

滇西三江地区新生代碱性火山岩 岩石学特征及成因

钱祥贵 吕伯西

(云南省地质科学研究所, 云南 昆明 650011)

摘 要: 对滇西三江地区新生代碱性火山岩进行了火山学、岩石学、岩石化学、稀土元素和痕量元素特征以及同位素特征的系统研究, 发现该区新生代碱性火山岩有同源性, 是同一种岩浆分异演化的产物。是富水富集地幔岩部分熔融形成碱性超基性-基性-中性岩浆, 以及钙碱性辉石岩、单辉橄榄岩组成的岩浆岩片或楔形体, 构成壳幔过渡层。当走滑断裂的反复活动, 该壳幔过渡层之岩浆上侵或喷发到地表, 形成各种类型的火山岩。

关键词: 滇西; 新生代; 碱性火山岩; 成因

中图分类号: P588.14 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004 - 1885 (2000) 02 - 050 - 19

新生代是全球重要的火山活动时期, 滇西是新生代火山活动较强烈的地区之一。除腾冲大陆边缘拉斑玄武岩火山岩系外, 滇西三江构造带东侧还分布着一个颇具规模的碱性火山岩带(图 1)。重要的有: 剑川、鹤庆-甸南、姚安、凤庆、景洪大勐龙、镇沅、屏边、马关及普洱、通关火山岩片等。

1 火山学、岩石学特征

1.1 剑川火山岩片

分布于剑川城关和马登地区。西部马登火山岩盆地, 自新华延至江尾塘, 长约 8km, 宽约 1km, 另外还出露于石钟山断裂东侧, 火山岩长约 2km, 宽约 0.6km; 东部剑川火山盆地, 分布于剑川县城西, 南延至剑川江长门一带, 面积约 60km²。

剑川火山岩盆地受控于 NNW 向的金沙江断裂与 NE 向的丽江-剑川左旋走滑断裂之交汇部位, 沿断裂带火山活动频繁, 形成分布面积较广的岩浆岩。马登火山岩盆地明显受控于白济汛-乔后走滑断裂, 沿走滑拉分盆地北东侧边缘展布。

火山学

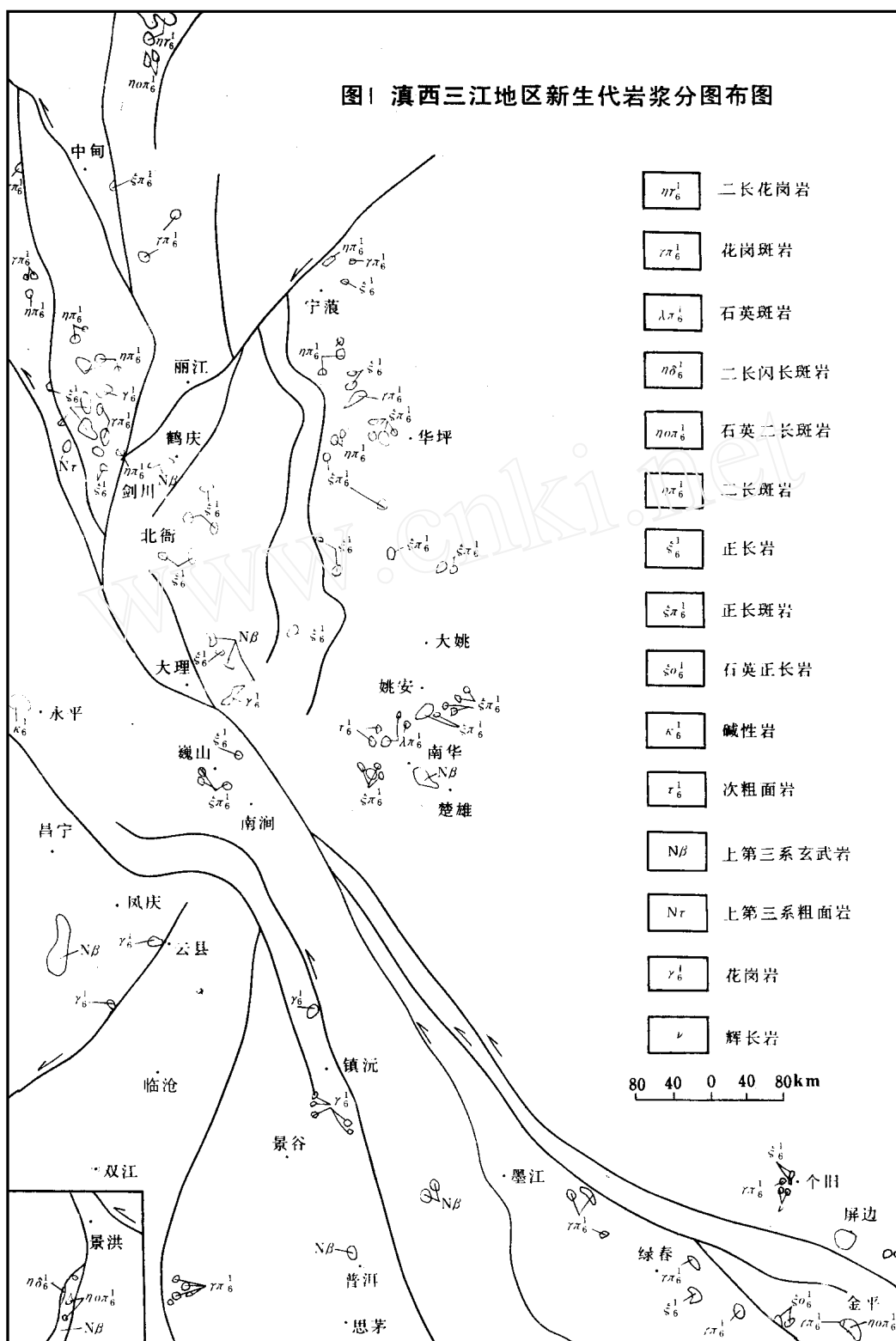
新华、江尾塘、石钟山北的粗面质熔岩和火山碎屑岩, 与中三叠统上兰组砂岩、粉砂岩呈断层接触; 石钟山见其不整合于中侏罗统花开佐组, 始新统宝相寺组之上。火山岩系在平

收稿日期: 1999 - 12 - 29

基金项目: 云南省与中国科学院合作项目 (96S007)

作者简介: 钱祥贵 (1971 ~), 男, 云南陆良人, 工程师, 主要从事岩石学研究

图1 滇西三江地区新生代岩浆分图布图



面上呈狭长条状,下部以粗面岩、橄榄玄武岩为主,夹角砾凝灰岩、粗面质火山角砾集块岩、玄武质火山角砾岩等,厚大于 153.4m。上部为火山碎屑岩,厚大于 142.5m,含大量植物化石: *Quercus cf. Spatulata seem*, *Quercus sp.*, *Equisetum sp.*, *Phyllites sp.*, 等。新华至江尾塘粗面岩中夹 20—50m 厚的粗面玄武岩和橄榄玄武岩,于新华东 500m 小鞍山上出露较好,中心是碱性橄榄玄武岩,两侧为橄榄粗安岩。火山熔岩与火山碎屑岩界线明显,根据火山碎屑岩与火山熔岩的关系,可划分出四个火山旋回。

剑川县城西的粗面岩、粗面斑岩呈岩枝、岩盖状穿插于第三系剑川组、双河组。过去一直认为是喷出相产物,即粗面岩。张众森等人认为应属于超浅成的侵入体而非喷出相。本文依据如下理由认为剑川县城西甸心岩体,应为呈岩盖状之侵入岩体,可能属于次火山相,即处于喷出到侵入之间的过渡相: 1. 从产状上看,岩体呈脉状,似岩盖状穿插于 N_1 地层中,具喷出和侵入共同特点; 2. 从岩石结构和岩石类型上看,与新华之火山岩系粗面斑岩有相似之处; 3. 岩相学研究显示,岩体从边缘到中心存在明显分相现象。剑川火山盆地南部,仍有断裂控制的粗面岩、粗面斑岩喷出相。

江尾塘火山岩中含上新世植物化石,剑川县城之西次火山岩穿插于 N_1 地层,两地火山活动时间可能同属于上新世。

岩石学

本区火山岩岩石类型简单,主要为橄榄玄武岩、粗面玄武岩、碱性长石粗面(斑)岩。次为火山角砾岩、火山集块岩、火山角砾质凝灰岩和沉积火山碎屑等。反映火山活动具有喷发和溢流相之特点。

(1) 更长玄武岩: 暗绿色,斑状结构。斑晶由橄榄石、单斜辉石和少量云母组成,斑晶含量 30%; 基质由斜长石、钾长石、辉石和黑云母组成。斑晶中橄榄石,无色,呈半自形粒状晶,粒径 0.6—2mm,常具有熔蚀现象和暗化边结构,多伊丁石、蛇纹石化。含量 16%—24%。斜长石为更长石,含量 40% ±。钾和石呈它形粒状,含量 5% ±。副矿物为磁铁矿、磷灰石。

(2) 粗面玄武岩: 褐绿色,斑状结构,基质具间粒、间隐结构及玻基斑状结构,具气孔状、杏仁状构造。斑晶由单斜辉石、黑云母和橄榄石组成,含量 30%; 基质由斜长石、钾长石及单斜辉石组成。单斜辉石为普通辉石、粒柱状晶,含量 15%; 橄榄石呈粒状晶,含量 5%; 黑云母呈细长板片状,棕红色,多弯曲、撕裂,含量 3%; 斜长石为钠更长石,微长条状,含量 40%; 钾长石呈粒状,含量 5% ±。副矿物为磁铁矿。

(3) 碱性粗面(斑)岩: 浅灰褐色,斑状结构,基质具粗面结构。斑晶由钾长石、辉石和黑云母组成,斑晶含量 10%。基质成份与斑晶相同。钾长石主要为正长石,次为透长石,呈板条状,多泥化,含量 80% ±; 辉石多为普通辉石,次为透辉石、霓辉石,含量 10% ±; 黑云母占 3%,且多暗化; 此外尚有 1%—3% 的更长石和 3% ± 的石英。副矿物为磁铁矿、磷灰石、锆石。

(4) 粗面质火山角砾岩: 暗绿灰色,火山角砾结构,块状构造。火山角砾呈棱角状,其砾石均为粗面岩质,砾径 2—20mm,最大 1m,杂乱堆积。按胶结物成份及其含量多少,又可分为熔结火山角砾岩、火山角砾岩、沉火山角砾岩等。

1.2 鹤庆-甸南火山岩片

鹤庆-甸南火山岩区分布于鹤庆县汝南哨、丽江县上登村和松坡至洱源县,以及剑川玉龙村一带,100km²长条状地带内。岩浆沿断裂喷溢,火山岩呈脉状产出,岩石类型以超镁铁质-镁铁质岩类为主。是滇西新生代基性-超基性火山岩集中分布的地区之一。

岩区处于北东向的丽江-鹤庆走滑断裂尾部与次一级东西向走滑转换推覆体的交汇部,火山岩浆沿断裂喷溢(侵入)。

火山学

超基性-基性溢出(侵入)岩呈脉状充填(侵入)于志留系、三叠系灰岩和砂岩以及二叠系玄武岩中。呈岩脉、岩墙和小的岩床状产出。火山岩面积除个别较大(7—12km²),其余均较小(0.8—1km²),以小者居多。鹤庆县汝南哨和上登村的玄武岩具典型脉状,脉宽50—200m,长100—700m,岩体一般具分异现象,岩石类型为苦橄玄武岩,橄斑玄武岩及岩体边部的火山碎屑岩组成。分布于其它地区呈脉状、岩墙和小岩床状的火山岩,岩体也具分异现象,各相带岩性基本一致,岩石类型为超基性的辉石岩、橄榄岩、辉橄岩。

岩石学

(1) 橄榄岩:暗绿色,半自形粒柱状结构,部分具包橄结构。岩石由橄榄石(70%±),单斜辉石(14%±)和斜方辉石(4%±)及少量斜长石、黑云母组成。辉橄岩成份与此类似,仅辉石含量升高。

(2) 辉石岩:灰绿色,半自形—自形粒状结构,部分包橄结构。岩石由辉石(90%±)和橄榄石组成。

(3) 苦橄玄武岩:灰绿、深绿色,斑状结构,基质具显微粒状结构及间粒结构。局部具气孔、杏仁状构造。斑晶由橄榄石和少量含钛辉石组成,粒径为0.2—2.6mm。基质由橄榄石(15%—40%),基性斜长石(12%—23%),含钛辉石(31%—41%)组成,粒径小于0.1mm。副矿物有铬铁矿、磁铁矿及钛铁矿等,含量2%—10%。橄斑玄武岩特征与此相似,仅斑晶为橄榄石。

(4) 苦橄玢岩:黑绿色,斑状结构,基质半自形粒状结构。斑晶由橄榄石及少量单斜辉石组成。矿物成分主要为橄榄石(40%—50%)、单斜辉石(40%—50%),次要矿物为斜长石(0%—5%)和副矿物磁铁矿(5%)组成。

1.3 海东火山岩片

火山岩分布在哀牢山-金沙江新生代走滑断层次级张性断裂带,与富碱侵入岩共生,同时还出现碱煌岩群。火山岩区西起洱海,东至祥云,北自挖色,南至弥渡,面积约1000km²。火山岩系呈狭长条带,产在拉张断裂带中,也见呈脉状、岩筒状的火山岩。岩石类型齐全,有碱性超基性喷出岩,碱性基性喷出岩和碱性中性喷出岩,属碱性火山岩系列。

火山学

火山岩产于第三纪盆地,火山地层属于剑川组(Nj、Njaz、Nj(k)) (据1/5万大理幅、苍山幅、凤仪幅、大营街幅,云南地矿局区调队)。剑川组不整合于上二叠统乌龙坝组之上,下伏于三营组(N_{2s})之下。岩石类型由下而上分为三个岩性段:碱性火山岩段、粗安岩段和钾质火山岩段。碱性火山岩段主要由玄武质熔结角砾岩,粗面质凝灰岩、粗面岩、集块岩组成,厚大于661.8m;据1/5万大营街幅研究(云南地矿局区调队)认为,碱性火山岩段

可划分为三个火山旋回：第一旋回为杏仁状碱玄质熔结角砾岩、集块岩-玄武质熔结角砾岩，属近火山口爆发亚相；第二旋回为玄武质粗面质凝灰岩-角闪粗面岩-粗面质含角砾凝灰岩，为火山颈筒亚相；第三旋回为熔结角砾凝灰岩-熔结角砾岩-熔结角砾凝灰岩夹集块岩，为火山爆发亚相—火山颈筒亚相。粗安岩段主要由粗安岩和少量沉凝灰岩组成，中、上部夹玛瑙充填之杏仁状石英粗安岩，下部沉凝灰岩中含植物 *Typha letissima.*, *Cypetacites* sp., 厚大于 3 048m, 具火山喷溢相特征，大理市云浪村矿石厂上新统剑川组实测地层剖面，相当于该岩性段的底部。钾质火山岩段为碱性玄武岩、白榴碱性玄武岩、黑云母粗面岩和一些与爆发角砾岩筒相有关的角砾岩、集块岩等，厚大于 87m；具火山喷溢-喷发相特征。分布于弥渡后山村的碱性玄武岩呈脉状沿断裂带产出，具火山溢流相特征。

高兴村南沟第三纪含煤盆地中碱性玄武岩全岩 K-Ar 年龄 29—37Ma (张玉泉, 1997)^[1], 同位素年龄值与地质年龄相吻合。火山喷发时间为晚始新世到早渐新世。

岩石学

本区碱性火山岩发育较全，超基性、基性、中性岩都有产出。据 IUCS 推荐图解将洱海东部地区火山岩划分为三类^[2]：1. 碱性超基性岩类：霞石碱玄岩（分布于弥渡第三纪断陷盆地西北边缘后山村一带）；2. 碱性基性岩类：粗面玄武岩（分布于挖色东南旗鼓山一带）橄榄安粗岩（钾玄岩）（产于旗鼓山东侧和象鼻庄水库一带）；3. 碱性中性岩：安粗岩（产于弥渡县城塔山、小上海、后山村、龙王庙南母猪阱和县城西北 8km 处），粗安岩（多分布于海东南部花岗岩、正长斑岩和煌斑岩发育区）等。现将主要岩石特征和产状叙述如下：

(1) 霞石碱玄岩：紫红色，风化后呈黄褐色。具斑状结构，斑晶约占 17 % ±，主要为单斜辉石（透辉石和含钛辉石），呈半自形粒柱状晶，粒径 0.28—4mm。基质具交织结构，成分由透辉石、霞石、白榴石、基性斜长石和少量橄榄石组成。

(2) 粗面玄武岩：灰绿色，斑状结构，基质交织结构。斑晶约占 10 %，主要为普通辉石、黑云母，呈半自形粒、片状，粒径 0.28—1.2mm。基质由基性斜长石、普通辉石、少量碱性长石和隐晶质等组成。副矿物有磁铁矿、钛铁矿等。

(3) 橄榄安粗岩：绿黑色，斑状结构，基质为粒状嵌晶结构。斑晶约占 12 %，主要为粗大的透辉石巨晶，最大可达 4mm，次为橄榄石和基性斜长石。基质主要由橄榄石、透辉石和长石组成。副矿物有磁铁矿等。

(4) 安粗岩：绿灰色，斑状结构，基质微晶—隐晶结构。斑晶为透辉石、橄榄石、透长石等。矿物成分：透辉石 20 %—30 %、斜长石 30 %—40 %、透长石 10 %—20 %和橄榄石 1 %—8 %。副矿物有磁铁矿、钛铁矿等。西村的安粗岩含较高石英，达石英安粗岩，并含有杏仁状、珍珠状的“玛瑙”，粒径大于 5mm。

(5) 粗面岩：灰白色，斑状结构，基质具粗面结构或似粗面结构、微晶结构。斑晶由透长石、黑云母及少量正长石、斜长石组成，含量 5 %—10 %。基质为定向排列的钾长石（40 %—60 %）、斜长石（15 %—20 %）、黑云母（3 %—5 %）等组成。副矿物有磁铁矿、榍石、锆石等。

1.4 姚安火山岩片

姚安火山盆地发育在扬子准地台西缘，滇中台坳中部，中生代红色盆地之内的新生代断陷盆地内，近东西向展布于老街子、文化村、乌龙坝一带，长约 15km，呈卵形。

火山学

火山-次火山岩产于第三系上新统沙沟组煤系地层中, 火山岩呈卵形岩被状产于煤系地层砂砾岩、粉砂岩之中。沙沟组上部之火山-次火山岩岩石类型为黑云母粗面岩、白榴石响岩、安粗岩及火山角砾岩、凝灰岩, 并有正长斑岩(岩株状)、白榴斑岩(岩脉)和煌斑岩(脉状)穿切侵入, 总厚 54m。下部火山岩主要岩石类型为碱性玄武岩、粗面岩、碱性粗面岩、安粗岩等(万远明等, 1990)*, 总厚 12m。火山岩的古生物地质依据可靠, 确定为中—上新世, 与之有关的正碱辉绿岩和煌斑岩同位素年龄 21Ma(谭喜生, 1987), 可确定为中新世。

岩石学

岩相上, 浅成-超浅成-爆发-喷溢-火山沉积相一应俱全。岩性上, 有熔岩、火山碎屑岩、浅成—超浅成岩和隐爆角砾岩等。

(1) 碱性玄武岩: 深灰色, 气孔状及杏仁状构造, 斑状结构。斑晶主要为板条状拉长石和揉皱状的黑云母组成, 含量 12% ±。基质具玻璃质结构。主要由深色玻璃和少量针状拉长石组成。

(2) 粗面岩: 灰色, 斑状结构。斑晶为黑云母、透长石、正长石、条纹长石, 粒径 6mm ±, 含量 10%—20%。透长石表面光洁, 内部绢云母、高岭石化强烈; 条纹长石出现在部分卡氏双晶一侧; 黑云母具暗化边, 偶见白榴石。基质具粗面结构, 主要为透长石, 粒径 0.5—1mm, 定向排列。副矿物有锆石、曲晶石、电气石、磁铁矿、钛铁矿、独居石、磷钇矿等。

(3) 碱性粗面岩: 岩石特征同粗面岩, 但斑晶和基质中出现霓辉石, 并含较多钠长石($An = 5 \pm$), 具卡钠联合双晶。

(4) 安粗岩: 灰白色, 斑状结构。斑晶: 更长石、正长石、黑云母弱定向排列。基质粗面结构, 粒柱状正长石、更长石微晶定向性强, 其间充填玻璃质。

(5) 霞石响岩: 似斑状结构, 斑晶有霞石、透长石及黑云母, 三者比例为 5:3:2, 斑晶含量 20% ±。基质具粗面结构, 主要由透长石和霞石组成。副矿物有磷灰岩、锆石、磁铁矿等。

(6) 白榴石响岩: 斑状结构, 斑晶为黑云母, 有时出现透长石, 基质由圆粒状白榴石、透长石和玻璃质组成, 基质矿物粒度细, 粒径 0.01mm。

1.5 凤庆火山岩片

凤庆火山盆地发育于营盘断裂西测, 火山岩出露于第三纪盆地内, 近南北向展布于赛寒、忙木山、大奶坝及富宁县的干香棚一带。火山岩系为上第三系营盘组(N_2g)。火山岩岩性单一, 为橄榄玄武岩。

火山学

火山熔岩呈层状产出, 不整合于上第三系上新统砂岩(煤系地层, 并含大量植物化石: *Cyperaceae* sp., *Sjuglans* sp., *Quercus* sp., *Phyllites* sp., ? *Polygonum* sp.) 之上, 火山活动

* 万远明, 陆子成, 除守常等, 1990, 姚安金矿地质特征及其区域找矿意义研究, 云南地矿局第一地质大队

时间为晚第三纪上新世。1/20万凤庆幅(云南地矿局区调队)将其划分为二个火山旋回。下旋回为致密状橄榄玄武岩及气孔状、杏仁状橄榄玄武岩,厚109.5m;上旋回为致密状橄榄玄武岩-气孔状橄榄玄武岩。

岩石学

橄榄玄武岩:灰黑色,斑状结构,基质具间粒和交织结构,气孔状或杏仁状构造。斑晶以橄榄石为主,次为斜长石和普通辉石,辉石中有斜长石包晶,形成嵌晶含长结构,斑晶粒度 $2\text{mm} \pm$,含量约13%—28%。基质由斜长石、辉石、橄榄石组成,三者比例为4:2:1,粒度 $0.07\text{—}0.28\text{mm}$ 。辉石主要为普通辉石,部分为钛辉石;斜长石呈板状晶, $Np^{\circ}(010) = 25^{\circ}$, $An = 40$,为中长石;副矿物为磁铁矿。

1.6 镇沅火山岩片

据吕伯西(1995)研究认为沿九甲断裂带产出的更长玄武岩,属新生代的碱性玄武岩。

火山学

碱性玄武岩分布于景东邦海、镇沅烂泥塘金矿区、老王寨金矿区、元江双沟等地。岩体呈岩脉、岩床、岩管状侵入于上古生界,仅景东邦海见侵入于一碗水红层(T_3),岩体规模较小,岩体边部有玄武质熔结角砾岩,反映陆相火山岩特征。岩石呈斑状结构,斑晶具熔蚀结构,岩体边部见斑晶定向排列,显示流动构造,反映浅成—超浅成火山岩特点。

岩石类型为更长玄武岩,常与新生代花岗闪长斑岩-花岗斑岩-石英斑岩、煌斑岩共生。其成因有一定联系。

岩石学

更长玄武岩:地表呈紫红色,深部为灰绿色。斑状结构,斑晶含量40%,粒径 $0.5\text{—}5\text{mm}$,斑晶主要为更长石,少量辉石。更长石呈厚板状、粒状, (010) 晶带最大消光角 8° , $An = 22$,更长石强烈蚀变,绢云母,裂纹发育,边缘具熔蚀现象,形态呈浑圆状,钠长石律双晶发育。辉石绿泥石化,碳酸盐化,其质呈间隐结构,在钠长石条带微晶构成的三角间隙中,充填有隐晶—玻璃质的蚀变产物——绢云母、碳酸盐等。钠长石粒径 $<0.5\text{mm}$, (010) 晶带, $NP^{\perp}(010) = -12^{\circ}$, $An = 5$ (查高温线), $An = 10$ (查低温线),斑晶边部的基质矿物有定向趋势。

1.7 景洪大勐龙火山岩片

景洪大勐龙火山盆地发育于澜沧江断裂西侧,近南北向展布于大勐龙盆地西侧。岩性单一,主要为玄武岩、安山岩等,厚大于100m。

火山学

火山熔岩呈似层状产出,夹于第三系砂岩、板岩中。通过对南亥河下第三系火山岩剖面(图2)研究,剖面西段6、11层玄武岩呈层状,沿下第三系(E)层间穿入,7层泥岩夹凝灰岩有较多植物碎屑(*Cupressus* sp.) (柏树未定种,第三纪)、足印化石(*Xishuangbanania daizhensis*,中生代末—新生代初)(1/20万勐海幅,云南地矿局区调队),此段地层时代属新生代证据充分,因此可以肯定为新生代(E_p)火山岩,剖面上还见4个斑岩小侵入体与之相对应。但剖面末端曼猛至曼养铁矿区,含矿火山岩(安山岩与玄武岩及钠长斑岩),与第三系地层关系尚难确定,尚且曼养铁区内有一细碧角斑岩 Rb-Sr 法同位素年龄为 $195\text{Ma}^{[3]}$ 。故此段火山岩归属仍然是一个困难问题。

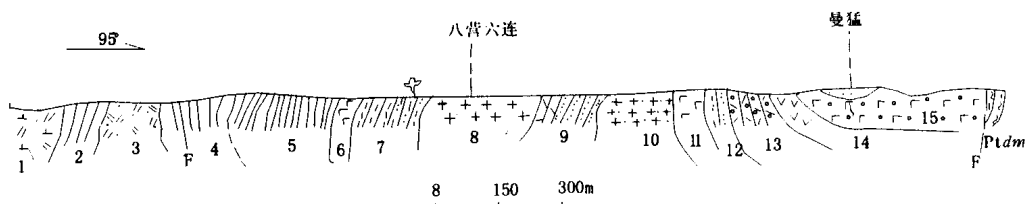


图2 景洪南亥河下第三系实测剖面图

(据1/20万勘海幅修改、补充)

1. 石英二长闪长岩; 2.5. 粉砂质泥板岩; 3. 石英二长岩; 4. 火山角砾岩; 6.11.15. 蚀变玄武岩; 7.9.12. 泥质粉砂岩; 粉砂质泥板岩夹角砾状凝灰岩; 8.10. 钠长斑岩; 13. 凝灰岩; 14. 安山岩

岩石学

对该区火山岩岩石定名争议较大, 有按海相火山岩细碧角斑岩定名, 也有按陆相火山岩定名。本文根据岩石矿物成分特征认为, 岩石中尽管有钠化, 但基性斜长石和玻璃质部分保留, 结构又很不均一; 宏观上未见海相火山岩特点, 具陆相碎屑岩夹层。因此应按陆相火山岩定名。

(1) 碱性玄武岩: 灰绿、黑灰色, 填间结构、间粒结构、斑状结构, 致密块状、杏仁状构造。主要矿物成份为钠长石 ($An = 5-7$, 含量 35 %—56 %)、绿泥石、磁铁矿。岩石中磁铁矿含量较高, 可达 10 %—15 %。

(2) 粗面安山岩: 灰绿、紫灰色, 斑状结构, 块状构造。主要矿物成份斜长石 ($An = 31-39$)、石英、普通角闪石、黑云母、普通辉石、少量橄榄石。斜长石多绢云母化、碳酸盐化、钠长石化。

(3) 玄武安山岩: 灰绿、暗灰绿色, 间粒结构, 块状构造。主要矿物成份斜长石 ($An = 39-42$)、单斜辉石、偶见橄榄石。岩石绿泥石化、钠长石化、绢云母化明显。

(4) 安山岩: 灰白、浅白色, 斑状、隐晶质、霏细结构, 块状、流纹状构造。主要矿物成份为斜长石 ($An = 10-20$, 含量 50 %—70 %)、石英, 次为钾长石。

1.8 屏边火山岩片

火山学

火山岩分布于屏边县城和鸡窝村附近, 均为超镁铁质溢出岩。岩石类型为白榴橄辉岩、玻基白榴橄辉岩和白榴碧玄岩。

火山机构保留较好, 见完整火山锥 (火山口) 及熔岩台地, 熔岩向开阔的西坡倾注到现代河谷。构成数十平方公里的熔岩被, 最厚 102m, 火山口未发现火山碎屑岩, 可见火山活动方式为宁静中心式溢流, 熔岩上部气孔多, 孔径大, 岩石呈蜂窝状, 含大量火山玻璃; 下部熔岩气孔少, 火山玻璃量少, 粒度粗。

岩石学

白榴橄辉岩: 深灰色、黑色, 斑状结构, 斑晶以橄榄石为主, 少量普通辉石, 粒径 0.1—1mm, 基质微粒状嵌晶结构, 粒径 0.008—1mm。组成矿物有普通辉石 (55 %—65 %)、橄榄石 (8 %—10 %)、白榴石和沸石 (10 %—25 %), 并含较多金属矿物 (5 %—10 %)。也见少量钠长石和玻璃质, 以及微量方解石、黑云母、磷灰石。

玻基白榴橄辉岩：岩性和结构特点同白榴橄辉岩，但含较多玻璃质（10%—15%）。

白榴碧玄岩：深灰色，斑状结构，基质为显微半自形粒状结构或微晶结构，致密块状构造。主要由单斜辉石（60%）、橄榄石（6%—7%）、斜长石（15%—20%）、白榴石（3%—4%）及金属矿物（10%）组成，偶见橄榄石和辉石斑晶。

1.9 马关火山岩片

马关县八寨、古林箐、桥头等地，发现 40 余个岩体，分布面积约 8km²，岩体呈岩筒、岩管、岩脉、岩墙状侵入于寒武系和奥陶系中，受新生代北西向的蒙自-屏边左旋走滑断裂和次一级北东向的张性断裂控制。岩筒直径约 100m，最大 220m，岩体一般向中心倾斜，具火山颈特征。岩筒中常被后期或同期玄武岩脉穿切。

岩石学

岩石类型为碧玄岩（30 多个岩体）和玄武质火山角砾岩（10 多个岩体）。部分碧玄岩岩管中含大量深源二辉橄榄岩包体，还见单辉橄榄岩包体。

（1）碧玄岩：褐绿色，斑状结构，基质填粒结构，块状、气孔状、杏仁状构造。斑晶由橄榄石组成，粒径 0.2—1.5mm，基质见斜长石格架充填玻璃质和辉石等矿物。

（2）火山角砾岩：以玄武质为主，见微晶玄武岩、杏仁状玄武岩、含二辉橄榄岩和镁铝榴石包晶以及围岩角砾。矿物成分有铬镁榴石、镁铝榴石、铬透辉石、铬尖晶石等多种矿物。

2 岩石化学特征

2.1 岩石类型划分

据 IUGS 推荐图解（图 3），火山岩可划分为四类：1. 碱性超基性岩类：主要分布于海东；2. 碱性基性岩类：主要分布于海东、剑川、鹤庆、凤庆营盘、楚雄姚安、马关八寨等；3. 碱性中性岩类：分布于海东、楚雄姚安等；4. 碱性酸性岩类：分布于剑川、楚雄姚安。

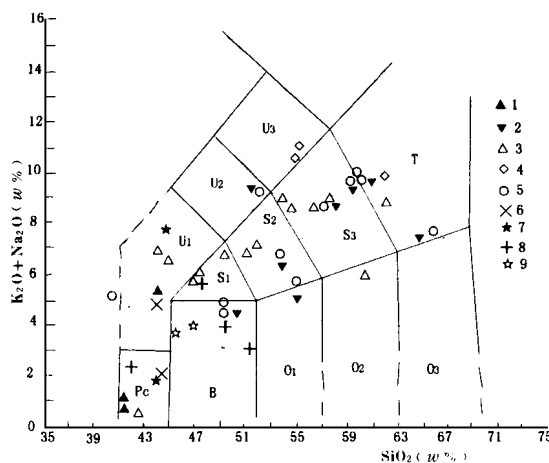


图3 滇西火山岩及次火山岩分类图解

（据 Le Maitre, 1989）

B 玄武岩；O₁ 玄武安山岩；O₂ 安山岩；O₃ 英安岩；S₁ 粗面玄武岩；S₂ 玄武粗面安山岩；S₃ 粗面安山岩；T 粗面岩、粗面英安岩；Pc 镁玄武岩；U₁ 超基岩、碱玄岩；U₂ 响岩质碱玄岩；U₃ 碱玄质响岩；F 副长石岩

1. 鹤庆 2. 剑川 3. 海东 4. 姚安 5. 凤庆营盘 6. 马关八寨 7. 屏边 8. 普洱 9. 老王寨

表 1 滇西三江地区新生代火山岩化学成分及有关参数 (w%)

产地	岩石名称	件数	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO+Fe ₂ O ₃	MnO	CaO+MgO	K ₂ O+Na ₂ O	δ	K ₂ O/Na ₂ O	SI	AR	资料来源
剑川区	玄武岩、粗面玄武岩、橄榄玄武岩、粗面岩、熔角砾岩	1	41.09—54.74 56.98	9.36—15.35 13.31	0.53—1.29 0.77	4.63—8.62 6.93	0.01—0.22 0.16	4.45—22.54 10.66	5.83—10.01 8.09	2.78—14.23 6.08	1.41—2.6* 1.90	12.79—55.79 2.50	1.90—3.24 25.94	1/5 万马登幅 1/20 万兰坪幅
			41.56—42.87 42.27	5.43—6.02 5.73	1.49—1.56 1.53	11.48—12.15 11.81	0.28—0.33 0.31	30.53—31.6 31.06	0.44—1.15 0.79	0.06—2.02 0.70	0.46—0.64 0.55	62.78—67.52 65.48	1.07—1.22 1.15	本文
大理海东	苦橄岩、玄武岩、粗面玄武岩、橄榄玄武岩、安粗岩、粗面岩	18	42.79—62.58 51.62	7.96—15.29 13.17	0.1—1.08 0.52	3.21—11.94 7.16	0.09—0.51 0.17	4.42—28.84 16.74	5.71—9.05 7.57	4.05—31.59 9.31	1.07—31.59* 1.74	13.68—50.9 34.09	1.63—3.11 2.13	1/5 万大理幅 谢应雯
			40.66—51.32 47.33	16.41—16.86 16.64	1.15—1.30 1.23	9.57—10.67 10.12	0.08—0.11 0.10	12.25—15.26 13.76	4.81—5.95 5.29	1.93—4.27 3.17	0.46—0.64 0.55	21.7—33.4 27.56	1.49—1.58 1.45	1/20 万凤庆幅
楚雄姚安	粗面岩、粗安岩、响岩	9	54.46—62.36 57.18	15.74—17.54 16.80	0.65—0.98 0.85	4.75—9.53 7.35	0.2—0.09 0.08	2.22—3.79 2.85	10.33—11.08 10.69	5.51—10.47 8.62	2.13—24.18 9.72	7.43—7.96 7.64	3.65—4.10 1.45	万远明等
			44.15—45.02 44.59	11.37—12.39 12.13	2.50—2.52 2.29	11.77—12.59 12.18	0.15—0.19 0.17	18.77—18.97 18.87	1.74—7.78 4.76	2.63—32.28 17.46	1.05—1.15 1.10	31.95—38.15 35.04	1.17—2.14 1.68	1/20 万金平河口幅
马关八寨	橄榄玄武岩、玄武质熔角砾岩	2	44.41—45.32 44.86	11.37—13.20 12.28	1.40—2.69 2.05	7.87—12.93 10.40	0.08—0.18 0.13	14.89—17.88 17.39	2.17—4.64 3.41	2.03—15.27 8.65	1.09—4.29 2.69	36.9—37.75 36.92	1.24—1.53 1.39	1/20 万马关幅
			44.34—47.90 46.03	19.15—20.05 18.37	1.71—3.17 2.12	11.79—14.77 12.94	0.19—0.32 0.24	12.2—20.71 15.49	3.86—5.73 4.67	3.81—25.36 11.46	0.26—4.42* 1.95	11.56—29.68 21.53	1.29—1.51 1.39	唐尚筠等

注：分析值 变化范围 平均值
(下同)。* 表示超基性—基性岩中较少样品富钠。

表2 滇西新生代富碱火山岩稀土元素含量 ($w/10^{-6}$)

产地	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	$\Sigma Ce/\Sigma Y$	δEu	资料来源
剑川	粗面岩	58.41	94	13.2	51.1	9.66	2.35	7.99	1.31	6.32	1.14	3.04	0.49	2.88	0.42	31.3	284.1	3.95	0.87	潘桂堂
	粗面岩	45.05	89.9	10.3	37.7	7.53	2.23	7.47	0.91	5	0.95	2.48	0.37	2.27	0.34	25.7	238.3	5.93	0.89	
新华	橄榄玄武岩	35.65	66.6	8.73	33.9	7.05	2.22	7.15	0.95	5.41	1.05	2.70	0.41	2.42	0.37	30.1	204.7	4.10	0.95	本文
	玄武岩	20.83	57.6	6.99	29.6	6.52	2.40	6.59	1	6.25	1.219	2.97	0.43	2.49	0.37	19.9	165.1	2.22	1.16	
西村	粗安岩	70.71	107	15	51.2	9.57	2.13	9.36	1.26	7.43	1.43	3.72	0.59	3.36	0.5	36.7	319.9	2.74	0.63	本文
后山村	碱性玄武岩	66.35	103	15.3	55.2	9.5	2.73	8.68	0.99	4.9	0.88	2.26	0.32	1.97	0.3	22.9	295.4	4.49	0.91	
营盘	橄榄玄武岩	24.22	53.8	6.11	23	4.49	1.3	4.16	0.62	3.98	0.79	2.16	0.34	2.13	0.32	21.7	149.1	2.02	0.9	万远明 (1990)
曼夺	橄榄玄武岩	32.92	64.7	7.68	31.1	6.76	2.18	6.64	0.95	5.82	1.12	2.98	0.42	2.66	0.4	31	197.3	1.85	0.98	
老街子	粗面岩	44.2	118	14.8	51.5	5.33	1.62	6.63	1.11	3.2	1.35	1.78	0.47	2.13	0.18	22.4	274.7	4.13	0.83	吕伯西
	石英粗面岩	76.2	154	21.6	86.3	8.41	3.16	9.81	1.57	4.02	2.43	1.42	0.28	1.83	0.26	24.8	386.1	5.58	1.06	
	白榴粗面岩	147.2	197	30.9	93.5	15.52	4.63	10.16	2.83	5.63	1.05	2.58	0.41	2.17	0.38	30.4	487.9	6.59	0.83	
	霓辉白榴岩	88.3	154	19	66.4	6.84	2.3	10.2	1.32	4.24	2.05	2.86	0.24	2.19	0.32	28.8	389.1	4.59	0.84	
	白榴岩	40.2	82.4	15.5	57.5	5.35	1.76	6.42	0.84	3.16	1.38	2.06	0.43	1.59	0.17	21.2	240	3.74	0.92	
镇沅烂泥塘	更长玄武岩	38.55	86.6	9.17	41.5	8.68	2.78	8.28	1.26	6.9	1.4	2.97	0.39	2.16	0.19	26.3	237.6	2.76	1.06	唐尚聘

表 3 滇西三江地区新生代碱性火山岩痕量元素含量及参数 ($w/10^{-6}$)

元 素	剑 川 (4)	鹤 庆 (1)	海 东 (9)	姚 安 (6)	普 洱 (1)	凤庆营盘 (1)
	粗面岩 橄榄玄武岩	苦橄玄武岩 单辉辉橄岩	碱性玄武岩、粗 安岩、霞石碱玄 岩、玄武岩	粗面岩、粗安岩 响岩、白榴岩	橄 榄 玄武岩	橄 榄 玄武岩
Li	$\frac{21.2-26.03}{7.48}$	5.91	$\frac{14.72-19.08}{16.90}$		27.3	
Be	7.48		$\frac{2.9-3.2}{3.05}$	$\frac{8.3-15.3}{11.44}$	4.1	
Rb	$\frac{128.09-337.07}{232.58}$	4.70	$\frac{18.8-2.50}{15.13}$		3.00	39.3
Cs	$\frac{3.78-19.75}{11.77}$	0.503	$\frac{1.19-3.68}{2.44}$		2.30	
Sr	$\frac{400-2850}{2443.16}$	217.13	$\frac{161-1636}{822.91}$	$\frac{2023-3732}{2978}$	2244	451
Ba	$\frac{163.17-3217}{1893.86}$	65.69	$\frac{126-4179}{1618.29}$		57.90	17.1
Nb	$\frac{7.01-12.72}{9.31}$	27.32	$\frac{10.49-61.30}{26.44}$		57.90	17.1
Ta	$\frac{0.49-0.98}{0.74}$	1.89	$\frac{0.76-1.26}{1.01}$		4.34	1.58
Sn	$\frac{1.41-1.86}{1.64}$	1.624	$\frac{1.27-2.70}{1.99}$			
W	$\frac{0.74-1.79}{1.27}$	0.64	$\frac{0.294-1.17}{0.777}$			
Mo	$\frac{0.039-0.042}{0.041}$	0.418	$\frac{0.032-0.196}{0.667}$			
Bi			$\frac{0.136-0.196}{0.166}$		0.41	
Zr	$\frac{127-187.62}{152.42}$	217.69	$\frac{6.5-416.4}{181.27}$		299	157
Hf	$\frac{3.29-5.29}{19.13}$	5.42	$\frac{4.42-7.70}{6.06}$		5.6	3.5
Sc	$\frac{8.68-29.58}{19.13}$	2.30	$\frac{10.40-18.53}{17.69}$		17.4	18.7
Ga	$\frac{13.88-17.19}{15.53}$	20.72	$\frac{16.46-18.91}{17.69}$		20.2	22.3
Cu	$\frac{53-67}{57.12}$	323.74	$\frac{33.53-41.74}{38.14}$	$\frac{12.15-38.9}{25.14}$	44.1	21.9

续 表

元 素	剑 川 (4)	鹤 庆 (1)	海 东 (9)	姚 安 (6)	普 洱 (1)	凤庆营盘 (1)
	粗面岩 橄榄玄武岩	苦橄玄武岩 单辉辉橄岩	碱性玄武岩、粗 安岩、霞石碱玄 岩、玄武岩	粗面岩、粗安岩 响岩、白榴岩	橄 榄 玄武岩	橄 榄 玄武岩
Pb	$\frac{25.68-22.95}{29.82}$	2.987	$\frac{13-35.40}{23.01}$	$\frac{58.05-110.5}{77.01}$	28.6	26.0
Zn	$\frac{38-106.83}{72.45}$	215.40	$\frac{57.61-63.01}{60.31}$	$\frac{109.05-223}{147.01}$	144	107
Th	$\frac{12.61-26.49}{19.55}$	0.63	$\frac{3-20.41}{9.09}$		10.9	12.0
U	$\frac{2.97-7.23}{5.10}$	0.85	$\frac{1.897-4.179}{3.038}$		1.1	1.0
Cr	$\frac{145-865.81}{533.44}$	86.59	$\frac{69.95-932}{509.62}$	$\frac{17.6-83.8}{55.94}$	105	170
Ni	$\frac{33.7-160}{127.41}$	64.54	$\frac{15.1-674}{246.79}$	$\frac{32.79-52.7}{45.24}$	110	70
Co	$\frac{12-34.22}{25.27}$	52.72	$\frac{18-61}{31.35}$	$\frac{13.15-38.20}{24.04}$	49.3	40.8
V	$\frac{82.56-135.98}{111.14}$	394.93	$\frac{59.38-190}{125.88}$	$\frac{67.45-143}{105.61}$	170	151
Rb/ Sr	$\frac{0.137-0.479}{0.308}$	0.022	$\frac{0.0194-0.484}{0.297}$		0.012	0.087
Rb/ Ba	$\frac{0.015-0.207}{0.111}$	0.072	$\frac{0.04-0.236}{0.157}$		0.006	0.079
资料来源	本 文			万远明等	本 文	

注：分析值 $\frac{\text{变化范围}}{\text{平均值}}$ ，地名下括号中数值为样品件数。

2.2 岩石化学

火山岩岩石化学成分及有关参数如表 1。根据岩石化学成分，可将火山岩划分为三种类型：剑川、大理海东、姚安之火山岩。具低 SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 ，高 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO} + \text{MgO}$ （除姚安外）， $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 1$ ，属钾质火山岩。与中国东部五大莲池（赵宗博，1956）^[5]的高 Ti、高 Na、高 K 的碱性玄武岩有明显不同，也不同于藏北羌塘（邓万明，1978）^[6]的高 K、高 Na 的白榴碱玄武岩。里特曼指数 = 6.08—9.31，为碱性岩；在 SiO_2 —AR 图上（图 4）岩样落入碱质区，较少岩样落入过碱质区，与里特曼指数判定结果相符；在 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 图上（图 5）落入碱性系列区，属低钛富钾碱性-过碱性岩。屏边、马关八寨、镇沅老王寨金矿区之火山岩（次火山岩）。具低 SiO_2 、 Al_2O_3 ，高 TiO_2 、 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ， $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 1$ ，富钾型，与 R. W. Le Maitre（1976）公布的碱玄武岩特征相似。里特曼指数 = 8.65—17.46，为碱性岩；在 SiO_2 —AR 图上（图 4）岩样落入碱质区和过碱质区；在 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 图上

(图 5) 落入碱性质区, 较少岩样落入拉斑系列区, 属高钛富钾型碱性-过碱性岩。鹤庆、凤庆营盘之次山火岩。具低 SiO_2 、中 TiO_2 , $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} < 1$, 富钠型, 与黎彤 (1962)^[7] 公布的辉长岩特征相似; 里特曼指数 = 0.7—3.17, 为钙碱性岩; 在 SiO_2 —AR 图上 (图 4) 岩样落入碱质区和过碱质区; 在 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ — SiO_2 图上 (图 5) 鹤庆区火山岩落入拉斑系列区, 而凤庆营盘火山岩落入碱性系列区, 属中钛富钠型碱性岩。

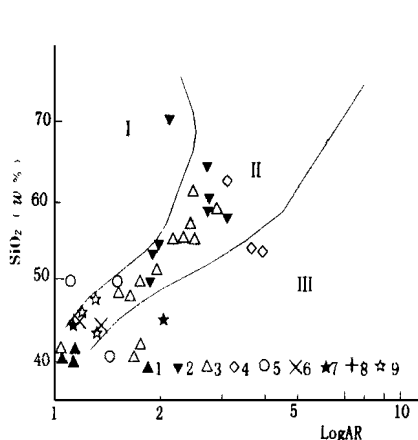


图4 滇西火山岩 SiO_2 —AR变异图

(仿J. B. Wright, 1969)

I 钙碱质; II 碱质; III 过碱质 (图例同图 3)

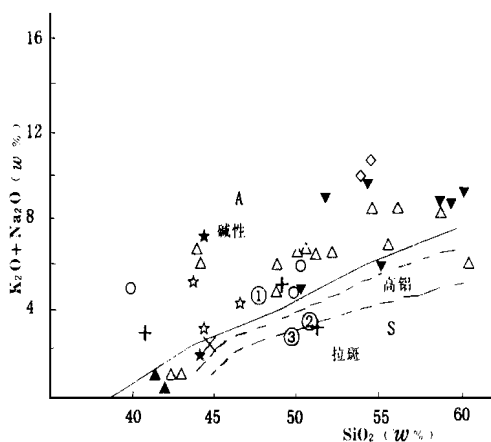


图5 滇西火山岩 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ — SiO_2 图

(实线据 Meschede, 1974; 虚线据 久野, 1960)

A 碱性系列 S 亚碱性系列

① 碱性玄武岩平均值投影点; ② 大陆拉斑玄武岩平均值投影点; ③ 大洋拉斑玄武岩平均值投影点 (图例同图 3)

3 稀土元素特征

稀土元素 (表 2) 以 La 和 Ce 丰值最高, $w(\text{La})$ 平均 56.34×10^{-6} , $w(\text{Ce})$ 平均 102.04×10^{-6} , 后者几乎为前者的两倍。 $w(\text{REE})$ 平均 277.04×10^{-6} , $w(\text{HREE})$ 为 53.79×10^{-6} , $w(\text{LREE})$ 为 253.83×10^{-6} , $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$ 在 3.97—5.84 范围内变化, 为轻稀土富集型, $\text{Eu} = 0.63$ — 0.91 显示负铕异常, 轻度亏损至不亏损 (仅有三件样品 $\text{Eu} = 1.06$ — 1.16 显示正铕异常)。稀土元素的配分模式 (图 6) 为 LREE 的右倾斜型和 HREE 的 Dy—Tm 平坦型及 Tb “尖峰”、Yb “谷” 的特征。稀土元素分配模式相同, 显示岩浆的同源性。

4 痕量元素特征

4.1 过渡元素

过渡元素以 $w(\text{Ti})$ 为 3989.09×10^{-6} — 5684.78×10^{-6} 、 $w(\text{Mn})$ 为 481×10^{-6} — 625×10^{-6} 丰值最高, $w(\text{V})$ 为 105.61×10^{-6} — 394.93×10^{-6} , $w(\text{Cr})$ 55.94×10^{-6} — 533.44×10^{-6} 次之, 其它元素含量相差不大 (表 2、表 3), 标准化的过渡元素曲线 (图 7) 为相似的 “W” 型即有同源性。与地幔岩相比, 富 Ti、Cu, 明显亏损 Ni、Cr、Co, 大致相等的是 Mn、Zn、V。与幔源基性-超基性、碱性岩的过渡元素分配模式相同。

4.2 亲石元素

剑川、海东、姚安火山岩之亲石元素 $w(\text{Rb}) = 151.30 \times 10^{-6}$ — 232.58×10^{-6} 、 $w(\text{Ba})$

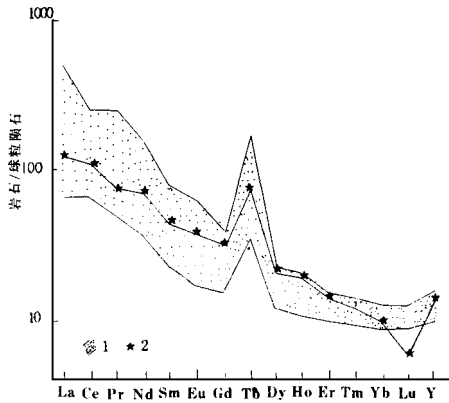


图6 滇西新生代火山岩稀土配分模式

1. 滇西新生代火山岩 2. 镇沅老王寨更玄武岩

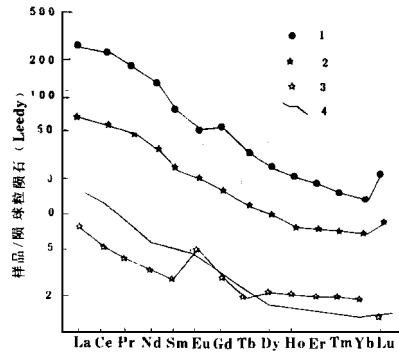


图9 包体稀土元素分布模式

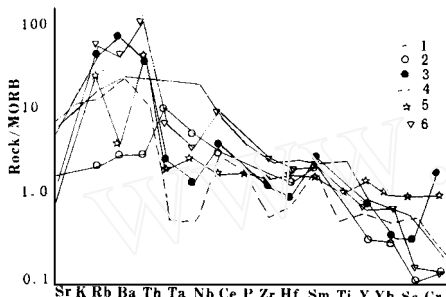
1. 碱性辉石岩(甸心); 2. 碱性辉长岩(新华); 3. 无辉
辉长岩(小桥头); 4. 富集型二辉橄榄岩(南非金伯利岩)

图7 滇西新生代火山岩不相容元素分配模式

(仿Pearce et al. 1982)

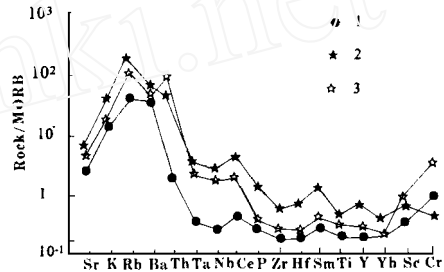
1. 板内玄武岩(亚还尔碱性的); 2. 鹤庆苦橄玄武岩; 3. 剑川
橄玄武岩; 4. 火山弧型(新赫布地底高K钙碱性); 5. 老王
寨更玄武岩(引自吕伯西); 6. 海东碱性玄武岩

图10 包体微量元素分布曲线

1. 无辉辉长岩(小桥头); 2. 碱性辉长岩(新华); 3. 碱性辉石岩(甸心)

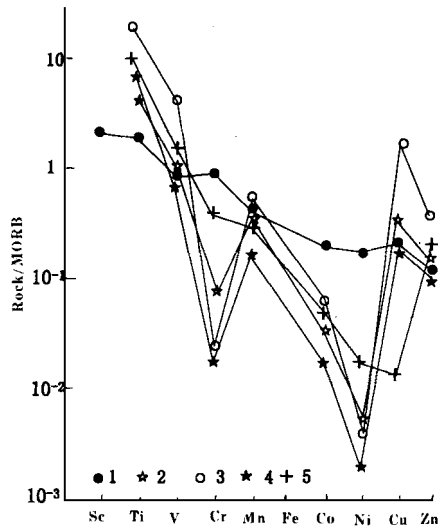


图8 滇西新生代火山岩过渡元素配分模式

(球粒陨石据文献(8))

1. 原始地幔; 2. 剑川粗面岩; 3. 鹤庆苦橄玄武岩; 4. 海东粗安岩;
5. 凤庆橄玄武岩

$= 1618.29 \times 10^{-6} - 1893.86 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{U}) = 3.038 \times 10^{-6} - 5.1 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Ta}) = 0.74 \times 10^{-6} - 1.01 \times 10^{-6}$ 含量变化稳定, $w(\text{Sr}) = 822.91 \times 10^{-6} - 2978 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Nb}) = 9.31 \times 10^{-6} - 26.44 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Th}) = 9.09 \times 10^{-6} - 19.55 \times 10^{-6}$, 含量变化大, 鹤庆, 风庆营盘之火山岩亲石元素也具此变化特征, 只是数值丰度较低。火山岩 MOBR 标准化不相容元素分配模式 (图 8) 为相似的“驼峰型”, 表明有同源性。从 Sr 到 Ti 都较 N-MORB 富集, 并且曲线上隆幅度明显, 说明岩石碱性程度高。Y、Yb、Sc 则相对亏损, Sr 有亏损也有富集。与亚述尔碱性板内玄武岩和新款布里底高 K 钙碱性火山岩比较, 该区火山岩介于两条特征分布曲线之间。

5 同位素特征

剑川地区碱性超基性岩 (苦橄玄武岩) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0.705 08、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 0.512 668、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 19.008、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 15.746、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 39.522; 碱性中性岩 (粗面岩) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0.707 73、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 0.512 450、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 18.683、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 15.587、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 38.713。

大理地区碱性超基性岩 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 为 0.706 3—0.706 4, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 为 0.512 362—0.512 596; 碱性基性岩的 Sr、Nd 分别为 0.705 9—0.707 1 和 0.5123 02—0.512 544; 碱性中性岩分别为 0.706 2—0.706 8 和 0.512 359—0.512 630; 碱性酸性岩分别为 0.706 7 和 0.512 311 (朱柄泉等, 1992) [9]。

剑川、大理地区碱性火山岩, 具有相似的 Sr、Nd 同位素组成。它们的 Sr、Nd 同位素组成, 不同于洋中脊玄武岩 (White et al, 1982) 和我国东部新生代钠质玄武岩 (陈道公等, 1985) [10], 而与五大莲池 (王俊文, 1988) [11] 钾质火山岩类似。由此来看, 此两个地区物源相同, 均属于地幔源区交代富集地幔。

可见, 滇西新生代碱性火山岩, 具有相似的 Sr、Nd 同位素组成, 以高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、高 Pb 和低 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 同位素组成, 并富集轻稀土和不相容元素为特征, 且火山岩物源相同, 均属于地幔源区交代富集地幔。

6 深源包体特征

该区火山岩多个地点发现深源包体, 包体的岩石类型, 常见的有二辉橄榄岩 (海东)、斜方辉石橄榄岩 (海东、八寨)、石榴石包晶 (海东、八寨), 尚有富碱云母辉石岩 (剑川新华、海东)、碱性辉石岩 (剑川新华)、含紫苏辉石钛辉石霓辉辉长岩 (剑川)、含石英无辉辉长岩 (丽江小桥头)、含正长黑云母斜长岩 (剑川新华) 及富碱 (钠长石) 微晶玻璃石榴石辉石岩 (六合海东)。这些碱性系列超基性基性岩包体类型, 具有独特的地球化学特征 (吕伯西、钱祥贵, 1999) [12];

(1) $100\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ 比值低 (58—79), 易熔组分 (Al_2O_3 、 CaO 、 TiO_2) 和碱金属含量高, Na_2O 的质量分数为 1.17 %—2.02 % 比二辉橄榄岩包体高出 20—60 倍, 且 K_2O — Na_2O 富钾型;

(2) 微量元素富集不相容元素; 微量元素分布曲线与寄主岩 (碱性火山岩) 一致。Cu、Pb、Zn 金属元素的富集也引人瞩目;

(3) 稀土总量较高, 且随包体岩石碱度升高, 总量随之递增。含正长斜长岩包体 $\text{Ce}/$

$Y = 0.96$, $Eu = 1.01$, 碱性辉长岩和碱性辉石岩 $Ce/Y = 2.32 \sim 3.53$, Eu 接近 1。配分曲线为一组平行右斜曲线 (图 9), 其中, 含正长斜长岩与南非金伯利岩筒中富集型二辉橄榄岩稀土曲线十分吻合。

7 火山岩的基本特征

滇西新生代碱性火山岩从其岩石学、岩石化学等诸多因素上看, 尽管有不少差别, 但有其共性: 多产于新生代走滑构造体系的次级拉张断裂, 和相关的第三纪火山盆地中, 古生物化石丰富, 年龄证据充分, 但少数火山岩时代争议较大, 随研究深入, 也有趋于一致的观点; 除常见喷溢形成面形被状、岩盖状产在火山岩盆地中, 还多见呈岩筒状 (有爆破角砾岩伴生)、岩脉状产出, 如八寨、海东、合庆、老王寨等地区。这是三江地区新生代火山岩产出的一个明显特征; 以碱性火山岩为主, 少见钙碱性火山岩; 可分为三种类型, 即低钛富钾型碱性-过碱性岩、高钛富钾型碱性-过碱性岩、中钛富钠型碱性岩; 火山岩稀土总量较高, 轻稀土富集型, 钕弱亏损-不亏损, 并出现正钕异常, 显示幔源岩浆特征, 配分曲线平滑向右倾斜, 具大陆裂谷碱性岩的特征; 时空上与富碱斑岩共生, 岩石化学特征、稀土元素、痕量元素配分曲线平行相同, 显示同源岩浆产物; 产出主要构造形式之一是大陆内走滑构造体系 (构造单元), 而非大陆裂谷, 更不是大陆边缘拉斑玄武岩 (吕伯西, 1995)。

8 火山岩成因

8.1 滇西三江地区上地幔特点

三江地区新生代两大陆 (板块) 缝合线上盘外侧, 巨型走滑构造体系, 应为一个大地构造单元。

通过火山岩、富碱斑岩的微量元素和稳定同位素的示踪研究, 具高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值、低 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 和高 Pb 同位素组成、富集轻稀土和不相容元素, 推测该区上地幔为强烈富集了不相容元素、较古老的不均一的交代富集地幔 (朱炳泉^[9]、解广轰^[13])。刘显凡等^[14]沿着上述思路, 根据六合正常斑岩的石榴石辉石岩包体, 以及包体岩石含富钠微晶玻璃体, 论证了地幔交代作用。

8.2 滇西新生代碱性岩浆岩中碱性系列超基性-基性岩包体的成因

吕伯西^[12]等叙述了滇西新生代碱性火山岩、富碱斑岩中, 发现的碱性系列超基性-基性岩包体有如下特征: 岩浆结晶结构; 定向流动构造, 反应岩浆流动特点、过程; 稀土曲线呈一组平行曲线、微量元素分布曲线的一致性, 反映其相同的物源。含正长斜长岩包体稀土配分曲线与南非金伯利岩筒中二辉橄榄岩的接近 (图 9), 判断碱性系列包体物源都是上地幔; 包体矿物结晶次序, 斜长自行程度高, 较早晶出, 碱性暗色矿物晶出较晚, 排除包体“堆晶”成因; 谢鸿森所作辉石正长岩高温高压熔融实验, 发现高压下正长石稳定, 首先出熔的碱来自暗色矿物。据此推测高温高压条件下, 上地幔可部分熔融形成碱性超基性

吕伯西, 1995, 北澜沧江、金沙江—哀牢山、红河走滑断裂构造体系新生代碱性、偏碱性火山岩岩石特征。云南地质科技情报 95-1 期 1-19 期

-基性岩……。提出为富集上地幔部分熔融岩浆成因假说：“为在走滑构造体系长期多次反复发育过程中，走滑断裂超壳断裂深切引起上地幔顶部的上地幔岩不同程度部分熔融作用，形成各种类型的碱性超基性-基性岩岩片和楔形体”。

8.3 滇西三江地区壳幔结构特点

早在 30 年前，地球物理学研究证明，阿尔卑斯等年青造山带，在 P 波速度 6.2km/s 地壳底部与 8.2km/s 的上地幔顶部之间，存在一个 7.2—7.8km/s 的波速过渡带，因而无明显的莫霍面 (Rinmg-Wood, 1975)。近十年来，在青藏及邻区也发现存在速度为 7.3—7.4km/s 或 7.7—7.8km/s 的波速过渡带，其厚可达 20km 以上 (肖序常, 1988)^[15]。

地震学上的这个波速过渡带，在岩石学上是何物呢？人们进行过种种猜测。邓万明等^[16]根据六合正长斑岩中，发现角闪岩相的中下地壳的变质岩捕虏体，推断“地幔岩石中混入了地壳物质，壳-幔物发生了深部混合作用，也称之富集地幔”。将这壳-幔混合层视为富碱斑岩源区，并认为就是地震学上波速过渡带。

本文认为，以上述类型复杂的碱性系列超基性-基性包体为线索，可窥视上地幔源区岩片和楔形体，是地震学上波速过渡带的主要成员。

8.4 滇西三江地区新生代碱性火山岩 (和富碱斑岩) 的成因假说

新生代碱性火山岩微量元素分布曲线、稀土配分曲线彼此的协合 (图 6、7) 并与其包体的对应曲线的一致性 (图 9、10)，包体可视为源区岩石，有理由相信在走滑断裂 (超壳断裂) 深切至上地幔时，由于不同深度，上地幔或上地幔顶部的由壳幔过渡带——下地壳岩层夹多层的碱性超基性-基性岩岩片和楔形体，经不同程度部分熔融 (有部分下地壳岩参加) 形成碱性岩岩浆。由于岩石熔融程度不同，下地壳岩不同程度参与，加上岩浆的分异结晶作用和熔离作用，形成各种类型的碱性火山岩和富碱斑岩。

参 考 文 献

- [1] 张玉泉, 朱炳泉, 蒋志平, 等. 云南海东地区岩浆岩群同位素地质年龄和稀土元素 (C). 国际花岗岩成岩成矿作用学术讨论会 (论文摘要). 中国广州, 1987. 319—320.
- [2] 谢应雯, 张玉泉. 云南洱海东部新生代岩浆岩岩石化学 [J]. 岩石学报, 1995, 11 (4): 423 - 433.
- [3] 王文懿. 铷-锶同位素年龄测试数据 [J]. 云南地质, 1984, 3 (1): 92 - 96.
- [4] R. W. Le Maitre 主编. 火成岩分类及术语辞典 [M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- [5] 赵宗博. 我国东部新生代玄武岩岩石化学研究 [J]. 地质学报, 1956, 36 (3): 315 - 367.
- [6] 邓万明. 藏北第四纪火山岩岩石学和岩石化学初步研究 [J]. 地质学报, 1978 (2) 148 - 162.
- [7] 黎彤, 郭范. 元素丰度表 [M]. 北京: 地质与勘探编辑部出版, 1981.
- [8] Ma Son B. Handbook of elemental abundances in meteorite [J]. Cordon & Breach, Newyork, NY, 1971 555.
- [9] 朱炳泉, 张玉泉, 谢应雯. 滇西洱海东第三纪超钾质火山岩系的 Nd-Sr-Pb 同位素特征与西南大陆地幔演化 [J]. 地球化学, 1992 (3): 201 - 211.
- [10] 陈道公, 彭子成. 山东新生代火山岩 K-Ar 年龄同位素特征 [J]. 地球化学, 1985 (4): 293-303.
- [11] 王俊文, 解广轰, Ta tsunoto M, Basu A R. 五大莲池钾质火山岩的 Sr Nd Pb 同位素地球化学及岩浆的化学演化 [J]. 地球化学, 1985 (4): 310—317.
- [12] 吕伯西, 钱祥贵. 滇西新生代碱性火山岩、富碱斑岩深源包体岩石学研究 [J]. 云南地质, 1999, 18

(2): 127 - 143

- [13] 解广轰, 刘丛强, 增田彰正, 等. 1992, 青藏高原周边地区新生代火山岩地球化学特征—古老富集地幔存在的证据 [J]. 刘君新主编. 《中国新生代火山岩年代学与地球化学》. 北京: 地震出版社, 1992.
- [14] 刘显凡, 战新志, 高振敏, 等. 云南六合深源包体与富碱斑岩成岩成矿的关系 [J]. 中国科学 (D 辑), 1999, 29 (5): 413 - 420.
- [15] 肖序常, 李庭栋, 李光, 等. 喜马拉雅岩石圈构造演化总论 [M]. 北京: 地质出版社, 1988. 141-159.
- [16] 邓万明, 黄莹, 钟大赉. 滇西新生代富碱斑岩的岩石特征与成因 [J]. 地质科学, 1998, 33 (4): 412 - 425.

THE PETROGRAPHIC FEATURES AND GENESIS OF CENOZOIC ALKALI VOLCANIC ROCKS IN THE THREE-RIVER AREA , WEST YUNNAN

Qian Xianggui Lu Boxi

(Yunnan Institute of Geological Sciences , Kunming 650011 , China)

Abstract

The Cenozoic alkali volcanic rocks in the Three-River area of West Yunnan have been systematically studies in volcanology , petrography , petrochemistry , characteristics of REE , trace elements and isotopes , which are cogenetic , resulted from the differentiation and evolution of same magma. The mantle source rock rich in water , by partial melting , formed the alkali ultrabasic-basic-intermediate magma and magmatic rock slice or wedge of calc-alkali pyroxenolite and monoclinic pyroxen peridotite , forming the transitional layer between mantle and crust. In the repeated strike-slip faulting , the magma in this transitional layer erupted to the surface and formed various volcanic rocks.