

文章编号: 1000-4734(2015)04-0439-08

云南大理笔架山铜矿区斑岩成因与动力学背景: 年代学和地球化学制约

徐恒^{1,2}, 崔银亮^{1,3*}, 周家喜⁴, 张苗红², 姜永果³, 王根厚⁵, 梁庭祥²

(1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093;

2. 云南省有色地质局 地质地球物理化学勘查院, 云南 昆明 650216;

3. 云南省有色地质局, 云南 昆明 650051;

4. 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, 贵州 贵阳 550002;

5. 中国地质大学(北京), 北京 100083)

摘要: 大理笔架山铜矿区位于金沙江-红河富碱斑岩成矿带中部, 与斑岩有关的铜(金)矿找矿取得了新突破。本文在详实的成矿斑岩岩相学观察基础上, 开展了系统的岩石地球化学和年代学研究。与成矿相关的石英二长斑岩具有富碱(K_2O+Na_2O 均值为 9.97%)、富钾(K_2O/Na_2O 均值为 2.34)和准铝质(A/CNK 均值为 0.89)特征, 属准铝质钾玄岩系列; 微量元素具 LILE (Rb、Ba、U、Th 和 Sr) 富集和 HFSE (Ta、Nb 和 Ti) 亏损特征, 与大陆地壳特征相似; 稀土元素具 LREE 富集和 Eu(均值 0.73)弱负异常特征, 与壳幔混合型花岗岩相近。岩石地球化学特征表明, 石英二长斑岩源区具典型壳-幔混合特征, 其中以部分熔融的古老地壳物质为主。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 (35.6 ± 0.19 Ma) 与金沙江-红河富碱斑岩带岩浆活动高峰期 (45~30 Ma) 一致。研究结果进一步佐证了本区富碱斑岩是在印-欧板块后碰撞伸展背景下, 由加厚下地壳和上地幔部分熔融形成的, 与金沙江-红河断裂的走滑构造事件相关。

关键词: 石英二长斑岩; 锆石 U-Pb 年龄; 岩石成因; 动力学背景; 大理笔架山铜矿区

中图分类号: P595; P597 **文献标识码:** A **doi:** 10.16461/j.cnki.1000-4734.2015.04.005

作者简介: 徐恒, 男, 1981年生, 博士研究生, 矿产普查与勘探专业. E-mail: 306551439@qq.com

Petrogenesis and Dynamic Background of Porphyry in Bijiashan Cu Deposit, Yunnan Province, China: Geochemistry and Geochronology Constraints

XU Heng^{1,2}, CUI Yin-liang^{1,3}, ZHOU Jia-xi⁴, ZHANG Miao-hong², JIANG Yong-guo³, WANG Gen-hou⁵, LIANG Ting-xiang²

(1. Faculty of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Institute of Geological, Geophysical and Geochemical Exploration, Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau, Kunming 650216, China;

3. Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau, Kunming 650051, China;

4. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

5. School of Geosciences and Resource, China University of Geology, Beijing 100083, China)

Abstract: Located in the middle of Jinshajiang-Red River alkali-rich porphyry metallogenic belt, Bijiashan copper deposit in Dali City, Yunnan province, China has made new breakthroughs associated with the porphyry Cu/Au ore prospecting. Based on detailed petrographic study, the paper carries out system geochemistry and geochronology of Bijiashan Cu deposit. The quartz-monzonite porphyry (QMP) associated with Cu/Au mineralization belongs to the

收稿日期: 2015-05-21

基金项目: 中国地质调查局项目 (1212011120607); 云南省有色地质局与中国科学院地球化学研究所科研合作项目 (20131300001)

* 通讯作者, E-mail: cy1186@163.com

quasi-aluminous and high-K series with alkali-rich (the average K_2O+Na_2O value is 9.97%), K-rich (the average K_2O/Na_2O ratio is 2.34) and quasi-aluminous (the average A/CNK values is 0.89) features. Trace element spider diagram displays enrichment of LILE (Rb, Ba, U, Th and Sr) and depletions of HFSE (Ta, Nb and Ti), which is consistent with continental crust. The rock displays Eu negative anomaly (the average value is 0.73), which is consistent with crust-mantle mixed granite. Litho-geochemical features suggest that the quartz-monzonite porphyry has crust-mantle mixing characteristics, of which the old crustal material melt partially is important. The zircon U-Pb dating (35.6 ± 0.19 Ma) of quartz-monzonite porphyry by LA-ICP-MS is consistent with the magmatic period (45 to 30 Ma) of Jinshajiang-Honghe alkali-rich porphyry belt. The results further indicate that quartz-monzonite porphyry formed from the thickened lower crust and upper mantle melt partially under the tensional setting in India-Eurasian plate post-collision, which is related to the strike-slip tectonic events of Jinshajiang-Honghe fault.

Keywords: quartz-monzonite porphyry; zircon U-Pb age; petrogenesis; dynamic background; Bijishan Cu deposit; Dali City

金沙江—红河斑岩带是我国新生代大规模斑岩成矿的典型范例之一^[1-2]。近年来,许多学者对金沙江—红河斑岩带内的富碱侵入岩及相关铜、钼、金等多金属矿床进行了大量的研究^[3-8],取得了丰硕的研究成果。最近,在该成矿带中部大理笔架山地区,云南省有色地质局实现了找矿新突破。初步研究显示,石英二长斑岩为主要成(含)矿岩体,金 $0.5\sim 6.49$ g/t,铜 $0.42\%\sim 0.61\%$ ^[9-10]。本文以笔架山矿区 ZKP5101 钻孔所揭露新鲜斑岩为研究对象,开展系统的岩相学、岩石地球化学及成岩年代学研究,以期揭示岩石成因及其动力学背景,为理解成岩成矿作用提供新的信息。

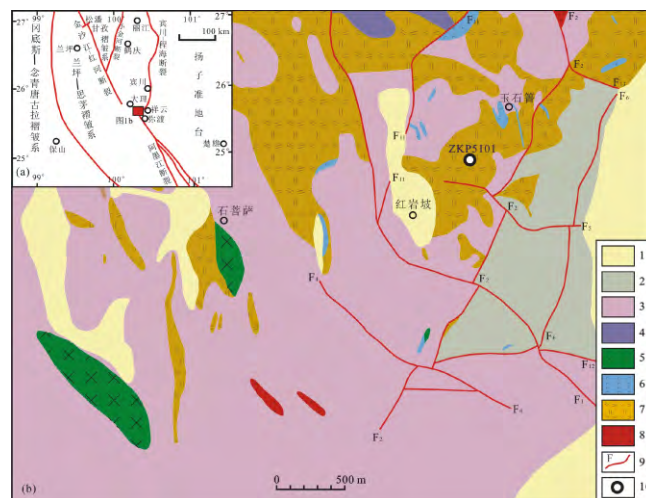
1 地质背景

笔架山矿区位于金沙江—红河深大断裂与宾川—程海深大断裂交汇部位(图 1a)。受喜马拉雅

雅期印-欧板块碰撞的远程效应影响,区内构造岩浆活动频繁且强烈,有大面积的侵入岩体及相关金、铜多金属矿产分布。区内主要出露古生代地层,有奥陶系下统向阳组,为一套滨海相沉积碎屑岩;泥盆系下统康廊组和青山组,主要为碳酸盐岩沉积建造。受区域性 NW 向金沙江—红河断裂和 NE 向宾川—程海断裂的影响,区内主要发育 NE、NW 和 EW 三组断裂,其中 NE 向 F_2 为本区主要控岩控矿断裂。区内已发现斑岩主要由石英二长斑岩、花岗斑岩和煌斑岩组成(图 1b),其中石英二长斑岩与金铜矿化密切相关,属滇西金沙江—红河富碱斑岩带的组成部分。

2 岩体地质特征

石英二长斑岩主要分布于笔架山矿区北东部,平面上沿北东、南西向构造呈不规则岩枝和岩脉状



1-第四系; 2-下泥盆统青山组灰岩; 3-下泥盆统康廊组白云质灰岩; 4-下奥陶统向阳组碎屑岩;
5-辉绿岩; 6-煌斑岩; 7-石英二长斑岩; 8-花岗斑岩; 9-断层; 10-取样位置

图 1 云南大理笔架山矿区地质简图(据王文超等^[9-10]修改)

Fig. 1. Geological sketch map of Bijishan ore district, Dali City, Yunnan Province, China.

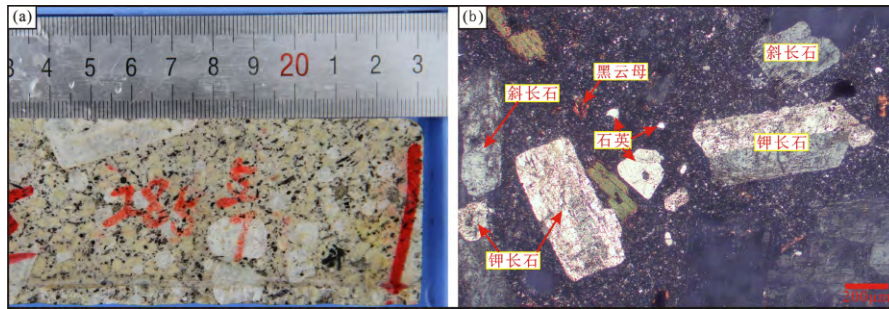


图2 石英二长斑岩手标本(a)及显微镜下照片(b)

Fig. 2. Hand specimen photograph (a) and microphotograph (b) of quartz-monzonite porphyry.

产出, 展布方向与区内主控断裂一致(图 1b), 出露面积约 2.7 km²。与泥盆系下统康廊组和青山组及奥陶系下统向阳组接触, 接触部位普遍具有矽卡岩化和角岩化现象, 局部地段可见煌斑岩脉穿插充填以及被第四系覆盖。石英二长斑岩具块状构造(图 2a)和花岗斑状结构(图 2b), 主要由基质和斑晶组成, 其中斑晶占全岩的 40%~50%, 基质占 50%~60%。斑晶主要是钾长石、酸性斜长石、石英和黑云母。斜长石占斑晶的 40%~50%, 钾长石占 30%~40%, 石英占 5%~10%, 黑云母占 3%~5%。斜长石为酸性斜长石, 呈自形-半自形的板状晶体产出, 可见密集条纹的聚片双晶, 偶见环带结构, 大小为 0.2~1.5 mm。钾长石主要是微斜长石和条纹长石, 少量正长石, 常见格子双晶, 偶见卡氏双晶, 沿扩宽解理常充填微晶黑云母。石英呈近圆形, 可见熔蚀的港湾结构。黑云母呈棕红色, 棕黄色, 多色性和正吸收非常明显, 有弱绿泥石化现象并有少量铁质析出。基质为微晶长石和石英及少量黑云母。不透明矿物呈不规则质点或团块状分布于黑云母周围或附近。

3 样品来源及分析方法

3.1 样品来源

鉴于笔架山矿区地表出露石英二长斑岩风化非常强烈, 故本次研究的样品均采自 ZKP5101 钻孔, 采样钻孔位置见图 1b。选取样品时尽量选择新鲜并避开蚀变强烈的斑岩体, 共采集样品 8 件, 其中 B15 号样品挑选锆石。

3.2 分析方法

3.2.1 主-微量元素

实验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。采用 X 射线荧光光谱法(XRF)分析主量元素, 分析精度优于 10%。使用

四级杆型电感耦合等离子体质谱(Q-ICP-MS)仪测定微量元素, 其稀土元素分析精度优于 5%, 其它微量元素分析精度优于 10%, 分析流程同文献[11]。

3.2.2 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年

锆石挑选工作在廊坊诚信地质服务公司完成。样品逐级粉碎后, 经人工分选淘洗, 在双目镜下挑选出晶形完整的锆石。将锆石置于环氧树脂上, 进行抛光, 用于阴极发光图像观察和激光剥蚀电感耦合等离子体质谱(LA-ICP-MS)分析。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。具体分析测试过程及数据处理方可参见侯可军^[12]和 Liu 等^[13-14]。

4 分析结果

4.1 主量元素

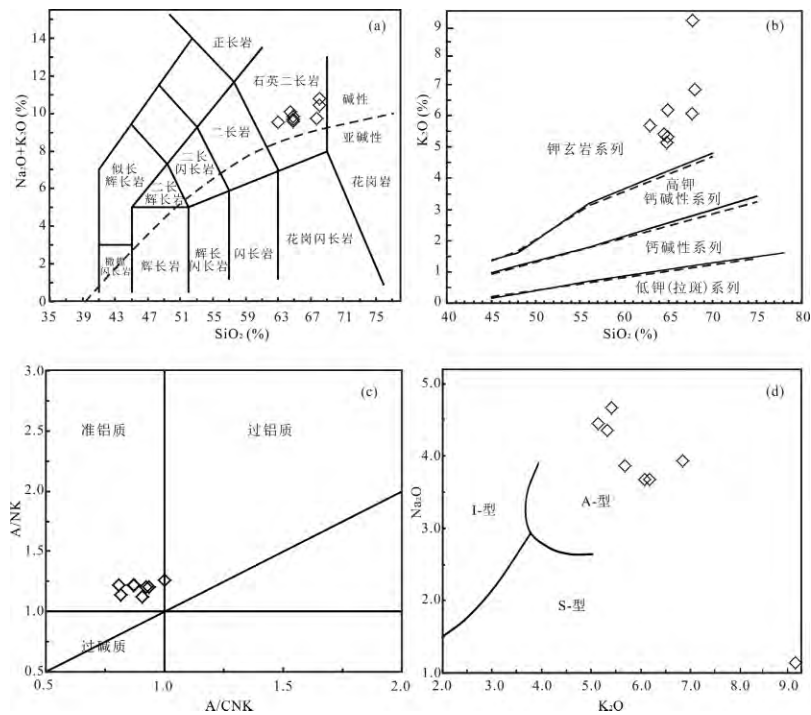
主量元素分析结果见表 1。岩石 SiO₂ 含量介于 62.9%~68.1%, 平均为 65.7%, K₂O 含量为 5.14%~9.36%, 平均为 6.25%, Na₂O+K₂O 含量介于 9.55%~10.8%间, 平均 9.97%, K₂O/Na₂O 介于 1.15~8.69 间, 均值为 2.35, Al₂O₃ 含量介于 15.0%~15.8%间, 铝饱和指数(A/CNK)介于 0.811~1.00 间, 平均 0.893。在 TAS 岩石分类图(图 3a)中, 样品全部落入石英二长岩范围内, 与野外观察和显微镜下鉴定结果一致。岩石富碱、富钾, 属准铝质钾玄岩系列(图 3b、c)。样品分异指数(DI)介于 81.1~88.8 之间, 平均 86.0, 固结指数(SI)介于 1.86~10.5 介于, 平均 5.45, 显结晶分异程度相对较高。在图 3d 中, 样品显示具有类 A 型花岗岩特征。

4.2 稀土元素

样品稀土元素分析结果及相关参数如表 2 所示, 岩石的稀土总量(ΣREE)均较低, 介于 113×10⁻⁶~181×10⁻⁶之间, 均值为 150×10⁻⁶, 略低于

表 1 石英二长斑岩主量元素测试分析数据 ($w_B/\%$)
Table 1. Major element contents (%) of quartz-monzonite porphyry

样号	B10	B11	B12	B13	B15	B16	B30	B32
位置	175 m	177 m	179 m	182 m	188 m	197 m	271 m	276 m
SiO ₂	64.8	64.9	64.5	68.0	67.7	68.1	64.9	62.9
Al ₂ O ₃	15.5	15.8	15.4	15.6	15.2	15.0	15.6	15.2
TFe ₂ O ₃	3.05	3.14	3.10	1.67	1.96	1.76	2.11	2.73
MgO	0.790	0.580	0.640	0.490	0.220	0.320	1.29	1.43
CaO	2.16	2.79	2.90	1.79	2.00	1.67	2.87	3.45
Na ₂ O	4.46	4.36	4.67	3.94	3.67	1.08	3.67	3.86
K ₂ O	5.14	5.33	5.42	6.84	6.08	9.36	6.17	5.69
MnO	0.023	0.030	0.029	0.019	0.014	0.011	0.024	0.033
P ₂ O ₅	0.201	0.208	0.234	0.108	0.105	0.106	0.186	0.204
TiO ₂	0.410	0.420	0.420	0.240	0.240	0.230	0.320	0.360
S	0.540	0.340	0.134	0.360	0.500	0.090	0.242	0.205
LOI	2.31	2.46	2.46	1.59	2.44	2.64	1.95	3.09
TOTAL	99.5	100	99.9	101	100	100	99.3	99.2
K ₂ O+Na ₂ O	9.60	9.69	10.1	10.8	9.75	10.4	9.85	9.55
K ₂ O/Na ₂ O	1.15	1.22	1.16	1.74	1.65	8.69	1.68	1.47
A/CNK	0.924	0.876	0.818	0.908	0.936	1.00	0.868	0.811
A/NK	1.21	1.22	1.14	1.12	1.21	1.26	1.22	1.22
AR	3.37	3.18	3.46	4.28	3.61	4.36	3.29	3.09
DI	85.4	84.3	85.6	90.5	88.7	88.8	83.4	81.1
SI	5.94	4.37	4.68	3.81	1.86	2.57	9.81	10.53
R1	1501	1476	1320	1505	1779	1963	1560	1476
R2	596	654	663	528	539	501	698	771
σ	4.09	4.19	4.61	4.60	3.78	4.27	4.31	4.38



(a) TAS图解; (b) SiO₂-K₂O图解; (c) A/CNK-A/NK图解; (d) K₂O-Na₂O图解

图 3 石英二长斑岩主量元素图解

Fig. 3. Main elements diagram for quartz-monzonite porphyry.

表2 石英二长斑岩微量及稀土元素测试分析数据 ($w_B/10^{-6}$)
Table 2. REE data and trace element contents of quartz-monzonite porphyry

样号	B10	B11	B12	B13	B15	B16	B30	B32
位置	175 m	177 m	179 m	182 m	188 m	197 m	271 m	276 m
Rb	163	159	173	227	182	287	161	157
Ba	1820	1920	1790	1780	1670	1600	1830	1770
Cu	25.8	1.85	89.1	2.37	14.7	40.8	169	27.8
Th	12.2	13.0	11.8	11.2	10.9	10.7	11.7	11.7
U	4.77	5.20	4.91	6.08	5.73	5.73	4.85	4.89
Ta	0.623	0.705	0.590	0.541	0.531	0.484	0.552	0.585
Nb	11.4	11.9	10.7	8.8	9.1	8.6	10.2	10.8
Sr	931	1010	974	851	876	599	1040	1010
Pb	29.3	25.8	18.8	34.5	26.5	35.1	27.8	27.1
Zr	197	204	176	169	141	120	176	167
Hf	5.37	5.93	4.83	5.04	4.50	4.02	4.80	4.82
La	40.3	42.7	38.5	29.1	27.3	26.7	39.7	37.5
Ce	73.2	77.7	72.3	54.6	50.8	49.6	72.3	69.9
Pr	7.92	8.73	8.11	5.79	5.38	5.37	7.77	7.67
Nd	28.4	31.4	30.5	21.0	19.4	19.0	28.3	28.1
Sm	5.00	5.86	5.60	3.71	3.54	3.52	4.96	5.06
Eu	1.03	1.32	1.34	0.770	0.710	0.690	1.22	1.21
Gd	4.16	4.75	4.98	3.32	3.05	2.87	4.25	4.24
Tb	0.612	0.668	0.621	0.451	0.425	0.39	0.586	0.638
Dy	2.94	3.26	3.10	2.18	1.97	1.91	2.89	2.97
Ho	0.567	0.614	0.569	0.399	0.375	0.343	0.561	0.555
Er	1.65	1.82	1.53	1.19	1.11	0.944	1.45	1.49
Tm	0.232	0.248	0.209	0.157	0.141	0.132	0.209	0.203
Yb	1.51	1.63	1.32	1.04	1.02	0.87	1.29	1.33
Lu	0.233	0.233	0.201	0.158	0.155	0.131	0.203	0.210
Y	17.0	17.9	17.7	12.4	11.7	10.5	16.5	16.6
ΣREE	168	181	169	124	115	113	166	161
ΣLREE	156	168	156	115	107	105	154	149
ΣHREE	11.9	13.2	12.5	8.90	8.20	7.60	11.4	11.6
ΣL/ΣH	13.1	12.7	12.5	12.9	13.0	13.8	13.5	12.8
(La/Yb) _N	18.0	17.7	19.7	18.9	18.0	20.6	20.7	19.0
(La/Sm) _N	5.10	4.60	4.30	4.90	4.90	4.80	5.00	4.70
(Gd/Yb) _N	2.20	2.40	3.00	2.60	2.40	2.70	2.70	2.60
δEu	0.69	0.77	0.78	0.67	0.66	0.67	0.81	0.80
δCe	0.99	0.97	0.98	1.01	1.01	1.00	0.99	0.99

注: $\Sigma L/\Sigma H = \Sigma LREE/\Sigma HREE$; ΣREE不含Y.

中国花岗岩 ΣREE 均值 (169×10^{-6})^[15]。样品 ΣLREE 为 $107 \times 10^{-6} \sim 168 \times 10^{-6}$, 平均 139×10^{-6} , ΣHREE 为 $7.60 \times 10^{-6} \sim 13.2 \times 10^{-6}$, 平均 10.7×10^{-6} , $\Sigma LREE/\Sigma HREE = 12.5 \sim 13.8$, 平均 13, (La/Yb)_N 比值介于 17.7~20.7, 平均 19, 显示具有轻稀土富集特征, 暗示有壳源物质参与^[16]。球粒陨石配分模式呈右倾海鸥型(图 4a), δEu 值介于 0.66~0.81 之间, 平均 0.73, 具 Eu 弱负异常特征, 与壳-幔混合型花岗岩 Eu 值 (0.84)^[17]接近, 与中国 A 型花岗岩类似^[18], 但其 Eu 凹陷没有 A 型花岗岩的深, 暗

示成岩过程中斜长石分离结晶作用相对不强。

4.3 微量元素

样品微量元素分析结果见表 2。原始地幔标准化蛛网图(图 4b), 显示 Rb ($157 \times 10^{-6} \sim 287 \times 10^{-6}$)、Ba ($1600 \times 10^{-6} \sim 1920 \times 10^{-6}$)、U ($4.77 \times 10^{-6} \sim 6.08 \times 10^{-6}$) 和 Sr ($599 \times 10^{-6} \sim 1040 \times 10^{-6}$) 明显富集, 而 Nb ($8.60 \times 10^{-6} \sim 11.9 \times 10^{-6}$)、Ta ($0.484 \times 10^{-6} \sim 0.705 \times 10^{-6}$) 和 Zr ($120 \times 10^{-6} \sim 204 \times 10^{-6}$) 相对亏损, 具有明显的“TNT”负异常特征, 与大陆地壳特征

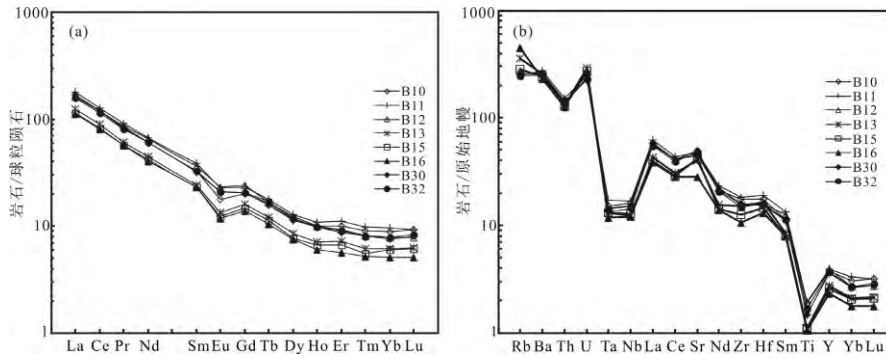


图 4 石英二长斑岩稀土元素配分图(a)和微量元素蛛网图(b)(球粒陨石和原始地幔标准化值引自文献[20])
Fig. 4. REE patterns (a) and trace element spider diagram (b) for quartz-monzonite porphyry.

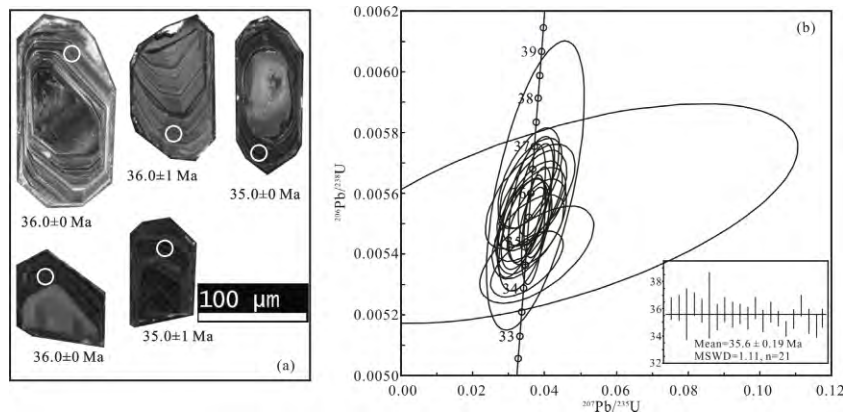


图 5 典型锆石 CL 图像(a)和 U-Pb 谐和图(b)
Fig. 5. Cathodoluminescence (CL) images for representative zircons (a) and U-Pb concordia diagram (b).

(Rb, Ba, U 和 Th 富集, 亏损 Nb 和 Ti)^[19]相似, 但不完全一致。全部样品的微量元素含量没有明显的差异, 属同源岩浆演化的产物。

4.4 锆石特征及 U-Pb 年龄

锆石U-Pb同位素分析数据见表3, 图5a所示为部分代表性锆石CL图像, 锆石U-Pb谐和图见图5b。挑选的锆石晶体呈无色透明, 以长柱状为主, 少量短柱状, 锆石粒径介于90~180 μm, 长宽比为1.5:1~2:1, 大部分形态较完整, 晶体棱角分明, 锆石边部具有清晰振荡环带特征(图5a)。锆石Th/U比值为0.15~0.53 (>0.1), 表明本次所选锆石为岩浆成因^[21]。本次所测21颗锆石的21个点的U-Pb表面年龄基本一致, 在²⁰⁶Pb/²³⁸U-²⁰⁷Pb/²³⁵U图上具有较好的谐和性。²⁰⁶Pb/²³⁸U加权平均值为35.6±0.19 Ma (MSWD=1.11) (图5b), 属于始新世。

5 讨论

5.1 岩浆源区特征

前人对马厂箐和北衙等矿区富碱斑岩源区特征

研究表明, 金沙江-红河富碱斑岩带内富碱侵入岩为加厚下地壳和上地幔部分熔融的产物^[22-23]。笔架山石英二长斑岩属准铝质钾玄岩系列, 具有类A型花岗岩特征, 微量元素与大陆地壳特征相近, 而稀土元素δEu与壳-幔混合型花岗岩值接近, 暗示其源区具壳-幔混合特征。在图6中样品点落入了壳源与壳幔源接触线附近区域, 进一步说明可能存在幔源

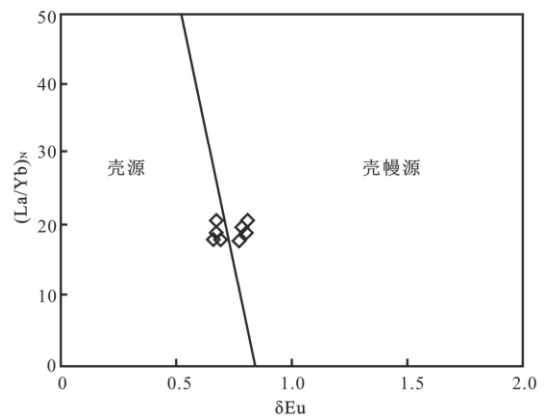


图 6 石英二长斑岩岩浆源区判别图解
Fig. 6. Discrimination diagram for magma sources of quartz-monzonite porphyry.

表 3 石英二长斑岩锆石 U-Pb 定年分析结果
Table 3. Zircon U-Pb dating results for quartz-monzonite porphyry

测点号	²³² Th/ ²³⁸ U	同位素比值				同位素年龄/Ma					
		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U			
		比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄	1σ		
01	0.52	0.0491	0.0022	0.0380	0.0019	0.0056	0.0001	38	2	36	0
02	0.53	0.0474	0.0029	0.0366	0.0023	0.0056	0.0001	37	2	36	0
03	0.33	0.0570	0.0158	0.0435	0.0274	0.0055	0.0001	43	27	36	1
04	0.16	0.0315	0.0020	0.0359	0.0025	0.0083	0.0001	36	2	35	1
05	0.20	0.0456	0.0034	0.0355	0.0035	0.0057	0.0001	35	4	36	0
06	0.21	0.0473	0.0041	0.0364	0.0040	0.0056	0.0001	36	4	36	0
07	0.32	0.0482	0.0072	0.0374	0.0056	0.0056	0.0002	37	6	36	1
08	0.21	0.0472	0.0049	0.0358	0.0043	0.0055	0.0001	36	4	35	0
09	0.33	0.0466	0.0050	0.0359	0.0051	0.0056	0.0001	36	5	36	0
10	0.25	0.0466	0.0043	0.0355	0.0032	0.0055	0.0001	35	3	36	0
11	0.15	0.0491	0.0021	0.0375	0.0016	0.0055	0.0001	37	2	36	0
12	0.21	0.0484	0.0051	0.0367	0.0039	0.0055	0.0001	37	4	35	0
13	0.39	0.0455	0.0025	0.0352	0.0019	0.0056	0.0001	35	2	36	0
14	0.36	0.0490	0.0012	0.0369	0.0010	0.0055	0.0001	37	1	35	0
15	0.26	0.0473	0.0046	0.0363	0.0035	0.0056	0.0001	36	4	36	0
16	0.34	0.0472	0.0051	0.0357	0.0040	0.0055	0.0000	36	4	35	0
17	0.22	0.0473	0.0058	0.0350	0.0041	0.0054	0.0000	35	4	35	0
18	0.49	0.0485	0.0018	0.0366	0.0014	0.0055	0.0001	37	1	35	0
19	0.26	0.0465	0.0045	0.0361	0.0035	0.0056	0.0001	36	4	36	0
20	0.17	0.0466	0.0048	0.0351	0.0031	0.0055	0.0001	35	3	35	0
21	0.23	0.0508	0.0088	0.0378	0.0065	0.0054	0.0001	38	6	35	0

物质的参与。在图7中样品点落在花岗岩附近，而远离洋中脊型地幔，亦说明初始岩浆有明显的陆壳物质参与，即岩浆主要来自于壳源岩石的部分熔融。综上，认为笔架山矿区石英二长斑岩与马厂箐和北衙矿区富碱斑岩源区特征相似，均由加厚下地壳和上地幔部分熔融形成，其中壳源物质所占比例较大。

5.2 构造环境及动力学背景

在花岗岩类微量元素构造环境判别图解图 8a 中，样品点均落入碰撞后花岗质岩区域，在 R₁-R₂ 图解中投点样品均位于造山晚期区域（图 8b），表

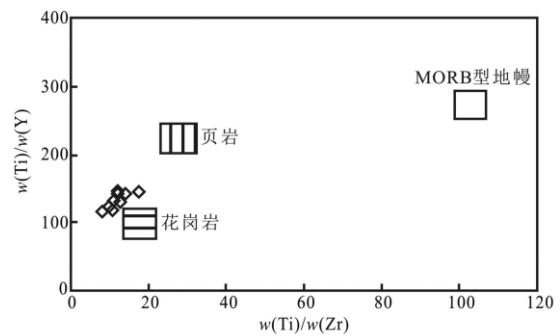


图 7 石英二长斑岩Ti/Zr-Ti/Y图解
Fig. 7. Ti/Zr-Ti/Y diagram for quartz-monzonite porphyry.

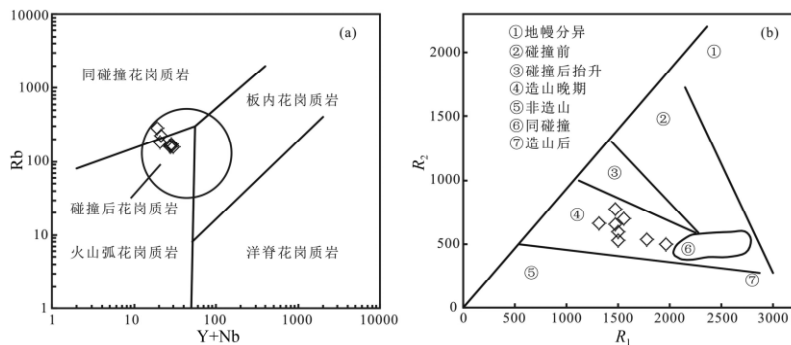


图 8 石英二长斑岩构造环境判别图
Fig. 8. Tectonic discrimination diagrams for quartz-monzonite porphyry.

明石英二长斑岩形成于后碰撞的构造环境。石英二长斑岩锆石 U-Pb 年龄值为 35.6 ± 0.19 Ma, 与青藏高原晚碰撞阶段 (40~26 Ma) 大规模走滑断裂系统有关的斑岩型 Cu-Mo(Au)成矿事件的时间^[24-26]相吻合, 落入金沙江—红河富碱斑带岩浆活动高峰期 (45~30 Ma) 内。表明笔架山矿区石英二长斑岩形成于后碰撞期走滑-伸展构造环境, 与金沙江—红河富碱斑带形成背景一致。

6 结 论

笔架山矿区与成矿密切相关的石英二长斑岩具富碱、富钾特征, 属准铝质钾玄岩系列。Eu 弱负异

常、LILE 富集和 HFSE 亏损, 显岩浆源区具典型壳-幔混合特征。石英二长斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 35.6 ± 0.19 Ma, 形成时代为古近纪始新世, 属喜马拉雅早期浆活动产物。成矿斑岩是在后碰撞期金沙江—红河断裂走滑-伸展背景下, 由加厚下地壳和上地幔部分熔融形成的富碱母岩浆上升侵位而形成。

致 谢: 野外工作得到了中国科学院地球化学研究所严再飞副研究员和云南省有色地质局 310 队陈梁总工、王文超高工的帮助; 岩矿鉴定方面得到云南省有色地质局地质勘查院高俊才高工的指导。在此, 向他们表示衷心的感谢!

参 考 文 献:

- [1] Hou Z Q, Zaw K, Pan G T, et al. The Sanjiang Tethyan metallogenic in SW China: Tectonic setting, metallogenic epoch and deposit type [J]. *Ore Geology Reviews*, 2007, 31: 48-87.
- [2] 邓军, 王长明, 李龚健. 三江特提斯叠加成矿作用样式及过程[J]. 岩石学报, 2012, 28(5): 1349-1361.
- [3] 崔银亮, 陈贤胜, 张映旭, 等. 滇西新生代与富碱斑岩有关的金矿床成矿特征和成矿条件[J]. 大地构造与成矿学, 2002, 26(4): 404-408.
- [4] Xu X W, Cai X P, Xiao Q B. Porphyry Cu-Au and associated polymetallic Fe-Cu-Au deposits in the Beiyi area, western Yunnan Province, South China [J]. *Ore Geology Reviews*, 2007, 31: 224-246.
- [5] 郭晓东, 葛良胜, 王梁, 等. 云南马厂箐岩体中深源包体特征及其锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄[J]. 岩石学报, 2012, 28(5): 1413-1424.
- [6] 和文言, 莫宣学, 喻学惠, 等. 滇西北辉煌斑岩的岩石成因及动力学背景: 年代学、地球化学及 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素约束[J]. 岩石学报, 2014, 30(11): 3287-3300.
- [7] 徐恒, 崔银亮, 周家喜, 等. 云南宾川宝丰寺碱性斑岩成岩时代的精确厘定与地质意义[J]. 矿物学报, 2015, 35(4): 457-462.
- [8] 徐恒, 崔银亮, 张苗红, 等. 云南笔架山石英二长斑岩地球化学、锆石 U-Pb 年龄和 Lu-Hf 同位素组成及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2015, 45(s1): 1503-1509.
- [9] 王文超, 刘晓明, 刘利超, 等. 云南省大理-弥渡笔架山金矿矿化特征[J]. 云南地质, 2014, 33(2): 219-225.
- [10] 王文超, 张金学, 刘利超, 等. 云南大理-弥渡笔架山金矿找矿前景分析[J]. 地球学报, 2013, 34(s1): 108-114.
- [11] Qi L, Hu J, Gregoire D C. Determination of trace elements in granites by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Talanta*, 2000, 51(3): 507-513.
- [12] 侯可军, 李延河, 邹天人, 等. LA-MC-ICP-MS 锆石 Hf 同位素的分析方法及地质应用[J]. 岩石学报, 2007, 23(10): 2595-2604.
- [13] Liu Y S, Hu Z C, Cao S. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. *Chemical Geology*, 2008, 257(1-2): 34-43.
- [14] Lu Y J, Kerrich R, Cawood P A. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology of potassic felsic intrusions in western Yunnan, SW China. Constraints on the relationship of magmatism to the Jinshajiang suture [J]. *Gondwana Research*, 2012, 22: 737-747.
- [15] 史长义, 鄯明才, 迟清华. 中国花岗岩类化学元素丰度[M]. 北京: 地质出版社, 2008: 15-20.
- [16] 王力圆, 郑有业, 高顺宝, 等. 西藏吉瓦地区中冈底斯带岩体晚白垩世的岩浆作用及构造意义[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014, 45(8): 2740-2751.
- [17] 武昱东, 王宗起, 罗金海, 等. 滇东东北川下田坝 A 型花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其构造意义[J]. 地质通报, 2014, 33(6): 860-873.
- [18] 吴锁平, 王梅英, 戚开静. A 型花岗岩研究现状及评述[J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26(1): 57-66.
- [19] 孔华, 费利东, 钟江临, 等. 湖南新生矿区花岗岩的锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及地质意义[J]. 中国有色金属学报, 2014, 24(1): 229-238.
- [20] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implication for mantle composition and processes, Magmatism in the ocean basins [M]. *Geological Society of Special Publications*, 1989, 42: 313-345.
- [21] 周涛发, 范裕, 袁锋, 等. 宁芜(南京-芜湖)盆地火山岩的年代学及其意义[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(7): 960-971.
- [22] 王治华, 郭晓东, 葛良胜, 等. 云南祥云马厂箐富碱斑岩体的地球化学特征[J]. 地质与勘探, 2009, 45(4): 343-351.
- [23] 肖晓牛, 喻学惠, 莫宣学, 等. 滇西北金多金属矿床成矿地球化学特征[J]. 地质与勘探, 2011, 47(2): 170-179.
- [24] 侯增谦, 潘桂棠, 王安建, 等. 青藏高原碰撞造山带: II. 晚碰撞转换成矿作用[J]. 矿床地质, 2006, 25(5): 521-543.
- [25] 侯增谦, 杨竹森, 徐文艺, 等. 青藏高原碰撞造山带: I. 主碰撞造山成矿作用[J]. 矿床地质, 2006, 25(4): 337-358.
- [26] 周家喜, 黄智龙, 周国富, 等. 黔西北赫章天桥铅锌矿床成矿物质来源: S-Pb 同位素和 REE 制约[J]. 地质论评, 2010, 56(4): 513-524.