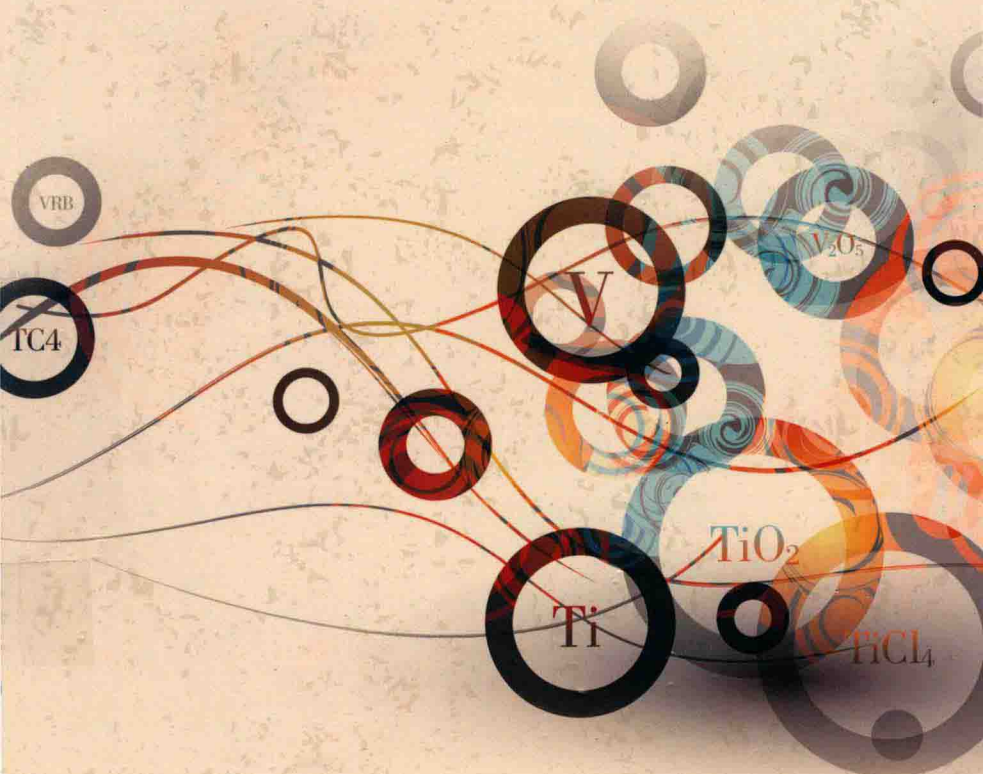


钒钛概论

邹建新 彭富昌 编著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

钒 钛 概 论

邹建新 彭富昌 编著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2019

前 言

钛资源被开采并深加工成钛白粉和钛合金材等产品，广泛应用于航空航天和涂料等领域；钒资源被开采并深加工成合金添加剂和催化剂等产品，广泛应用于钢铁冶金和化工等领域。钒钛不仅是我国重要的战略资源，也是应用广泛的民用产品。

我国钒钛资源非常丰富，已探明钛资源储量（以 TiO_2 计）7.2 亿吨，约占世界总储量的 $1/3$ ；钒资源储量（以 V_2O_5 计）4290 万吨，约占世界总储量的 21%。钒钛资源主要以钒钛磁铁矿、钛铁矿和石煤等形式存在。攀枝花—西昌地区和承德地区是我国主要的钒钛磁铁矿产区，钛铁矿广泛分布在云南、两广及海南等地。钛精矿产地主要集中于攀西和云南等地，澳大利亚等已成为我国重要的钛矿进口国。钛白粉产地主要集中在攀西、沿海地区和云南。海绵钛生产分布于全国各地。钛合金材主要集中在宝鸡，钒产品主要集中在攀西。2008 年，攀枝花市被自然资源部（中国矿业联合会）授予“中国钒钛之都”称号，宝鸡也素有“中国钛谷”的美誉。2013 年，国家发展和改革委员会发文成立“攀西战略资源创新开发试验区”。

随着航空航天、海洋、汽车、石油化工等领域对钛（合金）材的需求增加，以及民生改善对钛白粉和高强度钢的需求增强，钒钛产业呈现出欣欣向荣的局面。考虑到广大钒钛从业人员对产业信息和技术的需求，而国内钒钛图书大多适合钒钛专业人员的学术交流和技术交流，难以满足企业管理人员和营销人员、政府

12 钒的应用	108
12.1 钒合金的应用	108
12.2 氧化钒的应用	108
参考书目	112

1 钒 和 钛

1.1 钒钛元素

钛是一种金属元素，化学符号 Ti，原子序数 22，原子量 47.867。1791 年，英格兰业余矿物学家格雷戈尔发现了钛铁矿中的钛；1795 年，德国化学家克拉普罗特发现了金红石中的钛。

钒也是一种金属元素，化学符号 V，原子序数 23，原子量 50.941。1801 年，钒元素首先由墨西哥城的矿物学教授德尔·里奥发现，但当时没有被人们公认。1831 年，瑞典化学家塞夫斯特伦再次发现钒。

V 与 Ti 在元素周期表中位于第 4 周期，分属第 IVB 族、第 VB 族，如图 1-1 所示。

The Periodic Table 钒与钛在元素周期表中的位置

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18						
H	He																	He					
Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg																	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe						
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn						
Fr	Ra	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg													
		lanthanoids																					
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu							
		actinoids																					
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr							

图 1-1 钒与钛在元素周期表中的位置



1.2 金属钛

钛有两种同素异构晶形，低于 882.5℃ 为 α 晶形，呈密排六方晶格；高于 882.5℃ 为稳定的 β 晶形，呈体心立方晶格。

物理性质

金属钛（海绵钛）为银灰色金属。

钛的密度为 $4.506 \sim 4.516 \text{ g/cm}^3$ （20℃）。

熔点为 $1668 \pm 4^\circ\text{C}$ ，熔化潜热为 $15.48 \sim 20.92 \text{ kJ/mol}$ 。沸点为 $3260 \pm 20^\circ\text{C}$ ，气化潜热为 $428.86 \sim 470.70 \text{ kJ/mol}$ 。临界温度 4350°C ，临界压力 11.3 MPa （1130 atm）。

钛的导热性和导电性能较差，近似或略低于不锈钢。钛具有超导性，纯钛的超导临界温度为 $0.38 \sim 0.4 \text{ K}$ 。在 25°C 时，钛的热容为 $0.527 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ，热焓为 4807.4 J/mol ，熵为 $30.67 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 。金属钛是顺磁性物质，磁导率为 1.00004。

钛具有可塑性，高纯钛的延伸率可达 50%~60%，断面收缩率可达 70%~80%，但强度低，不宜作结构材料。钛作为结构材料所具有的良好机械性能，是通过严格控制其中适当的杂质含量和添加合金元素而达到的。

化学性质

钛在较高的温度下，可与许多元素和化合物发生反应，包括 HF 和氟化物、HCl 和氯化物、硫酸和硫化氢、硝酸和王水等。

1.3 二氧化钛

TiO_2 （钛白）是一种白色粉末。 TiO_2 在自然界中存在三种同素异形态，即金红石型、锐钛型和板钛型。



TiO₂ 主要物理性能

密度: 金红石型 4.261g/cm^3 (0°C), 4.216g/cm^3 (25°C); 锐钛型 3.881g/cm^3 (0°C), 3.894g/cm^3 (25°C); 板钛型 4.135g/cm^3 (0°C), 4.105g/cm^3 (25°C)。

熔点: 金红石型 $1842\pm 6^\circ\text{C}$, 熔化热 811J/g 。沸点: 金红石型 $2670\pm 6^\circ\text{C}$, 气化热 $3762\pm 313\text{J/g}$ 。

化学性质: TiO₂ 是两性化合物, 是一种十分稳定的化合物, 它在许多无机和有机介质中都有很好的稳定性, 它不溶于水和许多其他溶剂。TiO₂ 可溶于热的浓硫酸、硝酸和苛性碱中。

工业上 TiO₂ 多数由偏钛酸煅烧而成: $\text{H}_2\text{TiO}_3 = \text{TiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 。工业上生产钛白的方法有硫酸法和氯化法。

钛白是当今最佳白色颜料, 它的光学和颜料性能都优于其他白色颜料。

钛白的颜料性质

(1) 白度。白度表示物质对可见光吸收与反射两部分之比。相对白度是波长和粒度的函数。晶体结构完美的, 对可见光具有很轻的吸收作用和很高的散射能力, 即在可见光内晶体发生等幅散射, 因而呈现白色。TiO₂ 的折射率高于其他物质, 因此在各种白色颜料中以钛白最白。

影响钛白白度的因素主要有钛白中杂质的种类和数量、晶型和颗粒形状、粒度和粒度分布。

(2) 消色力。消色力是指该颜料和另一种颜料混合后, 所给予另一种颜料的消色能力。TiO₂ 的折射率最大, 因而它在白色颜料中, 消色力也最高。消色力除与颜料的折射率有关外, 还与它的粒度和粒度分布有关。当钛白颗粒的平均直径在 $0.2\sim 0.3\mu\text{m}$ 范围内, 且粒度分布宽度狭窄时, 对可见光蓝波段的散射能力增强, 着色底相呈现柔和蓝相。

(3) 遮盖力。遮盖力是指颜料能遮盖被涂物体表面底色的能力。颜料遮盖力的大小不仅取决于它的晶型、对光的折射率和散射能力,

而且还取决于对光的吸收能力。二氧化钛属遮盖性颜料，因为它有明显的晶体结构和优异的光学性质，所以在白色颜料中， TiO_2 的遮盖力最大。

(4) 吸油量。吸油量是表示颜料粉末与展色剂相互关系的一种物理数值。它不仅说明了颜料粉末与展色剂之间的混合比例、湿润程度、分散性能，也关系到涂料的配方和成膜后的各种物性。在某些水性涂料、水分散型二氧化钛颜料中，吸油量也称作吸水量。

(5) 分散性。钛白粉的分散性是它的极其重要的性质。二氧化钛具有亲水疏油的性质，它在合成树脂有机体系中的分散性不良，需要经过表面处理，以提高它的分散性。

为了提高钛白粉在高分子介质中的分散性，必要时还需进行有机包膜处理，以使它具有亲有机物的表面。即在钛白颗粒表面建立高分子吸附层形成空间屏障，使颜料粒子彼此无法靠近，以提高其分散性。

(6) 耐候性。对二氧化钛而言，耐候性是指含有二氧化钛颜料的有机介质（如涂膜）暴露在日光下，抵抗大气的作用，避免发生黄变、失光和粉化的能力。耐候性主要取决于颜料的光学性质和化学组成，也与暴露在自然光下的条件有关（如光的强度、光谱分布、温度、相对湿度及大气污染物的性质和数量等）。

1.4 金属钒

钒是一种银灰色的金属。熔点为 $1890 \pm 10^\circ\text{C}$ ，属于高熔点稀有金属之列；沸点为 3380°C 。纯钒质地坚硬，无磁性，具有良好的延展性和可锻性，在常温下可制成片、丝和箔，但若含有少量的杂质，尤其是氮、氧、氢等，可塑性将显著降低。晶体结构中，晶胞为体心立方晶胞，每个晶胞含有两个金属原子。

钒属于中等活泼的金属，化合价有 +2、+3、+4 和 +5。其中，以 5 价态为最稳定，其次是 4 价态。5 价钒的化合物具有氧化性能，低价钒则具有还原性。钒的价态越低还原性越强。电离能为 6.74eV ，具有耐盐酸和硫酸的本领，并且在耐气、耐盐、耐水腐蚀



的性能要比大多数不锈钢好。钒在空气中不被氧化，可溶于氢氟酸、硝酸和王水。

钒能与氧结合，形成一氧化钒、三氧化二钒、二氧化钒和五氧化二钒等四种氧化物。高温下，金属钒很容易与氧和氮反应。当金属钒在空气中加热时，钒氧化成棕黑色的三氧化二钒、深蓝色的四氧化二钒，并最终成为橘黄色的五氧化二钒。

1.5 五氧化二钒

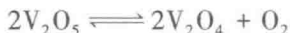
V_2O_5 是一种无味、无嗅、有毒的橙黄色或红棕色的粉末，微溶于水（约 0.07g/L），溶液呈微黄色。

V_2O_5 大约在 670℃ 熔融，冷却时结晶成黑紫色正交晶系的针状晶体。

V_2O_5 是两性氧化物，与 Na_2CO_3 一起共熔得到不同的可溶性钒酸钠。



因为在 V_2O_5 晶格中比较稳定地存在着脱除氧原子而得的阴离子空穴，所以在 700~1125℃ 范围内可逆地失去氧，这种现象可解释为 V_2O_5 的催化性质，使 V_2O_5 能用作催化剂。



V_2O_5 可用偏钒酸铵在空气中于 500℃ 左右分解制得。

V_2O_5 是最重要的钒氧化物，工业上用量最大。工业五氧化二钒的生产，用含钒矿石、钒渣、含碳的油灰渣等提取，制得粉状或片状五氧化二钒。它大量作为制取钒合金的原料，少量作为催化剂。

1.6 钛的发展史

1791 年，英格兰业余矿物学家格雷戈尔发现了钛元素。

1795 年，德国化学家克拉普罗特在金红石中又发现了钛元素，

并以希腊神 Titans 命名为 Titanium。

1910 年, 美国科学家亨特 (Hunter) 在钢瓶内用钠还原 TiCl_4 制取了纯钛。

1940 年, 卢森堡科学家克劳尔 (Kroll), 在氩气保护下, 用镁还原 TiCl_4 制取了金属钛。

1948 年, 美国用镁法开始工业化生产金属钛 (2 吨海绵钛), 开创了世界海绵钛生产的先河。

1954 年, 北京有色金属研究所开始从热河大庙钛铁精矿中提取钛研究。1956 年, 与北京有色金属设计院共同设计年产 60~100 吨海绵钛的试验工厂。采用的流程为: 电炉脱铁炼高钛渣—制团竖炉氯化—收尘、淋洗、蒸馏分馏、精制四氯化钛—镁热还原—真空蒸馏—海绵钛。此流程奠定了以后工业生产流程基础。

1958 年, 抚顺铝厂的海绵钛生产车间 (即前述 60 吨规模海绵钛实验厂) 开始试车, 1959 年 6 月投产, 1964~1965 年期间初步解决了海绵钛质量问题。

50 年代, 在上海万茂冶炼厂进行镁热还原法制取海绵钛试验, 并在研究基础上, 设计建设上海第二冶炼厂 (901 厂) 的海绵钛车间, 于 1966 年投产。

1964 年, 遵义钛厂开始筹建, 它是我国规模最大、流程最完善的专业海绵钛厂。但因受“十年动乱”的影响, 迟至 1969 年 9 月才投产, 1970 年 9 月才生产出第一炉海绵钛。

1965 年, 我国开始研究开发高钛渣的沸腾氯化技术。当时世界上采取沸腾氯化制四氯化钛的生产所用原料, 都是含二氧化钛在 95% 以上的金红石。而氯化含二氧化钛较低 (约 80%)、含杂质较高的高钛渣的氯化设备, 不是竖炉 (如苏联、日本) 就是熔融盐氯化炉 (如苏联)。将沸腾氯化用在氯化高钛渣的生产上, 是我国开始的。首先在邢台, 继之在天津、抚顺和上海, 最后推广到遵义钛厂。

60 年代, 我国开始建设百吨级硫酸法钛白粉厂, 开启了国内大规模生产钛白粉的先河。

80 年代, 在进行攀枝花资源综合利用大攻关过程中, 我国科研



人员成功地将此工艺用于含镁钙高的攀枝花高钛渣氯化。当然相应的沸腾氯化炉是经过改造的，应该说，将高钛渣的沸腾氯化用于工业上，我国在国际上居于领先地位。

这一时期，我国还曾继续开发用电解四氯化钛制取海绵钛的方法，先后从 620A、1000A、2000A、6000A 直做到 12000A 电解槽规模，并都得到合格率在 85% 以上的海绵钛产品。但因电流效率低（50%）、电耗高（>4 万千瓦时），不适用于生产，而停止进行。

在钛的合金材加工方面，这一时期最大的成就是建成了宝鸡有色金属加工厂和宝鸡有色金属研究所（现名西北有色金属研究院）。后者是我国第一个专门研制生产稀有金属材料的单位。

在这时期，国内从事稀有金属材料研究的单位还有科学院系统的沈阳金属研究所、上海冶金所，冶金系统的上海钢铁研究所、上海有色金属研究所，三机部的六院六所。工厂除苏家屯加工厂、宝鸡加工厂外，还有抚顺钢厂、上钢三厂和上钢五厂，这些单位都为发展我国钛工业做出了积极的贡献。

1978 年开始，我国钛工业与整个国民经济的发展一同成长。

在攀枝花资源综合利用攻关的带动下，除解决了攀西地区原生钛铁矿的氯化工艺外，还系统地完善了整个钛生产工艺。首先，确定了攀枝花选钛工艺，建成攀枝花选钛厂，年产规模从 5 万吨扩大为 10 万吨，继而进一步发展；其次，掌握了自攀枝花钛精矿制取富钛料的两种工艺，即电炉高钛渣法和盐酸法制取金红石法，都达到了工业规模。

1994 年，攀枝花建成了全市第一座年产 4000 吨硫酸法钛白厂。

2008 年，攀枝花地区被自然资源部授予“中国钒钛之都”称号。

2013 年，国家发改委设立攀西战略资源创新开发试验区。

2015 年，攀枝花大江钒钛公司通过引进、消化乌克兰技术，创新研发成功了国内首套钛（合金）铤电子束熔炼炉（EB 炉）。

2017 年，攀钢集团针对高钛型高炉渣，利用高温碳化—低温氯化技术生产四氯化钛实现了产业化。

2018 年，我国已经建成了 5 座氯化法钛白粉厂，分别是中信锦

州钛业、攀钢钒钛、龙蟒佰利联、云南新立和漯河兴茂公司。

1.7 钒的发展史

1801 年和 1831 年,墨西哥矿物学家德尔·里奥和瑞典化学家尼尔·格·塞夫斯特伦分别发现了钒元素,并以希腊神话中女神娃娜迪斯(Vanadis)的名字命名为钒(Vanadium)。

1867 年,英国化学家罗斯科(H. E. Roscoe)用氢还原氯化钒(VCl_3),首次制得金属钒。他在 1869~1871 年间发表了一系列论文,为钒化学奠定了一定的基础。同时,他在研究英国西部的铜矿时,制备了 V_2O_5 、 V_2O_3 、 VO 、 VOCl_3 、 VOCl_2 和 VOCl 等钒化合物。

19 世纪末,研究发现了钒在钢中能显著改善钢材的机械性能后,钒在工业上才得到广泛应用。

19 世纪末 20 世纪初,俄罗斯开始利用碳还原法还原铁和钒氧化物首次制造出钒铁合金(含 V 35%~40%)。1902~1903 年,俄罗斯进行了铝热法制取钒铁的试验。

直到 1927 年,美国的马尔登(J. W. Marden)和赖奇(M. N. Rich)用金属钙还原五氧化二钒(V_2O_5),才第一次制得了含钒 99.3%~99.8%的可锻性金属钒。

20 世纪 30 年代,我国地质学家常隆庆等人发现攀枝花地区蕴藏有大量钒钛磁铁矿。

1937 年,发现承德大庙铁矿中含有钒。

1942 年,日本帝国主义为了掠夺中国的钒资源,在锦州建立了“制铁所”生产钒铁。

1955 年,西南地质局 531 地质勘探队对攀枝花钒钛磁铁矿进行了详细勘探。在进行地质勘探的同时,1956 年起我国进行了矿石选矿的可行性研究。

1955 年,发现马鞍山磁铁矿中含有钒。

1958 年,恢复锦州铁合金厂,利用承德含钒铁精矿为原料,于 1958 年 9 月 4 日沉淀出第一罐 V_2O_5 ,10 月 20 日炼出了新中国第一炉钒铁(含 V 35%)。

1958年9月,提交攀枝花矿的勘探报告。冶金部在西昌成立西昌钢铁公司,以后分别进行了 0.5m^3 、 1m^3 、 11m^3 、 28m^3 高炉炼铁试验。

1958年,马钢1吨侧吹提钒转炉进行吹钒试验;承钢进行侧吹转炉提取钒渣试验;锦州铁合金厂研制出金属钒。

1960年,建成上海第二冶炼厂提钒车间,生产 V_2O_5 。

1963年,东北工学院炼铁教研室成功地主持了在马鞍山钢铁厂高炉上进行的承德钒钛磁铁矿冶炼的工业试验,取得初步成功。

1965年,先后在马钢建成8吨、在承钢建成10吨侧吹提钒转炉生产钒渣,从此结束了我国用钒精矿生产 V_2O_5 的历史。但是钒的供应满足不了我国工业需要,每年还要进口 V_2O_5 或钒铁。

1964年,冶金部组织10多个单位百余人参加的高炉冶炼攀枝花矿的试验组。

1965年,在承钢 100m^3 高炉冶炼钒钛磁铁矿试验成功。

1967年,在首钢 516m^3 高炉炼铁、30吨氧气顶吹转炉双联法提钒炼钢,直到轧材联动试验成功,制得钒渣在锦州铁合金厂生产出 V_2O_5 和钒铁。

1970年7月,攀钢组成雾化提钒试验组,到1973年先后建成三座60吨雾化提钒试验炉。到1978年,共生产雾化钒渣6万吨。与此同时,建成了峨眉铁合金厂和南京铁合金厂钒车间,生产 V_2O_5 和钒铁。

1972年,锦州铁合金厂可生产99.9%品位的金属钒。

1978年,在攀钢建成雾化提钒车间,有两座120吨雾化提钒炉,进行钒渣生产。

1979年,锦州铁合金厂开发了品位55%~60%的钒铁和含钒40%~80%的钒铝合金。

1980年,开始出口钒渣(3208t)、 V_2O_5 (1041t)、钒铁(1882t),从此中国从钒进口国变为钒出口国。

1987年,承钢和马钢对原有提钒转炉进行扩建到20吨转炉,年产钒渣都可达2万吨以上。

1980~1985年间,锦州铁合金厂开发了高钒铁、硅钒铁、碳化

钒、氮化钒铁等炼钢钒合金添加剂。

1990 年，攀钢建成了年产 V_2O_5 2000 吨的生产车间。

1992 年，攀钢建成了用电铝热法冶炼高钒铁能力为 600 吨试验车间。

1993 年，攀钢引进了卢森堡电铝热法冶炼高钒铁设备，在北海建成了产能可达 1 万吨电铝热法生产铁合金的车间。高钒铁设计能力为年产 1300 吨。

1994 年，攀钢开发了用煤气还原多钒酸铵制取 V_2O_3 技术，在西昌分公司进行了半工业试验，取得成功并获得国家发明专利。

1995 年，攀钢将雾化提钒改为转炉提钒，建成了两座 120 吨设计能力 11 万吨/年钒渣的转炉提钒炉，并投产。

1998 年，攀钢从德国引进设备，建成了年产 2400 吨 V_2O_3 的车间。同时，进行了 V_2O_3 冶炼高钒铁的试验。西昌分公司建成年产 1200 吨 V_2O_5 生产车间。同时，攀钢钒渣产量达到并超过了设计能力，创下历史最高水平。

1998 年，攀钢与东北大学合作开发了氮化钒产品，并获得了国家发明专利。

1998 年，攀钢从德国引进设备（其中 V_2O_3 设备已卖给奥地利），建成年产 3350 吨 V_2O_3 的车间。以后又扩建使总 V_2O_3 生产能力达到了 5150 吨。

1998 年，中国工程物理研究院研制成功我国第一组 1kW 的全钒氧化还原电池样品。

1999 年，攀钢建成年产 60 吨氮化钒试验装置。

2000 年，攀钢开始进行二步法冶炼钒铝中间合金的试验。

2001 年，攀钢建成年产 100 吨氮化钒的试验生产装置。

2004 年，攀钢建成设计能力年产 200 吨氮化钒的生产车间，攀钢研究院又建成年产 300 吨的生产装置。

2009 年，攀枝花新高新技术产业园区又建设了一座氮化钒工厂，采用昆明理工大学专利技术。

2010 年，眉山市青神县建设了一座氮化钒工厂，采用了较先进的生产技术。



2013 年，四川省依托攀枝花学院、攀钢集团等单位建立四川省钒钛产业技术研究院。

2015 年，攀钢集团西昌钢钒公司首创了国内钙化提钒清洁生产技术。

2016 年，中国科学院大连化物所成功开发出高选择性、高导电性、低成本的非氟多孔离子传导膜，对全钒液流电池的发展具有长远的意义。

2017 年，国内首家经过 CNAS、CMA 二合一资质认证的国家钒钛检测重点实验室在攀枝花正式挂牌。

2018 年，国内首家国际钒钛学院、国际钒钛研究院在攀枝花挂牌成立，国内高等院校中攀枝花学院率先组建了二级院系——钒钛学院。

2 钒钛资源与产业

2.1 钒钛资源分类及储量

钒占地壳质量的 0.56%（钒只占 0.02%），在元素含量中排列第 9 位，在自然界基本上以共生矿存在，含钒矿物有 70 多种，包括钒钛磁铁矿、钛铁矿、金红石矿、板钛矿、白钛石等。其中，最重要的是钒钛磁铁矿与钛铁矿两种。金红石矿含钛量最高，但储量较低。钛矿按形成条件又分为岩矿和砂矿，砂矿主要分布在海滨地区；按晶型结构又分为锐钛型（A 型）、金红石型（R 型）、板钛矿型（B 型）三种，攀西钒钛磁铁矿属于锐钛型岩矿。钒钛磁铁矿和金红石如图 2-1 所示。

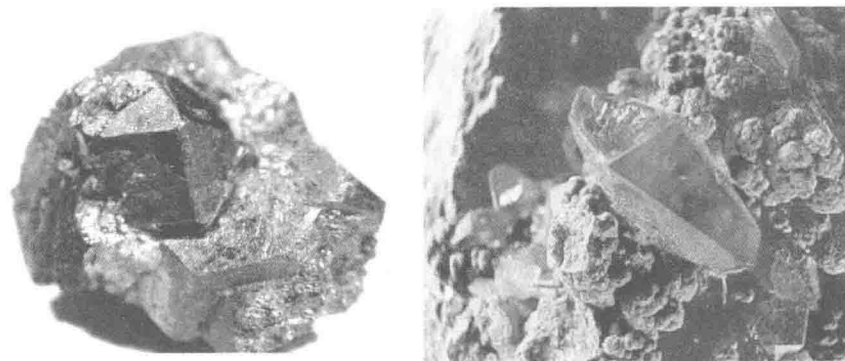


图 2-1 钒钛磁铁矿（左）和金红石（右）

钒占地壳质量的 0.02%，在自然界均以共生矿存在，含钒矿物有 70 多种。其中，最重要的是钒钛磁铁矿和石煤矿（钒云母）。

根据国家《钒钛资源综合利用和产业发展“十二五”规划》



《攀枝花钒钛矿资源潜力评价报告》等资料显示,我国钒资源主要赋存于钒钛磁铁矿和含钒石煤中。其中,钒钛磁铁矿中钒资源占总储量的 53%,集中分布在四川攀西和河北承德地区;含钒石煤中钒资源占总储量的 47%,主要分布在陕西、湖南、湖北、安徽、浙江、江西、贵州等地。我国钛资源主要赋存于钒钛磁铁矿、钛铁矿和金红石矿中。其中,钒钛磁铁矿中钛资源占总储量的 95%;钛铁矿中钛资源占总储量的近 5%,主要分布在云南、海南、广东、广西等地;金红石矿储量较少,主要分布在湖北、河南、山西等地。

攀枝花钒钛磁铁矿除含铁外,还共生钛,伴生钒、铬、钴、钽、镓等元素,均达到相应元素的特大型矿山储量。其中:

➤ 钛的潜在资源量为 19.8 亿吨(以 TiO_2 计,下同),探明资源储量约 7.22 亿吨,保有资源储量 4.39 亿吨,占全国储量的 93%,为全球的 32%,居世界第一位;

➤ 钒的潜在资源量为 4463.8 万吨(以 V_2O_5 计,下同),探明储量 4290 万吨,保有储量 1020 万吨,占全国储量的 63%,居世界第三位;

➤ 伴生的铬、钴、钽、镓等元素,是国家重要的战略资源,均属海量。其中,铬(Cr_2O_3)保有储量为 696 万吨;钴(Co)保有储量为 152 万吨;钽保有储量为 23 万吨;镓(Ga)保有储量为 21 万吨,仅攀枝花、红格、白马三矿区伴生在表内矿中的镓储量就相当于 55 个大型镓矿床的储量。

2.2 钒钛磁铁矿

资源分布与储量

全球钒钛磁铁矿储量比较丰富,资源总量在 400 亿吨以上,较为集中地分布在少数几个国家,主要资源国为中国、俄罗斯、加拿大、南非、美国、巴西、芬兰、挪威等。

我国钒钛磁铁矿储量丰富,居世界第三位,主要分布于四川攀