

富挥发分岩浆补给对斑岩型铜-钼矿床形成的关键作用: 以西藏尼木岗讲矿床为例*

田丰^{1,2} 冷成彪^{3**} 张兴春¹ 田振东^{1,2} 张伟¹

TIAN Feng^{1,2} LENG ChengBiao^{3**} ZHANG XingChun¹ TIAN ZhenDong^{1,2} and ZHANG Wei¹

1. 中国科学院地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室 贵阳 550081

2. 中国科学院大学 北京 100049

3. 东华理工大学 核资源与环境国家重点实验室 南昌 330013

1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China

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

3. State Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment, East China University of Technology, Nanchang 330013, China

2021-06-04 收稿, 2021-08-22 改回.

Tian F, Leng CB, Zhang XC, Tian ZD and Zhang W. 2021. The key role of volatile-rich magma replenishment in the formation of porphyry Cu-Mo deposits: A case study of Gangjiang porphyry Cu-Mo deposit, Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 37(9): 2889–2909, doi: 10.18654/1000-0569/2021.09.19

Abstract The Gangjiang porphyry Cu-Mo deposit in the middle part of the Gangdese belt is composed of multiple phases of porphyry stocks, however, mineralization in them is closely related to the specific porphyry phase (rhyodacite porphyry, RDP). In order to understand this process, this study carried out a comprehensive study on the whole-rock major and trace element compositions of all intrusive rocks from the Gangjiang porphyry Cu-Mo deposit. In addition, the compositions and structures of the fresh minerals (zircon, apatite, biotite, plagioclase) in different intrusive rocks are specially focused on. All samples show high-K calc-alkaline series characteristics with similar zircon saturation temperatures, indicating that they are sourced from a moderate oxidized magma. Compared with other intrusive rocks, apatites in the syn-mineral RDP have higher SO₃ and Cl contents and lower F contents, while biotites have higher Cl contents and lower F contents. Meanwhile, the plagioclases develop a reverse ring zone. All these show that a pulse of S-Cl-rich magma was injected into the mid-crustal magma reservoir prior to the emplacement of the RDP, leading to a pulse of fluid exsolution and injection of RDP magma into the shallower magma chamber, which resulted in the formation of the Gangjiang porphyry Cu-Mo deposit finally.

Key words Plagioclase; Apatite; Biotite; The Gangjiang porphyry Cu-Mo deposit; Gangdese

摘要 西藏冈底斯带中段的岗讲斑岩铜-钼矿床发育多期次侵入体,而成矿作用主要与其中一期岩体(流纹英安斑岩)密切相关。为探究其原因,本文对岗讲斑岩铜-钼矿床中发育的各期次侵入体进行了全岩主、微量元素分析,并重点研究各期次侵入体内部新鲜斑晶(黑云母、斜长石)和副矿物(锆石、磷灰石)的化学成分和结构特征。结果表明,矿区各期次侵入岩均属于高钾钙碱性系列,具有相近的锆石饱和温度,都来自较为氧化的岩浆。此外,相比其他期次侵入岩,主成矿期的流纹英安斑岩中的磷灰石具有较高的SO₃、Cl含量,较低的F含量;黑云母含有较高的Cl含量和较低的F含量;同时,斜长石发育反环带。这些证据表明,在主成矿期岩浆就位之前,存在富S、Cl的偏基性岩浆注入了深部岩浆房,并发生岩浆混合作用,这不仅导致了主成矿期斑岩体的就位,同时还诱发流体出溶进入浅部岩浆房,并最终形成岗讲斑岩铜-钼矿床。

关键词 斜长石; 磷灰石; 黑云母; 岗讲斑岩铜-钼矿床; 冈底斯斑岩铜矿带

中图法分类号 P618.41; P618.65

* 本文受国家自然科学基金项目(42022021, 42102095)和国家重点研发计划项目(2016YFC0600305)联合资助。

第一作者简介: 田丰,男,1992年生,博士生,矿床学专业, E-mail: tianfeng16@mails.ucas.ac.cn

** 通讯作者: 冷成彪,男,1982年生,教授,从事矿床学方面的教学与科研工作, E-mail: lcb8207@163.com

斑岩型矿床是世界上铜、钼和金等多种金属的重要来源 (Sillitoe, 2010), 具有巨大经济价值。该类矿床一般发育多期次复式侵入体, 而成矿往往只与其中一期或几期相关。而且, 与活动周期较长的侵入序列相比(几个百万年), 成矿往往形成于较短的时间内(几万年至几十万年) (Richards, 2003; Sillitoe, 2010; Correa *et al.*, 2016)。因此, 了解为什么成矿作用只与特定侵入岩有关, 以及为何成矿作用常发生在较短时间内, 对理解矿区尺度成矿过程和找矿勘查具有重要意义。

岩浆的氧逸度、挥发分含量、温度等物理化学条件是控制斑岩矿床形成的关键因素 (Candela, 1992; Ballard *et al.*, 2002; Richards, 2003; Seedorff *et al.*, 2005; Sillitoe, 2010)。鉴于同期岩体中的矿物斑晶(如黑云母、斜长石等)和锆石、磷灰石等副矿物往往形成于深部岩浆房, 因此可利用矿物斑晶和副矿物的化学成分和结构特征探讨深部岩浆成分及物理化学性质 (Shcherbakov *et al.*, 2011; Cao *et al.*, 2018; Jin *et al.*, 2018; Zhu *et al.*, 2018; Huang *et al.*, 2019)。然而, 由于大多数斑岩矿床会受到后期热液蚀变作用的影响, 从而使得许多矿物斑晶发生了明显的蚀变, 因此较难反映深部岩浆信息。西藏冈底斯带中段的岗讲斑岩铜-钼矿床发育多期次侵入体, 而主成矿作用主要与其中一期密切相关, 且矿床有较高的剥蚀程度 (冷成彪等, 2010), 对于各期次侵入体有良好的揭露。同时, 大部分岩体都保留有较为新鲜的斑晶(黑云母和斜长石等)和副矿物(锆石和磷灰石等), 这为解决上述问题提供了极好的研究对象。

基于此, 本文对岗讲斑岩铜-钼矿床中发育的各期次侵入体进行了全岩主、微量元素分析, 并针对各期次侵入体中新鲜矿物斑晶(黑云母和斜长石等)和副矿物(锆石和磷灰石等)的化学成分和结构特征进行重点研究。这些数据显示各期次侵入岩均为高钾钙碱系列岩石, 具有无明显差别的锆石饱和温度和较为氧化的岩浆状态, 并且磷灰石 S、Cl 和 F 含量、黑云母 Cl 和 F 含量以及斜长石的反环带等特征表明在主成矿期斑岩就位之前, 存在富 S、Cl 的岩浆注入了岩浆房, 并对成矿起了关键性作用。

1 区域及矿区地质概况

冈底斯斑岩铜矿带位于拉萨地体南缘(图 1a), 东西向延伸数百千米, 南以印度河-雅鲁藏布江缝合线为界, 北以班公湖-怒江缝合带为界。拉萨地体的结晶基底主要由年龄为 850~530Ma 的正片麻岩构成 (Guynn *et al.*, 2006), 并沿着该地体的北缘分布 (Harris *et al.*, 1988)。盖层由一系列奥陶纪-三叠纪的浅海碎屑岩 (Burg and Chen, 1984; Kind *et al.*, 1996) 以及产于地体北缘的上石炭统-下二叠统火山碎屑岩和碳酸盐岩 (Yin and Harrison 2000) 组成, 后者被认为是怒江洋盆打开时形成 (Pearce and Mei, 1988; Gaetani and Garzanti, 1991)。在早侏罗世-晚白垩世, 新特提斯洋壳向北

俯冲至拉萨地体之下 (Chu *et al.*, 2006; Wen *et al.*, 2008; Ji *et al.*, 2009), 形成了安第斯型花岗岩岩基和日喀则弧前盆地 (Allégre *et al.*, 1984; Harrison *et al.*, 1992; Dürr, 1996)。随后, 大量冈底斯后碰撞花岗岩岩基侵入其中。古新世-始新世, 林子宗组钙碱性火山岩浆在印度板块和亚洲板块碰撞期间 (65~40Ma) 于拉萨地体强烈活动 (Mo *et al.*, 2007, 2008, 2009; Ji *et al.*, 2009; Gao *et al.*, 2010), 形成与冈底斯山脉近平行、延伸约 1500km、主要由钾质钙碱性熔岩和超钾质熔岩组成的中新世钾质火成岩带 (Turner *et al.*, 1993, 1996; Miller *et al.*, 1999; Williams *et al.*, 2001) 和埃达克质斑岩 (Chung *et al.*, 2003; Hou *et al.*, 2004; Guo *et al.*, 2007)。

岗讲斑岩铜-钼矿床地处西藏拉萨市东 120km, 隶属于西藏自治区尼木县。该矿床位于冈底斯斑岩铜矿带中段的尼木矿田, 与其同属该矿田的还包括白容、厅宫、冲江等大型或超大型矿床。尼木矿田内主要发育三种主要的岩性单元 (王小春等, 2002; 李金祥等, 2007; Hou *et al.*, 2009): 由粉砂岩、泥岩、杂砂岩和泥质灰岩组成的早白垩世沉积序列; 由安山质-英安质火山岩、凝灰岩及凝灰质砂岩组成的古新世-渐新世火山-沉积序列 (林子宗火山岩); 以及中新世包括石英二长岩、石英二长斑岩、花岗斑岩和花岗闪长岩在内的多期侵入岩。

岗讲斑岩铜-钼矿区主要发育有 5 种与成矿相关的侵入岩 (图 2), 通过详细的岩心编录观察和前人年代学工作 (冷成彪等, 2009, 2010), 可知它们形成的先后顺序为: 黑云石英二长岩 (QM) → 英安斑岩 (DP) → 石英二长斑岩 (QMP) → 流纹英安斑岩 (RDP) → 流纹斑岩 (RP)。黑云石英二长岩 (QM) (图 3a, b) 侵入时间最早, 呈岩基状产出, 在钻孔和地表可见其被石英二长斑岩 (QMP) 和流纹英安斑岩 (RDP) 所切割。钻孔中局部可见与 QM 伴生的英安岩脉 (DP, 图 3b, c), 其体量较小, 不在地表出露, 与 QM 同期形成或较晚, 未发现与其他几期侵入岩的接触关系。石英二长斑岩 (QMP, 图 3d) 形成晚于黑云石英二长岩 (QM), 只在少部分地表和局部钻孔中出现。流纹英安斑岩 (RDP, 图 3e) 是与成矿较为密切的一期斑岩, 主要分布在矿区南部 (图 2), 在钻孔和地表均可见其切割黑云二长花岗岩和二长花岗斑岩。最后一期侵入岩为流纹斑岩 (RP, 图 3f), 是成矿后岩体, 对矿体具有破坏作用, 其发育位置极大降低了矿体的品位和可采性。

对矿区主要发育的两期侵入岩 QM 和 RDP, 冷成彪等 (2010) 报道了它们的侵位年龄, 分别为 $14.73 \pm 0.13\text{Ma}$ (2σ) 和 $12.01 \pm 0.29\text{Ma}$ (2σ); 而主成矿期的辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄集中在 $12.51 \pm 0.19\text{Ma}$ (2σ) ~ $12.85 \pm 0.18\text{Ma}$ (2σ) 之间 (Leng *et al.*, 2013), 与 RDP 的 U-Pb 年龄相近, 因此 QM 被认为是成矿前岩体, 而 RDP 是主成矿期的致矿岩体。

矿区内主要发育钾化、绢云母化、绿泥石-绢云母化和泥化 4 种蚀变组合类型, 青磐岩化基本缺失 (冷成彪等, 2009,

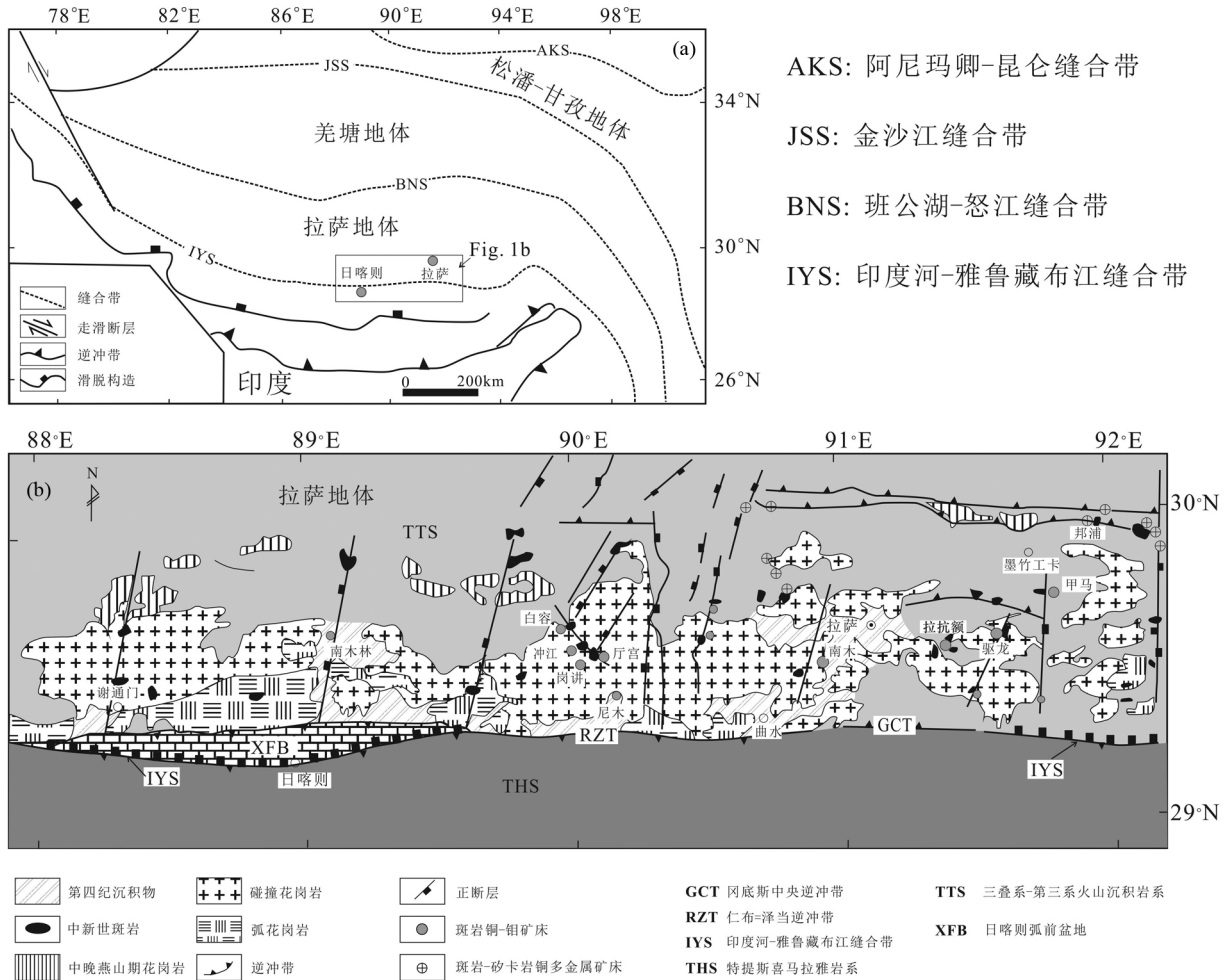


图1 喜马拉雅-西藏造山带构造框架(a)及冈底斯斑岩铜矿带地质简图(b)(据Hou et al., 2004修改)

Fig. 1 Simplified geological maps of the Himalayan-Tibetan Orogen showing the location of the Gangdese Porphyry Cu Belt (a) and the Gangdese porphyry copper belt in the Tibetan Orogen (b) (modified after Hou et al., 2004)

2010)。其中,利用短波红外光谱技术在岗讲斑岩铜-钼矿床中识别出5大类蚀变矿物,分别为绢云母类、高岭石类、绿泥石类、硫酸盐类和碳酸盐类(田丰等 2019)。矿区主要有原生矿和氧化矿两种矿石类型,其中原生硫化物的矿石矿物主要为黄铜矿和辉钼矿,斑铜矿次之。一部分硫化物矿物发育在黑云石英二长岩(QM)的钾化带中,主要以稀疏浸染状产出,品位较低(Cu为0.1%左右,Mo为0.01%左右),低于当前工业开采要求。工业矿体主要产在黑云石英二长岩(QM)与流纹英安斑岩(RDP)的接触部位,呈较粗的黄铜矿-辉钼矿石英脉和网脉状矿化。此外,氧化矿体位于距地表100~200m以上的位置,矿石矿物主要为孔雀石和铜蓝,并有铁氧化物伴生。

2 样品及测试方法

2.1 样品制备

首先在矿区选择相对新鲜的岩心样品,用切割机切去

风化部分,以减小后期风化蚀变对测试结果的影响,制作以下分析用样品。

(1) 全岩样品:在系统编录岗讲斑岩铜-钼矿床岩心的基础上,选择矿区不同期次侵入体代表性样品33个,包括4个英安斑岩(DP)、5个黑云石英二长岩(QM)、9个石英二长斑岩(QMP)、13个流纹英安斑岩(RDP)和2个英安斑岩(RP),无污染粉碎至200目,进行全岩主量、微量及稀土元素分析。

(2) 单矿物样品:挑选锆石、磷灰石、黑云母、斜长石单矿物颗粒,进行扫描电镜、能谱及电子探针分析、微区微量元素含量分析。

锆石挑选在廊坊市宏信地质勘查技术服务有限公司完成,样品拍照工作(透射光、反射光和CL图像)在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室完成,CL图像的拍照仪器为MonoCL4阴极发光谱仪和JSM-7088F型场发射扫描电镜。

因为在斑岩矿床后期热液过程中容易形成热液磷灰石,若选择全岩粉碎分选的方式筛选磷灰石,则会把热液磷灰石

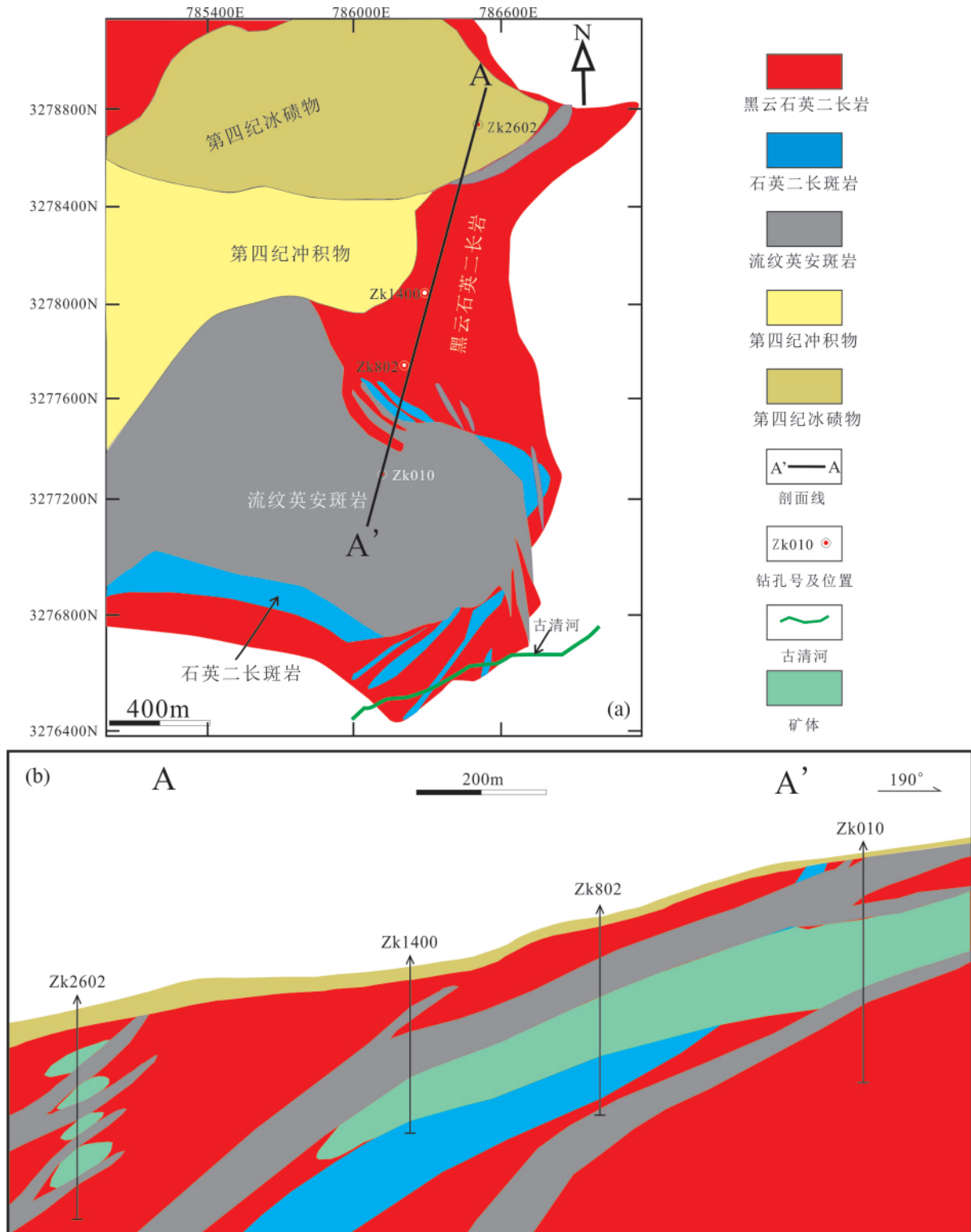


图2 岗讲斑岩铜-钼矿床地质简图(a 据 Leng *et al.* 2013 修改) 及 AA'勘探线地质剖面图(b 据田丰等 2019 修改)

Fig. 2 Simplified geological map of the Gangjiang porphyry Cu-Mo deposit (a , modified after Leng *et al.* , 2013) and geological section along an exploration line AA' in the deposit (b , modified after Tian *et al.* , 2019)

和岩浆磷灰石混淆在一起, 从而影响分析结果。为最大可能地保证测试数据来源于岩浆磷灰石, 此次研究通过在背散射

条件下直接选择包裹在斜长石或者黑云母矿物颗粒内部的磷灰石作为分析对象。

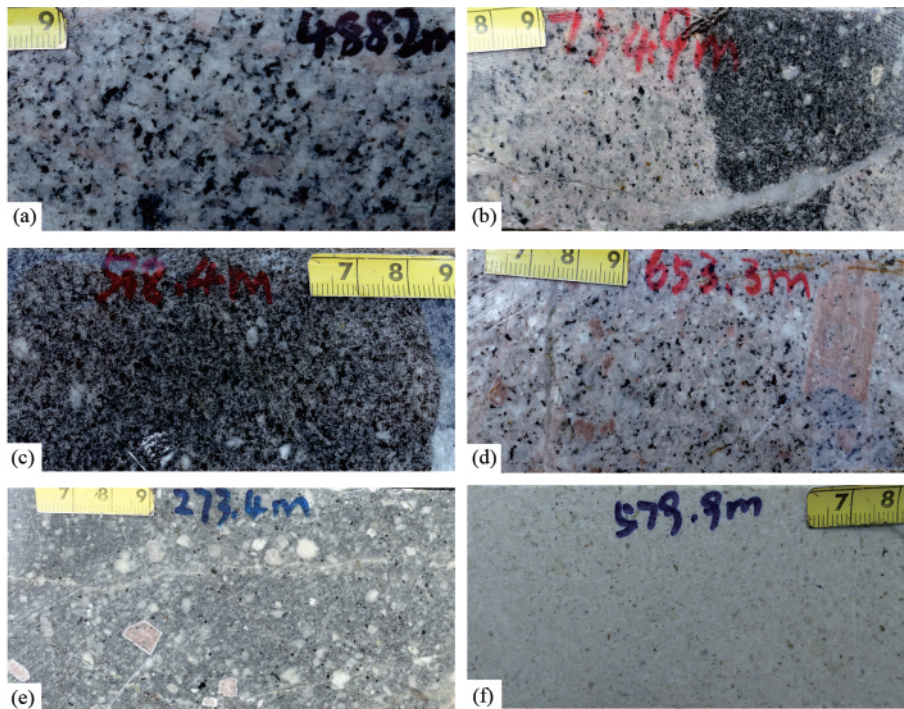


图3 岗讲斑岩铜-钼矿床岩心照片

(a) 黑云石英二长岩; (b) 深色英安斑岩侵入黑云石英二长岩; (c) 英安斑岩; (d) 石英二长斑岩; (e) 流纹英安斑岩; (f) 绢云母化英安斑岩

Fig. 3 Photographs of rocks in a drill core at Gangjiang

同样,黑云母既可以形成于成岩过程,又可以形成于热液蚀变过程,为了保证黑云母化学成分数据不受后期热液影响,本文仅选择自形程度较好的黑云母进行分析,相对于浸染状或者鳞片状产出的次生黑云母,这些黑云母更可能是原岩岩浆黑云母(Rasmussen and Mortensen, 2013)。

斜长石在斑岩矿床中极易被热液改造,为得到受蚀变影响最小的斜长石化学成分数据,更加准确地反映岩浆成分信息,此次研究在矿区选择较为新鲜的岩石样品磨制薄片,然后在偏光显微镜下选择新鲜的斜长石颗粒作为研究对象。

2.2 分析方法

全岩主量元素分析测试工作在澳实分析检测(广州)有限公司完成。其测试仪器为X射线荧光光谱仪,分析测试参考标准物质包括GBW07105、NCSDC47009、SARM-4和SARM-5;全岩微量元素的分析测试工作在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室完成,分析测试仪器为美国Perkin-Elmer公司生产的ELAN DRc-e型电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)。对微量元素和稀土元素的检测下限为 $0.1 \times 10^{-9} \sim 1 \times 10^{-9}$ 。绝大多数元素分析精度和准确度优于5%,其具体的分析测试流程及详细的分析测试方法见Qi *et al.* (2000)。

矿物扫描电镜和能谱分析在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室完成,仪器为JSM7800F场发射电子显微镜和EDAX TEAM Apollo XL能谱仪,加速电压

为20kV,活动时间为17s。

单矿物电子探针成分分析在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室完成,仪器型号为JEOL JXA8230,分析精度优于5%。斜长石和黑云母分析的测试电压为15kV,工作电流为 2×10^{-8} A,束斑大小为 $2 \sim 10 \mu\text{m}$;磷灰石分析的测试电压为15kV,工作电流为 2×10^{-8} A,束斑大小为 $2 \sim 5 \mu\text{m}$ 。

锆石和斜长石微区微量元素含量分析在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室利用LA-ICP-MS完成。激光剥蚀系统为Geolas Pro 193nm ArF准分子激光剥蚀系统。电感耦合等离子体质谱仪为Agilent 7900 ICP-MS。激光剥蚀的能量密度为60mJ,频率为5Hz,束斑直径为 $44 \mu\text{m}$ 。利用ICPMSDataCal软件进行数据处理(Liu *et al.*, 2008, 2010)。微量元素处理时,锆石和斜长石分别用Zr和Si作内标,多个USGS参考玻璃(NIST 610、NIST 612、BHVO-2G、BCR-2G和BIR-1G)作为多外标进行校正。

3 测试结果

3.1 全岩主、微量元素

本次工作共获得33组全岩主、微量元素含量数据(电子版附表1、附表2),除流纹斑岩具有较强的绢云母化蚀变(LOI: 3.16%~3.3%(质量分数))外,其余都具有较低的烧失量(LOI: 平均值1.63%,范围:0.53%~3.91%;表1;图4)。

表1 岗讲斑岩铜-钼矿床各期次侵入岩全岩主量元素(wt%)和微量元素($\times 10^{-6}$)含量Table 1 Whole rock major (wt%) and trace ($\times 10^{-6}$) element compositions for intrusive rocks at Gangjiang

岩性	黑云石英二长岩(QM)		英安斑岩(DP)		石英二长斑岩(QMP)		流纹英安斑岩(RDP)		流纹斑岩(RP)	
样品数	5		4		9		13		2	
含量	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
SiO ₂	67.77	0.48	64.48	0.71	68.25	2.06	68.34	0.96	67.14	0.16
TiO ₂	0.37	0.02	0.63	0.03	0.34	0.10	0.31	0.02	0.29	0.00
Al ₂ O ₃	14.97	0.15	15.83	0.22	15.22	0.51	15.39	0.29	15.42	0.11
Fe ₂ O ₃	2.51	0.23	3.99	0.42	2.11	0.84	2.43	0.44	2.10	0.03
MnO	0.02	0.00	0.05	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.04	0.00
MgO	1.03	0.08	2.82	0.25	0.88	0.26	0.84	0.06	0.76	0.02
CaO	2.52	0.09	3.12	0.47	2.32	0.67	1.78	0.37	2.14	0.12
Na ₂ O	4.16	0.11	4.50	0.23	4.57	0.29	4.72	0.31	4.27	0.02
K ₂ O	3.80	0.19	2.76	0.23	3.57	0.51	3.46	0.14	4.02	0.15
P ₂ O ₅	0.16	0.01	0.27	0.02	0.13	0.04	0.12	0.01	0.11	0.00
LOI	1.31	0.21	0.98	0.33	1.77	0.44	1.85	0.76	3.23	0.07
Total	98.63	0.30	99.41	0.27	99.18	0.25	99.25	0.48	99.51	0.22
Li	21.16	3.02	26.43	4.83	19.17	4.79	17.22	3.66	17.95	5.05
Be	3.62	0.17	3.78	0.71	3.24	0.33	2.81	0.29	2.90	0.18
Sc	6.53	0.18	9.94	0.16	5.80	0.59	6.12	0.32	5.80	0.05
V	57.70	1.92	88.95	1.96	43.87	9.52	47.47	3.94	44.30	1.00
Cr	22.64	2.17	105.7	17.62	14.52	3.94	17.87	4.08	13.60	0.70
Co	5.83	0.47	13.03	2.11	5.40	2.56	4.64	1.27	4.43	0.09
Ni	8.59	0.87	54.98	4.50	7.60	2.21	9.29	3.28	5.62	0.37
Cu	1387	573.9	153.2	60.18	1288	856.1	284.9	309.6	14.30	7.81
Zn	23.62	3.84	51.05	15.32	19.71	6.04	31.85	13.55	42.80	5.00
Ga	18.84	0.34	20.75	0.72	18.01	0.81	18.84	0.80	19.20	0.20
Ge	1.80	0.08	2.56	0.32	1.53	0.25	1.71	0.14	1.46	0.01
As	1.35	0.19	1.64	0.51	1.44	0.32	3.54	5.08	8.38	5.13
Rb	290	31	252	60	237	48	203	39	278	8
Sr	705	17	976	62	666	70	644	115	571	15
Y	6.66	0.64	9.03	0.52	5.67	0.63	5.79	0.49	5.98	0.59
Zr	61.4	5.9	132	19	73.1	13.6	78.4	10.3	101	2
Nb	6.48	0.59	6.89	0.71	5.25	0.51	4.67	0.41	4.35	0.07
Mo	225.1	327.9	8.53	1.80	46.68	34.42	16.60	28.70	2.17	0.19
Ag	0.69	0.22	0.30	0.14	0.86	0.54	0.36	0.20	0.16	0.01
Cd	0.60	0.78	0.10	0.02	0.16	0.08	0.13	0.07	0.05	0.00
In	0.03	0.00	0.02	0.00	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00
Sn	1.81	0.49	2.04	0.80	1.29	0.52	1.35	0.33	0.91	0.03
Sb	0.23	0.09	0.36	0.17	0.44	0.20	2.03	4.70	4.60	1.81
Cs	11.47	1.54	22.78	7.08	9.84	1.23	12.86	5.48	15.65	0.35
Ba	830	79	985	49	729	101	790	62	990	102
La	33.12	4.37	37.00	4.90	26.61	3.75	25.28	2.62	28.10	0.30
Ce	62.50	5.90	72.13	7.27	49.46	5.44	48.90	5.30	54.75	0.15
Pr	6.83	0.87	8.39	0.74	5.23	0.53	5.04	0.47	5.64	0.01
Nd	25.68	3.25	32.48	2.54	19.28	1.91	18.41	1.71	20.70	0.00
Sm	4.02	0.48	5.32	0.38	3.05	0.27	2.90	0.26	3.15	0.00

续表 1

Continued Table 1

岩性	黑云石英二长岩(QM)		英安斑岩(DP)		石英二长斑岩(QMP)		流纹英安斑岩(RDP)		流纹斑岩(RP)	
样品数	5		4		9		13		2	
含量	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
Eu	0.93	0.09	1.26	0.17	0.73	0.11	0.77	0.08	0.79	0.01
Gd	2.53	0.27	3.31	0.41	1.94	0.30	1.98	0.19	2.09	0.03
Tb	0.30	0.03	0.40	0.03	0.24	0.02	0.24	0.02	0.25	0.01
Dy	1.31	0.13	1.76	0.09	1.09	0.12	1.08	0.09	1.10	0.04
Ho	0.23	0.02	0.30	0.01	0.19	0.02	0.19	0.02	0.20	0.01
Er	0.63	0.07	0.80	0.03	0.53	0.06	0.53	0.04	0.55	0.02
Tm	0.08	0.01	0.10	0.00	0.07	0.01	0.07	0.00	0.07	0.00
Yb	0.51	0.06	0.65	0.03	0.47	0.04	0.47	0.03	0.46	0.01
Lu	0.08	0.01	0.09	0.00	0.07	0.01	0.07	0.00	0.07	0.00
Hf	2.02	0.19	3.49	0.43	2.36	0.36	2.36	0.21	2.95	0.03
Ta	0.54	0.03	0.45	0.05	0.45	0.07	0.37	0.04	0.34	0.01
W	39.66	19.94	12.47	6.40	26.20	16.65	21.51	33.36	6.40	0.11
Tl	1.52	0.11	1.37	0.28	1.41	0.19	1.75	0.49	3.07	0.24
Pb	29.84	2.18	16.93	4.56	25.96	5.83	34.61	8.64	36.65	1.85
Bi	0.53	0.23	1.02	1.15	0.82	0.49	0.78	0.64	0.26	0.03
Th	36.52	8.45	23.25	5.41	22.20	2.55	17.65	3.89	20.25	0.25
U	7.54	1.06	4.48	0.72	5.66	1.27	4.43	0.85	6.20	1.69
REE	138.8	15.3	164.0	16.0	109.0	11.4	105.9	10.4	117.9	0.30

伴随着烧失量的变化, Na_2O (图 4a)、 K_2O (图 4b) 和稀土总量 (图 4c) 以及其他微量元素含量 (表 1) 保持相对稳定, 表明此次所测试的样品蚀变轻微。

矿区各期次侵入岩具有相近的主量元素成分, 大部分为酸性 ($\text{SiO}_2 = 63.42\% \sim 70.51\%$; 表 1 附表 1), 都属于高钾钙碱性系列 (Peccerillo and Taylor, 1976; 图 5a), 且在 TAS 分类图解中均位于石英二长岩、花岗岩、花岗闪长岩或三者的交界处 (Middlemost, 1994; 图 5b)。在哈克图解中 (图 6a-f), 随着 SiO_2 含量的变化, 除了 Na_2O 、 K_2O 相关性较弱外, Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MgO 和 TiO_2 都显示了较强的相关性。

矿区各期次侵入岩具有相似的微量元素和稀土元素组成 (表 1 电子版附表 2), 在原始地幔标准化微量元素蛛网图中 (图 7a), 矿区侵入岩均富集大离子亲石元素 (LILE), 如 Rb、Ba、Th、U、K 等, 亏损高场强元素 (HFSE), 如 Nb、Ta、P、Zr、Hf、Ti 等。在球粒陨石标准化稀土元素配分图中 (图 7b), 各期次侵入岩都表现为轻稀土元素相对富集, 重稀土元素相对亏损, 显示为“铲状”模式, 很可能是角闪石在富水岩浆中分离结晶所形成 (Richards and Kerrich, 2007)。

3.2 锆石微量元素

在进行锆石 LA-ICP-MS 分析测试过程中, 常会遇到锆石内部的矿物包裹体 (如磷灰石、榍石等)。在此次测试中, 首先在镜下选择晶型完整、环带发育且不含包裹体的锆石作为

测试对象 (图 8a-c), 同时将 $\text{Ca} > 200 \times 10^{-6}$ 或 $\text{La} > 0.3 \times 10^{-6}$ 作为遇到磷灰石包裹体的指标, $\text{Ti} > 20 \times 10^{-6}$ 作为遇到榍石包裹体的指标, 对超过这些指标的数据进行剔除 (表 2; 电子版附表 3)。矿区内从 QM 到 RP 各期次侵入岩内锆石的球粒陨石标准化稀土配分模式相似 (图 9a-e), 都表现为重稀土元素相对富集、轻稀土元素相对亏损, Eu 具有较低负异常, Ce 具有很强的正异常。各期次侵入岩内锆石的稀土配分模式、稀土总量 ($\text{REE} = 318 \times 10^{-6} \sim 1632 \times 10^{-6}$) 以及 Th/U 比值 (> 0.1 , $\text{Th}/\text{U} = 0.55 \sim 3.70$; 表 2) 等特征均表明, 此次获得的数据均来自典型相对氧化岩浆中的火成锆石 (Hoskin and Schaltegger, 2003)。

从锆石化学成分计算所获得的温度 (Ti 饱和温度) 和 Eu 异常 ($\text{Eu}_N/\text{Eu}_N^* = \text{Eu}_N / (\text{Sm}_N \times \text{Gd}_N)^{0.5}$; 图 10; 表 2) 在 QM 到 RP 的各期次侵入岩中均未显示明显差别。Ti 饱和温度利用 Ferry and Watson (2007) 的公式计算获得, 在计算中设定 $\log a_{\text{SiO}_2} = 1$ (各期次侵入岩中均存在石英)、 $\log a_{\text{TiO}_2} = 0.7$ (榍石均为各期次侵入岩的常见副矿物)。经计算, QM 锆石具有较高的饱和温度 ($644 \sim 729^\circ\text{C}$, 平均 $694 \pm 26^\circ\text{C}$, $n = 12$) 和最高的 $\text{Eu}_N/\text{Eu}_N^*$ 值 ($0.53 \sim 0.79$, 平均 0.64 ± 0.08 , $n = 12$); DP 锆石具有最高的饱和温度 ($668 \sim 740^\circ\text{C}$, 平均 $695 \pm 21^\circ\text{C}$, $n = 19$) 和较低的 $\text{Eu}_N/\text{Eu}_N^*$ 值 ($0.36 \sim 0.66$, 平均 0.51 ± 0.06 , $n = 19$); QMP 锆石晶体具有最低的饱和温度 ($635 \sim 702^\circ\text{C}$, 平均 $664 \pm 18^\circ\text{C}$, $n = 12$) 和中等的 $\text{Eu}_N/\text{Eu}_N^*$ 值 (0.46

表2 岗讲斑岩铜-钼矿床各期次侵入岩内锆石 LA-ICP-MS 微量元素含量($\times 10^{-6}$)Table 2 LA-ICP-MS zircon trace element compositions from the intrusive rocks at Gangjiang ($\times 10^{-6}$)

岩性	QM		DP		QMP		RDP		RP	
	测点数	12	19	12	12	12	12	12	12	
含量	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
P	162.8	57.3	188.1	88.6	165.8	74.6	143.8	54.1	178.6	54.0
Ca	43.35	63.53	49.99	58.99	66.57	44.73	35.55	40.65	47.39	32.60
Ti	4.08	1.14	4.06	1.09	2.77	0.65	3.17	0.64	3.91	1.28
Ga	0.16	0.06	0.39	0.29	0.19	0.07	0.20	0.09	0.30	0.12
Rb	0.15	0.10	0.26	0.21	0.16	0.11	0.13	0.06	0.24	0.20
Sr	1.86	1.91	1.33	1.67	1.81	1.38	2.04	2.11	1.72	1.09
Y	642.7	196.9	957.6	433.7	706.4	258.1	626.1	177.9	843.5	290.5
Nb	1.65	0.76	2.77	1.88	1.63	0.58	1.68	0.62	2.11	0.75
Ba	0.06	0.10	0.09	0.19	0.12	0.23	0.06	0.07	0.40	0.62
La	0.07	0.06	0.07	0.05	0.10	0.06	0.07	0.06	0.14	0.07
Ce	40.39	10.97	85.99	72.35	45.85	16.42	46.37	14.39	62.37	24.16
Pr	0.11	0.05	0.23	0.21	0.12	0.06	0.10	0.04	0.16	0.08
Nd	1.68	0.72	3.64	3.28	1.89	0.85	1.60	0.56	2.55	1.18
Sm	3.23	1.33	6.49	5.28	3.52	1.62	3.11	1.06	4.80	2.06
Eu	1.19	0.39	2.22	1.49	1.30	0.53	1.11	0.37	1.73	0.61
Gd	15.16	5.60	26.95	16.82	17.24	7.90	14.59	5.38	22.40	9.17
Tb	4.47	1.69	7.58	4.24	5.09	2.37	4.27	1.53	6.38	2.70
Dy	50.40	18.45	80.47	41.95	56.10	24.66	47.91	16.67	69.55	28.35
Ho	19.52	6.38	29.36	14.20	21.28	8.68	18.45	5.93	26.10	9.79
Er	92.69	27.51	133.20	58.80	99.83	36.39	87.07	23.69	119.99	41.75
Tm	20.99	5.88	29.26	11.68	22.62	7.17	19.93	4.66	26.57	8.11
Yb	218.9	51.2	293.0	106.4	235.0	63.7	210.2	41.8	268.8	73.6
Lu	52.25	10.35	67.49	21.34	57.50	13.24	52.10	8.86	63.30	15.85
Hf	12367	487	12523	816	12913	573	12996	488	12594	530
Ta	0.50	0.25	0.62	0.29	0.40	0.11	0.39	0.14	0.47	0.15
Pb	0.29	0.33	0.21	0.26	0.44	0.97	0.27	0.32	0.53	0.49
Pb	2.35	0.48	4.43	2.79	2.92	0.88	2.70	1.02	3.23	1.17
Th	773	220	1836	1610	1009	501	1061	515	1522	1121
U	772	166	1397	697	1021	277	980	289	1180	376
Σ REE	521.0	137.6	765.9	333.7	567.4	180.0	506.8	117.3	674.8	202.4
Th/U	0.99	0.11	1.18	0.41	0.96	0.25	1.03	0.21	1.27	0.76
T(°C)	694	26	695	21	664	18	675	16	690	28
Eu _N /Eu _N *	0.64	0.08	0.51	0.06	0.57	0.06	0.50	0.04	0.59	0.07

~0.69, 平均 0.57 ± 0.06 ($n = 12$)。RDP 锆石具有中等的饱和和温度(651 ~ 710°C, 平均 $675 \pm 16^\circ\text{C}$ ($n = 12$)) 和最低的 $\text{Eu}_N/\text{Eu}_N^*$ 值(0.43 ~ 0.57, 平均 0.50 ± 0.04 ($n = 12$))。RP 锆石具有中等的饱和和温度(637 ~ 744°C, 平均 $690 \pm 28^\circ\text{C}$ ($n = 12$)) 和中等的 $\text{Eu}_N/\text{Eu}_N^*$ (0.45 ~ 0.69, 平均 0.59 ± 0.07 ($n = 12$))。

3.3 磷灰石化学成分

本次测试对象为 QM、DP、QMP 和 RDP 的岩石样品中包

裹在斜长石(图 8d) 或者黑云母矿物(图 8e、f) 颗粒内部的磷灰石(RP 由于受蚀变影响, 未找到岩浆磷灰石)。表 3 中列出了各期次侵入岩的岩浆磷灰石 Cl、SO₃、F 及其他元素的分析结果(电子版附表 4), 并在图 11 中进行了呈现。结果表明, RDP 内磷灰石 SO₃ 含量(0.50% ~ 0.81%, 平均 $0.61 \pm 0.08\%$ ($n = 21$)) 明显高于 QM、DP 和 QMP。相比之下, 来自 DP 的磷灰石颗粒具有较低的 SO₃ 含量(0.20% ~ 0.50%, 平均 $0.33 \pm 0.09\%$ ($n = 30$)), 而来自 QM 和 QMP 的磷灰石具有

表3 岗讲斑岩铜-钼矿床各期次侵入岩内磷灰石化学成分(wt%)

Table 3 Geochemical compositions (wt%) of apatite from intrusive rocks at Gangjiang

岩性	QM		DP		QMP		RDP	
	29		30		63		21	
测点数	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
MnO	0.11	0.04	0.17	0.15	0.09	0.03	0.23	0.03
CaO	54.38	0.69	54.30	0.63	54.64	0.34	54.01	0.68
SO ₃	0.21	0.04	0.33	0.09	0.22	0.09	0.61	0.08
BaO	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02
Na ₂ O	0.17	0.08	0.16	0.09	0.13	0.08	0.12	0.07
P ₂ O ₅	40.96	0.47	41.21	0.53	40.85	0.66	40.96	0.39
MgO	0.05	0.05	0.12	0.23	0.04	0.04	0.09	0.02
F	2.57	0.17	2.33	0.24	2.54	0.20	1.55	0.12
Al ₂ O ₃	0.05	0.15	0.07	0.17	0.01	0.01	0.01	0.04
SiO ₂	0.04	0.15	0.10	0.22	0.02	0.08	0.04	0.19
K ₂ O	0.06	0.07	0.11	0.16	0.04	0.05	0.02	0.02
FeO	0.20	0.07	0.37	0.27	0.31	0.13	0.46	0.08
Cl	0.18	0.07	0.46	0.10	0.19	0.07	1.09	0.10
Total	98.98	0.65	99.75	0.59	99.11	0.59	99.20	0.65
F/Cl	16.83	6.64	5.45	2.23	16.60	11.58	1.44	0.20

表4 岗讲斑岩铜-钼矿床各期次侵入岩内黑云母化学成分(wt%)

Table 4 Geochemical compositions (wt%) of biotite from intrusive rocks at Gangjiang

岩性	QM		DP		QMP		RDP	
	17		22		22		14	
测点数	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
Na ₂ O	0.21	0.05	0.17	0.07	0.22	0.04	0.21	0.09
Al ₂ O ₃	14.67	0.67	14.32	0.68	14.93	1.11	15.03	0.80
K ₂ O	9.54	0.20	9.62	0.18	9.61	0.11	9.58	0.21
SiO ₂	39.02	0.45	38.71	1.01	37.84	0.62	38.27	1.03
MnO	0.20	0.09	0.10	0.04	0.09	0.03	0.08	0.02
MgO	16.30	1.11	16.32	0.97	14.87	0.83	14.91	1.17
CaO	0.01	0.02	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	11.88	1.58	12.13	1.27	12.90	0.45	12.70	0.63
F	0.30	0.04	0.22	0.03	0.33	0.03	0.23	0.03
Cl	0.12	0.01	0.12	0.01	0.14	0.01	0.17	0.01
TiO ₂	2.90	0.26	2.82	0.46	3.06	0.34	2.93	0.35
Total	95.15	1.00	94.55	1.27	93.99	1.21	94.12	1.65
log(F/OH)	-1.68	0.06	-1.80	0.06	-1.62	0.04	-1.79	0.06
log(Cl/OH)	-2.20	0.04	-2.20	0.05	-2.13	0.03	-2.03	0.04
log(F/Cl)	0.52	0.07	0.40	0.07	0.51	0.05	0.24	0.07
IV(F)	2.76	0.07	2.89	0.07	2.66	0.06	2.82	0.09
IV(Cl)	-4.04	0.09	-4.05	0.08	-4.03	0.05	-4.13	0.05
IV(F/Cl)	6.80	0.14	6.94	0.12	6.69	0.10	6.95	0.13
log(<i>f</i> _{H₂O} / <i>f</i> _{HF})	5.34	0.08	5.41	0.06	5.20	0.09	5.30	0.08
log(<i>f</i> _{H₂O} / <i>f</i> _{HCl})	3.72	0.05	3.70	0.05	3.66	0.03	3.55	0.03
log(<i>f</i> _{HF} / <i>f</i> _{HCl})	-1.62	0.11	-1.71	0.09	-1.53	0.08	-1.75	0.09

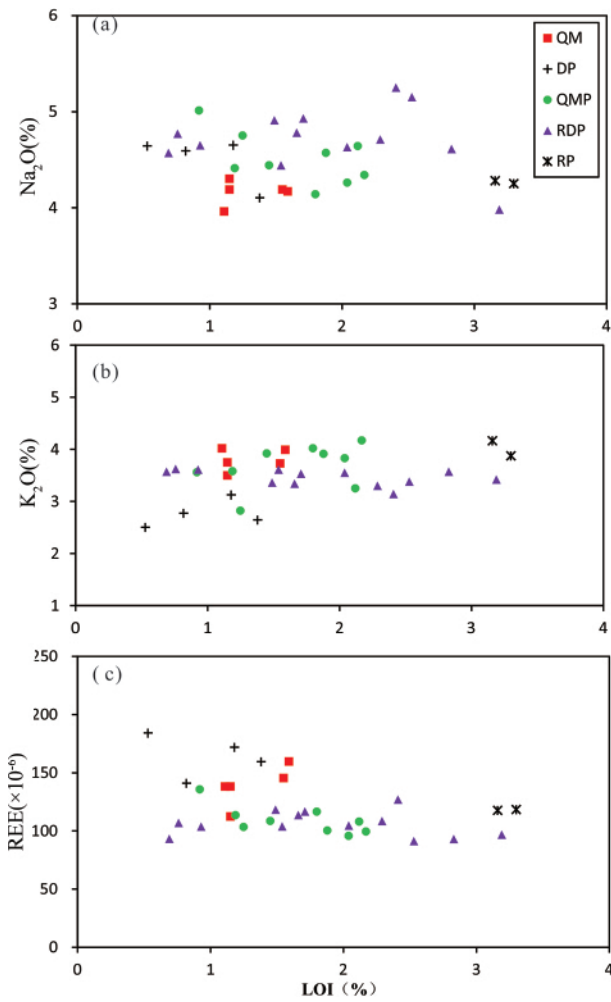


图4 岗讲斑岩铜-钼矿床各期次侵入岩 Na₂O (a)、K₂O (b) 和 ΣREE (稀土总量) (c) 对 LOI 图解
 QM-黑云石英二长岩; DP-英安斑岩; QMP-石英二长斑岩; RDP-流纹英安斑岩; RP-英安斑岩
 Fig.4 Plots of Na₂O (a) , K₂O (b) and ΣREE (c) against LOI for the intrusive rocks at Gangjiang

更低的 SO₃ 含量(QM: 0.13% ~ 0.31% ,平均 0.21 ± 0.04% , n = 29; QMP: 0.05% ~ 0.40% ,平均 0.22 ± 0.09% , n = 63) 。同样 ,RDP 内磷灰石具有最高的 Cl 含量(0.83% ~ 1.20% ,平均 1.09 ± 0.1% , n = 21) 来自 DP 的磷灰石颗粒具有较低的 Cl 含量(0.19% ~ 0.69% ,平均 0.46 ± 0.10% , n = 30) ,以及来自 QM 和 QMP 的磷灰石具有最低的 Cl 含量(QM: 0.09% ~ 0.34% ,平均 0.18 ± 0.07% , n = 29; QMP: 0.03% ~ 0.33% ,平均 0.19 ± 0.07% , n = 63) 。

与 SO₃ 和 Cl 的含量相反 ,F 在 RDP 中磷灰石含量最低 (1.37% ~ 1.80% ,平均 1.55 ± 0.12% , n = 21) ,来自 DP 和 QMP 的磷灰石具有相近 F 含量(DP: 1.91% ~ 3.04% ,平均 2.32 ± 0.24% , n = 29; QMP: 2.15% ~ 2.98% ,平均 2.54 ± 0.2% , n = 63) ,而 QM 中的磷灰石具有最高的 F 含量

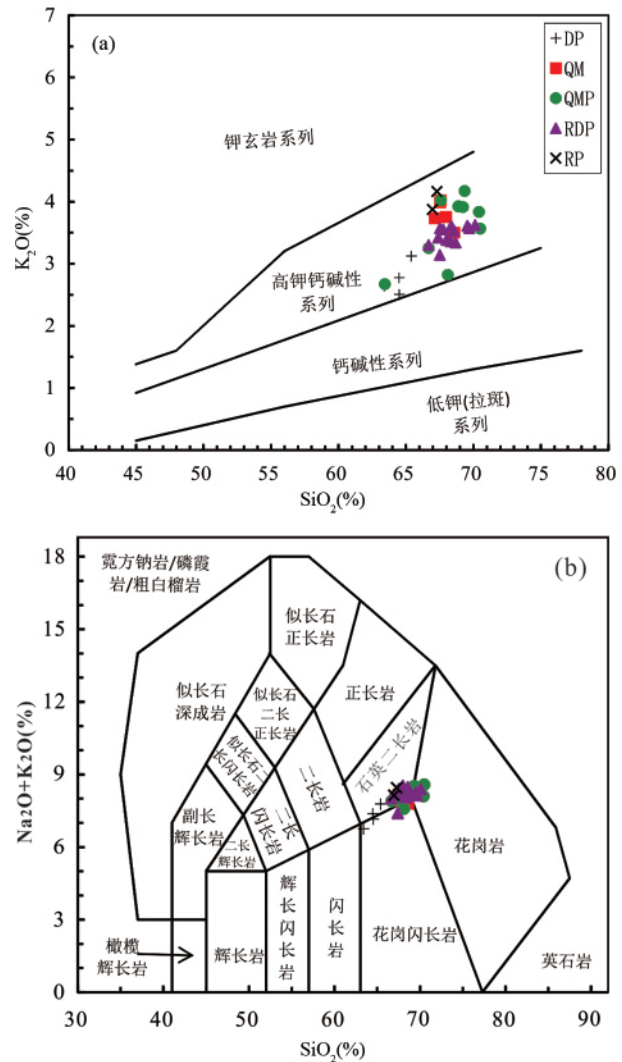


图5 岗讲斑岩铜-钼矿床各期次侵入岩 K₂O-SiO₂ 岩石分类图解(a 据 Peccerillo and Taylor , 1976) 和(Na₂O + K₂O)-SiO₂ 岩石 TAS 分类图解(b 据 Middlemost , 1994)
 Fig.5 Plots of K₂O vs. SiO₂ (a , after Peccerillo and Taylor , 1976) and Na₂O + K₂O vs. SiO₂ (b , after Middlemost , 1994) for intrusive rocks at Gangjiang

(2.37% ~ 3.03% ,平均 2.57 ± 0.17% , n = 29) 。

3.4 黑云母化学成分

本次测试的黑云母分别来自 QM、DP、QMP 和 RDP 的岩石样品内自形程度较好的原生岩浆黑云母(图 8e , f) 。而由于受蚀变影响 ,RP 中未找到自形程度较好或未蚀变的黑云母。黑云母的 Ti 含量受温度控制 ,其含量可用于区分原生黑云母和次生黑云母(Stussi and Cuney , 1996; Patiño Douce and Harris , 1998) 。本次研究中的黑云母富含 TiO₂ (2.04% ~ 4.05% ,平均 2.93% ; 表 4 ,电子版附表 5) ,与 Rasmussen and Mortensen(2013) 以及 Zhang *et al.* (2016) 记录的岩浆黑

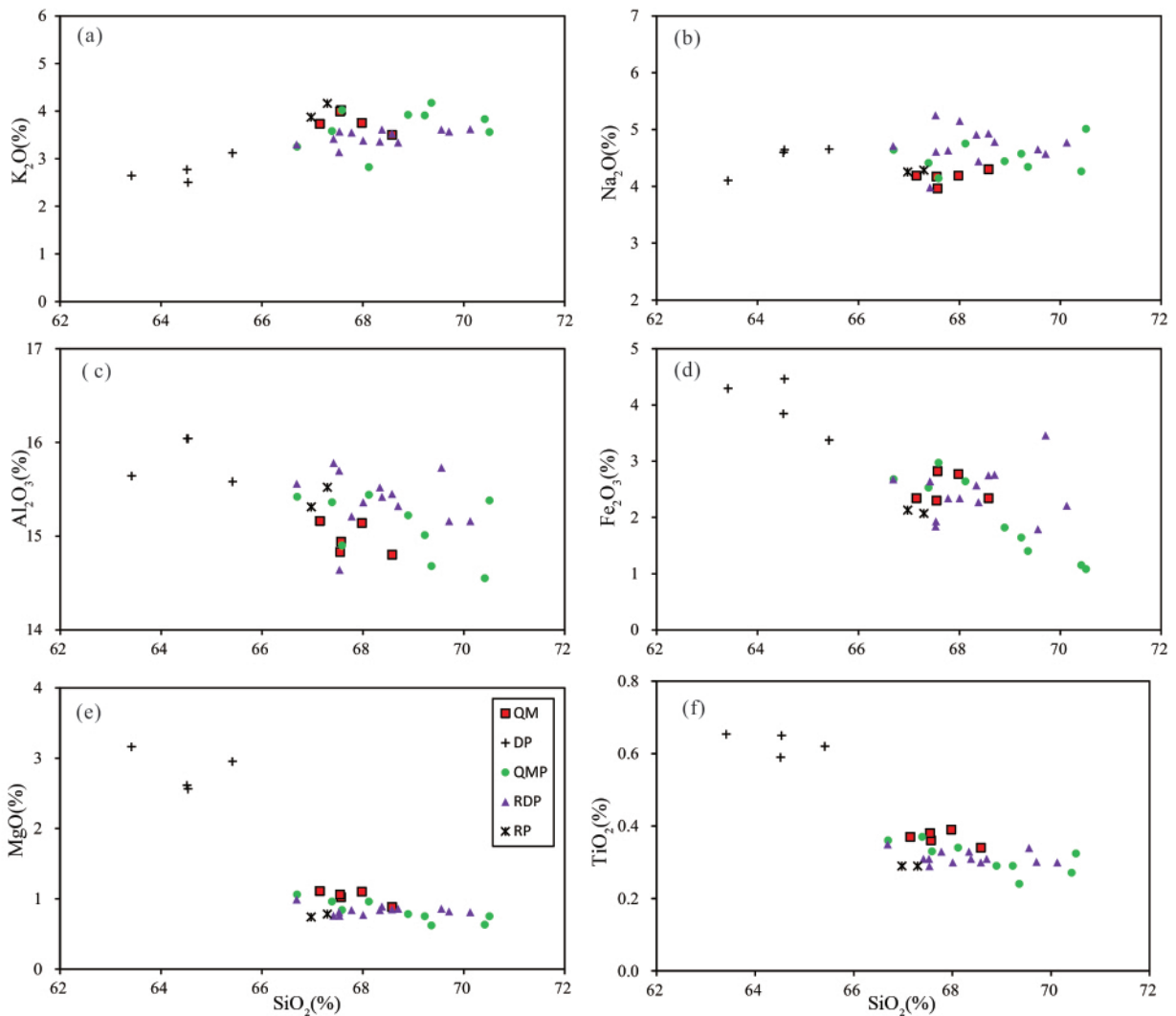


图6 岗讲斑岩铜-钼矿床各期次侵入岩主要元素哈克图解
Fig.6 Harker diagrams for intrusive rocks at Gangjiang

云母相似(分别为 1.18% ~ 4.82% 和 1.76% ~ 4.55%)。

在不含白云母和萤石的花岗岩类岩石中,70% ~ 90% 的 F 存在于黑云母中,其余的则存在于磷灰石和榍石中 (Grabazkev *et al.*, 1979)。岗讲斑岩铜-钼矿床 QM 和 QMP 中黑云母的 F 含量相近 (QM: 平均 $0.30 \pm 0.04\%$, 范围 0.24% ~ 0.38% $n = 17$; QMP: $0.33 \pm 0.03\%$, 范围 0.26% ~ 0.38% $n = 22$), DP 和 RDP 中黑云母的 F 含量略低 (DP: 平均 $0.22 \pm 0.03\%$, 范围 0.16% ~ 0.28% $n = 22$; RDP: 平均 $0.23 \pm 0.03\%$, 范围 0.16% ~ 0.28% $n = 14$; 图 12a; 表 4)。相对于 F, 大多数黑云母的 Cl 含量较低, 占据 OH 位置, 只有少数黑云母的 $Cl / (OH + F + Cl) > 0.1$ (Munoz, 1984)。岗讲斑岩铜-钼矿床各期次侵入岩除了 RDP 中黑云母 Cl 含量略高外 (平均 $0.17 \pm 0.01\%$, 范围 0.16% ~ 0.20% $n = 14$), 其他较为相近 (QM: 平均 $0.12 \pm 0.01\%$, 范围 0.10% ~ 0.14% $n = 17$; DP: 平均 $0.12 \pm 0.01\%$, 范围 0.10% ~

0.15% $n = 22$; QMP: $0.14 \pm 0.01\%$, 范围 0.12% ~ 0.15% $n = 22$; 图 12a; 表 4)。

F 截距值 [IV(F)], Cl 截距 [IV(Cl)] 和 F/Cl 截距值 [IV(F/Cl)] 是描述黑云母中卤素 (F 和 Cl) 相对富集程度的重要物理化学参数。Munoz (1984) 将其定义为:

$$IV(F) = 1.52X_{phl} + 0.42X_{ann} + 0.20X_{sid} - \log(F/OH)$$

$$IV(Cl) = -5.01 - 1.93X_{phl} - \log(Cl/OH)$$

$$IV(F/Cl) = IV(F) - IV(Cl)$$

式中 $X_{phl} = Mg / \text{八面体阳离子之和}$; $X_{sid} = [(3 - Si/Al) / 1.75] (1 - X_{phl})$, 即黑云母中的铁叶云母摩尔分数; $X_{ann} = 1 - (X_{sid} + X_{phl})$, 即黑云母中的铁云母摩尔分数。

其中 IV(F) 越小表示黑云母中 F 含量越富集; IV(Cl) 基本为负数, 其绝对值越大表明黑云母中 Cl 含量越集中, 而 IV(F/Cl) 值越低, F/Cl 比值越大。岗讲斑岩铜-钼矿床中不同期次侵入体黑云母成分如图 12b 所示, 与黑云母中 F 和 Cl

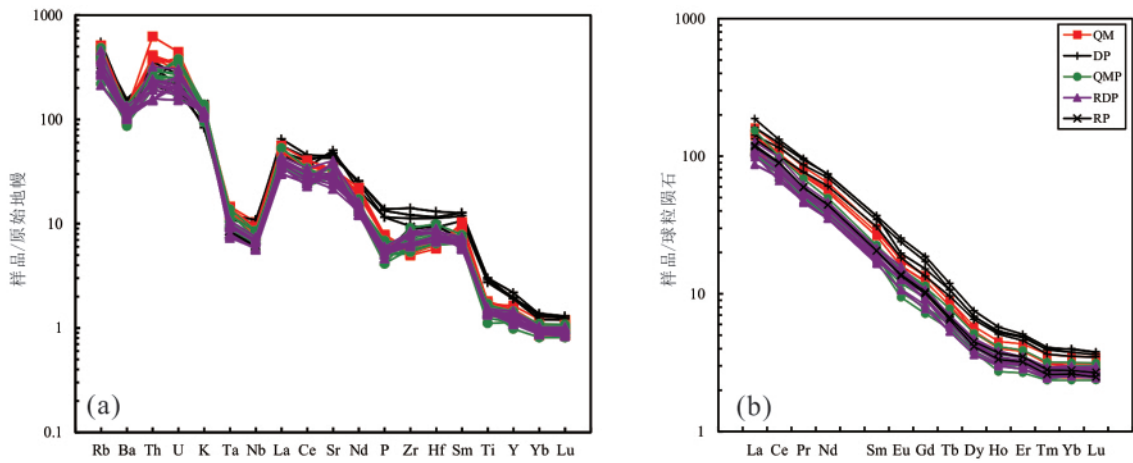


图7 岗讲斑岩铜-钼矿床各期次侵入岩全岩原始地幔标准化微量元素蛛网图 (a) 和球粒陨石标准化稀土元素分布型式图 (b) (标准化值据 Sun and McDonough , 1989)

Fig. 7 Primitive mantle-normalized trace element (a) and chondrite-normalized REE diagrams (b) for intrusive rocks at Gangjiang (the normalizing values after Sun and McDonough , 1989)

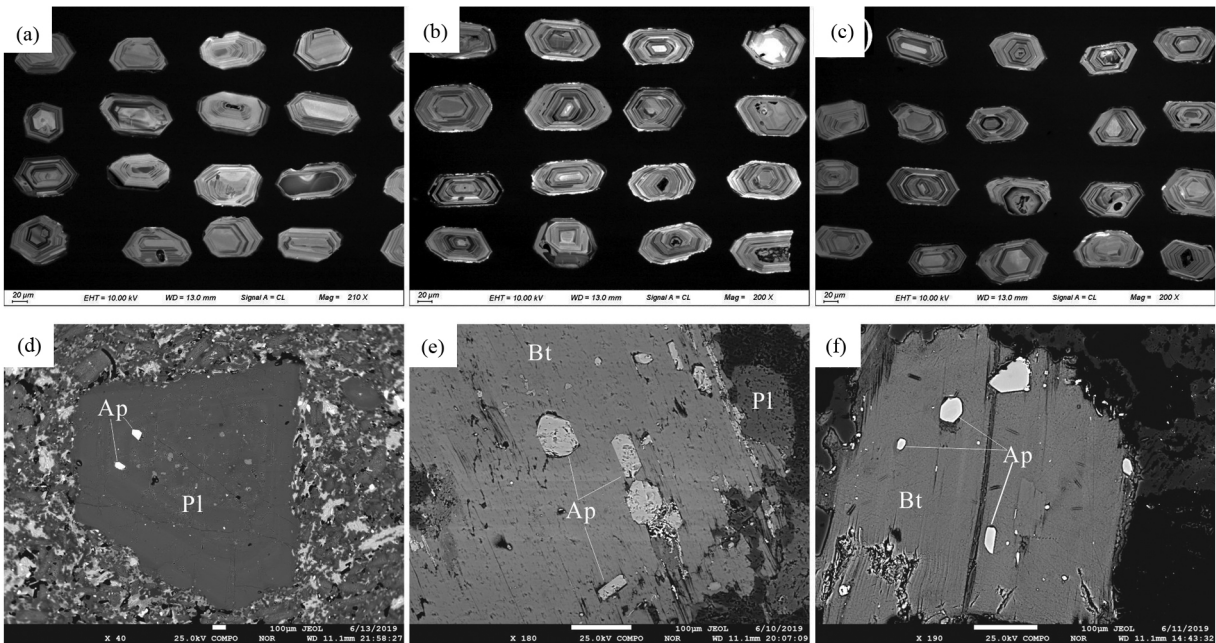


图8 岗讲斑岩铜-钼矿床各期次侵入岩锆石 CL 图像(a-c) 、包裹在斜长石内部(d) 和自形黑云母内部(e、f) 的磷灰石背散射(BSE) 图像

Pl-斜长石; Ap-磷灰石; Bt-黑云母

Fig. 8 Cathodoluminescence (CL) images of zircons (a-c) , and backscattered electron images of apatite crystals included in plagioclase (d) and biotite (e , f) from the intrusive rocks at Gangjiang

Pl-plagioclase; Ap-apatite; Bt-biotite

含量相对应, RDP 中黑云母的 IV(F) 值和 IV(F/Cl) 值最低, DP 略高, 而 QM 及 QMP 中 IV(F) 值和 IV(F/Cl) 值最高。

3.5 斜长石化学成分

剔除 $K_2O > 1\%$ (可能经受了钾质蚀变) 的测点数据, 最

终获得 QM、DP、QMP 和 RDP 中斜长石的化学成分数据(见电子版附表 6) 。在所测试的各期次斜长石中, 斜长石的牌号(X_{An}) 变化范围大致相同(QM: 0.16 ~ 0.30; DP: 0.16 ~ 0.33; QMP: 0.21 ~ 0.46; RDP: 0.18 ~ 0.36) , 为防止这一数据受蚀变影响, 同时测试斜长石 FeO 和 Sr 含量, 协同反映斜长

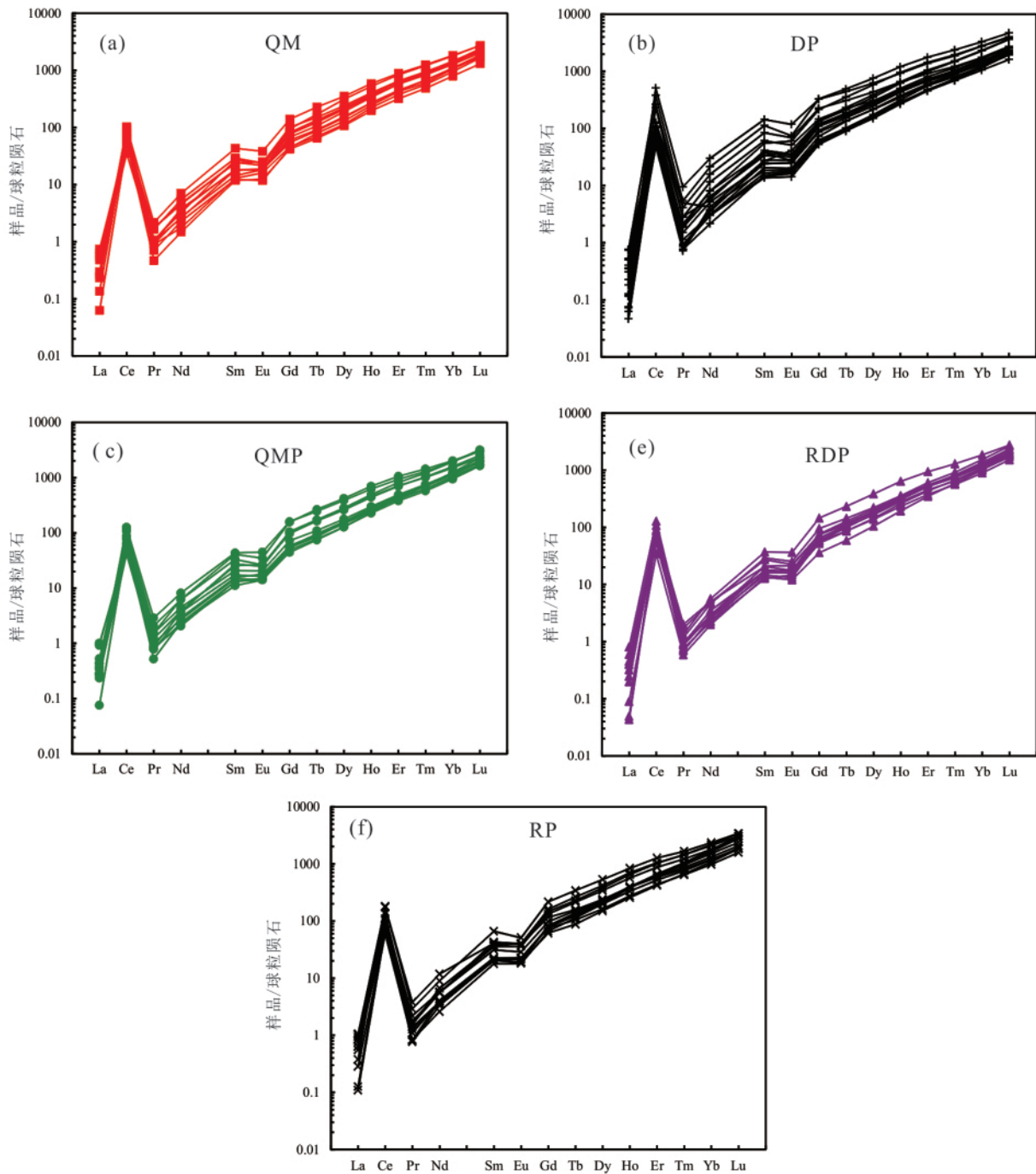


图9 岗讲斑岩铜-钼矿床各期次侵入岩中锆石球粒陨石标准化稀土元素分布型式图(标准化值据 Sun and McDonough , 1989)

Fig.9 Chondrite-normalized REE patterns for zircons from the intrusive rocks at Gangjiang (the normalizing values after Sun and McDonough , 1989)

石斑晶内部的化学成分变化规律。成矿前 QM 中斜长石显示为正环带,从斜长石斑晶核部至边缘,斜长石的牌号基本呈下降的趋势(图 13),对应的 FeO 和 Sr 含量也近为同步变化。DP 和 RDP 中化学成分有相近的变化规律,显示出韵律环带的特征(图 14、图 15)。从斜长石斑晶核部至边缘,斜长

石牌号并非呈连续下降的趋势,出现了几次波动,FeO 和 Sr 的曲线也呈相同的趋势。主成矿期 RDP 中斜长石也显示出韵律环带特征,甚至在部分斜长石的核部至边缘, X_{An} 、FeO 含量和 Sr 含量的呈现上升的趋势(图 16)。

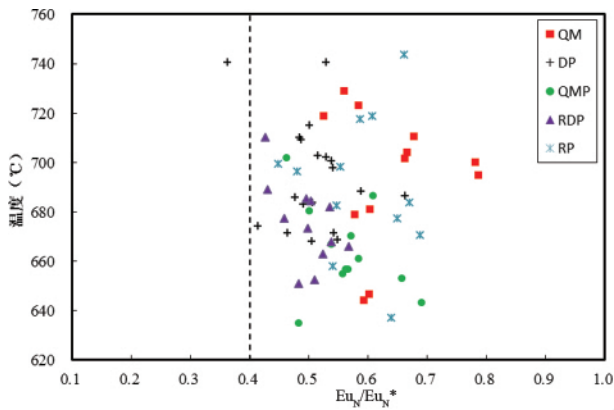


图 10 岗讲斑岩铜-钼矿床各期次侵入岩中锆石的温度- (Eu_N/Eu_N^*) 图(虚线为 $Eu_N/Eu_N^* = 0.4$ 标线, 据 Dilles *et al.*, 2015)

Fig. 10 Eu_N/Eu_N^* vs. temperature diagram for zircons from different intrusive rocks at Gangjiang (oxidized suites have zircon Eu_N/Eu_N^* values > 0.4 , Dilles *et al.*, 2015)

4 讨论

4.1 矿区斑岩成因

岗讲斑岩铜-钼矿床含矿侵入岩,均表现为钾质-超钾质(图4)、高 Sr/Y 比值(平均值 111.6,范围 68.73 ~ 151.6;表1)、明显富集大离子亲石元素、强烈亏损高场强元素(图7)、具有较低的重稀土元素(HREE)和 Y 含量(图7;表1)。这些现象说明矿区侵入岩具有埃达克质岩的特征(Defant and Drummond, 1990; 侯增谦等, 2003, 2005; Hou *et al.*, 2004; Richards and Kerrich, 2007) 与冈底斯斑岩铜矿带中其他含矿斑岩类似(Hou *et al.*, 2004, 2009; 杨志明等, 2008)。这类埃达克质岩的成因有三种成因模型:(1)加厚镁铁质(榴辉岩或石榴角闪岩)下地壳的部分熔融(Chung *et al.*, 2003; Hou *et al.*, 2004);(2)俯冲洋壳或残留新特提斯洋板片部分熔融(Qu *et al.*, 2004, 2007);和(3)受板片熔体交代的上地幔部分熔融(Gao *et al.*, 2007)。岗讲矿区样品均表现出高 K_2O 含量(表1)、高 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 值、相对低 $Mg^{\#}$ 和低 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值(Leng *et al.*, 2013),这些特征与俯冲洋壳部分熔融形成的埃达克岩不同(Martin, 1999)。与岩石圈地幔部分熔融所产生的钾质和超钾质火成岩相比(Miller *et al.*, 1999; Williams *et al.*, 2001),岗讲矿区样品的具有较低的 Ni 和 Cr 含量(表1)、较低的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 值和较高 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值(Leng *et al.*, 2013)。因此,岗讲矿区含矿斑岩可能来自于加厚镁铁质下地壳的部分熔融,高 Sr/Y 和 La/Yb 比值及低 Y 和 HREE 含量也反映其源区可能存在石榴子石或角闪石的残留(Richards and Kerrich, 2007)。据此,我们认为由岩浆底垫作用和榴辉岩或石榴角闪岩变质作用新形成的加厚下地壳很可能是这些埃达克质岩的来源(Hou *et al.*, 2009)。

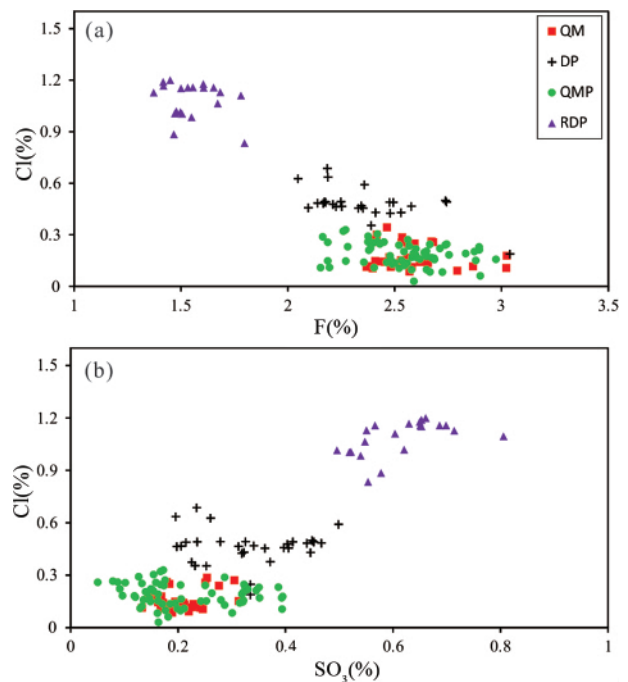


图 11 岗讲斑岩铜-钼矿床各期侵入岩内磷灰石 Cl-F (a) 和 Cl-SO₃ (b) 含量图

Fig. 11 Plots of Cl vs. F (a) and Cl vs. SO₃ (b) contents for apatite microphenocrysts from different intrusive rocks at Gangjiang

4.2 各期次岩浆成分和性质

锆石作为中酸性斑岩中重要的副矿物,以其较高的封闭温度及较强的抗风化和抗蚀变能力,可以较好记录岩浆信息。锆石的 Ti 饱和温度计显示,矿区五期侵入体具有相似的温度范围(图10;表2),反映各期次岩浆具有相似的结晶温度。此外,锆石的 Eu 异常(Eu_N/Eu_N^*)可用于定性判断岩浆的相对氧化还原状态(Ballard *et al.*, 2002; Dilles *et al.*, 2015; Lu *et al.*, 2016)。在该矿区中,从 QM 到 RP 各期次侵入体的锆石均显示较高的 Eu 异常(Eu_N/Eu_N^* 大多 > 0.4 ;图10;表2),且类似于全球其他矿化斑岩体系的锆石(Wang *et al.*, 2014; Dilles *et al.*, 2015)。因此,可以认为矿区各期次岩浆具有相近的温度和氧化还原状态。

包裹在斜长石和黑云母斑晶中的岩浆磷灰石可以评估岩浆的 S、Cl 和 F 含量。结果表明,主成矿期 RDP 中磷灰石的 SO₃ 和 Cl 含量均高于其他期次,而 F 呈现相反的结果(图11)。磷灰石中的 SO₃ 含量受岩浆 S 浓度和氧化还原状态的控制(Peng *et al.*, 1997; Paratand Holtz, 2005; Webster and Piccoli, 2015)。硫主要以 S⁶⁺ 的形式存在于磷灰石结构中,其含量在相对氧化的环境中会增加(Boyce *et al.*, 2010; Parat *et al.*, 2011)。矿区各期次侵入岩有关的岩浆均显示较为氧化的特征(图10),因此磷灰石 SO₃ 含量的差异很可能主要反映了伴生熔体中硫逸度的变化。同样, RDP 斑岩中

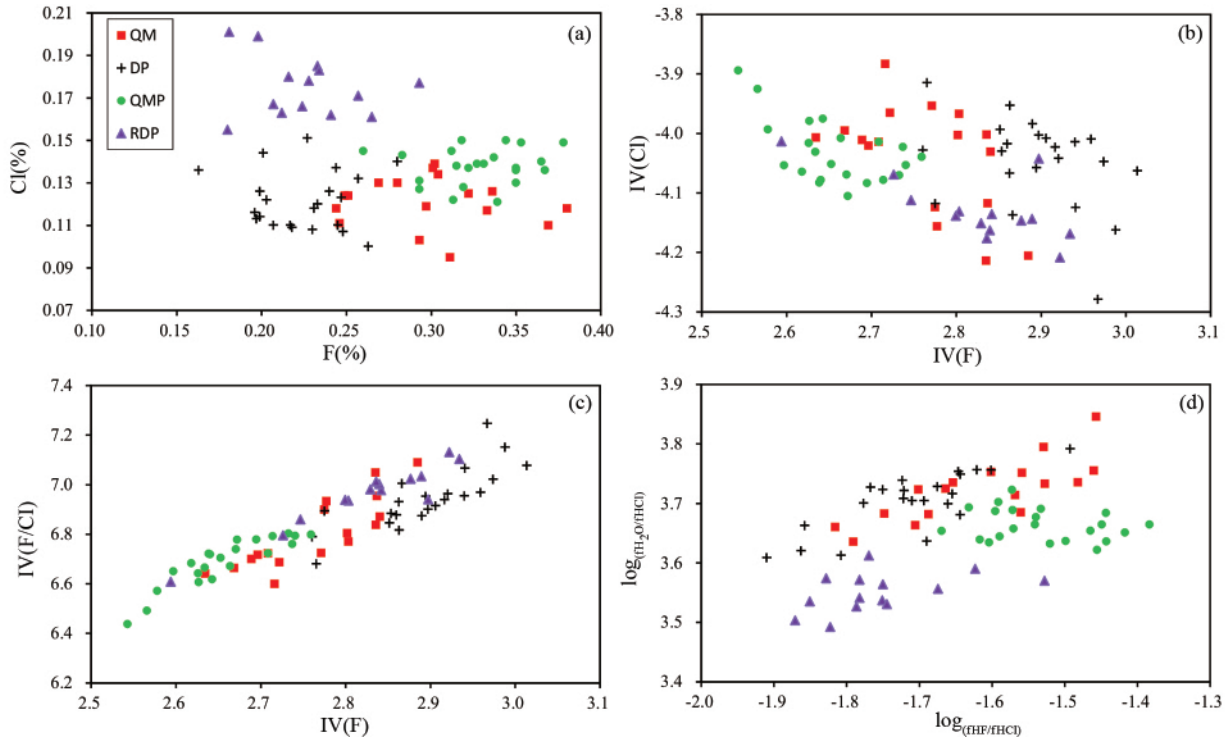


图 12 岗讲斑岩铜-钼矿床各期次侵入岩内黑云母 Cl-F (a)、V(Cl)-IV (b) 和 IV(F/Cl)-IV(F) (c) 以及流体 $\log_{(f_{H_2O}/f_{HCl})}$ - $\log_{(f_{HF}/f_{HCl})}$ (d) 图解

由各期次样品内黑云母元素含量计算得出 温度为锆石饱和温度

Fig. 12 Plots of Cl vs. F contents (a), IV(Cl) vs. IV(F) (b) and IV(F/Cl) vs. IV(F) (c) for biotite microphenocrysts and $\log_{(f_{H_2O}/f_{HCl})}$ vs. $\log_{(f_{HF}/f_{HCl})}$ in the fluids in equilibrium with biotite (d) from the QM to RDP samples at Gangjiang

These values were calculated based on their relative zircon saturation temperatures (T_{Zr})

磷灰石的 Cl 和 F 成分变化可以同步反映岩浆中 Cl 和 F 的成分变化 (Piccoli and Candela, 1994; Mathez and Webster, 2005; Webster *et al.*, 2009)。

黑云母中 Cl 和 F 的含量可用于计算伴生岩浆或流体的卤素逸度 (Zhu and Sverjensky, 1992; Loferski and Ayuso, 1995; Yang and Lentz, 2005; Idrus *et al.*, 2007; Siahcheshm *et al.*, 2012; Rasmussen and Mortensen, 2013; Zhang *et al.*, 2016)。利用 Munoz(1992) 方程计算逸度比, 该方程基于黑云母和热液之间 F-Cl-OH 分配的修正系数 (Zhu and Sverjensky, 1991, 1992):

$$\log_{(f_{H_2O}/f_{HF})}^{fluid} = 1000/T (2.37 + 1.1X_{phl}) + 0.43 - \log_{(XF/XOH)}^{biotite}$$

$$\log_{(f_{H_2O}/f_{HCl})}^{fluid} = 1000/T (1.15 - 0.55X_{phl}) + 0.68 - \log_{(XCl/XOH)}^{biotite}$$

$$\log_{(f_{HF}/f_{HCl})}^{fluid} = -1000/T (1.22 + 1.65X_{phl}) + 0.25 + \log_{(XF/XCl)}^{biotite}$$

其中 X_F 、 X_{Cl} 和 X_{OH} 是 F、Cl 和 OH 在黑云母羟基位置的摩尔分数, T 是卤素交换的温度 (单位为 K)。此处计算所用温度为锆石饱和温度。由矿区各期次斑岩中黑云母化学成

分计算得出伴生岩浆卤素逸度变化的总体趋势与对应黑云母 Cl 和 F 含量一致, RDP 期次岩浆相比其他期次岩浆更加富集 Cl 而贫 F (图 12d)。

4.3 富挥发分岩浆来源

综合磷灰石和黑云母所反映的岩浆信息, 可知主成矿期 RDP 岩浆相比其他期次岩浆含有更多的 S、Cl 和较少的 F。在流体出溶过程中 S 和 Cl 更容易进入流体相, 而 F 更倾向留在熔体相, 而主成矿期侵入岩体相对富 S-Cl、贫 F 的特征可以排除是由流体出溶造成, 这一特征很可能反映了在 RDP 就位之前, 发生了富 S、Cl 岩浆的注入。同时, 结合 QM 中斜长石发育正环带 (图 13), 而其他期次, 尤其是 RDP, 发育反环带 (图 16) 这一现象, 可以推测注入的富 S 和 Cl 的岩浆更加偏基性。斜长石的成分主要取决于熔体成分、温度、氧逸度和 H_2O 含量 (Housh and Luhr, 1991; Phinney, 1992; Panjasawatwong *et al.*, 1995; Hattori and Sato, 1996)。由前文研究可知, 岗讲斑岩矿区五期侵入体具有相似的氧逸度和温度特征, 因此这两者可能并不是造成其挥发分差异的主要原因。此外, 前人研究表明, 提高岩浆温度或 H_2O 含量虽然会增加斜长石的 X_{An} (Housh and Luhr, 1991; Couch *et al.*,

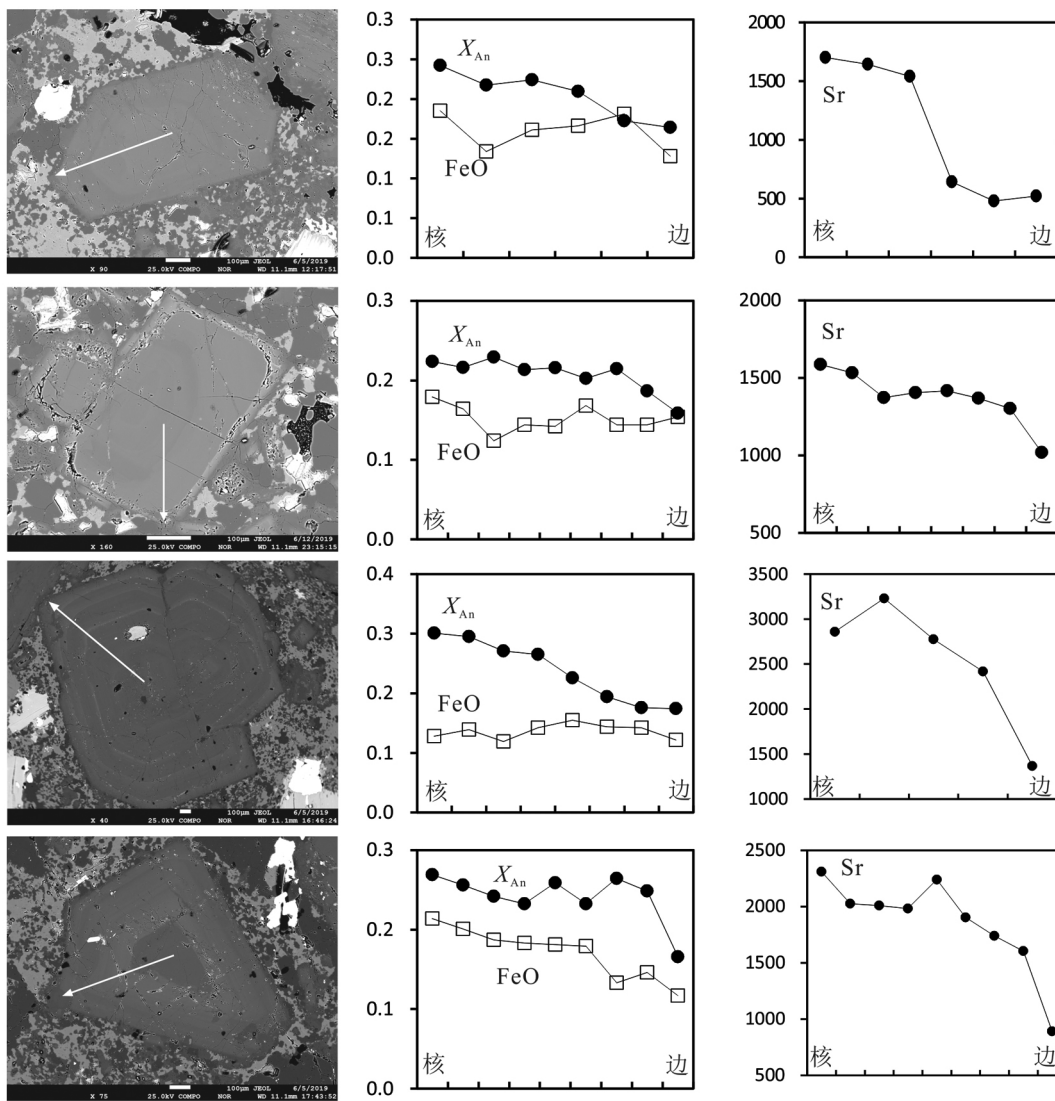


图 13 岗讲斑岩铜-钼矿床 QM 中斜长石背散射图像(左)和成分剖面图(右)

X_{An} 为斜长石牌号, FeO 为斜长石 FeO 含量(%) 数据来自 EPMA; Sr 为斜长石 Sr 含量($\times 10^{-6}$) 数据来自 LA-ICP-MS; 背散射图像中白色箭头表示 EPMA 和 LA-ICP-MS 分析测试的方向; 图 14-图 16 同

Fig. 13 Backscattered electron (BSE) images (left) and electron microprobe analysis profiles (right) for FeO and anorthite proportion (X_{An}) for representative plagioclase crystals from the QM at Gangjiang

White arrows in BSE images denote the direction of EPMA and LA-ICP-MS profiles; also in Fig. 14-Fig. 16

2001) 但并不能影响斜长石中 FeO 和 Sr 含量。由图 14-图 16 可知, 岗讲斑岩 Mo-Cu 矿床 RDP 中斜长石的 X_{An} 、FeO 和 Sr 呈耦合变化, 进一步反映温度或 H_2O 含量不是造成斜长石成分差异的主要原因。研究表明, 岩浆的 S 和 Cl 含量在氧化镁铁质岩浆中的溶解度高于长英质熔体 (Webster, 1997; Webster *et al.*, 1999; Hattori and Keith, 2001)。同时, Leng *et al.* (2013) 研究发现, QM 样品中岩浆锆石的 Hf 同位素组成 $\varepsilon_{Hf}(t)$ 值介于 +2.25 ~ +4.57 之间, 而 RDP 样品中岩浆锆石的 $\varepsilon_{Hf}(t)$ 值在 +5.53 ~ +7.81 之间。因此, 与 QM 相比, 更多的地幔组分参与了 RDP 的形成。所以, 基性岩浆

注入, 导致熔体成分发生改变, 可能是造成斜长石发育反环带的主要原因。

这些证据表明在主成矿期 RDP 就位之前, 存在富 S-Cl 且含有更多地幔组分的偏基性岩浆注入了深部岩浆房, 发生岩浆混合, 并触发 RDP 就位。由于 RDP 这期岩浆含有更多的 S-Cl, 并在流体出溶中进一步进入流体相富集, 大大增加了这期流体对成矿元素的搬运络合能力, 并在合适的部位进行沉淀富集形成矿体, 从而对岗讲斑岩铜-钼矿床的形成发挥关键性的作用。

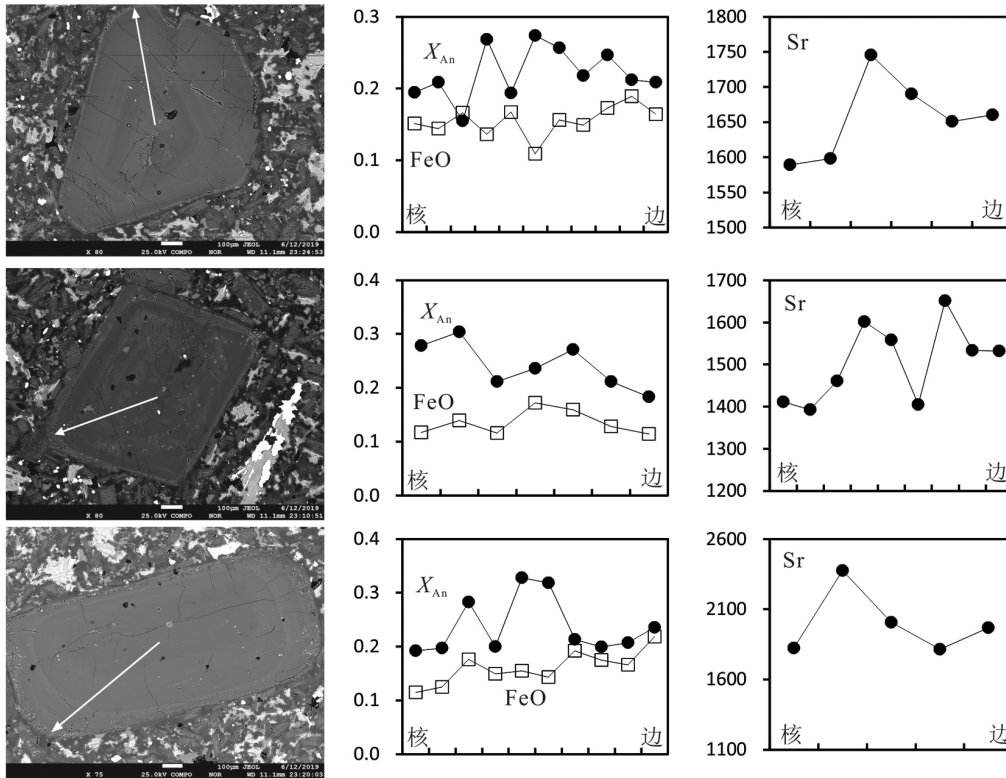


图 14 岗讲斑岩铜-钼矿床 DP 中斜长石背散射图像(左)和成分剖面图(右)
 Fig. 14 Backscattered electron (BSE) images (left) and electron microprobe analysis profiles (right) for FeO and anorthite proportion (X_{An}) for representative plagioclase crystals from the DP at Gangjiang

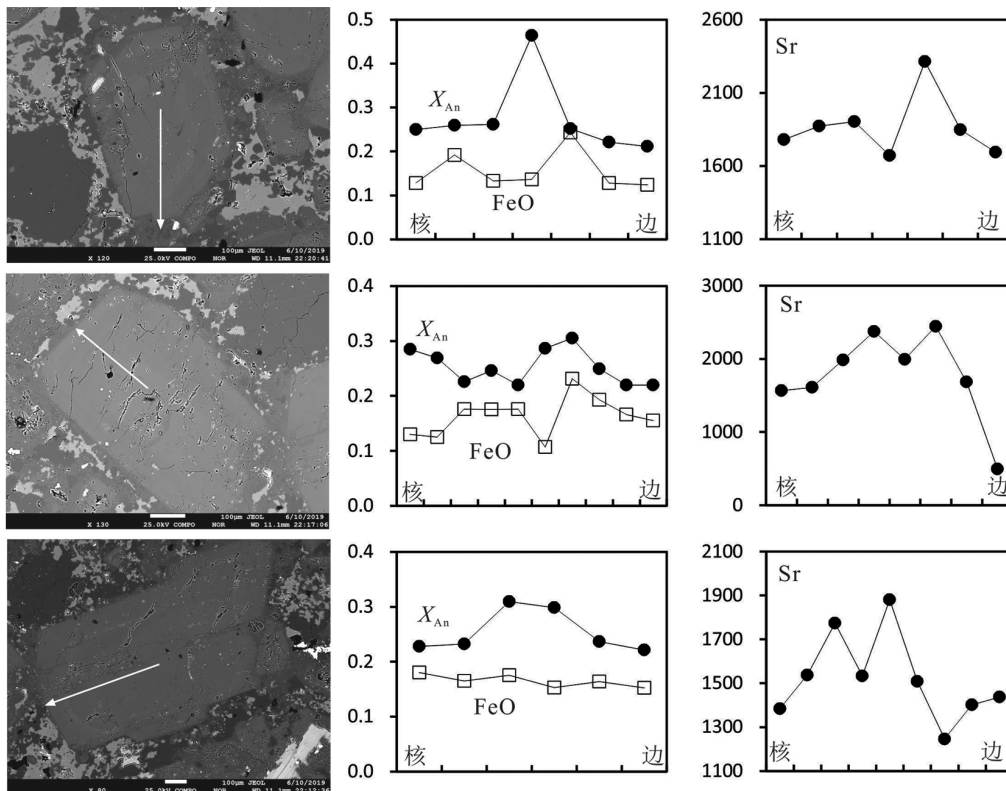


图 15 岗讲斑岩铜-钼矿床 QMP 中斜长石背散射图像(左)和成分剖面图(右)
 Fig. 15 Backscattered electron (BSE) images (left) and electron microprobe analysis profiles (right) for FeO and anorthite proportion (X_{An}) for representative plagioclase crystals from the QMP at Gangjiang

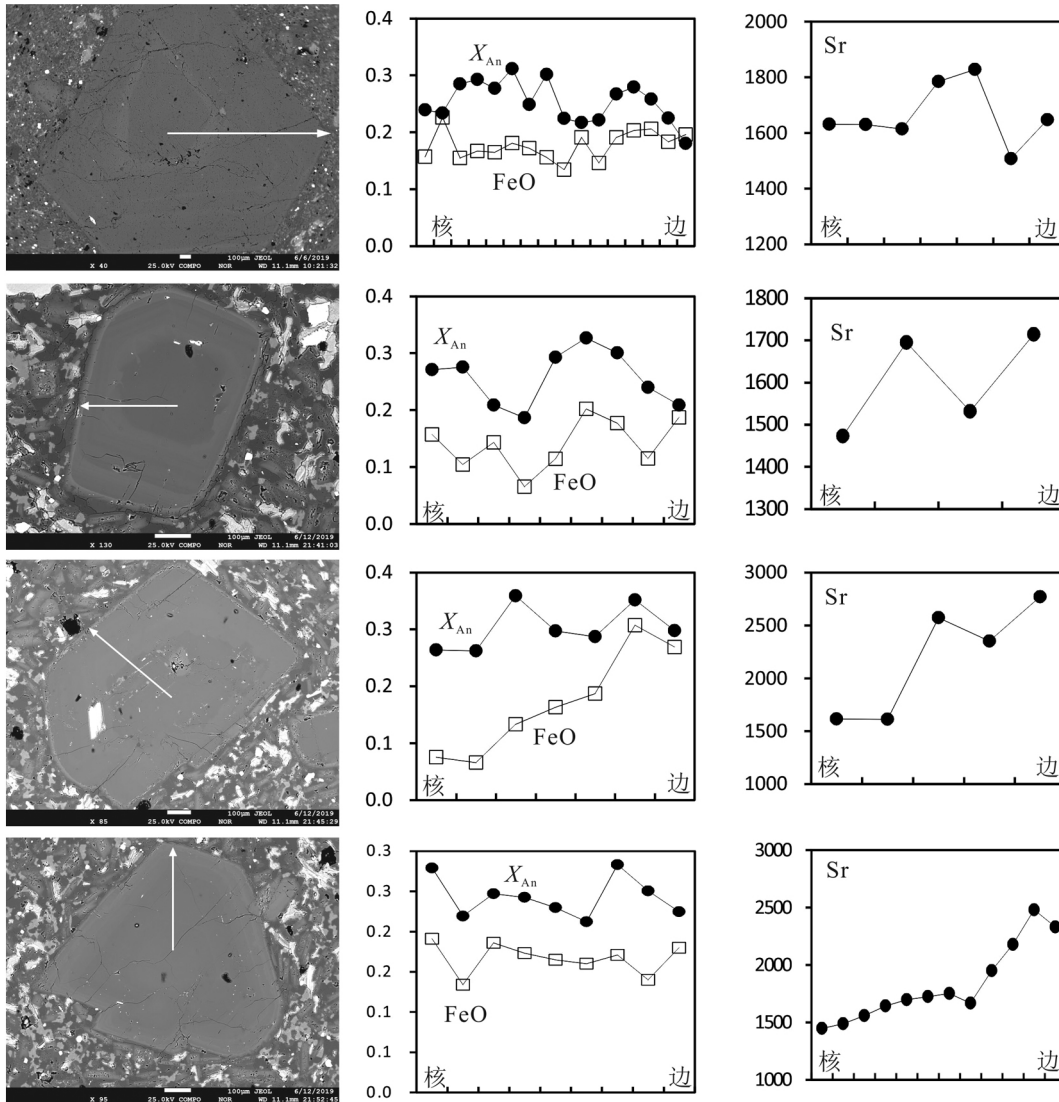


图 16 岗讲斑岩铜-钼矿床 RDP 中斜长石背散射图像(左)和成分剖面图(右)

Fig. 16 Backscattered electron (BSE) images (left) and electron microprobe analysis profiles (right) for FeO and anorthite proportion (X_{An}) for representative plagioclase crystals from the RDP at Gangjiang

5 结论

(1) 岗讲斑岩铜-钼矿床含矿侵入岩显示埃达克质岩的特征,它们很可能来源于由岩浆底垫作用和榴辉岩或石榴石角闪岩变质作用形成的新生加厚下地壳。

(2) 岗讲斑岩矿区各期次岩浆具有相近的温度和氧逸度,而主成矿期流纹英安斑岩岩浆相比其他期次岩浆含有更多的 S、Cl 和较少的 F。

(3) 磷灰石、黑云母和斜长石的化学成分和结构特征说明在致矿斑岩就位之前,存在富 S、Cl 且含有更多地幔组分的偏基性岩浆注入,这可能在斑岩过程形成过程中扮演了重要角色。

致谢 野外工作得到云南铜业矿产资源勘查开发有限公司曾红坤高级工程师和云南铜业股份有限公司姜华高级工程师极大的帮助;成文过程中,中国科学院地球化学研究所朱经研究员和合肥工业大学王世伟博士提供了宝贵修改意见和建议,让笔者受益良多;本刊编辑对本文进行了精心的修改和指导;笔者在此一并致以诚挚的感谢!

References

Allégre CJ, Courtillot V, Tapponnier P, Hirn A, Mattauer M, Coulon C, Jaeger JJ, Achache J, Schärer U, Marcoux J, Burg JP, Girardeau J, Armijo R, Gariépy C, Göpel C, Tindong L, Xuchang X, Chenfa C, Guangqin L, Baoyu L, Jiwen T, Naiwen W, Guoming C, Tonglin H, Xibin W, Wanming D, Huaibin S, Yougong C, Ji Z, Hongrong Q, Peisheng B, Songchan W, Bixiang W, Yaoxiu Z and Xu RH.

1984. Structure and evolution of the Himalaya-Tibet orogenic belt. *Nature*, 307(5946): 17–22
- Ballard JR, Palin MJ and Campbell IH. 2002. Relative oxidation states of magmas inferred from Ce(IV)/Ce(III) in zircon: Application to porphyry copper deposits of northern Chile. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 144(3): 347–364
- Boyce JW, Liu Y, Rossman GR, Guan YB, Eiler JM, Stolper EM and Taylor LA. 2010. Lunar apatite with terrestrial volatile abundances. *Nature*, 466(7305): 466–469
- Burg JP and Chen GM. 1984. Tectonics and structural zonation of southern Tibet, China. *Nature*, 311(5983): 219–223
- Candela PA. 1992. Controls on ore metal ratios in granite-related ore systems: An experimental and computational approach. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 83(1–2): 317–326
- Cao MJ, Hollings P, Cooke DR, Evans NJ, McInnes BIA, Qin KZ, Li GM, Sweet G and Baker M. 2018. Physicochemical processes in the magma chamber under the black mountain porphyry Cu–Au deposit, Philippines: Insights from mineral chemistry and implications for mineralization. *Economic Geology*, 113(1): 63–82
- Chu MF, Chung SL, Song B, Liu DY, O'Reilly SY, Pearson NJ, Ji JQ and Wen DJ. 2006. Zircon U–Pb and Hf isotope constraints on the Mesozoic tectonics and crustal evolution of southern Tibet. *Geology*, 34(9): 745–748
- Chung SL, Liu DY, Ji JQ, Chu MF, Lee HY, Wen DJ, Lo CH, Lee TY, Qian Q and Zhang Q. 2003. Adakites from continental collision zones: Melting of thickened lower crust beneath southern Tibet. *Geology*, 31(11): 1021–1024
- Correa KJ, Rabbia OM, Hernández LB, Selby D and Astengo M. 2016. The timing of magmatism and ore formation in the El Abra porphyry copper deposit, Northern Chile: Implications for long-lived multiple-event magmatic-hydrothermal porphyry systems. *Economic Geology*, 111(1): 1–28
- Couch S, Sparks RSJ and Carroll MR. 2001. Mineral disequilibrium in lavas explained by convective self-mixing in open magma chambers. *Nature*, 411(6841): 1037–1039
- Defant MJ and Drummond MS. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, 347(6294): 662–665
- Dilles JH, Kent AJR, Wooden JL, Tosdal RM, Koleszar A, Lee RG and Farmer LP. 2015. Zircon compositional evidence for sulfur-degassing from ore-forming arc magmas. *Economic Geology*, 110(1): 241–251
- Dürr SB. 1996. Provenance of Xigaze fore-arc basin clastic rocks (Cretaceous, South Tibet). *Geological Society of America Bulletin*, 108(6): 669–684
- Ferry JM and Watson EB. 2007. New thermodynamic models and revised calibrations for the Ti-in-zircon and Zr-in-rutile thermometers. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 154(4): 429–437
- Gaetani M and Garzanti E. 1991. Multicyclic history of the northern India continental margin (Northwestern Himalaya). *AAPG Bulletin*, 75(9): 1427–1446
- Gao YF, Hou ZQ, Kamber BS, Wei RH, Meng XJ and Zhao RR. 2007. Adakite-like porphyries from the southern Tibetan continental collision zones: Evidence for slab melt metasomatism. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 153(1): 105–120
- Gao YF, Yang ZS, Santosh M, Hou ZQ, Wei RH and Tian SH. 2010. Adakitic rocks from slab melt-modified mantle sources in the continental collision zone of southern Tibet. *Lithos*, 119(3–4): 651–663
- Grabazkev AI, Vigorova VG and Chashukhina VA. 1979. Behavior of fluorine during crystallization of granites (in connection with validation of the criteria of granite specialization). *Geochemistry International*, 16: 23–33
- Guo ZF, Wilson M and Liu JQ. 2007. Post-collisional adakites in South Tibet: Products of partial melting of subduction-modified lower crust. *Lithos*, 96(1–2): 205–224
- Guynn JH, Kapp P, Pullen A, Heizler M, Gehrels G and Ding L. 2006. Tibetan basement rocks near Amdo reveal “missing” Mesozoic tectonism along the Bangong suture, central Tibet. *Geology*, 34(6): 505–508
- Harris NBW, Wu RH, Lewis CL, Hawkesworth CJ and Zhang YQ. 1988. Isotope geochemistry of the 1985 Tibet Geotraverse, Lhasa to Golmud. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 327(1594): 263–285
- Harrison TM, Copeland P, Kidd WSF and Yin A. 1992. Raising Tibet. *Science*, 255(5052): 1663–1670
- Hattori K and Sato H. 1996. Magma evolution recorded in plagioclase zoning in 1991 Pinatubo eruption products. *American Mineralogist*, 81(7–8): 982–994
- Hattori KH and Keith JD. 2001. Contribution of mafic melt to porphyry copper mineralization: Evidence from Mount Pinatubo, Philippines, and Bingham Canyon, Utah, USA. *Mineralium Deposita*, 36(8): 799–806
- Hoskin PWO and Schaltegger U. 2003. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53(1): 27–62
- Hou ZQ, Mo XX, Gao YF, Qu XM and Meng XJ. 2003. Adakite, a possible host rock for porphyry copper deposits: Case studies of porphyry copper belts in Tibetan Plateau and in Northern Chile. *Mineral Deposits*, 22(1): 1–12 (in Chinese with English abstract)
- Hou ZQ, Gao YF, Qu XM, Rui ZY and Mo XX. 2004. Origin of adakitic intrusives generated during Mid-Miocene east-west extension in southern Tibet. *Earth and Planetary Science Letters*, 220(1–2): 139–155
- Hou ZQ, Meng XJ, Qu XM and Gao YF. 2005. Copper ore potential of adakitic intrusives in Gangdese porphyry copper belt: Constrains from rock phase and deep melting process. *Mineral Deposits*, 24(2): 108–121 (in Chinese with English abstract)
- Hou ZQ, Yang ZM, Qu XM, Meng XJ, Li ZQ, Beaudoin G, Rui ZY, Gao YF and Zaw K. 2009. The Miocene gangdese porphyry copper belt generated during post-collisional extension in the Tibetan Orogen. *Ore Geology Reviews*, 36(1–3): 25–51
- Housh TB and Luhr JF. 1991. Plagioclase-melt equilibria in hydrous systems. *American Mineralogist*, 76(3–4): 477–492
- Huang ML, Bi XW, Richards JP, Hu RZ, Xu LL, Gao JF, Zhu JJ and Zhang XC. 2019. High water contents of magmas and extensive fluid exsolution during the formation of the Yulong porphyry Cu–Mo deposit, eastern Tibet. *Journal of Asian Earth Sciences*, 176: 168–183
- Idrus A, Kolb J and Meyer FM. 2007. Chemical composition of rock-forming minerals in copper-gold-bearing tonalite porphyries at the Batu Hijau Deposit, Sumbawa Island, Indonesia: Implications for crystallization conditions and fluorine-chlorine fugacity. *Resource Geology*, 57(2): 102–113
- Ji WQ, Wu FY, Chung SL, Li JX and Liu CZ. 2009. Zircon U–Pb geochronology and Hf isotopic constraints on petrogenesis of the Gangdese batholith, southern Tibet. *Chemical Geology*, 262(3–4): 229–245
- Jin C, Gao XY, Chen WT and Zhao TP. 2018. Magmatic-hydrothermal evolution of the Donggou porphyry Mo deposit at the southern margin of the North China Craton: Evidence from chemistry of biotite. *Ore Geology Reviews*, 92: 84–96
- Kind R, Ni J, Zhao WJ, Wu JX, Yuan XH, Zhao LS, Sandvol E, Reese C, Nabelek J and Hearn T. 1996. Evidence from earthquake data for a partially molten crustal layer in Southern Tibet. *Science*, 274(5293): 1692–1694
- Leng CB, Zhang XC, Zhou WD and Zhao RY. 2009. A primary study of the geological features of the Gangjiang porphyry copper-molybdenum deposit in Nimu, Tibet. *Acta Mineralogica Sinica*, 29(Suppl. 1): 176–177 (in Chinese)
- Leng CB, Zhang XC and Zhou WD. 2010. A primary study of the geological characteristics and the zircon U–Pb age of the Gangjiang porphyry copper-molybdenum deposit in Nimu, Tibet. *Earth Science*

- Frontiers, 17(2): 185–197 (in Chinese with English abstract)
- Leng CB, Zhang XC, Zhong H, Hu RZ, Zhou WD and Li C. 2013. Re-Os molybdenite ages and zircon Hf isotopes of the Gangjiang porphyry Cu-Mo deposit in the Tibetan Orogen. *Mineralium Deposita*, 48(5): 585–602
- Li JX, Qin KZ, Li GM and Yang LK. 2007. K-Ar and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age dating of Nimu porphyry copper orefield in central Gangdese: Constrains on magmatic-hydrothermal evolution and metallogenetic tectonic setting. *Acta Petrologica Sinica*, 23(5): 953–966 (in Chinese with English abstract)
- Qi L, Hu J and Gregoire DC. 2000. Determination of trace elements in granites by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Talanta*, 51(3): 507–513
- Liu YS, Hu ZC, Gao S, Günther D, Xu J, Gao CG and Chen HH. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. *Chemical Geology*, 257(1–2): 34–43
- Liu YS, Hu ZC, Zong KQ, Gao CG, Gao S, Xu J and Chen HH. 2010. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 55(15): 1535–1546
- Loferski PJ and Ayuso RA. 1995. Petrography and mineral chemistry of the composite Deboullie pluton, northern Maine, U. S. A.: Implications for the genesis of Cu-Mo mineralization. *Chemical Geology*, 123(1–4): 89–105
- Lu YJ, Loucks RR, Fiorentini ML, McCuaig TC, Evans NJ, Yang ZM, Hou ZQ, Kirkland CL, Parra-Avila LA and Kobussen A. 2016. Zircon compositions as a pathfinder for porphyry Cu \pm Mo \pm Au deposits. In: Richards JP (ed.). *Tectonics and Metallogeny of the Tethyan Orogenic Belt*. Special Publications of the Society of Economic Geologists, 19: 329–347
- Martin H. 1999. Adakitic magmas: Modern analogues of Archaean granitoids. *Lithos*, 46(3): 411–429
- Mathez EA and Webster JD. 2005. Partitioning behavior of chlorine and fluorine in the system apatite-silicate melt-fluid. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69(5): 1275–1286
- Middlemost EAK. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth-Science Reviews*, 37(3–4): 215–224
- Miller C, Schuster R, Klötzli U, Frank W and Purtscheller F. 1999. Post-collisional potassic and ultrapotassic magmatism in SW Tibet: Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic constraints for mantle source characteristics and petrogenesis. *Journal of Petrology*, 40(9): 1399–1424
- Mo XX, Hou ZQ, Niu YL, Dong GC, Qu XM, Zhao ZD and Yang ZM. 2007. Mantle contributions to crustal thickening during continental collision: Evidence from Cenozoic igneous rocks in southern Tibet. *Lithos*, 96(1–2): 225–242
- Mo XX, Niu YL, Dong GC, Zhao ZD, Hou ZQ, Zhou S and Ke S. 2008. Contribution of syncollisional felsic magmatism to continental crust growth: A case study of the Paleogene Linzizong volcanic succession in southern Tibet. *Chemical Geology*, 250(1–4): 49–67
- Mo XX, Dong GC, Zhao ZD, Zhu DC, Zhou S and Niu YL. 2009. Mantle input to the crust in southern Gangdese, Tibet, during the Cenozoic: Zircon Hf isotopic evidence. *Journal of Earth Science*, 20(2): 241–249
- Munoz JL. 1984. F-OH and Cl-OH exchange in micas with applications to hydrothermal ore deposits. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 13(1): 469–493
- Munoz JL. 1992. Calculation of HF and HCl fugacities from biotite compositions: Revised equations. *Geological Society of American, Abstracts with Programs* 24, 221
- Panasawatwong Y, Danyushevsky LV, Crawford AJ and Harris KL. 1995. An experimental study of the effects of melt composition on plagioclase-melt equilibria at 5 and 10 kbar: Implications for the origin of magmatic high-An plagioclase. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 118(4): 420–432
- Parat F and Holtz F. 2005. Sulfur partition coefficient between apatite and rhyolite: The role of bulk S content. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 150(6): 643–651
- Parat F, Holtz F and Klügel A. 2011. S-rich apatite-hosted glass inclusions in xenoliths from La Palma: Constraints on the volatile partitioning in evolved alkaline magmas. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 162(3): 463–478
- Patiño Douce AE and Harris N. 1998. Experimental constraints on Himalayan anatexis. *Journal of Petrology*, 39(4): 689–710
- Pearce JA and Mei HJ. 1988. Volcanic rocks of the 1985 Tibet Geotraverse: Lhasa to Golmud. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 327(1594): 169–201
- Peccerillo A and Taylor SR. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58(1): 63–81
- Peng GY, Luhr JF and McGee JJ. 1997. Factors controlling sulfur concentrations in volcanic apatite. *American Mineralogist*, 82(11–12): 1210–1224
- Phinney WC. 1992. Partition coefficients for iron between plagioclase and basalt as a function of oxygen fugacity: Implications for Archean and lunar anorthosites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56(5): 1885–1895
- Piccoli P and Candela P. 1994. Apatite in felsic rocks: A model for the estimation of initial halogen concentrations in the Bishop Tuff (Long Valley) and Tuolumne Intrusive Suite (Sierra Nevada Batholith) magmas. *American Journal of Science*, 294(1): 92–135
- Qu XM, Hou ZQ and Li YG. 2004. Melt components derived from a subducted slab in late orogenic ore-bearing porphyries in the Gangdese copper belt, southern Tibetan plateau. *Lithos*, 74(3–4): 131–148
- Qu XM, Hou ZQ, Zaw K and Li YG. 2007. Characteristics and genesis of Gangdese porphyry copper deposits in the southern Tibetan Plateau: Preliminary geochemical and geochronological results. *Ore Geology Reviews*, 31(1–4): 205–223
- Rasmussen KL and Mortensen JK. 2013. Magmatic petrogenesis and the evolution of (F : Cl : OH) fluid composition in barren and tungsten skarn-associated plutons using apatite and biotite compositions: Case studies from the northern Canadian Cordillera. *Ore Geology Reviews*, 50: 118–142
- Richards JP. 2003. Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation. *Economic Geology*, 98(8): 1515–1533
- Richards JP and Kerrich R. 2007. Special paper: Adakite-like rocks: Their diverse origins and questionable role in metallogenesis. *Economic Geology*, 102(4): 537–576
- Seedorff E, Dilles JH, Proffett JM, Einaudi MT, Zurcher L, Stavast WJA, Johnson DA and Barton MD. 2005. Porphyry deposits: Characteristics and origin of hypogene features. *Economic Geology*, 100th Anniversary Volume, 251–298
- Shcherbakov VD, Plechov PY, Izbekov PE and Shipman JS. 2011. Plagioclase zoning as an indicator of magma processes at Bezmianny Volcano, Kamchatka. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 162(1): 83–99
- Siahcheshm K, Calagari AA, Abedini A and Lentz DR. 2012. Halogen signatures of biotites from the Maher-Abad porphyry copper deposit, Iran: Characterization of volatiles in syn- to post-magmatic hydrothermal fluids. *International Geology Review*, 54(12): 1353–1368
- Sillitoe RH. 2010. Porphyry copper systems. *Economic Geology*, 105(1): 3–41
- Stussi JM and Cuney M. 1996. Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline and peraluminous magmas by Abdel-fattah M. Abdel-Rahman: A comment. *Journal of Petrology*, 37(5): 1025–1029
- Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Sanders AD and Norry MJ (eds.). *Magmatism in Ocean Basins*. Geological Society, London, Special Publication, 42(1): 313–345
- Tian F, Leng CB, Zhang XC, Tian ZD, Zhang W and Guo JH. 2019.

- Application of short-wave infrared spectroscopy in Gangjiang porphyry Cu-Mo deposit in Nimu ore field, Tibet. *Earth Science*, 44 (6): 2143–2154 (in Chinese with English abstract)
- Turner S, Hawkesworth C, Liu JQ, Rogers N, Kelley S and Van Calsteren P. 1993. Timing of Tibetan uplift constrained by analysis of volcanic rocks. *Nature*, 364(6432): 50–54
- Turner S, Arnaud N, Liu J, Rogers N, Hawkesworth C, Harris N, Kelley S, Van Calsteren P and Deng W. 1996. Post-collision, shoshonitic volcanism on the Tibetan Plateau: Implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts. *Journal of Petrology*, 37(1): 45–71
- Wang R, Richards JP, Hou ZQ, Yang ZM, Gou ZB and DuFrane SA. 2014. Increasing magmatic oxidation state from Paleocene to Miocene in the eastern Gangdese belt, Tibet: Implication for collision-related porphyry Cu-Mo ± Au mineralization. *Economic Geology*, 109(7): 1943–1965
- Wang XC, Yan ZG, Zhou WD, Jia XK, Li ZH, Wen J, Xu DZ and Yuan JF. 2002. Preliminary study on geological features of porphyry-type copper deposits in the northwestern Nimu, middle section of Gangdisi belt, Tibet. *Geology and Prospecting*, 38(1): 5–8 (in Chinese with English abstract)
- Webster JD. 1997. Chloride solubility in felsic melts and the role of chloride in magmatic degassing. *Journal of Petrology*, 38(12): 1793–1807
- Webster JD, Kinzler RJ and Mathez EA. 1999. Chloride and water solubility in basalt and andesite melts and implications for magmatic degassing. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(5): 729–738
- Webster JD, Tappen CM and Mandeville CW. 2009. Partitioning behavior of chlorine and fluorine in the system apatite-melt-fluid. II: Felsic silicate systems at 200MPa. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73(3): 559–581
- Webster JD and Piccoli PM. 2015. Magmatic apatite: A powerful, yet deceptive, mineral. *Elements*, 11(3): 177–182
- Wen DR, Chung SL, Song B, Iizuka Y, Yang HJ, Ji JQ, Liu DY and Gallet S. 2008. Late Cretaceous Gangdese intrusions of adakitic geochemical characteristics, SE Tibet: Petrogenesis and tectonic implications. *Lithos*, 105(1–2): 1–11
- Williams H, Turner S, Kelley S and Harris N. 2001. Age and composition of dikes in Southern Tibet: New constraints on the timing of east-west extension and its relationship to post-collisional volcanism. *Geology*, 29(4): 339–342
- Yang XM and Lentz DR. 2005. Chemical composition of rock-forming minerals in gold-related granitoid intrusions, southwestern New Brunswick, Canada: Implications for crystallization conditions, volatile exsolution, and fluorine-chlorine activity. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 150(3): 287–305
- Yang ZM, Hou ZQ, Song YC, Li ZQ, Xia DX and Pan FC. 2008. Qulong superlarge porphyry Cu deposit in Tibet: Geology, alteration and mineralization. *Mineral Deposits*, 27(3): 279–318 (in Chinese with English abstract)
- Yin A and Harrison TM. 2000. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28(1): 211–280
- Zhang W, Lentz DR, Thorne KG and McFarlane C. 2016. Geochemical characteristics of biotite from felsic intrusive rocks around the Sisson Brook W-Mo-Cu deposit, west-central New Brunswick: An indicator of halogen and oxygen fugacity of magmatic systems. *Ore Geology Reviews*, 77: 82–96
- Zhu C and Sverjensky DA. 1991. Partitioning of F-Cl-OH between minerals and hydrothermal fluids. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55(7): 1837–1858
- Zhu C and Sverjensky DA. 1992. F-Cl-OH partitioning between biotite and apatite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56(9): 3435–3467
- Zhu JJ, Richards JP, Rees C, Creaser R, DuFrane SA, Locock A, Petrus JA and Lang J. 2018. Elevated magmatic sulfur and chlorine contents in ore-forming magmas at the Red Chris porphyry Cu-Au deposit, Northern British Columbia, Canada. *Economic Geology*, 113(5): 1047–1075

附中文参考文献

- 侯增谦, 莫宣学, 高永丰, 曲晓明, 孟祥金. 2003. 埃达克岩: 斑岩铜矿的一种可能的重要含矿母岩——以西藏和智利斑岩铜矿为例. *矿床地质*, 22(1): 1–12
- 侯增谦, 孟祥金, 曲晓明, 高永丰. 2005. 西藏冈底斯斑岩铜矿带埃达克质斑岩含矿性: 源岩相变及深部过程约束. *矿床地质*, 24(2): 108–121
- 冷成彪, 张兴春, 周维德, 赵如意. 2009. 冈底斯中段尼木地区岗讲斑岩 Cu-Mo 矿床的地质特征初步研究. *矿物学报*, 29(增1): 176–177
- 冷成彪, 张兴春, 周维德. 2010. 西藏尼木地区岗讲斑岩铜-钼矿床地质特征及锆石 U-Pb 年龄. *地学前缘*, 17(2): 185–197
- 李金祥, 秦克章, 李光明, 杨列坤. 2007. 冈底斯中段尼木斑岩铜矿田的 K-Ar、⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄: 对岩浆-热液系统演化和成矿构造背景的制约. *岩石学报*, 23(5): 953–966
- 田丰, 冷成彪, 张兴春, 田振东, 张伟, 郭剑衡. 2019. 短波红外光谱技术在西藏尼木地区岗讲斑岩铜-钼矿床中的应用. *地球科学*, 44(6): 2143–2154
- 王小春, 晏子贵, 周维德, 贾向勤, 李作华, 文军, 徐德章, 袁剑飞. 2002. 初论西藏冈底斯带中段尼木西北部斑岩铜矿地质特征. *地质与勘探*, 38(1): 5–8
- 杨志明, 侯增谦, 宋玉财, 李振清, 夏代详, 潘凤雏. 2008. 西藏驱龙超大型斑岩铜矿床: 地质、蚀变与成矿. *矿床地质*, 27(3): 279–318

附表 1 岗讲斑岩铜-钼矿床各期次侵入岩全岩主量元素含量 (wt%)

Appendix Table 1 Whole rock major element compositions (wt%) for intrusive rocks from the Gangjiang porphyry Cu-Mo deposit

样品号	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	S	Total
zk2602-378.1		67.98	0.39	15.14	2.77	0.02	1.10	2.58	4.19	3.75	0.16	1.15	1.21	99.23
zk2602-379.5		67.57	0.36	14.94	2.82	0.02	1.02	2.49	3.96	4.02	0.16	1.11	1.09	98.47
zk2602-382	QM	67.55	0.38	14.83	2.30	0.01	1.06	2.44	4.17	3.99	0.17	1.59	1.88	98.49
zk2602-402.1		68.58	0.34	14.80	2.34	0.01	0.88	2.44	4.30	3.50	0.14	1.15	1.33	98.48
zk2602-540.3		67.15	0.37	15.16	2.34	0.02	1.11	2.67	4.19	3.73	0.17	1.55	1.80	98.46
hzk003-217.6		65.42	0.62	15.58	3.37	0.05	2.95	2.50	4.65	3.12	0.30	1.18	0.04	99.74
hzk003-228	DP	64.52	0.59	16.04	3.84	0.06	2.61	3.51	4.59	2.77	0.25	0.82	0.05	99.60
zk2205-241		64.54	0.65	16.04	4.46	0.02	2.56	2.83	4.64	2.50	0.29	0.53	0.03	99.06
24		63.42	0.65	15.64	4.29	0.05	3.16	3.65	4.10	2.64	0.25	1.38	0.19	99.24
zk2602-395.5		63.45	0.62	16.36	3.59	0.03	1.50	3.67	4.99	2.67	0.24	2.31	2.80	99.43
zk2602-409		67.59	0.33	14.90	2.97	0.01	0.84	2.10	4.14	4.02	0.13	1.80	3.55	98.83
zk2602-466.8		68.12	0.34	15.44	2.64	0.02	0.96	2.79	4.75	2.82	0.13	1.25	1.26	99.26
zk2602-500.6		66.70	0.36	15.42	2.68	0.02	1.06	2.82	4.64	3.25	0.14	2.12	1.82	99.21
33	QMP	70.51	0.32	15.38	1.08	0.00	0.75	1.13	5.01	3.56	0.11	0.92	0.32	98.77
35		70.42	0.27	14.55	1.15	0.00	0.63	1.92	4.26	3.83	0.09	2.04	0.37	99.16
zk2006-617.2		69.23	0.29	15.01	1.64	0.01	0.75	2.20	4.57	3.91	0.11	1.88	1.20	99.60
zk2006-653.3		68.90	0.29	15.22	1.82	0.01	0.78	2.19	4.44	3.92	0.11	1.45	0.97	99.13
zk2006-662.8		69.36	0.24	14.68	1.40	0.02	0.62	2.10	4.34	4.17	0.09	2.17	1.64	99.19
36		69.71	0.30	15.16	3.46	0.02	0.82	1.72	4.57	3.57	0.10	0.69	0.01	100.12
zk2602-174		68.38	0.31	15.42	2.27	0.02	0.89	2.16	4.44	3.61	0.13	1.54	0.35	99.17
zk2610-274.8		70.13	0.30	15.16	2.21	0.02	0.81	1.66	4.77	3.62	0.11	0.76	0.26	99.55
zk2610-293.5		68.58	0.30	15.45	2.75	0.02	0.85	1.70	4.93	3.53	0.12	1.71	0.02	99.94
zk2610-403.4		68.70	0.31	15.32	2.76	0.02	0.86	1.81	4.78	3.34	0.11	1.66	0.15	99.67
zk2008-269		68.34	0.33	15.52	2.57	0.01	0.84	1.68	4.91	3.36	0.13	1.49	0.03	99.18
zk2008-271.6	RDP	69.56	0.34	15.73	1.79	0.01	0.86	1.96	4.65	3.61	0.13	0.93	1.10	99.57
zk2008-276		67.78	0.33	15.21	2.34	0.02	0.84	1.71	4.63	3.55	0.13	2.04	0.49	98.58
zk2602-146.9		67.42	0.31	15.78	2.64	0.02	0.76	1.18	3.98	3.42	0.13	3.19	4.14	98.83
zk2602-182.1		66.69	0.35	15.56	2.68	0.01	0.99	1.82	4.71	3.30	0.14	2.29	2.29	98.54
zk2602-225		68.01	0.30	15.36	2.34	0.01	0.77	1.29	5.15	3.38	0.12	2.53	2.36	99.26
zk2602-285.4		67.53	0.31	15.70	1.84	0.01	0.81	1.63	5.25	3.14	0.12	2.41	2.07	98.75
zk2008-544.9		67.54	0.29	14.64	1.93	0.02	0.76	2.77	4.61	3.57	0.11	2.83	2.01	99.07
zk2610-254.8	RP	67.30	0.29	15.52	2.07	0.04	0.78	2.02	4.28	4.16	0.11	3.16	0.38	99.73
zk2610-258.7		66.98	0.29	15.31	2.13	0.04	0.74	2.26	4.25	3.87	0.11	3.30	0.04	99.28

附表 2 岗讲斑岩铜-钼矿床各期次侵入岩全岩稀土和微量元素含量 ($\times 10^{-6}$)Appendix Table 2 Whole rock trace element compositions ($\times 10^{-6}$) for intrusive rocks from the Gangjiang porphyry Cu-Mo deposit

样品号	岩性	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb
zk2602-378.1		23.60	3.48	6.74	56.20	20.30	5.66	8.80	1543	26.10	18.50	1.83	1.23	277	692	6.86	58.10	6.37
zk2602-379.5		23.20	3.53	6.63	56.20	24.50	6.60	9.53	725.0	28.80	19.00	1.94	1.16	318	685	6.78	58.40	6.48
zk2602-382	QM	22.90	3.53	6.64	58.00	23.60	5.83	9.03	2363	23.90	18.50	1.76	1.39	324	701	6.78	55.50	6.67
zk2602-402.1		20.60	3.61	6.32	61.30	19.80	5.90	6.96	1399	17.50	18.80	1.73	1.27	296	731	5.47	72.10	5.52
zk2602-540.3		15.50	3.94	6.30	56.80	25.00	5.14	8.61	906.0	21.80	19.40	1.72	1.70	237	718	7.42	62.80	7.35
bzk003-217.6		22.50	4.78	10.00	91.20	128.0	12.50	61.00	133.0	59.60	20.60	2.21	1.34	348	900	8.91	158	7.77
bzk003-228	DP	24.20	3.85	10.10	89.90	94.20	13.80	54.40	239.0	69.80	21.70	2.29	1.13	196	1064	8.62	106	5.83
zk2205-241		34.70	3.70	9.68	88.80	83.70	10.00	48.40	72.60	29.00	21.00	2.80	1.62	257	940	9.91	136	7.21
24		24.30	2.77	9.96	85.90	117.0	15.80	56.10	168.0	45.80	19.70	2.94	2.47	206	1001	8.68	126	6.76
zk2602-396.5		22.60	3.61	6.25	54.50	18.80	5.93	7.63	719.0	17.50	18.90	1.72	1.07	277	740	6.13	71.50	5.41
zk2602-409		21.80	2.95	5.78	47.80	19.40	11.60	13.4	3625	23.30	16.60	1.92	1.35	307	631	5.64	59.70	5.01
zk2602-466.8		23.40	3.86	6.51	57.80	16.20	6.32	7.35	702.0	23.20	18.70	1.77	1.04	237	743	6.12	75.20	4.53
zk2602-500.6		22.60	3.33	6.60	55.00	14.30	6.32	7.55	1309	30.70	18.40	1.73	1.13	253	745	6.57	80.40	4.66
33	QMP	12.30	2.89	6.09	34.10	9.05	5.44	7.50	1356	14.10	18.40	1.26	1.66	139	559	4.46	102	4.93
35		16.80	3.51	5.35	32.10	6.75	3.55	5.75	1130	12.10	17.20	1.17	1.65	178	584	5.11	85.20	5.99
zk2006-617.2		24.30	3.01	5.27	37.60	15.50	3.21	6.73	974.0	15.20	17.60	1.36	1.69	236	661	5.59	57.70	5.41
zk2006-653.3		18.40	3.00	5.66	41.60	16.40	3.03	7.36	790.0	14.90	19.00	1.54	1.39	256	726	6.23	61.80	6.11
zk2006-662.8		10.30	3.04	4.71	34.30	14.30	3.19	5.14	987.0	26.40	17.30	1.33	2.02	252	606	5.18	64.20	5.18
36		15.70	2.80	5.95	35.90	8.73	4.66	7.14	79.80	34.10	18.20	1.67	3.94	135	666	5.13	93.90	4.13
zk2602-174		16.50	2.71	6.11	46.20	21.40	4.48	7.42	138.0	17.90	19.00	1.66	1.64	225	802	6.25	68.60	5.03
zk2610-274.8		19.00	3.42	6.49	48.70	18.90	4.10	7.31	52.00	40.80	19.40	1.85	1.90	179	502	5.58	72.10	4.95
zk2610-293.5		16.80	3.34	6.48	48.40	17.90	3.47	7.55	37.90	40.30	19.80	1.68	5.40	189	635	5.96	68.10	5.29
zk2610-403.4		19.50	3.00	5.77	46.80	15.60	3.94	7.26	39.50	26.50	18.50	1.75	1.78	169	587	6.10	68.10	4.93
zk2008-269		17.30	2.65	6.43	49.20	18.70	2.72	11.50	31.20	29.20	19.50	1.78	1.55	178	524	6.57	67.70	4.90
zk2008-271.6	RDP	20.30	2.58	5.82	48.70	19.70	7.68	16.50	1157	22.80	17.90	1.42	1.25	175	606	5.65	73.70	4.70
zk2008-276		18.20	2.73	5.94	47.80	14.40	3.97	6.85	224.0	15.70	19.20	1.74	1.92	191	455	6.62	69.40	4.91
zk2602-146.9		15.20	2.58	5.95	50.50	18.70	5.25	13.90	369.0	60.80	19.60	1.97	20.70	290	587	5.33	93.00	4.14
zk2602-182.1		26.40	2.92	6.54	53.80	27.10	5.45	13.40	172.0	23.00	19.90	1.87	1.45	236	720	5.87	78.20	4.76
zk2602-225		10.40	2.52	6.38	49.30	17.40	4.61	5.58	520.0	19.80	17.60	1.68	1.64	242	644	4.94	85.80	4.05
zk2602-285.4		14.50	2.88	6.26	46.70	14.70	6.44	6.88	606.0	27.30	18.80	1.70	1.42	236	846	5.58	90.00	4.02
zk2008-544.9		14.10	2.40	5.49	45.10	19.10	3.52	9.53	277.0	55.80	17.50	1.48	1.46	197	792	5.66	91.10	4.86
zk2610-254.8	RP	12.90	2.72	5.74	43.30	14.30	4.34	5.25	22.10	37.80	19.00	1.45	13.50	285	556	6.56	103	4.28
zk2610-258.7		23.00	3.07	5.85	45.30	12.90	4.51	5.99	6.49	47.80	19.40	1.46	3.25	270	586	5.39	99.40	4.42

续附表 2
Continued Appendix Table 2

样品号	岩性	Mo	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb
zk2602-378.1		51.40	0.59	0.19	0.03	1.99	0.21	9.87	855	33.70	61.50	6.83	25.50	4.02	0.92	2.51	0.31
zk2602-379.5		36.10	0.46	0.16	0.02	1.63	0.15	11.20	911	33.20	61.50	6.89	25.90	4.03	0.93	2.54	0.31
zk2602-382	QM	39.80	1.04	0.19	0.04	2.53	0.23	12.30	862	38.20	71.90	7.97	30.00	4.59	1.01	2.77	0.33
zk2602-402.1		120.0	0.85	0.29	0.03	1.03	0.17	10.00	678	25.10	53.50	5.30	20.00	3.16	0.79	2.04	0.24
zk2602-540.3		878.0	0.52	2.15	0.03	1.85	0.41	14.00	843	35.40	64.10	7.18	27.00	4.30	1.03	2.81	0.33
bk003-217.6		10.20	0.30	0.10	0.02	1.93	0.45	27.40	957	38.30	75.90	8.94	34.70	5.62	1.14	3.11	0.40
bk003-228	DP	5.89	0.54	0.07	0.03	1.00	0.55	11.60	1021	31.70	61.20	7.28	28.30	4.72	1.06	2.75	0.36
zk2205-241		10.20	0.16	0.13	0.02	3.25	0.09	22.00	1041	44.40	80.80	9.16	34.30	5.66	1.47	3.83	0.44
24		7.84	0.21	0.11	0.02	1.97	0.34	30.10	919	33.60	70.60	8.19	32.60	5.27	1.38	3.53	0.40
zk2602-396.5		15.20	0.42	0.08	0.02	0.90	0.19	9.73	792	27.00	51.70	5.40	20.30	3.26	0.82	2.13	0.26
zk2602-409		127.0	2.01	0.36	0.06	2.49	0.41	8.15	709	26.30	55.40	5.49	20.60	3.18	0.77	2.05	0.25
zk2602-466.8		62.90	0.57	0.17	0.03	0.85	0.18	10.10	629	24.00	47.50	4.74	18.30	3.01	0.79	2.04	0.26
zk2602-500.6		11.20	0.75	0.12	0.03	1.11	0.57	10.80	673	23.90	48.40	5.30	20.60	3.39	0.84	2.29	0.29
33	QMP	28.90	0.45	0.19	0.03	1.91	0.81	8.36	735	36.40	60.50	6.53	23.20	3.46	0.88	2.35	0.25
35		28.70	0.39	0.14	0.01	1.20	0.36	10.60	603	25.10	41.00	4.70	17.10	2.73	0.69	1.91	0.22
zk2006-617.2		58.30	1.62	0.11	0.03	0.82	0.39	11.00	821	23.90	45.80	4.96	18.10	2.88	0.61	1.59	0.23
zk2006-653.3		65.30	0.69	0.15	0.02	1.18	0.36	8.23	941	28.30	49.10	5.08	18.10	2.89	0.59	1.63	0.23
zk2006-662.8		22.60	0.88	0.15	0.02	1.16	0.66	11.60	660	24.60	45.70	4.86	17.20	2.66	0.55	1.47	0.21
36		3.31	0.16	0.13	0.02	1.01	0.70	5.21	701	24.20	40.40	4.47	16.50	2.62	0.76	1.86	0.21
zk2602-174		1.62	0.21	0.08	0.01	1.41	0.65	16.60	841	25.40	47.70	4.97	17.80	2.77	0.76	1.90	0.23
zk2610-274.8		1.78	0.22	0.13	0.03	1.19	0.73	8.54	741	25.50	48.70	5.07	18.90	2.99	0.84	2.08	0.24
zk2610-293.5		1.89	0.24	0.12	0.02	1.00	0.73	4.39	764	27.40	53.50	5.58	20.90	3.29	0.85	2.21	0.26
zk2610-403.4		1.18	0.17	0.09	0.02	1.30	0.82	9.60	721	26.30	53.50	5.31	19.50	3.07	0.85	2.21	0.25
zk2008-269		2.67	0.15	0.09	0.01	1.25	0.55	11.00	821	28.60	55.00	5.62	20.00	3.18	0.77	2.18	0.26
zk2008-271.6	RDP	1.20	0.70	0.09	0.02	1.81	0.39	9.10	939	25.60	47.50	4.97	17.60	2.78	0.73	1.93	0.23
zk2008-276		2.31	0.29	0.05	0.01	1.05	0.62	14.50	801	25.80	47.30	5.00	17.80	2.90	0.74	2.07	0.26
zk2602-146.9		23.00	0.65	0.21	0.04	1.92	18.30	25.10	798	23.30	45.20	4.57	16.50	2.53	0.63	1.70	0.20
zk2602-182.1		4.62	0.24	0.08	0.01	1.65	0.71	16.70	770	25.10	50.70	5.20	19.00	3.04	0.79	2.08	0.24
zk2602-225		7.40	0.60	0.11	0.03	1.77	0.84	16.60	721	20.50	43.00	4.35	16.40	2.54	0.62	1.59	0.20
zk2602-285.4		88.30	0.42	0.20	0.01	1.38	0.91	17.10	813	30.20	60.00	5.92	21.80	3.31	0.92	2.10	0.26
zk2008-544.9		76.50	0.59	0.34	0.01	0.87	0.51	12.80	839	20.80	43.20	4.43	16.60	2.72	0.73	1.87	0.23
zk2610-254.8	RP	2.36	0.17	0.06	0.02	0.94	6.40	16.00	1091	27.80	54.60	5.63	20.70	3.14	0.80	2.12	0.25
zk2610-258.7		1.98	0.15	0.05	0.02	0.87	2.79	15.30	888	28.40	54.90	5.65	20.70	3.15	0.78	2.06	0.24

续附表 2

Continued Appendix Table 2

样品号	岩性	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Tl	Pb	Bi	Th	U	ΣREE	Sr/Y
zk2602-378.1		1.33	0.23	0.64	0.08	0.53	0.08	1.93	0.52	19.10	1.44	30.00	0.23	52.90	9.27	138.2	100.9
zk2602-379.5		1.33	0.23	0.63	0.08	0.51	0.07	1.97	0.54	74.30	1.62	31.70	0.31	33.40	6.92	138.1	101.0
zk2602-382	QM	1.36	0.23	0.65	0.08	0.51	0.07	1.78	0.57	47.10	1.68	27.70	0.83	32.90	6.21	159.7	103.4
zk2602-402.1		1.08	0.19	0.51	0.06	0.42	0.06	2.36	0.50	22.60	1.42	27.10	0.69	34.80	7.16	112.4	133.6
zk2602-540.3		1.47	0.26	0.72	0.09	0.60	0.09	2.05	0.60	35.20	1.44	32.70	0.62	28.60	8.14	145.4	96.8
bzk003-217.6		1.74	0.30	0.80	0.10	0.64	0.09	4.04	0.49	7.75	1.63	22.70	0.37	30.30	5.63	171.8	101.0
bzk003-228	DP	1.65	0.29	0.76	0.09	0.60	0.09	2.84	0.37	5.74	0.98	19.00	3.00	17.70	3.75	140.8	123.4
zk2205-241		1.91	0.32	0.84	0.10	0.67	0.10	3.58	0.47	14.30	1.22	15.70	0.15	26.70	4.53	184.0	94.9
24		1.73	0.30	0.81	0.10	0.68	0.10	3.48	0.45	22.10	1.64	10.30	0.58	18.30	4.01	159.3	115.3
zk2602-396.5		1.16	0.21	0.57	0.07	0.49	0.07	2.29	0.43	64.90	1.40	23.60	0.26	25.40	5.60	113.5	120.7
zk2602-409		1.12	0.19	0.53	0.07	0.46	0.07	1.99	0.43	28.70	1.70	27.90	1.01	21.20	5.34	116.5	111.9
zk2602-466.8		1.19	0.22	0.57	0.07	0.49	0.07	2.44	0.37	16.10	1.45	24.10	1.64	16.40	5.68	103.3	121.4
zk2602-500.6		1.31	0.23	0.64	0.08	0.54	0.08	2.56	0.37	18.00	1.58	40.30	0.80	22.70	5.19	107.9	113.4
33	QMP	0.97	0.15	0.44	0.06	0.40	0.06	3.06	0.39	9.01	1.18	27.30	0.62	21.70	3.28	135.7	125.3
35		0.96	0.17	0.50	0.07	0.46	0.07	2.78	0.49	10.60	1.21	20.20	0.47	24.80	7.23	95.7	114.3
zk2006-617.2		1.03	0.18	0.50	0.07	0.44	0.06	1.93	0.52	16.60	1.39	20.00	0.47	20.90	4.80	100.3	118.2
zk2006-653.3		1.14	0.21	0.57	0.07	0.51	0.08	2.02	0.56	36.80	1.13	22.30	1.65	24.40	5.86	108.5	116.5
zk2006-662.8		0.95	0.17	0.47	0.06	0.43	0.07	2.21	0.51	35.10	1.63	27.90	0.46	22.30	7.96	99.4	117.0
36		0.98	0.18	0.50	0.07	0.46	0.07	2.78	0.30	1.80	1.16	47.50	0.64	16.40	3.58	93.3	129.8
zk2602-174		1.04	0.19	0.52	0.07	0.48	0.07	2.08	0.38	5.79	1.87	23.60	0.68	18.50	5.29	103.9	128.3
zk2610-274.8		1.12	0.20	0.54	0.07	0.48	0.07	2.35	0.40	2.22	1.43	48.00	0.77	19.20	3.96	106.8	90.0
zk2610-293.5		1.18	0.21	0.58	0.07	0.50	0.08	2.34	0.44	2.39	1.29	49.20	0.85	20.60	4.44	116.6	106.5
zk2610-403.4		1.15	0.21	0.56	0.07	0.49	0.07	2.28	0.41	3.50	1.39	34.20	0.45	27.20	6.36	113.5	96.2
zk2008-269		1.20	0.22	0.57	0.07	0.51	0.07	2.11	0.39	6.74	1.57	39.30	0.16	19.20	3.65	118.3	79.8
zk2008-271.6	RDP	1.04	0.18	0.50	0.06	0.45	0.07	2.23	0.38	13.80	1.21	28.10	0.21	18.20	4.04	103.6	107.3
zk2008-276		1.20	0.22	0.57	0.07	0.49	0.07	2.10	0.38	11.50	1.87	24.50	0.17	20.40	4.13	104.5	68.7
zk2602-146.9		0.92	0.17	0.47	0.06	0.44	0.06	2.50	0.31	43.40	2.90	28.10	1.52	12.90	5.68	96.7	110.1
zk2602-182.1		1.08	0.19	0.50	0.06	0.44	0.06	2.22	0.35	21.50	2.09	30.60	1.13	17.20	4.24	108.5	122.7
zk2602-225		0.91	0.17	0.47	0.06	0.43	0.06	2.52	0.32	130.00	2.40	28.10	2.55	13.00	4.42	91.3	130.4
zk2602-285.4		1.08	0.19	0.53	0.07	0.44	0.07	2.61	0.33	26.30	1.99	30.90	0.69	13.20	4.61	126.9	151.6
zk2008-544.9		1.09	0.20	0.54	0.07	0.47	0.07	2.54	0.38	10.70	1.55	37.80	0.30	13.40	3.21	93.0	139.9
zk2610-254.8	RP	1.14	0.21	0.58	0.07	0.47	0.07	2.97	0.33	6.51	3.31	34.80	0.30	20.00	7.89	117.6	84.8
zk2610-258.7		1.05	0.19	0.53	0.07	0.44	0.06	2.92	0.34	6.29	2.83	38.50	0.23	20.50	4.51	118.2	108.7

附表 3 岗讲斑岩铜-钼矿床各期次侵入岩内锆石 LA-ICP-MS 微量元素含量 ($\times 10^{-6}$)
Appendix Table 3 LA-ICP-MS zircon trace element compositions ($\times 10^{-6}$) from intrusive rocks at the Gangjiang porphyry Cu-Mo deposit

测点号	岩性	SiO ₂ (wt%)	P	Ca	Ti	Ca	Rb	Sr	Y	ZrO ₂ (wt%)	Nb	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
QM-1		34.68	100.8	199.36	2.17	0.18	0.14	0.00	459	66.15	1.78	0.00	0.01	32.01	0.07	1.06	1.88	0.68	9.03
QM-3		37.94	201.6	0.00	5.83	0.11	0.05	1.61	955	66.15	3.17	0.00	0.00	58.36	0.10	1.50	4.14	1.39	19.45
QM-5		35.59	142.3	83.77	5.20	0.13	0.07	0.00	744	66.15	1.58	0.00	0.03	43.51	0.16	2.55	4.45	1.39	20.66
QM-6		34.53	108.8	0.00	4.40	0.15	0.17	4.27	508	66.15	1.33	0.00	0.06	33.88	0.10	1.76	2.74	1.07	12.27
QM-7		37.88	126.8	0.00	3.35	0.28	0.41	0.00	650	66.15	2.05	0.35	0.06	47.36	0.10	1.66	2.80	1.03	13.83
QM-15	QM	35.53	109.2	0.00	4.28	0.23	0.01	1.54	371	66.15	0.87	0.00	0.00	33.48	0.04	0.69	1.82	0.72	8.53
QM-20		43.07	153.8	138.2	5.46	0.18	0.21	1.84	1043	66.15	2.97	0.09	0.07	62.46	0.21	3.28	6.61	2.22	28.64
QM-21		49.82	323.3	38.47	2.10	0.18	0.17	1.15	668	66.15	0.83	0.00	0.18	32.76	0.10	1.21	2.78	1.08	15.65
QM-25		45.97	159.0	0.00	3.27	0.11	0.14	0.89	658	66.15	1.34	0.04	0.13	38.27	0.17	2.11	3.75	1.26	16.60
QM-26		50.81	182.4	0.00	4.21	0.07	0.10	2.89	512	66.15	1.32	0.04	0.00	40.28	0.09	1.27	2.20	1.07	11.14
QM-28		50.76	178.6	0.00	3.96	0.10	0.26	6.83	425	66.15	0.67	0.18	0.11	21.60	0.09	0.83	1.98	0.94	9.37
QM-30		51.17	167.3	60.46	4.74	0.17	0.12	1.27	720	66.15	1.91	0.00	0.15	40.66	0.17	2.21	3.63	1.46	16.72
DP-A-1		41.53	352.6	0.00	4.24	0.26	0.42	1.04	1638	66.15	1.13	0.00	0.03	49.18	0.20	3.73	8.42	3.50	43.80
DP-A-3		40.22	185.3	132.4	2.86	0.24	0.18	1.94	698	66.15	1.67	0.00	0.08	47.49	0.11	1.45	3.13	1.17	14.89
DP-A-5		40.00	173.4	0.00	3.58	0.18	0.19	0.86	1204	66.15	2.26	0.00	0.01	44.26	0.07	1.64	4.10	2.37	27.29
DP-A-6		37.49	132.6	67.11	2.98	0.30	0.47	0.00	1162	66.15	2.31	0.00	0.00	74.81	0.27	2.64	6.31	2.06	27.18
DP-A-10		42.82	474.8	182.5	6.61	1.18	0.94	7.12	1751	66.15	8.56	0.85	0.04	310.3	0.90	13.91	21.95	6.84	66.50
DP-A-15		43.02	98.93	0.00	4.31	0.55	0.02	0.00	833	66.15	3.30	0.00	0.09	141.7	0.26	5.39	9.30	2.98	29.75
DP-A-16		40.95	209.2	0.00	4.67	0.65	0.23	0.00	1170	66.15	3.84	0.05	0.03	161.1	0.39	7.33	12.85	4.01	46.16
DP-A-18		41.40	155.7	139.1	3.08	0.22	0.27	0.01	832	66.15	3.03	0.00	0.07	64.74	0.19	3.75	5.72	1.58	22.27
DP-A-19		33.99	108.0	0.00	3.66	0.24	0.12	0.00	562	66.15	1.14	0.00	0.12	36.95	0.09	1.41	2.50	1.06	11.34
DP-A-22	DP	37.95	189.7	123.7	3.43	0.39	0.17	0.99	856	66.15	2.55	0.00	0.12	78.51	0.47	1.99	4.21	1.64	23.05
DP-A-27		40.57	179.1	116.0	4.10	0.14	0.00	1.46	531	66.15	1.30	0.15	0.03	30.19	0.07	2.00	2.81	1.10	12.91
DP-A-30		33.19	124.8	71.99	4.33	0.30	0.14	0.00	548	66.15	2.01	0.00	0.01	45.94	0.08	1.43	2.09	0.83	10.76
DP-D-1		40.38	154.8	0.00	4.99	0.29	0.07	1.20	645	66.15	1.89	0.00	0.02	51.21	0.08	1.75	3.77	1.43	17.70
DP-D-2		34.76	143.2	29.42	3.55	0.35	0.12	1.91	917	66.15	2.39	0.00	0.02	62.86	0.18	3.02	5.11	1.85	24.01
DP-D-3		40.78	153.7	55.73	2.98	0.22	0.12	0.54	522	66.15	1.85	0.00	0.09	43.57	0.08	1.39	2.20	0.94	11.29
DP-D-6		41.25	142.6	0.00	3.46	0.27	0.18	1.29	805	66.15	1.96	0.03	0.12	53.36	0.14	2.41	3.66	1.47	18.99
DP-D-7		39.96	263.6	0.00	6.61	1.13	0.52	3.93	2088	66.15	7.14	0.17	0.18	231.0	0.51	9.95	17.13	4.31	67.43
DP-D-12		39.89	207.0	31.96	4.73	0.33	0.36	1.38	787	66.15	2.41	0.16	0.17	65.75	0.18	2.92	5.70	2.00	24.58
DP-D-16		40.91	124.5	0.00	2.88	0.21	0.35	1.59	645	66.15	1.86	0.23	0.05	40.93	0.07	1.01	2.27	1.01	12.24
QMP-F-5		47.96	166.5	92.82	2.42	0.17	0.28	0.00	832	66.15	1.96	0.33	0.12	47.38	0.12	1.80	3.93	1.52	19.88
QMP-N-1	QMP	35.70	133.7	110.5	2.48	0.10	0.03	1.29	440	66.15	0.99	0.00	0.24	29.16	0.10	1.26	2.27	0.82	10.01
QMP-N-3		36.01	121.3	57.23	2.48	0.15	0.24	2.64	545	66.15	1.24	0.06	0.22	36.21	0.08	0.96	2.03	0.82	11.50

续附表 3

Continued Appendix Table 3

测点号 岩性	SiO ₂ (wt%)	P	Ca	Ti	Ga	Rb	Sr	Y	ZrO ₂ (wt%)	Nb	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
QMP-N-6	37.68	96.03	102.5	2.08	0.12	0.03	1.33	492	66.15	0.89	0.00	0.06	25.51	0.08	1.08	1.70	0.82	9.07
QMP-N-14	33.96	106.2	0.00	3.58	0.18	0.35	0.00	525	66.15	1.47	0.80	0.07	35.14	0.05	1.10	2.02	0.87	11.15
QMP-N-17	38.77	131.6	134.8	2.36	0.11	0.14	1.42	481	66.15	1.27	0.05	0.10	39.52	0.07	1.36	2.37	1.04	11.58
QMP-N-26	36.02	132.0	44.69	1.86	0.29	0.18	2.65	940	66.15	1.90	0.03	0.10	65.38	0.20	2.89	5.05	1.53	21.54
QMP-N-27	40.07	211.0	69.13	2.94	0.18	0.02	1.94	582	66.15	1.17	0.00	0.07	33.05	0.15	2.08	3.18	1.18	14.74
QMP-N-29	36.45	381.2	86.12	2.62	0.33	0.10	2.82	1097	66.15	2.61	0.00	0.08	77.65	0.27	3.80	6.64	2.60	32.67
QMP-F-10	48.84	114.8	101.1	2.82	0.19	0.08	0.00	491	66.15	1.41	0.00	0.02	37.27	0.08	1.71	2.66	0.94	11.97
QMP-F-11	44.54	193.9	0.00	4.30	0.31	0.31	4.82	1231	66.15	2.79	0.15	0.09	70.41	0.15	2.91	6.24	2.02	32.00
QMP-F-18	38.24	201.8	0.00	3.33	0.17	0.20	2.77	821	66.15	1.86	0.04	0.06	53.48	0.12	1.73	4.18	1.44	20.73
RP-A-6	46.61	166.6	0.00	4.72	0.20	0.09	1.94	648	66.15	2.50	0.19	0.00	55.22	0.19	2.34	3.15	1.01	15.25
RP-A-8	51.00	88.02	0.00	2.68	0.07	0.09	4.98	398	66.15	0.70	0.00	0.02	21.12	0.06	0.93	2.06	0.70	7.35
RP-A-10	44.46	146.6	60.15	3.69	0.21	0.17	7.68	598	66.15	1.40	0.00	0.11	40.76	0.07	1.20	2.23	0.77	12.11
RP-A-12	48.74	128.6	29.94	2.34	0.19	0.09	1.44	447	66.15	1.56	0.02	0.01	44.42	0.07	1.06	2.47	0.93	11.57
RP-A-18	43.29	101.3	0.00	2.30	0.15	0.08	1.19	530	66.15	1.39	0.12	0.05	39.92	0.08	1.33	2.71	0.99	13.34
RP-A-19	43.72	79.73	121.8	3.05	0.29	0.12	0.00	705	66.15	1.24	0.00	0.01	40.66	0.09	1.63	2.62	1.00	13.21
RP-A-22	49.16	133.4	14.11	3.21	0.28	0.10	0.73	660	66.15	2.21	0.14	0.08	65.22	0.11	2.15	4.46	1.46	19.49
RP-2	37.50	116.9	72.87	2.78	0.11	0.13	1.91	513	66.15	1.31	0.03	0.06	39.49	0.07	1.03	1.94	0.85	10.73
RP-5	39.62	129.2	0.00	3.49	0.15	0.09	0.72	635	66.15	1.85	0.00	0.14	52.58	0.16	2.26	4.13	1.31	15.08
RP-12	42.06	295.0	95.32	3.53	0.38	0.30	2.09	1139	66.15	3.09	0.00	0.19	78.23	0.13	2.62	5.64	2.11	29.70
RP-16	38.47	169.7	32.39	2.84	0.13	0.12	0.00	592	66.15	1.19	0.19	0.10	32.12	0.09	1.25	2.70	1.00	11.76
RP-19	39.16	171.0	0.00	3.38	0.27	0.14	1.81	649	66.15	1.67	0.00	0.09	46.67	0.09	1.37	3.20	1.24	15.50
RP-G-1	41.00	202.6	74.25	4.11	0.40	0.29	1.31	1004	66.15	2.35	0.77	0.22	67.09	0.21	2.67	5.45	2.09	27.01
RP-G-2	37.42	159.1	89.34	3.41	0.19	0.13	1.78	708	66.15	1.25	0.00	0.15	40.40	0.17	2.63	4.78	1.66	19.96
RP-G-7	38.71	221.7	69.46	2.51	0.19	0.10	1.88	605	66.15	1.77	0.17	0.24	49.85	0.10	1.82	3.31	1.23	16.08
RP-G-9	38.44	156.9	0.00	5.21	0.49	0.28	1.90	716	66.15	2.45	0.29	0.25	106.6	0.36	5.50	6.21	2.29	23.76
RP-G-14	42.27	215.9	0.00	4.03	0.21	0.12	0.48	728	66.15	1.84	2.31	0.03	52.42	0.07	1.55	3.13	1.09	16.98
RP-G-B7	41.04	262.6	83.83	4.18	0.51	0.36	3.23	1469	66.15	3.78	0.00	0.09	110.4	0.27	4.15	10.07	2.95	44.32
RP-W-3	32.24	208.9	55.24	6.84	0.40	0.80	3.01	1193	66.15	2.95	0.50	0.13	81.86	0.15	3.09	5.74	2.34	30.09
RP-W-6	39.35	119.8	25.93	3.47	0.26	0.01	0.00	509	66.15	1.22	0.03	0.03	42.69	0.08	1.88	3.44	1.31	15.40
RP-W-20	34.22	99.79	41.04	3.21	0.16	0.18	2.91	496	66.15	1.21	0.41	0.15	42.44	0.13	1.79	3.17	1.10	12.57
RP-W-21	31.52	88.48	0.00	1.92	0.17	0.07	1.44	719	66.15	1.61	0.13	0.07	36.37	0.08	1.21	2.72	1.05	13.61
RP-W-24	39.65	162.9	81.38	2.95	0.26	0.15	0.00	790	66.15	2.30	0.08	0.18	51.52	0.12	1.70	3.08	1.31	16.18
RP-W-26	38.28	244.1	48.26	5.13	0.37	0.35	2.74	1186	66.15	2.61	0.08	0.20	66.79	0.15	2.58	6.53	2.32	32.85

续附表 3
Continued Appendix Table 3

测点号	岩性	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	Pb	Pb	Th	U	REE	Tb/U	T(°C)	Eu _N /Eu _N *
QM-1		2.96	32.92	13.78	70.0	15.35	178.5	44.68	12696	0.48	0.00	1.81	598	638	402.9	0.94	646	0.60
QM-3		6.33	79.55	29.56	138.1	30.76	302.1	68.99	11538	0.79	0.00	2.32	792	777	740.3	1.02	729	0.56
QM-5		5.62	60.93	22.86	107.4	24.06	242.2	53.98	12755	0.65	0.31	1.83	670	627	589.8	1.07	719	0.53
QM-6		3.40	39.33	15.25	73.4	17.01	183.4	44.32	13171	0.45	0.78	1.92	652	699	428.0	0.93	704	0.67
QM-7		3.97	47.99	19.09	94.9	22.65	242.1	60.54	12826	0.56	0.94	3.24	1186	1001	558.1	1.18	681	0.60
QM-15	QM	2.42	27.15	11.13	52.6	12.36	134.2	33.03	12602	0.22	0.31	2.48	979	825	318.1	1.19	702	0.66
QM-20		8.51	88.84	33.02	146.0	31.90	308.7	68.52	11906	1.11	0.00	3.07	1076	1147	789.0	0.94	723	0.58
QM-21		4.59	52.64	19.72	96.0	21.90	226.2	56.26	11532	0.28	0.55	1.96	541	643	531.1	0.84	644	0.59
QM-25		4.98	52.57	20.29	95.0	21.21	216.1	50.88	12527	0.45	0.00	2.12	598	663	523.4	0.90	679	0.58
QM-26		3.27	37.66	15.30	73.0	17.15	186.2	46.69	12164	0.32	0.00	2.92	984	910	435.4	1.08	700	0.78
QM-28		2.61	28.85	12.51	62.1	14.28	160.6	41.94	12432	0.20	0.00	1.96	477	567	357.8	0.84	695	0.79
QM-30		5.01	56.33	21.72	103.8	23.30	246.0	57.21	12257	0.51	0.52	2.53	725	764	578.4	0.95	710	0.68
DP-A-1		13.16	147.0	53.73	235.0	49.36	470.7	101.3	9910	0.29	0.00	2.30	536	758	1179.1	0.71	701	0.54
DP-A-3		4.99	54.81	21.24	99.3	22.37	230.3	55.54	12154	0.38	0.22	2.48	726	788	556.8	0.92	668	0.51
DP-A-5		8.60	97.67	36.75	172.4	38.27	391.7	92.70	12465	0.39	0.00	3.82	896	1172	917.8	0.76	686	0.66
DP-A-6		7.85	88.14	34.91	163.1	37.58	385.6	91.10	12716	0.44	0.00	4.73	1675	1714	921.5	0.98	671	0.46
DP-A-10		16.43	156.6	52.03	227.0	47.28	466.9	98.16	11890	1.30	0.38	13.12	6430	3154	1485	2.04	740	0.53
DP-A-15		8.33	77.58	25.80	110.2	23.33	218.6	49.04	13338	0.58	0.00	4.72	2403	1418	702.4	1.69	702	0.53
DP-A-16		11.41	110.1	36.38	150.9	30.76	294.1	64.95	12580	0.76	0.00	6.56	3324	1822	930.4	1.82	709	0.49
DP-A-18		6.11	67.94	24.40	112.7	25.86	254.3	56.73	13129	1.20	0.31	4.16	1824	1319	646.4	1.38	674	0.41
DP-A-19		3.60	40.32	15.93	78.7	18.58	199.0	50.99	12276	0.29	0.00	2.18	850	773	460.6	1.10	688	0.59
DP-A-22	DP	6.65	73.18	26.91	120.4	26.04	258.4	58.91	12968	0.67	0.00	3.73	1543	1281	680.5	1.20	683	0.49
DP-A-27		3.77	42.12	16.40	75.8	17.45	177.5	40.63	11736	0.39	0.89	1.55	398	433	422.8	0.92	698	0.54
DP-A-30		3.34	40.03	15.48	76.8	18.82	201.4	51.89	13700	0.57	0.05	2.75	885	1049	468.9	0.84	703	0.52
DP-D-1		5.04	54.24	19.91	92.3	20.31	206.2	48.77	12374	0.51	0.03	3.27	1006	1047	522.8	0.96	715	0.50
DP-D-2		6.90	75.38	28.27	132.1	29.31	296.3	68.68	12533	0.68	0.65	3.49	1514	1208	734.0	1.25	686	0.48
DP-D-3		3.40	37.86	15.10	74.6	17.63	195.8	50.12	13328	0.45	0.09	3.54	1060	1209	454.0	0.88	671	0.54
DP-D-6		5.69	62.50	24.40	116.4	26.46	277.1	66.94	12877	0.45	0.38	2.26	1160	1157	659.6	1.00	684	0.51
DP-D-7		18.27	190.3	67.63	289.8	60.03	557.2	118.53	11891	1.11	0.45	10.03	5780	3060	1632.4	1.89	740	0.36
DP-D-12		6.79	69.18	24.74	111.1	24.02	236.5	53.95	12701	0.70	0.56	3.59	1546	1091	627.5	1.42	710	0.48
DP-D-16		3.77	43.94	17.80	92.4	22.46	249.1	63.36	13377	0.51	0.03	5.86	1329	2083	550.4	0.64	669	0.55
QMP-F-5		6.08	65.82	24.83	115.3	26.14	266.7	63.76	12498	0.45	0.32	2.52	857	946	643.3	0.91	657	0.57
QMP-N-1	QMP	2.88	32.56	12.81	62.6	14.55	159.5	41.39	13451	0.23	0.14	2.22	546	775	370.2	0.71	657	0.56
QMP-N-3		3.56	40.48	15.82	77.6	18.32	198.8	51.21	13475	0.32	0.00	2.75	836	1084	457.5	0.77	643	0.69

续附表 3

Continued Appendix Table 3

测点号	岩性	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	Pb	Pb	Th	U	REE	Th/U	T(°C)	Eu _N /Eu _N *
QMP-N-6		2.77	32.16	13.44	70.1	17.95	209.4	57.89	13737	0.20	0.00	2.81	577	1055	442.0	0.55	687	0.61
QMP-N-14		3.14	38.65	15.37	75.1	17.76	188.2	47.79	12747	0.37	0.33	2.37	703	865	436.4	0.81	653	0.66
QMP-N-17		3.40	36.88	13.99	67.7	15.88	171.4	43.36	13308	0.35	3.62	3.09	955	1013	408.7	0.94	635	0.48
QMP-N-26		6.42	71.44	27.74	134.7	30.79	326.4	80.74	13192	0.47	0.00	5.43	2207	1769	774.9	1.25	670	0.57
QMP-N-27	QMP	4.10	44.97	16.90	80.9	19.11	202.4	50.59	12796	0.39	0.19	2.45	661	753	473.4	0.88	661	0.58
QMP-N-29		9.14	97.67	34.90	153.7	32.90	327.5	76.12	12811	0.53	0.00	3.95	1900	1350	855.6	1.41	655	0.56
QMP-F-10		3.38	36.97	14.51	68.7	15.98	173.2	43.31	13172	0.40	0.31	2.81	883	975	410.7	0.91	667	0.54
QMP-F-11		9.91	106.5	39.45	173.9	36.47	342.7	75.77	11774	0.63	0.08	2.40	1215	918	898.4	1.32	702	0.46
QMP-F-18		6.34	69.08	25.61	117.8	25.61	253.4	58.04	12000	0.46	0.32	2.25	765	750	637.6	1.02	680	0.50
RP-A-6		4.18	46.39	17.97	87.3	20.86	231.1	59.27	13764	0.51	0.00	5.41	2420	1738	544.2	1.39	710	0.43
RP-A-8		2.19	26.54	10.90	57.4	14.88	169.3	46.64	13423	0.17	0.10	1.77	427	670	360.1	0.64	663	0.52
RP-A-10		3.72	43.93	17.28	85.1	18.88	199.5	49.37	12620	0.42	0.00	1.82	578	789	475.0	0.73	689	0.43
RP-A-12		3.21	34.99	13.08	61.7	14.28	151.1	38.41	13560	0.39	0.00	3.02	1181	1069	377.3	1.10	652	0.51
RP-A-18		3.84	42.15	15.86	74.2	16.52	173.9	43.07	13423	0.30	0.00	1.81	870	747	427.9	1.16	651	0.48
RP-A-19		4.05	48.48	20.04	99.5	23.33	260.7	66.89	13233	0.28	0.65	2.06	831	883	582.3	0.94	673	0.50
RP-A-22		5.35	55.86	20.06	88.6	19.41	199.4	47.30	12937	0.50	0.00	2.80	1157	1002	529.0	1.16	677	0.46
RP-2		3.20	36.19	14.67	71.8	16.97	185.7	47.39	12979	0.31	0.40	2.39	911	925	430.1	0.98	666	0.57
RP-5		4.39	48.01	18.73	88.7	20.85	220.2	55.83	12918	0.38	0.12	3.70	1415	1213	532.4	1.17	684	0.50
RP-12		8.66	97.08	35.93	155.2	32.87	313.0	69.47	12008	0.74	0.47	3.12	1359	1150	830.7	1.18	685	0.50
RP-16		3.70	43.15	17.34	84.9	19.96	211.5	51.71	12521	0.30	1.04	1.72	470	616	481.3	0.76	668	0.54
RP-19		4.74	52.21	19.54	90.4	20.36	206.7	49.84	12568	0.43	0.51	2.80	1118	964	512.0	1.16	682	0.54
RP-G-1		7.98	86.22	31.89	143.5	30.91	302.5	70.00	12341	0.48	0.00	2.95	1302	964	777.8	1.35	698	0.55
RP-G-2		5.63	59.08	22.11	101.8	22.17	223.7	52.34	12272	0.36	0.22	1.44	527	557	556.6	0.95	682	0.55
RP-G-7		4.58	50.18	18.66	85.4	19.18	197.6	47.90	13299	0.37	0.00	2.56	1088	951	496.2	1.14	658	0.54
RP-G-9		5.89	60.35	21.94	95.6	20.49	204.7	46.29	12386	0.43	0.54	5.34	5025	1359	600.2	3.70	719	0.61
RP-G-14		5.16	57.84	22.58	106.2	24.29	255.0	59.96	12961	0.45	1.79	3.10	998	1101	606.3	0.91	696	0.48
RP-G-B7	RP	12.73	134.9	47.05	208.3	42.30	397.1	86.64	11630	0.77	0.72	3.94	1774	1329	1101	1.33	699	0.45
RP-W-3		8.53	96.05	36.55	168.4	37.04	367.4	85.69	12367	0.62	0.27	4.06	1906	1776	923.0	1.07	744	0.66
RP-W-6		3.90	41.28	15.46	71.7	16.32	165.3	39.92	12488	0.27	0.59	2.27	937	804	418.7	1.17	684	0.67
RP-W-20		3.27	38.21	14.46	69.4	16.95	182.8	46.45	12717	0.30	0.89	2.47	1189	1050	432.9	1.13	677	0.65
RP-W-21		4.23	50.41	21.34	108.0	26.19	276.0	69.70	12838	0.37	0.02	2.16	756	1036	611.0	0.73	637	0.64
RP-W-24		4.82	54.28	21.75	109.0	26.50	300.7	77.40	13705	0.53	0.40	5.33	1471	1957	668.5	0.75	671	0.69
RP-W-26		9.78	105.80	39.37	172.6	36.52	352.8	77.36	12124	0.67	0.88	3.16	1295	1271	905.6	1.02	717	0.59

附表 4 岗讲斑岩铜-钼矿床各期次侵入岩内磷灰石化学成分 (wt%)

Appendix Table 4 Geochemical compositions (wt%) of apatite from intrusive rocks at the Gangjiang porphyry Cu-Mo deposit

测点号	岩性	MnO	CaO	SO ₃	BaO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MgO	F	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	FeO	Cl	Total	F/Cl
GJ10-489.7-AP3-1		0.06	53.81	0.21	0.01	0.22	42.25	0.03	2.87	0.02	0.03	0.12	0.30	0.12	100.02	24.72
GJ10-489.7-AP3-2		0.05	54.29	0.23	0.00	0.19	40.90	0.03	2.58	0.03	0.00	0.08	0.24	0.11	98.73	22.84
GJ10-489.7-AP4-1		0.08	54.65	0.24	0.00	0.21	41.85	0.06	2.79	0.03	0.00	0.19	0.27	0.09	100.46	30.69
GJ10-489.7-AP4-2		0.07	54.71	0.22	0.00	0.23	41.32	0.06	3.02	0.03	0.00	0.18	0.24	0.11	100.18	28.25
GJ10-489.7-AP5-1		0.09	55.01	0.17	0.03	0.06	41.38	0.02	2.48	0.00	0.00	0.03	0.20	0.11	99.58	21.96
GJ10-489.7-AP5-2		0.09	54.37	0.18	0.02	0.07	41.39	0.00	2.62	0.00	0.00	0.02	0.17	0.14	99.06	18.57
GJ10-489.7-AP5-3		0.11	54.71	0.17	0.00	0.13	40.93	0.03	2.37	0.00	0.00	0.04	0.21	0.11	98.81	20.96
GJ10-489.7-AP6-1		0.10	54.65	0.13	0.00	0.07	40.98	0.03	2.44	0.00	0.00	0.07	0.26	0.14	98.86	16.91
GJ10-489.7-AP6-1		0.07	54.13	0.16	0.00	0.14	40.76	0.02	2.48	0.00	0.00	0.07	0.23	0.17	98.23	14.56
GJ10-489.7-AP6-3		0.07	54.77	0.15	0.00	0.22	41.31	0.01	2.41	0.00	0.00	0.07	0.22	0.15	99.38	16.28
GJ10-489.7-AP7-1		0.08	54.80	0.20	0.00	0.08	40.80	0.01	2.66	0.01	0.00	0.04	0.18	0.14	98.97	19.67
GJ10-489.7-AP7-2		0.08	54.43	0.20	0.00	0.10	40.47	0.04	2.53	0.01	0.00	0.02	0.18	0.15	98.22	16.64
GJ10-489.7-AP7-3		0.08	54.66	0.31	0.02	0.19	41.08	0.03	2.52	0.01	0.00	0.02	0.16	0.14	99.21	18.65
GJ10-489.7-AP8-1		0.10	54.93	0.23	0.00	0.18	41.26	0.04	2.40	0.03	0.00	0.14	0.35	0.11	99.74	22.84
GJ10-489.7-AP8-2	QM	0.07	54.53	0.25	0.00	0.17	40.68	0.02	2.39	0.00	0.02	0.07	0.28	0.12	98.60	20.43
GJ10-489.7-AP10-1		0.12	54.54	0.21	0.00	0.13	40.14	0.08	2.57	0.04	0.08	0.14	0.32	0.09	98.46	30.24
GJ10-489.7-AP11-1		0.06	51.40	0.19	0.00	0.24	41.44	0.22	3.03	0.16	0.37	0.04	0.16	0.18	97.47	16.99
GJ10-489.7-AP11-2		0.05	54.35	0.19	0.01	0.25	41.05	0.01	2.56	0.01	0.00	0.01	0.08	0.17	98.72	15.33
GJ10-489.7-AP11-3		0.09	53.58	0.17	0.00	0.32	40.63	0.17	2.46	0.00	0.00	0.03	0.08	0.14	97.65	17.29
zk2602-540.3-AP1-1		0.19	53.21	0.16	0.00	0.23	39.75	0.09	2.57	0.85	0.75	0.33	0.28	0.24	98.65	10.74
zk2602-540.3-AP1-2		0.16	54.76	0.21	0.06	0.17	40.75	0.03	2.41	0.00	0.00	0.04	0.15	0.27	99.02	8.89
zk2602-540.3-AP1-3		0.16	54.49	0.28	0.00	0.15	40.87	0.02	2.41	0.02	0.00	0.00	0.13	0.26	98.79	9.37
zk2602-540.3-AP1-4		0.13	54.77	0.31	0.01	0.10	41.11	0.01	2.59	0.00	0.00	0.00	0.10	0.25	99.38	10.42
zk2602-540.3-AP1-2		0.18	54.55	0.18	0.00	0.31	40.89	0.06	2.53	0.05	0.00	0.05	0.20	0.26	99.25	9.93
zk2602-540.3-AP1-3		0.16	54.71	0.18	0.00	0.17	40.76	0.05	2.67	0.03	0.00	0.01	0.11	0.26	99.11	10.28
zk2602-540.3-AP1-4		0.12	54.98	0.18	0.00	0.00	41.02	0.03	2.68	0.04	0.00	0.00	0.14	0.26	99.44	10.43
zk2602-540.3-AP1-5		0.14	54.75	0.18	0.04	0.23	40.56	0.08	2.54	0.02	0.00	0.01	0.16	0.29	98.97	8.90
zk2602-540.3-AP1-6		0.17	54.11	0.25	0.00	0.24	40.83	0.07	2.47	0.02	0.00	0.02	0.20	0.34	98.71	7.19
zk2602-540.3-AP1-8		0.17	54.45	0.25	0.00	0.30	40.61	0.09	2.42	0.02	0.00	0.03	0.20	0.30	98.83	8.03

续附表 4

Continued Appendix Table 4

测点号	岩性	MnO	CaO	SO ₃	BaO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MgO	F	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	FeO	Cl	Total	F/Cl
Bzk003-217.6-Ap1-1		0.10	54.21	0.45	0.01	0.24	41.92	0.07	2.53	0.06	0.00	0.07	0.44	0.43	100.50	5.91
Bzk003-217.6-C2-Ap2-1		0.10	54.34	0.26	0.05	0.15	40.87	0.00	2.05	0.00	0.00	0.02	0.27	0.63	98.72	3.28
Bzk003-217.6-C2-Ap2-2		0.13	54.33	0.24	0.00	0.12	41.36	0.04	2.19	0.02	0.00	0.02	0.26	0.69	99.37	3.19
Bzk003-217.6-C2-Ap2-3		0.11	53.67	0.20	0.00	0.14	42.44	0.03	2.19	0.01	0.00	0.04	0.31	0.63	99.77	3.45
Bzk003-217.6-C2-Ap2-4		0.11	54.12	0.40	0.00	0.26	42.03	0.03	2.10	0.00	0.00	0.06	0.28	0.46	99.85	4.60
Bzk003-217.6-C2-Ap2-5		0.09	54.15	0.33	0.04	0.21	41.81	0.04	2.25	0.01	0.00	0.11	0.39	0.49	99.91	4.58
Bzk003-217.6-Ap3-1		0.13	54.79	0.47	0.01	0.14	40.83	0.00	2.14	0.02	0.00	0.00	0.07	0.48	99.09	4.43
Bzk003-217.6-Ap3-2		0.08	54.89	0.44	0.00	0.24	40.86	0.01	2.17	0.01	0.00	0.00	0.04	0.48	99.21	4.50
Bzk003-217.6-Ap3-3		0.11	54.91	0.40	0.00	0.18	40.83	0.01	2.21	0.00	0.00	0.00	0.06	0.48	99.20	4.65
Bzk003-217.6-Ap3-4		0.11	54.76	0.41	0.00	0.15	40.95	0.00	2.35	0.29	0.43	0.00	0.06	0.45	99.95	5.18
Bzk003-217.6-Ap4-1		0.10	55.10	0.24	0.03	0.08	41.40	0.03	2.18	0.00	0.00	0.00	0.05	0.49	99.70	4.46
Bzk003-217.6-Ap4-2		0.08	55.05	0.28	0.00	0.01	41.27	0.02	2.17	0.00	0.00	0.00	0.05	0.49	99.43	4.43
Bzk003-217.6-Ap4-3		0.08	54.88	0.34	0.00	0.13	41.00	0.01	2.35	0.01	0.00	0.00	0.10	0.47	99.36	5.02
Bzk003-217.6-Ap4-4		0.11	54.97	0.31	0.02	0.15	41.06	0.00	2.25	0.00	0.00	0.01	0.08	0.46	99.42	4.86
zk2205-241-Ap1-1		0.15	53.74	0.22	0.00	0.19	41.44	0.09	2.50	0.00	0.00	0.07	0.45	0.49	99.32	5.12
zk2205-241-Ap1-2	DP	0.10	54.51	0.23	0.00	0.11	41.66	0.05	2.39	0.01	0.00	0.05	0.35	0.35	99.81	6.77
zk2205-241-Ap1-3		0.14	54.53	0.32	0.00	0.13	40.99	0.08	2.41	0.02	0.00	0.08	0.52	0.43	99.64	5.62
zk2205-241-Ap1-4		0.14	54.78	0.36	0.00	0.17	40.56	0.05	2.33	0.00	0.00	0.04	0.36	0.45	99.24	5.15
zk2205-241-Ap1-5		0.13	54.36	0.20	0.00	0.13	41.72	0.07	2.23	0.00	0.00	0.07	0.37	0.46	99.75	4.81
zk2205-241-Ap2-1		0.19	53.68	0.50	0.03	0.45	41.14	0.12	2.36	0.02	0.00	0.17	0.68	0.59	99.93	4.00
zk2602-395.4-Ap1-1		0.36	54.08	0.45	0.08	0.15	41.62	0.09	2.48	0.02	0.00	0.15	0.64	0.49	100.61	5.07
zk2602-395.4-Ap1-2		0.38	53.73	0.45	0.00	0.31	41.03	0.14	2.74	0.01	0.00	0.14	0.68	0.50	100.08	5.51
zk2602-395.4-Ap1-3		0.55	53.76	0.21	0.01	0.14	40.77	0.11	2.58	0.00	0.00	0.26	0.77	0.47	99.61	5.55
zk2602-395.4-Ap1-4		0.51	52.73	0.41	0.01	0.31	40.43	0.75	2.74	0.54	0.30	0.60	1.07	0.49	100.90	5.60
zk2602-395.4-Ap1-6		0.49	54.40	0.32	0.00	0.18	41.68	0.10	2.48	0.01	0.00	0.08	0.52	0.42	100.68	5.85
zk2602-395.4-Ap1-7		0.48	53.51	0.34	0.04	0.04	41.72	0.24	3.04	0.17	0.18	0.26	0.67	0.19	100.86	16.26
zk2602-96-Ap1		0.03	52.73	0.23	0.00	0.19	39.95	1.14	1.96	0.79	0.97	0.63	0.93	0.37	99.90	5.24
zk2602-96-Ap2		0.01	54.98	0.25	0.02	0.07	41.24	0.11	2.15	0.12	0.56	0.30	0.38	0.35	100.53	6.12
zk2602-96-Ap3		0.02	54.46	0.37	0.02	0.07	41.27	0.03	2.50	0.07	0.30	0.15	0.22	0.38	99.84	6.66
zk2602-96-Ap4		0.04	54.95	0.34	0.05	0.00	40.52	0.01	1.91	0.02	0.15	0.03	0.13	0.25	98.40	7.76

续附表 4

Continued Appendix Table 4

测点号	岩性	MnO	CaO	SO ₃	BaO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MgO	F	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	FeO	Cl	Total	F/Cl
zk2602-378.1-AP in P1-3		0.12	55.25	0.26	0.02	0.08	41.42	0.03	2.38	0.00	0.00	0.00	0.13	0.27	99.95	8.98
zk2602-402.1-AP1-2		0.13	54.70	0.12	0.00	0.09	41.09	0.10	2.60	0.02	0.00	0.00	0.21	0.18	99.24	14.36
zk2602-402.1-AP1-3		0.11	54.94	0.09	0.04	0.18	41.48	0.07	2.64	0.02	0.00	0.00	0.11	0.20	99.87	13.46
zk2602-402.1-AP1-4		0.11	55.04	0.17	0.00	0.08	41.33	0.11	2.76	0.00	0.00	0.00	0.16	0.18	99.93	15.14
zk2602-402.1-AP1-5		0.11	54.77	0.13	0.00	0.03	41.07	0.09	2.65	0.01	0.00	0.01	0.14	0.17	99.18	15.22
zk2602-402.1-AP2-1		0.11	54.54	0.09	0.04	0.01	41.17	0.08	2.42	0.01	0.00	0.01	0.26	0.26	98.99	9.35
zk2602-402.1-AP2-2		0.12	54.69	0.13	0.04	0.10	41.26	0.05	2.52	0.00	0.00	0.00	0.26	0.24	99.41	10.55
zk2602-402.1-AP2-3		0.14	54.63	0.17	0.00	0.00	41.05	0.08	2.40	0.00	0.00	0.02	0.25	0.25	99.00	9.53
zk2602-402.1-AP2-4		0.14	54.49	0.10	0.01	0.04	41.23	0.04	2.38	0.03	0.00	0.00	0.30	0.26	99.01	9.21
zk2602-402.1-AP2-5		0.08	54.75	0.17	0.02	0.05	40.77	0.01	2.39	0.00	0.00	0.05	0.31	0.22	98.82	10.85
zk2602-402.1-AP2-6		0.10	54.40	0.29	0.00	0.19	41.06	0.09	2.38	0.00	0.00	0.02	0.29	0.29	99.11	8.17
zk2602-402.1-AP2-7		0.16	54.51	0.16	0.00	0.22	41.16	0.06	2.26	0.00	0.00	0.02	0.40	0.32	99.26	7.06
zk2602-402.1-AP2-8		0.15	54.55	0.16	0.00	0.12	41.47	0.05	2.19	0.01	0.00	0.03	0.33	0.26	99.33	8.55
zk2602-402.1-AP2-12		0.11	55.03	0.39	0.00	0.30	40.01	0.05	2.27	0.00	0.00	0.08	0.37	0.33	98.94	6.92
zk2602-402.1-AP2-13	QMP	0.13	55.07	0.32	0.02	0.18	39.92	0.06	2.16	0.01	0.00	0.11	0.40	0.29	98.66	7.54
zk2602-402.1-AP2-14		0.15	53.84	0.33	0.01	0.23	40.66	0.10	2.42	0.02	0.19	0.15	0.54	0.30	98.92	7.99
zk2602-402.1-AP2-15		0.14	54.51	0.25	0.00	0.13	40.85	0.13	2.59	0.03	0.06	0.19	0.59	0.19	99.65	13.62
zk2602-396.5-AP1-2		0.11	54.25	0.16	0.00	0.07	41.87	0.03	2.67	0.03	0.00	0.02	0.25	0.24	99.70	10.97
zk2602-396.5-AP1-3		0.10	54.32	0.15	0.00	0.05	41.85	0.00	2.71	0.00	0.00	0.01	0.21	0.22	99.62	12.33
zk2602-396.5-AP1-4		0.07	54.12	0.17	0.01	0.12	41.87	0.05	2.65	0.00	0.00	0.01	0.20	0.20	99.45	12.99
zk2602-396.5-AP3-1		0.09	55.48	0.39	0.00	0.16	40.73	0.00	2.28	0.02	0.00	0.04	0.40	0.23	99.81	9.92
zk2602-396.5-AP4-1		0.09	54.58	0.21	0.00	0.13	40.24	0.09	2.83	0.00	0.58	0.09	0.49	0.19	99.52	14.91
zk2602-396.5-AP5-1		0.12	54.92	0.13	0.00	0.05	41.22	0.01	2.60	0.01	0.00	0.00	0.16	0.22	99.44	11.93
zk2602-396.5-AP5-2		0.11	54.25	0.19	0.00	0.11	41.63	0.05	2.74	0.00	0.00	0.00	0.14	0.24	99.46	11.41
zk2602-396.5-AP5-3		0.11	54.71	0.21	0.00	0.02	41.41	0.02	2.56	0.00	0.00	0.00	0.12	0.27	99.44	9.46
zk2602-396.5-AP5-4		0.07	54.82	0.14	0.00	0.06	42.01	0.04	2.45	0.00	0.00	0.00	0.13	0.26	99.98	9.54
zk2602-396.5-AP6-1		0.12	54.87	0.24	0.00	0.05	40.92	0.04	2.38	0.01	0.00	0.06	0.29	0.21	99.20	11.33
zk2602-396.5-AP6-2		0.08	54.97	0.40	0.02	0.20	40.68	0.01	2.74	0.00	0.00	0.03	0.27	0.25	99.65	11.20

续附表 4

Continued Appendix Table 4

测点号	岩性	MnO	CaO	SO ₃	BaO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MgO	F	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	FeO	Cl	Total	F/Cl
zk2602-396.5-Ap6-3		0.10	54.89	0.25	0.00	0.18	40.21	0.02	2.43	0.01	0.00	0.04	0.33	0.25	98.70	9.89
zk2602-396.5-Ap7-1		0.06	54.67	0.32	0.00	0.15	41.24	0.04	2.55	0.02	0.00	0.07	0.36	0.20	99.68	12.60
zk2602-396.5-Ap7-2		0.10	54.79	0.20	0.01	0.14	40.89	0.05	2.57	0.01	0.00	0.05	0.31	0.23	99.35	10.98
zk2602-396.5-Ap8-2		0.10	54.27	0.21	0.00	0.10	41.06	0.02	2.58	0.01	0.00	0.01	0.28	0.17	98.81	15.28
zk2602-396.5-Ap8-3		0.09	54.65	0.16	0.00	0.20	41.35	0.02	2.69	0.00	0.00	0.03	0.30	0.16	99.65	16.47
zk2602-396.5-Ap10-1		0.11	54.79	0.16	0.03	0.10	41.55	0.00	2.55	0.00	0.00	0.07	0.38	0.12	99.86	21.23
zk2602-396.5-Ap10-2		0.10	55.04	0.18	0.00	0.07	40.72	0.02	2.56	0.01	0.00	0.06	0.36	0.14	99.25	18.96
zk2602-396.5-Ap10-3		0.12	55.28	0.13	0.02	0.00	41.17	0.02	2.41	0.00	0.00	0.06	0.40	0.11	99.71	22.27
zk2602-396.5-Ap11-1		0.09	54.27	0.15	0.00	0.05	41.66	0.01	2.62	0.01	0.00	0.04	0.26	0.16	99.30	16.58
zk2602-396.5-Ap11-2		0.10	54.52	0.16	0.00	0.13	41.36	0.05	2.67	0.01	0.00	0.03	0.26	0.17	99.46	16.01
zk2602-396.5-Ap11-3		0.10	54.25	0.17	0.03	0.01	41.10	0.01	2.88	0.00	0.00	0.05	0.28	0.15	99.03	19.21
zk2602-396.5-Ap12-1		0.12	54.74	0.20	0.00	0.18	41.28	0.01	2.48	0.02	0.00	0.12	0.38	0.18	99.71	14.01
zk2602-396.5-Ap13-1		0.11	54.41	0.35	0.04	0.22	40.71	0.07	2.53	0.00	0.00	0.17	0.49	0.15	99.25	16.77
zk2006-617.2-API-1		0.05	54.09	0.39	0.01	0.19	40.51	0.04	2.69	0.01	0.15	0.04	0.41	0.16	98.72	17.34
zk2006-617.2-API-2	QMP	0.09	53.94	0.30	0.05	0.19	40.59	0.05	2.36	0.01	0.15	0.04	0.42	0.14	98.32	16.84
zk2006-617.2-API-3		0.04	54.08	0.29	0.00	0.15	41.00	0.05	2.46	0.00	0.06	0.08	0.43	0.14	98.77	17.86
zk2006-617.2-API2-1		0.08	54.34	0.35	0.02	0.15	40.78	0.03	2.58	0.01	0.00	0.02	0.46	0.10	98.90	26.88
zk2006-617.2-AP5		0.05	54.51	0.35	0.05	0.20	40.97	0.02	2.72	0.02	0.00	0.10	0.42	0.08	99.49	33.22
zk2006-617.2-AP9-1		0.02	54.61	0.28	0.00	0.15	40.67	0.04	2.90	0.00	0.00	0.03	0.08	0.06	98.85	48.35
zk2006-617.2-AP9-2		0.04	54.76	0.22	0.00	0.14	40.88	0.03	2.59	0.00	0.00	0.00	0.09	0.03	98.78	89.34
zk2006-617.2-API0-1		0.05	54.61	0.17	0.00	0.15	41.13	0.02	2.65	0.04	0.00	0.02	0.10	0.10	99.04	27.32
zk2006-617.2-API2-2		0.04	54.95	0.33	0.00	0.15	39.57	0.11	2.20	0.07	0.02	0.09	0.52	0.11	98.16	20.15
zk2006-617.2-API2-3		0.07	54.73	0.34	0.00	0.07	39.48	0.02	2.19	0.01	0.00	0.04	0.36	0.15	97.43	14.78
zk2006-617.2-API2-4		0.05	54.97	0.14	0.00	0.24	39.41	0.04	2.48	0.00	0.00	0.04	0.40	0.15	97.93	16.23
zk2006-617.2-API3-2		0.06	54.90	0.16	0.00	0.05	40.35	0.02	2.50	0.01	0.00	0.08	0.43	0.14	98.69	18.53
zk2006-617.2-API4-1		0.09	54.79	0.21	0.00	0.15	40.91	0.04	2.27	0.02	0.01	0.15	0.50	0.15	99.28	15.56
zk2006-617.2-API5-1		0.06	54.51	0.29	0.00	0.35	39.91	0.23	2.15	0.08	0.15	0.16	0.58	0.11	98.58	19.94
zk2006-617.2-API6-2		0.09	55.43	0.05	0.01	0.04	39.90	0.03	2.90	0.00	0.00	0.00	0.17	0.23	98.85	12.65

续附表 4

Continued Appendix Table 4

测点号	岩性	MnO	CaO	SO ₃	BaO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MgO	F	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	FeO	Cl	Total	F/Cl
zk2006-617.2-AP17-1		0.05	54.97	0.31	0.00	0.21	38.79	0.01	2.87	0.00	0.08	0.01	0.43	0.20	97.94	14.23
ZK2006-617.2-G1-AP-1		0.04	54.21	0.30	0.00	0.28	39.76	0.03	2.52	0.00	0.00	0.01	0.19	0.11	97.44	24.02
ZK2006-617.2-G1-AP-2		0.06	54.45	0.23	0.00	0.16	40.88	0.04	2.67	0.01	0.00	0.01	0.51	0.08	99.10	32.12
ZK2006-617.2-G1-AP-3	QMP	0.05	54.42	0.35	0.00	0.29	39.52	0.00	2.49	0.00	0.00	0.03	0.24	0.13	97.52	19.45
ZK2006-617.2-G2-AP-3		0.06	54.64	0.37	0.00	0.23	40.53	0.03	2.90	0.00	0.00	0.10	0.42	0.21	99.50	13.67
ZK2006-617.2-G2-AP-4		0.08	54.60	0.08	0.00	0.13	41.24	0.04	2.60	0.01	0.00	0.00	0.15	0.17	99.10	15.39
ZK2006-617.2-G2-AP-5		0.06	54.41	0.15	0.00	0.14	41.30	0.05	2.98	0.02	0.00	0.03	0.15	0.16	99.43	18.95
Gj19-143.4-AP1-1		0.26	54.29	0.81	0.00	0.10	40.98	0.09	1.37	0.00	0.00	0.02	0.48	1.10	99.49	1.25
Gj19-143.4-AP1-2		0.24	54.29	0.71	0.02	0.11	41.38	0.07	1.65	0.01	0.00	0.01	0.46	1.13	100.08	1.47
Gj19-143.4-AP1-3		0.24	54.16	0.70	0.03	0.09	41.19	0.10	1.53	0.00	0.00	0.00	0.40	1.16	99.59	1.32
Gj19-143.4-AP1-4		0.24	54.01	0.69	0.03	0.05	40.19	0.07	1.45	0.02	0.00	0.00	0.43	1.16	98.33	1.25
Gj19-143.4-AP1-5		0.22	54.25	0.66	0.02	0.10	41.26	0.10	1.50	0.00	0.00	0.01	0.47	1.20	99.80	1.25
Gj19-143.4-AP1-6		0.24	54.71	0.65	0.00	0.13	40.65	0.07	1.42	0.00	0.00	0.04	0.51	1.15	99.56	1.23
Gj19-143.4-AP2-1		0.26	53.53	0.65	0.00	0.13	41.86	0.07	1.61	0.00	0.00	0.02	0.51	1.19	99.85	1.35
Gj19-143.4-AP2-2		0.26	54.15	0.65	0.00	0.13	40.97	0.06	1.61	0.00	0.00	0.04	0.52	1.16	99.54	1.39
Gj19-143.4-AP2-3		0.25	53.83	0.65	0.00	0.09	40.91	0.10	1.42	0.00	0.00	0.01	0.48	1.18	98.91	1.21
Gj19-143.4-AP2-4		0.22	53.97	0.63	0.01	0.12	41.10	0.13	1.48	0.00	0.00	0.02	0.56	1.17	99.40	1.27
Gj19-143.4-AP3-1	RDP	0.23	53.97	0.62	0.02	0.08	40.52	0.07	1.78	0.00	0.00	0.04	0.56	1.02	98.92	1.75
Gj19-143.4-AP4-1		0.26	53.92	0.60	0.00	0.06	40.48	0.06	1.47	0.00	0.00	0.02	0.59	1.11	98.55	1.32
Gj19-143.4-AP4-2		0.23	54.67	0.58	0.00	0.06	41.31	0.08	1.56	0.00	0.00	0.03	0.59	0.89	99.98	1.76
Gj19-143.4-AP4-3		0.14	51.23	0.57	0.01	0.34	40.35	0.06	1.80	0.17	0.90	0.06	0.35	1.16	97.11	1.55
Gj19-143.4-AP4-4		0.26	54.21	0.55	0.00	0.20	41.03	0.11	1.69	0.01	0.00	0.00	0.51	0.83	99.40	2.02
Gj19-143.4-AP4-5		0.27	54.04	0.55	0.07	0.00	40.59	0.12	1.67	0.00	0.00	0.01	0.54	1.13	98.99	1.48
Gj19-143.4-AP5-1		0.26	54.26	0.55	0.00	0.11	41.01	0.11	1.55	0.01	0.00	0.00	0.35	1.06	99.27	1.46
Gj19-143.4-AP5-2		0.18	53.85	0.54	0.00	0.18	41.33	0.08	1.47	0.00	0.00	0.00	0.37	0.98	98.98	1.50
Gj19-143.4-AP5-3		0.17	54.53	0.52	0.00	0.08	41.25	0.09	1.51	0.00	0.00	0.00	0.35	1.01	99.51	1.50
Gj19-143.4-AP5-4		0.19	54.13	0.52	0.00	0.25	40.69	0.09	1.50	0.04	0.00	0.00	0.36	1.00	98.77	1.49
Gj19-143.4-AP5-5		0.20	54.29	0.50	0.00	0.07	41.10	0.13	1.44	0.01	0.00	0.01	0.38	1.02	99.15	1.42

附表 5 岗讲斑岩铜-钼矿床各期次侵入岩内黑云母化学成分 (wt%)

Appendix Table 5 Geochemical compositions (wt%) of biotite from intrusive rocks at the Gangjiang porphyry Cu-Mo deposit

测点号	岩性	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	K ₂ O	SiO ₂	MnO	MgO	CaO	FeO	F	Cl	TiO ₂	Total	X _{Mg}	Fe ³⁺ /Fe ²⁺
ZK2602-540. 3-B11-6		0.20	15.71	9.67	39.15	0.09	18.80	0.00	8.66	0.28	0.13	2.89	95.57	0.79	0.64
ZK2602-540. 3-B11-7		0.20	15.58	9.72	38.83	0.08	17.09	0.00	10.37	0.27	0.13	3.22	95.47	0.75	0.69
ZK2602-540. 3-B11-8		0.20	15.67	9.87	39.27	0.07	18.00	0.00	9.32	0.34	0.13	2.97	95.83	0.77	0.80
ZK2602-540. 3-B11-9		0.23	15.63	9.73	39.00	0.10	16.72	0.00	10.48	0.30	0.14	3.25	95.57	0.74	0.82
ZK2602-540. 3-B11-10		0.26	15.59	9.73	39.33	0.06	18.24	0.05	9.05	0.30	0.14	2.99	95.73	0.78	0.84
GJ10-489. 7-BiK(s)MagA-B11-1		0.23	14.16	9.55	39.34	0.28	16.26	0.00	12.91	0.25	0.12	3.14	96.25	0.69	0.41
GJ10-489. 7-BiK(s)MagA-B12-1		0.12	14.43	9.49	39.44	0.31	15.63	0.04	13.10	0.31	0.10	2.87	95.82	0.68	0.45
GJ10-489. 7-BiK(s)MagA-B12-2		0.12	14.56	9.11	39.09	0.30	15.40	0.01	13.25	0.30	0.12	2.99	95.24	0.67	0.40
GJ10-489. 7-BiK(s)MagA-B13-1	QM	0.16	14.09	9.56	38.76	0.29	15.41	0.02	12.90	0.32	0.13	2.46	94.08	0.68	0.46
GJ10-489. 7-BiK(s)MagA-B13-2		0.20	14.40	9.31	39.16	0.31	15.31	0.00	12.64	0.25	0.12	2.51	94.20	0.68	0.52
GJ10-489. 7-BiK(s)MagA-B13-3		0.29	13.84	9.51	38.93	0.30	15.90	0.00	12.60	0.38	0.12	2.47	94.34	0.69	0.45
GJ10-489. 7-BiK(s)MagB-B11-1		0.19	13.86	9.71	39.35	0.19	16.08	0.00	12.58	0.37	0.11	3.04	95.49	0.70	0.52
GJ10-489. 7-BiK(s)MagB-B11-2		0.23	14.60	9.68	39.33	0.20	16.42	0.00	12.74	0.29	0.10	3.16	96.75	0.70	0.42
GJ10-489. 7-BiK(s)MagB-B12-2		0.28	14.28	9.46	37.71	0.22	14.83	0.01	13.94	0.30	0.13	2.96	94.12	0.65	0.37
GJ10-489. 7-BiK(s)MagB-B12-3		0.23	13.85	9.29	38.19	0.19	14.95	0.05	12.72	0.25	0.11	2.55	92.37	0.68	0.53
GJ10-489. 7-BiK(s)MagB-B13-1		0.22	14.57	9.28	39.56	0.20	16.12	0.01	12.03	0.33	0.12	2.77	95.21	0.70	0.53
GJ10-489. 7-BiK(s)MagB-B13-2		0.20	14.49	9.56	38.94	0.18	15.93	0.01	12.68	0.24	0.12	3.14	95.50	0.69	0.47
ZK2602-540. 3-B11-3		0.27	15.25	9.78	39.26	0.09	18.64	0.00	9.31	0.25	0.11	2.73	95.68	0.78	0.57
ZK2602-540. 3-B11-5		0.26	14.87	9.93	38.74	0.05	18.90	0.01	8.02	0.24	0.14	2.87	94.03	0.81	0.93
zk2205-241-BiApMag1-B11-1		0.31	14.32	9.67	38.38	0.05	15.71	0.01	12.15	0.23	0.15	2.44	93.41	0.70	0.56
zk2205-241-BiApMag1-B11-2		0.20	14.83	9.72	38.66	0.08	15.73	0.09	12.16	0.20	0.13	2.44	94.24	0.70	0.57
zk2205-241-BiApMag1-B11-3		0.14	15.09	9.62	37.07	0.08	14.77	0.01	12.54	0.26	0.13	2.59	92.29	0.68	0.49
zk2205-241-BiApMag1-B11-4		0.26	13.92	9.62	38.15	0.05	15.58	0.01	11.93	0.28	0.14	2.41	92.35	0.70	0.59
zk2205-241-BiApMag1-B11-5	DP	0.18	14.61	9.77	39.71	0.06	16.59	0.00	11.62	0.25	0.12	2.41	95.32	0.72	0.59
zk2205-241-BiApMag2-B11-2		0.16	14.37	9.85	39.87	0.09	16.74	0.00	11.93	0.23	0.12	2.33	95.69	0.71	0.51
zk2205-241-BiApMag2-B11-3		0.22	15.24	9.80	38.93	0.07	16.02	0.00	12.20	0.20	0.12	2.56	95.36	0.70	0.52
zk2205-241-B11-1		0.13	14.53	9.68	39.63	0.07	16.31	0.00	11.70	0.25	0.11	2.69	95.08	0.71	0.62
zk2205-241-B11-2		0.18	13.95	9.65	40.06	0.05	16.82	0.00	11.69	0.20	0.11	2.60	95.30	0.72	0.57
zk2205-241-B11-3		0.13	14.94	9.73	38.26	0.07	15.37	0.16	12.80	0.22	0.11	2.99	94.77	0.68	0.53
zk2205-241-B12-1		0.18	15.35	9.59	37.71	0.06	15.13	0.01	12.24	0.26	0.10	2.59	93.21	0.69	0.53

续附表 5

Continued Appendix Table 5

测点号	岩性	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	K ₂ O	SiO ₂	MnO	MgO	CaO	FeO	F	Cl	TiO ₂	Total	X _{Mg}	Fe ³⁺ /Fe ²⁺
zk2205-241-Bi2-3		0.23	13.70	9.50	41.08	0.06	17.17	0.02	11.40	0.20	0.14	2.42	95.93	0.73	0.66
Bzk003-217.6-G1-Bi1-1		0.06	13.91	9.51	39.02	0.13	16.74	0.01	13.31	0.20	0.11	2.96	95.96	0.69	0.37
Bzk003-217.6-G1-Bi1-3		0.14	14.39	9.32	39.38	0.17	16.38	0.04	13.21	0.24	0.13	2.85	96.25	0.69	0.31
Bzk003-217.6-G1-Bi1-5		0.06	13.94	9.38	38.98	0.15	16.89	0.06	12.99	0.23	0.11	2.86	95.63	0.70	0.37
Bzk003-217.6-G2-Bi2-1	DP	0.19	13.42	9.58	37.98	0.14	16.01	0.01	13.45	0.20	0.12	3.26	94.33	0.68	0.34
Bzk003-217.6-G2-Bi2-2		0.08	13.44	9.71	38.04	0.15	15.93	0.01	13.39	0.22	0.11	3.19	94.27	0.68	0.32
Bzk003-217.6-G2-Bi2-3		0.11	14.25	9.16	37.24	0.16	16.05	0.03	12.62	0.23	0.12	4.50	94.46	0.69	1.13
Bzk003-217.6-G2-Bi2-4		0.16	12.53	9.57	36.93	0.16	15.52	0.04	13.22	0.21	0.11	3.06	91.51	0.68	0.32
Bzk003-217.6-G2-Bi2-5		0.06	14.18	9.41	38.60	0.13	16.03	0.03	13.10	0.16	0.14	3.22	95.05	0.69	0.34
zk2602-182.1-G2-Bi1-4		0.25	17.04	9.56	38.16	0.08	13.21	0.00	13.06	0.32	0.15	3.26	95.08	0.64	0.91
zk2602-182.1-G2-Bi1-5		0.23	16.72	9.66	37.02	0.04	12.47	0.00	12.88	0.31	0.15	3.16	92.64	0.63	1.03
zk2602-402.1-Bi-Kfs-MagB-Bi1-1		0.20	15.39	9.57	37.80	0.14	14.37	0.00	12.98	0.32	0.14	2.91	93.81	0.66	0.58
zk2602-402.1-Bi-Kfs-MagB-Bi1-3		0.17	14.98	9.48	37.10	0.11	14.33	0.00	13.45	0.32	0.13	3.09	93.15	0.66	0.45
zk2602-402.1-Bi-Kfs-MagB-Bi2-1		0.19	17.37	9.42	37.63	0.16	14.13	0.00	13.13	0.34	0.15	2.08	94.59	0.66	0.46
zk2602-402.1-Bi-Kfs-MagB-Bi2-2		0.17	15.96	9.67	38.81	0.13	15.13	0.00	12.29	0.35	0.14	2.04	94.69	0.69	0.59
zk2602-396.5-BiKfsMagA-Bi1-2		0.26	14.93	9.56	38.40	0.08	14.79	0.00	13.16	0.26	0.15	3.32	94.91	0.67	0.59
zk2602-396.5-BiKfsMagA-Bi1-3		0.29	15.10	9.54	38.50	0.10	14.98	0.00	13.29	0.38	0.15	3.35	95.67	0.67	0.53
zk2602-396.5-BiKfsMagB-Bi1-2		0.16	15.38	9.84	38.99	0.08	15.67	0.00	12.74	0.29	0.13	3.21	96.48	0.69	0.55
zk2602-396.5-BiKfsMagB-Bi2-1		0.23	15.10	9.64	37.27	0.06	14.82	0.00	12.46	0.33	0.14	3.16	93.20	0.68	0.58
zk2602-396.5-BiKfsMagB-Bi2-2		0.20	15.03	9.77	37.20	0.08	15.13	0.00	12.33	0.33	0.14	3.06	93.25	0.69	0.54
zk2602-396.5-BiKfsMagB-Bi3-2	QMP	0.26	15.28	9.56	38.06	0.10	14.89	0.00	13.04	0.35	0.14	3.31	94.99	0.67	0.54
zk2602-396.5-BiKfsMagB-Bi3-3		0.29	15.21	9.50	38.36	0.10	14.59	0.00	13.13	0.32	0.14	3.18	94.81	0.66	0.61
zk2006-617.2-BiKfsMagA-Bi1-2		0.21	13.56	9.59	36.81	0.06	14.88	0.00	13.37	0.37	0.14	3.07	92.04	0.66	0.39
zk2006-617.2-BiKfsMagA-Bi1-3		0.26	14.11	9.59	37.41	0.10	15.51	0.00	13.20	0.37	0.14	3.12	93.80	0.68	0.36
zk2006-617.2-BiKfsMagA-Bi2-1		0.19	14.08	9.72	37.21	0.11	15.00	0.00	13.40	0.28	0.14	3.07	93.20	0.67	0.40
zk2006-617.2-BiKfsMagA-Bi2-2		0.21	13.93	9.68	38.01	0.10	15.40	0.00	13.25	0.31	0.12	3.16	94.16	0.67	0.43
zk2006-617.2-BiKfsMagA-Bi2-3		0.17	14.78	9.67	38.01	0.09	15.34	0.00	13.34	0.35	0.15	3.10	94.99	0.67	0.40
zk2006-617.2-BiKfsMagB-Bi1-1		0.16	13.63	9.45	37.79	0.09	15.23	0.00	12.35	0.29	0.13	3.12	92.24	0.69	0.55
zk2006-617.2-BiKfsMagB-Bi1-2		0.22	13.27	9.45	38.40	0.07	15.97	0.00	11.69	0.34	0.12	3.20	92.74	0.71	0.62
zk2006-617.2-BiKfsMagB-Bi1-3		0.24	13.28	9.81	37.05	0.08	15.02	0.00	12.83	0.34	0.14	3.34	92.12	0.68	0.53
zk2006-653.3-Bi1-3		0.24	14.35	9.68	38.47	0.07	16.40	0.00	12.40	0.35	0.13	3.12	95.20	0.70	0.42

续附表 5

Continued Appendix Table 5

测点号	岩性	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	K ₂ O	SiO ₂	MnO	MgO	CaO	FeO	F	Cl	TiO ₂	Total	X _{Mg}	Fe ³⁺ /Fe ²⁺
zk2602-396.5-BiKfsMagB-Bi3-1		0.33	15.64	9.54	38.63	0.11	14.96	0.00	13.36	0.23	0.19	3.02	96.00	0.67	0.51
zk2205-241-Bi1-5		0.07	15.45	9.94	39.74	0.06	16.19	0.00	12.32	0.22	0.17	2.59	96.76	0.70	0.54
zk2602-396.5-BiKfsMagA-Bi1-1		0.19	15.10	9.54	38.30	0.11	14.94	0.00	13.13	0.22	0.18	3.13	94.82	0.67	0.51
Gj19-143.4-Bi1-1		0.35	14.69	9.22	36.64	0.08	13.61	0.00	13.29	0.20	0.20	3.36	91.63	0.65	0.60
Gj19-143.4-Bi1-2		0.24	15.26	9.30	38.13	0.07	14.24	0.00	13.49	0.18	0.20	3.49	94.61	0.65	0.57
Gj19-143.4-Bi1-4		0.37	13.85	9.23	36.94	0.09	14.21	0.00	13.53	0.23	0.18	3.13	91.75	0.65	0.47
zk2602-182.1-C2-Bi1-1	RDP	0.23	16.69	9.54	36.89	0.07	12.51	0.00	13.22	0.29	0.18	3.41	93.02	0.63	0.89
zk2205-241-BiApMag2-Bi1-1		0.21	14.59	9.81	38.38	0.09	15.85	0.01	12.25	0.24	0.16	2.49	94.07	0.70	0.50
zk2205-241-Bi1-4		0.17	13.26	9.65	38.31	0.04	16.11	0.00	11.56	0.21	0.17	2.44	91.91	0.71	0.56
zk2205-241-Bi2-4		0.07	14.66	9.68	40.64	0.06	17.15	0.00	11.78	0.21	0.16	2.48	96.89	0.72	0.50
zk2205-241-Bi2-5		0.14	15.01	9.67	38.99	0.05	15.88	0.00	12.26	0.23	0.18	2.61	95.02	0.70	0.52
zk2602-402.1-Bi-Kfs-MagB-Bi1-1		0.23	15.24	9.53	38.05	0.10	14.64	0.00	12.89	0.18	0.16	2.93	93.94	0.67	0.58
zk2602-402.1-Bi-Kfs-MagA-Bi2-1		0.25	15.29	9.80	37.93	0.10	14.28	0.00	12.40	0.26	0.17	3.00	93.47	0.67	0.82
zk2602-402.1-Bi-Kfs-MagA-Bi2-2		0.11	15.74	9.69	38.23	0.09	14.25	0.00	12.38	0.27	0.16	2.94	93.87	0.67	0.79
ZK2602-540.3-Bi1-6		0.71	0.15	0.14	-1.71	-2.18	0.47	2.88	-4.21	7.09	672	5.48	3.66	3.66	-1.82
ZK2602-540.3-Bi1-7		0.66	0.17	0.17	-1.72	-2.17	0.45	2.84	-4.12	6.95	672	5.43	3.68	3.68	-1.75
ZK2602-540.3-Bi1-8		0.69	0.15	0.15	-1.63	-2.19	0.56	2.78	-4.16	6.93	672	5.37	3.68	3.68	-1.69
ZK2602-540.3-Bi1-9		0.65	0.17	0.17	-1.67	-2.15	0.47	2.77	-4.12	6.90	672	5.37	3.66	3.66	-1.71
ZK2602-540.3-Bi1-10		0.70	0.15	0.15	-1.68	-2.15	0.47	2.84	-4.21	7.05	672	5.43	3.64	3.64	-1.79
Gj10-489.7-BiKfsMagA-Bi1-1		0.63	0.14	0.23	-1.76	-2.19	0.43	2.84	-4.03	6.87	672	5.42	3.72	3.72	-1.70
Gj10-489.7-BiKfsMagA-Bi2-1		0.61	0.15	0.24	-1.66	-2.31	0.65	2.72	-3.88	6.60	672	5.30	3.85	3.85	-1.46
Gj10-489.7-BiKfsMagA-Bi2-2		0.60	0.16	0.23	-1.68	-2.21	0.53	2.72	-3.97	6.69	672	5.31	3.75	3.75	-1.56
Gj10-489.7-BiKfsMagA-Bi3-1	QM	0.61	0.15	0.24	-1.63	-2.18	0.54	2.70	-4.02	6.72	672	5.28	3.71	3.71	-1.57
Gj10-489.7-BiKfsMagA-Bi3-2		0.61	0.15	0.24	-1.75	-2.18	0.44	2.80	-4.00	6.80	672	5.39	3.72	3.72	-1.66
Gj10-489.7-BiKfsMagA-Bi3-3		0.62	0.13	0.25	-1.56	-2.20	0.64	2.63	-4.01	6.64	672	5.22	3.74	3.74	-1.48
Gj10-489.7-BiKfsMagB-Bi1-1		0.63	0.12	0.24	-1.58	-2.24	0.66	2.67	-4.00	6.66	682	5.22	3.76	3.76	-1.46
Gj10-489.7-BiKfsMagB-Bi1-2		0.63	0.15	0.22	-1.69	-2.28	0.59	2.77	-3.95	6.72	682	5.32	3.79	3.79	-1.53
Gj10-489.7-BiKfsMagB-Bi2-2		0.59	0.18	0.23	-1.66	-2.14	0.49	2.69	-4.01	6.70	682	5.25	3.68	3.68	-1.56
Gj10-489.7-BiKfsMagB-Bi2-3		0.61	0.15	0.24	-1.74	-2.22	0.48	2.80	-3.97	6.77	682	5.35	3.75	3.75	-1.60

续附表 5

Continued Appendix Table 5

测点号	岩性	X_{phl}	X_{sid}	X_{ann}	$\log(E/\text{OH})$	$\log(\text{Cl}/\text{OH})$	$\log(F/\text{Cl})$	IV(F)	IV(Cl)	IV(F/Cl)	T(°C)	$\log(f_{\text{H}_2\text{O}}/f_{\text{HF}})$	$\log(f_{\text{H}_2\text{O}}/f_{\text{HCl}})$	$\log(f_{\text{HF}}/f_{\text{HCl}})$	
GJ10-489, 7-BiKfsMagB-Bi3-1	QM	0.63	0.15	0.22	-1.63	-2.21	0.59	2.71	-4.01	6.72	682	5.26	3.73	-1.53	
GJ10-489, 7-BiKfsMagB-Bi3-2		0.62	0.15	0.22	-1.76	-2.21	0.45	2.84	-4.00	6.84	682	5.39	3.74	-1.65	
ZK2602-540, 3-Bi1-3	QM	0.71	0.14	0.16	-1.77	-2.25	0.48	2.94	-4.12	7.07	682	5.49	3.73	-1.77	
ZK2602-540, 3-Bi1-5		0.73	0.12	0.15	-1.77	-2.15	0.38	2.97	-4.28	7.25	682	5.52	3.61	-1.91	
zk2205-241-BiApMag1-Bi1-1		0.63	0.15	0.21	-1.78	-2.09	0.31	2.87	-4.14	7.00	682	5.42	3.61	-1.81	
zk2205-241-BiApMag1-Bi1-2		0.63	0.17	0.20	-1.85	-2.18	0.33	2.92	-4.04	6.96	682	5.48	3.70	-1.78	
zk2205-241-BiApMag1-Bi1-3		0.60	0.21	0.19	-1.72	-2.14	0.42	2.76	-4.03	6.79	682	5.32	3.68	-1.64	
zk2205-241-BiApMag1-Bi1-4		0.64	0.14	0.22	-1.69	-2.12	0.43	2.78	-4.12	6.89	682	5.33	3.64	-1.69	
zk2205-241-BiApMag1-Bi1-5		0.65	0.14	0.21	-1.76	-2.19	0.43	2.86	-4.07	6.93	682	5.41	3.70	-1.71	
zk2205-241-BiApMag2-Bi1-2		0.65	0.13	0.22	-1.79	-2.21	0.42	2.89	-4.06	6.95	696	5.40	3.70	-1.69	
zk2205-241-BiApMag2-Bi1-3		0.63	0.18	0.20	-1.85	-2.20	0.35	2.92	-4.02	6.94	696	5.43	3.71	-1.72	
zk2205-241-Bi1-1		0.64	0.14	0.22	-1.76	-2.25	0.50	2.85	-3.99	6.85	696	5.36	3.76	-1.60	
zk2205-241-Bi1-2		0.66	0.11	0.23	-1.86	-2.23	0.37	2.97	-4.05	7.02	696	5.47	3.72	-1.75	
zk2205-241-Bi1-3		0.61	0.18	0.20	-1.81	-2.24	0.43	2.86	-3.95	6.82	696	5.38	3.76	-1.62	
zk2205-241-Bi2-1		DP	0.61	0.20	0.19	-1.72	-2.27	0.55	2.77	-3.91	6.68	696	5.28	3.79	-1.49
zk2205-241-Bi2-3			0.67	0.09	0.25	-1.86	-2.13	0.28	2.99	-4.16	7.15	696	5.48	3.62	-1.86
Bzk003-217, 6-G1-Bi1-1			0.64	0.13	0.23	-1.86	-2.24	0.37	2.96	-4.01	6.97	696	5.46	3.74	-1.72
Bzk003-217, 6-G1-Bi1-3	0.63	0.14	0.23	-1.78	-2.19	0.41	2.85	-4.03	6.88	696	5.36	3.70	-1.66		
Bzk003-217, 6-G1-Bi1-5	0.65	0.13	0.23	-1.79	-2.25	0.46	2.90	-4.00	6.90	696	5.40	3.75	-1.65		
Bzk003-217, 6-G2-Bi2-1	0.63	0.13	0.24	-1.85	-2.21	0.36	2.94	-4.01	6.95	696	5.44	3.72	-1.72		
Bzk003-217, 6-G2-Bi2-2	0.63	0.13	0.24	-1.81	-2.24	0.43	2.89	-3.98	6.87	696	5.39	3.75	-1.64		
Bzk003-217, 6-G2-Bi2-3	0.63	0.17	0.20	-1.78	-2.21	0.42	2.86	-4.02	6.88	696	5.37	3.72	-1.65		
Bzk003-217, 6-G2-Bi2-4	0.63	0.11	0.26	-1.81	-2.22	0.41	2.91	-4.01	6.91	696	5.40	3.73	-1.68		
Bzk003-217, 6-G2-Bi2-5	0.62	0.15	0.23	-1.94	-2.15	0.21	3.01	-4.06	7.08	696	5.52	3.66	-1.86		
zk2602-182, 1-C2-Bi1-4	QMP	0.52	0.30	0.18	-1.64	-2.09	0.45	2.57	-3.93	6.49	707	5.07	3.65	-1.42	
zk2602-182, 1-C2-Bi1-5		0.51	0.31	0.18	-1.63	-2.10	0.46	2.54	-3.89	6.44	707	5.05	3.66	-1.38	
zk2602-402, 1-Bi-Kfs-MagB-Bi1-1		0.57	0.22	0.20	-1.63	-2.13	0.50	2.63	-3.98	6.61	707	5.11	3.66	-1.45	
zk2602-402, 1-Bi-Kfs-MagB-Bi1-3		0.58	0.21	0.20	-1.63	-2.16	0.53	2.64	-3.98	6.62	707	5.13	3.68	-1.44	
zk2602-402, 1-Bi-Kfs-MagB-Bi2-1		0.56	0.29	0.15	-1.61	-2.10	0.49	2.58	-3.99	6.57	707	5.08	3.64	-1.44	
zk2602-402, 1-Bi-Kfs-MagB-Bi2-2		0.60	0.21	0.19	-1.60	-2.14	0.54	2.63	-4.03	6.67	707	5.12	3.65	-1.46	

续附表 5

Continued Appendix Table 5

测点号	岩性	X_{phl}	X_{sid}	X_{ann}	$\log(E/\text{OH})$	$\log(\text{Cl}/\text{OH})$	$\log(F/\text{Cl})$	IV(F)	IV(Cl)	IV(F/Cl)	T(°C)	$\log(f_{\text{H}_2\text{O}}/f_{\text{HF}})$	$\log(f_{\text{H}_2\text{O}}/f_{\text{HCl}})$	$\log(f_{\text{HF}}/f_{\text{HCl}})$
zk2602-396.5-BiKfsMagA-Bi1-2		0.59	0.19	0.22	-1.73	-2.11	0.39	2.76	-4.04	6.80	707	5.24	3.63	-1.60
zk2602-396.5-BiKfsMagA-Bi1-3		0.59	0.19	0.21	-1.57	-2.10	0.54	2.60	-4.05	6.65	707	5.08	3.62	-1.46
zk2602-396.5-BiKfsMagB-Bi1-2		0.61	0.19	0.20	-1.69	-2.17	0.48	2.74	-4.02	6.76	707	5.22	3.68	-1.54
zk2602-396.5-BiKfsMagB-Bi2-1		0.60	0.21	0.19	-1.61	-2.12	0.51	2.65	-4.05	6.70	707	5.14	3.64	-1.50
zk2602-396.5-BiKfsMagB-Bi2-2		0.61	0.20	0.19	-1.62	-2.12	0.50	2.67	-4.07	6.74	707	5.15	3.63	-1.52
zk2602-396.5-BiKfsMagB-Bi3-2		0.59	0.21	0.20	-1.60	-2.14	0.54	2.63	-4.02	6.64	672	5.22	3.69	-1.53
zk2602-396.5-BiKfsMagB-Bi3-3		0.59	0.20	0.21	-1.64	-2.13	0.49	2.66	-4.01	6.67	672	5.26	3.69	-1.57
zk2006-617.2-BiKfsMagA-Bi1-2	QMP	0.61	0.16	0.23	-1.56	-2.12	0.56	2.62	-4.06	6.68	672	5.21	3.66	-1.54
zk2006-617.2-BiKfsMagA-Bi1-3		0.62	0.16	0.22	-1.57	-2.12	0.55	2.64	-4.08	6.72	672	5.23	3.66	-1.57
zk2006-617.2-BiKfsMagA-Bi2-1		0.61	0.17	0.22	-1.68	-2.11	0.43	2.73	-4.07	6.80	672	5.32	3.65	-1.67
zk2006-617.2-BiKfsMagA-Bi2-2		0.62	0.15	0.23	-1.64	-2.19	0.54	2.71	-4.01	6.72	672	5.30	3.72	-1.57
zk2006-617.2-BiKfsMagA-Bi2-3		0.61	0.18	0.21	-1.59	-2.10	0.51	2.64	-4.08	6.72	672	5.23	3.64	-1.59
zk2006-617.2-BiKfsMagB-Bi1-1		0.62	0.14	0.24	-1.67	-2.16	0.50	2.74	-4.05	6.79	672	5.33	3.69	-1.63
zk2006-617.2-BiKfsMagB-Bi1-2		0.65	0.11	0.24	-1.60	-2.18	0.58	2.71	-4.08	6.79	672	5.29	3.70	-1.59
zk2006-617.2-BiKfsMagB-Bi1-3		0.62	0.14	0.24	-1.60	-2.11	0.51	2.67	-4.11	6.78	672	5.26	3.64	-1.62
zk2006-653.3-Bi1-3		0.64	0.15	0.21	-1.60	-2.16	0.56	2.69	-4.08	6.78	672	5.28	3.69	-1.60
zk2602-396.5-BiKfsMagB-Bi3-1		0.59	0.21	0.20	-1.78	-2.02	0.23	2.80	-4.13	6.94	707	5.29	3.54	-1.75
zk2205-241-Bi1-5		0.63	0.18	0.20	-1.81	-2.07	0.26	2.88	-4.15	7.02	707	5.35	3.57	-1.78
zk2602-396.5-BiKfsMagA-Bi1-1		0.59	0.20	0.21	-1.81	-2.02	0.21	2.84	-4.14	6.98	707	5.32	3.54	-1.78
Gj19-143.4-Bi1-1		0.57	0.22	0.21	-1.83	-1.96	0.13	2.83	-4.15	6.98	707	5.31	3.49	-1.82
Gj19-143.4-Bi1-2		0.57	0.21	0.21	-1.89	-1.97	0.09	2.89	-4.14	7.03	707	5.37	3.50	-1.87
Gj19-143.4-Bi1-4		0.59	0.17	0.24	-1.77	-2.01	0.24	2.80	-4.14	6.94	707	5.28	3.53	-1.74
zk2602-182.1-C2-Bi1-1		0.53	0.30	0.17	-1.66	-2.01	0.35	2.59	-4.01	6.61	707	5.10	3.57	-1.53
zk2205-241-BiApMag2-Bi1-1	RDP	0.63	0.16	0.21	-1.76	-2.07	0.30	2.84	-4.16	7.00	707	5.31	3.56	-1.75
zk2205-241-Bi1-4		0.64	0.11	0.24	-1.82	-2.04	0.23	2.92	-4.21	7.13	707	5.39	3.54	-1.85
zk2205-241-Bi2-4		0.64	0.13	0.22	-1.84	-2.08	0.25	2.93	-4.17	7.10	707	5.40	3.57	-1.83
zk2205-241-Bi2-5		0.61	0.18	0.21	-1.78	-2.02	0.24	2.84	-4.18	7.01	707	5.31	3.53	-1.79
zk2602-402.1-Bi-Kfs-MagB-Bi1-1		0.58	0.21	0.21	-1.89	-2.08	0.20	2.90	-4.04	6.94	707	5.38	3.61	-1.77
zk2602-402.1-Bi-Kfs-MagA-Bi2-1		0.59	0.21	0.20	-1.73	-2.03	0.31	2.75	-4.11	6.86	707	5.23	3.56	-1.67
zk2602-402.1-Bi-Kfs-MagA-Bi2-2		0.58	0.22	0.19	-1.72	-2.06	0.35	2.73	-4.07	6.80	707	5.21	3.59	-1.62

附表 6 岗讲斑岩铜-钼矿床各期次侵入岩内斜长石化学成分 (wt%)

Appendix Table 6 Geochemical compositions (wt%) of plagioclase from intrusive rocks at the Gangjiang porphyry Cu-Mo deposit

岩性	测点号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	X _{An}	Sr(×10 ⁻⁶)
	GJ10-489.7-P12-1	60.50	0.01	22.80	0.19	0.00	0.01	4.51	7.80	2.25	0.24	核 1700
	GJ10-489.7-P12-2	62.32	0.00	22.75	0.13	0.00	0.00	4.47	8.91	0.44	0.22	核 1643
	GJ10-489.7-P12-3	62.84	0.00	23.34	0.16	0.00	0.00	4.74	9.09	0.48	0.22	核 1540
	GJ10-489.7-P12-4	63.19	0.00	22.88	0.17	0.00	0.00	4.38	9.13	0.46	0.21	核 641
	GJ10-489.7-P12-6	63.81	0.00	21.88	0.18	0.01	0.00	3.56	9.46	0.39	0.17	核 478
	GJ10-489.7-P12-5	64.48	0.00	21.81	0.13	0.00	0.01	3.45	9.74	0.36	0.16	边 522
	GJ10-489.7-P13-1	62.89	0.00	23.05	0.18	0.00	0.01	4.74	9.11	0.43	0.22	核 1586
	GJ10-489.7-P13-2	63.09	0.00	22.88	0.16	0.00	0.00	4.51	9.05	0.51	0.22	核 1533
	GJ10-489.7-P13-3	62.73	0.00	23.24	0.12	0.02	0.02	4.83	9.00	0.45	0.23	核 1373
	GJ10-489.7-P13-4	62.64	0.00	22.91	0.14	0.00	0.00	4.43	9.06	0.52	0.21	核 1404
	GJ10-489.7-P13-5	63.11	0.00	23.19	0.14	0.00	0.00	4.46	8.97	0.61	0.22	核 1417
	GJ10-489.7-P13-6	63.26	0.00	22.36	0.17	0.01	0.00	4.08	8.91	0.52	0.20	核 1369
	GJ10-489.7-P13-7	63.18	0.02	22.78	0.14	0.00	0.00	4.41	8.93	0.46	0.21	核 1303
	GJ10-489.7-P13-8	63.30	0.01	22.38	0.14	0.00	0.00	3.90	9.41	0.42	0.19	核 1019
QM	GJ10-489.7-P13-9	64.95	0.00	22.29	0.15	0.01	0.00	3.36	9.85	0.59	0.16	边 2857
	GJ10-489.7-P15-1	59.83	0.04	24.29	0.13	0.02	0.03	6.19	7.97	0.43	0.30	核 3230
	GJ10-489.7-P15-2	60.81	0.01	24.30	0.14	0.00	0.03	6.03	7.98	0.31	0.29	核 2775
	GJ10-489.7-P15-3	61.27	0.02	24.40	0.12	0.00	0.02	5.86	8.71	0.36	0.27	核 2416
	GJ10-489.7-P15-4	60.77	0.00	23.42	0.14	0.00	0.03	5.22	8.02	0.45	0.26	核 1366
	GJ10-489.7-P15-5	62.40	0.00	23.19	0.16	0.01	0.00	4.69	8.92	0.41	0.23	核 2416
	GJ10-489.7-P15-6	63.62	0.02	22.41	0.14	0.02	0.00	3.95	9.07	0.49	0.19	核 1366
	GJ10-489.7-P15-7	63.68	0.00	22.38	0.14	0.00	0.00	3.67	9.52	0.39	0.18	核 1366
	GJ10-489.7-P15-8	64.00	0.03	22.34	0.12	0.00	0.00	3.72	9.76	0.22	0.17	边 1366
	zk2602-540.3-P12-5	60.99	0.00	23.80	0.21	0.00	0.01	5.51	8.28	0.36	0.27	核 2309
	zk2602-540.3-P12-4	61.72	0.01	23.58	0.20	0.00	0.00	5.24	8.43	0.34	0.26	核 2026
	zk2602-540.3-P12-8	61.63	0.01	23.67	0.19	0.00	0.00	5.18	9.00	0.38	0.24	核 2009
	zk2602-540.3-P12-2	62.03	0.00	23.25	0.18	0.00	0.03	4.87	8.92	0.36	0.23	核 1981
	zk2602-540.3-P12-6	61.06	0.00	23.90	0.18	0.01	0.00	5.46	8.67	0.36	0.26	核 2240
	zk2602-540.3-P12-1	60.97	0.00	23.16	0.18	0.01	0.24	4.73	8.65	0.51	0.23	核 1903

续附表 6

Continued Appendix Table 6

岩性	测点号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	X _{An}	Str($\times 10^{-6}$)
QM	zk2602-540. 3-P12-7	61.27	0.00	24.04	0.13	0.01	0.00	5.41	8.34	0.31	0.26	1739
	zk2602-540. 3-P12-3	61.91	0.05	23.46	0.15	0.00	0.01	5.11	8.56	0.56	0.25	1603
	zk2602-540. 3-P12-9	64.23	0.04	22.11	0.12	0.00	0.01	3.45	9.61	0.37	0.17	890 边
	Bzk003-217. 6-P12-1	63.15	0.00	22.47	0.15	0.00	0.00	4.00	9.17	0.58	0.19	1589 核
	Bzk003-217. 6-P12-2	62.76	0.02	22.80	0.14	0.01	0.00	4.49	9.41	0.53	0.21	1598
	Bzk003-217. 6-P12-3	63.94	0.00	21.89	0.17	0.00	0.01	3.27	9.87	0.55	0.16	1745
	Bzk003-217. 6-P12-4	60.91	0.03	23.77	0.14	0.00	0.00	5.67	8.55	0.46	0.27	1690
	Bzk003-217. 6-P12-5	63.34	0.00	22.28	0.17	0.01	0.01	4.10	9.45	0.66	0.19	1651
	Bzk003-217. 6-P12-6	60.60	0.05	24.10	0.11	0.00	0.00	5.78	8.50	0.45	0.27	1660 边
DP	Bzk003-217. 6-P12-7	61.23	0.01	23.65	0.16	0.00	0.00	5.41	8.67	0.40	0.26	
	Bzk003-217. 6-P12-8	62.47	0.00	22.79	0.15	0.00	0.01	4.50	8.95	0.51	0.22	
	Bzk003-217. 6-P12-9	61.55	0.00	23.57	0.17	0.00	0.00	5.13	8.68	0.51	0.25	
	Bzk003-217. 6-P12-10	62.63	0.00	23.13	0.19	0.00	0.02	4.51	9.27	0.59	0.21	
	Bzk003-217. 6-P12-11	63.01	0.00	22.59	0.16	0.01	0.00	4.32	9.08	0.58	0.21	边
	Bzk003-217. 6-P12-1	60.78	0.01	24.07	0.12	0.01	0.01	5.88	8.44	0.36	0.28	1411 核
	Bzk003-217. 6-P12-2	60.49	0.00	24.50	0.14	0.00	0.00	6.23	7.91	0.34	0.30	1393
	Bzk003-217. 6-P12-3	63.21	0.02	22.87	0.12	0.00	0.00	4.45	9.18	0.48	0.21	1461
	Bzk003-217. 6-P12-4	62.36	0.00	23.63	0.17	0.00	0.00	5.04	9.04	0.44	0.24	1601
	Bzk003-217. 6-P12-5	60.96	0.03	23.99	0.16	0.00	0.03	5.54	8.24	0.32	0.27	1558
	Bzk003-217. 6-P12-6	62.77	0.00	23.04	0.13	0.00	0.00	4.50	9.30	0.33	0.21	1405
Bzk003-217. 6-P12-7	63.26	0.00	22.48	0.11	0.00	0.00	3.89	9.61	0.33	0.18	1651 边	
zk2006-538. 4-P12-1	zk2006-538. 4-P12-1	62.99	0.00	22.09	0.12	0.01	0.00	3.94	9.17	0.77	0.19	1823 核
	zk2006-538. 4-P12-2	63.10	0.01	22.12	0.13	0.01	0.00	3.98	8.97	0.77	0.20	2375
	zk2006-538. 4-P12-3	60.18	0.00	23.89	0.18	0.01	0.03	5.86	8.25	0.47	0.28	2007
	zk2006-538. 4-P12-4	63.09	0.00	22.23	0.15	0.00	0.00	4.01	8.88	0.61	0.20	1815
	zk2006-538. 4-P12-5	59.50	0.02	24.48	0.16	0.01	0.01	6.72	7.62	0.35	0.33	1968 边

续附表 6

Continued Appendix Table 6

岩性	测点号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	X _{Ab}	Sr (× 10 ⁻⁶)	
DP	zk2006-538. 4-P12-6	59.74	0.02	24.38	0.14	0.00	0.00	6.47	7.68	0.45	0.32		
	zk2006-538. 4-P12-7	62.64	0.00	22.34	0.19	0.00	0.00	4.38	8.95	0.56	0.21		
	zk2006-538. 4-P12-8	62.70	0.00	22.31	0.18	0.02	0.00	4.21	9.36	0.44	0.20		
	zk2006-538. 4-P12-9	62.59	0.00	22.44	0.17	0.01	0.00	4.39	9.30	0.55	0.21		
	zk2006-538. 4-P12-10	61.64	0.00	23.02	0.22	0.01	0.01	4.94	8.90	0.48	0.24	边	
	zk2602-402. 1-P14-1	61.33	0.00	23.35	0.13	0.00	0.00	5.17	8.57	0.26	0.25	核	1779
	zk2602-402. 1-P14-2	61.72	0.00	23.45	0.19	0.00	0.01	5.18	8.19	0.39	0.26		1872
	zk2602-402. 1-P14-3	61.14	0.00	23.46	0.13	0.00	0.00	5.30	8.29	0.38	0.26		1903
	zk2602-402. 1-P14-4	56.05	0.00	27.19	0.14	0.00	0.00	9.34	5.98	0.16	0.46		1671
	zk2602-402. 1-P14-5	61.95	0.00	23.80	0.24	0.01	0.03	5.20	8.55	0.33	0.25		2313
QMP	zk2602-402. 1-P14-6	62.01	0.03	22.80	0.13	0.00	0.00	4.56	8.91	0.32	0.22		1848
	zk2602-402. 1-P14-7	62.41	0.00	22.82	0.12	0.00	0.00	4.48	9.24	0.33	0.21	边	1693
	zk2602-396. 5-P11-1	60.57	0.00	24.19	0.13	0.02	0.00	6.10	8.48	0.26	0.28	核	1564
	zk2602-396. 5-P11-2	61.36	0.01	23.67	0.13	0.02	0.00	5.52	8.32	0.30	0.27		1612
	zk2602-396. 5-P11-3	62.46	0.00	22.93	0.18	0.02	0.00	4.42	8.40	0.36	0.23		1983
	zk2602-396. 5-P11-4	62.13	0.00	23.28	0.18	0.00	0.01	5.07	8.60	0.34	0.25		2374
	zk2602-396. 5-P11-5	62.18	0.00	22.94	0.18	0.00	0.00	4.62	9.09	0.36	0.22		1993
	zk2602-396. 5-P11-6	60.82	0.04	24.43	0.11	0.00	0.00	5.96	8.21	0.27	0.29		2444
	zk2602-396. 5-P11-7	60.12	0.01	24.52	0.23	0.01	0.01	6.29	7.95	0.31	0.30		1684
	zk2602-396. 5-P11-8	61.35	0.00	23.69	0.19	0.00	0.01	5.27	8.80	0.33	0.25		493
QMP	zk2602-396. 5-P11-9	62.56	0.02	23.14	0.17	0.00	0.00	4.52	8.89	0.38	0.22		
	zk2602-396. 5-P11-10	62.64	0.00	23.12	0.16	0.00	0.00	4.57	9.00	0.36	0.22	边	
	zk2602-396. 5-P12-1	62.77	0.00	23.35	0.18	0.01	0.01	4.73	8.87	0.38	0.23	核	1384
	zk2602-396. 5-P12-2	62.13	0.00	23.15	0.17	0.01	0.00	4.76	8.71	0.38	0.23		1536
	zk2602-396. 5-P12-3	60.23	0.02	24.40	0.18	0.00	0.01	6.30	7.78	0.30	0.31		1774
	zk2602-396. 5-P12-4	60.61	0.02	24.43	0.15	0.00	0.01	6.20	8.06	0.28	0.30		1532
zk2602-396. 5-P12-5	62.35	0.02	23.44	0.16	0.00	0.00	4.95	8.85	0.35	0.24		1881	
zk2602-396. 5-P12-6	63.18	0.00	23.37	0.15	0.00	0.01	4.62	9.02	0.38	0.22	边	1508	

续附表 6

Continued Appendix Table 6

岩性	测点号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	X _{An}	Si _T (×10 ⁻⁶)
QMP	zk2610-293.5-P12-1	62.58	0.00	22.92	0.16	0.00	0.00	4.72	8.30	0.87	0.24	1631
	zk2610-293.5-P12-2	62.40	0.04	23.07	0.23	0.02	0.02	4.71	8.55	0.87	0.23	1630
	zk2610-293.5-P12-3	60.89	0.00	23.82	0.16	0.00	0.00	5.64	7.85	0.69	0.28	1614
	zk2610-293.5-P12-4	60.81	0.02	23.69	0.17	0.00	0.00	5.75	7.69	0.73	0.29	1785
	zk2610-293.5-P12-5	61.32	0.00	23.68	0.17	0.00	0.00	5.65	8.16	0.73	0.28	1828
	zk2610-293.5-P12-6	60.16	0.00	24.12	0.18	0.01	0.00	6.13	7.48	0.68	0.31	1507
	zk2610-293.5-P12-7	62.09	0.00	23.15	0.17	0.00	0.02	4.97	8.30	0.84	0.25	1647
	zk2610-293.5-P12-8	60.55	0.00	24.23	0.16	0.00	0.00	6.07	7.77	0.66	0.30	
	zk2610-293.5-P12-9	62.82	0.00	22.70	0.13	0.00	0.00	4.53	8.68	0.93	0.22	
	zk2610-293.5-P12-10	63.27	0.00	22.87	0.19	0.00	0.00	4.42	8.80	0.99	0.22	
	zk2610-293.5-P12-11	62.69	0.01	22.72	0.15	0.00	0.00	4.51	8.76	0.93	0.22	
	zk2610-293.5-P12-12	61.89	0.04	23.35	0.19	0.00	0.00	5.25	7.98	0.80	0.27	
	zk2610-293.5-P12-13	61.14	0.02	24.01	0.20	0.00	0.01	5.63	8.03	0.73	0.28	
	zk2610-293.5-P12-14	61.47	0.04	23.52	0.21	0.00	0.03	5.24	8.33	0.78	0.26	
	zk2610-293.5-P12-15	62.02	0.01	22.39	0.18	0.00	0.00	4.44	8.47	0.83	0.22	
	zk2610-293.5-P12-16	62.77	0.01	22.18	0.20	0.01	0.01	3.64	9.16	0.73	0.18	
RDP	GJ19-143.4-PL5-1	61.24	0.01	24.02	0.16	0.00	0.00	5.65	8.40	0.33	0.27	1473
	GJ19-143.4-PL5-2	61.06	0.00	24.10	0.10	0.00	0.00	5.63	8.19	0.31	0.28	1695
	GJ19-143.4-PL5-3	63.17	0.01	23.00	0.14	0.01	0.02	4.44	9.34	0.38	0.21	1531
	GJ19-143.4-PL5-4	63.94	0.00	22.40	0.07	0.00	0.00	3.83	9.24	0.34	0.19	1714
	GJ19-143.4-PL5-5	59.45	0.02	23.76	0.11	0.01	0.00	5.81	7.77	0.32	0.29	
	GJ19-143.4-PL5-6	59.05	0.04	24.93	0.20	0.01	0.02	6.63	7.57	0.25	0.33	
	GJ19-143.4-PL5-7	60.08	0.01	24.33	0.18	0.00	0.00	6.05	7.79	0.25	0.30	
	GJ19-143.4-PL5-8	61.62	0.01	23.31	0.12	0.00	0.00	4.85	8.51	0.29	0.24	
	GJ19-143.4-PL5-9	62.24	0.00	22.75	0.19	0.01	0.00	4.39	9.20	0.39	0.21	

续附表 6

Continued Appendix Table 6

岩性	测点号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	X _{An}	Str(× 10 ⁻⁶)	
	GJ19-143.4-P17-1	61.23	0.01	23.92	0.08	0.00	0.04	5.45	8.42	0.51	0.26	核	1617
	GJ19-143.4-P17-2	61.36	0.00	23.31	0.07	0.02	0.01	5.35	8.34	0.53	0.26	核	1613
	GJ19-143.4-P17-3	58.64	0.00	24.98	0.13	0.00	0.00	7.15	7.06	0.36	0.36		2574
	GJ19-143.4-P17-4	60.00	0.00	23.71	0.16	0.01	0.00	6.05	7.91	0.37	0.30		2352
	GJ19-143.4-P17-5	60.20	0.00	23.77	0.19	0.01	0.00	5.87	8.08	0.39	0.29	边	2769
	GJ19-143.4-P17-6	58.25	0.00	25.03	0.31	0.00	0.04	7.05	7.18	0.29	0.35		
	GJ19-143.4-P17-7	60.07	0.00	24.08	0.27	0.00	0.01	6.12	8.00	0.30	0.30	边	
	zk2610-293.5-P11-1	61.11	0.01	24.13	0.19	0.00	0.00	5.69	8.13	0.30	0.28	核	1447
	zk2610-293.5-P11-2	62.62	0.02	22.83	0.13	0.00	0.01	4.52	8.91	0.34	0.22		1488
	zk2610-293.5-P11-3	61.85	0.01	23.09	0.19	0.01	0.00	5.03	8.49	0.38	0.25		1558
	zk2610-293.5-P11-4	61.94	0.00	23.26	0.17	0.00	0.00	5.02	8.68	0.37	0.24		1643
	zk2610-293.5-P11-5	61.84	0.00	22.76	0.17	0.00	0.00	4.67	8.67	0.41	0.23		1696
	zk2610-293.5-P11-6	62.52	0.00	22.65	0.16	0.02	0.00	4.44	9.14	0.40	0.21		1724
	zk2610-293.5-P11-7	61.22	0.00	23.98	0.17	0.00	0.00	5.56	7.81	0.35	0.28		1752
RDP	zk2610-293.5-P11-8	61.55	0.02	23.31	0.14	0.00	0.00	5.14	8.51	0.36	0.25		1668
	zk2610-293.5-P11-9	62.57	0.00	23.08	0.18	0.01	0.02	4.59	8.77	0.43	0.22	边	1950
													2177
													2480
													2331
													1544
													1586
													1650
													1676
													1628
													1764
													1577
													1666
													2287
													边