



引文格式: 赵文涛, 王雁鹤, 李健, 等. 宗务隆构造带东段宗务隆群碎屑锆石年代学及其构造意义[J]. 西北地质, 2025, 58(5): 123–139. DOI: 10.12401/j.nwg.2025079

Citation: ZHAO Wentao, WANG Yanhe, LI Jian, et al. Detrital Zircon Geochronology of the Zongwulong Group in the Eastern Segment of the Zongwulong Tectonic Belt and Its Tectonic Significance[J]. Northwestern Geology, 2025, 58(5): 123–139. DOI: 10.12401/j.nwg.2025079

宗务隆构造带东段宗务隆群碎屑锆石年代学 及其构造意义

赵文涛¹, 王雁鹤^{2,*}, 李健³, 王根厚^{1,4}, 钱荣毅^{1,5}, 李鹏胜⁴

(1. 青海大学地质工程学院, 青海 西宁 810016; 2. 中国地质调查局西宁自然资源综合调查中心, 青海 西宁 810012;
3. 青海省第一地质勘查院, 青海 海东 810600; 4. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;
5. 中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院, 北京 100083)

摘要: 位于青藏高原东北缘的宗务隆构造带, 夹持于南祁连、柴达木北缘和西秦岭构造带之间, 其形成、演化与特提斯构造域密切相关。目前, 对于宗务隆群的形成时代、物质来源及构造演化仍有较多争议。笔者以该构造带东段的宗务隆群碎屑岩为研究对象, 分析其碎屑锆石 U-Pb 同位素年龄、微量元素特征及 Hf 同位素组成。研究结果显示, 宗务隆群的沉积时代不早于中二叠世, 碎屑锆石 U-Pb 年龄主要集中在早古生代和晚古生代, 峰值分别为 ~431 Ma 和 ~269 Ma。微量元素特征碎屑锆石来源于与弧相关的大陆地壳锆石, 与南侧乌兰-青海南山一带的岩浆活动可以对应; 年龄谱的分析表明: 宗务隆构造带东西段的构造演化具有不同的历程, 东段发育有限洋盆且可能是古特提斯洋最北部的分支, 西段则无相关洋盆发育。

关键词: 宗务隆群; 碎屑锆石; Hf 同位素; 宗务隆构造带

中图分类号: P597; P542

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2025)05-0123-17

Detrital Zircon Geochronology of the Zongwulong Group in the Eastern Segment of the Zongwulong Tectonic Belt and Its Tectonic Significance

ZHAO Wentao¹, WANG Yanhe^{2,*}, LI Jian³, WANG Genhou^{1,4}, QIAN Rongyi^{1,5}, LI Pengsheng⁴

(1. School of Geological Engineering, Qinghai University, Xining 810016, Qinghai, China; 2. Xining Center of Natural Resources Comprehensive Survey, China Geological Survey, Xining 810012, Qinghai, China; 3. The First Geological Exploration Institute of Qinghai Province, Haidong 810600, Qinghai, China; 4. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 5. School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: The Zongwulong tectonic belt is situated at the northeastern margin of the Tibetan Plateau, con-

收稿日期: 2025-04-01; 修回日期: 2025-05-20; 责任编辑: 吕鹏瑞

基金项目: 青海省“昆仑英才·高端创新创业人才”项目(2023), 中国地质调查局项目“祁连成矿带金矿资源潜力动态评价”(DD20220979)联合资助。

作者简介: 赵文涛(1982-), 男, 讲师, 主要从事构造地质学方面的研究工作。E-mail: 10078369@qq.com。

* 通讯作者: 王雁鹤(1983-), 男, 高级工程师, 主要从事基础地质调查和矿产勘查工作。E-mail: wyhxnzx@163.com。

strained between the South Qilian, North Qaidam margin, and West Qinling tectonic belts. Its tectonic evolution is closely associated with the northeastern Tethyan tectonic domain. Current academic debates persist regarding the formation age of the Zongwulong Group, its material provenance, and the evolutionary history of the tectonic belt. This study focuses on the clastic rocks of the Zongwulong Group in the eastern segment of the tectonic belt, employing detrital zircon U-Pb geochronology, trace element analysis, and Hf isotopic composition investigations. Results demonstrate that the depositional age of the Zongwulong Group postdates the Middle Permian. Detrital zircon U-Pb ages predominantly cluster in the Early Paleozoic and Late Paleozoic, with prominent peaks at ~ 431 Ma and ~ 269 Ma. Trace element characteristics indicate that these detrital zircons originated from arc-related continental crustal sources, correlating with magmatic activities in the southern Wulan-Qinghai Nanshan region. Comparative analysis of age spectra reveals distinct tectonic evolutionary processes between the eastern and western segments of the Zongwulong belt. The eastern segment developed a limited oceanic basin, potentially representing the northernmost branch of the Paleo-Tethys Ocean, whereas the western segment shows no evidence of oceanic basin development.

Keywords: Zongwulong Group; detrital zircon; Hf isotope; Zongwulong tectonic belt

宗务隆构造带(土尔根大坂-宗务隆-青海南山一带)位于青藏高原东北缘,呈 NWW 向展布于柴达木盆地以北区域(图 1)。该构造带以青海南山断裂和宗务隆山南缘断裂为界,分别与北侧的南祁连造山带和南侧的柴北缘构造带及欧龙布鲁克地块相邻,向西延至阿尔金断裂,向东可能分割了西秦岭与南祁连造山带(郭安林等, 2009),也有人认为向东有一分支延伸至柴达木地块东北缘的鄂拉山东侧(孙延贵等, 2004)。众多学者根据宗务隆构造带东段的岩浆活动,认为宗务隆构造带晚古生代—中生代经历了由陆内裂陷、洋盆发育和从俯冲到碰撞造山的复杂演化过程(王毅智等, 2001; 孙延贵等, 2004; 彭渊, 2015; 王苏里等, 2016; 陈敏等, 2020; 李平等, 2023),但也有学者认为宗务隆带不存在洋盆的开启与闭合,其东部花岗岩带可能是阿尼玛卿洋向北俯冲的结果(牛漫兰等, 2018; Wu et al., 2019)。

宗务隆带内的岩石地层主要为宗务隆群,前人对其已做有大量的调查研究工作。对其形成时代的问题上,大多学者认为形成于石炭纪—二叠纪(汤良杰等, 1999; 朱如凯等, 2007),也有认为形成于晚奥陶世—早泥盆世早期(彭渊等, 2018);对宗务隆群形成的构造环境也存有不同认识,部分认为形成于被动大陆边缘(杨超等, 2010; 孙娇鹏等, 2015),也有部分认为其受俯冲碰撞的影响,形成于活动大陆边缘环境下的弧后伸展盆地(汤良杰等, 1999; 彭渊等, 2018);对沉积地层的物质来源,一部分学者认为沉积物主要来自于构造带北侧的南祁连造山带(杨超等, 2010),而另一

些学者认为构造带南侧的欧龙布鲁克地块和柴北缘造山带是其主要物源区(汤良杰等, 1999; 朱如凯等, 2007; 袁亚娟等, 2012; 孙娇鹏等, 2015)。这些不同的认识也影响到对于构造带晚古生代—中生代演化的认识,一些学者认为宗务隆带为石炭系—二叠系大陆裂谷(Li et al., 2024),其东部华力西期—印支期岩浆活动与古特提斯洋北向俯冲相关(牛漫兰等, 2018; Wu et al., 2019);而另一种观点认为该带存在洋盆,经历了裂解—俯冲—碰撞的全过程(王毅智等, 2001; 孙延贵等, 2004; 彭渊, 2015; 王苏里等, 2016)。宗务隆构造带夹持于中祁连地块、欧龙布鲁克地块和西秦岭之间,上述争议不仅制约了对宗务隆带自身演化的理解,还可能影响对区域构造衔接关系的重建,理清宗务隆群的形成时代及物质来源对于探讨区域构造演化,理解祁连造山带、柴北缘造山带和西秦岭造山带构造演化及其构造衔接关系,以及特提斯构造域的演化具有重要意义。

与造山带相关的盆地中,沉积物可较完整且有代表性的保存造山带隆升和剥蚀过程信息,对探讨造山带的构造演化具有至关重要的意义(McLennan et al., 2000; Roser et al., 2002; Joo et al., 2005; 闫臻等, 2018)。沉积岩的碎屑成分能够有效的追索其主要的沉积物源,探究物源区物质组成、构造环境及早期地壳的生长演化(McLennan et al., 1995)。锆石对物理—化学风化作用具有极强的抵抗力,常可用于物源追索研究。碎屑锆石年代学研究已经被广泛地应用于追踪物源区特征,揭示碎屑沉积岩成因(Nesbitt

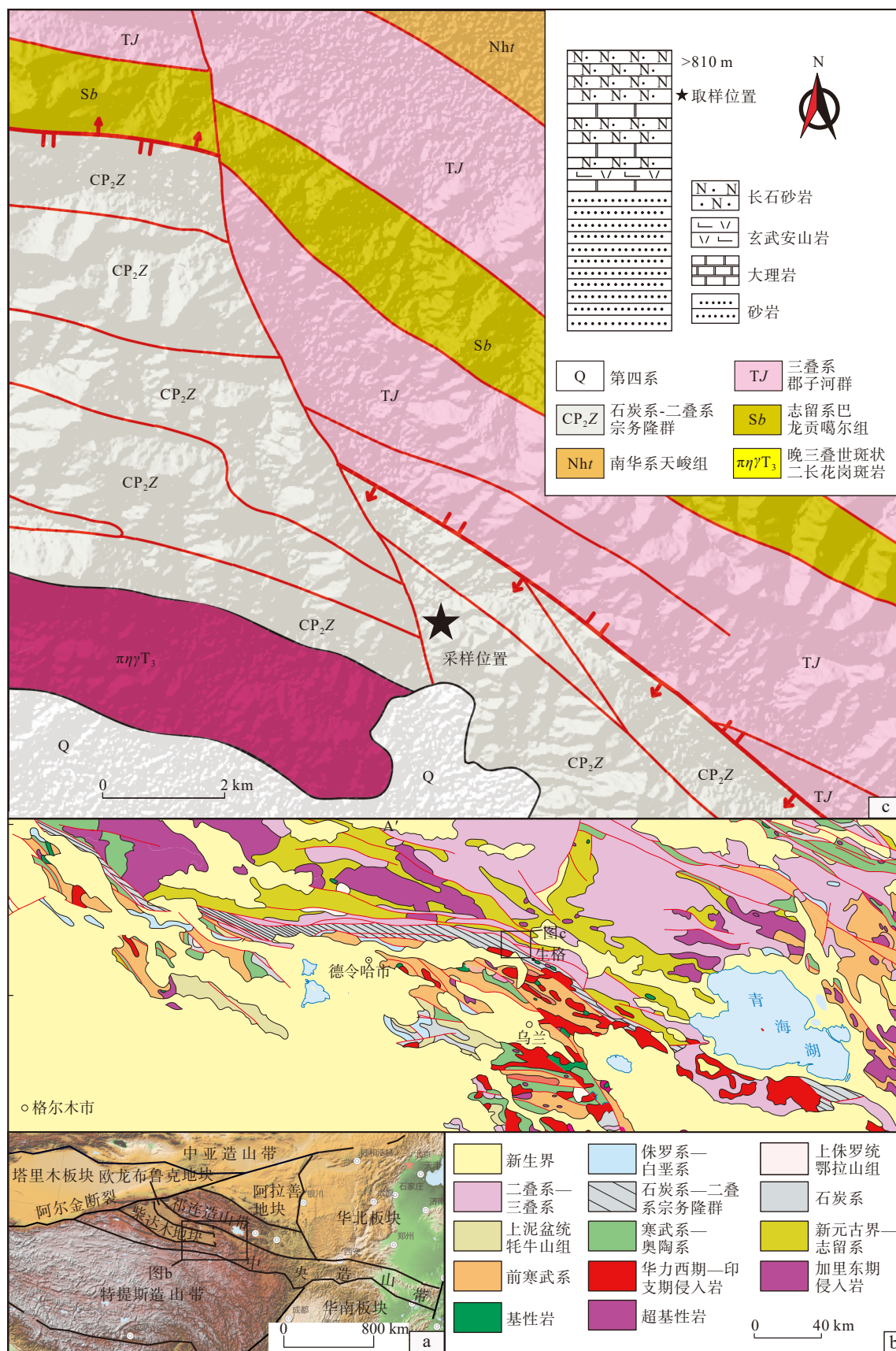


图1 研究区地质简图(A 据 Wu et al., 2020 修改)

Fig. 1 Geological schematic map of the research area

et al., 1982; McLennan et al., 1995; Roser et al., 2002) 和恢复沉积盆地构造环境(Bhatia, 1983; Fedo et al., 1995)。笔者在前人研究的基础上,通过碎屑锆石 U-Pb 年代学、微量元素以及 Lu-Hf 同位素分析工作,研究发育在宗务隆构造带东段生格地区的宗务隆群碎屑岩,进行了物源分析并限定了其沉积时代;利用锆石的年龄谱信息追溯其物源区的构造-热事件,对宗务隆构造带的构造演化和地球动力学过程提供了更多的地质依据。

1 地质背景

宗务隆构造带北与南祁连造山带相邻,南与欧龙布鲁克地块、柴北缘结合带滩间山岩浆弧相邻(张雪亭等, 2010; Fu et al., 2021)。区内地层自古元古代至新生代的地质均有不同程度的发育。区内最古老的地层是古元古界达肯达坂岩群,为欧龙布鲁克地块的基底,多呈不连续的块体分布于宗务隆构造带的南侧。前人研究认为其具有 2.3~2.5 Ga 的形成年龄和 1.8~1.9 Ga 的变质年龄(Song et al., 2006; Lu et al., 2008; Chen et al., 2009; Liao et al., 2014; Yu et al., 2017; Wang et al., 2019; 张建新等, 2021)。欧龙布鲁克地块中覆盖于达肯达坂群之上的全吉群表现为一套盖层沉积。早期的区调工作将其划为南华系—下寒武统的连续沉积,为多数学者及基础地质资料沿用,但张海军等(2016)利用其中的凝灰岩夹层得到了(1 640±15)Ma 和(1 646±20 Ma)的 U-Pb 年龄,将其时代限定为长城系—震旦系,王欣等(2024)在全吉地块发现埃迪卡拉型宏体生物化石以及共生的管状动物化石,将其时代上限进一步限定为埃迪卡拉纪晚期(551~543 Ma)。宗务隆构造带北侧的南祁连地区广泛分布的志留系巴龙贡嘎尔组总体为一套浅变质岩系(张雪亭等, 2010),有学者在其中识别出新元古代地层,从中解体出拐杖山组(计波等, 2021);通过地层中的火山岩夹层的年代学研究,也反映出新元古代(潘建等, 2019)和早古生代(牛广智等, 2016)的不同结果;也有学者通过碎屑锆石研究,认为其沉积时代在新元古代至早古生代(秦宇, 2018; Li et al., 2019; Yan et al., 2020);总体看来,巴龙贡嘎尔组应当是一套新元古代—早古生代的沉积物,是原特提斯洋演化过程的产物。寒武系—奥陶系主要为一套碳酸盐岩沉积(马帅等, 2016)。上古生界发育有上泥盆统的牦牛山组陆相磨拉石,下石

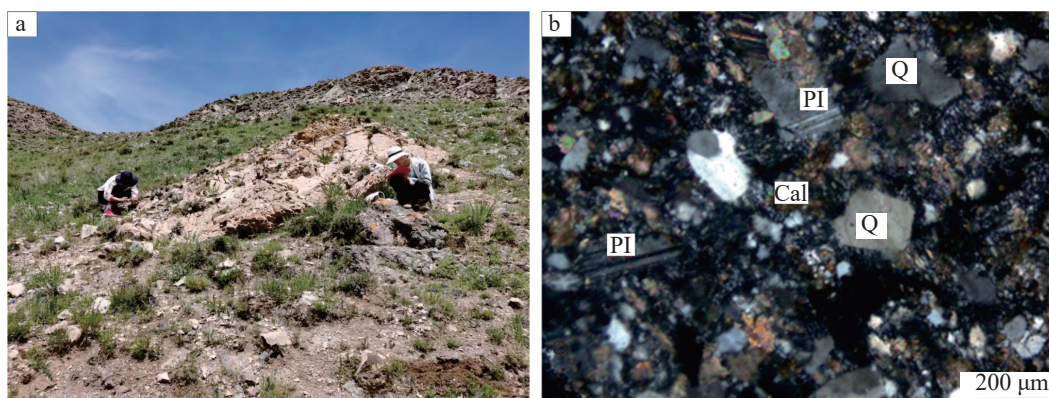
炭统城墙沟组、怀头他拉组稳定被动陆缘沉积(孙矫鹏等, 2015)及石炭系—二叠系宗务隆群。宗务隆群(CP₂Z)是宗务隆构造带内最主要的沉积记录,广泛分布于构造带内,下部主要为碎屑岩夹火山岩建造,其上部主要为浅海相岩屑石英砂岩夹灰岩组合(孙矫鹏等, 2015; Fu et al., 2021)。中—下三叠统隆务河组(T₁₋₂L),在西段主要呈条状分布于宗务隆构造带的南侧,总体岩性特征为一套山麓洪积相堆积,具有磨拉石建造的特征(刘奎等, 2020);在构造带的东段,隆务河组分布广泛,自橡皮山地区向东,与西秦岭造山带的隆务河组可以对比,为典型的复理石碎屑岩沉积(彭志军等, 2016)。

宗务隆构造带大致经历了泥盆纪—石炭纪的裂解(孙延贵等, 2004; 彭渊, 2015),二叠纪—中三叠世的俯冲和晚三叠世的碰撞作用(王毅智等, 2001; 郭安林等, 2009; 王苏里等, 2016; 彭渊等, 2016; Wu et al., 2019; 陈敏等, 2020),并且之后还受到青藏高原隆升的影响,因而其构造十分复杂,褶皱构造和断裂构造极为发育。除中更新世以后地层未经受过褶皱构造变动外,其余各时代地层均遭受过不同程度的褶皱变动。发育有宗务隆山—青海南山北缘断裂和宗务隆山南缘断裂两条主要断裂。这两条边界断裂约束了宗务隆裂谷的形成与演化,现均表现为以逆冲推覆为主要特征的区域性断裂(张雪亭等, 2010; 彭渊, 2015)。研究区的岩浆活动新元古代—早古生代和晚古生代最为强烈,前者主要反映了柴北缘和南祁连加里东期的造山事件,后者则集中在构造带的东段,反映了晚古生代—中生代的构造事件。

2 样品特征与测试方法

2.1 样品特征

样品采自宗务隆构造带东段生格地区的宗务隆群中,采样位置为: N 98°17'17.92", E 37°22'17.89"。样品野外露头显示(图 2a),岩石为土灰色变质长石石英砂岩,中粗粒砂状结构,块状构造。岩石由碎屑(约 77%)、杂基(约 3%)和胶结物(约 20%)组成(图 2b)。碎屑物颗粒大小不均,一般呈次棱角状、次圆状,分选性、磨圆度较差。分布无明显规律性,混杂分布。石英主要为中粗粒砂状结构,呈次棱角状、次圆状,不等粒多边形,晶面较干净,显微裂纹较发育,分选和磨圆中等,较均匀分布。斜长石主要为中粗粒砂状结构,



Q. 石英; Pl. 斜长石; Cal. 方解石

图2 样品野外露头(a)及正交偏光显微特征(b)

Fig. 2 (a) Samples outcropped in the field, and (b) microphotograph under orthogonal polarized light

半自形—自形板条状、他形粒状,具聚片双晶。岩屑呈中粗粒砂状,多为次棱角状、次圆状,较均匀分布。填隙物为与碎屑成分一致的石英、岩屑、斜长石等杂基,以及硅质、钙质胶结物,沿碎屑周边分布。岩石支撑类型为杂基支撑,胶结类型为基底式胶结。

2.2 测试方法

锆石 U-Pb 定年样品经人工破碎后按照常规方法分选锆石,在双目镜下挑选透明、晶形完好的锆石颗粒,粘于环氧树脂表面,固化后抛光至露出一个光洁平面,然后进行透、反射光和阴极发光(CL)照相,结合这些图像选择最佳锆石进行定年测试。

测试分析由武汉上谱分析科技有限责任公司利用 LA-ICP-MS 同时分析完成。详细的仪器参数和分析流程见 Zong 等(2017)。GeolasPro 激光剥蚀系统由 COMPexPro 102 ArF 193 nm 准分子激光器和 Micro-Las 光学系统组成,ICP-MS 型号为 Agilent 7700e。激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度,二者在进入 ICP 之前通过一个 T 型接头混合,激光剥蚀系统配置有信号平滑装置。U-Pb 同位素定年和微量元素含量处理中采用锆石标准 91500 和玻璃标准物质 NIST610 作外标分别进行同位素和微量元素分馏校正。Hf 同位素测试使用相干 193 nm 准分子激光剥蚀系统(GeoLas HD)和多接收质谱仪 MC-ICP-MS(Neptune Plus)。准分子激光发生器产生的深紫外光束经匀化光路聚焦于锆石表面,能量密度为 10 J/cm^2 ,束斑直径为 $44 \mu\text{m}$,频率为 8 Hz,剥蚀气溶胶由氦气送入 MC-ICP-MS 完成测试。测试过程中每隔 6 颗样品锆石,依次测试 1 颗标准锆石(包括 GJ-1、91500、Plešovice、Mud Tank、Penglai),以检验锆石 Hf

同位素比值数据质量。

3 测试结果

3.1 碎屑锆石 U-Pb 年龄测试结果

本次工作所采样品共计取得 85 个年龄测试数据,其中不谐和数据 2 个(表 1)。样品的碎屑锆石大多为自形或半自形晶,晶体多呈粒状或椭球状,少量为短柱状、锥状。锆石粒径一般为 $50 \sim 150 \mu\text{m}$,长宽比为 $1:1 \sim 2:1$ 。CL 图像显示(图 3a),锆石的发光性总体较低,颗粒大多内部具有较为明显的振荡环带结构,锆石的 Th/U 值总体较高($0.24 \sim 1.18$),除 20、39、64 等 3 个测点 Th/U 值小于 0.3($0.24 \sim 0.26$)外,其余测点均大于 0.3,表明锆石主要为岩浆成因(Corfu et al., 2003)。83 个谐和的年龄数据中,太古代年龄有 2 个(2 524 Ma 和 2 548 Ma),元古代年龄有 6 个($660 \sim 1\,339 \text{ Ma}$),46 个年龄分布于寒武纪—志留纪($519 \sim 420 \text{ Ma}$),29 个年龄分布于泥盆纪—二叠纪($418 \sim 259 \text{ Ma}$),反映出了 431.2 Ma 和 268.8 Ma 两个主要年龄峰值(图 3b)。

3.2 Hf 同位素测试结果

在样品中选取了不同年龄的部分锆石进行了 Hf 同位素的测试分析(表 2)。测试数据表现出较宽的 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 值 ($0.000\,508 \sim 0.001\,539\,36$) 和 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值 ($0.281\,330 \sim 0.282\,768$), $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 值均小于 0.002,表明锆石中放射性成因的 ^{176}Hf 积累很少。样品的 $f_{\text{Lu/Hf}}$ 值为 $-0.95 \sim -1$,平均值为 -0.97 ,低于镁铁质地壳的 $f_{\text{Lu/Hf}}$ 值(-0.34)和硅铝质地壳的 $f_{\text{Lu/Hf}}$ 值(-0.72)(Amelin et al., 1999),表明碎屑锆石的源区岩石经历了地壳分

表 1 宗务隆群碎屑岩锆石 U-Pb 年龄分析结果

Tab. 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results for the Zongwulong Group clastic rocks

测点	含量 (10 ⁻⁶)		Th/U	同位素比值								年龄 (Ma)					
	²³² Th	²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ		
1	583	825	0.71	0.056 7	0.001 4	0.534 5	0.012 6	0.068 1	0.000 5	435	8.3	425	3.3	424	7.8		
2	707	739	0.96	0.057 9	0.001 4	0.579 6	0.014 0	0.072 3	0.000 6	464	9.0	450	3.7	475	8.0		
3	320	285	1.12	0.052 0	0.001 8	0.385 5	0.013 5	0.053 6	0.000 4	331	9.9	337	2.7	349	6.2		
4	233	379	0.61	0.060 5	0.001 7	0.589 2	0.017 3	0.070 1	0.000 7	470	11.1	437	4.4	459	9.8		
5	47.5	101	0.47	0.057 6	0.003 2	0.315 5	0.016 8	0.039 7	0.000 6	278	13.0	251	3.4	260	9.6		
6	146	306	0.48	0.048 9	0.001 7	0.285 1	0.010 0	0.042 2	0.000 4	255	7.9	266	2.5	264	7.0		
7	159	278	0.57	0.054 2	0.001 5	0.549 9	0.014 8	0.073 4	0.000 6	445	9.7	457	3.6	454	8.5		
8	369	559	0.66	0.054 1	0.001 4	0.442 2	0.010 2	0.059 3	0.000 5	372	7.2	371	3.1	375	6.7		
9	191	329	0.58	0.050 4	0.012 9	0.634 3	0.136 9	0.067 7	0.001 5	499	85.1	423	9.0	634	101.7		
10	216	385	0.56	0.054 0	0.001 5	0.518 9	0.013 6	0.069 6	0.000 5	424	9.1	434	3.2	442	7.7		
11	101	115	0.88	0.054 3	0.003 1	0.339 0	0.019 0	0.045 3	0.000 7	296	14.4	286	4.1	297	8.4		
12	205	365	0.56	0.054 3	0.001 5	0.513 8	0.013 7	0.068 8	0.000 6	421	9.2	429	3.6	432	8.5		
13	552	949	0.58	0.054 0	0.001 1	0.468 4	0.010 1	0.062 8	0.000 7	390	7.0	393	4.1	403	7.5		
14	226	367	0.62	0.051 0	0.001 7	0.295 1	0.009 7	0.042 0	0.000 4	263	7.6	265	2.3	274	5.7		
15	389	422	0.92	0.055 8	0.001 3	0.560 7	0.013 5	0.072 8	0.000 7	452	8.8	453	3.9	459	8.2		
16	155	153	1.02	0.052 4	0.002 4	0.375 2	0.016 8	0.052 2	0.000 6	323	12.4	328	3.8	332	6.3		
17	187	331	0.56	0.055 2	0.001 7	0.531 3	0.015 2	0.070 0	0.000 7	433	10.1	436	4.0	448	8.7		
18	54.8	115	0.48	0.086 0	0.002 0	2.772 7	0.062 0	0.233 6	0.002 1	1 348	16.7	1 353	10.9	1 395	27.4		
19	223	418	0.53	0.053 3	0.001 4	0.514 8	0.013 0	0.070 0	0.000 6	422	8.7	436	3.7	431	8.8		
20	91.5	380	0.24	0.053 0	0.001 4	0.493 5	0.013 1	0.067 4	0.000 5	407	8.9	421	3.2	403	8.7		
21	166	312	0.53	0.053 7	0.001 8	0.317 3	0.010 5	0.042 9	0.000 4	280	8.1	271	2.5	264	6.3		
22	179	272	0.66	0.054 6	0.001 8	0.526 7	0.016 9	0.069 8	0.000 7	430	11.2	435	4.1	463	8.4		
23	244	463	0.53	0.050 3	0.001 4	0.284 8	0.007 8	0.041 0	0.000 3	254	6.2	259	2.1	278	5.7		
24	91.3	171	0.53	0.057 2	0.002 1	0.549 3	0.019 7	0.070 1	0.000 8	445	12.9	437	5.0	438	11.1		
25	298	536	0.56	0.055 4	0.001 4	0.559 2	0.013 9	0.073 3	0.000 7	451	9.1	456	3.9	476	9.3		
26	141	132	1.06	0.051 2	0.002 2	0.467 9	0.019 3	0.067 1	0.000 7	390	13.3	418	4.3	423	8.8		
27	132	299	0.44	0.169 0	0.002 6	10.666 5	0.171 3	0.456 8	0.003 0	2 495	15.0	2 426	13.5	2 477	33.9		
28	117	180	0.65	0.056 7	0.002 1	0.593 7	0.021 5	0.075 8	0.000 7	473	13.7	471	4.2	456	9.6		
29	151	258	0.59	0.057 9	0.001 7	0.541 0	0.015 8	0.067 5	0.000 5	439	10.4	421	3.3	423	8.5		
30	122	125	0.98	0.079 5	0.001 9	2.062 3	0.047 1	0.187 9	0.001 4	1 136	15.6	1 110	7.5	1 113	18.3		
31	105	166	0.63	0.055 9	0.002 4	0.337 8	0.014 1	0.043 9	0.000 5	295	10.7	277	2.8	278	7.5		
32	161	303	0.53	0.056 1	0.001 5	0.535 2	0.014 1	0.069 0	0.000 5	435	9.3	430	3.0	439	8.4		
33	177	321	0.55	0.054 9	0.001 5	0.532 1	0.014 3	0.070 2	0.000 7	433	9.5	438	4.4	445	9.0		
34	247	351	0.71	0.054 3	0.001 7	0.318 9	0.009 9	0.042 5	0.000 4	281	7.6	269	2.3	271	5.5		
35	134	230	0.58	0.068 9	0.001 5	1.531 6	0.033 3	0.160 8	0.001 1	943	13.4	961	6.3	951	16.1		
36	178	342	0.52	0.053 7	0.001 3	0.510 6	0.012 0	0.068 8	0.000 5	419	8.1	429	3.1	414	7.2		
37	78.9	237	0.33	0.070 8	0.001 4	1.490 3	0.030 8	0.152 0	0.001 1	926	12.6	912	6.0	929	17.5		
38	267	448	0.60	0.053 5	0.001 4	0.500 1	0.013 0	0.067 4	0.000 5	412	8.8	420	3.3	406	7.1		
39	240	907	0.26	0.065 4	0.001 2	0.986 4	0.031 8	0.107 8	0.002 5	697	16.3	660	14.4	750	22.2		
40	178	243	0.73	0.050 9	0.002 0	0.300 6	0.011 2	0.042 9	0.000 4	267	8.8	271	2.4	278	6.5		
41	168	232	0.72	0.055 0	0.001 5	0.525 4	0.014 1	0.069 2	0.000 5	429	9.4	431	3.3	433	9.2		
42	263	419	0.63	0.055 4	0.001 4	0.441 9	0.011 0	0.057 8	0.000 5	372	7.8	362	3.0	358	6.5		

续表 1

测点	含量 (10^{-6})		Th/U	同位素比值						年龄 (Ma)					
	^{232}Th	^{238}U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
43	221	364	0.61	0.059 3	0.001 5	0.534 9	0.012 6	0.065 5	0.000 5	435	8.3	409	2.9	399	6.5
44	134	325	0.41	0.055 0	0.001 7	0.520 6	0.015 4	0.068 7	0.000 6	426	10.3	429	3.6	446	8.6
45	92.4	167	0.55	0.058 9	0.002 1	0.610 8	0.020 8	0.075 5	0.000 8	484	13.1	469	4.8	495	11.9
46	213	366	0.58	0.055 4	0.001 4	0.578 7	0.014 6	0.075 6	0.000 8	464	9.4	470	5.1	483	9.7
47	185	303	0.61	0.054 2	0.001 6	0.532 6	0.016 6	0.071 0	0.000 7	434	11.0	442	4.2	451	9.0
48	336	451	0.74	0.055 4	0.001 3	0.532 6	0.012 8	0.069 7	0.000 6	434	8.5	434	3.9	434	7.7
49	123	258	0.48	0.059 4	0.001 8	0.569 2	0.016 1	0.069 6	0.000 5	457	10.4	434	3.1	462	9.6
50	124	164	0.75	0.054 9	0.002 1	0.524 2	0.021 2	0.069 0	0.000 7	428	14.1	430	4.4	432	9.1
51	300	669	0.45	0.060 3	0.001 4	0.619 4	0.014 8	0.074 2	0.000 6	489	9.3	462	3.5	500	9.4
52	149	200	0.74	0.055 8	0.002 1	0.522 4	0.019 2	0.068 0	0.000 7	427	12.8	424	4.0	432	9.9
53	161	153	1.05	0.053 7	0.002 6	0.408 4	0.020 4	0.055 2	0.000 7	348	14.7	346	4.2	363	8.1
54	91.8	212	0.43	0.060 4	0.001 9	0.544 1	0.017 1	0.065 2	0.000 6	441	11.2	407	3.7	414	10.2
55	333	388	0.86	0.055 2	0.001 6	0.515 0	0.014 9	0.067 3	0.000 5	422	10.0	420	3.1	423	7.7
56	273	358	0.76	0.056 7	0.001 5	0.519 7	0.014 0	0.066 1	0.000 6	425	9.4	413	3.5	414	7.4
57	221	249	0.89	0.055 1	0.001 9	0.543 6	0.019 0	0.071 4	0.000 9	441	12.5	444	5.4	476	10.4
58	88.1	124	0.71	0.067 4	0.002 0	1.371 3	0.039 2	0.147 7	0.001 5	877	16.8	888	8.3	934	19.8
59	89.7	170	0.53	0.054 2	0.002 7	0.310 8	0.015 1	0.041 8	0.000 5	275	11.7	264	3.2	271	7.9
60	143	278	0.52	0.054 8	0.001 6	0.505 8	0.014 8	0.067 0	0.000 6	416	10.0	418	3.7	425	8.0
61	183	252	0.72	0.053 2	0.001 8	0.353 9	0.011 8	0.048 3	0.000 5	308	8.9	304	3.2	324	7.2
62	484	597	0.81	0.055 6	0.001 3	0.575 5	0.015 7	0.074 8	0.000 9	462	10.1	465	5.4	482	10.4
63	187	434	0.43	0.054 9	0.001 4	0.519 4	0.013 5	0.068 7	0.000 6	425	9.0	428	3.5	419	9.0
64	124	474	0.26	0.054 5	0.001 5	0.513 9	0.014 5	0.068 4	0.000 7	421	9.7	426	4.4	446	10.5
65	195	285	0.68	0.061 0	0.002 1	0.624 7	0.021 6	0.074 5	0.000 6	493	13.5	463	3.8	495	9.6
66	297	457	0.65	0.058 3	0.001 5	0.591 7	0.013 9	0.073 8	0.000 5	472	8.9	459	3.1	464	8.1
67	77.7	122	0.64	0.056 4	0.002 3	0.524 1	0.022 0	0.067 6	0.000 8	428	14.7	422	5.1	431	11.3
68	170	316	0.54	0.051 1	0.002 1	0.325 7	0.013 5	0.046 3	0.000 5	286	10.3	292	3.3	319	8.1
69	261	325	0.80	0.057 0	0.001 9	0.588 2	0.019 8	0.074 9	0.000 8	470	12.7	466	5.0	498	11.3
70	274	381	0.72	0.057 8	0.001 6	0.585 1	0.016 6	0.073 2	0.000 7	468	10.6	455	4.1	470	9.1
71	190	295	0.64	0.052 6	0.002 2	0.314 7	0.012 7	0.043 6	0.000 5	278	9.8	275	2.9	286	7.5
72	134	163	0.82	0.166 7	0.002 6	11.113 3	0.171 9	0.482 3	0.003 4	2 533	14.5	2 537	15.0	2 675	35.9
73	324	356	0.91	0.052 4	0.001 6	0.341 9	0.010 6	0.047 4	0.000 4	299	8.0	298	2.5	317	6.0
74	116	314	0.37	0.057 6	0.001 8	0.591 9	0.018 8	0.074 5	0.000 8	472	12.0	463	4.7	483	11.7
75	151	128	1.18	0.055 8	0.003 0	0.339 8	0.017 5	0.044 6	0.000 7	297	13.2	281	4.2	296	7.8
76	129	173	0.75	0.058 4	0.002 2	0.534 4	0.020 2	0.066 3	0.000 6	435	13.4	414	3.9	409	8.1
77	190	305	0.62	0.050 7	0.001 8	0.290 2	0.010 7	0.041 4	0.000 4	259	8.5	261	2.5	261	5.5
78	297	336	0.88	0.055 7	0.001 4	0.514 8	0.012 7	0.067 0	0.000 5	422	8.5	418	2.9	394	5.7
79	107	319	0.34	0.054 2	0.001 5	0.512 0	0.014 7	0.068 4	0.000 6	420	9.9	426	3.5	429	7.9
80	376	353	1.07	0.055 0	0.001 4	0.510 6	0.013 1	0.067 3	0.000 5	419	8.8	420	3.0	410	6.3
81	278	467	0.59	0.055 1	0.001 3	0.512 3	0.011 9	0.067 3	0.000 5	420	8.0	420	3.1	413	7.0
82	208	423	0.49	0.054 0	0.001 4	0.493 2	0.013 0	0.066 1	0.000 6	407	8.9	413	3.4	416	8.7
83	78.0	139	0.56	0.053 8	0.001 8	0.619 2	0.020 2	0.083 8	0.000 9	489	12.7	519	5.5	525	12.1
84	169	253	0.67	0.062 7	0.001 8	0.638 2	0.019 3	0.073 6	0.000 9	501	12.0	458	5.4	402	9.9
85	262	406	0.65	0.056 1	0.001 4	0.554 1	0.013 3	0.071 6	0.000 5	448	8.7	446	3.3	434	7.4

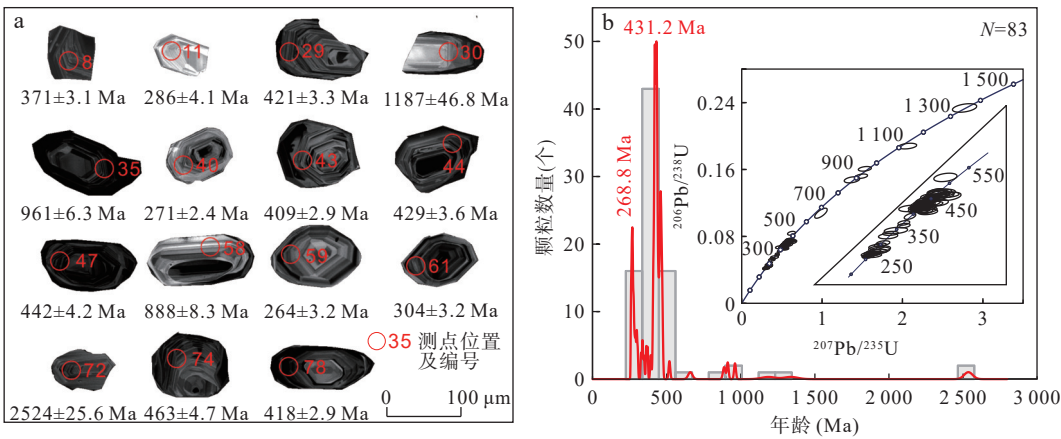


图3 宗务隆群代表性碎屑锆石 CL 图像(a)及年龄分布图(b)

Fig. 3 (a) CL image and (b) age distribution histogram of representative detrital zircons from the Zongwulong Group

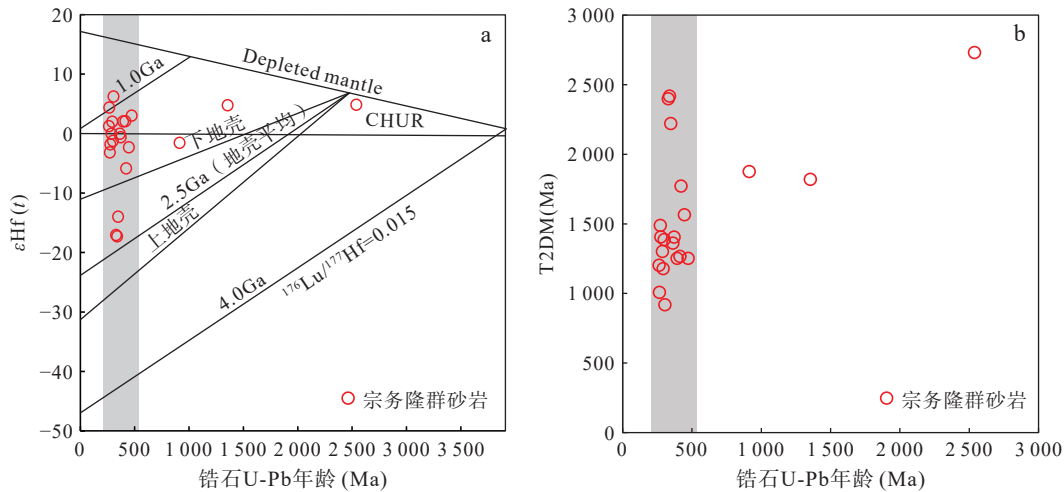
表 2 隆务河组碎屑岩锆石 Hf 同位素数据

Tab. 2 Hf isotopic compositions of zircons from the Zongwulong Group clastic rocks

测点编号	年龄 (Ma)	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$	$T_{\text{DM}} \text{ (Ma)}$	$T_{2\text{DM}} \text{ (Ma)}$	$f_{\text{Lu/Hf}}$
3	337	0.001 077	0.282 082	0.038 756	-17.3	1 651	2 418	-0.97
8	371	0.000 877	0.282 530	0.034 287	-0.6	1 018	1 405	-0.97
11	286	0.001 030	0.282 600	0.038 750	0.0	924	1 302	-0.97
13	393	0.001 237	0.282 595	0.048 839	2.1	936	1 252	-0.96
14	265	0.000 994	0.282 736	0.036 859	4.4	731	1 008	-0.97
16	328	0.000 819	0.282 091	0.027 015	-17.1	1 627	2 399	-0.98
18	1 353	0.000 775	0.282 077	0.029 185	4.8	1 644	1 820	-0.98
28	471	0.000 690	0.282 570	0.024 947	3.0	957	1 252	-0.98
37	912	0.001 548	0.282 185	0.062 091	-1.5	1 526	1 876	-0.95
38	420	0.000 649	0.282 350	0.025 601	-5.9	1 262	1 772	-0.98
40	271	0.000 867	0.282 519	0.031 442	-3.2	1 033	1 489	-0.97
42	362	0.000 844	0.282 552	0.032 949	0.0	987	1 361	-0.97
53	346	0.000 757	0.282 167	0.025 977	-14.0	1 519	2 221	-0.98
57	444	0.000 680	0.282 436	0.024 568	-2.3	1 143	1 566	-0.98
61	304	0.001 361	0.282 768	0.051 084	6.3	693	919	-0.96
68	292	0.001 064	0.282 653	0.033 187	2.0	849	1 178	-0.97
71	275	0.001 033	0.282 555	0.028 714	-1.8	987	1 407	-0.97
72	2 537	0.000 661	0.281 330	0.026 103	4.8	2 658	2 732	-0.98
73	298	0.000 639	0.282 556	0.022 265	-1.2	976	1 388	-0.98
77	261	0.001 024	0.282 650	0.038 357	1.3	853	1 203	-0.97
82	413	0.000 508	0.282 578	0.017 893	2.1	942	1 267	-0.98

异过程,因此二阶段模式年龄更能反映其源区物质从亏损地幔中被抽取的时间。锆石具有较宽的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值 (-17.2~6.3), 8 个测点 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值较低 (-1.5~-17.3), 表明这些碎屑锆石经历了地壳物质的再循环,其二阶段模式年龄为 1 407~2 418 Ma。8 个测点 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值接近于 0 (-1.2~2.1), 指示来源于新生地壳或未经长期

分异的源区(Belousova et al., 2010), 其二阶段模式年龄为 1 178~1 405 Ma。5 个测点 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值相对较高 (3.0~6.3), 指示可能来源于混合源区(如幔源岩浆与古老地壳部分熔融)(Xu et al., 2022), 其二阶段模式年龄可分为 919~1 252 Ma、1 820 Ma 和 2 732 Ma 等 3 个阶段(图 4)。



亏损地幔、球粒陨石及平均地壳演化线据 Blichert-Toft 等(1997)和 Griffin 等(2000)

图4 宗务隆群碎屑岩碎屑锆石 $\varepsilon\text{Hf}(t)$ -U-Pb 年龄图(a)和二阶段 Hf 模式年龄图(b)

Fig. 4 (a) Plots of $\varepsilon\text{Hf}(t)$ vs. U-Pb ages for detrital zircons, and (b) two-stage Hf model age of clastic rocks from Zongwulong Group

4 讨论

4.1 沉积时代及物源分析

宗务隆群的形成时代长期以来存在争议(汤良杰等, 1999; 王毅智等, 2001; 朱如凯等, 2007; 彭渊等, 2018)。碎屑锆石中最年轻的锆石年龄通常用于约束地层的最大沉积时代(沉积下限)(Dickinson et al., 2009; Tucker et al., 2013; 查显锋等, 2024)。本次研究中, 样品中最年轻的 10% 碎屑锆石 Th/U 值比较高(0.48~0.71), CL 图像显示, 锆石均具有震荡环带, 表明锆石为岩浆成因。碎屑锆石 U-Pb 年龄为 259~271 Ma, 加权平均年龄为(266.6±0.9)Ma, 表明该地层的沉积时代不早于中二叠世。但不同学者在不同地区和层位所取的样品, 年代差异较大, 可能是由于构造带内沉积过程较长, 且受后期变形影响, 层序不明, 结合区域构造演化来看, 宗务隆群可能是由早泥盆世开始发育的裂谷直至隆升前的沉积混杂而成。

关于宗务隆群的物质来源, 存在来自北部南祁连构造带和南部柴北缘构造带的不同观点(汤良杰等, 1999; 朱如凯等, 2007; 杨超等, 2010; 袁亚娟等, 2012; 孙娇鹏等, 2015)。碎屑锆石作为沉积岩中极为稳定的副矿物, 具有较高的封闭性和抗风化能力, 其岩浆锆石年龄记录了地层形成后的岩浆侵入事件, 同时也可用于示踪区域岩浆-变质事件(Dickinson et al., 2009)。区域上, 早古生代的造山作用在南祁连和柴北缘地区均十分强烈, 难以从年龄谱中找到它们的差

异。但晚古生代以来, 柴北缘地区泥盆纪早期进入造山后伸展作用阶段(吴才来等, 2007; 朱小辉等, 2015; 秦宇, 2018), 宗务隆构造带可能在此背景下发生拉张裂隙, 随后于晚石炭世(Rb/Sr 年龄为 318 Ma)出现宗务隆洋盆(王毅智等, 2001)。洋壳向南的俯冲活动发生于晚二叠世—中三叠世期间, 并形成乌兰北东以中酸性火山岩为代表的岛弧地体(郭安林等, 2009; 王苏里等, 2016; 彭渊等, 2016; Wu et al., 2019)。本次研究的样品中, 共有 23 颗碎屑锆石年龄属晚古生代, 占比约为 27.7%, 年龄为 418~259 Ma, 峰值年龄为 268.8 Ma。这一年龄记录与南侧柴北缘地区的岩浆演化一致, 而北侧的南祁连地区缺少相应的岩浆活动, 二叠纪—三叠纪发育有稳定的陆表海沉积(张雪亭等, 2010)。锆石的微量元素判别图(图 5a~图 5e)显示, 样品的碎屑锆石来源于与弧相关的大陆地壳锆石, 与构造带东段发育的陆缘弧可以对比。以本次研究给出的沉积下限(266.6 Ma)作为沉积时代, 年龄累积概率图(图 5f)显示, 样品的碎屑锆石主要处于板块汇聚范围, 同样支持该沉积岩形成于活动陆缘环境, 而非南祁连这样的稳定环境。因此, 生格地区宗务隆群碎屑岩中的锆石可能由南侧的柴北缘构造带提供, 与彭渊等(2018)对德令哈附近宗务隆群的分析结果一致。

4.2 宗务隆构造带东西段的地质差异

宗务隆构造带的东西段具有较大的地质差异, 如东段晚古生代—中生代的岩浆活动十分强烈(王毅智等, 2001; 郭安林等, 2009; 王苏里等, 2016; 彭渊等,

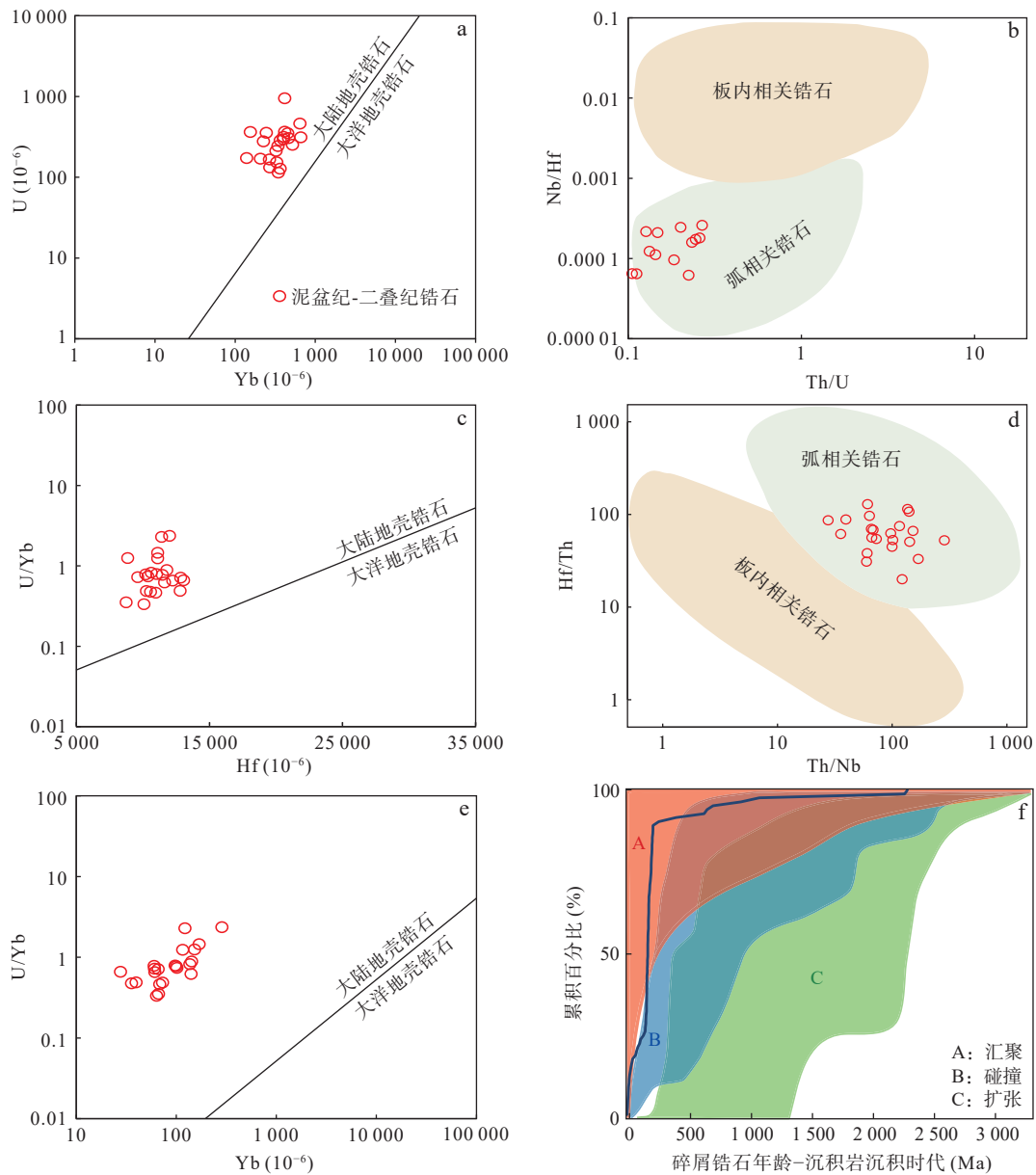


图5 碎屑锆石微量元素判别图解(a~e)(底图据 Grimes et al., 2007; Yang et al., 2012)和碎屑锆石年龄(结晶年龄与推测沉积年龄之差)累积概率图(f)(底图据 Cawood et al., 2012)

Fig. 5 (a~e) Discrimination diagrams for detrital zircons of trace elements, and (f) cumulative proportion curves for the difference of the crystallization age of detrital zircons with the depositional age of sedimentary rocks

2016; Wu et al., 2019; 陈敏等, 2020), 但构造带的西段岩浆活动则十分微弱(图1)。沉积建造上也表现出明显的不同, 带内宗务隆群显示出西段地区的沉积环境仅出现浅海相, 缺乏半深海—深海沉积(赵文涛等, 2023), 而东段生格地区具有蛇绿岩套的组合, 表明有一定规模的洋壳出现(王毅智等, 2001), 东段的橡皮山地区虽未发现蛇绿岩, 但沉积组合也显示了洋盆的扩张作用(冯钊, 2016)。构造带的隆务河组在西段表现出初期为山麓洪积相堆积, 其后海水时进时退的海

陆交互相沉积环境, 具有磨拉石建造的特征(刘奎等, 2020; 王波等, 2024); 东段与西秦岭构造带的隆务河组基本相似, 均为较典型的复理石建造(彭志军等, 2016)。在构造带的东段, 本次及前人碎屑锆石的研究反映具有晚古生代的年龄峰值(赵文涛等, 2020, 2023), 与东段晚古生代—中生代的岩浆活动可以对应, 而构造带西段所做的碎屑锆石研究(彭渊等, 2018; 赵文涛等, 2022, 2023; 王波等, 2024), 均缺少此阶段的年龄记录(图6), 在宗务隆构造带西段巴罗根郭勒

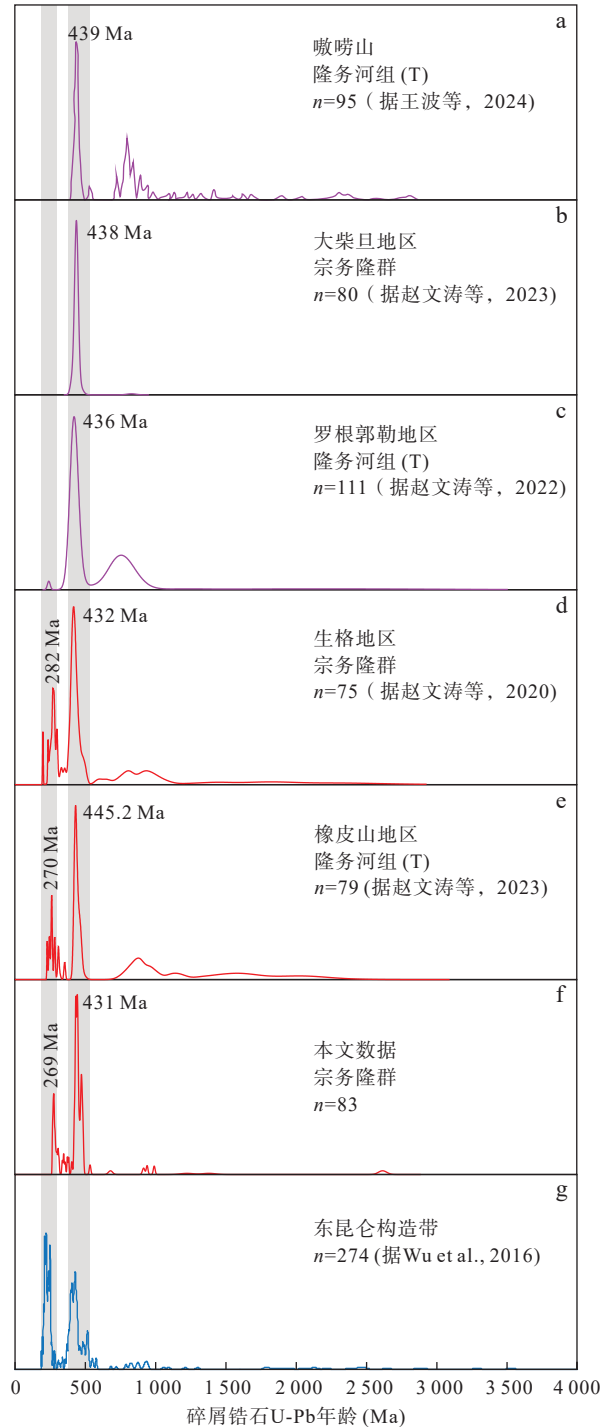
地区的基性岩墙(U-Pb 年龄为 289 ± 1 Ma)(Chen et al., 2024), 同样表现出板内碱性玄武岩的特征, 暗示宗务隆东段有限洋盆发育期间, 西段仍处于板内伸展环境。因而, 宗务隆构造带东西段的构造演化可能并不相同, 构造带的西段可能并未发育如东段的有限洋盆。

4.3 宗务隆构造带泥盆纪—三叠纪构造演化

对于宗务隆带的构造属性, 多认为是晚古生代以来活动的构造带(王毅智等, 2001; 孙延贵等, 2004; 郭安林等, 2009; 彭渊, 2015; 彭渊等, 2016; 王苏里等, 2016; Wu et al., 2019; 陈敏等, 2020)。但宗务隆构造带内同样存在加里东期的年龄记录, 如孙娇鹏等(2015)在宗务隆构造带内大柴旦和乌兰地区的变质岩中获得 $433 \sim 497$ Ma 加权平均年龄, 特别是天峻南山蛇绿岩中发现寒武纪的蛇绿岩(509 ± 4 Ma), 显示出早古生代残余洋盆的存在(付长垒等, 2021)。本次工作以及前人的在宗务隆构造带内及邻区的碎屑锆石研究, 也反映出具有早古生代的年龄峰值(图 6), 并且沉积岩的地球化学特征也显示物源区多与活动大陆边缘和大陆岛弧环境相关(彭渊, 2018; 赵文涛, 2023), 均表明在早古生代的造山过程中, 宗务隆构造带在早古生代可能作为南祁连造山带的边缘部分, 参与了原特提斯洋的演化。

宗务隆构造带及邻区晚古生代存在大量早期伸展构造活动的记录, 可能反映了裂谷化和宗务隆初始洋盆的开启。例如, 察汗诺地区角闪辉长岩(416 ± 5 Ma)(彭渊, 2015)与乌兰霍德生沟 A2 型花岗岩(413 ± 3 Ma)(Wu et al., 2019)指示了后造山伸展作用, 哇洪山—温泉断裂带内同构造期的白云母 K-Ar 年龄($415.6 \pm 6 \sim 419.5 \pm 6$ Ma)(张拴宏等, 2003), 证实此阶段深部伸展导致了断层活动的发生。中晚泥盆世双峰式火山岩(张耀玲等, 2018)及苦海—赛什塘辉绿岩墙群(393.5 ± 3.0 Ma)(孙延贵, 2004)的发现, 进一步说明, 区域伸展作用的存在。样品 $393 \sim 418$ Ma(9 颗)的碎屑锆石应当是这一阶段伸展活动的记录, 反映了宗务隆初期裂谷的形成(图 7a)。

随着扩张的加剧, 古特提斯洋逐渐打开, 阿尼玛卿带布青山蛇绿混杂岩包含 $262 \sim 353$ Ma 洋壳残片(Bian et al., 1999; 杨经绥等, 2005; 刘战庆等, 2011), 表明古特提斯洋盆最晚于晚泥盆世(353 Ma)已形成; 鄂拉山构造带苦海—赛什塘蛇绿构造混杂岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄($358.9 \pm 3.2 \sim 387.3 \pm 2.3$ Ma)(王秉璋等, 2000; 孙延贵等, 2004; 张智勇等, 2004)反映该带在晚泥盆世—



A~C. 构造带西段; D~F. 构造带东段

图6 碎屑锆石 U-Pb 年龄标准化相对概率图

Fig. 6 Normalized relative probability plots of detrital zircon U-Pb ages

早石炭世发生了洋盆扩张; 宗务隆构造带内天峻南山石炭纪蛇绿岩($318 \sim 331$ Ma)(王毅智等, 2001), 显示其洋壳发育时限与阿尼玛卿带同步。碎屑锆石中 $259 \sim 371$ Ma 的年龄分布与该阶段演化记录基本吻合,

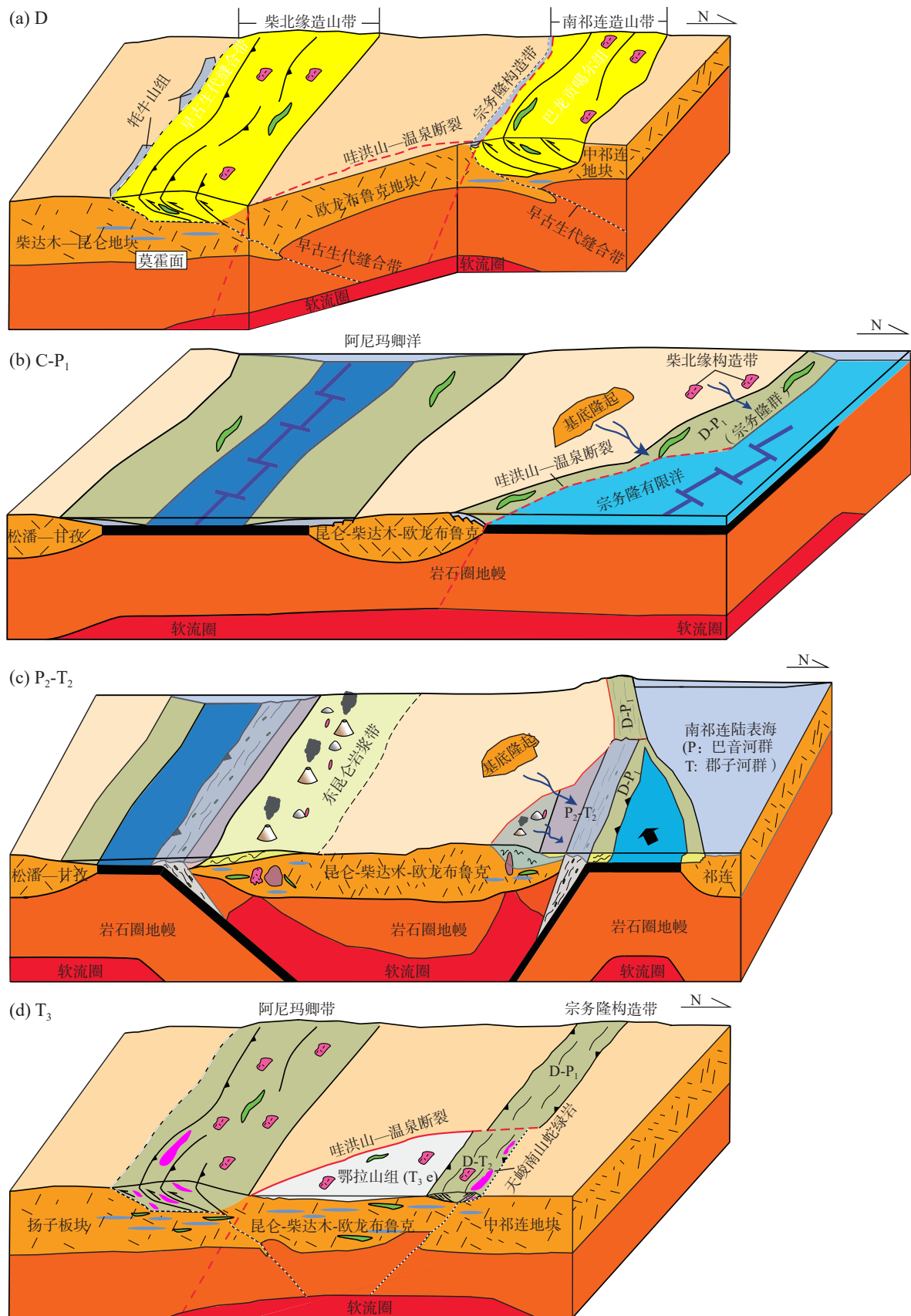


图7 宗务隆构造带泥盆纪—三叠纪演化示意图

Fig. 7 Schematic Diagram of the Devonian–Triassic Evolution of the Zongwulong Tectonic Belt

也与东昆仑地区的年龄谱系相似(图6), 暗示宗务隆洋盆可能作为古特提斯洋最北部的分支, 经鄂拉山东侧与主洋盆连通, 但构造带的西段可能并未发育如东段的有限洋盆(图7b)。

前人对宗务隆构造带东部乌兰-青海南山的区域岩浆活动的研究, 认为中二叠世—中三叠世期间形成的乌兰北东以中酸性火山岩为代表的岛弧地体是洋盆向南俯冲活动的产物(王毅智等, 2001; 郭安林等, 2009; 王苏里等, 2016; 彭渊等, 2016; Wu et al., 2019)(图7c), 俯冲约持续 40 Ma, 青海南山地区二郎洞(230±3 Ma)和天峻南山关角日吉(215±1 Ma)A1 型花岗岩类的发育(郭安林等, 2009), 表明宗务隆构造带在晚三叠世发生闭合, 进入了碰撞造山阶段(图7d)。由于构造带的西段并未发育洋盆, 在东段俯冲闭合时, 缺乏相应的岩浆活动, 分界可能由哇洪山温泉断裂控制。这种空间分异表明古特提斯洋北向分支的扩张作用在区域上具有非均一性, 反映出古特提斯构造域北缘复杂的演化过程。

5 结论

(1) 宗务隆构造带生格地区的宗务隆群可能形成于中二叠世。

(2) 宗务隆构造带东段的宗务隆群可能来源于南侧柴北缘构造带的剥蚀。

(3) 宗务隆构造带东西段的构造演化具有不同的历程, 东段发育有限洋盆, 而西段并未出现, 二者的转换可能由哇洪山—温泉断裂控制。

致谢: 感谢审稿专家的宝贵意见, 感谢青海省第一地质勘查院李波、王显真等同志在野外工作中提供的帮助, 在此一并致谢!

参考文献(References):

- 陈敏, 薛春纪, 薛万文, 等. 柴北缘宗务隆构造带蓄集地区闪长岩的发现及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2020, 39(5): 44–60.
- CHEN Min, XUE Chunji, XUE Wanwen, et al. Discovery and geological significance of Xuji diorite in Zongwulong tectonic belt on the northern margin of Qaidam Basin[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2020, 39(5): 44–60.
- 冯钊. 青海省橡皮山石炭、三叠纪地层沉积相与沉积环境分析[D]. 石家庄: 河北地质大学, 2016: 1–62.
- FENG Zhao. Analysis of Sedimentary Facies and Sedimentary Environment of the Carboniferous and Triassic Strata in Xiangpi Mountain, Qinghai Province [D]. Shijiazhuang: Hebei University of Geosciences, 2016: 1–62.
- 付长全, 闫臻, 肖文交, 等. 青藏高原东北缘宗务隆构造带天峻南山早古生代残余洋盆的识别和地质意义[J]. 岩石学报, 2021, 37(8): 2401–2418.
- FU Changlei, YAN Zhen, XIAO Wenjiao, et al. Identification and geological significance of the Early Paleozoic Tianjunnanshan remnant ocean basin in the Zongwulong belt, NE Tibetan Plateau[J]. Acta Petrologica Sinica, 2021, 37(8): 2401–2418.
- 郭安林, 张国伟, 强娟, 等. 青藏高原东北缘印支期宗务隆造山带[J]. 岩石学报, 2009, 25(1): 1–12.
- GUO Anlin, ZHANG Guowei, QIANG Juan, et al. Indosinian Zongwulong orogenic belt on the northeastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(1): 1–12.
- 计波, 李向民, 黄博涛, 等. 南祁连山河南山地区新元古代拐杖山岩群碎屑锆石 U-Pb 年代学及其地质意义[J]. 地质学报, 2021, 95(3): 765–778.
- JI Bo, LI Xiangmin, HUANG Botao, et al. Detrital zircon U-Pb geochronology of the Neoproterozoic Guaizhangshan Group in Danghenanshan area of the South Qilian Mountains and its geological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 2021, 95(3): 765–778.
- 李平, 高晓峰, 吕鹏瑞, 等. 祁连山—柴北缘地区岩浆活动的时空分布、成因演变及构造岩浆演化[J]. 西北地质, 2023, 56(4): 283–317.
- LI Ping, GAO Xiaofeng, LÜ Pengrui, et al. Spatial–Temporal Distribution, Petrogenetic Evolution and Tectono–Magmatic Evolution in Qilian Mountains and Northern Margin of Qaidam[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(4): 283–317.
- 刘奎, 李宗星, 施小斌, 等. 柴达木盆地东部晚海西—印支期剥蚀量与隆升历史——多种古温标与沉积学证据的制约[J]. 地球物理学报, 2020, 63(4): 1403–1421.
- LIU Kui, LI Zongxing, SHI Xiaobin, et al. Late Hercynian-Indosinian denudation and uplift history in the eastern Qaidam Basin: Constraints from multiple thermometric indicators and sedimentary evidences[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2020, 63(4): 1403–1421.
- 刘战庆, 裴先治, 李瑞保, 等. 东昆仑南缘布青山构造混杂岩带早古生代白日切特中酸性岩浆活动: 来自锆石 U-Pb 测年及岩石地球化学证据[J]. 中国地质, 2011, 38(5): 1150–1167.
- LIU Zhanqing, PEI Xianzhi, LI Ruibao, et al. Early Paleozoic intermediate-acid magmatic activity in Bairiqiete area along the Buqingshan tectonic mélange belt on the southern margin of East Kunlun: Constraints from zircon U-Pb dating and geochemistry[J]. Geology in China, 2011, 38(5): 1150–1167.

- 马帅, 陈世悦, 孙娇鹏, 等. 柴达木盆地北缘欧龙布鲁克微地块早古生代岩相古地理[J]. *中国地质*, 2016, 43(6): 2011–2021.
- MA Shuai, CHEN Shiyue, SUN Jiaopeng, et al. The early Paleozoic lithofacies-palaeogeography of Olongbluk micro-massif on the northern margin of Qaidam Basin[J]. *Geology in China*, 2016, 43(6): 2011–2021.
- 牛广智, 黄岗, 邓昌生, 等. 青海南祁连巴龙贡噶尔组变火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *地质通报*, 2016, 35(9): 1441–1447.
- NIU Guangzhi, HUANG Gang, DENG Changsheng, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of metamorphic volcanic rocks in Balonggongge'er Formation of South Qilian Mountain in Qinghai Province and their geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2016, 35(9): 1441–1447.
- 牛漫兰, 赵齐齐, 吴齐, 等. 柴北缘果可山岩体的岩浆混合作用: 来自岩相学、矿物学和地球化学证据[J]. *岩石学报*, 2018, 34(7): 1991–2016.
- NIU Manlan, ZHAO Qiqi, WU Qi, et al. Magma mixing identified in the Guokeshan pluton, northern margin of the Qaidam Basin: Evidences from petrography, mineral chemistry, and whole-rock geochemistry[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2018, 34(7): 1991–2016.
- 潘建, 李贵义, 李广铁. 青海省巴龙贡噶尔组的重新划分及地质意义[J]. *世界地质*, 2019, 38(4): 900–909.
- PAN Jian, LI Guiyi, LI Guangtie. Re-division of Balonggonggaer Formation in Qinghai Province and its geological significance[J]. *Global Geology*, 2019, 38(4): 900–909.
- 彭渊. 柴北缘宗务隆构造带海西晚期—印支期构造特征研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 2015: 1–164.
- PENG Yuan. The Late Hercynian-Indosinian structural characteristics of the Zongwulong tectonic belt in North Qaidam Basin[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2015: 1–164.
- 彭渊, 马寅生, 刘成林, 等. 柴北缘宗务隆构造带印支期花岗岩长岩地质特征及其构造意义[J]. *地学前缘*, 2016, 23(2): 206–221.
- PENG Yuan, MA Yinsheng, LIU Chenglin, et al. Geological characteristics and tectonic significance of the Indosinian granodiorites from the Zongwulong tectonic belt in North Qaidam[J]. *Earth Science Frontiers*, 2016, 23(2): 206–221.
- 彭渊, 张永生, 孙娇鹏, 等. 柴北缘北部中吾农山构造带及邻区中吾农山群物源和构造环境: 来自地球化学与锆石年代学的证据[J]. *大地构造与成矿学*, 2018, 42(1): 126–149.
- PENG Yuan, ZHANG Yongsheng, SUN Jiaopeng, et al. Provenance and tectonic setting of the Zhongwunongshan Group from the Zhongwunongshan structural belt and its adjacent areas in North Qaidam, China: Evidence from geochemistry and detrital zircon geochronology[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2018, 42(1): 126–149.
- 彭志军, 吴攀登, 刘松柏, 等. 青海省贵南县过马营一带早中三叠世隆务河组沉积特征[J]. *地质通报*, 2016, 35(9): 1506–1511.
- PENG Zhijun, WU Pandeng, LIU Songbai, et al. An analysis of sediments characteristics of Early-Middle Triassic Longwuhe Formation from Guomaying area in Guinan County, Qinghai Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 2016, 35(9): 1506–1511.
- 秦宇. 南祁连造山带新元古代—早古生代构造演化[D]. 西安: 西北大学, 2018: 39–115.
- QIN Yu. Neoproterozoic to Early Paleozoic tectonic evolution in the South Qilian Orogen[D]. Xi'an: Northwest University, 2018: 39–115.
- 孙娇鹏, 陈世悦, 彭渊, 等. 柴达木盆地北缘宗务隆构造带早古生代锆石 SHRIMP 年龄的测定及其地质意义[J]. *地质论评*, 2015, 61(4): 743–751.
- SUN Jiaopeng, CHEN Shiyue, PENG Yuan, et al. Determination of Early Cambrian zircon SHRIMP U-Pb datings in Zongwulong tectonic belt, northern margin of Qaidam Basin, and its geological significance[J]. *Geological Review*, 2015, 61(4): 743–751.
- 孙延贵, 张国伟, 郭安林, 等. 秦—昆三向联结构造及其构造过程的同位素年代学证据[J]. *中国地质*, 2004, 31(4): 372–378.
- SUN Yangui, ZHANG Guowei, GUO Anlin, et al. Qinling-Kunlun triple junction and isotope chronological evidence of its tectonic process[J]. *Geology in China*, 2004, 31(4): 372–378.
- 汤良杰, 金之钧, 张明利, 等. 柴达木震旦纪—三叠纪盆地演化研究[J]. *地质科学*, 1999, 34(3): 289–300.
- TANG Liangjie, JIN Zhijun, ZHANG Mingli, et al. Tectonic evolution of Qaidam Basin in Sinian-Triassic[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1999, 34(3): 289–300.
- 王秉璋, 张智勇, 张森琦, 等. 东昆仑东端苦海—赛什塘地区晚古生代蛇绿岩的地质特征[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2000, 25(6): 592–598.
- WANG Bingzhang, ZHANG Zhiyong, ZHANG Senqi, et al. Geological features of Lower Paleozoic ophiolite in Kuhai-Saishitang region eastern section of Eastern Kunlun[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2000, 25(6): 592–598.
- 王波, 吴志雄, 胡俊杰, 等. 柴北缘西段噶喇山地区三叠系碎屑锆石 U-Pb 年代学特征及其地质意义[J]. *高校地质学报*, 2024, 30(4): 397–408.
- WANG Bo, WU Zhixiong, HU Junjie, et al. Detrital zircon U-Pb geochronology and geological significance of the Triassic strata from Aolaoshan area, in the west section of North Qaidam Basin[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2024,

- 30(4): 397–408.
- 王苏里, 周立发. 宗务隆山角闪辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、地球化学特征及其地质意义[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2016, 46(5): 716–724.
- WANG Suli, ZHOU Lifa. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating, geochemistry and tectonic implication of the bojite in the Zongwulong Mountain[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2016, 46(5): 716–724.
- 王欣, 王健, 辜平阳. 全吉地块前寒武纪地层学研究进展[J]. 西北地质, 2024, 57(5): 192–208.
- 王毅智, 拜永山, 陆海莲. 青海天峻南山蛇绿岩的地质特征及其形成环境[J]. 青海地质, 2001, 21(1): 29–35.
- WANG Yizhi, BAI Yongshan, LU Hailian. Geological characteristics of Tianjunnanshan ophiolite in Qinghai and its forming environment[J]. Qinghai Geology, 2001, 21(1): 29–35.
- 吴才来, 郜源红, 吴锁平, 等. 柴达木盆地北缘大柴旦地区古生代花岗岩锆石 SHRIMP 定年[J]. 岩石学报, 2007, 23(8): 1861–1875.
- WU Cailai, GAO Yuanhong, WU Suoping, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of granites from the Da Qaidam area in the north margin of Qaidam Basin, NW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(8): 1861–1875.
- 闫臻, 王宗起, 闫全人, 等. 造山带汇聚板块边缘沉积盆地的鉴别与恢复[J]. 岩石学报, 2018, 34(7): 1943–1958.
- YAN Zhen, WANG Zongqi, YAN Quanren, et al. Identification and reconstruction of tectonic archetype of the sedimentary basin within the orogenic belt developed along convergent margin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2018, 34(7): 1943–1958.
- 杨超, 陈清华, 王冠民, 等. 柴达木地区晚古生代沉积构造演化[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2010, 34(5): 38–49.
- YANG Chao, CHEN Qinghua, WANG Guanmin, et al. Sedimentary and tectonic evolution of Qaidam areas in Late Paleozoic[J]. Journal of China University of Petroleum (Natural Science Edition), 2010, 34(5): 38–49.
- 杨经绥, 许志琴, 李海兵, 等. 东昆仑阿尼玛卿地区古特提斯火山作用和板块构造体系[J]. 岩石矿物学杂志, 2005, 24(5): 369–380.
- YANG Jingsui, XU Zhiqin, LI Haibing, et al. Paleo-Tethyan volcanism and plate tectonic framework in the A'nyemaqen region of East Kunlun[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2005, 24(5): 369–380.
- 袁亚娟, 夏斌, 吕宝凤, 等. 柴北缘东段石炭纪沉积特征及原型盆地恢复[J]. 沉积与特提斯地质, 2012, 32(1): 12–17.
- YUAN Yajuan, XIA Bin, LÜ Baofeng, et al. Sedimentary characteristics of the Carboniferous strata and reconstruction of the prototype basin in the eastern part of northern Qaidam Basin, Qinghai[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2012, 32(1): 12–17.
- 查显锋, 黄博涛, 罗克勇, 等. 北山造山带南缘潘家井子二叠纪弧岩浆岩的识别及构造意义[J]. 西北地质, 2024, 57(6): 58–77.
- ZHA Xianfeng, HUANG Botao, LUO Keyong, et al. Identification of the Permian Arc-Related Magmatic Rocks and Its Significance in Panjiayingzi Area, Southern Margin of Beishan Orogenic Belt[J]. Northwestern Geology, 2024, 57(6): 58–77.
- 张海军, 王训练, 王勋, 等. 柴达木盆地北缘全吉群红藻山组凝灰岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地学前缘, 2016, 23(6): 202–218.
- ZHANG Haijun, WANG Xunlian, WANG Xun, et al. U-Pb zircon ages of tuff beds from the Hongzaoshan Formation of the Quanji Group in the north margin of the Qaidam Basin, NW China, and their geological significances[J]. Earth Science Frontiers, 2016, 23(6): 202–218.
- 张建新, 路增龙, 毛小红, 等. 青藏高原东北缘早古生代造山系中前寒武纪微陆块的再认识——兼谈原特提斯洋的起源[J]. 岩石学报, 2021, 37(1): 74–94.
- ZHANG Jianxin, LU Zenglong, MAO Xiaohong, et al. Revisiting the Precambrian micro-continental blocks within the Early Paleozoic orogenic system of the northeastern Qinghai-Tibet Plateau: Insight into the origin of Proto-Tethyan Ocean[J]. Acta Petrologica Sinica, 2021, 37(1): 74–94.
- 张拴宏, 周显强. 青海省哇洪山断裂带中段构造变形特征及 X 光岩组分析[J]. 大地构造与成矿学, 2003, 27(1): 29–36.
- ZHANG Shuanhong, ZHOU Xianqiang. Characteristics of deformation and X-ray petrofabrics in the middle Wahongshan fault zone, Qinghai Province[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2003, 27(1): 29–36.
- 张雪亭, 杨生德, 杨站军. 青海省区域地质概论——1:100 万青海省地质图说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2010, 1–84.
- ZHANG Xueting, YANG Shengde, YANG Zhanjun. Introduction to regional geology of Qinghai Province: 1:1 million geological map of Qinghai Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010, 1–84.
- 张耀玲, 倪晋宇, 沈燕绪, 等. 柴北缘牦牛山组火山岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 现代地质, 2018, 32(2): 329–334.
- ZHANG Yaoling, NI Jinyu, SHEN Yanxu, et al. Zircon U-Pb ages and geological significance of volcanic rocks from Maoniushan Formation in the northern margin of Qaidam Basin[J]. Geoscience, 2018, 32(2): 329–334.
- 张智勇, 殷鸿福, 王秉璋, 等. 昆秦接合部海西期苦海-赛什塘分支洋的存在及其证据[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2004, 29(6): 691–696.
- ZHANG Zhiyong, YIN Hongfu, WANG Bingzhang, et al. Existence and evidence of the Hercynian Kuhai-Saishitang branch ocean in the Qinling-Kunlun junction area[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(6): 691–696.

- 赵文涛, 刘少峰, 陈敏. 宗务隆构造带生格地区土尔根大坂组碎屑锆石年代学及其地质意义[J]. 中国矿业, 2020, 29(S2): 234–240.
- ZHAO Wentao, LIU Shaofeng, CHEN Min. Detrital zircon geochronology and its geological significance from Turgendaban Formation in Shengge area of Zongwulong structural belt[J]. China Mining Magazine, 2020, 29(S2): 234–240.
- 赵文涛, 刘少峰, 陈敏, 等. 宗务隆构造带西段三叠系隆务河组碎屑锆石特征及其构造意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2022, 41(3): 569–591.
- ZHAO Wentao, LIU Shaofeng, CHEN Min, et al. Detrital zircon characteristics of the Triassic Longwuhe Formation in the western segment of the Zongwulong tectonic belt and its tectonic significance[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2022, 41(3): 569–591.
- 赵文涛. 柴达木北缘宗务隆有限洋盆泥盆纪-三叠纪构造演化[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2023: 1–160.
- ZHAO Wentao. Devonian-Triassic tectonic evolution of the Zongwulong limited ocean basin in the North Qaidam[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2023: 1–160.
- 朱如凯, 许怀先, 邓胜徽, 等. 中国北方地区石炭纪岩相古地理[J]. 古地理学报, 2007, 9(1): 13–24.
- ZHU Rukai, XU Huaixian, DENG Shenghui, et al. Lithofacies palaeogeography of the Carboniferous in northern China[J]. Journal of Palaeogeography, 2007, 9(1): 13–24.
- 朱小辉, 陈丹玲, 王超, 等. 柴达木盆地北缘新元古代-早古生代大洋的形成、发展和消亡[J]. 地质学报, 2015, 89(2): 234–251.
- ZHU Xiaohui, CHEN Danling, WANG Chao, et al. The initiation, development and termination of the Neoproterozoic-Early Paleozoic Ocean in the North Margin of Qaidam Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2015, 89(2): 234–251.
- Amelin Y, Lee D C, Halliday A N, et al. Nature of the Earth's earliest crust from Hafnium Isotopes in Single detrital Zircons[J]. Nature, 1999, 399: 1497–1503.
- Belousova E A, Kostitsyn Y A, Griffin W L, et al. The growth of the continental crust: constraints from zircon Hf-isotope data[J]. Lithos, 2010, 119(3-4): 457–466.
- Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones[J]. Journal of Geology, 1983, 91: 611–627.
- Blichert-Toft J, Chauvel C, Albarède F. Separation of Hf and Lu for high-precision isotope analysis of rock samples by magnetic sector-multiple collector Icp-MS[J]. Contributions to Mineralogy & Petrology, 1997, 127(3): 248–260.
- Bian Q T, Luo X Q, Li H, et al. Discovery of early Paleozoic and early Carboniferous-early Permian ophiolites in the A'nyemaqen, Qinghai province, China[J]. Scientia Geologica Sinica, 1999, 34(4): 437–438.
- Cawood P A, Hawkesworth C J, Dhuime B. Detrital zircon record and tectonic setting[J]. Geology, 2012, 40(10): 875–878.
- Chen M, Pan T, Zhao W T, et al. Petrogenesis and Tectonic Setting of the Baluogenguole Mafic Dykes, Zongwulong Belt: Implications for Evolution of the Northern East Paleo-Tethys Ocean[J]. Minerals, 2024, 14(5): 473.
- Chen Nengsong, Gong Songlin, Sun Min, et al. Precambrian evolution of the Quanji Block, northeastern margin of Tibet: Insights from zircon U-Pb and Lu-Hf isotope compositions[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 35(3-4): 367–376.
- Corfu F, Hancher J M, Hoskin P W O, et al. Atlas of zircon textures[J]. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 2003, 53(1): 469–500.
- Dickinson W R, Gehrels G E. Use of U-Pb ages of detrital zircons to infer maximum depositional ages of strata: A test against a Colorado Plateau Mesozoic database[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2009, 288(1-2): 115–125.
- Fedo C M, Nesbitt H W, Young G M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosoils, with implication for paleoweathering conditions and provenance[J]. Geology, 1995, 23: 921–924.
- Fu Changlei, Yan Zhen, Aitchison J C, et al. Short-lived intra-oceanic arc-trench system in the North Qaidam belt (NW China) reveals complex evolution of the Proto-Tethyan Ocean[J]. GSA Bulletin, 2021 (Published online). <https://doi.org/10.1130/B36127.1>.
- Griffin W L. The Hf isotope composition of cratonic mantle: LAM-MC-ICPMS analysis of zircon megacrysts in kimberlites[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2000, 64(1): 133–147.
- Grimes C B, John B E, Kelemen P B, et al. Trace element chemistry of zircons from oceanic crust: A method for distinguishing detrital zircon provenance[J]. Geology, 2007, 35(7): 643–646.
- Joo Y J, Lee Y, Bai Z Q. Provenance of the Qingshuijian Formation (Late Carboniferous), NE China: Implications for tectonic processes in the northern margin of the North China block[J]. Sedimentary Geology, 2005, 177(1-2): 97–114.
- Li J, Wu C, Li X G, et al. Tectonic inversion of an intracontinental rift basin: An example from the opening and closure of the Paleo-Tethys Ocean, northern[J]. GSA Bulletin, 2024 (Published online). <https://doi.org/10.1130/B37605.1>.
- Li Meng, Wang Chao, Li Rongshe, et al. Identifying late Neoproterozoic-early Paleozoic sediments in the South Qilian Belt, China: A peri-Gondwana connection in the northern Tibetan Plateau[J]. Gondwana Research, 2019, 76: 174–184.
- Liao Fanxi, Zhang Lu, Chen Nengsong, et al. Geochronology and geochemistry of meta-mafic dykes in the Quanji Massif, NW China: Paleoproterozoic evolution of the Tarim Craton and implications for the assembly of the Columbia supercontinent[J].

- [Precambrian Research](#), 2014, 249: 33–56.
- Lu Songnian, Li Huaikun, Zhang Chuanlin, et al. Geological and geochronological evidence for the Precambrian evolution of the Tarim Craton and surrounding continental fragments[J]. [Precambrian Research](#), 2008, 160(1–2): 94–107.
- McLennan S M, Hemming S R, Taylor S R, et al. Early Proterozoic crustal evolution: Geochemical and Nd-Pb isotopic evidence from metasedimentary rocks, southwestern North America[J]. [Geochimica et Cosmochimica Acta](#), 1995, 59(6): 1153–1177.
- McLennan S M, Simonetti A, Goldstein S L. Nd and Pb isotopic evidence for provenance and post-depositional alteration of the Paleoproterozoic Huronian Supergroup, Canada[J]. [Precambrian Research](#), 2000, 102(3–4): 263–278.
- Nesbitt H W, Young C M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites[J]. [Nature](#), 1982, 299: 715–717.
- Roser B P, Coombs D S, Korsch R J. Whole-rock geochemical variation and evolution of the arc-derived Murihiku Terrane[J]. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 2002, 45(4): 665–685.
- Song Shuguang, Zhang Lifei, Niu Yaoling, et al. Evolution from Oceanic Subduction to Continental Collision: a Case Study from the Northern Tibetan Plateau Based on Geochemical and Geochronological Data[J]. [Journal of Petrology](#), 2006, 47(3): 435–455.
- Tucker R T, Roberts E M, Hu Yi, et al. Detrital zircon age constraints for the Winton Formation, Queensland: Contextualizing Australia's Late Cretaceous dinosaur faunas[J]. [Gondwana Research](#), 2013, 24(2): 767–779.
- Wang L, Johnston S T, Chen Nengsong. New insights into the Precambrian tectonic evolution and continental affinity of the Qilian block: Evidence from geochronology and geochemistry of metasedimentary rocks in the North Wulan terrane[J]. [Geological Society of America Bulletin](#), 2019, 131: 1723–1743.
- Wu Cailai, Wu Di, Mattinson C, et al. Petrogenesis of granitoids in the Wulan area: magmatic activity and tectonic evolution in the North Qaidam, NW China[J]. *Gondwana Research*, 2019, 71: 147–171.
- Wu C, Liu C, Fan S, et al. Structural analysis and tectonic evolution of the western domain of the Eastern Kunlun Range, northwest Tibet[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2020, 132(5–6): 1291–1315.
- Xu J, Xia, X P, Wang Q, et al. Two magma fractionation paths for continental crust growth: Insights from the adakite-like and normal-arc granites in the Ailaoshan fold belt (SW Yunnan, China)[J]. [Geological Society of America Bulletin](#), 2022, 134(11–12): 17.
- Yan Zhen, Fu Changlei, Aitchison J C, et al. Silurian sedimentation in the South Qilian Belt: Arc-continent collision-related deposition in the NE Tibet Plateau? [J]. [Acta Geologica Sinica](#), 2020, 94(4): 901–913.
- Yang J H, Cawood P A, Du Y S, et al. Large Igneous Province and magmatic arc sourced Permian-Triassic volcanogenic sediments in China[J]. *Sedimentary Geology*, 2012, 261–262: 120–131.
- Yu Shengyao, Zhang Jianxin, Li S Z. Paleoproterozoic granulite-facies metamorphism and anatexis in the Oulongbuluke Block, NW China: Respond to assembly of the Columbia supercontinent[J]. [Precambrian Research](#), 2017, 291: 42–62.
- Zong K Q, Klemd R, Yuan Y, et al. The assembly of Rodinia: The correlation of early Neoproterozoic (ca. 900 Ma) high-grade metamorphism and continental arc formation in the southern Beishan Orogen, southern Central Asian Orogenic Belt (CAOB) [J]. [Precambrian Research](#), 2017, 290: 32–48.