

塔里木

盆地北部 碳酸盐岩油气田

何发岐 俞仁连

杨惠明 王国司 何峰煜 云 露 著

中国地质大学出版社

塔里木盆地北部碳酸盐岩油气田

何发岐 俞仁连 杨惠明
王国司 何峰煜 云 露 著

中国地质大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

塔里木盆地北部碳酸盐岩油气田/何发岐等编著. —武汉:中国地质大学出版社,2002.7
ISBN 7-5625-1695-2

I. 塔…

II. ①何…②俞…③杨…④王…⑤何…⑥云…

III. 油田-碳酸盐岩-塔里木盆地北部

IV. P618

塔里木盆地北部碳酸盐岩油气田

何发岐 等编著

责任编辑:张晓红

技术编辑:阮一飞

责任校对:胡义珍

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路31号)

邮编:430074

电话:(027)87483101

传真:87481537

E-mail: cbo@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

开本:787毫米×1092毫米1/16

字数:364千字 印张:14.25 插页:1

版次:2002年7月第1版

印次:2002年7月第1次印刷

印刷:中国地质大学出版社印刷厂

印数:1—500册

ISBN 7-5625-1695-2/P·579

定价:38.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

塔里木盆地是中国最大的内陆盆地,位于新疆维吾尔自治区南部,面积达 $56\times 10^4\text{km}^2$ 。由于自然条件恶劣,勘探程度低,加之其所处的大地构造位置比较特殊,在新中国成立之前,就受到中外地质学家的关注;新中国成立之后,在李四光、黄汲清等老一辈地质学家的指导下,开始了大规模的石油勘探。经过许多挫折和艰辛获得了一系列的突破,尤其是近两年在克拉通领域的重大发现,使它成为石油地质学家、勘探家们注目的热点。

塔里木盆地油气勘探历程,几经曲折。1958年在库车山前发现第一个陆相油田——依奇克里克油田;1978年在塔西南山前经过多年努力找到了柯克亚凝析气田;1984年在漫长的南征北战之后,扎师北部,在沙参2井古生界碳酸盐岩中获得突破,发现了雅克拉凝析气田,拉开了塔里木盆地又一轮大规模油气勘探、开发的序幕。从此以此为根据地,向东西两厢展开,积极向南向盆地腹部沙漠边缘挺进,捷报频传,在沙雅隆起南翼多口井获得突破。每次突破都使人产生“大油大气”的联想。但由于对规律性掌握肤浅,在后来的十几年中只发现了数十个油气藏,形成了十来个油气田,却都以中小型为主。于是每次发现之后总产生一种迷茫:大油气田在哪里?诸多的问题也曾使勘探家们的情绪多次陷入低谷。

“九五”期间,塔里木盆地油气勘探掀起了又一轮热潮。在塔北先后发现并探明了塔河油田和克拉2号气田两个超亿吨级大油气田。寻找与大盆地匹配的大油气田的愿望得到了暂时的满足。与此同时,塔里木盆地中央隆起带油气勘探也获得进展,这进一步坚定了人们在塔里木盆地寻找大型油气田的决心和信心。

笔者从学校毕业后有幸亲自参与塔里木盆地十年来轰轰烈烈的油气勘探、领略沙暴的洗礼,与同事们分享成功的喜悦并交换各自的思考。在为塔河大油田的勘探、实践的时候,更乐意带着问题追寻前辈们的足迹,咀嚼已有的成果,品味其中的酸甜苦辣,这都给我们以巨大的启发:“逼近烃源岩,坚持多目的层的勘探”。在实践过程中,我们完成了本书的构思、资料的收集、文字的整理。对学术而言,这本书应是捉襟见肘,就如一个普通的泥瓦匠,我们缺乏艺术大师设计的天分,但我们拥有勤奋、扎实和结合实际思考的精神。

促使我们把自己积累的资料奉献给大家的主要动力是塔河油田的巨大成果。自1997年塔河油田发现以来,至今已累计探明石油地质储量超过亿吨,含油面积已扩大到 700km^2 以上,预计最终可在下古生界碳酸盐岩勘探领域拿到3~5亿t探明储量。特别是该油田上的沙48井自1997年投产,至今累计生产原油 $60\times 10^4\text{t}$,平均日产稳定在400t左右,是塔里木盆地碳酸盐岩油气田稳定日产最高、累计产油最多、稳产期最长的“王牌井”。今后在哪里,如何寻找这样的高产井?光靠区域地质资料的研究是不够的。系统、全面地分析整个盆地已发现的油气藏特征,尤其是碳酸盐岩油气藏,并探索其规律,在规律中寻找个性,进而知难而进

就十分必要。盆地中已发现的油气藏为深入研究油气藏的特点提供了十分丰富的资料,这也是正确认识塔里木盆地油气成藏规律的重要途径,尤其是碳酸盐岩油气藏作为勘探开发的世界级难题,在新的世纪里作为塔里木盆地乃至国内油气勘探的一个重要领域已成定势。这一使命感让我们不耻浅陋,以期抛砖引玉,对同行有所裨益。

本书共分五章,包含以下内容:从碳酸盐岩油气藏成藏的区域地质背景、成藏地质条件铺开,经过分析典型油气藏特征,进一步总结塔里木盆地克拉通领域油气成藏规律,从而指出油气勘探方向。这样安排章节是基于塔里木盆地北部碳酸盐岩油气藏储层无一例外的是历经多期成岩改造的古生界碳酸盐岩。评价碳酸盐岩储集层的主要因素是岩相、孔隙类型、陆架背景、层序地层学及成岩改造(Clifton Jordan, 1994),因此,本书仍然投入大量笔墨论述地质背景,这样也容易使读者了解成藏的基本环境,并且使读者容易对比各油气藏的特性。

本书前言、第一章、第二章第4节、第三章第三、四、五、六节由何发岐主笔;第二章第一、三节、第三章第一、二节由俞仁连、何峰煜主笔;第四章、第五章由何发岐、俞仁连共同主笔;第二章由杨惠明、王国司主笔;云露参与了图件及资料的整理;最后由何发岐统一定稿。

在本书完成过程中,得到原西北石油局总工程师蒋炳南教授的启发,许多认识是在他指导我们搞油气勘探生产时形成的。翟晓先总工程师以及长期与西北石油局合作从事碳酸盐岩油气田勘探研究的、在国内外享有一定声望的叶德胜、周棣康教授的认识及成果对我们也产生了很大的影响。还要说明的是这本书也凝聚了西北石油局勘探处同仁们的心血和汗水,他们是李江、石彦、张南硕、郭英强、罗宏、漆立新、张剑、杨树生、周家驹、苏江玉、张京海高级工程师等,崔龙斌、唐世春、王建栋、吕景英工程师等。他们在平时和我们共同承担着大量繁重的日常工作,时时给我们以鼓励,在这里谨以此成果献给他们以表示诚挚的谢意。同时本书使用了许多单位的大量资料,除在文字中有注明外,恕不一一列举,在此表示衷心的感谢。

笔 者
2002 年 4 月

目 录

第一章 区域地质背景.....	(1)
第一节 区域构造格架与盆地原型.....	(1)
一、沉积盆地原型与盆地演化	(1)
二、寒武纪、奥陶纪碳酸盐台地建造与后期改造.....	(9)
三、构造单元划分.....	(16)
第二节 地层层序	(18)
一、塔里木克拉通内盆地层序.....	(18)
二、克拉通周边与边缘盆地层序.....	(49)
第三节 沉积特征	(54)
一、寒武纪—早奥陶世沉积特征.....	(54)
二、中—晚奥陶世沉积特征.....	(67)
第二章 成藏地质条件	(73)
第一节 油气资源	(73)
一、库车坳陷三叠系—侏罗系烃源岩特征及资源量.....	(73)
二、寒武系—奥陶系烃源岩特征及资源量.....	(79)
第二节 储层特征	(95)
一、储层岩石学特征.....	(95)
二、储集性能特征.....	(98)
三、储层发育的控制因素	(107)
四、储层评价与预测	(118)
第三节 保存条件.....	(127)
一、主要盖层特征	(127)
二、储盖组合	(130)
三、保存条件演化对油气聚集的影响	(132)
第四节 圈闭条件.....	(133)
一、圈闭类型	(133)
二、圈闭展布特征	(139)
第三章 典型油气藏特征.....	(142)
第一节 塔河油田奥陶系油气藏.....	(142)
一、区域构造背景	(144)
二、储层特征	(144)
三、圈闭类型	(150)

四、流体性质及油藏类型	(153)
五、油气分布特征	(155)
六、成藏历史	(157)
七、大型油气藏形成条件	(160)
八、小结	(161)
第二节 阿克库勒(桑塔木)油气田奥陶系油气藏	(161)
一、构造特征	(161)
二、储层特征	(162)
三、油藏特征	(164)
四、油气藏的形成与演化	(167)
第三节 雅克拉凝析气田奥陶系凝析气藏	(168)
一、构造特征	(168)
二、储层特征	(168)
三、气藏特征	(171)
四、成藏条件及成藏过程	(174)
第四节 英买2号油藏	(175)
一、构造背景	(175)
二、储层特征	(175)
三、圈闭特征	(176)
四、流体性质	(176)
五、油藏类型	(176)
六、成藏特征	(177)
第五节 英买7号奥陶系油气藏	(177)
一、构造与圈闭	(177)
二、储层特征	(177)
三、流体性质	(178)
四、油藏类型	(178)
五、成藏特征	(179)
第六节 有关问题的讨论	(179)
一、油气源	(179)
二、油气成藏时期	(181)
三、成藏模式	(185)
第四章 控油地质规律及勘探前景	(187)
第一节 油气分布特征	(187)
第二节 控油地质规律	(190)
一、长期的低地温背景是寒武系—奥陶系巨厚烃源岩长期生油、多期成藏的重要条件	(190)
二、成藏封闭体系的形成与演化控制了寒武系—奥陶系碳酸盐岩油气的资源结构及勘探方向	(191)

三、古隆起控制海相油气的区域分布	(192)
四、缝洞型储集体的发育程度控制油气的富集	(192)
五、烃源岩、储集层与直接盖层的关系决定油气系统各要素的有效性,进而控制油 气分布	(193)
第三节 油气前景分区评价.....	(194)
一、雅克拉—沙西地区	(194)
二、阿克库勒地区	(202)
第五章 结论.....	(209)
第一节 区域地质背景.....	(209)
一、区域构造格架与盆地原型	(209)
二、地层层序	(209)
三、沉积特征	(210)
第二节 成藏地质条件.....	(210)
一、丰富的油气资源	(210)
二、良好的储集条件	(210)
三、逐步完善的整体封闭体系	(212)
四、多种圈闭类型	(212)
第三节 油气藏特征.....	(212)
第四节 控油地质规律及勘探前景.....	(213)
一、控油地质规律	(213)
二、油气勘探方向	(213)
主要参考文献.....	(215)

第一章 区域地质背景

第一节 区域构造格架与盆地原型

广柔的塔里木盆地在其漫长的地质历史发展过程中,蕴育了巨大的烃类潜能,形成了古生界—新生界的一系列不同规模的油气田(藏),其中佼佼者,应推在盆地北部由中国石化集团新星石油公司西北石油局经过十余年艰苦探索、发现和探明的塔河油田。这是一个探明储量已经超过亿吨,预测最终探明储量可达5亿吨以上的特大型油田,产层包括三叠系上、中、下油组、下石炭统五个油组和奥陶系,主要为奥陶系灰岩。塔河油田是自1984年沙参2井在塔里木盆地取得我国海相古生代碳酸盐岩油气勘探的首次突破以来,塔里木盆地克拉通领域油气勘探的最重大发现之一,进一步说明碳酸盐岩油气藏在盆地油气勘探开发中的重要地位。

塔里木盆地构造上属于多旋回复合叠加盆地,在其演化过程中不同性质的原型盆地复合、叠加,而北部古生代主要属于克拉通盆地(或地台型盆地)范畴,其上叠加了中生代前陆盆地。在全球范围内对克拉通盆地的前景已有系统论述。“克拉通盆地油气储量占全球油气储量的四分之一,但其油气田大多为中小型。仅西西伯利亚中生代克拉通内盆地例外,其油田规模大、数量多,在全球绝无仅有”(何登发,1996)。塔里木克拉通盆地内塔河特大型油田的发现,可能是又一个例外,其有利的石油地质条件有:紧邻巨大的满加尔生油拗陷,发育寒武系—奥陶系优质烃源岩,长期生油,多期供油;发育寒武系、奥陶系碳酸盐岩孔隙型储层与缝洞型储集体,下石炭统与中上三叠统砂岩储层;并与下石炭统盐岩、泥岩,三叠系,下白垩统上部、中新统泥岩等多套盖层形成良好储盖层组合;长期继承性发育的大型古隆起——沙雅隆起;古构造与沉积作用结合,形成多种类型的有利圈闭等。认真总结油气藏特征,探索其形成的地质背景,对于深化克拉通盆地的认识,展现塔里木盆地风格,充分评价该领域油气潜能并开展有成效的勘探开发工作,都有重要意义。

一、沉积盆地原型与盆地演化

塔里木盆地北部一般指南天山褶皱造山带以南,北纬40°线以北地域,构造上是前震旦系基底之上,古生代克拉通(地台型)盆地一部分,包含克拉通内及其周边盆地,中生代继承性拗陷,北边叠覆中生代前陆盆地。在全球两大构造开合、旋回中,盆地经历了六个构造发展阶段,各阶段原型盆地性质,层序及其沉积特征,主要构造事件与变形,板块构造背景见表1-1。

(一) 震旦纪—早奥陶世边缘裂陷与板内伸展拗陷阶段

这一阶段时间跨度过长(800~468.6Ma),震旦纪(800~570Ma)以边缘裂解、离散为主,与寒武纪—早奥陶世(570~468.6Ma)板内拗陷尚有较大差别,限于资料现状暂合并于一个阶段中描述。

1. 震旦纪裂陷盆地和克拉通盆地

震旦纪是塔里木板块发展史上的一个转折时期。从震旦纪开始,新疆古克拉通出现扩张和分裂,沿汗腾格里—库米什大断裂、孔雀河大断裂、车尔臣河大断裂、西昆仑北大断裂、中天山北缘

唐巴勒—米什沟一线的地壳扩张带或构造离合带,不同程度拉开,形成不同程度的裂陷盆地。

(1) 裂陷盆地 震旦纪在区域拉张背景下,在塔里木克拉通边缘开始裂解。该期发育较为明显的有库鲁克塔格裂陷、南天山裂陷、西昆仑北部裂陷,推测塔里木东南—阿尔金亦存在相似的裂陷盆地。

库鲁克塔格一带在震旦纪早期为深断陷,火山喷发强烈。其下部见中酸性火山熔岩、集块岩不整合于前震旦系斜长花岗岩之上。其上不整合覆盖深水陆棚一半深水海盆相杂色粉砂岩、泥岩互层,间夹薄层砾屑灰岩和细粒岩屑砂岩、含砾砂岩与砾岩。其中相当部分可能为浊流沉积。北带为巨厚的陡岸斜坡碎屑流、泥石流及海底扇浊积岩与半深水海盆相暗色泥岩间互,夹酸性及基性火山岩,部分地区见有冰缘海沉积。重力流的发育,与假整合或微角度不整合相伴,反映其可能与拉张裂陷、沉积底面掀斜、边坡变陡及地震活动有关。晚震旦世裂陷进一步发展,火山岩转为以基性熔岩(玄武岩)与凝灰岩为主,反映随拉张加剧,裂隙深度可能深达上地幔。随裂陷发育,海水有所加深和变清,在北带形成了以海底扇和陆棚沉积为主的沉积中心。向南厚度锐减,扇浊积岩、碎屑流沉积消减明显,反映了当时中天山地体隆起,是主要物源区。整个断陷呈向北的箕状。

(2) 克拉通盆地 早震旦世,受塔里木运动影响,塔里木克拉通内大部分为遭受剥蚀的陆地,沉积仅发育于柯坪、乌什至阿瓦提一带,而且仅为早震旦世晚期的沉积。据地震剖面推测盆地腹部也会有一定分布。从沉积特征分析,该时期气候寒冷,具有从海相浮冰沉积向大陆冰川沉积过渡的特点。这与震旦纪时全球气候转冷,出现全球性大冰期相一致。震旦纪的冰碛层和下寒武统的含磷硅质岩与扬子板块相似,可能与原始冈瓦纳板块有一定的联系。

晚震旦世早期,塔里木克拉通内沉降形成了稳定的克拉通拗陷盆地,原来的古陆没入水下形成了统一的盖层,上震旦统广泛超覆于前震旦系基底或下震旦统之上。上震旦统展布广泛,厚度变化不大。其岩性以柯坪地区剖面上的尤尔美那克组和奇格布拉克组为代表,为一套潮坪相砂泥岩间夹玄武岩。

晚震旦世晚期盆地持续稳定沉降,陆屑对海域补给逐渐减少,在宽阔的清水碳酸盐潮坪环境中堆积了叠层藻、藻屑、藻纹层白云岩和球粒白云岩,局部形成丘状礁、滩等岩隆,并夹有风暴潮道相竹叶状砾屑灰岩和潮渠相砂屑灰岩。从地震资料推测,在塔里木东北的满加尔发育了小型克拉通边缘盆地。巴楚、卡塔克一带,相应层序地震反射模糊,震旦系展布、岩性尚难预测。

(二) 寒武纪—中奥陶世有限洋盆扩张和克拉通边缘拗陷的发展

随着克拉通裂陷不断扩张,伊宁—中天山微陆块(地块)从新疆古克拉通分裂和移离出去,成为早古生代天山多岛洋中的微陆块。中天山北缘从唐巴勒至米什沟、干沟一线都存在早古生代的洋壳(或洋岛)残片,代表了塔里木板块北缘寒武纪—中奥陶世由于海底扩张而形成的“天山多岛有限洋盆”。

在米什沟、乌斯特沟和干沟蛇绿混杂岩带,据高长林等人(1994)研究,寒武系一下奥陶统(?)蛇绿岩主要为斜辉辉橄岩,为与地幔岩相近的超镁铁堆积岩。基性火山岩以拉斑玄武岩为主,尚有钙碱性基性熔岩(构造环境判别为形成于洋岛及洋底扩张脊的碱性玄武岩)。中、上奥陶统可可乃克群(刘洪福,1988 建立)为一套岛弧火山岩,岩石化学及元素地球化学特征分析表明其属于岛弧拉斑玄武岩与钙碱性玄武岩类。而不整合覆于其上的下志留统阿哈布拉克群为一套浅变质的浊流相的碎屑岩、泥质岩,其下部的米什沟组砂岩岩石化学成分特征表明属于活动大陆边缘岛弧区砂岩的特点。在干沟与超基性岩相共生的斜长花岗岩被认为可能代表了岩石圈地幔拆离作用的玄武岩浆分异而形成的幔源型(M 型)花岗岩(钱一雄,1994)(图 1-1)。

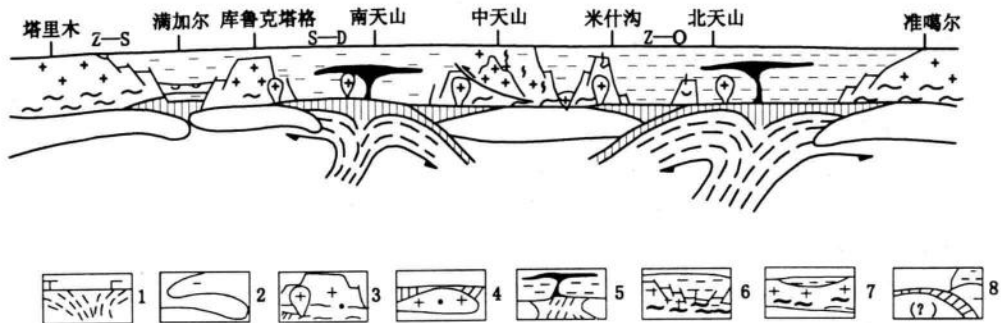


图 1-1 塔里木板块北部大陆边缘震旦纪—早古生代构造演化图

(据高长林等,1994)

1. 非对称的软流圈扩张中心；2. 老的和新增厚的壳下岩石圈；3. 陆块地壳与壳下塑性扩张带，壳下超镁铁质底板及先构造期底辟花岗岩；4. 老的壳下岩石圈逐步转化为下地壳；5. 扩张中心的壳下超镁铁岩底板和侵入在小洋盆中的原始拉斑玄武岩（优地槽）；6. 下地壳塑性扩张形成的冒地槽（克拉通周边盆地）；7. 在陆壳板内的克拉通凹陷盆地；8. 有可能的洋壳板块俯冲作用的大陆边缘

早古生代天山多岛有限洋盆的形成与扩张作用，使中天山地块与塔里木克拉通裂离形成岛链。南天山和库鲁克塔格及满加尔地区成为克拉通边缘拗陷（亦称周边盆地）和边缘裂陷盆地。据板块构造背景和沉积特征，我们在塔北初步划分出塔里木克拉通内拗陷盆地、满加尔周边沉降盆地、南天山边缘拗陷盆地、库鲁克塔格裂陷盆地。

(1) 塔里木克拉通拗陷盆地 寒武纪至奥陶纪由于北部中天山微地块向北移离而进一步扩张；塔里木克拉通地壳拉伸减薄，总体下沉。从早寒武世开始，该区海平面上升，发育海进体系域——高水位体系域。到中寒武世海侵达到最高峰。盆地总体较稳定，地形变化不大，北部和西部等三分之二的地区为缓慢沉降型的克拉通拗陷盆地，以台地相浅水沉积为主，水体深度通常为 0~10m，有时可深达几十米。据钻井揭示和地表露头观测，地层总体为灰色至褐灰色白云岩、灰岩夹泥质岩条带。其地震反射特征为中层状、中—低频连续、较连续的中—强振幅反射波组。寒武系厚度为 600~1 600m，下奥陶统厚度为 600~1 200m。在阿瓦提地区沉积较厚。塔里木河以北，早寒武世早期海水较深，发育有陆相边缘静海盆地相黑色富有机质页岩，夹重晶石结核和含磷硅质岩与磷矿层，可能与海平面上升及缺氧事件有关。其后海水渐浅，直到早奥陶世均位于潮间—潮坪极浅水环境，形成巨厚的白云岩、灰岩夹含膏盐白云质泥岩；塔中大部分地区为极浅水潮坪环境，以白云岩为主。从阿克苏、柯坪往西北到乌什、阿合奇地区，从塔北浅水陆架沉积过渡为陆棚—盆地相沉积；南天山地区海水加深，温宿以北小铁列克，寒武系由薄层灰岩、含磷灰岩及变质页岩组成，为近陆坡沉积。

(2) 满加尔克拉通周边沉降盆地 由于扩张作用，地壳减薄，该区发生明显沉降，水体不断加深。向东北水深明显加大，可能与库鲁克塔格裂陷相连，一直延至兴地断裂一带。其延伸部分，水体较深，岩相和厚度变化较大。周棣康等(1991)认为塔东北早期大陆边缘沉积可分出大陆架沉积，大陆坡沉积和陆隆沉积。其沉积相分带、分布、变化情况，类似于大西洋型被动大陆边缘。沉积物为黑色页岩、瘤状灰岩和薄层泥晶灰岩，还发育钙质碎屑流形成的岩石。说明

满加尔坳陷盆地拉张作用达到极盛期。该时期($E_1 \sim O_1$),水体加深,沉积厚度可达4 000m。据地震地层学研究,其西北部斜坡地带沉积由三部分组成:中心部分为较厚的具前积结构的斜坡沉积体(clinoform),反射呈S型或上、下斜交前积型,为台缘斜坡相或陆棚相沉积;上倾部分厚度略有减薄,呈平行反射结构,其上界面被具上超特征的反射层所覆盖,为内陆棚—海岸相沉积;下倾部分一般由平行到收敛的反射层组成。厚度明显减薄,属于水体较深,欠补偿的盆地相沉积。斜坡体坡度约 $2^\circ \sim 5^\circ$,推测盆地中心水深为300~500m。

(3) 库鲁克塔格裂陷盆地 该裂陷盆地是以被动大陆边缘为背景的,在寒武纪—早奥陶世,裂陷稳定发展,陆屑补给减少。南北带在早寒武世早期均受海面上升及缺氧条件的影响,发育盆地相黑色富有机质的含磷硅质岩,属凝缩段。从早寒武世中期开始,南北带沉积分异明显。北带在凝缩段之上,发育了数十米至517m的火山熔岩(玄武岩、辉绿岩);在此基础上,沉积环境由半深海盆地转变为向CCD面以上的陆棚——岸外海台演变。自中寒武世晚期到早奥陶世,为斜坡——岸外海台相,含较多的异地生物屑与浅水粒屑灰岩砾块,反映其物源是岸外海台。上部(晚期)为灰色含生物泥至微晶灰岩,具开阔台地特征。寒武系至下奥陶统的厚度大于1 653.6m。其南带为盆地沉降中心欠补偿沉积,寒武纪—早奥陶世最为典型。寒武系下、中统为半深海盆地相硅质岩、黑色页岩与黑灰色泥质灰岩,夹有1~2m厚的辉绿岩。这说明槽盆底为停滞、缺氧环境,沉积物为远洋悬浮物及远离喷发中心的火山熔岩。晚寒武世,水深略变浅,灰岩成分增加,整个寒武系厚度为304m,以浮游生物为主,未见底栖生物群。下奥陶统中、上部仍为欠补偿的远洋沉积,厚度仅36.5~100m;上部为海底扇相浊积岩。说明其周缘隆起,物源供给充足。

(4) 南天山边缘裂陷盆地 寒武纪—奥陶纪该区为克拉通向北延伸的被动大陆边缘。早寒武世与克拉通盆地相似,发育9~32m的凝缩段,其分布广泛。以上层序,以温宿县小铁列克剖面为代表,为深水陆棚—斜坡相灰岩。下奥陶统见于邻区卡瓦布拉克,为半深海盆地相薄层硅质岩与页岩间互,夹远源浊积岩。寒武纪—早奥陶世水深逐渐加大,大陆边缘沉积特征明显。

(三) 中晚奥陶世—泥盆纪弧后扩张,聚敛及板内挤压挠曲阶段

该阶段时限为468.6~367Ma(晚泥盆世早期末),时间跨度约100Ma。

中晚奥陶世,由于“天山多岛有限洋盆”俯冲消减和微板块的软碰撞作用,使南天山裂陷盆地抬升变浅,出露于铜花山、硫磺山的中上奥陶统为变质大理岩、钙质砂岩,含头足类及珊瑚化石。南天山科克铁克达南坡上奥陶统为大理岩、变质砂板岩。在砂板岩中含微体古植物化石(陈哲夫,1985),同样代表南天山水体变浅。从沉积演化分析,认为中、晚奥陶世的碰撞作用并未使南天山边缘坳陷挤压抬升,柯坪、乌什、阿合奇等地中、晚奥陶世发育斜坡—盆地相外陆棚沉积,说明往西盆地仍有残留。

晚奥陶世—志留纪,塔里木板块北部大陆边缘的中天山北缘沿干沟—米什沟—唐巴勒($O_3 \sim S_2$)的俯冲碰撞作用使南天山弧后盆地扩张,黑英山、色日克牙依拉克、库勒湖、榆树沟、库米什一带的蛇绿混杂岩岩石球化学指标均表明弧后盆地的存在。近年来一些单位在南天山蛇绿岩带中开展了同位素测定研究,已经提供一些证明洋盆形成年龄的可贵数据。在南天山长阿吾子蛇绿岩组合中的辉长岩已获得 $439.4 \pm 36\text{Ma}$ 的形成年龄(郝杰,1993);刘本培等(1994)在南天山色日克牙依拉克、黑英山蛇绿混杂岩带中的角闪石也获得 $420.2 \pm 5.9\text{Ma}$ 、 $430.3 \pm 5.2\text{Ma}$ 的形成年龄。前者反映奥陶纪晚期南天山已出现洋盆,后者证明在志留纪时发展成相当规模和结构复杂的弧后洋盆。南天山洋盆地形成的动力机制初期可能与奥陶纪时中天山北侧洋盆向南俯冲而引起的弧后扩张有关。库勒湖一带晚志留世—泥盆世放射虫硅质岩

与库米什阿尔皮什麦布拉克组(S_2-D_1)深水陆棚—大陆坡沉积表明弧后盆地扩张期在晚志留世—早泥盆世。

晚泥盆世末,南天山弧后洋盆向北侧的中天山微陆块俯冲消减与碰撞。在库米什—榆树沟一带出露的基性、超基性糜棱岩代表该洋盆闭合消减期强烈挤压剪切作用。

随着板缘构造背景由被动大陆边缘拉张、裂陷向主动大陆边缘弧后扩张聚敛转化,库鲁克塔格裂陷盆地与满加尔周边盆地向弧后前陆盆地转化,中晚奥陶世时天山多岛洋盆已有向南侧中天山微地块俯冲的迹象,岩浆活动有所加强,库鲁克塔格北部以岸外海台系的生物礁滩为主夹安山质凝灰岩层,灰岩中含英安岩及霏细岩岩屑(最高含量可达15%),地层厚度在1000m以上。南部为前渊海底扇浊积岩及远洋沉积。浊积岩中,岛弧来源的火山岩屑占很大比重,次为岸外海台来源的浅水碳酸盐岩岩屑,沉积最厚可达3000m以上,沉积速率高达64m/Ma。

满加尔坳陷区中上奥陶统及志留系—泥盆系往北上超于塔北隆起之上,往南上超于塔中隆起之上。在盆地中志留系与奥陶系为连续沉积,中上奥陶统为半深海盆地海底扇相浊积岩,最厚达5000余米,沉积速率在167m/Ma。早志留世仍保持较大水深并发育深水陆棚—盆地相沉积。志留系—泥盆系的堆积速率快,可达50.6m/Ma。志留系—泥盆系残厚图与寒武系—奥陶系残厚图对比发现,寒武系—奥陶系往沉降中心厚度减薄。志留系—泥盆系越往沉降中心沉积厚度越大,沉降与沉积中心趋于一致。砂岩骨架成分来源于前缘隆起带。

由于南天山晚奥陶世—志留纪弧后扩张及随后的聚敛、碰撞产生的挤压,使塔里木板块北部的构造应力场环境从拉伸转向挤压。南天山弧后盆地南侧的克拉通边缘盆地与塔北地区的克拉通内挠曲盆地呈过渡关系。库车坳陷东部及孔雀河斜坡为前缘隆起带,塔里木盆地总体由拉张环境转化为挤压环境,形成克拉通内挤压盆地,称为克拉通内挠曲坳陷。

中晚奥陶世塔北陆架区仍为浅水碳酸盐岩台地及混积陆棚、静海盆地环境。柯坪地区中—晚奥陶世水体由浅变深,从闭塞台地向开阔台地—斜坡—盆地相演化。中—晚奥陶世的盆地相黑色页岩含笔石和分散状黄铁矿,据硫同位素资料(肖兵,1988),说明当时盆地的海水为滞留还原环境。直到晚奥陶世末和早志留世早期本区海水才变浅,堆积滨岸相砂砾岩。上奥陶统与下志留统之间为假整合接触。塔里木盆地中部和西南大部分地区为克拉通坳陷盆地。阿克苏—巴楚一带为开阔陆棚,阿瓦提断陷—巴楚一带中上奥陶统为一套生物滩与海绵—藻礁相间的沉积,残厚184m(唐王城剖面)。向乌什方向海水加深,为深水陆棚相—盆地相杂色页岩夹泥质灰岩。从沉积相展布分析,向西可能水体较深。

柯坪地区下志留统发育深水陆棚—盆地相的暗色泥页岩、碎屑岩沉积与奥陶系碳酸盐岩、白云岩沉积形成鲜明对比,砂岩骨架颗粒投点表明来自造山带或前缘隆起带。

晚志留世开始海退,柯坪地区发育泻湖—潮坪相紫红色长石石英砂岩。塔中、塔东水体也变浅发育潮下—浅水陆棚沉积。

在塔里木板块内部,软碰撞效应使得塔北的克拉通内挠曲盆地在泥盆纪开始了大规模的海退,东部较西部上升剧烈,海水自东向西退出。在塔里木盆地北部盆地中广泛堆积了干旱平原风成砂和旱谷沉积;在柯坪还见有辫状河流沉积。盆地的沉降中心向西迁移。这一次碰撞普遍造成石炭系与泥盆系交角达 25° 左右,在柯坪、巴楚为 10° 左右(贾润胥,1991)。这一碰撞效应在盆地中表现出西弱东强的特点。晚泥盆世末受这一碰撞作用影响,塔北隆起及库鲁克塔格隆起进一步扩大,塔中隆起也进一步扩大,塔里木盆地的隆起格局基本定型。在各隆起边缘部分晚泥盆世晚期沉积及石炭系依次上超于中、下奥陶统、志留系之上,下伏地层均受到削蚀。

(四) 晚泥盆世—早二叠世板内伸展拗陷与挤压拱张阶段

这一阶段时限为 367.0~256.1Ma, 跨度约 110Ma, 是一过渡转换阶段。晚古生代石炭纪—二叠纪是塔里木板块由古全球构造运动体制向新全球构造运动体制转化的过渡时期(朱夏, 1983)。即由早古生代大陆边缘多中心不对称扩张、微陆块与多岛有限洋盆、弧后盆地相间手风琴式此张彼合运动、单向俯冲与软碰撞关闭的构造运动体制向威尔逊旋回式的洋中脊大规模对称扩张“传送带式”俯冲消减、沟-弧-盆体系同时发育的新全球板块构造运动体制转换过渡时期。在塔里木板块也是由早古生代—晚古生代早期北侧的“古中亚洋构造域”(肖序常等, 1991)向晚古生代—早中生代南侧的“特提斯洋构造域”演化过渡的时期(图 1-2)。



图 1-2 塔里木盆地北部——天山造山带晚古生代—早中生代构造演化图
(图例同图 1-1)

从晚泥盆世晚期开始塔里木盆地发生又一次广泛的海侵, 上泥盆统一下石炭统(KB 超层序)底部普遍发育一套代表早期沉积的砂岩(东河砂岩)。石炭纪—早二叠世克拉通内拗陷盆地为一个三面被陆地包围、向西开口的海湾, 从早石炭世开始海水由西向东漫漫, 逐层超覆于老地层之上。早石炭世除柯坪、塔北以外, 从东向西依次发育冲积扇相—河流—冲积平原相—潮坪—泻湖相—半闭塞台地环境(以灰色灰岩、砂泥岩及膏盐岩沉积为主), 隆起前缘一带砂岩沉积相对较厚。随着海侵扩大逐渐淹没了柯坪隆起, 并在原隆起部位发育了宽阔的台缘粒屑滩相粒屑灰岩。晚石炭世海侵扩大, 海水较早期开阔, 发育有局限台地相—开阔台地相—台缘浅滩相—台缘斜坡相的泥晶灰岩、泥晶粒屑灰岩和滨海沼泽相黑色碳质泥岩。

早二叠世在塔里木板块内部保持了晚石炭世的面貌, 但海水大规模向西退却, 海相沉积局限于和田河以西, 在叶城西南棋盘及北部地区下二叠统为滨浅海相沉积。岩性为灰岩、砂岩夹钙质页岩, 其下部含大量筳类化石, 向上粉砂岩、砂岩及泥岩增多, 棋盘剖面厚度为 667m。以东为河流—冲积平原相, 乌什、阿合奇一带为浅水陆棚相。在沙雅隆起、阿瓦提断陷、巴楚隆起及柯坪地区普遍发育早二叠世火山岩。柯坪隆起下二叠统库普库兹曼组 and 开派兹雷克组中发育两套基性火山岩, 与粉砂岩和粉砂质泥岩互层。在巴楚隆起地表大规模出露二叠纪基性岩墙, 岩性以辉绿岩为主。在塔北、塔中钻井也揭示了该套地层, 如 H1 井、H2 井、SC1 井、和深 2 井、S42 井、满西 1 井、跃南 1 井、皮 1 井等等, 其主要岩性为各种玄武岩、火山碎屑岩及英安斑岩、流纹岩等。在阿瓦提、巴楚、麦盖提和田地区, 地震剖面明显反映了该期大面积岩浆喷发的特征, 其分布较为稳定, 主要展布于塔里木盆地中部和北部地区, 向南逐渐连续性变差。二叠系玄武岩(据王廷印等, 1991)主要可分为上、下玄武岩层, 连同碎屑岩夹层, 厚度可达 300m 左右, 其主要岩石组合有单辉玄武岩、斜斑玄武岩、橄榄玄武岩、黑云母粗面岩、安山岩、英安岩、火山角砾岩等, 并见规模较大的辉绿岩墙产出。研究表明下玄武岩层属大陆拉斑玄武岩, 上玄武岩层属大陆碱性玄武岩。岩石化学参数在 $\lg r - \lg(\sigma_{25 \times 100})$ 图解中的点投于板内稳定区火山岩区。K-Ar 法年龄为 292.4 ± 0.5 Ma 和 259.8 ± 0.9 Ma(刘金坤等, 1991), 相当于晚石炭世末—早二叠世。该区上、下玄武岩层与裂谷系中的玄武岩中的稀土元素具相似的地球化学特征。

早二叠世中期塔里木板块北部完成与西伯利亚板块的拼合,海水向西退却,南部西金乌兰湖—崆喀山口的石炭纪—早二叠世古特提斯洋正在扩张并向北俯冲,此时塔里木板块实际上是处于受挤压的构造环境。丁道桂认为早二叠世玄武岩的出现可能是与塔里木板块下地壳与上地幔受挤压弯曲和扰动形成局部上拱,而上地壳则产生局部引张,形成高角度纵向切穿地壳的断裂,诱发了深层基性岩浆的侵入和顺断裂的喷发。这和整个岩石圈处于拉张状态下由于异常地幔垫作用而形成的裂谷盆地不同,因此塔里木板块内的早二叠世盆地和石炭纪盆地一样仍属于克拉通内坳陷盆地,不属于克拉通内裂谷盆地,更不是“残余弧后盆地”。

南天山周边坳陷盆地 如前所述,由于南天山志留纪—泥盆纪弧后洋盆是以软碰撞的方式而关闭的,并未发生大规模的或强烈的造山作用,因此从中天山的马鞍桥、巴仑台至额尔宾山以西、哈尔克山北坡石炭系主要是以残留海盆形式而存在的克拉通周边坳陷盆地。马鞍桥组底部砾岩以角度不整合覆于志留系地层之上,并发育浅海台地萨布哈相的贝壳滩沉积;其中,上部主要是深水陆棚—盆地相的深水泥晶碳酸盐岩与黑色页岩互层,并可见风暴流沉积(孙华等,1994)。在库米什地区下石炭统干草湖组,由泥质灰岩、块状灰岩、白云岩及粗粒岩屑砂岩、长石砂岩组成,产腕足类化石;在乌什、拜城地区野云沟组上部为一套深灰色角砾灰岩、漂砾岩、灰绿色石英砂岩、粉砂岩与泥页岩呈韵律性互层,具典型鲍马序列,厚度巨大,可达2 000m以上,发育槽模,具重力流沉积特征;向西至阿合奇、乌什一带则逐步过渡为深水陆棚至陆坡相带的克拉通边缘盆地。上石炭统下部艾克里克群为灰色中厚层灰岩夹钙质板岩、灰色板岩;上石炭统上部的卡拉达坂组为灰色—深灰色板岩、粉砂质板岩夹砂质灰岩,属于克拉通边缘盆地中的浊积岩相复理石沉积。

(五) 晚二叠世—侏罗纪早期前陆阶段

时限为 256.1~140Ma,跨度 116Ma,较中晚奥陶世—泥盆纪、晚泥盆纪—早二叠世阶段略长。

早二叠世末,由于古特提斯洋向北的俯冲和消减,羌塘陆块与欧亚板块的碰撞产生的巨大的由南向北的挤压作用力,使塔里木板块由早二叠世的北纬 28.3°运移到晚二叠世的北纬 30.1°,晚三叠世运移到北纬 34.3°(李永安等,1994),与西伯利亚古板块拼合在一起。由于海水向西退却,造成了晚二叠世安加拉植物群进入塔里木地块,以 *Aufomis* 和 *Dichnophylla* 为主的欧美植物群被以 *Comis-Iniopteris* 植物群所取代。晚期形成了安加拉植物群与华夏植物群的混生带。由于塔里木板块首先是北部与西伯利亚板块(已包括了增生的准噶尔微陆块)相碰撞,所以从北部向南部、从板缘向板内,天山运动产生的构造变形与不整合有一个迁移的时序差,运动的表现方式也各不相同。在盆地内的柯坪隆起上、下二叠统之间为整合接触,沙井子组河流相砂泥岩整合覆于下二叠统开派兹雷克组玄武岩和碎屑岩之上。沙井子组本身是跨早、晚二叠世的。在塔里木西南部和铁克里克隆起,上二叠统杂色碎屑岩与下二叠统碳酸盐岩和碎屑岩之间为假整合接触。晚海西期的天山运动延续到二叠纪末期,在南天山山前,可见下三叠统俄霍布拉克群平行或微角度不整合覆于上二叠统比尤勒包谷孜群之上(陈发景等,1994)。在塔里木盆地北部特别是沙雅隆起上,由于古生代地层遭受强烈剥蚀,三叠系以角度不整合覆于古生代不同时期的地层之上。如在雅克拉断凸三叠系以角度不整合覆于石炭系、奥陶系、寒武系和震旦系之上;在阿克库勒凸起三叠系以角度不整合覆于下奥陶统和下石炭统之上;在雅克拉断凸的东段(二八台以东地区),侏罗系—白垩系不整合于前震旦系之上;在沙西凸起,侏罗系—白垩系不整合于古生代不同时代地层之上。晚海西运动之后,强烈的地表剥蚀作用,使塔里木盆地出现第二次准平面化。 T_2^0 不整合面在全盆地分布广泛,具明显截下部地层的特征。晚二

叠世代表碰撞后期的沉积特征,海水全部退出塔里木,以陆相碎屑岩沉积为主,主要沉积区为塔西南—塔中、南天山南缘及库车坳陷北部一带,反映了在早二叠世末构造格局下的充填式沉积。随着板块边缘的进一步挤压调整,晚二叠世晚期之后塔里木盆地进入板内变形阶段。形成塔里木盆地北部的库车早期前陆坳陷和中部陆内浅坳两类盆地(图 1-3)。



图 1-3 塔里木盆地北部——天山造山带中生代构造演化图(图例同图 1-1)

(据丁道桂,汤良杰,1996)

(1) 库车前陆盆地 三叠纪时北部南天山逐渐抬升,在库车坳陷发育狭长的周缘前陆盆地,北面以山前断裂与南天山相接,南部可能位于拜城—阳霞一带。早期主要以红色山麓洪积相砾岩、砂岩为主,随着水体加深,中、晚期沉积了一套河流—湖泊相灰绿及深灰色泥岩、碳质泥岩、砂岩。广大湖区曾发生过海水间歇性侵入,尤其是三叠纪早、晚期,可能为海侵范围较大的时期。其上部含煤层,具有典型的前陆盆地沉积特征,沉积中心逐渐向南迁移。剖面上地层几何形态呈明显的楔形,靠近造山带一侧厚度大,向前陆逐渐减薄。沙雅隆起表现为前陆隆起分隔了库车前陆盆地和阿满坳陷。库车前陆盆地沉积未越过该前隆。由于南天山南缘逆冲断裂带向南递进扩展和迁移,在前陆区形成了下三叠统俄霍布拉克群与下伏上二叠统比尤勒包谷孜组之间的递进角度不整合。侏罗纪继承了三叠纪的格局,盆地沉积范围在三叠纪盆地的基础上向东、向南方向迁移扩大,侏罗系沉积中心在黑英山以南至塔拉克一带,厚度为 1 000~2 000m,部分沉积已越过沙雅隆起。沉积相带依次为洪积相、河流相、沼泽相、浅湖相。从中侏罗世开始,中、南天山造山活动再次活跃,使上侏罗统喀拉扎组紫灰色、浅棕色含砾砂岩的厚度极不稳定,表明造山作用加强,碎屑物迅速堆积,前陆盆地北缘填满,盆地向南迁移,形成下白垩统卡普沙良群与喀拉扎组之间的递进角度不整合。

(2) 中部陆内浅坳盆地 该盆地位于古生代克拉通之上,与周缘的前陆盆地具有明显的分隔性。沉积具明显向东迁移的特点。早三叠世时沉积中心位于西部阿瓦提附近;至侏罗纪时,沉积中心迁移至孔雀河一带。说明隆起抬升亦是从西向东的渐进过程。据钻井揭示,主要为一套河流—扇三角洲相—湖泊相为主的灰色、深灰色细砂岩、泥岩夹碳质页岩及薄煤层,与库车前陆盆地相比厚度转薄。将其作为前陆盆地与其圆形形态不符,该盆地可能是由于巴楚隆起西部和西南坳陷、沙雅北部、塔东南断阶等抬升所形成的一个被动陆内坳陷。

(六) 白垩纪—早第三纪伸展断坳阶段

时限 140~23.3Ma,时间跨度约 110Ma。这一阶段处于造山期后调整与应力松弛状态下,以板内热冷却沉降与伸展断坳为主要特征,古地温梯度由三叠纪—侏罗纪的 3.1~2.8℃降至白垩纪 2.9~2.7℃,沉降速度,幅度均较其前、后前陆盆地阶段低,沙雅隆起逐步没入水下,失去对两侧沉积的控制作用。库车断坳盆地沉积中心向南迁移,与中部陆内浅坳盆地连为一体,沉积物以湖泊三角洲、冲积相为主。库车坳陷西部晚白垩纪—早第三纪有海湾泻湖相灰泥岩、膏泥岩与细砂岩沉积。陆内浅坳东北部库鲁克塔格山前厚度较大,最大厚度 1 200m,向南西往

巴楚、卡塔克隆起明显上超减薄。

(七) 晚第三纪—第四纪晚期前陆阶段

由于印度板块与欧亚大陆的碰撞拼合、陆内俯冲等产生的强大挤压,使天山、昆仑山及阿尔金山快速上升,塔里木盆地迅速沉降,形成了晚期前陆盆地,进一步形成统一内陆拗陷。堆积了一套巨厚的浅湖相、河流相及沙漠相等的红色碎屑岩,塔北最厚可达 1 000~5 000m。

这种盆地仍然继承了早期的盆地格局,北部前陆盆地沉积中心位于阿瓦提—库车拗陷,总体呈现为往北下倾的斜坡;发育规模巨大的洪积扇群、冲积平原和湖泊沉积。发生于晚第三纪末期喜马拉雅运动,在塔里木盆地北部表现为中新统与下伏第三系呈整合或平行不整合接触,但往盆地中央可见中新统以角度不整合覆于下第三系及下伏地层之上。

综上,塔里木盆地北部在其演化过程中,主要属于克拉通盆地范畴,其构造演变,具有明显的阶段性,每一阶段的时间跨度,除晚第三纪—第四纪晚期前陆阶段外,震旦纪—早奥陶世边缘裂隙与板内伸展拗陷阶段若由寒武纪起算则均为 100Ma 左右,表现一定的周期性。盆地发展的阶段性与周期性,对于下古生界碳酸盐岩储集体的形成以及油气成藏,有重要控制意义。

二、寒武纪、奥陶纪碳酸盐台地建造与后期改造

塔里木盆地在其演化历程中,有过三次大的海相碳酸盐台地建造,即晚震旦世—奥陶纪、石炭纪—早二叠世,晚白垩世—早第三纪三次大规模台地建造,相当前述(一)、(三)、(五)盆地发展阶段,板内伸展、克拉通内稳定沉降拗陷背景下,以第一次台地建造延续时间跨度最长(200Ma 以上,仅寒武纪—奥陶统就有约 100Ma),规模最大(面积在 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$ 以上,累计厚度可达 4 000m),台地主体在塔里木盆地中北部,是本书重点研讨的对象,第二、三次台地建造属与大片陆地邻接的碳酸盐台地,挟夹有较多混水陆源碎屑沉积,其风格与晚震旦世—奥陶纪较纯粹的清水碳酸盐台地不同,无论在延续时间跨度,台地建造规模上都难与第一次台地相比,而且主要发育在盆地西南部,不属本书讨论范畴。

塔里木盆地北部晚震旦世碳酸盐台地是其后寒武纪—奥陶纪台地建造的基础,但它的展布与发育特征,目前资料尚少,暂不作进一步讨论。最壮观的碳酸盐台地发育于寒武纪—早奥陶世(相当 SAUK 巨层序),局部上延至中晚奥陶世(相当 TPA 超层序组),SAUK 巨层序台地如此发育的背景与具体条件是:

(1) 寒武纪—早奥陶世是全球碳酸盐台地广泛发育的时期,塔里木地块更因其处于赤道附近较低古纬度(南纬低纬度带 18.6°C ,参考点为 41.7°N , 80.5°E ,方大均,1994,图 1-4)。

按海洋生物产率从高纬度到低纬度,随阳光照度的增加而增加的原理和生物产率在赤道和亚热带还因洋水上涌而受到促进的因素,这一古纬度对碳酸盐沉积极其有利。当时的塔里木地块上,生物繁茂,藻类(如大量的蓝绿藻席、叠层藻(如 *Thrombolith*))极其发育,碳酸盐生产量巨大。

(2) 长约 100Ma 时间内,在区域大构造板缘离散、板内伸展背景下,克拉通内盆地持续稳定沉降、拗陷,创造了碳酸盐沉积巨大的可容纳空间和漫长的时间间隔。

(3) 据古生物研究,SAUK 巨层序总的生物面貌与扬子地块相近,但具强烈的地方色彩,如周志毅、周天荣等(1998)对塔北下奥陶统三叶虫的研究,通过三叶虫组成和亲缘关系分析,指出塔里木地块代表独立的地块;塔里木盆地 SA1 层序的小壳动物及 SA1—SB 层序三叶虫动物群面貌与远离大陆的扬子中、东区及过渡区江南区相似;并从相序组合及其地理分布、地质演替的相似,进一步强调塔里木地块与扬子地块间没有深海大洋阻隔,相距较近,且大致处