

希腊专家爱泼斯坦莱德斯来华工作简介

1985年10月中旬至12月底,应邀来华的希腊专家爱泼斯坦莱德斯(G. A. Apostolides)考察了我国京承地区、大别山地区、宜昌地区和西昌会理地区的超基性岩岩体,并在成都对铬铁矿矿床的找矿和利用等问题进行了讲学。

爱氏早年毕业于英国皇家学院,曾在南非、乌干达、津巴布韦、芬兰做过铬铁矿的研究和勘探工作。在希腊,除进行铬铁矿的研究和勘探工作外,他还从事过菱镁矿、锰矿和石棉矿的勘探,对勘探、采矿、选矿、冶炼等领域都较熟悉,并做出了成绩。他现任希腊海伦尼克铁合金厂研究开发部主任。

在希腊铬铁矿矿床的地质勘探工作中,他的主要贡献有两个:

①救活了两个具有近百年开采历史的老矿山——桑格里和多莫斯科斯,新探明的储量分别为50万吨和100万吨,延长了矿山的寿命。

②扩大了塞德里瓦多铬铁矿矿床的远景。该矿原是一个小矿山,仅有20余年历史,经爱氏的系统研究,使矿区远景扩大到300万吨,使原有日产200吨的矿山扩大为1000吨。

在选矿上,他擅长重选,曾在英国皇家学院任过四年重选课教授,对使用重介质选矿,以减少磨矿、选矿量,降低成本有研究。

自氢氧脱炭法问世以来,在冶炼上他强调铬铁比已不是冶炼中的主要问题。因此,在找矿时不必强调铬铁比,但要研究渣比,即 MgO 、 SiO_2 和 Al_2O_3 之间的关系,以便对矿床作出正确的经济评价。

爱氏特别重视经济问题的研究,强调从地质勘探—采矿—选矿—冶炼的全过程,都要遵循统一的经济原则。他亦很注意国际市场价格的变化,并强调勘探工作伊始,

就要注意经济问题的研究。

下面是爱氏在成都讲学若干内容的摘要,以供参考。

铬铁矿的用途与技术经济指标之间的关系

铬铁矿的常见用途有以下五个方面:

1. 铁合金 一些铬铁矿生产国铬矿石的化学成分如表1。

出口用铬铁矿的铬铁比要高,否则卖不出去;自己用,铬铁比可降低,但矿石中的 MgO 、 Al_2O_3 、 SiO_2 的含量显得更重要,它们在炉料中的最佳比例应该是 $MgO 39\%$ 、 $SiO_2 34\%$ 、 $Al_2O_3 27\%$ (精矿中 SiO_2 不大于 7%)。若不合比例,应加填充剂,并注意填充剂中有害杂质的含量;在合金中 $TiO_2 < 0.3\%$ 、 S 、 $P < 0.03\%$ 。

2. 耐火材料 化学成分要求为: $Cr_2O_3 + Al_2O_3 \geq 58\%$ 、 $FeO < 13\%$ 、 $SiO_2 < 5\%$ 。100~+10毫米块矿的出口价为150美元/吨,4~+0.3毫米精矿90美元/吨,0.5毫米精矿40美元/吨。一些国家耐火材料用铬矿的化学成分见表2。

进口菲律宾的矿石炼合金,1吨矿石要加600公斤的纯嫩岩,这样炉渣就太多了。进口希腊矿石,以耐火级铬矿和冶金级铬矿混合,不必加很多填充剂,即可冶炼合金。

3. 化学工业 世界上唯一出口化工级铬铁矿的是南非。对化工级铬矿的要求简单,一般 $Cr_2O_3 > 44\%$ 、 $SiO_2 < 4\%$,并要求易破碎。

4. 铸造用砂 南非和芬兰都用铬铁矿生产铸造用砂。任何类型的铬铁矿都适用。一般要求 SiO_2 不大于 2.5% 、粒度 $-0.5 \sim +0.074$ 毫米,即+200目。

5. 玻璃工业用染料 红酒装入含铬的绿色瓶子,会令人赏心悦目。芬兰生产这种原料向法国、德国、意大利

表1

项 目	Cr_2O_3	TFe	MgO	Al_2O_3	SiO_2	Cr/Fe
希腊精矿	50.0	11.0	18.0	8.5	6	3.11
阿尔巴尼亚精矿	50.0	10.3	18.9	8.6	7.4	3.22
土耳其块矿	48.8	11	16.8	12.5	1.4	3.00
津巴布韦块矿	49.9	11.5	15.9	11.1	6.4	3.00
南非块矿	41.6	19.6	10	15.7	3.2	1.50
芬兰精矿	42.0	17.5	12.5	12.9	5.4	1.64

表2

国 别	Cr_2O_3	TFe	MgO	Al_2O_3	SiO_2	Cr/Fe
希腊	38.0	11.0	18.0	21.0	5	2.36
菲律宾	34.2	10.7	16.5	30.3	3.5	2.2
古巴	31.0	12.4	17.0	27.4	5.3	1.7

利和比利时出口。要求粒级0.001毫米, SiO_2 含量要低, 市场价格很高。

总之, 铬铁矿的用途除与矿石品位、铬铁比有关外, 还与 MgO 、 Al_2O_3 和 SiO_2 等含量有关。多年累积的资料表明, Cr_2O_3 的百分含量与 MgO 、 Al_2O_3 、 TFe 、 SiO_2 的百分含量呈线性关系。一般在低铝、高镁的纯橄岩中, 可望找到铬铁矿床。

国外主要产铬国家的铬铁矿床及其找矿勘探经验

1. 南非布什维尔德基性超基性杂岩体及大岩墙铬铁矿 布什维尔德杂岩体近椭圆形, 东西长300公里, 南北宽200公里, 出露不完全。岩体东西两侧均有规则状的铬铁矿层出露。自上而下为: 梅林斯基层含铂矿脉, 然后是上、中、下三层铬铁矿层, 各层间距200~500米。岩体西侧出露好, 东侧仅出现中、下两个矿层, 地表露头长70公里。各矿层由数条厚0.05~1.2米的平行矿脉组成, 其间夹有辉石岩, 总厚度为4米。矿层顶板为斑状辉长岩。矿石一般品位为 Cr_2O_3 44~46%, Cr-Fe 1.5, SiO_2 3~4%; 脉石矿物为橄榄石。

早年该区只开采1.2米厚的铬铁矿层, 而将0.05~0.8米厚的矿条丢弃。目前实行机械化采矿, 将大约4米厚的数条铬铁矿层及其间的辉石岩同时采出, 经过低成本的重介质选矿, 仍可获得经济效益。

因为矿石 Cr-Fe 比值低, 过去只作化工原料出售; 现在使用氢氧脱碳法冶炼, 亦可生产出铬铁合金。

关于该岩体中铬铁矿的成因, 主要有三种假说: ①岩浆重力分异说; ②岩浆期后贯入说, 认为先结晶的铬尖晶石晶体, 因受重力作用下沉后, 在高温下又重熔生成高浓度的矿浆, 然后顺层贯入而成; ③陨石说

南非布什维尔德大岩墙位于该杂岩体的北端, 呈南北向延伸, 长600公里, 深度不明。

大岩墙的两侧为辉长岩, 中部为苏长岩, 铬铁矿体呈一规则的层状体位于西侧, 只一层矿, 厚约0.6米。含 Cr_2O_3 42~46%, Cr-Fe 为1.5, 属高铁矿石。早年以开采砂矿为主, 不需破碎和选矿, 含 Cr_2O_3 4~5%, 开采成本低。

岩墙中段Selukwe地区有一膨大部位, 走向长15公里, 最宽处5公里, 矿体形状极不规则, 矿石品位比其他地区高。其中一个矿体储量300万吨, 含 Cr_2O_3 19.9%, TFe 11.5%, MgO 15.9%, Al_2O_3 11.1%, SiO_2 6.4%, Cr-Fe 为3.0。矿体围岩为滑石碳酸盐岩和蛇纹岩。此外, 在其边部还有一些层状矿体, 与岩墙其他地段矿层的产状、品位相似。

岩墙膨大部位的两侧, 为一时代晚于大岩墙的含金花岗岩岩体, 二者接触处岩墙内有含金石英脉产出。故该区既是一个大型铬矿山, 又是一个大型金矿山。

对Selukwe地区铬铁矿的成因, 有的认为是花岗岩侵入使岩墙变质、熔化变形成矿; 有的认为是较晚的新

的侵入体成矿。

2. 芬兰开米铬铁矿 该矿区位于开米城东北10公里。与成矿有关的基性超基性杂岩体是1959年地质填图过程中发现的。岩体呈长条状, 长15公里, 宽300~1900米; 走向北东, 倾向北西, 平均倾角70°。岩体上盘为绿岩, 下盘为混合岩。

岩体所在地区地势平坦, 海拔仅20~25米, 多被覆盖, 露头稀少。

岩体上部以辉长岩为主, 夹少量斜长岩和苏长岩; 下部以橄辉岩为主, 辉石岩、纯橄岩岩层交替出现。铬铁矿层断续分布在距岩体底部50~200米的层位上。矿层厚数厘米至数米。已勘探的地段走向长达4.5公里, 由8个矿体组成, 矿层厚30~90米。

近矿围岩已蚀变为滑石—碳酸盐岩和蛇纹岩, 并与橄辉岩整合产出, 厚约100米。矿体呈不规则的扁豆体状, 延深500米以上。

矿石品位较稳定, Cr_2O_3 一般含量为26~27%, 变化范围为24.5~30.5%; Cr-Fe 为1.52~1.69。

该区以100米间距的钻探网度进行了勘探, 一般孔深300米, 最深450米。以 Cr_2O_3 20%为边界品位, 200米以上的控制储量目前为1450万吨。

由于矿石中铬尖晶石颗粒细小(平均粒度0.2毫米, 变化范围0.05~0.3毫米), 重介质分离法选矿效果不佳, 难于利用。经芬兰的奥托孔普公司多年研究, 发现强磁选可有效地把粒度为10微米的矿石分离出来。1966年该公司建选厂, 1968年开始采矿。距矿山25公里处建立的铁铬合金厂也于同年投产。1976年又建了不锈钢厂。目前生产的精矿品位为 Cr_2O_3 42%, Cr-Fe 为1.64。

矿山共设计了6个采坑, 露天采台阶高12米, 深110米, 整个采坑坡度为45°, 日产矿石3500吨。

该矿山产出的铬精矿铬铁比低, 不能出口, 也无利可图。但自用炼制铁合金和不锈钢, 充分利用了资源, 也收到了较高的经济效益。

3. 希腊的铬铁矿床及找矿勘探经验 希腊的镁铁质、超镁铁质岩大致可分两个岩带: 东带位于卡尔西迪西半岛, 向西北延续到南斯拉夫境内; 西带包括品都斯山—奥林匹斯山至埃维厄岛的一系列岩体, 是希腊工业铬铁矿床的主要赋存地带。

(1) 桑格里—多莫斯科斯铬铁矿床 这是两个具百年开采史的老矿山。矿体均呈不规则状, 大小不等。超基性岩已强烈蚀变, 难于系统开展地质工作。近百年来, 全凭老经验打竖井和平巷的方法探矿、采矿。六十年代初, 桑格里矿山储量告急; 多莫斯科斯矿山遇到地下水, 以及电费昂贵, 铬铁矿矿石价格下跌等问题, 亦濒临关闭。当时这两座矿山都颇有外国专家, 他们均以岩浆岩侵入的观点主张闭坑。

爱氏花了一个冬天, 用随机概率的方法, 在开采的老矿体的基础上, 提出新的最佳勘探网度, 救活了这两

座老矿山，分别新增储量50万吨和100万吨。

桑格里矿山是世界上最古老的铬铁矿山，1872年首次开采，采出矿石500吨；1892~1985年连续开采，共采出矿石100万吨。

多莫斯科斯山1892~1925年仅开采露头矿，年产矿石5000~10000吨；1926~1949年应用边探边采的方法，坑道掘进至片岩即终止，发现越接近片岩，矿体越大。此间，平巷进尺1千米，共采出矿石18万吨。由于矿石密度大，见矿率很高，平均每米进尺获得矿石18吨。1950~1970年间，采用斜井采矿与平巷内打钻相结合的新探采方法，斜井中段垂深10米，分段开采，开采后再打放射状钻孔。共掘进平巷1千米，放射状钻孔2千米。由于深部斜井成本高，至一定深度后又改用新方案。爱氏用随机概率法，分别对不同钻探网度进行了对比，选定20×20米为最佳勘探网度（表3）。

表3

勘探网度（米）	见矿率（%）
50×50	13.5
40×40	21.7
30×30	37.8
20×20	68.8
10×10	≈100

1971~1979年间，钻探进尺17.3千米，采出矿石36万吨，平均每米获得矿石25吨。1980~1985年间，900个钻孔总进尺13.5千米，采出矿石32万吨，平均每米获得矿石3吨。

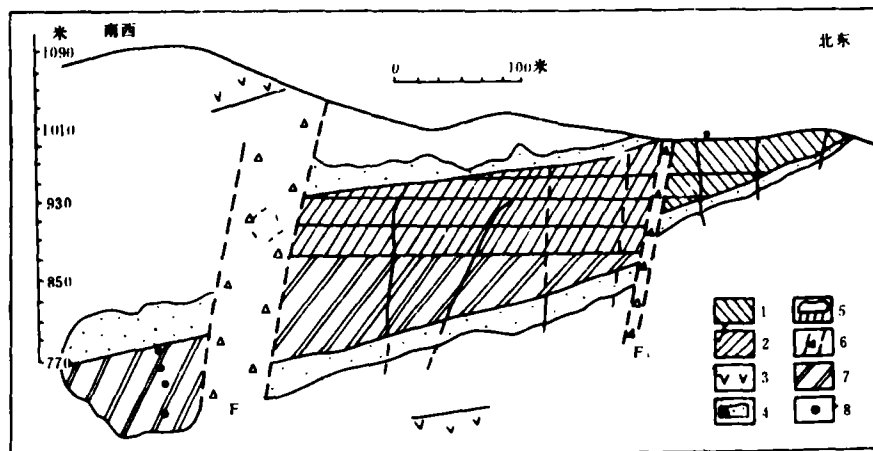


图1 塞勒里瓦多矿床横剖面图

1—已采区；2—正在开采的地区；3—方辉橄榄岩；4—矿化界限；5—开采界限；6—断层带；7—待采区；8—钻孔

4. 寻找盲矿体的方法 在全球找矿难度日益加大的今天，希腊同样面临着找盲矿的问题。铬铁矿赋存于高镁纯橄岩中。现正在已知区用物探法寻找盲矿。经验表明，用剩磁法寻找隐伏铬矿体有成效。对纯橄岩、橄榄岩和铬铁矿分布区，对贫富铬矿交替分布的地段，对埋深30米，厚0.9米的铬矿层，用剩磁法可反映出来。

钻探发现上、下片岩挤压强烈，封闭的部位有大矿体赋存，1986年拟采用物探方法圈定片岩挤压狭窄处：即成矿有利部位，物探专家准备用地震法勘探。

(2) 塞勒里瓦多铬铁矿矿床 这是一个开采历史仅20余年的小矿山。爱氏系统地研究了矿石的化学、矿物学特征和物理性质，对矿床的赋存规律提出了较成熟的认识，并对探采工程费用作了详细测算，对探采工作作了合理安排，力排众议，大胆地提出用长达2.5公里的巷道代替斜井提（排）水运矿。计算表明，两项工程费用相当，但前一工程可同时作为探矿、采矿和排水工程。这样，探明储量增加了150万吨，扩大远景储量300万吨。

塞勒里瓦多矿床产于沃里诺斯基性—超基性岩体中。岩体出露面积250平方公里，仅赋存于侏罗纪结晶灰岩中，与围岩呈侵入接触，该矿床包括7个矿体，均赋存于纯橄岩异常体中。单个矿体产状较为稳定，走向北东50°左右，倾斜陡。矿体为近东西向的横断层F₁，F₂，F₃所破坏（图1）。根据生产坑道地质编录，爱氏发现自F₁断层切断矿体后，断层两侧矿石粒度向深处变粗，断定深部仍有矿体。考虑到开采深部700米标高的铬铁矿时，需打斜井提升矿石和抽水，爱氏才决定从700米标高处打长达2.5公里的平巷作为出矿口和抽水口，并兼作深部探矿坑道。平巷工程与斜井工程费用完全相抵，扩大储量150万吨。现今矿体又遇到F₃断层，铬铁矿粒度仍属粗粒级，因此矿体错断而未尖灭，正拟在山坡另一端设计一条长4公里的探矿坑道，并在坑口再建一座选厂。

铬铁矿选矿

1. 选矿的必要性 铬铁矿选矿是铬铁矿资源评价、开发利用的重要一环。一般采用重选和强磁选，尤以重选最常用，浮选少见。不论是浸染状矿石还是块状矿石，以现代技术采矿不可避免地要贫化。

有些国家的资源保护政策规定，采矿不得采富弃贫。

南非规定开采贫矿当局减税。在这种情况下也要选矿。

2. 选矿样品的采取 采取选矿样品时,要充分考虑铬铁矿床的矿石类型、成分、品位变化等因素。地表矿石与深部矿石亦有差异;前者常遭风化和蚀变,后者则坚硬不易解离。采样若不注意两者的匹配,样品就失去代表性。希腊有一个矿床在进行选矿试验时,从地表采取了500吨样品送西德做试验,由于没采岩心样,造成了灾难性的后果。

另外,采岩心样要特别注意岩心采取率、劈取化验剩余部分及保存情况,岩心劈取1/2或1/4是不正确的,保存不善、细粉损失、采取率低,都可能导致岩心样无代表性。希腊有一个矿床,岩心取样化验含 Cr_2O_3 10%,坑道探明含 Cr_2O_3 12%,按12%的品位计,储量为75万吨,就可建250吨/日的选厂,经济上是合算的。

3. 铬铁矿选矿技术与工艺

(1) 粗粒矿物重介质分离技术 块状铬铁矿比重 >3.8 ,蚀变岩石为2.4~2.6,新鲜脉石(橄榄石类)2.9~3.2。铬铁矿与脉石有一定的比重差,采用重介质选矿完全可以使其相互分离。重介质选矿精度高,处理量大,可在较粗粒级范围内分出脉石或精矿。

(i) 重介质:重介质选矿关键是重介质的选择和控制。

铬铁矿选厂所用分选介质多为硅铁。 ~ 0.1 毫米 FeSi 82%加水18%,配成比重为3.5克/厘米³的悬浮液。硅铁(FeSi)含Si 15~16%。如果铬铁矿比重为3.8,脉石平均比重为2.7,那么,选用比重为3.2的硅铁悬浮液即可达到分选的目的,即HMS分离法。这种分选介质可配制成为适合需要的重悬浮液,包括比重、粘度等要求,并可用磁选法回收循环使用,比较经济。

重介质比重(δ)的选择与矿石块比重和铬铁矿精矿品位关系如图2。

铬铁矿 $\delta = 4.2$,纯橄岩围岩 $\delta = 2.4 \sim 3.2$ 。

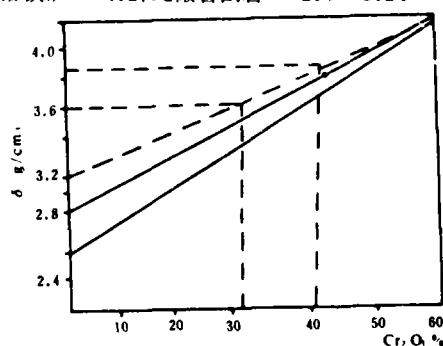


图2 重介质比重(δ)与铬铁矿精矿品位的关系

由图2可见,如欲获得 Cr_2O_3 40%的铬铁矿精矿,应用比重为3.9的重介质是难于办到的,因为 FeSi 可配制的最高比重是3.6,再提高,介质粘度增大,使分选过程遭到破坏。重介质比重为3.6时,铬精矿含 Cr_2O_3 可达32%。

2 块状铬铁矿重介质分离的原则流程见图3。

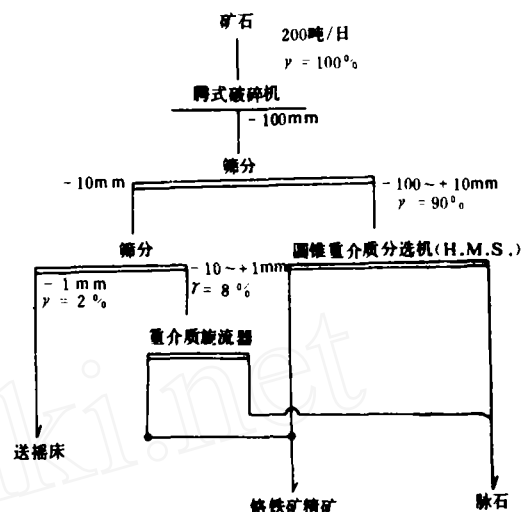


图3 重介质预分选分离脉石和精矿的流程图

图3表明,入选粒度—100毫米,该粒度作为圆锥重介质选矿机给矿和铬精矿送铁铬工厂处理都比较合适。圆锥选矿机处理90%的矿量,摇床负荷仅2%;摇床处理能力小也是合理的。

3. 选矿经济

(1) 矿石储量、品位与选厂规模 在希腊,处理含 Cr_2O_3 12%的铬铁矿石的现代化选厂规模至少日处理矿石250吨,保有地质储量75万吨,工作10年是有利可图的。在中国,寻找含 Cr_2O_3 10%的矿床,储量应达到30~40万吨方可开采;如果矿石品位 Cr_2O_3 30%,则储量限制不严格,可直接开采利用。

在一定范围内,选厂处理量对降低成本有好处,规模过大会使管理复杂而提高成本。

图4是希腊国家条件下获得的数据和投资费用,10年回收利率12%。不同矿种地质条件可能会有些变化,但基本规律还是适用的。

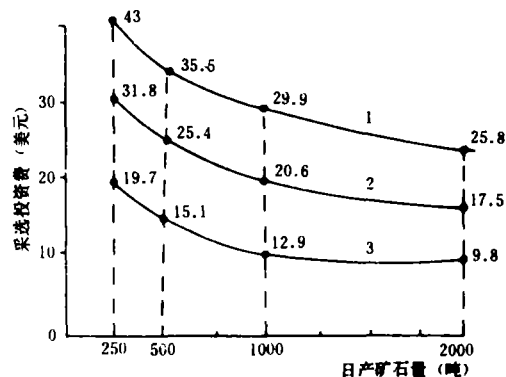


图4 矿山矿石产量与采选投资费用的关系
1—矿体复杂,井下开采; 2—易采,井下开采
3—露天开采,剥离不多

(2) 选矿方法与设备 不同选矿方法处理铬铁矿的成本: 全重选6美元/吨, 重选+磁选4美元/吨, 全磁选2美元/吨。

重选处理细级别物料, 生产成本低。有用矿物比重和脉石矿物比重差越小, 处理能力减少得越明显。表4所列数据充分说明了物料级别大小对摇床处理量的影响。

不同粒级铬铁矿石物料摇床处理量 表4

矿 石	级 别 (毫米)	摇床处理量 (吨/小时)
铬铁矿石矿石	-1.0 ~ +0.6	2
铬铁矿 ($\delta = 4.2$)	-0.6 ~ +0.3	0.8
围 岩 ($\delta = 2.7$)	-0.3 ~ +0.15	0.4
"	-0.15 ~ +0.02	0.1

(3) 降低金属损失, 加强综合利用 河北高寺台铬铁矿矿山采用重选法选别铬铁矿:

原矿品位 $f = 9.3\% \text{Cr}_2\text{O}_3$,

精矿品位 $c = 40.0\% \text{Cr}_2\text{O}_3$,

尾矿品位 $t = 2.9\% \text{Cr}_2\text{O}_3$,

$$\frac{F}{C} = \frac{c-t}{f-t} = \frac{40-2.9}{9.3-2.9} = 5.8.$$

式中: F = 入选矿量 (吨), C = 精矿量 (吨)。

每获1吨精矿需5.8吨原矿。如果 $t = 1.9\% \text{Cr}_2\text{O}_3$, 则 $F/C = 38.1/7.4 = 5.1$ 。这样入选矿将减少20%, 从而提高经济效益。

实际上尾矿含 $\text{Cr}_2\text{O}_3 2.9\%$ 已是很低了, 这大概是试验数据。希腊铬铁矿选矿厂尾矿品位一般 $\text{Cr}_2\text{O}_3 5\%$ 。

选矿尾矿多为微橄榄石, 可综合利用。

地 质 经 济

决定矿化是否有价值的因素很多, 但主要是开发费用 (包括采矿、选矿、投资和矿石运输费等) 和矿石价值两个因素。

1. 开发费用

(1) 采矿 开采费用一般不易估计, 可波动在1~50美元/吨。采矿方法有露采和坑采两种。露采的关键是剥离比, 而坑采的难易程度取决于: ①矿体的几何形态, 对矿山开采影响极大。矿体的倾角和厚度也十分重要。②矿石围岩的物理性质。若矿体和围岩坚硬, 采矿费就贵。③矿体所处构造位置。④矿体所在的地形。⑤水文地质条件等。前三个因素是采矿工程师选择采矿方法的依据, 后二者是决定能否露采和投资大小的关键。

采矿分采准和实采两个阶段。这时需考虑设竖井还是打平巷。一般说竖井费用高。人工开采矿石贫化率比机械开采低。产状陡, 厚度大的矿体易采, 贫化率低。矿石日采量大者成本低 (图5)。

(2) 选矿 选矿费用与产量亦有关系。根据矿石的化学性质、品位、矿物组合、赋存状态和矿石的物理

性质 (颗粒大小、磁性等), 每吨矿石选矿费、矿物回收率等, 确定采取何种选矿方法。一般, 重选法对大粒矿石 (1~2毫米), 回收率可达85%, 而细粒 (-0.2毫米) 回收率仅60%。可是用浮选法, 细粒 (-0.05毫米), 回收率可达90~95%。回收率不仅与选矿方法有关, 而且与矿石类型、矿物赋存状态等有关。

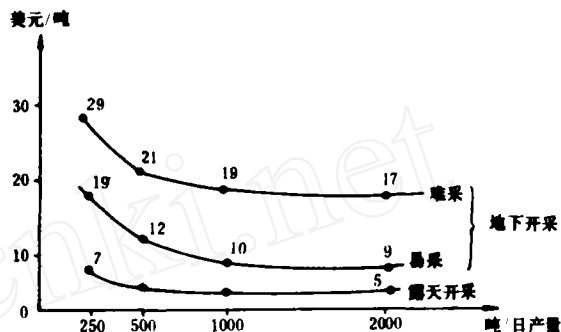


图5 矿石日产量与每吨矿石费用的关系

(3) 投资 包括采矿、选矿、运输以及能源消耗等的费用。投资的利率也应考虑在内。如设投资为 x , 按国际投资的利息计算:

矿山开采10年, 按12%利率计, 每年偿还 $0.177x$;
开采5年, 按12%利率计, 每年偿还 $0.278x$ 。

中国的利率仅6%, 这对投资十分有利。由些可见, 投资与利率、矿山储量都有很大关系。一般日产量下限不能低于250吨; 上限不宜超过2000吨, 否则费用就要升高, 主要是由于生产管理费增加引起的。当日产量达到1000吨时, 每吨费用下降很慢。

2. 矿石的价值 矿石的价值与以下因素有关: ①矿石的平均品位 (指入选品位, 不是地质品位); ②精矿品位, 包括有益元素和有害元素的含量; ③粒度分布、比重、烧失量、晶体结构、矿物形态等; ④选矿回收率; ⑤市场价格、用途、需求量; ⑥国际货币价格; ⑦精矿运输费 (指送往冶炼厂)。这些因素若一项有变化, 都会影响矿石的价值。

3. 某些矿床经济评价实例 这里主要讨论市场需求、有用金属、矿石最终产品的价值和围岩的利用。

(1) 注意市场需求量 随着冶炼技术的进步, 人们发现用铬铁矿做炼钢耐火砖炉衬, 使用的时间长, 很经济。

耐火级铬铁矿

块状矿石: 粒度 -100 ~ +10毫米, $\text{Cr}_2\text{O}_3 38\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 19\%$, $\text{SiO}_2 5\%$, 150美元/吨;

精矿: 粒度 -4 ~ +0.5毫米, $\text{Cr}_2\text{O}_3 40\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 21\%$, $\text{SiO}_2 4\%$, 90美元/吨;

精矿: 粒度 -0.5毫米, $\text{Cr}_2\text{O}_3 42\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 22\%$, $\text{SiO}_2 3\%$, 40美元/吨。

由此可见, 矿石的类型、粒度不同, 其价值也各异。低品位矿石不一定价格就贱, 因为块状矿石用作耐火砖

市场需求量大,而细粒矿石(精矿)一般只用作炉衬中耐火砖间的胶合剂,市场需求量小。

(2) 注意矿石中金属的价值 不论是进口还是出口,都必须了解国际市场金属的价格,衡量是否有益:没有收益,即不能进口也不能出口。根据金属的价格可计算金属的价值。其经验公式是:矿石中某金属的价值=矿石中该元素的品位(%)×该元素的经验系数×该元素单位重量的国际市场价格。

(3) 注意矿石最终产品的价值 希腊塞勒里瓦多铬铁矿,从采矿、选矿到精矿都亏损,但用作铁铬合金后就盈利。因此矿山仍可以继续生产。

(4) 注意矿石围岩的利用 铬铁矿矿床的围岩——橄榄岩,可以做炼钢熔剂、耐火砖和铸造砂。用于炼铁的橄榄岩最佳粒级为-25~+5毫米,其价格为17英镑/吨。据统计,法国、德国、比利时、英国等国用于炼铁的橄榄岩,每年需求量为150万吨。因此,开采橄榄岩可以卖掉。希腊也在找这种橄榄岩,不但可以卖给欧洲,也可卖给苏联和日本,它们的需求量很大。用作耐火砖的橄榄岩最佳粒级为-4~+0.5毫米,烧失量不能大于4%。这样的橄榄岩国际市场价格为22英镑/吨。铸造砂用的橄榄岩最佳粒级为-0.5~+0.075毫米,烧失量不能大于2%,价格为45英镑/吨。

对中国铬铁矿找矿和开发的建议

1. 对株林等五个地区进一步工作的意见

(1) 株林 位于河北省遵化县。此行虽未见铬铁矿矿床,但见有数个大小不一的采坑。由采坑形态推测矿体不规则:据采坑大小,大的矿体可能达1000吨,小的约20~25吨。此铬矿现为民采,采后直接卖给冶炼厂,因此可能是块状富矿。该区超基性岩体规模较大,岩性为滑石化橄榄岩,很象希腊的桑格里铬矿。采坑分布零散,地形起伏不大,考虑以上因素,建议做以下工作:①了解采坑的分布、已采矿量及其品位;②选择采坑密集的小区,进行10×10米网度的钻探试验,深50米,无岩心钻进。

(2) 水口 位于湖北省麻城县。超基性岩体规模较大,已知大小矿体89个(地表73个,地下16个),控制矿量1030吨。地表矿已为民采,矿量和品位不详。矿体大小不一,形态不规整,与河北株林铬矿相似。该区已有一条平巷和许多钻孔,地质工作已很详细,可用推土机直接揭露,边探边采。

(3) 太平溪 基性—超基性岩体规模很大,分异程度较高;西侧为纯橄榄岩,矿化普遍,见有细脉状产出的块状矿石。此岩体作过大量地质工作,已有好多钻孔。据此不宜再投入钻探工作,对富矿脉可用边采边探的方法。根据经验,0.2米厚的矿脉,打1.6米宽、1.8米高的巷道追随开采,经济上是合算的。希腊曾在这样的矿脉开采出9万吨矿石。

(4) 牛金树 根据资料,铬矿脉长30米,宽4米,

为断层切断。希腊的塞勒里瓦多铬矿的矿体为横断层切成数段,并发生了位移。根据这一经验,建议在牛金树断层的另一侧做些地质工作,布钻,但不要太多。

(5) 石棉岩体 主要为石棉矿体,其边部有些不规则的块状铬铁矿体。化学成分(%): Cr_2O_3 41.6, Al_2O_3 17.22, FeO 8.25, Fe_2O_3 6.10, MgO 18.39, SiO_2 3.6,属于最好的耐火级铬铁矿(国际市场价格150美元/吨),但地形起伏太大,无法进行20×20米网度的快速勘探。

此外,四川的阿其、白云村等地区的岩体和矿点,亦可做一些工作,矿化好的地区,如白云村矿点的西部,亦可打一些钻,但不宜太多。

2. 高寺台、放马峪、平顶山等铬矿现有资源利用的可能性 矿产资源能否利用,实质是经济上是否合算的问题。就一个储量已经确定的矿床而言,矿体的形态、产状和延深决定着矿床的开采方式;矿石的品位决定着是否需要选矿;矿石的化学成分,特别是 MgO 、 Al_2O_3 、 SiO_2 的含量决定着冶炼是否要配矿;此外,矿石的运输方式和运输距离等等,都直接影响着铁铬合金的生产成本。通过计算,并与进口矿石作比较,若成本相等或略高,应认为是合算的。

根据以上原则,对高寺台、平顶山、放马峪等几个铬矿床现有资源利用的可能性计算如表5

由表5得知,放马峪块状矿石,不经选矿可直接送北京附近的冶炼厂。平顶山、高寺台铬矿需建选厂,以精矿供应北京附近的冶炼厂。它们与进口矿石(菲律宾)相比,经济上都是合算的。若不能建选厂,也可采用压缩储量只用富矿的方式。如平顶山有富矿夹层,采矿后破碎、手选,富矿直接送冶炼厂;贫矿堆积起来,将来有条件再利用。

由于平顶山、放马峪、高寺台已做了大量钻探工作,前景不会太大,无需再做工作。

3. 对罗布莎地区铬矿资源利用的建议 根据河北、湖北两省10余个超基性岩体和铬矿床的观察,及中国地质人员提供的资料认为,在中国东部找到可供单独建立冶炼厂的铬矿资源(品位30%的富矿需70万吨,品位>10%的贫矿需500~700万吨)的可能性不大。优势在中国西部。为了使中国西部的铬矿资源得以利用,现以罗布莎铬矿为例,对其利用的可能性和经济效益作一推算。

罗布莎铬矿位于西藏,储量>150万吨,矿石品位>50%。若在当地开采,矿石运往中国东部冶炼,运输费用极大,成本远远大于从国外进口。能否考虑在罗布莎建立冶炼厂,就地炼成铁铬合金,再将冶炼产品运往东部,成本将大大降低。

表6是根据中国地质人员提供的资料进行推算的,推算条件的假设都是采用最困难、费用最高的标准。

这种推算虽然某些条件是假设的,而且是从介绍计

在已有冶炼厂300公里半径范围内铬铁矿资源利用情况的推算

表5

项 目	平顶山精矿	高寺台精矿	放马峪块矿	菲 律 宾 块 矿
储量, 百万吨	0.76	0.375	?	—
矿石品位, Cr_2O_3 %	11.2	9.3	34.7	34.2
精矿品位, "	35.6	40.8		
尾矿品位, "	2.3	2.9		
回收率, %	85.0	75.0		
(a) 原矿/精矿	3.74	5.9		
矿山日产量以250吨计				
采矿成本, 美元/吨	13.0	13.0	13.0	
选矿成本, "	6.5	6.3	—	
分期偿还的资本, "	2.1	6.5		
(b) 总成本, 美元/吨	21.6	26.0	13.0	
精矿成本 ($a \times b$), 美元/吨	80.8	153.4	13.0	
运费(300公里计), 0.2美元/吨公里	18.8	18.8	18.8	
	99.5	172.2	31.8	
	2.8	4.2	0.96	
矿石化学成分, %				
Cr_2O_3	35.6	40.8	34.7	34.2
TFe	32.9	25.4	21.2	10.7
MgO	6.5	13.6	16.9	16.5
SiO_2	4.6	2.9	10.5	3.5
Al_2O_3	5.9	6.4	7.7	30.3
Cr/Fe	0.74	1.40	1.10	2.19
为达到 $\text{MgO}/\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 之最佳配分39/34/27, 需加入的冶炼辅料				
石 英	0.017Q	0.084Q	0.035Q	0.142Q
铝土矿, 吨 (矿石或精矿)	—	0.060B	0.078B	—
纯碱岩, "	0.018D	—	—	0.607D
还原 Cr_2O_3 、 FeO 、 Fe_2O_3 所需焦炭	0.227	0.222	0.187	0.152
铁铬合金产量,	0.571	0.537	0.454	0.354
铁铬合金中铬金属量, %	36.1	44.7	44.3	55.9
炉渣产出量, 吨 (矿石或精矿)	0.226	0.317	0.444	1.030
铁铬合金/炉渣比值	2.53	0.57	1.02	0.34
铬铁合金中铬金属, 吨 (矿石或精矿)	0.206	0.240	0.201	0.198
矿石或精矿的价值:	99.6	132.2	31.8	$x = 126$ 美元/吨
石英的价值, 20美元/吨	0.3	1.7	0.7	2.8
铝土矿", 30美元/吨	—	1.8	2.3	—
纯碱岩价值, 10美元/吨	0.2	—	—	6.1
焦炭价值, 100美元/吨	22.7	22.2	18.7	15.2
冶炼铁铬合金所需电力, 3150度/吨	39.2	37.0	31.3	24.4
冶炼总成本, 美元/吨	167.3	242.2	94.7	$72.2 + x$
铁铬合金中铬金属的价值	835	1009	471	$(72.2 + x) \cdot 0.198 = 1000$ 美元
1985年10月铬金属的国际价格	1000	1000	1000	1000
新建20MVA电炉的 铁铬合金厂年产量, 吨	3 FeCr 合金 + 炉渣 = 16万吨/年 3 FeCr 合金 + 炉渣 = 12.2万吨/年			
铁铬合金年产量, 精矿或矿石年需求量, 若需选矿时年需求量, 可生产10年的矿山储量, 吨	47060 824300 $\times 3.74$ 308000 300万	44568 82995 $\times 5.9$ 490000 500万	30653 67518 $\times 1$ 675.8 70万	20640 58300 $\times 1$ 58300 62万

西藏罗布莎铬铁矿资源利用及其经济效益推算

表6

项 目	品 级			
矿石化学成分, %				
Cr ₂ O ₃	53.2	50.0	48.0	46.0
TFe	8.6	(8.2)	(8.0)	(7.8)
MgO	(19.5)	(21.0)	(22.0)	(23.0)
SiO ₂	5.6	(7.2)	(8.6)	(9.2)
Al ₂ O ₃	9.2	(8.5)	(8.0)	(7.5)
Cr/Fe	4.23	4.17	4.10	4.03
为达到MgO/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ 最佳配分 39/34/27所需加入的冶金辅料				
石 英, 吨/矿石吨	0.107	0.100	0.092	0.091
铝土矿, " "	0.086	0.120	0.141	0.170
还原用焦炭, 吨/矿石吨	0.213	0.198	0.191	0.185
铁铬合金产量, 吨/矿石吨	0.462	0.438	0.424	0.411
合金中铬金属量, % (吨/矿石吨)	70.8	69.5	68.5	67.4
炉渣产出量, 吨/矿石吨	0.441	0.486	0.520	0.547
铁铬合金/炉渣比值	1.05	0.90	0.82	0.75
3FeCr + 炉渣 = 122000				
铁铬合金年产量, 吨/年	30990	29680	28384	28160
炉渣产出量, 吨/年	29400	32950	25480	37540
铁铬合金中铬金属量, 吨	21867	20628	19755	18991
每年所需矿石量, 吨	66900	67930	68100	68510
每年所需石英, 吨	7160	6790	6265	6235
每年所需铝土矿, 吨	5750	8150	9805	11650
每年所需焦炭, 吨	14250	13450	13000	12670
所需矿石成本, 美元×1000/所占%	2408/11.4	2145	2452	2466/11.7
所需石英成本	272/1.3	25.8	238	237 1.1
所需铝土矿成本	1064/5.0	1508	1811	2155/10.2
冶炼铁铬合金所需成本	3041/18.9	2922	2839	2459/17.5
冶炼产生炉渣所需成本	965	1089	1161	1232
冶炼电极消耗	120/0.16	130	140	160/0.8
铁铬合金运费	5560/23.2	5342	5191	5069 23.9
管理及维修费	1000/4.7	1000	1000	1000 4.7
分期偿还的资本	3520/16.6	3520	3520	3520 16.6
总 成 本 美元×1000	21156 100	21233 100	21283 100	21119 100
每吨铬金属的总成本 美元				
前 十 年	967	987	1077	1114
十 年 后	807	824	899	928
铁铬合金中铬金属的国际市场价格	1000	1000	1000	1000
赢利或亏本				
前 十 年	+ 3.4	+ 1.3	7.7	- 11.4
十 年 后	+ 23.9	+ 21.4	+ 11.2	+ 7.8

算方法的角度出发的,但西藏罗布莎铬矿资源的这种利用方法很可能是现实的。

4. 关于中国东部寻找铬铁矿资源及勘探目标的粗略估计 根据计算,若新建一个具有20MV A电炉小型现代化的铁铬合金厂,以目前国际市场提供的铬铁矿、各种冶金辅料价格和工厂生产能力,投资按10年偿还标准,需求的最低资源量为500万吨Cr₂O₃品位≥10%需经选矿的贫矿(或70万吨品位>30%的块状富矿)。

通过对河北、湖北两省铬矿资源的了解,认为在中国东部找到上述规模的铬铁矿的可能性不大。如已建好

冶炼厂,可在距冶炼厂300公里半径范围内寻找储量在30~40万吨,品位>10%的铬铁矿(或任何储量的块状富矿)。这种规模的铬铁矿,自建选厂,以精矿供应冶炼厂,在经济上也是合算的。

根据以上原则,在河北地区应对那些工作程度较低,或因铬铁比不高而认为无望的矿点进行分析。看看该超基性岩体是否有容纳30~40万吨(Cr₂O₃>10%)铬矿储量的空间,如是,可进行工作,并打钻验证。

中国东部其他地区也可根据以上原则考虑。

[顾昌祖、胡品美、吕世海、杨景元、沈承衍、李丁炎、刘道荣、李永明等综合整理]