

伊朗 Zagros 盆地西南部白垩系 Sarvak 组碳酸盐岩储层特征

闫建平^{1,2}, 司马立强², 谭学群³, 张文才³, 梁强², 言语²

(1. 西南石油大学 天然气地质四川省重点实验室, 四川 成都 610500; 2. 西南石油大学 地球科学与技术学院, 四川 成都 610500;
3. 中国石化 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:为了阐明伊朗 Zagros 盆地西南部白垩系 Sarvak 组碳酸盐岩储层特征, 利用岩心、薄片、录井、试油及测井资料, 通过储层岩性类型、储集空间、物性、电性特征及孔隙发育的影响因素分析, 指出 Zagros 盆地西南部白垩系 Sarvak 组碳酸盐岩储层岩性类型有白垩质灰岩、云质灰岩、颗粒灰岩, 储集空间类型多, 主要为次生溶孔、铸模孔, 其中颗粒灰岩的物性最好, 白垩质灰岩中白垩质主要为浮游有孔虫, 孔隙较发育, 一般随物性增加, 含油性级别升高。成岩作用对储层物性影响也较大, 起建设性的成岩作用有溶蚀作用、白云化作用、生物扰动及压溶产生缝合线、缝合面。泥粒灰岩、粒泥灰岩在这些成岩作用的影响下, 物性有较大改善。储层孔隙发育微观上主要受控于岩相、成岩作用, 平面上还和构造位置及沉积环境有关, 位于构造高部位的台地浅滩微相往往物性较好。利用垂向上测井响应及平面上小层物性分布特征, 明确了物性较好、含油丰度较高的层段, 为寻找高产有利储层提供了依据。

关键词:低阻; 台地浅滩; 白垩质灰岩; Sarvak 组; Zagros 盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

Carbonate reservoir characteristics of the Cretaceous Sarvak Formation in southwestern Zagros Basin, Iran

Yan Jianping^{1,2}, Sima Liqiang², Tan Xuequn³, Zhang Wencai³, Liang Qiang², Yan Yu²

(1. Sichuan Key Laboratory of Natural Gas Geology, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China;

2. School of Geoscience and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China;

3. Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to reveal the characteristics of the Cretaceous Sarvak Formation carbonate reservoir in the southwestern Zagros Basin, a comprehensive study was carried out by integrating the core, thin section, production test and well log data. Analyses of the reservoir rock types, reservoir space, physical property, electrical property and the factors influencing pore development show that the lithology types of the Sarvak reservoir includes chalky limestone, dolomitic limestone and grainstone. And the reservoir spaces are dominated by secondary dissolved pores and mold pores. The physical property of grainstone is the best. The chalk in chalky limestone is mainly planktonic foraminifera which have well-developed porosity. Generally, the oil-bearing property enhances with the improvement of physical property. The diagenesis also have great impact on reservoir's physical property, and the constructive diagenesis include dissolution, dolomitization, biological disturbance, stylolites of pressolution origin. The physical property of packstone and wackestone are greatly improved under the influences of these constructive diageneses. Microscopically, the development of reservoir's pore is mainly controlled by facies and diagenesis. Laterally, it is also related to tectonic location and sedimentary environment. The physical property of platform shoal microfacies on structural high is commonly better. The vertical logging response and the areal distribution of physical property of sublayers can be used to identify zones with better physical property and oil-bearing abundance, thus providing a basis for highly productive reservoirs.

Key words: low resistivity, shoal facies, chalky limestone, Sarvak Formation, Zagros Basin

随着油气勘探领域的逐步深入, 海外非常规油气藏已成为备受关注的勘探目标。伊朗 Zagros 盆地 Y 油田 Sarvak 组中低孔、低渗白垩质孔隙型灰岩油藏为

一典型代表, Y 油田是该盆地西南部的一巨型油气田^[1-2], 位于伊朗 Khuzestan (胡泽斯坦) 省, 在伊朗与伊拉克边界附近, 面积约 500 km², 地质储量较大。白

收稿日期: 2014-07-11; 修订日期: 2015-04-10。

第一作者简介: 闫建平 (1980—), 男, 副教授, 测井沉积学、岩石物理及非常规储层测井评价技术。E-mail: yanjp_tj@163.com。

基金项目: 国家科技重大专项 (2011ZX05031-003-006HZ); 国家自然科学基金项目 (41202110); 四川省应用基础研究项目 (2015JY0200); 胜利油田低渗透示范基地项目 (30200000-13-ZC0607-0050); 西南石油大学校级科技基金项目 (2012XJZ004); 四川省教育厅天然气地质创新团队项目 (13TD0024)。

丕系的 Sarvak 组灰岩为该油田的主力储层之一。Y 油田 Sarvak 组和 Fahliyan 组沉积在浅海碳酸盐岩斜坡,前人已对 Sarvak 组层序地层控制的成岩作用对储层质量的影响^[3]、化学地层学^[4]、非均质碳酸盐岩储层流动单元的分类及分布^[5-6]、Sarvak 组白丕质灰岩储层特征^[1]、Fahliyan 组的沉积特征与储层潜力^[7]、Fahliyan 组岩相特征和古环境重建^[8]等进行了较深入的研究,但对于 Y 油田下白丕统 Sarvak 组碳酸盐岩储层特征及优质储层发育控制因素研究较少, Sarvak 组岩性类型复杂、储集空间类型多样,岩相、成岩作用及构造位置因素对物性的影响较大,尤其是 Sarvak 组发育的白丕质灰岩在国内少见,是一种含大量微孔的特殊碳酸盐岩储层^[9],因此,通过对 Sarvak 组孔隙型碳酸盐岩储层的岩性类型、物性、含油性及电性特征进行分析,结合成像测井图像、薄片等资料,探讨 Sarvak 组小层物性演化、有利储层发育层位、平面分布特征及控制因素,为进一步寻找高产的有利储层提供一定的依据。

1 区域地质概况

1.1 区域构造

Zagros 盆地位于扎格罗斯破碎带的西边,遭受了强烈断褶,不过断褶强度向波斯湾方向逐步减弱^[10]。Y 油田位于 Zagros 盆地的西南部,构造形态为一个轴向近南北向的大型长轴背斜,发育南、北两个构造高点,北部构造高点大部分位于伊朗境内,南部构造高点主体位于伊拉克境内(图1),包含 K 和 H 两个区域。

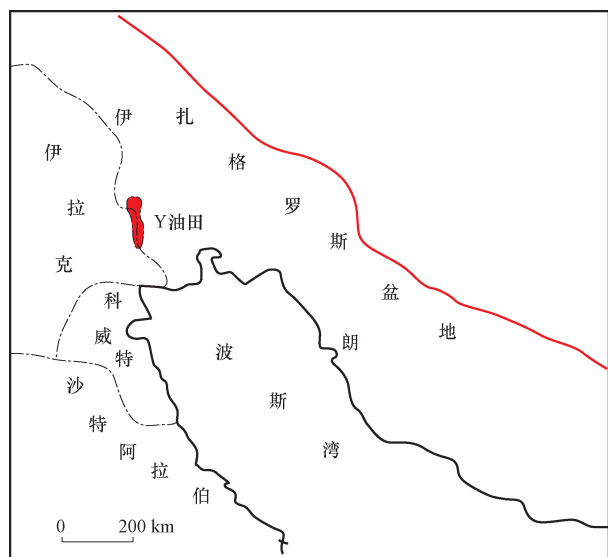


图1 伊朗扎格罗斯盆地 Y 油田地理位置

(据徐德军等,2010,修改)^[1]

Fig.1 Geographic location of Y oilfield in the Zagros Basin(modified from Xu Dejun, et al,2010)^[1]

1.2 地层特征及沉积环境

Sarvak 组底部为早白丕世阿尔必阶的 Kazhdumi 组,是上、下白丕统的分界,由暗色沥青质页岩组成,同时含有黑色泥灰岩。在 Y 油田范围内,该层上部为黑灰到黑褐色的泥灰岩,中间为灰白色微晶灰岩,是一种低能环境沉积;下部是河道砂岩和粉砂质页岩互层,该套地层表现为一个大规模海进过程,直到阿尔必阶结束,又开始了海相碳酸盐沉积, Sarvak 层就是在这种环境下沉积的。

Y 油田 Sarvak 组沉积于浅海碳酸盐岩斜坡环境^[1],将出现的岩相和标准微相进行比较,能够识别出潟湖、礁(浅滩)、开阔海 3 种沉积微相^[11],底部以泥灰岩为主,间或有泥质灰岩夹层;向上演变为浅黄色、块状白丕质灰岩,中间为很厚的棕褐色灰岩(有的含生物碎屑);上部岩相比较复杂,不同部位岩相不同:有泥粒灰岩、粒泥灰岩、粒屑灰岩等,反映了不同沉积环境。最上部是一个 1 m 左右的风化壳,发育碎裂的灰质角砾岩。 Sarvak 层以上还有 Ilam 和 Gurpi 两个层,都是大段的泥质灰岩,杂夹薄层泥页岩,反映了水体较深的海相沉积环境。

2 Sarvak 组储层特征

2.1 岩性类型及特征

Sarvak 组存在多种岩性类型,那么到底哪些岩石类型能够成为储层呢?通过对岩心描述资料分析发现,白丕质灰岩、颗粒灰岩(生屑)、云质灰岩这 3 种岩性往往物性较好,且含油性级别也较高,孔隙度通常大于 6%(图2),常伴有裂缝、溶蚀、缝合线,是储层的主要岩石类型。

其中,白丕质灰岩国内较少见,白丕是一种松散到固结的、多微孔的、细粒的碳酸盐岩,其基质和颗粒由钙质远洋浮游生物碎屑组成,最为富集的生物成分一般是颗石藻(单细胞藻类)和浮游有孔虫,其他种类远洋和底栖生物碎屑也常见。而薄片与电镜显示研究区 Sarvak 组白丕质灰岩中的白丕主要为浮游有孔虫(图3),颗石藻少见,有孔虫尺寸约为 10~600 μm ,通常小于 250 μm ,富含白丕(浮游有孔虫)的灰岩,孔隙较发育。

而泥质灰岩、泥灰岩(粒泥灰岩)、页状灰岩这些岩性往往显示物性差、颗粒较细、贫含油性特征,孔隙度一般小于 6%。

根据岩心描述可将含油级别划分为 6 个等级,分别为:不含油、贫含油、贫-中等含油、中等含油、中等-高含油、高含油。统计显示,一般岩石物性增加,含油级别也升高,因此将不含油、贫含油、贫-中等含油样品划分为无效样品,将中等含油及其以上含油级



图 2 伊朗 Zagros 盆地西南部白垩系 Sarvak 组储层岩性类型

Fig. 2 Reservoir lithological types of the Creataceous Sarvak Formation in the southwestern Zagros Basin

a. 白垩质灰岩(生屑粒泥/泥粒灰岩),K1 井,埋深 2 727.5 ~2 726.7 m,中等孔隙,细粒,缝合面;b. 灰岩(生屑粒泥/颗粒灰岩),K1 井,埋深 2 748.7 ~2 749.5 m,好孔隙,中粒,高含油性,缝合面;c. 云质灰岩(生屑粒泥/泥粒/颗粒灰岩),K1 井,埋深 2 977.2 ~2 778.05 m,好孔隙,中-粗粒,缝合面、裂缝

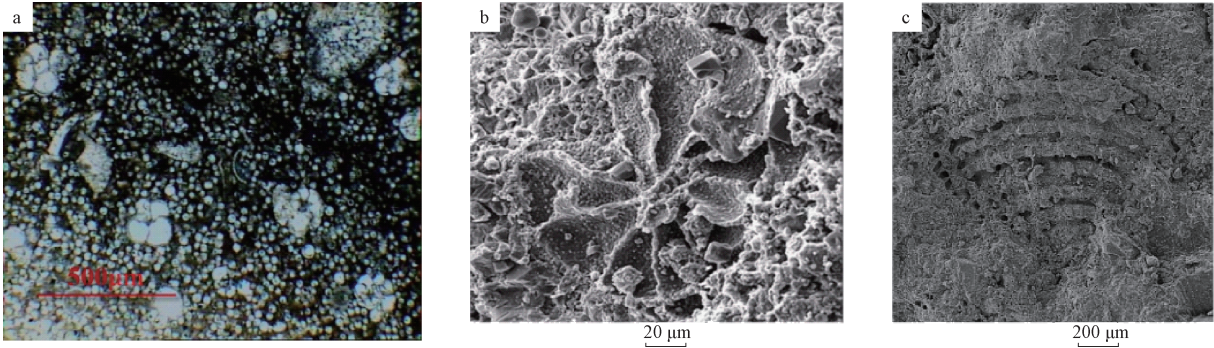


图 3 伊朗 Zagros 盆地西南部白垩系 Sarvak 组白垩质灰岩(含白垩,具白垩状结构的孔隙灰岩)

Fig. 3 Chalky limestone(porous limestone containing chalk and chalk structure) of the Creataceous Sarvak Formation in the southwestern Zagros Basin

a. H1 井,埋深 3 364 m,单偏光显微镜;b. A1 井,埋深 2 962.12 m,扫描电镜;c. A1 井,埋深 2 977.83 m,扫描电镜

别的样品划分为有效样品。同时将有效样品中的中等含油样品划分为有效样品Ⅱ,将中等-高含油、高含油样品划分为有效样品Ⅰ(表 1)。

有效和无效样品分别有各自的孔隙度、渗透率分布范围,将有效样品从低孔隙间隔到高孔隙间隔进行正统计;将无效样品从高孔隙间隔到低孔隙间隔进行逆统计。一般认为两条累积百分曲线的交点对应的物性值就是判断有效储层和无效储层的界限值^[12]。通过将无效样品、有效样品(Ⅰ、Ⅱ)的物性数据进行正、逆统计分析,可得到有效储层的物性下限及Ⅰ类、Ⅱ类储层的界限值,有效储层的物性下限为:孔隙度为 6%,渗透率为 $0.25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,Ⅰ类、Ⅱ类储层的界限值为:孔隙度为 12%,渗透率为 $1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

将不同物性对应的不同岩性类型数据点进行交会统计,可看出Ⅰ类储层以颗粒灰岩、有 Δ 作用的泥粒灰岩为主;Ⅱ类储层以泥粒灰岩(有或无 Δ 结构)为主

表 1 伊朗 Zagros 盆地西南部白垩系 Sarvak 组有效、无效样品划分

Table 1 Classification of effective and ineffective samples of the Creataceous Sarvak Formation in the southwestern Zagros Basin

不含油		无效样品
贫含油		无效样品
贫-中等含油		无效样品
中等含油		有效样品Ⅱ
中等-高含油		有效样品Ⅰ
高含油		有效样品Ⅰ

(图 4)(Δ 作用:白垩状结构、厚壳蛤类、生物扰动、白云化)。

2.2 物性特征

Sarvak 组的储集空间类型多样(图 5),包括原生组构选择性孔隙(粒间孔、粒内孔)、次生组构选择性孔隙(晶间孔、铸模孔)、次生非组构选择性孔隙(溶蚀孔、裂缝(张开缝、充填缝)),但主要为次生溶蚀孔、铸模孔;Sarvak 组孔隙度主要分布于 3% ~ 12%,平均为 10%,渗透率主要分布于 $(0.1 \sim 15) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $4.23 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,表现为中低孔、低渗透特征;裂隙样品渗透率偏高、孔渗相关性较低,裂隙对储层的渗透性改善起着重要作用。

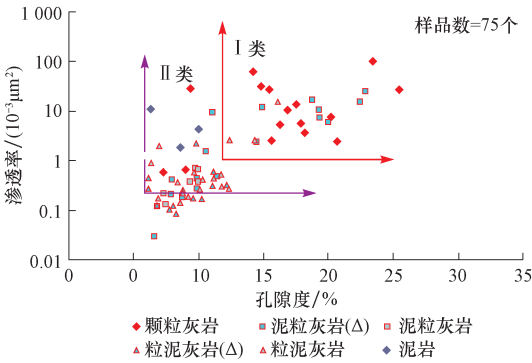


图 4 伊朗 Zagros 盆地西南部白垩系 Sarvak 组Ⅰ类、Ⅱ类储层岩性类型

Fig. 4 Lithological types of type-Ⅰ and Ⅱ reservoirs of the Creataceous Sarvak Formation in the southwestern Zagros Basin

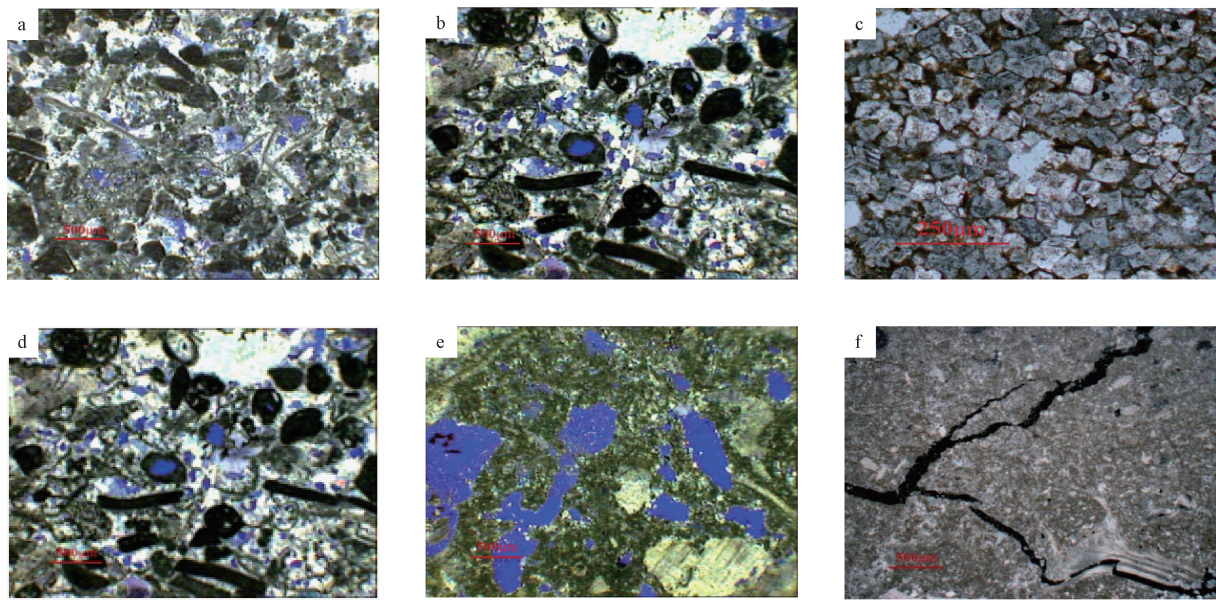


图 5 伊朗 Zagros 盆地西南部白垩系 Sarvak 组储集空间类型

Fig. 5 Types of reservoir space of the Cretaceous Sarvak Formation in the southwestern Zagros Basin

a. 粒间孔,生屑颗粒灰岩,K1 井,埋深 2 793. 35 m,正交光;b. 粒内孔,生屑颗粒灰岩,K1 井,埋深 2 801. 85 m,正交光;c. 晶间孔,K1 井,埋深 2 965. 15 m,正交光;d. 铸模孔,K1 井,埋深 2 913. 45 m,正交光 e. 溶蚀孔,K1 井,埋深 2 748. 9 m,正交光;f. 裂缝,K1 井,埋深 2906. 75m,正交光

2.3 含油性特征

Sarvak 组储层孔隙度高的样品,含油性较好,通常为中等 – 高含油,而物性差的样品,岩石致密,一般表现为贫含油。表明储层物性增加,一般含油性级别也升高;Sarvak 油层原油为重质油,平均粘度为 3. 96 mPa · S,具有高粘度、低凝固点、含硫高的特点。

2.4 低电阻率特征

Sarvak 组地层水矿化度较高,一般超过 240 000 mg/L,使得油层电阻率较低,尤其是靠近水层的油层电阻率

低于 2. 5 Ω · m,但通常低阻油层仍然大于 RFT 测试为水层的电阻率,因此,流体性质识别难度较国内低阻油层要小。

3 储层物性演化及控制因素

以关键井 K1 井为例,统计 Sarvak 组每一小层的加权孔隙度(图 6a)、储层厚度(图 6b),可以看出,S4, S6 和 S7 层的孔隙度较高, S2, S4, S6 和 S7 层储层厚度较厚,其中 S6 和 S7 层一般为水层, S4 层电成像测井图像显示孔隙较发育,溶蚀现象比较明显。

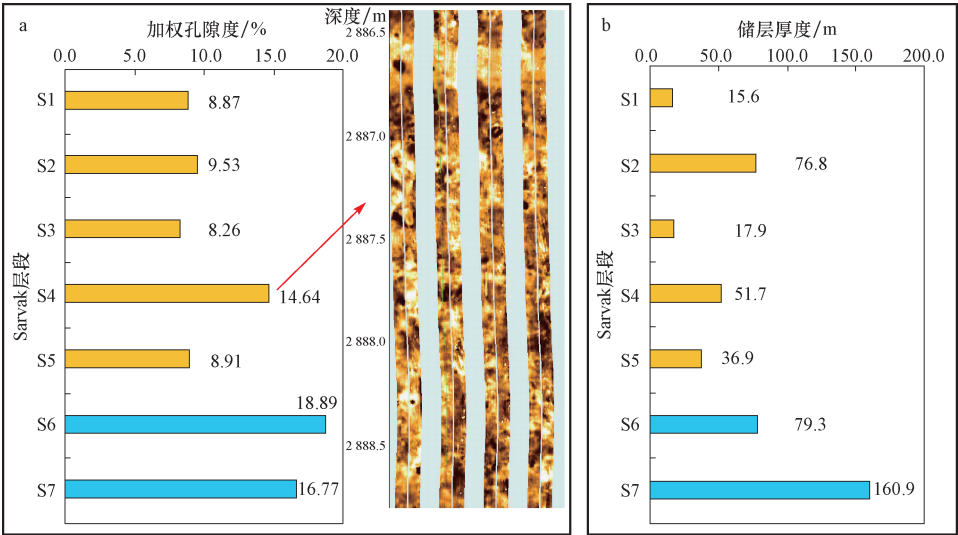


图 6 伊朗 Zagros 盆地西南部白垩系 Sarvak 组 K1 井 Sarvak 小层孔隙度演化(a)与储层厚度变化 (b)

Fig. 6 Porosity evolution(a)and reservoir thickness variation(b)of the Sarvak sub-layer in Well K1 of the Cretaceous Sarvak Formation in the southwestern Zagros Basin

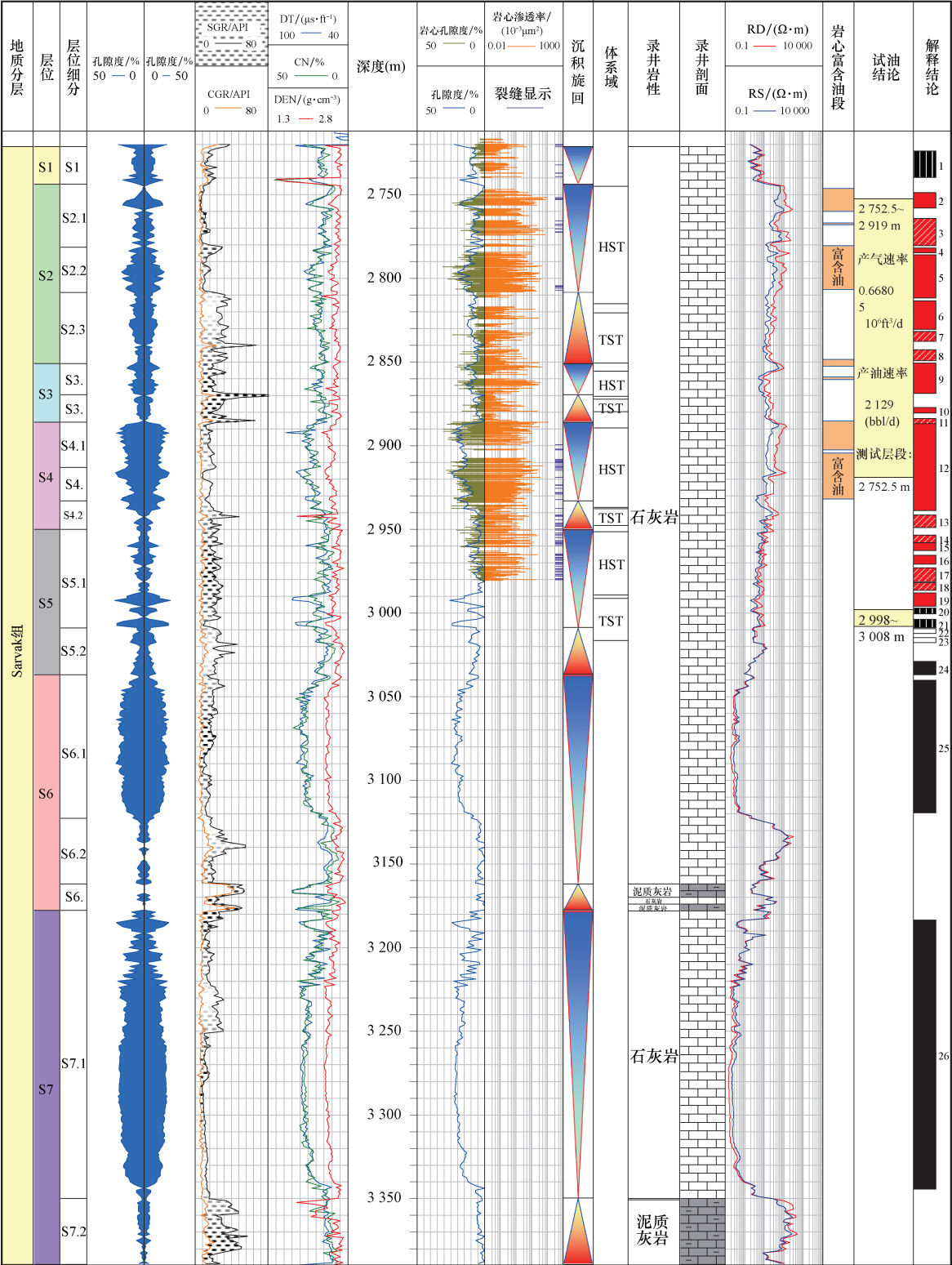


图 7 伊朗 Zagros 盆地西南部白垩系 Sarvak 组 K1 井 Sarvak 组储层物性演化

Fig. 7 Reservoir physical property evolution of the Sarvak sub-layer in Well K1 of the Cretaceous Sarvak Formation in the southwestern Zagros Basin

图 7 中,将测井曲线、岩心物性分析数据、测井计算孔隙度曲线、基准面旋回、试油及测井解释结论信息综合起来分析,可以明显看出,从下到上 S7.1 中下部、S6.1, S4 和 S2.2 层段物性较好,测井曲线特征表现为:“两低、两高、一差异”,即 GR 或 CGR 和 DEN 低

值, CNL 和 AC 较高, 深浅电阻率存在差异, 通常油层电阻率为正差异、水层为负差异或不明显, 三孔隙度曲线呈明显的“U”型特征; 岩心物性分析测试数据也显示, S4 和 S2.2 层段的物性较好, 其中 S4 段的裂缝较发育。将孔、渗曲线与 Dunham 分类的岩性剖面对比,

显示物性发育的层段岩性主要为颗粒灰岩,少量为泥粒灰岩、粒泥灰岩,表明颗粒灰岩的物性最好。

通过测井物性解释模型计算孔隙度参数,将计算的孔隙度曲线镜像化(图 7),可直观地反映出 S7.1 中下部和 S6.1, S4, S2.2 层段的物性较好,整体物性自下而上先增加后降低。从成岩作用角度分析, Sarvak 组储层成岩作用类型有压实作用、胶结作用、白云石化作用、生物扰动、微晶化、黄铁矿化及压溶缝合作用。成岩作用对物性影响较大,有建设或破坏性作用^[13-14]。对比物性曲线(包括物性分析数据)、岩性剖面及成岩作用特征,表明 Sarvak 组对储层物性起建设性改造的有溶蚀作用和白云化作用、生物扰动及压溶产生的缝合线、缝合面作用,泥粒灰岩、粒泥灰岩在这些成岩作用的影响下,物性有较大改善,而胶结作用使物性变差。

此外, Sarvak 组储层厚度、物性平面分布显示构造高部位储层物性较好、I 类和 II 类储层厚度较大,这为从平面上寻找高产储层提供了依据,但忽略了小层物性的变化情况,优质储层到底分布在哪些层位? 还需要再分析 Sarvak 组各小层物性的演化情况。

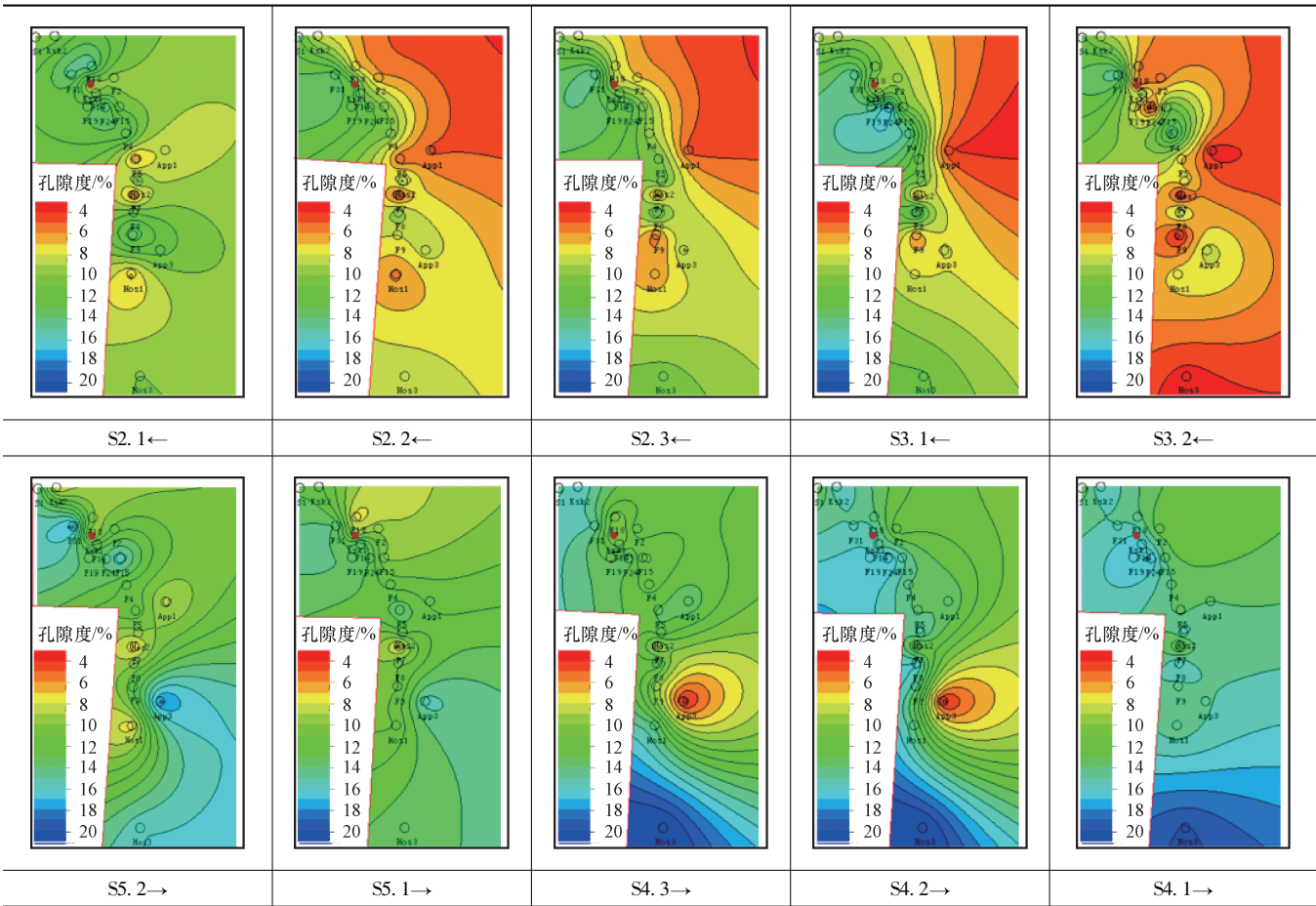
Sarvak 组划分为 7 大类、16 个小层,根据 RFT 测试资料分析^[15-17], Sarvak 组为正常压力系统,油藏类型为分层性底水块状油藏。同时 RFT 压力测试分析与测井解释相结合进行流体性质解释显示, S6 和 S7 层段储层为水层,而 S2, S3, S4 和 S5 层段储层主要为油层,油层以中低孔、低渗透储层为主,因此重点分析这 4 个层位的物性变化情况。

小层平面孔隙发育微观上主要受控于岩相、成岩作用,而宏观上主要受控于沉积微相及构造位置因素,位于构造高部位的台地浅滩微相往往物性较高,在表 2 中,整体上看 S5.2, S4.2, S4.1, S3.1 和 S2.1 在 K 区和 H 区发育优质储层,是进一步寻找高产储层的有利层位。

4 结论

1) 伊朗 Zagros 盆地西南部 Sarvak 组孔隙型灰岩储层表现为中低孔、低渗透特征,存在少量裂隙,储层岩性类型有白垩质灰岩、云质灰岩、颗粒灰岩,其中颗粒灰岩的物性最好,储集空间类型多样,主要为次生溶孔、铸模

表 2 伊朗 Zagros 盆地西南部白垩系 Sarvak 组小层孔隙垂向演化
Table 2 Vertical variation of porosity of the Sarvak sub-layer of the Cretaceous Sarvak Formation in the southwestern Zagros Basin



注:表中的箭头表示从 S5.2 开始一直到 S2.1 的各小层。

孔,一般物性增加,含油性级别也升高。白垩质灰岩国内较少见,白垩质主要为浮游有孔虫,颗石藻较少出现,富含白垩(浮游有孔虫)的灰岩,孔隙较发育。

2) 成岩作用对 Sarvak 组储层物性影响也较大,起建设性改造的成岩作用有溶蚀作用、白云石化作用、生物扰动及压溶产生的缝合线、缝合面作用,泥粒灰岩、粒泥灰岩在这些成岩作用的影响下,物性有较大改善,而胶结作用使物性变差。

3) Sarvak 组储层测井响应模式为“两低、两高、一差异”,即 GR 和 DEN 低值,CNL 和 AC 高,深浅电阻率有差异,三孔隙度曲线显示“U”型特征;垂向上,储层孔隙发育主要受控于岩相、成岩作用,平面上还和构造位置及沉积环境(沉积微相)有关,位于构造高部位的台地浅滩微相往往物性较高,整体上看 S5. 2, S4. 2, S4. 1, S3. 1 和 S2. 1 在研究区发育优质储层,为进一步寻找高产储层提供了依据。

致谢:本文完成过程中,西南石油大学地球科学与技术学院陶艳忠老师在电镜照片解释方面给予了很多帮助,在此表示感谢!

参 考 文 献

- [1] 徐德军,张文才,杜秀娟,等. 伊朗扎格罗斯盆地白垩质灰岩储层特征及开发意义[J]. 石油实验地质, 2010, 32(1): 15-18, 23.
Xu Dejun, Zhang Wencai, Du Xiujian, et al. Reservoir characteristics and development suggestion of chalky limestone in the Zagros Basin, Iran[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(1): 15-18, 23.
- [2] 谭学群,廉培庆,邱茂君,等. 基于岩石类型约束的碳酸盐岩油藏地质建模方法—以扎格罗斯盆地碳酸盐岩油藏 A 为例[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(4): 558-563.
Tan Xuequn, Lian Peiqing, Qiu Maojun, et al. Rock type-constrained geological modeling of carbonate reservoirs: a case study of carbonate reservoir A in the Zagros Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 558-563.
- [3] Ali A T, Atle M, Mohammad A E. Sequence stratigraphically controlled diagenesis governs reservoir quality in the carbonate Dehluran Field, southwest Iran[J]. Petroleum Geoscience, 2006, 3(3): 256-262.
- [4] Hajikazemi E, Al-Aasm I S, Coniglio M. Chemostratigraphy of Cenomanian-Turonian carbonates of the Sarvak Formation, Southern Iran[J]. Journal of Petroleum Geology, 2012, 35(2): 187-205.
- [5] Taghavi A A, Mork A, Kazemzadeh E. Flow unit classification for geological modeling of a heterogeneous carbonate reservoir: Cretaceous Sarvak Formation, Dehluran Field, SW Iran[J]. Journal of Petroleum Geology, 2007, 30(2): 129-146.
- [6] Rahimpour-Bonab H, Mehrabi H, Navidtalab A, et al. Flow unit distribution and reservoir modeling in cretaceous carbonates of the Sarvak Formation, Abteymour Oilfield, Dezful Embayment, SW Iran[J]. Journal of Petroleum Geology, 2012, 35(3): 213-236.
- [7] Fegghi A, habibnia B, Bakhtiar H A. Sedimentological studies and reservoir potential of the Fahliyan Formation in the Marun Oil Field, North Dezful Embayment, Zagros Basin, Southwest Iran[J]. Petroleum Science and Technology, 2012, 30(12): 1262-1273.
- [8] Maryam J, Mohammad H Adabi M R, et al. Facies characteristic and paleoenvironmental reconstruction of the Fahliyan Formation, Lower Cretaceous, in the Kuh-e Siah area, Zagros Basin, Southern Iran[J]. Facies, 2011, 57(1): 1262-1273.
- [9] 张涛, 郭兴威, 竺知新, 等. 白垩储层: 一种特殊的碳酸盐岩储层类型—以叙利亚 Tishrine 油田为例[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(5): 720-729.
Zhang Tao, Wu Xingwei, Zhu Zhixin, et al. Characterization of chalk reservoirs: an example from Tishrine oilfield, Syria[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(5): 720-729.
- [10] 白国平. 中东油气区油气地质特征(国外含油气盆地研究系列丛书—亚洲卷)[M]. 中国石化出版社, 2007: 25-26.
Bai Guoping. The oil and gas geological characteristics of Middle East (overseas oil and gas basin research series books-Asia) [M]. China Petroleum Press, 2007: 25-26.
- [11] Internal data. Yadavaran full field study reservoir characterization-geological report[C]. PEDEC. 6-7.
- [12] 刘吉余, 徐浩. 正逆累积法和分布函数法在研制储层电性标准中的应用[J]. 地球物理学进展, 2010, 25(3): 871-876.
Liu Jiyu, Xu Hao. Application of the positive and negative cumulation method and the distributing function methods to research the electric standard of reservoir[J]. Progress in Geophysics, 2010, 25(3): 871-876.
- [13] 王瑞飞, 孙卫. 储层沉积—成岩过程中物性演化的主控因素[J]. 矿物学报, 2009, 29(3): 399-404.
Wang Ruifei, Sun Wei. Main factors controlling the evolution of physical properties during the process of reservoir sediment-diagenesis[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2009, 29(3): 399-404.
- [14] 王瑞, 朱筱敏, 陈辉菲, 等. 滨里海盆地肯基亚克地区中、下石炭统碳酸盐岩储层特征与成岩作用[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 225-235.
Wang Rui, Zhu Xiaomin, Chen Yefei, et al. Diagenesis and reservoir characteristics of the Lower-Middle Carboniferous carbonates in Kenkyak area, Pre-Caspian Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2): 226-235.
- [15] 毛伟, 余碧君, 张庆茹, 等. 地层测试压力恢复资料解释新方法[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(1): 62-64.
Mao Wei, Yu Bijun, Zhang Qingru, et al. A new method for interpreting pressure buildup data from DST[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(1): 62-64.
- [16] Hammond P S, Pop J J. Correcting supercharging in formation-pressure measurements made while drilling[J]. SPE 95710, 2005.
- [17] 王昌学, 曹文利, 王向荣. 电缆地层测试压力梯度的计算与应用[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(4): 476-481.
Wang Changxue, Cao Wenli, Wang Xiangrong. Pressure gradient computation and application of wireline formation tester[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(4): 476-481.

(编辑 张亚雄)