

SLon 磁选机在黑色金属选矿工业应用新进展

熊大和

(赣州有色冶金研究所,赣州金环磁选设备有限公司)

摘要:经过 20 多年的持续研究与技术创新,SLon 立环脉动高梯度磁选机已发展成为国内外新一代的高效强磁选设备,该设备具有优异的选矿性能和高度的可靠性。目前,已有 400 多台 SLon 系列磁选机在鞍钢、马钢、宝钢、昆钢、首钢、海钢、安阳钢铁公司等地广泛应用于氧化铁选矿工业,在攀钢选钛厂、重钢太和铁矿、承德黑山铁矿等地广泛应用于钛铁选矿工业,近年来在锰选矿工业中的试验与应用也显示了良好的应用前景。SLon 磁选机为我国黑色金属选矿工业的发展作出了重要贡献。

关键词:SLon 立环脉动高梯度磁选机;氧化铁矿;钛铁矿;锰矿

1 前言

我国拥有丰富的氧化铁矿、钛铁矿、锰矿等弱磁性金属矿产资源,但它们绝大多数原矿品位低、嵌布粒度细,需要细磨深选才能达到冶炼要求。为了提高我国细粒弱磁性矿物分选效率,于 1981 年开始研究探索振动和脉动高梯度磁选的选矿机理,并于 1986 年开始研制 SLon 立环脉动高梯度磁选机。该机采用转环立式旋转、反冲精矿、配置脉动机构松散矿粒群及磁介质优化组合等措施,显著提高了矿物分选效率,成功地解决了国内外平环强磁选机和平

环高梯度磁选机磁介质易堵塞的技术难题。SLon 磁选机分选粒度下限可达 10 μ m 左右,并具有富集比大、分选效率高、磁介质不易堵塞、对给矿粒度、浓度和品位波动适应性强,且工作可靠、操作维护方便等优点。

经 20 多年持续的研究、创新与改进,SLon 立环脉动高梯度磁选机已形成系列化产品(见表 1),该产品具有优异的选矿性能和机电性能,在我国弱磁性矿石选矿工业中得到广泛应用,成为我国新一代强磁选设备。

表 1 SLon 磁选机主要技术参数

| 机 型 | 给矿粒度 /mm | 给矿浓度 (%) | 矿浆通过能力/(m ³ /h) | 干矿处理量/(t/h) | 额定背景磁感强度/T | 额定激磁功率/kW | 脉动冲程/mm | 脉动冲次/(r/min) | 主机重量/t |
|---------------|----------|----------|----------------------------|-------------|------------|-----------|---------|--------------|--------|
| SLon-500 强磁机 | -1.0 | 10~40 | 0.5~1.0 | 0.05~0.25 | 1.0 | 13.5 | 0~50 | 0~400 | 1.5 |
| SLon-750 强磁机 | -1.0 | 10~40 | 1.0~2.0 | 0.1~0.5 | 1.0 | 22 | 0~50 | 0~400 | 3 |
| SLon-1000 强磁机 | -1.3 | 10~40 | 12.5~20 | 4~7 | 1.2 | 28.6 | 0~30 | 0~300 | 6 |
| SLon-1250 强磁机 | -1.3 | 10~40 | 20~50 | 10~18 | 1.0 | 35 | 0~20 | 0~300 | 14 |
| SLon-1500 强磁机 | -1.3 | 10~40 | 50~100 | 20~30 | 1.0 | 44 | 0~30 | 0~300 | 20 |
| SLon-1750 强磁机 | -1.3 | 10~40 | 75~150 | 30~50 | 1.0 | 62 | 0~30 | 0~300 | 35 |
| SLon-2000 强磁机 | -1.3 | 10~40 | 100~200 | 50~80 | 1.0 | 74 | 0~30 | 0~300 | 50 |
| SLon-1500 中磁机 | -1.3 | 10~40 | 75~150 | 30~50 | 0.4 | 16 | 0~30 | 0~300 | 15 |
| SLon-1750 中磁机 | -1.3 | 10~40 | 75~150 | 30~50 | 0.6 | 38 | 0~30 | 0~300 | 35 |
| SLon-2000 中磁机 | -1.3 | 10~40 | 100~200 | 50~80 | 0.6 | 42 | 0~30 | 0~300 | 40 |

2 SLon 磁选机设备结构和工作原理

SLon 立环脉动高梯度磁选机结构见图 1,它主要由脉动机构、激磁线圈、铁轭、转环和各矿斗、水斗组成。采用导磁不锈钢制成的圆棒或板网作磁介质。其工作原理如下:

激磁线圈通以直流电,在分选区产生感应磁场,位于分选区的磁介质表面产生非均匀磁场即高梯度磁场;转环作顺时针旋转,将磁介质不断送入和运出

分选区;矿浆从给矿斗给入,沿上铁轭缝隙流经转环。矿浆中的磁性颗粒吸附在磁介质表面上,被转环带至顶部无磁场区,被冲洗水冲入精矿斗,非磁性颗粒在重力、脉动流体力的作用下穿过磁介质堆,沿下铁轭缝隙流入尾矿斗排走。

该机的转环采用立式旋转方式,对于每一组磁介质而言,冲洗磁性精矿的方向与给矿方向相反,粗颗粒不必穿过磁介质堆便可冲洗出来。该机的脉动

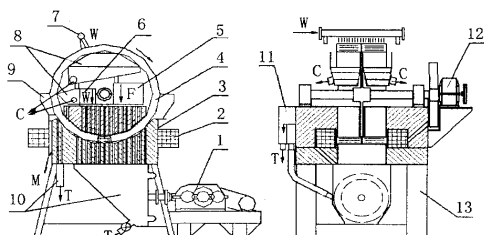


图 1 SLon 立环脉动高梯度磁选机结构图

1-脉动机构；2-激磁线圈；3-铁轭；4-转环；5-给矿斗；6-漂洗水斗；7-精矿冲洗装置；8-精矿斗；9-中矿斗；10-尾矿斗；11-液位斗；12-转环驱动机构；13-机架

F-给矿；W-清水；C-精矿；M-中矿；T-尾矿

机构驱动矿浆产生脉动,可使分选区内矿粒群保持松散状态,使磁性矿粒更容易被磁介质捕获,使非磁性矿粒尽快穿过磁介质堆进入到尾矿中去。

显然,反冲精矿和矿浆脉动可防止磁介质堵塞;脉动分选可提高磁性精矿的质量。这些措施保证了该机具有较大的富集比、较高的分选效率和较强的适应能力。

在 20 多年的设备研制过程中,针对使用中存在的问题,进行了无数次的改进,SLon 立环脉动高梯度磁选机的选矿和机电性能不断得到提高和发展。迄今为止,SLon 磁选机的销售总量已达 400 多台,并出口南非、秘鲁等国家,广泛应用于铁矿、钛矿、非金属矿的选矿。

3 SLon 磁选机在氧化铁矿选矿中的应用

3.1 SLon 磁选机在鞍钢齐大山选矿厂的应用

鞍山矿业公司齐大山选矿厂年处理 720 万 t 贫赤铁矿,由于该选矿厂原选矿流程工艺和装备落后,其铁精矿品位只能达到 63% 左右。2001 年至 2004 年,齐大山选矿厂一选和二选车间选矿流程全部改为阶段磨矿、重选-强磁-反浮选的选矿流程(见图 2),新流程中 11 台 SLon-1750 强磁机和 11 台 SLon-1500 中磁机有效地控制了细粒级尾矿品位,对提高铁回收率起到了关键作用。该机脱泥效果好,为反浮选作业提高铁精矿品位和降低药剂消耗创造了良好的条件。新流程中 SLon 磁选机机电性能良好、磁介质长期不堵塞、设备作业率达 99% 以上、设备水电消耗和维护费用低,为选厂降低生产成本、长期稳定生产起到了重要作用。新流程的铁精矿品位达到 67.50% 以上,铁回收率达到 78%,创我国红矿选矿工业历史最高水平。

3.2 SLon 磁选机在鞍钢调军台选矿厂的应用

鞍钢调军台选矿厂设计规模为年处理鞍山式氧

化铁矿 900 万 t,为一具有现代化水平的大型选矿厂,采用连续磨矿-弱磁-中磁-强磁-反浮选的选矿流程(见图 3)。原采用 15 台 Shp-3200 平环强磁选机作为强磁选设备。这些平环强磁选机存在齿板介质易堵塞、设备故障率较高、检修和维护较困难等问题,设备作业率只能达到 80% 左右。

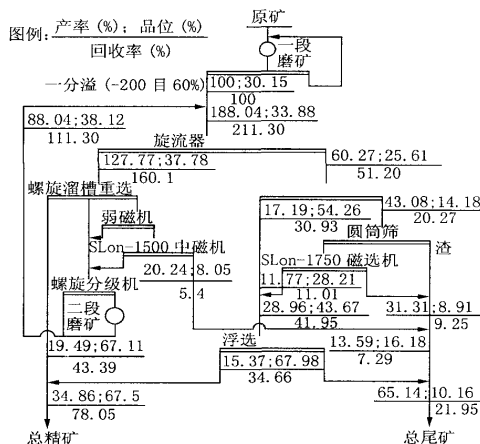


图 2 齐大山选矿厂质量原则流程图

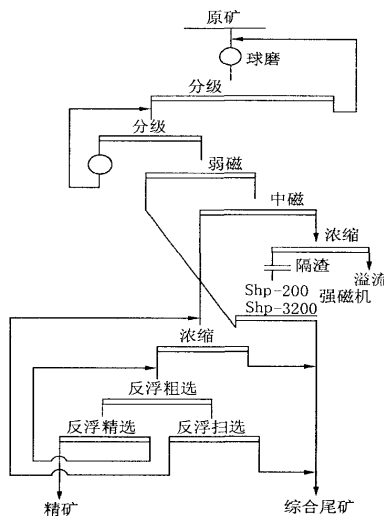


图 3 调军台选矿厂选矿原则流程图

为了提高调军台选矿厂选矿指标和解决 Shp-3200 平环强磁选机存在的问题,该选厂与该公司合作开展了 SLon-2000 磁选机在调军台选矿厂的工业试验。工业对比试验期间,在处理量、给矿条件相同

的情况下,SLon-2000 磁选机精选精矿品位比 Shp-3200 平环强磁选机高 1.19 个百分点,尾矿品位低 1.56 个百分点,精矿产率高 3.07 个百分点,精矿回收率高 8.19 个百分点。SLon 磁选机机电性能、各项技术经济指标全面超过 Shp-3200 平环强磁选机。

工业试验完成后,鞍钢集团公司决定采用 SLon-2000 磁选机全面替换流程中的 Shp-3200 平环强磁选机,第一阶段技术改造已于 2004-09 月完成,共采用 6 台 SLon-2000 磁选机替换掉第二、第三系统的 6 台 Shp-3200 磁选机。新流程中 SLon 磁选机运转平稳、故障率低、选矿指标好、磁介质长期不堵塞、设备作业率高达 99% 以上,为提高全流程的铁回收率和为浮选作业创造良好的条件起到了重要作用。目前,鞍钢集团已批准再用 9 台 SLon-2000 磁选机取代剩余的 9 台 Shp-3200 平环强磁选机,该项目预计将于 2005 年年底完成。

3.3 SLon 磁选机在首钢秘鲁铁矿的应用

秘鲁铁矿位于秘鲁共和国境内的马尔科纳地区,属古生代寒武纪地层,交代型矿床,岩深达 300~500m,蕴含着品位高达 50% 以上的富铁矿,目前已探明地质储量为 14.3 亿 t。矿石成分以磁铁矿为主,岩体表层多为氧化型赤铁矿。早期秘鲁铁矿由于岩体表层氧化块矿品位较高,无需选矿直接装船外运,而品位较低的氧化矿从表层剥离后直接在采场堆积。近年来随着露天开采规模越来越大,大量堆积的表层氧化铁矿带来的问题日益突出:一方面是造成资源的巨大浪费;另一方面是影响原生矿的进一步开采。

2002 年初,秘鲁铁矿与该公司合作探索用 SLon 磁选机为主体设备分选该矿的表层氧化铁矿,获得了优良的试验指标。2003 年底,经双方研究决定采用如图 4 所示流程处理该氧化铁矿(包括过渡矿)。该流程中用弱磁选机选出磁铁矿,采用 2 台 SLon-1750 磁选机选出赤铁矿,弱磁精矿和强磁精矿合并后进入浮选作业。其生产指标为:给矿品位 56.43%,精矿品位 65.09%,铁回收率 80.32%。

该流程分选出的铁精矿用于高炉球团,产品质量满足生产球团的要求。与原生矿精矿相比,氧化矿精矿品位略低,但用于生产高炉球团时可以少加石英,石英添加量由原来的 4.09% 降到 2.50%。该流程的成功应用,不但有效处理了采场大量堆积的氧化铁矿,而且减少了石英的开采、运输、破碎磨矿等费用,流程中 SLon 磁选机优异的选矿性能和设备

性能得到现场技术人员的普遍好评。2005 年年底秘鲁铁矿向该公司又订购了 3 台 SLon-1750 磁选机用于扩大生产。

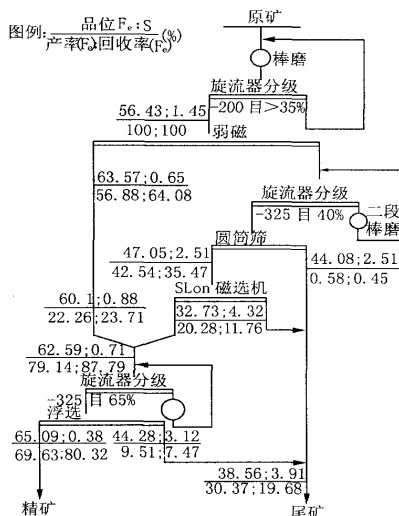


图 4 秘鲁铁矿氧化矿数质量流程图

3.4 SLon 磁选机国内外大中型氧化铁矿选矿厂应用统计

近年来我国的钢铁工业得到飞速发展,但我国的铁矿资源绝大多数为贫矿,钢铁工业对优质铁精矿的巨大需求促进了以 SLon 磁选机、反浮选等新技术在我国贫、细、杂氧化铁矿选矿工业中的高速发展和应用,使我国氧化铁矿的选矿技术水平达到国际先进水平。表 2 列举了 SLon 磁选机在细粒氧化铁矿选矿工业中的应用情况。

4 SLon 磁选机在钛铁矿选矿工业中的应用

我国的攀枝花地区和承德地区蕴藏着丰富的钛铁矿资源。过去由于选矿技术和设备落后,我国对钛铁矿回收利用率很低。近年来,随着微细粒级选钛技术的发展和 SLon 磁选机的广泛应用,使我国选钛水平有了大幅度提高, TiO₂ 的综合回收率达到 35% 左右。

4.1 SLon 磁选机在攀枝花选钛厂的应用

攀枝花是我国最大的钛铁矿产地,攀钢(集团)矿业公司选钛厂是一座大型原生钛铁矿选厂,入选原料(原矿)为选钛厂所排出的磁选尾矿。原生产流程采用重选-浮选-电选工艺流程,用于回收粗粒级(+0.1mm)和细粒级(0.1~0.045mm)两级别钛铁矿,而对产率和 TiO₂ 金属量均占入选原料 45% 的

-0.045mm 的微细粒级钛铁矿难于回收而直接 生产钛精矿仅 5 万 t。
 丢弃, 导致其全厂钛回收率仅有 17%~20%, 每年

表 2 SLon 磁选机在大中型氧化铁矿选矿厂的应用统计

| 厂矿名称 | 设备型号 | 使用台数 | 分选矿种 | 选矿流程 | 分选指标 ^① (%) | 备注 |
|------------|---------------|------|-------------|-----------------|--|-------------|
| 鞍钢齐大山选矿厂 | SLon-1750 强磁机 | 11 | 鞍山式赤铁矿 | 阶段磨矿-重选-强磁-反浮选 | α 30.15, β 67.50 | 全流程选矿指标 |
| | SLon-1500 中磁机 | 11 | | | 010.16, ϵ 78.05 | |
| 鞍钢东烧一选车间 | SLon-1750 强磁机 | 8 | 鞍山式赤铁矿 | 阶段磨矿-重选-强磁-反浮选 | α 32.50, β 64.50 | 全流程选矿指标 |
| | SLon-2000 强磁机 | 2 | | | 014.50, ϵ 71.45 | |
| | SLon-1750 中磁机 | 10 | | | | |
| 鞍钢调车台选矿厂 | SLon-2000 强磁机 | 6 | 鞍山式赤铁矿 | 连续磨矿-强磁-反浮选 | α 29.69, β 67.50 010.87, ϵ 75.56 | 全流程选矿指标 |
| 鞍钢弓长岭三选车间 | SLon-2000 强磁机 | 5 | 鞍山式赤铁矿 | 阶段磨矿-重选-强磁-反浮选 | α 28.78, β 67.19 | 设计指标, 已投产调试 |
| | SLon-2000 中磁机 | 5 | | | 010.13, ϵ 76.29 | |
| 鞍钢胡家庙选矿厂 | SLon-2000 强磁机 | 8 | 鞍山式赤铁矿 | 阶段磨矿-重选-强磁-反浮选 | α 28.40, β 67.50 | 设计指标, 在建工程 |
| | SLon-2000 中磁机 | 8 | | | 010.60, ϵ 74.35 | |
| 安阳钢铁公司舞阳铁矿 | SLon-2000 强磁机 | 17 | 赤铁矿 | 阶段磨矿-重选-强磁-反浮选 | α 25.95, β 64.50 010.84, ϵ 70.00 | 设计指标, 已投产调试 |
| 海南钢铁公司选矿厂 | SLon-2000 强磁机 | 5 | 磁铁矿、赤铁矿混合矿 | 弱磁-强磁-粗-精-扫 | α 51.09, β 64.20 024.50, ϵ 84.16 | 细粒选矿流程综合指标 |
| 海南钢铁公司选矿厂 | SLon-1750 强磁机 | 8 | 磁铁矿、赤铁矿混合矿 | 连续磨矿-强磁-反浮选 | α 47.63, β 64.50 029.04, ϵ 71.00 | 设计指标, 在建工程 |
| 唐钢司家营铁矿 | SLon-1750 强磁机 | 8 | 氧化铁矿 | 阶段磨矿-重选-强磁-反浮选 | α 30.44, β 66.00 | 设计指标, 在建工程 |
| | SLon-1750 中磁机 | 12 | | | 09.65, ϵ 80.00 | |
| 马钢姑山铁矿 | SLon-1750 强磁机 | 7 | 宁芜式赤铁矿 | 阶段磨矿-强磁-粗-精-扫 | α 43.15, β 60.17 | 磨选主厂房全流程指标 |
| | SLon-1750 强磁机 | 4 | | | 022.41, ϵ 76.59 | |
| 宝钢南京梅山铁矿 | SLon-1500 强磁机 | 18 | 赤铁矿、黄铁矿、菱铁矿 | 弱磁-强磁-粗-扫联合降磷流程 | α Fe 52.77, α S 0.44, α P 0.399, β Fe56.08 β S 0.29, β P 0.246, ϵ Fe 94.51 | 降磷流程综合指标 |
| 昆钢大红山铁矿 | SLon-1500 强磁机 | 4 | 磁铁矿和赤铁矿混合矿 | 阶段磨矿-弱磁-强磁流程 | α 37.69, β 64.24 012.14, ϵ 83.59 | 全流程选矿指标 |
| 昆钢大红山铁矿 | SLon-2000 强磁机 | 11 | 磁铁矿和赤铁矿混合矿 | 阶段磨矿-弱磁-强磁-反浮选 | α 40.03, β 67.00 015.34, ϵ 80.00 | 设计指标, 在建工程 |
| 首钢鲁铁矿 | SLon-1750 强磁机 | 2 | 含硫磁铁矿、赤铁矿 | 阶段磨矿-弱磁-强磁-浮硫 | α 56.43, β 65.09 036.56, ϵ 80.32 | 全流程指标 |

①分选指标中: α 为原矿品位%, β 为精矿品位%, θ 为尾矿品位%, ϵ 为回收率%。

为了提高钛回收率, 1997 年至 2004 年该厂建成了三条磁-浮流程生产线分选 -0.045mm 粒级的钛铁矿。12 台 SLon-1500 磁选机用于粗选作业, 然后用浮选精选。磁-浮流程的综合选矿指标为: 给矿品位 10.12% TiO₂, 钛精矿品位 \geq 47% TiO₂, TiO₂ 回收率 \geq 44%。该流程 2004 年从细粒尾矿中回收了 14 万 t 品位为 47.5% TiO₂ 的细粒钛精矿。TiO₂ 的综合回收率提高了 10~12 个百分点。第一条工业试验生产线的数质量流程图见图 5, 目前攀钢选钛厂每年生产优质钛精矿产量达到 25 万 t。

4.2 SLon 磁选机在重钢太和铁矿选钛流程中的应用

重庆钢铁公司太和铁矿矿石为磁铁矿与钛铁矿的混合矿。1994 年以前, 该矿建立了弱磁选流程分选磁铁矿。1994 年至 1995 年, 该矿又建立了以螺旋溜槽、摇床为粗选和浮选为精选的钛铁矿选矿流程从弱磁选尾矿中回收钛铁矿。但是, 由于螺旋溜槽和摇床都不能回收细粒钛铁矿, 而浮选又难以回收粗粒钛铁矿, TiO₂ 从细粒级和粗粒级中大量流失, 因此选钛回收率很低, 仅占弱磁选尾矿中 TiO₂

的 10% 左右。

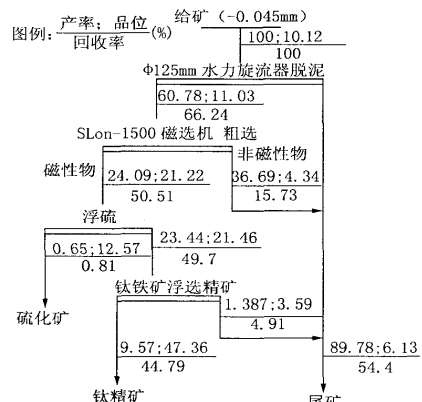


图 5 攀枝花选钛厂 -0.045mm 钛铁矿选矿数质量流程图

2000~2004 年, 该矿先后安装了 3 台 SLon-1500 磁选机和 3 台 SLon-1750 磁选机取代螺旋溜槽和摇床, 这 6 台磁选机与浮选作业组成磁-浮流程分选钛铁矿。该流程首先采用浓缩分级将给矿大致分为 +0.1mm(粗粒级)、0.1~0.02mm(细粒级)和

5 SLon 磁选机在锰矿选矿工业中的应用

我国的锰矿资源绝大多数为贫矿,国产锰精矿远不能满足国内市场需求,每年要从国外进口大量的锰精矿,因此如何开发利用国内低品位的锰矿资源成为当务之急。近几年通过广泛的研究、试验和生产应用,充分证明了 SLon 磁选机有效地分选低品位锰矿,显示了该设备在锰矿选矿工业中具有良好的应用前景。

5.1 SLon 磁选机在内蒙古分选低品位锰矿的应用

2004 年至 2005 年,内蒙古金水矿业公司先后安装了 SLon-1000、SLon-1250、SLon-1500 立环脉动高梯度磁选机各一台进行分选低品位锰矿的工业生产,其选矿流程见图 8 所示。

该矿的低品位锰矿从前作为尾矿排放,经 SLon 磁选机一次粗选即可获得 30% Mn 的锰精矿,实现

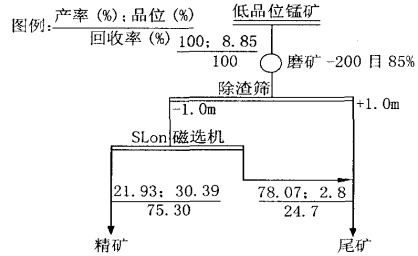


图 8 内蒙金水矿业锰矿选矿流程图

了变废为宝的目的,获得了良好的经济效益。

5.2 SLon 磁选机分选锰矿的试验与应用统计

近年来对广西、福建、内蒙、四川、河南等地的低品位锰矿进行了广泛的选矿试验并有一部分已走向工业应用阶段,详见表 4 所示。

表 4 SLon 磁选机分选锰矿的试验与应用统计

| 锰矿产地 | 设备型号 | 锰矿类型 | 选矿流程 | 分选指标/(%Mn) | 备注 |
|---------|-------------------|------|------|--|---------|
| 内蒙金水矿业 | SLon-1000 强磁机 1 台 | 菱锰矿 | 一次粗选 | α 8.85 β 30.39 | 工业生产指标 |
| | SLon-1250 强磁机 1 台 | | | β 2.80 ϵ 75.30 | |
| | SLon-1500 强磁机 1 台 | | | | |
| 甘肃永登矿业 | SLon-1250 强磁机 1 台 | 硬锰矿 | 一次粗选 | α 16.94 β 31.88 | 在建项目 |
| | SLon-1500 强磁机 1 台 | | | β 9.74 ϵ 61.20 | |
| 内蒙包头 | SLon-100 | 黑锰矿 | 一次粗选 | α 12.85 β 39.53 β 6.69 ϵ 57.74 | 探索试验指标 |
| 辽宁建平 | SLon-100 | 硬锰矿 | 一次粗选 | α 11.84 β 29.27 β 5.53 ϵ 65.73 | 探索试验指标 |
| 福建连城锰矿 | SLon-100 | 硬锰矿 | 一次粗选 | α 28.27 β 46.47 β 16.32 ϵ 65.14 | 探索试验指标 |
| 广西木桂 | SLon-750 | 松软锰矿 | 一粗一扫 | α 22.92 β 30.38 β 13.03 ϵ 75.97 | 半工业试验指标 |
| 四川攀枝花锰矿 | SLon-100 | 菱锰矿 | 一次粗选 | α 13.36 β 38.08 β 4.76 ϵ 73.54 | 探索试验指标 |

6 结论

(1)SLon 磁选机在国内外大中型氧化铁矿选矿厂的广泛应用,使鞍钢齐大山、调军台等选矿厂的铁精矿品位达到 67.5% 以上,铁回收率达到 78% 左右,选矿指标多次创我国氧化铁矿选矿的最高水平。

(2)SLon 磁选机在我国多个钛铁矿选钛厂的应用,解决了一系列钛铁矿选矿技术难题,显著提高了我国选钛技术水平,使我国作为钛白粉原料的优质钛精矿产量迅速增加。

(3)SLon 磁选机在我国锰矿选矿方面的广泛试验及应用,获得了优良的选矿试验指标和生产指标,显示了该设备在开发低品位锰矿资源方面具有很大的发展潜力。

(4)SLon 磁选机在国内外众多黑色金属选矿工业中的广泛应用,显著地提高了弱磁性矿石的回收

率和精矿品位,并使大量的低品位矿石得到回收利用,为提高我国矿产资源的利用率发挥了越来越大的作用。

参 考 文 献:

[1] 熊大和. SLon-1000 立环脉动高梯度磁选机的研制[J]. 金属矿山, 1988(10):39~40
 [2] 熊大和. SLon-2000 立环脉动高梯度磁选机的研制[J]. 金属矿山, 1995(6):32~34
 [3] 赫荣安, 陈平, 熊大和. SLon 强磁机选别鞍山式贫赤铁矿的试验及应用[J]. 金属矿山, 2003(9):5~10
 [4] 李建设. SLon 立环脉动高梯度磁选机在秘鲁铁矿的应用[J]. 金属矿山, 2004(8):39~41

作者简介:熊大和,赣州有色冶金研究所副所长,赣州金环磁选设备有限公司总经理,教授级高工,博士,SLon 立环脉动高梯度磁选机第一发明人。江西省赣州市沙河工业园赣州金环磁选设备有限公司,341000。电话:0797-8186426