

國外鈮鈦

第 八 輯

科学技术文献出版社重庆分社

国外钒钛 (第八辑)

中国科学技术情报研究所重庆分所 编辑

科学技术文献出版社重庆分社 出版

重庆市市中区胜利路91号

新华书店重庆发行所 发行

陕西省宝鸡市人民印刷厂 印刷

开本: 787×1092毫米¹/₁₆ 印张: 5.6 字数: 18万

1977年9月第1版 1977年9月第一次印刷

印数: 2000

统一书号: 15176·120

定价: 0.60元

前 言

本集收录有关钽钛的文章共18篇，其中4篇系综合性评论，较详细地介绍了由钛铁矿生产钛方法的最新发展，钛资源现状，钽的现状与未来。七篇有关钽、钛提取方法的专文，介绍富集钛铁矿的方法和由钛铁矿生产二氧化钛及高析铁的一些方法，用液体离子交换法等由钽盐、含钽滤渣及其它含钽物料制取五氧化二钽的方法。另有几篇译文介绍世界钽、钛工业的概况。可供从事钽钛科研、生产及含钽钛矿石综合利用研究、生产的有关人员参考。

目 录

国外钽铌工业及钽铌磁铁矿的利用情况.....	(1)
钽的现状与未来.....	(14)
1974年世界钽工业概况.....	(24)
钽.....	(26)
卡契卡纳尔斯克钽渣氧化焙烧过程的研究.....	(29)
用液体离子交换法从生产氧化铝时得到的钽盐中回收钽.....	(32)
由铜钽滤渣制取五氧化二钽.....	(37)
自碱性溶液中沉淀纯的和化学纯的五氧化二钽.....	(39)
从钛铁矿生产钽的方法的最新发展.....	(42)
从新西兰南岛西海岸的钛铁矿生产二氧化钛.....	(54)
三菱法富集钛铁矿工艺方法.....	(64)
从钛铁矿离析铁的研究.....	(69)
魁北克铁钛公司冶炼钛铁矿的近况.....	(75)
电解海绵钛的工业生产有所前进.....	(77)
钛资源的前途.....	(78)
1974年世界钛工业概况.....	(82)
1974年加拿大钛的进展.....	(87)
降低钛渣成本的方法.....	(88)

国外钒钛工业及钒钛磁铁矿的利用情况

一、钒工业及其资源

钒的资源

钒是高熔点(约1900℃)的稀有金属,具有银灰色光泽,发现于1801年,七十年后才制得金属钒。1896—1900年间,发现钒能改善钢的性能,从而促进了钒工业的发展。

钒在地壳中的含量是地壳重量的0.02%。钒的资源分布较广,但多是低品位分散于其他矿物中。含钒矿物种类很多,已发现的有70多种。其中绿硫钒矿、钒云母和钒铅锌矿等含五氧化二钒(V_2O_5)高达8—20%。钛磁铁矿含钒较低,一般五氧化二钒含量为0.2—1.4%;不过,它的储量最多,是提钒的主要资源。有时,把这种含五氧化二钒的钛磁铁矿称为钒钛磁铁矿。

据美国矿业局估计,世界上钒的资源大约有1100万吨,其中资本主义国家的钒储量约为270万吨。南非约有200万吨。储量最多的国家或地区有苏联、南非、芬兰、智利及澳大利亚等国。美国的钒资源只有11.5万短吨。日本、英国钒的资源极为贫乏,几乎全部依靠进口。

钒的生产和展望

目前,国外生产的钒都是作为副产品回收的。如南非、芬兰、苏联等是从钒钛磁铁矿炼铁过程中加以回收,美国大部分钒是从铀矿及磷矿中回收,加拿大是从燃烧石油焦收集到的灰尘中提取出来的。

1. 钒的生产

世界上钒的生产,按地区分,南非和美国占了资本主义国家产量的90%,各占45%;欧洲等国只占10%。论公司,南非的海威尔德钢与钒公司占南非产量的80%,是世界上最大的钒公司。1972年它的五氧化二钒的年生产能力是1.3万吨,1980年计划扩大到2.1万吨。美国的联合碳化物公司现今的年产量是1580—1800吨,1976年预计达到5400吨。苏联钒的生产能力估计与南非差不多。

随着钒消费量的增加,加之认识到目前钒生产的

高度集中和垄断的问题,国外出现了分散生产钒的呼声,并且都要求各国具有一定的储备。

最近,国外已经出现10来个钒厂的建厂计划(见表1)。其中,大部分都是以钒钛磁铁矿为原料的。钒钛磁铁矿已成为世界上钒的主要来源。

表1 计划中的钒公司

地区	地点或公司名称	生产能力 V_2O_5 吨/年	预计投产时间
南非	欧塔维	1500	1976
芬兰	劳塔鲁基 (木斯塔瓦腊)	5400	1976
澳大利亚	钒铁公司	2000	1975
	阿格纽	3500	1977
美国	阿特拉斯	1350~1800	1976
印度	奥里萨		1977

据不完全统计,1972年世界的五氧化二钒产量为2.73万吨,1974年为2.74万吨,预计1978年将达到5.1万吨,1978年与1974年相较,增加86%。表2列出了世界钒的生产情况。表3列出了开发中的主要钒资源。

2. 钒的用途和消费

钢中添加钒可以大大改善钢的性能。苏联的实践表明,在结构钢中加入0.1%的钒,可提高强度10—20%,减轻结构重量15—25%,降低成本8—10%。若采用含钒的高强度钢时,金属结构可减轻40—50%,成本比普通结构钢降低15—30%。因此,目前钢铁工业是钒的最大消费者,几乎占全世界总用钒量的90%左右。钒在钢铁工业中,主要是以钒铁形式作为钢的合金元素。据统计,50%左右的合金钢中都有钒。

最近有人认为,随着资本主义世界长期的钢铁供应不足,要有效地使用钢铁,必然增加高强度钢的应用,这就导致迅速开辟钒在钢铁工业中更广泛有效的用途。另外,由于最近石油、天然气工业的迅速发展,管路设备用含钒高强度钢的需要量急速增加。这样,不仅钢铁工业的用钒量要增加,在钢铁工业中的消费比例也将发生变化。此外,在一部分欧美国家

表2 世界钒的生产情况 (V_2O_5 , 100万磅)

国家或地区	1972年	1974年	1978年	78/74增加率 (%)
南非 (包括纳米比亚)	25.4	31.4	66.6	112
美国 (不包括石油残渣)	19.0	15.0	15.0	—
芬兰	4.7	5.0	11.5	130
挪威	1.1	1.5	4.0	167
苏联 (供给欧洲的钒渣量)	5.1	1.5	—	—
智利	1.5	2.2	2.2	—
石油等的残渣	3.5	3.8	8.2	116
澳大利亚	—	—	5.0	—
合 计	60.3 (27,300吨)	60.4 (27,400吨)	112.5(51,000吨)	86

表3 开发中的主要提钒资源

地 区 和 资 源	矿床的地质类别	回 收 元 素	V_2O_5 品位 (%)
美国			
科罗拉多普拉特奥	砂石	U、V	± 1.5
阿肯色州威尔逊	待定	V	1
斯普林斯			
爱达荷	磷酸盐	P、V	0.2—0.3
西南非洲			
欧塔维区	钒酸盐	Cu、Pb、Zn、V	0.7
南非			
布什维尔德复合矿	钒钛磁铁矿	Fe、V	1.5—2
芬兰			
奥坦马克	钒钛磁铁矿	Fe、Ti、V	0.47
挪威			
罗德散德	钒钛磁铁矿	Fe、Ti、V	0.5
苏联			
卡契卡纳尔山	钒钛磁铁矿	Fe、V	0.10—0.12
智利			
埃尔-罗 尔 (El Romeral)	不含钛磁铁矿	Fe、V	0.3—0.4
加拿大			
炼油工业	克鲁德油区 (Crud)	石油、V	0.02
法国	铝土矿 (b)	Al、V	0.1
日本	钛铁矿砂	Ti、V	0.1—0.2

中,从提高汽车等运输机械的强度和耐久性出发,也出现在钢材中添加钒的趋向。

钒的另外的消费部门是化学工业和炼油工业。在化工、石油工业中钒以氧化物形式被广泛用作催化剂。用它代替白金,不仅价格便宜,且不易为砷所毒害。

钒在原子能和航空工业中则以金属钒或合金的形

式使用。金属钒可作反应堆燃料的保护材料和火箭的结构材料。美国在飞机构件中广泛使用6%Al—4%V—Ti合金,其用钒量占美国钒消费的10%。日本随着钛合金的工业化,这方面的消费也在增加。表4、5分别列出了美国在钢铁工业及其他工业中的消费比例。

表4 美国钢铁工业钒的消费比例

合金钢用钒	16%
工具钢用钒	26%
普通碳素钢用钒	7%
高强度钢与铸件用钒	45%

表5 1974年美国钒在主要方面的消费

机械工业	27%
运输业	26%
建筑业	16%
化学工业	6%

按照海威尔德钢与钒公司的估计,世界五氧化二钒的消费量到1980年,将从1973年的2.6万吨增加到4.3—4.7万吨。1973年世界五氧化二钒的消费是2.67万吨(5900万磅),比1972年增长12%。按用途来分,管路用低合金钢是8000吨,占全部的30%,其消耗量最大。到1980年钒的消费达到4.3万吨,则比1973年增长60%,若管路用钢再增加消耗五氧化二钒4000吨,则将达4.7万吨,比1973年增长76%。由此可见,将来钒的市场在很大程度上取决于石油、天然气工业的管路计划。

1974年,资本主义国家钒的消费总计1.85万吨(4,080万磅),美国为1,530万磅(73年为1,400万磅),其他国家为2,550万磅,美国增长11%,其他国家增长6%。估计,今后世界上钒的年增长率将在5%以上。

世界上钒的消费情况见表6。

表6 世界钒的消费情况 (V_2O_5 100万磅)

国家和地区	1970年	1972年	1973年	73/72 增长率 (%)
美国和加拿大	22.9	22.7	25.8	14
英国	3.4	2.0	2.9	45
西德	9.7	10.4	11.0	6
其他欧洲国家	10.2	10.7	10.8	1
日本	6.8	5.5	7.0	27
其他	1.3	1.3	1.5	16
合计	54.3 (2.44万吨)	52.6 (2.37万吨)	59.0 (2.67万吨)	12

近年来,由于资本主义通货膨胀,钒的价格也在

增加。1973年,美国钒价格较稳定,1974年价格上涨,联合碳化物公司下半年宣布钒产品价格提高约9%。英国1975年1月南非产 V_2O_5 售价为1.427南非兰特/磅(合人民币3.88元/磅),而74年12月份前则是1.12—1.13南非兰特/磅(合人民币3.05—3.07元/磅)。日本五氧化二钒的价格这几年一直在逐渐上涨,1975年4—6月其现货交易是2.35—2.50美元/磅(合人民币4.37—4.65元/磅)。

从钒钛磁铁矿中提钒的方法

从钒钛磁铁矿中提钒,国外主要有两种方法,即火法(间接法)与湿法(直接法)。湿法具有流程短、钒回收率高的优点,但火法可以处理含钛高、钒品位低的矿。

火法的工艺过程是,将选出的钒铁精矿加入高炉或电炉中炼铁,钒大部分进入铁水中,将此含钒铁水装入转炉送氧吹炼,钒即富集于渣中(即钒渣);钒渣再经焙烧、浸出、过滤,即得五氧化二钒,所以火法亦称间接法。国外采用冶炼含钒生铁工艺比较多,主要是可以利用含钒量低的矿石。目前,苏联、挪威和南非等都是采用炼铁和从铁水中吹钒的工艺。苏联采用高炉,其他国家采用电炉。炼铁过程中的钛渣,通常抛弃不用。

湿法的工艺过程是,用含钒铁精矿加芒硝制团,焙烧,水浸,使钒酸钠进入溶液,再加硫酸,使之转化成五氧化二钒,经沉淀、过滤后直接从矿石中得到五氧化二钒,所以湿法也叫做直接法。水浸后的球团用于高炉炼铁。

目前,这两种方法在国外都有应用,其较典型的方法如下:

1. 震动罐或铁水罐吹钒

南非海威尔德公司是西方同时生产钢与钒的唯一公司。使用布什维尔德钒钛磁铁矿,该矿石的成分均匀,平均含Fe56%, TiO_2 13%, V_2O_5 1.5—1.9%。其处理过程如下:将铁矿石和煤在回转窑(4座 $\phi 4 \times 60$ 米,年处理118万吨炼铁熟料)中进行预还原(还原度为45%);据说,进一步还原,虽然可以降低电耗,但会增高电炉熔渣的含钒量,并且降低铁水中的含碳量。预还原产物在热态下装入埋弧电炉(4座,容量3万仟伏安)产生生铁,车间生铁年生产能力48万吨,得到的铁水直接装入震动罐(容量50—60吨;4个震动罐台座,建成两个,预留两个),送氧吹钒渣,生产出固态 V_2O_5 25%的钒渣以及半钢。半钢送入氧气顶吹转炉炼钢。从精矿到铁水,提钒的回收率达到85—90%,用此法,钒的总回收率为65—70%。该公司开工的头一年就供应了1.5万吨钒渣。据称,

该公司1975年新钢厂投产后，钒渣生产将比现在增加25%。

挪威等采用电炉熔炼含钒铁精矿酸性侧吹转炉提钒，近年来，为了减少侧吹造成的损失，改用在铁水罐中的铁水刚好脱硅时吹氧制取高钒渣。如从含钒1.0—1.2%的生铁中，可生产出含 V_2O_5 23—25%的钒渣，然后将钒渣用湿法制 V_2O_5 及生产钒铁。

2. 底吹转炉提钒

苏联秋索夫钢铁公司的提钒过程是，精矿进高炉炼含钒生铁，钒进入生铁为82—83%；铁水进底吹转炉吹炼钒渣，每吨生铁产生60—65公斤渣，铁水到钒渣的回收率为88—90%；钒渣用湿法提五氧化二钒，其回收率为82%；湿法产物装电炉炼出最后的产品——钒铁，此工序，钒的回收率为99%。从精矿到钒铁的总回收率为60%。

底吹法提钒的缺点是，难于使用大转炉，渣铁分离不好，钒损失大，而且所得半钢不能用空气转炉炼成钢。

3. 顶吹转炉双联提钒法

苏联下塔吉尔钢厂采用100吨的顶吹转炉双联法，一座转炉先将含钒铁水吹出半钢和钒渣，另一座转炉再将半钢炼成钢。可生产 V_2O_5 不低于14%的钒渣和含碳3.2—4.0%、钒0.01—0.04%的碳素半钢，从铁水到钒渣的钒回收率为92—94%。

该法要注意的工艺参数是吹氧制度、冷却剂的使用和加燃料吹炼等制度，已确定，把总的供氧强度提高150米³/分，半钢中余钒可降低0.01%。冷却剂用量为：氧化铁不超过60公斤/吨；含钒生铁块不超过100公斤/吨；水为1公斤/米³氧气。采用完全燃烧火焰吹炼，渣中五氧化二钒含量可提高到21—26%；改变燃料加入量的方法可以调节碳、硅、锰的相对于脱钒速度的平均氧化速度。

4. 焙烧浸出法

南非海威尔德公司凡特腊钒厂（原为德兰士瓦钒公司）采用这种精矿粉焙烧浸出法。所用钒钛磁铁矿的成分大体为：Fe50—60%， V_2O_5 痕量—2.5%， TiO_2 8—20%， Al_2O_3 1—9%， Cr_2O_3 痕量—1%。矿石经破碎、磨细及脱水后，将矿粉同熔剂混合，装入回转窑或多层炉中焙烧，焙砂用水浸出，含钒溶液用铵盐处理，沉淀出偏钒酸铵，以回收五氧化二钒。其产品有熔融五氧化二钒（鳞片状）、催化剂级五氧化二钒和纯偏钒酸铵。该厂年产2,700吨（600万磅）99%以上的五氧化二钒。

苏联试用沸腾焙烧浸出的方法，使97—98%的钒转化成可溶性钒而被浸出，月生产能力达30—50吨/米²。

芬兰奥坦马克使用球团矿直接浸出法。所用原矿成分（%）为：Fe40， TiO_2 15.5，V0.26。将含钒铁精矿制成钠化球团，装入竖炉焙烧，焙烧中钒的转化率约为80—90%，竖炉有效容积110米³，最大生产能力为15—20吨/小时，该厂共有竖炉二座。焙烧后的球团采用逆流浸出，然后沉淀、过滤制得商品五氧化二钒（含 V_2O_5 90—92%）。该厂1972年达到处理含钒铁精矿25.7万吨，产五氧化二钒2,124吨，并将继续扩建。

二、钛工业及其资源

钛的资源

钛是一种高熔点（1660℃）的银白色金属，发现于1791年，1910年开始制造。不过，钛的冶炼工艺复杂，直至1940年克罗尔（Kroll）发明了镁热法生产海绵钛，1948年美国用该法生产了10吨钛，钛工业生产才算开始。

钛的资源非常丰富，它是地球地壳中第十位储量最多的元素（仅次于氧、硅、铝、铁、钙、钠、钾、镁、氢），是继铝、铁、镁之后第四位的结构金属，占地壳重量的0.61%，比铜、镍、铅、锌的总和多16倍。现在发现含钛1%以上的矿物有87种。有报告说，月球的岩石中也含有10%的钛。

现在，主要的钛资源是钛铁矿和金红石，钛铁矿约占85—95%，金红石仅占5—15%。钛磁铁矿是钛铁矿的重要来源。

关于钛资源的资料，没有一致的说法，表示法也不统一，因此，数据出入较大。事实上，所有国家都拥有钛的资源，仅工业矿床较大的国家就有150个以上。根据美国地质调查所1973年的资料，世界已查明的钛资源储量19.7亿吨（ TiO_2 ），加上估计储量16亿吨，总数是35.7亿吨（ TiO_2 ），其远景储量在100亿吨（原矿）以上。可见钛的资源是极为丰富的。

金红石的世界储量估计是1900万—6800万吨左右，塞拉利昂、墨西哥和澳大利亚都是储量最多的国家。目前，世界上的金红石产量是40万吨左右，其中澳大利亚约占90%，1973年的产量是36万吨，1974年的产量是34万吨。塞拉利昂的塞拉金红石公司计划1976年开始生产金红石，其生产能力为7.5—10万吨/年，今后世界的金红石产量将达到50万吨/年，而七十年代末期对金红石的年需要量将增加到100万吨，供求的差数将由人造金红石来补充。

金红石的价格在上涨，1973年初澳大利亚的金红石价格为125澳元/吨，1974年初涨到200澳元/吨，到了1974年底更涨到400—450澳元/吨（合人民币986—

1109元/吨)。

钛铁矿的世界储量,实际上是无法估计的。有的资料估计为11亿吨(TiO_2 50%计),折合二氧化钛约6亿吨(见表7)。有的资料估计为60亿吨(TiO_2 50%计)左右,即便按现在每年需要的2倍的600万吨算,也足以供应100年,加上未发现的,钛铁矿资源将是无穷尽的。估计,苏联的钛铁矿储量约为1.7亿吨。据苏联地质资料局估计,世界上有60%的钛资源(钛铁矿和钛磁铁矿)集中在南非和坦桑尼亚。生产钛铁矿的主要国家有澳大利亚、加拿大、芬兰、印度、马来西亚、挪威、西班牙、斯里兰卡、美国和苏联。1974年的钛铁矿产量是,澳大利亚78万吨,美国76万吨。加拿大生产的钛铁矿(1973年开采的钛铁矿230万吨左右)几乎都由魁北克铁钛公司处理成钛渣,生产的钛渣,叫做索雷尔渣。最近二十年,钛铁矿的产量一直在增加,其年增长率估计为15

—30%。目前,全世界的钛铁矿产量在300—400万吨,其开采量比金红石大8倍。主要产地的钛铁矿的成分见表8。

表7 钛铁矿的世界储量(万吨)

地 区	储量(TiO_2 50%)	TiO_2 量
美 国	5,400	1,776
加拿大	13,750	8,975
欧 洲	54,020	17,829.6
非 洲	12,950	6,350
亚 洲	7,400	8,252
澳 洲	3,000	3,360
新西兰	16,600	14,412
合 计	113,120	60,954.6

表8 主要产地的钛铁矿的成分(%)

地区	TiO_2	FeO	Fe_2O_3	SiO_2	Al_2O_3	P_2O_5	ZrO ₂	MgO	MnO	CaO	V_2O_5	Cr_2O_3
北美												
纽约州	44.0	36.70	4.40	3.20	0.19	0.07	0.01	0.80	0.35	1.00	0.24	0.001
阿拉德(QIT)	34.3	27.50	25.20	4.30	3.50	0.015	—	3.10	0.16	0.90	0.27	0.10
挪威	43.9	36.00	11.10	3.28	0.85	0.03	1.09	3.69	0.33	0.18	0.20	0.03
南非	49.50	37.20	10.50	0.76	—	0.02	0.05	0.59	0.88	—	—	0.16
印度(MK)	54.20	26.60	14.20	0.40	1.25	0.12	0.80	1.03	0.40	0.40	0.16	0.07
(Q)	60.60	9.25	24.18	0.40	0.91	0.21	0.60	0.80	0.39	0.15	0.15	0.12
斯里兰卡	53.13	19.11	22.95	0.86	0.61	0.05	—	0.92	0.94	0.26	0.19	0.09
马来西亚	55.30	26.70	13.00	0.70	0.59	0.19	0.10	0.02	0.70	0.50	0.07	0.03
澳大利亚												
Cables	54.57	25.15	16.34	0.53	0.40	0.13	—	0.32	1.67	0.30	1.18	0.04
巴西A	61.90	1.90	30.20	1.60	0.25	—	0.07	0.30	0.30	0.10	0.20	0.10
B	48.30	32.40	16.60	1.30	0.30	—	0.10	0.10	0.60	0.10	0.06	0.50
新西兰												
北岛	41.30	32.10	22.70	1.10	0.70	0.12	—	1.30	1.00	0.60	0.18	0.01
南岛	46.50	37.60	3.30	4.10	2.80	0.22	—	1.20	1.20	1.40	0.03	0.03

[根据《チタン原料について》(杉山周三)]

国外钛铁矿的价格也在不断上涨。1970年时,澳大利亚的出口价格为10.3美元/吨(合人民币25.34元/吨),英国为19.3美元/吨(合人民币47.48元/吨),美国为20.7—23美元/吨(合人民币50.92—56.58元/吨);澳大利亚的价格,1973年涨为12澳元/吨,1974年又再涨为15—18澳元/吨(合人民币37—44元/吨);美国钛铁矿的价格,1972年时为22—24美元/吨,1973年上涨为32—38美元/吨,1974年达到55美元/吨(合人民币102元/吨)。1974年从澳大利亚运到欧洲主要港口的钛铁矿运费为25美元/吨(合人民币46元/吨)。

国外开采的钛资源中,90%以上用于生产涂料钛白,5%用于生产海绵钛,其余部分用于生产焊条助熔剂、钛铁和管道涂层等。此外,钛铁矿也用于代替铁砂,保护高炉炉底。日本74年用于高炉的进口钛铁矿约25.5万吨,75年由于钢铁工业相继减产,高炉用进口钛铁矿减少到7.5万吨。日本75年用于涂药电焊条的涂敷剂的钛铁矿,估计为1.9万吨。

富集钛铁矿的方法

金红石是氯化-氧化法制取钛白的原料。近十年

来对金红石的年需要量增加了四五倍。金红石储量有限,较富的矿床已几乎采尽,价格不断上涨。为了利用丰富的钛铁矿资源,除了将钛铁矿直接氯化外,发展一种经济的钛铁矿富集方法,显然是非常重要的。可以说将钛铁矿除铁提高品位,是钛工业生命攸关的问题。富集钛铁矿分为两类,一是含 TiO_2 96%左右的人造金红石,一是含 TiO_2 90%左右或以下的钛渣。合成金红石用以制氯化法钛白和金属钛,钛渣用作硫酸法钛白和金属钛的原料。

估计1976年世界上人造金红石的产量为13—14万吨,随着需要量的增大,1978年时,可能供应30万吨

表9 人造金红石的生产者

○现在生产的	1976年的年生产能力(万吨)	除铁法
西方钛公司 (澳大利亚)	8	铁完全还原后,使之溶解于水溶液中
石原产业 (日本)	4.8	铁部分还原后,用稀硫酸除铁
德兰加德拉 (印度)	2.5	用盐酸除铁
马来西亚钛公司 (马来西亚)	2.0 (77年)	贝尼利特法

左右的人造金红石。表9是人造金红石的生产者。

○计划中有:拜尔公司(西德),克尔-麦吉公司(美国),韦斯特拉利砂矿公司(澳大利亚),魁北克钛公司(南非),三菱金属公司、三菱化成工业公司、堺化学工业公司(日本)

注:表中还列有我国台湾省1976年投产的一个年产8万吨的人造金红石厂,采用贝尼利特法(这里略去了)。

富集钛铁矿,根据除去钛铁矿中铁等杂质的方法,有各种各样的方法,不过大概可以分为干法和湿法两大类,如表10所示。每个方法各有短长,所得产品的成分如表11所示。

表10 富集钛铁矿的方法

	制法	除铁法
干法	钛渣法	钛铁矿经电炉熔炼,杂质中的铁以生铁回收
	选择氯化法	控制钛的反应,仅只选择氯化挥发除去铁
湿法	选择浸出法	将铁等杂质变成高溶解性还原后,以硫酸或盐酸选择溶解除去铁。

表11 富集钛铁矿与天然矿的成份比较(%)

	钛渣法	选择氯化法	选择浸出法		天然金红石	白钛石
	魁北克钛铁公司	三菱金属公司	西方钛公司	石原公司	AMA	卡贝尔公司
全 TiO_2	94.5	96.6	91.1	96.1	96.2	87.2
Ti_2O_3	44.1	—	25.5	—	—	—
金属Fe	0.7	—	0.63	—	—	—
FeO	3.0	—	4.91	—	0.00	1.93
F_2O_3	—	0.73	—	1.30	0.34	5.46
Al_2O_3	3.3	1.77	1.10	0.46	0.32	1.65
MgO	0.6	0.04	0.36	0.07	0.05	0.08
CaO	0.1	0.05	0.12	0.01	0.02	0.00
MnO	2.30	0.03	2.08	0.03	0.01	0.16
Cr_2O_3	0.04	0.07	0.05	0.15	0.16	0.14
V_2O_5	0.19	0.02	0.17	0.20	0.56	0.22
P_2O_5	—	0.07	0.02	0.17	0.01	0.10
Nb_2O_5	—	0.10	0.48	0.25	0.40	—
SiO_2	1.2	1.06	0.71	0.50	0.06	1.43
ZrO_2	—	0.06	0.14	0.15	0.72	1.46
S	—	—	—	0.01	0.01	0.02
修正 TiO_2	90.1	—	89.9	—	—	—

注:1.魁北克与三菱金属公司发表的数值,其他是石原公司的分析值

2.魁北克与西方钛公司的产品由于含有 Ti_2O_3 ,分别在下面记有修正的 TiO_2 值

下面简要介绍几种在工业上得到实际应用的方法生产情况。

1. 电热熔炼法

在电炉中将钛铁矿同煤或焦炭一起熔炼制得高钛渣和生铁，可以大量生产既经济而又不增加“公害”的产品。据称，改用高钛渣作为硫酸法制钛白的原料，可以减少设备，并可以减少硫酸用量三分之一，起到减轻公害的作用。因此，国外认为电炉熔炼法仍然是有效的方法。目前，在日本、意大利、苏联、冰岛和加拿大生产钛渣都是采用电炉熔炼法。苏联钛渣的年产量估计为10万吨，钛渣含 TiO_2 83%。

加拿大魁北克铁钛公司(QIT)是世界上钛渣生产最多的公司。该公司从业人员1350人，其中研究人员100人，有10人研究质量管理。该公司设备为4个直径3.4米、长61米(11×200呎)的焙烧回转窑，产能为50吨/小时；9个功率为4万—9万瓩的电炉。生产的钛渣含 TiO_2 70—72%(见表12)。1968年，该公司生产钛渣66万吨，低磷生铁45万吨；最高的1973年，钛渣产量上升为84万吨，生铁产量60万吨。1976年估计，钛渣为78万吨。年处理钛铁矿的能力达到220万吨。1974年魁北克铁钛公司的钛渣价格为55美元/吨(合人民币102.3元/吨)，商品名叫做索雷尔渣。

由魁北克铁钛公司等合资兴建的南非理查士湾(Richards Bay)铁钛公司，预计1978年下半年投产，计划生产钛渣(含 TiO_2 85%)60万吨/年，低磷生铁29.2万吨。另外，冈比亚和冰岛还成立了一个合资公司，准备在冰岛用水力发电熔炼冈比亚的钛铁矿。挪威还同时生产一种“钒钛铁”(Vantite)。

表12 魁北克公司(阿拉德湖矿)的钛渣分析例(%)

全 TiO_2	70.00	MnO	0.22
Ti_2O_3	12.30	Cr_2O_3	0.16
全Fe	10.20	V_2O_5	9.49
金Fe	0.50	CaO	1.09
FeO	12.50	MgO	5.36
Al_2O_3	4.35	合计	99.79

一吨高钛渣耗电大约3700度。因而，电热法必须具有严格的操作工艺和廉价的电力，才比较经济。

2. 还原锈蚀法

将钛铁矿在回转窑中用煤进行还原后，置入有催化剂的充气水中锈蚀除铁，产品含二氧化钛92%，甚至可高于95%。此法比较简单，成本低廉，没有公害，不依赖酸碱工业，因而引起了人们的重视。

澳大利亚西方钛公司1975年宣布，它的一个连续

操作了七年多的半工业试验厂(年产1万吨)，将无定期地关闭。与此同时，1974年投产的年产3万吨的新工厂将继续生产，这个厂的生产能力可能超过3.5万吨/年。

3. 还原盐酸浸出法

①印度德兰加德拉(Dhrangadhra)化工厂，1970年建成了一个盐酸浸出的工厂，钛铁矿在回转窑中用煤还原，随后用盐酸浸出。盐酸是氯碱生产中的副产品。该厂的生产能力为2.5万吨/年。

②贝尼利特法 贝尼利特(Benilite)公司研究出的、将钛铁矿进行部分还原，随后用20%的盐酸逆流浸出的方法，此法中酸可以循环使用。用该法富集钛铁矿的建厂计划现在已经超过20万吨/年。马来西亚钛公司的年产2万吨的工厂已经动工，预计1977年投产。

属于还原盐酸浸出法的尚有墨非雷斯(Murphyores)法等，都有建厂计划。苏联将钛铁矿在沸腾炉中用天然气进行还原焙烧，随后用盐酸浸出。半工业试验结果， TiO_2 93—95%，盐酸再生率达95%。

4. 还原硫酸浸出法(亦叫石原法)

日本石原产业公司将钛铁矿在回转窑中加焦炭还原焙烧，随后用硫酸法钛白厂的废硫酸进行两段浸出。所得产物二氧化钛达96%以上，1976年的生产能力为4.8万吨/年。

5. 选择氯化法

该法的特点是以 $FeCl_3$ 形式除去铁，处理蒸气回收氯。日本三菱金属公司建造了一个日产1吨的中间试验工厂，保持铁在低温下氯化，二氧化钛留于残渣中，产品的二氧化钛达95%以上。据称，该公司已解决了氯的回收问题，消除了公害，并回收了氧化铁。该公司打算把工业化生产能力扩到3.6—12万吨/年的规模。

氯化法的前景很好。由于氯的循环使用，环境污染大大减少。目前，全世界到处都能获得氯，氯-氢混合气也可以从石油化工工业或其他工业中以副产品形式获得，并且，氯和氯化氢可以再生，总成本降低；因而，氯化法的经济性将愈来愈有竞争力。

国外1970年资料估计，若以钛铁精矿价格为9—10美元/吨计，一般合成金红石的成本是30美元/吨(合人民币73.8元/吨)，出厂价格85—125美元/吨(合人民币209.1—307.9元/吨)。天然金红石1973年初的价格是155美元/吨(合人民币381.3元/吨)，而1973年美国进口的人造金红石的标准价格是90—100美元/吨，价格要比天然金红石低。

钛 白 工 业

钛白工业自1916年在挪威开始工业化以来,现在有了突飞猛进的发展。钛资源中绝大部分都是消耗于钛白的生产。

1. 钛白的生产

钛白的生产方法现在仍然以硫酸法为主。1972年,世界上用硫酸法生产的钛白近170万吨,氯化法生产的45万吨;所用原料比例是,金红石30万吨,钛渣75万吨,直接使用钛铁矿240万吨。不过,硫酸法面临着环境污染问题,按1975年的实况,每1吨硫酸法钛白,消耗钛铁矿2.18吨,4吨硫酸,需要极高的三废处理费用。据说日本新建硫酸法厂,公害处理费要花去50%的投资。因此,日本等国都不打算再建硫酸法生产厂,而重视起氯化法来。氯化法反应应用氯大部分可以循环使用,每吨产品消耗氯0.2吨左右,废物量少。

近年来,氯化法在飞速地发展。氯化法的优点是产品质量好,三废少。自从杜邦公司采用此法成功以来,许多公司相继采用,特别是美国,1968年氯化法生产的钛白只有22万吨,1970年达到38万吨,占世界氯化法生产的75%;预计1980年美国氯化法钛白将达到83万吨。

不过,氯化法需要高品位原料,必须采用相应的富集钛铁矿的措施。另外,尚有专门的操作技术问题;目前顺利运转的只有杜邦公司等二三家。就是这几家公司,操作也不稳定。

据估计,目前世界上的钛白生产能力每年已接近250万吨。以国家分,生产能力的顺序是美国、西德、英国、日本。以公司分,美国国家铅公司(N.L.)所属生产能力占世界20%,其次是杜邦公司占15%,英国钛产品公司占13%,这3家公司占全世界的48%。1970年国家铅公司产量为23万吨(硫酸法),杜邦公司的产量为20万吨(氯化法)。由于资本主义世界生产危机及硫酸法公害等问题,各国产量有波动。美国1974年底的生产只是生产能力的70%,英国1974年减产50%,同年,日本的生产率也减少了40%。有些建厂计划已经推迟或撤销。1974年,美国生产的钛白大约80万吨。国家铅公司已经后退,杜邦公司一跃而成世界最大的钛白公司;预计1977年,该公司的生产能力可能超过50万吨/年。美国1980年钛白的产量估计将达到134.5万吨。钛白的世界年增长率可能为5%以上。1976年日本的钛白生产能力为21.3万吨。

2. 钛白的用途和展望

钛白的主要用途是作涂料和颜料。与其它白色颜

料相较,化学物理性能稳定,光电性能好,无毒性,应用范围相当广泛。

国外有人以为,钛白消耗量的多少,也可以部分地说明那个国家生活水平的高低。资本主义国家中以美国的消费最多。按人口计,每人每年消耗钛白8公斤以上,而日本和欧州为两公斤左右。世界按人口计,到1975年每人每年为0.5公斤左右。钛白的消耗量是逐年增加的。表13是美国钛白的消费比例。

表13 美国钛白的消费情况如下:

消费部门	所占比例 (%)	消费部门	所占比例 (%)
油漆工业	57	人造纤维工业	5
造纸工业	17	其它部门	17
橡胶工业	3	总 计	100
人造丝工业	1		

钛白工业中,国外正在着手解决的有如下问题:

1.加强现有硫酸法的公害处理。用钛铁矿作原料,以硫酸法生产钛白,一吨钛白耗用4—5吨硫酸。改用钛渣,可以使硫酸耗量减少三分之一,投资也大大减少。

2.大力研究氯化法的技术问题,增加人造金红石的产量。

钛白的价格这几年一直在上涨。美国1973年为28.5—30美分/磅,1974年金红石级的钛白涨至35—43美分/磅(合人民币0.65—0.72元/磅)。由于处理公害方面的费用,估计钛白颜料的价格还要上涨20%。

海 绵 钛 工 业

金属钛工业在最近二十年有了显著的进展。尽管提取钛的工艺比较复杂,成本较高,但钛的生产和消费却不断增长。现在很难指出一个不或多或少地应用钛、钛合金和钛的化合物制品的技术领域和工业部门。

1. 海绵钛的生产

目前,钛的生产工艺是,钛精矿经电炉熔炼得到含二氧化钛90—95%的高钛渣(若用金红石可以省去这一道工序),用沸腾炉或竖炉进行氯化制造四氯化钛。由四氯化钛制海绵钛,主要采用镁还原法或钠还原法。两法的产品质量差不多。英国采用钠还原法,其可能原因是英国钠较镁便宜。据说美国钛金属公司1970年开始建立年产5500吨的四氯化钛电解厂,近

来未见该厂的介绍。不过,在1973年有日产约85公斤的电解槽 5 个在操作中。据报导,最近豪梅特和道化学公司(Howmet and Dow)对生产金属钛的电解法做了改进。四氯化钛电解法具有成本低、质量高等优点。采用电解法能节省能量消费40%,使操作费用大大降低。使用克罗尔法时,1 磅海绵钛需要的电能是22—23度,而使用电解法则约有15度电就够了。其他的方法虽然正在大力研究,不过,这二十年没有重大突破。图1示出了正在研究中的各种方法。

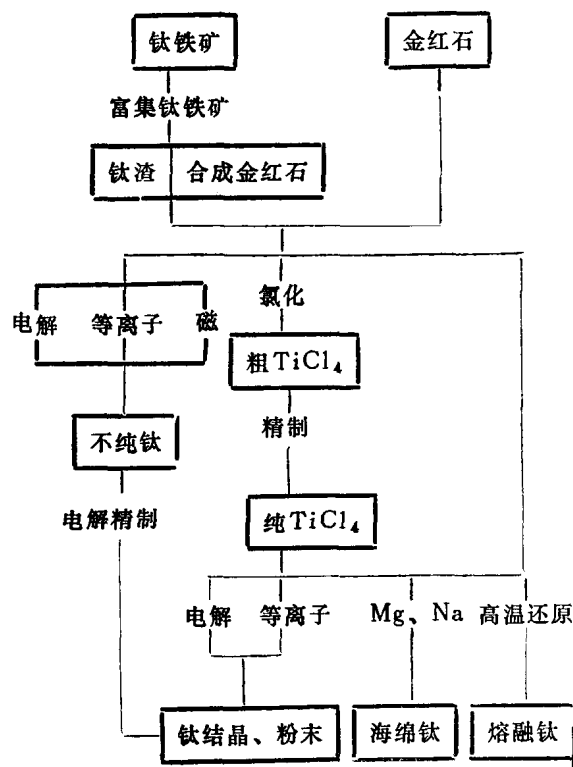


图1 金属钛冶炼流程图

世界上海绵钛的年生产能力估计,美国2万吨、苏联8万吨、日本1万吨、英国0.5万吨,估计世界现在的生产能力在6.5万吨左右。

世界主要产钛国家生产海绵钛工厂、生产能力采用的方法与得到的海绵钛质量列于表14(1970年资料)。

按照最近的资料,苏联海绵钛的生产能力估计在3.5万吨/年左右。苏联海绵钛生产有了巨大的增长,原因之一可能是掌握了新的海绵钛生产技术,如用电子计算机控制还原及蒸馏工序,一台电子计算机控制16台炉子,可缩短生产周期三分之一。1974年日本的海绵钛产量据说是9千吨。

日本大阪钛厂生产海绵钛的主要技术经济指标如下:

表14 主要产钛国家的海绵钛生产

国家	工厂名称	采用方法	生产能力 吨/年	海绵钛质量 布氏硬度(HB)
美国	钛金属公司	镁还原法	9000	100~140
	活性金属公司	四氯化钛 电解法	5500	<75
		钠还原法	7700	
		镁还原法	5700	100~140
	奥勒冈冶金公司 合计		27900	
苏联	第聂伯钛镁厂	镁还原法		<120占80%
	别连兹尼柯夫钛 镁厂	镁还原法		100~105占50%
	乌斯切卡明诺哥 尔斯克钛镁厂	镁还原法		
	合计		12500	
日本	大版钛公司	镁还原法	5400	<100
	东邦钛公司	镁还原法	4200	<100
	新金属工业公司	钠还原法	2200	<100
	合计		11800	
英国	帝国化学公司	钠还原法	3600	110
总计			55800	

(1)生产1吨海绵钛的单耗:

①镁:1.44吨(其中92%的镁可回收,每生产1吨海绵钛只需补充镁80公斤);

②氯气:3.46吨(其中75%的氯气可回收,即每生产1吨海绵钛需要补充氯气1吨);

③电能:每生产1吨高钛渣需电能3700度,生产1吨四氯化钛需电能26度。

(2)各工序钛的实收率:

①制高钛渣工序 93%

②制团焦工序 98.9%

③氯化工序 93.4%

④还原工序 97.7%

⑤总实收率 84.9%

从钛矿石到产出一吨钛锭所需的电力消耗是2.5—3万度,而由矿石生产一吨铝锭的能耗是1.5—2万度,钛比铝要多50—70%,按照每吨金属计,钛厂的建设投资为1500美元(约合人民币3890元),大概相当于铝厂的8倍。

2. 钛的用途和消费

钛由于比重小、强度高、耐腐蚀性好,是一种优良

的结构材料，它有着非常广泛的用途。目前，钛主要是用于航空及宇宙航行工业，有人估计高达90%，但国家不同情况不完全一样。YF-12A超音速飞机用钛32吨，占结构重量的90%以上，故有钛飞机之称。美国正在计划生产B-1战斗轰炸机，每机用钛70吨。宇宙飞船采用钛，可以减轻几十到几百公斤，每减轻一公斤可节省二万二千美元。钛在石油、化学工业上的消

费约为9%。这方面的应用范围和用量都在增加，主要用作各种容器、反应器、热交换器、蒸馏塔、管道、泵和阀等。最近，有的氯气和烧碱厂开始使用钛阳极替换石墨阳极。虽然钛板比铝板贵10倍，比不锈钢板贵6—10倍，但用它制成的设备只比不锈钢板贵2—3倍（有的设备已接近不锈钢的价格，而使用寿命比不锈钢大10倍以上。现举几项国外使用实例（表15）。

表15 钛制设备与不锈钢设备的使用比较

设备名称	操作条件	原 用 材 料		改 用 钛 后		改用钛后的寿命增大倍数
		材料名称	使用期限	纯钛或钛合金	使用期限	
泵	镍、钴生产	20号不锈钢	二个月	纯钛	四年未腐蚀	<24
搅拌筒内衬阀门、喷嘴	氧氯化物	镍铬钼合金	5小时	纯钛	一年后仍完好	<1700
KH3涡轮泵	盐酸溶液	1 铬18镍 9 钛不锈钢	8 天	纯钛	153天仍完好	<20
KH3涡轮泵	盐酸溶液	铸 铁	4 天	纯钛	153天仍完好	<40
蛇形管φ50毫米×40米	加热金属硫化物	包铝钢管	几个月	纯钛	永久性的	<100

钛及其合金在舰艇上的应用正在探索研究。在潜水艇上用钛代替不锈钢后，可使潜水深度增加一倍。用钛合金代替钢制作坦克的悬吊装置及履带以后，可使重量减轻40%，即减轻680公斤。在炼钢时，加钛作脱氧剂，可使钢的结构致密。钛是理想的超导合金和硬质合金及不锈钢的主要组份。用高强度钛合金作深井钻头，可钻探10—15公里的超深钻井。钛由于在人体内不受腐蚀且无毒，能适应各种杀菌方法，在医学上的应用日趋广泛。

由上述可知，钛的资源无比丰富，钛的用途无限广泛。可以说，在金属结构中凡是不锈钢遭受严重腐蚀的部件几乎都可用钛取代。由于不锈钢重要组份的镍资源日趋贫乏，国外有人预言，钛合金早晚是会取代镍和镍合金的。

钛在各国的用量中，纯钛和钛合金的使用比例有较大的出入，如美国以钛合金形式使用的占87%，纯钛占13%，而日本90%以上是纯钛形式使用。现将美、日及欧洲各国钛用量分配情况列于表16。

1973年美国海绵钛的使用分配如下：

使用部门	所占比例
军事工业和宇航	38%
民用飞机构架	15%
发动机	31%
一般用途	16%

1975年，美国消费的海绵钛预计在3万吨以上。

1972年美国政府储备的海绵钛约5万吨，1973年为2.65万吨，只是储备目标的80%。

表16 各国钛用量分配情况

国名	使用部门	航空及宇宙航行(%)	石油、化学等工业(%)	备 注
美 国		90	10	60%海绵钛出口美国，这是国内使用情况 就全欧而言，二者的分配比例为6:4~7:3
日 本		10	90	
英 国		90	10	
西 德		60	40	
东 德		90	10	
意 大 利		10	90	
荷 兰		10	90	
瑞 士		10	90	
瑞 典		10	90	

对金属钛的需要量还会不断增长，特别是在化工、冶金、海水淡化等民用工业部门。估计，今后钛及其合金的需要量可能有90%的年增长率。据日本《工业稀有金属》杂志估计，随着中东各国的海水淡化装置，原子能发电，石油化学装置，以及飞机等的需要，1977年钛的生产和消费，大体上是平衡的，实际上将出现供应不足的状态，即使在1980年，现在关闭中的美国奥勒冈冶金公司再开，世界海绵钛的产量也只有

7.7万吨,势必出现供不应求的状态。

世界海绵钛的需求预测 (万吨)

	1975年	1977年	1980年
生 产	5.61	6.7	7.7
(生产能力)	6.50		
消 费	4.9	6.73	8.65

在1974年期间,美国国产海绵钛的价格从1.42美元/磅涨到2.25美元/磅(合人民币4.2元/磅);从日本进口的海绵钛也从1.38美元/磅涨到2美元/磅。同时,钛制品的价格上涨,钛坯、钛棒的标准价格从2.5美元/磅涨到5美元/磅(合人民币9.3元/磅),钛板和钛带由3.6美元/磅涨到9美元(合人民币16.7元/磅)。1975年海绵钛的价格还在上涨。

3. 钛工业的动向和展望

钛发展成为工业上的重要材料,主要不在于用途,而是在于供应量。由于钛的价格高,阻碍了钛在民用工业中的应用。国外有人认为,发展钛工业的前途,取决于降低钛的价格。降低价格有两个途径,一是扩大钛厂的生产能力,二是寻求经济、简便的制钛新工艺。美国有人估计,钛厂能力扩大7—10倍,钛的价格可相应降低1/2或2/3。到目前为止,生产钛的方法都是间歇式的。看来,在未找到一种与铝或铁相比拟的制钛方法时,钛仍然不能同铝和不锈钢相竞争。

在国外,对于钛工业的研究发展主要着重于以下几个方面的问题。

1. 大力研究富集钛铁矿,从低品位矿提取金属钛。

2. 改进和强化镁(钠)还原法工艺的流程,促进现有生产海绵钛工艺的连续化和大型化。美国自称,已实现了钠还原法全部连续化。

3. 大力研究电解法制取金属钛。

4. 研究减少废钛和解决废钛的利用途径。钛锭在加工成材时,要产生50%的废料。现在世界上的废钛量约为1—1.3万吨。这部分废料的利用,各国都在采用各种方法解决,其中粉末冶金方法发展迅速。以美国为例,1973年钛粉冶金制品约75吨,估计1975年为200吨,1977年为450吨。5年之内,将增加5倍。

5. 开辟钛的各种新用途。在欧洲,钛铸件也开始用作飞机构件。

三、钒钛磁铁矿的利用概况

钒钛磁铁矿在世界上储量很大,分布很广,但是没有完整可靠的资料可以引用;只能根据一些零星资

料加以整理。在前面的分析中指出,钒钛磁铁矿不仅是钒的主要资源(目前一半以上的钒是来自钒钛磁铁矿),也是钛和铁的重要资源,而且它往往含有一些另外的有价金属。因此,近年来,国外也有相当的重视。世界上钒钛磁铁矿的大概分布见表17。

某些国家或地区的钒钛磁铁矿成分列于表18。

国外在钒钛磁铁矿资源的利用中,有的已在生产中实现铁、钒、钛的回收。如挪威和芬兰。至于其他元素的回收未见工业生产,都在探索阶段。其中,索魁姆公司自1968年以来对加拿大马格皮钒钛磁铁矿床(11亿吨)的广泛研究中有两个方案是引人注意的。1. 采用天然气进行直接还原的捷克斯洛伐克卡恩达克(Kantakin)新工艺。从多层焙烧炉的炉顶装球团,底部放铁水,完全利用热燃气。这个方法的基建投资和操作费用要比高炉低。但未见工业应用。2. 采用新的盐酸浸出法。据称这种方法可以获得高质量的氯化铁和合成金红石,并能回收铬、钒、铝,而且钛的回收率可达90%以上。

现将国外某些钒钛磁铁矿的处理情况简要介绍如下:

1. 南非布什维尔德钒钛磁铁矿的处理

南非海威尔德钢与钒公司将矿石选矿后得到含钒铁精矿和含钛尾矿两部分。铁精矿经回转窑预还原后装入电炉熔炼得含钒铁水和含钛炉渣,炉渣废弃;含钒铁水装入振动罐吹钒生产出钒渣和半钢,半钢在顶吹转炉中炼成钢。含钛尾矿再经选矿可选出品位为 TiO_2 49%, Fe36.99%的钛精矿。

该公司是目前世界上最大的钒生产公司。

2. 芬兰奥坦马克钒钛磁铁矿的处理

该矿石是一种钛铁矿(28%)和磁铁矿(35%)的混合矿。奥坦马克公司先进行干法和湿法磁选,选出的磁性部分为含钒铁精矿,含Fe65%, TiO_2 3—5%, V_2O_5 0.85%;铁精矿装入电炉熔炼得出含钒铁水和钛渣,钛渣舍弃不用;铁水装入铁水罐吹氧吹钒渣。磁选后的非磁性部分先经浮选分出黄铁矿,在捕收剂中添加柴油(使钛粒子产生选择性的絮凝作用)再次浮选出钛精矿(TiO_2 40—45%),钛精矿的回收率为88%。钛精矿用于制钛白。

3. 挪威特尔尼斯钒钛磁铁矿的处理

采用磁选—浮选联合流程,磁选出的铁精矿用电炉熔炼含钒生铁,用转炉或铁水罐吹钒生产高钒渣,电炉钛渣舍弃不用。浮选出的钛精矿含 TiO_2 44%,

表 17 世界上钒钛磁铁矿的分布

国家或地区	矿床名称或所在地	V ₂ O ₅		TiO ₂		备 注
		含量(%)	储量	含量(%)	储量	
美国	纽约州阿德朗达克(Adirondack)		很大	16	大	
	纽约州散弗德湖	0.45	很大			
	加利福尼亚州洛杉矶圣加勃里山区	0.53	中	20	大	
	德卢思矿山	1.0	很大		大	
	科罗拉多州加里布和铁山	0.3	中			
	怀俄明铁山	0.4	大			
	罗得岛铁矿山	0.3	大			
加拿大	安大略州魁北克	0.5	很大		很大	
	马格皮矿床	0.17	很大	10.1	很大	Cr ₂ O ₃ 1.45%
南非	布什维尔德	1.4—1.9	很大	12—15	很大	Cr ₂ O ₃ 0.15—0.3, Cu 0.02—0.03, Ni 0.03—0.07
芬兰	奥坦马克 (Otanmaki)	0.5 (0.45)	很大	14	大	
瑞典	塔贝格 (Taberg)	0.4	很大	5—17	大	
	鲁乌特瓦尼矿山	0.26	小	10—20	大	
	克腊姆基塔	0.4	很大			
	基律纳	0.1—0.2				
挪威	特尔尼斯矿床 (Tellnes)	0.5—1	很大	18.4	很大	
	罗弗敦群岛		大			
印度	比哈尔	1.5—3	很大		大	
	迈索尔	1.5—3	大			
苏联	乌拉尔库萨矿床	0.54	很大	12—14	很大	
	切尔诺烈申斯克矿床	0.4—0.8	很大	10—16		
	卡巴斯克矿床		很大	14	大	
	科拉半岛普道日哥尔斯克	0.17	大	7—10	大	
澳大利亚	新南威尔士	0.2—1.5	大		大	
	西部钛铁矿床	0.2—1.5	大			
新西兰	北 岛	0.3—0.5	很大		很大	
智利		<0.5				

注：①钒储量很大，指>45000吨，大，指4500~45000吨，中，指450~4500吨。

②很大，指钛铁矿在1亿吨以上，大，指钛铁矿在1000万吨以上。

表18 国外某些钒钛磁铁矿的化学成分 (%)

名	称	全Fe	TiO ₂	V ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Mn	Cr	Cu	Ni	P	S
美国	怀俄明钒钛磁铁矿	47.08	21.21	0.53	3.63	5.92	0.90	3.57		0.01			0.08	0.011
美国	散弗德钒钛磁铁矿	54.11	13.78	V 0.35	2.5	4.60	0.45	1.79	0.17	0.24				
苏联	库辛斯克钒钛磁铁矿	52.92	14.17	V 0.36	3.18	2.82	0.98	2.87	0.38	0.45			0.018	
苏联	彼尔沃乌拉斯克钒钛磁铁矿	38.52	3.27	V 0.25	15.16	10.27	5.60	2.79	0.14	0.08			0.017	
苏联	普道日哥尔斯克钒钛磁铁矿	26.5	10.0	V 0.17	27.0	9.6	5.00	3.0	1.55				0.07	
苏联	秋索夫厂用原矿	35.0	3.7	0.45	21.2		8.4							
"	A矿	54.1	12.6	0.65	2.5	3.2	1.5	3.6	0.2	Cr ₂ O ₃ 0.4			P ₂ O ₅ 0.02	
"	B矿	35.2	3.3	0.47	19.3	13.0	7.1	7.7	0.4	Cr ₂ O ₃ 0.1			P ₂ O ₅ 0.03	
南非	布什维尔德钒钛磁铁矿	55—57	12—15	1.4—1.9	1.0—1.8	2.5—3.5	<0.10	0.4—1.0		Cr ₂ O ₃ 0.02—0.03—0.015—0.3	0.02—0.03—0.07		<0.05	0.02—0.03
加拿大	马格皮钒钛磁铁矿	43.69	10.91	0.17	5.95	11.57	0.60	5.78		1.45			0.078	0.027
印度	(平均值)	55.6	13.9	1.7										
芬兰		50—58	8—14	0.4										
新西兰	北伊兰西海岸钒钛磁铁矿精矿砂	60.5	7.5—8.0		1.1	4.5							0.06	0.025