


# 钒钛磁铁矿 高炉冶炼



王喜庆 主编

冶金工业出版社



PDG

主 编：王喜庆  
副 主 编：苏志忠

编写组成员：王喜庆 苏志忠 徐鸿飞 李身钊  
彭凤翔 李贤干 盛世雄 李玉铎

参加本书编写工作的人员还有：籍可镛 张继善  
杨根土 周永成  
王登怡 周继美  
欧阳继元 王荣凯  
廖代华

\*

\*

本书的编写出版得到攀枝花钢铁（集团）公司赵忠玉总经理的支持。在编写过程中承蒙冶金工业部原副部长李非平，中国科学院院士王之玺教授，中国科学院院士、北京科技大学魏寿崑教授，东北大学杜鹤桂教授，重庆大学裴鹤年教授，以及赵孟坚、王泽田、陈默、李庭寿、杨传福、李继蕙、戎积崑等的指导与帮助。谨此，表示衷心感谢！

## 内 容 提 要

本书全面总结了我国高炉冶炼钒钛磁铁矿的生产经验。内容包括：钒钛磁铁矿的预处理、冶炼原理、操作制度、强化冶炼技术、钒钛磁铁矿冶炼产品及利用等。

本书可供有关研究单位和生产单位的科技工作者参考，也可作为大专院校有关专业师生的教学参考书。

## 前 言

---

钒钛磁铁矿是铁、钒、钛共生的一种特殊的磁性铁矿石。铁和钛紧密共生，而钒则以类质同象赋存于钛磁铁矿中，所以，一般称之为钛磁铁矿。此种矿石遍布于世界，但因各地区成矿条件的不同，矿石结构特点有异，铁、钒、钛含量和可选性有较大差别。因此，经选别后的精矿化学组成和烧结性质有明显的差异，与之相应的烧结工艺特点和所生产的钒钛烧结矿化学成分及冶金性能也有较大的差别。

国外早在 19 世纪就已开始把钒钛磁铁矿用作炼铁原料的开发利用研究。但因含钛炉渣在高炉冶炼过程中变稠等一系列问题，至今除前苏联的下塔吉尔钢铁厂和邱索夫冶金厂的高炉，冶炼渣中  $\text{TiO}_2 \leq 10\%$  外，其他国家虽做了很多试验研究工作，但尚无冶炼钒钛矿的高炉。从本世纪 70 年代以来，国外由于高炉的大型化和高效化，把含钛物料适当地配入炉料中冶炼，作为延长炉缸和炉底寿命的措施却得到了推广和普及。但它不属于高炉冶炼钒钛矿的范畴。

我国为开发攀西地区（攀枝花—西昌）钒钛磁铁矿资源，本世纪 50 年代后期便开始了试验研究工作，至 60 年代前期进行了一系列的半工业试验和工业性试验。为攀枝花钢铁基地的设计、建设提供了工艺技术的可行性依据。攀枝花钢铁（集团）公司高炉投产后，根据生产实践中出现的问题，又经过了 20 多年科学试验和科技攻关，高钛型钒钛磁铁矿高炉冶炼工艺技术有所突破。1200~1300 $\text{m}^3$  级普通高炉冶炼的炉渣含 23~25%  $\text{TiO}_2$  的生

## Ⅱ 前 言

产技术经济指标,达到或超过相似含铁品位的普通矿高炉冶炼水平。至今,国内冶炼含钛炉渣,按渣中 $\text{TiO}_2$ 含量可划分为高钛型炉渣( $>20\%\text{TiO}_2$ )、中钛渣( $10\sim 20\%\text{TiO}_2$ )、低钛渣( $<10\%\text{TiO}_2$ ),并已形成了不同类型的含钛炉渣高炉冶炼的系统理论和工艺技术。冶炼生产的主要产品为含钒炼钢铁。含钒铁水经提钒工艺生产的钒渣,是钒制品的原料;提钒后的半钢为炼钢原料。副产品除高炉煤气外,为含钛的五元( $\text{CaO-MgO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ )高炉渣。

本书出版的目的在于总结高炉冶炼钒钛磁铁矿实践经验,尤其是高钛型炉渣的科学试验与实践,并探讨一些有关理论问题,以期对今后的科学研究、设计、教学以及冶炼的实际操作有所补益。实际上,在高炉冶炼中,特别是高钛型炉渣冶炼,尚存在诸多问题,无论从理论上的研究,或是相关技术的开发,均有待深入和提高。这有赖于研究单位和生产单位的科技工作者共同探索与实践,使钒钛磁铁矿高炉冶炼的理论和工艺技术水平不断提高。由于水平所限,切望读者指正。

编 者

1993年10月

---

# 目 录

---

<b>第一章 钒钛磁铁矿资源及其开发利用</b> .....	(1)
<b>第一节 钒钛磁铁矿矿藏分布概况</b> .....	(1)
一、中国钒钛磁铁矿矿藏.....	(2)
二、国外钒钛磁铁矿矿藏概况.....	(13)
<b>第二节 钒钛磁铁矿冶炼技术的开发研究</b> .....	(18)
一、北欧、北美研究概况.....	(19)
二、前苏联高炉冶炼试验研究.....	(20)
三、日本试验研究概况.....	(23)
四、我国试验研究简况.....	(24)
<b>第三节 钒钛矿高炉冶炼国内外现状</b> .....	(29)
一、攀枝花钢铁公司.....	(30)
二、承德钢铁公司.....	(30)
三、前苏联下塔吉尔钢铁厂.....	(30)
四、前苏联邱索夫冶金厂.....	(31)
<b>第二章 钒钛磁铁矿高炉冶炼原料</b> .....	(32)
<b>第一节 高炉用钒钛磁铁矿的矿物特点及选矿</b> .....	(32)
一、钒钛磁铁矿的化学组成.....	(32)
二、钒钛磁铁矿的矿物组成.....	(33)
三、钒钛磁铁矿的特点.....	(34)
四、钒钛磁铁矿选矿流程及设备.....	(36)
五、钒钛磁铁矿精矿的特点.....	(37)
<b>第二节 高钛型钒钛磁铁矿精矿烧结</b> .....	(38)

一、烧结用原料 .....	(38)
二、烧结生产工艺流程 .....	(39)
三、钒钛磁铁精矿烧结生产的特点 .....	(40)
四、高钛型钒钛磁铁精矿烧结工艺 .....	(44)
五、高钛型钒钛磁铁精矿烧结的强化 .....	(47)
六、高钛型钒钛磁铁精矿烧结过程若干问题探讨 .....	(48)
<b>第三节 钒钛烧结矿的特点 .....</b>	<b>(52)</b>
一、钒钛烧结矿的化学成分 .....	(52)
二、钒钛烧结矿的矿物组成 .....	(53)
三、钒钛烧结矿的矿物形成过程 .....	(61)
四、钒钛烧结矿的冶金性能 .....	(69)
<b>第三章 钒铁矿高炉冶炼过程及基本原理 .....</b>	<b>(82)</b>
<b>第一节 高炉冶炼过程的基本原理与相变过程 .....</b>	<b>(82)</b>
一、含钛矿物中铁、钛、钒等氧化物还原热力学数据 .....	(82)
二、钒钛矿冶炼过程的基本反应 .....	(83)
三、含钛矿物中氧化物的还原 .....	(93)
四、高炉实际取样及解剖调查各元素的还原 .....	(103)
<b>第二节 钒铁矿冶炼的造渣过程 .....</b>	<b>(106)</b>
一、含钛炉渣的化学成分和矿物组成 .....	(106)
二、含钛炉渣的熔化性温度及其影响因素 .....	(108)
三、含钛炉渣变稠的特性 .....	(117)
四、含钛泡沫渣特性 .....	(122)
<b>第三节 钒钛矿冶炼脱硫过程 .....</b>	<b>(135)</b>
一、含钛炉渣的脱硫性能 .....	(135)
二、含钛炉渣脱硫性能的影响因素 .....	(137)
三、探讨改善高钛型炉渣脱硫能力的研究 .....	(140)
<b>第四章 含钛炉渣的冶炼特性 .....</b>	<b>(142)</b>
<b>第一节 煤气流合理分布的调控 .....</b>	<b>(142)</b>

一、煤气流合理分布的标志	(143)
二、基本操作制度的选择与确定	(149)
三、合理的上、下部调剂	(157)
<b>第二节 含钛炉渣冶炼的热制度选择</b>	<b>(159)</b>
一、含钛炉渣冶炼, 铁中 [Si] 和 [Ti] 的变化特点	(159)
二、高钛型炉渣冶炼适宜炉温的选择	(161)
<b>第三节 造渣制度的选择</b>	<b>(163)</b>
一、造渣主成分及矿物组成	(163)
二、实际冶炼的炉渣的冶金性质特点	(164)
<b>第四节 几个相关问题的探讨与解析</b>	<b>(165)</b>
一、含钛炉渣的脱硫能力	(165)
二、含钛炉渣冶炼的铁损问题	(167)
三、操作目标值优化问题	(173)
四、高钛型炉渣冶炼过程中 $TiO_2$ 的属性	(175)
<b>第五节 特殊炉况的处理与预防</b>	<b>(178)</b>
一、高钛型炉渣冶炼各种特殊炉况的特征	(178)
二、大崩料失常的处理与预防	(179)
三、炉渣变稠的处理与预防	(184)
四、“热结”的处理与预防	(185)
<b>第五章 钒钛矿冶炼强化技术研究</b>	<b>(186)</b>
<b>第一节 富氧鼓风</b>	<b>(186)</b>
一、富氧鼓风工艺流程	(187)
二、富氧鼓风对冶炼行程的影响	(188)
三、富氧鼓风的冶炼效果	(193)
<b>第二节 高钛型炉渣冶炼喷煤技术</b>	<b>(195)</b>
一、煤粉性能的研究	(197)
二、喷吹煤粉的冶炼特点	(201)
三、喷吹燃料后的高炉操作调剂	(209)
四、喷吹煤粉的效果	(211)



五、改善喷吹燃料的利用效果·····	(215)
<b>第六章 钒钛磁铁矿综合利用·····</b>	<b>(219)</b>
<b>第一节 钒钛生铁的特性及利用·····</b>	<b>(220)</b>
一、钒钛制钢铁炼钢·····	(220)
二、钒钛铸铁的性能及应用·····	(222)
三、钒钛铸钢的性能及应用·····	(226)
<b>第二节 提钒的基本原理·····</b>	<b>(226)</b>
<b>第三节 钒钛高炉渣的综合利用·····</b>	<b>(229)</b>
一、钒钛高炉渣综合利用的新进展·····	(229)
二、含钛高炉渣的护炉功效及优势·····	(232)
参考文献·····	(236)
<b>附录 I 钒钛矿高炉冶炼综合计算·····</b>	<b>(239)</b>
<b>第一节 计算的原始资料·····</b>	<b>(240)</b>
一、收集和整理必要的原始资料·····	(239)
二、各种入炉原料成分·····	(239)
三、生产数据整理·····	(242)
<b>第二节 高炉配料计算·····</b>	<b>(244)</b>
一、高炉配料联合计算·····	(245)
二、简易配料计算·····	(270)
<b>第三节 物料平衡与热平衡·····</b>	<b>(277)</b>
一、物料平衡·····	(277)
二、热平衡·····	(298)
<b>第四节 理论最低碳比计算·····</b>	<b>(316)</b>
一、计算所需条件·····	(316)
二、氢还原 FeO 的还原度 ( $r_H$ ) ·····	(316)
三、作为发热剂所需的碳量·····	(317)
四、作为还原剂所需的碳量·····	(318)
五、理论最低碳比·····	(319)
<b>第五节 高钛型炉渣冶炼操作线·····</b>	<b>(320)</b>
一、操作线的制作·····	(320)

---

二、操作线的应用.....	(323)
三、冶炼高钛型炉渣喷吹煤粉对操作线的影响 .....	(327)
<b>附录 I 参阅数据</b> .....	(332)
一、元素的物理性质.....	(332)
二、常用氧化物的一些物理性质.....	(335)
三、化合物生成热.....	(336)
四、高炉冶炼过程若干主要化学反应热效应.....	(341)
五、某些化学反应自由能与温度关系.....	(345)
六、有关元素和化合物比热容.....	(347)

# 第一章 钒钛磁铁矿资源及其开发利用

钒钛磁铁矿是一种多金属元素的复合矿，是以含铁、钒、钛为主的共生的磁性铁矿。钒绝大部分和铁矿物呈类质同象赋存于钛磁铁矿中，所以钒钛磁铁矿亦称钛磁铁矿。由于世界各地的钒钛磁铁矿床的成矿条件不同，其矿物组成和化学组成差异较大。又因其可选性不同，所生产的钒钛磁铁矿精矿的铁、钒、钛含量也有很大区别。现在钒钛磁铁矿已被视为生产钒的主要原料。据资料介绍，能较经济地提取钒的钒钛磁铁矿中，金属钒的储量约占世界金属钒储量的98%。当今世界每年生产的金属钒约88%是从用钛磁铁矿生产含钒生铁的钒渣中获得的。因此，钒钛磁铁矿已是当今世界钒生产的主要资源。随着地球上金红石、钛铁矿等天然资源被开发利用后逐渐减少，以及第三金属钛的广泛应用，由钒钛磁铁矿资源中获得的钛精矿，经电炉冶炼高钛渣来生产钛制品的比例必将日渐增加。所以，钒钛磁铁矿的铁、钒、钛资源的综合利用将会日趋广泛。

## 第一节 钒钛磁铁矿矿藏分布概况

世界上钒钛磁铁矿的矿藏分布很广。到目前为止，已较大量开采并得到利用的，主要有我国四川攀枝花矿、南非布什维尔德矿、前苏联卡奇卡纳尔矿、芬兰本斯塔瓦拉、奥坦梅基矿、挪威罗德桑矿、智利埃尔罗梅罗耳矿等。世界钒钛磁铁矿储量概况见表1-1。我国四川四大矿区储量是保有储量，占全国储量的95%以上。其他国家的储量虽见过报道，但因储量不详而未列入表1-1。

表 1-1 世界钒钛磁铁矿储量概况

国家	矿 区	储量, 万 t	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	TFe, %	TiO <sub>2</sub> , %
中国	攀枝花矿区	107892.0	0.16~0.44	16.7~43.0	7.76~16.7
	白马矿区	120334.0	0.13~0.15	17.2~34.4	3.9~8.2
	红格矿区	35451.1	0.14~0.56	16.2~38.4	7.6~14.0
	太和矿区	75120.0	0.16~0.42	18.1~16.6	7.7~17.0
前苏联	卡契卡纳尔—康札克夫	88966.0	0.13~0.14	16.0~20.0	1.28
	中乌拉尔	233260.0	0.19	14.0~38.0	2.80
	斯托依连	255060.0			
	别列金	133800.0			
	克拉托姆克夏	76050.0			
	卡恰克	102560.0			
南非	塞库库纳兰	41935.0	1.73		
	芝瓦考	44636.0	1.69		
	马波奇	54573.0	1.40~1.70	53.0~57.0	12.0~15.0
	斯托夫贝格	4219.0	1.52		
	比勒托利亚	259.0	1.80		
	吕斯滕堡	22327.0	2.05		
	诺瑟姆	19722.0	1.80		
美国	阿拉斯加州	1832.0	0.020~0.20		
	纽约州	22.65	0.15~0.30		
	怀俄明州	22.65	0.020~0.36		
	明尼苏达州	8.10	0.05~1.10		
澳大利亚	巴拉矿	1500.0	0.45	35~40	13.0
	巴拉姆比矿		0.70	26.0	15.0
	科茨矿		0.54	25.4	5.4
芬兰	奥坦梅基	1500.0	0.45	35~40	13.0
	本斯塔瓦拉	400.0	0.36	17.0	3.1
新西兰	北岛西海岸铁矿砂	不详	0.14	18.0~20.0	4.33

### 一、中国钒钛磁铁矿矿藏

中国钒钛磁铁矿的矿藏，主要分布于中国西南四川的攀枝花—西昌地区（简称攀西）。其次是河北承德地区和安徽马鞍山地区等。

#### 1. 攀枝花—西昌地区

攀西地区钒钛磁铁矿成矿带以红格矿区为中心，南有攀枝花

矿，北有白马、太和矿，形成一个特大型的钒钛磁铁矿矿床，其中攀枝花、白马、太和矿体属基性岩（辉长岩）型岩体，而红格矿体属基性—超基性型岩体，两种类型岩体地质特征基本相同，前者相当于后者的基性岩部分特征，后者除含铁、钛、钒外，伴生的铬、镍和铂族组分含量较高，因而综合利用价值较大。

(1) 钒钛磁铁矿的主要金属矿物 攀西四大矿区的钒钛磁铁矿主要矿物已知有 90 多种，其生成顺序，见表 (1-2)，主要是铁、钛、铬的氧化物和硅酸盐类矿物，还有少量硫、砷化物、磷酸盐矿物等。其中主要金属矿物有：

1) 钛磁铁矿：钛磁铁矿—铬钛磁铁矿—钛铬铁矿系列，统称为钛磁铁矿，是主要的含铁工业矿物。这种类质同相的系列矿物，是含有钛铁矿、钛铁晶石，镁铝尖晶石等固熔体分离物的磁铁矿，也是有用组分 Ti、V、Cr、Ni、Co、Ga 等元素的主要负载体之一。其单矿物的化学组分含量见表 1-3。由表 1-3 可知：

- ① 随矿石品级增高，钛磁铁矿中含铁量降低，含钛量增加。
- ② 太和、白马矿区的钛磁铁矿，含铁较高，含钛较低。
- ③ 白马矿区的钛磁铁矿含  $V_2O_5$  比其他矿区高。
- ④ 红格矿区的钛磁铁矿，含  $Cr_2O_3$  高达 0.49~0.82%，有综合利用价值。

2) 钛铁矿：是主要的含钛矿物。目前有实用意义的是能机械分离的粒状、结状钛铁矿和较粗的片状钛铁矿包体，其本身也含有少量的钛磁铁矿，镁铝尖晶石微片晶包体。其单矿物化学组分列于表 1-4，由表可知：

- ① 随矿石品级增高，钛铁矿的含钛量增加。
- ② 钛铁矿含  $MgO$ 、 $CaO$  较高， $MgO$  含量一般大于 3%，并随矿石品级增高而增加。 $CaO$  含量变化不大，一般为 0.30~0.40%。

3) 硫砷化物：它是 Co、Ni、Cu、S、铂族元素的主要负载矿物，种类繁多，四大矿区的硫砷化物及其化学组成见表 1-5~表 1-8。由表可见：

- ① 硫化物中，Co、Ni 的含量，一般随矿石品级升高而增加，Cu

表 1-2 主要矿物相对生成顺序

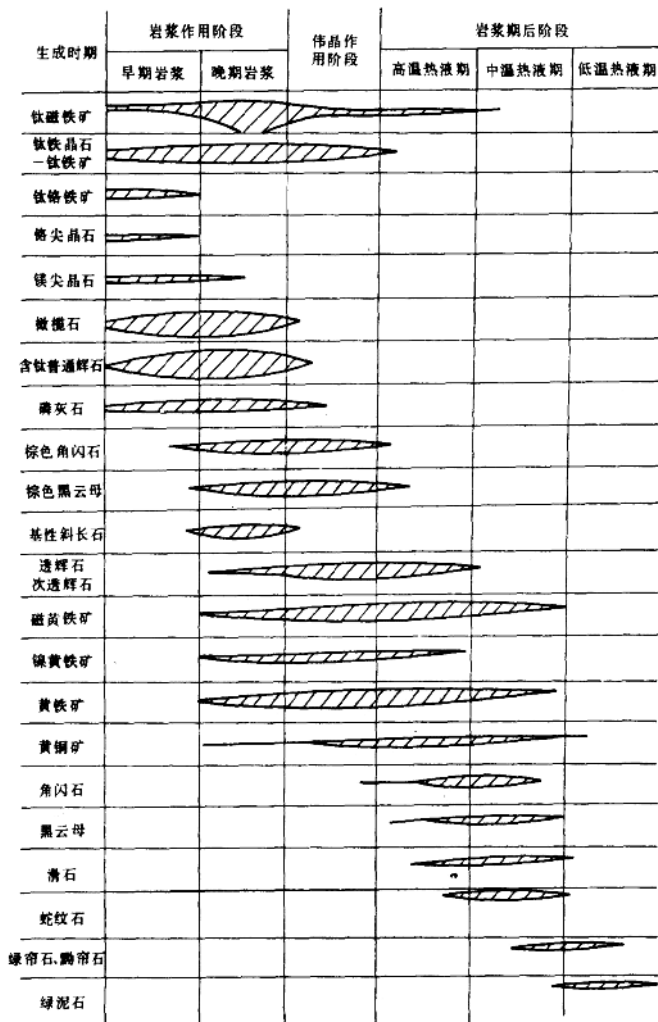


表 1-3 攀西四大矿区钒钛磁铁矿单矿物化学组分, %

品级	TFe	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Co	Ni	Cu	S	Ca	TFe/TiO <sub>2</sub>	比重		
岩石	H	58.74	52.07	20.15	6.75	0.54	0.020	0.16	0.136	4.30	1.71	1.34	1.72	0.013	0.002	0.010	0.0080	8.70	4.861		
	P	57.32	44.54	33.66	9.65	0.66	0.06	0.31	2.93	4.05	1.54	0.48	0.024	0.008	0.020	0.280	0.0058	5.94	4.610		
	B	60.87	48.73	34.05	7.97	0.70	0.22	0.034	0.34	1.22	3.55	1.49	0.55	0.015	0.025	0.196	0.0063	7.64	4.799		
Fe <sub>4</sub>	T	61.01	48.83	34.55	7.52	0.43			0.26	0.096	1.92	1.70	2.06	0.70	0.008	0.041		8.14	4.733		
	H	59.26	51.40	31.64	7.90	0.67	0.55	0.22	0.034	1.95	2.49	1.89	0.55	0.010	0.066	0.016	0.123	7.50	4.842		
	B	58.52	50.72	29.59	9.40	0.60	0.06	0.29	0.080	1.76	3.46	1.64	0.59	0.017	0.012	0.142	0.0050	6.23	4.779		
Fe <sub>3</sub>	T	60.89	46.50	36.59	8.07	0.78	0.06	0.27	0.033	1.01	3.29	1.67	0.30	0.015	0.022	0.013	0.359	7.55	4.841		
	H	61.47	50.19	32.57	6.75	0.60			0.29	0.037	1.31	2.27	1.57	0.68	0.005	0.032	0.150	9.41	4.820		
	B	59.30	50.76	31.29	9.46	0.61	0.82	0.25	0.030	1.27	2.29	2.33	0.49	0.017	0.097	0.025	0.130	6.27	4.850		
Fe <sub>2</sub>	T	57.60	45.55	33.03	12.50	0.54	0.09	0.40	0.105	0.96	3.76	2.03	0.14	0.017	0.010	0.167	0.0054	4.61	4.808		
	H	59.40	47.52	33.31	10.16	0.74	0.15	0.35	0.018	0.94	3.43	1.92	0.27	0.014	0.021	0.033	0.198	5.83	4.833		
	B	59.74	48.14	33.54	9.10	0.50	0.33	0.078	1.18	2.23	1.53	0.77	0.004	0.003	0.071	0.217	0.0040	6.57	4.805		
Fe <sub>1</sub>	T	56.02	45.93	31.53	13.81	0.60	0.62	0.31	0.015	1.24	2.53	3.39	0.38	0.018	0.055	0.039	0.171	4.06	4.774		
	H	55.97	48.45	28.35	14.01	0.50	0.09	0.40	0.094	0.71	3.85	2.38	0.23	0.011	0.008	0.112	0.0050	4.00	4.729		
	B	59.25	48.44	31.57	10.85	0.69	0.05	0.40	0.042	0.87	3.00	1.96	0.18	0.012	0.020	0.028	0.102	5.46	4.816		
Fe <sub>0</sub>	T	58.12	45.89	33.47	12.20	0.56			0.39	0.065	0.95	1.72	1.96	0.45	0.005	0.032	0.29	0.0040	4.76	4.753	
	H	54.58	43.87	29.99	14.85	0.60	0.49	0.34	0.044	0.57	2.46	0.92	0.29	0.017	0.006	0.019	0.066	3.68	4.713		
	B	55.59	43.66	32.16	14.97	0.48	0.13	0.35	0.100	0.37	3.74	2.60	0.21	0.013	0.015	0.293	0.0050	3.71	4.726		
		56.61	48.30	30.50	14.97	0.48			0.43	0.036	0.44	1.59	1.99	0.45	0.006	0.005	0.023	0.045	0.0040	3.78	4.730

注: T—太和矿区; H—红格矿区; P—攀枝花矿区; B—白马矿区。

表 1-4 攀西四大矿区钛铁矿单矿物化学组分, %

品级	矿田	TFe	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Co	Ni	Cu	S	Ca	TFe/TiO <sub>2</sub> 比重	
																			0.63	0.82
岩石	H	33.40	4.19	39.23	40.23	0.110	Tr	0.38	0.037	2.51	0.36	0.15	2.38	0.018	0.001		0.049	0.0043	0.63	4.655
	P	37.73	8.60	40.80	45.99	0.060	0.030	0.81	0.11	1.01	0.48	2.10	0.48	0.016	0.008		0.020	0.0020	0.69	4.660
	B	35.00	5.44	39.58	40.84	0.090	0.085	0.87	0.84	0.47	1.41	1.41	0.33	0.007	0.003		0.020	0.0020	0.82	4.717
	T	36.18	6.98	40.27	40.29			0.53	0.028		1.87	1.87	0.44	0.002	0.024	0.010	0.010		0.90	4.725
Fe <sub>2</sub>	H	34.40	5.26	39.28	49.86	0.067	0.023	0.79	0.022	1.30	0.37	2.30	0.52	0.013	0.008	0.005	0.031	0.0002	0.69	4.649
	P	35.77	9.44	37.48	48.18	0.053	0.052	0.85	0.035	0.24	0.87	2.27	0.30	0.019	0.011		0.027	0.0008	0.74	4.677
	B	34.28	4.48	40.06	50.71	0.090	0.073	0.87	0.55	0.47	2.32	2.32	0.33	0.007	0.005	0.013	0.023		0.68	4.637
	T	35.24	5.66	40.23	50.28	0.065		0.61	0.021		2.09	2.09	0.47	0.005	0.017	0.009	0.012		0.70	4.697
Fe <sub>3</sub>	H	32.66	5.01	37.15	50.44	0.020	0.027	0.78	0.011	0.60	0.59	3.69	0.32	0.013	0.015	0.006	0.006	0.0002	0.65	4.604
	P	33.78	6.88	37.22	49.52	0.030	0.071	0.55	0.044	0.19	0.86	4.22	0.27	0.020	0.010		0.030	0.0011	0.68	4.639
	B	33.08	3.91	38.67	51.28	0.073	0.073	0.78	0.008	0.21	0.46	3.27	0.38	0.009	0.007	0.004	0.029		0.65	4.647
	T	34.82	5.54	40.82	50.36	0.040		0.70	0.035		2.66	2.66	0.46	0.005	0.011	0.009	0.016		0.69	4.668
Fe <sub>2</sub>	H	29.54	3.49	34.39	52.45	0.043	0.021	0.71	0.015	0.43	0.33	5.96	0.31	0.016	0.014	0.004	0.050	0.0002	0.56	4.564
	P	31.60	7.62	38.37	50.79	0.030	0.065	0.47	0.050	0.19	0.85	5.82	0.40	0.020	0.012		0.017	0.0014	0.62	4.567
	B	32.23	5.29	36.16	51.83	0.117	0.600	0.85	0.25	0.52	4.52	3.70	0.38	0.008	0.013	0.008	0.033		0.65	4.641
	T	32.29	4.56	37.58	51.57	0.027		0.56	0.037	0.83	4.21	4.21	0.67	0.007	0.019	0.009	0.019		0.63	4.650
Fe <sub>1</sub>	H	28.72	3.23	32.03	52.65	0.040	0.019	0.53	0.019	0.36	0.42	9.06	0.23	0.022	0.013	0.029	0.025		0.55	4.518
	P	30.24	5.36	34.03	51.47	0.020	0.083	0.44	0.044	0.59	0.83	6.87	0.27	0.019	0.009		0.035		0.59	4.522
	T	31.90	5.10	36.65	52.05	0.027		0.64	0.030		4.90	4.90	0.63	0.011	0.001	0.009	0.011		0.67	4.613

注: H—红格矿区; P—攀枝花矿区; B—白马矿区; T—太和矿区。



表 1-5 攀西四大矿区铁矿石中硫、磷化物主要化学成分平均值, %

品级	矿田	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TFe	Ni	Co	Cu	S	Ca	As	Sc	Te	B	Hg	Pt	Pd	Os	Ir	Ru	Rb	ΣPt	Au	比重	
岩石	H			46.01	0.01	0.18	0.05	48.34															4.768	
	P			55.84	0.21	0.19	0.05	23.71																4.487
	B			54.43	0.63	0.25	1.28	34.80																4.745
	T			42.37	0.17	0.36	2.18	46.86																4.710
Fe <sub>4</sub>	H	0.88	0.02	48.03	1.33	10.53	112.77	43.45	15	290	28	4		5	0.0360	0.0290	0.0330	0.010	0.021	0.001	0.129	0.041	4.752	
	P	0.18		57.06	0.18	0.21	0.40	37.70	15	20	67	2			0.0270	0.0310	0.0110	0.016	0.016	0.012	0.097		4.763	
	B			60.18	0.67	0.27	0.80	38.13															4.461	
	T			48.08	0.15	0.40	0.23	51.19																4.710
Fe <sub>3</sub>	H	0.84	0.02	51.62	1.77	0.56	1.37	38.85	8	220	40	3	6	3	0.1650	0.1090	0.0440	0.0240	0.060	0.010	0.415		4.493	
	P	0.21		55.83	0.25	0.30	0.40	40.25	2	93	66	1.7			0.0330	0.0450	0.0120	0.0140	0.014	0.009	0.128		4.636	
	B			60.60	0.73	0.30	0.72	37.66							0.0300	0.020							4.945	
	T			47.60	0.28	0.45	0.33	51.23							0.420									4.704
Fe <sub>2</sub>	H	1.11	0.02	44.34	4.31	2.10	1.05	39.65	4	330	48	5	6	2	0.1530	0.0730	0.0370	0.0160	0.053	0.009	0.341		4.669	
	P			59.28	0.36	0.36	0.28	36.17			64				0.0450	0.0390	0.0110	0.0160	0.016	0.012	0.129	0.07	4.591	
	B			63.22	0.78	0.32	0.43	35.25							0.0350	0.010							4.563	
	T			50.41	0.33	0.79	0.28	48.25															4.581	
Fe <sub>1</sub>	H	5.22		48.53	1.75	2.08	0.70	23.93	11	40	28	5											4.488	
	P			61.91	1.12	0.24	0.11	34.03			56												4.672	
	P			49.22	0.71	1.05	0.58	48.47																4.672
	T																							4.672
												(ppm)										(g/t)		

注: H—红格矿区; P—攀枝花矿区; B—白马矿区; T—太和矿区。