

吐哈盆地台北凹陷中部地区喀拉扎组一段震积岩的发现及其地质意义

唐文斌^{1,2},徐胜林²,陈洪德²,陈安清²,梁杰³,肖冬生³

(1. 北京大学 地球与空间科学学院 石油与天然气研究中心, 北京 100871; 2. 成都理工大学 沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 3. 中国石油 吐哈油田公司 勘探开发研究院, 新疆 哈密 839009)

摘要:吐哈盆地是具有双重基底与前陆结构的多旋回复合盆地。晚侏罗世的燕山运动控制和影响着喀拉扎组的沉积作用。通过20余口钻井的岩心观察,首次在胜北-红连地区上侏罗统喀拉扎组一段中识别出多种地震成因的软沉积物变形构造,包括液化作用成因的砂岩脉(墙)、液化角砾岩、液化卷曲变形、球-枕构造、液化均一层和负载构造;水塑性变形成因的纹层卷曲变形、丘-槽构造、环形层和振动滑塌;脆性变形成因的震积角砾岩、阶梯状微断层和“V”字型地裂缝。依据仅在喀拉扎组一段中识别的震积岩变形特征,建立了震积岩垂向序列,表明研究区在喀拉扎组一段沉积期,受频繁而强烈地震事件的影响。详细对比了震积岩在各口钻井中的时空分布规律,地震强度从北部山前带的胜北地区到南缘的红连地区有减弱的趋势,表明古地震的震源来自博格达造山带。Dickinson三角投点图也显示喀拉扎组一段砂岩的物源主要来自北部的博格达山造山带。震积岩的大量发育表明,燕山运动Ⅱ幕导致博格达山于晚侏罗世喀拉扎组一段沉积期发生了剧烈的构造隆升,该地区的发现的大量震积岩是盆-山关系的特殊沉积响应。

关键词:震积岩;燕山运动;喀拉扎组;晚侏罗纪;博格达山;台北凹陷;吐哈盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Discovery of seismites in the first member of the Kelaza Formation in central Taipei Sag of Tuha Basin and its geological significance

Tang Wenbin^{1,2}, Xu Shenglin², Chen Hongde², Chen Anqing², Liang Jie³, Xiao Dongsheng³

(1. Institute of Oil & Gas, School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;

3. Institute of Petroleum Exploration and Production, PetroChina Tuha Oilfield Company, Hami, Xinjiang 839009, China)

Abstract: Tuha Basin is a polycyclic composite basin with dual base and foreland structures. The Yanshan movement during the Late Jurassic controlled and affected the sedimentation of the Kelaza Formation in the basin. Based on observations of cores from more than 20 wells drilled in the Formation, we recognized for the first time some deformed structures of soft sediments originated from seismicity, including sandstone veins (dikes), liquefied breccias, liquefied crinkling deformation, ball-pillow shaped structures, liquefied homogeneous layers and load structures of liquefaction origin; lamellar crinkling deformation, mound-trough structures, annular layers and vibration collapse structures of hydroplastic deformation origin; and seismite breccias, echelonment micro-faults and V-shaped ground fractures of brittle deformation origin. A vertical succession of seismites was established based on the deformation features of seismites recognized in the first member of the Formation. It indicates frequent and intensive seismic activities during the formation of the member. By comparing the spatial and temporal distributions of seismites, we found that the intensity of seismic activities weakened along the Shengbei area at the northern foreland to the Honglian area at the southern margin of the basin, indicating the Bogeda orogenic belt being the earthquake source. A Dickinson triangle chart also revealed that the belt was the provenance of the sandstone in the first member. The widely-distributed seismites (a special sedimentary response between basins and mountains) in the member also indicated that the Bogeda Mountain was strongly uplifted during the sedimentation of the

收稿日期:2015-10-07;修订日期:2017-02-15。

第一作者简介:唐文斌(1990—),男,博士研究生,石油地质学。E-mail: tangwenbin100@163.com。

通讯作者简介:徐胜林(1981—),男,副教授,沉积学。E-mail: xusheng218@163.com。

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(41602107);成都理工大学中青年骨干教师培养计划项目(JXGG201537, JXGG201538)。

first member in the Later Jurassic due to the second phase of the Yanshan movement.

Key words: seismite, Yanshan movement, Kelazha Formation, Late Jurassic, Bogeda Mountain, Taibei Sag, Tuha Basin

20 世纪 60 年代, Seilacher^[1] 在研究美国加州中新统蒙特里页岩的粒序断层时, 自上而下划分为 4 个带: 液化带、角砾带、破裂带及未变形带, 首次提出了“震积岩”这个术语以表达与地震有关的事件沉积。此后, 众多学者在该领域开展了大量工作。学者们对比了现代地震和古地震成因的沉积物之后, 提出了臼齿状构造 (molar tooth)、碎屑卷曲变形、液化均一层、液化脉、阶梯状微断裂、球-枕构造、“V”字型地裂缝和负载构造等多种震积岩的识别标志, 震积岩的识别标志日趋完善^[2-13]。

本文首次在吐哈盆地台北凹陷胜北-红连地区上侏罗统喀拉扎组一段的钻井岩心中发现了大量软沉积物变形构造, 认为是震积岩的典型特征。古地震证据的识别不仅丰富了吐哈盆地震积岩的研究内容, 而且对于研究吐哈盆地台北凹陷晚侏罗世燕山运动 II 幕构造运动具有重要意义。

1 区域地质背景

吐哈盆地具有双重基底 (前寒武系结晶基底和古生代褶皱基底)、前陆结构, 是一个多期叠置的多旋回复合含油气盆地^[14]。吐哈盆地早、中侏罗世为伸展构造环境, 西山窑组沉积晚期是燕山运动 I 幕的活动阶段, 表现为盆地性质转换为挤压环境^[15]。肖冬生等报道晚侏罗世燕山运动 II 幕以博格达山的隆升逆冲为特征, 表现为上侏罗统齐古组-喀拉扎组是总体向上变粗的反旋回碎屑沉积, 具有逐步退覆、递进式削截和砂

岩成分成熟度、CIA 指数较低的特征^[16,17]。胜北-红连地区喀拉扎组一段古地震的研究, 表明博格达山在晚侏罗世快速的构造隆升。

台北凹陷是吐鲁番坳陷一个重要构造单元, 北邻博格达山, 南缘觉罗塔克山, 现今构造格局大都形成于晚燕山-喜马拉雅运动时期前陆冲断过程中^[18-20]。胜北-红连地区位于台北凹陷中部, 火焰山北缘, 包括胜北、红连为两个二级构造带, 面积 1 500 km²。胜北构造带是近东西走向“洼中隆”, 红连构造带位于胜北洼陷的东南斜坡 (图 1)。

侏罗系是吐哈盆地内发育最全、分布最广的一套河流、湖泊、沼泽相沉积盖层^[21]。上侏罗统齐古组、喀拉扎组在胜北洼陷保存最完整, 研究区喀拉扎组一段平均厚度约 170 m, 主要发育辫状河三角洲前缘亚相, 以细砂岩、粉砂岩为主, 夹少量泥岩和砾岩^[22]。

2 古地震记录特征

地震诱发的软沉积物变形 (震积岩), 在地层中不协调出现, 在特殊情况下不遵循瓦尔特相律。不同学者用于描述震积岩的术语存在各抒己见的问题, 本文参照《中国沉积学》^[23] 中震积岩的分类原则, 震积岩的主要类型有软沉积物液化变形、软沉积物塑性变形、硬岩石及弱固结沉积物脆性变形和硬岩石及松散层重力异地堆积。通过详细观察分布在胜北、红南和连木沁地区 20 口钻井取自喀拉扎组的钻井岩心, 识别出液化脉、液化角砾、液化卷曲变形、球-枕状构造、液化均一

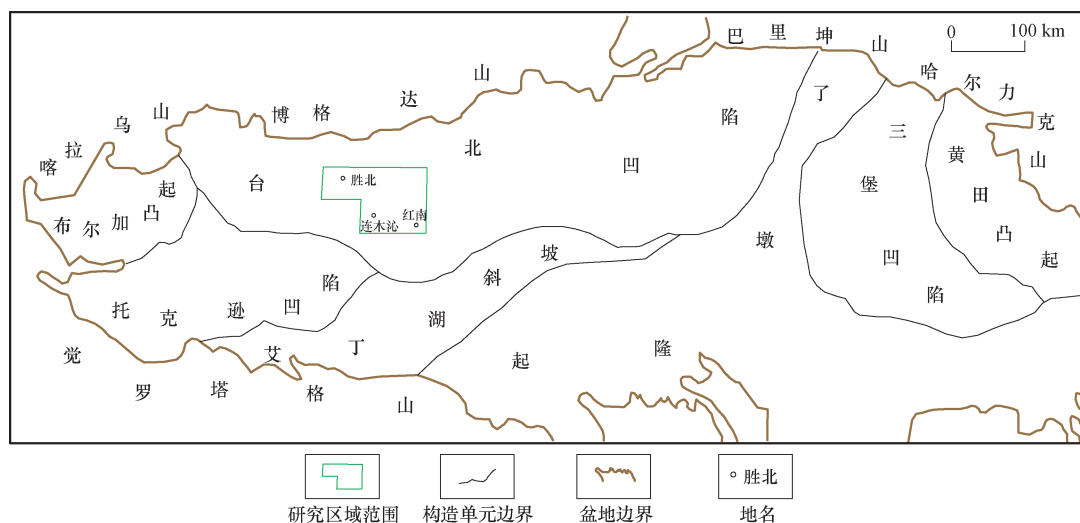


图 1 吐哈盆地台北凹陷构造位置

Fig. 1 Location of the study area in the Taibei Sag of Tuha Basin

层、负载构造、纹层卷曲变形、阶梯状微断层、“V”型震裂缝和震裂角砾等变形构造。本文结合前人识别震积岩的研究成果,从形成机理和形态特征方面进行详细描述^[24]。

2.1 软沉积物液化变形

2.1.1 液化脉和泄水构造

液化脉和泄水构造都是由地震-断裂作用引发软沉积物液化泄水的结果^[25]。液化脉是因为地震引起的剪切力由砂泥骨架转移到孔隙水中,孔隙水超压导致砂泥层发生液化作用,砂层侵入上覆或下伏岩层中,形成液化脉(墙)^[26]。胜北8井中液化泄水过程中发育的砂质岩脉(墙)状构造(图2a),呈复杂的几何形态,不规则的延伸弯曲,没有定向性。

2.1.2 液化角砾岩

液化角砾岩是一种原地形成的角砾岩,由液化作用刺穿上覆未液化岩层,粒径大小差别巨大,没有分选性;宏观特征是角砾岩层夹于正常沉积岩层中,以正常岩层和液化角砾岩层互层形式出现。研究区发育大量液化泥岩角砾,砂岩液化刺穿泥岩,泥岩角砾极不规则,由于没有完全固结,边缘有挤压变形的痕迹,层内角砾岩具有可拼性,表明液化角砾的位移不大,近于原地或准原地沉积。台参2井中可见明显的液化泥砾,泥砾中包裹砂球,是典型的震积液化角砾岩(图2b)。

2.1.3 液化卷曲变形

液化卷曲变形的形成机制争议较大,Plaziat^[27]认为是介于液化作用和水塑性作用之间的卷曲变形。本文讨论的液化卷曲变形与下文的纹层卷曲变形的区别在于前者主要是液化作用的产物。在连3井和胜北5井中,液化卷曲变形在地震扰动层内发育,仅出现于薄层的砂、泥岩互层中,相对规模较小,形成一系列以卷曲和弯曲为主的几何形态各异的小型褶曲,纹层呈波状起伏,少量被错断(图2c,d)。

2.1.4 球-枕状构造

震积球-枕状构造由于上覆和下伏富含水的软泥沉积物都没有固结,存在较大的密度差,下伏砂层为强液化层,在地震或断裂触发时,具有很强的垂向流动能力,刺穿上覆未固结泥岩层,在弱液化层中形成球-枕状构造(图2e)。连3井中液化作用形成的球-枕状构造刺穿了泥岩层,沟通了泥岩之间的砂层。球-枕状构造的成因多样,当地震液化作用结束后,由于强液化

层发生脱水作用,沉积物体积收缩,或者负载作用砂球下陷均可以形成该构造(图2g)。

2.1.5 液化均一层

液化均一层一般指粉砂或细砂粒级的软泥沉积物,由于震级较强,沉积物在经历震动、液化、稀释作用之后,上覆沉积物趋于一致,厚度不大,实质是将原生构造消失的一种变形构造。均一层最早在Seilacher^[1]的论文中称为soupy zone(汤层带);Seilacher^[28]改名为homogenized(均一层)。区域内分布较稳定,一般可以用于识别液化不整合面(图2f)。

2.1.6 负载构造

负载构造是指上覆粗粒岩石陷入下伏细粒岩层的一种构造。粗粒岩石相对密度较高,在强震时,地震横波造成水平震荡摇晃,粗粒颗粒是相对较重的沉积物,液化砂层在地震剪切力和重力作用下易侵位到下伏细粒沉积物中,向下突出的构造即为负载体^[29]。Moretti^[6]等研究认为大于1cm的负载构造是地震成因的。在胜北8井中,负载体规模达到2cm左右,粗粒砂岩明显下陷在细粒砂岩层中。在较强的剪切力和重力作用下,上覆母岩中的负载体完全进入下伏泥岩层中也可以形成球-枕构造。

2.2 软沉积物水塑性变形

水塑性变形的诱因一般是地震,未固结或半固结的富水软泥沉积物在低角度缓坡,有持续的应力输入下形成小褶皱或微褶皱,微褶皱也被称为含水塑性变形^[30]。纹层卷曲变形在没有液化作用参与的情况下,发育在未变形层之间的纹层变形,砂层相对较厚(图2i)。杜远生^[31]等认为地震和风暴作用均可形成丘状交错层理,区别在于震积成因有其他的软沉积物变形构造伴生,红南2-25井中连续发育(图2j)。丘-槽构造是指软沉积物在地震定向作用力下形成的微褶皱,连3井中微向斜和微背斜交替出现(图2k),褶皱变形发育在薄层、板状、条带状的岩层内,识别特征是轴面没有定向性,背斜核部显著加厚,与斜坡滑动产生的变形构造有明显的区别^[32]。Rodriguez-Pascua^[33]和袁静^[34]等解释环形层的成因机制为纹层状软沉积物在深湖或者在静水环境中,未达到液化程度,是弱地震摇晃的产物,形态结构是扁的同心纹层连结环体,在胜北2井中识别了环形层(图2l)。振动滑塌在地震作用力和重力的共同作用下,塑性软沉积物向下运动,在异地堆积,滑塌岩与下伏岩层呈不协调接触,塑性砂岩滑塌拉拽出的“小尾巴”(图2m)在胜北5井中清晰可见^[35]。

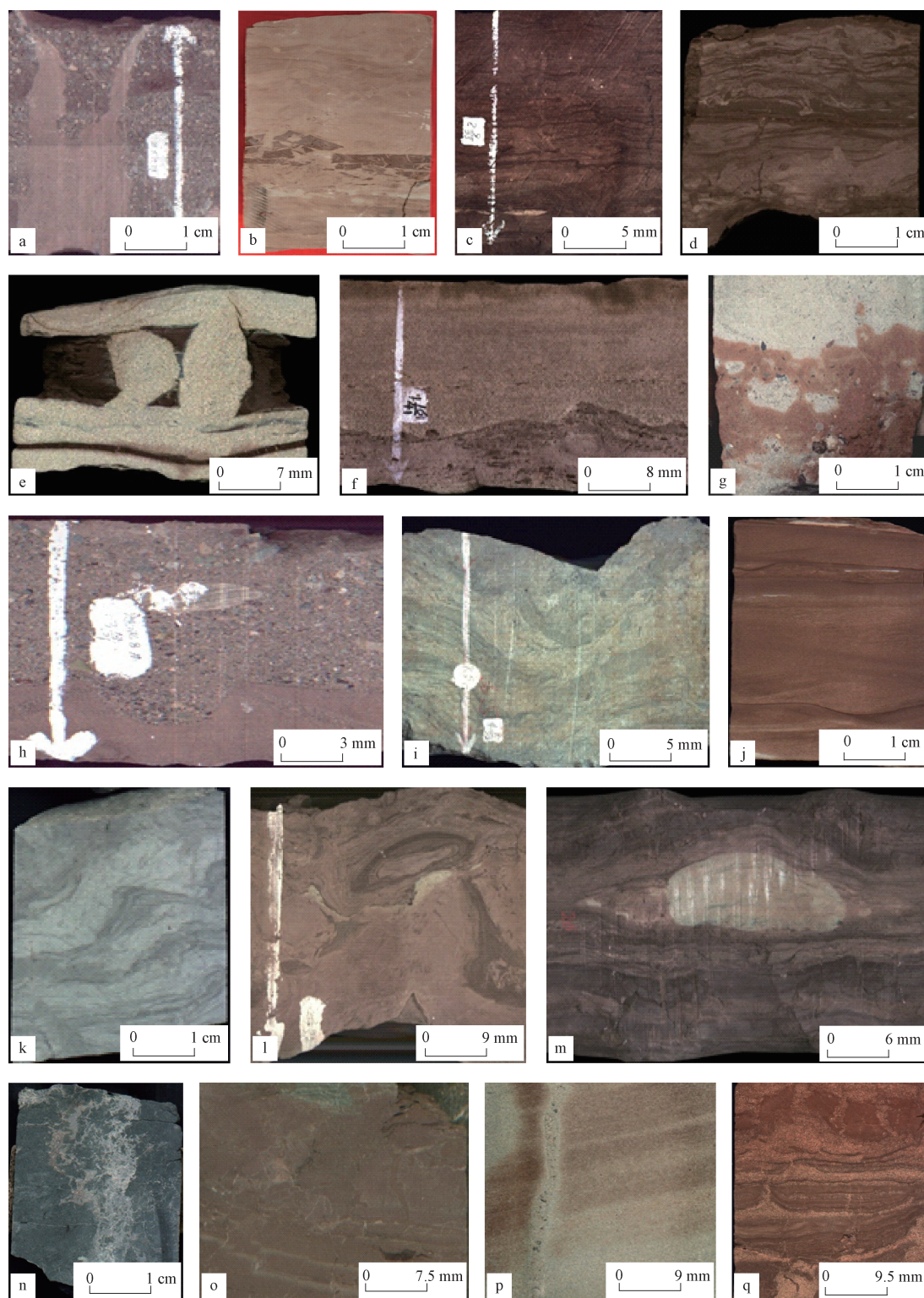


图2 吐哈盆地台北凹陷喀拉扎组一段软沉积物液化作用变形

Fig. 2 Liquefied deformation of soft sediments in the first member of the Kalazha Formation in the Taibei Sag of Tuha Basin

a. 胜北8井,埋深2 867.29 ~ 2 867.59 m,泄水构造;b. 台参2井,埋深2 880.17 ~ 2 880.36 m,液化角砾;c. 连3井,埋深2 453.20 ~ 2 453.39 m,微裂缝,液化卷曲微褶;d. 胜北5井,埋深2 867.30 ~ 2 867.56 m,液化卷曲微褶;e. 胜北12井,埋深2 933.48 ~ 2 933.55 m,球-枕状构造;f. 胜北13井,埋深2 989.59 ~ 2 989.77 m,液化均一层;g. 胜北16井,埋深2 964.10 ~ 2 964.26 m,砂球构造;h. 胜北8井,埋深2 869.10 ~ 2 869.26 m,负载构造;i. 连3井,埋深2 453.75 ~ 2 453.86 m,纹层卷曲变形;j. 红南2-25井,埋深1 722.90 ~ 1 723.09 m,丘状交错层理;k. 连3井,埋深2 455.55 ~ 2 455.7 m,丘-槽构造;l. 胜北2井,埋深2 842.59 ~ 2 842.86 m,环形层;m. 胜北5井,埋深2 870.23 ~ 2 870.44 m,“小尾巴”振动滑塌岩;n. 连2井,埋深1 900.55 ~ 1 900.89 m,震裂角砾岩;o. 胜北1井,埋深2 884.41 ~ 2 884.6 m,阶梯状微断裂;p. 连南1井,埋深2 018.09 ~ 2 018.24 m,“V”字型地裂缝;q. 红南2-25井,埋深1 771.83 ~ 1 771.96 m,液化震积序列

2.3 脆性变形

2.3.1 震裂角砾岩

震积角砾岩(图2n)是沉积岩层受地震振动,导致固结的岩石或软沉积物在原地发生破裂而形成的角砾岩。在连2井可见多数棱角分明,分选磨圆很差,裂缝发育,周围被后期泥岩或粉砂岩等沉积物充填,砾岩具有很好的拼合性,角砾成分以砂砾石为主。以泥质角砾为主的软沉积物,在形成过程中易发生弯曲变形,角砾由于边缘被挤压而磨圆较好,反映当时的半固结状态^[36]。

2.3.2 阶梯状断裂

阶梯状微断层一般发育在较薄岩层中,以发育一系列成阶梯状平行排列的张性正断层为特征。胜北1井中的阶梯状微断裂阶梯状排列,断距不大(1~10 mm),倾角较陡,有较好的连续性(图2o)。研究区在该时期处于挤压环境,以挤压变形为主,很难形成这种微型正断层,石亚军等认为这种变形特征是液化作用之后沉积物在重新压实过程中差异下沉而形成的^[37]。

2.3.3 地裂缝

地裂缝在喀拉扎组较发育,在连南1井中垂直或近垂直于层面发育,呈“V”字型特征,裂缝中被液化物充填,与同沉积断层的差别在于岩层没有发生位移,(图2p)。

3 讨论

3.1 震积岩序列

地震活动是短暂的事件性作用机制,对沉积物的改造作用主要体现在两方面:一是地震作用导致沉积物发生再搬运、再沉积,发育远离原始沉积区的震浊积岩和海啸岩(异地系统);二是已有沉积物在原地发生液化、塑性、脆性变形或破裂(原地系统)^[38]。震积岩由于在平面上距古地震震源距离的不同,导致古地震强度不均一,震域范围内同一地区不同钻井岩心上的组合序列不尽相同^[39-40]。震积岩垂向序列是在理想情况下建立的模式,在单井中很难见到完整的序列。因此,震积岩垂向序列往往只是对一个地区古地震记录的总结,具有区域特色。

在研究区以红南2-25井为例进行单井分析,红南2-25井1771.83~1771.96 m取心段显示在较强的液化作用下,从下往上依次发育液化卷曲变形、球-

枕构造、液化砂岩脉、液化扰动纹层错断和液化角砾岩,是典型液化作用的构造特征(图2q);在1773.97~1774.06 m段取心发育震裂角砾、重力成因砂球和振动滑塌等变形构造,以水塑性和脆性变形为主;两段取心的间隔为一段粒度较粗的杂色砂岩,岩性和颜色与上下伏岩层明显不同。红南2-25井的序列特征表明,一次强地震和衰减期余震之间的存在间震期,以沉积物快速剥蚀、堆积为特征。

吐哈盆地喀拉扎组一段的震积构造多为未完全固结的软沉积物变形形成的同生-准同生变形构造,异地系统的沉积单元偶有发育。笔者依据乔秀夫^[41]等关于震级($M_s > 5$)才会发生液化作用的理论,结合吐哈盆地胜北-红连地区喀拉扎组一段震积岩的发育特征,以红南2-25井为基础,综合分析其他钻井的软沉积物变形特征,建立了一个与地震强度有关的原地系统震积岩垂向序列(图3)。本文认为胜北-红连地区地震初始期发育液化扰动纹层;地震高潮期主要发育液化砂岩脉、液化角砾岩、液化卷曲变形等构造变形特征;地震衰减期以水塑性和脆性变形为主,发育阶梯状微断层、震积滑塌、纹层卷曲变形和“V”字型震裂缝等变形构造;停止期以正常沉积为特征。自下而上根据典型构造特征划分为8段:A段为液化卷曲变形;B段为砂岩脉;C段为液化角砾岩;D段为阶梯状微断层;E段为“V”字型地裂缝;F段为球-枕构造;G段为纹层卷曲变形;H段为正常沉积。

3.2 地质意义

吐哈盆地上侏罗统齐古组保存完好,台北凹陷西北源靠近博格达山南缘的葡北等地普遍缺失喀拉扎组,台北凹陷中部的胜北-红连地区喀拉扎组保存较完整,胜北平均达到597 m,红南地区相对较薄,平均约为219 m,连木沁约为364 m,地层厚度由北至南减薄。通过20余口钻井的岩心观察,仅在喀拉扎组一段出现密集的震积岩记录。以胜北1井为例,在约193 m的喀拉扎组一段中识别出8个软沉积物变形层;胜北5井在164 m深的地层中识别出5个软沉积物变形层;胜北16井在约267 m深的地层中识别出8个软沉积物变形层;连3井在143 m深的地层中识别出3个软沉积物变形层;红南2-25井在170 m深地层中识别出6个软沉积物变形层(图4)。乔秀夫^[42]等将密集的地震变形层和正常沉积的岩心段作为一个地震幕,几个相邻的地震幕可以作为一个地震活跃期。根据胜北1井、胜北5井、胜北16井、连3井和红南2-25井震积岩变形构造在纵向上的密集分布特征,集中

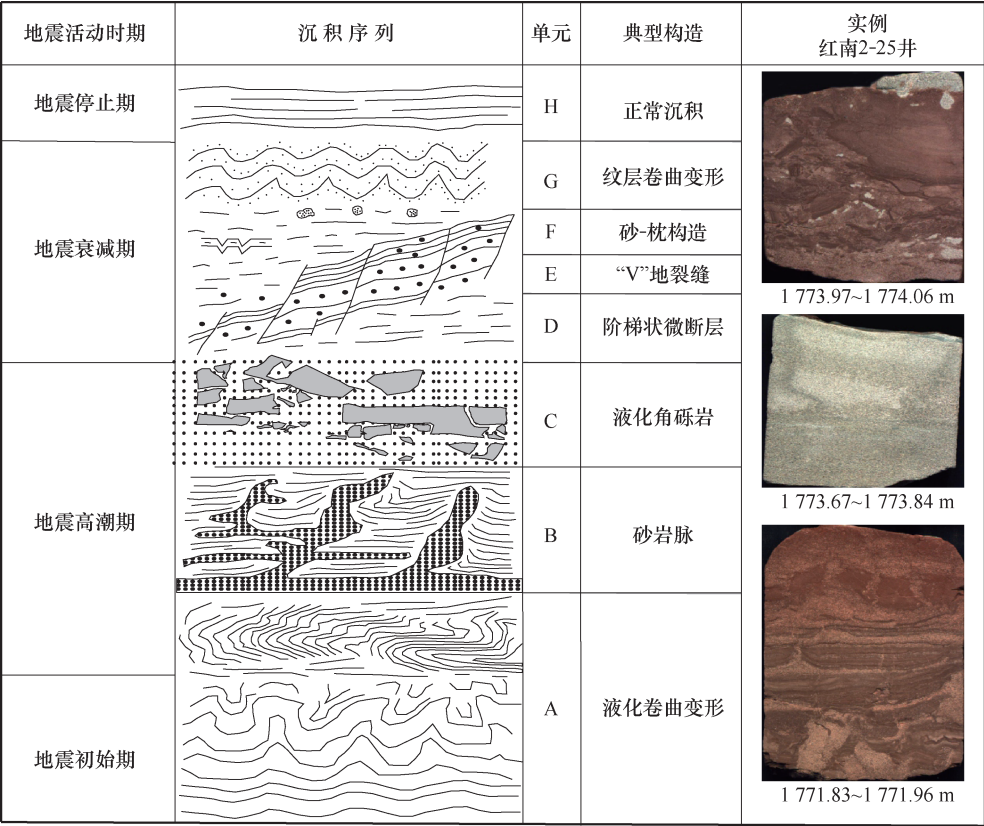


图 3 震积岩垂向序列

Fig. 3 Vertical succession of seismics

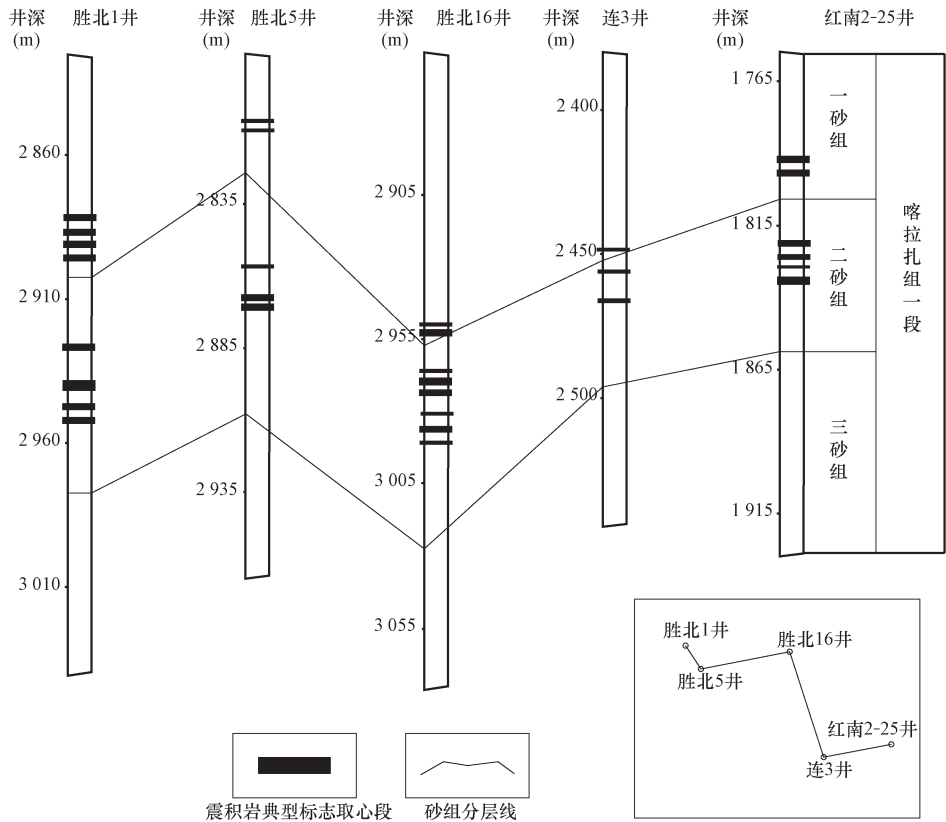


图 4 吐哈盆地台北凹陷喀拉扎组一段震积岩的垂向分布特征

Fig. 4 Vertical distributions of seismites the first member in the Kalazha Formation in the Taipei Sag of Tuha Basin

表 1 吐哈盆地胜北-红连地区喀拉扎组一段典型井震积岩

Table 1 Cartogram of seismites of typical wells in the first member of the Kalazha Formation in the Taibei Sag of Tuha Basin

地区	钻井	取心回次	累积厚度/m	主要震积构造单元	地震强度
胜北	胜北 1 井	2,3,4,5	7.41	A,C,D,F	强震区
	胜北 2 井	2,3	3.67	A,B,C,F	
	胜北 4 井	2,3,8,9,10	6.12	C,D,F	
	胜北 5 井	1,2,3	3.34	A,C,D	
	胜北 12 井	1,3,4	2.07	A,F	
	胜北 16 井	1,2,3,4	4.88	A,B,C,F	
红南	红南 2-25 井	2,3,4,5,6,	6.52	A,D,F,G	弱震区
	红南 5 井	4,5	0.32	E,G	
	红南 9 井	4	0.27	D,F	
	红南 15 井	4	0.89	F,G	
	红南 901 井	4,5	1.42	A,F	
连木沁	连 2 井	2,3,4	1.27	F,G	
	连 3 井	2,4	0.97	D,F,G	
	连南 1 井	1,3	1.07	E,F,G	

分布段作为活跃期,将喀拉扎组一段的地震活动规律划分为平静期-活跃期-平静期。活跃期表明在该时期曾持续发生过 $M_s > 5$ 级的强地震,喀拉扎一段沉积期的强地震代表博格达山在燕山期Ⅱ幕的上升隆起与断裂活动。

震积岩在不同钻井中的特征有较大差异性(表 1),表现为靠近北部博格达山前带胜北 1 井、胜北 2 井、胜北 4 井、胜北 5 井、胜北 12 井和胜北 16 井震积液化作用发育,并且震积岩的序列较完整,表明胜北地区的震积岩主要是强地震的沉积产物。红南地区的红南 5 井、红南 9 井、红南 15 井、红南 901 井和连木沁地区的连南 1 井、连 2 井、连 3 井液化作用相对胜北地区要弱一些,软沉积物水塑性变形和脆性变形较为发育,常见纹层卷曲变形、“V”字型和震裂角砾,显示红连地区震积岩主要是弱地震的沉积记录。地震强度从北部山前带至南缘的红连地区总体有减弱的趋势,反映博格达山造山运动诱发的地震对北部山前带影响较大。红南 2-25 井震积岩累积厚度大,液化作用发育,与北部山前带特征相似,表明该井附近是红连地区的主要强震区。

邵磊^[17]等报道喀拉扎组一段的砂岩成分成熟度低,并且反映风化程度的 CIA 值较低,是强烈剥蚀,快速堆积的产物。吴青鹏^[43]等报道这套砂体是在干旱气候条件下低位沉积期的产物,喀拉扎组一段沉积期是晚侏罗世沉积体系转换的重要时期。通过地层厚度特征和震积岩的时空展布规律研究,表明喀拉扎组一段的沉积物与博格达山的隆升密切相关。因此,笔者认为这套砂体与博格达山的造山运动有关联性,是气候、构造抬升和沉积速率共同控制的沉积产物。

为了进一步研究物源区构造背景,在显微镜下采用 Gazzi-Dickinson 记点法统计分析胜北-红连地区喀拉扎组 320 余块砂岩薄片的碎屑组分(结合扫描电镜

资料表明颗粒比较完整,杂基含量低,碎屑并没有遭受严重的成岩作用和变质作用的改造)。累加各个组分的点数换算成相对质量分数,在 Dickinson^[44]三角图中进行投点,获取了物源区的构造背景信息。Qt-F-L, Qm-F-L, Qm-F-Lt 和 Qp-Lv-Ls 图解(图 5)显示:喀拉扎组碎屑物源主要落在火山弧范围内,少数投点落在再造山旋回带以内,反映母岩主要为一套与火山弧有关的建造。王宗秀^[45]报道了北侧博格达山的石炭系是以一套由安山岩、安山质火山岩、火山碎屑岩组成的岛弧环境形成的钙碱质基性-中性-酸性火山岩建造。并且对博格达山石炭系韧性剪切带中的石英脉进行了锆石测年(311~316Ma),认为在晚石炭世有一次不剧烈的造山作用。因此,上侏罗统喀拉扎组一段的母岩可能主要来自石炭系的这套火山岩,部分投点落在再造山旋回带内。李文厚^[46]等报道研究区晚侏罗世是物源供给的转换时期,早、中侏罗世以南部觉罗塔克山物源区为主,晚侏罗世的物源供给主要来自博格达山。以上结果表明博格达山在喀拉扎一段沉积期剧烈的隆升造山,促使石炭系的这套火山出露地表,成为主要的剥蚀物源区,同时导致博格达山南缘的葡北等地缺失喀拉扎组地层。本文认为震积岩大量发育的喀拉扎组一段砂体是博格达山隆升和盆地充填关系的特殊沉积响应。

4 结论

1) 吐哈盆地喀拉扎组发育震积岩的软沉积物变形特征有液化作用成因的砂岩脉(墙)、液化角砾岩、液化卷曲变形、球-枕构造、液化均一层和负载构造;水塑性变形成因的纹层卷曲变形、丘-槽构造、环形层

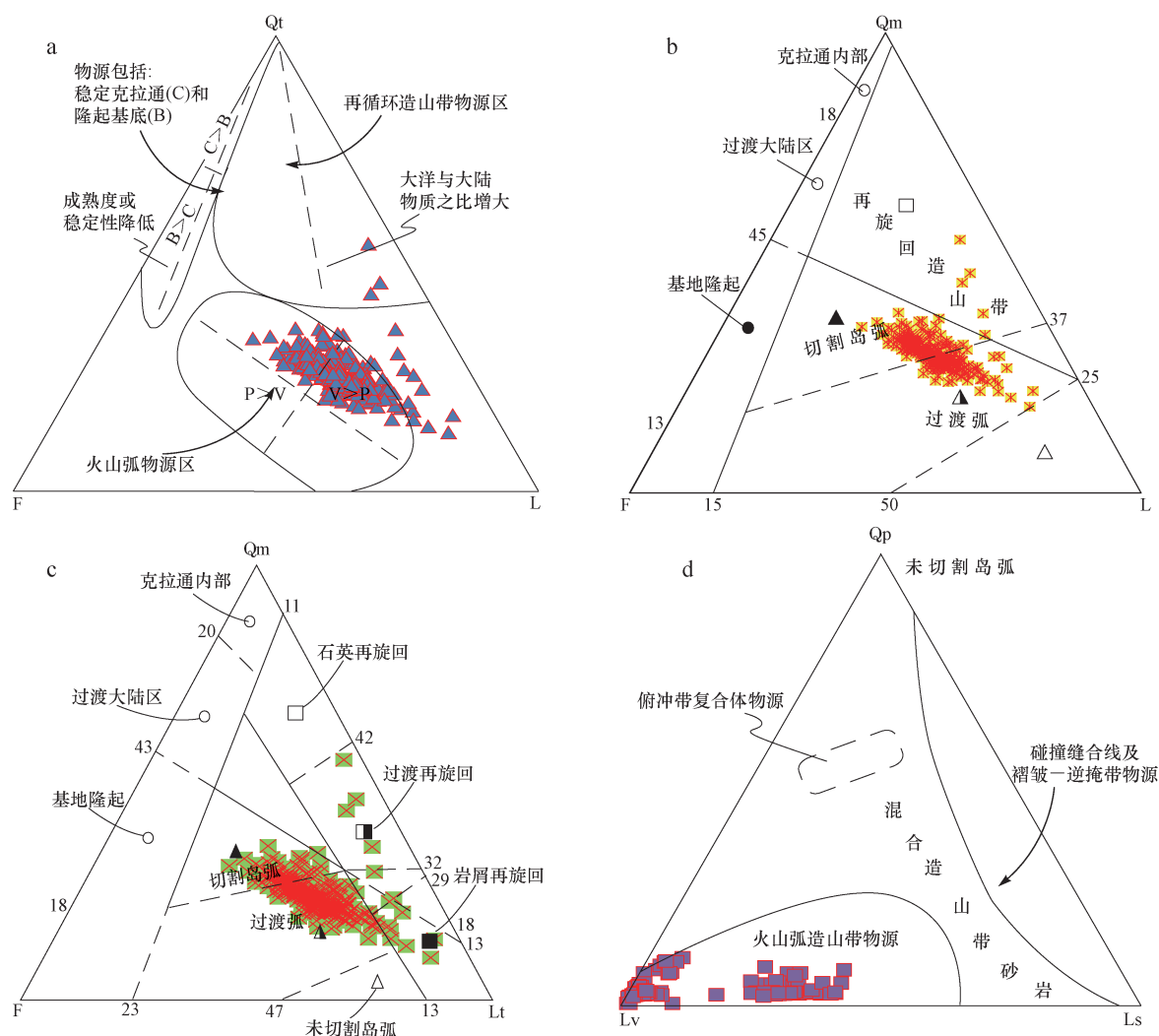


图5 吐哈盆地胜北-红连地区喀拉扎组一段砂岩 Dickinson 三角投点图

Fig.5 Dickinson triangle of sandstones from the first member of the Kalazha Formation in the Taibei Sag of Tuha Basin

a. Qt - F - L 图解; b. Qm - F - L 图解; c. Qm - F - Lt 图解; d. Qp - Lv - Ls 图解

Qt. 总石英颗粒; Qm. 单晶石英颗粒; Qp. 多晶石英质岩屑; F. 总长石颗粒; Lt. 总岩屑颗粒; L. 总非稳定隐晶岩屑; Lv. 火山和变质火山岩屑; Ls. 沉积和变质沉积岩屑

和振动滑塌;脆性变形成因的震积角砾岩、阶梯状微断层和“V”字型震裂缝。

2) 在吐哈盆地吐哈盆地上侏罗统喀拉扎组一段建立了震积岩的变形构造的垂向序列。序列从下而上的特征呈地震初始期发育液化扰动纹层;地震高潮期主要发育液化砂岩脉、液化角砾岩、液化卷曲变形等构造变形特征;地震衰减期以水塑性和脆性变形为主,呈阶梯状微断层、震积滑塌、纹层卷曲变形和震裂缝等特征;停止期恢复正常沉积。根据典型构造特征划分成了8个构造单元。

3) 吐哈盆地震积岩的首次报道丰富了该区构造活动的研究方法。震积岩在地层中集中出现在喀拉扎组一段;地层厚度和震积岩的时空展布特征显示地震强度从胜北地区到红连地区有逐渐减弱的趋势;震积

岩大量发育的喀拉扎组一段砂体是博格达山隆升和盆地充填关系的特殊沉积响应。以上古地震证据表明台北凹陷晚侏罗世喀拉扎一段沉积期是燕山运动Ⅱ幕导致博格达山剧烈隆升的主要阶段。

参考文献

- [1] Seilacher A. Fault-Graded Beds Interpreted as Seismites[J]. Sedimentology, 1969(13):155-159.
- [2] Plaziat J C, Mahmoudi M. The role of vegetation in Pleistocene eolianite sedimentation: an example from Eastern Tunisia[J]. Journal of African Earth Sciences (and the Middle East), 1990, 10(3):445-451.
- [3] Owen G. Possible seismic origin of molar tooth structures in Neoproterozoic carbonate ramp deposits, north China [J]. Sedimentology, 1996(43):279-293.

- [4] Moretti M, Alfaro P, Caselles O, et al. Modelling seismites with a digital shaking table[J]. *Tectonophysics*, 1999(304): 369–383.
- [5] Moretti M, Pieri P, Tropeano M. Late Pleistocene soft-sediment deformation structure interpreted as seismites in paralic deposits in the city of Bari (Apulian foreland southern Italy) [J]. *Geological Society of America Special Paper*, 2002(359): 75–85.
- [6] Moretti M, Sabato L. Recognition of trigger mechanisms for soft-sediment deformation in the Pleistocene lacustrine deposits of the Sant'Acrangelo Basin (Southern Italy): Seismic shock vs overloading[J]. 2007(196): 31–45.
- [7] Foix N, Paredes J M, Giacosa R E. Paleo-earthquakes in passive-margin settings, an example from the Paleocene of the Golfo San Jorge Basin, Argentina[J]. *Sedimentary Geology*, 2008, 205(1–2): 67–78.
- [8] Kahle C F. Seismogenic deformation structures in microbialites and mudstones, Silurian Lockport dolomite, Northwestern Ohio, U. S. A [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2002, 72(1): 201–216.
- [9] Gibert L, Alfaro P, Garcia-Tortosa F J, et al. Superposed deformed beds produced by single earthquakes (Tecopa Basin, California): Insights into paleoseismology[J]. *Sedimentary Geology*, 2011(235): 148–159.
- [10] Ettensohn F R, Zhang C, Gao L, et al. Soft-sediment deformation in epicontinental carbonates as evidence of paleoseismicity with evidence for a possible new seismogenic indicator: Accordion folds[J]. *Sedimentary Geology*, 2011, 235(3–4): 222–233.
- [11] 刘自亮, 沈芳, 朱筱敏, 等. 浅水三角洲研究进展与陆相湖盆实例分析[J]. *石油与天然气地质*, 2015, 36(4): 596–604.
- Liu Ziliang, Shen Fang, Zhu Xiaomin, et al. Progress of shallow-water delta research and a case study of continental lake basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2015, 36(4): 596–604.
- [12] 乔秀夫, 李海兵. 枕、球—枕构造: 地层中的古地震记录[J]. *地质论评*, 2008, 54(6): 721–730.
- Qiao Xiufu, Li Haibin. Pillow, Ball-and-pillow Structures: Paleo-seismic records within Strata [J]. *Geological Review*, 2008, 54(6): 721–730.
- [13] 乔秀夫, 郭宪璞, 叶留生, 等. 新疆塔中卡塔克隆起加里东构造运动的古地震证据[J]. *岩石学报*, 2011, 27(1): 243–252.
- Qiao Xiufu, Guo Xianpu, Ye Liusheng, et al. Paleoseismic evidence of the Caledonian Movement at Kartarke Uplift in the Central Tarim, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(1): 243–252.
- [14] 陈祥, 王敏, 王勇, 等. 准噶尔盆地西缘春光油田地层—岩性油气藏特征[J]. *石油与天然气地质*, 2015, 36(3): 356–361.
- Chen Xiang, Wang Ming, Wang Yong, et al. Reservoir-forming characteristics of stratigraphic and lithologic reservoir in Chunguang oil-field, western margin of Junggar Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2015, 36(3): 356–361.
- [15] 张代生, 李成明. 吐哈盆地台北凹陷沉积体系变迁对油气分布的控制[J]. *石油与天然气地质*, 2000(01): 71–75.
- Zhang Daisheng, Li Chengming. Controlling the changes of depositional system to hydrocarbon distribution in Taibei Sag[J]. *Oil & Gas Geology*, 2000(01): 71–75.
- [16] 肖冬生, 陈旋, 康积伦, 等. 博格达山构造演化对吐哈盆地台北凹陷西缘油气成藏的控制作用[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2014, 45(11): 3877–3885.
- Xiao Dongsheng, Chen Xuan, Kang Jilun, et al. Controlling functions of tectonic evolution of Bogeda Mountain on petroleum accumulation in western Taibei Sag, Turpan—Hami Basin [J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2014, 45(11): 3877–3885.
- [17] 邵磊, 李文厚, 袁明生. 吐鲁番—哈密盆地的砂岩特点及构造意义[J]. *沉积学报*, 1999(01): 95–99.
- Shao Lei, Li Wenhong, Yuan Mingsheng. Characteristic of sandstone and its tectonic implications of the Turpan Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999(01): 95–99.
- [18] 汪新伟, 汪新文, 马永生. 新疆博格达山的构造演化及其与油气的关系[J]. *现代地质*, 2007, 21(01): 116–124.
- Wang Xinwei, Wang Xinwen, Ma Yongsheng. The tectonic evolution of Bogda Mountain, Xinjiang, Northwest China and its relationship to oil and gas accumulation[J]. *Geoscience*, 2007, 21(01): 116–124.
- [19] 郭威. 新疆博格达山及其邻区板内构造作用研究[D]. 西北大学, 2008.
- Guo Wei. Intraplate tectonics of Bogda Mountain in Xinjiang and its adjacent plates[D]. Northwest University, 2008.
- [20] 曾焜辉, 左胜杰. 喜马拉雅运动对吐哈盆地油气藏的影响[J]. *石油与天然气地质*, 2001(04): 382–384.
- Zeng Jianhui, Zuo Shengjie. Influence of Himalayan Movement on hydrocarbon formation in Turpan-Hami Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2001(04): 382–384.
- [21] 刘林玉, 柳益群, 李文厚, 等. 吐哈盆地台北凹陷三角洲沉积与成岩作用[J]. *石油与天然气地质*, 2002(04): 402–405.
- Liu Linyu, Liu Yiqun, Li Wenhong, et al. Sedimentation and diagenesis of delta in Taibei Sag of Turpan-Hami Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2002(04): 402–405.
- [22] 唐文斌, 雷涛, 徐胜林, 等. 吐哈盆地胜北—红连地区喀拉扎组砂岩组特征及成岩作用研究[J]. *科学技术与工程*, 2015(18): 40–49.
- Tang Wenbin, Lei Tao, Xu Shenglin, et al. The study of Kalazha Formation sand reservoir characteristic and diagenesis in Shengbei-Honglian Area of Tuha Basin[J]. *Science Technology and Engineering*, 2015, 15(18): 40–49.
- [23] 冯增昭. 中国沉积学[M]. 石油工业出版社, 2013: 507–609.
- Feng Zengzhao. *Sedimentology of China* [M]. Petroleum Industry Press, 2013: 507–609.
- [24] 唐文斌. 吐哈盆地胜北—红连地区上侏罗统喀拉扎组一段岩相古地理特征[D]. 成都理工大学, 2016.
- Tang Wenbin. The characteristic of lithofacies paleogeography of the upper Jurassic Kalazha Formation 1st member in Shengbei-honglian area of Tuha Basin[D]. Chengdu University of Technology, 2016.
- [25] Fairchild L J, Einsele G, Song T. Possible seismic origin of molar tooth structures in Neoproterozoic carbonate ramp deposits, north China[J]. *Sedimentology*, 1997(44): 611–636.
- [26] 杨剑萍, 王海峰, 聂玲玲, 等. 冀中坳陷晋县凹陷古近系震积岩的发现及地质意义[J]. *沉积学报*, 2014(04): 634–642.
- Yang Jianping, Wang Haifeng, Nie Lingling, et al. Discovery and geological significance of seismites of Paleogene in Jinxian Sag, Jizhong Depression[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2014(04): 634–642.

- [27] Plaziat J C, Poisson A M. First record of several major palaeo-seismites in the continental latest Stampian (Reprlian) south Pairs; sedimentary expressions of the early Oligocene tectonic. [J]. Bull. Soc. Geol. France, 1993, 163(5): 541–551.
- [28] Seilacher A. Sedimentary structures tentatively attributed to seismic events[J]. Marine Geology, 1984, 55: 1–12.
- [29] 杜远生, G. SHI, 龚一鸣, 等. 东澳大利亚南悉尼盆地二叠系与地震沉积有关的软沉积变形构造[J]. 地质学报, 2007(04): 511–518.
Du Yuansheng, G. SHI, Gong Yiming, et al. Permian soft -Sediment deformation structures related to earthquake in the Southern Sydney Basin, Eastern Australia [J]. Acta Geologica Sinica, 2007(04): 511–518.
- [30] 周志广, 梁定益, 刘文灿, 等. 藏南晚白垩世宗卓组巨型混杂堆积的特征及其地裂——地震成因论证[J]. 地质论评, 2006(03): 314–320.
Zhou Zhiguang, Liang Dingyi, Liu Wencan, et al. Characters of slumping accumulation of Upper Cretaceous Zongzuo Formation and demonstrate its caused by Large break-up and earthquakes, Southern Xizang (Tibet) [J]. Geological Review, 2006(03): 314–320.
- [31] 杜远生, 韩欣. 论震积作用和震积岩[J]. 地球科学进展, 2000(04): 389–394.
Du Yuansheng, Han Xin. Seismo-deposition and seismites [J]. Advance in Earth Sciences, 2000(04): 389–394.
- [32] 刘鹏举. 河北平泉中元古代高于庄组震积岩及地震节律[J]. 现代地质, 2001(03): 266–268.
Liu Pengju. Seismites and its rhythm in the Gaoyuzhuang Formation of Mesoproterozoic in Pingquan County, Hebei Province [J]. Geoscience, 2001(03): 266–268.
- [33] Rodríguez-Pascua M A, Calvo J P, DeVicente G, et al. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene [J]. Sedimentary Geology, 2000, 135(1–4): 117–135.
- [34] 袁静, 陈鑫, 田洪水. 济阳拗陷古近纪软沉积变形层中的环状层理及成因[J]. 沉积学报, 2006(05): 666–671.
Yuan Jing, Chen Xin, Tian Hongshui. Formation of Loop Bedding in Jiyang Sub-basin, Paleogene [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006(05): 666–671.
- [35] 王化爱, 钟建华, 陈鑫, 等. 蒙古塔木察格坳陷白垩系震积岩特征及其地质意义[J]. 地质学报, 2008(08): 1088–1094.
Wang Huaai, Zhongjianhua, Chen Xin, et al. Characteristics of Cretaceous seismites in the Tamuchage Depression, Mongolia, and its significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2008(08): 1088–1094.
- [36] 朱萌, 李德威, 刘德民, 等. 柴达木盆地西南缘更新统震积岩特征及其意义[J]. 古地理学报, 2011(06): 657–664.
Zhu Meng, Li Dewei, Liu Deming, et al. Characteristics and significance of seismites in the Pleistocene in southwestern margin of Qaidam Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2011(06): 657–664.
- [37] 石亚军, 陈武杰, 曹正林, 等. 柴达木盆地西南区震积岩的发现及其引发的勘探启迪[J]. 地质学报, 2009(08): 1178–1187.
Shi Yajun, Chen Wujie, Cao Zhenglin, et al. Discovery of seismites in the Southwestern Qaidam Basin and its significance for exploration [J]. Acta Geologica Sinica, 2009(08): 1178–1187.
- [38] 杨波, 张昌民, 李少华, 等. 珠江口盆地晚渐新世——早中新世古地震记录及油气地质意义[J]. 天然气地球科学, 2014(06): 834–847.
Yang Bo, Zhang Changming, Li Shaohua, et al. Late Oligocene to Early Miocene Paleoseismic record in Pearl River Mouth Basin and its hydrocarbon geological significance [J]. Natural Gas Geoscience, 2014(06): 834–847.
- [39] 袁静. 山东惠民凹陷古近纪震积岩特征及其地质意义[J]. 沉积学报, 2004(01): 41–46.
Yuan Jing. The Property and Geological Significance of Seismites of Paleogene in Huimin Sag, Shandong Province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004(01): 41–46.
- [40] 杨剑萍, 查明, 牟雪梅, 等. 山东惠民凹陷古近系基山砂体地震作用成因新论[J]. 沉积学报, 2006(04): 488–495.
Yang Jianping, Cha Ming, Mou Xuemei, et al. New demonstration of the Seismic origin for Jishan Sandbody of Paleogene in Humin Depression, Shandong Province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006(04): 488–495.
- [41] 乔秀夫, 宋天锐, 高林志, 等. 地层中地震记录(古地震)[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 1–263.
Qiao Xiufu, Song Tianrui, Gao Linzhi, et al. Seismic Records in Strata (Paleo-earthquake) [M]. Beijing Geological Publishing House, 2006: 1–263.
- [42] 乔秀夫, 郭宪璞. 新疆西南天山侏罗统软沉积物变形研究[J]. 地质论评, 2011, 57(6): 761–769.
Qiao Xiufu, Guo Xianpu. On the lower Jurassic soft-sediment deformation of Southwestern Tianshan Mountains, Xinjiang, China [J]. Geological Review, 2011, 57(6): 761–769.
- [43] 吴青鹏, 杨占龙, 李红哲, 等. 吐哈盆地台北凹陷西缘侏罗系层序划分及沉积体系演化[J]. 天然气地球科学, 2009(03): 348–355.
Wu Qingpeng, Yang Zhanlong, Li Hongzhe, et al. Sequence division, distribution and evolution of sedimentary facies of Jurassic System, Western Taibei Sag, Turpan-Hami Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2009(03): 348–355.
- [44] Dickinson W R. Interpreting detrital modes of graywacke and arkose [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1970, 40(2): 695–707.
- [45] 王宗秀. 博格达山链的造山活动与山体形成演化[D]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2003.
Wang Zongxiu. Orogeny, Formation and Evolution in the Bogeda Mountain Chains, Northwestern China [D]. Beijing. Institute of Geology, China Earthquake Administration, 2003.
- [46] 李文厚, 周立发, 柳益群, 等. 吐哈盆地沉积格局与沉积环境的演变[J]. 新疆石油地质, 1997(02): 135–141.
Li Wenhui, Zhou Lifa, Liu Yiqun, et al. Evolution of sedimentary framework and environment of Turpan-Hami Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1997(02): 135–141.