

# 云南大平掌铜多金属矿区花岗闪长斑岩 地球化学特征及年代学研究

汝珊珊<sup>1</sup> 李峰<sup>1</sup> 吴静<sup>1</sup> 李进宝<sup>1</sup> 汪德文<sup>2</sup> 黄应才<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 玉溪矿业有限公司, 云南 玉溪 653100)

**摘要:**滇西普洱大平掌铜多金属矿床为典型的与中酸性火山岩有关的 VHMS 型矿床。侵入于含矿火山岩系中的花岗闪长斑岩岩体规模较大, 在野外调研的基础上, 对该岩体的产出特征、岩石学、岩石化学和年代学开展了较系统的分析研究。研究表明, 花岗闪长斑岩体与火山岩呈典型的侵入接触关系, 岩石化学特征显示属钙碱性岩系过钙性岩, 微量元素及稀土元素配分模式显示火山弧花岗岩特征, 岩体中锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为  $401.0 \pm 1.7$  Ma, 相当于志留纪末—泥盆纪初, 说明矿区花岗闪长斑岩体并非印支期产物。本文的研究结果同时证实, 矿区含矿火山岩及其中的火山喷流沉积矿床的形成时代应属中晚志留世, 而非晚泥盆世—早石炭世。

**关键词:** 大平掌矿床; 花岗闪长斑岩; 岩石化学; 构造环境; 成岩时代

中图分类号: P595; P597+.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2012)04-0531-10

## Geochemistry and chronology of granodiorite porphyry in the Dapingzhang Cu polymetallic deposit

RU Shan-shan<sup>1</sup>, LI Feng<sup>1</sup>, WU Jing<sup>1</sup>, LI Jin-bao<sup>1</sup>, WANG De-wen<sup>2</sup> and HUANG Ying-cai<sup>2</sup>

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

2. Yuxi Mining Co., Ltd., Yuxi 653100, China)

**Abstract:** The Dapingzhang Cu-polymetallic deposit is a typical VHMS (volcanics-hosted massive sulfides) deposit related to intermediate-acid rocks. The granodiorite porphyry that intruded into the ore-bearing volcanic series is large in size, but its research has been very insufficient. Based on field investigation, the authors studied systematically the formation characteristics, petrology, petrochemistry and chronology of the intrusive body. The results show that the granodiorite porphyry and the volcanic rocks have typical intrusive contact relationship. The granodiorite porphyry, belonging to calc-alkaline high calcium volcanic series, shows volcanic arc granite characteristics as evidenced by distribution patterns of trace elements and rare earth elements. LA-ICP-MS zircon U-Pb age of the granodiorite porphyry is  $401.0 \pm 1.7$  Ma, suggesting early stage of Early Devonian period. This means that the granodiorite porphyry was not formed in the Indosinian period. It is also shown that the age of the volcanics and the VHMS deposit should be early Devonian, rather than late Devonian-early Carboniferous.

**Key words:** Dapingzhang deposit; granodiorite porphyry; petrochemistry; tectonic setting; diagenetic epoch

收稿日期: 2011-12-28; 修订日期: 2012-05-28

基金项目: 云南铜业(集团)有限公司重点科技计划资助项目(20100101)

作者简介: 汝珊珊(1986-), 女, 汉族, 博士研究生, 研究方向为矿产地质, E-mail: monica\_564335@126.com; 通讯作者: 李峰(1957-), 男, 教授, 主要从事区域地质与成矿学的教学与研究, E-mail: lifeng@kmust.edu.cn.

云南普洱(思茅)大平掌铜多金属矿床是“三江”成矿带南段重要的富铜多金属矿床之一。关于矿床地质及矿床成因已有一定的研究成果,多数学者认为属与中酸性火山岩有关的海底喷流沉积型(VHMS)矿床(钟宏,1998;李峰等,2000,2001;杨岳清等,2008;侯增谦等,2008;李文昌等,2010)。关于大平掌矿床的成矿年代,前人也曾开展过一些研究,但认识分歧很大(钟宏(1998)用 Sm-Nd 等时线法和 Rb-Sr 等时线法,获得含矿火山岩系中的细碧岩-角斑岩年龄为  $513 \pm 40$  Ma 和  $511 \pm 8$  Ma,提出含矿火山岩形成于寒武纪;戴宝章等(2004)通过对下部脉状-浸染状矿体中的含铜石英脉开展流体包裹体年代学研究,获得 Rb-Sr 等时线年龄为  $118 \pm 12$  Ma,认为矿床形成于燕山期;杨岳清等(2008)采集 V2 矿体中的 3 件石英角斑岩样品和 2 件矿体上覆的英安岩样品进行 Rb-Sr 等时线定年,获得 306 Ma 的年龄值,认为火山岩及其中的矿体形成于石炭纪。大平掌矿区含矿火山岩系西侧露出一规模较大的花岗斑岩体(图 1),过去一直被称为斜长花岗斑岩体,但对于这一重要地质体的岩石学特征、成岩时代及其与成矿关系未进行深入研究,一直沿用 1:20 万和 1:5 万区域地质调查中的岩浆活动对比资料,将其归入印支期岩体。本研究在对该斑岩体地质调查及岩石学、岩石化学研究的基础上,应用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年方法,对斑岩体的成岩年代进行研究,不仅为确定斑岩的成岩时代和含矿火山岩系形成时代的上限提供了科学依据,也为研究矿区乃至滇西加里东期构造-岩浆演化规律提供了新线索。

## 1 区域地质背景及岩体产出特征

大平掌矿区位于滇西南澜沧江火山岩带中南段的南部,是兰坪-思茅盆地、新生代红层盆地西部的一个断块隆起区。矿区东、西两侧分别为 NNW 向区域性李子箐断裂( $F_4$ )和酒房断裂( $F_1$ ),两断裂夹持的中部断块逆冲上升,主要出露早古生代基底火山岩系,隆升断块两侧为中生代红层即紫红色砂岩、粉砂岩、泥岩,总体为一不完整的复背斜构造。

矿区出露地层为中上志留统大凹子组( $S_{2+3}d$ ),中三叠统下坡头组( $T_{2x}$ )、大水井山组( $T_{2d}$ )、臭水组( $T_{2c}$ )、上三叠统威远组( $T_{3w}$ ),中侏罗统花开左组( $J_2h$ )。其中,中上志留统大凹子组( $S_{2+3}d$ )是

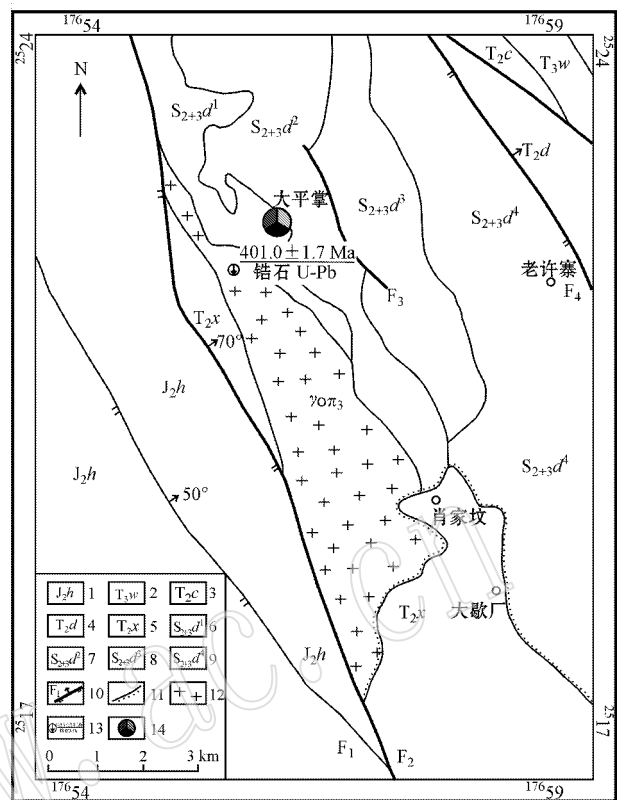


图 1 大平掌矿区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map showing the distribution of the granodiorite porphyry in the Dapingzhang ore district  
1—中侏罗统花开左组泥岩、粉砂岩及砂岩;2—上三叠统威远组泥岩及砂岩;3—中三叠统臭水组粉砂岩夹泥质灰岩;4—中三叠统大水井组灰岩夹泥岩;5—中三叠统下坡头组砂岩、粉砂岩和灰岩;6—中上志留统大凹子组第 4 段中性火山岩夹硅质岩;7—中上志留统大凹子组第 3 段流纹岩、角砾凝灰岩夹细碧岩、角斑岩;8—中上志留统大凹子组第 2 段英安岩;9—中上志留统大凹子组第 1 段石英角斑岩夹细碧岩;10—断层及其编号;11—角度不整合接触;12—花岗闪长斑岩体;13—采样位置及同位素年龄;14—大平掌矿区

1—Middle Jurassic Huakaizuo Formation mudstone, siltstone and malmstone; 2—Upper Triassic Weiyan Formation mudstone and malmstone; 3—Middle Triassic Choushui Formation siltstone intercalated with argillaceous limestone; 4—Middle Triassic Dashuijing Formation limestone intercalated with siltstone; 5—Middle Triassic Xiapotou Formation sandstone, siltstone and limestone; 6—4<sup>th</sup> Member of Middle and Upper Silurian Dawazhi Formation intermediate volcanic rocks intercalated with silicites; 7—3<sup>rd</sup> Member of Middle and Upper Silurian Dawazhi Formation rhyolite and breccia tuff intercalated with spilite, keratophyre; 8—2<sup>nd</sup> Member of Middle and Upper Silurian Dawazhi Formation dacite; 9—1<sup>st</sup> Member of Middle and Upper Silurian Dawazhi Formation quartz keratophyre intercalated with spilite; 10—fault and its serial number; 11—angular unconformity; 12—granodiorite porphyry; 13—sampling location and isotope age; 14—Dapingzhang ore district

矿区含矿地层,为一套海相火山-沉积岩系,属含细碧角斑岩的石英角斑岩建造,总厚大于2100 m,由西向东、由下往上分为4个岩性段(图1):第1段( $S_{2+3}d^1$ )以喷溢-爆发相为主,主要岩性为浅灰-灰白色石英角斑岩、角斑岩及其火山碎屑岩夹灰绿色细碧岩,中上部含火山角砾岩及凝灰岩处为细脉浸染状铜矿体( $V_2$ 型矿体)产出部位,顶部硅质-钙质沉凝灰岩或透镜状灰岩处为块状铜多金属硫化物矿体( $V_1$ 型矿体)产出层位;第2段( $S_{2+3}d^2$ )主要由浅灰-灰绿色英安岩为主,仅局部偶见细脉浸染状铜矿化;第3段( $S_{2+3}d^3$ )以酸性熔岩及其火山碎屑岩为主,夹中基性熔岩、凝灰岩和薄层沉积岩;第4段( $S_{2+3}d^4$ )为紫灰色角斑岩、凝灰岩、凝灰质泥岩夹硅质岩。关于大凹子组地层时代,过去将其归为上石炭统或晚泥盆-下石炭统(云南省地质调查院,2001)<sup>①</sup>,新的研究成果证实,其层位为中上志留统(另文发表)。

大平掌矿床由上部块状铜锌多金属硫化物矿体( $V_1$ 型矿体)和下部细脉浸染状铜矿体( $V_2$ 型矿体)组成, VHMS 矿床的矿化-蚀变结构及元素分带特征典型。

矿区的花岗闪长斑岩岩体沿酒房断裂带中的白沙井断层( $F_2$ )分布,呈岩株或岩枝侵入于中上志留统大凹子组( $S_{2+3}d$ )火山岩中,平面上为北西向的长条形,南宽北窄,出露面积约2.78 km<sup>2</sup>。岩体西界为断层接触,边界平直,接触带出现碎裂岩化或初糜棱岩化。东界大凹子组为侵入接触(图2),接触界线呈港湾状,接触带围岩普遍蚀变退色,岩体边缘冷凝边不发育,但内部常包含大小及形态不一的蚀变玄武岩、流纹英安岩等捕虏体,部分捕虏体略有定向性。在矿区南部肖家坟一带,中三叠统下坡头组( $T_{2x}$ )与斑岩体呈明显的沉积接触。

## 2 斑岩体岩石学及岩石化学特征

### 2.1 岩石学特征

花岗闪长斑岩具斑状结构,块状构造,斑晶主要为斜长石(50%~70%)、石英(20%~40%)、正长石(10%~15%)。斑晶斜长石呈半自形板状,发育钠长石聚片及卡钠复合双晶,有绢云母化现象;石英呈他形粒状,熔蚀现象明显,熔蚀边呈云雾状,部分呈

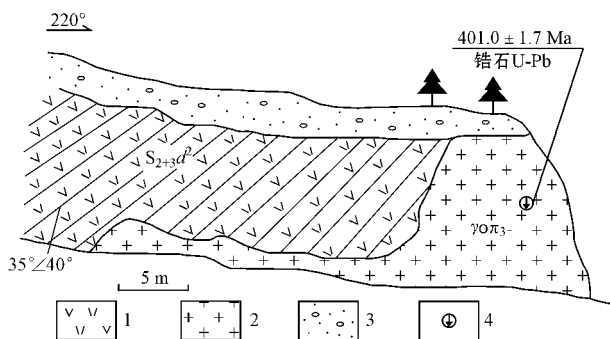


图2 大平掌矿区地磅处公路边SW50 m 坡斜长花岗斑岩与英安岩接触关系素描图

Fig. 2 Geological sketch showing the intrusive contact relationship between granodiorite porphyry and dacite on the side of SW50m highway in the Dapingzhang ore district

1— $S_{2+3}d^2$  英安岩; 2—花岗闪长斑岩; 3—浮土;  
4—取样位置

1—2<sup>nd</sup> Member of Middle and Upper Silurian Dawazhi Formation dacite; 2—granodiorite porphyry rock; 3—covering quick soil; 4—sampling location

集合聚斑或连斑。正长石呈半自形板状,具卡式双晶,有硅质交代或泥化现象。基质主要由微晶斜长石(50%~70%)、石英(30%~50%)等组成,具细粒-微粒结构,普遍硅化、绢云母化。斑晶周围基质以斑晶为生长边呈现梳状结构,说明在岩浆岩形成过程中斑晶先形成,后期则依附着斑晶边缘生长。

### 2.2 岩石化学特征

花岗闪长斑岩体岩石化学成分含量见表1。由主要元素含量及计算出的相关比值或参数可以看出,  $SiO_2$  含量为70.89%~76.36%,平均为72.79%,与中国花岗岩的平均值72.40%相当,标准矿物组合为  $Q + Ab + An + Hy + Cor + Ap + Ilm + Mag$ ,  $SiO_2$  过饱和。全碱 ALK 为4.47~4.64,  $K_2O/Na_2O$  为0.09~0.15,属钠质类型,  $CaO$  含量0.25%~2.76%,平均为1.66%,与同类岩石基本相当。在  $Na_2O + K_2O - SiO_2$  图解(图3)中,落在亚碱性岩系列区中。 $TiO_2$  含量较低,在0.32%~0.44%之间,平均0.387%;  $MgO$  在0.36%~1.93%之间,平均1.23%;  $Fe_2O_3$  为1.62%~3.51%,平均2.647%;  $FeO$  在0.71%~2.75%之间,平均1.87%。 $P_2O_5$  含量多在0.07%~0.08%,平均0.07%。在 AFM 图解(图4)中,投点均落入过铝质花岗岩。 $\sigma$  为0.65~0.73,属富钠的极强钙碱性岩系。固结指数  $SI = 4.28$

① 云南省地质调查院, 2001. 云南思茅大平掌铜多金属矿评价地质报告, 65~80.

表 1 大平掌矿区花岗闪长斑岩岩石化学特征  
Table 1 Rock chemical characteristics of the granodiorite porphyry in Dapingzhang

样号	SM15-88-4	SM15-528-3-1	SM15-528-22-1	中国花岗岩	样号	SM15-88-4	SM15-528-3-1	SM15-528-22-1	中国花岗岩
SiO <sub>2</sub>	76.36	70.89	71.11	72.4	Sc	14.70	14.30	15.40	4.00
TiO <sub>2</sub>	0.40	0.44	0.32	0.23	Ti	2382	2195	2253	1380
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.79	13.54	13.18	13.83	U	0.95	1.20	0.70	2.9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.51	1.62	2.81	1.02	Th	36.70	6.10	8.80	17
FeO	0.71	2.75	2.15	1.27	La	12.50	10.86	9.93	41
MnO	0.070	0.110	0.150	0.041	Ce	21.20	20.52	23.22	77
MgO	0.36	1.41	1.93	0.64	Pr	4.07	2.59	2.56	8.4
CaO	0.25	2.76	1.96	1.34	Nd	17.20	11.88	11.67	30
Na <sub>2</sub> O	4.05	4.00	4.13	3.55	Sm	4.30	2.80	2.78	5.3
K <sub>2</sub> O	0.59	0.47	0.39	4.34	Eu	1.02	0.72	0.62	0.82
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1.32	1.36	1.28	0.91	Gd	4.89	2.95	3.32	5.0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.070	0.080	0.070	0.079	Tb	0.81	0.50	0.60	0.74
烧失	1.37	1.92	1.58	-	Dy	5.29	3.23	3.79	4.4
合计	99.53	99.99	99.78	99.65	Ho	1.03	0.68	0.78	
σ <sub>43</sub>	0.57	0.60	0.49		Er	3.09	2.08	2.51	2.70
σ <sub>25</sub>	0.35	0.37	0.32		Tm	0.5	0.36	0.44	0.41
SI	14.44	17.70	4.28		Yb	3.56	2.13	2.70	2.60
DI	73.86	74.97	87.1		Lu	0.55	0.39	0.49	0.40
Cu	4.37	0.50	0.50	5.50	Y	29.10	19.51	24.96	23.00
Zn	28.60	30.80	21.50	40.00	∑REE	80.01	61.69	65.41	
Au	0.0005	0.0013	0.0016	0.0048	δEu	0.68	0.76	0.62	
Cr	91.20	111.00	127.00	6.60	(Ce/Yb) <sub>N</sub>	1.54	2.49	2.22	
Ni	7.20	1.00	1.00	5.20	(La/Sm) <sub>N</sub>	1.83	2.44	2.25	
Co	4.10	9.77	9.32	3.00	(Gd/Yb) <sub>N</sub>	1.11	1.12	0.99	
Rb	55.00	9.80	16.50	160.00	Q	51.9	39.18	39.20	
Cs	1.60	4.80	2.30	3.60	Ab	35.2	34.68	35.77	
Sr	106.00	273.00	195.00	220.00	An	0.80	13.5	9.48	
Ba	112.00	210.00	115.00	680.00	Hy	4.08	7.20	9.21	
V	30.50	44.10	42.80	23.00	Ap	0.17	0.19	0.17	
Nb	11.10	4.90	12.50	16.00	Lim	0.78	0.86	0.62	
Ta	1.40	0.20	0.20	1.40	Mag	2.10	2.21	2.48	
Zr	81.40	105.00	124.00	155.00	Cor	4.97	2.19	3.06	
Hf	3.50	2.30	3.10	5.00					

注: SM15-88-4、SM15-528-3-1、SM15-528-22-1 据云南地勘局区域地质矿产调查大队(2001)<sup>①</sup>; 中国平均花岗岩据迟清华等(2007); 主元素含量单位  $w_B/\%$ , 微量及稀土元素含量单位  $w_B/10^{-6}$ 。

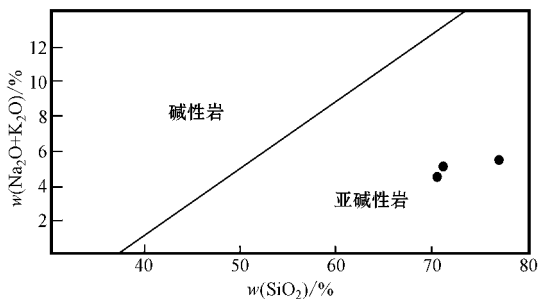


图 3 SiO<sub>2</sub> - Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O 图解(据 Irvine and Baragar, 1971)

Fig. 3 SiO<sub>2</sub> versus Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O diagram (after Irvine and Baragar, 1971)

~17.7, 分异指数 DI 为 73.86~87.1, 平均 78.64, 表明岩浆的分异程度和酸性程度均较高。

在微量元素及稀土元素组成上(表 1)相对中国花岗岩平均值, 矿区花岗闪长斑岩中的大离子亲石元素(Rb, Cs, Sr, Ba) 高场强元素(Nb, Ta, Zr, Hf)和 U、Cu、Zn 等元素的含量相对较低, 而 Th、Sc 和过渡元素(Cr, Co, V) 相对富集, 在特征元素蛛网图(图 5a)上, 各样品的分布曲线相似, 明显富 Th, 贫 Sr、Nb、Ta 等。

稀土元素总量为  $61.69 \times 10^{-6} \sim 80.01 \times 10^{-6}$ ,  $\delta Eu$  范围为 0.62~0.76, 负异常较明显。LREE > HREE ( $La/Sm$ )<sub>N</sub> 在 1.83~2.44 之间 ( $Ce/Yb$ )<sub>N</sub> = 1.54~2.49, 轻稀土元素含量普遍较低, 轻、重稀土元

① 云南地勘局区域地质矿产调查大队. 2001. 中华人民共和国区域地质调查报告(1:5 万那许幅、黄竹林幅、弯手寨幅、黄草坝幅). 88~115.

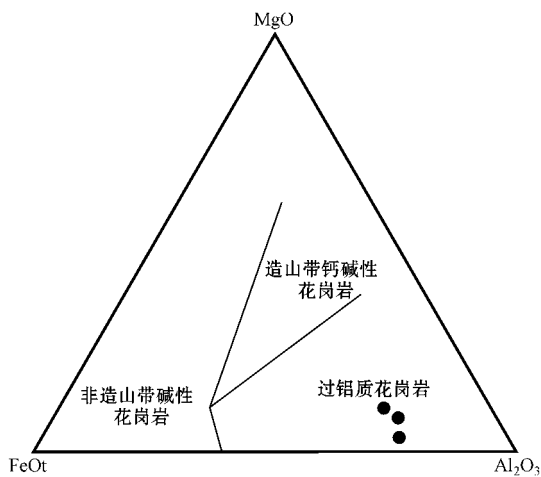


图 4 AFM 三元图解(据 Irvine and Baragar, 1971)

Fig. 4 AFM triangular diagrams(after Irvine and Baragar, 1971)

素分馏不明显,分布模式曲线向右倾斜(图 5b)。

### 2.3 成岩构造环境

区域地质演化研究表明,在志留纪末由于原特提斯洋壳开始向东俯冲,矿区所在的思茅地块西缘总体处于火山岛弧环境。这种成岩动力学条件对花岗闪长斑岩体的岩石地球化学组成产生制约,表现在以下几方面:岩石中  $\text{SiO}_2$  含量高,  $\text{Al}/(\text{K} + \text{Na} + 2\text{Ca}) = 1.10 \sim 1.51$ ,  $\text{K}/(\text{Na} + \text{K}) = 0.06 \sim 0.08$ ,  $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}) = 0.34 \sim 0.81$ , 均含 CIPW 标准矿物 C,且含量大于 1%,具有 I 型花岗岩特点(图 6);在  $R_2 - R_1$  图(图 7)上,投点主要位于地幔分异花岗岩区;在 Pearce(1984)和 Harris 等(1986)的花岗岩构造环境判别图解中,大平掌花岗闪长斑岩的所有样品均落入火山弧区(图 8)。

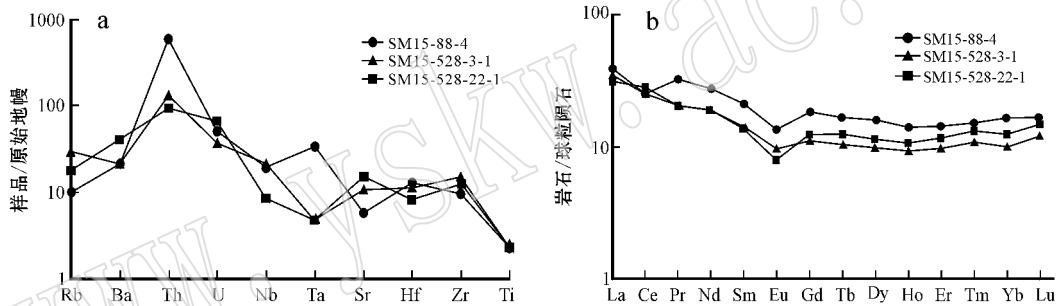


图 5 花岗闪长斑岩微量元素蛛网图(a,原始地幔标准据 McDonough and Sun,1985)和花岗闪长斑岩稀土配分模式图(b,球粒陨石标准据 Taylor and McLennan,1985)

Fig. 5 Trace elements spider diagrams of the granodiorite porphyry(a, primitive mantle data after McDonough and Sun, 1985) and chondrite-normalized REE patterns of the granodiorite porphyry(b, chondrite data after Taylor and McLennan, 1985)

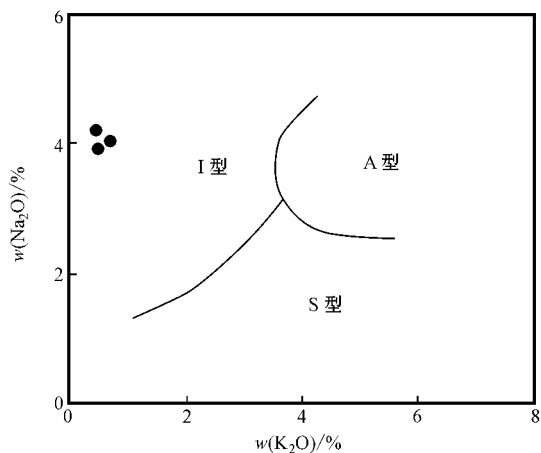


图 6  $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$  成因判别图解(据 Collins 等, 1982)

Fig. 6  $\text{Na}_2\text{O}$  versus  $\text{K}_2\text{O}$  diagrams of the granodiorite porphyry(after Collins *et al.*, 1982)

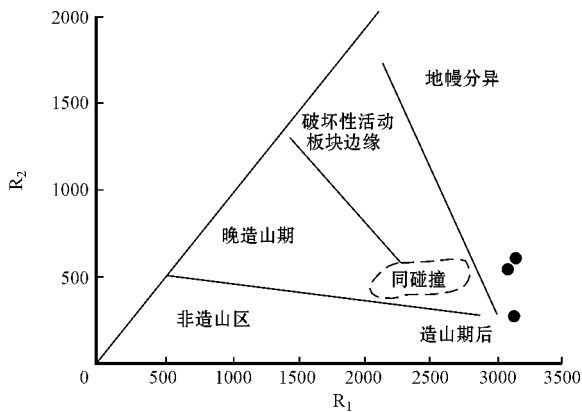


图 7  $R_2 - R_1$  图解(据 Batchelor & Bowden, 1985)

Fig. 7  $R_2$  versus  $R_1$  diagrams of the granodiorite porphyry(after Batchelor & Bowden, 1985)

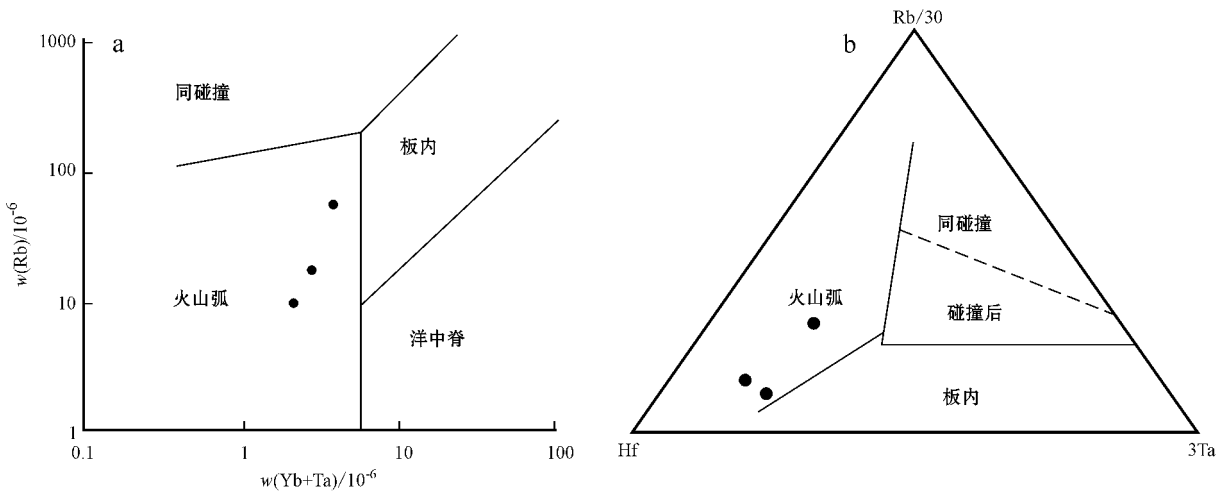


图 8 Rb-(Yb+Ta)图解(a, 据 Pearce, 1984)和 Rb/30-Hf-3Ta 图解(b, 据 Harris 等, 1986)

Fig. 8 Rb-(Yb+Ta) diagram (a, after Pearce, 1984) and Rb/30-Hf-3Ta diagram (b, after Harris *et al.*, 1986)

总体看,矿区花岗闪长斑岩具典型的岛弧型花岗岩特点。与常产于年轻俯冲带、在成因上与洋壳板片熔融密切相关的埃达克岩比较(Defant and Drummond, 1990),二者除在  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$  方面相似外,其他岩石地球化学标志差别较大(表 2),说明本区岩体属正常的岛弧钙碱性岩浆活动的产物,不同于埃达克岩。结合岩石中大离子亲石元素(K、Rb、Cs、Sr、Ba)和 LREE 明显亏损等,推测岩浆来源于应与亏损地幔源区有关,具早期岛弧岩浆岩的特点。

表 2 埃达克岩的地球化学判别标志与大平掌岩体比较  
Table 2 Geochemical characteristic comparison between the adakite and the granodiorite porphyry in Dapingzhang

主要指标	埃达克岩	大平掌花岗闪长斑岩
$\alpha(\text{SiO}_2) \%$	$\geq 56$	72.79
$\alpha(\text{Al}_2\text{O}_3) \%$	$\geq 15$	12.83
$\alpha(\text{MgO}) \%$	$< 3$	1.23
$\alpha(\text{Na}_2\text{O}) \%$	$\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O} = 4.06$ , $\text{K}_2\text{O} = 0.48$ ; $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$
$\alpha(\text{Y}) \times 10^{-6}$	$< 19$	24.5
$\alpha(\text{Yb}) \times 10^{-6}$	$\leq 1.9$	2.80
$\alpha(\text{Sr}) / \alpha(\text{Y})$	$> 40$	7.8
REE 特征	LREE 富集, Eu 无异常或弱负异常	LREE 略富集, Eu 中等负异常

### 3 年代学研究

#### 3.1 样品来源及分析

样品采自矿区斜长花岗岩侵入岩体中,样品编

号 DP-103, 送往河北地质矿产局廊坊实验室挑选锆石。从(DP-103)样品中选取 200 余粒锆石,对锆石进行 LA-ICP-MS U-Pb 有效定年,结果见表 3。将锆石样品粘在双面胶上,用无色透明的环氧树脂固定,待环氧树脂充分固化后抛光至样品露出一个平面。样品测定之前用 3%(体积比)的  $\text{HNO}_3$  清洗样品表面,然后在 Geolas-193 型紫外激光剥蚀系统的 Agilent 7500a 型 ICP-MS 上进行锆石测年。激光剥蚀斑束直径为  $30 \mu\text{m}$ ,频率为 10 Hz。采样方式为单点剥蚀,以 He 作为剥蚀物质的载气。ICP-MS 数据采集选用跳峰方式,数据处理采用 GLITTER(ver 4.0)程序,年龄计算以标准锆石 91500 为外标进行同位素比值分馏校正。元素浓度计算采用 NIST610 为外标, Si 为内标。样品的谐和图、加权平均年龄计算及绘制均采用 Isoplot(ver 2.49)。在样品分析过程中,获得国际标样 91500 及 GJ-1 的年龄分析结果与对应的年龄推荐值在误差范围内完全一致。

#### 3.2 分析结果

在花岗闪长斑岩锆石 CL 图像上(图 9),锆石多为自形长柱状晶体,长  $70 \sim 100 \mu\text{m}$ ,宽  $50 \sim 70 \mu\text{m}$ ,发育典型的结晶环带,锆石的 Th 和 U 的含量分别为  $95 \times 10^{-6} \sim 351 \times 10^{-6}$  和  $301 \times 10^{-6} \sim 700 \times 10^{-6}$ , Th/U 比值为  $0.24 \sim 0.55$  之间,表明这些锆石为岩浆成因(Williams *et al.*, 1996; Pidgeon *et al.*, 1998; Claesson and Bayanova, 2000; Hoskin and Black, 2000)。锆石的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄值在  $398 \sim 407$  Ma 之间,  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  年龄值在  $404 \sim 429$  Ma 之间,分

表 3 大平掌矿区花岗闪长斑岩 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析结果  
Table 3 LA-ICP-MS U-Pb isotopic analytical data of the granodiorite porphyry in Dapingzhang

序号	样号	Th/U	$w_B/10^{-6}$		同位素比值				年龄/Ma							
			U	Th	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$				
1	DP-103-02	0.424 039	327.14	138.72	0.056 91	0.001 29	0.503 16	0.007 03	0.064 11	0.000 60	488	49	414	5	401	4
2	DP-103-04	0.509 100	479.10	243.91	0.055 90	0.001 18	0.493 22	0.005 63	0.063 98	0.000 59	448	46	407	4	400	4
3	DP-103-06	0.367 834	354.78	130.50	0.059 25	0.001 27	0.525 24	0.006 27	0.064 28	0.000 59	576	46	429	4	402	4
4	DP-103-09	0.519 683	533.46	277.23	0.056 38	0.001 41	0.495 18	0.008 58	0.063 70	0.000 63	467	55	408	6	398	4
5	DP-103-10	0.387 203	370.09	143.30	0.057 15	0.001 22	0.503 40	0.005 96	0.063 88	0.000 59	497	47	414	4	399	4
6	DP-103-11	0.368 612	334.01	123.12	0.057 76	0.001 29	0.508 14	0.006 91	0.063 81	0.000 60	520	49	417	5	399	4
7	DP-103-12	0.236 813	402.47	95.31	0.056 00	0.001 42	0.491 72	0.008 77	0.063 68	0.000 63	452	55	406	6	398	4
8	DP-103-13	0.326 676	351.51	114.83	0.054 94	0.001 20	0.493 73	0.006 33	0.065 18	0.000 61	410	48	407	4	407	4
9	DP-103-15	0.497 094	507.51	252.28	0.055 60	0.001 17	0.494 85	0.005 62	0.064 55	0.000 60	436	46	408	4	403	4
10	DP-103-16	0.545 667	536.06	292.51	0.057 18	0.001 21	0.506 54	0.005 88	0.064 27	0.000 60	498	46	416	4	402	4
11	DP-103-20	0.385 903	301.19	116.23	0.058 05	0.001 42	0.509 76	0.008 50	0.063 71	0.000 63	531	53	418	6	398	4
12	DP-103-26	0.306 967	359.42	110.33	0.057 72	0.001 26	0.510 74	0.006 56	0.064 21	0.000 62	519	47	419	4	401	4
13	DP-103-27	0.371 901	535.68	199.22	0.055 09	0.001 75	0.490 92	0.012 77	0.064 67	0.000 72	416	69	406	9	404	4
14	DP-103-30	0.416 298	626.33	260.74	0.055 20	0.001 17	0.492 14	0.005 88	0.064 70	0.000 62	420	46	406	4	404	4
15	DP-103-31	0.515 539	529.00	272.72	0.057 58	0.001 24	0.507 45	0.006 25	0.063 97	0.000 62	513	47	417	4	400	4
16	DP-103-33	0.501 628	700.26	351.27	0.056 84	0.001 26	0.499 44	0.006 76	0.063 78	0.000 63	485	48	411	5	399	4
17	DP-103-35	0.363 345	405.95	147.50	0.054 92	0.001 46	0.488 47	0.009 62	0.064 56	0.000 67	409	58	404	7	403	4
18	DP-103-36	0.443 057	233.92	103.64	0.057 09	0.001 35	0.506 25	0.007 95	0.064 37	0.000 65	494	52	416	5	402	4

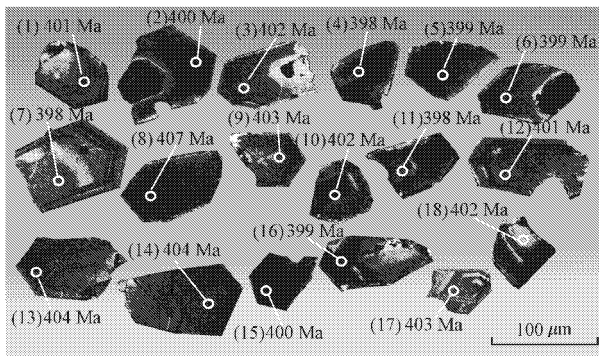


图 9 大平掌花岗闪长斑岩中典型锆石的 CL 图像

Fig. 9 Cathodoluminescence images of zircons from the granodiorite porphyry in Dapingzhang

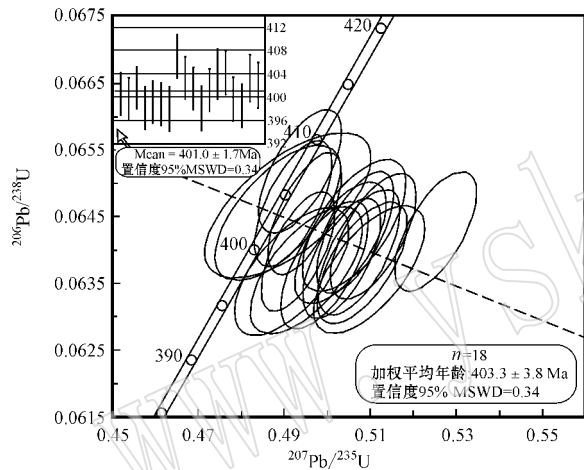


图 10 大平掌花岗闪长斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和曲线图

Fig. 10 Concordia diagram of LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results for the granodiorite porphyry in Dapingzhang

析点年龄数据较集中,在 U-Pb 年龄谐和图(图 10)上,所有点均分布在谐和曲线或其附近,年龄平均值为  $401.0 \pm 1.7$  Ma,介于晚志留世末—早泥盆世之间。

## 4 讨论

大平掌矿区花岗闪长斑岩属富钠的极强钙碱性岩系,岩浆的分异程度和酸性程度均较高。岩石稀土元素总量为  $61.69 \times 10^{-6} \sim 80.01 \times 10^{-6}$ ,负异常较明显。轻稀土元素含量普遍较低,轻、重稀土元素分馏不明显。

花岗闪长斑岩体与火山岩呈侵入接触关系,并

与中三叠统下坡头组( $T_2x$ )沉积覆盖,从宏观地质接触关系看,矿区花岗斑岩形成于大凹子组火山岩之后。通过锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年,花岗闪长斑岩的成岩年龄为  $401.0 \pm 1.7$  Ma,说明矿区花岗斑岩体形成时期应与加里东末期岛弧岩浆活动密切相关,而非过去认为的印支期岩体。另一方面,李峰等(2012)应用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法对大凹子组第 1 段矿体下部的流纹岩进行测年研究,获得  $428.28 \pm 6$  Ma 的平均年龄值;应用 Re-Os 同位素测年方法获得 V2 型矿体中黄铜矿的模式年龄值  $410.9 \pm 6.0$  Ma。同时,云南省地调局尹光侯等(未刊资料)应用 SHRIMP 锆石 U-Pb 法,获得大凹子组第 1 段( $S_{2+3}d^1$ )流纹岩和凝灰岩的年龄值分别为  $417.3 \pm 1.5$  Ma 和  $420.8 \pm 1.6$  Ma;李文昌等(2010)获得矿区 V<sub>2</sub> 型矿体中辉钼矿 Re-Os 同位素年龄值  $428.8 \pm 6.1$  Ma 和  $442.4 \pm 5.6$  Ma。这些数据的代表性较好,能相互支持,地质意义清楚,说明矿区含矿火山岩的成岩年龄及其中矿体的成矿年龄均在中晚志留世范围内。显然,花岗闪长斑岩的年龄值小于火山岩及其中的矿体,与宏观地质关系吻合,说明花岗闪长斑岩是成矿后岩体,与矿区的 VHMS 矿床没有直接关系,但斑岩岩浆活动对矿体会产生一定改造作用,如块状硫化物重结晶等。

原特提斯和古特提斯的转化关系,过去以上泥盆统南光组为陆相沉积的标志,认为原特提斯在志留纪末关闭。近年来研究认为,澜沧江洋在早古生代打开后并未完全关闭(李文昌等,2010)。尽管滇西区域上未见加里东期的角度不整合,挤压-碰撞型造山作用标志不明显,但是笔者从构造-热事件的时空分布、奥陶系-志留系中构造样式及变质程度的差异等方面分析认为,滇西加里东末期的构造-热事件是存在的。除花岗闪长斑岩体证实为加里东晚期产物外,迄今,滇西已多处发现加里东末期地质体,如:平和角闪黑云花岗闪长岩全岩 Rb-Sr 年龄为 525.9 Ma,蛮街岩体 Rb-Sr 年龄为 492 Ma(罗君烈等,1994);澜沧高压变质带中保存有 410 Ma 变质年龄,西盟老街子剪切带糜棱岩 Rb-Sr 等时线年龄为  $446.7 \pm 0.2$  Ma,临沧花岗岩基中存在 U-Pb 锆石年龄为 433 Ma 的细粒黑云母花岗岩和 420 Ma 花岗闪长岩(钟大赉等,1993,1998);碧罗雪山闪长花岗岩的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  坪年龄为 418 ~ 424 Ma(戴潼模等,1986),这均是早古生代末构造-热事件的表现。因此,加里东末期的构造-热事件可能主要使古澜沧江



洋两侧出现岩浆活动,应是以热力作用为主的造山作用,标志是在思茅陆块西缘出现火山岛弧,被动大陆边缘向主动大陆边缘转化。这种以岩浆活动为主的造山作用一直延续到晚古生代,逐步形成思茅陆块东、西缘火山弧带(景谷-景洪火山弧和绿春-金平火山弧),并造成晚古生代兰坪-思茅区的构造环境分异。由此推论,加里东末期的构造-热事件并没有造成原特提斯关闭,原特提斯与古特提斯之间演化可能是逐渐过渡的。

## 5 结论

(1) 花岗闪长斑岩属富钠的极强钙碱性岩系,岩浆的分异程度和酸性程度均较高。

(2) 花岗闪长斑岩具典型的岛弧型花岗岩特点,属正常的岛弧钙碱性岩浆活动的产物,不同于埃达克岩。

(3) 年代学表明花岗闪长斑岩属于加里东末期岩浆作用的产物,并不是以往认为的印支期。矿区火山岩和花岗闪长斑岩为同源、同期和同构造环境岩浆作用的产物。

(4) 大平掌矿区成岩成矿时代的重新厘定及成岩成矿构造环境的确认,不仅对重新认识大平掌矿区的火山岩与成矿关系、建立成矿模式等有重要意义,还证实思茅盆地西部在加里东期就存在火山岛弧及与岛弧火山-喷流作用有关的铜多金属成矿作用,预示原特提斯期火山-喷流成矿作用是红层基底中的一种重要成矿类型,对分析研究区域构造及成矿演化等也提供了新的启示。

致谢 感谢西北大学大陆动力学国家重点实验室柳晓明老师、第五春荣老师的热心帮助。

## References

- Batchelor R A and Bowden P. 1985. Pterogenetic interpretation of granitoid rock series using multi-cationic parameters[J]. *Chem. Geol.*, 48(1): 43~55.
- Chi Qinghua and Yan Mingcai. 2007. *Geochemical Element Abundance Data Handbook*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 3~4(in Chinese).
- Claesson S V and Bayanova T. 2000. U-Pb zircon age from a Devonian carbonatite dyke, Kola Peninsula, Russia: A record of geological evolution from the Archaean to the Palaeozoic[J]. *Lithos*, 51(1~2): 95~108.
- Collins W J, Beams S D, White A J R, et al. 1982. Nature and origin of A type granites with particular reference to Southeastern Australia[J]. *Contrib. Miner., Petro.*, 80: 189~200.
- Dai Baozhang, Liao Qilin and Jiang Shaoyong. 2004. Isotope geochemistry and mineralization age of the Dapingzhang copper-polymetallic deposit in Lanping-Simaog Basin, Yunnan Province[J]. *Journal of Nanjing University(Natural Sciences)*, 40(6): 674~683(in Chinese).
- Dai Tongmuo, Zhu Bingquan, Zhang Yuquan, et al. 1986. Collision and thermal history of Indian-Sandaland-Eurasia plates as implicated by  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age spectra of granodiorites[J]. *Geochimica*, 29(2): 96~107(in Chinese).
- Defant M J and Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere[J]. *Nature*, 347: 662~665.
- Harris. 1986. Distribution and tectonic setting of plutonic rocks of the Arabian Shield[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 298.
- Hoskin P W O and Black L P. 2000. Metamorphic zircon formation by solidstate recrystallization of protolith igneous zircon[J]. *J. Metamorphic Geol.*, 18: 423~439.
- Hou Zengqian, Wang Erqi, Mo Xuanxue, et al. 2008. The Qinghai-Tibet Plateau Mountain Building Collision and Mineralization[M]. Geological Press: 361~447(in Chinese).
- Irvine T N and Baragar W R A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks[J]. *Can. J. Earth Sci.*, 8: 523~548.
- Li Feng, Wu Jing, Li Wenyao, et al. 2012. Metallogenic Regularity Study and Prospecting Prediction of the Dapingzhang Cu Poly-Metallic Deposits in Yunnan[M]. Kunming: Yunnan Press, 146~150(in Chinese).
- Li Feng and Zhang Fuliang. 2001. Volcanic-exhalative-sedimentary genesis of Dapingzhang Cu-polymetal deposit, western Yunnan[J]. *Geology and Prospecting*, 37(4): 5~8(in Chinese).
- Li Feng and Zhuang Fengliang. 2000. Geological characteristics and its genesis of Dapingzhang Cu-polymetal deposit in Western Yunnan[J]. *Journal of Kunming University of Science and Technology*, 25(6): 32~36(in Chinese).
- Li Wenchang, Pan Guitang, Hou Zengqian, et al. 2010. Arc-Basin Collision Orogenic of Southwest "Sanjiang" Metallogenic Theory and Exploration Technology[M]. Beijing: Geological Press, 92~104(in Chinese).
- LUO Junlie, Yang Youhua, Zhao Zhun, et al. 1994. The Evolution of the Western Yunnan Tethys and Its Main Metal Ore Deposits in the Mineralization[M]. Beijing: Geological Publishing House, 245~252(in Chinese).

- McDonough W F and Sun S S. 1985. Isotopic and geochemical systematic in tertiary-Recent basalts from southeastern Australia and implication for the subcontinental lithospheres [ J ]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49 : 2 051~2 067.
- Pearce J A. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [ J ]. *J. Petr.*, 25(4): 956~983.
- Pidgeon R T, Nemchin A A and Hitchen G J. 1998. Internal structures of zircons from Archaean granites from the Darling Range batholith: Implication for zircon stability and the interpretation of zircon U-Pb ages [ J ]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 132 : 288 ~ 299.
- Taylor S R and Mclennan S M. 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution* [ M ]. London: Blackwell Scientific Publications, 312.
- Williams I S, Buick A and Cartwright I. 1996. An extended of early episode Mesoproterozoic metamorphic fluid flow in the Reynold region [ J ]. *Central Australia J. Metamorphic Geol.*, 14 : 29~47.
- Yang Yueqing, Yang Jianmin, Xu Decai, *et al.* 2008. Mineralization of Dapingzhang massive sulfide copper-polymetallic deposit in Yunnan [ J ]. *Mineral Deposits*, 27(2): 230~242 (in Chinese).
- Zhong Dalai. 1998. The ancient Tethys Orogen of Western Yunnan and Sicuar [ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 107~170 (in Chinese).
- Zhong Dalai and Ding Lin. 1993. From Sanjiang and Adjacent Regions Tethys Discussion with Evolution of Gondwana Continent Discrete and Asian Continent Hyperplasia [ M ]. *The Earthquake Press*, 5~8 (in Chinese).
- Zhong Hong. 1998. The Studies of Volcanic Rocks and Ore-forming Mechanism of Copper-polymetallic Deposit in Dapingzhang Ore District, Yunnan Province [ D ]. Guizhou: The Chinese Academy of Sciences Institute of Geochemistry, 68~73 (in Chinese).

## 附中文参考文献

- 迟清华, 鄢明才. 2007. 应用地球化学元素丰度数据手册 [ M ]. 北京: 地质出版社, 3~4.
- 戴宝章, 廖启林, 蒋少涌. 2004. 云南兰坪-思茅盆地大平掌铜多金属矿床同位素地球化学与成矿年代学 [ J ]. *南京大学学报(自然科学)*, 40(6): 674~683.
- 戴潼谟, 朱炳泉, 张玉泉, 等. 1986. 从闪长花岗岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄谱分析探讨印度-欧亚板块碰撞与热动力作用历史 [ J ]. *地球化学*, 29(2): 96~107.
- 侯增谦, 王二七, 莫宣学, 等. 2008. 青藏高原碰撞造山与成矿作用 [ M ]. 北京: 地质出版社, 361~447.
- 李峰, 吴静, 李文尧, 等. 2012. 思茅大平掌铜多金属矿床成矿规律研究及找矿预测 [ M ]. 昆明: 云南出版社, 146~150.
- 李峰, 张富良. 2001. 滇西大平掌铜多金属矿床火山喷流沉积成因 [ J ]. *地质与勘探*, 37(4): 5~8.
- 李峰, 庄凤良. 2000. 滇西大平掌铜多金属矿床地质特征及其成因分析 [ J ]. *昆明理工大学学报*, 25(6): 32~36.
- 李文昌, 潘桂崇, 侯增谦, 等. 2010. 西南“三江”多岛弧-盆碰撞造山成矿理论与勘查技术 [ M ]. 北京: 地质出版社, 92~104.
- 罗君烈, 杨友华, 赵准, 等. 1994. 滇西特提斯的演化及其主要金属矿床的成矿作用 [ M ]. 北京: 地质出版社, 245~252.
- 杨岳清, 杨建民, 徐德才, 等. 2008. 云南大平掌铜多金属矿床成矿作用 [ J ]. *矿床地质*, 27(2): 230~242.
- 钟大赉. 1998. 滇川西部古特提斯造山带 [ M ]. 北京: 地质出版社, 107~170.
- 钟大赉, 丁林. 1993. 从三江及邻区特提斯带演化讨论冈瓦纳大陆离散与亚洲大陆增生 [ M ]. *地震出版社*, 5~8.
- 钟宏. 1998. 云南大平掌矿区火山岩及铜多金属矿床成矿机制研究 [ D ]. 贵州: 中国科学院地球化学研究所, 68~73.