

doi: 10.12097/gbc.2022.01.023

# 西南三江甘孜-理塘洋晚古生代构造演化：来自理塘蛇绿混杂岩堆晶辉长岩 U-Pb 年龄的约束

喻光明<sup>1,2</sup>, 毛世东<sup>1</sup>, 周振菊<sup>3</sup>, 谢亘<sup>1,4</sup>, 黄豪擎<sup>1</sup>

YU Guangming<sup>1,2</sup>, MAO Shidong<sup>1</sup>, ZHOU Zhenju<sup>3</sup>, XIE Gen<sup>1,4</sup>, HUANG Haoqing<sup>1</sup>

1. 中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心, 北京 100055;

2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;

3. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

4. 中国地质调查局地球物理调查中心, 河北 廊坊 065000

1. *Natural Resources Comprehensive Survey Command Center, China Geological Survey, Beijing 100055, China;*

2. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

3. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100081, China;*

4. *Center for Geophysical Survey Center, China Geological Survey, Langfang 065000, Hebei, China*

**摘要:** 理塘县高城镇西北的擦岗隆洼岩组是一套以玄武岩为基质的蛇绿混杂岩, 通过该蛇绿混杂岩中堆晶辉长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年, 显示其年龄范围介于 349 ~ 274 Ma 之间, 形成 2 个年龄组: 第一组斜锆石  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄加权平均值为  $346 \pm 17$  Ma, 代表堆晶辉长岩早期岩浆活动的时代; 第二组斜锆石  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄加权平均值为  $286.2 \pm 5.1$  Ma, 代表了堆晶辉长岩晚期岩浆活动的结晶年龄。擦岗隆洼岩组的超基性—基性岩具有 N-MORB (正常洋中脊玄武岩) 和 E-MORB (富集型洋中脊玄武岩) 组合特征, 指示这些岩石可能形成于洋中脊环境, 岩浆物质源自 N-MORB 所代表的亏损上地幔源区受地幔柱交代混染后而形成的混合源区。研究认为, 甘孜-理塘洋最早可能在中泥盆世, 受区域地幔柱活动影响开始拉张, 导致中响地块从扬子陆块西缘裂离, 并在早石炭世发育形成洋盆。在中晚三叠世甘孜-理塘洋壳开始向西俯冲, 并于晚三叠世末闭合, 区域进入弧陆碰撞造山阶段。

**关键词:** 斜锆石 U-Pb 年龄; 堆晶辉长岩; 擦岗隆洼岩组; 甘孜-理塘蛇绿混杂岩带

**中图分类号:** P534.4; P579.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2024)01-0061-15

Yu G M, Mao S D, Zhou Z J, Xie G, Huang H Q. Late Paleozoic tectonic evolution of Ganzi-Litang Ocean in Sanjiang region, Southwest China: Constraints from U-Pb geochronology of cumulate gabbro in Litang ophiolitic mélangé belt. *Geological Bulletin of China*, 2024, 43(1): 61-75

**Abstract:** Located in the northwest of Gaocheng Town, Litang County, the Caganglongwa rock Formation is a set of ophiolitic mélangé with basalt as the matrix. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the cumulate gabbro in the ophiolitic mélangé shows an age distribution range from 274 Ma to 349 Ma, indicating two age groups. The first group of baddeleyite  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  has a weighted average age of  $346 \pm 17$  Ma, which represents the age of early magmatism of cumulate gabbro; the second group of baddeleyite  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  has a weighted average age of  $286.2 \pm 5.1$  Ma, which represents the crystallization age for late magmatism of cumulate gabbro. The ultrabasic and basic rocks in the Caganglongwa rock Formation display combined characteristics of N-MORB and E-MORB, indicating

收稿日期: 2022-01-21; 修订日期: 2022-08-24

资助项目: 国家自然科学基金项目《西南天山境内外造山型金矿构造变形-成矿作用特征对比研究》(批准号: 42172093)和《西南天山阿沙哇义造山型金矿构造-流体控矿作用研究》(批准号: 41772085), 中国地质调查局项目《全国自然资源调查项目组织实施费》(编号: DD20220851)和《四川甘孜州金沟、大河边幅 1: 50 000 区域地质矿产调查》(编号: 12120113071700)

作者简介: 喻光明 (1976-), 男, 硕士, 正高级工程师, 从事区域地质和矿产调查评价工作。E-mail: guangming312@sina.com

that these rocks may be formed in the mid-ocean ridge environment, and the magma material comes from a mixed source region formed by depleted upper mantle source region represented by N-MORB and metasomatically contaminated by the mantle plume. The research finds that the Ganzi-Litang Ocean may begin to stretch as early as the Middle Devonian due to the regional mantle plume activity, resulting in the split of the Zhongza block from the western margin of the Yangtze block and the Formation of an ocean basin in the Early Carboniferous. By the Mid-Late Triassic, the Ganzi-Litang oceanic crust was subducted westward and closed at the end of the Late Triassic, and the region entered the arc-continent collision orogeny stage.

**Key words:** baddeleyite U-Pb age; cumulate gabbro; Caganglongwa rock Formation; Ganzi-Litang ophiolitic mélange belt

甘孜-理塘蛇绿混杂岩带位于西南三江构造带东缘,呈南北向弧形展布,北窄南宽,向东北方向凸起,长约 500 km,宽 3~30 km。该带北西端在青海西邓柯-玉树与金沙江蛇绿混杂岩带连接,向南东经四川甘孜、新龙、理塘、木里至四川云南交界处的三江口,向西折转至剑川,在桥北后与金沙江蛇绿混杂岩带再交汇(图 1)。对于该构造带前人曾提出不同的认识,最初认为其属于与金沙江蛇绿混杂岩带相关的弧后扩张带(张之孟等, 1979; 李春昱, 1980)。刘宝田等(1983)、王连城等(1985)研究认为,其是由板块俯冲碰撞形成的蛇绿混杂岩带。近年来沿该带开展的区域地质调查工作显示,甘孜-理塘蛇绿混杂岩带内包含大量蛇绿岩残片,与洋脊火山岩、含放射虫深海硅质岩及其他各类沉积岩岩块混杂,证实了古特提斯东部分支洋盆的存在(莫宣学等, 1993; 潘桂棠等, 1997; 张世涛等, 2000; 李文昌等, 2010; 尹福光等, 2022)。

关于甘孜-理塘蛇绿混杂岩带的研究目前还存在一定争议:①甘孜-理塘洋盆初始形成时间,是泥盆纪、石炭纪还是二叠纪?②甘孜-理塘洋盆形成的动力学机制,是金沙江洋向西俯冲拉张的产物,还是受地幔热柱活动的影响而打开的?本次通过对甘孜-理塘蛇绿混杂岩带中段理塘地区擦岗隆洼岩组的野外调查和岩石地球化学分析,结合堆晶辉长岩斜锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年结果,认为甘孜-理塘洋在早石炭世可能已发育洋壳,其形成的动力学机制与西南三江地区晚古生代早期的地幔柱活动有关,为进一步探讨西南三江地区区域构造演化提供了重要信息。

## 1 区域地质

甘孜-理塘蛇绿混杂岩带在四川甘孜州理塘县高城镇附近呈近南北向连续出露,宽约 18 km,最窄处仅 3 km,以坐景寺-昂给断裂和达森隆洼断层为东

边界,与扬子陆块西缘的雅江残余盆地相接;以萨玛隆洼断层为西边界,与义敦-沙鲁里岛弧相邻(图 1)。甘孜-理塘蛇绿混杂岩带内岩石呈构造混杂状产出,内部包含有多时代、多成因、多来源的蛇绿岩残片、火山岩岩片、大陆边缘—深海沉积岩岩块及不同时代的灰岩岩块等,代表了曾经发育于晚古生代—中生代的甘孜-理塘洋的现今残余。

通过开展 1:50000 金沟、大河边幅区域地质矿产调查工作,并在前人工作基础上,对甘孜-理塘蛇绿混杂岩带中段的非史密斯地层构造单元进行了重新划分,建立了理塘蛇绿混杂岩群(图 2),将其内部代表甘孜-理塘洋晚古生代—中生代不同演化阶段、主体形成于不同构造背景的岩石组合归并,主要包括奥陶纪斗巫巴岩组,二叠纪—三叠纪擦岗隆洼岩组,三叠纪曲开隆洼岩组、村戈岩组、萨玛隆洼岩组、伊策隆洼岩组、达森隆洼岩组,以及受后期叠加改造的上侏罗统瑞环山组(黄豪擎, 2019)。

其中,擦岗隆洼岩组分布于理塘县高城镇西北约 5 km 的擦岗隆洼一带,区域上呈近南北向带状延伸,分布较连续,但出露宽度向南逐渐变窄(图 2)。擦岗隆洼岩组的岩石组合较复杂,主要岩性为灰绿色玄武岩类岩石,局部构造混杂有橄榄辉石岩、苦橄岩、堆晶辉长岩、辉绿辉长岩、泥质岩、硅质岩等小岩块(图 3)。其中,橄榄辉石岩岩块出露不完整,主要呈不规则小岩块零星混杂于玄武岩内;堆晶辉长岩发育典型的斜长石-辉石堆晶结构,同样以不规则的岩块分布于玄武岩内。总体上,该岩组现今形成了一套以玄武岩类为基质的蛇绿构造混杂岩,由于受构造剪切破碎,已普遍无法观察到原生层序组合。

前人研究认为,该地区存在一个以基性火山岩为基质的蛇绿混杂岩,构成基质的玄武岩为洋中脊的产物,代表这里曾经存在过具有洋壳特征的深海洋(刘宝田等, 1983; 王连城等, 1985; 莫宣学等, 1993)。擦岗隆洼岩组向南延伸部分在 1:50 000 理

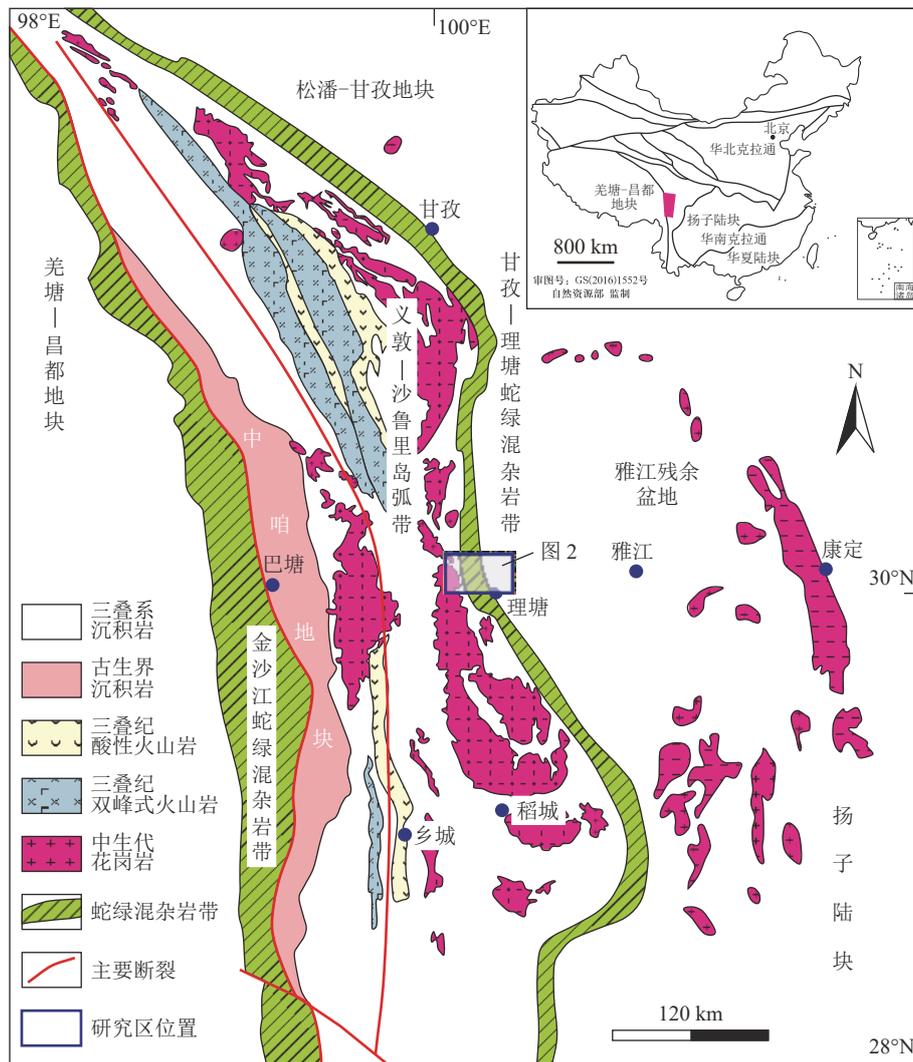


图 1 甘孜-理塘蛇绿混杂岩带大地构造背景及研究区位置图(据侯增谦等, 2001 修改)

Fig. 1 Geotectonic setting of Ganzi-Litang ophiolitic mélangé belt and location of study area

塘幅、濯桑幅区域地质调查工作中被命名为瓦能蛇绿岩组, 其中的玄武岩与洋岛拉斑玄武岩和大洋中脊拉斑玄武岩的化学成分各有相似之处。由于获得的蚀变玄武岩辉石单矿物<sup>39</sup>Ar-<sup>40</sup>Ar 等时线年龄为 224 Ma, 认为其形成于晚三叠世。

通过与挪威 Karmoy 蛇绿岩典型剖面(Sturt et al., 1979)对比(图 4), 发现两者的岩石组成类似, 但擦岗隆洼岩组蛇绿混杂岩的超基性岩端元较少见, 仅在玄武岩基质内以不规则岩块形式分布。此外, 各蛇绿岩组成端元缺乏相对完整的连续岩石组合, 多呈断块零散出露, 受后期构造破坏, 多为断层接触。

## 2 岩石学特征

擦岗隆洼岩组蚀变橄榄辉石岩岩石露头风化呈

黑色, 新鲜面为灰黑色, 具中细粒粒状、间粒、含长结构, 块状构造。岩石矿物成分主要由斜长石、辉石、橄榄、角闪石、磁铁矿等组成(图 5-a)。斜长石晶体呈自形—半自形板条状—粒状, 粒度约为 0.16 mm, 偶见连斑或聚斑结构, 常见绢云母化、碳酸盐化蚀变; 橄榄石见伊丁石化蚀变, 发育透明暗化边; 辉石多沿边部发育绿泥石化、碳酸盐化蚀变。

蚀变堆晶辉长岩岩石露头风化呈浅灰色, 新鲜面为灰绿色, 发育典型的辉长、堆晶结构, 块状构造。岩石矿物成分主要由斜长石、辉石等组成(图 5-b), 其中斜长石斑晶颗粒较粗大, 呈自形—半自形板条状, 晶体长径为 0.55 ~ 3.20 mm, 一般约为 1.80 mm, 常见碳酸盐化、弱粘土化蚀变。辉石多呈半自形—短柱状—粒状, 普遍发生强烈的绿泥石化

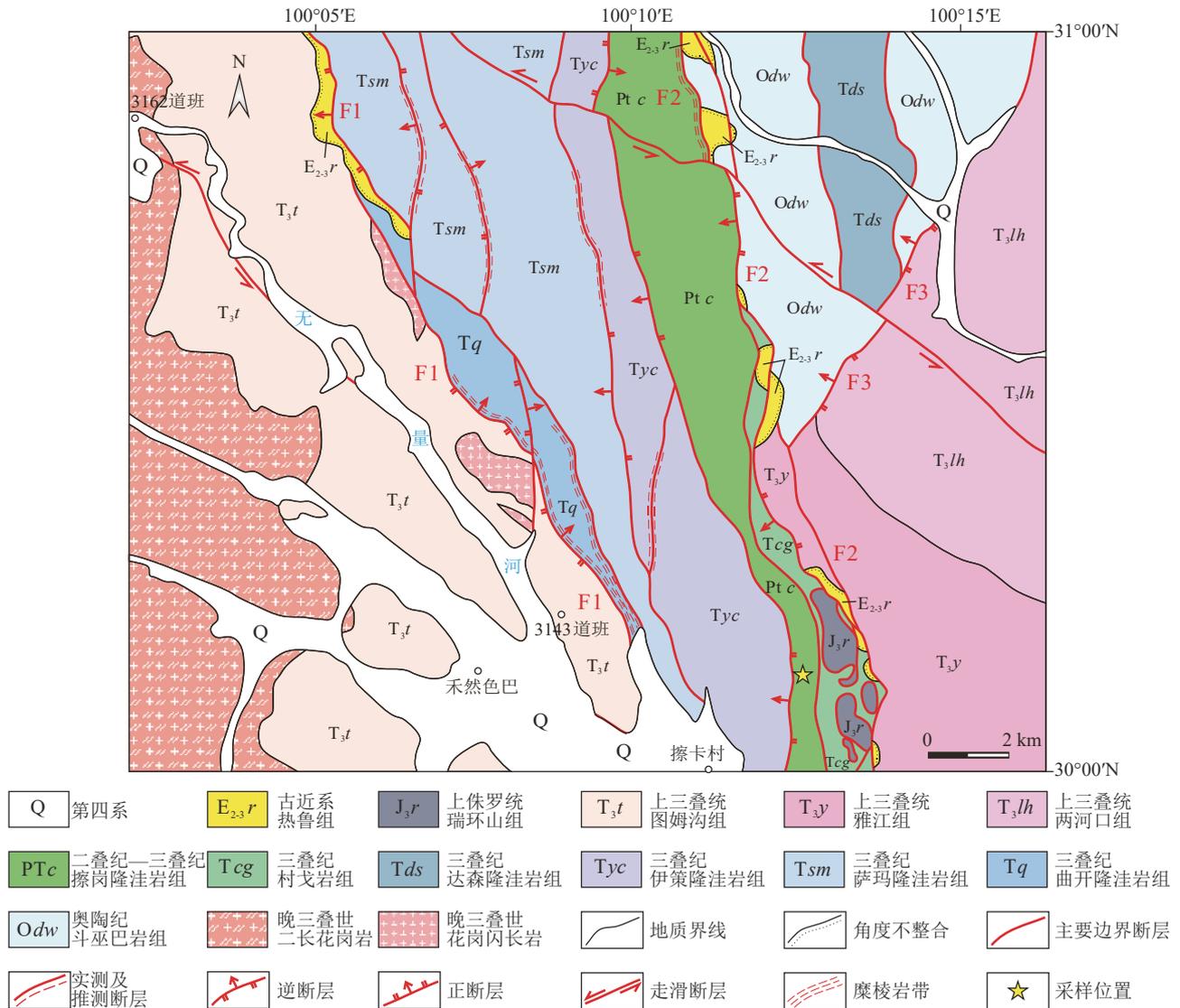


图2 甘孜-理塘蛇绿混杂岩带理塘地区地质简图

Fig. 2 Geology sketch of Litang region in Ganzi-Litang ophiolitic mélange belt

F1—阿加隆注断层; F2—坐景寺-昂给断裂带; F3—达森隆注断层

蚀变而仅保留晶形。

蚀变玄武岩岩石露头风化呈灰绿色,新鲜面为灰绿色—深绿色,见有块状玄武岩、枕状玄武岩、杏仁状玄武岩、斑状玄武岩等多种岩石类型,发育斑状、隐晶质结构,杏仁状、枕状、块状构造。岩石矿物成分主要由斜长石、辉石等组成(图5-c),斑晶主要为斜长石、辉石等,基质由细小的斜长石、辉石等晶体或隐晶质组成,其中斜长石呈自形—半自形板条状,部分颗粒可见连晶,普遍发育碳酸盐化蚀变。辉石发育强烈的绿泥石化蚀变。

蚀变辉绿岩岩石露头风化呈绿色,新鲜面为深绿色,具辉绿结构,块状构造。岩石矿物成分主要由斜长石、辉石等组成,其中斜长石呈半自形板条状—粒状,粒度0.10~0.80 mm,多见粘土化、碳酸盐化蚀变。辉石多呈半自形粒状,粒度一般为0.10 mm,沿辉石颗粒边缘或整体见绿泥石化蚀变。

### 3 样品采集及分析方法

本次在甘孜-理塘蛇绿混杂岩带中段擦岗隆注岩组内采集超基性-基性岩岩石地球化学分析样品共19件(黄豪擎,2019),其中蚀变橄榄辉石岩3件,

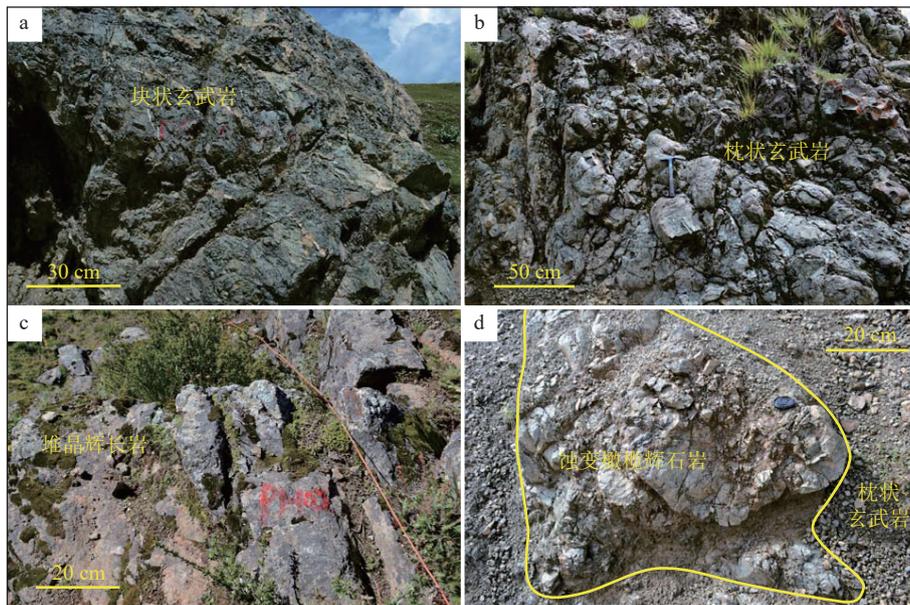


图 3 甘孜-理塘蛇绿混杂岩带擦岗隆洼岩组超基性—基性岩石特征

Fig. 3 Characteristics of ultrabasic and basic rocks in Caganglongwa rock Formation in Ganzi-Litang ophiolitic mélange belt

a—深绿色块状玄武岩; b—灰绿色枕状玄武岩; c—灰绿色堆晶辉长岩; d—灰黑色橄榄辉石岩岩块及枕状玄武岩

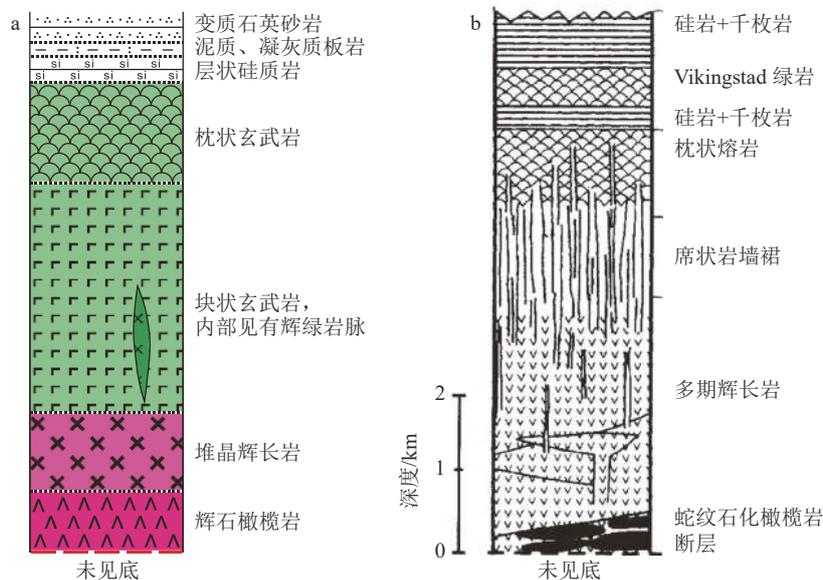


图 4 甘孜-理塘蛇绿混杂岩带擦岗隆洼岩组岩石组合(a)与挪威 Karmoy 蛇绿岩剖面 (b, 据 Sturt et al., 1979)对比

Fig. 4 Comparison between sections of rock assemblage from Caganglongwa rock Formation in Ganzi-Litang ophiolitic mélange belt (a) and Karmoy ophiolite from Norway (b)

蚀变堆晶辉长岩 6 件, 蚀变辉长岩 1 件, 蚀变玄武岩类 9 件(表 1); 堆晶辉长岩斜锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年样品 1 件(表 2)。

样品岩石地球化学测试分析在中国地震局地壳应力研究所完成, 测试仪器分别为 Philips P2404

X 荧光光谱仪和 Finnigan-MAT 有限公司制造的 ELEMENT-I 等离子质谱仪, 精度分别优于 1% 和 5%。锆石 U-Pb 测年在中国地质科学院矿产资源研究所成矿作用与资源评价重点实验室完成, 堆晶辉长岩样品采用常规方法粉碎至 80 ~ 100 目, 通过淘

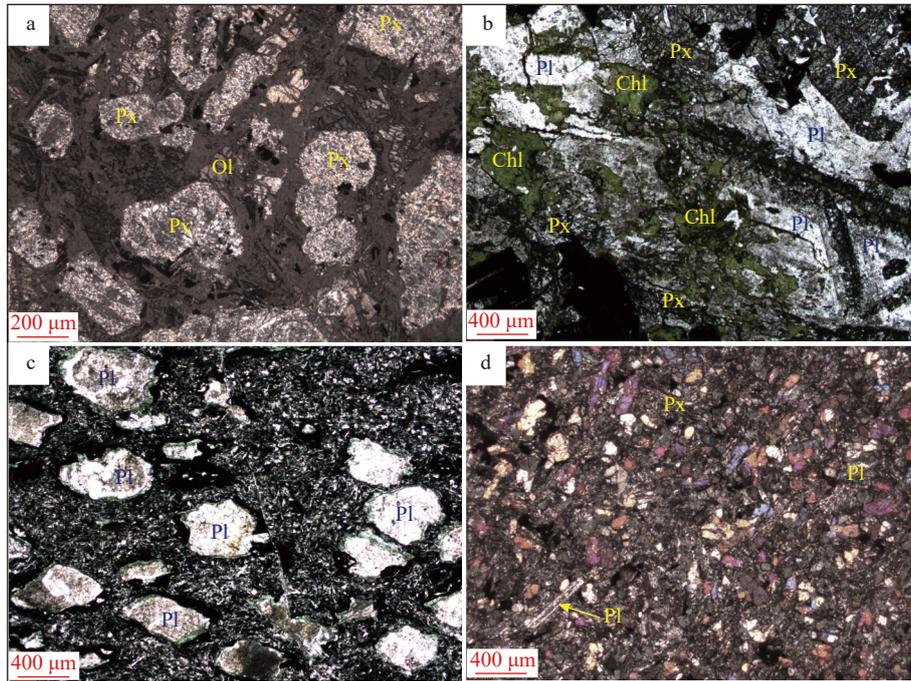


图5 甘孜-理塘蛇绿混杂岩带擦岗隆洼岩组超基性—基性岩镜下特征

Fig. 5 Microscopic characteristics of ultrabasic and basic rocks in Caganglongwa rock Formation in Ganzi-Litang ophiolitic mélange belt

a—蚀变橄榄辉石岩, 辉石发生绿泥石化蚀变, 仅保留晶形(正交偏光); b—蚀变堆晶辉长岩, 辉石边部发生绿泥石化(单偏光); c—蚀变杏仁状玄武岩, 斜长石斑晶多蚀变为绿泥石及碳酸盐矿物(正交偏光); d—蚀变辉绿岩, 斜长石具碳酸盐化及粘土化蚀变(正交偏光)。Ol—橄榄石; Px—辉石; Pl—斜长石; Chl—绿泥石

选和电磁方法进行分离, 在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒, 将锆石粘在双面胶上, 然后用无色透明的环氧树脂固定, 待环氧树脂充分固化后, 对其表面进行打磨抛光至锆石露出, 然后对其进行透射光、反射光和阴极发光(CL)图像的采集。鉴于斜锆石颗粒较小, 所以本次选择的激光取样束斑直径为 30 μm。

## 4 分析结果

### 4.1 岩石地球化学特征

擦岗隆洼岩组超基性—基性岩  $\text{SiO}_2$  平均含量为 40.6% (介于 36.4% ~ 45.9% 之间),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  平均含量为 11.6% (介于 6.7% ~ 15.7% 之间),  $\text{TiO}_2$  平均含量为 1.7% (介于 0.5% ~ 4.1% 之间)。总体以富铁 ( $\text{TFe}_2\text{O}_3$  9.9% ~ 19.4%)、富镁 ( $\text{MgO}$  2.7% ~ 12.6%), 贫钠、钾 ( $\text{Na}_2\text{O}$  0.03% ~ 5.4%、 $\text{K}_2\text{O}$  0.03% ~ 1.4%) 为特征。样品总体烧失量变化较大 (0.5% ~ 8.9%), 部分偏高, 可能与样品普遍经历过后期碳酸盐化、绿泥石化等蚀变有关。

K、Na 作为相对易于活化的元素, 它们在岩石中的含量易受后期蚀变作用影响。高场强元素 (Nb、Y、Zr、Ti 等) 的地球化学性质一般较稳定, 不易受蚀变、风化等作用影响, 因此用于岩石分类及构造环境判别较可靠。在岩石分类图解 (图 6) 上, 所有样品点均分布在玄武岩区, 与岩石镜下鉴定相比, 这些样品的  $\text{SiO}_2$  含量较低, 造成这一现象的可能原因是擦岗隆洼岩组超基性—基性岩石均形成于水下环境, 普遍与海水发生过水岩交互作用, 导致原有硅质析出, 岩石  $\text{SiO}_2$  含量下降。

稀土元素总量变化较大, 介于  $18.6 \times 10^{-6}$  ~  $180.4 \times 10^{-6}$  之间。比较而言, 超基性端元的蚀变橄榄辉石岩稀土元素总量最低, 介于  $18.6 \times 10^{-6}$  ~  $28.2 \times 10^{-6}$  之间。基性端元的蚀变玄武岩稀土元素总量略高于蚀变橄榄辉石岩, 介于  $23.8 \times 10^{-6}$  ~  $60.1 \times 10^{-6}$  之间; 蚀变辉长岩稀土元素总量稍高 ( $67.2 \times 10^{-6}$ ); 蚀变堆晶辉长岩稀土元素总量具有最高值, 介于  $44.5 \times 10^{-6}$  ~  $180.4 \times 10^{-6}$  之间。稀土元素标准化曲线显示出 2 种不同的分布形态 (图 7-a): ①由蚀变堆晶辉长岩与蚀

表 1 擦岗隆洼岩组超碱性—基性岩石主量、稀土和微量元素组成

Table 1 Major, rare earth, and trace elements of ultrabasic and basic rocks in Caganglongwa rock Formation

元素	PM01-25 FX1	PM01-33 FX1	PM01-34 FX1	PM01-37 FX1	PM01-38FX1	PM01-39 FX1	PM02-01 FX1	PM02-01 FX2	PM02-01 FX3
	蚀变杏仁状玄武岩	蚀变辉长岩	蚀变橄榄辉石岩	蚀变橄榄辉石岩	枕状玄武岩	蚀变橄榄辉石岩	蚀变堆晶辉长岩	蚀变堆晶辉长岩	蚀变堆晶辉长岩
SiO <sub>2</sub>	39.66	38.67	41.68	40.73	41.63	38.63	39.53	39.73	39.18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.68	10.96	6.73	7.69	12.93	9.87	11.31	13.21	10.86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.12	18.28	11.19	11.36	10.52	12.07	17.61	16.97	19.37
CaO	8.15	10.69	3.95	5.77	16.36	8.12	10.41	10.39	10.53
MgO	22.63	8.67	26.85	25.39	10.75	23.16	7.45	7.42	7.39
K <sub>2</sub> O	0.03	1.08	0.04	0.03	0.06	0.05	0.59	0.58	0.55
Na <sub>2</sub> O	0.07	3.34	0.04	0.03	1.54	0.10	5.40	5.43	4.79
MnO	0.15	0.23	0.11	0.13	0.16	0.18	0.23	0.30	0.24
TiO <sub>2</sub>	0.75	3.53	0.49	0.61	1.03	0.83	3.63	3.76	4.07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.28	0.06	0.07	0.10	0.07	0.34	0.36	0.35
烧失量	6.71	4.12	8.79	8.10	4.92	6.92	3.47	0.47	2.61
总计	100.02	99.85	99.93	99.91	100.00	100.00	99.97	98.62	99.94
La	3.264	8.446	1.832	2.660	4.550	2.208	24.820	6.158	8.618
Ce	8.000	19.502	4.548	6.248	10.924	5.738	58.760	16.646	25.520
Pr	1.208	2.756	0.716	0.928	1.698	0.990	8.004	2.688	4.278
Nd	6.360	14.006	3.794	4.794	8.746	5.662	38.280	14.272	23.460
Sm	1.958	3.966	1.206	1.464	2.534	2.040	9.800	4.022	7.128
Eu	0.758	1.136	0.434	0.534	0.892	0.742	3.070	1.614	2.530
Gd	2.262	4.632	1.482	1.716	2.836	2.536	10.624	4.088	7.396
Tb	0.400	0.750	0.264	0.314	0.498	0.464	1.680	0.644	1.188
Dy	2.548	4.878	1.768	2.104	3.106	3.166	10.518	3.710	7.052
Ho	0.484	0.928	0.350	0.414	0.598	0.612	1.952	0.666	1.246
Er	1.456	2.882	1.028	1.228	1.720	1.894	5.936	1.908	3.496
Tm	0.194	0.378	0.144	0.172	0.232	0.250	0.780	0.242	0.444
Yb	1.302	2.590	0.936	1.090	1.472	1.684	5.490	1.624	2.904
Lu	0.178	0.348	0.138	0.162	0.212	0.232	0.738	0.220	0.400
Y	12.338	22.980	8.902	10.710	15.288	15.092	48.700	17.078	31.400
Li	8.02	13.90	18.49	11.79	4.55	17.03	4.84	12.89	10.75
Sc	26.78	23.70	19.96	23.68	28.50	31.20	35.72	8.75	33.36
V	181.08	205.80	154.10	169.74	243.20	227.60	297.00	166.86	338.00
Cr	2020.00	349.80	2724.00	3116.00	578.20	2250.00	97.04	124.82	63.04
Co	88.08	37.24	111.52	102.06	51.80	85.70	36.08	49.08	43.26
Ni	1065.40	179.28	1454.20	1418.40	352.20	1070.20	50.62	140.46	46.32
Cu	88.00	136.98	63.46	74.00	121.78	98.44	69.62	41.30	85.18
Zn	71.22	26.18	54.38	60.64	56.58	96.24	102.32	63.94	117.38
Ga	11.49	17.34	8.02	8.92	16.29	13.04	28.58	18.43	20.94
Rb	bdl	5.66	0.97	1.30	1.05	1.95	2.32	17.47	11.86
Sr	29.68	82.10	9.71	11.69	66.92	21.58	278.20	790.60	692.20
Zr	40.48	101.66	30.32	35.32	61.74	46.02	369.20	94.82	161.10
Nb	3.31	8.96	2.26	3.55	3.17	1.93	25.52	4.37	7.27
Cs	0.58	0.07	0.76	0.96	0.19	0.25	0.30	1.35	1.10

续表 1-1

元素	PM01-25 FX1	PM01-33 FX1	PM01-34 FX1	PM01-37 FX1	PM01-38FX1	PM01-39 FX1	PM02-01 FX1	PM02-01 FX2	PM02-01 FX3	
	蚀变杏仁状 玄武岩	蚀变辉 长岩	蚀变橄榄 辉石岩	蚀变橄榄 辉石岩	枕状玄 武岩	蚀变橄榄 辉石岩	蚀变堆晶 辉长岩	蚀变堆晶 辉长岩	蚀变堆晶 辉长岩	
Ba	4.18	66.68	6.90	1.95	14.08	bdl	104.78	129.04	215.60	
Hf	1.18	2.63	0.92	1.05	1.78	1.38	9.00	2.58	4.57	
Ta	0.56	0.86	0.09	0.21	0.18	0.13	1.67	0.38	0.48	
Pb	bdl	bdl	0.11	0.05	1.63	2.85	bdl	0.87	3.09	
Th	0.36	1.08	0.23	0.33	0.47	0.23	3.10	0.56	0.87	
U	0.07	0.24	0.05	0.08	0.14	0.06	0.78	0.14	0.22	
元素	PM02-08FX1	PM06-43FX1	PM06-43 FX2	PM06-43FX3	PM06-46 FX1	PM06-46FX2	PM09-57FX1	PM09-58 FX1	PM09-64FX1	PM09-66FX1
	蚀变玄 武岩	蚀变堆 晶辉长岩	蚀变堆 晶辉长岩	蚀变堆 晶辉长岩	蚀变杏 仁状玄武岩	枕状玄 武岩	橄榄玄 武岩	块状玄 武岩	杏仁状 玄武岩	斑状玄 武岩
SiO <sub>2</sub>	36.45	38.87	39.58	40.16	45.53	45.98	37.68	39.35	45.14	42.48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.20	11.84	12.42	11.50	13.18	14.84	9.61	15.74	15.06	12.23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.68	13.89	11.65	13.54	12.05	11.28	11.50	9.90	12.41	12.38
CaO	4.97	15.77	16.85	16.83	9.44	12.48	6.53	19.81	11.76	7.85
MgO	25.71	10.35	10.88	8.66	11.16	7.37	25.15	2.74	6.84	15.93
K <sub>2</sub> O	0.06	1.45	1.23	0.26	0.50	0.138	0.03	0.07	0.88	0.12
Na <sub>2</sub> O	0.03	2.16	2.34	3.55	3.02	2.82	0.05	2.66	2.84	2.49
MnO	0.17	0.24	0.18	0.19	0.16	0.160	0.16	0.12	0.17	0.16
TiO <sub>2</sub>	0.72	1.69	1.31	1.92	1.47	1.582	0.80	1.02	1.51	1.17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.21	0.19	0.27	0.13	0.174	0.08	0.09	0.16	0.11
烧失量	8.90	3.44	3.36	3.09	3.34	3.98	8.41	7.86	3.21	4.96
总计	99.96	99.91	99.99	99.97	99.98	100.80	100.00	99.36	99.98	99.88
La	1.798	5.802	5.406	8.894	5.624	6.384	2.602	6.650	7.224	3.682
Ce	4.776	14.254	12.972	21.340	14.362	14.470	6.672	13.560	16.054	9.868
Pr	0.802	2.108	1.914	3.012	2.238	2.117	1.034	2.098	2.380	1.674
Nd	4.530	10.836	9.644	14.766	11.950	10.270	5.706	10.150	12.192	9.180
Sm	1.622	3.086	2.752	4.028	3.620	2.697	1.868	2.792	3.628	2.838
Eu	0.678	1.256	1.124	1.456	1.336	1.000	0.682	0.990	1.440	1.050
Gd	2.054	3.486	3.108	4.394	4.170	2.366	2.276	3.228	4.316	3.260
Tb	0.414	0.564	0.492	0.698	0.692	0.453	0.408	0.558	0.758	0.570
Dy	2.810	3.474	3.088	4.200	4.538	2.806	2.746	3.550	4.998	3.646
Ho	0.576	0.632	0.562	0.766	0.844	0.609	0.524	0.688	0.988	0.714
Er	1.726	1.848	1.640	2.230	2.512	1.723	1.632	2.032	2.858	2.034
Tm	0.244	0.236	0.210	0.288	0.324	0.296	0.218	0.278	0.386	0.274
Yb	1.574	1.542	1.378	1.864	2.186	2.071	1.456	1.778	2.554	1.718
Lu	0.226	0.208	0.186	0.242	0.294	0.359	0.202	0.258	0.362	0.246
Y	14.520	15.938	14.288	19.242	20.780	16.030	12.764	17.606	25.200	17.838
Li	22.64	20.26	22.50	12.24	9.32	5.20	22.86	3.11	28.42	7.40
Sc	29.96	42.18	45.34	43.06	37.84	39.16	28.18	17.33	41.58	34.54
V	209.20	280.00	221.00	306.00	326.60	322.10	207.40	288.60	332.20	274.40
Cr	2372	220.00	429.80	50.86	636.60	245.90	2044.00	60.40	98.70	1164.20
Co	95.78	45.94	40.58	40.04	49.28	51.26	79.04	27.86	43.78	65.58
Ni	1289	115.24	123.24	113.22	247.40	63.10	946.00	45.86	82.02	591.60
Cu	101.74	117.70	72.54	93.88	153.36	124.70	95.58	46.56	146.32	86.46

续表 1-2

元素	PM02-08FX1	PM06-43FX1	PM06-43 FX2	PM06-43FX3	PM06-46 FX1	PM06-46FX2	PM09-57FX1	PM09-58 FX1	PM09-64FX1	PM09-66FX1
	蚀变玄武岩	蚀变堆晶辉长岩	蚀变堆晶辉长岩	蚀变堆晶辉长岩	蚀变杏仁状玄武岩	枕状玄武岩	橄榄玄武岩	块状玄武岩	杏仁状玄武岩	斑状玄武岩
Zn	62.68	69.76	41.30	76.20	56.38	76.34	58.16	40.78	71.90	65.72
Ga	10.86	17.78	16.50	21.12	16.17	14.83	11.12	33.72	18.07	14.77
Rb	3.41	27.12	25.64	4.60	7.75	3.77	1.04	0.75	17.60	1.79
Sr	13.00	377.00	408.80	162.92	268.00	91.15	15.58	148.38	415.00	151.42
Zr	36.92	67.16	60.86	85.18	89.92	95.37	46.40	70.38	80.78	69.08
Nb	1.97	5.00	3.93	6.01	4.50	6.71	2.80	5.94	7.36	3.17
Cs	2.91	1.86	0.65	0.29	0.12	0.29	0.67	0.04	0.35	0.14
Ba	41.98	304.00	130.32	50.90	59.84	23.25	bdl	26.56	308.60	31.98
Hf	1.16	1.99	1.75	2.49	2.47	10.03	1.36	1.90	2.32	2.02
Ta	0.19	0.46	0.34	0.59	0.30	0.67	0.20	0.29	0.41	0.17
Pb	0.00	3.01	0.64	bdl	2.67	1.00	2.76	0.92	0.45	0.33
Th	0.20	0.77	0.69	1.14	0.75	0.97	0.35	0.62	0.76	0.30
U	0.05	0.19	0.15	0.21	0.17	0.25	0.08	0.13	0.17	0.09

注: 主量元素含量单位为%, 微量和稀土元素含量单位为 $10^{-6}$ ; bdl表示低于检测限

表 2 擦岗隆洼岩组堆晶辉长岩斜锆石 U-Th-Pb 分析结果

Table 2 Baddeleyite U-Th-Pb analysis data of cumulate gabbro in Caganglongwa rock Formation

分析点	含量/ $10^{-6}$			Th/U	同位素比值						年龄/Ma						
	Pb*	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	rho	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$
PM2-01DN-1-11	1746	1168	29742	0.04	0.0787	0.0058	0.4945	0.0322	0.0459	0.0013	0.4303	1165	145	408	22	289	8
PM2-01DN-1-12	576	288	8828	0.03	0.6033	0.1225	2.6314	0.2445	0.0540	0.0034	0.6840	4516	332	1309	68	339	21
PM2-01DN-1-13	55	19	573	0.03	0.2688	0.0348	1.8646	0.1952	0.0557	0.0022	0.3825	3299	210	1069	69	349	14
PM2-01DN-1-14	637	1002	11282	0.09	0.1467	0.0135	0.7794	0.0519	0.0449	0.0017	0.5529	2309	158	585	30	283	10
PM2-01DN-1-15	362	544	6320	0.09	0.0954	0.0077	0.6277	0.0581	0.0463	0.0013	0.2934	1536	152	495	36	292	8
PM2-01DN-1-16	149	399	2558	0.16	0.1905	0.0261	1.0445	0.0948	0.0455	0.0017	0.4122	2747	233	726	47	287	10
PM2-01DN-1-17	809	690	10423	0.07	0.4043	0.0509	2.4573	0.2881	0.0550	0.0028	0.4327	3925	190	1260	85	345	17
PM2-01DN-1-18	2044	2583	38422	0.07	0.1231	0.0116	0.7516	0.0455	0.0486	0.0017	0.5822	2002	168	569	26	306	11
PM2-01DN-1-19	2536	4823	52409	0.09	0.0824	0.0072	0.4804	0.0368	0.0438	0.0011	0.3199	1257	170	398	25	276	7
PM2-01DN-1-20	31	32	550	0.06	0.2948	0.0338	1.5713	0.1739	0.0466	0.0021	0.4009	3444	179	959	69	294	13
PM2-01DN-1-21	81	134	1314	0.10	0.3164	0.0452	1.7025	0.1468	0.0475	0.0022	0.5315	3552	222	1009	55	299	13
PM2-01DN-1-22	991	891	21093	0.04	0.0793	0.0063	0.4755	0.0330	0.0456	0.0013	0.3981	1189	156	395	23	288	8
PM2-01DN-1-23	550	552	11903	0.05	0.2337	0.0308	1.1230	0.0893	0.0438	0.0018	0.5302	3077	212	764	43	276	11
PM2-01DN-1-24	1352	1886	27114	0.07	0.1541	0.0121	0.8795	0.0528	0.0474	0.0017	0.6048	2392	134	641	29	299	11
PM2-01DN-1-25	42	87	663	0.13	0.4334	0.0611	2.5905	0.2537	0.0549	0.0031	0.5706	4029	212	1298	72	344	19
PM2-01DN-1-26	286	355	5759	0.06	0.1042	0.0082	0.6244	0.0432	0.0451	0.0010	0.3186	1702	146	493	27	284	6
PM2-01DN-1-27	2376	2093	48303	0.04	0.1028	0.0101	0.6180	0.0532	0.0482	0.0014	0.3324	1676	181	489	33	304	8
PM2-01DN-1-28	2017	1467	43658	0.03	0.0941	0.0085	0.5072	0.0350	0.0441	0.0013	0.4282	1510	171	417	24	278	8
PM2-01DN-1-29	1008	1154	21480	0.05	0.0924	0.0065	0.5306	0.0343	0.0434	0.0011	0.4073	1476	103	432	23	274	7
PM2-01DN-1-30	bdl	bdl	bdl	bdl	0.1326	0.0112	0.7765	0.0591	0.0444	0.0015	0.4436	2133	148	583	34	280	9

注: bdl表示低于检测限; rho代表谐协和图中单点误差图的半径

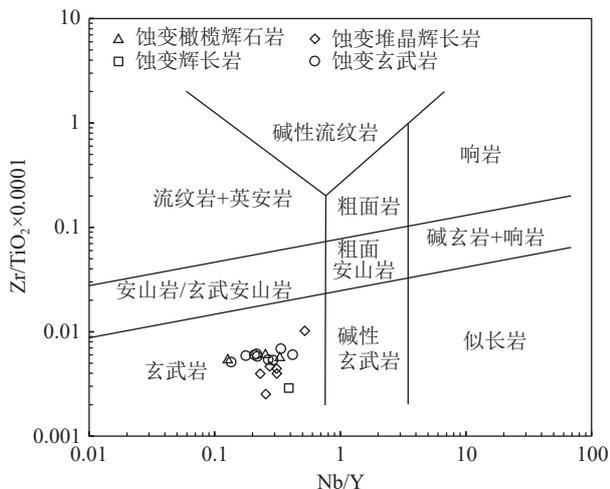


图6 擦岗隆洼岩组超基性—基性岩岩石分类图解(底图据 Winchester et al., 1977)

Fig. 6 Classification of ultrabasic and basic rocks in Caganglongwa rock Formation

变辉长岩组成, 稀土元素总量相对较高, 轻稀土元素弱富集, 曲线略右倾,  $(La/Yb)_N = 2.1 \sim 3.4$ , 具弱 Eu 负异常或正异常 ( $\delta Eu = 0.8 \sim 1.2$ ), 其配分曲线形态与 E-MORB (富集洋中脊玄武岩) 及 OIB (洋岛玄武岩) 相似; ②由蚀变玄武岩及蚀变橄榄辉石岩组成, 稀土元素总量较低, 轻稀土元素微弱富集, 个别出现轻微亏损, 曲线总体较平坦,  $(La/Yb)_N = 0.8 \sim 2.7$ , 无明显 Eu 异常或弱正异常 ( $\delta Eu = 1.0 \sim 1.2$ ), 其配分曲线形态与

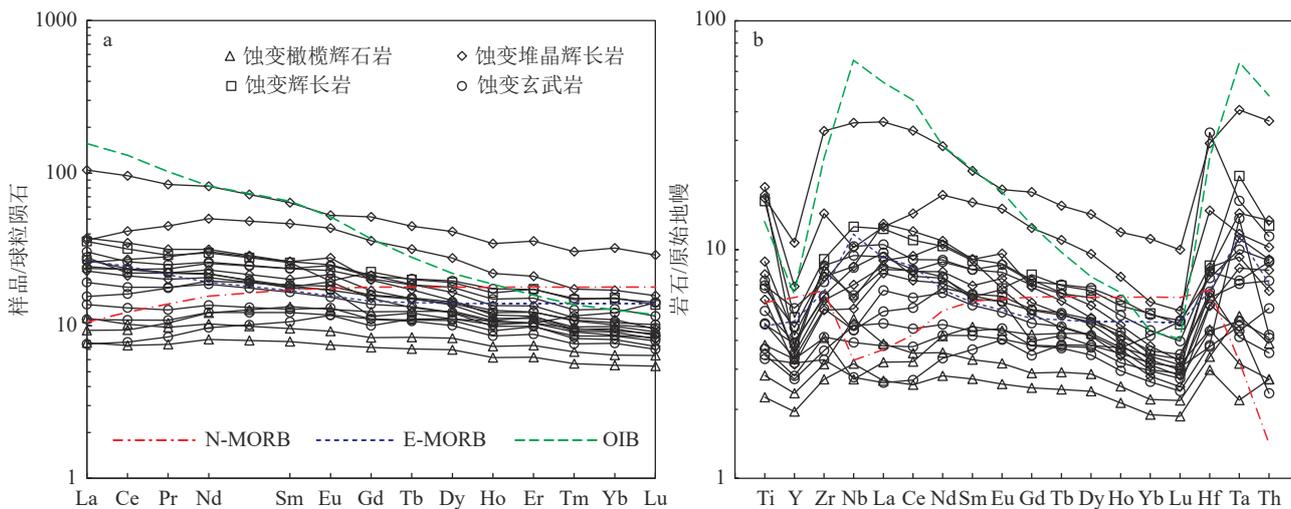


图7 擦岗隆洼岩组超基性—基性岩稀土元素标准化分配模式图 (a) 和微量元素标准化蛛网图 (b) (标准化值据 Sun et al., 1989)

Fig. 7 Standardized distribution patterns of rare earth elements (a) and standardized spider diagram of trace elements (b) of ultrabasic and basic rocks in Caganglongwa rock Formation

N-MORB—正常洋中脊玄武岩; E-MORB—富集型洋中脊玄武岩; OIB—洋岛玄武岩

N-MORB (正常洋中脊玄武岩)、E-MORB 相似。

在微量元素标准化蛛网图 (图 7-b) 中, 样品也表现出 2 种不同的曲线形式: ①由蚀变堆晶辉长岩与蚀变辉长岩组成, 微量元素含量较高, 具有相对高的高场强元素 (Nb、Ta、Zr、Hf、Ti) 丰度, 接近 E-MORB 曲线; ②由蚀变玄武岩及蚀变橄榄辉石岩组成, 微量元素含量及形态与 N-MORB 相近, 但部分样品相对 N-MORB 富集 Th、Nb、Ta, 亏损 Ti、Y 等元素, 更接近于 E-MORB 曲线。

擦岗隆洼岩组超基性—基性岩稀土和微量元素组成, 部分具有 N-MORB 特征, 部分与 E-MORB 特征相似, 指示这些岩石主要形成于洋中脊环境, 但可能受到地幔柱活动的叠加影响。区分 OIB 与 N-MORB 的重要指标是  $(La/Sm)_{PM}$  值, 一般 OIB 的  $(La/Sm)_{PM}$  值远大于 1, 而 N-MORB 的  $(La/Sm)_{PM} < 1$ 。本次研究样品的  $(La/Sm)_{PM}$  值介于 0.7 ~ 1.6 之间, 总体显示出介于 OIB 和 N-MORB 之间的 E-MORB 元素组成特征。因此, 其岩浆物质可能源自 N-MORB 所代表的亏损上地幔源区受地幔柱交代混染形成的混合源区。

#### 4.2 斜锆石 U-Pb 年龄

本次在擦岗隆洼岩组堆晶辉长岩样品 PM2-01-DN1 中发现大量斜锆石 (图 8)。与典型的岩浆锆石 ( $ZrSiO_4$ ) 相比, 这些斜锆石普遍不发育振荡生长环

带, 但具有相间的振荡条带状结构, 部分颗粒 CL 图像较暗, 内部结构不清楚。斜锆石颗粒大部分呈板片状, 且晶体较细小, 长轴粒径 45 ~ 195  $\mu\text{m}$ , 短轴粒径 35 ~ 55  $\mu\text{m}$ , 长宽比变化较大(1.3 ~ 4.8)。斜锆石不同颗粒之间 Th、U 含量存在较大的变化, 分别为  $19 \times 10^{-6} \sim 4823 \times 10^{-6}$  和  $550 \times 10^{-6} \sim 52409 \times 10^{-6}$ , Th/U 值为 0.03 ~ 0.16, 均小于 0.2(表 2)。

堆晶辉长岩 20 颗斜锆石有效分析测点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄分布在 274 ~ 349 Ma(表 2)之间, 测点数据

落在谐和线附近, 总体轻微偏离, 推测其可能与激光采样束斑直径较小(30  $\mu\text{m}$ ), 导致  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  年龄相对于  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄具有更大的误差有关。20 个 U-Pb 年龄分析结果形成了 2 个锆石年龄组(图 9)。其中, 第一组 16 颗斜锆石 U、Th 含量分别为  $550 \times 10^{-6} \sim 52409 \times 10^{-6}$ 、 $32 \times 10^{-6} \sim 4823 \times 10^{-6}$ , Th/U 值为 0.03 ~ 0.16,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄加权平均值为  $286.2 \pm 5.1$  Ma ( $n=16$ ), 代表了堆晶辉长岩晚期岩浆的结晶年龄。第二组 4 颗斜锆石 U、Th 含量分别为  $575 \times 10^{-6} \sim$



图 8 擦岗隆洼岩组堆晶辉长岩斜锆石阴极发光 (CL) 图像

Fig. 8 Baddeleyite CL images of cumulate gabbro in Caganglongwa rock Formation

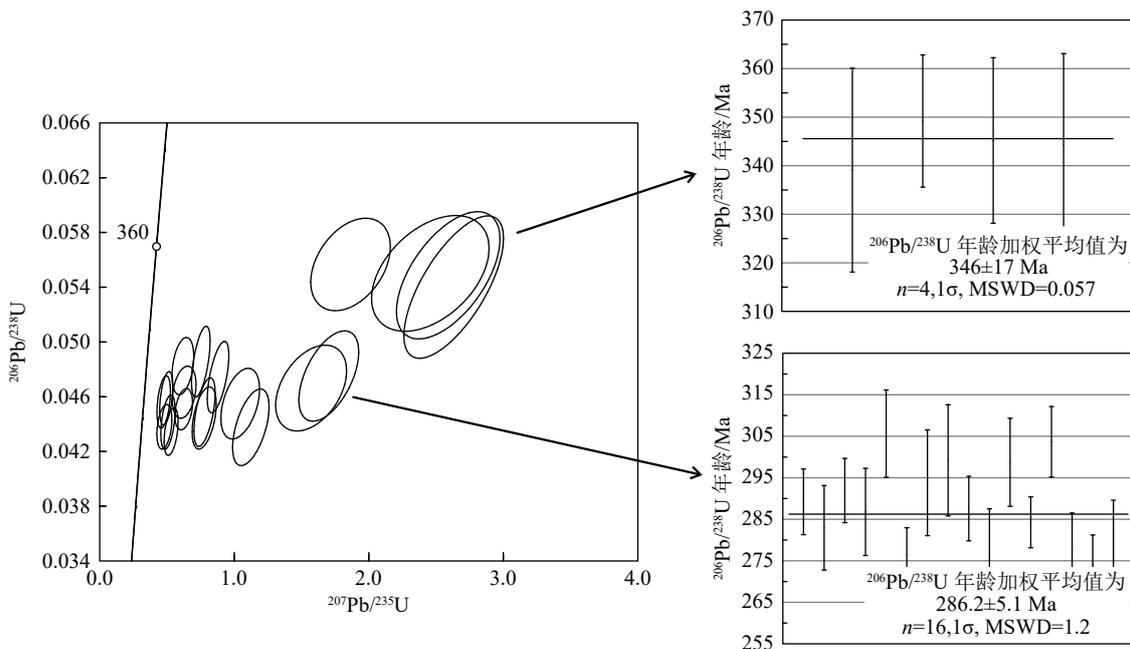


图 9 擦岗隆洼岩组堆晶辉长岩斜锆石 U-Pb 年龄

Fig. 9 Baddeleyite U-Pb age of cumulate gabbro in Caganglongwa rock Formation

10423×10<sup>-6</sup>、19×10<sup>-6</sup>~690×10<sup>-6</sup>, Th含量明显低于第一组, Th/U值为0.03~0.13, <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄加权平均值为346±17 Ma(n=4)。相比于锆石, 斜锆石多为岩浆成因, U、Th含量变化较大, 具有较高的U含量, 且Th/U值一般远小于0.2(李艳广等, 2015)。本次2个年龄组的斜锆石晶形相似, Th/U值相近, 均为岩浆成因锆石, 表明老年龄斜锆石也是在相似岩浆系统中结晶形成的岩浆锆石, 而非混染地壳物质捕获的斜锆石颗粒, 其年龄可能代表了堆晶辉长岩早期岩浆活动的时代。

造山带蛇绿岩是古洋壳存在的重要物质记录。辉长岩作为地幔部分熔融后岩浆结晶分异的产物, 其形成年龄能够为确定蛇绿岩的形成时代提供重要约束。另外, 由于辉长岩中锆石组成较简单, 同位素体系封闭性好, 因而其同位素年龄的地质意义单一明确: 辉长岩的结晶年龄能够反映其从地幔部分熔融分离结晶的时代, 也代表着蛇绿岩或大洋地壳的形成时代(Dunning et al., 1988)。尽管有时辉长岩会含有少量继承锆石, 但它可以提供更多有意义的岩石成因和构造环境方面的信息(简平等, 2003)。本次擦岗隆洼岩组堆晶辉长岩斜锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年结果可以确定, 甘孜-理塘洋盆的扩张时代为286.2±5.1 Ma, 即早二叠世, 与闫全人等(2005)在甘孜县获得的蛇绿岩辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄(292±4 Ma)相近。

研究表明, 晚泥盆世由于冈瓦纳大陆在开始顺时针旋转, 扬子陆块可能于400 Ma左右开始与之分离(林金录, 1987; 张世红等, 2001)。在甘孜-理塘结合带南段, 中甸劳改皮一带深水硅质岩中发现有晚泥盆世深海—半深海相的放射虫(泡沫虫)和竹节虫化石(张世涛等, 2000), 在香格里拉地区的深硅质岩中也发现有中泥盆世放射虫(杨文强等, 2010; 谢力等, 2012); 在甘孜-理塘结合带北段竹庆硅质岩中发现有早石炭世放射虫, 在卧龙一带出露石炭纪深水浊积碳酸盐岩(潘桂棠等, 1997)。以上研究结果表明, 甘孜-理塘蛇绿混杂岩带可能在泥盆纪已发育形成深水海盆。对于甘孜-理塘洋盆的打开时间, 闫全人等(2005)、严松涛等(2021)、黄豪擎(2019)研究成果显示, 最迟至早石炭世(328~346 Ma), 甘孜-理塘洋已发育形成洋壳, 与本次研究获得的堆晶辉长岩早期岩浆活动年龄(339~349 Ma)吻合。

## 5 讨论

### 5.1 晚古生代洋壳残余的识别

在 Hf/3-Th-Nb/16 构造环境判别图解(图 10)上, 擦岗隆洼岩组超基性—基性岩样品均落入 N-MORB 和 E-MORB 区域之间或其附近, 指示其可能并非形成于单一的构造环境。结合超基性—基性岩具有 N-MORB、E-MORB 组合的岩石地球化学特征, 暗示其可能形成于洋中脊环境, 代表了晚古生代洋壳的残余, 但明显受到地幔柱物质叠加的影响。

西南三江地区金沙江结合带洋脊—准洋脊型玄武岩锆石 U-Pb 年龄为 361.6±8.5 Ma(李文昌等, 2010); 哀牢山蛇绿混杂岩带洋脊型火山岩锆石 U-Pb 年龄为 362~328 Ma(简平等, 1998); 澜沧江洋在早石炭世开始扩张(李文昌等, 2010); 甘孜-理塘蛇绿混杂岩带堆晶辉长岩早期岩浆活动时间为 339~349 Ma。表明在晚古生代(泥盆纪—石炭纪), 羌北、昌都—普洱、中咱等地块从扬子陆块西缘裂离, 共同形成了古特提斯的金沙江—哀牢山洋、澜沧江洋、甘孜-理塘洋, 并与延续下来的昌宁—孟连洋一起, 构成了“西南三江”古特提斯的 4 个洋盆(王保弟等, 2013)。

### 5.2 甘孜-理塘洋形成的动力学机制

源自地幔深处垂直上升的地幔热柱物质, 与周围的地幔混合或混杂, 能够产生独特的岩石组合及

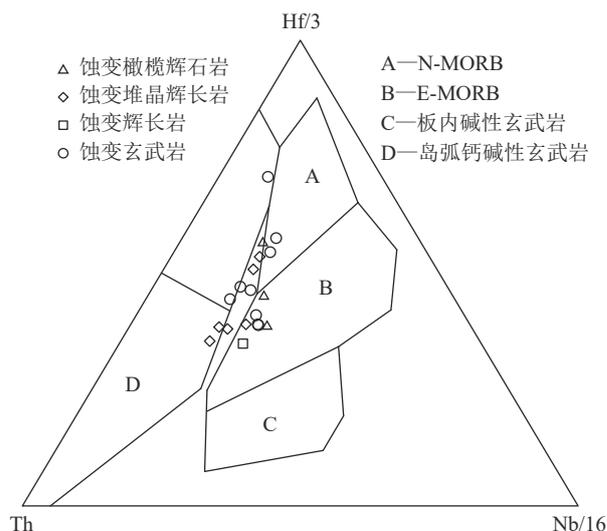


图 10 擦岗隆洼岩组超基性—基性岩构造环境判别图解  
(底图据 Wood et al., 1980)

Fig. 10 Tectonic environment identification for ultrabasic and basic rocks in Caganglongwa rock Formation

相应的地球化学异常。西南三江地区的澜沧江和金沙江扩张脊, 由于在古生代曾被地幔热柱所铆固(侯增谦等, 1996), 在洋中脊处均发育 N-MORB、T-MORB(过渡型洋脊玄武岩)或 E-MORB 与 OIB 岩石组合, 如龙木错-双湖蛇绿岩形成时代为石炭纪—二叠纪, 具 T-MORB 和 E-MORB 特征; 昌宁-孟连结合带南汀河蛇绿岩锆石 U-Pb 年龄为 444 ~ 439 Ma, 具 N-MORB 特征(王保弟等, 2013); 金沙江缝合带东侧潘拥枕状玄武岩形成时间为 231.6±6.7 Ma, 具 N-MORB 和 E-MORB 组合特征(曲晓明等, 2002); 甘孜-理塘缝合带中部理塘县阿加隆洼和拉扎嘎山一带发现 OIB 型玄武岩, 形成时间为 271 ~ 212 Ma(严松涛等, 2021, 2023); 因此, 西南三江地区广泛存在的洋中脊蛇绿岩成分变化和区域地球化学异常与地幔柱活动密切相关。擦岗隆洼岩组超基性—基性岩总体表现出 N-MORB 和 E-MORB 组合特征, 也应是地幔柱物质与 N-MORB 幔源物质相互作用的结果。

钟大赉(1998)认为, 晚泥盆世—晚二叠世在扬子陆块内发育与地幔柱相关的岩浆活动, 该地幔柱岩浆活动的时期与三江特提斯洋盆演化的时期大体吻合。侯增谦等(1996)认为, 石炭纪成对开启的金沙江洋和澜沧江洋, 其动力源来自于金沙江和澜沧江洋岩石圈下的地幔热柱(宋谢炎等, 1998; 范蔚茗

等, 2004)。肖龙等(2005)认为, 西南三江地区曾存在在一个长期活动的和(或)脉动式的地幔柱, 昌宁-孟连洋、金沙江洋的打开都与“特提斯超级地幔柱”有关, 至晚二叠世, 该地幔柱又开始新一轮强烈的幕式活动, 才导致甘孜-理塘洋盆形成, 峨眉地幔热柱可能只是“特提斯超级地幔柱”最后一幕强烈活动的(部分)记录。本次研究显示, 甘孜-理塘洋在早二叠世已处于洋盆扩张阶段, 其洋盆在早石炭世已经拉张形成, 打开时间仅稍晚于金沙江洋。因此, 从区域构造演化时间顺序看, 甘孜-理塘洋的形成不是因金沙江洋向西俯冲导致的后缘拉张作用, 也不是峨眉地幔柱晚二叠世强烈活动的结果。西南三江地区晚古生代早期的地幔柱活动模式, 才是导致甘孜-理塘洋打开的主要原因, 也是开启东古特提斯域多岛洋构造格局的主要动力学机制。

### 5.3 甘孜-理塘洋区域构造演化

#### (1) 甘孜-理塘洋初始张裂——中泥盆世

区域沉积及古生物记录显示, 甘孜-理塘蛇绿混杂岩带在中泥盆世可能已发育深水沉积环境。受晚古生代西南三江地区地幔柱活动影响, 扬子陆块西缘沿甘孜—理塘一线发生张裂, 导致中咱地块与扬子陆块分离, 至中晚泥盆世已拉张形成深水海盆(图 11-a)。

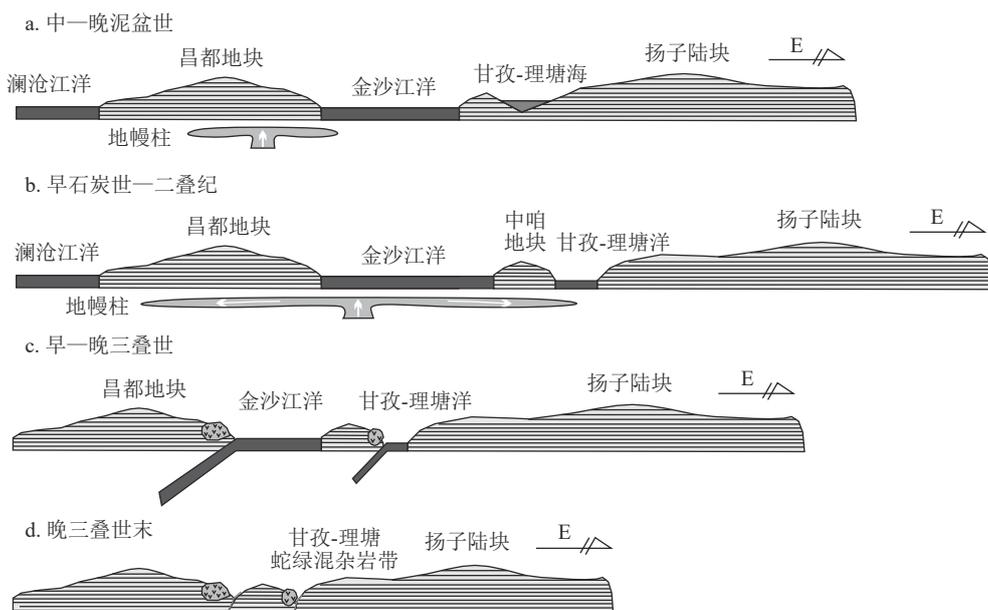


图 11 甘孜-理塘洋晚古生代—中生代区域构造演化模式图

Fig. 11 Regional tectonic evolution model map of Ganzi-Litang Ocean from Late Paleozoic to Mesozoic

## (2) 甘孜-理塘洋盆打开——早石炭世

甘孜-理塘蛇绿混杂岩带北段甘孜县蛇绿岩中堆晶辉长岩锆石 U-Pb 年龄为 292 Ma(闫全人等, 2005); 中段新龙县蛇绿岩中堆晶辉长岩早期锆石 U-Pb 年龄为  $346 \pm 17$  Ma(严松涛等, 2021); 理塘县擦岗隆洼岩组堆晶辉长岩早期岩浆作用时代为 339 ~ 349 Ma。此外, 在擦岗隆洼岩组形成于大陆边缘—深海洋盆过渡环境的硅质岩岩块内鉴定出中—晚泥盆世到晚石炭世的放射虫种群(周晨, 2018)。以上研究表明, 甘孜-理塘洋在早石炭世已经发育洋壳, 并于二叠纪—早三叠世进入洋盆扩张阶段(图 11-b)。

## (3) 甘孜-理塘洋向西俯冲——中晚三叠世

侯增谦等(2001)认为, 义敦-沙鲁里岛弧带弧花岗岩形成年龄为 237 ~ 206 Ma; Wang et al. (2013)认为, 甘孜-理塘洋南段于 230 Ma 开始向西俯冲, 北段于 224 Ma 开始俯冲。甘孜-是在中三叠世自东向西、自南向北发生大规模俯冲, 形成了西部的义敦岛弧带, 火山-岩浆活动一直持续至晚三叠世(图 11-c)。

## (4) 甘孜-理塘洋盆闭合——晚三叠世晚期

晚三叠世末, 甘孜-理塘洋结束洋壳俯冲进入弧陆碰撞造山阶段, 导致区域地壳大规模缩短, 地层加厚, 形成了甘孜一带。在局部地区存在一定范围的残留海, 最晚可能至白垩纪, 区内海水消失, 完全进入陆内演化阶段(图 11-d)。

## 6 结论

(1) 擦岗隆洼岩组是一套以玄武岩类为基质的蛇绿构造混杂岩, 其堆晶辉长岩晚期岩浆结晶年龄为  $286.2 \pm 5.1$  Ma, 指示早二叠世洋壳的存在。堆晶辉长岩早期岩浆活动时代为 349 ~ 339 Ma, 暗示甘孜-理塘洋盆可能在早石炭世已经打开。

(2) 擦岗隆洼岩组超基性—基性岩具 N-MORB 和 E-MORB 组合特征, 指示其主要形成于洋中脊环境, 但明显受地幔柱物质的混染。因此, 西南三江地区晚古生代早期的地幔柱活动可能是导致甘孜-理塘洋盆于晚古生代打开的主要原因。

(3) 甘孜-理塘洋最早可能在中泥盆世自扬子陆块西缘裂离形成深水海盆, 于早石炭世已经发育洋盆, 二叠纪—早三叠世进入洋盆扩张阶段。至中晚三叠世甘孜-理塘洋壳向西俯冲, 并于晚三叠世末闭合, 区域进入弧陆碰撞造山演化阶段。

## 参考文献

- Dunning G R, Peterson R B. 1988. U/Pb ages of ophiolites and arc-related cratons of the Norwegian Caledonides: Implications for the development of impetus[J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 98: 13-23.
- Sturt B A, Thon A, Furnes H. 1979. The karmoy ophiolite, southwest Norway[J]. *Geology*, 7: 316-320.
- Sun S S, MacDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes[J]. *Geological Society London, Special Publication*, 42: 313-345.
- Wang B Q, Zhou M F, Chen W T, et al. 2013. Petrogenesis and tectonic implications of the Triassic volcanic rocks in the northern Yidun Terrane, Eastern Tibet[J]. *Lithos*, 175/176: 285-301.
- Winchester J A, Floyd P A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series their differentiation products using immobile elements[J]. *Chem. Geol.*, 20: 325-345.
- Wood D A. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 50: 11-30.
- 范蔚茗, 王岳军, 彭头平, 等. 2004. 桂西晚古生代玄武岩 Ar-Ar 和 U-Pb 年代学及其对峨眉山玄武岩省喷发时代的约束[J]. *科学通报*, 49(18): 1892-1900.
- 侯增谦, 卢仁仁, 李红阳, 等. 1996. 中国西南特提斯构造演化——幔柱构造控制[J]. *地球学报*, 17(4): 439-453.
- 侯增谦, 曲晓明, 周继荣, 等. 2001. 三江地区义敦岛弧碰撞造山过程: 花岗岩记录[J]. *地质学报*, 75(4): 484-497.
- 黄豪擎. 2019. 川理塘地区蛇绿混杂岩地质特征及其构造演化[D]. 中国地质大学(北京) 硕士学位论文.
- 简平, 刘敦一, 张旗, 等. 2003. 蛇绿岩及蛇绿岩中浅色岩 SHRIMP U-Pb 测年[J]. *地学前缘*, 10(4): 439-456.
- 简平, 汪啸风, 何龙清, 等. 1998. 中国西南哀牢山蛇绿岩同位素地质年代学及大地构造意义[J]. *华南地质与矿产*, (1): 1-11.
- 李春昱. 1980. 中国板块构造的轮廓[J]. *中国地质科学院院报*, 2(1): 11-22.
- 李文昌, 潘桂棠, 侯增谦, 等. 2010. 西南三江多岛弧盆-碰撞造山成矿理论与勘查技术[M]. 北京: 地质出版社: 38-40.
- 李艳广, 汪双双, 刘民武, 等. 2015. 斜锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年方法及应用[J]. *地质学报*, 89(12): 2400-2418.
- 林金录. 1987. 中国古地磁数据表(I)[J]. *地质科学*, (2): 183-187.
- 刘宝田, 江耀明, 曲景川. 1983. 四川理塘—甘孜一带古洋壳的发现及其对板块构造的意义[C]//青藏高原地质文集. 北京: 地质出版社, 119-127.
- 莫宣学, 路凤香, 沈上越, 等. 1993. 三江特提斯火山作用与成矿[M]. 北京: 地质出版社: 19-32.
- 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等. 1997. 东特提斯构造的形成与演化[M]. 北京: 地质出版社: 41-43.
- 曲晓明, 侯增谦. 2002. 从潘拥枕状玄武岩的<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄论金沙江缝合带和甘孜—理塘缝合带的演化关系[J]. *地质论评*, 48(增刊): 115-121.

- 宋谢炎, 王玉兰, 曹志敏, 等. 1998. 峨眉山玄武岩、峨眉地裂运动与幔热柱[J]. 地质地球化学, 1: 47-52.
- 王保弟, 王立全, 潘桂棠, 等. 2013. 昌宁-孟连结合带南汀河早古生代辉长岩锆石年代学及地质意义[J]. 科学通报, 58(4): 344-354.
- 王连城, 张旗. 1985. 四川理塘蛇绿混杂岩——一个以火山岩为基质的蛇绿混杂带[J]. 岩石学报, 1(2): 17-27.
- 肖龙, 徐义刚, 何斌. 2005. 试论地幔柱构造与川滇西部古特提斯的演化[J]. 地质科技情报, 24(4): 1-6.
- 谢力, 杨文强, 刘桂春, 等. 2012. 云南香格里拉上三叠统沉积混杂岩中的晚古生代和中三叠世放射虫及其地质意义[J]. 微体古生物学报, 3: 253-269.
- 闫全人, 王宗起, 刘树文, 等. 2005. 西南三江特提斯洋扩张与晚古生代东冈瓦纳裂解: 来自甘孜蛇绿岩辉长岩的 SHRIMP 年代学证据[J]. 科学通报, 50(2): 158-166.
- 严松涛, 谭昌海, 秦蒙, 等. 2021. 甘孜——理塘蛇绿混杂岩带中段理塘地区混杂岩物质组成及其地质演化[J]. 中国地质, 48(6): 1825-1845.
- 严松涛, 吴青松, 朱利东, 等. 2023. 甘孜-理塘蛇绿混杂岩带晚三叠世洋岛型岩石组合识别及其对甘孜-理塘洋盆构造演化的制约[J]. 地质通报, 42(10): 1684-1695.
- 杨文强, 冯庆来, 刘桂春. 2010. 滇西北甘孜-理塘构造带放射虫地层、硅质岩地球化学及其构造古地理意义[J]. 地质学报, 84(1): 78-89.
- 尹福光, 罗亮, 任飞. 2022. 再造西南"三江"造山带洋陆转换过程中的构造与古地理[J]. 地质通报, 41(11): 1899-1914.
- 张世红, 朱鸿, 孟小红. 2001. 扬子地块泥盆纪石炭纪古地磁新结果及其古地理意义[J]. 地质学报, 75(3): 303-313.
- 张世涛, 冯庆来, 王义昭. 2000. 甘孜-理塘构造带泥盆系的深水沉积[J]. 地质科技情报, 19(3): 17-20.
- 张之孟, 金蒙. 1979. 川西南乡城-得荣地区的两种混杂岩及其构造意义[J]. 地质科学, (3): 205-213.
- 钟大赉. 1998. 滇川西部古特提斯造山带[M]. 北京: 科学出版社: 1-231.
- 周晨. 2018. 理塘擦岗隆注岩组含放射虫硅质岩地球化学特征与形成环境[D]. 中国地质大学(北京) 硕士学位论文.