

## 江汉盆地新沟嘴组页岩油储层物性发育主控因素

李文浩<sup>1</sup>, 卢双舫<sup>1</sup>, 薛海涛<sup>1</sup>, 王伟明<sup>1</sup>, 李吉君<sup>1</sup>, 胡莹<sup>2</sup>, 张鹏飞<sup>2</sup>, 李俊乾<sup>1</sup>

[1. 中国石油大学(华东)非常规油气与新能源研究院, 山东 青岛 266580;

2. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580]

**摘要:**综合运用X-衍射、压汞及扫描电镜等资料,对江汉盆地丫角-新沟低凸起和陈沱口凹陷新沟嘴组页岩油储层储集空间类型及物性控制因素进行了探讨。研究表明:区内页岩油储层储集空间类型以无机孔隙(包括晶间孔、粒间孔、溶蚀孔)为主,也存在少量有机孔隙及微裂缝;区内泥质白云岩和白云岩孔渗条件最好;丫角-新沟低凸起和陈沱口凹陷页岩油储层均存在次生孔隙发育带,很好地改善了储层物性;矿物组分对丫角-新沟低凸起和陈沱口凹陷页岩油储层物性的影响存在差别,前者孔隙度与矿物组分无相关性,后者孔隙度与粘土矿物及碎屑矿物含量呈负相关性,而与白云石含量呈正相关性;区内渗透率均与碎屑矿物、粘土含量呈负相关性,与白云石含量呈正相关性。

**关键词:**储集空间;成岩作用;泥质白云岩;页岩油;新沟嘴组;江汉盆地

**中图分类号:**TE122.2

**文献标识码:**A

## Major controlling factors of poroperm characteristics of shale oil reservoirs in the Xingouzui Formation, Jiangnan Basin

Li Wenhao<sup>1</sup>, Lu Shuangfang<sup>1</sup>, Xue Haitao<sup>1</sup>, Wang Weiming<sup>1</sup>, Li Jijun<sup>1</sup>,  
Hu Ying<sup>2</sup>, Zhang Pengfei<sup>2</sup>, Li Junqian<sup>1</sup>

[1. Research Institute of Unconventional Petroleum and Renewable Energy, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580, China; 2. School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580, China]

**Abstract:** Based on the integrated analysis of X-ray diffraction, high-pressure mercury and scanning electronic microscope, this paper discusses space types and controlling factors of the shale oil reservoir in the Xingouzui Formation in the Yajiao-Xingou Low Uplift and the Chentuokou Sag of the Jiangnan Basin. The results show that inorganic pores (including intercrystalline pores, intergranular pores and dissolved pores) are the main reservoir space of the shale oil reservoir. There also exist a small amount of organic pores and micro fractures. Porosity and permeability of the argillaceous dolomite and the dolomite are the best in the study area. Secondary pores are well developed in shale oil reservoirs both in the Yajiao-Xingou Low Uplift and the Chentuokou Sag, improving the poroperm characteristics. The influences of the mineral components on the reservoir poroperm characteristics are different between the Yajiao-Xingou Low Uplift and the Chentuokou Sag. The porosity of shale oil reservoir in the former has no relationship with mineral components, while that in the latter area is negatively correlated with the content of clay minerals and detrital minerals but positively correlated with the content of the dolomite. Meanwhile, the permeability is negatively correlated with the content of detrital and clay minerals, but positively correlated with the content of the dolomite in both areas.

**Key words:** reservoir space, diagenesis, argillaceous dolomite, shale oil, Xingouzui Formation, Jiangnan Basin

页岩油储层孔隙发育主要受内因和外因两大因素控制。其中,外因主要包括区域构造应力、构造部位、沉积成岩作用和生烃过程中产生的高异常地层压力,内因主要包括岩石岩相、岩性和矿物组成等<sup>[1]</sup>。外因对页岩孔隙的影响表现在宏观控制上,控制区域孔隙

发育,内因则是决定孔隙发育的根本因素。前人对页岩储层孔隙度影响因素的研究可归纳为3类:一是将储层有机、无机孔隙作为整体研究,探讨储层总孔隙度与矿物组分、成岩作用及有机碳含量等因素的关系<sup>[2-4]</sup>;二是首先按照孔径大小将储层孔隙分为微孔、

收稿日期:2015-05-19;修订日期:2015-09-09。

第一作者简介:李文浩(1985—),男,讲师,常规和非常规油气地质、海洋地质与油气成藏。E-mail:wenhao19850623@163.com。

基金项目:国家自然科学基金项目(41330313,41402122);高校自主创新科研计划项目(13CX05013A);博士后科学基金面上项目(2014M561980)。

中孔和大孔,然后分别探讨其影响因素<sup>[5-7]</sup>;三是主要探讨有机孔隙的影响因素,分析孔隙流体压力和有机质丰度、类型、成熟度等因素对有机孔隙的影响,揭示其主要控制因素<sup>[8-9]</sup>。

近年来江汉盆地新沟嘴组泥质白云岩层系(包括白云岩、泥质白云岩、白云质泥岩和泥岩)页岩油获得重大突破,由于处于勘探初期,研究区页岩油富集规律尚不明确,严重制约了江汉盆地页岩油的勘探进程。探讨页岩油储层物性主要控制因素,不仅有利于认识区内页岩油富集机理,还可为区内“甜点”区预测提供帮助。有鉴于此,本文以江汉盆地页岩油较为富集的丫角-新沟低凸起和陈沱口凹陷为例,在探讨页岩油储层储集空间类型的基础上,系统剖析研究区页岩油储层控制因素。

## 1 地质背景

江汉盆地位于湖北省江汉平原中部,西起宜昌、枝江,东至沔阳、应城,南起监利、洪湖,北达潜江、天门以北,面积为 28 760 km<sup>2</sup>。盆地北邻秦岭-大别造山带,南近江南-雪峰隆起,西至黄陵背斜,是在中、古生界海相碳酸盐岩、碎屑岩和陆相含煤碎屑岩基底之上,经燕山运动、喜马拉雅运动发展起来的内陆断陷盐湖盆地。盆地经历了早燕山期挤压、白垩纪-古近纪断陷-拗陷和新近纪-第四纪挤压-拗陷的构造演化过程。盆地受北西-南东向和北东-南西向断裂控制,可划分为江陵、潜江、陈沱口、涌阳、小板、云梦等 11 个凹陷带和丫角-新沟低凸起、通海口凸起、岳口低凸起、龙赛湖低凸起 4 个凸起带,共 15 个二级构造单元(图 1)。盆地在中、新生代持续沉降,生储盖组合发育,油气藏以构造、岩性和构造-岩性复合油气藏为主,受二级构造带控制。江汉盆地是一个多旋回沉积盆地,白垩纪-新近纪江汉盆地周缘地势呈现继

承性的西北高、东南低的特点,沉积物源主要来自西北方向,沉积地层最大厚度过千米,具有明显的旋回性和韵律性<sup>[10]</sup>。

2012 年 3 月,通过对江汉盆地新 135 井新沟嘴组原测井解释的“干层”复查压裂试油,获得日产油 3 t 的工业油流。截止 2012 年底,已有 6 口直井和 4 口水水平井获得工业油流。目前江汉盆地南部新沟嘴组泥质白云岩已有 100 多口井见油气显示,其中盆地南部的新沟地区及陈沱口凹陷页岩油气较为富集。

## 2 储集空间类型

研究区泥质白云岩层系页岩油储层的储集空间类型多样,发育多种孔隙类型及微裂缝,但主要以无机孔隙为主,有机孔隙及微裂缝较少。无机孔隙类型多样,可分为晶间孔、粒间孔和溶蚀孔等。其中晶间孔主要发育在白云石矿物颗粒之间(图 2a),草莓状黄铁矿集合体内也偶见晶间孔(图 2b)。粒间孔主要发育于陆源碎屑矿物石英、长石颗粒间及片状粘土矿物与其他矿物接触处(图 2c)。溶蚀孔主要发育于易于溶蚀的长石或碳酸盐矿物之间,形状不规则,一般孔喉较大(图 2d)。微裂缝的发育与泥质白云岩脆性矿物含量有关,脆性矿物含量高微裂缝发育(图 2e),页岩油储层中的微裂缝不仅是很好的油气储集空间,还可以作为有效的渗流通道,但江汉盆地新沟嘴组页岩油储层基质孔隙发育,裂缝较少,而且由于后期的充填作用,张开缝很少,多被石膏或方解石充填。有机孔隙发育与有机质分布密切相关,主要存在于有机质及有机质与矿物颗粒接触处(图 2f),炭孔也很常见,一般认为有机孔隙的形成与干酪根的生烃作用有关。

## 3 页岩油储层控制因素

### 3.1 岩性对物性的影响

丫角-新沟低凸起泥岩、白云质泥岩、泥质白云岩和白云岩孔隙度均较发育,平均值均大于 11%(图 3),表现为中、高孔。其中白云岩渗透率最高,泥岩、泥质白云岩次之,白云质泥岩最低,但总体上均表现为特低渗。陈沱口凹陷泥质白云岩、白云岩孔隙度较高,泥岩、白云质泥岩较差,其中白云岩渗透率较高,但总体上均表现为特低渗(图 3)。综合来看,泥质白云岩和白云岩是研究区孔、渗条件最好的两类岩石,其主要原因:泥质白云岩和白云岩中含有相对较高的白云石,不仅易于形成晶间孔,而且白云石为易溶矿物,溶蚀孔隙的形成大大改善了储层物性。

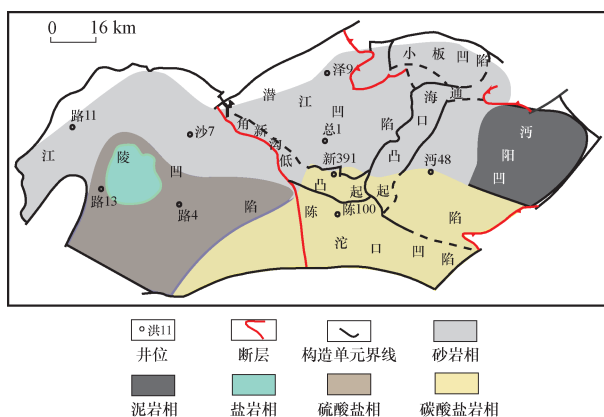


图 1 江汉盆地构造位置

Fig. 1 Structural location of the Jiangnan Basin

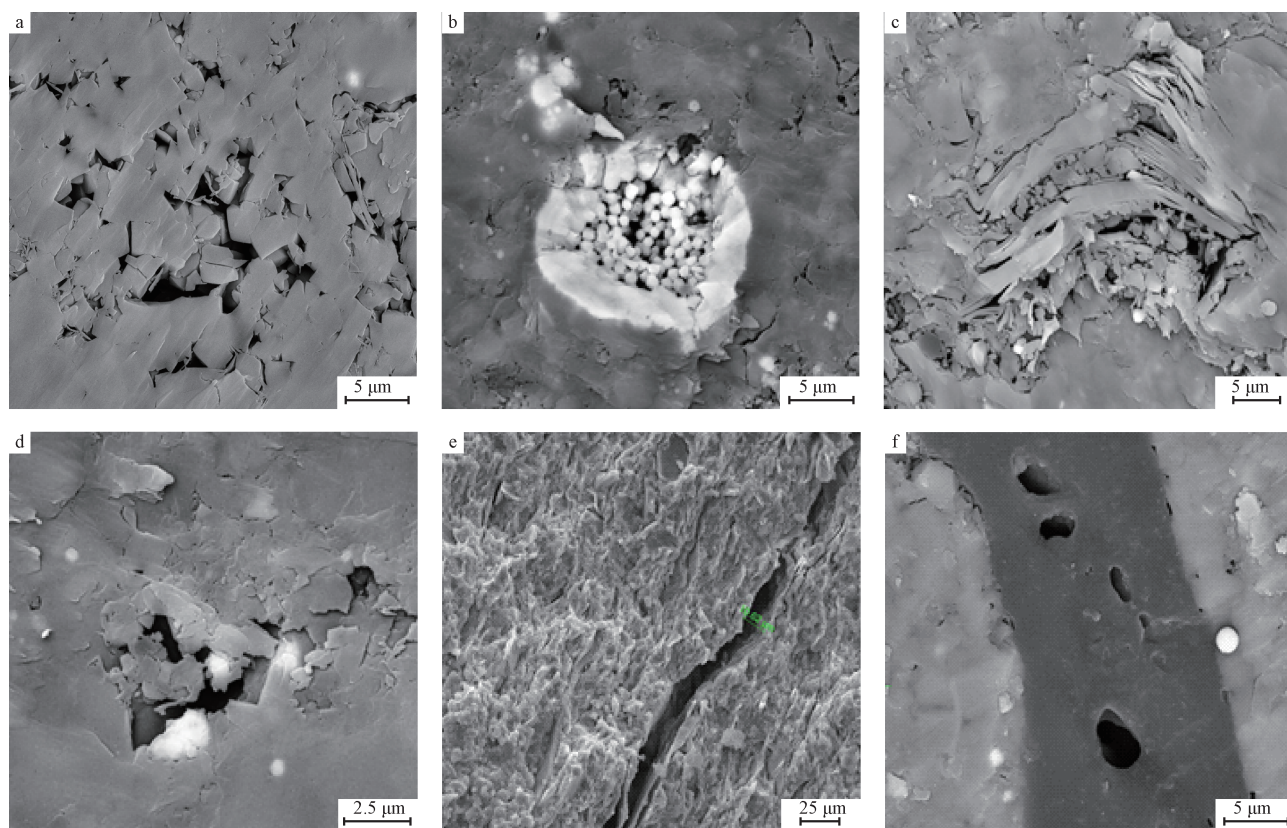


图2 江汉盆地新沟嘴组页岩油储层储集空间类型

Fig. 2 Reservoir space types of shale oil reservoir in the Xingouzui Formation, Jiangnan Basin

a. 陈 100 井,埋深 2 195.85 m,白云石晶间孔; b. 新 391 井,埋深 1 464 m,草莓状黄铁矿晶间孔; c. 新 391 井,埋深 1 393.3 m,粘土矿物与其他矿物粒间孔; d. 新 391 井,埋深 1 383.11 m,溶蚀孔; e. 新 391,埋深 1 464 m,微裂缝; f. 陈 100 井,埋深 2 191.9 m,有机质孔

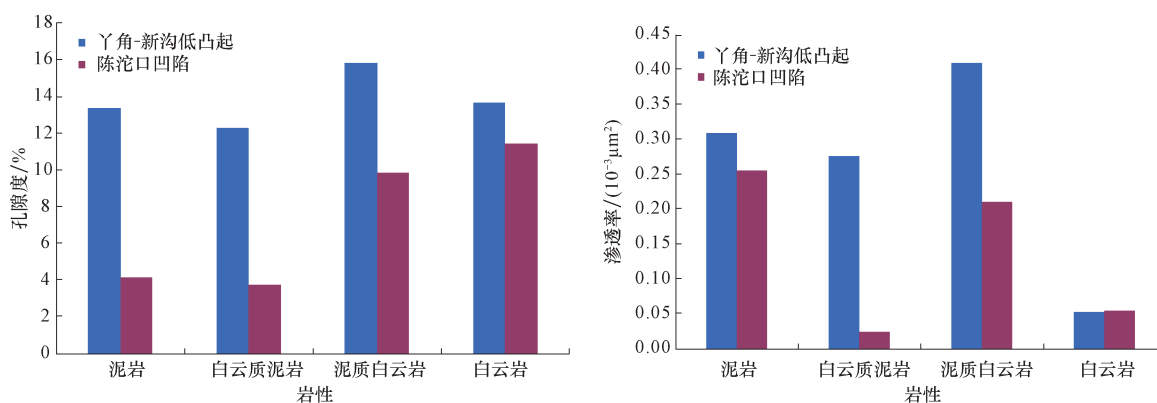


图3 江汉盆地丫角-新沟低凸起和陈沱口凹陷新沟嘴组不同岩性储层孔隙度、渗透率分布特征

Fig. 3 Distribution characteristics of the porosity and permeability of reservoirs with different lithologies in the Xingouzui Formation of the Yajiao-Xingou Low Uplift and the Chentuokou Sag in the Jiangnan Basin

### 3.2 成岩作用对物性的影响

有些成岩作用可以改善储层物性,如溶蚀作用,而有些则会使得孔隙减少,称为破坏性成岩作用,如压实和溶解作用、胶结作用、交代作用等<sup>[11-15]</sup>。由于研究区溶蚀孔较为发育,因此,本文重点讨论溶蚀作用对储层物性的影响。

丫角-新沟低凸起及陈沱口凹陷新沟嘴组页岩油储层孔隙度、渗透率随深度的增加略有降低的趋势(图4)。其中丫角-新沟低凸起新 391 井揭示物性与深度交汇图揭示,孔隙度和渗透率明显存在 3 个峰值,即存在 3 个次生孔隙发育带。其中第一个峰值带分布在 1 380 ~ 1 398 m,第二个峰值带分布在 1 430 ~ 1 441 m,第三个峰值带分布在 1 460 m 以下(图4)。陈

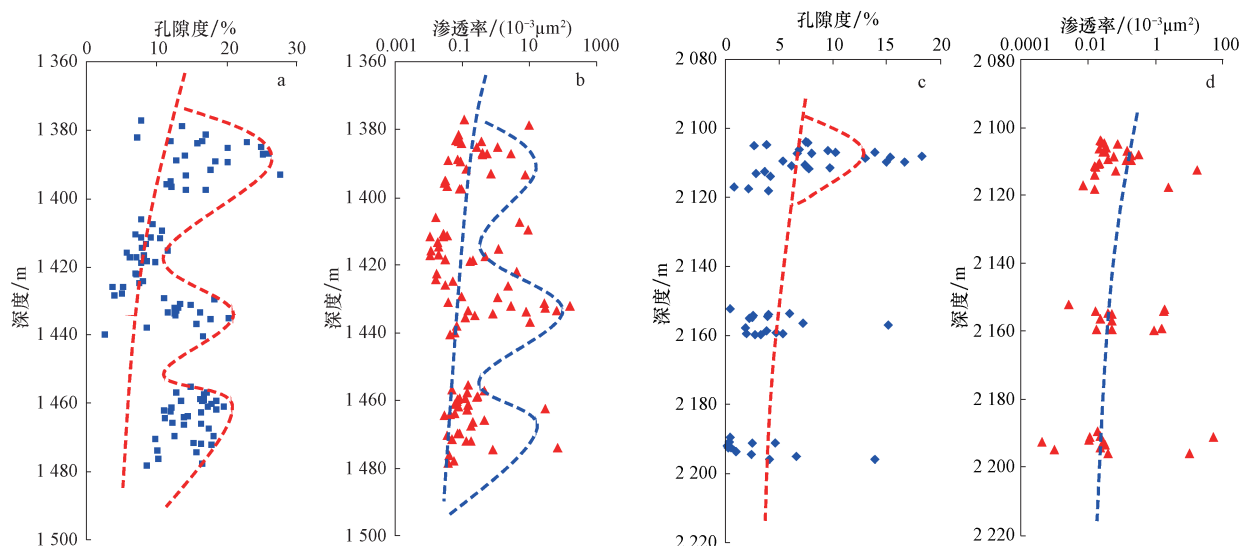


图4 江汉盆地新沟嘴组孔隙度、渗透率纵向分布

Fig. 4 Vertical distribution of porosity and permeability in the Xingouzui Formation of the Jiangnan Basin

a. 新391井孔隙度; b. 新391井渗透率; c. 陈100井孔隙度; d. 陈100井渗透率

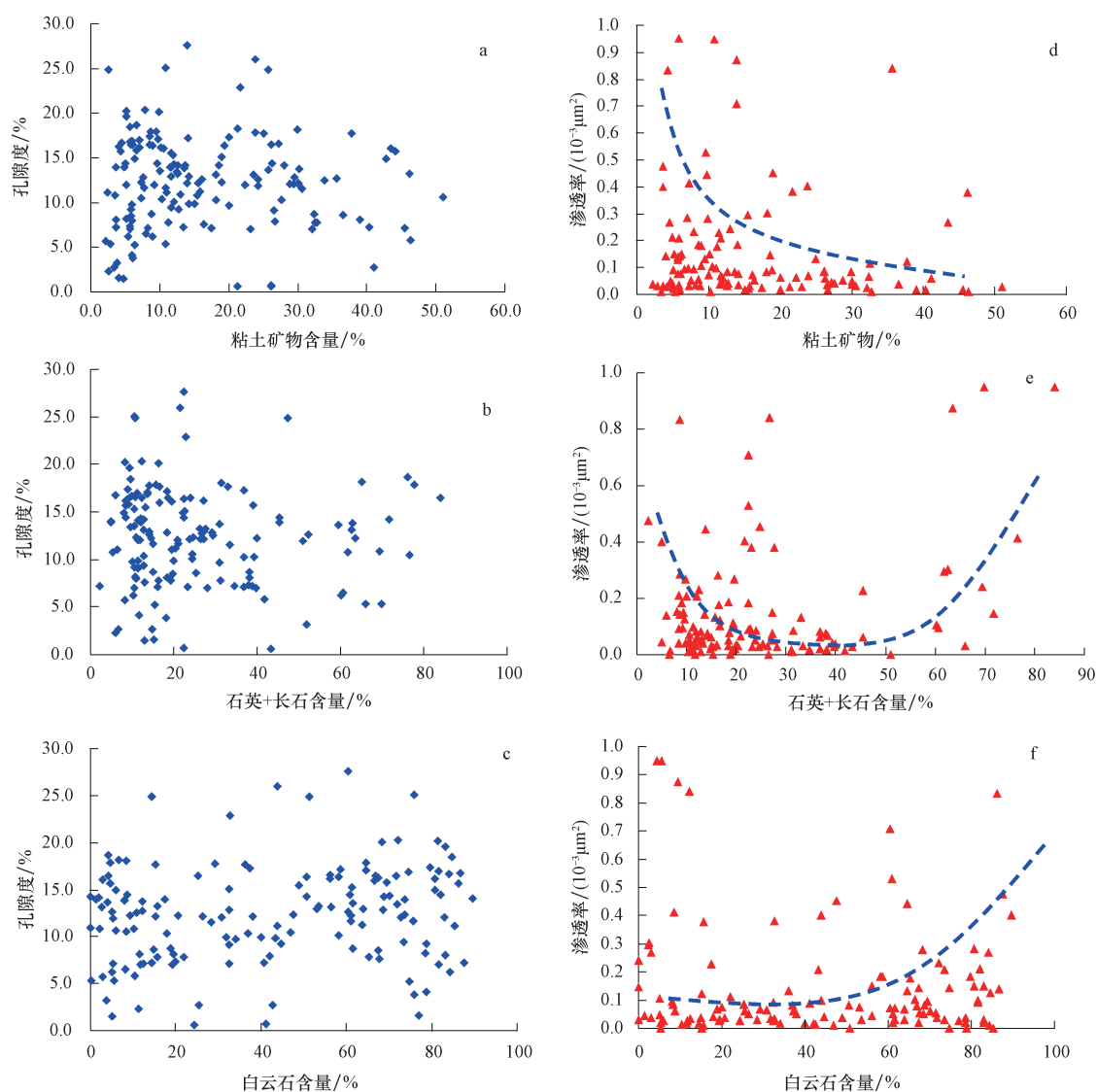


图5 江汉盆地丫角-新沟低凸起新沟嘴组泥质白云岩孔隙度、渗透率与矿物组分含量相关图

Fig. 5 Correlation of porosity and permeability with mineral components of the argillaceous dolomite in the Xingouzui Formation of the Yajiao-Xingou Low Uplift in the Jiangnan Basin

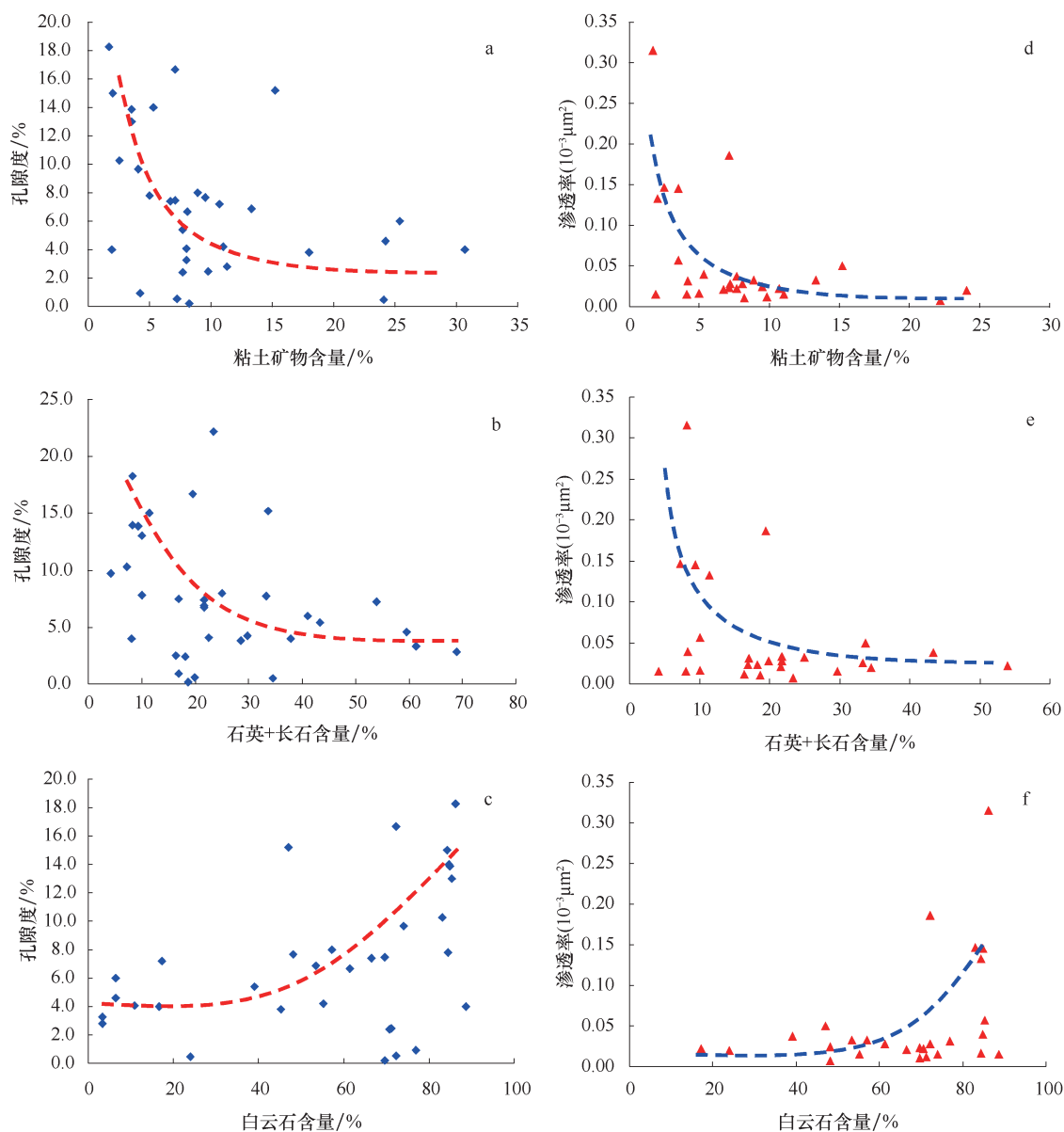


图6 江汉盆地陈沱口凹陷新沟嘴组泥质白云岩孔隙度、渗透率与矿物组分含量相关图

Fig. 6 Correlation of porosity and permeability with mineral components of the argillaceous dolomite in the Xingouzui Formation of the Chentuokou Sag in the Jiangnan Basin

沱口凹陷陈100井揭示储层孔隙度、渗透率随深度的增加则出现一个峰值带,分布在2100~2120m(图4c,d),由于陈100井样品较少,尚不能确定其是否存在其他次生孔隙发育带,可以肯定的是陈沱口凹陷至少存在一个次生孔隙发育带。

### 3.3 矿物组分对物性的影响

丫角-新沟低凸起新沟嘴组页岩油储层孔隙度与粘土矿物、碎屑矿物(石英和长石)及白云石含量无明显相关性(图5),表明孔隙度受多种因素的控制。而渗透率与粘土矿物呈负相关性,与长石和石英的相关性较差,和白云石呈正相关性,主要是由于白云石易于溶蚀,很好地改善了储层的连通性。陈沱口凹陷页岩

油储层孔隙度和渗透率与粘土矿物和碎屑矿物(石英和长石)呈负相关性,和白云石呈正相关性(图6),主要是因为白云石晶间孔在陈沱口凹陷比较发育(图2a),粘土矿物和碎屑矿物主要发育粒间孔,该类孔隙类型主要发育在丫角-新沟低凸起(图2c),在陈沱口凹陷较为少见。

## 4 结论

1) 江汉盆地新沟嘴组页岩油储层储集空间类型以无机孔隙为主,包括晶间孔、粒间孔和溶蚀孔,有机孔隙及微裂缝少量发育。

2) 岩性、成岩作用和矿物组成在一定程度上控制

着研究区页岩油储层。泥质白云岩和白云岩是孔隙度和渗透率条件最好的两类岩石;成岩作用以溶蚀作用为主,其造成次生孔隙发育,改善了储层物性; $\gamma$ 角-新沟低凸起页岩油储层孔隙度受多种因素控制,其与粘土矿物、碎屑矿物及白云石含量无明显相关性;而渗透率与粘土矿物和碎屑矿物含量整体呈负相关性,而与白云石呈正相关性。

3) 陈沱口凹陷页岩油储层由于白云石晶间孔较发育,其孔隙度和渗透率与粘土矿物和碎屑矿物含量呈负相关性,和白云石含量呈正相关性。

### 参 考 文 献

- [1] 龙鹏宇,张金川,姜文利,等. 渝页1井储层孔隙发育特征及其影响因素分析[J]. 中南大学学报:自然科学版,2012,43(10):3954-3963.  
Long Pengyu, Zhang Jinchuan, Jiang Wenli, et al. Analysis on pores forming features and its influence factors of reservoir Well Yuye-1 [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2012, 43(10): 3954-3963.
- [2] 聂海宽,张金川. 页岩气储层类型和特征研究—以四川盆地及其周缘下古生界为例[J]. 石油实验地质,2011,33(3):219-225.  
Nie Haikuan, Zhang Jinchuan. Types and characteristics of shale gas reservoir: A case study of Lower Paleozoic in and around Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(3): 219-225.
- [3] 黄志龙,郭小波,柳波,等. 马朗凹陷芦草沟组源岩油储集空间特征及其成因[J]. 沉积学报,2012,30(6):1115-1122.  
Huang Zhilong, Guo Xiaobo, Liu Bo, et al. The reservoir space characteristics and Origins of Lucaogou Formation Source rock oil in the Malang Sag [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30(6): 1115-1122.
- [4] 吴建国,刘大锰,姚艳斌. 鄂尔多斯盆地渭北地区页岩纳米孔隙发育特征及其控制因素[J]. 石油与天然气地质,2014,35(4):542-550.  
Wu Jianguo, Liu Dameng, Yao Yanbin. Characteristics and controlling factors of nanopores in shales in Weibei, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(4): 542-550.
- [5] Connell-Madore S, Katsube T J. Pore structure versus texture relationship of sediment samples from a research well in the Beaufort-Mackenzie Basin, Northwest Territories [M]. Geological Survey of Canada, 2008.
- [6] Chalmers G R, Bustin R M, Power I. A pore by any other name would be so small; The importance of meso- and micro porosity in shale gas capacity [C]. // AAPG Annual Convention and Exhibition. Denver, USA, 2009.
- [7] 田华,张水昌,柳少波,等. 压汞法和气体吸附法研究富有机质页岩孔隙特征[J]. 石油学报,2012,33(3):419-427.  
Tian Hua, Zhang Shuichang, Liu Shaobo, et al. Determination of organic-rich shale pore features by mercury injection and gas adsorption methods [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(3): 419-427.
- [8] Jarvie. Unconventional Shale Resource Plays: Shale-Gas and Shale-Oil Opportunities [R]. 2008.
- [9] Passey Q R, Bohacs K M, Esch W L, et al. From oil-prone source rock to gas-producing shale reservoir-geologic and petrophysical characterization of unconventional shale-gas reservoirs. CPS/SPE International Oil & Gas Conference and Exhibition, Beijing, China, 2010, 8-10.
- [10] 戴世昭. 中国石油地质志(卷9) [M]. 北京:石油工业出版社, 1991, 161-163.  
Dai Shizhao. Petroleum Geology of China (Volume 9) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991, 161-163.
- [11] 韩登林,张昌民,尹太举. 层序界面成岩反应规律及其对储层储集物性的影响[J]. 石油与天然气地质,2010,31(4):449-454, 462.  
Han Denglin, Zhang Changmin and Yin Taiju. Diagenetic reaction pattern of the sequence boundary and its impacts on reservoir quality [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(4): 449-454, 462.
- [12] 李宏涛,龙胜祥,吴世祥,等. 川西坳陷中段下三叠统碳酸盐岩储层成岩作用与机理[J]. 石油与天然气地质,2011,32(4):551-559.  
Li Hongtao, Long Shengxiang, Wu Shixiong, et al. Diagenesis and forming mechanism of the Lower Triassic carbonate reservoirs in the middle part of the western Sichuan Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 551-559.
- [13] 李庆,胡文瑄,钱一雄,等. 塔里木盆地肖尔布拉克组溶蚀型白云岩储层发育特征[J]. 石油与天然气地质,2011,32(4):522-530.  
Li Qing, Hu Wenxuan, Qian Yixiong, et al. Features of dissolved dolostone reservoirs in the Xiaerbulak Formation, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 522-530.
- [14] 吴世祥,李宏涛,龙胜祥,等. 川西雷口坡组碳酸盐岩储层特征及成岩作用[J]. 石油与天然气地质,2011,32(4):542-550, 559.  
Wu Shixiang, Li Hongtao, Long Shengxiang, et al. A study on characteristics and diagenesis of carbonate reservoirs in the Middle Triassic Leikoupo Formation in western Sichuan Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 542-550, 559.
- [15] 李文浩,张枝焕,胥灵,等. 渤南洼陷北部陡坡带沙河街组砂砾岩有效储层物性下限及其主控因素[J]. 石油与天然气地质,2012,33(5):766-777.  
Li Wenhao, Zhang Zhihuan, Zan Ling, et al. Lower limits of physical properties and their controlling factors of effective coarse-grained clastic reservoirs in the Shahejie Formation on northern steep slope of Bonan subsag, the Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(5): 766-777.

(编辑 张玉银)