

# 贵州独山地区二叠纪—三叠纪凝灰岩地球化学特征及其地质意义

王波<sup>1</sup>, 朱华利<sup>1,2</sup>, 张晗彬<sup>1</sup>, 譙常<sup>1</sup>, 陈武<sup>1</sup>

(1. 贵州省地质调查院, 贵州 贵阳 550000; 2. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074)

**[摘要]** 本文对右江盆地北缘晚二叠世大隆组、早三叠世罗楼组中的凝灰岩夹层开展地质分析研究。镜下岩石学鉴定显示其为一套玻屑、晶屑凝灰岩; 而其主量元素特征分析表明属流纹质、安山质凝灰岩, 具高硅、高铝、高钾特征。结合稀土元素球粒陨石标准化分布型式图及微量元素原始地幔标准化蛛网图形态特征, Y、Nb、Rb、La、Pb 及 Ce 等稀土、微量元素的比值特征, 认为凝灰岩的岩浆来源与该时期发生在凭祥一带的中—酸性火山弧活动密切相关。构造背景属于古特提斯洋向北往华南陆块之下俯冲时, 形成活动大陆边缘岛弧, 弧后陆壳发生伸展活动形成右江盆地。岩浆来源于洋壳俯冲发生部分熔融, 且尚未与地幔发生作用, 在上升过程中与陆壳物质发生混染, 由火山弧的活动喷发而来。

**[关键词]** 凝灰岩; 地球化学; 右江盆地; 火山弧; 活动大陆边缘

**[中图分类号]** P534.46; P534.51; P584 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2017)02-0082-08

右江盆地位于贵州南部、云南东南部与广西西部的三省交接部位。区内保存了晚古生代早泥盆世以来的地层沉积。研究表明, 区内发育早—中泥盆世陆源碎屑岩滨岸相—陆棚—斜坡—盆地相(梅冥相, 2001; 唐佐其, 2015), 晚泥盆世至中三叠世碳酸盐台地—斜坡盆地组合(梅冥相, 2002; 梅冥相 2002; 譙文浪, 2012; 王波, 2013)。中晚泥盆世至晚二叠世, 在盆地相区发育一定规模的孤立碳酸盐台地沉积; 三叠系中统开始, 盆地—斜坡地区由先前的薄板泥页岩、泥灰岩组合, 快速转为厚达上千米、含长石的复理石沉积(陈翠华, 2003)。发育于盆地南缘, 广西凭祥一带的中酸性岛弧火山在  $251 \pm 3$  Ma ~  $246 \pm 2$  Ma 较为活跃, 右江盆地属于弧后盆地(覃小锋)。滇桂交接的富宁—那坡一带中基性火山岩晚二叠世至  $241.2 \text{ Ma} \pm 1.9 \text{ Ma}$  发生作用(胡丽沙, 2012; 吴根耀, 2000), 晚二叠世火山活动与地幔柱活动相关(杜远生, 2009)。盆地中来自罗楼组底部凝灰岩锆石 U-Pb 年龄为  $253.0 \text{ Ma} \sim 252.8 \text{ Ma}$ , 新苑组

底部凝灰岩锆石 U-Pb 年龄为  $247.2 \text{ Ma} \sim 239.3 \text{ Ma}$ (黄虎, 2012), 显示其与上述火山活动具有时间上的联系。通过对盆地内陆源碎屑岩物质成分和地球化学分析(黄虎, 2012), 以及晚二叠世—早中三叠世薄层硅质岩地球化学分析表明[黄虎, 2012; 黄虎, 2012(S2); 黄虎, 2013], 区内盆地沉积与岛弧及活动大陆边缘构造背景相关。本次从盆地北缘晚二叠世至早三叠世凝灰岩的地球化学特征开展研究, 探讨其岩浆的来源及构造背景。

## 1 地质背景

研究区位于右江盆地的北东缘(图 1a), 区内物质的沉积, 受到盆地性质的控制。早泥盆世区内主要为滨岸相石英砂岩沉积, 中泥盆世则为潮坪相砂泥与灰岩的组合, 晚泥盆世则完全进入局限—半局限台地沉积。早石炭世以砂泥为主的潮坪沉积为特征, 其上为局限—开阔台地相沉积。中二叠世早期为滨岸相石英砂岩沉积, 中二叠世

**[收稿日期]** 2017-02-14

**[基金项目]** 中国地质调查局地质调查项目《贵州 1:5 万独山等四幅区域地质调查》(121201010000150011-03); 2010 年度贵州省地矿局局管重大科研项目之《贵州区域构造特征、构造演化与矿产空间分布关系研究》; 贵州省地矿局青年地质科学研究项目《贵州松桃—江口地区寒武系炭质粘土岩地球化学特征研究》[黔地矿科合(2012-16 号)]资助。

**[作者简介]** 王波(1984—), 男, 四川绵竹人, 工程师, 硕士, 主要从事区域地质及矿产研究。

晚期为开阔台地相沉积,晚二叠世为合山组( $P_3h$ )薄层灰岩、硅质岩组合,大隆组( $P_3d$ )薄层硅质岩(含菊石化石 *Pseudotirolites*)、灰白或灰绿色薄层凝灰岩、粘土岩组合构成的台沟沉积,此时的台地边缘位于研究区南邻麻尾至罗甸板庚一带。早三叠世区内为斜坡—盆地相罗楼组( $T_1l$ )、紫云组( $T_{1-2}z$ )薄层粘土岩、泥质灰岩组合,其底部见黄灰色厚层块状凝灰岩夹层;中三叠世为新苑组( $T_2x$ )厚达数百米的薄层陆源碎屑岩沉积;此时的台地边缘位于研究区以北百余公里处的贵阳至福泉一线。区内发育北北东向宽缓背斜—紧闭向斜褶皱组合。本次样品即采自向斜两翼(图 1b)的甲良(spm002)、尧棒(4cy-01)、朋宾(4cy-02)等处的大隆组、罗楼组地层的凝灰岩夹层中。

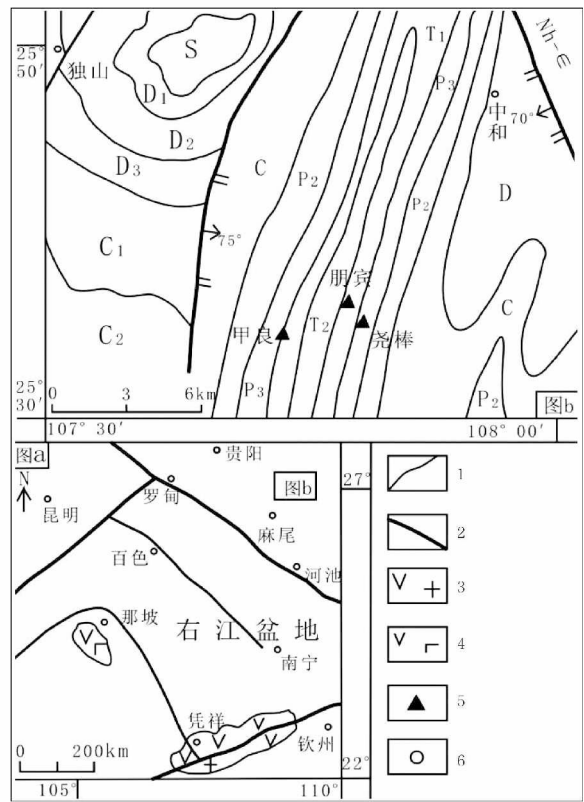


图 1 (a)右江盆地地质构造简图;(b)独山地质简图  
Fig. 1 (a)Geological and tectonic sketch map of the Youjiang Basin;(b)Geological tectonic sketch map of Dushan  
1—地质界线;2—断层;3—中酸性火山岩;4—中基性火山岩;  
5—采样位置;6—地名

2 测试方法

样品的地球化学元素测试均在国土资源部贵阳矿产资源监督检测中心测定。主量元素采用等离子发射光谱仪 ICAP6300-S-296 测定(GB/T

14506-2010),相对标准偏差 2%~5%;微量元素和稀土元素分析采用等离子质谱仪 iCAPQ-S-319 测定(GB/T 14506.29-2010)。微量元素和稀土元素的分析精度:元素含量大于  $10\times 10^{-6}$  的误差小于 5%,小于  $10\times 10^{-6}$  的误差小于 10%。采用国家标准样 GBW07103 校正。

3 分析结果

3.1 样品特征

区内凝灰岩分布在方村向斜两翼  $P_3d$  及  $T_1l$  地层中(图版 1)。 $P_3d$  凝灰岩样品采自该组灰黑色薄层硅质岩之间的薄层凝灰岩夹层;而  $T_1l$  凝灰岩样品则采自该组中,与灰色厚层粘土岩呈不等厚互层产出的黄灰色层厚层一块状凝灰岩。样品经贵州省地质调查院岩矿鉴定中心鉴定为晶屑玻屑凝灰岩、玻屑凝灰岩。具块状或薄板状构造,晶屑玻屑结构、玻屑结构或凝灰结构。火山碎屑主要为玻屑、晶屑及火山灰,直径 2 mm~0.5 mm,总含量在 98%左右。玻屑呈鸡骨状、镰刀状,含量 15%~60%,具微弱绿泥石化。晶屑为长石、石英等,含量 5%~20%,呈港湾溶蚀状。火山灰含量 15%~90%不等,具微弱绿泥石化。个别样品可见具板状结构的流纹质或英安质岩屑,含量 3%。副矿物多为含钛矿物、含铁矿物,约占样品总量 2%,分布较为均匀,结晶粒度小于 0.2 mm,呈板粒状、自形—半自形。

3.2 岩石地球化学特征

3.2.1 主量元素特征

本次测试样品主量分析结果见表 1。数据显示采自  $P_3d$  的一件样品及  $T_1l$  的两件样品  $SiO_2$  含量较高,在 71.42%~77.48%之间,在火成岩分类的 TAS 图解(图 2)上落在流纹岩区内; $T_1l$  一件样品  $SiO_2$  含量 63.60%,落在英安岩区靠安山岩一侧。其余的样品  $SiO_2$  含量在 58.59%~61.95%之间,落在安山岩区内。总体上显示样品为中—酸性火山凝灰岩。样品中  $Na_2O$  含量为 0.028%~2.85%,平均为 0.633%; $K_2O$  含量 1.84%~6.09%,平均为 4.79%,岩石中 K 含量较高,属于富钾系列。 $CaO$  含量在 0.30%~3.90%之间,平均值 2.16%; $MgO$  含量 0.84%~2.91%之间,平均 1.44%,二者含量均较低。

表 1 凝灰岩主量元素( $10^{-2}$ )、微量元素( $10^{-6}$ )及稀土元素( $10^{-6}$ )分析结果  
Table 1 Major( $10^{-2}$ ) trace and race earth elements( $10^{-6}$ ) of tuff

| 项目                              | 样品 | 4yc01-H3         | 4yc01-H4         | 4yc02-H1         | 4yc02-H3         | 4yc02-H4         | 4yc02-H5         | spm002-1H2       | spm002-3H2       | spm002-3H3       |
|---------------------------------|----|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                 |    | P <sub>3</sub> d | P <sub>3</sub> d | T <sub>1</sub> l | T <sub>1</sub> l | T <sub>1</sub> l | T <sub>1</sub> l | P <sub>3</sub> d | T <sub>1</sub> l | T <sub>1</sub> l |
| A <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   |    | 19.90            | 17.46            | 16.73            | 18.65            | 19.19            | 20.14            | 11.13            | 13.87            | 11.95            |
| CaO                             |    | 3.40             | 3.90             | 2.85             | 3.02             | 2.99             | 3.30             | 0.94             | 0.43             | 0.48             |
| TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |    | 1.50             | 1.59             | 1.52             | 1.50             | 2.20             | 1.70             | 1.60             | 2.65             | 2.06             |
| K <sub>2</sub> O                |    | 5.50             | 4.70             | 4.76             | 5.02             | 5.50             | 5.69             | 1.84             | 5.61             | 3.21             |
| MgO                             |    | 1.45             | 1.52             | 1.14             | 1.52             | 1.20             | 1.34             | 1.23             | 1.27             | 0.84             |
| Na <sub>2</sub> O               |    | 0.078            | 0.028            | 0.144            | 0.120            | 0.144            | 0.089            | 2.35             | 0.46             | 2.85             |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>   |    | 0.11             | 0.10             | 0.046            | 0.035            | 0.040            | 0.056            | 0.17             | 0.067            | 0.10             |
| TiO <sub>2</sub>                |    | 0.20             | 0.17             | 0.32             | 0.32             | 0.32             | 0.36             | 0.084            | 0.323            | 0.210            |
| S                               |    | 0.012            | 0.011            | 0.019            | 0.012            | 0.018            | 0.013            | 0.036            | 0.027            | 0.008            |
| LOSS                            |    | 7.65             | 8.02             | 8.24             | 10.23            | 8.03             | 8.55             | 3.02             | 3.81             | 2.54             |
| SiO <sub>2</sub>                |    | 59.56            | 61.95            | 63.60            | 59.35            | 60.25            | 58.59            | 77.48            | 71.42            | 76.03            |
| La                              |    | 39.50            | 32.86            | 67.49            | 79.52            | 48.34            | 55.14            | 25.98            | 65.47            | 51.35            |
| Ce                              |    | 84.69            | 85.96            | 123.10           | 96.52            | 82.59            | 68.07            | 47.96            | 111.60           | 98.30            |
| Pr                              |    | 11.13            | 9.84             | 21.96            | 23.59            | 13.95            | 16.27            | 7.38             | 17.35            | 13.79            |
| Nd                              |    | 38.89            | 35.90            | 79.83            | 85.66            | 51.48            | 58.58            | 25.95            | 57.62            | 46.55            |
| Sm                              |    | 7.66             | 7.33             | 14.60            | 13.68            | 7.58             | 9.33             | 5.70             | 10.36            | 8.85             |
| Eu                              |    | 0.36             | 0.37             | 0.85             | 0.94             | 0.62             | 0.78             | 0.41             | 1.02             | 0.87             |
| Gd                              |    | 6.98             | 6.78             | 10.74            | 10.56            | 6.55             | 8.40             | 5.84             | 9.74             | 9.06             |
| Tb                              |    | 2.05             | 1.94             | 3.08             | 3.23             | 1.90             | 2.41             | 1.02             | 1.53             | 1.51             |
| Dy                              |    | 14.80            | 13.80            | 18.52            | 20.43            | 12.43            | 15.97            | 5.89             | 8.64             | 8.67             |
| Ho                              |    | 2.82             | 2.61             | 2.99             | 3.64             | 2.30             | 2.97             | 1.16             | 1.73             | 1.73             |
| Er                              |    | 9.90             | 9.24             | 9.57             | 11.49            | 7.66             | 9.99             | 3.39             | 5.12             | 5.01             |
| Tm                              |    | 1.71             | 1.63             | 1.37             | 1.70             | 1.18             | 1.55             | 0.52             | 0.76             | 0.73             |
| Yb                              |    | 9.85             | 9.53             | 7.46             | 8.89             | 6.30             | 8.34             | 3.52             | 4.94             | 4.65             |
| Lu                              |    | 1.55             | 1.54             | 1.14             | 1.33             | 0.93             | 1.23             | 0.52             | 0.74             | 0.69             |
| Rb                              |    | 183              | 180              | 246              | 241              | 281              | 283              | 61.59            | 231.44           | 117.42           |
| Ba                              |    | 144              | 167              | 385              | 344              | 321              | 336              | 139              | 796              | 606              |
| Th                              |    | 30               | 28               | 29               | 27               | 29               | 29               | 16.80            | 31.49            | 26.05            |
| U                               |    | 9.08             | 10.8             | 12.4             | 10.6             | 10.7             | 11.6             | 2.47             | 6.61             | 5.41             |
| K                               |    | 45 639           | 39 022           | 39 492           | 41 641           | 45 639           | 47 236           | 15 259           | 46 559           | 26 653           |
| Nb                              |    | 39               | 35               | 19               | 20               | 20               | 22               | 10.90            | 20.34            | 16.30            |
| Pb                              |    | 57.33            | 64.21            | 47.88            | 24.96            | 28.58            | 19.28            | 25.99            | 46.18            | 22.78            |
| Sr                              |    | 85.86            | 105.13           | 83.61            | 90.58            | 68.07            | 74.41            | 133.90           | 342.03           | 222.02           |
| ΣREE                            |    | 231.91           | 219.34           | 362.70           | 361.18           | 243.81           | 259.02           | 135.23           | 296.62           | 251.76           |
| δEu                             |    | 0.15             | 0.16             | 0.21             | 0.24             | 0.27             | 0.27             | 0.22             | 0.31             | 0.30             |
| (La/Yb) <sub>N</sub>            |    | 2.59             | 2.23             | 5.85             | 5.78             | 4.96             | 4.28             | 4.77             | 8.58             | 7.15             |
| (La/Sm) <sub>N</sub>            |    | 2.96             | 2.57             | 2.65             | 3.33             | 3.66             | 3.39             | 2.61             | 3.62             | 3.33             |
| (Gd/Yb) <sub>N</sub>            |    | 0.60             | 0.60             | 1.22             | 1.00             | 0.88             | 0.85             | 1.40             | 1.67             | 1.65             |

注:主量元素单位  $10^{-2}$ ,稀土、微量元素单位  $10^{-6}$ ;由国土资源部贵阳矿产资源监督检测中心测定。

里特曼(组合)指数  $\delta$  基本在 0.51~2.14 之间,平均值 1.42,小于 3.3,均为具钙碱性的凝灰岩。全碱  $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  含量在 4.18~6.07 之间,平均为 5.34。在  $w(\text{SiO}_2) - w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  岩石系列判别图解中(图 2),均落在亚碱系列。在岩石硅碱系列  $w(\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O})$  判别图(图 3)中,样品大多落在钾玄岩系列,仅 spm002-1H1 及 3H3 落在钙碱性系列中。

上述凝灰岩为安山—流纹质火山凝灰岩,属于过铝钙的钾玄—钙碱性岩系。样品具有富硅、富铝、富碱,贫钙、贫镁的特征。

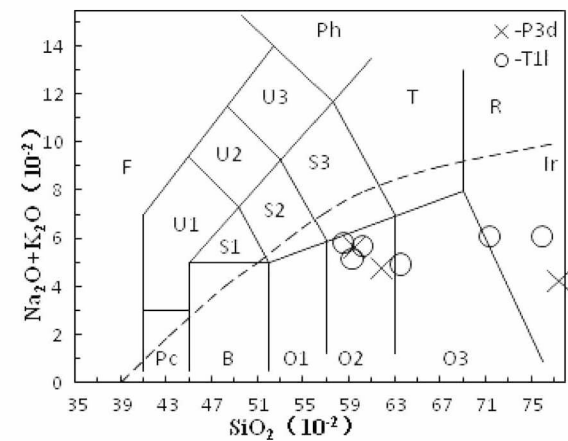


图 2 火山岩 TAS 图解

Fig. 2 TAS diagrams of volcanic rocks

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,上方为碱性,下方为亚碱性

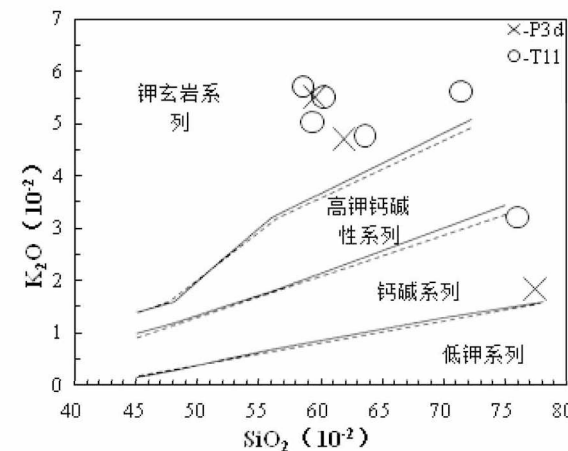


图 3 火山岩  $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$  图解

Fig. 3  $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$  diagrams of volcanic rocks

3.2.2 稀土元素特征

从稀土元素分析数据看(表 1)研究区凝灰岩

稀土总含量( $\Sigma\text{REE}$ )除一件样品较低在  $135 \times 10^{-6}$  外,其余均较高(球粒陨石数据 Sun, 1989),介于  $231 \times 10^{-6} \sim 362 \times 10^{-6}$  之间,平均  $282 \times 10^{-6}$ 。通过稀土元素球粒陨石标准化分布型式图(图 4),各样品均表现出较好的一致性,配分曲线总体呈现 LREE 富集的右倾型分布,具活动大陆边缘的特征。其轻、重稀土元素之间存在较强的分馏特征,  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 2.23 \sim 8.58$ , 平均值 5.39; 且轻稀土分馏明显强于重稀土,  $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} = 2.57 \sim 4.07$ , 平均值 3.22,  $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}} = 0.60 \sim 1.80$ , 平均值 1.17。Eu 负异常强,  $\delta\text{Eu} = 0.15 \sim 0.34$ , 均值 0.25。上述样品的稀土配分曲线相似,表明具有相同的岩浆源区。分布型式曲线与 Sanandaj-Sirjan 岛弧型火岩(覃小锋, 2011; 胡丽沙, 2012)相似。

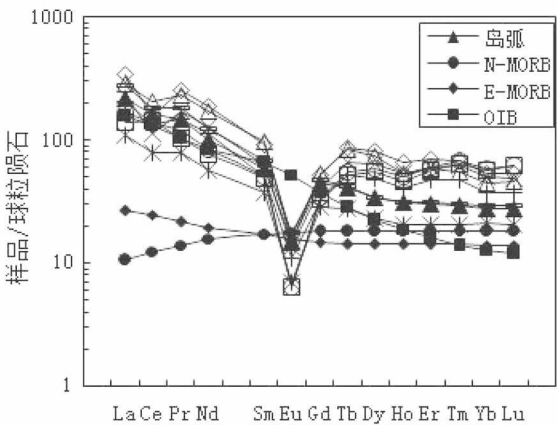


图 4 火山岩稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

Fig. 4 Chondrite-normalized rare earth element diagrams of volcanic rocks

3.2.3 微量元素特征

据微量元素数据(表 1)本次绘制了微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 5;原始地幔数据 Sun, 1989)。样品的大离子亲石元素(LILEs)中的 Rb、Ba、Th、U 和 K 相对富集,其中 Rb 相对含量为  $61 \times 10^{-6} \sim 231 \times 10^{-6}$ , 平均  $203 \times 10^{-6}$ ; Ba 含量  $144 \times 10^{-6} \sim 796 \times 10^{-6}$ , 平均值  $360 \times 10^{-6}$ ; Th 含量  $16 \times 10^{-6} \sim 31 \times 10^{-6}$ , 平均  $27 \times 10^{-6}$ ; U 含量  $2 \times 10^{-6} \sim 12 \times 10^{-6}$ , 平均  $8 \times 10^{-6}$ 。而高场强元素(HFSE)中的 Nb、P、Ti 明显亏损, Nb 含量  $10 \times 10^{-6} \sim 39 \times 10^{-6}$ , 平均  $23 \times 10^{-6}$ 。样品蛛网曲线相似,显示具有相同的岩浆源区。而上述样品的富集、亏损特征,反映了源区可能为岛弧火山岩或由大陆地壳物质的参与(杜远生, 2009; 王勤, 2015; 程银行, 2012)造成。曲线形态和 Sanandaj-Sirjan 岛弧型火岩的曲线极为相似(覃小锋, 2011; 胡丽沙, 2012)。

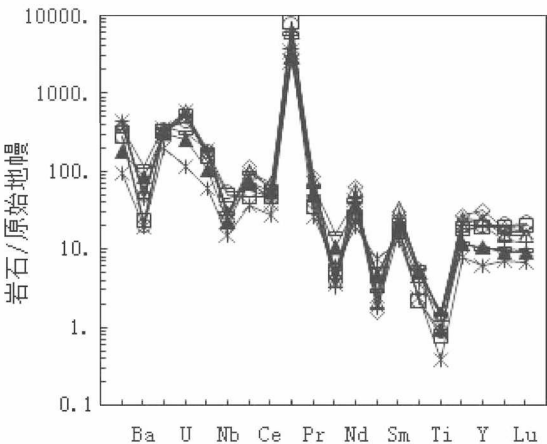


图 5 火山岩微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig. 5 Primitive mantle-normalized trace element spidergram of volcanic rocks

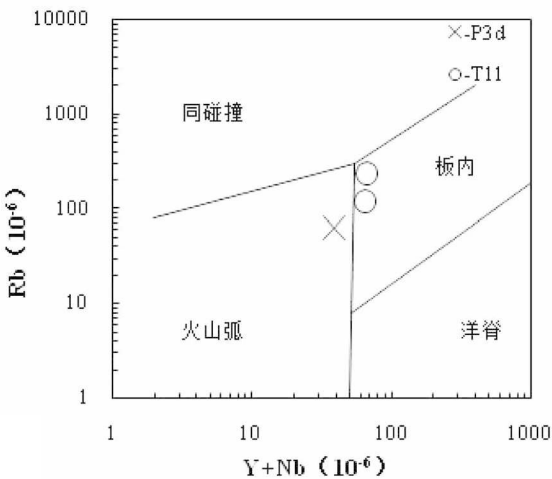


图 6 火山岩微量元素 (Y+Nb) -Rb 判别图

Fig. 6 The (Y+Nb) -Rb diagrams of volcanic rocks

4 讨论

4.1 构造背景

样品的  $Al_2O_3$  含量 11.13%~25.68%, 平均 17.47%, 含量较高, 接近典型岛弧火山岩 ( $Al_2O_3$  为 17.1%~17.8%)。  $TiO_2$  含量 0.08%~0.26%, 平均 0.26%, 低于大陆裂谷碱性玄武岩  $TiO_2$  平均值 2.2% 和钙碱系列安山岩平均值 1.16%, 而与岛弧区钙碱性火山岩 0.58%~0.85% 较为相近, 与弧火山岩具有密切关系。凝灰岩的稀土元素球粒陨石标准化分布型式图、微量元素原始地幔标准化蛛网图曲线显示其与岛弧的俯冲环境密切相关。

对于安山质凝灰岩的稀土、微量元素  $La/Yb$  比值在 3.44~9.05 之间, 均值 6.62, 均大于比值 2, 显示出活动大陆边缘火山岩的性质 (吴根耀, 1999)。本次三件流纹质凝灰岩在 (Y+Nb) -Rb 图解中 (图 6; 底图据 Pearce, 1984),  $P_3d$  样品落在火山弧区域内, 而时间稍晚的  $T_{11}$  样品落在板内区域内, 受到伸展构造背景的影响, 显示受到火山弧和板内扩张的共同作用。而流纹质凝灰岩的 Y-Nb 图解 (图 7; 底图据 Pearce, 1984) 显示  $P_3d$  样品落在火山弧与同碰撞区域内;  $T_{11}$  样品落在板内区域内。综合上述活动大陆边缘、火山弧、板内、同碰撞等构造背景信息, 认为研究区处于弧后盆地构造背景。早期 ( $P_3d$ ) 受到岛弧及与岛弧碰撞的构造背景影响, 随后 ( $T_{11}$ ) 紧接着受到弧后盆地大陆板块伸展活动的影响。

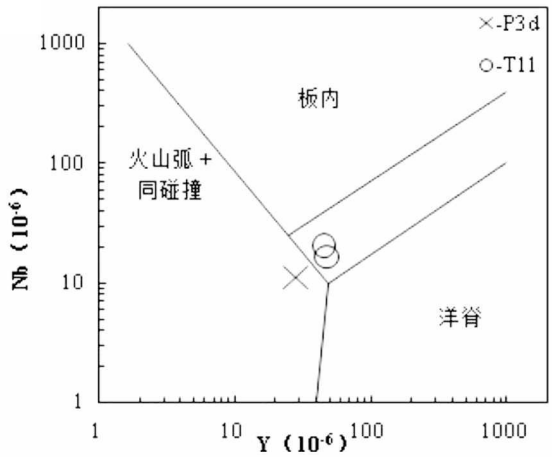


图 7 火山岩微量元素 Y-Nb 判别图

Fig. 7 The Y-Nb diagrams of volcanic rocks

4.2 岩浆来源

本次样品的主量元素特征富硅、富铝、富碱, 贫钙、贫镁, 显示岩浆来源与陆壳有关。而主量元素  $w(K_2O)/w(Na_2O)$  的值在 1.13~169.00 之间, 平均值为 47.83, 显示其与来自陆壳沉积物熔融形成的 S 型花岗岩有关。铝饱和指数  $A/CNK$  指数  $[w(Al_2O_3)/w(Na_2O + K_2O + CaO)]$  值在 1.83~2.28, 均值 2.14, 为过铝质凝灰岩, 可能与来自过铝的壳源火山喷发活动有关。凝灰岩的 TAS 图解及硅碱图显示, 其与中—酸性的钾玄岩质火山活动密切相关。

通过样品中活动性不相容元素 (如 Nb、Th、Rb 等) 含量特征的研究, 借以可以较好的分析岩浆成因。各样品的  $La/Nb$ 、 $Rb/Nb$ 、 $Th/Nb$  及  $Th/La$

表 2 独山火山岩与 3 种造山环境火山岩特征对比

| Table 2 Comparison of Dushan Volcanic rocks<br>with andesites from three types of orogens |           |            |           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 比值                                                                                        | La/Nb     | Rb/Nb      | Th/Nb     | Th/La     |
| 均值                                                                                        | 2.56      | 8.08       | 1.56      | 0.54      |
| (区间)                                                                                      | 0.93~3.90 | 4.69~12.73 | 0.76~1.60 | 0.33~0.86 |
| 大陆地壳                                                                                      | 2.2       | 4.7        | 0.44      | 0.204     |
| 原始地幔                                                                                      | 0.94      | 0.91       | 0.117     | 0.125     |
| MORB                                                                                      | 1.07      | 0.36       | 0.048     | 0.067     |
| IOB                                                                                       | 0.875     | 0.76       | 0.11      | 11.5      |

值比较相似,通过对比,其数值与大陆地壳岩石较为接近,而与幔源岩石显著不同。作为地壳混染指数,当 La/Nb 远小于 1 时,地壳的混染可以忽略不计(王勤,2015);其中 La/Nb 在 0.93 ~ 3.90,均值 2.56,反映了岩浆源区有陆壳物质的加入(覃小锋,2011),或者岩浆上升的过程中存在后期陆壳物质的混染(王勤,2015)。

通过 La-La/Sm 图解(图 8)研究凝灰岩岩浆源的熔融特征(覃小锋,2011;王勤,2015),各样品较为集中的落在部分熔融紧靠分离结晶作用附近,可能说明了源岩略具部分熔融作用的趋势。根据 Pb-Pb/Ce 图解(图 9),研究区安山质凝灰岩岩浆源主要落在大洋玄武岩区,表明其安山岩源可能为大洋板片岩石。上述信息综合反映了研究区的凝灰岩岩浆源可能为大洋板片发生俯冲,但还未与地幔发生相互作用的情况下,发生部分熔融,通过火山弧上升的过程中,与陆壳物质发生混染作用,通过火山喷发带到地表沉积。

研究表明本区所在的沉积盆地在晚二叠世至三叠世经历盆地扩张—萎缩的过程(杜远生,2013)。中越边界线附近的广西那坡、凭祥,越南

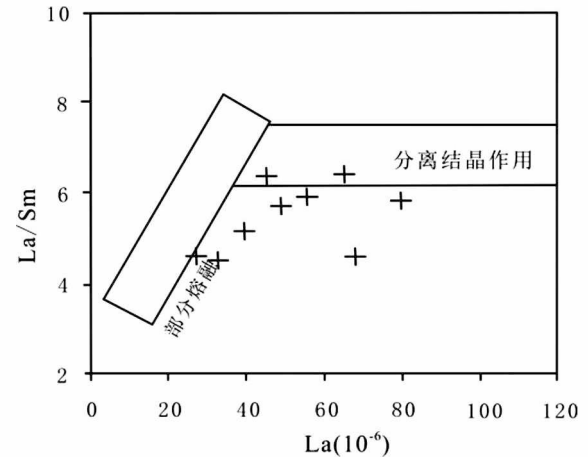


图 8 火山岩 La-(La/Sm) 判别图

Fig. 8 The La-(La/Sm) diagrams of volcanic rocks

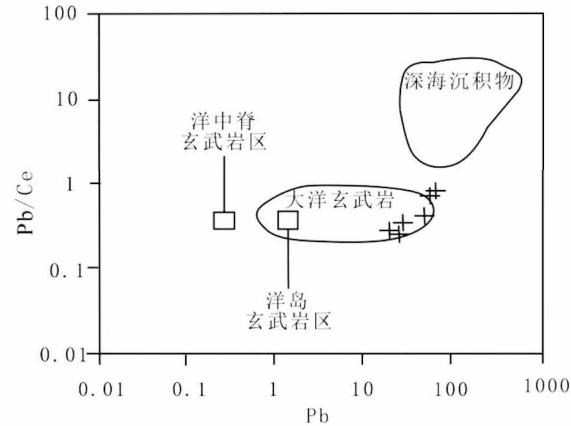


图 9 火山岩 Pb-(Pb/Ce) 判别图

Fig. 9 The Pb-(Pb/Ce) diagrams of volcanic rocks

北东部地区广泛分布了该时期具有俯冲—碰撞性质的铁镁质侵入岩、花岗岩、流纹岩和中基性火山岩(杜远生,2009)。在此期间,滇桂之交的那坡一带发育有玄武质—安山质火山岩为特征的弧火山岩。而在桂西南的凭祥地区,发育有晚二叠世至早三叠世的一套以安山岩、英安岩及流纹岩组合为特征的中酸性岛弧火山岩。红河—哀牢山一线的古特提斯洋在该阶段发生汇聚,在越北一带俯冲消减于华夏陆块之下,在凭祥一带发生岛弧火山活动。伴随着陆源火山弧的活动,弧后地壳发生减薄伸展,导致盆地加深,导致二叠纪碳酸盐岩相台地沉积往上演变为三叠纪陆源碎屑—灰岩组合的斜坡盆地相沉积,二者之间的凝灰岩地球化学特征沉积记录了这一地质事件。而凝灰岩特征与凭祥地区的中酸性岛弧火山活动有密切的成因联系。

5 结论

通过对研究区晚二叠世至早三叠世之交的凝灰岩地球化学特征研究,取得了以下几个方面的认识。

- (1)凝灰岩的地球化学元素组成特征,显示其为安山质—流纹质凝灰岩,可能来自于该时期在桂西南凭祥地区的中酸性火山岩喷发活动。
- (2)通过对凝灰岩的主量、微量、稀土元素的地球化学投图,结合各构造背景地球化学元素分布特征,认为凝灰岩形成于大洋板片往陆壳俯冲过程中,在陆壳边缘发生火山弧的喷发活动中形成,研究区位于其弧后盆地中。
- (3)凝灰岩的元素组合,反应了洋壳俯冲尚

未与地幔相互作用,随即发生岩浆上升,此过程中,岩浆与华夏陆壳物质发生混染,最终通过中酸性火山弧的活动带到沉积盆地中。

[参考文献]

陈翠华,何彬彬,顾雪祥,等. 2003. 右江盆地中三叠统浊积岩系的物源和沉积构造背景分析[J]. 大地构造与成矿学. 27(01):77-82.

程银行,杨俊泉,刘永顺,等. 2012. 大兴安岭敖包查干地区安山岩年代学、地球化学研究[J]. 地质调查与研究. 35(02):118-127.

杜远生,黄宏伟,黄志强,等. 2009. 右江盆地晚古生代—三叠纪盆地转换及其构造意义[J]. 地质科技情报. 28(06):10-15.

杜远生,黄虎,杨江海,等. 2013. 晚古生代—中三叠世右江盆地的格局和转换[J]. 地质论评. 59(1):1-11.

胡丽沙,杜远生,杨江海,等. 2012. 广西那龙地区中三叠世火山岩地球化学特征及构造意义[J]. 地质论评. 58(03):481-494.

黄虎,杨江海,杜远生,等. 2012. 右江盆地上二叠统一—中三叠统凝灰岩年龄及其地质意义[J]. 地球科学(中国地质大学学报). 2012,37(01):125-138.

黄虎,杜远生,杨江海,等. 2012. 水城—紫云—南丹裂陷盆地晚古生代硅质沉积物地球化学特征及其地质意义[J]. 地质学报. 26(12):1994-2010.

黄虎,杨江海,杜远生,等. 2012. 右江盆地北缘上二叠统碎屑岩和硅质岩地球化学特征及其地质意义[J]. 地球科学(中国地质大学学报). 37(S2):81-96.

黄虎,杜远生,黄志强,等. 2013. 桂西晚古生代硅质岩地球化学特征及其对右江盆地构造演化的启示[J]. 中国科学:地球科学. 43(02):304-316.

梅冥相,马永生,戴少武,等. 2001. 南盘江盆地晚古生代盆地充填序列特征及生储盖组合划分[J]. 现代地质. 15(01):74-82.

梅冥相,马永生,高金汉,等. 2002. 滇黔桂盆地及其邻区晚古生代层序地层格架及相对海平面变化[J]. 现代地质. 16(04):365-373.

梅冥相,高金汉,孟庆芬,等. 2002. 南盘江盆地早—中三叠世层序地层格架及相对海平面变化研究[J]. 现代地质. 16(02):137-146.

Pearce JA, Harris NBW, Tindle AG. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. Journal of Petrol. 25(1):956-983.

譙文浪,安亚运,王波,等. 2012. 贵州独山—广西天峨地区中二叠世岩相古地理特征、相类型及几何形态[J]. 贵州地质. 29(04):301-306.

覃小锋,王宗起,张英利,等. 2011. 桂西南早中生代酸性火山岩年代学和地球化学:对钦—杭结合带西南段构造演化的约束[J]. 岩石学报. 27(3):794-808.

Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D., Norry, M. J. Eds., Magmatism in Ocean Basins. Geol. Soc. Spec. Publ., London, pp. 313-345.

唐佐其,马义波,譙文浪,等. 2015. 贵州省独山江寨地区下泥盆统碎屑岩物性、粒度特征及沉积环境讨论[J]. 贵州地质. 32(01):21-26.

王波,陈武,唐佐其,等. 2013. 贵州中南部早三叠世沉积演化[J]. 贵州地质. 30(02):136-141.

王勤,唐菊兴,方向,等. 2015. 西藏多龙矿集区铁格隆南铜(金银)矿床荣那矿段安山岩成岩背景:来自锆石 U-Pb 年代学、岩石地球化学的证据[J]. 中国地质. 42(05):1324-1336.

吴根耀,吴浩若,钟大赉,等. 2000. 滇桂交界处古特提斯的洋岛和岛弧火山岩[J]. 现代地质. 14(04):393-400.

吴根耀,王晓鹏,钟大赉,等. 1999. 藏东南地区早白垩世的安第斯型弧火山岩[J]. 岩石学报. 1999,15(03):422-429.

Geochemical Characteristics and Its Geological Significance of Tuff in Dias-Triassic in Dushan Area, Guizhou

WANG Bo<sup>1</sup>,ZHU Hua-li<sup>1,2</sup>, ZHANG Han-bin<sup>1</sup>, QIAO Chang<sup>1</sup>,CHEN Wu<sup>1</sup>

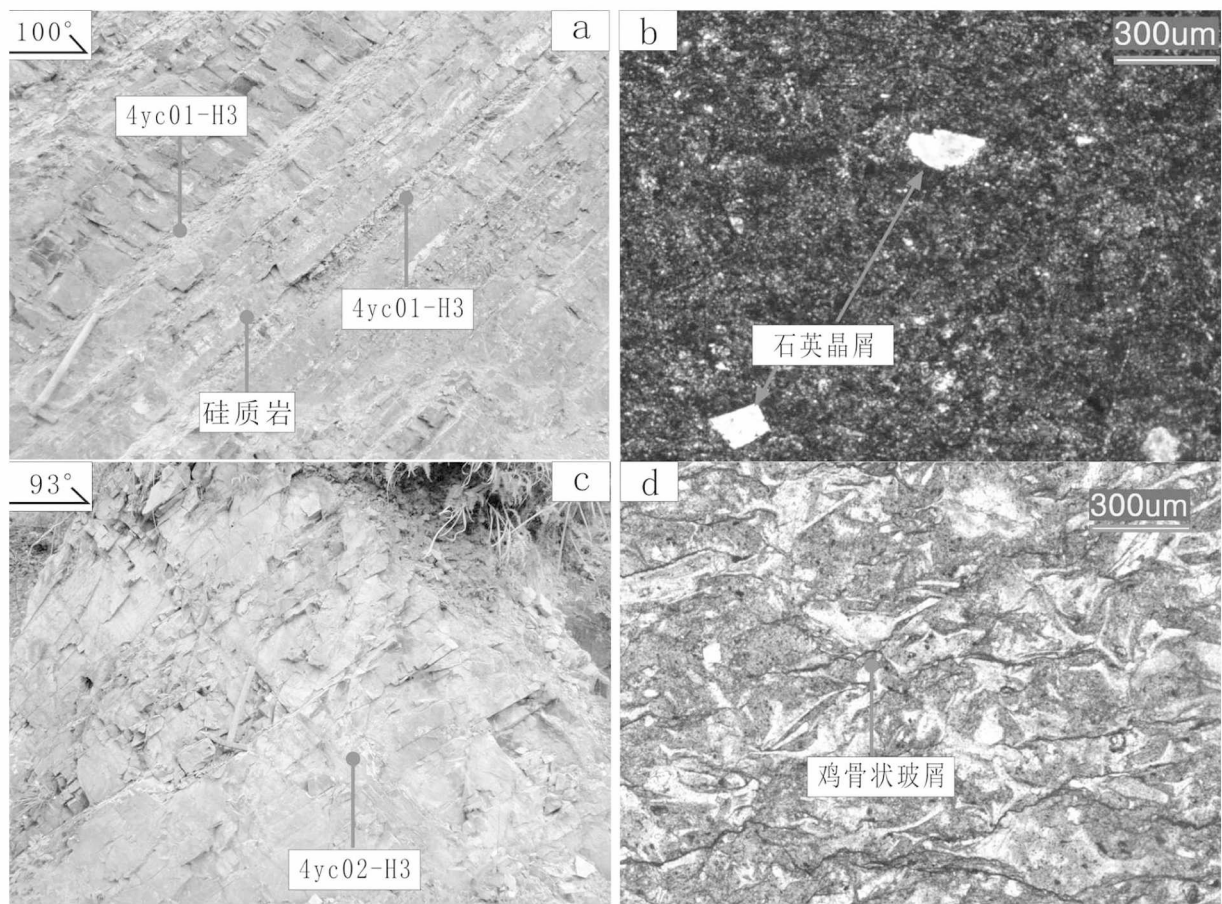
(1. Guizhou Academy of Geologic Survey,Guiyang 550005,Guizhou,China;  
2.China University of Geosciences,Wuhan 430074,Hubei,China)

[Abstract] Comprehensive geochemical analyses were conducted on the interbedded tuff collected from Late Permian Dalong Formation to Early Triassic Luolou Formation. The samples are rhyolitic and andesitic tuff, characterized by high contents of SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and K<sub>2</sub>O with vitroclastic texture. According to the REE pattern and trace elements spider diagram, the source has a close connection with volcanic arc within Pingxiang area. Active continental margin arc was formed while the Paleo-tethys Ocean subduction towards to the South China Block. Then Youjiang basin was formed after continental crust extension. It indicates that the source material was partly melted by oceanic crust subduction, contaminated with continental crust materials during the rising process.

[Key words] Tuff;Geochemistry;Youjiang basin;Volcanic arc;Active continental margin



图版



图版 1 凝灰岩野外及镜下特征

- a.  $P_3d$  薄层凝灰岩产出特征；
- b.  $P_3d$  薄层晶屑凝灰岩镜下石英晶屑特征,凝灰结构,正交偏光 目镜 10× 物镜 5×；
- c.  $T_1l$  块状凝灰岩产出特征；
- d.  $T_1l$  块状玻屑凝灰岩镜下玻屑特征,玻屑结构,单偏光 目镜 10× 物镜 5×。