

引用格式:陈明江,刘俊海,程亮.强纵向非均质性油藏油水层识别及油水界面精细刻画[J].油气藏评价与开发,2021,11(3):428-436.

CHEN Mingjiang, LIU Junhai, CHENG Liang. Identification of fluid type and fine characterization of oil-water contact for an oil reservoir with strong vertical heterogeneity[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2021, 11(3):428-436.

DOI: 10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2021.03.019

强纵向非均质性油藏油水层识别及油水界面精细刻画

陈明江,刘俊海,程亮

(中国石油川庆钻探工程有限公司地质勘探开发研究院,四川 成都 610051)

摘要:伊拉克A油田K油藏为中东地区典型的孔隙型碳酸盐岩油藏,其孔隙结构复杂,电阻率纵向变化范围大,油水关系也极为复杂。为了建立该油藏可靠的油水层测井判别标准并进一步落实油水界面,以孔隙结构研究为切入点,首先理论分析了不同孔隙结构储层的电阻率随海拔高度变化的趋势线特征;同时结合测试和生产动态,分小层建立了K油藏油水层判别标准及油水界面;最后结合构造演化及成藏史分析了油水界面横向变化特征及成因。结果表明:①K油藏孔隙结构具有明显的纵向分层特征,从下向上整体呈渐变趋势,藻模孔及粒间孔含量向上增多,有效喉道半径向上增大;②孔隙结构在纵向上的差异是导致各小层油水层判别标准及油水界面差异的主控因素:以微孔为主的小层喉道半径小,排驱压力高,油水界面高,油层电阻率下限标准低;以粒间孔或藻模孔为主的小层喉道半径大,排驱压力低,油水界面低,油层电阻率下限高;③油水界面在横向上呈弯曲特征,同一小层的油水界面沿构造长轴向东倾斜;沿构造短轴呈拱形,即南北两翼低,构造高部位高,且北翼较南翼更低;④85口直井油水层解释及260余口水平井生产动态验证了弯曲油水界面的确定性。研究结果为油藏稳油控水措施的制定提供了依据,也为进一步优化开发方案及水平井轨迹调整奠定了基础。

关键词:碳酸盐岩储层;孔隙结构;非均质性;油水层识别;油水界面

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Identification of fluid type and fine characterization of oil-water contact for an oil reservoir with strong vertical heterogeneity

CHEN Mingjiang, LIU Junhai, CHENG Liang

(Geological Exploration and Development Research Institute of Chuanqing Drilling Engineering Co. Ltd., CNPC, Chengdu, Sichuan 610051, China)

Abstract: K oil reservoir, in Oilfield-A, Iraq, is a typical porous carbonate reservoir. It is characterized by complex pore structure, wide range of resistivity and complex oil-water contact (OWC). In order to establish the reliable criteria for fluid typing and ascertain the OWC, firstly, the study of pore structure has been taken as a starting point, and the relationship between resistivity and elevation has been taken an insight into. Then a new criteria for fluid typing and OWC for each sub zone have been established by incorporating well testing and production dynamics. Lastly, the lateral variation of OWC and its genesis is analyzed based on structural evolution and hydrocarbon accumulation history. The results are as follows. ①Pore structure of the K oil reservoir shows strong longitudinal stratification characteristics, and the amount of mold pores and interparticle pores as well as effective pore-throat radius increases upwards. ②Vertical variation in pore structure is the main controlling factor of the identification criteria for oil and water layers and OWC variations for each sub layer. The layers dominated by micropores have small pore-throats radius, high displacement pressure, high OWC and low reservoir resistivity threshold, while the layers dominated by interparticle pores and mold pores are the opposite. ③The OWC is curved laterally, and slopes eastward along the long axis of the structure in the same small layer. Along the short axis of the structure, the contact is arched, that is the north and south margin is lower than the structure crest, and the lowest contact is in the northeast margin. ④The determination of the curved OWC has been verified by the reservoir interpretation of 85 vertical wells and the production dynamics of more than 260 horizontal wells. This study provides not only an effective solution for water control and stabilizing oil production but also a guideline for further optimization of field development plan and trajectory adjustment of horizontal wells.

Key words: carbonate reservoir, pore structure, heterogeneity, identification of fluid typing, oil-water contact (OWC)

收稿日期:2020-05-26。

第一作者简介:陈明江(1983—),男,博士,高级工程师,从事石油地质与测井研究工作。地址:四川省成都市建设北路一段83号地研院,邮政编码:610051。E-mail:19092249@qq.com

基金项目:国家重大科技专项“伊拉克大型生物碎屑灰岩油藏注水开发关键技术研究与应用”(2017ZX05030-001)。

储层油水层判别和油水界面的精细刻画是储量计算和开发方案的基础,关系到开发井网部署策略的制定和优化,具有十分重要的研究意义。油水层识别的方法较多,主要采用各种测井参数或岩石力学参数的交会图版法、曲线重叠法和数理统计法等^[1-7]。对于孔隙型储层,电阻率是判别油水层最可靠和最有效的参数,但其受微观孔隙结构的影响较大^[8],且微观孔隙结构又导致油水界面的差异^[9]。因此,油水层判别和油水界面的确定必须以孔隙结构研究为基础。

伊拉克A油田K油藏自2011年开始采用水平井排状注采井网实施开发。长期以来,油藏的油水层测井判别都采用的统一电阻率下限标准,且储量计算和开发井网部署中都采用统一水平的油水界面,即纯油底界和纯水顶界分别为-2 630 m和-2 650 m。然而,统一的油水判别标准和油水界面常常导致测井解释与实际生产不符:①部分水平井在距纯油底界10 m以上(-2 620 m)投产即产水,且含水率持续升高;②部分水平井在纯油底界(-2 630 m)附近长时间生产几乎不含水;③构造北翼低部位的X128井在纯水顶界(-2 650 m)以下的岩心显示较好的含油性。为了剖析上述现象的原因,准确认识油藏的油

水界面分布规律,有效指导油藏开发措施调整,通过综合利用测井、岩心分析、生产动态、构造演化及油气成藏史,开展K油藏油水层判别标准和油水界面的精细刻画,以期为油藏稳油控水措施的制定提供依据,也为进一步优化开发方案及井轨迹调整奠定基础。

1 油藏基本特征

1.1 地理位置及构造特征

A油田位于伊拉克中南部的Nomina镇与Kut镇之间,距首都巴格达东南约180 km^[10]。油田构造上位于阿拉伯板块东北缘波斯湾盆地北部的不稳定大陆架区域,呈NW—SE走向,长约29 km,宽约8 km,发育3个构造高点,自东向西分别为1区、2区和4区;地层平缓,倾角小于2°,为低幅度构造,两翼不对称,北翼地层倾角较南翼陡(图1)。

1.2 储层特征

K油藏是A油田含油面积和储量最大的层状碳酸盐岩油藏,自上而下划分为Kh¹—Kh⁴段,其中Kh²段为主要油气富集层和开发目的层。Kh²段属于缓

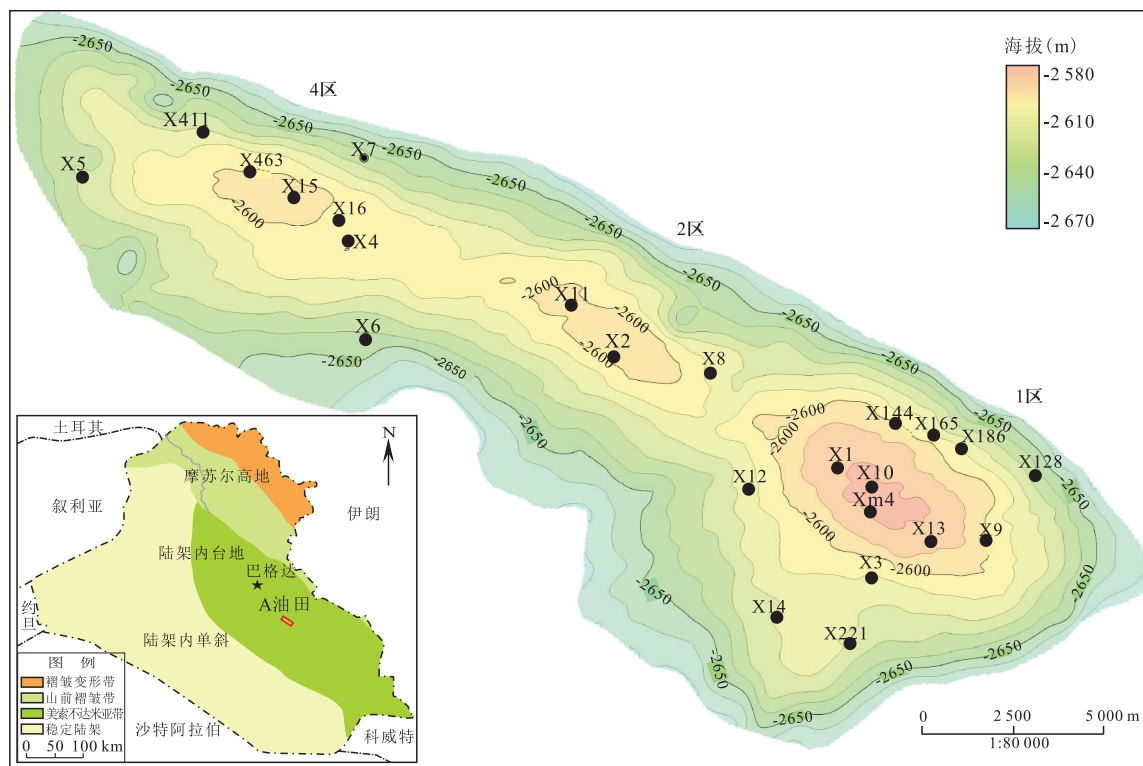


图1 伊拉克A油田地理位置及K油藏顶面构造特征

Fig. 1 Field location and top surface structural features of K oil reservoir of Oilfield-A in Iraq

坡沉积相,根据沉积旋回和测井响应特征将其自上而下细分为 Kh^{2-1-1} , $Kh^{2-1-2}U$, $Kh^{2-1-2}L$, Kh^{2-2} , Kh^{2-3} , Kh^{2-4} , Kh^{2-5} 等7个小层(图2),层间无物性或岩性隔夹层。在油田范围内,沉积微相横向变化极小,但纵向变化较大。从 Kh^{2-5} 向上至 Kh^{2-1-1} 沉积微相由外缓坡过渡为砂屑滩,水体能量逐渐增强,各小层沉积物颗粒类型、灰泥含量差异较大,最终导致储层孔隙结构在纵向上极强的非均质性。

铸体薄片鉴定表明, Kh^2 段颗粒类型丰富,包括砂屑、绿藻、浮游有孔虫及其他生屑;各种颗粒类型相对含量的变化形成了多种不同孔隙类型的组合在纵向上的变化,从而形成不同的孔隙结构特征^[11-12](图2)。从图中可以看出,孔隙结构特征从下向上整体呈渐变趋势,藻模孔及粒间孔含量向上逐渐增多,毛管压力曲线排驱压力向上逐渐降低,有效喉道半径向上逐渐增大。通过对7口取心井的159个压汞样品、1573个常规物性分析样品及242张铸体薄片鉴定结果进行分析,得到表1所示各小层岩相、物性及孔隙结构参数统计表。由表1可知, Kh^{2-5} 为浮游有孔虫粒泥灰岩,以微孔为主,孔隙度高达23.1%,但有效喉道半径仅0.25 μm ,渗透率低至 $1.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; Kh^{2-4} 孔隙结构呈渐变特征,下部以微孔为主含少量藻模孔;上部藻模孔含量明显增加,孔隙结构相对较好,其渗透率也向上递增; $Kh^{2-1-2}L$ 为砂屑颗粒灰岩,以粒间孔为主,虽然孔隙度略低,但有效喉道半径达7.16 μm ,平均渗透率高达 $172.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,明显高于相邻的 Kh^{2-2} 和 $Kh^{2-1-2}U$ 小层,为典型的高渗层特征。孔隙结构在纵向上的差异导致了储层含油性的差异,在测井响应特征上则表现为电阻率曲线在纵向上的明显差异,图2中的第6道所示。针对这种纵向非均质性强、电阻率变化较大的油藏,无法采用统一的电阻率标准判别油水层,而应分层建立判别标准。

2 油水层判别方法

2.1 基本原理

油气成藏的过程其实就是油或气驱替孔隙空间中水的过程。在这一过程中,当油的浮力超过孔隙喉道的毛细管阻力,油才能进入孔隙空间^[13-14]。当油柱高度较低时,油的浮力较低,无法驱替孔隙中的水,此时孔隙中100%被水饱和;随着油柱高度的增大,达到某一临界高度时,浮力突破最大喉道的毛细管阻力,油开始进入孔隙,含油饱和度逐渐增加。由于不同孔隙结构岩石的喉道大小及分选性的差异,油进入孔隙需达到的油柱高度不同,且含油饱和度随高度变化的趋势特征也各不相同。这种含油饱和度随高度的变化直接表现为测井电阻率随海拔高度的变化。因此,可以利用电阻率这种变化特征来区分油、水层和识别油水界面。

典型油藏电阻率随海拔高度的变化曲线见图3a,该特征与压汞毛管压力曲线的形态特征相似,其所反映的本质都是含油饱和度随高度(压力)的变化。从图中可以看出,电阻率随海拔高度的变化曲线可分为4个特征段,每个特征段的转折点则反映了含油饱和度明显变化点。第1段:当海拔较低时,油的浮力未能达到突破最大喉道所需的最小高度时,油无法进入孔隙,电阻率不随海拔高度变化,小于或等于该电阻率即为水层;第2段:当海拔达到第一临界高度时,油的浮力突破最大喉道的毛细管阻力,油开始进入孔隙空间,电阻率开始逐渐增大,此临界高度即对应纯水层的顶界海拔;随着海拔高度逐渐增大,电阻率增大较快,此时油和水共同存在于相对较大的孔隙空间中,为油水同层区间;第3段:当海拔达到第二临界高度时,相对较大的孔隙空间的水几乎已

表1 伊拉克A油田K油藏各小层特征参数统计

Table 1 Characteristic parameter of each sub layer of K oil reservoir in Oilfield-A, Iraq

小层	岩相	主要孔隙类型	有效喉道半径(μm)	岩心孔隙度(%)			岩心渗透率($10^{-3} \mu\text{m}^2$)		
				最小	最大	平均	最小	最大	平均
Kh^{2-1-1}	砂屑生屑泥粒灰岩	微孔、粒间孔	0.75	12.7	25.4	20.1	0.27	537	3.4
$Kh^{2-1-2}U$	砂屑泥粒灰岩	粒间孔、微孔	2.86	8.8	25.9	19.7	2.22	522	19.4
$Kh^{2-1-2}L$	砂屑颗粒灰岩	粒间孔	7.16	12.7	27.8	19.5	0.40	1042	172.8
Kh^{2-2}	生屑砂屑藻屑泥粒灰岩	藻模孔、粒间孔	1.10	6.0	30.2	24.8	0.76	475.9	9.8
Kh^{2-3}	生屑藻屑泥粒灰岩	藻模孔	1.92	2.1	30.0	24.5	0.026	476	17.5
Kh^{2-4}	生屑粒泥灰岩	微孔、藻模孔	0.445	19.6	30.0	25.1	0.18	19.4	3.2
Kh^{2-5}	浮游有孔虫粒泥灰岩	微孔	0.25	9.5	27.7	23.1	0.092	18.3	1.1

完全被油驱替,水存在于较小的孔隙或大孔隙的死角处,难以流动,因此,电阻率随海拔高度的增加变缓;此临界高度即为纯油层的底界,所对应的电阻率即为油层电阻率下限,大于或等于该电阻率即为油层;第4段:海拔达到第三临界高度时,大部分小孔隙中的水都已被油驱替,电阻率随海拔高度的增加已极其缓慢甚至无变化,此阶段水基本存在于毛细管

中,无法被驱替。

由于储层孔隙结构的差异,电阻率随海拔高度变化的特征趋势也各不相同。图3b中a—d 4条特征曲线所反映的孔隙结构逐渐变差;孔隙结构较好的储层,喉道半径相对较大,电阻率开始增大所对应的海拔较低,且电阻率随海拔高度增大而快速增大,纯水顶或纯油底的海拔较低,线段斜率较小;随着孔隙

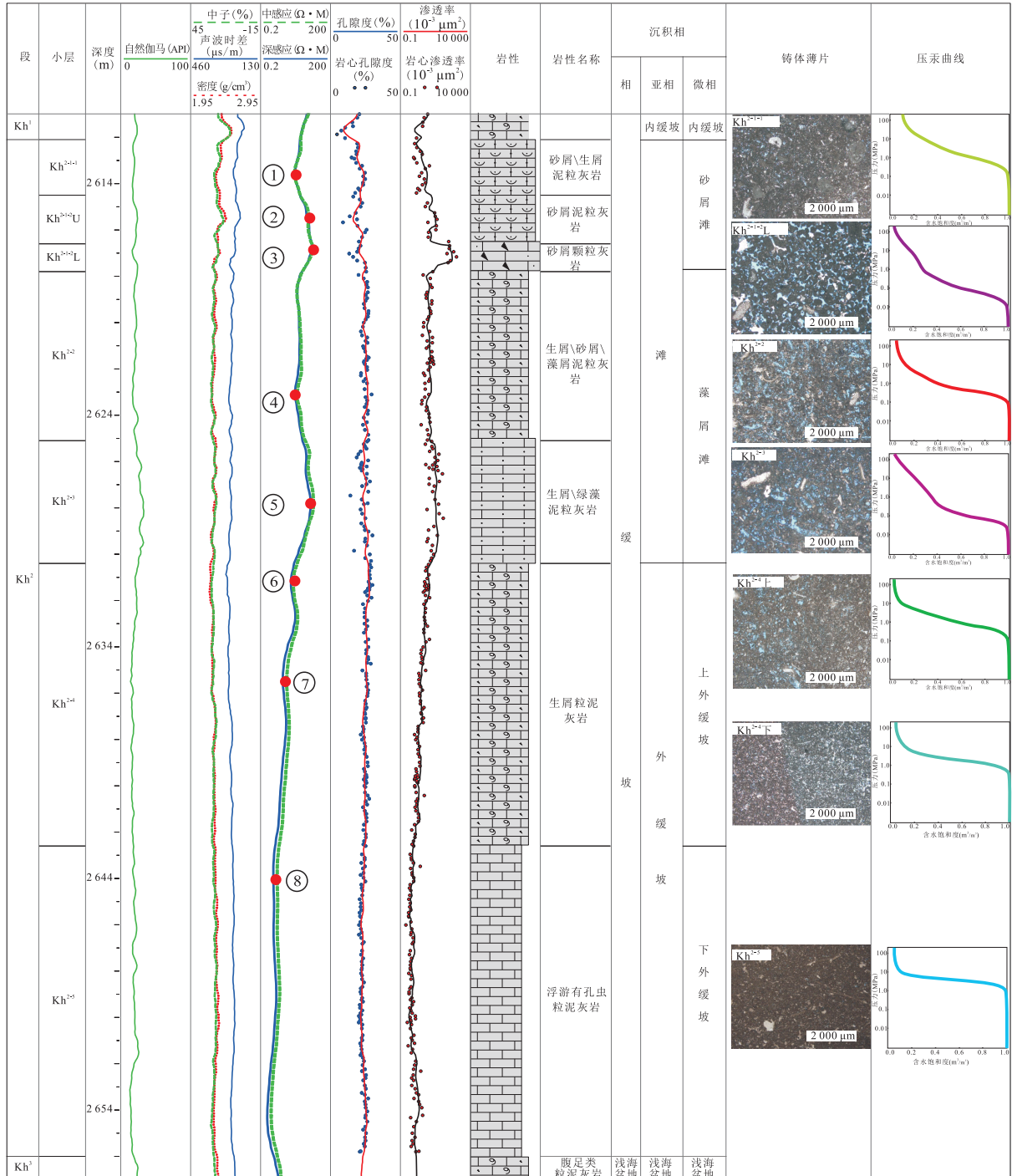


图2 伊拉克A油田K油藏综合柱状图

Fig. 2 Composite geologic column of K oil reservoir in Oilfield-A, Iraq

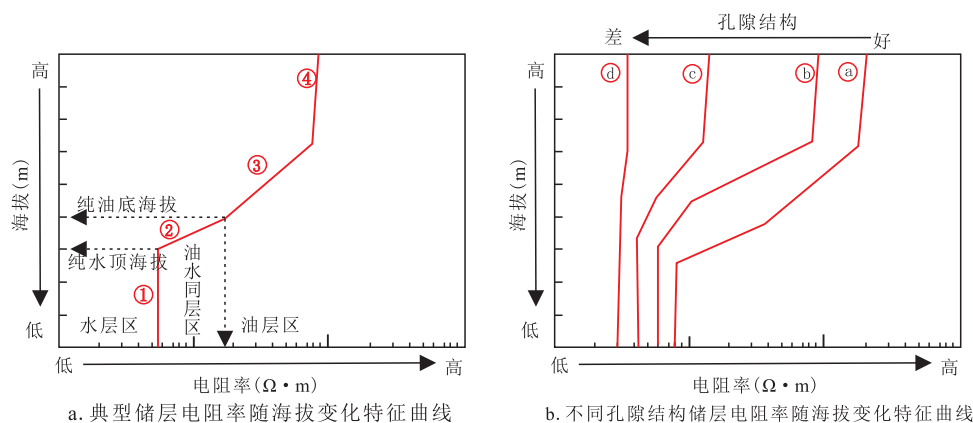


图3 理论电阻率与海拔交会图版

Fig. 3 Theoretic cross plot of theoretical resistivity versus elevation

结构变差,电阻率随海拔高度增大而缓慢增大,线段斜率较大;致密层或干层的孔隙极小,油几乎无法进入,电阻率基本不随海拔高度增大而变化。

2.2 K油藏油水层判别标准的建立

基于上述原理,绘制油藏的测井电阻率与海拔交会图并利用测试结果进行标定和检验,即可确定油、水层的电阻率判别标准。由于K油藏纵向非均质性强,各小层孔隙结构差异大,必须分层研究,因此,本文采用在各小层分别取电阻率特征值的方法来分分析电阻率的变化。图2中第6道所示,在 Kh^2 段各小层共选取了8个特征点(图中红色圆点所示),其中 Kh^{2-4} 由于上、下两段孔隙结构差异明显,因此,取了2个特征点,其它小层各一个特征点。在油田85口直井中每一口井的相同小层选取相同的特征点,并获取每个点的测井电阻率及海拔绘制交会图,得到图4所示的8个交会图。图中每个交会点即代表一口井在某一层的电阻率与海拔数据,交会点的颜色代表孔隙结构指数,即 $\sqrt{K/\phi}$ 。由于每口井所处的构造位置不同,其海拔高度也不同,从而反映出同一特征点的电阻率随海拔高度的变化。根据交会点的变化趋势并结合测试结果可绘出与图3相似的特征曲线,但由于K油藏闭合高度较小,因此特征曲线只反映出了前3段的特征。从图中可明显看出,各小层电阻率随海拔高度变化特征的差异较大: Kh^{2-5} 电阻率随海拔高度增加而基本保持不变,反映孔隙结构差,油无法进入孔隙空间,为干层特征,与测试结果和岩心含油性观察结果相符; Kh^{2-4} 下段电阻率随海拔高度增大而缓慢增大,线段斜率较大,且电阻率

变化的第一临界点海拔较高,反映孔隙结构仍然较差,但略优于 Kh^{2-5} ; Kh^{2-4} 上段孔隙结构较下段更好,其电阻率变化斜率更小;孔隙结构最好的 Kh^{2-3} 和 Kh^{2-1-2} L电阻率随海拔高度变化的斜率最小,且第一临界点海拔最低。各层电阻率随海拔变化的特征得到了测试结果的验证,并进一步印证了前述各小层孔隙结构的差异。

最后,根据各层特征曲线的转折点电阻率并结合测试结果即可确定各小层油、水层电阻率判别标准,见表2。从表中可以看出,孔隙结构越差,微孔含量越高,其电阻率标准越低。

3 油水界面分析

3.1 K油藏油水界面的精细刻画

对于均质性较好的油藏,其油水界面基本为一平面或略有起伏。当油藏受动态底水、断层分隔、岩性、物性或流体密度变化的影响,其油水界面可能会发生倾斜甚至较大起伏^[14-18]。然而,K油藏的特殊性不仅在于其孔隙结构具有极强的纵向非均质性,导致各小层油水界面存在明显差异,还在于多期构造运动和油气充注相伴随,导致油藏具有极其复杂的油水界面。

根据图4所示各小层电阻率随海拔高度变化的特征曲线转折点不仅可以确定油、水层电阻率标准,还可确定该小层的平均油水界面,即油层底界和水层顶界(表2)。理论而言,同一小层由于孔隙结构和物性相近,其交会点在特征趋势线上每一小段的变化趋势应一致,即在同一斜率的直线上变化。然而,

表2 K油藏各小层油水层电阻率判别标准及油水界面
Table 2 Resistivity criteria and OWC for each sub zones of K oil reservoir

小层	电阻率($\Omega \cdot m$)			油水界面(m)	
	油层	油水层	水层	油层底界海拔	水层顶界海拔
Kh ²⁻¹⁻¹	≥ 1.3	1.3~0.9	≤ 0.9	-2 614	-2 627
Kh ^{2-1-2U}	≥ 3.0	3.0~1.8	≤ 1.8	-2 629	-2 632
Kh ^{2-1-2L}	≥ 3.5	3.5~2.0	≤ 2.0	-2 629	-2 633
Kh ²⁻²	≥ 1.1	1.1~0.7	≤ 0.7	-2 626	-2 635
Kh ²⁻³	≥ 2.5	2.5~1.0	≤ 1.0	-2 635.5	-2 642
Kh ²⁻⁴	上部 ≥ 1.1	1.1~0.7	≤ 0.7	-2 614	-2 627
	下部 ≥ 0.6	0.6~0.5	≤ 0.5	-2 611.5	-2 622
Kh ²⁻⁵	干层				

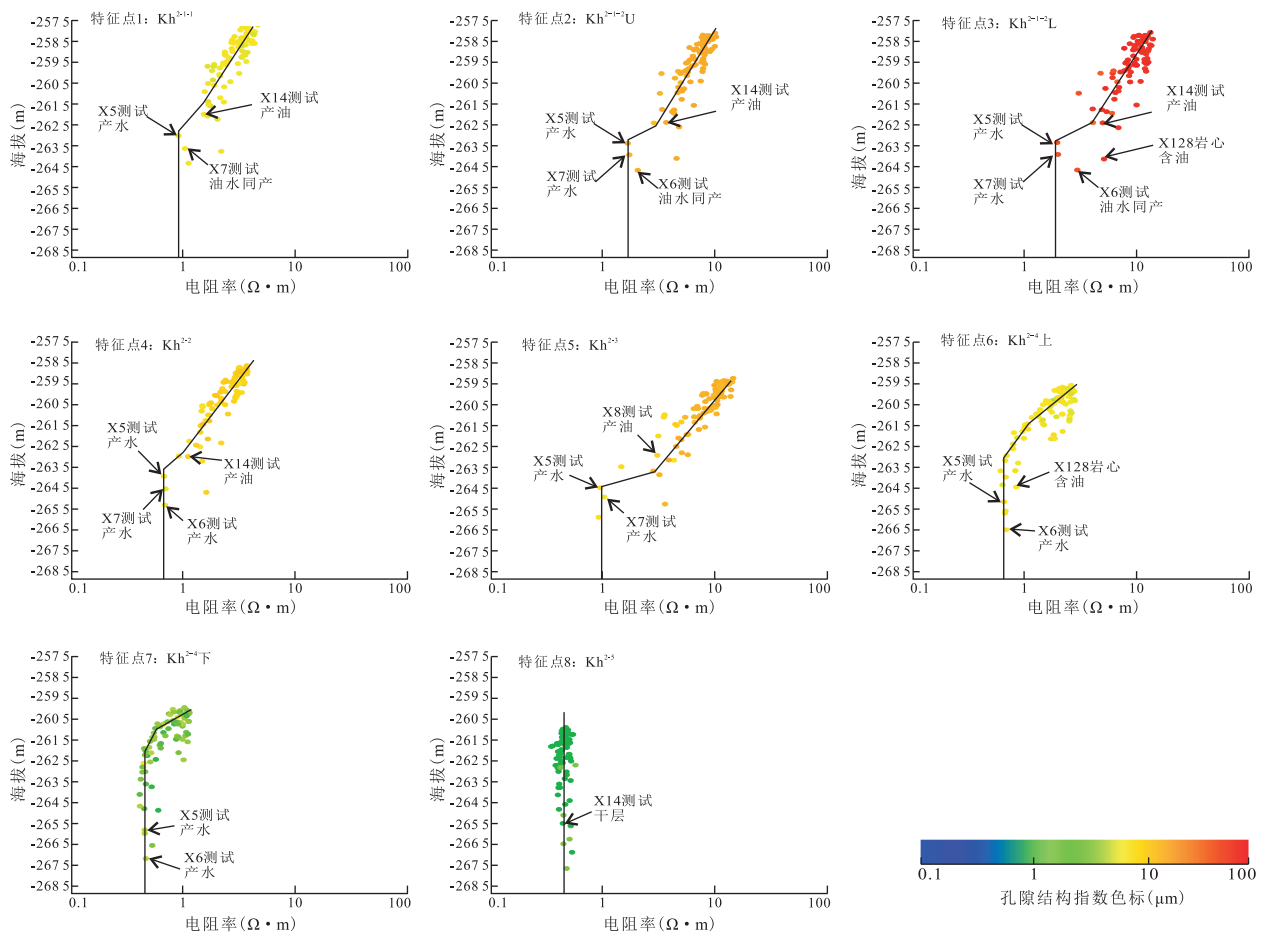


图4 伊拉克A油田K油藏各特征点电阻率与海拔交会图

Fig. 4 Cross plot of resistivity versus elevation for each characteristic point of K oil reservoir in Oilfield-A, Iraq

从图4所示交会点来看,部分井的交会点明显偏离趋势线,其电阻率反映了与对应海拔高度不一致的特征,尤其在孔隙结构相对较差的Kh²⁻⁴小层中,部分井电阻率明显高于相同海拔的其它井。如X128井位于1区构造北翼边部,海拔较低,但电阻率明显高于相同海拔的其它井,在平均水顶界面之下,岩心仍然含油。造成这种现象的可能原因有2点:第一,同一层的岩性、孔隙结构或物性在横向发生明显变化,导

致电阻率的变化;第二,油水界面在横向发生变化。然而,油田7口取心井的岩心观察、物性分析、压汞曲线及铸体薄片鉴定的综合分析结果表明,各小层岩相、物性及孔隙结构的横向变化极小,不可能造成同一层电阻率变化的明显不一致性。因此,电阻率的变化应由油水界面的变化所致。

在图4所示交会图中,某一小层的特征趋势线在第一转折点和第二转折点分别确定的水层顶界海拔

(H_{WUT})和油层底界海拔(H_{ODT})为该层平均的油层底界和水层顶界;当某井的交会点偏离特征趋势线时,如其海拔高度为 H_1 ,通过该交会点做一垂线与特征趋势线相交,交点海拔为 H_2 ,则该井实际油层底界面海拔(H_{ODT^*})和水层顶界海拔(H_{WUT^*})分别用(1)式和(2)式计算:

$$H_{ODT^*}=H_{ODT}+H_1-H_2 \quad (1)$$

$$H_{WUT^*}=H_{WUT}+H_1-H_2 \quad (2)$$

式中: H_{WUT} 为小层平均水层顶界海拔,m; H_{ODT} 为小层平均油层底界海拔,m; H_1 为单井交会点海拔,m; H_2 为交点海拔,m; H_{ODT^*} 为单井实际油层底界海拔,m; H_{WUT^*} 为单井实际水层顶界海拔,m。

利用以上两式可确定每一口井在各小层的实际油层底界和水层顶界海拔,精细刻画出油藏油水界面的分布特征。图5展示了K油藏沿构造长轴方向的油藏剖面图及 Kh^{2-3} 油层底界平面图,图中2条水平横线分别为早期的纯油底界(-2 630m)和纯水顶界(-2 650m)。从图中可得到2点认识:①纵向上,由于孔隙结构的差异导致K油藏各小层油水界面存在明显差异:以微孔为主的 Kh^{2-4} 小层孔隙结构较差,其油水界面明显高于其它小层;以粒间孔和藻模孔为主的 $Kh^{2-1-2}L$ 和 Kh^{2-3} 小层孔隙结构较好,油水界面相对较低; Kh^{2-3} 之上的 Kh^{2-1-1} 和 Kh^{2-2} 小层孔隙结构较 Kh^{2-3} 差,其油水界面较 Kh^{2-3} 更高,因此,在4区构造边部区域的 Kh^{2-3} 小层为油层,但其上部的 Kh^{2-1-1} 和 Kh^{2-2} 小层已过渡为油水同层;这种油水分布特征主要发生在构造低部位区域,在构造高部位仍然是油层在上部,油水同层在中部,水层在下部;②平面上,油藏整体的油水界面并非平面或单一的倾斜面,而是呈弯曲特征:表现为同一小层的油水界面沿构造长轴方向东部界面低,西部界面高;沿构造短轴方向

呈拱形,即南北两翼低,构造高部位高,且北翼比南翼更低,最低点位于1区东北部的X128井。

3.2 K油藏弯曲油水界面的成因分析

通过对A油田260口水平井实际生产数据及井轨迹与油水界面的关系分析,排除受注入水、走滑断层及地震异常体影响的井,其余所有井的生产数据都验证了弯曲油水界面的事实。

造成K油藏油水界面弯曲的原因为持续性的区域构造运动造成圈闭构造高点的变化与多期油气充注共同作用的结果。区域构造演化研究表明^[16-23],A油田主要经历了两期构造运动:第一期为来自东北方向的拉张作用,发生时间大约为65~80 Ma前;第二期为来自东北方向的持续性右旋挤压运动,发生时间为65 Ma前后;大约20 Ma前由于扎格罗斯造山运动挤压作用进一步将强,形成了现今圈闭形态。研究区地层沉积稳定,差异压实作用弱,通过地震层拉平技术重建了K油藏构造演化历史^[24-25]。图6所示,大约65~80 Ma,K油藏在1区东部略微隆起,2区和4区处于构造低部位,未形成圈闭,且此阶段发生了油气的第一期充注^[26-27],充注区域为1区东部;大约20~55 Ma,受扎格罗斯造山运动挤压,K油藏顶面构造形态发生明显变化,油田东北部逐渐隆起,此阶段发生了油气的第二期充注,充注区域主要在现今构造的北翼;大约10 Ma前至今,K油藏顶面构造起伏变大,油田中部进一步隆起,并逐渐形成现今构造形态,同时此阶段发生了油气的第三期充注,充注区域主要为现今构造的高部位及南翼。由于整个构造的演化阶段都伴随着油气的持续充注,在古构造的高部位油气充注较多,含油饱和度较高,尽管后期构造演化成了相对低部位,但其含油饱和度仍然较高,最

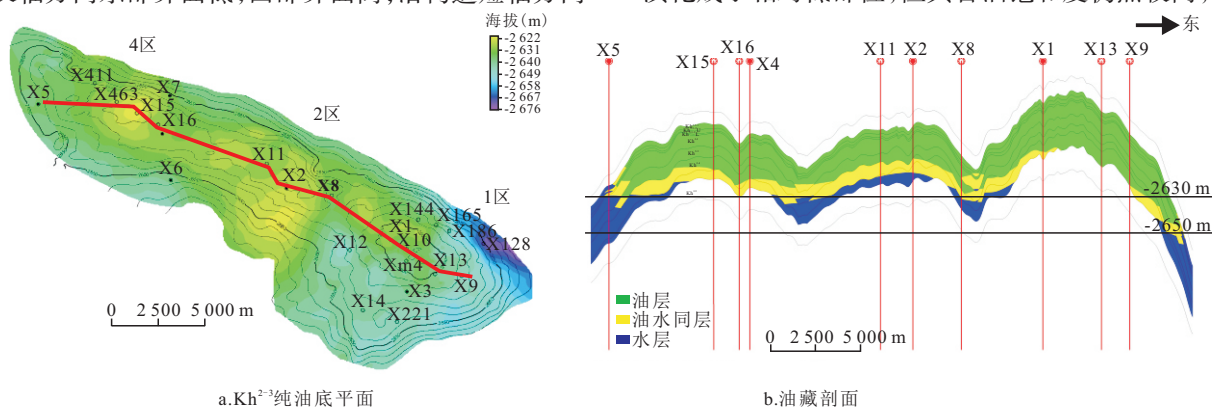


图5 沿构造长轴伊拉克A油田K油藏剖面

Fig. 5 Reservoir profile along long axis of structure of K oil reservoir in Oilfield-A, Iraq

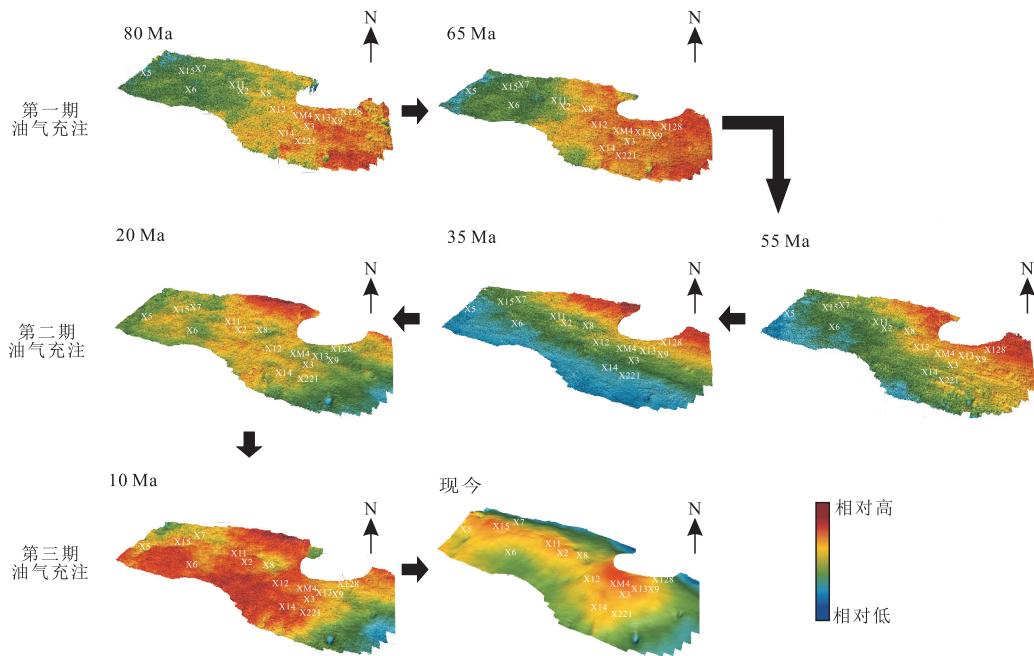


图6 伊拉克A油田K油藏构造演化及油气充注期次

Fig. 6 Structural evolution and hydrocarbon charging period of K oil reservoir in Oilfield-A, Iraq

终导致K油藏的油水界面与常规油藏存在明显差异,即油水界面弯曲,在1区东部及北翼的油水界面相对较低。

4 结论

1) K油藏孔隙结构在纵向上的极强非均质性不仅导致测井电阻率曲线在纵向上的差异,无法采用统一的电阻率标准判别油水层,同时也导致了各小层油水界面的差异。

2) 通过建立电阻率随海拔高度变化的特征曲线,分别确定了各小层油水层判别的电阻率标准、各小层平均油水界面以及单井油水界面,为研究油藏油水界面的平面变化创造了条件。

3) K油藏的油水界面呈弯曲特征,整体表现为沿构造长轴方向东部界面低,西部界面高;沿构造短轴方向呈拱形,即南北两翼低,构造高部位高,且北翼比南翼更低;其成因为持续性的区域构造运动造成圈闭构造高点的变化与多期油气充注共同作用的结果。

4) 对于碳酸盐岩油藏油水界面的认识应充分结合岩心、测井、测试、生产、油藏构造演化及油气成藏史,不能束缚于常规油藏油水界面的认识,刻意回避矛盾,把油水界面简单理解为一平面或单一倾斜的面。只有突破常规认识,充分尊重客观资料,才能

达到正确认识油藏的目的。

参考文献:

- [1] 胡法龙,周灿灿,李潮流,等.核磁共振测井构建水谱法流体识别技术[J].石油勘探与开发,2016,43(2):244-252.
HU Falong, ZHOU Cancan, LI Chaoliu, et al. Water spectrum method of NMR logging for identifying fluids[J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(2): 244-252.
- [2] 刘忠华,李霞,赵文智,等.核磁共振增强扩散方法在复杂储集层流体识别中的应用[J].石油勘探与开发,2010,37(6):703-708.
LIU Zhonghua, LI Xia, ZHAO Wenzhi, et al. Enhanced diffusion theory of nuclear magnetic resonance (NMR) and its application to fluid identification of complex reservoirs[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(6): 703-708.
- [3] 曾文冲,邱细斌,刘学峰.识别复杂储层流体性质的新途径[J].测井技术,2014,38(1):11-21.
ZENG Wenchong, QIU Xibin, LIU Xuefeng. A method to identify fluid properties in complex reservoir[J]. Well Logging Technology, 2014, 38(1): 11-21.
- [4] 梁永光.复杂岩性储层流体识别方法研究[J].长江大学学报:自然科学版,2015,12(29):36-39.
LIANG Yongguang. Method of fluid identification in complex lithology reservoirs based on principal component[J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2015, 12(29): 36-39.
- [5] 李雄炎,周金昱,李洪奇,等.复杂岩性及多相流体智能识别方法[J].石油勘探与开发,2012,39(2):243-248.
LI Xiongyan, ZHOU Jinyu, LI Hongqi, et al. Computational intelligent methods for predicting complex lithologies and multiphase fluids[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(2): 243-248.

- [6] 王丽,袁伟,丁磊,等.基于常规测井资料的储层流体识别方法[J].地质科技情报,2018,37(2):241-245.
WANG Li, YUAN Wei, DING Lei, et al. Reservoir fluid identification based on normal logging data[J]. Geological Science and Technology Information, 2018, 37(2): 241-245.
- [7] 李舟波.利用测井方法识别复杂油气储层的流体性质[J].石油与天然气地质,2004,25(4):356-362.
LI Zhoubo. Problem and advance on fluid typing for complex reservoirs using well log[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(4): 356-362.
- [8] 姜均伟,朱宇清,徐星,等.伊拉克H油田碳酸盐岩储层的孔隙结构特征及其对电阻的影响[J].地球物理学进展,2015,30(1):203-209.
JIANG Junwei, ZHU Yuqing, XU Xing, et al. Pore structure characteristics of the carbonate reservoir and their influence on electric properties in H oilfield, Iraq[J]. Progress in Geophysics, 2015, 30(1): 203-209.
- [9] DEAN G, CUDDY S, CONTI F, et al. The effect of pore geometry on the distribution of reservoir fluids in U. K North Sea Oil and Gas Fields[C]// Paper SPWLA-2008-CCC presented at the SPWLA 49th Annual Logging Symposium, 25-28 May, 2008, Austin, Texas, USA.
- [10] 赵丽敏,王兴建,郭睿,等.伊拉克AHDEB油田碳酸盐岩储层预测研究[J].科学技术与工程,2013,13(32):9649-9654.
ZHAO Limin, WANG Xingjian, GUO Rui, et al. Study on carbonate reservoir predicting of AHDEB Oil Field in Iraq[J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(32): 9649-9654.
- [11] 陈明江,程亮,陆涛.Ahdeb油田Khasib油藏孔隙结构及其对注水开发的影响[J].岩性油气藏,2020,32(3):133-143.
CHEN Mingjiang, CHENG Liang, LU Tao. Pore structure characterization and its impact on waterflooding development in Khasib reservoir in Ahdeb oil field, Iraq[J]. Lithologic Reservoirs, 2020, 32(3): 133-143.
- [12] 邓虎成,周文,郭睿,等.伊拉克艾哈代布油田中-下白垩统碳酸盐岩储层孔隙结构及控制因素[J].岩石学报,2014,30(3):801-812.
DENG Hucheng, ZHOU Wen, GUO Rui, et al. Pore structure characteristics and control factors of carbonate reservoirs: The Middle-Lower Cretaceous formation, Al Hardy cloth Oilfield, Iraq[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(3): 801-812.
- [13] 陈世加.油气成藏理论与实践[M].北京:科学出版社,2015.
CHEN Shijia. Theory and practice of hydrocarbon accumulation [M]. Beijing: Science Press, 2015.
- [14] BEAUMONT E A, FOSTER N H. Exploring for oil and gas traps [J]. Journal of Petroleum Science & Engineering, 1999, 34(1): 139-140.
- [15] HARRIS R G, GOLDSMITH P J. Water saturation analysis and interpretation of a tilted free-water level in the Joanne/Judy Chalk Field, U. K. North Sea[C]// Paper SPWLA-2001-EEE presented at the SPWLA 42nd Annual Logging Symposium, 17-20 June, 2001, Houston, Texas, USA.
- [16] ESTRADA C, MANTILLA C. Tilted oil water contact in the Cretaceous Caballos Formation, Puerto Colon Field[C]// Paper SPE-59429-MS presented at the SPE Asia Pacific Conference on Integrated Modelling for Asset Management, 25-26 April, 2000, Yokohama, Japan.
- [17] SHAHIN N, GUNTER G W, SMART C R. An improved empirical approach for prediction of formation water saturation and free water level for uni-modal pore systems[C]// Paper SPE-63282-MS presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 1-4 October, 2000, Dallas, Texas, USA.
- [18] STENGER B A, T R PHAM, A A AL-SAHHAF, et al. Assessing the oil water contact in Haradh Arab-D[C]// Paper SPE-71339-MS presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 30 September-3 October, 2001, New Orleans, Louisiana, USA.
- [19] AQRAWI A M, GOFF J C, HORBURY A D, et al. The petroleum geology of Iraq[M]. Aberystwyth: Scientific Press, 2010: 21-64.
- [20] ALMUTURY W G, ASADI M M. Tectonostratigraphic history of Mesopotamian passive margin during Mesozoic and Cenozoic, south Iraq[J]. Journal of Kirkuk University-Scientific studies, 2008, 3(1): 31-50.
- [21] SISSAKIAN V K, SHIHAB A T, AL-ANSARI N, et al. New tectonic finding and its implications on locating oilfields in parts of the gulf region[J]. Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 2017, 7(3): 51-75.
- [22] AL-AMERI T K, AL-OBAYDI R Y. Cretaceous petroleum system of the K and Tanuuma oil reservoir, east Baghdad oil field, Iraq[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2011, 4(6): 915-932.
- [23] SISSAKIAN V K. Geological evolution of the Iraq Mesopotamia foredeep, inner platform and near surroundings of the Arabian plate[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2013, 72: 152-163.
- [24] 孙林,漆家福,吴蕾,等.塑性变形区的构造演化分析[J].石油地球物理勘探,2013,48(2):297-302.
SUN Lin, QI Jiafu, WU Lei, et al. Tectonic evolution character analysis on the plastic deformed area[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2013, 48(2): 297-302.
- [25] 刘俊海,徐明华,王自明,等.伊拉克A油田地震异常体识别与成因分析[J].西南石油大学学报:自然科学版,2020,42(1):69-77.
LIU Junhai, XU Minghua, WANG Ziming, et al. Seismic reflection anomaly identification and origin analysis of A Oilfield in Iraq[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2020, 42(1): 69-77.
- [26] 付美燕,刘榘,邓虎成,等.AHDEB油田白垩系油藏油气充注期次的流体包裹体证据[J].地球科学:中国地质大学学报,2015,40(7):1187-1196.
FU Meihua, LIU Fei, DENG Hucheng, et al. Hydrocarbon charging period of Cretaceous reservoirs in AHDEB oil Field: Evidence from Fluid Inclusion[J]. Earth Science-Journal of China University of Geoscience, 2015, 40(7): 1187-1196.
- [27] 杜洋,崔焱,郑丹,等.伊拉克中部白垩系油藏油源及运移特征[J].石油实验地质,2016,38(1):76-83.
DU Yang, CUI Yi, ZHENG Dan, et al. Oil sources and migration characteristics of Cretaceous reservoirs in the Central Iraq[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(1): 76-83.

(编辑 尹淑容)