

冶金矿山
第二届选矿技术进展报告会

论文集

冶金部黑色金属矿山情报网
冶金部马鞍山矿山研究院

冶 金 矿 山
第二届选矿技术进展报告会
论 文 集

冶金部黑色金属矿山情报网
冶金部马鞍山矿山研究院

一九九一年六月

序 言

首届选矿技术进展报告会以来，我国科技形势发生了很大变化。党中央一系列改革开放政策有力地促进了科技与经济建设的密切结合。在冶金矿山领域出现了一批实用性很强、经济效益很高的选矿科技成果。高效节能预选设备和技术的进步、细筛和阶段磨选工艺的推广、高效磁选设备研制的成功、磁团聚工艺的出现、红矿选矿工艺的突破、石油磺酸盐系列捕收剂的开发、浓缩机底流浓度和流量的计算机控制等等，标志着我国选矿技术已达到相当高的水平。

本届黑色冶金矿山选矿技术进展报告会的召开，正值我国国民经济和社会发展第八个五年计划开始之年，所以，将报告会上发表的有关国内外选矿技术现状和发展以及上届报告会以来重大选矿科技成果方面的论文汇编成集，对选矿技术进一步发展，对确定八五期间选矿科技攻关方向都有重要的指导意义。

我国要在本世纪末实现钢产量8000万吨以上的目标，原料短缺的矛盾十分突出。我国矿石资源素有贫、细、杂的特点。应该看到，对一些储量大的经济效益差的矿石资源，迄今还缺乏成熟的开发利用技术，成为矿山发展滞后的原因之一。解决这一矛盾，除靠国家对矿山建设，首先是矿山的科技发展，采取相应的倾斜鼓励扶持政策外，还要靠广大科技人员继续艰苦攻关，同时不放松学习国外先进技术，增加应用基础研究，坚持走与经济建设相结合的道路，力争在“八五”期间再出一批创

HW 93/08

新度高的科研成果。——我国选矿界的工程技术人员真可谓任重而道远啊！

最后应当提及，黑色金属矿山情报网在冶金部有关司局领导和各冶金矿山热情支持下，在推动科技进步、促进科技繁荣方面，每年都做了大量工作，他们的辛勤劳动是值得大家称赞的。

夏红柱

一九九一年六月

编 者 的 话

根据冶金部科技司(90)冶科字第129号文通知要求,冶金部黑色金属矿山情报网和《国内外选矿快报》编辑部共同组织召开我国“冶金矿山第二届选矿技术进展报告会”,同时出版报告会论文集一册。1990年元月向全国冶金矿山企业、科研、设计单位和高等院校发出征文通知,要求全面总结“七五”期间我国冶金矿山选矿生产技术的进展和选矿科研新成果,评述国外冶金矿山选矿技术的现状和发展趋势,提出“八五”期间我国黑色选矿技术的发展方向。在近一年的时间内,承蒙冶金矿山各企事业单位及广大科技人员、学者、教授等大力支持,我们收到各种论文近70篇,约60万字。鉴于篇幅有限,论文不能全部刊出;刊出论文中参考文献也由编者从略,在此谨表歉意。

参加论文集审编工作有李金荣、贾宽贵、罗树庭、李萍等同志,金宗德、唐仁华、马玉聪、程国贤、徐桂兴、李国良、蔡霞等同志也参加了部分论文的审查工作,在此表示谢意!

由于水平所限,错误之处在所难免,请读者予以批评指正。

编 者

一九九一年六月

责任编辑:李金荣

目 录

1、国内外铁矿石选矿技术的现状及发展趋势·····	孙玉波 (1)
2、苏联铁矿石选矿工艺的发展方向·····	张宏福 (12)
3、工艺矿物学用于我国黑色金属选矿工艺的新进展·····	李左衡 田桂兰 (19)
4、破碎、筛分技术的进展·····	陈丙辰 韩跃新 (28)
5、磨矿、分级技术的进展·····	杨莉茵 (34)
6、细粒弱磁性铁矿石选矿的进展·····	卢寿慈 蒋朝澜 宋少先 (48)
7、红铁矿选矿的进步与展望·····	张洪恩 (59)
8、包头矿选矿技术的重大进展近况·····	罗树庭 章满成 (64)
9、我国铁矿石高效、节能的预选技术·····	吴芬明等 (71)
10、细筛及细筛工艺的进展·····	杨映文 王玉楠 (80)
11、我国磁团聚重选工艺的新发展·····	张其富 (88)
12、阶段磨选工艺在弓长岭选厂的应用与发展·····	李玉英 (100)
13、我国几种冶金辅料选矿技术的进展·····	吕士魁 张野 (107)
14、我国锰矿选矿技术的新进展·····	余逊贤 (114)
15、选矿设备技术引进与消化移植·····	赵昱东 (121)
16、国外强磁选设备和工艺的进展·····	李明德 (131)
17、湿式磁选机研制近况·····	程国贤 (155)
18、立环脉动高梯度磁选机在铁矿选厂中的应用与发展前景·····	熊大和 (161)
19、超导磁选机的发展动态·····	程国贤 (168)
20、国内外重选设备的新进展·····	邹明元 范象波 (173)
21、氧化矿浮选药剂的发展近况·····	张惠宗 那琼 王宽 (185)
22、磨矿分级过程自动控制的新进展·····	卢胜葵 (191)
23、选矿厂尾矿高浓度输送微机自控技术的应用与发展·····	丁宪坤 (197)
24、选矿技术经济参数数模的建立与应用前景·····	胡永平等 (203)
25、梅山铁矿选厂过滤技术的进展·····	罗荣昌 (212)
26、大石河选厂提高尾矿输送浓度的有效途径·····	张树祥 (219)
27、张家洼选厂提高尾矿输送浓度的技术措施·····	张心和 (223)
28、攀矿选厂选钛技术的新进展·····	陈光霞 谢应龙 (229)
29、铁尾矿资源综合利用现状及发展方向·····	蔡霞 (235)
30、太钢峨口铁矿尾矿库生产管理现状及其发展展望·····	郑争广 王柏纯 (242)
31、选矿污水净化及循环利用技术的发展·····	邵孝峰 (251)

国内外铁矿石选矿技术的现状及发展趋势

孙玉波

一、国内外铁矿石的产量概况

最近几年西方多数国家的铁矿石产量有所下降，这与钢产量减少有关。钢产量的变化反映了世界工业技术的发展动向。进入80年代工业发达国家将注意力转向高科技产业，一些高耗钢工业如建筑、汽车、机械、造船等生产趋于饱和，再加上新型原材料塑料、铝合金、橡胶的广泛应用，使钢的需求量降低。同时发达国家受国内外环境保护的压力，宁愿将污染严重的初级原材料生产转移到国外。于是它们将矿山、钢铁工业斥之为“夕阳工业”。其实这只不过表明了他们对本国钢铁产量下降的一种心态。并不表明世界的总趋势。

今后世界铁矿石的增产将主要发生在第三世界国家里。近年世界钢铁产量回升也主要是由于第三世界国家钢铁工业发展的结果。

我国的铁矿石产量在整个80年代（以及以前）保持着高速度增长，到1988年产量达到16.893万t，四年间平均增长达1000万t，约为世界铁矿石总增产量的一半。但由于“七五”期间未能建立起大型矿山基地，显得后劲不足，1989年出现了矿石产量下降的局面。

我国的钢铁产量增长十分迅速，到1989年已突破6000万t大关。为了弥补国产矿石的不足，80年代每年进口了1000多万t富矿（1989年进口1300万t）。按国家计委安排，1995年钢产量要达到7500万t，需铁矿石2.8亿t；2000年钢产量要达到9000万t，需铁矿石2.9~3.1亿t。国产矿石将始终难以满足需要，预计进口矿石量将接近于20%，并将在较长时期内持续下去。

当然我国的铁矿石供应还要立足于国内，这是我国发展钢铁工业的基本方针。“八五”期间国家准备新建大型矿山有鞍钢齐大山矿调军台选厂，年处理能力1700万t，另外可能建设的矿山有攀钢白马寺铁矿选厂，年处理能力1500万t。看来后备产量是不小的。但是如果考虑到：①1987年以前数年间年平均增产矿石量900万t之中，有600万t是由中小型矿山提供，占了2/3，而这些矿山的黄金时代已过去，正在转入深部或井下开采，1989年的产量已由1988年的6500万t降到5000万t水平，以后产量还要萎缩；②国家重点矿山有80%生产能力是在1975年以前建成，现已面临服务年限末期，在大约1.4亿t重点矿山的生产能力中，每年要衰减300~500万t产量；将这些因素全部计算在内，到2000年增产的矿石量基本由重点矿山来承担的话，则新建矿山能力需要达到1.3亿t，这是一项十分艰巨的任务。目前投资不足是主要障碍。诚然，依靠技术进步，从老厂矿中挖潜，提高矿石产量，延长服务年限，自当是一条重要措施。

二、国内外铁矿石资源特点及选矿概貌

从选矿工艺角度看,铁矿石基本可分作强磁性的磁铁矿石(俗称青矿)和弱磁性的赤铁矿石(俗称红矿)两大类。另外还有过渡型的磁—赤铁矿石,由于其中含有难选的赤铁矿,所以一般也划在红矿范畴。世界的红矿储量较大,但目前的选矿量则大约各占一半。

巴西、澳大利亚、印度、南非、瑞典等铁矿石出口国,红矿储量虽然也较大,但多属优质富矿,原矿品位高达65%。一般在采出后只需破碎筛分即可作商品矿出售。即便是选矿也只是用简单的洗矿、重选或强磁处理,对选矿工艺很少作深入研究。

日本、西德、比利时、卢森堡以及英国,由于铁矿资源贫乏,更不可能发展选矿工业。日本的矿业学会具有100余年历史,已于1988年6月改名为日本资源、素材学会。西德在1955年尚有铁矿选厂6座,到1985年已全部停产,这些国家依靠他们的技术优势,转而从事高产值的选矿设备研究。英国、芬兰、法国亦莫不如此。

世界上最多注意选矿工艺研究的是苏联、中国和美国。这些国家的铁矿矿床类型多,可选性复杂。美国的铁矿床主要分布在北部苏必利尔湖地区,大部分为赤铁矿和磁铁矿铁燧岩。东部纽约州、南部和西部地区的亚拉巴马州和得克萨斯州则产出褐铁矿、菱铁矿和钛铁矿,约80%以上铁矿石需选矿处理。目前矿山工业的萧条时期尚未过去,全国只有9个铁矿山在生产(表1),年生产商品铁矿4100万t,其中95%为球团矿,只达到现有生产能力53%。

表1 美国9个铁矿山生产情况

矿 山	经 营 者	球团矿年生产 能力(百万长t)	1986年结产 (百万长t)	球团矿品位(%)	
				Fe	SiO ₂
明塔克	美国钢铁公司	18.5	6.3	65.55	5.40
米诺卡尔	内陆钢铁公司	2.0	1.7	65.50	5.00
希 宾	皮坎兹马瑟	8.1	5.1	66.00	4.80
耐雄纳尔	汉 纳	4.6	3.9	65.75	5.00
埃弗莱斯	奥格列贝—诺尔顿	6.0	3.1	64.86	5.26
伊 里	皮坎兹马瑟	8.0	3.0	65.40	5.25
蒂尔登	克里夫兰—克里夫斯	8.0	4.0	64.70	5.10
恩派尔	克里夫兰—克里夫斯	8.0	6.7	64.40	6.10
皮里奇	圣乔矿物公司	1.7	0.8	66.00	3.20

苏联的铁矿储量达3000亿t,工业储量1100亿t,均居世界第一位。资源分布广泛,产量最大的矿山在乌克兰沃洛格地区,其次是库尔斯克磁力异常区以及乌拉尔、西伯利亚和科拉半岛。含铁在55%以上的富矿有103亿t,不需入选。在各种类型矿石中磁铁矿占60%(其中5%为复合矿石)、氧化矿石15%,褐铁矿石20%,菱铁矿石5%。采用磁选、重选、

磁—重选、洗矿、焙烧—磁选等多种工艺流程处理。各种方法的选别指标见表2。目前国外选矿厂的经营方针主要是追求高的精矿品位，对回收率要求并不严格，尤其是西方国家更是如此。

表 2

苏联铁矿石选别指标

选 别 方 法	含 铁 量 (%)			精矿产率 (%)	回收率 (%)
	原 矿	精 矿	尾 矿		
干式磁选	37.76	51.88	14.35	62.37	85.75
湿式磁选	31.66	64.38	12.49	36.95	75.13
磁—重选	31.14	65.55	9.42	38.70	81.45
重—磁选	42.96	49.07	30.83	68.27	77.97
重 选	41.89	47.19	32.85	59.79	68.47
洗 选	36.42	47.19	27.34	45.75	59.27
焙烧磁选	35.68	64.37	18.37	37.64	67.90
焙 烧	30.31	47.55	8.06	56.34	88.39

我国铁矿资源也比较丰富，已探明的储量达450亿t，仅次于苏联和巴西居第三位。但矿石性质则很严酷，95%属于贫矿石，品位在30~35%之间，即几乎全部需选矿加工；其次是红矿比例大，约占70%，青矿占30%，且多属细粒和微细粒浸染，需多次细磨才能选出合格精矿；第三是复合矿多，伴生有其他有价元素的铁矿石约占总储量的1/4，其中主要有：湖北大冶铁矿含铜、金；四川攀枝花铁矿含钒和钛；内蒙白云鄂博铁矿含稀土和放射性元素以及内蒙黄岗铁矿含锡等。这就是通常所说的贫、细、杂特点。此外，与国外相比，我国还缺少巨型和超巨型铁矿床，已有的矿床分布也很不均衡，给工业布局和选矿建设带来困难。

我国铁矿资源的特点和人均占有矿量数额不大，为选矿规定了艰巨的任务。我们必须充分而有效地利用国家矿产资源，既要提高精矿品位，又要保证有足够高的回收率，绝不允许象国外那样丢弃高品位尾矿。

我国的选矿工艺指标，在最近一、二十年取得了长足的进步，1980年全国重点企业选矿厂精矿平均品位已由1970年的59.93%提高到62.89%，回收率仍保持在77%左右水平。提高幅度最大的是青矿磁选厂，精矿品位由60.47%提高到66.82%，回收率由79.04%提高到80.12%。1989年重点企业选矿厂先进指标是：铁精矿品位68%，回收率89%，已达到世界领先地位。但在红矿选矿方面，指标尚偏低，也缺乏有效的选别工艺。除此而外，就整个选矿生产来说，与国外先进水平相比也还存在一些差距，主要表现在：

(1) 处理单位矿量的能耗和钢耗较大；

(2) 企业管理尚未达到现代化应有水平，检测与控制手段落后，劳动生产率低；

(3) 红矿选矿基本尚未过关，复合矿石的综合回收也不充分，尾矿综合利用还只是刚刚起步；

(4) 矿山环境保护尚未引起充分重视, 选矿厂对环境污染还相当严重。

我国的选矿在增加产量、提高指标的同时, 出现上述一些不足并不奇怪, 但现已成为提高经济效益的重要障碍, 并将对社会造成不良后果, 应当引起足够重视。

三、青矿选矿继续向提高精矿质量方向发展

青矿最易分选, 在入选矿石中各国均优先开采。磁选设备在50年代实现永磁化以后, 70年代继续向大型化方向发展, 但到80年代这种趋势已经停止, 转向根据冶炼要求着重于提高精矿质量(据统计铁精矿的品位提高1%, 可导致高炉产量上升2.5%, 焦比下降1.5%, 石灰石熔剂减少20%)。80年代出现的用超级精矿直接炼钢技术更推动了这一势头的发展。

国外已经制成的大型弱磁选机规格达到 $\varnothing 1500 \times 4000 \text{ mm}$ 。苏联制造的大型磁选机将传动机构置于筒体内, 设备更加紧凑。为了提高精矿质量, 磁选机结构加以改进, 还采用了频率(移动、旋转、脉动、脉冲)磁场磁选机代替静止的磁场磁选机, 近年并出现了不少的磁—重联合作用磁选机。为了捕集微细粒级矿粒, 对多种梯度磁选机也在继续进行研究。

在磁性材料方面, 由于钕铁氧体的磁场力可比钡铁氧体磁体大46%, 因此目前生产的筒式磁选机大多采用钕铁氧体或钕钡铁氧体。磁选机内磁极数也由过去的4—6个增加到8—11个。在相邻磁极间增设附加磁铁, 可以减少磁通漏损, 使筒体表面的磁力提高31~57%。这些措施不仅增大了设备处理能力, 而且提高了精矿质量。

经分析, 现代高处理量磁选机质量难以提高的原因主要是因剩磁引起了磁团聚, 导致包裹脉石颗粒。因此近年发展了频率磁场磁选机, 加强颗粒在磁场内翻转。磁场一般由三相电流圆筒的相对移动和多极磁系建立, 瑞典、芬兰和美国研制出并应用着这类单筒、双筒或三筒绕组、磁选机。瑞典萨拉公司生产有直径916 mm和760 mm, 工作长度2400 mm的离心磁选机, 磁场强度为79.577 kA/m (1000 Oe); 苏联生产的206—C $\dot{\text{O}}$ 和21—CB型离心磁选机, 磁场强度可达103.45 kA/m (1300 Oe), 单位处理能力40 t/m·h。奥列涅戈尔斯克采选联合企业应用离心磁选机进行精选, 获得含铁71.8%、含 SiO_2 0.62%的超级精矿, 作业回收率93.3%。苏联还制造了带旋转磁系的、带搅拌和不带搅拌电磁系的低磁场磁选机, 均被用来制备优质精矿。一些西方国家还在重选皮带溜槽、螺旋选矿机、圆锥选矿机以及摇床上加置固定的或可动的磁场, 利用复合磁力精选磁铁矿, 这是一项值得注意的动向。

在流程上提高精矿质量的措施主要是细筛再磨, 补充反浮选和进行多段精选。这些均已应用多年。

我国弱磁场磁选机在实现永磁化以后发展也很快, 现已生产直径600、750、1050 mm不同筒长的10余种规格磁选机, 根据“八五”规划还将为调军台选厂设计制造 $\varnothing 1200 \times 2400 \text{ mm}$ 弱磁选机和 $\varnothing 1200 \times 2400 \text{ mm}$ 中磁场磁选机。磁场强度可分别达到0.18 T和0.4 T, 可以满足系列年生产能力300万t的需要, 在设备大型化方面已接近世界先进水平。

在永磁体的研究方面也取得重大成果, 钕铁氧体的磁能积已可达到 3.5×10^6 高奥, 我国自行开发的含铈1:7型稀土钴永磁合金、钕铁硼磁性材料, 在性能上均已跻身世界先进行列。

国内也早已研制出旋转磁场磁选机，试验证明，精矿品位可提高1~2%，回收率降低很少。我国矿产综合利用研究所研制成功的磁—重选矿机，巧妙地利用磁性矿粒在弱磁场中的分散 $\rightleftharpoons$ 团聚作用，在上升水流作用下实现选择性磁团聚与重力分离，在首钢迁安铁矿组成的磁选—磁团聚重选—细筛流程中实现了粗磨粗选，中矿再磨再选新工艺，提高了分离粒度。在与前同样精矿品位和回收率前提下，提高处理能力16%左右，这在世界上也是绝无仅有的。

70年代我国即利用细筛再磨工艺提高精矿质量。目前约有2000台（联）尼龙细筛在20多个选矿厂中应用，品位超过65%的铁精矿年产量超过2000万t，约占全国铁精矿产量的一半。

利用超级精矿直接炼钢的技术在国外已经起步。美国与墨西哥合作准备在今后十年内开发出一种“熔池熔炼法”，旨在取消焦炉和不用高炉、转炉进行批量炼钢。为适应这一新形势，国外正在积极研制生产高纯精矿的选矿设备。我国虽有超级精矿生产，但数量很少，设备也不配套。对此必须注意，作好准备，以迎接新的技术革命的到来。

四、红矿选矿——强磁选和反浮选正在走俏

红矿包括所有含赤铁矿、褐铁矿、菱铁矿、镜铁矿及假象赤铁矿矿石，这些矿物均具弱磁性，条痕呈红色，所以习惯上即称之为红（铁）矿（石）。红矿富矿早就在开采，部分细粒的贫矿本世纪初曾采用焙烧—磁选处理，比较粗粒的用重选法选别，50年代初开始应用浮选法，60年代以后各种红矿选矿法陆续涌现，出现了大发展局面。据中南工业大学陈荃教授总结，总共有如下四类十二个方案：

- | | | |
|-----------|-------|---------------|
| (一) 浮选 | 1、正浮选 | (1) 常规浮选 |
| | | (2) 热浮选 |
| | 2、反浮选 | (3) 阳离子反浮选 |
| | | (4) 阴离子反浮选 |
| (二) 絮凝—浮选 | | (5) 絮凝—阳离子反浮选 |
| | | (6) 絮凝—阴离子反浮选 |
| (三) 强磁选 | | (7) 强磁选 |
| | | (8) 重—磁（强磁选） |
| (四) 联合选矿 | | (9) 弱磁—强磁—浮选 |
| | | (10) 弱磁—浮选 |
| | | (11) 重—浮选 |
| | | (12) 重—电选 |

正浮选很早就有人研究，并确认矿物可浮性依下列顺序减小：赤铁矿—镜铁矿—菱铁矿—褐铁矿，目前广泛使用的捕收剂是脂肪酸的衍生物塔尔油和磺化石油，另外还常添加燃料油、柴油等作辅助捕收剂。新的捕收剂还在研究中，但一直未能制出特效捕收剂。世界上最早建成的铁精矿浮选厂是美国洪堡特（Humbolt）选矿厂，于1955年建成投产，年产铁精矿93万t，铁精矿品位62.5%，回收率81~85%。于1956年又相继建成共和（Republic）选矿厂，该厂在浮选镜铁矿的再磨浮选试验中，发现矿浆热至沸腾时，可以大大提高精矿品位，从而出现了“热浮选工艺”。因其热耗大，选厂后来减少了热浮选处理矿量，其他选厂也未获推广。

阳离子反浮选以捕收剂在水中解离后吸附在石英表面上的为阳离子而得名，常用捕收剂为胺类。用淀粉、木素磺酸钠为铁矿物抑制剂。在一般情况下可以不脱泥直接浮选，容易得到低含硅量的铁精矿，且泡沫性脆，在浮选回路中容易顺行。因此成为当代很受欢迎的红矿选矿法。1973年加拿大最早采用反浮选工艺建成了赛普提艾斯（Sept Iles）选矿厂，年处理原矿600万t。1977年巴西又建成年处理量达1300万t的萨马尔科（Semarco）铁矿反浮选厂。其他国家70年代投产的红矿选矿厂也多采用反浮选法。美国密执安州至少有三个用阳离子反浮选法处理镜铁矿和赤铁矿的选厂在生产。可见其应用之广泛。

阳离子反浮选最适合处理品位较高的原矿或用其他方法得到的粗精矿，成为提高精矿品位和制取超级精矿的有力手段。因此多被推荐到联合流程中应用。

阴离子反浮选需预先用金属阳离子对石英等脉石矿物活化，然后再用脂肪酸类阴离子捕收剂浮选。尽管也可得到良好的分选指标，但泡沫粘度大，操作不易控制，因此一直未能见诸工业应用。

选择性絮凝也是70年代发展起来的红矿选矿新工艺，最早在1962年美国矿山局就开始了选择性絮凝—脱泥的研究，但直到1975年才建立起第一座絮凝—脱泥—阳离子反浮选选矿厂——蒂尔登（Tilden）选厂。浸染微细的赤铁矿石在磨碎到85%—0.025mm后，先用玉米淀粉选择性地絮凝并抑制铁矿物，分散的硅酸盐矿泥在浓密机中成溢流排出，沉砂送搅拌槽再加淀粉调浆送浮选回路用胺类捕收剂浮出脉石。该工艺研究成功后，使美国密执安州和明尼苏达州两个储量巨大的赤铁矿资源得以利用。

尽管红矿正、反浮选和絮凝—脱泥反浮选到70年代已取得重大进展，但是到80年代随环保要求严格、药剂费用上涨及回水利用困难等原因，又使这些方法的推广发生障碍。整个80年代世界上很少再建单一浮选作业的大型选矿厂，取而代之的是强磁选的应用，某些已经建成的浮选厂和重选厂也开始用强磁选进行改造或补充扩建。

至今国外已有十多种型式的强磁选机，主要是平环式、立环式、立笼式、锥盘式、感应辊式及高梯度强磁选机等。感应辊式磁选机是用来处理较粗粒矿石，处理微细的弱磁性铁矿石的设备目前主要是西德制成的琼斯型强磁选机。1971年巴西多西河矿山首先采用强磁选工艺处理赤铁矿石，共采用28台DP—317型琼斯型强磁选机，安装在三个选厂内，台时处理能力达140t，可将品位48~53%的给矿提高到67%，回收率95%，尾矿品位<10%。该厂建厂成功后琼斯型强磁选机的销量大增，截止1985年已有26个国家购买了该种设备。

近年琼斯型强磁选机又作了许多改进，主要是：1）增加磁极头。两个选环的磁极头由

4个增至8个,处理能力提高一倍;2)将实心铁质转子改为空心铁转子,减轻重量,缩短磁路,减少电耗;3)采用高压气—水装置,强化精矿排矿;4)增设分选环,在不改变线圈绕制方式基础上增至4、6、8个分选环,降低了单环的能耗。此外还正在准备将超导激磁系统安装在琼斯机上。

介质板堵塞是平环磁选机的通病。苏联研制一种新型介质板,齿板间隙由1~3 mm扩展到5 mm,齿板沟槽为倾斜状,矿浆在上面呈薄膜状流过,存在自由表面,从而克服了堵塞现象并保持回收率不降低。苏联还制造成三分选环的强磁选机,最上层分选环用于排除强磁性矿物。

日本ERIEZ公司的WHIMS型平环强磁选机,英国Baxmag—Rapld公司与法国Five—Cail Babcock公司的HiW型立式磁选机,均已在国际市场上销售。

琼斯型强磁选机存在的主要缺点是铁芯大、机体笨重、价格昂贵,采用齿板作聚磁介质,对 $-20\mu\text{m}$ 微细颗粒回收效果差。瑞典萨拉公司研制的高梯度强磁选机克服了这些缺点,该机采用铠装螺旋管做磁铁,转环通过其间隙转动,漏磁少,单位处理量、机重也小。采用钢毛或拉板网作聚磁介质,能产生高梯度磁场,可有效回收微细粒级。缺点是机械夹杂较严重。

已经研制成功的直径4800 mm Sala—180型高梯度强磁选机被用来处理瑞典中部的斯特拉萨铁矿选厂的尾矿,在给矿品位13~15%时,经一次粗选即可得到品位60~62%的精矿,尾矿品位5~6%,回收率67%。整机有4个极,每个极处理能力为181t/h。苏联和捷克斯洛伐克合作已研制成功VWS型高梯度磁选机,转环直径2 m,处理量达到100t/h。

在第10届国际选矿会议上还发表一种称作“铁轮”的永磁高梯度磁选机。磁体采用钕铁硼合金磁铁,磁场强度在1 T以下,与处理能力相同的电磁高梯度磁选机相比,具有造价低、重量轻、能耗低和不易堵的优点,但至今尚未见其工业应用的报道。

超导磁选是一项很有前途的发展方向,具有场强高、电耗低、体积小、重量轻的优点。能够回收极微细的弱磁性矿物。据报导,1989年美国埃利兹公司又研制成功据称是世界最大的、直径3048 mm超导磁选机,已被用来提纯高岭土。

采用联合流程处理贫红矿是80年代新的技术动向。60年代还在盛行的焙烧—磁选工艺在西德、美国和加拿大早已不再应用,只是苏联还有少量应用,但不再发展。新的联合流程的组成是在保证获得优质精矿的前提下,以尽量减少对环境的污染,降低生产成本为出发点的。因此对粗细不均匀嵌布矿石,较多采用重—磁(强磁)联合流程,面对细粒嵌布矿石则采用弱磁—强磁—(反)浮选联合流程,一些老厂也有意朝这个方向进行改造。第16届国际选矿会议上发表的狄旦尼亚选厂将原全浮选流程改造为重选—强磁选流程就是一例。

加拿大安大略菲洛克斯铁矿有限公司(Ontario Ferrox Iron Ltd.)所属选矿厂是处理镜赤铁矿石和铁石英岩的。矿石易解离,含泥量少,磨矿后先用螺旋选矿机丢弃大量尾矿,螺精用Dp—317型强磁选机精选,得到含铁68%以上、含二氧化硅0.3%的超级精矿。该厂建设成功后引起广泛注意。加拿大卡特尔湖(Port Cartier)选矿厂也采用了这一流程建厂,年产超级精矿400万t。

弱磁—强磁—(反)浮选流程最适合处理假象赤铁矿石。利用弱磁和中磁机首先将强磁性矿物选出,既可得到部分粗精矿,又可避免强磁机堵塞。然后将弱(中)磁及强磁选的精

矿合并，送（反）浮选精选。由于强磁选丢弃了大量矿泥，改善了浮选条件，故可大量减少药剂消耗。为了节约磨矿费用，磁选作业还可在粗磨条件下进行，混合粗精矿再送磨矿，此时矿量已大为减少。美国认为这种流程应是处理红矿的动向性方案。苏联也开展了这方面的研究，但对浮选作业因苏联淀粉供应困难，倾向于采用正浮选。

除此之外，国外处理红矿尚有采用重—弱磁选，重—浮选、弱磁—浮选及重—强磁—电选等联合流程。这些都是根据各厂所处理的矿石的特性而被采用的，缺乏代表性和普遍意义。例如加拿大瓦布什（Wabush）选厂处理的矿石，其中除含镜铁矿等弱磁性矿物外，还含有软锰矿和硬锰矿，锰品位最高达8%，利用螺旋选矿机，弱磁选机和强磁选机选出混合精矿后，再依据铁、锰矿物导电性差异，在电选机中将其分离，由于电选前须对给料加以干燥，费用高，所以在其他选厂的联合流程中均避免采用之。

我国的红矿选矿可以追溯到1926年在鞍山建立起磁化焙烧炉、开始采用焙烧—磁选法处理算起，目前鞍山烧结总厂仍保有50 m³竖炉30座，60年代以后相继在包钢、酒钢及齐大山选厂建立起一批焙烧炉。现焙烧炉总数已达100多座。多年的应用积累了丰富的经验。酒钢的炉容扩大到100 m³，近年还进一步改造成双层燃烧室，提高设备处理能力。焙烧矿疏松易碎，易磨易选，分选指标高，但这种方法毕竟存在着热耗大、劳动环境差、选矿成本高等缺点，已不是今后的发展方向。

铁矿石浮选，我国早在1958年10月就在鞍钢东鞍山建成年处理假象赤铁矿石500万t规模的选厂。比世界最早建成的洪堡特铁矿浮选厂只晚三年。东鞍山浮选厂采用氧化石腊皂、塔尔油作捕收剂，经过一次粗选、三次精选，得到品位62%的铁精矿，回收率70%左右。流程简单，便于操作。但精矿品位和回收率均不够高，精矿浓缩过滤也有困难，是我国比较重要的有待攻关解决的红矿选矿难点。

阳离子反浮选在我国开展研究也较早。1979年在鞍钢烧结总厂最早建起了反浮选车间，用于提高磁选精矿品位。采用合成十二胺作捕收剂，可将精矿品位由61~62%提高到65~66%，作业回收率97~98%。

我国用重选处理红矿也早在50年代就开始了，初时曾用苏制双联三层摇床分选马钢南山铁矿石，效果不佳。马钢姑山铁矿也曾采用过跳汰—螺旋溜槽—离心选矿机单一重选流程处理红矿。昆钢上厂铁矿曾建立起以离心选矿机为主体的重选流程。但因我国红矿多数浸染过于微细，而现有重选设备对微细粒级又难以有效分选，以致造成金属流失大，回收率不高。现已证明，单一重选处理微细浸染红矿是不适宜的，只有在适当地纳入到联合流程中之后，重选才发挥它的效能。

到70年代，强磁选在我国获得重大发展。许多研究机关、高等院校及生产厂矿都提供了各自研究的强磁选机，且类型繁多。现已定型的产品有ShP系列（仿琼斯型）、SQ C系列（低电压、大电流、内水冷式）、CHG高梯度系列以立环式系列。近年中南工业大学又研制成功Slon—1000立环脉动高梯度磁选机，可以有效地防止介质空间堵塞，并可提高精矿品位。根据规划，新建鞍钢调军台选厂将采用 $\varnothing 3200$ mm双平环强磁选机12台。该机采用新型磁系结构，磁感应强度要求达到1.7T。我国在强磁选机研制方面不论是规格还是性能，均已接近于国际先进水平。

强磁选机的研制成功和新型重选设备（如螺旋溜槽）的出现，打破了人们认为流程越简

单越好的旧观念。开始了走多种工艺联合的道路，这种动向和国外是一致的。

马钢姑山选厂1986年开始采用由跳汰（处理-12+5 mm粒级）、CS-1型感应辊（处理-5 mm粒级）、SQ C强磁选机组成的重-磁流程，以代替原来的跳汰-螺旋选矿机-离心选矿机全重流程，精矿品位由55%提高到57%，回收率由58%提高到75%，效果十分显著。鞍钢所属处理假象赤铁矿石的选矿厂，经过多年摸索，形成了两种带有强磁、重选的阶段选联合流程。一种如弓长岭重选车间流程中强磁选设在一段磨矿后，抛弃低品位最终尾矿，强磁精矿用细筛和螺旋溜槽精选，选出产率约20%、品位65%的最终精矿，中矿送再磨。磨后细粒级用弱磁筒和离心选矿机选别。另一种以齐大山选厂粉矿车间流程为代表，中、强磁选设在第二阶段磨矿后，控制排出低品位最终尾矿。第一段磨矿后用螺旋溜槽选出部分最终精矿和尾矿。中矿及螺旋边尾送再磨，细粒级用中、强磁场磁选机控制抛尾，强磁精矿及弱磁尾矿用弱酸性正浮选选别。两种流程在第一段粗磨后经过选别均可将得到部分最终精矿及部分最终尾矿，剩下占原矿量近1/2的中矿送二段球磨再磨再选，因而实现了一、二段球磨机按2:1配合。这是合理利用鞍山地区矿石粗细粒级不均匀浸染特性的结果，既节约了能耗又便于精矿脱水。这对处理类似矿石很有参考价值。包钢选矿厂处理中贫氧化矿的系列也决定采用弱磁-强磁-反浮选流程进行技术改造，新建鞍钢调军台选厂经过多种流程试验对比，初步认定也是以重选-强磁-浮选流程为合理。至于处理复合铁矿石自当更要采用联合流程，预计这一发展趋势今后还要持续下去。

当前我国的红矿选别指标还比较落后，精矿品位不高，回收率也低；青矿选别指标好一些，但与国外先进指标相比，多数选厂还有差距。其中重要原因是我国的矿石贫而且浸染微细，直到现在我们还缺乏对付细泥的选矿设备或工艺。强磁选设备对分选-20~30 μm 矿泥效果很差，而重选设备对-20 μm 矿泥也显得无能为力，因此研究细泥的分选工艺成为当前提高选矿技术指标的关键。一些研究单位和高等院校正在从事这方面的工作，比较起来，絮凝-脱泥-（反）浮选、絮凝-重选是优先考虑的方案，此外还研究了磁种（磁罩盖）分选，超导磁选等。但这些研究至今还多停留在试验探讨阶段，尚需时日才能尽快转化到生产中来。

五、加强以节能、综合利用和环保为导向的技术发展

衡量一个企业的经营水平，除了要看它的产品数量和质量指标外，还应考查它的生产消耗、潜在效益的发挥及对社会的影响。因此与国外选厂对比考查一下我国铁矿选厂的能耗和钢耗，矿石的综合利用，以及对环境污染的控制水平等应是有意义的。

据估算，我国冶金工业的能耗约占全国总能耗的14%，钢铁生产的能耗占3%，黑色冶金矿山生产的能耗约占钢铁生产总能耗的4%。而选矿能耗则占矿山企业能耗的65~70%。

选矿生产的能耗有50~60%消耗在磨矿作业中，与国外相比，我国每磨碎一吨矿石的电耗是25~50 $\text{KW}\cdot\text{h}$ ，而美国是16~24 $\text{KW}\cdot\text{h}$ ，加拿大是20~40 $\text{KW}\cdot\text{h}$ ，差距很大。所以我国选矿工作者一直把注意力放在磨矿节能上。经采取多碎少磨，改进磨机衬板，调整球荷和操作条件等，已收到一定效果。但仅此一方面还是不够的。选矿厂的节能途径是多样化的，扩展开来看，可有如下一些内容：（1）设备大型化；（2）设备结构的完善；（3）矿石

预选；（4）流程改进；（5）合理的操作条件以及其他等等。

采用大型设备能够显著地降低作业能耗。例如选用大型浮选机可使动力消耗降低35~40%，并可降低维修费、安装费和占地面积。因此国外在建设大型选厂时尽力采用大型设备。但研制大型选矿设备的趋势到80年代已经停止，转而开始研制低耗的破磨设备，如离心式磨机、塔式磨机等。

在国外，一般认为，一个选厂以设置3~6个系列为宜，这样会便于管理和自动控制。建国初期由于缺少大型磨机，不少选厂设置了10余个系列，增加了能源消耗。现在这种情况已有所改变，新建调军台选厂年处理原矿1700万t，将只建6个系列，采用 $\varnothing 4.57 \times 6.1$ m棒磨机、 $\varnothing 5.03 \times 6.4$ m球磨机，容积28m³浮选机、 $\varnothing 3.2$ m双盘强磁选机、 $\varnothing 75$ m浓缩机等，向设备大型化迈出了一大步，基本适应了我国现在建厂规模的需要。

近年国外很注意改进破碎机的结构型式。苏联研制的K BK Д A1200/200型粗碎机比普通旋回破碎机节电15%，机重也小很多。我国也注意到了这样的问题，开始改进鄂式破碎机的腔型，开发塔式磨机和离心式磨机等，但还只限于小规格设备，要显示出节能的效果只有研制成大型设备。

国外也很注意改进球磨机和棒磨机衬板的结构型式和材质。对瀑落式工作的磨机采用了带提升隔板的衬板，以减少钢球在衬板上的滑落。奥地利、美国、西德等国家还采用一种带沟槽的衬板，使钢球与衬板间不再是点接触，而是呈线接触，充分发挥粉碎作用。对瀑落式工作的磨机，则改用小球作介质，增大表面积，充分发挥磨剥作用。我国在磨机衬板和装球上也做了不少工作，但收效尚不显著。前一阶段吸收水泥厂管磨机的经验，试用了圆角方形衬板，试验结果欠佳，还有待进一步研究。

减少钢耗实质也是节约能耗。据统计，我国铁矿选矿厂为制造磨机衬板每年需高锰钢3万t以上，制造钢球需28万t。磨机衬板单位钢耗平均达0.25kg/t，美国只有0.05kg/t；球（棒）单位钢耗在我国平均1.2~2.0kg/t，美国约为0.85kg/t。我国钢耗大的原因主要是材质选择不当。据研究，湿式磨矿的钢耗有40~50%是腐蚀作用引起的。因此，应注意采用抗腐蚀材料，如高铬铸铁、橡胶等。诚然，这在国内也有所进展，但橡胶衬板尚未得到广泛应用。

矿石的预选也是节能和提高选厂处理能力的有效措施，这是人所共知的。国外已经广泛采用，并因此挽救了一些濒于倒闭的矿山。据认为，在青矿中围岩含量超过10%、红矿中围岩含量超过15%时，利用弱磁选或重介质选预选，在经济上是划算的。我国青矿的预选已相当普及，也相应地制造了大规模磁滑轮和筒式磁选机。红矿的预选虽然有辊式强磁选机、大粒度跳汰机在应用，但只限于粒度不大的矿石。对大块矿石（75mm）尚缺少有效的办法，有待于进一步研究。

适当地改进选矿流程地可取得节能、降低生产成本的效果。鞍钢所属选矿厂（包括磁铁矿选矿厂）在采用阶段磨矿于粗粒条件下选出部分精矿和尾矿后，减少二段磨矿量，实现球磨机2:1甚至是3:1，可算是流程改革的一个成功范例，值得推广。

从改善作业条件入手节约能耗，在我国选矿厂还有很大潜力。如进一步推行多碎少磨，改三段一闭路破碎流程为三段二闭路，合理确定球磨机循环负荷、改水力分级细筛为分级提高分级效率、推行尾矿高浓度输送等，均为可行措施，应当尽早研究实施。

有关复合铁矿石的综合回收对我国有特殊的意义，一些矿山伴生成分的价值超过了铁分

的价值。这既是“上帝”的恩赐也是对我国选矿工作者的挑战。许多矿山在建厂初期对综合回收研究不够，需在建厂后补充完善。多少年来经过不懈努力已经取得很好的效果，但在某些矿山，如包钢选矿厂，问题还没有根本解决，需要继续努力，应将可以回收的成分尽量选收回来，以增加经济效益。

尾矿在国外被视作第二资源，对它的开发利用已达到相当高的程度。据苏联的研究，选矿厂排出的尾矿有60%可用作建筑材料。苏联、美国、加拿大等国早在60年代就利用尾矿生产建筑材料和其他制品，不少的选矿厂已实现了无尾矿生产。在我国，据冶金部矿山司1988年对34个重点选矿厂调查，年处理原矿石1.046亿t，排出尾矿6223万t，尾矿库存量已有5亿 m^3 以上，达到了尾满为患的境地，如能适当开发利用，不仅可以增加收益，而且可以解决大量占地问题。

近年我国已开展了对尾矿组分、粒度组成和物理特性的调查分析，研究查明，其应用范围可扩展到建筑材料，陶瓷制品，玻璃原料，化肥生产，以及各种工业制品的渗和料。目前有的选矿厂已开始了工业生产，如安徽黄山铁矿利用尾矿制成了墙面砖，鞍山矿山公司与鞍山建材研究所合作用冷法制造了养护砖，可用于民用建筑。但总的来看，这项工作还只是刚刚起步，未来还有大量工作要做。

环保问题在世界范围被提到战略高度，在我国也被定为基本国策之一。选矿厂排放的废水，尾渣和粉尘是重要的污染源。许多有选矿厂的地方，河水变色，鱼虾绝迹，天一刮风，尾砂飞扬，环保部门紧追不放，许多选矿厂连年遭罚。但至今很少得到有效解决。在资本主义国家有严格的法律控制，苏联是十分重视的。据报道，苏联在过去的五年计划中（1981~1985）仅在有色金属矿山就投资了840万卢布用于环保设施建设，设置了处理能力为900,000 m^3/d 的污水净化设施，3,007,000 m^3/d 的回水系统，3400百万 m^3/h 的气体净化设施。工业用新水每年减少20%，达460百万 m^3 ，循环用水量从75.3%增加到84.1%，污水排放量每年减少40%达400百万 m^3/a 。第十二个五年计划（1986~1990年）规定，还要继续加强这方面的工作，为此制订了科学研究规划，仅在保护大气和水源方面科研费用就有2500万卢布。对比之下，我国在矿山环境治理上投入是太少了，因此也收效不大。但是必须知道，今天对环境的破坏，明天将遭到更严重的惩罚。

结 束 语

我国的铁矿石选矿工业经过40年的建设，特别是近10多年的大发展，已经形成了从生产、科研、设计和设备制造的完整体系。尽管在某些方面与先进的工业国家相比还有差距，但这是发展中的不足。可喜的是，我们已经摆脱了对外国的依赖，并在很大程度上走出了模仿外国技术的阶段，有了我们自己的发明创造。因此在不少方面已经达到或接近于国外先进水平。中国的冶金矿山工业仍然处在发展时期，给选矿提出的难题还很多，选矿工作者任重而道远，但是，只要我们团结一致，在党的领导下努力工作，预计选矿技术达到国际先进水平是为期不远的。

（作者单位 东北工学院）