



移动阅读

周豫, 杨文光, 朱利东, 等, 2023. 西藏林周盆地中侏罗统却桑温泉组碎屑锆石 U-Pb 年代学及地质意义[J]. 沉积与特提斯地质, 43(4): 747-758. doi: 10.19826/j.cnki.1009-3850.2021.06001

ZHOU Y, YANG W G, ZHU L D, et al., 2023. Detrital zircon U-Pb chronology and geological significance of the Middle Jurassic Quesang Hot Spring Formation in Linzhou Basin, Tibet[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 43(4): 747-758. doi: 10.19826/j.cnki.1009-3850.2021.06001

## 西藏林周盆地中侏罗统却桑温泉组碎屑锆石 U-Pb 年代学及地质意义

周 豫<sup>1</sup>, 杨文光<sup>1\*</sup>, 朱利东<sup>1</sup>, 密文天<sup>2,3</sup>, 解 龙<sup>1</sup>, 钟 摇<sup>1</sup>, 麦源君<sup>1</sup>,  
张洪亮<sup>4</sup>, 李 楠<sup>1</sup>

(1. 成都理工大学沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 2. 内蒙古工业大学矿业学院, 内蒙古 呼和浩特 010051; 3. 兰州大学甘肃省西部矿产资源重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 4. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059)

**摘要:** 林周盆地位于冈底斯板块中部, 对其进行盆地分析将为理解冈底斯板块构造演化过程提供重要的沉积学证据。本文以林周盆地中侏罗统却桑温泉组为研究对象, 开展岩石学和碎屑锆石 U-Pb 年代学研究, 结果显示却桑温泉组岩屑石英砂岩最年轻碎屑锆石年龄为 169 Ma, 存在 620~540 Ma, 1 220~1 055 Ma 等年龄峰值, 其中最年轻碎屑锆石年龄是对特提斯洋壳俯冲引发的岩浆事件的响应。碎屑锆石区域对比研究表明却桑温泉组物源主要来自冈底斯中部唐加-松多造山带, 为特提斯洋向北俯冲、向南增生过程的沉积记录。

**关键词:** 林周盆地; 中侏罗统; 却桑温泉组; 碎屑锆石; 物源分析

中图分类号: P597.3

文献标识码: A

### Detrital zircon U-Pb chronology and geological significance of the Middle Jurassic Quesang Hot Spring Formation in Linzhou Basin, Tibet

ZHOU Yu<sup>1</sup>, YANG Wenguang<sup>1\*</sup>, ZHU Lidong<sup>1</sup>, MI Wentian<sup>2,3</sup>, XIE Long<sup>1</sup>, ZHONG Yao<sup>1</sup>,  
MAI Yuanjun<sup>1</sup>, ZHANG Hongliang<sup>4</sup>, LI Nan<sup>1</sup>

(1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. School of Mines, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China; 3. Key Laboratory of Mineral Resources in Western China (Gansu Province), Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 4. School of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** The Linzhou Basin is located in the middle of the Gangdese Plate. Basin analysis of the Linzhou Basin will provide

收稿日期: 2021-03-31; 改回日期: 2021-05-21; 责任编辑: 周小琳

作者简介: 周豫(1996—), 男, 硕士, 从事古生物学与地层学研究, 研究方向: 古生物与古环境。E-mail: zhouyuic@163.com

通讯作者: 杨文光(1980—), 男, 博士, 从事古生物学与地层学研究, 研究方向: 青藏高原地质和古气候变化。E-mail: yangwg1018@gmail.com

资助项目: 国家自然科学基金项目(41972118); 冈底斯-喜马拉雅铜矿资源基地调查项目(DD20160015); 兰州大学西部矿产资源重点实验室开放基金(MRWCGS-2019-01)

important sedimentological evidence for understanding the tectonic evolution process of the Gangdese Plate. This paper takes the Middle Jurassic Quesang Hot Spring Formation in the Linzhou Basin as the research object, and conducted petrology and detrital zircon U-Pb chronology. The results show that the youngest detrital zircon age of the lithic quartz sandstone of the Quesang Hot Spring Formation is 169 Ma, with age peaks such as 170-200 Ma, 540-620 Ma, and 1 055-1 220 Ma. The youngest detrital zircon age is the response to a magmatic event triggered by the subduction of the Tethys oceanic crust. Regional comparative studies of detrital zircons show that the source of the Quesang Hot Spring Formation is mainly from the Tanga-Songduo orogenic belt in central Gangdese, which is a sedimentary record of the northward subduction and southward accretion of the Tethys Ocean.

**Key words:** Linzhou Basin; Middle Jurassic; Quesang Hot Spring Formation; detrital zircons; provenance

## 0 引言

冈底斯板块位于青藏高原腹地,记录了特提斯洋演化,印-亚碰撞及高原隆升等一系列重大地质事件(潘桂棠等, 2006; 许志琴等, 2016; 潘桂棠等, 2022)。关于冈底斯板块中生代构造演化问题,长期以来存在较大争议,有以下几种观点:(1)冈底斯板块中生代经历了班公湖-怒江洋向南和雅鲁藏布江洋向北的相向俯冲(Huang et al., 2021; Wei et al., 2020; Zhu et al., 2011);(2)冈底斯板块中生代仅受雅鲁藏布江洋北向俯冲影响(Kang et al., 2014; Meng et al., 2019; Wang et al., 2016a);(3)中生代冈底斯经历了唐加-松多古特提斯洋增生造山和雅鲁藏布江洋的北向俯冲(Cheng et al., 2015; 解超明等, 2020; 李光明等, 2020; 李化启等, 2011; 林方成等, 2022)。林周盆地位于冈底斯板块中部,自中侏罗世至晚白垩世连续沉积,记录了冈底斯板块构造演化历史及其造山作用过程。对林周盆地上侏罗统一下白垩统林布宗组和下白垩统楚木龙组的物源分析显示二者物源主要来自冈底斯北部(Meng et al., 2019; Wei et al., 2020),而上覆楚木龙组之上的上白垩统设兴组物源则主要来自南部冈底斯岩浆弧(Wei et al., 2020)。白垩纪盆地物源的转变反映了当时南北两侧的构造变动,为晚白垩世南侧显著增强的岩浆活动在盆地中的响应。但关于林周盆地早期记录的研究则略显薄弱,不仅缺乏地层时代约束,而且对其物源特征仍不明晰,严重制约了对林周盆地沉积演化过程的理解与认识,对林周盆地早期记录的系统研究,可为探讨冈底斯板块构造演化过程提供沉积学约束。

基于此背景,本文以西藏林周盆地中侏罗统却桑温泉组为研究对象,开展岩石学和碎屑锆石 U-Pb 年代学研究,旨在厘定其地层沉积时代,进行物

源分析,为探讨冈底斯板块地质演化提供新资料。

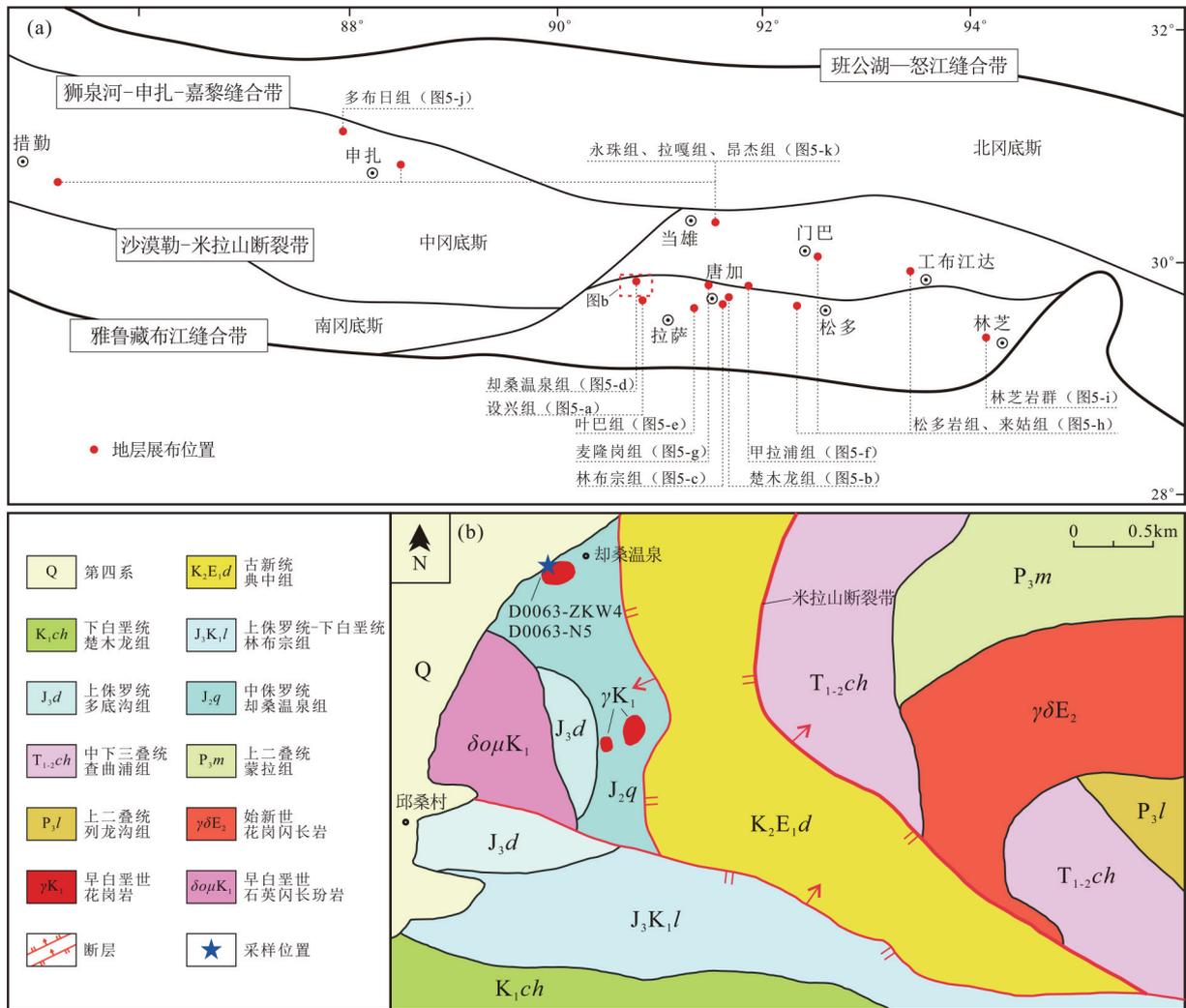
## 1 区域地质概况

冈底斯板块位于雅鲁藏布江缝合带和班公湖-怒江缝合带之间(图 1a),从南向北划分为南冈底斯、中冈底斯、北冈底斯三个次级造单元,分界线为沙漠勒-米拉山断裂、狮泉河-申扎-嘉黎缝合带。林周盆地位于拉萨市北部马乡-林周地区,南界为冉木江逆断裂,北界为洛巴堆-古鲁-左岗-唐加等一系列向北倾斜的逆冲断层(Wang et al., 2020; 李晓雄等, 2015)。林周盆地主要发育中侏罗世-晚白垩世沉积地层,盆地基底为下-中侏罗统叶巴组( $J_{1-2}v$ ),盖层主要为白垩纪-始新世海相-陆相沉积物(张佳伟, 2018)研究区内侏罗系地层发育不全,缺失下侏罗统地层,中侏罗统却桑温泉组与上覆上侏罗统多底沟组整合接触(图 1b),下部逆冲于典中组火山岩之上,呈断层接触<sup>①</sup>,与早白垩世花岗岩( $\gamma K_1$ )呈侵入接触关系。却桑温泉组主要岩性为含砾中细粒砂岩、中厚层状细砂岩、粉砂岩,夹泥岩、页岩及火山角砾岩、安山岩,其岩性横向变化不大。

## 2 岩石学特征

却桑温泉中侏罗统却桑温泉组实测剖面位于堆龙德庆县德庆乡邱桑村却桑温泉南侧无名山脊一带(图 2a),坐标为  $N30^{\circ}0'20.88''$ ,  $E90^{\circ}44'59.52''$ ,厚约 220 m。剖面未见底,主体表现为一南西倾的单斜地层体。本文采集的砂岩和花岗岩样品位置见(图 2b)。

却桑温泉组浅灰色黏土质胶结细粒岩屑石英砂岩(D0063-ZKW4)单层厚度约 10~15 cm,石英粒径多在 0.1~0.3 mm 之间,呈细粒砂状结构;碎屑颗粒含量约 85%,主要呈细砂状,主要碎屑物组成为



a. 大地构造图及地层展布位置 (据潘桂棠, 2006 修改); b. 研究区地质图 (据西藏 1:5 万德庆幅区域地质图修改)。

图 1 西藏堆龙德庆却桑温泉地质简图

Fig. 1 Geological maps of the Quesang Hot Spring Formation, Tibet

石英(76%)、岩屑及极少量长石,分选性一般,呈次棱角状,磨圆较差;岩屑(约 10%),呈细粒状,成分多为(石英)砂岩岩屑,含少量白云母;长石在样品中较少;填隙物约为 14%,分为黏土质胶结物(9%)和少量杂基(5%),黏土质胶结物充填于碎屑颗粒间且有一定程度蚀变,形成杂色状细小鳞片状绢云母(图 2c, d)。

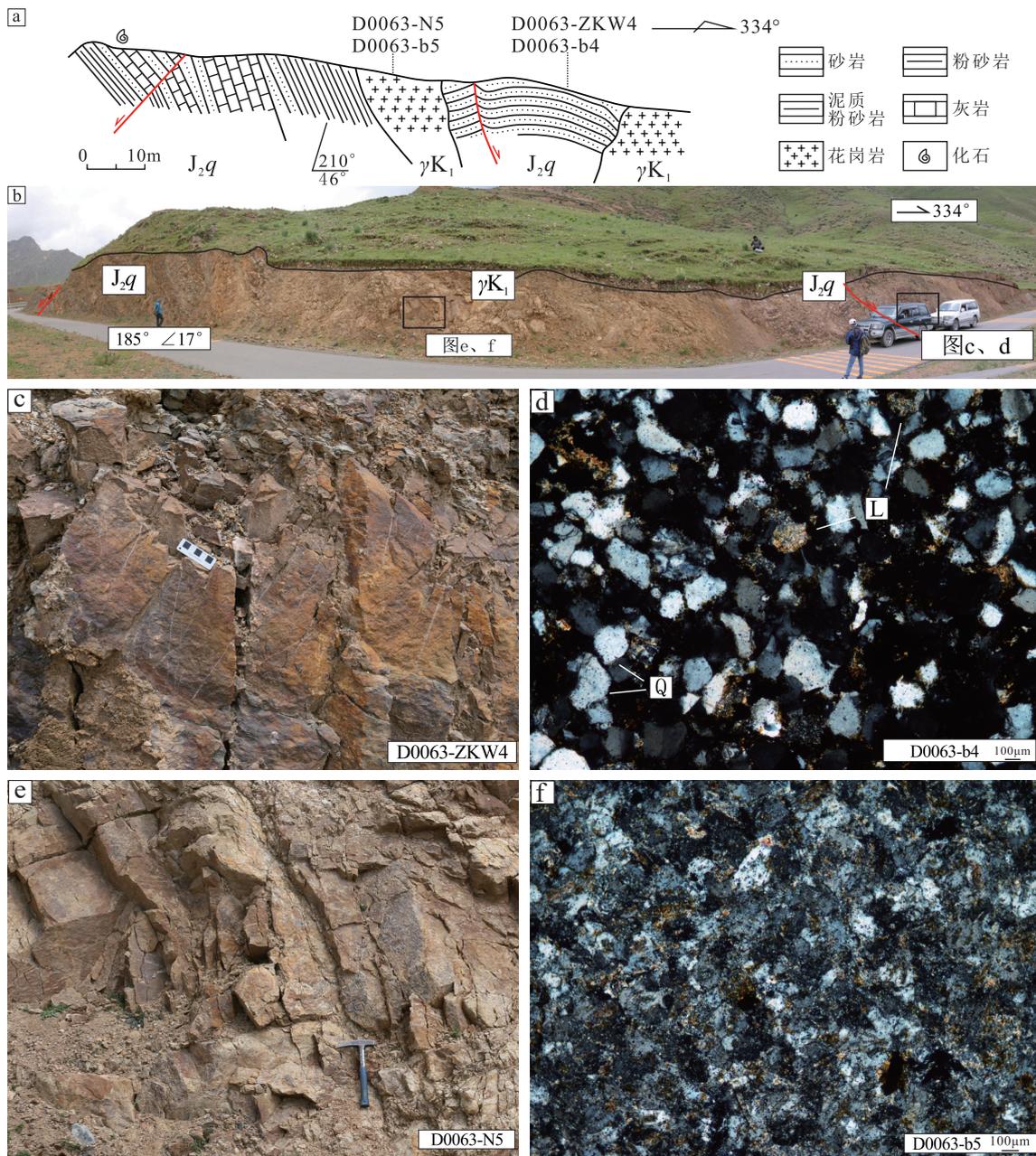
却桑温泉组部分层位被后期花岗岩岩脉侵入,表现为 SW 倾向的单斜地层体(图 2b)。样品 D0063-N5 岩性为浅黄灰色细粒似斑状花岗岩( $\gamma K_1$ ),块状构造,岩脉宽度约 24 m,与周围砂岩呈侵入接触。显微镜下斑晶主要为云母及柱状角闪石,呈明显的似斑状结构,斑晶约(11%),主要为黑

云母及角闪石,但斑晶大多发生强蚀变、破损;黑云母呈长条状,极完全解理发育;角闪石可见强蚀变现象。基质呈细粒结构,由长石、石英、黑云母和角闪石组成;除石英外的其他矿物表面多发生绢云母化及黏土化(图 2e, f)。

### 3 锆石 U-Pb 测年与 Lu-Hf 同位素分析

#### 3.1 测试方法

本文在却桑温泉组剖面中下段分别挑出 1 件岩屑砂岩,即 D0063-ZKW4,采集层位的砂岩有平行层理等构造,选出碎屑锆石进行 LA-ICP-MS U-Pb 同位素和 Hf 同位素分析。分析测试在河北廊坊宇恒矿岩技术服务公司进行。岩样经常规方法



a. 却桑温泉组实测剖面图；b. 却桑温泉组野外宏观照片；c. 却桑温泉组岩屑石英砂岩（D0063-ZKW4）；d. D0063-ZKW4 显微照片；e. 早白垩世花岗岩岩脉侵入照片；f. 早白垩世花岗岩（D0063-N5）显微照片。

图2 却桑温泉组典型野外与岩石显微照片

Fig. 2 Photographs of sandstones and Intrusive Rocks in Quesang Hot Spring Formation

粉碎后,通过电磁选、浮选开始分选,于显微镜下找出典型的锆石,粘贴在环氧树脂表面,抛光制备锆石样品靶,进行显微照相。阴极发光图像在北京锆年领航科技有限公司完成,锆石 U-Pb 同位素年龄在该公司采用激光剥蚀电感耦合等离子体质谱法测得。采用 Agilent7900 型 ICP-MS 和 Resolution SE 型 193 nm 深紫外激光剥蚀系统实施,以 He 作为载气,20~40 μm 剥蚀深度,激光束斑直径为 30

μm; 频率和能量密度分别为 5 Hz 和 2 J/cm<sup>2</sup>。每进行 10 个样品同位素分析后,间隔 2 个国际标准锆石 91500 作为外标进行同位素比值校正,1 个 GJ-1 作为监测标样,元素含量以 NIST 610 作为外标,<sup>91</sup>Zr 作为内标进行测算。年龄大于 1000 Ma 的使用 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄值,锆石年龄小于 1000 Ma 的使用 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄值。数据采用 Iolite 程序处理 (Paton et al., 2010)。绘图采用 ISOPLOT3.0 软件处

理谐和图、频谱图、计算加权平均值(Yuan et al., 2004)。岩屑石英砂岩(D0063-ZKW4)和花岗岩(D0063-N5)测年结果可参见附表 1\*和附表 2\*。

岩屑石英砂岩样品(D0063-ZKW4)Lu-Hf 同位素测定通过激光剥蚀多接收器电感耦合等离子体质谱仪进行检测,利用 Resolution SE 193 nm 准分子激光剥蚀系统对锆石进行原位剥蚀,斑束直径:40  $\mu\text{m}$ ,能量密度:5  $\text{J}/\text{cm}^2$ ,频率:8 Hz,仪器运行条件、流程及分析方法可参照(Hu et al., 2012)。

### 3.2 测试结果

#### 3.2.1 锆石 U-Pb 同位素测年结果

岩屑石英砂岩(D0063-ZKW4)的 98 颗碎屑锆石粒径约在 50~150  $\mu\text{m}$  之间,长宽比为 1.1~2,透射光下呈现褐色或玫瑰色,大部分锆石长宽比较小,颗粒以次圆状—圆状为主,少数颗粒呈半自形,表明经过长距离搬运;少数原始岩浆成因的锆石发育变质重结晶边,有些环带发生模糊化,极个别显示无环带(点 6、36、80 等)且 Th/U 比值较低(0.01~0.29),可能为变质锆石,在边部生长的变质增生锆石呈冷杉树状或扇形状环带(图 3)。但绝大部分锆石以发育振荡环带(图 3)和高的 Th/U 比值(0.18~3.43)为特征,指示岩浆成因(Corfu et al., 2003)。岩屑石英砂岩(D0063-ZKW4)的锆石进行了 LA-ICP-MS U-Pb 定年(图 4),85 个岩浆成因锆石年龄在 2 978~169 Ma 之间,而 9 个变质锆石对应的年龄在 1 982~503 Ma 之间。所有岩浆成因锆石年龄可分为两组区间,分别为 619~540 Ma、1 219~1 055 Ma,其余年龄分散在 206~169 Ma、383~319 Ma、507~499 Ma、1 037~693 Ma 和 2 978~1 236 Ma 范围内,未构成明显的集群。

花岗岩 D0063-N5 样品的锆石 CL 图像呈长柱状、自形—半自形、次棱角状(图 3),长 80~150  $\mu\text{m}$ ,长宽比较大,具有规则的韵律振荡环带结构,为岩浆结晶成因,其高 Th/U 比值(0.82~1.67)暗示锆石为岩浆成因。花岗岩(D0063-N5)20 颗锆石用于 U-Pb 定年,共获得 18 组谐和或近于谐和的年龄,整体上谐和年龄较为集中。14 个点位产生相对集中的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄(119~121 Ma),对应的加权平均年龄为  $119.8\pm 0.5$  Ma,代表了该花岗岩的结晶年龄即侵入却桑温泉组的时代。3 组(点 7、8、11)的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄(125~126 Ma)稍早,可解释为岩浆房

中早期结晶锆石。1 组  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄 115 Ma 的锆石为铅丢失。

#### 3.2.2 锆石 Lu-Hf 同位素分析结果

筛除却桑温泉组的岩屑石英砂岩不谐和的年龄后,选择具有代表性的 35 颗锆石进行原位 Hf 同位素分析(同位素测试数据可参见附表 3\*), $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  同位素比值在 0.281 382~0.282 799 范围, $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值变化于 -29.2~+11.2,对应的 Hf 地壳模式年龄为 936~3 330 Ma(图 6),锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值变化较大,说明沉积物源的复杂性。

## 4 讨论

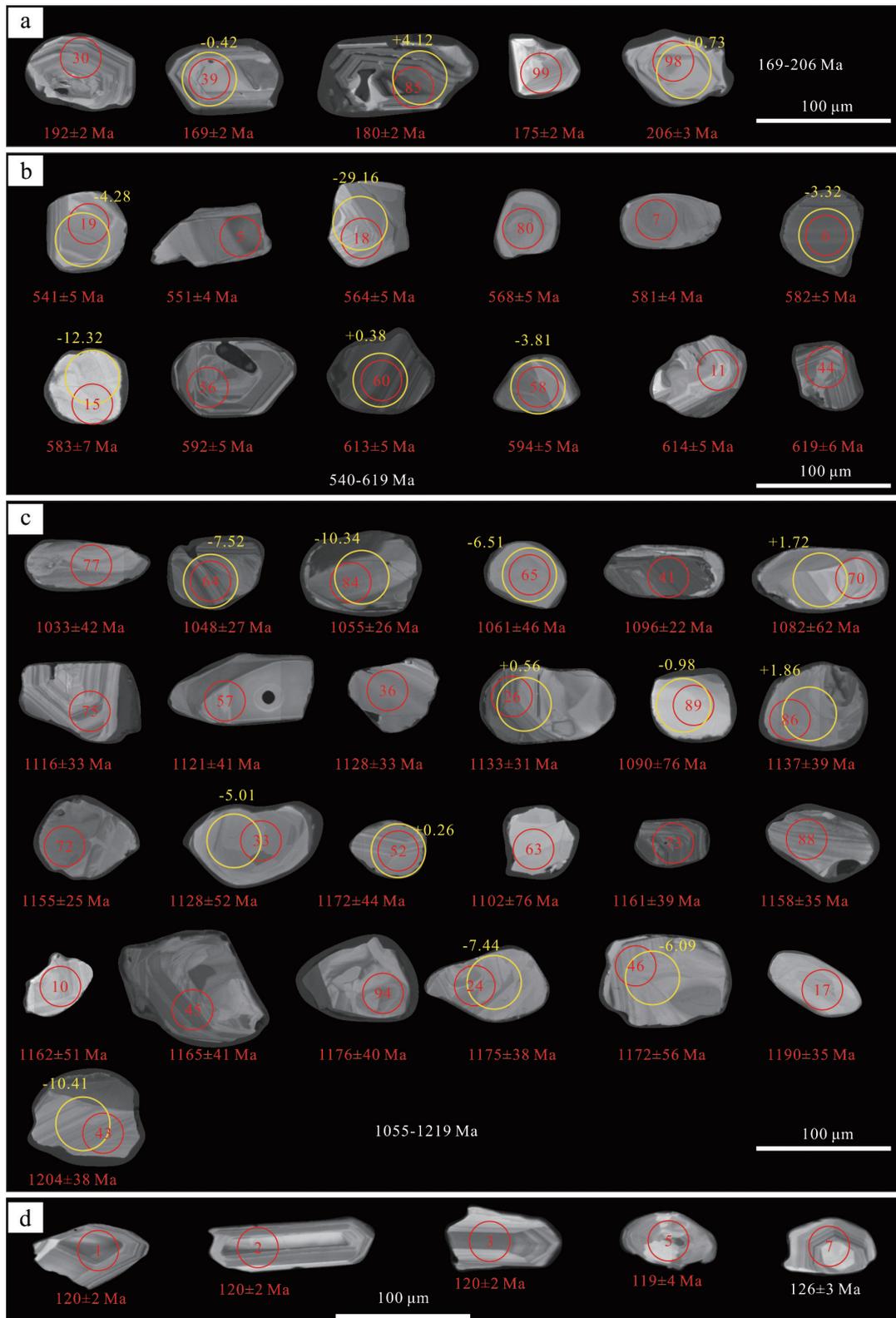
### 4.1 沉积时代

却桑温泉组被早白垩世(ca. 120 Ma)花岗岩脉侵入,限定却桑温泉组沉积时代早于 120 Ma。却桑温泉组岩屑石英砂岩样品最年轻的一个锆石年龄为 169 Ma,表明其最大沉积年龄不早于中侏罗世巴柔期,缺乏上覆林布宗组常见的早白垩世锆石(李成志, 2020),表明它早于早白垩世。因此锆石年龄数据将却桑温泉组沉积时代限定在 169~145 Ma 之间,结合古生物化石时代(王乃文等, 1983),厘定却桑温泉组地层沉积时代为中侏罗世。

### 4.2 物源分析

却桑温泉组岩屑石英砂岩样品最年轻的锆石年龄为 206~169 Ma,却桑温泉组年轻锆石年龄及 Hf 同位素组成与叶巴组的年龄及 Hf 同位素组成具有一致性(图 6),表示其可能来源于叶巴组,但岩屑石英砂岩样品中年轻的锆石年龄仅 5 个,仅占总测点数的 5%,反映叶巴组的物源供给极为有限。朱利东等(2018)<sup>②</sup>提出将尼玛江热乡附近的一套碎屑—火山岩地层建立“雄来组”地层单元,该套地层主要为中基性火山岩,以安山岩类为主,未见叶巴组中常见的酸性、中酸性火山岩,火山岩的变形与变质程度与叶巴组存在较大差异,变形较弱,总体未发生变质。U-Pb 年代学分析表明雄来组火山岩与叶巴组火山岩同时期发育。雄来组角度不整合于晚古生代片岩之上,不整合面之上砾岩中的砾石成分全部来自基底变质岩,表明受大洋俯冲作用影响的局部隆升。根据雄来组野外产状、变质变形程度以及年代学研究,前人提出该套岩石组合代表了晚古生代增生楔顶盆地沉积<sup>②</sup>。而随俯冲作

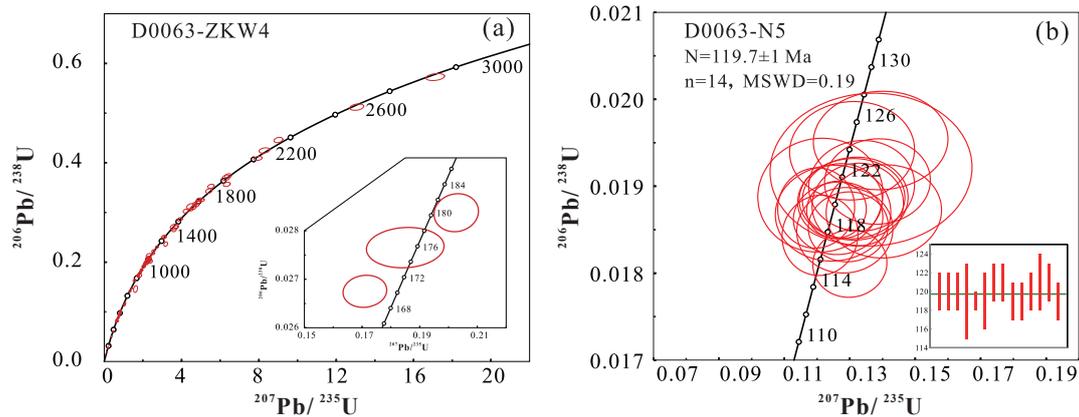
\*数据资料联系编辑部或者登录本刊网站 <https://www.cjyttsdz.com.cn> 获取。



a. 岩屑石英砂岩 (D0063-ZKW4) 206~169 Ma 碎屑锆石; b. 岩屑石英砂岩 (D0063-ZKW4) 619~540 Ma 碎屑锆石; c. 岩屑石英砂岩 (D0063-ZKW4) 1055~1219 Ma 碎屑锆石; d. 花岗岩 (D0063-N5) 部分锆石; 红色字体和圆代表 U-Pb 同位素年龄, 黄色字体和圈代表 Hf 同位素年龄。

图 3 代表性的锆石阴极发光图像及分析点表面年龄

Fig. 3 CL images with analytical spots and corresponding apparent ages of zircons



a. D0063-ZKW4 岩屑石英砂岩谱和图; b. D0063-N5 花岗岩谱和图。

图 4 却桑温泉组样品锆石 U-Pb 同位素年龄谱和图

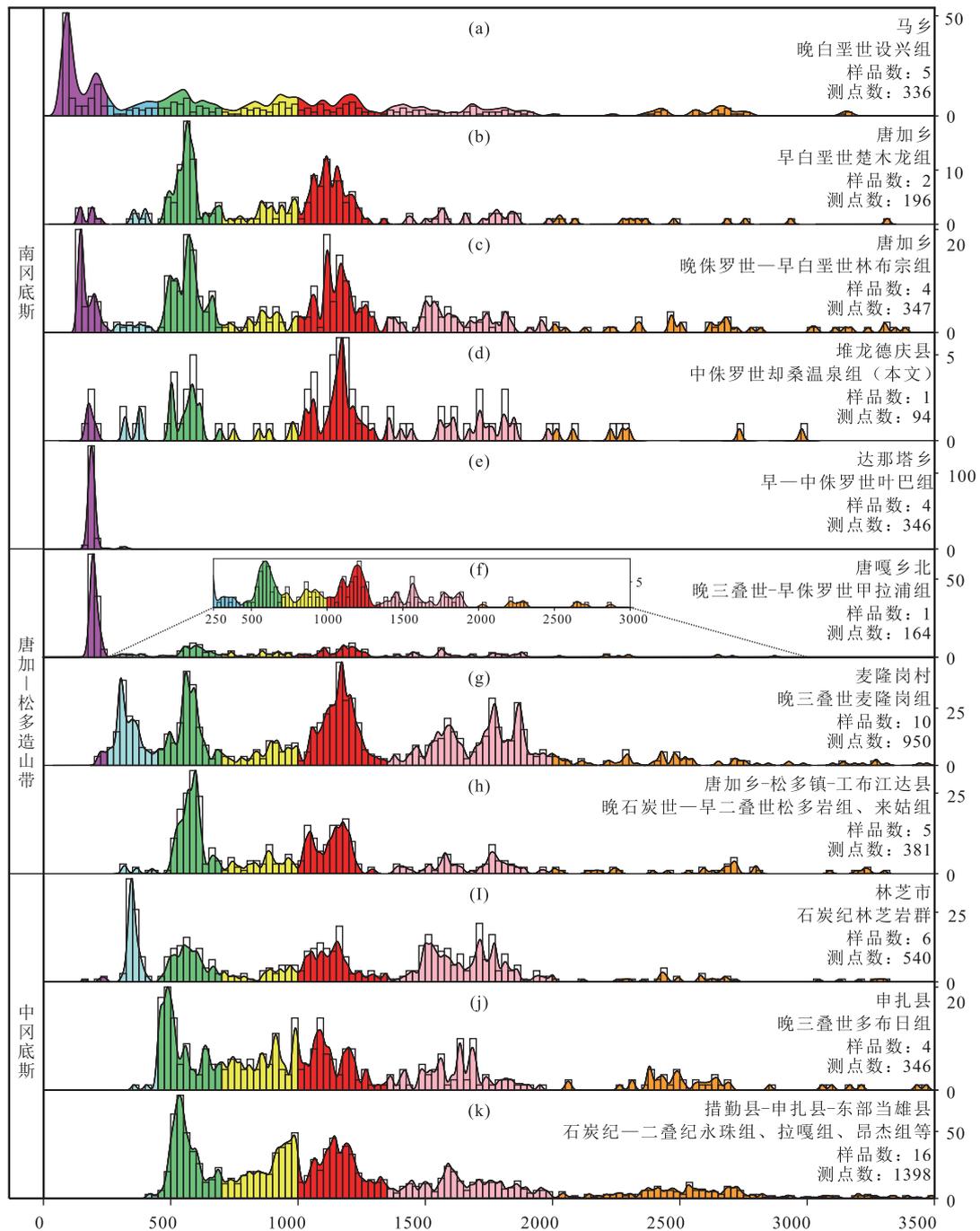
Fig. 4 U-Pb isotopic concordia plots of zircons from the Quesang Hot Spring Formation, Tibet

用进行,始早期增生楔体的进一步抬升,位于楔顶的雄来组完全有可能为却桑温泉组提供物源,因此,本文推测却桑温泉组侏罗纪锆石可能来源于雄来组(雄来组测试数据未发表)。

却桑温泉组岩屑石英砂岩碎屑锆石频谱显示 619~540 Ma 和 1 219~1 055 Ma 两个主要年龄峰(图 5d),该特征年龄峰值与冈底斯带的古生界和中生界碎屑锆石年龄峰值相吻合。例如,冈底斯带西部措勤和申扎地区以及东部当雄的石炭—二叠系锆石(图 5k)以 600~500 Ma、1 000~900 Ma 和 1 250~1 050 Ma 的年龄峰为主(Fan et al., 2017; Gehrels et al., 2011; Leier et al., 2007; Pullen et al., 2008; Zhu et al., 2011; 杨洋, 2019),而 600~500 Ma 和 1 250~1 050 Ma 年龄峰值与却桑温泉组锆石年龄峰值相似,但前者的 1 000~900 Ma 年龄峰值未出现在后者。申扎地区上三叠统多布日组(图 5j)以 490 Ma 年龄峰值为特征,1 250~600 Ma 的年龄峰值不太明显(Fan et al., 2017),该特征明显区别于却桑温泉组 619~540 Ma 和 1 219~1 055 Ma 的年龄峰值。此外,冈底斯带西部在晚侏罗世时期发育海相沉积序列(纪占胜等, 2018; 孙倩等, 2018),直到早白垩世—晚白垩世早期才发生大规模的压缩造山运动,其以褶皱冲断、变形、岩浆和地表隆升为特征(Kapp et al., 2007; Lai et al., 2019; Murphy et al., 1997),这可能与冈底斯—羌塘地体碰撞造山作用或新特提斯洋俯冲造山有关,这表明冈底斯西部的隆升和侵蚀时间可能晚于却桑温泉组的沉积时限。综上所述,冈底斯东部上侏罗统却桑温泉组的物源不太可能来自于冈底斯西部措勤、申扎地区以及东部的当雄

地区。冈底斯带东部的林芝石炭系变质沉积岩(图 5i)以 400~300 Ma、700~450 Ma、1 200~1 000 Ma 和 1 850~1 450 Ma 年龄峰值为主(Guo et al., 2016; 张成圆等, 2020)。然而,却桑温泉组砂岩碎屑锆石在 400~300 Ma 和 1 850~1 450 Ma 等年龄段未存在明显峰值,锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值与锆石 U-Pb 年龄对比也没有很好重叠(图 6),因此排除林芝石炭系变质沉积岩作为主要物源的可能性。

唐加、门巴、工布江达和松多地区的石炭—二叠系变质沉积岩(图 5h)具有相似的频谱,存在 650~500 Ma 和 1 250~1 000 Ma 两个年龄峰值区间,并具有少量的 450~300 Ma 的年龄点位(Zhu et al., 2011; 解超明等, 2019;);这样的碎屑锆石年龄峰值分布类型与却桑温泉组砂岩的前中生代碎屑锆石年龄频谱相一致,并且两者前中生代锆石 Hf 同位素特征也具有相似性(图 6)。麦隆岗组的 400~250 Ma 锆石年龄特征峰值和甲拉浦组三叠纪—早侏罗世锆石(图 5f、g)年龄峰未出现在却桑温泉组锆石年龄频谱(Cai et al., 2016; Li et al., 2014; Li et al., 2016; Wang et al., 2019; Wang et al., 2016b),排除它们作为却桑温泉组物源的可能性。但麦隆岗组 650~500 Ma 和 1 050~250 Ma 的碎屑锆石年龄峰以及甲拉浦组前中生代锆石年龄频谱分布与却桑温泉组相应的碎屑锆石年龄分布相似,表明三者可能具有相似的初始物源区。类似特征也出现在却桑温泉组上覆地层中,除了白垩纪碎屑锆石仅出现在林布宗组和楚木龙组外,却桑温泉组、林布宗组和楚木龙组具有非常相似的碎屑锆石(图 5b、c)分布特征(Meng et al., 2019; 李成志, 2020; 苏鑫, 2020),如 650~500 Ma 和 1 250~1 050 Ma 的碎屑锆石年龄



a. 马乡设兴组 (Wei et al., 2020); b. 唐加乡楚木龙组 (苏鑫, 2020); c. 唐加乡林布宗组 (李成志, 2020; Meng et al., 2019); d. 堆龙德庆县却桑温泉组 (本文); e. 达那塔乡叶巴组 (Ma et al., 2019); f. 唐嘎乡甲拉浦组 (Wang et al., 2019); g. 麦隆岗村麦隆岗组 (Wang et al., 2016b; Li et al., 2016; Li et al., 2014; Cai et al., 2016); h. 唐加-松多-工布江达-一线松多岩组、来姑组 (朱利东等, 2018<sup>②</sup>; Zhu et al., 2011; 解超明等, 2019); i. 林芝市林芝岩群锆石 (Guo et al., 2016; 张成圆等, 2020); j. 申扎县多布日组 (Fan et al., 2017); k. 措勤县-申扎县-东部当雄县永珠组、拉嘎组、昂杰组等 (Zhu et al., 2011; Gehrels et al., 2011; Fan et al., 2017; Pullen et al., 2008; Leier et al., 2007; 杨洋, 2019)。

图 5 碎屑锆石年龄对比图

Fig. 5 Relative U-Pb age probability for detrital zircons from different areas

峰, 暗示三者具有相同的前白垩纪再循环碎屑组份, 而却桑温泉组和林布宗组前白垩纪碎屑锆石 Hf 同

位素相似的特征也客观存在(图 5c)。Wang et al.(2020)报道了楚木龙组上段向南的古水流方向,

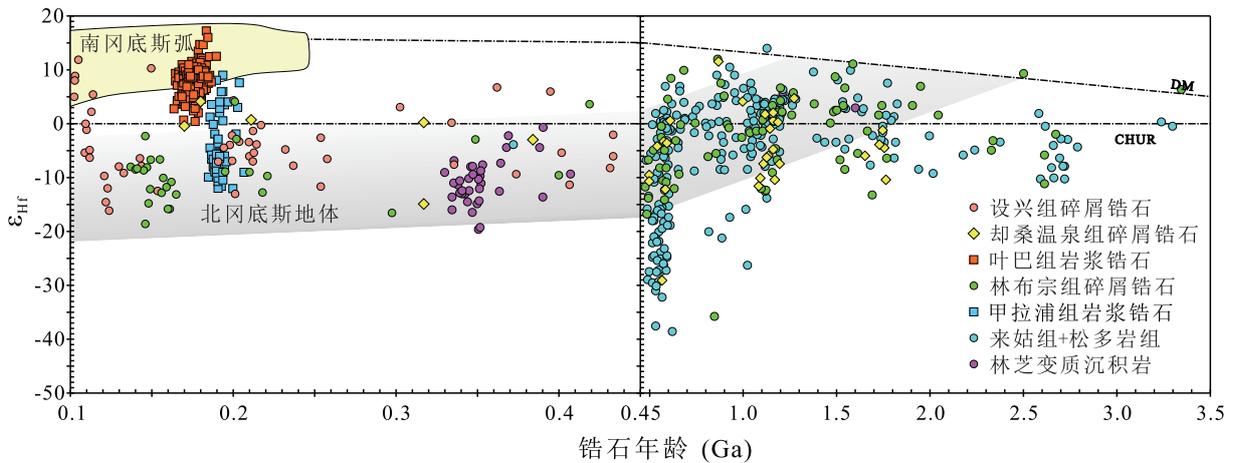
表明其物源区位于北部。此外,却桑温泉组碎屑锆石的  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值和林布宗组  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值明显不同于南侧的冈底斯岩浆弧(李成志, 2020)。多种证据表明,却桑温泉组及其上覆地层的物源区位于它们的北侧,即唐加—松多造山带。

### 4.3 地质意义

最新区域地质资料显示,唐加—松多古特提斯洋自晚古生代以来持续向北俯冲、向南增生(Cheng et al., 2012; Wang et al., 2019; 李楠等, 2020; 麦源君等, 2020),并于晚三叠世—早侏罗世发生增生造山(李化启等, 2011),同时在其南缘雅鲁藏布江洋向北俯冲增生形成以叶巴组为代表的大规模弧岩浆活动(Huang et al., 2021; Meng et al., 2019; Wang et al., 2016a; Yu et al., 2018; 魏友卿, 2017),而林周盆地以下—中侏罗统叶巴组( $J_{1-2}y$ )弧火山岩为基底,于中侏罗世—晚白垩世连续沉积。本文中侏罗统却桑温泉组位于林周盆地底部(图7),物源分析显示其物源主要来自唐加—松多造山带,资料

显示林周盆地上侏罗统—下白垩统林布宗组、下白垩统楚木龙组物源同样来自冈底斯中部(Meng et al., 2019; Wei et al., 2020),且三者具有较为一致的碎屑锆石年龄频谱(图5b, c, d),反映中侏罗世—早白垩世林周盆地物源主要来自盆地北侧唐加—松多造山带,而南缘冈底斯岩浆弧物源供给有限。位于盆地顶部的上白垩统设兴组碎屑锆石年龄频谱则与上述三者存在明显差异(图5a),且锆石  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值均为正值(图6),表明物源主要来自雅鲁藏布江洋向北俯冲形成的岩浆弧(Wei et al., 2020),反映了冈底斯南缘显著增强的岩浆活动对盆地物源的影响。

结合区域地质调查资料,本文研究成果表明,林周盆地为唐加—松多古特提斯洋增生造山以及雅鲁藏布江洋向北俯冲、向南增生过程的盆地响应,反映中生代冈底斯板块经历了唐加—松多古特提斯洋增生造山和雅鲁藏布江洋的北向俯冲。



设兴组碎屑锆石(Wei et al., 2020); 却桑温泉组碎屑锆石(本文); 叶巴组岩浆锆石(Ma et al., 2019); 林布宗组碎屑锆石(李成志, 2020; Meng et al., 2019); 甲拉浦组岩浆锆石(Wang et al., 2019); 来姑组—松多岩组(朱利东等, 2018<sup>②</sup>; Zhu et al., 2011); 林芝岩群变质沉积岩锆石(Guo et al., 2016; 张成圆等, 2020)。

图6 冈底斯地区锆石  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值与锆石 U-Pb 年龄对比

Fig. 6 Detrital zircon values versus zircon U-Pb ages in the Gangdese region

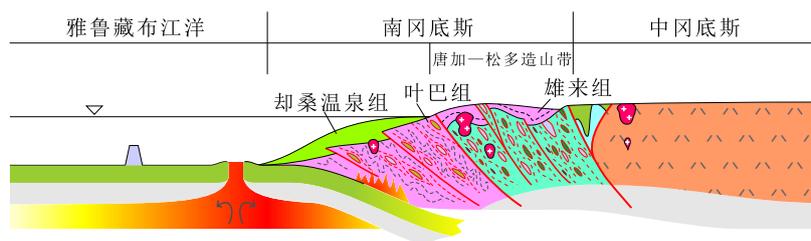


图7 南冈底斯侏罗纪构造演化模式简图(据朱利东等, 2018<sup>②</sup>修改)

Fig. 7 Schematic diagram of Jurassic tectonic evolution model in Southern Gangdese (revised after Zhu et al.,<sup>②</sup>)

## 5 结论

(1) 却桑温泉组碎屑锆石 619~540 Ma 和 1 219~1 055 Ma 两个主要年龄区间, 最年轻碎屑锆石年龄为 169 Ma, 表明却桑温泉组地层沉积时代为中侏罗世巴柔期。

(2) 却桑温泉组碎屑锆石两组主要年龄区间 (619~540 Ma 和 1 219~1 055 Ma) 与冈底斯中部碎屑锆石年龄区间一致, 表明冈底斯中部唐加—松多造山带为却桑温泉组的主要物源区。

**致谢:** 衷心感谢评审专家及编委专家对本文给予的学术指导和帮助。

## 注释:

①向树元, 袁晏明, 朱耀生, 等, 2014. 西藏德庆幅 1:5 万区域地质调查报告 [R]. 武汉: 中国地质大学(武汉)地质调查研究院

②朱利东, 杨文光, 王刚, 等, 2018. 西藏唐加地区 4 幅 1:5 万区域地质调查成果报告(内部报告) [R]. 成都: 成都理工大学

## References

- Cai F L, Ding L, Laskowski A K, et al., 2016. Late Triassic paleogeographic reconstruction along the Neo-Tethyan Ocean margins, southern Tibet[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 435 (1): 105–114.
- Cheng H, Liu Y, Vervoort J D, et al., 2015. Combined U-Pb, Lu-Hf, Sm-Nd and Ar-Ar multichronometric dating on the Bailang eclogite constrains the closure timing of the Paleo-Tethys Ocean in the Lhasa terrane, Tibet[J]. *Gondwana Research*, 28 (4): 1482–1499.
- Cheng H, Zhang C, Vervoort J D, et al., 2012. Zircon U-Pb and garnet Lu-Hf geochronology of eclogites from the Lhasa Block, Tibet[J]. *Lithos*, 155: 341–359.
- Corfu F, Hancher J M, Hoskin P W O, et al., 2003. Atlas of zircon textures[J]. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53 (1): 469–500.
- Fan S, Ding L, Murphy M A, et al., 2017. Late Paleozoic and Mesozoic evolution of the Lhasa Terrane in the Xainza area of southern Tibet[J]. *Tectonophysics*, 721: 415–434.
- Gehrels G, Kapp P, Decelles P, et al., 2011. Detrital zircon geochronology of pre-Tertiary strata in the Tibetan-Himalayan orogen[J]. *Tectonics*, 30 (5): TC5016.
- Guo L, Zhang H F, Harris N, et al., 2016. Late Devonian-Early Carboniferous magmatism in the Lhasa terrane and its tectonic implications: Evidences from detrital zircons in the Nyingchi Complex[J]. *Lithos*, 245: 47–59.
- Hu Z C, Liu Y S, Gao S, et al., 2012. Improved in situ Hf isotope ratio analysis of zircon using newly designed X skimmer cone and jet sample cone in combination with the addition of nitrogen by laser ablation multiple collector ICP-MS[J]. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 27 (9): 1391–1399.
- Huang Y, Ren M, Jowitt S M, et al., 2020. Middle Triassic arc magmatism in the southern Lhasa terrane: Geochronology, petrogenesis and tectonic setting[J]. *Lithos*, 380-381: 105857.
- Kang Z Q, Xu J F, Wilde S A, et al., 2014. 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*, 200-201: 157–168.
- Kapp P, Decelles P G, Leier A L, et al., 2007. The Gangdese retroarc thrust belt revealed[J]. *GSA Today*, 17 (7): 4.
- Lai W, Hu X, Garzanti E, et al., 2019. Initial growth of the Northern Lhasaplano, Tibetan Plateau in the early Late Cretaceous (ca. 92 Ma) [J]. *GSA Bulletin*, 131 (11-12): 1823–1836.
- Leier A L, Decelles P G, Kapp P, et al., 2007. The Takena Formation of the Lhasa terrane, southern Tibet: The record of a Late Cretaceous retroarc foreland basin[J]. *Geological Society of America bulletin*, 119 (1-2): 31–48.
- Li G W, Sandiford M, Liu X H, et al., 2014. Provenance of Late Triassic sediments in central Lhasa terrane, Tibet and its implication[J]. *Gondwana Research*, 25 (4): 1680–1689.
- Li X H, Mattern F, Zhang C K, et al., 2016. Multiple sources of the Upper Triassic flysch in the eastern Himalaya Orogen, Tibet, China: Implications to palaeogeography and palaeotectonic evolution[J]. *Tectonophysics*, 666: 12–22.
- Meng Y, Mooney W D, Ma Y, et al., 2019. Back-arc basin evolution in the southern Lhasa sub-terrane, southern Tibet: Constraints from U-Pb ages and in-situ Lu-Hf isotopes of detrital zircons[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 185: 104026.
- Murphy M A, Yin A, Harrison T M, et al., 1997. Did the Indo-Asian collision alone create the Tibetan plateau?[J]. *Geology*, 25 (8): 719–722.
- Paton C, Woodhead J D, Hellstrom J C, et al., 2010. Improved laser ablation U-Pb zircon geochronology through robust downhole fractionation correction[J]. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11 (3): Q0AA06.
- Pullen A, Kapp P, Gehrels G E, et al., 2008. Triassic continental subduction in central Tibet and Mediterranean-style closure of the Paleo-Tethys Ocean[J]. *Geology*, 36 (5): 351–354.
- Wang C, Ding L, Zhang L Y, et al., 2016a. Petrogenesis of Middle-Late Triassic volcanic rocks from the Gangdese belt, southern Lhasa terrane: Implications for early subduction of Neo-Tethyan oceanic lithosphere[J]. *Lithos*, 262: 320–333.
- Wang C, Ding L, Zhang L Y, et al., 2019. Early Jurassic highly fractionated rhyolites and associated sedimentary rocks in southern Tibet: constraints on the early evolution of the Neo-Tethyan Ocean[J].

- International Journal of Earth Sciences, 108 (1) : 137 – 154 .
- Wang J G, Hu X M, Garzanti E, et al., 2020. From extension to tectonic inversion: Mid-Cretaceous onset of Andean-type orogeny in the Lhasa block and early topographic growth of Tibet[J]. *GSA Bulletin*, 132 (11-12) : 2432 – 2454 .
- Wang J G, Wu F Y, Garzanti E, et al., 2016b. Upper Triassic turbidites of the northern Tethyan Himalaya (Langjiexue Group) : The terminal of a sediment-routing system sourced in the Gondwanide Orogen[J]. *Gondwana Research*, 34 (1): 84 – 98 .
- Wei Y Q, Zhao Z D, Niu Y L, et al., 2020. Geochemistry, detrital zircon geochronology and Hf isotope of the clastic rocks in southern Tibet: Implications for the Jurassic-Cretaceous tectonic evolution of the Lhasa terrane[J]. *Gondwana Research*, 78: 41 – 57 .
- Yu Y P, Xie C M, Fan J J, et al., 2018. Zircon U –Pb geochronology and geochemistry of Early Jurassic granodiorites in Sumdo area, Tibet: Constraints on petrogenesis and the evolution of the Neo-Tethyan Ocean[J]. *Lithos*, 320-321: 134 – 143 .
- Yuan H L, Gao S, Liu X M, et al., 2005. Accurate U-Pb Age and Trace Element Determinations of Zircon by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry[J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28 (3) : 353 – 370 .
- Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, et al., 2011. Lhasa terrane in southern Tibet came from Australia[J]. *Geology*, 39 (8) : 727 – 730 .
- Ji Z S, Yao J X, Wu G C, et al., 2018. Stratigraphic Progress of the Coqen Basin and Redefinition of the Upper Permian-Jurassic Stratigraphic Sequence[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 39 (4) : 401 – 407 (in Chinese with English abstract).
- Xie C M, Li C, Li G M, et al., 2020. The research progress and problem of the Sumdo Paleo-Tethys Ocean, Tibet[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 40 (2) : 1 – 13.
- Xie C M, Song Y H, Wang M, et al., 2019. Age and Provenance of Sumdo Formation in Central Gangdese, Tibetan Plateau: Detrital Zircon U-Pb Geochronological Evidence[J]. *Earth Science*, 44 (7) : 2224 – 2233.
- Li C Z, 2020. Provenance characteristics and structural evolution of the Linbuzong Formation in the Cretaceous Basin, south Gangdese, Tibet[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology..
- Li G M, Zhang L K, Wu J Y, et al., 2020. Reestablishment and scientific significance of the Ocean plate geology in the Southern Tibet Plateau, China[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 40 (1) : 1 – 14.
- Li H Q, Xu Z Q, Yang J S, et al., 2011. Sys-collisional exhumation of Sumdo eclogite in the Lhasa Terrane, Tibet : Evidences from structural deformation and  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  geochronology[J]. *Earth Science Frontiers*, 18 (3) : 66 – 78.
- Li N, Zhu L D, Yang W G, et al., 2020. Discovery of the Middle Permian Island Arc Basalt in the Chongni Area, Tibet and Its Tectonic Implication[J]. *Geology and Exploration*, 56 (4) : 722 – 731.
- Li X X, Jiang W, Liang J H, et al., 2015. The geochemical characteristics and significance of the basalt from Shexing Formation in Linzhou basin, southern Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31 (5) : 1285 – 1297 (in Chinese with English abstract).
- Lin F C, Li S, Zeng Q Q, et al., 2022. Review on the progress of geological survey works in Southwest China in the past ten years (2011-2020)[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 42 (4) : 507 – 528 (in Chinese with English abstract).
- Mai Y J, Zhu L D, Yang W G, et al., 2021. Zircon U-Pb and Hf Isotopic Composition of Permian Felsic Tuffs in Southeastern Margin of Lhasa, Tibet[J]. *Earth Science*, 46 (11) : 3880 – 3891.
- Pan G T, Mo X X, Hou Z Q, 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).
- Pan G T, Wang L Q, Yin F G, et al., 2022. Researches on geological-tectonic evolution of Tibetan Plateau: A review, recent advances, and directions in the future[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 42 (2) : 151 – 175 (in Chinese with English abstract).
- Su X, 2020. Provenance analysis and tectonic significance of Lower cretaceous ChuMulong Formation in Linzhou basin, Tibet[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology.
- Sun Q, Ji Z S, Liao W H, et al., 2018. The Discovery of the Upper Jurassic Sabozhibule Formation in Coqen Basin, Tibet, and Its Source Rock[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 39 (4) : 432 – 444 (in Chinese with English abstract).
- Wang N W, Wang S N, Liu G F, et al., 1983. The Juro-Cretaceous marine-terrestrial alternating formations in Lhasa area, Xizang (Tebet) [J]. *Acta Geologica Sinica*, 57 (1) : 83 – 95.
- Wei Y Q, 2017. Mesozoic volcanic and sedimentary rocks on the southern margin of Lhasa Terrane, southern Tibet: geochronology, geochemistry and tectonic implications[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing) .
- Xu Z Q, Zhao Z B, Peng M, et al., 2016. Review of “ orogenic plateau” [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 32 (12) : 3557 – 3571 (in Chinese with English abstract).
- Yang Y, 2019. Analysis of the sedimentary back ground and geological significance of late Paleozoic in nixiong region, Tibet[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology.
- Zhang C Y, Zhang Z M, DING H X, et al., 2020. Early Cenozoic metamorphism of the sedimentary rocks from the eastern Gangdese magmatic arc and its tectonic implications[J]. *Acta Geologica Sinica*, 94 (5) : 1413 – 1430 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J W, 2018. Evolution and exhumation of the Mesozoic Qiangtang and Maqu-Linzhou basins, Tibet[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing) .

## 附中文参考文献

纪占胜, 姚建新, 武桂春, 等, 2018. 西藏措勤盆地的地层学研究

- 进展及上二叠统一侏罗系地层序列的厘定[J]. *地球学报*, 39(4): 401-407.
- 解超明, 李才, 李光明, 等, 2020. 西藏松多古特提斯洋研究进展与存在问题[J]. *沉积与特提斯地质*, 40(2): 1-13.
- 解超明, 宋宇航, 王明, 等, 2019. 冈底斯中部松多岩组形成时代及物源: 来自碎屑锆石 U-Pb 年代学证据[J]. *地球科学*, 44(7): 2224-2236.
- 李成志, 2020. 西藏南冈底斯白垩纪盆地林布宗组物源特征与盆地构造演化[D]. 成都: 成都理工大学.
- 李光明, 张林奎, 吴建阳, 等, 2020. 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*, 40(01): 1-14.
- 李化启, 许志琴, 杨经绥, 等, 2011. 拉萨地体内松多榴辉岩的碰撞折返: 来自构造变形和<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年代学的证据[J]. *地学前缘*, 18(3): 66-78.
- 李楠, 朱利东, 杨文光, 等, 2020. 西藏冲尼中二叠世岛弧玄武岩的发现及意义[J]. *地质与勘探*, 56(04): 722-731.
- 李晓雄, 江万, 梁锦海, 等, 2015. 西藏林周盆地兴组玄武岩地球化学特征及意义[J]. *岩石学报*, 31(5): 1285-1297.
- 林方成, 李生, 曾琴琴, 等, 2022. 中国西南地区地质调查工作十年(2011-2020)进展综述[J]. *沉积与特提斯地质*, 42(4): 507-528.
- 麦源君, 朱利东, 杨文光, 等, 2020. 西藏东南缘早二叠世长英质凝灰岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素特征[J]. *地球科学*, 46(11): 3880-3891.
- 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.
- 潘桂棠, 王立全, 尹福光, 等, 2022. 青藏高原形成演化研究回顾、进展与展望[J]. *沉积与特提斯地质*, 42(2): 151-175.
- 苏鑫, 2020. 西藏林周盆地地下白垩统楚木龙组物源分析及构造意义[D]. 成都: 成都理工大学.
- 孙倩, 纪占胜, 廖卫华, 等, 2018. 西藏措勤盆地上侏罗统萨波直不勒组的发现及其烃源岩[J]. *地球学报*, 39(4): 432-444.
- 王乃文, 王思恩, 刘桂芳, 等, 1983. 西藏拉萨地区的海陆交互相侏罗系与白垩系[J]. *地质学报*, 57(1): 83-95.
- 魏友卿, 2017. 西藏拉萨地体南缘中生代火山岩与碎屑沉积岩的年代学、地球化学及构造意义[D]. 北京: 中国地质大学.
- 许志琴, 赵中宝, 彭森, 等, 2016. 论“造山的高原”[J]. *岩石学报*, 32(12): 3557-3571.
- 杨洋, 2019. 西藏尼雄地区晚古生代沉积背景分析及地质意义[D]. 成都: 成都理工大学.
- 张成圆, 张泽明, 丁慧霞, 等, 2020. 冈底斯岩浆弧东段沉积岩的早新生代变质作用及构造意义[J]. *地质学报*, 94(5): 1413-1430.
- 张佳伟, 2018. 西藏中生代羌塘及马乡—林周盆地形成演化与剥露过程[D]. 中国地质大学(北京).