

广西罗维钨多金属矿区花岗岩地球化学特征 及其与成矿的关系

薛彦萍^{1,2}, 蔡明海¹, 李强^{1,2}, 张文兵¹, 毛磊², 秦天²

(1. 广西大学资源与冶金学院, 广西 南宁 530004; 2. 武警黄金部队第四支队, 辽宁 辽阳 111000)

摘 要:罗维钨多金属矿床是近年来广西壮族自治区第四地质队在西大明山地区新发现的一个具大型规模的矽卡岩型矿床, 区内的矿床(化)类型主要为矽卡岩型和石英脉型, 以前者为主。罗维钨多金属矿区出露 2 种花岗岩, 岩性为似斑状黑云母花岗岩和中细粒花岗岩。笔者对两类花岗岩进行岩相学、主微量和稀土元素含量等测试。二者岩石地球化学特征相似, 总体表现为: 高硅($\text{SiO}_2 = 70.30\% \sim 74.78\%$)、高铝($12.77\% \sim 14.12\%$)、贫钙镁($\text{CaO} = 1.11\% \sim 2.04\%$, $\text{MgO} = 0.37\% \sim 0.71\%$), $\Sigma\text{REE} = 102.70 \times 10^{-6} \sim 139.69 \times 10^{-6}$, $\text{LREE}/\text{HREE} = 7.70 \sim 15.92$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 11.15 \sim 31.38$, 轻重稀土分馏明显, 轻稀土富集; $\delta\text{Eu} = 0.37 \sim 0.62$, 具有 Eu 负异常; 岩石相对富集 Ta、U、Nd, 轻度富集 K、Th、La、Ce, 亏损 P、Nb。通过对化学分析结果进行图解说明, 得出结论为似斑状黑云母花岗岩和中细粒花岗岩均是以壳源沉积物质为源岩, 经过部分熔融、结晶而形成的具演化关系的 S 型花岗岩, 该隐伏岩体可能控制了罗维钨多金属矿的形成, 其中偏晚期阶段的中细粒花岗岩更强烈的表现出对 W、Mo、Zn、Cu 的成矿专属性。

关键词: S 型花岗岩; 地球化学; 罗维钨多金属矿床; 广西西大明山地区

中图分类号: P588.12; P595

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2018)01-0175-17

Geochemistry of Granite from the Luwei Tungsten Polymetallic Deposit in Xidamingshan, Guangxi and Its Relationship with Mineralization

XUE Yanping^{1,2}, CAI Minghai¹, LI Qiang^{1,2}, ZHANG Wenbing¹, MAO Lei², QIN Tian²

(1. College of Resources and Metallurgy, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China;

2. No. 4 Gold Geological Party of Chinese People's Armed Police Force, Liaoyang 111000, Liaoning, China)

Abstract: The Luwei tungsten polymetallic deposit is a large scale skarn type deposit, which has been newly found in the west part of Xidamingshan by the No. 4 Geological Party of Guangxi. The ore bodies are divided into skarn type and quartz vein type, and the former serves as the main mineralization type. In this paper, two kinds of granites are occurred in the Luwei tungsten polymetallic deposit. They are porphyritic biotite granite and fine-grained granite. The petrographic analyses and the testing of major elements and REE about these two kinds of granites have been carried out in this paper. The results show that these granites have similar geochemical characteristics. These granites have high silicon ($\text{SiO}_2 = 70.30\% \sim 74.78\%$) and aluminum ($12.77\% \sim$

收稿日期: 2017-04-17; 修回日期: 2017-11-15

基金项目: 广西地质调查院“广西钨钼典型矿床专题研究、广西壮族自治区钨钼成矿规律研究”(桂财建函[2015]118 号)

作者简介: 薛彦萍(1989 -), 男, 助理工程师, 从事区域地质调查和矿产勘查。E-mail: xyp113057@163.com

14.12%) contents, but have poor calcium and magnesium ($\text{CaO} = 1.11\% \sim 2.04\%$, $\text{MgO} = 0.37\% \sim 0.71\%$). Their ΣREE values range from 102.70×10^{-6} to 139.69×10^{-6} , and their LREE/HREE and $(\text{La/Yb})_{\text{N}}$ ratios are $7.70 \sim 15.92$ and $11.15 \sim 31.38$, respectively. These granites have low LREE/HREE ratios, with enriched LREE and Eu depletion ($\delta\text{Eu} = 0.37 \sim 0.62$). These rocks have clearly enrichment of Ta, U, Nd, mild enrichment of K, Th, La, Ce and depletion of P and Nb. The geochemical diagrams show that porphyritic biotite granite and fine-grained granite belong to S-type granite, and they were formed by the partial melting and crystallization of crust-derived materials. The concealed rock mass might be control the formation of the Luowei tungsten poly metallic deposit. The fine-grained granite in late stage shows more strong mineralization specificity for W, Mo, Zn, Cu deposit.

Keywords: S-type granite; geochemistry; Luowei tungsten polymetallic deposit; the west part of Xidamingshan in Guangxi

广西西南部西大明山地区为广泛发育银-铅-锌-金的多金属矿集区,产出有凤凰山大型银矿床和姆驮山银矿、平何银矿,以及长屯铅锌矿、弄屯铅锌矿、绿井铅锌矿、那佰铅锌矿和上孟金矿等中、小型矿床,这些矿床主要属热液脉型(崔彬等,2000;雷英凭,2010;陆建辉,2014;张珩清等,2015;柴明春等,2015;庞运权等,2016),区域上显示出良好的地质成矿环境。而新发现的罗维矿床是一个具大型规模的矽卡岩型钨多金属矿床,其矿化类型与已发现的矿床有所差异。

罗维钨多金属矿床是广西第四地质队于2013年根据物探推断成果,实施系列钻孔勘查验证时发现的大型矽卡岩矿床,现阶段的勘查工作还在进行中。近年来,在罗维钨多金属矿区钻孔的深部发现了细粒斑状黑云母花岗闪长岩。李赛赛等(2016)对岩体进行了初步研究,主要侧重于细粒斑状黑云母花岗闪长岩年代学及同位素研究,显示成岩时代为燕山晚期[(99.84 ± 0.90) Ma 和 (98.03 ± 0.99) Ma],成矿物质来源于隐伏岩体。同时,对罗维矿床中的辉钼矿进行了 Re-Os 同位素测年,获得的年龄值为(95.9 ± 1.8) Ma;付伟等(2014)对罗维矿床4件辉钼矿进行年代学研究,给出的 Re-Os 模式年龄为 93~95 Ma,成岩与成矿时代接近,显示罗维钨多金属矿与深部隐伏岩体具有密切的时空关系。但对隐伏岩体的地球化学特征、演化关系以及对成矿控制等方面的研究涉及不多,与罗维大型钨多金属矿床控制程度是不相对应的。为了充分了解该岩体地球化学特征、演化及与成矿关系,笔者在已有研究成果的基础上,对该岩体地球化学特征、成因等内容

进行了初步研究,探讨隐伏岩体演化与成矿的关系,以期对矿床成因及后期的找矿方向提供更全面的信息。

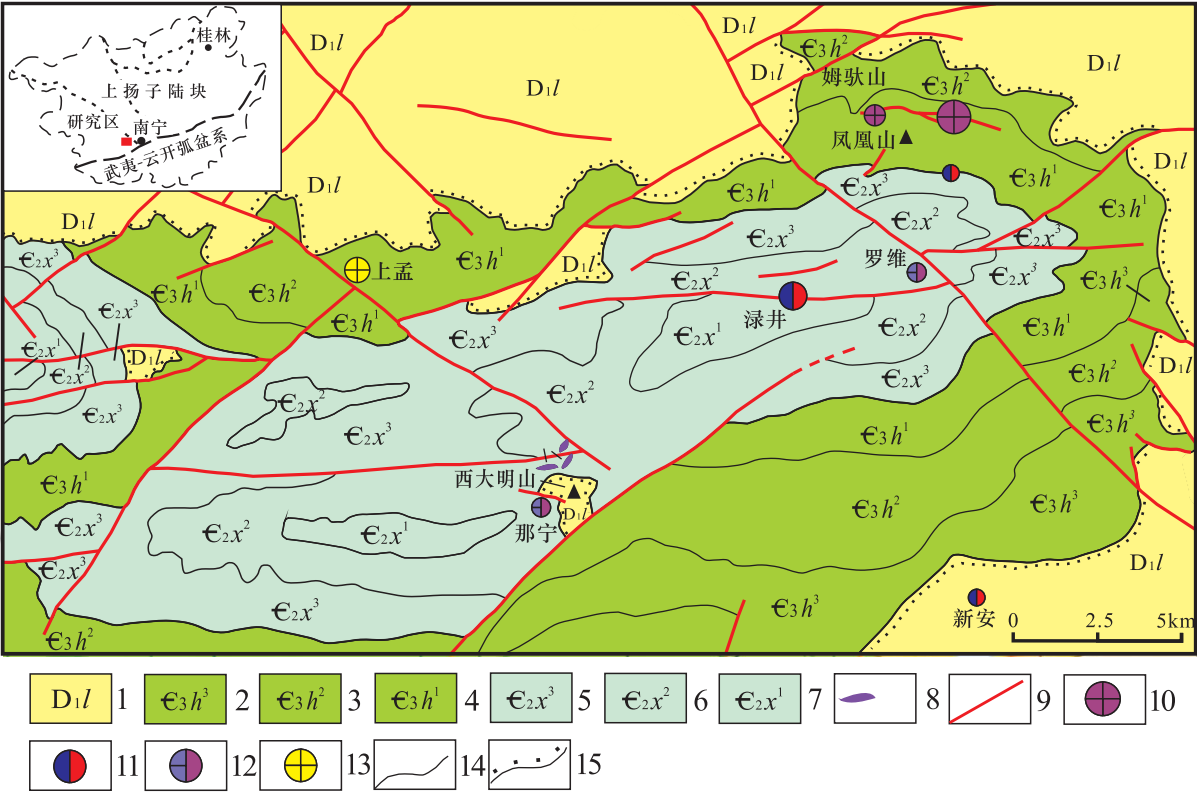
1 成矿地质背景

罗维钨多金属矿位于右江再生地槽之西大明山隆起处,所处大地构造位置为上扬子陆块(Ⅱ级)、崇左弧盆系(Ⅲ级)、崇左岛弧(Ⅳ级)(图1)。

区域地层分为基底和盖层2部分。其中,基底由寒武系组成,岩性为一套浅变质的类复理石碎屑岩,出露于西大明山隆起核部,是区域金属矿的主要赋矿层位;盖层由泥盆系碎屑岩、碳酸盐岩组成,不整合覆盖于寒武系之上。

区域主要褶皱构造为轴向北东 20° 的西大明山复式背斜,背斜长 61 km,宽 10~25 km,核部为寒武系小内冲组和黄洞口组,翼部为泥盆系莲花山组。区域断裂构造以近东西向、北西向、北东向为主,并与北东东向、少量近南北向等不同方向的断裂相互交织,形成了错综复杂的断裂网络系统。该区多数金属矿床和矿化带多分布于近东西向或北西向断层及其附近的小构造中,如绿井铅锌矿床受东西向断层控制,凤凰山银矿床等均受近东西向断层控制;罗维钨多金属矿床则受北西向罗维断裂控制。

区域内地表出露的岩浆岩极少,仅有少量沿裂隙或断层侵入的酸性和基性岩脉零星分布于西大明山复式背斜核部及翼部,如石英斑岩脉、辉绿岩脉等。其中,石英斑岩分布于西大明山主峰北侧,脉附近见含钨石英脉,并伴有云英岩化、电气石化、黄铁



1. 下泥盆统莲花山组;2. 上寒武统黄洞组三段;3. 上寒武统黄洞组二段;4. 上寒武统黄洞组一段;5. 中寒武统小内冲组三段;6. 中寒武统小内冲组二段;7. 中寒武统小内冲组一段;8. 石英斑岩岩脉;9. 断裂;10. 银矿床;11. 铅锌矿床;12. 钨多金属矿床 13. 金矿床;14. 地质界线;15. 角度不整合界线

图 1 罗维钨多金属矿区域地质图(据陆建辉,2015 资料修改)

Fig. 1 Regional geological map of Luowei tungsten-polymetallic deposit(Modified from LU, 2015)

矿化、硅化、角岩化等;辉绿岩脉分布于西部上姜和北部屏山一带,岩脉与围岩呈侵入接触关系,围岩蚀变不明显。近年来,在罗维钨多金属矿区钻孔的深部发现了细粒斑状黑云母花岗闪长岩,证实了隐伏岩体的存在,形成时代为燕山晚期(李赛赛等,2016)。

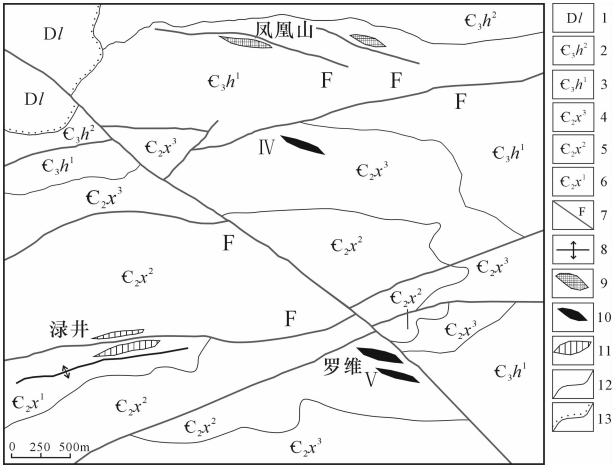
西大明山地区已经探明储量的矿床有凤凰山大型银矿床、绿井中型铅锌矿床、长屯中型铅锌矿床等,目前正在开展地质工作并有重大发现的有弄屯大型铅锌矿床、罗维钨多金属矿床、那宁小型金矿床等。其中,银铅锌多金属矿主要为热液脉型,钨多金属矿为矽卡岩型。区域内银矿主要受近东西向及北东断裂破碎带控制,仅个别南北向、北西向断裂裂隙在发现矿体或矿化线索,该类矿床多分布于近东西向断裂破碎带中,次为北东向、北西向断裂,具叠加及多期次成矿特征。铅锌矿、银铅锌金矿主要分布于近东西向及北东断裂破碎带中,钨多金属矿主要分布于北西向和近东西向断裂、裂隙和顺层滑动破碎带中。

2 矿区地质特征

2.1 地质特征

矿区出露地层主要有寒武系小内冲组、黄洞组 和 泥盆系莲花山组,其中小内冲组岩性为砂岩、粉砂岩、泥岩夹含碳质和钙质泥岩,是区内赋矿层位。矿区内断裂主要有北西向、北东向和近东西向 3 组。其中,北西向、近东西向断裂、裂隙和顺层滑动破碎带则为矿区主要容矿构造,北西向的罗维大断裂为区域性断裂,使区内的地层、东西向及北东向断裂错开(图 2)。

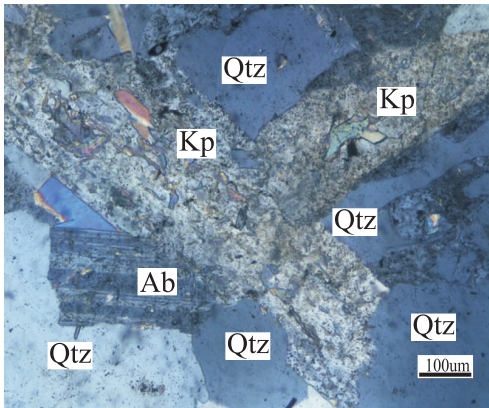
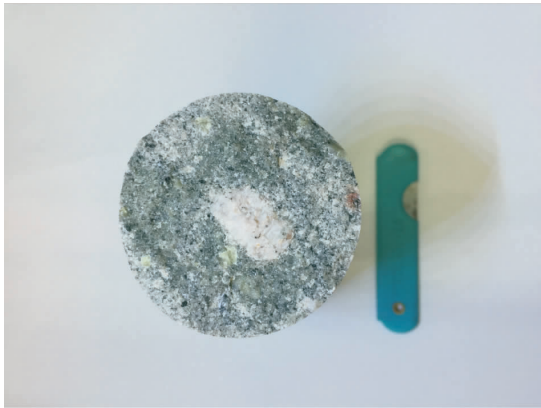
矿区地表未见岩浆岩出露,但在钻孔 ZK40004 950m 处和 ZK31901 500m 处揭露到隐伏岩体。经对钻孔岩心中隐伏岩体的野外观察,及相应岩石样品的镜下岩矿鉴定,将两类岩性的岩石分别定名为似斑状黑云母花岗岩和中细粒花岗岩。



1. 泥盆系莲花山组;2. 上寒武统黄洞口组二段;3. 上寒武统黄洞口组一段;4. 中寒武统小内冲组三段;5. 中寒武统小内冲组二段;6. 中寒武统小内冲组一段;7. 断裂;8. 背斜轴;9. 银矿;10. 钨多金属矿带;11. 铅锌矿带;12. 地质界线;13. 角度不整合界线

图 2 罗维钨多金属矿区地质简图
(据广西壮族自治区第四地质队资料修改)
Fig. 2 Geologic map of Luowei tungsten-polymetallic deposit

似斑状黑云母花岗岩:浅灰色,似斑状结构,块状构造(图 3)。岩石中斑晶占 20%±,主要为板状斜长石,粒径 5~15mm;基质为细粒花岗结构,约占全岩的 80%±。主要矿物为石英(25%±)、斜长石 40%±(少量帘石化)、钾长石 15%±、黑云母 5%±,另有少量角闪石、黄铁矿。该类同一岩性的锆石 U-Pb 测年分别为(99.84 ± 0.90)Ma 和(98.03 ± 0.99)Ma(李赛赛等,2016)。

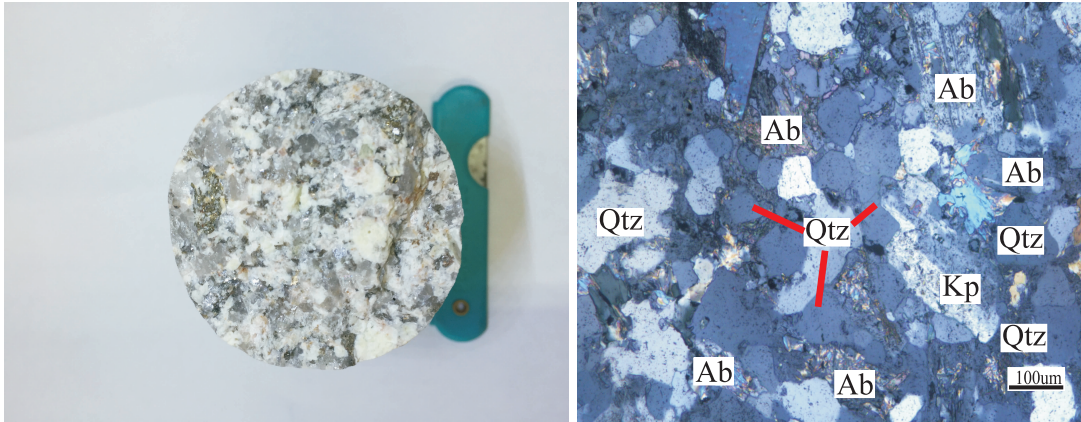


Ab. 钠长石;Kp. 钾长石;Qtz. 石英
图 3 似斑状黑云母花岗岩图
Fig. 3 Photos of porphyritic biotite granite

中细粒花岗岩:灰-浅灰色,花岗结构、块状构造(图 4),主要矿物有石英 30%±、斜长石 45%±(少量高岭土化)、钾长石(15%±)、黑云母(5%~8%)、角闪石 1%±,另有少量黄铁矿。斜长石呈灰白色,半自形板状,他形粒状,粒径 2~5mm;钾长石,他形粒状,粒径 2~5mm;石英,乳白色,油脂光泽,他形粒状,粒径 2~4mm;黑云母,黑色片状,粒径 0.5~3mm;角闪石,粒状或半自形短柱状。

2.2 矿床地质特征
罗维矿区发育有矽卡岩型和石英脉型 2 类矿床类型,但以前者为主体。石英脉型矿体主要产于浅表和上部裂隙带内,受构造裂隙控制,埋深一般<400m。石英脉厚 1~10cm,走向北西西(近东西)向和北东向,倾角较陡,一般>45°。矽卡岩型矿体产于中、下部矽卡岩中,埋深多>400m。矿体呈似层状平行产出,走向近东西向,倾角较缓,一般<20°,矿体间的垂向间距为 5~65m。矿体长 170~360m,厚 0.70~3.90m,平均品位 WO₃ 为 0.137%~0.395%,Zn 为 0.62%~2.14%,Bi 为 0.013%~0.108%。

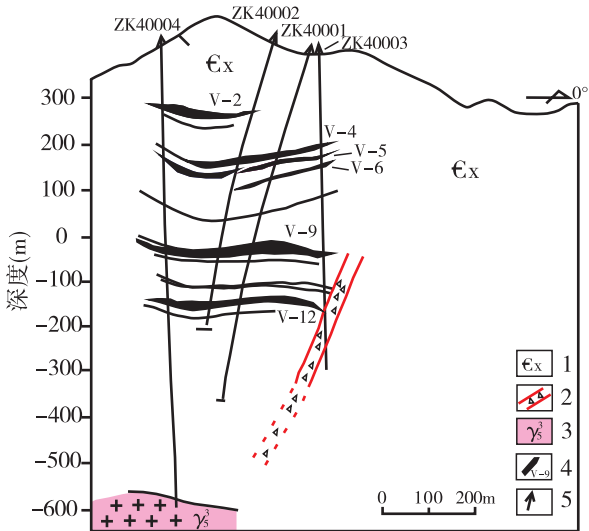
区内发现有 IV 和 V 号 2 个北西向矿带,目前仅在 V 号矿带就揭露到 31 个钨钼矿体,其中,V-9 号和 V-12 号为区内主要矿体(图 5)。
(1) V-9 号矿体。矿体埋深>400m,距深部隐伏岩体的垂高约 400m。矿体走向控制长约 800m,厚约 0.92~15.87m,斜深约 600m。矿体大致顺层产出,倾向南西,倾角 4°~36°,产状随围岩起伏而变化。单工程平均品位 WO₃ 为 0.048%~0.392%,Zn 为 0.22%~2.13%,Bi 为 0.016%~0.063%。



Ab. 钠长石;Kp. 钾长石;Py. 黄铁矿;Qtz. 石英

图 4 中细粒花岗岩图

Fig. 4 Photos of medium fine-grained granite



1. 寒武系小内冲组砂岩、泥岩;2. 断裂破碎带;3. 燕山晚期花岗岩体;4. 钨多金属矿体及编号;5. 钻孔

图 5 罗维钨多金属矿 400 勘探线剖面图
(据黄镇豪等,2015 修改)

Fig. 5 No. 400 prospecting line profile map of Luoweitungsten-polymetallic deposit (Modified from HUANG et al, 2015)

(2) V-12 号矿体。矿体走向控制长约 800m,厚约 0.44~4.30m,斜深约 300~600m,顺层产出,倾向南西,倾角 4°~36°,产状随围岩起伏而变化。单工程平均品位 WO₃ 为 0.079%~0.815%,Zn 为 0.26%~3.35%,Bi 为 0.018%~0.199%,Cu 为 0.028%~0.18%。

区内钨多金属矿体主要由矽卡岩型矿石及叠加其

上的石英细脉型矿石组成,以前者为主体。矽卡岩型矿石中矿物组合较简单,主要金属矿物有白钨矿、闪锌矿、辉铋矿、黄铁矿、黄铜矿、毒砂、磁黄铁矿、白铁矿和自然铋等。非金属矿物以石英、方解石为主,同时含少量透辉石、透闪石、阳起石、绢云母和石榴子石等。

矿石的结构主要有自形结构、半自形-他形结构、交代残余结构和包含结构。

矿石构造主要以致密块状和浸染状为主,其次为细脉状构造、网脉状构造,以及因矿物组合不同而形成的条带状构造等。

3 样品的采集及分析结果

3.1 样品的采集

采集的 8 件样品均来自罗维钨多金属矿钻孔 ZK40004 中的岩心,新鲜无风化(表 1)。

表 1 罗维钨多金属矿区化学分析样品表
Tab. 1 Chemical analysis of samples of Luoweitungsten-polymetallic deposit

样品号	取样深度(m)	岩 性
LW01	589	
LW15	605	中细粒花岗岩
LW03	610	
LW04	620	
LW05	627	
LW06	668	似斑状黑云母花岗岩
LW07	686	
LW13	996	

似斑状黑云母花岗岩和中细粒花岗岩,二者呈渐变过渡关系(图 6)。



(虚线右为似斑状黑云母花岗岩,左为中细粒花岗岩)

图 6 罗维钨多金属矿钻孔岩心图

Fig. 6 Borehole cores from Luowei tungsten-polymetallic deposit

3.2 研究方法

8 件样品的主量元素、稀土和微量元素分析测试由国土资源部中南矿产资源监督检测中心完成,分析方法:X 射线荧光光谱法(XRF),精度优于 2%~5%;等离子体质谱法(ICP-MS),相对偏差小于 5%。

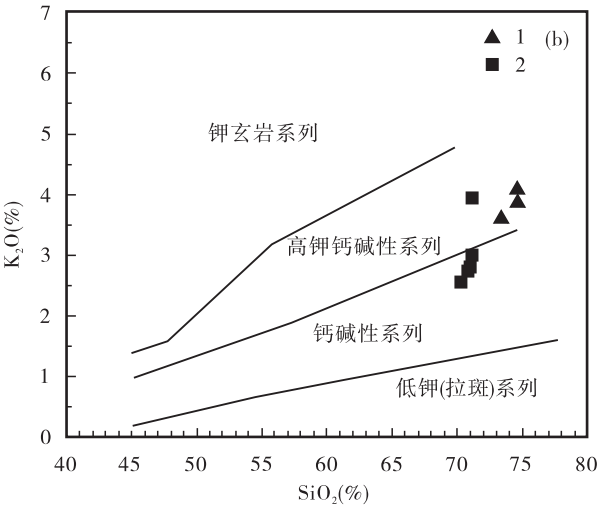
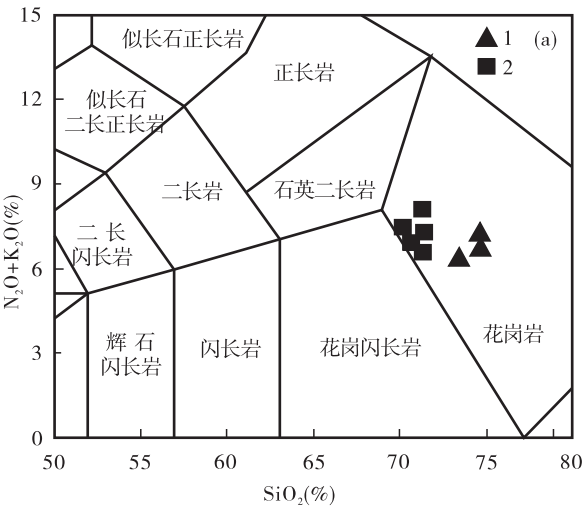
3.3 主量元素特征

样品主量元素含量见表 2,CIPW 标准矿物含量见表 3,分析数据采用 GeoKit 程序(路远发,2004)

处理,将样品分为中细粒花岗岩和似斑状黑云母花岗岩,依次讨论。

中细粒花岗岩: SiO_2 含量为 73.40%~74.78%,平均为 74.29%;($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$)为 6.49%~7.13%。在花岗岩类的 TAS 图解中全部落入花岗岩范围(图 7a)。在 $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ 图解中,显示高钾钙碱性系列岩石的特征(图 7b)。 Al_2O_3 含量为 12.77%~13.59%,平均为 13.17%;A/CNK 值为 1.14~1.28,属于过铝质系列(图 8)。其他氧化物含量: MgO 为 0.37%~0.46%, CaO 为 1.11%~1.18%, P_2O_5 0.14%~0.17%,含较低的 MnO 含量为 0.05%。分异指数(DI)值为 88.36~90.04,说明岩浆分异程度高;固结指数(SI)值为 3.85~5.22,表明岩浆经历了高程度的分异演化; $FL = 84.62 \sim 86.53$, $MF = 74.26 \sim 84.70$,表明岩浆分离结晶作用强。中细粒花岗岩的总体特征为 Si 含量高,碱含量中等,高铝、贫钙镁。岩石中 W 含量为 $75.1 \times 10^{-6} \sim 1\,680 \times 10^{-6}$,Zn 含量为 $45.9 \times 10^{-6} \sim 80.6 \times 10^{-6}$ 。

似斑状黑云母花岗岩: SiO_2 含量为 70.30%~71.27%,平均为 70.92%;($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$)为 6.85%~8.06%。在花岗岩类的 TAS 图解中,全部落入花岗岩范围(图 7a)。在 $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ 图解中,主要显示出钙碱性系列岩石的特征(图 7b)。 Al_2O_3 含量为 13.65%~14.12%,平均为 13.92%;A/CNK

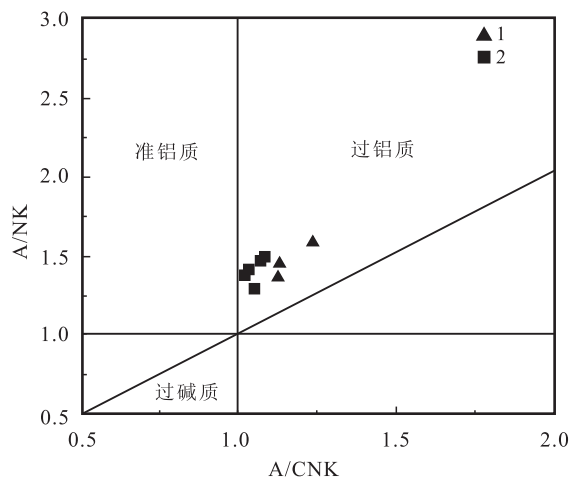


1. 中细粒花岗岩;2. 似斑状黑云母花岗岩

图 7 (a)花岗岩类的 TAS 图解和(b) $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ 图解(底图据 LE Maitre, et al. 1989)

Fig. 7 (a)TAS diagram and (b) $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ diagram of granitoids (After LE Maitre, et al. 1989)

值为 1.02~1.08,属于过铝质系列(图 8)。其他氧化物含量: MgO 为 0.67%~0.71%, CaO 为 1.40%~2.04%, P_2O_5 为 0.13%~0.19%, 含较低的 MnO(0.07%~0.09%)。分异指数(DI)值为 85.49~87.71,说明岩浆分异程度高;固结指数(SI)值为 6.01~7.30,表明岩浆经历了较高分异演化; $FL = 77.02 \sim 85.20$, $MF = 75.95 \sim 79.44$,表明岩浆分离结晶作用较强。似斑状黑云母花岗岩总体特征为 Si 含量高,碱含量中等,高铝,贫钙镁。岩石中 W 含量为 $11.1 \times 10^{-6} \sim 95.7 \times 10^{-6}$, Zn 含量为 $38.9 \times 10^{-6} \sim 62.2 \times 10^{-6}$ 。



(图例同图 7)

图 8 花岗岩类的 A/CNK - A/NK 图解

(底图据 MANIAR et al., 1989)

Fig. 8 A/CNK - A/NK diagram of granitoids

(After MANIAR et al., 1989)

由岩石化学成分含量表(表 2)看出,该研究区的两类花岗岩主要氧化物随 SiO_2 含量变化都表现出一定线性关系(图 9): K_2O 含量与 SiO_2 含量呈线性正相关, Na_2O 、 Al_2O_3 、MgO、TFeO、CaO 含量与 SiO_2 含量呈线性负相关。

3.4 微量元素特征

由罗维钨矿钻孔岩心微量元素含量表(表 4)及微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 10)可以看出,岩石相对富集 Ta、U、Nd,轻度富集 K、Th、La、Ce,亏损 P、Nb。其中大离子亲石元素(LILE)有 K,高场强度元素(HFSE)有 Th、U、Nb、P、Ce,活泼金属有 Cu、Zn,不活泼金属有 Co、Ni,中细粒花岗岩与花岗斑岩的微量元素原始地幔标准化蛛网图形状非常

相似。

3.5 稀土元素特征

中细粒花岗岩的稀土总量 $\Sigma REE = 102.7 \times 10^{-6} \sim 106.89 \times 10^{-6}$,均值为 105.03×10^{-6} 。轻稀土(LREE) = $90.89 \times 10^{-6} \sim 98.78 \times 10^{-6}$,均值为 95.38×10^{-6} ;重稀土(HREE)含量较低,为 $8.11 \times 10^{-6} \sim 11.81 \times 10^{-6}$,均值为 9.65×10^{-6} ; LREE/HREE 为 7.70~12.18,均值为 10.19; $(La/Yb)_N = 11.15 \sim 16.64$,均值为 13.63; $La/Sm = 4.49 \sim 6.19$, $(La/Sm)_N = 2.90 \sim 4.00$, $Gd/Yb = 2.48 \sim 3.04$, $(Gd/Yb)_N = 2.05 \sim 2.51$, δEu 为 0.37~0.44,均值为 0.42, $\delta Ce = 0.94 \sim 0.95$ 。上述特征表明,岩石轻重稀土分馏明显,轻稀土富集,重稀土分馏程度较低,富集程度不高。稀土元素配分曲线呈明显右倾斜形式,具负 Eu 异常,具弱负 Ce 异常(图 11)。

似斑状黑云母花岗岩的稀土总量 $\Sigma REE = 131.08 \times 10^{-6} \sim 139.69 \times 10^{-6}$,均值为 134.43×10^{-6} 。轻稀土(LREE) = $123.29 \times 10^{-6} \sim 130.74 \times 10^{-6}$,均值为 126.05×10^{-6} ;重稀土(HREE)含量较低,为 $7.78 \times 10^{-6} \sim 9.33 \times 10^{-6}$,均值为 8.38×10^{-6} ; LREE/HREE 为 13.67~15.92,均值为 15.10; $(La/Yb)_N = 22.82 \sim 31.38$,均值为 28.56; $La/Sm = 7.05 \sim 8.10$, $(La/Sm)_N = 3.49 \sim 4.01$, $Gd/Yb = 3.76 \sim 4.63$, $(Gd/Yb)_N = 3.11 \sim 3.83$, δEu 为 0.53~0.62,均值为 0.58; $\delta Ce = 0.92 \sim 0.94$ 。上述特征表明岩石轻重稀土分馏明显,轻稀土富集,重稀土分馏程度较低,富集程度不高。稀土元素配分曲线呈明显右倾斜形式,具负 Eu 异常,具弱的负 Ce 异常(图 11)。

综上所述,中细粒花岗岩和似斑状黑云母花岗岩的稀土元素特征相似,稀土配分曲线形状一致,研究区岩石的稀土元素含量较接近陆壳值。

4 讨论

4.1 2 期岩体的演化关系讨论

在对 Harker 图解(图 9)的分析研究中可见,似斑状黑云母花岗岩与中细粒花岗岩中 SiO_2 与 MgO、TFeO、 Al_2O_3 、CaO 等氧化物呈负相关关系,存在明显的演化关系。结合实际取样的深度,似斑状黑云母花岗岩比中细粒花岗岩形成深度深,成岩

时的压力、温度较高,并且在岩心照片(图 6)看出 2 种花岗岩具有明显的过渡关系,因此推测两者可能为同一岩浆房在物化条件发生变化时,岩浆分异形成具有不同岩性的花岗岩。

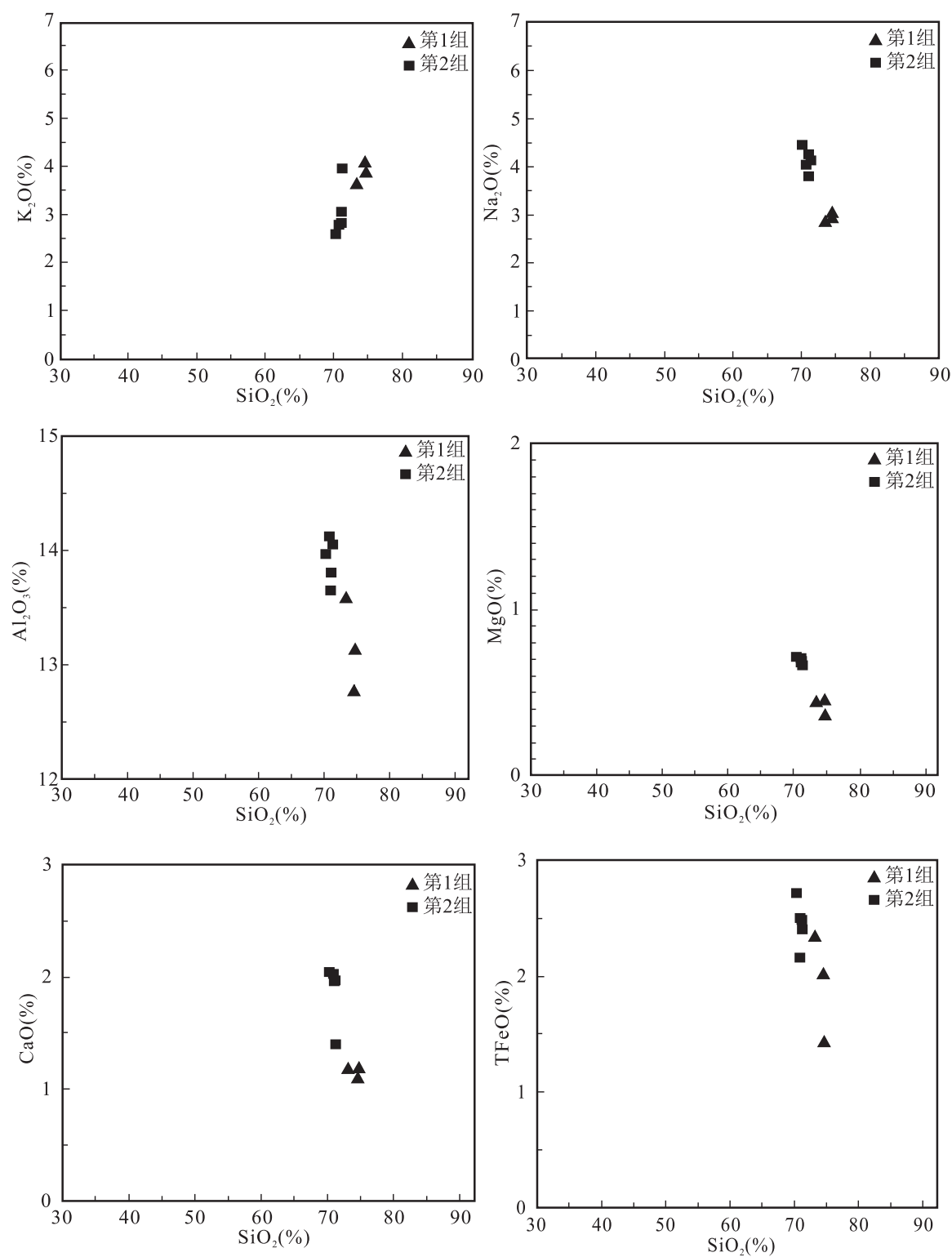


图 9 SiO_2 与其他氧化物之间的 Harker 图解

Fig. 9 Harker diagram of SiO_2 with other oxides

表 2 罗维钨多金属矿岩心样品化学成分含量(%)及参数表
Tab. 2 Major elements content(%)and related petrochemical parameters
of borehole cores from Luowei tungsten-polymetallic deposit

样号	LW01	LW03	LW15	平均值	LW04	LW05	LW06	LW07	LW13	平均值
岩性	中细粒花岗岩				似斑状黑云母花岗岩					
SiO ₂	73.40	74.78	74.68	74.29	71.09	70.87	71.05	70.30	71.27	70.92
Al ₂ O ₃	13.59	13.14	12.77	13.17	13.80	14.12	13.65	13.97	14.05	13.92
Fe ₂ O ₃	1.32	0.46	0.43	0.74	0.57	0.79	0.35	0.42	0.14	0.45
FeO	1.16	1.02	1.64	1.27	1.99	1.45	2.17	2.34	2.27	2.04
CaO	1.18	1.18	1.11	1.16	1.96	2.02	1.96	2.04	1.40	1.88
MgO	0.45	0.46	0.37	0.43	0.69	0.71	0.71	0.71	0.67	0.70
K ₂ O	3.64	3.90	4.10	3.88	3.02	2.74	2.82	2.57	3.94	3.02
Na ₂ O	2.85	2.97	3.03	2.95	3.83	4.03	4.26	4.45	4.12	4.14
TiO ₂	0.22	0.21	0.22	0.21	0.33	0.34	0.35	0.33	0.32	0.33
P ₂ O ₅	0.17	0.14	0.14	0.15	0.14	0.13	0.18	0.19	0.19	0.17
MnO	0.05	0.05	0.05	0.05	0.09	0.07	0.09	0.09	0.08	0.08
Los	1.68	1.38	1.09	1.38	2.06	2.37	1.98	2.12	1.10	1.93
合计	99.71	99.69	99.61	99.67	99.56	99.64	99.57	99.53	99.54	99.57
岩石化学参数										
σ43	1.38	1.48	1.6	1.49	1.66	1.63	1.78	1.79	2.29	1.83
AR	2.26	2.42	2.55	2.41	2.54	2.45	2.66	2.56	3.18	2.68
A/CNK	1.28	1.19	1.14	1.20	1.07	1.08	1.02	1.03	1.05	1.05
NK	6.49	6.87	7.13	6.83	6.85	6.77	7.08	7.02	8.06	7.16
N/K	1.19	1.15	1.12	1.15	1.92	2.23	2.29	2.63	1.59	2.13
DI	88.36	90.04	89.94	89.45	85.98	86.36	85.58	85.49	87.71	86.22
SI	4.76	5.22	3.85	4.61	6.83	7.30	6.87	6.80	6.01	6.76
FL	84.62	85.34	86.53	85.50	77.75	77.02	78.32	77.48	85.20	79.15
MF	84.70	74.26	84.59	81.18	78.76	75.95	78.07	79.44	78.27	79.10
A/MF	3.04	4.11	3.36	3.50	2.61	2.91	2.56	2.47	2.76	2.66
C/MF	0.48	0.67	0.53	0.56	0.67	0.76	0.67	0.66	0.5	0.65

表 3 罗维钨多金属矿岩心岩石 CIPW 标准矿物含量(%)
Tab. 3 The CIPW norms of borehole cores from Luowei tungsten-polymetallic deposit(%)

样号	LW01	LW03	LW15	LW04	LW05	LW06	LW07	LW13
岩性	中细粒花岗岩			似斑状黑云母花岗岩				
石英(Q)	42.69	42.21	40.57	35.12	35.36	34.94	31.94	29
钙长石(An)	0	0	0	0.57	0.69	0	0.87	1.96
钠长石(Ab)	23.9	24.58	24.98	32.8	34.58	33.83	38.16	35.2
正长石(Or)	21.77	23.25	24.39	18.06	16.42	16.81	15.39	23.51
刚玉(C)	5.12	4.22	3.53	4.07	4.33	4.11	3.6	2.32

续表 3

样号	LW01	LW03	LW15	LW04	LW05	LW06	LW07	LW13
岩性	中细粒花岗岩			似斑状黑云母花岗岩				
紫苏辉石(Hy)	1.97	2.41	3.33	4.59	3.41	5.09	5.42	5.38
钛铁矿(Il)	0.43	0.39	0.41	0.62	0.65	0.66	0.64	0.61
磁铁矿(Mt)	1.89	0.67	0.62	0.83	1.16	0.52	0.62	0.2
磷灰石(Ap)	0.41	0.34	0.32	0.34	0.31	0.43	0.44	0.43
方解石(Cc)	1.72	1.78	1.67	2.99	3.09	3.1	2.93	1.38
碳酸钠(Nc)	0.1	0.15	0.17	0	0	0.51	0	0
合计	100	100	99.99	99.99	100	100	100.01	99.99

注:岩石化学成分数据来源于本文,其参数和 CIPW 标准矿物含量为笔者计算。组合指数(σ_{43})=(Na₂O+K₂O)²/(SiO₂-43),若 SiO₂>50%,1<K₂O/Na₂O<2.5,公式中 Na₂O+K₂O 用 2Na₂O 代替。碱度率(A. R)=[Al₂O₃+CaO+(N₂O+K₂O)]/[Al₂O₃+CaO-(Na₂O+K₂O)],全碱含量(NK)=Na₂O+K₂O,长英指数 FL=100×(Na₂O+K₂O)/(Na₂O+K₂O+CaO);镁铁指数 MF=100×(Fe₂O₃+FeO)/(Fe₂O₃+FeO+MgO);固结指数(SI)=MgO×100/(MgO+Fe₂O₃+FeO+Na₂O+K₂O)(%);分异指数(DI)=Qz+Or+Ab+Ne+Lc+Kp;铝饱和指数(A/CNK)=Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O),A/MF=Al₂O₃/(TFeO+MgO),C/MF=CaO/(TFeO+MgO)(mol). CIPW 标准矿物由 Kurt Holocher 设计的 Excel 表格计算,略有修改;用 Le Maitre RW(1976)方法按侵入岩调整氧化铁;氧化物在去 H₂O⁻等以后重换算为 100%。

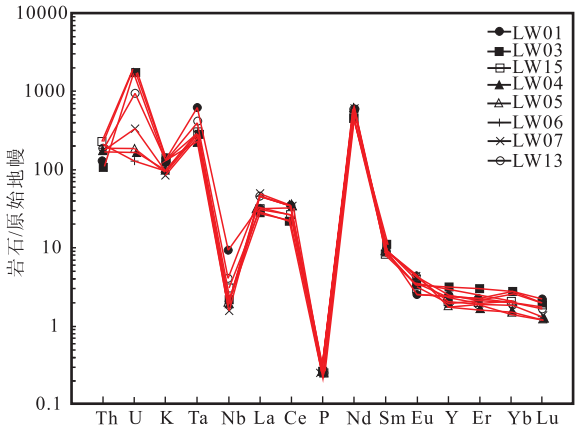


图 10 罗维钨多金属矿岩心微量元素原始地幔标准化蛛网图(原始地幔标准化值据 SUN et al. ,1989)
Fig. 10 Primitive mantle-normalized trace elements spider diagram of borehole cores from Luowei tungsten-polymetallic deposit

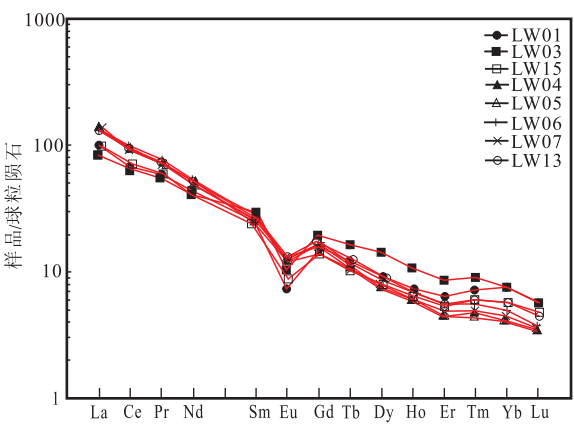


图 11 罗维钨多金属矿岩心稀土元素球粒陨石标准化分布模式图(球粒陨石标准化值据 PEARCE J A,1984)
Fig. 11 Chondrite-normalized REE patterns of borehole cores from Luowei tungsten-polymetallic deposit

似斑状黑云母花岗岩与中细粒花岗岩的微量元素原始地幔标准化蛛网图和稀土元素配分曲线基本一致,表明二者可能为同一岩浆分异演化而成。

在地球化学参数研究方面,对与岩石的分离结晶程度有关的地球化学参数见表 5,除钨金属含量外,其余参数均为平均值。据前人研究,认为岩浆的分异演化都是向贫 MgO、富 SiO₂的方向演化,MgO 的变化多比 SiO₂更显著,并且分异指数、固结指数、铁镁指数都可用来指示岩浆分离结晶作用的强弱。

分异指数、铁镁指数越大,固结指数越小,说明岩浆的分异程度越高,分离结晶作用越强烈,酸性程度越高。在酸性岩浆体系中,部分轻稀土元素与重稀土元素的比值以及 δEu 均可以作为岩浆分异演化程度的指标,如(La/Yb)_N、(Ce/Yb)_N、Nb/Ta 随岩浆分异作用增强,其比值逐渐减弱,Eu 亏损愈加明显(赵振华,1997)。同时有研究认为,结晶分异作用对残余岩浆中钨金属的富集起到促进作用(BREITER K,2012;FOGLIATA A S et al. ,2012;TEIXEIRA

表 4 罗维钨多金属矿岩心稀土和微量元素含量(10^{-6})及特征参数表

Tab. 4 REE and trace element analyses(10^{-6})of borehole cores from Luowei tungsten-polymetallic deposit

样品	中细粒花岗岩			似斑状黑云母花岗岩					陆壳	洋壳	大陆弧	岛弧	adakite
	LW01	LW03	LW15	LW04	LW05	LW06	LW07	LW13					
La	23	20.2	23.2	31.5	31.9	33.2	32.4	31.5	16	3.7	29.94	32.01	22.62
Ce	44.5	40.7	45.8	57.8	58	61	58.4	59.5	33	1.15	60.15	55.27	41.03
Pr	5.24	5.08	5.43	6.32	6.37	6.76	6.34	6.75	3.9	1.8	—	—	—
Nd	19.4	19.8	20.1	23	22.9	24.6	22.9	24.6	16	1.0	28.27	17.85	18.53
Sm	3.9	4.5	3.75	3.96	3.96	4.42	4.0	4.47	3.5	3.3	5.28	6.4	2.88
Eu	0.43	0.61	0.5	0.71	0.74	0.76	0.76	0.72	1.1	1.3	1.81	3.6	0.91
Gd	3.12	3.8	3.04	3.33	3.34	3.67	3.36	3.72	3.3	4.6	4.26	6.99	2.05
Tb	0.46	0.64	0.41	0.42	0.42	0.48	0.42	0.49	0.6	8.7	0.72	0.76	0.3
Dy	2.36	3.63	2.08	1.97	1.97	2.32	2.08	2.44	3.7	5.7	3.57	6.88	1.22
Ho	0.42	0.62	0.38	0.34	0.34	0.4	0.36	0.42	0.78	1.3	—	—	—
Er	1.07	1.45	0.92	0.79	0.78	0.96	0.85	1.0	2.2	3.7	2.2	5.03	0.64
Tm	0.18	0.22	0.15	0.12	0.11	0.14	0.12	0.15	0.32	5.4	—	—	—
Yb	1.26	1.3	1.0	0.72	0.73	0.88	0.77	0.99	2.2	5.1	2.44	4.26	0.65
Lu	0.16	0.15	0.13	0.096	0.092	0.1	0.096	0.12	0.3	5.6	0.39	0.47	0.11
Y	10.7	14.3	8.83	8.34	8.04	9.75	8.59	10.2	—	—	—	—	—
ΣREE	105.50	102.70	106.89	131.08	131.65	139.69	132.86	136.87	—	—	—	—	—
LREE	96.47	90.89	98.78	123.29	123.87	130.74	124.80	127.54	—	—	—	—	—
HREE	9.03	11.81	8.11	7.79	7.78	8.95	8.06	9.33	—	—	—	—	—
LREE/HREE	10.68	7.70	12.18	15.83	15.92	14.61	15.49	13.67	—	—	—	—	—
(La/Yb) _N	13.10	11.15	16.64	31.38	31.35	27.06	30.18	22.82	—	—	—	—	—
(Ce/Yb) _N	72.71	64.46	94.29	165.28	163.58	142.71	156.15	123.74	—	—	—	—	—
La/Sm	5.90	4.49	6.19	7.95	8.06	7.51	8.10	7.05	—	—	—	—	—
(La/Sm) _N	3.81	2.90	4.00	3.94	3.99	3.72	4.01	3.49	—	—	—	—	—
Gd/Yb	2.48	2.92	3.04	4.63	4.58	4.17	4.36	3.76	—	—	—	—	—
(Gd/Yb) _N	2.05	2.42	2.51	3.73	3.83	3.45	3.61	3.11	—	—	—	—	—
Sm/Nd	0.20	0.23	0.19	0.17	0.17	0.18	0.17	0.18	—	—	—	—	—
δEu	0.37	0.44	0.44	0.58	0.61	0.56	0.62	0.53	0.99	1.02	0.17	1.65	1.14
δCe	0.94	0.94	0.95	0.93	0.93	0.93	0.92	0.94	1.02	0.11	—	—	—
Cu	11.4	21.6	10.5	22	11.8	9.17	10.3	22.6	75	86	30	27	23
Pb	18.2	45.8	20.3	21.5	25.2	18.9	28.2	38.3	8.0	0.8*	—	—	—
Zn	77.5	80.6	45.9	62.2	56	52.1	38.9	52	80	85	59	58	51
Ni	3.45	2.72	4.53	3.89	4.32	5.35	5.38	4.92	105	135	19	9.0	26
Co	1.68	<1	1.88	1.05	2.57	2.46	2.87	2.25	29	47	12	19	25
W	154	1 680	75.1	43.4	33.5	35.2	11.1	95.7	1.0	0.5	—	—	—
Mo	8.24	7.01	12.7	28.8	0.77	0.51	0.99	5.91	1.0	1.0	—	—	—

续表 4

样品	中细粒花岗岩			似斑状黑云母花岗岩					陆壳	洋壳	大陆弧	岛弧	adakite
	LW01	LW03	LW15	LW04	LW05	LW06	LW07	LW13					
As	2.36	1.14	1.14	1.13	3.56	0.86	1.49	2.14	1.0	1.0	—	—	—
Sb	0.4	0.28	0.38	0.23	0.23	0.27	0.25	0.44	0.2	17*	—	—	—
Bi	16	27.7	0.98	2.82	2.56	0.2	0.19	9.33	60*	7.0*	—	—	—
Nb	24.8	9.57	10.3	11.8	10.9	10.7	16	11.7	11	2.2	15.0	15.8	6.5
Ta	6.7	1.56	1.36	1.43	1.46	1.12	2.72	2.24	1.0	0.3	1.17	0.49	0.54
Hf	5.62	5.34	7.06	7.14	6.92	7.0	7.04	5.87	3.0	2.5	5.5	2.6	3.4
Sn	16.3	11.3	6.03	6.89	3.78	3.32	4.43	7.41	2.5	1.4	—	—	—
U	33.7	38.7	3.43	3.72	2.76	7.2	20.1	46	0.91	0.1	3.61	0.67	0.96
Th	10.9	9.32	15.3	16.9	18.2	15.5	15.4	19.4	3.5	0.22	13.2	4.96	4.50
Nb/Ta	3.7	6.13	7.57	8.25	7.47	9.55	5.88	5.22	11	7.33	12.82	32.24	12.04
Th/U	0.32	0.24	4.46	4.54	6.59	2.15	0.77	0.42	3.85	2.2	3.66	7.4	4.69
Gd/Lu	19.5	25.33	23.38	34.69	36.30	36.7	35	31	11	0.82	—	—	—

注:由国土资源部中南矿产资源监督检测中心分析测试,分析方法:X射线荧光光谱法(XRF)和等离子体质谱法(ICP-MS);检测环境:温度25℃,湿度35%;陆壳和洋壳稀土元素含量引自 TAYLOR,S. R. 1985;岛弧、大陆弧及埃达克岩稀土元素含量引自肖庆辉等(2002),“*”表示含量为10⁻⁹;除标明外,其他含量均为10⁻⁶,“\”表示未作分析。

表 5 部分地球化学参数表

Tab. 5 Part of the geochemical parameters

项目	似斑状黑云母花岗岩 (第二组)	中细粒花岗岩 (第一组)
SiO ₂	70.92	74.29
MgO	0.70	0.43
W(10 ⁻⁶)	11.1~95.7	75.1~1 680
分异指数(DI)	86.22	89.45
固结指数(SI)	6.76	3.85
铁镁指数(MF)	79.10	81.18
(La/Yb) _N	28.56	13.63
(Ce/Yb) _N	150.29	77.15
δEu	0.58	0.42
Nb/Ta	7.27	5.80

R J S et al., 2012)。从表 5 可以看出,无矿化花岗岩中钨金属的富集作用强,远高于寒武系中钨的含量(4.7×10⁻⁶)。通过对以上参数进行比较,认为中细粒花岗岩岩浆比似斑状黑云母花岗岩岩浆的分离结晶作用更强,推测演化顺序为似斑状黑云母花岗岩→中细粒花岗岩。

综上所述,罗维矿床的中细粒花岗岩和似斑状

黑云母花岗岩具有相似的地球化学特征,存在演化关系,可能为同源成因,即同一岩浆经过分异演化,形成成分不均、但具有相似特征的岩浆岩。

4.2 岩石类型及源区

通过研究所取花岗岩样品的主量元素含量,得出以下结论:SiO₂、Al₂O₃含量高,铝饱和指数(A/CNK)均大于1,其中岩石 CIPW 标准矿物中均出现刚玉,分子含量均大于1%,未见透辉石(Di)以上特征显示该区花岗岩具有 S 型花岗岩特征。

结合稀土元素球粒陨石标准化分布型式图,曲线向右倾斜,为“右倾海鸥型”,轻重稀土富集的差异性,指示成岩过程中可能存在多阶段的分离结晶作用,即早阶段发生富轻稀土矿物(磷灰石、褐帘石、独居石等)和斜长石的分离结晶作用,晚阶段富挥发分(F,Cl)流体与熔体的相互作用(云英岩化、钠长石化)(王中刚,1989),以上特征均反映了岩石具高分异结晶 S 型花岗岩特征。在 A-C-F 图解(图 12a)可看出,研究区两组岩石也均落在 S 型花岗岩区。

近年来,国内外的研究表明,P₂O₅与 SiO₂的含量在不同 Al₂O₃饱和度的岩浆内,呈现不同的变化趋势,可用于区分 I 型和 S 型花岗岩。其依据在于磷灰石在不同的花岗岩浆中有不同溶解度,使其在

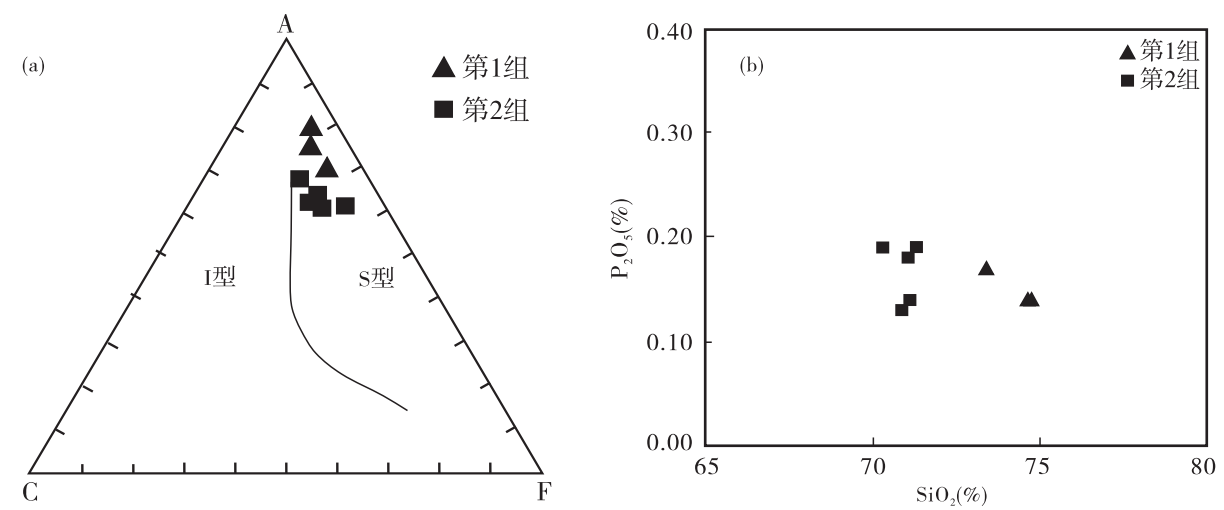


图 12 (a)A - C - F 成因类型判别图 (据 CHAPPELL et al. ,1974) 和 (b)SiO₂ - P₂O₅ 图解

Fig. 12 (a)A - C - F discrimination diagram for genetic type (After CHAPPELL et al. ,1974)and (b)diagram of SiO₂ - P₂O₅

岩浆中呈现不同的饱和状态,最终使磷灰石的结晶顺序发生改变(CHAPPELL B W,1999;BROSKA I et al. ,2004;李献华,2007)。即磷灰石在强过铝质的花岗岩浆中溶解度较高,主要为不饱和状态,不会优先结晶,S型花岗岩中 P_2O_5 的含量随 SiO_2 含量的增加而增加或基本不变;而磷灰石在准铝质、弱过铝质、过碱性的花岗岩浆中溶解度很低,易呈饱和状态,优先结晶,I型花岗岩中的 P_2O_5 的含量随着温度的降低以及岩浆的分异演化(SiO_2 含量的增加)而降低, P_2O_5 与 SiO_2 的这种相关关系被广泛用于 I、S 型花岗岩的区分。结合图 12b,研究区花岗岩中 P_2O_5 的含量随 SiO_2 含量的增加变化很小,变化范围为 0.13~0.19,未见明显负相关关系,推测可能为 S 型花岗岩。

在 A/MF - C/MF 源区判别图解(图 13)中,数据点均落入变质杂砂岩部分熔融区域(壳源区)。SYLVESTER(1998)曾把 $w(CaO)/w(Na_2O)$ (质量百分比)值作为判别过铝质花岗岩源岩的指标,由泥岩部分熔融形成的花岗质熔体的 CaO/Na_2O 值低于砂岩(或正变质岩)部分熔融形成熔体的值,由砂岩形成熔体的 CaO/Na_2O 值一般大于 0.3,而泥岩形成熔体的 CaO/Na_2O 值一般小于 0.3,该区花岗岩为过铝质花岗岩, CaO/Na_2O 值为 0.33~0.51,岩浆源区岩石成分可能为砂岩、砂屑岩。

岩石 Nb/Ta 值可以指示岩浆形成时地壳组分的参与程度,研究区样品的 Nb/Ta 值为 3.70~9.55,

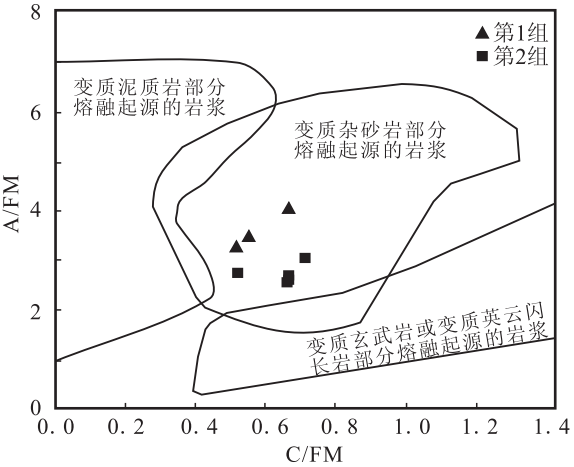


图 13 A/MF - C/MF 源区判别图解
(据 ALTHERR, et al. 2000)

Fig. 13 A/MF - C/MF discrimination diagram of source rock (After ALTHERR, et al. ,2000)

该值低于后太古宙大陆地壳的平均值 11,Th/U 值为 0.24~6.59,平均值为 2.40,也低于地壳平均值 2.80(TAYLOR S R,1985;GREEN T H,1995),说明源区地壳性质明显。Sm/Nd 值是反映岩石物质来源的一个重要参数,地幔为 0.260~0.375,大洋玄武岩为 0.234~0.425,源于壳层的花岗岩一般均小于 0.3(陈德潜,1990)。研究区样品 $Sm/Nd = 0.17 \sim 0.23$,推测源于壳层;在 $(La/Yb)_N - \delta Eu$ 图(图 14)上两类岩石也均位于壳型花岗岩区,主要是地壳岩石局部熔融的结果。另根据岩石类型、矿物

组合、化学成分(ACNK、K/(Na+K)和稀土元素等各种特征对比中国东部花岗岩和闪长岩的成因类型及其特征简表(张德全,1986),研究表明研究区花岗岩源岩主要为壳源。

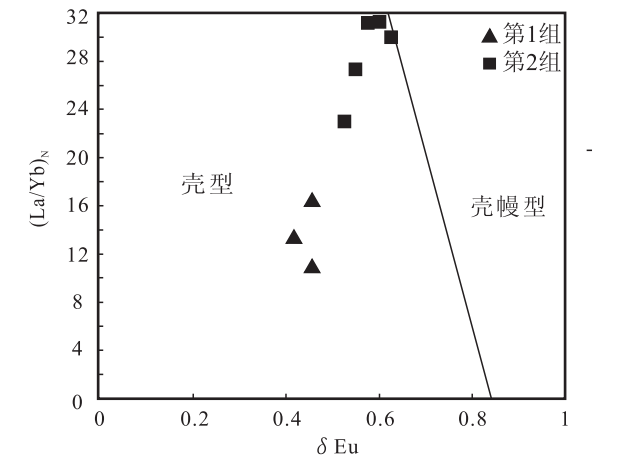


图 14 花岗岩类的 $(La/Yb)_N - \delta Eu$ 图解
Fig. 14 $(La/Yb)_N - \delta Eu$ diagram for granitoids

综上所述,罗维钨多金属矿区似斑状黑云母花岗岩和中细粒花岗岩主要是以壳源沉积物质为源岩,经过部分熔融、结晶而形成的具演化关系的 S 型花岗岩。

4.3 花岗岩与成矿的关系

前人对矿区的岩浆岩、辉钼矿都进行了年龄测试,李赛赛等(2016)对罗维矿区隐伏的黑云母花岗岩闪长岩进行了锆石 U-Pb 测年,年龄为 $(99.84 \pm 0.90) Ma$ 和 $(98.03 \pm 0.99) Ma$ 。同时,对辉钼矿进行了 Re-Os 同位素测年,年龄为 $(95.9 \pm 1.8) Ma$ 。付伟等(2014)也报道了罗维矿床 4 件辉钼矿的 Re-Os 模式年龄为 93~95Ma。从以上年代学数据看出,罗维矿床的成矿时代与隐伏花岗岩成岩时代在误差范围内基本一致,二者均为燕山晚期产物。

从空间位置来看,罗维钨多金属矿床位于隐伏岩体顶端,并且在隐伏岩体的顶端以及岩体与地层的接触带发育有云英岩、角岩、矽卡岩等高温热变质岩和交代变质岩,以上发现表明岩浆期后热液在岩体与围岩接触带及其附近发生了交代作用,即发生了热变质和热流体事件,反映了在空间上岩体对成矿的控制作用。并且在罗维矿区,矽卡岩与矿体同生共体发育,矽卡岩体就是矿体,这说明了钨多金属

矿床的成矿作用与岩浆期后热液导致的热变质和热流体事件存在直接联系。

在对罗维钨多金属矿床成矿物质来源的研究中,笔者搜集了矿区钻孔岩心内岩体和主要地层微量元素丰度值(陆建辉,2015;黎彤,1994),并结合表 3 内部分元素含量值进行分析。Cu 在寒武系 (47.0×10^{-6}) 中含量高于上陆壳 (32.0×10^{-6}) 和岩体 (22.0×10^{-6}) 中元素丰度值,Zn 在寒武系 (88.2×10^{-6}) 、泥盆系 (92.7×10^{-6}) 和岩体中 (62.4×10^{-6}) 含量均高于上陆壳 (51.0×10^{-6}) 元素丰度值,Pb 在寒武系 (48.0×10^{-6}) 和岩体中 (25.5×10^{-6}) 中含量高于上陆壳 (19.0×10^{-6}) 元素丰度值,而 Ag 在地层 $(0.249 \times 10^{-6}、0.198 \times 10^{-6})$ 和岩体中 (0.260×10^{-6}) 含量均远高于上陆壳 (0.054×10^{-6}) 元素丰度值,说明地层可能是成矿物质 Cu 的提供者,地层和岩体共同提供了成矿元素 Ag、Pb、Zn; W、Sn 在岩体中 $(179.7 \times 10^{-6}、10.0 \times 10^{-6})$ 的含量远高于地层 $(2.8 \times 10^{-6}、4.7 \times 10^{-6})$ 、上陆壳中 $(3.4 \times 10^{-6}、5.9 \times 10^{-6})$ 的元素丰度值,说明岩体具有提供成矿物质 W、Sn 的可能性。

上述对岩浆结晶分异作用可以使残余岩浆中的钨金属得到富集进行了论述,似斑状黑云母花岗岩岩浆和中细粒花岗岩岩浆中富集了源岩中的钨金属,是形成含 W 元素流体的有利岩浆,表明隐伏岩体具有提供成矿物质 W 元素的物质基础。

李赛赛等(2016)经过测试罗维矿床以及隐伏岩体中长石的 $^{208}Pb / ^{204}Pb、^{207}Pb / ^{204}Pb、^{206}Pb / ^{204}Pb$,发现以上数值的分布范围基本一致;同时对矿区硫化物以及方解石进行同位素分析,硫化物中的 $\delta^{34}S$ 值为 $-0.2 \sim 6.9$,方解石脉中 $\delta^{13}C$ 值为 $-6.6\text{‰} \sim -5.7\text{‰}$,表明硫和碳为岩浆来源,成矿物质来源于隐伏岩体,即深部的岩浆房。

综上所述,罗维钨多金属矿区深部的隐伏岩体在时间、空间上控制了矿体的形成,深部隐伏岩体可能是成物质的主要来源,部分成矿物质可能由寒武系、泥盆系提供,以上表明罗维钨多金属矿的成矿过程与隐伏岩体关系密切。

通过以上分析,得出结论,该矿床成矿时代为燕山晚期,以钨为主,共生锌。相关岩浆岩为燕山晚期似斑状黑云母花岗岩和中细粒花岗岩,岩石和土壤的成矿元素含量特征进一步表明具有提供成矿物质

W、Mo、Zn、Cu 的可能性。

在罗维矿区与成矿有关的岩体中,晚阶段岩体(中细粒花岗岩)酸性更强,W、Mo 等含量也明显增高,反映出一定的演化特征。综合来看,富含 W、Mo、Zn、Cu 等的岩体是钨(钨锌)成矿的有利条件之一,偏晚期阶段的中细粒花岗岩与成矿关系更加密切,表现出对 W、Mo、Zn、Cu 等的成矿专属性。

5 结论

(1)罗维钨多金属矿区隐伏岩体由似斑状黑云母花岗岩和中细粒花岗岩组成,二者均是以壳源沉积物质为源岩,经过部分熔融、结晶而形成的具演化关系的 S 型花岗岩。

(2)罗维钨多金属矿区深部的中细粒花岗岩和似斑状黑云母花岗岩在时间、空间上控制了矿体的形成,可能也是成矿物质的主要来源。偏晚期阶段的中细粒花岗岩更强烈的表现出对 W、Mo、Zn、Cu 的成矿专属性。

参考文献(References):

柴明春,付伟,冯佐海,等. 广西西大明山弄屯铅锌矿床的成矿流体特征及矿床成因指示意义[J]. 矿床地质,2015,34(5):948-964.

CHAI Mingchun,FU Wei,FENG Zuohai,et al. Characteristics of ore-forming fluids of Nongtun Pb-Zn deposit in Xidaming Mountain of Guangxi and their implications for ore genesis [J]. Mineral Deposits, 2015, 34 (5): 948-964.

陈德潜,陈刚. 实用稀土地球化学[M]. 北京:冶金工业出版社,1990,226-242.

CHENG Dequan,CHEN Gang. Practical Ree Geochemistry [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1990, 226-242.

崔彬,翟裕生,蒙义峰,等. 广西大瑶山-西大明山金银成矿系统研究[J]. 地球科学,2000,25(4):352-355+396.

CUI Bin,ZHAI Yusheng,MENG Yifeng,et al. Au-Ag Ore-Forming System In Dayaoshan-Xidamingshan, Guangxi, China. [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences,2000,25(4):352-355+396.

付伟,柴明春,冯佐海,等. 广西西大明山 W-Bi-Pb-Zn-Ag 多

金属矿集区:一个与隐伏岩体相关的岩浆热液成矿系统? [A]. 2014 年中国地球科学联合学术年会[C], 2014:1879-1881.

FU Wei,CAI Mingchun,FENG Zuohai,et al. The W-Bi-Pb-Zn-Ag polymetallic ore concentration area in Xidaming Mountain of Guangxi: a concealed rock mass related magmatic hydrothermal mineralization system? [A]. Annual Meeting of Chinese Geoscience Union[C],2014: 1879-1881.

黄镇豪,李兆谊,石玉春,等. 物探成果对罗维矿区深部找矿的指示作用及成矿潜力分析[J]. 黄金科学技术,2015,23(1):53-60.

HUANG Zhenhao,LI Zhaoyi,SHI Yuchun,et al. The Instruction Function and Analysis of Mineralization Potential for Deep Prospecting in Luowei Ore Mine from Results of Geophysical Prospecting[J]. Gold Science and Technology,2015,23(1):53-60.

雷英凭,甘琴,郑援. 广西凤凰山银矿床构造控矿与找矿方向研究[J]. 矿物学报,2010 (1):136-140.

LEI Yingping,GAN Qin,ZHENG Yuan. Structural Ore-Controlling Model and Mineral Prospecting of Fenghuangshan Silver Deposit,Guangxi[J]. Acta Mineralogica Sinica,2010,30(1):136-140.

黎彤. 中国陆壳及其沉积层和上陆壳的化学元素丰度[J]. 地球化学,1994,23(2):140-145.

LI Tong. Element Abundances of China's Continental Crust And Its Sedimentary Layer And Upper Continental Crust[J]. Geochemical,1994,23(2):140-145.

李赛赛,冯佐海,付伟,等. 广西西大明山地区银铅锌多金属矿床成因研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报,2016,35(4):781-788.

LI Saisai,FENG Zuohai,FU Wei,et al. A review on the origin of Ag-Pb-Zn polymetallic deposits in the Xidamingshan Area, Guangxi, China[J]. Bulletin of Mineralogy; Petrology and Geochemistry,2016,35(4):781-788.

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,2007,(9):981-991.

LI Xianhua,LI Wuxian,LI Zhengxiang. Further discussion on the genetic types and tectonic significance of early Yanshan granite [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, (9):981-991.

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,2007,(9):981-991.

- LI Xianhua, LI Wuxian, LI Zhengxiang. Further discussion on the genetic types and tectonic significance of early Yanshan granite[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, (9):981-991.
- 陆建辉. 广西大新县弄屯铅锌矿地质特征, 成矿规律及找矿方向分析[J]. 矿产与地质, 2014, 28(4):487-491.
- LU Jianhui. Geological characteristics, metallogenic regularities and prospecting direction of Nongtun Pb-Zn deposit in Daxin of Guangxi[J]. Mineral Resources and Geology, 2014, 28(4):487-491.
- 陆建辉. 西大明山银铅锌金钨铋矿地质特征, 成矿规律及成矿模式[J]. 矿产与地质, 2015, 34(05):560-567.
- LU Jianhui. Geological characteristics, metallogenic regularity and metallogenic model of Xidamingshan Ag-Pb-Zn-Au-W-Bi deposit[J]. Mineral Resources and Geology, 2015, 34(05):560-567.
- 路远发. GeoKit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包[J]. 地球化学, 2004, 33(5):459-464.
- LU Yuanfa. GeoKit: A geochemical toolkit for Microsoft excel[J]. Geochimica, 2004, 33(5):459-464.
- 庞运权, 付伟, 谢宗南, 等. 广西西大明山弄屯铅锌矿床成矿地质特征及找矿前景[J]. 矿产与地质, 2016, 30(3):309-315.
- PANG Yunquan, FU Wei, XIE Zongnan, et al. Metallogenic characteristics and prospecting potential of Nongtun Pb-Zn deposit in Xidamingshan of Guangxi[J]. Mineral Resources and Geology, 2016, 30(3):309-315.
- 王中刚, 于学元, 赵振华. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989, 13-247.
- WANG Zhonggang, YU Xueyuan, ZHAO Zhenhua, Ree Geochemistry[M]. Beijing: Science Press, 1989, 13-247.
- 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2002, 172-191.
- XIAO Qinghui, DENG Jinfu, MA Dashuan, et al. Granite Research Thinking and Method. [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002, 172-191.
- 张德全, 孙桂英. 关于花岗岩成因分类的讨论[J]. 中国地质科学院地质研究所文集, 1986, (02):58-65.
- ZHANG Dequan, SUN Guiying. A Discussion on The Genetic Classification of Granite[J]. Bulletin of The Institute of Geology Chinese Academy of Geological Sciences, 1986, 02:58-65.
- 张珩清, 付伟, 冯佐海, 等. 广西西大明山罗维矿区层状矽卡岩的发现及成矿意义[J]. 桂林理工大学报, 2015, 35(4):712-720.
- ZHANG Hengqing, FU Wei, FENG Zuohai, et al. Discovery of strata-bound skarns and mineralization significance in Luowei mining area, Xidamingshan, Guangxi[J]. Journal of Guilin University of Technology, 2015, 35(4):712-720.
- 赵振华. 微量元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1997, 70-73.
- ZHAO Zhenhua. Trace element geochemistry[M]. Beijing: Science Press, 1997, 70-73.
- 赵子宁, 黄镇豪, 覃定量, 等. 地球物理测量在广西罗维多金属矿勘查的应用效果[J]. 矿产勘查, 2014, 5(5):780-788.
- ZHAO Zining, HUANG Zhenhao, QIN Dingliang, et al. Application of geophysical survey in the exploration of Luowei polymetallic ore deposit, Guangxi[J]. Mineral Exploration, 2014, 5(5):780-788.
- ALTHERR R, HOLL A, HEGNER E, et al. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany) [J]. Lithos, 2000, 50(1):51-73.
- BREITER K. Nearly contemporaneous evolution of the A- and S-type fractionated granites in the Krušné hory/Erzgebirge Mts., Central Europe[J]. Lithos, 2012, 151:105-121.
- BROSKA I, WILLIAMS C T, UHER P, et al. The geochemistry of phosphorus in different granite suites of the Western Carpathians, Slovakia; the role of apatite and P-bearing feldspar[J]. Chemical Geology, 2004, 205(1):1-15.
- CHAPPELL B W, WHITE A J R. Two contrasting granite types[J]. Pacific Geology, 1974, 8(2):173-174.
- CHAPPELL B W. Aluminium saturation in I- and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites[J]. Lithos, 1999, 46(3):535-551.
- FOGLIATA A S, Báez M A, HAGEMANN S G, et al. Post-orogenic, carboniferous granite-hosted Sn-W mineralization in the Sierras Pampeanas Orogen, Northwestern Argentina [J]. Ore Geology Reviews, 2012, 45:16-32.
- GREEN T H. Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust-mantle system [J]. Chemical Geology, 1995, 120(3):347-359.

LE Maitre R W. Some problems of the projection of chemical data into mineralogical classifications[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology,1976,56(2):181-189.

LE Maitre R W B,DUDEK P,KELLER A,et al. A classification of igneous rocks and glossary of terms;Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks [M]. International Union of Geological Sciences,1989.

MANIARP D, PICCOLI P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geological Society of America Bulletin, 1989,101(5):635-643.

PEARCE J A, HARRIS N B W, TINDLE A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Journal of Petrology,1984,25(4):956-983.

SUNS S, MC Donough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[J]. Geological Society, London, Special Publications, 1989,42(1):313-345.

SYLVESTER P J. Post-collisional strongly peraluminous granites[J]. Lithos,1998,45(1):29-44.

TAYLOR S R and MCLENNAN S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution [M]. Oxford: Blackwell,1985.

TEIXEIRAR J S,NEIVA A M R,GOMES M E P,et al. The role of fractional crystallization in the genesis of early syn-D 3, tin-mineralized Variscan two-mica granites from the Carrazeda de Ansiães area, northern Portugal [J]. Lithos,2012,153:177-191.

表生风化碳酸盐型铅锌矿:甘肃代家庄矿床

成矿区带:南秦岭成矿带西段,即西秦岭成矿带(Ⅲ-28)。

建造构造:矿体层位为中泥盆统泥盆系龙鳞桥组和东沟组,容矿岩石主要为铁质碳酸盐岩、硅质岩、硅质灰岩、铁白云石、重晶石灰岩。矿体顶板围岩为粉砂质板岩、钙质板岩和泥灰岩,底板围岩为生物碎屑灰岩、微晶灰岩等。

成矿时代:泥盆纪沉积硫化物型矿;中生代受改造;新生代风化成碳酸盐型矿。

成矿组份:Pb,Zn,(Ag,Cd)。

矿床(点)实例:(甘)宕昌县代家庄铅锌矿床。

简要特征:矿体均受地层和北西向断裂构造控制,主要呈似层状、透镜状、囊状,赋存在层间破碎灰岩碎裂板岩、构造角砾岩中。以氧化矿石为主,氧化深度达 50~150m,西深东浅。矿石金属矿物主要有菱锌矿、白铅矿、褐铁矿、赤铁矿以及少量的铅矾、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿等;非金属矿物主要有方解石、石英、黏土矿物,少量白云石、重晶石、绢云母、石膏等。矿石构造有块状、角砾状、微层纹状、条带状、细脉浸染状、圈层-皮壳状、土状;矿石平均品位 Pb 为 3.01%,Zn 为 10.78%,伴生 Ag 为 $30\times10^{-6}\sim250\times10^{-6}$,Cd 为 0.01%~0.2%,Ga 为 0.001%~0.0018%,Ge 为 0.001%~0.003%。

成因认识:在中泥盆世晚期,裂隙槽热异常驱动含矿热液沿同生断裂进入洼地沉积形成铁质碳酸盐岩、硅质岩、硅质灰岩、铁白云石、重晶石灰岩及层状、似层状铅锌硫化物矿体,而在中生代改造作用中沿层间破碎带加厚加富;新生代遭剥蚀出露,大部分硫化物被风化转变为菱锌矿、白铅矿、褐铁矿,仅残余少量硫化物。