

塔里木盆地雅克拉断凸断裂差异变形特征及其控制因素

杨勇^{1,2,3}, 汤良杰^{2,3}, 刁新东⁴, 谢大庆⁴

[1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 3. 中国石油大学(北京)盆地与油藏研究中心, 北京 102249; 4. 中国石化西北油田分公司, 新疆乌鲁木齐 830001]

摘要:在三维地震资料解释的基础上,研究了雅克拉断凸断裂差异活动特征,探讨其控制因素。受控于白垩系厚层泥岩和新近系吉迪克组膏盐岩,雅克拉断裂构造的发育具有明显的分层性:下构造层发育大型的基底卷入型逆冲断裂,中构造层发育呈雁列式密集分布的张扭性断层,上构造层发育盖层滑脱型逆冲断层。自下而上断裂构造变形强度逐渐减弱。雅克拉断凸断裂构造的演化经历了晚古生代逆冲断裂发育阶段、中生代逆冲断裂复活调整阶段、新近纪早期张扭性断裂发育阶段、新近纪晚期滑脱型逆冲断裂发育阶段等4个关键阶段。晚古生代的断裂活动与北昆仑洋和南天山洋闭合引起的周缘地体与塔里木地块的碰撞拼合相关,中生代和新生代的断裂活动是印度欧亚板块碰撞的远程效应在塔里木盆地内的构造响应。

关键词:差异构造变形;断裂构造;雅克拉断凸;塔里木盆地

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

Differential deformation and its control mechanism of fault structures in Yakela fault-salient, Tarim Basin

Yang Yong^{1,2,3}, Tang Liangjie^{2,3}, Diao Xindong⁴, Xie Daqing⁴

[1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China*; 2. *State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China*; 3. *Basin & Reservoir Research Center, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China*; 4. *Northwest Oilfield Company, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830001, China*]

Abstract: Based on the interpretation of 3D seismic data, the differential deformation characteristics of faults in Yakela fault-salient were studied and the controlling factors were discussed. Controlled by the thick mudstone of the Cretaceous and gypsum rocks of the Jidike Formation, the development of different faults is observed in different vertical domains. Large basement involved thrust faults were developed in the lower structural section. Echelon-distributed extensional-shear faults were developed in the middle structural section. Capping-sliding faults were developed in the upper structural layers. The intensity of fault deformation gradually decreased from bottom to top. Formation of the faults experienced 4 critical stages: thrust faults development stage in late Paleozoic, thrust faults rejuvenation stage in Mesozoic, extensional-shear faults development stage in early Neogene and capping-sliding faults development stage in late Neogene. The late Paleozoic thrusting was largely related to the collision between the Tarim continental block and the peripheral terrains due to the closing of the North Kunlun Ocean at the end of the early Ordovician, followed by the closing of the South Tianshan Ocean at the end of Permian. The fault activities in Mesozoic and Cenozoic were the tectonic response of the far-field effect of the India-Eurasia collision.

Key words: differential structural deformation, fault structure, Yakela fault-salient, Tarim Basin

雅克拉断凸夹持在亚南断裂和轮台断裂之间,是塔里木盆地北部一个重要的油气富集区,目前已经发现了牙哈、轮台、雅克拉和大涝坝等一系列的油气田。

雅克拉断凸的形成演化经历了加里东、海西、印支-燕山、喜马拉雅等多期构造运动的影响,形成了复杂的断裂系统。目前,对雅克拉断凸断裂的研究主要集中在

收稿日期:2016-12-21;修订日期:2017-09-28。

第一作者简介:杨勇(1986—),男,助理研究员,构造地质学。E-mail:yy349971854@163.com。

基金项目:国家自然科学基金项目(41172125,41572105);中国地质调查局地质调查项目(1212011120099)。

中生代张扭性断裂上^[1-8],针对雅克拉断凸整体的断裂发育、分布及其差异变形的研究尚未得到充分重视。但是,雅克拉断凸断裂构造不仅控制了奥陶系碳酸盐岩储层的发育^[9-14]、中生界碎屑岩圈闭的形成^[6,15],其构造演化和构造变形等也对油气成藏起到了制约作用^[6,16-17],所以充分了解其断裂构造发育、分布及其差异变形特征对认识该区油气富集规律具有重要意义。

本文基于断裂构造解析方法,在三维地震资料精细解释的基础上,揭示了雅克拉断凸断裂分层、分期差异变形特征及其控制因素。

1 区域地质概况

雅克拉断凸位于塔里木盆地北部,断凸北以亚南断裂与库车前陆盆地隔开,南以轮台断裂与阿克库勒凸起和哈拉哈塘凹陷相邻,西接沙西凸起,东邻草湖凹陷,呈近东西向窄条状展布(图1)。由于紧邻满加尔坳陷和库车坳陷等塔里木盆地内重要的生烃坳陷,雅克拉断凸的油气资源及其丰富^[18-19],自1984年沙参在海相碳酸盐岩中取得重大油气突破以来,已发现多个大、中型油气田^[6,12-16,20]。

钻井与露头剖面揭示,受晚古生代以来多期构造的影响,雅克拉断凸处于构造高部位,古生界几乎被剥蚀殆尽,其南侧古生界发育较完整(图2)。印支期—

燕山期中生界由南北两侧向断凸高部位超覆沉积,至白垩系舒善河组沉积时断凸被全部覆盖(图3—图5)。新生代以来,雅克拉断凸逐渐沉降,其上覆盖巨厚的前陆碎屑沉积。雅克拉断凸及其周缘地区发育中—下寒武统膏盐岩、石炭系膏盐岩、中生界厚层泥岩、古近系库姆格列木组和新近系吉迪克组等多套滑脱层,对该区的构造变形起到了重要的控制作用。

2 断裂构造分层差异特征及其控制因素

三维地震资料的解释结果显示,雅克拉断凸的断裂构造在垂向上具有明显的分层发育特征,在古生界构造层、中生界—新近系吉迪克组(N_1j)、新近系康村组(N_1k)—第四系断裂性质、发育位置、剖面形态都具有明显的差异(图3—图5)。

2.1 古生界构造层断裂特征

古生界构造层是雅克拉断凸断裂构造发育、变形最强烈的主构造层。该构造层内发育轮台断裂和亚南断裂等大型逆冲断裂及相伴生的一系列次级逆冲断裂,这些断裂自基底向上断至前中生界顶面,断面呈现为上陡下缓的“铲式”。其中轮台断裂和亚南断裂活动强度最大,最大断距可达3 000 m,导致两者之间夹持的断凸之上古生界几乎被完全剥蚀(图3,图4),仅仅在雅克拉断凸西段残留有少量的下古生界碳酸盐岩(图5)。

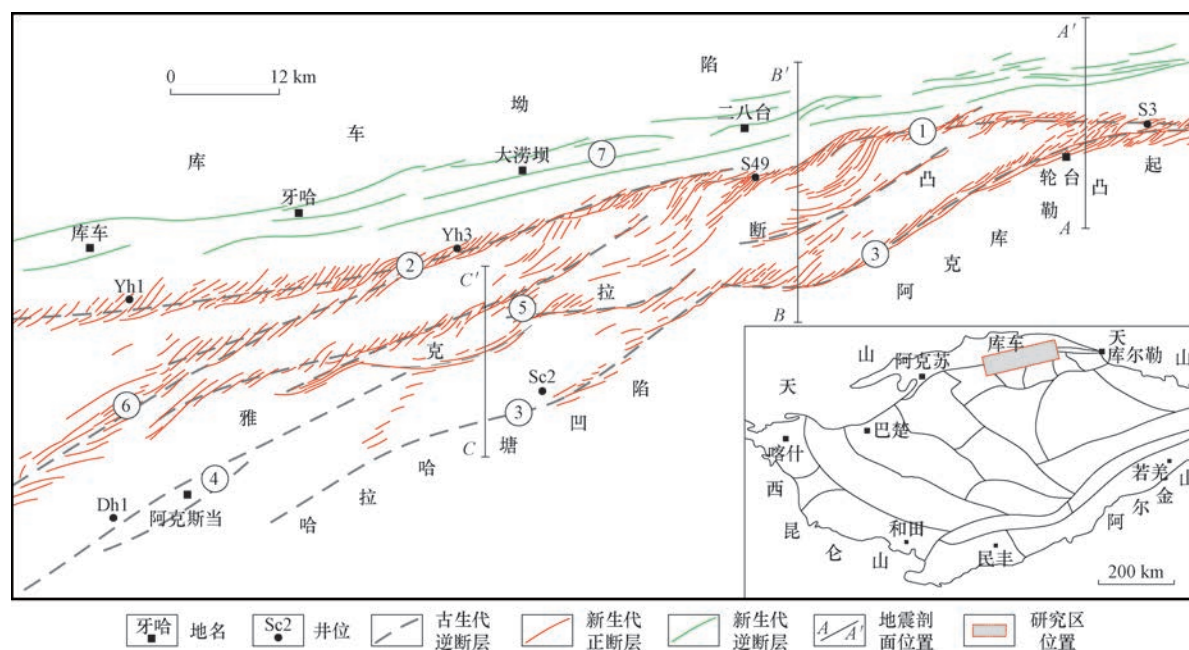


图1 塔里木盆地雅克拉断凸断裂分布

Fig. 1 Faults system distribution of the Yakela fault-salient

①二八台断裂;②亚南断裂;③沙雅—轮台断裂;④东河塘断裂;⑤哈拉库木断裂;⑥齐满东断裂;⑦亚肯断裂

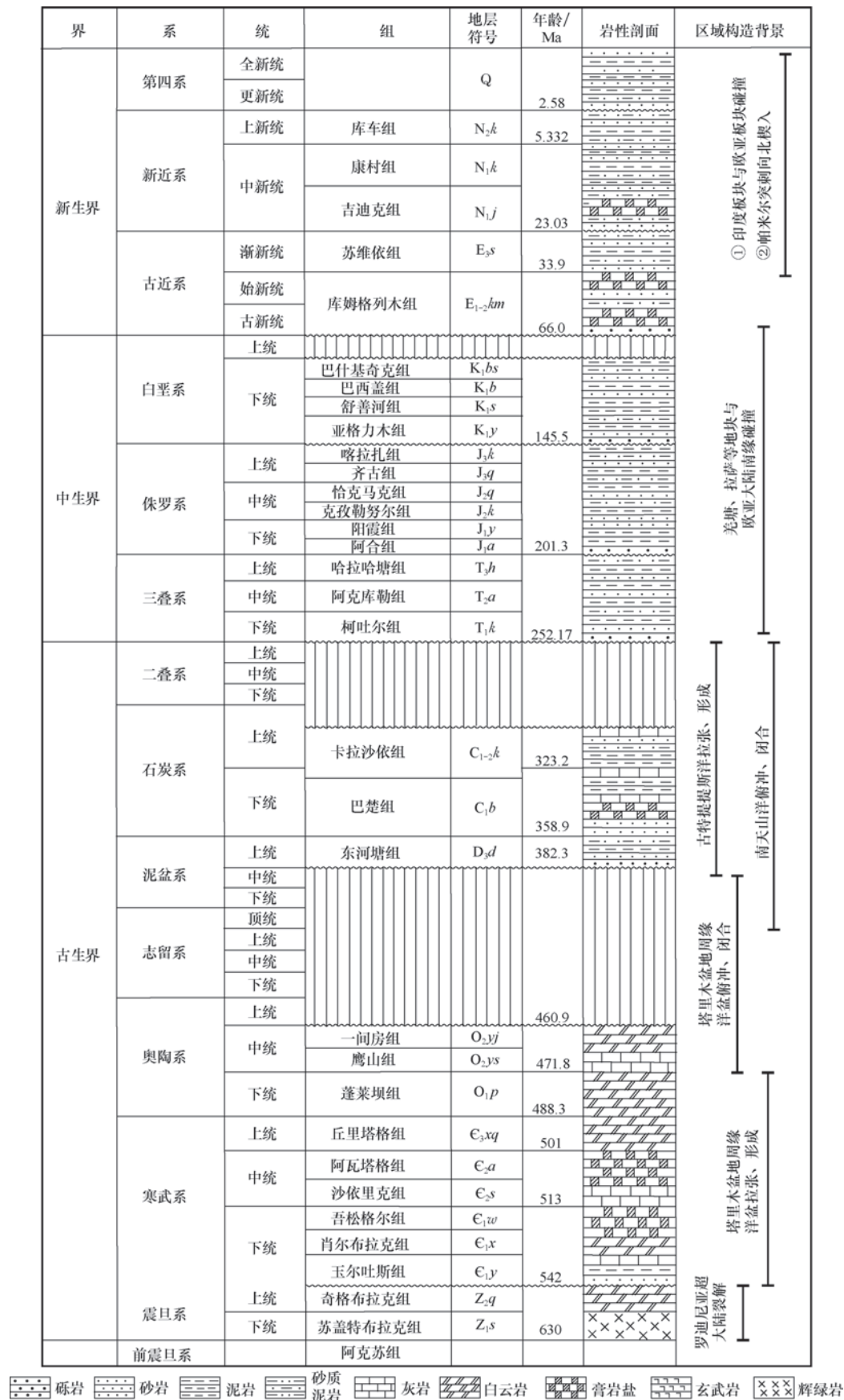


图 2 塔里木盆地雅克拉断凸及邻区地层柱状图

Fig. 2 Stratigraphic column of the Yakela fault-salient and its adjacent areas, the Tarim Basin

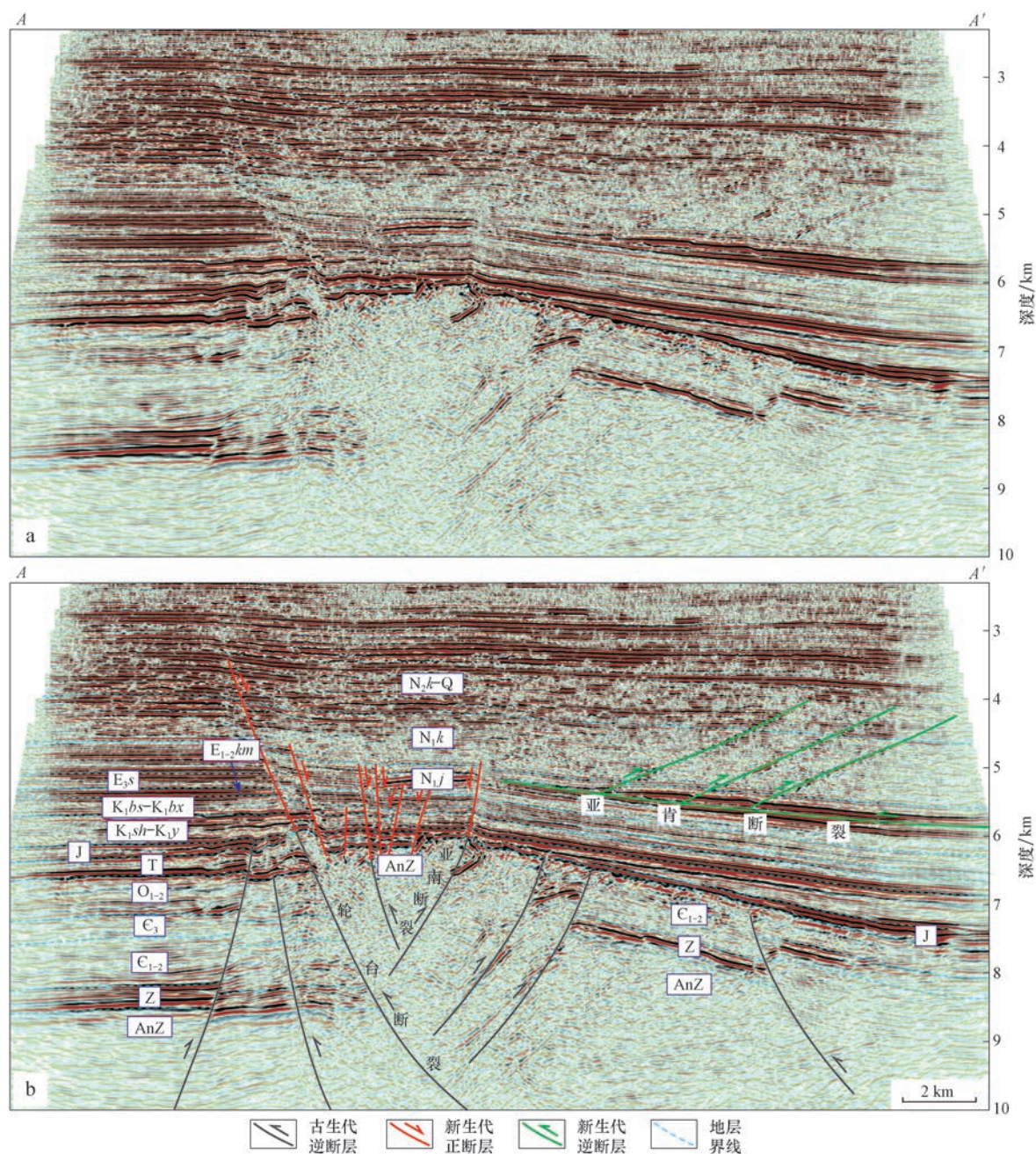


图3 雅克拉断凸东段三维地震剖面

Fig. 3 3-D seismic profiles of the eastern Yakela fault-salient

a. 原始三维地震剖面; b. 经解释的三维地震剖面

(剖面位置见图1, 地层符号说明见图2。)

2.2 中生界—新近系吉迪克组(N_1j)构造层断裂特征

该构造层内发育一系列的张扭性正断层。在地震剖面上可以看出, 这些正断层集中发育在雅克拉断凸顶部, 断距较小, 仅为数十米到一百多米, 控制了吉迪克组(N_1j)和康村组(N_1k)的沉积(图3—图5)。张扭性断裂数量多, 延伸距离短, 多条顺向阶状断层及反向断层组合在一起形成了复杂的网状地堑系统。绝大多数断裂向下断开中生界底面, 向上断入新近系吉迪克

组(N_1j), 仅轮台断裂上方发育的张扭性断层断入了康村组(N_1k)和库车组(N_2k)。这些正断层大多沿古生代逆冲断裂走向分布, 具有明显的雁行式展布的特征, 沿 NEE 向逆冲断裂展布的正断层具有“右阶”排列的特点, 沿 NE 向逆冲断裂展布的正断层具有“左阶”排列的特点(图1)。

2.3 新近系康村组(N_1k)—第四系构造层断裂特征

总的来看, 该构造层内断裂构造变形较弱, 仅在雅

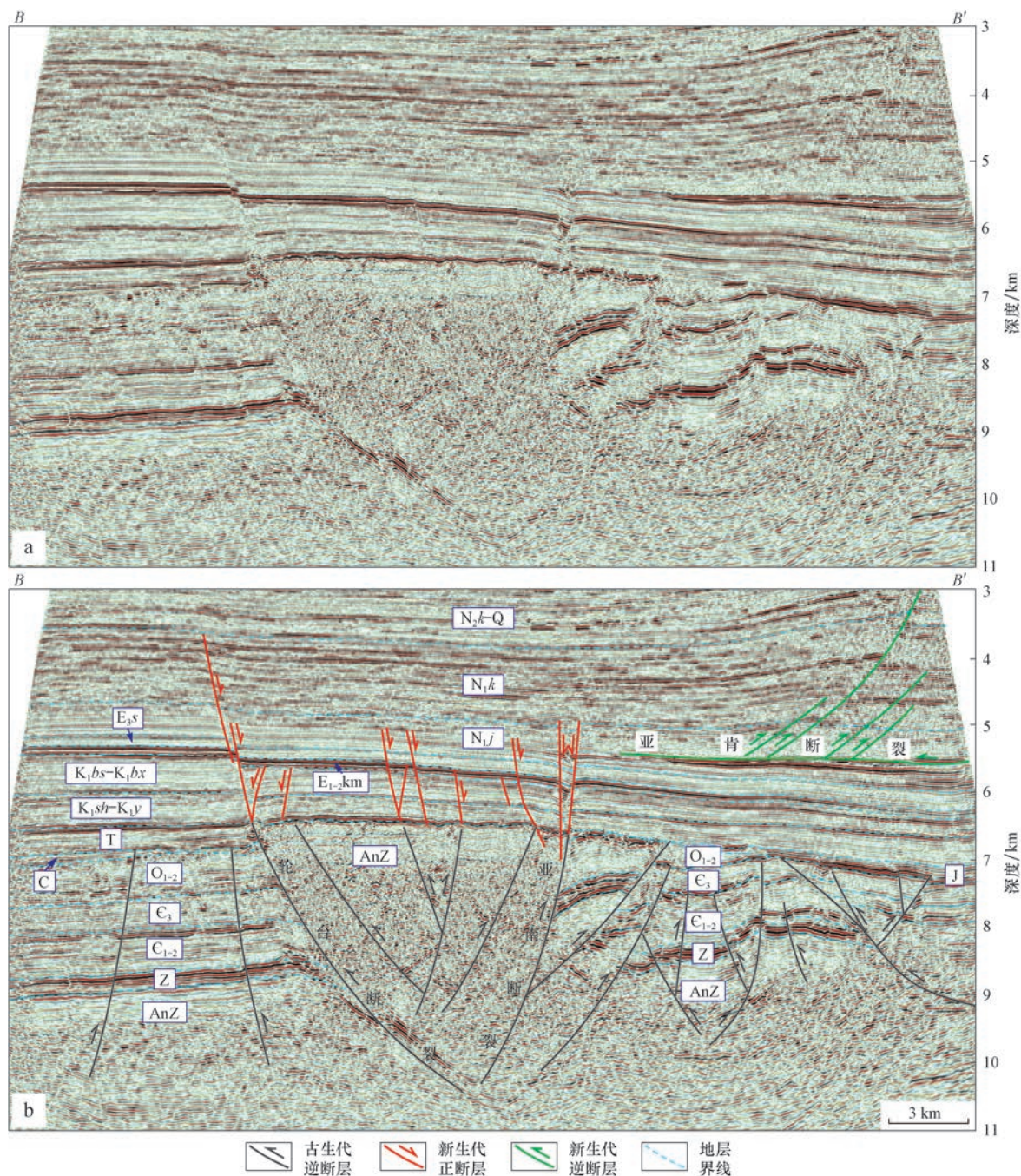


图4 雅克拉断凸中段三维地震剖面

Fig. 4 3-D seismic profiles of the central Yakela fault-salient

a. 原始三维地震剖面; b. 经解释的三维地震剖面

(剖面位置见图1, 地层符号说明见图2。)

克拉断凸北侧发育一些滑脱型逆冲断层,主断裂沿吉迪克组(N_1j)膏盐岩层滑脱,同时主断裂上方发育反向次级断裂,这些次级断裂向下终止与主断裂,向上断入第四系,并造成第四系发生微弱的褶皱变形(图3,图4)。

塔里木盆地北部发育中-下寒武统膏盐岩^[21-23]、石炭系膏盐岩^[23]、中生界厚层泥岩^[24]、古近系库姆格列木组^[24-25]和新近系吉迪克组膏盐岩等多套滑脱层。

根据雅克拉断凸断裂的分层发育特征,白垩系厚层泥岩和新近系吉迪克组(N_1j)膏盐岩两套区域滑脱层是造成该区断裂分层发育的重要因素。沿古生界逆冲断层的左旋扭动是造成中生界-新近系吉迪克组(N_1j)内部张扭性断层发育的重要原因,因为白垩系厚层泥岩的存在,上覆地层才没有被直接改造,而是受到了左旋应力的间接影响,形成了一系列雁列式展布的张扭性正断层。而后,在南天山褶皱冲断带向盆地内强烈逆冲

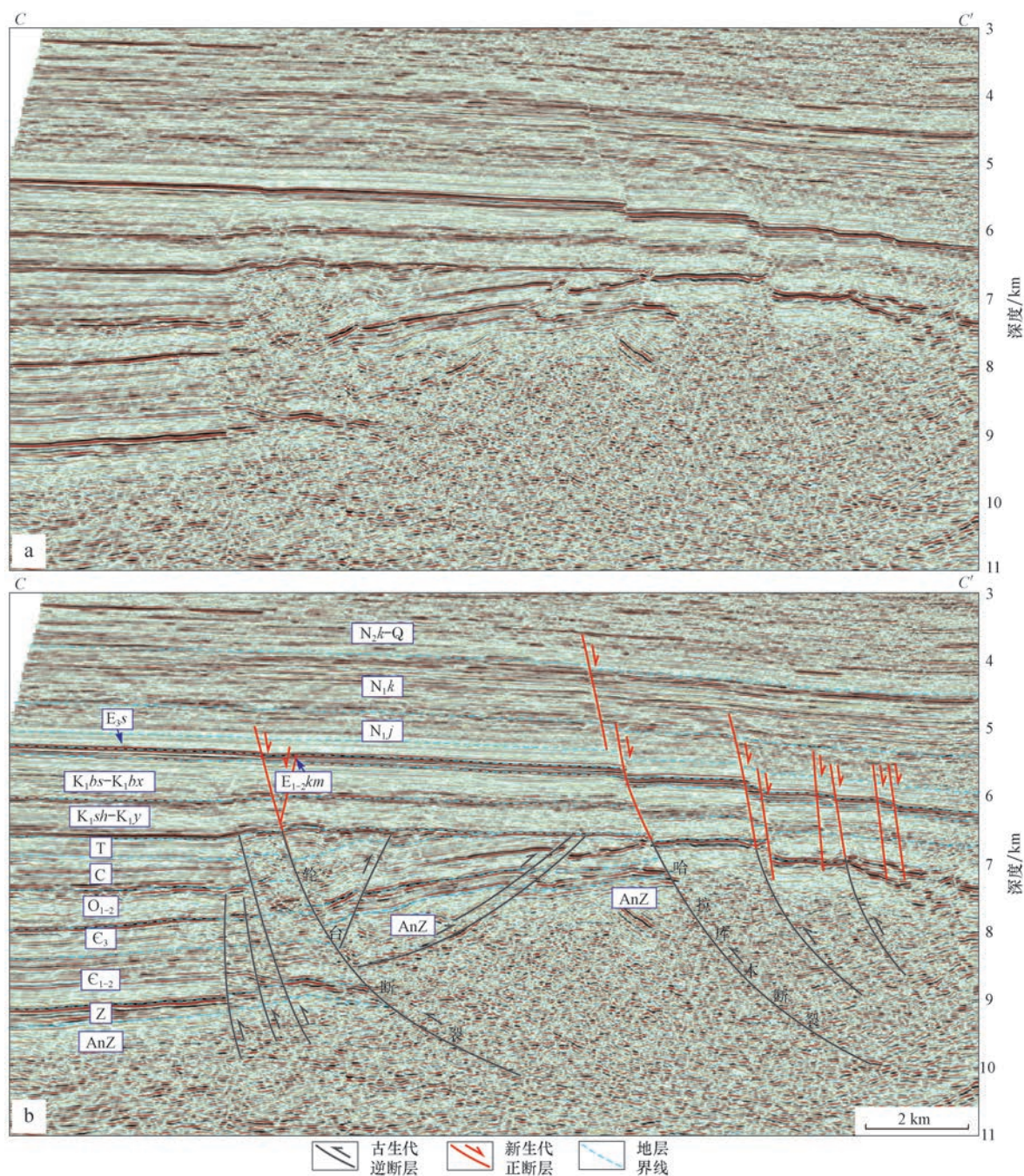


图5 雅克拉断凸西段三维地震剖面

Fig.5 3-D seismic profiles of the western Yakela fault-salient

a. 原始三维地震剖面; b. 经解释的三维地震剖面

(剖面位置见图1, 地层符号说明见图2。)

推覆的时候,由于吉迪克组(N_1j)膏盐岩的存在,在雅克拉断凸北侧形成了一系列在膏盐岩层中滑脱的逆冲断层,盐上层序的断裂和褶皱变形吸收了挤压位移量,导致这期构造变形几乎没有影响到盐下的张扭性构造。

3 断裂构造分期差异特征及其成因

根据地震剖面上断裂断开层位和控制地层沉积等

特征,可以确定雅克拉地区发育4期断裂构造:①晚古生代逆冲断裂,在地震剖面上表现为向下断入基底,向上断至前中生界顶面,控制古生界分布;②中生代逆冲断层,在地震剖面上表现为晚古生代逆冲断层的复活,控制了断裂两盘白垩系厚度的差异,在研究区最典型的实例就是轮台断裂,另外也存在有少量断入并影响三叠系的逆冲断层;③新近纪早期张扭性断裂,错断白垩系一新近系吉迪克组(N_1j)、康村组(N_1k),并控制

了吉迪克组(N_1j)、康村组(N_2k)沉积;④新近纪晚期—第四纪滑脱型逆冲断裂,主断裂近水平发育,并在吉迪克组(N_1j)膏盐岩层中滑脱,伴生的反向断层切入第四系。

3.1 晚古生代逆冲断层成因

塔里木盆地古生代的构造变形主要受周缘洋盆俯冲闭合及随后的板块碰撞等构造事件的控制。从早奥陶世末期开始,盆地南缘的北昆仑洋和阿尔金洋开始俯冲并最终于早志留世末关闭,中昆仑、阿尔金等地体先后与塔里木地块发生碰撞。受此产生的由南向北的挤压应力的控制,塔北地区发生褶皱隆升、剥蚀,并一直持续到中泥盆世^[26]。由于雅克拉断凸及其周缘地区整体缺失上奥陶统一中泥盆统,导致无法判断雅克拉断凸早古生代断裂构造发育程度,但是根据上奥陶统剥蚀强度和志留系—中泥盆统超覆沉积等特点判断塔北隆起早古生代活动很强,因此处于隆起核部的雅克拉断凸断裂构造已初具规模。从晚泥盆世开始,塔北隆起逐渐沉降,并被上泥盆统一石炭系逐渐覆盖。二叠纪晚期,塔里木盆地北缘的南天山洋盆最终闭合,伊犁—中天山地体与塔里木地块北缘发生碰撞,由此产生的由北向南的挤压应力是雅克拉断凸及周缘逆冲断裂系复活并发生强烈活动的动力来源^[27-28]。强烈的挤压应力导致雅克拉断凸早古生代已经初具雏形的逆冲断裂发生复活并强烈活动,两侧的轮台断裂和亚南断裂形成了数千米的断距,造成断凸上古生界几乎被剥蚀殆尽,与此同时在断凸两侧也形成了一系列的次级逆冲断层(图6a)。

3.2 中生代逆冲断层复活成因

晚三叠世,羌塘地块与古亚洲大陆南缘的碰撞事件之后,塔里木盆地进入了构造平静期,虽然也发生了几次小规模伸展聚敛旋回,但是整体以区域弱伸展环境为主。由于全盆地的准平原化作用,雅克拉断凸逐渐沉降,三叠系、侏罗系开始由南北两侧向断凸高部位超覆沉积,至白垩系舒善河组沉积时断凸被全部覆盖(图6b)。整个中生代,雅克拉断凸的断裂活动进入调整期,仅有轮台断裂在早白垩世晚期—晚白垩世发生了复活^[28],活动较弱,仅仅造成了上盘白垩系厚度比下盘薄200~300 m(图3,图4)。轮台断裂的复活与欧亚大陆南缘(例如江孜岛弧)的碰撞有关^[29],也正是这一期构造事件造成了上白垩统在塔里木盆地普遍缺失。

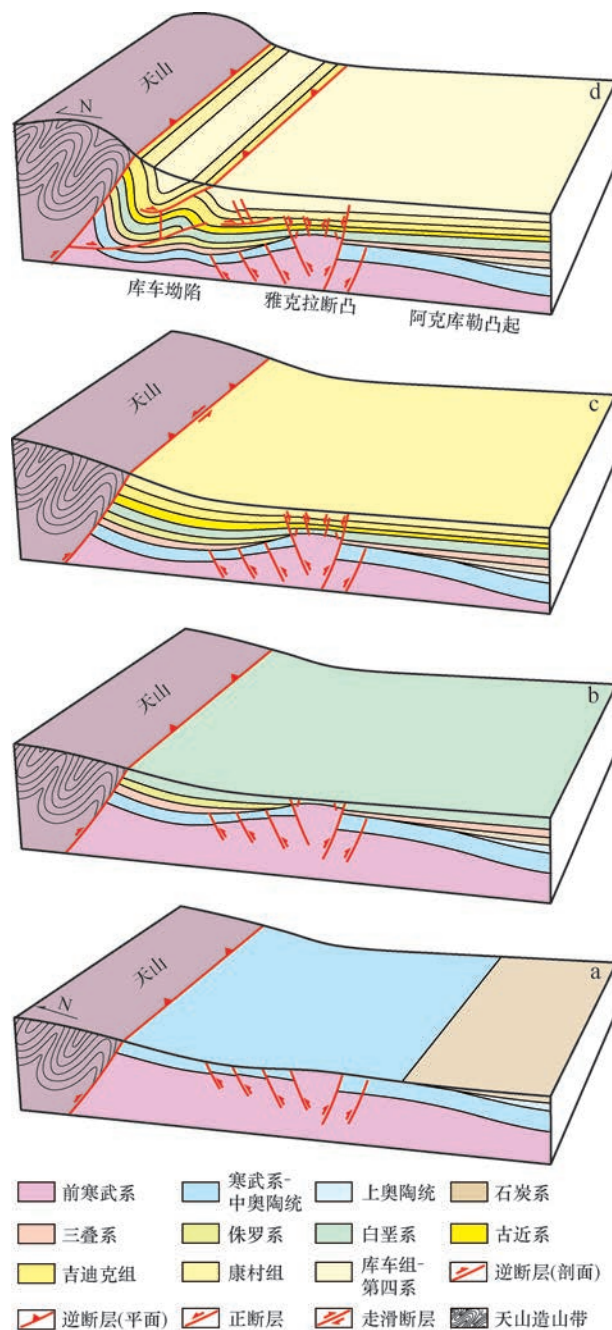


图6 雅克拉断凸断裂分期差异活动模式

Fig. 6 Model of multi-phase differential fault activities in Yakela fault-salient

a. 晚古生代末; b. 中生代晚期; c. 新近纪早期; d. 现今

3.3 新近纪早期张扭断层成因

古近系晚期,印度板块与欧亚板块碰撞的远程效应逐渐影响到塔里木盆地。塔里木盆地内古近系与新近系之间的不整合代表了远程效应到达塔里木盆地的时间。从中新世早期开始,帕米尔突刺向北楔入的进程逐渐影响到塔里木盆地北缘,受帕米尔突刺斜向推挤的影响,塔里木盆地北缘的NE向或近东西向展布

的断裂发生明显的左旋走滑。

在雅克拉断凸两侧,先存的轮台和亚南断裂也发生了明显的左旋走滑,势必将造成上覆的地层内部也发生相应的构造变形。由于中生界厚层泥岩的存在,基底走滑断裂并没有直接向上延伸,走滑变形分量通过厚层泥岩向上传递,在中生界一新近系吉迪克组内形成了一系列的雁列式正断层(图6c)。

3.4 新近纪晚期滑脱型逆冲断层成因

新近纪晚期,天山褶皱带强烈隆升并向塔里木盆地内部逆冲推覆,受由此产生的挤压应力的影响,南天山山前及库车坳陷变形强烈,库车前陆区形成了一系列向南逆冲、向北倾的逆冲断裂;至库车组沉积晚期,挤压冲断变形向南传递至沙雅隆起,强烈的挤压作用导致雅克拉断凸北侧形成了在新近系吉迪克组(N_1j)膏盐岩层中滑脱的逆冲断层,主断裂上方发育反向次级断裂,这些次级断裂向下终止于主断裂,向断入第四系,并造成第四系发生微弱的褶皱变形(图6d)。由于盐上层序的断裂和褶皱变形吸收了挤压位移量,导致这期构造变形几乎没有影响到盐下的张扭性断层,使其得以保存下来。

4 结论

1) 受控于白垩系厚层泥岩和新近系吉迪克组膏盐岩,雅克拉断裂构造的发育具有明显的分层性:古生界内部主要发育基底卷入型逆冲断层,断裂规模大,控制了雅克拉断凸的基本构造格局;中生界-新近系康村组内部发育一系列的张扭性正断层,数量多,平面上沿逆冲断裂走向呈雁列式密集分布;新近系康村组-第四系发育在新近系吉迪克组膏盐岩层中滑脱的逆冲断层。

2) 雅克拉断凸的断裂活动具有明显的分期性,在雅克拉断凸识别出4期断裂,分别是晚古生代逆冲断层、晚中生代逆冲断层、新近纪早期张扭断层和新近纪晚期滑脱型逆冲断层。

参 考 文 献

- [1] 刘学锋,时卫东,彭德堂,等. 塔北隆起张性构造带形成机制与油气关系[J]. 新疆石油地质,1997,18(1):13-17.
- Liu Xuefeng, Shi Weidong, Peng Detang, et al. Forming mechanism tensional tectonics belt and the relation with hydrocarbon in Tabei uplift[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1997, 18(1): 13-17.
- [2] 陈楚铭,卢华复,王国强,等. 塔里木盆地塔北隆起叠加构造分析[J]. 高校地质学报,1998,4(3):294-302.

- Chen Chuming, Lu Huaifu, Wang Guoqiang, et al. Analyses of super-imposed structures in the north Tarim uplift, Tarim Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 1998, 4(3): 294-302.
- [3] 杨春林,吴奇之,夏义平. 塔里木盆地北部隆起中、新生界张扭断裂系统成因及其油气聚集的作用[J]. 石油地球物理勘探, 2000, 35(4): 461-468.
- Yang Chunlin, Wu Qizhi, Xia Yiping. The origin of Mesozoic-Cenozoic extension torsional fault system in the north positive element in the Tarim Basin, and its role in accumulating oil and gas[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2000, 35(4): 461-468.
- [4] 魏国齐,贾承造,施央申,等. 塔北隆起北部中生界张扭性断裂系统特征[J]. 石油学报, 2001, 22(1): 19-24.
- Wei Guoqi, Jia Chengzao, Shi Yangshen, et al. Tectonic characteristics and petroleum accumulation in extensional-shear fault system in Mesozoic-Cenozoic formations in the northern area of Tabei uplift, Tarim[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(1): 19-24.
- [5] 崔泽宏,王志欣,汤良杰,等. 塔北隆起北部正断层的成因机制及地质意义[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2006, 21(1): 1-6.
- Cui Zehong, Wang Zhixin, Tang Liangjie, et al. Genetic mechanism and geological significance of normal faults in northern Tarim uplift[J]. Journal of Xian Shiyou University (Natural Science Edition), 2006, 21(1): 1-6.
- [6] 杨圣彬,刘忠宝,耿新霞. 雅克拉断凸张扭断裂构造特征与油气运聚关系[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2013, 49(2): 269-275.
- Yang Shengbin, Liu Zhongbao, Geng Xinxia, et al. Relationship between gas accumulation and structural characteristics of extensional-shear fault system in Yakela fault block[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2013, 49(2): 269-275.
- [7] 罗小龙,汤良杰,谢大庆,等. 塔里木盆地雅克拉断凸走滑作用及其形成机理[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(2): 257-263.
- Luo Xiaolong, Tang Liangjie, Xie Daqing, et al. Strike-slip movement and its genetic mechanism in Yakela faulted salient, the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(2): 257-263.
- [8] Li Yuejun, Zhao Yan, Sun Longde, et al. Meso-Cenozoic extensional structures in the Northern Tarim Basin, NW China[J]. International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch), 2013, 102: 1029-1043.
- [9] 艾华国,兰林英,王筠,等. 塔里木盆地雅克拉断凸前中生界不整合面之下奥陶统白云岩储层特征[J]. 地质学报, 1999, 73(4): 342-349.
- Ai Huaguo, Lan Linying, Wang Jun, et al. The reservoir characteristics of Lower Ordovician dolomites below pre-Mesozoic unconformity in Yakela fault-convex, Tarim Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 1999, 73(4): 342-349.
- [10] 王梅岭,赵敖山,吕媛娥. 新疆塔里木盆地沙雅隆起雅克拉断凸储层特征[J]. 石油实验地质, 1999, 21(4): 311-315.
- Wang Meiling, Zhao Aoshan, Lv Yuane. Reservoir characteristics of Yakela block in the northern Tarim Basin[J]. Experimental Petroleum Geology, 1999, 21(4): 311-315.
- [11] 吕修祥,周新源,李建交,等. 塔里木盆地塔北隆起碳酸盐岩油气成藏特点[J]. 地质学报, 2007, 81(8): 1057-1064.
- Lv Xiuxiang, Zhou Xinyuan, Li Jianjiao, et al. Hydrocarbon accumula-

- tion characteristics of the carbonate rock in the northern uplift of the Tarim Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(8): 1057–1064.
- [12] 代寒松,赵锡奎,刘树根,等.塔里木盆地雅克拉断凸前中生界潜山构造与油气成藏[J]. *新疆石油地质*, 2009, 30(1): 17–20.
- Dai Hansong, Zhao Xikui, Liu Shugen, et al. The buried hill structure and oil-gas accumulation of pre-Mesozoic in Yakela fault bulge, Tarim Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2009, 30(1): 17–20.
- [13] 罗小龙,汤良杰,谢大庆,等.塔里木盆地雅克拉断凸中生界底界不整合及其油气勘探意义[J]. *石油与天然气地质*, 2012, 34(2): 257–263.
- Luo Xiaolong, Tang Liangjie, Xie Daqing, et al. Mesozoic bottom boundary unconformity and its significance for hydrocarbon exploration in the Yakela faulted uplift, Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2013, 33(1): 30–36.
- [14] 费剑炜,杨红彩,周芳芳,等.塔里木盆地雅克拉断凸及周缘前中生界白云岩储层成因与勘探潜力[J]. *石油实验地质*, 2015, 37(3): 286–292.
- Fei Jianwei, Yang Hongcai, Zhou Fangfang, et al. Genetic types and exploration potential of pre-Mesozoic dolomite reservoirs in Yakela fault arch and its surrounding areas, Tarim Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2015, 37(3): 286–292.
- [15] 王月蕾,陈红汉,张希明,等.塔里木盆地雅克拉断凸白垩系—古近系油气成藏过程[J]. *地质勘探*, 2011, 31(5): 49–54.
- Wang Yuelei, Chen Honghan, Zhang Ximing, et al. Process of hydrocarbon pooling in the Cretaceous and Paleogene of Yakela faulted uplift, Tarim Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 31(5): 49–54.
- [16] 安海亭,李海银,王建忠,等.塔北地区构造和演化特征及其对油气成藏的控制[J]. *大地构造与成矿学*, 2009, 33(1): 142–147.
- An Haiting, Li Haiyin, Wang Jianzhong, et al. Tectonic evolution and its controlling on oil and gas accumulation in the northern Tarim Basin[J]. *Geotectonica Et Metagenesis*, 2009, 33(1): 142–147.
- [17] 谢大庆,郑孟林,蒋华山,等.塔里木盆地沙雅隆起形成演化与油气分布规律[J]. *大地构造与成矿学*, 2013, 37(3): 398–409.
- Xie Daqing, Zheng Menglin, Jiang Huashan, et al. Formation and evolution of the Shaya Uplift and constraints on oil and gas distribution in the Tarim Basin[J]. *Geotectonica Et Metagenesis*, 2013, 37(3): 398–409.
- [18] Lv Xiuxiang, Li Jianjiao, Zhao Fengyun, et al. North-south differentiation of the hydrocarbon accumulation pattern of carbonate reservoirs in the Yingmaili low uplift, Tarim Basin, Northwest China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(3): 499–508.
- [19] 耿玉海,李江海,贺电.塔里木盆地塔北隆起西部圈闭类型、分布及空间组合规律[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2008, 44(2): 193–200.
- Geng Yuhai, Li Jianghai, He Dian, et al. Trap types, distribution and the law of spatial combination in the west Tabei Uplift, Tarim Basin[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2008, 44(2): 193–200.
- [20] 于慧玲.天山南地区构造样式和演化特征分析[J]. *石油物探*, 2008, 47(3): 277–284.
- Yu Huiling. Analysis of structural patterns and evolution characteristics in south Tianshan area[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2008, 47(3): 277–284.
- [21] 张朝军,王长勋,罗秀羽,等.塔里木盆地英买力凸起南部寒武系褶皱的地质属性及其油气成藏条件分析[J]. *地学前缘*, 2008, 15(5): 349–356.
- Zhang Chaojun, Wang Changxun, Luo Xiuyu, et al. Geological attributes and conditions of hydrocarbon accumulation of Cambrian folds in the southern Yingmaili swell, Tarim Basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(5): 349–356.
- [22] 赵星,李江海,程海艳.塔北西部英买力地区英买2工区古生界盐构造样式研究[J]. *高校地质学报*, 2009, 15(1): 115–125.
- Zhao Xing, Li Jianghai, Cheng Haiyan. Paleozoic salt structure styles of Yingmai 2 work district in Yingmaili area, western Tabei Uplift[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2009, 15(1): 115–125.
- [23] 金之钧,周雁,云金表,等.我国海相地层膏盐岩盖层分布与近期油气勘探方向[J]. *石油与天然气地质*, 2010, 31(6): 715–724.
- Jin Zhijun, Zhou Yan, Yun Jinbiao, et al. Distribution of gypsum-salt cap rocks and near-term hydrocarbon exploration targets in the marine sequences of China[J]. *Oil & Gas Geology*, 2010, 31(6): 715–724.
- [24] 文磊,杨海军,李曰俊,等.天山南麓库车晚新生代褶皱—冲断带[J]. *岩石学报*, 2016, 32(3): 847–855.
- Wen Lei, Yang Haijun, Li Yuejun, et al. Kuqa Late Cenozoic fold-thrust belt in the southern flank of Tianshan Mountains[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 32(3): 847–855.
- [25] Yu Yixin, Tang Liangjie, Yang Wenjing, et al. Salt structures and hydrocarbon accumulations in the Tarim basin, northwest China[J]. *AAPG Bulletin*, 2014, 98(1): 135–159.
- [26] He Dengfa, Zhou Xinyuan, Zhang Chaojun, et al. Ordovician prototype basins and its evolution in Tarim Area[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(Supp. 1): 164–177.
- [27] 何登发,孙方原,何金有,等.温宿北—野云沟断裂的构造几何学与运动学特征及塔北隆起的成因机制[J]. *中国地质*, 2011, 38(4): 917–934.
- He Dengfa, Sun Fangyuan, He Jinyou, et al. Geometry and kinematics of Wensubei-Yeyungou fault and its implication for the genetic mechanism of North Tarim uplift[J]. *Geology in China*, 2011, 38(4): 917–934.
- [28] 焦方正.塔里木盆地顺托果勒地区北东向走滑断裂带的油气勘探意义[J]. *石油与天然气地质*, 2017, 38(5): 831–839.
- Jiao Fangzheng. Significance of oil and gas exploration in NE strike-slip fault belts in Shuntuoguole area of Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2017, 38(5): 831–839.
- [29] Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen[J]. *Annual Review of Earth & Planetary Sciences*, 2000, 28(28): 211–280.