DOI:10.19826/j.cnki.1009-3850.(2020)02-0104-12

西藏尼木地区变质火山岩的地球化学特征、 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

唐华1、胡林1、魏龙1、陈永东1、欧珠建层2、周鹏2

(1. 四川省地质矿产勘查开发局川西北地质队,四川 绵阳 621000; 2. 西藏自治区地质矿产勘查开发局地热地质大队.西藏 拉萨 850000)

摘要:西藏尼木地区分布一套增生杂岩,其对冈底斯火山岩浆弧的演化具有重要意义。本文对该套增生杂岩中的变质火山岩的地质特征、矿物学、全岩地球化学和锆石 U-Pb 年代学等方面进行了综合研究。变质火山岩以斜长角闪岩、角闪斜长片麻岩为主,其中,角闪石主要为镁质角闪石,共生的斜长石主要为拉长石;变质火山岩经历了高温 - 中压变质作用;岩石富 Al₂O₃和贫 TiO₂,弱富集轻稀土元素(LREE),富集 Rb、Sr、Ba 等大离子亲石元素(LILE),亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素(HFSE),其地球化学特征与火山弧玄武岩的地球化学特征相似,其形成的构造环境为洋内岛弧或活动大陆边缘弧;岩浆锆石 U-Pb 年龄值为 151.4 ± 1.6 Ma 和 150.7 ± 1.4 Ma,表明岩石的形成时代为晚侏罗世。综合研究认为,增生杂岩中的变质火山岩是新特提斯洋在晚侏罗世北向俯冲的产物,在陆 – 陆碰撞之前卷入增生系统,该套变质火山岩不是以往所认为的变质结晶基底。

关键词:尼木地区;地球化学;洋内弧和陆缘弧火山岩;锆石 U-Pb 年龄

中图分类号:P542 文献标识码:A

引言

西藏尼木地区所处的大地构造位置为南拉萨地体 - 冈底斯岩浆弧,南侧以雅鲁藏布江缝合带(IYTSZ)与喜马拉雅地体为界。随着冈底斯岩浆弧中一大批大型 - 超大型矿床的发现^[1],该岩浆弧成为了青藏高原矿产勘查和地质研究的热点区,一些关键的地质问题,特别是岩浆构造演化与成矿之间的关系,得到了较为深入的研究。前人的研究普遍认为,冈底斯岩浆弧是青藏高原南部新特提斯洋在北向俯冲消减过程中形成的近东西向展布的巨型岩浆岩带^[2],并在印度 - 欧亚大陆碰撞造山过程中又叠加了强烈的新生代岩浆作用^[3]。正是因为经历了多期岩浆活动,造就了岩浆弧中丰富的成矿作用和多种矿产资源^[4]。但是,仍有许多重要的地质问题存在争议,尤其是岩浆弧中整体无序、局部有序地层的归属问题。早期的研究认为,西藏尼木地

区分布的变质火山岩是拉萨地体的变质结晶基 底[5];也有观点认为其是受到新生代岩浆热活动作 用改造的中生代地层[6-7]。在对尼木地区开展详细 地质调查基础上,本文作者明确提出了该套地层是 由不同时代、不同变质变形特征、不同构造背景下 形成的增生杂岩的观点[8-9],认为该套火山岩是新 特提斯洋洋壳北向俯冲的产物。研究该套增生杂 岩的岩石组合特征、原岩性质、时代及产出的大地 构造背景、变质时代及变质变形特征,对研究冈底 斯火山岩浆弧的形成及新特提斯洋壳的俯冲闭合 具有重要意义。有关该增生杂岩的岩石组成、形成 时间和构造变形演化等方面已有报道[10-11],而对该 套岩石的矿物成分的研究不足,对岩浆活动的研究 较为匮乏,且研究对象多为沉积物源方面,然而本 次在构造岩石地层中发现了较多的变质火山岩。 鉴于此,本论文选取西藏尼木地区变质火山岩为研 究对象,通过开展岩石矿物学、岩石地球化学、年代

收稿日期: 2020-03-12; 改回日期: 2020-05-19

作者简介: 唐华(1988 -),男,工程师,主要从事应用构造地质学研究。E-mail:673991740@qq.com

资助项目:中国地质调查局"西藏尼木地区 1:5 万区域地质调查项目(项目编号:121201010000150014-07)"资助

学的详细研究,以揭示原岩性质、形成时代,进而探 讨其形成的大地构造背景,从而丰富冈底斯岩浆弧 在尼木地区的演化历史。

1 地质背景与样品采集

研究区位于南拉萨地块 - 冈底斯岩浆弧中段尼木地区,南侧紧临雅鲁藏布江缝合带(图 1a),地理坐标为:89°45′-90°30′E,29°20′-29°30′N。研究区以大规模中、新生代侵入岩为主,局部残留或补掳有增生杂岩和桑日群地层(图 1b)。增生杂岩的岩性由碳酸盐岩、变质火山岩及变质沉积岩组成^[9];

与增生杂岩有构造层次差异的桑日群地层是由碎屑岩、碳酸盐岩、岛弧钙碱性火山岩组成^[12-13],二者间以拆离断层接触。总的来说,研究区的地质体是新特提斯洋打开、北向俯冲消减直至陆 – 陆碰撞作用的产物^[14],构造组合样式为一系列近 WE 向的断裂被 NE、NW 向走滑断层和 NS 向活动断裂带所切割错移。在保留早期构造形迹的同时叠加了走滑断裂、韧性剪切构造、活动断裂^[15],叠加构造以区域 WE 向谢通门 – 曲水韧性剪切带和 NS 向当雄 – 羊八井活动断裂带^[16-17]最为明显。

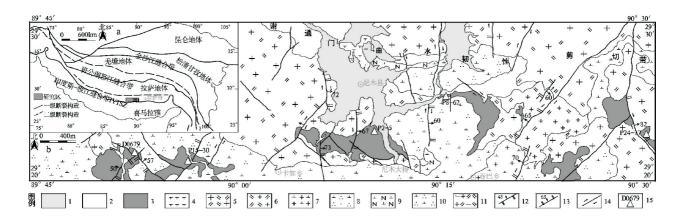


图 1 研究区大地构造位置(a)^[2]及地质简图(b)^[9]

1. 第四系;2. 中生代桑日群地层;3. 构造岩石地层;4. 渐新世似斑状正长花岗岩;5. 始新世似斑状二长花岗岩;6. 始新世二长花岗岩;7. 始新世花岗闪长岩;8. 始新世石英闪长岩;9. 晚白垩世英云闪长岩;10. 早白垩世石英闪长岩;11. 早侏罗世二长花岗岩;12. 逆冲断层及产状;13. 正断层及产状;14. 平移断层;15. 采样点位置及编号

Fig. 1 The tectonic location(a)^[2] and geological sketch(b) of the studied areas^[9]

增生杂岩在卡如乡、尼木大桥、吞巴乡等地呈捕掳体或残留体断续分布,北以拆离断层与桑日群地层为界。以往被认为是拉萨地体上的早一中元古代变质地层^[5],然而近年的研究显示,其为一套经历了绿片岩相-角闪岩相变质作用的增生杂岩,可根据矿物组合划分为绿片岩相和角闪岩相^[9]。岩石组合可根据构造变形特点、物质组成和属性划分为外来岩块(片)和原地基质两部分。岩块是指在基质中呈块状、透镜状产出的斜长角闪岩、变粒岩、大理岩等,并被遭受强烈韧性剪切变形的"基质"包裹;而基质的岩石组合主要包括长英质糜棱岩、石英云母片岩、板岩等。韧性剪切变形带被命名为贡嘎-沙嘎韧性剪切带^[5]。

通过对所采样品进行岩相学研究发现,这套地 层并非一套正常沉积地层,而是由变沉积岩、变基 性岩和变中酸性岩等组成的增生杂岩,岩石的镜下 照片普遍见矿物碎裂现象。前人研究所采集的样品还包括混合花岗岩、阳起石片岩、二云母片岩、条带状混合岩、钠长片岩、角闪斜长片麻岩、大理岩、石英岩等^[5,10],进一步证明了尼木地区的变质岩系为一套增生杂岩。本文研究的岩石类型为斜长角闪岩和角闪斜长片麻岩,斜长角闪岩呈构造透镜体(图 2a)分布在基质中,而角闪斜长片麻岩与片岩、糜棱岩"假互层"产出。岩石的宏观上为片麻状 -块状构造(图 2a、b)。显微镜下斜长角闪岩呈柱粒状变晶结构(图 2c、d),矿物组合主要由斜长石(30%)、角闪石(60%)组成,矿物粒度大小一般为0.3~1.5mm;而角闪斜长片麻岩则为鳞片粒状变晶结构(图 2e、2f),由角闪石矿物(35%)、斜长石和石英组成,矿物定向排列分布,矿物颗粒大小一般为0.2~2.5mm。

2 试验测试方法

本文选取了9件具有代表性的岩石进行相应的 矿物学研究,电子探针分析测试在自然资源部成都 矿产资源监督检测中心测试完成,测试方法为利用 经过加速和聚焦的极窄的电子束为探针,激发角闪 石矿物和斜长石矿物中的微区域,使其发出特征 X 射线,测定该 X 射线的波长和强度,从而对该微区 的元素作定性或定量分析。研究选取了11件具有 代表性样的品进行了全岩的主量、微量和稀土元素 分析,岩石全岩的主量、微量和稀土元素分析在湖 北省地质实验测试中心完成。测试方法为选取新 鲜的岩石样品,首先切割制成岩石薄片进行岩矿鉴 定,然后将样品粉碎研磨至约200目,主量元素利用 X射线荧光光谱仪(XRF)测试完成,微量和稀土元 素是采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)测试 完成,监测依据为岩石矿物分析电感耦合等离子质 谱仪的15种稀土元素。测试完成后进行最后数据 处理[18],主量、微量元素含量测定误差分别小于 2%、10%。选取斜长角闪岩(D0679)和角闪斜长片 麻岩(P2-5)样品在北京地质构造与动力学国家重点实验室完成了锆石 U-Pb 测试工作,实验仪器采用了激光等离子质谱技术,其分为激光发生装置与等离子质谱(电感耦合)两个部分。实验主要流程包含清洁样靶、测试载气量(仪器中)以及配备补偿气、对样品点的打点测试及最后处理数据部分。

3 分析结果

3.1 年代学特征

本次对斜长角闪岩(D0679)、角闪斜长片麻岩(P2-5)样品各进行了20颗锆石的U-Pb测试,测试结果见表1。

由表看出,D0679 样品的锆石²³² Th 平均含量为 174.07 × 10^6 , 238 U 平均含量为 213.59 × 10^6 , 232 Th/ 238 U 比值为 0.81; P2-5 样品的锆石²³² Th 平均含量为 200.50 × 10^6 , 238 U 平均含量为 193.26 × 10^6 , 232 Th/ 238 U 比值为 1.01。在样品锆石阴极发光(CL)图像(图 3a)上,两种岩石的锆石晶体形态均以复多方柱为主,环带结构明显,可见长柱状和短柱状,锆石多为半透明状,部分晶体具熔蚀现象^[19]。

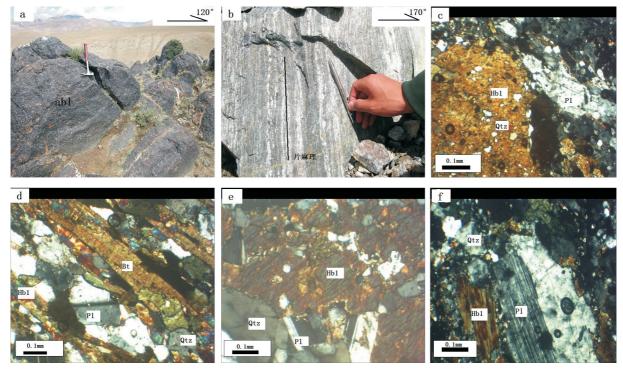


图 2 尼木地区斜长角闪岩照片和显微结构照片

a. 斜长角闪岩;b. 角闪斜长片麻岩;c. 斜长角闪岩柱粒状边晶结构(正交偏光),矿物杂乱分布;d. 斜长角闪岩柱粒状边晶结构(正交偏光),矿物杂乱分布,角闪石内部有石英矿物包裹体;e. 角闪斜长片麻岩鳞片粒状边晶结构(正交偏光);f. 角闪斜长片麻岩的鳞片粒状变晶结构(矿物代号:Hb1. 角闪石;Qtz. 石英;Pl. 斜长石;Bt. 黑云母)

Fig. 2 Outcrop photographs and microscopic photographs of amphibolites from the Nimu area

备注:同位素比值精确小数点后 4位,同位素年龄精确小数点后 2位。测试单位:北京地质构造与动力学国家重点实验室。

Table 1 Zircons' U-Pb isotope analytical results by LA-ICP-MS method 表 1 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析结果

| 梅品 | 样品 P2-5 角闪斜长片麻岩 | 长片麻岩 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 9 | 7 | 8 | 6 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| | Pb | 13.55 | 16.82 | 8.32 | 15.77 | 12.52 | 11.46 | 10.59 | 11.91 | 8.95 | 3.92 | 8.08 | 10.58 | 11.34 | 8.1 | 14.03 | 18.53 | 14.08 | 12.37 | 15.06 | 9.54 |
| | Th | 226.88 | 351.81 | 127.39 | 274 | 215.22 | 201.14 | 188.17 | 197.64 | 142.4 | 45.29 | 86.5 | 169.69 | 188.51 | 125.04 | 227.72 | 348.71 | 237.6 | 228.37 | 265.74 | 162.08 |
| [| n | 217.08 | 242.37 | 173.89 | 243.28 | 220.36 | 182.76 | 179.72 | 194.05 | 168.73 | 79.58 | 129.57 | 177.32 | 173.54 | 148.08 | 263.35 | 269.65 | 212.82 | 184.21 | 238.27 | 166.58 |
| ፱ ᡧ | Th/U | 1.05 | 1.45 | 0.73 | 1.13 | 86.0 | 1:1 | 1.05 | 1.02 | 0.84 | 0.57 | 0.67 | 96.0 | 1.09 | 0.84 | 98.0 | 1.29 | 1.12 | 1.24 | 1.12 | 0.97 |
| 半区 | $^{206}\mathrm{Pb}^{/238}\mathrm{U}$ | 0.0196 | 0.0234 | 0.0217 | 0.0235 | 0.0239 | 0.0234 | 0.0237 | 0.0237 | 0.0237 | 0.024 | 0.0212 | 0.0246 | 0.0232 | 0.0238 | 0.0195 | 0.0228 | 0.0241 | 0.0235 | 0.0238 | 0.0238 |
| Ķ 1 | Ισ | 0.0004 | 0.0004 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 900000 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 900000 | 0.0004 | 0.0005 | 0.0004 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0004 |
| : = | $^{207}\mathrm{Pb/^{235}U}$ | 0.1862 | 0.174 | 0.1963 | 0.1489 | 0.1652 | 0.171 | 0.1721 | 0.1786 | 0.1756 | 0.2062 | 0.2461 | 0.1774 | 0.1738 | 0.1696 | 0.1956 | 0.1634 | 0.1704 | 0.1729 | 0.1627 | 0.1606 |
| | lσ | 0.0069 | 0.0065 | 0.0076 | 0.0052 | 0.0055 | 0.0072 | 0.0068 | 0.0064 | 0.0065 | 0.0117 | 0.0134 | 0.0059 | 0.0072 | 0.0084 | 0.0078 | 0.0057 | 6900.0 | 0.0064 | 0.0059 | 0.0063 |
| | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | 0.0669 | 0.0531 | 0.0665 | 0.0467 | 0.051 | 0.0539 | 0.054 | 0.056 | 0.0545 | 0.0634 | 0.0854 | 0.0529 | 0.0547 | 0.052 | 0.073 | 0.0504 | 0.0518 | 0.0537 | 0.0497 | 0.0494 |
| | 10 | 0.0028 | 0.0023 | 0.0026 | 0.0016 | 0.0017 | 0.0023 | 0.0023 | 0.0021 | 0.0021 | 0.0038 | 0.0046 | 0.0017 | 0.0021 | 0.0024 | 0.0034 | 0.0022 | 0.0022 | 0.0021 | 0.0017 | 0.002 |
| | Ω_{82} / q d $_{902}$ | 125.31 | 149.34 | 138.17 | 149.52 | 152.02 | 149.16 | 151.06 | 151.2 | 151.12 | 152.72 | 134.98 | 156.6 | 147.64 | 151.53 | 124.62 | 145.28 | 153.36 | 149.49 | 151.38 | 151.64 |
| | Ισ | 2.54 | 2.74 | 2.07 | 2.54 | 2.39 | 2.69 | 3.37 | 3.42 | 3.01 | 3.94 | 2.98 | 2.87 | 3.04 | 3.76 | 2.84 | 2.92 | 2.49 | 2.9 | 2.84 | 2.78 |
| 世 章 | $^{207}\mathrm{Pb}/^{235}\mathrm{U}$ | 173.36 | 162.9 | 181.99 | 140.91 | 155.26 | 160.26 | 161.24 | 166.86 | 164.24 | 190.38 | 223.4 | 165.79 | 162.69 | 159.05 | 181.36 | 153.66 | 159.74 | 161.93 | 153.06 | 151.22 |
| | lσ | 5.92 | 5.58 | 6.43 | 4.58 | 4.77 | 6.25 | 5.92 | 5.49 | 5.65 | 9.81 | 10.89 | 5.1 | 6.24 | 7.31 | 6.62 | 4.96 | 6.01 | 5.52 | 5.18 | 5.48 |
| /Ma | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | 833.02 | 331.54 | 833.33 | 35.28 | 238.96 | 368.57 | 372.28 | 453.75 | 390.79 | 721.92 | 1325 | 324.13 | 398.2 | 283.4 | 1012.96 | 213.04 | 275.99 | 361.17 | 188.97 | 168.6 |
| | 10 | 87.81 | 66.66 | 81.48 | 81.48 | 74.99 | 63.88 | 96.29 | 117.58 | 87.03 | 125.91 | 104.01 | 72.22 | 88.88 | 103.69 | 94.45 | 106.47 | 96.28 | 91.66 | 77.77 | 92.58 |
| 样品 | 样品 D0679 斜长 | 斜长角闪岩 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 序号 | _ | 2 | Э | 4 | 5 | 9 | 7 | ∞ | 6 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| | Pb | 9.21 | 13.15 | 3.81 | 9.85 | 12.2 | 6.52 | 4.77 | 6.14 | 7.48 | 8.79 | 15.03 | 15.58 | 15.14 | 10.19 | 11.78 | 7.78 | 5.84 | 14.17 | 11.08 | 10.53 |
| | Th | 161.2 | 236.97 | 54.22 | 193.83 | 244.29 | 106.93 | 82.19 | 101.01 | 128.4 | 156.93 | 260.72 | 273.98 | 270.84 | 182.21 | 198.49 | 141.57 | 90.96 | 227.9 | 180.45 | 183.11 |
| 1 | n | 224.17 | 267.05 | 102.65 | 159.73 | 204.12 | 153.44 | 93.59 | 138.07 | 160.23 | 223.78 | 328.43 | 332.11 | 308.58 | 222.52 | 264.5 | 202.94 | 150.34 | 256.47 | 271.33 | 207.52 |
| 亘ᡧ | Th/U | 0.72 | 68.0 | 0.53 | 1.21 | 1.2 | 0.7 | 0.88 | 0.73 | 8.0 | 0.7 | 0.79 | 0.82 | 0.88 | 0.82 | 0.75 | 0.7 | 0.64 | 68.0 | 19.0 | 0.88 |
| <u> </u> | $^{206}\mathbf{pb}^{/238}\mathbf{U}$ | 0.0223 | 0.0241 | 0.0261 | 0.0238 | 0.0243 | 0.0244 | 0.025 | 0.0245 | 0.0224 | 0.0239 | 0.0236 | 0.0235 | 0.0236 | 0.0216 | 0.0232 | 0.0236 | 0.0236 | 0.0237 | 0.0258 | 0.0222 |
| : 出 | 10 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0007 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0005 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0004 |
| 俥 | $^{207}\mathrm{Pb/^{235}U}$ | | 0.1817 | 0.1907 | 0.1789 | 0.1734 | 0.1779 | 0.2094 | 0.1928 | 0.1679 | 0.1693 | 0.1663 | 0.1738 | 0.164 | 0.1525 | 0.1701 | 0.1762 | 0.1664 | 0.1655 | 0.1785 | 0.1556 |
| | Ισ | | 0.0078 | 0.0103 | 0.0103 | 0.0063 | 0.0084 | 0.0107 | 0.0104 | 0.0083 | 0.0054 | 0.0052 | 0.0061 | 0.0047 | 0.0065 | 900.0 | 6900.0 | 0.0059 | 0.0045 | 0.0048 | 0.0062 |
| | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | 0.0583 | 0.0551 | 0.0536 | 0.0549 | 0.0524 | 0.0532 | 0.0614 | 0.0578 | 0.0554 | 0.0517 | 0.0511 | 0.054 | 0.0507 | 0.0506 | 0.0532 | 0.0542 | 0.0514 | 0.0509 | 0.0504 | 0.0513 |
| | lσ | 0.0025 | 0.0024 | 0.0027 | 0.0033 | 0.002 | 0.0025 | 0.0031 | 0.0033 | 0.0029 | 0.0017 | 0.0014 | 0.0019 | 0.0015 | 0.0018 | 0.0017 | 0.0019 | 0.0018 | 0.0014 | 0.0014 | 0.002 |
| | $\Omega_{862}/\mathrm{qd}_{902}$ | 141.99 | 153.79 | 165.9 | 151.48 | 154.55 | 155.53 | 159.3 | 155.95 | 142.74 | 152.14 | 150.24 | 150.01 | 150.37 | 138 | 147.84 | 150.27 | 150.38 | 150.85 | 164.45 | 141.3 |
| 1 | 10 | 3.38 | 3.23 | 4.49 | 3.29 | 3.17 | 3 | 3.37 | 3.1 | 2.73 | 2.37 | 5.69 | 3.21 | 2.74 | 2.41 | 3.09 | 2.99 | 2.96 | 2.71 | 2.73 | 2.55 |
| # 4 | $^{207}\mathrm{Pb/^{235}U}$ | 165.61 | 169.5 | 177.21 | 167.08 | 162.34 | 166.23 | 193.04 | 179.02 | 157.58 | 158.78 | 156.2 | 162.67 | 154.18 | 144.1 | 159.52 | 164.74 | 156.27 | 155.55 | 166.78 | 146.87 |
| Ma | Ισ | 6.03 | 6.73 | 8.78 | 8.83 | 5.47 | 7.26 | 8.97 | 8.87 | 7.21 | 4.67 | 4.57 | 5.29 | 4.07 | 5.68 | 5.2 | 5.93 | 5.13 | 3.91 | 4.15 | 5.46 |
| / I V1 a | 207 Pb $/^{206}$ Pb | 542.63 | 416.72 | 353.76 | 409.31 | 301.91 | 338.95 | 651.56 | 524.11 | 427.83 | 6 | 255.62 | 368.57 | 233.4 | 220.44 | 344.5 | 388.94 | 257.47 | 235.25 | 213.04 | 253.77 |
| | Ισ | 87.95 | 102.77 | 121.29 | 163.87 | 85.18 | 107.4 | 113.87 | 124.06 | 116.66 | 75.91 | 61.1 | 84.25 | 99.99 | 50.92 | 70.36 | 79.62 | 84.25 | 64.81 | 99.99 | 86.1 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

²³²Th/²³⁸U比值及锆石阴极发光形态反映出岩浆锆石特征,能代表岩浆结晶形成的年龄。由岩石的LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图(图 3b)看出,D0679样品的锆石数据点和谐和曲线稍有偏差,但交点年龄与加权平均年龄值的差值在误差范围内,而P2-5样品的绝大部分锆石数据点集中在谐和曲线上。D0679的²⁰⁶Pb/²³⁸U加权平均年龄值为151.4±1.6Ma,置信度89%,MSWD=0.54(n=12);P2-5样品的²⁰⁶Pb/²³⁸U加权平均年龄值为150.7±1.4Ma,置信度66%,MSWD=0.86(n=15)。

3.2 矿物化学特征

显微镜下,角闪石矿物(图 4e)的大小为 0.1~ 0.6mm、为纤状柱状变晶,具多色性,为棕色和红棕 色,具明显定向排列,与黑云母、斜长石、石英等共 生。斜长石(图 4f)的大小为 0.1~0.5mm, 无色, 负 低突起, I级灰-灰白干涉色, 一组完全解理, 斜消 光,二轴晶,见聚片双晶。角闪石和斜长石的矿物 电子探针分析结果见表 2。由表 2 看出, 角闪石的 SiO,平均含量为 46.78%; (Ca + Na) R在 1.83% ~ 2.05%之间; Na_R在0%~0.26%之间,属于钙镁质 角闪石类;在 Mg/(Mg + Fe²⁺)-TSi 图解(图 4c)^[20] 中, 角闪石属镁角闪石; 在角闪石(Na+K)-Ti图解 (图 4a)^[21]中,大部分落在Ⅲ低角闪岩相和Ⅱ-高角 闪岩相,部分落在 I-麻粒岩相和W-绿片岩相中;在 角闪石 Al^N-Al^N图解(图 4b)^[21]中,大部分落在 Ⅱ-高角闪岩相,少数落在 Ⅰ-麻粒岩相、Ⅲ低角闪岩相 和IV-绿片岩相。斜长石矿物的 CaO 含量在 0.96%

 \sim 17.68%之间, Na_2O 含量在 1.71% \sim 10.28%之间; K_2O 含量普遍偏低。在 Or-Ab-An 端元组分图解(图 4d)上, 斜长石矿物落在拉长石和中长石分界线附近。

变质温压条件计算常采用岩石中已经到达平衡的矿物组合。根据镜下观察,本次采用角闪石 – 斜长石温度计 $^{[22-23]}$ 和压力计 $^{[24-25]}$,计算结果见表 3。由表 3 看出,岩石变质温度范围为 805.4 $^{\circ}$ ~ 949.4 $^{\circ}$ 之间,平均值为 856.4 $^{\circ}$;压力范围为 1.7 ~ 5.5kbar,平均值为 3.8kbar。

3.3 岩石地球化学

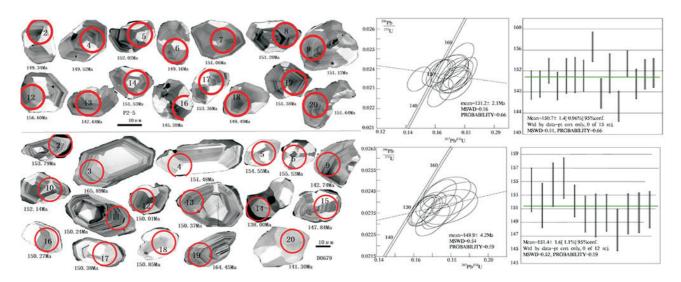


图 3 岩石锆石阴极发光(CL)图像、锆石 LA-ICP-MS U-Pb 谐和图及加权平均年龄图

Fig. 3 CL images of zircons, diagrams of zircons LA-ICP-MS U-Pb concordia age and weighted mean age

表 2 变质火山岩中角闪石和斜长石的电子探针分析数据表(Wt%)

Table 2 The EPMA analytical results of amphibole and plagioclase in the metamorphic volanic rocks

| Table 2 | THE EPIVI | A analytical | results of a | трпівоїе а | na piagiocia | ase in the mo | etamorpnic | voianic roc | KS |
|---|-----------|--------------|--------------|------------|--------------|---------------|------------|-------------|--------|
| 探针点号 | D1-1 | D2-1 | D3-1 | D3-11 | P15-39 | P20-19 | P20-11 | P21-28 | P16-28 |
| SiO_2 | 44. 05 | 44. 68 | 51. 08 | 47. 61 | 48. 06 | 49. 98 | 49. 94 | 42. 7 | 42. 96 |
| ${\rm TiO_2}$ | 1. 22 | 0.4 | 0.08 | 0. 21 | 1.03 | 0.49 | 0. 35 | 1.8 | 1. 36 |
| $\mathrm{Al}_2\mathrm{O}_3$ | 6. 77 | 6. 99 | 1.44 | 5.06 | 6. 56 | 6. 32 | 10. 28 | 10. 52 | 10. 84 |
| FeO | 16. 03 | 17. 87 | 12. 23 | 16. 05 | 13. 56 | 13. 48 | 13. 56 | 19. 47 | 19. 35 |
| MnO | 0. 37 | 0.34 | 0.37 | 0.37 | 0.48 | 0.48 | 0.38 | 0.36 | 0.81 |
| $_{ m MgO}$ | 12. 21 | 11. 27 | 15. 43 | 12.86 | 14. 54 | 14. 92 | 11. 25 | 8.82 | 8. 77 |
| CaO | 12. 38 | 12. 41 | 12. 74 | 12.8 | 11.61 | 11. 14 | 11. 19 | 11. 23 | 11.49 |
| Na_2O | 1.03 | 0.9 | 0. 26 | 0.73 | 0.59 | 0. 55 | 0.9 | 1.76 | 0.69 |
| K_2O | 0. 96 | 0.75 | 0.1 | 0.45 | 0.48 | 0. 2 | 0. 17 | 1.36 | 1.04 |
| Si | 6. 748 | 6. 813 | 7. 687 | 7. 144 | 6. 943 | 7. 084 | 7. 154 | 6. 441 | 6. 441 |
| $\mathrm{Al}^{\mathrm{IV}}$ | 1. 222 | 1. 187 | 0. 255 | 0.856 | 1. 057 | 0.916 | 0.846 | 1. 559 | 1. 559 |
| $\mathbf{Al}^{\mathrm{VI}}$ | 0.000 | 0.069 | 0.000 | 0.039 | 0.060 | 0. 140 | 0.889 | 0.311 | 0. 357 |
| Ti | 0. 141 | 0.046 | 0.009 | 0.024 | 0. 112 | 0.052 | 0.038 | 0. 204 | 0. 153 |
| Cr | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| $\mathrm{Fe^{3}}$ + | 0. 444 | 0. 559 | 0. 148 | 0.356 | 0. 926 | 1. 101 | 0. 166 | 0.434 | 0.803 |
| $\mathrm{Fe^{2}}^{+}$ | 1.609 | 1.720 | 1. 391 | 1. 658 | 0.712 | 0.497 | 1. 459 | 2. 022 | 1. 623 |
| Mn | 0.048 | 0.044 | 0.047 | 0.047 | 0.059 | 0.058 | 0.046 | 0.046 | 0. 103 |
| Mg | 2. 788 | 2. 562 | 3. 462 | 2. 877 | 3. 131 | 3. 153 | 2. 402 | 1. 983 | 1.960 |
| Ca | 2. 032 | 2. 028 | 2. 054 | 2. 058 | 1. 797 | 1. 692 | 1.717 | 1.815 | 1.846 |
| Na | 0. 306 | 0. 266 | 0.076 | 0. 212 | 0. 165 | 0. 151 | 0. 250 | 0. 515 | 0. 201 |
| K | 0. 188 | 0. 146 | 0. 019 | 0.086 | 0.088 | 0. 036 | 0. 031 | 0. 262 | 0. 199 |
| $(Ca + Na)_{(B)}$ | 2. 032 | 2. 028 | 2. 054 | 2. 058 | 1.962 | 1.843 | 1. 967 | 2.000 | 2.000 |
| $Na_{(B)}$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0. 165 | 0. 151 | 0. 250 | 0. 185 | 0. 154 |
| $(Na + K)_{(A)}$ | 0. 494 | 0.412 | 0. 095 | 0. 299 | 0.088 | 0.036 | 0.031 | 0. 591 | 0. 245 |
| $Mg/(Mg + Fe^2)$ | 0. 634 | 0. 598 | 0.713 | 0. 634 | 0.815 | 0.864 | 0. 622 | 0.495 | 0. 547 |
| $Fe^3/(Fe^3 + Al^{VI})$ | 1.000 | 0. 889 | 1.000 | 0. 902 | 0. 939 | 0. 887 | 0. 157 | 0. 583 | 0. 692 |
| 探针点号 | P15 | -39 | P20-19 | F | 23-3 | P16-28 | P21-2 | 28 | P20-11 |
| Na ₂ O | 1. ′ | 77 | 5. 79 | Ć | 5. 78 | 1.71 | 10. 2 | 8 | 5. 71 |
| MgO | 0. 0 | 02 | 0.00 | (| 0. 01 | 0.00 | 0. 05 | ; | 0.00 |
| $\mathrm{Al}_2\mathrm{O}_3$ | 33. | 12 | 27. 02 | 2 | 4. 61 | 33. 30 | 20. 6 | 4 | 27. 48 |
| SiO_2 | 46. | 02 | 56. 82 | 6 | 0. 43 | 45. 40 | 67. 0 | 4 | 56. 19 |
| K_2O | 0.0 | 04 | 0.08 | (| 0. 26 | 0. 02 | 0. 11 | | 0.05 |
| CaO | 17. | 68 | 9. 27 | 6 | 5. 91 | 17. 72 | 0. 96 | 5 | 9. 73 |
| ${\rm TiO_2}$ | 0.0 | 05 | 0.00 | (| 0. 00 | 0.00 | 0.00 |) | 0.04 |
| $\operatorname{Cr}_2\operatorname{O}_3$ | 0. 0 | 04 | 0.00 | (| 0. 02 | 0. 03 | 0. 02 | 2 | 0.02 |
| MnO | 0. 0 | | 0.08 | | 0. 05 | 0.00 | 0.06 | | 0. 02 |
| FeO | 0. | | 0. 18 | |). 22 | 0.09 | 0. 08 | | 0. 15 |
| NiO | 0. (| | 0. 01 | | 0. 00 | 0.00 | 0. 00 | | 0.00 |
| Total | 98. | | 99. 30 | | 9. 30 | 98. 28 | 99. 2 | | 99. 41 |
| Ab | 8 | | 36 | | 47 | 7 | 90 | | 35 |
| An | 92 | | 64 | | 52 | 93 | 9 | | 65 |

分析条件:氧化物含量%, Si 至 K 的数值为阳离子数。测试条件:加速电压-15KV 速电流-20nA 速斑直径-20 μ m。

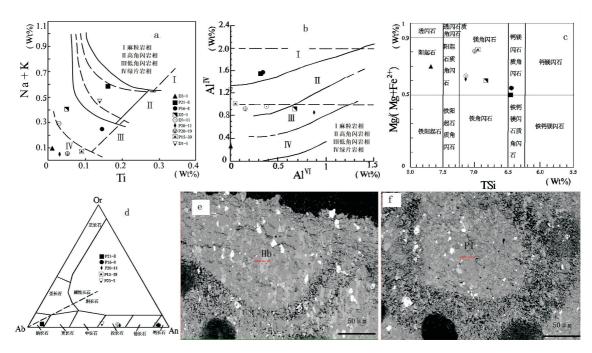


图 4 岩石中角闪石和斜长石矿物分类图解及镜下照片

a. 角闪石矿物 Na + K-Ti 图解 $^{[21]}$; b. 角闪石矿物 Al $^{\rm N}$ -Al $^{\rm N}$ 图解 $^{[21]}$; c. 角闪石矿物 Mg/(Mg + Fe $^{2+}$)-TSi 图解 $^{[20]}$; d. 斜长石矿物化学成分 Or-Ab-An 图解; e. 角闪石矿物镜下照片; f. 斜长石矿物镜下照片; 矿物代码; Hb 角闪石, Pl 斜长石

Fig. 4 Microscopic photos and classification diagrams for amphibole and plagioclase minerals

表 3 岩石中角闪石 – 斜长石温压条件计算结果表

Table 3 Results of temperature-pressure conditions calculated by amphibole-plagioclase phase equations

| 34 13. | | | | | |
|--------|--|---|---|---|---|
| 单位 | 15-39 | 20-19 | 20-11 | 21-28 | 16-28 |
| P/kbar | 2. 7 | 2. 4 | 5. 8 | 6. 5 | 6. 7 |
| P/kbar | 1.5 | 1. 2 | 5. 0 | 5. 8 | 6. 1 |
| P/kbar | 1. 3 | 1.0 | 3.9 | 4. 5 | 4. 6 |
| P/kbar | 2. 3 | 2. 0 | 5. 3 | 5. 9 | 6. 1 |
| P/kbar | 1.5 | 1.8 | 3.9 | 4. 9 | 1.9 |
| P/kbar | 1. 9 | 1.7 | 4. 8 | 5. 5 | 5. 1 |
| T∕°C | 905 | 813. 1 | 809. 2 | 805.4 | 949. 4 |
| | P/kbar P/kbar P/kbar P/kbar P/kbar P/kbar | P/kbar 2.7 P/kbar 1.5 P/kbar 1.3 P/kbar 2.3 P/kbar 1.5 P/kbar 1.9 | P/kbar 2.7 2.4 P/kbar 1.5 1.2 P/kbar 1.3 1.0 P/kbar 2.3 2.0 P/kbar 1.5 1.8 P/kbar 1.9 1.7 | P/kbar 2.7 2.4 5.8 P/kbar 1.5 1.2 5.0 P/kbar 1.3 1.0 3.9 P/kbar 2.3 2.0 5.3 P/kbar 1.5 1.8 3.9 P/kbar 1.9 1.7 4.8 | P/kbar 2.7 2.4 5.8 6.5 P/kbar 1.5 1.2 5.0 5.8 P/kbar 1.3 1.0 3.9 4.5 P/kbar 2.3 2.0 5.3 5.9 P/kbar 1.5 1.8 3.9 4.9 P/kbar 1.9 1.7 4.8 5.5 |

125. 84 × 10⁶, Hf 平均含量为 3. 44 × 10⁶, Nb 平均含量为 8. 56 × 10⁶, Ta 平均含量为 0. 6 × 10⁶, Rb 平均含量为 25. 86 × 10⁶, Sr 平均含量为 386. 64 × 10⁶。在岩石的稀土元素球粒陨石标准化模式图(图 5a)^[26]上,二者均表现出与 E-MORB 类似的形态, 具轻重稀土元素分馏不明显的特征。在岩石的微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 5b)^[27]上,二者均富集大离子亲石元素 K、Rb、Sr 和亏损高场强元素 Nb、Ta、Zr、Ti。岩石的 Th/Ta 比值大于 3、Th/Nb 比值小于 1 和 La/Nb 比值大于 2。

4 讨论

4.1 增生杂岩的时代属性

增生杂岩带中往往有不同规模、不同类型、不同来源的能干性强的岩块。洋岛、海山及陆壳残片(变质基底和盖层)均可卷入增生系统。强烈片理化的基质中含有不同类型、不同时代的岩块,它们通常具有准确的封闭上限,而形成的下限难以确定。研究区内的增生杂岩被大量年龄为50±Ma的同碰撞侵入岩所吞噬包围^[9],表明其封闭上限不晚于始新世。大理岩岩块中产时代为晚三叠世一晚白垩世的双壳类化石 Oxytoma sp. ^[28],表明岩块最早可追溯至晚三叠世;具弧花岗岩特征的变形花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 178 Ma^[29],表明洋壳俯冲消减开始时间不晚于早侏罗世。区域上分布有洋岛、洋内弧的洋板块地层^[30],包括锆石 U-Pb 年龄为 219

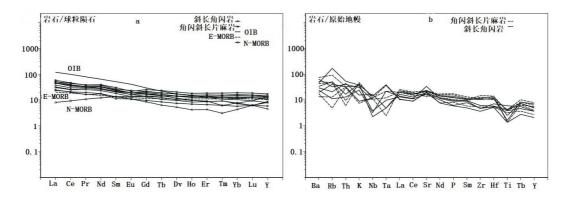


图 5 岩石稀土元素球粒陨石标准化模式图[26]和微量元素原始地幔标准化模式图[27]

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns^[26] and primitive mantle-normalized trace elements patterns^[27]

~229Ma的曲水弧花岗岩、锆石 U-Pb 年龄为 182Ma 的洋内弧火山岩和锆石 U-Pb 年龄为 209.9 ± 1.6Ma、219.5 ± 2.0Ma 的洋岛玄武岩。研究区南侧分布有晚三叠世朗杰学岩群增生楔;雅江结合带中的硅质岩有中三叠世安尼期^[31]的放射虫动物群;在蛇绿岩的辉长岩中获得锆石 U-Pb 年龄为 273 ± 6Ma^[32]。最新遭受变质变形地质体为 85Ma 左右的岛弧花岗岩^[51],表明发生变质变形的时间介于 85Ma和 50Ma 之间。

卷入增生系统的地质体最早可追溯至中二叠世—三叠纪,增生的封闭上限时代应不晚于始新世。本文在斜长角闪岩和角闪斜长片麻岩中分别获得151.4±1.6Ma、150.7±1.4Ma的锆石U-Pb年龄,为新特提斯洋俯冲消减的产物,之后卷入了增生系统中,并发生了变质变形作用。

4.2 岩石成因

由于本文研究的岩石经历了变质作用改造,一些活动性元素(大部分主量元素和大离子亲石元素)会发生迁移,这些元素的含量变化也许不能代表原始研究成分,而微量元素 Nb、V、Th 等相对稳定^[33],特别是过渡金属元素 V 等在中高级变质作用中也能保持较小的活跃程度^[34]。因此,本文选择较为稳定的元素进行岩石系列、成因和构造环境的讨论。

本次研究的变质火山岩具较高的 Al_2O_3 含量及较低的 TiO_2 含量,与岛弧火山岩特征相似^{35]},原岩的岩石类型以玄武岩、玄武安山岩及安山岩为主。微量元素以富集 K、Rb、Sr 和 Ba 大离子亲石元素 (LILE)及轻稀土元素(LREE)、亏损 Nb、Ta 和 Ti 高场强元素(HFSF)及 P,显示了岛弧火山岩的地球化学属性。斜长角闪岩具有低 Σ REE 值(平均值为

94.2×10⁶),而角闪斜长片麻岩具相对高的∑REE 值(平均值为113.2×10⁶),二者轻稀土元素均轻度富集。斜长角闪岩的 La/Nb 平均值为3.22,而角闪斜长片麻岩为1.65,与岛弧玄武岩(1.4)^[36]接近。斜长角闪岩和角闪斜长片麻岩的 Ce/Sr 值分别为0.05、0.08,明显偏低,表明具有火山弧玄武岩特征^[37]。岩石的(La/Yb)_N在2.89~6.55之间,表明岩石 Nb、Ta 亏损小可能是因板内岩浆受地壳混染所致^[38],暗示与俯冲作用有关的消减板片的流体或熔体对地幔交代作用对源区成分有重要贡献。

在 Ti-Zr-Y 图解上(图 6a) [39] 上,角闪斜长片麻岩落在岛弧拉斑玄武岩区,斜长角闪岩落在钙碱性玄武岩区;在 Th/Yb-Ta/Yb 图解(图 6b) [40] 上,二者大多数落在钙碱性系列的火山弧玄武岩中,少数为拉斑系列;在 La-Y-Nb 图解(图 6c) [41] 上,样品主要落在钙碱性玄武岩和大陆玄武岩中;在 Th-Hf-Nb 图解上[42] (图 6d),斜长角闪岩和角闪斜长片麻岩均落在 D 区火山弧玄武岩中;在 Zr-Nb 图解(图 6e) [43] 上,斜长角闪岩主要落在洋内弧,而角闪斜长片麻岩主要落在活动大陆边缘;在 V-Ti 图解(图 6f) [44] 上,斜长角闪岩落在 IAT 岛弧拉斑玄武岩区,而角闪斜长片麻岩多落在 CAB 陆缘钙碱性玄武岩和 MORB 洋中脊玄武岩交汇部位。

以往的研究普遍认为,分布在拉萨地体南部的一套角闪岩相高级变质岩是拉萨地体的前寒武纪变质基底,而最新研究表明,其形成在中生代,并在中、新生代遭受了变质作用^[3]。本次研究的尼木地区的变质火山岩的矿物化学特征显示,岩石经历了高温中压变质作用,原岩的构造背景属于洋内岛弧或活动大陆边缘弧,结合原岩为泥质岩的片岩的物源区为火山岩,表明该套变质岩的变质作用发生在

表 4 西藏尼木地区斜长角闪岩和角闪斜长片麻岩的地球化学成分

Table 4 Chemical compositions of amphibolite and amphibole-bearing plagioclase gneiss form Nimu, Tibet

| | | | | | | | 01 0 | 8 | | , | |
|-----------------------------|------------|--------------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|------------|-------------------|-------------------|----------------|
| 编号 | D0679 | D2605 | D5057 | P19-19 | P8-62 | P15-30 | P24-17 | P20-15 | P2-5 | P1-64 | P2-53 |
| 岩性 | | | | 斜长角闪岩 | | | | | 角闪斜长 | | |
| SiO ₂ | 43. 90 | 44. 34 | 48. 17 | 48. 29 | 52. 01 | 52. 63 | 55. 81 | 55. 93 | 57. 98 | 58. 25 | 59. 07 |
| ${\rm TiO}_2$ | 1. 28 | 0. 29 | 0. 54 | 0.83 | 0. 35 | 0. 93 | 0. 69 | 0.86 | 0.82 | 0.30 | 0. 90 |
| $\mathrm{Al}_2\mathrm{O}_3$ | 18. 17 | 13. 98 | 16. 94 | 12. 19 | 14. 75 | 19. 81 | 14. 87 | 19. 52 | 17. 00 | 17.40 | 15. 18 |
| $\mathrm{Fe_2O_3}$ | 5. 93 | 3. 45 | 1. 24 | 3. 14 | 1.09 | 4. 25 | 2. 16 | 2. 95 | 2. 34 | 1. 57 | 2. 50 |
| FeO | 7. 25 | 8. 19 | 7. 58 | 6. 72 | 7. 03 | 4. 32 | 5. 52 | 4. 58 | 3.71 | 5. 22 | 5.06 |
| MnO | 0. 14 | 0. 21 | 0. 27 | 0. 16 | 0. 22 | 0. 26 | 0. 13 | 0. 15 | 0. 17 | 0. 15 | 0. 15 |
| MgO | 6.61 | 11.60 | 6. 45 | 11.53 | 5. 36 | 4. 11 | 6. 69 | 3. 13 | 2. 52 | 2. 74 | 3. 39 |
| CaO | 10.72 | 9. 31 | 12. 20 | 11.07 | 10. 49 | 7. 73 | 10. 28 | 7. 16 | 5. 76 | 4. 86 | 6. 18 |
| Na_2O | 2.48 | 1. 12 | 1.46 | 1. 82 | 2.08 | 1.50 | 1. 72 | 4. 16 | 4. 78 | 2. 91 | 3. 12 |
| K_2O | 0.70 | 1. 10 | 0.45 | 1. 03 | 0.88 | 1. 23 | 0. 22 | 0. 26 | 1. 39 | 2. 60 | 1. 23 |
| P_2O_5 | 0. 19 | 0. 12 | 0. 26 | 0. 13 | 0. 29 | 0. 20 | 0. 17 | 0. 22 | 0. 33 | 0. 27 | 0. 37 |
| Lost | 1.57 | 3. 17 | 1.60 | 2. 09 | 3. 17 | 2. 34 | 0. 92 | 0.39 | 2. 23 | 1. 22 | 1.60 |
| La | 9. 99 | 7. 65 | 14. 10 | 9. 39 | 16. 20 | 11.76 | 7. 44 | 14. 14 | 18. 20 | 14. 60 | 16. 10 |
| Ce | 20. 91 | 16. 40 | 30. 50 | 20. 26 | 31. 80 | 23. 97 | 16. 76 | 27. 75 | 37. 50 | 30. 40 | 35. 70 |
| Pr | 3. 43 | 2. 03 | 3. 93 | 3. 12 | 4. 07 | 3. 81 | 2. 40 | 4. 02 | 4. 63 | 3. 87 | 4. 67 |
| Nd | 15. 47 | 10. 40 | 19. 50 | 13. 93 | 20. 20 | 16. 64 | 10. 63 | 16. 90 | 22. 40 | 19. 20 | 23. 60 |
| Sm | 3. 96 | 2. 18 | 4. 68 | 3. 53 | 4. 88 | 4. 22 | 2. 58 | 4. 19 | 5. 18 | 4. 46 | 5. 88 |
| Eu | 1. 18 | 0. 75 | 1. 36 | 1. 01 | 1. 40 | 1. 22 | 0. 84 | 1. 38 | 1. 67 | 1. 44 | 1. 57 |
| Gd | 3. 63 | 2. 17 | 5. 08 | 3. 38 | 5. 50 | 4. 49 | 2. 50 | 4. 32 | 5. 61 | 4. 62 | 6. 58 |
| Tb | 0. 56 | 0. 31 | 0. 79 | 0. 53 | 0. 88 | 0. 78 | 0. 41 | 0. 73 | 0. 88 | 0. 68 | 1.06 |
| Dy | 3. 29 | 1. 70 | 4. 64 | 3. 10 | 5. 45 | 4. 53 | 2. 39 | 4. 63 | 5. 59 | 3. 84 | 6. 61 |
| Ho | 0. 67 | 0. 32 | 0. 92 | 0. 64 | 1. 10 | 0. 93 | 0. 49 | 1. 00 | 1. 12 | 0. 74 | 1. 32 |
| Er | 1. 81 | 0. 32 | 2. 56 | 1. 79 | 3. 28 | 2. 64 | 1. 38 | 2. 88 | 3. 33 | 1. 90 | 3. 94 |
| Tm | 0. 25 | 0. 12 | 0. 35 | 0. 26 | 0. 48 | 0. 39 | 0. 20 | 0. 43 | 0. 49 | 0. 24 | 0.60 |
| Yb | 1. 53 | 0. 12 | 2. 43 | 1. 57 | 3. 31 | 2. 63 | 1. 23 | 2. 72 | 3. 35 | 1. 56 | 3. 97 |
| Lu | 0. 23 | 0. 16 | 0.38 | 0. 25 | 0. 52 | 0. 41 | 0. 19 | 0. 43 | 0. 52 | 0. 24 | 0. 62 |
| Y | 16. 86 | 9. 49 | 22. 50 | 16. 69 | 32. 10 | 23. 04 | 12. 26 | 25. 40 | 28. 70 | 18. 30 | 36. 00 |
| REE | 83. 77 | 55. 51 | 113. 72 | 79. 45 | 131. 17 | 101. 45 | 61.71 | 110. 91 | 139. 17 | 106. 09 | 148. 21 |
| δEu | 0. 32 | 0. 36 | 0. 29 | 0. 29 | 0. 27 | 0. 28 | 0. 31 | 0. 33 | 0. 31 | 0. 31 | 0. 26 |
| — Cs | 0. 52 | 85. 02 | 2. 81 | 1. 22 | 1. 90 | 4. 07 | 0. 30 | 0. 84 | 6. 54 | 3. 83 | 3. 54 |
| | 7. 11 | | 13. 30 | | | | 3. 14 | 8. 29 | | | 30. 04 |
| Rb Sr | 716. 23 | 107. 90 428. 82 | 501. 08 | 26. 23 360. 12 | 20. 65 468. 09 | 32. 49 404. 34 | 397. 84 | 330. 61 | 29. 29 480. 55 | 58. 64 443. 57 | |
| | | | | | | | | | | 523. 91 | 280. 63 |
| Ba | 168. 63 | 319. 59 | 207. 59 | 136. 94 | 449. 82 | 236. 72 | 123. 82 | 94. 00 | 372. 08 | | 303. 65 |
| Nb | 2. 33 | 10. 15 | 11. 89 | 2. 71 0. 36 | 7. 45 0. 04 | 1.60 | 8. 61 | 8. 73 | 8. 32 | 7. 74 | 9. 48 0. 04 |
| Ta | 0. 91 | 1. 61 | 0. 20 | | | 0. 18 | 1.47 | 0. 88 | 0. 14 | 0. 53 | |
| Zr | 52. 02 | 40. 98 | 124. 13 | 53. 24 | 116.60 | 68. 69 | 60. 24 | 144. 02 | 131. 47 | 167. 12 | 126. 44 |
| Hf | 2. 20 | 1. 61 | 3. 35 | 1.70 | 3. 64 | 1. 76 | 1.60 | 3. 80 | 4. 22 | 4. 42 | 3. 16 |
| Th | 1. 12 | 4. 48 | 3. 67 | 2. 67 | 3. 40 | 1.41 | 2. 52 | 2. 67 | 0. 53 | 2. 83 | 0.78 |
| V | 430. 37 | 323. 30 | 277. 20 | 243. 26 | 262. 30 | 218. 31 | 293. 90 | 133. 54 | 110. 10 | 178. 80 | 171.60 |
| Cr | 11. 89 | 263. 90 | 262. 39 | 701. 22 | 13. 02 | 38. 10 | 92. 58 | 5. 51 | 11. 79 | 62. 62 | 12. 37 |
| Li | 3. 26 | 58. 05 | 11.06 | 14. 23 | 26. 76 | 15. 98 | 4. 83 | 12. 07 | 79. 41 | 24. 05 | 26. 36 |
| Sc | 31. 88 | 27. 78 | 33. 15 | 46. 39 | 29. 54 | 25. 91 | 33. 81 | 17. 37 | 21. 53 | 24. 38 | 26. 16 |
| U | 0. 26 | 0. 43 | 0.78 | 0. 98 | 1. 07 | 0. 26 | 0.38 | 0.40 | 3. 78 | 0.36 | 3. 62 |
| K | 139949. 96 | 78779. 34 | 186779. 25 | 138537. 91 | 266471. 73 | 191261.95 | 101807. 14 | 210866. 30 | | | |
| Ti | 21768. 44 | 13009. 15 | 30454. 60 | 20291. 28 | 32972. 50 | 26912. 75 | 14969. 52 | | | 27696. 90 | |
| P | 365610. 82 | 242278. 95 | 496320. 49 | 346748. 55 | 572508. 95 | 442769. 42 | 269326. 12 | 484088. 47 | 607412. 65 | 463031. 68 | 646886. 10 |

备注:主量元素含量单位为%,微量和稀土元素含量单位为10%。测试单位:湖北省地质实验测试中心。

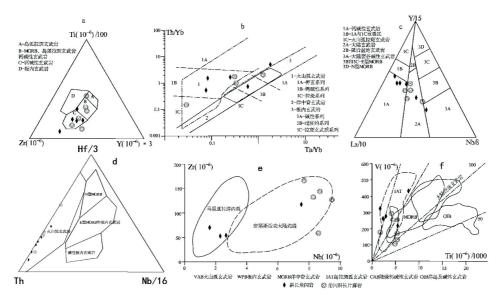


图 6 构造环境判别图解

a. 岩石 Ti-Zr-Y 图解^[39]; b. 岩石 Th/Yb-Ta/Yb 图解^[40]; c. 岩石 La-Y-Nb 图解^[41]; d. 岩石 Hf-Th-Nb 图解^[42]; e 岩石 Zr-Nb 图解^[43]; f. V-Ti 图解^[44]

Fig. 6 Geotectonic discrimination diagrams for volcanic rocks form Nimu, Tibet

新特提斯洋中脊俯冲导致的板片窗构造环境^[3]。前人在原岩为泥质岩的变质岩中获得 90Ma、37Ma 的变质年龄^[10],表明岩石经历了主期为晚白垩世中压角闪岩相变质作用和后期叠加的始新世高温热接触变质作用,它们是与拉萨地体多期造山作用有关的区域变质作用和与碰撞造山有关的冈底斯岩浆弧热接触变质作用共同作用的结果。

4.3 构造意义

最新研究表明,研究区北侧的班公错-怒江洋 盆和新特提斯洋盆具有明显的时间和空间关系,二 者是具连续演化的地质过程,可能是同一个洋盆演 化的不同阶段的产物[30]。新特提斯洋在侏罗纪时 期发生俯冲作用的证据有侏罗纪仁布蛇绿岩组 合[8],同时还有侏罗纪岛弧型岩浆杂岩[45]以及陆续 发现的洋内弧产物[46]、洋岛 - 海山组合[47]、陆缘钙 碱性正常岛弧火山岩[48]和泽当附近的玻镁安山 岩[49]等,均表明新特提斯洋存在洋内俯冲。洋内俯 冲岩浆岩常与 Cu、Au 成矿作用关系密切[50], 而研 究区内增生杂岩中发现较多的 Cu、Au 矿产[51]。这 些大致同时代但形成环境不同的构造岩石单元是 通过侏罗纪期间洋壳向北俯冲 - 碰撞造山作用而 拼贴在一起的。显然,尼木地区变质火山岩的发 现,为侏罗纪的洋壳的俯冲作用及古岛弧的存在提 供了重要依据。这些资料为重建研究区中生代的 古洋陆构造格局和俯冲 - 碰撞造山过程等提供了

非常重要的地质依据。

5 结论

- (1)尼木地区变质火山岩的岩石类型主要为斜长角闪岩、角闪斜长片麻岩,原岩为玄武岩、玄武质安山岩及安山岩;岩石中角闪石矿物以镁角闪石类为主,与之平衡共生的长石矿物以拉长石为主。
- (2)根据角闪石 斜长石温压计计算出岩石的变质温度范围为 805.4 ~ 949.1℃,平均值为 856.4℃;压力范围为 1.7 ~ 5.5kbar,平均值为 3.8kbar。为角闪岩相 辉石岩相的高温中压变质作用。
- (3)岩石具有与弧火山岩类似的地球化学特征,显示高 Al₂O₃含量、低 TiO₂含量、轻稀土略富集的特征、微量元素表现为富集 Rb、Sr、Ba 等大离子亲石元素和亏损 Nb、Ta、Ti 高场强元素的特征,其形成于洋内岛弧或活动大陆边缘弧的构造环境。
- (4)斜长角闪岩和角闪斜长片麻岩的 LA-ICP-MS 岩浆锆石 U-Pb 年龄值分别为 151.4 ± 1.6 Ma 和 150.7 ± 1.4 Ma,表明其原岩的形成时代为晚侏罗世。
- (5)尼木地区变质火山岩为晚侏罗世时期新特提斯洋北向俯冲作用的产物,在碰撞造山之前卷入增生系统并发生了变质变形作用。

致谢:本论文的完成离不开西藏地勘局曾庆高、西洛郎杰及西藏地勘局地热地质大队荣峰、拉巴次仁等在野外工作中给予的支持,也离不开成都地调中心李光明、张林奎等在项目开展过程中给予的帮助,在此衷心感谢!同时也感谢审稿专家对本文提出的宝贵意见及建议。

参考文献:

- [1] 李光明,王高明,高大发等. 西藏冈底斯南缘构造格架与成矿系统[J]. 沉积与特提斯地质,2002,22(2):001-007.
- [2] 莫宣学,赵志丹,朱弟成等.西藏南部印度-亚洲碰挂带岩石 圈岩石学-地球化学约束[J].地球科学(中国地质大学报), 2009,(01):17-27.
- [3] 张泽明,丁慧霞,董昕,等. 冈底斯岩浆弧的形成与演化[J]. 岩石学报,2019,35(2):275-294.
- [4] 李光明,段志明,黄勇,等.西藏冈底斯 喜马拉雅地质与成矿 [M].北京;中国地质大学出版社,2016.
- [5] 西藏自治区地质调查院.1:25 万拉萨幅区域地质调查报告 [R].拉萨:西藏自治区地质调查院,2007.
- [6] 西藏自治区地质调查院.1:25 万日喀则幅区域地质调查报告 [R]. 拉萨:西藏自治区地质调查院,2002.
- [7] 四川省冶金地质勘查院. 西藏尼木地区铜矿整装勘查区报告 [R]. 成都:四川省冶金地质勘查院,2015.
- [8] 西藏自治区地质调查院.1:5万仁布县幅区域地质报告[R]. 拉萨:西藏自治区地质调查院,2008.
- [9] 西藏自治区地质矿产勘查开发局地热地质大队. 西藏 1:5 万尼木县幅报告[R]. 拉萨:西藏自治区地质矿产勘查开发局地热地质大队,2018.
- [10] 孙凯. 西藏尼木变质岩形成机制与构造意义[D]. 北京:中国地质大学,2012.
- [11] 耿官升. 青藏高原拉萨地体南部沙达高级变质岩的成因研究 [D]. 北京: 中国地质科学院, 2011.
- [12] Kang Z Q, Xu J F, Feng S A, et al. Geochronology and geochemistry of the Sangri Group volcanic rocks, Southern Lhasa Terrane; Implications for the early subduction history of the Neo-Tethys and Gangdese magmatic arc [J]. Lithos, 2014, 200 – 201;157 – 168.
- [13] 许远平. 冈底斯成矿带中段构造活动与成矿规律研究[D]. 成都:成都理工大学博士论文,2014.
- [14] 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).
- [15] 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.
- [16] 吴中海,叶培盛,王成敏,等. 藏南安岗地堑的史前大地震遗迹、年龄及其地质意义[J]. 地球科学 中国地质大学报, 2015,40(10):1621-1642.
- [17] 龚宇,张文甫. 西藏尼木南北向活动构造带的初步研究[J]. 四川地震,1993,(1):13-19.

- [18] 李迎春,周伟,王健,等. X 射线荧光光谱法测定高锶高钡的 硅酸盐样品中主量元素 [J]. 岩矿测试,2013,32(2):249 -253.
- [19] Schaltegger U, Fanning CM, Gunther D, et al. Growth, annealing and recrystllization of zircon and preservation of monazite in highgrade metamorphism; Conventional and in-situ U-Pb isotope, cathodoluminescence and microchemical evidence [J]. Contrib Mineral Petrol, 1999, 134:186-201.
- [20] Leake BE, Woolley AR, Arps CES, et al. Nomenclature of amphiboles; Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names[J]. Mineralogical magazine, 1997, 61;295-321.
- [21] 靳是琴,李鸿超. 成因矿物学概论(下册)[M]. 长春:吉林大学出版社,1986.221-241.
- [22] Blundy JD and Holland T. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1990,104:208 – 224.
- [23] Holland T and Blundy J. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry [J]. Contrib. Mineral. Petrol, 1994, 116:433 – 447.
- [24] Anderson JL and Smith DR. The effect of temperature and oxygen f ugacity on Al-in-hornblende barometry [J]. Am. Mineral. 1995,80:549 559.
- [25] Schmidt MW. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: An experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer [J]. Contrib. Mineral. Petrol, 1992, 110;304 310.
- [26] Sun S S and McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implication for mantle composition and processes [J]. Geological Society, London, Special Publications, 1989,42:313 - 345.
- [27] Boyton W V. Geochemistry of the rare earth elements; meteorite studies [C]. Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry [A]. Amsterdam; Elsevier, 1984:63-114.
- [28] 唐华,徐琳,罗绍强,等. 西藏尼木地区双壳类化石的发现及 其对相关地层的厘定[J]. 中国地质.
- [29] 张宏飞,徐旺春,郭建秋,等. 冈底斯南缘变形花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成:新特提斯洋早侏罗世俯冲作用的证据[J]. 岩石学报,2007,023(6):1347-1353.
- [30] 李光明,张林奎,吴建阳,解超明,朱利东,韩芳林. 青藏高原南部洋板块地质重建及科学意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2020,40(1):1-14.
- [31] Chen D, Luo H, Wang X, Xu B, Matsuoka A. Late Anisian radiolarian assemblages from the Yarlung-Tsangpo Suture Zone in the Jinlu area, Zedong, southern Tibet: Implications for the evolution of Neotethys[J]. Island Arc, 2019, 1 10.
- [32] 白文吉,方青松,张仲明等. 西藏雅鲁藏布江蛇绿岩带罗布莎 地幔橄榄岩的成因,岩石矿物学杂志,1999,18(3):193 -216.
- [33] Gillis K M, Thompson G. Metabasalts from the Mid-Atlantic Ridge:

 New insight into hydrothermal systems inslow-spreadingcrust[J].

- Contributions to Mineralogy and Petrology, 1993, 113:502 523.
- [34] Nicollet C, Andriambololona D R. Distribution of transition elements in crustal metabasic igneous rocks[J]. Chemical Geology, 1980, 28:79-90.
- [35] 于漫,王玉玺,王晓伟等. 岛弧火山岩成因和地球化学特征 [J]. 甘肃地质,2017(01):21-28.
- [36] Condie K C. Mafic crustal xenolths and the origin of the lower continental crust [J]. Lithos, 1999, 46:95 101.
- [37] Pearce J A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries Thorps RS [J]. Andesites. New York; John Wiley and Sons, 1982;525 – 548.
- [38] 蔡克大,袁超,孙敏,等. 阿尔泰塔尔浪地区斜长角闪岩和辉长岩的形成时代、地球化学特征和构造意义[J]. 岩石学报, 2007,23(5):877-888.
- [39] Pearce, J. A. and Norry, M. J. Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Yand Nb Variations in Volcanic Rocks [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1979, 69, 33 - 47.
- [40] Pearce J A. Trace element characteristics of lava from destructive plate boundaries [C]. Thorpe R S (ed.). Andesites [A]. Orogenic Andesites and Related Rocks. New York. Jehn willey and Suns, 1982: 525 – 548.
- [41] Cabanis B and Lecolle M. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/ 8: Unoutil pour la discrimination des series volcaniques etla mise en evidence des processus de melande et/ou de contamination crustale[J]. Comptes Rendus Academie Sciences, Série II,1989, 309(20):2023-2029.

- [42] Pearce J A. Trace Element Characteristics of Lavas from Destructive Plate Boundaries in Thorpe Rs Andesite [M]. Andesites Wiley, 1982;525 – 548.
- [43] Pearce J A, Harris N, Tindle A G. Trace Element discrimination diagrams for the tectontic interestation of granitic rocks [J]. Journal of petrology, 1984, 25:956 – 983.
- [44] Pearce J A. Immobile element fingerprinting of ophiolites [J]. Elements, 2014, 10:101 108.
- [45] 曾云川. 拉萨地块晚三叠纪 晚侏罗纪岩浆 构造演化 [D]. 北京:中国科学院大学(北京),2017.6.
- [46] 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.
- [47] 西藏自治区地质矿产勘查开发局第六地质大队. 西藏 1:5 万 曲水县幅报告[R]. 拉萨: 西藏自治区地质矿产勘查开发局第六地质大队,2018.
- [48] 冉孟兰,康志强,许继峰,等 西藏拉萨地块南缘日喀则地区 比马组火山岩的年代学、地球化学及地质意义[J]. 地球化 学,2017,46(3):205-214.
- [49] 王成善,等. 特提斯喜马拉雅沉积地质与大陆古海洋学[M]. 北京:地质出版社,2005.
- [50] 付燕刚. 西藏拉萨地块南部新特提斯洋俯冲成岩成矿作用 [D]. 北京:中国地质科学院,2017.05.
- [51] 西藏自治区地质矿产勘查开发局地热地质大队. 西藏自治区 尼木县公嘎矿点铜金多金属矿预查报告[R]. 拉萨,2007.

The geochemistry and zircon U-Pb dating for the metamorphic volcanic rocks in Nimu area. Tibet

TANG Hua¹, HU Lin¹, WEI Long¹, CHEN Yong-dong¹, OU Zhu-jian-ceng², ZHOU Peng² (1. Northwestern Sichuan Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development of Sichuan Province, Mianyang 621000, Sichuan, China; 2. Geothermal and Geological Party, Bureau of Mineral Resource Exploration and Development of Tibet, Lhasa 850000, Tibet, China)

Abstract: Located in the south of the Gangdise magmatic arc, Nimu area occurred a set of metamorphic volcanic rocks mainly composed of amphibolite and amphibole-bearing plagioclase gneiss. Previously, they are believed to be the late Paleozoic crystalline basement rocks of the Lhasa block. By detailed geological survey and studies on mineral associations, geochemistry, and zircon U-Pb dating, the authors believe these metamorphic volcanic rocks were the accretion complex related to the subduction of the New Tethys Ocean in the late Jurassic. Following their formation, these arc-type volcanic rocks then experienced the mid-pressure amphibolite facies metamorphism in the late Cretaceous and the high-temperature contact metamorphism in the Eocene. Mineral chemistry shows that hornblendes in the rocks are mainly magnesium hornblendes and the paragenetic feldspars are mainly labradorites. The geochemistry of the rocks shows that Al_2O_3 is in rich and TiO_2 is in poor, and LILEs such as Rb, Sr, Ba are in rich and HFSEs such as Nb, Ta, Ti are in poor, comparatively. The LA-ICP-MS U-Pb dating of zircons from the metamorphic volcanic rocks shows an age from 151.4 ± 1.6 Ma to 150.7 ± 1.4 Ma, which indicate that the studied rocks are originally the product of the northward subduction of the New Tethys Ocean in the late Jurassic.

Key words: Nimu area; geochemistry; intra-oceanic arc and continental marginal arc; zircon U-Pb dating