

doi: 10.13745/j.esf.2015.03.025

塔里木盆地南华纪—震旦纪盆地类型及早期成盆构造背景

周肖贝^{1,2}, 李江海^{1,2}, 王洪浩¹, 李文山¹, 程雅琳¹

1. 北京大学 地球与空间科学学院 造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京 100871
2. 成都理工大学 国土资源部构造矿产成藏重点实验室, 四川 成都 610059

ZHOU Xiaobei^{1,2}, LI Jianghai^{1,2}, WANG Honghao¹, LI Wenshan¹, CHENG Yalin¹

1. MOE Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China
2. MLR Key Laboratory of Tectonic Controlled Mineralization and Oil Reservoir, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

ZHOU Xiaobei, LI Jianghai, WANG Honghao, et al. The type of prototypic basin and tectonic setting of Tarim Basin formation from Nanhua to Sinian. *Earth Science Frontiers*, 2015, 22(3): 290-298

Abstract: The prototype and tectonic evolution of Tarim Basin from the Nanhua to the Sinian Period are discussed based on the field observations in the northern margin of Tarim Basin and combined with seismic interpretation and comparison of drilling wells' data. It is concluded that the Tarim block aggregated into Rodinia supercontinent at latest and departed from Gondwana supercontinent at the earliest, which caused that the continental rift system mainly formed in Northeast and Southwest Tarim. Neoproterozoic diamictite and multi-phased igneous events impacted the whole Tarim block. The northern and southern parts of Tarim show distinct differences; the northern has undergone extensional events corresponding to the breakup of Rodinia and crustal thinning during the Sinian-Cambrian Period and developed graben basins and Sinian strata that were gradually pinching out in the central Tarim and mainly distributed in the north as the depocenter; the south may have been the uplift-erosion area for a long period, and the southern margin was possibly involved plate in marginal subduction, accretion and uplift in the late Neoproterozoic.

Key words: Tarim Basin; Nanhua; Sinian; prototypic basin; Precambrian

摘要:通过对比塔里木盆地南华系—震旦系盆缘露头和盆内岩心,辅以全盆地震解释成果的制约探讨盆内震旦系分布特征,同时结合大地构造背景恢复探讨其早期原型盆地及构造演化。塔里木陆块在罗迪尼亚超大陆聚合过程中加入较晚并且于南华纪最早裂离,发育新元古代冰碛岩和多期火成岩事件,大陆裂谷广泛发育,在盆地东北和西南地区优先发育,塔东南阿尔金地区进入寒武纪后开始发育。盆地南北缘差异明显,南华—震旦纪北部发育伸展断陷,并且在东北部发生强烈伸展,塔里木北部存在东西向裂谷以及满加尔拗拉谷,震旦系主要分布在塔里木盆地北部,该地区为主要的沉积中心,北部沉积在盆地中部地区尖灭,南部地区可能长期为隆起剥蚀区,南缘在新元古代晚期可能涉及陆缘的俯冲增生改造抬升。

关键词:塔里木盆地;南华纪;震旦纪;原型盆地;前寒武纪

中图分类号:P618.130.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2321(2015)03-0290-09

南华系—震旦系为塔里木盆地较早的沉积盖 控制了塔里木盆地之后的沉积—构造演化历史。前
层,以角度不整合覆盖于变质基底之上,其构造格局 人对塔里木盆地周边露头区震旦系—寒武系剖面

收稿日期:2014-03-03;修回日期:2014-09-06

基金项目:国家重点基础研究发展计划“973”项目(2009CB219302);国土资源部构造矿产成藏重点实验室开放基金项目(gzck2012004)

作者简介:周肖贝(1989—),女,博士研究生,主要从事油气地质研究。E-mail: xiaobeiyixin@gmail.com

开展了层序和地质事件研究^[1-3],但对盆内覆盖区研究相对较少,这主要是与盆内前寒武系埋藏较深、早期地震资料品质较差有关,对早期原型盆地的恢复研究也相对薄弱。随着塔里木盆地深层油气勘探的突破,深层勘探力度不断加大,盆缘露头研究趋于细化,盆内深钻井数量也不断增多,深层地震资料品质不断提高,开展对塔里木盆地早期原型盆地的研究,无论对于中新元古代罗迪尼亚(Rodinia)超大陆恢复,还是对塔里木盆地初始成盆过程以及对其深层油气的勘探等,都具有重要的地质意义。

本文基于对塔西北缘新元古界—寒武系剖面(包括库勒西剖面、什艾日克剖面、肖尔布拉克东沟剖面、肖尔布拉克西沟剖面、苏盖特布拉克剖面 and 乌什剖面)和塔东北缘库鲁克塔格地区南区南雅尔当山剖面的研究,通过盆内连井剖面以及全盆二维地震资料和部分三维工区地震资料的解译,对南华系—震旦系的分布特征等进行探讨,同时,借助于古地磁资料的研究成果,综合探讨塔里木盆地早期成盆过程。

1 地质背景

塔里木盆地作为中国西部大陆面积最大的含油气沉积盆地,发育在塔里木陆块中部稳定区,由古生代克拉通盆地、中生代断陷和新生代前陆拗陷等多种叠置方式而成的叠合盆地^[4-6],油气资源丰富。该

盆地处于中亚古生代造山带与特提斯造山带之间,周缘为天山造山带、西昆仑造山带和阿尔金山造山带所围绕(图1)。塔里木变质基底为陆块中—新元古代增生拼合的产物,布格重力异常和航磁异常均指示塔中构造带呈向南凸出的弧形轮廓,并且显示多条亚带^[7-8],为新元古代陆块南缘向北持续俯冲增生的产物。自新元古代晚期以来,塔里木陆块以及周缘地区涉及了古亚洲洋盆和特提斯洋盆的开启、俯冲和闭合,以及与附近的微陆块的碰撞造山作用,发生了多期构造和岩浆事件^[9]。

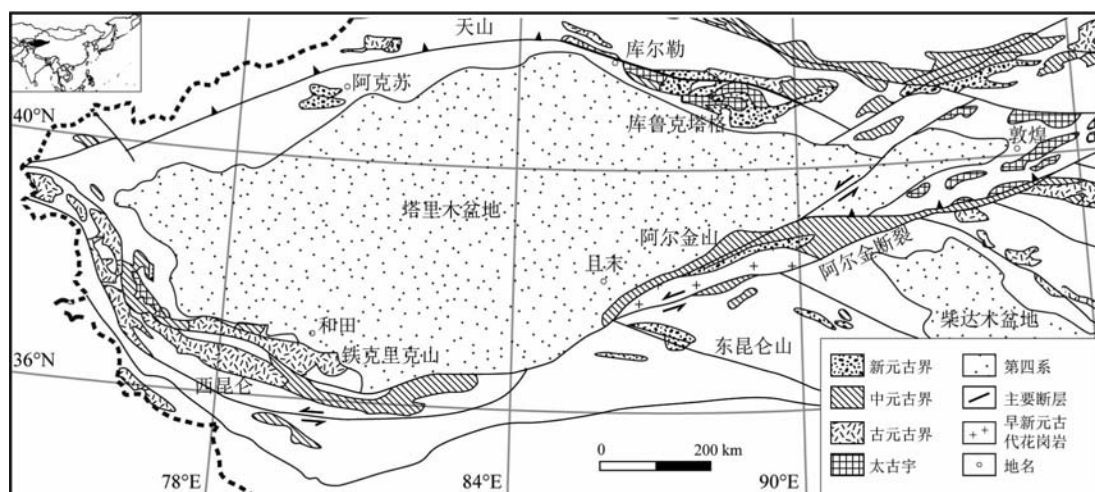
2 塔里木盆地南华系—震旦系分布

2.1 盆缘南华系—震旦系分布

塔里木盆地腹地被沙漠覆盖,地层露头主要沿盆缘分布。南华系—震旦系主要出露于盆地西北缘阿克苏—乌什地区、东北缘库鲁克塔格地区和西南缘铁克里克地区(图1)。

2.1.1 塔里木盆地西北缘

塔西北南华系在乌什地区巧恩布拉克组和尤尔美那克组出露,自下而上包括巧恩布拉克组和尤尔美那克组。巧恩布拉克组为一套浅—深海相碎屑岩、冰碛岩,代表寒冷气候条件下浅—深海冰水浊流碎屑沉积。尤尔美那克组为大陆冰川堆积的紫红色冰碛岩、砂岩,角度不整合于巧恩布拉克组之上,冰期大致相当于塔东北库鲁克塔格地区特瑞爱肯组冰期沉积^[11]。



虚线示意国界,内附图示意盆地位置,黑色表示塔里木盆地。

图1 塔里木盆地前寒武露头分布图

(据文献^[10]修改)

Fig. 1 Simplified Precambrian geological map of Tarim Basin and adjacent areas

震旦系不整合于阿克苏群片岩结晶基底之上,自下而上为苏盖特布拉克组和奇格布拉克组。苏盖特布拉克组底部部分地区存在底砾岩(如库勒西剖面),主要为河流相和湖相紫红色砂岩及粉砂岩,夹2~3层玄武岩,顶部为细碎屑岩-碳酸盐岩沉积。震旦系仅在部分地区存在风化壳,表明在初始伸展阶段形成小的、孤立的沉积中心。奇格布拉克组平行不整合于苏盖特布拉克组之上,主要为厚层碳酸盐岩沉积,底部发育少量碎屑岩,主要在库勒西剖面和肖尔布拉克西沟剖面出露较好(图2)。

2.1.2 塔里木盆地东北缘

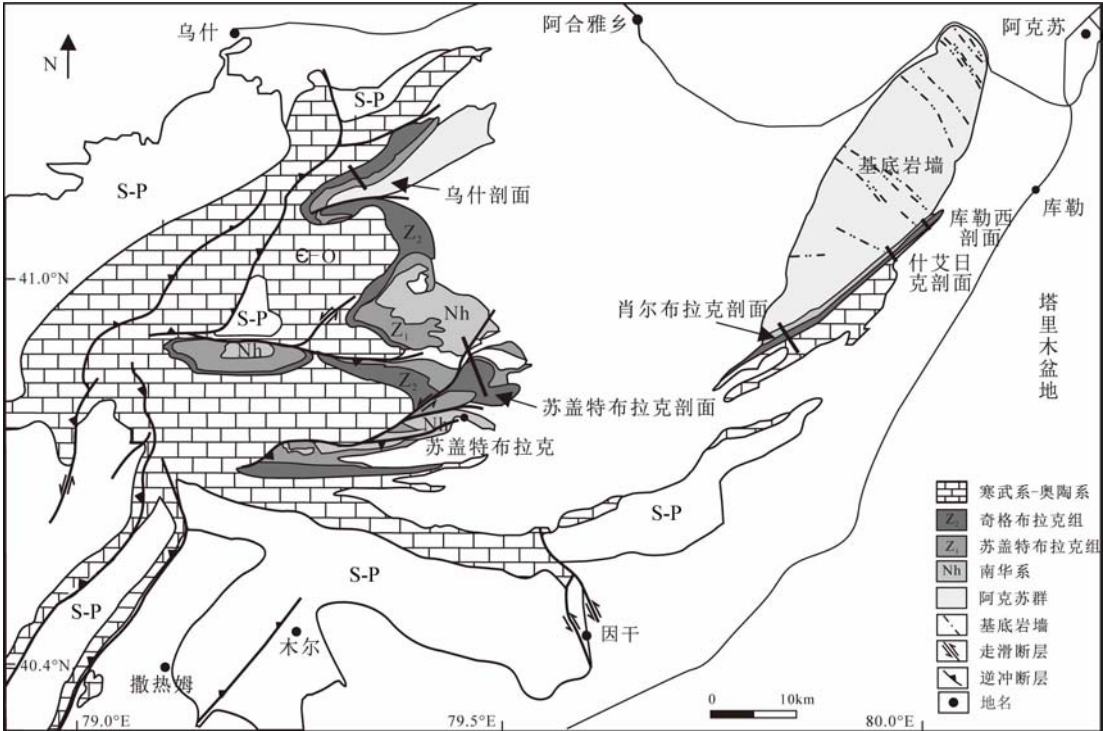
塔东北库鲁克塔格地区南华系不整合于青白口系帕尔岗塔格群之上(图3),自下至上为贝义西组、照壁山组、阿勒通沟组和特瑞爱肯组。贝义西组主要为巨厚火山岩,夹多层冰碛岩;照壁山组在南区未见,仅出露于北区;阿勒通沟组主要为一套灰绿色冰碛岩沉积,顶部为盖帽白云岩、黑色碳质页岩(含膏)与薄层硅质岩互层,可能对应于全球 Sturtian 冰期事件^[13]。特瑞爱肯组主要为深灰色一灰色冰碛砾岩,夹砂岩及少量碳酸盐岩,对应于 Marinoan 冰期^[14-16]。

震旦系不整合于南华系之上,自下而上为扎摩克提组、育肯沟组、水泉组和汉格尔乔克组。扎摩克提组以细粒长石砂岩、岩屑砂岩、粉砂岩互层为主,发育小型交错层理,为三角洲前缘沉积;育肯沟组主要为石英砂岩与深灰色薄一中层粉砂质泥岩、粉砂岩互层,为三角洲平原沉积;水泉组底部为灰黄色薄一中层泥粉晶砾屑云岩夹泥晶云岩,上部为灰绿色薄层泥岩夹紫红色粉砂岩、灰黄色薄层泥晶云岩,发育纹层构造,整体为混积潮坪相沉积;汉格尔乔克组下部为黄绿色冰碛岩;上部为盖帽白云岩,推断为冰川沉积-潮间带沉积,可对应全球 Gaskier 冰期事件^[15,17]。

2.1.3 塔里木盆地西南缘

塔里木盆地西南缘南华系一震旦系从西北部的坎地里克到东南部的塔斯洪河均有出露,以新藏公路—哈拉斯坦河一带出露较全,属塔南地区分区铁克里克小区。

南华系与下伏地层青白口系苏库罗克群不整合接触,自下而上为牙拉古孜组、波龙组、克里西组和雨塘组。牙拉古孜组主要为一套红色底砾岩夹砂岩、砂砾岩及粉砂质泥岩的岩石序列;波龙组主要为

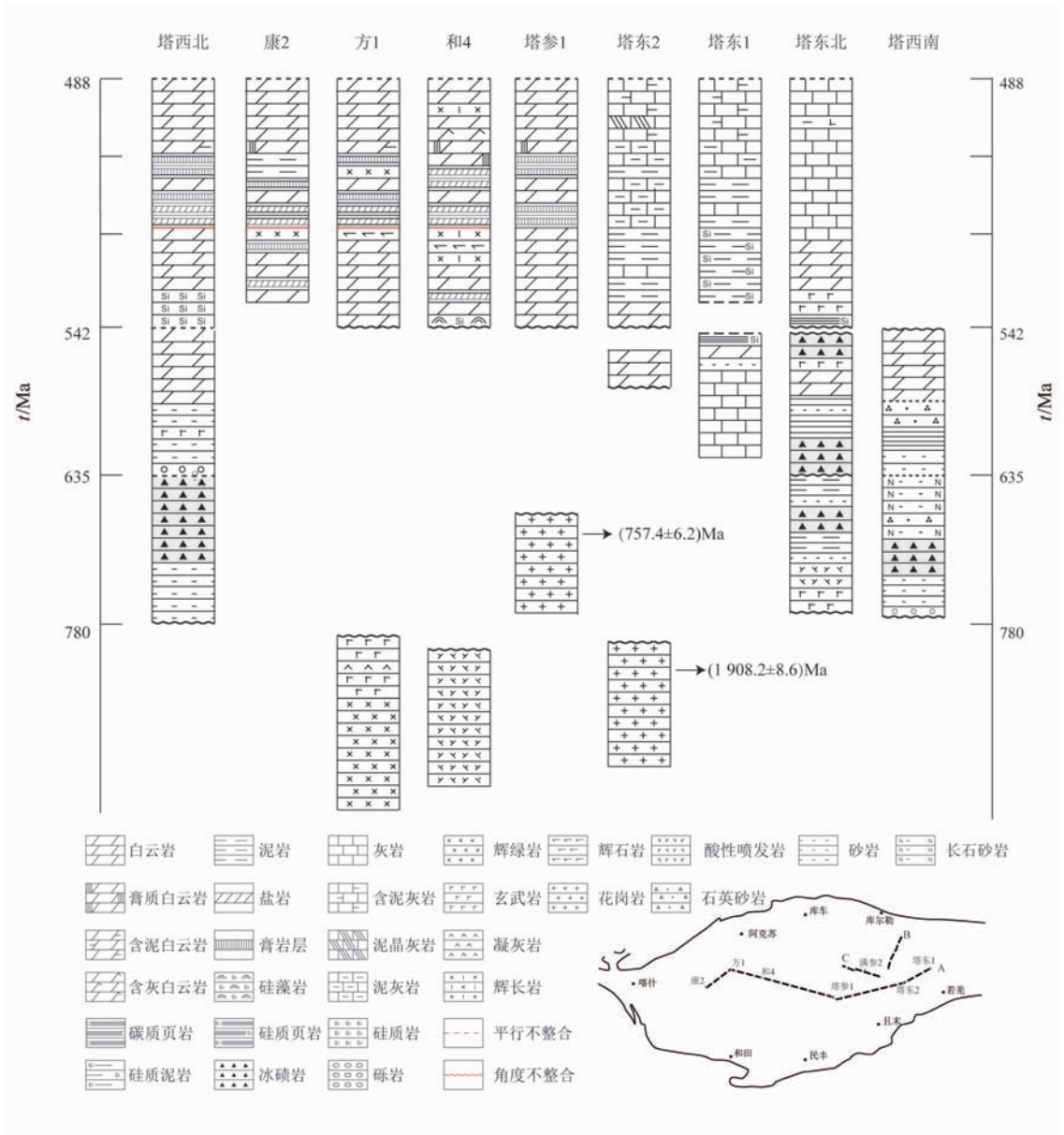


Nh:南华系; Z₁:下震旦统苏盖特布拉克组; Z₂:上震旦统奇格布拉克组; C:寒武系; O:奥陶系; S-P:志留系一二叠系。

图2 塔里木盆地西北缘南华系一震旦系露头分布图

(据文献[12]修改)

Fig.2 Distribution of Nanhua-Sinian field outcrop in northwest Tarim Basin



连井剖面位置见右下附图A,阴影区示意冰碛岩层,塔参1井和塔东2井火山岩年龄据文献[18]。
右下附图中A为连井剖面位置,BC分别为地震剖面位置线,剖面信息分别见图5a、b。

图3 塔里木盆地南华系—寒武系盆缘露头与盆内钻井剖面对比图
Fig.3 Stratigraphic correlation of wells and field outcrop in the Tarim Basin

灰色冰碛岩,夹有硅质泥岩、粉砂岩、页岩及浊积砂岩和碎屑流砾岩;克里西组下段为灰绿色砂岩段,上段为泥硅质岩;雨塘组主要为砂质块状混积岩及长石砂岩的岩石序列,与上覆震旦系平行不整合接触^[19-21]。

震旦系自下而上为库尔卡克组和克孜苏胡木组。库尔卡克组以薄层砂岩、页岩互层为主,底部发育一层白云岩为分界标志;克孜苏胡木组下部以泥质粉砂岩与粉砂质(砂质)白云岩不等厚互层

为特征,上部主要以白云岩为主,偶夹灰绿色石英砂岩^[21]。震旦系与上覆泥盆系奇自拉夫群不整合接触。

2.2 盆内南华系—震旦系分布特征

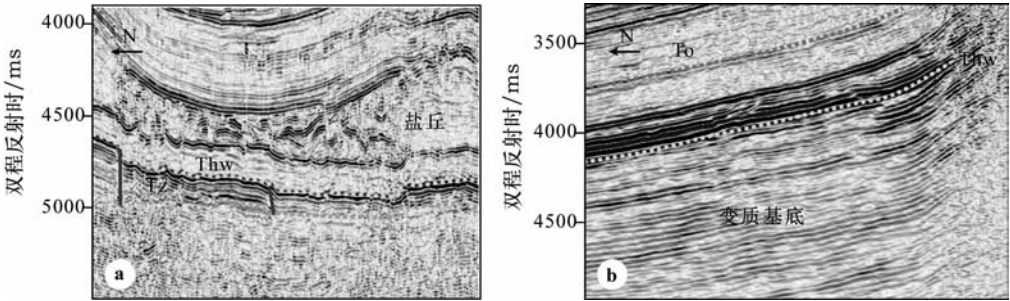
塔里木盆地内部塔东低凸起和塔北隆起等皆有钻井钻遇震旦系,包括塔东低凸起上的塔东1井和塔东2井,塔北隆起中部的沙3井、沙8井和星火1井,尉犁1井,柯坪断隆上的同1井等(图3)^[22-23]。其中塔东1井和塔东2井均钻遇震旦系白云岩,但

塔东2井仅钻遇震旦系24 m,顶部为砂屑灰岩,中下部为白云岩夹含泥质白云岩,该套地层属碳酸盐岩台地相沉积,其下为前震旦系花岗岩,而其东部的塔东1井钻遇震旦系91.3 m仍未钻穿,为残余砂屑细晶白云岩和微晶白云岩,与下伏前震旦系花岗岩不整合接触。塔东1井以东可能均为深海沉积,火山活动较弱。尉犁1井震旦系钻遇泥岩、硅质泥岩夹少量泥质白云岩;同1井钻遇震旦系208 m,以砂岩和火山岩为主^[23];星火1井钻遇震旦系下部主要为泥晶灰岩,而上部以白云岩为主。但也有多数钻井钻遇前震旦系基底而缺失震旦系,诸如中央隆起带上的方1井、和4井、塔参1井和中深1井,塔北隆起的提1井、牙哈2井,南部的民参1井、民参2井以及东部的英东2井等。

方1井的玄武岩和辉绿岩与上覆寒武系呈不整合接触。和4井在寒武系之下钻遇酸性火山岩。塔中隆起的塔参1井钻穿寒武系之后直接钻遇花岗闪

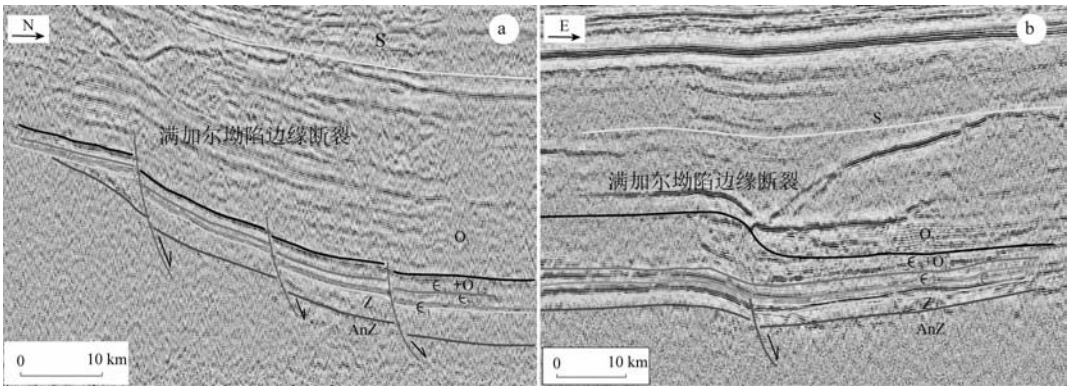
长岩((757.4±6.2) Ma)^[18]和闪长岩^[24],未见震旦系和南华系。中深1井花岗岩((1 895±1) Ma)^[23]与上覆寒武系白云岩不整合接触,塔中隆起古构造高部位可能无震旦系,代表断陷下盘的抬升剥蚀基底。英东2井也是如此,寒武系之下即钻遇前震旦系花岗岩((722±3) Ma)^[23]。

塔北三维地震工区震旦系较平缓,整体上从北西往东南埋深略增大,厚度变化不大,与上覆寒武系平行不整合接触(图4a),局部正断层发育,影响到上覆中寒武统盐丘的发育。盆地南部的玛南工区,寒武系直接覆盖在变质基底之上,未见震旦系(图4b)。对塔里木盆地二维测线的解释可在多条南北向剖面上识别出震旦系的尖灭点,塔中地区北部存在震旦系沉积。整体来看,塔里木盆地震旦系沉积物目前主要存在于北部,在盆地中部趋于尖灭,东部满加尔坳陷震旦系厚度较大,可达1 250 m左右,向东厚度逐渐减小(图5)。



a—塔北隆起英买1_2工区南北向地震剖面图;b—塔里木盆地南部玛南工区南北向地震剖面图,地震剖面位置见图6中a、b。To—奥陶系底界;Thw—寒武系底界;Tz—震旦系底界。

图4 塔里木盆地盆内地震剖面图
Fig. 4 Seismic profiles in the Tarim Basin



图a为塔里木盆地地震剖面上的满加尔南缘断裂带,剖面位置见图3内附图中的B剖面线;图b为塔里木盆地地震剖面上的满加尔西北缘断裂,剖面位置见图3内附图中的C剖面线;AnZ—前震旦系;Z—震旦系;E₁—下寒武统;E₂—中寒武统;E₃—上寒武统;O₁₋₂—中一下奥陶统;O₃—上奥陶统;S—志留系。

图5 满加尔凹陷边缘断裂在不同剖面上的构造样式
Fig. 5 Structural features of Manjia'er depression boundary fault in different cross-sections

3 塔里木盆地深层构造样式

南华纪—震旦纪塔里木盆地为大陆裂谷系环境,具有断拗双层结构特征^[25]。塔北南华系—震旦系向塔中隆起逐渐减薄消失,后者代表裂谷期的下盘。南华系—震旦系发育正断层系,满加尔出现拗拉谷,指示盆地北部发生的伸展作用。满加尔拗拉谷由西缘和南缘两组基底正断层控制形成,并造成南华系、震旦系和寒武系厚度向拗陷内增大。其中,西缘北北东向边界断裂向东倾,南缘出现北西西向到近东西向3条正断层,均大体向北倾。北西西向断裂其自前震旦系基底向上断入奥陶系(图5a)。西缘断裂则由基底断入中—下寒武统(图5b),该断裂上盘震旦系厚度明显较下盘大,可见其对震旦系沉积的控制非常明显。

震旦纪至早—中寒武世,塔中为近东西向被动大陆边缘浅海碳酸盐岩台地边缘斜坡或拗陷,发育向北倾为主、部分南倾的张性断裂,斜坡总体向北倾。台盆区发现断陷、正断层系,一些地区可以识别出南华纪—震旦纪明显的断陷—拗陷二元结构^[26],揭示早期成盆伸展构造。

塔里木盆地震旦—寒武系断裂系统分布主要以向北倾斜的近东西—北西向阶梯状正断层系为主。震旦纪塔里木盆地整体处于北东—南西向的伸展应力作用环境,并且受东南边界活动陆缘隆起区的影响,盆地内部应力场方向分布较复杂。典型构造样式为分别为平缓型、阶梯型、对冲反转型和逆冲推覆型。其中平缓型主要分布于塔北地区,震旦纪处于稳定沉积状态;阶梯型主要分布于塔东地区,为最早发育裂谷的位置;对冲反转型在西北部发育,尤其是与中寒武统盐构造相关,为早期拉张环境形成的小型断陷后期反转;逆冲推覆型则主要在塔中地区常见,控制了震旦系南缘的尖灭。

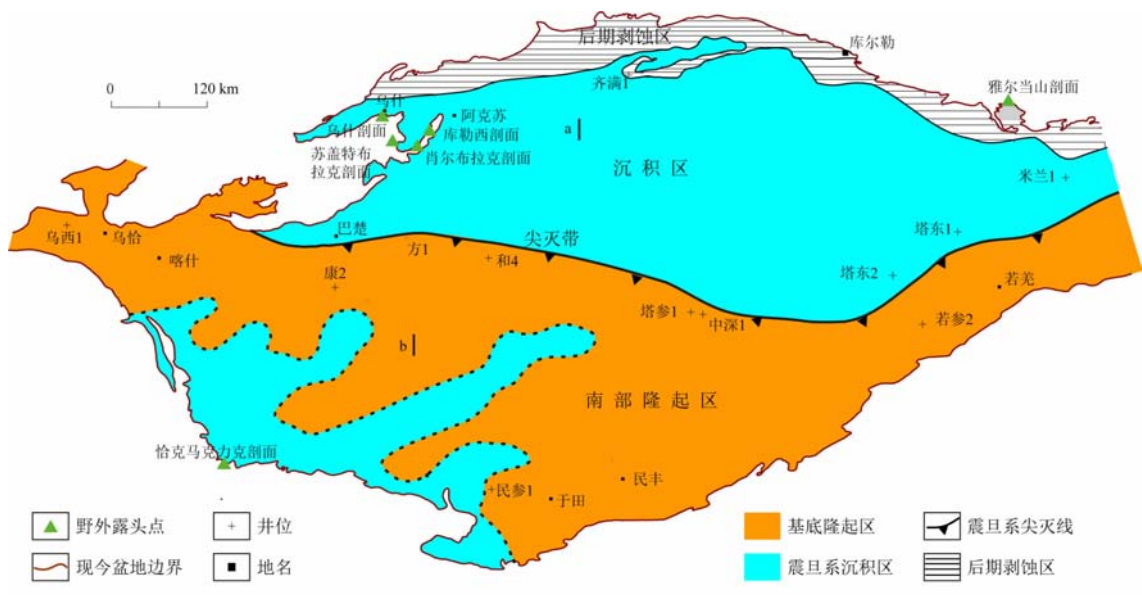
4 南华纪—震旦纪成盆构造背景探讨

南华纪到寒武纪期间塔里木陆块持续从中高北纬向赤道地区运动,长期处于罗迪尼亚超大陆西北缘,北缘(现今方位)邻近澳洲西北缘^[27-28],两者之间于南华纪就开始形成大陆裂谷系,在塔里木东北缘形成满加尔拗拉谷,但塔里木与澳洲之间仍为减薄的大陆地壳相裂解,未形成宽阔大洋

盆地。塔里木盆地南华系—震旦系是基底拼合后第一次大规模海侵时期产物,以滨海—浅海相碎屑岩及冰碛岩为特征。塔里木盆地南华—震旦纪期间长期处于超大陆最北端及超大陆与海洋交界的位置,这可能是全球雪球背景下塔里木盆地具有较多冰期记录的原因(图3)。南华—震旦系向塔中隆起逐渐尖灭,塔中隆起高部位不存在震旦系,推测当时塔里木陆块主要在中部地区出现山脉或高地(图6),塔中和塔里木东南部为冰盖的天窗陆地、冰碛物物源,向四周为低平的滨岸—陆架,冰川沉积向海洋运动,并形成大量的冰碛岩堆积,库鲁克塔格地处满加尔拗拉谷位置,地形低洼,为南华—震旦系沉积提供了较好场所,厚度较其他地区较大(图7)。

塔西南地区目前尚未有钻井钻遇南华—震旦系,整个地区在航磁图上表现为北东向的高磁异常与低磁异常带相间的特征^[29-30],铁克里克山可作为塔西南结晶基底向西南的延伸,新元古界作为沉积盖层不整合其上,西南缘铁克里克地区存在南华—震旦系露头,可能可以向盆内进行延伸(图6)。

南华—震旦纪为塔里木盆地裂谷发育期,裂谷可以分为东西两支^[22,31],盆地东部形成库满拗拉槽,盆地西部主要为克拉通内拗陷。东支裂谷发育于盆地东北地区的满参1井—塔东1井至库鲁克塔格地区。西支裂谷发育于阿瓦提—巴楚至塔西南地区,即满西1井—皮西1井至昆仑山一带。东支裂谷发育较成熟,地震剖面上可见较多正断层,西支裂谷发育较差,正断层较少。全盆震旦系分布广泛,整体呈现隆起剥蚀区—台地—斜坡—盆地等的古地理组合特征^[32]。塔里木盆地西南缘以滨岸到陆棚沉积为主;塔里木盆地西北缘,中部和东部以碳酸盐台地的局限台地沉积为主,南华纪到震旦纪期间,塔里木盆地南部地区长期可能为隆起剥蚀区,以阿尔金洋与阿尔金相隔,阿尔金北缘蛇绿岩带研究获得的年龄主要集中于中寒武世—早奥陶世^[33-35],至少在中寒武世之前就已经存在洋壳,推断南缘阿尔金震旦纪可能早期处于洋壳形成的拉张背景(图7),但南部普遍存在的剥蚀隆起区可能预示在新元古代晚期陆缘已处于俯冲增生改造抬升的缓慢发展阶段。南华—震旦纪塔里木陆块处于顺时针旋转^[36-37],印证了震旦纪东北缘和西南缘先开始发育裂谷并接受沉积。



虚线示意南部隆起区推断边界,a、b示意图4对应剖面位置。
图6 塔里木盆地震旦系残余地层分布推测图
Fig. 6 Sinian residual strata distribution in Tarim Basin

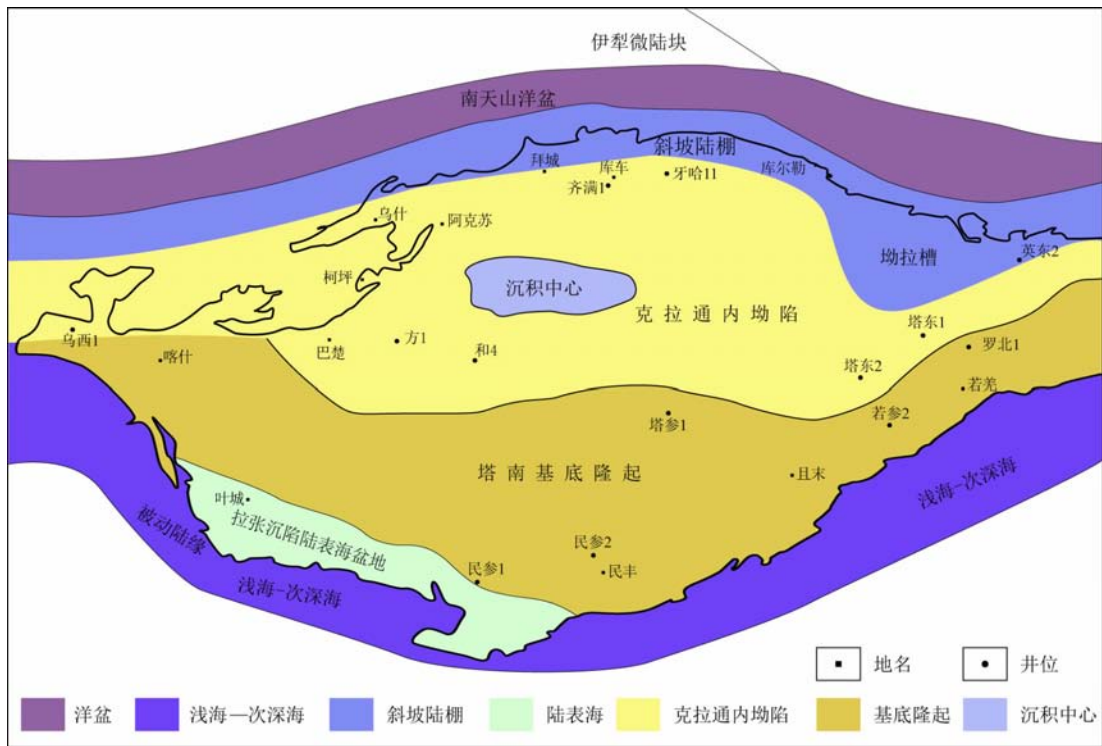


图7 塔里木盆地震旦纪构造区划图
Fig. 7 Sinian tectonic division map of Tarim Basin

5 结论

(1)塔里木陆块于罗迪尼亚超大陆中长期处于

澳洲西北缘,从南华纪开始,两者之间发生伸展作用,表现为塔里木南华纪大陆裂谷广泛发育,其中塔里木东北缘和西南缘优先发育,东南缘阿尔金地区进入寒武纪后开始发育。塔里木盆地东北部发育新元古

代冰碛岩和多期火成岩事件。特瑞爱肯组冰期是大塔里木陆块影响范围最大的冰期,对这个塔里木陆块及其周缘微陆块都有影响。

(2)塔里木盆地震旦系主要分布北部,该地区为主要的沉积中心,沉积在盆地中部地区尖灭,南部地区长期为隆起剥蚀区。南华—震旦纪塔里木北部存在东西向裂谷以及满加尔拗拉谷。

(3)塔里木陆块在聚合罗迪尼亚超大陆过程中加入较晚并且最早裂解离开,盆地南北缘明显差异,北部南华—震旦纪发育伸展断陷,并且在东北部发生强烈伸展,与罗迪尼亚超大陆裂解期对应,塔里木南部—东南部在寒武纪之前长期处于隆升状态,可能与新元古代晚期陆缘的俯冲增生改造抬升过程缓慢开始有关。

本文工作得到了塔里木油田勘探开发指挥研究院蔡振忠、潘文庆、齐英敏、陈永权、董瑞霞和关宝珠等的帮助,野外工作得到了傅臣建等的帮助,笔者表示衷心感谢!

参考文献

- [1] 高振家. 再论天山地区前寒武纪地层问题[J]. 新疆地质, 1990, 8(1): 80-90.
- [2] 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 1-425.
- [3] 宋立勋, 刘万祥. 塔里木地台震旦纪古地理概貌[J]. 新疆石油地质, 1990, 11(3): 199-203.
- [4] 贾承造. 塔里木盆地构造特征与油气聚集规律[J]. 新疆石油地质, 1999, 20(3): 3-9, 94.
- [5] 何登发, 周新源, 张朝军, 等. 塔里木多旋回叠合盆地地质结构特征[J]. 中国石油勘探, 2006(1): 31-41.
- [6] 汤良杰, 邱海峻, 云露, 等. 塔里木盆地北缘—南天山造山带盆—山耦合和构造转换[J]. 地学前缘, 2012, 19(5): 195-204.
- [7] Guo Z J, Yin A, Robinson A, et al. Geochronology and geochemistry of deep-drill-core samples from the basement of the central Tarim Basin[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2005, 25(1): 45-56.
- [8] 侯遵泽, 杨文采. 塔里木盆地多尺度重力场反演与密度结构[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2011, 41(1): 29-39.
- [9] 许志琴, 李思田, 张建新, 等. 塔里木地块与古亚洲/特提斯构造体系的对接[J]. 岩石学报, 2011, 27(1): 1-22.
- [10] 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(1/2): 94-107.
- [11] 高振家, 王务严, 彭昌文, 等. 新疆震旦系[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1987: 82-92.
- [12] Turner S A. Sedimentary record of Late Neoproterozoic rifting in the NW Tarim Basin, China[J]. Precambrian Research, 2010, 181(1/2/3/4): 85-96.
- [13] 寇晓威, 王宇, 卫巍, 等. 塔里木板块上元古界阿勒通沟组和黄羊沟组: 新识别的冰期和间冰期[J]? 岩石学报, 2008, 24(12): 2863-2868.
- [14] Hoffman P F, Li Z X. A palaeogeographic context for Neoproterozoic glaciation[J]. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 2009, 277(3/4): 158-172.
- [15] Xu B, Xiao S, Zou H, et al. SHRIMP zircon U-Pb age constraints on Neoproterozoic Qurqtagh diamictites in NW China[J]. Precambrian Research, 2009, 168(3/4): 247-258.
- [16] 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.
- [17] 赵彦彦, 郑永飞. 全球新元古代冰期的记录和时限[J]. 岩石学报, 2011, 27(2): 545-565.
- [18] 郭光辉, 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.
- [19] 宗文明, 高林志, 丁孝忠, 等. 塔里木盆地西南缘南华纪冰碛岩特征与地层对比[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1183-1190.
- [20] 童勤龙, 卫巍, 徐备. 塔里木板块西南缘新元古代沉积相和冰期划分[J]. 中国科学: 地球科学, 2013, 43(5): 703-715.
- [21] 高林志, 郭宪璞, 丁孝忠, 等. 中国塔里木板块南华纪成冰事件及其地层对比[J]. 地球学报, 2013, 34(1): 39-57.
- [22] 张增耀, 杨松岭, 赵秀岐. 塔里木盆地盆内震旦系特征[J]. 海相油气地质, 2007, 12(2): 51-56.
- [23] 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.
- [24] 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闪长岩和闪长岩[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2005, 35(2): 97-104.
- [25] 汤良杰. 塔里木盆地构造演化与构造样式[J]. 地球科学, 1994, 19(6): 742-754.
- [26] 李文山, 李江海, 周肖贝, 等. 塔里木盆地中央高磁异常带成因: 来自地震反射剖面的新证据[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2014, 50(2): 281-287.
- [27] Meert J G, Torsvik T H. The making and unmaking of a supercontinent: Rodinia revisited[J]. Tectonophysics, 2003, 375(1/2/3/4): 261-288.
- [28] Li Z X, Bogdanova S V, Collins A S, et al. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis[J]. Precambrian Research, 2008, 160(1/2): 179-210.

- [29] 许炳如. 根据航磁解释的塔里木盆地基岩分布[J]. 西安石油学院学报: 自然科学版, 1997, 12(6): 5-8, 41, 42.
- [30] 袁学诚. 中国地球物理图集[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 1-200.
- [31] 何金有, 徐备, 孟祥英, 等. 新疆库鲁克塔格地区新元古代层序地层学研究及对比[J]. 岩石学报, 2007, 23(7): 1645-1654.
- [32] 胡宗全, 由伟丰, 李松, 等. 中国早震旦世构造-岩相古地理[J]. 地学前缘, 2013, 20(5): 248-255.
- [33] 杨经绥, 史仁灯, 吴才来, 等. 北阿尔金地区米兰红柳沟蛇绿岩的岩石学特征和 SHRIMP 定年[J]. 岩石学报, 2008, 24(7): 1567-1584.
- [34] 张建新, 孟繁聪, 于胜尧, 等. 北阿尔金 HP/LT 蓝片岩和榴辉岩的 Ar-Ar 年代学及其区域构造意义[J]. 中国地质, 2007, 34(4): 558-564.
- [35] 李松彬, 陈柏林, 陈正乐, 等. 阿尔金北缘喀腊大湾地区早古生代中酸性火山熔岩岩石地球化学特征及其构造环境[J]. 地质论评, 2013, 59(3): 423-436.
- [36] 王洪浩, 李江海, 杨静懿, 等. 塔里木陆块新元古代一早古生代古板块再造及漂移轨迹[J]. 地球科学进展, 2013, 28(6): 637-647.
- [37] Torsvik T H, Van der Voo R, Preeden U, et al. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics[J]. Earth-Science Reviews, 2012, 114(3/4): 325-368.

《地学前缘》网上查询和浏览方法

方法一:

- (1)登录中国地质大学网站,网址为 <http://www.cugb.edu.cn>
- (2)点击首页上部“科学研究”栏目下方的“学术期刊”选项
- (3)选择《地学前缘》下方的【进入】按钮,进入《地学前缘》办公自动化平台查阅摘要和全文

方法二:

- (1)登录中国地质大学网站,网址为 <http://www.cugb.edu.cn>
- (2)点击首页下侧“数字图书”选项
- (3)在“中文资源”中部点击《地学前缘》进入办公自动化平台查阅摘要和全文

方法三:

- (1)登录中国地质图书馆网站,网址为 <http://www.cgl.org.cn>
- (2)光标移到首页中部【期刊论文】→数字资源→在中文电子期刊中点击《地学前缘》进入办公自动化平台查阅摘要和全文

方法四:

- (1)登录中国地学期刊网站,网址为 <http://www.geojournals.cn>
- (2)在期刊门户网站点击《地学前缘》进入办公自动化平台查阅摘要和全文

方法五:

- (1)登录北京大学网站,网址为 <http://www.pku.edu.cn>
- (2)点击首页上部科学研究中的学术期刊
- (3)点击网页中部的《地学前缘》进入办公自动化平台查阅摘要和全文

方法六:

- (1)登录北京大学地球与空间科学学院,网址为 <http://sess.pku.edu.cn>
- (2)点击首页上部的【科研外事】按钮
- (3)在网页左下方【学术期刊】中点击《地学前缘》(主站)查阅摘要和全文

方法七:

直接登录 <http://dxqy.cbpt.cnki.net>

阅读全文需要安装 Acrobat Reader(PDF)软件