

黄腊梅, 罗日升, 韩杰, 等. 塔北隆起英买潜山区白云岩夹层特征及识别[J]. 中国岩溶, 2015, 34(2): 187—194.
DOI: 10. 11932/karst20150213

塔北隆起英买潜山区白云岩夹层特征及识别

黄腊梅¹, 罗日升¹, 韩杰¹, 庄旭², 崔德育¹

(1. 中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000;

2. 中国石油塔里木油田公司开发事业部, 新疆 库尔勒 841000)

摘要: 英买潜山区白云岩油气藏受白云岩物性夹层控制, 在开发后期局部富集的剩余油, 是开发挖潜稳产的重要目标。文章通过对白云岩岩心、薄片、物性和测井资料的分析, 描述和识别了英买潜山区寒武系一下奥陶统蓬莱坝组白云岩特征, 认为本区主要发育泥晶白云岩夹层、泥粉晶白云岩夹层、粉晶白云岩夹层三套。垂向上, 白云岩夹层主要发育在各米级旋回向上变浅序列的下部, 成透镜状、条带状分布, 厚度为 0.5~2.5 m 不等。该区夹层起着渗流屏障作用, 控制着剩余油分布, 影响生产井的无水采油期时间和含水率上升速度。

关键词: 塔北隆起; 英买潜山区; 白云岩夹层; 剩余油

中图分类号: P618.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4810(2015)02-0187-08

0 引言

中国目前探明和投入开发的油藏, 大多数油田已进入高含水、高采出程度和高采油速度的“三高”开采阶段^[1]。随着油田开发强度的不断增强, 对油田地下地质的认识也逐渐深入, 不同岩性夹层或同岩性不同结构夹层作为导致油田开发后期水淹和剩余油分布复杂化的主要地质因素成为开发地质研究的核心和热点^[2-5]。目前, 对不同类型夹层的研究主要集中于对碎屑岩中夹层的岩性、物性、分布模式、夹层本身数目和规模的统计以及夹层分布对剩余油分布和开发效果的研究, 对碳酸盐岩相同岩性不同类型夹层的研究甚少, 尤其是碳酸盐岩中白云岩夹层的特征及识别等相关研究更少。因此, 对白云岩夹层的类型、成因、分布及其对地下流体运动的影响等研究非常必要。本文通过对英买潜山区寒武系一下奥陶统蓬莱坝组白云岩岩心、薄片、物性和测井资料分析, 识别白云岩夹层和预测白云岩夹层的分布, 提高碳酸盐岩剩余油藏的预测精度, 以期更好地指导高一特高含水期油田

剩余油的挖潜工作。

1 研究区地质背景

英买潜山区位于塔里木盆地塔北隆起轮台凸起西段断裂构造带, 是一个古生界潜伏剥蚀单斜构造, 潜山构造整体为中间宽, 北东、南西两头窄, 受北东走向的走滑断裂控制, 潜山区地层起伏变化强烈, 白垩系卡普沙良群直接覆盖在下古生界志留系、奥陶系和寒武系之上。该区地层及岩性自西南向东北依次分别为志留系碎屑岩、奥陶系鹰山组灰岩、奥陶系蓬莱坝组以及寒武系白云岩(图 1)。英买潜山油藏类型主要为构造控制的块状底水油藏, 产层段以奥陶系鹰山组灰岩段、蓬莱坝组—上寒武统白云岩段为主。其中, 白云岩储层的形成与埋藏白云岩化和热液白云岩化等成岩作用有关^[6-8], 裂缝孔洞非常发育, 开发效果良好, 该区已累产原油 65 万吨。目前该油藏已进入开发后期, 绝大多数井含水高于 90%, 所以开展油藏精细描述, 明确夹层分布特征对提高英买潜山油藏

资助项目: 国家科技重大专项“塔里木盆地海相碳酸盐岩油气资源潜力、有利勘探区带评价及目标优选研究”(2011ZX05004-004)

第一作者简介: 黄腊梅(1984—), 女, 硕士, 主要从事油气田地质勘探研究。E-mail: hlmdajie@163.com。

收稿日期: 2015-01-26

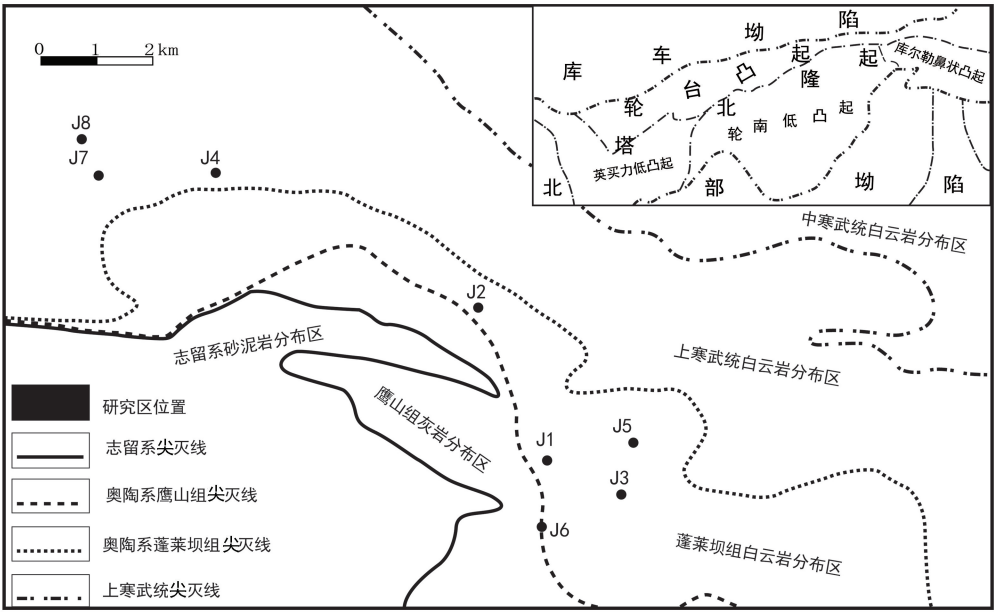


图 1 英买潜山区白垩系沉积前地层分布

Fig. 1 Strata distribution before deposition of Cretaceous in Yingmai buried-hill area

剩余油的开采程度意义重大。

粉晶白云岩夹层、粉晶白云岩夹层。

2 夹层的定义及类型

夹层是指岩层内所分布的相对稳定或不稳定的非渗透层或低渗透层,即包括注水开发中对流体起阻挡作用的非渗透层,也包括在一定条件下能够限制或阻碍流体运移的相对低渗透层^[5,8-9]。根据夹层的岩性和物性特征可将其分为非渗透性夹层和渗透性夹层,非渗透性夹层进一步划分为泥质夹层、过渡性夹层和钙质夹层;渗透性夹层可根据油田油层的有效厚度下限作为界限来划分,也可根据流体参与的流动能力来划分。不同类型夹层的成因不同,其岩性特征和测井响应特征有较大的区别,且夹层厚度大小对夹层识别有较大影响^[3-5]。

根据上述定义,英买潜山区白云岩段除发育少量非渗透性夹层外,主要发育低渗透性白云岩夹层。由于英买潜山区地层受后期构造运动影响,倾角大,可以用水平渗透率作为夹层划分的依据。在水平渗透率介于 $0.01\sim0.1\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,孔隙度低于2.5%时,在开发过程中能阻碍油气的运移,称为低渗透夹层;在水平渗透率低于 $0.01\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,孔隙度低于1.5%时,认为是非渗透性夹层(表1)。通过对英买潜山区目的层岩心样品的孔隙度、渗透率分析和岩心描述,可识别出三套白云岩夹层:泥晶白云岩夹层、泥

表 1 塔里木盆地碳酸盐岩储层评价标准

Table 1 Evaluation standards for carbonate rocks reservoirs in Tarim basin

类别	孔隙度/%	渗透率/ $\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$	评价
I	≥ 4.5	≥ 5	好
II	2.5~4.5	0.1~5	中
III	1.5~2.5	0.01~0.1	差
IV	< 1.5	< 0.01	非储层

3 白云岩夹层的物性特征及识别

本次研究主要应用了岩心常规分析资料、薄片、录井、测井及地震资料,并以测井资料为主,识别夹层。首先依靠现有单井岩心常规分析数据确定非渗透性层和低渗透性层的分布,再根据对应岩心薄片确定岩性特征,并结合测井岩相的识别,确定夹层岩层与电阻率关系,开展单井夹层识别工作。

3.1 白云岩储层的物性特征

白云岩夹层上、下一般分布有效白云岩储层,岩性以细晶—中晶白云岩为主,孔隙度一般大于2.5%,水平渗透率大于 $0.1\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,在开发生产中,能够向井筒供液或作为供液的有效通道。由于白云岩脆性强,裂缝相对发育,在有裂缝发育时,渗透率可以明显

增大^[8],此时孔隙度低于2.5%的泥、粉晶白云岩也可以成为有效白云岩储层。

英买潜山区白云岩基质物性较好,岩心缝洞发育。据岩心观察孔洞发育段的面洞率一般在3%~12%,孔隙度范围0.81%~12.8%,平均孔隙度2.82%;基质渗透率分布范围0.009~ $57.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均渗透率为 $5.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。但由于岩心样品完整性的影响,岩心分析孔隙度、渗透率的数据并

不可靠,实际物性通过测井解释孔隙度和试井解释渗透率更为可靠^[10]。

对英买潜山区蓬莱坝组白云岩区4口井有效储层测井解释孔隙度进行统计(图2),统计表明,孔隙度主要分布于6%~10%,单井平均孔隙度3.9%~9.7%,平均为7.3%;英买潜山区上寒武统白云岩3口井,孔隙度主要分布于4%~6%,单井平均孔隙度范围5.4%~5.9%,平均5.7%。

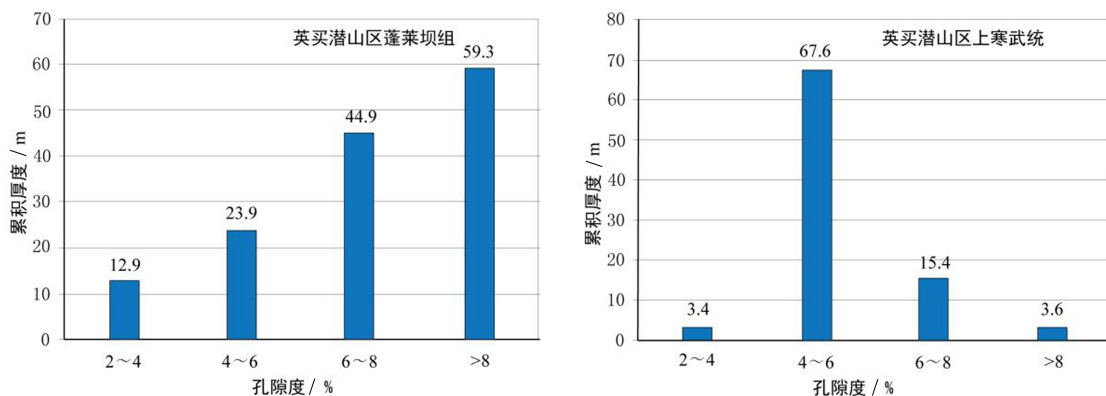


图2 英买潜山区奥陶—寒武系白云岩测井解释孔隙度分布统计

Fig. 2 Statistics of well-logging interpreted porosity for Ordovician-Cambrian dolomite reservoirs in Yingmai buried-hill area

单井压恢试井解释渗透率(表2),从表中可以看出,上寒武统白云岩渗透性最好,其次为蓬莱坝组白云岩。试井解释比岩心渗透率明显要高,更好地反映了裂缝、小型溶洞对储层渗透性的改善。

表2 英买潜山区寒武—奥陶系试井解释渗透率统计

Table 2 Statistics of interpreted permeability from test wells for Ordovician-Cambrian dolomite reservoirs in Yingmai buried-hill area

井区	地层岩性	井号	有效渗透率/mD
英买潜山区	蓬莱坝组灰质云岩	J1	99.135 5
		J2	494.958
		J9	1 118.61
		J5	62
		平均	443.676
	上寒武统云岩	J7	1 031.51
		J8	9 602.73
		平均	5 317.12

3.2 白云岩夹层的物性特征

综合以上对白云岩储层物性的分析方法,对英买潜山区白云岩区非有效储层岩心3口井进行常规分析,主要分析了水平渗透率及孔隙度。从实验分析数

据得出泥晶、泥粉晶白云岩可作为夹层,与物性较好的岩层常常交互式出现,厚度下限值低;粉晶白云岩渗透率相对较泥晶、泥粉晶白云岩高,仅可作为细晶白云岩、中晶白云岩等岩层的夹层,水平渗透率常常低于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,厚度一般大于0.3 m才能起到渗流屏障的作用(表3)。

3.3 单井白云岩夹层的识别和划分

根据地质与测井的结合,通过多井岩心常规分析、薄片鉴定,英买潜山区白云岩段三套白云岩夹层岩层与电阻率特征如表4所示。

泥晶白云岩夹层:测井上,泥晶白云岩夹层通常表现出高自然伽玛,介于15.07~33.2 API,泥晶白云岩孔隙度、渗透率虽低,但其孔隙空间为束缚水,在电阻率测井曲线上表现为整体低值中略低区域,深电阻率介于 $3.5 \sim 49.3 \Omega \cdot \text{m}$,深电阻略小于中电阻,而且声波时差变化范围较大,介于46~51.5 us/ft,测井密度大于 2.7 g/cm^3 ;油层段:深电阻>中电阻,深电阻介于 $40 \sim 70 \Omega \cdot \text{m}$ 。例如,J7井在5 593.7 m为泥晶白云岩,孔隙度0.91%,渗透率 $0.013 8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,可作为夹层,在测井曲线上解释为水层,表现为低电阻、高自然伽玛的特征,伽玛值为15.07 API,深电阻值是 $9.8 \Omega \cdot \text{m}$,声波时差为53 us/ft(图3a)。

表 3 英买潜山区单井白云岩夹层物性统计表

Table 3 Physical properties of dolomite intercalations in Yingmai buried-hill area

井名	层位	深度 /m	岩性 (薄片与测井岩相)	岩石视密度 /g/cm ³	孔隙度 /%	水平渗透率 / $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$
J2	01p	5 422.60	粉晶白云岩	2.67	0.87	0.090 0
		5 344.11	泥晶白云岩	2.78	0.86	0.048 4
		5 345.70	泥晶白云岩	2.75	1.75	0.032 0
		5 354.80	泥晶白云岩	2.79	0.79	0.036 1
		5 355.70	粉晶白云岩	2.79	0.58	0.074 9
J1	01p	5 375.40	泥粉晶白云岩	2.76	1.29	0.028 4
		5 376.10	泥粉晶白云岩	2.80	0.30	0.034 1
		5 379.06	粉晶白云岩	2.80	0.48	0.058 8
		5 379.75	泥粉晶白云岩	2.80	0.29	0.040 9
		5 383.17	泥粉晶白云岩	2.81	0.33	0.043 6
		5 383.25	泥粉晶白云岩	2.80	1.12	0.066 1
		5 508.30	粉晶白云岩	2.64	3.10	0.042 2
J7	∈ 3	5 508.40	粉晶白云岩	2.60	1.91	0.030 9
		5 593.70	泥晶白云岩	2.80	0.91	0.013 8

表 4 英买潜山区白云岩夹层划分特征统计表

Table 4 Identification characteristics for dolomite intercalations in Yingmai buried-hill area

类型	含油饱和度 /%	自然伽玛值 /API	电阻率 / $\Omega \cdot \text{m}$	声波时差 /us/ft	密度 /g/cm ³	厚度 /m
泥晶白云岩	<50 >50	15.07~33.2	3.5~49.3 40~70	46~51.5	2.7~2.86	0.18~1.4
泥粉晶白云岩	<50 >50	13.3~19.4	29.6~88.3 90~150	44.8~49.7	2.7~2.86	0.28~0.7
粉晶白云岩	<50 >50	6.23~14.73	80~220 300~500	42~49.1	2.7~2.86	0.3~1.1 大于 0.3

泥粉晶白云岩夹层:电阻率值相对较低,测井曲线上电阻率在整体较低的曲线段中表现为负异常,深电阻介于 29.6~88.3 $\Omega \cdot \text{m}$,略小于中电阻,声波时差表现为整体中低值中相对更低的值,介于 44.8~49.7 us/ft,自然伽玛值在 13.3~19.4 API,密度大于 2.7 g/cm³;油层段:深电阻>中电阻,深电阻介于 90~150 $\Omega \cdot \text{m}$ 。如 J1 井在 5 379.75 m 处为泥粉晶白云岩,实验分析水平渗透率 $0.040 9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度 0.29%,测井解释为水层,自然伽玛值为 17.8 API,深电阻值是 33.5 $\Omega \cdot \text{m}$,略小于中电阻,声波时差为 47.5 us/ft(图 3b)。

粉晶白云岩夹层:在测井曲线上由于岩性致密,物性差,深电阻表现为中高值,在整体较高的曲线段

成正异常,一般为 80~220 $\Omega \cdot \text{m}$,同时深电阻略小于中电阻,声波时差在整体较低值中表现为负异常,介于 42~49.1 us/ft,自然伽玛值在 6.23~14.73 API,测井密度大于 2.74 g/cm³。粉晶白云岩夹层常常出现于粉晶白云岩段、细晶及中晶白云岩段中,同时夹层的厚度大于 0.3 m;油层段:粉晶白云岩夹层在小于 0.3 m,深电阻率常介于 300~500 $\Omega \cdot \text{m}$ 。例如 J2 井整体井段以细晶白云岩、细中晶白云岩、中晶白云岩为主,但内部夹有薄层的粉晶白云岩等,在深部 5 422.6 处,岩性为粉晶白云岩,渗透率 $0.009 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度 0.87%,测井解释该段为水层,自然伽玛值为 9 API,深电阻值是 94.7 $\Omega \cdot \text{m}$,声波时差为 49 us/ft(图 3c)。

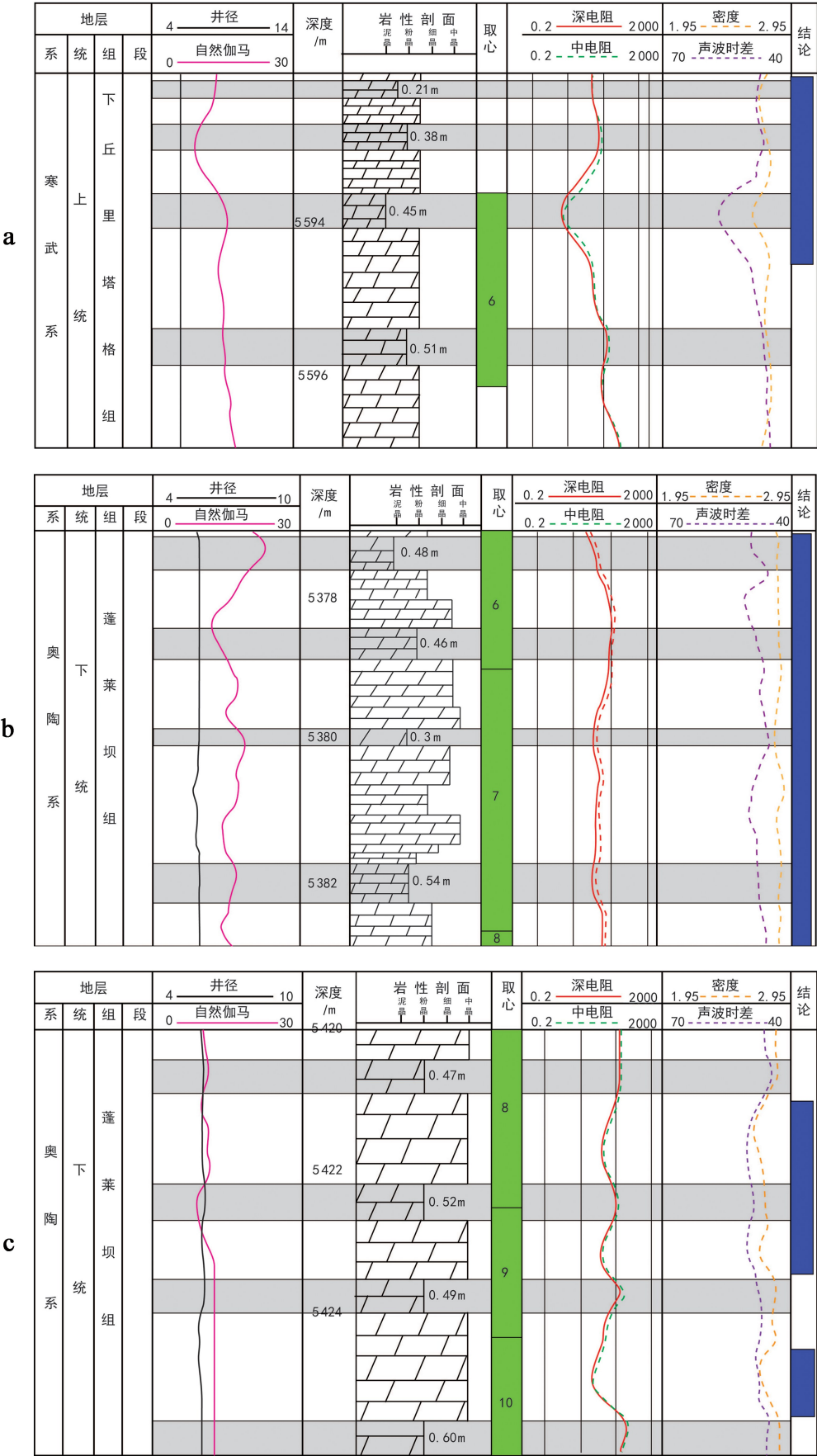


图 3 J7 井(a)、J1 井(b)、J2 井(c)夹层分布 (图中阴影部分为夹层)

Fig. 3 Distribution of intercalations in wells J7 (a), J1(b) and J2(c)(Shaded part is intercalation)

4 白云岩夹层的成因及其纵向分布规律

根据新疆巴楚地区蓬莱坝组野外露头(图4)研究,结合采样点的分析化验发现,蓬莱坝组发育潮下低能泥晶灰岩,泥粉晶及粉细晶白云岩与潮间高能颗粒滩中粗晶白云岩互层,其中泥粉晶白云岩厚度

0.3~0.7 m 不等,成透镜状,横向分布不稳定,物性相对致密,孔隙度小,认为广泛发育夹层。该夹层以沉积和成岩作用控制的低渗透性薄层白云岩为主,主要发育于各米级旋回向上变浅序列的下部,成透镜状、条带状分布。

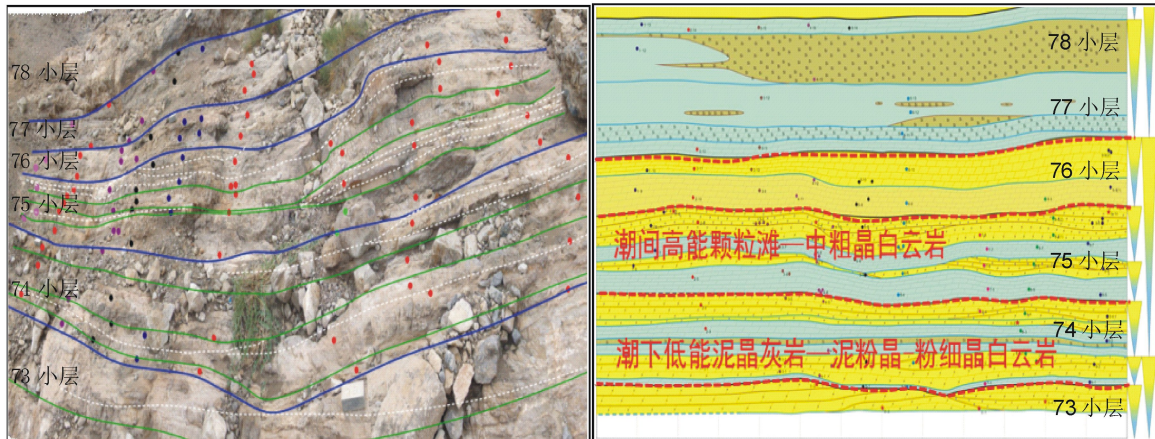


图4 巴楚地区奥陶系蓬莱坝组白云岩剖面与二维地质模型

Fig. 4 Profile and 2D geological model for dolomite of Penglaiba formation, Ordovician in Bachu area

英买潜山区蓬莱坝组白云岩分布特征与巴楚地区蓬莱坝组白云岩二维地质模型相似,且相控对白云岩有效储层和夹层的形成和分布起着至关重要的作用;有效储层主要分布在台缘高能相带及台内点滩,原岩以台缘和台内滩相颗粒灰岩为主,夹层主要分布在台内洼地,以泥晶灰岩为主。因此,埋藏白云岩并非都是有效储层,大多数埋藏白云岩都是致密的,原岩以低能环境沉积的泥晶灰岩为主。通过对塔里木盆地英买潜山区埋藏白云岩储层的研究,发现埋藏白云岩中白云岩夹层分布规律明显:①原岩为颗粒灰岩的中、粗晶白云岩呈透镜状分布于粉细晶白云岩中,该透镜状白云岩晶间孔发育,周围泥晶、粉细晶白云岩渗透性总体较差,可当做白云岩夹层;②多孔白云岩储层主要发育于四级或五级旋回向上变浅序列上部,而致密白云岩夹层主要分布于各向上变浅层序的下部。

如J1井(图5),泥粉晶白云岩广泛发育,单井高分辨率层序地层学特征研究表明每一个次级旋回均由多个向上变细的米级旋回组成,该米级旋回内部广泛存在泥、粉晶白云岩,厚度0.5~2.5 m不等,单层厚度较巴楚蓬莱坝组野外模型相当。而各米级旋回的向上变浅序列的下部夹层发育。剖面的横截面上,不同晶粒的白云岩交替出现更加表明了白云岩夹层的形成与原岩(石灰岩)沉积相带的变化和沉积旋回

的变化密切相关。

5 白云岩夹层控制剩余油的分布

通过研究夹层对油藏开发特征及剩余油分布影响的分析,认为白云岩夹层降低垂向渗流能力,控制剩余油的富集程度,影响井间连通性。如J3井、J6井两口高产高效井,两口井井底相距300 m,干扰试井解释不连通,证明存在流体渗流屏障,即存在夹层(图6)。因为通过井底静压监测数据发现,J3井的6 mm油嘴换成5.5 mm油嘴,J6井的关井压力没有发生明显的变化;J6井关井25 h后,J3井流压没有明显的变化。目前,2009年3月3日投产的J3井自喷生产,油压6.27 MPa,日产油57 t,含水率36.2%而J6井电泵生产,油压6.27 MPa,日产油8 t,含水率96.1%,生产特征差异大,表明两井不连通。

另外,白云岩夹层的存在对储层中流体的运移和锥进有阻碍或者封隔作用,影响单井的无水采油期和含水率上升速度。如英买潜山区钻揭白云岩目的层的J3井和J6井,高角度白云岩夹层的存在,降低了底水锥进的速度,使底水发生绕流,形成大规模的次生边水驱。这样,底水驱变成边水驱,不仅延缓了油井见水时间,而且使油藏天然能量得到充分发挥,延长了油井的稳产寿命。

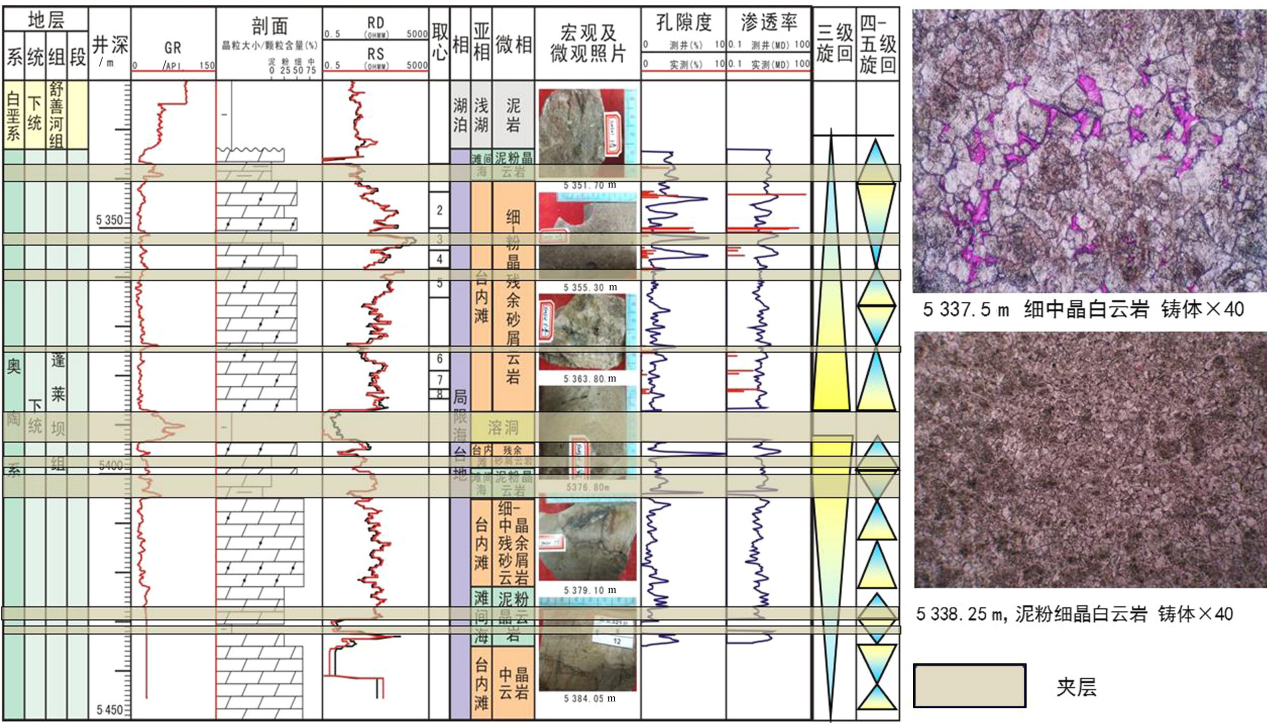


图 5 J1 井蓬莱坝组沉积层序综合柱状图

Fig. 5 Integrated column for sedimentary sequence of Penglaiba formation, Ordovician in well J1

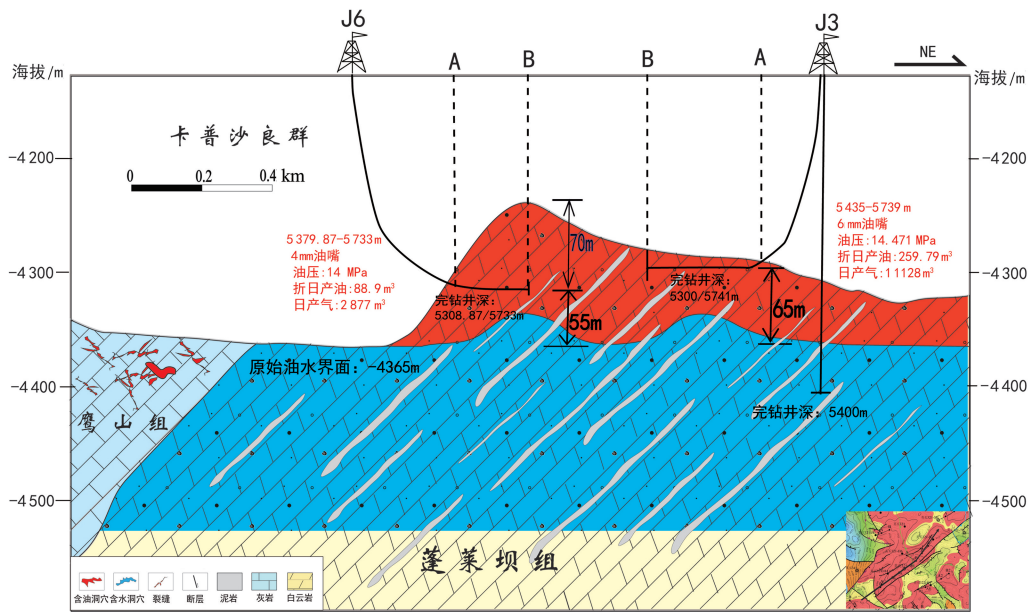


图 6 过 J6 井和 J3 井油藏模式图

Fig. 6 Model for reservoirs through wells J6 and J3

6 结 论

- (1)英买潜山区寒武—奥陶统蓬莱坝组主要发育泥晶白云岩夹层、泥粉晶白云岩夹层、粉晶白云岩夹层三套夹层。
- (2)英买潜山区寒武系—奥陶统蓬莱坝组白云岩

夹层主要发育在各米级旋回向上变浅序列的下部,成透镜状、条带状分布,厚度为 0.5~2.5 m 不等。该白云岩夹层起着渗流壁障作用,控制着剩余油分布,对开发后期的底水锥进有控制作用,影响无水采油时间及含水率上升速度。

参考文献

- [1] 周总瑛, 张抗. 中国油田开发现状与前景分析[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(1): 84—87.
- [2] 付国民, 周丽梅, 刘蕊, 等. 塔河三叠系下油组河流相储层夹层成因类型及其分布规律[J]. 地球科学与环境学报, 2009, 31(3): 260—264.
- [3] 刘睿, 姜汉桥, 刘同敬, 等. 夹层对厚油层采收率影响研究[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2009, 31(4): 103—106.
- [4] 余成林, 国殿斌, 熊运斌, 等. 厚油层内部夹层特征及在剩余油挖潜中的应用[J]. 地球科学与环境学报, 2012, 34(1): 35—39, 54.
- [5] 王延章, 林承焰, 温长云, 等. 夹层分布模式及其对剩余油的控制作用[J]. 西南石油学院学报, 2006, 28(5): 6—10.
- [6] 何莹, 鲍志东, 沈安江, 等. 塔里木盆地牙哈—英买力地区寒武系一下奥陶统白云岩形成机理[J]. 沉积学报, 2006, 24(6): 806—818.
- [7] 罗日升, 袁玉春, 邓兴梁, 等. 塔北隆起英买 32 潜山区白云岩储层特征及主控因素研究[J]. 石油天然气学报, 2013, 35(11): 21—26.
- [8] 李建交, 解启来, 吕修祥, 等. 牙哈—英买力地区碳酸盐岩储层非均质性成因研究[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2010, 32(6): 58—61.
- [9] 苏瑗, 周文, 邓虎成, 等. 塔河 1 区三叠系储层中夹层特征及识别[J]. 物探化探计算技术, 2011, 33(2): 207—211.
- [10] 李玉兰, 李世银, 于登跃, 等. 利用水平井进行碳酸盐岩油藏的随钻动态研究与应用[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(1): 251—254.

Characteristics and identification of dolomite intercalation in the Yingmai buried-hill area, northern Tarim uplift

HUANG La-mei¹, LUO Ri-sheng¹, HAN Jie¹, ZHUANG Xu², CUI De-yu¹

(1. *Institute of Exploration and Development, Tarim Oilfield Company, CNPC, Korla, Xinjiang 84100, China;*

2. *Department of Development, Tarim Oilfield Company, CNPC, Korla, Xinjiang 84100, China)*

Abstract The crack-cave type dominates dolomite reservoirs in the Yingmai buried-hill area, which include dissolved holes, karst caves and karst cracks, as well as local big unfilled caves as storage space. The bottom water massive reservoirs in dolomite buried hills are controlled by dolomite intercalation with special physical properties. Local residual oil enrichment areas are the main object in the late exploitation. Basing on analyses of cores, thin sections, physical properties and well logging data, this work made a description and identification of dolomite from Cambrian to lower Ordovician in the Penglaiba formation of the Yingmai buried-hill area. The results show that, the intercalation in this area can be classified into 3 categories, micritic dolomite intercalation, mud dolomite intercalation and powder dolomite intercalation. Vertically, dolomite intercalation mainly developed in the lower part of the shallow upward sequence in each meter scale cycles, and always spread as lens or bands of which the thickness is between 0.5 and 2.5 meters. In this area, the intercalation played the screen role to seepage and controlled the distribution of residual oil, and also affected the water breakthrough time and the rising rate in production.

Key words north Tarim uplift, Yingmai buried-hill area, dolomite intercalation, residual oil

(编辑 黄晨晖)