

羌塘西北部松西地区新生代火山岩岩石 地球化学特征及成因讨论

钟华明^{1,2}, 吕 达¹, 童劲松², 夏 军², 鲁如魁²

(1. 安徽工业经济职业技术学院, 安徽 合肥 230051; 2. 安徽省地质调查院, 安徽 合肥 230011)

摘 要: 羌塘西北部松西地区新生代火山岩由安山岩、英安岩和晚期火山颈相流纹斑岩 3 种岩石类型组成, 属于钙碱性-高钾钙碱性岩石系列。岩石富集大离子亲石元素和 LREE, 相对亏损高场强元素, Nb、Ta、Ti 负异常, 反映源岩具有壳源特征, 基性端员的 SiO₂ 含量 < 53%, 表明松西地区玄武安山岩不可能完全由陆壳直接局部熔融产生, 应该有少量基性的地幔物质加入。岩浆 Eu 负异常不明显, 说明岩浆来源于加厚陆壳中下部, 是印度板块与欧亚板块发生长期碰撞挤压导致青藏高原北部包括羌塘地区的陆壳缩短和加厚、拉萨地块大陆岩石圈的北向俯冲作用以及羌塘陆块之下上涌的软流层物质的底侵作用, 引发增厚下地壳发生部分熔融形成的。

关键词: 松西地区; 火山岩; 新生代; 钙碱性-高钾钙碱性

中图分类号: P588.14; P581

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2009)04-0339-10

Geochemistry and genesis of Cenozoic volcanic rocks in Songxi area, northwestern Qiangtang, Tibet

ZHONG Hua-ming^{1,2}, LÜ Da¹, TONG Jin-song², XIA Jun² and LU Ru-kui²

(1. Anhui Technical College of Industry and Economy, Hefei 230051, China; 2. Anhui Academy of Geological Survey, Hefei 230011, China)

Abstract: Cenozoic volcanic rocks are distributed in Songxi area of northwestern Qiangtang within northern Tibet, a marine volcanic rock association composed of andesite, dacite and rhyolite belongs to the calc-alkaline-high K calc-alkaline series. The rocks have high large-ion lithophile elements LIL and LREE, low HFSE, and relatively depleted Nb, Ta, Ti, reflecting features of terrigenous magma. SiO₂ contents of basic volcanic rocks are less than 53%, suggesting that basaltic andesite in Songxi area was not entirely produced by direct partial melting from the continental crust generation, and that the formation of basaltic andesite must have had the participation of a small amount of mantle materials. Eu negative anomalies are not obvious, implying that magma was derived from the thickening of the lower continental crust resulting from the collision and long-term squeeze between the Indian plate and the Eurasian plate, which led to the shortening and thickening of the continental crust in the northern part of Qinghai-Tibet plateau, including Qiangtang area. The northward subduction of the Lhasa block of continental lithosphere and the underplating of upwelling asthenosphere materials in the Qiangtang landmass triggered off the formation of the thickened lower crust through partial melting.

Key words: Songxi area; volcanic rocks; Cenozoic; calc-alkaline - high K calc-alkaline

青藏高原北部新生代火山活动强烈,火山岩从南部班公湖-怒江结合带到北部昆仑结合带广泛分布,开展青藏高原北部新生代火山岩的研究对于探索新生代以来青藏高原岩石圈物质组成、壳幔结构以及高原隆升机制具有重要意义。国内外学者已做了大量细致的调查研究,获得了大量的基础资料,取得了许多重要成果(邓万明,1989,1998,2003;Arnaud *et al.*,1992;Tuner *et al.*,1993;邓万明等,1996;迟效国等,1999;赖绍聪,1999,2003;李光明,2000;谭富文等,2000;杨经绥等,2002;Chung *et al.*,2003;刘燊等,2003;赖绍聪等,2006,2007;李才等,2006)。由南往北大致划分出羌塘、可可西里和喀喇昆仑-玉门3条火山岩带(迟效国等,1999;刘燊等,2001,2003),并在羌塘火山岩带区分出钠质碱性玄武岩(西羌塘)、高钾钙碱性(东羌塘)和过碱性钾质-超钾质(中羌塘)3个火山岩系列(刘燊等,2001,2003),并对它们各自的源区性质和成因模式进行了分析。但是,对羌塘火山岩带的研究基本集中在羌塘腹地或北羌塘,南羌塘西北部松西一带没有任

何涉及。安徽省地质调查院在进行1:25万区域地质填图^①中发现,南羌塘西北部松西一带古近纪断陷盆地有大量火山岩分布,松西地区火山岩分布最广的安山岩为钙碱性岩类,与羌塘其他地区3个系列火山岩明显不同,本文将报道该地区新生代火山岩岩石学、岩石化学、地球化学特征并讨论其形成的构造环境,以进一步丰富藏北地区火山岩研究基础资料。

1 地质背景

松西地区位于双湖-龙木错断裂带南侧(图1),班公湖-怒江结合带北部,属于南羌塘地块。地层属于羌塘南部多玛地层区(西藏自治区地质矿产局,1993),出露的地层主要为晚古生代石炭系-二叠系,包括有展金组(上石炭统一二叠统)、曲地组(下二叠统)、吞龙共巴组、龙格组(中二叠统)、吉普日阿组(上二叠统),吉普日阿组不整合于龙格组之上,其他各组之间均为整合接触。

区域上白垩纪中酸性侵入岩发育,主要为黑云

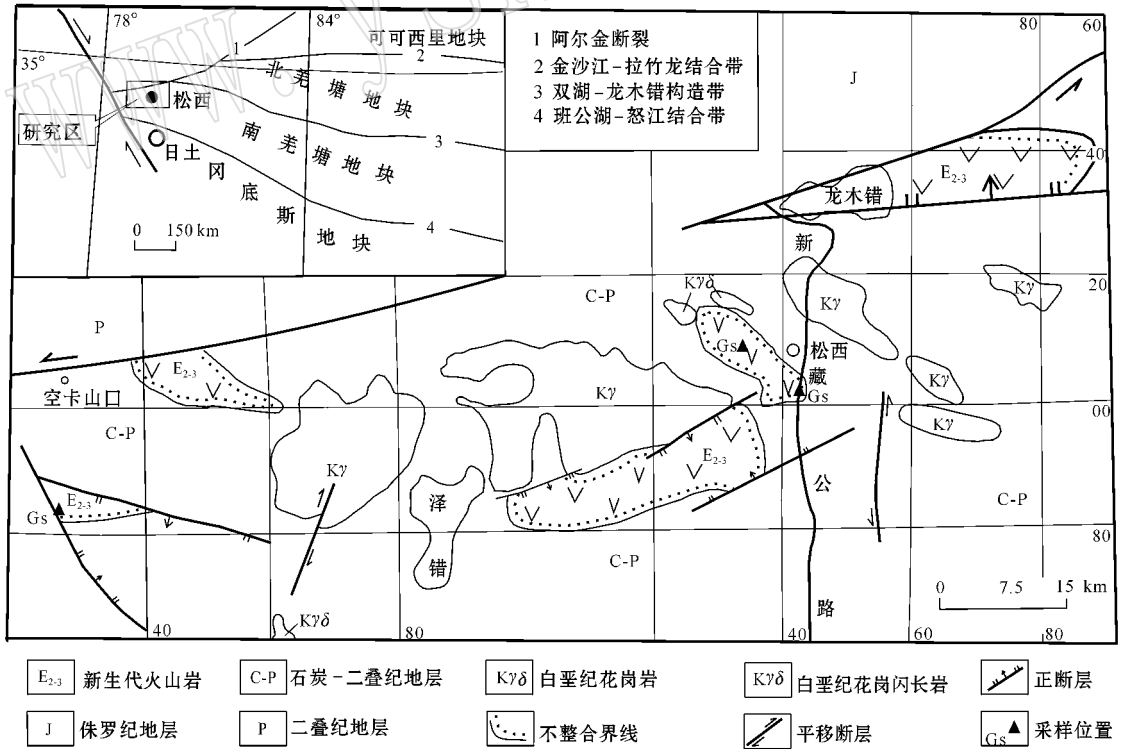


图 1 松西地区地质略图

Fig. 1 Simplified geological map of Songxi area

① 安徽省地质调查院. 1:25万松西幅、温泉幅区域地质调查报告.

母二长花岗岩、白云母二长花岗岩,少量花岗闪长岩。阿尔金断裂斜贯研究区西北部,近东西向(北西西、南西西向)和南北向断裂发育。

古近纪沿较大规模断裂带发育断陷盆地,沉积了一套红色砂砾岩。在断陷盆地发育过程中伴随着广泛的中酸性岩浆喷发活动,广泛分布安山质和英安质火山岩,在松西西部旋风沟一带发育晚期火山颈相次火山岩。安山质熔岩同位素年龄为 36.72 ± 0.19 Ma ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法)(钟华明等,2008),西部旋风沟地区晚期潜火山岩(流纹斑岩)同位素年龄为 32.7 ± 0.2 Ma (U-Pb 法)(钟华明等,2006),表明其时代为古近纪始新世—渐新世,与羌塘走构油茶、康托、鱼鳞山、比隆错、纳丁错和跃进拉等地火山岩时代(李光明,2000;赖绍聪等,2006;李才等,2006)相当。

2 岩石学特征

松西地区火山活动表现为3个阶段(钟华明等,2007):第1阶段为间歇性中性爆发,形成以安山质碎屑岩为主的岩石;第2阶段为酸性喷溢阶段,形成英安岩;第3阶段为中性喷发偶夹酸性喷发,为连续的爆发和喷溢,先期以爆发为主,后期以喷溢为主,形成安山岩和安山质晶屑、玻屑、岩屑凝灰岩和少量英安岩。第1阶段与第2阶段之间有较长的间歇期,夹有湖泊相碎屑岩沉积。第2阶段与第3阶段,英安岩与安山岩之间没有陆相碎屑岩沉积,但界线明显,为假整合接触,反映二者之间仅有短时间的喷发间断。

玄武安山岩是火山岩的最主要类型。岩石多呈暗红—紫红色,斑状结构,块状构造,杏仁状构造,部分具角砾状构造。斑晶粒径一般 $0.5 \sim 2.0$ mm,以斜长石主, $10\% \sim 15\%$,呈半自形板状,部分呈聚斑状,多具简单双晶和聚片双晶,少量具卡钠联合双晶,部分绢云母化。 $A_n = 27 \pm$,为更长石,呈溶蚀港湾状,暗色矿物含量 5% ,已碳酸盐化,有的内部为方解石,具暗化边,根据其短柱状、粒状的外形,推测其为辉石;石英 $< 1\%$ 。基质以斜长石、玻璃质—隐晶质为主,少量为暗色矿物(已蚀变, $3\% \sim 5\%$)。斜长石微晶(40%),具环带结构;玻璃质($30\% \sim 35\%$),分布于斜长石微晶之间,部分已脱玻化,转变为隐晶质。副矿物为锆石、磷灰石、褐铁矿。根据结构构造、玻璃质、暗色矿物含量等可分为杏仁状安山岩、富玻安山岩、辉石安山岩等。

英安岩面上分布广,但是厚度小。岩石呈浅灰、灰红—暗红色,斑状结构,块状构造、杏仁状构造。斑晶粒径 $0.2 \sim 1.0$ mm,含量 23% ,主要成分为斜长石,少量黑云母,角闪石和透长石,斜长石呈半自形板状,部分受到溶蚀,具简单双晶和聚片双晶,少量略具环带构造, $A_n = 23 \pm$,为更长石。基质以玻璃质—隐晶质为主,次为斜长石($5\% \sim 10\%$)。与安山岩相比,其石英含量明显增加,一般在 5% 左右,不含辉石。副矿物为锆石、磷灰石等。

松西地区火山岩与羌塘其他地区(如走构油茶地区、鱼鳞山地区、纳丁错地区、多格错仁地区、巴毛穷宗地区、比隆错地区等)新生代火山岩以碱性、中基性岩岩石类型为主的特征有明显差别,松西地区火山熔岩只有玄武安山岩和英安岩两种岩石类型,没有基性岩或碱性岩产出。

3 岩石化学特征

P29GS5、P29GS6 两个样品采自研究区西部空卡山口南侧火山岩盆地,其他样品均采自松西西部火山岩盆地,其中 1007GS1 位于盆地东南部,另外的样品采自该盆地中部(图 1)。

岩石化学成分及主要参数列于表 1。玄武安山岩 SiO_2 含量在 $52.41\% \sim 55.87\%$ 之间,平均为 54.14% ,总体属中性安山质岩石的 SiO_2 含量范畴。 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (分子数),属铝正常系列。ANKC 为 $0.81 \sim 0.86$,CIPW 标准矿物中出现 Q + Ab + An + Or 的组合,不含刚玉分子,表明岩石属于硅过饱和、铝正常系列安山岩。里特曼指数为 $1.11 \sim 1.82$,属钙碱性系列。在 ALK— SiO_2 图解中落入亚碱性系列玄武安山岩区(图 2)。在 $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 图解中(图 3)分布于钙碱性岩石系列区,这一点与羌塘地区 3 个系列火山岩(刘燊等,2001,2003)以及青藏高原北部广泛分布的钾玄岩系和过碱性钾质—超钾质火山岩(邓万明,1998;丁林等,1999;Ding *et al.*,2003)都明显不同,本区火山岩钾质明显偏低。

英安岩 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (分子数),属铝正常系列。ANKC 为 $0.85 \sim 1.09$,CIPW 标准矿物中出现 Q + Ab + An + Or 的组合,仅一个样品含微量刚玉分子(1.5%),也表明岩石属于硅过饱和、铝正常系列岩石。里特曼指数为 $1.71 \sim 2.29$,属钙碱性系列,在 ALK— SiO_2 图解中落

表 1 松西地区新生代火山岩岩石化学成分
Table 1 Chemical composition of Cenozoic volcanic rocks in Songxi area

$w_B/\%$

岩石类型	流纹斑岩				英安岩			玄武安山岩	
	P29GS5	P29GS6	1007GS1	1210GS1	P6-GS50	7298GS1	3047GS1	3026GS1	P6-GS63
SiO ₂	67.50	70.20	67.60	62.88	63.62	63.46	63.46	52.41	55.87
TiO ₂	0.55	0.46	0.40	0.62	0.68	0.79	0.67	0.81	0.80
Al ₂ O ₃	15.08	15.31	15.60	16.13	15.89	16.35	15.60	15.83	15.97
Fe ₂ O ₃	1.84	1.71	2.56	2.36	4.99	3.80	2.42	6.32	5.13
FeO	0.88	0.50	0.59	2.40	0.21	0.20	2.51	1.15	2.03
MnO	0.04	0.04	0.05	0.10	0.08	0.06	0.10	0.10	0.14
MgO	0.87	0.54	1.03	1.61	2.54	0.89	2.55	5.32	4.90
CaO	2.99	2.82	1.59	4.41	3.65	5.25	3.33	7.31	7.22
Na ₂ O	3.29	3.71	3.94	3.12	2.71	3.96	2.87	2.95	2.27
K ₂ O	4.04	3.79	4.25	3.17	3.23	2.88	3.46	1.19	1.51
P ₂ O ₅	0.24	0.19	0.12	0.17	0.09	0.39	0.18	0.24	0.23
H ₂ O ⁺	2.03	0.42	0.42	1.49	0.59	0.63	1.63	3.16	1.88
烧失	2.24	0.75	1.66	2.54	1.90	1.60	2.10	5.85	3.50
总量	99.56	100.02	99.39	99.51	99.59	99.63	99.25	99.48	99.57
σ	2.19	2.07	2.69	1.99	1.71	2.29	2.07	1.82	1.11
A/NKC	1.00	1.00	1.18	0.97	1.09	0.85	1.06	0.81	0.86
Mg [#]	0.38	0.32	0.39	0.39	0.49	0.31	0.49	0.58	0.57

注 湖北省地质实验研究所 X 荧光光谱仪(XRF-1500)测定,分析精度优于 2% 除 K₂O、Na₂O 采用酸溶法测定外,其他氧化物采用碱溶法测定 $\sigma = (Na_2O + K_2O) / (SiO_2 - 43)$ (质量分数); $Mg^{\#} = Mg / (Mg + Fe)$ (原子比)

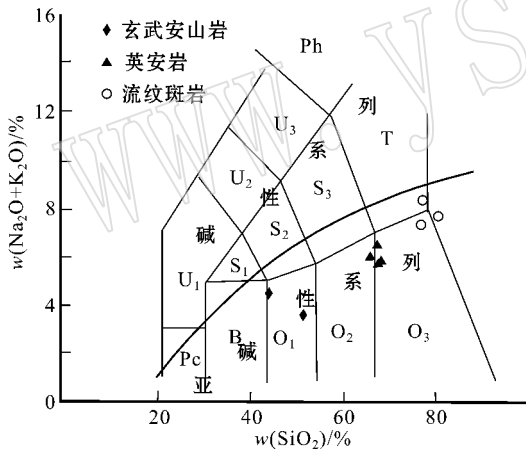


图 2 ALK - SiO₂ 图解(据 Le Maitre 等,1989)

Fig. 2 ALK - SiO₂ diagram(after Le Maitre et al., 1989)

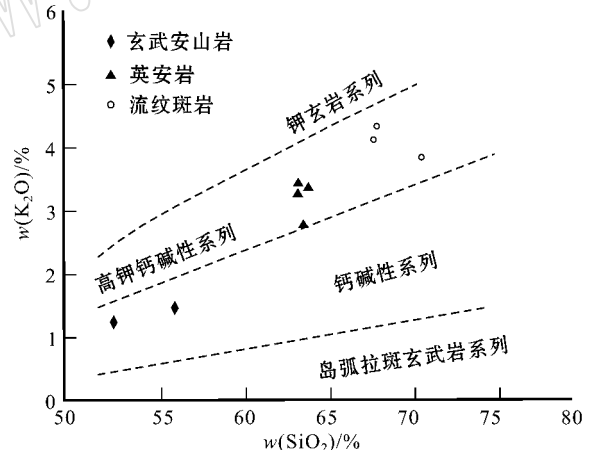


图 3 K₂O - SiO₂ 图解(据 Ewart,1982)

Fig. 3 K₂O - SiO₂ diagram(after Ewart, 1982)

入亚碱性系列英安岩区(图 2)。在 K₂O - SiO₂ 图解(图 3)中分布于高钾钙碱性岩石系列区,显示出英安岩比安山岩更富碱性。

晚期次火山岩在 ALK-SiO₂ 图解中位于亚碱性英安岩和流纹岩区附近(图 2),综合定名为流纹斑岩。Na₂O + K₂O + CaO > Al₂O₃ > Na₂O + K₂O (分子数)属铝正常系列。ANKC 在 1~1.18 之间,平均 1.06, CIPW 标准矿物中出现 Q + Ab + An + Or 的组合,含微量刚玉分子(C 平均为 0.64%),表明岩石属于硅过饱和、铝弱过饱和系列花岗岩。里特曼指数

为 2.07~2.69,属钙碱性系列,在 K₂O - SiO₂ 图中,为高钾钙碱性系列(图 3)。

本区 3 种类型岩石从钙碱性过渡为高钾钙碱性系列,与羌塘走构油茶(刘燊等,2003)、跃进拉(李光明,2000)、比隆错、多格仁错和木苟日王(赖绍聪等,2006,2007)等地区高钾钙碱性系列火山岩相比,本区 3 种岩石更偏酸性,碱性程度更低。

岩石学特征和岩石化学特征都反映本区没有玄武质等基性岩端员组分,显示了与大陆地壳局部熔融的壳源中酸性火山岩组合一致的特征(Wilson,1989)。

4 地球化学特征

稀土元素和微量元素分析结果列于表 2。玄武安山岩稀土元素总量 $137.46 \times 10^{-6} \sim 222.40 \times 10^{-6}$ ，轻重稀土比值 8.33~13.66，平均 10.00，为轻稀土富集型。Eu 具有较弱的负异常， δEu 在 0.69~0.70 之间。英安岩稀土元素总量 $186.28 \times 10^{-6} \sim 260.09 \times 10^{-6}$ ，轻重稀土比值 9.87~18.76，平均 13.36，为轻稀土富集型。Eu 具有弱的负异常， δEu 在 0.68~0.87 之间。流纹斑岩稀土元素总量 $186.43 \times 10^{-6} \sim 245.59 \times 10^{-6}$ ，轻重稀土比值

13.09~23.1，轻稀土强烈富集。Eu 负异常不明显， δEu 在 0.76~0.84 之间。稀土元素标配分曲线图总体都是向右中等倾斜的曲线(图 4)。从安山岩-英安岩-流纹斑岩稀土总量呈渐增趋势，LREE/HREE 值增加，说明轻稀土富集程度增高。3 种岩石类型稀土元素共同特点是：Eu 具有较弱的负异常较弱，说明没有经历强烈的斜长石分离结晶过程。

与羌塘新生代火山岩带其他系列火山岩相比，松西地区火山岩稀土总量和轻稀土富集程度都明显低于白榴石碧玄岩-响岩系列(鱼鳞山 $822.1 \times 10^{-6} \sim 2409 \times 10^{-6}$) (刘燊等 2003)，与高钾钙碱性系列(走构油茶、蜗牛山、骆驼峰和比隆错等地) (李光

表 2 松西地区新生代火山岩稀土元素和微量元素分析结果

Table 2 REE and trace element analytical results of Cenozoic volcanic rocks in Songxi area

岩石类型	$w_B/10^{-6}$							
	流纹斑岩			英安岩		玄武安山岩		
样号	P29GS5	P29GS6	1007GS1	1210GS1	P6GS1	7298GS1	3026GS1	P6GS1
La	56.99	50.36	42.10	43.14	42.80	56.35	62.80	29.10
Ce	108.60	101.20	82.80	80.78	79.90	111.70	95.60	56.30
Pr	13.66	12.49	8.71	10.08	8.33	14.28	8.38	5.87
Nd	46.79	42.45	32.50	34.15	32.90	53.90	32.70	25.10
Sm	7.31	6.27	5.70	6.46	6.17	8.66	6.19	5.22
Eu	1.52	1.43	1.39	1.41	1.22	2.04	1.26	1.14
Gd	4.40	4.04	4.21	5.45	4.55	5.20	4.84	4.66
Tb	0.54	0.25	0.60	0.08	0.74	0.72	0.61	0.59
Dy	2.78	2.42	3.65	4.79	4.14	3.49	3.97	3.92
Ho	0.51	0.43	0.75	0.95	0.81	0.63	0.76	0.82
Er	1.23	1.01	1.64	2.51	1.98	1.52	1.94	1.82
Tm	0.18	0.15	0.29	0.38	0.37	0.21	0.37	0.34
Yb	0.94	0.85	1.79	2.57	2.03	1.22	3.32	2.26
Lu	0.14	0.12	0.30	0.38	0.34	0.17	0.36	0.32
Y	11.19	10.13	19.17	22.58	21.47	14.48	20.35	20.43
δEu	0.76	0.82	0.84	0.71	0.68	0.87	0.69	0.70
ΣREE	245.59	223.47	186.43	193.86	186.28	260.09	222.40	137.46
LREE	239.27	214.20	173.20	176.02	171.32	246.93	207.23	122.73
HREE	10.72	9.27	13.23	17.84	14.96	13.16	15.17	14.73
LREE/HREE	22.32	23.11	13.09	9.87	11.45	18.76	13.66	8.33
Rb	101.0	197.0	197.0	36.8	76.5	58.0	54.0	54.0
Ba	1518.0	1561.0	661.1	768.0	819.7	1184.0	244.2	628.9
Sr	775.0	748.0	248.3	341.0	314.0	1058.0	552.6	465.3
Zr	205.0	200.0	188.7	193.0	192.0	230.0	144.2	151.3
Nb	8.9	9.8	15.5	16.0	16.9	14.0	12.9	14.1
Ta	0.6	0.6	0.6	1.0	1.1	1.9	2.3	5.5
Th	20.0	20.0	17.7	17.0	19.4	11.0	10.9	9.0
Cr	7.0	5.0	18.1	31.0	34.7	21.0	116.3	106.8
Ni	14.0	9.0	5.0	12.0	7.3	10.0	25.7	23.4
Co	8.9	8.0	8.0	13.0	8.1	9.1	28.4	22.8
V	52.0	41.0	56.1	92.0	86.2	60.0	152.0	161.9
Ga	31.0	33.0	33.0	20.0	17.6	25.0	15.9	13.9

注 湖北省地质实验研究所 X 荧光光谱仪(XRF-1500)测定,分析精度优于 2%。

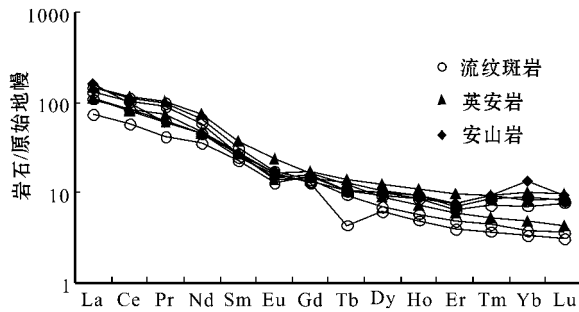


图 4 稀土元素配分曲线图

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns

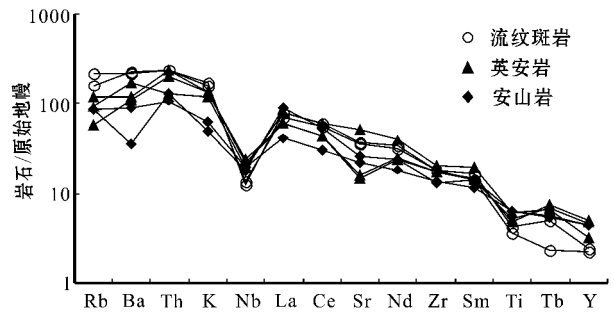


图 5 微量元素球粒陨石标准蛛网图解

Fig. 5 Chondrite-normalized trace element patterns

明 2000 ;刘燊等 2003 赖绍聪等 2006)和钾玄岩系列(跃进拉、比隆错和木苟日王等地)(李光明 2000 ;赖绍聪等 2006, 2007)相当, Eu 负异常略大于以上各类岩石。

3 种类型岩石大离子亲石元素 Ba、Sr、Cs 均高于上陆壳平均值, Rb 低于上陆壳平均值、高于下陆壳平均值, 反映岩浆可能有大量上部陆壳泥质成分加入。微量元素原始地幔(Jagoutz and Palme, 1979)标准化蛛状比值图(图 5)曲线基本一致, 曲线总体呈右倾型, 反映大离子元素 Rb、Th、K、La 等相对富集, 说明它们在岩浆分异过程中的不相容元素性质, 显示了青藏陆内造山带火山岩总体高钾的共同特点, 而曲线后半部相容程度相对较高的 Nd、Hf、Sm、Y 等元素富集度相对较低, 这种地球化学特征符合钙碱系列岩浆演化的普遍规律(Wilson, 1989)。本区新生代火山岩中均存在明显的 Nb、Ta 谷, Ti 也具有较弱的负异常, 这是青藏高原北部广泛分布的新生代钾质-超钾质、高钾钙碱性等火山岩系所共有的特点(刘燊等 2003 赖绍聪等 2006, 2007; 贾宝华等 2006), 与典型的岛弧火山岩的地球化学特征十分类似。

5 成因及形成的构造背景讨论

松西地区古近纪安山岩-英安岩-次火山岩从中性向酸性方向演化。主要氧化物的 Harker 图解(图 6)反映 MgO、CaO、TiO₂ 与 SiO₂ 呈负相关关系, K₂O 与 SiO₂ 呈正相关关系(图 3), 但是, Harker 图解也反映 Na₂O、Al₂O₃、P₂O₅、δEu 等变化并没有明显规律, 特别是 Eu 负异常逐渐减弱, 说明三者并非同源岩浆演化形成; Ba/Sr、Ni/Co、Nb/Ta、Ba/Rb 等微量元素比值等逐渐增大, 以及不相容元素 Ta 等渐低, 也不符合同源岩浆演化规律。

强相容元素与强不相容元素在分离结晶作用过程中和部分熔融过程中浓度变化差异显著, 在部分熔融过程中, 前者变化缓慢, 后者变化较显著, 在它们的对数变异图中, 呈近似水平分布。相反, 分离结晶形成的岩石, 它们的对数变异图呈陡倾的负斜率直线。本区火山岩的两类元素对数变异图呈近水平或弱的相关性(图 7)指示岩石是平衡部分熔融作用形成(Cocherine, 1986)。在 La/Sm-La 图解中(图 8)随着 La 的增加, La/Sm 呈线性增加, 也指示岩石是部分熔融作用形成。3 类岩石的 Mg[#] 值均比较低(0.31~0.58), 以及 Sr、Eu 均呈弱的负异常, 说明岩浆经历了较弱的结晶分异过程。

松西地区火山岩岩石组合没有出现基性岩如玄武岩等端员组分, 反映了陆壳来源中酸性火山岩岩石组合特征(Wilson, 1989), 富集大离子亲石元素和 LREE, 相对亏损高场强元素, 也具有陆壳物质来源的特征; 这种大量的完全由中酸性岩石组成的火山岩, 不可能通过富集地幔岩浆分异作用产生, 更不可能是富集地幔局部熔融直接产生, 岩石具弱的 Eu 负异常与岛弧区钙碱岩系通常具显著负钕异常(Pearce, 1983; Wilson, 1989)的特征明显不同。上述分析说明, 松西地区火山岩应该主要来源于陆壳, 3 种岩石类型均具弱的 Eu 负异常的特征, 进一步证明岩浆形成于加厚陆壳下部(邓晋福等, 1996), 是加厚陆壳中下部物质部分熔融形成的。但是, 需要注意的是, 本区火山岩 SiO₂ 含量在 52.41%~70.20% 之间, 其基性端员的 SiO₂ 含量小于 53%, 实验岩石学研究结果表明(Yardley and Valley, 1997; Patino and McCarthy, 1998)大陆地壳局部熔融不能产生比安山岩更基性的原生岩浆, 陆壳局部熔融产物的 SiO₂ 含量通常应大于 56%。很显然, 松西地区火山岩不可能完全由陆壳直接局部熔融产生, 应该有少量地

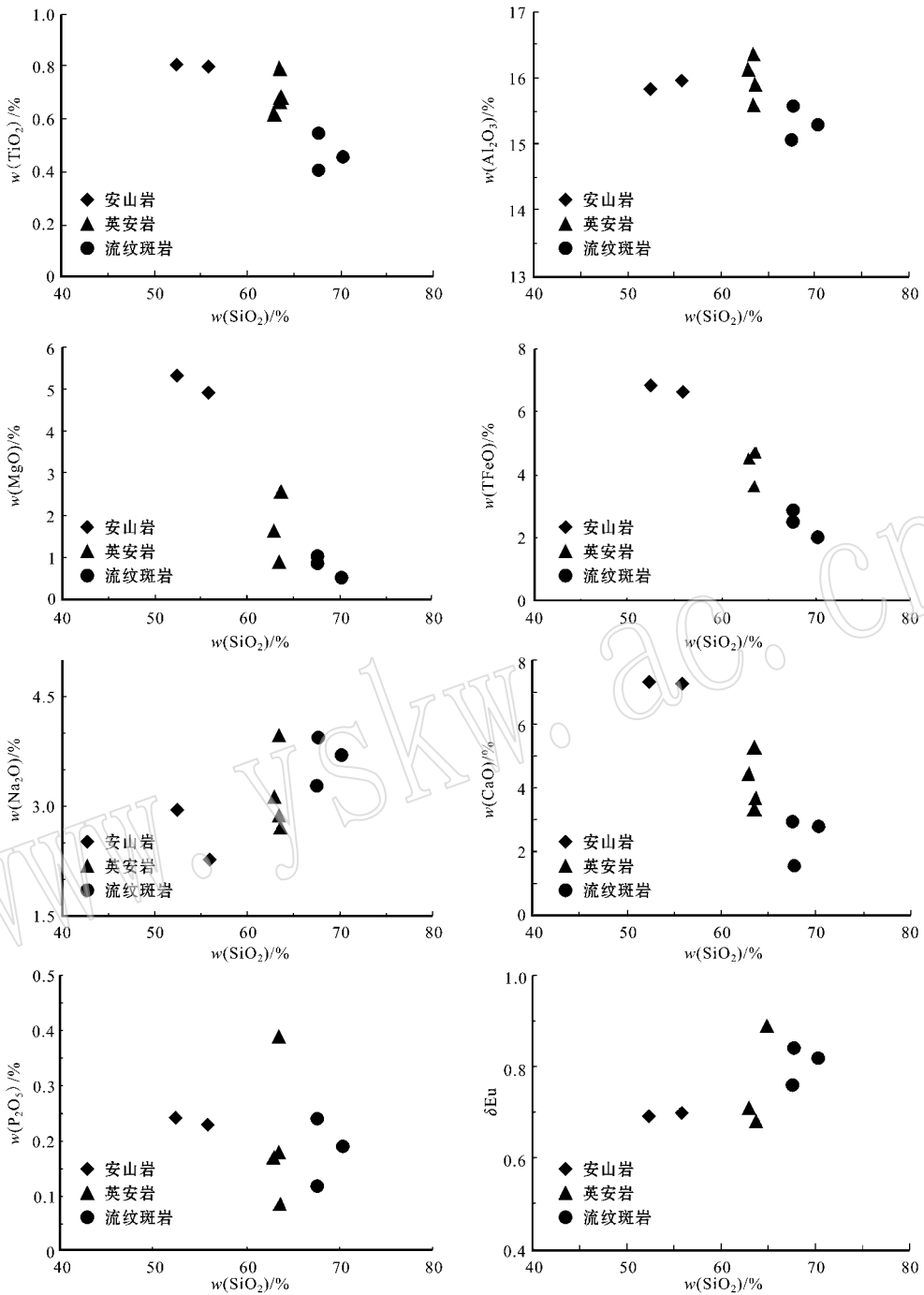


图 6 松西地区中新世火山岩主要氧化物的 Harker 图解

Fig. 6 Harker diagrams of selected major oxides in Miocene volcanic rocks from Songxi area

幔物质的加入,岩石组合中没有出现真正的基性端员组分,岩石 SiO₂ 的高含量,过渡族金属元素 Cr、Ni 等的低含量,暗示地幔成分可能非常少。

大量事实表明,印度-亚洲大陆碰撞自 65 Ma 或 70 Ma 左右开始,到 45 Ma 或 40 Ma 左右完成,以后转入后碰撞期 (Flower *et al.*, 1998; Mo Xuanxue *et al.*, 2002; Wan *et al.*, 2002; Ding *et al.*, 2003),

松西地区新生代火山岩发生在两大板块碰撞后的陆内构造演化阶段。由于长期碰撞挤压,造成青藏高原北部包括羌塘地区陆壳缩短和加厚。印度板块的持续挤压,使拉萨地块大陆岩石圈的北向俯冲作用 (许志琴等 2001; 迟效国等 2005),羌塘陆块之下上涌的软流层物质的底侵作用引发增厚下地壳的部分熔融形成岩浆,松西地区钙碱性-高钾钙碱性中酸性

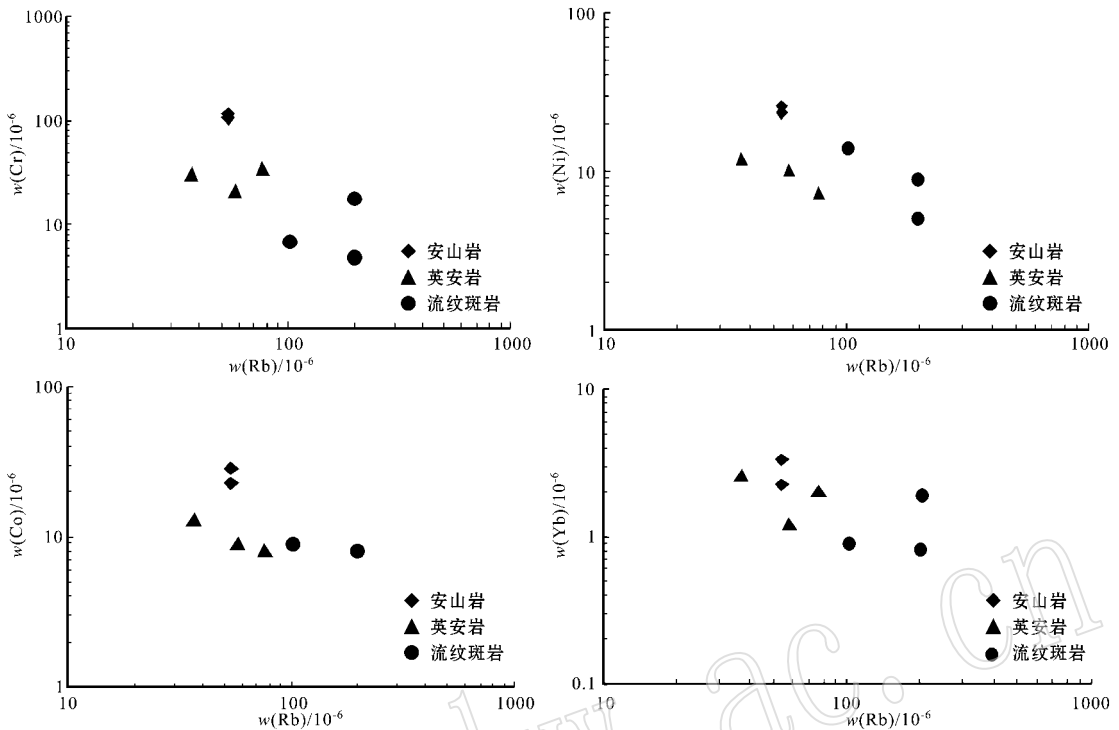


图 7 微量元素对数变异图(据 Cocherine, 1986)

Fig. 7 Logarithmic variation of trace elements(after Cocherine, 1986)

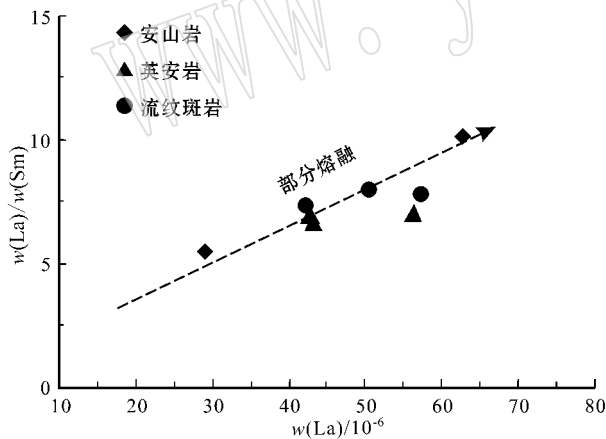


图 8 La/Sm - La 图解

Fig. 8 La/Sm - La diagram

火山岩正是在这种构造背景下形成的。松西地区火山岩分布于近东西向展布的断陷盆地中,显然其产出状态受近东西向张性断裂控制。

6 结论

(1) 松西地区古近纪火山岩由安山岩、英安岩和晚期次火山岩 3 种岩石类型,前者属于钙碱性岩

石系列,后两者属高钾钙碱性岩石系列。本区火山岩可能是部分熔融、分离结晶共同作用产生的。

(2) 松西地区火山岩岩石组合没有出现基性岩如玄武岩等端员组分,岩石具有富集大离子亲石元素和 LREE,相对亏损高场强元素, Nb、Ta、Ti 负异常, Eu 负异常不明显,反映源岩具有陆壳来源特征。其基性端员的 SiO_2 含量小于 53%,松西地区玄武安山岩不可能完全由加厚陆壳直接局部熔融或分异作用产生,应该有少量地幔物质的加入。

(3) 松西地区火山岩 Eu 负异常不明显,说明形成于加厚陆壳中下部。是在印度板块与欧亚板块发生长期碰撞挤压,造成青藏高原北部包括羌塘地区陆壳缩短和加厚。拉萨地块大陆岩石圈的北向俯冲作用,羌塘陆块之下上涌的软流层物质的底侵作用引发增厚下地壳的部分熔融形成的。

References

- Arnaud N O, Vidal P, Tapponnier P, *et al.* 1992. The high K_2O volcanism of northwestern Tibet: Geochemistry and tectonic implication[J]. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 111: 351~367.
- Chi Xiaoguo, Li Cai, Jin Wei, *et al.* 1999. The Cenozoic volcanism

- evolutionary and uplifting mechanism of the Qinghai-Tibet plateau [J]. *Geological Review*, 45(Supp.): 978~986 (in Chinese with English abstract).
- Chi Xiaoguo, Li Cai, Jin Wei, *et al.* 2005. Cenozoic volcanism in Qiangtang area northern Tibet and tectonic evolution of the relationship between the lithosphere [J]. *Science China(D)*, 35(5): 399~410 (in Chinese with English abstract).
- Chung S L, Liu D Y, Ji J Q, *et al.* 2003. Adakites from continental collision zones: melting of thickened lower crust beneath southern Tibet [J]. *Geology*, 31: 1 021~1 024.
- Cocherine. 1986. Systematic use of trace element distribution patterns in log-log diagram for plutonic suites [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 11: 2 517~2 522.
- Deng Jinfu, Zhao Hailing, Mo Xuanxue, *et al.* 1996. Continental Roots-plume Tectonics of China-Key to the Continental Dynamics [M]. Beijing: Geological Publishing House, 20~21 (in Chinese).
- Deng Wanming. 1989. Features of the Cenozoic volcanic rocks from north Ali, Tibet plateau [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 5(3): 1~11 (in Chinese with English abstract).
- Deng Wanming. 1998. Cenozoic Intraplate Volcanic Rocks in Northern Qinghai-Tibet Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 50~158 (in Chinese with English abstract).
- Deng Wanming. 2003. Cenozoic volcanism and tectonic evolution in the Tibetan plateau and its adjacent areas [J]. *Scismokogy and Geology*, 25(Supp.): 51~61 (in Chinese with English abstract).
- Deng Wanming, Zheng Xilan and Matsumoto Yukio. 1996. Petrological characteristics and age of Cenozoic volcanic rocks from the Hoh Xil, Qinghai Province [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 15(4): 289~298 (in Chinese with English abstract).
- Ding L, Kapp P, Zhong D L, *et al.* 2003. Cenozoic volcanism in Tibet: evidence for a transition from oceanic to continental subduction [J]. *Petrol*, 44: 1 833~1 865.
- Ding L, Paul K, Zhong D, *et al.* 2003. Evidence for a transition from oceanic to continental subduction: Cenozoic Volcanism in Tibet [J]. *Journal of Petrology*, 44(10): 1 833~1 865.
- Ding Lin, Zhang Jinjiang, Zhou Yong, *et al.* 1999. Tectonic implication on the lithosphere evolution of the Tibet Plateau: Petrology and geochemistry of sodic and ultrapotassic volcanism in Northern Tibet [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 15(3): 408~421 (in Chinese with English abstract).
- Ewart A. 1982. The mineralogy of Tertiary-Recent orogenic volcanic rocks with special reference to the andesitic-basaltic compositional range [A]. Thorpe R S. *Andesites* [C]. Chichester: Wiley, 25~87.
- Flower M F J, Tamaki K and Hoang N. 1998. Mantle Extrusion, A model for Dispersed Volcanism and DUPAL-like Asthenosphere in East Asia and the Western Pacific [M]. Washington: American Geophysical Union, 67~88.
- Jagoutz E and Palme H. 1979. The abundances of major minor and trace elements in the earth's mantle as derived from primitive ultramafic nodules [J]. *Proc. Lunar and Planet. Sci. Conf. N10. Geochim Cosmochim. Acta*, 11(Supplement): 2 031~2 050.
- Jia Baohua, Bai Daoyuan, Meng Debao, *et al.* 2006. Hemistry and rock-forming process of Miocene volcanic rocks in Canmeishan area, north Tibet [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 25(4): 262~272 (in Chinese with English abstract).
- Lai Shaocong. 1999. Petrogenesis of the Cenozoic volcanic rocks from the northern part of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 15(1): 98~104 (in Chinese with English abstract).
- Lai Shaocong. 2003. Identification of the Cenozoic adakitic rocks association from Qinghai-Tibet Plateau and its tectonic significance [J]. *Earth Science Frontiers*, 10(4): 407~415 (in Chinese with English abstract).
- Lai Shaocong, Qin Jiangfeng, Li Yongfei, *et al.* 2006. Cenozoic volcanic rocks in the Bélog Co area, Qiangtang, northern Tibet, China: Petrochemical evidence for partial melting of the mantle-crust transition zone [J]. *Geological Bulletin of China*, 25(1~2): 64~69 (in Chinese with English abstract).
- Lai Shaocong, Qin Jiangfeng, Li Yongfei, *et al.* 2007. Cenozoic volcanic rocks geochemistry and Sr-Nd-Pb isotopic composition in the MoGouriwang area of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Science China (D)*, 37(3): 308~318 (in Chinese with English abstract).
- Le Maitre R W, Bateman P, Dudek A, *et al.* 1989. A classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms [M]. Oxford: Blackwell.
- Li Cai, Huang Xiaopeng, Mou Shiyong, *et al.* 2006. Age dating of the Zougouyouchacuo volcanic rocks and age determination of the Kangtog Formation in southern Qiangtang, northern Tibet, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 25(1~2): 226~228 (in Chinese with English abstract).
- Li Guangming. 2000. Petrologic features and genesis of cenozoic volcanic rocks, qiangtang area, northern tibetan plateau [J]. *Geology-Geochemistry*, 28(2): 38~43 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shen, Chi Xiaoguo, Li Cai, *et al.* 2001. Geochemistry and genesis of Cenozoic volcanic rock series in northern Tibet [J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 31(3): 230~235 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shen, Hu Ruizhong, Chi Xiaoguo, *et al.* 2003. Geochemistry, Series Subdivision and Petrogenetic Interpretation of Cenozoic Volcanic Rocks in Northern Tibet [J]. *Geological Journal of China University*, 9(2): 279~292 (in Chinese with English abstract).
- Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Zhou Su, *et al.* 2002. Evidence for timing of the initiation of India-Asia collision from igneous rocks in Tibet [J]. *EOS Transactions, American Geophysical Union*, 83(47): F1003.
- Patino Douce A E and McCarthy T C. 1998. Melting of Crustal Rocks during Continental Collision and Subduction [M]. Netherlands Kluwer Academic Publishers, 27~55.
- Pearce J A. 1983. The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins [A]. Hawkesworth, *et al.* *Continental Basalts and Mantle Xenoliths* [C]. Nantwich: Shiva Press, 230~249.

- Tan Fuwen, Pan Guitang and Xu Qiang. 2000. The uplift of Qinghai-Xizang plateau and geochemical characteristics of Cenozoic volcanic rocks from the center of Qiangtang, Xizang [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 19(2): 121~130 (in Chinese with English abstract).
- Tibet Autonomous Regional Bureau of Geology and Mineral Resources. 1993. *Regional Geology of Xizang (Tibet) Autonomous Region* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 8~10 (in Chinese with English abstract).
- Tuner S, Hawksworth C J, Lin J Q, et al. 1993. Timing of Tibetan uplift constrained by analysis of volcanic rocks [J]. *Nature*, 364: 50~53.
- Wan X, Jansa L F and Sarti M. 2002. Cretaceous and Tertiary boundary strata in southern Tibet and their implication for India-Asia collision [J]. *Lethaia*, 35(2): 131~146.
- Wilson M. 1989. *Igneous Petrogenesis* [M]. London: Unwin Hyman Press, 295~323.
- Xu Zhiqin, Yang Jingsui and Jiang Mei. 2001. Collision-Orogeny of the Northern Qinghai-Tibet Plateau and Its Deep Dynamics [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 22(1): 5~10 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jingsui, Wu Cailai, Shi Rendeng, et al. 2002. Miocene and Pleistocene shoshonitic volcanic rocks in the Jingyuhu area, north of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 18(2): 161~176 (in Chinese with English abstract).
- Yardley B W D and Valley J W. 1997. The petrologic case for a dry lower crust [J]. *Geophys Res.*, 102: 12 173~12 185.
- Zhong Huaming, Liu Jun, Tong Jinsong, et al. 2008. Age and significance for the volcanic rocks of Kangtuo formation songxi region in northwest of Qiangtang [J]. *Geology of Anhui*, 18(2): 92~94 (in Chinese with English abstract).
- Zhong Huaming, Tong Jinsong, Xiajun, et al. 2006. Discovery of Palaeogene hidden granite porphyry in the Xuanfengou area in northwest Tibet and the implications [J]. *Geology of Anhui*, 16(4): 247~251 (in Chinese with English abstract).
- Zhong Huaming, Tong Jinsong, Xia Jun, et al. 2007. Palaeogene volcanic activity law for the Songxi area in northern part of Qiangtang [A]. Geological Society of Anhui Province. Study Essays on Earth Science Technology Forum from Six Provinces and One City in East China [C]. Hefei: Hefei University of Technology Publishing House, 1~5 (in Chinese with English abstract).
- 的钥匙 [M]. 北京: 地质出版社, 20~21.
- 邓万明. 1989. 西藏阿里北部的新生代火山岩 [J]. *岩石学报*, 5(3): 1~11.
- 邓万明. 1998. 青藏高原北部新生代板内火山岩 [M]. 北京: 地质出版社, 50~158.
- 邓万明. 2003. 青藏及邻区新生代火山活动及构造演化 [J]. *地震地质*, 25(增刊): 51~61.
- 邓万明, 郑锡澜, 松本征夫. 1996. 青海可可西里地区新生代火山岩的岩石特征和时代 [J]. *岩石矿物学杂志*, 15(4): 289~298.
- 丁林, 张进江, 周勇, 等. 1999. 青藏高原岩石圈演化的记录: 藏北超钾质及钠质火山岩的岩石学与地球化学特征 [J]. *岩石学报*, 15(3): 408~421.
- 贾宝华, 柏道远, 孟德保, 等. 2006. 藏北蚕眉山地区中新世火山岩地球化学特征及成岩过程研究 [J]. *岩石矿物学杂志*, 25(4): 262~272.
- 赖绍聪. 1999. 青藏高原北部新生代火山岩成因机制 [J]. *岩石学报*, 15(1): 98~104.
- 赖绍聪. 2003. 青藏高原新生代埃达克质岩的厘定及其意义 [J]. *地质学前沿*, 10(4): 407~415.
- 赖绍聪, 秦江锋, 李永飞, 等. 2006. 藏北羌塘比隆错一带新生代火山岩的成因: 壳幔过渡带局部熔融的地球化学证据 [J]. *地质通报*, 25(1~2): 64~69.
- 赖绍聪, 秦江锋, 李永飞, 等. 2007. 青藏高原木苟日王新生代火山岩地球化学及 Sr-Nd-Pb 同位素组成 [J]. *中国科学 D 辑(地球科学)*, 37(3): 308~318.
- 李才, 黄小鹏, 牟世勇, 等. 2006. 藏北羌塘南部走构油茶错地区火山岩定年与康托组时代的厘定 [J]. *地质通报*, 25(1~2): 226~228.
- 李光明. 2000. 藏北羌塘地区新生代火山岩岩石特征及其成因探讨 [J]. *地质地球化学*, 28(2): 38~43.
- 刘燊, 胡瑞忠, 迟效国, 等. 2003. 藏北高原新生代火山岩地球化学系列划分及成因分析 [J]. *高校地质学报*, 9(2): 279~292.
- 刘燊, 迟效国, 李才, 等. 2001. 藏北新生代火山岩系列的地球化学及成因 [J]. *长春科技大学学报*, 31(3): 230~235.
- 谭富文, 潘桂棠, 徐强. 2000. 羌塘腹地新生代火山岩的地球化学特征: 青藏高原隆升 [J]. *岩石矿物学杂志*, 19(2): 121~130.
- 西藏自治区地质矿产局. 1993. *西藏自治区区域地质志* [M]. 北京: 地质出版社, 8~10, 474.
- 许志琴, 杨经绥, 姜枚. 2001. 青藏高原北部的碰撞造山及深部动力学——中法地学合作研究新进展 [J]. *地球学报*, 22(1): 5~10.
- 杨经绥, 吴才来, 史仁灯, 等. 2002. 青藏高原北部鲸鱼湖地区中新世和更新世两期橄榄玄粗质系列火山岩 [J]. *岩石学报*, 18(2): 161~176.
- 钟华明, 刘俊, 童劲松, 等. 2008. 羌塘西北部松西地区康托组火山岩年龄及意义 [J]. *安徽地质*, 18(2): 92~94.
- 钟华明, 童劲松, 夏军, 等. 2006. 西藏西北部旋风沟地区古近纪流纹斑岩的发现及意义 [J]. *安徽地质*, 16(4): 247~251.
- 钟华明, 童劲松, 夏军, 等. 2007. 羌塘北部松西地区古近纪火山活动规律 [A]. 安徽省地质学会. 华东六省一市地学科技论坛论文集 [C]. 合肥: 合肥工业大学出版社, 1~5.

附中文参考文献

- 迟效国, 李才, 金巍, 等. 1999. 藏北新生代火山作用的时空演化与高原脉动隆升 [J]. *地质论评*, 45(增刊): 978~986.
- 迟效国, 李才, 金巍, 等. 2005. 藏北羌塘地区新生代火山作用与岩石圈构造演化 [J]. *中国科学 D 辑*, 35(5): 399~410.
- 邓晋福, 赵海岭, 莫宣学, 等. 1996. 中国大陆根-柱构造: 大陆动力学