

文章编号: 1674- 5086(2010)03- 0041- 10

松辽盆地青山口组震积岩特征及油气地质意义*

杨玉芳^{1,2}, 钟建华^{1,3}, 王海侨³, 陈志鹏³, 陈鑫³

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640 2. 中国科学院研究生院, 北京 石景山 100039;

3. 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东 东营 257061)

摘要: 通过大量岩芯观察, 结合构造背景研究, 在松辽盆地白垩系青山口组中识别出震积岩。将震积岩变形构造划分为固结地层震积变形构造和未固结地层震积变形构造两大类。研究区所见固结地层震积变形构造主要有裂缝、微型断层、龟裂式地层破碎及内碎屑角砾岩等, 未固结地层震积变形构造主要有液化砂岩脉、石香肠构造、同沉积塑性变形构造、环状层理、震积枕状及伴生构造等。总结震积岩的沉积特征并讨论了其油气地质意义: 由地震活动引发三角洲前缘砂体垮塌沉积而成的滑塌浊积岩、高能波浪带形成的滨浅湖滩坝砂体都为良好的储集层; 震裂缝附近发育溶孔和微裂缝。溶孔的发育程度无疑对改善储层的储集性能起到建设性作用; 已固结地层中发生地震的断裂系统为油气运移提供通道; 强烈的地震活动会造成固结的致密泥岩盖层的破裂, 大量裂缝会导致油气的快速散失。

关键词: 松辽盆地; 白垩系; 震积岩; 震积变形构造; 油气地质意义

中图分类号: TE121.1; P512.2 **文献标识码:** A **DOI** 10.3863/j.issn.1674-5086.2010.03.008

引言

1969年, Seilacher A 认为美国加州地区中新世具有递变断裂的蒙特里页岩是由断层活动发生地震而形成的, 并首先提出震积岩(Seismites)一词^[1], 指出, 震积岩是具有特殊震积构造和震积序列的一种灾变性事件岩, 原意指一个构造活动区未固结的水下沉积物受到地震活动改造而沉积形成的岩石, 广义上的震积岩指受地震活动改造而发生变形的沉积岩。震积岩是当今国内外研究的一个热点, 1984年, 《Marine Geology》杂志出版了“地震与沉积作用”专辑, 对地震事件沉积作用进行了系统总结; 《Sedimentary Geology》2000年出版了震积岩、海啸岩、震浊积岩的专辑, 2007又出版了与震积岩密切相关的软沉积变形专辑。我国的震积岩研究始于1988年^[2], 近20年来, 取得了丰硕的成果, 主要体现在以下两个方面:

(1) 对海相震积作用和震积岩的研究。涉及了华北元古宙-古生代^[3-7]、西南三江地区古生代^[8]、云南中元古代^[9-10]等, 其中以20世纪90年代初期由乔秀夫等在华北地台东部震旦系建立的碳酸盐震

动液化序列为代表。

(2) 对陆相湖盆震积作用和震积岩的研究。涉及了四川峨眉上侏罗统^[11-12]、酒西盆地下白垩统^[13]、济阳拗陷古近系^[14-16]、鄂尔多斯盆地南部上三叠统^[17]、柴达木盆地新近系^[18-19]等, 其中以吴贤涛等在研究四川峨眉上侏罗统湖泊沉积时建立的碎屑岩原地系统的地震液化序列为代表^[11]。最近几年, 陆续在陆相断陷盆地发现震积岩的报道, 袁静^[14]、付文利等^[15]、杨剑萍等^[20]、魏垂高、路慎强等^[21-22]通过对中国东部渤海湾盆地济阳拗陷古近系震积岩的特征研究, 建立了陆相断陷湖盆碎屑岩地震序列, 开创了由古生代海相地层向东部新生代陆相断陷湖盆震积岩研究的转移^[23-24]。在研究震积岩沉积特征的同时, 许多学者探讨了震积岩形成的构造背景及构造意义^[25-33]。

笔者在研究松辽盆地白垩系青山口组沉积相和沉积环境时, 发现大量未固结和已固结沉积物沉积变形构造, 经过分析研究, 认为是震积岩的特征, 而有关松辽盆地震积岩的研究还未见公开报道。因此, 这一发现是震积岩研究的有效补充, 对油气的生成、运移和储集都具有重要的地质意义。

* 收稿日期: 2009-06-13

基金项目: 国家重点基础研究计划(973)项目(2006CB202406); 教育部博士点基金(20050425515)。

作者简介: 杨玉芳(1977-), 女(汉族), 新疆石河子人, 博士研究生, 主要从事构造地质与石油地质等方面的研究。

1 地质背景

松辽盆地是位于我国东北部的大型中-新生代陆相含油气盆地。盆地地跨黑龙江省、吉林省、辽宁省和内蒙古自治区,总面积约为 $26 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。地层自下而上发育上侏罗统、白垩系、古近系、新近系和第四系,其中下白垩统为主要的沉积岩系,也是主要产油层,自下而上进一步细分为登娄库组、泉头组、青山口组、姚家组和嫩江组。盆地经历了断陷期、拗陷期和反转期 3 个构造演化阶段,青山口组沉积时期,松辽盆地总体处于深水拗陷湖盆阶段。本次研究发现的震积岩主要分布于大庆长垣以西他拉哈—齐家地区(图 1),主要发育的层位是青二段和青三段。与青一段相比,青二段和青三段沉积时期水体变浅,湖盆收缩,沉积了一套以进积型三角洲为特征的沉积构造。岩性以灰、灰白色粉砂岩、泥质粉砂岩与灰绿、深灰、灰黑色泥岩互层为主。

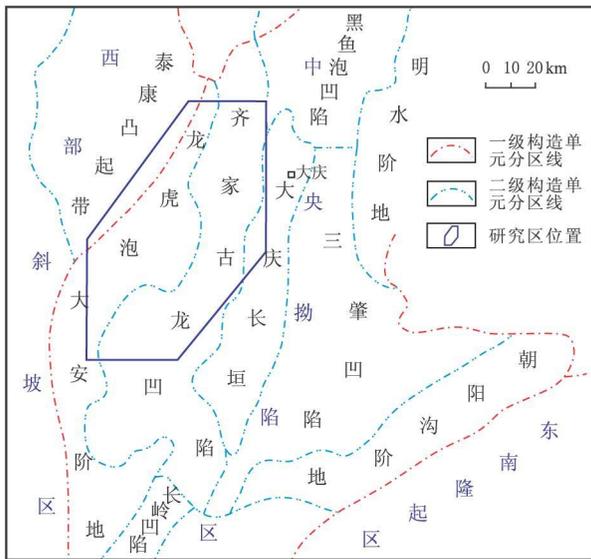


图 1 松辽盆地北部构造单元划分及震积岩分布位置图

Fig 1 Structural unit division of northern Songliao Basin and location of the Seimites

2 震积变形构造特征

相当一部分震积岩研究者将震积岩的定义限定在具有“软沉积变形”的范围之内,但是笔者认为地震活动的影响不仅限于未固结的软沉积物,对已固结岩层同样具有很强的改造能力,同时这种改造对

于沉积环境、构造演化和储层特征等研究都具有重要的意义,因此将固结岩层的地震响应变形也归于震积岩中统一研究。

2.1 固结地层震积变形构造特征

地震级别不同,地震活动所产生的能量也有很大的不同,当地震级别较高时,其产生的巨大能量可以将已经固结成岩的地层震碎,产生大量微型断层或裂缝。

2.1.1 裂缝

地震造成裂缝的现象可以在地震活动发生时在地表直接观察到,而地下固结地层的裂缝也同样发育。

较为典型的震积裂缝主要集中在古 921 和古 708 井,均为粉砂岩中的垂向裂缝,部分岩芯照片见(图 2(a)、(b)、(c))。可以看到地震造成的裂缝在泥岩和砂岩中均可发育,有的地震裂缝的宽度已经超过了岩芯的直径,可见其改造能力是非常强的。这一现象对油气的储集和运移都具有重要的意义。

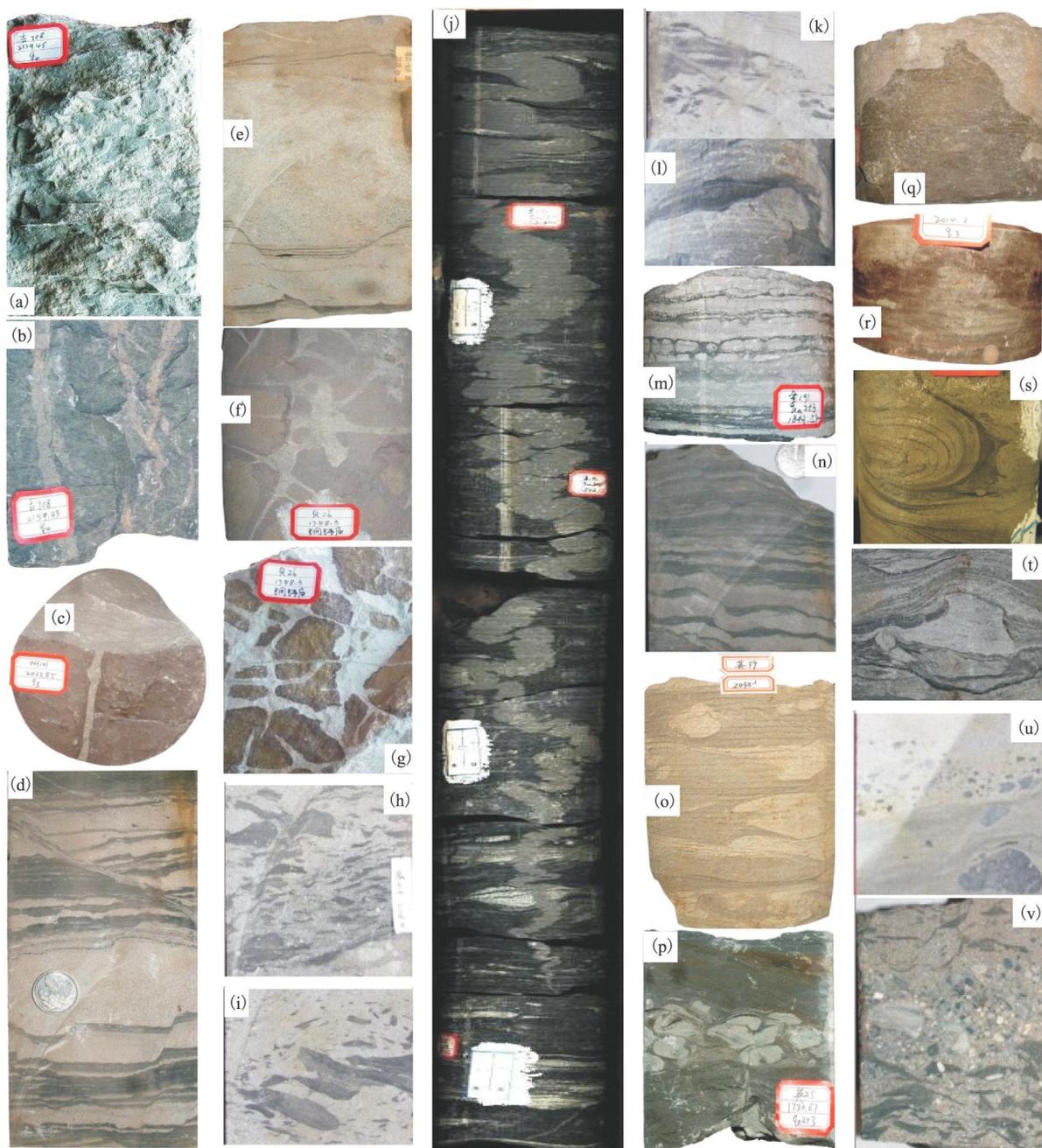
对通常可以作为良好盖层的暗红色、紫色泥岩来说,地震活动同样可以造成其裂缝发育,如八厂肇州油田的州 101 井,见(图 2(c)),紫色泥岩上有一条 7 mm 左右的垂向地震裂缝,被灰白色的粉砂质所充填。

2.1.2 微型断层

微型断层是被大多数震积岩研究者认可的地震活动的一个典型标志。在研究区高台子油层的岩芯中,发现了大量的微型断层。通过大量的岩芯观察,微型断层既可以发育在软沉积物中,也可以发育在已固结的地层中,见(图 2(d)、(e)),以张性断裂为主,可单独发育,也可平行排列呈阶梯状。其中以阶梯状平行排列最为典型,断层规模较小。塔 21-9 井岩芯中多处见阶梯状断层,单条断层延伸长度较短,多在 0.5~5.0 cm 内,断距多在 0.2~1.0 cm,一般不超过 3 cm,角度相对较陡,仅限于层内发育(图 2(d))。有时可发育成小型地堑,如塔 21-9 井 2120.6 m 处发育小型地堑,上口宽约 8 cm,底宽约 4.5 cm,深 3 cm(图 2(e)),其上部及边部均发育一薄层的暗色泥岩(厚度小于 1 mm),界面清晰。

2.1.3 地层破碎

沉积物的地震响应是一个十分复杂的过程,与地震强度、地层物性、坡度、固结程度等因素都有关系,一种典型的已固结岩层发生震碎的岩芯照片见(图 2(f)、(g))。



注: 所有照片为统一比例尺, 参照物为 1 元硬币, 岩芯直径 10 cm。(a) 灰绿色粉砂质泥岩中的微裂缝, 水平与垂直方向均发育, 古 708 井 2 139.40m; (b) 深灰绿色泥岩中的震裂缝, 竖直方向, 局部交叉, 为砂质物充填, 古 708 井 2 159.93m; (c) 紫红色泥岩盖层中震裂缝, 径约 1 cm, 州 101 井 2 033.85m; (d) 上部滑塌构造, 下部阶梯状断层, 底部重荷模, 塔 21-9 井 2 119.40m; (e) 下部发育成小型地堑的震裂缝, 底部斧状构造, 塔 21-9 井 2 120.60m; (f) 龟裂式破碎, 平面与垂直方向裂缝交织成网状, 贝 26 井 1 758.30m; (g) 龟裂式破碎, 见网状裂缝系统, 贝 26 井 1 758.30m; (h) 上部内碎屑角砾岩, 下部丘状层理, 塔 21-9 井 2 116.4m; (i) 鳌构造, 塔 21-9 井 2 117.67m; (j) 大型砂岩脉, 长约 1.5 m, 脉体与层面基本垂直, 脉体中含有灰黑色泥质丝絮状碎屑, 金 191 井 1 958.87m; (k) 内碎屑角砾岩 (泥岩碎屑呈梅花状), 塔 21-9 井 2 117.5m; (l) 顺层砂岩脉, 金 191 井 1 843.25m; (m) 石香肠构造, 金 191 井 1 843.51m; (n) 同沉积塑性变形构造, 底部滑塌与重荷模和枕状构造, 塔 21-9 井 2 115.34m; (o) 眼球构造, 英 39 井 2 030.10m; (p) 蝌蚪状构造, 英 25 井 1 730.67m; (q) 火焰构造, 交切面明显形态不平整, 古 921 井 2 385.29m; (r) 火焰构造, 古 708 井 2 014.20m; (s) 环状层理, 环形纹层连续、清晰可见, 大 428 井 1 895.49m; (t) 丘形微隆起构造, 原始砂质沉积物层理变形, 古 921 井 2 197.45m; (u) 上部震浊积岩, 下部丘状层理, 塔 19-43 井 1 772.30m; (v) 顶部 (左) 振动滑塌与充填构造, 中部震浊积岩, 下部内碎屑角砾岩, 塔 21-9 井 2 116.28m。

图 2 震积变形构造的岩芯识别标志

Fig. 2 Distinguishing marks of seismites deformation structures in core

(1) 龟裂式破碎

是一种固结岩石受地震破坏作用后的破裂类型,从岩芯表面(包括断面)来看其裂缝形态非常类似于龟壳的纹理或者长颈鹿脖子的斑纹。仔细观察会发现其裂缝实际上并不是真正的裂缝,而是前期地震震动而发生了0.5 mm级别的非常小的裂缝,由于后期被流体或气体充填,并逐渐把裂缝两侧的岩石浸染,从而形成了现在的看似有5 mm左右的裂缝,将现在观察到的“裂缝”放大后会发现其中央有一条宽度小于0.5 mm的细线,这就是最初形成的那道真正的裂缝。而众多的裂缝在平面和垂直方向交叉在一起,形成了现在岩芯上所见到的裂缝系统(图2(f))。

从图中可看出,该裂缝发育在物性非常好的均质粉砂岩、细砂岩中,对储集空间具有明显的改造作用,但是这种裂缝对于砂岩储层来说其改造作用既可能是优化也可能是破坏。

(2) 微型滑动摩擦镜面

微型滑动摩擦镜面在地下岩层尤其是泥岩中发育比较广泛。

(3) 内碎屑角砾岩

内碎屑角砾岩(intraclastic parabreccia)是指自碎屑进一步位移形成的近原地异位的角砾岩,是沉积岩受地震作用被震裂破碎再沉积的产物。其岩块大小和形状差异均较大,多为飞鸟状和蠕虫状,杂乱分布,岩块大小为0.5~10 cm,多数棱角分明。有的泥岩碎屑拉长、侧向变细和弯曲,具有明显撕裂痕迹的截面(图2(h)、(i)),有的泥质砾岩边缘被挤压而变圆滑,表明当时处于半固结状态。古708井2117.58 m处4条长4~5 mm、宽2 mm的岩屑和一条长1.5 mm、宽2 mm的岩屑组成梅花形状,显然是在较大能量作用下向多个方向倾斜形成的(图2(k))。

2.2 未固结地层震积变形构造特征

未固结地层变形又称准同生变形,是指沉积物沉积之后、固结之前由于压实、液化、滑移、滑塌的差异性形成的变形构造。这些变形构造往往伴随地壳颤动的触发因素,因此常和震积岩伴生。未固结地层受地震活动的影响而发生变形会产生多种变形构造:

(1) 液化砂(泥)岩脉和砂(泥)岩肠

液化砂(泥)岩脉和砂(泥)岩肠是由地震-断裂作用引发软沉积物液化泄水的结果^[34-37],是发现和鉴别震积岩的重要标志。脉体成分多为砂质,呈

不规则状延伸,在纵向切面上呈丝絮状、飘带状等多种形态,顶端多消失在泥页岩中或与上部砂质层串通,底部与下伏砂质沉积物相连(图2(j)、(l))。其规模一般大小不一,宽度在数毫米到10 cm,高度在0.1~1.0 m(由于钻孔的直径在15 cm以下,很难一直跟踪窄的砂岩岩脉、砂岩岩肠或泥岩岩脉、泥岩岩肠),金191井岩芯上见到的长度约1.5 m的震积砂岩脉在国内外是极为罕见的(图2(j))。

砂岩岩脉可以发育在泥岩中,也可以发育在砂岩中,以粉砂岩多见,其中或多或少含有“围岩”的岩屑,表明其在充填微断裂或微裂隙的过程中对“围岩”有侵蚀或吞食作用,形成机理类似于岩浆侵入围岩。有的岩脉或岩肠周边的水平层理会出现上部往上拱、下部往下凹的双向反向变形,而不像某些其他的变形(如虫迹、植物根扰动)仅具单向性,如单一虫迹周边的层理多为上突呈穹状,或下凹呈漏斗状;又如植物根生长扰动多使周边的层理下凹呈漏斗状。这充分说明地震成因的某些岩脉或岩肠是砂岩液化、增压,然后挤入上部或周围泥岩形成的。

砂岩岩脉主要是由于地震震动液化挤压作用形成的^[16]。细砂岩与泥岩的薄互层对底部中等厚度砂岩层中流体的冲击具有缓冲作用,但是随着底部砂岩层中颗粒骨架的重排,孔隙流体压力会逐渐增大。孔隙流体主要表现出体积难以压缩且能承受极大压力的力学性质,这样受到异常压力的孔隙水在震动和流体上冒的影响下能载起砂层中的其他细颗粒,而在砂层的上部形成“液化均一层”^[14]。由于上部泥岩层结构的非均质性和挤压应力方向的非均衡性,在地震过程中,塑性泥岩层受到地震的影响而出现抗压不均匀的现象,这样受到异常压力的“液化均一层”就会从抗压相对比较脆弱的部位挤入泥岩层,形成烟囱、肠子、蘑菇等形状的岩脉(图3),有的甚至能够穿透薄层泥岩,形成咽喉状砂岩脉^[16]。

有的岩脉是顺层发育的,由于其顺层,所以不易识别,易将其误作为薄层砂岩(图2(l))。这种岩脉的特点是:①虽然顺层,但没有沉积形成的自然界面,界面岩性变化非常突然,其界面参差不齐;②围岩在界面上有撕裂现象,尤其是上部泥岩界面撕裂现象明显。如果是沉积界面,上部泥岩底界撕裂现象就不明显,因为泥岩是在静水条件下垂向加积形成的,其底界没有足够的能量插入下部的砂岩中;③岩脉中总有围岩碎片,碎片的形态可以非常复杂,没有分选,没有磨圆,有的边缘甚至呈须状,充分表明

了它们不是在牵引流的作用下就位的, 与周边的粉砂岩脉没有明显的相对位移, 否则“须”就会断裂并从母体上脱落。在围岩碎片中经常发育有次级粉砂岩脉。这些特点与同生泥砾或砂砾明显不同; 围岩碎片的粒度变化也非常大, 可以有与粉砂粒度

相近或略大的泥屑; ④砂岩脉的厚度比相邻地层中未受地震改造的同样厚度的粉砂岩脉变化大得多;

⑤有时可以发现这种顺层岩脉会与垂直或高角度的砂岩脉相连; ⑥这种顺层岩脉经常会出现分叉或突然尖灭。

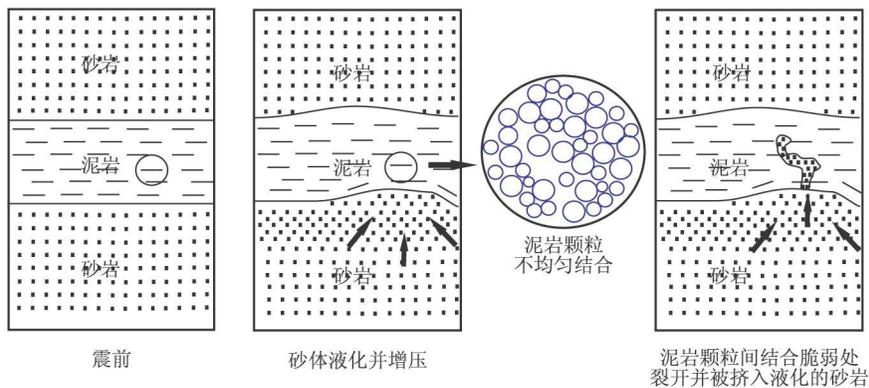


图 3 震动流体化作用形成砂岩脉过程示意图

Fig. 3 The sketch of formation process of sand dikes resulted from shaking-fluidization

(2) 石香肠构造

也有人把它解释为布丁构造, 本来是一种内动力地质作用形成的真构造, 但在震积岩中也有发育。研究区白垩系发育的石香肠构造, 其规模较小 (图 2 (m)), 是由强弱明显的细粉砂互层在顺层拉张或垂直挤压作用下形成的。组成石香肠的单块岩石形态有骨节状、矩形状、梯形状、菱形状和肿缩状等。上下边界模糊, 转变成塑性变形, 同时与一些其他的塑性变形构造共生, 如变形层理、眼球构造、云状砂泥斑团。呈叠瓦状排列的布丁构造是在顺层拉张为主并且伴有剪切作用的应力条件下形成的^[38-42]。

石香肠构造本身是一种脆性变形构造, 其成因可能与 3 个因素有关, 一是小范围内变形量大, 只有脆性断裂才能调节小范围内的大尺度变形 (变形量达到 $1/4 \sim 1/6$ 变形量为微型断层的垂向断距与断层的高度之比); 二是在地震作用下变形发生很快, 还来不及塑性变形; 三是沉积物有一定的固结。

(3) 同沉积塑性变形构造

细粒沉积物在未固结或半固结而呈塑性状态时, 在振动力作用下可形成小褶皱或微褶皱 (pleated lamination), 微褶皱亦被震积岩研究者称为含水塑性变形 (Hydroplastic deformation), 是震积岩判别的重要标志之一^[33]。这些小揉皱、卷曲变形构造互连接, 形态各异, 此种构造因其褶曲轴面无规律可循而与构造作用引起的层间褶皱构造及沉积物沿斜坡

滑动产生的变形构造有明显的区别^[43]。塔 21-9 井 2 115 30 m 砂泥岩薄互层, 1~2 mm 厚的砂岩夹于层厚仅 3~4 mm 的暗色泥岩中, 液化的微褶皱像被风吹皱一样发生明显褶曲 (图 2 (n)); 2 115 34 m 由灰白色砂岩与暗色泥岩组成的薄互层段厚 4.0~5.0 m, 其中砂岩单层厚约 1.0 cm, 泥岩单层厚 0.4~0.5 cm, 由 3~4 层叠置而成。由于振动, 整个岩层段形成两个微褶曲相连的波状弯曲, 其单个褶曲大小约 2.0 m, 不对称。其底部具有枕状构造和滑移现象 (图 2 (n))。

(4) 斧式构造

斧式构造是在地震 P 波上下振动和地震 S 波剪切共同作用下形成的小型地垒构造。由于同生断层具有弧形几何形态, 使地垒块表现出斧头的形状; 由于地震 S 波具有偏振现象, 因而造成了地垒顶部常发育地震破碎的高角度碎屑。塔 21-9 井 2 120 64 m 发育高 2~3 cm、宽约 2 cm 的斧式构造 (图 2 (e))。

(5) 眼球、蝌蚪、囊状构造

眼球、蝌蚪、囊状构造一般发育在韧性剪切或脆韧性剪切形成的糜棱岩中^[44-45], 多由长石形成, 是一种动力变质的产物。这种形状上类似眼球的构造是在平移滚动中形成的, 原来板片状、长条状的长石在韧性或脆韧性变形过程中不断移动、旋转, 两端被圆化, 形成一种类似眼球的椭圆体, 成为韧性剪切或脆韧性剪切的重要构造之一。在震积岩中也会发育

这种类似眼球、蝌蚪状的构造,但不是由长石形成的,而是由粉砂岩或泥岩形成的。在松辽盆地白垩系震积岩中既有粉砂岩包绕暗色泥岩的眼球、蝌蚪状构造,也有暗色泥岩被撕裂开并塞入砂岩的眼球、蝌蚪状构造(图 2(o)、(p))。

(6) 震动滑塌与充填构造

震动滑塌与充填构造是在地震震动力和重力共同作用下形成的,塑性的砂质或砂泥质薄互层沉积物向下运动、充填下伏岩层中大小不等的地震裂隙或塌落于下伏岩层中而形成,并伴生一系列滑动面和地裂缝、液化脉等震成标志^[46]。塔 21-9 井 2 116 28 m 砂岩层震裂缝内的泥质碎屑可见明显的塌落滑动痕迹; 2 119 34 m 发育砂泥质薄互层的滑塌构造,塑性砂岩滑塌拉拽出细长的“尾巴”清晰可见,其下发育阶梯状断层(图 2(d))。

(7) 鳌构造

螃蟹的捕食器具称之为“鳌”,在震积岩中有一种与之几何学特点相似的泥砂碎片,我们将其称之为“鳌构造”。鳌构造前端分开成叉,大部分由泥岩形成。其发育规模在厘米级,“叉”有长有短,长者数厘米,短者数毫米;“臂”也有长有短,长者数厘米,短者不及 1 cm;叉臂之长度比在 1/15~1/5(图 2(i)、(k))。有的鳌构造不完整,只有单叉。

鳌构造也是一种最能反应地震液化沉积物动力学特点的特殊构造。由于粉砂孔隙度大、含水量大,而泥含水量相对较少,且相对粉砂固结较好。所以,地震使软沉积物发生液化后,粉砂中的压力相对较大,流动性也相对较好,致使它们“乱窜”,把泥撕裂

或胀裂形成鳌构造。

(8) 震积砂枕、重荷模及其伴生构造

此类构造是由于上下相邻的沉积物存在较大的密度差,地震液化作用结束后,沉积物体积收缩,地面下沉,在震动和重力的作用下,上覆细砂、粉砂层发生断裂、解体,形成大小不一的砂块向软性泥质沉积物中沉陷而成的(图 4)。砂块的大小从几毫米到几厘米不等,由于粒度细,饱含水,在震动下沉过程中可发生塑性变形而呈不规则碎块状、球状、枕状、瘤状、拖曳拉长状等,构成 Roep所说的枕状层 (pillow-beds)^[47]。塔 21-9 井 2 115 34 m 见拖曳拉长的枕状沉积构造(图 2(n))。

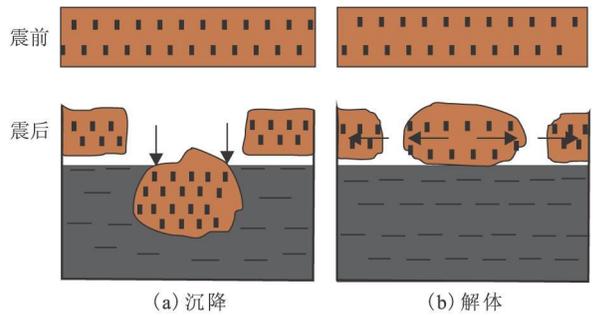


图 4 球枕构造形成演化图(据 Knaust 2002)

Fig 4 Evolution diagram of pillow structure(from Knaust 2002)

重荷模厚度在侧面有变化,内部的层理通常发生轻微变形并且和火焰构造伴生(图 5,图 2(q)、(r)),与 Alfaro^[48]的“drop structures”相似。当砂层呈枕状或球状脱落并坠入下伏泥质沉积物时,则形成枕状构造或球状构造^[51]。

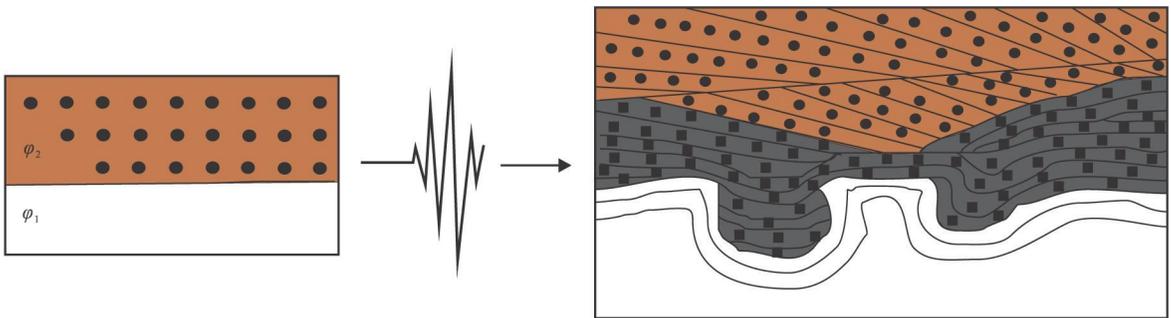


图 5 重荷模的成因模式图(据 Alfaro 等, 1997)

Fig 5 Genetic model diagram of load casts(from Alfaro, et al, 1997)

(9) 半环形层 (loop bedding)

Rodriguez-Pascua 等^[50]讨论了环形层的地震成因机制,认为环形层是由弱地震诱发、整个纹层状软沉积物尚未达到液化程度时的伸展变形。乔秀夫

等^[5]在研究元古代白云岩地震作用时,指出环形层是地震作用的重要记录。环形层横断面呈封闭的同心圆环状层,环形层长轴平行于岩层面,短轴垂直于层面。这种环形层在华北奥陶系纹层灰岩及古近

系纹层砂岩中也有出现^[5]。大 428 井 1 998.48 m 发育短轴长约 10 cm 的半环形层,长轴略微向下倾斜,由于其长度超过岩芯直径,故不能见到完整的环形层(图 2(s))。

(10) 丘形微隆起

地震津浪作用和风暴作用均可形成丘状交错层理,区别在于前者有地震作用的其他沉积构造伴生^[51-52],且可出现在深水中。塔 21-9 井 2 116.45 m 处发育一丘状构造,丘波长约 10 cm,丘高约 2.5 cm,底部有 1 cm × 0.6 cm 大小的暗色砾块,丘内部不具粒序性,纹层倾角在 12°~15°,其上发育自碎屑角砾岩;塔 19-43 井 1 772.3 m 丘状层理内砾岩更大,为 3.0 cm × 4.5 cm 的三角形,其上部一块 0.5 cm × 1.5 cm 的长条形砾石顺下面的丘状层纹理倾斜,丘状层理上发育震浊积岩(图 2(t)、(u))。

(11) 震浊积岩

震浊积岩是在地震作用下,岩石震裂发生位移后形成的高密度重力流沉积岩。震浊积岩与非地震浊积岩的区别在于:①地震浊积岩鲍马层序 AB 段以含震裂构造砾石为特征;②地震浊积岩与其母岩之间,可见发育震裂构造的震积岩和海(湖)啸岩。杜远生^[23]指出“与原地震积岩共生的浊积岩应为地震引发的震浊积岩。”塔 21-9 井 2 116.28 m 自碎屑角砾岩中发育 2.5 cm 厚地震形成的浊积砾岩(图 2(v))。塔 19-43 井 1 772.25 m 含砾细砂岩,无论砾石的含量还是大小均向上减少(小),正粒序明显,底部有 3 块砾石较大,约 4 × 8 mm,砾石左边缘齐整,棱角分明,两条边成直角或近于直角相交;右边缘无棱角,呈圆状-次圆状(图 2(u))。砾石的这种结构表明其具有断裂特征。

3 油气地质意义

通常的地震活动的间隔时间大多在百年到千年之间,而在以百万年为尺度地质历史面前,其频率相对来说是非常高的,由于地震活动对水下饱含水体的未固结沉积物的影响最为明显,因而在有水体覆盖的区域,地震活动的影响是广泛的。而研究区在高台子(青二、青三段)和葡萄花油层(姚一段)沉积时期恰好位于水下,因此理论上这两套油层应该广泛发育震积岩,而实际上我们在岩芯中也确实发现了大量的地震成因变形构造,因此对高台子和葡萄花来说,地震活动的作用是整个地质研究中不

可缺少的一个重要因素。

目前国内对震积岩的研究主要集中在其成因、构造变形形态、变形机理和过程及构造意义等方面,大多未涉及到其储层意义,少数有所提及的也仅仅是做了简单的定性猜测而缺乏实际材料的佐证,而在本次工作中课题组首次在岩芯中识别出了含油的震积岩层,这一发现不仅仅填补了震积岩研究中的一个重要空白,同时也为研究区主力油层的储层研究带来了新的思路,甚至对整个松辽盆地长垣以西水下沉积物成因的储层研究都具有重要意义。

实际上,地震活动的油气储集意义不仅表现在其对未固结沉积物的影响上,强烈的地震活动对已固结地层的改造同样也可以改变原有的油气成藏条件,下面按照其对沉积相、储层物性、运移通道和盖层的影响等方面分别进行分析。

(1) 震积岩可作为相标志^[21]

震积岩的产生需要特殊的构造活动背景,而且震积岩的保存同样需要特殊的沉积环境。研究表明,大段的泥岩或者砂岩中很难保存震积岩的构造特征,目前所发现的塔里木盆地志留系和济阳拗陷古近系震积岩都存在于砂泥互层的沉积构造中,在此类沉积构造中震积岩的特征最容易被保留和识别。

通过对所发现的震积岩进行构造背景分析,发现震积岩多发育于存在一定坡度的环境中,结合构造背景和沉积环境,更有利于确定沉积相类型,因此震积岩也可以作为一种指示沉积相或沉积环境的标志,从而更有利于储集相带优质砂体的寻找。

(2) 地震活动对储层砂体的影响

松辽盆地白垩系青山口组大量震积岩的发现,表明青二、青三段时期地震活动频繁,而地震资料显示青二、三段发育有为数众多的大规模、大尺度同沉积断层即为此提供了直接而有力的证据。本次研究在龙 3 井浊积岩中发现具地震作用特征的同沉积断裂,表明震积岩与浊积岩产生的时间基本一致,这同样为该浊积岩的外界触发机制是地震活动这一认识提供了直接的、有力的证据。本区沉积微相研究表明,长垣以西高台子油层(青二、青三段)最有利的储集相带砂体即为滑塌浊积岩及滨浅湖滩坝砂体。滨浅湖滩坝砂体的大量发育同样是同沉积断层活动引发频繁地震活动造成三角洲前缘相带砂体被高能波浪冲刷搬运而成。

(3) 地震活动对储层物性的改造

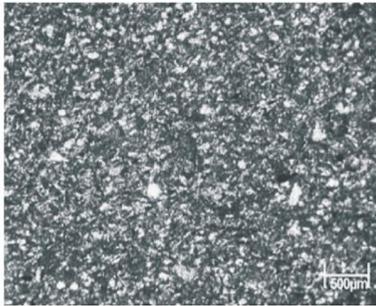
地震活动能够对未固结的疏松、含水水的非胶

结性沉积物造成液化作用,这是一个非常普遍的现象。对于孔隙间饱含水的未固结沉积物来说,震动能够改变颗粒的排列状态,使其趋于更加致密,这一规律早已被人们所认识并在很多领域中得到广泛的应用,一个最直接的例子是,迪拜在海岸浅水区用人工倾倒沙土的方法建立了多个巨大的棕榈树形状的人工岛,并在这些岛上建造了大量的建筑物,而在建造建筑物之前,用密集震动的方法来使类似于原始沉积的疏松沙土变得致密,以免后期建造的建筑物因地基松软而倒塌。

用震动的方法来使水中原始堆积的沙土变得致密这一方法与地震活动将原始软沉积物变得致密完全一致,甚至可以直接看做是地震活动对沉积物影响的一个物理试验,地震活动能够使水下砂土沉积

物变得更加致密,这样的沉积物在成岩固结之后,其孔隙度和渗透率会比正常情况有所降低。而对于油气储层来说,地震活动能够在一定程度上降低储层的孔隙度和渗透率,降低的程度受地震活动的强度和持续时间控制。从这个角度来说,地震活动对储层的一个重要影响是降低储层的孔隙度和渗透率,易形成低孔低渗储层。

地震活动对大厚度砂岩的影响在国际上也被很多地质学家所重视,德国弗赖堡大学的 C. Hildebrandt 教授对玻利维亚中部奥陶系浅海成因的 1 m 左右的地震影响砂岩进行的研究表明,除了肉眼可见的明显液化变形之外,这种砂岩在显微镜下的微观颗粒排列特征也与普通砂岩略有区别,其颗粒排列更加紧密,接触程度更高,见(图 6)。



(a) 震后砂岩颗粒排列更加紧密



(b) 液化砂岩脉灌入震裂缝



(c) 露头见砂岩液化现象

图 6 浅水大厚度砂席的地震液化现象

Fig 6 Seismic liquefaction phenomenon of large thickness of sand in shallow water seats

地震事件对固结良好地层的改造作用能使储层震裂,改善储集层的物性,震积岩层可作为潜在的储集层。古 69 井深 1 880 6m 岩芯薄片巾见到震裂缝附近发育溶孔,这些微裂缝和溶孔无疑对改善储层的储集性能起到了建设性作用。

(4) 地震活动对运移通道的影响

如前所述,地震活动不仅可对软沉积物进行明显的改造,也可对已固结的地层造成破坏,主要表现在震裂和震碎等,图 6 中的地震裂缝均可以作为油气的运移通道。

发生地震的断裂系统为油气运移提供通道,这为在地震断裂系统附近寻找低渗透砂岩中的高渗储层提供了新的方向,地震断裂系统上倾方向的三角洲前缘水下分流河道、河口坝砂岩及浊积扇砂体构成的上倾尖灭型岩性圈闭、透镜体状岩性圈闭具有广泛发育的断裂系统,因而易于形成高产能的油气藏。

(5) 地震活动对盖层的破坏

强烈的地震活动会造成固结的致密岩石破裂,无论是泥岩(包括灰绿色、紫色和黑色泥岩)还是砂岩。砂岩破裂后可以改进其储集性能,而泥岩破裂则可能将很好的盖层破坏,暗红色泥岩被地震震裂,裂缝被灰白色粉砂质充填,如果这套泥岩本来是作为盖层的,那么当地震过后,它对油气的阻挡作用则被严重削弱,大量的裂缝可以造成油气的快速散失,这种地震的破坏作用在油气成藏研究中是不能忽略的。

4 结 语

尽管中国地质学家对震积岩研究起步晚,但起点高,具有自己的研究特色,取得了丰硕的成果。但是总的来说,目前国内外对震积岩的研究主要集中在古生代以前的海相地层,而对中国东部新生代断陷盆地古近纪碎屑岩地震系列,特别是通过观察描

述油气勘探开发过程中的钻井取芯来研究古代地震记录还是一个全新的领域^[24]。因此, 本次对松辽盆地青山口组震积岩特征的研究是对陆相碎屑岩震积作用研究的又一有效补充。对地震作用造成的各种震积变形构造按照固结地层和未固结地层进行分类更有助于条理清晰地认识各种各样的地震标志。

由于震积岩处于深大断裂附近油气有利的运移方向上, 是一类值得重视的潜在油气储层。除了储集意义之外, 如果进一步能与岩性、成岩作用史、成烃演化史及孔隙演化史相匹配进行研究, 不仅能为盆地构造演化提供动力学解释, 而且对盆地有利油气聚集区的寻找及重点含油层位的确定产生建设性的现实意义。

参考文献:

- [1] Seilacher A. Fault-graded bed interpreted as seismicites [J]. *Sedimentology*, 1969, 13(1-2): 155-159.
- [2] 宋天锐. 北京十三陵前寒武纪碳酸盐岩地层中的一套可能的地震-海啸序列 [J]. *科学通报*, 1988, 38(8): 609-611.
- [3] 乔秀夫, 宋天锐, 高林志, 等. 碳酸盐岩振动液化地震序列 [J]. *地质学报*, 1994, 68(1): 16-32.
- [4] 乔秀夫, 李海兵, 高林志. 华北地台震旦纪-早古生代地震节律 [J]. *地学前缘*, 1997, 4(3): 155-160.
- [5] 乔秀夫, 高林志. 燕辽裂陷槽中元古代古地震与古地理 [J]. *古地理学报*, 2007, 9(4): 338-352.
- [6] 乔秀夫, 高林志. 华北中新元古代及早中生代地震灾变事件及与 Rodinia 的关系 [J]. *科学通报*, 1999, 44(16): 1753-1758.
- [7] 乔秀夫, 高林志, 彭阳, 等. 古庐带沧浪铺阶地震事件、层序及构造意义 [J]. *中国科学: D 辑*, 2001, 31(11): 911-918.
- [8] 孙晓猛, 梁定益, 聂泽同. 大陆边缘震积岩序列-以金沙江中段震积岩为例 [J]. *现代地质*, 1995, 9(3): 1-27.
- [9] 杜远生, 张传恒, 韩欣. 滇西地区中元古代大龙口组震积岩的新发现 [J]. *沉积学报*, 1999, 24(增刊): 28-37.
- [10] 杜远生, 张传恒, 韩欣. 滇西中元古代昆阳群的地震事件沉积及其地质意义 [J]. *中国科学: D 辑*, 2001, 31(4): 284-290.
- [11] 吴贤涛, 尹国勋. 四川峨眉晚侏罗世湖泊沉积中震积岩的发现及其意义 [J]. *沉积学报*, 1992, 10(1): 19-26.
- [12] 尹国勋, 汤友谊. 地史时期地震事件的岩石学证据-以四川峨嵋晚侏罗世湖泊沉积中的震积岩为例 [J]. *地震地质*, 1993, 15(1): 61-65.
- [13] 张琴, 朱筱敏, 张建军, 等. 酒西盆地青南凹陷柳沟庄-窟窿山地区下白垩统震积岩的发现及意义 [J]. *地质学报*, 2003, 77(2): 158-162.
- [14] 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, 22(1): 41-46.
- [15] 付文利, 王艳琴, 杨光, 等. 东营凹陷沙三段、沙四段震积岩研究 [J]. *油气地质与采收率*, 2004, 11(2): 6-8.
- [16] 袁静, 陈鑫, 张善文. 济阳拗陷古近系软沉积变形层中的砂岩脉特征 [J]. *石油学报*, 2008, 29(3): 336-340.
- [17] 夏青松, 田景春. 鄂尔多斯盆地南部上三叠统延长组震积岩的发现及地质意义 [J]. *沉积学报*, 2007, 25(2): 246-252.
- [18] 杨剑萍, 聂玲玲, 张琳璞, 等. 柴达木盆地西南缘乌南油田新近系古地震纪录及储集性能研究 [J]. *地质学报*, 2008, 82(6): 805-812.
- [19] 杨剑萍, 聂玲玲, 杨君. 柴达木盆地西南缘新近系与地震沉积有关的软沉积物变形构造及其地质意义 [J]. *沉积学报*, 2008, 26(6): 967-974.
- [20] 杨剑萍, 王亚丽, 查明, 等. 山东惠民凹陷古近系湖泊地震涌浪记录的新发现 [J]. *地质学报*, 2006, 80(11): 1715-1722.
- [21] 魏垂高, 张世奇, 姜在兴, 等. 东营凹陷现河地区沙三段震积岩特征及其意义 [J]. *沉积学报*, 2006, 24(6): 798-805.
- [22] 路慎强. 济阳拗陷古近系碎屑岩地层中震积岩识别标志研究 [J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2006, 30(5): 8-13.
- [23] 杜远生, 韩欣. 论震积作用和震积岩 [J]. *地球科学进展*, 2000, 15(4): 389-394.
- [24] 袁静. 中国震积作用和震积岩研究进展 [J]. *石油大学学报: 自然科学版*, 2005, 29(1): 144-149.
- [25] 彭阳, 杨天南, 乔秀夫, 等. 大连上震旦统地震灾变事件研究 [J]. *地质学报*, 2001, 75(2): 221-227.
- [26] Du Yuansheng, Gong Shuyun, Han Xin, et al. Silurian seismicites in Hanchia Yumen, north Qilian Mountains and their tectonic significance [J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2001, 75(4): 385-390.
- [27] 杜远生. 广西北海涠洲岛第四纪湖光岩组与火山活动有关的震积岩 [J]. *沉积学报*, 2005, 23(2): 203-209.
- [28] 段吉业, 刘鹏举, 万传彪. 华北燕山中-新元古代震积岩系列及其地震节律 [J]. *地质学报*, 2002, 76(4): 441-445.
- [29] 田洪水, 万中杰, 王华林. 鲁中寒武系馒头组震积岩的发现及初步研究 [J]. *地质论评*, 2003, 49(2): 123-131.

- [30] 严兆彬, 郭福生, 彭花明, 等. 浙西寒武系大陈岭组地震事件沉积的初步研究 [J]. 地质学报, 2005, 79(6): 731-736
- [31] 殷秀兰, 杨天南. 胶州-莱阳盆地白垩纪莱阳群中的震积岩及其构造意义讨论 [J]. 地质论评, 2005, 51(5): 502-506
- [32] 吕洪波, 章雨旭, 肖国望, 等. 内蒙古白云鄂博南东黑脑包膨林忽洞群下部发现地震滑塌岩块 [J]. 地质论评, 2006, 52(2): 163-169
- [33] 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, 52(3): 314-320
- [34] Bauern H. Report on the geology of the country near the forty-ninth parallel of north latitude west of the Rocky Mountains [J]. Geological Survey of Canada Report 1985, 45(6): 1-42
- [35] Fairchild I J, Einsele G, Song Tianxi. Possible seismic origin of molar tooth structures in Neoproterozoic carbonate ramp deposits, north China [J]. Sedimentology, 1997, 44(4): 611-630
- [36] Rossetti D F, Goes A M. Deciphering the sedimentological imprint of paleoseismic events: an example from the Aptian Codo formation, northern Brazil [J]. Sedimentary Geology, 2000, 135: 137-156
- [37] 魏垂高, 张世奇, 姜在兴, 等. 塔里木盆地志留系震积岩特征及其意义 [J]. 地质学报, 2007, 81(6): 827-833
- [38] 杜远生, 韩欣. 论震积作用和震积岩 [J]. 地球科学进展, 2000, 15(4): 389-394
- [39] Davis G H, Reynolds S J. Structural Geology of Rocks and Regions [M]. New York: John Wiley & Sons Inc., 1996: 1-776
- [40] Urai J L, Spaeth G, Hilgers C, et al. Evolution of Mullion (Boudin) structures in the Variscan of the Ardennes and Eifel [J]. Journal of the Virtual Explorer 2001, 3: 1-16
- [41] Goscombe B D, Passchier C W. Asymmetric boudins as shear sense indicators: an assessment from field data [J]. Journal of Structural Geology 2003, 25(3): 575-589
- [42] Goscombe B D, Passchier C W, H and M. Boudinage classification: end-member boudin types and modified boudin structures [J]. Journal of Structural Geology, 2004, 26(4): 739-763
- [43] 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, 15(3): 266-268
- [44] 梁海华, 刘树文, 孙晓松, 等. 剪切带中斑晶的运动学和变形分析及塑性大变形计算机模拟 [J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2000, 36(1): 117-123
- [45] 白文吉, 任玉峰, 杨经绥, 等. 记录地幔中存在氧元素的自然铁-方铁矿组合 [J]. 地球学报, 2006, 27(1): 43-49
- [46] 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, 81(4): 511-518
- [47] Roep T B, Events A J. Pillow-beds: a new type of seismite? An example from Oligocene turbidite fan complex Alicante [J]. Sedimentology, 1992, 39: 711-724
- [48] Alfaro P, Moret M, Sorri M. Soft-sediment deformation structures induced by earthquakes (seismites) in Pliocene lacustrine deposits (Guadix-Baza Basin, Central Betic Cordillera) [J]. Ecological Geologicae Helvetica, 1997, 90: 531-540
- [49] 杨剑萍. 惠民凹陷中央隆起带西部下第三系沙河街组三段上部的风暴重力流沉积 [J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2000, 24(1): 26-29
- [50] Rodriguez-Pascua M A, Calvo J P, Vicente G D, et al. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene [J]. Sedimentary Geology, 2000, 135(1-4): 117-135
- [51] 袁静. 惠民凹陷古近系风暴沉积研究 [J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2006, 30(4): 1-6
- [52] 郭力宇, 甘枝茂, 张国伟, 等. 陕西洛南陶湾砾岩地震机理新认识 [J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2002, 38(4): 497-503

(编辑助理: 李臻)

results show that the biodegraded oils from the west area of Biyang Sag can be divided into two types by the component of aromatic hydrocarbon of the oil and the relation of triaromatic sterane $(C_{20} + C_{21}) / \sum(C_{20} \sim C_{28})$ and triaromatic sterane $C_{20} / (C_{20} + C_{28R})$ of crude oils. It is the same with the result by the relation of triaromatic sterane $(C_{20} + C_{21}) / \sum(C_{20} \sim C_{28})$ and C_{24} tetracyclic terpane/ C_{26} tricyclic terpane of crude oil. The relative level of the maturity of these two types of biodegraded oil is assessed by the triaromatic sterane parameters. The triaromatic sterane parameters may have significance in several aspects such as oil genesis and maturity evaluation etc.

Key words aromatic compounds; triaromatic sterane; maturity; biodegraded oil; Biyang Sag

SENSITIVITY ANALYSIS OF COMMON IMAGE GATHERS BASED ON PRESERVED AMPLITUDE CONTINUATION OPERATOR

CHEN Hui^{1a 1b}, HE Yu-shan², LI Lu-ming^{1b}, LUO Sheng-xian^{1b}, ZHAO An-jun³ (1. Chengdu University of Technology, a Key Lab of Geomathematics of Sichuan Province, b. MOE Key Lab of Earth Exploration and Information Techniques, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. Research Institute, No. 1 Geophysical Exploration Company, Daqing Drilling and Exploration Engineering Corporation, CNPC, Daqing Heilongjiang 163357, China; 3. Department of Exploration, Huabei Oilfield Company, CNPC, Renqiu Hebei 062550, China). *JOURNAL OF SOUTHWEST PETROLEUM UNIVERSITY (SCIENCE & TECHNOLOGY EDITION)*, VOL. 32, NO. 3, 35–40, 2010 (ISSN 1674-5086 in Chinese)

Abstract Wave equation prestack depth migration is an effective way to deal with imaging in complex geological structure. Final imaging result is obtained by prestack depth migration, but the migration velocity analysis and AVA / AVO analysis are completed by common imaging point gathers. Common imaging gathers are sensitive to migration velocity, which has an effect on the feasibility and the number of iterative convergence of migration velocity analysis. Based on this, the method of extraction of common imaging point gathers during wave field extrapolation by using double square root preserved-amplitude migration operator is presented in the paper. It ensures the energy characteristics of amplitude and is better for AVA / AVO analysis. The sensitivity of common imaging point gathers in offset domain and ray parameter domain to migration velocity can meet the needs and enhance the accuracy of migration velocity analysis.

Key words preserved amplitude continuation operator; common image gathers; wave equation; prestack depth migration; sensitivity analysis

CHARACTER AND PETROLEUM GEOLOGICAL SIGNIFICANCE OF SEISMITES IN THE QINGSHANKOU FORMATION OF CRETACEOUS IN SONGLIAO BASIN

YANG Yu-fang^{1, 2}, ZHONG Jian-hua^{1, 3}, WANG Hai-qiao³, CHEN Zhi-peng³, CHEN Xin³ (1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China; 2. Graduate school of Chinese Academy of Sciences, Shijingshan, Beijing 100039, China; 3. College of Geo-resources and Information, China University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061, China). *JOURNAL OF SOUTHWEST PETROLEUM UNIVERSITY (SCIENCE & TECHNOLOGY EDITION)*, VOL. 32, NO. 3, 41–50, 2010 (ISSN 1674-5086 in Chinese)

Abstract By observation of a large number of cores, combined with the study on tectonic setting in Songliao Basin,

Cretaceous Qingshankou seismite is identified. On the basis of previous studies, seismite deformation structures are divided into two categories, consolidation stratigraphic seismite deformation structure and non-consolidation stratigraphic seismite deformation structure. Consolidation stratigraphic seismite deformation structures in the study area are mainly cracks, micro-faults, crack-type formation fracture zone, and intraclastic parabreccia. Non-consolidation stratigraphic seismite deformation structures are mainly liquified sandstone veins, boudin structure, syn-sedimentary plastic deformation, hop bedding, pillow seismites and associated structures and so on. The sedimentary characteristics of seismites are summarized and petroleum geological significance are discussed. The collapse fluxoturbidite rocks sandbody triggered by earthquake activity from the delta front, shore-shallow lake dam from high-energy wave zone triggered by earthquake activity are both good reservoir. Dissolution porosity and micro-cracks is developed in the vicinity of cracks. Development degree of micro-cracks and dissolution porosity will no doubt improve the performance of the reservoir constructively. Fault system in consolidation earthquake stratum provides access for oil and gas migration. Strong earthquake activity in the dense consolidation cause the breakdown of mudstone caprock, a large number of cracks lead to rapid loss of oil and gas.

Key words Songliao Basin; Cretaceous; Seismites; Seismite deformation structure; petroleum geological significance

THE QUANTITATIVE PREDICTION OF TECTONIC FRACTURE MULTI-PARAMETER AND ITS APPLICATION IN MINQIAO OILFIELD

WANG Jun, DAI Jun-sheng, JI Zong-zhen (College of Geo-Resources and Information, China University of Petroleum, Dongying Shandong 257061, China) *JOURNAL OF SOUTHWEST PETROLEUM UNIVERSITY (SCIENCE & TECHNOLOGY EDITION)*, VOL. 32, NO. 3, 51-55, 2010 (ISSN 1674-5086 in Chinese)

Abstract On the basis of strain energy and surface energy theory, by using Griffith rock-cracking principle, the aperture, density, porosity and permeability of Fu-2 member reservoir fractures in Minqiao Oilfield are predicted by core fracture statistics and tectonic stress field finite element numerical simulation. The result shows that tectonic fractures were generated due to the paleo-stress field in Late Funing period, which mainly exist near the faults with trend of NEE and NWW. The present stress field is of modified effect on these fractures, allowing the high value of fracture parameters to appear in the high part. The value of M in 35 fault block is the highest while the density is 1.5/m, the aperture is 0.84mm, the porosity is 0.26% and the permeability in WE is 94.00mD. Effected by the direction of fractures, permeability of fracture in NS is only 5.00mD.

Key words fracture prediction; tectonic stress; porosity; permeability; core description

DETERMINATION OF FAVORABLE TARGET AREAS OF COAL BED METHANE EXPLORATION AND PRODUCTION IN LIUPANSHUI, GUIZHOU

CHEN Ben-jin^{1,2}, WEN Chun-qi¹, CAO Sheng-yuan¹, REN Wen-jing¹, ZHOU Xiong¹ (1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. Seismological Bureau of Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550001, China) *JOURNAL OF SOUTHWEST PETROLEUM UNIVERSITY (SCIENCE & TECHNOLOGY EDITION)*, VOL. 32, NO. 3, 51-55, 2010 (ISSN 1674-5086 in Chinese)