王倩倩,袁四化,王亚东,等.柴达木盆地西部地区新生代盆地性质.吉林大学学报(地球科学版),2024,54(1):160-181.doi:10.13278/j.cnki.jjuese.20220224.

Wang Qianqian, Yuan Sihua, Wang Yadong, et al. The Nature of the Cenozoic Western Qaidam Basin. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2024,54(1):160-181. doi:10.13278/j.cnki.jjuese.20220224.

柴达木盆地西部地区新生代盆地性质

王倩倩[1,2],袁四化[2],王亚东[3],李伟民[1],刘永江[4,5],郑世刚[1,2],赵英利[1]

1.吉林大学地球科学学院,长春 130061

2.河北省地震动力学重点实验室,河北 三河 605201

3.中国科学院西北生态资源环境研究院,兰州 730000

4.中国海洋大学海洋地球科学学院/深海圈层与地球系统前沿科学中心/海底科学与探测技术教育部重点实验室,山东 青岛 266100

5.青岛海洋科学与技术国家实验室/海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室,山东 青岛 266237

摘要:含油气盆地不同阶段的性质对于恢复盆地的演化过程、评价油气资源生储运条件具有重要意义。本文在总结前人关于新生代柴达木盆地西部地区性质与演化研究的基础上,重新解译现有地震剖面,系统地开展了盆地构造几何形态、沉积速率、沉积相、沉积旋回、沉积中心迁移以及盆地内不整合的接触关系等方面研究。研究表明:作为陆内挤压背景下的巨大坳陷,新生代的柴达木盆地西部地区具有几何剖面形态不对称、沉积速率较高但又低于西部典型前陆盆地、过补偿状态下强烈缩短致使沉积中心迁移、沉积-构造反旋回性质明显发育等特点。柴达木盆地西部地区以狮子沟组为界线,前期发育细粒远源沉积,属压陷盆地;后期沉积速率显著增加,粗颗粒沉积发育,具有非典型的类前陆盆地性质,并由周缘山体构造活动及盆地过补偿状态共同控制。

关键词:柴达木盆地;新生代;前陆盆地;几何形态;沉积速率

doi:10.13278/j.cnki.jjuese.20220224 **中图分类号**:P54 **文献标志码**:A

The Nature of the Cenozoic Western Qaidam Basin

Wang Qianqian[1,2], Yuan Sihua[2], Wang Yadong[3], Li Weimin[1], Liu Yongjiang[4,5], Zheng Shigang[1,2], Zhao Yingli[1]

1. *College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun* 130061, *China*
2. *Hebei Key Laboratory of Earthquake Dynamics, Sanhe* 065201, *Hebei, China*
3. *Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou* 730000, *China*
4. *College of Marine Geosciences, Ocean University of China/Frontiers Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System/Key Lab of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, Qingdao* 266100, *Shandong, China*
5. *Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology/Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao* 266237, *Shandong, China*

Abstract: The characteristics of different stages of petroliferous basins are of great significance for the restoration of basin evolution and the evaluation of hydrocarbon generation, storage and transportation conditions. In this study, we systematically reviewed previous studies on the nature and

收稿日期:2022-07-29

作者简介:王倩倩 (1998—),女,硕士研究生,主要从事构造地质学方面的研究,E-mail: qqwang20@jlu.edu.cn

通信作者:李伟民 (1981—),男,教授,博士,主要从事构造地质学方面的研究,E-mail: weiminli@jlu.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金项目(41971013,41772200);中国地质调查局项目(DD2019-011)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (41971013, 41772200) and the Project of China Geological Survey (DD2019-011)

evolution of the Cenozoic western Qaidam basin. Based on the interpretation of seismic profiles combining with the basin tectonic geometry, sedimentation rate, sedimentation phase, sedimentation cycle, sedimentation center migration and unconformity contact relationship within the basin, we concluded that the Cenozoic western Qaidam basin, as a large intracontinental depression in a compressional environment, has an asymmetric geometric configuration in the seismic section, high deposition rate but slightly lower than the western typical foreland basin, and migration of sediment centers due to strong shortening under overcompensation, with obvious reverse cycling sedimentary-tectonic development. Importantly, the deposition of Shizigou Formation is considered as the sedimentary boundary of the Cenozoic western Qaidam basin, showing that in the early stage, fine-grained far-source sediments were developed, belonging to a depression basin; While, in the later period, the sedimentation rate increased significantly, and the coarse-grained deposition developed, which had the characteristics of atypical foreland basin. The fact significantly suggests that it's controlled by the combination of tectonic activity of the surrounding mountains and overcompensation state of the basin.

Key words: Qaidam basin; Cenozoic; foreland basin; geometric pattern; sedimentary rate

0　引言

柴达木盆地是我国西部地区重要的中、新生代陆相含油气盆地,其中盆地西部地区更是盆地的主要产油区,其油气的圈闭及分布受控于盆地的沉积特征和构造运动等因素[1-16]。作为青藏高原东北部最大的盆地,柴达木盆地夹持于昆仑山、祁连山和阿尔金山之间,地处三山围一盆的特殊大地构造位置,构造变形十分复杂,尤其盆地西部更是盆地内变形最强烈的区域。

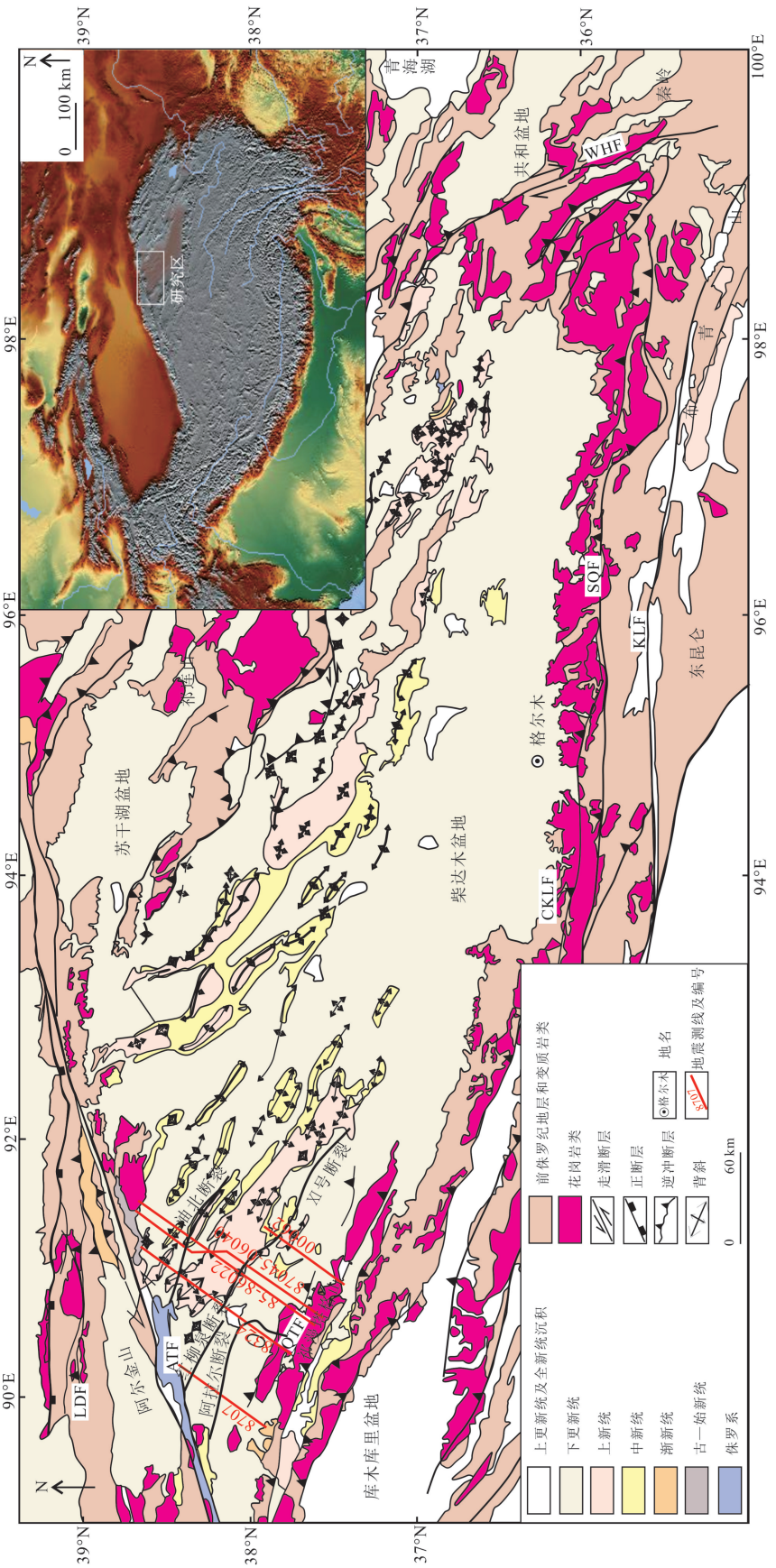
柴达木盆地新生代的性质及沉积特征决定着油气勘探(选区)的潜力评价,同时也是认识其新生代地质演化的关键研究内容,因此,许多学者从多角度提出了不同的看法:彭作林等[12]认为新生代的柴达木盆地是挤压背景下的前陆盆地或类前陆盆地;黄汉纯等[14]认为是拉分盆地;金之均等[16]认为柴达木盆地于古新世—中新世为拉张盆地,而上新世以来转变为挤压性质的盆地;翟光明等[17-18]认为古近纪—新近纪为斜列式双前陆盆地,新近纪—第四纪为伸展-坳陷盆地;郑孟林等[19]认为新生代的柴达木盆地是阿尔金、东昆仑左行走滑共同控制的走滑挤压叠合盆地;Yin 等[20-21]认为是昆仑山断裂向南仰冲形成的背驮盆地。截至目前,对于柴达木盆地新生代的性质还未有定论,产生分歧的重要原因是尚不能明确新生代柴达木盆地究竟是单一性质的沉积盆地还是分阶段演化的盆地。因盆地在不同时期受不同构造格局的控制,其构造沉积特征有较大差异。本文以柴达木盆地西部地区为整体进行讨论,基于地震剖面,结合盆地内沉积地层层序、沉积速率和沉积古地理等相关资料,综合分析盆地几何结构、形态,探讨其新生代的沉积-构造性质问题。

1　区域地质背景

柴达木盆地地处青藏高原东北缘(图 1),是中、新生代的大型含油气盆地[23-26]。盆地的发展受控于周缘 3 条山脉,即东南部的昆仑山、北部的祁连山和西部的阿尔金山,内部构造演化相对复杂。柴达木盆地分别以西台吉乃尔湖和东达布逊湖为界,分为西部、中部和东部 3 个部分,其中盆地西部地区地形复杂,地势起伏较大,面积为(2.1～2.5)×10^4 km^2[27-29],新生代以来持续受到挤压,是柴达木盆地变形最强烈、构造形态发育最复杂的区域,同时也是重要的油气产区。

2　柴达木盆地新生代沉积序列

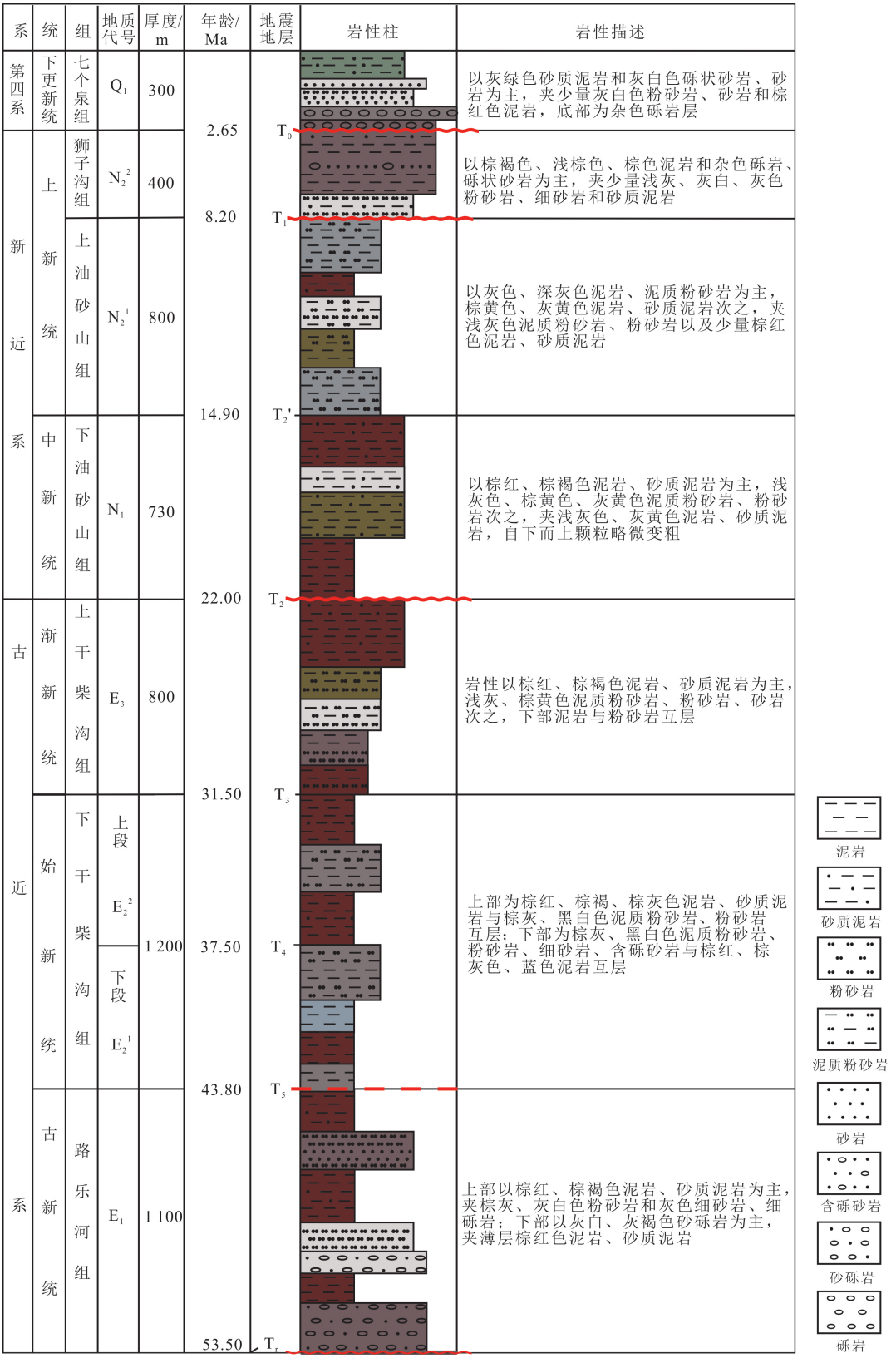
柴达木盆地在结晶基底之上发育了两套性质各异的沉积盖层,第一套为南华系—三叠系,第二套为侏罗系—新生界,也是柴达木盆地最主要的沉积盖层。本文主要介绍新生代盆地沉积序列。新生界柴达木盆地的发育受周边山体隆升的控制[9-10],山体隆升剥蚀为盆地巨厚的生长地层的沉积提供了物源,尤其是新生代地层,最厚可达 1.2 万 m[22]。这些巨厚新生代地层是研究盆地性质的重要载体。前人[22,30-36]通过大量钻孔、地震剖面进行地层对比分析,地层间接触关系比较明确(图 2)。



QTF. 祁漫塔格北缘断裂带;SQF. 柴南缘断裂带;KLF. 昆仑断裂带;ATF. 阿尔金断裂带;WHF. 哇洪山断裂带(温泉断裂带);LDF. 拉配泉拆离断层;CKLF. 昆中断裂带。据文献[22]修编。

图1 柴达木盆地构造简图

Fig.1 Structural sketch of the Qaidam basin



地层时代参考文献[30]。

图 2　柴达木盆地新生代岩性柱状图

Fig.2　Cenozoic stratigraphic column of the Qaidam basin

1)路乐河组是柴达木盆地新生代最早的地层,大面积超覆于中生界或更老的地层之上,盆地南部及东部开始接受沉积[23],与下伏中生界犬牙沟组存在区域性的角度不整合。

2)下干柴沟组是盆地中—新生界各组地层中出露范围最广、连片面积最大的地层单元之一[31]。本组分为上、下两段,二者在柴北缘可见明显岩性差异,在西部地区差异尚不明显[32]。本组底部砾岩超覆在下伏地层之上,两者之间为平行不整合接触,在冷湖地区钻井岩心中也观察到了明显的不整合接触关系[33]。

3)上干柴沟组地层厚度明显小于下干柴沟组[29],岩性变化较大,由边缘向中心沉积物粒度由粗变细[34]。

4)下油砂山组在盆地中广泛出露[35],东柴山以南全部剥蚀,阿拉尔断层上盘小部分缺失,因此认为本组与上干柴沟组之间存在不整合。张益银[36]认为这一不整合仅在阿尔金断裂南侧斜坡区发育。

5)上油砂山组在柴西地区边缘沉积物粒度较粗,向盆地中心部位粒度变细[33],与下油砂山组之间靠近阿尔金山前为不整合接触[37],在盆地内部为整合接触。

6)狮子沟组在柴西地区边缘粒度较粗且受到严重剥蚀[33],与上油砂山组之间在盆地边缘为不整合接触。

7)七个泉组岩性变化较大,在柴西地区也发生了较为严重的剥蚀[29]。七个泉组向阿尔金断裂方向发生减薄和尖灭,造成与狮子沟组的不整合接触[36]。

3 柴西地区新生代盆地性质

关于新生代柴达木盆地的性质,长期以来一直存在很大争议,尤其是柴西地区的盆地性质至今没有形成统一的意见(表1)。

沉积盆地类型划分的重要性不言而喻,朱夏[37]早在1983年就提出了它影响着对盆地含油气前景的评价。长期以来盆地类型的划分方案较多,刘和甫[50]提出了以动力学三端元为基础划分的盆地类型,即张、压、剪应力条件分别对应的裂陷、压陷、走滑盆地,并通过演化序列、构造样式等方面进一步划分。柴达木盆地属于压缩构造体系下的沉积盆地。

根据刘池阳等[51]关于沉积盆地类型的划分方案,盆地类型可分为包括前陆盆地在内的几种不同性质的盆地。由于柴达木盆地下伏地壳并非洋壳或过渡壳,排除海沟、弧前盆地和残留盆地这几种类型,并以陆内前陆性质的盆地地质特征对柴达木盆

表1 柴达木盆地性质观点

Table 1 Points on the nature of the Qaidam basin

地质时代	盆地性质	文献
古近纪—新近纪	扭动性质的压陷型分隔性断块坳陷盆地	[20,24,38-41]
	斜列式双前陆盆地	[17-18]
	阿尔金与东昆仑共同控制的走滑拉分叠合盆地	[42]
	祁连山与昆仑山之间形成的双侧挤压型前陆盆地	[5]
	转换裂陷盆地	[43]
	古新世—始新世断陷盆地、渐新世—上新世坳陷盆地	[23,44-45]
新近纪—第四纪	统一的挤压-压陷型沉降坳陷盆地	[6,46]
	伸展-坳陷盆地	[17-18,25]
新生代	阿尔金、东昆仑左行走滑共同控制的走滑挤压叠合盆地	[6,19]
	阿尔金断裂控制的扭动盆地	[47]
	挤压背景下的前陆盆地或类前陆盆地	[12-13]
	拉分盆地	[14-15]
	昆仑山断裂向南仰冲形成的背驮盆地	[20]
	古新世—中新世拉张性质、上新世以来挤压性质	[16,23-24,41,44-45,48-49]
	压陷型分割性断块坳陷盆地	[38,40]

地西部地区进行对比，发现具有一定的约束性。基于上述判断，利用最新的地震剖面等资料，重新讨论柴达木盆地西部地区的沉积特征等方面问题，进而探讨盆地性质。

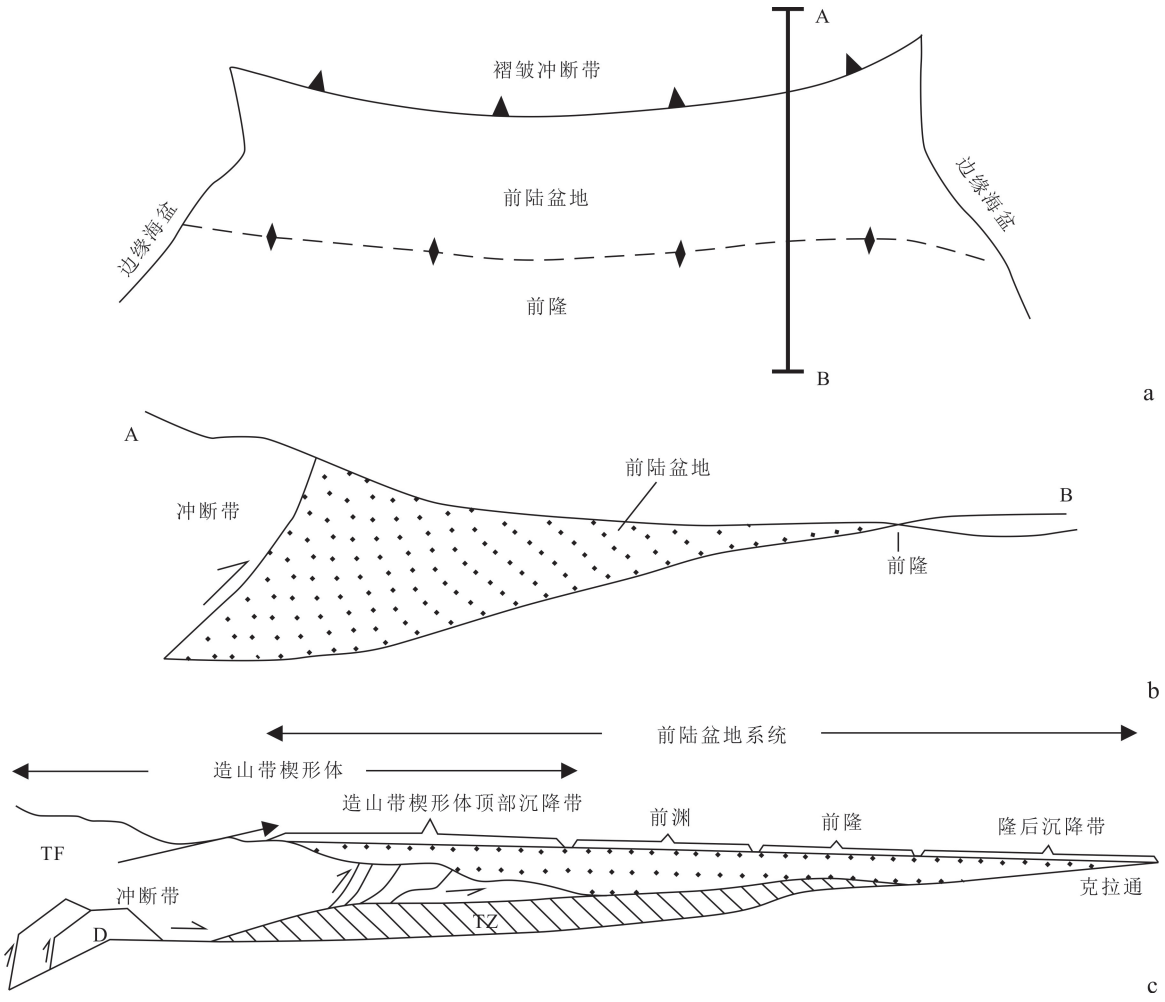
3.1　前陆盆地

前陆盆地是指位于造山带前缘和相邻克拉通之间的狭长沉积带，其构造几何形态一般是整体形态不对称的坳陷，多受控于逆冲断层带；裂谷型盆地一般呈现断凹和断凸形态，且其边界为伸展断层所控制[52]；稳定大陆内坳陷型盆地为不受逆断层或正断层控制的碟状坳陷，其沉积范围比较大。其中，类前陆盆地是陆内造山带前缘的前陆盆地。

柴达木盆地的整体剖面形态与前陆盆地的剖面形态相似，现从盆地的整体外形到内部的沉积特征等方面，结合前陆盆地不对称的几何形态、高沉积速率等一些典型特征，揭示柴西地区的盆地性质。

3.2　几何形态和构造样式

构造样式是指同一期构造运动，在同一应力环境下所产生的构造变形组合；不同性质的盆地有不同的几何形态，也会发育不同的构造样式。前陆盆地呈不对称的楔形，向造山带和克拉通方向尖灭，具有明显的分带性，可以分为 4 个带：楔顶、前渊、前隆、后隆带。DeCelles 等[53]在 1996 年发表的研究中指出，此前的前陆盆地概念并不恰当，因为其前渊的范围不应该仅限定于造山带和克拉通之间，应该扩展至两者之内；并且将发育在造山带的沉积中心称为褶皱-冲断带楔形体顶部沉降带（楔顶），克拉通内的沉降区称为前渊隆起和隆后沉降带，同时把以上这 4 个单元统称为前陆盆地系统（图 3），其横剖面结构明显不对称。



a. 前陆盆地平面图；b. 前陆盆地剖面图；c. 前陆盆地系统图。TF. 冲断带前渊地形；D. 双重构造；TZ. 前渊的三角带。据文献[53]修编。

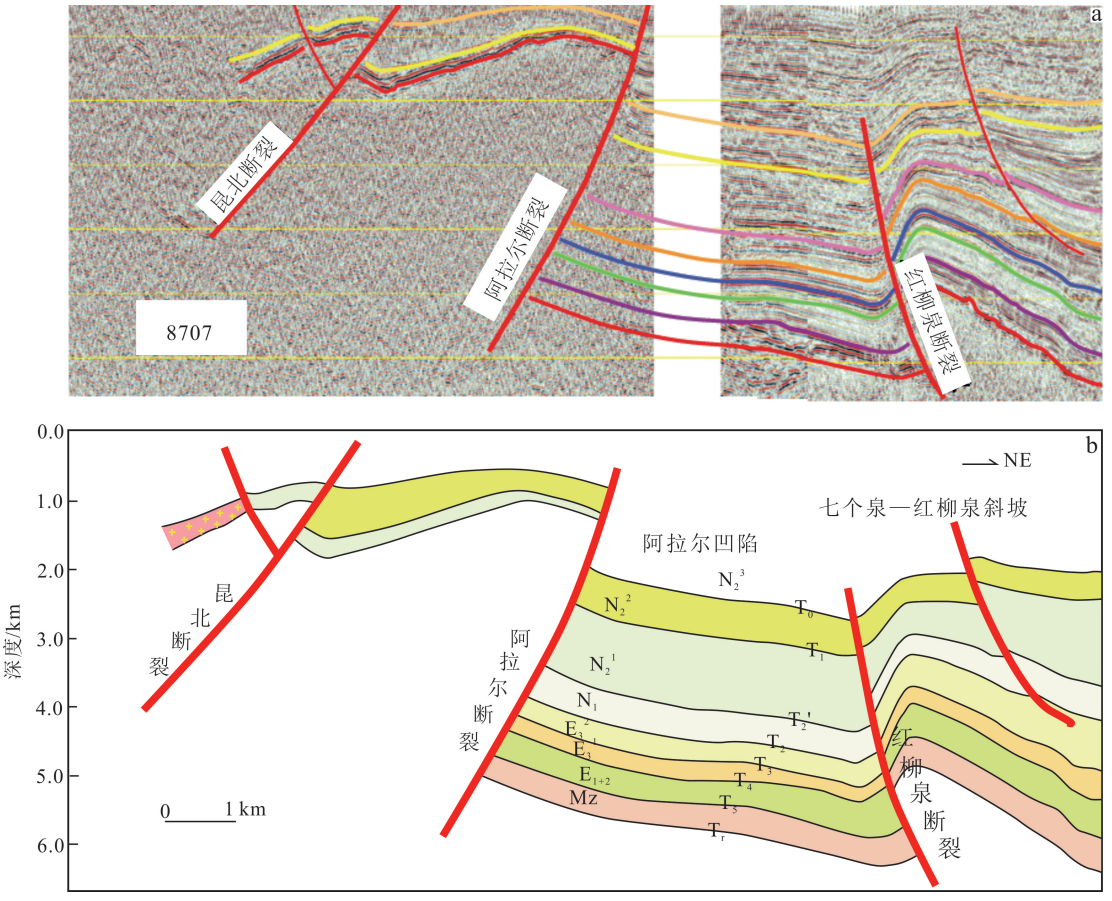
图 3　典型前陆盆地系统示意图

Fig.3　Schematic diagram of typical foreland basin system

柴达木盆地西部地区的盆地盖层自喜马拉雅运动末期在构造运动下明显挤压缩短,致使构造轴向呈北西向展布,褶皱构造以及逆冲断裂极其发育[21-22,33,54-57]。基于平衡剖面,结合区内新生代的沉积地层进行沉积古地理恢复,分析不同时代的沉积相,可以看出新生代柴达木盆地西部地区的沉积面貌和现今有很大差别,恢复后的古柴达木盆地面积大约可达 2×10^5 km^2,现今的 1.21×10^5 km^2 与之相比大为缩短[10]。刘栋梁等[40]对南起昆仑山,经三湖坳陷、涩北一号、南陵丘和马海凸起,止于赛什腾山以南的位置,建立全长 170.83 km 的北东—南西向地震-地质剖面,并进行了柴达木盆地新生代地层缩短量的恢复。结合前人[58-61]研究,表明柴达木盆地整体在不晚于中晚始新世时已受到持续的挤压应力,且从盆地西部地区到东部地区呈现减弱趋势,同时定量模拟和实际地层资料都证实造山带的逆冲作用是前陆盆地沉降的最重要控制因素,造山带的逆冲作用也直接影响了前陆盆地地层充填的几何形态[62],这些共同造就了盆地现今的不对称的剖面形态。

地震剖面 8707(图 4)和 00062(图 5)测线是由昆仑山向盆地北东向延伸的 2 条典型地震剖面(位置见图 1),清楚表明柴西整体发育褶皱冲断样式,且 2 条剖面均是中间地层相对两侧构造变形较弱、沉积较厚的地层。从剖面图看,昆仑山断裂带作为冲断带向切克里克坳陷等推覆,这些坳陷因持续挤压而发生沉降,相当于类前陆盆地的前渊部分(图 3)。

昆仑山至阿尔金山之间的 2 条地震-地质综合剖面(图 6、图 7)显示,昆仑山造山带、阿尔金造山带向盆地逆冲,反冲构造非常发育,剖面上可见盆地内部隆、坳相间分布,盆地边缘地层多因造山带的逆冲遭受剥蚀。结合图 4 和图 5,茫崖、切克里克坳陷作为前渊部分,油砂山背斜等构造带则对应类前陆盆



Mz. 中生代地层;T_1—T_6、T_r. 地震反射层。

图 4 柴达木盆地 8707 测线地震剖面(a)及解释剖面(b)

Fig.4 Seismic section (a) and interpretation profile (b) of Line 8707 in the Qaidam basin

地的前隆部分，在剖面上可以划分出造山带楔形体顶部沉降带（楔顶）、前渊、前隆和隆后几个部分，整体来看可与类前陆盆地的几何形态相对应，不同的是后隆带受阿尔金构造带影响，和克拉通区的后隆带样式不同（图 6、图 7）。因此，柴西地区在剖面上符合类前陆盆地的特征，但与典型的类前陆盆地在后隆带样式上有所区别。

基于前陆盆地横向迁移的特点，图6、图7显示

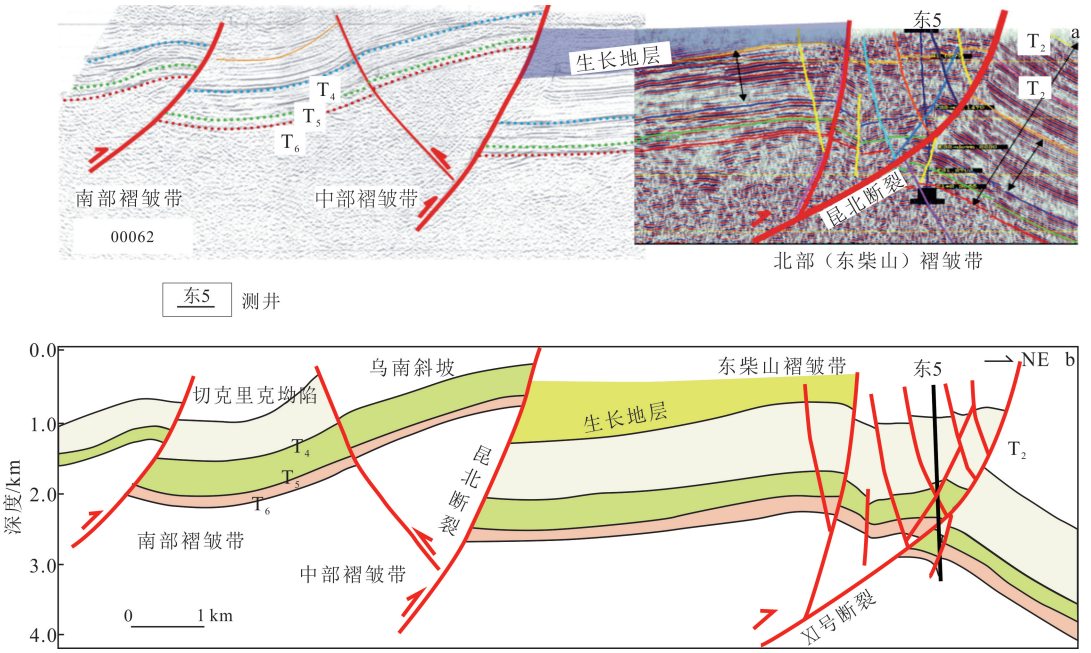
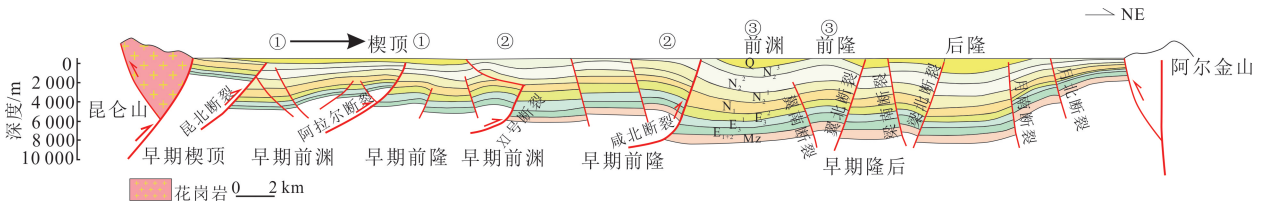


图 5　柴达木盆地 00062 测线地震剖面(a)及解释剖面(b)

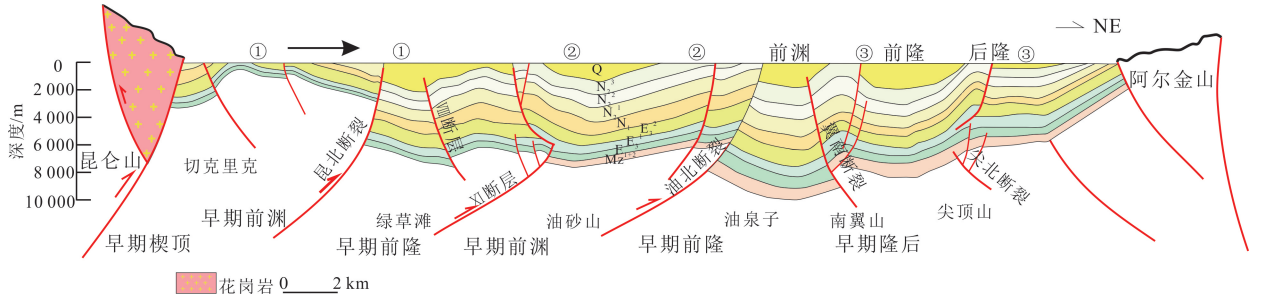
Fig.5　Seismic section (a) and interpretation profile (b) of Line 00062 in the Qaidam basin



①—③为随盆地横向迁移前，盆地的各部分对应前陆盆地不同的结构。

图 6　8324－CEMP14＋85－86022 线地震-地质综合解释剖面

Fig.6　Comprehensive seismic geological section of Line 8324－CEMP14＋85－86022



①—③为随盆地横向迁移前，盆地的各部分对应前陆盆地不同的结构。

图 7　87045－06040 线地震剖面(a)及地震-地质综合解释剖面(b)

Fig.7　Seismic section (a) and comprehensive seismic geological section (b) of Line 87045－06040

了不同时期的前渊、前隆和后隆部分,箭头所指为盆地迁移方向,盆地剖面形态随边界变化发生相应改变,且内部构造发育复杂,同时盆地的沉积中心也随之发生迁移。内部发育大量的逆冲断层使沉积地层变形,其几何形态类似于复杂的前陆盆地,与之区别的是柴达木盆地没有以先后顺序或同时发育的次级盆地,而是被以切克里克为代表的一系列坳陷取而代之。因此,在几何形态和构造样式上,柴达木盆地西部地区拥有非典型的类前陆盆地特征。

3.3 沉积速率

除不对称的几何剖面形态和分带性的构造样式外,沉积速率高是前陆盆地又一典型特征。Schwab[63]经过统计认为前陆盆地的沉积速率一般比其他类型盆地要高(表2)。据前人研究,我国西部地区一些典型的前陆盆地,如库车、准南缘、喀什等在新近纪(或上新世)—第四纪的沉积速率分别是789[53]、535[54]、825 m/Ma[55],或可将其与研究区的沉积速率特征进行对比,从而在沉积速率上判断是否符合前陆盆地。

表2 不同类型沉积盆地的沉积速率

Table 2 Sedimentation rate of different types of sedimentary basins

盆地类型	统计数据量	沉积速率/(m·Ma^{-1})		平均沉积速率/(m·Ma^{-1})
		最低值	最高值	
克拉通盆地(深海平原、大陆克拉通)	11	1	24	6.6
大陆架	8	12	31	22
大陆阶	7	29	57	36
陆隆	5	29	37	34
现代大陆斜坡—陆隆区	3	15	44	28
各种复合的前陆盆地	6	44	927	186
典型的优地槽	1		180	
前陆盆地中复理石沉积	4	150	927	345
前陆盆地中磨拉石沉积	3	100	400	200
海沟沉积物	6	1	500	170
后继盆地	9	77	200	113
裂谷和坳拉槽	11	71	410	169

注:据文献[63]修改。

王亚东等[28]以上干柴沟组为界把柴达木盆地的新生代分为早期变形和晚期变形2个阶段。早期变形阶段盆地沉积速率明显增加[54,64],晚期变形阶段盆地受挤压而发生缩短的变形速率减小,在下油砂山组(14.9 Ma)以后又开始逐步增强,在15 Ma前后,柴达木盆地的平均沉积速率由109.1 m/Ma陡增到151.3 m/Ma,沉积物粒度变粗[20],并且在狮子沟组的时候沉积速率达到顶峰。不同阶段的沉积速率可能与构造活动密切相关。

1)路乐河组—下干柴沟组下段

中生代末—早始新世路乐河组盆地处于较弱收缩期[10],而下干柴沟组下段沉积时处于高原的一次隆升阶段[65-66]。在周缘逆冲断裂活动的控制之下,盆地性质、沉积范围发生改变,且盆地处于高速沉积。同时,40 Ma左右阿尔金发生新一阶段的走滑活动[66-68],致使最大沉降中心转移。

2)下干柴沟组上段—上干柴沟组

35～30 Ma高原北部再次开始构造隆升[66],李宏伟[69]提出24～20 Ma高原北部发生构造隆升,盆地周缘山系开始隆升并发生强构造事件,同时伴随强烈的隆升作用,如阿尔金山[64,67]、东昆仑山[70]和祁漫塔格山[71]等(图8)。

3)下油砂山组

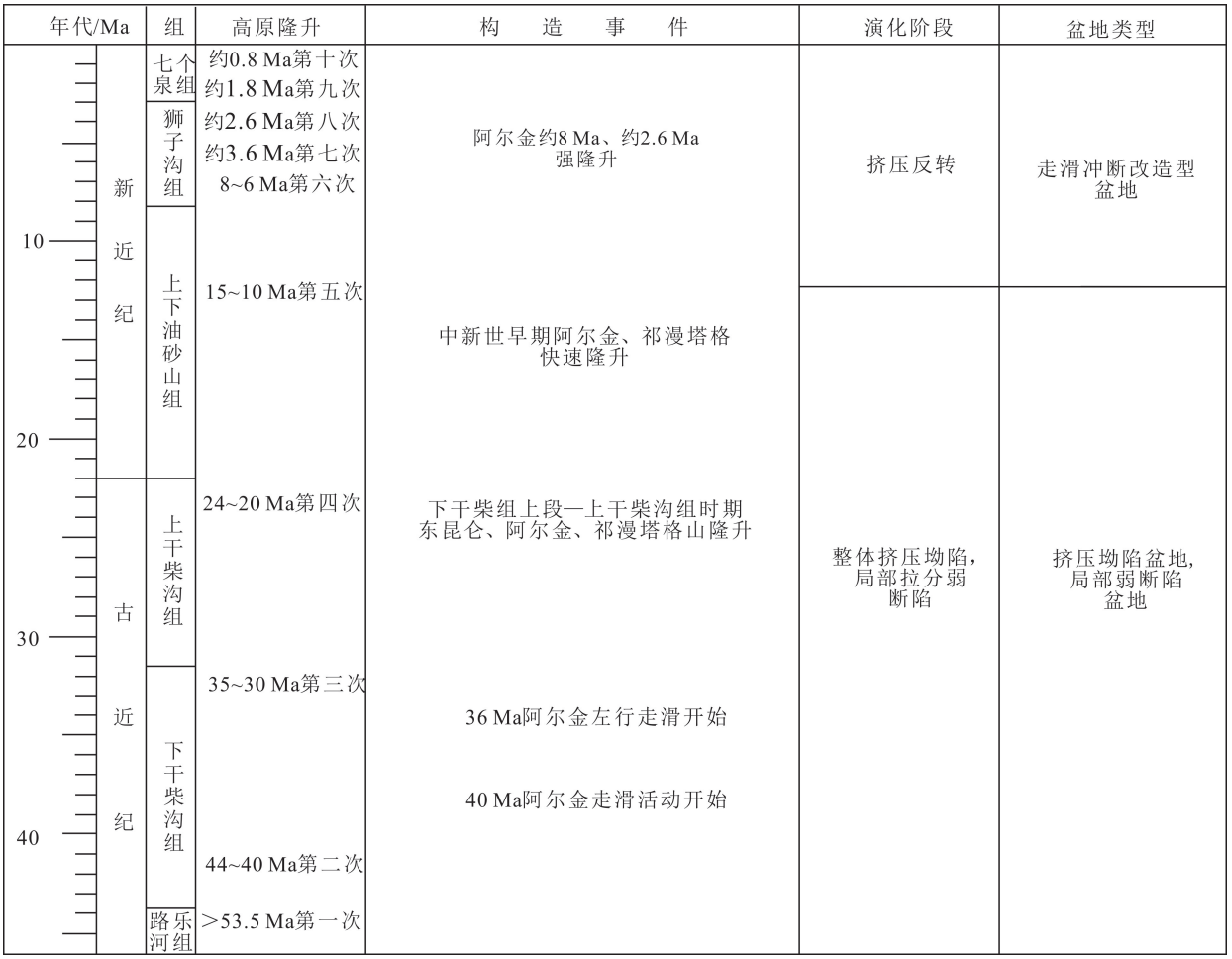
下油砂山组的高沉积速率可对应15～10 Ma高原的强隆升[65,70],此外,尹成明等[73]认为上干柴—下油砂山组交界之时盆地整体发生了抬升。

4)狮子沟组—七个泉组

8～6、3.6 Ma高原北部发生了两次构造隆升[66];狮子沟组和上油砂山组、七个泉组和狮子沟组之间为不整合接触,但整体来说活动影响范围有限,盆地再次缩小。

根据前人对盆地进行的各种工作,结合上述4个阶段的构造活动,可总结出新生代柴达木盆地各组沉积速率有4个沉积速率峰值,分别为路乐河组—下干柴沟组下段、下干柴沟组上段—上干柴沟组、下油砂组和狮子沟组—七个泉组。其中下干柴沟组上段较狮子沟组更大(表3)。

根据柴达木盆地西部地区沉积速率特征(表3),可见盆地沉积速率的变化趋势为增加到降低到增加再到降低,且各组的最小沉积速率基本超过了克拉通盆地、现代大陆架和大陆斜坡构造环境等其他类型的沉积盆地(表2)。为进一步研究,笔者又利用路乐河、西岔沟、红沟子和七个泉等地区的4个剖面,根据天然剖面的年龄-地层厚度关系,计算出柴达木盆地西部地区各个时期的沉积速率(表4),以此制作区域内新生代不同地层的沉积速率图(图9)。



据文献[57,72]修编。高原隆升阶段划分据文献[66]。

图 8　高原隆升及柴达木盆地新生代构造事件、演化阶段、盆地类型

Fig.8　Plateau uplift and Cenozoic tectonic events, evolution stages and basin types in the Qaidam basin

表 3　柴达木盆地西部地区各组沉积速率变化观点统计

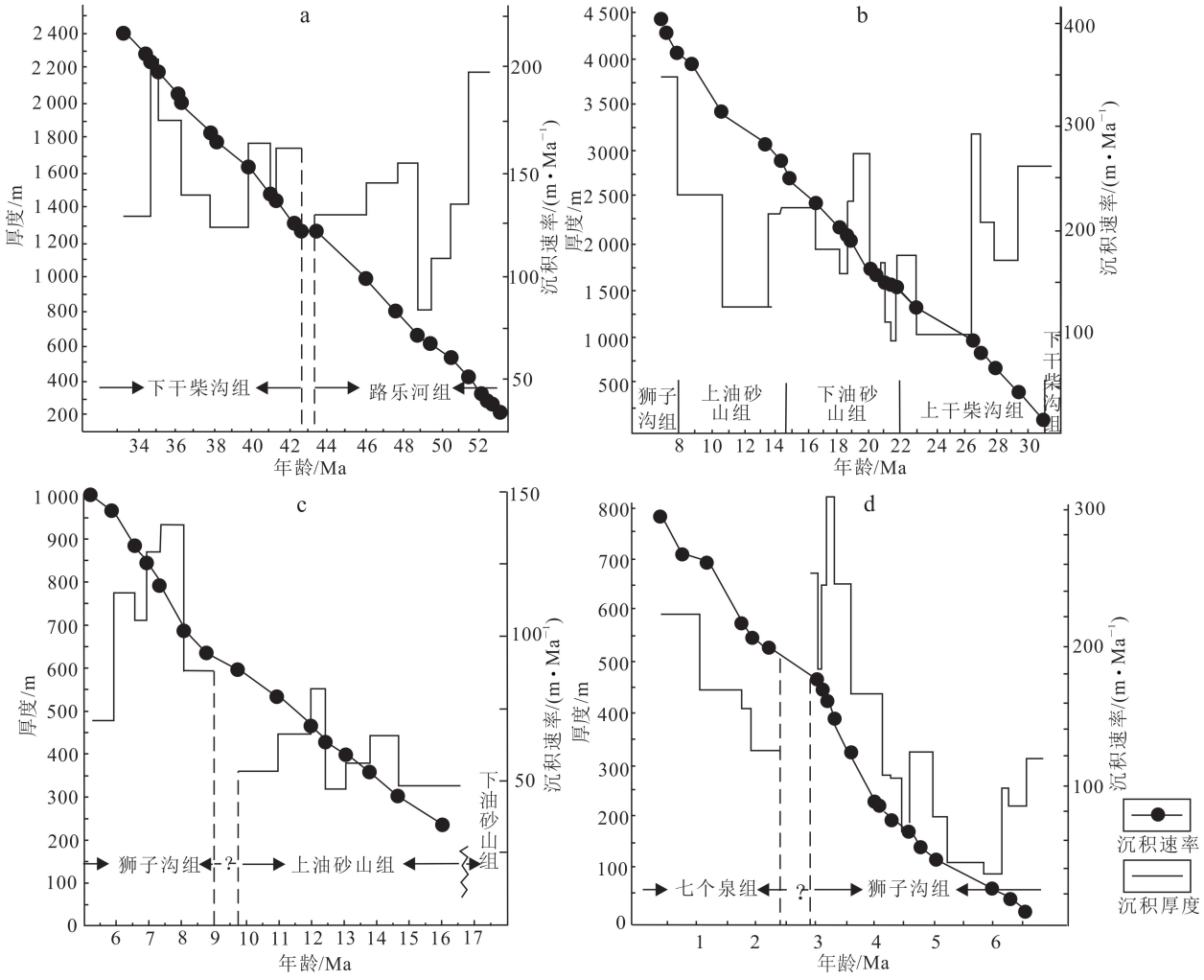
Table 3　Statistics of sedimentary rate changes in each group in the western Qaidam

组	沉积速率特征	文献
下干柴沟组	30 Ma 左右迅速增加	[74]
	19 m/Ma	[75]
	下段 80 m/Ma，上段 580 m/Ma	[76]
	以 15 Ma 为节点先加快后减小	[30,77]
上干柴沟组	30 m/Ma	[75]
	略大于 50 m/Ma	[76]
下油砂山组	8 Ma 以来持续增加	[30,77]
狮子沟组	3.65 尤其 2.5 Ma 以来急剧成倍增加	[30,77]
	400 m/Ma	[76]
七个泉组	2.5 Ma 至今 200 m/Ma	[76]
	140 m/Ma	[48]

表 4　柴达木盆地西部地区新生代各时期沉积速率

Table 4　Sedimentary rate of Cenozoic in the western Qaidam basin

地层及时代/Ma	沉积速率/(m·Ma^{-1})		平均沉积速率/(m·Ma^{-1})
	最低值	最高值	
七个泉组(2.65～0.00)	125.58	254.55	190.07
狮子沟组(8.20～2.65)	62.65	329.82	196.24
上油砂山组(14.90～8.20)	121.64	277.64	174.64
下油砂山组(22.00～14.90)	89.29	266.85	178.07
干柴沟组(31.5～22.00)	95.84	285.41	190.63
下干柴沟组上段(37.50～31.50)	103.22	178.66	140.94
下干柴沟组下段(43.80～37.50)	98.17	137.53	117.85
路乐河组(53.50～43.80)	57.61	172.30	114.96



a. 路乐河地区剖面;b. 西岔沟地区剖面;c. 红沟子地区剖面;d. 七个泉地区剖面。路乐河与七个泉地区剖面据文献[77]修编。

图9 柴达木盆地西部地区天然剖面年龄-地层厚度与沉积速率图

Fig.9 Age vs. thickness and sedimentation rate of natural section in the western Qaidam basin

我国西部地区典型前陆盆地的沉积速率比柴达木盆地西部地区(表4)要高,可能是因为碰撞作用强烈等原因,为盆地带来大量的沉积物[78]。综上可知,各个时期柴西地区的沉积速率与其他地方相比,虽然没有中国西北其他典型前陆盆地的沉积速率大,但是相较于表2中所列的其他类型盆地沉积速率偏大。因此,柴达木盆地在沉积速率上满足非典型前陆盆地的特征。

3.4 沉积相与沉积旋回

前陆盆地的第三个特征体现在沉积旋回性质上,即常因其大地构造环境不同而发育不同层序。根据陈发景等[78]的研究,伸展裂谷、弱伸展坳陷和中性稳定大陆内坳陷的层序一般具有冲积扇—河流相—湖泊相的正旋回性质;缩短盆地(不对称前陆盆地和对称的弱缩短盆地)则相反。

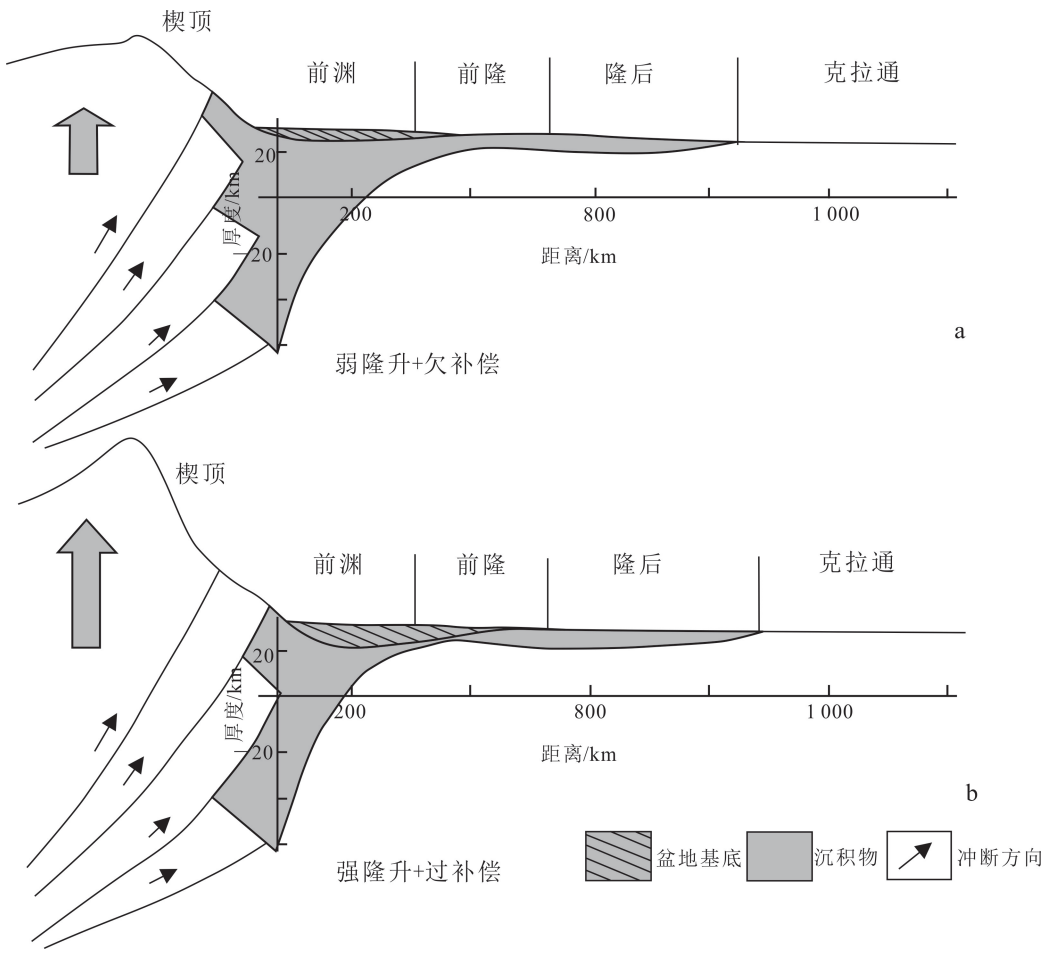
通过研究区新生代以来的沉积相等沉积特征变化,讨论其反旋回及不整合的情况,各个组的沉积相情况如下:1)路乐河组总体沉积范围呈北西—南东向展布,面积和长宽比均较小,具有东南薄、西北厚的特点[79-80],沉积超覆于下伏花岗岩之上,且与上覆下干柴沟组不整合;2)下干柴沟组下段的沉积展布方向和路乐河组相同,厚度上整体增厚,厚度分布方向与路乐河组相反,为东南厚、西北薄,指示当时总体上具有东南低、西北高的地形特征;上段的沉积范围和厚度都进一步增大,展布方向不变[80];3)上干柴沟组厚度有所减小,沉积范围与下干柴组相似但稍有扩大,呈北西—南东向展布,前期均为深湖相沉积环境,晚期转变为滨、浅湖沉积,与上覆下油砂

山组不整合接触;4)下油砂山组的沉积范围整体呈东西向展布,沉积范围变小,盆地有所抬升。除厚度增大外其他特征变化不大,地层分布与上干柴沟组具有较强的继承性[81];5)上油砂山组与下油砂山组相比沉积范围、面积没有明显改变,呈北西西—南东东方向[79-80];6)狮子沟组湖盆沉积开始衰退,沉积范围均有所萎缩,展布方向是与路乐河等组相近的北西—南东向[82],该组向上油砂山组超覆;7)七个泉组时期,盆地的湖盆沉积演化进入消亡阶段,进一步发生北东—南西向缩小并逐渐消亡,盆地的沉积范围缩小了 40%,展布呈北西西方向,沉降幅度较大,可达数公里[79]。

根据柴达木盆地西部地区沉积相情况,虽然各个组的旋回特征和整合情况较为复杂,但不整合和反旋回的特征均发育。而杨永泰[62]提出盆地处于欠补偿晚期时会在盆地中部形成一个侵蚀面,并具有穿时性;在过补偿阶段盆地地层则会进入欠补偿—过补偿的旋回。结合上文,对于柴达木盆地的沉积中心、沉积相等特征进行分析,研究区的这种不整合关系与反旋回性质的层序都是明显发育的,因此在这一特征上符合前陆盆地。

3.5　沉积中心的变迁

前陆盆地的第四个较为典型的特征是在过补偿的发育模式下,前陆盆地的沉积中心会随着盆地的横向迁移而发生变迁。盆山耦合通常会出现 2 种情况:1)无较强烈的构造活动时,盆地缩短减弱,其变形程度相应减小,致使来自山体隆升带来的物源相应减少,盆地为欠补偿沉积,根据上文的发育模式,沉积盆地此时会形成明显、单一的沉降中心,为典型的前陆盆地(图 10a);2)有较强烈的构造运动时,盆地随之发生明显的缩短,伴随山体强烈隆升带来大量的物源沉积,盆地处于高沉积的过补偿状态,盆地沉积中心也会发生变化(图 10b)。



左侧箭头长短表示山体隆升强弱。据文献[53]修编。

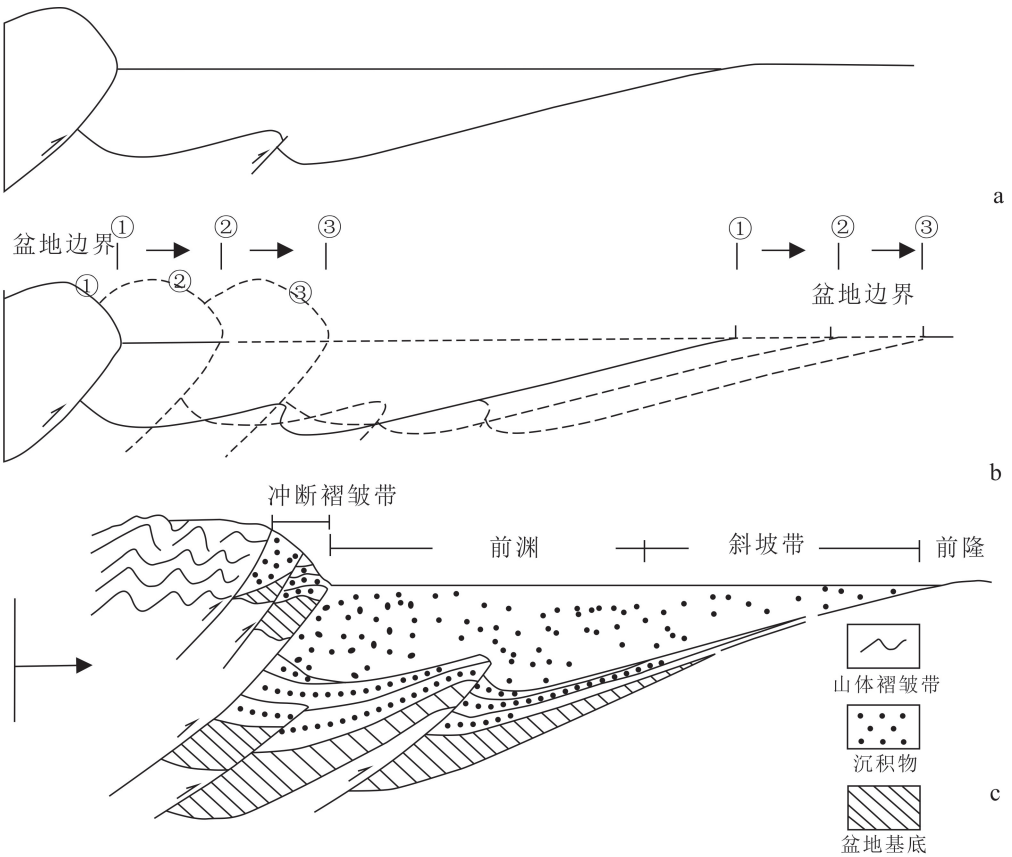
图 10　2 种前陆盆地的发育模式

Fig.10　Two development models of foreland basin

作为一持续缩短变形的沉积盆地,过量且迅速的沉积会导致盆地沉积物加积向前。在这一过程中,盆地将会形成多个沉积沉降中心,这也是判断沉积盆地性质的一大困难。而研究区的前陆盆地形态表现不明显也主要是这个原因。柴西地区在新生代时期经历了2次比较强烈的构造运动作用,而根据第二种模式(图10b),这种时期的山体强烈隆升使盆地处于过补偿状态,进而导致盆地沉积中心不断的迁移(图11)。

对于新生代的柴达木盆地,多数学者关注自阿尔金山向盆地方向沉积中心迁移[5-8,25-23,28,30,84-87],对昆仑山向北的变化趋势讨论较少。新生代除盆地西部和东部的少量沉积中心外,主要沉积中心均位于盆地几何中心附近。来自周边山带的物质持续积累增加了沉降荷载,进一步驱动沉降,形成了连续的沉积物可容纳空间[88-89]。

挤压造山带内山间盆地的沉降通常是构造荷载作用的结果,但盆地的沉积充填并不完全来自相邻山脉[61]。Cheng等[90]认为在下油砂山组和上油砂山组沉积过程中,柴达木盆地西南部的沉积中心位于东昆仑山附近,与低温热年代学揭示的东昆仑山渐新世—中新世快速剥蚀一致[91-94]。此外,Wang等[61]认为沿吐拉谷地发育1条"古昆仑河",长度约2 000 km,为盆地提供主要物源。钻井资料、裂变径迹测年结果等[90-94]表明,沉积物东南向的聚集和沿油砂山背斜的地壳形变共同作用导致沉积中心从昆仑方向向东南迁移。具体迁移大致是:1)路乐河组沉积中心在狮子沟—游园沟一线[66,85,95-98];2)下干柴沟组下段南部在祁漫塔格山前一带,上段主要沉积中心为茫崖坳陷[22,66,85,95];3)上干柴沟组存在多个沉积中心,其中茫崖坳陷处最厚,一里坪坳陷为主要沉积中心[66,85,96-97,99];4)下油砂山组沉积中心主要在红三旱构造带,次级中心在茫崖坳陷东侧,在油墩子、开特米里克、油泉子—大风山等地区也存在中



a. 初始发育阶段;b. 在盆地演化的3个阶段,盆地位置横向迁移和前期盆地结构改造;c. 盆地定性阶段。据文献[83]修编。

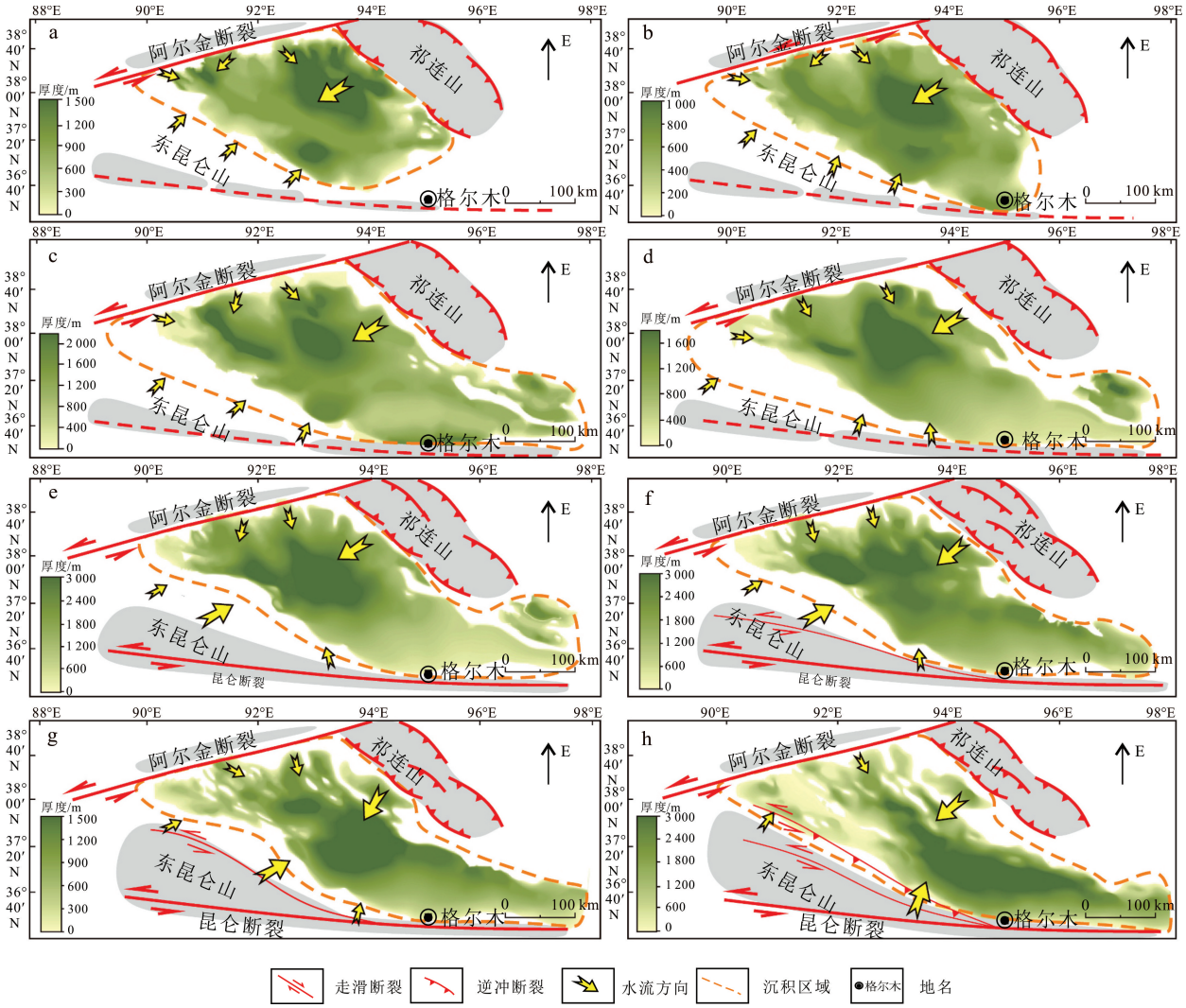
图11 前陆盆地演化横向迁移图

Fig.11 Lateral migration map of foreland basin evolution

心分布[4,25,30,32,66,85,96-97,99]；5）上油砂山组有两个明显的局部沉降中心，最厚的为油墩子构造带，也是主要的沉积中心；次级中心为一里坪坳陷，其东部厚度较大[4,32,66,84,96-97,99]；6）狮子沟组中心在三湖坳陷[4,25,66,85,95-97,100]；7）七个泉组沉积中心在达布逊湖一线，三湖坳陷的中心向东南转移[4,97,100]。

此外，由图 6、图 7 的地震测线解释剖面可知，地层的厚度在剖面的东部（靠近阿尔金山一侧）明显较西侧厚。只考虑以昆仑山为起点的厚度变化（图 12），路乐河组沉积时期东昆仑山附近有 1 个小型的沉积中心，在下干柴沟组下段时缩短并在上段彻底消失；同时由阿尔金方向的沉积物逐渐向中心汇聚，并在下油砂山组沉积时迁移至昆仑山附近；上油砂山组沉积时该中心分散分布，并在狮子沟组时在昆仑山方向上形成一较大的沉积中心，且开始有向盆地东南迁移的趋势；七个泉组时该沉积中心已经移动到盆地的东南部。

伴随昆仑造山带的不断活动，柴达木盆地的边缘随之迁移，前渊发生抬升，生长地层发育、增厚，结合盆地西部沉积厚度的变化，昆仑山附近的厚度在下干柴沟组上段增大之后，其较厚沉积随时间的推移而逐渐迁移，前渊部分向前隆方向抬升。根据图



a. 路乐河组（53.50～43.80 Ma）；b. 下干柴沟组下段（43.80～37.50 Ma）；c. 下干柴沟组上段（37.50～31.50 Ma）；d. 上干柴沟组（31.50～22.00 Ma）；e. 下油砂山组（22.00～14.90 Ma）；f. 上油砂山组（14.90～8.20 Ma）；g. 狮子沟组（8.20～2.65 Ma）；h. 七个泉组（2.65～0 Ma）。据文献[90]修编。

图 12　柴达木盆地新生代地层等厚图

Fig.12　Cenozoic stratigraphic isopach map of the Qaidam basin

6、图7来看,①—③显示柴达木盆地的横向迁移,随着沉积中心和盆地边界的迁移,柴达木盆地的演化随之向阿尔金山方向迁移。王亚东等[27]提出新生代柴达木盆地西部地区经历了两期比较强烈的构造运动(43.80～22.00 Ma和14.90～0 Ma)。第一阶段以切克里克、阿拉尔坳陷为前渊,该期变形后随盆地边界的迁移,各个前陆盆地构造对应的盆地部分也发生相应的横向迁移;第二阶段盆地以油泉子构造带、英雄岭—茫崖坳陷为前渊,前隆为南翼山构造带,隆后为尖顶山构造带,整体迁移情况和前陆盆地的横向迁移异曲同工。

综上所述,研究区在新生代时期具有一定的前陆特点,如不对称的剖面形态、较高的沉积速率、迁移的沉积中心、反旋回的沉积层序等;但与经典前陆盆地也有所不同,如高沉积速率只是相对于其他类型的盆地,而与西部地区其他陆内再生前陆盆地相比偏低。结合前陆盆地发育的模式,新生代时期柴达木盆地西部地区遭受了两次比较强烈的构造叠加与改造,山体的强烈隆升使盆地处于过补偿状态,造成了盆地沉积中心的不断迁移,也使得其前陆盆地的形态表现不明显。至于盆地的地热场特征,李宗星等[101]也提出,由于柴达木盆地相比我国中、东部其他盆地(如松辽盆地)莫霍面埋藏较深、地壳厚度大,导致柴达木盆地地温梯度分布特征与地壳厚度成镜像关系。因此,整个盆地地温梯度相对低,属于温盆类型,也正与前陆盆地的热状态特征相吻合。同时,也不同于中国西北地区其他陆内再生前陆盆地,其新生代应属于一非典型前陆盆地。

3.6 盆地原型讨论

与典型类前陆盆地特征对比可以较好地约束柴达木盆地西部的盆地性质,而且陆内压陷盆地的前置条件也与盆地西部的应力、温压等背景符合。根据前文讨论,盆地现今发育的几何形态和构造样式与类前陆盆地的基本特征相呼应,其中沉积速率特征呈现增—减—增的趋势,并从狮子沟组开始增长剧烈甚至达到峰值;根据南翼山等地区的变形情况,强烈的变形也发生在狮子沟组沉积之后;在沉积旋回上,正、反旋回均有所体现。因此,笔者提出新生代开始时柴达木盆地西部为压陷盆地,随周边山体活动带来的欠补偿—过补偿旋回以及随之移动的沉积中心移动,在狮子沟组沉积时期开始稳定并逐渐成为类前陆盆地。

宋博文等[102]的研究结果表明,压陷盆地多为远源沉积,沉积物颗粒细、分选及磨圆程度较好,多发育辫状河、三角洲沉积;而前陆盆地多近源沉积,沉积物颗粒稍粗、分选及磨圆程度差,常发育扇三角洲沉积。总体看,柴达木盆地西部地区两阶段的沉积特征及物源与宋博文等[102]研究结果一致。其中,下干柴沟组下段开始时沉积以三角洲相为主,后期为浅湖相沉积,呈正旋回特征;上干柴沟组时期发育深湖相,后期发展为滨、浅湖相沉积;下油砂山组下段滨湖相发育,上段则发育反旋回特征的浅湖相沉积;上油砂山组湖相沉积减少,主要发育湖泊三角洲沉积,上段沉积呈正旋回特征。如图2所示,除与中生界犬牙沟组不整合的路乐河组之外,整体沉积物颗粒较细,几乎无粗颗粒沉积物,符合远源环境下的细颗粒三角洲沉积。狮子沟组沉积时湖相完全消失,转为河流沉积,可以划分为河道和河漫滩相两个沉积阶段[103]。从狮子沟组开始出现砾石沉积,尤其七个泉组砾石层最为明显。结合沉积速率从狮子沟组开始明显增加并达到峰值这一特征,提出盆地西部可能于上新世之前为压陷-坳陷盆地;而在狮子沟组之后,随着逐渐强烈的挤压,沉积速率随之明显增长甚至达到峰值,现今的非典型类前陆盆地也随之成型。

4 结论

1)新生代柴达木盆地在不晚于中、晚始新世时已受到自西向东逐渐减弱的、持续的挤压应力作用,从而奠定了盆地现今的不对称形态。盆地西部地区的地震解释剖面与前陆盆地的几何形态相对应:以昆北断阶为冲断带,早期前渊为切克里克坳陷,前隆为油砂山背斜构造带,后隆为南翼山构造带;现今以油泉子构造带、英雄岭—茫崖坳陷为前渊,前隆为南翼山构造带,后隆为尖顶山构造带;且盆地后隆部分因阿尔金山的影响不同于正常克拉通区隆后带的构造样式。

2)通过对柴达木盆地代表剖面的沉积速率统计,新生代有4个速率峰值,分别是路乐河组—下干柴沟组下段、下干柴沟组上段—上干柴沟组、下油砂组和狮子沟组—七个泉组。总体较中国西北部地区其他典型前陆盆地的沉积速率小,但较其他类型盆地大,在沉积速率上柴达木盆地与前陆盆地的特征一致;在路乐河组—上油砂山组时期为挤压背景下的压陷盆地;在狮子沟组之后则表现为非典型的类前陆盆地特征。

参考文献(References):

[1] 李世金,曾小平,王富春,等.青海省主要成矿系列与找矿前景[J].吉林大学学报(地球科学版),2022,52(5):1419-1445.
Li Shijin, Zeng Xiaoping, Wang Fuchun, et al. Main Metallogenic Series and Prospecting Prospects in Qinghai Province[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2022, 52(5): 1419-1445.

[2] 刘招君,柳蓉,孙平昌,等.中国典型盆地油页岩特征及赋存规律[J].吉林大学学报(地球科学版),2020,50(2):313-325.
Liu Zhaojun, Liu Rong, Sun Pingchang, et al. Characteristics and Occurrence Rules of Oil Shale in Typical Basins of China[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2020,50(2): 313-325.

[3] Tapponnier P, Xu Z, Roger F, et al. Oblique Stepwise Rise and Growth of the Tibet Plateau[J]. Science, 2001, 294: 1671-1677.

[4] Yin A, Harrison T M. Geologic Evolution of the Himalayan-Tibetan Orogen[J]. Annual Rev Earth and Planet Sci, 2000, 28: 211-280.

[5] 曹国强,陈世悦,徐凤银,等.柴达木盆地西部中—新生代沉积构造演化[J].中国地质,2005,32(1):33-39.
Cao Guoqiang, Chen Shiyue, Xu Fengyin, et al. Ceno-Mesozoic Sedimentary and Tectonic Evolution in the Western Qaidam Basin[J]. Geology in China, 2005, 32(1): 33-39.

[6] 付锁堂,马达德,陈琰,等.柴达木盆地油气勘探新进展[J].石油学报,2016,37(增刊 1):1-10.
Fu Suotang, Ma Dade, Chen Yan, et al. New Advance of Petroleum and Gas Exploration in Qaidam Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(Sup.1): 1-10.

[7] 金之钧,张明利,汤良杰,等.柴达木中新生代盆地演化及其控油气作用[J].石油与天然气地质,2004,25(6):603-608.
Jin Zhijun, Zhang Mingli, Tang Liangjie, et al. Evolution of Meso-Cenozoic Qaidam Basin and Its Control on Oil and Gas[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(6): 603-608.

[8] 汤良杰,金之钧,张明利,等.柴达木盆地北缘构造演化与油气成藏阶段[J].石油勘探与开发,2000,27(2):36-39.
Tang Liangjie, Jin Zhijun, Zhang Mingli, et al. Tectonic Evolution and Oil (Gas) Pool-Forming Stage in Northern Qaidam Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(2): 36-39.

[9] 王亚东,方小敏,高军平,等.柴达木盆地西部地区断裂类型及油气勘探意义[J].地质科学,2009,44(3):957-965.
Wang Yadong, Fang Xiaomin, Gao Junping, et al. Fault Types and Significance of Oil and Gas Exploration in Western Qaidam Basin[J]. Scientia Geological Sinica, 2009, 44(3): 957-965.

[10] 王亚东,方小敏,张涛,等.平衡剖面反映的柴西新生代变形对青藏高原隆升的响应[J].兰州大学学报(自然科学版),2009,45(6):28-35,40.
Wang Yadong, Fang Xiaomin, Zhang Tao, et al. Cenozoic Deformation History of the Western Qaidam Basin Responding to the Uplift of the Tibetan Plateau by Restoration of the Balance Section[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2009, 45(6): 28-35, 40.

[11] 徐凤银,尹成明,巩庆林,等.柴达木盆地中、新生代构造演化及其对油气的控制[J].中国石油勘探,2006,11(6):9-16,37,129.
Xu Fengyin, Yin Chengming, Gong Qinglin, et al. Mesozoic-Cenozoic Structural Evolution in Qaidam Basin and Its Control Over Oil and Gas[J]. China Petroleum Exploration, 2006, 11(6): 9-16, 37, 129.

[12] 彭作林,郑建京.中国主要含气盆地类型[J].天然气地球科学,1991,2(6):253-257.
Peng Zuolin, Zheng Jianjing. Main Types of Gas Bearing Basins in China[J]. Natural Gas Geoscience, 1991, 2(6): 253-257.

[13] 胡受权,曹运江,黄继祥,等.柴达木盆地侏罗纪盆地原型及其形成与演化探讨[J].石油实验地质,1999,21(3):189-195.
Hu Shouquan, Cao Yunjiang, Huang Jixiang, et al. Discussion on Formation and Evolution of Jurassic Basin Prototype of Qaidam Basin[J]. Petroleum Geology and Experiment, 1999, 21(3): 189-195.

[14] 黄汉纯,黄清华,马永生.柴达木盆地地质与油气预测[M].北京:地质出版,1996.
Huang Hanchun, Huang Qinghua, Ma Yongsheng. Geology and Hydrocarbon Prediction of Qaidam Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.

[15] 靳久强,赵文智,薛良清,等.中国西北地区侏罗纪原型盆地与演化特征[J].地质论评,1999,45(1):92-104.
Jin Jiuqiang, Zhao Wenzhi, Xue Liangqing, et al. Proto-Types and Evolution of Jurassic in NW China

[J]. Geological Review, 1999, 45(1): 92-104.

[16] 金之均, 张明利, 汤良杰, 等. 柴达木盆地中—新生代构造演化[C]//第四届全国青年地质工作者学术讨论会论文集. 北京: 地球学报编辑部, 1999: 78-82.
Jin Zhijun, Zhang Mingli, Tang Liangjie, at al. Mesozoic Cenozoic Tectonic Evolution of Qaidam Basin[C]// Proceedings of the Fourth National Young Geologists Symposium. Beijing: Editorial Department of Journal of the Earth, 1999: 78-82.

[17] 翟光明, 宋建国, 靳久强, 等. 板块构造演化与含油气盆地形成和评价[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
Zhai Guangming, Song Jianguo, Jin Jiuqiang, et al. Evolution of Plate Tectonics and Formation and Evaluation of Petroliferous Basins[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002.

[18] 翟光明, 徐凤银, 李建青. 重新认识柴达木盆地力争油气勘探获得新突破[J]. 石油学报, 1997, 18(2): 1-7.
Zhai Guangming, Xu Fengyin, Li Jianqing. Reunderstand Qaidam Basin and Strive for New Breakthroughs in Oil and Gas Exploration[J]. Acta Petrolei Sinica, 1997, 18(2): 1-7.

[19] 郑孟林, 李明杰, 曹春潮, 等. 柴达木盆地新生代不同层次构造特征[J]. 地质学报, 2004, 78(1): 26-35.
Zheng Menglin, Li Mingjie, Cao Chunchao, et al. Characteristics of Structures of Various Levels in the Qaidam Cenozoic Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(1): 26-35.

[20] Yin A, Dang Y Q, Wang L Q, et al. Cenozoic Tectonic Evolution of Qaidam Basin and Its Surrounding Regions: Part 1: The Southern Qilian Shan-Nan Shan Thrust Belt and Northern Qaidam Basin[J]. Geological Society of American Bulletin, 2008, 120(7): 813-846.

[21] Yin A, Rumelhart P E, Butler R, et al. Tectonic History of the Altyn Tagh Fault System in Northern Tibet Inferred from Cenozoic Sedimentation[J]. Geological Society of America Bulletin, 2002, 114(10): 1257-1295.

[22] 吴婵, 阎存凤, 李海兵, 等. 柴达木盆地西部新生代构造演化及其对青藏高原北部生长过程的制约[J]. 岩石学报, 2013, 29(6): 2211-2222.
Wu Chan, Yan Cunfeng, Li Haibing, et al. Cenozoic Tectonic Evolution of the Western Qaidam Basin and Its Constrain on the Growth of the Northern Tibetan Plateau[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(6): 2211-2222.

[23] 吴光大, 葛肖虹, 刘永江, 等. 柴达木盆地中、新生代构造演化及其对油气的控制[J]. 世界地质, 2006, 25(4): 411-417.
Wu Guangda, Ge Xiaohong, Liu Yongjiang, et al. Mesozoic-Cenozoic Structural Evolution in Qaidam Basin and Its Control on Hydrocarbon Occurrence[J]. Global Geology, 2006, 25(4): 411-417.

[24] 汤良杰, 金之钧, 张明利, 等. 柴达木盆地构造古地理分析[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 421-429.
Tang Liangjie, Jin Zhijun, Zhang Mingli, et al. An Analysis on Tectono-Paleogeography of the Qaidam Basin, NW China[J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 421-429.

[25] 孙国强, 郑建京, 苏龙, 等. 柴达木盆地西北区中-新生代构造演化过程研究[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(2): 212-217.
Sun Guoqiang, Zheng Jianjing, Su Long, et al. Mesozoic-Cenozoic Tectonic Evolution in Northwestern Qaidam Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(2): 212-217.

[26] 付锁堂, 马达德, 郭召杰, 等. 柴达木走滑叠合盆地及其控油气作用[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(6): 712-722.
Fu Suotang, Ma Dade, Guo Zhaojie, et al. Strike-Slip Superimposed Qaidam Basin and Its Control on Oil and Gas Accumulation, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(6): 712-722.

[27] 王亚东, 张涛, 迟云平, 等. 柴达木盆地西部地区新生代演化特征与青藏高原隆升[J]. 地学前缘, 2011, 18(3): 141-150.
Wang Yadong, Zhang Tao, Chi Yunping, et al. Cenozoic Uplift of the Tibetan Plateau: Evidence from Tectonic-Sedimentary Evolution of the Western Qaidam Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(3): 141-150.

[28] 王亚东, 张涛, 李仕远, 等. 地震剖面记录的柴达木盆地西部地区新生代构造变形特征[J]. 世界地质, 2011, 30(2): 213-223.
Wang Yadong, Zhang Tao, Li Shiyuan, et al. Cenozoic Tectonic Deformation Characteristics of Western Qaidam Basin Inferred by Seismic Profile[J]. Global Geology, 2011, 30(2): 213-223.

[29] 张津宁, 张金功, 黄传卿, 等. 柴达木盆地西部地区

地层发育特征[J]. 地下水，2016，38(1)：207－208.
Zhang Jinning，Zhang Jingong，Huang Chuanqing，et al. Stratigraphic Development Characteristics in Western Qaidam Basin[J]. Ground Water，2016，38(1)：207－208.

[30] Fang X M，Zhang W L，Meng Q Q，et al. High-Resolution Magneto Stratigraphy of the Neo-Gene Huaitoutala Section in the Eastern Qaidam Basin on the NE Tibetan Plateau，Qinghai Province，China and Its Implication on Tectonic Uplift of the NE Tibetan Plateau[J]. Earth and Planetary Science Letters，2007，258(1/2)：293－306.

[31] 周科. 柴西缘干柴沟地区古近系下干柴沟组物源分析与沉积特征[D]. 西安：长安大学，2015.
Zhou Ke. Provenance Analysis and Sedimentary Characteristics of Paleogene Xiaganchaigou Formation in Ganchaigou Area，Western Margin of Qaidam Basin[D]. Xi'an：Chang'an University，2015.

[32] 魏岩岩. 柴西南新生代沉积和构造特征及其与祁漫塔格的构造耦合[D]. 杭州：浙江大学，2017.
Wei Yanyan. Cenozoic Sedimentary and Structural Features of Southwest Qaidam Basin and Its Coupling with Qiman Tagh[D]. Hangzhou：Zhejiang University，2017.

[33] 吴光大. 柴达木盆地构造特征及其对油气分布的控制[D]. 长春：吉林大学，2007.
Wu Gangda. Study on the Tectonic in Qaidam Basin and Its Control to the Hydrocarbon Distribution[D]. Changchun：Jilin University，2007.

[34] 朱利东. 青藏高原北部隆升与盆地和地貌记录[D]. 成都：成都理工大学，2004.
Zhu Lidong. Uplift of the North of Qinghai-Tibet Plateau and Record in Basins and Geomorphy[D]. Chengdu：Chengdu University of Technology，2004.

[35] 曹国强. 柴达木盆地西部地区第三系沉积相研究[D]. 广州：广州地球化学研究所，中国科学院研究生院，2005.
Cao Guoqiang. Sedimentary Facies of the Tertiary in West Qaidam Basin[D]. Guangzhou：Guangzhou Institute of Geochemistry，Graduate University of Chinese Academy of Sciences，2005.

[36] 张益银. 柴达木盆地西部斜坡隆凹格局演化及其沉积响应[D]. 西安：西北大学，2018.
Zhang Yiyin. Differential Evolution of the Western Slop of the Qaidam Basin and Its Depositional Response[D]. Xi'an：Northwest University，2018.

[37] 朱夏. 含油气盆地研究方向的探讨[J]. 石油实验地质，1983，5(2)：116－123.
Zhu Xia. Discussion on the Research Direction of Petroliferous Basins[J]. Petroleum Geology and Experiment，1983，5(2)：116－123.

[38] 孙国强. 柴达木盆地中新生代构造运动学过程及原型盆地类型研究[D]. 兰州：兰州地质研究所，中国科学院研究生院，2004.
Sun Guoqiang. Study on Mesozoic-Cenozoic Tectonic Kinematic Process and Prototype Basin Type in Qaidam Basin[D]. Lanzhou：Lanzhou Institute of Geology，Graduate University of Chinese Academy of Sciences，2004.

[39] 吴磊. 阿尔金断裂中段新生代活动过程及盆地响应[D]. 杭州：浙江大学，2011.
Wu Lei. Cenozoic Activity Process and Basin Response of the Middle Segment of the Altun Fault[D]. Hangzhou：Zhejiang University，2011.

[40] 刘栋梁，方小敏，王亚东，等. 平衡剖面方法恢复柴达木盆地新生代地层缩短及其意义[J]. 地质科学，2008，43(4)：637－647.
Liu Dongliang，Fang Xiaomin，Wang Yadong，et al. Cenozoic Deformation History Determined by Restoration of the Balanced Section Across the Qaidam Basin[J]. Scientia Geological Sinica，2008，43(4)：637－647.

[41] 范连顺，王明儒. 柴达木盆地茫崖坳陷含油气系统及勘探方向[J]. 石油实验地质，1999，21(1)：43－49.
Fan Lianshun，Wang Mingru. Petroleum System and Exploration Direction of Mangya Depression in Qaidam Basin[J]. Petroleum Geology and Experiment，1999，21(1)：43－49.

[42] 何亨华，徐明琳. 柴达木盆地构造特征及其演化[J]. 西北油气勘探，2006，18(2)：1－10.
He Henghua，Xu Minglin. Tectonic Characteristics and Evolution of Qaidam Basin[J]. Northwest Oil and Gas Exploration，2006，18(2)：1－10.

[43] 付国民，李永军，石京平. 柴达木第三纪转换裂陷盆地形成演化及动力学[J]. 沉积与特提斯地质，2001，21(4)：34－41.
Fu Guomin，Li Yongjun，Shi Jingping. Formation，Evolution and Dynamics of Qaidam Tertiary Transition Rift Basin[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology，2001，21(4)：34－41.

[44] 宋建国，廖健. 柴达木盆地构造特征及油气区的划分[J]. 石油学报，1982，(增刊 1)：14－23.
Song Jianguo，Liao Jian. Structural Characteristics and Petroliferous Regions in the Qaidam Basin[J].

Acta Petrolei Sinica, 1982, (Sup. 1): 14 - 23.

[45] 王步清. 柴达木盆地新生代构造演化与沉积特征[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(6): 670 - 672.
Wang Buqing. Cenozoic Tectonic Evolution and Sedimentary Characteristics of Qaidam Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2006, 27(6): 670 - 672.

[46] 于福生, 王彦华, 李学良,等. 柴达木盆地狮子沟—油砂山构造带变形特征及成因模拟[J]. 大地构造与成矿学, 2011, 35(2): 207 - 215.
Yu Fusheng, Wang Yanhua, Li Xueliang, et al. Deformation Characteristics and Genetic Simulation of Shizigou-Youshashan Structural Belt in Qaidam Basin [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2011, 35(2): 207 - 215.

[47] 黄汉纯, 周显强, 王长利. 柴达木盆地构造演化与石油富集规律[J]. 地质论评, 1989, 35(4): 314 - 323.
Huang Hanchun, Zhou Xianqiang, Wang Changli. Tectonic Evolution and Petroleum Enrichment in Qaidam Basin[J]. Geological Review, 1989, 35(4): 314 - 323.

[48] 王桂宏, 周川闽, 夏响华, 等. 中新生代柴达木叠合盆地解析、动力学机制探讨及对油气控制意义研究[J]. 地球学报, 2019, 40(6): 805 - 815.
Wang Guihong, Zhou Chuanmin, Xia Xianghua, et al. Analysis of Mesozoic-Cenozoic Qaidam Superimposed Basin, Discussion of Its Dynamic Mechanism and Its Significance for Oil and Gas Control[J]. Journal of the Earth, 2019, 40(6): 805 - 815.

[49] Zhu L, Wang C, Zheng H, et al. Tectonic and Sedimentary Evolution of Basins in the Northeast of Qinghai-Tibet Plateau and Their Implication for the Northward Growth of the Plateau [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2006, 241: 49 - 60.

[50] 刘和甫. 中国中新生代盆地构造样式分析[J]. 地质论评, 1983, 29(5):445.
Liu Hefu. Analysis of Tectonic Style of Mesozoic and Cenozoic Basins in China [J]. Geological Review, 1983, 29(5):445.

[51] 刘池洋, 王建强, 赵红格, 等. 沉积盆地类型划分及其相关问题讨论[J]. 地学前缘, 2015, 22(3): 1 - 26.
Liu Chiyang, Wang Jianqiang, Zhao Hongge, et al. The Classification of Sedimentary Basins and Discussion on Relevant Issues [J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(3): 1 - 26.

[52] 黄继钧. 羌塘盆地基底构造特征[J]. 地质学报, 2001, 75(3): 333 - 337.
Huang Jijun. Tectonic Characteristics of the Base of the Qiangtang Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75(3): 333 - 337.

[53] DeCelles P G, Giles K A. Foreland Basin Systems[J]. Basin Research, 1996, 8(2): 105 - 123.

[54] Zhou J X, Xu F Y, Wang T C, et al. Cenozoic Deformation History of the Qaidam Basin, NW China: Results from Cross-Section Restoration and Implications for Qinghai-Tibet Plateau Tectonics[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2006, 243(1/2): 195 - 210.

[55] 任收麦, 葛肖虹, 刘永江, 等. 柴达木盆地北缘晚中生代—新生代构造应力场:来自构造节理分析的证据[J]. 地质通报, 2009, 28(7): 877 - 887.
Ren Shoumai, Ge Xiaohong, Liu Yongjiang, et al. The Stress Field of Late Mesozoic - Cenozoic Tectonics in the Northern Qaidam Basin, Northwest China: Evidences from the Analysis of Joints Data [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(7): 877 - 887.

[56] 陈袁, 牟中海, 马达德, 等. 柴达木盆地西部地区盆山接触关系研究[J]. 断块油气田, 2012, 19(4): 414 - 417.
Chen Yuan, Mou Zhonghai, Ma Dade, et al. Study on Basin-Mountain Contact Pattern in Western Qaidam Basin [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2012, 19(4): 414 - 417.

[57] 李文龙. 柴达木盆地西部构造特征研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2012.
Li Wenlong. Study on Structural Characteristics of Western Qaidam Basin [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2012.

[58] 彭海波.阿拉尔断裂带主要生储盖岩系的构造演化特征分析[D]. 西安: 西北大学, 2014.
Peng Haibo. The Tectonic Evolution Features Analysis of the Main Source-Reservoir-Cap Rock Series in Alar Fault [D]. Xi'an: Northwest University, 2014.

[59] 鲍晶. 柴达木盆地沉积通量及元素地球化学记录的新生代风化剥蚀[D]. 兰州: 兰州大学, 2017.
Bao Jing. Cenozoic Sediment Flux and Geochemical Records in the Qaidam Basin, Northern Tibetan Plateau, and Their Implications for Weathering and Denudation[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2017.

[60] 杨积伟. 柴达木盆地新生代平衡剖面恢复与沉积通

量变化[D]. 兰州：兰州大学，2014.
Yang Jiwei. Cenozoic Balanced Section Recovery and Sedimentary Flux Change in Qaidam Basin [D]. Lanzhou: LanzhouUniversity, 2014.

[61] Wang E, Xu F Y, Zhou J X, et al. Eastward Migration of the Qaidam Basin and Its Implications for Cenozoic Evolution of the Altyn Tagh Fault and Associated River Systems[J]. Geological Society of America Bulletin, 2006, 118(3): 349 - 365.

[62] 杨永泰. 前陆盆地沉降机理和地层模型[J]. 岩石学报，2011，27(2)：531 - 544.
Yang Yongtai. Subsidence Mechanisms and Stratigraphic Models of Foreland Basins[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(2): 531 - 544.

[63] Schwab F L. Sedimentary 'Signatures' of Foreland Basin Assemblages: Real or Counterfeit[J]. Foreland Basins Spec, 1986, 8: 393 - 410.

[64] Liu Y J, Genser J, Neubauer F, et al. $^{40}Ar/^{39}Ar$ Mineral Ages from Basement Rocks in the Eastern Kunlun Mountains NW China and Their Tectonic Implications[J]. Tectonophysics, 2005, 398: 199 - 224.

[65] 钟大赉，丁林. 青藏高原的隆起过程及其机制探讨[J]. 中国科学：地球科学，1996，26(4)：289 - 295.
Zhong Dalai, Ding Lin. Uplift Process and Mechanism of Qinghai Xizang Plateau[J]. Science China: Earth Sciences, 1996, 26(4): 289 - 295.

[66] 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.

[67] 刘永江，Franz Neubauer，葛肖虹，等. 阿尔金断裂带年代学和阿尔金山隆升[J]. 地质科学，2007，42(1)：134 - 146，188.
Liu Yongjiang, Neubauer F, Ge Xiaohong, et al. Geo Chronology of the Altun Fault Zone and Rising of the Altun Mountains[J]. Geological Bulletin of China, 2007, 42(1): 134 - 146, 188.

[68] 刘永江，葛肖虹，J Genser，等. 阿尔金断裂带构造活动的$^{40}Ar/^{39}Ar$年龄证据[J]. 科学通报，2003，48(12)：1335 - 1341.
Liu Yongjiang, Ge Xiaohong, Genser J, et al. $^{40}Ar/^{39}Ar$ Age Evidence of Tectonic Activity in Altun Fault Zone[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(12): 1335 - 1341.

[69] 李宏伟. 柴达木盆地西南缘新生代旋回地层与沉积速率分析[D]. 成都：成都理工大学，2015.
Li Hongwei. Cyclostratigraphy and the Deposition Rate Analysis of the Cenozoic Strata in the Southwestern Margin of the Qaidam Basin [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2015.

[70] 夏国清. 柴达木盆地西南缘新生代构造隆升的沉积记录[D]. 成都：成都理工大学，2012.
Xia Guoqing. The Sedimentary Records of the Tectonic Uplift of the East Kunlun in the Cenozoic Doctoral Dissertation [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2012.

[71] 拜永山，任二峰，范桂兰，等. 青藏高原西北缘祁漫塔格山中新世快速抬升的磷灰石裂变径迹证据[J]. 地质通报，2008，27(7)：1044 - 1048.
Bai Yongshan, Ren Erfeng, Fan Guilan, et al. Apatite Fission Track Evidence for the Miocene Rapid Uplift of the Qimantag Mountains on the Northwestern Margin of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(7): 1044 - 1048.

[72] 惠博.柴达木盆地新生代沉积转型事件及区域对比研究[D].成都：成都理工大学，2010.
Hui Bo. Transformation of Cenozoic Sedimentary and Riginal Consrast in Western Qaidam Basin [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2010.

[73] 尹成明，李伟民，Andrea R，等. 柴达木盆地新生代以来的气候变化研究：来自碳氧同位素的证据[J]. 吉林大学学报(地球科学版)，2007，37(5)：901 - 907.
Yin Chengming, Li Weimin, Andrea R, et al. Cenozoic Climate Changes in the Qaidam Basin, Western China: Evidenced from Carbon and Oxygen Stable Isotope[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37(5): 901 - 907.

[74] 袁四化，刘永江，葛肖虹，等. 青藏高原北缘的隆升时期：来自阿尔金山和柴达木盆地的证据[J]. 岩石矿物学杂志，2008，27(5)：413 - 421.
Yuan Sihua, Liu Yongjiang, Ge Xiaohong, et al. Uplift Period of the Northern Margin of the Qinghai: Tibet Plateau: Evidences from the Altyn Mountains and Qaidam Basin [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2008, 27(5): 413 - 421.

[75] 刘艳红. 新生代阿尔金断裂带对柴西构造的控制和山体隆升对柴西沉积的影响[D]. 长春：吉林大学，2005.
Liu Yanhong. Controls of the Altyn Fault and

Mountain Uplift on the Structure and Sedimentation of Western Qaidam Basin in Cenozoic [D]. Changchun: Jilin University, 2005.

[76] 郭泽清，刘卫红，李本亮，等. 柴达木盆地西部埋藏史分析与油气关系类型[J]. 地球学报，2005，26(5)：81－87.
Guo Zeqing. Liu Weihong, Li Benjing, et al. Analysis of Burial History and Types of Hydrocarbon Relationship in Western Qaidam Basin[J]. Journal of the Earth, 2005, 26(5): 81－87.

[77] 张伟林. 柴达木盆地新生代高精度磁性地层与青藏高原隆升[D]. 兰州：兰州大学，2006.
Zhang Weilin. Cenozoic High-Precision Magnetostratigraphy in Qaidam Basin and Uplift of Qinghai Xizang Plateau [J]. Lanzhou: Lanzhou University, 2006.

[78] 陈发景，汪新文. 中国西北地区陆内前陆盆地的鉴别标志[J]. 现代地质，2004，18(2)：151－156.
Chen Fajing, Wang Xinwen. Identification Marks of Intracontinental Foreland Basins in Northwest China [J]. Geoscience, 2004, 18(2): 151－156.

[79] 苏妮娜，金振奎，宋璠，等. 柴达木盆地古近系沉积相研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版)，2014，38(3)：1－9.
Su Nina, Jin Zhenkui, Song Fan, et al. Sedimentary Facies of the Paleogene in Qaidam Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2014, 38(3): 1－9.

[80] 方向，张永庶. 柴达木盆地西部地区新生代沉积与构造演化[J].地质与勘探，2014，50(1)：28－36.
Fang Xiang, Zhang Yongshu. Cenozoic Sediments and Tectonic Evolution in the Western Qaidam Basin[J]. Geology and Exploration, 2014, 50(1): 28－36.

[81] 马帅，陈世悦，孙娇鹏，等. 柴达木盆地北缘新元古代-前中生代几个重要不整合面地质特征及其构造意义[J]. 大地构造与成矿学，2018，42(6)：974－987.
Ma Shuai, Chen Shiyue, Sun Jiaopeng, et al. Geological Characteristics of Unconformities in Neoproterozoic to Pre-Mesozoic Sequences in the North Qaidam Area and Their Tectonic Implications [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2018, 42(6): 974－987.

[82] 吕宝凤，赵小花，周莉，等. 柴达木盆地新生代沉积转移及其动力学意义[J]. 沉积学报，2008，26(4)：552－558.
Lü Baofeng, Zhao Xiaohua, Zhou Li, et al. Cenozoic Sedimentary Migration in Qaidam Basin and Its Significance on the Dynamic Mechanism [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(4): 552－558.

[83] 刘池洋，赵红格，杨兴科，等. 前陆盆地及其确定和研究[J]. 石油与天然气地质，2005，23(4)：307－313.
Liu Chiyang, Zhao Hongge, Yang Xingke, et al. Foreland Basin and Its Definition and Research[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(4): 307－313.

[84] 王建功，张道伟，石亚军，等. 柴达木盆地西部地区渐新世下干柴沟组上段盐湖沉积特征[J].吉林大学学报(地球科学版)，2020，50(2)：442－453.
Wang Jiangong, Zhang Daowei, Shi Yajun, et al. Sedimentary Characteristics of Salt Lakes in the Upper Member of the Oligocene Lower Ganchaigou Formation in the Western Qaidam Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2020, 50(2): 442－453.

[85] 车自成. 从青藏高原的隆起看柴达木盆地的形成与演变[J]. 石油与天然气地质，1986，7(1)：87－94.
Che Zicheng. The Formation and Evolution of Qaidam Basin in Relation to the Uplift of Qinghai-Tibet Plateau[J]. Oil & Gas Geology, 1986, 7(1): 87－94.

[86] 高先志，陈发景，马达德，等. 中、新生代柴达木北缘的盆地类型与构造演化[J]. 西北地质，2003，36(4)：16－23.
Gao Xianzhi, Chen Fajing, Ma Dade, et al. Tectonic Evolution of the Northern Qaidam Basin During Mesozoic and Cenozoic Eras [J]. Northwestern Geology, 2003, 36(4): 16－23.

[87] 柳祖汉，吴根耀，杨孟达，等. 柴达木盆地西部新生代沉积特征及其对阿尔金断裂走滑活动的响应[J]. 地质科学，2006，41(2)：344－354.
Liu Zuhan, Wu Genyao, Yang Mengda, et al. Sedimentary Features of the Cenozoic in the Western Qaidam Basin: Response to Strike-Slipping of the Altun Fault[J]. Scientia Geological Sinica, 2006, 41(2): 344－354.

[88] Métivier F, Gaudemer Y, Tapponnier P, et al. Northeastward Growth of the Tibetan Plateau Deduced from Balanced Reconstruction of Two Depositional Areas: The Qaidam and Hexi Corridor Basins, China[J]. Tectonics, 1998, 1: 832－842.

[89] Meyer B, Tapponnier P, Bourjot L, et al. Crustal Thickening in Gansu-Qinghai, Iithospheric Mantle Subduction, and Oblique, Strike-Slip Controlled Growth of the Tibet Plateau[J]. Geophys, 1998, 135(1): 1－47.

[90] Cheng F, Jolivet M, Guo Z, et al. Cenozoic Evolution of the Qaidam Basin and Implications for the Growth of the Northern Tibetan Plateau: A Review[J]. Earth-Science Reviews, 2021, 220: 103730.

[91] Dai J, Wang C, Hourigan J, et al. Multi-Stage Tectono-Magmatic Events of the Eastern Kunlun Range, Northern Tibet: Insights from U - Pb Geochronology and (U - Th)/He Thermochronology[J]. Tectonophysics, 2013, 599: 97 - 106.

[92] Duvall A R, Clark M K, Kirby E, et al. Low-Temperature Thermochronometry Along the Kunlun and Haiyuan Faults, NE Tibetan Plateau: Evidence for Kinematic Change During Late-Stage Orogenesis[J]. Tectonics, 2013, 32(5): 1190 - 1211.

[93] Jolivet M, Dempster T, Cox R. Répartition De l'Uranium et Du Thorium Dans Les Apatites: Implications Pour La Thermochronologie U - Th/He[J]. Comptes Rendus Geoscience, 2003, 335(12): 899 - 906.

[94] McRivette M W, Yin A, Chen X, et al. CenozoicBasin Evolution of the Central Tibetan Plateau as Constrained by U - Pb Detrital Zircon Geochronology, Sandstone Petrology, and Fission-Track Thermochronology[J]. Tectonophysics, 2019, 751: 150 - 179.

[95] Chen Yuan, Wu H, Courtillot V, et al. Large N - S Convergence at the Northern Edge of the Tibetan Plateau New Early Cretaceous Paleomagnetic Data from Hexi Corridor, NW China[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2002, 201: 293 - 307.

[96] 刘泽纯, 王建, 汪永进, 等. 柴达木盆地茫崖凹陷井下下第三系的年代地层学与气候地层学研究[J]. 地层学杂志, 1996, 20(2): 104 - 113.
Liu Zechun, Wang Jian, Wang Yongjin, et al. On Lower Tertiary Chronostratigraphy and Climatostratigraphy of Manyai Depression in Western Qaidam Basin[J]. Journal of Stratigraphy, 1996, 20(2): 104 - 113.

[97] 高军平, 方小敏, 宋春晖, 等. 青藏高原北部中-新生代构造-热事件:来自柴西碎屑磷灰石裂变径迹的制约[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(5): 1466 - 1475.
Gao Junping, Fang Xiaomin, Song Chunhui, et al. Tectonic-Thermo Events of Northern Tibetan Plateau: Evidence from Detrital Apatite Fission Track Data in Western Qaidam Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2011, 41(5): 1466 - 1475.

[98] 刘泽纯, 孙世英, 杨藩, 等. 柴达木盆地三湖地区第四纪地层学和其年代学分析[J]. 中国科学: 地球科学, 1990, 20(11):1202 - 1212.
Liu Zechun, Sun Shiying, Yang Fan, et al. Quaternary Stratigraphy and Chronological Analysis of the Three Lakes Region of the Qaidam Basin[J]. Science China: Earth Sciences, 1990, 20(11): 1202 - 1212.

[99] Liu Z C, Wang Y J, Chen Y, et al. Magneto Stratigraphy and Sedimentologically Derived Geochronology of the Quaternary Lacustrine Deposits of a 3000m Thick Sequence in the Central Qaidam Basin, Western China[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1998, 140(1/2/3/4): 459 - 473.

[100] 陈世悦, 徐凤银, 彭德华. 柴达木盆地基底构造特征及其控油意义[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(3): 175 - 179.
Chen Shiyue, Xu Fengyin, Peng Dehua. Characteristics of Basement Structures and Their Controls on Hydrocarbon in Qaidam Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2000, 21(3): 175 - 179.

[101] 李宗星, 高俊, 郑策, 等. 柴达木盆地现今大地热流与晚古生代以来构造-热演化[J]. 地球物理学报, 2015, 58(10): 3687 - 3705.
Li Zongxing, Gao Jun, Zheng Ce, et al. Current Geothermal Flow and Tectonic Thermal Evolution Since Late Paleozoic in Qaidam Basin[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2015, 58(10): 3687 - 3705.

[102] 宋博文, 徐亚东, 梁银平, 等. 中国西部新生代沉积盆地演化[J]. 地球科学, 2014, 39(8): 1035 - 1051.
Song Bowen, Xu Yadong, Liang Yinping, et al. Evolution of Cenozonic Sedimentary Basins in Western China[J]. Earth Science, 2014, 39(8): 1035 - 1051.

[103] 惠博, 伊海生, 夏国清, 等. 柴达木盆地西部新生代沉积演化特征[J]. 中国地质, 2011, 38(5): 1274 - 1281.
Hui Bo, Yin Haisheng, Xia Guoqing, et al. Characteristics of Cenozoic Sedimentary Evolution in Western Qaidam Basin[J]. Geology in China, 2011, 38(5): 1274 - 1281.