

文章编号: 1000-0550(2006)05-0641-09

库车坳陷北部白垩系沉积速率分析^①

彭守涛¹ 宋海明²

(1 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈构造演化国家重点实验室 北京 100029)

(2 中国科学院地质与地球物理研究所油气资源室 北京 100029)

摘要 库车坳陷白垩纪经历了一个相对独立的一级构造旋回,结合坳陷北部库车河白垩系剖面详细的磁性地层学结果,应用地层回剥分析方法恢复了库车坳陷白垩系时期的沉降历史,计算得到亚格列木组、舒善河组、巴西盖组、巴什基奇克组沉积速率,分别为 11.5 cm/ka、2.5 cm/ka、2.9 cm/ka、1.7 cm/ka。结合裂变痕迹资料和岩相古地理特征,将库车坳陷白垩系沉降历史分为四个演化阶段:(1) Berriasian 中期(141.9~141.2 Ma);极快速沉降;(2) Berriasian 中晚期至 Albian 中晚期(141.2~101 Ma),持续缓慢沉降;(3) Albian 末期至 Campanian 早期(101~79.1 Ma);构造隆升,沉积剥蚀;(4) Campanian 中晚期—Maastrichtian 期(79.1~65.6 Ma);极慢速沉降,接受沉积。早白垩世早中期沉降曲线呈“上凹”特征,反映了构造活动由早期剧烈沉降到后期减弱,最后趋于稳定的过程。该沉降过程与典型的前陆盆地挠曲沉降过程并不一致。

关键词 库车坳陷 白垩系 沉积速率 年代地层

第一作者简介 彭守涛 男 1979 年出生 博士研究生 磁性地层学、盆地分析

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

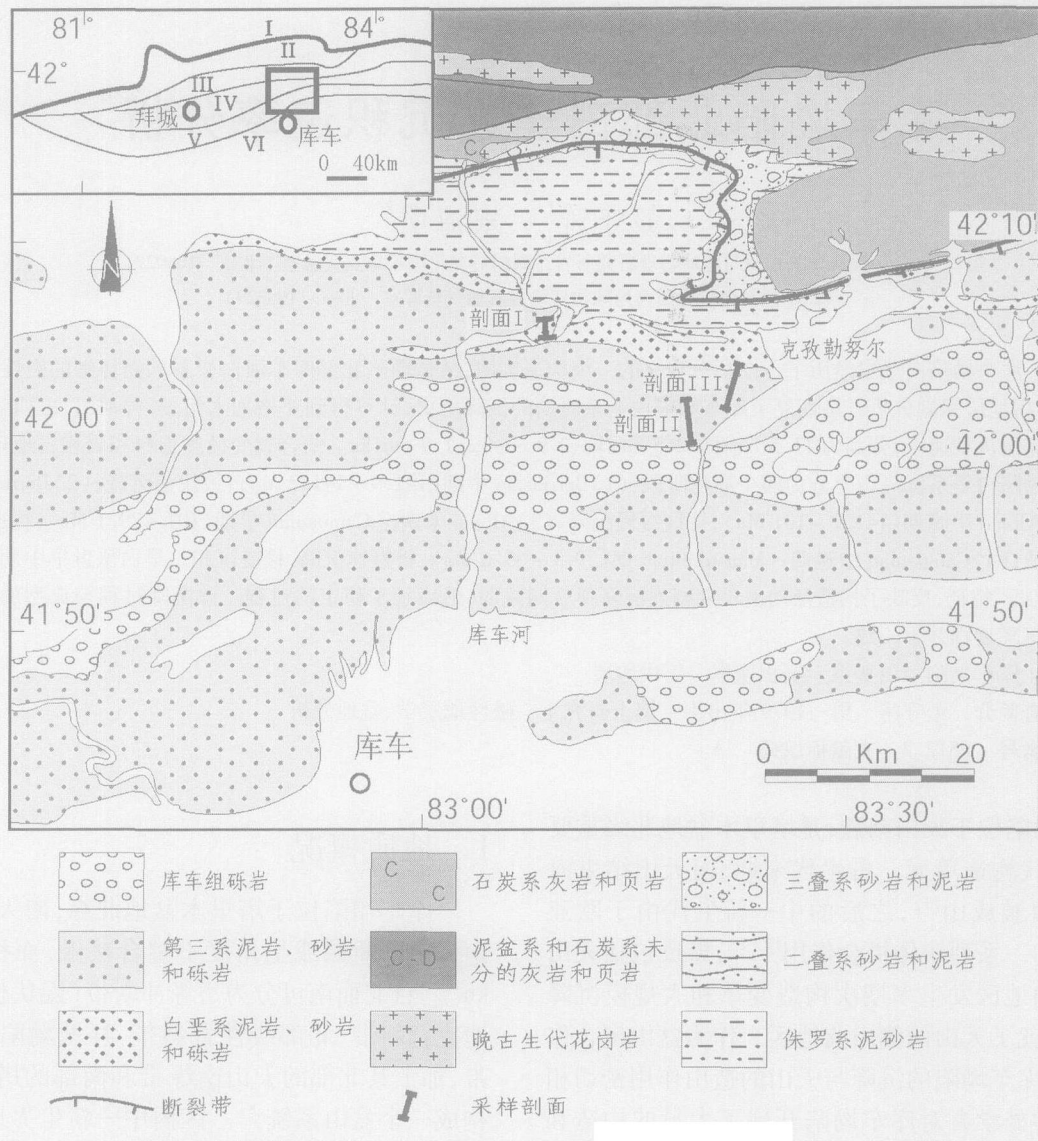
库车坳陷位于天山南麓,是塔里木盆地北缘重要的中、新生代构造单元。古生代末期,南天山结束海侵历史并褶皱成山^[1],之后的中—新生代由于欧亚板块南缘的一系列块体拼合作用^[2~5],导致包括天山在内的陆内地区发生多期次构造变革和大规模沉降作用,并造就了天山两侧山前地区。作为盆山耦合作用的产物,库车坳陷的沉降与天山的造山作用密切相关。以往中外学者对库车坳陷开展了大量的构造和沉积学研究^[5~16],多数学者认为白垩纪是一个相对独立的构造旋回^[7,11,16],通过对坳陷碎屑沉积记录综合分析进一步认为晚侏罗世—白垩纪早期是研究区古构造和古气候重要的变革期和转折期^[11~13]。前人对库车坳陷沉降特征研究也有涉及^[17~22],贾承造等认为库车坳陷侏罗—早第三纪为断陷—坳陷盆地^[7];而林畅松等将库车坳陷白垩系划分为三个沉降阶段,并认为与前陆盆地挠曲沉降有关^[22]。但是上述研究均缺乏可靠的年代数据,因此有关认识尚有待深入和定量验证。本文在库车坳陷白垩系及第三系剖面磁性地层学研究和高分辨率年代地层格架^[23]基础上,开展了沉积模拟分析和沉降速率计算,剖析了库车坳陷白垩纪的沉降历史,并进一步探讨了相关盆地类型与沉积特征。

1 地质概况

库车坳陷位于塔里木盆地北缘,南天山南麓,与南天山以断层或呈角度不整合接触,面积约 30 000 km²。自北而南可分为边缘冲断带(隐伏构造楔)、斯迪克背斜带、北部线性背斜带、拜城坳陷、南部背斜带,加上其北部的天山南缘带和南部的塔北隆起带,构成一个盆山系统^[8]。区内中—新生代地层出露较为齐全,早三叠世发育砾石质辫状河—冲积平原沉积体系,中三叠世—中侏罗世显示潮湿气候条件下的三角洲—湖泊体系,晚侏罗世至白垩纪发育辫状河三角洲—宽浅湖泊沉积体系,早第三纪发育冲积平原与咸化湖泊沉积体系,晚第三纪中新世,发育砂质和砾石质辫状河和冲积平原沉积体系,晚第三纪上新世至第四纪更新世,以冲积扇体系为主^[13]。该区白垩系地层主要出露于塔拉克到克孜勒努尔沟之间的北部线性背斜带,北部坳陷和塔北隆起也有分布,沿北缘山前带地层最厚,可达 2 000 m,向南变薄上超,主要由红色、褐红色泥岩、砂质泥岩和砂砾岩组成。白垩系地层自下而上包括亚格列木组、舒善河组、巴西盖组、巴什基奇克组,与下伏侏罗系和上覆第三系地层都呈不整合接触。

① 国家自然科学基金项目(批准号: 40472069)资助。

收稿日期: 2006-02-16 收修稿日期: 2006-04-16



I 天山南缘带; II 边缘冲断带; III 斯的克背斜带; IV 北部线性背斜带; V 拜城拗陷; VI 南部背斜带

图1 库车拗陷磁性地层采样剖面地质图

Fig 1 Geologic map of Kuqa Depression showing the location of sampling profiles for magnetostratigraphic study

2 磁性地层格架

陆相地层特别是“红层”的年代确认一直是困扰沉积学研究的首要难题。由于库车地区化石稀少,许多层段的划分依据不足,特别是上白垩统是否存在,以及巴什基奇克组的时代归属问题,白垩系与第三系的地层关系尚存很大的争议^[24-26]。为此,我们选择库车河剖面(剖面I)进行了详细的磁性地层取样(图1),通过对265个采点446个样品系统的热退磁测试和剩磁分析,建立了该区白垩系的磁极性变化序列。结果表明^[23],巴什基奇克组大致与晚白垩世 Campanian 中晚期—Maastrichtian 相当,跨越时限约为79.1~65.6 Ma 这与钙质超微化石所反映的时代特征有

可比性;而亚格列木组—巴西盖组地层连续,可对比 M18 负向带—M3 极性时,相当于 Berriasian 至 Barremian 早期,年龄约为141.9~124.1 Ma 属于早白垩世早中期。巴什基奇克组与下伏地层很可能为不整合接触,其间缺失了 Barremian 晚期—Campanian 早期地层。

为了标定白垩系上覆地层的年代,我们还对克孜勒努尔沟第三系剖面(剖面II、剖面III,图1)展开了研究,结果见表2。

3 沉降史分析

3.1 分析方法

沉积物的沉降与沉积物压实、古水深度、海平面

变化、沉积物负荷及盆地的基底性质等因素有关。进行地层的压实校正一般用地层回剥技术^[27]。回剥法的基本原理是把实测地质剖面中的各地层单元依次逐层剥去,通过一系列校正,计算盆地在不同时期的沉降值。计算中首先通过压实校正来恢复地层的真实厚度,求得基底各时期的沉降幅度,然后通过“卸载”消除负载沉降,求得盆地的构造沉降值。

(1)去压实校正采用 Allen and Allen的方程^[28]:

$$y'_2 - y'_1 = y_2 - y_1 - \frac{\phi_0}{c} \{ \exp(-cy_1) - \exp(-cy_2) \} + \frac{\phi_0}{c} \{ \exp(-cy'_1) - \exp(-cy'_2) \}$$

式中 y'_2 : 沉积前地层的底面; y'_1 : 沉积前地层的顶面; y_2 : 沉积后地层的底面; y_1 : 沉积后地层的顶面; ϕ_0 : 沉积时地表的孔隙度; c : 压实系数

(2)地层的构造沉降同样采用方程^[28]:

$$Y = \phi \left\{ s \frac{\rho_m - \rho_s}{\rho_m - \rho_w} - \Delta_{s1} \left(\frac{\rho_w}{\rho_m - \rho_w} \right) \right\} - (w)$$

式中, Y : 构造沉降量(坳陷过去的某一时刻); s : 去压实校正的地层厚度; ρ_m : 地幔的平均密度; ρ_s : 沉积物的平均密度; ρ_w : 平均海水密度(库车地区主要为陆相,取水的密度); w : 沉积时的古水深(库车地区主

要为湖相、三角洲相沉积,水深变化大,计算时结合沉积相特点估计水深); Δ_{s1} 为沉积物形成时的海平面与现代海平面的相对高差,计算时一般忽略不计; ϕ 为基底的响应函数(通常设为 1)。

主要岩石物理参数参考张明山等在库车河剖面的研究结果^[21],如上(表 1)。

表 1 岩石物理参数

Table 1 The physical parameter of rocks

岩性	初始孔隙度 Φ %	指数压实系数 c (1/m)	岩石密度 / (g/cm^3)
白云岩	0.47	0.00022	2.85
灰岩	0.60	0.00022	2.72
膏岩	0.00	0.00000	2.15
泥岩	0.63	0.00051	2.72
粉砂质泥岩	0.58	0.00045	2.69
泥质粉砂岩	0.55	0.00041	2.64
粉砂岩	0.45	0.00044	2.60
砂岩	0.56	0.00039	2.68
砂砾岩	0.53	0.00031	2.65

关于盆地模拟的软件很多,我们运用胡圣标(2005)提供的“沉积坳陷热史恢复模拟系统”(Thermomodel for Windows 2004),计算了库车坳陷北缘库车河白垩系剖面不同地层单元的构造沉降、沉积速率变化。

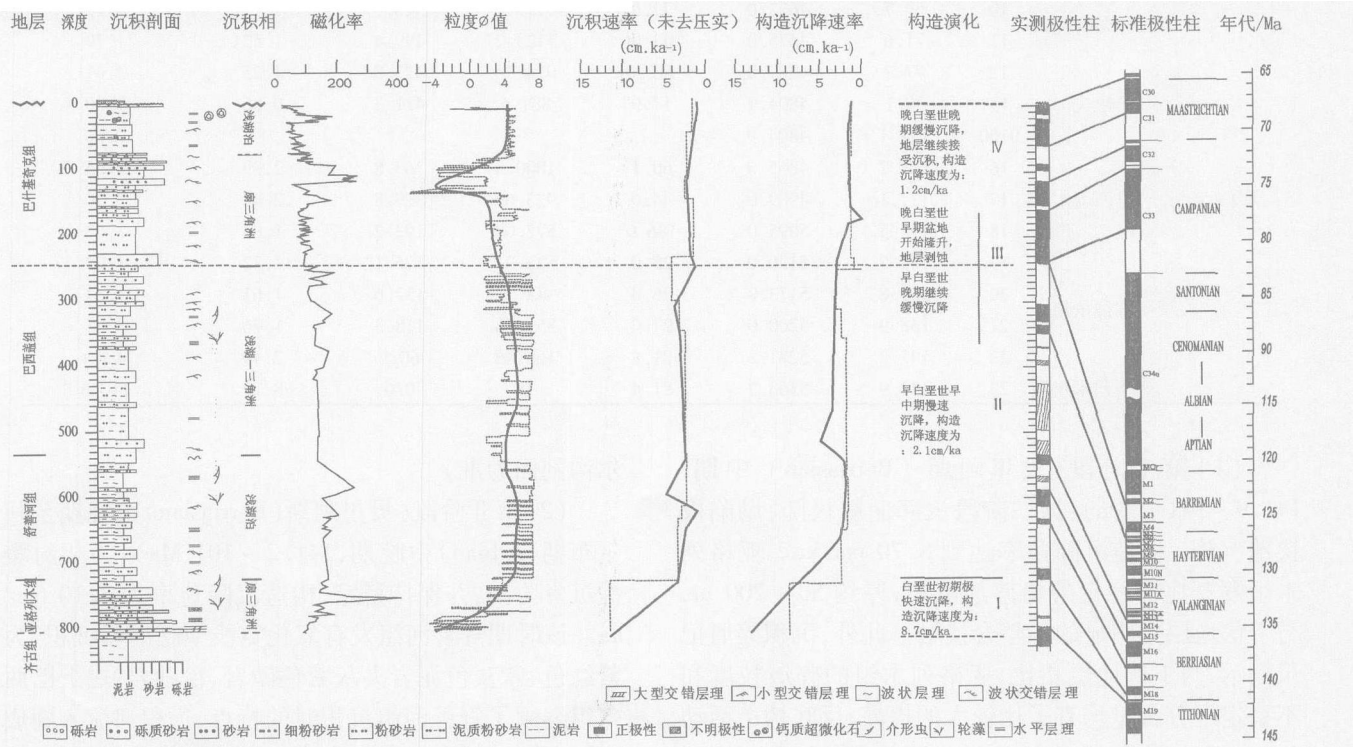


图 2 库车坳陷库车河白垩纪沉降速率曲线与阶段划分

Fig 2 The curve of subsidence rate and the division of evolutionary stages of Cretaceous depositional

succession in the Kuqa River profile, Kuqa Depression

3.2 地层选取及计算结果

库车坳陷白垩系地层主要出露于塔拉克到克孜勒努尔沟之间的北部线性背斜带, 北部厚度较大, 往南厚度明显减小, 地表露头上以卡普沙良河剖面厚度最大, 达 1 100 m, 白垩系磁性地层取样主要在库车河剖面(剖面), 厚约 803 m。第三系地层自下而上包括库姆格列木组、苏维依组、康村组、吉迪克组、库车组, 磁性地层取样剖面位于克孜勒努尔沟(剖面 II, 剖面 III, 图 1)。以磁性地层取样剖面为代表剖面进行沉

降分析。岩石地层单元的年龄根据库车河白垩系磁性地层研究结果^[23]和克孜勒努尔沟第三系磁性地层研究, 作出如表 2 的界定, 地层厚度为野外实测, 计算结果如下表所示。

3.3 沉降阶段划分

库车坳陷在白垩系构造活动强烈, 沉积特征表现为明显的阶段性发育^[12-13]。从恢复的沉降曲线(图 3)可以看出, 库车坳陷在白垩系时期经历了四个不同的沉降阶段。

表 2 库车坳陷白垩系地层沉降史模拟数据选取及结果

Table 2 The selected data for simulation on the history of Cretaceous depositional succession in Kuqa Depression and the results

时代	地层	层号	层底年代 M a	累积厚度 m	分层厚度 m	总沉降量 m	构造沉降量 m	构造沉降速率 (m ka)	去压实沉积速率 (m ka)
第三系	库车组	1	0.0	0.0	0.0	5363.2	2799.4		
		2	5.9	2000.0	2000.0	3972.9	1966.1	14.12	17.30
	康村组	3	9.8	2800.0	800.0	3258.8	1527.2	11.25	14.21
		4	13.5	3190.0	390.0	2894.6	1304.3	6.02	8.20
	吉迪克组	5	16.7	3570.0	380.0	2447	1086.8	6.80	10.20
		6	26.0	4220.0	650.0	1652.3	725.5	3.88	6.10
	苏维依组	7	28.6	4350.0	130.0	1503.6	653.0	2.79	4.00
		8	35.0	4560.0	210.0	1141.1	532.2	1.89	3.20
	缺失	9	65.6	4560.0					0.00
白垩系	巴什基奇克组	10	69.7	4632.0	72.0	1199.7	528.3	1.19	1.52
		11	71.6	4675.0	43.0	1123.2	499.4	1.52	1.70
		12	77.7	4787.0	112.0	914.74	423.3	1.25	1.61
	缺失	13	79.1	4804.9	17.9	881.6	411.3	0.86	1.20
		14	0160	124.1	4804.9				0.00
	巴西盖组	15	125.7	4865.0	60.1	1000.5	363.8	2.99	3.95
		16	127.1	4909.0	44.0	923.65	329.8	2.42	3.90
17		134.5	5095.0	186.0	572.08	193.2	1.85	3.02	
苏维依组	18	135.5	5120.0	25.0	525.31	175.1	1.82	2.22	
	19	137.8	5173.0	25.0	406.9	137.6	1.63	1.84	
	20	138.9	5200.0	27.0	351.76	118.3	1.76	3.05	
	21	141.2	5281.8	81.8	160.46	60.9	2.49	4.10	
	22	141.9	5363.2	81.4	0	0.0	8.70	11.45	

(1) 第 I 阶段(贝里阿斯(Berriasian)中期, 141.9~141.2 Ma); 这一阶段沉降曲线极陡, 坳陷极快速沉降, 构造沉降速率达到 8.70 m/ka。亚格列木组发育比较稳定的粗碎屑沉积, 厚约 50~200 m, 与下伏地层为明显的不整合接触。此外, 沉积碎屑记录揭示, 与下伏地层相比, 亚格列木组的碎屑粒度和不稳定组分含量均有了比较大的提高, 反映构造活动趋于强烈, 可能暗示了新一轮盆山分异活动的开始^[12-13]。(图 3(b)中, A—构造沉降曲线, B—总沉降曲线, C—由磁极性点决定的年龄深度变化曲线; 白垩系地层以库车河剖面为准; 第三系剖面以克孜勒努

尔沟剖面为准)

(2) 第 II 阶段(贝里阿斯(Berriasian)中晚期至阿尔布期(Albian)中晚期, 141.2~101 Ma); 为相对缓慢沉降阶段, 并保持稳定, 构造沉降速率为 2.10 m/ka。该时期舒善河组发育氧化宽浅型湖泊相沉积, 为紫红色、紫灰色泥岩夹灰紫色砂岩、粉砂岩; 之上巴西盖组继承了舒善河组沉积时的特点, 远程河流入湖成因的湖泊三角洲体系发育^[29]。舒善河组与上覆巴什基奇克组可能为不整合接触^[23-30], 磁性地层结果表明, 巴西盖组顶界年龄为 124.1 Ma 但这并不意味着沉积终止, 可能的情况是此后继续沉降, 接受沉积, 之

后再抬升剥蚀。

(3)第II阶段(阿尔布期(Albian)末至坎潘(Campanian)早期, 101.2~79.1Ma): 在这一阶段库车坳陷发生构造隆升作用, 早先沉积的地层遭受剥蚀。

(4)第IV阶段(坎潘(Campanian)中晚期—马斯特里赫特(Maastrichtian)期, 79.1~65.6Ma): 这一阶段坳陷开始新的构造沉降, 继续沉积, 构造沉降极为缓慢, 仅为 1.23 cm/ka 此阶段可能一直持续到第三

系再次构造抬升。巴什基奇克组下段为细砂岩夹泥岩和少量含砾中、粗砂岩, 为扇三角洲前缘沉积; 而上段为褐红色泥岩夹细砂质粉砂岩, 含钙质结核, 与上覆第三系地层为低角度不整合接触, 呈现氧化宽浅型湖泊沉积相特点^[31]。

4 讨论

野外观察发现巴什基奇克底以一厚层紫红色砾

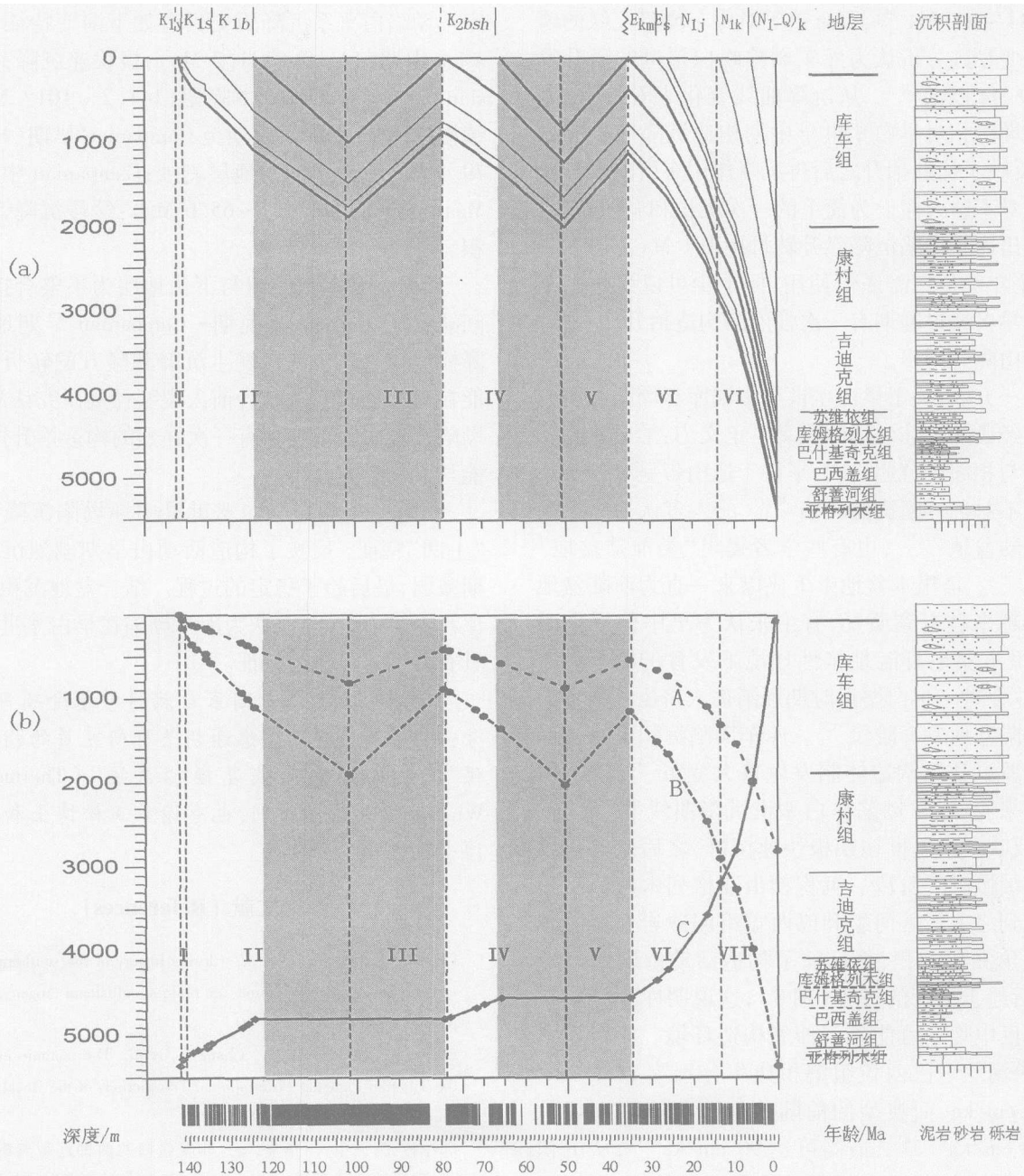


图 3 库车坳陷白垩系—第三系地层埋藏史 (a) 与构造沉降史 (b)

Fig 3 Schematic plot showing the buying history (a) and tectonic subsidence history of the Cretaceous Tertiary stratigraphy in Kuqa depression (b)

岩与下伏巴西盖组呈明显的侵蚀接触,基于磁极性地层序列对比和区域古生物资料,确定巴什基奇克组与下伏地层间缺失了约 50~5 Ma 的地层^[29], 124.1~79.1 Ma 的这一地层缺失事件可能反映了天山地区在这一时期的隆升,这与裂变径迹研究结果相对应^[32~35]。Dumitru 等通过磷灰石裂变径迹研究认为天山在晚中生代(135~106 Ma)有一期大的隆升和剥露^[32],杨庚等用同样方法提出晚中生代的隆升时限为 134~109 Ma^[34],贾承造等对库车坳陷北缘的磷灰石裂变径迹分析认为库车坳陷晚白垩世的隆升发生在 89 Ma 以前^[35]。从沉降曲线变化来看,晚白垩世晚期坳陷相对早白垩世早中期构造沉降速率明显降低,反映了构造抬升之后再沉降作用有所减弱。沉降模拟对不整合假设为简单的一次沉积和剥蚀过程,模拟得出库车坳陷沉降隆升转折在 101 Ma 左右。当然,这个年龄值还需谨慎使用,但至少可以说明库车坳陷在早白垩世晚期有一次强烈的构造抬升作用,可能与天山隆升同步。

另一方面,关于早白垩世早中期库车坳陷类型的探讨。经典的前陆盆地的概念可定义为:形成于收缩造山带与相邻克拉通之间,平行于造山带呈狭长带状展布的不对称冲断挠曲坳陷^[36]。前人多认为库车坳陷是前陆盆地^[37,38],也有些学者提出“类前陆盆地”的说法^[39]。塔里木盆地中生代以来一直为前陆盆地的提法越来越受到质疑,有主张认为早中侏罗世时期,塔里木盆地可能是张性环境下发育的断—坳盆地,晚侏罗世—早白垩世时期逐渐进入挤压背景下的陆内坳陷盆地发育阶段^[42]。库车坳陷沉积记录揭示自晚侏罗世开始构造体制发生重大变革^[13],从沉降史分析来看,库车坳陷早白垩世沉降曲线呈“上凹”特征,反映早白垩世初期极快速沉降,之后进入持续稳定的缓慢沉降阶段。沉积物由亚格列木组的粗碎屑沉积到之上舒善河组和巴西盖组泥砂岩互层的湖泊—三角洲相沉积,也反映了构造活动由剧烈到减弱,最后趋于稳定的过程(图3),这说明库车坳陷在早白垩世中晚期可能处于伸展构造环境。亚格列木组、舒善河组—巴西盖组沉积速率分别为 11.5 cm/ka~2.7 cm/ka 而典型的前陆盆地沉积速率一般是 10~40 cm/ka^[41~43],最高可达 90 cm/ka^[44],从沉积速率的角度看,似乎不符合前陆盆地的特征。另外,张仲培等通过对库车坳陷节理和剪切破裂发育特征研究发现白垩系古应力有两个明显的方位,即 NEE-SWW 方向和 NNW-SSE 方向,最大应力场 σ_1 为垂向,

反映了近南北向坳陷伸展作用^[45]。

结合前人地层、构造演化和区域应力场研究,表明库车坳陷在早白垩系时期不具备典型前陆盆地特征,有迹象说明可能为陆内断陷—坳陷盆地,但尚需进一步资料论证。

5 结论

(1)结合裂变径迹资料和岩相古地理特征,认为库车坳陷白垩系沉降历史具有如下演变特征: Berriasian 中期(141.9~141.2 Ma):极快速沉降; Berriasian 中晚期至 Albian 中晚期(141.2~101? Ma),持续慢速沉降; Albian 末期至 Campanian 早期(101?~79.1 Ma):构造隆升,地层剥蚀; Campanian 中晚期—Maastrichtian 期(79.1~65.6 Ma):缓慢沉降,接受沉积。

(2)巴什基奇克组与下伏地层为不整合接触,其间缺失了 Barremian 晚期—Campanian 早期地层,沉降模拟结果表明盆地发生沉降和隆升的转折时限可能在 101 Ma 左右,结合前人裂变径迹研究认为,库车坳陷在早白垩世晚期有一次强烈的构造抬升作用,可能与天山隆升同步。

(3)库车坳陷早白垩世早中期坳陷沉降曲线呈“上凹”特征,反映了构造活动由早期剧烈沉降到后期减弱,最后趋于稳定的过程。结合盆地沉积速率对比和古应力等研究,认为库车坳陷在早白垩世可能不具有典型前陆盆地特征。

致谢 本工作受国家自然科学基金项目(批准号:40472069)资助。感谢胡圣标研究员的指导及提供“沉积坳陷热史恢复模拟系统”(The model for Windows 2004)的便利,也感谢袁玉松博士和严德天博士等的指导和帮助。

参考文献 (References)

- 1 Chen C, Lu H, Jia D, *et al*. Cooling history of the southern Tianshan oceanic basin, western China: an oblique collisional orogeny. *Tectonophysics*, 1999, 302: 23~40
- 2 Dewey JF, Shackleton R, Chang C, *et al*. The tectonic evolution of the Tibetan Plateau. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1988, A327: 379~413
- 3 郭令智,施央申,卢华复,等.印藏碰撞的两种远距离构造效应.见:现代地质学研究文集.南京:南京大学出版社,1992:1~8 [Guo Lingzhi, Shi Yangshen, Lu Huafu, *et al*. The two far field tectonic effects of India-Asia plate collision. In: *The Research Corpus on Latter-day Geology*. Nanjing: University of Nanjing Press, 1992: 1~8]

- 4 Avouac JB, Tappornier R, Bai M H, *et al*. Active thrusting and folding along the northern Tianshan and late Cenozoic rotation of the Tarim relative to Dzungaria and Kazakhstan. *Journal of Geophysical Research*, 1993, 98(B4): 60755~60804
- 5 Lu H, Howell D G, Jia D, *et al*. Rejuvenation of Kuqa foreland basin, northern flank of the Tarim basin, northwest China. *International Geology Review*, 1994, 36: 1151~1158
- 6 卢华复, 陈楚铭, 刘志宏, 等. 库车再生前陆逆冲带的构造特征与成因. *石油学报*, 2000, 21(3): 19~24 [Lu Hua-fu, Chen Chuming, Liu Zhi-hong, *et al*. The structural features and origin of the Kuqa rejuvenation foreland thrust belt. *Acta Petrologica Sinica*, 2000, 21(3): 19~24]
- 7 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. 348~357 [Jia Cheng-zao. *The Tectonic Features and Petroleum in the Tarim Basin, China*. Beijing: Science Press, 1997. 348~357]
- 8 卢华复, 贾东, 陈楚铭, 等. 库车新生代构造性质和变形时间. *地学前缘*, 1999, 6(4): 215~221 [Lu Hua-fu, Jia Dong, Chen Chuming, *et al*. Nature and timing of the Kuqa Cenozoic structures. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(4): 215~221]
- 9 刘志宏, 卢华复, 李西建, 等. 库车再生前陆盆地的构造演化. *地质科学*, 2000, 35(4): 482~492 [Liu Zhi-hong, Lu Hua-fu, Li Xi-jian, *et al*. Tectonic evolution of Kuqa rejuvenated foreland basin. *Scientia Geologica Sinica*, 2000, 35(4): 482~492]
- 10 国齐, 贾承造, 施央申, 等. 塔里木新生代复合再生前陆盆地构造特征与油气. *地质学报*, 2000, 74(2): 123~133 [Wei Guo-qi, Jia Cheng-zao, Shi Yang-shen, *et al*. Tectonic characteristics and petroleum prospects of Cenozoic compound rejuvenated foreland basins in Tarim. *Acta Geologica Sinica*, 2000, 74(2): 123~133]
- 11 Zhong Li, Wenjie Song, Shoutao Peng, *et al*. Mesozoic-Cenozoic tectonic relationships between the Kuqa subbasin and Tianshan, northwest China: constraints from depositional records. *Sedimentary Geology*, 2004, 172: 223~249
- 12 李忠, 郭宏, 王道轩, 等. 库车坳陷—天山中、新生代构造转折的砂岩碎屑与地球化学记录. *中国科学, D辑*, 2005, 35(1): 15~28 [Li Zhong, Guo Hong, Wang Dao-xuan, *et al*. Mesozoic-Cenozoic tectonic transition in Kuqa Depression-Tianshan, Northwest China: Evidence from sandstone detrital and geochemical records. *Science in China (Series D)*, 2005, 35(1): 15~28]
- 13 李忠, 王道轩, 林伟, 等. 库车坳陷中—新生代碎屑组分对物源类型及其构造属性的指示. *岩石学报*, 2004, 20(3): 655~666 [Li Zhong, Wang Dao-xuan, Lin Wei, *et al*. Mesozoic-Cenozoic clastic composition in Kuqa depression, northwest China: Implication for provenance types and tectonic attributes. *Acta Petrologica Sinica*, 2004, 20(3): 655~666]
- 14 刘和甫, 汪泽成, 熊宝贤, 等. 中国中西部中生代前陆坳陷与挤压造山带耦合分析. *地学前缘*, 2000, 7(3): 55~72 [Liu He-fu, Wang Ze-cheng, Xiong Bao-xian, *et al*. Coupling analysis of Mesozoic-Cenozoic foreland basin and mountain system in central and western China. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(3): 55~72]
- 15 Graham S A, Hendrix M S W, Wang L B, *et al*. Collisional successions of western China: impact of tectonic inheritance on sand composition. *Geological Society of America Bulletin*, 1993, 105: 323~344
- 16 Hendrix M S. Evolution of Mesozoic sandstone compositions: southern Junggar, northern Tarim, and western Tapan basins, Northwest China: a detrital record of the ancestral Tianshan. *Journal of Sedimentary Research*, 2000, 70(3): 520~532
- 17 杨庚, 钱祥麟. 库车坳陷沉降与天山中生代构造活动. *新疆地质*, 1995, 13(3): 264~274 [Yang Geng, Qian Xiangling. Subsidence of the Kuqa depression and Mesozoic-Cenozoic structural reactivations in Tianshan. *Xinjiang Geology*, 1995, 13(3): 264~274]
- 18 刘光祥, 钱一雄, 潘文蕾. 库车中、新生代前陆盆地沉降—沉积分析. *石油实验地质*, 2000, 22(4): 313~318 [Liu Guang-xiang, Qian Yixiong, Pan Wen-lei. Research of subsidence and sedimentation of the Kuqa Mesozoic-Cenozoic foreland basin. *Experimental Petroleum Geology*, 2000, 22(4): 313~318]
- 19 阎福礼, 卢华复, 贾东, 等. 塔里木盆地库车坳陷中、新生代沉降特征探讨. *南京大学学报(自然科学)*, 2003, 39(1): 31~39 [Yan Fu-li, Lu Hua-fu, Jia Dong, *et al*. The Mesozoic-Cenozoic subsidence features of Kuqa Depression, Tarim Basin. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 2003, 39(1): 31~39]
- 20 何光玉, 卢华复, 杨树锋, 等. 库车中生代坳陷沉降特征. *浙江大学学报(理学版)*, 2004, 31(1): 110~120 [He Guang-yu, Lu Hua-fu, Yang Shu-feng, *et al*. Subsiding features of the Mesozoic and Cenozoic Kuqa Basin, Northwest China. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 2004, 31(1): 110~120]
- 21 张明山, 钱祥麟, 李茂松. 造山带逆冲与前陆盆地沉降和沉积平衡关系的定量讨论: 以库车陆内前陆盆地为例. *北京大学学报(自然科学版)*, 1996, 32: 188~198 [Zhang Ming-shan, Qian Xiangling, Li Mao-song. A quantitative discussion to the relationship between thrusting of orogenic belt and subsidence and sedimentation of foreland basin: Kuqa intracontinental foreland basin as an example. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis*, 1996, 32: 188~198]
- 22 林畅松, 王清华, 肖建新, 等. 库车坳陷白垩纪沉积层序构成及充填响应模式. *中国科学, D辑*, 2004, 34(增刊 D): 74~82 [Lin Chang-song, Wang Qing-hua, Xiao Jian-xin, *et al*. Depositional sequence architecture and filling response mode of the Cretaceous in the Kuqa depression, Tarim basin. *Science in China (Series D)*, 2004, 34(Suppl D): 74~82]
- 23 彭守涛, 李忠, 黄宝春, 等. 库车坳陷北部白垩系磁性地层划分. *科学通报*, 2005, 50(19): 2136~2144 [Peng Shou-tao, Li Zhong, Huang Bao-chun, *et al*. Magnetostratigraphic study of Cretaceous depositional succession in the northern Kuqa Depression, Northwest China. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(19): 2136~2144]
- 24 王启飞. 关于库车巴什基奇克组时代的讨论. *地层学杂志*, 2000, 25(4): 299~311 [Wang Qi-fei. Age of the Bashenqike Formation from Kuqa foreland basin. *Journal of Stratigraphy*, 2000, 25(4): 299~311]
- 25 王智, 詹家祯, 李猛. 塔里木盆地东部白垩纪地层划分. *新疆石油地质*, 1999, 20(3): 252~256 [Wang Zhi, Zhan Jiazhen, Li Meng. The division of Cretaceous stratigraphy in the eastern of Tarim Basin

- Xinjiang Petroleum Geology 1999, 20(3): 252~256]
- 26 郭亚滨, 方大钧, 金国海, 等. 塔东北中生界古地磁极性特征及地层界线初步探讨. 见: 贾润霄. 中国塔里木盆地北部油气地质研究(一)·地层沉积. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991. 108~117 [Guo Yabin Fang Dajun Jin Guohai *et al* The Magnetic Polarity Characteristic of Mesozoic in the East northern Tarim Basin and the Primary Discussion on the Stratigraphy Boundary. In: Jia ed. The Geology Research on Oil & Gas in the Northern Tarim Basin (Vol. 1). Wuhan: China University of Geoscience Press, 1991. 108~117]
 - 27 Bond C G, Kam iz M A. Construction of tectonic subsidence curves for the early Paleozoic megacline southern Canadian Rocky Mountains: implications for subsidence mechanisms, age of breakup and crustal thinning. *G. S. A., Bull.*, 1984, 95: 155~173
 - 28 Allen P A, Allen J R. Basin Analysis principles and Applications. Cambridge: Blackwell Scientific Publications, 1990. 236~281
 - 29 朱玉新, 郭庆银, 邵新军, 等. 新疆塔里木盆地库车坳陷北缘白垩系储层沉积相研究. 古地理学报, 2000, 2(4): 58~65 [Zhu Yuxin Guo Qingyin Shao Xinjun *et al* Study on reservoir facies of the Cretaceous in the North of Kuqa Depression. *Journal of Paleogeography* 2000, 2(4): 58~65]
 - 30 陈丕基, 陆相白垩系. 见: 中国科学院地质古生物研究所编著. 中国地层研究二十年(1979~1999). 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000. 340~341 [Chen Piji. Continental Cretaceous. In: Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences ed. The twenty years' research on the Chinese stratigraphy (1979-1999). Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2000. 340~341]
 - 31 贾进华. 库车坳陷白垩纪巴什基奇克组沉积层序与储层研究. 地质学前沿, 2000, 7(3): 133~143 [Jia Jinhua. Depositional sequence and reservoir of Cretaceous Bashankjike formation in Kuqa foreland basin. *Earth Science Frontiers* 2000, 7(3): 133~143]
 - 32 Dumitru T A, Da Zhou, Chang E Z *et al* Uplift, exhumation and deformation in the Chinese Tian Shan. In: Hendrix M S, Davis G A, eds. Paleozoic and Mesozoic tectonic evolution of central Asia: From continental assembly to intracontinental deformation. *Cobradq. Geological Society of American Memoir* 194, 2001. 71~99
 - 33 Zhou D, Dumitru T A, Graham S A, *et al* Apatite Fission Track Record of Mesozoic and Cenozoic episodic Reactivation of the Chinese Tian Shan. *Geological Society of American Abstract Programs* 1995, 27: 456
 - 34 杨庚, 钱祥麟. 中生代天山板内造山带隆升证据: 锆石、磷灰石裂变径迹年龄测定. 北京大学学报. 自然科学版, 1995, 31(4): 473~478 [Yang Geng Qian Xianglin. Mesozoic Cenozoic uplift of the Tian Shan intraplate orogenic belt: evidence from zircon and apatite fission track dating. *Acta Scientiarum Naturalium University Pekinesis* 1995, 31(4): 473~478]
 - 35 贾承造, 陈汉林, 杨树峰, 等. 库车坳陷晚白垩世隆升过程及其地质响应. 石油学报, 2003, 24(3): 1~6 [Jia Chengzao Chen Hanlin Yang Shufeng *et al* Late Cretaceous uplifting process and its geological response in Kuqa Depression. *Acta Petroleum Sinica* 2003, 24(3): 1~6]
 - 36 杜小第, 左权, 刘万洙. 前陆盆地的识别和演化. 世界地质, 1994, 13(3): 11~14 [Du Xiaodi Zuo Quan Liu Wanzhu. The identifying and evolution of foreland basin. *World Geology* 1994, 13(3): 11~14]
 - 37 Hendrix M S, Graham S A, Carroll A R *et al* Sedimentary record and climatic implication of recurrent deformation of the Tien Shan: evidence from Mesozoic strata of the north Tarim, south Junggar and Tuvan basins. *Geological Society of America Bulletin* 1992, 104: 53~79
 - 38 Allen M B, Windley B F, Zhang Chi. Active alluvial system in the Korla Basin, Tianshan, Northwest China. *Sedimentation in a complex foreland Basin. Geological Magazine* 1991, 128(6): 661~666
 - 39 曹守连, 陈发景. 塔里木板块北缘前陆盆地构造演化及其与油气的关系. 地球科学—中国地质大学学报, 1994, 19(4): 482~492 [Cao Shoulian Chen Fajing. Tectonic evolution of foreland basin and its relationship with oil and gas in northern Tarim Plate. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences* 1994, 19(4): 482~492]
 - 40 许效松, 刘宝瑛, 徐强, 等. 中国西部大型坳陷分析及地球动力学. 北京: 地质出版社, 1997. 16~37 [Xu Xiaosong Liu Baojing Xu Qiang *et al* The Analysis and Earth Dynamics of Large Depression in Western China. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 16~37]
 - 41 Burbank D W., J Verges J A M unoz *et al* Coeval hinterland and foreland imbricate thrusting in the south central Pyrenees, Spain: Timing and rates of shortening and deposition. *Geological Society of America Bulletin* 1992, 104: 3~17
 - 42 Harrison T M, Copeland B, Hall S A, *et al* Isotopic preservation of Himalayan/Tibetan uplift, denudation, and climate histories of Tertiary molasse deposits. *Journal of Geology* 1993, 100: 157~175
 - 43 Johnson N M, Sheikh K A, Dawson Saunders E *et al* The use of magnetic reversal time lines in stratigraphic analysis: a case study measuring variability in sedimentation rates. In: Kleinspehn K L and Paola C, eds. *New Perspectives in Basin Analysis*. New York: Springer-Verlag, 1988. 189~200
 - 44 Jordan T E, Flemings P B, Beer J A. Dating thrust fault activity by use of foreland basin strata. In: Kleinspehn K L, Paola C, eds. *New Perspectives in Basin Analysis*. New York: Springer-Verlag, 1988. 307~330
 - 45 张仲培, 王清晨. 库车坳陷和剪切破裂发育特征及其对区域应力场转换的指示. 中国科学(D辑), 2004, 34(增刊1): 63~73 [Zhang Zhongpei Wang Qingchen. Development of joints and shear fractures in the Kuqa depression and its implication to regional stress field switching. *Science in China (Series D)*, 2004, 34(Suppl): 63~73]

The Sedimentation Rates Analysis of Cretaceous Depositional Succession in the Northern Kuqa Depression Northwest China

PENG Shou tao¹ SONG Hai ming²

(1 State Key Laboratory of Institute of Geology and Geophysics Chinese Academy of Sciences Beijing 100029

2 Institute of Geology and Geophysics Chinese Academy of Sciences Beijing 100029)

Abstract High resolution chronostratigraphic framework has been established through the detailed magnetostratigraphic study on Cretaceous succession in the Kuqa River and Kezikenuer Channel profiles. On the basis of the results, subsidence history in Cretaceous of Kuqa depression is recovered by back-stripping method. Sedimentation rates of Yageliemu, Shushanhe, Baxigai and Bashenjiqike formation are calculated with a result of 11.5 cm/ka, 2.5 cm/ka, 2.9 cm/ka and 1.7 cm/ka respectively. Combining with the data of fission track and paleogeography, subsidence history in Cretaceous of Kuqa depression can be divided into four stages: (1) middle Berriasian (141.9-141.2 Ma): sharp subsidence; (2) middle-late Berriasian to middle-late Albian (141.2-101 Ma): slow subsidence; (3) at the end of Albian to early Campanian (101-79 Ma): tectonic uplift and ablation of sedimentation; (4) middle-late Campanian-Maastrichtian (79-65.6 Ma): slow subsidence and sedimentary. Characteristic of "concave upwards" in the subsidence curve of the middle-late phases in early Cretaceous reflects the process of tectonic activity that from early sharp subsidence to late weaken and incline to stabilize finally, which indicates that Kuqa depression has not the characteristic of foreland basin in the early Cretaceous.

Key words Kuqa depression, Cretaceous, sedimentation rates, Chronostratigraphy