

铁矿石精选 技术与经济



冶金工业出版社

74.9/18
107

书号: 15118(11)

铁矿石精选 技术与经济

王建纲 方志刚
王文新 任春堂 编著

2586/19

冶金工业出版社

(京)新登字036号

内 容 提 要

本书系统总结了我国自1978年在炼铁高炉推行“精料”方针以来提高铁精矿品位的科研和生产实践,阐述了采用精选技术的技术经济问题。全书共分七章,包括细筛再磨精选技术,磁铁矿精选技术,反浮选精选技术,联合流程精选技术,超级精矿精选技术,铁矿石精选的经济效益以及合理精矿品位的研究。本书可供选矿科研、设计、生产人员以及高校师生参考。

铁矿石精选技术与经济

王建纲 方志刚
王文新 任春堂 编著

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷



850×1168 1/32 印张12 5/8 字数333千字

1992年3月第一版 1992年3月第一次印刷

印数00,001~1,500册

ISBN7-5024-0913-0

TD·154 定价9.60元

序

20世纪60年代至70年代是世界钢铁工业迅猛发展的时期。伴随着现代高炉的大型化和自动化,炼铁工艺和技术也发生了许多变革,其中很重要的一条就是对“精料”的要求。

“精料”的内容包括改善入炉铁料、辅料和燃料的质量。而对铁料来说主要是提高含铁品位、碱度,其次是强度、粒度。

高炉冶炼的这种“精料”要求,大大地促进和推动了铁矿石选矿工艺、技术与装备的发展。如细筛再磨、选择性絮凝、阴离子或阳离子反浮选以及多筒弱磁选机、强磁选机、螺旋溜槽和离心选矿机等,被广泛地研究并应用于各类铁矿石的分选。

直到70年代中期,我国的磁选铁精矿平均含铁品位,还只是徘徊和停留在60~63%的水平上,和当时的国际水平相比差距很大。

党的十一届三中全会以后,随着改革和开放,我们对世界发达国家的选矿工业状况有了更多地了解,因而愈发感到我国有必要也有条件把“精料”工作抓上去,只有这样才能把我国的钢铁工业推向前进。

提高铁精矿品位是搞“精料”的要求,在当时的形势下是迫在眉睫非上不可的事。基于这一认识,冶金部成立了“精料”领导小组,组织协调科研、设计与生产单位进行提高铁精矿品位的试验研究和实施生产技术改造工程。经过短短几年的努力,确实抓出了成效,到1979年,全国重点磁矿选矿厂的平均精矿含铁品位已达到66.5%以上,基本上跨入了世界先进水平的行列。至今,连续十多年都保持这一水平。

取得上述成绩固然是由于采取了许多技术组织措施,但广大科研和生产单位的技术人员所付出的辛勤劳动,在科学试验方面所取得的累累硕果,在生产技术管理和新工艺、新设备、新材料的应用,以及在选矿工业总体上取得的技术进步,都对我国的

“精料”发展起到值得铭记的作用。

与此同时，在铁精矿品位取得突破性进展期间，不少技术成果和十分宝贵的经验、教训也值得我们认真地总结和汲取。这本篇幅不算长的书正是试图完成此项工作。参加本书编写的几位同志都是参与了“精料”工作的，身临其境，有不少是切身体会和经验积累。当然，也有些观点和看法只是个人见解，特别是技术经济部分的内容，许多东西还不够成熟。

总之，在我国矿业特别是选矿技术书籍出版发行甚少的情況下，这本《铁矿石精选技术与经济》的问世还是件可喜的事，该书可供选矿界和有关方面人员阅读、参考。也希望大家在科学技术上长“百家争鸣”之风，在冶金矿山、选矿方面多一点著书立说，为发展我国的钢铁工业多做贡献。

精大粒

前 言

我国铁矿资源十分丰富。其特点是贫矿多、富矿少、矿石类型复杂、嵌布粒度细，可以概括为“贫、细、杂”。大部分矿石需经选矿处理。目前，我国生产的原矿石中，入选矿石约占82%，直接入炉的约占18%。建国以来，我国铁矿业得到了巨大发展，选矿技术装备水平有了很大发展，各项技术经济指标普遍提高。其中磁选厂精矿品位提高尤为显著，近10年间都保持在66.5%左右，为炼铁生产发展做了很大贡献。一些处理鞍山式贫赤铁矿的选矿厂，精矿品位也提高到了64~66%。近年来，我国进行了大量的提取超纯铁精矿的研究，并建设了工业规模的选矿厂，生产TFe含量大于71%， SiO_2 含量小于0.2%的超纯精矿，供制造铁氧体永磁材料使用。上述选矿技术的巨大进步，是10年来我国各选矿厂进行了不同程度的技术改造的结果。我们把在原有选别流程基础上，采取的深选及完善流程达到提高精矿品位的技术措施，通称为“精选技术”。作者力图通过本书论述我国冶金矿山自1978年以来的10年间，提高精矿品位的实践过程和技术经验，其中主要收集和论述了处理鞍山式贫铁矿的精选技术经验和由于提高精矿品位而涉及的经济问题。

我国大规模提高精矿品位的技术改造工作，是1977年以后在冶金部矿山司领导下进行的。1972~1975年，鞍钢大孤山选矿厂、北京矿冶研究总院、鞍钢矿山研究所联合进行了细筛再磨精选技术的研究，在用尼龙细筛代替不锈钢细筛的基础上，进行了长期的生产试验。结果表明，采用细筛再磨流程可使精矿品位由62.5%提高到65.4%，作业回收率达到99.33%，输出精矿品位达到65.68%，回收率83.06%。细筛再磨试验的成功，为在全国提高精矿品位找到了一条经济有效的途径。1978年4月，首钢大石河选矿厂7个生产系列首先全面推广应用细筛，实现了细筛自循环再磨流程，使精矿品位由64%提高到67.76%，进而又提

高到68.5%，荣获了国家金质奖章。同年，大孤山选矿厂细筛再磨车间竣工投产，当年精矿品位就达到66%以上。截止到1980年，首钢水厂选矿厂、本钢南芬选矿厂等20多个选矿厂全面应用了细筛再磨精选技术，安装了2000多台尼龙细筛，效果十分明显。1977年以前二十多年里，磁选精矿品位一直徘徊在60~63%之间，在全国范围推广了细筛再磨精选技术以后，磁选厂精矿品位逐年上升，1976年全国磁选厂平均精矿品位为62.96%，1978年达到65.11%，1979年达到66.52%，1982年达到66.9%，至今，连续10年都保持在66.5%左右。这部分高品位精矿占全国总精矿产量的50%以上。这标志着我国铁矿石选矿技术已跃升到一个新水平。

由于贫赤铁矿入选比例日益增大，目前已占总入选矿量的1/3，而且有逐渐增大趋势。因而提高其选矿技术水平已成为重要的攻关课题。在全国广大选矿科技工作者的积极努力下，近10年来赤铁矿选矿技术也得到了迅速发展。强磁选、重选、反浮选、联合流程以及各种新的浮选药剂得到了应用。一些赤铁矿选矿厂在大量科学试验基础上开始技术改造。鞍钢弓长岭重选车间先后采用增加螺旋溜槽和强磁选完善离心机重选流程，使精矿品位由60%提高到64%，回收率提高到70%以上。鞍钢烧结总厂选矿车间采用十二胺阳离子反浮选处理东鞍山，齐大山赤铁矿焙烧磁选精矿，使精矿品位达到66%。鞍钢齐大山一选车间，改造前为连续磨矿碱性正浮选-弱磁选联合流程，精矿品位59~60%，回收率68%左右，采用阶段磨矿重-磁-弱酸性浮选联合流程，使用硫酸作调整剂，石油磺酸钠作捕收剂，精矿品位达到63.5%，回收率达到70%。通过近几年生产实践证实，这些技术改造是基本上成功的，使我国的赤铁矿选矿技术向前推进了一步。

精矿品位的提高，不单纯是一个选矿指标的变化，而是涉及到整个选矿流程、设备的调整和变革，是与整个矿山包括钢铁联合企业经济效益密切相关的技术经济活动。因而需要正确的技术经济政策做指导。在提高精矿品位初期，一些选矿厂出现了影响原矿处理能力和回收率的趋势，能不能把提高精矿品位的技术改

造工作坚持下去是当时急需解决的问题，冶金部矿山司根据全国的经验，及时制订了“提高精矿品位、提高精矿产量”的双提高方针，一方面要求把提高精矿品位技术改造工作坚持下去，一方面促进企业寻求提高磨矿能力和回收率的措施。为了解决投入产出的经济效益问题，组织了有关科研设计部门，根据各种矿床特点系统研究了选矿投入和炼铁产出的关系，制订了合理的选矿深度，即最佳精矿品位界限，扭转了不顾总体经济效益盲目提高精矿品位的倾向。这几年，生产上提高磨矿能力、回收率比较有效的方法有：缩小入磨粒度；原矿预选；采用新型磨矿介质；提高磨矿机作业率；磁团聚重选等。这些方法初步完善了选矿过程，弥补了磨矿能力，提高了回收率，使高品位精矿量逐年增长。特别是磁团聚重选技术在首钢选矿厂应用成功，在稳定生产品位68.5%精矿前提下，使原矿处理能力增长16%以上，这说明在技术措施得当的情况下，是可以做到“双提高”的。

作者拟论述的近年处理磁铁矿、赤铁矿精选技术及各种完善选矿流程的措施是：

(1) 磁选厂普遍采用的细筛及细筛再磨流程。新型细筛及改进型尼龙击振细筛。

(2) 焙烧磁选精矿阳离子反浮选。

(3) 强磁选在联合流程中应用。成功应用在粗粒抛尾和浮选前脱泥。

(4) 螺旋溜槽在联合流程中应用。成功应用选别粗粒高品位磁、赤铁精矿，节省了磨矿能源。

(5) 磁团聚重选技术应用。

(6) 赤铁矿的酸性正浮选、阳离子反浮选及其各种药剂。

(7) 各种选矿联合流程的试验与应用。

(8) 磁铁矿的原矿预选，提高入选品位。

(9) 强化破碎流程，缩小入磨粒度的经验。

(10) 选矿辅助设备的改进。如各种改进型脱磁器试验与应用。

(11) 磨矿介质试验与应用。

提高精矿品位的经济效益问题，一直为选矿界、炼铁界所关注。提高精矿品位，投入在选矿、收益在炼铁。过去习惯提“1、2、3”关系，即精矿品位提高1%，炼铁焦比降低2%，炼铁产量提高3%，现仍被人们所承认。作者收集和分析的几个大型钢铁企业的计算和分析资料中，也证实了这一关系。如首钢1977年和1978年精矿品位变化对烧结、炼铁的影响有：

(1) 1977年精矿品位64.45%，1978年67.63%，提高了3.18%， SiO_2 降低了3.2%；

(2) 烧结矿含铁由54.29%，提高到58.37%，提高4.08%， SiO_2 由9.9%降低到6.5%；

由于入炉品位的变化，引起的炼铁生产变化是：

(3) 石灰石用量减少。每吨烧结矿少用50kg，一年节约石灰石24万t；

(4) 焦比降低。入炉焦比由536kg降到450kg，降低了86kg，按入炉品位提高1%计算，降低焦比3.9%；

综合焦比由614kg降到555kg，降低了59kg。降低焦比主要是精矿品位引起的。如按50kg计算，一年可节省焦炭11.3万t；

(5) 生铁增产。平均日产量由5212t，提高到6502t，提高了1290t。由于精矿品位增产9.4%，一年增产生铁20万t；

(6) 矿耗降低。每吨生铁由1804kg降低到1672kg，降低132kg。在生铁产量不变的情况下，一年可节省精矿用量30万t；

(7) 渣量减少。每吨生铁由522kg减少到369kg，减少了153kg；

(8) 运输量减少。一年可减少厂内运量257万t；

(9) 综合经济效益提高。炼铁成本因为原料、燃料、熔剂的节省及运输量的减少，一年可使成本降低1300万元、折合每吨生铁成本降低5.8元。再如鞍钢经济研究所1979年结合大孤山选矿厂细筛再磨工程投产对炼铁厂受益的研究表明：当精矿品位提高1%时，640万t生铁总成本降低2049万元，折合每吨生铁成本降

低3.2元。如以全国磁选精矿品位由63%提高到66.5%，提高3.5%，按一年这部分精矿总产量3000万吨计算，仅节省的焦炭和石灰石费用就可达1.2亿元左右。

增加铁矿石精选设施，一般都要增加改造投资，同时还可能影响选矿厂的处理能力、回收率精矿产量，消耗及成本等一系列指标。据1980年估算，采用细筛自循环再磨流程，改造投资为0.05~0.2元/t原矿，生产费用增加0.3~0.8元/t精矿，精矿品位提高1~4%。采用细筛单独再磨流程，改造投资为0.5~1.00元/t原矿，生产费用增加0.6~1.00元/t精矿，精矿品位提高2.5~6%。赤铁矿选矿厂用于提高精矿品位和回收率的技术改造投资高于磁选厂的几倍。根据鞍钢选厂估算，改造投资约为4~10元/t原矿，生产费用2~6元/t精矿，精矿品位提高幅度4~5%。国家为了补偿提高精矿品位的投入，制订了铁精矿“按质论价，优质优价”的政策。这为稳定高品位铁精矿生产起到了积极作用。精矿品位提高1%，每吨精矿加价2元，这一含铁量与价格的关系于1980年开始执行并保持至今。在当时价格水平较低的情况下，这一关系基本适用。近年来，原材料、能源等价格调整，当初的投入，优价能够补偿，现在则不能补偿。国家应该根据生铁、钢材价格和整个钢铁企业总效益，调整矿山产品价格、调整品位与价格的关系，以使我国铁矿采掘工业得以崛起。

合理精矿品位研究，实质上是系统最优化参数的选取问题。只有当使用高品位铁精矿的冶炼收益大于选矿和烧结的投入时，为此而付出的代价才是可行的。作者对几个用高品位精矿生产的大型钢铁联合企业，从矿山到炼铁进行了系统地计算分析。这些分析表明，他们均获得了全系统的最佳经济效益。这说明了其精矿品位界限是合理的。影响合理精矿品位的因素很多，如矿石性质、选别流程、价格因素等。特别是我国各地矿石性质差异较大，可选性不等，所以各选矿厂精矿品位标准不能攀比，一定要从矿山具体条件出发，认真进行技术经济评价，得出符合实际的精矿品位标准。

本书前言由王建纲编写,第1、2章由方志刚编写,第3、4、5章由王文新编写,第6、7章由任春堂编写。全书由王建纲筹划和审核修改。在编写过程中,北京矿冶研究总院、鞍山黑色冶金矿山设计研究院、鞍钢矿山公司设计院、冶金部矿山司等单位给予了大力支持,马喜春、汪健等同志提供了帮助,在此一并表示感谢。

由于编著者知识水平所限,加之生产实践经验不足,有些观点不尽准确,敬请选矿界同行予以批评指正。

目 录

1 细筛再磨精选技术	1
1.1 概况	1
1.2 利用细筛提高铁精矿品位的依据	12
1.2.1 铁精矿粒度组成与品位间的关系	12
1.2.2 分离粒度与细筛筛孔等参数间的关系	14
1.3 细筛设备	19
1.3.1 细粒筛分机的分类	19
1.3.2 击振尼龙细筛	28
1.3.3 高频细筛	51
1.3.4 立式圆筒细筛	60
1.3.5 旋流细筛	68
1.4 细筛再磨精选流程	74
1.4.1 细筛自循环再磨流程	74
1.4.2 细筛单独再磨流程	83
2 磁铁矿选厂精选技术的完善	90
2.1 磁滑轮预选	90
2.1.1 $\phi 800 \times 1400$ mm永磁磁滑轮	90
2.1.2 CT-108型永磁磁滑轮	92
2.1.3 CTDG1210型大块磁选机	94
2.1.4 磁滑轮预选流程的应用	97
2.2 强化破碎流程和提高磨矿效率	102
2.2.1 强化破碎流程减小入磨粒度	102
2.2.2 降低破碎产品粒度的途径	103
2.2.3 采用小直径钢球提高细磨效率	107
2.2.4 新型磨矿介质棒球的应用	110
2.2.5 球磨机扩大容积	116
2.3 选矿用脱磁器的改进	119
2.3.1 各种改进型脱磁器	119
2.3.2 脱磁器工作参数的选择	124

2.3.3 脱磁器脱磁效果的评价	125
2.3.4 改进型脱磁器的应用	129
2.4 磁团聚重选	130
2.4.1 磁团聚重力分选机及其分选过程	130
2.4.2 磁团聚重选法的工业实践	136
2.5 湿式弱磁场磁选机的改进	147
2.5.1 大型永磁筒式磁选机	148
2.5.2 多筒磁选机	150
2.5.3 磁路设计的改进	151
3 反浮选精选技术	161
3.1 磁选精矿的反浮选	161
3.1.1 磁选精矿反浮选的特点和依据	161
3.1.2 精矿反浮选的发展与现状	162
3.1.3 焙烧磁选精矿的反浮选	163
3.2 弱磁性铁矿石的反浮选	173
3.2.1 概况	173
3.2.2 弱磁性铁矿反浮选工艺的应用	173
3.3 反浮选药剂	177
3.3.1 阳离子捕收剂	177
3.3.2 铁矿物抑制剂	180
4 联合流程精选技术	191
4.1 工艺矿物学研究	192
4.1.1 工艺矿物学研究的意义	192
4.1.2 工艺矿物学研究实例	192
4.2 螺旋溜槽在联合流程中的应用	199
4.2.1 螺旋溜槽的构造与分选原理	199
4.2.2 其它型式的螺旋溜槽	207
4.2.3 螺旋溜槽在精选联合流程中的作用	212
4.3 强磁选设备在精选流程中的应用	221
4.3.1 强磁选机的一般类型	221
4.3.2 强磁选作业在联合流程中的作用	233
4.4 联合流程的精选实践	235

4.4.1 齐大山选厂一选车间阶段磨选工艺	235
4.4.2 弓长岭选厂二选车间阶段磨选流程	238
4.4.3 齐大山烧结矿阶段磨选工艺	240
4.4.4 东鞍山烧结厂二选车间的试验与设计	244
4.4.5 铁坑褐铁矿强磁-浮选流程的演变	245
4.4.6 包钢选矿厂各种联合流程的试验与应用	252
6 超级铁精矿的精选技术	258
5.1 概述	258
5.2 超级铁精矿的用途	258
5.2.1 直接还原-电炉炼钢	258
5.2.2 海绵铁球团直接轧制钢材	259
5.2.3 用超级铁精矿生产铁粉	260
5.2.4 超级铁精矿用于生产铁氧体磁性材料	261
5.2.5 超级铁精矿在其它方面的应用	264
5.3 超级精矿精选工艺方法	265
5.3.1 浮选	266
5.3.2 磁选	271
5.3.3 电选	276
5.3.4 细筛	276
6 铁矿石精选的经济效益	278
6.1 铁矿石精选的意义	278
6.2 铁精矿中TFe与SiO ₂ 的关系	280
6.3 烧结指标与品位的关系	285
6.4 高炉冶炼指标与品位的关系	290
6.5 矿石精选的投入	304
6.5.1 增加选矿投资	304
6.5.2 其它选别指标的影响	306
6.5.3 精矿成本增加	317
6.6 矿石精选的经济效益	321
7 合理精矿品位的研究	329
7.1 确定合理精矿品位的原则	329

7.2 独立选矿厂不同精矿品位效益计算	331
7.2.1 选矿厂年利润计算	332
7.2.2 选矿厂投资效果计算	334
7.2.3 提高精矿品位要有合理的价格补偿	335
7.3 钢铁联合企业合理精矿品位计算	337
7.3.1 单位生铁消耗定额计算	338
7.3.2 生铁成本、投资的计算与编制	344
7.3.3 实物量计算	349
7.3.4 投资效果计算	351
7.3.5 确定合理精矿品位的综合分析	353
7.3.6 计算举例	356
7.4 合理精矿品位的研究成果与应用	366
7.4.1 东鞍山烧结厂浮选车间合理精矿品位	366
7.4.2 大孤山选矿厂磁选车间合理精矿品位	374
7.4.3 首钢大石河选矿厂合理精矿品位	377
7.5 苏联最佳选矿品位的计算	382

1 细筛再磨精选技术

1.1 概况

1967年,美国伊利铁选厂采用一种新研制的击振细筛,对年产1030万t铁精矿进行筛分,提高了最终铁精矿品位和处理能力。

该厂击振细筛的研制工作始于1961年。当时,原矿经磨矿选别后得到含 SiO_2 8%、-325目占90%的铁精矿,发现其中有一半的 SiO_2 存在于+325目(占精矿量的10%)粒级中,有效地筛分出这个粗粒级,可以使 SiO_2 含量降低。为此,于同年首先着手进行弧形筛试验。试验采用0.1mm筛孔,并利用小锤轻轻敲打筛面,以防筛孔堵塞。之后在工业上安装了2台三段细筛,组成细筛再磨流程,与原有的反浮选再磨流程进行对比试验,取得了良好的效果。该厂通过对弧形筛的不同曲率半径(533mm、1219mm、1828mm)筛面和直线筛面的试验比较认为,曲率半径大小的影响甚微,所以最后定型为平面筛面。

1964年7月起,经过近3年的试验后确认:细筛能够从原有精矿中有效地筛出粗颗粒的高硅部分,可以达到与反浮选工艺相同的分选效果。细筛的作业费用只是反浮选作业费用的10%,而整个细筛再磨精选流程的作业费用仅为反浮选再磨精选流程的40%,两者所得效果相同。细筛再磨流程生产的精矿产品粒度稍粗,有利于过滤、团矿作业。

1965年,伊利公司决定全面采用细筛再磨流程,于1967年5月正式投产。经过一年多的生产实践后,于1968年开始进一步的详细评价工作,并把细筛发展列为控制精矿粒度组成和降低硅含量的研究工作。同年12月,验证了 $114\mu\text{m}$ 和 $89\mu\text{m}$ 两种筛孔的处理量与硅含量关系,确定了伊利选矿厂采用筛孔为 $80\pm 13\mu\text{m}$ 的

尺寸最为有利。

1970年，伊利公司在加拿大申请的专利获得批准。该专利的内容是：“为了提高磁铁矿精矿品位，降低硅含量，以前大都是采用阳离子反浮选法，这种方法虽然能将含铁65.5%的精矿提高到67.5%， SiO_2 含量从6%降至4%，但药剂费用较大，成本较高。采用本发明的细筛可达到与浮选相同效果，且生产费用显著降低。根据大规模的应用表明，其作业费用仅为浮选的 $1/3 \sim 1/7$ 。此外，采用细筛可避免矿物过磨，有利于过滤、团矿作业。”

在伊利发展细筛的同时，皮坎兹、马瑟等公司的研究部门评价了细筛广泛应用于其他生产企业与扩建、新建企业的可能性。继美国伊利之后，加拿大、澳大利亚、南非、巴西等国的十几个选矿厂相继采用细筛作业，取得了提高铁精矿品位、增加处理能力等效果。

1970年前后，苏联也发表文章指出：“……在所有考察的磁铁矿再选的方法中，对于多数磁铁矿矿床而言，最有前途的要算是细筛方法了。”“细筛作业对于那些按多段选矿流程进行生产的克里沃罗格铁矿区各选厂来说，是很容易采用的，并带来较大的经济收益。为了在苏联选矿厂采用细筛作业，必须掌握细筛的制作技术，……。”德国在细粒湿式筛分方面，也进行了一些研究工作。细筛的击振方法采用间隔高频振动方法，每隔 $10 \sim 15 \text{min}$ 振动 $5 \sim 10 \text{s}$ ，以消除筛孔的堵塞。这种振动并不破坏矿浆层的分层以及矿浆流在筛面上平稳而均匀地流动。该设备的分离精度较高，利比里亚的邦格选厂推广使用这种细筛流程。此外，在加拿大、澳大利亚、巴西等国还应用于其他细粒筛分作业。在有色金属的钨、铜、铅、锌、锡矿的磨矿分级作业中也广泛应用，取得好效果。

表1-1列出了国外应用细筛提高铁精矿品位的情况。

我国于1970~1972年开始采用细筛提高铁精矿品位的研究工作。北京矿冶研究总院首先在鞍钢齐大山铁矿选厂进行了探索性试验，试制了样机。1971年上半年鞍钢弓长岭铁矿进行了半工业