

北京图书馆藏

21392

中文资料

美国铁矿石选厂

马鞍山矿山研究院技术情报研究室

73.20.11
2

美国铁矿石选厂

马鞍山矿山研究院技术情报研究室

A793832



前 言

英明领袖华主席指示我们：科学要兴旺发达起来，要捷报频传。还指出：有毛泽东思想，有毛主席制定的革命路线，有社会主义制度，有现在这样一支科技队伍，有八亿勤劳勇敢的人民，我们应当有信心赶超世界先进水平。全国人民积极响应华主席、党中央的号召，决心把毛主席、周总理规划的四个现代化的宏伟蓝图，在本世纪末变成辉煌灿烂的现实。在这样大好形势鼓舞下，遵照伟大领袖和导师毛主席关于在经济上“**超过美国，不仅有可能，而且完全有必要，完全应该**”的教导，为了适应冶金矿山生产建设的发展和赶超美国的需要，我们编写了《美国铁矿石选厂》，供冶金工业战线的各级领导、工人和技术人员参考。

美国现有铁矿石选厂44个。在编写过程中，我们尽量地收集了从五十年代起到最近为止在国外期刊和特种文献中发表的有关美国铁矿石选厂的资料，综合编写了18个主要选厂，其中磁铁矿选厂10个，弱磁性铁矿石选厂3个，复合铁矿石选厂5个。剩下的26个选厂绝大部分是洗矿和重选厂，由于资料不全未编入本书之中。

每个选厂编写的主要内容一般包括概况（地理位置，建厂前的选矿试验研究情况，建设速度，生产能力，职工人数等），矿石性质，破碎、磨矿和选矿工艺流程及设备，自动控制，生产技术经济指标等。这些内容基本上反映了美国铁矿石选厂现在的生产技术水平 and 装备水平。但因受到资料的限制，各选厂编写的项目不尽相同，详简程度亦有差别。

由于我们学习马列主义、毛泽东思想不够，业务水平较低，加之时间仓促，收集资料不全，定有不少缺点和错误，热诚希望批评指正。

马鞍山矿山研究院技术情报研究室

一九七七年十一月

目 录

美国铁矿石选矿现状及发展趋势	(1)
----------------------	-------

磁铁矿选厂

1. 铁泉选矿厂	(21)
2. 银湾选矿厂	(30)
3. 伊里选矿厂	(35)
4. 大西洋城选矿厂	(48)
5. 恩派尔选矿厂	(55)
6. 费尔莱恩选矿厂	(61)
7. 巴特勒选矿厂	(67)
8. 耐雄纳尔选矿厂	(73)
9. 明塔克选矿厂	(77)
10. 希宾选矿厂	(84)

弱磁性铁矿石选厂

11. 共和选矿厂 (加温浮选)	(89)
12. 森赖斯选矿厂 (重选)	(97)
13. 蒂尔登选矿厂 (絮凝浮选)	(103)

复合铁矿石选厂

14. 麦金太尔选矿厂 (钛磁铁矿)	(112)
15. 鹰山选矿厂 (磁—赤铁矿)	(120)
16. 格雷斯选矿厂 (含硫磁铁矿)	(131)
17. 格罗夫兰选矿厂 (磁—赤铁矿)	(139)
18. 皮·里奇选矿厂 (含硫、磷磁—赤铁矿)	(146)

附 表

美国铁矿石选厂主要生产技术指标简表	(154)
-------------------------	---------

美国铁矿石选矿现状及发展趋势

一、铁矿资源和铁矿石产量

据美国地质调查所资料,美国铁矿工业储量约90亿吨,远景储量916亿吨。工业储量约占世界铁矿总储量的4%。

美国铁矿床主要为沉积变质矿床(相当于鞍山式),它在各种类型矿床中占76.1%,其余为沉积矿床和岩浆矿床等。铁矿资源的74.2%集中分布在苏必利尔湖地区—明尼苏达、密执安和威斯康星州,其中以明尼苏达州的默萨比铁矿区最大。默萨比矿床位于明尼苏达州的东北,长约160公里,宽3—16公里,铁矿床层厚120—230米。矿床由前寒武纪的燧石建造的铁矿层组成。铁矿物以磁铁矿、赤铁矿为主,伴生有褐铁矿和含铁硅酸盐矿物。该矿床东部,含铁建造受变质作用,主要是磁铁矿,具有硬度大,嵌布粒度细而均匀的特点,中西部受氧化及淋滤作用,形成为磁性及弱磁性高品位富矿。富矿在五十年代基本采完。据1974年资料,在默萨比东端平均含磁铁矿25%的铁燧岩约占15亿吨。品位为22%的适于露天开采及选别的磁性铁燧岩储量为50亿吨,埋藏深度达240—450米,需地下开采的达310亿吨。

据1975年的统计,美国有铁矿矿业公司35家,66个矿山(露天60个、地下6个),44个选矿厂,21个球团厂。另有3个副产铁矿石的矿山,其产品仅占全国的1%。

美国铁矿矿业公司有两类:一类是属于一个或几个钢铁公司的;另一类是独立经营专门生产铁矿石的,但多数的钢铁公司在这些独立经营的矿业公司投资,并订有长期供矿合同。从产量看,后者比重较大。例如,1976年美国自产铁矿石7800万吨,其中汉纳、克里夫兰—克里夫斯、皮坎德·马瑟(包括伊里)及里谢夫等4个主要专业铁矿矿业公司所属的国内矿山部分的产量即达4,623万吨,占59%。

近十余年来,美国成品铁矿石产量一直在8,000万—9,000万吨之间徘徊。1975年,开采原矿2亿1千8百万吨,生产成品铁矿石为8,200万吨,占世界总产量的9.4%,居世界第三位。明尼苏达州产量最大,占美国铁矿石总产量的69%,密执安州占13%,其余产自其他18个州。铁矿石产品中,球团矿(含铁61—66%、 SiO_2 2.6—8.75%,平均6.6%)占72%,其余为精矿及直接入炉矿等,一般生产1吨球团矿约需3吨原矿。

自七十年代以来,美国进口铁矿石约占消费量的30%左右。如1975年,产钢1亿1千6百80万吨,共消耗铁矿石1亿零6百20万吨(另外消耗废钢8,220万吨),其中自产矿石7,080万吨,进口3,540万吨,球团矿占6,800万吨。进口铁矿石主要来自加拿大,其次为委内瑞拉、巴西、利比里亚及其他国家。

为了满足钢铁生产对铁矿石的需要,美国正在扩建5个和新建两个采、选、球团联合企业。到1975年止,美国球团矿的年生产能力为6,820万吨,目前正在扩建和新建的能力为2,750万吨,将于1980年左右达到9,570万吨。预计到1980年,国内消耗的矿石中

自产矿石将占三分之二,其中85%为球团矿;其余三分之一要从加拿大(约3,500万吨)及其他国家(1,600万吨)进口。

美国自五十年代以来的钢产量与铁矿石供应情况以及到1980年为止的发展趋势见图1。

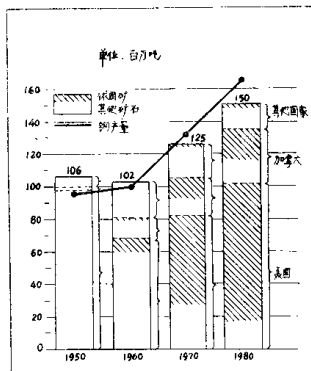


图1 美国钢产量与铁矿石供应量

二、铁矿选厂生产概况

美国在五十年代以前,同世界其他主要产钢国家一样,对铁矿石的开发利用以天然富矿为主。据1951年统计,当时美国铁矿石平均开采品位为49.5%。美国铁矿石主要产地默萨比矿区自1892年开始开采以来,一直选择开采品位为50%以上的富矿。这种矿石一般不需要选矿,仅在个别情况下需要破碎、筛分、洗矿或采用重介质选别。但进入五十年代以后,富矿日益耗尽,被迫大规模开采和利用储量大的贫铁矿石,结果所采矿石平均品位大幅度下降,到1971年开采品位已降至34%,因而矿石入选比例逐渐增加。美国1957年入选的矿石占60%,1962年升到84.5%,1975年则升到94%。产生这种情况的原因除因富铁矿日益耗尽需利用贫矿资源外,也由于钢铁工业对入炉矿石质量的要求日益提高,目前美国一般要求入炉矿石含铁65%以上, SiO_2 6%以下,以降低焦比,提高高炉利用系数,取得较好的经济效果。

美国1975年有铁矿选厂44个,其中处理磁铁矿的选厂13个,处理弱磁性铁矿选厂(包括洗矿厂)23个,处理复合铁矿的选厂8个。磁铁矿选厂主要采用弱磁场磁选流程,均系1955年后建成的,其中年产精矿超过1,000万吨的大型选厂有3个,年产精矿210—350万吨的4个,处理粗粒弱磁性铁矿的选厂主要采用重选,处理细粒弱磁性铁矿

的选厂采用浮选。处理弱磁性铁矿选厂中除1974年投产的蒂尔登浮选厂及原有的1个浮选厂规模较大外，多为中小型重选厂或洗矿厂。复合选厂主要是处理磁—赤铁矿石或伴生其他有用金属的铁矿石，一般采用磁—重、磁—浮或磁—浮—重联合流程。美国主要的铁矿选厂本书将分别介绍。

美国铁矿选厂的总生产能力为年处理原矿2亿1千1百50万吨左右，年产精矿约8,000万吨。成品矿石中，磁选精矿（包括用磁选精矿制成的球团矿）占68%，浮选精矿9%，重选精矿15%，其他（包括洗矿等）6%，富矿2%。全国铁矿山和选厂、球团厂职工总数共计2万人。以1976年自产成品矿石7,800万吨计算，矿山（包括采、选、球团）全员劳动生产率为3,900吨/人·年。

美国在对低品位铁矿石的开发利用上，是本着先磁后赤，先易后难的原则。目前主要是开采和处理默萨比矿区的低品位磁性铁燧岩，它已成为美国铁矿石的主要来源。美国对低品位铁燧岩的利用进行了多年的研究。从试验研究到工业化花了三十多年的时间，1955年在默萨比矿区东部建成第一座铁燧岩选厂——银湾选矿厂。随后伊里选矿厂也在该地区建成投产。从此，到1975年止在默萨比地区陆续建设了6个大型铁矿业企业。1975年起又在建设两个新的选厂。到1978年，3个扩建的和两个新建的矿山（包括采、选、球团）完成后，球团矿综合生产能力将从现有的4,120万吨提高到6,500万吨。由于默萨比地区低品位铁燧岩得到利用，扩大了美国铁矿资源储量，为美国钢铁工业提供了新的原料来源。目前美国磁性铁燧岩的最低可采品位已低至22%，一般矿山可采品位为25—30%，所产矿石经选别后，可获得60~66%的优质铁矿石。

到目前为止，美国对细粒嵌布的弱磁性铁矿开采和利用还较少，但随着弱磁性磁铁矿技术的发展，处理量在不断增加。由于这类矿石（在美国称为弱磁性铁燧岩）在美国储量很大，从长远看对其开发利用势在必行，因而美国非常重视其开发利用问题。美国对默萨比和马克特等矿区的微细嵌布弱磁性铁燧岩的选矿问题进行了多年的研究，曾进行了浮选、强磁场磁选、焙烧—磁选及强磁选—反浮选等流程的试验研究。经过二十五年的实验室试验，半工业和工业试验，1974年成功地将“絮凝脱泥—反浮选”法用于工业生产，在马克特矿区建成了年处理量1060万吨，年产精矿400万吨的蒂尔登浮选厂。蒂尔登矿床的开发为处理微细粒赤铁矿开辟了一个途径。美国仍在继续进一步研究处理细粒和微细粒弱磁性铁矿的选矿方法及经济合理的工艺流程。目前正在研究的有絮凝脱泥—反浮选—强磁选、强磁—反浮选联合流程及改进的絮凝脱泥—反浮选流程。

美国铁选厂所生产的精矿，绝大部分都送入球团厂造球后再供给高炉使用。这是因为细粒嵌布的磁性或弱磁性铁燧岩，需要细磨才能解离，细磨精矿不宜烧结，另外球团矿的强度高，于是大力发展球团生产。目前美国半数高炉炉料中球团矿比例占55%，15%的高炉达80%。据报导，利用优质球团矿炼铁，可节省10~15%的溶剂和焦炭，并可使高炉产量提高40~50%。

美国选厂精矿品位高，无论是磁选厂或是浮选厂，精矿（球团矿）品位在64.5%以上，平均含 SiO_2 6%。少数选厂，如皮里奇选厂球团矿品位高达69%， SiO_2 为2.1%。重选厂的精矿品位较低，一般在60%以下。

近年来，美国铁矿选厂日益向大型化和自动化的方向发展。七十年代新建的蒂尔登、希宾及米诺卡等三个选厂及球团厂，球团矿生产能力分别为540万吨、400万吨及260

万吨，均采用电子计算机进行集中控制。美国选厂在增加新的生产能力上，主要靠扩建和改造，他们认为扩建比新建在经济上要合算得多，建设速度也快得多。一些老厂大部分经过扩建，大大增加了生产能力。如六十年代末期建成的明塔克选厂和球团厂，经两次扩建，将于1977年末达到年产1800万吨球团矿的能力。

美国矿山（包括采、选、球团）建设周期已较过去大为缩短。例如五十年代中期建成的银湾选厂与球团厂，设计生产能力为年处理原矿1200万吨，从1951开始施工，1955年投产，建设时间近五年。而在七十年代建设的三个厂，建设周期一般为三年左右。例如希宾选厂，设计的生产能力为年处理原矿1900万吨，从1973年9月动工，1976年第三季度投产。美国在选厂设计前，一般都进行小型试验，半工业和工业试验，以半工业和工业试验为重点，为设计提供了可靠的依据，所以绝大多数选厂投产后才能很快地达到或接近设计产量和指标，有的还略有超过。

三、选矿工艺现状及发展趋向

美国目前在工业生产中已利用的矿石有磁铁矿、弱磁性铁矿和复合铁矿三种。根据矿石性质的不同而采用不同的方法处理。现有选厂的破碎流程根据所有磨机而不同。采用棒磨和球磨的选厂一般是用三段破碎，少数选厂用四段破碎；采用自磨机的选厂则用一段破碎。磨矿为两段或三段。磁铁矿用弱磁场磁选，弱磁性铁矿用浮选或重选，复合铁矿用重选—磁选、磁选—重选或磁选—浮选联合流程。

（一）破碎和磨矿

现有铁矿石选厂的破碎流程根据所有磨机而不同，采用棒磨和球磨的选厂一般用三段开路或三段一闭路流程，少数选厂用四段开路流程。最终的破碎粒度为-19毫米。采用自磨机的选厂通常用一段开路破碎。

现有选厂的磨矿流程多数是两段，第一段为开路，第二段为闭路，也有第一、二段均为闭路的。少数选厂采用三段磨矿，第一段为开路，第二、三段为闭路。目前，磨机的配置流程有四种：棒磨—球磨，自磨—球磨，自磨—砾磨，自磨—细碎—砾磨。

皮坎德·马瑟公司的研究结果表明，自磨—球磨流程与棒磨—球磨流程相比，投资可以降低16%，生产费用可以降低15%；自磨—砾磨流程的投资虽然接近于棒磨—球磨流程，但生产费用较低，然而，当它与自磨—球磨相比较时，生产费用需三年以上才能显示出它的优越性。

上述四种配置流程中，自磨—细碎—砾磨流程是值得重视的一个方案，它的特点是将自磨机排出的大块以及多余的砾石用破碎机破碎后返回，这样对于消除“顽石”更为有效，在大约占原矿5~10%的排料经破碎后返回的情况下，自磨机的处理能力可提高20%左右。美国蒂尔登选厂采用了这种流程，该厂安装了6台湿式自磨机和12台砾磨机，中间破碎系统安装了2台重型短头圆锥破碎机。这种流程不仅在美国得到了应用，在其他国家也被采用，例如苏联北部采选公司选矿厂第三期工程的设计中也采用了这种流程。

目前采用棒磨—球磨流程的铁矿石选厂在美国仍占多数，除五十年代建成的伊里、银湾、共和等老选厂仍保留这种磨矿流程外，新建选厂也有采用的，例如六十年代末期建

成的明塔克选厂和目前正在建设中的米诺卡等大型选厂仍采用棒磨—球磨流程。

(二) 选矿

1. 磁铁矿的选矿

截至1975年为止,美国有磁铁矿选矿厂13个,都是处理细粒和微细粒嵌布的磁铁矿。现在的生产技术指标:原矿铁品位30~36%,精矿铁品位65~68%,铁回收率64~70%,磁性铁回收率93~96%。

选厂现用的选别流程有三种:第一种是单一磁选流程;第二种是磁选—反浮选流程;第三种是磁选—细筛流程。

对于容易得到高品位精矿的矿石,一般采用单一磁选流程。目前采用单一磁选流程的选厂有6个。例如希宾选矿厂,1976年末投产,生产能力为年处理原矿1900万吨,年产球团矿540万吨,采用一段自磨和两段磁选的单一磁选流程(见86页图3),原矿品位35%左右,精矿品位65~68%,铁回收率66.6%,磁性铁回收率96%。

对于获得高品位精矿难度较大的矿石,一般采用磁选—反浮选或磁选—细筛流程来达到获得高品位精矿的目的。

磁选—反浮选流程是六十年代初期和中期发展起来的。采用这种流程的选厂目前有两个。在这种流程中是将磁选精矿再用阳离子捕收剂浮选出夹杂的石英和石英与铁矿物的连生体,选出的连生体有的返回再磨再选,有的作为尾矿丢掉,采用这种流程可将含铁63%左右的磁选精矿提高到65%以上。例如恩派尔选矿厂,1963年10月投产,生产能力为年处理原矿1700万吨,年产球团矿530万吨,采用两段磨矿、两段磁选和磁精的反浮选流程(见55页图2)。原矿品位34%,磁选选得的精矿品位64%左右,含 SiO_2 8%左右。然后用胺盐作捕收剂从中浮选出石英和铁与石英的连生体,使精矿品位提高到66%左右, SiO_2 降低到6%左右。浮选作业回收率97~98%。反浮选泡沫作尾矿丢掉,品位为21%左右;对原矿的铁回收率为68%左右,磁性铁回收率93%左右。浮选用阳离子捕收剂 ADM MG—62 4.6~23克/吨,用甲基异丁基甲醇起泡剂23克/吨。

磁选—细筛流程是1967年在美国研制成功的,首先在伊里选矿厂使用,然后逐渐推广,现在采用这种流程的选厂已有5个。在这种流程中一般是将第二段磁选的精矿用击震细筛筛出夹杂的粗粒石英和石英与铁矿物的连生体,连生体再磨再选。有的选矿厂是将连生体返回第二段磨机再磨,有的是单独再磨再选。至于返回还是单独再磨是根据需要再磨的矿量及第二段磨机的能力而定;细筛筛下产品有的直接作为最终精矿,有的用磁选再选;采用这种流程一般可将含铁63%左右的磁选精矿提高到65%以上。例如巴特勒选矿厂,1967年投产,生产能力为年处理原矿650万吨,年产球团矿280万吨,采用两段磨矿、两段磁选和两段细筛的流程(见69页图2)。原矿品位32%,磁选精矿品位66%左右,经两段细筛筛出连生体返回第二段磨机,筛下产品即为最终精矿,铁品位68%左右, SiO_2 降低到4%左右。

美国选厂的生产实践表明,对于获得高品位精矿难度较大的磁性铁燧岩,采用磁选—反浮选或磁选—细筛流程都是有效的途径。但是,根据当前的发展动向来看,细筛发展较快,有取代反浮选的趋势。美国从1955~1967年投产的10个大型磁铁矿选厂中,只有两个采用阳离子反浮选,有5个选厂在改造中增加了细筛作业,有3个既未用反浮选也未用细筛。1974年默萨比地区的磁铁矿选厂用磁选—细筛流程生产的精矿量占该地

区磁铁矿精矿总量的一半以上。

细筛发展较快的原因，主要是细筛与反浮选相比有以下优点：（1）细筛再磨系统的基建费用少；（2）细筛的生产费用低，只占反浮选的10%左右；（3）增设细筛作业可以及时筛出单体分离的铁矿物，这样就可减少或避免过磨；（4）反浮选有废水的污染问题，细筛则无；（5）细筛能达到与反浮选同样降低二氧化硅，提高精矿品位和提高产量的目的。细筛也有缺点，如筛网磨损较快，由于筛孔较细，筛面的加工较难等等。

美国磁铁矿选厂的特点是不断地对工艺流程进行改革，采用有效措施强化工艺流程，生产的精矿品位较高，特别是用占震细筛的强化措施，目前来说是较好的一种方法，它与苏联采用多段精选措施比较，工艺流程比较简单，而且可以把已单体分离的铁矿物及时筛出去，这样就可避免矿石过磨，减少细磨的矿量，所需的设备少，节省电耗。例如美国伊里选厂年处理原矿3000万吨，全厂36个系列，采用三段磨矿、四段磁选和二段细筛流程。在第二段分级溢流粒度为77—78%—0.044毫米的情况下，经磁选和细筛处理后可分出占精矿总量60%的最终精矿，只有部分矿量单独再磨再选。因此，全厂再磨系统只用3台 3.7×7.3 米球磨机。苏联英古列茨No.1选厂，年处理原矿1700万吨，全厂共8个系列，入选的原矿性质与伊里选厂基本相似。英古列茨No.1选厂采用三段磨矿、五次磁选流程，在第二段磨矿分级（粒度78%—0.074毫米）之后没有采用有效措施拿出精矿，只丢掉尾矿，因此进入第三段磨矿的矿量较多，所以在第三段磨矿采用 3.6×5.5 米球磨机8台，另外磁选机和辅助设备也相应的多。

美国磁铁矿选厂的缺点是侧重在提高精矿品位，对回收率不太重视，铁回收率普遍较低。回收率较低的原因，一方面是由于矿石中有较多弱磁性铁矿及硅酸铁，而对弱磁性铁矿没有回收措施，另一方面与工艺流程也有关系。例如苏联英古列茨No.1选厂与美国伊里选厂处理的矿石性质基本相似。伊里选厂入选矿石中的磁性铁含量占全铁的74.7%，呈弱磁性的铁及硅酸铁占全铁的25%左右。英古列茨选厂入选矿石中的磁性铁含量占全铁的75.5%，呈弱磁性的铁及硅酸铁占全铁的24.5%左右，两个选厂的磁性铁回收率相等，但铁回收率相差较大，伊里选厂为70%，英古列茨No.1选厂为77.92%。造成这种差距的主要原因是选矿工艺流程方面有所不同，英古列茨选厂在多段精选的同时加强扫选，当各段磁选尾矿品位在17%以上时，即使量不多，均进行扫选。而伊里选厂当磁选尾矿品位高达22%时也不进行扫选而直接作为尾矿丢掉。在多段精选中增加扫选作业，当然使流程变得复杂一些，但对提高铁回收率有利，特别是对于含有一些弱磁性铁矿物的磁铁矿，其中磁铁矿与弱磁性铁矿物的连生体在扫选过程中将有更多的机会被回收。

2. 弱磁性铁矿的选矿

美国现有的弱磁性铁矿选厂23个（其中一个厂选矿方法不详）。一般是采用洗矿、重选和浮选三种方法。现在的生产技术指标：原矿铁品位35~58%，精矿品位42~65%。

对于风化严重，含泥较多的富矿，一般采用洗矿，目前共有6个洗矿厂。入洗的原矿品位一般为56~58%，经洗矿后可得到含铁54~60%的精矿，例如麦金莱矿，1968年投产，生产能力为日产精矿12000吨，入洗矿石中的铁矿物为针铁矿、赤铁矿和褐铁矿，原矿品位平均为56.5%，经洗矿后的精矿品位为60%。个别洗矿厂处理低品位的褐铁矿和菱铁矿。例如隆斯塔钢铁公司的矿山，1947年投产，生产能力为日产精矿3821吨，入

洗矿石中的铁矿物为褐铁矿和菱铁矿，原矿品位26.68%，经洗矿后可得到含铁42.1%的精矿。

对粗粒散布的低品位弱磁性铁矿石，一般采用洗矿—重选、重选或重选—浮选联合流程处理，目前共有重选厂13个，重选—浮选厂1个。

采用洗矿—重选或重选的选厂，原矿品位一般为30~48%，精矿品位为49~61%。在重选厂中重介质、跳汰和螺旋选矿机用得较普遍。对于含泥较多的矿石，一般是先洗矿，然后用重介质或跳汰选别。例如卡里斯托矿，1933年投产，生产能力为日产精矿8100吨，原矿石中的铁矿物为针铁矿和赤铁矿，原矿品位为38%，采用洗矿—重介质选矿流程，精矿品位为56%。对于含泥较少的矿石，一般是不经洗矿而直接采用重介质或跳汰选别，或者是重介质和跳汰联合选别。例如森赖斯选厂，1965年投产，生产能力为年产精矿60万吨，入选原矿石中的铁矿物为赤铁矿，原矿铁品位为42%，采用重介质和跳汰的重选流程（见99页图3），精矿品位为48.99%。

对于细粒和微细粒的弱磁性铁矿，目前主要是采用加温浮选和絮凝浮选，现在只有2个这样的浮选厂。现有浮选厂的生产技术指标：原矿品位36~37%，精矿品位64.5~65%，铁回收率70~83%。

共和选矿厂，1956年投产，生产能力为年处理原矿800万吨，年产精矿350万吨，入选矿石中的铁矿物主要是镜铁矿，原矿品位37%，投产时采用常规正浮选，1962年对工艺流程进行了改造，增加了再磨—加温浮选作业，这种工艺是将常规正浮选选得的粗精矿的一部分再磨后，把矿浆加热到98℃，然后进行浮选，这样可以选得含铁64.5%的精矿，铁回收率为83%。浮选用低松脂含量的脂肪酸，如L—5、FA—2和粗塔尔油，用量为454克/吨（详见共和选矿厂）。

蒂尔登选矿厂，1974年投产，生产能力为年处理原矿1060万吨，年产球团矿400万吨，入选矿石中的铁矿物主要是假象赤铁矿，脉石主要是石英，铁矿物的粒度一般平均为10和25微米。原矿铁品位35%，采用絮凝浮选，这种工艺是用玉米淀粉絮凝铁矿物脱去硅酸盐脉石，然后用胶盐浮选石英，用这种浮选法可得到含铁65%的精矿，铁回收率70%（详见蒂尔登选厂）。

从美国现有处理弱磁性铁矿选厂的生产实践来看，采用单一重选处理粗粒弱磁性铁矿所得的精矿品位不高。处理细粒和微细粒的弱磁性铁矿，采用常规的正浮选不易获得含铁65%以上的精矿，例如亨博尔特（矿石已采完，1970年停产）和共和选厂，处理同类矿石，原来都是采用常规的正浮选，只能获得含铁62%左右的精矿，而共和选厂增加再磨—加温浮选作业后，精矿品位提高到64.5%。但是加温浮选工艺复杂，要消耗大量热能，1吨干精矿的热耗为4.1万大卡，所以没有推广。絮凝浮选的操作条件复杂，由于在高碱性中浮选，又加之磨矿粒度很细，因此在过滤之前先往精矿矿浆中通入二氧化碳气，使矿浆呈中性，同时加入表面活性剂及聚合物絮凝剂，采取这些措施后，虽然使用蒸汽过滤机也未能得到合乎球团要求的水份，因而增加了干燥作业。目前有一半的滤饼进入回转窑干燥，这样才能保证精矿的水份达到10.5~11%。

根据近几年的发展情况来看，在铁矿石的浮选方面有向反浮选发展的趋势，因为反浮选易于将铁与石英的贫连生体选出，所以它比常规正浮选易于获得含 SiO_2 低的铁精矿。美国部分公司投资的加拿大塞普特·艾利斯选厂就是采用单一阳离子反浮选。蒂尔

登选厂脱泥后的矿浆也是用阳离子反浮选。除了已用于工业生产的阳离子反浮选以外，美国矿山局也研究过铁矿石的阴离子反浮选，它们认为阳离子反浮选比阴离子反浮选经济，并且对水的硬度变化的适应性较强。

美国用浮选处理细粒和微细粒弱磁性铁矿，比较成功，是解决这类矿石利用的途径之一，但由于铁矿石选厂的处理量大，需要的药剂量大，美国也感到药剂来源不足，同时价格较高，因此仍在研究经济合理的选矿方法和工艺流程。美国明尼苏达大学矿业试验站从1964年就开始了强磁一反浮选联合流程的试验研究。汉纳采矿公司用此方案进行了半工业试验，初步试验表明，强磁选处理默萨比地区的细粒弱磁性铁矿不能得到最终精矿，但可以丢掉大量的低品位尾矿和矿泥，这样就可取消浮选前通常需要的脱泥作业，强磁选的粗精矿进行浮选时浮选药剂的用量也稍有降低。

美国矿山局特温冶金研究中心打算用强磁一反浮选或絮凝脱泥一反浮选一强磁联合流程来解决默萨比地区细粒弱磁性铁矿的选矿问题，后一流程方案正在进行研究。汉纳公司正在研究改进的絮凝浮选选别默萨比西部细粒弱磁性铁矿。

根据美国和其他国家的研究情况来看，根据矿石性质的不同，采用不同的联合流程是解决弱磁性铁矿选矿的一个较好的途径，因为现有的选矿方法及相应的设备各有一定的适应性，若采用多种选矿方法及其相应的设备组合的联合流程，则可互相取长补短，更好地发挥分选效率。

美国对于细粒和微细粒弱磁性铁矿的选矿问题，除研究了上述方法外，还研究沸腾炉的磁化焙烧，研究表明，用单一焙烧一磁选，在铁回收率较高的条件下不易获得含铁65%以上的精矿，因为焙烧矿的矫顽磁力大，夹杂的脉石在磁选过程中不易除去，如果将磁选精矿再进行反浮选则可得含铁66~68%的精矿， SiO_2 5%左右，铁回收率92%左右。由于这种方法的基建费和生产费用均比其他方法高，所以在工业上未予采用。美国特温冶金研究中心用褐煤或煤作还原剂进行了小型焙烧试验，沸腾焙烧炉直径100毫米，焙烧矿用磁选管分选，当铁回收率为65~70%时，精矿品位为65~66%。

3. 复合铁矿石的选矿

复合铁矿石有两类，一类是磁铁矿与弱磁性铁矿共生的矿石，另一类是伴生其他有用金属的铁矿石。现在美国处理复合矿的选厂共有8个。

美国复合铁矿石选厂中处理磁铁矿与弱磁性铁矿共生的复合矿选厂有5个，目前所用的流程有重选一磁选、磁选一重选、磁选一浮选及磁选一浮选一重选等联合流程。

对于粗粒散布的矿石一般是采用重选一磁选或磁选一重选联合流程。采用这种流程的选厂有4个。例如鹰山选矿厂，1957年投产，生产能力为年产球团矿200万吨，原矿石中主要铁矿物为磁铁矿和赤铁矿，矿石分为两种，一种是低硫矿石（含硫0.6%以下），另一种是高硫矿石（含硫0.6%）。原矿品位34~35%。低硫矿用磁选一跳汰一重介质选矿流程，高硫矿用磁选一跳汰一螺旋选矿机选矿流程（见127页图6）。从低硫矿石中选得的精矿铁品位60%，从高硫矿石中选得的精矿铁品位66%。

对细粒散布的矿石采用磁选一浮选联合流程，现在有1个这样的选厂。例如格罗夫兰选厂，1959年投产，原采用浮选一磁选联合流程，由于矿石中磁铁矿的数量增加，1970年改为磁选一浮选联合流程，生产能力为年处理原矿500万吨，年产球团矿200万吨，矿石中磁铁矿占60%，赤铁矿占38%，硅酸铁占1~2%。这个厂在回收磁铁矿的

作业中，使用了细筛处理磁选精矿，磁选尾矿用正浮选回收赤铁矿，用石油磺酸和塔尔油作捕收剂，石油磺酸用量为153克/吨，塔尔油用量为232克/吨，用硫酸作pH调整剂，用量为1.1公斤/吨，或将pH值调到3左右，用硅酸钠作硅酸盐脉石的抑制剂，用量为153克/吨左右。另外还用燃料油139克/吨。原矿品位34%左右，精矿品位64.5%，铁回收率78.8%（详见格罗夫兰选厂）。

美国处理伴生有用金属的磁铁选矿厂有3个，目前所用的流程有磁选—浮选—重选和磁选—浮选联合流程。例如皮·里奇选厂，1963年投产，生产能力为生产铁精矿200万吨，原矿石为含磷、硫的磁铁矿和赤铁矿矿石，采用磁选—浮选—重选联合流程（见皮·里奇选厂）。在回收磁铁矿的磁选作业中，使用了细筛处理磁选精矿。原矿铁品位50%，磁选精矿铁品位69%。磁选尾矿用浮选回收磷灰石和黄铁矿，磷精矿品位45.5%，浮选尾矿用重选回收赤铁矿，重选精矿铁品位62%。这个厂还将一部分磁选精矿用阳离子反浮选生产含铁71.5%， SiO_2 0.15%的超级精矿，这种精矿的大部分用作重介质选矿的加重剂，少部分用于制造陶瓷磁石。

美国的生产实践表明，采用联合流程是处理复合铁矿石的有效方法，它可以充分地回收铁矿物和共生金属。在美国，由于是资本主义的经营方式，所以当铁矿石中的共生金属回收后不能获得利润或产品滞销时，就不进行回收。例如，格雷森选厂，处理含硫磁铁矿，原来用浮选回收硫，硫精矿品位达45%，后来由于这种产品滞销而去掉了硫的回收作业。

四、主要选矿设备及发展趋势

美国铁矿石开采和处理量大，选矿技术和设备总的来说比较先进。美国制造的选矿设备，不仅可以满足国内日益发展的选矿生产的需要，而且大量出口。日本、瑞典和苏联等国都在仿制美国选矿设备的某些机种。各国在改进选矿设备方面也很注意引进美国的先进技术。近年来，美国一些大的矿山公司、科研单位和制造厂不断改进旧设备，并应用科学技术的新成就，研制成功若干新型高效设备，从而提高了选矿技术装备水平，促进了选矿生产技术的发展。

美国铁选矿厂总的发展趋势是：设备大型化、生产过程自动化。为适应大规模生产的需要及出于经济上的考虑，迫使美国铁选矿厂日益广泛采用大型设备。据称采用大型设备可减少设备和简化配置，节省占地面积，节约材料、能源消耗及维修费用，减少操作人员，降低选矿成本。随着大型化的发展，自动化程度也日益提高。

（一）破碎和磨矿

美国铁矿石选厂的粗碎广泛采用液压调节排矿口的旋回破碎机，其中以艾利斯·查默斯公司生产的应用最广。其最大规格为 1.52×2.77 米。该机对难破碎的铁燧岩处理能力在排矿口为250毫米时可达3,500吨/时，已在银湾、明塔克、希宾、蒂尔登等大型选厂应用。

美国五十年代建成的铁矿石选厂一般采用三段破碎、两段磨矿流程。采用的破碎机规格因选厂规模大小而异，一般粗碎多采用 $1.37 \sim 1.52$ 米旋回破碎机，中碎和细碎分别采用2.13米标准圆锥破碎机和2.13米短头圆锥破碎机。采用四段破碎的选厂，第二段多

采用760~914毫米旋回破碎机。

无介质自磨机在美国铁矿石选厂的应用较早，目前被越来越多的选厂所采用。美国从1964年到现已建成和正在建设中的铁矿石选厂共11个，采用自磨流程的有6个，采用棒磨—球磨流程的有5个，其中七十年代新建的3个大型选厂就有2个采用自磨流程。

自磨机的规格越来越大，目前在生产中应用最大的为直径10.97米。例如希宾选厂共采用6台直径10.97米湿式自磨机，每台磨机由2台6000马力电机驱动，每台磨机重1134吨，处理能力为400吨/台·时。这是当前世界上使用的最大的自磨机。

选厂所用自磨机的直径与长度之比是一个重要的参数，其比值是根据入磨矿石性质经试验来选择的。如果直径与长度的比值选择不适当则会引起磨机内被磨物料的偏析，从而影响磨机的处理量，所以美国铁矿选厂中目前所用自磨机的直径与长度之比各不相同，有1.5:1，2:1，3:1和3.7:1等。

从美国使用自磨机的情况来看，主要是向湿式自磨发展，1967年投产的巴特勒和耐雄纳尔选厂，把原来采用的干式自磨改为湿式自磨，最近新建的选厂都是采用湿式自磨。因为湿式自磨比干式自磨优越，其中主要是投资少，生产费用低，对于水分较高、含泥较多的矿石有较好的适应性，易于从磨机内排出部分“顽石”作为砾磨机所需要的砾石，减少矿尘的污染，单位电耗低等。

棒磨机和球磨机的规格也日益增大。新建的米诺卡选厂年处理磁性铁烧岩850万吨，全厂有3个磨矿系列，每个系列第一段磨矿采用1台 $\phi 4.57 \times 6.10$ 米诺德伯格型棒磨机，第二段磨矿采用1台 $\phi 4.98 \times 10.97$ 米球磨机。费尔莱恩磁铁矿选厂的扩建部分采用了 $\phi 4.57 \times 6.24$ 米棒磨机和 $\phi 5.18 \times 12.6$ 米球磨机，分别由2000马力和7000马力电机驱动。

美国主要铁矿石选厂现用的破碎、磨矿与分级设备见表1。

表1 美国主要铁矿石选厂破碎、磨矿和分级设备简表

序号	选厂名称	原矿性质	选矿方法	设备		
				破	碎	磨 矿 分 级
1	银湾 (Silver Bay)	磁铁矿	磁选	两段开路破碎 1.1.5米旋回破碎机 2.0.76米圆锥破碎机 3.2.1米西蒙斯短头圆锥破碎机 4.2.1米西蒙斯短头圆锥破碎机	三段磨矿 1.3.2×3.5米棒磨机 2.3.2×3.5米球磨机 3.2.4×4.3米球磨机	$\phi 152$ 毫米旋流器
2	伊里 (Erie)	磁铁矿	磁选	粗、细碎各两段 1.1.5米旋回破碎机 0.9米旋回破碎机 2.2.1米标准圆锥破碎机 2.1米短头圆锥破碎机	三段磨矿 1.3.7×4.3米棒磨机 2.3.7×4.3米球磨机 3.3.5×6.1米球磨机	1.1.5×2.4米振动筛 2. $\phi 350$ 毫米旋流器5个
3	大西洋城 (Atlantic City)	磁铁矿	磁选	三段破碎 1.1.4米泰勒型旋回破碎机 2.2.1米西蒙斯标准圆锥破碎机 3.2.1米短头圆锥破碎机	两段磨矿 1.3.3×4.6米棒磨机 2.3.3×4.6米球磨机	2—D20B旋流器8个

续表

序号	选矿厂名称	原矿性质	选矿方法	设 备	备 注	
4	恩 派 尔 (Empire)	磁铁矿	磁选— 反浮选	一段破碎 1.5×2.3米旋回破碎机	两段磨矿 1.7.3×2.4米湿式自磨 机或7.6×3.7米 湿式自磨机 2.3.3×7.3米球磨机 或4.7×7.3米球磨 机	1. 振动筛和 弧形筛 2. $\phi 254$ 毫米 旋流器
5	费尔莱恩 (Fairlane)	磁铁矿	磁选	四段一闭路 1.1.4×2.1米旋回破碎机 2.0.76×1.77米圆锥破碎机 3.2.1米短头圆锥破碎机 4.2.1米定头圆锥破碎机	三段磨矿 1.4.3×6.1米棒磨机 5台 2.3.4.3×6.7米球磨 机2台	2— $\phi 255$ 毫 米旋流器12 个
6	巴 特 勒 (Butler)	磁铁矿	磁选	一段破碎 1.5米旋回破碎机	两段磨矿 1.8.2×5.0米湿式自 磨机或干式自磨机 2.4.27×6.71米球磨机 3.3×6.71米球磨机 5.05×8.53米球磨机	1. 风力分选 机 2. $\phi 66^{\circ}$ 毫米 分级旋流 器
7	耐破纳尔 (National)	磁铁矿	干与湿 式磁选	一段破碎 1.5米旋回破碎机	两段磨矿 1.7.9×2.1米干式自 磨机(扩建系列采 用, 8.23×5.49米 湿式自磨机) 2.4.27×7.32米球磨 机(扩建系列采用 5.03×8.53米球磨 机)	2. $\phi 66^{\circ}$ 毫米 旋流器4 个
8	明 塔 克 (Minnac)	磁铁矿	磁选	三段一闭路破碎 1.1.5米旋回破碎机 2.2.1米标准圆锥破碎机 3.2.1米短头圆锥破碎机	三段磨矿 1.4.6×6.2米棒磨机 2.3.4.3×6.8米球磨 机	2.3. $\phi 910$ 毫 米旋流器, 第2段1个, 第3段2个
9	希 宾 (Hibbing)	磁铁矿	磁选	一段开路破碎 1.3×2.6米旋回破碎机	一段磨矿 10.97×4.57米自磨机	$\phi 380$ 毫米旋 流器每系列 10个
10	共 和 (Republic)	磁铁矿	加温 浮选	三段开路破碎 1.1.37米旋回破碎机 1台 2.2.1米标准圆锥破碎机, 2台 3.2.1米短头圆锥破碎机, 2台	两段磨矿加一段再磨 1.2.9×4.9米棒磨机, 4台, 2.7×3.7米棒 磨机, 13台, 2.9× 4.9米棒磨机, 1台 2.3.4×0.9×1.8×3 米锥形球磨机, 2台, 3.2×4.3米球磨机, 4台, 3.2×5.9米球 磨机, 1台 一段再磨 3.2×6.8米球磨机, 6 台, 3.4×7.6米球磨 机, 1台	2. $\phi 610$ 毫米 分级旋流 器

续表

序 号	选厂名称	原矿 性质	选矿 方法	设 备	备 分 级	
11	蒂登尔 (Tilden)	赤铁矿	重选 浮选	两段磨矿 1.1.6米艾利斯—戴斯磨 旋回破碎机,1台 2.2.1米短头圆锥破碎机, 2台	两段磨矿 1.8.2×4.4米湿式自 磨机,1台 2.4.7×9.1米砾磨机, 2台	1.振动筛 2.φ381毫米 旋流器108 个
12	格罗夫兰 (Groveland)	磁铁 矿、 赤铁 矿	重选 —浮 —选	三段—闭路 1.1.37米旋回破碎机,1台 2.2.13米标准圆锥破碎机, 1台 3.2.13米短头圆锥破碎机, 3台	两段磨矿 1.3.51×4.88米棒磨 机 2.2.74×3.3米球磨 机	1.分级筛 φ538毫米分 级旋流器 2.φ660毫米 分旋流器

(二) 分级

美国铁选厂采用的分级设备主要有水力旋流器、振动筛、弧形筛以及近来广泛用于精矿分级的细筛等。第一段磨矿采用闭路的选厂,使用振动筛或弧形筛分级。第二段或第三段磨矿则普遍使用水力旋流器分级。美国铁选厂的细粒分级已完全采用水力旋流器取代了螺旋分级机,同时在流程中配置用于自动检测矿浆的流量计和浓度计的控制系統,充分发挥旋流器的效率。美国对水力旋流器的研制较早,目前主要采用克雷布斯工程公司生产的各种型号水力旋流器。其特点是:结构简单,分级粒度细和效率高,单位面积处理量大。例如φ350毫米的,其处理能力达80~60米³/时矿浆,φ500毫米的可达120米³/时矿浆。旋流器的外壳通常是用铸铝或低碳钢板制成,内衬天然橡胶,还可采用氯丁橡胶、硬镍合金、陶瓷及聚氨脂等等。

克雷布斯旋流器是用多台旋流器装配成环形,中心装设一个矿浆分配器,以便均匀地分配矿浆。每台旋流器的给矿管上均装有阀门。蒂尔登选厂共采用108台φ381毫米克雷布斯旋流器,与12台砾磨机成闭路,每台砾磨机配9台。即每台砾磨机配1个矿浆分配器,在其周围装9台旋流器,7台工作,2台备用。分级效率较高而且溢流粒度细(93%—325目,75%—500目)。

细筛在美国广泛用于磁选精矿的分级,作为提高精矿品位的一种措施。其中特别是击振细筛于1967年在伊里选厂研制成功后,发展较快。现在美国铁选厂已越来越多地采用击振细筛从磁选精矿中除掉+325目的低品位矿粒,而且正在计划更广泛地应用。较新的击振细筛采用安装在筛子内侧的气动打击机构,每分钟打击次数为10次或更少一些。

伊里选厂使用的击振细筛筛面由不锈钢条编成,筛条宽1.5~2毫米,厚2~3毫米,筛孔0.1毫米。细筛的缺点是筛网易堵塞,磨损较快,例如伊里选厂用的细筛使用期限为5~10个月左右,平均为6个月。

伊里选厂1967年末进行了一个系列的细筛再磨流程试验,1970年在该厂36个系列的第二段磨矿之后增设了两段细筛作业,并增设丁3个细筛再磨系统来处理全厂的细筛筛上物,使磁选精矿品位从63.5%提高到64.9%,SiO₂含量从10%降到7.6%,全铁回收率70%。1977年上半年生产的精矿品位为66%,含SiO₂5.5%,全铁回收率71%,磁性铁

回收率95%。

(三) 磁选

1. 弱磁场磁选

美国经弱磁选而获得的精矿占成品矿石总量的68%。近年来,美国对选别磁铁矿的弱磁选机的磁系和水磁材料进行了改进,弱磁选机的规格日趋大型化。

美国磁选厂在五十年代后期向永磁化方向发展。目前除早期投产的少数选厂仍保留电磁磁选机外,已基本上实现了永磁化。有些老厂在扩建时也改用规格较大的永磁磁选机。例如,1957年投产的伊里选厂在原有的27个系列中一段磨矿后的粗选,原用900×925毫米双筒电磁磁选机,后来改用了914×1320毫米双筒永磁磁选机,而1967年扩建的9个系列中则改用同样规格的陶瓷永磁磁选机。

美国磁选厂多采用三段选别,也有采用四段或二段的。例如,明塔克选矿厂原矿品位30%,采用三段磁选,其球团品位65%,含SiO₂5.5%。第一段磁选用914×2440毫米四筒磁选机,第二段用762×2440毫米四筒磁选机,第三段用914×2440毫米三筒磁选机,均为永磁。新建的希宾选厂,每个系列粗选用14台914×3048毫米双筒永磁磁选机,精选用5台914×3048毫米双筒永磁磁选机,这是目前在美国规格最大的磁选机。

目前美国选厂使用最多的是埃利兹公司生产的永磁筒式磁选机,在加拿大等国也使用最广。永磁材料多采用钕铁氧体。筒式磁选机根据槽体型式分为三种:顺流式;逆流式;半逆流式。磁选机的直径有762毫米与914毫米两种,有效长度从457~3048毫米共有10种。圆筒的转速:直径762毫米的为25转/分,周边速度为55米/分;直径914毫米的筒式磁选机转速为20转/分,周边速度为57米/分。埃利兹磁选机各项参数见表2。

表2 磁选机的参数

原矿特性					磁选机						
磁选目的	给矿粒度	磁性铁含量	假比重	矿浆浓度	磁选机名称	筒数	磁场强度(高斯)			槽的型式	磁极数
							筒的序号	距筒面的距离			
								30毫米处	筒表面		
预选	94%-2.38毫米 (-8目)	60%	3.1	40%	预选机	2	No.1	850	170J	顺流	5
							No.2	850	170J	逆流	5
粗选	97%-0.5毫米 (-35目)	85%	4.2	50%	粗选机	1		750	1500	顺流	5
精选	90%-0.05毫米 (-270目)	95%	4.5	25%	精选机	3	No.1	500	1000	逆流	5
							No.2	500	1000	逆流	5
							No.3	500	1000	逆流	5

美国埃利兹公司对磁选机的磁系进行了改进,试制了一种具有反斥磁极和附加磁极的磁选机,以提高磁场强度,增大处理能力。这种磁选机已在1970年获得专利权,但尚未见在生产中应用的报导。

目前,大直径、多磁极(3级以上)筒式永磁磁选机受到重视。实践证明大直径比小直径筒式磁选机的处理量大而且分选指标较好,这样则可取得更好的经济效果。与此