

：

世界钛的供求调研报告

内 容 提 要

本书系为全世界以及各有关地区和国家钛的供应和需求状况的专题调查研究资料。

现今只有金红石和钛铁矿砂矿床，以及岩浆型钛磁铁矿和赤铁钛铁矿矿床是开采钛矿石的重要矿床。

现在世界钛的可采储量（包括确定储量和推定储量）按 TiO_2 计约有4.23亿吨；其中3.94亿吨（约占93%）为钛铁矿储量，2900万吨（约占7%）为金红石储量。工业化资本主义国家钛铁矿储量占世界储量的68%，金红石储量占48%。发展中资本主义国家钛铁矿储量占17%，金红石储量占42%。社会主义国家钛铁矿储量占15%，金红石储量占10%。

1979年，世界钛铁矿产量约为253万吨（按 TiO_2 计），世界金红石产量约为40.86万吨。工业化资本主义国家占钛铁矿世界产量的82%（约208万吨），占金红石世界产量的75%（约305895吨）。发展中资本主义国家占钛铁矿世界产量的9%（约231500吨），占金红石世界产量的18%（约73975吨）。

从1969年到1979年，世界钛铁矿和金红石的总产量平均每年增加2.7%。

资本主义国家年产人造金红石约10万吨。

钛铁矿和金红石的产量和储量非常集中。三个最主要金红石生产国的合计产量约占世界金红石产量的88%。三个最主要钛铁矿生产国的合计产量约占世界钛铁矿产量的54%。三个最主要金红石储量拥有国的合计储量占世界金红石储量的71%。三个最主要钛铁矿的储量拥有国的合计储量约占世界钛铁矿储量的56%。

1978年，世界钛的消耗量（按 TiO_2 计）将近228万吨（1968年为149万吨），其中约92%为二氧化钛，约8%为金属钛（1968年分别为95%和5%）。1978年，资本主义国家二氧化钛的消耗量占世界消耗量的89%（强），金属钛的消耗量占56%。

在西欧消耗钛最多的国家为英国和西德。西德钛的消耗量占世界消耗量的6.6%，名列世界第五。第一为美国，占34.8%；第二为苏联，占7.3%；第三为日本，占7.1%；第四为英国，占6.7%。

根据世界钛消耗量的预测，按平均每年增长2.6%计算，到1990年，二氧化钛的消耗量，将达到290万吨；金属钛的消耗量，按平均每年增长3.8%计算，将达到16.3万吨。资本主义国家二氧化钛消耗量占世界消耗量的比例将下降为86%，金属钛消耗量将下降为54%。

目 录

内容提要.....	(1)
I、任务的由来.....	(2)
I、世界钛供应状况.....	(3)
1) 钛原料的特性.....	(3)
2) 钛矿床.....	(3)
2.1 钛的地球化学性质.....	(3)
2.2 具有经济价值的重要钛矿物.....	(7)
2.3 钛矿床类型及其经济价值.....	(8)
2.4 钛的原生产品和伴生产品.....	(14)
2.5 主要产钛国家的钛矿区.....	(15)
2.5.1 澳大利亚.....	(15)
2.5.2 南非共和国.....	(38)
2.5.3 美 国.....	(41)
2.5.4 加拿大.....	(45)
2.5.5 挪 威.....	(49)
2.5.6 芬 兰.....	(55)
2.5.7 印 度.....	(56)
2.5.8 斯里兰卡.....	(58)
2.5.9 马来西亚.....	(59)
2.5.10 塞拉利昂.....	(60)
2.5.11 苏 联.....	(60)
2.6 世界钛资源远景区.....	(64)
3) 钛矿石产量.....	(68)
3.1 钛铁矿产量.....	(74)
3.2 金红石产量.....	(74)
3.3 钛铁矿和金红石总产量.....	(78)
3.4 钛矿石产量的增长.....	(85)
3.4.1 1969~1979年钛铁矿产量的增长.....	(85)
3.4.2 1969~1979年金红石产量的增长.....	(87)
3.4.3 1969~1979年钛铁矿和金红石产量的增长.....	(100)
3.5 人造金红石的生产.....	(110)
3.6 钛矿石生产的发展前景.....	(116)

4) 钛矿石储量	(117)
4.1 钛铁矿储量	(117)
4.2 金红石储量	(121)
4.3 钛铁矿与金红石总储量	(121)
4.4 钛矿石储量开采年限	(125)
4.4.1 钛矿石储量静态开采年限	(125)
4.4.2 钛矿石储量半动态开采年限	(130)
4.5 1970~1980年世界钛矿石储量增长情况	(134)
5) 世界钛矿石产量和储量集中分布状况	(138)
5.1 世界钛矿石产量集中分布状况	(138)
5.2 世界钛矿石储量(按 TiO_2)集中分布状况	(141)
6) 世界钛原料的加工	(144)
6.1 TiO_2 颜料制造方法	(144)
6.2 世界各种方法的 TiO_2 颜料生产能力	(146)
7) 海绵钛的生产	(151)
8) 废钛回收	(155)
III、生产成本和价格	(159)
1) 生产成本	(159)
1.1 采矿和选矿成本	(159)
1.2 海运费用	(160)
1.3 颜料生产成本	(161)
2) 价格	(164)
2.1 概述	(164)
2.2 行情刊物	(165)
2.3 1998年至1979年期间价格变动情况	(166)
IV、世界钛需求量	(174)
1) 钛的应用	(174)
1.1 概述	(174)
1.2 钛的特性与使用范围	(174)
1.2.1 金属钛	(174)
1.2.2 二氧化钛(TiO_2 颜料)	(183)
2) 世界钛消耗量	(188)
2.1 二氧化钛(TiO_2 颜料)消耗量	(190)
2.2 金属钛消耗量	(190)
3) 各国钛消耗量	(197)
3.1 西德	(197)

3.2 法 国	(207)
3.3 英 国	(219)
3.4 意大利	(244)
3.5 美 国	(253)
3.6 加拿大	(292)
3.7 日 本	(296)
3.8 其他国家	(334)
V、钛及含钛原始产品和中间产品贸易量	(350)
1) 世界贸易	(350)
1.1 钛矿石和钛矿石精矿	(350)
1.1.1 出 口	(363)
1.1.2 进 口	(363)
1.2 二氧化钛和二氧化钛颜料	(373)
1.2.1 出 口	(373)
1.2.2 进 口	(373)
1.3 金属钛	(382)
1.3.1 出 口	(382)
1.3.2 进 口	(382)
1.4 钛铁和硅钛铁	(382)
1.4.1 出 口	(387)
1.4.2 进 口	(387)
2) 西德含钛产品贸易量	(387)
VI、一九九〇年世界钛消耗量预测	(425)
1) 二氧化钛	(425)
1.1 概 述	(425)
1.2 预测结果	(425)
2) 金属钛	(430)
2.1 概 述	(430)
2.2 预测结果	(431)
VII、结 语	(434)
〔附 录〕 1. 世界钛磁铁矿与赤铁钛铁矿区域分布图及附表	(439)
2. 加拿大东部钛磁铁矿与赤铁钛铁矿区域分布图	(455)
3. 一九八〇年世界钛矿床与储量分布图及附表	(456)
4. 世界钛铁矿与金红石分布图	(463)
5. 世界二氧化钛颜料工厂厂址与一九七九年生产能力(按 TiO_2 计)	(464)
6. 一九七八年世界二氧化钛消耗量分布图	(473)

7. 一九七八年世界金属钛消耗量分布图	(474)
8. 一九六九年~一九七八年日本、美国和各地区使用丙稀、聚酰胺、聚酯和其它原料生产化学纤维的二氧化钛消耗量	(475)
9. 一九六九~一九七八年日本、美国和各地区使用丙稀、聚酰胺、聚酯生产的化学纤维	(478)
10. 一九六八~一九七八年各国化学纤维产量	(481)
11. 西德航空工业公司及产品	(485)
12. 法国飞机制造工业公司及产品	(488)
13. 法国航空发动机制造公司及产品	(490)
14. 英国飞机制造工业公司及产品	(491)
15. 英国航空发动机制造公司及产品	(495)
16. 意大利飞机制造工业公司及产品	(497)
17. 意大利航空发动机制造公司及产品	(499)
18. 美国主要航空工业公司及产品(军用部分)	(501)
19. 美国主要航空工业公司及产品(民用部分)	(505)
20. 美国主要航空发动机公司及产品	(510)
21. 日本飞机制造工业公司及产品	(512)
22. 日本航空发动机公司及产品	(513)
23. 一九六八~一九七八年日本向各国出口的金属钛(包括钛合金)数量	(515)
24. “其它国家”飞机制造工业公司及产品	(519)
25. “其它国家”航空发动机公司及产品	(523)
26. 一九六八~一九七八年澳大利亚向各国出口的金红石精矿数量(按毛重计)	(524)
27. 一九六八~一九七八年澳大利亚向各国出口的金红石精矿数量(按 TiO_2 计)	(526)
28. 一九六八~一九七八年澳大利亚向各国出口的钛铁矿精矿数量(按毛重计)	(528)
29. 一九六八~一九七八年澳大利亚向各国出口的钛铁矿精矿数量(按 TiO_2 计)	(529)
30. 一九八一~一九七九年西德向各国出口的二氧化钛数量	(530)

内 容 提 要

本书系为全世界以及各有关地区和国家钛的供应和需求状况的专题调查研究资料。

现今只有金红石和钛铁矿砂矿床，以及岩浆型钛磁铁矿和赤铁钛铁矿矿床是开采钛矿石的重要矿床。

现在世界钛的可采储量（包括确定储量和推定储量）按 TiO_2 计约有4.23亿吨；其中3.94亿吨（约占93%）为钛铁矿储量，2900万吨（约占7%）为金红石储量。工业化资本主义国家钛铁矿储量占世界储量的68%，金红石储量占48%。发展中资本主义国家钛铁矿储量占17%，金红石储量占42%。社会主义国家钛铁矿储量占15%，金红石储量占10%。

1979年，世界钛铁矿产量约为253万吨（按 TiO_2 计），世界金红石产量约为40.86万吨。工业化资本主义国家占钛铁矿世界产量的82%（约208万吨），占金红石世界产量的75%（约305895吨）。发展中资本主义国家占钛铁矿世界产量的9%（约231500吨），占金红石世界产量的18%（约73975吨）。

从1969年到1979年，世界钛铁矿和金红石的总产量平均每年增加2.7%。

资本主义国家年产人造金红石约10万吨。

钛铁矿和金红石的产量和储量非常集中。三个最主要金红石生产国的合计产量约占世界金红石产量的88%。三个最主要钛铁矿生产国的合计产量约占世界钛铁矿产量的54%。三个最主要金红石储量拥有国的合计储量占世界金红石储量的71%。三个最主要钛铁矿的储量拥有国的合计储量约占世界钛铁矿储量的56%。

1978年，世界钛的消耗量（按 TiO_2 计）将近228万吨（1968年为149万吨），其中约92%为二氧化钛，约8%为金属钛（1968年分别为95%和5%）。1978年，资本主义国家二氧化钛的消耗量占世界消耗量的89%（强），金属钛的消耗量占56%。

在西欧消耗钛最多的国家为英国和西德。西德钛的消耗量占世界消耗量的6.6%，名列世界第五。第一为美国，占34.8%；第二为苏联，占7.3%；第三为日本，占7.1%；第四为英国，占6.7%。

根据世界钛消耗量的预测，按平均每年增长2.6%计算，到1990年，二氧化钛的消耗量，将达到290万吨；金属钛的消耗量，按平均每年增长3.8%计算，将达到16.3万吨。资本主义国家二氧化钛消耗量占世界消耗量的比例将下降为86%，金属钛消耗量将下降为54%。

I. 任 务 的 由 来

西德波恩联邦政府经济部根据1970年6月26日内阁会议的决议委托汉诺威地学和原料局（BGR）以及柏林德国经济研究所（DIW）对世界重要矿物原料的供求问题进行调查研究。

因此，这两个单位合作对《钛》原料的状况进行了研究。

关于钛原料的供应部分，由汉诺威地学和原料局负责；钛原料的需求部分，由柏林德国经济研究所负责。

本调研报告是根据各单项研究成果编写的。各单项研究资料存于本报告的 两个 编写单位，由委托单位使用。

II、世界钛供应状况

1) 钛原料的特性

钛为可延性银白色金属，其物理化学特性如下：

化学符号	Ti
在化学元素周期表中的位置	IV族
原子序数	22
原子量	47.9
天然同位素	Ti46, Ti47, Ti48, Ti49, Ti50
原子价	4
晶体结构	六方形最致密球状排列
293.15K (20℃)时比重	4.5克/厘米 ³
293.15K (20℃)时弹性模数	10.8×10^{10} 牛顿/米 ²
布氏硬度 30~10	55~100 公斤/厘米 ²
293.15K (20℃)~473.15K (200℃)时线膨胀系数	8.5×10^{-6}
熔点	1941 ± 10 k (1668 ± 10℃)
沸点	>3473 k (>3200℃)
288.15K (15℃)时平均比热容	0.523 千焦耳/公千·k
293.15K (20℃)时导热率	0.04 卡/厘米、秒、k
273.15K (0℃)时比电阻	47.5×10^{-8} 欧姆·厘米
热中子俘获截面	5.8 靶

2) 钛矿床

2.1 钛的地球化学性质

钛在地壳中的丰度，在金属元素中居铝、铁、镁之后，处于第4位；在所有化学元素中居第9位^①。地壳的平均含钛量为0.57% (5700PPM)。在天然矿物中，钛只以四价形态出现（离子半径为0.68Å^②），主要是二氧化钛，很少组成硅酸盐。根据钛对氧的强烈亲和性，它属于典型的亲石元素，在所有的岩浆岩中出现。现已确定，在玄武岩岩浆凝固和分步

① 应为第10位。 ② 应为0.64Å。 — 译者注

结晶分异过程中，开始阶段的组成成分（纯橄榄岩，含 TiO_2 0.02%）和最后阶段的组成成分（花岗岩，含 TiO_2 0.3%）平均含钛量最小。钛主要集中在辉长岩中， TiO_2 的含量平均达1.34%。重要的钛矿床〔钛磁铁矿（Titanomagnetite）和赤铁钛铁矿（Titanohematite）〕在成因上总是和辉长岩连系在一起的。

与辉长岩或苏长岩紧密共生的斜长岩虽然只在个别情况下才具有同样高的 TiO_2 含量，但是在经济上占重要地位的钛矿床也与它有关。图1示出了不同类型的岩浆岩具有不同的 TiO_2 平均含量。粘土类沉积岩的 TiO_2 含量平均约为0.3%。砂岩的 TiO_2 含量仅约0.25%；碳酸盐沉积物 TiO_2 含量不到0.1%，而变质岩的 TiO_2 含量则取决于原始岩石中钛的富集情况。

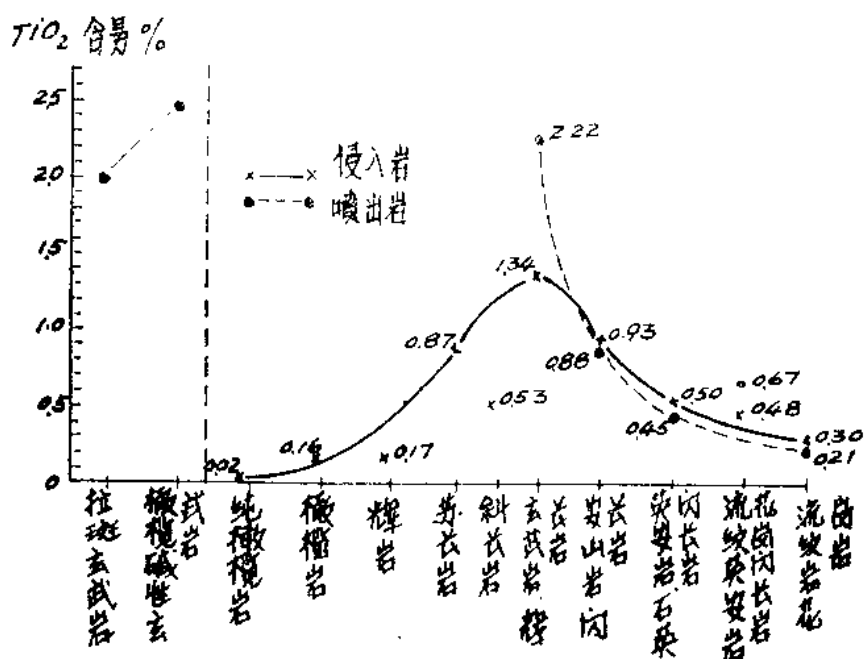


图1 岩浆岩 TiO_2 含量

在造岩矿物中，特别是单斜辉石、角闪石和云母，被认为是含钛矿物。在普通钛辉石中， TiO_2 含量大于8%。在钛角闪石和钛云母中， TiO_2 含量一般大于10%；不过必须注意，其平均含量还是比较低的。

斜方辉石，特别是橄榄石和长石，其 TiO_2 含量是很小的。在石英中，只是偶尔见到值得一提的 TiO_2 含量，主要是呈细针状的金红石。

超基性岩中的钛，主要含在铬铁矿、钛铁矿和钛磁铁矿的共结混合物中；少部分含在辉石和角闪石中。

在基性岩至中性岩中，含钛矿物主要是钛铁矿和钛磁铁矿。

在酸性岩中，常常出现的是含钛硅酸盐（黑云母、角闪石、榍石），而不是钛铁矿和金红石。

在碱性岩中，除了辉石和角闪石外，所见到的主要有钠——钛——硅酸盐和钛——铌酸盐的复合盐类。在硅酸盐中富集的钛可达50%。

在共结混合物中，铬铁矿基本上属于含钛矿物。铬铁矿含 TiO_2 可达1%（特别是在纯橄

榄岩中)；但最主要钛矿物是钛铁矿(FeTiO_3)，它的 TiO_2 的理论含量为52.66%。几乎所有的侵入岩和喷出岩中，钛铁矿都是一种重要的、呈浸染分布的共结矿物。在苏长岩、辉长岩和角闪石中，作为含钛矿物，钛铁矿具有突出的地位。

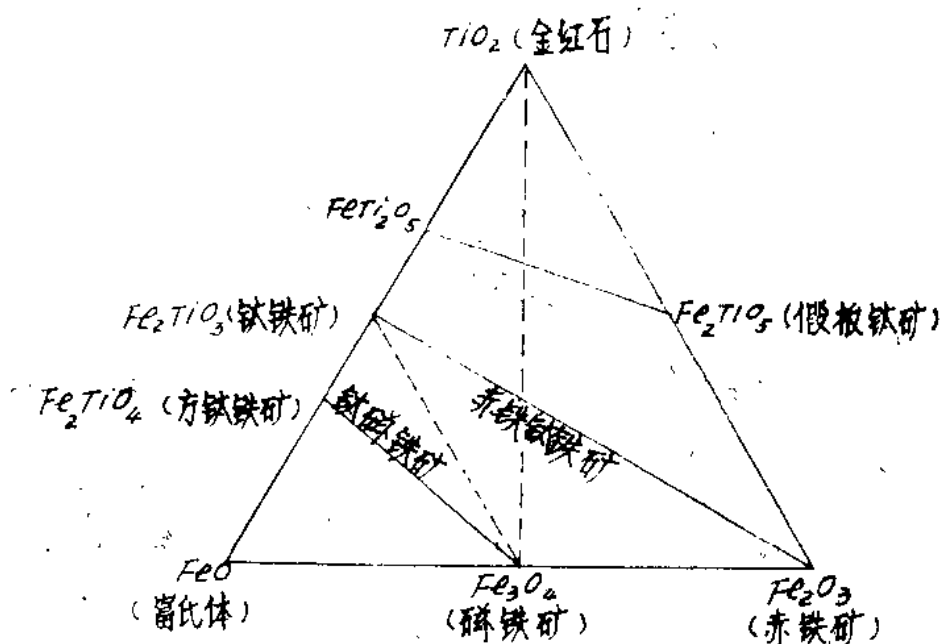


图2 FeO 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 系复合组分分布图

资料来源：Jackisch, W.—Zur Lagerstättenkunde und Geochemie des Titans. Diss. TH Clausthal, 1967

在高温下 ($>600^\circ\text{C}$)，钛铁矿(FeTiO_3)和赤铁矿(Fe_2O_3)可以完全混合。

在混合晶体中，一部分铁可能被 Mg 、 Mn 、 Al 置换；一部分钛，可能被镁置换。温度下降时，则析出赤铁矿和钛铁矿。在“赤铁钛铁矿”中，厚片状或薄片状的赤铁矿（根据置换量而言）夹杂在钛铁矿中。在含钛矿物中，“钛磁铁矿”起着重要作用。在尖晶石中，磁铁矿(Fe_2FeO_4)和方钛铁矿(Fe_2TiO_4)高温时可以完全混合；同时在磁铁矿($\text{Fe}_2^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{O}_4$)中，一部分 Fe^{2+} 被 Ti 、 Mg 、 Mn 和其他元素同晶形置换；一部分 Fe 被 Ti 、 Al 、 V 和 Cr 同晶形置换。在温度下降时，发生分解现象；形成磁铁矿、钛铁矿和方钛铁矿；但不是以纯磁铁矿和纯方钛铁矿形式完全分解。这时，钛铁矿主要以薄片状分离出来，而位于磁铁矿八面体之上。冷却越慢，分解物的组织就越粗。图2示出了 $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{TiO}_2$ 的复合组分的关系图。

如果钛铁矿在地下水区域内长期受到风化影响，那么在一定 PH 值条件下，铁就进一步溶解和析除，因此钛就相对富集。铁进一步浸出时，就会出现一种称作“白钛石”的风化产物；特别在海滩砂矿和铝土矿中，这种情况经常遇到。但“白钛石”实际上不是一种独立矿物，而是隐晶质锐钛矿、金红石、板钛矿、赤铁矿，偶尔还有榍石的混合物，其 TiO_2 含量合计可达94%。

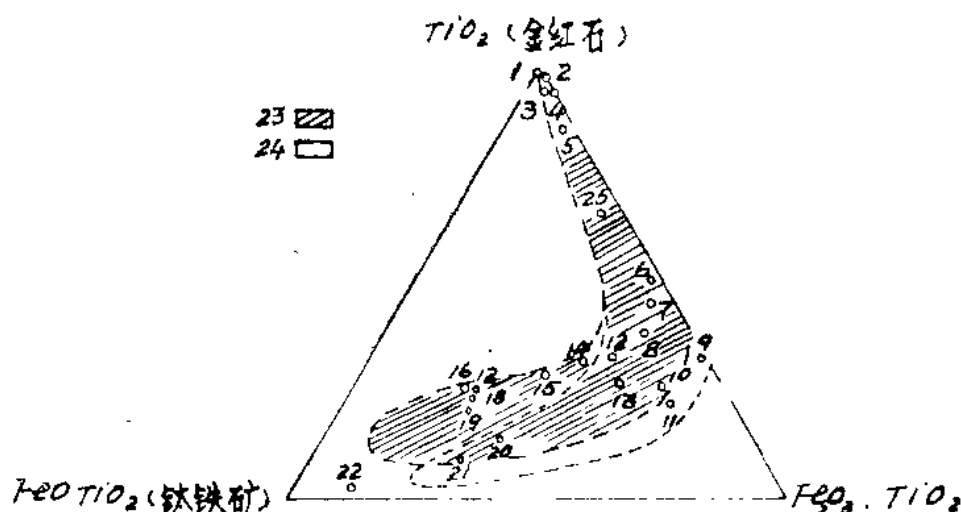


图3 钛铁矿转变为“白钛石”的示意图

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| 1. 埃尼巴 (Eneabba) | 2. 东海岸金红石 |
| 3. 朱利耶 (Jurien) | 4. 约干纳普(中心区)(Yoganup Central) |
| 5. 南卡佩尔白钛石 (Capel South Leucoxene) | |
| 6. 朱利耶 | 7. 埃尼巴 |
| 8. 特雷耳里奇(Trail Ridge), 美国 | |
| 9. 新泽西 (New Jersey), 美国 | |
| 10. 约干纳普 (中心区) | 11. 巴西 |
| 12. 杰克逊维尔 | 13. 奎隆 |
| 14. 约干纳普 (中心区) | 15. 朱利耶 |
| 16. 旺内罗普海滩 (Wonnerup Beach) | |
| 17. 明尼纳普(Minninup) | 18. 科姆巴纳湾 (Koombang Bay) |
| 19. 契尼湾(Cheyne Bay) | 20. 南卡佩尔 |
| 21. 科姆巴纳湾 | 22. 阿迪龙达克 (Adirondack) |
| 23. 西澳大利亚转变区 | 24. 其他地区的转变区 |
| 25. 特雷耳里奇 | |

资料来源: 同表5

图3 示出了各种砂矿床在转变过程中化学组分的变化。

金红石 TiO_2 只在酸性深岩中见到值得一提的数量, 而且呈细针状。它是变质岩的最重要的钛矿物。在 TiO_2 三个变体(金红石、锐钛矿、板钛矿)中, 金红石的克分子体积最小。对麻粒岩相和榴辉岩, 金红石是一种典型矿物。

含 TiO_2 40%的榍石 $[CaTi(O/SiO_4)]$ 在中性到酸性岩中, 是典型钛矿物, 特别是在绿色角闪石具有镁铁成分的时候, 更是如此。在苏联的一些花岗岩中, 30~40%的钛, 可能

含在榍石中。

钙钛矿 (CaTiO_3) 是副矿物, 特别是基性碱性侵入岩、以及某种玄武岩和变质岩的副矿物成分。

2.2 具有经济价值的重要钛矿物

已知 TiO_2 含量大于 1% 的钛矿物有 140 多种, 但从储量和品位来看, 只有很少几种具有经济价值。至今只有钛铁矿和金红石, 以及作为混合矿物的白钛石 (钛铁矿的风化产物), 才具有开采价值。

锐钛矿 (金红石的变体)、钙钛矿和榍石矿床只具有比较小的经济意义, 这些矿物现在还未被利用。所有其他含钛矿物可能仅具有矿物学和地球化学的研究价值。

表 1 列出了各种重要的钛矿物。

表1 重要的钛矿物

矿 物	化 学 式	结晶体的对称	TiO_2 的 理论含量 %	比 重	硬 度	颜 色	条 痕
金 红 石	TiO_2	复 正 方 双锥晶类	100	4.2~4.3	6~6.5	红褐色	浅褐色
金红石的变体 锐 钛 矿	TiO_2	复 正 方 双锥晶类	100	3.9	5.5~6	褐 色	无 色
板 钛 矿	TiO_2	斜 方 双锥晶类	100	4.1	5.5~6	黄色到 褐 色	无 色
钛 铁 矿	FeTiO_3	菱 面 体 晶 类	52.66	4.5~5	5~6	黑 色	黑 色
白 钛 石	$\text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	—	~94 经验值	3.5~4.5	4~5.5	黄灰色 到褐色	—
钙 钛 矿	CaTiO_3	斜 方 双锥晶类	58.9	4.1	5.5	深褐色	灰白色
榍 石	$\text{CaTi}[\text{O}/\text{SiO}_4]$	单 斜 棱柱晶类	40.8	3.5	5~5.5	黄色 褐色 绿色	—

钛铁矿和金红石的特点是解理性差而抗风化性强, 因此, 它们可形成最有价值的钛砂矿床。

相反, 含钛硅酸盐矿物抗风化性很弱, 特别在红土风化的情况下, 就会严重分解, 这时钛明显富集 (特别在铝土矿中), TiO_2 含量达到 2%~5%, 特殊情况下, 可大于 10%。

2·3 钛矿床类型及其经济价值

对于钛矿石的开采和钛矿石储量计算具有重要意义的，有下列矿床：

- (1) 岩浆钛矿床（钛磁铁矿及赤铁钛铁矿）；
- (2) 金红石砂矿床和钛铁矿砂矿床。

1. 岩浆钛矿床

岩浆钛矿床的成因与基性深成岩，特别是与辉长岩、苏长岩和斜长岩具有密切的关系。这些岩石在基性岩浆分步结晶分异和凝固时形成。矿石从岩浆中分离出来一般是在岩浆冷凝后期发生的，通常在形成岩石的硅酸盐有一多半结晶出来以后发生。在辉长岩中生成钛铁矿床时，结晶顺序主要为斜长石——直辉石——斜辉石——铁钛氧化物。斜长岩中的钛铁矿石，其析出顺序基本上与上述相同。在这里很清楚地可看出，是酸性斜长石（钙钠长石到中长石）参与了析出过程。

在这方面，钛铁矿石的组分与其围岩的性质之间存在着规律性的关系：在辉长岩中〔如南非共和国的布希韦尔德类型(Bushveld)〕钛铁矿石主要以钛磁铁矿出现；相反，在斜长岩中〔如瑞典的斯莫兰——塔伯格类型(Smaland—Taberg)〕主要以赤铁钛铁矿出现。

钛铁矿床一部分以整合的层状条带状或透镜状矿体产出；另一部分为不整合的脉状至块状矿体产出。

岩浆钛矿床矿石的选矿，要求矿石的分离粒度很粗。从钛磁铁矿和赤铁钛铁矿，可以得到 TiO_2 平均含量为44~46%的钛铁矿精矿。但是，这种矿石通常不具备选矿所需的有利结构特性，因此现在我们所知道的大多数钛磁铁矿矿床，不管是作为铁矿床还是钛矿床，在经济上都未能加以利用。

1979年岩浆矿床钛矿石约占资本主义国家钛矿石总产量的31%（按 TiO_2 计）。

目前正在开采的有下列钛磁铁矿矿床：

- ①美国桑福德湖矿床(Sanford Lake)，矿石含 TiO_2 18~20%；
- ②挪威特尔尼斯矿床(Tellnes)，矿石含 TiO_2 18%；
- ③芬兰奥坦梅基矿床(Otamaki)，矿石含 TiO_2 13%。

此外，赤铁钛铁矿矿床有加拿大魁北克省的阿莱德湖(Allard Lake)，矿石含 TiO_2 35%。

一部分钛磁铁矿中，磁铁矿含钒很高，以至开采矿石，主要是为了得到钒，奥坦梅基矿床就是这种情况；在这里钛铁矿精矿只是作为副产品。南非共和国的马波茨布利特(Mapoch Brite)的布希韦尔德矿床现正在大规模开采，矿石含 V_2O_5 1.5~2.0%、 TiO_2 12~15%；钒产量约占世界产量的35~40%，但这种矿石中的钛现在还未利用。

苏联乌拉尔的卡契卡纳尔(Kauchkanar)和古谢夫哥尔斯克(Gusevogorsk)钛磁铁矿矿床，年产矿石3500~4000万吨，矿石含Fe17%； TiO_2 1.5%； V_2O_5 0.1~0.15%；精矿含Fe62%； V_2O_5 0.5~0.7%。目前尚不知该矿钛精矿的产量。估计正在开采的科拉半岛(Kola Halbinsel)的阿弗利坎达钛磁铁矿床(Afrikanda)中也可能生产了钛铁矿精矿。

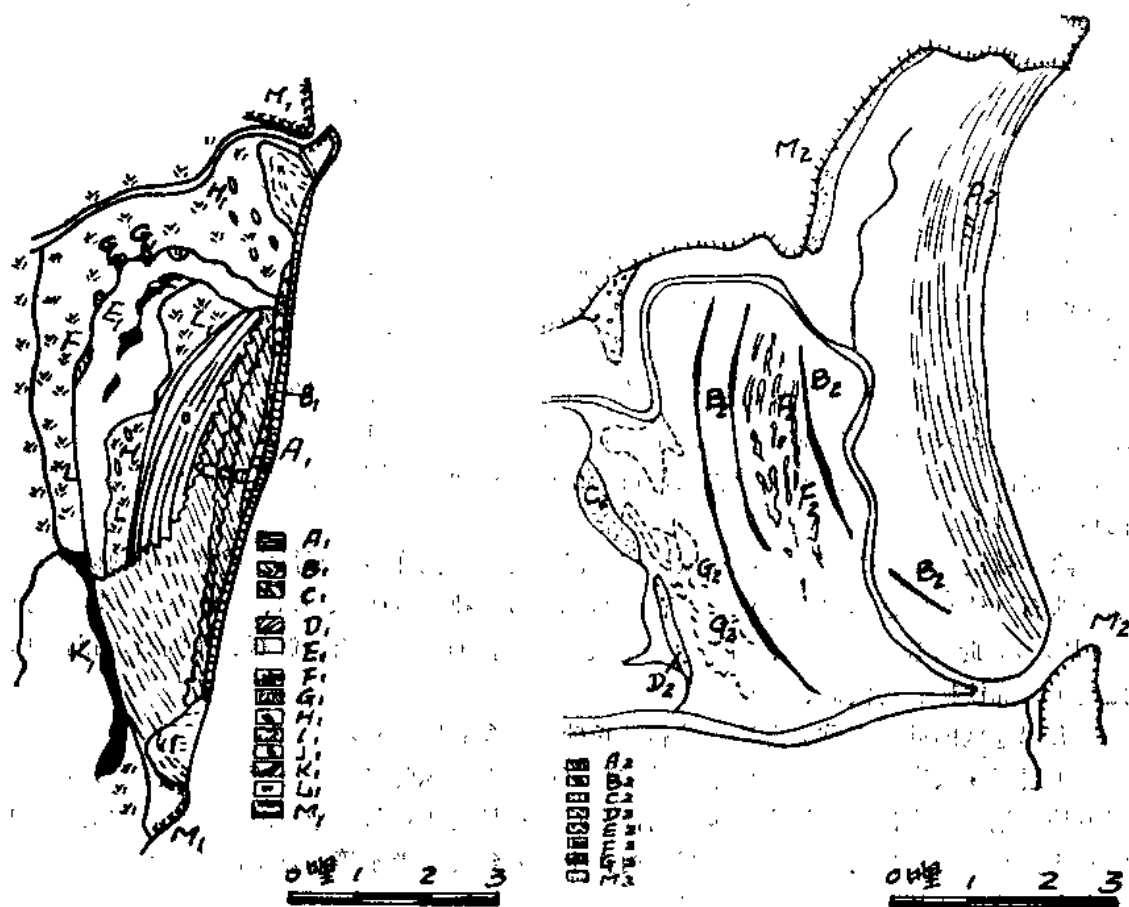


图4 海滩砂矿和砂丘砂矿的结构

A₁ 现代海岸风吹砂丘和海滩

B₁ 平行砂丘

C₁ 海侵砂丘的三个产生区

D₁ 古海岸砂丘脊线

E₁ 古海侵风吹砂丘

G₁ 海侵砂丘残迹

H₁ 风吹砂丘(1)型

I₁ 风吹砂丘(2)型

J₁ 风吹砂丘(3)型

K₁ 湖

L₁ 荒地和沼泽

M₁ 基岩

A₂ 紧密排列的平行砂丘

B₂ 简单的平行砂丘和次平行砂丘

C₂ 湾头(海湾)海滩矿床

D₂ 阶地式海滩矿床

E₂ 砂岬

F₂ 不规则的次平行浅滩水下矿床

G₂ 不规则的沼泽矿床

M₂ 基岩

资料来源: Paterson, O.D.—Exploration for Rutile and Zircon Deposits, Exploration and Mining Geology, Melbourne, 1965

2. 重砂矿床（钛铁矿砂矿和金红石砂矿）

钛铁矿和金红石砂矿床形成的先决条件是：

①必须存在岩浆岩、变质岩和（或）碎屑沉积岩；重矿物作为混合组分包含在这些岩石中。

②坚硬岩石必须遭受强烈的风化，如在亚热带到热带气候条件下所发生的那样；此时重矿物可以自由沉积。

③风化物必须能崩解，能被水流搬运到海里。此时不但形成冲积和残积砂矿，同时还形成在经济上更为重要的海成砂矿。在浪潮冲击的范围内，砂质被破碎，重和轻的岩石组分分级。

砂矿的共生矿物当然主要取决于原始岩石的矿物组成，并呈现出非常不同的生成关系。这不仅表现在共生重矿物的种类及其相互间的比例不同；而且各个矿床的重矿物与原砂的比例也不相同。有些矿床重矿物的含量仅占很小比例；而在所谓“黑砂”中，重矿物含量可能高达80%以上。

除了钛铁矿和金红石以外，在钛砂矿中还可能其他许多具有很大的经济价值的矿物，例如白钛石（钛铁矿分解的产物）、锆石（ $ZrSiO_4$ ）、独居石（ Ce, La, Th ） PO_4 和磷钇矿（ YPO_4 ）。此外还有兰晶石、石榴石、电气石、尖晶石、十字石、辉石、角闪石、铬铁矿、磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿、磷灰石等。

海岸地区的砂矿床称为海滩砂矿和砂丘砂矿（参看图4）。

矿层厚度只有几毫米到几厘米的重矿物（矿层在堆积时多少带有“无矿夹层”），在拍岸浪拍击地区经由浪击和海水抽吸作用而进行选择富集，从而形成海滩砂矿。这时所形成的矿体大小是很不相同的。它们的厚度由几十厘米到10多米不等，宽度由几米到100多米，长度有几公里，长者可达10到20公里。

海滩地区含有重矿物的矿砂被向岸风搬走，在砂丘地区堆积，便形成砂丘砂矿。砂丘砂矿重矿物含量通常要比附近海滩砂矿的重矿物含量稍低一些，重矿物的分布比较均匀些；共生重矿物则是一样的。

海滩砂矿和砂丘砂矿不仅沿着现在的海岸线生成，在深入古海岸线范围内20~30公里和与之相连的砂丘中，以及在大型海侵风吹砂丘中，都出现海滩砂铁和砂丘砂铁。

图5示出了一个海滩砂矿重矿物的分布情况。

1979年由砂矿生产的金红石，约占资本主义国家钛总产量（按 TiO_2 计）的14.1%，而从砂矿生产的钛铁矿占54.5%。

经济价值特别重要的正在开采的重砂矿床列举如下：

金红石：

- ①澳大利亚沿昆士兰和新南威尔士的东海岸；
- ②澳大利亚佩思以北的西海岸；
- ③塞拉利昂西南海岸；
- ④南非共和国纳塔尔 理查兹湾。

与此相反，印度、斯里兰卡、巴西、美国、苏联的砂矿床，目前的经济价值还较小。

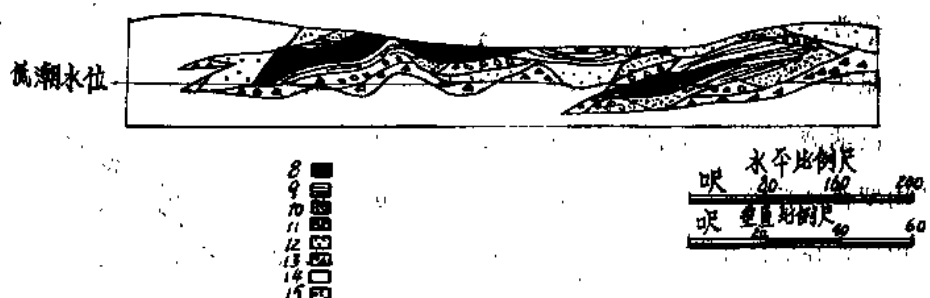
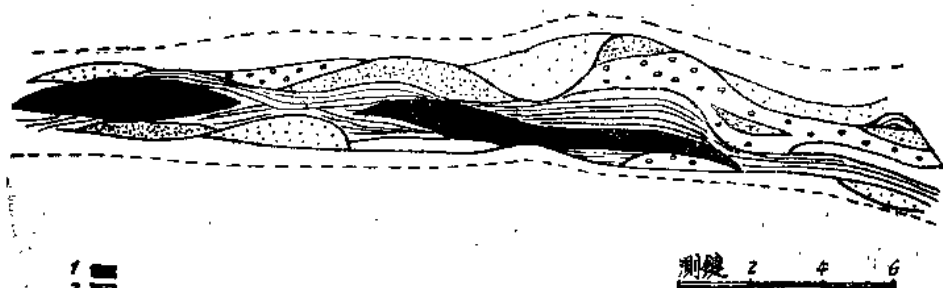


图5 沙滩砂矿重矿物的分布示意图

- | | |
|-------------------|--------------------|
| 1. 重矿物的总含量 >10% | 9. 重矿物的总含量 5~10% |
| 2. 重矿物的总含量 5~10% | 10. 重矿物的总含量 4~5% |
| 3. 重矿物的总含量 4~5% | 11. 重矿物的总含量 3~4% |
| 4. 重矿物的总含量 3~4% | 12. 重矿物的总含量 1.5~3% |
| 5. 重矿物的总含量 1.5~3% | 13. 重矿物的总含量 <1.5% |
| 6. 重矿物的总含量 <1.5% | 14. 重矿物含量极少 |
| 7. 矿砂界线 | 15. 沼泽 |
| 8. 重矿物的总含量 >10% | |

资料来源: Paterson, O.D.—Exploration for Rutile and Zirkon Deposits, Exploration and Mining Geology, Melbourne, 1965

钛铁矿:

- ①澳大利亚东海岸和西海岸;
- ②南非共和国纳塔尔 理查兹湾;
- ③美国佛罗里达州和新泽西州;
- ④印度喀拉拉邦;
- ⑤斯里兰卡东北海岸;
- ⑥苏联乌克兰。

巴西、葡萄牙的钛铁矿矿床没有多大经济意义。在马来西亚,大量的钛铁矿是在生产锡石时作为伴生产品生产出来。