

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2020061203

# 东海陆架盆地 N 气田花港组储层特征及分类评价

王猛, 刘志杰, 杨玉卿, 张志强

中海油田服务股份有限公司油田技术事业部, 廊坊 065201

**摘要:** 东海陆架盆地西湖凹陷古近系花港组储层为典型的低孔、低渗储层。基于大量岩心物性、粒度、薄片、压汞等资料, 对 N 气田目的层储层岩性、物性和孔隙结构特征进行精细评价。结果表明: N 气田花港组储层岩性以细砂岩为主, 矿物成分构成稳定, 以石英为主, 黏土含量低, 岩性较纯; 随着埋藏变深, 孔隙变差, 粒间孔减少, 溶蚀孔增加, 孔喉半径减小, 连通性变差; 局部发育砂砾岩, 且渗透率大于细砂岩一个数量级以上, 可作为甜点储层开发。基于实验和试油资料统计结果, 建立了一套适用于花港组储层的综合分类评价标准, 包含孔隙度、渗透率、饱和度和地质特征 4 类储层重要参数, 分类结果特征鲜明, 分类依据科学可靠, 为该区域低孔、低渗储层勘探开发提供依据。

**关键词:** 低孔低渗; 孔隙结构; 储层分类; 东海盆地; 花港组

中图分类号: P744

文献标识码: A

## Characteristics and classification of the Paleogene reservoirs in Huagang Formation of Gas Field N, East China Sea Basin

WANG Meng, LIU Zhijie, YANG Yuqing, ZHANG Zhiqiang

Well-Tech Department of China Oilfield Services Limited, Langfang 065201, China

**Abstract:** The Paleogene Huagang Formation in the N gas field of Xihu Sag in the East China Sea Basin is a typical tight reservoir of low-porosity and low-permeability. Based on a large number of testing data for core property, particle size, thin section and mercury testing, the lithology, physical properties and pore structures of the reservoirs in the gas field N are carefully studied in this paper. The Huagang Formation is dominated by fine quartz sandstone with little clay. With the increase in burial depth, the intergranular pores decrease, the dissolution pores increase, and the porosity becomes worse in general, as the pore throat diameter is reduced and the connectivity deteriorated. Glutenite sometimes occurs locally, the permeability of which is more than one order higher than that of the fine sandstone, and thus becomes sweet areas for oil production. Based on the statistical results of testing data, a comprehensive evaluation standard specially applicable to the Huagang reservoir is established, which contains four important reservoir parameters, namely porosity, permeability, saturation and geological features. The classification results are distinctive and reliable. Facts prove that it is an effective tool for exploration and development of tight low-porosity and low-permeability reservoirs in the region.

**Key words:** low-porosity and low-permeability reservoirs; pore structure characteristics; reservoir classification; the East China Sea Basin; Huagang Formation

随着油气田勘探开发的逐渐深入, 常规油气资源已不断枯竭, 低孔、低渗储层, 致密气和煤层气等非常规资源的开发已越来越受到重视<sup>[1-2]</sup>。目前, 中国已探明储量几乎有一半是在低孔、低渗储层中, 显示出巨大的勘探开发潜力。东海陆架盆地西湖凹陷经过多年的勘探, 已发现多个油气田和含油气构造, 其中的主力储层花港组和平湖组就是较为典型的低孔、低渗储层<sup>[3-5]</sup>。

在低孔、低渗储层的综合评价中, 分类评价是最有效的评价方法之一, 因此, 建立适用于某个区域、能够广泛适用并科学有效的分类标准至关重要。专家学者在低孔、低渗储层的分类方面做了大量研究, 杨玉卿等对渤海湾盆地沙河街组低孔、低渗储层从宏观成因、微观孔隙结构和综合评价 3 个方面进行评价和分类<sup>[6]</sup>; 赵靖舟等结合孔隙结构、物性和油藏厚度等划分标准, 将鄂尔多斯盆地延长组

资助项目: “十三五”国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发: 超低渗地层测试技术与装备”(2017ZX05019-004)

作者简介: 王猛(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事测井及地质资料的综合解释评价与研究, E-mail: wangmeng10@cosl.com.cn

收稿日期: 2020-06-12; 改回日期: 2020-07-27. 周立君编辑

低渗透砂岩储层分为四大类和两个亚类<sup>[7]</sup>; 孙建孟等在岩心分析实验的基础上, 对某区块低孔渗储层提出孔渗关系图谱的方法进行分类评价, 为低孔渗储层评价方法提供了参考<sup>[8]</sup>。但是目前还没有一套适用性强、针对西湖凹陷低孔低渗储层的分类标准。

本文以东海陆架盆地西湖凹陷花港组低孔、低渗储层为研究对象, 结合大量粒度、薄片和压汞等实验分析资料, 对储层岩性、物性、孔隙结构和储层综合分类评价方法进行研究, 提出一套适用于西湖凹陷的储层级别划分标准, 为该区域低孔、低渗储层进一步勘探开发提供依据。

## 1 地质概况

东海陆架盆地发育于东海大陆架之上, 是一个复合型沉积盆地, 总体地质构造格架表现为东西分带、南北分块的特征<sup>[9]</sup>。西湖凹陷位于东海陆架盆地东部坳陷的中部, 面积为 4.27 万 km<sup>2</sup>, 分为 5 个二级构造带, 由西向东分别为西部斜坡带、西次凹、中央翻转带、东次凹和东部断阶带<sup>[10]</sup>。西湖凹陷是一个以新生代充填为主的沉积凹陷, 主要地层层序自下而上分别为古近系宝源组、平湖组和花港组, 新近系龙井组和玉泉组, 主要烃源岩为始新统平湖组泥岩和煤层<sup>[11-15]</sup>。

西湖凹陷中央反转构造带及西次凹以花港组为主力含油气储层, 沉积背景为辫状河三角洲水下分流河道, 部分井揭露平湖组顶部。本次研究以中央反转构造带 N 气田古近系花港组储层为研究对象。该构造带花港组厚度能达到 1.5 km, 储层埋深大于 3.5 km, 为中深储层<sup>[8,16]</sup>, 根据沉积环境及储层发育特征, 花港组自上而下分为 12 个层系, 记为 H<sub>1</sub>—H<sub>12</sub>, 以 H<sub>5</sub> 底部为界, 分为上段(H<sub>上</sub>)和下段(H<sub>下</sub>), 众多学者开展了花港组储层沉积地层学研究<sup>[17-20]</sup>。花港组上段岩性主要为褐灰色和灰色泥岩、粉砂质泥岩与浅灰色泥质粉砂岩、粉砂岩、粉细砂岩、细砂岩, 上部以泥夹砂或砂、泥互层为特征, 下部以砂夹泥为特征, 顶部发育棕红色、紫红色、棕黄色等杂色泥岩; 花港组下段岩性主要为灰色和深灰色粉砂质泥岩、泥岩, 灰白色和浅灰色泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩、含砾砂岩、砂砾岩等, 夹薄煤层及煤线, 总体上呈现出砂夹泥的特征, 局部砂泥互层。

## 2 储层岩石学及储集特征

储层的岩石学特征和储集特征是储层精细评

价的关键, 包括储层岩性、物性、微观孔隙结构等特征的分析。通过统计和分析储层的岩石学特征和储集特征, 为储层精细评价和分类, 以及储层参数精细建模和流体性质识别奠定基础。

### 2.1 岩石学特征

#### (1) 岩性

N 气田主力储层为花港组, 如图 1 所示, 通过统计构造内 5 口井 1347 块岩心和井壁心样品的岩性描述信息, 花港组储层岩性主要为细砂岩, 占比 85.6%, 局部发育中砂岩、粗砂岩、砂砾岩等岩性较粗的储层(图 1a); 由 X 衍射实验资料可知, 黏土矿物以绿泥石为主, 其次为伊利石和伊蒙混层, 高岭石含量较少(图 1b)。

#### (2) 泥质含量

通过粒度分析资料可以获得泥质体积(sh), 如式(1)所示, 其是由细粉砂体积(si)和湿黏土体积(clay)组成, 则岩石泥质含量(V<sub>sh</sub>)由式(2)计算:

$$sh = si + clay \quad (1)$$

$$V_{sh} = (V_{si} + V_{clay}) \times \frac{100 - \phi}{100} \quad (2)$$

式中: V<sub>si</sub>—粒度分析实验细粉砂含量, %; V<sub>clay</sub>—粒度分析实验湿黏土含量, %;  $\phi$ —岩石孔隙度, %。

如图 1c 和图 1d 泥质含量统计结果可知, 花港组储层泥质含量较小, 普遍小于 20%, 上段主要集中在 14% 以下, 下段集中在 6% 以下, 上段泥质含量普遍大于下段, 即随着埋藏变深, 花港组储层泥质含量有减小趋势。

#### (3) 矿物组成

基于 N 气田 494 个样品的薄片鉴定结果可知(表 1), 花港组上、下段岩石矿物组成接近, 矿物以石英、长石为主, 平均石英含量大于 63%, 平均长石含量大于 23%, 胶结物含量低, 矿物成分构成稳定, 成熟度一致, 黏土含量低, 岩性较纯。

### 2.2 物性特征

N 气田钻遇花港组储层多, 钻井取心多, 分析化验资料丰富, 分上、下段统计储层物性, 绘制不同岩性孔渗关系图(图 2)。由图中 1347 个岩心样品的统计结果可知, 花港组储层孔隙度分布于 1.9%~12%, 平均孔隙度 7.78%, 其中有 98.2% 岩心的孔隙度都小于 10%; 渗透率变化范围大, 分布于 0.014~366 mD, 平均为 1.35 mD, 其中 96.7% 岩心的渗透率小于 10 mD, 总体属于典型的低孔、低渗型储层。对比上、下段物性特征, 花港组上段孔隙度

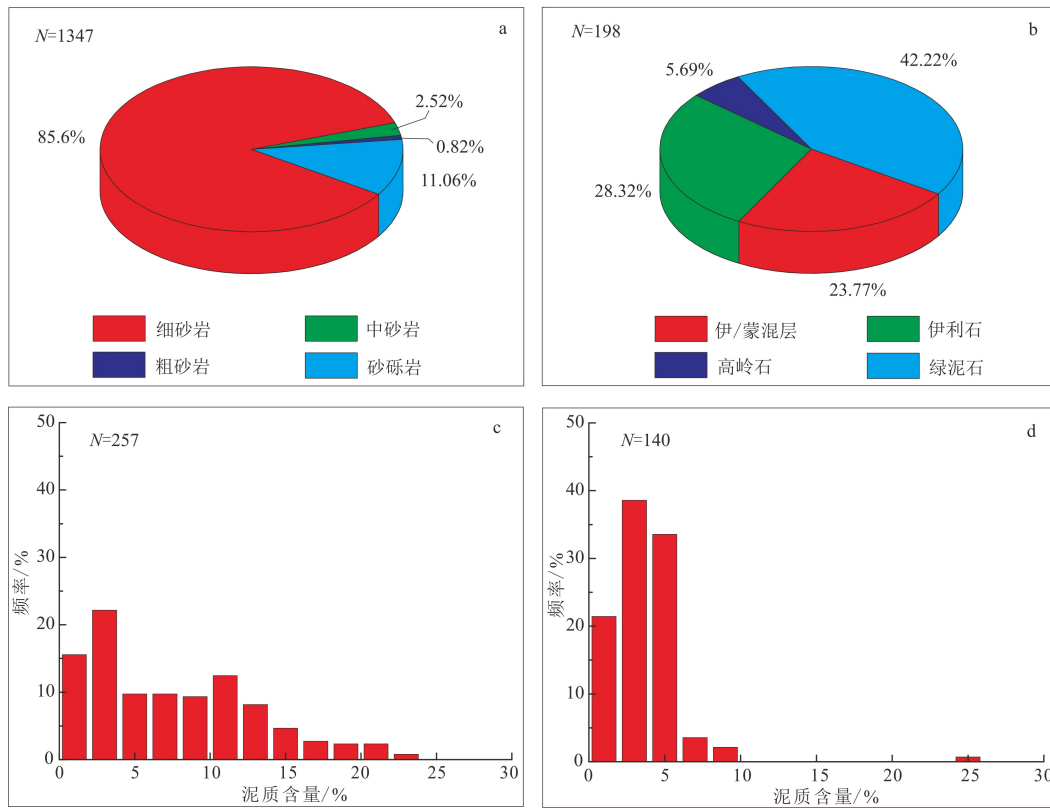


图1 N气田花港组储层岩性特征统计

a. 岩性占比, b. 黏土含量占比, c. 上段泥质含量, d. 下段泥质含量。

Fig.1 Lithological characters of Huagang reservoirs in the gas field N

a. lithological composition, b. clay proportion, c. mud content of Upper Formation, d. mud content of lower Formation.

表1 N气田花港组储层矿物成分统计

Table 1 Mineral composition of Huagang reservoir in gas field N

%

层位	石英	长石			岩屑			胶结物		
		钾长石	斜长石	火成岩	变质岩	沉积岩	方解石	白云石	黏土	其他
花港组上段	64.15	7.79	10.05	6.70	8.17	3.02	1.34	0.23	6.49	1.01
花港组下段	63.60	7.74	9.52	6.79	9.19	3.16	2.24	0.44	7.06	0.93

分布于2.3%~11.7%,平均孔隙度8.34%(图2a);花港组下段孔隙度分布于1.9%~12%,平均孔隙度7.23%(图2b);不难看出,虽然总体差异不大,但上段物性总体上略比下段好。

由图2分析可知,花港组储层孔渗关系复杂,相近孔隙度的岩心渗透率差别可达到两个数量级以上,其中砂砾岩储层渗透率普遍大于中砂岩一个数量级,而中砂岩渗透率普遍大于细砂岩一个数量级,含砾的细砂岩渗透率也明显大于细砂岩,甚至高出一个数量级以上。基于以上分析,花港组储层属于典型的低孔、低渗型储层,储层埋藏相对较深,储层物性相对较差,但局部仍发育甜点储层,其中含砾砂岩或者砂砾岩储层段渗透性明显好于其他

储层,是花岗组储层的甜点。

### 2.3 孔隙结构特征

N气田主力储层为H<sub>3</sub>、H<sub>5</sub>、H<sub>8</sub>储层,分析了5口井573块样品铸体薄片照片。H<sub>3</sub>段储层样品显示孔隙发育一般,溶蚀现象普遍,孔隙以原生粒间孔、粒间溶孔为主,面孔率4.92%,主要喉道是可变断面的收缩部分,孔隙连通性一般,颗粒接触方式为点线接触(图3a)。H<sub>5</sub>段储层样品显示孔隙发育较差,溶蚀现象普遍,岩屑及长石溶蚀常见,孔隙连通性差,孔隙以粒内溶孔、粒间溶孔为主,面孔率4.08%,颗粒接触方式主要为线接触(图3b);H<sub>8</sub>段储层样品显示孔隙发育较差,分布不匀,常见孔隙



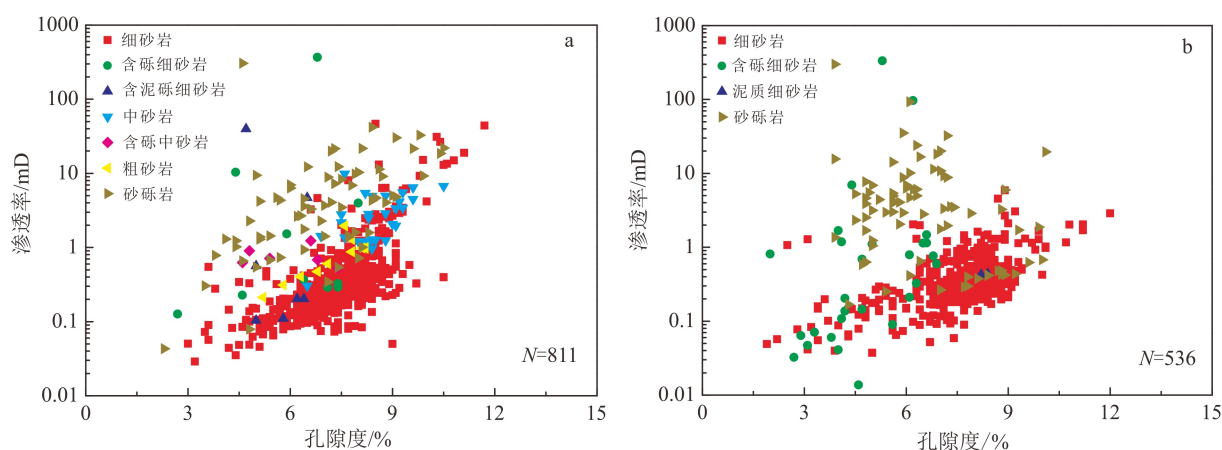


图 2 N 气田花港组储层孔渗交会图

a. 上段, b. 下段。

Fig.2 The cross plots of porosity and permeability in Huagang reservoir of gas field N

a. Upper Formation, d. Lower Formation.

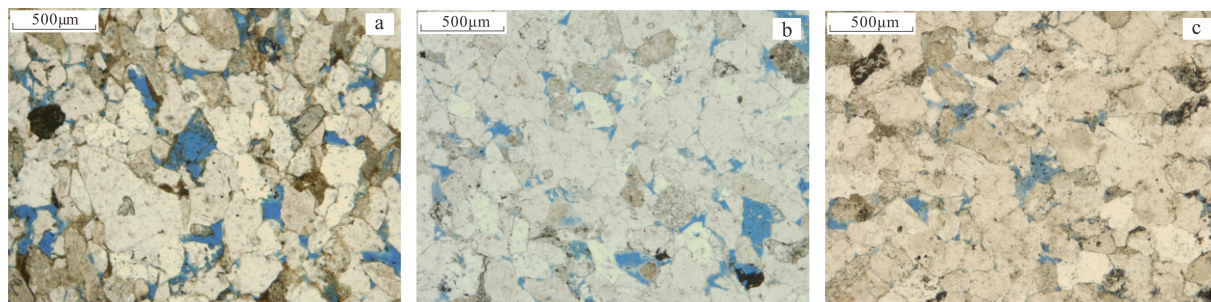


图 3 N 气田花港组储层铸体薄片

a.H<sub>3</sub>段(4 297.0 m), b.H<sub>5</sub>段(4 607.1 m), c.H<sub>8</sub>段(5 119.1 m)。

Fig.3 The microscopic characteristics of Huagang main reservoir in gas field N

a. layer H<sub>3</sub>(4 297.0 m), b. layer H<sub>5</sub>(4 607.1 m), c. layer H<sub>8</sub>(5 119.1 m).

欠发育, 孔隙连通差, 溶蚀现象普遍, 岩屑及长石溶蚀常见, 孔隙以粒内溶孔、粒间溶孔为主, 面孔率 2.13%, 颗粒接触方式主要为凹凸线接触(图 3c)。

综合大量铸体薄片实验的分析结果, 花港组储层孔隙结构具有以下特点: 孔隙发育总体较差, 随着埋藏变深孔隙逐渐变差, 粒间孔减少, 溶蚀孔逐渐成为主要孔隙类型, 孔喉半径减小, 连通性变差。

### 3 储层分类评价

本文综合上述储层岩石学特征和储集特征的研究成果, 结合国家能源局发布的石油天然气行业标准《致密砂岩气地质评价方法》<sup>[21]</sup>, 以及国土资源部发布的地质矿产行业标准《海上石油天然气储量计算规范》<sup>[22]</sup>, 研究西湖凹陷低孔、低渗储层地质特征, 优选储层敏感参数, 依据大量岩心分析实验统计结果, 建立适用于西湖凹陷花港组储层综合分类

标准(表 2)。在分类标准中, 总共优选 4 种储层特征参数, 包括孔隙度、渗透率、饱和度参数和储层地质特征, 建立的储层分类结果特征鲜明, 分类依据科学可靠, 为西湖凹陷储层级别的划分研究提供了有利依据。

在建立的西湖凹陷花港组储层分类标准中, 将空气渗透率 > 10 mD 作为 I 类储层, 对应行业标准中的中渗及以上的储层; 空气渗透率 1~10 mD 的储层作为 II 类储层, 对应行业标准中的低渗储层; 空气渗透率 < 1 mD 的储层作为 III 类和 IV 类储层, 对应行业标准中的特低渗储层。

参照致密砂岩气地质评价方法行业标准, 对于覆压基质渗透率小于或等于 0.1 mD 的砂岩气层, 单井一般无自然产能或自然产能低于工业气流下限, 但在一定经济条件及技术措施下可获得工业天然气产量, 据此可建立储层分类界限。基于西湖凹陷 96 颗岩心覆压渗透率和常压空气渗透率实验及转

表2 东海盆地N气田古近系花港组低渗储层分类标准

Table 2 The classification standard of Huangang low porosity and low permeability reservoir in gas field N of East China Sea Basin

储层分类		I (中高渗)	II (低渗)	III <sub>1</sub> (特低渗)	III <sub>2</sub> (特低渗)	IV (超低渗)
渗透率	空气渗透率/mD	>10	10~1	1~0.5	0.5~0.2	<0.2
	覆压渗透率/mD	>7	7~0.24	0.25~0.1	0.1~0.026	<0.026
孔隙度	总孔隙度/%	>15	15~10		10~6	<6
	可动孔隙度/%	>12	12~8		8~4	<4
饱和度	束缚水饱和度/%	<35	35~50		50~65	>65
地质特征	分选	中、中-差	中-差、差	差	差	差
	接触方式	点、点-线	点-线、线	线-点、线	线-点、凹凸-线	线、凹凸-线
	孔隙类型	原生粒间孔 少量粒间溶孔	原生粒间孔 粒间溶孔	大量粒间溶孔 粒内溶孔 少量原生粒间孔	大量粒间溶孔 粒内溶孔 铸模孔	粒间溶孔 粒内溶孔
	岩性	中砂岩 砂砾岩	砂砾岩 含砾砂岩	细砂岩 含砾砂岩	细砂岩 粉砂岩	粉砂岩 细粉砂岩

换关系,在覆压渗透率小于0.1 mD时,对应空气渗透率小于0.5 mD的储层属于致密范畴,因此,在Ⅲ类特低渗储层中以空气渗透率0.5 mD为界,将储层分为Ⅲ<sub>1</sub>和Ⅲ<sub>2</sub>两类;进一步按照现场生产数据的统计认识,将空气渗透率<0.2 mD储层定为Ⅳ类超低渗储层,可以认为是储层改造的极限值,低于该值即使改造也很难获得良好的产能。依据制定的储层分类标准,在实际生产中认为Ⅰ类和Ⅱ类储层有自然产能;Ⅲ类储层需进行储层压裂改造;Ⅳ类储层即使进行储层改造产能也较差。

## 4 应用实例

应用以上储层评价和综合分类方法对西湖凹陷花港组储层进行分类。如图4所示为西湖凹陷某井H<sub>8</sub>段储层综合分类效果图。该段储层厚31 m,录井显示为细砂岩,局部含薄泥质夹层,井径曲线稳定,井况良好,因此测井曲线可靠。根据测井资料常规处理解释方法计算储层参数,计算结果与岩心分析结果对比良好,验证了处理结果的准确性。根据常规曲线特征及录井资料划分储层,结合自然伽马、电阻率、中子密度交汇特征及计算储层孔隙度、渗透率、泥质含量和含水饱和度参数,综合分析流体性质,其中64号层孔隙度8.9%,深电阻率26.8 Ω·m,含水饱和度49.8%,综合解释为气层;66号层孔隙度7.8%,深电阻率19.1 Ω·m,含水饱和度71.8%,综合解释为气水同层。

综合多种测井曲线和储层特征参数,利用Fisher判别方法对储层进行综合分类。其中64号

层上段泥质含量较大,物性较差,孔隙度8.6%,泥质含量11.5%,渗透率0.17 mD,综合判断储层类型以Ⅳ类超低渗储层为主;64号层下段岩性较纯,物性相对较好,孔隙度9.3%,泥质含量7.6%,渗透率0.42 mD,综合判断储层类型为Ⅲ<sub>2</sub>类低渗储层;66号层除下部较好的砂体判断为Ⅲ<sub>2</sub>类储层以外,其余部分物性较差,孔隙度7.8%,泥质含量13.7%,渗透率0.05 mD,判断储层类型为Ⅳ类超低渗储层。

该井段64号层下段3959~3969 m进行压裂测试,油嘴5.56 mm,日产气1591 m<sup>3</sup>/d,产水60 m<sup>3</sup>/d,压力系数1.206,产能极低。后经横波各向异性和近井带径向声波层析成像等压裂效果评价技术证实,压裂缝贯穿整个储层,从3949 m到3980 m均有分布,导致下部含水层产水,气层产能下降,但由于储层以Ⅲ类特低渗储层为主,米采液指数依然很低,储层产能较差。以上压裂测试结果与储层分类结果基本一致,验证了储层综合分类评价标准的可靠性。

## 5 结论

(1) N气田花港组储层岩性以细砂岩为主,局部发育砂砾岩等较粗岩性;矿物以石英为主,成分构成稳定,成熟度一致,黏土含量低,岩性较纯;孔渗关系复杂,其中砂砾岩储层渗透率普遍大于普通砂岩一个数量级以上,可作为甜点储层开发;孔隙发育总体较差,随着埋藏变深,粒间孔变少,溶蚀孔逐渐成为主要孔隙,孔喉半径减小,孔隙性和连通性变差。

(2) 优选储层敏感参数,依据大量岩心分析实

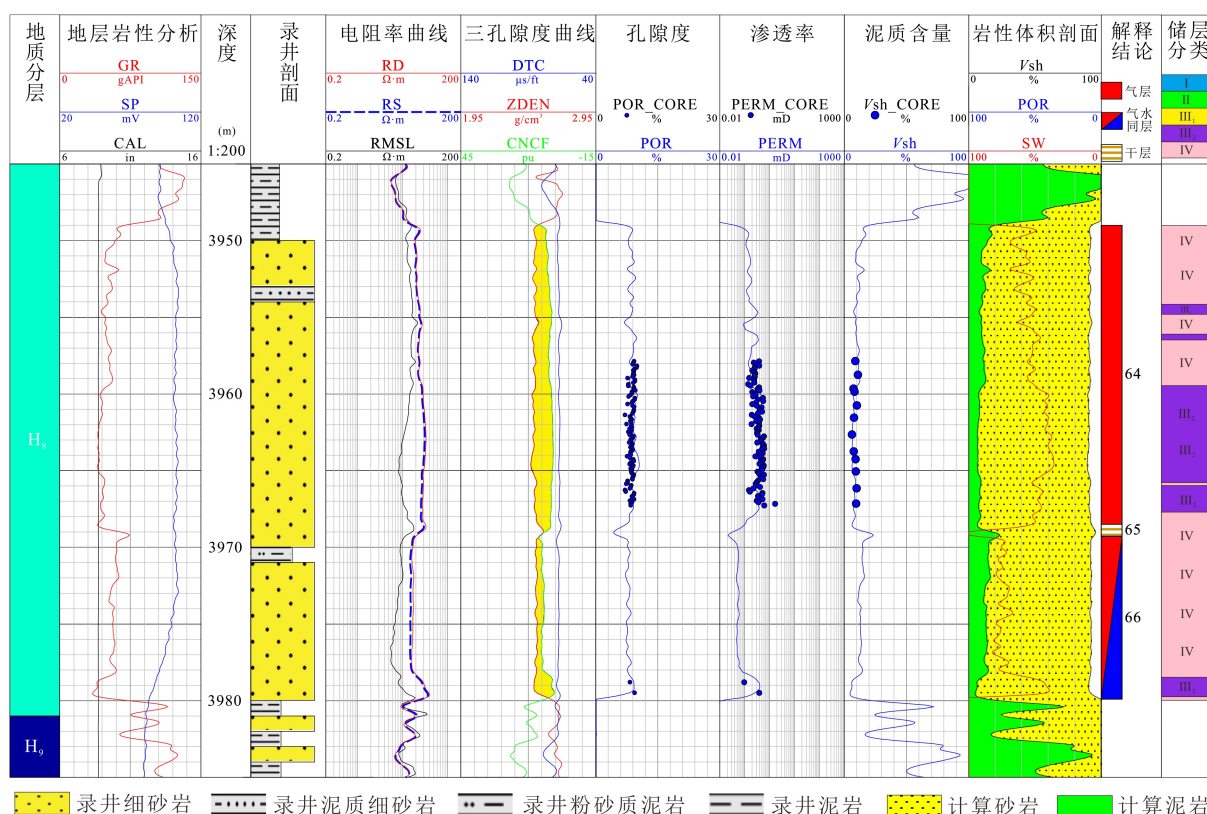


图 4 储层综合分类效果图

Fig.4 The comprehensive reservoir classification for gas field N

验统计结果, 建立适用于西湖凹陷 N 气田花港组储层的综合分类标准, 包含孔隙度、渗透率、饱和度和地质特征 4 类重要参数, 分类结果特征鲜明, 分类依据科学可靠, 为西湖凹陷储层级别的划分研究提供了有利依据。

(3) 空气渗透率 0.5 mD 可作为自然产能界限, 空气渗透率 0.2 mD 可作为改造工艺的下限值; 在制定的综合储层分类标准中, 认为 I 类和 II 类储层有自然产能; III 类储层需进行储层压裂改造; IV 类储层即使压裂改造后产能也较差。

参考文献 (References)

[1] 邹才能, 张国生, 杨智, 等. 非常规油气概念、特征、潜力及技术——兼论非常规油气地质学[J]. *石油勘探与开发*, 2013, 40(4): 385-399, 454. [ZOU Caineng, ZHANG Guosheng, YANG Zhi, et al. Geological concepts, characteristics, resource potential and key techniques of unconventional hydrocarbon: On unconventional petroleum geology [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2013, 40(4): 385-399, 454.]

[2] 贾承造. 论非常规油气对经典石油天然气地质学理论的突破及意义[J]. *石油勘探与开发*, 2017, 44(1): 1-11. [JIA Chengzao. Breakthrough and significance of unconventional oil and gas to classical petroleum geological theory [J]. *Petroleum Exploration and*

*Development*, 2017, 44(1): 1-11.]

[3] 陶士振, 邹才能. 东海盆地西湖凹陷天然气成藏及分布规律[J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32(4): 103-110. [TAO Shizhen, ZOU Caineng. Accumulation and distribution of natural gases in Xihu Sag, East China Sea Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(4): 103-110.]

[4] 曾大乾, 李淑贞. 中国低渗透砂岩储层类型及地质特征[J]. *石油学报*, 1994, 15(1): 38-46. [ZENG Daqian, LI Shuzhen. Types and characteristics of low permeability sandstone reservoirs in China [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1994, 15(1): 38-46.]

[5] 王会丽. 金湖凹陷低孔低渗储层分布与测井评价方法研究[D]. 中国石油大学硕士学位论文, 2011. [WANG Huili. Study on distribution and logging evaluation methods of low porosity and permeability reservoirs in Jinhu depression[D]. Master Dissertation of China University of Petroleum, 2011.]

[6] 杨玉卿, 潘福熙, 田洪, 等. 渤中25-1油田沙河街组低孔低渗储层特征及分类评价[J]. *现代地质*, 2010, 24(4): 685-693. [YANG Yuqing, PAN Fuxi, TIAN Hong, et al. Characteristics and classification and evaluation of low porosity and permeability reservoir in Shahejie formation of BZ25-1 oilfield [J]. *Geoscience*, 2010, 24(4): 685-693.]

[7] 赵靖舟, 吴少波, 武富礼. 论低渗透储层的分类与评价标准——以鄂尔多斯盆地为例[J]. *岩性油气藏*, 2007, 19(3): 28-31, 53. [ZHAO Jingzhou, WU Shaobo, WU Fuli. The classification and evaluation criterion of low permeability reservoir: An example from Ordos Basin [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2007, 19(3): 28-31, 53.]



- [8] 姜艳娇, 孙建孟, 高建申, 等. X区块低孔渗气藏储层特征及分类评价研究[J]. *科学技术与工程*, 2017, 17(10): 164-172. [JIANG Yanjiao, SUN Jianmeng, GAO Jianshen, et al. Study on reservoir characteristics and classification evaluation in low porosity and low permeability gas reservoir of X block [J]. *Science Technology and Engineering*, 2017, 17(10): 164-172.]
- [9] 刘金水, 廖宗廷, 贾健谊, 等. 东海陆架盆地地质结构及构造演化[J]. *上海地质*, 2003, 23(3): 1-6. [LIU Jinshui, LIAO Zongting, JIA Jianyi, et al. The geological structure and tectonic evolution of the East China Sea Shelf Basin [J]. *Shanghai Geology*, 2003, 23(3): 1-6.]
- [10] 蒋一鸣, 邵龙义, 李帅, 等. 西湖凹陷平湖构造带平湖组沉积体系及层序地层研究[J]. *现代地质*, 2020, 34(1): 141-153. [JIANG Yiming, SHAO Longyi, LI Shuai, et al. Deposition system and stratigraphy of Pinghu formation in Pinghu tectonic belt, Xihu Sag [J]. *Geoscience*, 2020, 34(1): 141-153.]
- [11] 姜亮. 东海陆架盆地油气资源勘探现状及含油气远景[J]. *中国海上油气(地质)*, 2003, 17(1): 1-5. [JIANG Liang. Exploration status and perspective of petroleum resources in East China Sea shelf basin [J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2003, 17(1): 1-5.]
- [12] 李上卿, 李纯洁. 东海西湖凹陷油气资源分布及勘探潜力分析[J]. *石油实验地质*, 2003, 25(6): 721-728. [LI Shangqing, LI Chunjie. Analysis on the petroleum resource distribution and exploration potential of the Xihu depression, the East China Sea [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2003, 25(6): 721-728.]
- [13] 陈志勇, 葛和平. 西湖凹陷反转构造与油气聚集[J]. *中国海上油气(地质)*, 2003, 17(1): 20-24. [CHEN Zhiyong, GE Heping. Inversion structures and hydrocarbon accumulation in XIHU sag, east China Sea basin [J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2003, 17(1): 20-24.]
- [14] 顾惠荣, 贾健谊, 叶加仁. 东海西湖凹陷含油气系统特征[J]. *石油与天然气地质*, 2002, 23(3): 295-297, 306. [GU Huirong, JIA Jianyi, YE Jiaren. Characteristics of oil and gas bearing system in Xihu lake depression in the East China Sea [J]. *Oil & Gas Geology*, 2002, 23(3): 295-297, 306.]
- [15] 祝建军, 王琪, 梁建设, 等. 东海陆架盆地南部新生代地质结构与构造演化特征研究[J]. *天然气地球科学*, 2012, 23(2): 222-229. [ZHU Jianjun, WANG Qi, LIANG Jianshe, et al. Cenozoic geological structure and tectonic evolution of southern East China Sea shelf basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2012, 23(2): 222-229.]
- [16] 张武, 徐发, 徐国盛, 等. 西湖凹陷某构造花港组致密砂岩储层成岩作用与孔隙演化[J]. *成都理工大学学报: 自然科学版*, 2012, 39(2): 122-129. [ZHANG Wu, XU Fa, XU Guosheng, et al. Diagenesis and pore evolution of Huagang Formation tight sandstone reservoirs in a structure of Xihu depression in East China Sea Basin [J]. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 2012, 39(2): 122-129.]
- [17] 刘金水, 曹冰, 徐志星, 等. 西湖凹陷某构造花港组沉积相及致密砂岩储层特征[J]. *成都理工大学学报: 自然科学版*, 2012, 39(2): 130-136. [LIU Jinshui, CAO Bing, XU Zhixing, et al. Sedimentary facies and the characteristics of tight sandstone reservoirs of Huagang Formation in Xihu depression, East China Sea Basin [J]. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 2012, 39(2): 130-136.]
- [18] 张建培, 徐发, 钟韬, 等. 东海陆架盆地西湖凹陷平湖组-花港组层序地层模式及沉积演化[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2012, 32(1): 35-41. [ZHANG Jianpei, XU Fa, ZHONG Tao, et al. Sequence stratigraphic models and sedimentary evolution of Pinghu and Huagang formations in Xihu trough [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2012, 32(1): 35-41.]
- [19] 胡明毅, 柯岭, 梁建设. 西湖凹陷花港组沉积相特征及相模式[J]. *石油天然气学报*, 2010, 32(5): 1-5. [HU Mingyi, KE Ling, LIANG Jianshe. The characteristics and pattern of sedimentary facies of Huagang formation in Xihu depression [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2010, 32(5): 1-5.]
- [20] 王果寿, 周卓明, 肖朝辉, 等. 西湖凹陷春晓区带下第三系平湖组、花港组沉积特征[J]. *石油与天然气地质*, 2002, 23(3): 257-261, 265. [WANG Guoshou, ZHOU Zhuoming, XIAO Chaohui, et al. Sedimentary characteristics of Eocene Pinghu formation and Huagang formation in Chunxiao zone of Xihu Lake depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2002, 23(3): 257-261, 265.]
- [21] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0252-2013 海上石油天然气储量计算规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013. [Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. DZ/T 0252-2013 Regulation of offshore petroleum reserves estimation[S]. Beijing: China Standard Press, 2013.]
- [22] 国家能源局. SY/T 6832-2011 致密砂岩气地质评价方法[S]. 北京: 石油工业出版社, 2011. [National Energy Administration. SY/T 6832-2011 Geological evaluating methods for tight sandstone gas[S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011.]