

文章编号: 1000-0550(2016)01-0049-09

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2016.01.004

祁连山北缘酒西盆地新生代沉积通量变化对 周缘山体构造隆升—风化剥蚀历史的响应

马丽芳 鲍晶 应红 胡春华 钟思锐 杨淑芬 宋春晖 孟庆泉

(兰州大学地质科学与矿产资源学院甘肃省西部矿产资源重点实验室 兰州 730000)

摘要 酒西盆地是青藏高原东北缘的一个内陆沉积盆地,发育了巨厚且连续的中—新生代地层,详细记录了盆地及周缘山地的构造、环境演变历史。本文在利用平衡剖面法恢复不同时期酒西盆地原始盆地边界基础上,通过盆地天然露头控制剖面和钻井资料的地层厚度,恢复了酒西盆地新生代各组沉积等厚图。根据不同时期盆地大小和沉积等厚图的计算,获得了酒西盆地新生代不同时期的沉积通量。结合前人对该区构造与古气候研究成果,认为古近纪持续干旱的气候条件下从火烧沟组(40.2~33.4 Ma)到白杨河组(30.9~23.8 Ma)盆地沉积通量增加主要由青藏高原持续挤压使祁连山快速构造隆升导致风化剥蚀量增加所致;中新世早期(疏勒河组弓形山段,23~14 Ma)虽然气候相对温暖,但此时祁连山构造带相对稳定,控制了物源区祁连山风化剥蚀量相对前期减小,使盆地沉积通量相对减小;中新世中期(疏勒河组胳膊塘沟段,14~8.3 Ma)盆地沉积通量增大可能是气候和构造共同作用的结果;中新世晚期以来(<8.3 Ma,疏勒河组牛路套段—玉门组)盆地沉积通量呈阶段性大幅陡增,主要由祁连山晚新生代以来阶段性急剧构造隆升导致风化剥蚀量猛增所致。

关键词 青藏高原北缘 酒西盆地 沉积通量 控制因素 新生代

第一作者简介 马丽芳 女 1990年出生 硕士研究生 造山带与沉积盆地 E-mail: malf12@lzu.edu.cn

通讯作者 宋春晖 男 教授 E-mail: songchh@lzu.edu.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 引言

造山带和沉积盆地是大陆的两个基本地质单元,它们构成了在空间发展和形成机制上密切联系的构造系统。沉积盆地作为造山带构造演化过程中最直接、最具体的地质记录,其为研究造山带的发展与演化提供了重要的信息和线索^[1-3]。盆地中充填的沉积物是盆地水系范围内造山带岩石经风化、剥蚀、搬运和沉积的产物,这些沉积物不仅连续的记录了盆地在接受沉积物充填过程中周围造山带的构造活动特征,而且还是反演地质作用过程中气候以及环境演化等信息的天然载体^[4]。青藏高原东北缘毗邻祁连山的酒泉盆地中—新生代地层发育良好且连续,特别是近年来高精度磁性地层年代学的研究^[5-8],成为青藏高原东北部盆山耦合研究的理想地区。本文通过野外考察、横跨盆地不同位置新生代地层剖面实测,结合地震剖面和钻井资料,揭示酒西盆地新生代不同时期

沉积通量,探讨周缘山体新生代风化剥蚀变化控制因素,为青藏高原构造隆升—气候变化—风化剥蚀相互作用的研究提供依据。

1 研究区新生代地层

酒泉盆地位于青藏高原东北缘河西走廊的最西段,南抵北祁连山、北达宽台山—黑山,西以阿尔金断裂为界,以文殊山为界分为酒东盆地和酒西盆地(图1)。

盆地海拔2 000~2 300 m左右,面积约为2 800 km²。盆地沉积演化主要受阿尔金走滑断裂和祁连山逆冲断裂带的控制^[9]。酒西盆地缺失古新世沉积,新生代地层由老到新分别为始新世—渐新世的火烧沟组和白杨河组、中新世—上新世疏勒河组以及第四纪早更新世玉门组、中更新世酒泉组和晚更新世—全新世戈壁砾石^[10-11](图2)。

火烧沟组:火烧沟组仅分布于酒西盆地西北部,向南、向东沉积厚度减薄并尖灭^[10-11],是酒西盆地新

收稿日期: 2015-02-09; 收修改稿日期: 2015-04-26

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2013CB956403);中国科学院战略性先导科技专项(XDB03020402);国家自然科学基金项目(41272128) [Foundation: National Key Basic Research Program of China(973 Program), No.2013CB956403; Chinese Academy of Sciences Stratigic Priority Research Program, No.XDB03020402; National Natural Science Foundation of China, No.41272128]

生代充填序列的最下部,与下伏白垩纪新民堡群和上覆白杨河组均呈角度不整合或平行不整合接触。其岩性主要为砖红色含砾砂岩夹砂质泥岩,属山麓冲积—河流相沉积。该组在火烧沟地区出露最完整(厚522 m),该剖面中砂体斜层理指示水流方向总体向南,物源主要来自西北部的阿尔金山^[8,12-14]。火烧沟组地层年龄为始新世40.2~33.4 Ma^[8]。白杨河组:该组在整个酒西盆地广泛分布,南厚北薄,与下覆地层呈不整合接触^[11,15]。该组岩性主要为桔红色细砂岩夹灰白色砾岩,砂质泥岩,上部渐变为泥岩,主要属于河湖相沉积^[11,13]。白杨河组地层形成于渐新世30.9~23.8 Ma^[13]。

疏勒河组:该组在盆地中广泛分布,与下伏白杨河组多呈平行不整合关系。根据岩性组合自下而上分为弓形山段、胛塘沟段和牛牯套段,下部弓形山段主要为灰黄色砂岩、砾质砂岩与棕红色泥岩,中部胛塘沟段以大型砂质砾岩—砂岩—粉砂岩—泥岩旋回为特征,上部牛牯套段以灰色厚层块状砾岩夹薄层灰色砂岩为主。根据方小敏等^[7]对酒西盆地老君庙剖面和宋春晖^[13]对酒泉盆地新生代地层高精度磁性年代地层学研究,弓形山段形成于早中新世(23~14

Ma)、胛塘沟段形成于中中新世(14~8.3 Ma)、牛牯套段属中新世晚期—上新世(8.3~<4.9 Ma)。

玉门砾岩组和酒泉砾岩组是以大套粗粒灰黑色砾岩夹透镜状砂岩为主的磨拉石建造,各组与下覆地层呈不整合接触,地层年龄分别为3.66~0.93 Ma B.P.和0.84~0.14 Ma B.P.^[7]。

2 研究方法 with 结果

酒泉盆地新生代与中生代有明显不同的构造特征,酒泉盆地新生代以前陆盆地为主,而中生代为断陷盆地,中新生界在空间上呈现了上下两个构造层,属于叠合盆地^[16]。由于盆地新生代以来遭受过强烈构造变形,要较准确地获得新生代以来不同时期盆地沉积通量,首先需要恢复盆地不同时期原型,即恢复原始不同地层沉积时盆地边界。然后通过盆地天然露头控制性剖面和钻井资料的地层厚度,恢复出酒西盆地新生代各组沉积等厚图。最后根据不同时期盆地大小和沉积等厚图计算其沉积通量。

2.1 酒西盆地新生代不同时期盆地边界恢复

1969年加拿大学者Dahlstrom首次提出了平衡剖面(Balanced Cross Section)概念。平衡剖面指剖面

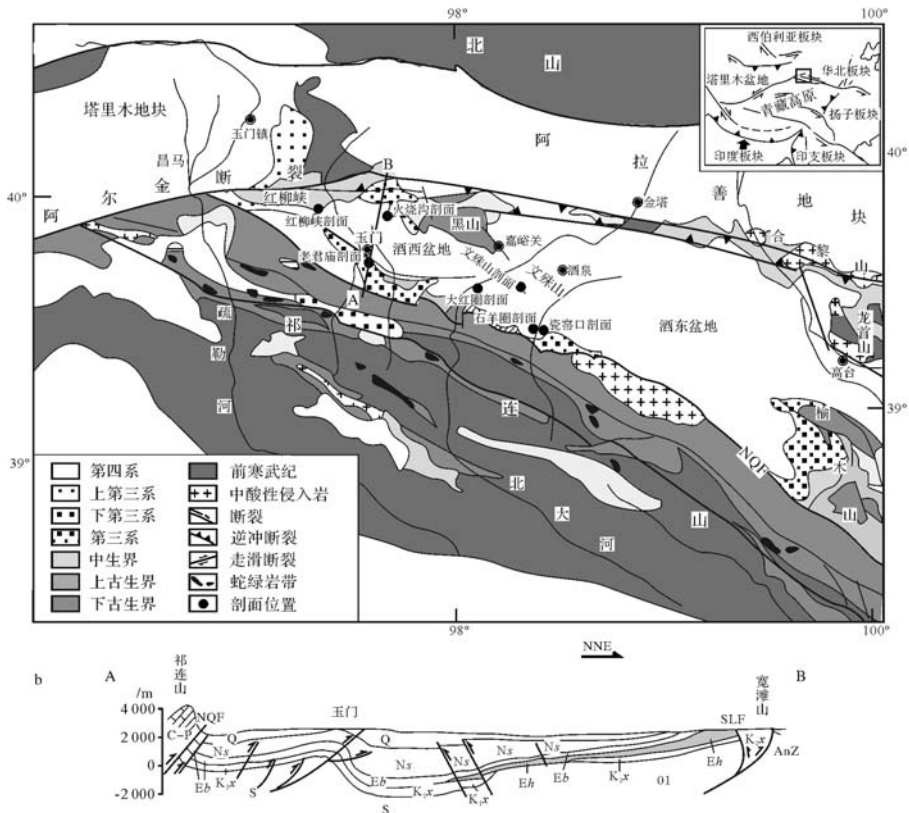


图1 酒泉盆地边缘构造地质简图及研究剖面位置

Fig.1 Simplified tectonic map of Jiuquan Basin and location of the study area

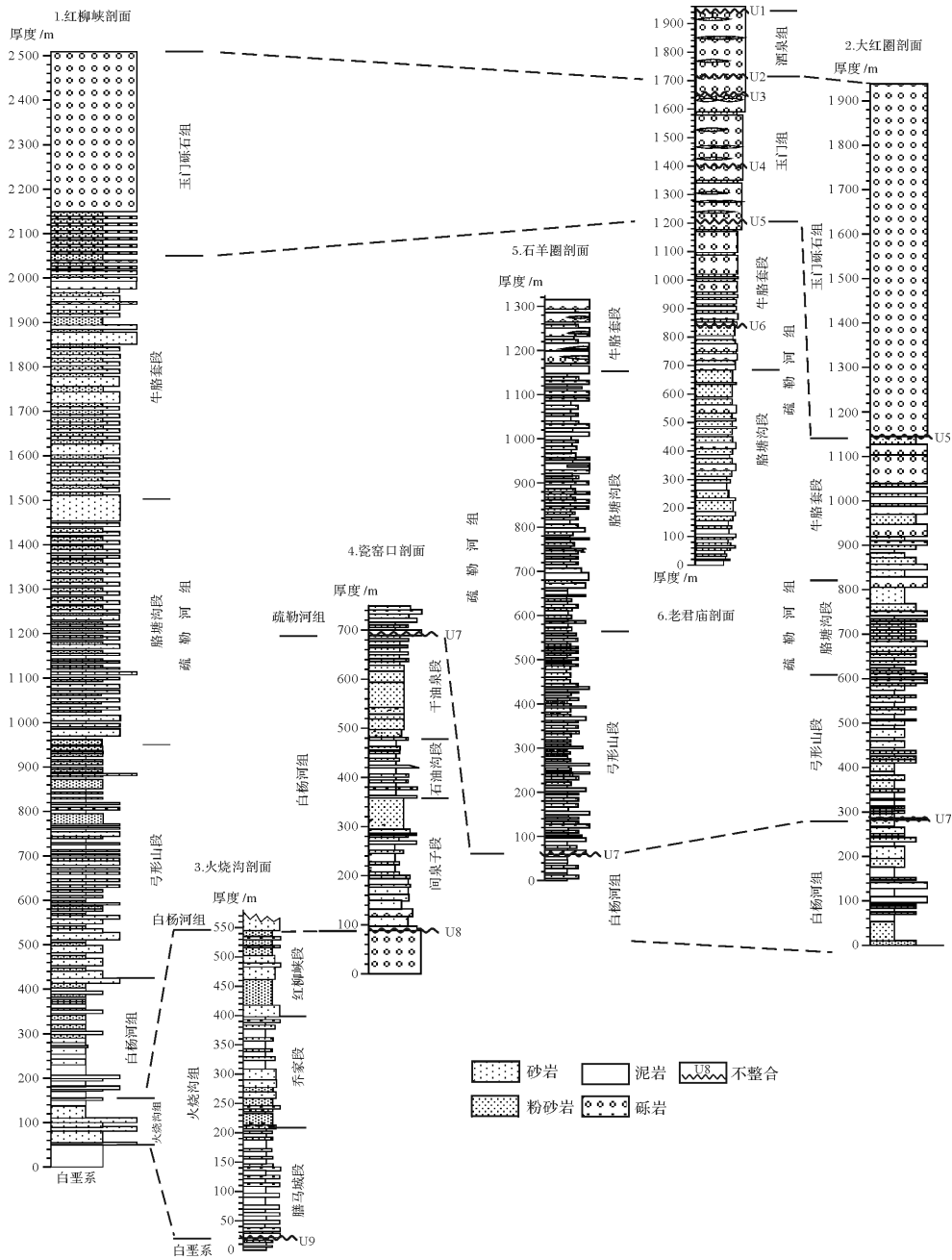


图2 酒泉盆地新生代不同剖面地层划分与对比(各剖面位置见图1)

Fig.2 Classification and correlation of different stratigraphic sections of Cenozoic Jiuxi Basin

上的构造变形, 变位通过几何原则和方法可以全部复原到原始未变形状态的横剖面^[17]。2D Move 是局部和区域的尺度上建立、平衡、恢复和分析二维地震剖面解释的软件。本文中选取酒西盆地南北向青头山—新民堡与柏树湾—戈壁庄两条地震剖面, 利用 2D Move 二维平衡剖面恢复软件对其新生代以来不同时期原始剖面进行恢复(图 3), 获得了新生代不同时期酒西盆地边界位置(图 4)。

2.2 酒西盆地新生代不同时期沉积等厚图

为了获得较为精确的酒西盆地新生代各个阶段的沉积总量, 我们在实测研究区控制性代表剖面地层厚度基础上(图 1, 2, 4), 结合前人研究成果(包括天然露头地层剖面 and 钻井地层厚度资料)^[6-7, 10-11, 13-14, 18], 利用 Surfer8.0 软件结合实际地质考察恢复了酒西盆地各个阶段等厚图(图 5)。其中火烧沟组主要分布于酒西盆地西北部, 并且两个沉积

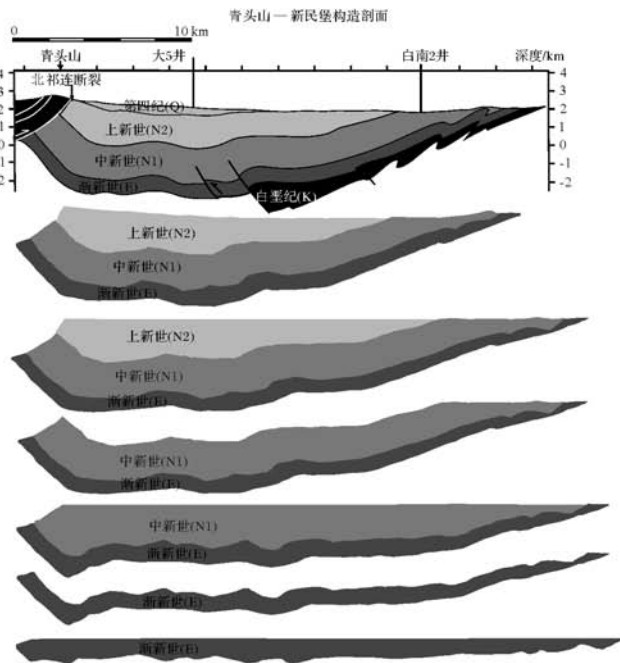


图3 新生代酒泉盆地不同时期平衡剖面恢复

Fig.3 Restoration of the geologic cross-section of Cenozoic Jiuxi Basin

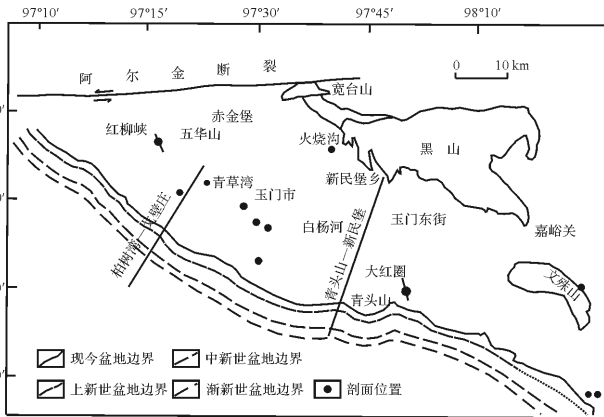
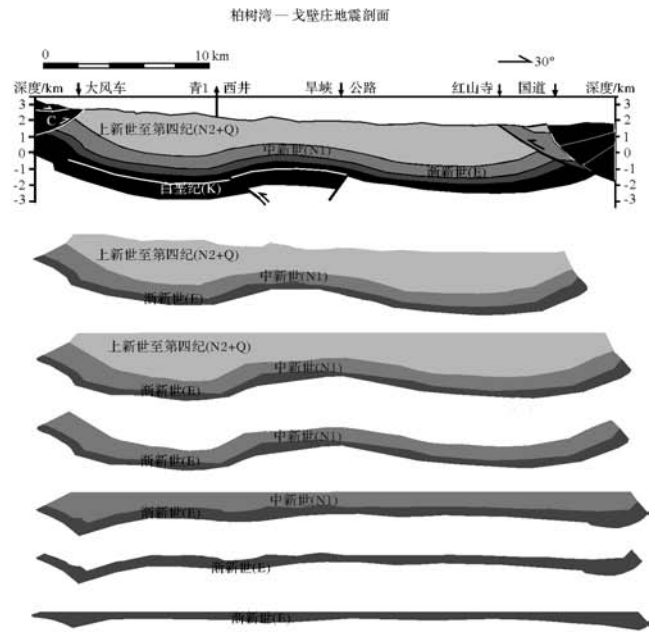


图4 新生代不同时期酒西盆地边界位置图

Fig.4 Plot of the boundary of Jiuxi Basin at different periods

中心位于平行于阿尔金山断裂的南侧(图5a)。白杨河组地层等厚图(图5b)显示盆地沉积中心和分布由前期火烧沟组平行于西北部阿尔金山断裂转为平行于近东西向北祁连逆冲断裂前缘,地层厚度总体上呈现南厚北薄的趋势。疏勒河组地层等厚图分布样式与白杨河组相似,但沉积中心向盆地南部北祁连逆掩断层前缘迁移(图5c~e)。玉门砾石组地层等厚图分布样式和沉积中心进一步靠近祁连山山前分布,明显呈南厚北薄(图5f),其物源受北祁连控制。

2.3 酒西盆地沉积通量

沉积通量是指在一定单位时间内,单位面积上所

沉积的固体物质总量^[19],其计算公式为: $\Delta R = V \times \rho \times (1 - Z) / S \times \Delta t$,其中: ΔR 为沉积通量,单位为 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{Ma})$ 或 $\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{kyr})$; V 为沉积总量,单位为 m^3 ; ρ 为岩石颗粒密度,单位为 kg/m^3 ; Z 为岩石孔隙度,单位为%; S 为沉积区面积,单位为 m^2 ; Δt 为沉积持续时间,单位为 Ma 。沉积通量计算公式也可简化为: $\Delta R = V / \Delta t$ (单位: m^3/Ma 或 km^3/Myr)^[20]。通过酒西盆地新生代不同时期盆地大小和沉积等厚图,计算得出酒西盆地各个阶段沉积区面积以及体积,利用沉积通量公式算出盆地不同时期沉积通量(沉积物总量与形成该沉积物总量的时间间隔的比值)(表1、图6a)。

3 讨论

根据盆山耦合中剥蚀区和沉积区物质平衡法^[19],沉积通量大小取决于剥蚀区输入盆地的沉积物总量,即在周边抬升剥蚀和盆地沉降充填过程中剥蚀区的剥蚀总量与盆地充填总量是大致相等,所以沉积物通量代表单位时间内剥蚀区剥蚀总量^[20]。而剥蚀区的剥蚀总量大小主要受源区岩性、气候和构造控制。在源区岩性一定条件下,湿润气候条件有利于化学风化作用的进行,强烈构造隆升作用可导致源区山体风化剥蚀作用的加大。

新生代以来印度板块与欧亚板块强烈碰撞导致

青藏高原隆升,始新世中晚期(40 Ma 左右),随着印度板块继续向北俯冲,巨大应力迅速沿阿尔金深大断裂带快速传递到青藏高原北缘^[14,21],由于阿尔金断裂带左行走滑运动和北部刚性阿拉善地块的阻挡,伴随

阿尔金山隆升,酒泉盆地西端凹陷。阿尔金断裂带不仅控制了盆地形态,还成为盆地物源^[8,13-14],形成了火烧沟组(40.2~33.4 Ma)沉积(图 5a)。由于苗运法等^[24]通过对火烧沟组孢粉分析显示始新世后期该地

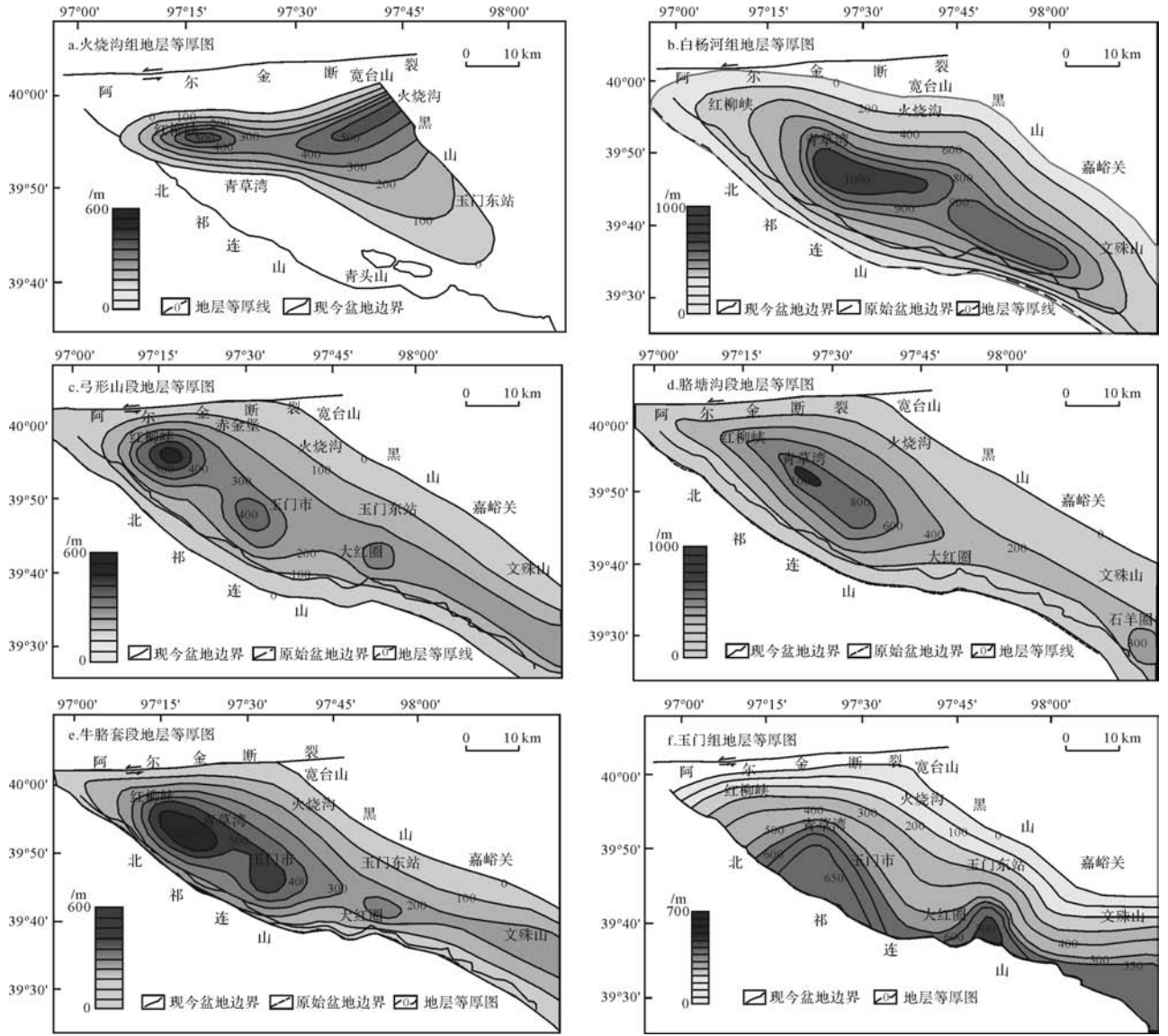


图 5 酒西盆地各组地层等厚图

Fig.5 Isopach map of each formation of the Cenozoic Jiuxi Basin

表 1 沉积通量计算表格

Table 1 Sediment flux of Cenozoic Jiuxi Basin

	总面积/km ²	总体积/km ³	沉积持续时间/Ma	沉积通量/(km ³ /Ma)
火烧沟组 (40.2~33.4 Ma)	1 057.236	216.140	6.8	31.78
白杨河组 (30.9~23.8 Ma)	3 793.232	1 819.014	7.1	256.20
弓形山段 (23~14 Ma)	3 968.240	659.159	9.0	73.24
胛塘沟段 (14~8.3 Ma)	3 898.385	1 060.149	5.7	185.99
牛胳膊套段 (8.3~4.9 Ma)	3 357.821	758.405	2.4	316.00
玉门组 (3.66~0.93 Ma)	2 827.282	1 056.920	2.73	387.15

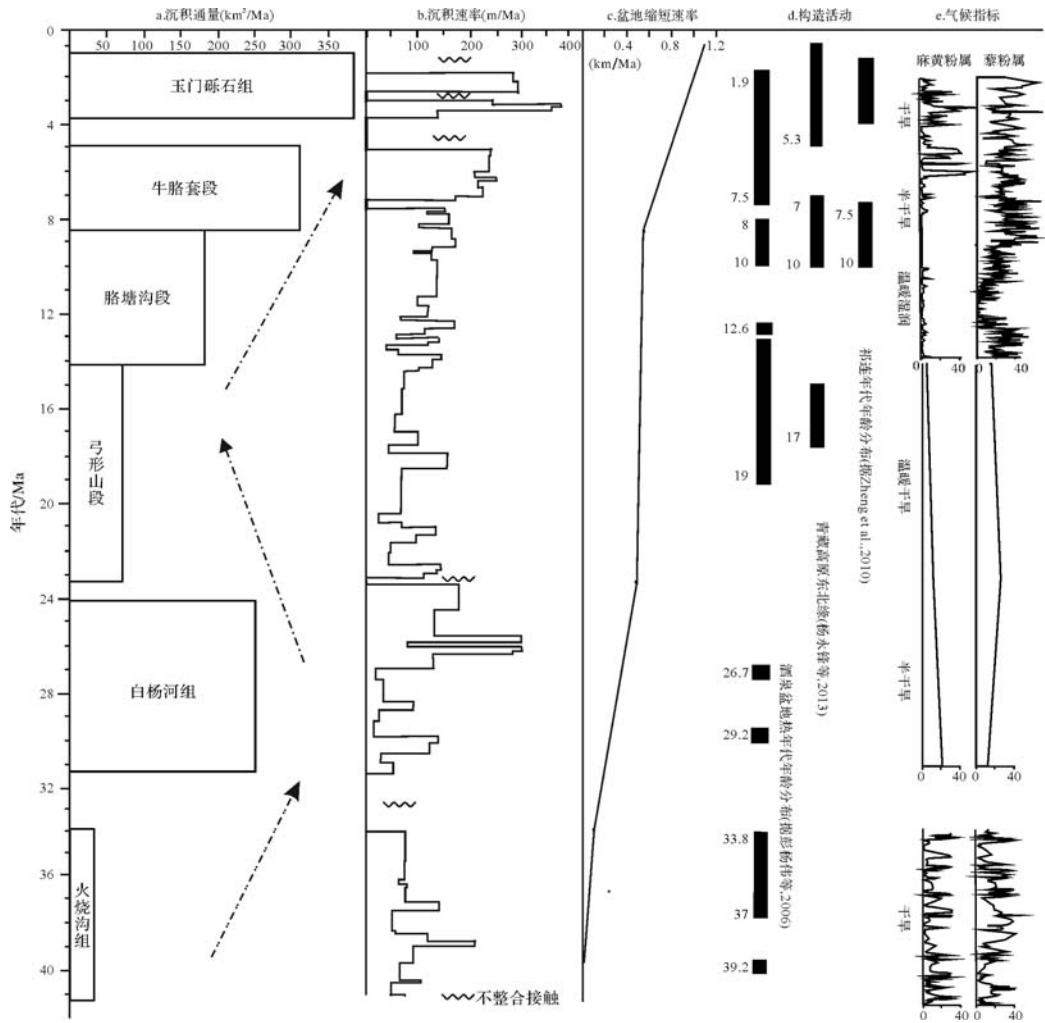


图6 新生代酒泉盆地沉积通量变化与沉积速率、构造和气候关系

b. 沉积速率据宋春晖(2006)^[13]; d. 构造事件据彭杨伟等(2010); 杨永锋等(2013)^[25-27]; e. 孢粉据苗运法等(2008)、马瑾乾(1993)和马玉贞等(2004)^[22-24]

Fig.6 Sediment flux, sedimentary rate, tectonic activities and climate of Cenozoic Jiuxi Basin

区普遍发育耐旱的被子植物麻黄粉属(*Nitraria*)、藜粉属(*Chenopodiaceae*)等植物并伴有少量的亚热带分子(图6e),属北亚热带干旱半干旱为主的气候环境^[22](其化学风化较弱)。因此,火烧沟组沉积通量(始新世中晚期风化剥蚀量)主要由构造控制。

33~31 Ma 青藏高原北部发生大规模强烈构造挤压,导致祁连山快速隆升和酒泉盆地抬升剥蚀,使其后沉积的白杨河组与火烧沟组呈不整合接触。低温热年代学研究也表明北祁连主体隆升发生于30 Ma以来^[28]。伴随祁连山断裂向北强烈逆冲,祁连山北缘酒泉盆地再次凹陷接受渐新世白杨河组沉积(30.9~23.8 Ma),其底部沉积地层中出现大量不稳定绿帘石,矿物成熟度(ZTR指)从火烧沟组14%降低至7.8%^[12,29],且沉积中心和分布从前期火烧沟组

沉积平行于北西向阿尔金断裂转变为平行于近东西向的祁连山(图5a,b),以及由火烧沟组到白杨河组沉积速率也明显增大(图6b),平衡剖面恢复的酒泉盆地构造缩短速率由渐新世前的0.04 km/Ma增加到渐新世末0.46 km/Ma(图6c)。表明渐新世33 Ma以来青藏高原强烈构造活动向北传递前锋达到祁连山北缘,祁连断裂不仅控制了盆地演化,而且祁连山的构造隆升成为盆地主要物源,酒泉盆地转为祁连山前陆盆地^[14](图1b)。结合白杨河组存在干盐湖厚层石膏沉积以及孢粉组合所反映的气候属于干旱条件^[13,22],干旱气候环境不利于化学风化作用进行。因此,白杨河组沉积通量相对前期明显增大(图6a)主要是由于祁连山构造隆起导致;

渐新世末—中新世初祁连山再次强烈的构造活

动,结束了白杨河组沉积历史,并导致其后疏勒河组弓形山段底部辫状河流粗碎屑沉积不整合于其上。中新世早期弓形山段(21~14 Ma)高原北部祁连山构造相对稳定,物源区剥蚀速率降低,物源供给不足^[13]。沉积从前期白杨河组干盐湖转变为浅湖夹扇三角洲相,孢粉组合为稀疏灌丛和草原混生植被^[22],耐旱的麻黄粉属也较前期明显减少(图6e),气候由之前白杨河组干旱变为相对湿润的气候条件,化学风化相对增强,而此时沉积通量却相对前期明显减小(图6a),说明中新世早期祁连山构造稳定是控制该时期祁连山物源区风化剥蚀量降低的主要因素;中中新世疏勒河组胥塘沟段(14~8.3 Ma)北祁连山构造隆升为酒西盆地提供了巨厚的沉积物^[6,13]。中新世到上新世平衡剖面恢复的酒泉盆地构造缩短速率呈增大的趋势(图6c)。Yan等^[30]通过对老君庙剖面古地磁旋转研究,认为13~8 Ma受挤压和走滑作用使酒泉盆地持续逆时针旋转。彭杨伟等^[24]通过酒泉盆地新生代磷灰石裂变径迹年龄研究认为祁连山10~8 Ma存在构造隆升事件(图6d),郑德文等^[27]通过热年代学研究认为祁连山10~7.5 Ma开始构造隆升(图6d)。这些都显示该时期祁连山构造活动强烈。另一方面,据马玉贞等(2004)对酒西盆地老君庙晚新生代剖面孢粉记录研究显示,13~11.15 Ma该区属草原植被和半湿润的气候环境(对中中新世全球变冷事件响应),11.15~8.6 Ma转为森林植被^[23]。前期快速变冷导致植被减少、山地侵蚀增强,后期气候相对温暖湿润使化学风化加强。因此,中中新世该区沉积通量增大可能是气候和构造共同作用的结果;

中新世晚期—上新世以来(<8.3 Ma,疏勒河组牛牯套段—玉门组)酒西盆地沉积通量呈阶段性大幅陡增(图6a),由于晚中新世—上新世以来青藏高原剧烈阶段性构造抬升,使祁连褶皱带发生强烈隆升^[7,9,12]和北祁连断裂向北酒泉盆地逆冲(图1b、图6c),平衡剖面恢复的酒泉盆地构造缩短速率增大到1.08 km/Ma,同时盆地沉积速率快速增加^[31](图6b, c)。盆地古地磁旋转分析也显示8 Ma以来盆地主要受向北挤压,特别4 Ma以来使盆地发生顺时针旋转^[30]。而孢粉记录显示8.3 Ma以来耐旱的麻黄粉属和藜粉属含量逐渐增多、气候持续干旱^[23]。因此,晚中新世—上新世疏勒河组牛牯套段(8.3~0.93 Ma)—玉门砾石组(3.66~0.93 Ma)沉积通量相对前期成倍大幅增加的主要因素属强烈构造隆升导致(图6a~d)。

4 结论

本文在利用平衡剖面法恢复新生代不同时期酒西盆地原始盆地边界基础上,通过盆地天然露头控制性剖面 and 钻井资料地层厚度,恢复了酒西盆地新生代各组沉积等厚图。根据不同时期盆地大小和沉积等厚图研究,获得了酒西盆地新生代不同时期的沉积通量。再结合前人对该区构造与古气候研究成果,认为古近纪气候持续干旱的环境下从火烧沟组(40.2~33.4 Ma)到白杨河组(30.9~23.8 Ma)沉积通量增加主要是由于青藏高原的持续挤压使祁连山构造隆升风化剥蚀量增加所致;中新世早期(疏勒河组弓形山段)虽然气候相对温暖,但此时祁连山构造带相对稳定,控制了物源区祁连山风化剥蚀量相对前期减小,导致该段沉积通量较小;中新世中期疏勒河组胥塘沟段沉积通量增大可能是气候和构造共同作用的结果;晚中新世—上新世以来,印欧板块碰撞的远程效应使祁连山阶段性急剧隆升造成研究区疏勒河组牛牯套段(8.3~4.9 Ma)—玉门组(3.66~0.93 Ma)沉积通量相对前期成倍大幅增加。因此构造隆升是控制祁连山新生代风化剥蚀作用的主控因素。

参考文献 (References)

- Price R A. Large-scale gravitational flow of supracrustal rocks, southern Canadian Rockies [M]//De Jong K A, Scholten R. Gravity and Tectonics. New York: John Wiley and Sons, 1973: 491-502.
- Dickinson W R. Plate tectonics and sedimentation [M]//Tectonics and Sedimentation. Oklahoma: Special Publications, 1974: 1-27.
- 刘和甫,汪泽成,熊保贤,等. 中国中西部中、新生代前陆盆地与挤压造山带耦合分析[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 55-72. [Liu Hefu, Wang Zecheng, Xiong Baoxian, et al. Coupling analysis of Mesozoic-Cenozoic foreland basin and mountain system in central and western China [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(3): 55-72.]
- Métivier F, Gaudemer Y. Mass transfer between eastern Tien Shan and adjacent basins (central Asia): constraints on regional tectonics and topography [J]. Geophysical Journal International, 1997, 128(1): 1-17.
- 黄华芳,彭作林,卢伟,等. 酒西盆地、酒东盆地第三系磁性地层的划分与对比[J]. 甘肃地质学报, 1993, 2(1): 6-16. [Huang Huafang, Peng Zuolin, Lu Wei, et al. Paleomagnetic division and comparison of the Tertiary System in Jiuxi and Jiudong Basins [J]. Acta Geologica Gansu, 1993, 2(1): 6-16.]
- 赵志军,方小敏,李吉均,等. 酒泉砾石层的古地磁年代与青藏高原隆升[J]. 科学通报, 2001, 46(14): 1208-1212. [Zhao Zhijun, Fang Xiaomin, Li Jijun, et al. Paleomagnetic dating of the Jiuquan gravel in the Hexi Corridor: Implication on Mid-Pleistocene uplift of the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(14): 1208-

- 1212.]
- 7 方小敏,赵志军,李吉均,等. 祁连山北缘老君庙背斜晚新生代磁性地层与高原北部隆升[J]. 中国科学(D辑):地球科学,2004,34(2):97-106.[Fang Xiaomin, Zhao Zhijun, Li Jijun, et al. Magnetostratigraphy of the Late Cenozoic Laojunmiao anticline in the northern Qilian Mountains and its implications for the northern Tibetan Plateau uplift[J]. Science China(Seri.D): Earth Sciences, 2004, 34(2): 97-106.]
 - 8 戴霜,方小敏,宋春晖,等. 青藏高原北部的早期隆升[J]. 科学通报,2005,50(7):673-683.[Dai Shuang, Fang Xiaomin, Song Chunhui, et al. Early tectonic uplift of the northern Tibetan Plateau[J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(7): 673-683.]
 - 9 宋春晖,孙淑荣,方小敏,等. 酒西盆地晚新生代沉积物重矿物分析与高原北部隆升[J]. 沉积学报,2002,20(4):552-559.[Song Chunhui, Sun Shurong, Fang Xiaomin, et al. Analysis of tectonic uplift and heavy minerals of sediments on Jiuxi Basin in the northern margin of Tibetan Plateau since the Late Cenozoic[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(4): 552-559.]
 - 10 甘肃省地质局区域地质调查队. 甘肃的第三系[J]. 甘肃地质, 1984(00):1-40.[Regional Geological Survey Team, Geological Bureau of Gansu Province. Tertiary system of Gansu[J]. Gansu Geology, 1984(00): 1-40.]
 - 11 翟光明. 中国石油地质志 卷十三:玉门油田[M]. 北京:石油工业出版社,1989.[Zhai Guangming. Chinese Petroleum Geological Records (Vol. 13): Geology of Yumen Oil Field[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1989.]
 - 12 陆洁民,郭召杰,赵泽辉,等. 新生代酒西盆地沉积特征及其与祁连山隆升关系的研究[J]. 高校地质学报,2004,10(1):50-61.[Lu Jiemin, Guo Zhaojie, Zhao Zehui, et al. Cenozoic sedimentation characteristics of Jiuxi Basin and uplift history of northern Qilian Mountain[J]. Geological Journal of China Universities, 2004, 10(1): 50-61.]
 - 13 宋春晖. 青藏高原北缘新生代沉积演化与高原构造隆升过程[D]. 兰州:兰州大学,2006.[Song Chunhui. Tectonic uplift and Cenozoic Sedimentary evolution in the northern margin of the Tibetan Plateau[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2006.]
 - 14 冉波,李亚林,朱利东,等. 青藏高原北缘新生代早期构造运动——来自酒西盆地始新世—渐新世的沉积学约束[J]. 岩石学报,2013,29(3):1027-1038.[Ran Bo, Li Yalin, Zhu Lidong, et al. Early tectonic evolution of the northern margin of the Tibetan Plateau: Constraints from the sedimentary evidences in the Eocene-Oligocene of the Jiuxi Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(3): 1027-1038.]
 - 15 杨雨. 甘肃省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1997.[Yang Yu. Stratigraphy(lithostratic) of Gansu Province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997.]
 - 16 李奋其,王成善,朱利东,等. 区域挤压体制下盆—山耦合关系探讨——以河西走廊和北祁连山为例[J]. 沉积与特提斯地质, 2002,22(4):17-25.[Li Fenqi, Wang Chengshan, Zhu Lidong, et al. The basin-range coupling under the regional compressional regimes: Examples from the Hexi Corridor Basin and North Qilian Mountains [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2002, 22(4): 17-25.]
 - 17 Dahlstrom C D A. Balanced cross sections[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1969, 6(4): 743-757.
 - 18 赵志军,方小敏,李吉均. 祁连山北缘酒东盆地晚新生代磁性地层[J]. 中国科学(D辑):地球科学,2001,31(增刊I):195-201.[Zhao Zhijun, Fang Xiaomin, Li Jijun. Late Cenozoic magnetic polarity stratigraphy in the Jiudong Basin, northern Qilian Mountain[J]. Science China(Seri.D): Earth Sciences, 2001, 31(Suppl.I): 195-201.]
 - 19 Einsele G. Sedimentary Basins: Evolution, Facies, and Sediment Budget[M]. New York: Springer, 2000.
 - 20 Clift P D. Controls on the erosion of Cenozoic Asia and the flux of clastic sediment to the ocean[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2006, 241(3/4): 571-580.
 - 21 陈正乐,宫红良,李丽,等. 阿尔金山脉新生代隆升—剥露过程[J]. 地学前缘,2006,13(4):91-102.[Chen Zhengle, Gong Hongliang, Li Li, et al. Cenozoic uplifting and exhumation process of the Altyn Tagh mountains[J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(4): 91-102.]
 - 22 苗运法,方小敏,宋之琛,等. 青藏高原北部始新世孢粉记录与古环境变化[J]. 中国科学(D辑):地球科学,2008,38(2):187-196.[Miao Yunfa, Fang Xiaomin, Song Zhichen, et al. Late Eocene pollen records and palaeoenvironmental changes in northern Tibetan Plateau[J]. Science China(Seri.D): Earth Sciences, 2008, 38(2): 187-196.]
 - 23 马瑾乾. 酒泉盆地第三纪孢粉组合及其古环境探讨[J]. 石油实验地质,1993,15(4):423-435.[Ma Jinqian. The tertiary sporopollen assemblage in the Jiuquan Basin and the palaeoenvironment[J]. Experimental Petroleum Geology, 1993, 15(4): 423-435.]
 - 24 马玉贞,方小敏,李吉均,等. 酒西盆地晚第三纪—第四纪早期植被与气候变化[J]. 中国科学(D辑):地球科学,2004,34(2):107-116.[Ma Yuzhen, Fang Xiaomin, Li Jijun, et al. The vegetation and climate change during Neocene and Early Quaternary in Jiuxi Basin, China[J]. Science China(Seri.D): Earth Sciences, 2004, 34(2): 107-116.]
 - 25 彭杨伟,高军平,彭杨宏. 酒泉盆地新生代磷灰石裂变径迹年龄及其意义[J]. 甘肃科技,2010,26(10):36-38.[Peng Yangwei, Gao Junping, Peng Yanghong. Apatite fission track ages and significance of Jiuquan Basin Cenozoic[J]. Gansu Science and Technology, 2010, 26(10): 36-38.]
 - 26 Zheng D W, Clark M K, Zhang P Z, et al. Erosion, fault initiation and topographic growth of the North Qilian Shan (northern Tibetan Plateau)[J]. Geosphere, 2010, 6(6): 937-941.
 - 27 杨永锋,张克信,徐亚东,等. 青藏高原东北部新近纪古流向与物源分布对隆升的响应[J]. 地质学报,2013,87(6):797-813.[Yang Yongfeng, Zhang Kexin, Xu Yadong, et al. Response of the Neogene sedimentary Paleocurrent and provenance distribution to uplift of the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Acta Geologica Sinica, 2013, 87(6): 797-813.]
 - 28 George A D, Marshallsea S J, Wyrwoll KH, et al. Miocene cooling in

- the northern Qilian Shan, northeastern margin of the Tibetan Plateau, revealed by apatite fission-track and vitrinite-reflectance analysis[J]. *Geology*, 2001, 29(10): 939-942.
- 29 冉波,王成善,朱利东,等. 距今 40-30Ma 时期青藏高原北缘酒西盆地沉积物重矿物分析和构造意义[J]. *地学前缘*, 2008, 15(5): 388-397.[Ran Bo, Wang Chengshan, Zhu Lidong, et al. Analysis of heavy minerals in sediments of Jiuxi Basin in north margin of the Tibet Plateau in 40-30 Ma and its tectonic implication[J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(5): 388-397.]
- 30 Yan M D, Fang X M, Van Der Voo R, et al. Neogene rotations in the Jiuquan Basin, Hexi Corridor, China[J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 2012, 373: 173-189.
- 31 宋春晖,方小敏,李吉均,等. 青藏高原北缘酒西盆地 13Ma 以来沉积演化与构造隆升[J]. *中国科学(D 辑):地球科学*, 2001, 31(增刊 I):155-162.[Song Chunhui, Fang Xiaomin, Li Jijun, et al. Tectonic uplift and sedimentary evolution of the Jiuxi Basin in the northern margin of the Tibetan Plateau since 13 Ma BP[J]. *Science China(Seri. D): Earth Sciences*, 2001, 31(Suppl.1): 155-162.]

The Response of Sediment Flux of Jiuxi Basin in the Northern Boundary of Qilian to the Tectonic Uplift and Weathering-denudation History

MA LiFang BAO Jing YING Hong HU ChunHua ZHONG SiRui
YANG ShuFen SONG ChunHui MENG QingQuan

(School of Earth Sciences & Key Laboratory of Western China's Mineral Resources of Gansu Province,
Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The Jiuxi basin, an inland basin located along the northeastern boundary of Tibetan Plateau, is rich in thick and consistent Mesozoic-Cenozoic sedimentary strata, which precisely recorded the tectonic evolution of the structures and environment of the basin and its adjacent mountains. Based on Cenozoic sediment fluxes study of Huoshaogou, Shiyangjuan, Laojunmiao, Ciyaokou, Hongliuxia, Dahongquan, Wenshushan section of Jiuxi Basin. We founded that: The increase of sediment flux from Huoshaogou (40.5~33.3 Ma) to Baiyanghe (30.9~23.8 Ma) formation under arid climate was caused by acceleration weathering of Qilian Shan and consistent depression of Jiuxi Basin; In the Early Miocene time (Gongxingshan section 23~14 Ma), the sediment flux during the period was low. We attribute this change to the quite tectonic activity, although the climate was relatively warm during this time interval; In the Middle Miocene time (Getangou section, 14~8.3 Ma), the sediment flux was controlled by the effect of both climate and tectonic activities of North Qilian Shan; In the Late Miocene time (<8.3 Ma, Niugetao-Yumen Formation), the sediment flux was high and sharply increased. This change was responsible for the quickly uplift of North Qilian Shan, and the following acceleration of weathering and denudation.

Key words: northern boundary of Tibetan Plateau; Jiuxi Basin; sediment flux; control factors; Cenozoic