

塔里木盆地碎屑锆石年龄分布对前寒武纪基底的指示

邬光辉^{1,2)}, 孙建华²⁾, 郭群英²⁾, 唐涛³⁾, 陈志勇¹⁾, 冯晓军²⁾

1) 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083;

2) 塔里木油田勘探开发研究院, 新疆库尔勒 841000; 3) 川庆物探山地公司, 四川成都 610213

摘要: 应用碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年方法研究塔里木盆地前寒武纪基底与超大陆的关系, 对盆地内部不同地区井下 11 个碎屑岩样品进行锆石年代学分析。塔里木盆地南部与北部分别检测到早元古代、中元古代产生的物源, 结合周边造山带测年资料分析佐证了早中元古代塔里木南北块体演化有差异, 北部大量的中元古代早期年代数据可能预示塔北微块体存在与 Columbia 超大陆裂解时间相近的构造-热事件。南北塔里木在新元古代早期才发生碰撞拼合形成统一的基底与演化进程, 所有样品都检测到南华纪年龄数据证实塔里木板块及其周缘在此期发生大规模裂解事件, 南华纪大规模火成岩活动形成了盆地显生宙碎屑岩最主要的蚀源, 塔里木板块存在与 Rodinia 超大陆裂解时间相当的构造-热事件。碎屑锆石测年资料为研究塔里木板块与超大陆的关系提供了来自盆地内部的证据。

关键词: 塔里木; 碎屑锆石; LA-ICP-MS 年龄; 前寒武纪; 超大陆

中图分类号: P533; P597.1; P534.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-3021(2010)01-065-08

The Distribution of Detrital Zircon U-Pb Ages and Its Significance to Precambrian Basement in Tarim Basin

WU Guang-hui^{1,2)}, SUN Jian-hua²⁾, GUO Qun-ying²⁾, TANG Tao³⁾,
CHEN Zhi-yong¹⁾, FENG Xiao-jun²⁾

1) *Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083;*

2) *Research Institute of Exploration and Development, Tarim Oilfield Company, Korla, Xingjiang 841000;*

3) *Sichuan Petroleum Geophysical Prospecting Company, CNPC, Chengdu, Sichuan 610213*

Abstract: In order to get the information concerning the relationship between the Tarim Precambrian basement and the supercontinent, the authors analyzed the U-Pb isotopic ages of zircons from 11 clastic rocks in different areas of Tarim Basin in situ by means of LA-ICP-MS. The results show that there existed Early Paleoproterozoic provenance in northern Tarim and Middle Mesoproterozoic provenance in southern Tarim. An analysis of detrital zircon ages and data of surrounding orogenic belts indicates that a uniform Tarim basement did not exist in Paleoproterozoic and Mesoproterozoic, during which the North and South Tarim continents had different evolution events. The North Tarim continent probably had the same tectonic event as the breakup of Columbia supercontinent. The collision between North and South Tarim continents took place in Early Neoproterozoic, resulting in the formation of a uniform Tarim basement. All of the clastic rocks have Nanhuan ages, which indicates that there was a large scale breakup of the Tarim continent in Nanhuan period. The thermo-tectonic event in Nanhuan period provided widespread provenance of the cap rocks. The Tarim continent might have had the same tectono-thermal events as the breakup of the Rodinia supercontinent. These results have yielded new intraplate evidence for constraining the relation between the Tarim plate and the supercontinent.

Key words: Tarim; detrital zircon; LA-ICP-MS age; Precambrian; supercontinent

本文由中国石油勘探开发研究院中青年创新基金、国家重点基础研究发展计划 973 项目 (2006CB202308) 资助。

收稿日期: 2009-08-08; 改回日期: 2010-01-21。

第一作者简介: 邬光辉, 男, 1971 年生。高级工程师。石油地质专业。通讯地址: 100083, 北京市海淀区学院路 20 号。电话: 010-83598760。E-mail: wghhj@sina.com。

塔里木板块及其周边造山带前寒武纪基底的形成与演化是普受关注的重要领域(贾承造, 2004; 陆松年等, 2004; 张传林等, 2004; 王超等, 2006), 由于巨厚的沉积覆盖及周边造山带复杂的构造活动, 获得塔里木盆地基底演化与古大陆重建的资料很少, 而且多是根据周边造山带露头区资料推断盆地基底的演变(Powell et al., 2002; 陆松年等, 2003a; 郭召杰等, 2003; 贾承造, 2004), 来自盆地内部的证据匮乏。盆地内部碎屑岩物源研究不仅对油气勘探十分重要, 而且对认识盆地基底的演化具有重要意义(Dickinson et al., 1983; 李任伟等, 2004), 本文利用

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年测试技术, 对塔里木盆地 5 口井 13 个样品碎屑锆石测年数据进行统计分析, 结合盆地周边年代学资料, 探讨碎屑锆石年龄资料对盆地前寒武纪基底构造-热事件的指示。

1 锆石特征及分析方法

根据塔里木盆地地层分布特征, 本文在 5 口具有代表性的探井选取 13 个样品(图 1, 表 1), 样品都取自厚层岩屑细砂岩。中部塔中隆起物源代表性强, 选取 3 个采样点取样 6 个, 以便分析相同物源条件下不同位置的碎屑锆石年代异同; 东部物源复杂,

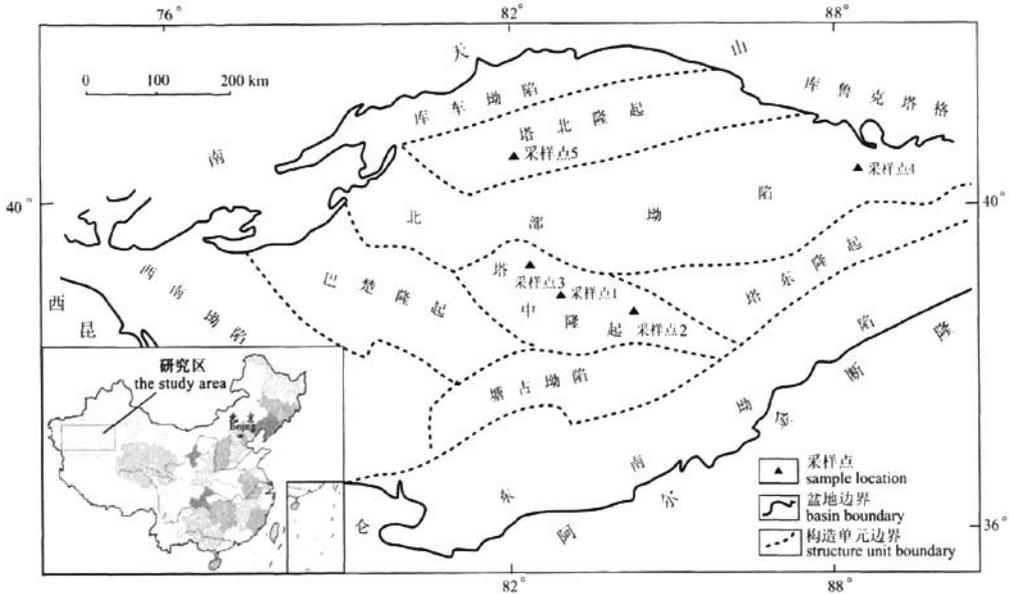


图 1 塔里木盆地碎屑锆石取样点位置图

Fig. 1 Sampling locations of zircons from clastic rocks in Tarim Basin

表 1 塔里木盆地碎屑锆石样品统计

Table 1 Statistics of zircons from clastic rocks in Tarim Basin

样品号	样品位置	层位	谐和年龄	
TZ-1A	塔中隆起采样点 1	S	765±19 Ma	2142±85 Ma
TZ-1B	塔中隆起采样点 1	C	752±3 Ma	2000±3 Ma
TZ-1C	塔中隆起采样点 1	O	数据少、分散	700-1000 Ma、1800-2000 Ma 较多
TZ-2	塔中隆起采样点 2	S	766±0.3 Ma	1938±28 Ma
TZ-3A	塔中隆起采样点 3	C	794±7.6 Ma	
TZ-3B	塔中隆起采样点 3	O	数据少、分散	700-1100 Ma 较多
YN2-5	塔东采样点 4	O	449±18 Ma	1499±39 Ma
YN2-4	塔东采样点 4	S	474±50 Ma	885±1 Ma, 1556±290 Ma
YN2-3	塔东采样点 4	J	434±20 Ma	
YN2-3	塔东采样点 4	J	435±34 Ma	1484±230 Ma
YN2-2	塔东采样点 4	J	424±29 Ma	910±77 Ma
YN2-1	塔东采样点 4	K	329 Ma	1508±260 Ma
YM-1	塔北隆起采样点 5	S	447±65 Ma	760±6 Ma, 1600±20 Ma

注: 采样点 3 的 2 个样品是在北京离子探针中心进行 SHRIMP 测年

选取 1 个采样点在不同层位取样 6 个进行系统分析；由于志留系是盆地第一套区域砂岩广泛分布的沉积盖层，选取代表 3 个不同物源区的 4 个样品，进行重点分析。

锆石的分选工作在河北区调队(廊坊)完成，岩样粉碎后经淘洗、磁选和重液分选后，分离出锆石。然后在双目镜下挑出不同晶形、不同颜色的锆石，制备锆石样品靶。在开始锆石 U-Pb 分析前，先进行阴极发光(CL)分析，以确定锆石颗粒的内部结构，锆石阴极发光图像在中科院地质与地球物理研究所的 Cameca 电子探针仪器上完成。CL 阴极发光图像中(图 2)，大多数锆石呈柱状、四方双锥状、椭球状，锆石结构均匀，绝大多数具有岩浆环带，晶型保存完整，为岩浆锆石，个别具有暗色增生边。塔北样品

中锆石磨蚀程度较高，椭圆形状锆石较少，磨圆度高，分选较好，表明其经历长距离搬运，来自广泛的物源区；而塔东、塔中井下锆石多遭受一定的磨蚀，但多保持较好的晶形，尖棱较多，磨圆度较低，分选较差，表明距物源较近。

本文 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年测试，在西北大学大陆动力学教育部重点实验室进行，ICP-MS 为 PE 公司的最新型仪器，是备有动态反应池的四极杆仪器；激光器为 ArF 193nm 准分子激光器，单脉冲能量 200 mJ；最高重复频率 20 Hz；平均功率 4w。经光学系统匀光和聚焦，能量密度可达 20 J/cm²。采用激光剥蚀进样，本次测试设置的剥蚀坑直径为 30-50 μm。对锆石中的同位素比值的测定，元素检出限一般为 ppb 级，具体的方法原理见文献(姚军明等，

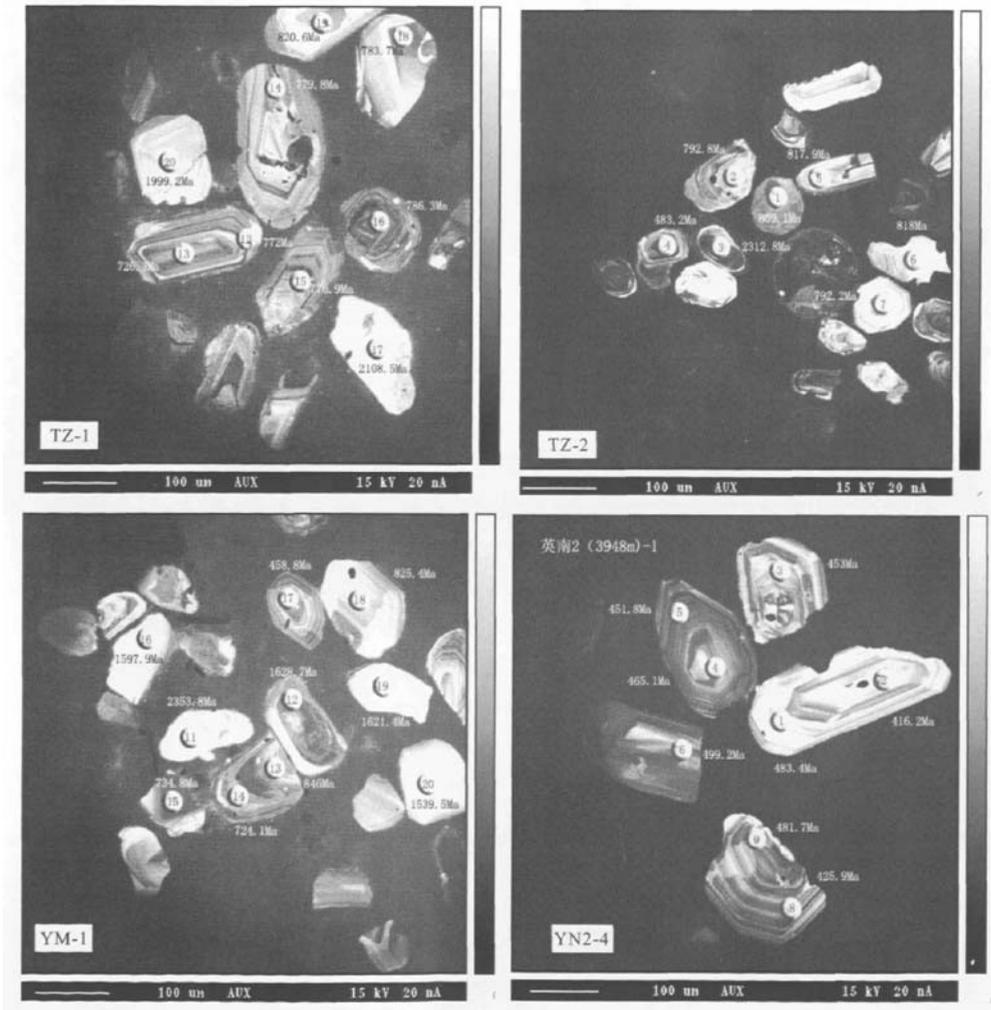


图 2 塔里木盆地部分碎屑锆石阴极发光部分图片
Fig. 2 Some CL images of Silurian detrital zircons in Tarim Basin

2005)。每个锆石微区原位测试点的同位素比值和 U-Pb 年龄由专用的 GLITTER(ver4.0)软件计算,加权平均年龄及谐和图的绘制采用 Isoplot 2.49a 完成。

2 前寒武纪基底响应特征探讨

2.1 碎屑锆石年代分布

数据统计分析结果表明(表 1, 图 3), 碎屑锆石 U-Pb 表面年龄分布值的范围很宽, 除少数异常值外, 主要分布在 500-2500 Ma。其中有少量数据存在 U-Pb 丢失现象, 出现有 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} > ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} > ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, 主要是由于年代古老、经历后期的构造-热事件影响较大所致。由于锆石年龄段比较集中, 其间隔区间大, 测试数据的数量能满足统计分析的需要(下文统计分析主要应用 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄值)。除奥陶系 2 个样品外, 其它样品都有 2-3 组比较集中的年龄段(表 1、图 3), 奥陶系巨厚泥岩中砂岩物源年代复杂, 可能反映碎屑物源区初始形成期岩石组成的复杂性。

锆石年龄分布在不同地区具有明显的差异。塔中隆起上碎屑锆石年龄值主要有 700-800 Ma、1900-2100 Ma 两期, 代表了新元古代与早元古代构造-热事件所形成的物源。北部塔北隆起与塔东地区碎屑锆石年龄有 400-500 Ma、700-900 Ma、1400-1600 Ma 三期, 是奥陶纪、新元古代、中元古代构造-热事件的产物。南北碎屑物源年代分布明显不同, 表明前寒武纪基底存在差异。塔中隆起上不同地区、不同层位的碎屑锆石年龄分布基本一致, 表明具有稳定的前寒武纪物源区。北部地区碎屑锆石定龄表明东部物源主要来自阿尔金地区奥陶纪火成岩, 而塔北西部地区物源主要来自北部古隆起前寒武纪基底。

不同层位锆石年龄分布接近。塔中地区奥陶系、志留系、石炭系碎屑锆石年龄分布相同, 只是奥陶系年代值比较分散, 不同层位的碎屑沉积都主要来自早元古代与新元古代形成的物源。北部地区不同层位的年龄分布也相近, 不同层位都检测到奥陶纪

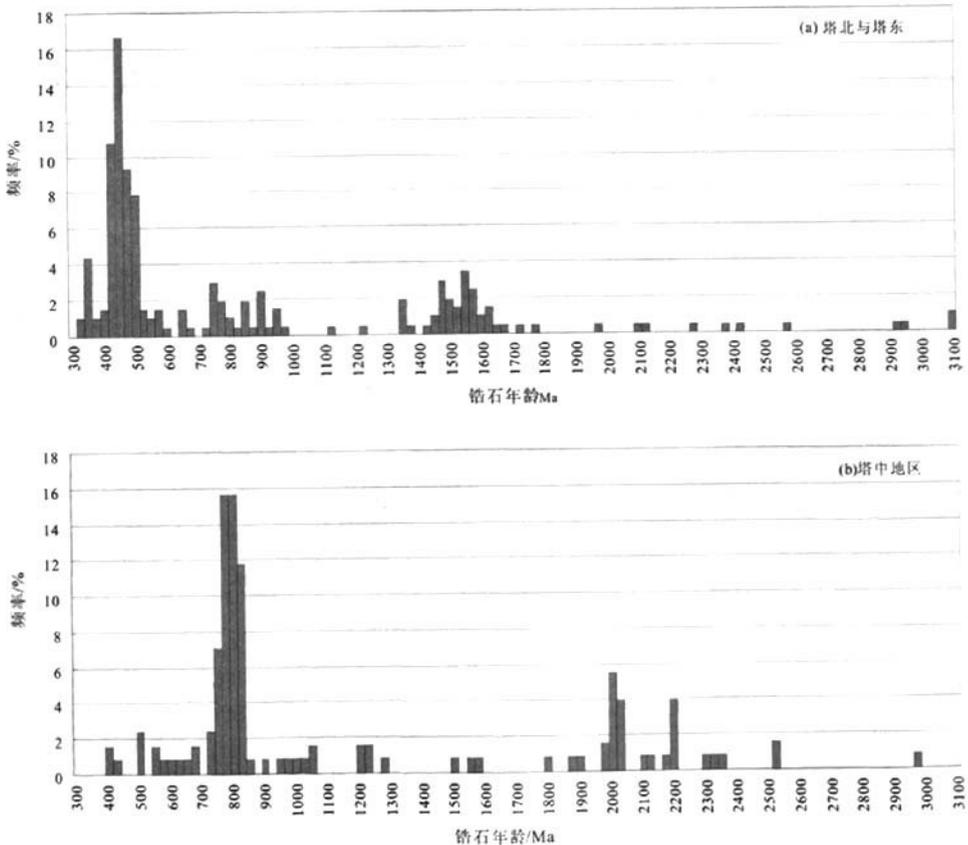


图3 塔里木盆地碎屑锆石 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 前寒武纪年龄频谱
Fig. 3 Frequency spectrum of $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ Precambrian ages of clastic zircon from Tarim Basin

年龄, 从古生代到中生代地层, 检测到的奥陶纪锆石年代值有变小趋势; 志留系都有新元古代年龄数据的集中分布, 但奥陶系、侏罗系、白垩系数据较少, 而且分散; 除 2 个侏罗系样品外(邬光辉等, 2007), 其它层位样品都检测到中元古代集中年龄值。

2.2 新元古代塔里木板块与超大陆关系

近年来关于新元古代早期中国古大陆与罗迪尼亚超大陆的关系研究引起广泛的关注(陆松年等, 2002, 2003b; Li X H et al., 2003; Li Z X et al., 2003)。碎屑锆石测年数据表明, 不同地区都有 700-900Ma 的年龄数据, 并且数量最多, 在 11 个样品 277 个前寒武纪测年数据中, 725-950 Ma 的数据占 44.8%(图 3), 并且绝大多数具有岩浆环带, 表明塔里木盆地曾经存在大量的此期岩浆活动。塔中、塔北此期大量碎屑锆石年龄值相当, 表明南北塔里木具有统一的基底与演化进程, 并形成广泛的蚀源区, 从盆地内部的年龄数据证实塔里木板块在新元古代具有统一的陆壳基底。

李曰俊等(2003)获得塔里木盆地塔中井下基底花岗闪长岩约 930 Ma、890 Ma 的年龄值, 证实为岛弧碰撞造山作用的产物; 巴楚瓦基里塔格地区露头基性-超基性岩体辉长岩、闪长岩分别获得约 820 Ma、880 Ma 的年龄值(李曰俊等, 1999; 宋文杰等, 2003); 胡霁琴(2004)得到新疆东昆仑地区阿其克蛇绿岩的形成时间(955 Ma), 提出昆仑地区向塔里木古老地块南缘的拼贴事件与罗迪尼亚超大陆形成有同时性; 王超等(2006)获得阿尔金南缘新元古代同碰撞造山花岗岩年龄(923 ± 13 Ma); 结合其它测年数据(郭召杰等, 2000; 张建新等, 2001), 推断在新元古代早期塔里木板块周缘开始发生岛弧碰撞拼贴, 自 950 Ma 以后塔里木板块周边开始产生一系列大规模的碰撞造山事件, 逐步形成统一的塔里木板块。志留系普遍出现约 900 Ma 的碎屑锆石年龄, 尤其是塔东大量出现 880 Ma 的谐和年龄, 以及塔中与巴楚基性岩体年龄(李曰俊等, 2003; 宋文杰等, 2003), 表明大约在 900 Ma 盆地内部微地块进入拼合的主要时期, 塔里木运动最终造成塔里木古大陆的全面聚合, 其历时时间不晚于 800 Ma(郭召杰等, 2000; 胡霁琴等, 2001, 2004; 陆松年等, 2004)。

西昆仑的研究认为塔里木板块是超大陆的成员(郭坤一等, 2002; 张传林等, 2003; 张传林等, 2004), 可能存在 1.0 Ga 左右的 Grenvillian 期的造山事件与 815 Ma 左右的大陆裂解事件; 杨经绥等(2003, 2004)

根据年代学与地球化学资料提出柴北缘超高压变质带在大约 800-750 Ma 发生裂解; 曾建元等(2006)提出北祁连地区在新元古代(约 775 Ma)存在一期重要的岩浆活动与同时期全球的 Rodinia 超大陆裂解有关; 库鲁克塔格地区南华系发育陆内裂谷火山岩, 底部发育 760Ma 的火成岩(陆松年等, 2003b)。表明塔里木周边可能广泛发育与 Rodinia 超大陆相关的裂解事件。

盆地碎屑锆石最多的年龄值出现在 750-800 Ma, 是前寒武纪年龄值最集中的部分, 塔中、塔北志留系都具有约 760 Ma 的锆石谐和年龄, 具有很好的一致性, 从年代学上表明南北塔里木都有同期的物源年龄, 共同经历了此期强烈而广泛的构造事件, 塔里木板块可能存在与 Rodinia 大陆裂解时间相当的构造-热事件(张传林等, 2003; 杨经绥等, 2004; 张传林等, 2004; 曾建元等, 2006), 其裂解高峰期在 760 Ma 左右, 从而形成盆地及周边大量而广泛的岩浆活动, 形成塔里木盆地后期最广泛的主要碎屑沉积物源。志留系碎屑锆石测年数据进一步证实塔里木板块在新元古代时期可能是 Rodinia 超大陆的部分, 并有相似的聚合与裂解演化时间史, 但塔里木微地块的碰撞拼合时间可能稍晚。

2.3 早中元古代塔里木基底差异

随着元古宙研究的深入, Rodinia 超大陆形成之前的 Columbia 超大陆开始受到关注(Rogers et al., 2002; 陆松年等, 2002)。志留系碎屑锆石测年在塔东、塔北发现 1400-1600 Ma 的年龄值, 这期年龄数据在塔北其它层位也有分布, 主要分布在塔东地区。在周边邻近造山带却鲜有这期年龄报道, 没有列为塔里木板块演化的地质事件中(毕华等, 1999; 胡霁琴等, 2001; 吴才来等, 2005)。而此期年龄代表的构造事件与哥伦比亚超大陆的裂解时间一致(Rogers et al., 2002), 阿尔金南缘蛇绿岩的形成年龄也在此期(郭召杰等, 2000), 可能预示塔北古地体与哥伦比亚超大陆有一定的联系, 塔北局部块体可能来自超大陆裂解的产物。盆地内部很有规律的集中分布的同位素年龄证据表明中元古代早期存在一期重要的构造事件, 塔里木板块与哥伦比亚超大陆的关系值得进一步研究。

已有研究表明, 阿尔金山前断块米兰群片麻岩中锆 U-Pb 上交点年龄为 2290 ± 8 Ma, 棋盘许沟布卡图维赫罗斯坦群花岗岩片麻岩中锆石 U-Pb 上交点年龄为 2199 ± 70 Ma(刘德权等, 1998), 塔中地区不同层位碎屑锆石都有 2000-2200 Ma 的年龄数据, 表明

南塔里木块体在早元古代经历了相似的地壳重熔的过程,佐证了南塔里木块体在早元古代已具有统一的基底。而塔北、塔东缺失此期的年龄值,相反的是塔北、塔东地区广泛存在 1400-1600 Ma 的年龄数据,而塔中缺少该期数据。以上数据的差异表明南、北塔里木微板块在早中元古代存在不同的构造-热事件、构造演化有差异,可能没有统一的基底,塔里木微块体之间为相互分隔的、演化各异的地体。

华北克拉通约 1.8-1.6 Ga 期间发育了一系列裂解地质事件(陆松年等, 2002), 构成广布于整个克拉通范围的裂解事件群, 而周边造山带的研究表明塔里木古大陆在元古代有差异(郭召杰等, 2003; 陆松年等, 2003a; 胡骥琴等, 2006)。塔里木周边早中元古代特征各异, 塔北显示地壳增生, 塔南为广泛的地壳重熔, 昆仑-阿尔金造山带古元古代基底区岩石具岛弧钙碱系列特征(胡骥琴等, 2001)。盆地内部不同地区的碎屑锆石年龄差异较大, 而且不同于周边造山带, 从而表明塔里木板块早中元古代的特征不同于华北板块与 Columbia 超大陆, 可能仅有塔北局部微块体与之相关。

塔里木古大陆的重建及其在全球超大陆的位置是非常复杂而值得深入探讨的议题(Powell et al., 2002; 贾承造, 2004), 塔里木盆地内部锆石年龄的测定对进一步探讨塔里木及周边板块与超大陆的关系提供了同位素年代学证据。

3 结论

塔里木盆地克拉通区碎屑锆石主要有奥陶纪、新元古代早期、中元古代早期、古元古代中期等四期物源年代, 碎屑锆石年代分布在相同地区不同层位上比较接近, 在不同地区差异大。锆石测年资料分析表明早中元古代塔里木南北块体演化有差异, 塔北微块体可能存在与 Columbia 超大陆裂解时间相近的构造-热事件, 南华纪塔里木板块及其周缘发生大规模裂解期事件, 与 Rodinia 超大陆裂解具有相似的聚合与裂解演化史。

致谢: 感谢西北大学动力实验室, 感谢中科院地质与地球物理研究所李任伟研究员、苏文研究员、西北大学罗金海教授指导, 感谢审稿专家与编辑的精心审定。

参考文献:

毕华, 王中刚, 王元龙. 1999. 西昆仑造山带构造岩浆演化史[J]. 中国科学(D辑), 29(5): 398-406.

- 郭坤一, 张传林, 赵宇, 董永观, 王爱国, 解亚平. 2002. 西昆仑东段北缘中元古代岛弧火山岩地球化学特征[J]. 中国地质, 29(2): 161-165.
- 郭召杰, 张志诚, 贾承造, 魏国齐. 2000. 塔里木克拉通前寒武纪基底构造格架[J]. 中国科学 D 辑, 30(6): 568-575.
- 郭召杰, 张志诚, 刘树文, 李惠民. 2003. 塔里木克拉通前寒武纪基底层序与组合: 颗粒锆石 U-Pb 年龄新证据[J]. 岩石学报, 19(3): 537-542.
- 胡骥琴, 张国新, 陈义兵, 张前锋. 2001. 新疆大陆基底分区模式和主要地质事件的划分[J]. 新疆地质, 19(1): 12-19.
- 胡骥琴, 郝杰, 张国新, 张鸿斌. 2004. 新疆东昆仑地区新元古代蛇绿岩 Sm-Nd 全岩-矿物等时线定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 457-462.
- 胡骥琴, 韦刚健. 2006. 塔里木盆地北缘新太古代辛格罗灰色片麻岩形成时代问题[J]. 地质学报, 80(1): 126-134.
- 贾承造. 2004. 塔里木盆地板块构造与大陆动力学[M]. 石油工业出版社, 1-20.
- 李任伟, 万渝生, 陈振宇, 周剑雄, 许荣华, 李忠, 江茂生. 2004. 根据碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 测年恢复早侏罗世大别造山带源区特征[J]. 中国科学(D辑), 34(4): 320-327.
- 李曰俊, 贾承造, 胡世玲, 黄智斌, 曾强, 谭泽金. 1999. 塔里木盆地瓦基里塔格辉长岩 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 年龄及其意义[J]. 岩石学报, 15(4): 594-599.
- 李曰俊, 孙龙德, 胡世玲, 宋文杰, 王国林, 谭泽金. 2003. 塔参 1 井花岗岩闪长岩和闪长岩的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄[J]. 岩石学报, 19(3): 530-536.
- 刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 1998. 新疆前震旦纪基底陆壳问题[J]. 新疆地质, 16(3): 195-202.
- 陆松年, 杨春亮, 李怀坤, 陈志宏. 2002. 华北古大陆与哥伦比亚超大陆[J]. 地学前缘, 9(4): 225-233.
- 陆松年, 袁桂邦. 2003a. 阿尔金山阿克塔什塔格早寒武纪岩浆活动的年代学证据[J]. 地质学报, 77(1): 61-68.
- 陆松年, 李怀坤, 陈志宏. 2003b. 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[J]. 地学前缘, 10(4): 321-326.
- 陆松年, 李怀坤, 陈志宏, 于海峰, 金巍, 郭坤一. 2004. 新元古时期中国古大陆与罗迪尼亚超大陆的关系[J]. 地学前缘, 11(2): 515-523.
- 宋文杰, 李曰俊, 胡世玲, 郭宏, 黄智斌, 郑多明. 2003. 巴楚瓦基里塔格基性-超基性杂岩 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 定年[J]. 新疆石油地质, 24(4): 284-285.
- 王超, 刘良, 车自成, 陈丹玲, 张安达, 罗金海. 2006. 阿尔金南缘榴辉岩带中花岗岩片麻岩的时代及构造环境探讨[J]. 高校地质学报, 12(1): 74-82.
- 吴才来, 杨经绥, 姚尚志, 曾令森, 陈松水, 李海兵, 戚学祥, Wooden J L, Mazdad F K. 2005. 北阿尔金巴什考供盆地南缘花岗岩杂岩体特征及锆石 SHRIMP 定年[J]. 岩石学报, 21(3): 846-858.
- 郭光辉, 张宝收, 张承泽, 敬兵, 席勤. 2007. 英吉苏凹陷碎屑锆石测年及其对沉积物源的指示[J]. 新疆地质, 25(4): 351-355.

- 杨经绥, 张建新, 孟繁聪, 史仁灯, 吴才来, 许志琴, 李海兵, 陈松永. 2003. 中国西部柴北缘-阿尔金的超高压变质榴辉岩及其原岩性质探讨[J]. 地学前缘, 10(3): 291-314.
- 杨经绥, 史仁灯, 吴才来, 陈松永. 2004. 柴达木盆地北缘新元古代蛇绿岩的厘定—罗迪尼亚大陆裂解的证据? [J]. 地质通报, 23(9-10): 892-898.
- 姚军明, 华仁民, 林锦富. 2005. 湘东南黄沙坪花岗岩 LA-IC-PMS 锆石 U-Pb 定年及岩石地球化学特征[J]. 岩石学报, 21(3): 688-696.
- 曾建元, 杨宏仪, 万渝生, 刘敦一, 温大任, 林宗祺, 董国安. 2006. 北祁连山变质杂岩中新元古代(-775 Ma)岩浆活动纪录的发现: 来自 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年的证据[J]. 科学通报, 51(5): 575-581.
- 张传林, 赵宇, 郭坤一, 董永观, 王爱国. 2003. 青藏高原北缘首次获得格林威尔期造山事件同位素年龄值[J]. 地质科学, 38(4): 535-538.
- 张传林, 于海锋, 沈家林, 董永观, 叶海敏, 郭坤一. 2004. 西昆仑库地伟晶辉长岩和玄武岩锆石 SHRIMP 年龄: 库地蛇绿岩的解体[J]. 地质论评, 50(6): 639-643.
- 张建新, 许志琴, 杨经绥, 张泽明, 崔军文. 2001. 阿尔金西段榴辉岩岩石学、地球化学和同位素年代学研究及其构造意义[J]. 地质学报, 75(2): 186-195.
- References:**
- BI Hua, WANG Zhong-gang, WANG Yuan-long. 1999. History of tectonic magmatic evolution of Western Kunlun[J]. Science in China(Series D), 42(6): 604-619.
- DICKINSON W R, VALLONI R J. 1983. Provenance of north American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting[J]. Geol Soc Am Bull, 1994(2): 222-235.
- GUO Kun-yi, ZHANG Chuan-lin, ZHAO Yu, DONG Yong-guan, WANG Ai-guo, XIE Ya-ping. 2002. Geochemistry of Meso-and Neoproterozoic intra-oceanic arc volcanic rocks in the eastern segment of the western Kunlun orogenic belt[J]. Chinese Geology, 29(2): 161-165 (in Chinese with English abstract).
- GUO Zhao-jie, ZHANG Zhi-cheng, JIA Cheng-zao, WEI Guo-qi. 2000. The tectonic framework of Precambrian basement of the Tarim Craton, NW China[J]. Science in China, Ser. D, 30(6): 568-575(in Chinese with English abstract).
- GUO Zhao-jie, ZHANG Zhi-cheng, LIU Shu-wen, LI Hui-min. 2003. U-Pb geochronological evidence for the early Precambrian complex of the Tarim Craton, NW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 19(3): 537-542 (in Chinese with English abstract).
- HU Ai-qin, ZHANG Guo-xin, CHEN Yi-bing, ZHANG Qian-feng. 2001. A model of division of the continental crust basement and the time scales of the major geological events in the Xinjiang-based on studies of isotopic geochronology and geochemistry[J]. Xinjiang Geology, 19(1): 12-19(in Chinese with English abstract).
- HU Ai-qin, HAO Jie, ZHANG Guo-xin, ZHANG Hong-bin. 2004. Whole-rock and minerals Sm-Nd isochron age of early Neoproterozoic ophiolites and its geological significance in the eastern Kunlun area, Xinjiang, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 457-462(in Chinese with English abstract).
- HU Ai-qin, WEI Gang-jian. 2006. On the age of the Neo-Archean Qingir gray gneisses from the Northern Tarim Basin, Xinjiang, China[J]. Acta geologica Sinica, 80(1): 126-134 (in Chinese with English abstract).
- JIA Cheng-zao. 2004. The plate tectonic and continental dynamics in Tarim basin[M]. petroleum industry press, 1-20(in Chinese).
- LI Ren-wei, WAN Yu-sheng, CHEN Zhen-yu, ZHOU Jian-xiong, XU Ron-ghua, LI Zhong, JIANG Mao-sheng. 2004. The Dabie Orogen as the early Jurassic sedimentary provenance: Constraints from the detrital zircon SHRIMP U-Pb dating[J]. Science in China, Ser. D, 34(4): 320-327(in Chinese with English abstract).
- LI Xian-hua, LI Zheng-xiang, GE Wen-chun, ZHOU Han-wen, LI Wu-xian, LIU Ying, WINGATE M T D. 2003. Neoproterozoic granitoids in South China: crustal melting above a mantle plume at ca. 825 Ma? [J]. Precamb. Res. 45-83.
- LI Yue-jun, JIA Cheng-zao, HU Shi-ling, HUANG Zhi-bin, ZENG Qiang, TAN Ze-jin. 1999. The ^{40}Ar - ^{39}Ar isotopic age of Wajilitag gabbro in Tarim basin and its geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 15(4): 594-599 (in Chinese with English abstract).
- LI Yue-jun, SUN Long-de, HU Shi-ling, SONG Wen-jie, WANG Guo-lin, TAN Ze-jin. 2003. ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology of the granite and diorite revealed at the bottom of Tacan 1, the deepest well in China[J]. Acta Petrologica Sinica, 19(3): 530-536(in Chinese with English abstract).
- LI Zheng-xiang, LI Xian-hua, KINNY P D, WANG Jian, ZHANG Shi-hong, ZHOU Han-wen. 2003. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia[J]. Precamb. Res., 122: 85-109.
- LIU De-quan, TANG Yan-ling, ZHOU Ru-hong. 1998. The Pre-Sinian continental crust in Xinjiang Uygur autonomous region[J]. Xinjiang geology. 16(3): 195-202(in Chinese with English abstract).
- LU Song-nian, YANG Chun-liang, LI Huai-kun, CHEN Zhi-hong. 2002. North China continent and Columbia Supercontinent[J]. Earth Science Frontiers, 9(4): 225-233 (in Chinese with English abstract).
- LU Song-nian, YUAN Gui-bang. 2003a. Geochronology of early Precambrian magmatic activities in Aketashitage, east Altyn Tagh[J]. Acta geologica Sinica, 77(1): 61-68 (in Chinese with

- English abstract).
- LU Song-nian, LI Huai-kun, CHEN Zhi-hong. 2003b. Characteristics, sequence and ages of Neoproterozoic thermo-tectonic events between Tarim and Yangzi blocks—a hypothesis of Yangzi-Tarim connection[J]. *Earth Science Frontiers*, 10(4): 321-326 (in Chinese with English abstract).
- LU Song-nian, LI Huai-kun, CHEN Zhi-hong, YU Hai-feng, JIN Wei, GUO Kun-yi. 2004. Relationship between Neoproterozoic cratons of China and the Rodinia[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(2): 515-523 (in Chinese with English abstract).
- POWELL C M, PISAREVSKY S A. 2002. Late Neoproterozoic assembly of East Gondwana[J]. *Geology*, 30: 3-6.
- ROGERS J J W, SANTOS H M. 2002. Configuration of Columbia, A Mesoproterozoic Supercontinent[J]. *Gondwana Research*, 5(1): 5-22.
- SONG Wen-jie, LI Yue-jun, HU Shi-ling, GUO Hong, HUANG Zhi-bing, ZHENG Duo-ming. 2003. Restudy on the 40Ar-39Ar Age of Wajilitag Basic-Ultrabasic Complex in Western Tarim Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 24(4): 284-285 (in Chinese with English abstract).
- WANG Chao, LIU Liang, CHE Zi-cheng, CHEN Dan-ling, ZHANG An-da, LUO Jin-hai. 2006. U-Pb Geochronology and Tectonic Setting of the Granitic Gneiss in Jianggaleisayi Eclogite Belt, the Southern Edge of Altyn Tagh[J]. *Geological Journal of China Universities*, 12(1): 74-82 (in Chinese with English abstract).
- WU Cai-lai, YANG Jing-sui, YAO Shang-zhi, ZENG Ling-Sen, CHEN Song-young, LI Hai-bing, QI Xue-qiang, WOODEN J L, MAZDAB F K. 2005. Characteristics of the granitoid complex and its zircon SHRIMP dating at the south margin of the Bashikaocong Basin, North Altun, NW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 846-858 (in Chinese with English abstract).
- WU Guang-hui, ZHANG Bao-shou, ZHANG Cheng-ze, JING Bin, XI Qin. 2007. Detrital zircon u-pb ages and its significance from yingjisu sag in tarim basin[J]. *Xinjiang Geology*, 25(4): 351-355 (in Chinese with English abstract).
- YANG Jing-sui, SHI Ren-deng, WU Cai-lai, CHEN Song-yong. 2004. Recognition of Neoproterozoic ophiolite on the northern margin of the Qaidam basin: evidence of the breakup of Rodinia? [J]. *Regional Geology of China*, 23(9-10): 892-898 (in Chinese with English abstract).
- YANG Jing-sui, ZHANG Jian-xin, MENG Fan-cong, SHI Ren-deng, WU Cai-lai, XU Zhi-qin, LI Hai-bing, CHEN Sony-yong. 2003. Ultrahigh pressure eclogites of the north Qaidam and Altun mountains, NW China and their protoliths[J]. *Earth Science Frontiers*, 10(3): 291-314 (in Chinese with English abstract).
- YAO Jun-ming, HUA Ren-min, LIN Jin-fu. 2005. Zircon LA-IC-PMS U-Pb dating and geochemical characteristics of Huangshaping granite in southeast Hunan province, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 688-696 (in Chinese with English abstract).
- ZENG Jian-yuan, YANG Hong-yi, WAN Yu-sheng, LIU Dun-yi, WEN Da-ren, LIN Zong-qi, DONG Guo-an. 2006. The discovery of magmatism record of middle Neoproterozoic metamorphic complex in the North Qilian Mountains: The evidence from the zircon shrimp U-Pb ages[J]. *Chinese Science Bulletin*, 51(5): 575-581 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Chuan-lin, ZHAO Yu, GUO Kun-yi, DONG Yong-guan, WANG Ai-guo. 2003. Grenville orogeny in north of the Qinghai-tibet plateau: first evidence from isotopic dating[J]. *Chinese Journal of Geology*, 38(4): 535-538 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Chuan-lin, YU Hai-feng, SHEN Jia-lin, DONG Yong-guan, YE Hai-min, GUO Kun-yi. 2004. Zircon SHRIMP age determination of the giant-crystal gabbro and basalt in Kūda, West Kunlun: Dismembering of the Kūda Ophiolite[J]. *Geological Review*, 50(6): 639-643 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Jian-xin, XU Zhi-qin, YANG Jing-sui, ZHANG Ze-ming, CUI Jun-wen. 2001. Petrology, Geochemistry and Geochronology of Eclogites from the Western Segment of the Altun Tectonic Belt, Northwestern China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(2): 186-195 (in Chinese with English abstract).