

# 塔里木地区奥陶纪原型盆地类型及其演化

何登发 周新源 张朝军 阳孝法

( 中国地质大学(北京)能源学院, 北京 100083; 中国石油公司塔里木油田分公司, 库尔勒 841000; 中国石油勘探开发研究院地质实验研究中心, 北京 100083. E-mail: hedengfa282@263.net)

**摘要** 奥陶系是塔里木盆地的主要勘探目的层系. 恢复奥陶纪的构造沉积环境是研究塔里木地块的构造演化历史和预测奥陶系有利储集相(区)带的重要基础. 从周缘大地构造背景、岩相与沉积充填、古地理古气候古生态、构造变形和岩浆活动等出发, 将盆地沉积充填和周缘造山带的演化相结合, 重建了奥陶纪不同地质时期的原型盆地. 在奥陶纪, 塔里木地区表现出克拉通内拗陷和克拉通边缘拗陷相复合的盆地性质. 中西部克拉通内拗陷主要为台地相沉积区, 东部克拉通边缘拗陷主要为深水盆地相区, 其间为斜坡过渡带. 晚奥陶世, 北昆仑洋的闭合和阿尔金地区沟-弧-盆体系的消亡导致塔里木南部地区处于挤压隆升背景, 中西部的碳酸盐台地相区转变为混积陆棚, 东部的盆地相区出现超补偿的巨厚复理石沉积, 标志着盆地性质的急剧转变, 盆地格局由奥陶纪的东西分异向志留纪的南北分异转化.

**关键词** 奥陶纪 原型盆地 复合盆地 盆地演化 塔里木地块

塔里木盆地是在前震旦纪陆壳基底上发展起来的大型叠合复合盆地<sup>[1~10]</sup>, 其主体为震旦纪—早二叠世海相沉积层序和晚二叠世—第四纪陆相沉积层序叠置构成<sup>[3,7~10]</sup>.

奥陶系是塔里木盆地的主要构成层序, 在盆地内部厚达 2000~6000 m. 在盆地的大部分地区, 奥陶系主体由浅水碳酸盐岩组成. 因此, 奥陶系是研究全球海平面变化、开展海平面相对升降对比<sup>[11,12]</sup>, 研究塔里木地块属性、生长和漂移历史<sup>[13]</sup>, 研究层序地层、开展克拉通盆地成因与演化序列比较的理想地区之一<sup>[13~18]</sup>. 同时, 塔里木地区在奥陶纪不同时期又表现出明显的东、西分异与南、北分异, 构造格局急剧转变的特点<sup>[7,19]</sup>, 因此, 奥陶纪又是深入剖析地块裂解、周缘块体相互作用与盆-山关系转换的关键地质时期之一<sup>[7,10,19]</sup>.

奥陶系是塔里木盆地的主要勘探目的层系. 迄今, 已发现了轮南-塔河大油气田<sup>[20~22]</sup>、英买力油田(群)<sup>[23]</sup>、和田河气田<sup>[24]</sup>和塔中 号带油气田(群)等一系列奥陶系油气田<sup>[25]</sup>. 这些油气田主要分布于塔北、塔中和巴楚等隆起及其斜坡部位, 台缘高能相带(如礁、滩相)和后期岩溶形成了优质的储集体<sup>[21,22,25]</sup>. 但目前对制约高能沉积相带发育的台地类型、期次、展布与成因机制等缺乏系统、深入的研究<sup>[14,26]</sup>; 对发育在台地内凹陷、台地边缘斜坡或盆地相中的烃源岩的

有机岩相带类型、古生态环境、沉积岩相等<sup>[27]</sup>, 也缺乏从沉积环境和古地理演变角度的系统分析<sup>[28,29]</sup>.

深入分析奥陶纪塔里木地区的板块构造背景, 岩相古地理, 沉积充填过程与叠加复合演化, 对于认识塔里木盆地的形成与演化, 预测奥陶系的有利储集岩相带(区)和有利成藏(区)带, 将具有重要的理论意义和勘探价值.

目前, 塔里木盆地钻遇奥陶系的井有 200 多口, 分布在除库车地区之外的盆内其他地区, 和 4、方 1、康 2、塔参 1、塔中 1、塔中 162、库南 1 及塔东 1 等探井揭穿了奥陶系. 针对下古生界碳酸盐岩的地震勘探获得了一大批高品质的地震资料; 同时, 在阿尔金山, 西昆仑山及南天山等地区的地表地质调查取得了一系列新进展<sup>[30]</sup>. 本文利用这些新资料与新认识, 应用原型盆地分析方法<sup>[7,31,32]</sup>, 恢复塔里木地区奥陶纪不同地质时期的构造-沉积环境, 并对构造格局的演变进行探讨.

## 1 周缘大地构造背景及其演化

晚元古代超级古陆——Rodinia 古陆自震旦纪开始裂解, 至寒武纪塔里木地块周缘已有洋壳出现. 震旦系以显著的角度不整合覆盖于前震旦系结晶基底之上, 成为塔里木板块的第一套盖层. 震旦纪, 塔里木地区出现南、北隆拗分异的格局; 至寒武-奥陶纪, 则表现出东、西向的分异演化<sup>[29,33,34]</sup>. 寒武纪沉积覆

盖了整个盆地,基本由震旦纪南、北陆中间海的“南北分异”格局演变为“西高东低”的形态。

奥陶纪为古亚洲洋演化的关键时期,塔里木地块周缘主要发生了以下事件。

### 1.1 古亚洲洋北支的消减闭合

中奥陶世早期,古亚洲洋的北支闭合,阿尔泰古陆与西伯利亚古陆相碰撞,发生褶皱造山并伴有同造山期花岗岩侵入,使阿尔泰早古生代褶皱系拼贴于西伯利亚板块西南缘成为其增生陆壳。

北天山洋盆自中奥陶世沿艾比湖至吐鲁番-哈密地块南缘向中天山地体之下俯冲,唐巴勒至米什沟及康古尔塔格一带为奥陶纪的岛弧带,其南侧的博罗科努与哈尔克山地区处于伸展的弧后盆地部位。奥陶纪末期,该洋盆消减完毕,下志留统含笔石的碎屑岩组合角度不整合于奥陶系“可可乃克群”构造混杂岩之上<sup>[35,36]</sup>。

### 1.2 古亚洲洋南支——南天山洋的形成

南天山存在两条蛇绿岩带<sup>[37-39]</sup>:北带由西部长阿吾子、古洛沟、老巴伦台至米什沟以北的马鞍桥一带;南带由黑英山、霍拉山北坡至库米什以南榆树沟<sup>[40]</sup>,向西至阿合奇西北阔克沙勒一带也有分布。在南天山北缘长阿吾子蛇绿岩中的辉长岩获得了 $(439.4 \pm 26.9) \text{Ma}$ 的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄<sup>[41]</sup>,该年龄代表了南天山洋盆的扩张时代,标志着奥陶纪时南天山洋盆已经形成;北带达鲁巴依蛇绿岩的锆石年龄为 $590 \sim 600 \text{Ma}$ <sup>[42]</sup>,可能标志南天山洋盆的初始时间更早。南带的蛇绿岩为晚志留-早泥盆世<sup>[35]</sup>,代表着南天山洋盆的进一步发育;向东到榆树沟和库米什一带,蛇绿岩构造侵位到中泥盆世地层中,其中榆树沟蛇绿岩经历了泥盆纪麻粒岩相的变质作用<sup>[40]</sup>。南天山奥陶纪主要为复理石建造夹碳酸盐岩建造,沿着塔里木地块的北缘,发育了斜坡、浅-半深海相的被动大陆边缘环境下的沉积。

### 1.3 北昆仑洋的消减与关闭

西昆仑蛇绿岩主要沿乌依塔格-库地-阿其克库勒湖-香日德一线分布<sup>[9,37,38]</sup>,在该缝合带的南侧,发育了大量早古生代中酸性侵入岩和火山岩<sup>[38,43-45]</sup>,如库地北闪长岩、花岗闪长岩体、库地北花岗岩体、康西瓦北花岗岩体、乌依塔格花岗岩体、万宝沟花岗岩体等,断续分布达 $600 \text{km}$ 以上。这些岩体的同位素年龄集中在 $449 \sim 494 \text{Ma}$ ,属于奥陶纪。这些中酸

性侵入岩形成于岛弧构造背景<sup>[9]</sup>,即北昆仑洋沿着上述缝合带一线向南俯冲消减,形成了位于中昆仑地体北缘的早古生代岛弧岩浆岩带。

中奥陶世,这一俯冲作用达到高峰,造成大规模的火山作用和侵入作用;同时也导致盆地内部的中奥陶世地层中火山灰和火山碎屑沉积的广泛发育。例如,塔中 31 井在中、上奥陶统钻揭了一套辉绿岩,该期侵入岩在地震剖面上表现清楚,侵入岩中心呈漏斗形斜穿中、上奥陶统,向外大部分地区沿层侵入,侵入体一般未穿入志留系,表明其主要侵入时代为晚奥陶世<sup>[34]</sup>。

在奥陶纪末期,北昆仑洋已接近关闭。

### 1.4 阿尔金北缘沟-弧-盆体系的形成与消亡

许志琴等人<sup>[13]</sup>将北阿尔金带与北祁连带、南阿尔金带与南祁连带相连,包括它们的火山岛弧带、蛇绿岩带和(超)高压变质带等之间的对应关系。尽管对区域构造格局的研究还存在不同意见,但对花岗岩类和火山岩类的构造环境研究表明,阿尔金山北缘地区在早古生代可能发育完整的沟-弧-盆体系。北为中、晚奥陶世于田南-若羌弧后盆地;其南侧沿阿尔金断裂北缘发育的中、酸性侵入岩带及双峰式火山岩,为岛弧环境产物;南侧发育海沟。近年来,对阿尔金英格利萨依一带超高压石榴子石、二辉橄榄岩和超高压含石榴子石花岗质片麻岩的研究表明,这些超高压岩石的形成是陆壳深俯冲作用的产物<sup>[46-48]</sup>,进一步证明了该海沟的存在。在弧后盆地中,沿巴什考供断裂南北出现相带分异;其南侧肃拉穆宁地区以台地及其边缘浅水相沉积为主,其北侧拉配泉地区为一套巨厚的槽盆相酸性-基性火山岩、碎屑岩夹灰岩地层,含 Caradoc 期的腕足类,为中奥陶统沉积,称为亚普恰萨依组。该弧后盆地在晚奥陶世消亡。

## 2 岩相与沉积环境

奥陶纪的沉积演化明显受控于该时期的盆地构造演化。晚寒武世末—早奥陶世初,塔里木盆地断块差异活动加强,上升断块形成水下隆起,而急剧沉降区成为半深海-深海盆地,堆积了巨厚的陆源碎屑浊积岩。奥陶纪为大规模海侵期,海水几乎淹没了整个塔里木地块,到晚奥陶世中晚期达到高潮。研究表明,奥陶纪经历了一个完整的海侵海退旋回,由早奥陶世早期—中奥陶世中期海侵、中奥陶世晚期海退和晚奥陶世早期海侵、晚奥陶世中晚期海退两个次级旋

回构成<sup>[13]</sup>。盆地中西部地区发育宽广的碳酸盐台地,至晚奥陶世晚期碳酸盐台地转化为混积陆棚,标志着盆地性质的转变<sup>[19,49]</sup>。

### 2.1 早奥陶世

早奥陶世,塔里木盆地基本上继承了晚寒武世的古地理格局。台地范围明显扩大,碳酸盐台地边缘向东侧的盆地相区方向推进了约40 km,达到了台地发育的极盛时期。地层东薄西厚,沉积厚度相差几十倍。

早奥陶世在塔东地区为欠补偿型深水盆地(图1),沉积很薄,沉积物以细粒为主,塔东1井揭示一套上部为灰色泥晶-粉晶灰岩、灰色、灰黑色瘤状泥晶-粉晶灰岩夹灰黑色钙质泥岩;下部为深灰色、灰黑色重结晶灰岩,钻厚147 m。生物以深水浮游生物为主,发育笔石组合、薄壳腕足组合<sup>[50]</sup>,海水深度大于3500 m。库南1井-满参1井-且末连线一带是一个向西凸出的马蹄形东倾斜坡带,海水深度大于50~200 m。

台地前缘斜坡相发育钙屑碎屑流和钙屑浊流沉积,夹于静水沉积的瘤状泥岩内部,属于沉积型缓斜坡,生物既有底栖生物,又有浮游生物,既有原地埋藏生物,又有随重力流从台地搬运来的异地埋藏生物,发育球接子-薄壳腕足组合。

在该斜坡带以西的广大地区,为碳酸盐台地环境,水深小于20 m<sup>[14,27]</sup>。这一时期在巴楚及塔中地区沉积了巨厚的碳酸盐岩(厚可达2200 m)。早奥陶世早期,局限-半局限台地相发育,沉积物以白云岩、灰质白云岩为主;早奥陶世晚期,半局限-开阔海台地相发育,沉积物以云质灰岩、灰岩为主。在平面展布上,由曲1井-和4井-满西2井-满西1-塔中4井一带,发育一狭长的、呈弧形展布的局限台地相。例如在塔中地区,上丘里塔格组(O<sub>1-2S</sub>)为局限台地相厚层状灰色、浅褐灰色泥晶灰岩,亮晶、泥晶砂屑灰岩,燧石结核灰岩,白云质灰岩与厚层状浅褐灰色泥晶、粉晶白云岩,塔中1井钻厚达1906.5 m。此外,在英买力地区,发育一范围较小、近东西向延伸的局限台地相区。除此之外的大部分地区发育厚度巨大的碳酸盐开阔台地相沉积。

### 2.2 中奥陶世

根据古地磁研究和碳氧同位素的分析结果,中、晚奥陶世塔里木地块处于古纬度南纬20°~30°的热带-亚热带地区<sup>[11,51]</sup>;中奥陶世,随着海平面的上升,

古地理面貌有了很大的改观。塔东地区为盆地相区,海水深度加大,深海相沉积特征更加明显,海水浸漫到阿尔金一带。

在满加尔凹陷区,堆积了厚度巨大的海底扇亚相的陆源碎屑浊积岩和盆地平原亚相泥页岩,海底扇物源来自于东北方向、东南方向和塔中低凸起,扇体厚度可达2000 m以上。早奥陶世向西凸出的东倾斜坡相区到中奥陶世向西迁移了约100 km(图2),但宽度减小,同时斜坡带的走向在盆地南部发生了明显的改变,斜坡带越过塔中隆起向塘参1井-民参1井一带延伸。塘古孜巴斯拗陷第一次出现较大幅度的沉降,形成了半深海-深海环境。斜坡相主要由静水沉积的泥灰岩、瘤状灰岩夹钙屑碎屑流和钙屑浊流沉积组成。塔中29井已钻揭具有斜坡相特征的中奥陶统顶部地层,库南1井已钻揭中奥陶统底部地层,该斜坡带在地震反射剖面上清楚地显示出复合型前积结构特征。

在“U”字形斜坡带围限区的南部(图2),以台地环境沉积为主,但沉积厚度不足1000 m,沉积物主要为泥晶灰岩、泥晶砂屑灰岩、砂屑泥晶灰岩。其北部,为混积陆棚相沉积,发育了以粉细砂岩、泥岩为主偶夹碳酸盐岩的巨厚沉积物,厚达2000 m。在台地的东部边缘轮南14井-羊屋2井-塔中31井一带,中奥陶世晚期(牯牛潭期)发育有镶边状台地滩沉积,沉积物主要为亮晶颗粒(砂屑、生屑、鲕粒)灰岩。

中奥陶世,塔中隆起开始发育,沿和4井-方1井-康1井-山1井-塘北2井-塔中60井-塔中54井-塔中49井一带,在中奥陶世末期开始隆升并遭受剥蚀,且一直持续到晚奥陶世早期,缺失大湾期-庙坡期地层。塔中号断裂于中奥陶世开始活动,形成长生长断层传播褶皱背斜带,对其上、下盘的沉积有重要的控制作用。断裂上盘发育有生物礁滩相沉积,构成塔中地区重要的油气储集体<sup>[26,52]</sup>。

在盆地西缘,巴楚-阿瓦提-拜城一带以西,发育斜坡相沉积。

### 2.3 晚奥陶世

晚奥陶世,随构造活动的增强和海平面的快速上升,塔里木盆地的古地理格局发生重要变化,但在平面上依然保持三分特点。

塔东地区形成了与强烈沉降相对应的补偿-超补偿性沉积,堆积了巨厚的盆地海底扇亚相的陆源碎

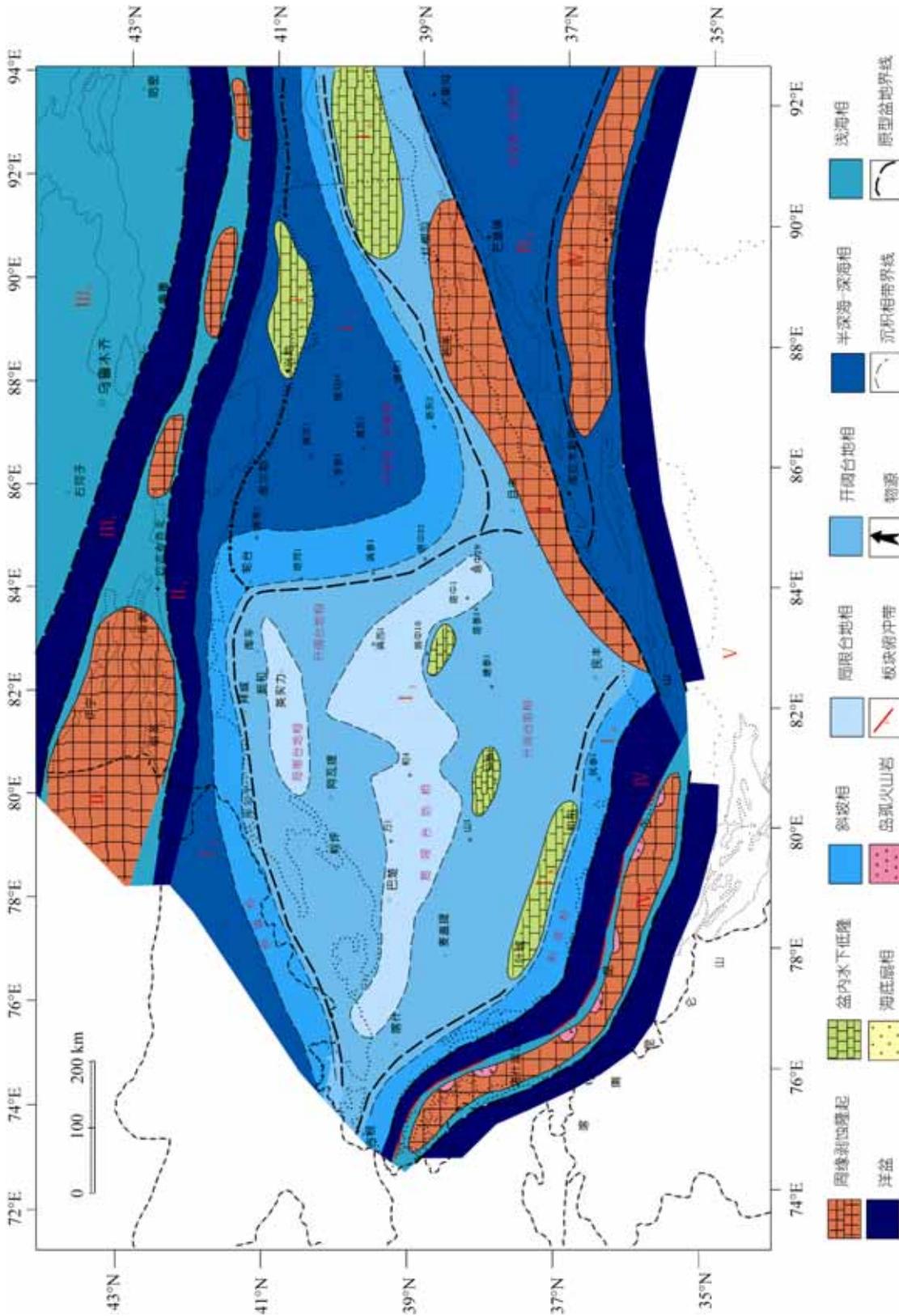


图 1 塔里木地块及邻区早奥陶世的构造沉积环境

1: 塔西克拉通内拗陷, 2: 塔东边缘拗陷, 3: 塔北被动陆缘盆地, 4: 塔西南被动陆缘盆地, 5: 阿尔金隆起, 6: 罗布庄隆起, 7: 阿克苏隆起, 8: 和田低隆起, 9: 南天山洋盆, 10: 中天山隆起, 11: 北天山洋盆, 12: 祁漫塔格海槽, 13: 北昆仑洋盆, 14: 西昆仑隆起, 15: 东昆仑隆起, 16: 古昆仑洋

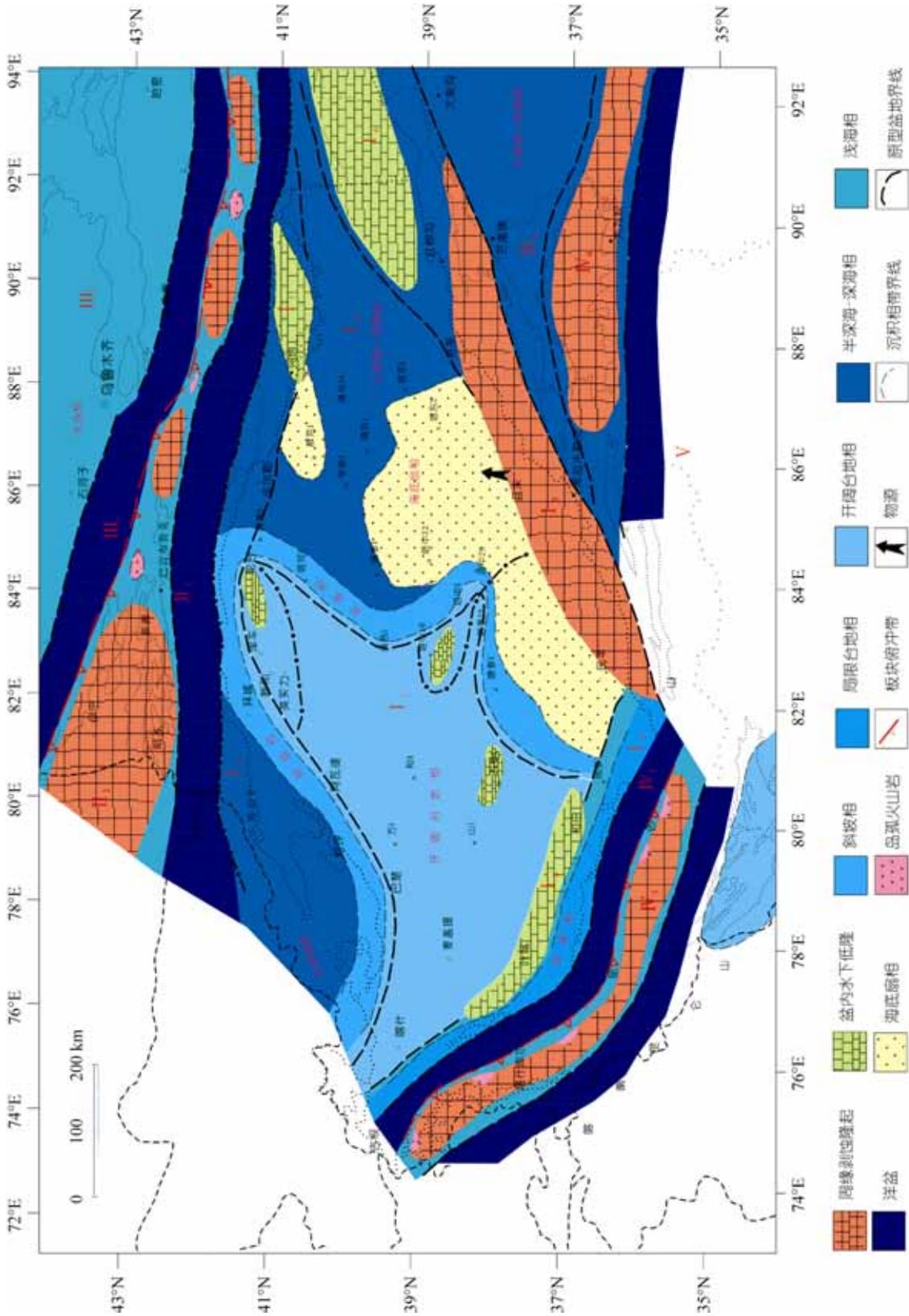


图2 塔里木地块及邻区中奥陶世的构造沉积环境

1: 塔西克拉通内拗陷, 2: 塔东边缘拗陷, 3: 塔北被动陆缘盆地, 4: 塔西南被动陆缘盆地, 5: 阿尔金隆起, 6: 罗布庄隆起, 7: 阿克苏隆起, 8: 和田低隆起, 9: 南天山洋盆, 10: 中天山隆起, 11: 北天山洋盆, 12: 祁漫塔格海槽, 13: 北昆仑洋盆, 14: 西昆仑隆起, 15: 东昆仑隆起, 16: 古昆仑洋

屑浊积岩和半深海-深海相的泥页岩; 却尔却克组( $O_2\text{-}3q$ )在塔东地区广泛分布(塔中 28, 29, 31, 32, 33 和塔东 1 等井钻遇), 主要由灰绿、黄绿、紫红、黑或灰色砂岩、粉砂岩、页岩及砂屑灰岩形成的韵律层, 钻厚 1599 m, 为复理石建造或典型浊积岩沉积; 产笔石、几丁石、牙形石、三叶虫、头足类、腕足类和珊瑚等。

与盆地相区西侧紧邻的仍是向西凸出的马蹄形斜坡带, 但该斜坡带已向西有了长距离的迁移(图 3), 主体部位位于轮南 14 井-羊屋 2 井-塔中 49 井-塔中 25 井-塘参 1 井一带, 且宽度较大, 为沉积型缓斜坡。该斜坡在晚奥陶世早期(吐木休克组和良里塔格组沉积时期)为台-盆过渡带, 由钙屑碎屑流、静水沉积瘤状灰岩和隐藻泥晶凝块灰岩组成, 古生物化石除丰富的底栖生物外, 还有浮游的头足类、球接子等, 牙形石化石组合为北大西洋型与北美中大陆型混生; 晚奥陶世晚期(桑塔木组沉积时期), 该斜坡演变为混积深水陆棚, 沉积物以泥岩、砂岩为主, 夹隐藻-海绵灰岩、泥晶灰岩, 古生物组合为球接子-笔石组合, 该斜坡带在盆地南部和北部的发育情况并不一样, 北部轮南地区发育早, 而南部塔中地区经过长期暴露后, 从良里塔格组沉积期开始接受沉积, 且随着海平面的不断上升向西不断扩展。在良里塔格组沉积早期, 斜坡外边缘塔中 24 井-30 井一带曾一度为镶边状浅滩沉积。

斜坡带向西南延至塘古孜巴斯地区, 塘参 1 井区却尔却克组( $O_{2,3q}$ )为厚层灰、深灰色浊积岩沉积, 上部为灰、深灰色泥岩、粉砂质泥岩夹同色粉砂岩、泥质粉砂岩, 近顶部夹灰色灰岩、泥质灰岩; 中部为灰色泥质粉砂岩、粉砂岩与深灰色粉砂质泥岩、泥岩不等厚互层; 下部为灰褐、深灰色泥岩, 底部夹深灰色灰岩。产牙形石、几丁石、三叶虫等化石。

在斜坡带以西, 柯坪-英买力一带与巴东-塔中地区, 晚奥陶世为混积深水陆棚相区, 沉积物以暗色泥质岩为主, 夹灰岩。巴楚断隆一带在晚奥陶世早期为开阔台地相区, 晚期为混积浅水陆棚沉积, 沉积物为褐色砂泥岩夹泥晶灰岩。方 1 井和 4 井钻揭的良里塔格组( $O_3l$ )厚 240~380 m, 上部为台地边缘斜坡亚相的泥岩、泥灰岩互层, 下部为开阔台地亚相的纯灰岩。整合其上的桑塔木组( $O_{3s}$ )在区内分布较广泛, 厚 43.5~247 m, 岩性为灰质泥岩夹灰岩, 向玛扎塔格断裂构造带东端灰质含量略有增高趋势。

麦盖提地区为开阔台地相区, 叶城-和田地区发

育水下低隆, 其南部为斜坡及海盆相区。

### 3 构造格局及其演化

奥陶纪塔里木地区主要发育了克拉通内拗陷和克拉通边缘拗陷相复合的盆地类型, 克拉通内拗陷以台地相沉积为主, 克拉通边缘拗陷以盆地相沉积为主。早、中、晚奥陶世之间盆地面貌及性质均发生了较大变化。

#### 3.1 早奥陶世

早奥陶世的盆地格局基本继承了寒武纪的面貌<sup>[33]</sup>。北昆仑洋扩大, 其北侧的塔西南被动大陆边缘发育, 和田低隆起幅度与面积扩大, 可能一度成为暴露型剥蚀隆起。与盆地东南缘相邻的祁漫塔格一带形成半深海-深海海槽, 南天山洋盆已具雏形, 盆地内部台缘斜坡变宽; 塔西克拉通内拗陷沉积厚度增大; 塔东克拉通边缘拗陷仍为欠补偿拗陷(图 1)。

早奥陶世末的构造运动在盆地内部表现明显。其成因可能与北昆仑洋、阿尔金洋、北天山洋开始俯冲有关。伴随该期运动, 盆地内部形成了塔中、玛南与和田 3 个雁列状展布的隆起或低凸起(塔北隆起也初具隆起形态)。塔中地区塔中 12, 401, 162, 43 和塔参 1 等井揭穿上奥陶统灰岩而进入下奥陶统, 中间缺失中奥陶统大湾阶、牯牛潭阶和上奥陶统庙坡阶, 确证了上、下奥陶统之间不整合的存在。在满加尔凹陷盆地相区, 在地震剖面上, 中、上奥陶统与下奥陶统灰岩之间存在明显的底超关系, 也证明早奥陶世末存在构造运动。

#### 3.2 中奥陶世

中奥陶世的盆地格局发生了较大变化。盆地南缘可能已经由伸展体制转变为挤压体制, 这在于北昆仑洋的消减与阿尔金沟-弧-盆体系的消亡(图 2)。挤压的发生一方面导致阿尔金北缘地区与罗布泊地区褶皱隆起, 成为满加尔凹陷的重要物源, 例如导致大型海底扇沉积体系的出现; 另一方面, 沿阿尔金带的聚敛活动, 可能具有左行扭动性质, 民丰北断裂等发生走滑-冲断活动, 导致塔中、玛南低凸起的继续发育, 此外, 也导致了古城鼻隆开始形成, 上述 3 个北西西向凸起呈雁列展布, 增加了盆地内部的地形起伏程度。盆地内部的具体变化还表现在台缘斜坡变窄, 且向西大幅度迁移 100 km 以上, 斜坡带向南过塔中后转为北东至南西向, 塘古孜巴斯拗陷也充填

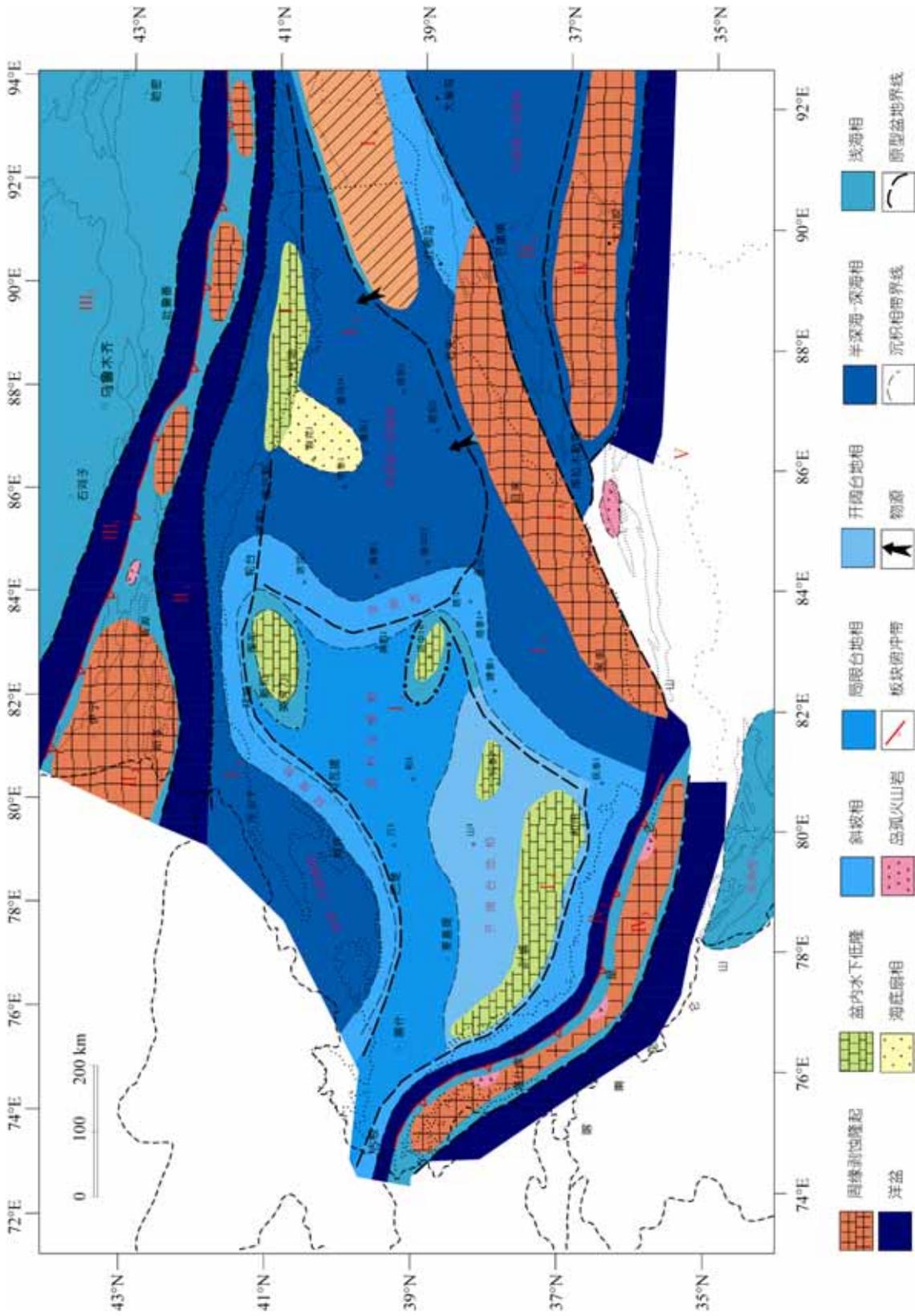


图3 塔里木地块及邻区晚奥陶世的构造沉积环境

1: 塔西克拉通内拗陷, 2: 塔东边缘拗陷, 3: 塔西南被动陆缘盆地, 4: 塔西南被动陆缘盆地, 5: 罗布庄隆起, 6: 阿尔金隆起, 7: 阔克苏隆起, 8: 和田低隆起, 9: 天山洋盆, 10: 中天山隆起, 11: 北天山洋盆, 12: 准噶尔-吐哈地块, 13: 北昆仑洋盆, 14: 西昆仑隆起, 15: 东昆仑隆起, 16: 古昆仑洋

了台缘斜坡相及半深海-深海相沉积. 塔西克拉通内拗陷由于剥蚀区的出现而成为混积台地, 与早奥陶世相比, 塔西台地相区中奥陶世的沉积厚度减小; 相反, 在塔东克拉通边缘拗陷的沉积厚度加大.

兴地断裂是塔东克拉通边缘拗陷与塔北被动大陆边缘盆地的边界, 其北侧在早奥陶世具有岸外海台性质, 发育厚 2410 m 的开阔台地-陆架相沉积; 至中奥陶世发育厚 110 m 的非常稳定的浅海碳酸盐岩台地沉积. 随着南天山洋盆的扩展, 塔北被动大陆边缘逐渐发育成熟, 宽度增大. 北天山洋盆的消减, 加快了南天山洋盆的扩展, 这与南天山洋盆处于中天山岛弧之后, 弧后的扩展作用有关.

塔西南大陆边缘盆地由于两侧隆起的加大也发育了混积陆棚相. 而在祁漫塔格地区, 形成了陆缘裂谷构造环境, 海水较深, 自下而上沉积了厚达上万米的碎屑岩或凝灰碎屑岩、中-中酸性或基-酸性火山岩、碎屑岩和陆源碎屑岩.

### 3.3 晚奥陶世

晚奥陶世的盆地格局继承了中奥陶世的特点. 台地斜坡继续西迁且宽度扩大近一倍, 和田、玛南、塔中与塔北隆起或凸起的面积扩大(图 3). 对玛扎塔克地区奥陶系的研究表明, 中奥陶统砂屑灰岩段与上奥陶统鲕粒灰岩段之间有一个不整合面, 其间缺失中奥陶世晚期至晚奥陶世早期的地层<sup>[50]</sup>.

塔西克拉通内拗陷为混积陆棚环境, 沉积厚度急剧减小, 相反, 在塔东边缘拗陷发育过补偿沉积建造. 阿尔金隆起与罗布庄隆起为其主要物源. 祁漫塔格地区陆缘裂陷槽发育已到后期, 火山活动明显减弱, 但海水仍然较深.

### 3.4 构造格局的演变

奥陶纪构造格局的演化表现出以下特点: (1) 盆地具西高东低的格局, 西部的克拉通内拗陷与东部的克拉通边缘拗陷之间以斜坡过渡, 早奥陶世的沉积厚度西大东小, 中、晚奥陶世的沉积厚度则西小东大, 东部的克拉通边缘拗陷于晚奥陶世出现过补偿沉积. (2) 塔西克拉通内拗陷的东侧台缘斜坡相带经历了由宽—窄—宽的演化过程, 且不断西移<sup>[53,54]</sup>, 过塔中后向西南延伸. 它与塔里木地块北侧、西北侧的斜坡构成“U”字形. (3) 由于塔里木地块运动的变化(如纬度、方位的变化)<sup>[51]</sup>, 由早奥陶世的相对较干热气候, 演变为中晚奥陶世的较湿润气候. (4) 南压、北张的构造体制逐渐建立, 导致塔里木盆地由东西分

异的格局向南、北分异的格局转变<sup>[32,34,49]</sup>. 盆地内部的低隆起或低凸起形成或幅度加大. 受阿尔金断裂系活动的影响, 玛南、塔中、古城等低凸起或鼻状凸起形成, 在压扭作用的影响下, 它们呈雁列状展布. (5) 由于晚奥陶世南部物源区的出现, 塔西克拉通内拗陷出现由开阔台地、局限台地向混积台地、混积陆棚的转变, 标志着盆地性质的变化. 塔里木盆地自寒武-奥陶纪“东西分异”格局向志留-泥盆纪“南北分异”格局转化. 自早寒武世开始到晚奥陶世五峰期为止, 构成了一个大的完整的海侵海退旋回<sup>[48]</sup>. (6) 塔里木地块北部的被动大陆边缘由窄到宽, 并逐渐发育成熟, 它与塔东克拉通边缘拗陷之间以兴地断裂为界. 该断裂两侧存在两类不同沉积环境的地层和火山岩岩性组合: 该断裂以南主要为半深海-深海相浊积岩、放射虫硅质岩和笔石页岩, 火山岩活动具有双峰式特点; 该断裂以北以碳酸盐台地相沉积为主, 火山岩为玄武岩.

## 4 盆地性质探讨

早、中奥陶世塔里木地块西部为浅水台地(以碳酸盐岩沉积为代表), 东部为深水盆地(以深水欠补偿黑色碳-硅质灰泥沉积为代表); 至晚奥陶世, 中西部为混积陆棚, 而东部仍为“深水盆地”(以超补偿深海浊流沉积为代表). 这种构造格局急剧转变的机制以及相应的盆地性质是目前讨论的热点.

关于奥陶纪塔里木盆地的性质, 目前主要有 3 种代表性观点: (1) “拗拉槽”观点: 贾承造等人<sup>[5,6,9,34]</sup>认为, 震旦-奥陶纪, 塔里木陆块及周缘地区处于伸展构造环境, 位于南北两侧的昆仑和天山地区逐渐从早期裂谷演化为后来的被动大陆边缘. 在板块内的东北部则发育裂谷系, 这支裂谷系自北山-南天山伸入塔里木盆地东北部, 以库鲁克塔格地区震旦纪—早寒武世发育基性和酸性“双峰式”大陆裂谷火山岩系为特征, 据此, 贾承造等人<sup>[5,6,9,34]</sup>称之为库鲁克塔格-满加尔拗拉槽(简称库-满拗拉槽); 并将晚奥陶世满加尔地区厚达 3000~4000 m 以上的海底扇相浊积岩解释为“拗拉槽回返”期的沉积; (2) “裂谷”观点: 李德伦等人<sup>[55]</sup>认为, 北部拗陷是在前震旦纪结晶基底之上发育起来的大陆裂谷盆地, 始于早震旦世, 结束于晚奥陶世; 裂谷的轴部自西向东由阿瓦提凹陷、满加尔凹陷和英吉苏凹陷(包括库鲁克塔格南区)组成, 向东延伸到罗布泊以东地区; 裂谷轴部与地幔隆起带和高磁异常带相对应; (3) “克拉通内拗陷”与“克拉通

边缘拗陷”相复合的“克拉通盆地”观点:持这种观点的学者认为<sup>[7-8,10,31,32,56,57]</sup>,塔里木西部地区发育了克拉通内拗陷,而塔里木东部地区(满东-库鲁克塔格南部地区)发育了克拉通边缘拗陷,其间以斜坡带过渡,二者的沉降具有明显差异。此外,对于奥陶纪(库鲁克塔格-“满加尔地区”)的构造属性还有“被动大陆边缘”<sup>[58]</sup>和“深水槽盆”<sup>[19,29,49]</sup>等观点。

导致目前争议的主要原因是:(1)盆地“中央高磁异常带”的成因与构造属性:它们形成的具体时期?是南、北塔里木地块之间的拼合带还是构造岩浆岩带?它们是揭示阿瓦提凹陷-满加尔凹陷深部背景的主要因素,对它的不同解释成为不同认识的依据;(2)塔里木地块在寒武-奥陶纪的具体方位,轴部呈南北走向(相对于现今方位)<sup>[51]</sup>?它与南天山洋的具体构造和角度关系?塔里木地块是否像“中央造山带北带的地体/岛弧系”一样位于“冈瓦纳超大陆的西北侧、始特提斯洋东南缘”<sup>[13]</sup>?由于其可能的古地理位置及其与周缘大陆块体的关系不明,判断盆地内部单元与盆缘构造带的时、空关系就存在困难;(3)寒武-奥陶纪伸展构造解析:除在震旦系发育小断距、小规模的正断层组合外,在满加尔凹陷南、北两侧寒武-奥陶系中并未见到大规模的正断层组合,满加尔凹陷在寒武-奥陶纪(尤其是寒武纪—早奥陶世)是否发育伸展构造变形?(4)满加尔凹陷的沉降机制不清:对满加尔凹陷在寒武-奥陶纪的急剧快速沉降,目前缺乏定量模拟与机理分析;(5)塔里木地块内部及其周缘的构造单元组成了“复合”性质的盆地,盆地类型随着周缘构造带的活动性质不同发生了急剧变化,例如自早、中奥陶世向晚奥陶世构造格局的变革(图1至图3),导致“复合”盆地的性质也发生转变。

盆地南缘的后期复杂构造改造和叠加作用,包括西昆仑向北的大规模冲断作用和阿尔金断裂中新生代以来大规模的走滑作用,将盆地南缘的构造-岩相带强烈改造,使其难以恢复和复位。例如,图1至图3中,台缘斜坡带向南突然被“阿尔金隆起”所截断,那么,台缘斜坡带如何延伸?“阿尔金隆起”在这一时期究竟在何处?这些都关系着对塔东边缘拗陷(以满加尔地区为主体)的展布、期次、构造性质与叠加复合演化等问题的解决,有待于深化研究。

致谢 研究过程中得到中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院的大力帮助,谨致谢意。

## 参 考 文 献

- 1 陈发景,陈全茂,孙家振,等.塔北地区盆地构造演化及其与油气关系.中国塔里木盆地北部油气地质研究(第三辑):构造与油气.北京:中国地质大学出版社,1991.29—36
- 2 滕吉文,主编.塔里木地球物理场与油气:塔里木油气地质(2).北京:科学出版社,1991.1—121
- 3 童晓光.塔里木盆地的地质结构和油气聚集.见:童晓光,梁狄刚,主编.塔里木盆地油气勘探论文集.乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1992.17—22
- 4 李德生.中国西部含油气盆地的地质特征.见:中国大陆构造论文集.武汉:中国地质大学出版社,1992.132—143
- 5 贾承造,姚慧君,魏国齐,等.塔里木盆地板块构造演化和主要构造单元地质构造特征.见:童晓光,梁狄刚,主编.塔里木盆地油气勘探论文集.乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1992.207—225
- 6 贾承造,姚慧君,魏国齐,等.盆地构造演化与区域构造地质.北京:石油工业出版社,1995.1—30
- 7 何登发,李德生.塔里木盆地构造演化与油气聚集.北京:地质出版社,1996.1—171
- 8 汤良杰.塔里木盆地演化和构造样式.北京:地质出版社,1996.1—136
- 9 贾承造.中国塔里木盆地构造特征与油气.北京:石油工业出版社,1997.1—438
- 10 张光亚.塔里木古生代克拉通盆地形成演化与油气.北京:地质出版社,2000.1—115
- 11 江茂生,朱井泉,陈代钊,等.塔里木盆地奥陶纪碳酸盐岩的碳、锶同位素特征及其对海平面变化的响应.中国科学D辑:地球科学,2002,32(1):36—42
- 12 鲍志东,金之钧,孙龙德,等.塔里木地区早古生代海平面波动特征:来自地球化学及岩溶的证据.地质学报,2006,80(3):366—373
- 13 许志琴,杨经绥,李海兵,等.中央造山带早古生代地体构架与高压/超高压变质带的形成.地质学报,2006,80(12):1793—1806
- 14 顾家裕.塔里木盆地沉积层序特征及其演化.北京:石油工业出版社,1996.1—361
- 15 张守安,李德茂.塔里木盆地构造-地层组合特征.新疆石油地质,1998,19(4):299—302
- 16 王毅,张一伟.塔里木盆地构造-层序分析.地质论评,1999,45(5):504—513
- 17 刘生国,刘泽锋.塔里木盆地前震旦-石炭纪构造与地层组合特征.西安科技学院学报,2001,21(2):136—139
- 18 于炳松,陈建强,林畅松.塔里木地台北部寒武纪-奥陶纪层序地层及其与扬子地台和华北地台的对比.中国科学D辑:地球科学,2001,31(1):17—26
- 19 楼雄英,许效松.塔里木盆地早古生代晚期构造-沉积响应.沉积与特提斯地质,2004,24(3):72—79
- 20 康玉柱.中国塔里木盆地石油地质特征及资源评价.北京:地质出版社,1996.1—60
- 21 康玉柱,康志江.塔里木盆地寻找大型油气田的方向.见:康玉柱,主编.中国塔里木盆地石油地质文集.北京:地质出版社,1996.1—15
- 22 蒋华山,叶德胜,王少立,等.塔河油田奥陶系油气藏特征.见:蒋炳南,主编.塔里木盆地北部油气勘探与开发论文集.北京:地质出版社,2000.56—68

- 23 梁狄刚, 皮学军, 彭燕. 塔北隆起“一分为二”形成南、北两个海、陆相油气系统的实例. 见: 胡见义, 赵文智, 主编. 中国含油气系统的应用与进展. 北京: 石油工业出版社, 1997. 99—111
- 24 杨威, 王清华, 刘效曾. 塔里木盆地和田河气田下奥陶统白云岩成因. 沉积学报, 2000, 18(4): 544—548
- 25 赵宗举, 李宇平, 吴兴宁, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系特大型岩性油气藏成藏条件及勘探潜力. 中国石油勘探, 2004, 9(5): 12—20
- 26 高志前, 樊太亮, 焦志峰, 等. 塔里木盆地寒武—奥陶系碳酸盐岩台地样式及其沉积响应特征. 沉积学报, 2006, 24(1): 19—27
- 27 范嘉松, 吴亚生. 从塔北隆起奥陶纪钙藻化石探讨奥陶纪的古环境. 微体古生物学报, 2004, 21(3): 251—266
- 28 张宝民, 张水昌, 尹磊明, 等. 塔里木盆地晚奥陶世里塔格型生烃母质生物. 微体古生物学报, 2005, 22(3): 243—250
- 29 许效松, 汪正江, 万方, 等. 塔里木盆地早古生代构造古地理演化与烃源岩. 地质前缘, 2005, 12(3): 49—57
- 30 任纪舜, 肖黎薇. 1:25 万地质填图进一步揭开了青藏高原大地构造的神秘面纱. 地质通报, 2004, 23(1): 1—11
- 31 何登发, 赵文智. 中国西北地区沉积盆地动力学演化和含油气系统旋回. 北京: 石油工业出版社, 1999. 1—30
- 32 何登发, 贾承造, 李德生, 等. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化. 石油天然气地质, 2005, 26(1): 64—71
- 33 郑家凤, 穆曙光. 塔里木盆地震旦纪-奥陶纪岩相古地理. 西南石油学院学报, 1995, 17(4): 1—5
- 34 贾承造, 魏国齐. 塔里木盆地构造特征与含油气性. 科学通报, 2002, 47(增刊): 1—8
- 35 陈哲夫, 成守德, 梁云海, 等. 新疆开合构造与成矿. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1997. 1—300
- 36 车自成, 刘洪福, 刘良, 等. 中天山造山带形成与演化. 北京: 地质出版社, 1994. 1—80
- 37 新疆地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1993. 8—16, 657—658
- 38 何国琦, 李茂松, 刘德权, 等. 中国新疆古生代地壳演化及成矿. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 香港: 香港文化教育出版社, 1994. 1—437
- 39 汤耀庆, 高俊, 赵民, 等. 西南天山蛇绿岩和蓝片岩. 北京: 地质出版社, 1995. 1—133
- 40 周鼎武, 苏犁, 简平, 等. 南天山榆树沟蛇绿岩地体中高压麻粒岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及构造意义. 科学通报, 2004, 49(14): 1411—1415
- 41 郝杰, 刘小汉. 南天山蛇绿混杂岩形成时代及其大地构造意义. 地质科学, 1993, (1): 1—11
- 42 杨海波, 高鹏, 李兵, 等. 新疆西天山达鲁巴依蛇绿岩地质特征. 新疆地质, 2005, 23(2): 123—126
- 43 潘裕生. 西昆仑的构造特征与演化. 地质科学, 1990, (3): 224—231
- 44 潘裕生, 周伟明, 许荣华, 等. 昆仑山早古生代地质特征与演化. 中国科学 D 辑: 地球科学, 1996, 26(4): 302—307
- 45 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. 地质学报, 2006, 80(1): 148—167
- 46 刘良, 孙勇, 肖培喜, 等. 阿尔金发现超高压(>3.8 GPa)石榴石二辉橄榄岩. 科学通报, 2002, 47(9): 657—662
- 47 刘良, 孙勇, 罗金海, 等. 阿尔金英格利萨依花岗岩质片麻岩超高压变质. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2003, 33(12): 1184—1192
- 48 刘良, 陈丹玲, 张安达, 等. 阿尔金超高压(>7 GPa)片麻状(含)钾长石榴辉石岩——石榴子石出溶单斜辉石的证据. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2005, 35(2): 105—114
- 49 王恕一, 黄继文, 蒋小琼. 塔里木盆地上奥陶统沉积及古地理特征. 石油实验地质, 2006, 28(3): 236—242
- 50 贾承造, 张师本, 吴绍祖, 等. 塔里木盆地及周边地层. 北京: 科学出版社, 2004. 1—600
- 51 李永安, 李强, 张慧, 等. 塔里木及其周边地区古地磁研究与盆地形成演化. 新疆地质, 1995, 13(4): 293—376
- 52 顾家裕, 方辉, 蒋凌志. 塔里木盆地奥陶系生物礁的发现及其意义. 石油勘探与开发, 2001, 28(4): 1—3
- 53 谢晓安, 吴奇之. 塔里木盆地古生代构造格架与沉积特征. 沉积学报, 1997, 15(1): 152—155
- 54 冯增昭, 鲍志东, 吴茂炳, 等. 塔里木地区寒武纪和奥陶纪岩相古地理. 北京: 地质出版社, 2005. 1—183
- 55 李德伦, 张大权. 塔里木盆地北部拗陷震旦纪-奥陶纪大陆裂谷性质及其演化. 长春科技大学学报, 2001, 31(2): 136—141
- 56 何登发, 白武明, 孟庆任. 塔里木盆地地球动力学演化与含油气系统旋回. 地球物理学报, 1998, 4(增刊): 77—87
- 57 张渝昌. 中国含油气盆地原型分析. 南京: 南京大学出版社, 1997. 3—26
- 58 徐旭辉. 塔里木古生代原型盆地分析的油气勘探意义. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 224—228