

沥青填隙物成因差异及其对储层储集性能的控制效应

——以塔北西部白垩系巴西改组碎屑岩储层为例

陈思淼^{1,2}, 韩登林^{1,2}, 闫康^{1,2}, 张吉振^{2,3}, 马斌玉^{1,2}, 杜皓^{1,2}, 武倩宇^{1,2}

1. 长江大学地球科学学院, 武汉 430100

2. 储层微观结构演化及数字表征实验室, 武汉 430100

3. 长江大学资源与环境学院, 武汉 430100

摘要 【目的】沥青填隙物作为石油或天然气残留在烃源岩或储层中的烃类有机质, 其无论形成还是演化均与油藏的演化史密切相关, 是油气成藏及改造过程的重要标志。前人围绕储层内沥青组分的类型、成因及热演化程度等方面开展了诸多分析, 但沥青对储层制约机制仍不明确。【方法】以塔北西部英买 467 井区白垩系巴西改组储层为例, 借助铸体薄片、荧光薄片、激光拉曼实验, 结合测井参数识别, 探讨沥青与油气藏期次的关系, 查明不同沥青类型对储层质量的影响。【结果】(1) 依照主要组分与形成期次, 研究层段内沥青填隙物分为两类: I类以粒间充填为主, 荧光显微镜下多呈黄褐色和褐黑色, 主要组分为油质、沥青质沥青, 沥青反射率多大于 1%; II类以沥青衬边的形式分布于孔隙边缘, 荧光显微镜下多呈橙色和蓝(白)色, 以胶质沥青为主要组分, 沥青反射率偏低, 介于 0.42%~0.79%。(2) 英买 467 井区 I类沥青与黄山街组烃源岩原油充注有关, 受控于舒善河底不整合面和英买 467 同沉积断层, 主要分布于巴西改组块状砂岩段 III-1 砂组顶部和巴西改组薄层砂岩段 II 砂组; II类沥青与恰克马克组烃源岩油气有关, 受砂体厚度影响, 主要分布在块状砂岩段 III-2 砂组。(3) I类沥青对储层改造作用强, 占据部分孔隙空间; II类沥青对储层孔隙度影响较小。【结论】查明塔北西部英买 467 井区白垩系巴西改组储层沥青填隙物类型, 明确不同沥青类型对储层质量的影响, 对深化研究区地质认识具有现实意义。

关键词 沥青砂岩; 储层沥青; 巴西改组; 油气成藏; 塔北隆起

第一作者简介 陈思淼, 女, 2000 年出生, 硕士研究生, 油气储层地质学, E-mail: 1776730068@qq.com

通信作者 韩登林, 男, 教授, E-mail: handl@yangtzeu.edu.cn

中图分类号 P618.13 文献标志码 A

0 引言

沥青类似孔隙中的填隙物, 是储层固体沥青的微观尺度表达。储层固体沥青最早被定义为石油热变质过程中裂解为天然气之后的产物, 存在于储集层原生或次生孔隙中^[1-2]。前人综合固体沥青的成因及发育, 将储层固体沥青(以下简称为沥青)定义为: 油藏在埋藏过程中, 原油遭受热蚀变裂解成气后的残余富碳产物, 或是原油遭受生物降解、水洗、氧化、气侵以及储层分异等冷变质作用, 轻组分选择性降解或溶解, 原油发生物理—化学相态变化,

富碳重组分在储集层中逐渐沉淀与富集的产物^[3-4]。有鉴于此,油藏气侵作用形成的沥青充填物实质上是石油伴生产物,可反映油气成藏和改造、破坏过程。且在油藏阶段不同充注期次的原油经历差异改造作用会形成不同特征和不同演化程度的沥青,不同期次或不同世代的沥青形成通常是不可逆的^[5-7]。

沥青是在显微镜下可直接观测到的充填物,通过占据孔隙空间和缩小喉道会极大地降低储层的孔隙度和渗透率,对孔隙结构的影响可以量化^[8-9]。已有越来越多的学者意识到以沥青为媒介将宏观油气运聚成藏和储层微观结构演化联系起来将使油气成藏史的系统研究更加严谨^[10-14]。从构造的角度上看,沥青的形成与烃源岩生烃、储集层改造和构造演化密切相关,沥青形成期次可重塑地质历史上古油藏的形态及演化过程^[12-13]。在沉积作用方面,沥青作为砂岩输导层流体连通性的判别标志,有助于分析砂岩输导层物性演化过程^[11]。在储层成岩特征的精细研究上,结合薄片观察,沥青可辅助判断排烃对储层溶蚀改造作用发生的影响,用来推测油气成藏时期及成藏过程^[15-16]。笔者总结前人对塔里木盆地志留系沥青砂岩的文献发现,目前探究沥青制约优质储层发育的因素多从沥青成因类型、特征、油源、形成期次、后期演化等方面入手,研究沥青成岩和产状对储集物性的作用^[17-21]。

塔北西部白垩系地层储层沥青成因尚未明确,制约着油气储层精细评价及勘探部署。本文以英买7号断裂带上东西向英买467井区白垩系巴西改组碎屑岩储层中沥青充填物为主要研究对象,开展铸体薄片、荧光薄片、激光拉曼实验,结合英买7号断裂带上油气的生源和成因,划分沥青类型,综合分析不同成藏模式下沥青来源、演化及油气成藏与沥青耦合关系的研究,以期对储层沥青进行预测和优化,进而为油气勘探开发部署提供科学依据。

1 区域地质概况

英买7号断裂构造带位于塔里木盆地塔北隆起南部斜坡带西南端,是一个呈北东南西向展布的二级构造带,由一系列北东向燕山—喜山期正断层组成,沿断层形成一系列古近系至白垩系的断背斜、断鼻和断块构造,东面是红旗断裂构造带,南邻英买2号构造带,西接南喀—英买力低隆,北面是羊塔克断裂构造带^[22-23]。英买467井区位于英买7号断裂带的次级构造上,近东西向的英买467同沉积断层位置(图1)。

英买467井区巴西改组属于下白垩统地层,上覆巴什基奇克组,下伏舒善河组,埋深在4 850~5 200 m,目前埋深即地质历史最大埋深^[25]。巴西改组地层沉积期为构造停歇期,湖平面相对稳定,构造低部位主要以辫状河三角洲河道砂岩为主,隆起区主要以湖相泥岩和薄层粉砂岩为主,地层厚度变化不大,层厚约40 m,广泛分布,隆起被填平补齐,主要产层

段块状砂和薄层砂为塔北隆起巴西改组的高位体系域沉积体。巴西改组自下而上划分为III-2砂组、III-1砂组、II砂组和I砂组，III-2砂组和III-1砂组统称为块状砂岩段，II砂组为薄层砂岩段，I砂组为泥岩段（图2）。

塔北西部英买467井区白垩系巴西改组储层段物性较好，孔隙度大于15%^[26-27]。岩性以岩屑质长石砂岩、长石质岩屑砂岩为主（图3）。孔隙类型以原生粒间孔为主，其次为粒间溶蚀孔和粒内溶蚀孔^[25]。英买467井区巴西改组储集体主要为下伏块状砂岩段和上覆薄层砂岩段，块状砂全区分布稳定，薄层砂主要位于英买467井区西部。英买467井区东西部以英买46-1为界线，东部底砂岩构造油气藏以凝析气藏为主，西部底砂岩构造油气藏以油藏为主，而薄砂层构造油气藏主要分布于西部，且以油藏为主^[28-29]。原油特点为“轻质、低黏度、低含硫、低胶质+沥青质、高含蜡”正常原油，天然气性质为非烃含量较高的溶解气，地层水为氯化钙型（表1，2）。

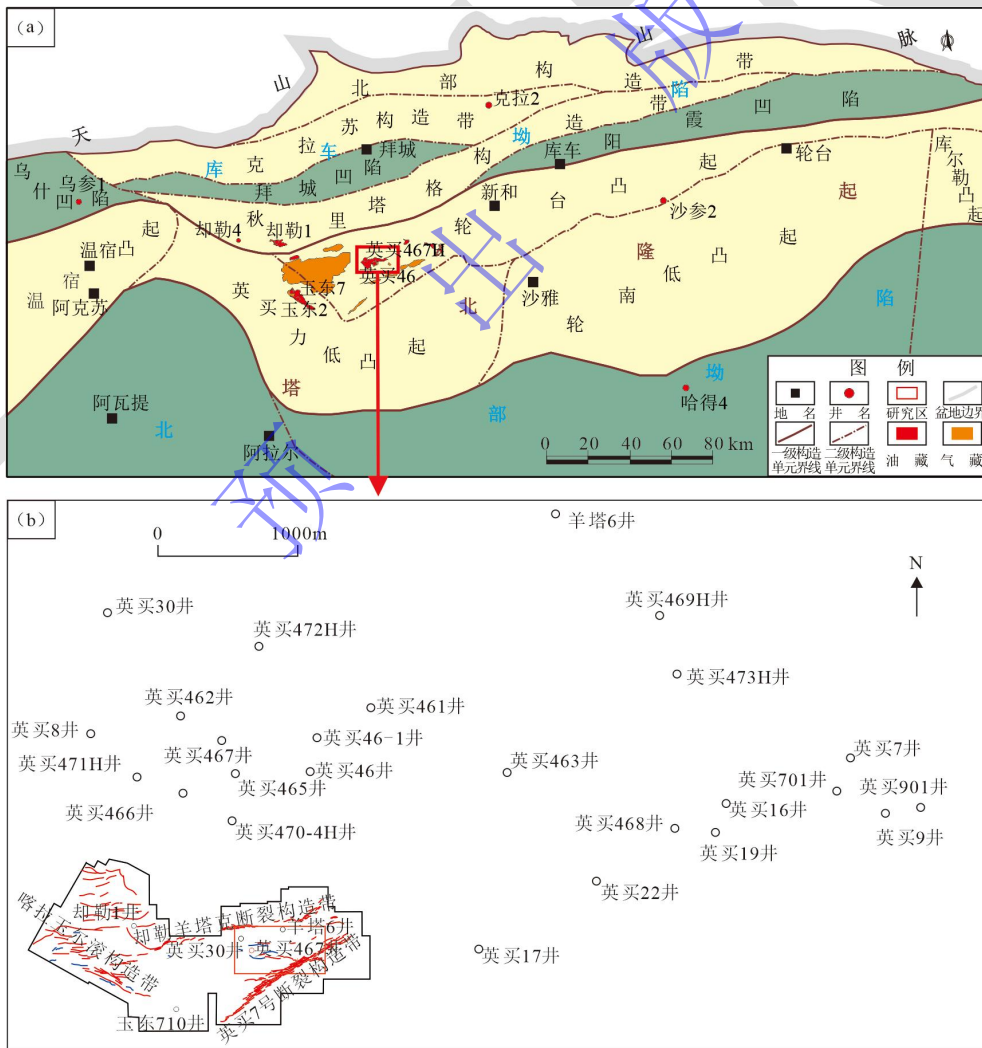


图1 研究区区域概况图（据文献[24]修改）

Fig.1 Regional overview map of the study area (modified from reference[24])

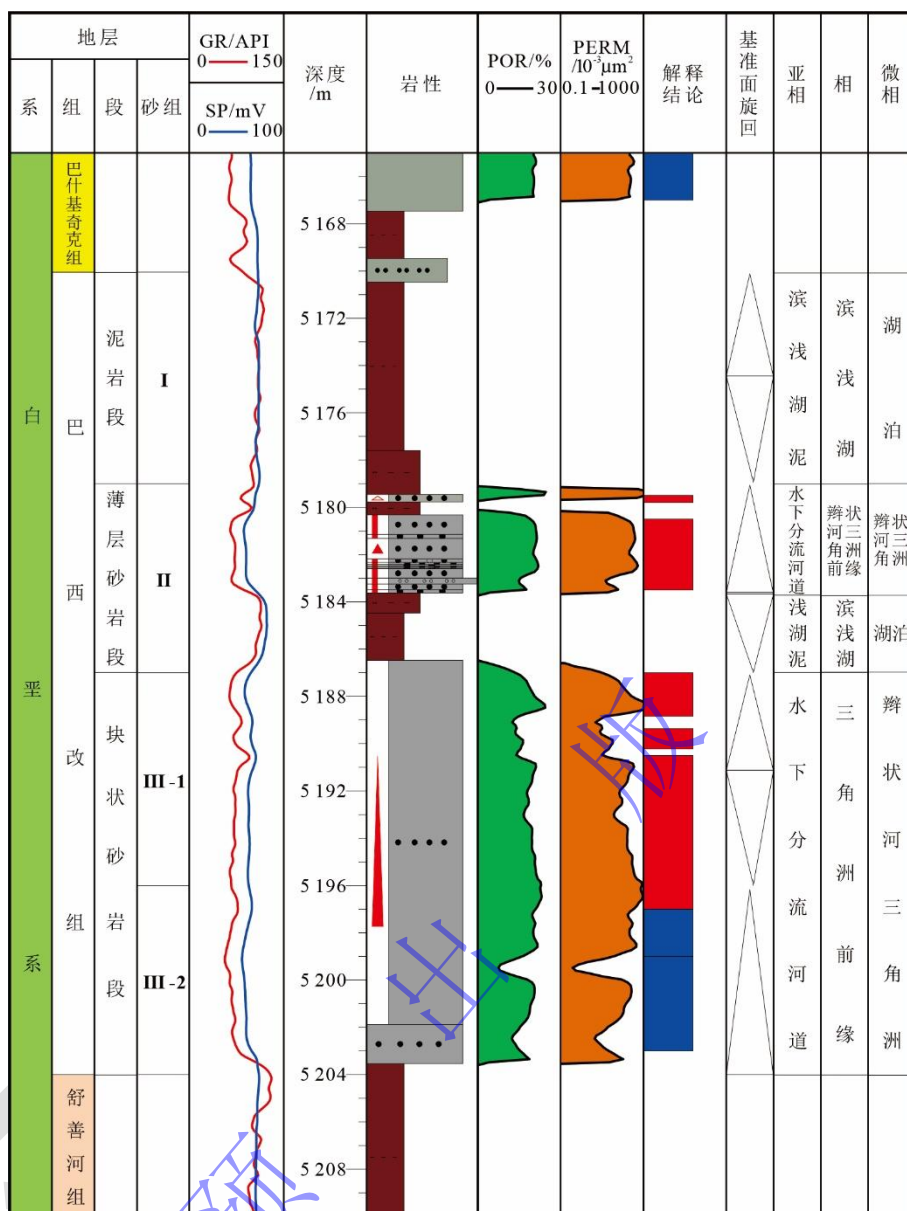


图2 英买 467H 井单井层序地层分析图

Fig.2 Sequence stratigraphic analysis diagram of the well Yingmai 467H

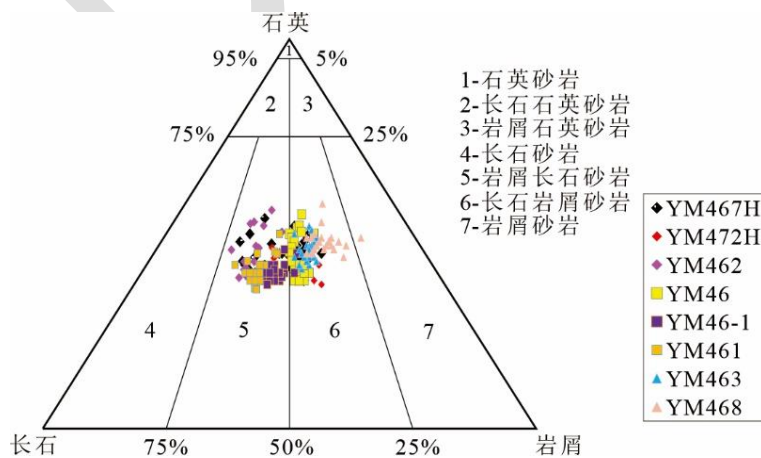


图3 英买 467 井区巴西改组岩性三角图

Fig.3 Lithology ternary diagram of the Baxigai Formation in the Yingmai 467 well area

表 1 英买 467 井区白垩系巴西改组油藏原油性质统计表

Table 1 Crude oil properties of the Cretaceous Baxigai Formation reservoirs in Yingmai 467 well area

原油密度/g/cm ³ (20℃)		动力黏度/mPa.s (50℃)		胶质+沥青/%		含硫量/%		含蜡量/%	
范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均
0.805 8~0.835 2	0.820 3	2.447~6.033	3.820	1.96~9.39	3.96	0~0.179	0.025	14.5~38.1	26.1

表 2 英买 467 井区白垩系巴西改组油藏天然气性质统计表

Table 2 Natural gas properties of the Cretaceous Baxigai Formation reservoirs in Yingmai 467 well area

相对密度		甲烷/%		乙烷/%		CO ₂ +N ₂ /%		干燥系数	
范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均
0.672 3~0.880 6	0.792 3	55.3~79.1	64.8	6.75~22.19	15.83	4.082~34.530	9.480		72.3

2 巴西改组储层沥青类型

研究区储层沥青源自油藏后期气洗作用，发生油气相分异，侵入气体在油中逐渐溶解，形成沥青沉淀^[30]。岩心观察表明，塔北西部白垩系巴西改组储层沥青普遍发育于细砂岩中，岩心尺度上可观测到的沥青颜色深黑，多以黑点或小斑状均匀分布于岩石颗粒间，偶见局部团块状，整体上保留着砂岩的深灰色、灰色（图 4）。

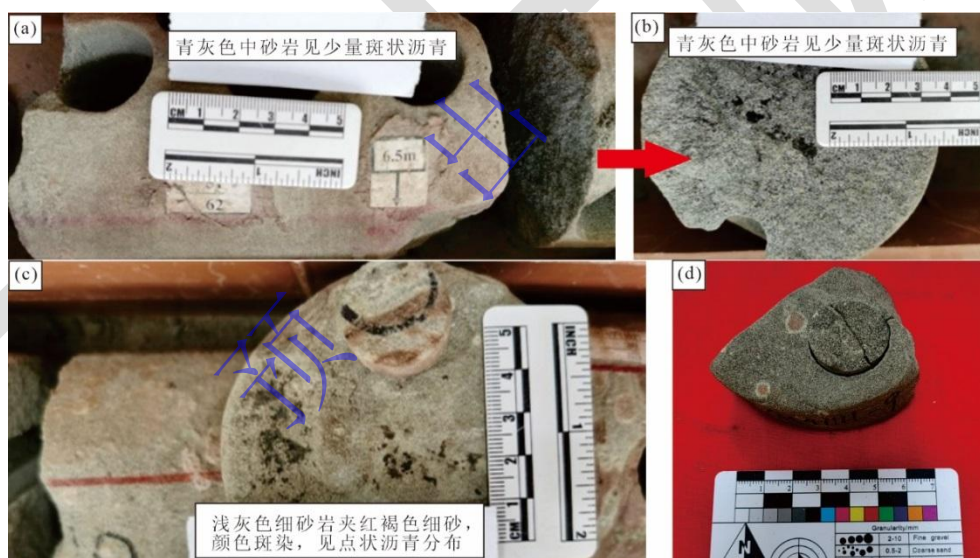


图 4 塔北西部白垩系巴西改组中沥青岩心观察特征

(a) 英买 467 井, 5 200.4 m, 巴西改组, 见少量斑状沥青; (b) 英买 467 井, 5 200.4 m, 巴西改组, 见少量斑状沥青 (视图放大); (c) 英买 471H 井, 5 202.35 m, 巴西改组, 见点状沥青分布; (d) 英买 471H 井, 5 197.5 m, 巴西改组, 沥青呈黑色小点均匀分布于颗粒间

Fig.4 Observation characteristics of bitumen cores from the Cretaceous Baxigai Formation in the western Tabei area

显微镜观察发现沥青主要赋存在孔隙中，裂缝中可见零星发育（图 5）。孔隙发育的沥青，按照其赋存特征可分为两类，包括明显充填于孔隙中的黑色干沥青和溶蚀边残余的褐色、黄褐色沥青，其中前者单偏光镜下不透光，切换正交偏光镜前后无变化。紫色荧光照射下，

荧光效果明显, 沥青普遍呈褐色、黄色和蓝白色三种现象。此外, 镜下发现, 充填在溶孔中的沥青, 荧光下其孔隙中心部位呈黑色, 典型的固态沥青, 也有向边缘颜色变浅, 过渡为轻质油的分布样式 (图 5e)。既有沥青分布于孔隙中央和孔隙周缘, 亦有未被沥青充填的现象, 这些证据侧面反映研究区油气充注期次复杂, 气侵效果显著, 孔隙历经多次溶蚀, 烃类多次充注 (图 5c)。

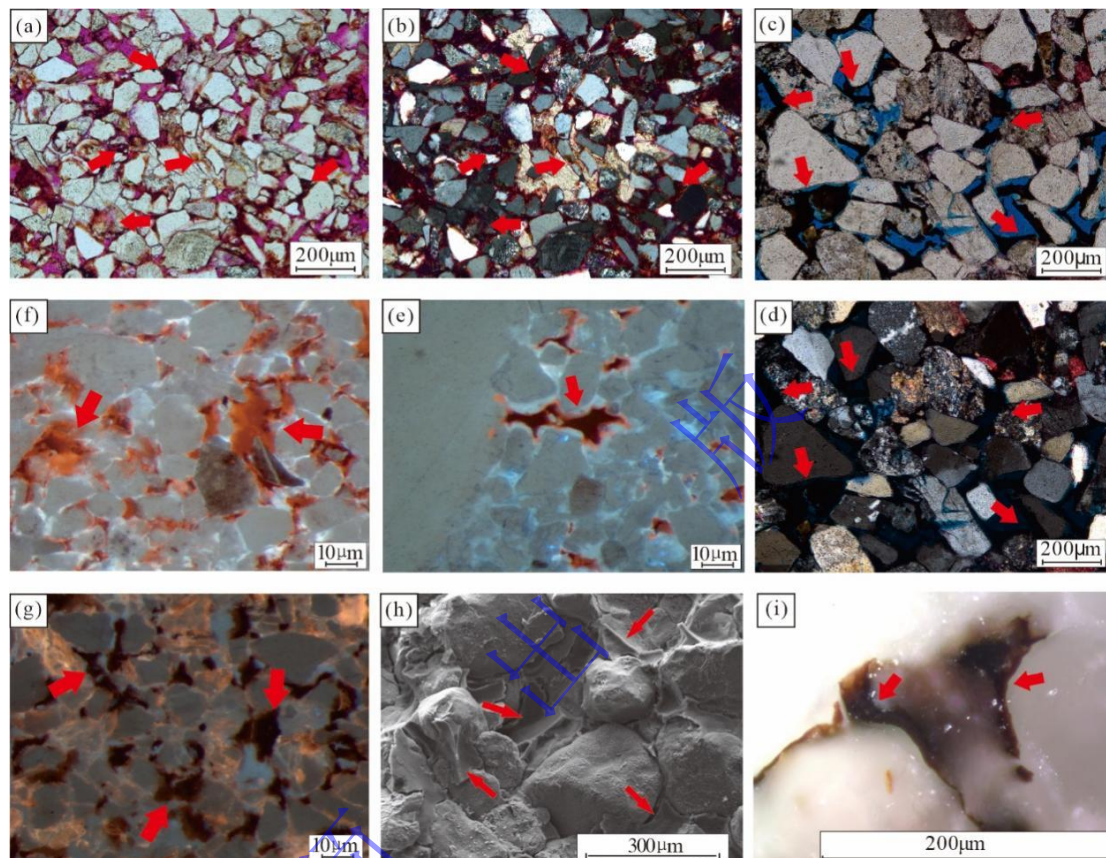


图5 塔北西部白垩系巴西改组储层沥青镜下特征

(a) 深褐色沥青侵染次生溶孔, 英买 231 井, 4 638.78 m, 细粒极细粒岩屑长石砂岩, 巴西改组, 单偏光 (plane-polarized light); (b) 沥青无光性, 英买 231 井, 4 638.78 m, 细粒极细粒岩屑长石砂岩, 巴西改组, 正交偏光 (cross-polarized light); (c) 黑色干沥青充填于孔隙中间, 与颗粒边界清晰, 英买 467H 井, 5 199.83 m, 细粒长石岩屑砂岩, 巴西改组, PPL; (d) 沥青不透光, 英买 467H 井, 5 199.83m, 细粒长石岩屑砂岩, 巴西改组, XPL; (e) 荧光激发呈黄橙色, 褐红色, 蓝白色, 英买 471H, 5 206.15m, 浅灰色细砂岩, 巴西改组, 紫外光 (ultraviolet light); (f) 激发态下沥青呈深褐色, 黄褐色, 英买 461, 5 187.97 m, 青灰色含砾细砂岩, 巴西改组, UV; (g) 激发态下沥青呈暗深褐色, 黑色, 浅橘色, 英买 472H, 5 277.80 m, 深灰色油浸细砂岩, 巴西改组, UV; (h) 岩石颗粒之间充填沥青, 英买 467H, 5 177.98 m, 灰色油浸细砂岩, 巴西改组, 扫描电镜 (scanning electron microscope); (i) 沥青分布于粒间孔, 英买 471H, 5 206.95 m, 巴西改组, UV

Fig.5 Microscopic characteristics of bitumen from the Cretaceous Baxigai Formation reservoirs in the western Tabei area

借鉴前人^[17-18,31-32]对塔里木地区志留系储层沥青的分类方案, 依照沥青组分及沥青反射率所反映的定量差异, 将塔北西部巴西改组储层内沥青划分为两类: 以粒间充填为主, 铸体薄片的镜下多为黑色、深褐色, 荧光显微镜下多为黄褐色、褐黑色, 以油质沥青、沥青质沥

青为主要组分（炭质沥青出现的情况较II类沥青多），沥青反射率多大于1%的I类沥青，或称之为I期沥青；以沥青衬边形式，铸体薄片下观察到少量侵染颗粒溶蚀边的分布特征，多为黄褐色、褐色，荧光显微镜下多为橙色和蓝白色，以胶质沥青和少量油质沥青为主要组分（极少数情况见炭质沥青），沥青反射率偏小，介于0.42%~0.79%的另外一类沥青划为II类沥青，或二期沥青（图6）。

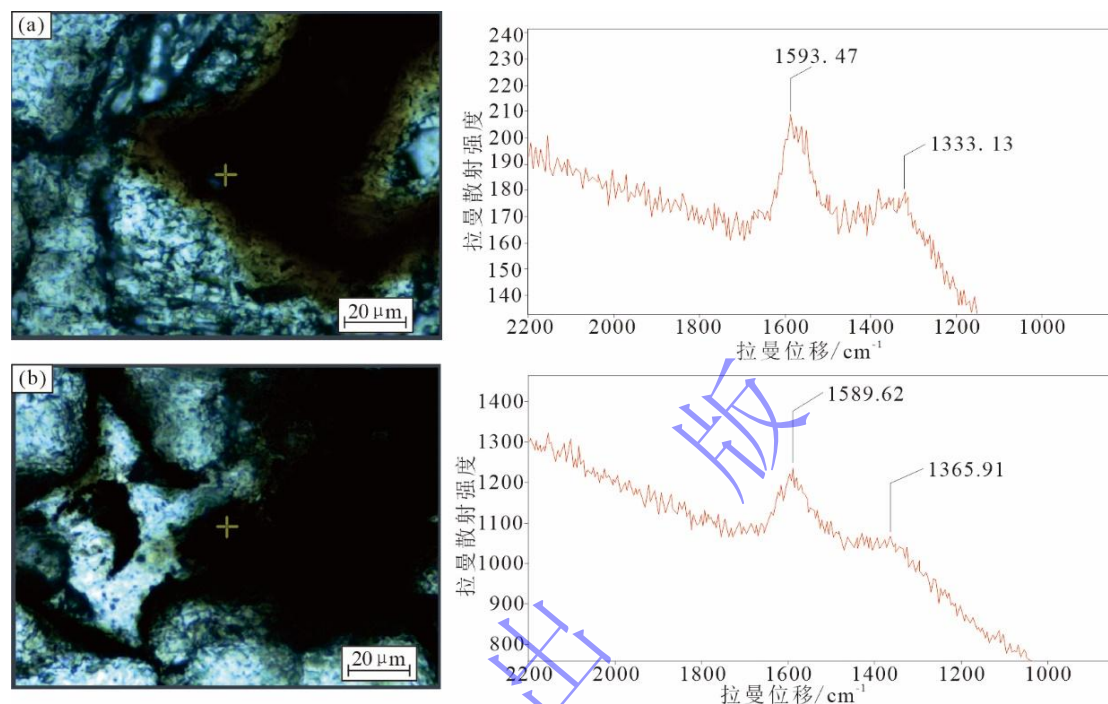


图6 不同类型沥青激光拉曼光谱特征

(a) I类沥青, $R_b=1.879\%$; (b) II类沥青, $R_b=0.725\%$

Fig.6 Laser Raman spectral characteristics of different types of bitumen

3 含量及分布

3.1 研究方法

本次研究方法包括室内方法和测井沥青识别方法两类。室内研究采用铸体薄片、荧光薄片组合分析，利用铸体薄片观察洗油后残余沥青对孔隙的影响，采用荧光薄片观察沥青组分并进行定量，结合激光拉曼实验测定沥青反射率，辨识沥青成因来源。所涉及的主要仪器设备及实验方法为：铸体薄片观察采用德国 Leica 偏光显微镜（放大倍数 50~1 000 X），荧光薄片观察采用德国蔡司立体荧光偏光显微镜（放大倍数 7.8~160 X），激光拉曼实验采用美国赛默飞公司产 Scientific DXR 2xi 型显微共聚焦激光拉曼光谱仪，激发波长 532 nm，实验室温度为 25 °C，检测标准《激光拉曼光谱分析方法通则》JY/T 0573—2020。以上实验均在长江大学完成，其中激光拉曼实验沥青反射率计算公式 $R_b=0.0315 \times (G \text{ 峰}-D \text{ 峰})-6.322 2$ ，为该仪器计算公式。测井沥青识别方法尝试利用常规测井参数构建沥青测井响应数学模型，提

高测井解释效率为方便寻找优质储层段提供思路。

镜下沥青定量方法如下：（1）利用 Image-J 软件读取薄片图像后，依据油质沥青、胶质沥青、沥青质沥青、炭质沥青等组分在色相、饱和度、明亮程度参数的区别，设定 HSV 范围值，进而对组分进行语义分割，识别出薄片中的不同沥青组分。（2）沥青体积分数计算：基于 Python 语言 OpenCV 库，依据设定的沥青组分 HSV 范围值，编写沥青组分识别的统计程序，运算程序得到不同组分沥青体积分数表格。将储层沥青面孔率近似当作沥青体积分数，用于标定测井固态沥青含量。在实际评价过程中，对 53 张薄片，以一张薄片中选定不重复 8~10 个区域进行图像提取运算后取平均值的原则，获得 523 组数据分析，所得沥青面孔率算术平均值方可用于后续固态沥青测井定量评价的标定（图 7）。

测井沥青识别方法如下：（1）利用 Image-J 软件将薄片拍摄照片进行灰度转化，利用灰度值读取出有效储层固态沥青体积分数。（2）在 ResForm 软件导出目的层段测井曲线数值，使用 SPSS 软件相关性分析模块进行相关性结果解读，优选对沥青含量变化有明显响应特征的参数。（3）使用回归分析方法拟合优选后测井参数数值与沥青含量的关系。



图 7 沥青含量提取示意图

(a) 原始荧光照片；(b) I类沥青占比；(c) II类沥青占比

Fig.7 Schematic diagram of bitumen content extraction

3.2 沥青的测井响应

储层沥青的组成、密度和含氢指数与石油相似，在测井解释时油层有可能是含沥青的层段。对常规测井而言，沥青充填空间会被测井识别为储油孔隙，因此在沥青发育段，会出现测井孔隙度大于岩心孔隙度的现象。若能建立针对含沥青储层特殊性的测井响应模型，可以大大提高测井解释的精确性，避免对关键信息的误判^[33-35]。前人尝试基于测井数据开展储层沥青的定量评价，从琳等^[36]利用中子—密度交会伽马 Z 值将泥质与沥青储层区分开；陈明江等^[37]通过泥质含量在有无沥青储层之间的差异性，计算出储层中沥青的相对含量；齐婷婷等^[38]考虑了沥青对孔隙度的影响，并建立了沥青砂岩的总孔隙度模型，但需系统开展沥青清洗、薄片实验、洗油实验，时间及实验成本大；宋泽章等^[39]建立多矿物体积模型反演法计算沥青含量，为深层、超深层致密碳酸盐岩储层研究提供有效支撑。逐步回归分析结果表明，在沥青砂岩储层段声波时差和密度测井数值与沥青含量存在线性关系，与冲洗带地层

电阻率和泥浆电阻率亦存在相关性。印证前人研究提及沥青属于不导电的碳氢化合物，在含沥青层段电阻率会随声波时差的增大而增大或没有明显变化^[40-41]。

如图 8 所示，四参数（DT、DEN、RM、RXO）气泡图直观反映储层固态沥青在测井上的反馈趋势，DT>80，DEN<2.38 多为无沥青，DEN>2.29，DT<80 多为有沥青，沥青含量>2%。此外，参数 DEN³ 与沥青含量有显著线性关系，多元回归分析建立起测井识别沥青含量（BIT）的半定量—定量数学模型： $BIT=13.921\times RM-16.201\times RXO+1.899\times DEN^3$ ，与薄片下沥青定量结果进行验证显示相关性合理，将模型应用于测井解释预测沥青分布（图 9，10）。

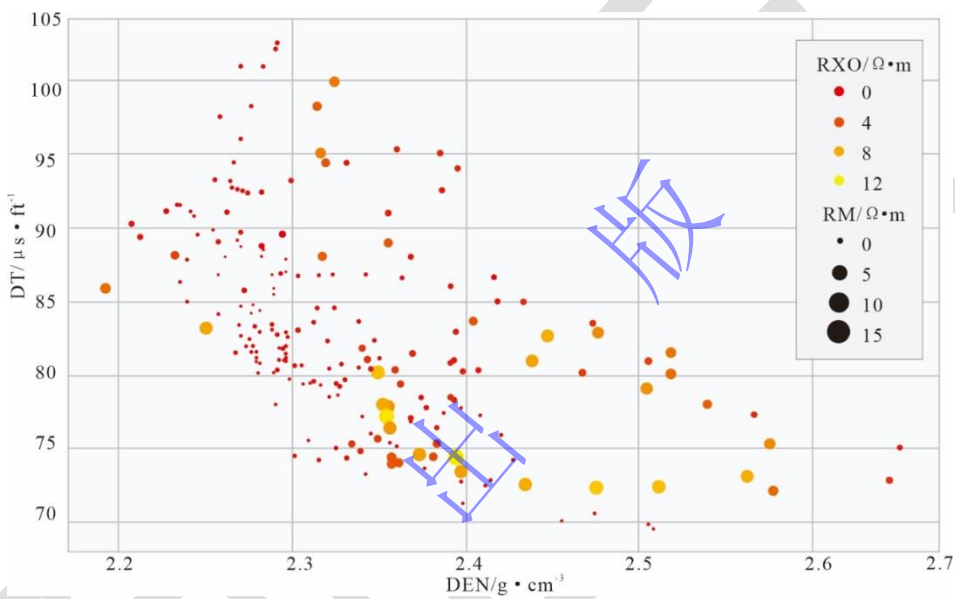


图 8 沥青测井参数气泡图

Fig.8 Bubble diagram of bitumen logging parameters

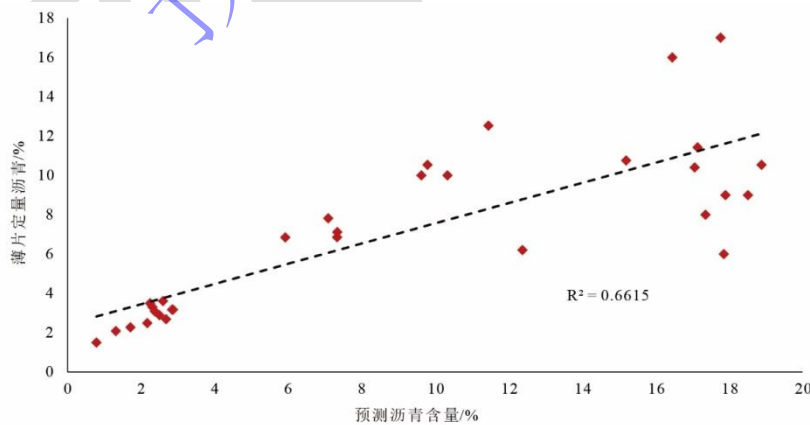


图 9 预测沥青与实测沥青交会图

Fig.9 Intersection diagram of predicted and measured bitumen

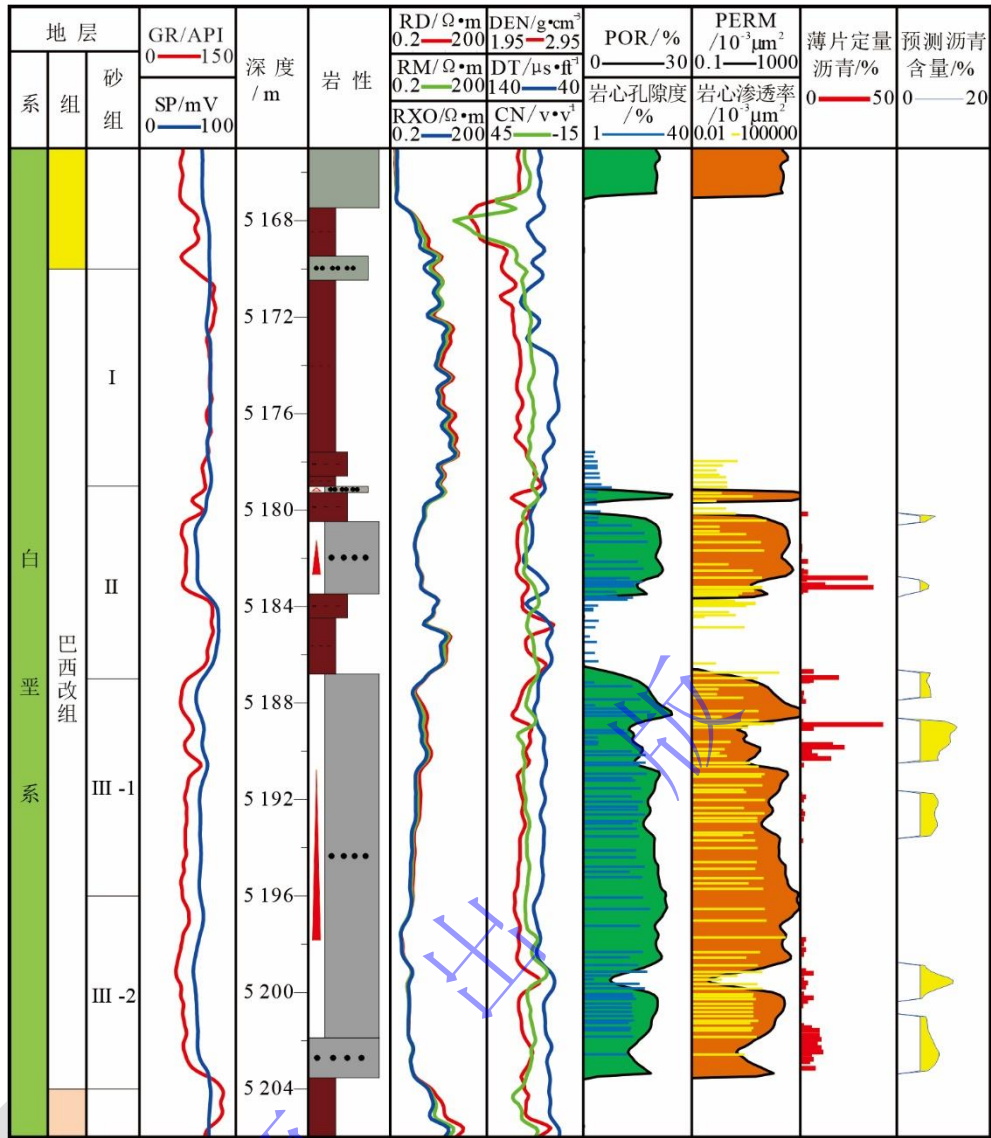


图10 英买 467H 单井预测沥青与实测沥青对比图

Fig.10 Well Yingmai 467H predicted and measured bitumen comparison chart

3.3 沥青含量与分布

按沥青隶属层位计算层内沥青平均含量作示意图（图 11）。分析英买 467 井区内 10 多口井白垩系巴西改组镜下沥青实际统计数据与预测沥青含量表明，巴西改组沥青含量为 0.91%~16.18%，平均含量约 6%。块状砂岩段 III-2 砂组沥青含量为 0.79%~9.29%，平均含量约 6.26%；块状砂岩段 III-1 砂组沥青含量为 0.91%~9.05%，平均含量 5.42%；薄层砂岩段 II 砂组沥青含量 0.1%~16.18%，平均含量 6.05%。

从含量上看，块状砂岩段 III-2 砂组和薄层砂岩段 II 砂组较块状砂岩段 III-1 砂组沥青更多，其主要原因是块状砂岩段 III-2 砂组和薄层砂岩段 II 砂组更靠近泥岩和不整合面，原油更易沿着油气运移通道充注，进而天然气侵入导致沥青残留。沿着英买 467 同沉积断层带东西向上，英买 901 井—英买 19 井—英买 468 井—英买 463 井—英买 467 井—英买 8 井巴西改组沥青

含量增多，侧面反映断层沟通不整合面上下砂体，作为油气运移通道。

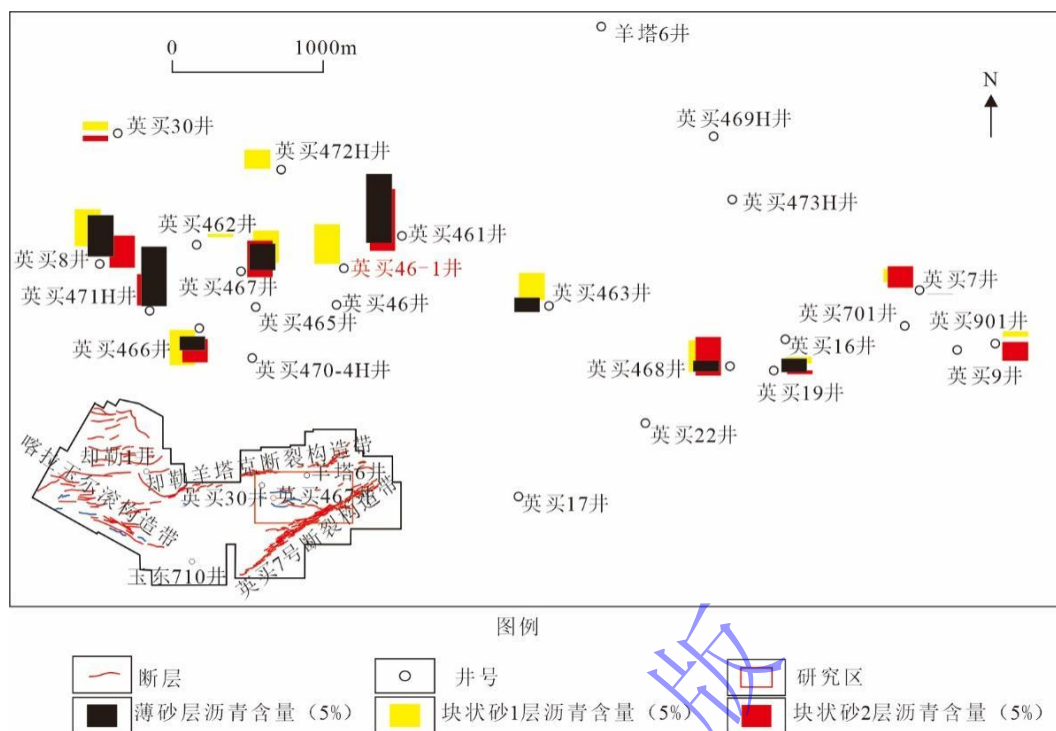


图 11 英买 467 井区白垩系巴西改组沥青含量分布平面图

Fig.11 Distribution of bitumen content in the Cretaceous Baxigai Formation in the Yingmai 467 well area

从类型上看，块状砂岩段III-2 砂组普遍发育I类沥青。块状砂岩段III-1 砂组顶部可见沥青发育，所发育沥青类型主要为II类沥青。薄层砂的沥青分布在英买 467 东西井区略有不同，英买 467 井区东部薄层砂岩段无沥青发育，英买 467 井区西部薄层砂岩段主要为I类沥青（图 12）。

白垩系巴西改组块状砂岩段III-1 砂组沥青平面分布示意表明英买 467 井区东部沥青多于英买 467 井区西部，主要发育II类沥青。块状砂岩段III-2 砂组和薄层砂岩段II砂组沥青含量分布和沥青类型则相反，沥青平面分布差异可能与沥青类型有关，进一步思考认为沥青沉淀的多少与储层中油气混合比例以及这种混合作用发生的程度，即气侵程度相关^[42-43]。

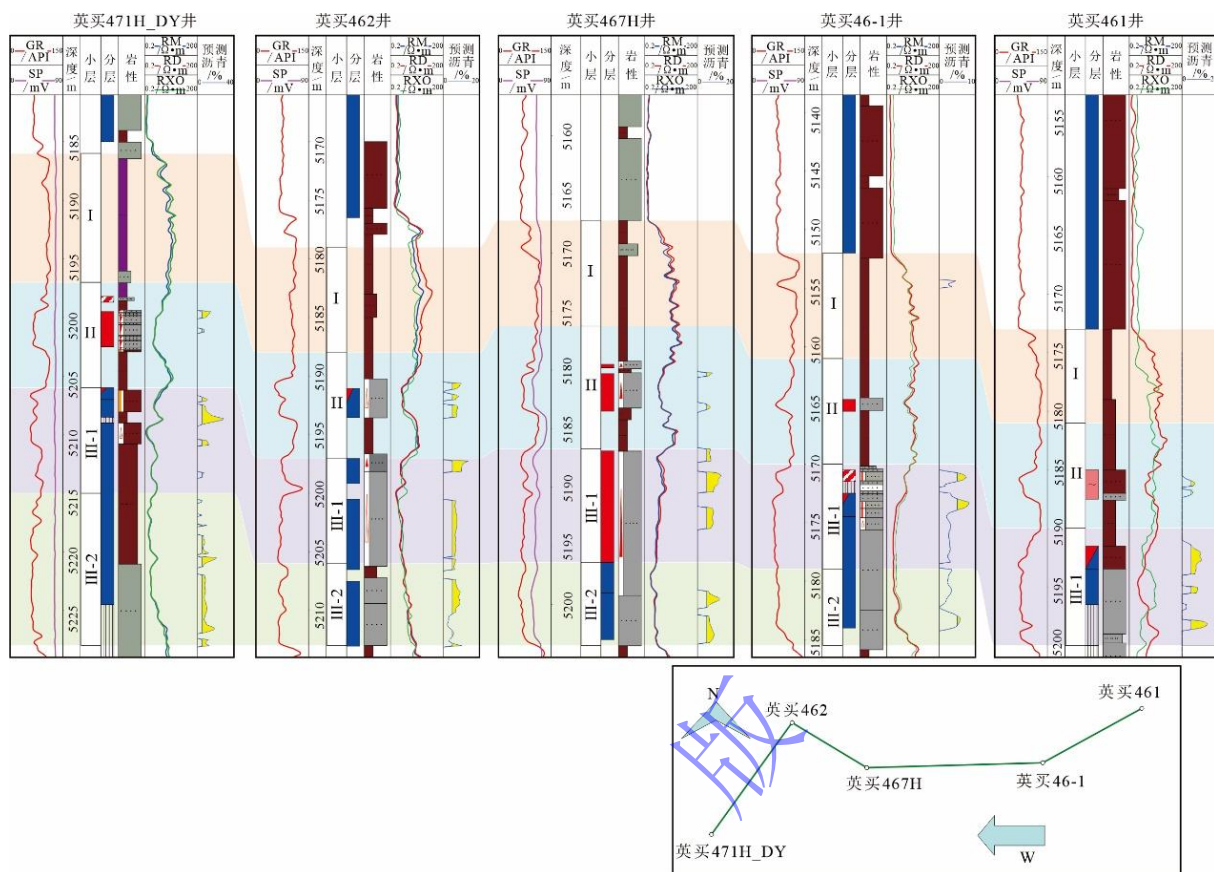


图 12 英买 471H 井—英买 462 井—英买 467H 井—英买 46-1 井—英买 461 井白垩系巴西改组沥青含量连井剖面图

Fig.12 Well Yingmai 471H - well Yingmai 462 - well Yingmai 467H - well Yingmai 46-1 - well Yingmai 461 Cretaceous Baxigai Formation bitumen content well profiles

4 沥青成因及对储层质量的影响

4.1 沥青形成期次与油气充注期次的耦合关系

一般来说，多期油气混合常会导致原油中沥青沉淀，随地质历史时期长时间的热作用，储层沥青会由油质沥青向胶质沥青、沥青质沥青和炭质沥青转化，在这一成熟演化过程中沥青轻质组分依次变少，石油族组分中的“沥青质”等高分子组分依次变多，反射率越来越高^[32,42]。结合前人对英买 467 井区油气成藏、油源对比、构造演化等研究成果^[29,44-46]，对英买 467 井区沥青期次与油气充注期次的耦合关系进行推断。

英买 467 井区巴西改组存在两期油气充注，会形成至少两期储层沥青沉淀（图 13）。以高反射率的 I 类沥青为主的沥青沉淀代表了第一期油气充注。约 5 Ma 时期库车坳陷三叠系黄山街组烃源岩形成的原油排出，经过羊塔克断裂带运移至英买 467 井区舒善河组底不整合面，后因断层调整至巴西改组，在砂体中自西向东运移。沥青作为物理分异产物反映出早期的原油主要在英买 467 井区西部巴西改组块状砂岩段 III-2 砂组和薄层砂岩段 II 砂组储层中聚集，

其分布受控于不整合面与砂体厚度。

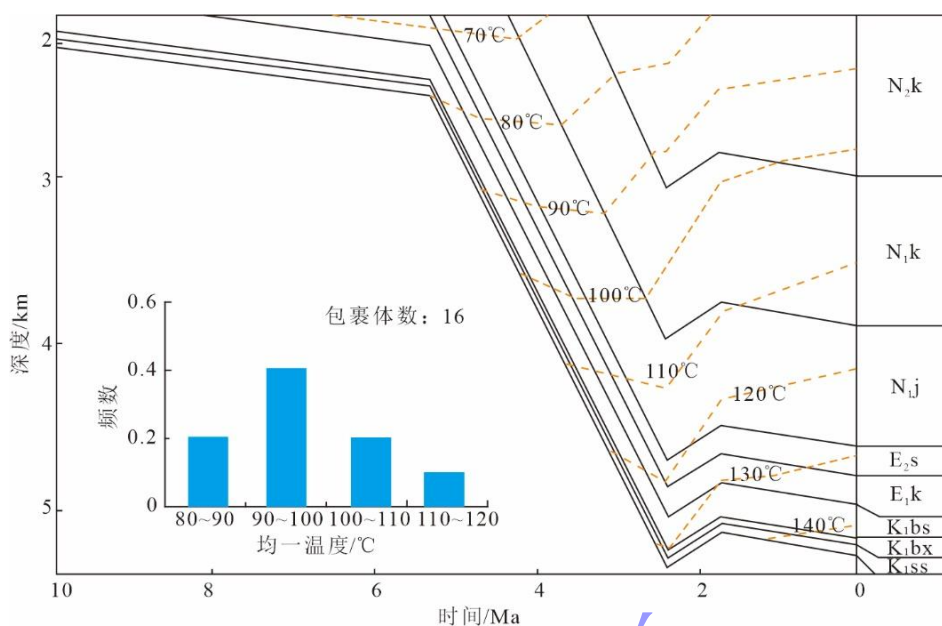


图 13 英买 467 井盐水包裹体均一温度和埋藏史 (据文献[29]修改)

Fig.13 Homogenization temperature and burial history of brine inclusions in well Yingmai 467 (modified from reference[29])

低反射率相对较低的II类沥青代表了第二期以天然气为主的油气充注过程。约 3.5 Ma 时期,库车坳陷侏罗系恰克马克组烃源岩形成的油气排出,自拜城凹陷东部排出后沿着英买 7 号断裂带由东向西运移至英买 467 井区,后经英买 46 井附近断层调整至巴西改组块状砂岩段III-1 砂组。油气混合过程原油中轻质组分溶解到天然气中,在英买 467 井区东侧形成凝析气藏,观察到以II类沥青为主的沥青衬边形式残留(图 5a)。

由于油气的欠缺加之英买 467 井区西部薄层砂岩段砂体较薄,英买 465 井油藏高度小于圈闭闭合高度,使得油气无法持续往东部圈闭运移,因此在英买 467 井区薄层砂岩段东部没有见到沥青沉淀(图 14)。

沥青期次与油气充注期次的耦合关系可以从地质的角度解释英买 467 井区“西油东气”的原因。这一发现指出油源区和构造控制着早期油气的运移聚集,间接影响沥青砂岩的宏观分布范围。多期油气充注时,油气混合程度直接控制着沥青砂岩厚度在局部构造带分布的差异。

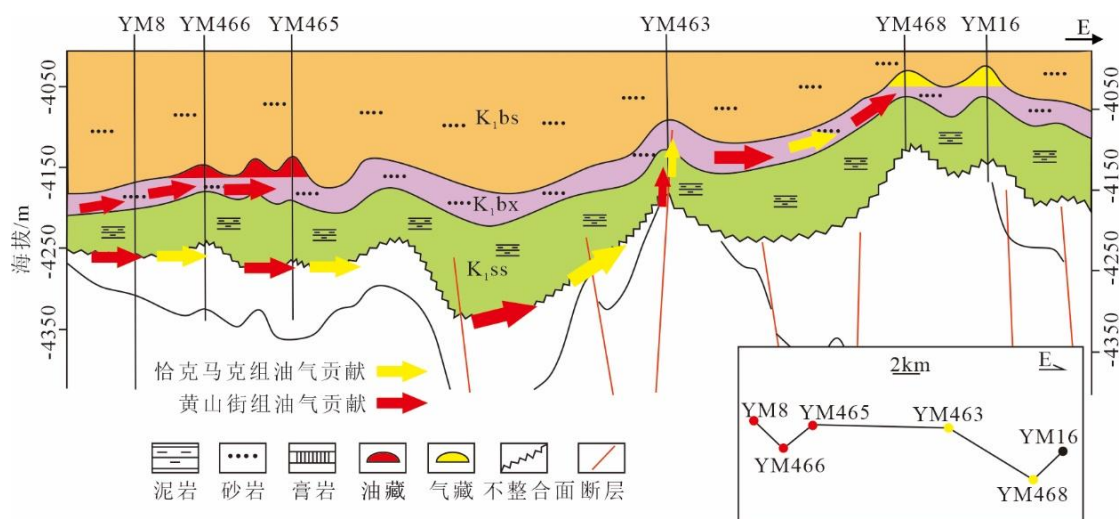


图 14 油气运移模式图 (据文献[29]修改)

Fig.14 Oil and gas migration pattern (modified from reference[29])

4.2 不同沥青类型对储层质量的影响

沥青充填在孔隙中间,使得孔隙度降低,并且堵塞一部分储层孔喉,造成储层的绝对渗透率下降,对储层物性造成负面影响^[47](图 15)。然而,沥青所反映的油气充注过程会发生有机酸溶蚀作用,对储层有建设性作用。故沥青对储层质量的影响不能直接定义为破坏性作用,应针对不同沥青类型逐一讨论。

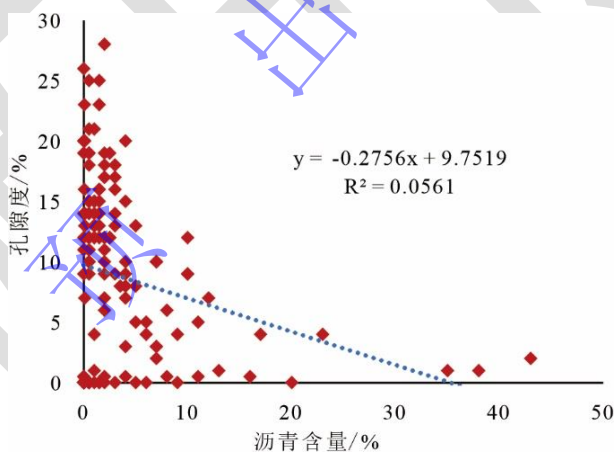


图 15 储层沥青含量与孔隙度拟合关系曲线

Fig.15 Relationship between reservoir bitumen content and porosity

英买 467 井区的两期沥青与孔隙特征定量评价表明,塔北西部英买 467 井区白垩系巴西改组孔隙度受沥青含量控制明显,随沥青含量增多,孔隙度降低,其中I类沥青对孔隙度影响显著;溶蚀孔与I类沥青相关性不明显,与II类沥青呈负相关关系(图 16)。I类沥青沉淀时,第一次油气充注所代入的有机酸主导成岩环境由碱性转化为弱酸性(图 17),对颗粒的溶蚀较第二次油气充注弱,岩石粒表润湿性亲水性强,故I类沥青多分布于孔隙中间,边界清晰,对储层破坏性强,占据孔隙空间,影响孔隙连通性;II类沥青沉淀时期,岩石粒表已

由亲水性转变为亲油性，镜下观察到粒间溶孔多具有沥青黑边，II类沥青多以侵染溶蚀边的沥青衬边形式存在，考虑到塔北西部白垩系巴西改组主要发育原生粒间孔，故虽II类沥青对溶蚀孔的影响相较I类沥青明显，也未能高效地改善物性条件^[49]。

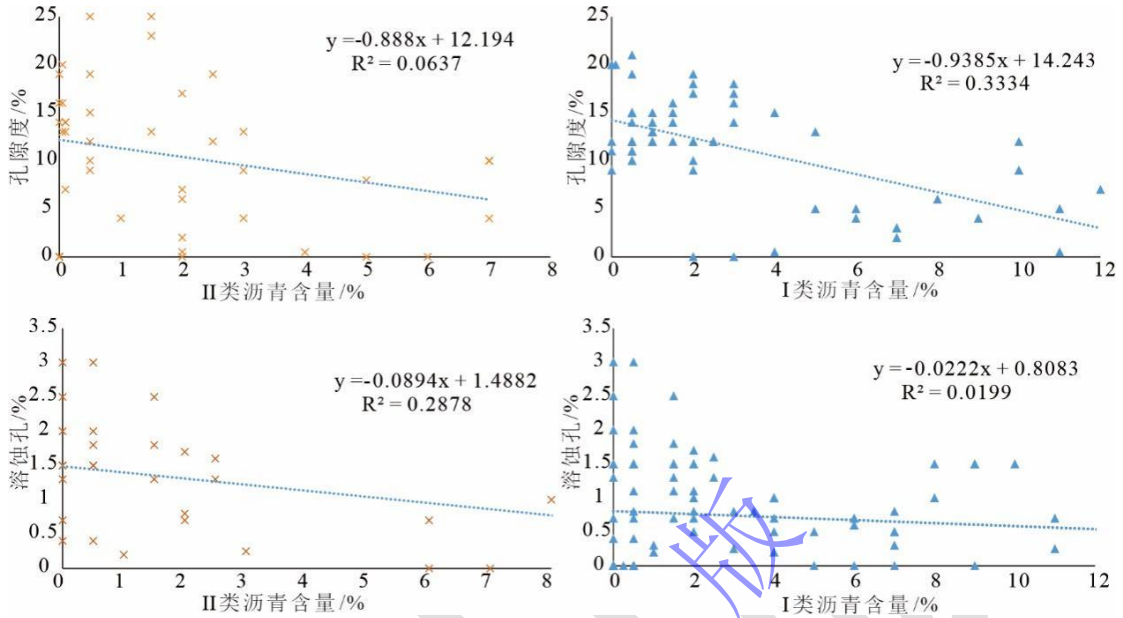


图 16 不同沥青类型与孔隙类型的关系散点图

Fig.16 Relationship between different bitumen and pore types

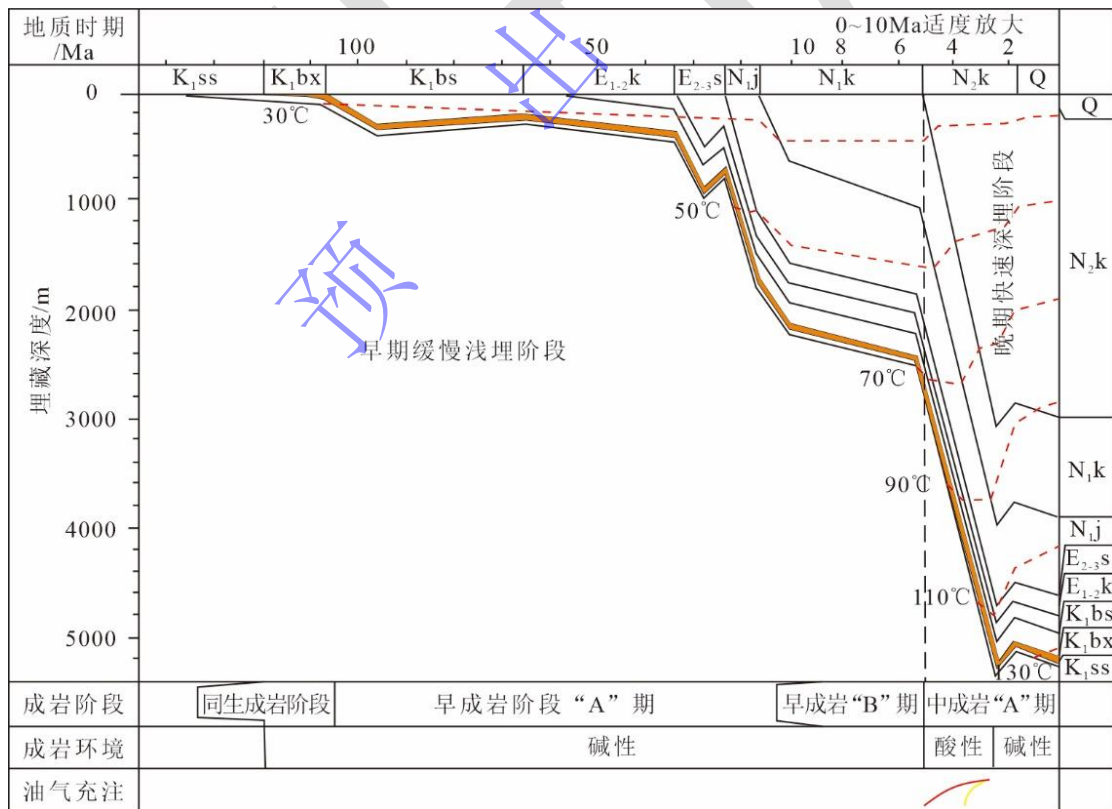


图 17 巴西改组成岩演化序列（据文献[48]修改）

Fig.17 Burial-digenetic evolution of the Cretaceous Baxigai Formation (modified from reference[48])

5 结论

(1) 依照沥青主要组分与形成期次的关系分为两种类型: I类以粒间充填为主, 荧光显微镜下多为黄褐色和褐黑色, 油质、沥青质沥青为主要组分, 沥青反射率多 $>1\%$; II类以侵染溶蚀边形式分布, 荧光显微镜下多为橙色和蓝(白)色, 胶质沥青为主要组分, 沥青反射率偏小, 介于 $0.42\% \sim 0.79\%$ 。

(2) 英买 467 井区I类沥青形成于第一期黄山街组原油由舒善河组底不整合运移, 经断层充注入巴西改组块状砂岩段III-2 砂组和薄层砂岩段II砂组, 后因气侵作用沉淀; 第二期恰克马克组油气沿白垩系底、英买 7 断裂带进入巴西改组块状砂岩段III-1 砂组, 油气混合形成凝析气藏, 形成以II类沥青为主的沥青衬边残留。

(3) I类沥青对储层破坏性强, 占据孔隙空间; II类沥青对储层影响较小。

参考文献 (References)

- [1] Rogers M A, McAlary J D, Bailey N J L. Significance of reservoir bitumens to thermal-maturation studies, western Canada Basin[J]. AAPG Bulletin, 1974, 58(9): 1806-1824.
- [2] Jacob H. Classification, structure, genesis and practical importance of natural solid oil bitumen ("migrabitumen") [J]. International Journal of Coal Geology, 1989, 11(1): 65-79.
- [3] 李勇, 陈世加, 尹相东, 等. 储层中固体沥青研究现状、地质意义及其发展趋势[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2020, 50(3): 732-746. [Li Yong, Chen Shijia, Yin Xiangdong, et al. Research status, geological significance and development trend of solid bitumen in reservoirs[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2020, 50(3): 732-746.]
- [4] Wilhelms A, Larter S R. Origin of tar mats in petroleum reservoirs. Part II: Formation mechanisms for tar mats[J]. Marine and Petroleum Geology, 1994, 11(4): 442-456.
- [5] 秦胜飞, 潘文庆, 韩剑发, 等. 储层沥青与有机包裹体生物标志物分析方法[J]. 石油实验地质, 2007, 29(3): 315-318, 328. [Qin Shengfei, Pan Wenqing, Han Jianfa, et al. A method for biomarker study from reservoir bitumen and inclusions[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(3): 315-318, 328.]
- [6] Waliczek M, Machowski G, Więclaw D, et al. Properties of solid bitumen and other organic matter from Oligocene shales of the Fore-Magura Unit in Polish Outer Carpathians: Microscopic and geochemical approach[J]. International Journal of Coal Geology, 2019, 210: 103206.
- [7] 程宏岗, 魏国齐, 冉启贵, 等. 塔东地区下古生界固体沥青特征与油气成藏[J]. 天然气工业, 2013, 33(10): 40-46. [Cheng Honggang, Wei Guoqi, Ran Qigui, et al. Relationship between hydrocarbon accumulation and solid bitumen characteristics of the Lower Paleozoic in the eastern Tarim Basin[J]. Natural Gas Industry, 2013, 33(10): 40-46.]
- [8] 张纪智, 陈世加, 肖艳, 等. 鄂尔多斯盆地华庆地区长 8 致密砂岩储层特征及其成因[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(5): 679-684. [Zhang Jizhi, Chen Shijia, Xiao Yan, et al. Characteristics of the Chang 8 tight sandstone reservoirs and their genesis in Huaqing area, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(5): 679-684.]
- [9] 陈哲龙, 柳广弟, 曹正林, 等. 储层沥青成因及其石油地质意义: 以准噶尔盆地玛湖凹陷百口泉组为例[J]. 中国矿业大学学报, 2018, 47(2): 391-399. [Chen Zhelong, Liu Guangdi, Cao Zhenglin, et al. Origin of solid bitumen and its significance to petroleum geology: A case study of Baikouquan Formation in Mahu Sag of Junggar Basin[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2018, 47(2): 391-399.]
- [10] 帅燕华, 刘可禹, 胡国艺, 等. 四川盆地深层前寒武系天然气超晚期成藏及勘探意义[J]. 地质学报, 2021, 95(11): 3400-3412. [Shuai Yanhua, Liu Keyu, Hu Guoyi, et al. Gas accumulation mechanisms of the Sinian reservoir in the Sichuan Basin and their significance for deep gas exploration[J]. Acta Geologica Sinica, 2021, 95(11): 3400-3412.]

- [11] 赵健, 罗晓容, 张宝收, 等. 塔中地区志留系柯坪塔格组砂岩输导层量化表征及有效性评价[J]. 石油学报, 2011, 32(6): 949-958. [Zhao Jian, Luo Xiaorong, Zhang Baoshou, et al. A quantitative characterization and effectiveness evaluation on sandstone carrier beds of the Silurian Kalpintag Formation in the Tazhong area, Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(6): 949-958.]
- [12] 黄文明, 徐邱康, 刘树根, 等. 中国海相层系油气成藏过程与储层沥青耦合关系: 以四川盆地为例[J]. 地质科技情报, 2015, 34(6): 159-168. [Huang Wenming, Xu Qiukang, Liu Shugen, et al. Coupling relationship between oil & gas accumulation process and reservoir bitumen of marine system: Taking Sichuan Basin as an example[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2015, 34(6): 159-168.]
- [13] 吕修祥, 白忠凯, 赵风云. 塔里木盆地塔中隆起志留系油气成藏及分布特点[J]. 地学前缘, 2008, 15(2): 156-166. [Lü Xiuxiang, Bai Zhongkai, Zhao Fengyun. Hydrocarbon accumulation and distributional characteristics of the Silurian reservoirs in the Tazhong uplift of the Tarim Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(2): 156-166.]
- [14] 周新源, 贾承造, 王招明, 等. 和田河气田碳酸盐岩气藏特征及多期成藏史[J]. 科学通报, 2002, 47(增刊1): 131-136. [Zhou Xinyuan, Jia Chengzao, Wang Zhaoming, et al. Characteristics of carbonate gas pool and multistage gas pool Formation history of Hetianhe gas field, Tarim Basin, Northwest China[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(Suppl.1): 131-136.]
- [15] 马中远, 张黎, 朱秀香, 等. 塔中西北部奥陶系储层沥青特征及成因探讨[J]. 海相油气地质, 2014, 19(4): 19-24. [Ma Zhongyuan, Zhang Li, Zhu Xiuxiang, et al. Characteristics and genesis of bitumen in Ordovician reservoirs in central Tarim Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2014, 19(4): 19-24.]
- [16] 钟大康, 朱筱敏, 周新源, 等. 次生孔隙形成期次与溶蚀机理: 以塔中地区志留系沥青砂岩为例[J]. 天然气工业, 2006, 26(9): 21-24. [Zhong Dakang, Zhu Xiaomin, Zhou Xinyuan, et al. Phases of secondary pore generation and dissolution mechanism: Taking Silurian asphaltic sandstone in central Tarim Basin as an example[J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(9): 21-24.]
- [17] 刘洛夫, 赵建章, 张水昌, 等. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的成因类型及特征[J]. 石油学报, 2000, 21(6): 12-17. [Liu Luofu, Zhao Jianzhang, Zhang Shuichang, et al. Genetic types and characteristics of the Silurian asphaltic sandstones in Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(6): 12-17.]
- [18] 刘洛夫, 赵建章, 张水昌, 等. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的形成期次及演化[J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 475-479. [Liu Luofu, Zhao Jianzhang, Zhang Shuichang, et al. Hydrocarbon filling ages and evolution of the Silurian asphalt sandstones in Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 475-479.]
- [19] 朱东亚, 金之钧, 胡文瑛, 等. 塔中地区志留系砂岩中孔隙游离烃和包裹体烃对比研究及油源分析[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(1): 25-34. [Zhu Dongya, Jin Zhijun, Hu Wenxuan, et al. Comparative study of free hydrocarbons in pores with inclusion hydrocarbons and oil-source rock correlation for Silurian sandstone in Tazhong area[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(1): 25-34.]
- [20] 姜振学, 庞雄奇, 刘洛夫, 等. 塔里木盆地志留系沥青砂岩破坏烃量定量研究[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2008, 38(增刊1): 89-94. [Jiang Zhenxue, Pang Xiongqi, Liu Luofu, et al. Quantitative studies of hydrocarbon loss of the Silurian bitumen sandstone in the Tarim Basin[J]. Science China (Seri. D): Earth Sciences, 2008, 38(Suppl.1): 89-94.]
- [21] 吕修祥, 赵风云, 杨海军, 等. 塔中隆起志留系混源多期油气聚集特征与勘探对策[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2005, 20(3): 1-5. [Lü Xiuxiang, Zhao Fengyun, Yang Haijun, et al. Multi-source and multi-stage hydrocarbon accumulation and exploration strategy of the Silurian reservoir in Tazhong uplift[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2005, 20(3): 1-5.]
- [22] 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 Metallogenia, 2009, 33(1): 142-147.]
- [23] 吴凡, 付晓飞, 卓勤功, 等. 基于定量荧光技术的库车拗陷英7构造带古近系油气成藏过程分析[J]. 东北石油大学学报, 2014, 38(4): 32-38, 66. [Wu Fan, Fu Xiaofei, Zhuo Qingong, et al. Analysis of hydrocarbon accumulation process of Yingmai 7 structural belt in Kuche Depression based on quantitative fluorescence techniques[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2014, 38(4): 32-38, 66.]

- [24] 徐桂芬, 林畅松, 刘永福, 等. 塔北西部早白垩世卡普沙良群沉积期古隆起演化及其对沉积的控制作用[J]. 地球科学, 2016, 41(4): 619-632. [Xu Guifen, Lin Changsong, Liu Yongfu, et al. Evolution of palaeo-uplift and its controlling on sedimentation of Kapushaliang group of Early Cretaceous in western Tabei uplift[J]. Earth Science, 2016, 41(4): 619-632.]
- [25] 杨海军, 刘永福, 苏洲, 等. 塔北隆起深层碎屑岩优质储层形成主控因素[J]. 地质论评, 2020, 66(1): 169-179. [Yang Haijun, Liu Yongfu, Su Zhou, et al. The main controlling factors for the Formation of high quality clastic reservoirs in deeply buried strata of Tabei uplift[J]. Geological Review, 2020, 66(1): 169-179.]
- [26] 刘勇, 王振宇, 马青. 英买力地区白垩系沉积特征及沉积相类型[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(1): 20-24. [Liu Yong, Wang Zhenyu, Ma Qing. Characteristics and types of sedimentary facies of Cretaceous in Yingmaili area[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(1): 20-24.]
- [27] 张丽娟, 李多丽, 孙玉善, 等. 库车坳陷西部古近系一白垩系沉积储层特征分析[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(3): 355-360. [Zhang Lijuan, Li Duoli, Sun Yushan, et al. Analysis of characteristics of sedimentary reservoir between Cretaceous and Palaeogene in the western part of the Kuqa Depression[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(3): 355-360.]
- [28] 李斌, 苏洲, 孙琦, 等. 超深薄储层综合预测技术在英买力地区的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2018, 53(增刊2): 272-278. [Li Bin, Su Zhou, Sun Qi, et al. Ultra-deep reservoir comprehensive prediction in Yingmaili area[J]. Petroleum geophysical exploration, 2018, 53(Suppl.2): 272-278.]
- [29] 赵海涛, 孙琦, 李文浩, 等. 塔北隆起英买力地区白垩系油气成藏规律: 以英买46井区为例[J]. 中国矿业大学学报, 2022, 51(1): 137-147. [Zhao Haitao, Sun Qi, Li Wenhao, et al. Cretaceous hydrocarbon accumulation rules of the Yingmaili area in the Tabei uplift: A case study of the Yingmai 46 well block[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2022, 51(1): 137-147.]
- [30] 王顺玉, 戴鸿鸣, 王廷栋, 等. 气侵对油气分布规律的影响[J]. 天然气工业, 1998, 18(5): 102. [Wang Shunyu, Dai Hongming, Wang Tingdong, et al. Influence of gas invasion on oil and gas distribution[J]. Natural Gas Industry, 1998, 18(5): 102.]
- [31] 宋荣彩. 塔中志留系沥青砂岩流体微观分布特征及聚集规律[M]. 北京: 科学出版社, 2016: 1-120. [Song Rongcai. Fluid microscopic distribution and accumulation law of Silurian bituminous sandstone in Tazhong area[M]. Beijing: Science Press, 2016: 1-120.]
- [32] 张鼎, 王招明, 鞠凤萍, 等. 塔北地区奥陶系碳酸盐岩中的储层沥青[J]. 石油学报, 2013, 34(2): 225-231. [Zhang Nai, Wang Zhaoming, Ju Fengping, et al. Diagenetic bitumen in Ordovician carbonate reservoirs of the northern Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(2): 225-231.]
- [33] 纪友亮, 张世奇, 李红南, 等. 固态沥青对储层储集性能的影响[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(4): 87-91. [Ji Youliang, Zhang Shiqi, Li Hongnan, et al. The effect of solid reservoir bitumen on reservoir quality[J]. Petroleum Exploration and Development, 1995, 22(4): 87-91.]
- [34] 周进高, 徐春春, 姚根顺, 等. 四川盆地寒武统龙王庙组储集层形成与演化[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(2): 158-166. [Zhou Jingao, Xu Chunchun, Yao Genshun, et al. Genesis and evolution of Lower Cambrian Longwangmiao Formation reservoirs, Sichuan Basin, SW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(2): 158-166.]
- [35] 李延钧, 李其荣, 王廷栋, 等. 泸州古隆起下三叠统嘉陵江组成藏地球化学特征[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 363-369. [Li Yanjun, Li Qirong, Wang Tingdong, et al. Geochemical research of hydrocarbon reservoiring in Lower Triassic Jialingjiang Formation in Luzhou palaeohigh[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 363-369.]
- [36] 丛琳, 李志军. 沥青质的测井响应特征及对储层物性参数的影响[J]. 油气田地面工程, 2011, 30(2): 28-29. [Cong Lin, Li Zhijun. Well logging response characteristics of Asphaltine and the effect on parameter of reservoir physicality[J]. Oil - Gas Field Surface Engineering, 2011, 30(2): 28-29.]
- [37] 陈明江, 任兴国. 含沥青储层的测井识别及评价[J]. 测井技术, 2012, 36(3): 272-276. [Chen Mingjiang, Ren Xingguo. Log identification and evaluation for bitumen-bearing reservoir[J]. Well Logging Technology, 2012, 36(3): 272-276.]
- [38] 齐婷婷, 苏波, 廖茂杰. 沥青对储层特征的影响及测井定量评价[J]. 测井技术, 2018, 42(2): 169-174. [Qi Tingting, Su Bo, Liao Maojie. Asphalt influence on reservoir characteristics and quantitative evaluation[J]. Well Logging Technology, 2018, 42(2): 169-174.]

- [39] 宋泽章, 柳广弟, 罗冰, 等. 深层、超深层致密碳酸盐岩储层固态沥青测井评价: 以川中地区上震旦统灯四段为例[J]. 沉积学报, 2021, 39 (1): 197-211. [Song Zezhang, Liu Guangdi, Luo Bing, et al. Logging evaluation of solid bitumen in tight carbonate in deep-buried and ultra-deep-buried strata of the Central Sichuan Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2021, 39(1): 197-211.]
- [40] 殷榕, 赖强, 吴煜宇, 等. 碳酸盐岩储层沥青质测井识别与孔隙度校正: 以四川盆地安岳气田龙王庙组为例[J]. 天然气勘探与开发, 2022, 45 (2): 31-38. [Yin Rong, Lai Qiang, Wu Yuyu, et al. Asphaltene in carbonate reservoirs identified and corrected by logging and porosity: An example from Longwangmiao Formation, Anyue Gasfield, Sichuan Basin[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2022, 45(2): 31-38.]
- [41] Zou X L, Chen S J, Wang L, et al. Bitumen characterization in situ using NMR[J]. Petroleum Science and Technology, 2016, 34(5): 437-441.
- [42] 卓勤功, 赵孟军, 谢会文, 等. 库车前陆盆地大北地区储层沥青与油气运聚关系[J]. 石油实验地质, 2011, 33 (2): 193-196. [Zhuo Qingong, Zhao Mengjun, Xie Huiwen, et al. Relationship between reservoir bitumen and hydrocarbon migration in Dabei Region, Kuqa Foreland Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(2): 193-196.]
- [43] Zhu G Y, Cui J, Su J, et al. Accumulation and reformation of Silurian reservoir in the northern Tarim Basin[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2012, 86(1): 209-225.
- [44] 张威. 塔北西部陆相油气来源及运移方向研究[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2018. [Zhang Wei. Study on the source and migration direction of continental facies oil and gas in the western part of North Tarim Basin[D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2018.]
- [45] 朱光有, 杨海军, 张斌, 等. 油气超长运移距离[J]. 岩石学报, 2013, 29 (9): 3192-3212. [Zhu Guangyou, Yang Haijun, Zhang Bin, et al. Ultra-long distance migration of hydrocarbon[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(9): 3192-3212.]
- [46] 张斌, 崔洁, 顾乔元, 等. 塔北隆起西部复式油气区原油成因与成藏意义[J]. 石油学报, 2010, 31 (1): 55-60, 67. [Zhang Bin, Cui Jie, Gu Qiaoyuan, et al. Oil origin classification in composite hydrocarbon accumulation play in the western Tabei uplift and its geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 31(1): 55-60, 67.]
- [47] Lomando A J. The influence of solid reservoir bitumen on reservoir quality[J]. AAPG Bulletin, 1992, 76(8): 1137-1152.
- [48] Sun D Q, Liu X P, Li W H, et al. Quantitative evaluation the physical properties evolution of sandstone reservoirs constrained by burial and thermal evolution reconstruction: A case study from the Lower Cretaceous Baxigai Formation of the western Yingmaili area in the Tabei uplift, Tarim Basin, NW China[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2022, 208: 109460.
- [49] 赵彦超, 平宏伟, 刘洪平. 塔河油田西南地区古生界低渗砂岩油层流体分布及对渗流特征的影响[J]. 地质科技情报, 2013, 32 (4): 111-118. [Zhao Yanchao, Ping Hongwei, Liu Hongping. Microdistribution of fluids and their effects on percolation characteristics of the Paleozoic Low permeability sandstone oil reservoirs in the Southwest region of Tahe oilfield, Tarim Basin[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(4): 111-118.]

Genetic Difference of Bitumen Filling and its Controlling Effect on Reservoir Performance: A case study from the Lower Cretaceous Baxigai Formation clastic rock reservoir in the western Tarim Basin

CHEN SiMiao^{1,2}, HAN DengLin^{1,2}, YAN Kang^{1,2}, ZHANG JiZhen^{2,3}, MA BinYu^{1,2}, DU Hao^{1,2}, WU QianYu^{1,2}

1. College of Earth Sciences, Yangtze University, Wuhan 430100, China

2. Laboratory of Reservoir Microstructure Evolution and Digital Characterization, Wuhan 430100, China

3. College of Resources and Environment, Yangtze University, Wuhan 430100, China

Abstract: [Objective] As hydrocarbon organic matter, oil or natural gas remains in source rocks or reservoirs, and the formation and evolution of bitumen interstitials are closely related to the evolution history of oil reservoirs. It is an important symbol of oil and gas accumulation and transformation processes. Previous studies have conducted many analyses on the types, genesis, and thermal evolution of bitumen components in reservoirs, but the restriction mechanism of bitumen on reservoirs is still unclear. [Methods] This study takes the Cretaceous Baxigai Formation reservoir in the Yingmai 467 well area in the west of Tabei as an example. With the help of casting thin sections, fluorescent thin sections, and laser Raman experiments, combined with logging parameter identification, the relationship between bitumen and oil and gas reservoir stages was discussed, and the influence of different bitumen types on reservoir quality was identified. [Results] The results show that: (1) Based on the main components and formation stages, the bitumen interstitial materials in the study section are divided into two categories; type I is mainly intergranular filling, and most are yellow-brown and brown-black under the fluorescence microscope. The main components are oily and bituminous bitumen, and the bitumen reflectivity is more than 1%. Type II is distributed on the edge of the pore in the form of bitumen lining. Under the fluorescence microscope, it is mostly orange and blue (white) in color, with colloidal bitumen as the main component. The bitumen reflectivity is low, ranging from 0.42%-0.79%. (2) The bitumen interstitial material in Yingmai 467 well area is mainly type I bitumen. Because the oil and gas in the source rock of the Huangshanjie Formation migrated through the unconformity at the bottom of the Shushanhe Formation, the fault was filled into Brazilian reorganized massive sand layer 2 and the Brazilian reorganized thin sand layer, and gas washing occurred. Type II bitumen was precipitated by retrograde condensation from the source rock oil and gas of the second phase of the Qiakemake Formation along the Cretaceous bottom and the Yingmai 7 fault zone into the Baxigai Formation. It was affected by the thickness of the sand body and mainly distributed in the first layer of massive sand. (3) Type I bitumen has a strong effect on reservoir reconstruction and occupies part of the pore space; type II bitumen has little effect on reservoir porosity. [Conclusions] It is of practical significance to find out the types of bitumen interstitials in the Cretaceous Baxigai Formation in Yingmai 467 well area in the west of Tabei, and to clarify the influence of different bitumen types on reservoir quality, which is of practical significance to deepen the geological understanding of the study area.

Key words: bitumen sandstone; reservoir bitumen; Baxigai Formation; oil and gas accumulation; Tabei uplift