

地质资料选编(三十)

北京图书馆藏

34010

2

中文资料

铁矿资源综合利用

(内部发行)

51.1

一九七七年四月

毛主席语录

开发矿业。

矿山保护、综合利用很重要，要注意。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

外国一切好的经验，好的技术，都要吸收过来，为我所用。学习外国必须同独创精神相结合。

目 录

我国某地钒钛磁铁矿综合利用情况.....峨眉矿产综合利用研究所	(1)
我国某地钒钛磁铁矿表外矿的利用.....峨眉矿产综合利用研究所	(10)
河南省某铁矿综合利用概况.....广东地质局第九实验室	(17)
大力开展综合利用,努力提高选矿指标.....山东金岭铁矿选矿厂	(29)
对鄂西某宁乡式高磷赤铁矿综合利用的几点意见.....峨眉矿产综合利用研究所	(35)
江苏砂卡岩型铁矿低含量伴生元素的综合利用.....江苏地质局实验室	(44)
我国含锡铁矿综合利用研究概况.....	(52)
大宝山型铁矿资源综合利用途径的探讨.....广东大宝山矿尹登甫	(58)
国外钒钛磁铁矿资源及其利用概况.....	(61)
美国蒂尔登铁矿山采用新的选矿技术.....	(66)
铁矿石选矿的新工艺.....	(69)
降低氧化铁矿石中磷和硫含量的方法.....	(76)
用凝聚法分选含磷铁矿石.....	(79)
氧化铁矿石处理方法.....	(85)
铁矿石选矿中硅的浮选及细筛的应用.....	(94)
铁矿石中硅的浮选.....	(100)
铁矿石浮选捕收剂及其应用.....	(104)

我国某地区钒钛磁铁矿综合利用概况

峨眉矿产综合利用研究所 820 研究队

我国钒钛磁铁矿资源丰富，该类型铁矿已知储量占全国铁矿总储量的 13%。

遵照伟大领袖毛主席关于“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平”和“矿山保护，综合利用很重要，要注意。”等一系列有关教导，十几年来许多生产、科研、教学单位，对钒钛磁铁矿石物质成分、选冶综合利用等进行了大量的研究工作，使钒钛磁铁矿“一矿”变多矿，取得了显著成效。

某地钒钛磁铁矿，是一种以铁为主，伴生钒、钼、锆、硫、钴、镍、铜、锰、镓、铂族元素等十几种有益组分的特大型共生矿床。如能解决该矿的综合利用问题，对国家建设具有重大的意义。

一、矿石矿物的特征及其对选冶工艺的影响

该地区的钒钛磁铁矿，按含铁品级划分属于中贫矿石，一般矿石含铁 30% 左右（BM 矿较低一些），含二氧化钛 5—11%，含五氧化二钒 0.3% 左右，还含有万分之几的钴、镍，以 HG 矿区较高，BM、TH、PZH 次之；HG 矿区的矿石含铬较高，表内矿为 0.324%（三氧化二铬），而其它矿区均为万分之几。

四大矿区矿石主要有益元素含量（%）表

表 1

矿区	铁 (TFe)	五氧化二钒 (V ₂ O ₅)	二氧化钛 (TiO ₂)	三氧化二铬 (Cr ₂ O ₃)	钴 (Co)	镍 (Ni)	铜 (Cu)
PZH	33.23	0.28	11.68	0.013	0.014— 0.023	0.008— 0.015	0.025— 0.037
BM	27.84	0.19— 0.33	5.4— 8.37	0.03	0.016— 0.029	0.014— 0.029	0.020— 0.042
TH	30.34	0.28	11.73	0.018	0.015	0.016	0.026
HG	28.03	0.28	11.74	0.32	0.0223	0.0705	0.0308

主要矿石类型有：辉长岩型（PZH、TH、BM 矿）；闪辉岩型（BM 及 HG 矿区）；辉石岩型（HG、TH 矿区）和橄长岩型（BM 矿区）。多属于稠密程度不等的浸染构造。

金属矿物有氧化物及硫化物，前者系主要矿石矿物，后者为伴生有用组分的赋存矿物。

根据现有工业生产水平，钒钛磁铁矿通过选矿可得三种矿物原料。即：铁钒精矿、钛精



A840473

矿和富含钴镍的硫化物精矿。这些精矿经冶金和化工处理，可使其含有的伴生有益元素得到利用。现就几种主要矿物的特征及其对选冶产品的影响予以简要介绍。

(一) 钛磁铁矿：是矿石中最主要含铁矿物，是通过选矿可以回收的钛钒精矿的对象。

钛磁铁矿颗粒是一种由磁铁矿、钛铁矿、钛铁晶石及镁铝尖晶石等原生矿物连晶组成的复合体。以磁铁矿为主晶，其余三者以微晶存在其中。客晶中以钛铁晶石最为微小，宽度小于1微米，一般0.5微米。钛铁矿大小不等，一般宽1—3微米，有的可达几十微米。镁铝尖晶石宽1—2微米。有占原矿40—50%的钛，以细小的钛铁晶石和钛铁矿及部分以固溶体形态，比较均匀地分布于磁铁矿基体中。

因为这种连晶复合矿物密切共生，客晶粒度微细，不能用机械方法使其单体解离，所以磁选回收的铁精矿品位较低，含有较高的钛、镁、铝、硅等元素。

四大矿区的钛磁铁矿中普遍含钒，经电子探针扫描分析，钒在钛磁铁矿中呈均匀分布，以类质同象参与磁铁矿的结晶格架中，所以也不可能用机械方法得到单独的钒精矿，而是随钛磁铁矿富集在铁精矿中。

HG矿区的铬，除偶见有以铬铁矿形态存在的铬外，大部分铬和钒一样，均匀分布于钛磁铁矿中。所以铬和钒在选矿过程中都将富集于铁精矿中，可以从铁精矿处理过程中分离和回收它们。

同时从矿石中铁的分布来看，铁不仅存在于钛磁铁矿一相，在粒状钛铁矿及部分脉石（如辉石、角闪石、橄榄石）中也含有铁，使铁的回收率也受到一定限制。随不同矿区矿物组成连晶成分的变化，钛磁铁矿纯矿物的含铁品位也有变化，其结果直接影响到铁精矿品位和回收率。几个矿区钛磁铁矿纯矿物分析结果见表2。

钛磁铁矿纯矿物分析结果表

表 2

元素	PZH矿区	BM矿区	TH矿区	HG矿区
TFe	56.96	60.05	59.41	54.85
V ₂ O ₅	0.652	0.56	0.52	0.589
TiO ₂	14.04	10.42	10.14	15.63
Cr ₂ O ₃	0.038	0.060	0.045	1.369
(Nb, Ta) ₂ O ₅	0.0011			0.0044
Ga	0.0037	0.0049		
MnO	0.36	0.400	0.32	0.27
Co	0.024	0.020	0.006	0.020
Ni	0.13	0.022	0.012	0.045
Cu	0.016	0.065	0.028	0.019
SiO ₂	1.00	0.740	1.046	
Al ₂ O ₃	3.65	3.32	1.85	
CaO	0.100	0.033	0.56	
MgO	3.22	1.88	1.82	

从表 2 可以看出：以 BM、TH 矿的钛磁铁矿纯矿物含铁最高，可得到较高品位的铁精矿。各矿含钒较高，HG 钛磁铁矿还含有比较高的铬。由于普遍还含钛等多种成分，所以经选矿后，得到的铁精矿品位比成份简单的磁铁矿精矿品位低，给其进一步冶炼增加一些麻烦。但多种有益元素组分，又使其生铁和钢具有特殊的性能。

表 3 是钛磁铁矿中的元素分布率与其选矿回收率比较。

钛磁铁矿中的元素分布率与选矿回收率对比

表 3

元素名称		PZH 矿区	BM 矿区	TH 矿区	HG 矿区
元素	TFe	73.19	70.88	73.77	75.75
在钛	V_2O_5	91.42	99.77	—	87.27
磁铁矿中	TiO_2	42.37	56.19	—	56.51
	Cr_2O_3	88.93	—	—	85.94
分布	Co	49.62	40.91	18.71—19.40	30.77
率	Ni	42.51	31.80	23.08—23.78	24.29
元素	TFe	67.36	69.75	70.35	76.01
在铁	V_2O_5	74.94	89.60	84.04	74.07
精矿	TiO_2	46.75	56.91	42.44	52.55
中的	Cr_2O_3	60.40	—	—	87.94
回收	Co	52.70	45.44	41.08	44.94
率	Ni	37.20	39.81	43.44	47.69

从表 3 对比可以看出，一般生产和试验过程中的选矿回收率受元素分布率的限制，使铁回收率为 70—76%，钒的回收率为 74—89.60%，钴、镍在铁精矿中的回收率为 40% 左右。

钛磁铁矿主要为不同自形程度的颗粒集合体嵌布在矿石中。在富矿石中集合成块状（少数）或稠密浸染状。在中品位或贫矿石中，以中一稀疏浸染状分布于硅酸盐矿物间。由于其以粒状或粒状集合体产出，一般采用一段磨矿磁选流程，磨矿粒度为 0.4—0.6 毫米，BM 矿区由于集合体粒度大，原矿品位较低，粗磨 2—6 毫米，通过磁选可抛弃的矿石产率达 38—65%。

另外还有微量的钛磁铁矿，呈显微粒状、条状、格状（几微米）为辉石等脉石矿物所包裹。因量少、粒度细，尚不能在现有磨矿技术条件下解离，故不能利用。

（二）粒状钛铁矿：

独立于钛磁铁矿以外的钛铁矿，呈粒状产出，是回收钛精矿的对象。例如 HG 矿区不同类型矿石中，粒状钛铁矿或钛铁矿集合体粒径在 0.25—0.5 毫米以上，PZH 兰尖铁矿粒状钛铁矿粒径随矿石品级变化，富、中品位矿石中钛铁矿一般为 0.5—2 毫米；贫矿、表外矿石中钛铁矿一般为 0.25—1 毫米。这种粒状钛铁矿与钛磁铁矿共生关系密切，存在于主体矿物之间，可以随铁精矿所需的磨矿粒度得到解离，从而为回收钛铁精矿创造了有利条件。但

是岩矿鉴定及纯矿物的分析说明：PZH、HG、TH、BM等矿区的钛铁矿普遍含有较高的镁、钙等有害杂质，氧化亚铁的含量也比较高。随着不同类型矿石钛铁矿含镁、钙、氧化亚铁量的升高，其纯矿物含钛品位降低。按矿石的铁品位划分，以富铁矿石的钛铁矿含镁、钙值最高，而中、贫铁矿石中的钛铁矿镁、钙值较低一些，表外矿中的钛铁矿含镁、钙量最低。

实际上各矿区均以中—贫矿为主，富矿比例很小，多与中—贫矿成互层存在，难于单独开采，即使有单独开采的可能，在生产中也难以做到。现将各矿区中钛铁矿含镁、钙的平均值列入表4。

各矿区中、贫矿石钛铁矿纯矿物镁钙平均值

表4

矿区	TiO ₂	MgO	CaO	MgO + CaO	备注
PZH	49.73	5.39	0.00	5.39	选厂磁尾中钛铁矿 南矿区
HO	50.07	4.69	0.25	4.94	
TH	51.43	3.64	0.66	4.30	
BM	51.84	2.21	0.12	2.33	

从表4数据可知：各矿区钛铁矿纯矿物中钙镁的含量以PZH最高，HG、TH次之，BM最低。钙、镁以类质同象存在于钛铁矿中，即 Mg^{++} 、 Ca^{++} 置换了钛铁矿中的 Fe^{++} ，镁在钛铁矿晶体中呈均匀分布。因此，单纯以机械选矿方法把钙、镁氧化物含量降到3%以下，是难实现的。尤其是选到钛精矿中的钙、镁，因又有脉石矿物混入，故使其中镁、钙含量有增无减，以致目前钛精矿含钛品位较低，含钙、镁等有害杂质较高，给钛精矿的进一步处理造成困难。如电炉法生产出的高钛渣品位较低；硫酸法制钛白的酸耗量较大；制取重要中间产品—四氯化钛时，生成大量的低熔点高沸点的镁、钙氯化物熔盐，破坏氯化过程的进行等。所以克服这些困难，将为PZH式铁矿中钛铁矿的巨大资源开创利用的条件。

(三) 硫化物：

矿石中硫化物是回收钴镍精矿的对象，主要是磁黄铁矿、黄铁矿，其它有少量硫钴矿、镍黄铁矿，此外还见有辉钴矿及针镍矿等。主要硫化物磁黄铁矿等呈连生体存在，分布在钛、铁氧化物及硅酸盐矿物颗粒间，少量呈星点状、乳滴状、细脉状分布，包含于钛、铁氧化物和其它矿物中。

硫化物总量，不同矿区仅占矿石量的1—3%，钴、镍虽有独立矿物，但其量更少，而多为磁黄铁矿等主要硫化物所包裹。所以不能通过选矿再行分离出单独的高品位钴镍精矿，而是与磁黄铁矿等硫化物在选矿流程中一并回收，HG矿区硫化物含钴均在0.3—1.39%，含镍1.53—7.62%；TH矿区含钴、镍约在0.7%左右；PZH矿区含钴0.37%，含镍0.113%；BM矿区含钴0.27—0.38%，含镍0.91—1.37%。所以采用浮选可以得到符合工业要求的钴镍精矿。伯族总量约0.4克/吨。但是因为和钛磁铁矿共生关系密切，在选矿过程以回收铁为主的原则下，采用解离钛磁铁矿集合体回收铁精矿的粗磨方法（一般粒度在0.4—0.6毫米），使部分镶嵌在钛磁铁矿晶粒间的硫化物不能充分分离出来，带到铁精矿中，连同分散在钛磁铁矿中以类质同象形态存在的钴镍在内（钴在钛磁铁矿中的含量为

0.007—0.02%)，使铁精矿带走的钴镍回收率为40—50%。这一部分元素为生铁和钢加入了一些有益组分，得到一定程度的利用。

(四) 脉石矿物:

脉石矿物的种类很多，但主要的是钛辉石、斜长石、橄榄石以及绿泥石、蛇纹石等。以HG矿区橄榄岩型矿石各种脉石矿物的纯矿物分析结果为例：平均含TFe 3.55%、TiO₂ 1.11%、V₂O₅ 0.056%、Cr₂O₃ 0.14%、Ga 0.001—0.006%、Co 0.009%、Ni 0.006%、Cu 0.003%。这些元素是以类质同象形式分散在各脉石矿物中，不可以通过机械选矿把尾矿中上述元素含量降低到这些平均值以下，再加上包裹于脉石矿物间的硫化物在内，在原矿品位较低，尾矿产率大的情况下，就使40%左右的钴、镍损失在尾矿中，连同已经被铁精矿带走的40—50%的钴、镍，使可回收的以硫化物形态存在的钴镍仅为10—20%，实际钴镍选矿回收率为6—15%。

从回收钛磁铁矿、钛铁矿、硫化物三种主要有用矿物得到的选矿产品中，含有的有益元素品种多而且在矿床中储量很大。

二、PZH 钒钛磁铁矿利用现状

四大矿区中已有一个建成投产，两个尚没有开发，一个矿区仍在继续进行地质工作。

在毛主席革命路线指引下，我国工人阶级、革命干部和工程技术人员，破除迷信、解放思想，首先突破了钒钛磁铁矿一些选冶技术难关。在铁钒精矿的利用方面，创造了具有我国特色的高炉冶炼新工艺，生产出了质量良好的生铁和钢，初步采用劣化提钒的工艺，生产出了钒渣。

已投产的PZH矿山为大型露天矿以含铁31.3%的原矿送往选矿厂，生产出品位为52%左右的铁精矿。

原矿经过选矿后，可以得到铁钒精矿、钛铁矿、钴镍硫化物精矿三种产品。目前选矿厂只生产铁钒精矿，而其余两种精矿都没有回收利用。

我在一九七二年底至一九七四年和该矿山公司、钢铁公司共同进行了从矿山原矿开始经过选矿、烧结、炼铁炼钢等主要生产过程的有益元素的分布和赋存状态的研究工作，为查明综合利用现状，确定综合利用的努力方向提供了资料。

选厂产品分析结果

表 5

产品名称	TFe	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Mn	Cu	Co	Ni	Ga
铁精矿	51.11	12.25	0.52	0.026	0.274	0.17	0.019	0.0092	0.0039
尾矿	14.54	8.19	0.101	0.010	0.25	0.18	0.010	0.0091	0.0022
原矿	27.86	9.08	0.28	0.013	0.20	0.18	0.014	0.010	0.0027

矿山现用流程主要有益元素在生产过程中分布(率)趋势表 表 6

元素分布率%		选矿过程		炼铁过程		提钒过程	
		精矿	尾矿	生铁	炉渣	钒渣	半钢
铁	对本厂	70	30	91	9		
	对原矿	70	30	63	7		
钒	对本厂	75—80	25—20	76	24	94	6
	对原矿	75—80	25—20	57—61	18—19	48.5—51.8	8.5—9.2
钛	对本厂	47	53	2	98		
	对原矿	47	53	0.9	46.1		
铬	对本厂	60	40	78	22	66	34
	对原矿	60	40	47.4	12.6	30.8	16.6
钴	对本厂	53	47	>99	<1	0.02	99.98
	对原矿	53	47	>52.5	<0.5	<0.5	>52
镍	对本厂	37	63	88	12	<1	>99
	对原矿	37	63	21.1	15.9	<0.2	>20.9
锰	对本厂	39	61	31	69	83	17
	对原矿	39	61	15	34	8	1.6
镓	对本厂	51	49	77	23	20	80
	对原矿	51	49	38.8	12.2	7.8	31.0
铜	对本厂	36	64				
	对原矿						

从上表可以看出该钒钛磁铁矿中一部分伴生组分已进入生铁和钢中,使其具有一般生铁和普钢所不能具备的特殊性能,利用该生铁制造的机床,其耐磨性能已达先进水平。

由上述可知,该类钒钛磁铁矿的利用,虽然有了很大成绩,然而要达到综合利用其各种有益组分,任务是十分艰巨的。现将各元素利用现状、存在的问题分述于下:

(一) 铁

原矿中 73 % 以上的铁,以氧化物状态赋存于钒钛磁铁矿中。目前对原矿选出的铁精矿,铁回收率为 70 % 左右,从铁精矿到生铁回收率为 90 %, 10 % 在高炉渣中,两种工艺的综合回收率为 63 % 左右。原矿中还有 10 % 的铁分布于钛铁矿中,尚可部分利用,高炉渣的铁损较高,需要研究从回收机械夹杂的金属铁,因此铁的总收率还可望继续提高。

(二) 钒、铬、镍:

原矿中 95 % 的钒集中赋存于钒钛磁铁矿中,选矿后 75—80 % 的钒进入铁精矿,经过炼铁,进入铁水的钒回收率约 76 %。该钢厂还基本试验成功了采用铁水雾化提钒的工艺,在提钒过程有 85 % 的钒进入钒渣(钒渣含 V_2O_5 15—25 %), 15 % 的钒进入半钢。从原矿到钒渣总的回收率为 48.5—51.8 %。其余 48.2—51.5 % 分散到尾矿、高炉渣、半钢中。具体来说(1) 20—25 % 损失在选矿尾矿中, V_2O_5 品位为 0.058 %, 这部分品位太低难以回

收。(2) 18—19 % 损失在高炉渣中, V_2O_5 品位为 0.22 %, 由于炉渣呈熔体结构, 矿物分离困难, 不易回收。(3) 约 8.5—9 % 进入半钢中, 半钢吹炼终点钢又大部进入钢渣, V_2O_5 品位为 0.7 %, 不能作为提钒原料, 仅有极少数 (约占原矿中 V_2O_5 总量的 0.5 %) 残留在终点钢中, 成为改善钢质量的有益成分。

目前提钒雾化炉尚属试验性质, 其产量仅占全部含钒铁水应提钒量的 1/5。其余 4/5 因未建有提钒车间, 而没有提, 将含钒铁水直接炼钢, 使铁水中的钒留在含 V_2O_5 为 6—8 % 的钢渣中。这种钢渣由于含钒较低, 只是初步进行了钢渣电炉熔炼低钒铁合金的试验, 取得了一定成效。

原矿含铬较低 (Cr_2O_3 0.013 %), 物质成分研究说明: 95 % 以上的铬, 以类质同象存在钛磁铁矿中。在钢厂现流程中, 铬大部分进入铁精矿及其生铁中, 在铁精矿中的品位为 Cr_2O_3 0.026 %, 在生铁中的品位为 Cr_2O_3 0.039 %。铬在钢渣里进一步富集, 品位为 Cr_2O_3 0.83 %, 相当于铁精矿中铬品位的 32 倍, 原矿中铬的 64 倍。

原矿的镓, 75 % 的镓以类质同象存在于钛磁铁矿中, 矿石品位 0.0027 %, 镓在生铁中的品位 0.004 % 左右, 在钢渣中富集到 0.03 % 左右, 可以考虑在钢渣提取钒的过程中综合回收镓。

我所根据国家地质总局重点下达的 HG 矿钒钛磁铁矿铁精矿综合利用研究任务的要求, 按照 73 年在某地召开的 PZH 式铁矿钢铁冶炼新流程会议的安排。结合当地水电资源丰富, 焦煤不足等具体情况, 对 HG 矿含铬的铁钒精矿进行了综合利用研究, 重点进行了造球—预还原—电炉炼铁—吹取钒、铬炼钢等工艺, 以铁为主综合回收钒、铬、钛等有益元素的试验研究。对富集钒铬的铁精矿, 已先后取得了造球试验, 回转窑予还原试验 (以劣质无烟煤作还原剂)、单项电弧炉炼铁试验的成功。炼出的生铁成分为: Fe 95.28 %, V_2O_5 0.76 %, Cr_2O_3 1.75 %, C 3.45 %, S 0.046 %, Si 0.19 %。Fe、V、Cr 进入生铁的分配率为 (即直接回收率): Fe 96.68 %, V 74.41 %, Cr 81.34 %。利用这种含钒铬的生铁, 吹钒铬、炼钢和湿法提取钒铬的试验正在进行。

北京矿冶研究院等单位对 PZH 铁钒精矿的综合利用开展了大量的试验研究工作, 取得了很好的科研成果。例如, 他们开展的兰尖矿钠化氧化焙烧—水浸提钒—回转窑还原分离 (先提钒) 方案的试验研究: 钒浸出率为 88—92 %, 金属铁粉含铁 90—92 %, 含 TiO_2 为 2—3 %, 含 V_2O_5 为 0.027—0.035 %, 铁的回收率为 93—96 %, 高钛渣含铁 8—10 %, 含 TiO_2 为 35—38 %, 二氧化钛的回收率为 87—89 %, 氧化焙烧后浸钒球还原时不需要另加钠化剂。他们开展的兰尖矿回转窑钠化还原分离—钛渣钠化焙烧—水浸提钒 (后提钒) 方案的研究, 取得了如下的技术指标: 金属铁粉含铁 92—95 %, 含 TiO_2 1.5—3 %, 含 V_2O_5 为 0.14—0.18 %, 铁的回收率为 90—95 %。钛渣含铁为 10—15 %, 含 TiO_2 为 35—40 %, 含 V_2O_5 为 1.6—1.7 %, 钛的回收率为 87—90 %, 钒富集率为 80—90 %。钛渣再钠化氧化焙烧水浸提钒, 钒浸出率为 87 %, 对磁选精矿总回收率约 70—75 %。

(三) 钛:

钛的综合回收工作仍处于试验阶段。

矿石中约有 40 % 的钛以氧化物状态赋存于钛铁矿中, 经选矿有 46 % 进入铁精矿, 炼铁后又几乎全部进入高炉渣中 (品位为 24 % 左右), 但炉渣含钙、镁、硅、铝等元素品位很高

(CaO 20%, MgO 8%、SiO₂ 19%、Al₂O₃ 14—15%), 钛以尚不具工业价值的攀钛透辉石和钙钛矿为主形态赋存, 矿物结晶微小, 其综合利用需作多种途径探索。其余 54 % 的钛分布在选矿后的尾矿中, 这部分以钛铁矿形态存在的钛, 目前工业上还没有回收利用, 对国家资源造成很大浪费。其损失量仅以兰尖铁矿为例, 投产以来至 74 年底, 约有 × × 万吨相当于含 TiO₂ 品位 48% 的钛精矿流失掉。同时可一并回收的钴镍硫化物, 如按含钴品位 0.3 % 计算, 约 × 万吨钴镍矿随着钛矿一起流失掉了。

因此, 解决 PZH 式铁矿中的钛资源的回收利用, 是钒钛磁铁矿综合利用的一个最突出的问题。

最近冶金部组织利用磁选—重选—浮选—电选联合流程完成了回收粗粒级钛精矿及钴镍精矿的全流程试验, 并准备建设选钛试验生产车间。

为了全面回收钒钛磁铁矿中的钛, 我们采用异羟肟酸等新的浮选药剂, 利用浮选工艺, 先后成功地取得了 PZH 矿和 TH 矿选钛小型试验成果。去年, 我所与四一〇厂一起, 进行了 TH 矿选钛工业试验。今年, 我所与四一〇厂将进行 PZH 矿浮选钛的工业试验。

在解决钛精矿的利用方面, 冶金、化工部门正在开展制取人造金红石、制取四氯化钛和钛白粉等试验研究。

(四) 钴、镍:

钴、镍部分赋存于硫化物中, 它们被选入铁精矿的回收率分别为 53 %、37 %, 这部分钴、镍几乎全部进入生铁和钢中, 成为改善生铁和钢材质量的有益成分, 其余留在磁选尾矿中, 当钛精矿进行回收时, 以硫化物形态存在的可以一并回收, 目前也随磁尾流失掉了。若不进行钛精矿、钴镍精矿的回收, 即使尾矿堆存, 日后硫化物迅速氧化将影响其回收和利用。PZH 矿的钴镍硫化物精矿, 是一种低铜钴镍原料, 尽管目前工业上有处理它的方法, 但不够理想, 所以今后应进一步研究钴镍精矿中各元素的分离回收方法。

(五) 四大矿区表外矿利用的研究现状

我所遵照毛主席“矿山保护, 综合利用很重要, 要注意”的教导, 对四大矿区不同类型表外矿进行了选矿试验研究, 做了较详细的物质组成研究工作。提出了四大矿区不同类型表外矿的选矿试验报告, 并在长沙矿山设计院、重庆钢铁设计院、PZH 钢铁公司等单位的大力协助下, 编制了四大矿区选铁试验及工业利用评价的总报告。试验在进行原矿一次细磨磁选工艺研究的同时, 着重进行了以“粗磨抛尾”为特点的选矿试验研究, 结果说明表外矿可选性良好, 所得铁钒精矿成分与表内矿铁钒精矿成分基本一致, 不同类型表外矿铁的回收率在 41—58 % 之间, 其品位是 53—62 %。

现已勘探查明四大矿区表外矿与表内矿呈互层产出。鉴以今后四大矿区均为露天开采, 表外矿必然是矿山采掘总量的一部分。所以, 表外矿是利用, 还是剥离废弃, 是一个重大问题。

我们对四大矿区表外矿进行了一系列试验研究, 经试验和初步经济估算说明, 利用不同矿区表外矿生产的铁钒精矿, 其炼铁成本为 151—206 元/吨生铁, 均低于国家含钒生铁调拨价, 更低于当地地方钢铁企业一般生铁成本 (300—500 元/吨生铁)。

以上说明, 表外矿的利用, 在技术上是可行的, 经济上也是合理的; 对于扩大资源利用, 有重大的意义。

三、对 PZH 式钒钛磁铁矿资源综合开发、

综合利用的几点意见

以上情况可以看出，PZH 式铁矿，虽然已开始工业生产，但综合利用问题没有解决，对国家资源造成很大的浪费，其综合利用的试验研究工作，还仅是开始，全面、合理地利用其中有益元素的任务，是十分艰巨的，需要做的工作很多。在近期一段时间内，我们对矿区的开发和综合利用，有以下几点意见：

（一）钛铁矿的回收利用是该矿资源综合利用的主要矛盾。这一问题不解决，不但造成钛资源流失，还影响到对钴镍等多种有益元素的回收。应加强力量，造创必要的试验条件，研究合理工艺，降低选、冶、化工处理成本，增加使用钛的新品种，争取更多的民用和外贸。

（二）进一步提高铁钒精矿伴生元素的综合利用。这一工作除应对现流程中强化高炉炼铁，完善雾化提钒、提高铁、钒回收率的研究外，还应结合当地能源条件，积极开展以天然气为主要能源的铁钒精矿选、冶新流程试验。同时研究铁钒精矿中钒、钒、镓等有益组分的综合利用。

（三）必需重视 HG 矿区储量丰富的铬资源的综合利用。HG 矿区表内矿含三氧化二铬平均品位达 0.324%，我所从一九七〇年起，开展对该矿综合利用的研究，通过四种选矿大样的试验，说明钒铬均富集在铁精矿中，铬的品位达 0.71—1.2%（三氧化二铬）。根据钒铬两元素性质分析，在炼铁和提取钒、铬过程中，它们趋向一致。如能解决该矿铬的回收利用，将具有很大意义。因此，应充分研究其综合利用的途径，并对因铬的存在引起的炼铁、提钒、炼钢过程带来的新问题给予研究。应通过小型试验和中间试验研究，突破 HG 铁精矿综合利用的技术难关。

（四）大力开展表外矿的综合利用的研究。在表外矿的利用问题上，仍然存在很大的分歧。应在已做的四大矿区表外矿的选矿试验及其工业利用评价的基础上，迅速开展表外矿的选矿中间试验或工业性试验，解决表外矿以铁为主的综合利用问题，进一步证明表外矿的利用在技术上可行，在经济上合理。

（五）对于钒钛磁铁矿共生矿，必需全面贯彻综合调查、综合勘探、综合评价、综合开发、综合利用的政策。除地质勘探、选、冶工艺研究等工作应注意外，还应该注意一些矿床往往存在一些稀有岩脉和硫化物富集带，在矿床开发中存在着剥离或堆存的问题。例如 HG 矿床中有富含铌、钽、锆、铀、稀土的稀有岩脉，应提前研究其处理方案。例如 PZH 矿床中的Ⅵ—Ⅺ矿带，虽然其含铁、钛较低，但其中硫化物占矿石量的 5—18%，矿石中含 Cu 0.21%，Co 0.016%，Ni 0.073%，铂族元素 0.105—0.118 克/吨，其硫化物纯矿物含 Co 0.16%，Ni 0.63%，Cu 0.55%，铂族元素 2.762 克/吨。对该矿带应进一步查明其物质成分、赋存情况、考查其回收利用的可能性。

我国某地区钒钛磁铁矿表外矿的利用

——峨眉矿产综合利用研究所

我国某地区蕴藏着丰富的钒钛磁铁矿。从五十年代起,把含铁品位在 20% 以上的作为表内矿石,把含铁 15—20% 的作为工业暂不能利用的表外矿。仅目前已经查明的四大矿区,总储量达 $\times \times$ 亿吨,其中表内矿 $\times \times$ 亿吨,表外矿 $\times \times$ 亿吨。

由于表外矿在各矿区与表内矿相间互存,开采表内矿时,必然遇到占总储量三分之一强的表外矿是利用或剥离废弃的问题。

资源的综合调查、综合勘探、综合开发和综合利用,是国家重要的技术经济政策。经试验研究证明,该地区钒钛磁铁矿表外矿是国家的宝贵财富,应该进行综合开发和利用。

我们对四大矿区六种不同类型表外矿进行了选矿试验研究。

各矿区表外矿石的主要矿物成分列于表 1, 原矿化学分析结果列于表 3。表 1 说明各表外矿的矿物组成大体一致,其主要有用矿物为钛磁铁矿、钛铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、镍黄铁矿。脉石矿物为钛辉石、拉长石、橄榄石、钛角闪石等。

矿石为稀疏—星散状构造,间隙充填结构,半自形和他形的铁、钛氧化物呈不规则状充填于粒度较粗大的脉石矿物颗粒间。矿物接触面比较平滑和整齐,有利于解离和分选。

各 矿 区 表 外 矿 矿 物 成 份 表 1

矿 区	表 外 矿	矿物 相对 含量	矿 物 类 别			
			氧 化 物	硫 化 物	硅	酸 盐 等
PZH	朱家包包兰尖	主要 次要 少量	钛磁铁矿、钛铁矿 磁赤铁矿 假象赤铁矿、磁铁矿	磁黄铁矿、黄铁矿 黄铜矿、镍黄铁矿 方黄铜矿、墨铜矿 白铁矿	拉长石、钛辉石 橄榄石、角闪石、云母 绿泥石、蛇纹石、绿帘石、高岭土、磷灰石、锆石、榍石	
BM	茱茱坪	主要	钛磁铁矿、钛铁矿	磁黄铁矿	拉长石、钛辉石、贵橄榄石、钛角闪石	
		次要	磁铁矿	镍黄铁矿、黄铜矿	黑云母、普通闪石、绿帘石、绢云母、石英、透闪石、蛇纹石	
		少量	—	墨铜矿、方黄铜矿 斑铜矿、兰辉铜矿	榍石、微斜长石、锆石、绿泥石 更长石等。	
TH	全区	主要	钛磁铁矿、钛铁矿	黄铁矿、磁黄铁矿	钛辉石、斜长石、磷灰石、橄榄石、绢云母。	
		次要 少量	— 镁铝尖晶石、褐铁矿	— 白铁矿、黄铜矿、 镍黄铁矿、紫硫镍矿	— 次闪石、黑云母、黝帘石	

续表 1

HG	马松林	主要	钛磁铁矿、钛铁矿	磁黄铁矿	钛辉石、钛角闪石、蛇纹石
		次要	磁赤铁矿、磁铁矿	镍黄铁矿、紫硫镍铁矿、黄铜矿、黄铁矿	绿泥石、普通辉石、榍石、橄榄石、黑云母、方解石、透闪石、阳起石、绿帘石
		少量	赤铁矿	方铅矿、白铁矿、铜兰闪锌矿、辉铜矿、硫镍钴矿	磷灰石、滑石、伊丁石、正长石、柘榴子石、白云母、蛭石、绢云母
	绿库	主要	钛磁铁矿、钛铁矿	黄铁矿	斜长石、钛辉石、绢云母、高岭土
			次要	—	磁黄铁矿
		少量	磁铁矿、磁赤铁矿、赤铁矿、镁铝尖晶石、褐铁矿	黄铜矿、方铅矿、方钴矿	钠长石、榍石、透闪石、方解石、橄榄石、蛇纹石、滑石、伊丁石、沸石、钠铁闪石、微斜长石

表外矿选铁试验铁钒精矿主要指标

表 2

矿 样 名 称	产 率 %	品 位 %		回 收 率 %	
		铁	五氧化二钒	铁	五氧化二钒
PZH 朱家包包	13.86	52.74	0.54	43.96	64.20
PZH 兰尖	16.46	53.29	0.56	54.00	69.46
BM 芟芟坪	18.24	56.52	0.715	56.03	82.41
TH	16.91	50.28	0.66	46.75	53.84
HG 马松林	18.56	50.87	0.488	52.59	54.08
HG 绿库(辉长石)	13.37	51.58	0.59	41.56	60.68

目前以铁钒精矿回收为目的试验已告一段落，并编制了四大矿区选铁试验及工业利用的总报告，试验在进行原矿一次细磨（磨至 50—80%—200 目）磁选研究的同时，主要做了“粗磨抛尾”工艺为特点的选矿试验研究，即矿石经一段粗磨（磨至小于 2—3 毫米）后，经弱磁选、中磁场磁选抛弃大量（40—60%）的低品位合格尾矿，所得粗精矿已相当于表内矿石（含铁 21—35%），然后经二段细磨（磨至—200 目占 50—80%），经弱磁场选铁，可以得到含铁 50% 以上的铁钒精矿，试验流程见图 1—4，试验结果（见表 2）说明表外矿

可选性良好，所得铁钒精矿与表内矿铁钒精矿成分相近（见表4），唯含二氧化硅较高，但含二氧化钛较低，二者利害相抵，因此二者的铁钒精矿冶炼性能基本一致。铁钒精矿铁的回收率在41—58%之间。

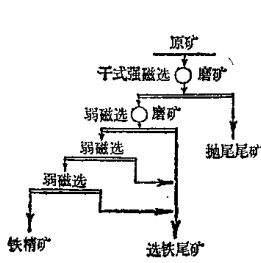


图 1 PZH 表外矿选矿试验流程

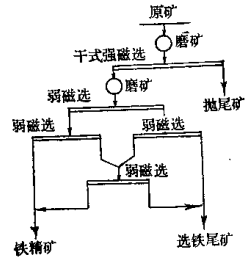


图 2 HG 表外矿选矿试验流程

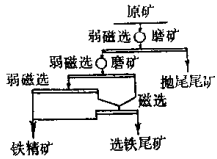


图 3 BM 表外矿选矿试验流程

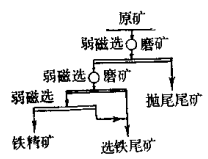


图 4 TH 表外矿选矿试验流程

四大矿区均为露天开采，因此在采场范围内的表外矿为矿山采掘总量的一部分，是开采时必需采掘的，表内矿石采出后运往选矿厂，表外矿不利用也要运往废石场，两者的运输条件，大体一致，因此利用表外矿，一般可以不另增添采掘设备，不增加穿孔、采装工作量，给排运带来方便（有的只稍需增加运输设备和费用），这是 PZH 地区表外矿利用极为有利的条件。

因为露天采场内的表外矿的采矿费用已经摊入表内矿采矿成本。表5列入了利用这些表外矿的选矿、烧结、炼铁成本估算结果。

国家当前含钒生铁价格是：含钒 $>0.4\%$ ，售价200元/吨；含 $>0.5\%$ 售价210/吨。对比表5各矿生铁成本，均低于相应的国家调拨价。

利用表外矿勿需新建矿山，利用开采表内矿的矿山增产矿石，可以省去矿山基建费用，充分发挥现有矿山的生产能力。表6列入了各矿表外矿利用，不增加矿山基建投资时，包括选矿、烧结、冶炼基建费用的综合投资估算结果（以年处理100万吨表外矿计）。

各矿区表外矿化学多元素分析表(%)

表 3

矿 区 名	TFe	TiO ₂	V ₂ O ₅	Co	Ni	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P	Mn	Cu	K ₂ O	Na ₂ O	Cr ₂ O ₃	Nb ₂ O ₅	Ga
PZH 朱家包	16.85	8.32	0.110	0.0080	0.0010	35.57	10.52	11.08	7.17	0.306	0.032	0.206	0.002			0.01		0.0025
三尖	16.15	6.31	0.127	0.0080	0.003	36.81	12.68	11.19	6.69	0.354	0.016	0.181	0.006			0.003		0.0023
BM 茆茆坪	18.28	4.05	0.18	0.009	0.015	36.32	15.11	7.30	7.79	0.30	0.043	0.190	0.022	0.34	1.86	0.022		
TH 全矿区	18.51	8.01	0.18	0.0081	0.006	31.88	9.69	12.19	7.86	0.420	0.426	0.28	0.015	0.279	1.09	0.013		
HG 马松林	18.29	6.47	0.16	0.008	0.049	34.42	4.95	12.46	12.11	0.331	0.083	0.179	0.032	0.303	0.51	0.206	0.0013	
绿库	16.68	7.44	0.13	0.007	0.003	32.09	11.92	12.10	5.20	0.39	0.863	0.134	0.005	0.91	1.49	0.007	0.010	

各矿区表内矿和表外矿的铁精矿化学多元素分析(%)对照表

表 4

名 称	矿 石	类 型	TFe	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Mn	Cu	Co	Ni	S	P	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
PZH 矿区	表内矿		52.28	12.96	0.51	0.026	0.27	0.017	0.015	0.009	0.23		4.55	5.03	1.28	3.18
	朱家包表外矿		52.74	10.19	0.54	0.023	0.25	0.0080	0.0132	0.0030		0.10	6.42	4.41	2.24	2.31
	三尖表外矿		53.29	9.01	0.56	0.001	0.25	0.0180	0.0202	0.0075		0.005	6.29	5.03	1.86	2.34
BM 矿区	茆茆坪表内矿		55.41	10.25	0.673	0.056	0.353	0.037	0.018	0.030	0.287	0.009	3.78	3.75	0.40	4.16
	田家村表内矿		56.34	8.73	0.687	0.116	0.298	0.040	0.017	0.030	0.329	0.009	3.77	3.82	0.58	3.30
	全矿区表内矿		56.03	9.78	0.679	0.065	0.311	0.036	0.018	0.029	0.283	0.007	3.75	4.01	0.49	3.74
	茆茆坪表外矿		56.52	8.43	0.715	0.083	0.261	0.029	0.016	0.023	0.257	0.014	4.28	4.43	0.72	3.02
TH 矿区	表内矿		50.88	11.96	0.61	0.02			0.012	0.014	0.41	0.096	5.97	4.55	2.11	3.82
	表外矿		50.28	9.12	0.66	0.013			0.012	0.013	0.68	0.136	7.42	4.65	3.08	3.56
HG 矿区	马松林表内矿		51.56	11.55	0.52	1.19	0.255	0.029	0.017	0.083	0.466	0.08	5.82	2.70	1.80	4.59
	马松林表外矿		50.49	10.38	0.488	0.760	0.206	0.033	0.017	0.075	0.750	0.024	7.18	2.43	1.93	5.49
	绿库表内矿		51.24	11.45	0.50	0.823		0.032	0.017	0.081	0.58	0.018	5.30	2.52	1.40	5.18
	绿库表外矿		52.61	9.40	0.59	0.032	0.13	0.006	0.008	0.0036	0.332	0.112	7.27	4.47	2.66	2.25

露天采场内表外矿工业利用技术经济成本估算表

表 5

序号	项 目	PZH 矿 区		BM 矿区		TH 矿区		HG 矿 区	
		朱家包包	兰 尖	茆 茆	坪	全 区	全 区	马松林	绿库(辉长岩)
	1	2	3	4		5	6	6	7
1	每年利用表外矿量	100	100	100		100	100	100	100
2	表外矿铁精矿产率 %	13.86	16.46	18.24		16.91	18.56	18.56	13.37
3	表外矿铁精矿品位 %	52.74	53.29	56.52		50.28	50.87	51.58	51.58
	TFe								
	V ₂ O ₅	0.54	0.56	0.715		0.65	0.488	0.59	0.59
	CaO	2.24	1.86	0.72		3.08	1.93	2.66	2.66
	SiO ₂	6.42	6.29	4.28		7.18	7.18	7.27	7.27
4	表外矿铁精矿回收率 %	44.16	54.00	56.03		46.75	52.59	41.56	41.56
	TFe								
	V ₂ O ₅	64.20	69.46	82.43		53.84	54.08	60.68	60.68
5	选矿比	7.23	6.08	5.48		5.91	5.39	7.48	7.48
6	年产表外矿铁精矿量	13.86	16.46	18.24		16.91	18.56	13.37	13.37
7	每吨表外矿运费	0—1	0—1	0—1		0	0—1	0—1	0—1
8	每吨表外矿选矿加工费	6	6	6		6	6	6	6
9	精矿成本	43.38—50.61	36.48—42.55	32.88—38.36		35.46	32.34—37.73	44.88—52.36	44.88—52.36
10	烧结矿规模	14.65	17.45	18.90		18.00	19.94	14.27	14.27
11	烧结矿加工费	8	8	8		8	8	8	8
12	烧结矿碱度	1.5	1.5	1.5		1.5	1.5	1.5	1.5
13	烧结矿品位 %	48.57	48.96	53.09		46.01	46.15	47.10	47.10
	TFe								
	V ₂ O ₅	0.50	0.49	0.665		0.602	0.441	0.537	0.537
	CaO	10.169	9.969	7.179		11.489	11.159	11.309	11.309
	SiO ₂	6.77	6.65	4.81		7.67	7.43	7.53	7.53
14	烧结矿成本	49.82—56.66	43.19—48.92	40.35—46.14		42.13	39.01—44.03	50.90—57.91	50.90—57.91
15	生铁年产量	6.751	8.116	9.546		7.867	8.746	6.371	6.371
16	生铁加工费	30	30	30		30	30	30	30
17	生铁含钎品位	0.456	0.443	0.553		0.579	0.422	0.505	0.505
18	生铁成本	183.64—198.47	168.21—180.54	151.43—162.04		174.0	166.78—178.23	190.76—206.43	190.76—206.43