西藏玉龙斑岩铜矿带北段夏日多矿区始新世岩浆活动与成矿作用
——来自锆石U-Pb年龄、地球化学的证据

白 涛[1],樊炳良[2],肖 霞[1],张成江[1],冯德新[2]
BAI Tao[1], FAN Bingliang[2] , XIAO Xia[1] , ZHANG Chengjiang[1] , FENG Dexin[2]

1.成都理工大学地球科学学院,四川 成都 610059;
2.西藏自治区地质矿产勘查开发局地热地质大队,西藏 拉萨 850000
1. *Department of Geology*,*College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu* 610059, *Sichuan, China;*
2. *Geothermal Geological Survey Party, Tibet Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Lhasa* 850000, *Tibet, China*

摘要:在夏日多矿区识别出始新世黑云母二长花岗斑岩和石英闪长玢岩,确定其结晶年龄分别为41.6±0.3~41.7±0.3Ma和41.1±0.2~41.2±0.2Ma。首次在夏日多矿区厘定出始新世岩浆活动事件,并认为该矿区铜-钼成矿作用与该期构造-岩浆活动事件有关。岩石地球化学特征显示,黑云母二长花岗岩与石英闪长玢岩具有较一致的地球化学特征,均具有略高的SiO_2、富K_2O和Na_2O、较高的K_2O/Na_2O值及较低的TFeO含量,属于弱过铝质的高钾钙碱性-钾玄岩系列;相对亏损K、Ba、Nb、P、Ti,富集Th、U、Sr、Hf,具有高分异I型花岗岩特征;具高的Zr/Hf、Rb/Sr值和较低的Ti/Eu值。夏日多斑岩的形成与印度-亚洲大陆的陆-陆碰撞诱发大规模走滑系统引起下地壳拆沉,使软流圈物质上涌,引发富集地幔的部分熔融,产生的富集地幔岩浆上升底侵,并发生壳幔物质混染有关。

关键词:玉龙斑岩铜矿带;锆石U-Pb年龄;地球化学特征;夏日多;藏东
中图分类号:P618.41;P534.61+3 **文献标志码**:A **文章编号**:1671-2552(2019)02/03-0308-20

Bai T, Fan B L, Xiao X, Zhang C J, Feng D X. The Eocene magmatism and mineralization of Xiariduo rocks in the northern Yulong porphyry copper belt, Tibet: Evidence from zircon U-Pb geochronology and geochemistry. *Geoglogical Bulletin of China*, 2019, 38(2/3):308-327

Abstract: In this study, the authors identified the Eocene biotite monzonitic granite porphyry and quartz diorite porphyrite in the Xiariduo mining area, and obtained their crystallization ages of 41.6±0.3~41.7±0.3Ma and 41.1±0.2~41.2±0.2Ma respectively, thus determining the Eocene magmatic events in the Xiariduo mining area for the first time, with the Cu-Mo mineralization related to the structural-magmatic events. Rock geochemistry shows that biotite monzonitic granite porphyry and quartz diorite porphyrite have the same geochemical characteristics, with slightly higher SiO_2, rich K_2O and Na_2O, higher K_2O/Na_2O ratio and lower TFeO content, thus belonging to the weakly peraluminous and high potassium calc alkali-shoshonite series; in addition, they are relatively depleted in K, Ba, Nb, P, Ti and enriched in Th, U, Sr, Hf, thus having the characteristics of highly differentiated I-typed granite with high Zr/Hf, Rb/Sr ratios and low Ti/Eu ratio. The formation of Xiariduo porphyry was related to the mixing of shell and mantle material, which was caused by the collision between Indian plate and Asian plate inducing a large-scale sliding system, which caused the sinking of the lower crust, the swelling of the soft-flow ring material, the partial melting of the enriched mantle, and the increasing accumulation of mantle magma.

Key words: Yulong porphyry copper belt; zircon U-Pb age; geochemical characteristics; Xiariduo; eastern Tibet

收稿日期:2018-08-03;**修订日期**:2018-10-22
作者简介:白涛(1972-),男,硕士,助理研究员,固体矿产勘查专业。E-mail:121896254@qq.com
通讯作者:樊炳良(1988-),男,硕士,助理工程师,固体矿产勘查专业。E-mail:373705243@qq.com

玉龙斑岩铜矿带位于青藏高原东部的“三江”地区,是特提斯-喜马拉雅成矿域的重要组成部分,带内铜、钼、铅、锌、银等金属矿产资源十分丰富,是中国重要的铜矿储量基地,也是世界三大斑岩铜矿带的重要组成部分。玉龙斑岩铜矿带位于藏东印支期褶皱系统中部字嘎断裂以西的燕山隆起区,南北延伸长约400km,东西宽30~70km,总体呈北北西向延展[1]。矿带内除玉龙、多霞松多、扎那尕、马拉松多、莽总等少数大中型矿床研究程度较高外[2-13],北段的恒星错、夏日多[14-15]及南段的各贡弄[16]、色礼、色错等矿(化)点仅做过不同程度的踏勘、矿点检查等评价工作,研究程度总体较低。过去的研究工作主要集中在玉龙斑岩体及其以南地区,对玉龙斑岩体北段的恒星错、夏日多等岩体研究很少。

21世纪以来,以陆-陆碰撞理论为指导思想,围绕碰撞造山带内找矿工作取得了重大突破。张金树等[17]认为,玉龙成矿带内玉龙铜矿床的北西地区,从玉龙→恒星错→夏日多,具有良好的找矿前景。因此,探讨夏日多岩体是否为玉龙含矿斑岩体的北延部分,以及斑岩体自身的成矿潜力等问题,研究夏日多岩体的地质特征、岩石地球化学特征、成岩年代学特征、岩石成因等显得尤为重要。本文通过野外地质调查工作,结合岩相学、同位素年代学及岩石地球化学研究,分析总结夏日多岩体的岩石地球化学特征,结合锆石U-Pb测年技术,厘定岩浆活动期次,探讨夏日多岩体成因及成岩成矿地质背景。

1　地质概况

印度板块与欧亚板块的陆-陆碰撞,造就了雅鲁藏布江缝合带,在大规模的碰撞下,形成一系列新生代走滑拉分盆地,以及金沙江等大规模走滑断裂系统(图1)。玉龙斑岩铜矿带呈北西—南东向展布,属哀牢山-金沙江新生代富碱斑岩带的一部分,其北东侧为贡觉盆地,南西侧为囊谦盆地和拉羌盆地[9-10]。迄今为止,矿带内已相继发现一系列(超)大中型斑岩型铜矿床,如玉龙、马拉松多、多霞松多、莽总等,构成一条北西—南东向延伸约300km的铜-钼-金-银-铅-锌成矿带,成矿带的展布方向与区域构造迹线方向一致。带内主要成矿元素有Cu、Mo(Au)、Ag、Au、Pb、Zn、W、Bi等,区域上成矿元素的共生组合关系总体上表现为成矿带北段以铜-金-铅-锌矿化组合类型为主,如夏日多、恒星错等斑岩体;中段以铜-钼(金)矿化组合类型为主,如玉龙、马拉松多、多霞松多、莽总等斑岩体;南段以铜-钼-金-银矿化组合类型为主,如马牧普、遵喜、色礼等斑岩体。

夏日多斑岩铜钼矿点位于藏东昌都县拉多乡夏日多地区,产于夏日多背斜核部,呈不规则状岩株产出,出露面积约1.25km^2,侵位于古元古界宁多岩群(Pt_1nd)和中三叠统夏日多组(T_2x)中,接触边界呈犬牙交错状。根据野外地质调查发现,夏日多岩体由黑云母二长花岗斑岩和石英闪长玢岩组成,其中,石英闪长玢岩多以岩脉状分布于主岩体——黑云母二长花岗斑岩周围,出露面积约0.38km^2。黑云母二长花岗斑岩呈浅肉红色,斑状结构,块状构造,斑晶由斜长石、钾长石、石英、黑云母、普通角闪石等组成,基质为斜长石、石英和暗色矿物,副矿物为磁铁矿、榍石、磷灰石、锆石等;石英闪长玢岩呈灰色,斑晶由斜长石、石英、角闪石、黑云母等组成,基质为隐晶质,副矿物为磁铁矿、榍石、磷灰石、锆石等,蚀变矿物为绢云母、绿泥石、电气石等。

2　分析方法

根据野外地质调查的实际情况,在路线地质调查、剖面测制等野外工作系统取样的基础上,对夏日多岩体的13件样品进行了地球化学分析(主量、稀土和微量元素),并对PM01-7TW、PM01-14TW、PM02-4TW和PM02-5TW共4件样品进行测年分析。用于LA-ICP-MS锆石U-Pb测年分析的样品采集于夏日多岩体的主体部分及较大岩脉的中心部位(图2)。采集样品时挑选未风化、无(或较弱)蚀变的新鲜基岩约15kg。样品经碎样、电磁分选和重液淘洗的方法初步分选锆石单矿物,使用双目显微镜进行镜下手工挑选提纯,选出晶形较好、无破碎、无包体、具明显振荡环带的锆石晶体进行LA-ICP-MS U-Pb测年。

本文LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素分析在天津地质矿产研究所ICP-MS实验室完成,使用Glitter_ver 4.0程序计算同位素比值及元素含量,采用Com Pb Corr #3.17校正程序校正普通铅,U-Pb谐和图、年龄分布频率图绘制和年龄加权平均值计算采用Isoplot/Ex_ver 3程序完成。岩石主量、微量元素分析在自然资源部成都矿产资源监督检测中心完成,主量元素分析采用Prodigy型全谱直读型

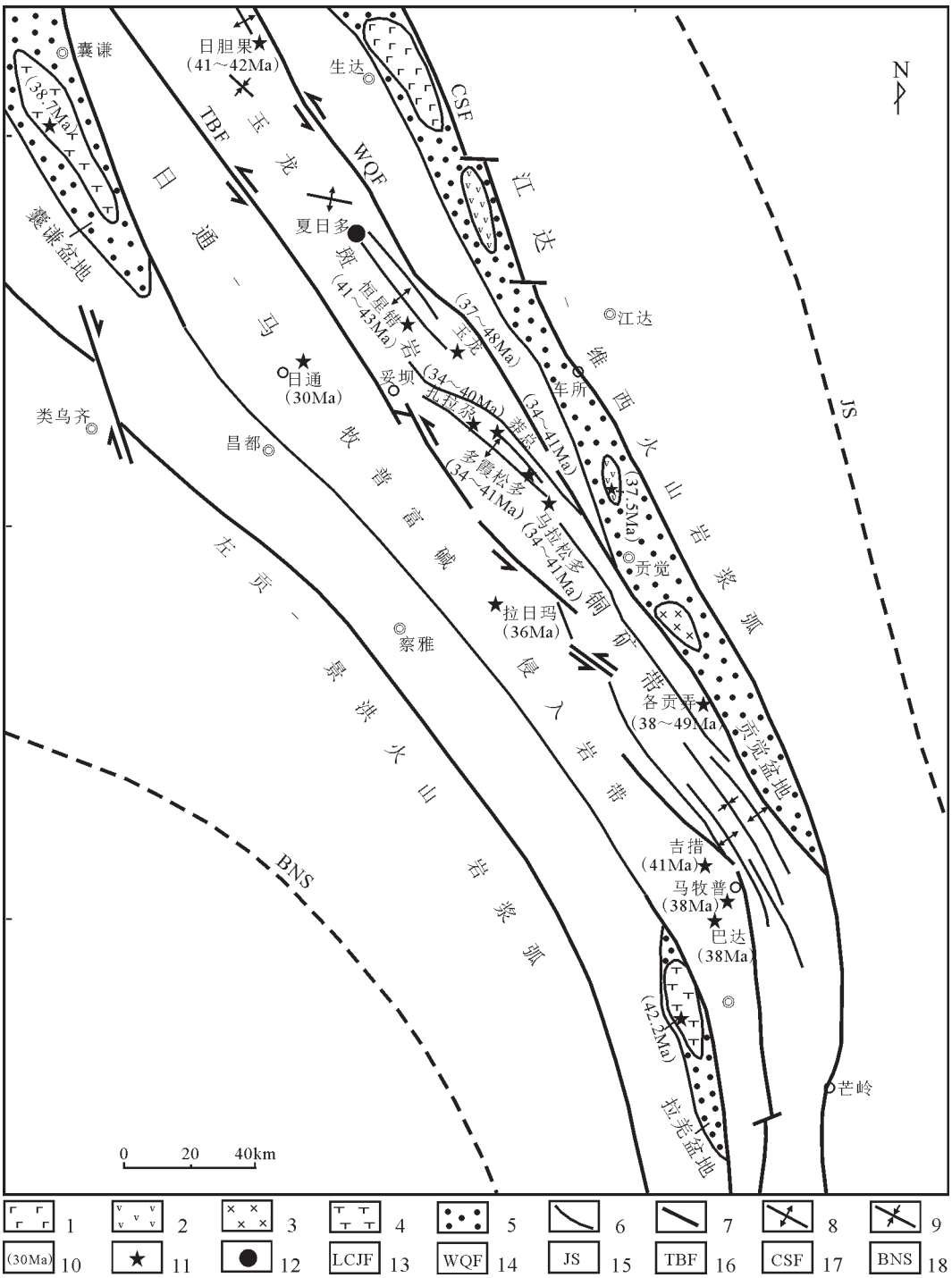

图1 玉龙斑岩铜矿带区域构造图(据参考文献[12]修改)

Fig. 1 Regional structural map of Yulong porphyry copper belt

1—玄武岩;2—粗面安山岩;3—富钾流纹岩;4—粗面岩;5—古-新近系红色碎屑层;6—地质界线;7—断裂构造;8—背斜;9—向斜;10—同位素年龄;11—含矿斑岩及岩体;12—夏日多岩体;13—澜沧江断裂;14—温泉走滑断裂;15—金沙江缝合带;16—妥坝走滑断裂;17—车所-德钦走滑断裂;18—班公湖-怒江缝合带

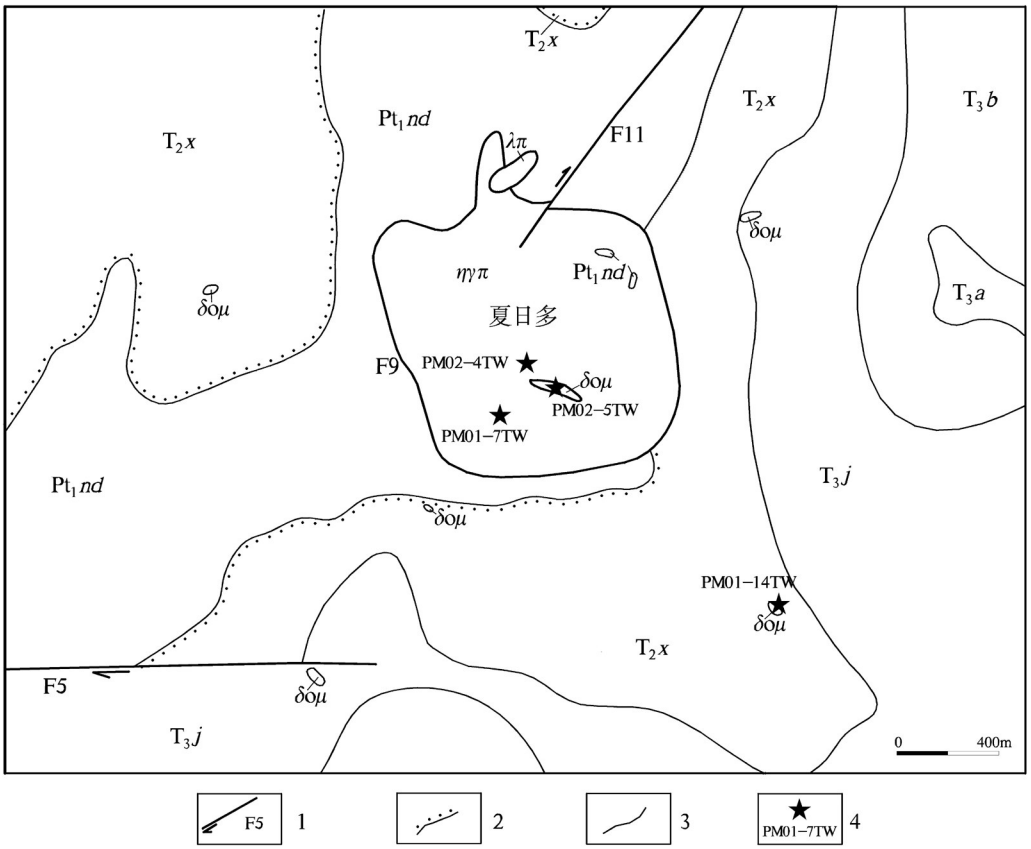

图2　玉龙斑岩铜矿带北段夏日多岩体地质略图

Fig. 2　Simplified geological map of Xiariduo rocks in northern Yulong porphyry copper belt

Pt_1nd—宁多岩群;T_2x—夏日多组;T_3j—甲丕拉组;T_3b—波里拉组;T_3a—阿堵拉组;δoμ—石英闪长玢岩;ηγπ—黑云母二长花岗斑岩;λπ—石英斑岩;1—断裂构造;2—角度不整合界线;3—地质界线;4—锆石样品采样位置及采样编号

发射光谱仪ICP-AES测试,分析精度达到实验要求,分析误差优于5%;微量元素分析采用Agilent 7500a ICP-MS分析仪器进行测试实验,分析误差一般在2%~5%之间。

3　分析结果

3.1　锆石U-Pb同位素组成

夏日多黑云母二长花岗斑岩(PM01-7TW、PM02-4TW)和石英闪长玢岩(PM01-14TW、PM02-5TW)锆石LA-ICP-MS U-Pb年龄数据见表1。黑云母二长花岗斑岩和石英闪长玢岩的锆石大多数呈长柱状,长宽比为3∶1~1.5∶1,粒度为100~250μm。阴极发光(CL)图像(图3)显示,锆石颜色呈灰黑色或黑色,振荡环带明显,说明所测锆石均为岩浆锆石。因此,样品锆石主群年龄可以代表岩体的结晶年龄。

样品PM01-7TW锆石的30个测点中有28个有效测点,其$^{206}Pb/^{238}U$年龄在41~44Ma之间,年龄加权平均值为41.7±0.3Ma(MSWD=2.3);样品PM02-4TW锆石的32个测点中有25个有效值,其$^{206}Pb/^{238}U$年龄在41~43Ma之间,年龄加权平均值为41.6±0.3Ma(MSWD=3.1);样品PM01-14TW锆石的37个测点中有33个有效值,其$^{206}Pb/^{238}U$年龄在40~42Ma之间,年龄加权平均值为41.2±0.2Ma(MSWD=1.4);样品PM02-5TW锆石的30个测点中有30个有效值,其$^{206}Pb/^{238}U$年龄在41~43Ma之间,年龄加权平均值为41.1±0.2Ma(MSWD=1.7)。4件典型样品的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄数据显示,黑云母二长花岗斑岩的结晶时代为41.6~41.7Ma,石英闪长玢岩的结晶时代为41.1~41.2Ma,

表1 玉龙斑岩铜矿带北段夏日多岩体LA-ICP-MS锆石U-Th-Pb同位素分析结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb isotopic data of the Xiariduo rocks in the northern Yulong porphyry copper belt

测点	含量/10^{-6}		同位素比值										年龄/Ma			
	Pb	U	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{208}Pb/^{232}Th$	1σ	$^{232}Th/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ
PM01-7TW样品，黑云母二长花岗斑岩																
PM01-7TW-1	11	1700	0.0065	0.0001	0.0427	0.0020	0.0478	0.0021	0.0024	0.0001	0.2944	0.0006	42	2	42	0.4
PM01-7TW-2	10	1598	0.0065	0.0001	0.0418	0.0011	0.0469	0.0012	0.0023	0.0001	0.3042	0.0012	42	1	42	0.4
PM01-7TW-3	18	2675	0.0065	0.0001	0.0419	0.0007	0.0466	0.0008	0.0020	0.0001	0.3631	0.0003	42	1	42	0.4
PM01-7TW-4	12	1754	0.0065	0.0001	0.0427	0.0010	0.0473	0.0011	0.0021	0.0001	0.3721	0.0008	42	1	42	0.4
PM01-7TW-5	15	2369	0.0065	0.0001	0.0421	0.0009	0.0468	0.0010	0.0021	0.0001	0.2875	0.0013	42	1	42	0.4
PM01-7TW-6	8	1248	0.0064	0.0001	0.0423	0.0013	0.0476	0.0014	0.0020	0.0001	0.4146	0.0013	42	1	41	0.4
PM01-7TW-7	11	1618	0.0065	0.0001	0.0411	0.0010	0.0459	0.0011	0.0021	0.0001	0.4216	0.0084	41	1	42	0.4
PM01-7TW-8	23	3625	0.0064	0.0001	0.0420	0.0007	0.0473	0.0007	0.0021	0.0001	0.2982	0.0005	42	1	41	0.4
PM01-7TW-9	16	2413	0.0065	0.0001	0.0428	0.0009	0.0482	0.0009	0.0020	0.0001	0.3856	0.0007	43	1	41	0.4
PM01-7TW-10	21	3305	0.0063	0.0001	0.0435	0.0007	0.0498	0.0007	0.0019	0.0001	0.4180	0.0023	43	1	41	0.4
PM01-7TW-11	11	1696	0.0064	0.0001	0.0422	0.0009	0.0477	0.0010	0.0020	0.0001	0.3165	0.0013	42	1	41	0.4
PM01-7TW-12	16	2472	0.0064	0.0001	0.0412	0.0007	0.0466	0.0008	0.0019	0.0001	0.3511	0.0010	41	1	41	0.4
PM01-7TW-13	3	447	0.0066	0.0001	0.0436	0.0035	0.0480	0.0038	0.0017	0.0001	1.1952	0.0112	43	3	42	0.5
PM01-7TW-14	18	2722	0.0064	0.0001	0.0416	0.0007	0.0470	0.0007	0.0018	0.0001	0.5192	0.0019	41	1	41	0.4
PM01-7TW-15	18	2666	0.0065	0.0001	0.0419	0.0008	0.0467	0.0008	0.0018	0.0001	0.4320	0.0026	42	1	42	0.4
PM01-7TW-16	25	2306	0.0110	0.0003	0.0714	0.0023	0.0473	0.0007	0.0021	0.0001	0.4248	0.0005	70	2	70	2.0
PM01-7TW-17	20	3006	0.0065	0.0001	0.0437	0.0008	0.0486	0.0009	0.0016	0.0001	0.6155	0.0013	43	1	42	0.4
PM01-7TW-18	16	2428	0.0064	0.0001	0.0427	0.0008	0.0485	0.0008	0.0016	0.0001	0.4580	0.0002	42	1	41	0.4
PM01-7TW-19	11	1655	0.0065	0.0001	0.0423	0.0012	0.0473	0.0013	0.0016	0.0001	0.3458	0.0015	42	1	42	0.4
PM01-7TW-20	26	698	0.0366	0.0004	0.2592	0.0038	0.0514	0.0007	0.0088	0.0001	0.5872	0.0007	234	3	231	2.0
PM01-7TW-21	15	2301	0.0064	0.0001	0.0425	0.0010	0.0485	0.0010	0.0017	0.0001	0.3645	0.0024	42	1	41	0.4

续表 1-1

测点	含量/10^{-6}		同位素比值										年龄/Ma			
	Pb	U	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{208}Pb/^{232}Th$	1σ	$^{232}Th/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ
PM01-7TW-22	7	1102	0.0065	0.0001	0.0436	0.0020	0.0486	0.0022	0.0015	0.0001	0.3402	0.0012	43	2	42	0.4
PM01-7TW-23	9	1508	0.0064	0.0001	0.0420	0.0010	0.0475	0.0011	0.0016	0.0001	0.3273	0.0008	42	1	41	0.4
PM01-7TW-24	17	2669	0.0065	0.0001	0.0417	0.0007	0.0468	0.0008	0.0014	0.0001	0.4834	0.0012	42	1	42	0.4
PM01-7TW-25	10	1517	0.0065	0.0001	0.0426	0.0013	0.0475	0.0012	0.0017	0.0001	0.2925	0.0006	42	1	42	0.4
PM01-7TW-26	20	3217	0.0065	0.0001	0.0419	0.0007	0.0468	0.0007	0.0013	0.0001	0.4338	0.0006	42	1	42	0.4
PM01-7TW-27	12	1918	0.0067	0.0001	0.0445	0.0014	0.0485	0.0010	0.0016	0.0001	0.3161	0.0012	44	1	43	0.5
PM01-7TW-28	19	3002	0.0067	0.0001	0.0429	0.0007	0.0468	0.0007	0.0017	0.0001	0.2845	0.0017	43	1	43	0.4
PM01-7TW-29	23	3352	0.0068	0.0001	0.0441	0.0007	0.0470	0.0007	0.0018	0.0001	0.3920	0.0034	44	1	44	0.5
PM01-7TW-30	13	1956	0.0067	0.0001	0.0434	0.0008	0.0468	0.0008	0.0018	0.0001	0.3738	0.0026	43	1	43	0.5
PM02-4TW样品，黑云母二长花岗斑岩																
PM02-4TW-1	8	1182	0.0064	0.0001	0.0407	0.0011	0.0465	0.0012	0.0028	0.0001	0.3228	0.0006	41	1	41	0.4
PM02-4TW-2	13	1954	0.0064	0.0001	0.0443	0.0009	0.0501	0.0009	0.0026	0.0001	0.3444	0.0074	44	1	41	0.4
PM02-4TW-3	9	1390	0.0064	0.0001	0.0424	0.0010	0.0480	0.0011	0.0026	0.0001	0.3159	0.0015	42	1	41	0.4
PM02-4TW-4	16	2355	0.0064	0.0001	0.0444	0.0009	0.0501	0.0009	0.0025	0.0001	0.4202	0.0020	44	1	41	0.4
PM02-4TW-5	7	1128	0.0063	0.0001	0.0440	0.0012	0.0503	0.0013	0.0023	0.0001	0.2750	0.0020	44	1	41	0.4
PM02-4TW-6	14	2148	0.0065	0.0001	0.0438	0.0008	0.049	0.0009	0.0023	0.0001	0.4062	0.0055	43	1	42	0.4
PM02-4TW-7	10	1474	0.0064	0.0001	0.0424	0.0010	0.0478	0.0011	0.0021	0.0001	0.4714	0.0024	42	1	41	0.4
PM02-4TW-8	16	2429	0.0066	0.0001	0.0441	0.0008	0.0485	0.0008	0.0020	0.0001	0.3225	0.0022	44	1	42	0.4
PM02-4TW-9	9	1477	0.0065	0.0001	0.0425	0.0011	0.0478	0.0012	0.0022	0.0001	0.2495	0.0005	42	1	41	0.4
PM02-4TW-10	10	1555	0.0065	0.0001	0.0417	0.0010	0.0468	0.0011	0.0020	0.0001	0.4248	0.0008	41	1	41	0.4
PM02-4TW-11	11	1667	0.0065	0.0001	0.0432	0.0008	0.0483	0.0009	0.0022	0.0001	0.4373	0.0086	43	1	42	0.4
PM02-4TW-12	8	1263	0.0065	0.0001	0.0420	0.0017	0.0467	0.0016	0.0023	0.0001	0.2981	0.0010	42	2	42	0.5

续表1-2

测点	含量/10^{-6}		同位素比值										年龄/Ma			
	Pb	U	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{208}Pb/^{232}Th$	1σ	$^{232}Th/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ
PM02-4TW-13	12	1914	0.0066	0.0001	0.0436	0.0011	0.048	0.0011	0.0018	0.0001	0.2859	0.0020	43	1	42	0.4
PM02-4TW-14	7	1058	0.0066	0.0001	0.0429	0.0009	0.0471	0.0010	0.0020	0.0001	0.3414	0.0004	43	1	42	0.4
PM02-4TW-15	13	1967	0.0064	0.0001	0.0440	0.0008	0.0500	0.0009	0.0020	0.0001	0.3574	0.0014	44	1	41	0.4
PM02-4TW-16	12	1793	0.0063	0.0001	0.0432	0.0009	0.0497	0.0010	0.0017	0.0001	0.4705	0.0046	43	1	41	0.4
PM02-4TW-17	11	1816	0.0063	0.0001	0.0435	0.0013	0.0499	0.0014	0.0018	0.0001	0.3519	0.0008	43	1	41	0.4
PM02-4TW-18	8	1210	0.0064	0.0001	0.0431	0.0013	0.0488	0.0015	0.0020	0.0001	0.2951	0.0021	43	1	41	0.4
PM02-4TW-19	11	1635	0.0064	0.0001	0.0416	0.0010	0.0472	0.0010	0.0018	0.0001	0.4336	0.0027	41	1	41	0.4
PM02-4TW-20	15	2369	0.0065	0.0001	0.0430	0.0007	0.0476	0.0007	0.0018	0.0001	0.3606	0.0032	43	1	42	0.4
PM02-4TW-21	9	1362	0.0066	0.0001	0.0438	0.0014	0.0478	0.0013	0.0016	0.0001	0.3894	0.0025	44	1	43	0.5
PM02-4TW-22	10	1558	0.0064	0.0001	0.0437	0.0008	0.0493	0.0009	0.0016	0.0001	0.5664	0.0008	43	1	41	0.4
PM02-4TW-23	9	1351	0.0065	0.0001	0.0443	0.0011	0.0495	0.0011	0.0021	0.0001	0.2743	0.0005	44	1	42	0.4
PM02-4TW-24	17	759	0.0114	0.0001	0.5549	0.0092	0.3519	0.0047	0.0255	0.0007	0.3773	0.0018	448	7	73	0.8
PM02-4TW-25	20	1541	0.0089	0.0001	0.2675	0.0056	0.2185	0.0040	0.0152	0.0004	0.2915	0.0007	241	5	57	0.6
PM02-4TW-26	9	1309	0.0067	0.0001	0.0432	0.0015	0.0464	0.0015	0.0020	0.0001	0.2775	0.0008	43	1	43	0.4
PM02-4TW-27	12	1812	0.0067	0.0001	0.0442	0.0017	0.0478	0.0015	0.0021	0.0001	0.4240	0.0006	44	2	43	0.5
PM02-4TW-28	23	938	0.0123	0.0006	0.6577	0.0712	0.3892	0.0115	0.0388	0.0044	0.2965	0.0015	513	56	79	4.0
PM02-4TW-29	124	106	0.4314	0.0064	35.6916	0.7288	0.6001	0.0075	1.1273	0.0280	0.5758	0.0006	3658	75	2312	35.0
PM02-4TW-30	39	869	0.0181	0.0003	1.3228	0.0363	0.5308	0.0079	0.0835	0.0025	0.2845	0.0009	856	23	115	2.0
PM02-4TW-31	18	957	0.0106	0.0001	0.4152	0.0069	0.2854	0.0040	0.0258	0.0005	0.2948	0.0003	353	6	68	0.7
PM02-4TW-32	19	1708	0.009	0.0001	0.1800	0.0079	0.1447	0.0050	0.0178	0.0008	0.1500	0.0006	168	7	58	0.7
PM01-14TW样品，石英闪长玢岩																
PM01-14TW-1	17	1816	0.0095	0.0002	0.0633	0.0016	0.0484	0.0008	0.0025	0.0001	0.3889	0.0007	62	2	61	1.2

续表 1-3

测点	含量/10^{-6}		同位素比值										年龄/Ma			
	Pb	U	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{208}Pb/^{232}Th$	1σ	$^{232}Th/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ
PM01-14TW-2	9	1368	0.0065	0.0001	0.0416	0.0010	0.0465	0.0011	0.0020	0.0001	0.2789	0.0005	41	1	42	0.4
PM01-14TW-3	12	1911	0.0064	0.0001	0.0424	0.0008	0.0477	0.0008	0.0022	0.0001	0.2736	0.0005	42	1	41	0.4
PM01-14TW-4	13	1926	0.0066	0.0001	0.0434	0.0011	0.0477	0.0012	0.0020	0.0001	0.4617	0.0014	43	1	42	0.4
PM01-14TW-5	21	1894	0.0079	0.0001	0.1987	0.0030	0.1823	0.0023	0.0104	0.0002	0.3354	0.0011	184	3	51	0.5
PM01-14TW-6	10	1514	0.0065	0.0001	0.0431	0.0011	0.0481	0.0011	0.0023	0.0001	0.4014	0.0004	43	1	42	0.4
PM01-14TW-7	15	2297	0.0065	0.0001	0.0431	0.0010	0.0483	0.0011	0.0023	0.0001	0.2637	0.0013	43	1	42	0.4
PM01-14TW-8	14	2204	0.0064	0.0001	0.0426	0.0010	0.0482	0.0011	0.0023	0.0001	0.2857	0.0006	42	1	41	0.4
PM01-14TW-9	11	1747	0.0065	0.0001	0.0429	0.0011	0.0480	0.0012	0.0022	0.0001	0.3205	0.0006	43	1	42	0.4
PM01-14TW-10	10	1480	0.0065	0.0001	0.0424	0.0012	0.0477	0.0013	0.0022	0.0001	0.3097	0.0003	42	1	41	0.4
PM01-14TW-11	14	2202	0.0064	0.0001	0.0431	0.0010	0.0486	0.0011	0.0022	0.0001	0.2485	0.0004	43	1	41	0.4
PM01-14TW-12	10	1667	0.0064	0.0001	0.0431	0.0011	0.0489	0.0013	0.0021	0.0001	0.2450	0.0005	43	1	41	0.4
PM01-14TW-13	17	2639	0.0065	0.0001	0.0434	0.0008	0.0487	0.0008	0.0021	0.0001	0.2895	0.0009	43	1	42	0.4
PM01-14TW-14	12	1871	0.0065	0.0001	0.0420	0.0009	0.0470	0.0010	0.0021	0.0001	0.3231	0.0002	42	1	42	0.4
PM01-14TW-15	13	1992	0.0064	0.0001	0.0434	0.0010	0.0492	0.0011	0.0019	0.0001	0.4079	0.0025	43	1	41	0.4
PM01-14TW-16	7	1009	0.0065	0.0001	0.0421	0.0017	0.0473	0.0018	0.0018	0.0001	0.4572	0.0012	42	2	41	0.4
PM01-14TW-17	16	2479	0.0065	0.0001	0.0438	0.0009	0.0492	0.0010	0.0019	0.0001	0.3081	0.0008	43	1	41	0.4
PM01-14TW-18	16	431	0.0372	0.0004	0.2606	0.0046	0.0508	0.0008	0.0106	0.0002	0.4276	0.0008	235	4	236	2.4
PM01-14TW-19	11	1881	0.0063	0.0001	0.0407	0.0009	0.0472	0.0011	0.0017	0.0001	0.2693	0.0013	41	1	40	0.4
PM01-14TW-20	12	1966	0.0064	0.0001	0.0437	0.0009	0.0500	0.0010	0.0015	0.0001	0.4459	0.0010	43	1	41	0.4
PM01-14TW-21	21	3433	0.0064	0.0001	0.0412	0.0007	0.0468	0.0007	0.0015	0.0001	0.2585	0.0011	41	1	41	0.4
PM01-14TW-22	12	1851	0.0064	0.0001	0.0420	0.0009	0.0477	0.0009	0.0015	0.0001	0.3181	0.0012	42	1	41	0.4
PM01-14TW-23	9	1358	0.0064	0.0001	0.0412	0.0014	0.0467	0.0016	0.0016	0.0001	0.3801	0.0011	41	1	41	0.4
PM01-14TW-24	10	1565	0.0063	0.0001	0.0407	0.0016	0.0470	0.0015	0.0012	0.0001	0.3632	0.0003	41	2	40	0.4

续表1-4

测点	含量/10^{-6}		同位素比值										年龄/Ma			
	Pb	U	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{208}Pb/^{232}Th$	1σ	$^{232}Th/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ
PM01-14TW-25	14	2216	0.0063	0.0001	0.0415	0.0008	0.0476	0.0009	0.0016	0.0001	0.3686	0.0012	41	1	41	0.4
PM01-14TW-26	16	2482	0.0063	0.0001	0.0402	0.0007	0.0463	0.0008	0.0016	0.0001	0.4255	0.0007	40	1	40	0.4
PM01-14TW-27	15	2378	0.0063	0.0001	0.0400	0.0008	0.0465	0.0009	0.0016	0.0001	0.4280	0.0006	40	1	40	0.4
PM01-14TW-28	23	170	0.1235	0.0013	1.1053	0.0178	0.0649	0.0009	0.0282	0.0004	0.9325	0.0010	756	12	751	7.9
PM01-14TW-29	13	2016	0.0064	0.0001	0.0430	0.0008	0.0485	0.0009	0.0017	0.0001	0.3715	0.0020	43	1	41	0.4
PM01-14TW-30	13	2121	0.0063	0.0001	0.0412	0.0008	0.0471	0.0008	0.0017	0.0001	0.3475	0.0013	41	1	41	0.4
PM01-14TW-31	9	1502	0.0064	0.0001	0.0438	0.0012	0.0499	0.0013	0.0017	0.0001	0.3227	0.0002	44	1	41	0.4
PM01-14TW-32	9	1449	0.0064	0.0001	0.0444	0.0011	0.0501	0.0012	0.0019	0.0001	0.2619	0.0017	44	1	41	0.4
PM01-14TW-33	11	1660	0.0064	0.0001	0.0416	0.0009	0.0470	0.0010	0.0018	0.0001	0.4612	0.0041	41	1	41	0.4
PM01-14TW-34	16	2430	0.0064	0.0001	0.0419	0.0007	0.0474	0.0008	0.0017	0.0001	0.3880	0.0009	42	1	41	0.4
PM01-14TW-35	11	1705	0.0064	0.0001	0.0424	0.0009	0.0480	0.0010	0.0017	0.0001	0.3755	0.0013	42	1	41	0.4
PM01-14TW-36	12	1854	0.0064	0.0001	0.0422	0.0009	0.0477	0.0009	0.0018	0.0001	0.3066	0.0005	42	1	41	0.4
PM01-14TW-37	20	3119	0.0063	0.0001	0.0410	0.0007	0.0471	0.0007	0.0018	0.0001	0.4661	0.0026	41	1	41	0.4
PM02-5TW样品，石英闪长玢岩																
PM02-5TW-1	8	1209	0.0063	0.0001	0.0435	0.0016	0.0502	0.0018	0.0020	0.0001	0.3226	0.0007	43	2	40	0.4
PM02-5TW-2	12	1863	0.0063	0.0001	0.0409	0.0022	0.0468	0.0021	0.0016	0.0001	0.3897	0.0020	41	2	41	0.5
PM02-5TW-3	9	1464	0.0063	0.0001	0.0430	0.0014	0.0495	0.0015	0.0018	0.0001	0.3647	0.0011	43	1	41	0.4
PM02-5TW-4	6	949	0.0063	0.0001	0.0428	0.0020	0.0491	0.0023	0.0021	0.0001	0.3052	0.0009	43	2	41	0.5
PM02-5TW-5	11	1658	0.0063	0.0001	0.0430	0.0012	0.0495	0.0014	0.0017	0.0001	0.4149	0.0008	43	1	41	0.4
PM02-5TW-6	8	1222	0.0064	0.0001	0.0405	0.0016	0.0461	0.0019	0.0018	0.0001	0.4035	0.0016	40	2	41	0.5
PM02-5TW-7	12	1800	0.0063	0.0001	0.0412	0.0011	0.0473	0.0013	0.0018	0.0001	0.4298	0.0011	41	1	41	0.4
PM02-5TW-8	19	2917	0.0064	0.0001	0.0429	0.0008	0.0484	0.0009	0.0018	0.0001	0.4004	0.0009	43	1	41	0.4
PM02-5TW-9	12	1780	0.0064	0.0001	0.0430	0.0011	0.0489	0.0012	0.0018	0.0001	0.4357	0.0010	43	1	41	0.4

续表 1-5

测点	含量/10^{-6}		同位素比值										年龄/Ma			
	Pb	U	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{208}Pb/^{232}Th$	1σ	$^{232}Th/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ
PM02-5TW-10	14	2128	0.0064	0.0001	0.0420	0.0011	0.0476	0.0012	0.0018	0.0001	0.4228	0.0018	42	1	41	0.4
PM02-5TW-11	8	1236	0.0064	0.0001	0.0425	0.0016	0.0484	0.0019	0.0019	0.0001	0.3481	0.0003	42	2	41	0.4
PM02-5TW-12	13	1933	0.0064	0.0001	0.0437	0.0011	0.0498	0.0012	0.0017	0.0001	0.5464	0.0016	43	1	41	0.4
PM02-5TW-13	11	1752	0.0065	0.0001	0.0430	0.0010	0.0477	0.0011	0.0019	0.0001	0.3843	0.0033	43	1	42	0.4
PM02-5TW-14	12	1926	0.0064	0.0001	0.0430	0.0012	0.0485	0.0013	0.0019	0.0001	0.2754	0.0009	43	1	41	0.4
PM02-5TW-15	13	1960	0.0066	0.0001	0.0434	0.0012	0.0480	0.0012	0.0017	0.0001	0.3165	0.0005	43	1	42	0.4
PM02-5TW-16	16	2476	0.0065	0.0001	0.0421	0.0009	0.0470	0.0009	0.0017	0.0001	0.3657	0.0016	42	1	42	0.4
PM02-5TW-17	9	1449	0.0064	0.0001	0.0436	0.0013	0.0493	0.0014	0.0014	0.0001	0.2566	0.0005	43	1	41	0.4
PM02-5TW-18	14	2140	0.0065	0.0001	0.0421	0.0012	0.0467	0.0012	0.0014	0.0001	0.5246	0.0011	42	1	42	0.4
PM02-5TW-19	16	2441	0.0066	0.0001	0.0429	0.0011	0.0473	0.0012	0.0015	0.0001	0.3594	0.0090	43	1	42	0.4
PM02-5TW-20	16	2495	0.0065	0.0001	0.0425	0.0008	0.0473	0.0009	0.0016	0.0001	0.3888	0.0017	42	1	42	0.4
PM02-5TW-21	10	1611	0.0064	0.0001	0.0414	0.0009	0.0468	0.0010	0.0014	0.0001	0.4250	0.0010	41	1	41	0.4
PM02-5TW-22	10	1587	0.0064	0.0001	0.0425	0.0012	0.0482	0.0013	0.0016	0.0001	0.4355	0.0019	42	1	41	0.4
PM02-5TW-23	17	2711	0.0063	0.0001	0.0424	0.0008	0.0487	0.0009	0.0015	0.0001	0.4797	0.0019	42	1	41	0.4
PM02-5TW-24	10	1640	0.0063	0.0001	0.0408	0.0011	0.0466	0.0012	0.0015	0.0001	0.2957	0.0003	41	1	41	0.4
PM02-5TW-25	14	2208	0.0064	0.0001	0.0410	0.0009	0.0467	0.0010	0.0015	0.0001	0.4352	0.0015	41	1	41	0.4
PM02-5TW-26	17	2739	0.0063	0.0001	0.0418	0.0007	0.0478	0.0007	0.0015	0.0001	0.4588	0.0015	42	1	41	0.4
PM02-5TW-27	15	2349	0.0063	0.0001	0.0419	0.0008	0.0482	0.0009	0.0015	0.0001	0.3820	0.0005	42	1	41	0.4
PM02-5TW-28	14	2148	0.0063	0.0001	0.0432	0.0010	0.0497	0.0011	0.0016	0.0001	0.5186	0.0016	43	1	40	0.4
PM02-5TW-29	20	3241	0.0063	0.0001	0.0402	0.0007	0.0464	0.0007	0.0016	0.0001	0.4541	0.0006	40	1	40	0.4
PM02-5TW-30	19	3038	0.0063	0.0001	0.0406	0.0007	0.0467	0.0007	0.0015	0.0001	0.3925	0.0014	40	1	40	0.4

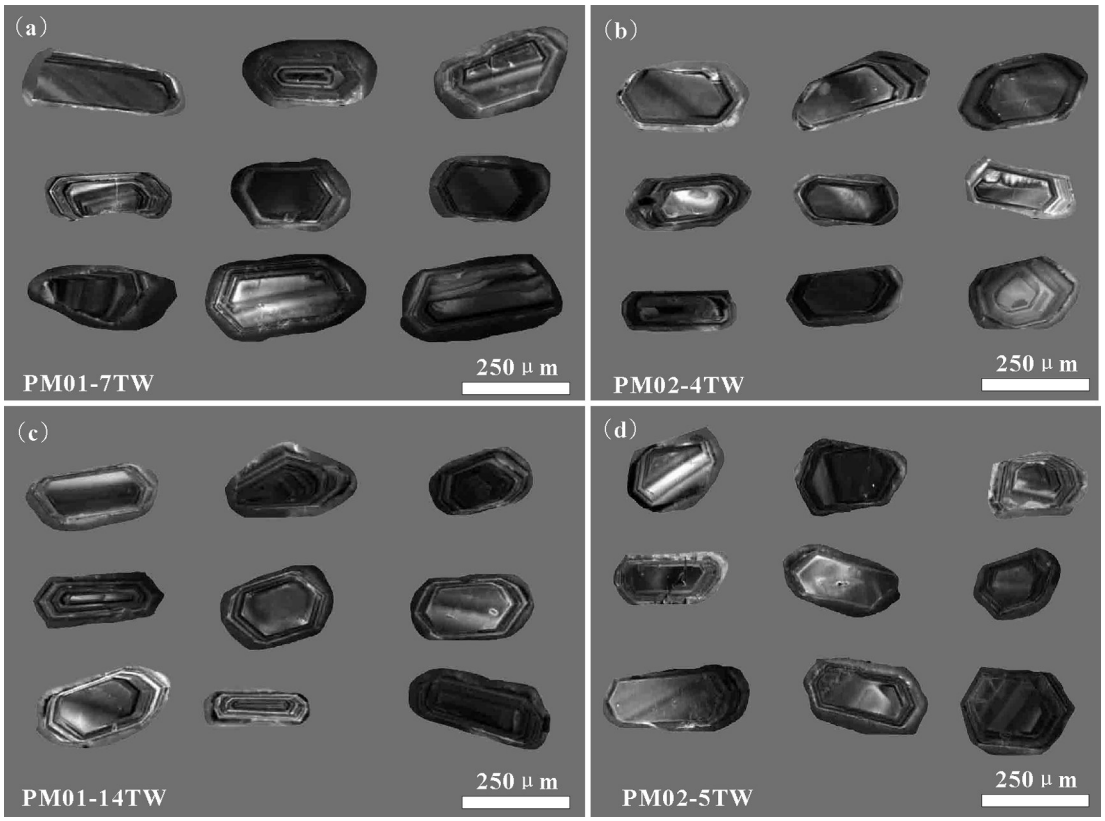

图3 玉龙斑岩铜矿带北段夏日多岩体代表性锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 3 Zircon CL images of the Xiariduo rocks in northern Yulong porphyry copper belt

2组年龄相差不大(图4),暗示夏日多地区的岩浆活动较集中,具有较统一的地球动力学背景,均形成于始新世。

3.2 主量元素

夏日多矿区黑云母二长花岗斑岩和石英闪长玢岩的主量元素分析结果见表2。始新世黑云母二长花岗斑岩地球化学特征显示:①SiO_2含量为68.54%~72.78%,平均70.05%,属于酸性岩类;②Na_2O含量为1.28%~3.65%,平均3.07%,K_2O含量普遍较高,介于3.68%~6.40%之间,平均4.56%,全碱含量(Na_2O+K_2O)为6.87%~8.38%,平均7.62%,K_2O/Na_2O值介于1.05~5.00之间,平均1.71,属高钾系列,在SiO_2-K_2O图解(图5-a)中,样品点大部分落入高钾钙碱性系列范围,少数落在钾玄岩系列与高钾钙碱性系列界线附近,总体显示高钾的特点;③Al_2O_3含量为13.82%~15.21%,平均14.24%,A/CNK(铝饱和指数)为0.88~1.29,平均1.05,显示准铝质-弱过铝质花岗岩的特征(图5-b);④MgO含量较低,为0.70%~1.71%,平均1.31%;⑤P_2O_5含量较低,为0.12%~0.18%,平均0.15%,TiO_2含量为0.28%~0.44%,平均0.35%。

始新世石英闪长玢岩地球化学特征显示:①SiO_2含量为67.50%~69.78%,平均68.495%,属于中-酸性岩类;②Na_2O含量为2.50%~3.22%,平均2.83%,K_2O含量普遍较高,为4.22%~5.22%,平均4.76%,全碱含量(Na_2O+K_2O)为7.35%~8.00%,平均7.60%,K_2O/Na_2O值为1.31~1.94,平均1.71,属高钾系列,在SiO_2-K_2O图解(图5-a)中,样品点大部分落入钾玄岩系列范围,少数落在钾玄岩系列与高钾钙碱性系列界线附近,体现了高钾的特点;③Al_2O_3含量为14.65%~15.24%,平均15.02%,A/CNK(铝饱和指数)为1.13~1.24,平均1.20,显示弱过铝质花岗岩类的特征(图5-b);④MgO含量较低,为1.14%~1.40%,平均1.29%;⑤P_2O_5含量较低,为0.11%~0.17%,平均0.14%,TiO_2含量为0.26%~0.40%,平均0.33%。

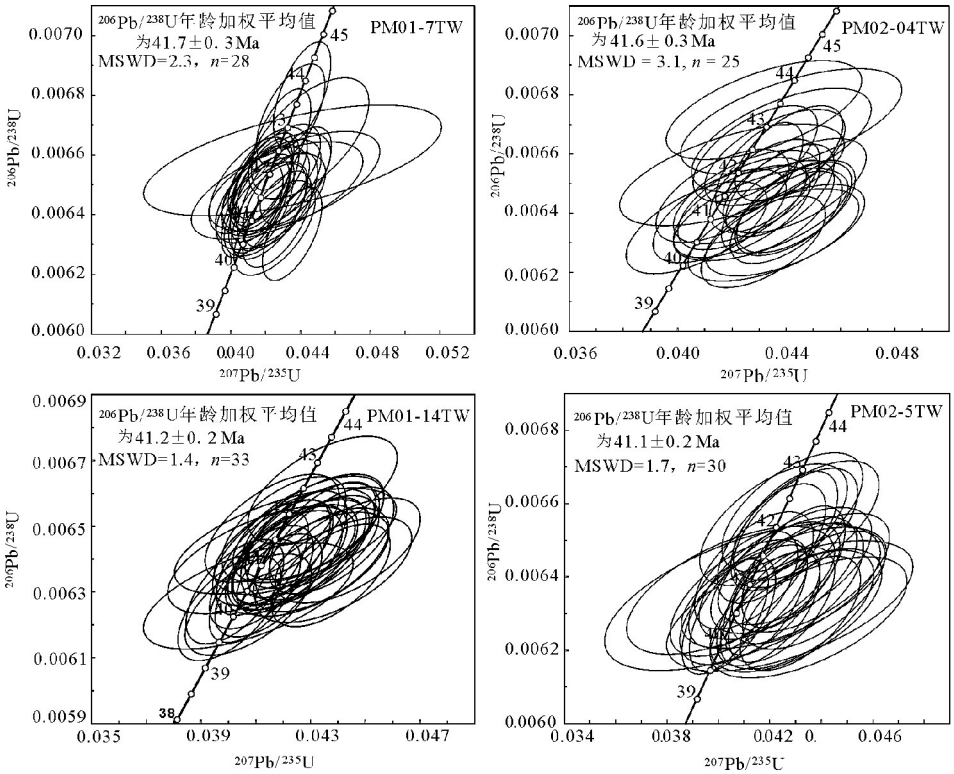

图4　玉龙斑岩铜矿带北段夏日多岩体LA-ICP-MS锆石U-Pb谐和图

Fig. 4　LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams for Xiariduo rocks in northern Yulong porphyry copper belt

根据上述2种岩石的地球化学特征可以得出，夏日多矿区黑云母二长花岗斑岩与石英闪长玢岩具有较一致的主量元素含量，其变化特征也具有一致性，间接地反映2种岩石可能为同一岩浆演化而来。与玉龙成矿带含矿斑岩相比，其岩石类型和岩石地球化学特征相似[10]，表现为略高的SiO_2、富K_2O和Na_2O、较高的K_2O/Na_2O值及较低的TFeO含量，属于弱过铝质的高钾钙碱性-钾玄岩系列。

3.3　微量和稀土元素

夏日多岩体样品微量和稀土元素测试结果表

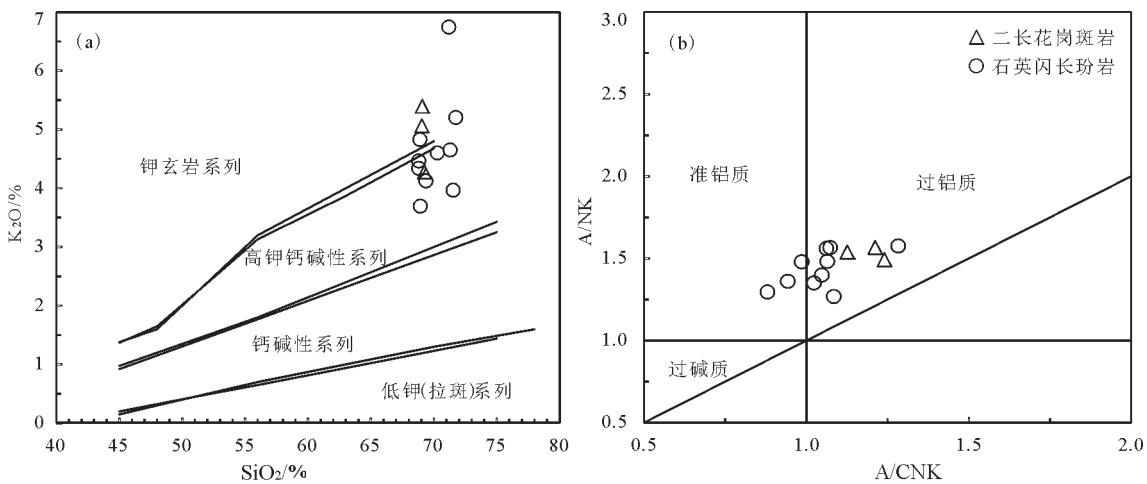

图5　玉龙斑岩铜矿带北段夏日多岩体SiO_2-K_2O图解(a)和A/CNK-A/NK图解(b)

Fig. 5　SiO_2-K_2O(a)and A/CNK-A/NK(b)plots of the Xiariduo rock in northern Yulong porphyry copper belt

明(表2),始新世黑云母二长花岗斑岩稀土元素总量∑REE(不含Y)=82.47×10^{-6}~179.16×10^{-6},平均143.93×10^{-6};LREE(轻稀土元素)为74.64×10^{-6}~164.96×10^{-6},HREE(重稀土元素)为7.83×10^{-6}~14.20×10^{-6},LREE/HREE值为9.03~12.61,$(La/Yb)_N$=8.03~18.10,较高,平均14.61。始新世石英闪长玢岩∑REE(不含Y)=84.28×10^{-6}~126.98×10^{-6},平均108.44×10^{-6};LREE为75.13×10^{-6}~116.18×10^{-6},HREE为8.42×10^{-6}~10.80×10^{-6},LREE/HREE值为8.21~12.55,具有较高的$(La/Yb)_N$值(7.11~16.39),平均11.82。上述2类岩石微量元素特征显示,轻、重稀土元素分异明显,球粒陨石标准化稀土元素配分曲线(图6-a、c)基本一致,表现为重稀土元素相对亏损,轻稀土元素强富集的右倾型。2类岩石样品均具有负Ce异常(平均值分别为0.75和0.76),黑云母二长花岗斑岩δEu值(0.98~1.92,平均1.12)表现为弱正异常,石英闪长玢岩δEu值(1.08~1.52,平均1.30)表现为较强的弱正异常。

黑云母二长花岗斑岩和石英闪长玢岩原始地幔标准化微量元素蛛网图(图6-b、d)显示,2类岩石的曲线模式一致,均向右陡倾,暗示随着元素的不相容性增加,元素的富集程度呈几何级增加;两者均表现出K、Ba、Nb、P、Ti等亏损,Th、U、Sr、Hf等元素富集的特征。

4 讨 论

4.1 夏日多岩体形成时代

玉龙斑岩铜矿带北段夏日多岩体一直未有测年工作的报道。本次研究表明,黑云母二长花岗斑岩的锆石U-Pb年龄为41.6±0.3~41.7±0.3Ma,代表其结晶成岩年龄为始新世,石英闪长玢岩锆石U-Pb年龄为41.1±0.2~41.2±0.2Ma,代表其结晶成岩年龄亦为始新世,4组年龄值相差不大,地球化学习性也相近,暗示夏日多地区的岩浆活动较集中,具有较统一的地球动力学背景。玉龙含矿斑岩体的年龄为41.0±1.0~43.0±0.5Ma[13,19-20],玉龙斑岩铜

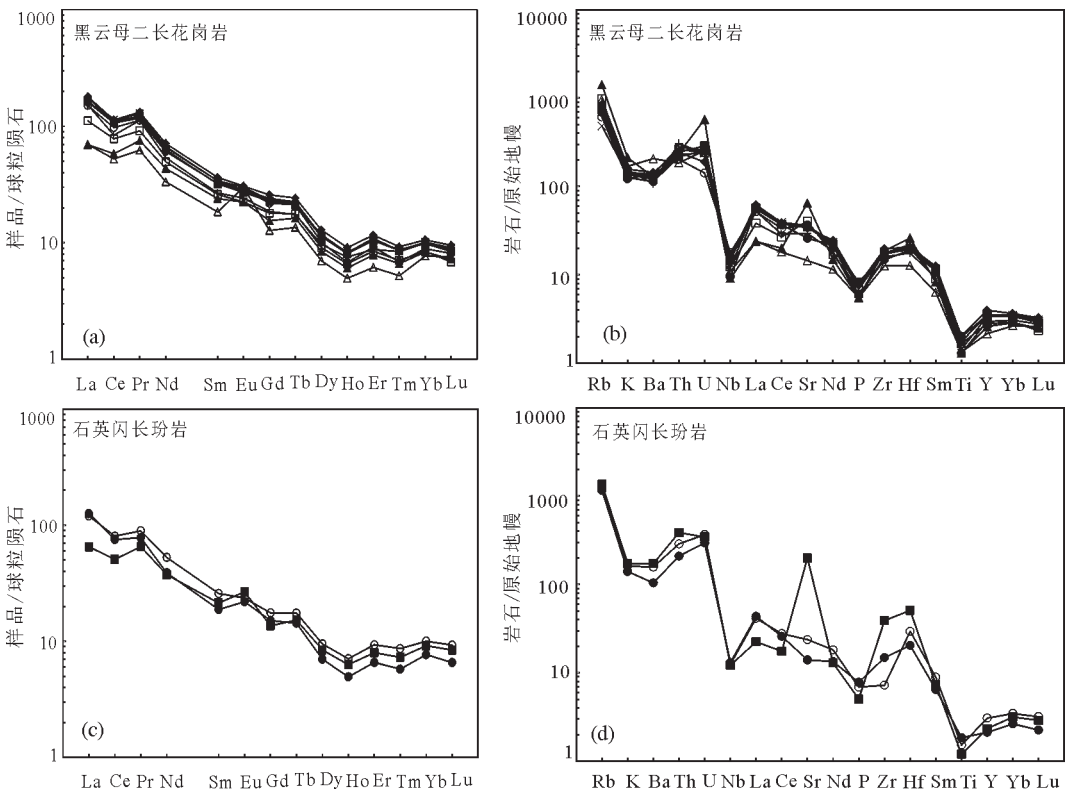

图6 玉龙斑岩铜矿带北段夏日多岩体球粒陨石标准化稀土元素配分图(a、c)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b、d)
(标准化值据参考文献[18])

Fig. 6 Chondrite-normalized rare earth element patterns (a,c) and primitive mantle-normalized trace element spidergrams(b,d) of Xiariduo rocks in northern Yulong porphyry copper belt

表 2　玉龙斑岩铜矿带北段夏日多岩体主量、微量和稀土元素含量

Table 2　Abundances of major, trace and rare earth elements of the Xiariduo rocks in northern Yulong porphyry copper belt

样品名称	黑云母二长花岗斑岩										石英闪长玢岩		
样品编号	ZK0208-300	ZK0508-168	ZK0508-393	ZK0607-605	ZK0608-486	ZK0608-68	ZK0907-159	ZK0907-62	ZK0920-209	ZK0920-303	ZK0208-79	ZK0607-278	ZK0608-188
SiO_2	70.40	70.06	69.72	69.24	68.94	71.64	68.82	68.54	72.78	70.40	69.78	67.50	68.18
Al_2O_3	14.33	15.21	13.83	13.82	14.23	13.85	14.59	14.47	13.98	14.09	15.17	14.65	15.24
Fe_2O_3	0.61	1.15	1.15	0.57	0.68	0.33	1.04	1.43	0.79	1.02	1.88	2.23	1.98
FeO	0.56	1.24	1.39	1.29	0.57	0.77	1.46	1.26	1.03	1.39	0.34	0.59	0.53
CaO	2.30	2.51	2.77	2.56	1.12	1.01	1.91	2.09	1.81	2.51	1.97	1.49	1.12
MgO	0.70	1.54	1.70	1.14	1.05	1.20	1.34	1.71	1.08	1.63	1.40	1.34	1.14
K_2O	3.82	3.68	4.31	4.44	6.40	5.09	4.73	4.36	4.65	4.10	4.22	4.85	5.22
Na_2O	3.05	3.50	3.65	2.76	1.28	3.29	3.23	3.07	3.23	3.60	3.22	2.50	2.78
TiO_2	0.28	0.38	0.43	0.36	0.28	0.29	0.44	0.38	0.31	0.38	0.40	0.33	0.26
P_2O_5	0.13	0.16	0.18	0.15	0.12	0.12	0.17	0.17	0.12	0.15	0.17	0.15	0.11
MnO	0.014	0.030	0.036	0.019	0.019	0.015	0.020	0.021	0.023	0.029	0.017	0.013	0.011
烧失量	2.88	0.46	0.44	2.30	3.52	1.90	1.71	1.07	0.29	0.86	1.67	3.60	2.72
总计	99.07	99.92	99.61	98.65	98.21	99.51	99.46	98.57	100.09	100.16	100.24	99.24	99.29
Na_2O+K_2O	6.87	7.18	7.96	7.20	7.68	8.38	7.96	7.43	7.88	7.70	7.44	7.35	8.00
K_2O/Na_2O	1.25	1.05	1.18	1.61	5.00	1.55	1.46	1.42	1.44	1.14	1.31	1.94	1.88
石英(Q)	33.53	28.05	24.63	29.91	35.06	29.81	26.40	27.58	30.76	26.33	29.14	30.36	28.72
钙长石(An)	10.98	11.47	8.70	12.16	5.04	4.33	8.56	9.50	8.21	10.25	8.80	6.71	5.01
钠长石(Ab)	26.83	29.78	31.15	24.24	11.44	28.52	27.96	26.65	27.39	30.68	27.67	22.14	24.38
正长石(Or)	23.47	21.87	25.69	27.23	39.95	30.82	28.60	26.43	27.53	24.40	25.33	30.00	31.97
A(碱性长石)	41.75	41.40	48.96	43.99	50.11	55.83	50.12	46.03	48.63	46.00	45.87	48.09	53.05
P(斜长石)	19.53	21.72	16.58	19.64	6.32	7.84	15.00	16.55	14.50	19.33	15.93	10.76	8.31
刚玉(C)	1.36	1.30		0.18	3.64	1.41	1.12	1.34	0.63		2.16	3.07	3.36
透辉石(Di)			3.16							1.04			
紫苏辉石(Hy)	2.23	4.96	3.78	4.34	3.19	3.77	4.57	5.65	3.47	4.74	4.38	4.94	4.15
钛铁矿(Il)	0.55	0.73	0.82	0.71	0.56	0.56	0.85	0.74	0.59	0.73	0.77	0.66	0.51
磁铁矿(Mt)	0.73	1.48	1.66	0.86	0.83	0.49	1.54	1.70	1.15	1.49	1.35	1.76	1.62

续表2-1

样品名称	黑云母二长花岗斑岩										石英闪长玢岩		
样品编号	ZK0208-300	ZK0508-168	ZK0508-393	ZK0607-605	ZK0608-486	ZK0608-68	ZK0907-159	ZK0907-62	ZK0920-209	ZK0920-303	ZK0208-79	ZK0607-278	ZK0608-188
磷灰石(Ap)	0.31	0.37	0.42	0.36	0.29	0.28	0.40	0.40	0.28	0.35	0.40	0.36	0.26
合计	99.99	100.01	100.00	99.99	100.00	99.99	100.00	99.99	100.01	100.01	100.00	100.00	99.99
DI	83.83	79.70	81.47	81.38	86.45	89.15	82.96	80.66	85.68	81.41	82.14	82.50	85.07
SI	8.02	13.88	13.94	11.18	10.54	11.24	11.36	14.49	10.02	13.88	12.77	11.75	9.86
A/NK	1.57	1.56	1.30	1.48	1.58	1.27	1.40	1.48	1.35	1.36	1.54	1.57	1.49
A/CNK	1.08	1.06	0.88	0.99	1.29	1.09	1.05	1.07	1.03	0.94	1.13	1.21	1.24
AR	2.16	2.31	2.57	2.02	3.00	2.59	2.29	2.18	2.38	2.53	2.20	1.90	2.03
Cu	514.1	37.32	80.51	144.2	1037	301.4	152.5	529.4	170.8	90.95	46.71	2835	1175
Pb	19.77	38.43	35.05	29.9	44.39	12.84	39.21	37.61	34.29	26	19.37	238	30.71
Zn	93.7	118.5	155.3	93.2	182.8	80.3	89.9	105.8	92.6	78.01	113.6	147.7	73.17
Cr	43.2	50.77	54.53	49.27	34.39	46.21	51.97	58.66	50.87	48.32	47.7	45.7	34.19
Ni	19.29	32.13	32.31	28.52	22.09	17.27	28.6	36.19	22.93	27.68	24.35	28.55	19.81
Co	21.83	29.06	26.1	16.62	14.03	25.15	26.45	24.46	25.69	21.79	11.33	18.24	21.54
Li	27.44	40.39	32.44	29.42	39.71	21.99	36.43	41.59	14.94	19.21	56.01	29.44	30.01
Rb	438.1	388.9	496.3	624.3	900.3	606	514.8	540.9	467.4	305.9	735.7	756	861.6
Cs	49.6	19.45	41.9	60.07	41.93	40.52	43.82	41.8	31.17	27.12	94.66	67.5	70.93
W	177.9	145.9	138.6	114.2	189.9	243.7	176.4	168.3	257.1	168	122.54	134.7	143.8
Mo	50.26	14.4	3.035	215.4	9.741	201.1	0.284	209.5	2.006	2.493	1.422	1.851	49.84
As	12.58	1.91	2.61	3.5	18.79	3.07	2.66	4.26	2.29	2.78	21.32	21.03	13.21
Sb	0.69	0.42	0.54	1.33	7.76	0.47	0.45	0.43	0.25	0.35	0.49	1.25	0.41
Sr	549.6	773.7	735.8	853.4	1366	307	712.3	768.8	621.3	764	295.5	501	4202
Ba	792.82	971.6	878.93	877.48	896.17	1444.41	1007.98	961.03	754.55	846.44	726.29	1099.65	1201.11
Hf	5.91	5.91	6.07	6.23	8.04	3.93	6.4	6.81	5.49	6.15	6.32	9.11	15.68
Th	18.49	17.26	20.86	22.44	20.16	15.69	20.77	23.67	26.03	19.54	17.79	24.46	32.79
Zr	165.86	202.34	192.84	202.34	209.69	142.19	220.54	196.33	178.23	196.06	166.75	81.23	437.37
U	5.35	2.98	6.02	5.06	12.02	5.37	3.97	5.41	4.98	5	6.2	7.69	7.22
Nb	6.78	12.74	10.53	8.81	6.51	7.84	11.13	8.58	11.63	10.69	9.32	8.89	8.7

续表2-2

样品名称	黑云母二长花岗斑岩										石英闪长玢岩		
样品编号	ZK0208-300	ZK0508-168	ZK0508-393	ZK0607-605	ZK0608-486	ZK0608-68	ZK0907-159	ZK0907-62	ZK0920-209	ZK0920-303	ZK0208-79	ZK0607-278	ZK0608-188
Ta	0.47	1.64	0.77	0.89	0.43	0.76	0.91	0.58	0.96	0.76	1.17	1.13	1.47
F	1145.06	1145.06	1145.06	1351.54	1296.67	1468.35	1244.03	1351.54	856.7	1011.18	1296.67	1408.74	1530.49
B	33.31	7.92	28.99	24.59	35.77	24.7	14.46	11.02	9.73	8.15	122.22	31.08	31.91
La	38.17	35.68	39.11	26.35	16.42	16.53	42.5	41.64	36.02	38.25	29.87	28.44	15.45
Ce	65.27	59.58	66.09	47.71	35.55	32.05	69.31	67.65	51.25	69.55	46.04	49.25	31.13
Pr	11.18	10.67	11.37	8.685	7.153	5.915	12.55	11.6	10.66	12.17	7.439	8.504	6.211
Nd	28.92	28.33	29.36	23.14	20.27	15.59	33.25	30.71	25.14	31.31	18.15	24.66	17.52
Sm	4.926	4.942	4.882	3.976	3.666	2.814	5.567	5.196	4.09	5.197	2.88	3.955	3.276
Eu	1.597	1.655	1.572	1.296	1.297	1.736	1.779	1.736	1.405	1.645	1.273	1.367	1.546
Gd	4.747	4.498	4.683	3.684	3.176	2.618	5.303	4.811	3.817	4.93	3.111	3.62	2.799
Tb	0.785	0.792	0.791	0.663	0.608	0.507	0.906	0.821	0.653	0.838	0.536	0.655	0.57
Dy	2.569	2.985	2.871	2.309	2.14	1.778	3.273	2.907	2.456	2.896	1.783	2.416	2.14
Ho	0.384	0.467	0.457	0.373	0.343	0.281	0.515	0.463	0.427	0.465	0.28	0.401	0.357
Er	1.522	1.723	1.73	1.405	1.3	1.016	1.928	1.771	1.454	1.811	1.09	1.546	1.322
Tm	0.175	0.223	0.219	0.18	0.169	0.133	0.236	0.221	0.214	0.218	0.147	0.221	0.186
Yb	1.513	1.687	1.674	1.435	1.419	1.306	1.801	1.714	1.694	1.721	1.307	1.707	1.559
Lu	0.206	0.214	0.214	0.174	0.184	0.193	0.242	0.219	0.223	0.23	0.167	0.236	0.214
Y	13.49	16.18	15.93	12.82	11.84	9.834	18.15	16.1	15.44	16.03	9.645	13.97	10.62
ΣREE	161.96	153.45	165.02	121.38	93.70	82.47	179.16	171.46	139.50	171.23	114.07	126.98	84.28
LREE	150.06	140.86	152.38	111.16	84.36	74.64	164.96	158.53	128.57	158.12	105.65	116.18	75.13
HREE	11.90	12.59	12.64	10.22	9.34	7.83	14.20	12.93	10.94	13.11	8.42	10.80	9.15
LREE/HREE	12.61	11.19	12.06	10.87	9.03	9.53	11.61	12.26	11.75	12.06	12.55	10.76	8.21
$(La/Yb)_N$	18.10	15.17	16.76	13.17	8.30	9.08	16.93	17.43	15.25	15.94	16.39	11.95	7.11
δEu	1.00	1.05	0.99	1.02	1.13	1.92	0.99	1.04	1.07	0.98	1.29	1.08	1.52
δCe	0.77	0.74	0.76	0.77	0.80	0.79	0.73	0.74	0.63	0.79	0.74	0.77	0.78

注:主量元素含量单位为%,微量和稀土元素含量为10^{-6}

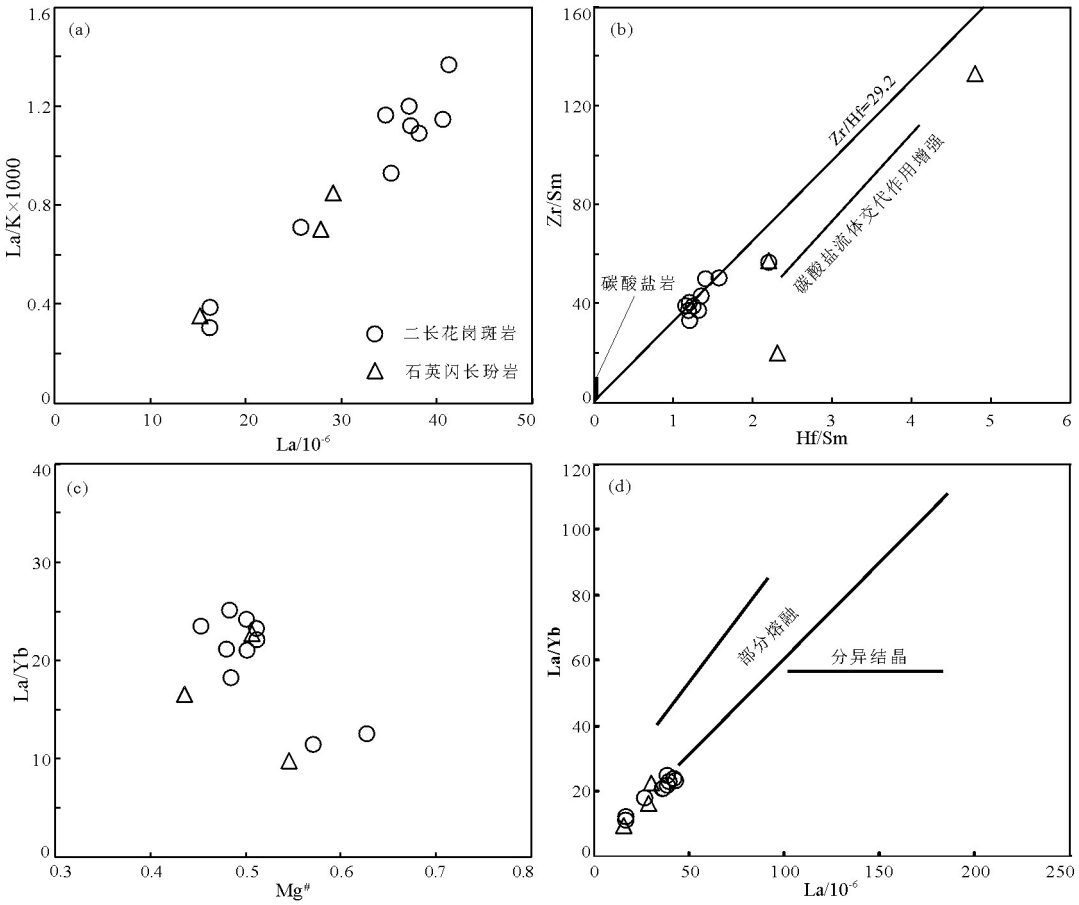

图7 玉龙斑岩铜矿带北段夏日多岩体La-La/K×1000(a)、Hf/Sm-Zr/Sm(b)、$Mg^{\#}$-La/Yb(c)和La-La/Yb图解(d)

Fig. 7 La-La/K×1000 (a), Hf/Sm-Zr/Sm(b), $Mg^{\#}$-La/Yb(c) and La-La/Yb(d) plots for the Xiariduo rocks in northern Yulong porphyry copper belt

矿中辉钼矿Re-Os年龄为41.6±1.4Ma[21],与夏日多岩体的年龄结果一致,说明夏日多矿区铜-钼多金属成矿作用主要与始新世的岩浆活动有关。

4.2 夏日多岩体岩浆源区及性质

夏日多黑云母二长花岗斑岩与石英闪长玢岩具有较一致的地球化学特征,成岩时代也相近,可能为同一岩浆不同演化阶段的产物。夏日多岩体为准铝质-弱过铝质岩石,具有较低的SiO_2(67.50%~72.78%)、全碱(6.87%~8.38%)、TFeO/MgO(0.95~2.39, <10)、Zr+Nb+Ce+Y(153.34×10^{-6}~487.82×10^{-6},平均275.72×10^{-6}, <350×10^{-6})及高的Sr(295.5×10^{-6}~4202×10^{-6},平均957.23×10^{-6})值,且随着SiO_2的增加,TFeO、MgO、CaO、TiO_2等呈递减趋势,样品均具较高的分异指数(79.70~89.15),总体表现出高分异I型花岗岩的特征。

随着SiO_2含量的变化,K_2O和全碱(Na_2O+K_2O)含量变化不大,相对稳定,从侧面反映了高钾钙碱性-钾玄岩系列岩石普遍具高钾的特点,暗示岩浆源区可能存在如金云母、富钾角闪石、钾长石等富钾的矿物相。岩石具明显的正-弱负Eu异常(图6),可以排除钾长石作为富钾矿物相的可能性;在La-La/K×1000图解(图7-a)中,La与La/K×1000明显呈正相关性,暗示岩浆源区存在金云母或富钾角闪石[22],与金云母平衡的熔体具有较低的Ba/Rb(<20)和较高的Rb/Sr(>0.1)值,而与角闪石平衡的熔体具有较高的Ba/Rb(>20)和较低的Rb/Sr(<0.06)值[23],夏日多岩体具有较高的Rb/Sr值(0.21~2.49)和较低的Ba/Rb值(0.99~2.77),表明岩浆源区

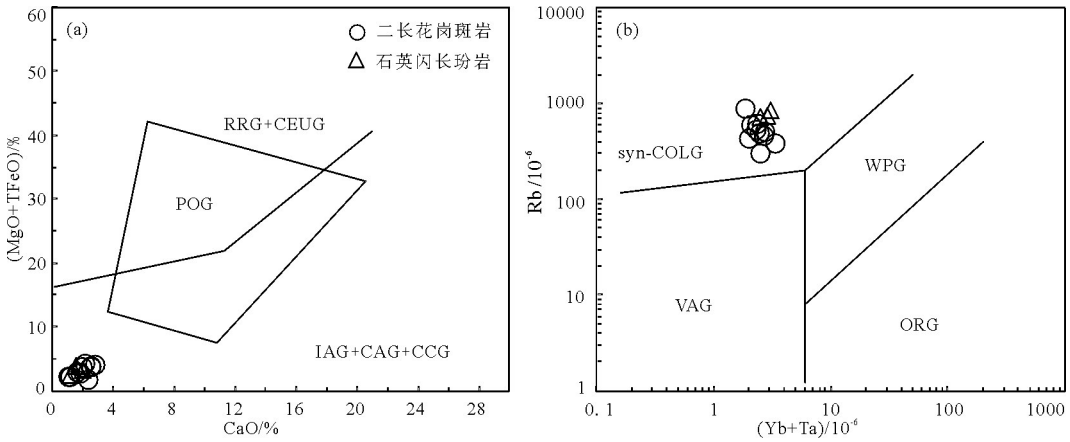

图8　玉龙斑岩铜矿带北段夏日多岩体CaO-(TFeO+MgO)图解(a)和(Yb+Ta)-Rb图解(b)

Fig. 8　CaO-(TFeO+MgO)(a)and (Yb+Ta)-Rb(b)plots for the Xiariduo rocks in northern Yulong porphyry copper belt

Syn-COLG—同碰撞花岗岩;WPG—板内花岗岩;VAG—大洋脊花岗岩;ORG—火山弧花岗岩;IAG—岛弧花岗岩类;CAG—大陆弧花岗岩类;CCG—大陆碰撞带花岗岩类;POG—造山期后花岗岩类;RRG—与裂谷有关的花岗岩类;CEUG—大陆造陆抬升花岗岩类

为含富钾金云母的矿物相,并不是富钾角闪石。

夏日多岩体的Nb/U值(0.54~4.28,平均1.83)远低于MORB(洋中脊玄武岩)和OIB(板内洋岛玄武岩)值(OIB值为47[24]),且低于大陆地壳(上地壳Nb/U≈9[25])和全球平均俯冲沉积物(Nb/U≈5[26])比值,与俯冲带释放的流体的Nb/U值(≈0.22)相近,因此,这种板片俯冲所释放的流体与地幔产生交代作用可能是夏日多岩体Nb/U值极低的原因。在Hf/Sm-Zr/Sm图解中,Zr/Sm值与Hf/Sm值呈正相关性,且靠近于地幔碳酸盐成分(图7-b),暗示地幔源区Hf、Zr和Sm元素受控于碳酸盐,也可能反映地幔源区受碳酸盐流体交代作用的强弱[27],与Baker等[28]提出的地幔源区中碳酸盐流体的交代作用可导致岩石具较高的Zr/Hf值、较低的Ti/Eu值及HFSE/REE明显分异的结论一致。夏日多岩体明显富集轻稀土元素,具较高的Zr/Hf值(8.92~36.14,平均29.20)、较低的Ti/Eu值及明显的HFSE/REE分异特征,与玉龙含矿斑岩的变化特征也一致[9-10],暗示岩浆受到来自俯冲板片的碳酸盐流体的交代作用。

在$Mg^{\#}$-La/Yb图解(图7-c)中,La/Yb值与$Mg^{\#}$的相关性不明显;在La-La/Yb图解(图7-d)中,La/Yb值并未保持恒定,而是呈较陡的演化趋势,所以可以排除结晶分异模式,可能为部分熔融模式。Rapp等[29]认为,源岩为玄武质岩石经脱水熔融而形成的熔体常具较低的$Mg^{\#}$值,一般小于0.4,并含较高的Na_2O。姜耀辉等[9]认为,埃达克质岩岩浆中具有较高的$Mg^{\#}$,其原因有二:一是俯冲大洋板片部分熔融与地幔楔产生相互作用;二是拆沉下地壳的部分熔融体与地幔橄榄岩相互作用。夏日多岩体具有较高的K_2O(3.68%~6.40%)含量和较高的$Mg^{\#}$(0.44~0.63)值,其中,K_2O含量大于上地壳(3.4%[25]),体现出既高$Mg^{\#}$又高K_2O的特点,可能是直接起源于富集地幔的部分熔融,这与姜耀辉等[9-10]对玉龙含矿斑岩的研究结果一致。

4.3　夏日多岩体形成的动力学背景

玉龙斑岩铜矿带的动力学背景研究较多,总体可分为4种类型:①岛弧环境,类似于安第斯斑岩铜矿带[3-4];②陆内环境,并与区域走滑断裂系统有关[30];③区域性大规模的走滑系统控制着49~30Ma的斑岩体分布[12];④大规模左行走滑及局部俯冲控制着玉龙斑岩铜矿带[13]。在CaO-(TFeO+MgO)图解(图8-a)中,夏日多黑云母二长花岗斑岩和石英闪长玢岩样品点均落在IAG+CAG+CCG混合区域,2类岩石均表现为富集轻稀土元素(LREE)和大离子亲石元素(LILE),亏损重稀土元素(HREE)和高场强元素(HFSE),与大陆碰撞花岗岩类地球化学特征相似;在(Yb+Ta)-Rb图解(图8-b)中,夏日多岩体样品点都落入同碰撞花岗岩类区域,暗示夏日多岩体形成于陆-陆碰撞造山环境。70~60Ma,印度板片北东向的斜向碰撞,导致玉龙—纳日贡玛地区形成右旋走滑断裂系统[12],此后受欧亚板块北向

碰撞作用影响，构造形迹发生转变，即由右行走滑断裂体系转变为左行走滑断裂体系，该断裂体系不仅控制着斑岩体的分布状况，而且控制着走滑拉分盆地的形成，即金沙江-红河走滑拉分带[31]，并控制着一系列侵入岩及火山岩的分布。夏日多岩体成岩时代为41.1～41.7Ma，结合斑岩体形成时代及区域构造体系，笔者认为，夏日多岩体形成的构造背景与玉龙斑岩体相似，都与区域性的大型左行走滑系统关系密切。Campbell等[32]认为，大规模的走滑系统在发生水平错移时，局部地段会产生俯冲碰撞作用，将下部陆壳推入沿断裂带上涌的岩石圈地幔中并产生混染作用。玉龙斑岩铜矿带北段夏日多岩体形成于印度-亚洲大陆的陆-陆碰撞诱发的大规模走滑系统引起的下地壳拆沉，使软流圈物质上涌，富集地幔部分熔融，产生的富集地幔岩浆上升底侵，并发生壳幔物质混染，从而形成岩浆，侵位冷凝。

综上所述，41.1～41.7Ma夏日多地区从陆-陆碰撞阶段转为大规模的左行走滑阶段，这一阶段由压性环境逐渐转变为陆内碰撞走滑伸展阶段，局部地区发生俯冲碰撞作用，使增厚的下地壳经减压压熔作用形成中酸性岩浆，大型走滑系统沟通了地幔物质上涌，与壳源物质发生混染作用，沿走滑断裂体系形成大规模的花岗岩带及发生相应的铜-钼-金及铅-锌多金属成矿作用。因此，夏日多地区斑岩型-矽卡岩型铜-钼-铅-锌成矿作用不是独立的成矿系统，而与玉龙斑岩成矿带一致，是始新世从陆陆碰撞挤压环境转变为陆内碰撞走滑伸展环境下形成的构造-岩浆-成矿作用。

5 结 论

（1）夏日多黑云母二长花岗斑岩和石英闪长玢岩LA-ICP-MS锆石U-Pb测年结果显示，其成岩年龄分别为41.6±0.3～41.7±0.3Ma和41.1±0.2～41.2±0.2Ma。本文首次在夏日多矿区厘定出始新世岩浆活动事件，夏日多矿区铜-钼成矿作用与该期构造-岩浆活动事件有关。

（2）岩石地球化学特征显示，黑云母二长花岗岩与石英闪长玢岩具有较一致的地球化学特征，均具有略高的SiO_2、富K_2O和Na_2O、较高的K_2O/Na_2O值及较低的TFeO含量，属于弱过铝质的高钾钙碱性-钾玄岩系列；亏损K、Ba、Nb、P、Ti，富集Th、U、Sr、Hf，具有高分异I型花岗岩特征；具高的Zr/Hf、Rb/Sr值和较低的Ti/Eu值。

（3）夏日多斑岩的形成与印度-亚洲大陆的陆-陆碰撞诱发的大规模走滑系统引起下地壳拆沉，使软流圈物质上涌，富集地幔的部分熔融，产生的富集地幔岩浆上升底侵，并发生壳幔物质混染有关。

致谢：成文过程中得到成都理工大学地球科学学院张成江教授的悉心指导和帮助，在此表示衷心的感谢。

参考文献

[1]唐仁鲤, 罗怀松. 西藏玉龙斑岩铜(钼)矿带地质[M]. 北京：地质出版社, 1995: 1-320.

[2]马鸿文. 论藏东玉龙斑岩铜矿带岩浆侵入时代[J]. 地球化学, 1989, (3): 210-216.

[3]马鸿文. 西藏玉龙斑岩铜矿带花岗岩类与成矿[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990: 1-158.

[4]芮宗瑶, 黄崇轲, 齐国明. 中国斑岩铜(钼)矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1984: 1-350.

[5]张玉泉, 谢应雯, 梁华英, 等. 藏东玉龙铜矿带含矿斑岩及成岩系列[J]. 地球化学, 1998, 27(2): 236-243.

[6]张玉泉, 谢应雯, 邱华宁, 等. 钾玄岩系列: 藏东玉龙铜矿带含矿斑岩元素地球化学特征[J]. 地球科学, 1998, 23(6): 557-561.

[7]陈文明. 深源富碱硅热流体与斑岩铜矿含矿斑岩体的成因联系及流体包裹体、斑晶结构证据[J]. 地学前缘, 2001, 8(4): 409-421.

[8]何国朝, 王广强, 黄文婷, 等. 藏东玉龙斑岩铜矿带扎拉尕含矿斑岩体锆石U-Pb年龄及其地质意义[J]. 地球化学, 2014, 43(4): 399-407.

[9]姜耀辉, 蒋少涌, 凌洪飞, 等. 陆-陆碰撞造山环境下含铜斑岩岩石成因: 以藏东玉龙斑岩铜矿带为例[J]. 岩石学报, 2006, 22(3): 697-706.

[10]姜耀辉, 蒋少涌, 戴宝章, 等. 玉龙斑岩铜矿含矿与非含矿斑岩元素和同位素地球化学对比研究[J]. 岩石学报, 2006, 22(10): 2561-2566.

[11]梁华英, 莫济海, 孙卫东, 等. 藏东玉龙超大型斑岩铜矿床成岩成矿系统时间跨度分析[J]. 岩石学报, 2008, 24(10): 2352-2358.

[12]Hou Z Q, Ma H W, Zaw K, et al. The Himalayan Yulong porphyry copper belt: Product of large-scale strike-slip faulting in eastern Tibet[J]. Economic Geology, 2003, 98(1): 125-145.

[13]Liang H Y, Campbell I H, Allen C, et al. Zircon Ce^{4+}/Ce^{3+} ratios and ages for Yulong ore-bearing porphyries in eastern Tibet[J]. Mineralium Deposita, 2006, 41(2): 152-159.

[14]李伟, 张磊, 刘显凡, 等. 藏东夏日多岩体岩石学和地球化学特征及其成因探讨[J]. 矿物岩石, 2016, 36(3): 96-105.

[15]肖霞, 倪师军, 冯德新, 等. 水系沉积物测量在西藏夏日多地区找矿中的应用[J]. 有色金属工程, 2016, 6(1): 71-76.

[16]张世铭, 肖渊甫, 龚婷婷, 等. 西藏玉龙成矿带各贡弄、恒星错、马牧普地球化学异常优选评价[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2012, 31(4): 354-359.

[17]张金树, 多吉, 何政伟. 西藏玉龙斑岩铜矿带北段成矿规律分析[J]. 地质找矿论丛, 2008, 23(3): 199−205.

[18]Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[C]// Saunders A D, Norry M J. Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society, London, Special Publication, 1989, 42(1): 313−345.

[19]郭利果, 刘玉平, 徐伟, 等. SHRIMP锆石年代学对西藏玉龙斑岩铜矿成矿年龄的制约[J]. 岩石学报, 2006, 21(4): 1009−1016.

[20]王成辉, 唐菊兴, 侯可军, 等. 西藏玉龙铜钼矿区斑岩体Hf同位素特征及其地质意义[J]. 矿床地质, 2011, 30(2): 292−304.

[21]唐菊兴, 王成辉, 屈文俊, 等. 西藏玉龙斑岩铜钼矿辉钼矿铼—锇同位素定年及其成矿学意义[J]. 岩矿测试, 2009, 28(3): 215−218.

[22]Feldstein S N, Lange R A.Pliocene potassic magmas from the Kings River region, Sierra Nevada, California: Evidence for melting of a subduction−modified mantle[J]. J. Petrol., 1999, 40: 1301−1320.

[23]Furman T, Graham D.Erosion of lithospheric mantle beneath the East African Rift system: geochemical evidence from the Kivu Volcanic province[J]. Lithos, 1999, 48: 237−262.

[24]Hofmann A W, Jochum K, Seufert M, et al. Nb and Pb in oceanic basalts: new constraints on mantle evolution[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1986, 79: 33−45.

[25]Taylor S R, Mclennan S M. The continental Crust: Its composition and Evolution[M]. Oxford Blackwell Scientific Publication, 1985: 1−132.

[26]Plank T, Langmuir C H. The chemical composition of subducted sediment and its consequences for the the crust and mantle[J]. Chem. Geol., 1988, 145: 325−394.

[27]Dupuy C, Liotardand J M, Dostal J. Zr/Hf fractionation in intraplate basaltic rocks: Carbonate metasomatism in the mantle source[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1992, 56: 2417−2423.

[28]Baker M B, Wyllie P J. High− pressure apatite solubility in carbonate− rich liquids: implications for mantle metasomatism. Geochim Cosmochim Acta, 1992, 56: 3409−3422

[29]Rapp R P, Watson E B. Dehydration melting of metabasalt at 8～32 kbar: implications for continental growth and crust mantle recycling[J]. J Petrol., 1995, 36: 891−931.

[30]王增, 申屠保涌, 丁朝建. 藏东花岗岩类及其成矿作用[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1995: 1−150.

[31]张玉泉, 谢应雯, 涂光炽. 哀牢山−金沙江富碱侵入岩及其与裂谷构造关系初步研究[J]. 岩石学报, 1987, 3(1): 17−25.

[32]Campbell I H, Stepanov A S, Liang H Y, et al. The origin of shoshonites: New insights from the Tertiary high− potassium intrusion of eastern Tibet[J].Contributions to Mineralogy and Petrology, 2014: 167: 983