

M 盆地构造背景及其演化特征

刘景东¹ 蒋有录¹ 鲁雪松² 郝建光¹

(1. 中国石油大学地球资源与信息学院, 山东 青岛 266555; 2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: M 盆地位于塔拉斯—费尔干纳(卡拉套)大型走滑断裂最北端, 构造特征表明其具有复杂的形成演化过程。笔者从控盆断裂的发育历史出发, 分析了盆地发育的构造背景, 厘定了盆地类型, 进一步研究了盆地演化特征。研究表明, 控盆断裂受板块构造运动影响, 存在早期左行走滑和后期右行走滑; M 盆地为早中侏罗世的走滑—拉分盆地, 属于走滑—伸展叠瓦扇构造系统。盆地中生代地质演化大体经历了初始张裂(晚三叠世)、断陷发育(早中侏罗世)、断拗转换(晚侏罗世)、拗陷发育(白垩纪)和萎缩隆起(古近纪)等 5 个阶段, 其中早中侏罗世为盆地断陷伸展、沉积与沉降的主要时期, 白垩纪主要为拗陷期。

关键词: M 盆地; 卡拉套断裂; 构造背景; 盆地演化

中图分类号: P542 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2010)05-1353-07

1 区域概况

M 盆地位于哈萨克斯坦中部, 呈北西—南东向展布, 总面积约 80000 km², 是哈萨克斯坦的主要含油气盆地之一。从区域构造位置看(图 1), M 盆地处于乌拉尔—天山缝合线转折端剪切带, 北邻北土尔盖盆地, 西侧为乌拉尔海西褶皱带, 南侧为卡拉套峰, 东侧为乌雷套隆起, 东南侧与楚河—萨雷苏盆地仅以狭窄的隆起相隔。盆地在平面上可分为 3 个次级构造单元, 即北部的日克兰奇(兹兰耶克)拗陷、中部的门布拉克隆起和南部的阿雷斯库姆拗陷。由于侏罗系沉积中心位于阿雷斯库姆拗陷, 日克兰奇拗陷埋深较浅, 所以实际地质研究中常将南部的阿雷斯库姆拗陷称为 M 盆地。以下所提到的 M 盆地即为狭义上的阿雷斯库姆拗陷。

M 盆地主要由两套大的构造层组成: 前元古界—下古生界深变质岩与上古生界浅变质岩组成本区褶皱基底, 中—新生界陆相碎屑岩组成盆地的盖层。盖层可进一步分为 3 个亚层: 下—中侏罗统构造亚层、上侏罗统构造亚层、白垩系—第四系构造亚层。M 盆地中、下侏罗统最大厚度分别达 2200 m 和

3000 m, 以含煤碎屑岩为主; 上侏罗统最大厚度在 1000 m 左右, 以砂岩、粉砂岩与泥岩互层为主; 白垩系沉积厚度在 1500 m 左右, 以砂岩、泥岩以及砂泥岩互层为主; 新生界厚度较小, 最大厚度在 300 m 左右, 且分布十分局限, 主要在盆地中部沉积, 以泥岩和泥灰岩为主。受强烈构造抬升影响, 在侏罗系顶部和白垩系顶部发育两个主要不整合面。

M 盆地处于卡拉套大型走滑断裂最北端, 呈帚状分布, 具有走斯拉分盆地的特征。但盆地内部自西向东具有明显的垒—堑相间结构, 而且该大型走滑断裂纵穿盆地西部凹陷(阿雷斯库姆凹陷), 不同于一般的走斯拉分盆地, 反映了盆地形成演化的复杂性。笔者从控盆断裂的发育历史出发, 分析盆地发育的构造背景, 厘定盆地类型, 进一步研究盆地演化特征。

2 控盆断裂发育历史

卡拉套断裂(KF)位于卡拉套地区, 走向为北西—南东向, 在地表出露约 400 m 长, 北西端起始于哈萨克斯坦境内乌拉尔山东缘, 向东南方向至费尔干纳山脉地区过渡为塔拉斯—费尔干纳断裂(TFF), 并在东南方向明显地切割了西南天山, 属于

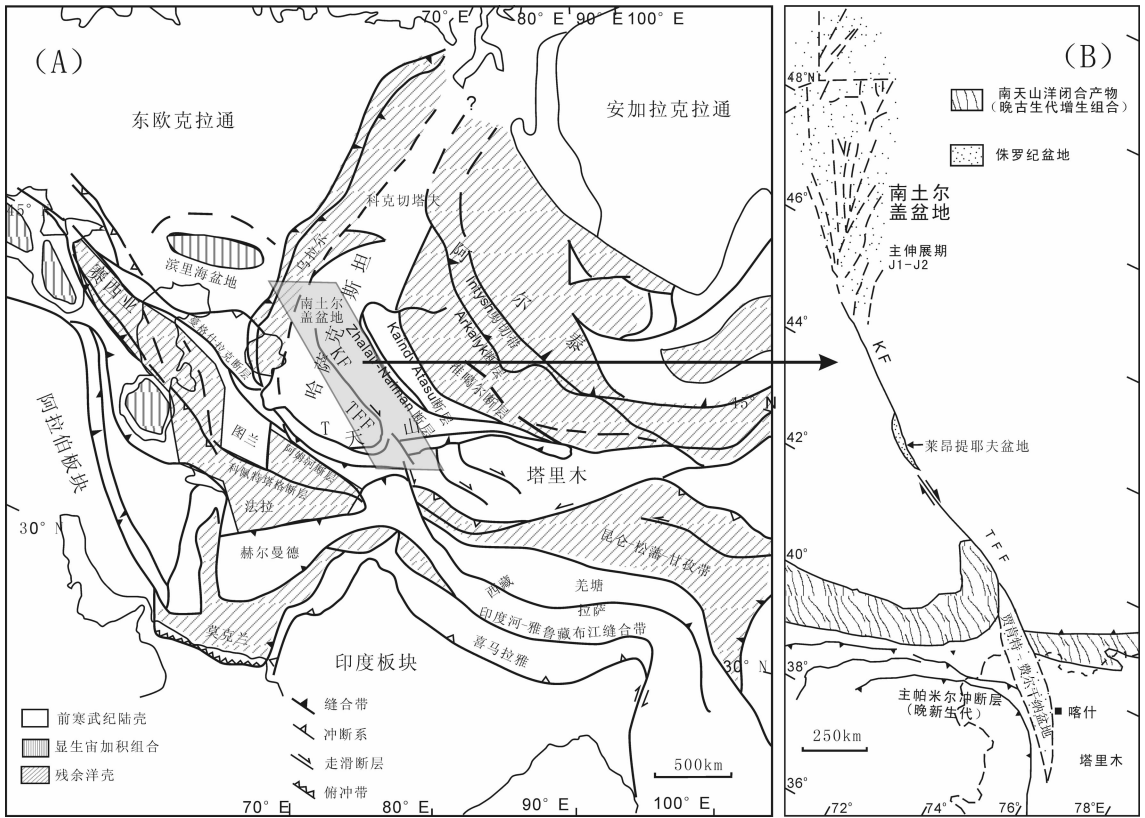


图1 中亚和邻区构造纲要(A)及塔拉斯—费尔干纳断裂(卡拉套断裂)右行走滑断裂系(B)
(据 Allen 等,2001,修改)

KF—卡拉套断裂;TFF—塔拉斯—费尔干纳断裂;T—塔姆德套带

Fig.1 (A)Tectonic subdivisions of Central Asia and adjacent regions;(B)Talas-Fergana/Karatau fault, a dextral strike-slip system (modified after Allen et al., 2001)

KF—Karatau fault; TFF—Talas-Fergana fault; T—Tamdytau region

中亚巨型走滑断裂之一。从断裂的发育过程看,塔拉斯—费尔干纳断裂形成时间晚,受控于卡拉套断裂,这两条断裂后期活动历史类似,广义上将二者视为同一断裂,其对区域山脉—盆地的形成和分布具有控制作用。

卡拉套地区新元古代经历了大陆裂谷作用,寒武纪—中奥陶世中期演化成为一个可能具有洋壳性质的洋盆,已经在卡拉套地区识别出一些与该洋盆有关的蛇绿岩和洋岛^[1]。中奥陶世晚期—晚奥陶世发育活动大陆边缘,卡拉套断裂成为斜向汇聚板块边缘的一个左行走滑断层,但这时的走向滑移量不大^[1]。塔里木微板块北部被动大陆边缘与中天山—哈萨克斯坦板块从晚泥盆世开始的碰撞作用引起卡拉套断裂在晚石炭世复活,在卡拉套地区形成大量的同期褶皱,并且在与卡拉套断裂平行的 Irtysh 剪

切带内发育 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄为晚石炭—早二叠世的花岗岩和白云母,这些花岗岩和白云母与卡拉套断裂系的左行剪切作用相关^[2]。Burtman(1980)^[3]提出晚二叠世卡拉套断裂反转为右行走滑。后来据众多的前苏联地质学家的研究成果^[4],哈萨克斯坦境内的断裂大规模右行走滑构造运动发生于晚古生代末,是西伯利亚、哈萨克斯坦—准噶尔、塔里木三大古板块碰撞拼合产生的近南北向巨大挤压力作用的结果。北西向主控断裂发生了右行走滑运动,每条断裂的走滑量为 80~200 km。

受天山洋闭合之后的南北向挤压应力作用,卡拉套断裂复活,并逐渐向东南方向扩展,成为塔拉斯—费尔干纳断裂,该断裂的演化一定程度上受卡拉套断裂控制^[2]。塔拉斯—费尔干纳断裂主要从晚三叠世开始发育,在早侏罗世初达到现今的规模,至

早白垩世断裂基本停止活动。

始新世—渐新世印度与欧亚板块南缘的碰撞,逐渐使中国西部与中亚地区呈现为南北向的挤压应力状态。此时塔拉斯—费尔干纳断裂(卡拉套断裂)再一次复活。沿塔拉斯—费尔干纳断裂的地貌错位,以及卡拉套断层纵向切割 M 盆地阿雷斯库姆凹陷中央新生代地层(图 2),均可以很好地证明该断层强烈的晚期右行走滑活动。

3 盆地类型

塔里木盆地西缘喀什凹陷位于塔拉斯—费尔干纳断裂(卡拉套断裂)东南部,其内的乌恰水泥厂上三叠统的存在表明晚三叠世塔拉斯—费尔干纳断裂(卡拉套断裂)就开始走滑拉分活动。而 M 盆地没有发现上三叠统沉积和火山碎屑岩堆积^[4],说明晚三叠世该盆地受卡拉套断裂影响较弱。下侏罗统下部萨济姆拜组最大厚度达 2500 m,下部粒度较粗,以不整合覆盖在前侏罗纪地层之上,向上逐渐变细,呈现出较好的旋回性,具有伸展断陷盆地的沉积特征。侏罗系沉积相研究表明,半深湖、滨浅湖和三角洲等沉积相是沿着平行卡拉套断裂延伸方向(NW-SE)排列的,沉积物的物源主要来自盆地外围隆起和内部凸起带出露的古生界和前侏罗系沉积。认为卡拉套断裂在早、中侏罗世存在较大规模的走滑活动,进一步验证了前人^[1,9]关于 M 盆地为早中侏罗世拉分(或断陷)盆地的观点。

由于 M 盆地处于大型卡拉套走滑断层的末端,在走滑—拉张作用下,盆地内部发育有多条北西—南东向陡倾基底正断层,平面上呈帚状(扇状)排列,沿卡拉套断层向北西方向发散,向南东方向收敛。研究认为盆地内正断层的这种扇状分布可以有效地分散断层的走滑位移,使断层不再向北西方向扩展^[4]。这些断层对沉积具有明显的控制作用,使得该地区呈现出多个半地堑相间排列的构造格局,这也是 M 盆地不同于一般走滑—拉分盆地的特殊之处。

剑桥大学 Woodcock N H(1986)^[7]提出过两种右旋走滑系统模式(图 3-A),其在平面上可有两类构造组合:一类为前锋和尾端发育伸展叠瓦扇,中部叠置段发育拉分伸展双重构造(图 3-b)。另一类为前锋和尾端发育收缩叠瓦扇,中部叠置段发育推隆收缩双重构造(图 3-c)。通过综合分析塔拉斯—费尔干纳断裂(卡拉套断裂)的走滑构造特征发现,该

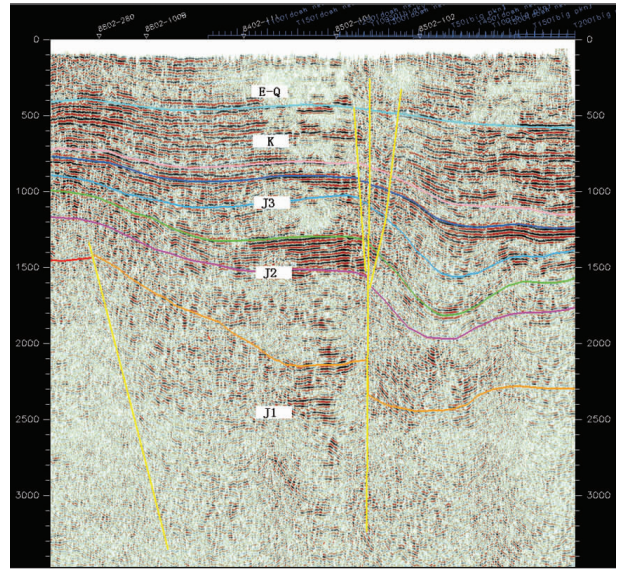


图 2 阿雷斯库姆凹陷地震剖面(line8502-95)
Fig.2 Seismic section in Arysium depression(line 8502-95)

走滑系统不同于上述两类走滑系统,其前锋即发育在 M 盆地的走滑—伸展构造系统为一走滑—伸展叠瓦扇,尾端即喀什凹陷南缘的克孜勒陶断陷为走滑—伸展构造系统,同样为一走滑—伸展叠瓦扇,莱昂提耶夫(Leontiev)地堑和贾肯特—费尔干纳(Yarkand-Fergana)盆地(也即库孜贡苏盆地)为其中部叠置段的走滑—拉分双重构造(图 3-B)。它们组成一个在时间上基本同步、空间上相连的统一运动的伸缩型右旋走滑系统。

4 盆地演化特征

在垂直于构造走向方向上,从北往南选取了 3 条剖面进行平衡剖面恢复。由于盆地在中生代以来基本处于张性环境,仅在较短时间内处于挤压走滑环境,且主要走滑断层的位移量较小,因此平衡剖面恢复过程中,去褶皱恢复主要采用垂直剪切算法,并结合弯滑算法,断距恢复主要采用斜剪切算法。另外剖面平衡过程中还进行了压实校正和剥蚀厚度恢复。基于 3 条主干平衡剖面复原图,计算了盆地的伸展率和伸展系数,以及沉积和沉降速率,并对盆地演化特征进行了分析。

4.1 盆地伸展强度

盆地伸展率和伸展系数柱状图(图 4)表明,整

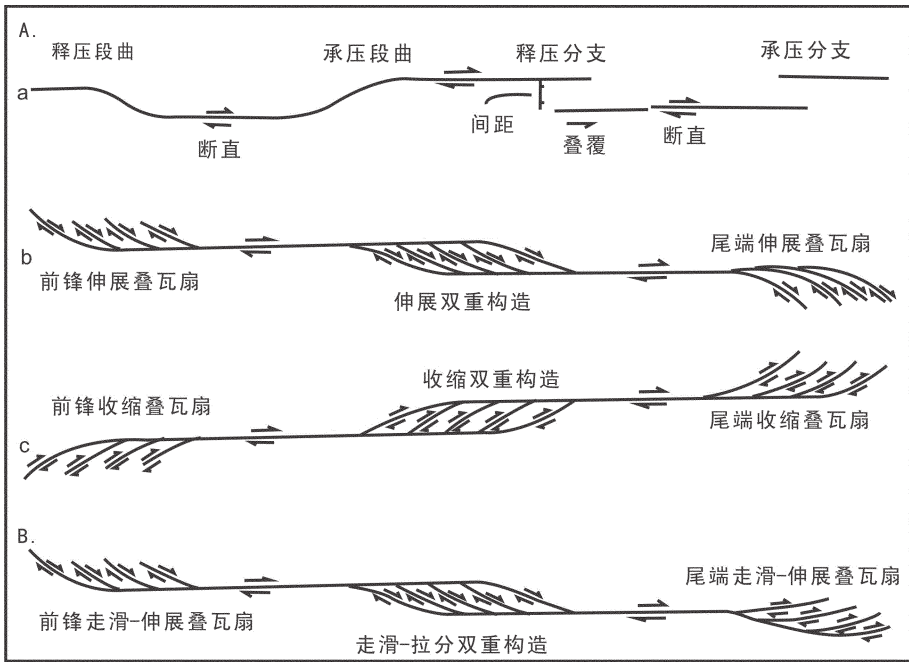


图3 右旋走滑系统模式图

A—Woodcock N H 的理论模式; B—塔拉斯-费尔干纳(卡拉套)断裂带的实际模式

Fig.3 Map of dextral strike slip system models

A—Woodcock N H idealized model; B—Realistic model of Talas-Fergana/Karatau fault system

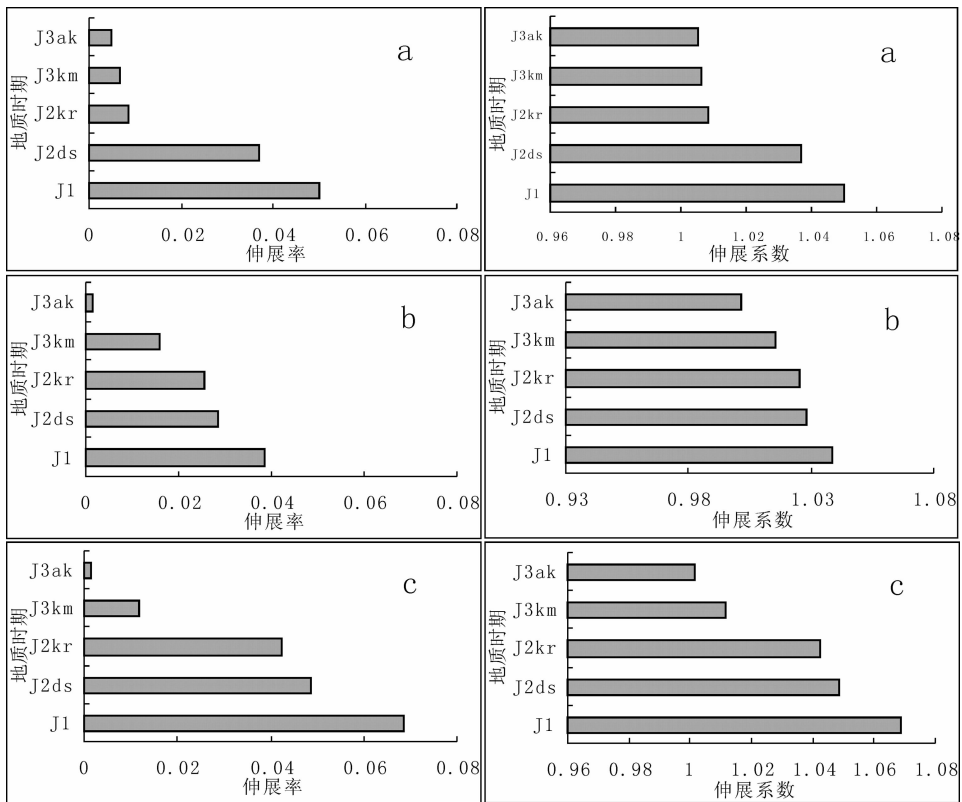


图4 M盆地主干剖面伸展率和伸展系数柱状图

a—北部; b—中部; c—南部

Fig.4 Extensional ratios and extensional coefficients of main sections in M basin

a—Northern section; b—Middle section; c—Southern section

体上盆地在断陷期伸展强度不大,最大伸展率和伸展系数仅为 0.07 和 1.07,这与盆地内控沉积断层的陡倾产状有很大关系,控沉积断层倾角越大,断陷期盆地拉伸量往往越小。从不同时期来看,盆地早侏罗世伸展强度最大,其次为中侏罗世,晚侏罗世最弱。这与盆地由早侏罗世至晚侏罗世断陷作用的逐渐消减相一致。从北西-南东方向上看,盆地具有两端伸展强,中间弱的特点。由于资料限制,笔者仅对侏罗纪沉积时期的盆地伸展强度进行了研究,根据构造背景,推测晚三叠世盆地伸展作用弱,其伸展率和伸展系数相对较小。

4.2 盆地沉积与沉降强度

通过统计各条剖面各时期的地层最大沉积厚度和盆地最大埋深,计算得到盆地 3 条剖面的沉积速率和沉降速率(图 5)。研究发现,各地质时期 M 盆地沉积速率大于或接近于沉降速率,盆地整体上属于补偿-过补偿型盆地。

早侏罗世(200~183.6 Ma)盆地北部沉积和沉降速率最大,均达到 0.18 km/Ma,而且持续时间较长,其最大沉积地层厚度达 2.95 km,反映该时期是断块差异升降运动的相对活跃期;中侏罗世和晚侏罗世沉积与沉降速率次之,但中侏罗世由于持续时间长,仍具有较大的沉积厚度,最大达到 2.75 km,最大埋深达到 3.9 km,盆地整体沉降相对于早侏罗世有减弱的趋势,同样反映了盆地断陷作用由强变弱。其后盆地进入相对隆起阶段,发生沉积间断(144.8~137 Ma),上侏罗统遭受较大程度的剥蚀。进入白垩纪(137~65 Ma),盆地沉积和沉降速率很低,最大分别为 0.048 km/Ma、0.035 km/Ma,其沉降主要与岩石圈的冷却沉降作用有关,整个盆地与周围隆起区的差异升降幅度较小,盆地表现为整体拗陷,在较长时间内,最大只有 1.28 km 的沉积。其后盆地又经历了相对长时间的沉积间断(65~23.8 Ma)和地层剥蚀,剥蚀厚度为 0~600 m。

结合区域构造分析,笔者认为以 144.8~137 Ma 的沉积间断为界,M 盆地中生代经历了以断陷沉降为主的裂陷阶段和以拗陷沉降、盆地萎缩隆起为特征的后裂陷阶段。

4.3 构造演化阶段

在多次构造运动影响下,M 盆地中生代地质演化具有明显的阶段性,大体经历了初始张裂(晚三叠世)、断陷发育(早中侏罗世)、断拗转换(晚侏罗

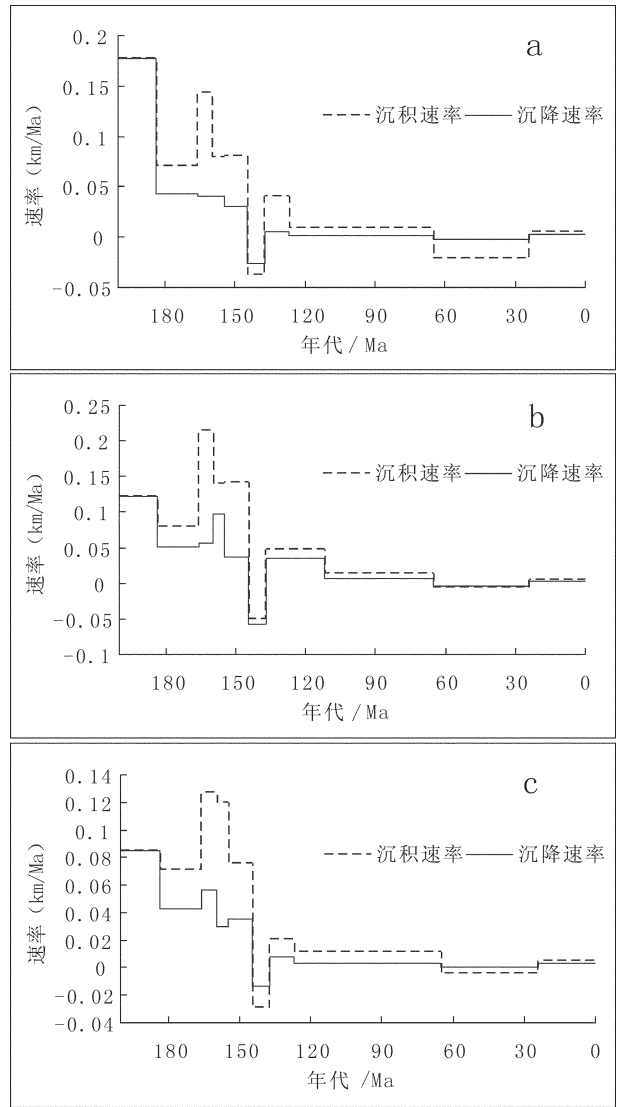


图 5 M 盆地主干剖面沉积与沉降速率变化图

a—北部;b—中部;c—南部

Fig.5 Sedimentation rates and subsidence rates of main sections in M basin

a—Northern section; b— Middle section; c— Southern section

世)、拗陷发育(白垩纪)和萎缩隆起(古近纪)等 5 个阶段。

(1)初始张裂阶段

M 盆地基底固结于早古生代末,中-晚古生代形成碎屑岩-碳酸盐岩过渡层,晚三叠世裂谷出现拉伸,导致盆地形成初始断裂,断裂规模较小。

(2)断陷发育阶段

早侏罗世,M 盆地发育多条近于平行的西倾断层,在阿雷斯库姆凹陷还发育有东倾断层,这些断层共同控制了早侏罗世地层的沉积。整体来看,该时期

盆地伸展强度大,但断层多为陡倾断层,沉积和沉降速率大,主要以差异沉降为主,所以盆地沉积范围较小,仅局限于4个凹陷内,凹陷之间凸起区未接受下侏罗统的沉积。

中侏罗世为裂陷进一步发展的时期,但断陷作用减弱,4个凹陷范围逐渐增大,沉积了较厚的中侏罗统多尚组和卡拉甘塞组,在阿克苏布拉克凹陷中部相对隆起区也开始接受卡拉甘塞组的沉积。凹陷之间的凸起区仍然未接受沉积。

(3)断拗转换阶段

晚侏罗世为裂陷萎缩,拗陷逐渐形成的时期。晚侏罗世早期,除阿雷斯库姆凹陷和阿克苏布拉克凹陷之间的凸起区仍未接受上侏罗统库姆科尔组地层沉积,其他地区均有该套地层的覆盖。晚侏罗世晚期,上侏罗统阿克苏布拉克组地层已经覆盖盆地绝大部分地区,说明断陷作用逐渐消失。由于热松弛导致沉积作用的扩大,盆地沉积中心逐渐向南向东迁移。

晚侏罗世末期,受构造抬升影响,盆地整体遭受剥蚀,形成侏罗系与白垩系之间的不整合。

(4)拗陷阶段

白垩纪时期,在侏罗系与白垩系之间的不整合面之上,盆地开始接受陆相三角洲地层沉积,整个盆地转为缓慢拗陷,同时盆地沉积中心继续向南向东迁移。

(5)萎缩隆起阶段

受白垩纪末期—古近纪喜山运动的影响,盆地遭受挤压,发生不平衡抬升剥蚀,M盆地北部剥蚀厚度相对较大,南部剥蚀厚度较小。

5 结 论

受板块构造运动影响,卡拉套断裂在中奥陶世晚期—晚奥陶世发生左行走滑,晚二叠世或晚古生代末发生右行走滑。南天山洋闭合之后的南北向挤压背景导致塔拉斯—费尔干纳断裂的演化。始新世—渐新世印度与欧亚板块南缘的碰撞,产生塔拉斯—费尔干纳(卡拉套)断裂强烈的右行走滑活动。

M盆地处于大型卡拉套走滑断层的末端,由多个半地堑相间排列呈帚状展布,为一种特殊的走滑—拉分盆地。从走滑伸展构造系统来看,M盆地为一种走滑—伸展叠瓦扇。

M盆地中生代地质演化大体经历了初始张裂(晚三叠世)、断陷发育(早中侏罗世)、断拗转换(晚侏罗世)、拗陷发育(白垩纪)和萎缩隆起(古近纪)等5个阶段。早侏罗世至晚侏罗世,盆地伸展强度依次降低,断陷作用逐渐减弱;侏罗纪之后,岩石圈的冷却沉降作用导致盆地整体拗陷;在构造挤压应力作用下,盆地在中生代存在两期大的构造隆升,即晚侏罗世末期和白垩纪末期—古近纪,前者导致盆地由断陷向拗陷转换,后者直接控制了新生界—第四系的沉积,并且两者分别改造了上侏罗统和上白垩统的厚度和分布。

参考文献(References):

- [1] Allen M B, Alsop G I, Zhemchuzhnikov V G. Dome and basin refolding and transpressive inversion along the Karatau Fault System, southern Kazakhstan [J]. *Journal of Geological Society*, 2001, 158(1): 83-95.
- [2] 周新源, 罗金海, 买光荣, 塔里木盆地喀什凹陷及其周边地区构造特征与油气地质[M]. 北京:石油工业出版社, 2005:135-157.
Zhou Xinyuan, Luo Jinhai, Mai Guangrong. *Structural Features and Petroleum Geology of Kashi Sag and its Adjacent Area in Western Tarim Basin* [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2005:135-157 (in Chinese).
- [3] Burtman V S. Fault of Middle Asia [J]. *American Journal of Science*, 1980, 28(7):25-744.
- [4] 何国琦, 陆书宁, 李茂松. 大型断裂系统在古板块研究中的意义—以中亚地区为例[J]. *高等地质学报*, 1995, 1(1):1-10.
He Guoqi, Lu Shuning, Li Maosong. Tectonic significance of large fault systems to the study of paleo-plates [J]. *Geological Journal of China Universities*, 1995, 1 (1):1-10 (in Chinese with English abstract).
- [5] 孔祥宇, 殷进垠, 张发强. 哈萨克斯坦南图尔盖盆地油气地质特征及勘探潜力分析[J]. *岩性油气藏*, 2007, 19(3):45-53.
Kong Xiangyu, Yin Jinyin, Zhang Faqiang. Oil-gas geological features and its exploration potential in South Turgay Basin, Kazakhstan [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2007, 19 (3):45-53 (in Chinese with English abstract).
- [6] 罗金海, 周新源, 邱斌, 等. 塔拉斯—费尔干纳断裂对喀什凹陷的控制作用[J]. *新疆石油地质*, 2004, 25(6):584-587.
Luo Jinhai, Zhou Xinyuan, Qiu Bin, et al. Controls of Talas-Ferghana Fault on Kashi Sag, Northwestern Tarim Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2004, 25(6):584-587 (in Chinese with English abstract).
- [7] Woodcock N H, Fischer M. Strike-slip duplexes [J]. *Struct. Geol.*, 1996, 8(7):725-735.

Geotectonic background of M Basin and its evolution features

LIU Jing-dong¹, JIANG You-lu¹, LU Xue-song², HAO Jian-guang

(1. Faculty of Geo-Resource and Information, China University of Petroleum, Qingdao 57061, Shandong, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China)

Abstract: The M Basin is located in the northernmost part of Talas-Fergana (Karatau) large strike-slip fault, and its tectonic features show that the basin has experienced complicated formation and evolution process. The authors analyzed the geotectonic background of M Basin based on the growing basin-controlling history of the fault, identified the basin style and studied the evolution features of the basin. The results show that, under the influence of plate motion, the basin-controlling fault experienced left-lateral strike-slip at the early stage and right-lateral strike-slip at the later stage. The M Basin is a strike-slip extensional basin formed in Early-Middle Jurassic, belonging to a strike-slip extensional imbricated fan tectonic system. The evolution of the basin can be divided into five stages: initial tensional fault (in Late Triassic), fault subsidence (in Early-Middle Jurassic), transition from faulted subsidence to depression (in Late Jurassic), depression (in Cretaceous) and dwindling uplift (in Paleogene), in which the Early-Middle Jurassic period is the main stage for basin fracture extension, deposition and subsidence, and the Cretaceous period is the main stage for basin depression.

Key words: M Basin; Karatau fault; geotectonic background; basin evolution

About the first author: LIU Jing-dong, male, born in 1984, doctor candidate, majors in geological resources and geological engineering; E-mail: ljd840911@126.com.