

藏南雅鲁藏布江大竹卡组砾岩沉积时代的年龄约束

杨 艳, 赵 珍

中国地质科学院, 北京 100037

摘 要: 沿西藏雅鲁藏布江呈东西向带状分布的大竹卡组, 为一套杂色复成分砂砾岩沉积, 对雅鲁藏布江缝合带演化及构造格局具有重要的地质意义。迄今为止, 其并未有可靠的沉积年龄数据。本文通过野外实地调查, 在日喀则段大竹卡组地层中发现火山岩夹层和安山岩岩脉, 并对其开展了锆石 U-Pb 同位素年代学测试, 结合加查段同期构造变形中石英脉的 ESR 年龄及下伏沉凝灰岩 K-Ar 法同位素测年进一步约束其沉积时代。结果表明: 大竹卡组的沉积时代具有穿时性, 日喀则段大竹卡组地层沉积年龄为 (30.74 ± 0.71) Ma, 属于渐新世的早—中期, 主要受冈底斯逆冲系的影响; 泽当—加查段, 沉积年龄的下限不早于 (27.77 ± 2.59) Ma, 主体沉积阶段属于中新世早—中期, 并在 27~21 Ma 期间发生强烈构造变形, 变形时间与冈底斯逆冲断层活动时代一致, 同样受冈底斯逆冲系的影响。

关键词: 大竹卡组; 冈底斯逆冲系; 火山岩夹层; 锆石 U-Pb; ESR 测年

中图分类号: P597; P512.2 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2023.121101

Constraints on the Depositional Age of the Dazhuka Conglomerate along the Yarlung Zangbo River, Southern Tibet

YANG Yan, ZHAO Zhen

Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037

Abstract: The Dazhuka Formation, distributed in an east-west belt along the Yarlung Zangbo River in Tibet, comprises a sedimentary sequence of varicolored multi-component sandy conglomerates. This formation is geologically significant for understanding the evolution of the Yarlung Zangbo Suture Zone and the tectonic configuration. To date, there are no reliable sedimentary age data for this stratum. This study discovered volcanic rock interlayers and andesite veins in the Xigaze segment within the Dazhuka Group by geological field survey and conducted zircon U-Pb isotopic age tests. By combining the electron spin resonance (ESR) age of quartz veins during synsedimentary structural deformation in the Gyaca segment with K-Ar isotopic dating of the underlying tuffaceous limestone, we further constrained the sedimentary age of the Dazhuka Formation. These results indicated that the Dazhuka Formation is diachronous. The sedimentary age of the Dazhuka Formation strata outcropping in Xigaze is (30.74 ± 0.71) Ma, corresponding to Early to Middle Oligocene, and is primarily influenced by the Gangdese Thrust System. However, the ages of the main sedimentary phase outcropping in the Zedang-Gyaca segment are concentrated in the Early to Middle Miocene, with the lower limit of the sedimentary age being no earlier than (27.77 ± 2.59) Ma. Intense structural deformation occurred between 27 Ma and 21 Ma in coincidence with the active period of the Gangdese Thrust Fault, indicating that the sedimentation of Dazhuka Formation was also influenced by the Gangdese Thrust System in the western segment.

Key words: Dazhuka Formation; Gangdese Thrust System; volcanic rock interlayers; zircon U-Pb dating; ESR dating

本文由中国地质调查局项目“羌塘盆地油气资源调查评价与战略选区”(编号: DD20233002)、“地质调查科技创新发展与新技术推广研究”(编号: DD20221829)和“全国油气重点调查区战略性矿产调查评价”(编号: DD20233001)联合资助。

收稿日期: 2023-10-12; 改回日期: 2023-12-08; 网络首发日期: 2023-12-12。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 杨艳, 女, 1982 年生。博士, 研究员。从事地貌与构造运动研究。通信地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。电话: 010-68999652。E-mail: 24829831@qq.com。

在藏南,雅鲁藏布河谷南北两侧,从西部的昂仁县至东部的郎县断续分布着一套长约 1 500 km 的杂色磨拉石沉积(Heim et al., 1939; 尹集祥等, 1988; 夏邦栋等, 1999; 王承书等, 2003; 王建刚, 2011; 马泽良, 2021), 最早被 Heim et al.(1939)定义为冈底斯砾岩(Kailas Congl.), 此后, 又有学者命名为“冈底斯群”, 泛指欧亚-印度板块碰撞之后, 伴随冈底斯山脉的上升, 形成于山前拗陷环境中、以陆相堆积为主, 在造山带的后期演化过程中形成的一套山前磨拉石建造, 其成因与冈底斯岩弧的形成和隆升关系密切(刘成杰等, 1988)。

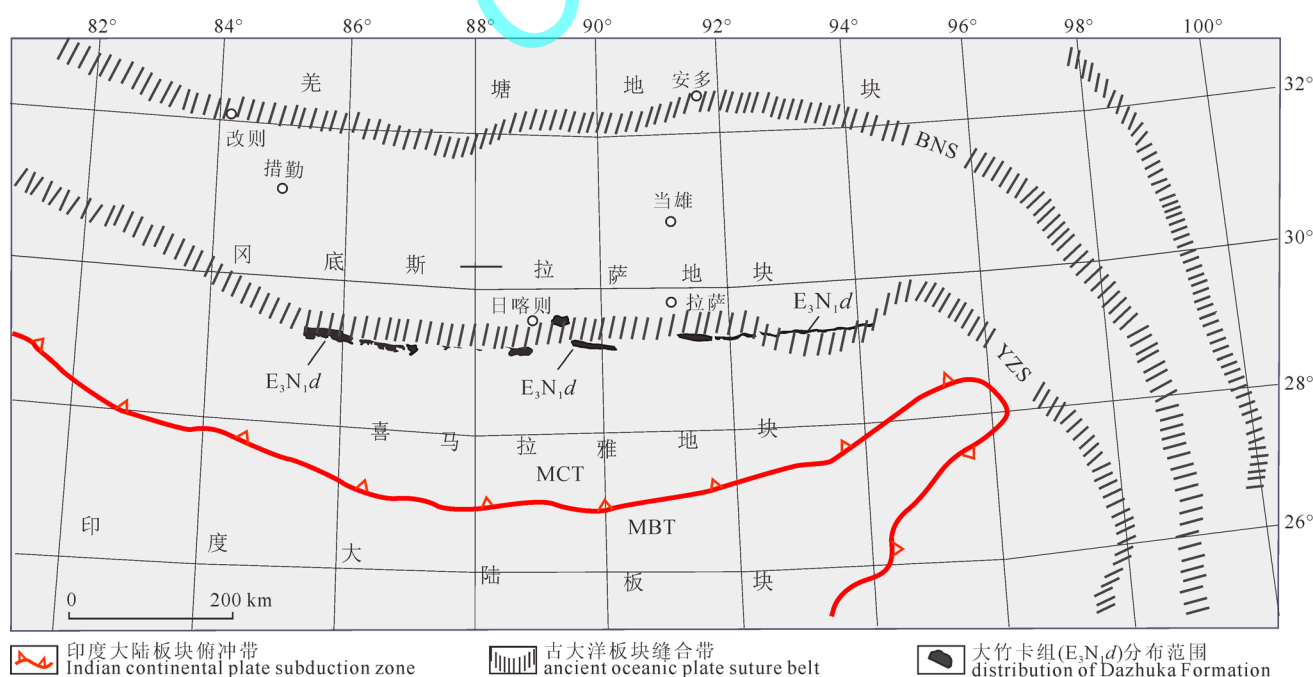
由于在拉孜县柳区一带, 野外出露情况更加典型, 尹集祥等(1978)将其称为“柳区砾岩”, 后又改名为“柳区组”(尹集祥等, 1988)。柳区组作为“外磨拉石带”, 冈底斯砾岩作为“内磨拉石带”(大竹卡组、大竹曲组), 二者共同构成了雅鲁藏布江缝合带两侧的“双磨拉石带”的地质景观(图 1)。

该地层以日喀则大竹卡命名的大竹卡组为代表, 以粗粒碎屑堆积为主。大竹卡组在日喀则一带曾被称为恰布林组, 在桑日—郎县地区曾被称为罗布莎砾岩, 杨逸畴(1983)认为它是雅鲁藏布江(以下简称雅江)的前身(文世宣, 1974; 王建刚, 2011)。大竹卡组具有如下特点: ①突出的带状分布。沿雅江谷地东西向断续延伸近 1 000 km; ②主体成分以碎屑岩为主。有的剖面几乎全部由砂岩和砾岩组成; ③在日喀则地区具有双层结构。下部为灰色的含煤

层沉积, 上部为紫红色页岩沉积; ④与下伏地层为不整合接触。下伏地层在近造山带一侧常为复理石, 在克拉通一侧过渡为稳定型建造(夏邦栋等, 1999)。

目前, 学者们针对该套磨拉石的形成时代、砾石组分、物源区性质、沉积环境及大地构造背景等开展了多方面的研究, 并得出很多研究成果。但在沉积时代和地层对比方面分歧尤为明显(吴浩若等, 1977; 林学农, 1981; 王成善等, 1988; 余光明等, 1989; 余光明等, 1990; 李建国等, 2009; Xie et al., 2023)。

20 世纪 60—70 年代, 中国科学院对西藏南部进行了两次综合地质调查, 把恰布林组确定时代为晚白垩纪; 80 年代初期在昂仁一带发现非复理石相沉积, 其时代明显新于日喀则群, 属于白垩世—老第三纪沉积(刘成杰等, 1988)。1983 年, 西藏区调队将恰布林组下部的杂色砂砾岩夹火山岩及火山碎屑岩段定名为大竹卡组, 并将其时代厘定为渐新世—中新世。李建国等(2009)从日喀则恰布林剖面的大竹卡组剖面中获得了丰富的孢粉化石, 推测其时代可能为渐新世—早中新世。在研究了秋乌、大竹卡、罗布莎和岗仁布波齐峰等地区的古生物化石和磨拉石沉积地层后, Aitchison et al.(2002)得出这些砾岩的形成时代为晚渐新世—中新世。西藏地质调查院 2002 年将大竹卡组(E_3N_1d)时代定位渐新世—中新世(E_3-N_1)。由此可以看出, 目前大竹卡组砾岩的形成时代还存在较大分歧, 自渐新世至中新世均有可能。



BNS—班公—怒江缝合带; YZS—雅鲁藏布江缝合带; MCT—主中央逆冲断裂; MBT—主边界逆冲断裂。
BNS—Bangong-Nujiang suture; YZS—Yarlung Zangbo suture; MCT—main central thrust; MBT—main boundary thrust.

图 1 研究区位置及藏南大竹卡组(E_3N_1d)分布图

Fig. 1 Sketch map showing the location of the research area and the distribution of the Dazhuka Formation (E_3N_1d) in southern Tibet

1 区域地质背景

晚侏罗世以来, 雅鲁藏布江缝合带经历了新特提斯洋演化、高原隆升和大陆碰撞等一系列复杂的地质作用(Ding et al., 2017; 吴福元等, 2020)。沿该构造带由南向北存在成因上关系密切的 8 个主要沉积构造单元: 混杂岩带、蛇绿岩带、柳区群、日喀则群、大竹卡组、恰布林组、秋乌组和冈底斯岩浆弧等, 它们被限定在北部的拉萨地块和南部的喜马拉雅地体之间(张鑫全等, 2020)。不同的构造单元之间的接触关系复杂多样, 主要包括逆冲断层、沉积角度不整合以及沉积整合接触等。

冈底斯逆冲推覆构造(GTS)位于雅鲁藏布江缝合带北侧, 主体发育于拉萨地块南部, 主要由向北倾斜、向南逆冲、近东西走向的断层组成, 属冈底斯山区发育的大型逆冲推覆构造系统(图 2), 东西延长超过 1 000 km(郝杰等, 1996; Harrison et al., 2000; 李才等, 2010; 吴福元等, 2020)。沿 GTS 主逆冲断层, 冈底斯岩杂岩、林子宗群火山岩及不同

时代的岩石地层自北向南低角度逆冲推覆于上白垩统日喀则群海相混杂堆积和古近纪晚期—中新世早期大竹卡组磨拉石堆积之上(图 3), 伴有强烈褶皱变形(Yin et al., 1994)。根据同构造期新生矿物 ^{39}Ar - ^{40}Ar 测年, 冈底斯逆冲推覆构造形成时代为 27~18.3 Ma(Harrison et al., 1995; 唐宇等, 2022), 估算推覆距离为 (46 ± 9) km, 平均运动速率为 (12 ± 6) mm/a (Wu et al., 2013)。

对冲的冈底斯逆冲系和泽东—仁布逆冲系控制狭长雅鲁藏布盆地的空间分布。大竹卡组是冈底斯逆冲断层(GTS)运动过程中形成的, 可以限定冈底斯逆冲断层的活动时间: 该逆冲断裂引起下盘日喀则前陆盆地的俯冲和上盘冈底斯岩基的广泛出露, GTS 断裂带具有俯冲带性质, 是两大地块碰撞后在地壳内发生的第一个俯冲带(赵文津等, 1997)。这期间, 除雅鲁藏布江北侧的冈底斯逆冲断裂强烈活动外, 在雅鲁藏布江缝合带也叠加了该期构造变形, 嘎学复理石混杂岩群(KG)形成向南陡倾的劈理化带(图 4)。

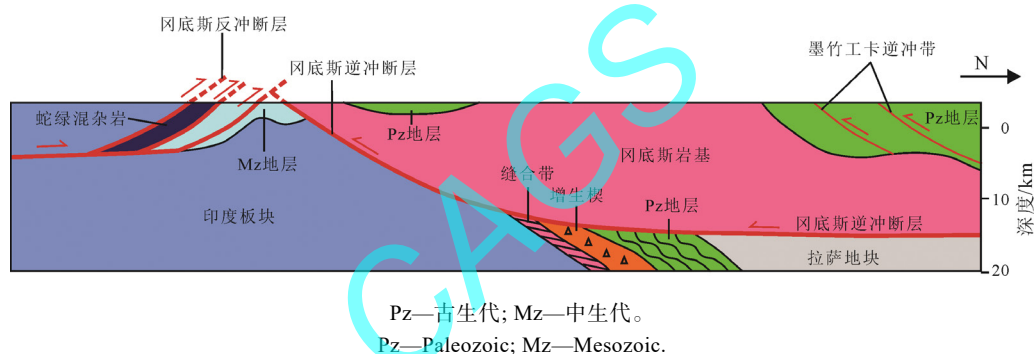
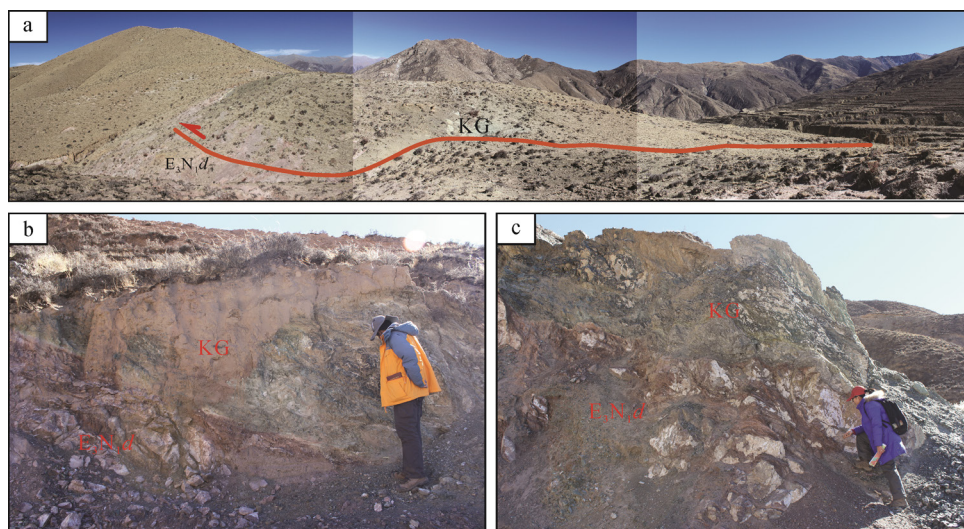


图 2 冈底斯地区逆冲断层示意图(据 Yin et al., 1994 修改)

Fig. 2 Sketch map showing the Gangdese Thrust System (GTS) (modified from Yin et al., 1994)



a—大竹卡组(E_3N_1d)与嘎学复理石混杂岩群(KG)远视图; b—加查镇北大竹卡组(E_3N_1d)与嘎学复理石混杂岩群(KG)接触关系图; c—加查镇东大竹卡组(E_3N_1d)与嘎学复理石混杂岩群(KG)接触关系图。

a—distant view of Dazhuka Formation and Gaxue flysch melange group; b, c—contact relationship between the Dazhuka Formation (E_3N_1d) and the Gaxue flysch melange group (KG) in northern Jiacha Town and in eastern Jiacha Town, respectively.

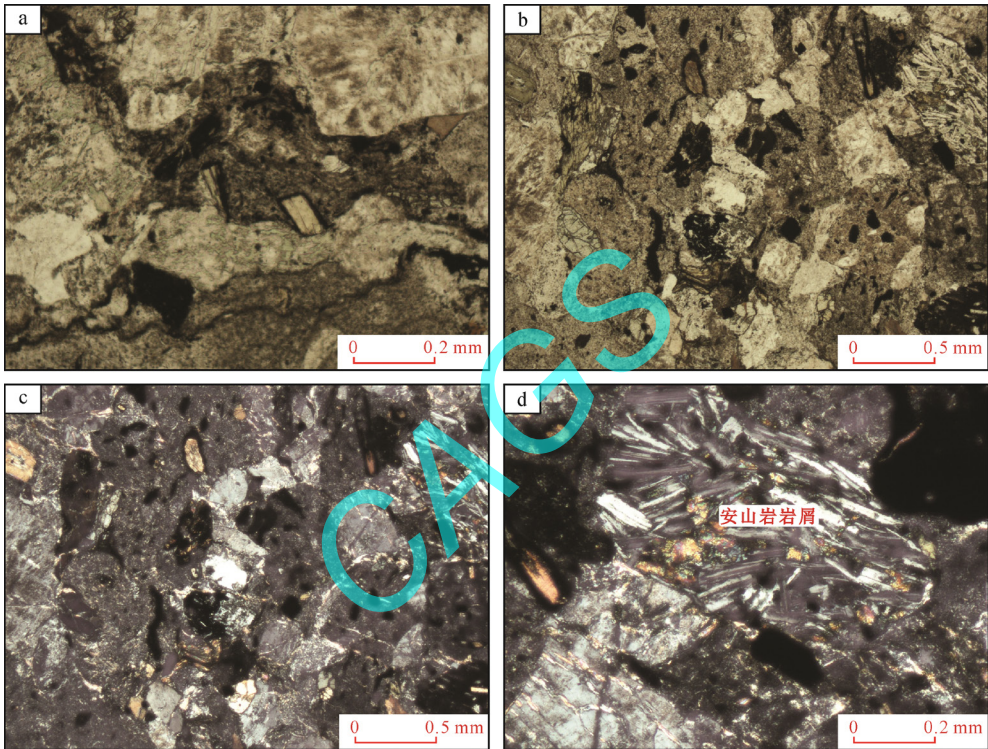
图 3 泽当镇北大竹卡组与蛇绿混杂岩接触关系图

Fig. 3 Contact relationship between the Dazhuka Formation and ophiolitic melange in northern Zedang Town



图 4 嘎学复理石混杂岩群(KG)及同构造石英脉
Fig. 4 Photograph showing the Gaxue flysch melange group (KG) and syntectonic quartz veins

大竹卡组主要集中分布于两个区域：日喀则—仁布地区，具体分布范围为日喀则以东约 15 km 到仁布，向西延伸至萨嘎，底部位于拉萨地块岩石的沉积接触面上，最上部的层位位于一个向北推覆的逆冲断层的下盘，最大厚度达 2 500 m。泽当—加查：从泽当经罗布莎到加查，在罗布莎镇厚 1 270 m，为一厚层粗粒碎屑地层，地层上部被向北推覆的仁布—泽当断层削平，大竹卡组位于断层的下盘，局部可以看到与向北的逆冲推覆作用相伴产出的不对称褶皱。从仁布东—拉萨机场—泽当之间未见到这套砾岩的任何露头，主要被雅鲁藏布江谷底的第四纪沉积物所遮盖(表 1)。



a—假流纹构造; b, c—火山碎屑物; d—安山岩岩屑。
a—pseudo-rhyolite structure; b, c—pyroclastic material; d—andesite debris.

图 5 日喀则大竹卡组底部安山质岩屑凝灰岩镜下照片
Fig. 5 Photomicrographs of the andesitic rock debris tuff at the bottom of the Dazhuka Formation, Xigaze

表 1 日喀则—加查磨拉石对比表
Table 1 Stratigraphic correlation between molasse outcropping in Xigaze and Gyaca

地层	日喀则—仁布		泽当—加查	
上新统	<div></div>		<div></div>	
中新统			罗布莎群	上部：火山之角砾岩及河床相巨砾岩、砂砾岩。
渐新统				下部：含砾砂岩、局部含砂岩透镜体。砾石成分主要以灰岩和花岗岩为主。
始新统	大竹卡组	复成分砾岩、砂砾岩及夹凝灰岩。砾石成分以火山岩为主，主要以花岗岩居多，凝灰岩位于地层下部位置，含数层。	<div></div>	<div></div>
古新统	<div></div>		<div></div>	
下伏	秋乌组或者冈底斯岩浆群		中、酸性岩浆岩带	

野外实地调查表明,日喀则大竹卡组的剖面从下到上可以观察到砾石沉积物源的变化,近底部砾径较大,反映近物源特点,砂岩和砾岩的长石砂岩基质内含有镁铁质岩屑,该组中段含一系列向上变细的层序,其细砾岩和砾岩类的比例差异不大,均含有来源于日喀则、拉萨等地块的各种碎屑类型,包括辉长岩、辉绿岩、火山碎屑砂岩、凝灰质泥岩、绿色凝灰质燧石、红色燧石和斑状火山岩。上段由较细的层序组成,这些层序以砂岩和紫红色页岩组成,亦见少量砾岩,砾石岩屑来源于北部的冈底斯地块。泽当—加查一带的砾石成分主要有花岗岩、灰岩、硅质岩、安山岩等。砾石分选性差,以 20~50 cm 为主,砾石磨圆度很好,以浑圆状为主,属于典型的河流相沉积。在日喀则一带表现为二元结构,在泽当—郎县一带成层性较差。该地层中的砾石物源主要来自北部的冈底斯岩浆弧,揭示当时冈底斯隆起幅度最大,而南部的喜马拉雅属于初始隆起,隆起高度不大。

大竹卡组既可出露于雅江河床底部(海拔 2 000~3 500 m),也可以构成高的山体,出露海拔 4 000~5 000 m(4 500 m 处存在一期夷平面)(郝杰等, 1996; 林寿洪, 2012; Harrison et al., 2000)垂直高差达 1 000~3 000 m。因此,大竹卡组记录了陆-陆碰撞盆-山耦合的形成以及后期改造的全部过程。

2 样品来源和测试方法

2.1 样品位置和描述

对大竹卡组内的火山岩、安山岩岩脉及混杂岩中的石英脉进行取样与测试分析(表 2),具体为:日喀则西恰布林剖面中的火山岩(D04-2、D30-1)和加查镇虾日村嘎学复理石混杂岩群中的石英脉(B05-1-3、B05-5、B05-11)。

2.1.1 日喀则大竹卡组底部安山质岩屑凝灰岩(D04-2)

样品取自日喀则西恰布林剖面,岩石为灰褐色,具凝灰结构,假流纹构造(图 5a),火山碎屑物粒度 <1 mm,火山碎屑物由岩屑、晶屑和玻屑组成,岩屑主要为安山岩岩屑;晶屑主要为石英、斜长石;火

山碎屑物常呈现棱角状,分选差。碎屑物含量 95%(图 5b, c),主要为安山岩岩屑(图 5d)。

2.1.2 日喀则江庆则大竹卡组中安山岩(D30-1)

日喀则江庆则大竹卡组中见安山岩夹层(图 6a),安山岩具斑状结构,斑晶由斜长石和角闪石及少量石英组成;基质为交织结构,矿物成分微粒斜长石和石英,斜长石微晶半平行排列,石英呈隐晶-微粒,粒径 < 0.05 mm,基质含量占 79%(图 6)。

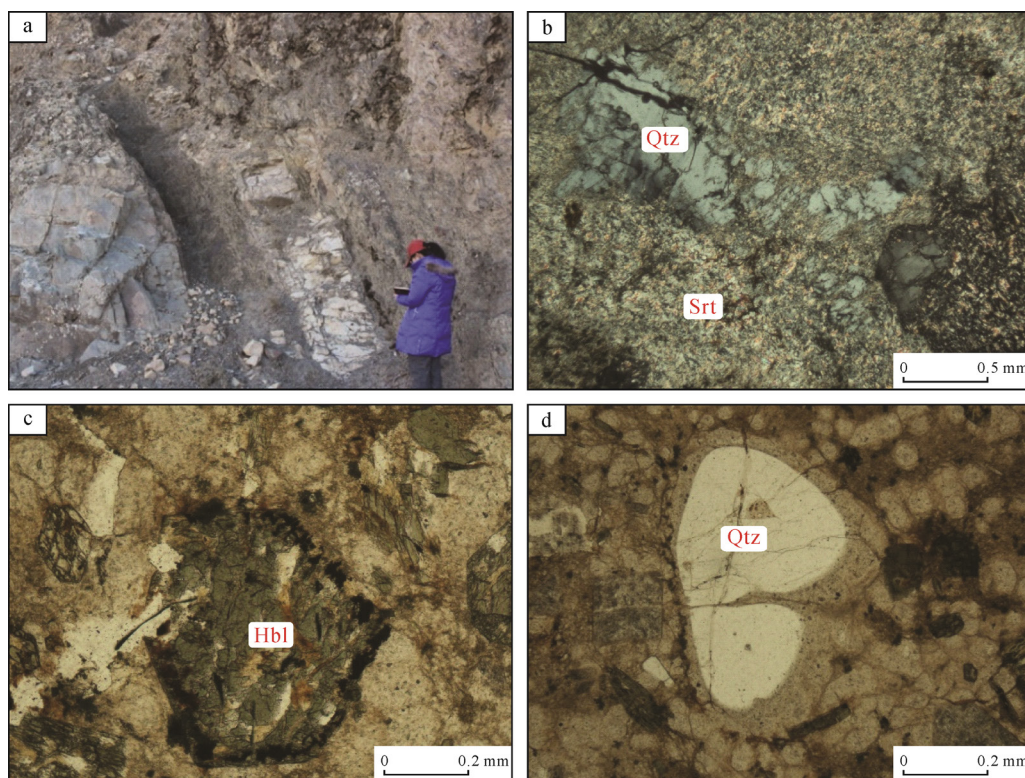
2.2 测试内容与测试方法

本研究 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试委托中国地质科学院矿产资源研究所 LA-ICP-MS 实验室完成。试验仪器为 Finnigan Neptune 型 LA-ICP-MS 及其配套的 Newwave UP213 激光剥蚀系统。锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 的测试精度(2σ)均为 2%左右,锆石的标准定年精度和准确度均在 1%(2σ)左右。在锆石 U-Pb 测年实验过程中,以澳大利亚 MacQuarie 大学大陆地球化学与成矿作用研究中心标定的 GJ-1 锆石 $\text{M127}(\text{U}=923\times10^{-6}, \text{Th}/\text{U}=0.475)$ 为外标进行校正。分析数据采用 ICPMS Data Cal 程序(Liu et al., 2010)处理,普通铅校正利用 EXCEL 宏 ComPbCorr#3-17(Andersen, 2002)进行。详细的仪器参数与分析流程参见侯可军等(2009)。

ESR 测年实验由成都理工大学应用核技术研究所完成,样品处理方法为:①样品自然风干后,粉碎为 0.2~0.125 mm 粒度用 KJD-2000N 低本底伽玛仪和微机数据采集系统测定 α 和 γ 天然放射性,同时进行含水量校正。标准物质由核工业北京地质研究院研制;②分选出单矿物石英、方解石样品,粒度为 0.20~0.45 mm。石英的纯度用 CIT-3000SM 型美国 Si(Li)电制冷半导体探测器能量色散 X 荧光分析仪检测。称取每份石英 120 mg 热活化后,冷却 5~7 天,然后用德国 ER-200D-SRC 电子自旋共振仪测定其顺磁中心浓度值;称量每份碳酸钙样品 120 mg(共 4~5 份)置于钴-60 辐照场中,在预先标定好的剂量率点上进行定剂量辐照后冷却 5~7 天,最后用德国 ER-200D-SRC 电子自旋共振仪测定其顺磁中心浓度值。

表 2 火山岩及碎屑岩测年取样位置及样品描述
Table 2 Locations and descriptions of volcanic rock and clastic rock samples used for dating

样品编号	取样位置	经纬度	岩性	测试方法
D04-2	日喀则大竹卡组底部夹层	N: 29°19'29.29"; E: 88°31'38.60"	安山质岩屑凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石
D30-1	日喀则大竹卡组中安山岩脉	N: 29°19'30.57"; E: 88°34'33.50"	安山岩	U-Pb 测年
B05-1	加查镇日嘎学复理石混杂岩群 中的石英脉	N: 29°05'16.87"; E: 92°46'17.65"	石英脉	ESR
B05-2		N: 29°05'16.87"; E: 92°46'17.65"	石英脉	
B05-3		N: 29°05'16.87"; E: 92°46'17.65"	石英脉	
B05-5		N: 29°05'16.87"; E: 92°46'17.65"	石英脉	
B05-11		N: 29°05'16.87"; E: 92°46'17.65"	石英脉	



a—野外露头; b—少量斜长石局部被石英交代; c—普通角闪石; d—少量石英斑晶; Qtz—石英; Srt—绢云母; Hbl—普通角闪石。

a—field outcrop; b—a small amount of plagioclase is partially replaced by quartz; c—hornblende in andesite; d—a small amount of quartz porphyritic crystal; Qtz—quartz; Srt—sericite; Hbl—hornblende.

图 6 大竹卡组内安山岩野外照片及岩脉镜下照片

Fig. 6 Field photograph and photomicrographs of the andesitic dikes of the Dazhuka Formation

3 测试结果

安山质岩屑凝灰岩(D04-2)锆石在阴极发光图像上为深灰色, 锆石为自形长柱状, 长宽比一般为 2:1, 具明显的韵律环带结构, 部分含继承锆石核。选取 30 个点进行锆石 U-Pb 测年(图 7)。锆石 Th/U 值在 0.28~0.93 之间, 均大于 0.1。较高的 Th/U 值和清晰的韵律环带表明锆石为岩浆成因。除 14、25 号测点年龄大于 50 Ma 外, 其余 28 个测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化于 23~39 Ma 之间, 在谐和图上

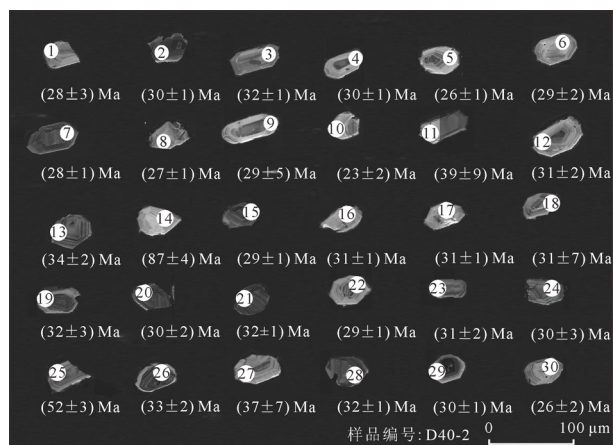


图 7 D04-2 锆石阴极发光图像、测点位置及年龄

Fig. 7 Cathodoluminescence (CL) images of zircons and location and age of measuring points from sample D04-2

相对集中分布, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和年龄为 (30.74 ± 0.71) Ma(图 8)。

安山岩脉(D30-1)锆石在阴极发光图像上为浅灰色, 锆石为自形长柱状, 长宽比一般为 2:1, 具明显的韵律环带结构, 部分含继承锆石核。选取 20 个点进行锆石 U-Pb 测年(图 9)。锆石 Th/U 值在 0.25~1.50 之间, 均大于 0.1。较高的 Th/U 值和清晰的韵律环带表明锆石为岩浆成因。除 3、4、8 号测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄大于 30 Ma 外, 其余 17 个测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化于 15~18 Ma 之间, 在谐和图上相对集中分布, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和年龄为 (18 ± 1.8) Ma(图 10)。

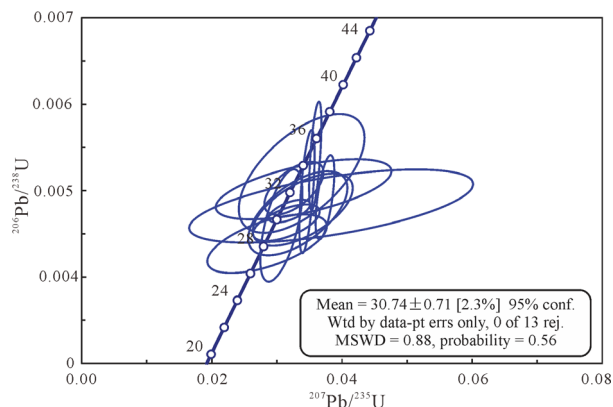


图 8 D04-2 激光探针锆石 U-Pb 年龄图

Fig. 8 Zircon LA-ICP U-Pb age of sample D04-2

对取自嘎学复理石混杂岩群陡倾劈理化带中的多个石英脉样品进行了 ESR 测年, 其年龄集中在 $(21.9 \pm 2.0) \sim (27.7 \pm 2.7)$ Ma (表 3)。

4 时代探讨

藏南从渐新世开始, 新特提斯残留海自东向西离去, 在藏南发生的最大的构造地貌事件是冈底斯的崛起和喜马拉雅的大面积隆升(潘桂棠等, 2006; 莫宣学等, 2006; 吴福元等, 2020)。始新世, 随着前陆推覆体进一步逆冲, 前陆隆起继续隆升并最终露出水面, 导致其后的盆地转变为半局限环境。藏南地区主体进入磨拉石前陆盆地阶段。对冲的冈底斯逆冲系(30~24 Ma)和泽东—仁布逆冲系(19~10 Ma)控制狭长雅鲁藏布盆地的空间分布(张鑫全等, 2020)。在雅鲁藏布江北侧发育一套渐新世陆相磨拉石(冈底斯山前磨拉石)。这说明在印度板块的挤压作用下, 冈底斯一带已进一步隆升为山脉, 在山前拗陷中普遍堆积了磨拉石沉积(李国彪等, 2004; 王二七等, 2018)。

在仲巴西北约 110 km 处麦拉山口南侧砾岩中的薄层灰岩夹层内发现了有孔虫化石, 章炳高等(1979)测定麦拉砾岩的时代为始新世; 中国科学院青藏高原综合科学考察队(1982)根据昂仁—日喀则以北秋乌组和噶门县门土组煤系中发现的植物化石认为其时代应为晚白垩世—始新世。但有学者根据秋乌组中的植物化石, 将柳区砾岩的时代定为晚古新世—渐新世(钱定宇, 1985)。刘成杰等(1988)在

仲巴错江顶砾岩中发现大量古新世和始新世的有孔虫, 确定其时代下限为早始新世; 根据地层对比与接触关系, 西藏自治区地质矿产局(1993)将秋乌组时代确定为始新世, 恰布林组划为渐新世—中新世; 刘志飞等(1996)根据日喀则以西恰布林组砾岩中的放射虫化石将柳区砾岩的时代定为白垩世中晚期, 这与吴浩若(1984)研究获得的结果比较接近; Einsele et al.(1994)分析了日喀则弧前盆地沉积相后认为秋乌组的时代应为始新世—渐新世。王成善等(1999)综合分析植物化石组合后, 将秋乌组的时代确定为始新世。由此可知, 这些磨拉石的形成时代还存在较大分歧。这不仅说明各地碰撞时代差异较大, 还可能反映了冈底斯山链在形成和隆起上存在不同的先后顺序。

本次获得日喀则大竹卡组下部火山岩夹层的 U-Pb 锆石测年结果为 (30.74 ± 0.71) Ma, 日喀则江庆则大竹卡组剖面中安山岩年龄为 (18 ± 1.8) Ma, 表明日喀则一带大竹卡组的沉积时代为渐新世—中新世。

加查镇北大竹卡组与黑云母角闪花岗岩之间发现紫红色沉凝灰岩顺层发育, 对沉凝灰岩进行 K-Ar 法年龄测定, 测年结果为 $(30.98 \pm 1.05) \sim (27.77 \pm 2.59)$ Ma (表 4)(吴中海研究员内部交流数据), 可以限定此区域的大竹卡组沉积时代下限不会早于 27 Ma。表明大竹卡组东段地层时代略晚于西段日喀则, 整体为中新世。

嘎学复理石混杂岩群(KG)形成向南陡倾的劈

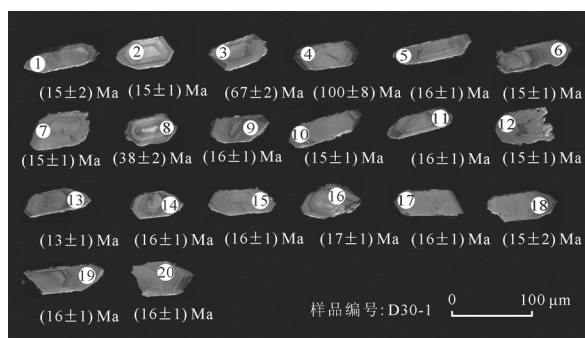


图 9 D30-1 锆石阴极发光图像、测点位置及年龄图

Fig. 9 CL images of zircons and location and age of measuring points from sample D30-1

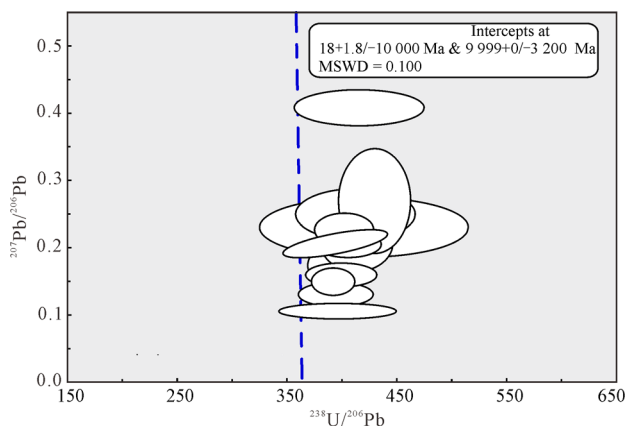


图 10 D30-1 激光探针锆石 U-Pb 年龄图

Fig. 10 Zircon LA-ICP U-Pb age of sample D30-1

表 3 石英脉 ESR 测年结果

Table 3 ESR dating results of quartz veins

样号	铀含量/($\mu\text{g/g}$)	钍含量/($\mu\text{g/g}$)	钾含量/%	顺磁中心浓度/($\times 10^{15}\text{Sp/g}$)	铀当量含量/($\mu\text{g/g}$)	年龄/Ma
B05-1	0.37 ± 0.03	1.18 ± 0.10	0.44 ± 0.04	0.1	1.1	24.5 ± 2.4
B05-2	0.10 ± 0.01	0.27 ± 0.01	0.35 ± 0.03	0.1	0.5	25.2 ± 2.5
B05-3	0.10 ± 0.01	0.28 ± 0.01	0.34 ± 0.03	0.0	0.4	21.9 ± 2.0
B05-5	0.22 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.25 ± 0.02	0.1	0.5	23.0 ± 2.3
B05-11	< 0.02	< 0.02	1.52 ± 0.15	0.1	0.7	27.7 ± 2.7

表 4 加查镇北大竹卡组下伏沉凝灰岩 K-Ar 法年龄测定结果表

Table 4 Results of K-Ar method for age determination of the tuff underlying the north Dazhuka Formation in Gyaca Town

原编号	钾含量 /%	$(^{40}\text{Ar}/^{38}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_{\text{m}}$	放射成因氩 $(^{40}\text{Ar}^{\text{e}})/(\times 10^{-10}\text{mol/g})$	^{40}K 含量 $(^{40}\text{K})/(\times 10^{-8}\text{mol/g})$	$(^{40}\text{Ar}^{\text{e}}/^{40}\text{Ar})/\%$	$^{40}\text{Ar}^{\text{e}}/^{40}\text{K}$	年龄值/ (Ma, 1 σ)
S828-8	2.73	84.748 34	14.277 69	1.480	8.148	75.51	0.001 815 8	30.98 \pm 1.05
S828-8	2.61	115.333 98	5.214 61	1.267	7.790	52.01	0.001 626 0	27.77 \pm 2.59

注: 常数: $\lambda_{\text{e}}=0.581\times 10^{-10}/\text{a}$; $\lambda_{\text{b}}=4.962\times 10^{-10}/\text{a}$; $^{40}\text{K}/\text{K}=1.167\times 10^{-4}$ 。

理化带, 嘎学复理石混杂岩群在 27~21 Ma 期间发生强烈构造变形, 变形时间与冈底斯逆冲断层一致, 进一步证明晚碰撞期在雅鲁藏布江缝合带及其南北两侧发生了地壳增厚与抬升作用。泽当地区的仁布—泽当逆冲断裂系(RZT)为南倾的反冲断层, 与冈底斯逆冲断层共同构成了雅鲁藏布江缝合带的南北边界, RZT 活动时间在 19~10 Ma 之间, 断裂的逆冲活动及其东西向走滑断裂、近南北向正断层对雅鲁藏布江缝合带内蛇绿岩和蛇绿混杂岩强烈改造, 大竹卡组强烈变形, 在大竹卡组内发现同期侵入的火山岩, 本文锆石测年结果为(18 \pm 1.8) Ma, 说明大竹卡组后期变形主要受仁布—泽当逆冲断裂系(RZT)的影响。

综上所述, 认为大竹卡组的沉积时代表现穿时性, 在西部日喀则段沉积时间比在泽当—加查段沉积时间早。日喀则段大竹卡组地层下部沉积年龄为(30.74 \pm 0.71) Ma, 属于渐新世的早—中期, 主要受冈底斯逆冲系的影响。泽当—加查段大竹卡组的沉积年龄的下限不早于(27.77 \pm 2.59) Ma, 主体沉积阶段属于中新世早—中期, 在 27~21 Ma 期间发生强烈构造变形, 变形时间与冈底斯逆冲断层一致, 故此段的大竹卡组沉积主要受冈底斯逆冲系的影响。

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (Nos. DD20233002, DD20221829, and DD20233001).

参考文献:

- 郝杰, 周新华, 李齐, 等, 1996. 沿雅鲁藏布江(东段)地区推覆与反向冲断构造的地质特征及其形成机制[J]. 地震地质, 18(1): 30-36.
- 侯可军, 李延河, 田有荣, 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质, 28(4): 481-492.
- 李才, 吴彦旺, 王明, 等, 2010. 青藏高原泛非—早古生代造山事件研究重大进展——冈底斯地区寒武系和泛非造山不整合的发现[J]. 地质通报, 29(12): 1733-1736.
- 李国彪, 万晓樵, 丁林, 等, 2004. 藏南古近纪前陆盆地演化过程及其沉积响应[J]. 沉积学报, 22(3): 455-464.
- 李建国, 郭震宇, 张一勇, 2009. 西藏日喀则恰布林剖面大竹卡组孢粉组合及其时代和古环境、古地理意义[J]. 古生物学报, 48(2): 163-174.
- 林寿洪, 2012. 日喀则大竹卡组的沉积环境及构造演化[J]. 企业

- 技术开发, 31(13): 72-75.
- 林学农, 1981. 大竹卡超基性岩体的动力挤压现象及讨论[J]. 地球化学, (2): 181-184, 212.
- 刘成杰, 尹集祥, 孙晓兴, 等, 1988. 西藏南部日喀则弧前盆地非复理石型海相上白垩统—下第三系[J]. 中国科学院地质研究所集刊, (3): 130-157.
- 刘志飞, 王成善, 李祥辉, 1996. 西藏日喀则地区恰布林组地层学研究[J]. 成都理工学院学报, 23(2): 56-63.
- 马泽良, 2021. 西藏日喀则弧前盆地沉积-构造记录的东西差异性及其指示意义[D]. 北京: 中国地质大学(北京).
- 莫宣学, 潘桂棠, 2006. 从特提斯到青藏高原形成: 构造-岩浆事件的约束[J]. 地学前缘, 13(6): 43-51.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等, 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 22(3): 521-533.
- 钱定宇, 1985. 论秋乌煤系及拉达克至冈底斯陆缘山链磨拉石的时代[J]. 青藏高原地质文集, 16: 229-241.
- 唐宇, 王根厚, 冯翼鹏, 等, 2022. 西藏南冈底斯叶巴火山弧的构造-地层属性及其演化[J]. 地学前缘, 29(1): 285-302.
- 王成善, 刘志飞, 1999. 西藏日喀则弧前盆地与雅鲁藏布江缝合带[M]. 北京: 地质出版社.
- 王成善, 余光明, 1988. 西藏雅鲁藏布江一带中生代沉积盆地的演化[J]. 成都地质学院学报, 15(4): 48-56.
- 王承书, 惠兰, AITCHISON J C, 2003. 印-亚碰撞时代的重新厘定: 藏东南雅鲁藏布结合带下中新统冈仁波齐砾岩[J]. 沉积与特提斯地质, 23(2): 107-112.
- 王二七, 孟恺, 许光, 等, 2018. 印度陆块新生代两次仰冲事件及其构造驱动机制: 论印度洋、特提斯和欧亚板块相互作用[J]. 岩石学报, 34(7): 1867-1875.
- 王建刚, 2011. 西藏日喀则地区喜马拉雅造山带沉积记录与盆地演化[D]. 南京: 南京大学.
- 文世宣, 1974. 珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966-1968)[M]. 北京: 科学出版社.
- 吴福元, 万博, 赵亮, 等, 2020. 特提斯地球动力学[J]. 岩石学报, 36(6): 1627-1674.
- 吴浩若, 1984. 西藏南部白垩纪深海沉积地层——冲堆组及其地质意义[J]. 地质科学, (1): 26-33.
- 吴浩若, 王东安, 王连城, 1977. 西藏南部拉孜—江孜一带的白垩系[J]. 地质科学, (3): 250-262.
- 西藏自治区地质矿产局, 1993. 西藏自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 夏邦栋, 张开均, 孔庆友, 等, 1999. 青藏高原内部三条磨拉石带的确定及其构造意义[J]. 地学前缘, 6(3): 173-180.
- 杨逸畴, 1983. 西藏东南部波堆藏布谷地的基岩丘陵[J]. 冰川冻土, 5(4): 71-76.
- 尹集祥, 郭师曾, 1978. 珠穆朗玛峰及其北坡的地层[J]. 中国科

学, (4): 291-324.

尹集祥, 孙晓兴, 孙亦因, 等, 1988. 西藏南部日喀则地区双磨拉石带磨拉石岩系的地层学研究[J]. 中国科学院地质研究所集刊, (3): 158-176.

余光明, 王成善, 1990. 西藏特提斯沉积地质[M]. 北京: 地质出版社.

余光明, 王成善, 张哨楠, 1989. 西藏地区特提斯中生代沉积特征及沉积盆地演化[J]. 中国科学, (9): 982-990.

张鑫全, 张振利, 王金贵, 等, 2020. 对雅鲁藏布江结合带形成演化的再探讨[J]. 中国地质, 47(4): 944-970.

章炳高, 穆西南, 1979. 西藏雅鲁藏布江以北海相第三系的发现[J]. 地层学杂志, 3(1): 65-66.

赵文津, 黄立言, 熊嘉育, 1997. 喜马拉雅和青藏高原深剖面研究的进展[J]. 地球物理学报, 40(S1): 140-152.

中国科学院青藏高原综合科学考察队, 1982. 西藏古生物(第5分册)[M]. 北京: 科学出版社.

References:

AITCHISON J C, DAVIS A M, ZHU Badeng, et al., 2002. New constraints on the India-Asia collision: the Lower Miocene Gangrinboche conglomerates, Yarlung Tsangpo suture zone, SE Tibet[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(3): 251-263.

ANDERSEN T, 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 192(1-2): 59-79.

Bureau of Geology and Mineral Resources of Xizang Autonomous Region, 1993. Regional geology of Xizang (Tibet)[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).

DING Lin, MAKSATBEK S, CAI Fulong, et al., 2017. Processes of initial collision and suturing between India and Asia[J]. *Science China: Earth Sciences*, 60(4): 635-651.

EINSELE G, LIU B, DÜRR S, et al., 1994. The Xigaze forearc basin: evolution and facies architecture (Cretaceous, Tibet)[J]. *Sedimentary Geology*, 90(1-2): 1-32.

HAO Jie, ZHOU Xinhua, LI Qi, et al., 1996. Geological features and formation mechanism of the nappe and backthrust along the Yarlung Zangpo River(east section)[J]. *Seismology and Geology*, 18(1): 30-36(in Chinese with English abstract).

HARRISON T M, COPELAND P, KIDD W S F, et al., 1995. Activation of the Nyainqentanghla Shear Zone: Implications for uplift of the southern Tibetan Plateau[J]. *Tectonics*, 14(3): 658-676.

HARRISON T M, YIN An, GROVE M, et al., 2000. The Zedong window: A record of superposed Tertiary convergence in southeastern Tibet[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B8): 19211-19230.

HEIM A, GANSSER A, 1939. Central Himalaya geological observations of the Swiss expedition 1936[M]. Delhi: Hindustan Publishing Corporation.

HOU Kejun, LI Yanhe, TIAN Yourong, 2009. In situ U-Pb zircon dating using laser ablation-multi ion counting-ICP-MS[J]. *Mineral Deposits*, 28(4): 481-492(in Chinese with English

abstract).

LI Cai, WU Yanwang, WANG Ming, et al., 2010. Significant progress on Pan-African and Early Paleozoic orogenic events in Qinghai-Tibet Plateau—discovery of Pan-African orogenic unconformity and Cambrian System in the Gangdise area, Tibet, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 29(12): 1733-1736(in Chinese with English abstract).

LI Guobiao, WAN Xiaoqiao, DING Lin, et al., 2004. The Paleogene Foreland Basin and Sedimentary Responses in the Southern Tibet: Analysis on Sequence Stratigraphy[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 22(3): 455-464(in Chinese with English abstract).

LI Jianguo, GUO Zhenyu, ZHANG Yiyong, 2009. Palynofloral assemblages from the Dagzhuka Formation at Qiabulin, Xigaze, Xizang(Tibet): Their age and bearing on palaeoenvironments and palaeogeography[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 48(2): 163-174(in Chinese with English abstract).

LIN Shouhong, 2012. Depositional environment and tectonic evolution of the Xigaze the Otakcard group[J]. *Technological Development of Enterprise*, 31(13): 72-75(in Chinese with English abstract).

LIN Xuenong, 1981. Tectonic compression characteristic of the ultrabasic rocks in Dazuka profile[J]. *Geochemica*, (2): 181-184, 212(in Chinese with English abstract).

LIU Chengjie, YIN Jixiang, SUN Xiaoxing, et al., 1988. The Non-flysch marine strata of the Upper Cretaceous to the Lower Tertiary of Xigaze forearc Basin, South Tibet[J]. *Bulletin of Institute of Geology Chinese Academic Sciences*, (3): 130-157(in Chinese with English abstract).

LIU Yongsheng, GAO Shan, HU Zhaochu, et al., 2010. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths[J]. *Journal of Petrology*, 51(1-2): 537-571.

LIU Zhifei, WANG Chengshan, LI Xianghui, 1996. Stratigraphic research on Giabulin Formation in the Xigaze region, Xizang(Tibet)[J]. *Journal of Chengdu Institute of Technology*, 23(2): 56-63(in Chinese with English abstract).

MA Zeliang, 2021. Variations in sedimentology, structure of the eastern and western Xigaze forearc basin and their tectonic implications[D]. Beijing: China University of Geosciences(in Chinese with English abstract).

MO Xuanxue, PAN Guitang, 2006. From the Tethys to the formation of the Qinghai-Tibet Plateau: constrained by tectono-magmatic events[J]. *Earth Science Frontiers*, 13(6): 43-51(in Chinese with English abstract).

PAN Guitang, MO Xuanxue, HOU Zengqian, et al., 2006. Spatial-temporal framework of the Gangdese Orogenic Belt and its evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 521-533(in Chinese with English abstract).

QIAN Dingyu, 1985. A discussion on the age of Qiuwu coal measures and the preliminary correlation of the molasse for-

- mation at the Ladakh-Gandise marginal mountain chain[J]. Contribution to the Geology of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau, (16): 229-241(in Chinese with English abstract).
- TANG Yu, WANG Genhou, FENG Yipeng, et al., 2022. Tectonostratigraphic properties and evolution of the Yeba volcanic arc in South Gangdese, Tibet[J]. Earth Science Frontiers, 29(1): 285-302(in Chinese with English abstract).
- WANG Chengshan, LIU Zhifei, 1999. Xigaze forearc basin and Yalung Zangbo river suture zone, Tibet[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- WANG Chengshan, YU Guangming, 1988. Evolution of the Mesozoic basin along the Yalung Zangbo river, Tibet[J]. Journal of Chengdu College of Geology, 15(4): 48-56(in Chinese with English abstract).
- WANG Chengshan, HUI Lan, AITCHISON J C, 2003. Redefinition of the Indo-Asian collision era: the lower Miocene Gonzaga conglomerate of the Yarlung Tsangpo Combined Belt, Southeast Tibet[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 23(2): 107-112(in Chinese).
- WANG Erqi, MENG Kai, XU Guang, et al., 2018. Cenozoic two-stage obduction of the Indian subcontinent: On the interaction between the Indian Ocean, Tethyan and Eurasian plates[J]. Acta Petrologica Sinica, 34(7): 1867-1875(in Chinese with English abstract).
- WANG Jiangang, 2011. Sedimentary record and basin evolution of the Himalayan Orogen in Xigaze Area, Southern Tibet[D]. Nanjing: Nanjing University(in Chinese with English abstract).
- WEN Shixuan, 1974. Strata of the Mount Chomolungma region-Cretaceous. The scientific expedition report on the regions of Mount Chomolungma (1966-1968)[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- WU Fuyuan, WAN Bo, ZHAO Liang, et al., 2020. Tethyan geodynamics[J]. Acta Petrologica Sinica, 36(6): 1627-1674(in Chinese with English abstract).
- WU Haoruo, 1984. The Congdu Formation—Cretaceous deep-sea deposits in Southern Xizang (Tibet) and its significance[J]. Scientia Geologica Sinica, (1): 26-33(in Chinese with English abstract).
- WU Haoruo, WANG Dongan, WANG Lianchen, 1977. The Cretaceous of Laze-Jiangze district, Southern Xizang[J]. Scientia Geologica Sinica, (3): 250-262(in Chinese with English abstract).
- WU Zhenhan, HU Daogong, YE Peisheng, et al., 2013. Early Cenozoic Tectonics of the Tibetan Plateau[J]. Acta Geologica Sinica, 87(2): 289-303.
- XIA Bangdong, ZHANG Kaijun, KONG Qinyou, et al., 1999. Three Molasse Belts within the Qinghai-Tibet Plateau and Their Tectonic Implications[J]. Earth Science Frontiers, 6(3): 173-180(in Chinese with English abstract).
- XIE Yanxue, DILEK Y, 2023. Detrital zircon U-Pb geochronology and fluvial basin evolution of the Liuku Conglomerate within the Yarlung Zangbo Suture Zone: A critical geochronometer for the collision tectonics of the Tibetan-Himalayan Orogenic Belt[J]. Geosystems and Geoenvironment, 2(3): 100178.
- YANG Yichou, 1983. Basal moraine hills at Boduizangbu basin in the southeastern Tibet[J]. Journal of Glaciology and Cryopedology, 5(4): 71-76(in Chinese with English abstract).
- YIN An, HARRISON T M, RYERSON F J, et al., 1994. Tertiary structure evolution of the Gangdese thrust system, southeastern Tibet[J]. Journal of Geophysical Research, 99(9): 18175-18201.
- YIN Jixiang, GUO Shizeng, 1978. On the discovery of the stratigraphy of Gondwana facies in northern slope of the Qomolangma feng in southern Xizang, China[J]. Science in China, (4): 291-324(in Chinese with English abstract).
- YIN Jixiang, SUN Xiaoxing, SUN Yiyin, 1988. Stratigraphy study of the Molasse series in the Shuangmolasse zone, Shigatse area, southern Tibet[J]. Bulletin of Institute of Geology Chinese Academic Sciences, (3): 158-176(in Chinese with English abstract).
- YU Guangming, WANG Chengshan, 1990. Sedimentary geology of the Xizang (Tibet) Tethys[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- YU Guangming, WANG Chengshan, ZHANG Shaonan, 1989. Mesozoic Tethys sedimentary characteristics and sedimentary basin evolution in Tibet[J]. Science in China, (9): 982-990(in Chinese).
- ZHANG Binggao, MU Xinan, 1979. Discovering of the marine Tertiary in the north of the Yarlung-Tsangpo(Xizang)[J]. Acta Stratigraphica Sinica, 3(1): 65-66(in Chinese).
- ZHANG Xinquan, ZHANG Zhenli, WANG Jingui, et al., 2020. Further discussion on the formation and evolution of the Yarlung Zangbo suture zone, Tibet[J]. Geology in China, 47(4): 944-970(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Wenjin, HUANG Liyan, XIONG Jiayu, 1997. The progress of deep profiling study in Himalaya and Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau[J]. Acta Geophysica Sinica, 40(S1): 140-152(in Chinese with English abstract).