

# 桂东北苗儿山-越城岭南西部岩体内外接触带 次生晕元素分布特征及其意义

王春龙<sup>1,2</sup>, 刘 莎<sup>3</sup>, 伍 静<sup>1</sup>, 周育葛<sup>3</sup>, 石晓明<sup>4</sup>, 梁华英<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所 矿物学与成矿学重点实验室, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 广西中科地质勘查有限责任公司, 广西 南宁 530022; 4. 广西有色金属集团有限公司, 广西 南宁 530022)

**摘 要:** 南岭成矿带西段苗儿山-越城岭复式岩体内及其内外接触带发育一系列矿床。通过对苗儿山-越城岭复式岩体南西部三条穿过复式岩体与地层接触带地球化学剖面中成矿元素分布特征的分析, 发现成矿元素正异常主要和岩基中的晚期岩浆活动有关。结合野外观察及薄片鉴定发现的岩基与围岩接触带未发生蚀变等现象, 提出苗儿山超单元南西部岩体及接触带中的矿床和早期岩基没有内在成因联系, 成矿主要和岩基内晚期岩浆活动有关, 晚期岩体是该区今后找矿的主要靶区。

**关键词:** 苗儿山-越城岭复式岩体; 成矿元素分布; 钨钼矿床; 找矿

中图分类号: P595 文献标识码: A 文章编号: 0379-1726(2013)05-0405-09

## Ore-forming element distribution around the southwestern domain of the Miaoershan-Yuechengling complex in the northeastern Guangxi and its geological implication

WANG Chun-long<sup>1,2</sup>, LIU Sha<sup>3</sup>, WU Jing<sup>1</sup>, ZHOU Yu-ge<sup>3</sup>, SHI Xiao-ming<sup>4</sup> and LIANG Hua-ying<sup>1\*</sup>

1. Key Laboratory of Mineralogy and Metallogeny, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Guangxi Zhongke Geological Exploration Co.Ltd, Nanning 530022, China;

4. Guangxi Non-Ferrous Group Co.Ltd, Nanning 530022, China

**Abstract:** Many deposits have been found around the Miaoershan-Yuechengling complex pluton in the west of Nanling metallogenic belt. The complex pluton is composed of an early stage granitoid batholith and late stage small intrusions. To reveal which magmatic event corresponds to mineralization, ore-forming elements content of samples from three geochemical prospecting sections across Miaoershan early stage granitoid batholith, late stage small intrusions occurred in the early stage granitoid batholith and the contact zone between the complex pluton and strata were analyzed. No positive anomaly of ore forming element (W, Sn, Mo, Cu, Pb, Zn, Ag) distribution have been found at the localities corresponding to the early stage granitoid batholith and its contact zone and positive anomalies of W and Sn, on the other hand, have been found at the localities corresponding to the occurrences of the late stage small intrusions. Based on the distribution of ore-forming element along the three geochemical prospecting sections, together with field observation that the adjacent strata around the early stage batholith did not underwent alteration, it is concluded that the mineralization events in the southwestern part of the Miaoershan-Yuechengling complex pluton are related to late stage magmatic activities and the ore-prospecting target should be constrained to the late stage intrusions occurred in or around the Miaoershan-Yuechengling complex pluton.

**Key words:** Miaoershan-Yuechengling complex pluton; ore-forming elements distribution; W-Mo ore; ore prospecting

收稿日期(Received): 2012-05-30; 改回日期(Revised): 2013-01-15; 接受日期(Accepted): 2013-02-05

基金项目: 国家自然科学基金(41172080, 41272099, 41121002); 中国科学院重大项目(KZCX1-YW-3)

作者简介: 王春龙(1987-), 男, 硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: tianxia7696938@163.com

\* 通讯作者(Corresponding author): LIANG Hua-ying, E-mail: lianghy@gig.ac.cn; Tel: +86-20-85290107

WANG Chun-long et al.: Ore-forming element of the Miaoershan-Yuechengling complex, South China

# 0 引言

苗儿山-越城岭复式岩体位于南岭成矿带西段。南岭成矿带是中国乃至世界上的一条重要的有色金属成矿带,该带上产出多个大型、超大型矿床,如柿竹园钨锡多金属矿、骑田岭钨锡矿、大吉山钨矿、西华山钨矿和凡口铅锌矿等。到目前为止,南岭成矿带金属保有储量中钨占全国的83%,锡占全国的63%,铅占全国的30%,锌占全国的22%<sup>[1]</sup>。因此,南岭成矿带一直是我国矿产资源研究及开发的热点地区。近年来在南岭成矿带西段沿苗儿山-越城岭复式岩体内外接触带及其附近发现了数十个热液矿床和矿化点(图1)。这些矿床主要产于早期岩基与围岩内外接触带中,少数矿床产于岩基内晚期岩体中<sup>[2-3]</sup>。前人研究表明,多个矿床都与花岗岩体有密切的成因联系<sup>[4-8]</sup>,因此分析矿床与不同期次岩体之间的成因联系,对区内矿床勘查有着非常重要的意义。过去人们在研究岩体与矿床的相互关系时,多据岩体与矿床的形成时代及成岩成矿物质来源关系

等进行对比分析。本次工作拟通过对不同期次岩体及接触带地层的风化B层土壤元素分布特征的分析,探讨区内矿床与不同期次岩浆事件的关系,提出找矿方向。

# 1 苗儿山-越城岭南西部岩体地质特征

苗儿山-越城岭复式岩体位于湘桂两省(区)交界处,总面积约3000 km<sup>2</sup>,是南岭地区规模较大的多期多阶段花岗岩复式岩体(图1)。苗儿山-越城岭南西部复式岩体主要由早期岩基和晚期小岩体组成,早期岩基为苗儿山-越城岭南西部岩体的主体,岩性为中粗粒似斑状黑云母花岗岩<sup>[9-11]</sup>,形成时代为229 Ma<sup>[3]</sup>。岩基的矿物组成为斜长石(22%~27%)、钾长石(32%~34%)、石英(33%~39%)和黑云母(8%~11%)<sup>[3]</sup>。岩石具中粒似斑状结构和细粒(斑状)结构,块状构造,副矿物有锆石、磷灰石、独居石、磁铁矿、楣石、电气石、石榴子石、钛铁矿和褐帘石等。

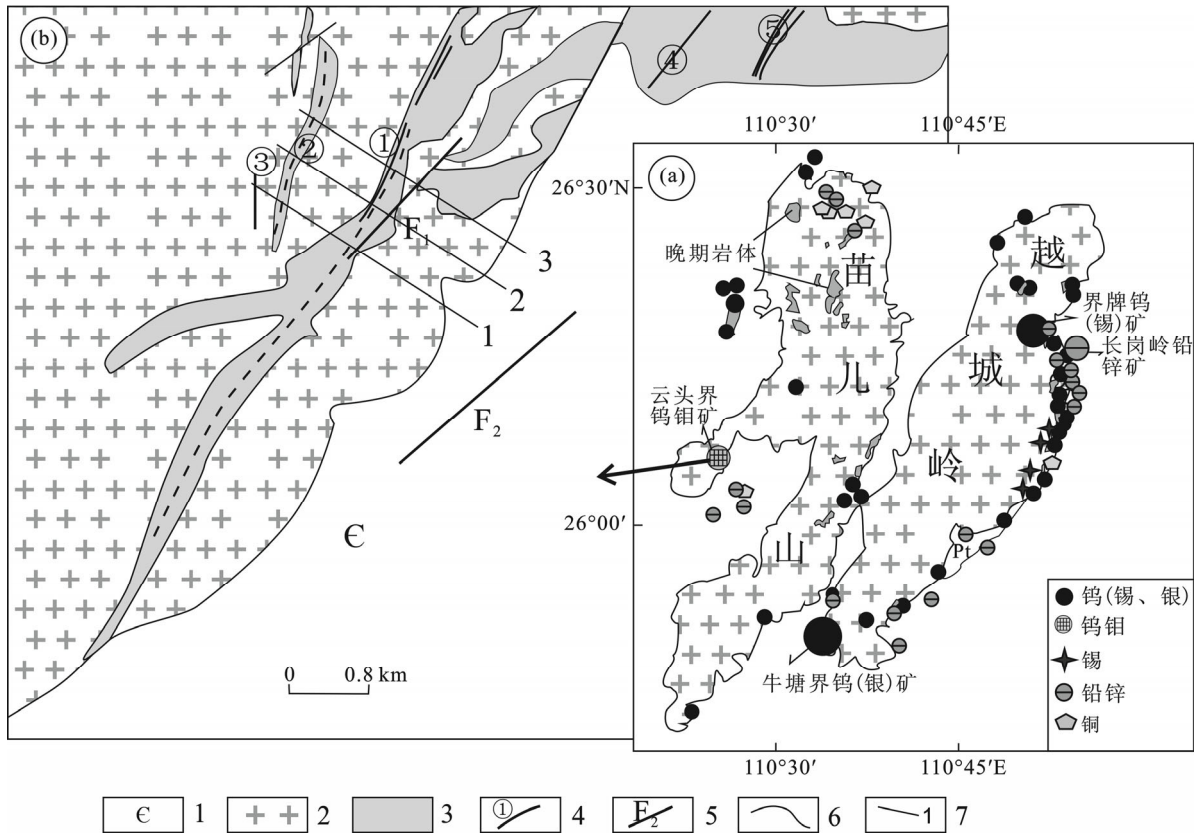


图1 南岭西段苗儿山-越城岭复式岩体矿床分布图(a)及云头界矿区化探剖面线分布示意图(b)

Fig.1 Ore distribution around the Miaoershan-Yuechengling complex pluton (a) and the location of geochemical exploration profile in the Yuntoujie ore filed (b)

1□寒武系粉砂岩; 2□早期岩基; 3□晚期岩体; 4□矿体及编号; 5□断层; 6□地质界线; 7□化探线及编号

晚期小岩体多以脉状产出, 出露面积在 0.01~7 km<sup>2</sup>, 通常侵入于岩基中或岩基与围岩的接触带附近, 岩性主要为细粒电气石白云母花岗斑岩、细粒斑状黑云母二长花岗岩和细粒白云母二长花岗岩, 其中白云母花岗斑岩的形成时代为 216 Ma<sup>[3]</sup>。斑状岩石的斑晶较小, 一般为 0.5 cm × 2 cm ~ 1 cm × 2 cm, 花岗斑岩的斑晶大小为 0.04~0.2 cm; 晚期岩体的主要矿物为钾长石、斜长石和石英, 次要矿物为黑云母和白云母, 副矿物为锆石、磷灰石、独居石、石榴子石和磁铁矿等。

苗儿山-越城岭复式岩体内及其内外接触带矿床发育, 目前已发现的金属矿床(点)超过 70 处<sup>[12]</sup>。矿床主要分布于复式岩体的内外接触带中, 部分产于岩基内部及岩基附近地层中。岩基内部及岩体内外接触带矿床多和晚期岩体有紧密的共生关系。岩基内部及岩基内接触带中矿床类型主要为钨矿床、钨钼矿床、钨锡矿床及锡矿床等, 如云头界钨钼矿床、牛塘界钨矿床、柳山里钨矿床、长岗岭钨矿床和界牌钨矿床等。岩体附近地层破碎带中矿床主要为铅锌多金属矿床, 从矿物组合及蚀变组合上看, 地层破碎带中矿床形成温度较低。野外考察发现, 虽然苗儿山-越城岭复式岩体内外接触带矿床发育, 但在未发育矿床的地段, 岩体与围岩界线清楚, 围岩未见蚀变<sup>[3]</sup>(图 2)。



图 2 岩体与围岩接触带

Fig.2 Photo showing the contact zone between granite and Cambrian siltstone

研究区位于云头界钨钼矿区内, 云头界钨钼矿区位于苗儿山-越城岭复式岩体南西部(图 1), 区内早期岩基与晚期岩体侵入接触界线清楚<sup>[3]</sup>。云头界钨钼矿床主要以脉状产于晚期的细粒白云母花岗斑

岩中及其与早期中粗粒斑状黑云母花岗岩体的接触带内; 矿区内共发现有 5 条矿脉, 脉幅为 0.1~0.4 m, 延伸较远, WO<sub>3</sub> 品位为 0.4%~12%, Mo 品位为 0.1%~1%。矿区内的金属矿物主要为白钨矿、黑钨矿和辉钼矿, 脉石矿物主要为石英和电气石, 蚀变类型主要有云英岩化和电气石化等。

## 2 样品采集及分析结果

选择位于苗儿山-越城岭复式岩体南西部的云头界钨钼矿区矿床及岩体作为研究对象, 选择此矿区为研究对象主要是因为此处岩基与围岩的接触界线明显, 并且在岩基内还发育一个与晚期岩脉紧密共生的中型钨钼矿床<sup>[2][3]</sup>, 是研究不同期次岩浆活动与成矿元素活动关系的理想场所。为了分析不同期次岩浆活动过程中成矿元素活动特征, 本文在此区域选择了三条地球化学剖面线进行系统观察及分析(图 3—图 5)。三条剖面线相距约 100 m, 每条剖面线长约 1.4 km, 均穿过不同期次岩体、矿体、接触带及围岩。考虑到研究区多被 1~3 m 的基岩风化土层及植被覆盖, 不易系统采集基岩样品, 故沿剖面线系统采集 B 层土样(B 层土一般为腐殖层下 50~60 cm 以下的黄土)。矿脉厚度不大, 以 20 m 的间距沿着化探剖面线进行采样, 每条剖面线采集样品约 72 个, 三条剖面线共采集样品 203 个。样品分析由桂林矿产地质研究院分析测试中心完成, Cu、Pb、Zn、W 及 Mo 等元素用 ICP-MS 法分析, 检测限为 0.5 μg/g, 相对标准偏差小于 5%; Ag 和 Sn 用发射光谱分析, 相对标准偏差小于 8%。所有数据用下述公式计算均方根差(离差)σ 及背景上限(或称异常下限 Ca)。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^K (X_i - \bar{X})^2 F_i}{\sum_{i=1}^K F_i}}$$

$X_i$  为组中值,  $F_i$  为频数,  $\bar{X}$  为算术平均数。

$$Mo = L + \frac{f - f_{-1}}{(f - f_{-1}) + (f - f_{+1})} \times i$$

式中:  $L$  为众数组的下限值,  $i$  为众数组的组距。

异常下限:  $Ca = Mo + 2\sigma$

在进行化探数据循环剔除后, 得到次生晕各元素的异常值及异常背景值(表 1)。

表 1 各元素异常下限及背景值( $\mu\text{g/g}$ )  
Table 1 The abnormal low limit and background content ( $\mu\text{g/g}$ ) of elements analyzed

元素	背景值	均方差	异常下限	异常外带	异常中带	异常内带
Cu	37.9	29.2	96.2	96.2 ~ 125.4	125.4 ~ 154.5	> 154.5
Pb	78.5	18.8	116.2	116.2 ~ 135.0	135.0 ~ 153.8	> 153.8
W	4	8.29	20.6	20.6 ~ 28.9	28.9 ~ 37.2	> 37.2
Ag	0.025	0.05	0.13	0.13 ~ 0.18	0.18 ~ 0.23	> 0.23
Mo	1.42	0.41	2.24	2.24 ~ 2.65	2.65 ~ 3.06	> 3.06
Zn	66	18.1	102.1	102.1 ~ 120.2	120.2 ~ 138.2	> 138.2
Sn	25.7	6.43	38.56	38.56 ~ 44.99	44.99 ~ 51.42	> 51.42

### 3 讨论

#### 3.1 元素异常分布特征

三条地球化学剖面线的 B 层土壤次生晕元素异常分布特征见图 3—图 5。三条剖面线中的 3 号点到 18 号点为早期岩体内外接触带土壤样品。在早期岩体内外接触带内(3~18 号点), 1 号剖面线未出现 W、Pb、Cu、Sn 和 Mo 异常, 2 号剖面线未出现 W、Pb、Cu 和 Sn 异常(由于 2 号剖面线 11 号点出现的 Cu 元素异常为单点异常, 予以剔除), 3 号剖面线未出现 W、Pb、Cu、Sn、Mo 和 Zn 异常。以上三条地球化学剖面线在早期岩体内外接触带均未出现 W、Sn、Pb 和 Cu 异常。Mo、Ag 和 Zn 元素在三条剖面线中仅局部出现异常, 现分述如下。

2 号剖面线的 3、5 号点及 22、23 号点出现 Mo 异常, 其余点未见 Mo 异常。3、5 号点样品 Mo 含量分别为 2.44  $\mu\text{g/g}$  和 2.97  $\mu\text{g/g}$ , 但其仅出现于围岩 B 层土壤中, 而在正接触带上的 6 号点到 18 号点 B 层土壤未有异常; 2 号剖面线 22、23 号点异常值较高, 异常对应点为早期岩体。

在 1 号剖面线及 3 号剖面线正接触带上 22、23 号点未见 Mo 异常, 1 号剖面线 61 号点出现 Mo 异常, 但在 2 号及 3 号剖面线 61 号点未见 Mo 异常。这表明 1 号剖面线 61 号点及 2 号剖面线 3、5、22、23 号点的 Mo 异常为单点异常, 并非成矿所引起的异常, 没有找矿意义。

Ag 在 1 号剖面线中的 6~10 号点出现了低缓异常, 且为闪异常(即为一点高一点低), 异常值均不高, 仅略高于异常下限值 0.13, 无异常中带, 且围岩中的异常值明显高于正接触带中的异常值。1 号剖面线 6~10 号点的 Ag 低缓异常可能是由于围岩的背景值较高所致; Ag 在 2 号剖面线正接触带东面

4~7 号点出现异常, 且发育异常中带, 其特点是异常值自正接触带至围岩时有明显增高趋势, 而在正接触带仅 13 号点出现单点异常; 3 号剖面线内接触带上有 3 个点的低微异常(9、10、11 号点), 且出现高于异常中带值, 构成一个小的低缓异常, 其异常中心明显偏向围岩一侧。我们认为导致这种结果出现的原因可能有两种: (1) Ag 是一种迁移性较强的元素, 特别是岩浆侵入受热时, 往往向远离岩体一侧运移, 故本区 Ag 异常值分布表现为在正接触带为低值, 往围岩方向异常值逐渐增高, 并非成矿异常; (2) 围岩背景值本就较高, 在此出现的异常不是早期岩基岩浆活动在岩体内外接触带留下的矿致异常。

Zn 在 1 号剖面线 56 号点出现了单点异常, 在 7~13 号点见低缓异常, 从内接触带往围岩方向异常值有增高趋势, 在正接触带异常值不高, 亦未见中带异常; 2 号剖面线 Zn 出现闪点异常, 在正接触带内异常值较低, 往东南方向的围岩中出现闪点异常; 3 号剖面线接触带 3~15 号点附近没有出现 Zn 异常。这种在正接触带上异常值明显不高, 而在围岩中明显增高的异常, 可能是由于围岩的背景值高所致。综上分析, 可认为三条化探剖面线中 Zn 元素异常是闪点异常, 并非岩体成矿带来的异常。

W 和 Sn 元素在三条剖面线晚期矿化岩体对应位置出现带状异常, 且异常内、中、外带分带性明显, 具浓集中心, 为矿致异常<sup>[3]</sup>。

#### 3.2 成矿意义及找矿方向

由于本区钨钼矿床产于岩体内接触带上, 矿化与岩浆活动有密切联系。本区岩浆活动强烈, 从加里东期到燕山期均发生有岩浆活动, 厘清矿化与哪一期岩浆活动有关, 对指导今后的找矿工作有着重要的意义。

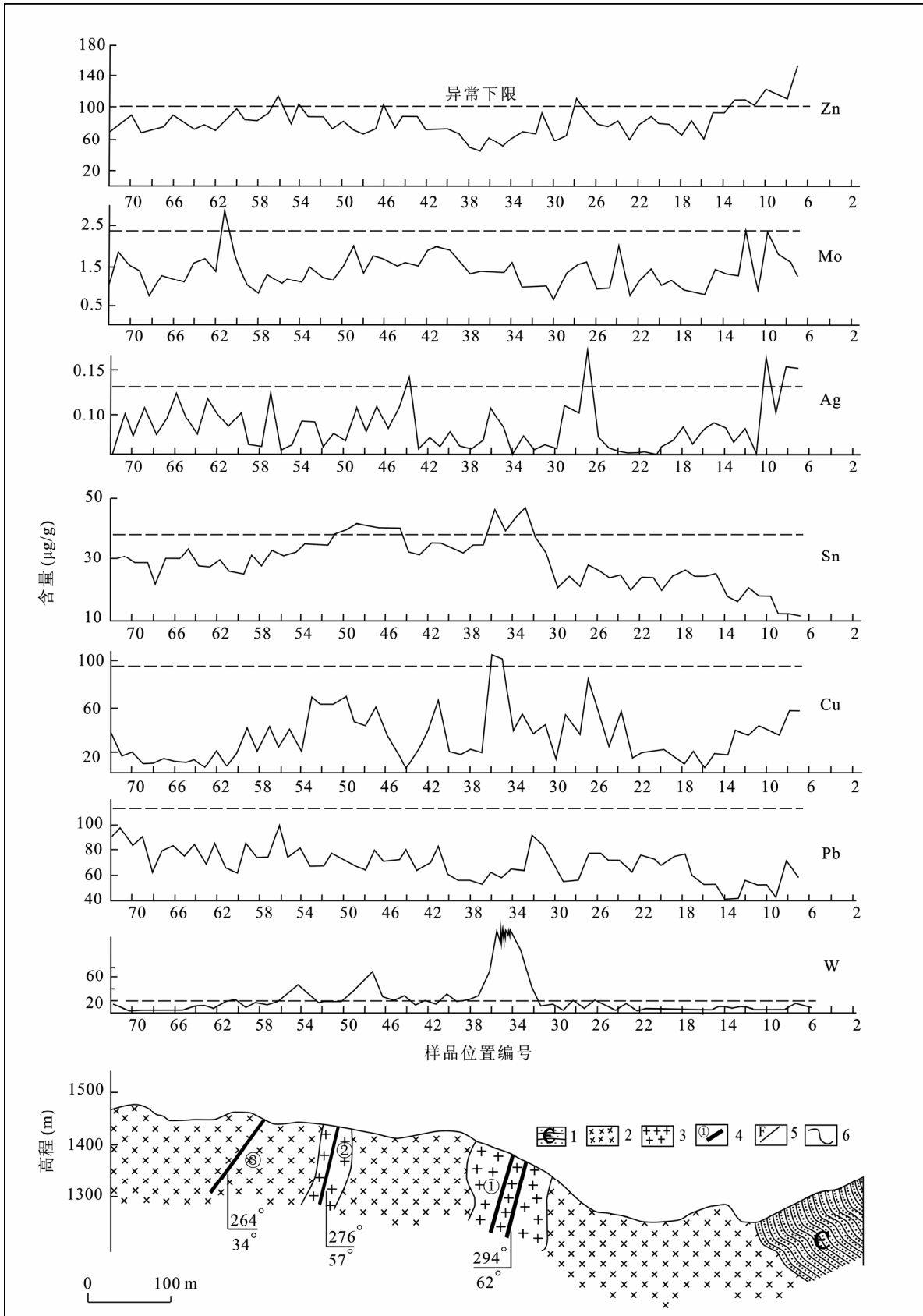


图 3 云头界钨钼矿区 1 号化探剖面线元素异常分布图

Fig.3 No.1 geochemical profile showing element distribution in the Yuntoujie W-Mo ore field  
1 寒武系地层; 2 早期岩基; 3 晚期小岩体; 4 矿体及编号; 5 断层; 6 地质界线

WANG Chun-long et al.: Ore-forming element of the Miaoershan-Yuechengling complex, South China

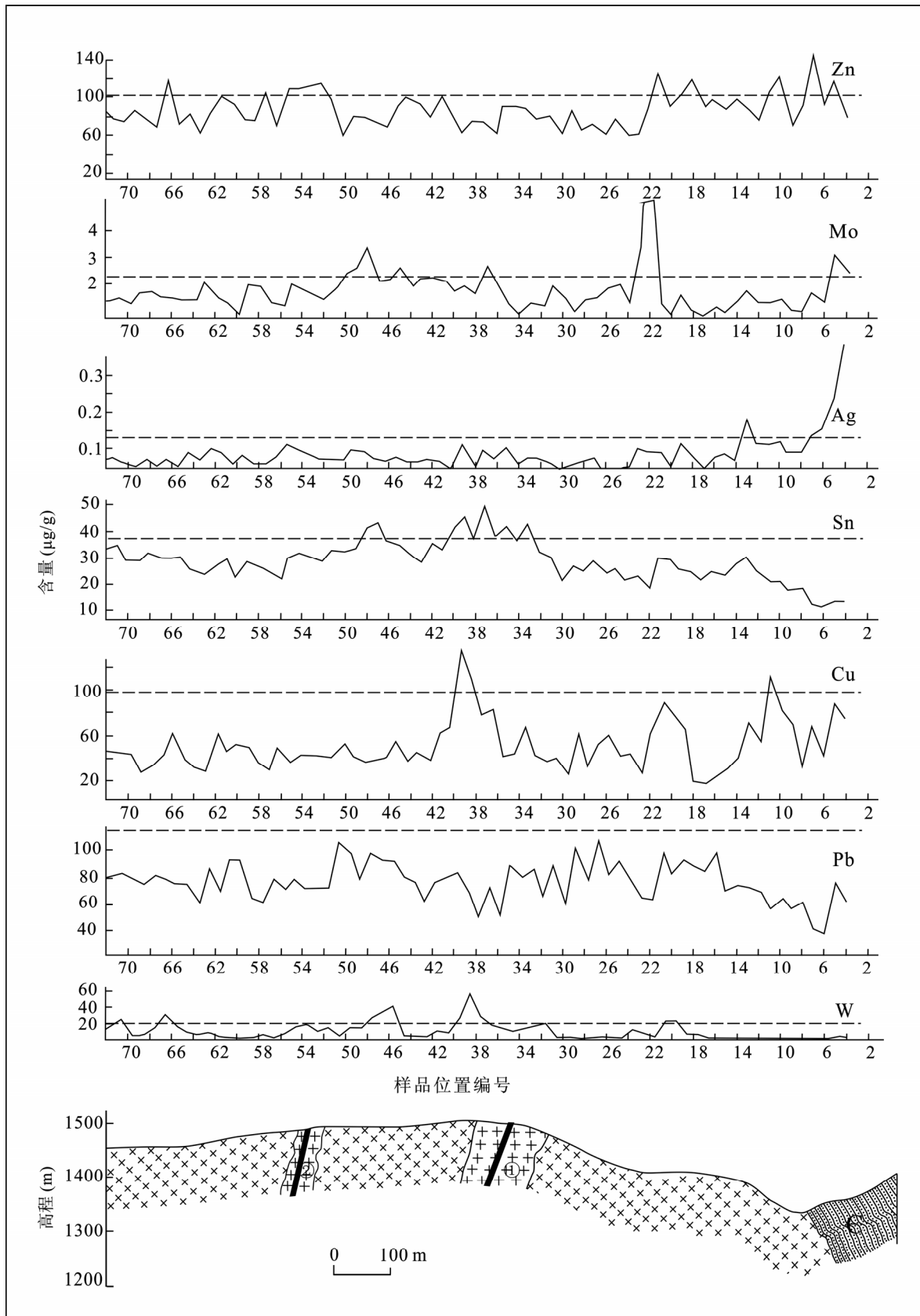


图4 云头界钨钼矿区2号化探剖面线元素异常分布图

Fig.4 No.2 geochemical profile showing element distribution in the Yuntoujie W-Mo ore field  
图例同图3



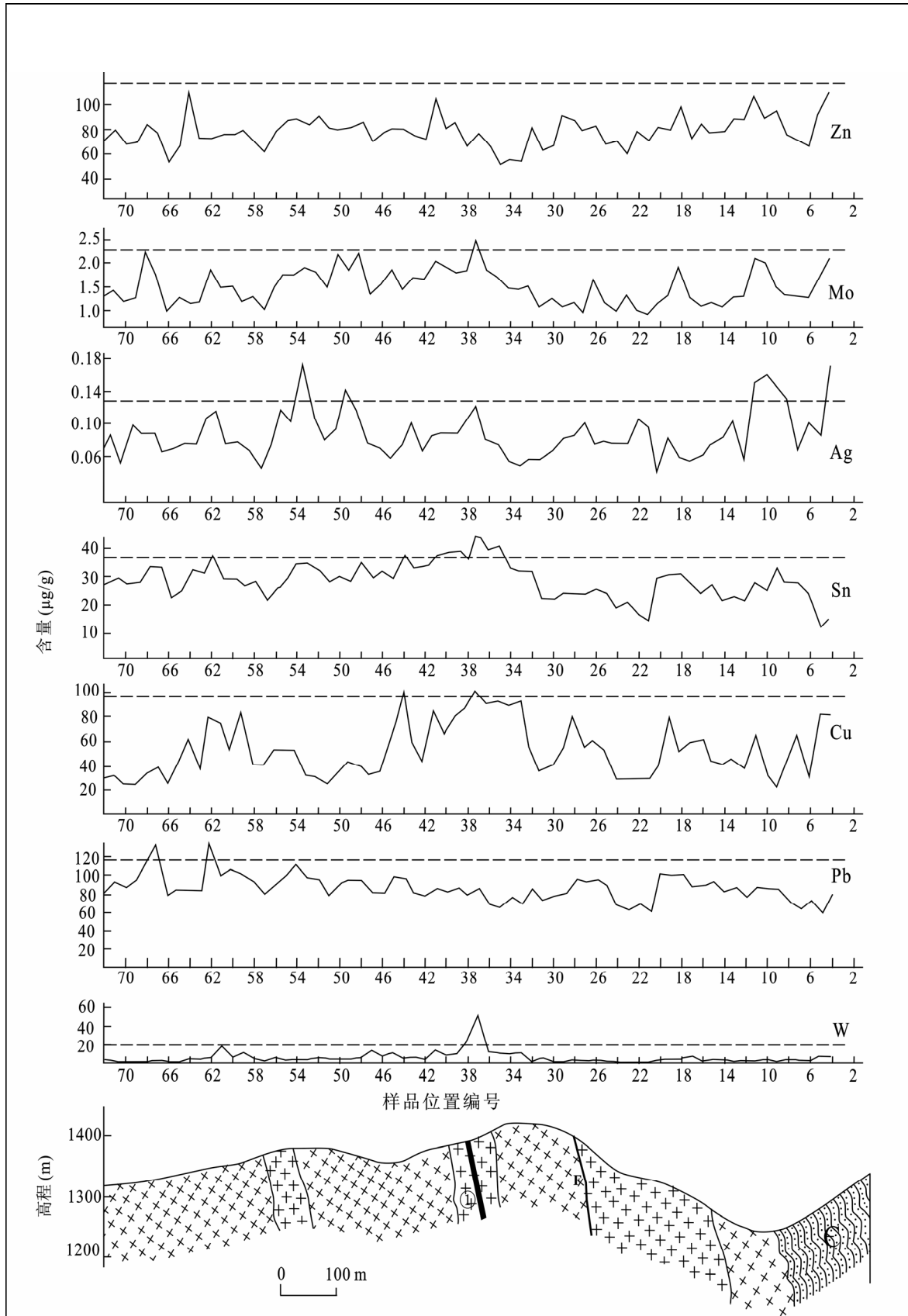


图 5 云头界钨钼矿区 3 号化探剖面线元素异常分布图

Fig.5 No.3 geochemical profile showing element distribution in the Yuntoujie W-Mo ore field  
图例同图 3

WANG Chun-long et al.: Ore-forming element of the Miaoershan-Yuechengling complex, South China

近年来人们已对成矿元素在中酸性岩浆形成演化过程中的地球化学行为做了大量的实验研究,目前研究成果表明岩浆在形成演化过程中出溶挥发相<sup>[12][21]</sup>是中酸性岩浆成矿的关键条件。中酸性岩浆在演化过程中出溶挥发相后,成矿元素更易进入其中。岩浆形成演化过程中出溶挥发相或与岩浆体系有关的流体相溶解的金属在适宜的环境下沉淀析出便形成岩浆热液矿床。

如果岩浆岩在形成演化过程中发生过成矿作用,与成矿岩浆有关的流体会在侵位岩体顶部及其周围和围岩发生物质和能量交换,使围岩发生蚀变及矿化,在岩体内外接触带留下元素异常指纹,这为分析矿化与不同期次岩浆活动的内在联系提供了条件。由于岩浆在形成演化过程中出溶的挥发相多位于岩浆顶部,因此蚀变及矿化也大部分位于岩浆房顶部,矿化多与大岩浆房顶部的小岩体相伴,这便是人们所熟悉的小岩体成大矿。如果岩体上部被大规模剥蚀而出露深部岩基,岩基上部的蚀变及矿化已被剥蚀殆尽,岩基与围岩内外接触带也可能不发生蚀变及不发育成矿元素异常。

三条剖面线7个成矿元素的分布特征表明,早期岩基内外接触带(图3、图4、图5化探剖面线3~18号点)附近未发现W、Sn、Pb、Cu和Mo异常,有的甚至低于本区的平均值,异常主要与岩基中的晚期岩体有关;早期岩基与围岩接触界线清楚,岩体与围岩接触带(图2)处未见围岩发生蚀变。这表明苗儿山-越城岭南西部岩基在岩浆形成演化过程中未发生过成矿作用,或岩基上部成矿作用已被剥蚀殆尽。苗儿山-越城岭南西部岩基内外接触带矿床主要和岩基中的晚期岩浆活动有关,这和我们的同位素年代学工作所获结论<sup>[3]</sup>一致。

苗儿山-越城岭复式岩体内外接触带矿床发育,形成一系列矿床。鉴于矿床与早期岩基之间紧密的空间关系,大多数生产单位据此认为矿床的形成和早期岩基有关。我们对三条地球化学剖面成矿元素分布特征的分析表明,在苗儿山-越城岭南西部复式岩体中的云头界钨钼矿床成矿主要和早期岩基中的晚期岩浆活动有关,而和早期岩基没有内在成因联系。如果矿床与早期岩基没有成因联系,那么为何在复式岩体内外接触带矿床特别发育?其原因又是什么?我们认为大多数矿床之所以主要沿岩基内外接触带分布,主要是由下列因素造成的:(1)早期岩基与围岩接触带是构造脆弱部位,为后期成矿

岩浆侵位及成矿流体的迁移提供了良好的通道;(2)早期岩基与围岩接触带是岩性突变部位,有利于成矿流体与围岩发生交换反应,成矿元素沉淀析出形成矿床。

苗儿山-越城岭岩基内部及岩基内接触带中矿床类型主要为钨矿、钨钼矿、钨锡矿及锡矿等高温矿床;而复式岩体附近地层破碎带中的矿床类型主要为铅锌多金属矿床,从矿物组合及蚀变组合上看,地层破碎带中矿床形成温度较低。如果铅锌矿床(点)和钨锡等高温热液矿床空间距离不大,两者可能属于同一成岩成矿系统的产物,是高温岩浆成矿热液迁至外围温度较低时发生成矿元素沉淀析出形成的。如果这些铅锌矿床(点)周围没有出露高温钨锡矿床,铅锌矿床(点)可能仅是岩浆热液成矿系统的顶部,则应注意其深部是否发育高温岩浆热液矿床。

此次研究表明,苗儿山-越城岭南西部复式岩体及其内外接触带中的矿床形成主要与岩基中的晚期岩体有关。今后的找矿工作中应将晚期岩体作为该区重点找矿靶区;在岩基接触带周围地层中的铅锌矿床区应注意其深部是否发育高温岩浆热液矿床。

## 4 结 论

(1)三条化探剖面元素异常分布特征表明,苗儿山-越城岭复式岩体南西段早期岩基与围岩接触带未发育成矿元素正异常,元素正异常和晚期成矿岩浆活动有关。

(2)苗儿山-越城岭南西部复式岩体中的云头界钨钼矿床和早期岩基没有内在成因联系,矿床形成与后期岩浆活动有关。

(3)今后在苗儿山-越城岭南西部复式岩体周围找矿工作中应注意在晚期岩体周围找矿,在岩基外接触带地层中低温矿床(点)区,应注意其深部是否发育高温岩浆热液矿床。

### 参考文献(References):

- [1] 王登红,陈毓川,陈郑辉,刘善宝,许建祥,张家菁,曾载淋,陈富文,李华芹,郭春丽. 南岭地区矿产资源形势分析和找矿方向研究[J]. 地质学报, 2007, 81(7): 882-890.  
Wang Deng-hong, Chen Yu-chuan, Chen Zheng-hui, Liu Shan-bao, Xu Jian-xiang, Zhang Jia-jing, Zeng Zai-lin, Chen Fu-wen, Li Hua-qin, Guo Chun-li. Assessment on mineral resource in Nanling Region and suggestion for further prospecting[J]. Acta Geol Sinica, 2007, 81(7): 882-890 (in Chinese with English abstract).



- [2] 伍静, 梁华英, 娄峰, 张献河, 胡光黔. 常规次生晕法在广西资源县云头界钨钼矿找矿中的成果及意义[J]. 矿床地质, 2010, 29(2): 301-307.  
Wu Jing, Liang Hua-ying, Lou Feng, Zhang Xian-he, Hu Guang-qian. Result of applying routine secondary halo method to tungsten-molybdenum prospecting work in Yuntoujie area of Ziyuan County, Guangxi, and its significance[J]. Mineral Deposits, 2010, 29(2): 301-307 (in Chinese with English abstract).
- [3] Wu Jing, Liang Huaying, Huang Wenting, Wang Chunlong, Sun Weidong, Sun Yali, Li Jing, Mo Jihai, Wang Xiuzhang. Indosinian isotope ages of plutons and deposits in southwestern Miaoershan-Yuechengling, northeastern Guangxi and implications on Indosinian mineralization in South China[J]. Chinese Sci Bull, 2012, 57(9): 1024-1035.
- [4] 莫柱孙, 叶伯丹, 潘维祖. 南岭花岗岩地质学[M]. 北京:地质出版社, 1980: 1-363.  
Mo Zhu-sun, Ye Bo-dan, Pan Wei-zu. Geology of granite in Nanling Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980: 1-363 (in Chinese).
- [5] 陈毓川. 华南与燕山期花岗岩有关的稀土、稀有、有色金属矿床成矿系列[J]. 矿床地质, 1983, 2(2): 15-24.  
Chen Yu-chuan. The metallogenetic series of the rare-earth, rare and nonferrous metal deposits related to the Yenshanian granites in South China[J]. Mineral Deposits, 1983, 2(2): 15-24 (in Chinese with English abstract).
- [6] 地矿部南岭项目花岗岩专题组. 南岭花岗岩地质及其成因和成矿作用[M]. 北京:地质出版社, 1989: 1-471.  
The Granitoid Research Group of the Nanling project, Ministry of Geology and Mineral Resources. Geology of granitoids of Nanling Region and their Petrogeneses and mineralization[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 1-471 (in Chinese).
- [7] 李献华, 李武显, 李正祥. 再论南岭燕山早期花岗岩的成因类型与构造意义[J]. 科学通报, 2003, 52(9): 981-991.  
Li Xianhua, Li Wuxian, Li Zhengxiang. Genetic types and tectonic implication of early Yanshanian granites in Nanling Region[J]. Chinese Sci Bull, 2003, 52(9): 981-991 (in Chinese).
- [8] 双燕, 毕献武, 胡瑞忠, 彭建堂, 苏文超, 朱长生. 湖南芙蓉锡多金属矿床成矿流体地球化学[J]. 岩石学报, 2009, 25(10): 2588-2600.  
Shuang Yan, Bi Xian-wu, Hu Rui-zhong, Peng Jian-tang, Su Wen-chao, Zhu Chang-sheng. Study on the ore-forming fluid geochemistry of the Furong tin polymetallic deposit, Hunan province, China[J]. Acta Petrol Sinica, 2009, 25(10): 2588-2600 (in Chinese with English abstract).
- [9] 徐伟昌, 张运洪, 刘跃宝. 苗儿山花岗岩复式岩基年代学研究的进展及时代划分方案[J]. 岩石学报, 1994, 10(3): 330-337.  
Xu Wei-chang, Zhang Yun-hong, Liu Yue-bao. Progression in geochronological study and scheme of chronoclassification on Miaoershan granite batholith[J]. Acta Petrol Sinica, 1994, 10(3): 330-337 (in Chinese with English abstract).
- [10] 孙涛. 新编华南花岗岩分布图及其说明[J]. 地质通报, 2006, 25(3): 332-335.  
Sun Tao. A new map showing the distribution of granites in South China and its explanatory notes[J]. Geol Bull China, 2006, 25(3): 332-335 (in Chinese with English abstract).
- [11] 冯国玉, 黄杰, 何方. 越城岭-猫儿山地区花岗岩特征及成矿[J]. 矿产与地质, 2009, 23(5): 412-417.  
Feng Guo-yu, Huang Jie, He Fang. The features and metallogenesis of the granites in the Yuechengling-Maoershan area[J]. Mineral Resour Geol, 2009, 23(5): 412-417 (in Chinese with English abstract).
- [12] Liang Huaying, Campbell I H, Allen C, Sun Weidong, Liu Congqiang, Yu Hengxiang, Xie Yingwen, Zhang Yuqiang. Zircon  $Ce^{4+}/Ce^{3+}$  ratios and ages for Yulong ore-bearing porphyries in eastern Tibet[J]. Miner Deposita, 2006, 41(2): 152-159.
- [13] Liang Huaying, Sun Weidong, Su Wenchao, Zartman R E. Porphyry copper-gold mineralization at Yulong, China, promoted by decreasing redox potential during magnetite alteration[J]. Econ Geol, 2009, 104(4): 587-596.
- [14] Baker T, Achterberg E V, Ryan C G. Composition and evolution of ore fluids in a magmatic-hydrothermal skarn deposit[J]. Geology, 2004, 32(2): 117-120.
- [15] Heinrich C A, Günther D, Audétat A, Ulrich T, Frischknecht R. Metal fractionation between magmatic brine and vapor, determined by microanalysis of fluid inclusions[J]. Geology, 1999, 27(8): 755-758.
- [16] Heinrich C A, Driesner T, Stefánsson A, Seward T M. Magmatic vapor contraction and the transport of gold from porphyry environment to epithermal ore deposits[J]. Geology, 2004, 32(9): 761-764.
- [17] Ulrich T, Günther D, Heinrich C A. Gold concentrations of magmatic brines and the metal budget of porphyry copper deposits[J]. Nature, 1999, 399(6737): 676-679.
- [18] Lowenstern J B, Mahood G A, Rivers M L, Sutton S R. Evidence for extreme partitioning of copper into a magmatic vapor phase[J]. Nature, 1991, 252(5011): 1405-1409.
- [19] Hedenquist J W, Lowenstern J B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits[J]. Nature, 1994, 370(6490): 519-527.
- [20] Shinohara H, Hedenquist J W. Constraints on magma degassing beneath the Far Southwest porphyry Cu-Au deposit, Philippines[J]. J Petrol, 1997, 38(12): 1741-1752.
- [21] Candela P A, Piccoli P M. Model ore-metal partitioning from melts into vapor and vapor/brine mixtures[C]//Thompson J F H. Magmas, Fluids and Ore Deposits. Ottawa: Mineral Assoc Canada, 1995, 101-127.