DOI:10.19826/j. cnki.1009-3850. (2020)02-0075-16

西藏中冈底斯带北部早白垩世构造属性: 来自则弄群火山岩锆石 U-Pb 年龄及地球化学的制约

张 形¹, 黄 波², 罗 改¹, 马昭雄¹, 黄永高¹, 王 燚¹ (1. 四川省地质调查院,四川 成都 610081; 2. 四川省地质矿产勘查开发局物探队,四川 成都 610032)

摘要:中冈底斯带广泛分布则弄群火山岩,其成因机制一直存在争议。本文对出露于来多地区的则弄群火山岩进行 了锆石 U-Pb 定年及全岩地球化学分析,旨在精确限其形成时代,探讨其成因机制。结果表明,来多地区的则弄群火 山岩形成于 124.0~114.7Ma 之间;岩石 SiO₂含量在 54.53% ~78.35% 之间,铝饱和指数 A/CNK 为 0.77 ~3.75,属 偏铝质 – 过铝质岩石,轻稀土富集,负 Eu 异常明显,相对富集 Rb、Th、U 等大离子亲石元素,亏损 Nb、Ta 等高场强元 素,岩石具有弧火山岩的特征。综合分析认为,则弄群火山岩可能为班公湖 – 怒江缝合带南侧的狮泉河 – 永珠 – 纳 木错 – 嘉黎蛇绿岩带所代表的 Slainajap 洋在早白垩世向南俯冲消减的产物。

关键 词:早白垩世;火山岩;则弄群;U-Pb年龄;Slainajap洋;冈底斯带

中图分类号:P588.14 文献标识码:A

冈底斯带是指印度河雅鲁藏布缝合带(IYZS) 与班公湖-怒江缝合带(BNS)之间近东西向的狭长 地域(图1),为一东西长约2500km,南北宽约 300km的巨型构造-岩浆带^[1,2]。冈底斯带自北往 南分为:北冈底斯(N. Gangdese)、中冈底斯(M. Gangdese)、冈底斯弧背断隆带(GBAFUB)和南冈底 斯(S. Gangdese)^[1-2](图1)。冈底斯带内广泛分布 有中生代火山岩,研究它们对于认识特提斯洋的演 化和理解整个青藏高原的形成过程有着重要的启 示^[3]。中冈底斯带中生代火山岩的赋存地层为则 弄群,从东到西呈面状分布于隆格尔-措麦断裂带 (GLZCF)和狮泉河-永珠-纳木错-嘉黎断裂带 (SYNJF)之间。

根据前人对则弄群火山岩的测年成果^[38,12],则 弄群火山岩形成于 130~110Ma 之间的早白垩世。 白垩纪时期,冈底斯带处于复杂的大地构造背景之 下,新特提斯洋、班公湖 – 怒江洋以及狮泉河 – 永 珠 – 纳木错 – 嘉黎蛇绿岩带所代表的古洋(Slainjap 洋)在该时期均发生了消减俯冲。则弄群火山岩作 为中冈底斯地区构造演化的重要记录,其成因仍处 于争论之中,受哪个构造带的演化影响仍不清楚。 并且前人对于则弄群火山岩的研究,主要集中于西 部的措勤地区和东部的申扎地区,对于研究区所在 的中冈底斯北部来多地区还没有精确的锆石 U-Pb 年龄及成因演化的报道。本文在对来多地区的则 弄群开展 1:5 万地质填图的基础上,对火山岩进行 了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年和岩石地球化学分析, 以期建立来多地区则弄群火山岩的年代学格架,并 结合冈底斯带区域构造演化规律,探讨岩石成因及 地球动力学背景。

1 地质概况

则弄群呈带状近东西向展布于西藏中冈底斯带,东西延伸达1000km,南北宽数公里到数十公里, 平均厚超过1000m。岩性为火山岩 – 碎屑岩组合, 碎屑岩以夹层的形式出露,火山岩主要为安山岩、 英安岩、流纹岩等中酸性火山熔岩以及英安质、流 纹质凝灰岩、熔结凝灰岩等火山碎屑岩和火山角砾 岩。垂向上,则弄群下部主要为火山熔岩夹火山碎 屑岩,上部主要为沉积火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩、

收稿日期: 2020-03-16; 改回日期: 2020-05-19

作者简介: 张彤(1986 -),男,硕士,构造地质学专业,主要从事区域地质调查工作。E-mail:986573254@qq.com **冷助项目**,中国地质调查局项目(DD20160015)

资助项目:中国地质调查局项目(DD20160015)



Fig. 1 Distribution of the Early Cretaceous Zenong Group in the Gangdise areas, Tibet(after Zhu et al., 2008)

火山岩质砂砾岩夹火山熔岩和火山碎屑岩^[2]。总体表现为活动边缘环境下的滨浅海至海陆交互相沉积^[30]。

研究区位于当惹雍错以西的来多地区,北距狮 泉河 - 永珠 - 纳木错 - 嘉黎蛇绿岩中段之阿索蛇 绿混杂岩约40km。构造上位于中冈底斯带北部,区 内中生界从下至上依次出露接奴群(J₂₃J)、则弄群 (K₁Z)、捷嘎组(K₁*jg*)(图2),为一套巨厚的海陆交 互相 - 滨浅海相的中酸性火山岩 - 碎屑岩和碳酸 盐岩组合,属于典型岛弧活动边缘盆地沉积建造^①。

则弄群内部见两个喷发 - 沉积不整合界面,以 此为界可分为扎列拿组(K₁z)、郎穷组(K₁lq)和荣 纳组(K₁r)三个岩石地层填图单位,对应三个火山 喷发 - 沉积旋回^①。扎列拿组(K₁z)底部由英安质 火山碎屑岩与沉火山碎屑岩、沉积碎屑岩组成多个 喷发 - 沉积韵律,向上火山作用逐渐增强,以英安 质、流纹质火山碎屑岩为主。郎穷组(K₁lq)底部为 一套不稳定延伸的碎屑岩,向上为爆发程度不等的 火山岩,或以中性熔岩为主,或为中酸性火山碎屑 岩间夹熔岩。荣纳组(K₁r)底部的碎屑岩、沉火山 碎屑岩延伸稳定,碎屑岩中产丰富的蕨类植物化 石。碎屑岩之上以中性火山碎屑岩为主,夹多层沉 火山碎屑岩。上部以中酸性熔岩为主,具中性→中 酸性演化特征,顶部为沉积碎屑岩夹少量酸性熔岩。

2 样品和分析方法

采集则弄群火山岩锆石 U-Pb 同位素年代学样 品共3件,采样位置见图2。其中样品 PM412-23 采 自则弄群扎列拿组(K,z)底部(采样位置:86°22'52. 84"N,31°14'11.34"E),岩性为安山质含角砾岩屑晶 屑凝灰岩,岩石具岩屑晶屑凝灰结构,块状构造;主 要由岩屑、晶屑、火山灰和副矿物组成; 岩屑约 25%, 粒径 0.2~2.4mm 左右, 不规则状, 主要为中 酸性火山岩岩屑;晶屑主要为石英(26%)和斜长石 (38%)(图 3a)。样品 PM409-85 采自郎穷组(K₁ lq)底部(采样位置:86°27′28.82″N,31°13′05.93″ E),岩性为安山岩,岩石具斑状结构,基质交织结 构,块状构造:斑晶主要为斜长石和少量蚀变暗色 矿物;基质主要为斜长石和绿泥石(图 3b)。样品 PM410-29 采自荣纳组(K,r)顶部(采样位置:86°15′ 43.70"N,31°11'45.92"E),岩性为安山质弱熔结角 砾岩,具弱熔结角砾结构,块状构造;由晶屑、火山 灰和副矿物组成;晶屑粒径0.4~3.2mm 左右,主要 为斜长石(图 3c)。

样品野外采集重量均大于 5kg,采用常规方法 粉碎后通过浮选和电磁选方法对锆石进行分选,再 在双目镜下挑选出晶形完整、透明度较好、裂隙及 包裹体不发育的锆石颗粒,然后将它们粘贴在环氧 树脂表面,抛光后成靶,并对锆石进行透射光、反射

(2)



图 2 研究区地质简图

Fig. 2 Geological map of the studied area



图 3 安山质含角砾岩屑晶屑凝灰岩(a)、安山岩(b)和安山质弱熔结角砾岩(c)样品显微镜下照片(Q.石英;Pl.斜长石;Bt. 黑云母)

Fig. 3 Photomicrographs of the andesitic breccia bearing crystalline tuff (a), and esitic (b) and andesitic tuff breccia lava (c) samples (Q. quartz; Pl. plagioclase; Bt. Biotite)

光和阴极发光显微照相。锆石 U-Pb 同位素定年在 自然资源部沉积盆地与油气资源重点实验室完成, 激光剥蚀系统为 GeoLasPro 193 nm 激光系统,质谱 为高分辨电感耦合等离子体质谱仪 ELEMENT2,实 验采用高纯 He 作为剥蚀物质的载气,激光波长 193nm、束斑 32µm、脉冲频率 6Hz、激光能量为 6J/ cm²,测试前先采用 NIST610 标准调谐仪器至最佳状 态,使得¹³⁹La、²³²Th 信号达到最强,并使氧化物产 率²³²Th¹⁶O/²³²Th < 0.3%。实验采用锆石标样 GJ-1 作为外标进行 U-Pb 同位素分馏效应和质量歧视的 校正计算, Plěsovice 锆石标样作为监控盲样来监视 测试过程的稳定性;测试时每5个样品点插一组标 样。每个样品激光取样过程包括 20 秒的背景采集 时间、50秒的剥蚀取样时间和10秒的样品池冲洗 时间。对实验数据的离线处理采用软件 ICPMSDataCal 进行,年龄计算及谐和图采用 Isoplot (4.15 版)软件完成,测试数据的误差和²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 加权平均年龄误差均为1σ。

采集全岩地球化学分析样品共14件,分别采自则弄群不同层位,其中扎列拿组5件(PM409-39、PM403-5、PM403-25、PM403-44、PM404-62),郎穷组6件(PM404-88、PM404-128、PM404-129、PM404-141、PM406-50、PM405-99),荣纳组3件(PM403-57、PM406-104、PM406-121)。岩性包括安山质熔结角砾凝灰岩、安山质熔结凝灰角砾岩、英安质熔结凝灰角砾岩、英安质熔结凝灰角砾岩、英安质熔结凝灰角砾岩、流纹质熔结凝灰角、发电出岩、流纹岩等,均为来多地区则弄群火山岩代表性岩石。

样品的主量、微量和稀土元素的分析实验在自 然资源部武汉矿产资源监督检测中心进行。主量 元素测试仪器为 X 荧光光谱仪(型号: XRF-1800), 分析误差小于 1%,其中 FeO、H₂O⁺和 CO₂采样湿化 学分析法测定。稀土和微量元素分别采用阳离子 交换分离 – 电感耦合等离子体原子发射光谱仪 (ICP-AES)和电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)完 成,分析精度优于 6%。

3 分析结果

3.1 锆石 U-Pb 年龄

3件锆石 U-Pb 测年样品锆石阴极发光(CL)图像和 U-Pb 年龄谐和图见图 4,分析结果见表 1。

在单颗粒锆石阴极发光图像(图4)中,3件样 品具有相似的锆石特征,锆石形态完整,裂纹不发 育, 锆石自形长柱状为主, 长轴长度在 60 ~ 300μm 之间不等, 具有明显生长韵律(振荡环带), 少量锆 石中见暗色的继承锆石核。本次测试均选取锆石 边部的振荡环带区域进行 LA-ICP-MS 测试, 具体点 位特征见图 4, 3 件锆石样品所选取的测点 Th/U 比 值均大于 0.1, 不同于变质成因锆石(通常 < 0.1), 而与岩浆成因锆石一致^[46]。

PM412-23 共选取了测点 24 个, 剔除了谐和度 较差的测点 4、6、7 后, 21 个测点在²⁰⁷ Pb/²³⁵ U-²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 锆石年龄谐和图解中, 均落在谐和线附 近, ²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 加权平均年龄值为 124.0 ± 1.0Ma (MSWD = 0.38)。由于该样品采集于则弄群底部与 下部地层的不整合界面之上, 所取得的年龄代表了 来多地区则弄群火山岩开始喷发时期的年龄。

PM410-29 共选取了测点 24 个,剔除了谐和度 差的离群测点 1、5、6、7、9、13 和 14 后,其余 17 个测 点在²⁰⁷ Pb/²³⁵ U-²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 锆石年龄谐和图解中,均 落在谐和线附近,²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 加权平均年龄值为 114.7±1.3Ma(MSWD = 0.29)。该样品采集于则 弄群顶部与上覆捷嘎组地层的角度不整合界面之 下,该年龄代表了来多地区则弄群火山活动结束时 的地质时代。

PM409-85 共选取了测点 22 个, 剔除了谐和度 较差的离群测点 19 和 21 后, 20 个测点在²⁰⁷ Pb/²³⁵ U-²⁰⁶ Pb/²³⁸U 锆石年龄谐和图解中, 均落在谐和线附 近, ²⁰⁶ Pb/²³⁸U 加权平均年龄值为 118.5 ± 1.5Ma (MSWD = 0.16),该样品采集于则弄群中部, 年龄值 介于底部样品 PM412-23 和顶部样品 PM410-29 之 间, 测试结果和野外地质事实相吻合。

3.2 元素地球化学

14 件全岩地球化学分析样品的主量、微量和稀 土元素测定结果及经计算所得的有关参数见表2。 3.2.1 主量元素

14 件样品的烧失量在 1.09% ~3.70% 之间,平 均为 2.43%,表明样品较为新鲜。在 TAS 分类图解 中(图 5A),1 个样品落在了玄武安山岩区,3 个样 品落在了英安岩区,10 个样品落在了流纹岩区域或 流纹岩与英安岩界线附近,所有样品均属于亚碱性 系列。玄武安山岩 SiO₂含量为 54.53%,Al₂O₃含量 17.10%,K₂O 含量 1.01%,全碱 Na₂O + K₂O 含量为 3.28%,里特曼指数(σ)为 0.86,分异指数 DI 为 36.79;英安岩样品 SiO₂含量在 61.48% ~67.62% 之间,平均为 65.31%;Al₂O₃含量 14.38% ~16.24%,



图 4 则弄群火山岩锆石 CL 影像和谐和图

Fig. 4 Cathodoluminescence (CL) images and concordia plots of LA-ICP-Ms zircon U-Pb dating for the Zenong Group volcanic rocks

| 子」四次 | 1 | 三个里/10 | · 9 | | | | | 1) 住 | | 1 | ι. | 在地人 | | |
|-------|-----------|----------|-------|---------|-------------------------------|----------------|------------------------------|--------|------------------------------|--------|------------------------------|---------------|------------------------------|---------------|
| 测定 | 76.3 | 系百里(×10 | ~ | - Th/II | | | 回忆系1 | СП. | | | | 牛酘(1 | da) | |
| 点号 | Pb | Th | Ŋ | | $^{207}{ m Pb}/^{206}{ m Pb}$ | ±lσ | $^{207}{ m Pb}/^{235}{ m U}$ | ±lσ | $^{206}{ m Pb}/^{238}{ m U}$ | ±lσ | $^{207}{ m Pb}/^{235}{ m U}$ | $\pm 1\sigma$ | $^{206}{ m Pb}/^{238}{ m U}$ | $\pm 1\sigma$ |
| 样号:pm | 412-23,岩썹 | 生;安山质含) | 角砾岩屑晶 | 1 屑凝灰岩; | 来样经纬度坐标:80 | 6°22'52.84"N, | 31°14'11.34"E | | | | | | | |
| 1 | 34.1 | 619 | 624 | 0.99 | 0.0487 | 0.0028 | 0.1304 | 0.0071 | 0.0195 | 0.0003 | 124 | 6.4 | 124 | 1.8 |
| 2 | 12.9 | 200 | 274 | 0.73 | 0.0469 | 0.0039 | 0.1262 | 0.0091 | 0.0198 | 0.0004 | 121 | 8.2 | 126 | 2.4 |
| 3 | 16.0 | 254 | 351 | 0.72 | 0.0478 | 0.0035 | 0.1278 | 0.0088 | 0.0193 | 0.0003 | 122 | 7.9 | 123 | 2.2 |
| 4 | 12.7 | 153 | 258 | 0.59 | 0.0611 | 0.0047 | 0.1722 | 0.012 | 0.0198 | 0.0005 | 161 | 10.4 | 126 | 3 |
| 5 | 13.5 | 201 | 266 | 0.76 | 0.0492 | 0.0045 | 0.1282 | 0.0094 | 0.0193 | 0.0005 | 122 | 8.5 | 123 | 3.1 |
| 9 | 24.0 | 315 | 348 | 0.91 | 0.0748 | 0.0061 | 0.1996 | 0.014 | 0.0197 | 0.0005 | 185 | 11.8 | 126 | 3 |
| 7 | 10.3 | 143 | 225 | 0.64 | 0.0561 | 0.0044 | 0.1443 | 0.0095 | 0.019 | 0.0005 | 137 | 8.5 | 121 | 2.9 |
| 8 | 13.3 | 210 | 298 | 0.70 | 0.0491 | 0.0039 | 0.1281 | 0.0089 | 0.0193 | 0.0004 | 122 | × | 123 | 2.3 |
| 6 | 27.4 | 500 | 534 | 0.94 | 0.0463 | 0.0027 | 0.1234 | 0.0059 | 0.0196 | 0.0003 | 118 | 5.3 | 125 | 1.9 |
| 10 | 33.5 | 579 | 633 | 0.91 | 0.0465 | 0.0028 | 0.1267 | 0.0069 | 0.0196 | 0.0003 | 121 | 6.2 | 125 | 1.9 |
| 11 | 19.9 | 276 | 340 | 0.81 | 0.0498 | 0.0047 | 0.1309 | 0.0111 | 0.0196 | 0.0004 | 125 | 9.9 | 125 | 2.7 |
| 12 | 33.9 | 592 | 636 | 0.93 | 0.0476 | 0.0034 | 0.1258 | 0.0085 | 0.0192 | 0.0003 | 120 | 7.7 | 123 | 1.9 |
| 13 | 12.9 | 190 | 289 | 0.66 | 0.0479 | 0.0039 | 0.128 | 0.0094 | 0.0197 | 0.0004 | 122 | 8.5 | 126 | 2.3 |
| 14 | 21.3 | 357 | 378 | 0.95 | 0.0474 | 0.0037 | 0.1284 | 0.0096 | 0.0199 | 0.0004 | 123 | 8.6 | 127 | 2.7 |
| 15 | 42.2 | 708 | 719 | 0.98 | 0.0472 | 0.0032 | 0.1294 | 0.0094 | 0.0193 | 0.0004 | 124 | 8.5 | 123 | 2.6 |
| 16 | 19.0 | 306 | 463 | 0.66 | 0.0486 | 0.0036 | 0.1267 | 0.0083 | 0.0192 | 0.0004 | 121 | 7.5 | 122 | 2.4 |
| 17 | 59.9 | 955 | 1146 | 0.83 | 0.0472 | 0.0022 | 0.1291 | 0.0059 | 0.0195 | 0.0003 | 123 | 5.3 | 125 | 1.9 |
| 18 | 20.5 | 326 | 377 | 0.86 | 0.049 | 0.0035 | 0.1302 | 0.0082 | 0.0195 | 0.0004 | 124 | 7.4 | 124 | 2.4 |
| 19 | 15.6 | 261 | 321 | 0.81 | 0.0484 | 0.0039 | 0.1271 | 0.0091 | 0.0193 | 0.0005 | 121 | 8.2 | 123 | ю |
| 20 | 20.7 | 346 | 402 | 0.86 | 0.0472 | 0.0034 | 0.1244 | 0.0078 | 0.0191 | 0.0004 | 119 | 7.1 | 122 | 2.3 |
| 21 | 45.0 | 828 | 756 | 1.10 | 0.0479 | 0.0029 | 0.1273 | 0.007 | 0.0191 | 0.0003 | 122 | 6.3 | 122 | 5 |
| 22 | 33.5 | 619 | 613 | 1.01 | 0.0469 | 0.0023 | 0.128 | 0.0067 | 0.0195 | 0.0003 | 122 | 9 | 125 | 2.1 |
| 23 | 25.8 | 399 | 522 | 0.76 | 0.0493 | 0.003 | 0.1318 | 0.0077 | 0.0191 | 0.0004 | 126 | 6.9 | 122 | 2.5 |
| 24 | 17.7 | 250 | 396 | 0.63 | 0.0478 | 0.0037 | 0.1262 | 0.0086 | 0.0193 | 0.0004 | 121 | 7.8 | 123 | 2.6 |
| 样号:PM | 410-29,岩性 | t:安山质弱/ | 熔结角砾岩 | 号,采样经纬 | 度坐标:86°15′43.7 | 70"N, 31°11'45 | .92″E | | | | | | | |
| 1 | 46.0 | 475 | 416 | 1.14 | 0.0927 | 0.0065 | 0.2722 | 0.0209 | 0.0204 | 0.0005 | 244 | 16.7 | 130 | 3.3 |
| 2 | 23.6 | 276 | 301 | 0.92 | 0.0481 | 0.0049 | 0.1193 | 0.0108 | 0.0181 | 0.0006 | 114 | 9.8 | 116 | 3.5 |
| 3 | 33.8 | 415 | 432 | 0.96 | 0.0481 | 0.004 | 0.1184 | 0.0088 | 0.0183 | 0.0004 | 114 | 8 | 117 | 2.6 |
| 4 | 29.6 | 338 | 421 | 0.80 | 0.048 | 0.0043 | 0.1194 | 0.01 | 0.018 | 0.0005 | 115 | 9.1 | 115 | 2.9 |
| 5 | 34.1 | 347 | 348 | 1.00 | 0.0568 | 0.0058 | 0.136 | 0.0121 | 0.0177 | 0.0004 | 129 | 10.8 | 113 | 2.5 |
| 9 | 39.8 | 512 | 435 | 1.18 | 0.0709 | 0.0057 | 0.1708 | 0.0124 | 0.0178 | 0.0004 | 160 | 10.7 | 114 | 2.5 |
| 7 | 72 | 467 | 454 | 1.03 | 0.0546 | 0.008 | 0.1375 | 0.0215 | 0.0183 | 0.0007 | 131 | 19.2 | 117 | 4.2 |
| 8 | 24.2 | 293 | 296 | 0.99 | 0.0506 | 0.0052 | 0.1197 | 0.0104 | 0.0176 | 0.0004 | 115 | 9.4 | 113 | 2.8 |

80

| 续表1 | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----------|---------|----------------|--------------------|---------------------------------|-----------------|------------------------------|--------|------------------------------|--------|--------------------------------|---------------|--------------------------------|-----|
| 测定 | 瓦灵 | 髹含量(×10 | (₉ | TTI, 711 | | | 同位素1 | 比值 | | | | 年龄(N | la) | |
| 点号 | Pb | Th | n | - 110/ C | $^{207}{\rm Pb}/^{206}{\rm Pb}$ | ±lσ | $^{207}{ m Pb}/^{235}{ m U}$ | ±lσ | $^{206}{ m Pb}/^{238}{ m U}$ | ±lσ | $^{207}{\rm Pb}/^{235}{\rm U}$ | $\pm 1\sigma$ | $^{206}{\rm Pb}/^{238}{\rm U}$ | ±lσ |
| 6 | 68 | 619 | 513 | 1.32 | 0.0871 | 0.0068 | 0.2171 | 0.0138 | 0.0184 | 0.0003 | 199 | 11.5 | 117 | 2.2 |
| 10 | 16.7 | 202 | 213 | 0.95 | 0.0516 | 0.0062 | 0.1182 | 0.0136 | 0.0176 | 0.0005 | 113 | 12.3 | 112 | 3 |
| 11 | 49.1 | 591 | 514 | 1.15 | 0.0496 | 0.0038 | 0.1205 | 0.0084 | 0.0181 | 0.0004 | 115 | 7.6 | 116 | 2.4 |
| 12 | 33.5 | 423 | 528 | 0.80 | 0.0472 | 0.0057 | 0.1177 | 0.0142 | 0.0178 | 0.0006 | 113 | 12.9 | 114 | 3.7 |
| 13 | 21.5 | 268 | 269 | 1.00 | 0.0448 | 0.0047 | 0.1047 | 0.0095 | 0.018 | 0.0004 | 101 | 8.7 | 115 | 2.7 |
| 14 | 19.2 | 230 | 243 | 0.95 | 0.0497 | 0.0081 | 0.1228 | 0.014 | 0.0188 | 0.0005 | 118 | 12.7 | 120 | 3.2 |
| 15 | 23.9 | 296 | 318 | 0.93 | 0.0473 | 0.0043 | 0.1133 | 0.0093 | 0.0176 | 0.0004 | 109 | 8.4 | 112 | 2.6 |
| 16 | 34.9 | 441 | 474 | 0.93 | 0.0491 | 0.0039 | 0.1185 | 0.0085 | 0.0179 | 0.0003 | 114 | 7.7 | 114 | 2.1 |
| 17 | 41.4 | 557 | 468 | 1.19 | 0.0507 | 0.0042 | 0.1232 | 0.0097 | 0.018 | 0.0003 | 118 | 8.8 | 115 | 2.1 |
| 18 | 25.8 | 320 | 362 | 0.88 | 0.0473 | 0.0043 | 0.1156 | 0.0095 | 0.018 | 0.0004 | 111 | 8.6 | 115 | 2.6 |
| 19 | 31.7 | 404 | 362 | 1.11 | 0.0468 | 0.0044 | 0.1134 | 0.0101 | 0.0182 | 0.0004 | 109 | 9.2 | 116 | 2.6 |
| 20 | 37.5 | 510 | 496 | 1.03 | 0.0468 | 0.0037 | 0.1122 | 0.0084 | 0.0176 | 0.0004 | 108 | Т.Т | 113 | 2.4 |
| 21 | 31.5 | 408 | 426 | 0.96 | 0.0464 | 0.0044 | 0.1119 | 0.0091 | 0.0181 | 0.0005 | 108 | 8.3 | 115 | 33 |
| 22 | 35.6 | 448 | 472 | 0.95 | 0.05 | 0.0052 | 0.1206 | 0.0115 | 0.0181 | 0.0004 | 116 | 10.4 | 116 | 2.4 |
| 23 | 26.5 | 346 | 379 | 0.91 | 0.0498 | 0.004 | 0.1192 | 0.0081 | 0.0181 | 0.0004 | 114 | 7.4 | 116 | 2.8 |
| 24 | 23.9 | 295 | 314 | 0.94 | 0.0491 | 0.0055 | 0.1169 | 0.0109 | 0.0177 | 0.0006 | 112 | 9.9 | 113 | 3.5 |
| 样号:PM | 409-85,岩作 | 生:安山岩,系 | :样经纬度4 | 坒标:86°27' 2 | 28.82"N, 31°13'05 | 5.93 <i>"</i> E | | | | | | | | |
| 1 | 11.6 | 173 | 170 | 1.02 | 0.0525 | 0.0067 | 0.1188 | 0.0117 | 0.0183 | 0.0006 | 114 | 10.7 | 117 | 3.9 |
| 2 | 37.4 | 495 | 414 | 1.20 | 0.0503 | 0.0055 | 0.1292 | 0.0141 | 0.0188 | 0.0005 | 123 | 12.7 | 120 | 3.2 |
| 3 | 10.6 | 120 | 141 | 0.85 | 0.0504 | 0.0063 | 0.1251 | 0.0126 | 0.0188 | 0.0006 | 120 | 11.4 | 120 | 3.9 |
| 4 | 8.9 | 114 | 131 | 0.87 | 0.0468 | 0.0065 | 0.1153 | 0.0154 | 0.0183 | 0.0006 | 111 | 14.0 | 117 | 3.6 |
| 5 | 19.0 | 245 | 288 | 0.85 | 0.0474 | 0.0047 | 0.1163 | 0.0105 | 0.0183 | 0.0005 | 112 | 9.6 | 117 | 3.4 |
| 9 | 18.8 | 263 | 231 | 1.14 | 0.0516 | 0.0051 | 0.1252 | 0.0101 | 0.0182 | 0.0005 | 120 | 9.1 | 116 | 3.3 |
| 7 | 11.0 | 137 | 154 | 0.89 | 0.0517 | 0.0082 | 0.1249 | 0.0189 | 0.0188 | 0.0007 | 120 | 17.0 | 120 | 4.3 |
| 8 | 12.6 | 145 | 182 | 0.80 | 0.0479 | 0.006 | 0.1193 | 0.0124 | 0.0188 | 0.0006 | 114 | 11.3 | 120 | 3.6 |
| 6 | 18.3 | 230 | 221 | 1.04 | 0.0488 | 0.0064 | 0.1208 | 0.0157 | 0.0186 | 0.0005 | 116 | 14.3 | 119 | 3.3 |
| 10 | 9.5 | 98.5 | 121 | 0.82 | 0.0521 | 0.0077 | 0.1198 | 0.014 | 0.0187 | 0.0009 | 115 | 12.7 | 119 | 5.5 |
| 11 | 19.8 | 265 | 281 | 0.94 | 0.0476 | 0.0049 | 0.1180 | 0.0105 | 0.0185 | 0.0004 | 113 | 9.6 | 118 | 2.7 |
| 12 | 23.1 | 302 | 239 | 1.26 | 0.0475 | 0.0057 | 0.1183 | 0.0131 | 0.0188 | 0.0005 | 114 | 11.9 | 120 | 3.4 |
| 13 | 12.2 | 160 | 164 | 0.98 | 0.0488 | 0.0066 | 0.1200 | 0.0131 | 0.0188 | 0.0005 | 115 | 11.9 | 120 | 3.4 |
| 14 | 29.8 | 378 | 352 | 1.07 | 0.0514 | 0.0054 | 0.1295 | 0.0127 | 0.0183 | 0.0005 | 124 | 11.4 | 117 | 2.9 |
| 15 | 15.9 | 213 | 204 | 1.04 | 0.0475 | 0.0064 | 0.1163 | 0.0135 | 0.0185 | 0.0006 | 112 | 12.3 | 118 | 3.7 |
| 16 | 14.9 | 190 | 157 | 1.21 | 0.0478 | 0.0058 | 0.1179 | 0.0110 | 0.0183 | 0.0005 | 113 | 10.0 | 117 | 3.3 |
| 17 | 21.1 | 295 | 271 | 1.09 | 0.0488 | 0.0049 | 0.1166 | 0.0092 | 0.0186 | 0.0004 | 112 | 8.4 | 119 | 2.6 |
| 18 | 7.14 | 92.3 | 99.8 | 0.92 | 0.0487 | 0.0066 | 0.1218 | 0.0182 | 0.0186 | 0.0007 | 117 | 16.5 | 119 | 4.5 |
| 19 | 13.6 | 165 | 190 | 0.87 | 0.0408 | 0.0053 | 0.1055 | 0.0110 | 0.0193 | 0.0005 | 102 | 10.1 | 123 | 3.5 |
| 20 | 14.6 | 187 | 219 | 0.86 | 0.048 | 0.0057 | 0.1195 | 0.0134 | 0.0188 | 0.0006 | 115 | 12.1 | 120 | 3.9 |
| 21 | 13.9 | 173 | 200 | 0.86 | 0.0616 | 0.0069 | 0.1462 | 0.0142 | 0.0179 | 0.0005 | 139 | 12.6 | 114 | 3.3 |
| 22 | 15.1 | 207 | 191 | 1.08 | 0.0472 | 0.0072 | 0.1194 | 0.0169 | 0.0188 | 0.0005 | 115 | 15.3 | 120 | 3.3 |

2020年(2) 西藏中冈底斯带北部早白垩世构造属性:来自则弄群火山岩锆石 U-Pb 年龄及地球化学的制约 81

平均为 15. 28%; K₂O 含量 0. 72% ~1. 28%, 平均为 0. 98%; 全碱 Na₂O + K₂O 含量在 4. 72% ~6. 16% 之 间, 平均含量 5. 12%, 里特曼指数(σ)为 0. 92 ~ 1. 51, 平均为 1. 16, 分异指数 DI 为 60. 34 ~ 78. 95, 平均为 68. 78; 流纹岩样品 SiO₂含量在 68. 57% ~ 78. 35% 之间, 平均为 73. 21%; Al₂O₃含量 10. 50% ~ 14. 48%, 平均为 13. 34%; K₂O 含量 1. 42% ~ 3. 66%, 平均为 2. 44%; 全碱 Na₂O + K₂O 含量在 3. 52 ~ 6. 04 之间, 平均含量 4. 73%, 里特曼指数 (σ)为0.37~1.28,平均为0.79,分异指数DI为
71.34~87.89,平均为80.04。在K₂O-SiO₂图解(图
5B)中,安山岩和流纹岩样品主要落入钙碱性岩区域,英安岩样品主要落入低钾(拉斑)系列。

综上所述,来多地区的则弄群火山岩为一套总体偏酸性的钙碱性火山岩类,随着酸性程度的增加,钙碱性指数逐渐增加,Al₂O₃含量逐渐降低,分异指数逐渐增大。这些特征与区域上的则弄群火山 岩特征一致^[3,4,11]。





TAS 图解(A)据 Le Maitre(2002),其中:Pc. 苦橄玄武岩;B. 玄武岩;O1. 玄武安山岩;O2. 安山岩;O3. 英安岩;R. 流纹岩;S1. 粗面玄武岩;S2. 玄武质粗面安山岩;S3. 粗面安山岩;T. 粗面岩、粗面英安岩;F. 副长石岩;U1. 碱玄岩、碧玄岩;U2. 响岩质碱玄岩;U3. 碱玄质响岩;Ph. 响岩;Ir. Irvine 分界线(据 Irvine and Baragar,1971),上方为碱性,下方为亚碱性。SiO₂-K₂O 图解(B)据 Peccerillo R and Taylor S R(1976)

 $Fig. 5 \quad Diagrams \ of \ total \ alkalis \ vs. \ silica \ (TAS) \ (A) and \ K_2O \ vs. \ SiO_2(B) \ of \ volcanic \ rocks \ from \ the \ Zenong \ Group$

3.2.2 稀土和微量元素

玄武安山岩样品的稀土元素含量 ΣREE 为 99.01,轻、重稀土比值 ΣLREE/ΣHREE 为 9.01, La_N/Yb_N为6.95,δEu 为0.82;英安岩稀土元素含量 ΣREE 在 90.85~129.14 之间,平均值为114.27, 轻、重稀土比值 ΣLREE/ΣHREE 在 7.42~11.21 之 间,平均为9.94,La_N/Yb_N平均为7.63,δEu 平均为 0.90;流纹岩样品 ΣREE 在 117.94~266.94 之间, 轻、重稀土比值 ΣLREE/ΣHREE 在 9.44~23.38 之 间,平均为12.88,La_N/Yb_N平均为11.13,δEu 平均 为0.70。

总体上,来多地区火山岩均具有富集轻稀土, 轻重稀土分馏明显的特征,具中等的负 Eu 异常,且 酸性岩类的负 Eu 更加明显。在球粒陨石标准化稀 土元素配分曲线上(图 6A),各元素走势特征大体 一致,呈右倾的 V 字特征。总体配分特征与上地壳 相似。

在原始地幔标准化微量元素蜘蛛图(图 6B) 中,各样品的分布形式大体一致,显示"多峰多谷 (槽)"的形态,均相对富集 Rb、Th、U等大离子亲石 元素,亏损 Nb、Ta等高场强元素,具有岛弧火山岩 的特征。则弄群火山岩微量元素蛛网图的曲线特 征与上地壳基本一致,但相比于上地壳,则弄群火 山岩具有更强烈的 Sr 亏损,且酸性岩类 Sr 亏损较 基性岩类更强,但酸性岩类 Ba、Ta等元素的亏损则 相对较弱。其微量元素特征暗示岩浆源区斜长石 的残留或岩浆演化过程中的斜长石的分离结晶作 用,同时也表明则弄群火山岩可能起源于比上地壳 更偏基性的岩浆源区,经过部分熔融或分离结晶作 用而演化成与上地壳相似的微量元素特征。

| | Zenon |
|----------|----------|
| | the |
| | from |
| ₩ | rocks |
| 素分析结 | volcanic |
| iR IN | J |
| L和微量: | elements |
| ■、稀」 | trace |
| 玉玉 | bug |
| ХЦ | earth |
| 则弄群 | 9761 |
| 表 2 〕 | maior |
| | 0f |
| | recults |
| | nalveec |

| | | Ta | ble 2 Anal | mment ench | 6 - 20 Partie - 20 | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------|-----------|------------|------------|--------------------|----------|-------------------|-------------------|-----------|------------|-------------------|----------|----------|-----------|
| 样品 | 玄武安山岩 | | 英安岩 | | | | | | 流 | X 岩 | | | | |
| н | pm403 - 5 | pm404-129 | pm406-104 | PM409-39 | pm403-25 | pm403-44 | pm403 - 57 | pm404 - 88 | pm404-128 | pm404-141 | pm405 - 99 | pm406-50 | pm404-62 | pm406-121 |
| SiO_2 | 54.53 | 67.62 | 61.48 | 66.85 | 75.68 | 71.21 | 75.34 | 71.7 | 69.4 | 68.57 | 73.66 | 77.2 | 71.02 | 78.35 |
| TiO_2 | 0.87 | 0.44 | 0.91 | 0.45 | 0.2 | 0.37 | 0.19 | 0.37 | 0.43 | 0.43 | 0.31 | 0.24 | 0.37 | 0.04 |
| $\mathrm{Al}_2\mathrm{O}_3$ | 17.1 | 14.38 | 15.23 | 16.24 | 11.99 | 14.27 | 12.72 | 13.59 | 14.33 | 14.27 | 14.48 | 14.07 | 13.22 | 10.5 |
| $\rm Fe_2O_3$ | 0.91 | 2.48 | 1.99 | 1.15 | 0.87 | 0.53 | 0.8 | 0.45 | 0.3 | 1.51 | 0.61 | 0.95 | 0.62 | 0.15 |
| FeO | 7.3 | 1.85 | 4.9 | 2.9 | 1.82 | 2.75 | 2.45 | 2.6 | 3.6 | 2.3 | 2.2 | 0.3 | 2.7 | 0.45 |
| MnO | 0.18 | 0.09 | 0.17 | 0.09 | 0.05 | 0.08 | 0.05 | 0.09 | 0.09 | 0.07 | 0.05 | 0.02 | 0.09 | 0.03 |
| M_{gO} | 4.24 | 1.19 | 1.84 | 1.34 | 0.41 | 0.95 | 0.72 | 0.98 | 1.26 | 1.11 | 0.54 | 0.33 | 0.95 | 0.19 |
| CaO | 7.92 | 2.18 | 4.65 | 4.37 | 1 | 1.93 | 1.06 | 2.57 | 2.33 | 2.13 | 1.69 | 0.24 | 3.62 | 2.73 |
| $\rm Na_2O$ | 2.27 | 4.88 | 3.77 | 3.77 | 3.03 | 4.03 | 1.25 | 2.28 | 3.64 | 4.36 | 1.14 | 0.17 | 1.47 | 1.5 |
| $\rm K_2O$ | 1.01 | 1.28 | 0.72 | 0.95 | 3.01 | 1.94 | 2.41 | 2.54 | 1.67 | 1.42 | 3.66 | 3.35 | 2.29 | 2.12 |
| P_2O_5 | 0.13 | 0.1 | 0.16 | 0.08 | 0.13 | 0.09 | 0.03 | 0.08 | 0.1 | 0.1 | 0.02 | 0.04 | 0.08 | 0.02 |
| LOST | 2.57 | 3.15 | 3.51 | 1.31 | 1.09 | 1.17 | 2.55 | 2.28 | 2.29 | 3.3 | 1.22 | 2.87 | 3.11 | 3.7 |
| 山里 | 99.02 | 99.65 | 99.32 | 99.49 | 99.3 | 99.33 | 99.58 | 99.53 | 99.44 | 99.56 | 99.59 | 99.79 | 99.53 | 99.8 |
| La | 19.22 | 28.31 | 24.28 | 20.93 | 61.43 | 26.09 | 60.47 | 30.73 | 27.65 | 29.06 | 35.08 | 51.68 | 33.65 | 25.01 |
| Ce | 36.99 | 50.24 | 47.45 | 36.03 | 111.28 | 50.45 | 105.96 | 50.39 | 47.68 | 51.53 | 64.92 | 84.72 | 59.86 | 41.21 |
| Pr | 4.67 | 5.58 | 5.95 | 4.13 | 12.16 | 5.38 | 11.72 | 5.99 | 5.41 | 5.8 | 7.09 | 8.54 | 6.71 | 5.11 |
| $\mathbf{N}\mathbf{Q}$ | 19.17 | 20.33 | 24.35 | 15.7 | 45.09 | 20.22 | 43.29 | 21.77 | 19.81 | 21.09 | 26.68 | 28.13 | 24.66 | 18.36 |
| Sm | 4.04 | 3.78 | 5.22 | 2.84 | 8.13 | 3.9 | 8.07 | 3.85 | 3.63 | 3.93 | 5.16 | 3.96 | 4.5 | 3.77 |
| Eu | 1.08 | 1.01 | 1.35 | 1.03 | 1.62 | 1.16 | 1.72 | 0.9 | 0.92 | 0.98 | 0.96 | 0.93 | 1.03 | 0.66 |
| Gd | 3.94 | 3.53 | 5.21 | 2.74 | 7.92 | 3.8 | 7.56 | 3.56 | 3.48 | 3.71 | 5.11 | 3.46 | 4.33 | 3.54 |
| Tb | 0.67 | 0.63 | 0.92 | 0.41 | 1.28 | 0.65 | 1.24 | 0.59 | 0.58 | 0.62 | 0.9 | 0.51 | 0.73 | 0.62 |
| $\mathbf{D}\mathbf{y}$ | 3.89 | 3.63 | 5.61 | 2.65 | 7.51 | 3.81 | 7.09 | 3.3 | 3.4 | 3.65 | 5.3 | 2.75 | 4.28 | 3.73 |
| $_{\rm Ho}$ | 0.75 | 0.74 | 1.16 | 0.56 | 1.48 | 0.78 | 1.35 | 0.68 | 0.71 | 0.75 | 1.13 | 0.56 | 0.89 | 0.75 |
| Er | 2.01 | 2.09 | 3.25 | 1.61 | 4.05 | 2.22 | 3.68 | 1.96 | 1.95 | 2.2 | 3.34 | 1.64 | 2.47 | 2.15 |
| Tm | 0.3 | 0.34 | 0.52 | 0.26 | 0.62 | 0.37 | 0.59 | 0.33 | 0.33 | 0.37 | 0.56 | 0.27 | 0.41 | 0.37 |
| $_{\mathrm{Yb}}$ | 1.98 | 2.27 | 3.37 | 1.71 | 3.81 | 2.43 | 3.76 | 2.15 | 2.07 | 2.37 | 3.57 | 1.75 | 2.66 | 2.44 |
| Lu | 0.28 | 0.36 | 0.51 | 0.25 | 0.57 | 0.37 | 0.56 | 0.36 | 0.33 | 0.38 | 0.57 | 0.28 | 0.4 | 0.4 |
| Υ | 21.14 | 22.12 | 32.51 | 15.72 | 41.97 | 22.96 | 39.03 | 20.87 | 20.99 | 22.13 | 34.72 | 16.47 | 26.09 | 23.28 |
| Σ ree | 99.01 | 122.83 | 129.14 | 90.85 | 266.94 | 121.62 | 257.06 | 126.54 | 117.94 | 126.43 | 160.37 | 189.17 | 146.56 | 108.12 |

2020年(2) 西藏中冈底斯带北部早白垩世构造属性:来自则弄群火山岩锆石 U-Pb 年龄及地球化学的制约

| 续表 2 | 玄武安山岩 | | 英安岩 | | | | | | 流 | 汝 岩 | | | | |
|---|--------------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|----------|----------|--|------------|----------|----------|----------|-----------|
| 山田 | pm403-5 | pm404-129 | pm406-104 | PM409-39 | pm403-25 | pm403-44 | pm403-57 | pm404-88 | pm404-128 | pm404-141 | pm405-99 | pm406-50 | pm404-62 | pm406-121 |
| $\mathrm{La}_{\mathrm{N}} / \mathrm{Yb}_{\mathrm{N}}$ | 6.95 | 8.94 | 5.16 | 8.79 | 11.56 | 7.7 | 11.53 | 10.26 | 9.58 | 8.81 | 7.04 | 21.18 | 9.09 | 7.35 |
| δEu | 0.82 | 0.82 | 0.78 | 1.11 | 0.61 | 0.91 | 0.66 | 0.73 | 0.78 | 0.77 | 0.57 | 0.75 | 0.7 | 0.55 |
| δCe | 0.93 | 0.92 | 0.94 | 0.89 | 0.94 | 0.99 | 0.91 | 0.85 | 0.9 | 0.92 | 0.95 | 0.9 | 0.92 | 0.85 |
| Rb | 63.08 | 46.48 | 32.94 | 69.7 | 119.5 | 75.98 | 155.8 | 117.9 | 58.37 | 57.59 | 189.2 | 158.4 | 112.1 | 97.15 |
| Ba | 153 | 389 | 110 | 236 | 1029 | 600 | 398 | 693 | 443 | 692 | 618 | 825 | 662 | 572 |
| Th | 7.64 | 10.52 | 8.3 | 8.4 | 19.66 | 11.98 | 19.53 | 13.26 | 12.05 | 11.08 | 17.59 | 15.61 | 14.05 | 15.28 |
| n | 1.05 | 1.9 | 1.58 | 1.17 | 3.7 | 1.9 | 3.59 | 2.31 | 2.01 | 2.22 | 5.67 | 2.44 | 2.42 | 2.51 |
| Та | 0.87 | 0.95 | 0.96 | 0.76 | 1.34 | 1.02 | 1.09 | 1.21 | 1.04 | 1.03 | 1.38 | 0.95 | 0.84 | 1.18 |
| Nb | 7.96 | 9.74 | 9.59 | 6.73 | 14.11 | 10.24 | 17.15 | 12.48 | 10.43 | 10.1 | 12.93 | 9.11 | 11.97 | 9.84 |
| \mathbf{Sr} | 237.2 | 147.3 | 167 | 196.4 | 146.2 | 139.5 | 81.7 | 147.9 | 153.4 | 176.8 | 115.5 | 26.7 | 112.7 | 48.2 |
| Zr | 106.8 | 168.7 | 162.8 | 141.3 | 247.4 | 161.8 | 205.5 | 164.2 | 173.9 | 163.1 | 172 | 152.2 | 164.4 | 59.2 |
| Ηf | 3.02 | 5.4 | 5.29 | 3.57 | 7.67 | 4.86 | 5.94 | 4.86 | 4.75 | 4.9 | 4.88 | 4.21 | 5.08 | 2.48 |
| Co | 27.65 | 8.18 | 9.13 | 8.25 | 2.59 | 5.57 | 2.99 | 5.63 | 8.14 | 7.37 | 5.54 | 0.85 | 6.43 | 0.53 |
| Cu | 66.06 | 16.83 | 4.43 | 13.18 | 11.89 | 3.13 | 5.53 | 19.83 | 12.6 | 6.44 | 2.37 | 0.63 | 9.86 | 0.54 |
| \mathbf{Zn} | 98.82 | 78.99 | 104.7 | 50.49 | 96.39 | 68.1 | 69.56 | 53.12 | 75.83 | 61.16 | 45.59 | 18.64 | 63.53 | 18.71 |
| Мо | 0.52 | 0.46 | 0.17 | 0.44 | 0.73 | 0.44 | 0.39 | 1.11 | 0.32 | 0.35 | 0.26 | 0.4 | 0.84 | 0.26 |
| M | 1.06 | 0.95 | 0.94 | 1.51 | 1.61 | 1.04 | 10.49 | 2.38 | 8.38 | 0.93 | 3.95 | 3.35 | 8.29 | 1.38 |
| Pb | 21.9 | 13.36 | 10.68 | 5.39 | 41.17 | 22.5 | 60.77 | 40.76 | 14.56 | 14.69 | 16.35 | 20.61 | 18.26 | 13.76 |
| Cr | 92.01 | 10.31 | 4.62 | 18.3 | 15.26 | 10.37 | 8.87 | 17.64 | 12.35 | 9.46 | 10.47 | 4.16 | 17.36 | 3.02 |
| Ni | 27.72 | 3.65 | 0.74 | 5.73 | 3.91 | 3.08 | 4.28 | 5.14 | 3.79 | 3.27 | 2.93 | 1.21 | 5.14 | 0.82 |
| Λ | 206.13 | 52.78 | 72.89 | 62.28 | 15.85 | 49.63 | 17.74 | 420.3 | 56.57 | 53.27 | 33.44 | 22.21 | 43.03 | 2.19 |
| \mathbf{As} | 33.34 | 1.7 | 1.1 | 13.42 | 4 | 1.91 | 2.31 | 25.17 | 2.62 | 1.28 | 4.69 | 15.79 | 13.93 | 0.32 |
| $_{\mathrm{Sb}}$ | 2.36 | 0.24 | 0.18 | 0.83 | 1.08 | 1.09 | 6.56 | 1.82 | 0.45 | 0.24 | 1.52 | 0.93 | 1.48 | 0.09 |
| Sn | 6.48 | 1.98 | 2.02 | 2.45 | 2.93 | 2.13 | 3.43 | 4.11 | 2.46 | 2.05 | 3.47 | 2.48 | 2.4 | 3.45 |
| Ag | 0.248 | 0.105 | 0.064 | 0.043 | 0.095 | 0.042 | 0.15 | 0.136 | 0.058 | 0.055 | 0.043 | 0.247 | 0.133 | 0.046 |
| Αu | 0.94 | 4.38 | 0.71 | 4.93 | 1.1 | 0.32 | 0.57 | 17.91 | 1.88 | 3.17 | 4.82 | 8.91 | 12.43 | 0.27 |
| 注,主量元素 | 计量单位为9 第 | 6:稀土和微量 | \元素计量单(| ù∄ug∕g.Au | 1 为 ng/g;分 | 听测试单位为 | 国土资源部 | 武汉矿产资源 | 1 1 1 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 | c | | | | |



图 6 则弄群火山岩的稀土元素配分图(A)和微量元素蛛网图(B)

图 A 据 Boynton.,1984;图 B 据 Sun and Mcdonough.,1989;上地壳数据据 Rudnick and Gao.,2003 Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns(A) and primitive-mantle-normalized trace element patterns(B) of volcanic rocks from the

Zenong Group

4 讨论

4.1 火山岩时代归属

则弄群的时代,前人主要据则弄群下部产晚侏 罗世层孔虫 Cladocoropsis, 而其化石主要为早白垩 世,因此将则弄群时代归属晚侏罗世--早白垩世。 除古生物外,在措勤县夏东英安岩中获得的 Rb-Sr 年龄为111~114Ma.措勤达瓦错西夹举则弄群下部 之顶的安山玄武岩中获得 128.64Ma 的40 Ar/39 Ar 年 龄(1:25 万措勤县幅²);在当惹雍错西岸郎穷该群 扎列拿组顶部角闪英安岩获得 126. 37 ± 1.61 Ma 的40 Ar/39 Ar 年龄(1:25 万邦多区幅^①);在申扎县扎 贡则弄群下部安山岩中获得 128.54Ma 的40 Ar/39 Ar 年龄(1:25万申扎县幅³)。在格仁错南岸的尼阿 节附近安山岩中获得锆石 U-Pb 年龄为 113.6 ± 1.0Ma^[3]。在措勤地区的熔结凝灰岩中获得锆石 U-Pb 年龄分别为 112.7 ± 1.0Ma 和 108.6 ± 1.6Ma^[12];英安岩、粗面英安岩和流纹岩中获得锆 石的 U-Pb 年龄介于 117.7 ± 0.9 ~ 111.7 ± 1.0 Ma 之间[7];尼雄地区粗面安山岩、流纹岩中获得锆石 U-Pb年龄介于 127.5 ± 2.4 ~ 117.7 ± 1.3Ma 之 间[8]:吉瓦地区流纹岩、流纹质熔结凝灰岩中获得 锆石 U-Pb 年龄介于 126.5 ± 1.1 ~ 120.3 ± 4.3 Ma 之间[6]。此外在申扎县东扎扛附近粗面英安岩、流 纹岩中获得锆石 U-Pb 年龄介于 110.2 ± 1.1~ 106.1±0.8之间^[5]。

本次在则弄群扎列拿组(K₁z)底部、郎穷组(K₁ lq)底部和荣纳组(K₁r)顶部获得的3个锆石 LA- ICP-MS U-Pb 年龄分别为 124.0±1.0Ma、118.5± 1.5Ma、114.7±1.3Ma,表明来多地区的则弄群火山 岩形成于早白垩世。其中 124.0±1.0Ma 的年龄来 源于平行不整合于接奴群之上的扎列拿组(K₁z)底 部的流纹质凝灰熔岩,可代表区内则弄群火山作用 的下限。表明来多地区则弄群火山岩所代表的火 山活动大致在 124Ma 前后开始,一直持续到 114.7Ma 前后。这一观点得到了中部拉萨地块中北 部地区则弄群火山岩可能开始于约 130Ma、结束于 约 110Ma 的佐证^[4]。

4.2 构造背景

来多地区则弄群火山岩主量元素特征显示其 为一套中-低钾钙碱性为主的火山岩,稀土和微量 元素配分模式中,各样品具有大致一致的配分特 征,指示其可能具有相同的岩浆源区。地球化学特 征上,相对富集 Rb、Th、U,LREE 等大离子亲石元 素,亏损 Nb、Ta 等高场强元素。

Pearce et al. (1984)通过分析大量样品发现,利 用 Nb-Y 和 Rb-Yb + Ta 图解可以有效将火山弧花岗 岩、同碰撞花岗岩及板内花岗岩区分开。本次研究 采集的 14 件样品中,有 12 件为英安质 - 流纹质火 山岩,在 Nb-Y 图解中(图 7A),这 12 件样品主要落 在火山弧花岗岩和同碰撞花岗岩范围内,在 Rb-Yb + Ta 图解中(图 7B),样品主要落在火山弧花岗岩 区域。

区域地质调查资料显示,研究区在晚侏罗—早 白垩时期属滨浅海、浅海及河流三角洲等海陆交互 环境,则弄群中多见滨海相的沉积夹层、球状流纹 岩、类似枕状构造产出的安山岩,爆发相火山碎屑 岩亦广泛产出,结合其地球化学特征和构造判别图 解,来多地区的则弄群火山岩应形成于与板片俯冲 有关的岛弧环境。



图 7 则弄群火山岩构造判别图解



4.3 岩石成因

则弄群火山岩的主量和微量元素特征显示其 与上地壳有相似的地球化学特征,但有比上地壳更 明显的 Sr、Ba、Eu 负异常,暗示了其岩浆演化过程中 经历了明显的结晶分异,并受到了地壳的同化混染 作用。

对于岛弧火山岩,其岩浆源区可以是俯冲板片 沉积物及含水流体引起上覆地幔楔物质的部分熔 融后,经过广泛的结晶分异及同化混染形成,也可 以是地壳物质受下部幔源岩浆的热量影响而重熔 的产物。Ba 在消减沉积物和蚀变玄武岩脱水产生 的流体相中是非常活动的元素^[48-50],所以高的 Ba/ La 比值被认为是岩浆源区受到了来源于消减沉积 物和玄武质洋壳流体的影响的证据,同时 La/Yb 的 比值也是区分岩浆熔体是否来源于消减板片的重 要参数^[51],因此,Ba/La-La/Yb 图解可以较好地反 映岩浆源区受俯冲板片和消减沉积物影响的程度。 来多地区则弄群火山岩在该图解中除一个样品 (PM406-50)距板片熔体区域较近以外,其他样品均 距离板片熔体及俯冲沉积物流体较远(图 8A),表 明则弄群火山岩岩浆源区可能和俯冲板片及俯冲 沉积物流体诱发的地幔物质部分熔融无关。同时, 区域上则弄群火山岩的规模很大,遍布中冈底斯的 广大地区,基性的地幔楔通过分异形成如此大规模 的长英质岩浆似乎不太可能。在 La/Sm-La 图解中 (图 8B),除样品 PM403-25 和 PM403-57 外,其余 12 个则弄群火山岩样品均显示部分熔融的线性趋势。

措勤地区则弄群火山岩的 Sr-Nd 同位素特征显示其岩浆源区具有明显的壳源特征^[11],同时期冈底斯中北部的花岗岩基本均显示大的负 ɛNd(t) 值^[28],这些同位素特征均支持区域上则弄群火山与地壳重熔有关。根据地球化学特征,来多地区的则 弄群火山岩很可能起源于下部地壳的部分熔融,受板片俯冲影响,上涌的地幔楔物质加热下地壳而触 发了下部地壳的大范围部分熔融,在岩浆演化过程 中可能存在分离结晶和地壳物质的混杂作用。

4.4 动力学机制

对于诱发该大规模白垩纪岩浆作用的动力学 机制存在多种截然不同的认识。大致有如下4种观 点:①与新特提斯洋壳北向低角度或平板俯冲有 关^[9,19,45,5254];②与班公湖 – 怒江洋壳南向俯冲作用 有关^[2,11,39];③与班公湖 – 怒江洋板片南向和新特 提斯洋板片北向的双向俯冲有关^[1,6,8,10]。④与狮 泉河 – 永珠 – 纳木错 – 嘉黎蛇绿岩带所代表的古 洋(Slainjap 洋)南向俯冲消减有关^[3]。

如前所述,目前对于冈底斯中北部大规模白垩 纪岩浆岩的成因机制存在新特提斯洋北向俯冲、班 公湖-怒江洋南向俯冲及两个大洋双向俯冲等多 种观点。部分学者认为,如果冈底斯中北部火山岩 与新特提斯洋的北向俯冲有关的话,需要洋壳的平 板俯冲,但是由于低角度的平板俯冲会形成隔热层 而不产生岩浆作用或形成埃达克质岩浆岩^[2,7,40]。 而目前已有资料显示在冈底斯带中北部地区白垩 纪岩浆岩多不具备埃达克质岩石的特征,因此冈底 斯带中北部早白垩世则弄群火山岩不可能由新特 提斯洋壳向北的低角度或平板俯冲产生。同样的, 由于早白垩世拉萨地块巨大的地壳缩短^[38,41,42],则 弄群火山岩形成时距离班 – 怒带的距离可能在数 百公里以上,由此可见,由班公湖 – 怒江洋的南向 俯冲消减来解释中冈底斯地区大面积的则弄群火 山岩的形成并不合理。





北冈底斯产出的多尼组火山岩时代与中冈底 斯产出的则弄群火山岩时代相近。多尼组火山岩 多为高钾钙碱性系列甚至钾玄岩系列^[17],岩石地球 化学特征显示其已经具有安第斯型陆壳的特征,已 具有部分同碰撞火山岩的特征。而南侧的则弄群 火山岩则多为中钾钙碱性系列^[3,6,11],为典型的岛弧 火山岩。一般情况下,与俯冲消减有关的火山岩, 随着火山岩与消减带距离逐渐增加,岩石系列将从 低钾钙碱性向高钾钙碱性岩逐渐过渡,多尼组和则 弄群火山岩并没有这样的渐变特征,而在则弄群内 部,由北向南,其岩石地球化学特征显示良好的渐 变特征:重稀土、Na/K 比值逐渐减小,而 K₂O、轻稀 土元素、Rb、Ba 等逐渐增加^[29]。这些特征暗示,则 弄群火山岩和北侧多尼组火山岩可能为不同构造 背景下的产物。

康志强等(2008)认为狮泉河 - 永珠 - 纳木错 - 嘉黎蛇绿混杂岩带所代表的古洋岩石圈(Slainjap 洋)的南向俯冲消减是则弄群火山岩形成的另一种 解释^[3]。该带位于班公湖 - 怒江结合带南侧,其构 造属性一直存在争议。但近年来越来越多的学者 倾向于认为该带代表了一个与班公湖 - 怒江洋平 行的、独立演化的洋盆消减的产物^[1,21,26,27,30]。区域 资料显示,该洋盆可能在晚三叠世已经开始扩张, 最晚在早侏罗世已经裂解成洋,中-晚侏罗世开始 俯冲消减,并于早白垩世晚期闭合,其存续的时间 可能超过100Ma^[20-27]。因此,可以认为当时在中冈 底斯北侧存在有至少两个洋盆,班公湖-怒江洋和 Slainjap洋,且这两个洋盆大致在相同的时间内俯冲 消减。

则弄群火山岩分布于狮泉河 - 永珠 - 纳木错 - 嘉黎蛇绿混杂岩带(SLYNJOMZ)与噶尔 - 隆格尔 - 扎日南木错 - 措麦断裂带(GLZCF)之间,其北界 严格受混杂岩带控制。从西向东,沿狮泉河 - 改则 - 尼玛一线,狮泉河 - 永珠 - 纳木错 - 嘉黎蛇绿混 杂岩带中的 SSZ 型蛇绿岩年龄有逐渐年轻的趋 势^[20,22,26],这种变化趋势和则弄群火山岩年龄的变 化趋势一致^[39],暗示了二者可能为相同的区域构造 事件的产物。研究区北侧约 30km 即为狮泉河 - 永 珠 - 纳木错 - 嘉黎蛇绿混杂岩带中段的阿素蛇绿 混杂岩,其中的辉长岩的锆石 U-Pb 年龄为 117.5 ± 0.5Ma,表明该洋盆至少在早白垩世仍存在洋壳,并 且在早白垩世晚期发生了俯冲消减而消亡^[27]。笔 者亦在阿索以东的构造混杂岩中获得 2 件杏仁状安 山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 115.4 ± 1.2Ma、117.9±1.8Ma(未刊数据),岩石地球化学 特征反映其为阿索洋俯冲消减的产物。以上资料 均表明区内则弄群火山岩的形成在时间和空间上 均与阿索洋(Slainjap洋)的消亡有密切的关系。

综上所述,在早白垩世时期班公湖-怒江洋和 Slainjap 洋均发生了大规模的俯冲消减。北部班公 湖-怒江洋盆的俯冲关闭形成了多尼组火山岩。 Slainjap 洋的南向俯冲消减造成地幔物质上涌加热下地壳,诱使下地壳部分熔融,初始岩浆在后期经历了不同程度的分离结晶和上地壳物质的混染作用,并最终喷发成岩,在它日错 - 当雄晚三叠世岩浆弧以南的来多地区形成了广泛分布的早白垩世则弄群中酸性火山岩(图9)。



图 9 早白垩世冈底斯北部构造演化简图

1. 二叠纪以前的地层;2. 二叠纪碎屑岩及灰岩建造;3. 晚三叠世—早侏罗世细碎屑岩建造;4. 早白垩世碎屑岩及灰岩建造;5. 早白垩世火山岩 建造;6. 晚三叠世花岗岩;7. 洋壳及运动方向



5 结论

(1)来多地区的则弄群为一套陆相为主的火山 - 沉积地层,锆石 U-Pb 年龄显示其形成于 124.0~ 114.7Ma 之间。

(2)来多地区则弄群火山岩具有岛弧火山岩的 地球化学性质,其岩浆源区可能是下部地幔上涌诱 发的下地壳部分熔融。

(3)则弄群火山岩的分布特征、年龄特征和地 球化学特征显示,研究区的则弄群火山岩为狮泉河 - 永珠 - 纳木错 - 嘉黎蛇绿岩带所代表的 Slainjap 洋南向俯冲消减的产物。

注释:

- ①谢国刚, 邹爱建, 袁建芽, 谬思平, 李晓勇, 唐峰林, 徐祖丰, 陈振华, 罗小川, 徐银保, 肖业斌, 曹圣华, 黄传冠. 2003. 中华人民共和国1:25万区域地质调查报告邦多区幅
- ②刘登忠,陶晓风,马润则,石和,朱利东,胡新伟.2003. 中华人民共和国1:25万区域地质调查报告措勤县幅
- ③王天武,程立人,李才,武世忠,赵俊才,和钟铧,张予杰,朱志勇, 杨德明.2003.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告申扎 县幅

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 朱弟成,潘桂棠,莫宣学,等. 冈底斯中北部晚侏罗世 早白垩 世地球动力学环境:火山岩约束[J]. 岩石学报,2006,22(3): 534-546.
- [3] 康志强,许继峰,董彦辉,等.拉萨地块中北部白垩纪则弄群火 山岩:Slainajap 洋南向俯冲的产物[J].岩石学报,2008,24
 (2):303-314.
- [4] 朱弟成,莫宣学,赵志丹,等.西藏冈底斯带措勤地区则弄群火 山岩锆石 U-Pb 年代学格架及构造意义[J]. 岩石学报,2008, 24(3):401-412.
- [5] 丁慧霞,张泽明,向华等.青藏高原拉萨地体北部早白垩世火 山岩的成因及意义[J].岩石学报,2015,31(5):1247-1267.
- [6] 王力圆,郑有业,高顺宝,等.中部拉萨地体南侧吉瓦地区早白 垩世则弄群火山岩的发现及意义[J].岩石学报,2016,32(5): 1543-1555.
- [7] 周华,邱检生,喻思斌,等.西藏措勤地区火山岩的年代学与地 球化学及其对岩石成因的制约[J].地质学报,2016,90(11): 3173-3191.
- [8] 苟正彬,刘函,李俊,等.拉萨地块中北部尼雄地区早白垩世火 山岩的成因及构造意义[J].地球科学,2018,43(8):2780
 - 2794.
- [9] 马国林,岳雅慧.西藏拉萨地块北部白垩纪火山岩及其对冈底 斯岛弧构造演化的制约[J].岩石矿物学杂志,2010,29(7):
 525-538.
- [10] 叶春林,黄柏鑫,王燚,等. 西藏中冈底斯扎布耶茶卡北部晚 保罗世则弄群火山岩的锆石 U-Pb 年代学及其成因意义[J]. 高校地质学报,2018,24(4):525-535.

- [11] 刘伟,李奋其,袁四化,等.西藏措勤地区则弄群火山岩源区
 -地球化学及 Sr-Nd 同位素制约[J].岩石矿物学杂志,2010, 29(4):367-376.
- [12] 刘伟,李奋其,袁四化,等. 西藏中冈底斯带措勤地区则弄群 熔结凝灰岩锆石 LA-ICP-MSU-Pb 年龄[J]. 地质通报,2010, 29(7):1009-1016.
- [13] 肖志坚,廖思平,黄传冠,等. 西藏当惹雍错晚侏罗世—早白 垩世扎列拿组、郎穷组和荣纳组的建立[J]. 地质通报,2003, 22(11-12):970-976.
- [14] 孙赛军,张丽鹏,丁兴,等. 西藏那曲中酸性火山岩的锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素和地球化学特征及岩石成因[J]. 岩石学报,2015,31(7):2063-2077.
- [15] 李奋其,刘伟,耿全如. 西藏冈底斯带那曲地区中生代火山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和地质意义[J]. 地球学报, 2010,31(7):781-790.
- [16] 彭智敏, 耿全如, 张璋, 等. 西藏那曲地区流纹岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征[J]. 地质通报, 2011, 30(7): 1050-1059.
- [17] 康志强,许继峰,王保弟,等.拉萨地块北部白垩纪多尼组火 山岩的地球化学:形成的构造环境[J].地球科学一中国地质 大学学报,2009,34(1):93-108.
- [18] 朱弟成,莫宣学,王立全,等.新特提斯新特提斯演化的热点 与洋脊相互作用:西藏南部晚侏罗世-早白垩世岩浆作用推 论[J].岩石学报,2008,24(2):225-237.
- [19] 黄丰,许继峰,陈建林,等. 早侏罗世叶巴组与桑日群火山岩:
 特提斯洋俯冲过程中的陆缘弧与洋内弧[J]. 岩石学报,
 2015,31(7):2089-2100.
- [20] 郑有业,许荣科,马国桃,等. 锆石 SHRIMP 测年对狮泉河蛇 绿岩形成和俯冲的时间约束[J]. 岩石学报,2006,22(4): 0895-0904.
- [21] 王保弟,许继峰,曾庆高,等.西藏改则地区拉果错蛇绿岩地 球化学特征及成因[J].岩石学报,2007,23(6):1521-1530.
- [22] 郑有业,许荣科,何来信,等.西藏狮泉河蛇绿混杂岩带—
 个新的多岛弧盆系统的厘定及意义[J].沉积与特提斯地质, 2004,24(1):13-20.
- [23] 叶培盛,吴珍汉,胡道功,等.西藏永珠-果芒错蛇绿岩的地球化学特征及其构造意义[J].现代地质,2005,19(4):508-514.
- [24] 王振,叶培盛,张绪教,等.藏北果芒错蛇绿岩中堆晶岩地球 化学特征及其地质意义[J].现代地质,2017,370,31(3):486 -497.
- [25] 樊帅权,史仁灯,丁林,等.西藏改则蛇绿岩中斜长花岗岩地 球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及构造意义[J].矿物岩石学杂 志,2010,29(5);467-478.
- [26] 徐梦婧,李才,吴彦旺,等. 西藏果芒错蛇绿混杂岩中硅质岩的地球化学特征及其形成环境[J]. 地质通报,2014,33(7): 1061-1066.
- [27] 曾孝文,王明,范建军,等.西藏高原中部阿索蛇绿岩岩石学 与同位素年龄[J].地质通报,2018,37(8):1492-1502.
- [28] 莫宣学,董国臣,赵志丹,等.西藏冈底斯带花岗岩的时空分 布特征及地壳生长演化信息[J].高校地质学报,2005,11

(3):281 - 290.

- [29] 刘珂辛,张勇强,雷波.西藏则弄群火山岩特征及其俯冲极性 判断[J].矿产地质,2014,33(z):111-112.
- [30] 王立全,潘桂棠,丁俊,等.青藏高原及邻区地质图说明书(1 :1500000)[M].北京:地质出版社,2014.
- [31] Le Maitre R W. Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms, 2nd ed [M]. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 236.
- [32] Irvine TN and Baragar WRA. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks [J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1971, 8:523 - 548.
- [33] Peccerillo R., Taylor S R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey [J]. Contrib. Mineral Petrol, 1976, 58:63 ~81.
- [34] Rudnic R L, Gao S. Composition of the continental crust [C]// Rudnick R L. The Crust: Treaties on Geochemistry. Oxford Elsevier-Pergamon, 2003:1-64.
- [35] Sun S S and McDonough W. F. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes [J]. Geological Society London Special Publications, 1989,42(1):313-345.
- [36] Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements:meteorite studies[C]//Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier,1984:63 - 114.
- [37] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. Journal of Petrology, 1984, 25:956 – 983.
- [38] Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen [J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2000, 28(1):211-280.
- [39] Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, et al. The Lhasa Terrane: Record of a microcontinent and its histories of drift and growth [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2011, 301:241 – 255.
- [40] Gutscher M A, Maury R and Eissen J P. Can slab melting be caused by flat subduction [J] ? Geology, 28(6):535-538.
- [41] Murphy M A, Yin A, Harrison T M, et al. Did the Indo-Asian collision alone create the Tibetan plateau [J]? Geology, 1997, (8):719-722.
- [42] Tapponnier P, Xu Z Q, Roger F, et al. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau [J]. Science, 2001, 23: 1671 - 1677.
- [43] Girardeau J, Marcoux J, Allegre C J, et al. Tectonic environment and geodynamic significance of the Neo-Cimmerian Donqiao ophiolite, Bangong-Nujiang suture zone, Tibet [J]. Nature, 1984, 307(5946):27-31.
- [44] Coward, M. P., Kidd, W. S. F., Yun, P., et al. The Structure of the 1985 Tibet Geotraverse, Lhasa to Golmud. Philosophical Transactions of the Royal Society of London [J]. Series A, Mathematical and Physical Sciences, 1988, 327 (1594): 307 - 333.
- [45] Kapp P, Murphy M. A, Yin A, et al. Mesozoic and Cenozoic tectonic evolution of the Shiquanhe area of western Tibet [J].

Tectonics, 2003, 22(4);1029.

- [46] Hoskin P W O, Black L P. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon [J]. Journal of Metamorphic Geology, 2000, 18:423-439.
- [47] Ludwig K R. Isoplot/Ex version 3.00. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center Special Publication. 2003, 4:1 - 70.
- [48] Brenan J M, Shaw H F, Ryerson F J and Phinney D L. Mineralaqueous fluid partitioning of trace elements at 900°C and 2. 0 GPa: constraints on the trace element chemistry of mantle and deep crustal fluids [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1995,59;3331-3350.
- [49] Kogiso T, Tatsumi Y and Nakano S. Trace element transport during dehydration processes in the subduction oceanic crust: Experiments and implications for the origin of ocean island basalts [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1997, 148:193 - 205.
- [50] You C F, Castillo P R, Gieskes J M, Chan L H and Spivack A J. Trace element behavior in hydrothermal experiments: Implications

for fliud processes at shallow depths in subduction zones [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1996, 140, 41 - 52.

- [51] Defant M J and Drummond M S. Derivation of same modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere [J]. Nature, 1990,347:662-665.
- [52] Coulon C, Maluski H, Bollinger C, et al. Mesozoic and Cenozoic volcanic rocks from central and southern Tibet:³⁹Ar-⁴⁰Ar dating, petrological characteristics and geodynamical significance [J]. Earthand Planetary Science Letters, 1986, 79(3):281 – 302.
- [53] Guo L, Liu Y, Liu S, et al. Petrogenesis of early to middle Jurassic granitoid rocks from the Gangdese belt, southern Tibet: Implications for early history of the Neo-Tethys [J]. Lithos, 2013,179(5):320-333.
- [54] Zhang K J, Zhang Y X, Tang X C, et al. Late Mesozoic tectonic evolution and growth of the tibetan plateau prior to the indo-asian collision [J]. Earth-Science Reviews, 2012, 114 (3-4): 236 -249.

Tectonic attributes of the Northern part of the Middle Gangdise Belt in the Early Cretaceous: evidences of zircon U-Pb dating and lithogeochemistry of volcanic rocks from the Zenong Group

ZHANG Tong¹, HUANG Bo², LUO Gai¹, MA Zhaoxiong¹, HUANG Yonggao¹, WANG Yi¹ (1. Geological Survey of Sichuan Province, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. The geological prospecting team of Sichuan Geological & Mineral Bureau, Chengdu 610032, Sichuan, China)

Abstract: The genesis of the widely distributed volcanic rocks of the Zenong Group in the Middle Gangdise Belt, Tibet, has been controversial. By carrying out zircon U-Pb dating of the volcanic rocks from the Zenong Group in Laiduo are, the authors believe that the volcanic rocks of the Zenong Group were formed during 124.0 ~ 114.7Ma. The geochemical analyses of volcanic rocks from the Zenong Group show that their SiO₂ contents range from 54. 53% to 78.35%, and the aluminum saturation index A/CNK is between 0.77 and 3.75, suggesting the volcanic rocks of the Zenong Group belong to the aluminum-peraluminous rocks, enriching in LREEs and LILEs such as Rb_xBa_xTh and U, depleting in HFS elements such as Nb and Ta, and with an obvious negative anomaly of Eu. Evidences of the both Zircon U-Pb dating and lithogeochemisty indicate that the Zenong Group may be the product of the southward subduction of the Slainajap ocean which is now in the form of Shiquanhe-Yongzhu-Namucuo-Jiali ophiolite belt during the Early Cretaceous.

Key words: early Cretaceous; volcanic Rocks; the Zenong Group; U-Pb dating; Slainajap Ocean; Gangdise