

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2020.197>



塔里木盆地塔中志留系柯坪塔格组物源示踪：碎屑 锆石 U-Pb 年代学证据

李祥权^{1,2}, 丁洪坤³, 彭 鹏³, 吴梅莲³, 钟楚红³, 柴 雄³, 刘国威³, 彭 丽³

1. 中国地质大学海洋地质资源湖北省重点实验室, 湖北武汉 430074
2. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北武汉 430074
3. 中国石油塔里木油田分公司, 新疆库尔勒 841000

摘 要: 目前对塔中志留系物源的认识仍存在不确定性. 利用 LA-ICP-MS 分析技术对塔里木盆地塔中地区志留系柯坪塔格组 2 件样品开展碎屑锆石 U-Pb 年代学研究. 结果表明塔中志留系碎屑锆石主要为岩浆结晶成因, 锆石年龄主要分布在早古生代 460~490 Ma、新元古代 760~1 000 Ma、古元古代 1 600~2 200 Ma 及新太古代晚期—古元古代早期 2 400~2 600 Ma 四个时期, 其中新元古代 760~1 000 Ma 碎屑锆石年龄占绝对优势 (56.8%), 峰值~850 Ma. 结合志留纪时期塔里木板块南北缘的板块动力学背景, 通过盆内构造演化及地貌特征的分析以及和潜在源区锆石年龄的详细对比, 确定塔中志留系碎屑锆石主要来源于塔里木盆地西南缘的铁克里克隆起构造带.

关键词: 物源; 碎屑锆石; U-Pb 年代学; 柯坪塔格组; 志留系; 塔中地区; 塔里木盆地.

中图分类号: P597

文章编号: 1000-2383(2021)08-2819-13

收稿日期: 2020-03-14

Provenance of Silurian Kepingtage Formation in Tazhong Area, Tarim Basin: Evidence from Detrital Zircon U-Pb Geochronology

Li Xiangquan^{1,2}, Ding Hongkun³, Peng Peng³, Wu Meilian³, Zhong Chuhong³, Chai Xiong³, Liu Guowei³, Peng Li³

1. Hubei Key Laboratory of Marine Geological Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
2. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
3. PetroChina Tarim Oilfield Company, Kuerle 841000, China

Abstract: There is still uncertainty in the understanding of the source of the Silurian sedimentation in Tazhong area of Tarim Basin. Using LA-ICP-MS analysis technology, two samples of the Kepingtage Formation in Tazhong area were collected for detrital zircon U-Pb chronology. The results show that the zircons are mainly of magmatic crystallization origin and their ages are mainly distributed in four periods: Early Paleozoic 460–490 Ma, Neoproterozoic 760–1 000 Ma, Paleoproterozoic 1 600–2 200 Ma, and Late Neoproterozoic–Early Paleoproterozoic 2 400–2 600 Ma. The Neoproterozoic 760–1 000 Ma detrital zircon ages take the largest proportion (56.8%), with a ~850 Ma single peak. Based on the plate dynamics background of the northern and southern margins of the Tarim plate during the Silurian Period, the analysis of tectonic evolution and geomorphologic features within the basin, as well as the detailed comparison of zircon ages with the potential provenance area, it is proposed that the

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No.41672110).

作者简介: 李祥权 (1976—), 男, 副教授, 主要从事石油地质学及地震沉积学等方面的研究. ORCID: 0000-0002-5126-2655. E-mail: lxq@cug.edu.cn

引用格式: 李祥权, 丁洪坤, 彭鹏, 等, 2021. 塔里木盆地塔中志留系柯坪塔格组物源示踪: 碎屑锆石 U-Pb 年代学证据. 地球科学, 46(8): 2819–2831.

Tazhong Silurian detrital zircons were mainly sourced from the Tiekelike uplift in the southwest margin of Tarim Basin.

Key words: provenance; detrital zircon; U-Pb chronology; Kepingtage Formation; Silurian; Tazhong area; Tarim Basin.

塔里木盆地处在古亚洲构造域和特提斯构造域之间,震旦系—第四系沉积层序发育齐全,是一个经历了兴凯、加里东、海西、印支、燕山和喜马拉雅多旋回构造演化,由多期、多类盆地组成的大型叠合复合盆地(贾承造和魏国齐,2002;张光亚等,2007).志留系是显生宙以来塔里木盆地第一套砂岩广泛分布的沉积层,代表早古生代晚期塔里木盆地发生了一次重要的构造运动并导致盆地的构造面貌和整体格局发生了显著变化(邬光辉等,2009a;刘景彦等,2012).塔中志留系柯坪塔格组为一套超覆于奥陶系不整合之上的潮坪相沉积,是塔中地区重要的油气勘探层系之一.前人关于塔中志留系源汇体系及沉积背景从岩石学、地球化学、碎屑锆石年代学等方面做了一些研究.钱一雄等(2007a)和张鑫等(2007)分别从重矿物 ZTR 值及稀土元素配分模式的相似性推断塔中志留系物源可能是从东南至西北方向运移;张金亮和张鑫(2007)通过砂岩元素地球化学分析认为塔中志留系沉积构造环境为活动大陆边缘和被动大陆边缘,物源主要来自再循环造山带,砂岩来源于花岗岩和花岗闪长岩;钱一雄等(2007b)认为塔中志留系碎屑锆石有岩浆岩、变质岩和再循环沉积三种来源,且以中短距离搬运为主,测得锆石 U-Pb 年龄(5 个样品共 59 颗锆石年龄)主要存在太古宙—古元古代(以 1.8 Ga、2.2 Ga 和 2.6 Ga 为主)、中—新元古代(年龄集中于 0.84 Ga,少量 0.64~0.75 Ga)及早古生代(主要为中晚奥陶世 439.8~477.0 Ma 和早志留世 421.1~431.6 Ma)三组;邬光辉等(2009b)测得塔中志留系砂岩碎屑锆石 U-Pb 年龄(3 个样品共 85 颗锆石年龄)主要集中在南华系中期(740~820 Ma,峰值~760 Ma)和古元古代中期(1 900~2 300 Ma,峰值~2 000 Ma),认为碎屑锆石主要来源于盆地南部塔南隆起的前寒武纪基底,并提出塔里木板块可能是 Rodinia 超大陆的一部分.整体而言,目前关于塔中志留系物源研究存在以下不足:(1)受潮汐水动力及沉积物再搬运的影响,使得潮坪沉积环境中岩石学的成熟度指标变得更加复杂,样品地球化学特征上的相似性仅能代表样品的同源性,而不能代表物源的方向;(2)以往更多是根据碎屑锆石年龄讨论盆地的构造热演化事件,与潜在

物源区的详细对比及与盆地内部构造—地貌格局的结合等方面尚缺乏研究.上述因素导致塔中志留系物源分析方面的认识仍存在不确定性,亟需开展进一步的研究.

利用碎屑锆石 U-Pb 同位素信息来判断物源、恢复古地理、揭示构造演化已经成为一种可靠且成熟的方法(Zhang *et al.*, 2016;郭春涛等,2019).为了进一步探讨和明确塔中志留系柯坪塔格组的沉积物源,笔者在以往研究的基础上,采用 U-Pb 同位素测年技术,对采自塔中志留系柯坪塔格组上亚段的 2 个钻井砂岩岩心样品进行碎屑锆石分离、CL 影像分析和 LA-ICP-MS 测年,共获得 176 个单颗粒碎屑锆石谐和年龄数据(每个样品各 88 个).通过对锆石年龄谱的统计分析、源区对比,结合区域构造—地貌背景等因素,在塔中志留系柯坪塔格组源汇体系及盆—山耦合格局等方面取得了一些新认识.

1 地质概况及岩石学特征

塔中地区位于塔里木盆地中部的沙漠腹地,构造上属于中央隆起带的塔中低凸起(塔中隆起),西部为巴楚隆起,东部为塔东低凸起,北接满加尔凹陷,南邻塘古孜巴斯凹陷(图 1),面积为 24 500 km².塔中隆起形成于加里东中期,定形于石炭纪,是一个被一系列逆冲断裂切割、多期构造叠加、继承性发育的大型 NW 向缓背斜构造(张小兵,2004).志留系柯坪塔格组超覆沉积于奥陶系之上,主要发育碎屑潮坪沉积体系,包括 3 个亚段:上段为绿灰色、绿色泥岩与浅灰色粉—细砂岩不等厚互层;中段以绿灰色厚层泥岩为主,夹薄层粉砂质泥岩;下段为一套浅灰色厚层粉—细砂岩夹绿灰色泥岩、粉砂质泥岩(赵健等,2011;彭丽等,2019).

对塔中志留系多口钻井岩心观察和薄片鉴定研究表明,塔中志留系砂岩粒径主要分布在 0.1~0.4 mm 之间,粒度以中—细砂岩为主,颗粒磨圆度较好,以次棱—次圆和次圆为主,分选中等—好.从岩石组分上讲,砂岩以岩屑石英砂岩和岩屑砂岩为主,含少量的石英砂岩和长石岩屑砂岩.整体而言,塔中志留系砂岩的成分成熟度和结构成熟度均为中等—好(彭丽等,2019).

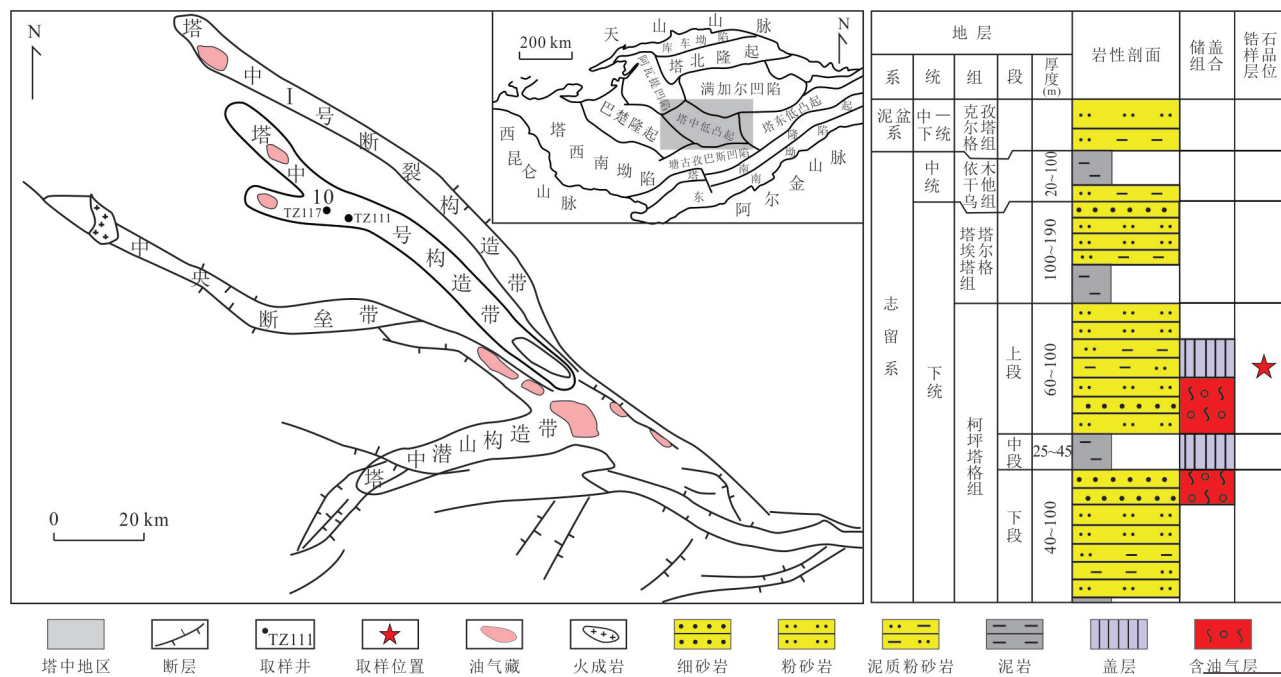


Fig.1 The tectonic location and Silurian comprehensive stratigraphic column of Taizhong area in Tarim Basin

2 样品测试方法与结果

编号为 TZ01 和 TZ02 的 2 个塔中志留系柯坪塔格组上段的钻井砂岩岩心样品分别取自 TZ111 井及 TZ117 井(图 1), 取样深度分别为 4 484.1 m 和 4 415.8 m, 每个岩样重约 2 kg. 样品经过机械破碎、淘洗、磁选和重液分选出锆石, 然后在双目镜下每个样品随机挑选 200 粒晶形完好、透明干净、无裂隙的锆石, 固定在双面胶上并排列好, 以环氧树脂充填固结制成锆石靶, 抛光直至其内部结构显露. 抛光后的样品靶进行透/反射光以及阴极发光(CL)照相以确定锆石颗粒的内部结构, 在测试过程中避开锆石中的裂隙和包裹体.

锆石 U-Pb 同位素年龄测年在武汉上谱分析科技有限责任公司激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)上完成, 样品测试过程采用的激光束斑直径为 32 μm, 频率为 80 Hz. 国际标准锆石 91500(年龄 1 063 Ma)作为标样来标定仪器. 元素含量测定采取硅酸盐玻璃 NIST610 作外标, ²⁹Si 作内标, 数据在 ICPMSDataCal 软件上处理完成, 运用 Isoplot3.0 程序完成年龄计算和图谱制作. 对于锆石年龄 ≥ 1 000 Ma 的数据采用 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄, 而对年龄 < 1 000 Ma 的数据采用 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄. 以 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄和 ²⁰⁷Pb/²³⁵U 年龄比值为标准遴选 U-Pb 年龄数据, 谐和度 > 90% 的数据为有效数据,

不谐和数据在谐和图和直方图绘制以及探讨源区和区域构造事件时均不予考虑.

样品 TZ01 和样品 TZ02 中锆石的特征相似, 锆石粒径为 50~150 μm, 以次圆状为主, 少量呈长板状, 长宽比值范围为 1~2. 阴极发光(CL)图像显示, 绝大多数锆石具清晰规则的韵律生长环带, 一些锆石具面状、扇状或冷叶杉状环带特征, 部分锆石具有残留核(图 2). 在获得的 176 个具谐和锆石年龄(谐和度大于 90%)的测点中(图 3), Th/U 比值在 0.30~1.80 之间, 平均 0.79, 为典型的岩浆成因锆石. 少数锆石具均质结构或核幔结构不明显, 有的边部出现亮白色增生边, 可能为变质成因锆石或者经历了热事件的改造. 在阴极发光(CL)图像中, 多数锆石为深灰色(图 2), 指示较高的 Th、U 含量.

从锆石测年结果看, 样品 TZ01 最小锆石年龄为 468.9 ± 4.4 Ma, 最大锆石年龄为 3 005.6 ± 21.0 Ma. 锆石年龄主要分布在 468~485 Ma(3 粒)、644~1 100 Ma(53 粒)、1 533~2 250 Ma(27 粒)、2 400~2 600 Ma(4 粒)四个年龄区段, 其中 640~1 100 Ma 锆石年龄占绝对优势(占比 60.2%), 且年龄值分布集中, 峰值为 ~853 Ma(图 4a). 样品 TZ02 最小锆石年龄为 469.3 ± 4.2 Ma, 最大锆石年龄为 2 544.6 ± 37.3 Ma. 锆石年龄主要分布在 469~487 Ma(4 粒)、707~1 043 Ma(53 粒)、1 692~2 250 Ma(24



图2 塔中地区志留系柯坪塔格组碎屑锆石样品阴极发光(CL)图像

Fig.2 Representative CL images for zircons of the Silurian samples from Kepingtage Formation in Tazhong area

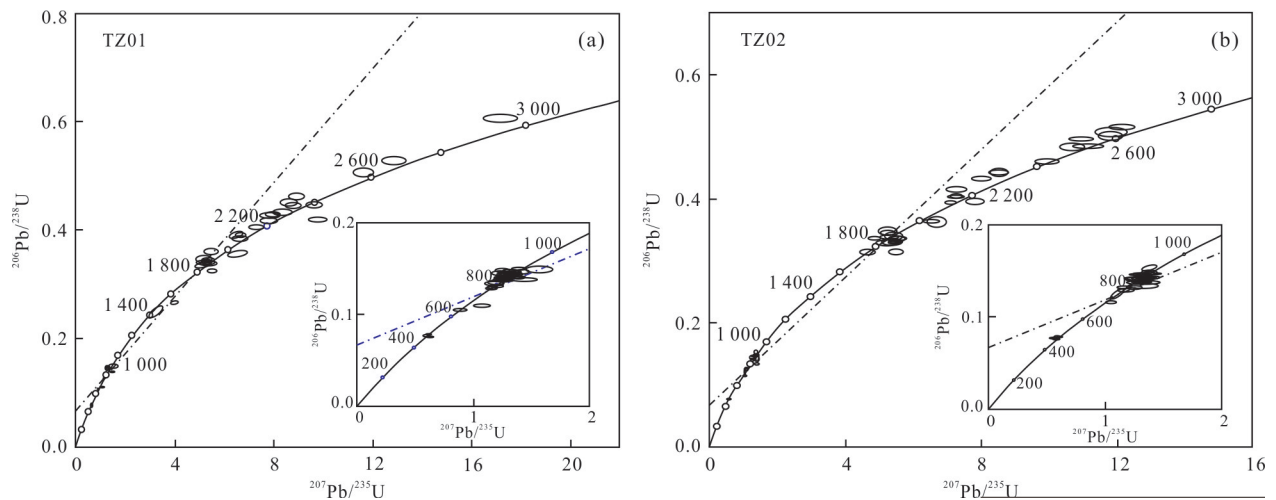


图3 塔中地区志留系柯坪塔格组碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig.3 Concordia plots for detrital zircon U-Pb ages of Kepingtage Formation from Tazhong area

粒)、2 400~2 554 Ma(7 粒)四个年龄区段,其中 707~1 043 Ma 锆石年龄占绝对优势(占比 60.2%),且年龄值分布集中,峰值为~852 Ma(图 4b)。

总体来看,塔中志留系柯坪塔格组 2 个砂岩样品碎屑锆石均以岩浆结晶成因为主,二者年龄谱特征异常相似,锆石年龄主要分布于 460~490 Ma、760~1 000 Ma、1 600~2 200 Ma、2 400~2 600 Ma 四个年龄区段(图 4),分别对应早古生代、新元古代、古元古代和新太古代—古元古代早期四个时期。碎屑锆石主体为前寒武纪锆石年

龄,其中 760~1 000 Ma 新元古代早期锆石年龄占绝对优势,共计 100 粒(TZ01 井 49 粒、TZ02 井 51 粒),占总锆石颗粒数的 56.8%,呈~850 Ma 的单一峰值。1 600~2 200 Ma 古元古代锆石年龄共 47 粒(TZ01 井 24 粒、TZ02 井 23 粒),占总锆石颗粒数的 26.7%,无明显峰值,在 1 800~2 200 Ma 区段相对集中。2 400~2 600 Ma 新太古代—古元古代早期锆石年龄共 11 粒,占总锆石颗粒数的 6.3%。早古生代锆石年龄最少且集中分布于早—中奥陶世,其中 TZ01 样品 3 粒、TZ02 样品

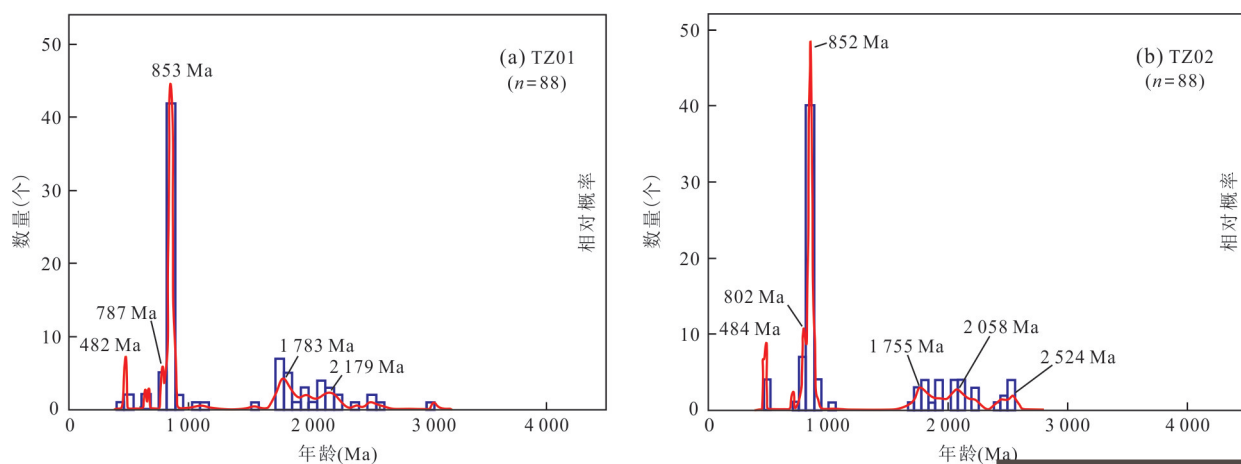


图4 塔中地区志留系柯坪塔格组碎屑锆石年龄图谱

Fig.4 Probability plots for detrital zircon U-Pb ages of the Silurian samples from Kepingtage Formation of Tazhong area

4粒,合计占总数的3.9%。

3 认识与讨论

3.1 锆石年龄与区域构造热事件

新太古代晚期—古元古代早期构造热事件: 2 400~2 600 Ma 锆石年龄,兼有岩浆锆石和变质锆石,2个样品均有该区段锆石年龄,表明源区存在该期构造热事件。2 400~2 600 Ma 年龄与全球~2 500 Ma 的大陆增生事件一致,在全球多地都有这一期岩浆记录(郭春涛等,2018)。以TTG岩为代表,在塔里盆地周缘库鲁克塔格、铁克里克、阿尔金—敦煌等地区均发现有该时期的锆石年龄(陆松年和袁桂邦,2003;张传林等,2003a,2012;Long *et al.*, 2010),这些年龄数据反映~2 500 Ma 的岩浆活动在塔里木周缘乃至整个塔里木克拉通广泛发育,本文样品2 400~2 600 Ma 锆石年龄应是塔里木克拉通对新太古代晚期—古元古代早期全球普遍性大陆地壳生长事件的记录,代表塔里木克拉通一期重要的初生地壳生长(何景文等,2015;郭春涛等,2018)。

古元古代构造热事件:1 600~2 200 Ma 锆石年龄,以岩浆锆石为主,该区段碎屑锆石年龄占比26.7%。该期锆石年龄时间上与Columbia 超大陆聚合事件相当,是塔里木盆地一期重要的地壳增生和岩浆事件(张传林等,2012)。目前在塔北缘库鲁克塔格、塔西南铁克里克、塔东南阿尔金—敦煌等地区均发现有该期锆石年龄的存在(于海峰等,2002;张传林等,2003a;王超,2011;张传林等,2012;何景文等,2015;王斌等,2017)。

新元古代构造热事件:锆石年龄分布于760~1 000 Ma,以岩浆锆石为主,在塔中志留系碎屑锆石年龄中占绝对优势(56.8%),且在760~900 Ma 的年龄最为集中,峰值为~850 Ma,结合CL图像说明塔中志留系源区在~850 Ma 时期有大规模的岩浆活动。据前人研究,在塔里木盆地及其周边变质基底岩中广泛存在新元古代岩浆活动记录,推测其可能与Rodinia 超大陆的裂解事件有关(郭东升等,2008;邬光辉等,2009b;何景文等,2015)。因为在亲Rodinia 超大陆的地块中(如华南、秦岭、祁连地块等),均含有大量该期新元古代构造热事件形成的岩浆岩(陆松年等,2003;谢士稳等,2009;凌文黎等,2010;常健等,2012;王杰等,2012)。该期新元古代早期的构造热事件在塔里木盆地腹部及库鲁克塔格、铁克里克、阿尔金等地均存在相应的锆石年龄记录(李曰俊等,2003;张传林等,2003b,2007;邬光辉等,2009c;王超,2011;张建新等,2011)。

早古生代构造热事件:锆石年龄范围460~490 Ma,主要为早—中奥陶世年龄,所占比例最少(3.9%)。塔里木盆地及其周缘年代学研究表明,早古生代早—中期塔里木盆地处于原特提斯洋多体、多岛弧环境,夹持在西昆仑洋、阿尔金洋及南天山洋之间。晚寒武世—志留纪塔里木盆地南缘的北昆仑洋、阿尔金洋先后由洋盆扩张转向挤压背景,随着西昆仑—阿尔金洋盆与塔里木板块南缘逐渐俯冲碰撞,产生与之对应的岩浆活动事件(邬光辉等,2009b)。该期构造热事件在塔里木盆地南缘的西昆仑、阿尔金地区均广泛存在(袁超等,2003;伍跃中等,2009;张建新等,2011;王超等,2013;Zhang *et al.*, 2019)。

3.2 盆地古地理背景及源汇系统

3.2.1 早古生代洋盆闭合, 隆升造山事件 塔中志留系沉积时期盆地源汇体系与同期盆地所处的板块动力学环境及盆地古地理背景, 即与早古生代塔里木板块西南侧的昆仑洋(有的文献中称原特提斯洋、库地洋或库地—其曼于特洋盆)、东南侧的阿尔金洋及北侧的天山洋俯冲消减及碰撞、造山过程密切相关。根据现有资料, 阿尔金造山带是塔里木盆地周边碰撞造山时代最古老的造山带, 以塔里木盆地东南侧高压—超高压变质作用为标志的峰期碰撞造山作用事件发生于早古生代 487~503 Ma 之间, 即晚寒武世—早奥陶世, 阿尔金北部的拉配泉—红柳沟蛇绿混杂岩带和南部的阿帕—茫崖蛇绿混杂岩带是该期阿尔金洋盆闭合、碰撞造山的标志。这次碰撞造山作用很可能引起相邻塔里木盆地塔东南地区的大幅度隆升, 并使阿尔金山和塔里木盆地东南部地区直到侏罗纪之前主体都处于剥蚀状态(罗金海等, 2009)。西昆仑以库地—其曼于特蛇绿混杂岩带为标志的昆仑洋闭合时间要晚于阿尔金洋, 于晚奥陶世—志留纪闭合, 并发生逆冲叠覆、地壳加厚和地理上的成山, 形成早古生代碰撞造山带(韩芳林等, 2002; 柳坤峰等, 2014)。杨鑫等(2020)通过研究钻井和露头样品的碎屑锆石年龄, 记录了西昆仑造山带 510~410 Ma 早古生代构造热事件, 且存在一期 438~425 Ma 以壳幔混源型为主的志留纪岩浆活动, 岩石类型从 I 型向 S 型花岗岩过渡, 代表其形成于由俯冲向碰撞过渡的构造环境, 反映库地—其曼于特弧后洋盆在早志留世以后关闭并发生褶皱造山。郭春涛等(2019)认为塔里木盆地西北缘乌什地区下志留统 435~538 Ma 年龄的碎屑锆石主要来源于西昆仑造山带, 由此推断昆仑洋在早志留世已经俯冲闭合, 且西昆仑造山带已经形成巍峨高山, 与塔里木盆地形成显著地形高差, 物源才能快速搬运至塔里木盆地西北缘。志留纪时期中天山洋向南俯冲, 南天山洋尚未张开, 塔里木盆地北缘不具备大规模造山、剥蚀的条件, 同期在塔里木盆地内部存在东西向延伸的中部拗陷带, 南天山造山带、中天山造山带的古生代结晶岩年龄绝大多数小于 460 Ma(贾承造和魏国齐, 2002; 李忠等, 2015; 郭春涛等, 2019)。本次塔中志留系碎屑锆石所得的古生代年龄分布在 460~490 Ma, 这一年龄区段在塔里木北缘潜在物源区少有存在。因此, 从塔中志留系碎屑锆石古生代年龄及志留纪时期

盆地南北缘的构造背景两方面可以首先排除塔里木盆地北缘作为塔中志留系物源区的可能。盆地南缘的昆仑洋和阿尔金洋在志留纪均已关闭, 形成地理上的造山带, 是塔中志留系需进一步讨论的潜在源区。

3.2.2 盆地南缘构造演化及古地貌特征 志留纪塔里木克拉通主体处于挤压聚敛构造环境, 形成克拉通内挠曲拗陷盆地及其周围的克拉通边缘隆起(贾承造和魏国齐, 2002; 张光亚等, 2007)。奥陶纪末期构造运动对塔里木盆地影响重大, 使满加尔拗拉槽消亡, 盆地区域抬升并遭受剥蚀、与上覆志留系假整合或区域不整合(王子煜等, 2001; 吴国干等, 2002; 林畅松等, 2009)。志留纪盆地中部拗陷带沿盆地中轴线呈东西向延伸, 盆地边缘隆起带平行拗陷带两侧发育, 继承了奥陶纪时期相对东降西升的盆地格局, 最大沉降位于盆地东部的满加尔凹陷位置, 但盆地整体沉积范围变小, 盆地边缘隆起大范围处于暴露、剥蚀状态(王向伟, 2013)。盆地南缘西昆仑造山带和阿尔金造山带在志留系同沉积期的构造活动特点对盆地南部志留系的源汇体系具有决定性影响。盆地东南部塔南隆起带(位于阿尔金造山带北侧、车尔臣断裂以南)寒武系—泥盆系地层缺失(邬光辉等, 2012), 其可能是多次构造运动叠加的结果, 期间的过程尚不明确, 但垂向上该带位置较稳定, 推测是阿尔金早古生代造山过程中形成的继承性隆起带。相比之下, 受盆地西南部昆仑造山带构造活动的影响, 塔西南拗陷在早古生代加里东运动期则表现出盆内隆起带(和田古隆起)持续活动和明显自西向东迁移的特征, 志留纪时期盆内隆起带迁至铁克里克构造带北侧, 盆内大面积缺失志留系沉积(郭颖, 2016)。由此可以清晰地勾绘出志留纪塔里木盆地具有西南高、东北低的构造地貌特征, 志留系地层向盆地南部隆起及盆内隆起(塔中隆起)超覆尖灭。西昆仑造山带、阿尔金造山带及盆内隆起剥蚀区均可以成为塔中志留系碎屑岩沉积的潜在物源区。

3.2.3 潜在源区锆石年龄对比 如前文所述, 本次测试所得的塔中志留系碎屑锆石四个主要年龄区段在塔里木盆地都有相应的构造热事件响应, 但要明确具体的物源区域还需将塔中志留系碎屑锆石年龄与潜在源区可能提供的锆石年龄做进一步的详细对比。同时, 近些年有关塔里木盆地其他地区或层位新同位素测年数据的报道以及有关盆地剥

蚀量恢复、构造演化方面的研究成果(王超, 2011; 王向伟, 2013; 李忠等, 2015; 郭颖, 2016; Zhang *et al.*, 2016, 2019; 闫淑玉等, 2018; 郭春涛等, 2019; 杨鑫等, 2020)为本文塔中志留系源区探讨奠定了良好基础。

本次所得锆石年龄数据中早古生代锆石年龄较少, 仅占 3.9%, 年龄分布在 460~490 Ma, 而阿尔金造山带和西昆仑造山带均分布大量与加里东期洋盆俯冲、关闭过程伴生的早古生代结晶岩(毕华等, 1999; 魏国齐等, 2002; 马润则等, 2003; 郭东升等, 2008; 刘永顺等, 2009; 邬光辉等, 2009b, 2010, 2012; 伍跃中等, 2009; 王超等, 2013; 查显锋等, 2018; Zhang *et al.*, 2019; 杨鑫等, 2020)。这在以阿尔金或西昆仑造山带为源区的塔里木盆地内部碎屑锆石年龄数据中有明显的体现, 如邬光辉等(2009b)在塔东地区志留系样品中测得 450~500 Ma 奥陶纪的碎屑锆石年龄占比达 72.5%, 认为其源区主要为阿尔金造山带。杨鑫等(2020)在塔西南巴参 1 井泥盆系样品中获得~450 Ma 早古生代碎屑锆石年龄特征峰值, 认为其来源于西昆仑造山带。上述特征说明西昆仑和阿尔金造山带并不是塔中志留系碎屑锆石的主要源区, 而塔中志留系 96.1% 的前寒武纪碎屑锆石年龄说明其物源应主要来自于志留纪同沉积期盆地南部的前寒武纪基底隆起, 其主要源区可以进一步缩小到塔里木盆地西

南缘的铁克里克隆起构造带和东南缘的塔南隆起构造带。

由于巨厚沉积盖层及周边显生宙复杂造山事件的改造, 塔里木克拉通前寒武纪基底岩石现今仅在塔里木盆地东南缘的阿尔金—敦煌、西南缘的铁克里克—西昆仑、西北缘的阿克苏—柯坪以及东北缘库鲁克塔格 4 个地区出露(陆松年等, 2006; 常健等, 2012; 何景文等, 2015; 张健等, 2018; 图 5)。新的同位素测年数据表明, 盆地西南缘铁克里克地区和东南缘阿尔金地区广泛出露的原被认为是古—中元古代的基底岩系主要为新元古代地层(王超, 2011; Zhang *et al.*, 2016)。王超(2011)统计了塔西南铁克里克和阿尔金地区新元古代地层碎屑锆石年代学数据, 认为铁克里克地区碎屑锆石年龄主要分布在~645 Ma、~686 Ma、~787 Ma、835~850 Ma、1 800~1 950 Ma、2 200~2 300 Ma 和 2 500~2 700 Ma, 其中 835~850 Ma 的特征峰值年龄占绝对优势。阿尔金地区新元古代地层碎屑锆石年龄主要分布在~500 Ma、~648 Ma、777~834 Ma、900~925 Ma、1 300~1 400 Ma、~1 550 Ma 和 1 750~1 850 Ma(图 6)。可以看出, 塔中志留系与铁克里克新元古代地层碎屑锆石年龄谱特征异常相似, 835~850 Ma 和~850 Ma 的新元古代主特征峰值相近, 且二者锆石年龄均主要分布在新元古代、古元古代和新太古代年龄区间内, 缺少中元古代锆

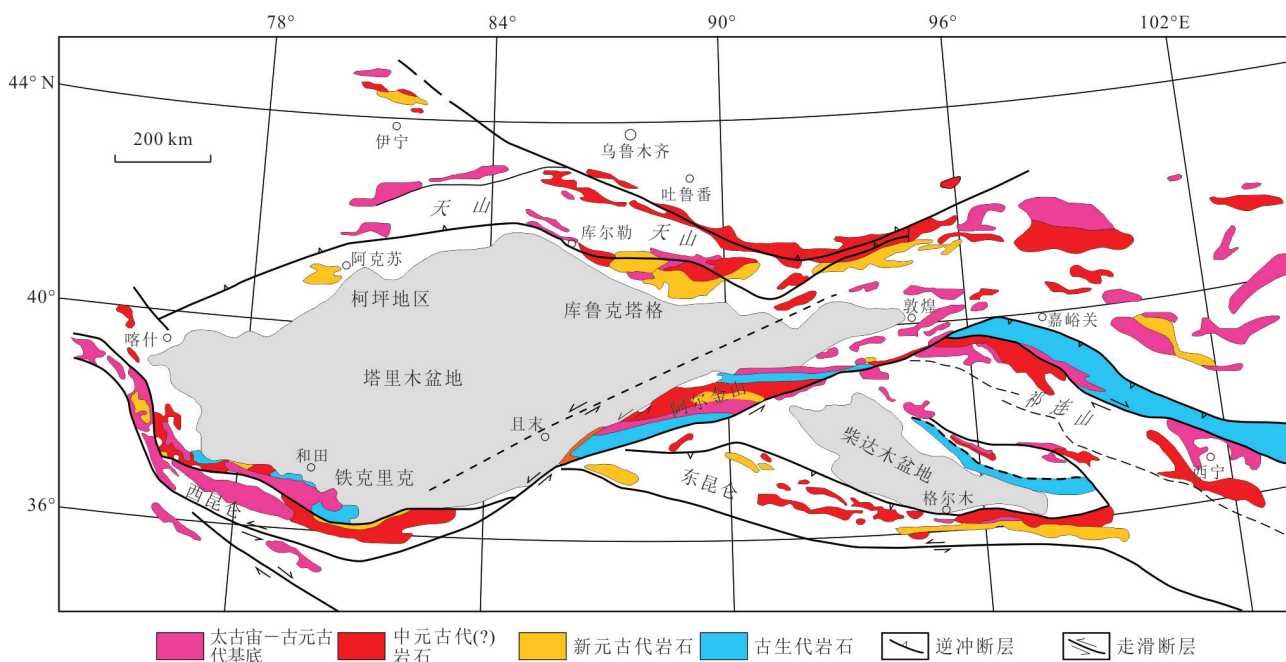


图 5 塔里木盆地周缘及邻区前寒武纪基底分布(据张建新等, 2011 修改)

Fig. 5 Simplified geological map of Precambrian basement of surrounding areas of Tarim Basin (modified from Zhang *et al.*, 2011)

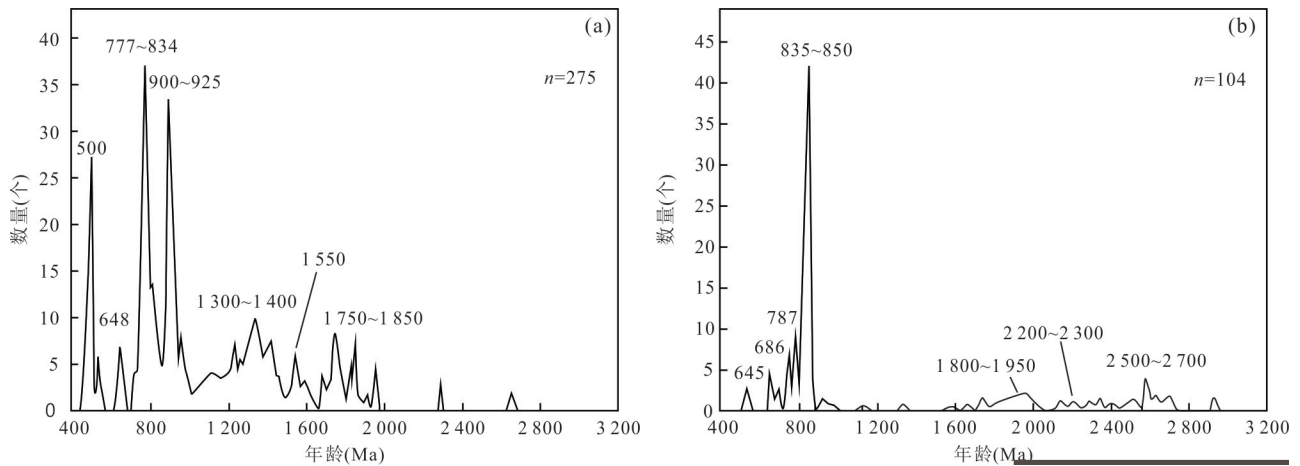


图6 阿尔金(a)和铁克里克(b)新元古代地层碎屑锆石年龄频谱图(据王超, 2011)

Fig.6 Probability plots for detrital zircon U-Pb ages of the Neoproterozoic samples from Altun (a) and Tiekelike (b) areas (after Wang, 2011)

石年龄. 而阿尔金地区新元古代地层碎屑锆石存在 777~834 Ma、900~925 Ma 两个新元古代特征年龄峰值, 且存在 1 300~1 400 Ma 和 ~1 550 Ma 的中元古代年龄峰值, 同时有很少的古元古代和新太古代碎屑锆石年龄(图 6). 铁克里克和阿尔金地区新的碎屑锆石测年数据也同样支持上述特征(Zhang *et al.*, 2019).

塔南隆起现今被沉积盖层覆盖, 目前尚未获得该区前寒武纪基底岩系的测年数据, 其是否与紧邻的阿尔金造山带具有相似的基底仍不能确定, 结合志留系同沉积期盆地的构造—地貌特征及塔南隆起自身构造演化历史的不确定性, 其向塔中志留系提供主要碎屑锆石物源的可能性应该较小. 鉴于此, 笔者认为塔中志留系碎屑锆石主要来源于塔里木盆地西南缘的铁克里克隆起构造带, 不排除同沉积期盆内隆起剥蚀区(如铁克里克构造带北部及塔中隆起主垒带)向塔中地区提供部分再旋回沉积物源, 以及塔南隆起带提供少部分前寒武纪基底物源的可能.

4 结论

(1) 塔中地区志留系柯坪塔格组碎屑锆石主要为岩浆结晶成因, 锆石年龄主要分布在早古生代 460~490 Ma、新元古代 760~1 000 Ma、古元古代 1 600~2 200 Ma 及新太古代晚期—古元古代早期 2 400~2 600 Ma 四个时期. 其中新元古代 760~1 000 Ma 碎屑锆石年龄占绝对优势, 峰值~850 Ma.

(2) 通过对碎屑锆石年龄和盆地构造热事件对

应关系的探讨, 结合志留纪时期塔里木板块南北缘的板块动力学背景, 同沉积期盆地构造演化及地貌特征分析以及和潜在源区锆石年龄的详细对比, 采用逐一排除法确定塔中志留系碎屑锆石主要来源于塔里木盆地西南缘的铁克里克隆起构造带, 不排除同沉积期盆内隆起剥蚀区提供部分再旋回沉积物源, 以及塔南隆起带提供少部分前寒武纪基底物源的可能.

(3) 志留纪时期塔里木盆地南缘的西昆仑和阿尔金地区均已处于洋盆关闭后的地理成山阶段, 相比之下, 西昆仑造山带对塔里木盆地志留系沉积的影响范围可能更大, 涉及范围可能包括盆地的西部、西北部及塔中等地区, 阿尔金造山带的影响范围可能仅限于塔东、塔东北等地区.

References

- Bi, H., Wang, Z.G., Wang, Y.L., et al., 1999. History of Tectono-Magmatic Evolution in the Western Kunlun Orogen. *Scientia Sinica Terrae*, 29(5): 398–406 (in Chinese).
- Chang, J., Qiu, N.S., Li, J.W., 2012. U-Pb Dating of Detrital Zircon from Lower Silurian in Keping Area of Tarim Basin and Its Geological Implication. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 34(3): 32–43 (in Chinese with English abstract).
- Guo, C.T., Dong, S.L., Li, Z., 2019. Detrital Zircon U-Pb Geochronology of Upper Cambrian-Lower Silurian Sandstone in the Wushi Area, Northwestern Margin of Tarim Basin: Implications for Provenance System and Tectonic Evolution. *Acta Geologica Sinica*, 93(11):

- 2759—2769 (in Chinese with English abstract).
- Guo, C.T., Gao, J., Li, Z., 2018. Depositional and Provenance Records of Lower Permian Sandstones from Sishichang Area, Northwestern Tarim Basin: Implications for Tectonic Evolution. *Earth Science*, 43(11): 4149—4168 (in Chinese with English abstract).
- Guo, D.S., Wu, G.H., Zhang, C.Z., et al., 2008. The Evidence of Detrital Zircon Age Determination of Tarim Basin Basement. *Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition)*, 30(5): 6—10 (in Chinese with English abstract).
- Guo, Y., 2016. Tectonic Evolution and Formation Mechanism of Hetian Paleo-Uplift in Tarim Basin (Dissertation). China University of Petroleum, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Han, F.L., Cui, J.T., Ji, W.H., et al., 2002. Discovery of the Qimanyute Ophiolite in the West Kunlun and Its Geological Significance. *Geological Bulletin of China*, 21(8—9): 573—578 (in Chinese with English abstract).
- He, J.W., Zhu, W.B., Zheng, B.H., et al., 2015. Provenance of Sinian Sugetbrak Sedimentary Rocks in the Aksu Area, NW Tarim: Evidence from Detrital Zircon Geochronology. *Acta Geologica Sinica*, 89(1): 149—162 (in Chinese with English abstract).
- Jia, C.Z., Wei, G.Q., 2002. Structural Characteristics and Petroliferous Features of Tarim Basin. *Chinese Science Bulletin*, 47(S1): 1—8 (in Chinese).
- Li, Y.J., Sun, L.D., Hu, S.L., et al., 2003. ^{40}Ar - ^{39}Ar Geochronology of the Granite and Diorite Revealed at the Bottom of Tacan 1, the Deepest Well in China. *Acta Petrologica Sinica*, 19(3): 530—536 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z., Gao, J., Guo, C.T., et al., 2015. Devonian-Carboniferous Tectonic Evolution of Continental Margins in Northern Tarim Block, Northwest China: Constrained by Basin-Fill Sequences and Provenance Systems. *Earth Science Frontiers*, 22(1): 35—52 (in Chinese with English abstract).
- Lin, C.S., Yang, H.J., Liu, J.Y., et al., 2009. Paleogeographic Geomorphology of the Paleozoic Central Uplift Belt and Its Constraint on the Development of Depositional Facies in the Tarim Basin. *Scientia Sinica Terrae*, 39(3): 306—316 (in Chinese).
- Ling, W.L., Duan, R.C., Liu, X.M., et al., 2010. U-Pb Dating of Detrital Zircons from the Wudangshan Group in the South Qinling and Its Geological Significance. *Chinese Science Bulletin*, 55(12): 1153—1161 (in Chinese).
- Liu, J.Y., Yang, H.J., Yang, Y.H., et al., 2012. The U-Pb Chronologic Evidence and Sedimentary Responses of Silurian Tectonic Activities at Northeastern Margin of Tarim Basin. *Scientia Sinica Terrae*, 42(8): 1218—1233 (in Chinese).
- Liu, Y.S., Yu, H.F., Xin, H.T., et al., 2009. Tectonic Units Division and Precambrian Significant Geological Events in Altyn Tagh Mountain, China. *Geological Bulletin of China*, 28(10): 1430—1438 (in Chinese with English abstract).
- Liu, K.F., Wang, Y.H., Jiang, G.L., et al., 2014. Evolution of Neoproterozoic-Mesozoic Sedimentary Basins of West Kunlun Area. *Earth Science*, 39(8): 987—999 (in Chinese with English abstract).
- Long, X.P., Yuan, C., Sun, M., et al., 2010. Archean Crustal Evolution of the Northern Tarim Craton, NW China: Zircon U-Pb and Hf Isotopic Constraints. *Precambrian Research*, 180(3—4): 272—284. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2010.05.001>
- Lu, S.N., Li, H.K., Chen, Z.H., 2003. Characteristics, Sequence and Ages of Neoproterozoic Thermo-Tectonic Events between Tarim and Yangzi Blocks—A Hypothesis of Yangzi-Tarim Connection. *Earth Science Frontiers*, 10(4): 321—326 (in Chinese with English abstract).
- Lu, S.N., Yu, H.F., Li, H.K., 2006. Study on Major Geological Events in Precambrian in China: Major Geological Events in Precambrian in Western China and Their Global Tectonic Significance. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Lu, S.N., Yuan, G.B., 2003. Geochronology of Early Precambrian Magmatic Activities in Aketashitage, East Altyn Tagh. *Acta Geologica Sinica*, 77(1): 61—68 (in Chinese with English abstract).
- Luo, J.H., Lei, G.L., Liu, L., et al., 2009. The Controlling of Altyn Structural Belt on Petroleum Geology of the Southeastern Part of the Tarim Basin, NW China. *Geotectonica et Metallogenia*, 33(1): 76—85 (in Chinese with English abstract).
- Ma, R.Z., Liu, Y.C., Liu, J.D., 2003. Age and Tectonic Setting of the Epimetamorphic Rock Series along the Southern Margin of Tarim Basin. *Xinjiang Geology*, 21(1): 51—56 (in Chinese with English abstract).
- Peng, L., Wang, Z.B., Yang, J.P., et al., 2019. Characteristics and Controlling Factors of Low-Permeability Reservoirs in Silurian Kepingtage Formation, 10th Tectonic Belt in the Tazhong Area, Tarim Basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 41(3): 355—362 (in Chinese with English abstract).
- Qian, Y.X., He, Z.L., Cai, X.Y., et al., 2007a. Character-

- istics of Heavy Minerals from Upper Devonian Donghe Sandstone and Silurian Sandstone in Western Tazhong Area, Tarim Basin, and Their Geological Implications. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 26(2): 147–154 (in Chinese with English abstract).
- Qian, Y.X., He, Z.L., Cai, X.Y., et al., 2007b. Characteristics of and U–Pb Ages of Zircons and Its Implication from Zircon of Donghe Sandstones of the Upper Devonian and Silurian Sandstones in Tazhong Area, Tarim Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 23(11): 3003–3014 (in Chinese with English abstract).
- Wang, B., Wang, Y., Chen, B.L., et al., 2017. LA-ICP-MS Zircon U–Pb Dating of Paleoproterozoic Pluton in Northern Altun Area and Its Geological Implications. *Geological Bulletin of China*, 36(6): 964–976 (in Chinese with English abstract).
- Wang, C., 2011. Precambrian Tectonic of South Margin of Tarim Basin, NW China (Dissertation). Northwest University, Xi'an (in Chinese with English abstract).
- Wang, C., Liu, L., He, S.P., et al., 2013. Early Paleozoic Magmatism in West Kunlun: Constraints from Geochemical and Zircon U–Pb–Hf Isotopic Studies of the Bulong Granite. *Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica)*, 48(4): 997–1014 (in Chinese with English abstract).
- Wang, J., Qin, J.Z., Liu, W.H., et al., 2012. Mesozoic Tectonics and Dynamic Thermal History in Yuanba Area of Northeastern Sichuan Basin—Application of (U–Th)/He Dating of Apatite and Zircon. *Petroleum Geology & Experiment*, 34(1): 19–24 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X.W., 2013. Tectonic Evolution of Paleozoic Key-Unconformities in Tarim Basin (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Wang, Z.Y., Qi, J.F., Wang, L.W., et al., 2001. The Regional Tectonic Evolution of Tarim Basin and Adjacent Fold Belts. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 31(4): 323–327 (in Chinese with English abstract).
- Wei, G.Q., Jia, C.Z., Li, B.L., et al., 2002. Silurian to Devonian Foreland Basin in the South Edge of Tarim Basin. *Chinese Science Bulletin*, 47(S1): 44–48 (in Chinese).
- Wu, G.G., Li, H.Q., Chu, B.J., et al., 2002. Geotectonic Evolution and Petroleum Accumulation in East Tarim. *Geotectonica et Metallogenia*, 26(3): 229–234 (in Chinese with English abstract).
- Wu, G.H., Li, H.W., Xu, Y.L., et al., 2012. The Tectonothermal Events, Architecture and Evolution of Tarim Craton Basement Palaeo-Uplifts. *Acta Petrologica Sinica*, 28(8): 2435–2452 (in Chinese with English abstract).
- Wu, G.H., Sun, J.H., Guo, Q.Y., et al., 2010. The Distribution of Detrital Zircon U–Pb Ages and Its Significance to Precambrian Basement in Tarim Basin. *Acta Geoscientica Sinica*, 31(1): 65–72 (in Chinese with English abstract).
- Wu, G.H., Zhang, B.S., Guo, C.L., et al., 2009a. Detrital Zircon U–Pb Dating for the Silurian in Northern Tarim Basin and Its Significance. *Geotectonica et Metallogenia*, 33(3): 418–426 (in Chinese with English abstract).
- Wu, G.H., Zhang, B.S., Su, W., et al., 2009b. Detrital Zircon U–Pb Ages and Its Significance of Silurian from Tazhong Area in Tarim Basin. *Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica)*, 44(3): 1025–1035 (in Chinese with English abstract).
- Wu, G.H., Zhang, C.Z., Wang, H., et al., 2009c. Zircon SHRIMP U–Pb Age of Granodiorite of the Tacan 1 Well in the Central Tarim Basin, China. *Geological Bulletin of China*, 28(5): 568–571 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Y.Z., Wang, Z., Guo, L., et al., 2009. Tectonic Control for Temporal and Spatial Variation of Granitoids in Southwest Sector of Altyn Mountains—Evidence from Changes of Potassium and Sodium in Granitoids. *Geotectonica et Metallogenia*, 33(4): 573–587 (in Chinese with English abstract).
- Xie, S.W., Gao, S., Liu, X.M., et al., 2009. U–Pb Ages and Hf Isotopes of Detrital Zircons of Nanhua Sedimentary Rocks from the Yangtze Gorges: Implications for Genesis of Neoproterozoic Magmatism in South China. *Earth Science*, 34(1): 117–126 (in Chinese with English abstract).
- Yan, S.Y., Zhang, J.J., Wang, X.X., et al., 2018. Provenance of Cenozoic Sediments in Yecheng, Southwest Tarim Basin: Constraints from Detrital Zircons U–Pb Geochronology. *Geotectonica et Metallogenia*, 42(2): 392–402 (in Chinese with English abstract).
- Yang, X., Xu, X.H., Deng, S., et al., 2020. Proto-Tethys Tectonic Evolution from Ordovician to Devonian in Southwestern Margin of Tarim Block, NW China. *Earth Science*, 45(11): 4153–4175 (in Chinese with English abstract).
- Yu, H.F., Zhao, F.Q., Lu, S.N., 2002. Preliminary Study of Precambrian Geology in the North of Tibet Pla-

- teau. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Yuan, C., Sun, M., Xiao, W.J., et al., 2003. Subduction Polarity of the Prototethys: Insights from the Yirba Pluton of the Western Kunlun Range, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 19(3): 399–408 (in Chinese with English abstract).
- Zha, X. F., Gao, X. F., Li, P., et al., 2018. Origin of Diabase Dykes in Mazar Area in West Kunlun Orogenic Belt: Evidences from Zircon U–Pb Dating and Geochemistry. *Earth Science*, 43(12): 4269–4282 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, C.L., Li, H.K., Wang, H.Y., 2012. A Review on Precambrian Tectonic Evolution of Tarim Block: Possibility of Interaction between Neoproterozoic Plate Subduction and Mantle Plume. *Geological Review*, 58(5): 923–936 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, C.L., Lu, S.N., Yu, H.F., et al., 2007. Tectonic Evolution of the West Kunlun Orogenic Belt on the Northern Margin of the Tibet plateau: Evidence from Zircon SHRIMP and LA-ICP-MS Dating. *Scientia Sinica Terrae*, 37(2): 145–154 (in Chinese).
- Zhang, C.L., Wang, Z.G., Shen, J.L., et al., 2003a. Zircon SHRIMP Dating and Geochemistry Characteristics of Akazi Rock Mass of Western Kunlun. *Acta Petrologica Sinica*, 19(3): 523–529 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, C.L., Yang, C., Shen, J.L., et al., 2003b. Zircon SHRIMP Age of Neoproterozoic Gneissoid Granites in the West Kunlun and Its Significance. *Geological Review*, 49(3): 239–244 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, C. L., Ye, X. T., Zou, H. B., et al., 2016. Neoproterozoic Sedimentary Basin Evolution in Southwestern Tarim, NW China: New Evidence from Field Observations, Detrital Zircon U–Pb Ages and Hf Isotope Compositions. *Precambrian Research*, 280: 31–45. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2016.04.011>
- Zhang, C. L., Zou, H. B., Ye, X. T., et al., 2019. Tectonic Evolution of the West Kunlun Orogenic Belt along the Northern Margin of the Tibetan Plateau: Implications for the Assembly of the Tarim Terrane to Gondwana. *Geoscience Frontiers*, 10(3): 973–988. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.05.006>
- Zhang, G.Y., Zhao, W.Z., Wang, H.J., et al., 2007. Multi-cycle Tectonic Evolution and Composite Petroleum Systems in the Tarim Basin. *Oil & Gas Geology*, 28(5): 653–663 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J., Li, H.K., Zhang, C.L., et al., 2018. New Evidence for the Breakup of the Columbia Supercontinent from the Northeastern Margin of Tarim Craton: Rock Geochemistry, Zircon U–Pb Geochronology and Hf–O Isotopic Compositions of the ca.1.55 Ga Diabase Sills in the Kuruktag Area. *Earth Science Frontiers*, 25(6): 106–123 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. L., Zhang, X., 2007. Element Geochemistry of Sandstones in the Silurian of Central Tarim Basin and the Significance in Provenance Discrimination. *Acta Petrologica Sinica*, 23(11): 2990–3002 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. X., Li, H. K., Meng, F. C., et al., 2011. Poly-phase Tectonothermal Events Recorded in “Metamorphic Basement” from the Altyn Tagh, the Southeastern Margin of the Tarim Basin, Western China: Constraint from U–Pb Zircon Geochronology. *Acta Petrologica Sinica*, 27(1): 23–46 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X., Zhang, J.L., Qin, L.J., 2007. Petrological Characteristics and Provenance Analysis of Sandstones in the Kepingtage Formation of Silurian in the Tarim Basin. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 27(3): 106–115 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X. B., 2004. Study of Favored Oil and Gas Bearing Structure in Tazhong Area (Dissertation). Chengdu University of Technology, Chengdu (in Chinese with English abstract).
- Zhao, J., Luo, X.R., Zhang, B.S., et al., 2011. A Quantitative Characterization and Effectiveness Evaluation on Sandstone Carrier Beds of the Silurian Kalpintag Formation in the Tazhong Area, Tarim Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 32(6): 949–958 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 毕华, 王中刚, 王元龙, 等, 1999. 西昆仑造山带构造岩浆演化史. *中国科学:地球科学*, 29(5): 398–406.
- 常健, 邱楠生, 李佳蔚, 2012. 塔里木柯坪地区下志留统碎屑锆石 U–Pb 年代学特征及其地质意义. *地球科学与环境学报*, 34(3): 32–43.
- 郭春涛, 董顺利, 李忠, 2019. 塔里木盆地西北缘乌什地区上寒武统一下志留统碎屑锆石 U–Pb 年代学及对物源体系和构造演化的指示. *地质学报*, 93(11): 2759–2769.
- 郭春涛, 高剑, 李忠, 2018. 塔里木盆地西北缘四石厂地区下二叠统沉积与物源记录及其反映的构造演化. *地球科学*, 43(11): 4149–4168.
- 郭东升, 邬光辉, 张承泽, 等, 2008. 塔里木盆地基底碎屑锆石定年的证据. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 30

- (5): 6—10.
- 郭颖, 2016. 塔里木盆地和田古隆起构造演化及成因机制(博士学位论文). 北京: 中国石油大学.
- 韩芳林, 崔建堂, 计文化, 等, 2002. 西昆仑其曼于特蛇绿混杂岩的发现及其地质意义. 地质通报, 21(8—9): 573—578.
- 何景文, 朱文斌, 郑碧海, 等, 2015. 塔里木西北缘阿克苏地区震旦系苏盖特布拉克组沉积物源分析: 碎屑锆石年代学证据. 地质学报, 89(1): 149—162.
- 贾承造, 魏国齐, 2002. 塔里木盆地构造特征与含油气性. 科学通报, 47(S1): 1—8.
- 李曰俊, 孙龙德, 胡世玲, 等, 2003. 塔里木盆地塔参1井底部花岗岩长岩的⁴⁰Ar-³⁹Ar年代学研究. 岩石学报, 19(3): 530—536.
- 李忠, 高剑, 郭春涛, 等, 2015. 塔里木块体北部泥盆—石炭纪陆缘构造演化: 盆地充填序列与物源体系约束. 地学前缘, 22(1): 35—52.
- 林畅松, 杨海军, 刘景彦, 等, 2009. 塔里木盆地古生代中央隆起带古构造地貌及其对沉积相发育分布的制约. 中国科学: 地球科学, 39(3): 306—316.
- 凌文黎, 段瑞春, 柳小明, 等, 2010. 南秦岭武当山群碎屑锆石 U-Pb 年代学及其地质意义. 科学通报, 55(12): 1153—1161.
- 刘景彦, 杨海军, 杨永恒, 等, 2012. 塔里木盆地东北缘志留纪构造活动的 U-Pb 年代证据及盆内响应. 中国科学: 地球科学, 42(8): 1218—1233.
- 刘永顺, 于海峰, 辛后田, 等, 2009. 阿尔金山地区构造单元划分和前寒武纪重要地质事件. 地质通报, 28(10): 1430—1438.
- 柳坤峰, 王永和, 姜高磊, 等, 2014. 西昆仑新元古代—中生代沉积盆地演化. 地球科学, 39(8): 987—999.
- 陆松年, 李怀坤, 陈志宏, 2003. 塔里木与扬子新元古代热—构造事件特征、序列和时代——扬子与塔里木连接(YZ-TAR)假设. 地学前缘, 10(4): 321—326.
- 陆松年, 于海峰, 李怀坤, 2006. 中国前寒武纪重大地质问题研究: 中国西部前寒武纪重大地质事件群及其全球构造意义. 北京: 地质出版社.
- 陆松年, 袁桂邦, 2003. 阿尔金山阿克塔什塔格早前寒武纪岩浆活动的年代学证据. 地质学报, 77(1): 61—68.
- 罗金海, 雷刚林, 刘良, 等, 2009. 阿尔金构造带对塔东南油气地质条件的制约. 大地构造与成矿学, 33(1): 76—85.
- 马润则, 刘援朝, 刘家铎, 2003. 塔里木南缘浅变质岩系形成时代及构造背景. 新疆地质, 21(1): 51—56.
- 彭丽, 王振彪, 阳建平, 等, 2019. 塔里木盆地塔中10号构造带志留系柯坪塔格组低渗储层特征及控制因素. 石油实验地质, 41(3): 355—362.
- 钱一雄, 何治亮, 蔡习尧, 等, 2007a. 塔中西北部上泥盆统东河砂岩与志留系砂岩中重砂矿物特征与地质意义. 岩石矿物学杂志, 26(2): 147—154.
- 钱一雄, 何治亮, 蔡习尧, 等, 2007b. 塔中地区上泥盆统东河砂岩和志留系砂岩的锆石特征、SHRIMP U-Pb 年龄及地质意义. 岩石学报, 23(11): 3003—3014.
- 王斌, 王永, 陈柏林, 等, 2017. 北阿尔金地区古元古代岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质通报, 36(6): 964—976.
- 王超, 2011. 塔里木盆地南缘前寒武纪地质演化(博士学位论文). 西安: 西北大学.
- 王超, 刘良, 何世平, 等, 2013. 西昆仑早古生代岩浆作用过程: 布隆花岗岩地球化学和锆石 U-Pb-Hf 同位素组成研究. 地质科学, 48(4): 997—1014.
- 王杰, 秦建中, 刘文汇, 等, 2012. 川东北元坝地区中生代构造与动态热演化史——磷灰石、锆石(U-Th)/He 定年分析. 石油实验地质, 34(1): 19—24.
- 王向伟, 2013. 塔里木盆地地下古生界关键界面构造演化研究(硕士学位论文). 北京: 中国地质大学.
- 王子煜, 漆家福, 王立武, 等, 2001. 塔里木盆地与相邻褶皱带的区域构造演化. 长春科技大学学报, 31(4): 323—327.
- 魏国齐, 贾承造, 李本亮, 等, 2002. 塔里木盆地南缘志留—泥盆纪周缘前陆盆地. 科学通报, 47(增刊1): 44—48.
- 吴国干, 李华启, 初宝洁, 等, 2002. 塔里木盆地东部大地构造演化与油气成藏. 大地构造与成矿学, 26(3): 229—234.
- 邬光辉, 李浩武, 徐彦龙, 等, 2012. 塔里木克拉通基底古隆起构造热事件及其结构与演化. 岩石学报, 28(8): 2435—2452.
- 邬光辉, 孙建华, 郭群英, 等, 2010. 塔里木盆地碎屑锆石年龄分布对前寒武纪基底的指示. 地球学报, 31(1): 65—72.
- 邬光辉, 张宝收, 郭春利, 等, 2009a. 塔里木盆地北部志留系碎屑锆石测年及其地质意义. 大地构造与成矿学, 33(3): 418—426.
- 邬光辉, 张宝收, 苏文, 等, 2009b. 塔中地区志留系碎屑锆石测年及其地质意义. 地质科学, 44(3): 1025—1035.
- 邬光辉, 张承泽, 汪海, 等, 2009c. 塔里木盆地中部塔参1井花岗岩闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄. 地质通报, 28(5): 568—571.
- 伍跃中, 王战, 过磊, 等, 2009. 阿尔金山西南段花岗岩类的时空变化与构造作用——来自钾钠含量变化的证据. 大地构造与成矿学, 33(4): 573—587.
- 谢士稳, 高山, 柳小明, 等, 2009. 扬子克拉通南华纪碎屑锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素对华南新元古代岩浆事件的指示. 地球科学, 34(1): 117—126.
- 闫淑玉, 张进江, 王晓先, 等, 2018. 塔西南叶城地区新生代沉积物源分析: 来自碎屑锆石 U-Pb 年代学证据. 大地构造与成矿学, 42(2): 392—402.

- 杨鑫,徐旭辉,邓尚,等,2020.塔里木西南大陆边缘原特提斯洋构造演化.地球科学,45(11):4153-4175.
- 于海峰,赵风清,陆松年,2002.青藏高原北部前寒武纪地质初探.北京:地质出版社.
- 袁超,孙敏,肖文交,等,2003.原特提斯的消减极性:西昆仑128公里岩体的启示.岩石学报,19(3):399-408.
- 查显锋,高晓峰,李平,等,2018.西昆仑麻扎达坂辉绿岩墙的成因:来自年代学和地球化学证据.地球科学,43(12):4269-4282.
- 张传林,李怀坤,王洪燕,2012.塔里木地块前寒武纪地质研究进展评述.地质论评,58(5):923-936.
- 张传林,陆松年,于海峰,等,2007.青藏高原北缘西昆仑造山带构造演化:来自锆石 SHRIMP 及 LA-ICP-MS 测年的证据.中国科学:地球科学,37(2):145-154.
- 张传林,王中刚,沈加林,等,2003a.西昆仑山阿卡孜岩体锆石 SHRIMP 定年及其地球化学特征.岩石学报,19(3):523-529.
- 张传林,杨淳,沈加林,等,2003b.西昆仑北缘新元古代片麻状花岗岩锆石 SHRIMP 年龄及其意义.地质论评,49(3):239-244.
- 张光亚,赵文智,王红军,等,2007.塔里木盆地多旋回构造演化与复合含油气系统.石油与天然气地质,28(5):653-663.
- 张健,李怀坤,张传林,等,2018.塔里木克拉通东北缘 Columbia 超大陆裂解事件:库鲁克塔格地区辉绿岩床的地球化学、锆石 U-Pb 年代学和 Hf-O 同位素证据.地学前缘,25(6):106-123.
- 张金亮,张鑫,2007.塔中地区志留系砂岩元素地球化学特征与物源判别意义.岩石学报,23(11):2990-3002.
- 张建新,李怀坤,孟繁聪,等,2011.塔里木盆地东南缘(阿尔金山)“变质基底”记录的多期构造热事件:锆石 U-Pb 年代学的制约.岩石学报,27(1):23-46.
- 张鑫,张金亮,覃利娟,2007.塔里木盆地志留系柯坪塔格组砂岩岩石学特征与物源分析.矿物岩石,27(3):106-115.
- 张小兵,2004.塔中地区志留泥盆系有利含油气构造研究(硕士学位论文).成都:成都理工大学.
- 赵健,罗晓容,张宝收,等,2011.塔中地区志留系柯坪塔格组砂岩输导层量化表征及有效性评价.石油学报,32(6):949-958.