

西藏当惹雍错富钾和富钠碱性火山岩的 矿物学研究及其成因指示

于丽芳^{1, 2}, 赵文霞¹, 陈建林³, 郭倩¹, 王保弟³

(1. 中山大学 测试中心, 广东 广州 510275; 2. 广东省地质局 七一九地质大队, 广东 肇庆 526020; 3. 中国科学院 广州地球化学研究所 同位素地球化学国家重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要: 对青藏高原西南部当惹雍错地区的中新世超钾质粗面岩及共存的富钠质方沸石(霞石)响岩进行了详细的岩石学、矿物学研究, 揭示出两套岩石具有不同的矿物学特征。钠质方沸石(霞石)响岩中橄榄石斑晶的熔体包裹体与钾质火山岩的成分相当, 应属于早期残余的钾质岩浆, 表明了钠质方沸石(霞石)响岩的形成晚于超钾质粗面岩。两类岩石的全岩化学成分、矿物组合及其单斜辉石核部的化学成分、Ti-Al 比值的明显差异, 表明钠质方沸石(霞石)响岩不是钾质粗面岩岩浆演化的产物, 它们来自于不同的岩浆源区, 即富钾和富钠的地幔源区。

关键词: 矿物学; 碱性火山岩; 成因指示; 当惹雍错

中图分类号: P575 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-4552(2012)02-0274-010

青藏高原广泛分布着新生代钾质-超钾质岩浆岩, 它是在青藏高原碰撞造山后至高原快速隆升的过程中形成的, 记录了高原形成和演化的许多重要信息。一般认为这些钾质-超钾质岩浆的源区为 EMII 型富集地幔(Miller et al., 1999; 杨经绥等, 2002; 陈建林等, 2007), 因此对其进行广泛而深入的研究, 将有助于理解青藏高原形成和隆升过程(Peccerillo, 1990, 1992; 邓万明等, 2001; 迟效国等, 2006; 孙晨光等, 2007)。拉萨地块在 25 ~ 10 Ma 期间出现了一次岩浆活动的高峰期, 形成了分布广泛的钾质-超钾质岩、高钾钙碱性岩及埃达克岩(许继峰和王强, 2003; 赵志丹等, 2006; 陈建林等, 2006; 王保弟等, 2008)。由于岩浆组成的变化往往标志着构造格局发生变化和地球深部事件, 因此对同期出现的高原隆升及东西向伸展的研究有着重要的意义(Turner et al., 1993; Williams et al., 2001; Chung et al., 2003; Hou et al., 2004; Wil-

liams et al., 2004; 丁林等, 2006; 陈建林等, 2006; 王保弟等, 2008)。前人对拉萨地块的钾质火山岩的岩石成因机制及其构造意义均有较好的研究(Miller et al., 1999), 但对该区的钠质火山岩的研究相对较少, 对其与钾质火山岩的相互关系缺乏了解。因此, 本文对拉萨地块当惹雍错地区的钾质-超钾质粗面岩和钠质方沸石响岩进行了详细的矿物学研究, 探明两类岩石之间的相互关系, 以期为进一步理解青藏高原南部拉萨地块的抬升和伸展作用提供信息。

1 地质背景

青藏高原的形成被认为是陆-陆碰撞的典型例子, 从而成为地球科学研究的热点。它主要由 3 条缝合带(自南而北: 雅鲁藏布江-班公错-怒江、金沙江缝合带) 分隔的 4 个地块(自南向北: 喜马拉雅

收稿日期: 2011-08-24; 改回日期: 2011-12-06

项目资助: 国家自然科学基金(40772046) 和中国科学院重要方向性项目(KZCX2-YW-Q04) 资助。

第一作者简介: 于丽芳(1984-), 女, 硕士, 矿物岩石矿床学专业。Email: yulifang222333@126.com

通信作者: 赵文霞, 女, 博士, 副研究员。Email: zhaowx@mail.sysu.edu.cn

雅、拉萨、羌塘、松潘—甘孜地块) 拼合而成。拉萨地块位于青藏高原南部地区, 总体呈东西向展布, 其北侧为班公—怒江缝合带, 南侧则以雅鲁藏布缝合带为界。

本文的研究区(当惹雍错) 位于拉萨地块中部的南北向地堑中。地堑以当雄—文部活动断裂和脚相给活动断裂为边界, 由当穹错、当惹雍错和许如错断陷盆地组成(图1)。在当惹雍错两侧的亚前、米

巴勒、仪仟等地发育中新世的火山—侵入活动, 岩体总体呈南北向串珠状展布, 岩性有石榴石响岩、碱玄岩、粗安岩、碱性粗面岩、安山岩、凝灰岩等。早期为粗面质—碱玄质岩浆的喷溢和侵入, 晚期为碱质岩浆的喷溢和爆发, 形成弯状火山、岩流、岩钟、岩舌等火山构造及山岳、穹丘等火山地貌, 后期沿南北向断裂有花岗斑岩侵入(赵志丹等, 2006)。

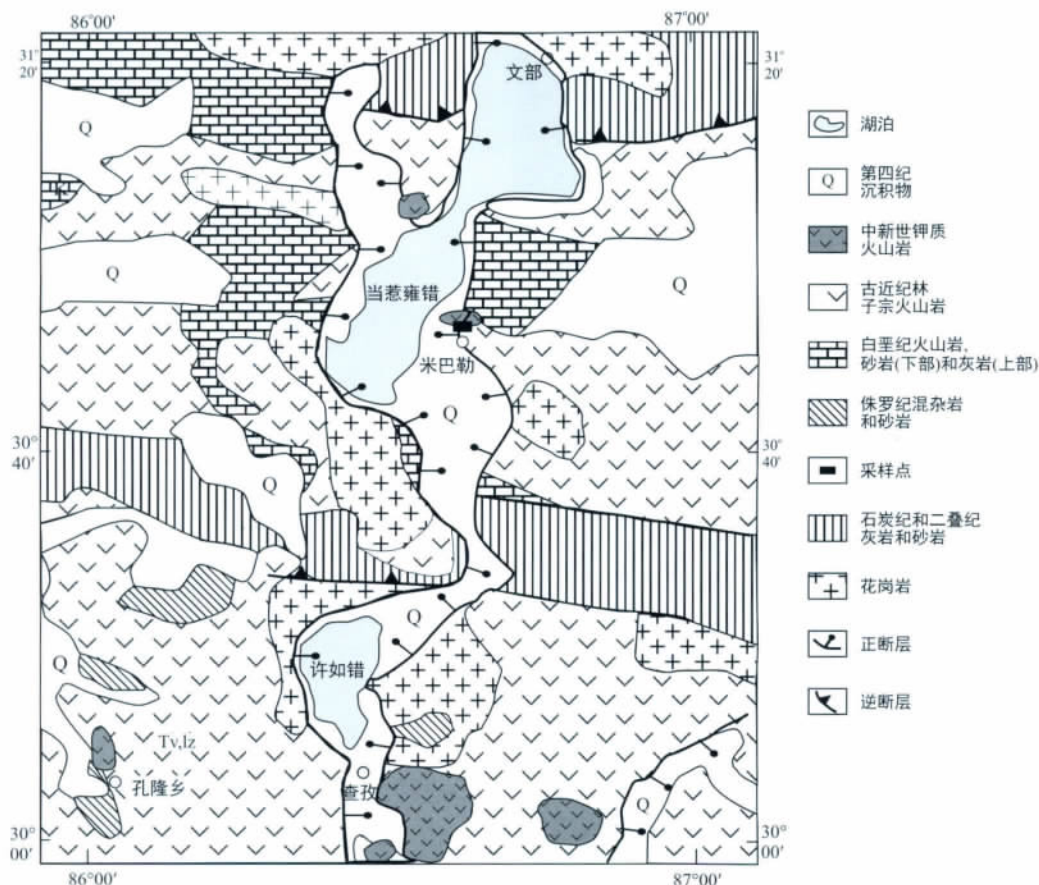


图1 当惹雍错地区地质简图(据 Ding et al., 2003 修改)

Fig. 1 Sketch geological map of the Tangra Yumco area(After Ding et al., 2003)

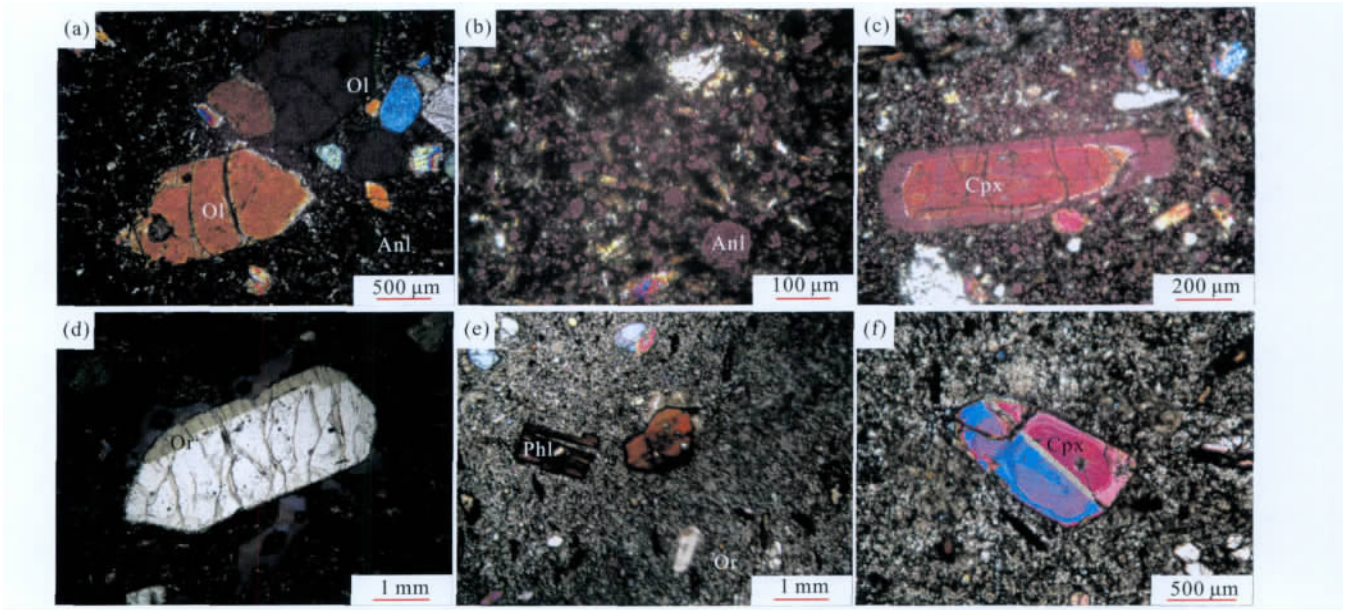
2 碱性火山岩的岩相学特征

所研究的两类岩石产出在当惹雍错东侧的米巴勒地区, 在一个火山剖面上, 两类岩石呈互层状产出, 详细的野外描述见赵文霞等(2011)。钠质和钾质两套火山岩显示出不同的岩石学和矿物学特征。

钠质方沸石(霞石)响岩呈灰黑色, X射线粉晶衍射表明富钠质碱性火山岩的矿物成分包括方沸石、镁橄榄石、透辉石、金云母和少量磁铁矿, 与岩相学观察一致(图2a、b、c)。岩石具斑状结构, 斑晶主要为方沸石(40%), 透辉石(15%~20%), 金云母

(约5%) 部分样品含橄榄石(约10%)。透辉石斑晶可以分成两类, 一类斑晶较大且大多数具有明显的成分环带, 另一类斑晶较小而不具成分环带。基质主要由方沸石、透辉石、透长石、磷灰石、磁铁矿等微晶组成(赵文霞等, 2011)。

超钾质粗面岩呈灰黑色, 斑状结构, 斑晶主要为透辉石(10%~15%)、透长石(10%)和金云母(10%)。透辉石斑晶可以分成两类, 一类斑晶较大且大多数斑晶具有明显的成分环带, 另一类斑晶较小而不具成分环带。基质具粗面结构, 主要由透长石、透辉石—普通辉石、金云母、磷灰石、磁铁矿等矿



Ol. 橄榄石; Anl. 方沸石; Cpx. 单斜辉石; Or. 透长石; Phl. 金云母。

图 2 方沸石响岩 (a, b, c) 和超钾质粗面岩 (d, e, f) 的正交偏光照片

Fig. 2 Micrographs of the ultra-potassic trachyte and sodium analcime (nepheline) phonolite (crossed polarizer)

物微晶组成(图 2d、e、f)。

3 碱性火山岩的矿物学特征

本文矿物的化学成分利用中山大学测试中心电镜室日本电子 JXA-8800R 型电子探针仪进行分析,条件为加速电压 15 kV,电子束流 2×10^{-8} A,电子束径 1 μ m,元素峰位的分析时间为 10 s(钾、钠易迁移元素分析时间为 5 s) ZAF 校正,分析误差小于 3%。

3.1 橄榄石

橄榄石主要以斑晶的形式存在于钠质火山岩中,在钾质碱性火山岩中未见。钠质火山岩的橄榄石斑晶的代表性电子探针分析结果见表 1,其 MgO 的含量

为 47.28% ~ 49.78%,FeO 的含量为 9.07% ~ 12.45%,NiO 的含量为 0.22% ~ 0.44%,Fo 值为 87.20 ~ 91.72, Fa 为 9.43 ~ 12.80,属于贵橄榄石-镁橄榄石。由于它所含的 NiO、Cr₂O₃ 的含量较高,而 Al₂O₃ 的含量较低,高 Fo、Cr 显示了其具有地幔橄榄石的特征(陶克捷和张培善,1985;李继亮等,2007)。

3.2 辉石

在所研究的钠质方沸石(霞石)响岩和超钾质粗面岩中均出现了辉石斑晶和辉石基质。赵文霞等(2011)已对钠质方沸石(霞石)响岩中的辉石斑晶成分进行过详细的研究,表明其端元组分为 Wo_(43.69-46.01)En_(46.86-50.23)Fs_(5.03-6.94)基质辉石的端

表 1 方沸石(霞石)响岩中橄榄石的电子探针分析结果

Table 1 EPMA results of the olivines in the sodium analcime (nepheline) phonolite

分析点	%											总量	Fo	Fa	Tp	Mg [#]
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Cr ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	NiO					
CM10-04-09	40.10	0.00	0.02	10.06	0.16	0.32	48.48	0.20	0.00	0.00	0.32	99.66	89.60	10.40	0.34	82.82
CM10-04-09	39.99	0.00	0.01	12.45	0.17	0.43	47.28	0.23	0.00	0.01	0.22	100.77	87.20	12.80	0.44	79.16
CM10-04-09	41.17	0.00	0.03	9.41	0.16	0.27	48.39	0.18	0.00	0.00	0.44	100.05	90.19	9.81	0.28	83.72
CM10-04-09	41.41	0.03	0.03	9.69	0.16	0.32	48.67	0.18	0.02	0.00	0.36	100.87	90.00	10.00	0.34	83.40
CM10-04-11	40.92	0.01	0.06	9.26	0.13	0.24	49.78	0.14	0.07	0.05	0.32	100.97	90.57	9.43	0.25	84.31
CM10-04-11	40.52	0.02	0.01	9.07	0.08	0.23	49.63	0.17	0.08	0.01	0.33	100.14	91.72	9.28	0.24	84.55
CM10-04-11	40.68	0.00	0.01	9.63	0.10	0.23	48.19	0.16	0.01	0.01	0.31	99.33	89.90	10.10	0.25	83.34
CM10-04-11	40.62	0.00	0.02	9.41	0.09	0.18	48.51	0.18	0.02	0.00	0.34	99.36	90.03	9.79	0.19	83.76

注:数据为“0.00”的表示低于探针分析检测限, Mg[#] = 100 × Mg / (Mg + Fe²⁺),下同。

元组分为 $Wo_{(40.26 \sim 46.60)} En_{(43.46 \sim 48.10)} Fs_{(6.65 \sim 13.96)}$ 。超钾质粗面岩中斑晶辉石具有与响岩中辉石斑晶相似的端元组分, 为 $Wo_{(44.39 \sim 48.02)} En_{(46.57 \sim 49.64)} Fs_{(4.75 \sim 6.55)}$, 基质辉石的端元组分为 $Wo_{(41.95 \sim 46.80)} En_{(42.07 \sim 46.57)} Fs_{(7.32 \sim 11.46)}$, 比响岩中基质辉石变化范围小。在辉石的三角投图上(图 3), 两类岩石的辉石斑晶均主要落在透辉石的区域范围内, 而辉石基质均主要落在透辉石和普通辉石的区域范围内。与辉石斑晶相比, 基质辉石的 FeO 、 TiO_2 、 Na_2O 、 Al_2O_3 的含量较高, 而 MgO 的含量较低(表 2), 两类岩石都显示出从辉石斑晶到基质辉石具有向 Fs 演化的趋势(图 3)。但两套岩石中的辉石斑晶 $Mg^{\#}$ 值相当, 相互之间不存在演化关系。



图 3 单斜辉石成分分类图

Fig. 3 Wo-En-Fs classification diagram of clinopyroxenes

表 2 辉石电子探针分析结果

Table 2 EPMA results of the clinopyroxenes

分析点	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Cr ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	总量	Wo	En	Fs	Mg [#]
	%														
钠质方沸石响岩															
CM10-04-09 斑晶	54.57	0.29	0.53	3.19	0.20	0.11	18.05	22.99	0.21	0.01	100.22	45.04	49.20	5.03	85.00
CM10-04-09 斑晶	54.94	0.22	0.36	3.74	0.12	0.22	17.76	22.97	0.14	0.01	100.57	45.02	48.42	6.06	82.61
CM10-04-11 斑晶	55.01	0.25	0.35	3.38	0.15	0.15	17.92	22.25	0.14	0.00	99.73	44.31	49.65	5.52	84.12
CM10-04-11 斑晶	54.04	0.26	0.38	3.91	0.18	0.18	17.50	23.25	0.17	0.00	99.94	45.51	47.67	6.23	81.74
CM10-04-13 斑晶	54.25	0.37	0.48	3.99	0.22	0.25	17.19	23.25	0.17	0.00	100.28	45.80	47.11	6.51	81.17
CM10-04-13 斑晶	54.33	0.30	0.41	3.53	0.19	0.23	17.39	23.3	0.12	0.00	99.90	46.01	47.76	5.79	83.14
CM10-04-16 斑晶	53.24	0.32	0.56	4.14	0.16	0.21	17.37	23.68	0.19	0.00	99.95	45.92	46.86	6.55	80.74
CM10-04-16 斑晶	54.34	0.33	0.49	3.76	0.15	0.21	18.10	23.19	0.20	0.00	100.86	44.75	48.59	5.96	82.78
CM10-04-23 斑晶	54.97	0.35	0.45	3.54	0.25	0.20	18.12	22.56	0.25	0.02	100.79	44.12	49.29	5.72	83.64
CM10-04-23 斑晶	53.75	0.33	0.41	4.35	0.19	0.20	17.57	22.76	0.20	0.01	99.91	44.52	47.82	6.94	80.15
CM10-04-09 基质	54.46	1.16	1.14	4.98	0.41	0.14	16.46	21.97	0.52	0.02	101.39	44.09	45.96	8.04	76.77
CM10-04-09 基质	53.30	0.97	0.77	6.67	0.32	0.35	16.71	21.31	0.53	0.04	101.06	41.80	45.60	10.71	71.45
CM10-04-11 基质	53.37	0.76	0.47	5.84	0.33	0.38	17.33	21.88	0.45	0.01	100.94	42.37	46.70	9.35	74.80
CM10-04-11 基质	53.59	0.76	0.63	6.23	0.39	0.36	16.64	21.21	0.47	0.04	100.42	42.13	45.98	10.21	72.75
CM10-04-13 基质	51.76	1.09	1.05	7.25	0.20	0.36	15.58	20.30	0.56	0.06	98.29	41.50	44.33	12.10	68.26
CM10-04-13 基质	51.82	1.32	1.26	7.33	0.22	0.28	15.90	20.50	0.59	0.03	99.34	41.32	44.60	11.93	68.44
CM10-04-16 基质	52.27	0.72	0.92	5.34	0.46	0.25	16.86	22.42	0.39	0.04	99.75	44.05	46.07	8.51	75.94
CM10-04-16 基质	51.70	1.49	1.36	8.81	0.16	0.39	15.93	20.53	0.66	0.06	101.14	40.26	43.46	13.96	64.39
超钾质粗面岩															
CM10-04-08 斑晶	55.06	0.23	0.35	2.99	0.04	0.12	17.40	23.53	0.14	0.00	99.86	46.66	48.00	4.83	85.33
CM10-04-08 斑晶	55.96	0.33	0.43	3.42	0.09	0.10	18.00	23.14	0.14	0.01	101.64	45.20	48.91	5.38	84.05
CM10-04-14 斑晶	54.83	0.39	0.36	3.66	0.01	0.12	18.35	23.15	0.19	0.00	101.07	44.55	49.14	5.66	83.37
CM10-04-14 斑晶	55.89	0.30	0.38	3.54	0.04	0.09	18.12	22.98	0.18	0.00	101.57	44.74	49.09	5.53	83.66
CM10-04-15 斑晶	55.95	0.20	0.41	3.51	0.07	0.14	17.63	23.05	0.18	0.00	101.14	45.41	48.32	5.64	83.39
CM10-04-15 斑晶	55.19	0.34	0.32	3.22	0.02	0.19	17.33	23.61	0.18	0.00	100.40	46.55	47.56	5.25	84.35
CM10-04-26 斑晶	55.57	0.39	0.39	4.08	0.04	0.13	17.51	22.36	0.20	0.01	100.69	44.39	48.36	6.55	81.11
CM10-04-26 斑晶	55.80	0.47	0.61	3.84	0.01	0.19	17.38	23.38	0.20	0.00	101.91	45.77	47.34	6.18	81.91
CM10-04-08 基质	53.43	0.71	0.62	5.37	0.15	0.14	16.38	22.20	0.48	0.06	99.53	44.28	45.43	8.54	75.32
CM10-04-08 基质	53.89	0.40	0.55	4.55	0.05	0.16	16.56	22.65	0.40	0.06	99.27	45.22	46.00	7.32	78.46
CM10-04-14 基质	54.11	0.45	0.35	7.07	0.09	0.29	15.10	20.95	1.25	0.03	99.69	41.95	42.07	11.50	68.09
CM10-04-14 基质	53.08	0.92	0.82	6.55	0.08	0.27	15.84	21.38	0.71	0.18	99.83	42.76	44.07	10.60	70.75
CM10-04-15 基质	53.35	0.69	0.42	6.7	0.04	0.27	15.04	21.47	1.02	0.12	99.15	43.25	42.14	10.90	69.18
CM10-04-15 基质	53.68	0.82	0.74	6.28	0.11	0.22	15.88	21.25	0.58	0.12	99.68	42.96	44.66	10.30	71.66
CM10-04-26 基质	53.81	0.85	0.83	7.03	0.09	0.22	15.53	21.62	0.75	0.01	100.75	43.03	43.03	11.20	68.85
CM10-04-26 基质	54.14	0.77	0.79	5.95	0.25	0.24	16.00	21.88	0.57	0.03	100.66	43.75	44.53	9.67	72.89

注: 表中“0.00”表示低于探针分析检测限。

3.3 金云母

钠质碱性火山岩中的金云母成分变化较大(表3) 总体上,斑晶金云母具有比基质金云母更宽的成分变化范围。斑晶金云母的 $Mg^{\#}$ 为 66.09 ~ 87.04, $Ti/(Mg + Fe + Ti + Mn)$ 值为 0.04 ~ 0.13, $Al/(Al + Mg + Fe + Ti + Mn + Si)$ 值为 0.15 ~ 0.17; 基质金云母上述比值分别为 70.65 ~ 79.30, 0.04 ~ 0.11 和 0.14 ~ 0.18。

钾质粗面岩的斑晶金云母成分变化也较大,与钠质方沸石(霞石)响岩相比,总体上钾质粗面岩的斑晶金云母具有略低的 $Mg^{\#}$ 值(60.55 ~ 79.32) 和较高的 TiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 的含量,但具有相似的 $Ti/(Mg + Fe + Ti + Mn)$ 值(0.04 ~ 0.11) 和 $Al/(Al + Mg + Fe + Ti + Mn + Si)$ 值(0.14 ~ 0.19),而基质金云母的上述比值分别为 67.47 ~ 84.50, 0.04 ~ 0.11 和 0.16 ~ 0.18。

3.4 方沸石

方沸石主要以斑晶的形式存在于钠质碱性火山

岩中,少量为基质。方沸石为等轴晶系矿物,应显示特有的四角三八面体或与立方体的聚形,但在所研究的岩石中该矿物有些呈长柱状晶体或具六边形横切面。电子探针成分分析表明(表4) 其含有较高的 K_2O ,结合 X 射线粉末衍射测试结果分析,推测这些方沸石由碱性岩特征矿物霞石蚀变而来,而部分方沸石仍保留有霞石六方晶系的晶形。方沸石(霞石)的出现表明了岩浆曾处于富钠贫硅的特殊环境(赵文霞等,2011)。

3.5 透长石

透长石在超钾质粗面岩中大量出现,而在方沸石响岩中仅少量存在于基质中。电子探针成分分析表明(表5):超钾质粗面岩中透长石斑晶 Na_2O 的含量较低(2.49% ~ 3.76%), FeO 的含量较高(0.28% ~ 0.91%),基质 FeO 的含量也较高(0.49% ~ 2.04%),从斑晶到基质 FeO 的含量呈增高的趋势。

表3 金云母电子探针分析结果
Table 3 EPMA results of the phlogopites

分析点	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Cr ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	F	总量	Ti/(Mg + Fe + Ti + Mn)	Al/(Al + Mg + Fe + Ti + Mn + Si)
钠质方沸石响岩														
CM10-04-09 斑晶	41.16	5.42	11.75	8.81	0.03	0.07	18.26	0.02	0.32	9.67	2.23	97.44	0.11	0.15
CM10-04-11 斑晶	38.37	6.18	12.27	9.11	0.06	0.06	17.75	0.06	0.32	9.68	1.29	95.81	0.12	0.16
CM10-04-11 斑晶	39.94	4.01	12.12	9.12	0.33	0.12	18.39	0.07	0.26	10.00	2.92	96.43	0.08	0.15
CM10-04-13 斑晶	42.85	3.22	12.79	5.18	0.11	0.02	21.44	0.02	0.26	10.03	1.37	97.16	0.06	0.16
CM10-04-16 斑晶	43.28	2.70	13.10	4.05	0.25	0.02	21.73	0.05	0.28	10.32	2.01	97.30	0.05	0.16
CM10-04-16 斑晶	42.46	2.25	12.32	3.48	0.82	0.00	23.38	0.01	0.43	9.96	2.30	96.88	0.04	0.15
CM10-04-23 斑晶	42.65	2.38	12.27	6.60	0.03	0.07	22.13	0.02	0.43	9.87	2.16	98.21	0.04	0.15
CM10-04-09 基质	41.51	2.90	14.24	4.34	1.33	0.04	20.41	0.11	0.34	10.19	1.30	96.61	0.06	0.18
CM10-04-13 基质	41.43	5.01	14.38	6.97	0.06	0.07	16.63	0.44	0.68	8.36	4.78	98.17	0.11	0.18
CM10-04-13 基质	41.89	4.76	12.43	8.36	0.06	0.10	18.38	0.08	0.13	9.98	1.74	97.74	0.09	0.15
CM10-04-23 基质	40.82	2.18	11.42	8.37	0.89	0.05	20.11	0.70	0.60	8.98	6.44	98.45	0.04	0.14
超钾质粗面岩														
CM10-04-14 斑晶	38.79	2.60	11.82	8.65	0.38	0.03	21.96	0.07	0.47	9.45	6.08	98.16	0.05	0.15
CM10-04-14 斑晶	39.43	5.56	12.13	15.00	0.09	0.11	14.28	0.05	0.69	9.51	0.02	98.03	0.11	0.16
CM10-04-15 斑晶	37.81	4.05	14.30	8.47	0.11	0.00	20.69	0.06	0.44	9.70	4.49	98.24	0.07	0.18
CM10-04-15 斑晶	36.59	5.40	14.38	11.39	0.13	0.04	17.50	0.05	0.44	9.15	3.61	97.16	0.10	0.18
CM10-04-26 斑晶	39.92	2.43	13.92	3.72	0.36	0.00	24.42	0.10	0.47	10.03	5.87	98.77	0.04	0.17
CM10-04-26 斑晶	37.12	5.63	12.01	11.17	0.06	0.09	20.52	0.00	0.55	9.38	3.46	98.53	0.10	0.15
CM10-04-14 基质	36.97	5.70	12.04	12.55	0.09	0.04	16.95	0.05	1.01	8.92	4.17	98.26	0.11	0.16
CM10-04-14 基质	40.66	1.94	13.50	4.35	0.28	0.02	23.74	0.00	0.16	10.25	1.62	95.83	0.04	0.16
CM10-04-15 基质	39.63	3.65	13.62	5.22	0.04	0.02	20.88	0.14	0.47	9.55	4.72	95.94	0.07	0.17
CM10-04-15 基质	38.90	2.93	13.71	4.32	0.51	0.00	23.01	0.02	0.44	10.19	5.46	97.18	0.05	0.17
CM10-04-15 基质	40.18	4.21	13.06	4.11	0.68	0.00	21.46	0.09	0.46	9.96	5.67	97.49	0.08	0.16
CM10-04-26 基质	38.38	5.78	12.22	8.52	0.08	0.03	17.68	0.16	0.36	9.13	3.88	94.59	0.11	0.16

注:表中“0.00”表示低于探针分析检测限。

4 方沸石(霞石)响岩橄榄石中的钾质熔体包裹体特征

包裹体的物质组成反映了成岩时期的介质环境,在钠质火山岩的橄榄石中发现岩浆熔融包裹体,包裹体呈不规则状。通过对样品(CM10-04-09)中橄榄石包裹体的电子探针定量分析可知(表6),其

具高 K_2O 、低 Na_2O 的特征, K_2O/Na_2O 比值较高 (> 4)。与钾质-超钾质火山岩的主量元素的化学成分(于丽芳 2010; Chen et al., 2011)相近。在 $MgO-Na_2O/K_2O$ 图中(图4),包裹体成分明显不同于钠质火山岩,但落在钾质-超钾质岩的范围内,可能是钾质火山岩残余岩浆的产物。

表4 方沸石(霞石)响岩中方沸石斑晶电子探针分析结果(%)

Table 4 EPMA results of the analcimes in the sodium analcime (nepheline) phonolite (%)

分析点	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Cr ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	总量
CM10-04-09	59.64	0.18	21.16	1.26	0.00	0.02	0.02	0.58	6.06	0.78	89.74
CM10-04-11	59.93	0.06	21.79	0.89	0.03	0.00	0.03	0.63	5.32	1.33	90.11
CM10-04-13	61.88	0.09	21.88	0.77	0.02	0.00	0.02	0.42	6.49	0.49	92.12
CM10-04-16	62.32	0.03	23.44	0.42	0.00	0.00	0.01	1.47	6.92	1.77	97.39
CM10-04-23	60.52	0.06	23.47	0.27	0.01	0.00	0.02	1.37	6.15	1.77	94.51
CM10-04-23	61.90	0.12	21.48	1.15	0.02	0.03	0.05	0.30	4.99	2.07	92.26

注:表中“0.00”表示低于探针分析检测限。

表5 超钾质粗面岩中透长石电子探针分析结果(%)

Table 5 EPMA results of the sanidines in the ultra-potassic trachyte (%)

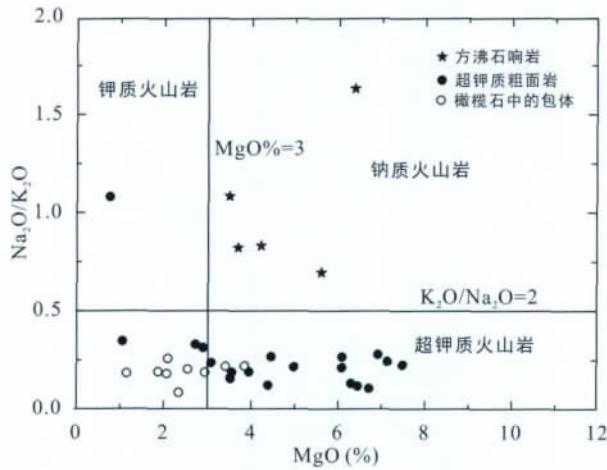
分析点	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Cr ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	总量
CM10-04-08 斑晶	64.21	0.10	19.42	0.52	0.01	0.00	0.00	0.15	3.24	11.55	99.30
CM10-04-08 斑晶	65.22	0.11	19.14	0.45	0.02	0.03	0.01	0.06	2.49	12.94	100.47
CM10-04-15 斑晶	66.50	0.11	17.98	0.41	0.02	0.00	0.02	0.02	2.81	12.98	100.83
CM10-04-15 斑晶	66.92	0.22	17.31	1.12	0.02	0.02	0.02	0.08	2.70	12.81	101.32
CM10-04-15 斑晶	65.50	0.06	18.55	0.28	0.00	0.00	0.00	0.30	2.94	11.82	99.44
CM10-04-26 斑晶	66.38	0.10	18.09	0.51	0.01	0.03	0.01	0.09	3.49	11.62	100.38
CM10-04-08 基质	65.29	0.32	17.58	2.04	0.00	0.03	0.07	0.07	2.06	13.23	100.82
CM10-04-08 基质	64.05	0.35	18.30	1.28	0.00	0.01	0.04	0.15	2.13	13.51	99.87
CM10-04-14 基质	66.28	0.25	17.47	0.98	0.00	0.00	0.00	0.01	2.18	13.46	100.63
CM10-04-15 基质	65.15	0.33	17.58	0.97	0.03	0.03	0.00	0.03	3.18	12.96	100.93
CM10-04-26 基质	65.30	0.06	18.03	0.49	0.01	0.02	0.00	0.29	4.15	10.72	99.08

注:表中“0.00”表示低于探针分析检测限。

表6 方沸石(霞石)响岩(CM10-04-09)橄榄石中岩浆熔融包体电子探针分析结果(%)

Table 6 EPMA results of the potassic residual magma inclusions in olivines of the sodium analcime (nepheline) phonolite (%)

包裹体	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Cr ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	NiO	总量
1	53.70	3.15	15.04	5.68	0.15	0.20	1.88	8.95	1.36	7.24	0.10	97.64
2	56.84	2.62	17.12	4.83	0.16	0.14	1.16	5.59	1.90	10.46	0.13	100.99
3	53.92	2.78	15.75	5.81	0.13	0.16	2.09	9.42	1.99	7.76	0.05	100.25
4	57.55	2.06	14.65	5.08	0.14	0.13	3.85	6.11	2.07	9.46	0.07	101.35
5	51.24	3.38	12.65	6.72	0.17	0.17	2.95	11.48	1.28	6.89	0.07	97.08
6	53.98	2.41	15.34	5.04	0.17	0.16	2.08	8.65	1.38	7.75	0.10	97.05
7	52.70	2.30	14.09	6.68	0.15	0.15	3.42	10.34	1.50	6.94	0.07	98.35
8	54.34	2.04	15.13	5.92	0.16	0.18	2.56	9.06	1.42	7.01	0.08	97.90
9	53.44	2.08	14.33	6.48	0.16	0.18	2.35	10.04	0.88	10.70	0.06	100.69

图 4 碱性火山岩 $MgO-Na_2O/K_2O$ 图Fig. 4 $MgO-Na_2O/K_2O$ diagram of the alkaline volcanic rocks

5 岩石成因关系及意义

方沸石响岩和超钾质粗面岩分别为钠质和钾质的碱性岩,具有不同的矿物组合和成分特征,暗示它们可能具有不同的地幔源区。另一方面,两类岩石在同一火山剖面上呈互层状产出,反映出它们的形成时间和空间都非常接近。因此,厘清它们是否为同一岩浆体系的演化产物或者具有不同的地幔源区将是深入探讨其岩石成因机制及其深部意义的关键。

5.1 全岩化学成分的不连续性

钠质方沸石(霞石)响岩具有较低的 K_2O 含量(2.58%~4.77%)和较高的 Na_2O 含量(3.31%~4.22%), $Mg^{\#}$ 从 47.8~56.2, 平均为 52.4 (于丽芳, 2010)。超钾质粗面岩具有较高的 K_2O 含量(6.11%~10.61%)、 MgO 含量(1.10%~7.53%)和 $Mg^{\#}$ (29.0~59.3, 平均为 51.5) (于丽芳 2010; Chen et al., 2011)。在 $MgO-Na_2O/K_2O$ 图中(图 4), 钠质方沸石(霞石)响岩与超钾质粗面岩具有相当的 MgO 含量但明显落在不同区域, 而方沸石(霞石)响岩橄榄石中存在钾质熔体包体, 该包体落在钾质-超钾质岩的范围内, 可能是钾质火山岩残余岩浆的产物, 超钾质粗面岩应早于钠质方沸石响岩喷发。而它们在成分上不存在连续性, 暗示了它们源区上的不一致性。

5.2 矿物成分的差异

沸石(霞石)响岩的矿物组合为橄榄石+透辉石+金云母+方沸石(霞石)+磷灰石(少量)+透

长石(少量)+磁铁矿(少量); 超钾质粗面岩的矿物组合为: 透辉石+金云母+透长石+磷灰石(少量)+磁铁矿(少量)。方沸石(霞石)响岩以富含橄榄石和方沸石、贫乏透长石区别于共存的超钾质粗面岩, 两套岩石中的辉石斑晶均落在透辉石的区域范围内, $Mg^{\#}$ 值也相当, 与超钾质粗面岩相比, 钠质方沸石(霞石)响岩中金云母 $Mg^{\#}$ 值较高, 两套岩石不同的矿物组合及矿物特征说明它们可能来源于不同的岩浆源区。

矿物颗粒的核部(内环)记录了岩浆早期结晶的历史, 因此, 对两套碱性火山岩的单斜辉石核部进行对比也可以追溯其源区的差异。

从图 5 可以看出, 与超钾质粗面岩中单斜辉石的核部相比, 钠质方沸石(霞石)响岩单斜辉石的核部 $Mg^{\#}$ 的值没有很大差异, 具有较高的 Al_2O_3 含量(0.86%~1.96%)和 Cr_2O_3 含量(0.08%~0.42%)。如果钠质方沸石(霞石)响岩岩浆是由超钾质粗面岩岩浆演化而来, 相对演化程度高的单斜辉石应具有较低的 $Mg^{\#}$ 值、 Cr_2O_3 含量和较高的 Na_2O 含量, 但分析结果表明, 两类岩石的单斜辉石斑晶核部成分并不存在上述变化趋势(图 5)。另外, 由同一岩浆体系演化而来的单斜辉石具有相似的 Ti-Al 比值, 因此可以利用它来判断单斜辉石的亲缘性 (Mitchell and Bergaman, 1991; Perini and Conticelli, 2002; 黄小龙等, 2007)。钾质粗面岩和钠质方沸石(霞石)响岩的单斜辉石核部 Ti-Al 比值明显不同(图 6)。因此, 钠质方沸石(霞石)响岩岩浆不可能是由超钾质粗面岩岩浆演化而来, 应来源于独立的地幔源区。

陈建林等(2007)对同一地堑查孜地区的钾质-超钾质火山岩进行了详细的岩石化学研究, 认为这些火山岩的岩浆应来源于富含金云母的地幔源区, 并且与东西向的伸展有关。查孜地区的中基性钾质-超钾质火山岩为 11~13 Ma, 与本文的钾质-超钾质火山岩(12.5 Ma)同期喷发, 因此它们应有相似的地幔源区, 即富钾地幔源区。而方沸石(霞石)响岩与钾质-超钾质粗面岩具有不同的矿物组合、核部化学成分特征、Ti-Al 比值, 且晚于钾质-超钾质粗面岩的喷发, 表明它应该来源于另一个富钠的地幔岩浆源区。

6 结 论

(1) 研究区存在一套钠质碱性火山岩——方沸

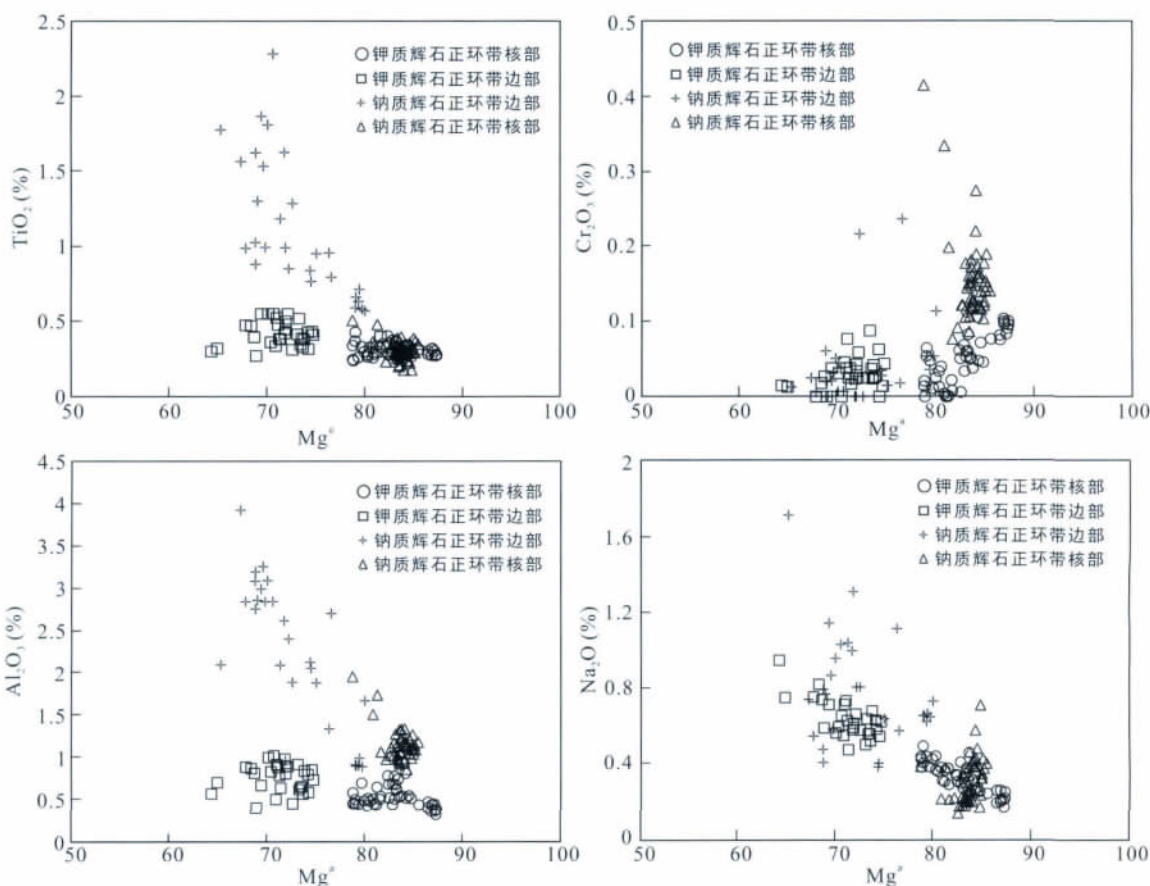


图 5 单斜辉石 $Mg^{\#}$ - 氧化物图解

Fig. 5 $Mg^{\#}$ -oxide diagrams of the clinopyroxenes

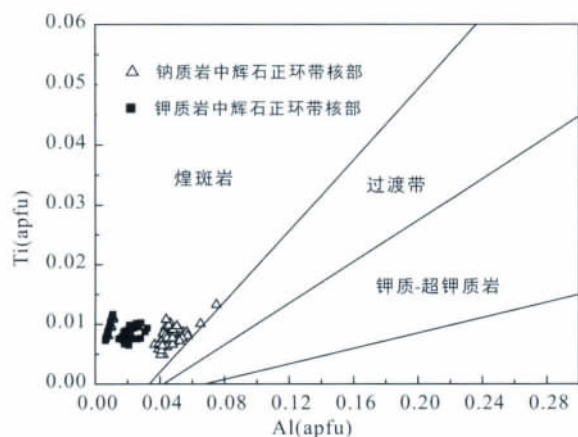


图 6 单斜辉石 Al-Ti 关系图

Fig. 6 Ti-Al diagram of the clinopyroxenes

石(霞石)响岩,该碱性火山岩的矿物组合为橄榄石 + 透辉石 + 金云母 + 方沸石(霞石) + 磷灰石(少量) + 透长石(少量) + 磁铁矿(少量),与其共存的超钾质粗面岩具有不同的矿物组合,即透辉石 + 金云母 + 透长石 + 磷灰石(少量) + 磁铁矿(少量)。

(2) 在方沸石(霞石)响岩橄榄石中发现钾质

火山岩残余岩浆的包裹体,钾质火山岩岩浆的产生相对早于钠质火山岩岩浆。但钠质方沸石(霞石)响岩岩浆不是由钾质粗面岩岩浆演化而来。两类岩石全岩化学成分、单斜辉石正环带核部化学成分特征、Ti-Al 比值的差异指示了不同的岩浆源区。

致谢: 两位审稿老师分别对本文进行了一审和复审,提出了许多中肯的意见和建议,作者在此表示衷心的感谢!

参考文献(References):

陈建林,许继峰,康志强,王保弟. 2006. 青藏高原西部措勤县中新世布嘎寺组钾质火山岩成因. 岩石学报, 22(3): 585-594.

陈建林,许继峰,康志强,王保弟. 2007. 青藏高原西南部查孜地区中新世钾质火山岩地球化学及其成因. 地球化学, 36(5): 457-466.

迟效国,董春艳,刘建峰,金巍,李才,刘森,黎广荣. 2006. 青藏高原高 $Mg^{\#}$ 和低 $Mg^{\#}$ 两类钾质超钾质火山岩及其源区性质. 岩石学报, 22(3): 595-602.

邓万明,孙宏娟,张玉泉. 2001. 囊谦盆地新生代钾质火山

- 岩成因岩石学研究. 地质科学, 36 (3): 304 - 318.
- 丁林, 岳雅慧, 蔡福龙, 徐晓霞, 张清海, 来庆洲. 2006. 西藏拉萨地块高镁超钾质火山岩及对南北地堑形成时间和切割深度的制约. 地质学报, 80(9): 1253 - 1262.
- 黄小龙, 徐义刚, 杨启军, 陈林丽. 2007. 滇西葛中晚始新世高镁富钾火山岩中单斜辉石斑晶环带结构的成因: 岩浆补给 - 混合过程. 高校地质学报, 13(2): 250 - 260.
- 李继亮, 陶克捷, 俞良军, 肖文交. 2007. 西藏拉昂错剪切橄榄岩中橄榄石初步研究. 岩石学报, 23(5): 977 - 985.
- 孙晨光, 赵志丹, 莫宣学, 朱弟成, 董国臣, 周肃, 董昕, 谢国刚. 2007. 青藏高原拉萨地块西部中新世赛利普超钾质岩石的地球化学与岩石成因. 岩石学报, 23(11): 2715 - 2726.
- 陶克捷, 张培善. 1985. 陨石矿物及宇宙矿物学问题. 中国科学院地质研究所所刊: 43 - 55.
- 王保弟, 许继峰, 张兴国, 陈建林, 康志强, 董彦辉. 2008. 青藏高原西部赛利普中新世火山源区: 地球化学及 Sr-Nd 同位素制约. 岩石学报, 24(2): 265 - 278.
- 许继峰, 王强. 2003. adakitic 火成岩对大陆地壳增厚过程的指示: 以青藏北部火山岩为例. 地学前缘, 10(4): 401 - 406.
- 杨经绥, 吴才来, 史仁灯, 李海兵, 许志琴, 孟繁聪. 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. 岩石学报, 18(2): 161 - 176.
- 于丽芳. 2010. 西藏米巴勒地区新生代碱性火山岩的岩石学、矿物学及其岩浆成因研究. 中山大学硕士论文: 16 - 20.
- 赵文霞, 于丽芳, 陈建林, 郭倩, 王保弟. 2011. 青藏米巴勒地区中新世钠质方沸石(霞石)响岩中单斜辉石环带研究: 对岩浆 - 构造演化的启示. 岩石学报, 27(7): 2073 - 2082.
- 赵志丹, 莫宣学, Sebastien Nonmade, Paul Rrenne, 周肃, 董国臣, 王亮亮, 朱弟成, 廖忠礼. 2006. 青藏高原拉萨地块碰撞后超钾质岩石的时空分布及意义. 岩石学报, 22(4): 784 - 794.
- Chen J L, Zhao W X, Xu J F, Wang B D and Kang Z Q. 2012. Geochemistry of Miocene trachytes in Bugasi, Lhasa block, Tibetan Plateau: Mixing products between mantle- and crust-derived melts? *Gondwana Research*, 21: 112 - 122.
- Chung S L, Liu D Y, Ji J Q, Chu M F, Lee H Y, Wen D J, Lo C H, Lee T Y, Qian Q and Zhang Q. 2003. Adakites from continental collision zones: Melting of thickened lower crust beneath southern Tibet. *Geology*, 31(11): 1021 - 1024.
- Ding L, Kapp P, Zhong D L and Deng W M. 2003. Cenozoic volcanic rocks in Tibet: Evidence for a transition from oceanic to continental subduction. *Journal of Petrology*, 44: 1833 - 1865.
- Hou Z Q, Gao Y F, Qu X M, Rui Z Y and Mo X X. 2004. Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east-west extension in south Tibet. *Earth and Planetary Science Letters*, 220: 139 - 155.
- Miller C, Schuster R, Klötzli U, Frank W and Purtscheller F. 1999. Postcollisional potassic and ultrapotassic magmatism in southwest Tibet: Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic constraints for mantle source characteristics and petrogenesis. *Journal of Petrology*, 40: 1399 - 1424.
- Mitchell R H and Bergaman S C. 1991. Petrology of Lamproites. Plenum Press, New York: 447.
- Peccerillo A. 1990. On the origin of the Italian potassic magmas comments. *Chemical Geology*, 85: 183 - 196.
- Peccerillo A. 1992. Potassic and ultrapotassic rocks: compositional characteristics petrogenesis and geologic significance. *Episodes*, 15(4): 243 - 251.
- Perini G and Conticelli S. 2002. Crystallization conditions of leucite-bearing magmas and their implications on the magmatological evolution of ultrapotassic magmas: The Vico Volcano, Central Italy. *Mineralogy and Petrology*, 74: 253 - 276.
- Turner S, Arnaud N, Liu J, Rogers N, Kelley S and van Calsteren P. 1993. Timing of Tibetan uplift constrained by analysis of volcanic rocks. *Nature*, 364: 50 - 53.
- Williams H M, Turner S P, Pearce J A, Kelley S P and Harris N B W. 2004. Nature of the source regions for post-collisional, potassic magmatism in southern and northern Tibet from geochemical variations and inverse trace element modelling. *Journal of Petrology*, 45(3): 555 - 607.
- Williams H, Turner S, Kelley S and Harris N. 2001. Age and composition of dikes in Southern Tibet: New constraints on the timing of east-west extension and its relationship to postcollisional volcanism. *Geology*, 29(4): 339 - 342.

Mineralogical Characteristics of the Sodium- and Potassic-rich Alkaline Volcanic Rocks at Tangra Yumco , SE Tibet: Implications for Petrogenesis

YU Lifang^{1,2}, ZHAO Wenxia¹, CHEN Jianlin³, GUO Qian¹ and WANG Baodi³

(1. Instrumental Analysis and Research Center, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, Guangdong, China; 2. No. 719 Brigade of Guangdong Geological Bureau, Zhaoqing 526020, Guangdong, China; 3. State Key Laboratory of Isotope Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China)

Abstract: The Miocene sodium-rich analcime (nepheline) phonolite and coexisting ultrahigh-potassium trachytes at Tangra Yumco area in southwestern Qinghai-Tibet Plateau show distinct petrological and mineralogical characteristics. The magmatic inclusions within olivine phenocrysts in the sodium analcime (nepheline) phonolite are compositionally similar to the ultrapotassic volcanic rocks, indicating that the potassium magma was formed prior to the sodium magma. Because of the different whole rock components, mineral assemblages, mineral compositions and Ti-Al ratios in the clinopyroxene cores, the sodium analcime (nepheline) phonolites were likely derived from different mantle magmatic sources rather than fractional results of a potassic trachytic magma.

Keywords: mineralogy; alkaline volcanic rocks; petrogenesis; Tangra Yumco

《大地构造与成矿学》2012 年(第 36 卷)第 3 期预目

(2012 年 8 月 15 日出版发行)

- 华南地区中生代岩浆成矿作用的四大问题 陈毓川 王登红
 华南“南钨北扩”、“东钨西扩”及其找矿方向探讨 王登红 陈郑辉 黄国成 武国忠 陈芳
 贵州低温热液型汞、锑、金矿床成矿谱系——以晴隆大厂、兴仁紫木凶和铜仁乱岩塘为例
 王登红 秦燕 王成辉 陈毓川 高兰
 赣南园岭寨大型钨矿岩石地球化学、成岩成矿年代学及其地质意义
 黄凡, 王登红, 曾载淋, 张永忠, 曾要, 温珍连
 广西德保铜矿钦甲岩体 Hf 同位素特征及其地质意义 王永磊 王登红 张长青 王成辉
 广东高要河台金矿同位素年代学研究 王成辉 王登红 邱小平 龚朝阳 张长青 王永磊
 浙江临安千亩田钨矿矿区花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及对区域找矿的意义 黄国成 王登红 吴小勇
 闽东大湾钨矿床辉钨矿的 Re-Os 同位素年龄兼论福建钨矿的时空分布规律 赵芝 陈郑辉 王成辉
 钨矿床原生晕特征及深部成矿定位预测——以赣南淘锡坑钨矿 11 号脉为例 方贵聪 陈郑辉 陈毓川 赵正 黄凡
 广东云浮县高枧铅锌多金属矿床成岩、成矿时代研究 武国忠 陈郑辉 肖光铭
 赣南崇义县两个典型矽卡岩型钨锡矿床成岩成矿年代学及地质意义 丰成友 曾载淋
 广西大厂矿田拉么-羊角尖一带含矿地层元素地球化学及对深部找矿的指示意义 王东明 梁婷
 湖南桂东县小江花岗岩体: 一个潜在 Rb-Nb-Y 矿床的岩石化学特征及成矿远景 李建康 王永磊 孙艳
 江西信丰桐木稀土矿区龙舌岩体的成岩时代及成矿条件分析 孙艳 李建康 陈振宇 陈郑辉 侯可军 赵正
 赣南印支期清溪岩体的锆石 U-Pb 法年代学研究及其含矿性评价
 于扬 陈振宇 陈郑辉 侯可军 赵正 许建祥 张家菁 曾载淋
 华南印支期花岗岩类的岩石特征、成因类型及其构造动力学背景 郭春丽, 郑佳浩, 楼法生, 曾载淋
 粤北大宝山斑岩钨矿床岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及形成分析 王春龙 梁华英 黄文婷 伍静
 Os 同位素在花岗岩物质来源示踪中的初步研究: 以湖南骑田岭岩体为例
 李超 屈文俊 王登红 周利敏 陈郑辉 杜安道
 紫金山矿田二庙沟铜多金属矿点隐爆角砾岩活动中心的厘定及意义
 林书平 王春龙 李振杰 王翠芝 祁进平 梁华英