

## 湖南锡田钨锡多金属矿田成矿分带样式及机理

刘飏<sup>1,2</sup>, 吴堃虹<sup>1,2</sup>, 奚小双<sup>1,2</sup>, 孔华<sup>1,2</sup>, 蒋江波<sup>1,2</sup>, 林智炜<sup>1,2</sup>, 曹荆亚<sup>1,2</sup>

- (1. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙, 410083;  
2. 中南大学 有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室, 湖南 长沙, 410083)

**摘要:** 为了探索锡田矿田内矿床分布规律及其成矿热液系统内在联系, 对区内燕山期 14 个岩浆热液矿床野外特征进行调查和显微矿相学观察, 采用将矿化类型、矿石矿物组合和成矿均一温度相结合的方法对区域矿化规律进行研究。研究表明: 矿田内存在南、北 2 个成矿区域, 各自拥有独立成矿热液中心, 并且存在明显的钨锡—铅锌—萤石矿床分带规律; 流体包裹体均一温度的空间分布与矿化分带相一致, 从钨锡矿带(215~384 °C)到萤石矿带(136~194 °C)连续分布; 南、北 2 个成矿区域白钨矿稀土元素特征均为轻、重稀土元素富集, 中稀土亏损, 正 Eu 异常明显( $\delta_w(\text{Eu})=7.93\sim 43.58$ ), 稀土配分模式均为典型“W”型, 反映成矿物质来源相似; 其成矿热液来源为同一燕山期成矿热液系统, 其矿化分带的原因可能与燕山期岩浆热液系统温度梯度格局有关。

**关键词:** 矿化分带; 矿物组合; 均一温度; 稀土配分模式; 锡田矿田

中图分类号: P612

文献标志码: A

文章编号: 1672-7207(2018)03-0633-09

## Mineralization zone styles and mechanism of Xitian Tin-Tungsten Polymetallic orefield, Hunan Province

LIU Biao<sup>1,2</sup>, WU Qianhong<sup>1,2</sup>, XI Xiaoshuang<sup>1,2</sup>, KONG Hua<sup>1,2</sup>, JIANG Jiangbo<sup>1,2</sup>,  
LIN Zhiwei<sup>1,2</sup>, CAO Jingya<sup>1,2</sup>

- (1. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China;  
2. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals and Geological Environment Monitoring, Ministry of Education, Central South University, Changsha 410083, China;)

**Abstract:** In order to understand the distribution disciplinarian of ore deposits and their genetic relationship in Xitian ore-forming system, fourteen Yanshanian magmatic-hydrothermal deposits were studied through geological survey and microscopic mineralogy observation. The distribution of mineralization type, ore mineral association and homogenization temperature of fluid inclusions in Xitian orefield were determined. The results show that there are two ore-forming regions distributed in the southern and northern Xitian area, respectively, and each of the region has its own hydrothermal center with a clear regular zone mineralization distribution of W-Sn,Pb-Zn and fluorite deposits. Homogenization temperature of fluid inclusions is consistent with mineralization zone in term of spatial distribution. The temperature decreases continuously from W-Sn deposits (215~384 °C) to fluorite deposits (136~194 °C). Two ore-forming systems show high concentrations of LREE and HREE, low concentrations of MREE, obvious positive Eu anomalies ( $\delta_w(\text{Eu})=7.93\sim 43.58$ ), and the W-type chondrite-normalized REE patterns. Combined with S and Pb isotopic data and mineralization age in the orefield, these ore deposits are formed in the Yanshanian magmatic-hydrothermal event with similar source of mineralizing components, and the minerogenic zoning patterns may be constrained by the thermal gradient pattern of the magmatic-hydrothermal system.

**Key words:** mineralization zone; mineral association; homogenization temperature; REE distribution pattern; Xitian orefield

收稿日期: 2017-08-09; 修回日期: 2017-10-09

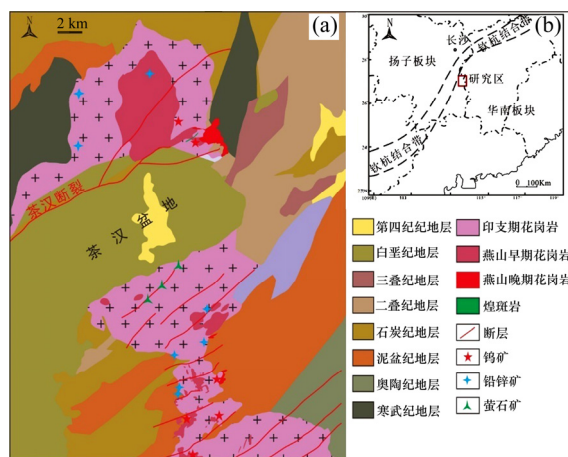
基金项目(Foundation item): 中国地质调查局整装勘查项目(12120114052101) (Project(12120114052101) supported by Integrated Exploration Program of the China Geological Survey)

通信作者: 吴堃虹, 博士, 教授, 从事区域成矿规律研究; E-mail: qhwu@csu.edu.cn

湖南省茶陵县锡田钨锡多金属矿田位于南岭成矿带中段,区内发育大量钨锡、铅锌、萤石矿床,是我国重要的钨锡多金属产地<sup>[1-3]</sup>。前人对该矿田开展了深入研究,主要涉及成岩<sup>[4-6]</sup>、成矿时代<sup>[7-9]</sup>、成矿物质的源区<sup>[10-12]</sup>、典型矿床的成矿模式研究<sup>[8, 10]</sup>,明确了矿田矿化均为岩浆期后热液成因,主要形成于燕山期,少数为印支期。但已有工作多局限于对单个矿床的研究,未能对锡田矿田区域矿化空间展布规律形成认识,因而制约了其找矿空间的拓展。钨锡矿床周围多伴随发育铅锌、萤石矿床<sup>[2-3, 13]</sup>,矿化类型差异可能受岩浆热液运移距离影响<sup>[14-16]</sup>。对同一岩浆热液系统矿化分带空间规律的认识可为找矿勘查部署提供依据<sup>[17-18]</sup>。确定锡田矿田的钨锡、铅锌、萤石岩浆热液型矿床是否存在空间分布规律且确定其空间样式是分析矿田成矿前景及部署勘查工作的关键。为此,本文作者通过探讨燕山期区域控矿断裂、矿化及蚀变类型、矿物组合、流体包裹体均一温度等在空间上的分布规律,并通过邓阜仙湘东钨矿、锡田地区狗打栏钨矿的白钨矿原位 LA-ICP-MS 稀土元素分析,结合前人在成矿时代、成矿作用等方面的研究成果,探索两区域矿化的成因联系,了解两区域的燕山期成矿控制系统,在此基础上确定燕山期成矿分带样式,探讨分带形成机理,预测找矿新区。

## 1 地质背景

锡田矿田出露寒武系、奥陶系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、白垩系及第四系地层。除第四系地层为冲积物和残坡积物<sup>[10]</sup>外,其他地层主要岩性为变质砂岩、千枚岩、板岩、页岩、砂岩、粉砂岩、灰岩、砾岩等。矿田内出露由印支期和燕山期花岗岩构成的复式花岗岩体(见图 1),平面上呈 NNW 向的哑铃状延伸<sup>[1]</sup>。印支期岩体侵入于下古生界浅变质岩及上古生



(a) 研究区地质图; (b) 研究区大地构造位置图

图 1 研究区地质图和大地构造位置

Fig. 1 Geological map and geotectonic position of study area in South China

界碳酸盐岩中,为岩基,岩性主要为似斑状及粗粒、中粒、细粒黑云母花岗岩,锆石 U-Pb 同位素年龄为 227~233 Ma<sup>[5]</sup>;燕山期岩体主要侵入于印支期花岗岩中,主要呈岩株、岩脉,零散分布,岩性主要为斑状、中细粒二云母花岗岩、细粒白云母花岗岩、花岗斑岩等,锆石 U-Pb 同位素年龄为 150~154 Ma<sup>[19-20]</sup>。区内构造有泥盆系地层褶皱形成的 NE 向复式背斜<sup>[1]</sup>以及以茶汉盆地为中心的地堑系断裂构造,盆地两侧平行的 NE 向区域性断层将锡田矿田分割为一系列 NE 向展布断块,矿田东部和西部有少量 NW 向断层发育,断层倾角较陡,这些断裂在成矿前及成矿期均有活动。

## 2 样品采集及测试方法

样品采自湘东钨矿、荷树下钨矿、狗打栏钨矿、锡湖铅锌矿、大垄铅锌矿、尧岭铅锌矿、星高萤石矿、光明萤石矿等矿床,采样详细信息见表 1。

表 1 样品信息

Table 1 Samples information in Xitian

样号	矿区	采样位置	样品类型	样号	矿区	采样位置	样品类型
0401-18s1	湘东钨矿	10 中段	钨锡矿石	THX	太和仙	主井	铅锌矿石
161204-1s8	湘东钨矿	280 水平	钨锡矿石	KSD015	大垄铅锌矿	3 中段	铅锌矿石
JGS	鸡冠石钨矿	4 号脉	钨矿石	KSD007	大垄铅锌矿	3 中段	铅锌矿石
140720-19s1	狗打栏钨矿	525 中段	钨矿石	161121-10s3	星高萤石矿	1 号脉	萤石矿石
160817-10s1	荷树钨矿	3 号坑道	钨锡矿石	161121-5S4	星高萤石矿	2 号脉	萤石矿石
161119-10s1	锡湖铅锌矿	地表矿体	铅锌矿石	1601121-8s2	光明萤石矿	1 号脉	萤石矿石
161204-4s1	尧岭铅锌矿	1 号脉	铅锌矿石	140720-19s1	荷树下钨矿	320 中段	钨锡矿石
161204-1s11	尧岭铅锌矿	1 号脉	铅锌矿石	0401-1S1	湘东钨矿	7 中段	钨锡矿石

显微镜矿相学鉴定和流体包裹体测试工作主要由有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室完成, 显微镜矿相学鉴定所用仪器为德国 Leica DM2700 显微镜, 流体包裹体测试所用仪器为英国 Linkam THMSG 600 型显微冷热台(-196~600 °C); 当温度在 0 °C 以下时, 显微冷热台测试精度为±0.1 °C; 当温度为 0~30 °C 时, 显微冷热台测试精度为±0.5 °C; 当温度在 30 °C 以上时, 显微冷热台测试精度为 1.0 °C。在测试过程中, 升温速率为 0.2~10.0 °C/min。

采用 LA-ICP-MS 方法进行样品微区微量元素分析, 测试在武汉上谱分析科技有限责任公司完成, 测试仪器为 Agilent 7700 型 ICP-MS 与 Coherent 193 准分子激光剥蚀系统。微量元素校正采用标准样品 NIST610, BHVO-2G, BIR-1G 和 BCR02G 作为外标标准物, 外标校正方法为每隔 5 个样品分析点分别测 1 次 NIST610, BHVO-2G, BIR-1G 和 BCR02G 标样, 保证标准和样品的仪器条件完全一致。激光能量为 80 MJ, 频率为 5 Hz, 激光束斑直径为 44 μm。样品的微量元素含量校正采用软件 ICPMSDataCal 完成<sup>[21]</sup>。

### 3 矿化分布

#### 3.1 矿床分布

锡田矿田由北部的邓阜仙和南部的锡田地区组成, 两者以茶汉盆地为中心呈北西向对称分布, 按矿

床的主要成矿元素可分为钨锡矿化、铅锌矿化、萤石矿化, 其空间分布显示了差异性。研究区地质图和大构造位置见图 1。

邓阜仙地区: 南部主要分布湘东钨矿, 鸡冠石钨矿; 北部分布大垡铅锌矿, 太和仙铅锌矿, 钨锡矿床与铅锌矿床呈 NE 向带状分布。矿床类型主要为石英脉型, 独立的萤石矿点不发育, 但在大垡铅锌矿床有石英萤石矿脉产出。

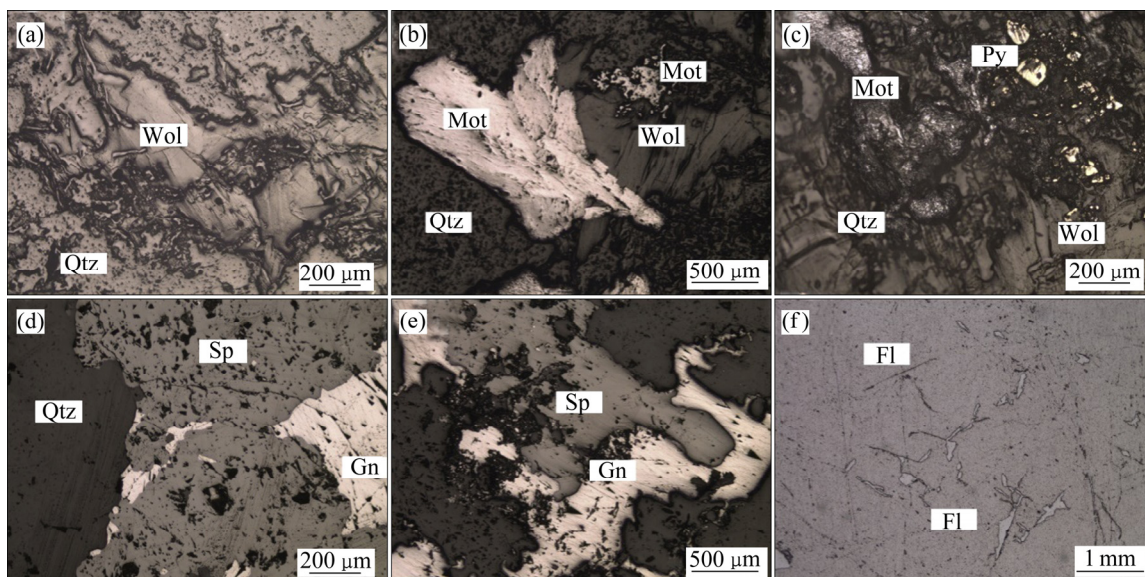
锡田地区: 从南往北依次分布钨锡矿床(含荷树下、狗打栏、花里泉、园树山、垡上钨锡矿床), 铅锌矿床(含锡湖、牛形岭、尧岭铅锌矿)和萤石矿床(星高、光明、茶陵萤石矿)。矿床类型主要为石英脉型, 仅尧岭铅锌矿为蚀变花岗岩型。矿床数量众多, 分布离散, 但相同矿化类型呈 NE 向带状分布, 形成由南向北的钨锡矿带—铅锌矿带—萤石矿带。

#### 3.2 矿物组合分布

主成矿阶段矿物组合分布与矿床分布一致, 从南往北矿石矿物由黑钨矿+白钨矿+辉钼矿+锡石+石英, 变为方铅矿+闪锌矿+石英, 最后为萤石+石英。

邓阜仙地区: 南部钨锡矿床矿石矿物组合为黑钨矿+石英(见图 2(a))、黑钨矿+辉钼矿+石英和黑钨矿+锡石+石英, 少量为石英+方铅矿和石英+萤石矿; 北部铅锌矿床矿石矿物组合为方铅矿+闪锌矿+石英+萤石(见图 2(d)), 少量为石英+萤石。

锡田地区: 南部钨锡矿床矿石矿物组合为黑钨矿+石英、黑钨矿+辉钼矿+石英(见图 2(b))、黑钨矿+



(a) 黑钨矿+石英; (b) 黑钨矿+辉钼矿+石英; (c) 黑钨矿+辉钼矿+黄铁矿+石英;

(d) 方铅矿+闪锌矿+石英; (e) 方铅矿+闪锌矿+蚀变花岗岩; (f) 萤石+石英

Wol—黑钨矿; Mot—辉钼矿; Gn—方铅矿; Sp—闪锌矿; Py—黄铁矿; Fl—萤石; Qtz—石英。

图 2 锡田矿田矿物组合特征

Fig. 2 Characteristics of mineral assemblage of Xitian orefield

辉钼矿+硫化物+石英(见图 2(c)), 少量为石英+铅锌矿、石英+萤石; 中部铅锌矿床矿石矿物组合为方铅矿+闪锌矿+石英, 少量为石英+萤石, 仅尧岭铅锌矿为方铅矿+石英+绢云母化花岗岩(见图 2(e)); 北部萤石矿床矿石矿物组合为萤石+石英(见图 2(f))。

## 4 矿田成矿均一温度

### 4.1 流体包裹体类型及分布

锡田矿田的矿石中石英内流体包裹体类型见图 3, 主要为气液两相的 NaCl-H<sub>2</sub>O 体系的包裹体, 并由钨锡矿(南)—铅锌矿(中)—萤石矿(北)包裹体逐渐变大, 钨锡矿床中的流体包裹体直径为 4.4~17.3 μm, 主要为 6.0~9.0 μm, 气液比为 15%~75%; 铅锌矿床中的

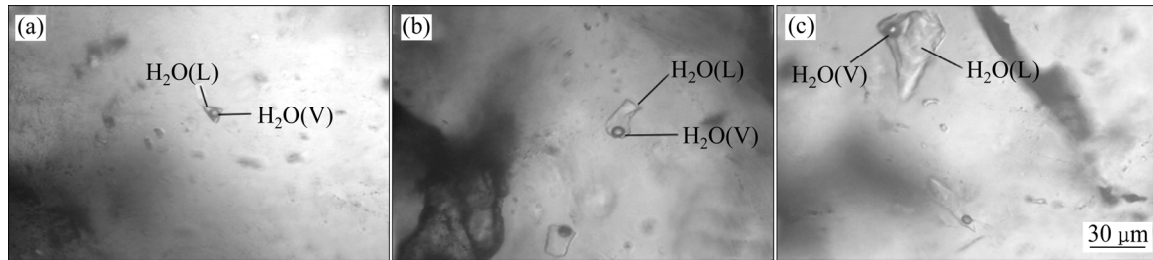
流体包裹较钨锡矿床的大, 直径为 6.2~32.8 μm, 主要分布在 10.0~15.0 μm, 气相成分为 10%~55%; 萤石矿的流体包裹的直径均比钨锡和铅锌矿的大, 分布在 6.2~60.3 μm, 主要分布在 15.0~23.0 μm, 气相成分为 5%~65%。

### 4.2 流体包裹体均一温度的空间分布

2 个成矿区的钨锡、铅锌、萤石矿床中的石英(萤石)流体包裹体均一温度测温结果见表 2。

邓阜仙地区: 钨锡矿床矿石中石英流体包裹体的均一温度为 228~360 °C, 盐度为 2.41%~10.68%; 铅锌矿床矿石中石英流体包裹体的均一温度为 172~336 °C, 盐度为 2.56%~9.45%。

锡田地区: 钨锡矿床矿石中石英流体包裹体均一温度为 215~384 °C, 盐度为 2.07%~8.68%; 铅锌矿床矿石中石英流体包裹体的均一温度为 185~343 °C, 盐



(a) 钨锡矿床石英流体包裹体; (b) 铅锌矿床石英流体包裹体; (c) 萤石矿床萤石流体包裹体  
H<sub>2</sub>O(V)—气相水; H<sub>2</sub>O(L)—液相水

图 3 锡田流体包裹体类型

Fig. 3 Fluid inclusions of ore deposit in Xitian orefield

表 2 锡田矿田矿床流体包裹体参数

Table 2 Parameters of fluid inclusion characteristics for the Xitian orefield

区域	矿区	样号	寄主	直径/μm	气液比/%	冰点温度/°C	均一温度/°C	盐度/%
钨锡矿床	湘东钨矿	0401-18s1	石英	4.4~15.2	15~65	-7.3~-2.8	260~319	4.65~10.68
	湘东钨矿	161204-1s8	石英	5.3~17.3	20~75	-6.1~-1.4	228~360	2.41~9.34
	鸡冠石钨矿	JGS	石英	4.9~12.5	15~55	-3.1~-1.4	245~295	2.40~5.10 <sup>[23]</sup>
	狗打栏钨矿	140720-19s1	石英	6.2~16.1	20~60	-5.6~-2.2	218~371	3.71~8.68
	荷树钨矿	160817-10s1	石英	5.4~12.6	20~65	-5.6~-1.2	215~384	2.07~8.68
铅锌矿床	锡湖铅锌矿	161119-10s1	石英	7.4~19.3	10~55	-6.4~-1.9	185~343	3.23~9.73
	尧岭铅锌矿	161204-4s1	石英	6.2~22.6	15~55	-5.9~-2.4	230~297	4.03~9.08
	尧岭铅锌矿	161204-1s11	石英	8.2~32.8	10~50	-4.7~-2.4	235~334	4.03~7.45
	太和仙	THX	石英	6.2~32.8	10~55	-4.7~-1.9	235~336	2.56~7.44 <sup>[23]</sup>
	大垄铅锌矿	KSD015	石英	6.2~32.8	10~55	-6.2~-2.1	176~267	3.44~9.45 <sup>[25]</sup>
	大垄铅锌矿	KSD007	石英	6.2~32.8	10~55	-5.8~-1.7	172~301	2.79~8.92 <sup>[25]</sup>
萤石矿床	星高萤石矿	161121-10s3	萤石	7.2~50.2	5~65	-2.0~-0.9	115~215	1.57~3.39
	星高萤石矿	161121-5S4	萤石	6.2~48.6	10~65	-2.0~-0.8	114~186	1.40~3.39
	光明萤石矿	1601121-8s2	萤石	9.2~60.3	5~55	-2.1~-0.6	136~194	1.06~3.55

测试单位: 中南大学有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室。

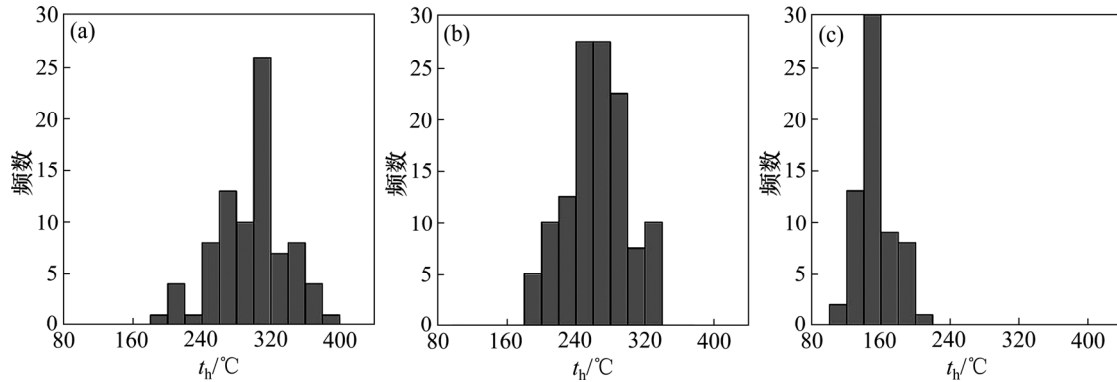
度为 3.23%~9.73%; 萤石矿床矿石中萤石流体包裹体的均一温度为 114~215 °C, 盐度为 1.06%~3.55%。

两地区从南部(钨锡矿床)到北部(萤石矿床), 流体包裹体均一温度从高温到低温连续变化, 见图 4; 钨锡、铅锌矿床流体的盐度较高, 萤石矿床流体的盐度较低。

### 5 白钨矿稀土元素分布特征

邓阜仙地区和锡田地区 2 个典型矿床的白钨矿的稀土元素的测试结果见表 3(其中,  $w$  为质量分数)。

邓阜仙地区湘东钨矿白钨矿稀土元素总量



(a) 钨锡矿床; (b) 铅锌矿床; (c) 为萤石矿床

图 4 锡田矿田石英(萤石)均一温度  $t_h$  直方图

Fig. 4 Homogenization temperature histogram of fluid inclusions in quartz (fluorite) from Xitian orefield

表 3 狗打栏白钨矿与湘东钨矿 LA-ICP-MS 稀土元素分析结果(质量分数)

Table 3 REE compositions of scheelite from Goudalan Tungsten deposit and Xiangdong Tungsten deposit

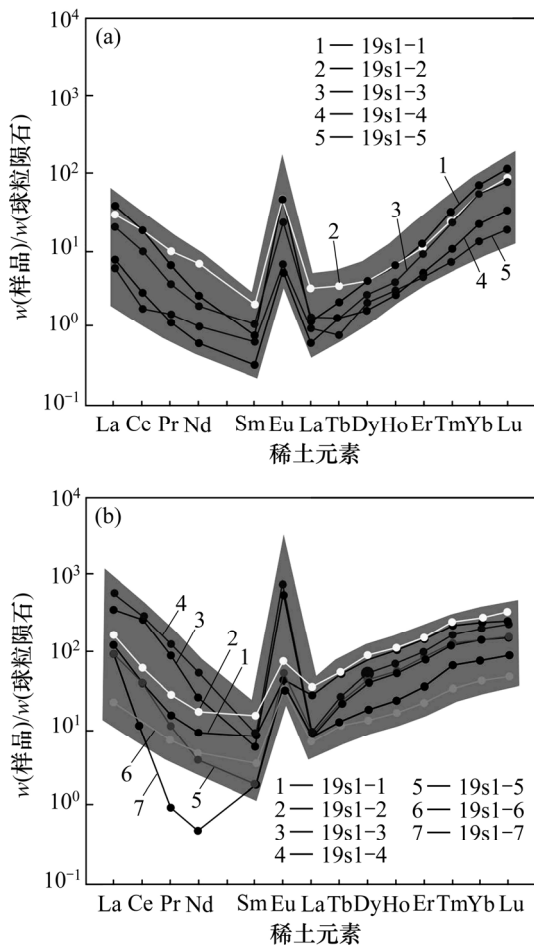
参数	狗打栏(140720-19s1)					湘东钨矿(0401-1S1)						
	测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	测点 5	测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	测点 5	测点 6	测点 7
$w(\text{La})/10^{-6}$	8.99	6.96	4.70	1.39	1.78	21.60	38.33	25.59	82.34	30.60	5.15	135.02
$w(\text{Ce})/10^{-6}$	11.13	11.49	6.00	1.07	1.73	24.56	37.35	5.42	164.66	22.89	6.69	173.51
$w(\text{Pr})/10^{-6}$	0.61	0.93	0.35	0.14	0.11	1.02	2.57	0.09	11.80	1.37	0.68	8.33
$w(\text{Nd})/10^{-6}$	1.21	3.16	0.90	0.48	0.29	1.83	7.86	0.22	24.02	4.09	2.21	11.56
$w(\text{Sm})/10^{-6}$	0.12	0.31	0.17	0.10	0.05	0.26	2.15	0.30	1.32	1.20	0.53	0.90
$w(\text{Eu})/10^{-6}$	2.53	2.70	1.37	0.38	0.31	4.40	4.29	4.01	32.74	2.44	1.87	44.73
$w(\text{Gd})/10^{-6}$	0.25	0.67	0.28	0.20	0.13	1.52	6.89	1.83	1.62	5.44	1.29	2.21
$w(\text{Tb})/10^{-6}$	0.08	0.13	0.05	0.03	0.05	0.81	2.01	0.94	0.46	1.88	0.42	0.87
$w(\text{Dy})/10^{-6}$	1.03	1.03	0.67	0.53	0.42	10.44	22.25	12.56	4.34	20.00	3.31	10.29
$w(\text{Ho})/10^{-6}$	0.36	0.36	0.22	0.17	0.15	3.09	6.33	3.82	1.28	5.83	0.92	2.91
$w(\text{Er})/10^{-6}$	2.02	1.79	1.48	0.75	0.84	13.27	24.71	16.36	5.72	23.45	3.48	12.51
$w(\text{Tm})/10^{-6}$	0.80	0.61	0.57	0.18	0.26	3.18	6.22	4.07	1.65	5.47	0.83	2.94
$w(\text{Yb})/10^{-6}$	12.09	9.18	9.29	2.22	3.71	23.11	47.37	32.93	12.77	39.82	7.05	23.68
$w(\text{Lu})/10^{-6}$	2.92	1.98	2.23	0.47	0.84	3.54	8.26	5.40	2.24	6.24	1.19	3.97
$w(\text{Y})/10^{-6}$	19.33	23.39	15.33	7.15	7.34	36.65	145.82	35.57	37.07	95.00	24.86	48.76
$\Sigma w(\text{REE})$	44.16	41.31	28.28	8.12	10.66	112.65	216.60	113.54	346.95	170.70	35.60	433.44
$w(\text{LREE})$	24.59	25.56	13.49	3.55	4.27	53.68	92.56	35.63	316.87	62.58	17.12	374.05
$w(\text{HREE})$	19.57	15.75	14.79	4.57	6.39	58.97	124.04	77.90	30.07	108.12	18.48	59.39
$w(\text{LR})/w(\text{HR})$	1.26	1.62	0.91	0.78	0.67	0.91	0.75	0.46	10.54	0.58	0.93	6.30
$w(\text{La}_N)/w(\text{Yb}_N)$	0.53	0.54	0.36	0.45	0.35	0.67	0.58	0.56	4.62	0.55	0.52	4.09
$\delta w(\text{Eu})$	43.58	17.77	19.14	7.93	11.36	16.63	3.11	12.67	68.40	2.45	6.64	92.74
$\delta w(\text{Ce})$	0.82	0.96	0.83	0.48	0.65	0.79	0.65	0.16	1.14	0.52	0.76	0.86



$\Sigma w(\text{REE})$  为 35.65~433.44  $\mu\text{g/g}$ , 平均值为 204.21  $\mu\text{g/g}$ ;  $w(\text{LREE})$  为 17.12~374.05  $\mu\text{g/g}$ , 平均值为 136.07  $\mu\text{g/g}$ ;  $w(\text{HREE})$  为 18.48~124.04  $\mu\text{g/g}$ , 平均值为 68.14  $\mu\text{g/g}$ ;  $w(\text{La}_N)/w(\text{Yb}_N)$  为 0.50~4.60,  $w(\text{La}_N)/w(\text{Sm}_N)$  为 6.27~96.85;  $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})=0.50\sim 10.50$ ; 轻稀土、重稀土元素富集, 中稀土亏损, 正 Eu 异常明显( $\delta w(\text{Eu})=2.5\sim 92.7$ )。

锡田地区狗打栏白钨矿稀土元素总量  $w(\Sigma\text{REE})$  为 8.12~44.16  $\mu\text{g/g}$ , 平均值为 26.51  $\mu\text{g/g}$ ;  $w(\text{LREE})$  为 3.55~25.56  $\mu\text{g/g}$ , 平均值为 14.29  $\mu\text{g/g}$ ;  $w(\text{HREE})$  为 4.57~19.57  $\mu\text{g/g}$ , 平均值为 12.21  $\mu\text{g/g}$ ;  $w(\text{La}_N)/w(\text{Yb}_N)$  为 0.36~0.53;  $w(\text{La}_N)/w(\text{Sm}_N)$  为 8.97~48.36;  $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})=0.36\sim 0.54$ ; 具有轻稀土、重稀土元素富集, 中稀土亏损, 正 Eu 异常明显( $\delta(\text{Eu})=7.93\sim 43.58$ )。

两矿床的稀土总量尽管差异明显, 但其分布模式基本一致, 球粒陨石标准化分布图均为“W”型分布, 见图 5。



(a) 狗打栏钨矿床白钨矿稀土元素配分图; (b) 湘东钨矿床白钨矿稀土元素配分图

图 5 锡田矿田白钨矿稀土元素配分图

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of scheelite taken from Xitian orefield.

## 6 分析与讨论

### 6.1 锡田矿田分带格局

锡田矿田矿化类型、矿物组合、成矿热液流体包裹体均一温度的空间分布特点显示其 2 个成矿区均呈现由南向北的钨锡—铅锌—萤石矿化分带, 见图 6; 邓阜仙地区南部以钨锡矿床为中心, 矿物组合为黑钨矿+白钨矿+辉钼矿+锡石+石英, 北部为铅锌矿带, 矿物组合为方铅矿+闪锌矿+石英, 其流体包裹体的均一温度从 228~360  $^{\circ}\text{C}$  降为 172~336  $^{\circ}\text{C}$ ; 南部锡田地区以晒禾岭—狗打栏钨锡矿带为中心, 往北依次为牛形岭—锡湖—尧岭铅锌成矿带、星高—光明—茶陵萤石成矿带, 相应的矿物组合为黑钨矿+白钨矿+辉钼矿+锡石+石英、方铅矿+闪锌矿|石英、萤石+石英, 其流体包裹体均一温度从 215~384  $^{\circ}\text{C}$  降为 185~343  $^{\circ}\text{C}$ , 直至 114~215  $^{\circ}\text{C}$ ; 各矿带均为 NE 向展布, 平行排列。

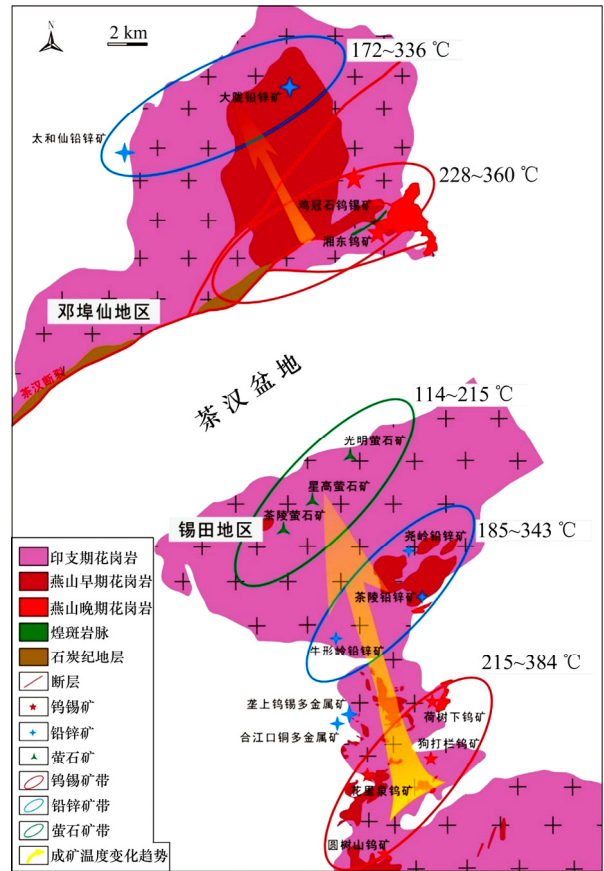


图 6 锡田地区矿床分带样式及成矿均一温度分布

Fig. 6 Distribution of deposits, mineralization zoning patterns with homogenization temperature of fluid inclusions in Xitian orefield

## 6.2 两区同属同一成矿热液系统

尽管邓阜仙和锡田两区具有相同的从南向北的矿化分带的相似特点,但这种分带是否受同一成矿背景的控制,或两者是否同属燕山期成矿热液系统是分析分带机理的基本前提。由于两区的矿化均为岩浆热液脉型矿化<sup>[20-24]</sup>,因此,两者成矿时代及物源的相似性是确定两者是否为同一成矿系统的关键。两区的辉钼矿 Re-Os 和绢云母 Ar-Ar 的成矿年龄分别为 152.4~154 Ma<sup>[8]</sup>和 149~157 Ma<sup>[21, 23]</sup>,为同一期成矿。湘东钨矿、鸡冠石、荷树下、垄上等矿床 S, Pb, H 和 O 同位素研究<sup>[10, 21-22]</sup>表明两区的矿床成矿物质与流体来源相似,成矿物质及初始成矿流体也主要来自于深部原始岩浆,后期有少量大气水混入。狗打栏和湘东钨矿白钨矿稀土模式的相似性更直接反映两区成矿物质为同一源区<sup>[25-28]</sup>;以上研究均证明邓阜仙和锡田两区域的成矿热液系统为同一系统。

## 6.3 矿田水平分带机理

锡田矿田的钨锡—铅锌—萤石矿化分带与成矿温度的降低趋势相一致,并且钨锡成矿中心的燕山期成矿岩体出露面积比铅锌、萤石矿带的出露面积明显大,前者出露岩株,而后者往往只发育少量岩脉,见图 6。岩体出露特征说明在钨锡矿带有较大岩突,矿体距岩体顶面距离比铅锌矿床、萤石矿床顶面距离近,成矿热液运移过程中随着距离增加,温度下降,在高温环境下,钨锡矿物沉淀;在中低温环境下,铅锌、萤石矿物沉淀。

虽然锡田矿田成矿温度场与矿化分带有较好匹配,但成矿元素分带与岩浆岩演化、元素地球化学行为以及热液温度、压力、氧化还原电位等诸多因素有关<sup>[16-18, 29]</sup>,温度只是其中 1 个重要因素,因此,矿床的水平分带形成机理需要综合各方面因素进行综合研究。

## 6.4 矿化分带格局对成矿的指示

所建立的燕山期矿化及热液分带格局显示热液活动区域不仅发育于哑铃柄处岩体接触带,而且分布于锡田岩体内部的广大区域,这种认识有效扩大了锡田地区的成矿区域,将成矿区域主要由哑铃柄处接触带扩大至整个锡田岩体;而矿化分带及样式说明各矿化带内极有可能存在未被发现的相同类型的矿化。根据此规律,作者在大垄与太和仙之间发现了新的硅化带,其中零星分布方铅矿和黄铁矿细小颗粒,并出现块状褐铁矿化,为在该区进一步开展找矿工作提供了依据。

## 7 结论

1) 邓阜仙和锡田矿化区属于同一燕山期成矿热液系统,两区均具有由南部向北出现钨锡—铅锌—萤石的矿化分带规律,各矿带均呈 NE 向分布。

2) 矿石矿物组合、成矿热液均一温度的空间分布格局与矿化分带相对应。钨锡矿带主要为黑钨矿+辉钼矿+锡石+石英矿物组合,为高温热液成矿带;铅锌矿带主要为方铅矿+闪锌矿+石英矿物组合,为中温热液成矿带;萤石矿带主要为萤石+石英矿物组合,为低温热液成矿带,显示成矿流体从高温到低温的变化趋势。

3) 锡田矿田的矿化水平分带与矿床距离岩体顶面的垂直距离存在耦合关系,但其分带机理仍需进一步研究。各矿带均呈 NE 向带状分布样式,可能与区域正断层控矿有关。

4) 区域矿化分带规律研究需以同一成矿系统为前提;流体包裹体显微测温方法是确定成矿热液区域分布规律的有效方法;不同矿床的白钨矿稀土元素的分布样式对比对于确定相应矿床成矿热液间的成因联系具有良好的指示意义。

**致谢:** 在野外工作中,得到了湖南省地质矿产勘查开发局 416 队伍式崇、朱浩峰的大力支持;在实验过程中得到了上谱分析实验室人员的帮助;论文得到中国地质大学(武汉)李欢老师的指导。在此一并表示衷心感谢。

## 参考文献:

- [1] 伍式崇, 龙自强, 徐辉煌, 等. 湖南锡田钨锡多金属矿床成矿构造特征及其找矿意义[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(2): 217-226.  
WU Shichong, LONG Ziqiang, XU Huihuang, et al. Structural characteristics and prospecting significance of the Xitian Tin-Tungsten Polymetallic Deposit, Hunan Province, China[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2012, 36(2): 217-226.
- [2] 毛景文, 陈懋弘, 袁顺达, 等. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律[J]. 地质学报, 2011, 85(5): 636-658.  
MAO Jingwen, CHEN Maohong, YUAN Shunda, et al. Geological characteristics of the Qinhang (or Shihang) Metallogenic Belt in South China and spatial-temporal distribution regularity of mineral deposits[J]. Acta Geologica

- Sinica, 2011, 85(5): 636–658.
- [3] 徐德明, 蔺志永, 骆学全, 等. 钦-杭成矿带主要金属矿床成矿系列[J]. 地学前缘, 2015, 22(2): 7–24.
- XU Deming, LIN Yongzhi, LUO Xuequan, et al. Metallogenetic series of major metallic deposits in the Qinzhou—Hangzhou metallogenic belt[J]. *Earth Science Frontiers*, 2015, 22(2): 7–24.
- [4] 蔡杨, 陆建军, 马东升, 等. 湖南邓阜仙印支晚期二云母花岗岩年代学、地球化学特征及其意义[J]. 岩石学报, 2013, 29(12): 4215–4231.
- CAI Yang, LU Jianjun, MA Dongsheng, et al. Chronology and geochemical characteristics of Late Indosinian Dengfuxian two-mica granite in eastern Hunan Province, China, and its significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(12): 4215–4231.
- [5] WU Qianhong, CAO Jingya, KONG Hua, et al. Petrogenesis and tectonic setting of the early Mesozoic Xitian granitic pluton in the middle Qin—Hang Belt, South China: constraints from zircon U-Pb ages and bulk-rock trace element and Sr-Nd-Pb isotopic compositions[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2016, 128: 130–148.
- [6] 陈迪, 马爱军, 刘伟, 等. 湖南锡田花岗岩体锆石 U-Pb 年代学研究[J]. 现代地质, 2013, 27(4): 819–830.
- CHEN Di, MA Aijun, LIU Wei, et al. Research on U-Pb chronology in Xitian Pluton of Hunan Province[J]. *Geoscience*, 2013, 27(4): 819–830.
- [7] 郑明泓, 邵拥军, 刘忠法, 等. 大垅铅锌矿床硫化物 Rb-Sr 同位素和主微量元素特征及矿床成因[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2016, 47(11): 3792–3799.
- ZHENG Minghong, SHAO Yongjun, LIU Zhongfa, et al. Rb-Sr isotope and main trace element composition characteristics of sulfide and deposit genesis investigation of Dalong Pb-Zn deposit[J]. *Journal of Central South University(Science and Technology)*, 2016, 47(11): 3792–3799.
- [8] 蔡杨, 马东升, 陆建军, 等. 湖南邓阜仙钨辉钼矿-钽-铌同位素定年及硫同位素地球化学研究[J]. 岩石学报, 2012, 28(12): 3798–3808.
- CAI Yang, MA Dongsheng, LU Jianjun, et al. Re-Os geochronology and S isotope geochemistry of Dengfuxian tungsten deposit, Hunan Province, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(12): 3798–3808.
- [9] 刘国庆, 伍式崇, 杜安道, 等. 湘东锡田钨锡矿区成岩成矿时代研究[J]. 大地构造与成矿学, 2008, 32(1): 63–71.
- LIU Guoqing, WU Shichong, DU Andao, et al. Metallogenic ages of the Xitian Tungsten-Tin Deposit, eastern Hunan Province[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2008, 32(1): 63–71.
- [10] 黄鸿新. 湖南邓阜仙钨锡多金属矿床地球化学和成矿机制研究[D]. 荆州: 长江大学地质科学学院, 2014: 5–26.
- HUANG Hongxin. Geochemistry and metallogenic mechanism of Deng Buxian tungsten-tin polymetallic deposit, Hunan[D]. Jingzhou: Yangtze University. School of Earth Sciences, 2014: 5–26.
- [11] 熊伊曲, 邵拥军, 刘建平, 等. 锡田矿田石英脉型钨矿床成矿流体[J]. 中国有色金属学报, 2016, 26(5): 1107–1119.
- XIONG Yiqu, SHAO Yongjun, LIU Jianping, et al. Ore-forming fluid of quartz-vein type tungsten deposits, Xitian ore field, eastern Hunan, China[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2016, 26(5): 1107–1119.
- [12] 刘曼, 邱华宁, 白秀娟, 等. 湖南锡田钨锡多金属矿床流体包裹体研究[J]. 矿床地质, 2015, 34(5): 981–998.
- LIU Man, QIU Huaning, BAI Xiujian, et al. Fluid inclusion studies of Xitian tin-tungsten polymetallic deposit in Hunan Province[J]. *Mineral Deposits*, 2015, 34(5): 981–998.
- [13] 张德会. 矿床分带研究综述[J]. 地质科技情报, 1993, 12(1): 59–63.
- ZHANG Dehui. A summary of the study on zoning of mineral deposits[J]. *Geological Science and Technology Information*, 1993, 12(1): 59–63.
- [14] LI Shenghu, LI Jiankang, ZHANG Dehui, et al. The evolution of ore-forming fluid and its constrain to the ore-forming process in Limu Ta-Nb-Sn polymetallic ore deposit, Guangxi, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2015, 31(4): 954–966.
- [15] WOOD S A, AMSON I M. The hydrothermal geochemistry of tungsten in granitoid environments: I. relative solubilities of ferberite and scheelite as a function of T, P, pH, and mNaCl[J]. *Economic Geology*, 2000, 95(1): 143–182.
- [16] 叶天竺, 吕志成, 庞振山, 等. 勘查区找矿预测理论与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2014: 98–105.
- YE Tianzhu, LÜ Zhicheng, PANG Zhenshan, et al. Exploration prospecting theory and method[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014: 98–105.
- [17] 张德全, 王立华. 香花岭矿田矿床成矿分带及其成因探讨[J]. 矿床地质, 1988, 7(4): 33–42.
- ZHANG Dehui, WANG Lihua. Metallogenic zoning and genesis of the Xainghualing orefield[J]. *Mineral Deposits*, 1988, 7(4): 33–42.
- [18] 徐明, 蔡明海, 彭振安, 等. 大厂矿田成矿分带特征及其控制机理研究[J]. 矿产与地质, 2011, 25(1): 29–33.
- XU Ming, CAI Minghai, PENG Zhenan, et al. Research on metallogenic zoning characteristics and control mechanism Dachang ore field[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2011, 25(1): 29–33.
- [19] 邓渲桐, 曹荆亚, 吴玺虹, 等. 湖南锡田和邓阜仙燕山期花岗岩的源区差异及其意义[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2017, 48(1): 212–222.
- DENG Xuanton, CAO Jingya, WU Qianhong, et al. Difference of sources of the Yanshanian Xitian and Dengfuxian granites in



- Hunan Province and their implication[J]. *Journal of Central South University(Science and Technology)*, 2017, 48(1): 212–222.
- [20] 曹荆亚. 湖南茶陵锡田锡多金属矿田成矿系统研究[D]. 长沙: 中南大学地球科学与信息物理学院, 2016: 65–95.
- CAO Jingya. Study on metallogenic system of Xitian Tin-polymetallic ore field in Chaling, Hunan Province[D]. Changsha: Central South University. School of Geosciences and Info-Physics, 2016: 65–95.
- [21] 邓湘伟. 与长英质岩浆作用有关的湘东合江口锡钨多金属矿床成因模式[D]. 长沙: 中南大学地球科学与信息物理学院, 2015: 50–78.
- DENG Xiangwei. Metallogenic model of Hejiangkou tin-tungsten polymetal deposit related to felsic magmatism, east Hunan[D]. Changsha: Central South University. School of Geosciences and Info-Physics, 2015: 50–78.
- [22] 熊伊曲. 湘东邓阜仙矿田热液成矿系统的时空结构与成矿过程[D]. 长沙: 中南大学地球科学与信息物理学院, 2017: 79–101.
- XIONG Yiqu. Spatiotemporal structure and ore-forming process of hydrothermal metallogenic system in Dengfuxian orefield, eastern Hunan[D]. Changsha: Central South University. School of Geosciences and Info-Physics, 2017: 79–101.
- [23] 马丽艳, 付建明, 伍式崇, 等. 湘东锡田垄上锡多金属矿床 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素定年研究[J]. *中国地质*, 2008, 35(4): 706–713.
- MA Yanli, FU Jianming, WU Shichong, et al.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  isotopic dating of the Longshang tin-polymetallic deposit Xitian orefield, eastern Hunan[J]. *Geology in China*, 2008, 35(4): 706–713.
- [24] 郑明泓. 大垅铅锌矿床成岩成矿机理研究[D]. 长沙: 中南大学地球科学与信息物理学院, 2015: 70–88.
- ZHENG Minghong. Dalong Pb-Zn deposit diagenetic and mineralization mechanism research[D]. Changsha: Central South University. School of Geosciences and Info-Physics, 2015: 70–88.
- [25] HAZARIKA P, MISHRA B, PRUSETH K L. Scheelite, apatite, calcite and tourmaline compositions from the late Archean Huttite orogenic gold deposit: implications for analogous two stage ore fluids[J]. *Ore Geology Reviews*, 2016, 72(1): 989–1003.
- [26] GHADERI M, PALIN J, CAMPBELL I, et al. Rare earth element systematics in scheelite from hydrothermal gold deposits in the Kalgoorlie — Norseman region, Western Australia[J]. *Economic Geology*, 1999, 94(3): 423–437.
- [27] SONG Guoxue, QIN Kezhong, LI Guangming, et al. Scheelite elemental and isotopic signatures: implications for the genesis of skarn-type W-Mo deposits in the Chizhou Area, Anhui Province, Eastern China[J]. *American Mineralogist*, 2014(99): 303–317.
- [28] DOSTAL J, KONTAK D J, CHATTERJEE A K. Trace element geochemistry of scheelite and rutile from metatubidite-hosted quartz vein gold deposits, Meguma Terrane, Nova Scotia, Canada: genetic implications[J]. *Mineralogy and Petrology*, 2009, 97(1/2): 95–109.
- [29] LI Huan, WATANABE K, YONEZU K. Geochemistry of A-type granites in the Huangshaping polymetallic deposit(South Hunan, China): implications for granite evolution and associated mineralization[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014(88): 149–167.

(编辑 陈灿华)