

河北理工大学

---

硕士学位论文

---

马兰庄铁矿选矿厂细筛再磨工艺优化研究

---

姓名：梁福利

---

申请学位级别：硕士

---

专业：矿业工程

---

指导教师：李永聪

---

20060401

## 摘 要

在选矿工艺中，细筛作为一种细粒分级设备，由于其具有分级效率较高的优点，近年来在选矿厂得到越来越广泛的应用。我国细筛的发展从 70 年代开始，经历了从固定细筛到振动细筛的发展过程，70 年代以后，由于在全国磁铁矿石选矿厂推广了细筛再磨新技术，使精矿品位有较大幅度的提高。

随着选矿技术的进步，细筛也不断更新换代。相比之下旧式细筛显得分级效率较低，造成筛上循环量大，制约了球磨机处理量，也影响选别作业效果。唐山首钢马兰庄铁矿有限责任公司选矿厂也存在同样的问题，由于使用多年的尼龙振动细筛分级效果不理想，造成二段球磨循环负荷大，磨矿效率低，再磨产品过磨现象严重，直接影响球磨机的处理能力和选矿厂的经济效益。

一种新型细筛—MVS 电磁振网筛在选矿厂开始应用。通过新型 MVS 电磁振网筛和此前使用的尼龙振动细筛这两种分级设备同时在唐山首钢马兰庄铁矿有限责任公司选矿厂进行工业试验研究，通过从现场取样测定两种不同筛分设备的筛分量效率、筛分质效率、铁精矿产率及品位，进行了技术指标的对比研究，进而又从经济指标方面进行综合分析。

通过试验数据看出：新型细筛—MVS 电磁振网筛的筛分效率比尼龙高频振动筛的筛分效率高一倍以上，使用这种新型 MVS 电磁振网筛不仅提高了筛分效率和产品质量，而且由于筛分效率的提高，循环量的降低，一段球磨机处理能力的提高，精矿粉产量的增加，给公司带来很好的经济效益，每年可为企业增加效益 400 万元以上。

图 7 表 7 参 27

关键词：筛分效率；细筛；磨矿；分级

分类号：TD921<sup>+</sup>.3

## Abstract

In the concentration technics, Sifting screen is a kind of classification equipment, Due to which have the merit of supernal classification efficiency, In this year it is used more and more widely in concentration plant. In my country sifting screen is beginning to develop at 70 years, which go through the developmental course from fixed screen to librate screen, After 70 years, The new art of sifting screen regrinding is used widely to concentration plant, so the concentration grade is increased bigly.

With the progress of concentration art, sifting screen is also refresh continuously. Old type sifting screen shows low classification efficiency, It make plus sieve circulation great and restrict handling capacity of ball grinder and infect the selective effect. Tangshan Malanzhuang iron ore limited liability company have the same problem, The classification efficiency of nylon librate screen which is used many years is no ideal, So cause that circulation load of two-phase ball grinder is big and grinding efficiency is low and heavily milled phenomenon of regrinding product is severe, It directly infect the disposal capacity of ball grinder and the economy benefit of concentration plant.

A new kind of sifting screen-MVS electromagnetism shaking mesh screen is beginning to use in the concentration plant. Electromagnetism shaking mesh screen and nylon librate screen are all put up industry trial investigation in Tangshan Malanzhuang iron ore limited liability company, Through sampling from locale and measure screen quantity efficiency、screen quality efficiency、productive rate and grade of iron concentration, and carry through the contrastive research of art target, and the economy target is colligate analysis.

It can be seen from the trial data that the screen efficiency of new Sifting screen-MVS electromagnetism shaking mesh screen is more two times than nylon librate screen. Using this new kind of screen can not only boost screen efficiency and product quality, but also boost the disposal ability of one-phase ball grinder and concentrate powder. It bring very big economy benefit and increase more 6 millions benefit every year.

Figure 7; Table 7; Reference 27

**KeyWords:** screening efficiency, sifting screen, grinding, classification

Chinese books catalog: TD921<sup>+</sup>.3

## 独创性说明

本人郑重声明：所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写的研究成果，也不包含为获得河北理工大学或其他教育机构的学位或证书所使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中做了明确的说明并表示了谢意。

签名：梁福红 日期：2006年5月7日

## 关于论文使用授权的说明

本人完全了解河北理工大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

（保密的论文在解密后应遵循此规定）

签名：梁福红 导师签名：李永刚 日期：2006年5月7日

## 引 言

尼龙细筛及利用细筛再磨工艺提高磁选铁精矿品位，自七十年代中期由鞍山大孤山选矿厂、鞍钢矿山研究所和北京矿业研究院研究成功后，相继在首钢、本钢、武钢、邯钢等二十多家磁铁矿选矿厂得到推广应用，使我国的磁铁矿精矿品位一跃赶上了世界先进水平。但同时也存在许多问题，如细筛筛分效率低，筛上循环量大，以致磨矿效率低，能源浪费等问题。多年来，国内有关院校、科研院所、选矿厂，均在如何提高细筛的筛分效率、改变工艺或其它设备配套使用、或减少细筛再磨循环量等方面进行了大量的研究<sup>[1]</sup>。在黑色冶金矿山选矿生产中，精矿产品的粒度组成是精矿质量的决定性因素。因此，黑色冶金矿山选矿过程中细粒物料分级是非常重要的工序。传统的分级设备如水力旋流器、尼龙细筛和仿德瑞克型高频振动细筛的应用效果均不够理想，其分级效率低，筛上合格粒级含量大，造成合格粒级矿物在流程中恶性循环，二次循环量大，不仅影响选别作业效果，而且制约了一次球磨机台时能力的提高，影响选矿成本的降低。综上所述可知：选用一种新型振动筛解决这个问题是本次研究的重要课题。本课题对尼龙振动筛在选矿工艺中发挥作用进行研究，选用一种新型设备替代尼龙振动筛，解决筛分效率低，循环量大，一段球磨台效低的问题，这样将对黑色冶金矿山选矿生产起到重大的推动作用，并且可以创造更好的经济效益。因此这是一项非常有意义的工作。

# 1 文献综述

## 1.1 振动筛分机械的应用与发展

振动筛分机械是近 20 年来得到迅速发展的一种新型机器,目前已广泛运用于采矿、冶金、煤炭、石油化工、水利电力、轻工、建筑、交通运输和铁道等工业部门中,用以完成各种不同的工艺过程,例如,在冶金工业部门,选矿厂普遍采用圆振动筛对矿石进行预先筛分和检查筛分,并用振动细筛对磨矿机的产品进行分级,烧结厂采用直线运动轨迹和二次隔振原理,形成了热矿筛和冷矿筛,焦化厂采用直线筛对焦炭进行筛分;在煤炭工业部门,采用圆振动筛、概率筛、等厚筛和直线振动筛作为粗煤、精煤和末煤的分级、脱水和脱介;在水利电力部门,采用圆振动筛、等厚筛或直线筛对煤炭进行处理,在水电站的建设工作中如三峡工程需要各种大型筛机对砂石进行分级;在交通工业部门,采用概率等厚筛和热石筛对石渣和石头的分级、清沙和除泥;在化工部门,振网筛和化肥筛是关键设备;在环卫部门的垃圾处理中,出现了新型筛机——弛张筛和水煤筛。随着我国建设事业迅猛发展和现代化建设的迫切需要,对这类振动筛分机械不仅在品种和规格上,而且在产品质量上也提出了越来越高的要求,因此,振动筛分机械的研究日益引起人们的注意<sup>[2]</sup>。

## 1.2 国外筛分机械发展概况

国外从 16 世纪开始对筛分机械的研究与生产,在 18 世纪欧洲工业革命时期,筛分机械得到迅速发展,到本世纪,筛分机械发展到一个较高水平<sup>[3]</sup>。德国的申克公司可提供 260 多种筛分设备,STK 公司生产的筛分设备系列品种较全,技术水平较高,KHD 公司生产 200 多种规格筛分设备,通用化程度较高,KUP 公司和海因勒曼公司都研制了双倾角的筛分设备。美国 RNO 公司新研制了 DF11 型双频率筛,采用了不同速度的激振器。DRK 公司研制成三路分配器给料,一台高速电机驱动。美国德瑞克(Derrick)公司自从德瑞克先生在 1950 年发明全球第一台 3 路给料高频振动细筛以来,一直是全球公认的湿式和干式细筛分技术的领先者。该设备具有筛分效率高、处理能力大、适合处理低浓度高粘性的细粒物料等特点,在铁矿选矿磨矿分级或控制精矿的含硅量方面已有 50 余年的成功应用。对铁矿选矿作业而言,具有代表性的设备是多路给料的高频振动细筛和重复造浆的高频振动细筛。该细筛由段相互独立的筛面组成,相当于 3 台传统细筛安装在同一活动筛框内,整个筛子由一

振动器驱动。每段筛面配置单独的给料箱，由一个高效分配器同时向 3 个给料箱均衡供料。该筛分方式使筛分面积得到最有效的利用。它能准确的进行湿式细而旋转。Derrick 多路给料高频振动细筛工作原理粒物料分级，筛分效率高，处理能力大，特别适合筛上产率高的细粒物料的分级。该细筛采用单一的给料箱，每段筛网之间配置有衬耐磨橡胶的造浆槽。借助喷水装置，使筛上产物在造浆槽内彻底翻转和碎散，再经过筛面筛分使粗、细颗粒分离。该筛分方式使浆体得到充分的搅拌，从而达到提高筛分效率。该设备的特点是设计有耐磨衬胶的重复造浆槽补加水彻底冲洗粗粒表面的细粒物料，增加筛下产物的回收率，单台设备提供多次分级，筛上产物更洁净，筛分效率更高。经过德瑞克公司多年的改进，Derrick 重复造浆的高频振动细筛工作原理高频振动细筛在铁矿选矿磨矿分级应用中取得了如下几个方面的实质性变化：同其他类型的高频振动细筛相比，Derrick 高频振动细筛处理能力大，筛分效率高。最近推出的重叠式高频振动细筛，处理能力更大，筛分效率更高。Derrick 高频振动细筛的振动器是全封闭的，无任何外部运动部件，采用干油润滑，使设备故障率最低。采用高效的专利产品耐磨防堵聚酯筛网，筛网的最细孔径可达 0.11mm，使细粒级物料的筛分问题得以有效解决。该筛网的耐磨性仍在不断改进之中，目前同金属不锈钢筛网相比，其寿命是金属不锈钢筛网的 20~30 倍。无论是多路给料的高频振动细筛还是重复造浆的高频振动细筛，都使得筛面料浆分布更均匀，更有利于筛面的充分利用。Derrick 高频振动细筛在铁矿选矿磨矿分级或控制精矿的含硅量方面的应用实例在实际生产中，由于矿石性质和工艺特性不同，Derrick 高频振动细筛的应用范围就不同<sup>[4]</sup>。目前 Derrick 高频细筛主要在如下几方面得以成功应用：控制磁选精矿中的硅含量、提高磨矿机处理能力和降低能耗及保持精矿品位稳定<sup>[5]</sup>。

日本东海株式会社和 RXR 公司等合作研制了垂直料流筛，把旋转运动和旋回运动结合起来，对细料一次分级特别有效。英国为解决从湿原煤中筛出细粒末煤，研制成功旋流概率筛。前苏联研制了一种多用途兼有共振筛和直线振动筛优点的自同步直线振动筛。美国井架制造公司生产的筛分机具有三层独立的 762×1016mm 的筛子，在筛子之下有一台尺寸为 1220×2440mm 的筛上物料收集槽，给料分别给到每一层筛面上。每一层筛面有两层方孔钢系筛网，上下两层筛网的排列方式是上层的横纲丝骑在下层方孔的中间由于钢网相互振动，细筛筛孔堵塞的机会和临界粒度卡住筛孔的现象都减少了。美国明塔克铁矿选矿厂装备了双层筛面的振动筛，上层筛 0.1mm，下层筛孔 0.12mm，上层筛的产品入球磨再磨，下层筛的产品是成品矿<sup>[6]</sup>。

振动筛主要用于选矿的物料分级及脱水、脱介和脱泥等作业，其处理能力的大小，直接影响生产率和经济效益<sup>[7]</sup>。

### 1.3 我国筛分机械的发展概况

建国 50 多年来，我国的筛分设备走过了一个从无到有，从小到大，从落后到先进的发展过程，前后经历了测绘仿制，自行研制和引进提高 3 个阶段。<sup>[8]</sup>

1. 仿制阶段上世纪 50 年代，我国的筛分设备极为落后，生产上使用的都是从前苏联引进的 TYII 型圆振动筛；波兰的 Wp1 型和 Wp2 型吊式直线振动筛。为适应生产的发展，当时以洛阳矿山机器厂，锦州矿山机械厂和上海冶金矿山机械厂为主的几个制造单位，通过对以上几种进口筛机进行测绘仿制，形成了国产型号为 SZZ 系列的自定中心筛、SZ 系列的惯性筛和 SSZ 系列的直线筛等，初步奠定了我国筛分机械的基础。

2. 自行研制阶段通过对用户的走访和调研，1967 年由洛阳矿山机械研究所、鞍山矿山机械厂、北京煤矿设计院、沈阳煤矿设计院、平顶山选煤设计研究院组成了联合设计组，制定了我国第一个煤用单、双轴振动筛系列型谱，并进行了 ZDM(DDM) 系列单轴振动筛和 ZSM(DSM) 系列双轴振动筛的产品设计工作。1974 年，两个系列设计工作完成，并投入生产制造，基本上满足了当时国内中、小型选煤厂建设的需要。在此基础上，由洛矿所、鞍矿厂、西安煤矿设计院、东北大学等 9 个单位又组成了矿用基型振动筛设计组。通过采用自同步理论、偏心块振动器、复合弹簧、环槽铆钉等先进技术，进行了 2ZKB2163 直线振动筛，YK1545 和 2YK2145 圆振动筛、YH1836 重型振动筛、FQ1224 复合振动筛等 4 种基型新系列振动筛设计工作。1980 年，鞍矿厂完成了这四种基型筛的制造，并通过了技术鉴定，在工业上得到了广泛的应用，这标志着我国筛分机械走上了自行研制发展的道路。<sup>[9]</sup>

3. 引进提高阶段上世纪 80 年代以来，冶金和煤炭系统不断从国外引进先进的振动筛产品<sup>[10]</sup>。在冶金行业：上海宝钢引进了日本神户制钢所和川崎重工株式会社制造的用于原料分级、焦炭筛分、电厂煤用分级的振动筛和烧结矿用的冷矿筛；鞍钢、唐钢从德民申克公司引进了热矿筛。在煤炭行业：山东兖州矿务局兴隆庄选煤厂引进了美国 RS 公司的 TI 倾斜筛和 TH 水平筛；河北开滦矿务局范各庄选煤厂引进了德国 KHD 公司制造的 USK 圆振动筛、USL 直线振动筛；钱家营矿选煤厂引进了波兰米克乌夫采矿机械厂制造的 PWK 圆振动筛、PWP 直线振动筛；山西西山矿务局西曲选煤厂和淮北矿务局临涣选煤厂从日本神户制钢所引进的 HLW 型直线振动筛



等。这些筛机技术参数先进、结构合理、工作平稳、可靠耐用，基本上代表了 20 世纪 70 年代国际振动筛的技术水平。在引进筛机产品的同时，国内生产振动筛的专业厂——鞍矿厂先后派遣专业技术人员去美国和德国进行技术考察，并进行技术引进。<sup>[11]</sup> 1980 年鞍矿厂从美国 RS 公司引进 TI 和 TH 型振动筛制造技术，转化为国内型号定为 YA 系列圆振动筛和 ZKX 系列直线振动筛，在国内得到广泛应用。1996 年鞍矿厂又引进了德国 KHD 公司 USK 系列圆振动筛和 USL 系列直线振动筛制造技术，这是 KHD 公司 20 世纪 80 年代的改进型产品，其中 USL 直线筛宽达 4.5m，这表明我国中、大型振动筛制造水平向前迈进了一大步。此外，1986 年洛矿厂也从日本神户制钢所引进了 HLW 型振动筛制造技术，转化后国内型号定为 ZK 系列振动筛，该筛结构紧凑、重量轻，最大规格的筛分面积达 27m<sup>2</sup>，是当时国内最大的直线振动筛。国外振动筛产品和制造技术的引进，拓宽了我国筛分机械设计制造人员视野，他们从中了解和学习到了先进国家设计制造振动筛的理论、方法、设计技术、制造工艺，生产管理，业务水平也大大提高。

目前选矿厂常用的主要类型有固定筛、滚轴筛、圆筒筛、弧型筛、细筛、振动筛和共振筛。

固定筛这种筛分机适用于筛分大块物料，有两种型式，即格筛和条筛。格筛在粗矿仓上部，作控制物料粒度用，一般水平安装。条筛放在粗碎和中碎前作预先筛分用，倾斜安装。条筛筛孔宽度约为筛下粒度的 1.1-1.2 倍，筛孔尺寸一般大于 50mm。条筛的主要优点是价格便宜；构造简单，坚固，不需要动力。缺点是物料易堵塞筛孔；需要高差大；筛分效率低，一般为 50%-60%；在筛分脆性物料时，物料粉碎作用大。安装在粗碎前的条筛，其倾角一般为 40-50，若矿石含泥水多时，倾角可加大 5-10，为改善筛子易堵的问题，近代多采用自动清扫式条筛或激振式固定筛。一般来说，条筛为非标准产品，根据用户要求制造。

近几年，国外介绍了一种摩根森棒条筛，他的筛条不是平行布置，而是交错成一定角度，各棒条的间距沿物料流动方向，逐渐向外扩大。棒条由于落在其上面物料的重量引起一定的摆动，防止物料堵塞筛隙。棒条长度通常为 1.2-2m。这种筛适用于对 25-300mm 物料进行预先筛分。摩根森棒条筛的优点是：处理能力高；不需要传动动力及其装置；物料不易堵塞筛孔；结构简单坚固；易于维护。

滚轴筛常用于粗粒粒级物料的筛分，筛分粒度可达 500mm，特别适用于筛分大块煤和页岩，也可以用于洗矿或作为给矿机使用。他与条筛相比的优点是筛分效率

高、被筛物料过分碎少、安装高度低，缺点是构造较复杂；在筛分硬物料时，滚轴磨损较快。

滚轴筛主要用于煤矿，对原煤的预先分级，以及炼焦厂等行业对脆性物料筛分之用。

滚轴筛全部是座式，多根滚轴平行排列，装有各种筛盘交错组成，为了使筛上的物料层松动，便于透筛，筛盘形式有偏心 and 异性等形式；为了防止物料卡住筛轴，没有安全保险装置。

国产滚轴筛有八轴、九轴、十轴、十四轴、十五轴、双联十轴等九种规格。

圆筒筛既可以用于破碎作业中、细碎物料的分级筛分，也可以用于重力选矿厂作洗矿脱泥作业。它的优点是构造简单，维护管理容易；工作平稳可靠，振动较轻。缺点是单位面积处理能力低；筛分效率低；筛孔易于堵塞，物料中的细粒不易筛出，机体笨重；耗电大；被筛物料粉碎作用大。

近来，圆筒筛被用于隔渣和清除块状杂物（如木屑、布屑等），使用效果较好。

一般用于细粒物料（小于 10mm）的筛分和脱水，也可以用于重介质选矿作介质。也有用弧形筛作细粒物料分级的。

弧形筛的优点是构造简单；轻便；体积小，占地面积小；本身无运动部件和传动机构，处理能力大。其缺点是筛上产品水分高；要求给矿均匀；筛条磨损快；给料要求一定的压力。筛分效率一般为 50-80%。

由于矿浆流经筛面时，受到切割作用而分级，故筛条间隙应比分离粒度大 1.1-1.3 倍。

选矿厂常用的振动筛分为圆运动振动筛、直线运动振动筛和复合运动振动筛三大类型。

#### A 圆运动振动筛

a. 纯惯性振动筛：它的振动器安装在筛箱上，随着筛箱上、下振动、皮带轮中心线也在空间运动，造成皮带时紧时松，对电机工作不稳定，影响电机寿命。振幅越大，对电机愈不利。因此，不适易筛分粗粒物料，因粗粒物料要求大的振幅。另一缺点是筛箱的振幅随着筛面上物料量多少而波动，当给料不均匀时，影响筛分效率。

b. 自定中心振动筛：为了克服纯惯性振动筛皮带轮中心线在振动过程中的空间运动，制造了使皮带轮中心线在振动时，它在空间保持不动的自定中心惯性振动筛。

它的优点是：筛子结构简单，只有一对轴承，容易制造，操作调整方便；筛面振动强烈，物料不易堵塞筛孔；筛分效率高，可达 90—95%；应用范围广，适用于粗、中、细粒级物料的筛分。由于能自定中心，电机工作的稳定性有了很大的改善，振动器也不需要精确平衡。主要缺点：筛子的振幅变化大，严重影响筛分效率的稳定；筛子在启动和停车过程中，经过共振区时振幅增加较大，对建筑物有影响，尤其是粗粒筛分时，需要安装消振装置。

自定中心振动筛，有吊式和做式两种安装形式。多用于冶金矿山、化工、煤炭和建材等工业部门对中小粒度物料筛分分级。筛分机分为单层与双层筛网，筛网结构一般为编织金属网，也可配制冲孔筛网或橡胶筛面。主要规格为 400X800，800X1600，900X1800，1250X2500，1500X3000，1800X3600，2000X4000mm 等。

c. YK 系列圆振动筛：该系列筛机采用块偏心激振器，筛框运动轨迹为圆。适用于金属矿、煤矿和非金属矿的物料干、湿式筛分与分级、脱水、脱介和脱泥等作业。主要规格为 2YK1545 和 2YK2145。

d. YH 系列重型振动筛：1979 年设计，适用于金属矿、煤炭、焦化和非金属矿等粗粒物料干、湿式筛分、脱水、脱介和脱泥。筛分物料尺寸可达 45mm。该系列筛分机有单层筛网或双层筛网，筛网可用编织、冲孔、不锈钢条缝或橡胶筛面。主要规格有 YH1836、YH1785、2YH1735、2YH2460 等。

e. YA 系列圆振动筛：YA 系列圆振动筛系 1983 年从美国 RS 公司引进生产技术生产的新型振动筛。可供选煤、选矿、建材、化工和电力部门作产品筛分分级之用。本系列筛分机共有 40 种规格，其中重型筛供大块物料筛分，一般筛供中、小粒级物料筛分之用。筛网可选用单层或双层结构，筛网有冲孔、编织和不锈钢等数种供用户选择。

## B. 直线振动筛

运动轨迹是直线，其优点是：筛面水平安装，配置高度小；振幅大，筛面大，生产能力高，适于筛分粗粒物料，最大給料尺寸可达 300—500mm；筛面各点运动轨迹相同，有利于物料筛分，筛分效率较高；应用范围广，对于中和细粒级物料也适用，还可以用于脱水、脱泥和脱介作业。其主要缺点：构造复杂，成本高，制造精度要求高，维护时要注意保持良好的润滑状态；其振幅不宜调整；振动器重量大，能量消耗大。选煤厂用的较多。近年来，冶金矿山采用直线振动筛与磨矿机组成闭路系统代替螺旋分级机，效果很好。

国产直线振动筛有：

a. ZS (DS) 系列直线振动筛：约有 20—30 种规格，最大规格为 2500X7000mm，该系列筛分机可分为吊式和座式；单层筛网和双层筛网几种结构形式。筛网结构有冲孔和不锈钢条缝两种。

b. ZKX 系列直线振动筛：该系列振动筛采用美国 RS 公司引进技术生产，共有 22 种规格。其结构形式有单层和双层筛面之分。筛孔尺寸为 0.5-13mm, 特别适用于中细粒物料的脱水、脱介、脱泥和干、湿式分级。亦可用于矿石等散状物了得筛分。

### C. 复合振动筛

FQ1224 型复合振动筛为 1979 年设计, 适用于金属矿、煤矿、冶金焦化和非金属矿等物料干、湿式筛分、脱水、脱介和脱泥。

概率筛系瑞典人摩根森首先提出的，其特点是：筛分点和筛孔尺寸不是紧密配合，而往往是用几层筛板分出一种产物；一次筛分可获得多种产品，有时可多达 6 种；筛孔尺寸一般比实际分离粒度大的多，减少了难筛临界粒子在筛孔上搭桥现象，故透筛率较高；物料在筛面上停留时间短，所以它比一般筛分机的处理能力高 10 倍；筛分机体积小，重量轻，安装简单，节省钢材，需要电动机的功率较小，振动小，噪音小。缺点是筛分精度较低。国产的 KF0615, RF1020-80 和 ZBG1524-4 型概率筛已通过鉴定。

等厚筛分法的特点是：不管小于筛孔尺寸的颗粒在给料中所占比例多少，在筛分过程中物料在筛面上的运动速度是递减的，而物料在筛面的厚度是不变或递增的。故适于进行细料级（-25mm）物料的筛分，可以减少筛孔堵塞；处理能力高，为普通筛分法的 2 倍以上；设备配置较方便，占用厂房面积小，但要求的安装高度大。目前国内只有 ZSD1894 型等厚筛一种规格。

共振筛是一种在接近共振状态下工作的筛分设备。它的优点是处理能力大，筛分效率较高，需要的激振力较小，动力消耗小。缺点是设备重量大，价格高，给矿要求均匀。可用于各种物料的筛分。脱水、脱泥和脱介。多用于选煤厂。由于结构复杂，已逐渐被淘汰。

国外近 30 年来在筛分技术上有很大发展，主要表现在等厚筛、概率筛分理论的研究已见诸实践；设备大型化，筛宽突破 2m 限制，已达到 5m, Allis-Chalmers 公司推出 3.7X3.7mm 直线振动筛；筛网材质和固定方式有许多改进，寿命长，易更换。与国外相比，我国筛子品种比较单一，大部分为自定中心振动筛，且型号较旧。近年来，我国通过引进消化国外技术，也研制出一批新型设备，今后仍应加快各种新型筛分设备的开发，同时强化各种常规筛分设备的技术性能。

综合国内外筛分机械发展现状,筛分机械将向以下几个方向发展。

(1)向大型化发展。工业的现代化进程促使企业规模增大,生产能力大大提高。如从前我国选煤厂生产 200~300 万 t/a 就是大型的,而现在出现 1200 万 t/a 的选煤厂,这就需要大型筛分机与之配套,德国 KHD 公司生产的 USK 筛机已达 4500mm×6000mm,筛面达 27m<sup>2</sup>,德国的另一筛子技术公司生产的 5500mm×11000m 的筛机,而且达 60.5m<sup>2</sup>。

(2)向重型超重型筛发展。大的矿业工程需要处理大块物料,法国索梅斯塔公司生产的振动棒可处理直径达 1m 以上的大块物料。

(3)向理想运动轨迹振动筛发展。以提高各区段的筛分效率和整个筛机生产率为目标,寻找一种以理想运动方式为基础的新型筛分机成为筛分设备发展的一个新方向。较为理想的筛面运动方式是:在垂直方向上,入料端的振幅大于出料端的振幅,沿长度方向上,从入料端到出料端,物料运动速度递减。在此理想情况下,可以创造良好的透筛环境。该理想筛机的筛分效果要优于一般的筛分机械。

(4)向反共振振动筛发展。以减轻整机重量、降低成本、提高使用寿命和可靠性为目标,提出新型的反共振振动筛机。该筛机是以质体 m<sub>1</sub> 为工作体,而激振器安装在质体 m<sub>2</sub> 上。该新型筛机机体大大简化,共振质量可以减少 30%~50%,激振力也可以随之减小,由此可以保证强度和刚度,降低振动噪音,并可得到良好的减振效果。

(5)向标准化、系列化、通用化发展。这是便于设计、生产和降低成本的有效途径,德国 KHD 公司生产的 USL 和 USK 筛机的侧板、筛板、横梁、传动轴均已实现标准化、通用化,振动器也只有三种,同属德国的申克公司生产的冷、热烧结矿筛和等厚筛只有两种标准,可见三化程度之高。

(6)应用自同步技术。采用双电机自同步技术以代替齿轮强迫同步,可简化结构,降低噪音,从而简化了机器润滑、维护和检修等经常性的工作,减少设备故障。

(7)振动强度增大。筛机的振动过程逐渐强化,以取得较大的速度和加速度,从而提高生产能力和筛分效率。日本和德国的筛机所采用的振次为 980r/min,振动强度为 4.5~7g,圆振动筛的倾角达 25~30°。

(8)向空间发展。针对细物料,先后出现了旋流振动筛、锥型振动筛、蝶型振动筛、旋转概率筛等,既减少占地面积,又提高生产能力和筛分效率。

(9)向难筛分物料筛机发展。对于 d<1mm、含水 7%~14%的细湿物料的干筛以及水煤浆、垃圾处理等,筛分难度很大,德国海因勒曼公司生产的驰张筛,物料运动速度达 1.3m/s,筛分效率达 90%~95%。为解决难筛分物料筛分开创了先河。

(10) 共振筛系列发展停滞, 振动筛系列日益壮大。

80 年代以来, 我国的筛分技术是有长足发展的, 很多单位已经掌握了筛分机械的设计理论和方法, 进行了很有成效的研制工作, 解决了很多实际问题。可以说, 我国的筛分技术目前已接近世界先进水平, 但仍有差距, 还要努力。在今后, 要做好以下几点工作:

(1) 研究先进筛分理论, 发展新型筛分机械。以物料理想运动轨迹理论、自同步理论、新型隔振技术为代表的筛分理论的发展将导致新型高效筛分机械的出现。同时也将导致筛分机各项功能参数的优化, 获得功能更优良、结构更合理的筛分机。

(2) 发展大、重、超重型筛分设备。我国有 30 多个筛分设备生产厂家, 可提供 200 多个品种, 但是, 许多厂家缺乏制造大型、重型和超重型筛机的关键设备和开发能力, 为适应筛分机械的发展方向, 应在大型、重型和超重型筛机的研制上下功夫。

(3) 研究难筛分物料的筛分机械。为解决粒度小于 1mm、含水 7%~14%的细料、湿料筛分难度大的问题, 应加大科研力量研制弛张筛、高频振动脱水筛、真空抽气高频振动细筛等有特殊用途的筛分设备。

(4) 提高“三化”程度。为了便于设计、安装和调试, 便于大批量生产和降低成本, 必须投入大量的人力、物力和财力搞好筛机设备的“三化”工作, 主要包括筛机品种、振动器、筛框侧板、筛板、横梁、传动轴等设备的标准化、系列化和通用化, 应加快其进程。

(5) 加强筛分设备关键技术的研究。筛框的强度是技术关键, 主要问题是侧板开裂、筛框变形等。应研究焊接、铆接工艺和筛框结构等; 筛板固定可靠性也是一个技术关键, 要研究可靠程度较高的固定方式和防松结构; 振动器是筛分机械上的关键部件, 要研究新结构的振动器, 筛板是筛分机又一关键部件, 要研究新材料、新工艺, 提高其寿命; 对轴承润滑脂的耐候与防凝、橡胶弹簧的抗振与耐疲劳等问题应进行专项攻关研究。

(6) 搞好引进与吸收工作。应在 80 年代从国外引进设计制造的基础上继续引进, 同时还要立足国内, 自力更生。国内高校、科研部门、用户和制造厂家四位一体, 搞好协作, 联合攻关, 不断提高我国筛分机械的设计、生产和制造的水平。

#### 1.4 筛分机械工业为国家经济建设所作的贡献

发展民族工业, 替代进口产业。YA 型圆振动筛和 ZKX 型直线振动筛是鞍钢厂消化吸收美国 RS 公司技术生产的振动筛, 20 世纪 80 年代初至 90 年代末, 一

直是国内振动筛主导产品，市场占有率约 70%，1985 年曾获国家银牌奖。1996 年以来，鞍矿厂引进德国 KHD 公司的 USL 直线振动筛和 USK 圆振动筛，至今已生产了上千台，应用在山西屯兰、东曲、尧州、开滦、峰峰等大型煤矿的改造，1998 年、1999 年分别被授予国家级重点新产品奖，获 1999 年辽宁省新产品开发金奖。过去，在冶金行业，冷烧结和热烧结矿因物料温度达 150℃和 700℃，无法筛分，进入高炉后透气性不好，影响炼铁质量，1987 年西安重型机械研究所在消化吸收上海宝钢从日本引进技术基础上，和鞍矿厂共同设计制造了我国第一台 SLZS2575 大型冷矿筛，在天津铁厂使用，效果良好。为解决马钢烧结矿筛分问题，1992 年又设计制造了 9 台 SLZS3090 冷矿筛；1987、1988 年，鞍矿厂与东北大学，鞍山冶金设计院、长沙冶金设计院合作，采用重心偏移式振动器和自同步理论，二次隔振动技术，联合设计制造了 ZSL2585、ZSL3090 冷矿筛，先后在鞍钢、包钢、湘钢、首钢使用。该筛机动负荷小，噪声低、处理能力大，筛分效率高，深受用户好评；1991 年，东北大学和鞍矿厂又为唐产品，开创了我国生产大型热矿筛的历史；1996 年，鞍矿厂还与日本川崎重工合作，为上海宝钢三期配套生产了 3m×9m 冷矿筛。至此我国冶金行业用冷、热矿筛基本上走了国产化道路。<sup>[12]</sup>

## 1.5 细筛在选矿工艺中的应用

70 年代末尼龙细筛在磁铁矿选矿厂的应用，实现了选矿技术的重大突破，为我国磁铁矿选矿技术的进步作出了突出贡献<sup>[13]</sup>。细筛再磨选矿工艺是提高铁精矿品位的有效途径，因该工艺对铁矿物结晶粒度较细的精矿品位提高有显著作用，上个世纪 70 年代在我国得到推广应用，曾使我国微细粒结晶磁铁矿精矿平均品位由 62.96%一跃提高到 1980 年的 65.00%以上。

弓长岭选厂二选车间 1996 年应用细筛再磨选矿工艺，通过一系列技术改造，使铁精矿品位达到 65.40%以上。随着近几年来处理量的不断增加，入选矿石嵌布粒度粗细极不均匀，提铁降杂反浮选工艺的应用，对细筛再磨工艺提出更高的要求，随之细筛再磨工艺中的种种弊端逐渐呈现并成为制约生产能力、影响精矿指标和企业经济效益的“瓶颈”问题。

1. 尼龙细筛筛分效率低。由于这种尼龙细筛的开孔率很低，不足 10%，而且筛面固定不动，仅靠料流切割筛缝透筛，因而筛分效率很低，其筛分的质效率不足 30%，但由于其安装简单，使用寿命较长，因而得到广泛推广。

2.再磨循环量大，磨矿效率低。特别是当系统台时生产能力提高到 54t 以上时，球磨机单机给矿量达 110 t/h 以上，因再磨循环量大，磨矿效果差，三段尼龙细筛给矿量较大，达 7.29t/h，筛子“喝汤”现象严重，无法维持正常生产。为缓解流程中的恶性循环，不得不经常冲刷筛片，这样难以保证浮选工艺的给矿条件，造成现场的质量波动，从而限制了系统处理能力的提高。

3.再磨产品过磨现象严重。在入磨物料中，经筛析考查，-0.076mm 粒级产率达 77.9%，其中小于 0.038mm 粒级产率 30.2%、品位 67.28%；在 0.038~0.045mm 之间，粒级产率为 52%、品位 66.32%。镜下观察：已单体解离的铁矿物占 63.90%，7/8 富连生体占 7.0%，二者之和为 70.94%，这说明有近 71%的有用矿物无需再磨，但却进入再磨流程中循环，造成严重过磨现象。

我国细筛的发展从 70 年代开始，经历了从固定筛到振动筛的发展过程。分级处理是由振动筛来完成，每一台振动筛根据物料性质及筛分工艺要求，在物料与筛机固定情况下，提高筛分效率的有效途径是提高筛面透筛率<sup>[14]</sup>。细筛主要部件就是筛面，国外多采用不锈钢筛面，细筛主要部件就是筛面，国外采用不锈钢筛面，筛孔一般为 1~0mm，国内过去多采用尼龙筛面，蓖状结构，筛孔有 0.15mm、0.2mm、0.3mm 等尺寸<sup>[13]</sup>，金属丝筛网主要方形孔，用预制的金属丝编织而成<sup>[15]</sup>。在这类细筛中筛下产物粒度不很严格，往往有 5%左右的物料粒度大于筛孔尺寸<sup>[16]</sup>。

1.从目前对细筛的使用情况看，具有下列特点和功用：具有分级和提高精矿品位的作用；能提高选矿厂生产能力，一般提高 8~15%，有时达 20%，有色金属选矿厂应用细筛设备可以防止矿石过磨，应用细筛再磨流程所得到的精矿较粗，比一般常用流程粗 3~8%<sup>[17]</sup>。

2.细筛角度：细筛的角度确定是一项重要问题，关系到筛分效率，角度过大，影响筛分效率，筛下粒级未筛净，角度太小，物料停留在筛面上，也影响筛分效率。现场确定的实际角度为  $50 \pm 1^\circ$ 。

3.细筛的打击装置：当前在细筛打击上多数采用电机带动打击机构，打击频率为 12-20 次/分，目的就是防止堵塞筛子。实践证明，不打击是不好的，影响筛分效率，循环量大。

4.目前使用的筛面  $1524 \times 400\text{mm}$ ，尼龙筛板  $\text{LXBX1}=410 \times 127 \times 5.1\text{mm}$ 。每块有 47 条筛孔，筛孔占全面积 10%左右。

我国铁矿磨矿工艺，大多数采用两段磨矿流程，中小型选矿厂多采用一段磨矿流程。由于采用细筛再磨新工艺，近年来一些选矿厂已由两段磨矿改为三段磨矿。



小型选厂可根据矿石性质及磨矿粒度要求采用细筛和旋流器等作为分级设备和磨矿组成闭路循环<sup>[17]</sup>。采用的磨矿设备一般比较小，最大球磨机 3.6m×6m，最大棒磨机 3.2m×4.5m，最大自磨机 5.5m×1.8m，砾磨机 2.7m×3.6m。磨矿后的分级基本上使用的是螺旋分级机。为了提高效率，部分选矿厂用水力旋流器取代二次螺旋分机。磁铁矿选矿主要用来选别低品位的“鞍山式”磁铁矿。由于矿石磁性强、好磨好选，国内磁选厂均采用阶段磨矿和多阶段磨矿流程，对于粗粒嵌布的磁铁矿采用前者（一段磨矿），细粒、微细粒嵌布的磁铁矿采用后者（二段或三段磨矿）。我国自己研制的系列化的永磁化，使磁选机实现了永磁化。70 年代以后，由于在全国磁铁矿选矿厂推广了细筛再磨新技术<sup>[18]</sup>，使精矿品位由 62%提高到了 66%左右，实现了冶金工业部提出精矿品位达到 65%的要求。高频振动细筛在朝旺铁矿的应用<sup>[19]</sup>。首钢矿业公司水厂选矿厂应用高频振动筛网和电磁磁聚机，分别取代固定尼龙筛网和永磁磁聚机的磨矿工艺升级改造，取得了良好效果，在保证精矿粉质量的前提下，球磨机台时处理能力提高了 4.8%。首钢矿业公司水厂选矿厂在精矿粉生产中，一直采用上个世纪 80 年代中期确立的“磁滑轮干选、阶段性磨矿、阶段性选别、磁重联选和细筛自循环”的磨选工艺。近年来，由于生产条件的不断变化，采矿场进入深部开采，矿石性质逐年变次，为实现精矿品位 68%的质量目标，原用的生产工艺暴露出“二次循环负荷量大，各选别、筛分作业效果差，生产效率低，产品质量不稳定”等一系列不适应的问题。为有效解决矛盾，该厂进行了积极探索，先后进行了螺旋流槽、自重介跳汰机、分级机返砂预先抛尾、细筛扩大筛分面积、二次磨矿与旋流器闭路、电磁磁聚机和振动细筛等多项新设备、新工艺、新技术的研究开发与应用试验，从中优选出“用高频振动筛网取代固定尼龙筛网、用电磁磁聚机取代永磁磁聚机”工艺流程改造方案。经过升级改造的首钢矿业公司水厂选矿厂的生产工艺，由原来的“固定细筛——永磁磁聚机——固定细筛”，简化为“振动细筛——电磁磁聚机”，减少了一道磁聚机泵和一道细筛泵，从而解决了二次泵电机超负荷的主要矛盾，提高了设备作业效率，稳定了产品质量，实现了简化流程和降低消耗的目标。经检测，仅 9~10 两个系列就可实现年效益 99.1 万元。全面推广新的工艺配置，年可创效 400 余万元。

我国钢铁行业快速发展，国内高炉冶炼实行“精料方针”，对炉料的铁品位要求越来越高。密地选矿厂<sup>[20]</sup>是攀钢主要的原料基地，为提高铁精矿品位，攀钢矿业公司与长沙矿冶研究院经过多次实验室研究，认为密地选矿厂采用高频振动细筛<sup>[21]</sup>筛分磁选粗精矿，控制精矿粒度，是目前提高铁精矿品位最有效的措施<sup>[22]</sup>。

大孤山选矿厂多年的生产实践证明，细筛再磨流程对提高磁选车间精矿品位有显著的效果。但随着生产的发展，前段的磨矿分级作业台时大大提高，矿井的开采深度不断增加，矿石嵌布粒度细化，细筛再磨筛分效率低、循环量大的矛盾日益突出<sup>[23]</sup>。

在选择新的筛分机时，除了要考虑筛分物料的性质、要求的筛分效率和处理量外，还需要考虑噪声的防治、占有场地大小和筛分机的利用率。筛分机的利用率主要决定于分选系统的服务年限、防止堵塞的能力和需要维修的周期<sup>[24]</sup>。高频细筛，筛网可以根据矿石的不同细度要求来选择和更换，以控制精矿品位，利用高频细筛作为磨矿产品的控制分级，则可达到稳定和提高精矿质量的目的<sup>[25]</sup>。

GYX3121007 型高频振动细筛它具有处理能力大，筛分效率较高，能耗低等优点。该设备经改进后结构简单，操作维护方便，指标稳定性好，是目前锡选矿厂理想的分级设备<sup>[26]</sup>。

### 1.5.1 GPS 系列高频振动细筛

#### 1.GPS 系列高频振动细筛性能特点

GPS 系列高频振动细筛是此前铁选厂使用较多的一种细筛。该设备用于磁选厂的二段磨矿前后产品的预先分级和检查分级，可与二段磨矿作业构成闭路。可以充分的分离出合格的细粒级磁铁矿物，提高产品质量和磨机处理能力。

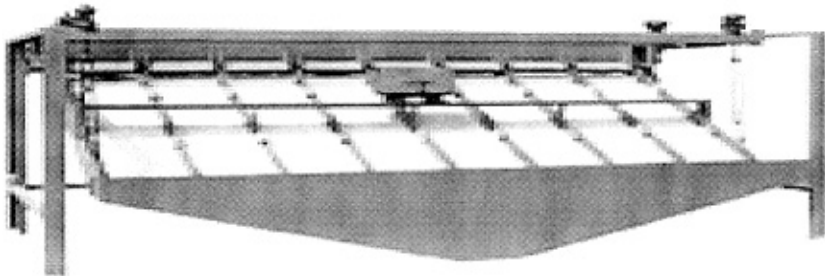


图 1 GPS 系列高频振动细筛

Fig.1 GPS series high frequency sifting screen

#### 2.工作原理

高频筛由激振器、矿浆分配器、筛框、机架、悬挂弹簧和筛网等部件组成（其外形如图 1）。高频振动筛筛分效率高、振幅小、振动频率高。与普通固定筛分设备的原理不同，由于高频筛采用了高频率，一方面破坏了矿浆表面的张力，另一方面细粒物料在筛面上高速振荡，加速了大密度（比重）有用矿物和析离作用，增加

了小于分离粒度物料与筛孔接触的概率。从而造成了较好的分离条件，使小于分离粒度的物料，特别是比重大的物粒和矿浆一起透过筛孔成为筛下产物。

适用范围：适用于粒度在 0.038~1.0mm 范围的铁矿、有色矿、建材、金属粉末制备等行业的固体物料筛分分级。

技术特点：

1) 高振次、低振幅，能有效降低矿浆的表面张力有利于细、重物料的析离分层，而加快细、重物料透筛；

2) 采用叠层筛网，单层孔径增大，筛网寿命增加，防堵防磨；多路给矿，筛面利用率高，设备处理能力大，功耗低；

3) 橡胶弹簧支承筛框，隔振吸声，噪音低，设备动负荷小，不需混凝土基础。

生产能力与分离粒度、粒度组成、物料比重有较大关系；当物料粒级较宽时（总筛上产率过大）湿式作业时，给矿浓度小于 50%；干式作业时，水份含量低于 3%。

### 3. 应用效果

1) 铁矿选矿厂：采用高频振动细筛代替击振筛、弧形筛、旋流器、直线振动筛等用于铁精矿控制分级，由于高频振动细筛筛分效率高，筛下产物正富集效果显著，使筛下物品位比给矿品位提高 4%~7%，（比筛上物品位提高 8%~12%），提高了精选入选品位，在磨矿机处理能力相同时，可稳定提高精矿品位 1.5%~2%；由于筛分效率的提高，减少了有用矿物过磨，在相同精矿品位前提下，精矿粒度增粗，从而使精矿过滤条件改善，在过滤机工作参数不变时，滤饼水份降低 0.5%~1%。

2) 钨、锡矿选矿厂：采用高频振动细筛代替螺旋分级机、旋流器分级或与螺旋分级机、旋流器组合分级，与磨机闭路，既控制了入选粒度，又有效地解决了已单体解离的、脆性的、大比重有用矿物在沉砂中反富集而导致过磨的问题，可显著降低有用矿物过粉碎，提高选矿效率，使回收率提高 10%~15%。

3) 玻璃石英砂选厂：用于棒磨——筛分流程，石英砂棒磨产品粒级宽、棱角多，属难筛物料，但采用高频振动细筛可稳定生产出合格产品。

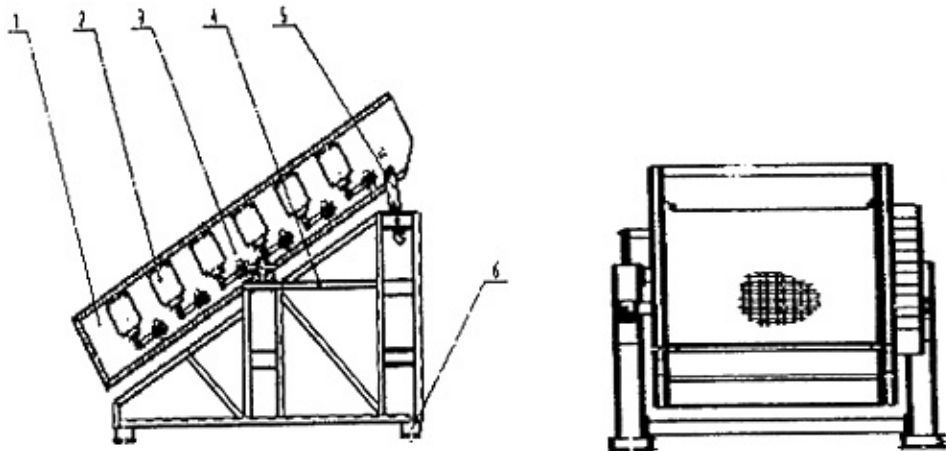
4) 高岭土选矿厂：采用高频振动细筛控制最终产品粒度或高梯度磁选机前隔粗。

5) 选煤厂：随着煤炭工业的发展和采煤机械化程度的提高，原煤中粉煤量增加。在重介旋流器分选 50~0mm 原煤及选煤厂煤泥水处理流程中，需要对-0.15mm

的细粒精煤和煤泥进行回收和脱水。近年来兴建的一些简易选煤厂，由于工艺简单，煤泥水处理问题很突出，用普通的一般直线振动筛。由于筛机的激烈振动造成紊流，使煤泥和其它细料物料分级、脱泥、脱水困难。国内外有关试验表明，用高频率、小振幅的振动筛，能获得满意效果。由唐山分院研制的 GPSg1025 高频振动筛于 90 年代初开始大量推广，取得了良好应用效果，有较显著的经济效益和社会效益。为适应煤泥回收和细料物料脱水分级需要，达到处理量大、效果好、适应性强的目的，筛机运动采用了高频低振幅的圆运动轨迹。在筛机的出料端辅之以真空抽气，从而达到高效脱水分级效果<sup>[27]</sup>。

### 1.5.2 新型筛分机械 MVS 电磁振网筛

细筛是保证精矿品位及回收效率的重要手段，目前存在的主要问题是分级效率低，造成返砂量大，严重制约了选矿厂的产品质量和处理能力。MVS 电磁振动高频振网筛(简称电磁高频筛)是一种高效节能的分级脱水细筛，用不同筛孔的筛网，可以满足各段对分级的要求。(见图 2)



1.筛箱 2 激振器及激振系统 3.筛网 4.机架 5 角度调节杆 6.橡胶弹簧

图 2 MVS 电磁振网筛

Fig.2 MVS electromagnetism shaking mesh screen

#### 1. MVS 电磁振动高频振网筛的结构特点及性能

MVS 系列电磁振动高频振网筛是获国家实用新型专利的新型筛分机械。该筛采用个新原理设计、是一种全新结构的筛面振动筛分机械，适用于各种物料的干、湿法筛分、分级、脱水。布置于筛箱外侧的以电磁激振器为主的振动系统驱动布置在

筛网下面的振动臂振动，振动臂上装有沿筛面全宽的橡胶帽，橡胶帽托住筛网并激振筛网。每台筛机沿纵向布置有若干组振动系统，由电脑控制柜集中控制，每个振动系统分别独立驱动振动臂振动筛网，振幅可随时分段调节。筛网采用两端折钩，纵向张紧安装。筛面安装具有一定的倾角，并且可调，物料在自重和筛面高频振动作用下沿筛面流动，分层、透筛。每台筛机由筛箱、机架、减振器、给料箱、入料缓冲筛板(不锈钢焊接条缝筛网)、筛下漏斗、筛上接矿槽、筛上喷水装置、电脑控制柜等几部分组成<sup>[28]</sup>。

**MVS 电磁振动高频振网筛的性能：**

①筛面高频振动、筛箱不动。振动器固定在筛箱上，在筛箱上振动器弹性系统的弹性力与激振力的反力平衡，所以筛箱不动。激振力驱动振动系统激振筛面，振动系统设计在近共振状态工作，可以以较小的动力达到所需的工作参数。

②筛面高频振动，振幅 1—2 毫米，有很高的振动强度，可达 8-10 倍重力加速度，是一般振动筛振动强度的 2-3 倍。筛面自清洗能力强，筛分效率高，处理能力大。非常适用于细粒粉体物料的筛分、脱水。

③筛面由 3 层不同的筛网筛网组成，下层为钢丝绳芯聚脂托网，与激振装置直接接触，在托网上面张紧铺设由两层不锈钢丝编织网粘接在一起的复合网，复合网的上层和物料接触，上层网也可以用粗丝密纹网（一般用 0.18×0.35mm 长孔网），根据筛分工艺要求确定网孔尺寸，筛网开孔率高、刚度大、使用寿命长。入料缓冲筛板保证矿浆平缓均匀的给入工作网（复合网），减小对工作网的冲击，延长使用寿命。

④筛机安装角度可随时方便的调节，以适应物料的性质及不同筛分作业。对选矿厂的湿法筛分安装倾角一般在  $26^{\circ} \pm 5^{\circ}$  范围。

⑤筛机振动参数采用计算机集控，振动频率可以是交变的，在程序的控制下，以 25HZ 和 50HZ 自动转换，也可设为 25HZ 或 50HZ 固定频率。另外，对每个振动系统的振动参数可软件编制，除一般工作状况振动参数外，还有间断瞬时强振以随时清理筛网，保持筛网的筛孔不堵。

⑥工耗小，每个电磁激振器的功率仅 150 瓦，选矿一般用 MVS2020 型电磁高频筛，装机功率仅 1.2 千瓦。该种筛机为节能产品。

⑦由于筛箱不动，可很容易的配加防尘罩以及密封的筛上、筛下出料溜槽、漏斗实现封闭式作业，减少环境染。该种筛机为环保产品。

⑧该型筛机分单层筛和双层筛两种,筛面宽度系列有 500、600、1000、1200、2000(双通道)、2400(双通道)mm,长度系列有 1100、1500、1800、2500、2800、3000、3500、4000、4500、5000、6000mm。筛面面积从  $0.5\text{m}^2\sim 14.4\text{m}^2$ 。其形式有一段入料一段筛分、一段入料二段串连筛分(一段作为控制筛,二段作为检查筛)、一段筛分筛上与二段结合部补水造浆后再次筛分等,根据具体应用场合可作多种搭配,设计灵活<sup>[29]</sup>。

## 2. 电磁高频筛在金属矿山选矿中的应用

在黑色冶金矿山选矿厂中,精矿产品的粒度组成是精矿质量的决定性因素。因此,黑色冶金矿山选矿过程中,细粒物料分级是非常重要的工序。传统的分级设备如水力旋流器、尼龙细筛和仿德瑞克型高频振动细筛等的应月效果均不够理想,其分级效率低,筛上合格粒级含量大,造成合格粒级矿物在流程中恶性循环,二次循环量增大,不仅影响了选别作业效果,而且制约了一次磨机台时能力的提高,影响选矿成本的降低。近年来,MVS 型电磁振动高频振网筛开始应用于黑色冶金矿山选矿厂,细筛再磨再选工艺中,由于电磁高频筛筛分效率高,可以大大减小合格粒在流程中的循环,先后在弓长岭选矿厂、尖山选矿厂<sup>[30]</sup>、大孤山选矿厂<sup>[31]</sup>、首钢矿业公司水厂选矿厂、大石河选矿厂、武钢程潮铁矿、本钢矿业公司南芬矿选矿厂、歪头山选矿厂等。不仅提高了分级效率和产品质量,而且带来了很好的经济效益。在我国加入 WTO 以后,要参与国际市场的挑战与竞争,我国铁矿选矿厂如何提高铁精矿质量,降低杂质含量,并提高选矿厂的生产效率,增加企业效益,是面临的紧迫课题。

2001 年 6 月,弓长岭矿业公司进行提质降杂反浮选工艺改造,2002 年 1 月正式投入生产运行,生产出铁精矿品位 68.50%以上、 $\text{SiO}_2$  含量 4%以下的高质量铁精矿产品。要求浮选工艺给矿物料-0.076mm 粒级含量大于 88%,矿浆浓度在 35%以上。为满足浮选工艺的给矿条件,进一步提高工艺生产能力,针对目前磁选系统中再磨细筛筛分效率低、再磨循环量大、指标波动大等弊端,弓长岭选厂提出用 MVS 型电磁振动高频振网筛代替尼龙细筛,提高筛分效率,减少再磨循环量,提高一段球磨机生产能力,最终稳定生产质量指标,达到降低成本的目的。

2002 年 5 月在弓长岭选矿厂二选车间进行 MVS 电磁振动高频振网筛(简称电磁振网筛)单机工业试验,找出最佳控制参数;2002 年 7 月进行电磁振网筛与两段尼龙细筛的工业对比试验,在给矿粒度-0.076mm 含量为 75%、给矿品位为 61.74%、给矿浓度为 28.24%的条件下,电磁振网筛比尼龙细筛筛下产率提高 18.92%,质效率

提高 34.56%，量效率提高 38.01%，筛下铁品位提高 1.28 个百分点，筛下粒度(-0.076mm 含量)提高 4 个百分点；2002 年 9 月初，经过技术论证和试验结果分析，提出在二选车间推广应用 MVS 电磁振动高频振网筛进行再磨细筛工艺改造的方案。2003 年 5 月初 12 台电磁振网筛全部安装完毕，在给矿粒度-0.076mm 含量为 72.40%、给矿品位为 62.05%、给矿浓度为 37.41%的条件下，筛下产率达 43.28%，筛分质效率 40.90%，筛分量效率达 52.65%。与两段尼龙细筛相比，筛下产率提高 10.72%，质效率提高 11.42%，量效率提高 23.48%，筛下粒度(-0.076 mm 含量)提高 2.5 个百分点。采用 MVS 型电磁振动高频振网筛代替尼龙细筛具有工艺合理、设备先进、指标优良、指标调控能力强、操作维护简单、设备运行稳定可靠等优点，可提高流程通过能力，确保浮选给矿条件，稳定最终铁精矿生产指标，年可多产铁精 27082t，年创效益 280.72 万元。

首钢水厂选矿厂新选厂用电磁高频振网筛代替一、二段尼龙细筛后的分级效果，在控制筛作业，电磁高频振网筛可在给矿中-200 目粒级含量减少了 14.17%的条件下获得了筛下粒度相近，分级效率提高 8.51%的好结果。（在控制段电磁高频振网筛筛给粒度变粗是由于流程中没有尼龙细筛筛上循环量过大、筛上物中合格细粒级含量过高所形成的恶性循环，是在良性循环中自然形成的，并非人为因素所致）。在检查作业中，电磁高频振网筛与尼龙细筛相比不仅筛下粒度更细，而且分级效率达到尼龙细筛的 3.6 倍。

首钢水厂选矿厂老选厂 9、10 系列电磁高频振网筛与尼龙细筛作业平均数据对比来看，由于上述同样的原因造成筛给粒度大幅度下降的条件下，电磁高频振网筛在筛下粒度相近的情况下，分级质效率比尼龙筛提高了 12.95%。

大石河铁矿选矿厂应用电磁高频振网筛与尼龙细筛进行全流程工业对比实验，分级效果，电磁高频振网筛 I 的筛下产率为 37.09%，电磁高频振网筛 II 筛下产率为 54.46%，尼龙细筛的筛下产率为 23.79%，电磁高频振网筛 I 的筛分量效率为 65.88%，电磁高频振网筛 II 筛分量效率为 84.52%，尼龙细筛的筛分量效率为 35.58%，电磁高频振网筛 I 的筛分质效率为 49.97%，电磁高频振网筛 II 的筛分质效率为 60.12%，尼龙细筛的筛分质效率为 24.98%，从以上指标来看电磁高频振网筛的筛分量效率还是质效率都明显优越于尼龙振动筛。

程潮铁矿选矿厂采用 16 台 MVS2018 型 (3.6m<sup>2</sup>) 电磁高频振网筛代替流程中的一段、二段及三段振动尼龙细筛，在给矿浓度高达 60%的情况下，给矿-200 目含

量在 45-55%，筛下产物-200 目含量达到 75-80%，分级效率达到 40%左右，比尼龙筛高一倍以上，流程通过能力大幅度提高，精矿品位达到 67.5%以上。

缓解或解决了筛上物循环负荷量过大所造成的一系列制约生产的问题。由于循环负荷量下降后，二段循环系统的输送系统所出现的管道、阀门、泵的磨损，电机电耗上升等问题均得到了缓解，实现了正常的良性循环。为选矿厂节能降耗，文明生产和实现过程自动化控制创造了有利条件。据弓长岭选矿厂考察表明，应用电磁高频振网筛后二段磨机循环负荷量明显下降，已停开了一台  $2.7 \times 3.6\text{m}$  球磨机和 100ZJ 渣浆泵。

首钢水厂选矿厂应用电磁高频振网后，二段磨矿循环负荷量明显降低，从原来的 300%-350%降至 250%以下。

舞阳矿业公司铁古坑工区选矿厂应用电磁高频振网筛代替尼龙振动细筛后，分级质效率达到 51.56%，筛分量效率达到 81.37%，最终精矿品位达到 67.8%和精矿细度达到-200 目占 85.4%，循环泵池冒矿现象也得到了解决。八台工区选矿厂应用电磁高频振网筛代替尼龙振动细筛后，不用再放矿生产，而且球磨机台时处理能力又有所提高。

由于二段磨矿循环量的降低，二次磨机已不再成为制约一次球磨机台时处理能力的“瓶颈”，据大石河选矿厂、水厂选矿厂新老选厂、程潮铁矿选矿厂、舞阳矿业公司选矿厂的一次磨机处理能力都有不同程度的提高。如水厂选矿厂老选厂处理能力提高 4.87%，由于一次磨机台时处理能力的提高和能源材料消耗的下降，以及最终精矿质量的提高，从多方面带来了巨大的经济效益，如水厂选矿厂老选厂的考察表明，每系列应用电磁高频振网筛代替尼龙振动筛后，年经济效益达到 44.5 万元。全厂推广后，其经济效益达 400 万以上。

腾源矿业有限责任公司应用电磁高频振网筛后，在给矿浓度 35%左右、给矿-200 目粒级含量达到 60%左右时，电磁高频振网筛筛分质效率平均达到 59%，筛下-200 目粒级含量达到 85%，精矿品位上升 1%左右。精矿产量提高 1.5t/h，提高 20%左右，使流程生产效率得到充分发挥。

电磁高频振网筛筛分效率高，在合适的给矿浓度（35-45%）和给矿细度（细度指-200 目粒级含量，筛下细度比入料高 20%左右）的条件下，筛分质效率可比尼龙振动筛高一倍以上（一般可达到 50%左右），大幅度降低了循环量，增加了台时处理能力。



电磁高频振网筛对筛下产物粒度控制严格，在筛网的使用周期内，不会出现跑粗，避免了未单体解离的粗粒对精矿的影响。

电磁高频振网筛可提高筛下物品位，即在细度相同的情况下，电磁高频筛筛下物品位高于其它分级设备，不同的选厂提高幅度也不一样，一般为 1-1.5%。这是因为矿浆在高频下振幅的振荡作用下，有按密度分层的趋势，等径粒群中，高密度颗粒接触筛网的机会多，透筛机率大。

电磁高频振网筛根据入料细度和浓度以及对筛下物细度的要求不同，处理能力也有差异，一般情况下可达  $5-8T/m^2.H$ 。

电磁高频振网筛筛孔不易堵孔，由于该筛机有瞬时强振功能。

电磁高频振网筛功率消耗低，用于选矿厂的筛机一般不超过 1.2KW，处理每吨干矿只消耗 0.05KWH。

MVS-2035 型电磁振网筛是选煤行业中应用的一项筛选设备，该设备安装简单，维修工作量小，投资低，运行可靠，能耗低<sup>[32]</sup>。

## 2 研究目的及内容

### 2.1 研究的目的

唐山首钢马兰庄铁矿有限责任公司选矿厂由于流程中分级效率低，二段球磨循环负荷大，磨矿效率低，再磨产品过磨现象严重，直接影响球磨机的处理能力，解决目前流程中存在的这个问题，只能通过两种途径来解决：1.增大或增加二段球磨机的有效容积。2.改进筛分设备，提高筛分效率。只有通过这两种途径才能优化目前的工艺流程，降低循环负荷，提高球磨机台时处理能力。由于厂房和设备已经固定，第一种途径实现起来很困难，也不太现实。只有通过第二种途径来解决这个问题。目前传统的分级设备如尼龙振动筛和仿德瑞克型高频振动筛的应用效果均不够理想，近几年 MVS 电磁振网筛在选矿流程中开始应用，我公司当时因缺乏试验数据和理论依据而没有使用。为了解决目前流程中存在的问题，决定对这种新型 MVS 电磁振网筛和目前使用的尼龙高频振动筛分别进行工业试验，通过技术指标及经济指标的考查和对比，找出细筛改造的技术和理论依据。技术指标主要是从现场取样测定，测出两种不同筛分设备的筛分量效率、质效率、产率及产品质量情况；而经济指标包括成本投资情况、使用周期，处理能力的提高，增加产品所带来的经济效益情况。最终用新型的筛分设备取代原有的筛分设备，解决流程中存在的问题。

### 2.2 研究的内容

目前传统的分级设备如尼龙振动筛和仿德瑞克型高频振动筛的应用效果均不够理想，近几年 MVS 电磁振网筛在选矿流程中开始应用，我公司当时因缺乏试验数据和理论依据而没有使用。为了解决目前流程中存在的问题，决定对这种新型 MVS 电磁振网筛和目前使用的尼龙高频振动筛分别进行工业试验，通过技术指标及经济指标的考查和对比，找出细筛改造的技术和理论依据。技术指标主要是从现场取样测定，测出两种不同筛分设备的筛分量效率、质效率、产率及产品质量情况；而经济指标包括成本投资情况、使用周期，处理能力的提高，增加产品所带来的经济效益情况。最终用新型的筛分设备取代原有的筛分设备，解决流程中存在的问题。

### 2.2.1 唐山首钢马兰庄铁矿有限责任公司铁选厂发展概况

唐山首钢马兰庄铁矿有限责任公司位于河北省迁安市马兰庄镇，地理位置优越，交通比较方便。1970年7月开始建厂，1972年5月建成投产，设计能力年处理原矿15万吨，当时除 $\phi 2700 \times 2100$ 球磨机由唐山机械厂加工制作外，其余56%设备为陈旧设备很不配套，投产后经过不断技术改造，才统一配套，生产正常。当时生产用水取自河北迁安化肥厂废水，水量充足，但随生产规模不断扩大，化肥厂废水已不能满足生产用水，滦河边打了三眼井，但由于水位下降，水量逐年减少，为了满足生产需要，尾矿坝汇水处安装浮船，充分利用回水，2002年9月份30M浓缩池进行改造，新建50M浓缩池投入生产使用，当时电源为京津唐电网迁安变电站、新庄变电站11万伏高压变3.5万伏高压。本厂于1986年新建3.5万伏变电站，97年成立联营公司，由于采厂不断扩建改造，铲钻不断增加，容量不足，由柳河峪电厂供采厂大部分用电。本公司铁矿石属鞍山式沉积变质磁铁石英岩矿床。区内地层主要为太石界迁西群三屯营组二段变质岩系，其岩性为混合质片麻岩和混合花岗岩，其中夹杂有磁铁石英岩。按岩性可分为三层：下层为一套基性火山变质岩系混合岩化作用强烈，主要为混合花岗岩。中层为矿区的主要含矿层，局部见有斜长角闪岩残留体。矿石类型若按矿物成分可以分为磁铁石英岩、辉石岩、磁铁辉石岩、赤铁石英岩及含磁铁赤铁石英岩五种。矿物组成比较简单，含铁矿物主要是磁铁矿，其次是少量的赤铁矿、褐铁矿、脉石矿物、主要是石英、其次是辉石，少量的角闪石、黑云母，深部含有少量的石榴石。矿物嵌布粒度不均匀，以中粗粒嵌布为主，其粒径一般为 $0.2\text{mm}^{[33]}$ 。

1.破碎：原设计为三段开路破碎流程，粗碎为 $400 \times 600$ 颚式破碎机，中碎为 $\phi 900$ 标准圆锥破碎机，细碎为 $\phi 900$ 短头圆锥破碎机，细碎前预先筛分，最终粒度 $30 \sim 0\text{mm}$ 。投产后为了缩小破碎粒度，提高选矿厂处理能力，1985年对破碎进行改造，将原三段开路流程改为三段一闭路流程（见图3），一段为 $600 \times 900$ 颚式破碎机，二段为 $\phi 1200$ 标准圆锥破碎机，三段 $\phi 1200$ 短头圆锥破碎机与 $1250 \times 1250$ 振动筛形成闭路，破碎粒度由 $30\text{mm} \sim 0\text{mm}$ 降至 $15\text{mm} \sim 0\text{mm}$ ，生产能力提高15%~20%。

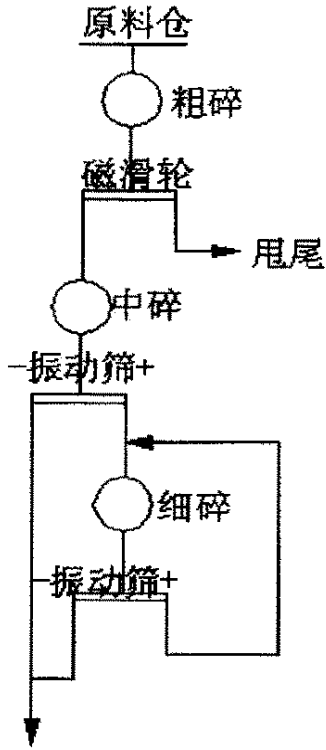


图 3 破碎工艺流程图

Fig.3 Breaking process flow diagram

2.球磨：原设计一段闭路磨矿、磁力脱水槽-磁选机-磁力脱水槽流程，流程较简单（见图4）。

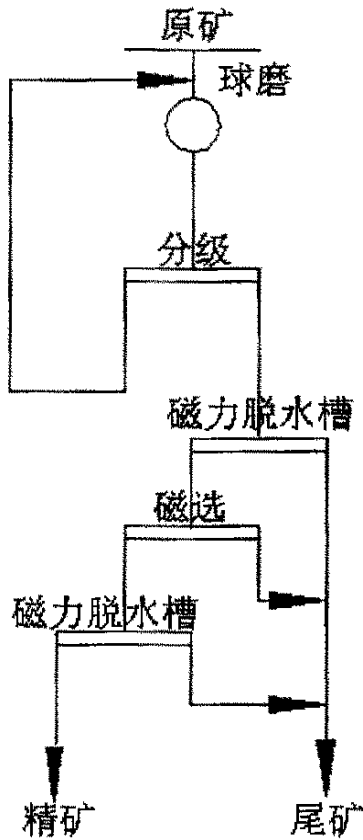


图4 原设计选矿工艺流程

Fig.4 Original design mineral process flow diagram

3.通过 30 多年不断改造，工艺流程合理，现行工艺流程图见（图 5），一段磨矿采用 MQG2700×2100 球磨机与 FG-2000×8400 型高堰式单螺旋分级机形成闭路，一段磁选采用 CTB1050×1800 磁选机，二段磁选为 CTB1050×2400 磁选机，二段磨矿球磨机型号为 MQY2100×4000 与高频尼龙振动筛形成闭路循环，筛下产物进入  $\phi$ 1800 磁聚机，三段磁选和四段磁选均为 CTB1050×1800 磁选机。

## 2.2.2 现行磨选流程

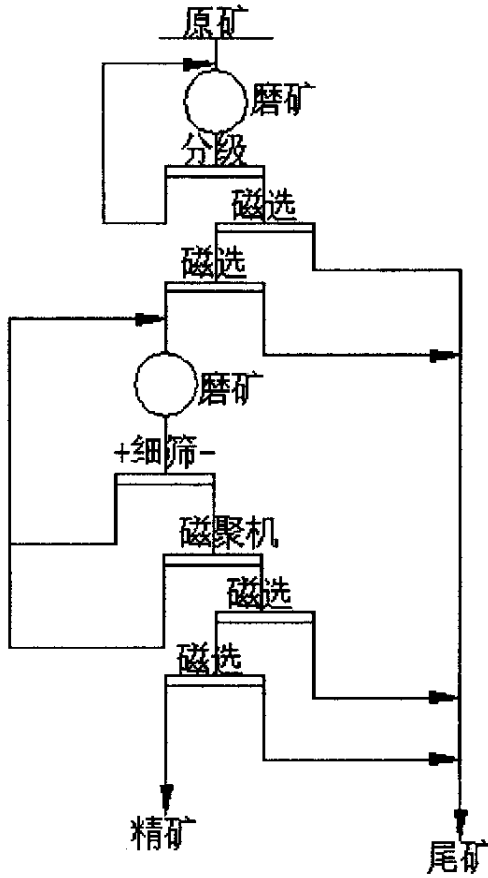


图 5 现行磨选流程

Fig.5 Flowsheet of grinding and election

此流程为选厂现行流程，一段球磨与分级机形成闭路循环，二段球磨与细筛形成闭路循环，由于采用细筛再磨新工艺，使得精矿品位从以前的 62%左右提高到 66%左右。目前，工艺流程基本合理，但因细筛筛分效率低，造成二段循环量大，影响一段球磨处理量，制约了选矿厂的生产能力，随着科技的发展，新型高频振网筛出现，但新型的振动细筛是否适合我厂的生产，是否会带来更好的经济效益是我们研究的主要内容。在选矿厂中，精矿产品的粒度组成是精矿质量的决定性因素。因此，矿山选矿过程中，细粒物料分级是非常重要的工序。本次以唐山首钢马兰庄铁矿有限责任公司选矿厂振动细筛的改进为研究对象，通过对尼龙振动筛、电磁振动高频振网筛这两种细筛取样研究，从而进行对比，分析出尼龙振动筛在应用方面

存在的不足。使用新型的电磁振动高频振动筛替代尼龙振动筛，达到提高分级效率和产品质量，创造更好的经济效益。

### 2.2.3 考察研究的主要内容

传统的分级设备如水力旋流器、尼龙细筛和仿德瑞克型高频振动细筛等的应用效果均不够理想，其分级效率低，筛上合格粒级含量大，造成合格粒级矿物在流程中恶性循环，二次循环量增大，不仅影响了选别作业效果，而且制约了一次磨机台时能力的提高，影响选矿成本的降低。要想选用一种新型振动筛取代原有振动筛解决生产中存在的问题，必须从技术指标、经济指标两方面进行研究。为使选矿工艺流程适应生产的需要和发展，必须经过理论及试验的深入研究，采用新技术或新设对选矿工艺不断完善，达到更好的优化选矿工艺的目的<sup>[34]</sup>。技术指标主要对尼龙振动筛、电磁振动高频振网筛进行取样分析包括以下几个方面：筛子给矿细度的测定、筛上细度的测定、筛下细度、品位的测定、通过以上数据的测定计算出筛分量效率、筛分质效率及产率以及精矿品位。经济指标主要从成本投资、使用周期，处理能力的提高，增加产品所带来的经济效益情况进行分析。

通过现场对两种不同细筛进行取样，从而进行选矿试验对比研究：包括球磨机处理能力、筛分效率、精矿产率、使用周期、成本情况等，经过实验获得的数据而选取一种新的筛分设备替代原有的筛分设备，解决选矿流程中制约生产的矛盾。选矿生产中存在的主要问题就是筛分效率低，造成返砂量大，严重制约了产品质量及处理能力。选用一种新型电磁振动高频振网筛替代尼龙振动筛，达到提高分级效率和产品质量的目的，为企业创造更好的经济效益。

### 2.2.4 对各项指标的研究

#### 1. 技术指标

对两种筛分设备，测定筛子给矿、筛上及筛下产物的粒度组成，进行数据分析，（其中包括筛给细度测定、筛上细度测定、筛下细度测定），然后根据实验数据，计算出尼龙振动筛、电磁振动高频振网筛的筛分效率、精矿产率及精矿品位提高情况。

筛分效率是筛分过程重要的质量指标<sup>[35]</sup>。它描述了筛分的完全程度及其产物的质量，可以由试验数据直接计算求得。因此，被普遍用作筛分效果的评价指标。筛分效率有多种定义。这些定义概念清晰，通过变换可以得到便于实际应用的计算公

式。常见的筛分效率有:量效率、产量效率、回收率效率、综合筛分效率和总效率等。

在生产现场安装电磁高频振网筛一组,进行现场考查取样:从电磁振动高频振网筛的给矿矿浆①、筛上矿浆②、筛下矿浆③中取样(如图4),为各项指标的对比,提供理论依据。

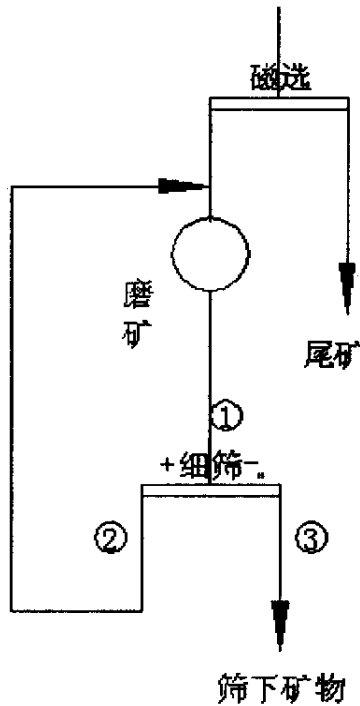


图 6 取样示意图

Fig.6 Sampling taking diagram of the exhibition

对电磁振动高频筛现场取样为每小时取 1 次样,每组取 6 次作综合样,合计取 8 次。对所取矿浆进行脱水烘干混匀缩分<sup>[36]</sup>然后称取 20 克,用 200 目标准筛进行筛分,根据公式:

$$\text{细度}(-200 \text{ 目含量}) = (\text{筛下物质量}(\text{克}) / 20 \text{ 克}) \times 100\%.$$

分别计算出筛上细度、筛给细度、筛下细度。

产率、筛子给矿细度、筛上产物细度、筛下产物细度、筛分量效率、筛分质效率分别用字母  $\gamma$ 、 $\alpha$ 、 $\theta$ 、 $\beta$ 、E 量、E 质来表示,

根据公式



$$\gamma = (\alpha - \theta) / (\beta - \theta),$$

$$E_{量} = \beta (\alpha - \theta) / (\beta - \theta) \alpha,$$

$$E_{质} = (\beta - \alpha) (\alpha - \theta) 100 / \alpha (\beta - \theta) (100 - \alpha),$$

分别求得产率，筛分量效率，筛分质效率所得结果如表 1：

表 1 电磁振动高频筛取样测定计算结果

Table1 calculation result of sample in electromagnetic high frequency sifting screen

指标 次数	筛给细度 -200 目 % (α)	筛上细度 -200 目 % (β)	筛下细度 -200 目 % (θ)	产率% (γ)	筛分量效率 % (E 量)	筛分质效率 % (E 质)
1	26.8	16.8	76.4	16.78	47.84	42.43
2	34.4	20.4	76.8	24.82	55.42	46.63
3	30	17.6	71.6	22.96	54.80	45.48
4	26.8	15.2	77.2	18.71	53.90	48.07
5	22.4	14.0	66.4	16.03	47.52	40.58
6	26.4	16.0	62.8	22.22	52.86	41.63
7	25.6	16.8	60	20.37	47.74	36.79
8	22.8	16.0	58.8	15.89	40.97	32.68
平均值	26.9	16.6	68.72	19.76	50.49	42.02

技术指标的研究主要是对两种筛分设备在选矿流程中所发挥作用进行研究，主要是对筛分设备的筛分效率为主进行研究，哪种设备在使用过程中筛分效率高、精矿指标控制好进行研究。表 1 由于电磁振动高频筛在各矿山应用较多，并得到了好评，我公司根据生产实际情况，现场安装 1 组电磁振动高频筛，进行现场取样，取样点位如图 6 所示，矿浆经过二次磁选机 CYT1024<sup>[37]</sup> 选别以后，精矿进入二次球磨机 MQY2100×4000 再磨，再磨后产品经过精矿泵给到电磁振动高频筛，给入筛子前取矿样进行筛分（-200 目标准筛），所得结果为筛子给矿细度，经过电磁振动高频筛筛分后，所得筛上产物进行取样，经过筛分（-200 目标准筛）所得结果为筛上细度，经过电磁振动高频筛筛分后所得筛下产物进行实验筛分所得结果为筛下细度。其中筛上产物进入二次磁选机再选，所得精矿进入下一道工序磁团聚<sup>[38]</sup>，分别对 8 次取样进行计算研究，最后计算出平均值，电磁振动高频筛的给矿细度为 26.9%，筛上细度为 16.6%，筛下精矿细度为 68.72%，通过公式计算精矿产率为 19.76%，电磁振动高频筛筛分效率达到 50.4%，电磁振动高频筛筛分质效率达到 42.02%。

然后对尼龙振动筛现场取样（每小时取 1 次样，每组取 6 次作综合样，合计取 8 次），用同样的方法计算出的结果如表 2：

表 2 尼龙振动筛取样测定计算结果

Table2 sampling result of nylon screen

指标 次数	筛给细度 -200 目%	筛上细度 -200 目%	筛下细度 -200 目%	产 率 (%)	率筛 分量 效率 (%)	率筛 分质 效率 (%)
1	18.80	16.00	62.00	6.10	20.13	18.00
2	20.80	16.00	63.20	10.20	30.90	26.30
3	16.00	14.00	58.80	4.70	17.27	15.30
4	21.20	16.00	68.40	9.90	32.30	33.00
5	22.20	17.60	80.40	7.90	28.60	26.62
6	18.40	16.00	85.60	3.60	16.84	16.20
7	19.60	14.80	51.60	13.04	34.40	26.48
8	24.80	18.80	58.80	15.00	35.56	27.35
平均值	20.23	16.15	66.10	8.17	26.69	23.22

从现场选取 1 组尼龙振动筛，进行现场取样，取样点位如图 6 所示，矿浆经过二次磁选机 CYT1024 选别以后，精矿进入二次球磨机 MQY2100×4000 再磨，再磨后产品经过精矿泵给到尼龙振动筛，给入筛子前取矿样进行筛分（-200 目标准筛），所得结果为筛子给矿细度，经过尼龙振动筛筛分后，所得筛上产物进行取样，经过筛分（-200 目标准筛）所得结果为筛上细度，经过尼龙振动筛筛分后所得筛下产物进行实验筛分所得结果为筛下细度。其中筛上产物进入二次磁选机再选，所得精矿进入下一道工序磁团聚，分别对 8 次取样进行计算研究，最后计算出平均值，尼龙振动筛的给矿细度为 20.23%，筛上细度为 16.15%，筛下精矿细度为 66.10%，通过公式计算精矿产率为 8.17%，尼龙振动筛筛分效率为 26.69%，尼龙振动筛筛分质效率为 23.22%。

通过表 1 及表 2 两组数据可以看出：新安装的电磁振网筛筛分量效率达到 50.4%，筛分质效率达到 42.02%，尼龙振动筛筛分量效率为 26.69%，筛分质效率为 23.22%。

电磁振动筛筛分效率明显高于尼龙振动筛的筛分效率：

其量效率高出=50.4%-26.69%=23.71%，其质效率高出=42.2%-23.22%=18.8%。

对电磁振动筛及尼龙振动筛的筛下产品烘干，取缩分样 100 克，进行筛析（其中 60 目、80 目、100 目、150 目、200 目、325 目）振动时间 20 分钟，前两次筛析的结果分别见表 3 和表 4：

表 3 第一次筛析结果

Table3 The result of the first screening

粒级(目)	孔径 (mm)	电磁振网筛(%)	尼龙细筛(%)	差值
+60	+0.246	0	1.0	-1.0
-60+80	-0.246+0.175	0	2.0	-2.0
-80+100	-0.175+0.147	0.4	3.0	-2.6
-100+150	-0.147+0.104	0.2	1.8	-1.6
-150+200	-0.104+0.074	16.91	16.51	+0.4
-200+325	-0.074+0.043	27.89	31.89	-4.0
-325	-0.043	54.60	43.80	+10.8

通过第一次对现场新安装一组电磁振网筛以及原有的尼龙振动筛一组在同一条件下取样, 经过烘干实验进行分析研究, 主要是对筛下产物不同粒级的分布情况以及产品的精矿质量之间的关系, 来看不同的筛分设备对精矿质量的影响, 哪一种筛分设备, 更有利于精矿质量的控制, 表 3 的各组数据主要是对新安装电磁振网筛以及使用的尼龙振动筛的筛下产品通过不同网目的套筛进行筛分实验。在不同筛网下各个级别的含量。在电磁振网筛的实验中, 主要是+80 目的粒级含量为 0, 而且-325 目的粒级含量达到 54.6%, 尼龙振动筛-325 目的粒级含量为 43.8%, +80 目的含量为 3%。

表 4 第二次筛析结果

Table4 The result of the second screening

粒级(目)	孔径 (mm)	电磁振网筛(%)	尼龙细筛(%)	差值
+60	+0.246	0	1.0	-1.0
-60+80	-0.246+0.175	0	1.8	-1.8
-80+100	-0.175+0.147	1.0	2.6	-1.6
-100+150	-0.147+0.104	6.6	6.8	-0.2
-150+200	-0.104+0.074	18.26	10.40	+7.86
-200+325	-0.074+0.043	27.14	33.80	-6.66
-325	-0.043	47.00	43.60	+3.40

通过第二次对现场新安装一组电磁振网筛以及原有的尼龙振动筛一组在同一条件下取样, 经过烘干实验进行分析研究, 表 4 的各组数据主要是对新安装电磁振网筛以及使用的尼龙振动筛的筛下产品通过不同网目的套筛进行筛分实验。在不同筛网下各个级别的含量, 在电磁振网筛的实验中, 主要是+80 目的粒级含量为 0, 而且-325 目的粒级含量达到 47.00%, 尼龙振动筛-325 目的粒级含量为 43.6%, +80 目的含量为 2.8%。

通过表 3 及表 4 组数据来看, 从两次的实验结果看, 电磁振网筛的细粒级含量明显高于尼龙振动筛的细粒级含量, 尼龙振动筛的粗粒级含量明显高于电磁振网

筛,电磁振网筛的筛下产品中全部为-80目粒级的产品,有利于最终产品品位的提高。可以说电磁振网筛在控制筛下粒度明显好于尼龙细筛所控制的筛下细度。

把电磁振动筛及尼龙振动筛的筛下产品试样烘干混匀缩分,每次缩分样取50克,用磁选管(磁感应强度0.1T)进行磁选,前后进行16次试验,结果分别见表5及表6。

表5 电磁振动筛筛下产品的磁选管试验结果

Table5 The test result of magnetic pipe of electromagnetic sifting screen

指标次数	筛下细度 (%)	筛下品位 (%)	筛下再选品位 (%)	提高幅度 (%)
1	76.4	60.6	68.0	7.4
2	76.8	53.8	66.8	13.0
3	71.6	59.4	67.6	8.2
4	77.2	59.6	67.8	8.2
5	66.4	59.8	67.8	8.0
6	62.8	55.4	66.6	11.2
7	60	55.0	66.6	11.6
8	58.8	57.0	66.7	9.7
平均	68.72	57.6	67.3	9.7

表5主要是想对电磁振网筛筛下产品进行研究,经过8次实验,在不同筛下细度的情况下所对应的筛下品位,然后对筛下取好的实验样用磁选管进行选别实验,筛下产品经过磁选管<sup>[39]</sup>再选后列表,然后通过计算得到经过磁选管选别前后的提高幅度,可以看出电磁振网筛的再选品位提高9.7%。

表6 对尼龙振动筛筛下产品的磁选管试验结果

Table6 test result of magnetic pipe of nylon sifting screen

指标次数	筛下细度 (%)	筛下品位 (%)	筛下再选品位 (%)	提高幅度 (%)
1	62.00	58.6	67.0	8.4
2	63.20	57.5	66.6	8.8
3	58.80	57.8	66.6	8.8
4	68.40	58.6	67.0	8.4
5	80.40	59.6	67.6	8.0
6	85.60	60.4	68.4	8.0
7	51.60	58.0	66.6	8.6
8	58.80	58.0	66.7	8.7
平均	66.10	57.6	67.3	8.5

表6主要是想对尼龙振动筛筛下产品进行研究,经过8次实验,在不同筛下细度的情况下所对应的筛下品位,然后对筛下取好的实验样用磁选管进行选别实验,筛下产品经过磁选管再选后列表,然后通过计算得到经过磁选管选别前后的提高幅度,可以看出尼龙振动筛的筛下再选品位提高8.5%。

通过以上两表的数据看，电磁振动筛筛下产品再选后的提高幅度比尼龙振动筛的筛下产品的再选后的提高幅度高 1.2%。

从以上各组数据来看，不论是在筛分效率方面以及筛下精矿品位的提高方面电磁振动筛明显好于尼龙振动筛。

## 2. 理论分析

在铁矿石选矿厂生产中，沿用至今的螺旋分级机，其原理基于水介质的重力分级；现用的水力旋流器<sup>[40]</sup>，其原理基于水介质中的重力与离心力的合力分级；这两种分级设备在铁矿石选厂的分选过程中，往往形成反富集，即溢流产品的品位低而返砂或沉砂产物的品位高。作为无振动或伴有振动装置的固定尼龙细筛，在筛分分级的过程中，矿石颗粒也是靠重力通过切割条孔而过筛的，由于开孔率低于 10%，筛分的分级效率低，因此返回量大，不仅存在矿物颗粒过磨问题，也制约了生产能力。以高频电机驱动、整机振动式各种高频振动细筛，虽然筛分效率比以前有所提高，但能耗较高，筛网堵孔现象出现，依然影响筛分效率。

1) 当时使用的尼龙振动细筛在应用过程中也出现了一些问题。主要表现在以下方面：(1) 再磨磨机的效率难以提高。尼龙细筛的筛分效率较低，导致筛上返回量较大，使得再磨流程循环量较大，客观上影响了再磨机效率的提高。筛分效率不高，除影响再磨机的效率外，还容易造成较为突出的不必要的过磨。因此，恶化了工艺流程的运转环节，造成金属流失，降低了选矿技术指标。(2) 自身存在提高筛分效率与精矿品位的矛盾。尼龙细筛依靠切割原理提高精矿品位，依靠孔径实现分级。在应用过程中，二者是不可兼得的，这正是目前其筛分效率不高的原因之一。尼龙细筛主要依靠物料切割筛缝透筛实现提高精矿品位的。MVS 高频振网筛在使用过程中的高频次、低振幅的振动原理有利于降低矿浆的表面张力，既对矿浆产生一定程度上按密度分层的作用，又有利于细、重物料离析分层；既有利于细粒级透筛，又有利于比重大粒级透筛。这是因为矿浆在高频下振幅的振荡作用下，有按密度分层的趋势，等径粒群中，高密度颗粒接触筛网的机会多，透筛机率大。从而在较高筛分效率的基础上，提高筛下产品的品位。

2) 尼龙细筛的开孔率较低，不足 10%；MVS 高效振网筛的开孔率在 30%以上。筛面由 3 层不同的筛网组成，下层为钢丝绳芯聚脂托网，与激振装置直接接触，在托网上面张紧铺设由两层不锈钢丝编织网粘接在一起的复合网，复合网的上层和物料接触，上层网也可用粗丝密纹网(一般用 0.18X0.35mm 长孔网)，根据筛分工艺要求确定网孔尺寸，筛网开孔率高、刚度大、使用寿命长。入料缓冲筛板保证

矿浆平缓均匀的给入工作网(复合网),减小对工作网的冲击,延长使用寿命。这种较高的开孔率有效地增大单位筛面的筛分面积,有利于提高筛子的处理能力。<sup>[41]</sup>

3) 尼龙细筛工作条件较为简单,而 MVS 高效振网筛振动参数采用电脑控制,具有自主的软件,具有多个可调参数,筛机振动参数采用计算机集控,振动频率可以是交变的,在程序的控制下,以 25HZ 和 50HZ 自动转换,也可设为 25HZ 或 50HZ 固定频率。另外,对每个振动系统的振动参数可软件编制,除一般工况振动参数外,还有间断瞬时强振以随时清理筛网,保持筛孔不堵。工作机动灵活性强,有利于确保筛子始终处于良好的工作状态。同时,托网的应用及筛箱不动,不需基础,可随意摆放,可随时调整角度和更换筛网的良好工作状态。筛机安装角度可随时方便的调节,以适应物料的性质及不同筛分作业。对选矿厂的湿法筛分安装倾角一般在  $26\pm 5^\circ$  范围。

4) 尼龙细筛的振动方式是整个筛机振动,能量消耗较大,其工作时的驱动功率为 200KW。MVS 高效振网筛通过传动系统从筛网下面振击筛网,而筛箱不动,这种振动方式实现了较好的节能效果。一台 MVS2018 高效振网筛,其工作时驱动功率仅为 0.9kW。

MVS 电磁振网筛采用全新原理的电磁激振器产生的高频激振力,通过传力机构带动振动臂高频振动,并驱动三层筛网(含不锈钢丝工作网、不锈钢丝底网、聚氨酯拖网)随之高频振动,使筛面上的物料呈跳跃式运动,筛网开孔率较高、筛面具有自清理能力等显著特点,矿石颗粒在筛分分级过程中既按几何尺寸分级,又具有分选作用,从而提高过筛物料的筛分效率。在磨矿分级中,电磁振网筛常用来取代与螺旋分级机或水力旋流器;在细筛再磨流程中,常用来替代原有的一段或二段尼龙振动筛。MVS 电磁振网筛在国内几家选厂的使用过程中发现,在提高筛分效率、提高筛下产率、降低筛上返回量、提高精矿品位等方面效果很显著。

### 3. 经济指标效果分析

从这种新型 MVS 电磁振动筛以及我选厂当时正在使用的尼龙振动筛进行现场取样分析研究来看,MVS 电磁振动筛的技术指标各方面,不管控制产品粒级方面、筛下精矿品位方面,最主要的筛分效率方面,都明显高于尼龙振动筛的各项技术指标,从 MVS 电磁振动筛以及尼龙振动筛的理论分析来看,不管是它们的工作条件、开孔率、工作原理等各个方面 MVS 电磁振动筛都明显高于尼龙振动筛,所以最后要研究的就是 MVS 电磁振动筛以及尼龙振动筛的经济指标研究,主要从 MVS 电磁振动

筛和尼龙振动筛两种不同筛分设备的投资情况、成本情况，处理能力的提高，增加产品所带来的经济效益情况进行分析：

通过近几个月的生产指标来看：所有精矿粉产量为选矿厂实际生产的矿粉经过地磅房过磅数，

选矿比=球磨处理量/精矿粉产量；

球磨机台效=全月球磨处理量/全月开车时间；

矿石可选性：每月选矿厂矿石的综合指标即每天从选矿厂电振处取矿石样（每小时一次），先经过实验室粗破机、细破机破碎完以后经过 3mm 筛子进行筛分，筛下矿物称取 200 克进入棒磨机磨矿 5 分钟，磨完以后从中称取矿样 20 克，再经过磁选管（磁感应强度 0.1T）进行选别 2~3 分钟，所得的精矿进行化验所得的品位即为当天矿石的作为可选性实验的精矿品位，把全月的实验结果累计平均即作为全月的矿石可选性实验的精矿品位。

表 7 生产指标和试验数据

Table7 Production quota and experimental findings

指 标 月 份	精 矿 粉 产 量 (吨)	选 矿 比	球 磨 处 理 量 (吨)	全 月 开 车 时 间 (h)	球 磨 台 效 (t/h)	精 矿 品 位 (%)
8 月份	38318	2.19	83916	2143.5	39.15	66.82
9 月份	37522	2.16	81048	2053.7	39.46	66.80
10 月份	38098	2.22	84578	2091.2	40.43	66.76
11 月份	38485	2.20	84667	2111.7	40.09	66.81
12 月份	38191	2.19	83638	2056.5	40.67	66.78
1 月份	39700	2.20	87340	2117.3	41.25	66.83

表 7 所列的各项实验数据指标的完成，可以说投入了大量的人力及时间，长时间数据的积累，从 2005 年 8 月份开始进行，包括从 8-12 月份各月完成精矿粉产量、各月开车时间的统计、以及实验室每天所做的矿石可选性实验等，从各月完成的各项统计指标及实验结果来看如表 7 所示，从表中明显看出从 8 月份到 1 月份球磨机的台时处理量明显不断提高，从 8 月份的 39.15t/h 到 1 月份的 41.25t/h。

由于 8 月份新安装的一组电磁振网筛筛分量效率达到 50.4%，筛分质效率达到 42.02%，而尼龙振动筛筛分量效率为 26.69%，筛分质效率为 23.22%，电磁振动筛筛分效率明显高于尼龙振动筛的筛分效率。

选矿厂于 12 月份有四组电磁振网筛先投入使用，更有利于对两种细筛做进一步的研究。

选厂于 2006 年 1 月份 10 组振动筛全部投入使用，（各项指标完成情况及试验数据见表 7）。1 月份球磨机处理原矿的台效比 8~11 月份球磨机处理原矿的平均台效高 1.47 吨。

由于采矿场矿石性质不断发生变化，矿石结晶粒度逐渐变细，12 月份、1 月份矿石可选性从各月的累计数据来看明显比 8~11 月份矿石的可选性要差，但球磨机台效明显提高，其它条件没有变化，只是新型电磁高频振网筛的投入使用，可以说电磁振网筛发挥了重要的作用，在矿石性质恶化的情况下，台效增加 1.47 吨，通过计算全月增加铁精粉量为：

$$1.47 \text{ 吨/台} \cdot \text{时} \times 3 \text{ 台} \times 24 \text{ 小时/天} \times 30 \text{ 天} \times 95\% / 2.2 \\ = 1371 \text{ 吨}。$$

根据计算可以得到由于球磨机台时能力增加 1.47 吨，一段有三台球磨机，每天作业 24 小时，全月按照 30 天进行计算，球磨机作业率按照 95% 进行计算，选矿比按照 2.2 进行计算，全月将增加铁精粉 1371 吨。

1) 投资情况：电磁振网筛每台投资 8.58 万元，10 台合计 85.8 万元，尼龙振动筛主框架为我厂自己加工，每台振动筛投资 3 万元，8 台合计 24 万元。电磁振网筛一次性投资 85.8 万元，尼龙振动筛一次性投资为 24 万元。

### 2) 成本消耗：

(1) 通过近几个月使用周期来看电磁振网筛筛片使用周期约为 5 天，每月更换筛片  $120 \text{ 片} \times 400 \text{ 元} = 48000 \text{ 元}$ 。尼龙振动筛筛片使用周期一个月，每月更换筛片  $180 \text{ 元} \times 80 = 14400 \text{ 元}$ 。电磁振网筛消耗 = 4.8 万元，尼龙振动筛投资 = 1.44 万元。电磁振网筛筛片消耗每月为 4.8 万元，尼龙振动筛筛片每月消耗为 1.44 万元。

(2) 电消耗成本：尼龙振动筛电耗成本： $2 \text{ KW/台} \cdot \text{H} \times 8 \text{ 台} \times 24 \text{ H/天} \times 30 \text{ 天} \times 0.95\% \times 0.4 \text{ 元/KW} = 4377.6 \text{ 元}$ ，电磁振网筛消耗成本  $0.9 \text{ KW/台} \cdot \text{H} \times 10 \text{ 台} \times 24 \text{ H/天} \times 30 \text{ 天} \times 0.95\% \times 0.4 \text{ 元/KW} = 2462.4 \text{ 元}$ ，通过计算电磁振网筛每月电消耗成本为 2462.4 元，尼龙振动筛每月的电消耗成本为 4377.6 元。

### 3) 效益分析：

(1) 根据目前市场价格使用电磁振网筛增加产量带来的经济效益 =  $1371 \text{ 吨} \times 300 \text{ 元/吨} = 411300 \text{ 元}$ 。根据目前铁精粉的利润情况，可计算出全月因增加铁精粉而获得的利润为 41.13 万元。



(2) 因为一次性投资较大, 第一个月增加效益 $=41.13-(85.8+4.8+0.25-24-1.44-0.44)=-23.87$  万元。由于电磁振网筛一次性投资较大, 第一各月增加效益为负值, 但到下一个个月效益将为正值, 可是出现利润。

(3) 第二个月增加效益 $=1371 \text{ 吨} \times 300 \text{ 元/吨} - 48000 \text{ 元} + 14400 \text{ 元} - 2462.4 \text{ 元} + 4377.6 \text{ 元} - 238700 \text{ 元} = 140915.2 \text{ 元}$ 。从第二个月开始, 不在计算最出的设备投入, 只有日常的筛片消耗及电消耗。到月底将出现利润 14.09 万元。

(4) 第三个月开始每月增加效益 $=41.13-4.8+1.44-0.25+0.44=37.96$  万元。本月将增加效益 37.96 万元。

(5) 唐山首钢马兰庄铁矿有限责任公司选矿厂细筛全部改造完电磁振网筛以后预计第一年将为企业增加效益 $=37.96 \times 10 + 14.09 = 393.69$  万元。

(6) 第二年开始每年将为企业增加效益 $=37.96 \times 12 = 455.52$  万元。

从经济指标的分析来看, 主要从设备初期投入时两种筛分设备的一次性投入情况, 使用过程的消耗, 主要是两种筛分设备的筛片消耗情况、电消耗情况, 还有就是因筛分效率高, 球磨机台效增加提高精矿粉产量所带来的经济效益。根据效益情况不同使用这种新型 MVS 电磁振网筛比使用原来使用的尼龙振动筛每年将增加效益 400 余万元以上, 经济效益是相当可观的。

### 3 综合评价分析

电磁振网筛筛分效率高，在条件相同情况下，筛分效率比尼龙振动筛高 1 倍以上，大幅度降低循环量，增加了球磨机时处理量，电磁高频筛对筛下产物粒度控制严格，在筛网使用周期内，不会出现跑粗，避免了未单体解离的粗粒对精矿的影响。电磁高频筛可提高筛下品位，即在细度相同情况下，电磁高频筛筛下物品位高于其它分级设备。电磁高频振动筛的投入使用不仅提高筛分效率和产品质量，而且更主要的是一次球磨机的处理能力明显增加，精矿粉产量明显增加，从而给公司带来更好的经济效益，从经济指标的测算来看，从第二个月开始，除成本投资外已经开始出现效益，预计全年增加效益近 400 万元。第二年开始每年将为企业增加效益 450 多万元。MVS 高频振网筛在唐山首钢马兰庄铁矿有限责任公司选矿厂的正式应用，通过近 20 个月的现场取样以及对试验数据考查研究得出新旧两种筛分设备在技术指标和经济指标的明显差异，使用该细筛代替传统的尼龙细筛，筛分效率得到明显的提高，使二段球磨机的循环量明显减少，优化了选矿的工艺流程，为企业带来显著的经济效益。同时，MVS 高效振网筛还在提高精矿品位上也显现出较为明显的优势。MVS 高效振网筛良好的技术性能表明它是替代尼龙细筛改善磁选厂选矿技术指标的较好设备之一。

## 结 论

通过此次试验研究获知：在选矿流程中，用 MVS 电磁振动高频振网筛替代原有的尼龙高频振动筛是成功的，该新型细粒分级设备运行平稳、操作简单、分级效率高，筛下产品粒度组成得到改善，并有效的控制精矿粒度，具有尼龙振动筛不可比拟的优点。采用这种高频振网筛使磨选工艺流程得到充分优化，实现了优化流程及降低消耗的目的。这种新型的 MVS 电磁振动高频振网筛的使用，有效的控制了筛下产物的粒级组成，基本上消灭了超粗粒子，有利于控制精矿粒度和稳定质量，也是提高精矿质量的有效手段。这种新型的 MVS 电磁振动高频振网筛的成功应用可以说是运用现代技术改造传统工艺的成功典范，该项新技术投资小，见效快，改造简单，适合老选厂改造和新厂建设应用，可为企业带来了良好的经济效益和社会效益。这种新型的 MVS 电磁振动高频振网筛的筛片使用周期短，但这并不影响它在选矿流程中的巨大作用的发挥，但同时对社会也提出了新的课题，还需要继续深入研究新的筛分理论和技术，同时引入现代化的设计手段，采用新材料、新技术、新工艺研究更好的筛分设备，满足国民经济建设的需要。

## 参考文献

- [1] [苏]C.Ф.申柯连科主编.黑色金属矿选矿手册.冶金工业出版社.1985(1): 33-35
- [2] 刘世勋.振动筛分机的研究动向.矿山机械, 1997(10): 18-19
- [3] 王喜林.筛分设备发展的分析与探讨. 矿山机械.1993(3): 51-52
- [4] 陈永俊.德瑞克高频振动细筛在在硅砂筛分的应用.矿山机械.2003(7): 37-38
- [5] 汪建.高频振动细筛在铁矿选矿作业中的应用.国外金属矿山.2002(2): .34-35
- [6] [苏]П.Е.奥斯塔片科著.世界铁矿石选矿研究.中国铁矿石选矿实践.1992: 68-69
- [7] 张中原.振动筛在选矿中的应用.黄金.2000(7): 36-37
- [8] 王峰.筛分机械的发展及展望.矿山机械.2004(1): 37-38
- [9] 陆信.80年代筛分技术成就与发展. 矿山机械.1991(1): 33-35
- [10] 张永正.振动筛的改造与应用.黄金.1999(12): .40-41
- [11] 谭兆衡.国内筛分设备的现状及展望. 矿山机械.2004(1): 34-36
- [12] 闵庆刚.尼龙细筛在选矿中的应用.矿业工程.2003(12): 35-37
- [13] 韩元盛等.振动筛筛分效率的研究.江苏煤炭.2004(1): 62-63
- [14] 周忠尚.选矿厂设计.冶金工业出版社. 1995: 66-67
- [15] 段希祥.选择性矿物及其应用.冶金工业出版社.1991.第一版. 149-152
- [16] 王宏勋.选矿厂设备选型及产品手册.冶金工业出版社 1991.第一版. 15-17
- [17] 李金荣主编.选矿技术发展论文集.冶金工业出版社.1991: 80-81
- [18] 韦锦华.细筛再磨工艺改造的实验研究与生产实践.金属矿山.2004(1): 33-39
- [19] 李文龙.高频振动细筛在朝旺铁矿的应用.金属矿山.1997(8): 42-43
- [20] 郑沛麟.高频振动细筛在密地选矿的工业实验.金属矿山.2004(8): 48-49
- [21] 钟序辉.高频振动筛在密地选矿厂的应用.金属矿山.2004(8): 48-50
- [22] F.列内尔.经济筛分机的处理量和筛分效率.国外金属矿选矿.2003: 27-28
- [23] 孔良娟.利用高频细筛稳定和提高精矿质量.山东冶金.1997: (8).第19卷.第4期
- [24] 陈景全.高频振动细筛的应用及改进.矿业快报.2000(11).第22期.总第352期
- [25] 薛维东.高频振动筛的应用.煤质技术.增刊.2001(4): 14-15
- [26] 吕保华.关于小型选矿经济效益的探讨.新疆有色金属.2004增刊: 29-31
- [27] 王振龙.电磁高频筛在矿区废水处理中应用探讨.煤矿环境保护.2002(6)
- [28] 张宏珂.MVS电磁振动高频振网筛.煤炭加工与综合利用.2000(6): 43-45

- [29] 高振学.MVS 电磁振动高频振网筛在大孤山选厂的工业实验.金属矿山.2003 (8) 20-21
- [30] 刘高峰.电磁高频振动细筛在尖山选厂的应用.金属矿山.2003 (3) : 59-60
- [31] 彭显宏.MVS 高频振网筛在大孤山选矿厂的工业实验及应用前景.江西有色金属.2003 (6) : 20-21
- [32] 李中昆.MVS 电磁振动高频振网筛在煤炭行业的应用.煤炭加工与综合利用.2002 (2) : 42-43
- [33] 许时.矿石可选性研究.冶金工业出版社.1992: 27-28
- [34] 庞国叶.选矿厂工艺流程改造.海南矿业.1998 (3) : 2-3
- [35] 焦红光.筛分效率计算中的“规定粒度”浅析.煤质技术.增刊.1998 (4) : 37-38
- [36] 周乐光.工艺矿物学.冶金工业出版社.1990.第一版.9-10
- [37] 王常任.磁电选矿.冶金工业出版社.2005: 32-34
- [38] 张其富.我国磁聚重选新工艺的新发展.冶金部黑色金属矿山情报网.1991: 96-99
- [39] 许时.矿石可选性研究.冶金工业出版社.1992: 192-193
- [40] M.K.莫哈蒂.细粒分级新技术的比较评价.国外金属矿选矿.2003 (6) : 8-9
- [41] 张中元.提高振动筛处理能力的途径.黄金.2000 (7) : 36-37

## 致 谢

本人圆满完成工程硕士论文的全部工作，与我的导师李永聪教授的悉心指导和许多老师及同学的帮助是分不开的，在此表示诚挚的谢意！并对企业导师王云峰高级工程师以及专家评委们提出的宝贵意见表示衷心感谢！  
级工程师以及专家评委们提出的宝贵意见表示衷心感谢！

## 导师简介

李永聪，男，教授，1948年8月生，矿物加工工程专业硕士研究生导师，中共党员。

多年来一直从事选矿教学和科研工作，主持过一百多项选矿科研和科技服务项目，其中包括：各类矿石的选矿试验，选矿厂设计，选矿厂生产工艺流程考察、调试和改造，难选矿石选矿工艺研究，矿物提纯和深加工，以及尾矿的综合利用等。

“小型氧化铁矿选矿工艺研究”课题曾获1996年河北省科技进步三等奖，与唐石人沟铁矿联合研制的“螺旋筒筛分级机”曾获河北省冶金厅科技进步二等奖。曾在《金属矿山》、《中国矿业》、《非金属矿》、《有色金属》、《化工矿物与加工》等国家级核心期刊上发表论文14篇，其中一篇被国际权威杂志EI收录、两篇被CA收录，参与编写《选矿操作技术解疑》一书，该书由河北科技出版社出版，受到读者好评。在校主讲矿物加工工程专业硕士生“高等矿物加工学”、“磁系设计”；本科生“碎矿与磨矿”、“磁电选矿”、“选矿厂设计”等主干专业课；同时主讲环境工程专业“大气污染控制工程”课程并指导实习和设计等。

主要研究方向：复杂难选矿选矿工艺、矿物提纯与深加工工艺、矿产与尾矿的综合利用等。纵向在研科目有：

1.云母尾矿综合利用，在河北省科技厅立项，现已完成鉴定，达到国际领先水平；

2.高纯石英砂提纯工艺研究，在河北省科技厅立项，现已完成鉴定，达到国内领先水平。

横向科研项目主要有：

1.高纯镜铁矿选矿工艺研究，与河北省铁矿产品批发市场协作，2003—2004年完成；

2.超贫铁矿选矿工艺研究，曾于多家矿业公司合作在试验研究的基础上，已成功用于工业生产；

3.提高金矿选矿回收率的研究，与青龙县响水沟和秦皇岛冶金设计研究院合作，与2004年底完成。

地址：河北理工大学资源与环境学院 邮编：063009

电话：13703380333

王云峰、男、1962年11月12日生于河北省唐山市、汉族、学士学位；选矿工程副高工，设备工程处副处长。

1984年毕业于原河北矿冶学院。毕业后分配到原唐山市马兰庄铁矿工作，一直从事于选矿工艺技术管理、工程设计以及选矿设备管理工作。主持了选矿厂历次改造工程的设计，管理以及设备安装调试等系统工作。自1997年以来，将我矿年处理40万吨原矿石规模的选矿厂历经数次改造、扩建、现已达到180万吨规模。

在国家级杂志发表的论文有《重视技术改造，提高选矿厂经济效益》。先后完成了马兰庄铁矿选矿厂破碎系统阶段破碎阶段干选工程设计，破碎系列设计尾矿浓缩输送系统工艺设计，第二选矿厂工艺设计，尾矿回收处理工艺设计等工作。



## 作者简介

姓名梁福利，男，34岁，工程师，河北省迁安市人，汉族，中共党员。

1993年9月至1997年7月就读于河北理工学院资源与环境工程系，取得工学学士学位。

1997年7月分配到唐山首钢马兰庄铁矿有限责任公司工作至今，曾担任选矿厂技术员、技术厂长、生产厂长、柳河峪选矿厂厂长。曾在《金属矿山》杂志上发表文章。并参加了多次选矿厂的流程改造工作。

联系电话：13315519076。

## 学位论文数据集

筛分效率; 细筛; 磨矿; 分级		筛分效率\细筛\磨矿	TD921 <sup>+</sup> .3
440.40	HBLG 06—164	公开	
河北理工大学		硕士	
马兰庄铁矿选矿厂细筛再磨工艺优化研究		中文	
资源形式 [文本(√)] [图像(√)] [视频( )] [音频( )] [其他( )]			
推荐形式 application/msword; application/pdf			
梁福利	河北理工大学	10081	
矿业工程	矿物加工		3年
2006.3.15			
李永聪	教授	河北理工大学	
唐山市新华西道46号	063009		
韩秀丽			2006.4.30
河北理工大学		唐山	
工程硕士			
46			
注: 共37项, 其中标明(可选)项可不填, 必填数据24项。			