

潍北凹陷页岩气资源潜力分析

纪洪磊¹, 刘莉², 刘鹏飞³

(1. 山东省鲁北地质工程勘察院, 山东 德州 253015; 2. 山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013; 3. 山东正维勘察测绘有限公司, 山东 济南 250101)

摘要:页岩气作为一种非常规能源,在北美已经取得了相对较成熟的勘探开发经验,潍北凹陷沉积了较厚的暗色泥页岩,为摸清页岩气“家底”,笔者通过分析潍北凹陷央5井、昌64井等一系列钻井取芯测试结果,对潍北凹陷孔店组二段地层暗色泥页岩厚度、有机质类型、丰度、成熟度等页岩气形成条件进行了系统研究,结果表明,潍北凹陷孔店组二段泥页岩形成于浅湖相-深湖相环境,暗色泥页岩厚度较大,有机质含量、成熟度均较高,且埋藏较浅,具备页岩气形成条件,是省内页岩气勘探的有利目标层位。

关键词:潍北凹陷;页岩气;有机质;成熟度

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

引文格式:纪洪磊,刘莉,刘鹏飞.潍北凹陷页岩气资源潜力分析[J].山东国土资源,2017,33(1):44-47. JI Honglei, LIU Li, LIU Pengfei. Potential Analysis on Shale and Gas Resources in Northern Weifang Depression[J]. Shandong Land and Resources, 2017, 33(1): 44-47.

0 引言

页岩气是指赋存于富含有机质的泥页岩及其夹层中,以吸附或游离状态为主要存在方式的非常规天然气。近年来,美国页岩气的快速勘探开发使得天然气储量迅速增加,超过俄罗斯成为世界天然气生产第一大国。截至2013年,美国页岩气产量超过2 650亿m³,达到了美国天然气总产量的40%^[1]。北美页岩气的成功开发引发了全球页岩气勘探热潮,2000年以来,我国也逐渐加大了对页岩气资源的研究力度^[2-6]。

潍北凹陷古近系泥页岩发育广泛,累积厚度大,有机质丰度较高,有机质类型较好,演化程度分布范围较宽,大量油气源对比结果证实为有效烃源岩,具备形成页岩气的物质基础^{①②}。

1 构造位置

潍北凹陷为一新生代断陷盆地,呈北断南超、北

陡南缓、北深南浅的箕状。西以广饶凸起为界与济阳拗陷相接,东以昌邑-大店断裂与鲁东隆起相连,北邻潍北凸起,南至鲁西隆起,盆地面积约880 km²。依据地层的沉积特点、构造特征,潍北潜凹陷可进一步划分为北部洼陷带、南部斜坡带、灶户断鼻带、瓦城断阶带4个次级构造单元(图1)。

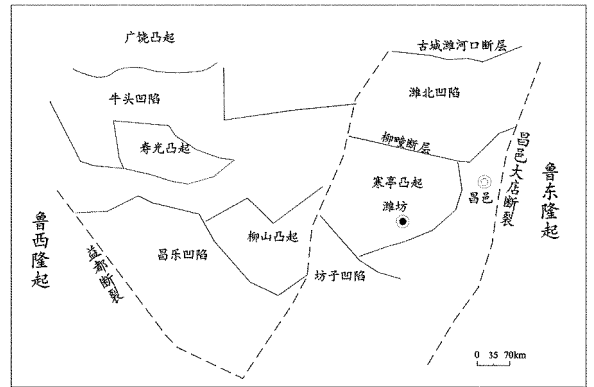


图1 潍北潜凹陷构造图

收稿日期:2015-09-16;修订日期:2016-08-26;编辑:曹丽丽

基金项目:山东省地矿局矿产勘查项目《山东省鲁北地区页岩气资源调查》编号(KC2013015)项目

作者简介:纪洪磊(1984—),男,山东滨州人,工程师,主要从事水工环地质工作;E-mail:jihl0543@163.com

①汪巍,东营凹陷、潍北凹陷孔店组烃源岩地球化学特征对比研究及油源意义,成都理工大学硕士学位论文,2006年。

②姜敏,东营、潍北及沾化凹陷深层烃源岩有机地球化学特征研究,成都理工大学硕士学位论文,2011年。

2 页岩气成矿地质背景

2.1 泥页岩沉积与展布特征

凹陷内孔二段埋藏深度较浅,在 1 600~3 800 m。根据地震反射特征,凹陷北缘、东缘发育扇三角洲沉积相,凹陷北部地区发育浅湖相-半深湖相,北部、东部边缘区分布湖盆浊积扇相,南部发育河流-三角洲沉积相^①。

潍北潜凹陷富含有机质泥页岩主要分布在北部洼陷带孔二段地层中,按岩性可分为暗色泥岩、碳质页岩、煤层和油页岩,其中以暗色泥岩为主,主要分布在北部洼陷和灶户断鼻东北部,单层厚度可达 5~15 m,累计厚度达 500 m 以上。碳质页岩在剖面上呈薄层状与煤层交替,在孔二段上、中、下 3 个亚段均有分布,尤以下亚段和中亚段更为集中,主要分布在北部洼陷带的南侧及瓦城断阶北部一带,单层厚度最大可达 3~5 m,最大厚度达 30 m 以上。

2.2 储集性特征

凹陷内黏土矿物主要由混层矿物组成(表 1)^[7],根据伊/蒙混层矿物含量推测凹陷不同深度的成岩温度范围,潍北凹陷生烃深度约为 3 000~4 000 m,温度 110~178℃。经统计分析,潍北潜凹陷孔隙度分布在 0.9%~12.2%之间,平均孔隙度为 5.6%(图 2),渗透性分布在 $(0.01 \sim 0.282) \times 10^{-3} \text{um}^2$ 之间,均值为 $0.097 \times 10^{-3} \text{um}^2$ 。

表 1 潍北凹陷黏土矿物组成

井号	取样层位	采样深度(m)	岩性特征	相对含量%			
				高岭石(Ka)	伊利石(I)	绿泥石(Chl)	混层矿物(L/S)
昌 67-1	Ek2	2624	粉砂质泥岩	—	28	72	—
昌 67-10	Ek2	3163	灰色粉砂岩	—	—	19	81
昌 67-11	Ek2	3304	灰黑色粉砂岩	—	—	29	71
昌 67-13	Ek2	3457	黑色泥岩	—	56	34	10
央 5-1	Ek2	3308	灰黑色泥岩	—	72	15	13
央 5-3	Ek2	3695	灰黑色泥岩	—	23	77	—
央 5-15	Ek2	4044	灰黑色泥岩	—	40	52	8

2.3 有机质类型

潍北凹陷有机组分组成具有复杂多变的特点,复杂多变性既表现在垂向上分布的差异性又表现在平面上分布不均匀性。垂向上孔二段上亚段样品有机质主要为 I 型和 II 型,中亚段、下亚段样品有机质主要为 III 型。平面上,凹陷东北部地区有机质主要来自陆源植物碎屑,干酪根属于 II, III 型;凹陷中部

地区,浮游生物和藻类相对发育,有机质干酪根中腐泥组分明增多,最高可达 90% 左右,干酪根属于 I 型。显示出潍北潜凹陷孔二段烃源岩非均质性,也反映了潍北潜凹陷孔二段烃源岩母质的多样性及沉积的多变性(图 2)。

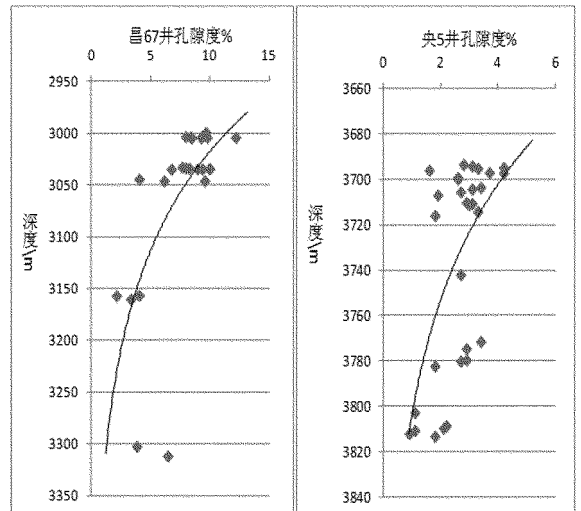


图 2 潍北凹陷孔二段孔隙度与深度关系图

2.4 有机质丰度

在油气勘探中普遍采用有机碳含量指标来代表烃源岩的有机质丰度^[8-10]。从分析结果来看,有机碳含量分布范围较宽,介于 0.4%~15.9%之间,平均含量约为 2.62%,有机质丰度较高,基本上达到了好烃源岩标准^[11-14]。

从纵向上看,以孔二上、孔二中相对较好,孔二下较差。孔二上烃源岩有机碳达好烃源岩标准的占总数的 69% 左右;达较好以上烃源岩标准的高达 82%。孔二中烃源岩有机碳达好烃源岩标准的占总数的 34% 左右;达较好以上烃源岩标准的占 59%。孔二下烃源岩有机碳达好烃源岩标准的占总数的 36% 左右;达较好以上烃源岩标准的高达 57%。并且孔二中段烃源岩厚度大,为潍北潜凹陷的主力生油亚层^①。

从平面上看,有机碳含量由边缘到中部昌 67、昌 14、昌 64 等洼陷中心一带,有机质含量逐渐增多,有机质丰度逐渐变高。北部洼陷样品平均值为 2.56%,部分岩屑样品有机碳含量最高值达到 15.9%,这与该段富集含碳质页岩和煤层有关。灶

① 汪巍,东营凹陷、潍北凹陷孔二段烃源岩地球化学特征对比研究及油源意义,成都理工大学硕士学位论文,2006 年。

户断鼻带地层厚度和烃源岩厚度都变薄,但烃源岩平均有机碳丰度较高。昌 25 井最高含量达 15.8%,从样品测试结果推测,淮北凹陷内有机碳以瓦城断阶和北部洼陷两个中心富集。南部斜坡带接近沉积盆地边缘,有机碳含量较低(图 3、表 2)。

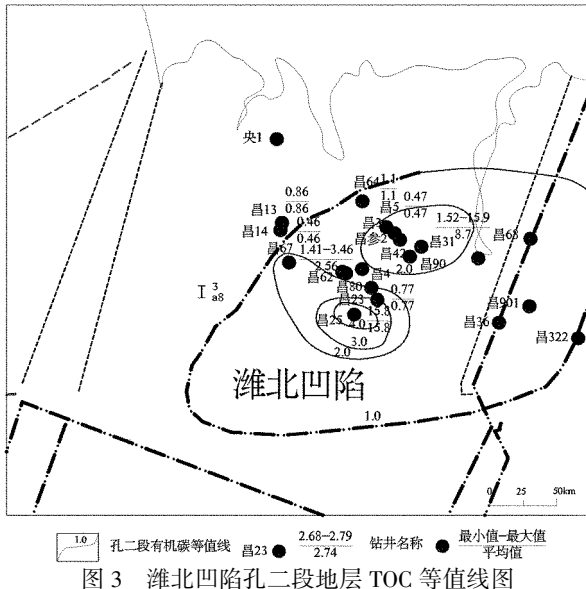


图 3 淮北凹陷孔二段地层 TOC 等值线图

表 2 淮北凹陷孔店组地层有机质类型及丰度

井名	井深/m	岩性	干酪根类型	有机碳 /%	烃源岩质量
昌 29	1265.0	灰色泥岩	II ₂	1.51	较好
昌 25	1314.0	深灰碳质泥岩	III	15.80	好
昌 3-1	1760.4	褐色碳质泥岩	II ₂	15.90	好
昌 3-1	1836.2	褐色泥岩	II ₁	1.52	较好
昌 52	2115.0	深灰色泥岩	II ₁	4.58	较好
昌 52	2124.0	深灰色泥岩	II ₁	9.99	好
昌 52	2278.0	深灰色泥岩	II ₂	2.20	较好
昌 64	2443.3	黑灰色泥岩	II ₁	1.10	较好
昌 13	2655.0	深灰色泥岩	II ₂	0.86	好
昌 51	3002.0	深灰色泥岩	III	0.95	较好
昌 19	1370.00	灰色泥岩	II ₂	0.40	较差
昌 19	1611.00	灰色泥岩	II ₂	0.77	较差
昌 19	1620.00	灰色泥岩	III	0.61	较差
昌 19	1691.00	灰色泥岩	III	0.76	较差
昌 19	1740.00	灰色泥岩	II ₂	0.71	较差
昌 5	2225.00	灰色泥岩	II ₂	0.47	较差
昌 10	2343.00	灰色泥岩	III	0.47	较差
昌 14	2490.50	灰色泥岩	I	0.46	较差
昌 9	2592.00	灰色泥岩	II ₂	0.47	较差
昌 9	2725.00	灰色泥岩	II ₂	0.59	较差

2.5 有机质成熟度

有机质成熟度一般以镜质体反射率(R_o)指标表示^[14-17]。孔二段烃源岩的镜质体反射率(R_o)的变化范围在 0.4%~1.62%之间,2 442~3 820 m 深度

范围内平均值为 1.01%,总体上呈随深度增加而增加趋势。2 500 m 左右时,镜质体反射率就达到 0.5%,当埋深达到 3 500 m 左右时,成熟度达到 1.0%。由于凹陷内不同地区地层的抬升剥蚀厚度和地温梯度的差异,不同井点的生烃门限深度、生烃高峰的深度有所不同,相同埋深条件下处于凹陷中部的昌 64 井成熟度较高,在 3 000~3 500 m 范围内成熟度为 1.0%~1.33%,而位于北部边缘区域的央 5 井在 3 300~4 000 m 深度内达到 1.0%~1.62%(图 4)。根据淮北凹陷实测 R_o 值数据显示^①,淮北潜凹陷孔二段烃源岩至少存在两片烃源岩成熟区,即以北部洼陷为主体并包括灶户断鼻北部在内的北部成熟区和以灶户断鼻南部为主体包括南部斜坡东段在内的东南部成熟区^[18]。即以北部洼陷为主体的北部成熟区和以南部斜坡东段在内的东南部成熟区。以镜质体反射率 0.5%为边界圈定的这两片地区占凹陷总面积一半以上。

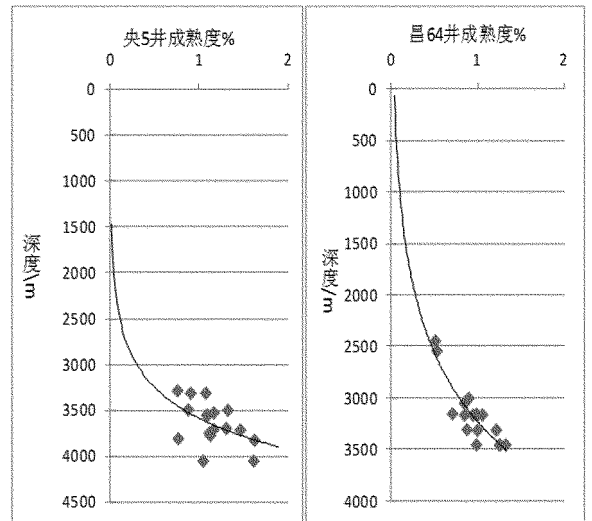


图 4 淮北凹陷孔二段地层成熟度与深度关系图

3 淮北凹陷页岩气资源潜力评价

根据北美地区页岩气勘探开发经验^[4]及《页岩气资源/储量计算与评价技术规范》(DZ/T0254-2014)中参数分类标准,对淮北凹陷页岩气资源潜力进行初步评价^[19-20]。

淮北凹陷北部洼陷和灶户断鼻东北部暗色泥岩

① 姜敏,东营、淮北及沾化凹陷深层烃源岩有机地球化学特征研究,成都理工大学硕士学位论文,2011年。

单层厚度达 5~15 m, 累计厚度达 500 m, 远大于 30 m 页岩有效厚度; 孔二上、孔二中地层有机碳含量介于 1.1%~15.9% 之间, 属于中—高一特高页岩气层。埋藏深度为 1 600~3 800 m, 属于中浅层—中深层气田, 相对开发投入成本较低。3 000~3 500 m 埋藏深度范围内成熟度达到 1.0%~1.33%, 热演化程度低~中等, 孔隙度分布在 0.9%~12.2% 之间, 平均孔隙度为 5.6%, 达到中等级别。

综上所述, 潍北凹陷孔二段泥页岩形成于深湖—浅湖相环境, 暗色泥页岩厚度较大, 有机质含量、成熟度均较高, 且埋藏较浅, 具备页岩气形成条件, 是省内页岩气勘探的有利层位。

致谢: 论文在完成过程中, 受到了中国石化胜利油田有限公司地质科学研究院王永诗教授和朱家俊研究员的指导, 在此致以诚挚感谢。

参考文献:

- [1] 张金川, 金之钧, 袁明生. 页岩气成藏机理和分布[J]. 天然气工业, 2004, 24(7): 14-18.
- [2] 戴金星. 我国天然气资源及其前景[J]. 天然气工业, 1999, 19(1): 3-6.
- [3] 陈建渝, 唐大卿, 杨楚鹏. 非常规含气系统的研究和勘探进展[J]. 地质科技情报, 2003, 22(4): 55-59.
- [4] 李新景, 胡素云, 程克明. 北美裂缝性页岩气勘探开发的启示[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(4): 392-400.
- [5] 张林晔, 孔祥星, 张春荣, 等. 济阳拗陷下第三系优质烃源岩的发育及意义[J]. 地球化学, 2003, 32(1): 35-42.
- [6] 杨永红, 常国贞, 边雪梅, 等. 山东昌潍凹陷古近系孔店组划分与分布[J]. 地层学杂志, 2005, 29(1): 78-83.
- [7] 张增奇, 田京祥, 张春池, 等. 国内外页岩气研究进展及山东省

- 页岩气资源潜力[J]. 山东国土资源, 2012, 28(10): 1-6.
- [8] 王永诗, 李政, 巩建强, 等. 济阳拗陷页岩油气评价方法——以沾化拗陷罗家地区为例[J]. 石油学报, 2013, 34(1): 83-91.
- [9] 李延钧, 刘欢, 刘家霞, 等. 页岩气地质选区及资源潜力评价方法[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2011, 33(2): 28-34.
- [10] 宗国洪, 王秉海. 济阳盆地中生代构造特征与油气[J]. 地质论评, 1998, 44(3): 289-294.
- [11] 侯读杰, 王铁冠. 陆相油气地球化学研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996.
- [12] 王文林. 东营凹陷古近系深层凝析气藏形成条件[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(3): 55-57.
- [13] 金强. 有效烃源岩的重要性及其研究[J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(1): 1-4.
- [14] 刘传联, 徐金鲤, 汪品先. 藻类勃发湖相油源岩形成的一种重要机制[J]. 地质论评, 2001, 47(2): 207-210.
- [15] 李丕龙, 庞雄奇. 陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成以济阳拗陷为例[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- [16] 郑和荣, 黄永玲, 冯有良. 东营凹陷下第三系地层异常高压体系及其石油地质意义[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(4): 60-65.
- [17] 赵季初. 东营凹陷沙三下亚段页岩气前景分析[J]. 山东国土资源, 2015, 31(3): 26-29.
- [18] 王之跃, 彭文泉, 宋昭睿, 等. 页岩气现场解析气量影响因素探讨——以潍北凹陷昌页参 1 井为例[J]. 山东国土资源, 2015, 31(9): 22-25.
- [19] 王丽娟. 山东鲁西地区上古生界泥页岩特征及页岩气远景区预测[J]. 山东国土资源, 2016, 32(1): 21-25.
- [20] 王立东, 张明德, 吴清华, 王玲丽, 张平平. 济阳拗陷区页岩气资源储存可能性浅析[J]. 山东国土资源, 2016, 32(6): 28-31.

Potential Analysis on Shale and Gas Resources in Northern Weifang Depression

Ji Honglei¹, Liu Li², Liu Pengfei³

(1. Lubei Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Dezhou 253015, China; 2. Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Shandong Jinan 250013, China; 3. Shandong Zhengwei Surveying and Mapping Institute, Shandong Jinan 250101, China)

Abstract: Through analysis on formation conditions of dark shale thickness, organic matter type, abundance and maturity of shale and gas in the second section of Kongdian formation in Weibei depression, it is showed that shale in the second Kongdian formation in Weibei depression was formed in the shallow lacustrine facies - deep lacustrine environment. The thickness of dark shale is large, organic matter content and maturity are high, and buried in shallow part. It has shale and gas formation conditions and is favourable for the formation of shale gas exploration in the Shandong province.

Key words: Weibei depression; shale gas; organic matter; maturity