

塔里木盆地西北缘乌什地区石炭系沉积与碎屑锆石年代学记录及其反映的构造演化*

郭春涛 李忠** 高剑 董顺利

GUO ChunTao, LI Zhong**, GAO Jian and DONG ShunLi

中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100029

Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, China

2014-07-19 收稿, 2015-01-10 改回.

Guo CT, Li Z, Gao J and Dong SL. 2015. Depositional and detrital zircon geochronological records of Carboniferous system in Wushi, Northwest Tarim Basin: Implications for tectonic evolution. *Acta Petrologica Sinica*, 31(9):2679–2695

Abstract The Visean to Bashkirian profile is well exposed in the Wushi area, the northwestern margin of the Tarim Basin, Northwest China. Numerous sandstone samples were chosen to carry out U-Pb and Lu-Hf isotope test by LA-ICP-MS method. Based on detailed analysis of geochronology, heavy minerals, sandstone skeleton component, this research further explores sedimentary evolution and its geodynamic mechanism about the Tarim Basin and the periphery orogen in Carboniferous. Sandstone skeleton component analysis shows that sandstone grains are dominated by quartz, and volcanic-metavolcanic is lithic fragments. Its main provenance is the recycled orogen, and has the trend to migrate to the inner craton from the bottom to top. The main proportions of heavy mineral assemblages are stable heavy minerals, such as zircon, tourmaline, TiO_2 minerals. Heavy mineral analysis reflects the distant source and relatively stable tectonic setting are possible. The geochronological results show that the four samples have approximately similar U-Pb age patterns and Hf isotopic compositions, mainly reflecting multiphase tectono-thermal events with age groups of 392 ~ 496Ma, 708 ~ 868Ma, 893 ~ 1044, with $\varepsilon_{Hf}(t)$ ranged from -15 to 13. In addition, there are also a small amount of 1713 ~ 1917Ma, 2376 ~ 2606Ma age. The geochronological information and provenance system are very similar to Silurian to Devonian strata underlying the unconformity. Comparing with the main potential source areas, the main provenance is the northern Tarim palaeohigh. The redeposition of pre-Carboniferous strata in Tarim Basin, associated with the erosion source in the Kunlun-Altun orogen, may also have some contribution, and became the mainly provenance of detrital zircon of 893 ~ 1044Ma before Early Visean; while the two facts, detrital composition maturity increased and the abundance of 893 ~ 1044Ma decreased rapidly, suggested that the material from the latter source diminished, and the mature material from the palaeohigh raised after Late Visean. In other words, although the radiolarian information shows that the South Tianshan Ocean had closed after Early Visean, the provenance system didn't change greatly until Bashkirian, and the information about collision, orogenic events and their effects of the South Tianshan and the Tarim hadn't been recorded.

Key words Detrital zircon; U-Pb-Hf isotope; Wushi area; Northwestern margin of Tarim Basin; South Tianshan Ocean

摘要 针对塔里木西北缘乌什地区石炭纪维塞期(Visean)至巴什基尔期(Bashkirian)连续较好的露头剖面,在沉积序列、砂岩组分及重矿物组合分析基础上,重点通过 LA-ICP-MS 分析砂岩样品碎屑锆石的原位 U-Pb 和 Lu-Hf 同位素,解析其年代学、物源特征及构造属性等信息。研究显示,石炭系砂岩碎屑颗粒以石英为主,火山岩屑和变质火山岩屑极少,物源构造属性主要指示再旋回造山带,且向上有向克拉通迁移的趋势;重矿物组合以锆石、电气石和 TiO_2 矿物等稳定重矿物为主,反映远源和相对稳定的构造背景。4 个砂岩样品总体具有类似的碎屑锆石 U-Pb 年龄组成,主要反映三期年龄:392 ~ 496Ma、708 ~ 868Ma 和 893 ~ 1044Ma,其 $\varepsilon_{Hf}(t)$ 大多介于 -15 ~ 13 之间;此外也少量存在 1713 ~ 1917Ma、2376 ~ 2606Ma 年龄,与该区石炭系不整合下伏地层(至少志留-泥盆系)物源构成类似。对比研究显示,上述碎屑物源以塔里木基底古隆起为主,与昆仑-阿尔金造山带剥蚀物源相关的塔里木前石炭纪沉积也可能提供部分再旋回物源,并成为西北缘早石炭世维塞期前沉积的 893 ~

* 本文受国家自然科学基金项目(41372120,40972085)和国家重大专项(2011ZX05008-003)联合资助。

第一作者简介:郭春涛,男,1981年生,博士生,沉积学专业,E-mail: xinylx521@163.com

** 通讯作者:李忠,男,1964年生,博士,研究员,沉积学与盆地动力学研究方向,E-mail: lizhong@mail.igcas.ac.cn

1044Ma 年龄碎屑锆石的主要来源;而维宪期后碎屑成分成熟度的增大和 893 ~ 1044Ma 年龄碎屑锆石丰度的锐减可能说明与昆仑-阿尔金山造山带相关物源的减少,塔里木大陆内部(隆起)成熟物源的增加。换句话说,尽管放射虫资料说明早石炭世早维宪期后南天山洋已经关闭,但直到晚石炭世巴什基尔期塔里木西北仍然延续了前石炭纪的沉积物源格局,并未记录到南天山造山事件的沉积学效应。

关键词 碎屑锆石;U-Pb-Hf 同位素;乌什地区;塔里木盆地西北缘;南天山

中图法分类号 P588.21; P597.3

1 引言

探索南天山古洋盆的形成演化,是认识天山和塔里木盆地的重要研究领域。但迄今为止对南天山洋的属性、俯冲极性和演化模式等仍然存在诸多争议(Li *et al.*, 2001; 夏林圻等, 2002; 高俊等, 2006, 2009; Charvet *et al.*, 2007; Lin *et al.*, 2009; Qian *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2011; Ge *et al.*, 2012a),其中对可能的晚古生代洋-陆转换构造演变关键时期的证据大多来自造山带结晶岩石学、地球化学以及造山带地层-构造综合的工作(Gao *et al.*, 1998, 2011; 郭召杰等, 2006; Zhang *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2011),而对洋-陆转换更为敏感的沉积地质记录分析则不多见,或仅涉及沉积地层古生物的探索(刘羽等, 1994; Li *et al.*, 2005; Liu and Hao, 2006; 舒良树等, 2007)。

碎屑组分与年代记录是研究盆山演化的重要“桥梁”(Fedot *et al.*, 2003; Andersen, 2005)。其在区域岩石-构造单元对比、古地理格局恢复等方面已成为国际研究热点之一(Berry *et al.*, 2001; 李任伟等, 2004; Kalsbeek *et al.*, 2008; 李忠等, 2009; Li and Peng, 2010; Ma *et al.*, 2011, 2012)。目前对晚古生代碎屑锆石及物源的研究主要集中于塔里木克拉通内部,而对洋-陆边缘的约束较少(邬光辉等, 2007, 2009, 2010; Li and Peng, 2010; Shu *et al.*, 2011; 张英利等, 2011; Liu *et al.*, 2012; 刘景彦等, 2012)。为此本次工作对塔里木盆地西北缘乌什县城南出露较好的石炭系剖面进行了详细观测,并采集了丰富的砂岩样品,基于沉积相、碎屑骨架组分与重矿物组合分析,进一步应用 LA-ICP-MS 方法进行碎屑锆石 U-Pb 和 Lu-Hf 同位素分析,重点探讨碎屑物源体系及其对晚古生代塔里木盆地陆缘构造演化的效应关系,为认识该期沉积古地理提供有力证据。

2 地质背景和样品

2.1 构造和地层

乌什县城南剖面位于塔里木盆地西北缘的柯坪地区,是塔里木盆地北缘的一部分,构造上属于柯坪断隆的阿合奇小区。柯坪断隆北以喀拉铁克断裂与南天山晚古生代造山带为界,南以柯坪塔格南缘断裂与塔里木盆地内的巴楚断隆、阿瓦提凹陷为界,西界位于八盘水磨一带,与麦盖提斜坡相

接,东段位于阿克苏附近,与库车凹陷、塔北隆起逐渐过渡(图 1a),0.7Ga 前成为塔里木北缘一部分(舒良树等, 2013)。阿合奇小区位于柯坪分区的西部边缘,呈南西-北东方向狭长条带状,大致沿吐谷买提-阿合奇-乌什一线分布,西北以南天山深大断裂为界,石炭系地层发育较全。

石炭纪时期柯坪地区沉积相带的时空展布规律有序,由西北向东南依次可划分为斜坡或盆地相浊积岩、深水碳酸盐岩相、碳酸盐岩台地边缘礁滩相和碳酸盐岩台地相。而乌什剖面位于塔里木陆缘,沉积特征与柯坪地层小区规律一致,是认识柯坪地区构造演化、解析塔里木与南天山洋关系的敏感地区。

本文重点研究乌什县城南剖面(图 1b)位于索格当他乌山的东北部,北距乌什县城 10km,该剖面出露连续厚达 2000 余米的石炭系露头(图 2)。剖面岩性主要为细碎屑岩夹碳酸盐岩,自下而上可进一步细分为蒙达勒克组、乌什组、库鲁组、索格当他乌组(图 2)。

Keidel(1906)即对南天山地区乌什一带的石炭系地层腕足类的进行了记述,Norin(1928 ~ 1941)也对柯坪、喀拉铁克山等地的石炭-二叠系的划分。近二十余年,由于油气勘探的需求开展了较多系统性的研究,在生物、地层、沉积等方面已获得初步对比成果(张师本和高琴琴, 1992; Carroll *et al.*, 1995, 2001; 周志毅等, 2001; Brenckle, 2004)。虽然有孔虫、蜓等古生物大致限定了研究剖面的时代,但蒙达勒克组、乌什组底部的时代亦然存在争议(张师本和高琴琴, 1992; 李汉敏, 1996; Brenckle, 2004)。本文参考周志毅等(2001)的地层时代划分,乌什组(孔台艾肯沟组下部)为维宪阶早中期沉积,库鲁组(孔台艾肯沟组上部)为维宪阶晚期至谢尔普霍夫阶沉积,而将极少化石的蒙达勒克组置于维宪阶最早期(图 2)。进一步根据该剖面大量的腕足分子(张师本和高琴琴, 1992; Chen and Shi, 2003),详细细分和限定了乌什组、库鲁组顶的时代(图 2)。

2.2 样品采集

针对该剖面进行了系统的样品采集与测试(图 2)。符合统计条件的砂岩碎屑骨架样品共 20 个,详见下文。碎屑重矿物样品共有 9 件,均为细砂岩,自下而上依次为蒙达勒克组中部 MD-7、蒙达勒克组顶部 MD-2、乌什组底部 WS-3、乌什组中部 WS-20 和 WS-37、乌什组顶部 WS-54、库鲁组底部 G6、库鲁组顶部 KL-12、索格当他乌组下部 G7(图 2)。

碎屑锆石样品自下而上依次为 G4、G5、G6、G7(图 2)。

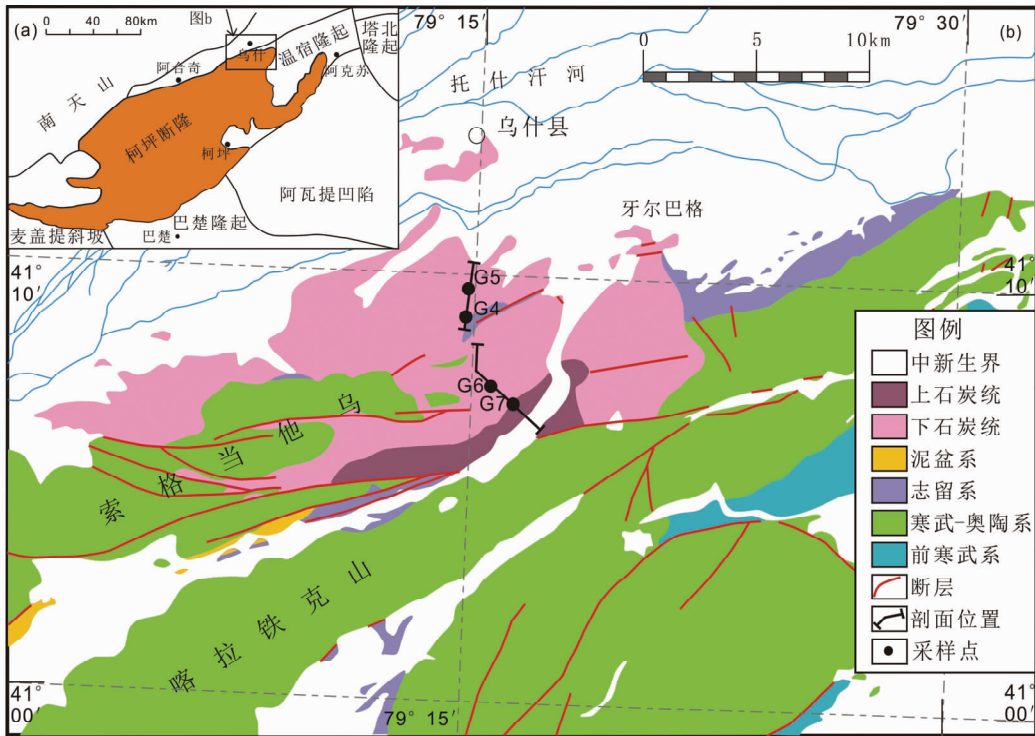


图1 柯坪及乌什地区大地构造单元地质简图

Fig.1 Skeleton tectonic map of the Keping uplift and Wushi area

G4 取自蒙达勒克组底部, GPS 坐标为 $E79^{\circ}14'45''$, $N41^{\circ}09'15''$, 为早石炭世早维宪阶紫红色细砂岩。G5 取自乌什组下部, GPS 坐标为 $E79^{\circ}14'31''$, $N41^{\circ}09'41''$, 为早维宪阶黄灰色细砂岩。G6 取自库鲁组底部, GPS 坐标为 $E79^{\circ}16'02''$, $N41^{\circ}07'31''$, 为晚维宪阶灰白色细砂岩。G7 取自索格当铁克山组下部, GPS 坐标为 $E79^{\circ}17'28''$, $N41^{\circ}07'11''$, 为晚石炭世浅灰色细砂岩。

3 沉积环境与岩矿组成特征

3.1 沉积环境

志留系柯坪塔格组沉积后, 研究区经历长时间的剥蚀。蒙达勒克组下与志留系柯坪塔格组角度不整合接触, 上与乌什组连续沉积, 主要分布于索格当铁克山的东端(图 1b), 岩性为灰色块状砾岩与紫红色粉砂岩泥岩(图 3a)。该组下部发育河流相沉积, 野外可见砾岩冲刷下切进泥岩层(图 3a), 砂岩层发育大型板状交错层理, 厚层泥岩与砾岩互层(图 3b), 薄层砂岩呈透镜状。砾岩成分主要为灰质, 硅质, 火山质含量低, 分选较差, 最大粒径 30cm 以上, 但磨圆度很高(图 3b)。上部泥晶灰岩含量明显增多(图 3c), 反映海平面逐渐上升。

乌什组分布于索格当铁克山的南北两坡(图 1b), 与上伏的库鲁组为整合接触。岩性为深灰色、灰黑色灰岩、浅灰色砂岩和灰绿色页岩。乌什组沉积时, 海平面缓慢上升, 下

部以灰岩为主, 砂岩层中灰质含量也较高, 可见遗迹化石 Chondrites ichnosp. (张师本和高琴琴, 1992), 是典型的浅水底栖生物遗迹化石。大化石、生屑、陆屑、生物扰动丰富(图 3d, e), 发育平行、冲洗交错层理(图 3f), 可能反映了当时的滨岸环境 (Brenckle, 2004)。乌什组上部主要为砂岩层, 可见滑塌的灰质砾岩(图 3g), 发育向上变深粒序层理(图 3h), 顶部为页岩与石英砂岩互层, 反映水体进一步加深。

库鲁组分布范围大致同乌什组, 与上伏索格当铁克山组为整合接触。下部岩性主要为浅灰色、棕灰色中层状细砂岩和砾岩, 中上部夹灰绿色页岩、深灰色灰岩。库鲁组沉积时, 水体明显加深, 底部发育有直径大于 50cm 的滑塌砾石, 砾岩分选磨圆都比较差(图 3i), 砾石成分以灰质为主, 可能是先期沉积的灰岩滑塌再改造形成。化石含量较乌什组少, 保存完好, 上部页岩含量增多(图 3j), 反映水体能量整体较低。发育重力流(图 3k), 整体反映陆棚较深水沉积环境。

索格当铁克山组由索格当铁克山岩系演变而来, 主要由页岩、粉砂岩和砂岩组成(图 3l), 顶部出露不全。砂岩均为正旋回, 底具冲刷面和沟槽模, 自下而上表现为多种组合的鲍马序列(何治亮等, 1992), 表现了扇中水道、朵叶体、末梢浊积岩的特点。还见有较丰富的相当于 Zoophycus 相和 Nereites 相的遗迹化石组合(何治亮等, 1992; 张师本和高琴琴, 1992), 为典型的半深海-深海沉积环境代表。

3.2 碎屑岩矿特征

针对乌什石炭系剖面的蒙达勒克组、乌什组、库鲁组及

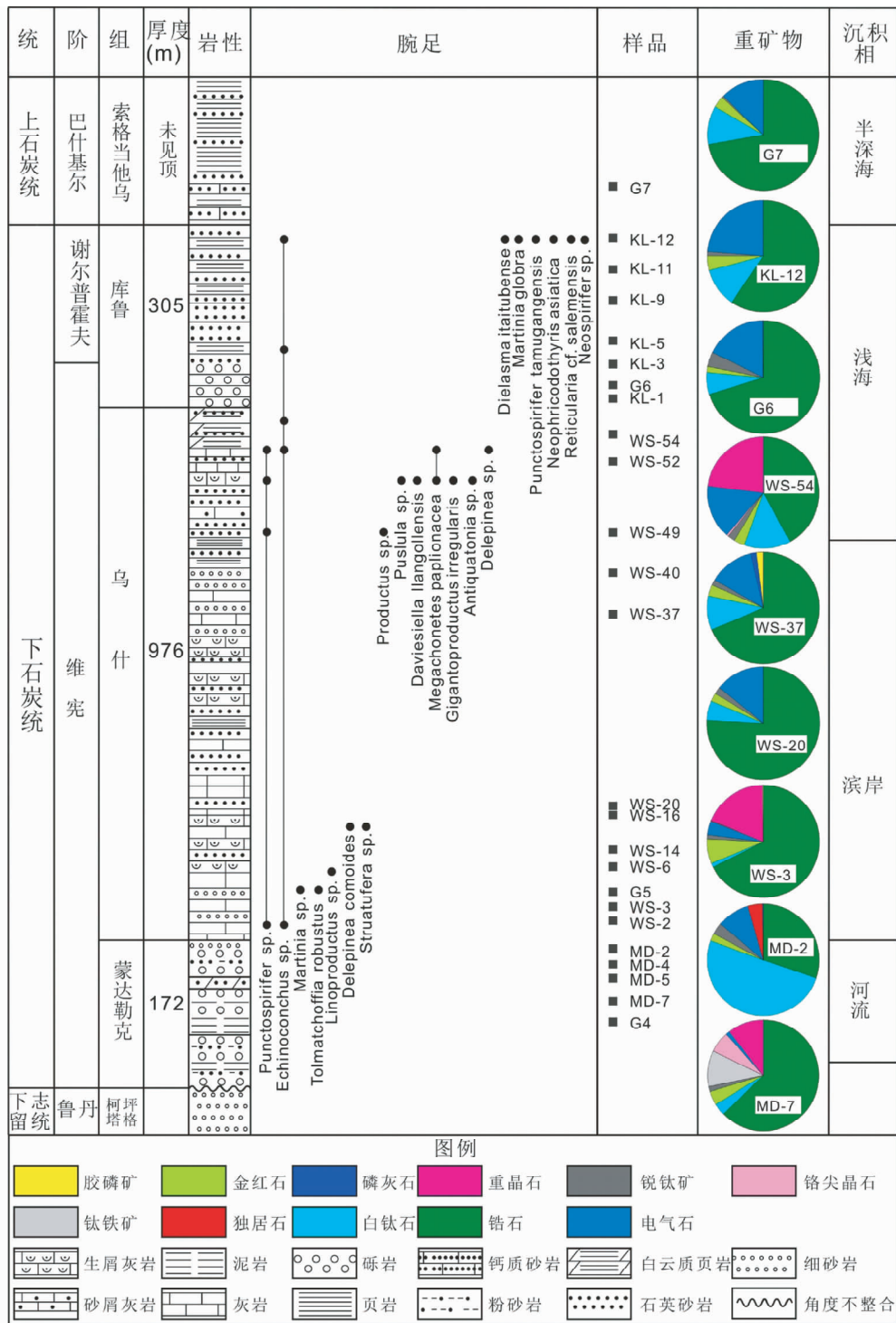


图2 乌什县石炭系沉积剖面(据张师本和高琴琴, 1992 修改)与样品采集位置

Fig.2 The Carboniferous depositional column (modified after Zhang and Gao, 1992) and sampling location in Wushi

索格当他乌组开展了砂岩薄片鉴定统计。本文碎屑骨架组成分析方法参考文章 Dickinson and Suczek (1979) 和李忠等 (1999) 提出的 5 条建议: (1) 列入统计和作图的砂岩样品, 平均粒径限定在中-粗粒 (0.2 ~ 2mm); (2) 排除杂基含量大于 25% 的杂砂岩样品; (3) 灰岩岩屑是否统计需要依据区域物

源特征; (4) 被自生矿物交代的骨架颗粒, 按残留颗粒恢复的原碎屑组分统计; (5) 采用镜下正方格网交点法统计组分含量, 网格间距视砂岩平均粒度而定, 统计颗粒个数不少于 300 个。蒙德勒克组和乌什组下部沉积时, 处于陆相或浅海相沉积环境, 含有较多的灰岩岩屑, 而乌什组中上部、库鲁组、索

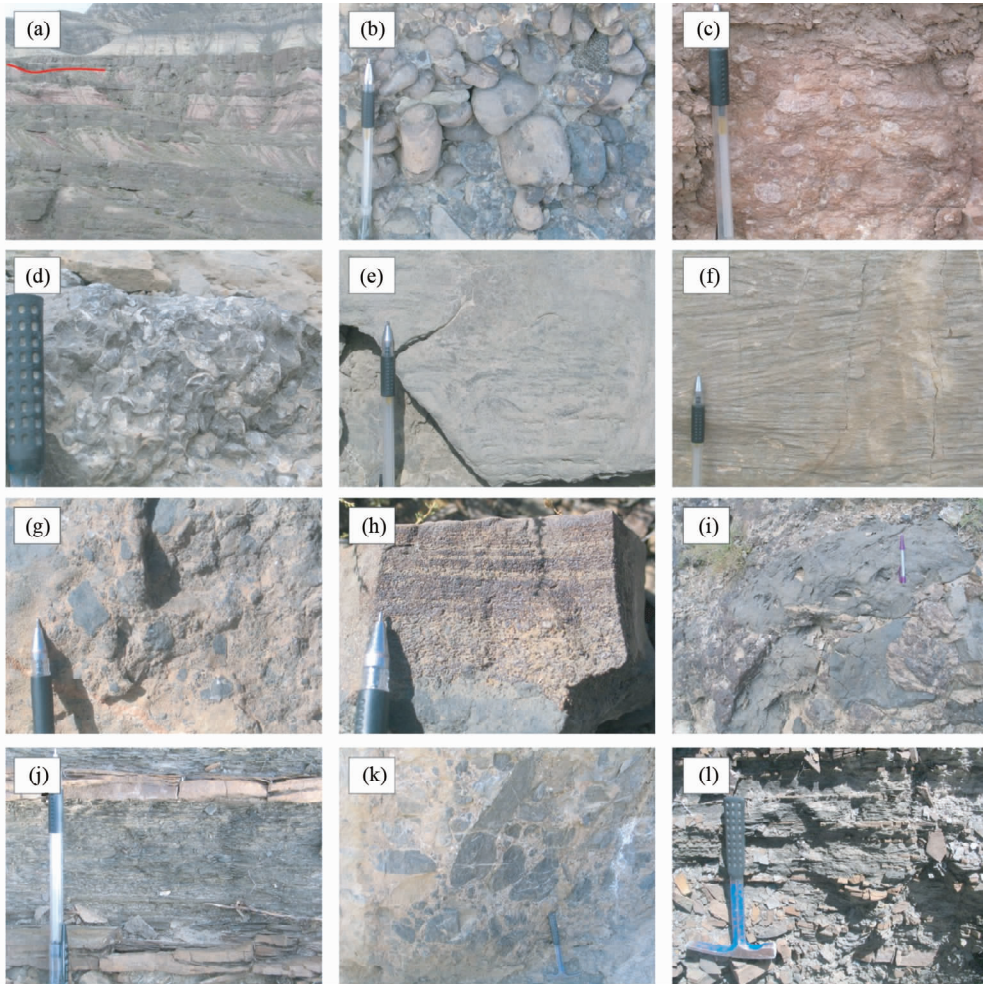


图3 乌什剖面主要岩性和沉积构造

(a) 砾岩与泥岩互层;(b) 滚圆状砾石;(c) 瘤状灰岩;(d) 大化石;(e) 生物扰动;(f) 交错层理;(g) 滑塌构造;(h) 粒序层理;(i) 直径大于50cm的砾岩;(j) 页岩;(k) 重力流;(l) 页岩、粉砂岩互层

Fig. 3 Lithologic and sedimentary structure photographs of the Wushi profile

格当其他乌组为陆棚-半深海相沉积环境,颗粒主要为石英,灰岩岩屑较少(图4)。由于难以辨别灰岩岩屑的来源,在统计岩屑时不考虑灰岩岩屑(Dickinson and Suczek, 1979)。

砂岩碎屑统计显示,蒙达勒克组、乌什组下部砂岩颗粒主要为石英(表1、图4),其中多晶石英 Qp 含量 26% ~ 59%,单晶石英 Qm 含量 38% ~ 59%。乌什组中上部、库鲁组、索格当其他乌组以含有较多的单晶石英 Qm 为特征(图4),多晶石英 Qp 和 Lv 含量低。自下而上,颗粒结构成熟度和成分成熟度都逐渐增加。总体来看,自蒙达拉克组至索格当其他乌组,研究区物源主要来自再旋回造山带(图5),同时有向克拉通内部迁移的特征。

同时,对石炭系剖面9件细砂岩进行碎屑重矿物组合分析。样品处理程序按以下步骤进行:(1)称重;(2)经无污染粉碎至10目,利用标准干筛筛选40~80目粒级(略大于砂岩分析样品的最小平均粒度);(3)通过粗淘、强磁、电磁、重液分离,将其分为无磁、电磁、强磁和轻部分四包;(4)在光学

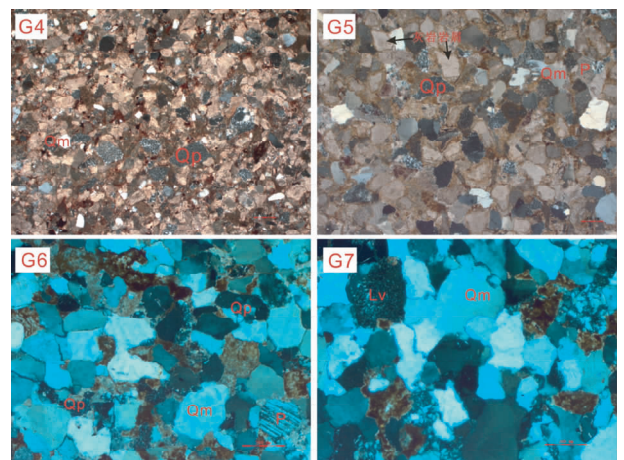


图4 乌什石炭系剖面样品镜下特征

Qm-单晶石英;Qp-多晶石英;K-钾长石;P-斜长石;Lv-火山岩岩屑或变质火山岩岩屑;Ls-沉积岩岩屑或变质沉积岩岩屑

Fig. 4 Microscopic feature of Wushi Carboniferous profile

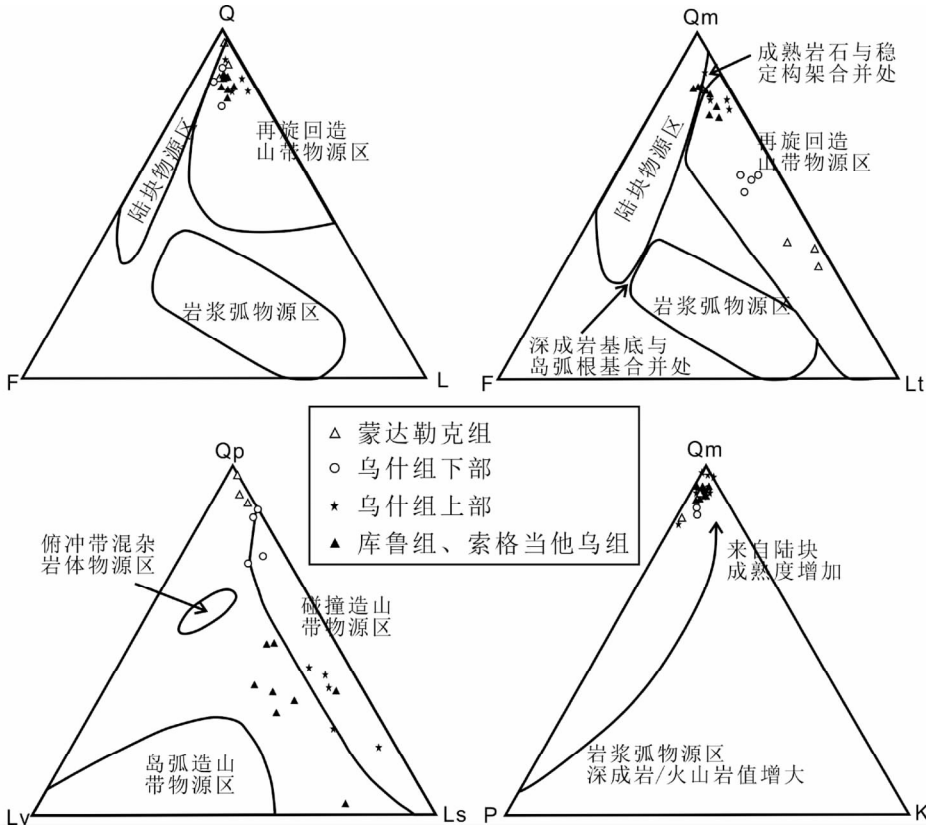


图5 乌什县石炭纪砂岩碎屑组分与物源类型三角图(底图据 Dickinson and Suczek, 1979)

Qm-单晶石英; Qp-多晶石英; K-钾长石; P-斜长石; Lv-火山岩岩屑或变质火山岩岩屑; Ls-沉积岩岩屑或变质沉积岩岩屑; Q-总石英颗粒; Lt-岩屑总含量; L-不稳定复晶岩屑

Fig. 5 Triangular plots showing sandstone modal components in the Wushi Carboniferous profile (after Dickinson and Suczek, 1979)

表1 乌什剖面石炭系砂岩薄片组分统计数据(点数)

Table 1 Sandstone skeleton component analysis of Wushi Carboniferous profile (points)

样品号	总数	Qm	Qp	Q	P	K	F	Ls	Lv	L	Lt	杂基
MD-7	300	114	178	292	2	1	3	5	0	5	183	39
MD-5	306	99	180	279	8	2	10	12	5	17	197	45
MD-4	316	125	150	275	21	2	23	16	2	18	168	38
WS-2	306	180	96	276	13	3	16	14	0	14	110	26
WS-3	309	182	84	266	21	8	29	12	2	14	98	37
WS-6	330	190	86	276	19	5	24	24	6	30	116	26
WS-14	300	161	76	237	30	3	33	19	11	30	106	20
WS-16	323	270	13	283	11	11	22	15	3	18	31	12
WS-37	352	285	9	294	13	8	21	36	1	37	46	17
WS-40	310	274	10	284	1	10	11	13	2	15	25	21
WS-49	341	275	22	297	6	0	6	34	4	38	60	28
WS-52	360	283	17	300	4	4	8	44	8	52	69	22
KL-1	321	267	12	279	9	11	20	20	2	22	34	23
G6	338	276	21	297	16	3	19	15	7	22	43	8
KL-3	313	264	8	272	16	5	21	13	7	20	28	12
KL-5	340	260	17	277	20	8	28	26	9	35	52	19
KL-9	324	274	11	285	12	8	20	11	8	19	30	16
KL-11	357	269	31	300	20	5	25	23	9	32	63	21
KL-12	331	261	18	279	8	10	18	22	12	34	52	23
G7	326	273	1	274	17	9	26	21	5	26	27	9

注: Qm、Qp、Q、P、K、F、Ls、Lv、L、Lt 的说明见图5

表2 乌什剖面砂岩重矿物统计(体积百分比)

Table 2 Heavy mineral statistics of Wushi profile (volume percent)

样品号	G7	KL-12	G6	WS-54	WS-37-1	WS-20	WS-3	MD-2	MD-7
锆石	72.3	59.4	69.9	42.1	68.6	75.8	67.6	30.3	62.9
白钛石	11.1	11.3	6.5	13.4	9.8	5.7	0.9	50.2	3.5
金红石	3.2	4.4	1.7	3.1	3.4	2.4	7.3	2.4	4
锐钛矿	0.8	1.1	4.1	2.3	1.7	1.9	1.2	3.2	1.5
钛铁矿	0	0	0	0	0	0	0	0	10.5
铬尖晶石	0	0	0	0.5	0	0	0	0	6
电气石	12.7	23.8	17.6	15.5	12.8	14.2	3.9	9.6	1.2
独居石	0	0	0	0	0	0	0.3	4	0
磷灰石	0	0	0.2	0	1.7	0	0	0.4	0
重晶石	0	0	0	23.2	0	0	18.5	0	10.5
胶磷矿	0	0	0	0	2.1	0	0.3	0	0

显微镜下定性定量鉴定出不同重矿物,并进行重矿物物理特征描述;(5)采用高精度天平完成计量,最终通过重矿物密度值将质量百分比换算为体积百分比。鉴定的体积百分比列于表2和图2。自下而上各种重矿物的表形特征具有很大的

表3 乌什剖面样品碎屑锆石 U-Pb 年龄测定结果

Table 3 U-Pb isotopic compositions of detrital zircons from Wushi Carboniferous sandstone

测点号	同位素比值						Th/U	表面年龄 (Ma)						谐和度 (%)
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ	
G4-001	0.07116	0.00105	1.57509	0.02118	0.16056	0.00187	0.27	962	12	960	8	960	10	100
G4-002	0.11936	0.00215	5.80469	0.09713	0.35276	0.00544	1.22	1947	13	1947	14	1948	26	100
G4-003	0.06615	0.00172	1.22548	0.02906	0.13438	0.00212	1.12	811	25	812	13	813	12	100
G4-004	0.11033	0.00283	4.91282	0.11654	0.32302	0.00632	0.84	1805	20	1804	20	1804	31	100
G4-005	0.05617	0.00226	0.56707	0.02098	0.07323	0.00146	0.56	459	48	456	14	456	9	100
G5-001	0.06873	0.00284	1.40994	0.05355	0.14878	0.00338	0.73	891	43	893	23	894	19	100
G5-002	0.06945	0.00232	1.45013	0.04436	0.15145	0.00290	0.58	912	33	910	18	909	16	100
G5-003	0.15625	0.00234	9.79081	0.13953	0.45450	0.00655	0.85	2415	11	2415	13	2415	29	100
G5-004	0.06825	0.00888	1.19783	0.14444	0.12730	0.00793	1.49	876	149	800	67	772	45	104
G5-005	0.10580	0.00151	4.48677	0.05890	0.30759	0.00377	0.45	1728	11	1729	11	1729	19	100
G6-001	0.16656	0.00112	11.1413	0.06587	0.48516	0.00424	0.76	2523	7	2535	6	2550	18	99
G6-002	0.07045	0.00091	1.53085	0.01778	0.15760	0.00158	0.50	941	11	943	7	943	9	100
G6-003	0.09122	0.00087	3.16684	0.02693	0.25180	0.00235	0.24	1451	8	1449	7	1448	12	100
G6-004	0.07458	0.00077	1.83009	0.01690	0.17798	0.00165	0.53	1057	9	1056	6	1056	9	100
G6-005	0.05542	0.00146	0.51161	0.01233	0.06696	0.00094	0.50	429	30	420	8	418	6	101
G7-001	0.05654	0.00260	0.59554	0.02519	0.07641	0.00171	0.63	474	55	474	16	475	10	100
G7-002	0.07684	0.00661	1.97769	0.15704	0.18672	0.00844	2.94	1117	89	1108	54	1104	46	101
G7-003	0.05669	0.00195	0.59275	0.01885	0.07586	0.00134	0.77	479	40	473	12	471	8	100
G7-005	0.09913	0.00296	3.86440	0.10654	0.28281	0.00581	0.58	1608	24	1606	22	1605	29	100
G7-006	0.06315	0.00226	1.02138	0.03408	0.11734	0.00214	0.39	713	41	715	17	715	12	100

相似性。锆石多呈透明或者金刚-弱毛玻璃光泽,半自形-次圆状为主,少数为自形、圆粒状,表面常见凹坑,少数可见裂纹,推测大多数锆石颗粒经历了长距离的搬运。含 TiO₂ 矿物多为次棱角状-次圆状。电气石多为黑褐色,柱状、次圆粒状,透明-玻璃光泽。赤褐铁矿形态多为立方体或次棱角状,多为黄铁矿氧化而成,反映出该类重矿物可能大多是自生矿物,在对比稳定重矿物含量时将其剔除。

重矿物分析结果显示,重矿物类型以锆石、白钛石、金红石、锐钛矿、电气石、重晶石、黄铁矿、赤褐铁矿为主,部分样品中还含有钛铁矿、铬尖晶石、磷灰石(图2)。虽然不同层位单种重矿物差异较大,但重矿物组合基本一致,以锆石+电气石+TiO₂矿物+重晶石为主,其含量占94.1%~100.0%,不含中等稳定和不稳定重矿物。从研究区自下而上单种重矿物及重矿物组合来看,源区母岩类型始终以沉积岩+低级变质岩为主。稳定重矿物占优势,不含不稳定重矿物,说明该研究区早石炭世早期-晚石炭世早期盆山分异作用弱,构造活动比较平静。

砂岩碎屑骨架差异明显,而重矿物组合特征则变化不大,可能真实的反映了研究区物源结构的变迁,详见下文。

4 碎屑锆石年代学分析

4.1 测试方法与结果

CL图、U-Pb、Lu-Hf测试均在中国科学院地质与地球物

理研究所电子探针与电镜实验室、多接收等离子体质谱仪实验室完成。样品分析时激光斑束直径为32 μm ,激光剥蚀样品的深度为20~40 μm 。标准锆石91500和NIST610被用来进行数据校正。对于碎屑锆石年龄大于1000Ma的样品,采用²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb表面年龄,而对于小于1000Ma的样品,采用更为可靠的²⁰⁶Pb/²³⁸U表面年龄(Black *et al.*, 2003)。本文取不谐和度小于10%的为有效数据点。详细的实验步骤和处理方法参见(Yuan *et al.*, 2004)。

锆石 Lu-Hf 同位素测定用¹⁷⁶Lu/¹⁷⁵Lu = 0.0266 和¹⁷⁶Yb/¹⁷²Yb = 0.5886 进行同量异位干扰校正计算测试样品的¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf 和¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf 比值。 ϵ_{Hf} 的计算采用¹⁷⁶Lu 衰变常数为 $1.865 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ 。球粒陨石现今的¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf = 0.282772, ¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf = 0.0332, Hf 亏损地幔单阶段模式年龄(t_{DM})的计算采用现今的亏损地幔¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf = 0.2832 和¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf = 0.0384, 两阶段模式年龄 t_{DM}^{C} 依据大陆上地壳平均组成($f_{\text{Lu/Hf}} = -0.72$)计算。详细的实验步骤、处理方法和参数选取参见(吴福元等, 2007)和其参考文献。

碎屑锆石 U-Pb 和 Lu-Hf 分析的代表性数据见表3和表4,详细数据表可向作者索取。4个样品 U-Pb 谐和图和年龄谱图如图6, $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 如图7,对应的 Th/U 如图8,典型的 CL 如图9。

4.2 测试结果

4个样品共531个测试点中共获得484个有效年龄(图

表4 乌什剖面样品碎屑锆石 Lu-Hf 测定结果

Table 4 Lu-Hf isotopic compositions of detrital zircons from Wushi Carboniferous sandstone

测点号	年龄 (Ma)	$\frac{^{176}\text{Yb}}{^{177}\text{Hf}}$	2σ	$\frac{^{176}\text{Lu}}{^{177}\text{Hf}}$	2σ	$\frac{^{176}\text{Hf}}{^{177}\text{Hf}}$	2σ	$\frac{^{176}\text{Hf}}{^{177}\text{Hf}(t)}$	$\varepsilon_{\text{Hf}}(0)$	$\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$	2σ	t_{DM}^{C} (Ma)	$f_{\text{Lu/Hf}}$
G4-001	960	0.035315	0.000600	0.001114	0.000027	0.281974	0.000036	0.281954	-28.2	-7.7	1.3	2320	-0.97
G4-004	1805	0.014284	0.000130	0.000496	0.000005	0.281269	0.000047	0.281252	-53.2	-13.6	1.7	3343	-0.99
G4-005	456	0.051301	0.000420	0.001648	0.000019	0.282112	0.000037	0.282097	-23.4	-13.8	1.3	2310	-0.95
G4-007	652	0.019839	0.000162	0.000655	0.000006	0.282122	0.000029	0.282114	-23.0	-8.9	1.0	2154	-0.98
G4-008	806	0.032277	0.000262	0.001093	0.000009	0.282133	0.000042	0.282117	-22.6	-5.4	1.5	2053	-0.97
G5-001	894	0.025055	0.000102	0.000866	0.000005	0.282491	0.000029	0.282477	-9.9	9.3	1.0	1184	-0.97
G5-002	909	0.016505	0.000097	0.000584	0.000002	0.282452	0.000035	0.282442	-11.3	8.4	1.2	1254	-0.98
G5-003	2415	0.011886	0.000033	0.000406	0.000002	0.281251	0.000028	0.281232	-53.8	-0.3	1.0	2977	-0.99
G5-004	772	0.021946	0.000058	0.000765	0.000001	0.281875	0.000029	0.281864	-31.7	-15.1	1.0	2635	-0.98
G5-005	1728	0.022178	0.000234	0.000743	0.000006	0.281588	0.000026	0.281563	-41.9	-4.3	0.9	2698	-0.98
G6-001	2523	0.013129	0.000479	0.000358	0.000013	0.281212	0.000020	0.281194	-55.2	0.8	0.7	2987	-0.99
G6-002	943	0.016085	0.000232	0.000396	0.000006	0.281982	0.000018	0.281975	-27.9	-7.3	0.6	2283	-0.99
G6-003	1451	0.067102	0.000143	0.001746	0.000010	0.282153	0.000024	0.282105	-21.9	8.7	0.8	1659	-0.95
G6-004	1057	0.100526	0.000583	0.002477	0.000012	0.282262	0.000029	0.282213	-18.0	3.6	1.0	1675	-0.93
G6-005	418	0.064965	0.000857	0.002021	0.000043	0.282686	0.000034	0.282670	-3.1	5.6	1.2	1054	-0.94
G7-001	475	0.031859	0.000589	0.000959	0.000016	0.282310	0.000025	0.282302	-16.3	-6.2	0.9	1845	-0.97
G7-002	1117	0.098282	0.000245	0.002243	0.000013	0.282155	0.000026	0.282107	-21.8	1.2	0.9	1875	-0.93
G7-003	471	0.072011	0.000766	0.001969	0.000020	0.282516	0.000031	0.282498	-9.1	0.7	1.1	1407	-0.94
G7-005	1608	0.032426	0.000250	0.000859	0.000003	0.281928	0.000027	0.281902	-29.8	5.0	1.0	2013	-0.97
G7-006	715	0.039216	0.000169	0.001207	0.000003	0.282655	0.000025	0.282639	-4.1	11.1	0.9	933	-0.96

6)。U-Pb 有效年龄主要集中在 392 ~ 496Ma、708 ~ 868Ma、893 ~ 1044Ma、1713 ~ 1917Ma 和 2376 ~ 2606Ma (图 6), 主要的差别是 G4 和 G5 样品 893 ~ 1044Ma 更为明显。在各组年龄中, 708 ~ 868Ma、893 ~ 1044Ma 组年龄所在比例最高, 其次是 392 ~ 496Ma。

结合 CL 图特征(图 9)、Th/U 比值(图 8), 392 ~ 496Ma 锆石颗粒均有明显的环带结构, Th/U 比值为 0.28 ~ 1.44 之间, 显示出明显的岩浆起源的特征。而大部分 708 ~ 868Ma 锆石颗粒 CL 图特征与 392 ~ 496Ma 锆石相似, Th/U 比值为 0.28 ~ 1.44, 平均为 0.73, 因此大部分为岩浆成因。而 893 ~ 1044Ma 锆石颗粒 CL 图显示出均质、溶蚀的特点, Th/U 比值较低 0.05 ~ 1.2, 可能大部分为变质成因。而 1713 ~ 1917Ma 和 2376 ~ 2606Ma 锆石 CL 图均显示出均质、溶蚀、冷杉叶状特点, 绝大部分应为变质成因。

参照 CL 图, Lu-Hf 测试点部分或者完全与 U-Pb 测试点重合。484 个有效年龄数据中, 共得到 437 个有效的 Hf 同位素分析结果(图 7)。392 ~ 496Ma 锆石 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值介于 0.281985 ~ 0.282912 之间, $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 介于 -18.6 ~ 13.8 之间, t_{DM}^{C} 介于 522 ~ 2593Ma 之间。708 ~ 868Ma 锆石 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值介于 0.281436 ~ 0.282688 之间, $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 介于 -29.4 ~ 14.4 之间, t_{DM}^{C} 介于 822 ~ 3582Ma 之间。893 ~ 1044Ma 锆石 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值介于 0.281207 ~ 0.282491 之间, $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 介于 -35.5 ~ 11.7 之间, t_{DM}^{C} 介于 1135 ~ 4005Ma 之间。1713 ~ 1917Ma 锆石 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值介于 0.281125 ~ 0.281947 之间, $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 介于 -18.2 ~ 7.5 之间, t_{DM}^{C} 介于 1960 ~ 3652Ma 之

间。2376 ~ 2606Ma 锆石 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值介于 0.280846 ~ 0.281398 之间, $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 介于 -12.3 ~ 6.9 之间, t_{DM}^{C} 介于 2621 ~ 3848Ma 之间。在 5 组锆石峰中, 大部分锆石 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 小于 0, 可能反映其来源于古老地壳重熔。尤其是 708 ~ 868Ma、1713 ~ 1917Ma, 86% 以上 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为都负值。

5 讨论

5.1 潜在物源区锆石年代学特征及构造热事件

本文获得的碎屑锆石主要涉及早古生代、新元古代、中元古代、古元古代以及太古代, 以下逐一分析、总结其区域构造和物源区含义。

所有样品中均存在 2376 ~ 2606Ma 的年龄峰, 代表该期构造热事件在源区有广泛的分布。其与全球大陆增生事件时间一致, 且 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 中有较多的正值(图 7), 均暗示该期增生事件也在塔里木广泛存在。在塔里木盆地及周缘已经获得部分该时期的年龄, 主要出露在库鲁克塔格地区(胡霁琴和韦刚健, 2006; Long *et al.*, 2010; Shu *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2012)。

而 1713 ~ 1917Ma 年龄峰常与 Columbia 超大陆汇聚相关。该期构造事件在塔里木盆地内有着广泛的记录, 是塔里木重要的地壳增生和岩浆事件(张传林等, 2012), 目前主要出露在库鲁克塔格和塔西南铁克里克(王超, 2011; Zhang *et al.*, 2012)。而 Columbia 超大陆的裂解很少被以前的碎屑锆石工作(彭守涛, 2007; 鄯光辉等, 2007, 2009, 2010; Li and

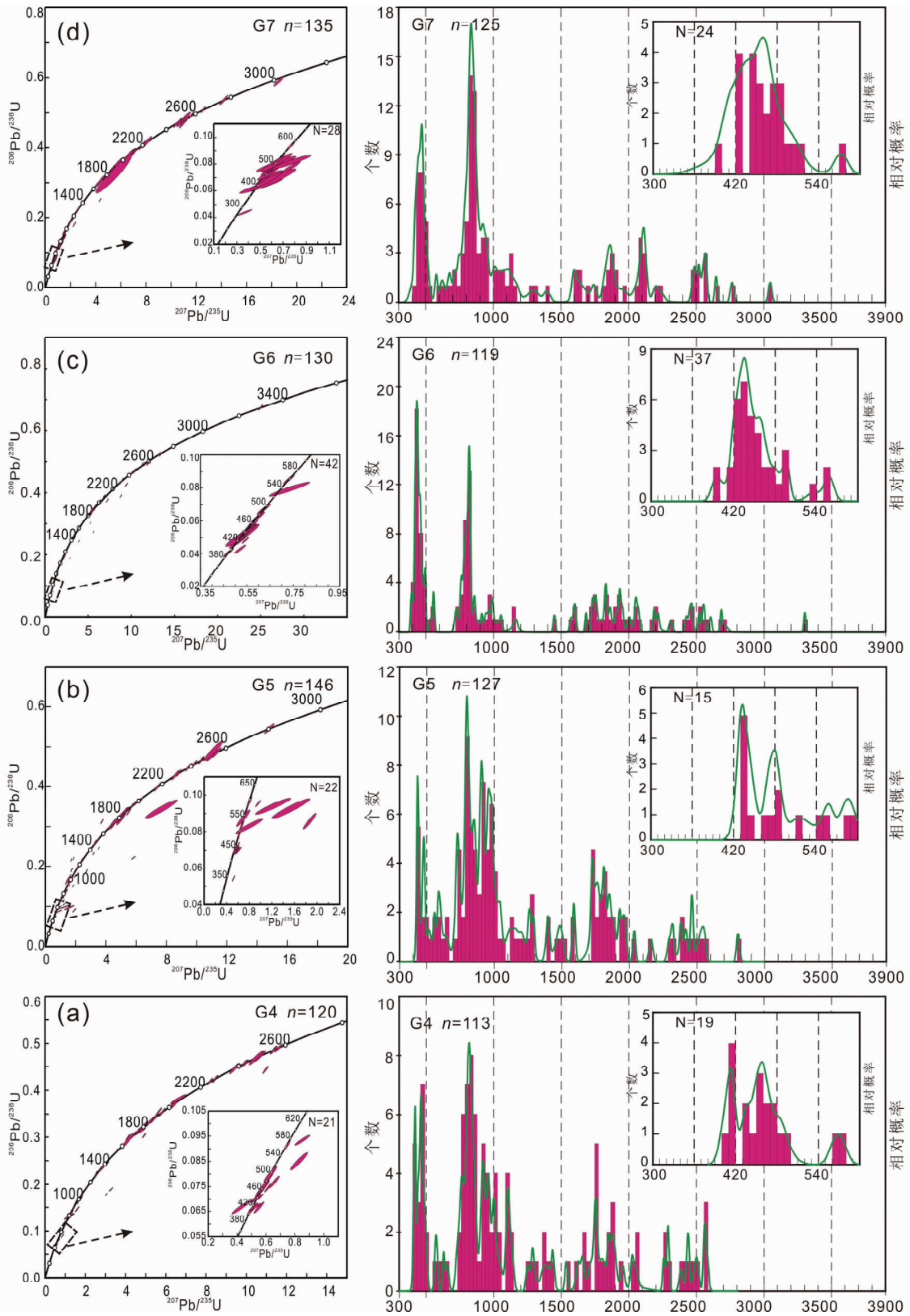


图6 碎屑锆石样品 U-Pb 谐和图和年龄频谱图

Fig.6 Concordia plots, Histograms and relative probability plots of detrital zircon U-Pb ages

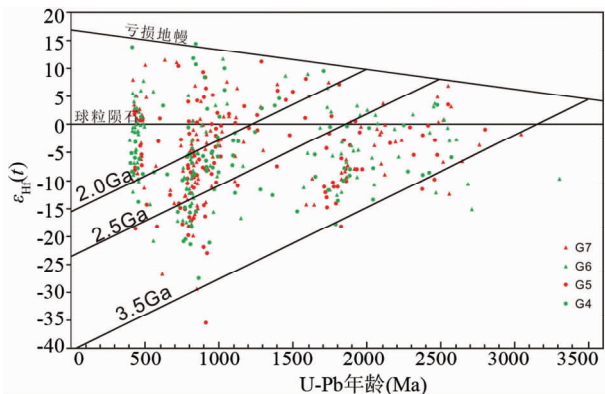


图7 样品锆石 Hf 同位素特征

Fig.7 Hf isotope data of detrital zircons from the four studied samples

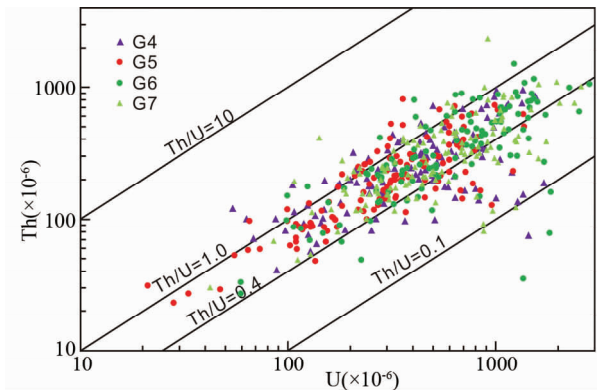


图8 四个碎屑样品锆石 Th/U 图

Fig.8 Th-U plots of detrital zircons from the four studied samples

Peng, 2010; 张英利等, 2011; Liu *et al.*, 2012; 刘景彦等, 2012)、结晶岩工作(参见下文图 11)所记录到, 预示着该时期塔里木构造活动处于相对稳定状态。

893 ~ 1044Ma 年龄峰比 Grenville 造山事件略晚, 常与 Rodinia 超大陆汇聚事件相关。该期构造事件在库鲁克塔格、阿克苏、铁克里克、盆地腹部都有分布(李曰俊等, 2003; 张传林等, 2003; Shu *et al.*, 2011), 但目前已发表的该阶段年龄相对概率很低(见下文图 11)。而在昆仑造山带、阿尔金山造山带则存在大量的该期构造事件(王超, 2011; 张建新等, 2011; 张传林等, 2007; 毕华等, 1999), 是 Rodinia 超大陆汇聚的直接证据。

708 ~ 868Ma 岩浆事件常与 Rodinia 超大陆裂解相连。

该期构造事件在盆地内库鲁克塔格、阿克苏、腹部、铁克里克等有广泛的分布, 并伴随着雪球事件和冰碛岩(李曰俊等, 2003; 高林志等, 2010; Shu *et al.*, 2011; 王超, 2011)。

古生代是年龄相对集中区域, 特别是早古生代, 说明该时期源区构造活动强烈。而早古生代岩浆活动广泛发育于塔里木周缘造山带中(陈宣华等, 2009; 高俊等, 2009), 如西昆仑乌依塔格-库地-阿其克库勒湖-香日德缝合带, 阿尔金地区巴什考依盆地南北缘、红柳沟等区域, 中天山巴音布鲁克、巴伦台地区, 主要与昆仑洋、阿尔金洋、Terskey 洋、南天山洋的俯冲闭合造山有关(Xiao *et al.*, 2005; 吴才来等, 2005; 高俊等, 2006, 2009; Qian *et al.*, 2009; 张建新等, 2010, 2011)。

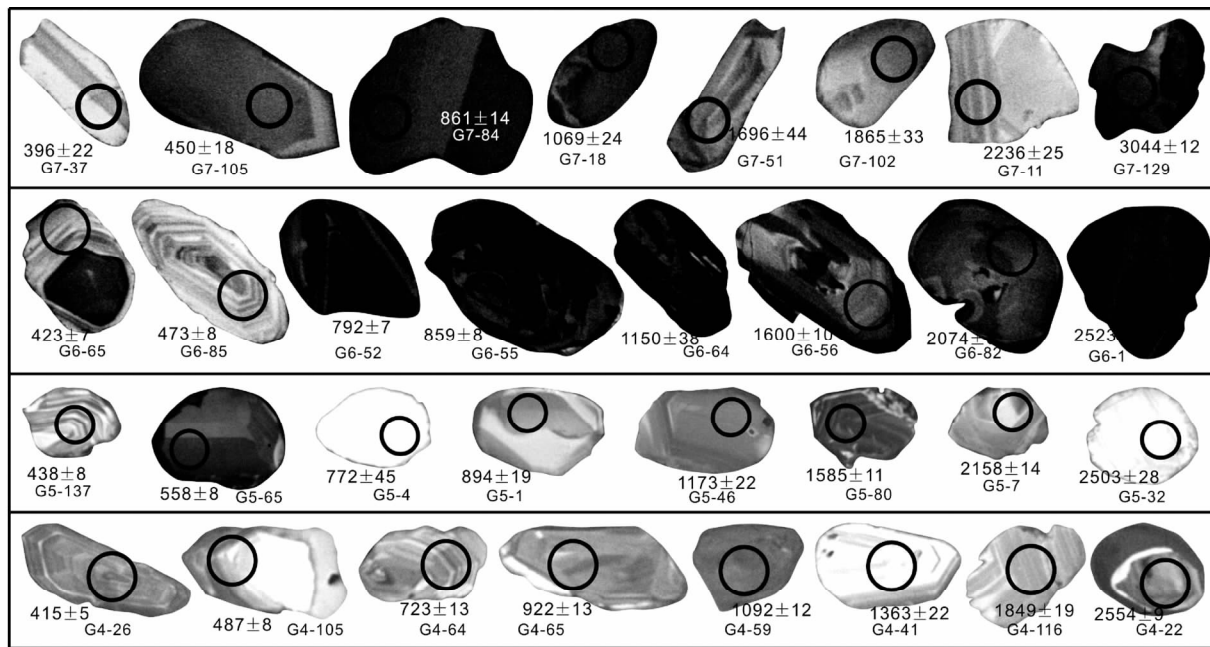


图9 典型锆石 CL 图(图中圆圈代表激光剥蚀点, 其直径为 32μm)

Fig.9 Typical CL images of detrital zircons (the circle diameter is 32 microns)

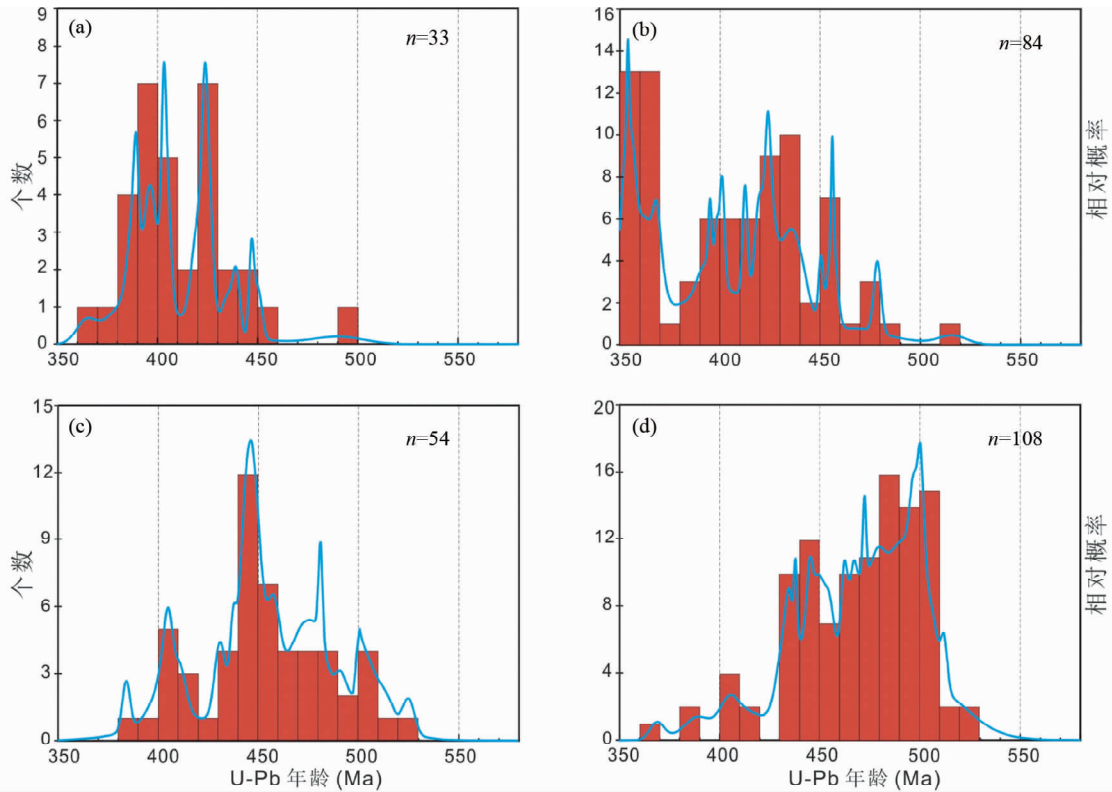


图 10 塔里木周缘造山带古生代结晶岩 U-Pb 同位素年龄统计直方图

(a)南天山造山带;(b)中天山造山带;(c)昆仑造山带;(d)阿尔金造山带。(a、b)主要引自李忠和彭守涛(2013)及其参考文献,其他补充数据引自 Wang *et al.* (2011)、Ge *et al.* (2012a)及其参考文献;(c)引自 Xiao *et al.* (2005)、于晓飞(2010)、王超(2011)及其参考文献;(d)引自吴才来等(2005)、陈宣华等(2009)、张建新等(2010,2011)、王超(2011)及其参考文献

Fig. 10 The U-Pb isotopic age histogram of the Paleozoic crystalline rocks in the orogenic belts adjacent to Tarim basin

本文在前人工作基础上统计了石炭纪之前各造山带已发表 U-Pb 年龄数据(图 10),西昆仑造山带结晶岩年龄主要集中于 380 ~ 530Ma,峰值于 450Ma;阿尔金造山带结晶岩年龄主要集中于 430 ~ 520Ma,峰值于 500Ma;南天山造山带结晶岩年龄主要集中于 360 ~ 460Ma,峰值于 403Ma、424Ma;中天山造山带结晶岩年龄主要集中于 350 ~ 490Ma,峰值不明显。

5.2 物源体系

用碎屑锆石 U-Pb 年龄峰与潜在物源区进行对比进而判断物源,已经是一种比较成熟的方法 (Amelin *et al.*, 1999; Berry *et al.*, 2001; 李任伟等, 2004; 李忠等, 2009; Li and Peng, 2010)。G4-G7 样品均记录到明显的 ~ 840Ma、~ 1800Ma、~ 2500Ma 的峰,这与塔东、塔北、塔中地区志留系、泥盆系、侏罗系等层位的碎屑锆石特征相似(彭守涛, 2007; 邬光辉等, 2007, 2009, 2010; Li and Peng, 2010; Shu *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2012; 刘景彦等, 2012)。而前人发表的塔里木盆地露头、井下结晶岩 U-Pb 年龄显示(图 11),塔里木盆地也具有明显这三期的年龄峰,说明物源区可能为盆内古隆起。同时,在石炭系沉积时,研究区周缘存在多个

古隆起,如温宿隆起(Liu *et al.*, 2012)、塔北隆起、四石场剥蚀区。而古流向显示物源主要来自偏南方(Carroll *et al.*, 1995, 2001)。

Ge *et al.* (2012b)认为塔里木地块新元古代存在四期岩浆事件,900 ~ 1050Ma、790 ~ 830Ma、760 ~ 730Ma、670 ~ 620Ma,样品中不仅记录到了前三期,最后一期同样也有记录,虽然该期峰很弱。源区和塔里木块体都经历完整了 Rodinia 超大陆汇聚、裂解事件及泛非运动。而从 Hf 同位素组成特征来看,~ 840Ma、~ 1800Ma、~ 2500Ma 的 Hf 同位素特征与 Ge *et al.* (2013)总结的塔里木盆地结晶岩 Hf 同位素特征也大致相似。所有信息均表明,塔里木内古隆起可能为一个主要的物源区。

塔里木盆地内发育很少的早古生代结晶岩(图 11)。石炭纪时期,阿尔金造山带与研究区相隔宽阔的塔里木盆地滨浅海沉积区和大面积的剥蚀区,且阿尔金造山带 U-Pb 年龄分布偏老(图 10),结晶岩年龄均大于 430Ma,因此阿尔金地区古生代岩浆弧作为另一个物源区的可能性较小。而放射虫资料显示早石炭世早期南天山洋依然存在(刘羽等, 1994; 舒良树等, 2007),可能会阻隔来自天山的物质供给。前人(邬光辉等, 2009, 2010; Liu *et al.*, 2012; 刘景彦等,

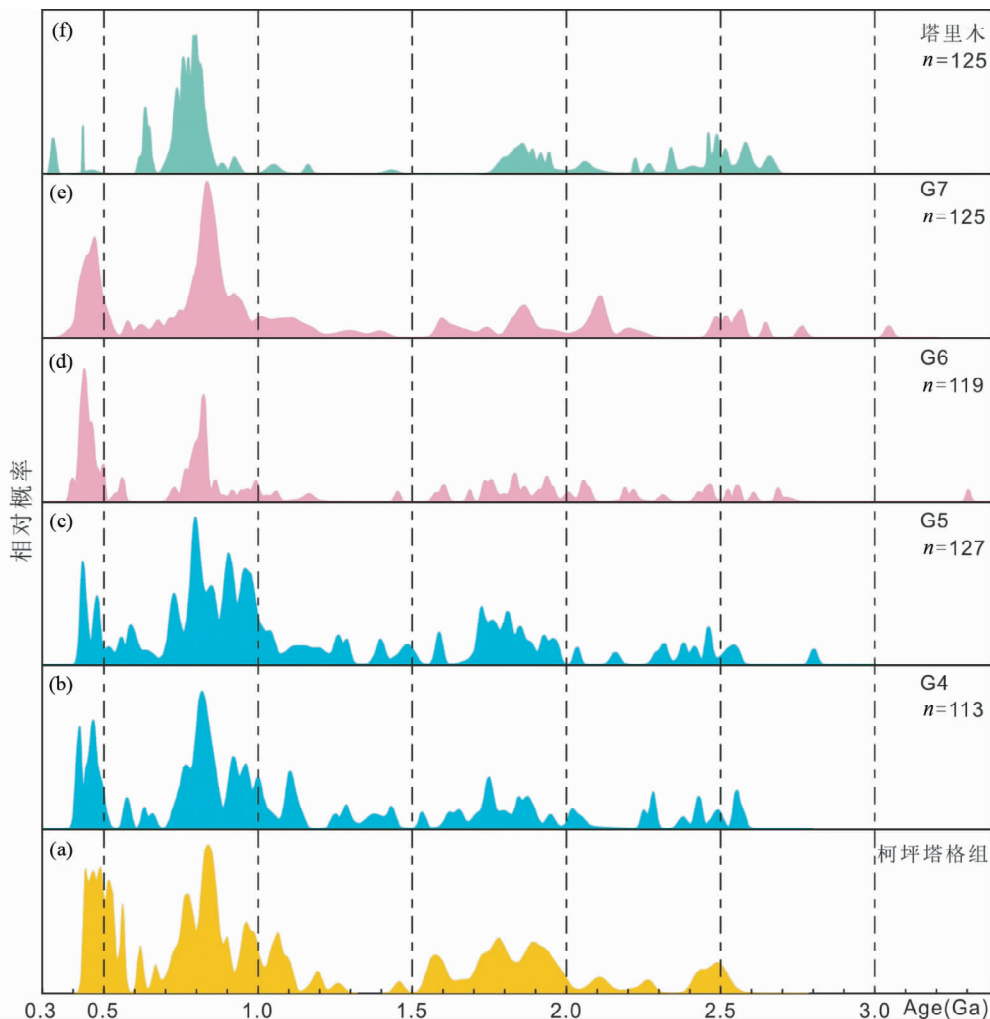


图 11 砂岩样品、塔里木块体结晶岩 U-Pb 年龄相对概率分布图

(a)为乌什剖面柯坪塔格组(数据引自郭春涛, 2014), (b-e)为本文分析样品 G4-G7; (f)为塔里木地块已发表结晶岩 U-Pb 年龄(数据引自李忠和彭守涛, 2013; Shu *et al.*, 2011; 王超, 2011; Zhang *et al.*, 2012 及其参考文献)

Fig. 11 Relative probability distribution of U-Pb ages of the studied four sandstone samples and crystalline rocks in the Tarim Block

2012) 研究显示, 志留系、泥盆系地层锆石 U-Pb 年龄中存在显著的 ~450Ma 的年龄峰(图 11), 因此来自盆地内受剥蚀的泥盆-志留系地层可能为研究区提供 ~450Ma 的碎屑锆石。Carroll *et al.* (1995) 从岩性对比角度也认为石炭地层来自研究区东南方早古生代地层的剥蚀。对于这些锆石的最终来源, 由于一方面因为南天山洋的存在, 可能阻隔来自中天的物源供给, 另一方面样品古生代年龄分布明显比天山造山带老, 因此推测可能还有来自昆仑造山带的物源供给。

4 个碎屑锆石样品中最显著的变化是, 893 ~ 1044Ma 峰在 G4 和 G5 样品中均非常明显, 而在 G6 和 G7 中则显著减小。前人(Liu *et al.*, 2012; 刘景彦等, 2012; Shu *et al.*, 2011; 郭春涛, 2014) 在研究塔东、库鲁克塔格、柯坪等地区志留-泥盆系地层碎屑锆石时, 同样存在该期年龄, 而在塔中、塔北则不发育。该期构造事件在塔里木盆内不明显(图 11), 研究区附近的阿克苏蓝片岩最近也被认为是新元古代

中期的产物(Zhu *et al.*, 2011)。而在昆仑造山带、阿尔金造山带则存在大量的该期构造事件(王超, 2011; 张建新等, 2011; 张传林等, 2007; 毕华等, 1999), 是 Rodinia 超大陆汇聚的直接证据。而研究区与昆仑造山带、阿尔金造山带距离非常远, 且隔有大面积的沉积区和隆起区, 该两造山带直接为研究区提供物源的可能性较小, 因此推测 893 ~ 1044Ma 碎屑锆石主要来自于与昆仑造山带、阿尔金造山带剥蚀物源区相关的前石炭纪沉积地层的再旋回物质。维宪阶晚期之后, 碎屑成分成熟度的增大, 893 ~ 1044Ma 年龄碎屑锆石丰度的锐减、重矿物组合特征一致, 可能反映了物源继续向稳定的塔里木克拉通内部迁移。

5.3 塔里木盆地西北缘陆缘构造属性与构造格局

塔里木北缘陆缘构造属性与南天山洋的俯冲极性和闭合时间紧密相关。基于弧火山岩、高压变质岩、构造变形、放

射虫、地层组合等特征分析,前人对南天山洋的俯冲极性、闭合时间提出了许多不同的认识(高俊等, 2006, 2009; Charvet *et al.*, 2007; Lin *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2011; Ge *et al.*, 2012a; 郝杰和刘小汉, 1993)。

虽然关于南天山洋盆地闭合时间的争议最大(郝杰和刘小汉, 1993; 高长林等, 1995; 高俊等, 1997; Li *et al.*, 2001, 2005; 夏林圻等, 2002; 高俊等, 2006, 2009; Charvet *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2007),但越来越多的证据表明南天山洋闭合于早石炭世早期。如吴浩若和李忠(2013)详细讨论了南天山内已发表的众多放射虫资料,认为其时代全部集中于中泥盆世晚期至早石炭世维宪阶早期,还没有发现可靠的维宪期之后的放射虫分子;高俊等(2006)于南天山高压-超高压变质带中获得榴辉岩峰期变质年龄 345Ma 和白云母折返年龄 313 ~ 302Ma,代表洋盆闭合和增生造山结束时间;Wang *et al.* (2010)在高压-超高压变质带获得蓝片岩、绿片岩折返年龄 331 ~ 316Ma,认为碰撞作用发生在泥盆纪最晚期至石炭纪最早期;Charvet *et al.* (2007)从构造变形角度认为南天山洋闭合于晚泥盆世-早石炭世最早期。

而关于塔里木北缘的构造属性,依据早古生代-晚古生代早期塔里木北缘的海相-海陆交互层序组合,Carroll *et al.* (1995)认为该时期塔里木北缘是被动大陆边缘。前人根据砂岩主量元素、砂岩碎屑特征认为塔里木西北部柯坪、巴楚地区的志留纪、泥盆纪物源区为成熟大陆(李曰俊等, 1999; 周新源等, 2002; 郭战峰等, 2004)。李忠等(2010^①)在柯坪地区对下志留统柯坪塔格组、下志留-上泥盆统(?)克兹尔塔格组的细砂岩进行了主量元素测试,其中 3 件样品来自乌什剖面柯坪塔格组,3 件样品来自大湾沟柯坪塔格组,5 件样品来自四石场克兹尔塔格组。测试结果显示(图 12),几乎所有样品都落入被动大陆边缘。同时,迄今为止塔里木北缘发现的古生代岛弧主要集中于东部的野云沟(姜常义等, 2001)、库鲁克塔格(张艳和孙晓猛, 2010; 贾晓亮等, 2013; 郭瑞清等, 2013)、黑英山-色日牙克依拉克(朱志新等, 2008)、库尔勒附近(Ge *et al.*, 2012a; Lin *et al.*, 2013),而塔里木陆缘西部古生界还没有发现与俯冲相关的岛弧。这些都反映自早古生代早期直到晚石炭世维宪早期塔里木盆地西北部具有被动大陆边缘特征。

本文碎屑锆石、重矿物、砂岩碎屑组分工作也支持塔里木盆地西北缘早石炭世早期具有被动大陆边缘的构造属性。早石炭世维宪早期,南天山依然存在放射虫(刘羽等, 1994; 舒良树等, 2007),表明南天山洋盆依然存在,而样品 G4 和 G5 碎屑锆石最小年龄 $404 \pm 7\text{Ma}$,没有明显的直接来自中天山或塔里木北缘岛弧的锆石,重矿物组合锆石 + 电气石 + TiO_2 矿物为主,物源区以沉积岩 + 低级变质岩为特征,构造活动弱,碎屑组分特征显示物源区以再旋回造山带为主。而从碎屑锆石的特征来看,自早志留世至晚石炭世早期,研究区碎屑锆石年龄结构相似(图 11a-e),显示出可能一致的大地构造背景。

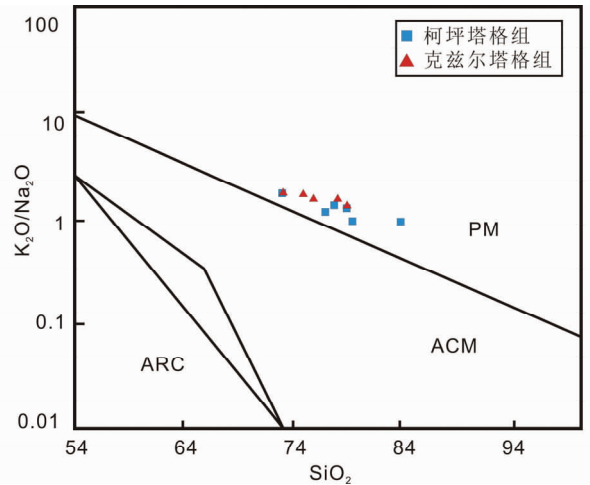


图 12 柯坪地区 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 判别图解(数据引自李忠等, 2010)

PM-被动大陆边缘; ACM-活动大陆边缘; ARC-岛弧

Fig. 12 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ discrimination diagram of the Keeping uplift

维宪晚期之后,虽然放射虫资料显示洋盆已经闭合,但研究剖面的碎屑锆石结构、重矿物组合、砂岩碎屑组分均没有发生大的变化。说明虽然洋盆已经闭合,但直到晚石炭世巴什基尔期研究区依然没有记录到南天山造山事件的沉积学响应,其也没有迅速隆升造山,洋盆闭合事件对塔里木北缘构造格局和物源体系影响较小,塔里木西北缘物源结构稳定,且延续了从早志留世以来的物源结构和大地构造格局。从沉积格架上看,由于洋盆闭合,乌什地区海平面持续加深,塔里木北缘剥蚀区(前隆区)向盆内移,沉积中心也向盆内迁移,在乌什地区发育完整的早石炭世-二叠纪剖面,向南皮羌乌尊布拉克剖面仅发育晚石炭世木兹杜克群,再向南柯坪塔格山四石场一带仅有晚石炭-早二叠世康克林组沉积,造成柯坪地区石炭系沉积自西向东层位抬升和厚度逐渐减小(周志毅等, 2001)。

6 结论

(1) 早石炭世维宪阶到晚石炭世巴什基尔阶四个碎屑锆石 U-Pb 定年主要反映三期年龄: 392 ~ 496Ma, 708 ~ 868Ma 和 893 ~ 1044Ma; 此外也少量存在 1713 ~ 1917Ma、2376 ~ 2606Ma 年龄。主要反映了五期构造热事件。

(2) 塔里木西北缘石炭纪物源非常复杂,主物源为塔里木盆地内古隆起,可能为研究区南、东南方的温宿隆起、四石场剥蚀区等。维宪期后碎屑成分成熟度的增大和 893 ~

① 李忠等. 2010. 塔里木区块构造-岩相古地理研究与编图(内部资料).

1044Ma 年龄碎屑锆石丰度的锐减可能说明与昆仑-阿尔金山造山带相关物源的减少,塔里木大陆内部(隆起)成熟物源的增加。

(3) 尽管放射虫、结晶岩等资料说明早石炭世早期南天山洋已经关闭,但直到晚石炭世巴什基尔期塔里木西北仍然延续了前石炭纪的沉积物源格局,并未记录到南天山造山事件的沉积学效应。

References

- Amelin Y, Lee Der C, Halliday AN and Pidgeon RT. 1999. Nature of the Earth's earliest crust from hafnium isotopes in single detrital zircons. *Nature*, 399(6733): 252–255
- Andersen T. 2005. Detrital zircons as tracers of sedimentary provenance: Limiting conditions from statistics and numerical simulation. *Chemical Geology*, 216(3–4): 249–270
- Berry RF, Jenner GA, Meffre S and Tubrett MN. 2001. A North American provenance for Neoproterozoic to Cambrian sandstones in Tasmania? *Earth and Planetary Science Letters*, 192(2): 207–222
- Bi H, Wang ZG, Wang YL and Zhu XQ. 1999. History of tectono-magmatic evolution in the Western Kunlun Orogen. *Science in China (Series D)*, 29(5): 398–406 (in Chinese)
- Black LP, Kamo SL, Williams IS, Mundil R, Davis DW, Korsch RJ and Foudoulis C. 2003. The application of SHRIMP to Phanerozoic geochronology: A critical appraisal of four zircon standards. *Chemical Geology*, 200(1–2): 171–188
- Brenckle PL. 2004. Late Viséan (Mississippian) calcareous microfossils from the Tarim Basin of western China. *The Journal of Foraminiferal Research*, 34(2): 144–164
- Carroll AR, Graham SA, Hendrix MS, Ying D and Zhou D. 1995. Late Paleozoic tectonic amalgamation of northwestern China: Sedimentary record of the northern Tarim, northwestern Turpan, and southern Junggar basins. *Geological Society of America Bulletin*, 107(5): 571–594
- Carroll AR, Graham SA, Chang EZ and McKnight C. 2001. Sinian through Permian tectonostratigraphic evolution of the northwestern Tarim basin, China. *Geological Society of America Memoir*, 194: 47–70
- Charvet J, Shu LS and Laurent-Charvet S. 2007. Paleozoic structural and geodynamic evolution of eastern Tianshan (NW China): Welding of the Tarim and Junggar plates. *Episodes*, 30(3): 162–186
- Chen XH, Yin A, George EG, Jiang RR, Chen ZL and Bai YF. 2009. Geothermochronology and tectonic evolution of Eastern Altyn Tagh Mountains, northwestern China. *Earth Science Frontiers*, 16(3): 207–219 (in Chinese with English abstract)
- Chen ZQ and Shi GR. 2003. Late Paleozoic depositional history of the Tarim basin, Northwest China: An integration of biostratigraphic and lithostratigraphic constraints. *AAPG Bulletin*, 87(8): 1323–1354
- Dickinson WR and Suckek CA. 1979. Plate tectonics and sandstone compositions. *AAPG Bulletin*, 63(12): 2164–2182
- Fedo CM, Sircombe KN and Rainbird RH. 2003. Detrital zircon analysis of the sedimentary record. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53(1): 277–303
- Gao CL, Cui KR, Qian YX, Liu B, Ding DG and Yin Y. 1995. Microplate Tectonics in the Tianshan and the Northern Tarim Basin. Beijing: Geological Publishing House, 1–284 (in Chinese with English abstract)
- Gao J, He GQ and Li MS. 1997. Paleozoic orogenic processes of Western Tianshan Orogen. *Earth Science*, 22(1): 27–32 (in Chinese with English abstract)
- Gao J, Li MS, Xiao XC, Tang YQ and He GQ. 1998. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan Orogen, northwestern China. *Tectonophysics*, 287(1–4): 213–231
- Gao J, Long LL, Qian Q, Huang DZ, Sun W and Klemd R. 2006. South Tianshan: A late Paleozoic or a Triassic orogen? *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1049–1061 (in Chinese with English abstract)
- Gao J, Qian Q, Long LL, Zhang X, Li JL and Su W. 2009. Accretionary orogenic process of Western Tianshan, China. *Geological Bulletin of China*, 28(12): 1804–1816 (in Chinese with English abstract)
- Gao J, Klemd R, Qian Q, Zhang X, Li JL, Jiang T and Yang YQ. 2011. The collision between the Yili and Tarim blocks of the Southwestern Altaids: Geochemical and age constraints of a leucogranite dike crosscutting the HP-LT metamorphic belt in the Chinese Tianshan Orogen. *Tectonophysics*, 499(1–4): 118–131
- Gao LZ, Wang ZQ, Xu ZQ, Yang JS and Zhang W. 2010. A new evidence from zircon SHRIMP U-Pb dating of the Neoproterozoic Diamictite in Quruqtagh area, Tarim basin, Xinjiang, China. *Geological Bulletin of China*, 29(2–3): 205–213 (in Chinese with English abstract)
- Ge RF, Zhu WB, Wu HL, Zheng BH, Zhu XQ and He JW. 2012a. The Paleozoic northern margin of the Tarim Craton: Passive or active? *Lithos*, 142–143: 1–15
- Ge RF, Zhu WB, Zheng BH, Wu HL, He JW and Zhu XQ. 2012b. Early Pan-African magmatism in the Tarim Craton: Insights from zircon U-Pb-Lu-Hf isotope and geochemistry of granitoids in the Korla area, NW China. *Precambrian Research*, 212–213: 117–138
- Ge RF, Zhu WB, Wu HL, Zheng BH and He JW. 2013. Timing and mechanisms of multiple episodes of migmatization in the Korla Complex, northern Tarim Craton, NW China: Constraints from zircon U-Pb-Lu-Hf isotopes and implications for crustal growth. *Precambrian Research*, 231: 136–156
- Guo CT. 2014. Sedimentary records, provenance systems and paleogeography reconstruction of Devonian-Carboniferous in northern Tarim. Ph. D. Dissertation. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, 1–175 (in Chinese with English summary)
- Guo RQ, Nijati A, Qin Q, Jia XL, Zhu ZX, Wang KZ and Li YP. 2013. Geological characteristics and tectonic significance of Silurian granitic intrusions in the northern Tarim craton, Xinjiang. *Geological Bulletin of China*, 32(2–3): 220–238 (in Chinese with English abstract)
- Guo ZF, Liu XM and Liu J. 2004. Sandstone detrital composition and tectonic setting through Silurian to Devonian in Keping and Bachu Uplift. *Henan Petroleum*, 18(4): 7–10 (in Chinese)
- Guo ZJ, Shi HY, Zhang ZC and Zhang JJ. 2006. The tectonic evolution of the South Tianshan paleo-oceanic crust inferred from the spreading structures and Ar-Ar dating of the Hongliuhe ophiolite, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 95–102 (in Chinese with English abstract)
- Hao J and Liu XH. 1993. Ophiolite melange time and tectonic evolutionary model in South Tianshan area. *Chinese Journal of Geology*, 28(1): 93–95 (in Chinese with English abstract)
- He ZL, Xun HW, Li XR and Yan XG. 1992. Prototype basin and sedimentary model of Permo-Carboniferous in Tarim plate. *Oil and Gas Geology*, 13(1): 1–14 (in Chinese with English abstract)
- Hu AQ and Wei GJ. 2006. On the age of the Neo-archean qingir gray gneisses from the northern Tarim Basin, Xinjiang, China. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 126–134 (in Chinese with English abstract)
- Jia XL, Guo RQ, Cai FM, Nijati A, Qin Q, Zhu ZX and Wang KZ. 2013. Geochemistry and geochronology of monzogranites in Kuruktag of Xinjiang and their tectonic implications. *Geological Bulletin of China*, 32(2–3): 239–250 (in Chinese with English abstract)
- Jiang CY, Mu YM, Zhao XN, Bai KY and Zhang HB. 2001. Petrology and geochemistry of an active continental-margin intrusive rock belt on the northern margin of the Tarim plate. *Regional Geology of China*, 20(2): 158–163 (in Chinese)
- Kalsbeek F, Frei D and Affaton P. 2008. Constraints on provenance, stratigraphic correlation and structural context of the Volta basin, Ghana, from detrital zircon geochronology: An Amazonian

- connection? *Sedimentary Geology*, 212(1-4): 86-95
- Keidel H. 1906. Geologische Untersuchungen im südlichen Tian-Schan, nebst Beschreibung einer obercarbonischen Brachiopodenfauna aus dem Kukurtuk-Tal; Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie. Beilage B, 22: 266-384
- Li HM. 1996. Lower Carboniferous foraminifera and stratigraphic correlation in drill of the northern part of Tarim basin, Xinjiang. *Experimental Petroleum Geology*, 18(1): 42-56 (in Chinese)
- Li RW, Wan YS, Chen ZY, Zhou JX, Xu RH, Li Z and Jiang MS. 2004. Recovering the Early Jurassic source characteristic of Dabie according detrital zircon SHRIMP U-Pb dating. *Science in China (Series D)*, 34(4): 320-328 (in Chinese)
- Li YJ, Mai GR, Luo JC, Yang WJ, Tan ZJ and Zheng DM. 1999. Palaeozoic tectonic setting and provenance nature discrimination of Bachu fault-uplift, Tarim, Northwest China. *Journal of Palaeogeography*, 1(4): 45-53 (in Chinese)
- Li YJ, Li YP, Wu HR, Hu JF, Su YS and Huang ZB. 2001. Discovery of radiolarian fossils in the chert gravels of Triassic conglomerate in the west of South Tianshan, NW China. *Scientia Geologica Sinica*, 10(4): 275-282
- Li YJ, Sun LD, Hu SL, Song WJ, Wang GL and Tan ZJ. 2003. ⁴⁰Ar-³⁹Ar 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 YJ, Sun LD, Wu HR, Zhang GY, Wang GL and Huang ZB. 2005. Permo-Carboniferous radiolarians from the Wupata' erkan Group, Western South Tianshan, Xinjiang, China. *Acta Geologica Sinica*, 79(1): 16-23
- Li Z, Li RW, Sun S, Jiang MS and Zhang WH. 1999. Detrital composition and provenance tectonic attributes of Jurassic sandstones, south Hefei basin. *Acta Petrologica Sinica*, 15(3): 438-445 (in Chinese with English abstract)
- Li Z, Peng ST, Xu CW, Han YX and Zhai MG. 2009. U-Pb ages of the Paleozoic sandstone detrital zircons and their tectonic implications in the Tabeaksan basin, Korea. *Acta Petrologica Sinica*, 25(1): 182-192 (in Chinese with English abstract)
- Li Z and Peng ST. 2010. Detrital zircon geochronology and its provenance implications; Responses to Jurassic through Neogene basin-range interactions along northern margin of the Tarim Basin, Northwest China. *Basin Research*, 22(1): 126-138
- Li Z and Peng ST. 2013. U-Pb geochronological records and provenance system analysis of the Mesozoic-Cenozoic sandstone detrital zircons in the northern and southern piedmonts of Tianshan, Northwest China; Responses to intracontinental basin-range evolution. *Acta Petrologica Sinica*, 29(3): 739-755 (in Chinese with English abstract)
- Lin W, Faure M, Shi YH, Wang QC and Li Z. 2009. Palaeozoic tectonics of the south-western Chinese Tianshan; New insights from a structural study of the high-pressure/low-temperature metamorphic belt. *International Journal of Earth Sciences*, 98(6): 1259-1274
- Lin W, Chu Y, Ji W, Zhang Z, Shi Y, Wang Z, Li Z and Wang Q. 2013. Geochronological and geochemical constraints for a middle Paleozoic continental arc on the northern margin of the Tarim block; Implications for the Paleozoic tectonic evolution of the South Chinese Tianshan. *Lithos*, 5(4): 355-381
- Liu JY, Lin CS, Li ST, Cai ZZ, Xia SQ, Fu C and Liu YQ. 2012. Detrital zircon U-Pb geochronology and its provenance implications on Silurian Tarim basin. *Journal of Earth Science*, 23(4): 455-475
- Liu JY, Yang HJ, Yang YH, Cai ZZ, Liu YQ, Rui ZF and Su ZZ. 2012. The U-Pb chronologic evidence and sedimentary responses of Silurian tectonic activities at northeastern margin of Tarim Basin. *Science China (Earth Sciences)*, 55(9): 1445-1460
- Liu Y, Wang NW and Yao JX. 1994. New information of radiolarian and its significance in Kuche region. *Xinjiang Geology*, 12(4): 344-350 (in Chinese)
- Liu Y and Hao SG. 2006. Evolutionary significance of pelyntonemid radiolarians and their Late Devonian species from southwestern Tianshan, China. *Acta Geologica Sinica*, 80(5): 647-655
- Long XP, Yuan C, Sun M, Zhao GC, Xiao WJ, Wang YJ, Yang YH and Hu AQ. 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
- Ma XX, Shu LS, Jahn BM, Zhu WB and Faure M. 2011. Precambrian tectonic evolution of Central Tianshan, NW China: Constraints from U-Pb dating and in situ Hf isotopic analysis of detrital zircons. *Precambrian Research*, 222-223: 450-473
- Ma XX, Shu LS, Santosh M and Li JY. 2012. Detrital zircon U-Pb geochronology and Hf isotope data from Central Tianshan suggesting a link with the Tarim Block; Implications on Proterozoic supercontinent history. *Precambrian Research*, 206-207: 1-16
- Peng ST. 2007. Mesozoic-Cenozoic sedimentary records of the piedmont basins along the southern and northern sides of Tianshan and its geodynamic significance. Ph. D. Dissertation. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, 1-176 (in Chinese with English summary)
- Qian Q, Gao J, Klemd R, He GQ, Song B, Liu DY and Xu RH. 2009. Early Paleozoic tectonic evolution of the Chinese South Tianshan Orogen: Constraints from SHRIMP zircon U-Pb geochronology and geochemistry of basaltic and dioritic rocks from Xiata, NW China. *International Journal of Earth Sciences*, 98(3): 551-569
- Shu LS, Wang B and Zhu WB. 2007. Age of radiolarian fossils from the Heiyingshan ophiolitic mélange, Southern Tianshan Belt, NW China, and its tectonic significance. *Acta Geologica Sinica*, 81(9): 1161-1168 (in Chinese)
- Shu LS, Deng XL, Zhu WB, Ma DS and Xiao WJ. 2011. Precambrian tectonic evolution of the Tarim Block, NW China: New geochronological insights from the Quruqtagh domain. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(5): 774-790
- Shu LS, Zhu WB, Wang B, Wu CZ, Ma DS, Ma XX and Ding HF. 2013. The formation and evolution of ancient blocks in Xinjiang. *Geology in China*, 40(1): 43-60 (in Chinese)
- Wang B, Faure M, Shu LS, de Jong K, Charvet J, Cluzel D, Jahn BM, Chen Y and Ruffet G. 2010. Structural and geochronological study of high-pressure metamorphic rocks in the Kekesu section (northwestern China): Implications for the Late Paleozoic tectonics of the Southern Tianshan. *The Journal of Geology*, 118: 59-77
- Wang B, Shu LS, Faure M, Jahn BM, Cluzel D, Charvet J, Chung SL and Mefre S. 2011. Paleozoic tectonics of the southern Chinese Tianshan: Insights from structural, chronological and geochemical studies of the Heiyingshan ophiolitic mélange (NW China). *Tectonophysics*, 497(1-4): 85-104
- Wang C. 2011. Precambrian tectonic of south margin of Tarim Basin, NW China. Ph. D. Dissertation. Xi'an; Northwest University, 1-128 (in Chinese with English summary)
- Wu CL, Yang JS, Ya SZ, Zeng LS, Chen SY, Li HB, Qi XX, Wooden JL and Mazdab FK. 2005. Characteristic of the granitoid complex and its zircon SHRIMP dating at the south margin of the Bashikaogong Basin, North Altun, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 846-858 (in Chinese with English abstract)
- Wu FY, Li XH, Zheng YF and Gao S. 2007. Lu-Hf isotopic systematics and their applications in petrology. *Acta Petrologica Sinica*, 23(2): 185-220 (in Chinese with English abstract)
- Wu GH, Zhang BS, Zhang CZ, Jing B and Xi Q. 2007. Detrital zircon U-Pb ages and its significance from Yingjiu sag in Tarim basin. *Xinjiang Geology*, 25(4): 351-355 (in Chinese)
- Wu GH, Zhang BS, Guo CL, Wang CL and Gao H. 2009. Detrital zircon U-Pb dating for the Silurian in northern Tarim Basin and its significance. *Geotectonica et Metallogenia*, 33(3): 418-426 (in Chinese)
- Wu GH, Sun JH, Guo QY, Tang T, Chen ZY and Feng XJ. 2010. The distribution of detrital zircon U-Pb ages and its significance to Precambrian basement in Tarim Basin. *Acta Geoscientia Sinica*, 31(1): 65-72 (in Chinese with English abstract)
- Wu HR and Li Z. 2013. Palaeogeographic and tectonic evolution of South Tianshan Ocean; Re-examination of radiolarian cherts and stratigraphic record of southwestern Tianshan. *Journal of*

- Palaeogeography, 15(3): 293–304 (in Chinese with English abstract)
- Xia LQ, Wang GW, Xia ZC, Xu XY, Dong YP and Li XM. 2002. Constraints on the timing of opening and closing of the Tianshan Paleozoic oceanic basin: Evidence from Sinian and Carboniferous volcanic rocks. *Geological Bulletin of China*, 21(2): 55–62 (in Chinese)
- Xiao WJ, Windley BF, Liu DY, Jian P, Liu CZ, Yuan C and Sun M. 2005. Accretionary tectonics of the Western Kunlun Orogen, China: A Paleozoic-Early Mesozoic, long-lived active continental margin with implications for the growth of Southern Eurasia. *The Journal of Geology*, 113(6): 687–705
- Yu XF. 2010. Study on regional metallogenic lawsuit in western Kunlun orogenic belt. Ph. D. Dissertation. Changchun: Jilin University, 1–173 (in Chinese with English summary)
- Yuan HL, Gao S, Liu XM, Li HM, Günther D and Wu FY. 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28(3): 353–370
- Zhang CL, Zhao Y, Guo KY, Dong YG and Wang AG. 2003. Grenville orogeny in north of the Qinghai-Tibet Plateau: First evidence from isotopic dating. *Chinese Journal of Geology*, 38(4): 535–538 (in Chinese)
- Zhang CL, Lu SN, Yu HF and Ye HM. 2007. Tectonic evolution of the Western Kunlun orogenic belt in northern Qinghai-Tibet Plateau: Evidence from zircon SHRIMP and LA-ICP-MS U-Pb geochronology. *Science in China (Series D)*, 37(2): 145–154 (in Chinese)
- Zhang CL, Li HK, Santosh M, Li ZX, Zou HB, Wang HY and Ye HM. 2012. Precambrian evolution and cratonization of the Tarim Block, NW China: Petrology, geochemistry, Nd-isotopes and U-Pb zircon geochronology from Archaean gabbro-TTG-potassic granite suite and Paleoproterozoic metamorphic belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 47: 5–20
- Zhang CL, Li HK and Wang HY. 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)
- Zhang JX, Meng FC and Yu SY. 2010. Two contrasting HP/LT and UHP metamorphic belts: Constraint on Early Paleozoic orogeny in Qilian-Altun orogen. *Acta Petrologica Sinica*, 26(7): 1967–1992 (in Chinese with English abstract)
- Zhang JX, Li HK, Meng FC, Xiang ZQ, Yu SY and Li JP. 2011. Ployphase 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 LF, Ai YL, Li XP, Rubatto D, Song B, Williams S, Song SG, Ellis D and Liou JG. 2007. Triassic collision of western Tianshan orogenic belt, China: Evidence from SHRIMP U-Pb dating of zircon from HP/UHP eclogitic rocks. *Lithos*, 96(1–2): 266–280
- Zhang SB and Gao QQ. 1992. Stratigraphy and Paleontology through Sinian to Permian in Tarim. Beijing: Petroleum Industrial Publishing House, 1–383 (in Chinese)
- Zhang YL, Wang ZQ, Yan Z, Wang T and Guo XQ. 2011. Provenance of Neoproterozoic rocks in Quruqtagh area, Xinjiang: Evidence from detrital zircon geochronology. *Acta Petrologica Sinica*, 27(1): 121–132 (in Chinese with English abstract)
- Zhu WB, Zheng BH, Shu LS, Ma DS, Wu HL, Li YX, Huang WT and Yu JJ. 2011. Neoproterozoic tectonic evolution of the Precambrian Aksu blueschist terrane, northwestern Tarim, China: Insights from LA-ICP-MS zircon U-Pb ages and geochemical data. *Precambrian Research*, 185(3–4): 215–230
- Zhou XY, Li YJ, Wang ZM, Li YP, Luo JC and Zhang B. 2002. A preliminary study on tectonic setting of the Lower Silurian in NW Tarim. *Chinese Journal of Geology*, 37(S1): 57–63 (in Chinese)
- Zhang Y and Sun XM. 2010. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating on the Late Devonian volcanic rocks from Kuruktag and its implications for regional geology, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 26(1): 302–308 (in Chinese with English abstract)
- Zhou ZY, Zhao ZX, Hu ZX, Chen PJ and Zhang SB. 2001. Stratigraphy of the Tarim Basin. Beijing: Science Press, 1–359 (in Chinese with English abstract)
- Zhu YF, Zhang LF, Gu LB, Guo X and Zhou J. 2005. The zircon SHRIMP chronology and trace element geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in western Tianshan Mountains. *Chinese Science Bulletin*, 50(19): 2201–2212
- Zhu ZX, Li JT, Dong LH, Wang KZ, Liu GZ, Li YP and Liu ZT. 2008. Age determination and geological significance of Devonian granitic intrusions in Seriyakeyilake region, northern margin of Tarim Basin, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 24(5): 971–976 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 毕华, 王中刚, 王元龙, 朱笑青. 1999. 西昆仑造山带构造-岩浆演化史. *中国科学(D辑)*, 29(5): 398–406
- 陈宣华, 尹安, George EG, 蒋荣宝, 陈正乐, 白彦飞. 2009. 阿尔金山东段地质热年代学与构造演化. *地质前缘*, 16(3): 207–219
- 高长林, 崔可锐, 钱一雄, 刘斌, 丁道桂, 殷勇. 1995. 天山微板块构造与塔北盆地. 北京: 地质出版社, 1–284
- 高俊, 何国琦, 李茂松. 1997. 西天山造山带的古生代造山过程. *地球科学*, 22(1): 27–32
- 高俊, 龙灵利, 钱青, 黄德志, 苏文, Klemd R. 2006. 南天山: 晚古生代还是三叠纪碰撞造山带? *岩石学报*, 22(5): 1049–1061
- 高俊, 钱青, 龙灵利, 张喜, 李继磊, 苏文. 2009. 西天山的增生造山过程. *地质通报*, 28(12): 1804–1816
- 高林志, 王宗起, 许志琴, 杨经绥, 张维. 2010. 塔里木盆地库鲁克塔格地区新元古代冰碛岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄新证据. *地质通报*, 29(2–3): 205–213
- 郭春涛. 2014. 塔里木盆地北部泥盆-石炭纪沉积记录与物源演化及构造-古地理重建. 博士学位论文. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所, 1–175
- 郭瑞清, 尼加提, 秦切, 贾晓亮, 朱志新, 王克卓, 李亚萍. 2013. 新疆塔里木北缘志留纪花岗岩类侵入岩的地质特征及构造意义. *地质通报*, 32(2–3): 220–238
- 郭战峰, 刘新民, 刘颖. 2004. 塔里木盆地柯坪, 巴楚断隆志留-泥盆系砂岩碎屑组分与构造背景关系分析. *河南石油*, 18(4): 7–10
- 郭召杰, 史宏宇, 张志诚, 张进江. 2006. 新疆甘肃交界红柳河蛇绿岩中伸展构造与古洋盆演化过程. *岩石学报*, 22(1): 95–102
- 郝杰, 刘小汉. 1993. 南天山蛇绿混杂岩形成时代及大地构造意义. *地质科学*, 28(1): 93–95
- 何治亮, 苟华伟, 李孝容, 阎秀刚. 1992. 塔里木板块石炭-二叠纪原型盆地与沉积模式. *石油与天然气地质*, 13(1): 1–14
- 胡霁琴, 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. *地质学报*, 80(1): 126–134
- 贾晓亮, 郭瑞清, 柴凤梅, 尼加提, 秦切, 朱志新, 王克卓. 2013. 新疆库鲁克塔格西段泥盆纪二长花岗岩年龄, 地球化学特征及其构造意义. *地质通报*, 32(2–3): 239–250
- 姜常义, 穆艳梅, 赵晓宁, 白开寅, 张虹波. 2001. 塔里木板块北缘活动陆缘型侵入岩带的岩石学与地球化学. *中国区域地质*, 20(2): 158–163

- 李汉敏. 1996. 塔里木盆地北部井下石炭统有孔虫及地层对比. 石油实验地质, 18(1): 42-56
- 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. 中国科学(D辑), 34(4): 320-328
- 李曰俊, 买光荣, 罗俊成, 杨文静, 谭泽金, 郑多明. 1999. 塔里木盆地巴楚断隆古生代沉积构造背景和物源区性质的探讨. 古地理学报, 1(4): 45-53
- 李曰俊, 孙龙德, 胡世玲, 宋文杰, 王国林, 谭泽金. 2003. 塔里木盆地塔参1井底部花岗岩闪长岩的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代学研究. 岩石学报, 19(3): 530-536
- 李忠, 李任伟, 孙枢, 江茂生, 张文华. 1999. 合肥盆地南部侏罗系砂岩碎屑组分及其物源构造属性. 岩石学报, 15(3): 438-445
- 李忠, 彭守涛, 许承武, 韩银学, 翟明国. 2009. 韩国太白山盆地古生界砂岩碎屑锆石 U-Pb 年代及其区域构造含义. 岩石学报, 25(1): 182-192
- 李忠, 彭守涛. 2013. 天山南北麓中-新生界碎屑锆石 U-Pb 年代学记录、物源体系分析与陆内盆地演化. 岩石学报, 29(3): 739-755
- 刘景彦, 杨海军, 杨永恒, 蔡振忠, 刘永权, 芮志峰, 苏真真. 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
- 刘羽, 王乃文, 姚建新. 1994. 新疆库车地区放射虫新资料及其意义. 新疆地质, 12(4): 344-350
- 彭守涛. 2007. 天山南北山前盆地中-新生代沉积记录及其动力学分析. 博士学位论文. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所, 1-176
- 舒良树, 王博, 朱文斌. 2007. 南天山蛇绿混杂岩中放射虫化石的时代及其构造意义. 地质学报, 81(9): 1161-1168
- 舒良树, 朱文斌, 王博, 吴昌志, 马东升, 马绪宣, 丁海峰. 2013. 新疆古块体的形成与演化. 中国地质, 40(1): 43-60
- 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, 1-128
- 吴才来, 杨经绥, 姚尚志, 曾令森, 陈松永, 李海兵, 戚学祥, Wooden JL, Mazdab FK. 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. 岩石学报, 21(3): 846-858
- 吴福元, 李献华, 郑永飞, 高山. 2007. Lu-Hf 同位素体系及其岩石学应用. 岩石学报, 23(2): 185-220
- 邬光辉, 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. 新疆地质, 25(4): 351-355
- 邬光辉, 张宝收, 郭春利, 王成林, 高辉. 2009. 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, 孙建华, 郭群英, 唐涛, 陈志勇, 冯晓军. 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
- 吴浩若, 李忠. 2013. 南天山洋古地理及构造演化: 西南天山放射虫硅质岩与地层记录的再认识. 古地理学报, 15(3): 293-304
- 夏林圻, 张国伟, 夏祖春, 徐学义, 董云鹏, 李向民. 2002. 天山古生代洋盆开启、闭合时限的岩石学约束——来自震旦纪、石炭纪火山岩的证据. 地质通报, 21(2): 55-62
- 于晓飞. 2010. 西昆仑造山带区域成矿规律研究. 博士学位论文. 长春: 吉林大学, 1-173
- 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. 地质科学, 38(4): 535-538
- 张传林, 陆松年, 于海锋, 叶海敏. 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(D辑), 37(2): 145-154
- 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
- 张建新, 孟繁聪, 于胜尧. 2010. 两条不同类型的 HP/LT 和 UHP 变质带对祁连-阿尔金早古生代造山作用的制约. 岩石学报, 26(7): 1967-1992
- 张建新, 李怀坤, 孟繁聪, 相振群, 于胜尧, 李金平. 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
- 张师本, 高琴琴. 1992. 塔里木盆地震旦纪至二叠纪地层古生物. 北京: 石油工业出版社, 1-383
- 张英利, 王宗起, 闫臻, 王涛, 郭现轻. 2011. 库鲁克塔格地区新元古代沉积物源分析: 来自碎屑锆石年代学的证据. 岩石学报, 27(1): 121-132
- 周新源, 李曰俊, 王招明, 李宇平, 罗俊成, 张博. 2002. 塔里木盆地西北缘志留统沉积构造背景初探. 地质科学, 37(Z1): 57-63
- 张艳, 孙晓猛. 2010. 新疆库鲁克塔格地区晚泥盆世火山岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学及其地质意义. 岩石学报, 26(1): 302-308
- 周志毅, 赵治信, 胡兆珣, 陈丕基, 张师本. 2001. 塔里木盆地各纪地层. 北京: 科学出版社, 1-359
- 朱志新, 李锦轶, 董连慧, 王克卓, 刘国忠, 李亚萍, 刘振涛. 2008. 新疆塔里木北缘色日牙克依拉克一带泥盆纪花岗岩质侵入体的确定及其地质意义. 岩石学报, 24(5): 971-976