

塔里木西南中-新元古界研究进展

叶现韬,张传林*

(河海大学海洋学院,南京 210098)

摘要:本文总结了近年来塔里木西南地区前寒武系研究成果,重新建立了塔里木西南地区中-新元古界年代地层格架。结合岩石组合、地球化学特征概括了主要地层单元的沉积环境。研究表明,塔里木西南中元古界包含喀拉喀什群和桑株塔格群,沉积年龄分别为~1.52 Ga和1.4~1.5 Ga;原归属于长城系的塞拉加兹塔格群解体为两部分,下部为~890 Ma的大火成岩省,上部为850~840 Ma的火山沉积岩系。原划分为古元古界的埃连卡特群重新厘定为新元古界青白口系(~800 Ma)。新元古代中晚期的沉积包括丝路群(<800~830 Ma)和恰克马克力克群(~750 Ma)。其中恰克马克力克群中两次冰期大致可与塔里木北缘贝叶西冰期和特瑞爱肯冰期进行对比。综合年代学、地球化学、碎屑锆石年龄谱、岩石组合以及岩石变质变形特征,塔里木西南地体在~1.9 Ga汇聚到Columbia超大陆之上,之后从~1 785到~1 117 Ma一直处于裂解、拉张构造背景。~1.0 Ga时,塔里木西南地体汇聚到澳大利亚北缘。几乎同时,大洋沿着塔里木西南地体北缘俯冲,大约850 Ma时形成了弧后盆地,在盆地中沉积了以碳酸盐岩为主夹少量火山碎屑岩的塞拉加兹塔格群;~800 Ma时弧后盆地关闭,在塞拉加兹塔格群的基础上形成了前陆盆地,沉积了埃连卡特群;最终在750 Ma以后,前陆盆地关闭,塔里木形成了统一的基底。而后被动大陆边缘和裂谷盆地开始发育,形成新元古代中期到寒武纪未变质和未变形的地层单元。

关键词:中-新元古界;沉积时代;构造演化;塔里木西南

中图分类号: P534.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2020)02-0161-08

前人在对塔里木西南地区进行地层单元划分时,依据岩石组合与变形变质程度,将大部分前寒武纪地层划分为古-中元古界,如原划分的古元古界喀拉喀什群、埃连卡特群、中元古界塞拉加兹塔格群、博查特塔格组等^[1]。由于这些地层都经历了不同程度的变质作用,早期的定年方法(如:Rb-Sr全岩等时线)存在较大的局限性和不确定性。另外,这些地层的划分缺乏可靠的古生物化石证据。因此,塔里木西南前寒武纪地层的沉积时代仍不清楚。

地层沉积时代的确定是地层划分和对比的基础,是建立地层格架的重要科学依据^[2]。随着定年技术的发展,越来越多的地层时代被精确限定,使得全球地层对比成为可能。地层中的火山岩(如流纹岩或凝灰岩)夹层是限定地层沉积时限的最佳定年对象。此外,碎屑锆石对确定碎屑岩所在地层的层序律也有非常重要的作用。对缺乏化石和未建立生物地层学控制的地层提供了重要的年代学约束^[3-4]。而且,碎屑锆石年龄谱对沉积物的物源分析和构造背

景的判别具有一定的意义^[4-5]。

本文总结了近年来塔里木西南地区前寒武系的研究成果。依据新的定年资料及对沉积组合的研究,重新建立了塔里木西南地区中-新元古代地层格架,并结合岩石组合、碎屑锆石的年龄谱对中-新元古代构造演化进行了简要概述。

1 塔里木西南中-新元古界岩石组合与年代学

塔里木克拉通位于中国西北地区,是中国最重要的三个克拉通之一,也是中国最主要的前寒武纪克拉通^[6]。其面积将近60万km²,大部分被沙漠覆盖^[7]。因此,塔里木前寒武纪基底主要出露于塔里木盆地周缘地区,主要有北缘的库鲁克塔格地区,西南的铁克里克地区以及东南的敦煌-阿尔金北缘地区(图1a)。塔里木西南前寒武纪岩系主要包括古元古代赫罗斯坦杂岩,主要为一套2.4~2.3 Ga的花岗质片麻岩,并发育斜长角闪岩包体^[6]。其他前寒武纪地层

收稿日期: 2019-12-30

资助项目:江苏省自然科学基金项目“敦煌地块古元古代晚期(1.85 Ga)基性岩墙群的成因和构造意义(BK20170873)”;中央高校基本科研业务费项目“中太平洋海山区玄武岩成因研究(B200202137)”;国家自然科学基金项目“敦煌地块1.85 Ga基性岩墙群与碱性岩的成因和地质意义(41702197)”

作者简介:叶现韬(1987-),男,博士,从事前寒武纪地质学与岩浆岩石学研究,E-mail:yexiantao10@mails.ucas.ac.cn;通讯作者:张传林(1968-),男,教授,从事岩浆岩石学与区域地质学研究,E-mail:zhangchuanlin@hhu.edu.cn。

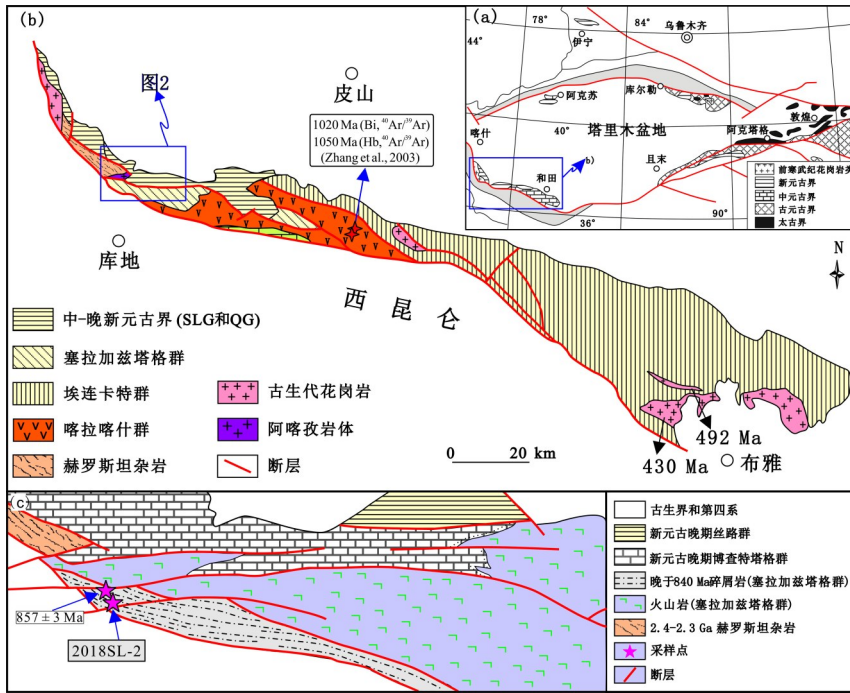


图1 塔里木克拉通构造格架图(a); 塔里木西南主要的前寒武系分布情况(b); 塞拉加兹塔格群地质简图(c) (修改自文献[9-10])

Fig.1 Tectonic framework of the Tarim Block(a); Main Precambrian units in the southwestern section of the Tarim Block(b); Sketch geological map of the Sailajiazitage Group(c)

HG. 赫罗斯坦杂岩; KG. 喀拉喀什群; SZG. 桑株塔格群; SG. 塞拉加兹塔格群; AG. 埃连卡特群; SLG. 丝路群; QG. 恰克马克立克群; BF. 博查特塔格组; Pz₁. 下古生界; D₂₋₃. 中上奥陶统

单元主要包括喀拉喀什群、桑株塔格群、埃连卡特群、塞拉加兹塔格群、丝路群和恰克马克立克群。

喀拉喀什群(Kalakashi Group)在塔里木西南地区主要分布在皮山县南部,呈北西-南东向展布,与埃连卡特群呈断层接触(图1b)。喀拉喀什群下段主要由斜长片麻岩、斜长角闪岩、斜长变粒岩、磁铁石英岩、黑云石英片岩、大理岩、石英岩以及黑云母绿泥片岩组成;上段主要为石榴子石云母石英片岩、片麻岩和大理岩条带组成^[8-9]。Zhang等^[10]对喀拉喀什群下段的石榴石角闪岩和黑云斜长片麻岩中角闪石和黑云母分别进行⁴⁰Ar-³⁹Ar定年,显示其变质年龄为1 050~1 020 Ma。由于地层发生角闪岩相变质作用,且缺乏直接的年代学数据和化石资料,前人将该地层单元划为古元古界^[1]。最近,Zhang等^[11]对喀拉喀什群下段的变流纹岩进行锆石SHRIMP U-Pb定年,年龄为1 524.7 ± 4.3 Ma(N=18, MSWD=1.3)。准确限定了该地层的沉积时代,同时也证明喀拉喀什群为中元古界,而非前人划分的古元古界。

桑株塔格群(Sangzhutage Group)主要分布在铁克里克带西部库斯拉甫-恰尔隆一带,其岩性主要由下部的变质砂岩、粉砂质板岩、硅质岩以及上部的泥晶灰岩组成。桑株塔格群与赫罗斯坦杂岩为断层接触,与上覆地层博查特塔格群为角度不整合接触。通过对碎屑岩中的104粒碎屑锆石进行U-Pb定年分析显示,大部分年龄都集中在1 460 Ma左右(图2),²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb平均年龄为1 468 ± 6 Ma(N = 79, MSWD = 0.68)^[11]。结合侵入桑株塔格群的花岗岩的年龄为~1.4 Ga^[12],桑株塔格群的沉积年龄可以严格限定在1.5~1.4 Ga。

塞拉加兹塔格群(Sailajiazitage Group)主要分布于墨玉县喀拉喀什河、和田市玉龙喀什河和哈拉斯坦河一带以及阿克齐吾斯塘上游地区,出露面积约390 km²。野外填图结果表明,该套地层可分为巨厚的玄武岩段(下段)和火山-沉积岩段(上段),它们为

断层接触^[13](图1c)。下段主要分布在叶城县土安一带,火山岩可见多个喷发旋回,厚度可达5 000 m左右,以玄武岩为主,夹四层厚度不等的流纹岩(流纹岩总厚度为800 m)。上段主要分布在新藏公路沿线,主要为碎屑岩-碳酸岩,并夹少量凝灰岩和流纹岩组成(图1c)。基于地层中钾质角斑岩的全岩Rb-Sr等时线年龄(1 764 Ma)。前人将塞拉加兹塔格群划分为中元古界长城系^[1,9]。最近,我们对塞拉加兹塔格群进行了详细的野外地质调查,对其沉积时代和形成背景进行了系统的研究。塞拉加兹塔格群上段凝灰质砂岩的锆石U-Pb定年结果显示最年轻一组年龄为857 ± 3 Ma(N=15, MSWD=1.4)。2018年我们在其中发现凝灰岩夹层并挑选出大量的锆石,在天津地质调查中心采用LA-MC-ICPMS U-Pb定年测试,获得其谐和年龄为839 ± 6 Ma(图3,表1),表明火山-沉积岩系沉积时代为850~840 Ma。下段巨厚双峰式火山岩中的流纹岩锆石SHRIMP U-Pb年龄和LA-ICPMS U-Pb年龄非常一致,均为~890 Ma,它可

能是一个被支解的大火成岩省的一部分^[14]。

埃连卡特群(Ailiankate Group)主要分布在铁克里克山至叶尔羌河山前一带,呈不规则面状展布^[9](图1b)。铁克里克带区域内埃连卡特群为一套低绿片岩相变质岩系,以富含石英岩条带二云石英片岩为主,少量浅粒岩、大理岩和砂岩。埃连卡特群的原始沉积组构被强烈改造已无法识别,目前为一套无序的构造-岩石地层单元。

由于地层发生强烈褶皱,因此,埃连卡特群精确的厚度并不十分清楚。尽管如此,区域地质填图显示它的厚度至少可达3 000 m^[1]。对埃连卡特群的年代学研究一直停留在20世纪80年代,前人通过Rb-Sr年龄和地层接触关系将其划分为古元古界。近年来,埃连卡特群的沉积时代受到越来越多的关注,由于缺乏火山岩和火山碎屑岩,其年代学研究主要依靠碎屑锆石估计其最大的沉积年龄^[15-17]。这些碎屑锆石大多为发育明显振荡环带和条带状构造的岩浆锆石,仅有个别锆石显示变质锆石的特征^[17]。埃连卡特群中680粒锆石测试结果显示了7个主要的年龄峰值:~800 Ma、~960 Ma、~1 400 Ma、1 750~1 800 Ma、2 000~2 100 Ma、2 400~2 500 Ma和~2 900 Ma(图2),其中~800 Ma的峰值年龄极其明显,约占所有锆石年龄的63%。因此,埃连卡特群的最大沉

积年龄为~800 Ma,沉积时代为新元古代,而非古元古代。

丝路群(Silu Group)自下而上包括博查特塔格组、苏玛兰组、苏库罗克组。博查特塔格组主要发育于哈拉斯坦河以东的铁克里克陆缘断隆带内,沿库勒-苏库里克-索克曼-塘里切克东一带呈弧形展布,出露面积约327 km²^[1]。该组主要由一套碳酸盐岩组

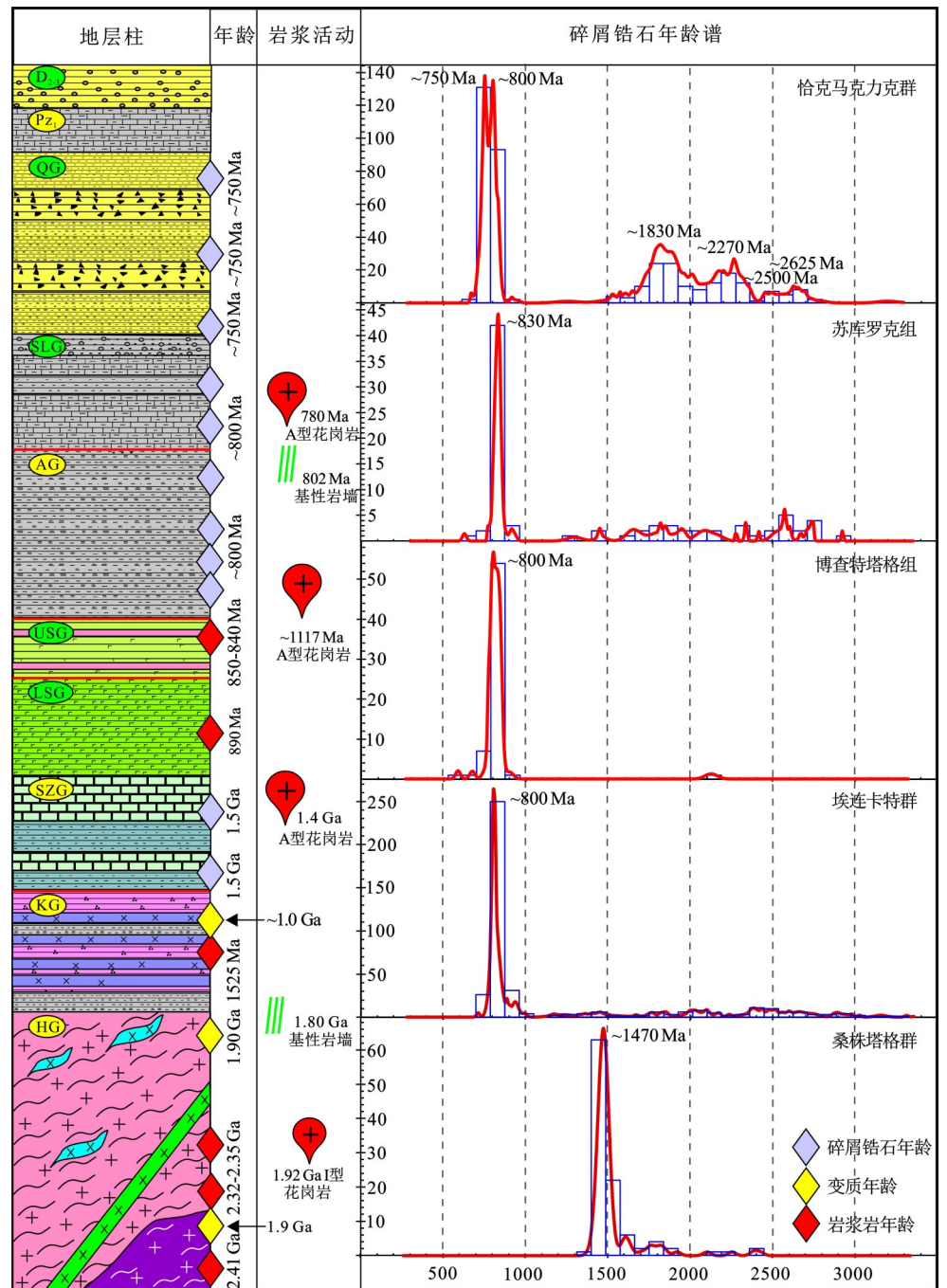


图2 塔里木西南地层柱状图、年龄、岩浆活动以及碎屑锆石年龄频谱图(据参考文献[11])
Fig.2 A schematic diagram to illustrate the strata column, zircon ages, igneous activities and relative probability plots for detrital zircons of the southwestern Tarim terrane

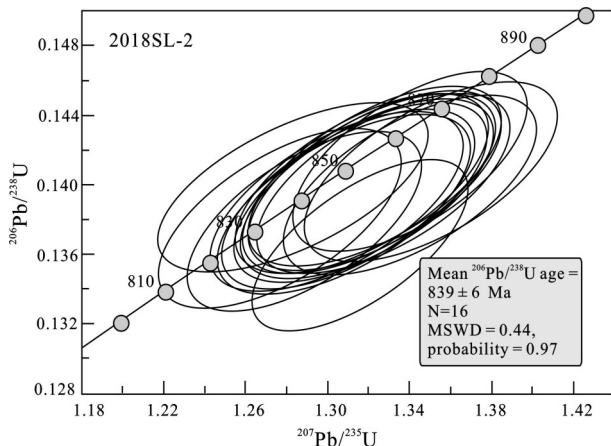


图3 塞拉加兹塔格群上段凝灰岩锆石U-Pb年龄谐和图
Fig.3 Concordia diagram of U-Pb zircon data for the tuff layer from Sailajiazitage Group

成,岩石类型主要有白云岩、白云质灰岩、泥质灰岩、粉砂质灰岩等。苏玛兰组主要零星出露于哈拉斯坦河以东苏里克-坎埃孜北一带,主要为一套海相灰岩、碎屑岩组合。苏库罗克组为一套以碎屑岩为主的杂砂岩系,下部为泥质粉砂岩与灰岩互层;中部以薄层状粉砂岩夹砂岩为主;上部为一套灰色硅质岩、粉砂质泥岩、杂砂岩^[1]。前人主要对博查特塔格组和苏库罗克组进行了年代学研究。研究显示博查特塔格组和苏库罗克组的最大沉积年龄分别为~800 Ma和~830 Ma^[16](图2)。

恰克马克力克群(Qiakemakelike Group)从下至上分别是:波龙组,为海相冰成岩(杂砾岩)建造,以灰色块状冰碛、混碛岩为主,夹有硅质泥岩、粉砂岩、页

表1 塞拉加兹塔格群凝灰岩夹层锆石LA-MC-ICPMS U-Pb年龄

Tab.1 Zircon U-Pb age data analyzed by LA-MC-ICPMS from the tuff in the Sailajiazitage Group

Spot	U/ ($\times 10^{-6}$)	Th/ ($\times 10^{-6}$)	$^{207}\text{Pb}^*$ / ^{206}Pb	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*$ / ^{235}U	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*$ / ^{238}U	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ Age	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ Age	1 σ
2018SL-2.1	1 976	1 022	0.068 4	1.31	1.313 2	1.73	0.139 1	1.60	852	15	840	13
2018SL-2.2	369	268	0.069 7	1.39	1.345 2	1.74	0.140 0	1.54	865	15	845	13
2018SL-2.3	485	425	0.068 4	1.34	1.305 8	1.68	0.138 5	1.52	848	14	836	13
2018SL-2.4	190	178	0.067 1	1.57	1.276 7	1.91	0.138 0	1.55	835	16	833	13
2018SL-2.5	228	171	0.067 8	1.49	1.289 2	1.82	0.137 8	1.53	841	15	832	13
2018SL-2.6	341	212	0.067 9	1.37	1.300 1	1.70	0.138 8	1.53	846	14	838	13
2018SL-2.7	346	382	0.068 4	1.46	1.329 7	1.74	0.140 9	1.54	859	15	850	13
2018SL-2.8	441	268	0.068 1	1.33	1.309 4	1.67	0.139 5	1.52	850	14	842	13
2018SL-2.9	174	120	0.068 3	1.68	1.318 4	1.97	0.140 0	1.51	854	17	844	13
2018SL-2.10	144	81	0.066 5	1.84	1.282 8	2.09	0.139 9	1.48	838	18	844	12
2018SL-2.11	1 168	1 734	0.068 8	1.31	1.289 9	1.63	0.136 0	1.49	841	14	822	12
2018SL-2.12	305	266	0.067 7	1.44	1.300 4	1.75	0.139 4	1.50	846	15	841	13
2018SL-2.13	271	205	0.068 7	1.43	1.309 8	1.73	0.138 2	1.49	850	15	834	12
2018SL-2.14	162	113	0.068 5	1.68	1.333 0	2.00	0.141 1	1.55	860	17	851	13
2018SL-2.15	500	362	0.069 9	1.37	1.315 4	1.64	0.136 5	1.46	853	14	825	12
2018SL-2.16	173	116	0.069 6	1.68	1.349 2	1.94	0.140 7	1.52	867	17	848	13

注:测试单位为中国地质调查局天津地质调查中心实验室。

岩及浊积砂岩和碎屑流砾岩;克里西组,该组主要由下部灰绿色砂岩、砂砾岩和上部的泥硅质岩组成,与下伏波龙组为整合接触;雨塘组,主要为粉砂质泥岩、泥岩(页岩)及泥质细粉砂岩和砂岩互层,该组与波龙组假整合接触。此外,该划分方案将底部的砾岩划分为牙拉古孜组^[18]。定年样品主要采自波龙组下部的砂岩和冰碛岩中部的薄层砂岩以及克里西组中的砂岩层。这些样品具有相似的结构和矿物组成,其中岩屑大小不一,变化较大,显示出低成熟度。此外,所有样品的锆石特征显示,大部分锆石的自形程度较高,表明它们仅经历了短距离的搬运,或者甚至来源于原地。7个样品的锆石U-Pb年龄非常一致。共计378粒锆石年龄频谱图显示出两个主要的峰值(~750 Ma和~800 Ma)年龄和四个次要的峰

值(~1 830 Ma、~2 270 Ma、~2 500 Ma和2 625 Ma)年龄,而缺乏1 000 Ma到1 800 Ma之间的年龄数据(图2)。以上碎屑锆石数据可以限定恰克马克力克群的最大沉积年龄为~750 Ma^[16-17]。

研究表明,新元古代时期地球上曾发生了四次大规模的冰川事件。同位素年代学研究成果显示可能的四次冰期的时间分别为~750 Ma、~750~660 Ma、~650~635 Ma和~580 Ma。塔里木克拉通北缘库鲁克塔格贝义西组冰碛岩可靠的年龄均为~740 Ma^[19-20]。这一结果与恰克马克力克群波龙组中碎屑锆石最年轻的年龄接近。另一方面,根据地层的接触关系以及微古生物学研究结果,一些学者也认为恰克马克力克群波龙组冰碛岩和雨塘组冰碛岩分别与贝义西组冰碛岩和特瑞爱肯组冰碛岩可以对比^[21]

(图4)。因此,恰克马克力克群下部波龙组的沉积年龄可能为~750 Ma,但仍需进一步的研究确认。

2 塔里木西南中-新元古界的沉积环境

对沉积环境的判断主要依据地层的岩石组合以及岩石的结构构造。然而,前寒武系大多经历了复杂的变形和不同程度的变质作用,使得原生的岩石组合、结构构造难以识别。碎屑锆石除了可以对沉积物沉积时限提供限定外,还可以对沉积物的物源分析和构造背景进行研究^[4,22-23]。

喀拉喀什群的形成年龄为1.52 Ga左右^[11],并在~1.0 Ga发生了角闪岩相变质^[10]。尽管喀拉喀什群遭受了强烈的变形和角闪岩相变质作用,在喀拉喀什群下部仍然可见由角闪岩和变流纹岩组成的双峰式火山岩,表明喀拉喀什群形成于拉张构造背景。另外,尽管喀拉喀什群已发生角闪岩相变质,但仍可通过变质岩的岩性大致推断其原岩:如片岩的原岩大多为泥岩或者砂质页岩,甚至为火山岩或者白云质

泥灰岩。因此,喀拉喀什群沉积岩部分的原岩组合大致为碳酸盐岩和泥页岩组成。同样证明其形成于伸展构造背景^[24]。喀拉喀什群角闪岩相变质事件的时间(~1.0 Ga)与全球格林威尔(Grenville)造山事件相同,已有研究资料显示,此时的塔里木西南地体汇聚在澳大利亚北缘,成为Rodinia超大陆的一部分^[25]。

塞拉加兹塔格群下段的火山岩厚度达5 300 m左右(玄武岩4 600 m左右,流纹岩800 m左右)。流纹岩精确的U-Pb年龄显示其喷发年龄为~890 Ma,具有典型的大火成岩省特征。并且,该玄武岩具有典型大陆溢流玄武岩(CFB)的地球化学特征^[14,16]。这是迄今为止在塔里木识别出的比较可靠的前寒武纪大火成岩省,可能与新元古代广泛分布的920~890 Ma的地幔柱相关^[14]。塞拉加兹塔格群上段主要由碳酸盐岩和碎屑岩夹少量凝灰岩和流纹岩组成,可能代表弧后盆地沉积环境^[14,16]。

埃连卡特群中的碎屑锆石CL和BSE图像显示大部分锆石自形程度较高,且表面未见刻蚀坑^[17],说明他们仅经历了短距离的搬运。另一方面,它们的

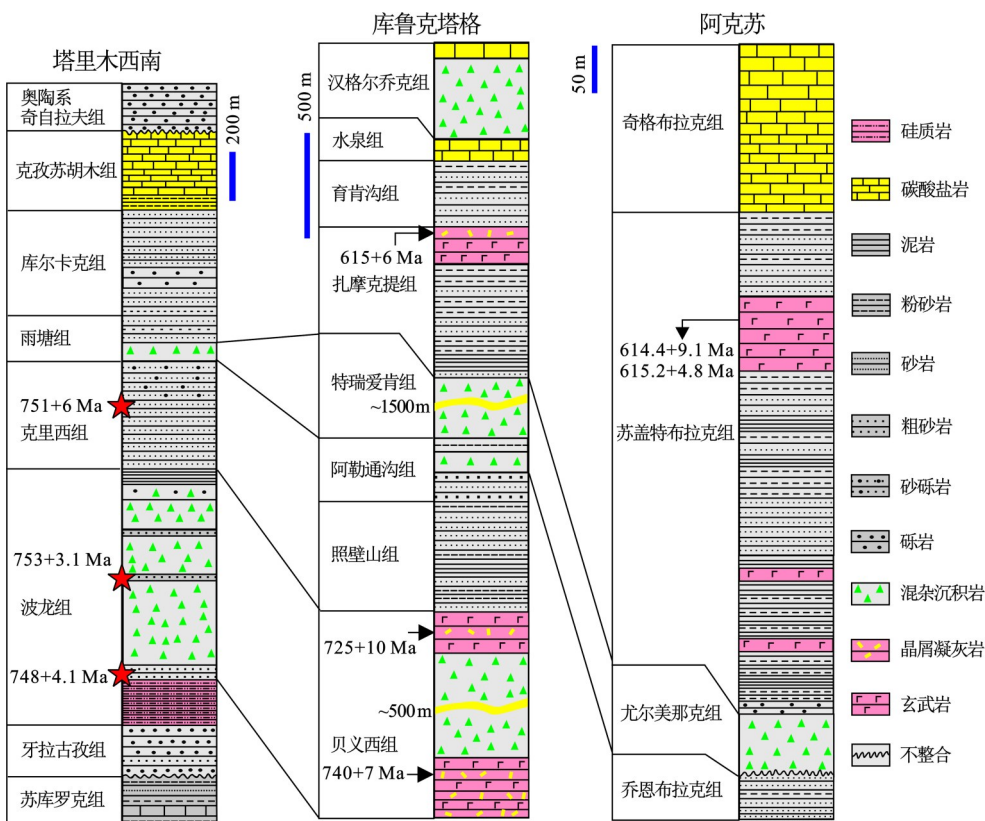


图4 塔里木西南含冰碛岩恰克马克力克群以及上下地层柱状图 (修改自文献[21]) (进行对比的库鲁克塔格和阿克苏地区新元古界来自文献[19]) Fig.4 Stratigraphic column of the tillite-bearing Qiakemakelike Group in southwestern Tarim

锆石年龄谱与前陆盆地类似,而与裂谷盆地相差较大。一般情况下,前陆盆地样品(包括岩屑)的年龄最接近样品的沉积年龄,反映了同碰撞过程中岩浆物质的加入^[22]。在地层剖面上,埃连卡特群遭受了低绿片岩相变质和强烈的变形作用。而其上覆恰克马克力克群(碳酸盐岩-碎屑岩-冰碛岩)却未发生变质和变形作用^[9]。因此,埃连卡特群的沉积年龄为~800 Ma,沉积环境为前陆盆地。

恰克马克力克群中碎屑锆石的年龄谱具有被动大陆边缘的特征^[22];两组相对年轻的锆石年龄峰值(~750

Ma和~800 Ma)非常明显^[16,17]。这与汇聚和碰撞盆地完全不同。因为在拉张背景下的盆地(裂谷盆地或被动边缘)一般缺乏同沉积时期的岩浆活动,主要是更老源区物质的加入^[22]。另外,恰克马克力克群及上覆库尔卡克组和克孜苏胡木组的沉积相也显示沉积环境从裂谷—被动大陆边缘的改变^[24]。因此,恰克马克力克群主要代表了Rodinia超大陆的裂解以及最终被动大陆边缘的形成。

3 塔里木西南中-新元古代构造演化

综合年代学、地球化学、碎屑锆石年龄谱、岩石组合以及岩石变质变形特征以探讨塔里木西南中-新元古代构造演化。塔里木西南地体早前寒武纪地质体中广泛发育~1.9 Ga左右的变质事件,表明此时塔里木西南地体汇聚到Columbia超大陆,可能与西澳大利亚和西伯利亚相邻^[11-12]。而后在1785 Ma时该超大陆开始发生裂解,在此拉张背景下形成了阿喀孜基性岩墙、~1525 Ma的裂谷盆地^[11]、~1400 Ma的A型花岗岩^[12]以及晚期~1117 Ma的A型花岗岩^[11],表明在中元古代,塔里木西南主要处于伸展构

造背景。直到~1020 Ma,塔里木西南地体汇聚到澳大利亚北缘^[6](图5a)。稍晚于1.0 Ga时,沿塔里木中部的洋壳向南俯冲^[7,26],并在850~840 Ma于塔里木西南地体上形成初生的弧后盆地。该弧后盆地以塞拉加兹塔格群上段的火山-沉积地层为代表(图5b)。当塔里木西南地体和塔里木北缘地体沿塔中汇聚到一起时,塔里木西南地体的应力条件从拉张变成了挤压导致在先前弧后沉积层序的基础上形成了前陆盆地,沉积了埃连卡特群(图5c)。此时,阿克苏群火山-碎屑岩沉积于弧前盆地^[27](图5d)。最终,前陆盆地的关闭、低绿片岩相变质作用以及褶皱变形可能发生于760~750 Ma之间。同时,塔里木北缘的阿克苏群也发生了蓝片岩相变质作用^[28]。在大约750 Ma后塔里木形成了统一的基底,被动大陆边缘和裂谷盆地开始发育,该大地构造背景一直持续到寒武纪,形成新元古代中期到寒武纪未变质和未变形的地层单元。

4 结论

(1)最新年代学研究表明,塔里木西南中元古界包

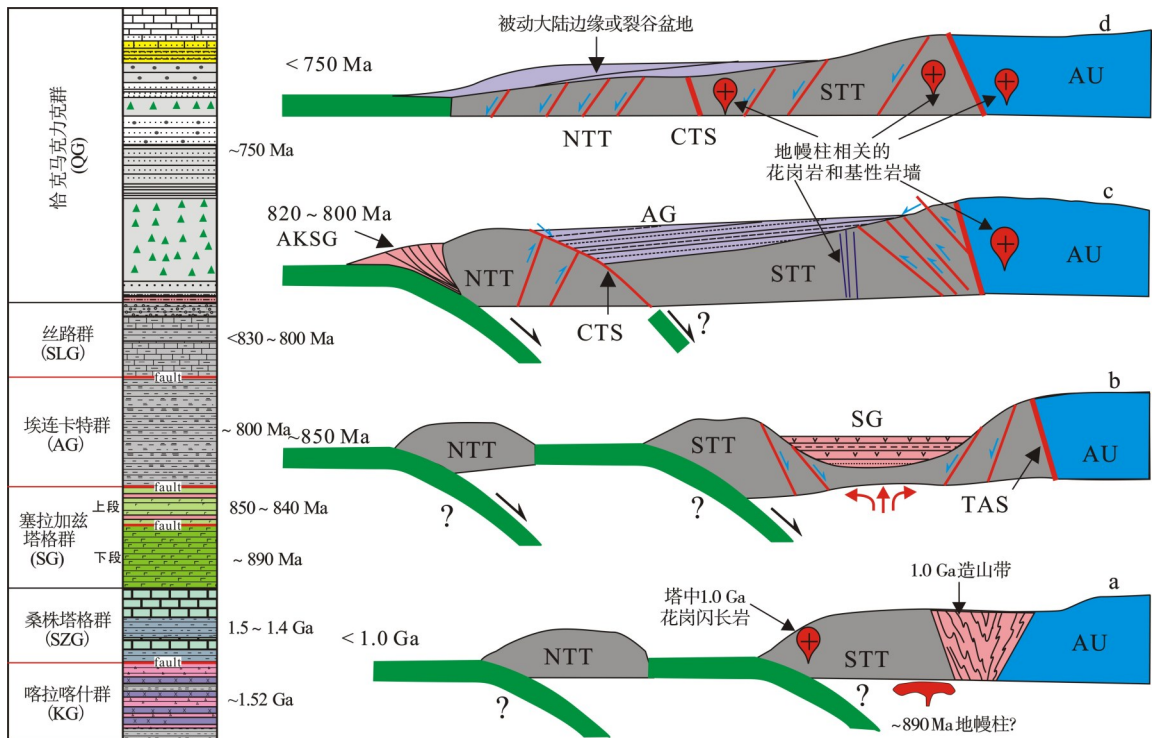


图5 塔里木西南中-新元古界盆地演化图 (修改自文献[17])

Fig.5 A schematic diagram to illustrate the relationship between the evolution of the late Mesoproterozoic-Neoproterozoic sedimentary basins and tectonic evolution process along the southwestern margin of the Tarim KG. 喀拉喀什群; SZG. 桑株塔格群; SG. 塞拉加兹塔格群; AG. 埃连卡特群; AKSG. 阿克苏群; AU. 澳大利亚; STT. 塔里木西南地体; NTT. 塔里木北缘地体; CTS. 塔里木中部缝合带; TAS. 塔里木-澳大利亚缝合带

含喀拉喀什群和桑株塔格群,沉积年龄分别为~1.52 Ga和1.4~1.5 Ga;原归属于长城系的塞拉加兹塔格群解为两部分,下部为~890 Ma的大火成岩省,上部为850~840 Ma的火山沉积岩系。原划分为古元古界的埃连卡特群重新厘定为新元古界青白口系(~800 Ma)。新元古代中晚期的沉积包括丝路群(<800~830 Ma)和恰克马克力克群(~750 Ma)。

(2)塔里木西南地体在~1.9 Ga汇聚到Columbia超大陆之上,从~1 785到~1 117 Ma一直处于裂解、拉张构造背景。直到1.0 Ga汇聚到澳大利亚北缘。沿着塔里木西南地体北缘的俯冲作用导致弧后盆地形成,沉积了塞拉加兹塔格群。之后,弧后盆地闭合,在~800 Ma时形成了前陆盆地,沉积了埃连卡特群。直到750 Ma后形成了统一的塔里木基底。

致谢:2000年,我从大学毕业到南京地质矿产研究所工作(现在的南京地质调查中心)。当时研究经费匮乏,我写信给陆松年老师,希望他能支持我做点塔里木的工作。陆老师当年就安排了部分研究经费让我对塔里木西南地区的前寒武纪开展研究。此后多年,我的工作一直得到陆老师关心和指导。我的学生叶现韬在塔里木西南完成了博士论文,陆老师是答辩委员会主席,对论文做了细致的评阅。值此陆老师八十华诞,写此小文略表感激之情,衷心祝愿陆老师身体健康,阖家幸福。

参考文献:

[1] 王世炎,彭松民. 中华人民共和国区域地质调查报告叶城县幅(J43C003004)比例尺1/250 000[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2013:1-408.

[2] 李怀坤,朱士兴,相振群,等. 北京延庆高于庄组凝灰岩的锆石U-Pb定年研究及其对华北北部中元古界划分新方案的进一步约束[J]. 岩石学报,2010,26(7): 2131-2140.

[3] Cawood P A, Nemchin A A, Smith M, et al. Source of the Dalradian Supergroup constrained by U-Pb dating of detrital zircon and implications for the East Laurentian margin[J]. *Journal of the Geological Society*, 2003, 160: 231-246.

[4] Hawkesworth C, Dhuime B, Pietranik A, et al. The Generation and Evolution of the Continental Crust[J]. *Journal of the Geological Society*, 2010, 167: 229-248.

[5] Cawood P A, Nemchin A A, Strachan R A, et al. Sedimentary basin and detrital zircon record along East Laurentia and Baltica during assembly and breakup of Rodinia[J]. *Journal of the Geological Society*, 2007, 164: 257-275.

[6] Zhang C L, Zou H B, Li H K, et al. Tectonic framework and evolution of the Tarim Block in NW China[J]. *Gondwana Re-*

search, 2013, 23: 1306-1315.

[7] Xu Z Q, He B Z, Zhang C L, et al. Tectonic framework and crustal evolution of the Precambrian basement of the Tarim Block in NW China: New geochronological evidence from deep drilling samples[J]. *Precambrian Research*, 2013, 235: 150-162.

[8] 王向利,高小平,刘幼骥,等. 塔里木盆地南缘铁克里克断垄结晶基底特征[J]. 西北地质,2010,43(4):95-112.

[9] 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1993: 5-57.

[10] Zhang C L, Dong Y G, Zhao Y, et al. Geochemistry of mesoproterozoic volcanic rocks in the western Kunlun Mountains: Evidence for plate tectonic evolution[J]. *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 2003, 77: 237-245.

[11] Zhang C L, Ye X T, Ernst R E, et al. Revisiting the Precambrian evolution of the Southwestern Tarim terrane: Implications for its role in Precambrian supercontinents[J]. *Precambrian Research*, 2019, 324: 18-31.

[12] Ye X T, Zhang C L, Santosh M, et al. Growth and evolution of Precambrian continental crust in the southwestern Tarim terrane: New evidence from the ca. 1.4 Ga A-type granites and Paleoproterozoic intrusive complex[J]. *Precambrian Research*, 2016, 275: 18-34.

[13] 尹得功,郑玉壮,吴海霞. 西昆仑塞拉加兹塔格群地质特征及构造环境分析[J]. 新疆地质,2014,32(3):295-300.

[14] Zhang C L, Li H K, Ernst R E, et al. A fragment of the ca. 890 Ma large igneous province (LIP) in southern Tarim, NW China: A missing link between São Francisco, Congo and North China cratons[J]. *Precambrian Research*, 2019, 333: 105428.

[15] Long X P, Xu B, Yuan C, et al. Precambrian crustal evolution of the southwestern Tarim Craton, NW China: Constraints from new detrital zircon ages and Hf isotopic data of the Neoproterozoic metasedimentary rocks[J]. *Precambrian Research*, 2019, 334: 105473.

[16] Wang C, Liu L, Wang Y H, et al. Recognition and tectonic implications of an extensive Neoproterozoic volcano-sedimentary rift basin along the southwestern margin of the Tarim Craton, northwestern China[J]. *Precambrian Research*, 2015, 257: 65-82.

[17] Zhang C L, Ye X T, Zou H B, et al. Neoproterozoic sedimentary basin evolution in southwestern Tarim, NW China: New evidence from field observations, detrital zircon U-Pb ages and Hf isotope compositions[J]. *Precambrian Research*, 2016, 280: 31-45.

[18] 马世鹏,汪玉珍,方锡廉. 西昆仑山北坡的震旦系[J]. 新疆地质,1989,7(4): 68-79.

[19] Xu B, Xiao S H, Zou H B, et al. SHRIMP zircon U-Pb age constraints on Neoproterozoic Quruqtagh diamictites in NW

- China[J]. *Precambrian Research*, 2009, 168: 247–258.
- [20] 高林志, 王宗起, 许志琴, 等. 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[J]. *地质通报*, 2010, 29(2–3): 205–213.
- [21] 马世鹏, 汪玉珍, 方锡廉. 西昆仑山北坡陆台盖层型元古宇的基本特征[J]. *新疆地质*, 1991, 9(1): 59–71.
- [22] Cawood P A, Wang Y J, Xu Y J, et al. Locating south China in Rodinia and Gondwana: a fragment of greater India lithosphere[J]. *Geology*, 2013, 41: 903–906.
- [23] Cawood P A, Hawkesworth C J, Dhuime B. Detrital zircon record and tectonic setting[J]. *Geology*, 2012, 40: 875–878.
- [24] Chen H L, Lin X, Cheng X, et al. The Late Neoproterozoic sedimentary sequences in the Yutang section southwest Tarim Basin and their tectonic implications and hydrocarbon perspective: Insight from basinology[J]. *Precambrian Research*, 2019, 333: 105432.
- [25] 张传林, 李怀坤, 王洪燕. 塔里木地块前寒武纪地质研究进展评述[J]. *地质论评*, 2012, 58(5): 923–936.
- [26] 邬光辉, 李浩武, 徐彦龙, 等. 塔里木克拉通基底古隆起构造-热事件及其结构与演化[J]. *岩石学报*, 2012, 28(8): 2435–2452.
- [27] 张健, 张传林, 李怀坤, 等. 再论塔里木北缘阿克苏蓝片岩的时代和成因环境: 来自锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素的新证据[J]. *岩石学报*, 2014, 30(11): 249–257.
- [28] Liou J G, Graham S A, Maruyama S, et al. Characteristics and tectonic significance of the late Proterozoic Aksu blueschists and diabasic dikes northwest Xinjiang China[J]. *International Geology Review*, 1996, 38: 228–244.

Advances in Meso- to Neoproterozoic stratigraphy of the southwestern Tarim

YE Xian-tao, ZHANG Chuan-lin*

(College of Oceanography, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The Precambrian sequences of the southwestern Tarim is re-examined in the light of new zircon U-Pb ages from the volcanic and clastic rocks, respectively. These data reveal that the Kalakashi Group (KG) deposited at ca. 1.52 Ga and another Mesoproterozoic member Sangzhutuge Group (SZG) deposited during 1.5 ~ 1.4 Ga. It is noted that the lower volcanic member and upper clastic member of the Sailajiazituge Group (SG) were deposited at ca. 890 Ma and 850 ~ 840 Ma, respectively. The Ailiankate Group (AG) deposited at ca. 800 Ma, and the unmetamorphosed and undeformed Silu Group (SLG) and the Qiakemakelieke Group (QG) deposited during 830-800 Ma and later than ~ 750 Ma, respectively. Rock assemblages coupled with geochemistry of the KG bimodal volcanic rocks indicate its deposition in a rift basin. The huge thickness of continental flood basalt erupting in a short time period from lower member of SG argue for a new Neoproterozoic Large Igneous Province and the rock assemblages of the upper member suggest a back-arc basin due to oceanic slab southward subduction along the Central Tarim. Rock assemblages, detrital zircon age spectra and its metamorphism and deformation features suggest that the AG clastic sequence most likely deposited at a foreland basin on the back-arc basin sedimentary package while the middle to late Neoproterozoic SLG and QG carbonate - clastic - tillite sequences deposited at a passive marginal and/or rift basins. The Neoproterozoic evolution process of the southwestern Tarim demonstrates that the Neoproterozoic assemblage of the Tarim basement could have lasted till 760 Ma and the basement could be composed of independent continental terranes.

Key words: Meso- to Neoproterozoic stratigraphy; depositional age; evolution; southwestern Tarim