

西藏首例云英岩型钨矿 ——甲岗雪山 W-Mo 多金属矿床地质特征研究

徐培言¹, 郑远川¹, 付强^{2,3}, 杨竹森⁴, 沈阳¹, 马睿¹, 王梓轩¹, 吴昌烜¹

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037;
3. 北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871; 4. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要: 甲岗雪山 W-Mo 多金属矿床位于西藏自治区申扎县境内, 地处冈底斯北部, 成矿时代为中新世。矿床与矿区内的二长花岗岩体时空关系紧密, 矿区内的围岩蚀变普遍见云英岩化, 并且云英岩化强烈的地方多伴随强烈的钨钼矿化; 矿体的类型以云英岩型为主, 还有少量石英脉型, 矿石又多呈细脉状或浸染状赋存于云英岩或云英岩化二长花岗岩体内部, 证实了矿床的成因类型为云英岩型。依据野外见到的矿物共生组合、脉体穿切关系等, 可将成矿期划分为硅酸盐-氧化物阶段和硫化物阶段。流体包裹体研究表明, 甲岗雪山 W-Mo 多金属矿床主成矿期的成矿流体为中-高温、中-低盐度的流体, 从主成矿期的硅酸盐-氧化物阶段演化到硫化物阶段, 成矿流体的温度下降明显, 盐度也有所下降。

关键词: 云英岩型; 钨矿床; 流体包裹体; 甲岗雪山; 西藏

中图分类号: P618.67; P618.65

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2017)02-0227-14

Geology of the Jiagangxueshan W-Mo polymetallic deposit-the first greisen-type W deposit in Tibet

XU Pei-yan¹, ZHENG Yuan-chuan¹, FU Qiang^{2,3}, YANG Zhu-sen⁴, SHEN Yang¹, MA Rui¹,
WANG Zi-xuan¹ and WU Chang-da¹

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 4. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The Jiagangxueshan W-Mo polymetallic deposit in Xainza County of Tibet is located in northern Gangdise belt, and its metallogenic time is Miocene. The deposit is closely related to the monzogranite located at the center of the deposit temporally and spatially. Greisenization is the commonest wall rock alteration, and the positions where there exist intense greisenizations usually have relatively good mineralization. The types of ore-bodies are mainly greisen-type and subordinately quartz vein-type. Moreover, mineralization styles are dominantly veinlet and dissemination forms, and W-Mo ores usually occur in greisen or greisenized monzogranite. In conclusion, the genetic type of Jiagangxueshan W-Mo polymetallic deposit is greisen-type. Based on mineral assemblages and crosscutting relationships, the ore-forming stages may consist of an early silicate-oxide stage, followed

收稿日期: 2016-02-01; 接受日期: 2017-02-10

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0600300); 国家重点基础研究发展计划“973”项目(2015CB452600, 2011CB4031006); 国家自然科学基金项目(41472076, 41102033); 中国地质调查局地质调查项目(DD20160024-02, 03, 07, DD20160026); 基本科研业务费专项项目(53200859424)

作者简介: 徐培言(1991-), 男, 汉族, 在读硕士研究生, 地质工程专业, E-mail: xu_py1991@163.com; 通讯作者: 郑远川(1982-), 男, 汉族, 副教授, 主要从事矿床学研究, E-mail: zheng_yc@126.com。

by a sulfide stage. The microthermometric study of fluid inclusions shows that the W-Mo mineralization is relevant to ore-forming fluids at moderate to high temperature and low-middle salinity. From the silicate-oxide stage to sulfide stage, the temperature of the ore-forming fluids decreased obviously and the salinity decreased slightly as well.

Key words: greisen-type; W deposit; fluid inclusions; Jiagangxueshan; Tibet

Fund support: National Key Research and Development Program of China (2016YFC0600300); Subproject of State Key Basic Research Development Project(973 Plan)(2015CB452600, 2011CB4031006); National Natural Science Foundation of China (41472076, 41102033); China Geological Survey Project (DD20160024-02, 03, 07, DD20160026); Fundamental Scientific Research Separate Funds for Central Public Welfare Research Institutes(53200859424)

伴随着新特提斯洋的闭合,印度板块与欧亚板块从古近纪初期便开始发生强烈的陆陆碰撞(Allègre *et al.*, 1984; Yin and Harrison, 2000; Chung *et al.*, 2005)。在陆-陆碰撞过程中,青藏高原内部发育了强烈的岩浆活动及独特的成矿作用(侯增谦等, 2003, 2006a, 2006b, 2006c, 2006d; Hou and Cook, 2009; Zheng *et al.*, 2012a, 2012b, 2014)。其中,在主碰撞阶段,冈底斯北缘发育有蒙亚啊、亚贵拉、纳如松多、龙马拉、勒青拉、恰功、加拉普、加多捕勒、热玛等一系列矿床,形成了极具规模的Pb-Zn-Ag-Cu-Fe多金属成矿带(李应栩等, 2011; 于玉帅等, 2011; 黄克贤等, 2012; 纪现华等, 2012; 付强等, 2013, 2014, 2015; Zheng *et al.*, 2015);到了后碰撞阶段,冈底斯内部的成矿作用主要集中在南部,矿化以Cu-Mo为主,形成了包括驱龙、甲玛、邦浦、厅宫等矿床在内的冈底斯斑岩铜矿带,该斑岩铜矿带因为其巨大的规模、特殊的成矿背景备受关注,目前已研究的较为深入(杨志明等, 2005, 2008; Yang *et al.*, 2009, 2015; 唐菊兴等, 2010; 杜等虎等, 2012, 2015; 赵晓燕等, 2013, 2015; Hou *et al.*, 2013, 2015; Wang *et al.*, 2014a, 2014b; Zhao *et al.*, 2015)。这些斑岩铜矿的成矿时代为中新世,而定年结果显示中新世时期在冈底斯北部的甲岗雪山还存在W-Mo为主的矿化,表明青藏高原不仅在主碰撞阶段挤压增厚环境可以形成钨矿(Li *et al.*, 2014),在后碰撞阶段的拉伸环境也可以形成钨矿床。甲岗雪山W-Mo多金属矿床显然具备它的成矿特殊性,详细研究解剖该矿床对于完善青藏高原整个后碰撞阶段成矿系统以及指导区域找矿是十分必要的。

然而,甲岗雪山W-Mo多金属矿床的成因类型一直不太清楚,矿床的矿化特征、蚀变特征、流体属

性等方面的研究都还比较弱,这无疑影响了成矿模式的建立和区域成矿规律的总结。对此,笔者通过详细的野外地质工作,对甲岗雪山W-Mo多金属矿床的矿化特征、围岩蚀变特征以及矿体与岩体的时空关系等进行详细地研究,证实了该矿床的成因类型为云英岩型。通过对矿体内石英中的流体包裹体开展系统研究,发现成矿流体的属性与前人(王旭东等, 2008, 2013; Wei *et al.*, 2012)报道的位于南岭地区的大型、超大型矿床较为一致。上述研究不仅为矿床本身成矿模式的建立提供了新的数据资料,同时对指导区域找矿实践具有重要意义。该云英岩型钨矿的发现表明,在中新世时期,不仅要把找矿目标放在冈底斯南缘的斑岩型铜矿上,还要重点寻找冈底斯北部的云英岩型钨矿床。

1 区域地质背景

以班公湖-怒江缝合带(BNSZ)和印度河-雅鲁藏布江缝合带(ITYSZ)为界从北到南可将青藏高原分为羌塘地体、拉萨地体和喜马拉雅地体3个部分(Yin and Harrison, 2000),其中拉萨地体又可被狮泉河-纳木错蛇绿混杂岩带(SNMZ)和洛巴堆-米拉山断裂带(LMF)划分成北(NLT)、中(CLT)、南(SLT)3个部分(Zhu *et al.*, 2011, 2013)。甲岗雪山W-Mo多金属矿床在区域大地构造位置上位于冈底斯地块的北部,地处中拉萨地体(图1a)。

区域内岩浆活动十分强烈,中酸性侵入岩广泛分布,以酸性为主,与围岩的界限清楚,产状多为岩株状。岩体的形成时期分为2个时期:即早白垩世和中新世(图1b)。岩石类型有二长花岗岩($N_1\eta\gamma$)、黑云母花岗岩($K_1\gamma\beta$)、花岗闪长岩($K_1\gamma\delta$)和花岗斑岩($K_1\gamma\pi$)。二长花岗岩($N_1\eta\gamma$)在区内出露面积相对

较小, 主要分布在甲岗雪山南坡, 侵位于永珠组($C_{1-2}y$)和拉嘎组(C_2-P_1l)地层中, 时代为 22 Ma^①, 形成于中新世时期。黑云母花岗岩($K_1\gamma\beta$)区内出露面积较二长花岗岩大, 主要分布在甲岗雪山西北坡, 侵位于拉嘎组(C_2-P_1l)和昂杰组(P_1a)地层中, 时代

为早白垩世。花岗闪长岩($K_1\gamma\delta$)在区内出露面积最大, 广泛分布于区内中北部和西南部, 侵入于石炭-二叠系的地层中, 时代也为早白垩世。此外, 区内东部还出露出一套规模不大的早白垩世的花岗斑岩($K_1\gamma\pi$)(图 1b)。

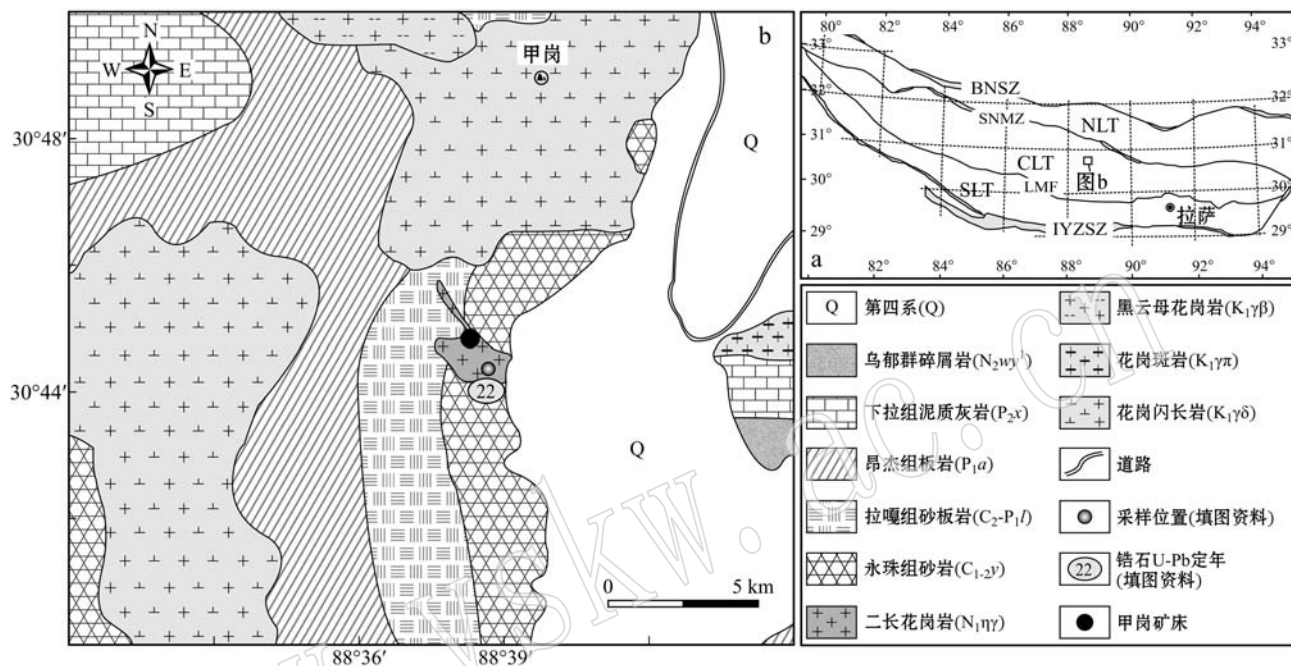


图 1 拉萨地体构造框架图(a, 据 Zhu *et al.*, 2011)和甲岗雪山 W-Mo 多金属矿床区域地质图(b, 改自程立人等, 2002^①)

Fig. 1 Tectonic framework of Lhasa terrane (a, modified after Zhu *et al.*, 2011) and regional geological map of the Jiagangxueshan deposit (b, modified after Cheng Liren *et al.*, 2002^①)

区域内地层以上古生界为主, 其中石炭系和二叠系发育齐全, 系间为连续沉积(图 1b)。石炭系永珠组($C_{1-2}y$)为一套以细粒砂岩为主体的粒序韵律性地层地质体, 区域上岩性、岩相及厚度变化不大。石炭-二叠系拉嘎组(C_2-P_1l)的岩性、岩相和沉积厚度在区内也比较稳定, 为灰绿色砂板岩、细砂岩, 偶夹生物碎屑灰岩或透镜体, 与石炭系永珠组($C_{1-2}y$)为整合接触。下二叠统昂杰组(P_1a)为一套厚度不甚稳定的以板岩为主夹有碳酸盐岩的地层, 与石炭-二叠系拉嘎组(C_2-P_1l)为整合接触。上二叠统下拉组(P_2x)为一套碳酸盐岩地层地质体, 主要岩石类型为浅灰-深灰色中薄层状泥晶灰岩, 与下二叠统昂杰组(P_1a)为整合接触。此外, 区内东部还发育少量上新统乌郁群(N_2wy^1)的碎屑岩, 岩性为紫红色和灰色的砾岩、砂岩及粉砂岩。甲岗雪山 W-Mo 矿床位于

中新世二长花岗岩($N_1\eta\gamma$)与石炭系永珠组砂岩($C_{1-2}y$)的接触部位(图 1b)。

2 矿床地质特征

甲岗雪山 W-Mo 矿区距离申扎县城西南约 40 km, 交通便利。矿区的地理位置为东经 88°38'~88°39', 北纬 30°44'~30°45', 经初步评价, 求得 W + Mo334₁ 资源量 2.3 万吨, 规模中-大型(葛良胜等, 2004)。矿区内出露的岩体是一套二长花岗岩, 地层有石炭系永珠组的砂岩和石炭-二叠系拉嘎组的砂板岩, 矿体主要产在二长花岗岩体与石炭系永珠组砂岩的接触带上。该岩体的形成时代为 22 Ma, 前人测定的与黑钨矿共生的辉钨矿 Re-Os 年龄与其在误差范围内一致(王治华等, 2006a)。二长花岗岩体

① 程立人, 王天武, 徐 锋, 等. 2002. 中华人民共和国 1:25 万申扎县幅地质图. 吉林大学地质调查院.

在时间上和空间上都与钨钼多金属成矿的关系十分密切,表明二长花岗岩为控矿岩体(图 2)。该岩体具有高 SiO_2 含量、铝过饱和的特征,显示壳源岩浆的特点(王治华等,2006b)。岩体及围岩中 NE 向节理发育,岩石破碎严重。笔者通过系统测量野外出露良好的含石英英脉或云英岩脉的产状,发现走向多为近 NS 向,少量 NWW 向,倾向多朝近正西,少量 SEE 向,倾角通常大于 60° 。

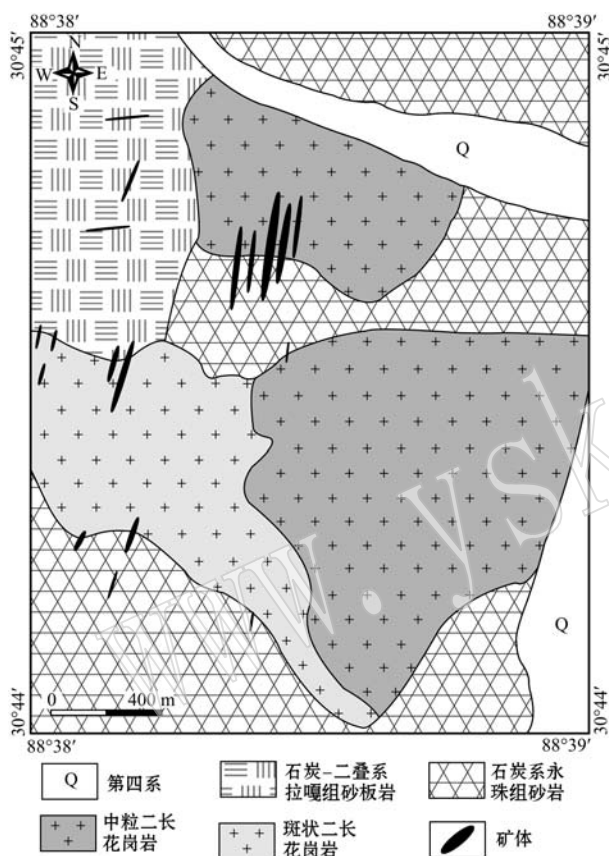


图 2 甲岗雪山 W-Mo 多金属矿床地质简图
(据王治华等,2006b)

Fig. 2 Geological sketch map of the Jiagangxueshan W-Mo polymetallic deposit (modified after Wang Zhihua et al., 2006b)

根据二长花岗岩体结构的不同又可以进一步将其分为中粒二长花岗岩和斑状二长花岗岩(图 3)。中粒二长花岗岩体较新鲜,存在弱的白云母化,中粒结构,块状构造。造岩矿物主要有石英、钾长石、斜长石以及少量的黑云母,其中石英含量约 25%,钾长石约 35%,斜长石约 35%,黑云母约 5%,矿物粒度较均一,多在 2~5 mm 之间(图 3a)。镜下还见到极少量的白云母,多由黑云母蚀变形成,仍可见到黑云

母的蚀变残留(图 3c)。斑状二长花岗岩体蚀变相对较强,云英岩化、绢云母化严重,似斑状结构,块状构造(图 3b)。斑晶主要为钾长石,肉眼见不到黑云母,镜下几乎已全部蚀变为白云母(图 3d)。矿化在这两种岩体内部都有大量存在。

矿体的类型主要有云英岩型、石英脉型。云英岩型矿体是主体,矿石主要呈细脉状(图 4a、4f、4g)或者浸染状(图 4d、4e)分布于云英岩或强烈云英岩化的岩体中。对于细脉状矿石,脉宽一般在 0.5~2 cm 之间,脉体平直,通常位于岩体内部(图 4f、4g)或接触带上(图 4a)。对于浸染状矿石,黑钨矿和辉钼矿以浸染状分布于强烈硅化、白云母化或云英岩化的岩体内部(图 4d、4e)。云英岩型矿体的矿石品位整体较富。石英脉型矿体则呈大脉状,脉宽通常大于 5 cm,少数可达 1 m 以上,脉体较平直,延伸较好,主要分布在围岩地层或接触带中,脉的宽度相比于云英岩型矿体明显加大(图 4b、4c、4h、4i),但品位一般较低,有些围岩中的石英脉体中未见到明显矿化。

矿石矿物主要有黑钨矿、辉钼矿,少量黄铜矿、方铅矿等,脉石矿物主要为石英、白云母,少量方解石、萤石等。黑钨矿单个晶体多呈长板状或柱状,自形程度良好,多存在于石英或富石英云英岩细脉中(图 4a、4f、4g),或呈浸染状分布于云英岩化岩体或云英岩内部(图 4d、4j),少数也存在于围岩内部的石英大脉中(图 4b、4c),偶尔可见到与辉钼矿共生,但数量极少(图 4h、4l)。辉钼矿多呈叶片状、鳞片状集合体或细小分散粒状产出,自形-半自形,在岩体内部、接触带和围岩中都有分布。其中在云英岩或强烈云英岩化岩体中呈浸染状(图 4e、4k),在接触带主要呈鳞片状集合体分布于石英脉中,自形程度良好(图 4i),在围岩内部则呈分散粒状分布于石英脉壁两侧(图 4b)。

野外开展工作时,在围岩内部的石英脉中普遍见到黑钨矿在脉中心结晶而辉钼矿沿脉壁结晶的现象(图 4b),还见到了石英-黄铁矿-黄铜矿脉穿切石英-黑钨矿脉(图 4c)。依据野外见到的矿物共生组合、脉体穿切关系等,甲岗雪山 W-Mo 多金属矿床的成矿期可以划分为两个阶段:硅酸盐-氧化物阶段和硫化物阶段(图 5)。其中黑钨矿、白云母主要沉淀于硅酸盐-氧化物阶段,伴随少量与黑钨矿共生的辉钼矿;辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿主要沉淀于硫化物阶段,伴随极少量的黑钨矿。

矿床的围岩蚀变十分发育,主要有云英岩化、

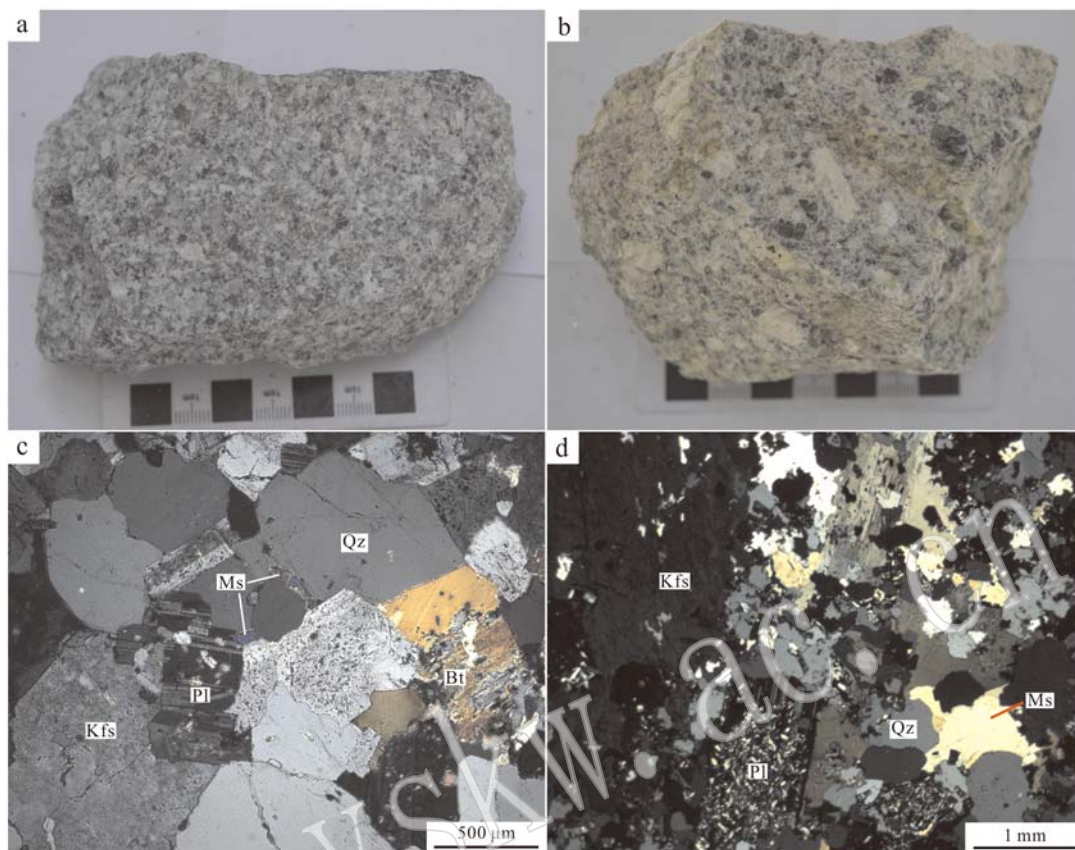


图3 甲岗雪山 W-Mo 多金属矿床控矿岩体手标本及镜下照片

Fig. 3 Photographs and micrographs of the metallogenic rock in the Jiagangxueshan W-Mo polymetallic deposit

a—中粒二长花岗岩手标本；b—斑状二长花岗岩手标本；c—中粒二长花岗岩显微镜下照片；d—斑状二长花岗岩显微镜下照片；Qz—石英；

Kfs—钾长石；Pl—斜长石；Bt—黑云母；Ms—白云母

a—photograph of medium-grained monzogranite；b—photograph of porphyritic monzogranite；c—micrograph of the medium-grained monzogranite；

d—micrograph of the porphyritic monzogranite；Qz—quartz；Kfs—K-feldspar；Pl—plagioclase；Bt—biotite；Ms—muscovite

硅化、白云母化。云英岩化蚀变主要发生在岩体内部以及岩体与围岩的接触带上，局部地区岩体已完全蚀变为云英岩，在围岩地层中则主要见于石英脉的两侧。硅化遍布矿区，分为岩体或围岩整体蚀变的面型硅化和以石英脉形式存在的线型硅化。白云母化则常见于岩体中，由黑云母蚀变形成，局部见到不含石英的白云母团块。此外，在岩体或地层中还可见到高岭土化、角岩化等蚀变。云英岩化、硅化、白云母化蚀变强烈的地方通常伴随强烈的矿化。

3 流体包裹体研究

甲岗雪山 W-Mo 多金属矿床的成矿流体属性尚未见有具体报道，这显然不利于进一步认识解剖该矿床，作为矿物形成过程中捕获的流体，流体包裹体

研究已成为研究地质流体与成矿作用的关系不可缺少的重要手段之一(卢焕章等, 2004)。

3.1 样品选择与测试方法

笔者共挑选了4件来自硅酸盐-氧化物阶段和硫化物阶段的云英岩型和石英脉型矿化样品，其中2件钨矿化样品来自硅酸盐-氧化物阶段，2件钼矿化样品来自硫化物阶段。对与其中的黑钨矿或辉钼矿共生的石英系统开展流体包裹体的研究工作。

流体包裹体测温工作在中国地质科学院矿产资源研究所流体包裹体实验室完成。显微冷热台为英国 Linkam 生产的 THMSG-600 冷/热台，以 H_2O 和 CO_2 作标样标定，温度控制范围为 $-196 \sim 600^\circ C$ ，冷热台在 $-120 \sim -70^\circ C$ 温度区间的测定精度为 $\pm 0.5^\circ C$ ， $-70 \sim 100^\circ C$ 区间为 $\pm 0.5^\circ C$ ， $100 \sim 500^\circ C$ 区间为 $\pm 2^\circ C$ 。

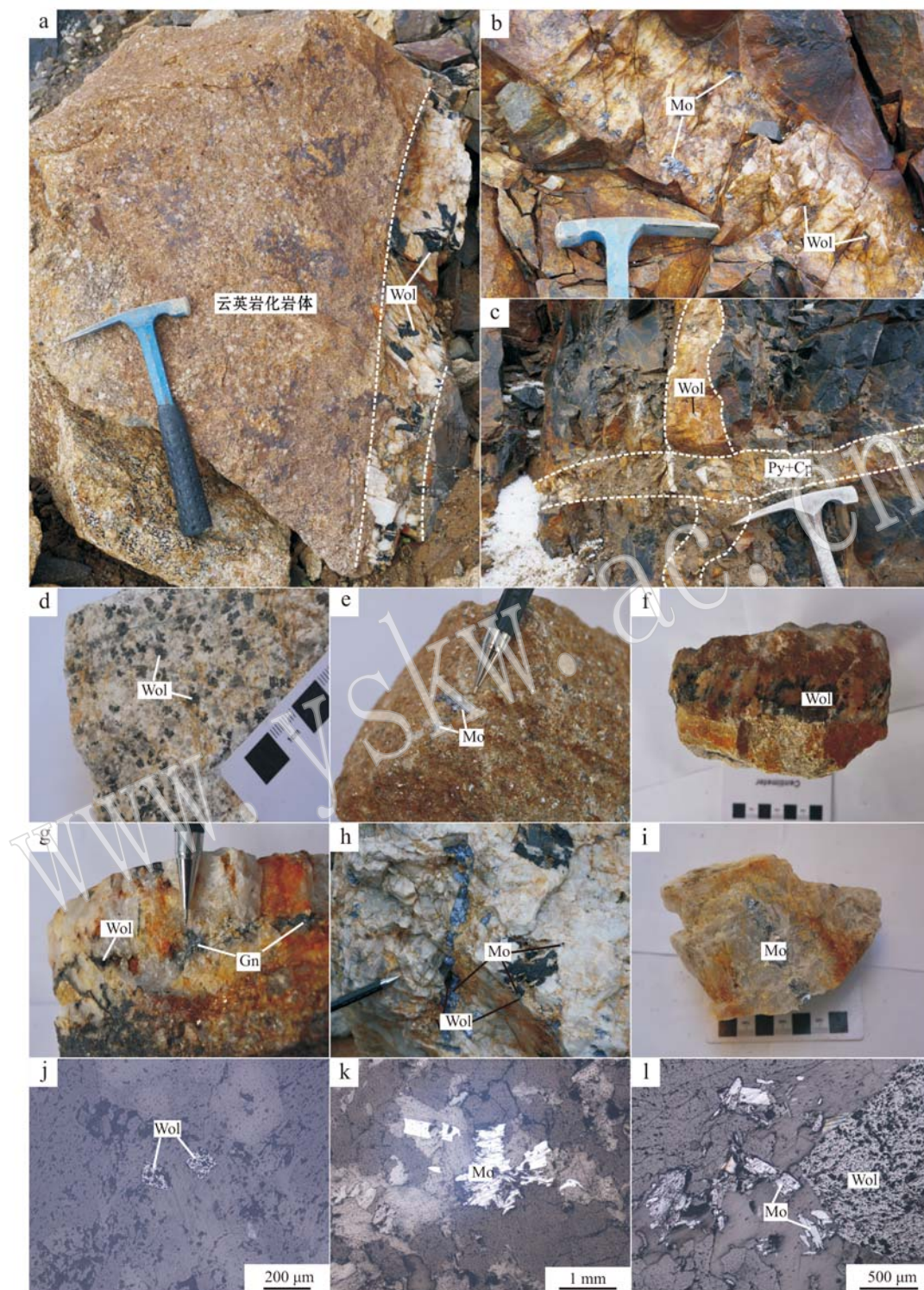


图 4 云英岩型矿体和石英脉型矿体野外(a~c)、手标本(d~i)和显微镜下照片(j~l)

Fig. 4 Photographs (a~i) and photomicrographs (j~l) of the greisen-type ores and quartz vein-type orebodies
a—接触带内的云英岩-黑钨矿脉; b—黑钨矿在石英脉中心结晶而辉钼矿沿脉壁结晶; c—石英-黄铁矿-黄铜矿脉穿插石英-黑钨矿脉;
d,j—云英岩化中粒二长花岗岩内的浸染状黑钨矿; e,k—云英岩化岩体内的浸染状辉钼矿; f,g—斑状二长花岗岩内的石英-黑钨矿-(方
铅矿)脉; h,i,l—接触带内的石英-黑钨矿-(辉钼矿)脉; Wol—黑钨矿; Mo—辉钼矿; Py—黄铁矿; Cp—黄铜矿; Gn—方铅矿
a—wolframite greisen vein in contact zone; b—molybdenite attached to vein walls, with central precipitation of wolframite; c—pyrite-chalcopyrite
quartz vein cutting through wolframite quartz vein; d, j—disseminated wolframite in greisenized medium-grained monzogranite; e, k—disseminated
molybdenite in monzogranite; f, g—wolframite-(galena) quartz vein in porphyritic monzogranite; h, i, l—wolframite-(molybdenite) quartz vein
in contact zone; Wol—wolframite; Mo—molybdenite; Py—pyrite; Cp—chalcopyrite; Gn—galena

阶段 矿物	硅酸盐-氧化物	硫化物
黑钨矿		
白云母		
辉钼矿		
石英		
黄铁矿		
黄铜矿		
方铅矿		

图 5 甲岗雪山 W-Mo 多金属矿床矿物的共生序列
Fig. 5 Paragenetic sequence of minerals from the Jiagangxueshan W-Mo polymetallic deposit

3.2 流体包裹体岩相学研究

在测试工作进行之前,首先对来自不同阶段不同类型矿体内石英中的流体包裹体进行了详细的岩相学研究。云英岩型矿体热液石英中流体包裹体十分发育,包裹体的数量和大小整体上均大于石英脉型矿体。此外,同种类型但不同矿化样式的矿体在包裹体岩相学上也有差异,比如石英脉型钨矿体内

石英中的流体包裹体比较发育,而石英脉型钼矿体流体包裹体却不太发育,整体大小也不及石英脉型钨矿体内石英中的流体包裹体。根据 Roedder (1984)和卢焕章等(2004)提出的流体包裹体在室温下的分类准则以及冷冻回温过程中的相态变化,分别对两类矿体中的包裹体类型进行了划分。

3.2.1 云英岩型矿体热液石英中流体包裹体

依据上述包裹体分类准则,将云英岩型矿体热液石英中的流体包裹体划分为两种类型,即 I g、II g 型。

I g 型 L + V 富液相两相水溶液包裹体: L 主要为水溶液, V 主要为水蒸气。该类包裹体占云英岩型矿体热液石英中包裹体总量的绝大多数,可分为成群分布(图 6a)和呈孤立状分布(图 6b)的原生包裹体 I g-a 以及沿切穿石英颗粒的裂隙呈串珠状分布(图 6c)的次生包裹体 I g-b。I g-a 类包裹体大小为 2~20 μm ,多数集中在 5~12 μm ,气相分数通常为 20%~30%,一般为椭圆形、圆形、石英负晶形、不规则状等;I g-b 类包裹体较小,通常为 0.5~5 μm ,

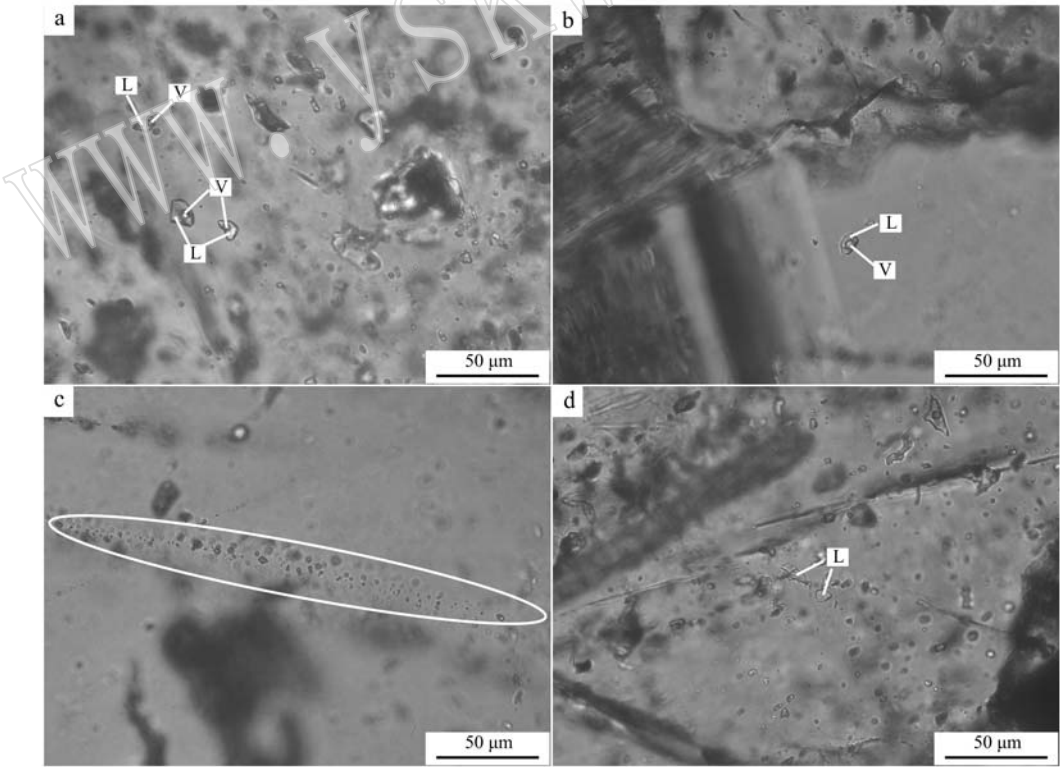


图 6 云英岩型矿体热液石英中流体包裹体的类型

Fig. 6 Type of fluid inclusions in quartz of hydrothermal origin from greisen-type orebody
a—成群分布的 I g 型 L + V 富液相两相水溶液包裹体; b—孤立产出的 I g 型包裹体; c—次生的 I g 型 L + V 富液相两相水溶液包裹体;
d—II g 型 $\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$ 单相水溶液包裹体
a—groups of two-phase liquid-rich aqueous inclusions of I g type; b—isolated inclusions of I g type; c—secondary liquid-rich aqueous inclusions of I g type; d—one-phase aqueous inclusions of II g type

多呈圆形或椭圆形,气相分数一般为 5%~15%。云英岩型钨矿体热液石英内的包裹体和云英岩型钼矿体热液石英内的包裹体都十分发育,从包裹体的体积上看,前者整体上大于后者。

II g 型 L_{H_2O} 单相水溶液包裹体: 据显微镜下观察,此类包裹体数量极少,仅在云英岩型钼矿体热液石英内被观察到,大小为 5~10 μm (图 6d)。根据其本身及相邻包裹体的形态,推断其为“卡脖子”包裹体。在后来的显微测温过程中,未见到该类型包裹体。

3.2.2 石英脉型矿体石英中流体包裹体

依据上述准则,将石英脉型矿体中的流体包裹体划分为两种类型,即 I、II 型。

I 型 L+V 富液相两相水溶液包裹体: L 主要为水溶液, V 主要为水蒸气。该类包裹体同样占石英脉型矿体内石英中包裹体总量的绝大多数,也可分为成群分布(图 7a)和呈孤立状分布(图 7b)的原生富液相两相水溶液包裹体 I a 以及沿切穿石英颗粒的裂隙呈串珠状分布(图 7c)的次生富液相两相水

溶液包裹体 I b。其中 I a 类包裹体的大小为 2~17 μm ,绝大多数为 5~10 μm ,形状一般为椭圆形、长条形或石英负晶形。I b 类包裹体较小,大小为 0.5~2 μm ,形状通常为圆形或椭圆形。整体来说,石英脉型钨矿体内石英中此类流体包裹体较石英脉型钼矿体更为发育,大小也大于石英脉型钼矿体内石英中的包裹体,但它们此类包裹体的气相百分数(相比)相差不大,多数都集中在 20%~30%。

II 型 L+V+S 含子矿物三相水溶液包裹体: L 主要为水溶液, V 主要为水蒸气, S 为子矿物。包裹体形态为不规则状,大小 6~8 μm ,呈孤立状产出或与 I 型包裹体相伴生(图 7d),为原生包裹体。此类包裹体数量极少,此次工作中,仅在石英脉型钨矿体内石英中发现一例。在后来的显微测温过程中,未见到该类包裹体。

3.3 流体包裹体显微测温

在详细的岩相学研究基础上,对来自不同阶段不同类型矿体内石英中的原生流体包裹体进行显微测温。对于云英岩型矿体中的 II g 型 L_{H_2O} 单相水溶

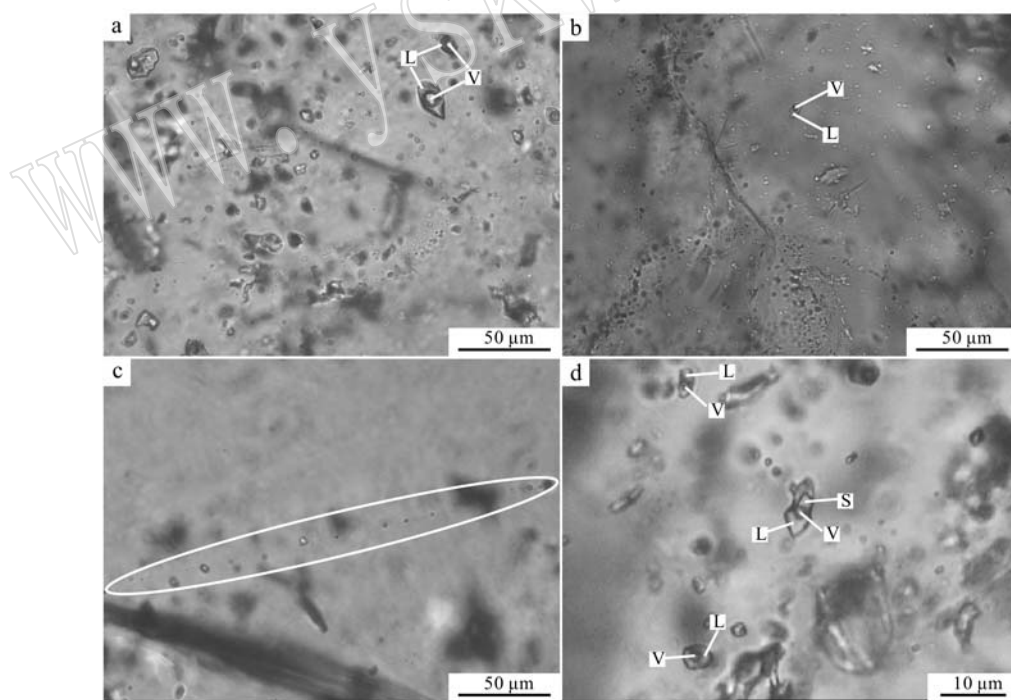


图 7 石英脉型矿体内石英中流体包裹体的类型

Fig. 7 Types of fluid inclusions in quartz from quartz vein-type ore

a—成群分布的 I 型 L+V 富液相气液两相水溶液包裹体; b—孤立产出的 I 型包裹体; c—次生 I 型 L+V 富液相气液两相包裹体;
d—II 型 L+V+S 含子矿物三相水溶液包裹体

a—groups of two-phase liquid-rich aqueous inclusions of I type; b—isolated inclusions of I type; c—secondary aqueous inclusions of I type; d—halite-bearing three-phase aqueous inclusions of II type

液包裹体和石英脉型矿体中的Ⅱ型 L + V + S 含子矿物三相水溶液包裹体,由于数量极少,仅在岩相学研究时在显微镜下观察到,而在对包裹体显微测温时没有找到这种类型的包裹体,可能是在浸泡的过程中因包裹体双抛光片的破碎而丢失。本次流体包裹体测温的对象是云英岩型矿体和石英脉型矿体中的Ⅰg 和Ⅰ型 L + V 富液相两相水溶液包裹体,不同

阶段不同类型矿体中的流体包裹体均是均一到液相,测试的寄主矿物全部为石英。Ⅰg 型和Ⅰ型 L + V 富液相两相水溶液流体包裹体盐度的计算应用公式(Hall *et al.*, 1988): 盐度(NaCl_{eq} , 质量分数) = $0.00 + 1.78 t_m - 0.044 2 t_m^2 + 0.000 557 t_m^3$, 其中 t_m 为冰点温度,取正值。包裹体测温及流体盐度计算结果见表 1。

表 1 甲岗雪山 W-Mo 多金属矿床流体包裹体显微测温结果

Table 1 Microthermometric data for fluid inclusions in the Jiagangxueshan W-Mo polymetallic deposit

矿体类型	矿种	寄主矿物	包裹体类型	<i>n</i>	$t_h/^\circ\text{C}$	平均 $t_h/^\circ\text{C}$	盐度/%	均一方式	气相体积比/%
云英岩型	钨矿体	石英	Ⅰg	24	264~310	289	7.2~13.0	液相	20~35
	钼矿体	石英	Ⅰg	26	238~283	255	9.1~12.6	液相	15~35
石英脉型	钨矿体	石英	Ⅰ	33	195~369	272	6.6~13.5	液相	15~40
	钼矿体	石英	Ⅰ	16	196~354	260	5.7~13.3	液相	20~40

注: *n* 为测试的包裹体个数, t_h 为均一温度。

云英岩型钨矿体内热液石英中的流体包裹体均一温度区间为 264 ~ 310℃, 主要集中在 285 ~ 310℃, 平均值为 289℃; 流体包裹体的冰点温度变化于 -4.5 ~ -9.1℃, 对应盐度为 7.2% ~ 13.0%; 密度为 0.77 ~ 0.89 g/cm³。云英岩型钼矿体流体包裹体均一温度变化于 238 ~ 283℃, 集中在 250 ~ 260℃, 平均值为 255℃; 冰点温度区间为 -5.9 ~ -8.8℃, 对应其流体包裹体的盐度为 9.1% ~ 12.6%; 密度变化于 0.85 ~ 0.92 g/cm³。

石英脉型钨矿体流体包裹体均一温度变化范围为 195 ~ 369℃, 多数集中在 260 ~ 280℃, 平均值为 272℃; 流体包裹体的冰点温度变化于 -4.1 ~ -9.6℃, 对应盐度为 6.6% ~ 13.5%; 密度为 0.68 ~ 0.95 g/cm³。石英脉型钼矿体流体包裹体均一温度区间为 196 ~ 354℃, 主要集中在 240 ~ 260℃; 冰点温度区间为 -3.5 ~ -9.4℃, 对应其流体包裹体的盐度为 5.7% ~ 13.3%; 密度变化于 0.73 ~ 0.94 g/cm³。

4 讨论

4.1 矿床成因类型

钨的物质来源总的可以分为岩源和层源两种, 以岩源为主(康永孚等, 1991)。岩源是指成矿物质来源于岩浆, 钨矿床是岩浆演化到后期的产物。岩控钨矿床典型的成因类型包括云英岩型、矽卡岩型、斑岩型等, 如我国江西洪水寨钨矿属于云英岩型(丰成友等, 2011), 西藏哈海岗钨矿属于矽卡岩型(Li *et*

al., 2014), 广东莲花山钨矿属于狭义的斑岩型(张理刚, 1985)。钨矿床的成矿由地层、构造、岩浆岩多种因素及其复合控制, 不同的容矿建造形成不同成因类型的钨矿床, 如碳酸盐岩建造常形成矽卡岩或似矽卡岩型钨矿床, 而硅铝质建造则多形成角砾岩筒型等钨矿床。此外, 不同的构造-岩浆体系也控制着不同成因类型钨矿床的形成, 例如由深大断裂从深部带来的壳幔混源型岩浆, 可以形成斑岩型、角砾岩筒型钨矿, 而壳源型岩浆则会形成云英岩型或矽卡岩型钨矿。多种控矿要素联合作用, 也会形成多种成因类型共存或复合的矿床(康永孚等, 1991)。

甲岗雪山 W-Mo 多金属矿床位于二长花岗岩体与石炭系永珠组砂岩的接触带上, 以内接触带为主, 矿体在空间上多位于岩体内部, 且矿体的形成时代和二长花岗岩体的侵位时代在误差范围内一致(王治华等, 2006a)。此外, 矿区内的围岩蚀变显示大量的云英岩化, 并且云英岩化强烈的地方多伴随强烈的钨钼矿化, 矿体又多赋存于云英岩或云英岩化二长花岗岩体内部, 表明矿床的形成在成因上也和二长花岗岩体密不可分。二长花岗岩体在空间上、时间上以及成因上都与成矿的关系十分密切, 岩浆源区又来自于地壳(王治华等, 2006b), 证实甲岗雪山 W-Mo 多金属矿床的成因类型为云英岩型。

西藏地区的钨矿勘查程度整体很低, 迄今为止发现以钨为主的尚构成矿床规模的有位于墨竹工卡县的哈海岗矽卡岩型 W-Mo 多金属矿床(Li *et al.*, 2014)和察隅县的那阿矽卡岩型钨矿床(徐小勤,

2013),以及位于左贡县的拉荣斑岩型钨钼矿床(罗梅等,2014)。甲岗雪山 W-Mo 多金属矿床的发现表明青藏高原不仅在主碰撞阶段挤压增厚环境可以形成钨矿(Li *et al.*, 2014),在后碰撞阶段的拉伸环境也可以形成钨矿床,而且世界钨矿的最重要产地中国南岭地区大规模钨矿的成矿作用也形成于拉伸环境(毛景文等,2007)。作为西藏首例云英岩型钨矿床,详细研究该矿床可为矿床本身成矿模式的建立和后碰撞成矿体系的完善提供新的数据资料,还指示出要重点寻找中拉萨地体内中新世时期的云英岩型钨矿床。

4.2 成矿流体的属性和演化

从表1可以看出,无论是云英岩型还是石英脉型矿体,与辉钼矿共生的石英中流体包裹体的均一温度平均值明显低于与黑钨矿共生的石英,测试的黑钨矿全部来自硅酸盐-氧化物阶段,辉钼矿全部来

自硫化物阶段,为了更加直观地比较硅酸盐-氧化物阶段和硫化物阶段均一温度和盐度的差异,分别作出这两个阶段均一温度和盐度的频率分布直方图(图8)。从图8可以清晰地看出,硅酸盐-氧化物阶段流体包裹体均一温度峰值为260~280℃,并且有大量数据分布在280~320℃(图8a),而硫化物阶段流体包裹体的均一温度明显低于硅酸盐-氧化物阶段,峰值集中在240~260℃(图8c);硅酸盐-氧化物阶段流体包裹体的盐度集中在10%~11%,在11%~13%区间也分布有较多数据,而硫化物阶段流体包裹体的盐度峰值则集中在9%~11%。

流体包裹体的均一温度和盐度数据理论上代表了成矿流体当时的温度和盐度。实验表明,甲岗雪山 W-Mo 多金属矿床主成矿期的成矿流体为中-高温、中-低盐度的流体。从主成矿期的硅酸盐-氧化物阶段演化到硫化物阶段,成矿流体的温度下降明

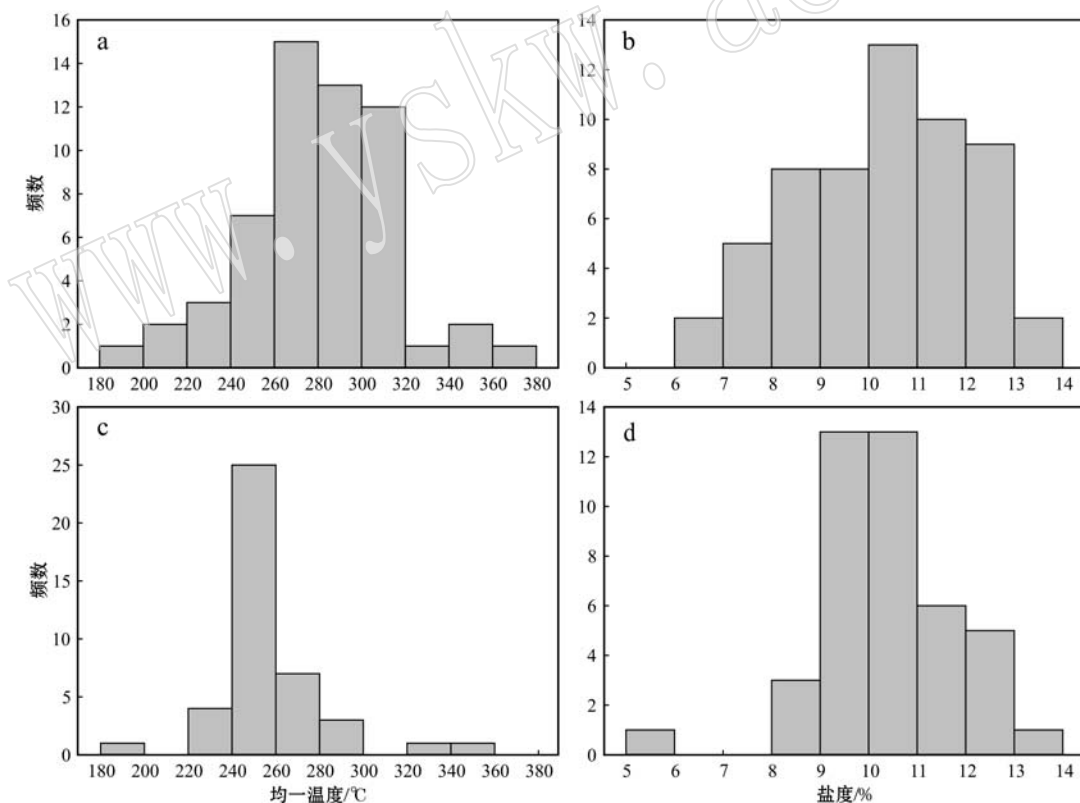


图8 硅酸盐-氧化物阶段及硫化物阶段流体包裹体均一温度和盐度直方图

Fig. 8 Histograms of homogenization temperature of fluid inclusions from silicate-oxide stage and sulfide stage

a—硅酸盐-氧化物阶段流体包裹体均一温度直方图; b—硅酸盐-氧化物阶段流体包裹体盐度直方图; c—硫化物阶段流体包裹体均一温度直方图; d—硫化物阶段流体包裹体盐度直方图

a—histograms of homogenization temperature of fluid inclusions from silicate-oxide stage; b—histograms of salinity of fluid inclusions from silicate-oxide stage; c—histograms of homogenization temperature of fluid inclusions from sulfide stage; d—histograms of salinity of fluid inclusions from sulfide stage

显,盐度也略微下降。

5 结论

(1) 通过详细的野外地质工作,发现甲岗雪山 W-Mo 多金属矿床与矿区内的二长花岗岩体时空关系紧密,矿区内的围岩蚀变普遍见云英岩化,并且云英岩化强烈的地方多伴随强烈的钨钼矿化;矿体的类型以云英岩型为主,还有少量石英脉型,矿石又多呈细脉状或浸染状赋存于云英岩或云英岩化二长花岗岩体内部,表明矿床的成因类型为云英岩型。

(2) 流体包裹体研究表明,甲岗雪山 W-Mo 多金属矿床主成矿期的成矿流体为中-高温、中-低盐度的流体,从主成矿期的硅酸盐-氧化物阶段演化到硫化物阶段,成矿流体的温度下降明显,盐度也有所下降。

(3) 甲岗雪山 W-Mo 多金属矿床作为西藏首例云英岩型钨矿床,说明青藏高原不仅在主碰撞阶段的挤压增厚环境可以形成钨矿床,在后碰撞阶段的拉伸环境也可以形成钨矿床,建议日后要重点寻找冈底斯北部即中拉萨地体内的中新世时期的云英岩型钨矿床。

致谢 野外工作得到西藏甲岗雪山钨矿领导、生产人员的大力支持,审稿人对论文初稿提出了宝贵的修改意见,在此表示诚挚的谢意!

References

- Allègre C J, Courtillot V, Taponnier P, *et al.* 1984. Structure and evolution of the Himalaya-Tibet orogenic belt[J]. *Nature*, 307: 17~22.
- Chung S L, Chu M F, Zhang Y Q, *et al.* 2005. Tibetan tectonic evolution inferred from spatial and temporal variations in post-collisional magmatism[J]. *Earth Science Reviews*, 68: 173~196.
- Du Denghu, Yang Zhiming, Li Qiuyun, *et al.* 2012. Geological significance of determination of Eocene porphyritic monzogranite intrusions at Tinggong, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 31(4): 745~757(in Chinese with English abstract).
- Du Denghu, Yang Zhiming, Liu Yunfei, *et al.* 2015. Geology, alteration and mineralization of the Tinggong porphyry Cu deposit in southern Tibet[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 34(4): 447~474(in Chinese with English abstract).
- Feng Chengyou, Huang Fan, Zeng Zailin, *et al.* 2011. Isotopic chronology of Jiulongnao granite and Hongshuizhai greisens-type tungsten deposit in South Jiangxi Province[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 41(1): 111~121(in Chinese with English abstract).
- Fu Qiang, Huang Kexian, Zheng Yuanchuan, *et al.* 2015. Ar-Ar age of muscovite from skarn orebody of the MengYa'a lead-zinc deposit in Tibet, and its geodynamic significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 89(3): 569~582(in Chinese with English abstract).
- Fu Qiang, Yang Zhusen, Zheng Yuanchuan, *et al.* 2013. Zircon U-Pb ages, Hf isotope and geochemistry of granodiorite in the Jialapu deposit, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 32(3): 564~578(in Chinese with English abstract).
- Fu Qiang, Yang Zhusen, Zheng Yuanchuan, *et al.* 2014. Ar-Ar age of phlogopite from the Longmala copper-iron-lead-zinc deposit in Tibet and its geodynamic significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 33(2): 283~293(in Chinese with English abstract).
- Ge Liangsheng, Zou Yilin, Xing Junbing, *et al.* 2004. Discovery of the Jaggang Snow Mountain tungsten-molybdenum-copper-gold polymetallic occurrence in the northern part of the Gangdise block, Tibet[J]. *Geological Bulletin of China*, 23(9~10): 1 033~1 039(in Chinese with English abstract).
- Hall D L, Sterner S M and Bodnar R J. 1988. Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions[J]. *Economic Geology*, 83: 197~202.
- Hou Z Q and Cook N J. 2009. Metallogensis of the Tibetan collisional orogen: A review and introduction to the special issue[J]. *Ore Geology Reviews*, 36(1): 2~24.
- Hou Zengqian, Lü Qingtian, Wang Anjian, *et al.* 2003. Continental collision and related metallogeny: A case study of mineralization in Tibetan orogen[J]. *Mineral Deposits*, 22(4): 319~333(in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Mo Xuanxue, Yang Zhiming, *et al.* 2006a. Metallogenesis in the collisional orogen of the Qinghai-Tibet Plateau: Tectonic setting, tempo-spatial distribution and ore deposit types[J]. *Geology in China*, 33(2): 340~351(in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Pan Guitang, Wang Anjian, *et al.* 2006c. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: II. Mineralization in late-collisional transformation setting[J]. *Mineral Deposits*, 25(5): 521~543(in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Yang Zhusen, *et al.* 2006d. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: III. Mineralization in post-

- collisional extension setting[J]. *Mineral Deposits*, 25(6): 629~651 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Yang Z M, Lu Y J, *et al.* 2015. A genetic linkage between subduction- and collision-related porphyry Cu deposits in continental collision zones[J]. *Geology*, 43(3): 247~250.
- Hou Zengqian, Yang Zhusen, Xu Wenyi, *et al.* 2006b. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: I. Mineralization in main collisional orogenic setting[J]. *Mineral Deposits*, 25(4): 337~358 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Zheng Y C, Yang Z M, *et al.* 2013. Contribution of mantle components within juvenile lower-crust to collisional zone porphyry Cu systems in Tibet[J]. *Mineralium Deposita*, 48(2): 173~192.
- Huang Kexian, Zheng Yuanchuan, Zhang Song, *et al.* 2012. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of two types of porphyry in the Yaguila mining area, Tibet[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(3): 348~360 (in Chinese with English abstract).
- Ji Xianhua, Yang Zhusen, Yu Yushuai, *et al.* 2012. Formation mechanism of magmatic rocks in Narusongduo lead-zinc deposit of Tibet: Evidence from magmatic zircon[J]. *Mineral Deposits*, 31(4): 758~774 (in Chinese with English abstract).
- Kang Yongfu and Li Chongyou. 1991. Geological characteristics, types and distribution of tungsten deposits in China[J]. *Mineral Deposits*, 10(1): 19~26 (in Chinese with English abstract).
- Li X F, Wang C Z, Mao W, *et al.* 2014. The fault-controlled skarn W-Mo polymetallic mineralization during the main India-Eurasia collision: Example from Hahaigang deposit of Gangdese metallogenic belt of Tibet[J]. *Ore Geology Reviews*, 58: 27~40.
- Li Yingxu, Xie Yuling, Chen Wei, *et al.* 2011. U-Pb age and geochemical characteristics of zircon in monzogranite porphyry from Qigang deposit, Tibet, and geological implication[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(7): 2 023~2 033 (in Chinese with English abstract).
- Lu Huanzhang, Fan Hongrui, Ni Pei, *et al.* 2004. Fluid Inclusion [M]. Beijing: Science Press, 406~419 (in Chinese).
- Luo Mei, Pan Fengchu, Li Juchu, *et al.* 2014. Metallogenic series study of ore deposits in the Tibet Qiangtang-Sanjiang district[J]. *Acta Geologica Sinica*, 88(12): 2 556~2 571 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Guo Chunli, *et al.* 2007. Large-scale tungsten-tin mineralization in the Nanling region, South China: Metallogenic ages and corresponding geodynamic processes[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(10): 2 329~2 338 (in Chinese with English abstract).
- Roedder E. 1984. Fluid Inclusions[M]. Mineralogical Society of America, *Reviews in Mineralogy*, 12: 1~644.
- Tang Juxing, Wang Denghong, Wang Xiongwu, *et al.* 2010. Geological features and metallogenic model of the Jiama copper-polymetallic deposit in Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 31(4): 495~506 (in Chinese with English abstract).
- Wang R, Richards J P, Hou Z Q, *et al.* 2014a. Increased magmatic water content-the key to Oligo-Miocene porphyry Cu-Mo $\pm$ Au formation in the eastern Gangdese belt, Tibet[J]. *Economic Geology*, 109: 1 315~1 339.
- Wang R, Richards J P, Hou Z Q, *et al.* 2014b. Increasing magmatic oxidation state from Paleocene to Miocene in the Eastern Gangdese Belt, Tibet: implication for collision-related porphyry Cu-Mo $\pm$ Au mineralization[J]. *Economic Geology*, 109: 1 943~1 965.
- Wang Xudong, Ni Pei, Jiang Shaoyong, *et al.* 2008. Fluid inclusion study on the Piaotang tungsten deposit, Southern Jiangxi Province, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(9): 2 163~2 170 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xudong, Ni Pei, Yuan Shunda, *et al.* 2013. Fluid inclusion studies of Dajishan tungsten deposit in Jiangxi Province[J]. *Mineral Deposits*, 32(2): 308~322 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhihua, Wang Keqiang, Yu Wanqiang, *et al.* 2006a. Re-Os isotopic ages of tungsten-molybdenum (bismuth) poly-metallic ore deposit in the Jiagang snowy mountain, Shenzha County, Tibet and the implications[J]. *Geology of Anhui*, 16(2): 112~116 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhihua, Wu Xingquan, Wang Keqiang, *et al.* 2006b. Geochemical characteristics of the Garuo monzogranite in the Jaggang Xueshan W-Mo(-Bi) district, southwestern Xainza, Tibet, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 25(12): 1 487~1 491 (in Chinese with English abstract).
- Wei W F, Hu R Z, Bi X W, *et al.* 2012. Infrared microthermometric and stable isotopic study of fluid inclusions in wolframite at the Xihuashan tungsten deposit, Jiangxi province, China[J]. *Mineral Deposits*, 47: 589~605.
- Xu Xiaoqin. 2013. Geological features and prospecting potential of the Na'a W deposit in Zayü, Tibet[J]. *Acta Geologica Sichuan*, 33(2): 177~180 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhiming, Hou Zengqian, Song Yucai, *et al.* 2008. Qulong super-large porphyry Cu deposit in Tibet: Geology, alteration and mineralization [J]. *Mineral Deposits*, 27(3): 279~318 (in Chinese with English abstract).

- Yang Z M, Hou Z Q, White N C, *et al.* 2009. Geology of the post-collisional porphyry copper-molybdenum deposit at Qulong, Tibet[J]. *Ore Geology Reviews*, 36: 133~159.
- Yang Z M, Lu Y J, Hou Z Q, *et al.* 2015. High-Mg diorite from Qulong in southern Tibet: implications for the genesis of adakite-like intrusions and associated porphyry Cu deposits in collisional orogens[J]. *Journal of Petrology*, 56(2): 227~254.
- Yang Zhiming, Xie Yuling, Li Guangming, *et al.* 2005. Study of fluid inclusions from Tinggong porphyry copper deposit in Gangdese belt, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 24(6): 584~594(in Chinese with English abstract).
- Yin A and Harrison T M. 2000. Geologic evolution of the Himalayan Tibetan Orogen[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28: 211~280.
- Yu Yushuai, Yang Zhusen, Duo Ji, *et al.* 2011. Age and petrogenesis of magmatic rocks from Jiaduobule skarn Fe-Cu deposit in Tibet: Evidence from zircon SHRIMP U-Pb dating, Hf isotope and REE[J]. *Mineral Deposits*, 30(3): 420~434(in Chinese with English abstract).
- Zhang Ligang. 1985. Hydrogen, oxygen, sulfur and carbon isotope geochemistry of the Lianhuashan porphyry type tungsten deposit[J]. *Mineral Deposits*, 4(1): 54~63(in Chinese with English abstract).
- Zhao Xiaoyan, Yang Zhusen, Hou Zengqian, *et al.* 2013. Petrogenesis of diabase porphyrite in Bangpu deposit of Tibet and its instructions to the regional tectonic and magmatic evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(11): 3767~3778(in Chinese with English abstract).
- Zhao Xiaoyan, Yang Zhusen, Liu Yingchao, *et al.* 2015. Sr-Nd-Pb-Hf isotope compositions of porphyritic monzogranite and Rb-Sr isochron age of sphalerite-pyrite at the Bangpu porphyry-skarn deposit[J]. *Acta Geologica Sinica*, 89(3): 522~533(in Chinese with English abstract).
- Zhao X Y, Yang Z S, Zheng Y C, *et al.* 2015. Geology and genesis of the post-collisional porphyry-skarn deposit at Bangpu, Tibet[J]. *Ore Geology Reviews*, 70: 486~509.
- Zheng Y C, Fu Q, Hou Z Q, *et al.* 2015. Metallogeny of the north-eastern Gangdese Pb-Zn-Ag-Fe-Mo-W polymetallic belt in the Lhasa terrane, southern Tibet[J]. *Ore Geology Reviews*, 70: 510~532.
- Zheng Y C, Hou Z Q, Gong Y L, *et al.* 2014. Petrogenesis of Cretaceous adakite-like intrusions of the Gangdese Plutonic Belt, southern Tibet: Implications for mid-ocean ridge subduction and crustal growth[J]. *Lithos*, 190: 240~263.
- Zheng Y C, Hou Z Q, Li Q Y, *et al.* 2012a. Origin of Late Oligocene adakitic intrusives in the southeastern Lhasa terrane: evidence from in situ zircon U-Pb dating, Hf-O isotopes, and whole-rock geochemistry[J]. *Lithos*, 148: 296~311.
- Zheng Y C, Hou Z Q, Li W, *et al.* 2012b. Petrogenesis and geological implications of the Oligocene Chongmuda-Mingze adakite-like intrusions and their mafic enclaves, southern Tibet[J]. *Journal of Geology*, 120: 647~669.
- Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, *et al.* 2011. The Lhasa Terrane: record of a microcontinent and its histories of drift and growth[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 301: 241~255.
- Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, *et al.* 2013. The origin and pre-Cenozoic evolution of the Tibetan Plateau[J]. *Gondwana Research*, 23(4): 1429~1454.

附中文参考文献

- 杜等虎, 杨志明, 李秋耘, 等. 2012. 西藏厅宫矿区始新世斑岩的厘定及其地质意义[J]. *矿床地质*, 31(4): 745~757.
- 杜等虎, 杨志明, 刘云飞, 等. 2015. 西藏厅宫斑岩铜矿床地质、蚀变及矿化特征研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 34(4): 447~474.
- 丰成友, 黄凡, 曾载淋, 等. 2011. 赣南九龙脑岩体及洪水寨云英岩型钨矿年代学[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 41(1): 111~121.
- 付强, 黄克贤, 郑远川, 等. 2015. 西藏蒙亚啊铅锌矿床矽卡岩型矿体白云母 Ar-Ar 年代学研究及其地球动力学意义[J]. *地质学报*, 89(3): 569~582.
- 付强, 杨竹森, 郑远川, 等. 2013. 加拉普铁矿区花岗闪长岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素及地球化学研究[J]. *矿床地质*, 32(3): 564~578.
- 付强, 杨竹森, 郑远川, 等. 2014. 西藏龙马拉 Cu-Fe-Pb-Zn 多金属矿床金云母 Ar-Ar 定年及其地球动力学意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 33(2): 283~293.
- 葛良胜, 邹依林, 邢俊兵, 等. 2004. 西藏冈底斯地块北部甲岗雪山钨钼铜金多金属矿产地的发现及意义[J]. *地质通报*, 23(9~10): 1033~1039.
- 侯增谦, 吕庆田, 王安建, 等. 2003. 初论陆-陆碰撞与成矿作用——以青藏高原造山带为例[J]. *矿床地质*, 22(4): 319~333.
- 侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 等. 2006a. 青藏高原碰撞造山带成矿作用: 构造背景、时空分布和主要类型[J]. *中国地质*, 33(2): 340~351.
- 侯增谦, 潘桂棠, 王安建, 等. 2006c. 青藏高原碰撞造山带: II. 晚碰撞转换成矿作用[J]. *矿床地质*, 25(5): 521~543.

- 侯增谦, 曲晓明, 杨竹森, 等. 2006d. 青藏高原碰撞造山带: III. 后碰撞伸展成矿作用[J]. 矿床地质, 25(6): 629~651.
- 侯增谦, 杨竹森, 徐文艺, 等. 2006b. 青藏高原碰撞造山带: I. 主碰撞造山成矿作用[J]. 矿床地质, 25(4): 337~358.
- 黄克贤, 郑远川, 张松, 等. 2012. 西藏亚贵拉矿区两期岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 31(3): 348~360.
- 纪现华, 杨竹森, 于玉帅, 等. 2012. 西藏纳如松多铅锌矿床成矿岩体形成机制: 岩浆锆石证据[J]. 矿床地质, 31(4): 758~774.
- 康永孚, 李崇佑. 1991. 中国钨矿床地质特征、类型及其分布[J]. 矿床地质, 10(1): 19~26.
- 李应栩, 谢玉玲, 陈伟, 等. 2011. 西藏恰功铁矿二长花岗斑岩锆石的 U-Pb 年代学与地球化学特征及意义[J]. 岩石学报, 27(7): 2023~2033.
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 等. 2004. 流体包裹体[M]. 北京: 科学出版社, 406~419.
- 罗梅, 潘凤雏, 李巨初, 等. 2014. 西藏羌塘-三江金属矿床成矿系列研究[J]. 地质学报, 88(12): 2556~2571.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 2007. 南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用: 成矿时限及地球动力学背景[J]. 岩石学报, 23(10): 2329~2338.
- 唐菊兴, 王登红, 汪雄武, 等. 2010. 西藏甲玛铜多金属矿床地质特征及其矿床模型[J]. 地球学报, 31(4): 495~506.
- 王旭东, 倪培, 蒋少涌, 等. 2008. 赣南漂塘钨矿流体包裹体研究[J]. 岩石学报, 24(9): 2163~2170.
- 王旭东, 倪培, 袁顺达, 等. 2013. 江西大吉山钨多金属矿床流体包裹体研究[J]. 矿床地质, 32(2): 308~322.
- 王治华, 王科强, 喻万强, 等. 2006a. 西藏申扎县甲岗雪山钨(铋)多金属矿床的 Re-Os 同位素年龄及其意义[J]. 安徽地质, 16(2): 112~116.
- 王治华, 吴兴泉, 王科强, 等. 2006b. 西藏申扎西南部甲岗雪山钨(铋)矿区嘎若二长花岗岩体的地球化学特征[J]. 地质通报, 25(12): 1487~1491.
- 徐小勤. 2013. 西藏察隅县那阿钨矿成矿地质特征与找矿前景[J]. 四川地质学报, 33(2): 177~180.
- 杨志明, 侯增谦, 宋玉财, 等. 2008. 西藏驱龙超大型斑岩铜矿床: 地质、蚀变与成矿[J]. 矿床地质, 27(3): 279~318.
- 杨志明, 谢玉玲, 李光明, 等. 2005. 西藏冈底斯斑岩铜矿带厅宫铜矿床流体包裹体研究[J]. 矿床地质, 24(6): 584~594.
- 于玉帅, 杨竹森, 多吉, 等. 2011. 西藏加多捕勒铁铜矿成矿岩体时代与成因: 锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素与稀土元素证据[J]. 矿床地质, 30(3): 420~434.
- 张理刚. 1985. 莲花山斑岩型钨矿床的氢、氧、硫、碳和铅同位素地球化学[J]. 矿床地质, 4(1): 54~63.
- 赵晓燕, 杨竹森, 侯增谦, 等. 2013. 西藏邦铺矿区辉绿玢岩成因及对区域构造岩浆演化的指示[J]. 岩石学报, 29(11): 3767~3778.
- 赵晓燕, 杨竹森, 刘英超, 等. 2015. 西藏邦铺斑岩矽卡岩矿床二长花岗斑岩 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素及闪锌矿黄铁矿 Rb-Sr 等时线年龄研究[J]. 地质学报, 89(3): 522~533.