

新疆古块体的形成与演化

舒良树 朱文斌 王 博 吴昌志 马东升 马绪宣 丁海峰

(南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 地球科学与工程学院, 江苏 南京 210093)

摘要:在中亚造山带南缘中国新疆地区划分出塔里木—库鲁克塔格、中天山、伊犁、柯坪四个古块体。塔里木—库鲁克塔格和中天山块体具有一致的前南华纪基底、相似的岩石组合与构造—岩浆演化过程,反映彼此间密切的亲缘性。推测库鲁克塔格在深部可能与塔里木相连,属于塔里木克拉通的一部分。研究表明,中天山是从塔里木克拉通裂解出去的块体,位于两者之间的是通过弧后引张作用而形成的古生代南天山洋盆。伊犁块体在新元古代岩石组合、地层序列、构造环境与演化历史等方面与塔里木块体相似;南华纪裂解以来,差异逐渐明显,并逐渐朝中亚地区的巴尔喀什块体方向运移,到志留纪时增生到哈萨克斯坦板块上,成为巴尔喀什山弯构造带的南部成员。柯坪块体在岩石构造组合、岩层时代、构造环境与演化历史等方面和塔里木—库鲁克塔格、伊犁、中天山三个块体均存在较大差异,属于新元古代洋壳块体。地质证据、岩浆岩年代学证据和碎屑锆石 U—Pb 年龄谱表明,新疆地区的前寒武纪块体记录了地球早期演化过程中丰富的地壳活动与岩浆作用信息,对全球多期构造—岩浆事件响应积极,包括全球古陆核生长事件、哥伦比亚超大陆聚合事件、罗迪尼亚超大陆聚合与裂解事件。柯坪块体保留了冈瓦纳大陆聚合的信息。

关键词:古块体;构造—岩浆作用;聚合与离散;超大陆;中亚造山带;中国新疆

中图分类号:P542 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)01-0043-18

1 前言

块体,也叫地块,是由地壳物质组成、具有一定结构、形态,与相邻块体具有明确界限、从属于一定构造体系的地质体。古块体,一般是指具有较高结晶程度的前寒武纪块体。克拉通,多指规模大、时代老、长期稳定的大陆块体,如中国的华北、扬子、塔里木三个克拉通。

中国新疆位于中亚造山带南部,存在多个前寒武纪古陆块,广泛发育太古宙—元古宙变质基底岩层,存在较多早期地壳性质与演化的物质证据,保留了世界罕见的元古宙—新元古代高压变质作用和成冰纪冰川活动的记录。这些前寒武纪古块体的形成与演化具有深刻的全球构造背景。研究和恢复中国新疆古块体的构造属性及其演化,对中亚造山带大陆动力学过程的

全面了解,以及对揭示多期构造—岩浆作用及其矿床的成因机制,均具有重要的科学意义和应用价值。

在西伯利亚和塔里木克拉通的周缘,都分布有诸多不同成因与构造属性的古块体,多由新太古宙—元古宙的变质岩石所组成。在显生宙早期,这些古块体通过板块俯冲、碰撞拼贴或增生作用,分别在西伯利亚克拉通南侧形成了阿尔泰、哈萨克、蒙古,在塔里木克拉通北侧形成了天山、伊犁、吉尔吉斯等古生代褶皱带,被称为大阿尔泰褶皱带^[1]。李春昱和王荃^[2]把中亚地区划分为塔里木(+中朝)、西伯利亚和哈萨克斯坦三大板块。其中,哈萨克斯坦板块被认为可能是从西伯利亚裂解出来、由诸多岛屿和地壳块体镶嵌而成,它缺少统一的前寒武纪结晶基底。Coleman^[3]则把塔里木、西伯利亚和哈萨克斯坦作为中、北亚构造的基本单元,认为其大陆生长方式与中

收稿日期:2013-01-04;改回日期:2013-01-16

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2007CB411301)、全国优秀博士论文(FANEDD 201130)、教育部博士点基金(20120091110024)、

中国学者委员会项目(201206190049)和南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室研究项目(2008-I-01)资助。

作者简介:舒良树,男,1951年生,教授,博导,构造地质学专业;E-mail:Lshu2003@yahoo.com.cn。

生代—新生代太平洋两侧陆缘的增生机制十分相似。

克拉麦里—伊吾断裂是西伯利亚板块与哈萨克斯坦地体群在晚古生代通过碰撞而形成的缝合带^[4-7]。在该断裂以南主要是哈萨克斯坦地体群和塔里木古生代活动大陆边缘,它们都发育在前寒武纪古块体或变质基底之上。在新疆境内,显生宙地质特别是古生代板块活动与陆壳增生机制的研究程度较高^[8-23]。相对而言,前寒武纪块体研究相对薄弱,且以往研究多集中在前寒武纪出露区的几何学与岩石学研究,很少开展将其置于全球构造体制下的构造—岩浆作用、多期聚合—裂解过程和超大陆联系的研究。随着研究的深入、资料的积累和不断的地质新发现^[23-28],进一步开展前寒武纪块体研究的条件已经成熟。

本文以新疆为研究范围,以古块体的形成与演化为研究核心,开展了前寒武纪块体划分、古块体的物质组成与构造属性、古块体聚合与解体、古块体亲缘性与全球超大陆联系等方面的研究。现将初步成果介绍如下,供同行们参考与指正。

2 前寒武纪块体的划分与块体的构造属性

2.1 多块体的划分

根据前寒武纪岩层出露范围、地层序列和岩石构造组合,在新疆地区划分出塔里木—库鲁克塔格、中天山、柯坪、伊犁四个古块体,均分布在准噶尔盆地之南(图1)。在研究区北侧,地表多被古生代块体所占据,如达尔布特海山、北天山岛弧、东准噶尔岛弧等块体。

塔里木—库鲁克塔格和中天山块体都具有相似的前南华纪基底岩石组合和构造—岩浆演化过程,反映彼此间密切的亲缘性。根据出露位置,认为库鲁克塔格在深部可能与塔里木克拉通相连,属于塔里木克拉通的NE缘出露区。中天山则是从塔里木克拉通裂解出去的块体,位于中天山和塔里木之间的是南天山边缘海。伊犁块体在岩石组合、地层序列、构造环境与演化历史等方面与巴尔喀什块体比较接

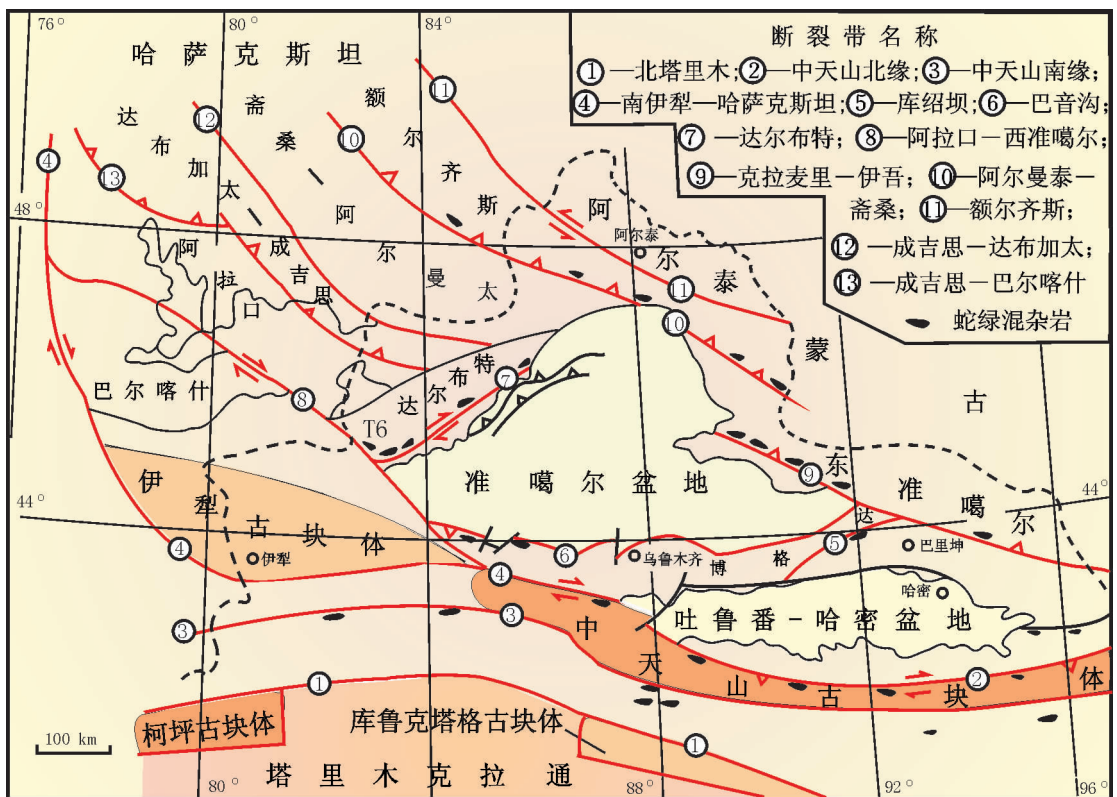


图1 新疆及其邻区构造框架图(据 Coleman^[9]修改)

Fig.1 Tectonic framework of northern Xinjiang and its adjacent areas (modified after Coleman^[9])

近,属于巴尔喀什—伊犁块体或巴尔喀什山弯构造的南部成员。

早先人们认为柯坪和库鲁克塔格一样,是从塔里木克拉通分离出去的块体。本研究结果表明,柯坪块体在岩石构造组合、形成年代、构造环境与演化历史等方面和库鲁克塔格、伊犁、中天山三个块体均存在较大差异,以出露大规模新元古代中—晚期高压蓝片岩带和成冰纪多层位冰碛岩为特征,是一个新元古代的独立块体。

前人认为准噶尔盆地之下存在统一的前寒武纪结晶基底。通过盆地周缘野外地质路线和重要地质点的观察与碎屑锆石的 LA ICP-MS U-Pb 年龄谱分析,没有发现具填图规模的前寒武纪岩层,也未获得足量的年代学信息。原先被怀疑是前寒武纪花岗片麻岩或片岩的出露区,经过近千组锆石 U-Pb 年龄测定,多为古生代的年龄值。虽然从哈密天山庙杂砂质

片岩的磨圆锆石中获得 9 组 930 Ma 左右的年龄数据,但因物质的多次循环,其源区难以确定,不宜代表其基底时代。因此认为准噶尔不是前寒武纪块体。

2.2 古块体的物质组成与构造属性

四个古块体的前寒武纪地层序列和岩石组合见图 2。按国际、国内地层年代表^[27-28],南华系(800~680 Ma)相当于原三峡层型剖面的莲沱组+南沱组,由泥砂质碎屑岩和冰碛岩所组成,不整合覆盖在青白口系之上;震旦系(680~542 Ma)则相当于三峡剖面中的陡山沱组+灯影组,为碳酸盐岩-硅质岩组合。

1) 库鲁克塔格古块体

位于塔里木克拉通北东部。该块体是新疆地区基底时代最老、规模最大、古构造-岩浆演化信息保留最好的一个块体。根据地表和深部地球物理资料^[64-65],其北以库尔勒—辛格尔断裂与南天山为界,南以满加尔中生代拗陷盆地与塔里木克拉通接触;块体东

库鲁克塔格块体

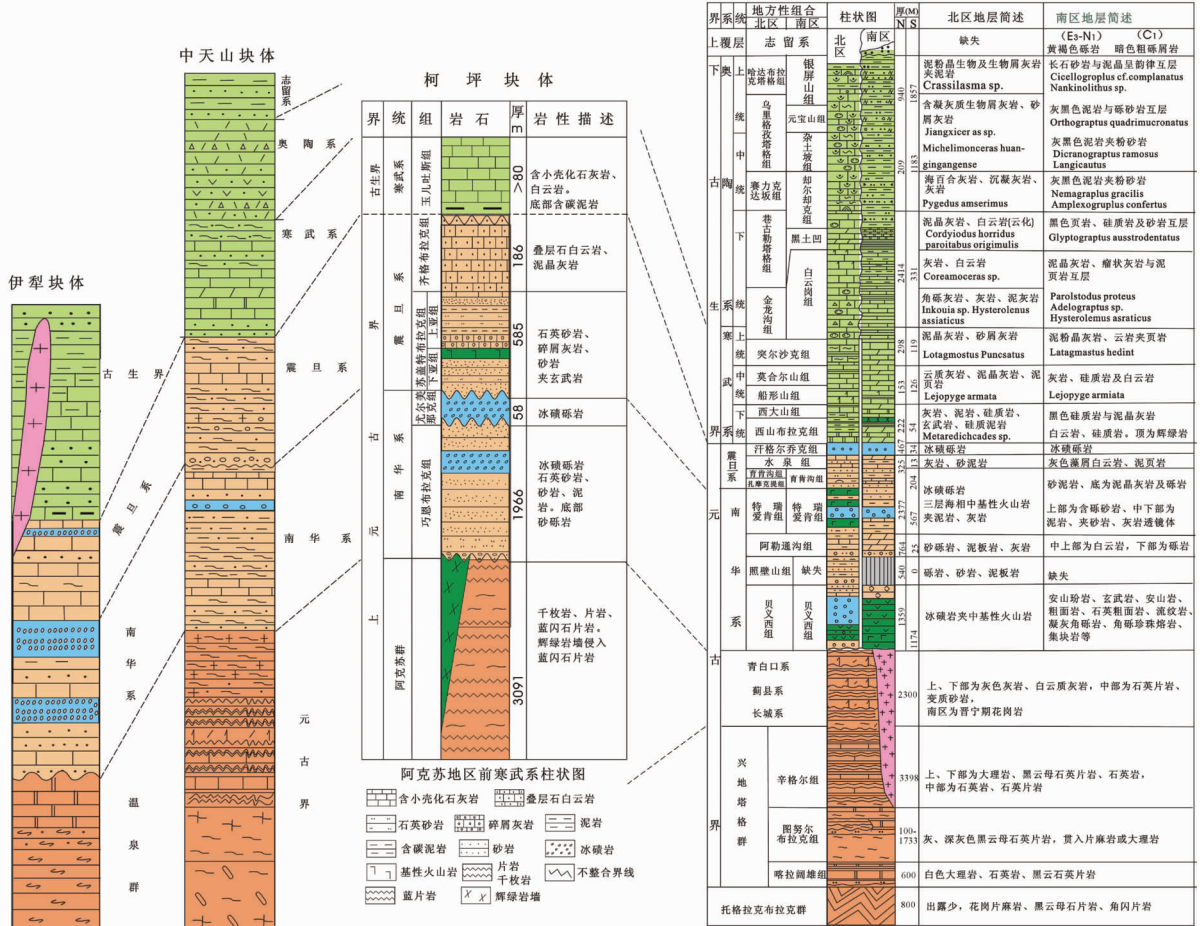


图 2 四个古块体地层序列与岩石组合柱状对比图

Fig.2 Columnar correlation between the stratigraphic sequences and the rock assemblages of the four blocks

缘则以依格孜塔格断裂和北山构造区接触。这里的北山是指位于罗布泊以东的一个发育在近东西向元古宙基底之上的陆内裂谷系,不属本文研究范围。

该块体和塔里木南西缘的铁克里克块体、南东缘的阿尔金块体一样,都是由新太古界—元古宇中高级变质岩层组成的古陆壳块体。在东西长逾 400 km,南北宽 20~50 km 的范围内,出露了总厚大于 9 000 m 的变质基底,由新元古界青白口系(700 m)、中元古界蓟县系+长城系(1 600 m)、古元古界兴地塔格群(6 000 m)和新太古界托格拉克布拉格组(>800 m)所组成。其上被几乎无变质的南华系不整合覆盖。

青白口系由大理岩化的灰岩—白云质灰岩夹千枚岩组成;蓟县系为一套泥沙质千枚岩—石英片岩—云母片岩—变质砂岩组合,长城系则为大理岩化碳酸盐岩夹千枚岩—片岩组合;兴地塔格群由各种片岩、片麻岩、花岗片麻岩、石英岩、大理岩、角闪片岩组成,局部地区见有新太古代—古元古代之交的花岗岩、闪长岩、辉长岩岩体^[25]和 TTG 组合(英云闪长岩—奥长花岗岩—花岗闪长岩),TTG 深成岩的结晶年龄为 (2534±19)Ma~(2789±12)Ma,变质年龄为 (1819±35)Ma~(1855±14)Ma^[26,29],证明该区新太古代—古元古代岩浆机制和基底物质层的存在。

在塔里木中央隆起区,塔参 1 井在 7000 多米的寒武系之下钻遇数十米新元古代闪长岩和花岗闪长岩,对其角闪石作 Ar—Ar 测年,获闪长岩的坪年龄 (1195±2)Ma^[67-68]和 (790±22) Ma^[30]、花岗闪长岩的坪年龄 (932±1)Ma 和 (891±2)Ma^[67-68],反映塔里木基底在新元古代早期发生过强烈的构造—岩浆事件。

在塔里木西侧的巴楚县瓦基里塔格地区,出露一套新元古代基性—超基性杂岩。李曰俊等^[66]和宋文杰等^[67]通过 ³⁹Ar/⁴⁰Ar 测年,获辉长岩年龄 821~837 Ma,闪长岩 (879±1)Ma 和 (881±19)Ma,表明该块体在 9 亿年前后发生过一次强烈的幔源岩浆活动。

南华纪开始,沿兴地断裂带发生强烈裂解,两侧沉积环境出现分化(图 2)。在其北侧,保留了世界罕见的南华纪—震旦纪 3 次冰期纪录,形成了 3 套冰碛岩堆积层序,而其南侧则为隆升区,以碱性火山岩和粗碎屑岩夹白云岩堆积为特征,冰碛岩不发育^[31-33]。至寒武纪,兴地断裂带已成为沉积环境分隔带。其北侧为浅海相碳酸盐岩沉积区,虽然厚度不大,但海相生物化石极其丰富,种类繁多,与扬子地区岩石和生物组合具可比性;南侧的元宝山—却尔却克山则为厚

达数千米的青灰色中—薄层浊积岩堆积区,鲍玛层序发育,粗细韵律清楚,生物化石简单,种类少,颇似华夏陆块同期岩石组合特征。该区普遍缺失志留系,推测和北侧天山地区的板块俯冲—地体拼贴作用有关。到泥盆纪,该区沉积环境渐趋统一。

2) 中天山古块体

位于塔里木克拉通北侧,近 E—W 向延伸。根据地表和深部航磁与重力资料^[64-65],北以中天山北缘断裂与北天山石炭纪火山岩带接触,南以乌瓦门—库米什断裂与南天山为界^[25,27-28](图 1)。前寒武纪变质岩广泛发育,岩石组合与库鲁克塔格相似,也是一个由碎屑岩、碳酸盐岩、火山岩和侵入岩构成的古老块体^[34-36],已经变质为白云母片岩、黑云石英片岩、大理岩、片麻岩、黑云斜长片麻岩、花岗片麻岩、角闪片岩、混合岩等。前南华系普遍被古生代花岗岩所侵入,露头残缺不全甚至零星分布。露头较好的地段主要在哈密星星峡、尾亚、和静巴仑台、巴音布鲁克以及特克斯县等地。年代学研究程度较低,其最老岩体为 (1409±72)Ma 的星星峡混合花岗岩^[23];冰达坂眼球片麻岩中锆石的 SHRIMP U—Pb 测年值为 (956±11)Ma^[37]。本次研究表明,古生代花岗岩中捕获了较多前寒武纪锆石,这些锆石年龄主要集中于 1.9 Ga、1.4 Ga、1.0 Ga 和 0.8 Ga,可以代表中天山元古代以来的主要构造—岩浆事件的时代。

中天山南华系露头零星,为变质的碎屑岩夹灰岩、火山岩组合。震旦系—中寒武统为粗碎屑岩、复理石、炭质泥岩、含磷泥岩和灰岩组合。上寒武统—奥陶系为玄武岩、安山岩、凝灰岩夹碎屑岩组合,具有岛弧地球化学特征^[34-36]。志留系—中泥盆统为泥沙质复理石夹碳酸盐岩沉积。米什沟、干沟、冰达坂等地段出露蛇绿混杂岩剖面,其辉长岩锆石 SHRIMP U—Pb 年龄为 (392±5)Ma~(425±8)Ma^[38]。早石炭世紫红色粗碎屑岩区域不整合覆盖在志留系的泥沙质千枚岩之上。

3) 伊犁古块体

伊犁块体南以那拉提断裂与西南天山为界,北侧越过国界与巴尔喀什块体相连(图 1)。前南华系结晶基底集中出露在赛里木湖—温泉一带,其南部露头比较零星。在赛里木湖畔,广泛出露新元古代青白口纪含叠层石灰岩—白云岩—白云质灰岩夹碎屑岩。其上与果子沟南华纪冰碛岩呈断裂接触。在温泉一带,大面积出露新元古界温泉群变质杂岩,由角闪

岩、混合岩、片麻岩、花岗片麻岩(原岩为S型花岗岩)、角闪片岩夹大理岩组成(图2)。笔者等对温泉群中混合岩的岩浆锆石进行SHRIMP和LA-ICPMS U-Pb测年,获850~930 Ma年龄值;侵入青白口纪碳酸盐岩中的辉长岩和花岗岩,其锆石U-Pb年龄为788~840 Ma(峰值828 Ma),含有较多中元古代(1150~1460 Ma)的继承锆石,极少古元古代的锆石。这些继承锆石也是温泉群中碎屑锆石的重要组分,其年龄和Hf同位素成分基本一致,说明该区新元古代侵入岩中继承锆石很可能是围岩中再循环的锆石,不能作为中元古代基底判定依据。

其沉积盖层由南华系碎屑岩与两套冰碛岩、震旦系塔里萨依组冰碛岩、寒武系碳酸盐岩-炭质泥岩-含磷泥岩和泥灰岩所组成。南华系冰碛岩分布在赛里木湖南侧,震旦系塔里萨依组冰碛岩则在赛里木湖西侧果子沟剖面出露最全^[39],共3层,每层厚30~50 m不等,其上为灰岩盖帽;层位上和库鲁克塔格的汉戈尔乔克组冰碛岩以及华南的灯影组相当,均直接与上覆下寒武统磷矿沟组呈假整合接触,为新疆层位最新的前寒武纪冰碛岩。

4) 柯坪古块体

位于塔里木克拉通北西部。北以乌恰—乌什断裂和天山为界,南邻塔西南拗陷,东为塔北拗陷。该块体前南华系基底出露零星,主要分布在阿克苏一带,称阿克苏群。由浊积岩和玄武岩组成(图2),已变质为绿泥石千枚岩、多硅白云母片岩、变玄武岩、蓝闪石片岩,构成一个宽10余km的蓝片岩带。地球化学上,具明显的洋壳亲缘性,和塔里木基底及其周缘库鲁克塔格、阿尔金、铁克里克古块体的基底性质是不同的。经Sm-Nd测年,玄武岩形成年龄为(890±23)Ma^[40],可视为古洋壳年龄;云母片岩中的多硅白云母Rb-Sr和K-Ar年龄为698~718 Ma^[41],代表高压变质作用的时间。

该块体的沉积盖层自下而上由5个地层单元组成:(1)南华系巧恩布拉克组(冰碛岩、砂岩、泥岩,含大量钾长花岗岩砾石,厚200 m);(2)尤尔美那克组(冰碛砾岩,底部含较多蓝片岩砾石,厚58 m);(3)震旦系苏盖特布拉克组(红色砂砾岩、粉砂岩系夹玄武岩,底部含蓝片岩砾石);(4)齐格布拉格组(泥晶灰岩、叠层石白云岩);(5)寒武系(黑色泥岩、含磷泥岩、灰岩)。对巧恩布拉克组冰碛岩中的钾长花岗岩砾石作锆石U-Pb测年,获(902±5)Ma年龄值^[42]。

2.3 古块体的构造属性

1) 库鲁克塔格古块体

地表上,塔里木克拉通被广瀚的沙漠所覆盖,其前寒武纪基底岩层主要出露在盆地周缘的库鲁克塔格、铁克里克、阿尔金和柯坪区块^[43-44]。三者的基底时代与物质组成非常相似,均有年龄值在2.53~2.80 Ga的TTG深成岩组合出露^[26,29,43,45],岩浆岩组合均以铝饱和花岗岩类岩石为主,反映(1)具有明显的陆壳亲缘性,(2)三个块体均是塔里木克拉通的一部分,在地下深处是彼此连通的统一块体。

研究表明,库鲁克塔格块体的基底时代、岩石组合和构造演化过程与扬子、华夏具有较好的可比性,均保留有全球重大事件的物质记录,如古陆核形成(2450 Ma的辉长岩、闪长岩)、哥伦比亚超大陆的聚合(混合花岗岩形成于1952 Ma、蓝石英花岗岩为1930~1900 Ma)、罗迪尼亚超大陆的聚合与裂解(1050~930 Ma的花岗闪长岩、850~780 Ma的片麻状花岗岩与S型花岗岩)等。但彼此间也存在一定差异,如在扬子、华夏均不发育新太古代—古元古代TTG深成岩组合,也不发育(755±15)Ma火山岩(贝义西组)之上的冰碛岩层等。

2) 中天山古块体

该块体遭受过古生代强烈的构造-岩浆破坏,致使前寒武纪岩层露头零星。笔者等根据巴仑台、尾亚、星星峡等地的观察,发现中天山变质基底的原岩组合(碎屑岩、碳酸盐岩、火山岩、S型花岗岩)和变质程度(高绿片岩相-角闪岩相)与库鲁克塔格块体基本相同,均记录了古元古代以来的多期构造-岩浆事件;通过近千组碎屑锆石测年,获得了与库鲁克塔格块体前南华纪演化非常相似的年龄谱,因此确定前南华纪时中天山块体与库鲁克塔格块体均属于塔里木克拉通的成员^[25,28],是新太古代晚期以来以塔里木为陆核发育而成的陆壳块体。

从南华纪开始,受全球超大陆裂解事件的影响,塔里木克拉通内部发生裂解,中天山从塔里木克拉通裂离,朝北运移。在哈密红柳井发育(752±6)Ma的A型花岗岩。位于中天山和塔里木(库鲁克塔格)之间的是通过引张作用而形成的古生代南天山边缘海。因而中天山呈现出明显有别于库鲁克塔格块体的南华纪之后的地层序列、岩石组合和构造背景。如南华纪冰碛岩不发育,晚寒武世—奥陶纪的火山岩-侵入岩厚度大、分布广,并有岛弧型花岗岩产出^[46],呈现

出一幅活动陆缘景观,与库鲁克塔格早古生代稳定型沉积岩石组合形成鲜明对比。

3) 伊犁古块体

该块体具有与塔里木克拉通非常相似的新元古代构造演化过程,存在两期强烈的构造-岩浆事件。第一期以测年值为 925~855 Ma 的混合岩和 S 型花岗岩为标志,对应于罗迪尼亚大陆聚合事件(地壳增厚-部分熔融和后造山岩浆作用);第二期以侵入于新元古代碳酸盐岩中的基性岩墙(782~784 Ma)和裂谷型地层层序为特征,对应于罗迪尼亚大陆初始裂解过程中的深源岩浆作用和地表的伸展活动。

自新元古代中期裂解以来一直到早古生代,该块体与塔里木块体在岩石组合与地层序列特征方面的差别逐渐增大,而与环巴尔喀什块体渐趋接近,表明裂解以来它是朝着环巴尔喀什方向运移的。在早古生代晚期,该块体经历了诸块体拼贴和大陆岩浆弧增生等作用的改造,并于 430 Ma 增生到哈萨克斯坦块体之上,成为环巴尔喀什带的重要成员^[47-49]。其中,变闪长岩和变辉长岩中锆石 U-Pb 测年值为 445~467 Ma,代表大陆岩浆弧年龄;角闪岩中角闪石和花岗岩中的白云母 Ar-Ar 年龄为 437~413 Ma,相当于增生造山的年龄^[48-49]。

4) 柯坪古块体

长期以来,人们均视该块体和库鲁克塔格块体为塔里木克拉通的成员。新获的大量地质证据和年

代学数据表明,这两个块体的基底存在很大差别,不能对比。主要是(1)洋壳性质的基底,基底时代新。柯坪块体只存在新元古代阿克苏群以来的地层序列,基底以洋壳玄武岩(890 Ma)为主要成分,具有 OIB 和 MORB 的地球化学特征;(2)存在 700 Ma 的阿克苏高压蓝片岩带。原因是该洋壳块体与塔里木克拉通的碰撞与增生,而同时代的库鲁克塔格则已经是陆内裂陷盆地,花岗岩普遍,没有高压变质岩。

在南华纪以来的地质演化过程中,柯坪块体也表现出与库鲁克塔格迥然不同的岩石学特征和构造环境(表 1)。(1)虽然四个块体均出露有新元古代裂谷型岩浆活动,但柯坪块体最早出现的碱性玄武岩浆喷发(缺少花岗岩和双峰式火山岩),最老时间不超过 7 亿年(见后),和其余三个块体发生裂解作用的时间 850~730 Ma 差别很大;(2)震旦纪层序特征、古生物群落明显与库鲁克塔格不同;(3)在柯坪块体,发育一套震旦纪苏盖特布拉克组的红色砂砾岩(蓝片岩砾石较多)、粉砂岩系夹玄武岩,超覆不整合覆盖在阿克苏群蓝片岩之上。到早寒武世,该块体的沉积环境与物质成分才与库鲁克塔格渐趋一致,共同发育含 U-V-Co-Mo-P 碳硅岩系、黑色岩系和碳酸盐岩。

因此认为,柯坪古块体不是塔里木克拉通的成员,而是一个独立的洋壳块体。结合阿克苏 9 亿年的洋壳玄武岩、7 亿年左右的高压蓝片岩带、以及后面

表 1 新疆四个古块体间的差异对比

Table 1 Geological difference comparisons of four ancient blocks in northern Xinjiang

块体	基底组成	盖层特征	区域构造演化对比
库鲁克塔格	强烈变质变形的元古代陆壳岩石(2.5~0.8 Ga)、2.5 Ga TTG 岩浆岩组合、1.9 Ga、1.0 Ga 和 0.8 Ga 的花岗岩	强烈的南华纪双峰式岩浆活动及裂谷沉积、新元古代三套冰碛岩、震旦纪碳酸盐岩-含磷硅质岩、早寒武世含 U-V-Co-Mo-P 碳硅岩系	古块体聚合-裂解、冰期与新元古代中晚期被动陆缘背景可与华南、中天山对比
中天山	和库鲁克塔格相近:强烈变质变形的 2.0~0.8 Ga 陆壳岩石、1.9 Ga 和 0.8 Ga 的 S 型花岗岩	强烈的南华纪双峰式岩浆岩与复式岩流、冰碛岩不发育、震旦纪碳酸盐岩-含磷硅质岩、晚寒武世-奥陶纪钙碱性中-基性火山岩组合	古块体新元古代裂解-裂谷盆地、前南华纪基底演化与华南、库鲁克塔格基本一致
柯坪	0.8~0.9 Ga 洋壳岩石、0.7 Ga 高压变质岩(泛非聚合事件)、偏碱性玄武岩、辉绿岩墙群	0.7 Ga 聚合后的底砾岩、偏碱性玄武岩、两套冰碛岩、震旦纪陆相红层、早寒武世含 U-V-Co-Mo-P 碳硅岩系	7 亿年前岩层与演化与其他块体不能对比,寒武纪开始渐趋一致
伊犁	强烈变质变形的新元古代碳酸盐岩、碎屑岩夹玄武岩,发育 0.9 Ga 的 I 型花岗岩	0.8~0.7 Ga 的 S 型花岗岩、辉长岩、碎屑岩夹碱性玄武岩、新元古代三套冰碛岩,震旦纪-寒武纪碳酸盐岩-含磷硅质岩	基底与华南、库鲁克塔格、中天山一致。早古生代晚期增生到环巴尔喀什块体上

将要介绍的沉积岩碎屑锆石年龄证据,推测柯坪是从7亿年以来,通过拼贴作用才与塔里木聚合在一起的。正是这一聚合事件,使它具有与库鲁克塔格相似的早寒武世地层序列与岩石组合。

3 前寒武纪多期超大陆聚合-裂解事件及其演化的信息

地质证据、岩浆岩测年数据和碎屑锆石 U-Pb 年龄谱表明,4个古块体均记录了大量地球早期演化的构造-岩浆活动信息,对全球重大地质事件响应积极,如全球陆核生长事件、全球多期超大陆聚合-离散事件等,是哥伦比亚、罗迪尼亚、冈瓦纳超大陆中的重要成员。

3.1 全球陆核生长事件的信息

3.1.1 地质证据

胡蔼琴等^[45]最早报道在库鲁克塔格地区存在太古宙-古元古代岩石和英云闪长岩-奥长花岗岩-花岗闪长岩组合(TTG)的零星露头。近年锆石 TEMS ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 测年结果表明,其英云闪长岩为(2602±27) Ma、奥长花岗岩为(2789±12) Ma、钾长花岗岩年龄为(2534±19) Ma^[29]。Shu et al^[25]对出露在库尔勒铁门关的片麻状花岗岩和兴地的变闪长岩作锆石 U-Pb 测年,分别获得(2469±12) Ma 和(2470±24) Ma 的年龄值(图3-a),和兴地英云闪长岩的测年值(2602±27) Ma^[29]非常接近。

兴地断裂南侧的中粒辉长岩(XJ593),其14颗半自形-他形继承锆石构建了一条不一致线(MSWD=0.23, n=14),其上交点 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄为(2502±31) Ma,下交点(1032±59) Ma^[25]。兴地北侧的南华纪辉长岩(XJ487)也捕获了7颗基底锆石,其 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 谐和年龄为2386~2507 Ma,指示本区古元古代初期发生过构造-岩浆事件。将库鲁克塔格块体7件深成岩的140颗岩浆锆石、2件花岗片麻岩的38颗锆石以及62颗继承锆石年龄制成 U-Pb 年龄频谱图(图3-b),其2360~2550 Ma 年龄区段(峰值为2510 Ma)非常醒目,属于原地信息,揭示深部存在这一物质层。

3.1.2 碎屑锆石证据

除塔里木边缘之外,新疆其他区段尚未发现古元古代初期构造-岩浆事件的直接证据。为此,对巴仑台中天山的5件泥盆纪粗砂岩中的碎屑锆石作 LA ICPMS U-Pb 测年,获400组年龄数据,从 U-Pb 年龄频谱图中发现可靠的古元古代早期构造-岩

浆活动信息(图4)。并得出如下结论^[27-28]:(1)巴仑台中天山具有和塔里木相似的前寒武纪变质岩石组合,展示了与之非常一致的年龄谱,表明两者属性相同,中天山曾经是塔里木克拉通的一部分;(2)400组数据集中在6个年龄区段:480~420 Ma(峰值447 Ma)、840~720 Ma(峰值820 Ma)、1000~900 Ma(峰值952 Ma)、1600~1500 Ma(峰值1541 Ma)、1900~1790 Ma(峰值1858 Ma)、2530~2380 Ma(峰值2470 Ma);(3)揭示出古元古代初期陆核生长、哥伦比亚、罗迪尼亚、冈瓦纳三期超大陆聚合、哥伦比亚、罗迪尼亚两期超大陆裂解的信息。其中,峰值2470 Ma 表现清楚,推测这是来自塔里木源区的信息。

发生在2.4~2.6 Ga 的构造-岩浆事件具有全球普遍性。在非洲、澳洲、印度东部、南极东部、高喜马拉雅、低喜马拉雅、华夏、扬子等地区,都有该年龄段岩浆活动的信息,被认为是地球早期陆核生长的重大事件。在这一事件中,塔里木克拉通(库鲁克塔格)响应积极,无疑是全球陆核生长事件的重要成员。

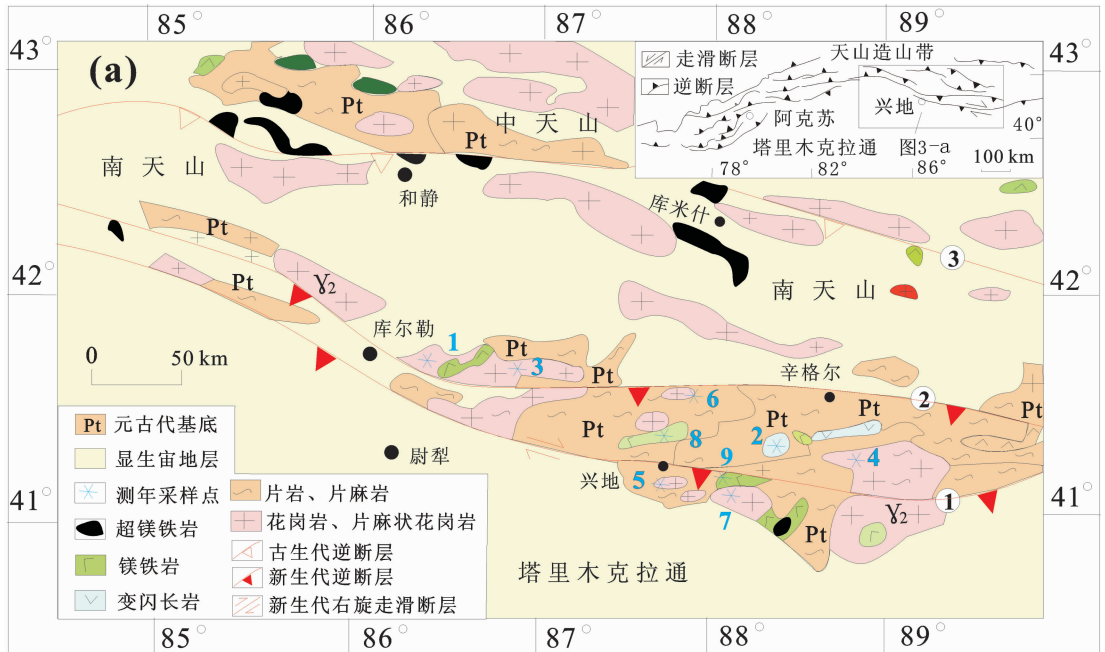
3.2 哥伦比亚超大陆聚合-裂解事件的信息

3.2.1 地质证据

发生在18~20亿年前的哥伦比亚超大陆聚合事件广泛出现在全球各地,如非洲、美洲、澳洲、印度东部、南极东部、喜马拉雅、华北、扬子、华夏等地区^[50-53],以强烈的火山喷发-岩浆侵入、变质作用、造山活动为标志,伴随15亿年左右的一次裂解事件(目前证据较少)。该期构造-岩浆事件的直接地质证据主要见于塔里木边缘地区,中天山也有此事件之信息。

在库鲁克塔格的库尔勒、兴地、辛格尔、阔克苏和铁门关一带,分布较多花岗岩体,主要有蓝石英花岗岩、花岗岩、片麻状花岗岩等,测年值在1950~1910 Ma^[54](图5)。蓝石英花岗岩主要由钠长石、钾长石、淡蓝色石英和黑云母组成,中粗粒结构,略具片麻构造。

出露在库尔勒野云沟一带的面理化花岗岩锆石 U-Pb 上交点年龄为(1781±52) Ma。最近,Lei et al^[54]在库尔勒西山口片麻状蓝石英花岗岩体中获得锆石 U-Pb 测年值(1939±10) Ma(图5-b);在中途站东侧花岗片麻岩,获锆石增生边上交点年龄(1936±57) Ma,其核部年龄为(2466±4) Ma;在大金沟矿区,混合岩化花岗岩的加权平均年龄为(1952±6) Ma(图5-c),蓝石英花岗岩为(1922±3) Ma(图5-d),花岗岩中含金石英脉为(1909±11) Ma(图5-e),反映一次连续



点1:571-1, 片麻状花岗岩, $2469 \pm 12 \text{ Ma}$ ($n=17$); 点2: 576, 变闪长岩, $2470 \pm 24 \text{ Ma}$ ($n=20$); 点3: 589, 花岗片麻岩, $1931 \pm 130 \text{ Ma}$ (上交点)、 $698 \pm 51 \text{ Ma}$ (下交点) ($n=24$); 点4: 569, 面理化花岗岩, $1048 \pm 19 \text{ Ma}$ ($n=32$); 点5: 601, 面理化花岗岩, $933 \pm 11 \text{ Ma}$ ($n=38$); 点6: 586, 钾长石花岗岩, $806 \pm 8 \text{ Ma}$ ($n=20$); 点7: 587, 花岗岩, $798 \pm 7 \text{ Ma}$ ($n=20$); 点8: 487, 变辉长岩, $775 \pm 12 \text{ Ma}$ ($n=26$); 点9: 593, 变辉长岩, $2502 \pm 31 \text{ Ma}$ (上交点)、 $1032 \pm 59 \text{ Ma}$ (下交点) ($n=14$)

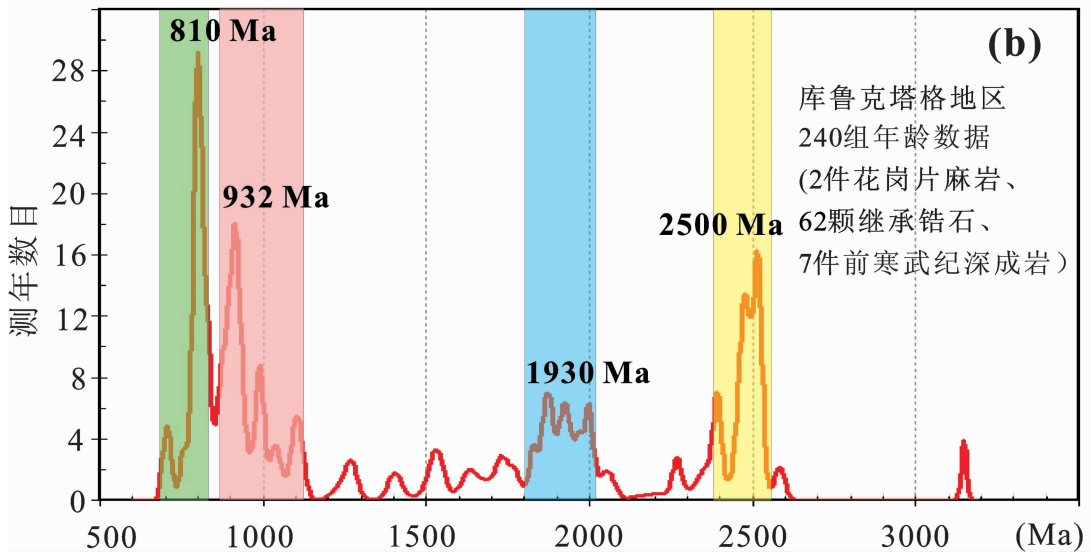


图3 库鲁克塔格及其邻区地质图(a)及其U-Pb年龄频谱图(b)(据 Shu et al^[25]修改)

Fig.3 Geological map of the Kuruk Tag block and its adjacent areas (a) and distribution of zircon U-Pb ages (b) (modified after Shu et al^[25])

演化的古元古代岩浆活动。

在兴地 NE 侧的“斑马山”,与 800 Ma 花岗岩共生的辉长辉绿岩墙捕获的锆石均呈半自形—他形, 粒径 $40 \sim 50 \mu \text{ m}$, 记录了 3 期构造—岩浆事件: (2520 ± 74) Ma、(1864 ± 41) Ma、(1437 ± 65) Ma。在兴地东南侧的花岗片麻岩中, 锆石 589-14, -07, -

22 均具核—环构造, 核年龄分别为 (1867 ± 16) Ma、(1877 ± 15) Ma、(1919 ± 156) Ma, 环年龄分别为 (796 ± 12) Ma、(823 ± 11) Ma、(803 ± 11) Ma, 说明古元古代花岗岩经历了新元古代岩浆作用的改造。

在中天山地区, 星星峡卡瓦布拉克群花岗闪长岩中锆石 U-Pb 上交点年龄为 (1832 ± 48) Ma, 下交

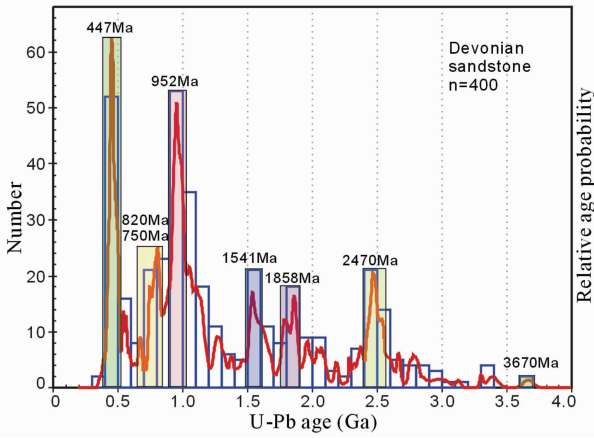


图 4 中天山巴仑台泥盆系中碎屑锆石 U-Pb 年龄频谱图(据 Ma et al^[28]修改)

Fig.4 Distribution of U - Pb ages of detrital zircons from Devonian strata in Baluntai area of the Central Tianshan belt (modified after Ma et al^[28])

点(成岩)年龄为(428±6)Ma^[5]。该岩体捕获了丰富的原地深部信息: 锆石 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 测年值 1578~1815 Ma, ε_{HT}(t)值+0.39~+6.84, T_{DMI} 为 2.17 Ga~1.96 Ga。

3.2.2 碎屑锆石证据

吴海林等^[70] 通过对库鲁克铁门关石英云母片

岩、云母石英片岩、石榴石石英二云母片岩中的碎屑锆石作 LA ICPMS 年龄测定, 获 ²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb 年龄 1705~2720 Ma。其中, 1800~2020 Ma 时段的记录(峰值 1870 Ma)相当清楚。锆石中普遍发育核-环构造, 核部继承锆石组成了 2.0、2.2、2.4、2.6 Ga 4 个弱峰, 不仅说明沉积物来自不同的物源, 原岩的沉积年龄介于 2.0~1.87Ga, 而且说明源区有古元古代岩石存在。这与前人的结论一致^[25,26], 表明库鲁克塔格块体在 1.87 Ga 左右发生过强烈构造-岩浆事件。

笔者等通过对中天山巴仑台泥盆纪砂岩中碎屑锆石测年, 也获得了 1.90~1.79 Ga 时段的构造-岩浆活动信息, 其峰值为 1858 Ma(图 4), 对应于哥伦比亚超大陆的聚合时间; 同时, 还获得了 1600~1500 Ma 时段的信息, 其峰值为 1541 Ma(图 4), 对应于哥伦比亚超大陆的裂解时间。因此认为, 全球规模的哥伦比亚超大陆聚合-裂解事件, 在中天山是有响应的, 中天山与塔里木及其库鲁克塔格地块具有较好的可比性。

3.3 罗迪尼亚超大陆聚合-离散事件

3.3.1 新元古代早期聚合事件的证据

长期以来, 新疆很少有新元古代早期岩浆活动的报道。本课题通过野外调查, 首次在库鲁克塔格块

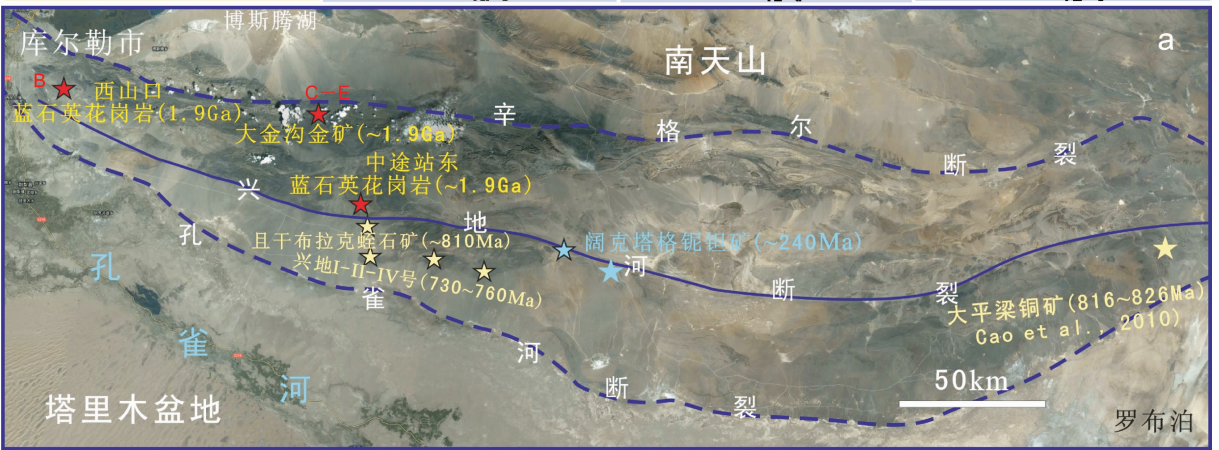
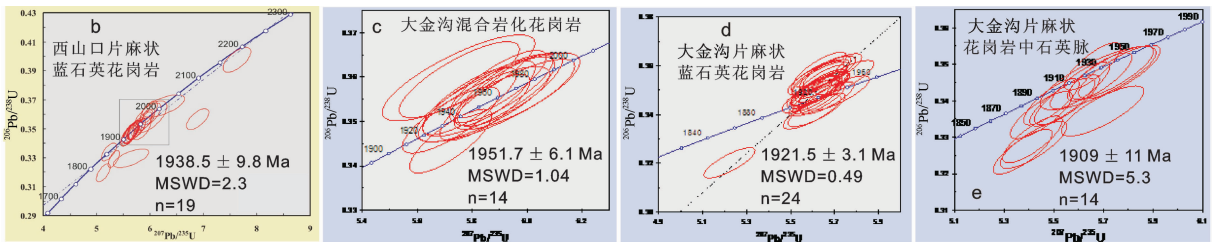


图 5 库鲁克塔格元古代花岗岩分布图(a)及其岩浆锆石 U-Pb 年龄图解(b-e)

Fig.5 Distribution of Paleoproterozoic granitoids in the Kuruk Tag block (a) and diagrams of magmatic zircon U - Pb dating values(b-e)

体发现了新元古代早期岩浆活动的记录。在兴地河东侧的片麻状花岗岩(图 3-a, 点 4, No.569)、西侧的面理化花岗岩(图 3-a, 点 5, No.601)、南侧的中粒辉长岩(图 3-a, 点 9, No. 593)中, 分别获得高质量的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均谐和年龄 (1048 ± 19) Ma ($n=29$)、(933 ± 11) Ma ($n=38$) 和 (1022 ± 15) Ma ($n=26$), 对应 Rodinia 超大陆的聚合^[25]。这一认识被采自兴地辉长岩的 XJ593 样品的 U-Pb 不一致线下交点年龄值 (1032 ± 59) Ma 所证实, 也得到了柯坪地区南华系冰碛岩中钾长石花岗岩巨砾中岩浆锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 (902 ± 5) Ma ($n=22$) 的支持。在库鲁克塔格前寒武纪年龄频谱图上, 峰值为 932 Ma 的构造-岩浆事件记录也是明显的(图 3-b)。

该期岩浆作用在中天山表现不明显, 岩浆岩仅局部小规模产出。笔者等对巴仑台北侧混合岩化花岗岩进行锆石 U-Pb 定年, 获花岗岩成岩年龄为 (912 ± 6) Ma ($n=14$) (图 6-a)、其混合岩的原岩(花岗片麻岩)时代为 (917 ± 11) Ma ($n=6$), 而混合岩化作用时间是 (377 ± 5) Ma ($n=6$) (图 6-b); 中天山特克斯县北侧花岗片麻岩 U-Pb 年龄为 (794 ± 7) Ma ($n=10$), 并在 (426 ± 6) Ma ($n=4$) 受到岩浆热液作用的改造(图 6-c)。

目前收集到的岩浆活动信息主要有: 冰达坂眼球片麻岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年值 (956 ± 11) Ma^[37]; 中天山片麻状花岗闪长岩锆石 U-Pb 不一致线的上交点年龄 (1218 ± 17) Ma^[39]; 中天山星星峡花岗闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年值 (942 ± 7) Ma^[23-24]; 星星峡花岗闪长岩岩浆锆石 LA ICP MS 测年, 除获得 (809 ± 41) Ma 岩体结晶年龄外, 还获得捕获锆石的 860~1140 Ma 年龄 (峰值 920 Ma)^[53]; 在那拉提断裂带早石炭世玄武岩中 (U-Pb 年龄 (346 ± 4) Ma), 发现数颗年龄值为 915~1098 Ma 的捕获锆石。据此推测, 中天山深部或地表应该存在更大规模的新元古代早期岩浆岩。

伊犁块体温泉地区广泛出露变质岩, 称温泉群, 可分解为中元古代晚期沉积-火山岩系(中-高级变质)、新元古代 S 型花岗片麻岩与混合岩和早古生代岛弧侵入岩三部分。对云母片岩中的 268 颗碎屑锆石测年表明, 其原岩沉积时代不老于中元古代晚期(峰期 1150 Ma), 年龄谱结果难以支持伊犁北缘存在古元古代-太古宙基底的认识。研究表明, 新元古代花岗片麻岩与混合岩属中上地壳部分熔融的产物。笔者等曾获得 2 个岩体及其混合岩脉的锆石

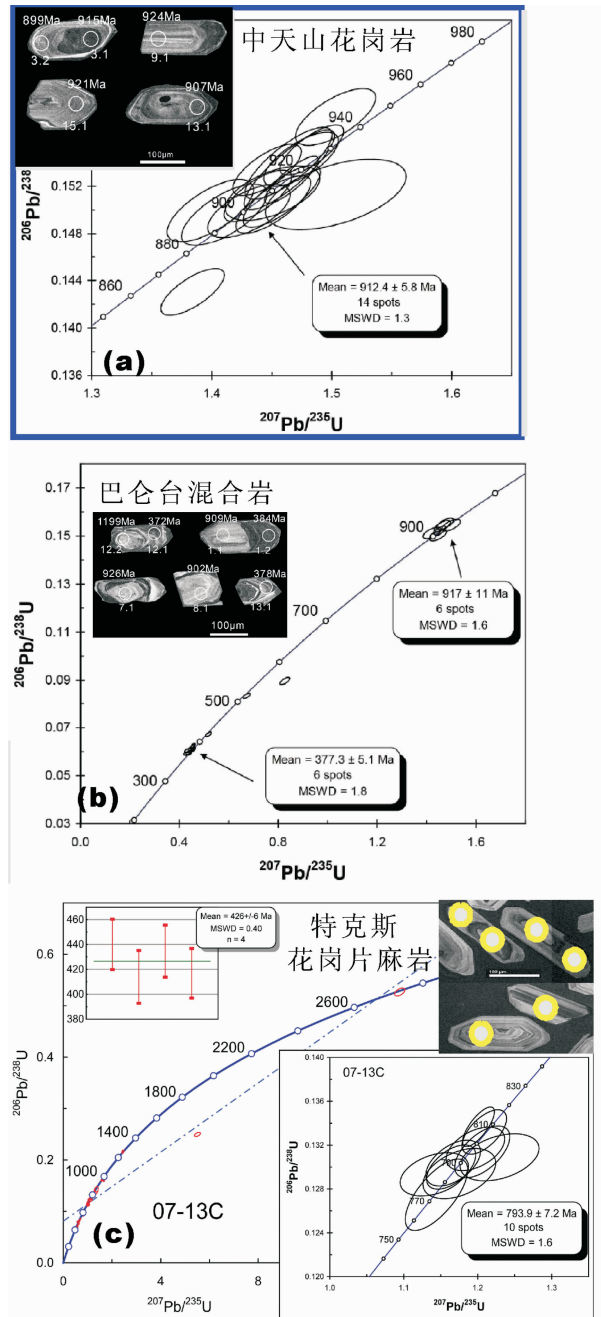


图 6 中天山新元古代早期岩浆岩的 U-Pb 年龄图解
Fig.6 Diagrams of magmatic zircon U - Pb dating for the early Neoproterozoic igneous rocks in the Central Tianshan belt

U-Pb 年龄数据, 岩体年龄为 (919 ± 8) Ma ($n=16$) 和 (908 ± 11) Ma ($n=15$), 混合岩浅色体则形成略早, 从 (926 ± 12) Ma ($n=12$) 到 (905 ± 8) Ma ($n=6$), 反映该区也曾发生过 9 亿年左右的地壳加厚造山作用。

3.3.2 新元古代中-晚期裂解事件的证据

区内广泛发育的前寒武纪岩浆岩大多数是新元

古代中-晚期形成,与裂解作用有关。其岩石类型包括镁铁质杂岩、辉长岩、花岗岩、片麻状花岗闪长岩、花岗质片麻岩、黑云母花岗岩、英云闪长岩以及双峰式火成岩等。

1) 库鲁克塔格地区

在兴地断裂南侧,由金云母橄榄辉石岩、辉石岩和辉长岩等组成的环状杂岩体非常发育,沿东西向延伸,产蛭石矿、金云母矿和铜镍矿。在蛭石矿北侧,见一系列花岗岩岩墙和基性岩岩墙彼此交切,单墙厚 10~80 cm,共同侵入在兴地塔格群的片岩、片麻岩以及斜长角闪岩中。在兴地河谷北 2 km 的山包上,见基性岩和钾长花岗岩相互穿插或挤揉混合,共同侵位于灰白色花岗片麻岩中,构成岩浆混合景观。吴昌志对兴地南的石英闪长岩、辉长岩、花岗岩等进行锆石 U-Pb 测年(图 7),结合已发表年龄数据,认为兴地南的岩浆岩大多数形成在 830~740Ma (内部报告)。

在兴地河以东 38~45 km 处,见诸多基性岩墙顺元古宙中粒花岗岩的 X 剪节理面侵入,岩墙走向 N95°和 N130°,厚 2~3 m,以 10~15 m 近等间隔分布,构成“斑马山”景观,非常显眼。基性岩墙中锆石 U-Pb 年龄集中在 830~800 Ma^[33]。野外调查表明,兴地断裂附近的双峰式火成岩、复式岩流和基性岩墙群,其侵入的最新岩层为下南华统,未见大规模侵入

震旦系、寒武系和奥陶系的现象。

笔者等在库鲁克塔格块体厘定出了 4 个新元古代中期岩体^[29]:兴地北侧变辉长岩,岩浆锆石 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄(775±12)Ma (n=26,MSWD=2.1)(图 3-a,点 8,No.487);兴地北侧钾长石花岗岩,年龄(806±8)Ma (n=20,MSWD=2.3)(图 3-a,点 6,No.586);兴地东侧双峰式火成岩中钾长花岗岩脉,年龄(798±7)Ma (n=20,MSWD=1.4)(图 3-a,点 7,No.587);兴地东侧花岗质片麻岩,不一致线下交点年龄(698±51)Ma (n=24)(图 3-a,点 6,No.589),为变质年龄。此外,还在“斑马山”与细晶花岗岩墙共生的辉绿岩墙中获得 10 颗自形锆石,其不一致线上交点年龄为(825±48)Ma^[33],可代表其岩浆结晶年龄。

在兴地东侧阔克苏一带,南华纪贝义西组、早震旦世扎莫克提组和水泉组均发育大量喷发岩,由偏碱性的杏仁状玄武岩、玄武质集块岩、辉绿岩、熔结凝灰岩等组成。揭示裂解规模大,地幔岩浆上涌速度快,底侵作用强。贝义西组底部凝灰岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(755±15)Ma^[31]。在西大山南华纪冰碛岩中,见较多钾长花岗岩、基性岩的砾石,砾径 5~30 cm,表明冰期前岩浆岩相当发育。

库鲁克塔格阔克苏地区发育数千条基性岩墙群,由一系列北西向延伸、密集平行排列、间距大致相等(几十厘米至数米)的辉绿岩岩墙组成,岩墙群

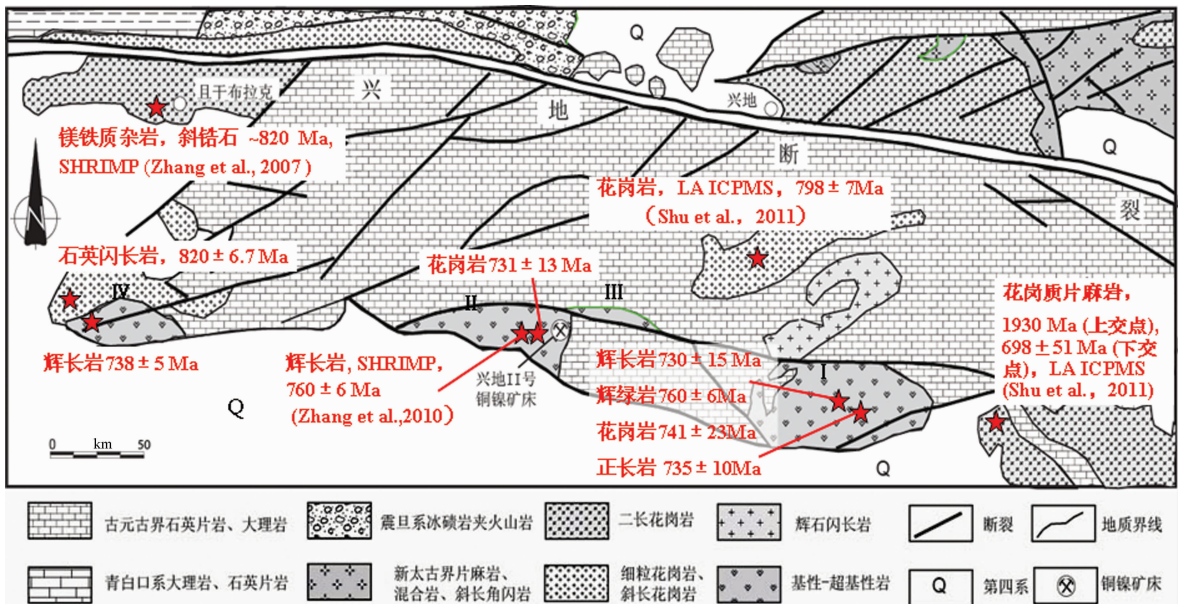


图 7 库鲁克塔格兴地河一带新元古代中期火成岩分布图及其部分测年数据
Fig.7 Distribution of the middle Neoproterozoic igneous bodies along the Xingdi River of the Kuruk Tag block and some dating data

侵入于前寒武纪变质岩和花岗岩中,边界平直。Zhang et al^[7]对其中 2 条基性岩墙作 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年,分别获得(824±9)Ma 和(777±9)Ma 的年龄值,和 Shu et al^[25]的基本一致,代表塔里木克拉通解体的时间。在库鲁克塔格前寒武纪年龄频谱图上,峰值为 810 Ma 的构造-岩浆事件记录也是非常醒目的(图 3-b)。

在库尔勒铁门关的片岩、片麻岩与钾长石花岗岩中,侵入有大量基性岩墙。对 3 条基性岩墙样品作 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年,分别获得(629±7)Ma (n=12)、(652±7)Ma(n=10)和(643±7)Ma(n=14)^[57],表明该区新元古代最后一次基性岩墙的侵位年龄在 630~650 Ma,相当于 Rodinia 超大陆裂解作用的结束时间。

2) 中天山地区

在中天山东段的卡瓦布拉克群地层中,见新元古代双峰式火山岩。在哈密沙垄地区不等厚互层的变质基性火山岩和变质酸性火山岩中,发育新元古代火山-沉积变质铁矿。经笔者等测年,其变质酸性火山岩锆石 U-Pb 年龄为(759±8)Ma (n=17),变质基性火山岩的锆石 U-Pb 年龄为(848±240)Ma。变质基性火山岩的地球化学分析结果表明,其原岩为亚碱性-拉斑质玄武岩,而变质酸性火山岩的原岩为流纹岩,为陆内裂谷背景下发育的双峰式火山岩,形成于板内裂谷环境,是罗迪尼亚超大陆裂解峰期的产物。在哈密红柳井,发育含 Nb-Ta 矿花岗岩,侵入在元古宙星峡群云母石英片岩中,含矿岩体为含钠铁闪石和普通角闪石的碱性花岗岩,经锆石 U-Pb 测年,获得(752±6)Ma (n=23)的年龄值。

在中天山块体碎屑锆石 U-Pb 年龄频谱图上,与罗迪尼亚超大陆聚合与裂解有关的构造-岩浆信息表现明显。前者年龄集中在 1000~900 Ma 时段,峰值 952 Ma;后者集中在 840~720 Ma 时段,峰值为 820 Ma 和 750 Ma(图 4)。

3) 伊犁地区

伊犁北部赛里木湖以东库松木切克河谷中露出一套新元古界青白口系开尔塔斯群变质碎屑岩、大理岩、石英岩,近东西向展布,褶皱强烈,断层发育,被一组平行排列的基性岩墙侵入,其上被震旦系凯拉克提群砂岩、泥岩和冰碛岩不整合覆盖。

对 3 条辉绿玢岩岩脉采样进行锆石 U-Pb 测年,其年龄值分别为(783±5)Ma (n=7)、(782±4)Ma

(n=7)、(784±2)Ma (n=13),部分锆石具有核-幔结构,核部年龄多在 900~1100 Ma。这期基性岩墙活动,与塔里木北缘和其他地区的基性岩的侵入时间相近,均是对罗迪尼亚超大陆裂解事件的响应。

4 柯坪块体前寒武纪构造演化研究新认识

4.1 柯坪块体基本特征

柯坪块体阿克苏地区出露了全球罕见的大规模高压低温蓝片岩带,主要由蓝闪石片岩、变质玄武岩和杂砂岩组成,称阿克苏群。暗色基性岩墙侵入其中。蓝闪石矿物多出现在基性片岩中,其基质为火山质碎屑岩或变质杂砂岩。走向 NE,延伸大于 40 km,出露宽 10 余千米。与其上含蓝片岩砾石的南华系巧恩布拉克组或者苏盖特布拉克组呈不整合接触。

对基性片岩做 Sm-Nd 年龄测定,获(890±23)Ma 的等时线原岩年龄值,概略代表古洋壳的年龄。Sr-Nd 同位素研究表明,13 个样品均具有较高的 ϵ_{Nd} 值(+5.9~+7.4);在 $\epsilon_{Nd}-^{87}Sr/^{86}Sr$ 图解中,所有样品都落在洋脊地幔区。地球化学特征上,含蓝闪石基性片岩以富钛(平均 1.6%)、低镁(3.5%~9.8%)低钾(平均小于 0.9%)为特征, SiO_2 平均含量 48.4%;微量元素特征指示其原岩为拉斑玄武岩,稀土元素配分曲线和微量元素蛛网图以及环境判别图解,均与正常洋脊玄武岩(NMORB)和相对正常洋脊玄武岩更富大离子亲石元素和轻稀土元素的异常洋脊玄武岩(EMORB)相似,均为洋壳成因;蓝片岩基质形成于新元古代活动大陆边缘环境^[40]。

4.2 蓝片岩基质与盖层底部沉积碎屑的原岩时代

阿克苏蓝片岩的形成时代和构造属性存在争论。部分学者认为它是 700 Ma 前形成于古塔里木北缘的增生杂岩,位于冈瓦纳大陆最北缘^[41,58],有些学者则认为其形成与罗迪尼亚超大陆的聚合事件有关^[44,59,60]。Nakajima et al^[41]曾获得蓝片岩带中多硅白云母+全岩的 Rb-Sr 法测年值 (698±26)Ma 和 (714±24)Ma、K-Ar 法测年值(718±22)Ma 和(710±21)Ma,峰期变质年龄为 698~718 Ma;Liou et al^[58]用 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 法获得钠质角闪石坪年龄 754 Ma,认为峰期变质年龄应为 700~750 Ma。Zhan et al^[61]获得侵入蓝片岩的基性岩墙 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(785±31)Ma;Zhang et al^[59]报道了同地区基性岩墙的锆石 U-Pb 年龄(759±7)Ma。蓝片岩与基性岩墙的年龄

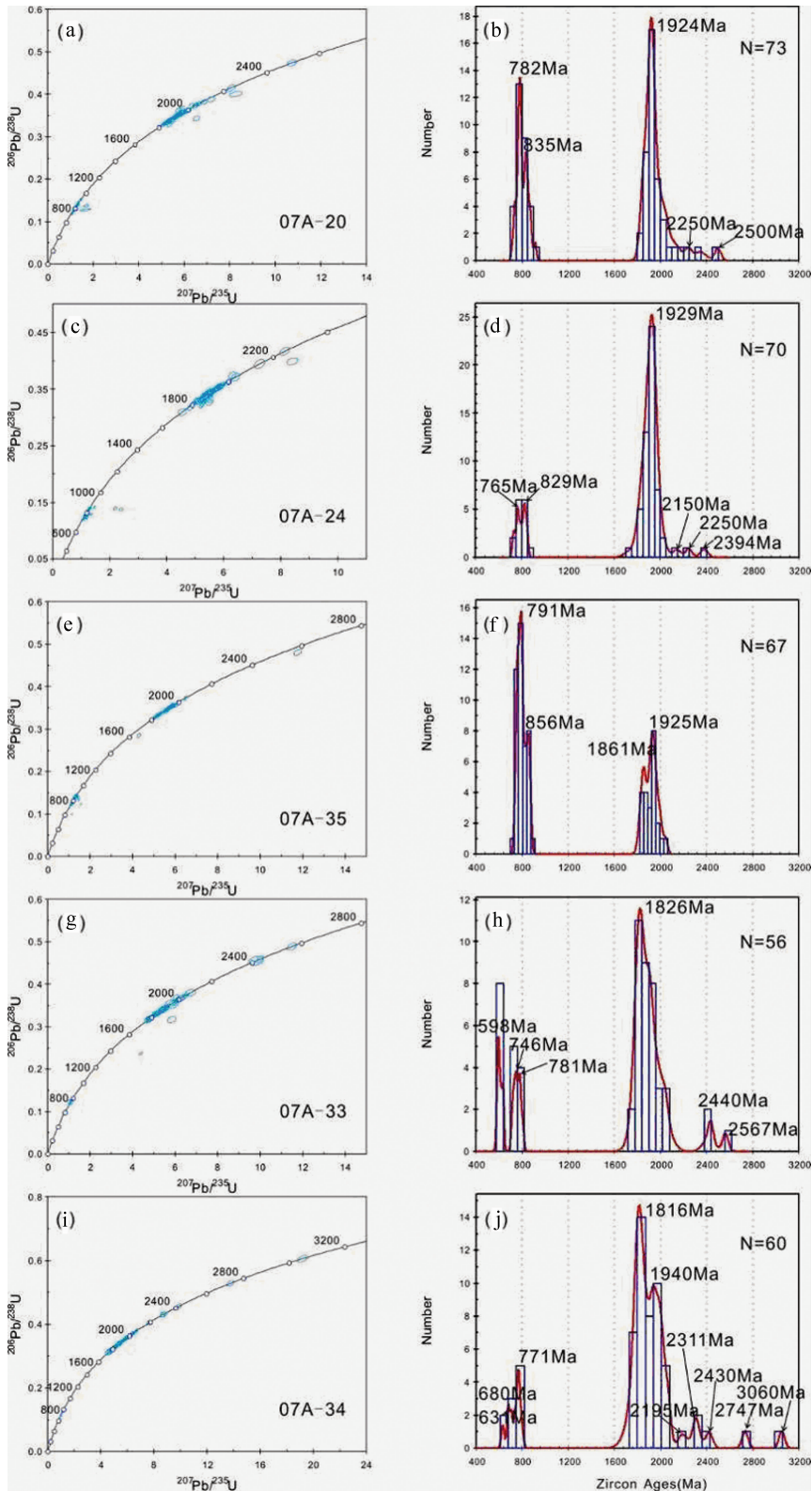


图 8 阿克苏蓝片岩基质变质杂砂岩(a-f)和盖层底部砂岩(g-j)碎屑锆石 U-Pb 谐和图和年龄谱图
Fig.8 Relative probability plots (left) and age histogram (right) of detrital zircons from meta-greywackes as matrix of the Aksu blueschists (a-f) and the sandstones from the bottom part of sedimentary cover (g-j)

数据显然是冲突的。

理论上,蓝片岩的高压变质作用应发生在阿克苏群沉积岩沉积之后、不整面上南华系砂岩沉积之前。为此,笔者等选择了蓝片岩基质的3件变质杂砂岩和上覆南华系底部的4件砂岩开展 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 测年,分别获得 210 组和 253 组共 463 组谐和年龄数据。

源自 3 件蓝片岩基质杂砂岩的 210 组数据构成了 3 个构造-岩浆时段(图 8-a~f): (1) 1850~2000 Ma, 峰值 1930 Ma 左右; (2) 800~850 Ma, 峰值 830 Ma 左右; (3) 750~800 Ma, 峰值 780 Ma 左右。最小年龄分别为 (721 ± 12) Ma、 (725 ± 10) Ma、 (732 ± 10) Ma。碎屑锆石年龄谱中没有 1300~900 Ma 时段的记录,说明该区不曾发生格林威尔造山作用。

源自不整合面上的巧恩布拉克组 2 件粉砂岩样品产生了 137 组谐和年龄数据,其峰值年龄为 952 Ma、880 Ma、848 Ma、801 Ma 和 729 Ma。

源自不整合面上的苏盖特布拉克组底部的 2 件砂岩产生了 116 组年龄数据,其源区岩石比基底更加复杂,构成多个构造-岩浆时段(图 8-g~j): (1) 2423~2305 Ma, (2) 2190~1912 Ma(峰值 1940 Ma), (3) 1897~1747 Ma(峰值 1820 Ma 左右), (4) 810~710 Ma(峰值 770 Ma 左右), (5) 640~590 Ma(峰值 598 Ma)。最小年龄为 (588 ± 12) Ma。

4.3 蓝片岩基质与盖层底部沉积碎屑的源区和构造背景

上述 3 件变质杂砂岩中最年轻锆石年龄构成了一个加权平均年龄 (727 ± 12) Ma,代表蓝片岩的基质岩石(杂砂岩)的最老沉积年龄。如果这一年龄属实,则蓝片岩的变质年龄和岩墙的侵入年龄都应小于 727 Ma。换言之,Nakajima et al^[41]关于变质峰期为 698~718 Ma 的认识应是合理的,而其他变质峰期和岩墙侵入年龄则需重新评价。源自苏盖特布拉克组底部的 2 件砂岩产生了 6 组最年轻的谐和锆石年龄(619~588 Ma),加权平均年龄为 (602 ± 13) Ma,代表了该岩组的最大沉积年龄。

因此,阿克苏蓝片岩的形成时代应在 727 Ma 之后、602 Ma 之前,阿克苏蓝片岩的形成可能与冈瓦纳大陆的聚合有关而不是与罗迪尼亚大陆的聚合有关^[62]。

阿克苏蓝片岩基质(变质杂砂岩)的主量和微量元素地球化学研究结果表明,其沉积碎屑源自活动

大陆边缘岛弧区的中酸性火成岩,推测该岛弧因后期构造作用已被剥蚀殆尽^[40,57,62,63]。

4.4 蓝片岩形成的构造模型

阿克苏蓝片岩的基质已经变质为石英片岩、云母片岩和绿泥石千枚岩,含多硅白云母矿物,其原岩为火山沉积碎屑岩和陆源碎屑岩。选择横贯蓝片岩带的地质剖面为对象,对 12 件白云母片岩中的白云母进行了系统的压力计计算,获 35 组离子 Si 的数值,均大于 3.42,属于高压-超高压多硅白云母。对比表明,形成阿克苏蓝片岩的变质压力,其剖面 SE 部(离子数 Si 数目 3.47~3.56,平均 3.52)明显大于 NW 部(3.42~3.45,平均 3.45)^[72],证实了 Nakajima et al^[41]提出的蓝片岩成因模型,即古洋壳朝 SE 向塔里木陆块之下俯冲形成蓝片岩。稍后,洋盆关闭,蓝片岩增生到古塔里木北缘,成为冈瓦纳大陆北缘的一部分。

5 结 论

1) 本研究在新疆地区厘定了 4 个古块体。库鲁克塔格是基底年代最老、岩石记录最好、测年数据最多的块体;中天山古老基底已被古生代构造-岩浆活动强烈破坏和改造,地表仅见少量元古宙变质基底出露,但在碎屑锆石年龄谱图中,则记录了与库鲁克塔格几乎完全相同的多期古构造-岩浆演化信息;伊犁块体的最老岩层为零星分布的中元古代泥砂质岩石,大量出露的是新元古代花岗岩、碎屑岩、碳酸盐岩夹火山岩,测年值 0.93~0.78 Ga;柯坪块体以阿克苏蓝片岩为特色,是个新元古代洋壳块体。

2) 从塔里木-库鲁克塔格块体侵入岩的岩浆锆石和中天山块体砂岩的碎屑锆石中获得近千组 U-Pb 年龄数据,揭示了一个古元古代初期全球陆核生长、三个全球超大陆的聚合-裂解演化信息。根据中天山与塔里木块体基本一致的年龄谱,认为二者在前寒武纪是连在一起的,属于统一的塔里木古大陆块体。

3) 研究表明,伊犁北部在新元古代早期发生的拼贴与中期发生的裂谷作用,其演化过程及时间与塔里木北缘具有可比性,反映伊犁北部曾与塔里木块体相连,至新元古代中期发生裂解分离。到早古生代晚期,伊犁与哈萨克斯坦聚合,遂成为环巴尔喀什带的重要成员。

4) 获得柯坪块体古洋壳年龄为 (890 ± 23) Ma。追踪到古大洋活动的地球化学记录:蓝片岩原岩为玄

武岩,其形成环境为洋中脊;包裹蓝片岩的变杂砂岩,其形成环境为活动陆缘岛弧区。蓝片岩的基质变杂砂岩中碎屑锆石,最年轻年龄为(727±12)Ma;覆盖于蓝片岩之上的砂岩碎屑锆石最年轻年龄为(602±13)Ma,故,高压变质时间应发生在730~602Ma。如属实,则阿克苏蓝片岩形成与冈瓦纳大陆的聚合有关,而与格林威尔造山活动无关。

致谢:本研究过程中得到李锦轶研究员、王学明研究员、肖文交研究员、郭召杰教授、王涛研究员的诸多帮助,受益匪浅。文章承蒙两位匿名审稿专家审阅,提出诸多建设性修改意见,帮助提高本文质量。野外工作得到新疆国家973项目办公室马映军、王宝林、马华东、王煜、颜启明等领导和支持与帮助,提供诸多方便。一并致谢。

参考文献(References):

- [1] Sengor A M C, Natal'in B A, Burtman B. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia [J]. *Nature*, 1993;364:299-307.
- [2] 李春昱,王荃.我国北部边陲及邻区的板块构造与欧亚大陆的形成[C]//中国北方板块构造文集(1).沈阳:中国地质科学院沈阳地质矿产研究所,1983:3-16.
Li Chunyu, Wang Quan. Plate tectonics of the northern margin of China and neighboring areas and formation of Eurasian continent [C]//Proceedings of Plate Tectonics of North China (1). Shenyang: Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources of Chinese Academy of Geological Sciences, 1983:3-16 (in Chinese).
- [3] Coleman R G. Continental growth of northwest China [J]. *Tectonics*, 1989, 8:621-635.
- [4] 李锦轶.新疆东准噶尔蛇绿岩的基本特征和侵位历史 [J]. *岩石学报*, 1995, 11(增刊):73-84.
Li Jinyi. Main characteristics and emplacement processes of the East Junggar ophiolites, Xinjiang, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1995, 11(supp.):73-84(in Chinese with English abstract).
- [5] Li Jinyi, Xiao Wenjiao, Wang Kezhao, et al. Neoproterozoic - Paleozoic tectonostratigraphy, magmatic activities and tectonic evolution of eastern Xinjiang, NW China [C]//Mao, Goldfarb, Seltmann, Wang, Xiao, Hart (eds.). *Tectonic evolution and metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan*. Proceedings of the International Symposium of the IGCP -473 Project, IAGOD Guidebook Series 10, 2003, CERCAMS/NHM London:31-74.
- [6] 舒良树,王玉净.新疆卡拉麦里蛇绿岩带中硅质岩的放射虫化石 [J]. *地质论评*, 2001, 49(4):408-412.
Shu Liangshu, Wang Yujing. Late Devonian -Early Carboniferous radiolarian fossils from Siliceous rocks of the Kelamaili ophiolite, Xinjiang [J]. *Geological Review*, 2001,49(4):408-412 (in Chinese with English abstract).
- [7] 舒良树,卢华复,印栋浩,等.新疆北部古生代大陆增生构造 [J]. *新疆地质*, 2001, 19(1):59-63.
Shu Liangshu, Lu Huafu, Yin Donghao, et al. Late Palaeozoic continental accretionary tectonics in Northern Xinjiang [J]. *Xinjiang Geology*, 2001, 19(1):59-63(in Chinese with English abstract).
- [8] 马瑞士,王赐银,叶尚夫.东天山构造格架及其演化 [M].南京:南京大学出版社,1993.
Ma Ruishi, Wang Ciyin, Ye Shangfu. *Tectonics Framework and Evolution of the East Tianshan* [M]. Nanjing: Nanjing University Press House, 1993(in Chinese with English abstract).
- [9] 马瑞士,舒良树,孙家齐.东天山构造演化与成矿 [M].北京:地质出版社,1997.
Ma Ruishi, Shu Liangshu, Sun Jiaqi. *Tectonic Evolution and metallogeny of Eastern Tianshan Mountains*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997(in Chinese with English abstract).
- [10] 李锦轶,何国琦,徐新,等.新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨 [J]. *地质学报*, 2006, 80(1):148-168.
Li Jinyi, He Guoqi, Xu Xin, et al. Crustal tectonic framework of Northern Xinjiang and adjacent regions and its formation [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80 (1):148-168 (in Chinese with English abstract).
- [12] 李锦轶,徐新.新疆北部地质构造和成矿作用的主要问题 [J]. *新疆地质*, 2004, 22(2):1-15.
Li Jinyi, Xu Xin. Major problems on geologic structures and metallogenesis of northern Xinjiang, Northwest China [J]. *Xinjiang Geology*, 2004, 22(2):1-15(in Chinese with English abstract).
- [14] Charvet J, Shu L S, Laurent-Charvet S. Paleozoic structural and geodynamic evolution of eastern Tianshan (NW China): welding of the Tarim and Junggar plates [J]. *Episodes*, 2007, 30 (3):162-186.
- [15] Charvet J, Shu L S, Laurent-Charvet S, et al. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan belt, NW China [J]. *Science in China (Earth Sciences)*, 2011, 54:166-184.
- [16] Xiao W J, Han F L, Windley B F, et al. Multiple accretionary orogenesis and episodic growth of continents: Insights from the Western Kunlun Range, Central Asia [J]. *International Geology Review*, 2003, 45:303-328.
- [17] Xiao W J, Huang B C, Han C M, et al. A review of the western part of the Altaiids: a key to understanding the architecture of accretionary orogens [J]. *Gondwana Research*, 2010, 18:253-273.
- [18] Han B F, Guo Z J, Zhang Z C, et al. Age, geochemistry, and tectonic implications of a late Paleozoic stitching pluton in the North Tian Shan suture zone, western China [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2010, 122 (3/4):627-640.
- [19] Wang B, Shu L S., Cluzel D, et al. Geochemical constraints on carboniferous volcanic rocks of Yili Block (Xinjiang, NW China): implications on tectonic evolution of western Tianshan [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2007, 29:148-159.
- [20] Wang B, Chen Y, Zhan S, et al. Primary Carboniferous and Permian paleomagnetic results from Yili Block and their geodynamic implications on evolution of Chinese Tianshan Belt [J].

- Earth and Planetary Science Letters, 2007, 263:288–308.
- [21] Wang B, Shu L S, Faure M, et al. Paleozoic tectonics of the southern Chinese Tianshan: Insights from structural, chronological and geochemical studies of the Heiyingshan ophiolitic mélangé (NW China) [J]. Tectonophysics, 2011, 497:85–104.
- [22] De Jong K, Xiao W J, Windley B F, et al. Ordovician $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ phengite ages from the blueschist-facies Ondor Sum subduction-accretion complex (Inner Mongolia) and implications for the early Paleozoic history of continental blocks in China and adjacent areas [J]. American Journal of Science, 2006, 306:799–845.
- [23] Hu A Q, Zhang Q F, Zhang G X. Age and crustal growth of the basement of Tianshan Orogenic Belt: constraints from Nd isotope compositions [J]. Sciences in China (series D), 1999, 29:104–122.
- [24] Hu A Q, Jahn B M, Zhang G X, et al. Crustal evolution and Phanerozoic crustal growth in northern Xinjiang: Nd isotopic evidence. Part I. Isotopic characterization of basement rocks [J]. Tectonophysics, 2000, 328:15–51.
- [25] Shu L S, Deng X L, Zhu W B, et al. Precambrian tectonic evolution of the Tarim Block, NW China: new geochronological insights from the Quruqtagh domain [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, 42:774–790.
- [26] Long X P, Yuan C, Sun M, et al. Archean crustal evolution of the northern Tarim craton, NW China: Zircon U–Pb and Hf isotopic constraints [J]. Precambrian Research, 2010, 180:272–284.
- [27] Ma X X, Shu L S, Santosh M, et al. Detrital zircon U–Pb geochronology and Hf isotope data from Central Tianshan suggesting a link with the Tarim Block: Implications on Proterozoic supercontinent history [J]. Precambrian Research, 2012, 206–207:1–16.
- [28] Ma X X, Shu L S, Jahn B M, et al. Precambrian tectonic evolution of Central Tianshan, NW China: constraints from U–Pb dating and in situ Hf isotopic analysis of detrital zircons [J]. Precambrian Research, 2012, 222–223:450–473.
- [29] Zhang C L, Li H K, Santosh M, et al. 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 [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, doi:10.1016/j.jseas.2011.05.018.
- [30] Guo Z J, Yin A, Robinson A, Jia C Z. Geochronology and geochemistry of deep-drill-core samples from the basement of the central Tarim basin [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2005, 25, 45–56.
- [31] Xu B, Jian P, Zheng H F, et al. U–Pb zircon geochronology and geochemistry of Neoproterozoic volcanic rocks in the Tarim Block of northwest China: implications for the break-up of Rodinia supercontinent and Neoproterozoic glaciations [J]. Precambrian Research, 2005, 136:107–123.
- [32] 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.
- [33] 邓兴梁, 舒良树, 朱文斌, 等. 新疆兴地断裂带前寒武纪构造-岩浆-变形作用特征及其年龄 [J]. 岩石学报, 2008, 24(11):2000–2808.
- Deng Xingliang, Shu Liangshu, Zhu Wenbin, et al. Precambrian tectonism, magmatism and geochronology of igneous rocks in the Xindi fault zone, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(11):2800–2808 (in Chinese with English abstract).
- [34] Shu L S, Charvet J, Guo L Z, et al. A large-scale Palaeozoic dextral ductile strike-slip zone: the Aqqikkudug–Weiya zone along the northern margin of the Central Tianshan belt, Xinjiang, NW China [J]. Acta Geologica Sinica, 1999, 73(2):148–162.
- [35] Shu L S, Charvet J, Lu H F, et al. Paleozoic accretion-collision events and kinematics of ductile deformation in the central-southern Tianshan Belt, China [J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76(3):308–323.
- [36] Shu L S, Wang B, Zhu W B, et al. Timing of initiation of extension in the Tianshan, based on structural, geochemical and geochronological analyses of bimodal volcanism and olistostrome in the Bogda Shan (NW China) [J]. International Journal of Earth Sciences, 2011, 100(7):1647–1663.
- [37] Yang T N, Li J Y, Sun G H, et al. Mesoproterozoic Continental arc type granite in the Central Tianshan Mountains: Zircon SHRIMP U–Pb dating and geochemical analyses [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82:801–809.
- [38] Dong Y P, Zhang G W, Neubauer F, et al. Syn- and post-collisional granitoids in the Central Tianshan orogen: geochemistry, geochronology and implications for tectonic evolution [J]. Gondwana Research, 2011, 20:568–581.
- [39] Ding H F, Ma D S, Yao C Y, et al. Sedimentary environment of Ediacaran glaciogenic diamictite in Guozigou of Xinjiang, China [J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54:3283–3294.
- [40] Zheng B H, Zhu W B, Jahn B M, et al. Subducted Precambrian oceanic crust: geochemical and Sr–Nd isotopic evidence from metabasalts of the Aksu blueschist, NW China [J]. Journal of the Geological Society, London, 2010, 167:1161–1170.
- [41] Nakajima T, Maruyama S, Uchiumi S, et al. Evidence for late Proterozoic subduction from 700-Myr-old blueschists in China [J]. Nature, 1990, 346:263–265.
- [42] Ma D S, Ding H F, Yao C Y, et al. Ediacaran glaciogenic diamictite in Keguerqin mountain range of Xinjiang, China: Geochemistry and paleoenvironmental evolution [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2009, 73 (13) Supplement 1, A808 (Abstract).
- [43] 高振家, 陈晋铤, 陆松年. 新疆北部前寒武系 [M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- Gao Zhenjia, Chen Junzhe and Lu Songnian. Precambrian System of the Northern Xinjiang [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993 (in Chinese with English abstract).
- [44] Lu S N, Li H K, Zhang C L, et al. Geological and geochronological evidence for the Precambrian evolution of the Tarim craton and surrounding continental fragments [J].

- Precambrian Research, 2008, 160:94–107.
- [45] Hu A Q, Grimmer, Rodges. The first-time discovery of the rock dated at 3.3 Ga in the northern margin of Tarim block, Xinjiang[J]. Chinese Science Bulletin, 1992. (7):624–630.
- [46] Ma X X, Shu L S, Santosh M, et al. Petrogenesis and tectonic significance of an early Palaeozoic mafic–intermediate suite of rocks from the Central Tianshan, northwest China [J]. International Geology Review. 2012c, doi:10.1080/00206814.2012.727575.
- [47] Windley B F, Alexeiev D, Xiao W J, et al. Tectonic models for accretion of the central Asian orogenic belt [J]. Journal of the Geological Society, London, 2007, 164:31–47.
- [48] Wang B, Jahn B M, Lo C H, et al. Structural analysis and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology of Proterozoic rocks in Sailimu area (NW China): Implication to polyphase tectonics of the North Chinese Tianshan[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, 42: 839–853.
- [49] Wang B, Jahn B M, Shu L S, et al. Middle–Late Ordovician arc–type magmatism in the NW Chinese Tianshan: Implication for the accretion of the Kazakhstan continent in Central Asia[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2012, 49:40–53.
- [50] Zhao G C, Sun M, Wilde S A, et al. A Pale–Mesoproterozoic supercontinent: assembly, growth, and breakup [J]. Earth–Science Reviews, 2004, 67:91–123.
- [51] Rogers J JW, Santosh, M. Configuration of Columbia, a Mesoproterozoic supercontinent [J]. Gondwana Research, 2002, 5: 5–22.
- [52] Yao J L, Shu L L, Santosh M. Detrital zircon U–Pb geochronology, Hf–isotopes and geochemistry—New clues for the Precambrian crustal evolution of Cathaysia Block, South China[J]. Gondwana Research, 2011, 20:553–567.
- [53] Yao J L, Shu L L, Santosh M, et al. Precambrian crustal evolution of the South China Block and its relation to supercontinent history: constraints from U–Pb ages, Lu–Hf isotopes and REE geochemistry of zircons from sandstones and granodiorite [J]. Precambrian Research, 2012, 208–211:19–48.
- [54] Lei R X, Wu C Z, Chi G X, et al. Petrogenesis of the Paleoproterozoic Xishankou 1 pluton in the Quruqtagh domain of the northern Tarim Block, NW China: Implications for the assembly of the Pale–Mesoproterozoic Columbia supercontinent. Gondwana Research, 2013, in press.
- [55] Lei R X, Wu C Z, Gu L X, et al. Zircon U–Pb Chronology and Hf isotope of the Xingxingxia granodiorite from the Central Tianshan zone (NW China): Implications for the tectonic evolution of the southern Altai [J]. Gondwana Research, 2011, 20:582–593.
- [56] Zhu W B, Zheng B H, Shu L S, et al. Geochemistry and SHRIMP U–Pb zircon geochronology of the Korla mafic dykes: Constrains on the Neoproterozoic continental breakup in the Tarim Block, northwest China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011a, 42: 791–804.
- [57] Zhu W B, Zhang Z Y, Shu L S, et al. SHRIMP U–Pb zircon geochronology of Neoproterozoic Korla mafic dykes in the northern Tarim Block, NW China: implications for the long–lasting breakup process of Rodinia [J]. Journal of the Geological Society, London, 2008, 165:887–890.
- [58] 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(3):228–244.
- [59] Zhang C L, Li Z X, Li X H, et al. Neoproterozoic mafic dyke swarms at the northern margin of the Tarim Block, NW China: age, geochemistry, petrogenesis and tectonic implications[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 35:167–179.
- [60] Chen Y, Xu B, Zhan S, et al. First mid–Neoproterozoic paleomagnetic results from the Tarim Basin (NW China) and their geodynamic implications [J]. Precambrian Research, 2004, 133: 271–281.
- [61] Zhan S, Chen Y, Xu B, et al. Late Neoproterozoic paleomagnetic results from the Sugetbrak Formation of the Aksu area, Tarim basin (NW China) and their implications to paleogeographic reconstructions and the snowball earth hypothesis [J]. Precambrian Research, 2007, 154: 143–158.
- [62] Zhu W B, Zheng B H, Shu L S, et al. Neoproterozoic tectonic evolution of the Precambrian Aksu blueschist terrane, northwestern Tarim, China: Insights from LA–ICP–MS zircon U–Pb ages and geochemical data[J]. Precambrian Research, 2011, 185:215–230.
- [63] Zhang Z Y, Zhu W B, Shu L S, et al. Multi–stage exhumation of the NE Tarim Precambrian bedrock, NW China: constraints from apatite fission track thermochronology in the Kuluketage area [J]. Terra Nova, 2011, 23:324–332.
- [64] 邵学钟, 张家茹, 范会吉. 塔里木盆地地壳深部构造的地震转换波探测和研究[C]//童晓光, 梁狄刚, 贾承造主编. 塔里木盆地石油地质研究新进展. 北京: 科学出版社, 1996:139–149.
- Shao Xuezhong, Zhang Jiuru, Fan Huijie. Investigation of deep structure of Earth's crust in Tarim Basin by method of converted waves of earthquakes [C]//Tong X G, Liang D G, Jia C Z (eds). New Advances on Researches of Petroleum Geology of Tarim Basin. Beijing: Science Press, 1996:139–149.
- [65] 殷秀华, 刘占坡, 黎益仕. 塔里木盆地重力场与地壳深部构造[C]//童晓光, 梁狄刚, 贾承造主编. 塔里木盆地石油地质研究新进展. 北京: 科学出版社, 1996:178–187.
- Yin Xiuhua, Liu Zhanpo, Li Yishi. Characteristics of the gravity field and deep structures of the crust in Tarim Basin [C]// Tong X G, Liang D G, Jia C Z (eds). New Advances on Researches of Petroleum Geology of Tarim Basin. Beijing: Science Press, 1996: 178–187.
- [66] 李曰俊, 贾承造, 胡世玲, 等. 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, 1999, (4):594–599.
- Li Yuejun, Jia Chengzao, Hu Shiling, et al. $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ age of the Wajilitag gabbro in the western Tarim Basin and the tectonic significance [J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, (4):594–599.

- [67] 李曰俊, 孙龙德, 胡世玲, 等. 塔参 1 井花岗岩闪长岩和闪长岩的 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 年龄[J]. 岩石学报, 2003, 19(3):530-536.
Li Yuejun, Jia Longde, Hu Shiling, et al. $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ geochronology of the granite and the diorite revealed at the bottom Tacan 1, the deepest well in China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 19(3):530-536(in Chinese with English abstract).
- [68] 李曰俊, 宋文杰, 吴根耀, 等. 塔里木盆地中部隐伏的晋宁期花岗岩闪长岩和闪长岩[J]. 中国科学(D 辑), 2005, 35 (2):97-104.
Li Yuejun, Song Wenjie, Wu Genyue, et al. The buried Jinning Period granodiorite and diorite in the meiddle part of Tarim Basin [J]. Science in China (Ser. D), 2005, 35 (2):97-104 (in Chinese).
- [69] 宋文杰, 李曰俊, 胡世玲, 等. 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, 2003, 24(4):284-285.
Song Wenjie, Li Yuejun, Hu Shiling, et al. Rstudy on the $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ age of the Wajilitag basic-ultrabasic complex in the western Tarim Basin [J]. Xinjiang Petroluem Geology, 2003, 24 (4): 284-285 (in Chinese with English abstract).
- [70] 吴海林, 朱文斌, 舒良树, 等. Columbia 超大陆聚合事件在塔里木克拉通北缘的记录[J]. 高校地质学报, 2012, 18(4):686-700.
Wu Hailin, Zhu Wenbin, Shu Liangshu, et al. Records of the assemblage event of Columbia supercontinentin the northern Tarim Craton [J]. Geological Journal of China Universities, 2012, 18(4): 686-700 (in Chinese with English abstract).
- [71] Zhang Z Y, Zhu W B, Shu L S, et al. Neoproterozoic ages of the Kuluketage diabase dyke swarm in Tarim of northwest China and its relationship to the breakup of Rodinia [J]. Geological Magazine, 2009, 146(1):150-154.
- [72] 黄文涛, 于俊杰, 郑碧海, 等. 新疆阿克苏前寒武纪蓝片岩中多硅白云母的研究[J]. 矿物学报. 2009, 29:338-343。
Huang Wentao, Yu Junjie, Zheng Bihai, et al. Study on Phengite in Aksu Precambrian Blueschists, Xin jiang [J]. Acta Mineralogical Sinica, 2009, 29:338-343(in Chinese with English abstract).

The formation and evolution of ancient blocks in Xinjiang

SHU Liang-shu, ZHU Wen-bin, WANG Bo, WU Chang-zhi,
MA Dong-sheng, MA Xu-xuan, DING Hai-feng

(State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, School of Earth Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China)

Abstract: Four Precambrian block, i.e., Kuruk Tag-Tarim, Central Tianshan, Yili and Kepin, were recognized in Xinjiang on the southern margin of Central Asian orogenic belt. Studies show that (1) the Central Tianshan block has a close affinity with Tarim-Kuruk Tag block, as evidenced by similar pre-Nanhua basement, similar rock assemblages and tectono-magmatic evolutionary processes, implying that Kuruk Tag might be connected with Central Tianshan, and that the Kuruk Tag and Central Tianshan blocks were parts of the Tarim craton during Proterozoic period; (2) the Central Tianshan is a sub-block which was split from the northern Tarim craton during Neoproterozoic Nanhua period, and the Paleozoic Southern Tianshan oceanic basin was developed between the two blocks; (3) the Yili block was similar to the Tarim craton before Neoproterozoic Nanhua period in such aspects as rock assemblages, stratigraphic sequences, tectonic settings and evolution, showing some affinities for Tarim craton. After Nanhua period, geological differences between two blocks became obvious, and in Paleozoic, the Yili block might be linked with the Balkhash block, and in Silurian, two blocks amalgamated; (4) the Kepin block is an oceanic crustal terrane completely different from Kuruk Tag, Central Tianshan and Yili blocks in terms of rock assemblages, stratigraphic sequences, ages and evolutionary history. Evidence from geological, magmatic and geochronological features and distribution of detrital zircon U-Pb ages show that Precambrian blocks (Kuruk Tag-Tarim, Central Tianshan, Yili and Kepin) of the northern Xinjiang region recorded abundant information of crustal deformation and magmatism during the early evolution of the Earth, suggesting a strong response to the global polyphase tectonic and magmatic events, including growth of the global continental core, assembly of the global Columbia, and assembly and breakup of the global Rodinia supercontinent. In contrast to the Kuruk Tag-Tarim, Central Tianshan and Yili blocks, the Kepin block preserved some records of the assembly event of Gondwana.

Key words: ancient blocks; tectono-magmatism; assembly and breakup; supercontinent; Central Asian orogenic belt; northern Xinjiang region

About the first author: SHU Liang-shu, male, born in 1951, doctor, professor, engages in the study of orogen and continental dynamics; E-mail: Lsshu2003@yahoo.com.cn.