

青海可可西里地区新生代火山岩 的岩石特征与时代

邓万明 郑锡澜

松本征夫

(中国科学院地质研究所, 北京 100029)

(日本山口大学地球科学系)

主题词 可可西里 安粗岩 中新世 壳-幔混合层

提 要 可可西里地区的新生代火山岩属于藏北火山岩带的东段。火山岩主要以熔岩台地、桌状山的形式产出, 熔岩厚约 40—100m。除少量的高钾流纹岩、粗面岩和粗面英安岩外, 在数量和分布上以普遍含二辉石斑晶的安粗岩占优势。岩石以富碱(尤其富钾)和富 LREE 为特征。火山活动发生在中新世, 根据 K/Ar 定年结果划分为早、中、晚三期。本区火山岩的特征与西藏境内的同时代岩石完全可以对比。火山活动与高原新生代以来的岩石圈演化有密切的关系。

青海境内可可西里地区的新生代火山岩属于青藏高原北部新生代火山岩带的东段^[1,2]。由于该区地处高寒缺氧的无人区, 地质研究程度很低。众所周知, 青藏北部的这条火山岩带无论在岩石组合、地球化学性质和同位素组成上都独具特色, 与中国东部的同时代火山岩迥然不同。它是高原岩石圈在特定的地质条件下演化阶段的产物。深入研究该区火山岩的成因对探讨高原地壳—上地幔的物质组成和演化以及找矿都具有重要的理论和实际意义。中日可可西里科学探险队于 1994 年夏进入该区, 搜集了丰富的火山岩的实际资料并进行了大量的分析、测试工作。本文简要报道其主要成果。

1 工作区地质概况

研究区限于东经 89°—92°30′ 北纬 35°20′—36°, 即巍雪山—布喀达坂峰以南和岗扎日至卓乃湖一线以北, 西段跨入西藏境内的向阳湖南段(图 1)。在大地构造上该区属于巴颜喀喇—松潘地体的南侧。可可西里—金沙江缝合带大致沿西金乌兰断裂从工作区南面通过。区内除昆仑大断裂以北和西部有少量的下二叠统(浅变质的碎屑岩、板岩、玄武岩)外, 广泛出露的是上三叠世巴颜喀喇群(深灰色板岩夹砂岩)和下白垩世风火山群(紫灰色岩屑砂岩、粉砂岩和砾岩)^[3]。渐新世的桔红色砂岩、砂质泥岩夹膏盐层零星出露在一些山间盆地中。区内断裂带构造相当发育。主要的断裂带有近东西走向的昆南左行走滑断层、北东走向的岗扎日—勒斜武担湖—马兰山大断裂和北西走向的黑驼峰—鲸鱼湖断裂等。这些断裂带大都是近代的活动构造, 对本区新生代火山岩、热泉分布及地震活动起着直接的控制作用。

本项研究得到国家自然科学基金委员会资助(编号 49472102)。

本文于 1996 年 4 月收到, 1996 年改回。

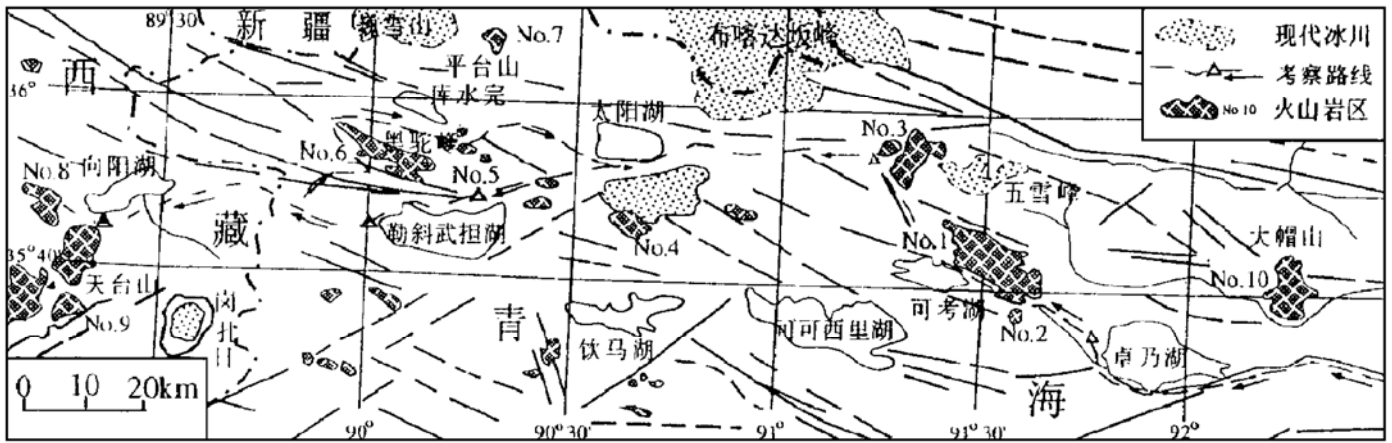


图1 青海可可西里地区主要火山区分布和断裂构造示意图

Fig. 1 Geological sketch map of Hoh Xil Mts., showing distribution of volcanic areas and fault structures

火山区编号: 1—可考湖北东火山区; 2—可考湖东火山区; 3—五雪峰西火山区; 4—马兰山火山区; 5—黑驼峰火山区(东段); 6—黑驼峰火山区(西段); 7—巍雪山东火山区; 8—向阳湖火山区; 9—天台山火山区; 10—大帽山火山区

2 火山岩的分布、产状和主要火山区简述

本次考察由青藏公路的楚玛尔河北向西,其路线如图1所示。工作区火山岩呈近东西向的带状展布。青海境内岩带长约250km。据张以弗、郑健康^[3]和西藏自治区改则幅地质报告的资料^①,在工作区南面的永波湖、多格错仁至唐古拉山以北还有大面积的新生代火山岩和富碱小侵入体的出露。整个岩带的宽度估计超过200km。火山岩的分布明显受上述区域性断裂构造的控制。

本区火山岩普遍以熔岩台地、桌状山等形式出露,有少量的火山颈相。未发现保存完好的火山口。我们着重考察了可考湖、向阳湖、大帽山等几个火山区,其主要特征简述如下。

可考湖北东火山区(No. 1即图1中的编号,下同):火山岩呈北西向展布,为一个顶面向东缓倾的熔岩台地,出露面积>200km²。熔岩不整合在T₃巴颜喀喇群之上。台地西北端被切割成陡峭的悬崖。熔岩厚度30—70m。在剖面上,下部熔岩为瓦灰色,比较致密,向上气孔增多,呈拉长的扁平状,顶部变为黑色渣状熔岩。在台地顶面见一串呈NE80°排列的低洼小湖,可能是熔岩的喷出口。主要的岩石类型有二辉石安山岩、安山岩等(岩相定名)。

可考湖东火山区(No. 2)是一处仅10km²的小型火山岩颈,呈近东西走向略向南倾。岩石为灰白色的流纹岩,流动构造十分清楚。岩石中含有黑色二辉石安山岩的角砾状捕虏体,说明流纹岩喷发较晚。

五雪峰西(No. 3)、黑驼峰(No. 5, 6)、平台山(No. 7)都是一些中等到小规模熔岩台地,后被风化剥蚀成一些孤立体。火山岩厚约40—80m不等。远望平台山火山台地为一个典型的桌状山,下伏为P₁的叶桑岗群碎屑岩。向阳湖和天台山火山区(No. 8, 9)熔岩台地顶面非常平坦,四周均为峭壁,熔岩厚40m左右。在剖面上可见具明显的层状或薄板状构造,下伏为渐新统的红层或T₃的砂板岩。大帽山火山区(No. 10)位于卓乃湖东70km,火山

① 西藏地矿局, 1986, 区域地质调查报告(改则幅)(1/100万)

岩出露在一个浑圆的小山包上。火山岩的四周已不见陡壁, 露头多被第四系覆盖, 可能剥蚀较深。这里除一部分为熔岩(以粗面安山岩为主)外, 杂色的火山碎屑角砾岩非常发育。

3 火山岩的岩相学和岩石化学特征

3.1 岩相特征

研究区火山岩主要为熔岩。岩石类型有粗面安山岩、粗面英安岩和流纹岩以及少量的火山碎屑角砾岩类。熔岩中粗面安山岩、粗面英安岩占优势。采自不同火山区的粗面安山岩和粗面英安岩有很大的相似性。在岩相上两者的主要区别是前者基本上不含石英, 多具中性斜长石斑晶, 而后者含 10%—20% 的石英且有酸性斜长石斑晶的出现。粗面安山岩呈暗灰色至黑色, 具板状或块状构造和典型的斑状构造。斑晶为自形柱状的普通辉石、具环带构造的中性斜长石和少量的酸性斜长石。在可考湖北东岩区, 除普通辉石外, 还有紫苏辉石、少量暗化的黑云母和钾长石等出现。基质为玻璃质或具显微隐晶质结构, 副矿物以长柱状的磷灰石为主, 少量磁铁矿。一般底部岩石的基质中玻璃质占 40%—60%, 而顶部的火山玻璃可达到 80% 以上。在黑驼峰和天台山岩区有时可见少量的普通角闪石斑晶, 并有一些黑色的石英充填在气孔中。在黑驼峰岩区的中段还出露一种非常均匀的细粒普通辉石、斜长石、黑云母、磷灰石与大量的火山玻璃交织而成的无斑安山岩。

流纹岩(或流纹斑岩)在可考湖东岩区(No. 2)出露。岩石为灰白色, 块状构造, 斑状结构, 斑晶主要是粒状浑圆化的石英、酸性斜长石、具暗化边结构的黑云母及少量白云母。基质由酸性斜长石、黑云母和石英组成, 可能是稍晚喷发的火山颈相岩石。

在大帽山岩区有少量的粗面岩出露, 岩石比较新鲜, 具典型的斑状结构, 钾长石的浑圆状斑晶被微晶透长石和火山玻璃所

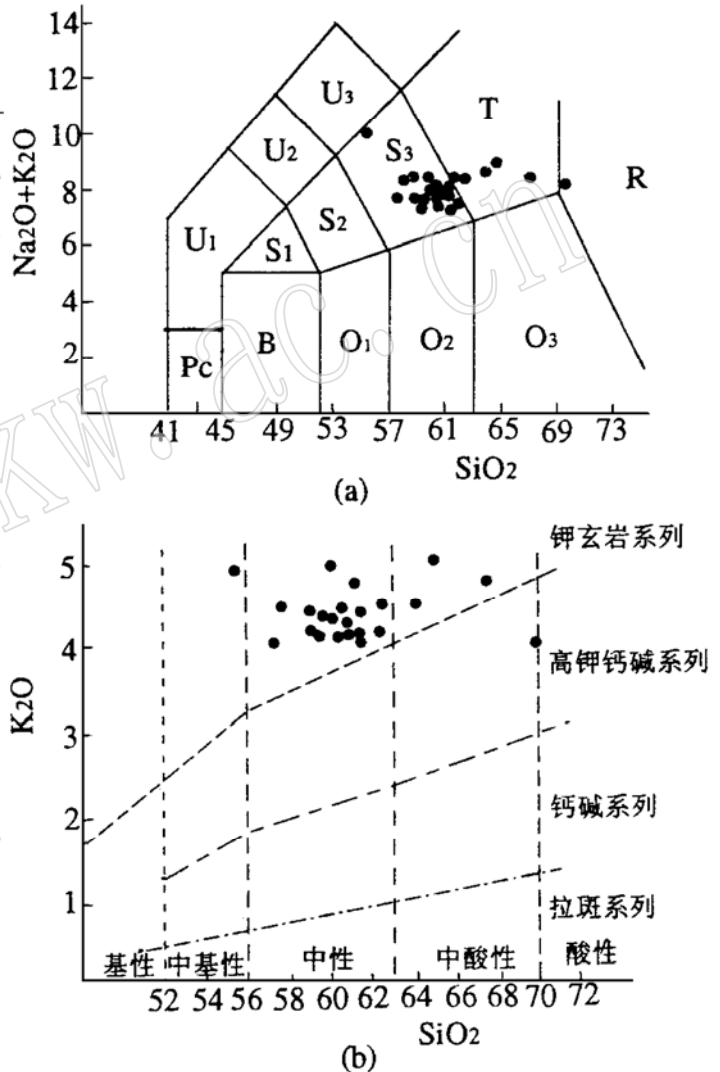


图2 新生代火山岩的化学分类^[4](a)和岩石组合系列的鉴定^[5](b)

Fig. 2 Chemical classification (a) and identification of rock assemblage series (b) of Cenozoic volcanic rocks
Pc—苦橄玄武岩; U₁—碱玄武岩+碧玄武岩; U₂—响岩质碱玄武岩; U₃—碱玄武质响岩; Ph—响岩; S₁—粗面玄武岩; S₂—玄武粗安岩; S₃—粗安岩; T—粗面岩+粗面英安岩; B—玄武岩; O₁—玄武安山岩; O₂—安山岩; O₃—英安岩; R—流纹岩

环绕。有的岩石中斜长石斑晶增加逐渐过渡为粗面安山岩。此外,还有大量的火山角砾岩和一些英安质一流纹质凝灰熔岩。前者含数厘米大小的火山角砾或不规则岩屑。角砾成分主要是安山岩,胶结物具隐晶质或玻璃质结构,其中有分散状的细粒黑云母、斜长石和石英的微晶并略显流动构造。在这种岩石中还发现了含铁铝榴石、尖晶石、夕线石的岩石捕虏体,它们可能是下部地壳的基底变质岩。

3.2 岩石地球化学

研究区新生代火山岩主要元素、微量元素和稀土元素的分析结果见表1和表2。我们根据国际地科联推荐的TAS方案和计算的CIPW标准矿物分子对火山岩进行了化学分类和命名^[4]。由表1可以清楚看出,本区绝大多数火山岩的SiO₂含量处于55%—65%之间。23个样品的SiO₂平均值为61.06%。Na₂O和K₂O的平均值分别为3.85%和4.41%。因而在图2(a)中分析点相对集中在粗面安山岩和粗面英安岩区,少数落在流纹岩区;根据Na₂O和K₂O的含量和标准矿物Q进一步确定本区火山岩大部分属于安粗岩类(Latite)(Na₂O-2<K₂O),部分为粗面英安岩(q<20),少数为钠闪碱流岩(Al₂O₃>1.33FeO+4.4),可考湖东岩区为钠闪碱流岩或高钾流纹岩。上述化学定名与镜下鉴定的结果是一致的。

由表1得知,除可考湖东岩区的钠闪碱流岩外,其余各个岩区的岩石均有富钾的特征,即K₂O>Na₂O。在图2(b)中它们全部投影在钾玄质岩系中酸性段,与世界上一些同类的中性岩比较,本区火山岩不仅富碱(尤其富钾),而且TiO₂、P₂O₅也相对富集,但贫CaO;与K₂O相关的一些微量元素(如Rb、Sr、Zr、Ba等)也明显比N型MORB富集而显著亏损Nb、Ta等元素。

本区新生代火山岩球粒陨石标准化的REE分配型式如图3所示。所有的分配曲线均表现为LREE的强烈富集。图中三种岩石的分配型式呈有规律的排列。作为研究区主体的安粗岩类具有最高的∑REE丰度(普遍>500μm/g),LREE的相对丰度达到球粒陨石的20—600倍,HREE为球粒陨石的3—10倍;(La/Sm)_n和(La/Yb)_n变化在5.5—8.3和33.3—101之间。大帽山岩区的粗面英安岩比其它岩区的安粗岩的REE略低,但LREE的富集特征仍然非常突出,有的还出现轻微的正Eu异常(δEu=0.8—0.9)。本区钠闪碱流岩∑REE是最低的且具强烈的负Eu异常(δEu=0.1)。上述分配型式的这种规律性似乎表明,它们可能来自同源的母岩浆,是经历了比较长期的不同程度的分离结晶作用的结果。

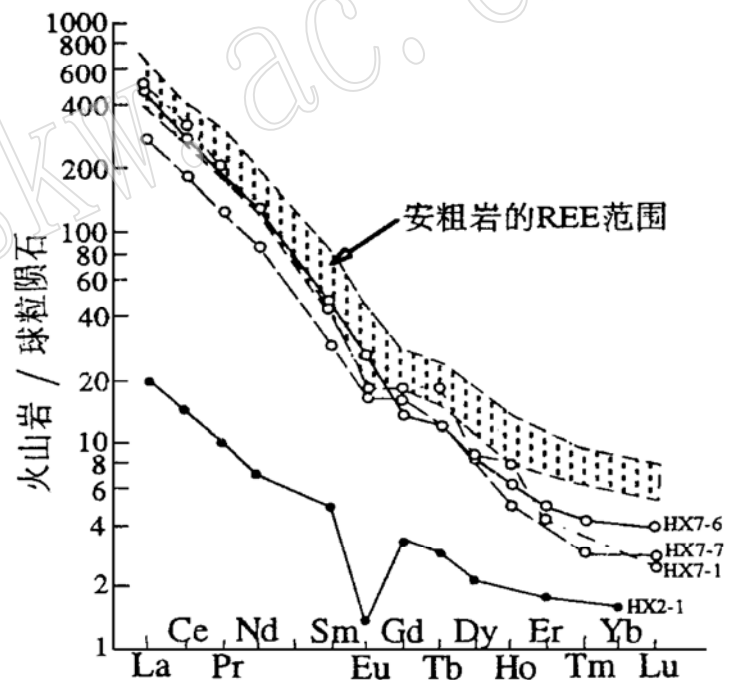


图3 火山岩球粒陨石标准化的REE分配型式(样品名称见表2)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of volcanic rocks

表1 可可西里新生代火山岩的化学成分

Table 1 Chemical compositions of Cenozoic volcanic rocks in the Hoh Xil Mts.

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
样品号	HX1-1	HX1-5	HX1-9	HX1-14	HX1-15	HX2-1	HX2-2	HX3-1	HX3-3a	HX3-3b	HX4-3	HX4-6a
SiO ₂	59.02	60.44	60.53	62.25	57.75	69.52	55.81	60.86	62.29	61.16	61.54	61.11
TiO ₂	1.60	1.45	1.54	1.29	1.47	0.07	1.97	1.91	1.56	1.67	1.60	1.66
Al ₂ O ₃	15.32	15.32	15.19	15.26	15.57	14.69	17.55	15.57	15.48	14.94	14.49	15.40
Fe ₂ O ₃	7.14	6.43	2.96	5.95	4.48	0.48	7.40	7.24	1.88	7.33	2.03	2.80
FeO			3.41		2.58	0.40			4.52		4.39	4.55
MnO	0.09	0.07	0.09	0.07	0.08	0.07	0.07	0.05	0.41	0.09	0.13	0.11
MgO	2.48	2.21	2.42	1.79	2.09	0.23	1.68	0.64	1.65	1.59	1.84	1.40
CaO	4.77	4.61	4.39	3.89	6.40	3.50	3.61	4.05	4.12	4.12	3.60	4.07
Na ₂ O	3.83	3.78	3.32	3.90	3.69	4.16	5.17	3.84	3.49	3.75	3.62	3.58
K ₂ O	4.24	4.45	5.02	4.65	4.60	3.98	5.04	4.20	4.12	4.10	4.74	4.26
P ₂ O ₅	0.83	0.71	0.54	0.63	0.71	0.25	1.22	0.95	0.50	0.85	0.50	0.48
烧失量	0.22	0.17	0.09	0.19	0.10	2.69	1.45	0.19	0.21	0.33	1.22	0.50
总计	99.54	99.64	99.50	99.87	99.52	100.04	100.97	99.50	100.23	99.93	99.70	99.92
岩石名称	安粗岩	安粗岩	安粗岩	安粗岩	安粗岩	流纹岩	安粗岩	安粗岩	安粗岩	安粗岩	安粗岩	安粗岩
产地	No. 1	No. 1	No. 1	No. 1	No. 1	No. 2	No. 2	No. 8	No. 8	No. 8	No. 9	No. 9
序号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
样品号	HX4-6b	HX5-3	HX5-4	HX5-7a	HX5-7b	HX6-1	HX6-2a	HX6-2b	HX7-1	HX7-6	HX7-7	
SiO ₂	61.45	58.78	57.37	60.41	59.93	59.40	59.62	60.13	64.89	63.57	67.61	
TiO ₂	1.62	1.53	1.59	1.75	1.39	1.44	1.33	1.39	0.91	0.98	0.47	
Al ₂ O ₃	14.86	15.38	15.10	15.66	14.92	15.32	15.30	15.36	15.14	15.69	14.63	
Fe ₂ O ₃	7.38	4.97	7.79		6.42	6.88	2.69	6.39	2.97	4.80	1.35	
FeO		1.50		5.91			3.61		1.53		0.96	
MnO	0.09	0.08	0.08	0.12	0.08	0.10	0.10	0.09	0.05	0.05	0.05	
MgO	1.50	2.40	2.18	3.09	2.96	2.05	1.93	1.91	1.20	1.35	0.98	
CaO	4.11	4.87	5.86	4.55	4.80	4.88	4.09	4.88	2.92	3.84	1.95	
Na ₂ O	3.68	3.78	4.07	3.29	3.82	4.07	3.91	3.93	4.03	4.08	3.80	
K ₂ O	4.07	4.50	4.05	4.23	4.31	4.10	4.33	4.14	5.02	4.63	4.75	
P ₂ O ₅	0.82	0.55	0.94	0.55	0.80	0.88	0.46	0.74	0.33	0.45	0.26	
烧失量	0.19	1.17	0.19		0.96	0.19	2.05	1.13	0.77	0.19	2.98	
总计	99.77	99.51	99.22	99.56	100.39	99.31	99.42	100.09	99.76	99.63	99.79	
岩石名称	安粗岩	安粗岩	安粗岩	安粗岩	安粗岩	安粗岩	安粗岩	安粗岩	粗面岩	粗面岩	粗面英安岩	
产地	No. 9	No. 6	No. 6	No. 6	No. 6	No. 5	No. 5	No. 5	No. 10	No. 10	No. 10	

注: 由中国科学院地质研究所别婉琳、阎欣、张海政(编号3, 5, 6, 9, 11, 12, 14, 16, 19, 21, 23, 方法: ICP) 和日本福岛大学木村(1, 2, 4, 7, 8, 10, 13, 15, 17, 18, 20, 22, 方法: XRF) 分析, 产地编号同图1。

表2 可可西里新生代火山岩的微量元素和REE丰度($\mu\text{g/g}$)

Table 2 Trace elements and REE abundances of Cenozoic volcanic rocks from the Hoh Xil Mts.

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
样品号	HX1-1	HX1-5	HX1-9	HX1-14	HX1-15	HX2-1	HX2-2	HX3-1	HX3-3a	HX3-3b	HX4-3	HX4-6a
Rb	149.6	165	168.3	205.5	199.5	1048.2	171.5	173.3	205.7	191.6	234.5	240.3
Sr	1244	1083	1409	948	126.9	109.2	2011	815.5	909	701	916.1	829.3
Y	18.1	18.5	22.1	14.5	20.8	4.5	13.7	23.9	22	18.8	27.4	25
Zr	477.1	439	442.2	420.5	410.2	20.6	316.2	594.8	437.1	475	529.2	568.9
Ba	1983.3	1748.6	1762.7	1544.2	1569.1	69.5	1119	1844	1557.7	1547	1516.4	1596.9
Th	32	36.7	34.5	36.2	28.5	5.3	33	31	23.4	30	23.5	25.7
U	5.7	6.5	5	5.3	4.6	4.2	8.6	6.3	5	7	5	6.3
La	147.2	135.5	156.1	139	130.4	6.2	83.8	168	120	135.8	136.3	123.6
Ce	282.1	274.2	285.3	249.4	246.5	12.8	175.8	284.6	225.8	256.8	253.2	227.5
Pr	30	28	29.4	26.5	27.8	1.2	19.4	32.5	23.6	27.5	26.6	25.5
Nd	102.3	97	95	93.5	84.1	4.1	69.1	115.2	79.7	95.7	84.6	83.5
Sm	13.82	13.52	11.9	12.22	13.07	1.05	10.76	16.4	12.8	13.96	13.44	10.52
Eu	2.82	2.62	2.57	2.4	2.43	0.1	2.67	3.18	2.02	2.68	2.44	1.71
Gd	7.75	7.93	9.27	6.31	9.57	0.19	6.68	9	10.67	7.44	10.51	9.2
Tb	0.98	1.1	1.14	0.85	1.05	0.15	0.86	1.23	1.15	1.04	0.92	1.26
Dy	4.68	4.67	4.31	3.92	3.76	0.68	4.07	5.99	4.12	5.19	5.34	4.82
Ho	0.75	0.38	0.83	0.61	0.73	0.08	0.67	1.02	0.69	0.82	0.73	0.78
Er	1.73	1.83	2.03	1.31	1.41	0.4	1.55	2.23	1.87	1.84	2.57	2.42
Tm	0.25	0.25	0.29	0.18	0.19	0.11	0.23	0.32	0.15	0.27	0.27	0.28
Yb	1.44	1.45	1.07	0.97	1.2	0.31	1.42	1.8	1.22	1.43	1.21	2
Lu	0.18	0.2	0.21	0.13	0.22	0.07	0.2	0.25	0.21	0.2	0.27	
(La/Sm) _n	7.5	7.0	8.0	8.0	6.1	3.6	5.5	7.2	5.7	5.6	6.2	7.2
(La/Yb) _n	57.7	53.1	96.3	81.3	71.8	13.2	33.3	52.8	64.9	53.9	74.4	40.8
序号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
样品号	HX4-6b	HX5-3	HX5-4	HX5-7a	HX5-7b	HX6-1	HX6-2a	HX6-2b	HX7-1	HX7-6	HX7-7	
Rb	200.5	161.6	120.1	166.4	168.9	157	206.6	169.8	256.7	196.6	316.3	
Sr	6700	1750.1	1313.2	1577.8	844.7	1163.9	1405.4	1084.5	1582.5	1266.1	685.5	
Y	188	30.9	23	26.1	12.4	20.4	27.2	19.7	17.1	11.9	11.9	
Zr	484.2	602.8	530.2	461.6	274.9	424.4	598.5	533.7	414.9	307.4	165.3	
Ba	1521.3	2214.5	2335.4	1912.9	1354.4	2208.9	2018.7	2027.1	1810.1	1717.3	868.8	
Th	30	26.1	35.1	12.2	19.5	26.7	33.1	42.4	38.6	42.8	23.4	
U	7.1	4	5.7	2.8	8.6	6.7	4.9	6.8	5	4.6	7.5	
La	133.1	181.7	187.7	124.3	90.3	1798.4	174.5	176.2	147.6	141.7	86.5	
Ce	254.8	337.1	335.7	243.5	181.7	324.1	321.3	316.3	269.8	243.6	160.8	
Pr	27.2	34.7	35.5	27	20.3	35.5	31.7	33.1	25.7	25.1	15.5	
Nd	93	114.9	119.5	97.1	71.8	122	103.9	110.3	79.3	80.5	49.1	
Sm	13.44	14.96	15.92	13.8	10.42	16.16	17.36	14.89	9.31	10.07	6.21	
Eu	2.65	2.55	3.3	2.26	2.09	3.2	2.2	2.87	1.4	1.97	0.95	
Gd	7.76	12.31	8.57	9.66	5.82	8.01	8.86	7.19	6.01	4.28	5.43	
Tb	1.04	1.39	1.2	1.36	0.77	1.09	1.12	1.1	0.93	0.64	0.61	
Dy	5.08	4.8	5.75	4.6	3.68	5.22	4.14	5.06	2.91	2.94	1.46	
Ho	0.84	0.86	0.95	0.55	0.59	0.86	0.75	0.83	0.51	0.48	0.38	
Er	1.9	2.22	2.28	1.61	1.32	1.83	1.98	1.87	0.92	1.11	1.26	
Tm	0.26	0.21	0.33	0.44	0.18	0.26	0.13	0.27	0	0.15	0.1	
Yb	1.5	2.34	1.9	1.34	1.03	1.5	1.14	1.6	1.29	0.9	0.88	
Lu	0.21	0.32	0.25	0.12	0.14	0.2	0.23	0.22	0.08	0.13	0.09	
(La/Sm) _n	6.90	7.40	8.30	5.50	6.10	7.80	6.10	8.30	9.70	9.80	8.50	
(La/Yb) _n	50.40	51.30	56.90	61.30	49.30	67.90	101.10	62.50	75.60	89.10	64.90	

注: 岩石名称、分析方法、分析者同表1。

4 火山岩的时代

在天台山等岩区见到火山岩与下伏的最新地层渐新统呈覆盖关系, 本区火山岩的时代为晚第三纪无疑。我们在五个主要火山区采集了 10 个样品, 分别在中科院地质研究所和日本三菱材料株式会社中央研究所进行了 K/Ar 定年测试。由表 3 的分析结果可以看出, 两个单位的分析总的趋势一致。由此, 我们将本区火山活动划分为三期: 第一期 K/Ar 年龄为 15.4—17.3Ma, 大致相当于早中新世晚期, 以大帽山火山岩区为代表, 主要的喷出物是粗面岩和粗面英安岩类; 第二期年龄值为 11.7—14.5Ma, 相当于中中新世, 是本区火山活动的主期。在可考湖、黑驼峰等岩区大面积出露的安粗岩以及少量的高钾流纹岩是这个阶段的产物; 第三期年龄值为 6.95—7.50Ma, 即晚中新世。这个阶段的火山岩一部分出露在黑驼峰西段, 但主要出露在西面的天台山一带。可见, 研究区火山活动贯穿了整个中新世, 大致间隔 3Ma 左右出现一个喷发高峰, 据野外观察, 大帽山岩区熔岩已被风化剥蚀成浑圆形的低矮山包, 但天台山火山岩四周为十分陡峭的近百米的悬崖, 熔岩产状保留十分清晰。从火山岩的地貌形态上也说明前者较老后者较新。

表 3 新生代火山岩的全岩 K/Ar 年龄(Ma)

Table 3 Whole rock K/Ar ages of Cenozoic volcanic rocks

序号	样品号	K 含量(%)	$^{40}\text{Ar}/10^{-10}\text{Mol/g}$	$^{40}\text{Ar}\%$	$^{40}\text{Ar}/^{40}\text{K}$	年龄(Ma)	岩石名称	产地
1	HX1-11	3.71+ - 0.07	0.754+ - 0.009	7.4		11.7+ - 0.3	安粗岩	No. 1
2	HX1-15	3.84	0.9649	29.7	0.0008442	14.47+ - 0.22	安粗岩	No. 1
3	HX2-1a	3.06	0.7033	22	0.0007702	13.2+ - 0.46	高钾流纹岩	No. 2
4	HX2-1b	3.20+ - 0.06	0.651+ - 0.009	7.7		11.7+ - 0.3	高钾流纹岩	No. 2
5	HX4-1	3.67+ - 0.07	0.477+ - 0.005	9.3		7.49+ - 0.17	安粗岩	No. 9
6	HX4-3	3.49	0.4218	23.8	0.0004049	6.95+ - 0.22	安粗岩	No. 9
7	HX5-3	3.44	0.4238	30.4	0.0004127	7.088+ - 0.12	安粗岩	No. 5
8	HX5-4	3.52+ - 0.07	0.772+ - 0.009	9.9		12.6+ - 0.3	安粗岩	No. 5
9	HX7-4	3.96+ - 0.08	1.1910+ - 0.014	13.5		17.3+ - 0.4	粗面岩	No. 10
10	HX7-7	3.8	1.018	31.1	0.0008985	15.39+ - 0.3	粗面英安岩	No. 10

注: 序号 2, 3, 6, 7, 10 为中国科学院地质研究所裘冀、桑海清分析, 其余由日本三菱材料株式会社中央研究所分析。

5 讨论和结论

青海可可西里地区的新生代火山岩处于青藏高原北部火山岩带的东段。本区广泛出露的安粗岩、粗面安山岩类无论是在产状、岩相上还是岩石地球化学性质上, 与西藏境内的同时代火山岩有惊人的相似之处^[2, 6], 它们都普遍含有普通辉石、紫苏辉石斑晶和粗大的副矿物磷灰石以及少量的石榴石捕虏晶; 岩石以富钾和富集 LILE, LREE 和亏损 Nb, Ta 最为特征。

我们将高原北部的这条岩带粗略地划分为南北两个亚带^[2, 7]。它们主要的区别是南亚带为过碱质岩石系列(以含白榴石为特征), 时代较早; 北亚带为钾玄质和高钾钙碱质岩石系

列,时代较晚。北亚带又包括了可可西里、中昆仑和西昆仑—喀喇昆仑三个岩石省。无疑本文研究的几个火山区应属于北亚带的可可西里省。据报道,在可可西里湖南面12km处有橄榄白榴岩出露^[31]^①,说明南亚带的北羌塘火山岩省一直东延进入了青海境内的研究区南部。

过去已经发现,高原北部这条火山岩带岩石的时代是由东向西和由南向北变新。从本文的分析结果来看,这个趋势也是存在的,即早中新世的火山活动在最东边的大帽山岩区,主期中中新世的火山活动处于中区,而晚中新世的火山活动出现在西端的天台山岩区。再从每个阶段火山岩的性质来看也有一定的规律性,即早中新世的熔岩主要是粗面岩和粗面安山岩。除熔岩外,还有大量的火山碎屑角砾岩,角砾成分以安山岩为主,说明曾有比较强烈的多次的爆发活动。中中新世火山岩以熔岩(安粗岩)为主,角砾岩非常局限,流动构造十分清晰。说明火山活动为面状的溢流形式,造成了规模较大的熔岩被。晚中新世的火山活动也是沿裂隙呈溢流状,但岩石中普通辉石和紫苏辉石斑晶明显比中期的岩石少且细而玻璃质含量增加,有的甚至形成无斑隐晶质结构的安山岩(如黑驼峰)。

对西藏境内火山岩的研究曾提出了初始板内裂谷(南亚带)和陆内俯冲(北亚带)两种成因模式^[6,8,9]。

根据以上的研究,有几个事实值得重视:第一,整个岩带的宽度可能超过200km,而且南北亚带的岩性差异也是存在的;第二,火山岩主体是富碱(尤其富钾)的中性岩,缺乏典型的拉斑质基性火山岩,它们以富集LREE和LILE为特点;第三,在一些火山岩中发现了下地壳的基底变质岩捕虏体(或捕虏晶),但未发现真正上地幔橄榄岩的包体;第四,火山岩的时代东早西晚;第五,研究区北面紧邻着昆仑山南缘左行走滑大断裂(库赛湖—昆仑山口),以上几个主要岩区正好被这条大断裂带的北西向和北东向次级断裂所控制。

看来,青海可可西里火山岩的成因同样与高原新生代以来地壳的缩短、加厚和隆升有密切的关系^[10]。这种作用大的背景是印度板块向北的挤压并同时受到来自北面昆仑山、柴达木地块的阻挡。在南北向的构造应力作用下,使区内大断裂复活,产生大规模的左行走滑并导致地壳受到大致东西向和北西西向的伸展和拉张变形。这是诱发源区物质发生重熔的构造条件。火山岩的时代自东向西有规律的变新和岩性的变化可能与中新世时深部构造应力场是由东向西逐渐传递或者热点的向西迁移有关。笔者根据火山岩的地球化学和同位素组成曾经指出,高原北部这条火山岩带的岩石并不是直接由正常的上地幔物质部分熔融而来^[2],它的源区是一种特殊的EMII的富集地幔域,或者叫做“壳-幔混合层”。这种异常地幔域可能是壳源沉积物随着古俯冲带带到增生楔上部的地幔内,与幔源物质发生混合作用的结果,即消减带沉积物参与了地幔化学动力学的再循环过程并将其作为源区的一个特征被保留下来,不仅在高原本部而且在三江地区都探测到了几公里至二、三十公里厚的“壳-幔混合层”^[11,12,13]。它的存在不仅对新生代火山活动而且对高原的强烈隆升都起着非常重要的控制作用^②。

通过以上的讨论和分析可得到如下的基本结论:

① 孙延贵,1993,可可西里山北麓橄榄白榴岩的发现及意义,青海地质科技情报,总37期,32—35。

② 邓万明,1995,青藏“壳-幔混合层”及其对新生代火山活动和高原隆升的制约。(成都)青藏高原隆升研讨会报告(未刊)。

1. 青海可可西里地区的新生代火山岩属于青藏高原北部新生代火山岩带的东段。火山岩主要呈熔岩台地、桌状山等地貌形式产出。熔岩厚40—100余米,与下伏的中生界和早第三系呈覆盖关系。火山岩的分布受区域断裂带的控制。除个别岩区为强烈爆发型之外,多数岩区熔岩是沿裂隙呈面状平静地溢流喷出,形成了规模不大的熔岩被;

2. 火山岩的主要岩石类型是粗面安山岩类中的安粗岩(Latite),部分粗面英安岩、粗面岩及少量的钠闪碱流岩。除碱流岩外,岩石均以含二辉石斑晶以及富钾、LREE为特征。这与西藏境内的同时代火山岩一致:

3. 火山活动集中在中新世,根据K/Ar定年结果可分为早、中、晚三期。火山活动由东向西推进,其岩性也有所改变;

4. 火山活动与高原在新生代地壳的缩短、加厚及强烈隆升有密切的关系。在印度板块和昆仑山、柴达木地块的南北向构造应力作用下,区内一些大断裂重新活动,使地壳受到东西向和北西西向的伸展和拉张变形,从而诱发了火山活动。研究表明,可可西里火山岩同样是来自“壳-幔混合层”(即异常富集地幔源)的部分熔融。火山活动是高原新生代以来岩石圈构造演化在特定阶段的必然结果。

致谢 芮中平,全来喜博士和日本黑木一男先生共同参加了野外地质调查。中国科学院地质研究所别婉琳、阎欣、张海政、裘冀、桑海清和日本福岛大学木村先生(Jun-ichi Kimura)及三菱材料株式会社中央研究所共同承担了化学分析及同位素年代学的测定工作;钟大赉教授主持的课题组对室内研究给予了资助和大力支持,特致谢意。

参 考 文 献

- 1 邓万明. 中昆仑造山带钾玄质火山岩的地质、地球化学和时代. 地质科学, 1991, (3): 193—206.
- 2 邓万明. 青藏北部新生代钾质火山岩微量元素和Sr、Nd同位素地球化学研究. 岩石学报, 1993, 9, (4): 379—387.
- 3 张以弗, 郑健康. 青海可可西里及邻区地质概论. 北京: 地震出版社, 1994, 1—177.
- 4 Le Bas M J, Le Maitre R W, Streckeisen A & Zanettin B. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. Journal of petrology. Oxford, 1986, 27: 745—750.
- 5 Peccerillo A & Taylor S R. Chemistry of eocene calc-alkaline rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. Contr. Miner. Petr. 1976, 58: 63—81.
- 6 Deng Wanming, Petrological and geochemical characteristics of potassic volcanic rocks in north Tibetan plateau. In 《Exploration of volcanoes and rocks in Japan, China and Antarctica》 Commemorative papers for Prof. Yukio Matsumoto, 1992, 451—459.
- 7 邓万明. 西藏阿里北部的新生代火山岩——兼论陆内俯冲作用. 岩石学报, 1989, (3): 1—11.
- 8 Deng Wanming. Cenozoic volcanism and intraplate subduction in northern margin of the Tibetan plateau. Chinese. J. of Geoch. 1991, 10(2): 140—152.
- 9 邓万明. 新南藏北碰撞后的钾质火山作用. 中国科学院地质研究所岩石圈构造演化研究室年报(1989—1990). 北京: 中国科学技术出版社, 1991, 85—89.
- 10 邓万明. 青藏高原新生代岩浆活动与岩石圈演化. 攀登丛书“青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究”1994年学术论文年刊, 科学出版社, 1995, 288—296.
- 11 李光岑, 袁学诚. 青藏高原地球物理场特征. 喜马拉雅岩石圈构造演化总论. 北京: 地质出版社, 1988, 141—159.
- 12 高名修等. 中国川、滇西部岩石圈结构与喜马拉雅运动. 中国科学院地质研究所岩石圈构造演化研究室年报(1989—1990). 北京: 中国科学技术出版社, 1991, 49—53.
- 13 吴功建, 肖序常, 李廷栋. 青藏高原东亚—格尔木地学断面. 地质学报, 1989, (4), 285—296.

Petrological Characteristics and Ages of Cenozoic Volcanic Rocks from the Hoh Xil Mts., Qinghai Province

Deng Wanming, Zheng Xilan

(Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing 100029)

Yukio Matsumoto

(Department of Earth Sciences, Yamaguchi University, Japan)

Key words: Hoh Xil Mts.; latite, Miocene; mixed layer of crust mantle

Abstract

Cenozoic volcanic rocks distributed at the Hoh Xil Mts. belong to eastern segment of the Cenozoic volcanic rock belt outcropped along the north Tibetan plateau. In this area volcanic rocks occur mainly in the forms of lava plateau and table mountains, about 40—100m in thickness. Excepting a few high- K_2O rhyolite, trachydacite and trachyte, latites commonly having clino and orthopyroxenes phenocrysts are superior in quantity and distribution. These volcanic rocks are characterized by enrichment of alkalis (specially K_2O) and REE. The volcanic activity took place only in Miocene and might be divided into early (17.3—15.4Ma), middle (14.5—11.7Ma) and late (7.5—6.95Ma) stages based on K/Ar dating. Petrological and geochemical characteristics and ages of volcanic rocks in the Hoh Xil Mts. are consistent with those of Cenozoic volcanic rocks in Tibet. The volcanic activities have been closely related to the lithospheric evolution of the Tibetan plateau since Cenozoic.