

## 赣南脉状钨矿的地球化学特征

王成发

(江西冶金六队地质研究室)

赣南是世界著名的脉状钨矿产地,许多地学工作者对其作过详细研究。本文在前人工作的基础上,拟对脉状钨矿的某些地球化学特征及分布规律作进一步探讨。

### 一、地质简况

赣南位于南岭山系东段(图1)<sup>[1]①</sup>。泥盆纪以前,这里地壳大幅度下陷,沉积了巨厚的复理石建造、碎屑岩建造、碳酸盐建造及火山岩建造。区内震旦系、寒武系、奥陶系广泛分布。下古生代末期的强烈地壳运动,使泥盆纪以前的地层普遍上升褶皱,并伴有大规模酸性岩浆侵入,形成加里东期花岗岩,同时早期地层普遍轻度变质,形成浅变质砂岩与板岩。上古生代地壳上升幅度不大,沉积了泥盆系、石炭系、二叠系的砂岩、页岩、灰岩与煤层。上古生代末期,地壳未发生强烈变动,只形成规模较小的褶皱与断裂,未见大规模岩浆活动,只发现一些脉岩和少量小岩体。中、新生代地壳活动强烈,主要表现为断块运动。先期一些地块大幅度下降,沉积了砂岩、页岩、煤层及膏盐层;后期有些地块成为断陷式山间盆地,形成典型红色沉积建造。强烈的断裂活动,导致深部岩浆大量喷发和侵入,形成从基性到酸性的复杂陆相火山岩建造和广泛发育的燕山期花岗岩。脉状钨矿几乎都集中在上升地块的边缘。

赣南的脉状钨矿与花岗岩体密切相关<sup>[2,3]</sup>。根据矿床与花岗岩体的相对位置,脉状钨矿可分为三类:正接触带矿床(如图1的12号矿床)、内接触带矿床(1、48和4号矿床)和外接触带矿床(27、28、37、2、38、29、11、13号矿床)。

大多数脉状钨矿床都是由许多脉状矿体组成,矿体成群成带产出,矿体间距不等,密者1米之内可见3—4条,疏者十几米乃至几十米内才能见到一条。按矿体疏密程度脉状钨矿又可细分为脉带型脉状钨矿(如2、26号矿床)和单脉型脉状钨矿(多数矿床属此类,如1、27、37号等矿床)。

单个矿体长度由几米到几百米不等,而以几十米到100—200米者最常见。矿体厚度多数在20—80厘米之间。空间上许多矿体可以一起产出,形成矿体群或长达1000—2000米、深1000多米的矿带。

矿石的物质成分较复杂,有黑钨矿、白钨矿、钨钼钙矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、铁闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、辉铋矿、辉锑矿、辉钼矿、自然铋、锡石、黝锡矿、氟

① 赣南各钨矿床地质勘探报告。

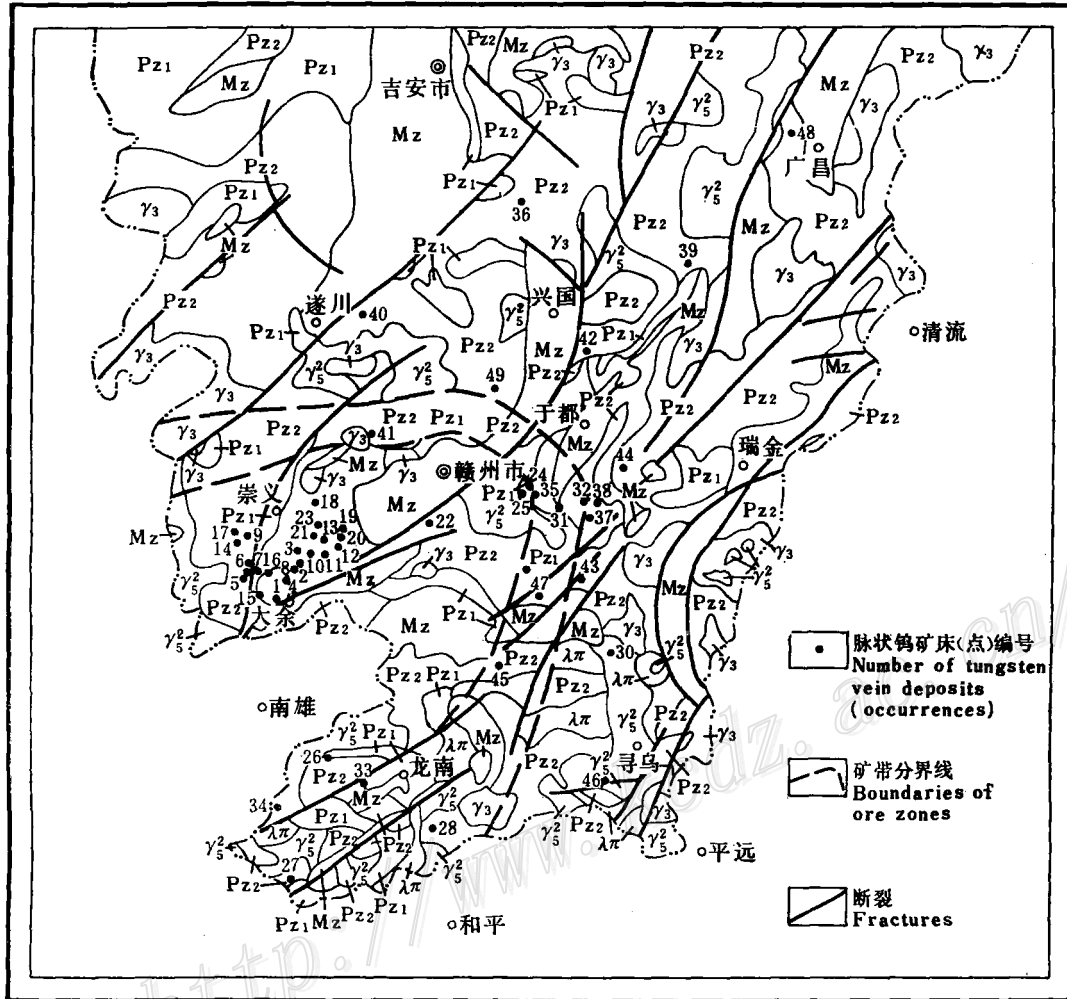


图1 赣南脉状钨矿地质矿产分布图

Fig. 1. Geological map showing the distribution of vein type tungsten deposits in south Jiangxi.

磷酸铁锰矿、钛铀矿、锆英石、磷钇矿、独居石、绿柱石、硅铍石、赣江矿、磁铁矿、白铁矿、菱铁矿、石英、白云母、绢云母、黑云母、铁锂云母、锂云母、正长石、钾微斜长石、钠长石、磷灰石、黄玉、电气石、方解石、层解石、萤石、石榴石、金红石、冰长石、绿帘石、叶腊石、钨华、铋华、钼华、斑铜矿、孔雀石、硅孔雀石、辉铜矿、铜蓝、蓝铜矿、赤铜矿、褐铁矿、赤铁矿、软锰矿、硬锰矿、高岭石、铜铀云母、钙铀云母等数十种。

钨在矿石中主要呈黑钨矿和白钨矿产出，而以前者占绝对优势，后者少见或仅在个别矿床（如29号矿床）大量出现。矿石构造通常为团块状、斑（星）点状、晶洞状，其次有梳状、条带状等。黑钨矿多呈大小不等的板状、叶片状，晶体大小由1—2毫米到20厘米。

## 二、常量元素的变化特征

已收集到的十三个大中型脉状钨矿的矿石常量元素化学分析资料列于表1。由表可见,矿石中SiO<sub>2</sub>占绝对优势。SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>、S等含量高,变化大。FeO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、MgO、MnO、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、H<sub>2</sub>O等或是含量低,或是变化范围小。因此,在研究常量元素时,应当特别注意SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>、和S的变化特征。

赣南脉状钨矿床矿石常量元素含量(%)\*

表 1

矿床	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	MnO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	S	H <sub>2</sub> O
1	91.42	2.00	1.71		0.44	0.10		0.03		0.82	0.21	0.17	
27	85.61	3.13	2.97		1.21	0.46	0.39	0.11	0.04	0.97	0.65	0.89	
28	92.39	1.89	1.13	0.70	0.26	0.35	0.18	0.06		0.57		0.13	
37	91.00	0.94	3.71		0.26	0.29	0.21	0.07		0.20	0.03	0.21	
12	92.03	1.71	3.83		0.43	0.28	0.02	0.01					
15	90.94	1.50	1.33	1.00	1.12	0.94		0.05	0.04				
13	92.89		0.41	1.52	0.38	0.27	0.23	0.88	0.01	0.05	0.18	0.11	
49	85.24	4.12	2.15	1.84	0.81	0.13	0.55	0.04	0.16	0.15	0.20	1.00	
29	79.43	9.23	1.98		0.88	0.84	0.43	0.03	0.05			0.15	
39	83.35	2.47	2.09		1.32	0.34	0.44	0.04	0.01			2.89	
36	92.23			2.13	0.09		0.13		0.01			0.20	
10	89.44	1.73		1.79	1.20	0.39	0.46					0.15	0.29
4	92.76	2.50	2.36		0.38	0.30	0.17	0.03	0.02			0.15	
平均	89.13	2.84	2.12	1.26	0.67	0.39	0.29	0.12	0.03	0.46	0.25	0.55	0.29

\* 表中数据取自矿床地质勘探报告,常量元素含量系矿石全分析化验结果,空栏表示缺分析。

1. 脉状钨矿的地球化学类型: 由于SiO<sub>2</sub>在矿石中占绝对优势,其含量多少又是成矿溶液酸度和粘度的参数,故将矿床按TiO<sub>2</sub>的浓度增高的次序排列于表2。

赣南脉状钨矿常量元素变化表(%)

表 2

矿床	29	39	49	27	10	15	37	1	12	36	28	4	13
SiO <sub>2</sub>	79.43	83.35	85.24	85.61	89.44	90.94	91.00	91.42	92.03	92.23	92.39	92.76	92.89
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.04	0.04	0.11	缺	0.05	0.07	0.03	0.01	缺	0.06	0.03	0.88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.23	2.47	4.12	3.13	1.73	1.50	1.89	2.00	1.71	缺	1.89	2.50	缺

根据表2常量元素的变化特征,可将脉状钨矿划分为以下三种地球化学类型:

(1) 富钛的脉状钨矿床: 脉状钨矿床TiO<sub>2</sub>的含量通常为0.01—0.11%,平均为0.046%。但富钛的钨矿床TiO<sub>2</sub>含量一般高出该平均值的18倍,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>很低, SiO<sub>2</sub>、WO<sub>3</sub>含量较高,如13号矿床。

(2) 富铝的脉状钨矿床: 脉状钨矿Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的含量通常为1.5—4.12%,平均为2.3%。但富铝的钨矿床Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量高达9.23%,为平均值的4倍, TiO<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub>很低, WO<sub>3</sub>较高,如29

号矿床。

(3) 贫钨、铝的脉状钨矿床:  $\text{TiO}_2$  平均含量为 0.046%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  为 2.3%,  $\text{SiO}_2$  含量中等, 一般为 80—92.8%,  $\text{WO}_3$  含量随  $\text{SiO}_2$  浓度变化而变化。如 1、27、28、37、39、49、10、15、12、36、4 号等矿床。

显然, 这三类矿床的地质特征与成矿作用是不相同的。因此, 有必要进一步研究它们的特征, 并用以指导找矿。

2. 脉状钨矿  $\text{SiO}_2$ - $\text{WO}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ -S 的相关关系(图2), 清楚地反映出趋势线略呈对称的正态曲线, 说明  $\text{WO}_3$  丰度随  $\text{SiO}_2$  浓度的变化而变化, 矿化则发生在  $\text{SiO}_2$  浓度适中的条件下。 $\text{SiO}_2$  为 83—91% 时曲线出现较宽的峰值, 这是脉状钨矿中钨的稳定富集部位。当  $\text{SiO}_2 > 91\%$  或  $\text{SiO}_2 < 83\%$  时, 为贫矿区, 富矿出现机率很少, 甚至不可能。 $\text{SiO}_2$  为 70% 或 94% 左右时, 趋势线接近于横座标,  $\text{WO}_3$  接近于零。

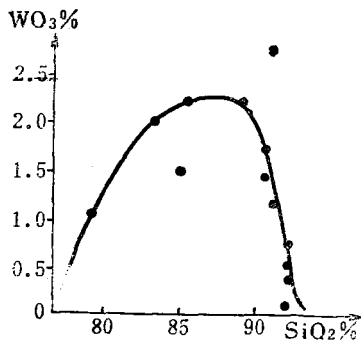


图 2  $\text{SiO}_2$  与  $\text{WO}_3$  相关曲线图  
Fig. 2.  $\text{SiO}_2$  versus  $\text{WO}_3$  diagram.

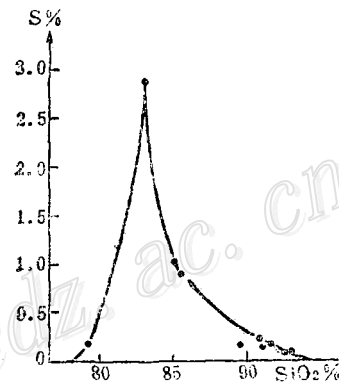


图 3  $\text{SiO}_2$  与 S 相关曲线图  
Fig. 3.  $\text{SiO}_2$  versus S diagram.

从图 3 可以看出, 趋势线呈不对称的倒“V”字型, 表明 S 的丰度多数低, 少数较高, 其最大值相当于  $\text{SiO}_2$  含量为 83% 左右。当  $\text{SiO}_2$  约 78% 或 95% 时, 趋势线接近于横座标, S 含量接近零。

综合分析图 2、图 3 发现: ① S、 $\text{WO}_3$  值大部分出现在同一  $\text{SiO}_2$  值变化范围内, 83—93% 大致为 S、 $\text{WO}_3$  的最高值。这可以解释钨矿中总是有一定数量的硫化物的原因。②  $\text{SiO}_2$  在 83—93% 时  $\text{WO}_3$  最富集, 而  $\text{SiO}_2$  在 81—86% 时 S 最富集, 说明二者矿化富集区间不完全吻合。结合成矿过程分析, 当钨矿沉淀富集量达到最高值时, 硫化物并未高度积聚, 而到硫化物富集时, 钨含量已趋减少。此时因有碳酸盐及某些硅酸盐产生, 使石英含量也变化。这与矿区常见的硫化物大量出现时钨矿品位降低的事实完全相符。③ S- $\text{SiO}_2$  曲线在横座标上的延伸范围略大于  $\text{WO}_3$ - $\text{SiO}_2$  曲线, 表明硫化物可在无钨的条件下生成。这与自然界存在含硫化物的无钨石英脉的事实又是一致的。

### 三、微量元素的变化特征

1. 微量元素的种类及含量见表 3, 表中所列的微量元素可分为两部分: 一部分是含量较

赣南脉状钨矿微量元素含量表 (%) \*

表 3

矿区	Sn	Cu	Pb	Zn	Bi	Mo	As	Sb	BeO	Ni	Au	Ag	Cr	V
1	0.203	0.015	0.015	0.018	0.004	0.003	0.040	0.001	0.003	0.001		0.007	0.01	0.001
27	0.02	0.031	0.018	0.179	0.09	0.02	0.008		0.02	0.001		0.002	0.01	0.028
28	0.024	0.051	0.010	0.031	0.033	0.004	0.008		0.018	0.008		0.002		
37	0.022	0.057	0.022	0.003	0.24	0.008	0.031	0.053	0.009	0.002	痕	0.006	0.01	
12	0.213	0.227	0.057	0.31	0.01	痕	0.172		0.023	0.003			痕	
15	0.385	0.06	0.24	0.13	0.012	0.016								
13	0.032	0.004	0.018	0.050	0.127	0.024	0.020		0.101					
49	0.036	0.586	0.030	0.363	0.206	0.059	0.010		0.040	0.002				
29	0.04	0.033	0.037	0.029	0.029	0.015			0.02					
39	0.019	0.091	0.002	0.249	0.096	0.023	0.003		0.088			0.002	0.009	
36	0.026	0.177	0.026	0.125	0.023	0.006	0.014	0.028		痕				
10	0.043	0.021	0	0.013	0.080	0.057	0		0.050					
4	0.028	0.057	0.055	0.126	0.079	0.028	0.013	0.002	0.004					
平均	0.094	0.109	0.041	0.125	0.080	0.021	0.029	0.021	0.034	0.002		0.004	0.006	0.019

\* 表中数据取自矿床地质勘探报告, 空栏表示缺分析资料。

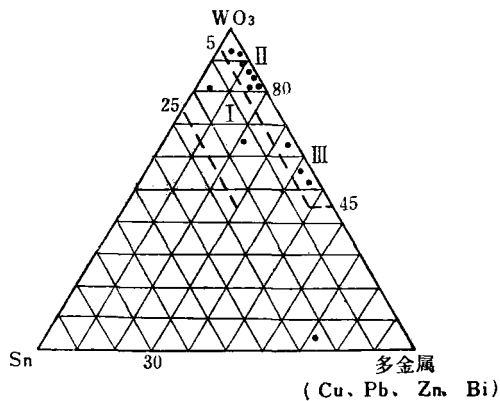
高而又经常出现的元素, 如Sn、Cu、Pb、Zn、Bi等。其中, Sn为高温元素, Cu、Pb、Zn、Bi为低温元素。另一部分是含量较低而又不经常出现的元素, 如Mo、As、Sb、Be、Ni、Au、Ag、Cr、V等。

从表3得知, 赣南脉状钨矿中起主要作用的微量元素是Sn、Cu、Pb、Zn和Bi等多金属。它们含量高, 分布普遍, 含量变化大, 是成矿的重要标志。

2. 为了研究钨矿化与锡、多金属的关系, 将 $WO_3$ 、Sn、多金属参数换算成百分含量, 并分别以其为等边三角形的顶点作图(图4据13个矿区统计)。由图可见, 除12号矿区外, 投影点可划归三个区域:

- I——钨锡区: Sn为5—25%,  $WO_3$ 为45—95%, 多金属为0—30%;
- II——钨区: Sn<5%,  $WO_3$ >80%, 多金属<20%;
- III——钨多金属区: Sn<5%,  $WO_3$ 为45—80%, 多金属为20—55%。

从研究元素地球化学特征得知, 从I区→II区→III区, 矿床形成温度是由高到低的。因

图4  $WO_3$ -Sn-多金属三角图解

I—钨锡区, II—钨区, III—钨多金属区; 黑点为矿区投影点

Fig. 4.  $WO_3$ -Sn-Cu, Pb, Zn, Bi  
Triangular diagram.

I—W-Sn area; II—W area; III—W-Poly-metallic area; •—projection of mining district.

此有可能利用从三角图解得出的自然分区进行成矿规律的研究。

#### 四、脉状钨矿的分带

成矿物质由于具有不同的地球化学性质，因此在成矿过程中常富集于不同的地段，空间上表现为带状分布。

##### 1. 矿床（矿体）的垂直分带

① 结晶分带：成矿物质通过结晶沉淀形成的分带，常可划分出矿床上部的多金属矿带（通常称为硫化物矿带）和矿床下部的钨、锡矿带（通常称为氧化物矿带）。

② 交代分带：成矿过程中后期成矿物质不断交代先期结晶的矿物而形成的分带，实质上是叠加于结晶分带之上的交代分带。根据叠加程度，又可分为二元分带和三元分带。前者为交代完全的矿床（矿体），由两种组分组成上部钨、锡矿带和下部多金属矿带。后者为交代不完全的矿床（矿体），由两种组分组成上部多金属矿带、中部钨锡矿带和下部多金属矿带。

在这种情况下，矿床上部的多金属矿带实质上是原始结晶分带的产物。应当指出，由于交代锋面在垂直方向上升的高度不同，交代分带可以表现出非常复杂的情况。

##### 2. 矿床（矿体）的水平分带

① 矿床的水平分带在不同的矿床内表现的明显程度不一。完整的水平分带可综合为三个带，即钨-锡矿带、钨矿带、钨-多金属矿带，但一般只出现两个带。这种水平分带，有的是以矿床中心为核部，形成环带状分带，也有的是以矿床某一部分为中心，形成半环状分带（图5）。

② 矿体的水平分带主要表现为矿体从两侧到中心的分带，包括对称分带（脉壁—钨锡矿带—多金属矿带—钨锡矿带—脉壁）和不对称分带（脉壁—钨锡矿带—多金属矿带—脉壁）两种。

3. 赣南脉状钨矿具有区域性水平分带 表现为以大余岭为中心的半环状分带，可以划分为三个带：I——钨锡矿带（包括图1中的1—26矿床）；II——钨矿带（包括27—29、31—35、41、45、47号矿床）；III——钨多金属矿带（包括30、36—40、42—44、46、48、49号矿床）。

从I带到III带，Sn迅速减少，多金属显著增加， $WO_3$ 基本保持不变。几种元素的比值成倍到十几倍地增高或减少。

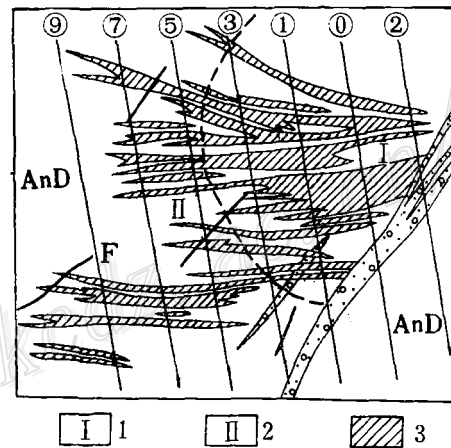


图5 26号矿区矿带分布图

1—钨锡矿带；2—钨矿带；3—细脉带钨矿体

Fig. 5. The distribution of ore zones in mining district No. 26.

1—W-Sn ore zone; 2—W ore zone; 3—veinlet ore zone.

黑钨矿单矿物化学成分表 (%) \* 表 4

矿区	WO <sub>3</sub>	FeO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
13	74.96	14.28	9.22	0.41	0.021	0.018
27	74.57	8.9	12.5	0.471	0.184	
28	74.16	11.67	9.12	0.224	0.008	
37	73.32	13.24	5.73	0.017	0.013	0.036
15	75.20	12.90	10.48	0.117	0.013	
49	71.35	6.30	7.9	0.02	0.002	
29	71.11	4.24	12.77			
10	74.24	14.58	8.82	0.002	0.058	0.015
38				0.512	0.150	0.044
36				0.190	0.012	
5		15.28	7.39	0.078	0.004	0.012
14				0.031	0.048	
17				0.373	0.046	
9				0.042	0.005	0.006
18				0.275	0.038	
23	69.17	9.87	12.22	0.029	0.004	0.007
平均	73.12	11.13	9.62	0.187	0.040	0.020

\* 表中数据取自矿床地质勘探报告, 空栏表示缺失分析成果。

脉状钨矿的成矿具有区域性的分带规律。

2. 黑钨矿化学纯度的变化规律: 黑钨矿的化学纯度系指黑钨矿中 WO<sub>3</sub>、FeO、MnO 三种主要成分的百分含量。由表 5 可见, 从钨锡矿带到钨矿带再到钨多金属矿带, 黑钨矿的化学纯度是由高到低变化的, 说明其中主要成分逐渐减少, 而杂质成分逐渐增多。这显然与区域地球化学特征有关。可以推测, 钨锡矿带中的黑钨矿含锡高, 而钨多金属矿带中的黑钨矿则应当含有较高的多金属。

在成文过程中得到吴庭芳同志的指导, 作者深表谢意。

不同矿带黑钨矿单矿物主要成分变化特征

表 5

样品产出部位	WO <sub>3</sub> (%)	FeO (%)	MnO (%)	$\frac{MnO}{FeO}$	纯度参数 (%)
钨、锡矿带 (包括13、15、10、23、5号矿床)	73.39	13.38	9.63	0.719	96.40
钨矿带 (包括28、29、27号矿床)	73.28	8.27	10.47	1.393	93.02
钨、多金属矿带 (包括37、49号矿床)	72.34	9.77	6.81	0.697	88.92

### 主要参考文献

- [1] 莫柱荪等 1980 南岭花岗岩地质学 地质出版社
- [2] 冶金工业部湖南、江西、广东地质分局 1959 中国南部黑钨矿脉状矿床的地质与勘探 冶金工业出版社
- [3] 徐克勤等 1980 中国南部花岗岩类的时空分布、岩石演化、成因类型和成矿关系的研究 南京大学学报 自然科学版

## 五、黑钨矿单矿物的化学成分及其变化规律

已收集到的十五个矿区的黑钨矿的单矿物分析资料表明, 黑钨矿的成分有 W、Fe、Mn、Al、Si、Nb、Ta、Sc (表4), 其次还有微量的 Ca、Mg、Cu、Pb、Zn、Sn、Bi、Mo、Be 等。

从黑钨矿的化学成分可以得出以下几点认识:

1. 黑钨矿中 WO<sub>3</sub>、FeO、MnO 的变化规律: 由表 5 可见, WO<sub>3</sub>、FeO 和 MnO 具有带状分布的特点。从钨锡矿带到钨矿带再到钨多金属矿带, 黑钨矿中 WO<sub>3</sub> 的含量逐渐降低, FeO 的含量从高到低再到高, MnO 与 FeO 相反, 由低到高再到低。因此, MnO/FeO 比值从小到大再到小。这就进一步证明赣南

## GEOCHEMISTRY OF VEIN TYPE TUNGSTEN DEPOSITS IN SOUTH JIANGXI

Wang Chengfa

*(Research Section of Metallurgical-Geological Team No. 6 of Jiangxi Province)*

### Abstract

South Jiangxi is famous for its vein type tungsten deposits. These deposits contain predominantly wolframite, scheelite, cassiterite, chalcopyrite, pyrite, pyrrhotite, sphalerite, molybdenite and beryl as their metallic minerals, quartz, muscovite, orthoclase, topaz, tourmaline, calcite and fluorite as their nonmetallic minerals, and tungstite, molybdite, malachite, limonite, pyrolusite and kaolinite as their secondary minerals.

Of the major components,  $\text{SiO}_2$  is by far most abundant, and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{WO}_3$ , S are also comparatively high. According to variations in major components, these vein type tungsten deposits might be grouped into three geochemical types: (1) Ti-rich deposits, characterized by high  $\text{TiO}_2$  (0.88%), low  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and relatively abundant  $\text{SiO}_2$  and  $\text{WO}_3$ , (2) Al-rich deposits characterized by high  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (9.23%), extremely low  $\text{TiO}_2$  and  $\text{SiO}_2$ , and relatively plentiful  $\text{WO}_3$ . (3) Ti-, Al-poor deposits, characterized by low  $\text{TiO}_2$  (0.046% on the average) and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (averaging 2.3%) as well as moderate amounts of  $\text{SiO}_2$ . Correlation curves of  $\text{WO}_3$  versus  $\text{SiO}_2$  and S versus  $\text{SiO}_2$  indicate a close relationship between  $\text{WO}_3$  and  $\text{SiO}_2$ ; stable pay ore occurs where  $\text{SiO}_2$  is between 83% and 91%; poor ore exists where  $\text{SiO}_2$  is more than 91% or less than 83%; no mineralization could take place where  $\text{SiO}_2$  is less than 70% or more than 94%. As for S in the deposits, only a small number of samples have fairly high content, and the greatest amount of S is found where  $\text{SiO}_2$  is approximately 83%; S approaches nil where  $\text{SiO}_2$  is around 78% or 95%. These phenomena account for geochemically the existence of certain amounts of sulfides in the vein type tungsten deposits, the reduction of tungsten grade during the generation of quantities of sulfides, and the presence of sulfides-bearing tungsten-deficient quartz veins.

Sn and polymetallic combinations (Cu, Pb, Zn, Bi) are among the most important minor elements in these deposits. Their high and variable contents and wide distribution have made them important indicators in the study of metallogeny. In  $\text{WO}_3$ -Sn-Polymetallic elements triangular diagram, vein type



tungsten deposits fall into three areas, i. e., W-Sn area, W area and W-polymetallic elements area. On such a basis the vein type tungsten deposits in south Jiangxi might be spatially separated into three belts distributed semi-circularly around Dayu Mountain, W-Sn belt (Belt I), W belt (Belt II) and W-polymetallic elements belt (Belt III). From Belt I to Belt III, Sn decreases tremendously while polymetallic elements increase obviously,  $WO_3$  remains stable whereas  $WO_3$  in wolframite decreases accompanied by the gradual increase in impurities in this mineral. All this shows unequivocally that there exist a regional zoning in metallogeny for the vein type tungsten deposits in south Jiangxi.

<http://www.kcdz.ac.cn/>