

藏北赤布张错地区埃达克岩的厘定及其意义

魏君奇, 姚华舟, 牛志军, 王建雄

(宜昌地质矿产研究所, 湖北 宜昌 443003)

摘 要: 常量、微量及 Sr、Nd 同位素研究表明, 藏北赤布张错地区分布的一套始新世 (35 ~ 40Ma) 高钾钙碱性火山岩具有 C 型埃达克岩的地球化学特征。火山岩 SiO_2 含量为 58% ~ 69%, K_2O 、 Al_2O_3 、Sr 的含量相对偏高, 而 Y、Yb 的含量和 $\text{Mg}^\#$ 值相对较低, Nb 明显亏损, Zr、Ti、P 弱亏损, LREE 富集, 无明显 Eu 负异常, I_{Sr} (0.70723 ~ 0.70777) 值偏高, 而 I_{Nd} (0.512320 ~ 0.512352) 值偏低, 指示其为一套壳源中酸性火山岩系, 源自加厚陆壳下部的一个榴辉岩质源区的部分熔融。这套新生代埃达克质火山岩的厘定, 指示藏北羌塘地区或更大范围的大陆地壳在 40Ma 左右已经加厚到超过 40km, 且青藏高原的隆升开始于 40Ma 以前。

关键词: 埃达克岩; 高钾钙碱性火山岩; 赤布张错; 藏北; 地质意义

中图分类号: P588.14; P542

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524 (2005) 03-0173-06

Identification of the adakitic rock association in Chibzhan northern Tibet, and its significance

WEI Jun-qi, YAO Hua-zhou, NIU Zhi-jun and WANG Jian-xiong
(Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003, China)

Abstract: Major and trace elements and Sr-Nd isotopic data of adakitic high-K calc-alkaline volcanic rocks in Chibzhan gCoarea are presented, which yields ages of 35 ~ 40 Ma. All of the rocks exhibit characteristics of adakites formed by partial melt in a mafic to felsic lower crust: $\text{SiO}_2 = 58\% \sim 69\%$, high K_2O , Al_2O_3 and Sr contents, low Y, Yb contents and $\text{Mg}^\#$ values, strong depletion of Nb and Zr, weak depletion of Ti and P, LREE enrichment with no remarkable Eu negative anomaly, $I_{\text{Sr}} = 0.70723 \sim 0.70777$ and $I_{\text{Nd}} = 0.512320 \sim 0.512352$. The adakitic geochemical features and crustal anatexis isotopic characteristics suggest a primitive magmatic generation process responsible for the partial melt in a mafic to felsic lower crust of northern Tibetan Plateau. It is assumed that the crust was thickened to over 40 km and a mafic to felsic lower crust was formed in northern Tibet around the Eocene. The adakitic volcanic rocks of 40 Ma indicate that the continental crust of Qiangtang area in Tibetan Plateau has been thickened to over 40 km, and the plateau probably started its uplift in 40 Ma ago.

Keywords: adakite; high-K calc-alkaline volcanic rocks; Chibzhan gCo; northern Tibet; geological significance

埃达克岩 (adakite) 显著的地球化学特征是: SiO_2 56%, 高 Al_2O_3 、Sr、LREE, 低 Y、Yb、HREE, 无或弱负 Eu 异常 (钱青, 2001)。典型的埃达克岩是指由年轻的 (<25Ma)、热的俯冲洋壳在 75 ~ 85km 处 (相当于角闪岩-榴辉岩过渡带) 发生部分熔融形成的中酸性火成岩, 其产出的构造环境局限于中、新生

代岛弧 (Defant and Drummond, 1990)。而从广义上讲, 埃达克岩是根据地球化学特征提出来的, 凡是具有与典型的埃达克岩相同或相似地球化学特征的中酸性火成岩均可定义为埃达克岩 (张旗等, 2001a)。Kay (1978) 指出, 与榴辉岩矿物残留相 (富石榴石、贫长石) 平衡的任何安山质和英安质岩浆岩均是埃达

收稿日期: 2004-10-09; 修订日期: 2005-02-28

基金项目: 区域地质调查资助项目 (20001300009121); 国家自然科学基金资助项目 (40372004)

作者简介: 魏君奇 (1964-), 男, 汉族, 博士, 研究员, 主要从事岩石学研究。

克岩。Defant (2002) 也指出,埃达克岩只是一个一般的术语,指的是具有埃达克岩地球化学特征的那些岩石,而没有特定的构造含义。因此,在提出俯冲洋壳熔融模式之后,出现了诸如由下地壳直接部分熔融、俯冲板片的撕裂边或遗留在地幔中的板片残余部分熔融、玄武质岩浆 AFC (同化与分离结晶作用) 演化和拆沉的下地壳熔融等多种形成机制。张旗等 (2001a) 提出 O 型和 C 型两类埃达克岩,前者位于环太平洋地区,与俯冲板片的熔融有关;后者位于中国东部、冈底斯和安第斯等地,与加厚陆壳下部的部分熔融有关,并据此勾画出一个可以与青藏高原相媲美的中生代“中国东部高原”的轮廓。

既然可以通过对 C 型埃达克岩的检索来追踪全球地质历史上可能存在过的“高原”,那么,至今依然还在不断长高的青藏高原是否存在埃达克岩? 张旗等 (2001b) 在提出并研究了我国东部的埃达克岩之后,认为青藏高原可能发育有新生代的埃达克岩。在藏南地区,侯增谦等 (2004) 认为,冈底斯碰撞造山带中发育了一条具有埃达克岩地球化学特征的斑岩铜矿带。在藏北地区,赖绍聪 (2003) 和许继峰等 (2003) 从北纬 34° 以北的新生代火山岩中厘定出一套高钾钙碱性 C 型埃达克岩 (10 ~ 40Ma),认为是由加厚地壳底部在榴辉相条件下直接部分熔融形成的,并据此认为藏北的大陆地壳在 40Ma 左右已加厚到超过 40km 以上,其地表当时可能已经开始了隆升。赤布张错地区位于北纬 34° 以南、藏北新生代火山岩带的东南端,其新生代火山岩中 C 型埃达克岩的识别,对揭示高原地壳加厚的时限和厚度以及高原开始隆升的时间具有更为重要的意义。

1 地质、地球化学特征

赤布张错地区位于藏北新生代火山岩带北羌塘火山岩省的东南端,该地区的火山岩主要围绕赤布张错、加木称错、错居日和错欧等几个咸水湖分布 (图 1),呈平顶山、方桌山等熔岩台地地貌,海拔 5000 ~ 5800m。区内火山岩 SiO_2 含量为 58% ~ 69% (表 1),以中性岩类为主,可划分为高钾钙碱性系列和钾玄岩系列,两种系列岩石的空间分布特征见魏君奇等 (2004b)。高钾钙碱性火山岩属壳源岩浆系列,在始新世 (40 ~ 35Ma) 陆-陆碰撞的挤压环境下,由加厚陆壳的榴辉岩质地壳经部分熔融作用生成原始岩浆,后经分异演化作用形成高钾钙碱

性火山岩;钾玄岩系火山岩属幔源岩浆系列,在中、上新世 (26.5 ~ 4.6Ma) 初始裂谷的拉张环境下,由 EM 型富集地幔经部分熔融作用生成原始岩浆,后经结晶分异作用形成钾玄岩系火山岩 (魏君奇等, 2004a, 2004b)。

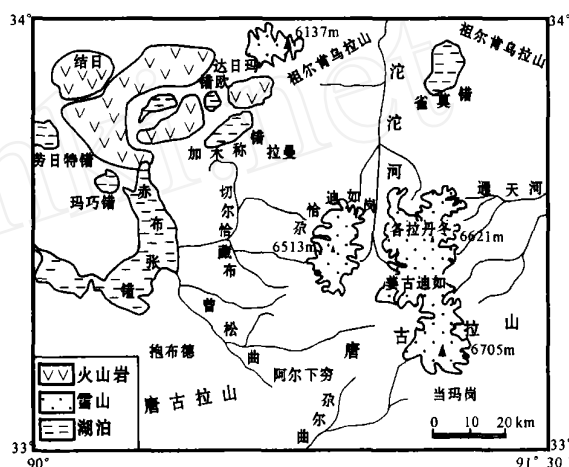


图 1 赤布张错地区新生代火山岩分布图

Fig.1 The distribution of Cenozoic volcanic rocks in Chibuzhang g Coarea

2 埃达克岩的厘定

将赤布张错地区高钾钙碱性火山岩的分析结果 (表 1) 与埃达克岩进行对比 (表 2), 结果显示两者的地球化学特征基本一致, 只是前者的 SiO_2 、 K_2O 含量和 I_{Sr} 值相对偏高, 而 $\text{Mg}^\#$ 和 I_{Nd} 值相对较低。这些差异正好说明, 高钾钙碱性火山岩不同于经典的、由俯冲板片 MORB 熔融形成的 O 型埃达克岩, 而是由增厚地壳底部的榴辉质地壳部分熔融形成的 C 型埃达克岩。其主要依据如下:

(1) 高钾钙碱性火山岩投影于埃达克质岩区, Sr/Y 与 Y 正相关; 钾玄岩系火山岩投影于正常火山岩区, Sr/Y 与 Y 负相关 (图 2, 钾玄岩投影点数据据魏君奇等, 2004a)。上述投影结果及差异说明, 高钾钙碱性火山岩为埃达克质岩石, 且其岩浆来源与钾玄岩系火山岩的岩浆来源 (富集地幔) 有所不同。

(2) 高钾钙碱性火山岩 K_2O 的含量偏高, 可能是下面几种原因引起的: 地壳物质的混染所致。同位素研究表明, C 型埃达克岩形成过程中有一定的地壳物质参与 (张旗, 2001); 与青藏高原普遍存在的幔源钾玄岩浆的底侵混合作用相关; 实验岩石学的资料显示, 熔体的 K_2O 含量随压力的升高而

表 1 高钾钙碱性火山岩常量($w_B/\%$) 及微量元素($w_B/10^{-6}$) 分析结果

Table1 Major($w_B/\%$)and trace element($w_B/10^{-6}$) analyses of high-K calc-alkaline volcanic rocks

样品号	C1604-1h	C4004-h1	C4012-h1	C4013-h2	MZ-1h1	MZ-2h1	MZ-3h1
岩性	英安岩	粗面岩	粗面岩	粗面岩	角闪安粗岩	角闪安粗岩	角闪安粗岩
SiO ₂	69.50	67.93	66.80	67.16	58.20	58.80	59.20
TiO ₂	0.36	0.46	0.52	0.36	1.04	1.04	0.79
Al ₂ O ₃	14.77	15.26	15.62	14.61	15.33	15.21	14.42
Fe ₂ O ₃	2.54	2.54	2.85	1.65	5.29	4.70	3.92
FeO	0.33	1.12	0.76	1.46	0.62	1.42	1.66
MnO	0.02	0.02	0.02	0.05	0.06	0.06	0.07
MgO	0.41	0.68	0.85	1.28	2.25	2.80	4.26
CaO	1.50	2.30	2.83	2.63	6.27	6.08	6.05
Na ₂ O	2.87	4.21	4.14	3.65	3.75	3.88	3.48
K ₂ O	4.44	4.05	3.97	4.18	3.93	3.76	3.63
P ₂ O ₅	0.16	0.20	0.25	0.13	0.50	0.49	0.44
H ₂ O ⁺	2.78	1.46	0.92	2.46	1.13	1.12	1.48
CO ₂	0.08	0.06	0.08	0.16	1.22	0.53	0.10
总量	99.76	100.29	99.61	99.78	99.59	99.89	99.50
Mg [#]	21.8	26.2	31.3	43.7	42.7	46.9	59.4
La	56.5	76.8	75.7	45.2	78.0	77.3	110.0
Ce	86.8	111.0	117.0	69.7	112.0	114.0	156.0
Pr	8.02	10.20	10.20	6.66	11.90	11.80	15.40
Nd	32.4	40.6	41.5	24.6	50.2	48.7	62.9
Sm	4.98	6.18	6.30	4.09	7.57	7.46	8.48
Eu	1.05	1.35	1.48	0.89	1.88	1.83	2.10
Gd	3.10	3.74	3.94	2.74	5.16	4.78	5.61
Tb	0.55	0.57	0.57	0.40	0.72	0.79	0.81
Dy	2.16	2.37	2.71	1.87	3.38	3.20	3.27
Ho	0.39	0.45	0.46	0.33	0.62	0.57	0.59
Er	0.94	0.98	1.01	0.80	1.51	1.31	1.45
Tm	0.16	0.15	0.16	0.14	0.17	0.13	0.19
Yb	0.97	0.89	0.98	0.81	1.12	1.04	1.12
Lu	0.17	0.17	0.16	0.15	0.16	0.15	0.17
Y	8.76	8.60	9.94	7.11	12.10	10.70	11.50
REE	206.95	264.05	272.11	165.49	286.49	283.76	379.59
Eu	0.77	0.80	0.85	0.77	0.88	0.88	0.88
Rb	196	161	155	177	112	107	117
Sr	470	780	850	530	1 360	1 360	1 610
Ba	1 460	1 705	1 750	1 430	1 745	1 730	1 850
Nb	12.20	8.29	9.71	8.13	14.00	15.10	10.80
Ta	0.79	0.84	0.66	0.79	1.22	1.73	1.00
Zr	168	186	184	170	259	270	231
Hf	5.35	5.55	5.81	4.97	7.24	8.71	6.38
Th	24.4	26.8	21.7	21.8	16.8	17.0	26.6
Sc	4.4	5.0	6.1	4.3	12.0	12.0	14.0
Cr	17	74	31	38	155	209	214

注：由宜昌地矿所岩石分析中心分析；常量元素采用常规化学方法；微量、稀土元素用 ICP-AES（电感耦合等离子体发射光谱）分析； $Mg^{\#} = 100 \times Mg^{2+} / (Mg^{2+} + TFe^{2+})$ ， $TFe = FeO \times 0.9$ ， $\times Fe_2O_3$ 。

增加(王强,2003)。赤布张错岩区埃达克岩 K_2O 的含量偏高,正好说明其源区处于增厚地壳(>40km)底部的高压环境中。

(3) 与典型的埃达克岩相比,MgO 含量偏低,一

般认为这是由于板片熔体(埃达克质熔体)在上升过程中与地幔橄榄岩发生交换反应的结果(史仁灯等,2003)。与俯冲有关的板片熔体易被地幔橄榄岩交代,其形成的埃达克岩低Si、高 $Mg^{\#}$,而由玄武质下

表 2 赤布张错地区高钾钙碱性火山岩与埃达克岩的地球化学特征对比

Table2 Acom parisonof geochemicalcharacteristicsbetweenadakiteandhigh-Kcalc-alkalinevolcanicrocksinChibzhangCoarea

	埃达克岩	赤布张错地区高钾钙碱性火山岩
岩石组合	安山岩、英安岩、流纹岩	安粗岩、粗面岩、英安岩
岩石系列	钙碱性	高钾钙碱性
SiO ₂	56 %	平均 63.94%
Al ₂ O ₃	15 %	平均 15.03%
Na ₂ O、K ₂ O	Na ₂ O (4% ±) > K ₂ O (1% ~ 2%)	Na ₂ O (3.48% ~ 4.21%) , K ₂ O (3.63% ~ 4.44%) , 少数 Na ₂ O > K ₂ O, 多数 Na ₂ O < K ₂ O
Mg [#]	>47	除 1 个样品为 59.4 外, 其余为 21.8 ~ 46.9
Sr	>400 ×10 ⁻⁶	平均 994 ×10 ⁻⁶
Yb	1.9 ×10 ⁻⁶	平均 0.99 ×10 ⁻⁶
Y	18 ×10 ⁻⁶	平均 9.81 ×10 ⁻⁶
Sr/Y	20 ~ 40	平均 98
La/Yb	>20	平均 74
REE 分配特征	LREE 富集, HREE 亏损, 无 Eu 异常或负 Eu 异常不明显	LREE 强富集, HREE 亏损, 平均 Eu 为 0.83, 负 Eu 异常不明显
HFSE 分配特征	Nb 明显亏损, Zr、Ti、P 弱亏损	Nb 明显亏损, Zr、Ti、P 弱亏损
I _{Sr}	俯冲 MORB 板片熔融 <0.704; 玄武质下地壳熔融 >0.704	0.70723 ~ 0.70777
I _{Nd}	俯冲 MORB 板片熔融 >0.5129; 玄武质下地壳熔融 <0.5126	0.512320 ~ 0.512352
资料来源	Defant (1990, 2002); 张旗等 (2001); 钱青 (2001)	Sr、Nd 同位素数值据魏君奇等 (2004a)

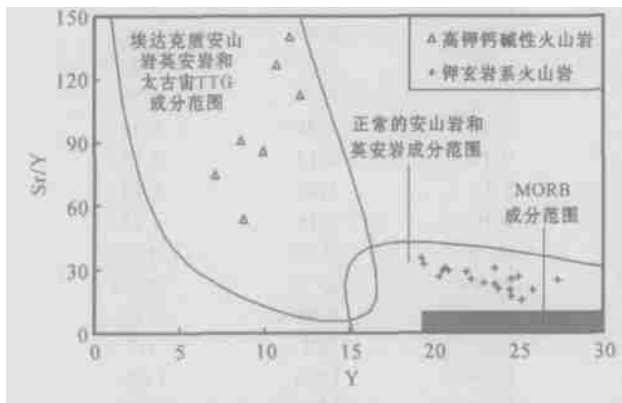


图 2 高钾钙碱性火山岩的 Sr/Y-Y 图解

(底图据 Defant 等, 1990, 2002)

Fig.2 Sr/Y-Y diagrams for high-K calc-alkaline volcanic rocks (after Defant et al., 1990, 2002)

地壳直接部分熔融产生的埃达克岩高 Si、低 Mg[#] (肖龙等, 2004)。赤布张错岩区的埃达克岩高 Si、低 Mg[#], 说明其直接源于下地壳。

(4) 典型岛弧火山岩的 Nb、Zr、Ti、P 等高场强元素均亏损, 而埃达克岩除 Nb 明显亏损外, Zr、Ti、P 的亏损并不明显 (钱青, 2001)。赤布张错高钾钙碱性火山岩同样具有 Nb 明显亏损而 Zr、Ti、P 弱亏损的特点, 说明其具有埃达克岩的地球化学特征。

(5) 实验证实, 玄武质岩石在适当的温度 (850

~ 1150 °C) 和压力 (1 ~ 4 GPa) 下, 即相当于榴辉岩相的条件下, 能够部分熔融形成埃达克质岩浆 (Rapp, 2001); 且玄武质下地壳熔融生成的埃达克岩, 其 I_{Sr} > 0.704、I_{Nd} < 0.5126 (Atherton, 1993)。赤布张错地区高钾钙碱性火山岩的同位素组成与前者相当, 说明其源于玄武质下地壳。此外, 羌塘地区的高钾钙碱性火山岩为壳源岩浆系列, 其源区物质组成相当于榴辉岩相 (赖绍聪, 2001a, 2001b)。

(6) I_{Sr} < 0.706 的火山岩源于地幔, I_{Sr} > 0.710 的火山岩源于上地壳, I_{Sr} 为 0.706 ~ 0.710 的火山岩源于下地壳; 幔源岩浆结晶分异过程中 I_{Sr} 与 I_{Nd} 负相关, 而源于麻粒岩相下地壳部分熔融的岩浆 I_{Sr} 与 I_{Nd} 正相关 (李志昌等, 2004)。赤布张错地区高钾钙碱性火山岩的 I_{Sr} 为 0.7072 ~ 0.7078, I_{Sr} 与 I_{Nd} 正相关 (魏君奇等, 2004b), 均说明其主要源于下地壳的部分熔融。

(7) 赤布张错地区的火山岩均属中性岩类, 且未见任何基性的玄武质岩石与之共生, 所以不能用基性岩浆的 AFC 作用来解释其成因。

综合上述分析结果, 说明赤布张错地区的高钾钙碱性火山岩属 C 型埃达克岩, 源于榴辉岩质下地壳的部分熔融。

3 埃达克岩的成因机制及意义

3.1 成因机制

关于C型埃达克岩成因机制,目前有两种解释模型(钱青,2001;肖龙等,2004):

(1)第一种模型认为,下地壳底部的玄武质岩石,在高压、超高压(压力 $>1.5\text{GPa}$,深度 $>40\text{km}$)条件下,进变质形成榴辉岩。此后,当受到幔源岩浆的侵入,即发生底侵作用时,由于幔源底侵岩浆的热烘烤作用,使地壳底部的榴辉岩发生部分熔融,形成埃达克质岩浆。由于埃达克质岩浆是从地壳底部直接向上运移的,不与地幔橄榄岩发生交代,不会引起MgO含量和 $\text{Mg}^\#$ 值的升高。

(2)第二种模型认为,在大陆地壳加厚到一定厚度($>40\text{km}$)时,下地壳岩石变成榴辉岩,因其密度(3.43g/cm^3)大而脱离地壳,和地幔岩石圈一起沉入到密度(3.29g/cm^3)相对较小的软流圈地幔中,即发生拆沉作用。拆沉的榴辉岩板片进入软流圈地幔后被加热,经部分熔融作用产生埃达克质岩浆。由于埃达克质岩浆在上升途中必然要经过因上涌而覆盖在拆沉榴辉岩板片之上的地幔软流层,并与地幔橄榄岩发生交代反应,导致其MgO含量和 $\text{Mg}^\#$ 值增加。

总之,地壳加厚($>40\text{km}$)是C型埃达克岩形成的前提条件。此外,C型埃达克岩中出现高Mg和低Mg两种情况(许继峰等,2003),正是上述两种形成机制引起的。赤布张错地区C型埃达克岩贫Mg,指示其源区为增厚地壳($>40\text{km}$)的榴辉岩质下地壳部分熔融的产物。

3.2 地质意义

(1)赤布张错地区的高钾钙碱性C型埃达克岩起源区于榴辉岩质下地壳,说明当时的地壳已经增厚到超过 40km 。高钾钙碱性火山岩的K-Ar同位素年龄为 $35\sim 40\text{Ma}$ (魏君奇等,2004b),说明在 40Ma 左右,赤布张错地区的地壳厚度已大于 40km 。近年来,大批同位素年龄数据(李才,1989;邓万明,1998;谭富文等,2000;李光明,2000)显示,北羌塘岩省的高钾钙碱性火山岩形成于 40Ma 左右,而且这套高钾钙碱性火山岩正在被更多的研究者(赖绍聪,2003;许继峰等,2003)厘定为埃达克岩。因此,羌塘地区这套 40Ma 左右的埃达克岩的出现,揭示了青藏高原,至少羌塘地区的大陆地壳在 40Ma 时已经加厚到超过 40km 。

(2)高原的隆升与地壳厚度密切相关,受重力均衡作用影响,地壳厚度越大,则地表高度越高。既然 40Ma 时羌塘地区地壳厚度就超过 40km ,估计当时的地表海拔达到了 2000m 以上,指示藏北高原开始隆升的时间在 40Ma 以前。相似的研究结果还有:Dewey等(1988)设想 $30\sim 45\text{Ma}$ 地壳已加厚到 65km ,高原开始隆升到 3000m ;Chung等(1997,2003)指出,藏东地区在 40Ma 以前就开始了地壳增厚和隆升。藏北高原岩石圈地幔拆离、深部物质上涌而使地壳发生均匀抬升的起始时间可能是 40Ma 左右(谭富文等,2000)。

4 结 论

(1)赤布张错地区的高钾钙碱性火山岩属C型埃达克岩,是加厚地壳下部榴辉岩质下地壳部分熔融的产物。

(2)赤布张错地区C型埃达克岩的厘定,说明藏北地区的地壳在 40Ma 时已经加厚到超过 40km ,指示藏北高原开始隆升的时间在 40Ma 以前。

References

- Atherton MP and Petford N. 1993. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust [J]. *Nature*, 362: 144 ~ 146.
- Chung SL, Liu DY, JQ, et al. 2003. Adakite from continental collision zones: Metamorphic thickened lower crust beneath southern Tibet [J]. *Geology*, 31: 1021 ~ 1024.
- Chung SL, Lo CH, Lee TY, et al. 1997. Diachronous uplift of the Tibetan plateau starting 40 Ma ago [J]. *Nature*, 394: 769 ~ 773.
- Defant MJ and Drummond MS. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subduction lithosphere [J]. *Nature*, 347: 662 ~ 665.
- Defant MJ, Xu JF, Kepezhinskas P, et al. 2002. Adakites: some variations on a theme [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 18 (2): 129 ~ 142.
- Deng Wanming. 1998. Cenozoic Intraplate Volcanic Rocks in the Northern Qinghai-Xizang Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Dewey JF, Shackleton RM, Chang G, et al. 1988. The tectonic evolution of the Tibetan Plateau [J]. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A327: 379 ~ 413.
- Hou Zengqian, Gao Yongfeng, Meng Xianjin, et al. 2004. Genesis of adakitic porphyry and tectonic control on the Gangdese Miocene porphyry copper belt in the Tibetan orogen [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20 (2): 239 ~ 248 (in Chinese with English abstract).
- Kay RW. 1978. Aleutian magmas: Melts from subducted Pacific oceanic crust [J]. *J. Volcan. Geotherm. Res.*, 4: 117 ~ 132.
- Lai Shaocong. 2003. Identification of the Cenozoic adakitic rock association from Tibetan Plateau and its tectonic significance [J]. *Earth Science*

- Frontiers, 10 (4) :407 ~ 415 (in Chinese with English abstract).
- Lai Shaocong and Liu Chi yang. 2001a. Enriched upper mantle and decolitic lower crust in north Qiangai-Tibet Plateau [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17 (3) :459 ~ 468 (in Chinese with English abstract).
- Lai Shaocong, Liuchi yang and O'Reilly SY. 2001b. Petrogenesis of the Neogene high-potassium calc-alkaline volcanic rocks and their continental dynamics implication [J]. *Science in China (Series D)*, 31 (sup.) :34 ~ 42 (in Chinese).
- Li Cai, Fan He ping and Xu Fen g. 1989. Lithochemical characteristics of Cenozoic volcanic rocks in Qiangai-Xizang and its structural significance [J]. *Geoscience*, 3 (1) :58 ~ 69 (in Chinese with English).
- Li Guan ming. 2001. Petrological characteristics of the Cenozoic volcanic rocks in Qiangtang, north Tibet and their origin [J]. *Geology Geochemistry*, 28 (2) :38 ~ 43 (in Chinese with English abstract).
- Qian Qing. 2001. Adakite: Geochemical Characteristics and Genesis [J]. *Acta Petrologica Mineralogica*, 20 (3) :297 ~ 306 (in Chinese with English abstract).
- Rapp RP. 2001. A review of experimental constraints on adakite petrogenesis. In: Symposium on adakite-like rocks and their geodynamic significance [J]. *Beijing China*, 10 ~ 13.
- Shi Renden g, Yan g Jin gsui and Wu Cailai. 2003. The discovery of adakitic dacite in Early Palaeozoic island arc volcanic rocks on the northern margin of Qaidam basin and its geological significance [J]. *Acta Petrologica Mineralogica*, 22 (3) :229 ~ 236 (in Chinese with English abstract).
- Tan Fuwen, Pan Guitan g and Xu Qian g. 2000. The uplift of Qiangai-Xizang Plateau and geochemical characteristics of Cenozoic volcanic rocks from the center of Qiangtang, Xizang [J]. *Acta Petrologica Mineralogica*, 19 (2) :121 ~ 130 (in Chinese with English abstract).
- Wang Qian g, Xu Jifen g and Zhao Zhen ghua. 2003. Intermediate-acid igneous rocks strongly depleted in heavy rare earth elements (or adakitic rocks) and copper-gold metallogenesis [J]. *Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing)*, 10 (4) :561 ~ 572 (in Chinese with English abstract).
- Wei Jun qi, Wan g Jianxiong and Niu Zhi jun. 2004a. Series of the Cenozoic rocks in source region of the Yangtze River and their genesis [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 29 (1) :25 ~ 30 (in Chinese with English abstract).
- Wei Jun qi, Wan g Jianxiong and Niu Zhi jun. 2004b. The Cenozoic volcanic rocks from the Chibuzhan glacial area in the Qiangtang area [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 24 (2) :16 ~ 21 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Long g, Robert P R and Xu Jifen g. 2004. The role of deep processes control on variation of composition of adakitic rocks [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20 (2) :219 ~ 228 (in Chinese with English abstract).
- Xu Jifen g and Wan g Qin g. 2003. Tracing the thickening process of continental crust through study of adakitic rocks: evidence from volcanic rocks in the North Tibet [J]. *Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing)*, 10 (4) :401 ~ 406 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Qian Qing g, Wan g Er qi, et al. 2001. Aneast China plateau in mid-late Yanshanian period: Implication from adakites [J]. *Chinese Journal of Geology*, 36 (2) :129 ~ 143 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Wan g Yan, Qian Qing g, et al. 2001. The characteristics and tectonic-metallogenetic significance of the adakites in Yanshanian period from eastern China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17 (2) :236 ~ 244 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 邓万明. 1998. 青藏高原北部新生代板内火山岩 [M]. 北京: 科学出版社.
- 侯增谦, 高永丰, 孟祥金, 等. 2004. 西藏冈底斯中新世斑岩铜矿带: 埃达克岩质斑岩成因与构造控制 [J]. *岩石学报*, 20 (2) :239 ~ 248.
- 赖绍聪. 2003. 青藏高原新生代埃达克岩的厘定及其意义 [J]. *地质学前沿*, 10 (4) :407 ~ 415.
- 赖绍聪, 刘池阳. 2001a. 青藏高原北羌塘榴辉岩质下地壳及富集型地幔源区 [J]. *岩石学报*, 17 (3) :459 ~ 468.
- 赖绍聪, 刘池阳, O'Reilly SY. 2001b. 北羌塘新第三纪高钾钙碱性火山岩的成因及其大陆动力学意义 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 31 (增刊) :34 ~ 42.
- 李才, 范和平, 徐锋. 1989. 青藏高原北部新生代火山岩岩石特征及其构造意义 [J]. *现代地质*, 3 (1) :58 ~ 69.
- 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.
- 李志昌, 路远发, 黄圭成. 2004. 放射性同位素地质学方法与进展 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 钱青. 2001. adakite 的地球化学特征及成因 [J]. *岩石矿物学杂志*, 20 (3) :297 ~ 306.
- 史仁灯, 扬经绥, 吴才来. 2003. 柴北缘早古生代岛弧火山岩中埃达克岩英安岩的发现及其地质意义 [J]. *岩石矿物学杂志*, 22 (3) :229 ~ 236.
- 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与青藏高原隆升 [J]. *岩石矿物学杂志*, 19 (2) :121 ~ 130.
- 王强, 许继峰, 赵振华. 2003. 强烈亏损重稀土元素中酸性侵入岩 (或埃达克岩) 与成矿 [J]. *地质学前沿*, 10 (4) :561 ~ 572.
- 魏君奇, 王健雄, 牛志军. 2004a. 长江源区新生代火山岩的系列及成因 [J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 29 (1) :25 ~ 30.
- 魏君奇, 王健雄, 牛志军. 2004b. 羌塘赤布张错地区新生代火山岩研究 [J]. *沉积与特提斯地质*, 24 (2) :16 ~ 21.
- 肖龙, Robert P R, 许继峰, 等. 2004. 深部过程对埃达克岩岩石成分的制约 [J]. *岩石学报*, 20 (2) :219 ~ 228.
- 许继峰, 王强. 2003. Adakitic 火山岩对大陆地壳增厚过程的指示: 以青藏北部火山岩为例 [J]. *地质学前沿*, 10 (4) :401 ~ 406.
- 张旗, 王焰, 钱青, 等. 2001a. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造-成矿意义 [J]. *岩石学报*, 17 (2) :236 ~ 244.
- 张旗, 钱青, 王二七, 等. 2001b. 燕山中晚期的中国东部高原: 埃达克岩的启示 [J]. *地质科学*, 36 (2) :129 ~ 143.