

苏里格气田东区致密砂岩储层特征

王凤娇¹, 刘义坤¹, 于苏浩²

(1. 东北石油大学 石油工程学院, 黑龙江 大庆 163318; 2. 中国石油长庆油田分公司
第五采气厂, 内蒙古 鄂尔多斯 017300)

摘要:鄂尔多斯盆地苏里格气田具有低孔低渗透特征, 发育最为典型的致密砂岩储层。基于苏里格气田东区二叠系下石盒子组、山西组及太原组取心资料, 结合电镜扫描、铸体薄片等技术手段对致密砂岩储层地质成因、岩石学特征、储集空间类型及储层物性特征进行实验和统计分析。研究结果表明: 苏里格气田东区致密砂岩储层主要地质成因因为埋深大导致强压实作用所致; 孔隙演化过程主要受压实作用和矿物胶结作用影响; 储层粘土矿物中高岭石含量较高, 且易脱落并堵塞孔喉, 片状伊利石和绿泥石充填孔隙形成分割喉道, 其他矿物镶嵌胶结及蒙脱石强水敏性等因素使储层渗透性降低; 另外, 由于原生孔隙不发育, 岩石颗粒分选差, 粘土矿物充填粒间孔隙, 也降低其渗透性; 致密砂岩储层储集空间类型主要为岩屑溶孔、晶间孔及长石溶孔。

关键词:致密砂岩储层 地质成因 岩石学特征 储集空间 苏里格气田

中图分类号: TE112.23

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2017)06-0043-05

Reservoir characteristics of tight sandstone in the eastern Sulige Gas Field

Wang Fengjiao¹, Liu Yikun¹, Yu Suhao²

(1. School of Petroleum Engineering, Northeast Petroleum University, Daqing City, Heilongjiang Province, 163318, China; 2. No.5 Gas Production Plant, Changqing Oilfield Company, PetroChina, Ordos, Inner Mongolia Autonomous Region, 017300, China)

Abstract: The Sulige Gas Field in Ordos Basin has the characteristics of low permeability and low porosity, which is the most typical tight sandstone reservoir in China. According to core data from the Lower Shihezi Formation, Shanxi Formation and Taiyuan Formation of Permian system in the eastern Sulige Gas Field of Ordos Basin, experimental observations and statistical analysis were carried out on tight sandstone reservoir from the respects of geological genesis, petrological characteristics, reservoir space types and reservoir physical properties by using scanning electron microscopy, casting thin section analysis and so on. This research shows that the main reason for the formation of tight sandstone reservoir in the eastern Sulige Gas Field is strong compaction caused by deep burial depth. The reservoir pore evolution process is mainly influenced by compaction and authigenic cementation. The kaolinite has the highest content among all the clay minerals, which is easier to fall off and fill the intergranular pore and thus plugs the pore throat. The flaky illite and chlorite can fill pores, which leads to the formation of tubular throat or the segmentation of the throat. The cementation of other minerals and the strong water sensitivity of montmorillonite reduce the gas permeability. In addition, the proportion of primary pore is very low. The rock particle sorting is poor and the clay minerals fill the intergranular pores, which leads to complex relationship between pore and permeability and the reduction of the formation permeability in tight sandstone gas reservoir. The tight reservoir space are mainly lithic dissolved pore, the intercrystal pore and feldspar dissolved pore in the eastern Sulige Gas Field.

Key words: tight sandstone reservoir; geological genesis; petrological characteristics; reservoir space; Sulige Gas Field

随着油气需求量不断增加及常规油气资源产量不断降低, 非常规油气资源高效开发引起广泛关

收稿日期: 2017-07-04。

作者简介: 王凤娇(1988—), 女, 黑龙江哈尔滨人, 讲师, 博士, 从事非常规油气渗流机理研究。联系电话: 15846181686, E-mail: wang-fengjiao8699@126.com。

基金项目: 国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2016ZX05010002-004)。

注。中国非常规天然气资源量丰富,是重要的战略接替能源,其中,致密气的开采最为现实,预测可采资源量为 $0.9 \times 10^{13} \sim 1.3 \times 10^{13} \text{ m}^3$ ^[1],已成为非常规天然气勘探的重点领域,具有良好的发展前景。鄂尔多斯盆地是中国第一大天然气产区,苏里格气田为该盆地典型的致密砂岩气藏^[2-3],其储层主要分布于石炭系一二叠系,储层岩屑含量普遍偏高,岩性致密,单层产量低。上古生界多层、多段含气,储层非均质性强,流体分布复杂,其中,二叠系盒8段和山1段是最为重要的天然气资源勘探与开发层位^[4-6],发育大量致密砂岩含气储层,由于其粒度细小、颗粒分选差,受储层泥质含量高、矿物质成分成熟度低及压实作用等因素影响具有低孔低渗透、储层非均质性强和含水饱和度高等特点^[7-9]。明确致密砂岩储层地质成因是研究致密多孔介质流体渗流机理的基础,深入分析致密砂岩气藏岩石学特征及储集空间类型对实现其有效开发具有重要作用。为此,在大量调研中外致密砂岩储层地质成因的基础上,对苏里格气田东区进行取心分析,结合电镜扫描、铸体薄片等技术手段对致密砂岩储层岩石学特征、储集空间类型及储层物性特征进行分析,以期为进一步推进鄂尔多斯盆地及中国致密砂岩储层油气勘探与开发提供借鉴。

1 地质成因

以中外致密砂岩储层统计结果为依据^[10-12],苏里格气田东区致密砂岩储层的地质成因主要包括粘土矿物沉淀、高埋深下强压实作用、塑性岩屑颗粒变形充填孔隙、沉积作用下泥质砂岩充填粒间孔隙和粘土矿物胶结降低孔隙度等。

1.1 粘土矿物沉淀

在储层碎屑岩含量较高且岩石颗粒分选良好的情况下,如果在成藏过程中自生粘土矿物充填后堵塞岩石颗粒之间的喉道部分,则孔喉被分割成更为细小的空间,储层渗透率随之降低,因而形成致密砂岩储层。自生粘土矿物沉淀充填原生孔隙(图1a),使孔喉空间变得更为细小,储层渗透能力下降。

1.2 高埋深下强压实作用

中国致密砂岩储层普遍具有埋深大的特点。苏里格气田东区绝大部分致密砂岩储层埋深超过2 800 m,最大埋深达3 332 m;在地层形成初始阶段,矿物胶结作用影响小,高埋深下的强压实作用是形成致密砂岩储层的最主要因素(图1b)。由苏里格气田东区石盒子组及山西组储层孔隙度随埋

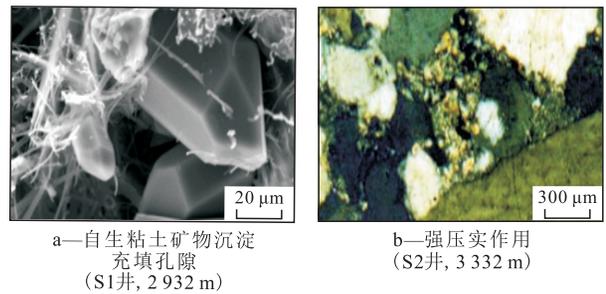


图1 苏里格气田东区孔隙特征

Fig.1 Pore characteristics in the eastern Sulige Gas Field

深变化(图2)可知,孔隙度总体变化趋势为随埋深增加而逐渐减小,当埋深超过2 900 m,孔隙度均值小于10%。

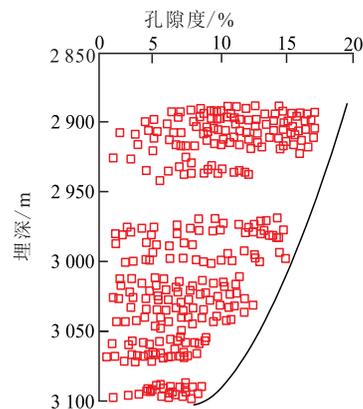


图2 苏里格气田东区孔隙度随埋深变化

Fig.2 Variation trend of porosity with burial depth in the eastern Sulige Gas Field

1.3 塑性岩屑颗粒变形充填孔隙

在沉积环境水体能量不高和沉积物成分相对复杂的情况下^[13],如果粘土矿物组成中塑性碎屑岩或者稳定性较差的碎屑岩含量较高,且储层不存在异常高压环境时,压实作用容易导致塑性岩屑颗粒变形充填孔隙,形成致密砂岩储层。S3井盒8_F段致密砂岩储层中塑性岩屑颗粒在压实作用下挤压变形,充填原生孔隙(图3a),使其物性变差,导致在岩石颗粒之间形成复杂的接触关系。

1.4 沉积作用下泥质砂岩充填粒间孔隙

在水体能量较低或地层原生水浑浊的沉积环境下,碎屑岩颗粒被杂质充填,形成泥质砂岩^[14-15]。原生孔隙被泥质砂岩充填(图3b),流体在孔隙之间的流动能力变差,导致成岩作用后期生成的溶蚀性流体难以进入孔喉之中,粒内孔和粒间孔均不发育,从而形成致密砂岩储层。

1.5 粘土矿物胶结降低孔隙度

石英、方解石及次生粘土矿物在砂岩储层埋藏过程中,以胶结物形式存在于碎屑岩颗粒之间,不仅使储层孔隙度降低,也较大程度地影响其渗透

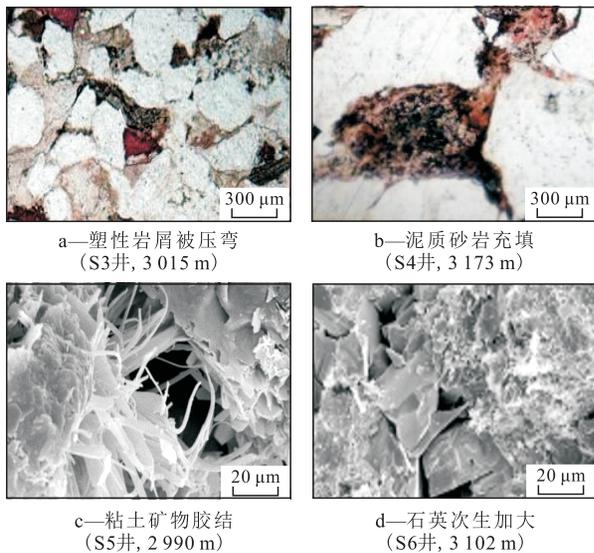


图3 苏里格气田东区储层结构特征

Fig.3 characteristics of reservoir structure in the eastern Sulige Gas Field

性,故以粘土矿物胶结为主要地质成因的致密砂岩储层一般具有孔隙度和渗透率均极低的特点。伊利石粘土矿物胶结(图3c)、石英次生加大(图3d)均使得流体在孔喉中流动空间减小,储层物性变差,从而形成致密砂岩储层。

沉积环境是形成不同类型储层的基础,但中外油气成藏相关研究均表明,砂岩储层的物性参数与沉积时差别较大,成岩作用与孔隙演化过程对储层性质的形成具有重要影响^[16-18]。致密砂岩储层成岩过程复杂,在沉积条件相同的情况下,形成常规储层或者致密砂岩储层主要由成岩作用决定。通过大量铸体薄片对比分析,确定苏里格气田东区盒8段和山1段致密砂岩储层在成岩过程中,早成岩阶段A期以压实作用为主,伴有压溶作用,孔隙度平均降低20.5%。早成岩阶段B期孔隙度变化与塑性岩屑颗粒含量有关,对于塑性岩屑含量较少的储层,早成岩B期压实程度逐渐减弱,烃类气体主要进入粒间孔和粒内溶孔,致密砂岩储层孔隙度一般高于10%;对于塑性岩屑含量较高的储层,早成岩阶段B期仍然以压实作用为主,孔隙度继续减小,烃类气体进入储层后,压实作用逐渐减弱,但在成岩阶段晚期由于受到胶结作用影响,伴随自生石英的充填,孔隙度继续减小,最终形成致密压实相。总之,苏里格气田东区致密砂岩储层的孔隙演化过程主要受到压实作用和胶结作用的影响;压实作用导致的孔隙度降低幅度达20%左右,粘土矿物胶结作用导致的孔隙度降低幅度约为13%;溶蚀作用引起的孔隙度降低幅度约为2%,相对于压实作用和胶结作用来说,溶蚀作用为孔隙演化过程的次要影响因

素。

2 岩石学特征

由不同层段砂岩相对含量分布(图4a)可知:盒子组—太原组,石英砂岩含量基本上呈逐渐增加的趋势,而岩屑砂岩含量整体变化趋势则与之相反,岩屑石英砂岩含量呈先增加后减少的趋势;不同砂岩类型在不同层段分布不均匀,盒8段主要为岩屑石英砂岩;山1段以岩屑砂岩为主,几乎不含石英砂岩;太原组石英砂岩含量高,几乎不含岩屑砂岩。

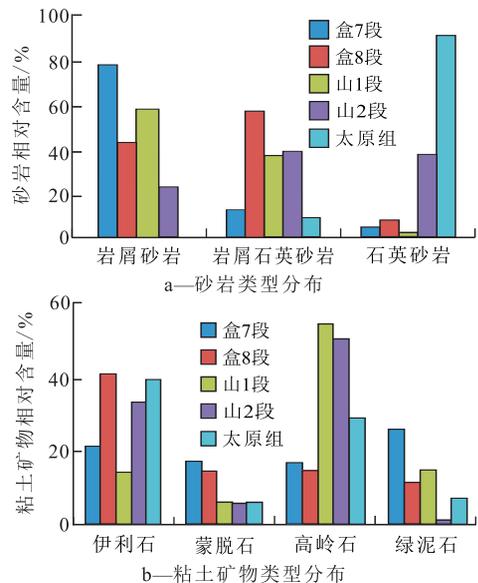


图4 苏里格气田东区砂岩类型及粘土矿物类型分布

Fig.4 Distribution of types of sandstone and clay mineral in the eastern Sulige Gas Field

由不同层段粘土矿物相对含量分布(图4b)可知,高岭石在各个层段的相对含量均较高,且充填粒间孔隙。由于高岭石对岩石附着能力差,容易导致粘土矿物颗粒堵塞砂岩储层孔隙和吼道,使得物性本来就很不好的致密砂岩储层渗透性变得更差。伊利石在多孔介质中呈现错综复杂的分布形式,其中片状伊利石充填孔隙,形成管状喉道或分割孔喉,使得流体渗流通道狭窄且大小交替出现的概率大大增加,降低储层渗透性;毛发状伊利石使得大量粒间孔隙成为微孔隙,降低致密砂岩储层孔隙度。伊利石和绿泥石这2种粘土矿物一方面导致致密砂岩储层物性变差,另一方面填充粒间孔,增加储层比表面积,使得具有强亲水性的砂岩形成更高的束缚水饱和度。此外,其他矿物的胶结作用和蒙脱石的强水敏性也是造成致密砂岩储层物性变差的原因。

3 储集空间类型

苏里格气田东区致密砂岩储集空间类型主要为岩屑溶孔、晶间孔及长石溶孔(图5),粒间溶孔在石盒子组和山西组均分布较少;以微纳米级细小孔喉为主;岩石矿物组成中石英含量越高,储层抗压实能力越强,使得一部分原生孔隙得以保存,这有利于后期流体在孔隙中的流动和次生溶孔的形成,故石英含量较高的储层粒间孔和岩屑溶孔相对更为发育(图6)。通过统计和分析苏里格气田东区各层段不同类型储集空间的面孔率,认为岩屑溶孔最为发育,其次为晶间孔、长石溶孔和粒间孔,粒间溶孔、杂基溶孔和收缩孔少量发育。

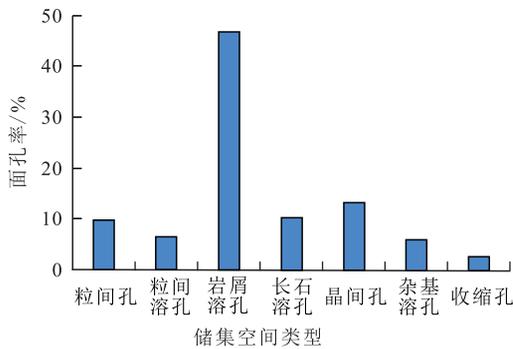


图5 苏里格气田东区储集空间类型分布

Fig.5 Reservoir space type of tight sandstone reservoir in the eastern Sulige Gas Field

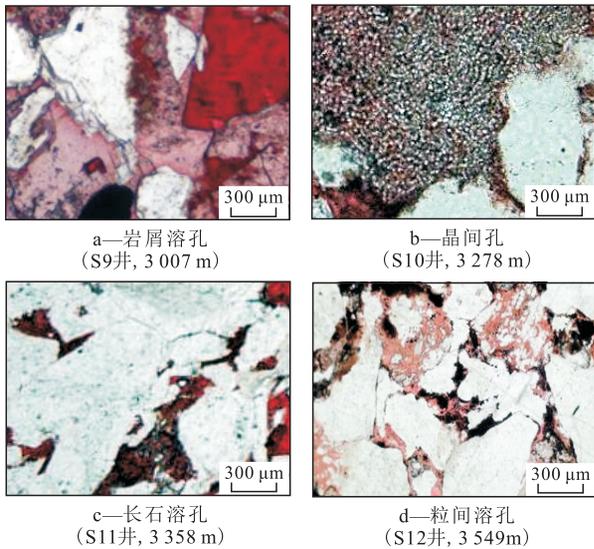


图6 苏里格气田东区储集空间类型

Fig.6 Reservoir space type in the eastern Sulige Gas Field

4 储层物性特征

中国致密砂岩气藏定义为覆压渗透率不大于0.1 mD的气藏^[19]。由于不同致密砂岩储层实际地

质条件存在差异,因此对于致密砂岩气藏地面渗透率尚未给出明确界定。首先对苏里格气田东区致密砂岩气藏储层渗透率进行标准化校正,即将覆压渗透率标准转化为地面渗透率标准,以此实现室内物理模拟实验结果与实际储层渗流能力的匹配。矿场实验研究表明,苏里格气田东区致密砂岩气藏可近似认为是地面渗透率小于0.3 mD的储层。对苏里格气田东区69块岩心样品进行常规物性参数测试,将渗透率和孔隙度分别划分为5个区间(图7)。总体上,研究区致密岩心样品的地面渗透率主要为0.1~0.2 mD,孔隙度主体位于5.0%~8.0%,孔隙率低,几乎无自然产能。

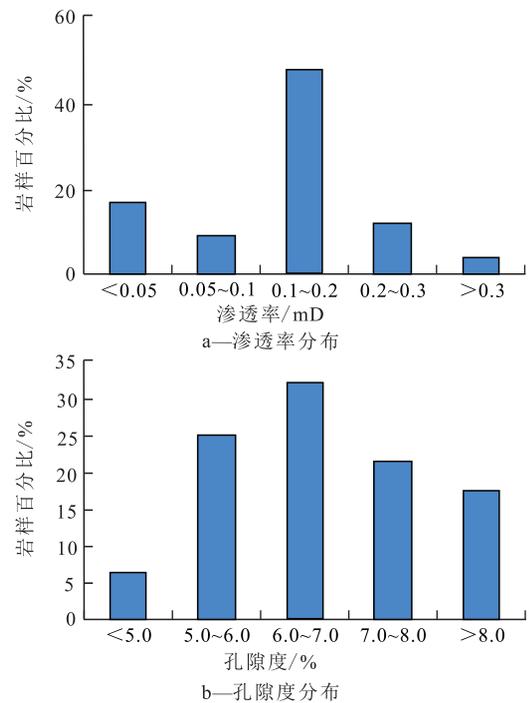


图7 苏里格气田东区孔隙度和渗透率分布

Fig.7 Porosity and permeability distribution in the eastern Sulige Gas Field

大量资料表明,在固结砂岩和碳酸盐地层中,渗透率对数常常与孔隙度呈线性相关,通常常规储层孔隙度和渗透率也具有良好相关性。由图8可知,苏里格气田东区渗透率与孔隙度相关性较常规

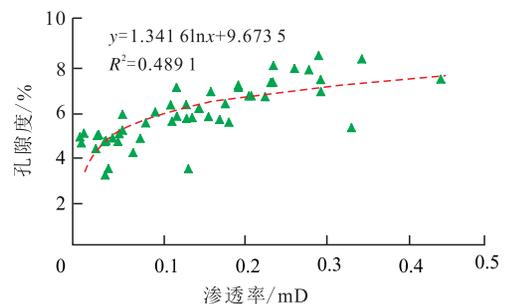


图8 苏里格气田东区孔隙度与渗透率关系

Fig.8 Relationship between porosity and permeability in the eastern Sulige Gas Field

储层的差,二者相关系数小于0.5。这是因为致密砂岩储层岩石颗粒分选较差,加之粘土矿物颗粒充填孔隙,小颗粒对孔喉形成一定程度阻塞,大小颗粒互相嵌入,从而形成复杂的孔渗关系,降低了储层渗透性。

5 结论

苏里格气田东区致密砂岩储层主要地质成因因为埋深大导致强压实作用形成;孔隙演化过程主要受到压实作用和胶结作用影响;由石盒子组到太原组,砂岩类型分布不均匀,盒8段和山1段以岩屑砂岩和岩屑石英砂岩为主。研究区致密砂岩储层储集空间类型主要为岩屑溶孔、晶间孔及长石溶孔。致密砂岩储层形成的原因是岩石颗粒分选较差,粘土矿物颗粒充填孔隙,大小颗粒互相嵌入,降低了储层渗透性。

参考文献:

- [1] 邹才能,朱如凯,吴松涛,等.常规与非常规油气聚集类型、特征、机理及展望——以中国致密油和致密气为例[J].石油学报,2012,33(2):173-187.
Zou Caineng, Zhu Rukai, Wu Songtao, et al.Types, characteristics, genesis and prospects of conventional and unconventional hydrocarbon accumulations: taking tight oil and tight gas in China as an instance[J].Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(2): 173-187.
- [2] 刘占良,朱新磊,杜支文,等.苏里格气田ZT1区块储层地质建模[J].山东科技大学学报:自然科学版,2015,34(1):1-8.
Liu Zhanliang, Zhu Xinlei, Du Zhiwen, et al.Reservoir geological modeling of ZT1 block in sulige gas field[J].Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science, 2015, 34(1):1-8.
- [3] 蔺宏斌,侯明才,陈洪德,等.鄂尔多斯盆地苏里格气田北部下二叠统山₁段和盒₈段物源分析及其地质意义[J].地质通报,2009,28(4):483-492.
Lin Hongbin, Hou Mingcai, Chen Hongde, et al.Provenance analysis and its geological significance of Shan₁ session and He₈ session in northern Sulig gas field, Ordos basin, China[J].Geological Bulletin of China, 2009, 28(4): 483-492.
- [4] 王维斌,朱心万,高平,等.苏里格气田桃7区块盒8段、山1段储层特征[J].天然气工业,2007,27(12):22-24.
Wang Weibin, Zhu Xinwan, Gao Ping, et al.Characteristics of reservoirs at He₈ and Shan₁ members in block Tao7 of Sulige gas field[J].Natural Gas Industry, 2007, 27(12): 22-24.
- [5] 李玲玲.满加尔凹陷东部志留系致密砂岩储层特征[J].油气地质与采收率,2016,23(2):47-51,75.
Li Lingling.Reservoir characteristics of Silurian tight sandstone in the eastern Manjiaer sag[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(2): 47-51, 75.
- [6] 陈占军,任战利,王树慧,等.鄂尔多斯盆地苏里格气田东区储层含气物性下限分析[J].石油实验地质,2016,38(4):521-527.
Chen Zhanjun, Ren Zhanli, Wang Shuhui, et al.Lowest limit for the gas-bearing capacity of reservoirs in the eastern Sulige gas field, Ordos Basin[J].Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(4): 521-527.
- [7] 郭继刚,董月霞,庞雄奇,等.南堡凹陷沙三段致密砂岩气成藏条件[J].石油与天然气地质,2015,36(1):23-34.
Guo Jigang, Dong Yuexia, Pang Xiongqi, et al.Accumulation conditions of tight sand gas in the 3rd member of the Shahejie Formation in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin[J].Oil & Gas Geology, 2015, 36(1): 23-34.
- [8] 韦青,李治平,王香增,等.裂缝性致密砂岩储层渗吸机理及影响因素——以鄂尔多斯盆地吴起地区长8储层为例[J].油气地质与采收率,2016,23(4):102-107.
Wei Qing, Li Zhiping, Wang Xiangzeng, et al.Mechanism and influence factors of imbibition in fractured tight sandstone reservoir: An example from Chang₈ reservoir of Wuqi area in Ordos Basin [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(4): 102-107.
- [9] 邢蓝田,徐丽,赵阳,等.鄂尔多斯盆地林镇地区延安组油气成藏规律[J].特种油气藏,2016,23(2):14-17.
Xing Lantian, Xu Li, Zhao Yang, et al.Hydrocarbon accumulation of Linzhen Yanan Formation in Ordos Basin [J].Special Oil & Gas Reservoirs, 2016, 23(2): 14-17.
- [10] 赵春明,张建民,李祖兵.渤中28-1油田奥陶系碳酸盐岩储层特征及主控因素[J].大庆石油地质与开发,2017,36(1):27-34.
Zhao Chunming, Zhang Jianmin, Li Zubing.Characteristics and main controlling factors for the Ordovician carbonate reservoirs in Bozhong28-1 Oilfield[J].Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2017, 36(1): 27-34.
- [11] 吴康军,刘洛夫,徐正建,等.鄂尔多斯盆地长7段致密油成藏物性下限研究[J].石油实验地质,2016,38(1):63-69.
Wu Kangjun, Liu Luofu, Xu Zhengjian, et al.Lower limits of pore throat radius, porosity and permeability for tight oil accumulations in the Chang₇ Member, Ordos Basin[J].Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(1): 63-69.
- [12] Soeder D J, Randolph P L, Soeder D J, et al.Porosity, permeability, and pore structure of the tight mesaverde sandstone, Piceance Basin, Colorado[J].SPE Formation Evaluation, 1987, 2(2): 129-136.
- [13] 徐梦龙,何治亮,尹伟,等.鄂尔多斯盆地镇泾地区延长组8段致密砂岩储层特征及主控因素[J].石油与天然气地质,2015,36(2):240-247.
Xu Menglong, He Zhiliang, Yin Wei, et al.Characteristics and main controlling factors of tight sandstone reservoirs in the 8th member of the Yanchang Formation in Zhenjing area, Ordos Basin [J].Oil & Gas Geology, 2015, 36(2): 240-247.
- [14] 王香增,范柏江,张丽霞,等.陆相页岩气的储集空间特征及赋存过程——以鄂尔多斯盆地陕北斜坡构造带延长探区延长组长7段为例[J].石油与天然气地质,2015,36(4):651-658.