘要] 叙述了火法炼锌和湿法炼锌技术的发展和现状,重点介绍了湿法炼锌技术在浸出、渣处理、净液、电积等方面的新进展。

[关键词] 湿法炼锌;浸出;溶液净化;电解沉积;技术进展

[中图分类号] TF813.032 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1672-6103(2004)03-0001-04

1 炼锌技术概述

锌冶炼技术有火法和湿法两大类。火法冶炼有横罐炼锌、竖罐炼锌、密闭鼓风机炼锌及电热炼锌;湿法炼锌有常规浸出法、热酸浸出黄钾铁矾法、热酸浸出针铁矿法、热酸浸出赤铁矿法、硫化锌精矿氧压浸出法等。

1.1 火法炼锌

横罐炼锌设备简单,投资省,但由于间断生产,能耗高,劳动条件恶劣,锌直收率低,该技术现已被淘汰。

竖罐炼锌由横罐炼锌发展而来,实现了蒸馏过程的连续化和机械化,劳动条件有所改善,但仍然是一种比较落后的方法,存在着能耗高、消耗昂贵的碳化硅耐火材料、团矿粘合剂供应困难和环境条件差等弊端,上世纪80年代以后,大多被迫停产。密闭鼓风机炼锌常称ISP法,采用该法炼得的锌约占世界锌总产量的14%左右,是目前还具有一定生命力的火法炼锌方法。其特点是能同时炼锌、铅,对原料有广泛的适应性,因此在炼锌工业中处理复杂铅原料尚具有一定的竞争能力,但存在返料过程复杂,鼓风机操作条件严格,作业环境控制较难等缺点。我国的韶关冶炼厂是上世纪70年代建成的密闭鼓风机冶炼厂,经过30多年的生产,积累了丰富的经验,在生产管理、设备改进、环境治理、过程自动化控制、资源综合回收等方面都取得了显著的成

就,生产能力大幅度增长,各项技术经济指标都达到了较为先进的水平。

电热炼锌适于处理焙砂、氧化矿、煅烧后的菱锌矿,也可在炉料中配以适当的锌浮渣,其最大优点是工序简单、投资省、建设周期短、热利用率高,但电能消耗大,每生产1t锌约耗电4500kW·h,只适合在电源丰富的地方采用。近10多年来,我国已建成了一批小型的电炉炼锌厂,其规模都为年产锌2000t左右。由于该法电耗高,还要消耗焦炭、熔剂和耐火材料等,粗锌直接回收率低(82%~85%),且生产能力不能满足大规模炼锌厂的要求,所以未能得到很好的发展。

1.2 湿法炼锌

湿法炼锌由焙烧、烟气制酸、浸出、净液、电积、熔铸等主要工序组成。主要优点是环境卫生、劳动条件好,能够综合回收有价金属,金属回收率高,产品质量好,易于实现大规模、连续化、自动化生产。随着各国对环保要求的日趋严格,湿法炼锌成为锌冶炼的一种主导方法。针对浸出渣火法处理能耗高、过程复杂、劳动条件差、耐火材料消耗高等弊端,冶金工作者开展了广泛的研究,相继研究成功了热酸浸出-黄钾铁矾法、针铁矿法、赤铁矿法等湿法处理新工艺,解决了湿法炼锌长期以来的关键问题,既强化了浸出过程,又简化了渣处理过程,使锌的回收率大幅度提高,促进了湿法炼锌的高速发展。20世纪80年代后,湿法炼锌的产量已占世界总锌产量的80%以上。进入90年代,研究成功了硫化锌精矿和高硅氧化锌矿石直接酸浸法。同时为了降

[作者简介] 孙德堃(1931—),男,上海人,教授级高工。

[收稿日期] 2004-03-06.特约稿。

低锌精矿氧压酸浸对温度、压力的要求,进行了催化试验,取得了可喜的成果。为了使湿法炼锌的工艺过程进一步简化,又进行了硫化锌矿直接电积的试验研究,此试验如能成功,将从根本上改变目前的湿法炼锌工艺,使其有更广阔的发展前景。

2 国内外湿法炼锌技术的新进展

2.1 浸出及渣处理

2.1.1 热酸浸出-黄铁矾法

目前国外已有 20 多家锌厂采用热酸浸出-黄铁矾法,我国的柳州、会东、西北铅锌等厂家也采用此法。其优点为流程简单、投资省、见效快,锌浸出率较常规法有明显提高,可达到 95%~97%,但 Pb、Ag 及稀散金属进入矾渣中,不利于综合回收,矾渣中含有少量 Cd、As、Cu 等,易造成环境污染。为了改进常规黄钾铁矾法,国外已研究成功降低铁矾渣中有价金属含量的“低污染黄钾铁矾法”,该法由澳大利亚电锌公司 Risdon 锌厂首先研究成功,我国长沙矿冶研究院 20 世纪 80 年代即开展了此项研究,并已在赤峰冶炼厂成功地用于工业生产。此法在沉矾过程中不需加中和剂就能达到除铁的目的,沉淀出“纯”铁矾渣,提高了锌、铅、银等有价金属的回收率,同时减少了对环境的污染,具有良好的经济效益和社会效益。

我国西北铅锌冶炼厂 1996~1998 年通过技术改造和生产实践,基本上形成了一套适合本系统操作的“仿低污染”或“半低污染”的铁矾工艺,主要是减少沉矾焙砂的加入量,并用碱式硫酸锌、尾矿氧化锌替代部分焙砂,降低了矾渣中不溶锌的含量,并使渣率下降约 2%,既改善了环境状况,又增加了经济效益。

2.1.2 热酸浸出-针铁矿法

目前世界上有 4 家工厂采用,我国中南矿业学院、水口山矿务局、南宁冶金研究所等单位 1973 年就开始进行针铁矿法试验研究,水口山四厂于 1995 年投入工业生产(后改为常规法)。

该法优点为渣量较少,约为铁矾渣量的 60%,不需消耗碱试剂,尤其对回收稀散金属有利,如 In 回收率可达 90%以上,缺点为需增加一道还原工序,工艺流程较复杂,并需用还原剂,蒸气消耗量较黄钾铁矾法高约 40%,因此该法的基建投资和经营费用较黄钾铁矾法要高,阻碍了该法的使用,至今只有四家在应用。

2.1.3 高压浸出-赤铁矿法

世界上只有日本饭岛和德国达顿两家电锌厂采用此法(后者已改为氧压浸出法)。该法优点是金属回收率高,原料的综合利用好,适于处理含 Au、Ag、Cu、In、Ge、Ga 高的原料,产出的石膏可作为商品出售,赤铁矿渣含铁高,经焙烧脱硫后可作为炼铁原料,实现“无废渣”冶炼,但因需用昂贵的钛材制造耐高温、高压设备,投资费用高,蒸气消耗大,工艺也较复杂,因此尚未得到广泛采用。但随着环保要求日益严格,材料设备的不断改进,该法今后必将获得很好发展。

2.1.4 热酸浸出-喷淋除铁法

该法是我国江苏冶金研究所与温州冶炼厂共同开发的新工艺,已于 1984 年在温州冶炼厂投入工业生产。生产实践表明:该工艺具有流程简单,操作方便,经营费用低,投资省,对原料的适应性强,不需碱试剂,不需还原、高温、高压过程等优点,适用于精矿来源复杂的中小型冶炼厂。锌回收率稍低、渣含锌较高为此法的主要缺点。

1992 年温州冶炼厂扩建时,对原有的热酸浸出-喷淋除铁工艺进行了完善,增加了一道中性浸出工序,由于所得铁渣与针铁矿有许多相似之处,因此可称之为仲-针铁矿法。意大利 SAMIM 公司维斯麦港锌厂也采用此法,与原有的喷淋除铁法相比,锌回收率高,能有效地除去大量杂质,如砷、锑、氟及二氧化硅等,具有较好的发展前景。

温州冶炼厂对渣的无害化处理非常重视,已进行了烧砖固化、水泥固化、铁红试制、油漆试制等探索性研究。1998 年中国有色工程设计研究总院矿山分院对温冶的两渣(铅银渣和铁渣)进行了探索性固化试验,试验表明,重量浓度 60%以上的矿浆在 2h 之内即可初步固化。固化后的两渣在水中的稳定性较好,基本上不溶化,不流失,在空气中不风化,每吨渣的固化费用也较低,克服了过去固化时间过长的缺点,现正在山西阳泉特种水泥厂进行扩大试验,如试验成功,将对我国湿法炼锌工业做出新的贡献,将解决长期以来我国湿法炼锌渣存放的环保问题。

2.1.5 处理高硅硫化锌精矿的新工艺

我国长沙矿冶研究院针对赤峰冶炼厂处理的硫化锌精矿含 SiO_2 较高的特点,提出了浸出新工艺。其工艺流程由选择性浸出、快速脱硅、高酸浸出、预中和、低污染沉矾等工序所组成。该厂已在

1995年建成投产,原料含 SiO_2 7%~8%,设计的锌浸出率96%,脱硅后液 SiO_2 可降至0.15 g/L(由于原料成分改变,现已改为热酸浸出—低污染铁矾法)。

2.1.6 奥托昆普公司湿法炼锌新工艺(锌精矿直接浸出工艺)

1998年,奥托昆普公司所扩建的芬兰科科拉锌厂采用了该公司自行开发的锌精矿直接浸出工艺,此法是利用工厂现有常规湿法工艺生产的副产品——酸性铁矾渣做浸出剂,在常压下直接浸出锌精矿,产出的浸出渣再用硫酸处理,浸出反应在立式反应塔中进行,铁最终形成铁矾沉淀,锌精矿中的硫被氧化成元素硫,然后从铁矾渣中分离,溶液返回中性浸出工序。该工艺适于处理不宜焙烧的细粒精矿。

2.1.7 硫化锌精矿的氧压浸出

目前世界上已有四家工厂采用,该工艺对原料适应性强,能很好地处理通常对锌冶炼极为不利的含铁、铅、硅高的锌精矿;锌回收率高,可达97%以上,可取消庞大的焙烧、制酸系统及渣处理工序,因而基建费用大幅度降低;不产出 SO_2 废气及湿法废渣,可更好地解决环保问题;产出的元素硫便于运输和贮存;对Pb、Cd及贵金属的综合利用,也较常规方法有利。但因材料、设备、仪表等要求较高,尚未被广泛采用

随着国内外环保要求的日益严格,设备制造水平的不断提高,新材料研制的不断创新以及仪表、元件及自动化程度的日益改进,相信这个先进工艺将在今后锌的生产上越来越多地被采用。中国科学院、北京矿冶研究总院等曾进行过试验,尚未在工业上应用。

2.1.8 硫化锌精矿催化氧化酸浸工艺

考虑到硫化锌精矿氧压浸出需在高温高压下进行,设备材质要求钛材等实际困难,国内外对催化氧化酸浸进行了试验研究。澳大利亚大洋洲电锌公司用氧化氮—氧的混合物做了常压直接酸浸的试验,我国也进行了探索性试验。试验在100℃及400 kPa(总压)下进行,溶液含 H_2SO_4 449 g/L, HNO_3 做催化剂。试验结果表明,锌浸出率可达97%,元素硫产率达84.3%。在上述试验条件下,国产1Cr18Ni9Ti、00Cr17Ni14Mo及0Cr18Ni12Mo2Ti三种不锈钢都属于耐腐蚀材料,系均匀腐蚀,年腐蚀速率小于0.1 mm,气相、界面及液相腐蚀速率相近,因此,本工艺的设备将易于解决。2002年,云南冶金集

团等三单位协同进行了工业化试验,只需90 min即能达到浸出的预期效果,锌浸出率>97%,渣含Zn<3%,使硫化锌精矿的氧压浸出取得了突破性的进展。

2.1.9 高银硫化锌精矿液相氧化直接浸出新工艺生产高级氧化锌

该工艺由中国科学院原化工冶金研究所在2000年研究提出,已通过扩大试验,锌的一次浸出率达94.5%,银的一次浸出率达到87.4%。试验在反应塔内进行,在一定温度、压力、催化剂的作用下,用空气作为氧化剂和搅拌介质,锌精矿中的锌变成可溶性锌离子进入溶液中,硫以单体硫或硫酸根离子存在,从而减少了常规工艺中脱硫的污染。该技术具有工艺流程简单、产品质量高、生产成本低、基本上无环境污染等特点。用该技术对矿产品进行深加工,除能使产品升级,更可使产品获得高附加值,为矿山资源利用开辟新途径,具有很好的推广应用前景。

2.1.10 中国云南兰坪锌精矿生物浸出试验

比利顿工艺研究所生物技术开发部2000年对我国云南兰坪锌精矿进行了小型中低温和高温生物浸出试验,锌精矿主要成分:Zn 53.9%,S 28.6%,Pb 1.6%。试验结果表明:采用高温生物浸出对兰坪锌精矿非常有效。在试验条件下,10%的矿浆浓度和20 d浸出时间内,采用高温生物浸出获得了93%的硫化物转化率和98%的锌浸出率,浸出速率为153 mg/(L·h);采用中低温生物浸出时,锌浸出率81%,浸出速率也较快,为94 mg/(L·h),如浸出时间延长至30 d,则浸出率还有可能提高。

此试验为锌精矿的生物浸出迈出了第一步,也是湿法炼锌的最新进展,建议进行全面的半工业试验,以确定最佳工艺操作条件,为今后的可行性研究提供必要的数据。

2.1.11 氧化锌矿采用改进的ZINCX工艺—MZP技术处理

Tecnicas Reunidas公司在1997~1998年提出了用MZP技术处理氧化锌矿。该技术分为3个步骤:浸出、溶剂萃取和电积。浸出在常压、温度50℃条件下进行,加入稀硫酸并控制pH值,经一定时间就会进行较好的浸出反应。利用溶于煤油的有机磷酸溶液(特别推荐双-2-乙基己基磷酸和D2EHPA)作为有机萃取剂,将锌负载电解液送至电积回路中,锌电积在铝阴极板上,采用传统技术可产出超高纯商

品锌锭(99.995%)。

MZP 技术有以下主要特点:(1)不需要将矿石磨得很细,当粒度为 200~500 μm 时就能获得很好的锌回收效果。(2)矿石可直接浸出,不需浮选或焙烧。(3)能处理品位很低的锌矿石(Zn5%)。(4)工艺过程灵活,可处理不同类型的锌矿物。(5)浸出母液中含 Ni、Co、Cu 高达 1~2 g/l 时,也不会给电积回路带来杂质污染,从而减少了腐蚀、结垢、维护和操作上的问题。

该技术在试验工厂进行了生产试验,试验结果:锌浸出率>95%,锌总回收率>93%,溶剂萃取对锌的选择能力很高,电积过程中的电流效率>91%,每 t 锌交流电电耗<3 100 kW·h,产出超高纯锌(品位>99.99%),可见该工艺具有很高的技术指标。相信 MZP 技术的实施将会给锌的采矿经营和生产技术带来一次突破,可以预见锌的溶剂萃取技术将会广泛应用,以处理那些以前被视为不可处理和无价值的矿物。

我国云南兰坪有色金属公司的矿山,其矿石为氧化锌和硫化锌的混合矿,利用生物浸出处理硫化锌矿,利用常压浸出处理氧化锌矿,这两个浸出工艺也都考虑使用溶剂萃取从混合的浸出母液中回收锌。

2.2 净液

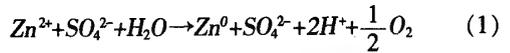
中国有色工程设计研究总院提出了一种全新的彻底分离 Cu、Cd、Co(Ni)三种元素的工艺流程和技术,该工艺流程为一段锌粉除 Cu,二段锌粉除 Cd,三段活性合金锌粉(含 Sb、Pb)除 Co,各段净化后液和净化渣成分如下:一段除 Cu 后液含 Cu<0.01 mg/L,Cu 渣含 Cu 55%~85%,Zn 5%~18%;二段除 Cd 后液含 Cd<1.0 mg/L,Cd 渣含 Cd 55%~70%,Zn 10%~15%;三段除 Co 后液含 Co<1.0 mg/L,Co 渣中无 Cu、Cd。

试验在 3 个反应器中进行,试验结果表明,所提出的三段净液工艺流程在技术上是可行的,能满足净液质量合格,Cu、Cd 渣主金属品位高和 Cu、Cd、Co 三种元素彻底分离的要求,并能保证净液过程连续稳定进行。由于锌粉耗量少,渣的再处理工序简单,生产成本降低、经济效益显著,因而该工艺在经济上也是合理的。虽然除 Cu、Cd 反应器是一种相对较为特殊的反应装置,但只要对传统的设备作适当改进,完全可以工业化。该新工艺有较大的推广价值,可为湿法炼锌厂的净液工艺开辟一条新途径。

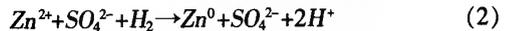
2.3 电积

2.3.1 氢扩散阳极的研究

该技术由鲁尔锌公司、鲁奇公司、波士顿的普罗托技术公司等一起进行研究,使传统的电解总反应:



改变成:



使阳极电位几乎减少到零。因此在电流密度不变的情况下,槽电压可从 3.2~3.5 V 降至 1.3~1.5 V,可节能 50%。

该技术除节约电能外,还可免去冷却电解液和清理电解槽操作,酸雾量显著减少,电锌质量进一步提高。该项技术如能实现工业化,将给锌电积带来根本性的变革。

2.3.2 矿浆电解新技术

在电解槽的阳极区,金属矿物被浸出,而同时在电解槽的阴极上析出金属,因此称之为金属的一步提取工艺。将传统的湿法冶金中的几个工序合而为一,使流程大大缩减,金属回收率提高,矿浆电解工艺的总能耗也较一般电解沉积明显降低。此外,矿石在矿浆电解过程中生成元素硫,从根本上消除了二氧化硫对环境的污染,因此矿浆电解又是一种无污染或轻污染的新工艺。

2.3.3 从含锌矿石或精矿中回收锌的方法——装有选择性离子膜的矿浆电解槽

本工艺的特点为锌的溶解与回收都在一个 Nafion 型的装有选择性离子膜的电解槽中进行。可使用价格较低的石墨电极,降低了槽电压,从而降低了电耗,节省了电费。另一个优点是浸出过程中生成的铁都被氧化成三价铁,然后水解生成针铁矿,避免了铁对电解液的污染,提高了锌的电解电流效率,使锌的生产成本明显降低。试验是在 50 L 电解槽中进行的,原料为闪锌矿精矿,额定电流 60 A,电解液:NaCl 50 g/L,Zn 60 g/L,密度 1.21 g/mL,电耗 2.5 kW·h/kg,Zn 回收率 97%。

3 结语

湿法炼锌今后将朝着改善环境,发展绿色技术,清洁生产,创造无害工厂,进一步简化工艺流程,提高金属回收率和综合利用水平,降低能耗和各种材料消耗,实现设备大型化、机械化和高度自动化的方向发展。

国内外锌冶炼技术的新进展

作者: [孙德堃](#)
 作者单位: [中国有色工程设计研究总院, 北京, 100038](#)
 刊名: [中国有色冶金](#) PKU
 英文刊名: [CHINA NONFERROUS METALLURGY](#)
 年, 卷(期): 2004, 33(3)
 被引用次数: 3次

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [刘斌, 王伟涛, LIU Bin, WANG Wei-tao](#) 浅谈湿法炼锌工艺的浸出渣问题 -[四川环境](#)2007, 26(2)

湿法炼锌已占据世界炼锌总量的80%以上, 是世界炼锌生产的发展方向, 而湿法炼锌中产生的浸出渣可能带来的环境污染及其防治, 成为该类项目中需要关注的重要问题之一. 本文对浸出渣的产生、处理过程中的污染环节以及可能带来的环境影响进行了分析, 并根据作者的工作实践, 提出了防止浸出渣处理过程产生污染的措施, 具有一定的参考价值和指导意义.
2. 期刊论文 [邓志明, 周正华, DENG Zhi-ming, ZHOU Zheng-hua](#) 湿法炼锌浸出沉铁探讨 -[湖南有色金属](#)2002, 18(1)

介绍了湿法炼锌的常规浸出法、黄钾铁矾法、针铁矿法沉铁热力学、动力学条件, 以及提高湿法炼锌浸出沉铁速度和沉铁效果的影响因素, 并结合铁渣浸出厂沉铁的现状, 提出应采取的措施.
3. 期刊论文 [关亚君, Guan Ya-jun](#) 湿法炼锌常规工艺铁的浸出及沉铁pH值的研究 -[稀有金属](#)2006, 30(3)

对焙烧中铁的物相组成和不同温度下各种铁氧化物酸溶平衡pH值进行了探讨, 并根据焙烧浸出小型试验和扩大试验浸出率结果, 研究得出了在湿法炼锌常规工艺浸出过程中, 二价铁浸出反应是浸铁的主要化学反应的结论. 同时计算了Fe³⁺在不同浓度下的水解平衡pH值, 结果表明, 当Fe³⁺浓度范围在5.6~0.00056 g·L⁻¹时, 相应的pH值在1.867~3.20之间. 生产现场测定证实了所计算的pH值与生产实际相符合, 表明计算结果对生产具有指导作用.
4. 会议论文 [李若贵](#) 湿法炼锌浸出渣处理及利用 2009

湿法炼锌浸出渣的处理问题已经成为有色冶炼中的世界性难题. 本文从科学发展观角度出发, 阐述了处理浸出渣的主要途径. 文章指出, 妥善解决锌渣浸出渣, 节能战排, 综合回收, 具有重要的意义.
5. 期刊论文 [付运康](#) 湿法炼锌低酸浸出改预中和后的操作探讨 -[有色金属\(冶炼部分\)](#)2002, ""(1)

湿法炼锌低酸浸出改为预中和后, 可使残渣含锌由大于7%降至6%以下, 根据湿法炼锌工艺及设备实际生产能力, 通过冶金计算, 提出了预中和和技术改造后应作的操作调整, 从而指导整个生产流程建立新的平衡, 以获得技改预期的经济效益.
6. 期刊论文 [刘三平, 王海波, 蒋开喜, 张邦胜, LIU San-ping, WANG Hai-bei, JIANG Kai-xi, ZHANG Bang-sheng](#) [中国湿法炼锌的新进展 -\[矿冶\]\(#\)2009, 18\(4\)](#)

中国2008年锌产量超过388万t. 一些新的锌冶炼项目已经完成了可研, 另外几个工厂正在建设之中. 近十年来锌冶炼行业发生了很大的变化, 锌精矿万吨规模的加压浸出冶炼厂已经建设完工, 另外至少有四个公司的锌精矿加压浸出项目正在进行可研或工程设计. 在国内10万t/a规模的锌精矿直接常压搅拌浸出工艺2009年将会投入生产. 据估计到2010年锌的产量将达到400万t/a.
7. 期刊论文 [吉庆锋, 李先柏, 杨小中, 廖彬, 许彬, 马骏, JI Qing-feng, LI Xian-bo, YANG Xiao-zhong, LIAO Zhou, XU Bin, MA Rong-jun](#) BP神经网络在湿法炼锌浸出工艺中的应用 -[矿冶工程](#)2006, ""(6)

针对湿法炼锌浸出工艺中影响生产的因素, 利用BP神经网络技术和自适应变步长学习函数构造了一种新的神经网络模型, 提高了训练速度, 增强了网络的稳定性. 结果表明, 该模型能比较准确的预测浸出率和终酸浓度.
8. 会议论文 [王存厚](#) 锌精矿中所含铜元素在湿法炼锌常规流程产出物中的分布情况 2008

讨论了从硫化锌精矿焙烧产物的浸出渣中进一步回收铜的可能性, 提出了欲从浸出渣中回收铜时, 锌精矿中含铜的最低限值.
9. 期刊论文 [杨斌, YANG bin](#) 对湿法炼锌中热酸浸出-黄钾铁矾工艺的探讨 -[甘肃冶金](#)2010, 32(3)

通过西北铅锌冶炼厂热酸浸出-黄钾铁矾工艺的生产实践, 对热酸浸出-黄钾铁矾工艺的原料适应性、设备适应性、锌总回收率、资源综合回收等问题的反思, 提出热酸浸出-黄钾铁矾工艺存在的弱点和缺陷, 并结合西北铅锌冶炼厂的实际情况, 提出工艺改造方案.
10. 期刊论文 [李淑艳, 陈锐, 石秀蓉, 郭天立](#) 湿法炼锌浸出工序的工艺改进 -[有色矿冶](#)2002, 18(2)

介绍了葫芦岛锌厂第三冶炼厂浸出工序的工艺改进过程, 通过对加料系统工艺流程、浸出槽排列纵向位置的改进, 解决其投料困难, 跑、冒、滴、漏严重, 设备故障率高等问题, 提高了劳动生产率, 降低了劳动强度, 改善了劳动环境.

引证文献(3条)

1. [康斌](#) 锌电积阳极板材的研究发展现状[期刊论文]-[四川冶金](#) 2008(2)
2. [周述勇](#) 锌精矿沸腾炉富氧焙烧工业试验的研究[期刊论文]-[湖南有色金属](#) 2007(2)
3. [肖康, 周述勇](#) 锌精矿沸腾炉稳定运行的探讨[期刊论文]-[湖南有色金属](#) 2006(5)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_ysyl200403001.aspx

授权使用: 长沙有色冶金设计研究院(csSYSJ), 授权号: 20bc9303-dfc1-451c-b935-9e3600b46328

下载时间: 2010年11月22日