

文章编号: 1000-0550(2007) 02-0192-09

# 阿曼 Daleel 油田下白垩统 Shuaiba 组上段 碳酸盐岩沉积相模式

王 锋<sup>1,2,4</sup> 姜在兴<sup>2</sup> 周丽清<sup>3</sup> 赵国良<sup>3</sup> 王 林<sup>2</sup> 郑 宁<sup>2</sup> 向树安<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室 北京 100083; 2 中国地质大学(北京)能源学院 北京 100083;  
3 中国石油勘探开发研究院海外研究中心 北京 100083; 4 中国地质大学地下信息探测技术与仪器教育部重点实验室 北京 100083)

**摘 要** 下白垩统 Shuaiba 组上段 (USH) 是阿曼北部 Daleel 油田的主力产油层。随着勘探开发的深入, 系统研究 USH 的沉积体系的内部构成、空间配置, 建立沉积相模式, 弄清有利储集体分布规律变得迫切必要。本文在地质、地震、古生物资料的基础上, 采用沉积体系分析方法, 对 USH 段的岩相组合和沉积环境做了详细研究, 识别出了该段 D 层有滩间洼地 (水深 10~50 m) 和浅滩 (水深 0~10 m) 两种亚相, 并在 E1 层的滩间洼地亚相发现了风暴沉积。研究了各亚相的沉积特征和沉积条件, 建立了研究区下白垩系上 Shuaiba 组的沉积模式: 区域浅海开阔台地背景上的伴有风暴沉积的障壁碳酸盐岩滩间洼地沉积模式。

**关键词** 碳酸盐岩 沉积相 沉积模式 下白垩统 Daleel 油田

**第一作者简介** 王锋 男 1969 年出生 博士研究生 山东莱芜人 能源地质工程 E-mail: ffengwang@126.com

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

## 1 概况

Daleel 油田位于阿曼盆地西北部, 距首都 Muscat 市西南 450 km (图 1), 投入开发已近 20 年。

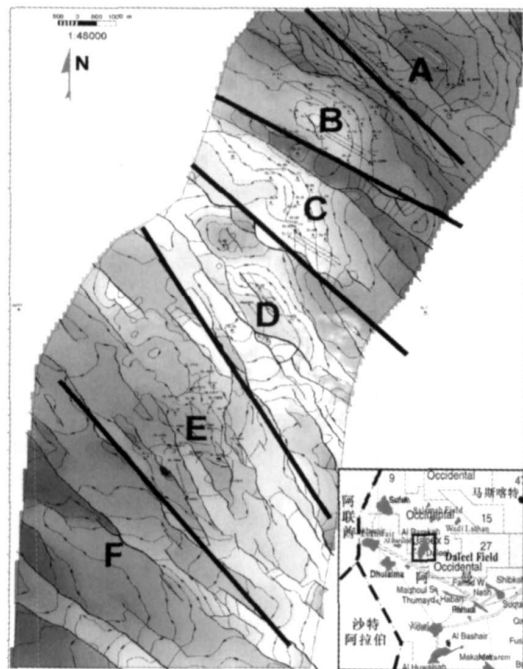


图 1 Daleel 油田位置和构造图

Fig 1 Location of the Daleel Field

油田总体上为发育在西南高、东北低的单斜构造背景下 (地层倾角  $2^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ) 的断块—岩性油气藏, 盖层为 Nahr Um r 组泥岩。油田近 NE—SW 展布, 长 15 km, 宽 4 km, 面积约  $60 \text{ km}^2$ ; 油田 NW—ES 走向正断层较发育, 断距 10~70 m, 最大 120 m, 断层倾向分两组: NE 倾和 SW 倾, 将油田自北向南主要分成 6 个断块: A、B、C、D、E、F, 形成地垒与地堑相间的断块构造格局。油田西北及东南为岩性尖灭, 东北和西南为断层分割封堵。

Shuaiba 组上段 (USH) 的碳酸盐岩是油田的主力油气储层, 分布较稳定, 厚 30~50 m, 平均为 40 m, 埋深 1500~1700 m, 北深南浅。根据电性特征, 在纵向上 USH 从下而上可分为 A、B、C、D、E 层, 其中 B 层可分为 B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、B<sub>3</sub> E 层可分为 E<sub>1</sub>、E<sub>2</sub>。其中 D、E 层是主力产油层段。以 D、E<sub>1</sub> 层最好, 而 C、B<sub>2</sub> 和 A 层基本为非渗透性层。

## 2 微相类型

### 2.1 岩性特征组合与岩相分析

#### 2.1.1 岩性特征组合

在分析岩石颗粒 (大小、形状、排列等)、基质种类、构造特征等的基础上, 根据 Flugel Erik 的碳酸盐

岩沉积相研究<sup>[1,2]</sup>和 Dunham的碳酸盐岩结构分类原则<sup>[3]</sup>以及 Wilson的碳酸盐岩标准相带的微相类型<sup>[4-6]</sup>,在本区 USH段 D层共识别出有九种岩石类型,分别为:生物碎屑泥粒灰岩/漂砾岩 (SMF5),生物碎屑泥粒灰岩 (SMF9),生物碎屑颗粒灰岩 (SMF11),

包壳生物碎屑泥粒灰岩 (SMF12), 鲕粒生物碎屑泥粒灰岩 (SMF15), 球粒亮晶灰岩 (SMF16), 球粒有孔虫含藻泥粒灰岩/颗粒灰岩 (SMF18), 球粒亮晶灰泥岩 (SMF19)和纯灰泥岩 (SMF23) (图 2): 本研究主要考虑了岩石成分特征、生物特征组合以及岩相特征。

沉积环境示意图	中陆架开阔台地有障壁碳酸盐岩礁间洼地			
相带	浅滩	滩间洼地	浅滩	滩间洼地
微相	SMF5: 生屑泥粒灰岩/漂浮岩 SMF9: 生物碎屑粒泥灰岩 SMF11: 生屑颗粒灰岩	SMF12: 包壳生屑泥粒灰岩 SMF15: 鲕粒生屑泥粒灰岩 SMF16: 球粒灰岩	SMF18: 球粒有孔虫含藻泥粒/颗粒灰岩 SMF19: 球粒灰泥岩 SMF23: 非纹层纯灰泥岩	
岩石类型	泥粒灰岩、粒泥灰岩、灰泥岩、颗粒灰岩、球粒灰岩	颗粒灰岩、泥粒灰岩、漂浮岩 (含鲕粒生屑)	泥粒灰岩、粒泥灰岩、灰泥岩、颗粒灰岩、球粒灰岩	颗粒灰岩、泥粒灰岩、漂浮岩 (含鲕粒生屑)
颜色	深灰、黄褐、黄灰色	浅灰-黄褐色 浅灰-黄灰色	深灰、黄褐、黄灰色	浅灰-黄褐色 浅灰-黄灰色
颗粒类型		鲕粒生屑、珊瑚、粟米虫	泥粒、球粒、小圆片虫生物碎屑	鲕粒生屑、珊瑚、粟米虫
构造	毫米级纹理的韵律层理	交错层理	毫米级纹理的韵律层理	交错层理
主要生物	小圆片虫等大生物居多, 介形类、双壳类、棘皮类、厚壳蛤	粟米虫等有孔虫、珊瑚、海百合、海绵骨针	小圆片虫等大生物居多, 介形类、双壳类、棘皮类、厚壳蛤	粟米虫等有孔虫、珊瑚、海百合、海绵骨针
岩相		岩相B	岩相A、岩相C-1	岩相B
代表井	MN-1	D4 D5	D1 D2 D11 D16 D26 D35 D36 D56	D3 D33 D56

图 2 油田 D层岩石类型和岩相组合特征

Fig 2 Distribution of rock types and lithofacies of layer D in the Daleel field

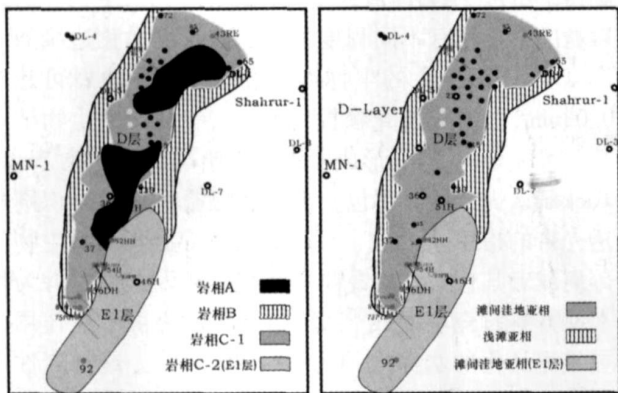


图 3 USH 岩相与沉积亚相分布特征

Fig 3 Distribution of lithofacies & sub-facies in the USH in the Daleel field

### 2.1.2 岩相组合

根据岩石类型分布特征, 共识别总结出三种岩相: 岩相 A (SMF9 SMF16 SMF18)、岩相 B (SMF5 SMF11 SMF12 SMF15) 和岩相 C (SMF5 SMF11

SMF18 SMF19 SMF23) (图 3a)。

(1) 岩相 A: 小圆片虫粒泥灰岩 & 球粒-小圆片虫粒泥灰岩 泥粒灰岩 球粒灰岩 球粒藻类有孔虫泥粒灰岩 颗粒灰岩相。

该岩相是油田最主要的含油气储层的岩相, 相对集中分布于北部的 B断块和中部的 D-E断块, 岩石类型以粒泥灰岩和灰泥岩为主, 颗粒主要由球粒、小圆片虫和生物碎屑组成, 基质为泥晶方解石; 生物类型以小圆片虫为主, 少量粟米虫, 生物碎屑包括海绵骨针、钙质球粒、厚蛤类、有孔虫、藻类和棘皮类, 内碎屑较少<sup>[7]</sup>。小圆片虫个体相对较大, 规则分布, 保存完整。泥晶方解石杂基、细粒的球粒和生物碎屑和个体较大的小圆片虫均反映了低水体能量的沉积环境。

综合分析认为岩相 A 主要发育于滩后的局限低能环境, 既滩间洼地低能环境, 水体深度在 10~ 50 m 之间。该岩相类型沉积了本区 E1和 D层, 也是主力储层段。

(2) 岩相 B: 粟米虫 & 小圆片虫-球粒泥粒灰

岩 鲕粒生屑泥粒灰岩 颗粒灰岩 生物碎屑球粒漂浮岩岩相。

孔隙度一般小于 20%，基本上属于非含油气储层，分布于油田东、西两侧。岩性主要为颗粒灰岩和鲕粒泥粒灰岩，在 C、E 断块地区，也有粘结岩和漂浮岩。小圆片虫类和粟米虫类生物化石丰富，小圆片虫个体相对较小，规则排列，生物潜穴构造发育，正常鲕粒非常普遍。

小圆片虫和粟米虫的规则排列并且保存完整表明水体能量相对较高<sup>[6]</sup>，推测形成于受潮汐能量控制的水深在数米之内的碳酸盐岩浅滩环境。

(3) 岩相 C：包括两种不同的岩性组合：岩相 C-1 发育于 D 层，岩相 C-2 发育于 E1 层。

岩相 C-1—粟米虫 & 小圆片虫—包壳颗粒泥粒灰岩 / 球粒 亮晶泥灰岩 小圆片虫颗粒灰岩：

广泛分布于岩相 A 和岩相 B 之间的地区，主要岩性为粟米虫 & 小圆片虫泥粒灰岩，颗粒主要为小圆片虫、球粒和分选良好的绿藻类、粟米虫。一些地区发育了少量球粒泥灰岩、球粒亮晶泥灰岩、球粒藻类有孔虫颗粒灰岩等，颗粒分选中等，包壳颗粒较多，主要发育于水体能量相对较低的滩和洼地之间的斜坡地带。

岩相 C-2—球粒泥粒灰岩 / 生屑球粒泥粒灰岩 / 薄皮鲕粒生屑球粒泥粒灰岩

该岩相发育且只发育于 E—F 段块的 E1 层。小圆片虫广泛分布，所有的球粒和大多数生物碎屑保存完整，薄皮鲕粒居多，反映了 E1 沉积时期，水体能量相对较低，为局限的滩和洼地之间的过渡地带或滩间洼地低能沉积环境。

USH 段储层主要有四类岩性：泥粒灰岩、粒泥灰岩、颗粒灰岩和泥灰岩。

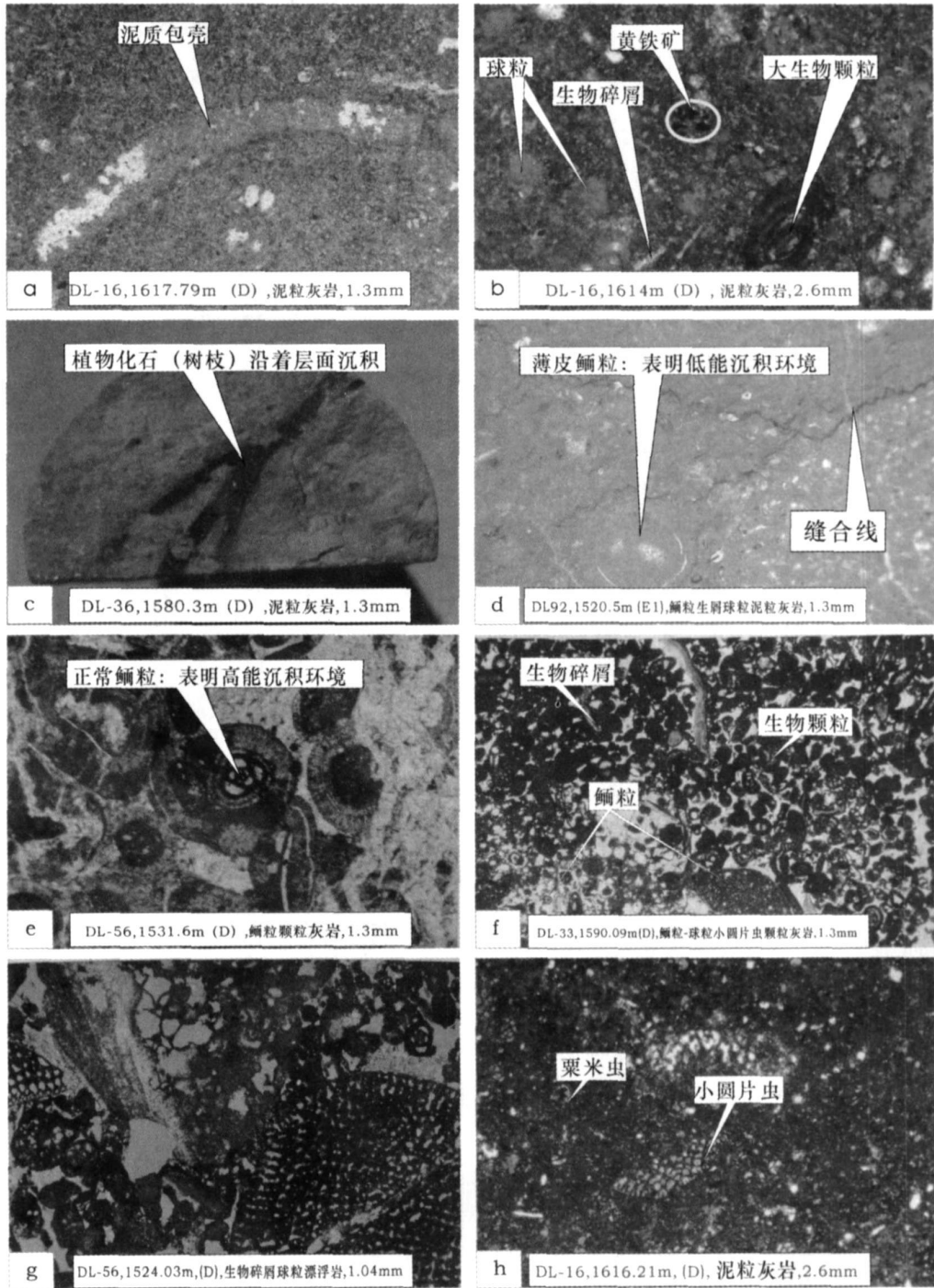
粒泥灰岩和泥灰岩主要集中分布于北部的 B 区块和中部的 D—E 区块。前者岩石颗粒主要有球粒、小圆片虫、生物碎屑和薄皮鲕粒为主（图 4-a b c d），也有指示沉积环境还原条件的包壳球粒和黄铁矿等（图 4a 图 4b）。球粒形成于水浅、水能量低的潮下和潮间环境<sup>[3]</sup>。这些球粒多呈卵形或圆形，大小混杂，最大粒径 140 μm，分选性和内部结构较差。主要源于藻球粒、无脊椎动物的粪粒和假球粒，它们表面光滑，结构单一，具有这类球粒和薄皮鲕粒的粒泥灰岩和泥灰岩反映了一种具有大量生物和较低的水能量的特定沉积环境<sup>[8]</sup>。由于鲕粒的鲕皮厚度和数量是水能量强度的函数<sup>[9]</sup>：鲕皮越薄，鲕皮数量越

少，则其形成时的沉积环境的水能量越低；因此，薄皮鲕粒只形成于合适的低能沉积环境中，（图 4d）；而正常鲕粒只形成于相应的相对高能沉积环境<sup>[10-11]</sup>（图 4e）。植物枝叶沿着层面呈层状分布（图 4c）。粒泥灰岩的杂基和泥灰岩均有泥晶方解石组成，局部可见微亮晶方解石，它们分布不均，微亮晶方解石区内可见泥晶方解石的残留物，很可能是泥晶基质经过重结晶作用而成。这些特征表明了粒泥灰岩和泥灰岩均形成于水深较深、水能量较低的局限低能沉积环境中，大量灰泥的存在表示水动力较弱，是水流不畅沉积条件的反映。

颗粒灰岩主要分布于东西两侧地区。岩石成分以颗粒为主，颗粒类型主要为正常鲕粒、大生物颗粒和生物碎屑颗粒（图 4f g），生物以粟米虫居多、小圆片虫次之，正常鲕粒在两侧分布较普遍。在 E 区块等地区，也发育有生物骨架颗粒灰岩、粘结岩和漂浮岩，粘结岩形成于潮间带或水体相对较浅的潮下带，是潮汐作用较强的沉积产物<sup>[12]</sup>。这些证据表明了 USH 段沉积时期，本地区水深较浅、水能量相对较高的沉积条件（图 2）<sup>[13]</sup>。

泥粒灰岩广泛分布于粒泥灰岩和颗粒灰岩之间，是 D 层的主要岩性，也是 E—F 区块 E1 层的主要岩性。岩石成分以颗粒为主，颗粒类型主要是相对较大的生物颗粒和生物碎屑，粟米虫和小圆片虫为主要生物（图 4h）。生物碎屑强烈破碎，大小各异，生物碎屑颗粒的边缘均有不同程度的泥晶化。泥晶化边缘的厚度不一，沿着大的生物颗粒边缘泥晶化边厚可达 0.03mm，并形成包壳颗粒（图 4a），一些小的生物颗粒边缘完全泥晶化，形成所谓的巴哈马迭代球粒<sup>[14]</sup>。Tucker 认为这种泥质包壳颗粒和巴哈马球粒是识别透光带的指相标志<sup>[15]</sup>。泥晶化是由穿孔藻类对生物碎屑或者其它碳酸盐岩颗粒自外向内反复穿孔，并为泥晶方解石充填而成<sup>[16]</sup>，Sw inchatt 认为由上述作用导致泥晶化的水深大约为 20~40m<sup>[17]</sup>。这种岩性特征表明这些泥粒灰岩形成于生物繁盛的潮下带浅水环境中，这里水体运动依旧相对较强，水体深度介于粒泥灰岩的形成深度和颗粒灰岩形成深度之间，水能量较泥灰岩形成的水能量高，而较颗粒灰岩形成的水能量低<sup>[18]</sup>。

主力产油层段 D 层是一套分布连续的灰岩，从岩性分布特征可以看出，分布于 A—E 块的 D 层储层岩性主要为泥粒灰岩和粒泥灰岩；分布于 E—F 区块的 E1 层主要为泥粒灰岩。



a. 包壳球粒泥粒灰岩 b. 礁间洼地中的古生物沉积特征 c. 植物化石沿层面沉积分布  
 d. 泥粒灰岩中的薄皮鲕粒 e. 颗粒灰岩中的正常鲕粒 f. 鲕粒-球粒小圆片虫颗粒灰岩  
 g. 生物碎屑球粒漂浮岩 h. 泥粒灰岩中的粟米虫和小圆片虫

图 4 Daleel油田下白垩统 Shuaiba组上段 (USH) 岩石类型和古生物特征

Fig 4 Lithological and palaeobio logical characteristics in the USH in the Daleel field

## 2.2 古生物特征

通过大量的岩石薄片和古生物分析, 本区有孔虫的丰度最大, 而且类型单一, 粟米虫和小圆片虫是最主要的有孔虫类型; 其次有藻类、珊瑚、厚蛤类和棘皮

类的碎片等。由于球粒、粪球粒只反映了水体能量偏弱, 能够指示古水深的只有粟米虫和小圆片虫两类有孔虫 (图 5)。因此, 粟米虫 (*Miliolids*) 和小圆片虫 (*Orbitolina*) 的个体大小和相对丰度及其与其它生屑

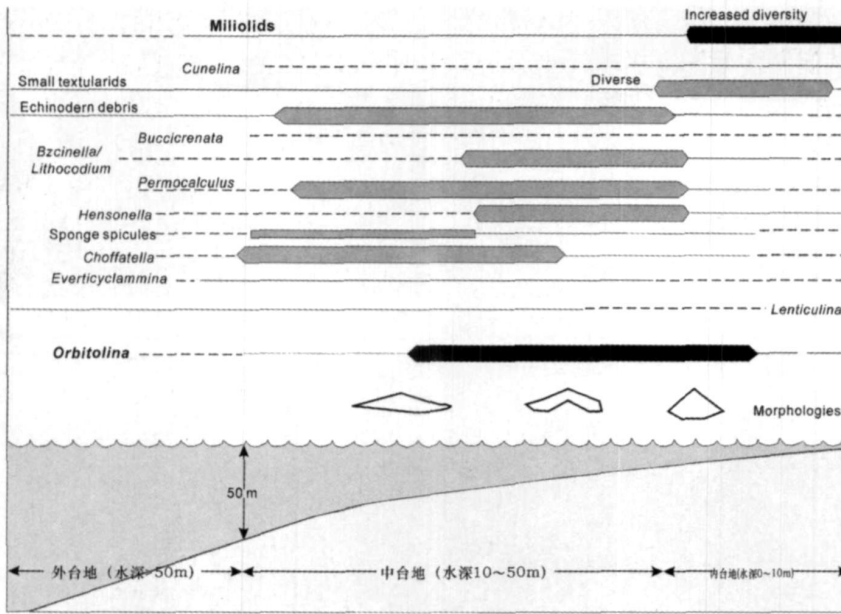


图 5 USH 段生物种类和水深关系分布图 (根据 Roger B. Davies *et al.*, 2002)<sup>[20]</sup>

Fig 5 Relationship between biologic species and water depth in the USH (After Roger *et al.*, 2002)

碎片的伴生关系, 为确定研究区的沉积相类型提供了重要的参考依据<sup>[19]</sup>。

粟米虫通常是浅水台地的局限环境下水体盐度略增的典型产物(图 5), 养分并不充足。而小圆片虫比粟米虫的生存范围要广的多, 水体深度可以在几米~50m 之间, 而水体深度超过 50m 的条件下就难以存活<sup>[21]</sup>。其个体大小的变化反映了沉积环境的差异。在钙质含量较高的灰岩地层中, 小圆片虫个体通常较小, 并与粟米虫和双列有孔虫相伴生, 说明水体较浅, 营养成分供应不足<sup>[22]</sup>; 个体较小的小圆片虫若与钙藻类(如二叠钙藻)和棘皮类碎片相伴生, 说明了其存在搬运和再沉积的过程; 而在泥质含量较高的灰岩地层中, 小圆片虫个体通常较大、丰度较高、形状平圆, 说明水体越深(但不会深于 50m), 营养成分供应充足, 往往存在生物扰动现象。

小圆片虫的广泛分布表明其一直处于透光带内, 水体含氧量较高, 也为发育虫孔提供了条件。未经分选并且缺少狭盐性生物表明了环境为盐度略有异常的局限水体, 反映为局限低能环境。

### 2.3 地震反射和电性特征

Shuaiba 组总体上具有中等振幅值—中等频率—中等连续性的地震反射特征, 一般在断层附近, 地震反射变差。USH 段为一个高孔地震异常体, USH 顶部为一个同相轴弱反射, 振幅相对较弱; 但在各断块的边缘地区, 由于缺少了部分 E1 和 E2 层, 地震反射

有时表现为强轴特征。下部中 Shuaiba 段顶一般为一个同相轴强反射, 振幅相对较强。除了 USH 顶部易于识别的区域性不整合面外, 其它局部不整合和沉积间断都具有同相轴的不整一和整一的地震响应。

目的层段 USH 段的顶底界线电性特征非常清楚, Shuaiba 组上覆地层与 Shuaiba 组或 USH 段之间具有明显的沉积间断面。上覆地层 Nahr Umr 组底部为一套厚层的灰色泥页岩。电性特征表现为“三低一高”的特征, 自然电位为正异常, 高自然伽玛, 低电阻, 低密度, 低中子孔隙度。USH 段主要沉积了一套灰褐色灰岩, 在电性上主要以自然电位负异常, 低伽玛, 高电阻为背景, 高中子孔隙度, 高密度, 与上覆地层相比为“三高一低”的特征。USH 段小层的划分主要以三孔隙曲线为主。划分 USH 底的标志层为一套 5~8m 厚的浅灰色钙质泥页岩, 测井曲线与 Nahr Umr 层底部泥页岩具有相似的特征, 但幅度较小。

## 3 沉积相与沉积环境

根据岩相组合及空间分布, 在 D 层共识别出两种亚相: 滩间洼地亚相(水深 10~50m)和浅滩亚相(水深 10m 左右)(图 2 图 3b), 其中前者包括岩相 A 和岩相 C-1 分布的地区, 后者与岩相 B 分布范围一致。E1 层只发育了一套滩间洼地亚相沉积。

### 3.1 浅滩亚相及分布

浅滩亚相发育于 D 层, 分布于研究区的东、西两

侧,范围与岩相 B 分布范围一致,岩性以颗粒灰岩和泥粒灰岩为主,其中正常鲕粒较多,反映了相对较高的水能量沉积环境,少量漂浮岩和骨架岩,粟米虫和小圆片虫是主要生物。

浅滩是一种主要有分泌粘液的藻类通过分泌碳酸盐、沉淀和捕集、粘结碳酸盐颗粒物形成的浅滩,一般发育于潮下环境以及宽广的环境中。区域研究表明,USH 段沉积时期,本区主要受到垂直海岸的潮流冲刷作用和 NNW—SSE 方向古季风作用的影响,潮汐作用为浅滩的生长延伸方向起了一定的控制作用<sup>[23]</sup>,粘结岩时常被海水淹没,在潮间带附近的潮下带发育了一套颗粒分选中—良好的包壳颗粒灰岩和泥粒灰岩。浅滩呈 SSW—NNE 向发育,造成突起发育的浅滩,在水体相对较浅、水能量相对较高的潮间带沉积环境中,NNE 向发育的浅滩是古季风和潮汐共同作用的结果,滩间洼地亚相就发育于浅滩之间的洼地中。

### 3.2 滩间洼地亚相及分布

滩间洼地亚相广泛发育于本区 USH 段的 D 层和南部 E—F 区块的 E1 层。在 D 层岩性主要为泥粒灰岩和粒泥灰岩,含有丰富的小圆片虫、粟米虫及其它生物,前已述及,小圆片虫生活在水深几米~50 m 之间,在水深超过 50 m 的条件下难以存活<sup>[21]</sup>;植物枝叶沿着层面呈顺层状分布(图 4c);有泥质包壳颗粒和黄铁矿生成(图 4b),反映了浅水低能还原沉积条件下的透光带沉积环境特征;所以在 D 层沉积过程中,该区属浅水滩间低能环境。

受潮汐作用的影响,东西部两侧的滩时常被海水淹没,因此,包壳颗粒—小圆片虫泥粒灰岩、颗粒灰岩、颗粒分选中—良好的包壳颗粒灰岩和球粒等较集中地沉积保存于潮间带附近的潮下带,即滩和洼地之间的过渡带和滩间洼地中<sup>[24]</sup>。

D 层在本区及邻区分布广泛,但作为储层在 Daleel 油田南北向呈纺锤状展布,分布于 A—E 区块,中间厚东西两侧薄,是油田最厚最好的储层<sup>[23]</sup>。该套发育于滩间低能环境的细粒灰岩沉积,水平分布稳定,纵向上变化较大。

从 D 层岩性分布、岩相特征和生物相特征等分析可以得出以下几点:

(1) 研究区 USH 段沉积末期古地形非常平缓,最大地形高差不到 15 m;

(2) 在 Shuaiba 组沉积末期,本区为微弱抬升的构造背景,因此, Daleel 油田区主要分布在相对高的

地形之上,具有较突出的“上隆”特征<sup>[23]</sup>;

E1 层也为一套低能的滩间洼地细粒沉积。该套储层岩性为泥粒灰岩,薄皮鲕粒和小圆片虫广泛分布,这些小圆片虫个体相对较大,规则分布,保存完整,反映了低水体能量的沉积环境和沉积条件。D 层沉积后发生了抬升活动,水体因此明显变浅, E2 和 E1 层均沉积于较为低能的低洼部位,充填特征明显,为 D 层滩间洼地沉积地形的延续,面积比 D 层小。E2 层为泥粒灰岩和颗粒灰岩及亮晶方解石胶结的潮间高能带组合, E1 层沉积时期, DL92 井区的水体略有加深,但仍较 D 层时期浅,大量球粒、小圆片虫和生物碎屑和泥晶方解石基质沉积下来,成为局限的滩和洼地之间的过渡带或滩间洼地低能沉积环境的灰岩储层。

从近期完井的 DL-92 井的地质资料分析,在 E1 沉积时期,本区发生过三次风暴事件,沉积物特点明显受到水体能量和风暴事件的影响:每次风暴发生,都有大量的生物碎屑被搬运堆积并集中保存下来。

在 DL-92 井所在的油田南部区块, E1 层是最好的油气储层,南北向亦呈纺锤状展布,中间厚东西两侧薄。与 D 层相比, E1 层储层薄、横向分布在一些井区尖灭,受沉积环境控制更加明显。

## 4 沉积模式

中生代时,阿拉伯板块随着冈瓦纳大陆的解体而发育成为被动边缘盆地。自白垩纪开始,全球海平面普遍上升,阿拉伯板块几乎全部快速沉积了一套浅海相碳酸盐岩,之后转变为陆相沉积,在早白垩世晚期,广泛的厚壳蛤生物礁滩建造控制了阿曼北部的陆架与西部架间盆地 Bab 盆地之间的过渡坡折带。晚白垩世早期,在阿拉伯板块的东北和西北地区形成了新的厚壳蛤礁建造(Mishrif 组)<sup>[23]</sup>。

白垩纪早 Aptian 期在阿曼北部和阿联酋发育了台地之间的盆地 Bab 盆地,中—晚 Aptian 沉积的 USH 段就发育在从东部的台地向西部盆地之间的缓坡过渡环境之中,区域上分布稳定,区域的差异沉降造成了厚度具有微弱变化。因此,从整体上来说,USH 属于区域浅海开阔台地沉积背景上的障壁碳酸盐岩滩间洼地沉积,偶有陆源碎屑物质的供应,浅滩的发育受到波浪、风暴和潮流以及台地边缘位置等因素控制。

### 4.1 Daleel 油田沉积模式

本区在下白垩系时期位于特提斯海东缘的开阔

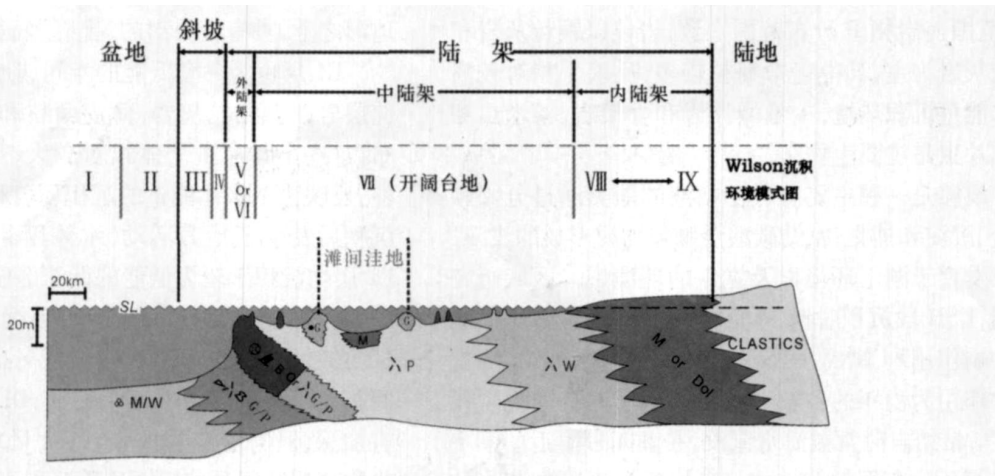


图 6 含滩间洼地亚相的陆架沉积模式(根据 James L W ilson and C lif Jordan, 1983)<sup>[25]</sup>

Fig 6 The shelf model including intershoal lows(after James L W ilson and C lif Jordan, 1983)<sup>[25]</sup>

台地边缘,白垩纪早 Aptian 期在阿曼北部和阿联酋发育了台地之间的盆地 Bab 盆地, Shuaiba 组沉积时期,阿曼北部的陆架和阿联酋的 Bab 盆地之间没有较陡的斜坡,而是一个在广延陆架上的微缓斜坡,由于本区的陆架边缘并不发育典型的高能珊瑚礁,也不发育典型的高能鲕粒滩,总体上为一套以中—较高能量为主的区域浅海沉积。因此区域沉积环境为广延中陆架上浅水开阔台地的微缓斜坡环境。

研究区处于东部台地和西部 Bab 盆地之间的过渡地带,根据 James L W ilson 和 C lif Jordan 的碳酸盐岩沉积环境的中陆架沉积环境和沉积模式<sup>[25]</sup>(图 6),本区 Shuaiba 组沉积时期的沉积环境与 Wilson 沉积环境和沉积模式中的沉积环境(开阔台地)相当,中—晚 Aptian 期沉积的 USH 段储层属于区域浅海开阔台地沉积背景上的障壁碳酸盐岩滩间洼地沉积,偶有陆源碎屑物质的供应,发育的滩为台地内的浅滩,在浅滩和洼地之间的过渡带以及浅滩与浅滩之间的低能洼地之间发育了这套低能细粒沉积组合。

区域沉积研究表明,USH 段沉积时期 Daleel 及其北部的 Salamah 等油田的海岸线位置呈 NNW—SSE 走向,古季风的方向也呈 NNW—SSE 向,因此两者方向相同,加之本区波浪能量总体偏低,主要受潮汐作用控制,从而形成了与海岸线垂直或斜交的沉积格局。北美 Beaver Lodge 油田 Mississippian 组的白云岩储层也具有类似的沉积环境<sup>[26]</sup>。

由于坡缓,海平面的轻微升降能够引起较大的沉积环境变化,从而引起了古生物群落的差异;受方向不规则的潮汐水流控制,滩间洼地和浅滩的总体走向与古海岸线相斜交或垂直。

综合考虑区域沉积背景、邻区油田沉积环境、Daleel 油田古地貌恢复和 D 层沉积亚相特征分析,建立了本区 USH 段的沉积相模式:发育于区域浅海开阔台地背景上的偶尔有风暴事件发生的障壁碳酸盐岩滩间洼地沉积模式(图 7)。

#### 4.2 Daleel 油田古地理恢复分析

位于下白垩统 Kalmah 群上部的 Shuaiba 组,属于特提斯海东缘的宽阔台地边缘沉积。阿曼北部及阿联酋地区的 USH 段沉积之后,台地区发生微弱抬升、产生沉积间断,并使 USH 遭受了一定的剥蚀、淋滤作用<sup>[27]</sup>。在 USH 段顶面形成了区域性的不整合面,在陆架—陆架和盆地过渡带—盆地构造背景之上发生的抬升和沉积间断,使该不整合面分布在相当大的范围内,区域上易于识别和追踪(图 8)。

USH 段灰岩地层是本地区最主要的区域油气储集层<sup>[28]</sup>,上覆 Albian 期 Nahr Um r 组泥页岩,是良好的区域盖层。晚白垩世早期发生的海侵,范围广泛,导致了在全区 Nahr Um r 组大套泥页岩内部发育了一薄层泥灰岩,从阿曼北部古 Bab 盆地的东岸一直跨越盆地延伸至阿联酋地区的 Bab 盆地西岸,在全区的分布广泛而稳定,非常可靠,因此成为岩相古地理恢复中比较可靠的标志灰岩。

C 层整体在三孔隙度曲线上表现为高密度,低中子伽玛及低声波。C 层底部高泥质含量的泥粒灰岩以及其中的粘液藻类等在整个油田范围内分布稳定,表现为高自然伽玛特征,可作为小层对比和古地理恢复的标志。

根据钻井地质分层数据,采用标志层的方法,选取 C 层作为标志层,以标志层灰岩为参照,根据 C 层

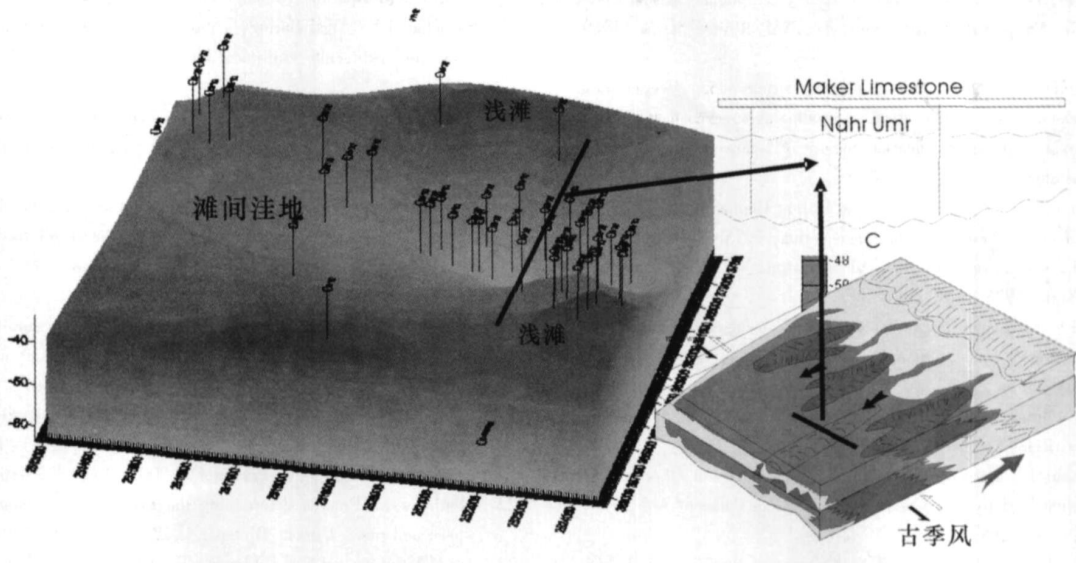


图 7 Daleel油田下白垩系 Shuaiba组沉积模式图

Fig 7 Sedimentary model of layer D in the USH in the lower Cretaceous in the Daleel field

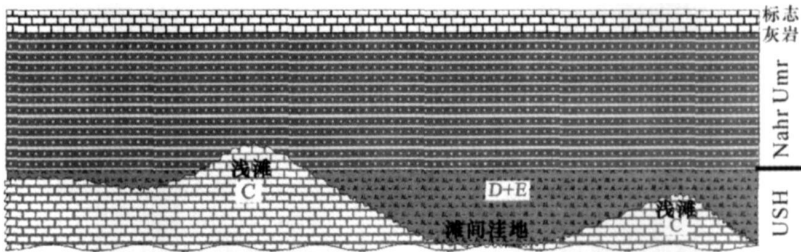


图 8 Shuaiba组 USH 段 C 层沉积后的古地貌

Fig 8 Topographic relief after deposition of the layer C

顶面和 Nahr Umr 组标志灰岩之间的厚度, 恢复了本区 C 沉积后的古地貌 (图 8)。

可以明显地看出, C 层沉积以后 Daleel 油田的 B、C、D、E 块位于一洼槽内, 地形高差约 30m。这也是主力储层 D 层的沉积背景, 即沉积于水深约 30m 的局限水体中。因此, 有利储层段主要发育于低能的局限环境之中, 水体深度总体上不大 (小于 50m)<sup>[9]</sup>。

### 5 结论

USH 段为发育于开阔台地背景上的障壁碳酸盐岩滩间洼地沉积, 偶尔有风暴事件发生, D 层和 E1 层都发育于低能的滩间洼地局限环境之中, 水体深度总体上不大 (小于 50m), E1 时期的古水深较 D 时期略浅。

由于 USH 段沉积时期, 古季风的方向与 Daleel 及其北部的 Salamah 等油田的海岸线位置相一致, 均呈 NNW—SSE 向, 加之本区波浪能量总体偏低, 与海岸线垂直或斜交的沉积格局主要受潮汐作用控制。而且, 受南东东向海岸线和南东东方向古季风的影响,

本区 E1 时期有三次风暴事件发生, 水体能量和沉积物特点明显受到风暴事件的影响: 每次风暴发生, 都有大量的生物碎屑被搬运堆积并集中沉积下来, 大量的灰泥和有孔虫等生物组合受到水流的影响在浅滩和洼地之间的过渡带和浅滩之间的低能洼地堆积起来, 该套细粒沉积主要受到沉积作用的控制影响和后期成岩作用的改造作用, 而成为物性较好的主力油气产层<sup>[20]</sup>。

### 参考文献 (References)

- 1 Flugel E R K. Microfacies Analysis of Limestone. Translated by Christenson. K. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag 1982 62-454
- 2 Flugel E R K. Microfacies Analysis of Limestone. Translated by Christenson. K. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag 1982 135-137
- 3 Dunham R J. Classification of carbonate rocks according to sedimentary texture. AAPG Memoir 1962 (1): 108-121
- 4 Wilson J L, Madrid-Solis M, Alpica-Cruz R. Microfacies of Pennsylvanian and Wolfcampian strata in southwestern U. S. A. and Chihuahua



- Mexico. In: Guidebook of the border region Chihuahua and the United States. N. Mex. Geol. Soc., Santa Fe, NM, United States, 1969. 80-90
- 5 Wilson J L. Microfacies and sedimentary structures in deeper water lime mudstones. In: Depositional environments in carbonate rocks (a symposium). Special Publication-Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. 1969. 14-4-19
- 6 Wilson J L. Carbonate Rocks Facies During Geological History. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 1975. 1-471
- 7 Wray J L. Calcareous algae. Dev. Paleont. strat., 4. Amsterdam-Oxford-New York, 1975. 1-186
- 8 Wilson J L. Carbonate Rocks Facies During Geological History. Translated By Feng Zengzhao, Zhang Yongji, Zeng Yunfu. Beijing: Geology Publishing House, 1981. 16-80
- 9 Albert V. Carozzi. Carbonate Rocks Depositional Models. Prentice Hall Advanced Reference Series, 1989. 147-179
- 10 Merzmann D. Kuestennahe Sedimentationszyklen in Ober-Jura der westlichen Iberien, Nord-Spanien. N. Jb. Geol. Paleont. Abh., 1987. 175(3): 377-398
- 11 Winland H D, and Matthews R K. Origin and significance of grapestone, Bahama Islands. Journal of Sedimentary Petrology, 1974. 44: 921-927
- 12 Tucker M E. Sedimentary Petrology: An Introduction. Oxford: Blackwell, 1981. 19-27
- 13 Jiang Zaixing *et al.* Source-controlled carbonates in a small Eocene half-graben lake basin (Shuli Sag) in central Hebei Province, North China. Sedimentology, 2006. 4: 1-27
- 14 Purdy E G. Recent calcium carbonate facies on the Great Bahama Bank: 2. sedimentary facies. Geological Journal of Chicago, 1963b, 71(4): 472-479
- 15 Tucker M E. Shallow-marine carbonate facies and facies models. In: Brechley P J and Williams B P J, ed. Sedimentology: Recent Developments and Applied Aspects. Spec. Publ. Geol. Soc. Lond. 1985a. 18: 139-161
- 16 Bathurst R G C. Boring algae micrite envelopes and lithification of molluscan biospirites. Geology Journal, 1996(5): 12-23
- 17 Swinichatt J P. Algal Boring: a possible depth indicator in carbonate rocks and sediments. Bull. Geol. Soc. Amer. Boulder, 1969. 80: 1391-1396
- 18 Jiang Zaixing *et al.* Transformation of accommodation space of the Cretaceous Qingshankou Formation, the Songliao Basin, NE China. Basin Research, 2005. 17: 569-582
- 19 Frans S P, van Buchen, Philippe Razin *et al.* Stratigraphic organization of carbonate ramps and organic-rich intrashelf basins. Natih Formation (Middle Cretaceous) of northern Oman. AAPG Bulletin, 2002. 86(1): 21-53
- 20 Roger B Davies, David M. Casey, *et al.* Early to middle Cretaceous mixed carbonate-clastic shelf system: examples, issues and models from the Arabian Plate, Arabia, 2002. 7(3): 541-591
- 21 Vennin E, & Aurell M. Stratigraphie sequentielle de l'Apitien du sous-bassin de Galve (Province de Temeul, NE de l'Espagne). Bulletin de la Societe Geologique de France, Jul 2001, 172: 397-410
- 22 Hottinger L. Process determining the distribution of large forams in space and time. Utrecht Micropal. Bull., 1983. 30: 239-254
- 23 Jos M J Terken and Neil L. Frew. In The Dhahaban petroleum system of Oman. AAPG Bulletin, 2000. 48(4): 523-544
- 24 Jiang Zaixing. Sedimentology. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005. (in Chinese)
- 25 Wilson J L, & Cliff Jordan. Middle Shelf Environment of Carbonate Rocks. AAPG Memoir, 1983. 298-343
- 26 Kent D V. Paleomagnetism and the Global Oceanic Record. In: AGU 1988 spring meeting. Anonymous. EOS Transactions American Geophysical Union (April 1988), 69(16): 300
- 27 Litsey L R, MacBride W L, Al-Hinaik M, & Dismukes N B. Shuaiba Reservoir geological study. Yabal Field, Oman. In: 3rd Middle East oil show, proceedings. Anonymous. Soc. Pet. Eng., United States (1983). 131-142
- 28 Martin A Ziegler. Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian Plate and its hydrocarbon occurrences. GeoArabia, 2001, 6(3): 444-504

## Sedimentary Facies Model on Carbonate Rock in the Upper Shuaiba Member of Lower Cretaceous in Daleel Field, Oman

WANG Feng<sup>1,2,4</sup> JIANG Zaixing<sup>2</sup> ZHOU Liqing<sup>3</sup> ZHAO Guoliang<sup>3</sup>  
WANG Lin<sup>2</sup> ZHENG Ning<sup>2</sup> XIANG Shuan<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083;

2. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083;

3. CNPC International Research Center, Beijing 100083;

4. Geo-detection Laboratory, Ministry of Education of China, China University of Geosciences, Beijing 100083)

**Abstract** The Upper Shuaiba Member (USH) is the main force pay bed in the Daleel oil field. Based on the data of geology, seismic and paleobiology, the litho-facies assemblage and sedimentary environment in the USH were studied. Intershoal lows sub-facies (where the water depth is 10-50m) and shallow shoal sub-facies (where the water depth is not more than 10m) were extinguished in the layer D, and storm deposit was found in the layer E1, in which intershoal lows sub-facies also developed. The feature of the sedimentary sub-facies and the sedimentary condition were summarized and studied, and the sedimentary model was set up in the paper that the intershoal lows on carbonate rocks were developed under the background of broad land in shallow sea, where storm events usually occurred in the lower Cretaceous in the area.

**Key words** carbonate, sedimentary facies, depositional model, the lower Cretaceous, the Daleel oil field