

# 冈底斯地区林子宗群火山岩岩石地球化学特征 及地球动力学意义

贾建称 温长顺 王根厚 高春光 杨国东

(中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083)

**摘要:** 错卧莫—惩香错火山—沉积盆地位于西藏冈底斯陆块中部南缘。盆地内火山—沉积地层称古新世—渐新世林子宗群, 岩石地球化学数据分析表明: 这套火山岩系属钙碱性系列, 轻稀土富集, 不同程度表现出负 Eu、负 Ce、负 Nb 异常。微量元素 K、Rb、Th、Ce 富集, Sr、Ba, 尤其是 Nb、P、Ti 亏损。初步认为这套火山—沉积岩系形成于俯冲造弧的构造背景中, 是来自于俯冲带的地幔源区基性分异岩浆与陆壳重熔的酸性岩浆在不同的时间段内, 按不同的比例混合形成的。同时, 俯冲板块上深海沉积物与基性岩浆混合作用也是不容忽视的因素。在综合分析基础上, 笔者认为印度板块与欧亚板块的碰撞启动时间在 45 Ma 以后。

**关键词:** 冈底斯地区; 林子宗群火山岩; 岩石地球化学; 壳幔混合作用; 印度—亚洲板块俯冲

**中图分类号:** P588.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2005)03-0396-09

印度板块与亚洲板块的俯冲与碰撞以及造成青藏高原快速崛起是白垩纪以来地球历史上最重大的构造事件之一, 它强烈地影响了全球构造格局、古地理变迁、海陆分布、物质与资源再分配, 甚至控制了新生代以来全球气候变冷过程, 直接危及人类生存环境, 引起了国际地质界广泛关注。

地质学家普遍认为, 印度与欧亚板块之间经历了漂移、俯冲、碰撞、陆内造山几个阶段, 并提出了各种各样的模式来解释特提斯演化历程与青藏高原形成机制<sup>[1-3]</sup>。然而, 对洋—陆俯冲和陆—陆碰撞阶段的启动时间论及不多, 已有结论分歧也较大。究其原因或者对板块“俯冲”与“碰撞”概念的理解不同, 造成阶段的划分及时限确定不相同; 或者利用某一地段的地磁学、沉积学、地球物理学、古地理学与古气候学等某种研究结果来概括两板块作用时限。

岩浆是地球各圈层物质与能量交换的产物, 岩浆活动是地壳生长和地球物质再循环的主要方式之一。大面积出露的岩浆岩是窥探地球内部物质组成、结构构造、能量再分配的窗口, 对示踪板块运动过程和深部地球动力学环境具有不可替代的作用。因此, 全面深入地研究青藏高原岩浆活动及其产物是揭开冈瓦纳大陆裂解、印度板块与亚洲板块俯冲、碰撞, 欧亚大陆增生、青藏高原形成等神秘面纱不可或缺的重要内容。2000 年以来, 笔者等对广泛发育于冈底斯岛弧上的

白垩纪—始新世岩浆岩进行了详细工作, 取得了丰富的基础地质资料。本文以错卧莫—惩香错火山—沉积盆地内古—始新世林子宗群火山岩为例, 通过宏观地质特征、岩石地球化学数据的深入剖析, 以探讨印度—亚洲板块俯冲过程的火山—岩浆效应, 为研究冈底斯陆块造弧历程提供线索。

## 1 区域构造背景

冈底斯陆块呈近东西向展布于青藏高原南部。北侧以班公湖—怒江结合带与羌塘陆块毗邻, 南侧以日喀则弧前盆地与雅鲁藏布江结合带相隔, 错卧莫—惩香错火山—沉积盆地位于中南部(图 1)。通过 1:25 万区域地质调查与专题研究表明: 中元古代—新元古代, 冈底斯陆块与喜马拉雅陆块一样同处印度地台北部边缘沉降带。约 5.5 亿年的“泛非事件”, 陆块经历了强烈的变质变形作用改造, 形成了角闪岩相和绿片岩相变质岩, 构成了统一的“泛非期变质基底”<sup>[3,4]</sup>。寒武纪, 陆块基底整体抬升, 遭受风化剥蚀作用。奥陶纪—志留纪, 为被动大陆边缘稳定型海相碎屑岩沉积<sup>[5,6]</sup>, 构成了陆块上第一套沉积盖层。石炭纪—早二叠世, 冈底斯陆块出现了与喜马拉雅陆块的分野演化, 转变为活动大陆边缘岛弧环境, 基性→酸性系列火山岩十分发育, 实现了首次造弧运动。这次运动也造成了中、上二叠统的不整合接触<sup>[7,8]</sup>。早—中三叠世, 陆块

收稿日期: 2004-08-25; 改回日期: 2004-12-22

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(20001300009181)和(200313000001)联合资助。

作者简介: 贾建称, 男, 1965 年生, 博士, 高级工程师, 从事区域地质调查和造山带构造地质研究; E-mail: jianchengjia@163.com。

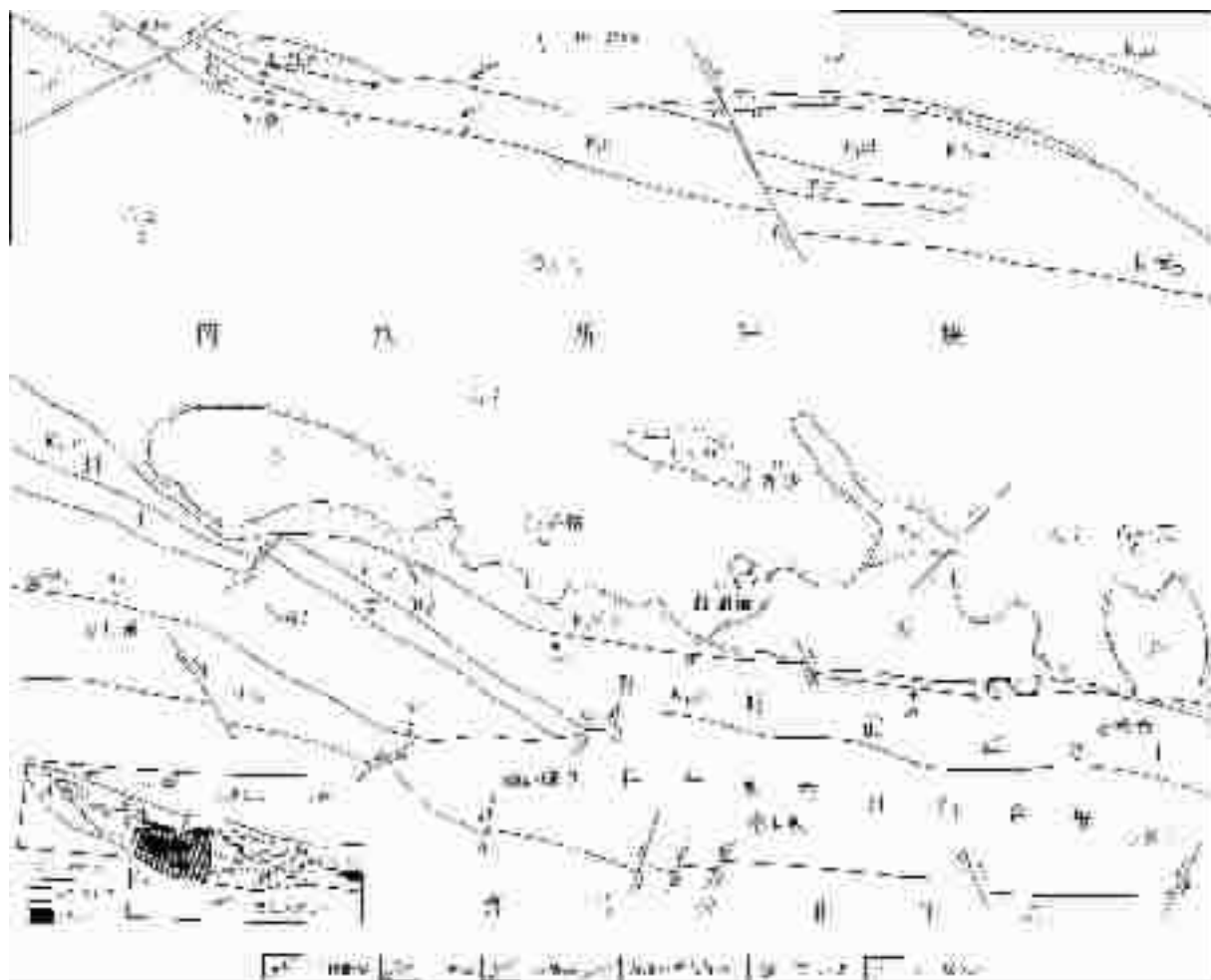


图 1 错卧莫—愆香错一带地质构造略图

E<sub>3</sub>N<sub>1</sub>d—大竹卡组;E<sub>1</sub>-l—林子宗群;E<sub>1</sub>-c—错江顶群;K<sub>2</sub>s—设兴组;K<sub>1</sub>-r—日喀则群;J<sub>3</sub>K<sub>1</sub>m—麻麻下组;J<sub>3</sub>K<sub>1</sub>z—则弄群;  
P<sub>2</sub>-qg—曲嘎组;P<sub>1</sub>xl—下拉组;P<sub>1</sub>a—昂杰组;C<sub>2</sub>yz—永珠组;γ<sup>1</sup>—古近纪侵入岩;I—班公湖—怒江结合带;II—雅鲁藏布江结合带

Fig.1 Tectonic sketch map of the Co Womo-Chengxiang Co area

E<sub>3</sub>N<sub>1</sub>d—Dazhuka Formation;E<sub>2</sub>-l—Linzizong Group;E<sub>1</sub>-c—Cuojiangding Group;K<sub>2</sub>s—Shexing Formation;K<sub>1</sub>-r—Xigazê;J<sub>3</sub>K<sub>1</sub>m—Mamuxia Formation;  
J<sub>3</sub>K<sub>1</sub>z—Zelong Group;P<sub>2</sub>-qg—Quga Formation;P<sub>1</sub>xl—Xiala Formation;P<sub>1</sub>a—Angjie Formation;C<sub>2</sub>yz—Yunzhug Formation;  
γ<sup>1</sup>—Paleogene intrusive rocks;I—Bangong Co-Nujiang junction zone;II—Yarlung Zangbo junction zone

造山抬升而缺失相应沉积。中三叠世晚期开始,陆块出现了高度的活动性,强烈的岛弧型中酸性岩浆侵入和钙碱性火山活动又显端倪,开始了第三次造弧运动<sup>[3,9]</sup>。班公湖—怒江洋盆向南持续俯冲消减至早侏罗世初达到鼎盛时期,在冈底斯陆块南部浅海环境中沉积了碎屑岩、碳酸盐岩夹多层火山岩,其角度不整合于前期构造层上。这些岩石组合具有显著的陆缘弧火山—沉积特点,是第四次造弧作用的佐证。早侏罗世末期—晚侏罗世,冈底斯陆块向北低角度俯冲,羌塘陆块被动仰冲,班公湖怒江大洋盆向北俯冲消减而封闭<sup>[1,2,10]</sup>。与此同时,位于南侧的印度洋壳向冈底斯陆块俯冲消减,沟—弧—

盆体系形成,冈底斯陆块抬升,在活动背景的氧化环境形成海陆交互相红色碎屑岩及碳酸盐岩建造,局部地区夹岛弧型酸性火山岩,完成了第五次造弧作用。新生代,冈底斯陆块是高原内部岩浆活动最强烈地区,无论火山岩还是侵入岩都十分发育。大面积分布的岩浆岩形成一个巨大的花岗岩—火山岩带,构成了冈底斯岛弧主体。其间可以分为两个阶段:古—始新世,印度板块强烈俯冲引起冈底斯陆块剧烈隆升,巨量的岩浆侵入和面状爆发使陆块增生加厚,标志着第六次规模浩大的造弧运动发生。本区林子宗群钙碱性火山岩即为该时期产物。渐新世开始的陆—陆碰撞、陆内断块逆冲和构造逃

表 1 林子宗群划分对比沿革

Table 1 Historical review of classification and comparison of Linzizong Group

李璞 (1955)	全国地 层会议 (1964)	西藏第三 地质队 (1973)	高炳章 (1979)	夏金宝 (1982)	西藏 综合队 (1979)	西藏 区调队 (1983)	西藏区调队 (1990)	西藏自治区 区域地质志 (1993)	西藏自治区岩 石地层 (1997)												
白 垩 纪	林 子 宗 火 山 岩	晚 白 垩 世	林 子 宗 群	晚 白 垩 世	林 周 群	古 新 世	林 子 宗 群 火 山 岩	始 新 世	林 子 宗 火 山 岩	晚 白 垩 世	林 子 宗 火 山 岩 组	古 始 新 世	达 多 群	始 新 世 — 白 垩 纪	林 子 宗 群	帕那组	晚 白 垩 世 — 始 新 世	林 子 宗 群	始 新 世	林 子 宗 群	帕那组
																年波组					年波组
																典中组					典中组

表 2 林子宗群火山岩同位素年龄

Table 2 Isotopes age of volcanic rocks of Linzizong Group

样品号	样品位置	岩石类型	同位素年龄 /Ma	测试单位
P53TW2	昂仁县阿木雄乡卡加让勒	浅灰色含辉石粗安岩	47.96 ± 1.03	国家地震局地质所实验室
TW5001	萨嘎县打加错东学修马尔	深灰色粗安岩	33.97 ± 0.75	中国地质科学院地质研究所同位素室
P64TW1	措勤县那加乡惹香错	深灰色粗安岩	47.67 ± 0.71	中国石油勘探院试验中心
P50TW1	昂仁县桑桑区壮拉尕	流纹质含角砾强熔结凝灰岩	39.50 ± 0.64	国家地震局地质所实验室
P83TW1	措勤县那加乡惹香错	流纹质角砾熔结凝灰岩	45.08 ± 0.73,	中国石油勘探院试验中心
P83TW2			44.66 ± 0.75	中国石油勘探院试验中心
TW9201	萨嘎县打加错南节勒	流纹质含角砾晶屑熔结凝灰岩	30.43 ± 0.5	中国地质科学院地质研究所同位素室
TW6001	昂仁县桑桑北壮松多	石英粗安质晶屑熔结凝灰岩	42.58 ± 0.74	中国地质科学院地质研究所同位素室
P55TW2	昂仁县桑桑区吉扎沟	杏仁状安山岩	35.06 ± 1.00	中国石油勘探院试验中心
P55TW1		深灰色粗安岩	30.90 ± 0.65	中国石油勘探院试验中心
P29TW1	措勤县那加乡惹香错	杏仁状安山岩	59.77 ± 0.99	中国石油勘探院试验中心

注:全岩钾-氩法测试。

逸阶段,以壳源白云母(二云母)过铝质花岗岩类小规模侵入为主,岩体分布明显受壳型断裂控制。

## 2 林子宗群层序及时代

李璞<sup>[1]</sup>首次将拉萨北部林周盆地一套厚度 2300m,以陆相火山岩为主夹砂岩、泥灰岩地层称“林子宗火山岩”,时代归白垩纪。历经 30 多年演变后,西藏自治区地矿局区调队<sup>①</sup>将其命名为林子宗群,自下而上划分为典中组、年波组、帕那组,时代为白垩世—始新世,有很多学者<sup>[2-16]</sup>把它示为区域地层划分与对比的标准(表 1)。该套火山—沉积地层在措卧莫—惹香错火山—沉积盆地内(最早被命名为达多群)露头良好,层序比较齐全,厚度 3771.29~8004.55m,角度不整合于白垩纪—古新世侵入岩,晚白垩世设兴组及更老的地质体之上,

自下而上划分为 3 组 2 段,现分述如下:

典中组( $E_1-d$ ): 露出范围较小,分布于各火山机构底部。自下而上由深灰色安山岩、粗安岩、安山质晶屑凝灰岩和流纹质角砾凝灰岩、流纹岩组成两个喷发韵律。其角度不整合于古新世侵入岩之上,厚度 1503.95m。该组的岩性、岩相围绕火山喷发中心呈环状—半环状展布。

年波组一段( $E_2n_1$ ): 在研究区分布广泛,构成该火山—沉积盆地的主体。底部为厚 10~50m 透镜状砾岩和含砾砂岩。砾岩呈断续出露,砾石以近源为主,次棱角—棱角状,大小相差悬殊,无定向排列,成分随基底岩性不同而异。其上为深灰色、紫色流纹质强熔结火山碎屑岩夹灰白色、灰绿色流纹质火山碎屑岩、流纹岩,厚度 2780.27~2212.57m。该段小角度喷发不整合于典中组之上,或角度不整合直接覆盖于古新世

① 西藏自治区地矿局区调队.1:20 万曲水幅(H-46-19)、拉萨幅(H-46-20)区域地质调查报告,1991.

侵入岩,晚白垩世设兴组及更老的地质体之上。

年波组二段( $E_{2n2}$ ):呈月牙状展布于火山-沉积盆地中部,为林子宗群内沉积岩系十分发育的一个岩石地层单位。由灰绿色、灰白色凝灰质含砾砂岩、凝灰质含海绿石英砂岩、流纹质沉角砾凝灰岩夹深灰色鲕粒砂屑灰岩、生屑泥晶灰岩及流纹质火山碎屑岩组成,其中沉积岩占 75%。地层产状十分平缓,倾角  $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。地层结构正喷发韵律清楚,旋回性明显。该段在地貌上呈灰绿色缓凸山体, TM 卫星照片上为粉红色调。整合覆于一段之上,厚度 160.26~3 675.33 m。

帕那组( $E_{3p}$ ):为本区林子宗群最高层位,岩石组合相对简单,由杏仁状粗安岩、粗安质角砾熔岩夹流纹质火山碎屑岩组成,厚 45~462 m。喷发不整合于年波组二段之上,或直接超覆于年波组一段和典中组上,被始新世—渐新世大竹卡组不整合覆盖。岩层产状十分平缓,呈熔岩被飘浮于现代高山顶部,风化剥蚀后形似山帽,卫片上呈深灰色均匀色调。

同位素年龄样品测试结果(表 2)表明,林子宗群时代主要为古新世—始新世末期。

### 3 岩石地球化学

#### 3.1 主量元素地球化学

主量元素分析结果及特征参数(表 3)表明,典中组安山岩  $SiO_2$  含量为 51.76%~58.6%, Alk 为 3.83~5.64 (Alk= $Na_2O+$

$K_2O$ , 重量百分比,下同),  $K_2O+Na_2O+CaO>Al_2O_3>K_2O+Na_2O$ , 属正常类型。粗安岩类(包括火山碎屑岩)  $SiO_2$  含量十分接近(66.50%~68.68%), Alk 为 7.97~8.20,  $Al_2O_3>K_2O+Na_2O+CaO$ , 属铝过饱和类型。流纹岩类  $SiO_2$  含量为 72.48%, Alk 为 7.8,  $Al_2O_3>K_2O+Na_2O+CaO$ , 属铝过饱和类型。年波组流纹岩类  $SiO_2$  含量为 68.64%~75.96%, Alk 6.56~8.32,  $Al_2O_3>K_2O+Na_2O+CaO$ , 为铝过饱和类型。帕那组粗安岩  $SiO_2$  含量 59.60%~61.54%, Alk 为 6.81~8.5,  $K_2O+Na_2O+CaO>Al_2O_3>K_2O+Na_2O$ , 为正常类型。

在  $SiO_2$ -Alk 图(图 2)中,林子宗群火山岩成分投影点均落入亚碱性系列区。在 AFM 图解(图 3)中,各点位于钙碱性系列区。

#### 3.2 微量元素地球化学

林子宗群火山岩微量元素分析结果与维氏克拉克值相比(表 4), Sr、K、Ba、Ce、Zr、Hf 等 6 种元素含量偏高,以 Hf 最为明显,处于高度富集状态,其他元素含量均低于维氏克拉克值,以 Cr 较为突出,呈分散状态。微量元素分布模式(图 4)总体特征较为相似,与原始地幔相比,相对富集不相容元素 K、Rb、Th、Ce,而 Sr、Ba、Nb、P、Ti 呈现低谷。其他元素比较接近或弱亏损于原始地幔。以酸性岩为主的年波组的微量元素分布模式谷、峰较以中性岩为主的典中组和帕那组明显。微量元素这些特征既不同于玄武岩,也与典型的岛弧火山岩

表 3 林子宗群火山岩岩石化学成分及特征参数

Table 3 Chemical composition and characteristic parameters of volcanic rocks of Linzizong Group

组段	岩性	样号	化学成分/%														特征参数			
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	总和	σ	τ	Alk	A.R
帕那组	粗安岩	P84GS1	61.54	15.76	0.8	5.27	0.48	3.06	0.43	4.06	4.44	0.092	0.27	1.95	1.92	100.1	3.89	14.2	8.5	2.64
	粗安岩	P53Gs5	59.6	16.62	1.04	4.76	1.42	5	2.22	2.89	3.92	0.25	0.36	0.34	1.4	99.82	2.79	12.2	6.81	1.91
年波组二段	流纹质含角砾熔结凝灰岩	P53Gs2	75.04	12.39	0.14	1.05	1.41	1.24	0.03	4.31	2.68	0.062	0.02	0.64	1	100	1.52	69.4	6.99	3.1
	流纹质熔结凝灰岩	P53Gs1	76.32	11.11	0.14	1.5	0.81	1.36	0.17	3.62	2.24	0.064	0.02	0.88	1.14	99.67	1.03	63.4	5.86	2.77
年波组一段	流纹质凝灰岩	P50Gs4	70.18	14.13	0.13	1.24	2.2	1.88	1.13	4	4.32	0.1	0.12	0.26	0.37	100.5	2.54	22.9	8.32	3.14
	流纹质凝灰岩	P50Gs3	75.24	13.46	0.25	0.32	0.88	0.36	0.53	4.73	3.28	0.019	0.04	0.34	0.83	100.3	1.99	40.7	8.01	3.75
	流纹质含角砾熔结凝灰岩	P50Gs1	69.46	14.18	0.42	1.27	1.88	1.8	0.83	4.05	3.95	0.12	0.1	0.68	0.93	99.67	2.41	24.4	8	3
	流纹质凝灰岩	P53Gs2	69.72	14.56	0.42	1.51	1.72	1.84	1.05	3.74	4.28	0.12	0.11	0.28	0.92	100.3	1.52	69.4	8.02	3.1
	流纹质角砾熔岩	P83GS2	75.96	12.88	0.17	0.29	1.45	0.97	0.06	4.55	2.01	0.04	0.02	0.27	1.14	99.81	1.3	63.9	6.56	2.79
典中组	粗安质熔结凝灰岩	P83GS3	68.64	15.15	0.56	1.26	1.8	2.35	0.94	3.48	4.58	0.092	0.13	0.31	0.52	99.81	2.53	18.8	8.06	2.7
	粗安岩	Gs5504	66.5	15.89	0.6	2.11	1.77	2.48	1.09	3.75	4.22	0.055	0.17	0.51	0.77	99.92	2.7	19.5	7.97	2.53
	粗安岩	P55Gs1	68.68	15	0.44	1.67	1.51	2.5	0.77	4.14	4.06	0.05	0.09	0.63	0.56	100.1	2.61	24.9	8.2	2.76
	粗安岩	P55Gs4	68.54	15.26	0.5	1.33	1.56	2.15	0.89	3.35	4.85	0.14	0.07	0.88	0.84	100.4	2.63	20.8	8.2	2.78
	安山岩	P29GS2	72.48	14.13	0.26	1.12	1.56	1.51	0.28	3.38	4.42	0.09	0.04	0.37	0.54	100.2	2.06	37.3	7.8	2.98
典中组	安山岩	P55Gs3	55.06	16.51	0.94	4.7	2.71	7.22	4.17	1.69	2.85	0.2	0.2	0.64	2.49	99.88	1.71	14.5	4.54	1.46
	安山岩	P55Gs2	51.76	16.68	0.91	4.5	4.54	9.31	5.66	1.47	2.35	0.175	0.17	0.5	2.01	100	1.66	15.7	3.83	1.34
典中组	安山岩	P29GS1	58.6	16.18	0.63	2.22	4.72	5.73	3.2	3.14	2.5	0.17	0.28	0.2	2.17	99.74	2.03	21.7	5.64	1.69



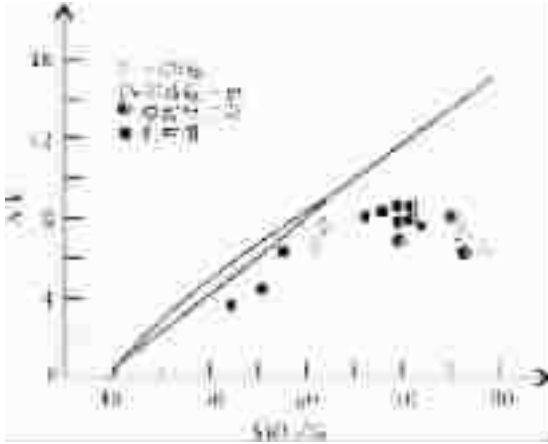


图 2 林子宗群火山岩 SiO<sub>2</sub>—Alk 图解

Fig.2 SiO<sub>2</sub>—Alk diagram of volcanic rocks of the Linzizong Group

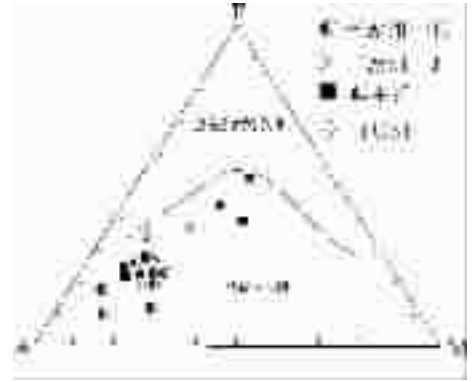


图 3 林子宗群火山岩 AFM 图解

Fig.3 AFM diagram of volcanic rocks of the Linzizong Group

有别,说明岩浆在喷出地表之前已经发生不同成分岩浆之间不相容元素交换。高场强元素 Nb、P、Ti 谷表明火山岩的形成与俯冲作用有关<sup>[7]</sup>。同时,Nb 相对于 La、K 是亏损的,铌异常值  $Nb^* [Nb^* = Nb_N / (K_N + La_N)]$  为 0.143~0.349,进一步说明原生岩浆中有大量陆壳物质存在。

3.3 稀土元素地球化学

从林子宗群稀土元素含量及特征参数(表 5)可以看出,岩石稀土总量普遍偏高 ( $\sum REE=156.6\sim 221.11$ ),轻稀土富集,分馏明显,重稀土亏损,分馏不明显(LREE/HREE=2.93~4.54)。利用 Chondrite 球粒陨石值标准化获得稀土配分曲线(图 5)向右倾斜  $(La/Yb)_N = 6.11\sim 11.68$ ,以铈为界左陡右缓。铈异常值( $\delta Ce$ )小于 1,属铈亏损型。除 P53XT6 外,其他样品均不同程度出现负铈异常( $\delta Eu=0.43\sim 0.93$ )。与中性岩相比,酸性岩稀土总量稍低,负铈异常更为突出。这暗示着岩浆

经历过较强的分异结晶作用,尤其是斜长石在岩浆中的分离结晶对负铈异常的形成做出了重大贡献。另一方面,铈负异常隐含着地壳物质循环进入地幔而对地幔造成混染。

稀土总量与轻、重稀土比值之间具有一定的正消长关系。即稀土总量高,轻、重稀土比值就大,反之亦然。这说明林子宗群中性岩浆的分异比酸性岩浆更为彻底。

4 火山岩物质来源分析

为了更好地阐明林子宗群火山岩形成的构造背景及地球动力学意义,对火山岩物质来源分析至关重要。前人<sup>[15,19]</sup>认为林子宗群火山岩物质来源为:基性岩浆来源于俯冲带的地幔源区,长英质岩浆既是基性岩浆分离结晶作用产物,又是陆壳重熔的结果,同时基性岩浆与来自陆壳的酸性岩浆混合作用也是林子宗群火山岩主要物质来源。以下分析表明,林子宗群火山岩的物质来源可能是俯冲带幔源基性分异岩浆与陆壳重熔的酸性分异岩浆及洋壳上深海沉积物混合形成的。

表 4 林子宗群火山岩微量元素分析

Table 4 Trace elements analyses and characteristic parameters of volcanic rocks of Linzizong Group

岩 性	样品号	元 素 含 量/ $10^{-6}$														特 征 参 数					
		Sr	K	Rb	Ba	Th	Ta	Nb	Ce	P	Zr	Hf	Sm	Ti	Y	Yb	Sc	Cr	W(Rb)/w(Ba)	W(La)/w(Yb)	Nb*
粗安岩	P84WL1	198	40200	135	609	9	1.32	14	69.1	1378	234	5.9	6.04	4612	28	2.78	12.8	7.7	0.22	13.67	0.212
粗安岩	P53WL6	480	26800	73	725	13.1	0.83	11	77.2	1772	226	5.3	7.3	6008	27	3.1	15.4	18.1	0.1	12.58	0.22
流纹质含角砾熔结凝灰岩	P53WL2	115	42400	155	1057	16	1.02	10	112	164	230	8	7.4	1014	31	3.1	6.4	3.2	0.15	19.68	0.143
流纹质角砾凝灰岩	P83WL2	74	46900	178	377	18.1	1.29	11	55.3	173	125	5	4.33	956	24	2.72	3.6	8.8	0.47	10.37	0.157
流纹质熔结凝灰岩	P50WL4	254	36100	137	771	14.8	1.13	12	66.5	535	206	7.4	5.1	2427	24	2.6	4.8	12.2	0.18	13.46	0.201
安山岩	P29WL1	575	27900	108	493	14.4	2.06	19	93.5	1285	193	5.2	7.43	4447	28	2.95	16.8	28.5	0.22	15.59	0.349
安山岩	P55WL3	910	15400	47	656	9.1	1.07	10	68.9	1168	127	3.8	5.73	5875	20	1.92	18.7	52.6	0.07	18.23	0.292
维氏克拉克值(1962)		340	25000	150	650	13	2.5	20	70	930	170	1	8	4500	29	3.3	10	83			

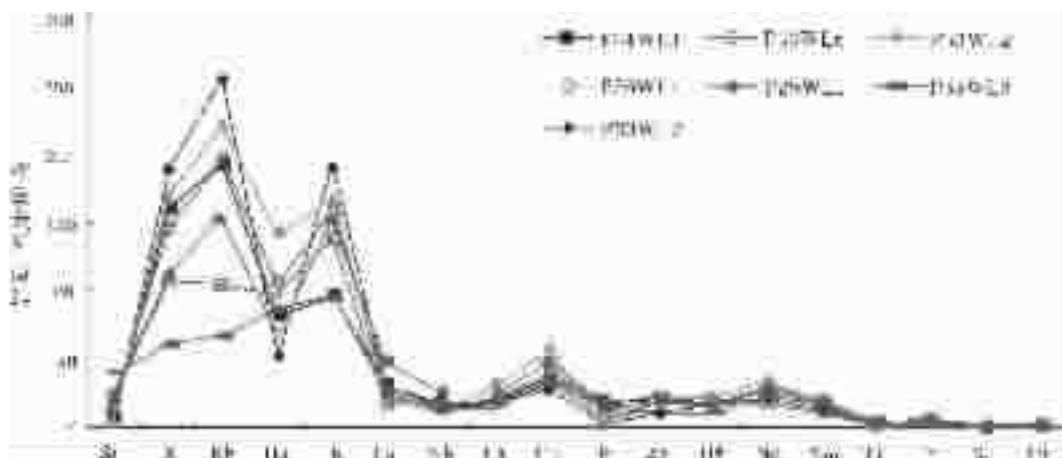


图 4 林子宗群火山岩样品原始地幔标准化微量元素分布模式

Fig.4 Primitive mantle-normalized trace element distribution patterns of volcanic rocks of the Linzizong Group

表 5 林子宗群火山岩稀土元素含量及特征参数

Table 5 REE contents and characteristic parameters of volcanic rocks of Linzizong Group

岩性	样号	元 素 含 量/ $10^{-6}$														特 征 参 数							
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	LREE/HREE	$\delta$ Eu	$\delta$ Ce	$\Sigma$ REE	$(La/Yb)_N$	$(La/Sm)_N$	$(Gd/Yb)_N$
粗安岩	P84XT1	38	69.1	9.13	34.5	6.64	1.77	6	0.9	5.1	1	2.92	0.42	2.78	0.39	28	3.35	0.92	0.75	206.6	8.12	3.57	1.3
粗安岩	P53XT6	39	77.2	9.6	37.4	7.3	2.25	6.43	1.06	5.64	1.09	3.1	0.46	3.1	0.48	27	3.57	1.08	0.81	221.1	7.47	3.33	1.26
流纹质熔结凝灰岩	P53XT2	61	112	12.4	43.8	7.4	1.48	6.32	1.06	5.76	1.1	3.1	0.5	3.1	0.48	31	4.54	0.71	0.81	290.5	11.68	5.15	1.24
	P50XT4	35	66.5	7.8	28.3	5.1	1.13	4.25	0.75	4.18	0.78	2.38	0.4	2.6	0.4	24	3.62	0.79	0.81	183.6	7.99	6.86	46.67
流纹质角砾凝灰岩	P83XT2	28	55.3	6.3	22.3	4.33	0.54	4.1	0.66	4.2	0.83	2.59	0.38	2.72	0.4	24	2.93	0.43	0.84	156.6	6.11	4.05	0.9
安山岩	P29XT1	46	93.5	10.5	38.9	7.43	1.77	6.55	0.96	5.47	1.06	3.01	0.42	2.95	0.42	28	4.06	0.83	0.86	247	9.26	3.87	1.36
安山岩	P55XT3	35	68.9	7.92	30.1	5.73	1.48	4.66	0.66	3.81	0.73	2.06	0.28	1.92	0.27	20	4.34	0.93	0.84	182.5	10.82	6.11	53.03

从林子宗群火山岩轻稀土富集,分馏明显,重稀土亏损,分馏不明显,岩石不同程度出现负铕异常,表明基性岩浆结晶分异成分是在存在的。但像年波组这样巨量的炽热高粘度酸性火山灰流在相对短的时间内猛烈爆发,似乎很难完全用基性岩浆结晶分异作用来解释。岩石的 Ba/Nb 和 La/Nb 较之洋脊玄武岩、洋岛玄武岩及原始地幔显著偏高,长英质火山岩 Nd 同位素和 Sr 同位素相关性分析表明其为陆壳重熔产物<sup>[16]</sup>。负铈异常、负铒异常亦暗示着这套钙碱性岩石陆壳重熔性质。微量元素特征揭示了岩浆喷出地表之前已经发生了不同成分岩浆之间不相容元素交换。

在 Othman 等<sup>[18]</sup>提出的  $(La/Sm)_N - (Ba/La)_N$  关系图(图 6)上,火山岩成分点位于或十分靠近深海沉积物分布区,La/Yb 值均在 10 以上,具有变化范围较大的 Rb/Ba 值。这些特征与俯冲带流体交代型富集地幔十分相似<sup>[19]</sup>。

因此,本区内林子宗群火山岩是来自俯冲带的地幔源区的基性分异岩浆与陆壳重熔的酸性岩浆在不同的时间段内,按不同的比例混合形成的。俯冲板块上部深海沉积物的参与也是不容忽视的因素。

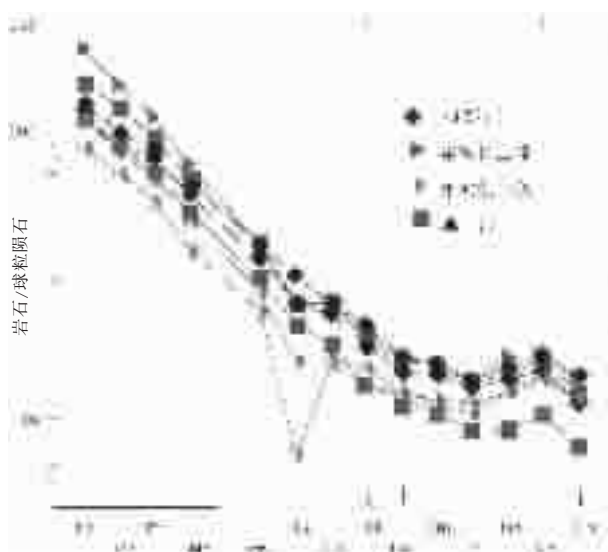


图 5 林子宗群火山岩球粒陨石标准化稀土分布模式

Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns for the selected samples of volcanic rocks of the Linzizong Group

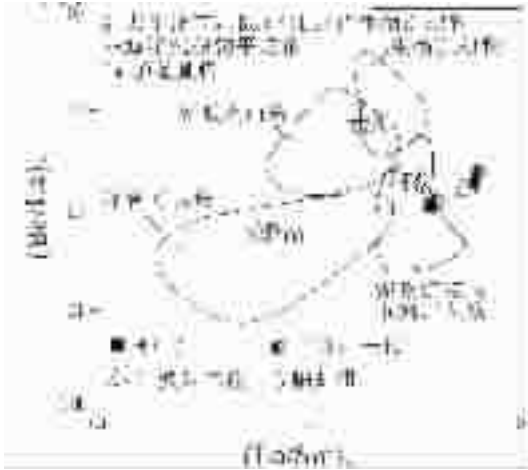


图6 林子宗群火山岩(La/Sm)<sub>N</sub>—(Ba/La)<sub>N</sub>图

Fig.6 (La/Sm)<sub>N</sub>—(Ba/La)<sub>N</sub> diagram for volcanic rocks of the Linzizong Group

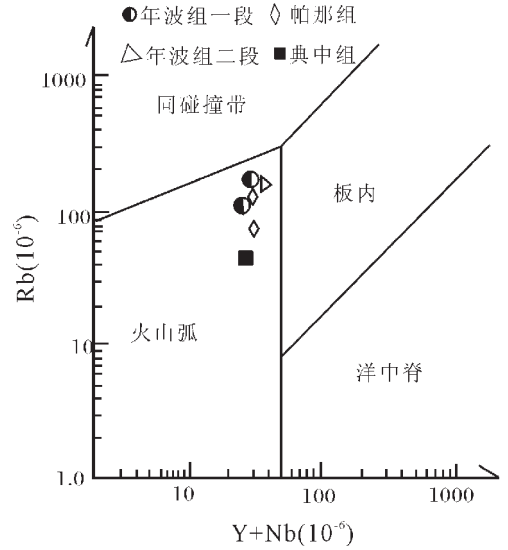


图8 Rb—(Y+Nb)图解

Fig. 8 Rb—(Y+Nb) diagram

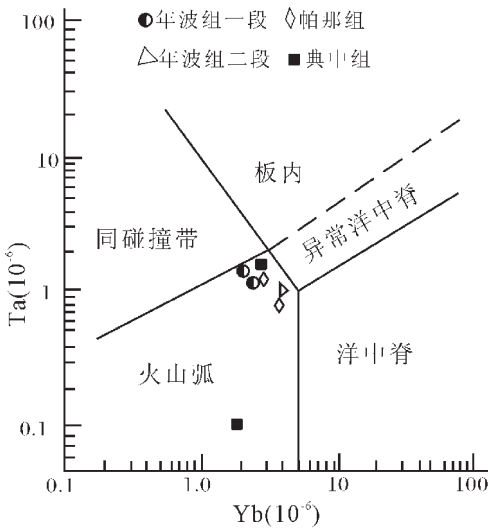


图7 林子宗群火山岩 Yb—Ta 图解

Fig.7 Yb—Ta diagram for volcanic rocks of the Linzizong Group

### 5 火山岩形成的构造环境

板块构造理论认为:碱度不同的3个火山岩系列在不同构造部位上的发育程度不同。一般造山带环境(包括岛弧、活动大陆边缘,意味挤压构造环境)以钙碱性系列常见,而稳定区(包括大陆、大洋及洋中脊,意味拉伸构造环境)以拉斑玄武岩、碱性玄武岩系列岩石发育。本区火山岩属钙碱性岩石系列,无疑形成于造山带环境。

双对数判别图中(图7~8),成分投影点均落入火山弧区,证明非活动性元素图是判别构造环境简便而可靠的方法。

Nb、P、Ti 谷是俯冲背景下形成的正常弧火山岩特征。

### 6 结论

(1)林子宗群为正常弧环境的钙碱性系列火山岩,物质来源于俯冲带的地幔源区的基性分异岩浆与陆壳重熔的酸性岩浆在不同的时间段内,按不同的比例混合产物。另外,俯冲板块上深海沉积物的参与也是不容忽视的因素。

(2)印度板块与欧亚板块俯冲与碰撞是中、新生代全球最瞩目的构造事件,也是新特提斯研究的主要内容和最精彩篇章。人们提出了多种演化模式来解释印度—亚洲板块运动与青藏高原隆升,然而对板块俯冲、碰撞阶段的划分认识不一。目前虽然已有多种方法应用于重新确定印度—亚洲大陆碰撞时代研究中,如古地磁法,沉积学方法,火山—岩浆事件法等,但得出的结论仍不一致,甚至相差较大。归纳起来主要有两种意见。一种认为印度—亚洲大陆发生大规模碰撞时间晚于或位于 55 Ma<sup>[20-21]</sup>。另一种意见认为 65 Ma 或之前<sup>[16,22,23]</sup>。造成这种差异的原因是各人于不同的地方针对相关对象采用不同方法。然而对示踪板块俯冲与碰撞过程的岩浆效应研究应是最直接有效的方法之一。林子宗群火山岩岩石地球化学特征揭示其形成于大规模俯冲构造弧的环境中。区内 11 件同位素样品测年结果表明其形成时代为 45 Ma 左右。也就是说,在古新世—始新世中期,冈底斯地区仍处于印度板块向亚洲板块俯冲的构造背景之下,印度—亚洲板块碰撞发生于 45 Ma 以后。

参加野外工作的有河北省区域地质矿产调查研究所张振利、汪立军、葛建、李先和孙肖等同志,在此致谢!

## 参考文献(References):

- [1] 肖序常,刘增乾.青藏高原构造演化[J].地质科学,1984,10(4):179~203.  
Xiao Xuchang, Liu Zengqian. Tectonic evolution of Tibet plateau[J]. Geoscience, 1984,10(4):179~203(in Chinese).
- [2] 潘裕生,孔祥儒,钟大赉,等.青藏高原岩石圈结构演化和动力学[M].广州:广东科学技术出版社,1998.  
Pan Yusheng, Kong Xiangru, Zhong Dalai, et al. Evolution of Structure and Geodynamic of Tibet Plateau [M].Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1998(in Chinese).
- [3] 郑来林,廖光宇,耿全如,等.墨脱县幅地质调查新成果及主要进展[J].地质通报,2004,23(5~6):458~462.  
Zheng Lailin, Liao Guangyu, Geng Quanru, et al. New results and major progress in regional geological survey of Medog county sheet [J].Geological Bulletin of China,2004,23(5~6):458~462( in Chinese with English abstract ).
- [4] 梁定益.青藏高原首批 1:25 万区域地质调查地层工作若干进展点评[J].地质通报,2004,23(1):24~26.  
Liang Dingyi. Comment about major progress of stratigraphy in the first 1:250000 regional geological survey of Qinghai-Tibet Plateau [J]. Geological Bulletin of China,2004,23(1): 24~26(in Chinese with English abstract ).
- [5] 张树岐,曲永贵,郑春子,等.西藏北部申扎地区志留纪岩石地层及生物地层研究[J].地质通报,2003,22(11~12):964~969.  
Zhang Shuqi, Qu Yonggui, Zheng Chunzi, et al. Silurian lithostratigraphy and biostratigraphy of Xainza ,north Tibet [J]. Geological Bulletin of China,2003,22(11~12):964~669(in Chinese).
- [6] 李才,程立人,胡克,等.申扎县幅地质调查新成果及主要进展[J].地质通报,2004.23(5~6): 479~483.  
Li Cai, Cheng Liren, Hu Ke, et al. New result and major progress in regional geological survey of Xainza county sheet [J].Geological Bulletin of China,2004,23(5~6): 479~483(in Chinese with English abstract ).
- [7] 石和,陶晓风,刘登忠,等.西藏坚扎弄组的植物化石新资料 and 再认识[J].地质通报,2002,21(7): 428~430.  
Shi He, Tao Xiaofeng, Liu Dengzhong, et al. New data and understanding of fossil plants in the Jianzanong Formation, Tibet [J]. Geological Bulletin of China,2002, 21 (7): 428~430 (in Chinese with English abstract ).
- [8] 周幼云,江元生,王明光.西藏错勤—申扎地层分区二叠系杂布错组的建立及其特征[J].地质通报,2002,21(2): 79~82.  
Zhou Youyun, Jiang Yuansheng, Wang Mingguang. Permian Dibuco Formation in the Coqen-Xainza stratigraphic area,Tibet[J]. Geological Bulletin of China, 2002,21(2): 79~82(in Chinese with English abstract ).
- [9] 李才,王天武,李惠民,等.冈底斯地区发现巨斑花岗岩闪长岩——古冈底斯造山的存在证据[J].地质通报,2003,22(5): 364~366.  
Li Cai, Wang Tianwu, Li Huimin, et al. Discovery of Indosinian megaporphyritic granodiorite in the Gangdise area:evidence for the existence of Paleo-Gangdise[J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22(5): 364~366(in Chinese with English abstract ).
- [10] 王建平.西藏他念他翁山链北部花岗岩与特提斯洋演化[A].见:九五全国地质科技重要成果论文集 [C].北京:地质出版社,2000.146~149.  
Wang Jianping. Evolution of Tethyan Ocean and granite in the north of Tanniantaweng mountain, Tibet[A].In: Important Results about Geology and Science Technolog Corpus of 9.5 in China[C]. Beijing: Geological Publishing House, 2000.146~149 (in Chinese ).
- [11] 李璞.西藏东部地质的初步认识[J].科学通报,1955:23~30.  
Li Pu. Elementary understanding of geology in the south of Tibet[J]. Scientific Bulletin,1955: 23~30(in Chinese ).
- [12] 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,1993.450~462.  
Bureau of Geology and Mineral Resources of Xizang Autonomous. Regional Geology of Xi [M].Beijing: Geological Publishing House, 1993. 450~462(in Chinese with English abstract ).
- [13] 西藏自治区地质矿产局.西藏自治区岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1997. 246~250.  
Bureau of Geology and Mineral Resources of Xizang Autonomous. Strtigraphy (Lithostratigraphy) of Xizang [M].Wuhan:China University of Geosciences Press,1997. 246~250(in Chinese with English abstract ).
- [14] 刘鸿飞.拉萨地区林子宗火山岩系的划分和时代归属[J].西藏地质,1993(2):15~24.  
Liu Hongfeng. Subdivision and timing of Linzizong volcanic series in Lhasa region [J].Tibet Geology,1993 (2):15~24 (in Chinese with English abstract ).
- [15] 董国臣.西藏林周盆地林子宗火山岩及其反演的印度—欧亚大陆碰撞过程[D].北京:中国地质大学,2002.  
Dong Guochen. Linzizong Volcanic Rocks in Linzhou Volcanic Basin ,Tibet:Implications for India -Eurasia Collision Process [D]. Beijing:China University of Geosciences , 2002(in Chinese ).
- [16] 莫宣学,赵志丹,邓晋福,等.印度—亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应[J].地学前缘,2003(3):135~148.  
Mo Xuanxue,Zhao Zhidan,Deng Jinfu, et al. Response of volcanism to The India - Asia Collision[J].Earth Science frontiers,2003(3):135~148(in Chinese with English abstract).
- [17] Condie K C. Mantle Plume and Their Record in Earth History [M].London:Cambridge University Press,2001.
- [18] Othman D B,White W M,Patchett J. The geochemistry of marine sediment, island arc magma genesis and crust-mantle recycling[J]. Earth plant sci lett,1989,94:1~24.
- [19] 李曙光,聂永红,Jagoutze,等.大别山俯冲陆壳的再循环——地球化学证据[J].中国科学,1997,27(5):142~148.  
Li Shuguang, Nie Yonghong, Jagoutze, et al. Recycling of subducted continental materials in Dabie Mountain -Geochemical evidences[J].Science in China,1997,27(5):412~418(in Chinese).
- [20] 高永丰,侯增谦,魏瑞华.冈底斯晚第三纪斑岩的岩石学、地球化学及其地球动力学意义[J].岩石学报,2003, 19 (3):418~428.



- Gao Yongfeng, Hou Zengqian, Wei Ruihua. Neogene porphyries from Gangdise: petrological, geochemical characteristics and geodynamic significances [J]. *Acta petrologica sinica*, 2003, 19(3): 418~428 (in Chinese with English abstract).
- [21] Garzantie, Baud A, Mascle G. Sedimentary record of the northward flight of India and its collision with Eurasia (Ladakh Himalaya, India) [J]. *Geodynamica Acta* (Paris), 1987, 1(4-5): 297~312.
- [22] Wan Xiaoqiao, Jansa L F, Sarti M. Cretaceous and Tertiary boundary strata in southern Tibet and their implication for India-Asia collision [J]. *Lithaia*, 2002, 35(2): 131~146.
- [23] 万晓樵, 梁定益, 李国彪. 西藏冈巴古新世地层及构造作用的影响 [J]. *地质学报*, 2002, 76(2): 155~162.
- Wan Xiaoqiao, Liang Dingyi, Li Guobiao. Palaeocene strata in Gamba, Tibet and influence of tectonism [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2002, 76(2): 155~162 (in Chinese with English abstract).

## Geochemical characteristics and geodynamic significance of the Linzizong Group volcanic rocks in the Gangdise area

JIA Jian-cheng, WEN Chang-shun, WANG Gen-hou, GAO Chun-guang, YANG Guo-dong

(School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The Cuowomo-Chengxiangcuo volcano-sedimentary basin is located on the south-central edge of the Gangdise block, Tibet. Volcano-sedimentary rocks in this basin are called the Linzizong Group, which is Paleocene-Eocene in age. Geochemical analysis indicates that the Linzizong volcanic rocks belong to a calc-alkaline series, exhibiting enrichment in LREE, different degrees of negative Eu, Ce and Nb anomalies and enrichment in the trace elements K, Rb, Th and Ce and depletion in the trace elements Sr and Ba, especially in Nb, P and Ti. Therefore, the authors tentatively suggest that the Linzizong volcanic rocks formed in a tectonic environment of subduction and arc making and resulted from mixing of basic differentiated magma and crustal anatectic acid magma in different proportions and in different time intervals. In addition, mixing between abyssal sediments on the subducted plate and basic magma is also a factor that can not be negligible. On the basis of an integrated analysis, the authors suggest that the collision between the India plate and Eurasian plate was initiated after 45 Ma.

**Key words:** Gangdise area; Linzizong Group volcanic rocks; geochemistry; crust-mantle mixing; subduction between the India plate and Asian plate

**About the first author:** JIA Jian-cheng, male, born in 1965, Ph.D candidate, senior engineer, engages in regional geological survey and tectonic study in orogenic belts; E-mail: jianchengjia@163.com.