

出国参观考察报告

美国铁矿选矿技术

(内部资料·注意保存)

冶金工业出版社

出国参观考察报告

美国¹¹铁矿选矿技术

(内部资料·注意保存)

冶金工业出版社

一九七七年八月

前 言

赤铁矿选矿考察是1977年中美科学技术交流项目之一。考察组由冶金部鞍钢矿山公司、北京矿冶研究院、马鞍山矿山研究院、长沙矿山研究院、长沙矿冶研究所及一机部沈阳重型机器厂、沈阳矿山机器厂选矿机械研究所等单位组成，于六月十六日到达美国，七月十日离开，在美考察时间二十五天，实际工作时间十三天，共参考察了六个矿山，五个科研单位和两家机械制造厂。

由于美方安排参考察的时间比较紧，特别是矿山选矿厂的考察和临时安排的参观，往往只有半天的工夫，因此，现场的考察只能一走而过，加之我们考察组中，没有搞自动化的，对选矿厂自动控制技术的了解就更肤浅了。

这份技术报告，记述了在考察单位所见到的和听人介绍的情况，同时对美国铁矿选矿厂的共同特点和细粒嵌布赤铁矿的选矿，也作了概括性的介绍。由于现场参考察的时间很短，又限于我们的技术水平，资料是不够详细的，可能还有错误，请读者批评指正。

考察组从美国带回一些资料，存放在冶金部情报标准研究所，可供借阅或复制。

冶金工业部赴美国赤铁矿选矿技术考察组

1977. 8. 24日

目 录

前 言

一、概况	1
二、铁矿选矿厂的几个共同特点	3
三、美国细粒嵌布赤铁矿的选矿	5
四、各单位情况分述	6
(一) 格罗夫兰德选矿厂	6
(二) 共和选矿厂	11
(三) 蒂尔登选矿厂	15
(四) 伊里选矿厂	19
(五) 希宾选矿厂	23
(六) 恩派尔选矿厂	25
(七) 美国矿务局双城研究中心	28
(八) 美国联邦制钢公司研究所选矿试验站	31
(九) 科罗拉多矿业研究所	32
(十) 汉森研究公司	33
(十一) 盐城湖冶金研究中心	34
(十二) 阿利斯—查尔默斯公司	34
(十三) 乔艾制造公司	36

一、概 况

这次考察的六个矿山，位于美国北部密执安州和明尼苏达州的上湖地区，分布在默萨比矿带 (Mesabi Range) 和马魁特矿带 (Marquette Range) 上。

默萨比矿带东西长160公里，南北宽3~16公里。其东部为铁燧岩 (Taconite)，由磁铁矿和石英组成。中部和西部为氧化铁燧岩，磁铁矿被氧化成赤铁矿或假象赤铁矿。铁燧岩含铁34%左右，嵌布粒度很细，一般小于40微米。对氧化铁燧岩的开发利用，美国矿务局双城研究中心 (Bureau of Mines Twin Cities Metallurgical Research Center) 正在进行选择性絮凝反浮选的研究，目前尚未工业生产。

马魁特矿带也是上湖地区主要矿带之一，氧化程度较深。铁矿的组成除个别地段为磁铁矿、赤铁矿和石英外，一般为赤铁矿、假象赤铁矿、针铁矿、镜铁矿和石英。含铁品位34%~37%。嵌布粒度也很细。蒂尔登 (Tilden) 矿区的磨矿细度甚至要80%小于25微米。

从原矿性质看，这两个矿带的矿物组成比较简单，主要脉石矿物为石英，但嵌布粒度很细，必须细磨才能解离。六个矿山选矿厂，根据铁矿物的不同，采用了单一磁选、磁选浮选联合或单一浮选的选矿流程。它们的生产规模和生产指标见表(一)。

选矿厂的生产规模和指标表

表(一)

厂名	指 标	年处理原矿量	年生产球团矿	原含 矿 铁	精 矿 品 位	全 回 收 率	投产日期 与 扩建日期	选 矿 方 法	造 球 团 矿 方 法
	单 位	万 吨	万 吨	%	%	%			
格罗夫兰德		500	200	34	64.5	80	1959 1968	磁-浮	链篦机
共 和		800	350 ^①	37	64.5	83 ^②	1956	正浮选	链篦机回转窑
蒂 尔 登		1060	400	35	65	70	1974	反浮选	同上
伊 里		3000	1050	32.5	66	70 ^③	1957 1967	磁 选	竖 炉
希 宾		1900	540	35	65~68	66.6 ^③	1977	磁 选	链篦机
恩 派 尔		1700	530	34	66	68 ^③	1963 1974	磁 选	链篦机回转窑

注①：共和选厂有90万吨球团矿在洪堡特 Humbt 生产。

注②：实际回收率76~78%。

注③：磁性铁回收率伊里95%，希宾96%，恩派尔93%。

表(一)指出，各厂铁精矿品位都在64.5%以上，二氧化硅含量控制在6%以下，但全铁回收率磁选厂不超过70%，浮选厂则在70~83%之间。六个选矿厂中，有的是经过扩建和改造的50年代老厂，有的是70年代新建的，它们的规模都很大。最小的格罗夫兰德 (Groveland) 年处理原矿500万吨；最大的伊里磁选厂 (Erie) 达3000万吨。这六个选矿厂总处理量共8960万吨，生产球团矿3070万吨。

美国1976年生产粗钢12800万吨。其中由美国自产的人造富矿 (绝大部分是球团矿) 作为炼钢原料的占37%，人造富矿量约8000万吨；其余则为进口富矿，占21%；废钢铁占

42%。8000万吨人造富矿中有6550万吨产自密执安州和明尼苏达州，而我们考察的六个选矿厂提供了3070万吨，占两个州的47.8%，占全国人造富矿总量的38.25%。

50年代的老厂在扩建和改造中采用了大设备和自动控制技术，而70年代的新厂一开始就采用了新技术、新设备和新工艺。因此，尽管我们只考察了六个选矿厂，但无论从生产规模上，技术装备上，足以代表美国当前铁矿选厂，特别是赤铁矿选矿的生产水平。

参观考察的五个科研单位是美国矿务局双城研究中心、联邦制钢公司可陆来恩研究中心(U.S.Steel Co.Coleraine Research Center)、科罗拉多采矿学院研究部(Colorado School of Mine Research Institute)、汉森国际研究公司(Hazen Research Inc.)和美国矿务局盐湖城研究中心(Bureau of Mines Salt Lake City Research Center)。后面三个单位是美方临时安排的，参观时间不过一小时。试验研究内容大半是非铁金属选矿、非金属选矿、湿法冶金和废料回收等。因为参观时间很短，了解的情况也就不多。

各研究单位的试验室小型选矿试验设备基本上和我国相同，试验方法也类似。但中间试验设备，除连续浮选装置外，一般都有较大规模的中间试验厂，有的每小时处理原矿400公斤，有的达20吨，即每天可处理矿石400~500吨。中间试验除确定流程结构及其操作条件外，还专门进行破碎、磨矿的功耗试验和回水试验，工作比我们做得系统。

两家机械制造厂比较著名，一家是阿利斯查尔默斯公司(Allis-Chalmers)，一家是乔艾制造公司的丹佛分公司(Joy Manufacturing Co.Denver Division)。前者以生产水力发电机、农业机械和大型破碎磨矿设备闻名。希宾磁选厂的直径11米的自磨机就是阿利斯查尔默斯公司制造的。后者原为丹佛设备公司(Denver Equipment Co.)所生产的浮选机、搅拌槽和砂泵等有它的独特传统。

二、铁矿选矿厂的几个共同特点

(一) 规模大, 设备不断向大型化发展

由于老厂的扩建和新厂的采用大型设备, 选矿厂生产能力很大, 如恩派尔磁选厂 (Empire), 经过二次扩建, 处理原矿能力从400万吨增加到1700万吨, 生产球团矿530万吨; 伊里磁选厂1957年生产球团矿750万吨, 到1967年增加到1050万吨, 处理原矿量达3000万吨。70年代新建的选矿厂, 如蒂尔登浮选厂 (Tilden)、希宾磁选厂 (Hibbing) 处理原矿能力分别为1060万吨和1900万吨。

破碎磨矿设备, 50年代投产的选厂一般采用三段破碎和棒磨球磨的流程。粗破碎旋回机规格为1.37~1.5米; 中、细碎是标准圆锥和短头圆锥, 规格都是2.1米; 棒磨和直径2.7~3.7米, 球磨机直径3.2~3.7米。但从60年代起, 棒磨球磨设备改为自磨和砾磨, 三段破碎改为一段粗破碎。自磨机规格愈来愈大, 60年代建厂的恩派尔磁选厂, 自磨机直径7.3米, 而1974年投产的蒂尔登浮选厂自磨机直径扩大到8.2米, 1977年投产的希宾磁选厂自磨机直径达11米, 处理量350~450吨/小时。浮选机在50年代的磁浮联合流程中采用1.1立米和1.7立米的, 相当于我们目前的5A型浮选机, 共和浮选厂 (Republic) 则为1680×1500毫米的法古伦型, 相当于6A型浮选机, 而70年代都采用14立米的了。精矿过滤都用圆盘式过滤机, 50年代圆盘直径1.8米, 60年代一般是2.0米, 而70年代扩大到2.7米。链篦机回转窑的规格也愈来愈大。60年代建厂的恩派尔磁选厂, 其链篦机宽3.7米, 长32米, 回转窑直径5.2米, 长35米, 而70年代建厂的蒂尔登厂, 其链篦机宽5.6米, 长64米, 回转窑直径7.6米, 长48米, 生产能力达400万吨/年。从这六个选矿厂的设备选用来看, 规格不断向大型化方面发展的趋势是十分明显的。

(二) 广泛采用集中控制技术

无论新厂或老厂, 都有中央集中控制室, 在室内可以巡回检测设备的运转情况和流程中各个作业的操作条件。对主要环节则采用了自动控制。例如以磨矿电动机的输出功率自动调节给矿量; 以同位素铯测定并调整水力旋流器给矿浓度, 稳定溢流粒度; 以中子活化分析仪测定精矿中的二氧化硅含量, 自动调节浮选药剂的用量等。生产指标或操作数据可以随时从电子计算机中取出。当某一作业失去正常时, 则另有电子计算机发生警报, 并在打字机上指出问题之所在。据称自动控制的投资是比较贵的, 但劳动生产率的提高和生产指标的改善, 增加了收益, 全部自动控制的投资只要两年时间就能回收。

(三) 中间矿仓的贮存量大

选矿厂的粗破碎一般设在矿山。粗碎产品有露天矿仓堆存, 堆存量很大, 小者12.5万吨, 大者达25万吨, 足够选厂生产5天至一个星期。因此, 当采矿或选矿因故停产时, 可以由堆存的矿石调节, 互不影响。

露天矿仓的设施, 除了可以调节矿山与选厂的正常生产外, 也起到混矿的作用, 使送往选厂的矿石性质, 在化学成分上、粒度嵌布等方面, 保持相对稳定, 从而保证了选矿厂的生产指标。

(四) 回水利用率高

无论磁选厂或浮选厂，回水利用都在90%以上。蒂尔登浮选厂用水量302立米/分，其中新水只有9.5立米/分，回水利用率达97%。回水是从回水池泵入选厂的。流程中浓密机溢流或脱水磁选机溢流归入回水池。尾矿另有尾矿池，尾矿澄清水也送至回水池，所以实际上是两个沉淀池进行回水作业的。伊里磁选厂两个沉淀池的面积有2500英亩，折合15000市亩。

(五) 精矿品位高

铁精矿质量，美国上湖地区习惯上以二氧化硅含量来衡量。过去铁精矿含二氧化硅在10%以上，不合高炉精料要求。为了降低二氧化硅含量到6%以下，精矿含铁也就相对提高了。从表(一)中可以看出，各选矿厂的铁精矿品位，没有低于64.5%的。

提高铁精矿品位，或者说降低二氧化硅含量的关键是细磨和再处理。当然，细磨作业不但是为了进一步解离铁与石英的连生体，也是为了满足造球作业的技术要求而必须采取的措施。50年代投产的几个选矿厂，为了提高铁精矿品位，都采用这个办法。如格罗夫兰德选厂将含铁61~62%的磁浮混合精矿，经细磨至80%小于325目，再用水力分选机处理，取得含铁64.5%，二氧化硅6%的最终精矿。共和浮选厂将含铁62.5%的精矿，其粒度为45%小于325目，经细磨至80%小于325目，或用热浮选法或用水力分选机再处理，取得含铁66.9%的热浮选精矿或者含铁64.5%的分选机精矿。该厂大体上有40%的含铁62.5%的精矿用热浮选法处理，有40%左右用水力分选机，其余的细磨后不处理。这三类精矿按比例配成含铁64.5%，二氧化硅低于6%的最终精矿。伊里磁选厂将含铁62.7%的二段细筛筛上产品细磨至94%小于325目，再用三段细筛与再磨机闭路，筛下产品经过磁选取得含铁66%，二氧化硅5.5%的最终精矿。70年代新建选矿厂如蒂尔登和希宾，在自磨和砾磨系统中就把矿石细磨至80%小于500目和80%小于325目。因此，它们无须细磨再处理的措施了。

三、美国细粒嵌布赤铁矿的选矿

对细粒嵌布的赤铁矿的选厂，目前美国主要采用浮选方法处理。浮选有正浮选法和选择性絮凝脱泥反浮选法两种。

正浮选采用塔尔油作捕收剂。这和我东鞍山浮选厂相同。但在流程中它们有预先脱泥作业，浮选在中性矿浆中进行，从而使精矿过滤比较容易，滤饼水分也低。

选择性絮凝脱泥反浮选是1974年才用于生产的新工艺，经过两年多的实践，证明是成功的。这项新工艺较为突出的两点是：采用极细磨矿（80%小于500目）和以玉米淀粉作选择性絮凝剂及反浮选中铁矿物的抑制剂。矿石在自磨机、砾磨机、三层振动筛和分级水力旋流器组成的回路中细磨，在自磨机中加入烧碱及水玻璃，调整矿浆pH值至10.5~11。分级水力旋流器溢流粒度控制在80%小于500目，溢流中加入玉米淀粉，使铁矿物絮凝而石英继续保持悬浮状态并在脱泥浓密机内排出，浓密机底流即为初步得到富集的铁矿。蒂尔登浮选厂经过这一选择性絮凝脱泥作业，使含铁35%的原矿提高到含铁44%的浓密机底流。此底流给入浮选系统，在浮选过程中加入玉米淀粉作铁矿物的抑制剂，用醚胺类阳离子捕收剂进行反浮选，得到铁精矿品位65%，含二氧化硅5%，回收率为70%的生产指标。

由于精矿粒度极细，为了过滤作业的顺利进行，采取了下列几项措施，以期达到滤饼水分不超过11%，否则在造球前必须进行干燥。

- (一) 精矿过滤前通入二氧化碳，调整pH值至中性；
- (二) 加入表面活性剂Aerodri104，以降低水的表面张力；
- (三) 加入聚合物絮凝剂Catfloc V.C.，以团聚精矿粉；
- (四) 在过滤机上加罩，通入蒸汽，加速滤饼脱水。

这一新工艺对水质要求是：钙离子浓度应低于40ppm，悬浮物不高于500ppm。由于操作条件比较严格，药剂种类繁多，尤其是玉米淀粉的制备和精矿过滤比较困难，目前现场生产人员对此并不满意。但是对细粒赤铁矿的选矿，他们认为舍此尚无其他更好的途径。因此，美国寄托很大的希望，用这一新工艺来开发默萨比矿带约150~200亿吨氧化铁隧岩的资源。我们参观美国矿务局双城研究中心时，正用选择性絮凝反浮选和强磁选联合流程对默萨比西部氧化铁隧岩进行试验。

据美国矿务局双城研究中心介绍，采用选择性絮凝反浮选工艺时，原矿中含水铁矿物如针铁矿、褐铁矿等不能太多，否则这些含水铁矿物在脱泥作业中随石英一起流失，使铁的回收率大幅度降低。

四、各单位情况分述

(一) 格罗夫兰德 (GROVELAND) 选矿厂

1. 概况

该厂位于密执安州，属于美国汉纳采矿公司，生产能力为200万吨球团矿/年，年处理原矿量500~550万吨，年剥离总量600~700万吨，为露天采矿。选矿厂共有四个系统。第一、二系统于1959年建成，规模为70万吨铁精矿/年，第三系统于1963年建成。上述三个系统均采用“重—浮—磁”联合流程。第四系统于1967年建成，采用“浮—磁”联合流程。至1970年由于矿石性质变化，选厂对一、二、三系统进行全面改造，取消了螺旋选矿机，使“磁选—细筛—浮选”成为格罗夫兰德选厂的主体工艺。1963年以前选厂生产铁精矿粉矿，1963年以后改为生产球团矿，1968年以后形成160~200万吨球团矿/年的规模。

选厂水耗量为160吨/分，其中92%为回水，球团矿产品经铁路运输至距选厂110公里的ESCANABA港装船运走。

该厂总投资（采、选、团）5900万美元。职工总人数480人，年工资总额700万美元，年附加工资总额240万美元，生产经营费用（维修及材料费）1850万美元，国家及地方税126万美元。选矿指标如表（二）。

格罗夫兰德选矿厂选矿指标

表（二）

产品名称	产率 (%)	全铁品位 (%)	SiO ₂ 含量 (%)	回收率 (%)
浮选精矿	13	62	6	
磁选精矿	35	60~61	10~12	
合计	48	61	9.5	80~82
水力分选精矿(最终)		64~64.5	6.5	78~80

2. 矿石

矿体长2.4公里，宽1.2公里，深300米，矿体倾角70度，急倾斜产出，条带状构造。

矿石由磁铁矿、赤铁矿、石英及碧玉等矿物组成，平均含铁34%。1970年以前，磁铁矿约占60%，赤铁矿占38%，硅酸盐为1.2%，当矿石磨矿粒度为0.6~0毫米，采用螺旋选矿机选别时，重选精矿产率为20~25%。但随着采掘深度的变化，铁矿物浸染粒度变细，磁铁矿比例增大，重选精矿产率相应下降至10%左右，因而使重选作业成为不必要。

3. 采矿及碎矿

在格罗夫兰德，采矿与粗破同属一个生产车间，采矿及碎矿流程和设备，详见表(三)和图1。

(1) 采矿概况

采矿为露天开采。剥采比较高，每吨矿石的剥离量为1.2吨。采矿台阶高度为13.5米，采矿深度目前已达150米，边坡为60°。

采矿及碎矿设备表

表(三)

名称	台数	规格	电机功率(马力)
钻机	1	60-R B-E	
钻机	1	GD 120	
电铲	3	P&H 1600	
电铲	1	182 MARION	
电铲	2	B-E 190-B	
电铲	1	P&H 2100	
汽车	4	LECTRA 85吨	
汽车	4	EUCLID 75吨	
汽车	2	WABCO 75吨	
汽车	3	WABCO 120吨	
汽车	3	TEREX 80吨	
粗碎机	1	1370毫米旋回破碎机, 处理能力150长吨/时, 机重240吨, 最大件重量70吨	600
皮带运输机	1	宽1.2米, 长12米, 起高25米, 速度114米/分(满负荷), 运输容量1500长吨/小时	250
中碎机	1	φ2100标准圆锥碎矿机, 处理能力350长吨/时, 机重90吨	460
细碎机	3	φ2100短头圆锥碎矿机, 处理能力350长吨/时, 机重90吨	400
矿仓	6	容量2800吨/个(1、2、3系统每系统2个)	
矿仓	2	容量3850吨/个(4系统)	
振动筛	4	筛孔16毫米	

爆破炮孔网度为9米×9米, 孔深15米, 爆破周期为1~2周, 一次最大爆破量80~100万吨。炸药有二种: 浆状炸药占70%, 用量为0.24公斤/吨; 胶油炸药占30%, 用量为0.29公斤/吨。

汽车路面平均坡度10%, 宽36米。

每周工作16个工班, 共有110人, 其中管理人员7人。

(2) 碎矿

粗碎机为φ1370毫米旋回破碎机, 平均排矿粒度为150毫米(一般为100~200毫米)每天约破碎矿石1.3~1.4万吨, 工作制度7.5小时/日。粗碎产品用皮带运输机运至第二段破碎间矿仓, 多余的矿石被运至露天堆场。该堆场容量为20万吨左右, 可供选厂生产一周之用。该旋回破碎机由美国阿利斯查尔默斯公司制造。该机实际碎矿能力比选矿大30%。矿石经粗碎后经过筛孔为16毫米的振动筛的预先筛分。筛上产品进入φ2100毫米标准圆锥碎矿机破碎。破碎产品与筛下产品合并给人第三段破碎间矿仓, 经过筛孔为16毫米的振动筛的预先筛分。筛上产品进入φ2100毫米短头圆锥碎矿机破碎。破碎产品返回振动筛。整个破碎流程为三段一闭路标准流程。最终产品粒度为80~85%-12.7毫米, 贮存于粉矿仓中。粉矿仓贮矿能力可供选厂生产一天之用。

4. 选矿

格罗夫兰德矿石为磁铁矿与赤铁矿的混合矿。随

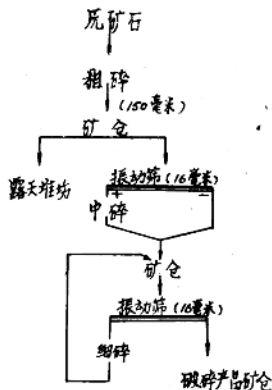


图1 格罗夫兰德选厂碎矿流程图

着开采深度的变化，磁铁矿与赤铁矿的比例也相应变化。总的趋势是磁铁矿比例逐渐增大。为了保证选矿厂的稳定生产，保证选厂至少一天生产矿石性质均匀，在露天采场采取混矿措施，包括根据钻孔资料调配出矿点的布置，有些地段也通过电铲进行混合。据说混合过程中不仅考虑磁铁矿、赤铁矿比例，同时也考虑矿石硬度等因素。

选厂共分四个系统，一、二、三系统流程结构基本一致，只是一、三系统球磨机为二台，二系统为一台。其流程图及设备规格详见表(四)、图2。磨矿流程为二段闭路磨矿流程，即棒磨机与弧形筛(DSM)成闭路，球磨机与分级旋流器成闭路。弧形筛由不锈钢条组成，筛孔为1.8毫米，分离粒度为20目，筛框上有气动敲打装置，敲打方向垂直于筛面。

分级旋流器溢流粒度为90~85%—150目。球磨机衬板为橡胶衬板，使用寿命为三年，提升板为1.5年。四系统的流程见图3，设备规格见表(五)。磨矿流程为二段一闭路，用旋流器作控制分级。该系统球磨机循环负荷为300%，球磨机转速为12.5转/分，钢球直径为50毫米及38毫米两种。矿石由—6目磨至—100目，每短吨所消耗的功率为7~8千瓦时。四个系统的选矿流程基本一致：弱磁—细筛—磨矿成闭路。磁尾经脱泥浓密后采用“一粗二精”或是“一粗三精”(指四系统)的浮选流程。

一、二、三系统设备表

表(四)

设备名称	台数	规格	电机功率(马力)
棒磨机	3	φ3450毫米×5200毫米，格子型	1000×3
弧形筛	9	筛面宽1.2米，筛孔1.8毫米	
双辊磁选机	12	φ0.9米×2.44米，永磁	
分级旋流器	2	φ660毫米	
球磨机	3	φ3200毫米×3100毫米	600×3
球磨机	2	φ2700毫米×2700毫米	380×2
脱泥浓密机	1	φ12米×3.9米(直径×深)	
浓密机	6	φ7.8米×3米(每系统2台)	
调浆用浮选机	8(槽)	1.2米 ³ ×8	
粗选浮选机	32槽	1.2米 ³ ×32	
精选浮选机	23槽	1.2米 ³ (一次精选用14台，二次精选9台)	
精矿浓密机	2	φ7.2米×3米(直径×深)一三系统各一台	
精矿浓密机	1	φ7.8米×3米(直径×深)二系统	
盒式过滤器	3	φ1.8米(六盘)	
尾矿浓密机	1	φ56米	

一、二、三系统磁选机为双辊磁选机。筒表为不锈钢，距筒表50毫米处的磁场强度分别为800、400奥斯特。四系统为三辊磁选机。磁场强度同双辊磁选机。磁选作业磁性铁回收率为96~97%，磁选精矿含二氧化硅18%，经细筛处理后二氧化硅含量降至10~12%，精矿品位为65%。磁选尾矿进行脱泥浓密后，进入浮选。脱泥作业脱泥粒度70%—20微米，泥中金属损失率为12%。

细筛由不锈钢条组成，每条约厚3毫米，焊在金属框架上，有气动敲打装置按一定频率敲打筛面，敲打方向与筛面平行。

浮选：磁选尾矿经脱泥及浓密后进入浮选作业，采用一系列浮选机作调浆槽，加入药剂如下：

调整剂：硫酸、矽酸钠。

捕收剂：磺化石油、塔尔油。

泡沫调整剂：燃料油。

· 浮选机：粗选为WEMCO1.2米³浮选机，精选为AGITAIR1.8米³浮选机。浮选给矿粒度为85~90%-150目，浮选精矿含二氧化硅6%，精矿产率13%，品位62%。浮选精矿与磁选精矿合并后含二氧化硅9.5%。粗精矿粒度为60%-325目，混合粗精矿品位61~62%。

过滤：采用十盘盘式过滤器，滤饼厚度12毫米，水分10%，过滤机真空度230毫米汞柱，滤布为单丝尼龙布，透气性能很好，一个月更换一次。

该选矿车间共有60人。

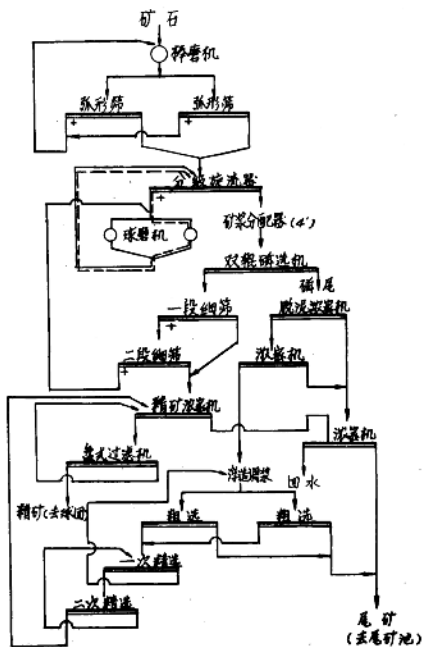


图2 选矿厂一、二、三系统流程图

注：虚线为二系统磨矿回路

5. 球团

球团工艺要求铁精矿粒度85%-325目，比表面为1650厘米²/克左右，水份低于10%，因此，选矿厂的精矿需再磨。再磨球磨机衬板为合金钢（采用橡胶衬板易被浮选药剂所腐

蚀)。用2台 $\phi 3.75$ 米 $\times 8.1$ 米及2台 $\phi 2.7$ 米 $\times 4.5$ 米球磨机进行再磨。磨矿产品进入水力分选机进行再选。在水力分选机内由于上升水流的作用，脱除了夹杂在铁精矿中的石英等脉石粒子，从而使精矿中含 SiO_2 下降至6.5%，含铁64~64.5%，(即水力分选机的底流)过程作业回收率97.5%，再磨球磨机中钢球直径为21~22毫米。

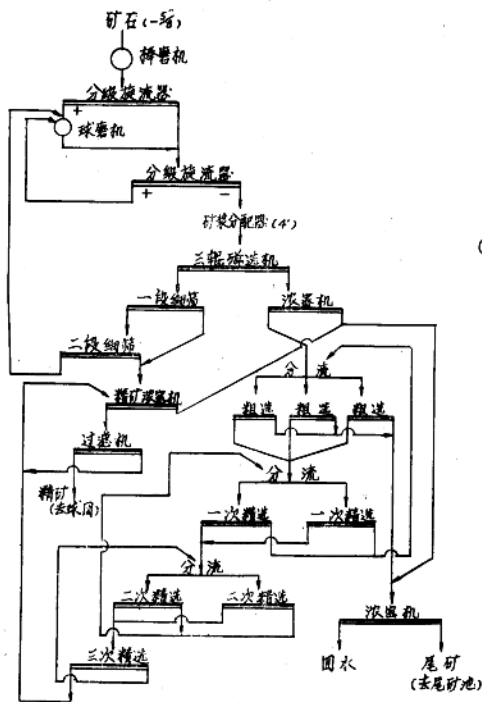


图3 选矿厂四系统流程图

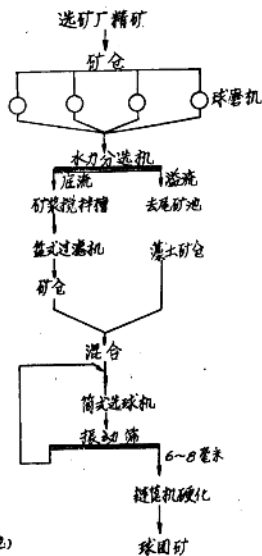


图4 球团厂流程图

水力分选机底流浓度为62%，经过过滤后滤饼与皂土(皂土用量不到1%)混合，使造球原料含 SiO_2 增加至7%。在筒式造球机内团球。造球机转速9.5转/分，机内螺旋刮板转速70转/分。生球被排至一振动筛上。控制球团粒径10毫米左右。造球机坡度(3米:42毫米=长:高)。

生球硬化是在一个水平移动式链篦机内进行。链篦机分六个带:上风干燥带、下风干燥带、预热带、加热带、续热带、冷却带。链篦机宽3米长77米,共有35个风箱。加热带最高温度1340°C。该机有效面积200平方米,该设备充分利用余热回流,有较高的热效率。

球团矿流程见图4,设备规格见表(六)。

四系统设备表

表(五)

设备名称	台数	规格	电机功率(马力)
棒磨机	1	φ3830毫米×5000毫米格子型	1250×1
分级旋流器	2	φ500毫米	
球磨机	1	φ4950毫米×5800毫米	3000×1
分级旋流器	3	φ660毫米	
三辊磁选机	4	φ0.9米×2.44米	
一段筛筛	3	筛孔0.127毫米, 六个0.6米宽框架	
二段筛筛	2	筛孔0.1毫米, 四个0.6米宽框架	
精矿浓密机	1	φ12米×3米(直径×深)	
浓密机	1	φ15米×3米(直径×深)	
脱泥浓密机	1	φ15米×5.3米(直径×深)	
粗选浮选机	36槽	1.2米 ³	
精选浮选机	51槽	1.8米 ³ (一次精选19台, 二次精选19台, 三次精选13台)	
调浆槽	10槽	1.2米 ³ 浮选机10台	
盘式过滤器	1	φ2米, 十盘	

球团厂设备表

表(六)

设备名称	台数	规格	电机功率(马力)
精矿矿仓	4	1000吨/每个矿仓	
球磨机	2	φ3750毫米×8100毫米	2000×2
球磨机	2	φ2700毫米×4500毫米	650×2
水力分选机	1	φ25.5米	
盘式过滤器	6	φ2米(十盘)	
筒式造球机	1	φ3.6米×9.5米	60×1
振动筛	1	2.1米×6米, 筛孔9.5毫米	
筒式造球机	5	φ3米×9.5米	40×5

(二) 共和选矿厂

1. 概况

共和(Republic)选厂位于美国密执安州上佩尼萨拉地区, 包括采矿、选矿、球团三部分。1871年开始采矿, 1956年选矿厂建成投产, 1962年增建了热浮选系列和球团厂。年产矿石708万吨。年产精矿350万吨, 年产球团矿260万吨。尚余100万吨左右铁精矿送伊格尔球团厂。

2. 矿石性质

矿石中主要矿物为镜铁矿, 其次有少量磁铁矿和假象赤铁矿, 含铁37%左右。脉石主要有绢云母、绿泥石和以方解石为主的碳酸盐。

3. 破碎

采用三段开路破碎。破碎流程如图5。

4. 选矿

选矿有七个系列, 均采用两段磨矿。一段采用棒磨机磨矿、二段采用球磨机。一至六系列球磨机与水力振动分级机组成闭路, 七系列与水力旋流器组成闭路。浮选流程为一次

粗选、一次精选、二次扫选。粗精矿再处理有两种方法，一种是再磨热浮选，一种是再磨脱泥。

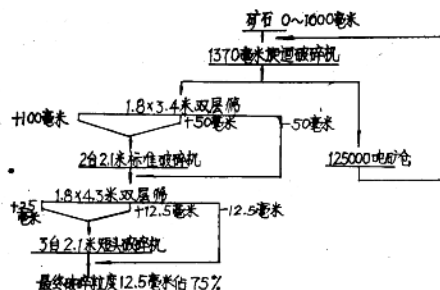


图5 破碎流程

(1) 磨矿、脱泥

磨矿、脱泥流程如图6、7。棒磨机给矿粒度—12.5毫米占75%。其转速为临界转速的66~74%。磨矿浓度为78%。所用棒径为75~12.5毫米，补加棒径为75毫米，棒耗为480克/吨左右。衬板主要是单波形硬镍合金。在棒磨机后部使用了胶衬。

球磨机的转速为临界转速的65~70%。磨矿浓度为68~70%。

所用钢球为硬镍合金和锻钢球两种，球径为25~12.5毫米，补加球径为25毫米，球耗为405克/吨。球磨机衬板为双波形硬镍合金。

分级溢流粒度均为-200目占65%。水力振动分级机溢流浓度为28%左右，返砂量为150%。水力旋流器溢流浓度为35~40%，返砂量为350~400%。

分级溢流送入两段水力旋流器脱泥。第一段用 $\phi 305$ 毫米水力旋流器，溢流管为100毫米，沉砂口为89毫米，给矿口面积为64平方厘米。当给矿压力保持在1.4公斤/平方厘米时，处理矿浆量为1.6立方米/分，给矿浓度为28%，溢流粒度基本上是-200目。第一段旋流器溢流送入第二段 $\phi 150$ 毫米旋流器，溢流管为25毫米，沉砂口为12.5毫米、给矿口面积为7.9平方厘米。当给矿压力保持在2.8公斤/平方厘米时，处理矿浆量为0.24立方米/分，给矿浓度为10%，溢流粒度基本上是-20微米。

(2) 矿浆调节与浮选

矿浆调节与浮选流程如图6、7。矿浆在8个 $1.4 \times 1.4 \times 1.5$ 米搅拌槽中进行搅拌，时间为7~8分，搅拌浓度为65~70%。搅拌后的矿浆送入浮选作业。

浮选所用药剂为塔尔油，油酸和亚油酸含量为90%，松香油含量为5~7%，用量为560克/吨。分两次加入搅拌槽和粗选区中。浮选均用1.7立方米法格古伦型浮选机。浮选浓度为35%。此作业在尽可能保持最大铁分回收率的条件下，取得含铁62.5%的精矿。

(3) 脱水

脱水流程如图6、7。用 11×3 米浓缩机进行浓缩。浓缩后的精矿送入23平方米圆筒过滤机进行过滤。过滤机真空度为450~500毫米汞柱。每小时处理量约为2.2吨/平方米。滤饼含水6~7%。

(4) 再磨热浮选

再磨热浮选是三台球磨机与三个浮选系列组成。其流程如图8。

再磨用球磨机转速，两台为临界转速的69.6%，一台为临界转速的72.5%。所用钢球为 $\phi 22$ 毫米的硬镍合金和锻钢球。衬板为双波形硬镍合金。磨矿浓度为70%左右。给矿粒度为-325目占45%。最终磨矿粒度为-325目占80%。

矿浆加热调节是在 $1.5 \times 1.5 \times 2.1$ 米搅拌槽中进行。蒸汽通过 $\phi 12.5$ 毫米钢管直接喷

射矿浆中，边加热边搅拌。在蒸汽压力为12公斤/平方厘米、温度为190°C的条件下，矿浆加热到98°C或沸腾状态。在矿浆温度为30~40°C时，加热到沸腾状态的耗热量为40000~50000大卡/吨干精矿，冬季则比夏季热耗量高18%。

热浮选所用浮选机为1.7立方米格古伦型。在精选区影响精矿品位和回收率的主要因素是矿浆浓度，因此精选区矿浆浓度必须保持在32~34%。在浮选过程中添加的水没有预热，所以各选区矿浆温度有所变化。如表（七）。

各选区矿浆温度 表（七）

选区	温度 °C
一精给矿	60
二精给矿	50
三精给矿	46
一、二扫选给矿	42
扫精选给矿	35

在再磨热浮选过程中不再加药，因为在粗精矿再磨和加热时以前附在矿粒表面上的药剂脱落了又重新分布在新的矿粒表面上，足可使铁矿物再浮。此作业取得含铁66.9%的精矿。

（5）再磨脱泥

再磨脱泥是四台球磨机与四台有上升水流的浓缩机或称水力分选机组成。其流程如图9。球磨机转速为临界转速的69.6%。所用钢球为φ22毫米硬镍合金。衬板为双波形硬镍合金。磨矿浓度为70%。给矿粒度为-325目占45%。磨矿粒度为-325目占80%。再磨后的矿浆送入φ14×3.4米水力分选机脱泥。取得含铁64.5%的精矿。

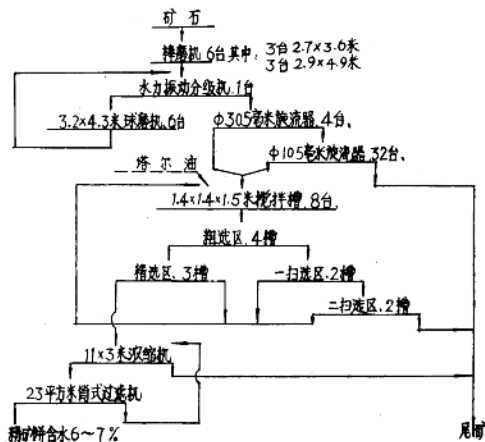


图 6 1~6系列磨矿、浮选、脱水流程

注：图中水力振动分级机、旋流器、搅拌槽、浮选槽为每个系列的台数。