文章编号：1006-6616（2013）01-0045-08

西藏泽当地区晚白垩世埃达克岩的发现及其成矿意义

赵　珍[1]，胡道功[1]，陆　露[2]，吴珍汉[2]
（1. 中国地质科学院地质力学研究所，北京 100081；
2. 中国地质科学院，北京 100037）

摘　要：埃达克岩对造山带深部构造和热体制具有指示意义，与 Cu、Au 等成矿关系密切。冈底斯成矿带东段南缘泽当地区桑布加拉矽卡岩型铜矿成矿母岩花岗闪长岩的主量元素测量结果显示高 SiO_2（>56%）、高 Al_2O_3（>15%）、低 MgO（<3%），Na_2O 含量≥3.5%，K_2O 含量>2%，Na_2O/K_2O 为 1.03～1.43，平均 1.22；稀土元素和微量元素测量结果显示高 Sr（$>400\times10^{-6}$），低 Yb（$<1.9\times10^{-6}$）、低 Y（$<15\times10^{-6}$），高 Sr/Y（86.88～132.22，>20）、高 La/Yb（>10），LREE 富集，HREE 亏损，无负 Eu 异常，为埃达克岩地球化学特征。结合地质特征分析认为其是由俯冲洋壳板片部分熔融后与地幔橄榄岩发生相互作用形成的 O 型埃达克岩，说明冈底斯南缘存在 O 型埃达克岩成矿。

关键词：冈底斯成矿带；矽卡岩铜矿；埃达克岩；晚白垩世
中图分类号：P584　　**文献标识码：**A

埃达克岩对造山带深部构造和热体制具有指示意义，与 Cu、Au 等成矿关系密切，因此受到越来越多的关注[1~2]。西藏泽当地区属于冈底斯弧岩浆岩带，是冈底斯成矿带的重要组成部分。近年来的研究表明，冈底斯成矿带中部驱龙、甲马矿区中新世含矿斑岩体显示埃达克岩地球化学特征，是由增厚下地壳部分熔融而成的 C 型埃达克岩[1~3]；冈底斯南缘泽当地区发现了具埃达克性质的白垩纪岩浆岩，认为其成因主要与洋壳俯冲有关[4~7]。从年代学、地球化学、矿床学等方面来说，冈底斯南缘较中部驱龙—甲马地区研究程度低，埃达克岩的成因来源及成矿作用方面尤其如此。本文通过对桑布加拉具有埃达克岩性质的成矿母岩的成因和成矿意义进行调查研究，不仅利于深入研究冈底斯南缘岩浆成矿体系，同时直接关系到冈底斯铜矿带以埃达克质岩为母岩的斑岩铜矿成矿新理论和成矿模型[1]。

1　区域地质背景

冈底斯成矿带经历了石炭纪—三叠纪活动大陆边缘、侏罗纪—早白垩世特提斯多岛弧盆系统、白垩纪末—始新世亚欧－印度大陆碰撞造山和中新世以来后碰撞伸展等多个构造演化

收稿日期：2012-09-23
基金项目：中国地质调查局项目（编号：1212011120185）
作者简介：赵珍（1987-），女，硕士研究生，构造地质学专业。E-mail：zhaozhen03@126.com

阶段[8~10]。处于其南缘的泽当地区紧邻雅鲁藏布江缝合带，区内广泛出露燕山期侵入岩以及晚侏罗世—早白垩世桑日群火山－沉积岩系[11]，发育数量众多的与中生代—新生代构造岩浆活动有关的斑岩－矽卡岩型矿床，如明则铜矿、程巴钼矿、努日铜矿、桑布加拉铜矿、冲木达铜钼矿等。其中桑布加拉铜矿是典型的矽卡岩型矿床，为花岗闪长岩侵入比马组泥晶灰岩、变质粉砂岩发生热液接触交代而成。赵珍等[12]获得桑布加拉辉钼矿含辉钼矿矽卡岩 Re-Os 等时线结果为 93.3 ±4.1 Ma，与梁华英等[13]获得的桑布加拉矿化岩体石英二长岩锆石 U-Pb 年龄（92.1 ±0.6 Ma）一致（见图 1），说明岩体侵位及成矿时代均为燕山晚期晚白垩世。

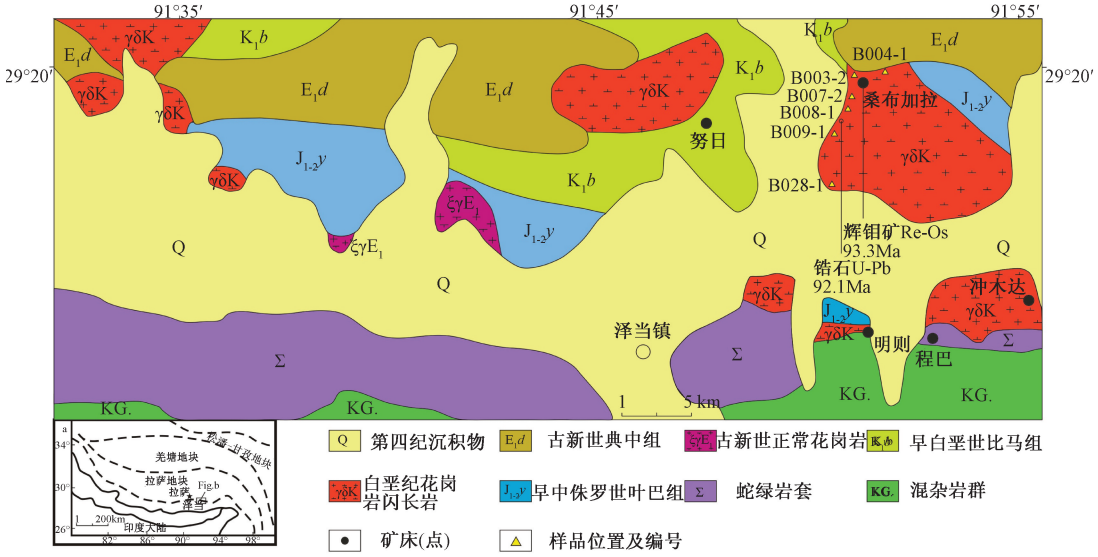

图 1 泽当地区地质略图（据 1:250000 泽当幅改编）

Fig. 1 Simplified geological map of Zetang

2 岩石学和地球化学特征

2.1 岩相学特征

样品为泽当北东桑布加拉铜矿成矿母岩花岗闪长岩（取样位置见图 1），呈灰白色，中细粒半自形粒状结构块状构造，主要矿物有斜长石（55% ~60%）、石英（20%）、角闪石（15% ~20%）、黑云母（5%），与埃达克岩的主矿物组合（斜长石 + 石英 + 角闪石 ± 黑云母 ± 辉石[14]）基本一致；副矿物有磁铁矿、锆石、磷灰石、榍石等，与埃达克岩最常见副矿物组合（磷灰石 + 锆石 + 榍石 + 磁铁矿/钛磁铁矿[15]）一致。

2.2 岩石地球化学特征

花岗闪长岩岩石地球化学分析由国家地质实验测试中心完成。其中常量元素用 X 荧光光谱仪测定，稀土元素和微量元素用等离子质谱法测定，分析结果见表 1。

2.2.1 常量元素特征

花岗闪长岩 SiO_2 含量为 62.24% ~66.02%（>56%），Al_2O_3 含量为 15.09% ~15.46%（>15%），MgO 含量为 2.02% ~2.47%（<3%），Na_2O 含量 3.50% ~3.96%（≥3.5%），K_2O 含量 2.74% ~2.94%（>2%），Na_2O/K_2O 比值为 1.05 ~1.45，平均 1.24，K 含量相

表 1　样品主量元素和微量元素分析结果

Table 1　Major elements and trace elements of the samples

样品号	主量元素含量/%													
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	MnO	P_2O_5	H_2O^+	CO_2	LOI	$Mg^{\#}$
B003-2	64.05	15.09	1.37	2.26	4.32	2.27	2.75	3.94	0.51	0.07	0.22	1.30	0.95	2.65	51.00
B004-1	65.77	15.11	1.48	2.03	3.74	2.02	3.26	3.52	0.49	0.05	0.20	0.94	1.47	2.58	56.00
B007-2	62.24	15.21	1.76	2.44	4.78	2.38	2.74	3.96	0.57	0.08	0.25	0.96	2.67	3.02	49.00
B008-1	64.42	15.25	0.95	3.02	4.37	2.47	2.82	3.50	0.56	0.08	0.23	0.74	1.72	2.42	58.00
B009-1	66.02	15.10	0.23	3.07	3.98	2.11	3.32	3.50	0.53	0.05	0.21	0.94	1.21	2.08	55.00
B028-2	65.10	15.46	2.29	1.51	4.17	2.16	2.94	3.65	0.54	0.08	0.22	1.06	0.09	1.29	64.00

样品号	稀土元素含量/(μg·g^{-1})											
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
B003-2	24.20	44.00	5.07	19.50	3.35	0.91	2.82	0.34	1.90	0.36	1.01	0.15	1.05
B004-1	23.70	48.20	5.58	21.10	3.61	0.98	2.80	0.40	1.98	0.40	1.09	0.15	1.13
B007-2	25.60	48.80	5.90	22.80	3.89	0.98	3.18	0.40	2.20	0.41	1.14	0.18	1.24
B008-1	24.90	49.30	5.81	22.20	3.60	1.02	2.84	0.44	2.14	0.45	1.28	0.18	1.24
B009-1	23.70	46.80	5.43	21.30	3.49	1.04	2.53	0.39	2.01	0.39	1.09	0.16	1.05
B028-2	24.90	45.30	5.31	20.30	3.34	0.96	2.85	0.36	1.89	0.36	0.98	0.17	1.04

样品号	微量元素含量/(μg·g^{-1})												
	Y	Lu	Sc	Ba	Rb	Sr	Nb	Ta	Zr	Hf	Th	U	Pb
B003-2	10.20	0.17	8.87	575.00	79.00	1076.00	3.98	0.37	81.50	2.62	7.71	3.27	6.58
B004-1	9.68	0.17	10.20	465.00	84.20	841.00	4.57	0.43	95.00	2.92	7.59	1.73	11.50
B007-2	11.70	0.17	9.35	493.00	65.70	1547.00	4.73	0.53	89.20	2.82	7.47	1.58	9.11
B008-1	10.70	0.18	10.70	481.00	84.60	939.00	4.48	0.41	141.00	4.29	8.85	2.06	7.61
B009-1	9.02	0.16	9.95	384.00	96.30	802.00	4.01	0.34	95.80	3.10	7.82	2.29	11.30
B028-2	9.93	0.16	8.01	405.00	76.20	1100.00	4.79	0.58	80.80	2.72	9.62	2.64	13.30

对较高，测试结果显示具有埃达克岩特性。在全碱－硅（TAS）图解（见图 2）中，样品投点主要集中在花岗闪长岩区，在 K_2O-SiO_2 图（见图 3）中，样品点全部落入高钾钙碱性系列。

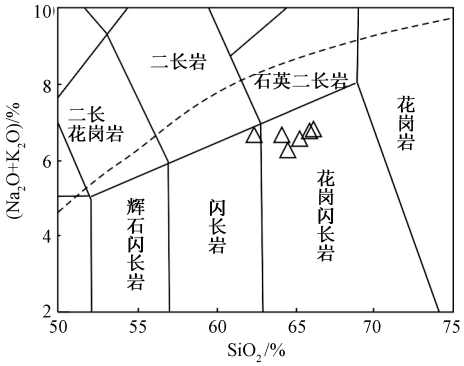

图 2　岩石 TAS 图解

Fig. 2　TAS classification of the granitoid rocks

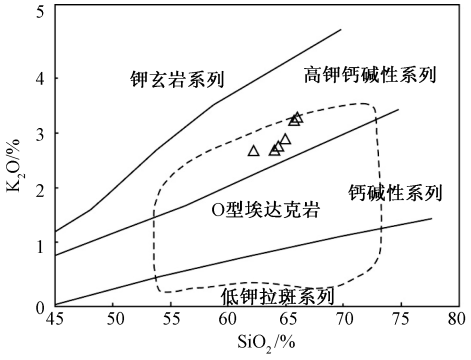

图 3　K_2O- SiO_2 图解

Fig. 3　K_2O-SiO_2 diagram

2.2.2　稀土元素和微量元素特征

6 件样品的球粒陨石标准化稀土配分型式呈右倾分布（见图 4），LREE（轻稀土元素）富集，HREE（重稀土元素）亏损强烈，轻重稀土元素的分异程度较高（La/Yb 值 20.08 ~

23.94），无负 Eu 异常。

在微量元素蛛网图（见图 5）上，Rb、Th、K、Sr 等大离子亲石元素和 La 元素相对富集，Ta、Nb、Ti 等高场强元素亏损，具有板块俯冲环境中的岛弧岩浆岩特征；在 Sr/Y-Y 判别图（见图 6a）和 $(La/Yb)_N$-Yb_N 判别图（见图 6b）中，样品均落在埃达克岩区内。微量元素测量结果显示：Sr 含量高（$802\times10^{-6}\sim1547\times10^{-6}$，$>400\times10^{-6}$），Yb 含量低（$1.04\times10^{-6}\sim1.24\times10^{-6}$，$<1.9\times10^{-6}$），Y 含量低（$9.02\times10^{-6}\sim11.7\times10^{-6}$，$<15\times10^{-6}$），Sr/Y 比值高（86.88～132.22，>20），La/Yb 比值高（20.08～23.94，>10），其高 Sr、低 Y、高 La/Yb 比值显示埃达克岩地球化学特性[14]。

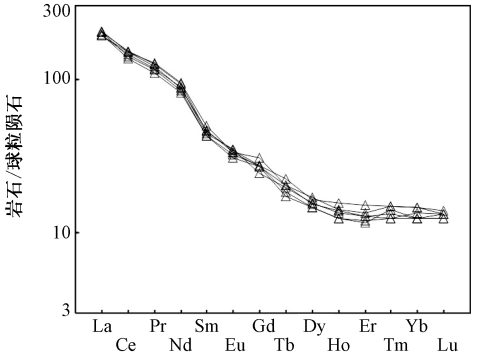

图 4 稀土元素配分曲线

Fig. 4 REE distribution patterns

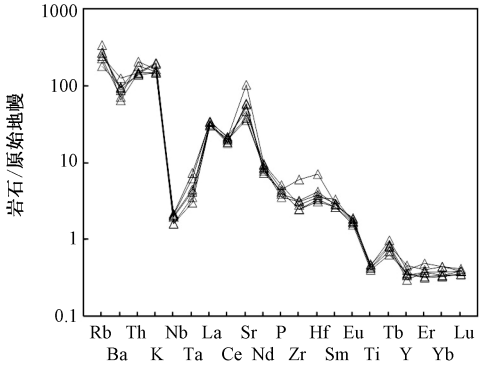

图 5 微量元素蛛网图

Fig. 5 Trace element spider diagrams

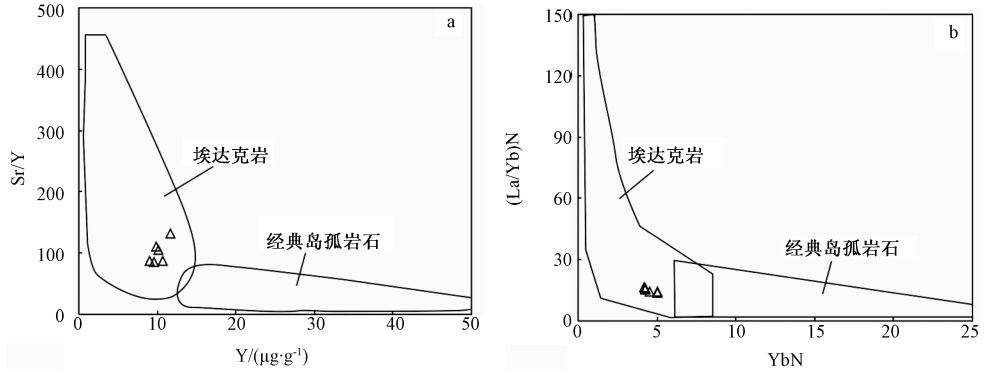

图 6 埃达克岩 Sr/Y-Y 和 $(La/Yb)_N$-Yb_N 图解

Fig. 6 Sr/Y vs. Y diagram and $(La/Yb)_N$ vs. Yb_N diagram for the adakite

3 埃达克岩成因及成矿意义

3.1 埃达克岩成因

近年来研究表明，埃达克岩有两种成因模式，一是俯冲洋壳板片的部分熔融[14～16]，即 O 型埃达克岩[17]；二是增厚下地壳/拆沉下地壳部分熔融，即 C 型埃达克岩[18～22]。桑布加拉花岗闪长岩在 TiO_2-SiO_2图解（见图 7a）上落入俯冲洋壳和增厚下地壳重叠区，在拆沉下地壳熔融和纯板片熔融区域均有分布；在 P_2O_5-SiO_2图解（见图 7b）上同样落入俯冲洋壳和增厚下地壳重叠区，但集中分布在拆沉下地壳边缘；在 Al_2O_3-SiO_2图解（见图 7c）上落在

俯冲洋壳和增厚下地壳成因区域外，但更靠近俯冲洋壳成因区，且部分落入俯冲洋壳和拆沉下地壳重叠区域，集中分布在两者边界区域；在 Yb-SiO_2图解（见图 7d）上主要落入俯冲洋壳和拆沉下地壳重叠区，没有落入增厚下地壳范围；在 Th-SiO_2图解（见图 7e）上落入俯冲洋壳和增厚下地壳重叠区边界位置，几乎全部落入拆沉下地壳成因范围；Th/Ce-SiO_2图解（见图 7f）与 Th-SiO_2图（见图 7e）相似，但是更靠近俯冲洋壳区域，全部落入拆沉下地壳成因范围。据此认为，桑布加拉成矿母岩埃达克可能的成因为俯冲洋壳部分熔融和/或拆沉下地壳部分熔融。

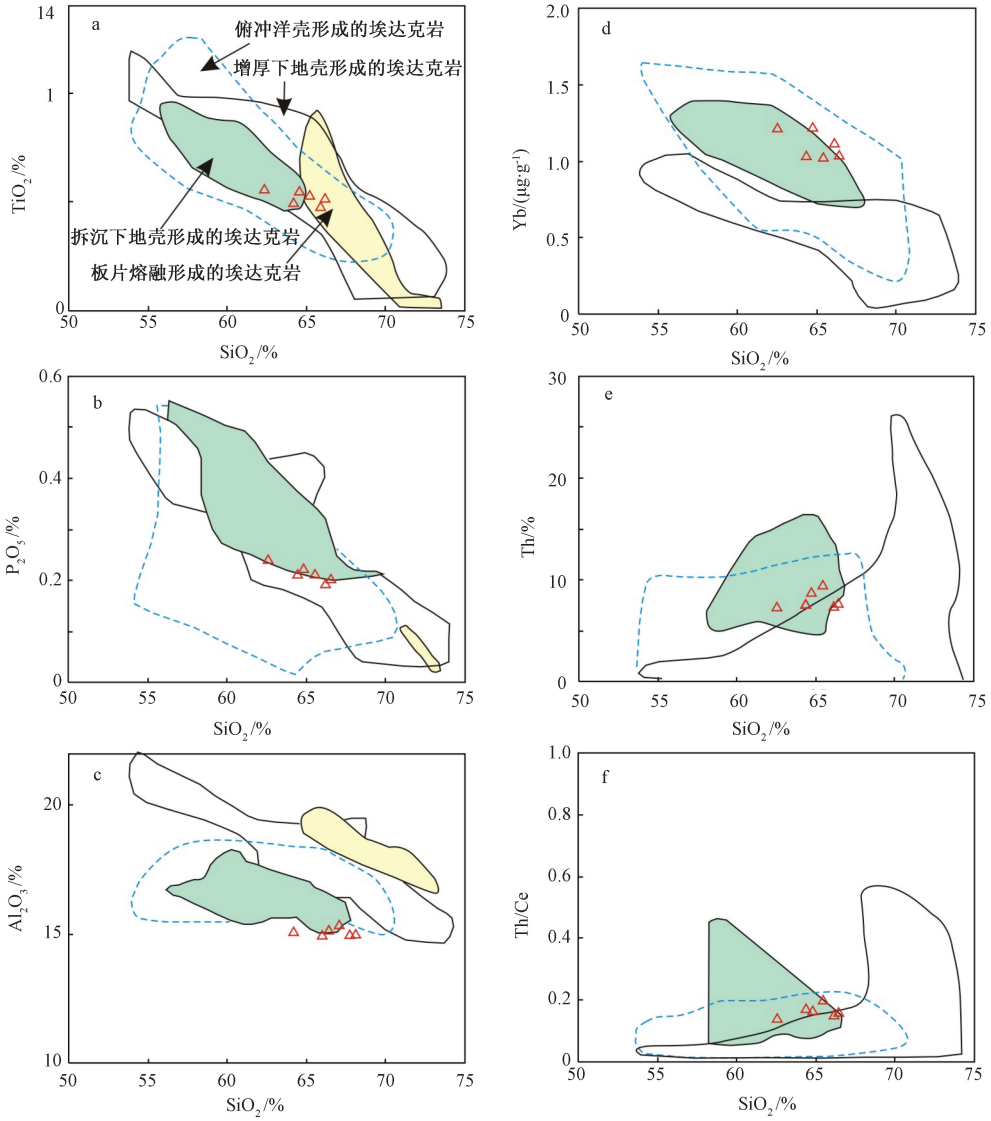

图 7　埃达克成因判别图

Fig. 7　Discrimination diagrams of the adakites sources

综合地球化学特征并结合地质分析，认为：

①底侵玄武岩/拆沉下地壳熔融而成的埃达克岩，是在地壳加厚环境下（>40 km），下地壳玄武质岩石的部分熔融或者地壳拆沉熔融而成。泽当地区紧邻雅鲁藏布江缝合带，自中

晚白垩世雅鲁藏布江洋壳板片向北俯冲[23]，至距今 65 Ma 左右印度 – 亚洲板块发生碰撞[24]，一直到距今 23 ~ 10 Ma 才因岩石圈伸展导致下地壳拆沉作用的发生[25]。而桑布加拉铜矿成矿母岩岩体时代为晚白垩世，属于陆 – 陆碰撞前的洋壳俯冲阶段，远早于底侵作用和拆沉作用发生的阶段，因此基本可以排除底侵玄武岩/拆沉下地壳熔融的成因。

②与典型的埃达克岩相比，桑布加拉铜矿成矿母岩相对富钾、富镁，属高钾钙碱性系列，其 $Mg^{\#}$值变化于 49 ~ 64，平均值为 56。实验表明，MORB（中央海岭型玄武岩）发生部分熔融产生熔体的 $Mg^{\#}$值一般不超过 45，但只要与地幔楔橄榄岩发生 10% 的混染就会导致 $Mg^{\#}$值升至 55，而俯冲洋壳成因的埃达克岩浆在上升过程中通常都会与地幔楔发生相互作用，导致 $Mg^{\#}$值增加[26~27]。因此岩体富钾高镁可能反映了原生的埃达克质熔体经历了较为复杂的演变过程，可能是部分熔融的俯冲板片与幔源物质发生混染所致。这不仅导致了埃达克质岩体 $Mg^{\#}$值增高，而且引起了钾含量的增加。

③俯冲洋壳成因的埃达克岩通常与 SSZ 型蛇绿岩共生。桑布加拉铜矿成矿母岩属泽当岛弧侵入岩系列，与泽当地区广泛出露的 SSZ 型蛇绿岩相伴产出（见图 1）。这些证据也支持其来源于俯冲洋壳的熔融。

3.2 埃达克岩成矿意义

实验表明，埃达克岩的形成需要高温（850 ~ 1150 ℃）和高压（1.0 ~ 4.0 GPa），这种条件恰好利于 Au、Ag、Cu、Mo 等金属元素溶解进入熔体[28~30]。据统计，全球 43 个 Au、Ag、Cu、Mo 低温热液和斑岩矿床中有 38 个与埃达克岩有关，可见埃达克岩对于成矿作用具有重要意义[31]。

目前冈底斯成矿带中带已经发现与大规模成矿有关的中新世埃达克岩，认为是由增厚下地壳玄武岩熔融而成[1~3]；东段南缘虽然也发现有白垩纪埃达克岩，但没有证据表明其与成矿直接相关[4~7]。本次在桑布加拉铜矿发现埃达克岩，直接证明冈底斯东段南缘也存在与成矿相关的埃达克岩。此外，泽当地区的区域地质调查和化探资料以及科研成果显示，沿桑日群火山岛弧带存在一个与之吻合很好的 Cu、Au 化探异常带[32]，说明泽当地区可能存在大规模 O 型埃达克岩成矿。

4 结论

泽当地区桑布加拉成矿母岩为晚白垩世花岗闪长岩，地球化学特征表现为高 SiO_2、高 Al_2O_3、低 MgO，高 Sr、低 Yb、低 Y、高 Sr/Y、高 La/Yb，无负 Eu 异常，显示埃达克岩特性，是冈底斯东段南缘首次发现与成矿直接相关的埃达克岩。

桑布加拉成矿母岩是特提斯洋向北俯冲阶段大洋板片部分熔融并与地幔橄榄岩发生相互作用而成，属于 O 型埃达克岩，不同于中亚带的下地壳增厚而成的 C 型埃达克岩，对特提斯洋的演化、板块动力学机制及深部构造体制的探讨具有重要意义。

冈底斯东段南缘存在大规模 O 型埃达克岩成矿的可能，对于评价冈底斯成矿潜力，加大找矿力度、建立以埃达克质岩为母岩的斑岩铜矿成矿新理论和成矿模型具有重要意义。

参 考 文 献

[1] 曲晓明，侯增谦，李佑国，等. 冈底斯碰撞造山带中发现含矿埃达克岩 [J]. 矿床地质，2002，21（增刊）：215 ~ 218.

QU Xiao-ming, HOU Zeng-qian, LI You-guo, et al. Ore-bearing adakites found in the Gangdese collision-orogenic belt [J]. Mineral Deposits, 2002, 21 (Supp.): 215 ~ 218.

[2] 曲晓明, 侯增谦, 李振清, 等. 冈底斯铜矿带含矿斑岩的$^{40}Ar/^{39}Ar$年龄及地质意义 [J]. 地质学报, 2003, 77 (2): 245 ~ 252.
QU Xiao-ming, HOU Zeng-qian, LI Zhen-qing, et al. $^{40}Ar/^{39}Ar$ ages of the ore-bearing porphyries of the Gangdese porphyry copper belt and their geological significances [J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77 (2): 245 ~ 252.

[3] 侯增谦, 莫宣学, 高永丰, 等. 埃达克岩: 斑岩铜矿的一种可能的重要含矿母岩——以西藏和智利斑岩铜矿为例 [J]. 矿床地质, 2003, 22 (1): 1 ~ 12.
HOU Zeng-qian, MO Xuan-xue, GAO Yong-feng, et al. Adakite: A possible host rock for porphyry copper deposits: Case studies of porphyry copper belts in Tibetan Plateau and in northern Chile [J]. Mineral Deposits, 2003, 22 (1): 1 ~ 12.

[4] 姚鹏, 李金高, 王全海, 等. 西藏冈底斯南缘火山 - 岩浆弧带中桑日群 adakite 的发现及其意义 [J]. 岩石学报, 2006, 22 (3): 612 ~ 620.
YAO Peng, LIJin-gao, WANG Quan-hai, et al. Discovery and geological significance of the adakite in Gangdise island arc belt, Xizang (Tbibet) [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (3): 612 ~ 620.

[5] 康志强, 许继峰, 陈建林, 等. 藏南白垩纪桑日群麻木下组埃达克岩的地球化学特征及其成因 [J]. 地球化学, 2009, 38 (4): 334 ~ 344.
KANG Zhi-qiang, XU Ji-feng, CHEN Jian-lin, et al. Geochemistry and origin of Cretaceous adakites in Mamuxia Formation Sangri Group, South Tibet [J]. Geochimica, 2009, 38 (4): 334 ~ 344.

[6] 韦栋梁, 夏斌, 周国庆, 等. 西藏泽当英云闪长岩的地球化学和 Sr-Nd 同位素特征: 特提斯洋内俯冲的新证据 [J]. 中国科学: D 辑, 2007, 37 (4): 442 ~ 450.
WEI Dong-liang, XIA Bin, ZHOU Guo-qing, et al. Geochemistry and Sr-Nd isotope characteristics of tonalities in Zetang, Tibet: New evidence for intra-Tethyan subduction [J]. Science in China: Series D, 2007, 37 (4): 442 ~ 450.

[7] 杨经绥, 许志琴, 耿全如, 等. 中国境内可能存在一条新的高压/超高压 (?) 变质带——青藏高原拉萨地体中发现榴辉岩带 [J]. 地质学报, 2006, 80 (12): 3 ~ 12.
YANG Jing-sui, XU Zhi-qin, GENG Quan-ru, et al. A possible new HP/UHP (?) Metamorphic Belt in China: Discovery of Eclogite in the Lasha Terrane, Tibet [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80 (12): 3 ~ 12.

[8] 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 冈底斯造山带的时空结构及演化 [J]. 岩石学报, 2006, 22 (3): 521 ~ 533.
PAN Gui-tang, MO Xuan-xue, HOU Zeng-qian, et al. Spatial-temporal framework of the Gangdese orogenic belt and its evolution [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (3): 521 ~ 533.

[9] 李光明, 冯孝良, 黄志英. 西藏冈底斯构造带中段多岛弧盆系及其演化 [J]. 沉积与特提斯地质, 2000, 20 (4): 38 ~ 46.
LI Guang-ming, FENG Xiao-liang, HUANG Zhi-ying. The multiple island arc-basin systems and their evolution in the Gangdise tectonic belt, Xizang [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2000, 20 (4): 38 ~ 46.

[10] 侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 等. 青藏高原碰撞造山带成矿作用: 构造背景、时空分布和主要类型 [J]. 中国地质, 2006, 33 (2): 348 ~ 359.
HOU Zeng-qian, MO Xuan-xue, YANG Zhi-ming, et al. Metallogenses in the collisional orogen of the Qinghai-Tibet Plateau: Tectonic setting, tempo-spatial distribution and ore deposit types [J]. Geology in China, 2006, 33 (2): 348 ~ 359.

[11] 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1994: 1 ~ 350.
Bureau of Geology and Mineral Resources of the Tibet Autonomous Region. Regional Geology of the Tibet Autonomous Region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 1 ~ 350.

[12] 赵珍, 胡道功, 吴珍汉, 等. 西藏冈底斯东段南缘桑布加拉辉钼矿 Re-Os 定年及地质意义 [J]. 地质力学学报, 2012, 18 (2): 178 ~ 186.
ZHAO Zhen, HUDao-gong, WU Zhen-han, et al. Molybdenite Re-Os Isotopic Dating of Sangbujiala Copper Deopsit in the southern margin of the Gangdese eastern section, Tibet and its geological implications [J]. Journal of Geomechanics, 2012, 18 (2): 178 ~ 186.

[13] 梁华英, 魏启荣, 许继峰, 等. 西藏冈底斯矿带南缘矽卡岩型铜矿床含矿岩体锆石 U-Pb 年龄及意义 [J]. 岩石

学报，2010，26（6）：1692～1698.
LIANG Hua-ying，WEI Qi-rong，XU Ji-feng，et al. Study on zircon LA-ICP-MS U-Pb age of skarn Cu mineralization related intrusion in the southern margin of the Gangdese ore belt，Tibet and its geological implication［J］. Acta Petrologica Sinica，2010，26（6）：1692～1698.

［14］ Defant M J，Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subduction lithosphere［J］. Nature，1990，347：662～665.

［15］ Martin H. Adakitic magmas：Modern analogues of Archean granitoids［J］. Lithos，1999，46（3）：411～429.

［16］ Martin H，Smithies R H，Rapp R，et al. An overview of adakite，tonalite trondhjemite granodiorite（TTG）and sanukitoid：Relationships and some implications for crustal evolution［J］. Lithos，2005，79（1－2）：1～24.

［17］ 张旗，钱青，王二七，等. 燕山中晚期的“中国东部高原”：埃达克岩的启示［J］. 地质科学，2001，36（2）：248～255.
ZHANG Qi，QIAN Qing，WANGEr-qi，et al. An East China plateau in Mid-Late Yanshanian period：Implication from adakites［J］. Chinese Journal of geology，2001，36（2）：248～255.

［18］ Atherton M P，Petford N. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust［J］. Nature，1993，362：144～146.

［19］ Muir R J，Weaver S D，Bradshaw J D，et al. Geochemistry of the Cretaceous separation point batholith，New Zealand：Granitoid magmas formed by melting of mafic lithosphere［J］. Journal of the Geological Society，1995，152（4）：689～701.

［20］ Petford N，Atherton M P. Na-rich partial melts from newlyunderplated basaltic crust：The Cordillera Blanca batholith［J］. Journal of Petrology，1996，37（6）：1491～1521.

［21］ Wang Q，Xu J F，Jian P，et al. Petrogenesis of adakitic porphyriesin an extensional tectonic setting，Dexing，South China：implicationsfor the genesis of porphyry copper mineralization［J］. Journal of Petrology，2006，47（1）：119～144.

［22］ Gao S，Rudnick R L，Yuan H L，et al. Recycling lower continental crust in the North China craton［J］. Nature，2005，432（7019）：892～897.

［23］ Harrison T M，Copeland P，Kid W F，et al. Raising Tibet［J］. Science，1992，255（5052）：1663～1670.

［24］ Yin A，Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen［J］. Annual Review of Earth and Planetary Sciences，2000，28：211～280.

［25］ England P，Houseman G. Extension during continental convergence with application to the Tibetan plateau［J］. Journal of Geophysical Research：Solid Earth and Planets，1989，94（B12）：17561～17579.

［26］ Rapp R P，Shimizu N，Norman M D，et al. Reaction between slab-derived melts and peridotite in the mantle wedge：Experimental constraints at 3.8GPa［J］. Chemical Geology，1999，160：335～356.

［27］ Kay R W. Aleutian magnesiumandesites：Meltsfromsubducted Pacificoceaniccrust［J］. Journal of Volcanology and Geothermal Research，1978，4：117～132.

［28］ Rapp R P，Watson E B，Miller C F. Partial melting of amphibolites/eclogite and the origin of Archean trondhjemites and tonalities［J］. Precambrian Research，1991，51：1～25.

［29］ Rapp R P，Watson E B. Dehydration melting of metabasalt at 8～32 kbar：Implications for continental growth and crust-mantle recycling［J］. Journal of Petrology，1995，36（4）：891～931.

［30］ Sen C，Dunn T. Dehydration melting of a basaltic composition amphiobolite at 1.5 and 2.0 GPa：Implications for the origin of adakites［J］. Contributions to Mineralogy and Petrology，1994，117（4）：394～409.

［31］ Thieblemont D，Stein G，Lescuyer J L. Gisements epothetmaux et porphyriques：la connexion adakite［J］. Earth Planet. Sci，1997，325：103～109.

［32］ 杜光伟，程力军，赵咸明. 西藏冈底斯东段地球化学特征及其找矿意义［J］. 西藏地质，2001，19（1）：73～79.
DU Guang-wei，CHENG Li-jun，ZHAO Xian-ming. Geochemical features of the East Gangdise，Tibet and their prospecting significance［J］. Tibet Geology，2001，19（1）：73～79.

（下转 112 页）

GEOLOGICAL RADAR SURVEY AND STABILITY ANALYSIS OF ROCK SLOPE IN QIANLING MOUNTAIN

GUO Bin-bin[1,2], ZHAO Wei-hua[1,2], WANG Hong-cai[1,2], LI A-wei[1,2], SUN Dong-sheng[1,2]
(1. *Key Laboratory of Neotectonic Movement and Geohazard, Ministry of Land and Resources, Beijing* 100081, *China*;
2. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100081, *China*)

Abstract: Stability analysis of the high-steep rock slope focus in research and engineering sectors for a long time because it has been considered as the reason why geological disasters occurred such as slope instability and landslide. Taking the slope in Qianling Mountain in Fengtai District in Beijing as an example, parameters by rock mechanics experiment was obtained by combining with the real internal structure of rock mass which measured by geological radar. Geomechanical model of the slope has been established, and the safety factor was obtained through this model by the strength, and at the same time the whole evolutionary and the location of the critical failure surface can be found directly. Clearly, the applicability of this new method has practical value for the stability analysis of high-steep rock slopes.

Key words: high-steep rock slope; geological radar survey; strength reduction of FEM; rock mechanics; stability of slope

---

(上接 52 页)

DISCOVERY AND METALLOGENIC SIGNIFICANCE OF THE LATE CRETACOUS ADAKITES FROM ZETANG, TIBET

ZHAO Zhen[1], HU Dao-gong[1], LU Lu[2], WU Zhen-han[2]
(1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100081, *China*;
2. *Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037, *China*)

Abstract: Adakites have an indicative significance to deep-seated structures of orogenic belt and thermal regime, and a closely relationship with the minralization of Cu and Au. The metallogenic mother rock of Sangbujiala skarn copper deposit, in Zetang, southern margin of the East Gangdise metallogenic belt is Late Cretaceous granodiorite. The major elements are characterized by higher SiO_2 (>56%), Al_2O_3 (>15%), Na_2O (≥3.5%) and K_2O (>2%), lower MgO (<3%). Na_2O/K_2O is 1.03 ~ 1.43, with an average of 1.22. The analyzing results of race earth and trace elements show higher Sr (>400×10^{-6}), lower Yb (<1.9×10^{-6}) and Y (<15×10^{-6}), higher Sr/Y (86.88 ~ 132.22, > 20) and La/Yb (>10), enriched in LREE and depleted in HREE, and no negative anomalies of Eu, similar to those of adakite. By geochemical and geological characteristics, it was may be formed in partial melting of subduction oceanic plate of the O-type adakites, which interacted with mantle peridotite, showing that the southern margin of Gangdise has O-type adakites mineralization.

Key words: Gangdise metallogenic belt; skarn copper deposit; adakite; Late Cretaceous