

文章编号: 0253- 9985(2003) 01- 0081- 06

四川盆地西部上三叠统须家河组 二段风暴岩沉积特征

李华启^{1,2}, 姜在兴³, 邢焕清³, 鲜本忠³(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东广州 510640; 2. 中国石油天然气股份有限公司
规划计划部, 北京 100011; 3. 石油大学地球资源与信息学院, 山东东营 257061)

摘要: 通过研究, 发现了四川盆地西部上三叠统须家河组二段沉积具有典型的风暴沉积特征, 主要包括渠模构造(或口袋构造)、冲刷面和截切构造、风暴滞积层段、丘状交错层理、包卷层理、浪成层理、倒“小”字状构造、生物扰动等。须二段的风暴沉积类似于鲍马序列, 垂向沉积序列可以划分出 Sa, Sb, Sc, Sd, Se 等 5 段。风暴沉积是由风暴作用引起的强烈振荡风暴浪作用于三角洲、扇三角洲, 使沉积物经搬运再沉积的产物。风暴岩沉积构造类型丰富多样, 而又以风暴成因的泥砾为特征, 泥砾的形态、排列样式、组合方式, 反映了风暴沉积的强度和频度。须二段风暴沉积是四川盆地的一种新型储集层。

关键词: 须家河组; 风暴岩; 沉积特征; 沉积模式

第一作者简介: 李华启, 男, 41 岁, 高级工程师, 在读博士, 石油地质

中图分类号: TE112. 221 文献标识码: A

四川盆地西部上三叠统须家河组, 是一套假整合于中三叠统雷口坡组海相碳酸盐岩侵蚀面之上, 不整合- 整合伏于侏罗系红层之下的一套以砂泥岩为主的地层, 沉积厚度西厚东薄, 沉降中心紧靠龙门山逆冲断层一侧, 厚度超过 4 000 m。须家河组存在着海陆过渡相、陆相两种性质完全不同的沉积环境, 其岩性在垂向上旋回性明显: 须家河组一段以黑色泥岩夹煤层为特征; 二段在龙门山前缘, 由于地形较陡, 主要是砂岩沉积, 在盆地中西部南充、成都一带, 多为稳定的泥岩夹煤层沉积; 三段又是以黑色泥岩夹煤层为特征; 四段以砂岩为特征; 五段又以灰色到黑色泥岩为特征。

前人对本区的沉积相研究做过许多工作。张金亮等^[1]认为须家河组沉积相可划分为河流三角洲、海湾、湖泊和冲积扇等 4 种类型, 其中三角洲是研究区的主要骨架砂体, 而须家河组二段沉积期是三角洲砂体最为发育的时期, 缺少物源供给的滨岸区则发育滨浅湖滩坝砂体^[1]。丘东洲认为须家河组主要由洪积扇相、河流相、三角洲相、沼泽相、湖泊相及其交互相构成^[2]。苟宗海则认为须家河组以河流- 岸后沼泽、三角洲沉积体系为主^[3]。关于本文研究的重点须家河组二段(以下

简称须二段), 徐强等认为主要以三角洲沉积相为主^[4], 李绍虎等认为主要由湖泊及进积三角洲沉积构成的沉积相为主^[5]。

1 沉积特征

风暴岩主要见于整个须二段砂岩中, 风暴岩发育的每个期次都有泥砾出现, 典型风暴沉积构造标志包括以下几种(图 1)。

1.1 渠模构造(或口袋构造)

渠模为风暴流典型的沉积构造^[6]。每当风暴来临, 强烈的气流摩擦湖水形成强大的定向水流或涡流, 在湖底冲蚀或旋切沉积物形成刨蚀坑, 坑内充填粗碎屑沉积。这些刨蚀坑在岩层断面上表现为口袋状特征, 故通常称之为口袋构造, 又称为渠模构造。须二段渠模构造一般深 2.5~ 4.5 cm, 宽 3.5~ 6 cm。渠模内充填浅灰- 灰色砂岩(图 1a)。上述特征表明须二段存在典型的风暴流作用。

1.2 冲刷面和截切构造

须二段常见的侵蚀构造有冲刷面和截切构造(图 1b), 其成因是当强水流经沉积物表面时形成各种侵蚀构造, 冲刷面的凹凸程度反映了风暴作用的大小^[7]。风暴过后, 湖水恢复平静, 于是较深

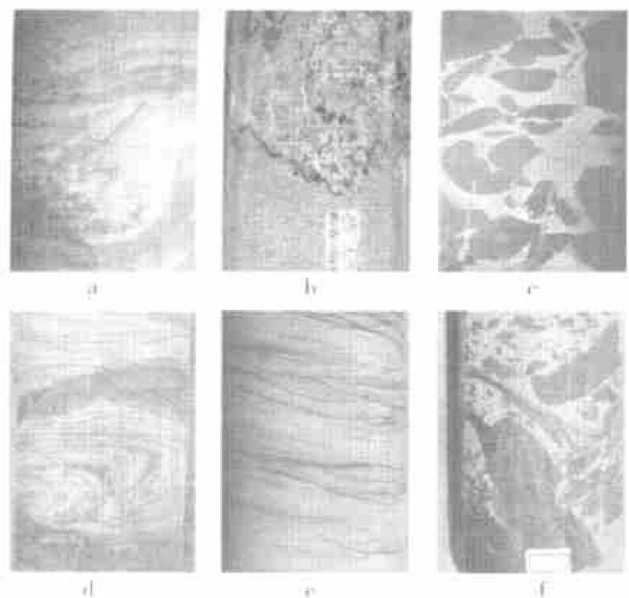


图1 须家河组二段风暴岩沉积特征(岩芯直径10 cm)

Fig. 1 Sedimentary characteristics of tempestite in the 2nd member of Xujiahe Formation

a—渠模构造, 关基井, 4 260.9 m; b—冲刷面 46 井, 2 275.0 m; c—风暴滞积层, 魏1井, 4 147.2 m; d—包卷层理、丘状交错层理及浪成波痕, 汉2井, 3 160.8 m; e—浪成砂纹层理, 关基井, 4 288.5 m; f—一盆内泥砾构成的倒小字构造, 邛西1井, 4 261.3 m

湖(晴天浪底之下)的泥岩便覆盖在剪切面之上, 这是风暴流影响湖底的证据。按截面形态特征可分为波状、微波状、不规则3种, 其规模较小。须二段风暴岩底面构造的冲刷面有波状、复杂形状等形态。

1.3 风暴滞积层段

风暴滞积层段, 在须二段主要表现为搅动层的形成, 也是识别风暴流的重要标志之一^[8]。在风暴高潮期间, 暴风浪可搅动正常浪基面以下的沉积物, 形成冲刷面及搅动层风浪把湖底弱固结的砂、泥沉积搅乱、变形并撕裂, 形成紊乱的搅动层(图1c)。

1.4 层理构造

须二段风暴岩中层理类型多样, 特征各异, 主要有递变层理、丘状交错层理、包卷层理等。

1.4.1 递变层理

递变层理位于冲刷面之上, 岩芯中所见递变层理与下伏泥岩呈突变接触。由于风暴高峰过后, 风暴密度流按重力分异沉降而形成递变层理。粒序层代表风力减弱的沉积环境。递变层理粒序层的厚度从数厘米至数米不等, 自下而上由粗砾

—中砾—细砾组成, 泥砾含量逐渐减少、粒径逐渐变小。

1.4.2 丘状交错层理

丘状交错层理是风暴浪作用形成的典型沉积构造, 具丘状和凹状表面形态, 其形成与风暴浪有关^[9]。须二段产出的丘状交错层理主要特点是各细层向脊部发散增厚而向两端变薄收敛。依产出层位及组合特征分述如下: 简单式由单个层系组成丘状体, 单个丘状体长约2~5 cm, 高1~3 cm, 纹层平缓; 复合式由两个或两个以上丘状体叠置而成, 丘状体间常具截切关系, 单个丘状体长3~5 cm, 高2~8 cm(图1d)。

丘状交错层理形成原因是巨大的风暴浪波及湖底沉积物形成纹层平缓、丘状起伏或洼状下凹的交错层理。丘状交错层理见于口袋构造之上的砂岩中, 层理有缓波状的丘状纹层显示, 底面为一极缓的冲刷面, 纹层为平缓下凹状。

丘状交错层理其内部纹理清晰, 有3种类型:

①层系上部细层凸起呈圆丘状, 下部细层与下界面平行; ②层系细层上凸下凹, 上下纹层两端收敛相交; ③层系下部细层下凹呈洼状, 上部细层与上界面平行。须二段的丘状交错层理位于平行层理或块状层理之上, 从位置上看它不是风暴作用鼎盛时期的产物, 而是风暴浪减弱时由弱振荡水流和多向水流形成的, 是风暴作用的标志。丘状交错层理规模较大, 一般表现为一组平缓的下凹状、上凸状或近水平纹层, 纹层倾角自下而上逐渐减小, 单个纹层的厚度向下凹(或上凸)侧均匀增厚(或减薄), 纹层组呈发散(或收敛)状。丘状层理是风暴岩最重要的识别标志之一。

1.4.3 包卷层理

值得提及的是, 在岩芯中发现包卷层理, 其规模很小, 波长为8 cm, 波高为3 cm, 由尖背斜状和宽缓向斜状纹层组成, 属于风暴沉积序列中的一种层理, 可以出现在砂质风暴岩中, 但侧向不稳定(图1d)。刘宝琛等^[8]在扬子地台西缘寒武纪梅树村组风暴岩沉积序列中也曾在介壳层中发现包卷层理, 这更加证明须二段风暴岩的存在。此外, 这一现象反映沉积速率小, 风暴作用持续时间相对较长的沉积构造特征。

1.5 浪成构造

波痕也是造成风暴砂岩顶面不平整的构造之

—^[11]。粒序层顶部常过渡为浪成沙纹层理。这种伴随有浪成交错层理的粒序层是浊流及其他重力流环境形成的粒序层所没有的(图1d, e)。顶面波状起伏, 顶界面模糊不清, 层系厚12 cm, 上部见不对称浪成波痕, 波高2~5 cm, 波长14~26 cm, 这是风暴高潮之后, 转为正常天气的波浪运动的结果。须二段所见波痕为直脊或音叉状, 略对称。波痕是波浪活动最常见的鉴别标志。

1.6 倒“小”字状构造

多向流水构造是由风暴旋涡流形成, 是风暴沉积特有的沉积构造(图1f)。各种倒“小”字状构造由条带状泥砾排列而成, 指示双向动荡水流。

1.7 平行层段与生物扰动

平行层段是风暴过后成悬浮状态的细砂沉积的产物。须二段平行层理单层厚约40 cm。平行层理见于中细砂岩中, 代表了风暴流活动的高能环境^[10]。须二段生物逃逸迹一般位于风暴层序的下部, 是一种典型的垂直潜穴。其成因是当快速的沉积作用发生时, 生物为了不被埋葬便出现了向上逃逸的现象。须二段生物逃逸迹呈直管状垂直层理分布, 管径一般为1~3 mm, 管长为2~8 cm, 管壁无内衬, 常成组地向上终止于某一层面, 管壁周围的纹层见有变形现象。生物逃逸迹是快速沉积的一个重要标志, 也是风暴沉积中常见的遗迹化石之一。风暴期后生物沉积构造, 反映风暴停息后生物在刚沉积的泥岩上觅食、栖息。

2 垂向序列

根据对本区大量的岩芯观察, 可概括出须二段理想的风暴层序——似鲍马序列, 由5个段组成(图2)。

(1) 风暴滞积段(Sa): 一般厚60 cm~2 m, 厚度在不同地区有较大差异。底部为冲刷面(渠模、截切构造), 有明显的水流冲刷作用。泥砾递变层理是在风暴高潮期间, 暴风浪可搅动正常浪基面以下的沉积物, 形成紊乱的搅动层, 此段在本区最为典型。

(2) 平行层理段(Sb): 强水流作用为主, 厚度为20~40 cm。本段以粉细砂岩在强水动力条件下形成的平行层理为特征。

(3) 风暴浪振荡作用段(Sc): 厚度为30~60 cm, 以包卷层理和丘状交错层理为特征。丘状层理由尖背斜状和宽缓向斜状纹层组成, 侧向不稳定。

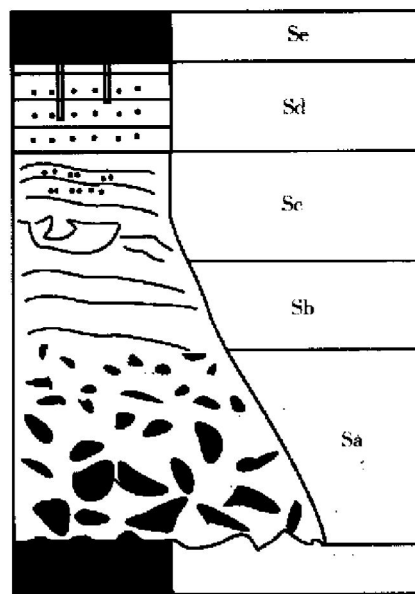


图2 须二段风暴层垂向演化序列示意图

Fig. 2 Vertical evolution sequence of tempestite in the 2nd member of Xujiahe Formation

(4) 生物逃逸迹段(Sd): 须二段平行层理单层厚约40 cm。须二段生物逃逸迹一般位于风暴层序的下部, 是一种典型的壁无内衬的垂直潜穴。

(5) 正常天气沉积段(Se): 由正常三角洲(扇三角洲)沉积组成, 是风暴沉积结束后正常湖相沉积。

3 泥砾特征

前人在海相沉积研究中发现, 风暴流能引起较深浅海正常浪基面以下, 风暴浪基面以上底床的沉积物发生同生破碎, 形成特殊构造排列的扁片状粒屑灰岩, 如双向排列、放射状排列、叠瓦状排列、平行排列等^[12]。龙门山前陆盆地须家河组二段沉积风暴岩的形成以多期叠加的泥砾为特征, 以泥砾层为主的递变层理段占整个风暴岩层段的80%以上。须二段泥砾的特点描述如下(图1c, f)。

须二段的扁平状顺层分布的泥砾中粒序层底界为平坦或起伏不平的突变侵蚀面, 须二段风暴岩的泥砾粒度较粗, 成分单一, 类型多而复杂, 分选差, 磨圆好至差均有, 多数表面无风化面, 不具备氧化圈。泥砾一般呈深灰色到黑色, 泥砾的粒径由数毫米至数十厘米不等, 粒序层的厚度从数十厘米至数米不等, 一般为1~5 m。砾石成分主要为深灰色到黑色泥岩, 泥砾的粒径在2~50 mm之间, 形状不规则。砂岩中还含有风浪掏蚀下伏

岩层的泥岩巨砾, 漂浮在砂岩中; 泥岩块个体完整, 与砂岩界线清楚, 最大直径达 40 cm 左右, 表明了当时的风暴强度及强大剪切力。

泥砾沉积构造独特, 类型多样, 其砾石排列杂乱, 构成各种特殊排列方式, 有的甚至直立排列。组合方式多样, 往往有水平、倾斜和直立的砾石构成不同组合方式, 其排列方式与其在岩层中的位置有关, 反映了风暴潮的水动力由弱到强再到弱的规律特点, 从形状上看有放射状、倒小字型、人字型、花状、竹叶状、棱角状、长条状、板状和块状等杂乱状分布在砂岩中。与正常波浪或水流条件下形成的竹叶状砾屑截然不同。例如花状的特点是单个泥砾呈细条状, 无磨圆, 剖面上呈放射排列, 平面上弯曲, 总体观察形似花朵而得名。花朵呈直立式、平卧式和杂乱式, 花瓣长 1~3 cm 不等, 宽 3~5 mm, 单个花朵最大直径达 8 cm, 为风暴流的涡动或风暴浪就地掀起和堆积或短距离搬运和快速堆积的结果, 再如竹叶状, “竹叶”状泥砾长度为 0.5~5 cm, 总体像一群竹叶的集合。

泥砾不同的形状反映了形成它们的水流特点, 本区指示多向流水构造主要有放射状、指状、倒“小”字状等, 如放射状, 由放射状泥砾排列而成, 其下部常可见到撕扯构造, 顶面多具上凸形态, 指示双向水流作用; 指状交叉式则由长条形泥砾排列而成, 位于砾屑层的中上部, 而其下部泥砾则部分呈叠瓦状排列, 说明下部为定向流水的碎屑流沉积, 中上部为旋涡流。

岩芯中所见泥砾多为正粒序, 由含大量泥砾的砂、砾岩组成, 自下而上泥砾含量逐渐减少、粒径减小, 显示粗尾递变特征。它是由于风暴高峰过后, 随着涡流支撑力的减弱, 风暴密度流按重力分异迅速沉降而成。粒序层代表风力减弱, 是重力大于剪切力的沉积环境。泥砾大小有两种, 其一为片状砾, 含量约 80%, 大小为 1~50 mm, 其二是次圆状泥砾, 含量约为 20%, 大小为 1~3 cm。

砾石排列方式与其在岩层中的位置有关, 从下往上由水平、斜交过渡到直立, 再过渡到斜交、水平排列, 反映了风暴潮的水动力由弱到强再到弱的规律特点。

泥砾层厚度不稳定, 原因是由于环境的水体不深, 风暴潮对沉积物冲刷强烈而不均匀所形成。泥砾层与下伏泥岩呈突变接触。

须二段风暴沉积顶面常不平整, 个别风暴岩

层顶面出现平直的冲刷面, 切断上一期风暴沉积的泥砾颗粒。这种现象表明在风暴层最终埋藏前, 还会受到下一期风暴作用的冲刷。

4 成因及意义

4.1 成因

须二段风暴沉积环境为与共生的前扇三角洲、前三角洲泥质相同, 推测为这些环境中的泥质沉积物在沉积后不久被搅起、搬运和再沉积的产物(图 3)。在风暴高潮期间, 暴风浪可搅动正常浪基面以下的沉积物, 形成冲刷面及搅动层。风浪把湖底弱固结的砂、泥沉积搅乱, 变形并撕裂, 形成紊乱的搅动层。一个明显的证据是岩芯剖面上可见下部个别泥砾的根部仍与下伏薄层黑色泥岩相连, 上部泥砾则多以旋转状、放射状分布, 为风暴旋涡流将原地半固结岩层击碎、卷起, 部分泥砾被带走、其余泥砾迅速堆积而形成。须二段风暴泥砾的底部表现为具平行层理的砂岩一侧高出而另一侧变平, 截切角度较大, 并被泥质充填, 表现为泥质冲刷砂质。这是由于风暴底部夹泥砾的回流有很强的剪切力, 使先期沉积的砂质遭到侵蚀并被部分切去, 形成了不规则的剪切面。

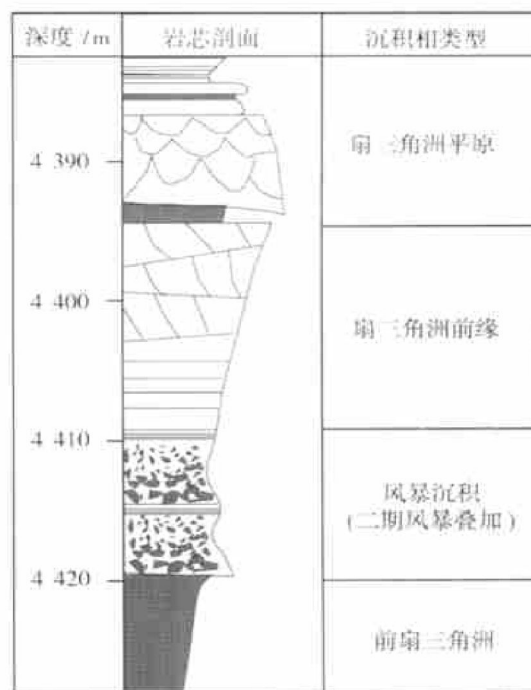


图 3 风暴沉积与扇三角洲沉积的垂向关系(据思 1 井)

Fig. 3 Vertical relationship between storm deposits and fan delta (based on Si-1 well)

须二段风暴沉积在岩芯上表现为多期风暴的叠合,反映了本区风暴发生的频繁性(图4)。随着水深加大及风暴回流的能量减弱,风暴层的厚度逐渐减小,粒度相应变小。此外,风暴沉积序列的完整性与风暴频率及风暴强度有关,随着风暴频率增加或风暴强度加大,风暴序列的完整性变差。风暴沉积主要发育在湖水面广阔、地形平缓的三角洲及扇三角洲前缘,为较深水风暴岩。在岩芯剖面上,风暴沉积与非风暴沉积交互出现,并以须二段中部风暴岩沉积最为集中。

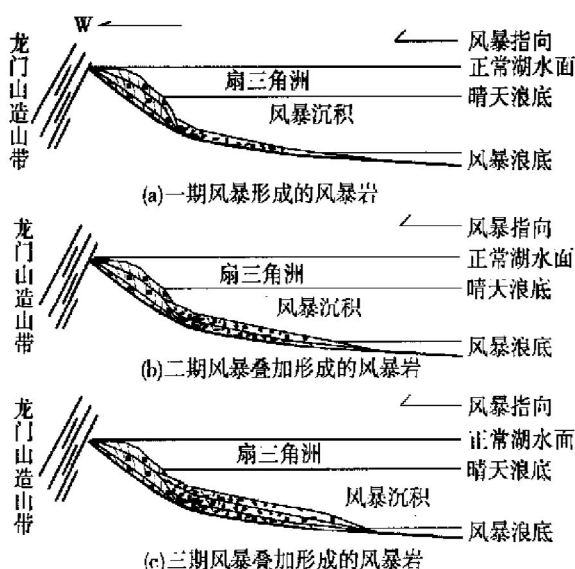


图4 不同期次形成的风暴在剖面上的叠加模式

Fig. 4 Stacking patterns of tempestites from different periods in profile

四川盆地西南部须二段风暴岩规模远没有四川盆地西北部风暴岩所表现出的风暴活动剧烈(图5)。盆地西北的北部江油一带是风暴岩沉积

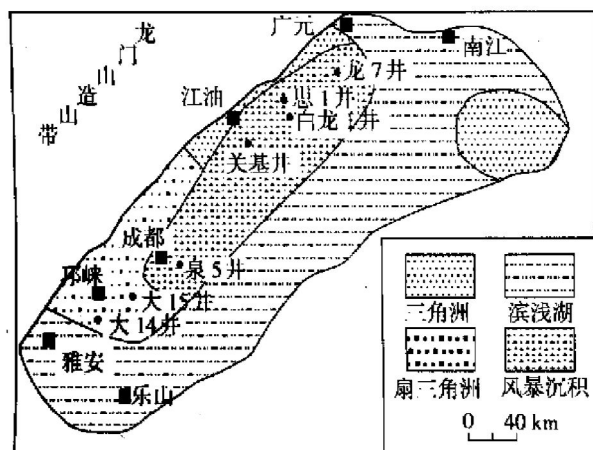


图5 须二段风暴岩沉积分布范围

Fig. 5 Distribution of tempestites in the 2nd member of Xujiahe Formation

中心,向南到邛崃附近逐渐减弱。其中在中坝气田的中46井识别出9期风暴岩沉积,而到了苏码头气田的码2井,风暴岩只发育3期。

4.2 意义

龙门山前陆盆地须家河组是四川盆地重要的天然气产层,须家河组储层整体又以岩性致密为特征。须二段砂体因为经过风暴作用的改造,粒度相对适中,分选磨圆较好,杂基含量相对较低,从而提高了其储集能力,可以成为一种新的储层类型。另一方面,须二段沉积以砂岩为主,黑色泥岩较为少见,而风暴岩的形成却又以泥砾为特征。因此,通过风暴层研究,寻找泥砾的来源,就可能识别出本组烃源岩的存在范围,为进一步寻找油气藏提供了依据。因此通过对风暴岩成因以及期次的研究,对四川盆地西部上三叠统须家河组海陆过渡相的古地理环境与油气成藏研究具有重要意义。

参考文献

- 1 张金亮,王宝清. 四川盆地中西部上三叠统沉积相[J]. 西安石油学院学报(自然科学版), 2000, 15(2): 1~6
- 2 丘东洲. 川西坳陷南区侏罗系层序地层与油气[J]. 天然气工业, 2000, 20(4), 5~10
- 3 苟宗海. 四川龙门山中段前陆盆地沉积相与层序地层划分[J]. 沉积与特提斯地质, 2000, 20(4): 79~88
- 4 徐强,朱同兴,牟传龙. 川西晚三叠世—晚侏罗世层序岩相古地理编图[J]. 西南石油学院学报, 2001, 23(1): 1~4
- 5 李绍虎,吴冲龙,王华,等. 四川须家河组层序地层格架与天然气成藏的关系[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(2): 146~151
- 6 金瞰. 徐州大北望寒武系地层中的风暴岩及其特征[J]. 岩相古地理, 1997, 17(1): 34~38
- 7 杜远生,韩欣. 滇中元古代昆阳群因民组碎屑风暴岩及其意义[J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 259~261
- 8 刘宝群,张继庆,许效松. 四川兴文四龙下二叠统碳酸盐风暴岩[J]. 地质学报, 1986, 60(1): 55~67
- 9 钟广法,彭德堂,刘绍平,等. 塔中地区志留系风暴沉积[J]. 江汉石油学院学报, 1997, 19(1): 7~11
- 10 姜在兴,赵澄林,刘孟慧. 东濮凹陷西部风暴沉积的初步研究[J]. 沉积学报, 1990, 8(2): 107~113
- 11 周丽清,邵德艳. 北京十三陵中元古界蓟县系雾迷山组原地风暴沉积的砾屑体[J]. 沉积学报, 1994, 12(2): 72~76
- 12 何镜宇,孟祥化. 沉积岩和沉积相模式及建造[M]. 北京:地质出版社, 1987. 195~209

CHARACTERISTICS OF STORM DEPOSITS IN UPPER TRIASSIC XUJIAHE FORMATION , SICHUAN BASIN

Li Huaqi^{1,2} Jiang Zaixing³ Xing Huanqing³ Xian Benzong³

(1. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong*; 2. *Department of Project, PetroChina, Beijing*; 3. *College of Earth Resource and Information, Petroleum University, Dongying, Shandong*)

Abstract: Storm deposits has been found for the first time in the 2nd member of Xujiache Formation (Upper Triassic) in western Sichuan Basin . Based on the micro- facies of cores, the main types of tempestite sedimentary characteristics have been identified, including gutter cast, scouring surface, truncated structure, storm lag deposit, hummocky cross- stratification , convoluted laminations, V- shaped structures generated by wave. A detailed study of sedimentary structures and petrological features of storm deposits has been made, such as individual laminates, thickness of storm deposit, and so on. The storm deposits are characterized by their lithologic features , and storm sedimentary sequence are related to storm activity and similar to the typical Bouma sequence . The sedimentary environment of tempestites is discussed, and the storm sedimentary model is explored.

Key words: Xujiache Formation; tempestites; deposit characteristics; sedimentary model

(Continued from Page 80)

RESERVOIR CHARACTERISTICS OF PALEOCAVE CARBONATES —A CASE STUDY OF ORDOVICIAN PALEOCAVE IN TAHE OILFIELD, TARIM BASIN

Xiao Yuru^{1,2} He Fengyu² Sun Yimei¹

(1. *China University of Geosciences, Beijing*; 2. *Northwest Petroleum Bureau of SINOPEC, Urumqi, Xinjiang*)

Abstract: Paleocave carbonate reservoirs are characterized by their heterogeneity , and they are very difficult to predict. For the sake of building a realistic geological model of the paleocave carbonate reservoir, correlation has been made with the paleocaves occurred in Wudaoban outcrop sections in Bachu area. The shape, size, structure, cave deposit, genesis and reservoir properties of the Ordovician paleocaves in Tahe oilfield , Tarim basin , have been studied on the basis of the theory of karst and the paleocave marks identified by means of drilling, logging, well logging, testing and seismic methods. The vertical and lateral heterogeneities of paleocave carbonate reservoir have also been discussed. Vertically , paleocave sediments can be divided into the top facies, filling facies and the lower sloughing facies. The top facies and the lower sloughing facies are quite favorable for hydrocarbon entrapment. But the development of multiple paleocaves have mainly been controlled by tectonic uplift and sea- level fluctuation. Ancestral structures, such as paleofault, paleodrainage system and paleokarst topography etc. have mainly been influencing the lateral heterogeneity of paleocave carbonate reservoirs, among which the paleokarst topography has the closest relation to lateral heterogeneity of paleocave carbonate reservoir. The study indicates that the relatively good paleocave carbonate reservoirs include the unfilled paleocave reservoirs and large paleocave- filling deposits —porous sandstone reservoirs.

Key words: paleocave; carbonate reservoir; reservoir characteristics; Ordovician; Tahe oilfield