

潍北凹陷孔店组二段含页岩气层矿物特征及其意义 ——以昌页参 1 井为例

梁云汉

山东省第一地质矿产勘查院, 济南, 250100

内容提要:运用 X 射线衍射技术,对潍北凹陷昌页参 1 井孔店组二段泥(页)岩岩芯样品进行了分析。结果表明,孔店组二段泥(页)岩中矿物主要有:黏土矿物、石英、方解石,平均含量分别为 51.7%、29.3%、9.6%;还有长石及少量白云石、黄铁矿等矿物。该矿物组成反映出孔店组二段属潮湿气候条件下的深湖-半深湖相沉积环境,为页岩气藏的形成与储存提供了一定的沉积条件;黏土矿物特征反映出孔店组有机质演化进入成熟-高成熟阶段,具有页岩气形成的成熟度条件。孔店组二段两层含页岩气岩层厚分别为 60.48m、68.09m,伊利石和绿泥石含量低、相应孔隙率高且颗粒状矿物(石英+方解石)含量多在 30%~50%之间,是较理想的页岩气重点勘探开发层位。

关键词:孔店组二段;潍北凹陷;页岩气;矿物组成;X 射线衍射

古近系孔店组二段是山东省重要的页岩气生烃岩系和储集层(Zhang Chunchi et al., 2019),其生气能力受多种因素控制,如吸附能力和孔隙、裂隙的发育程度等;而含气泥页岩的孔隙度和渗透率较低,因此需要研究含气性与这些参数之间的关系,才能确定有利于页岩气开发的含气层。页岩气有时呈游离态散布于孔隙或天然裂缝中,有时吸附于有机质和黏土矿物表面;矿物组成是研究储层吸附能力和基质孔隙度的基础,并且,泥页岩中的颗粒状矿物如石英、方解石等(Bowker et al., 2009),是控制裂缝发育的主要因素,直接影响储集空间和渗流通道。在页岩气评价中,应该寻找有机质和颗粒状矿物相对含量高、黏土矿物相对含量低、裂缝发育并且能成功压裂增产的脆性优质烃源岩。因此,页岩气储层矿物组成研究对页岩气资源潜力评价及开发工艺设计具有重要意义。

1 地质背景

潍北凹陷是昌潍拗陷内页岩气生储条件最佳的次一级凹陷盆地,为一新生代沉积盆地,也是传统油气开采区,凹陷内已有石油钻孔 100 余口,昌页参 1

井为该区第一口页岩气参数井。

昌页参 1 井揭露地层自上而下有:第四系、新近系明化镇组和馆陶组、古近系沙河街组和孔店组。第四系广泛分布,岩性以黏土、砂质黏土、砂等组成。新近系主要发育明化镇组和馆陶组;明化镇组岩性为棕黄色、棕红色砂岩、含砾砂岩,成岩性差,胶结疏松;馆陶组岩性为灰绿色、灰白色砂岩、含砾砂岩。古近系主要发育了沙河街组四段和孔店组。沙河街组四段岩性主要为灰色、灰绿色泥岩,粉砂岩以及砂岩。孔店组可分为三段:孔店组一段为浅灰、红、紫红色粉砂、细砂岩、泥岩,夹少量薄层灰绿色泥质粉砂岩。孔店组二段上亚段为黑色、灰黑色、深灰色泥页岩、碳质泥岩、油页岩、泥灰岩,部分深灰色、灰绿色粉砂质泥岩,局部夹有粉砂岩、砂岩等,部分层段岩石中有机质呈粒状、树枝状、不规则状等,或沿裂隙分布,或杂乱分布,昌页参 1 井揭露 249.56m;中亚段为灰色、泥岩夹含砾砂岩、薄层砂岩,局部发育碳质泥岩及煤层,亦为页岩气富集层位,昌页参 1 井揭露 321.19m;下亚段为深灰色厚层泥岩、碳质泥页岩,夹薄层状砂岩及泥质砂岩,揭露层厚 343m。孔店组三段(未揭穿)主要为灰黑、灰绿、暗紫色及杂色

注:本文为山东省地质勘查项目(编号鲁勘字[2013]1号)、(编号鲁勘字[2013]2号)资助成果。

收稿日期:2019-07-23;改回日期:2019-08-18;责任编辑:周健。

作者简介:梁云汉,男,1986年生。工程师,现主要从事矿产勘查、水工环地质和页岩气勘查研究工作。Email:ahan0416@126.com。

引用本文:梁云汉. 2019. 潍北凹陷孔店组二段含页岩气层矿物特征及其意义——以昌页参 1 井为例. 地质学报, 93(s1):37~44, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2019208.

Liang Yunhan. 2019. Characteristics and significance of mineral composition in the 2nd Member of Kongdian Formation in Weibei sag——take well Changyecan-1 as an example. Acta Geologica Sinica, 93(s1):37~44.

玄武岩、安山玄武岩。白垩系王氏群岩性为红色泥岩、泥质粉砂岩与灰白色砂岩、含砾砂岩,构成淮北凹陷的基底。

淮北凹陷东部以昌邑-大店断裂为界,西边以郟鄏-葛沟断裂为界(Chen Shangbin et al., 2010),北部边界以古城-淮河口断裂控制整个凹陷,整体上为一近菱形的沉积凹陷(图1)。凹陷内次一级断裂发育,部分断裂对油气成藏起控制作用。淮北凹陷内除孔店组三段发育大量玄武岩、安山岩等岩浆岩外,其他层段罕有揭露。

2 样品与分析方法

对昌页参1井孔店组二段岩芯共采集样品35件,其中全岩衍射采用SY/T5163-2010《沉积岩中黏土矿物和非常见黏土矿物X射线衍射分析方法》,在瑞华通正非常规油气技术检测(北京)有限公司(SGS)实验室使用smartlab9 X射线衍射仪进行分析测试。样品粒度为200目,样品质量大于20g,采用干法压片技术进行制片。测试条件:波长0.10540nm,起始角度 3° ,终止角度 45° ,步长 0.02° ,扫描速度2deg/min。

黏土样品由Stocks沉降法富集获得,按顺序对自然片 \rightarrow 乙二醇饱和片 \rightarrow 高温片进行测试,并计算出高岭石、绿泥石、伊利石、蒙脱石、伊/蒙间层、绿/蒙间层的相对百分含量以及混层比。

3 分析结果

孔店组二段泥(页)岩的矿物组成较复杂(表1、图2),样品中均含有石英、钾长石、斜长石以及伊利石、高岭石、绿泥石、伊蒙混层等黏土矿物,其中黏土矿物和石英为研究区孔店组二段泥(页)岩的主要矿物。部分样品还含有黄铁矿、方解石、白云石等。

昌页参1井揭露的孔店组二段岩石中颗粒状矿物主要有石英、长石、方解石、白云石、菱铁矿、黄铁矿、赤铁矿、铁白云石等。颗粒状矿物总体含量33.6%~65.2%、平均48.3%,以石英、长石、方解石为主,其中石英含量为20.9%~37.2%,平均为29.3%;长石以斜长石为主,钾长石次之,斜长石含量4.5%~19.6%、平均9.4%,钾长石含量最高值5.9%、平均为2.6%(图3);方解石在孔店组二段上亚段、中亚段上部含量较高,最高为37.5%、平均为9.6%;白云石含量最高值为5.9%、平均为2.5%;菱铁矿仅一个样品检出(2.5%);黄铁矿最高值为5.1%、平均为3.3%;赤铁矿最高值为5.1%、平均为2.6%;铁白云质含量最高值为2.8%、平均为1.7%。黏土矿物含量占34.8%~66.4%、平均为51.7%。孔店组二段泥页岩中颗粒状矿物含量多集中于30%~50%之间,有利于产生天然或诱导裂缝(Wang Shejiao et al., 2011),有利于页岩气储层的压裂改造。

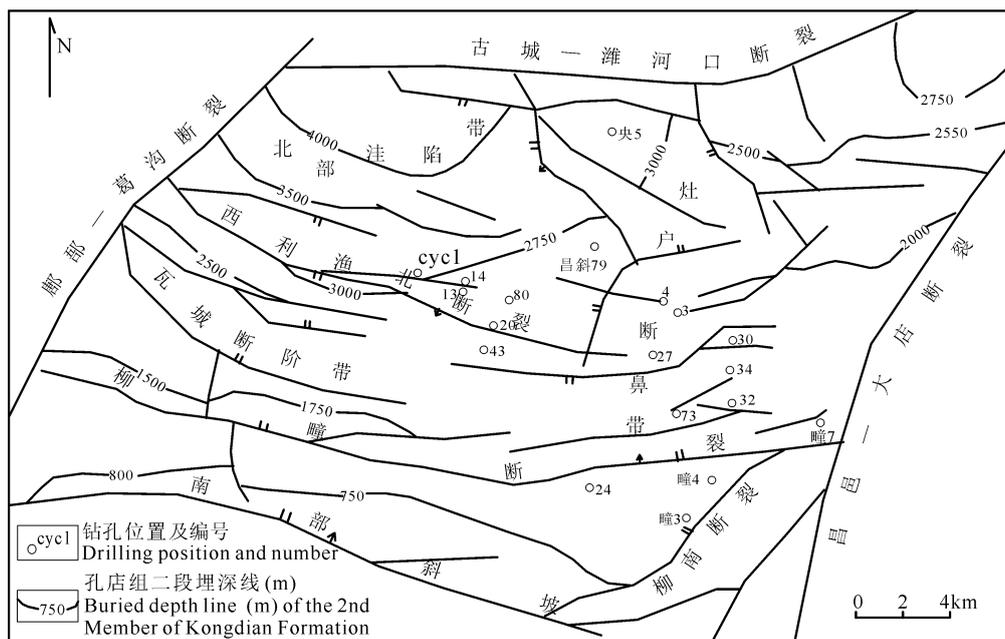


图1 淮北凹陷构造图及昌页参1井位置(据 Wang Zhiyue et al., 2015)

表 1 淮北凹陷孔店组二段样品 X 射线衍射分析结果

Table 1 X-ray diffraction analysis results of samples from the 2nd Member of Kongdian Formation in Weibei sag

样品编号	井深 (m)	岩性	层位	黏土矿物(%)				其他矿物(%)						
				伊蒙混层	伊利石	高岭石	绿泥石	石英	钾长石	斜长石	方解石	白云石	黄铁矿	其他
cycl-y003	2649.46	泥灰岩	孔二段上亚段	57	37	3	3	20.9	0.0	4.5	24.2	5.9	1.9	0.0
cycl-y010	2654.64	泥灰岩		21				26.2	1.4	8.6	37.5	1.5	3.5	0.0
cycl-y018	2752.04	细砂岩		47	40	3	10	36.7	5.9	19.6	18.1	0.0	0.0	1.6
cycl-y021	2755.32	泥岩、细砂岩		57	33	3	7	37.2	2.9	12.5	9.0	0.0	0.0	0.0
cycl-y023	2760.88	泥岩		50				27.3	1.9	8.1	11.7	0.0	1.3	0.0
cycl-y028	2769.77	泥岩		42				30.1	3.4	10.4	9.1	0.0	2.2	2.8
cycl-y030	2771.89	泥岩		57				24.6	2.7	6.9	5.9	0.0	0.0	3.1
cycl-y033	2781.29	泥岩		55				23.3	3.1	7.1	6.5	2.3	0.0	2.9
cycl-y034	2783.8	泥岩		49				29.4	2.3	8.0	6.9	2.5	0.0	2.1
cycl-y045	2817.64	泥岩		60				26.0	2.6	7.8	2.5	0.0	0.0	0.8
cycl-y049	2830.19	油页岩		73	21	2	4	27.0	0.0	5.1	15.1	0.0	2.9	2.5
cycl-y055	2848.41	泥岩		53				28.8	1.9	9.9	5.4	1.1	0.0	0.0
cycl-y061	2851.27	泥岩		55	29	8	8	29.2	2.7	8.8	1.2	0.0	0.0	1.5
cycl-y063	2853.44	泥岩		56				29.4	3.1	8.9	0.8	0.0	0.0	1.6
cycl-y066	2855.71	泥岩		55	25	11	9	34.8	4.2	12.5	1.2	2.2	4.4	0.0
cycl-y070	2857.88	泥岩		53				30.3	2.4	10.1	0.8	1.9	1.8	0.0
cycl-y074	2861.58	泥岩、砂岩		50	28	15	7	37.2	3.6	16.0	0.0	0.0	5.1	0.0
cycl-137	2864.77	泥岩		35				36.1	5.0	18.1	0.0	0.0	4.7	1.3
cycl-y078	2865.49	泥岩		47				32.7	2.9	10.8	0.0	0.0	5.1	1.3
cycl-y081	2873.97	泥岩		54				31.1	1.9	8.4	0.0	0.0	0.0	5.1
cycl-y094	2894.64	泥岩		52				29.6	2.9	10.3	0.0	0.0	0.0	5.1
cycl-y108	2921.66	泥岩	孔二段中亚段	51				29.6	2.4	8.6	8.4	0.0	0.0	0.0
cycl-y115	2935.13	泥岩		57				24.8	1.5	6.2	8.1	0.0	0.0	2.1
cycl-y122	2945.59	泥岩		62	29	4	5	25.6	1.2	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0
cycl-y124	2949.48	泥岩		60				28.0	1.8	10.3	0.0	0.0	0.0	0.0
cycl-y132	2961.47	粉砂质泥岩		64				26.6	0.0	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0
cycl-y138	2971.2	泥岩		68	27	2	3	26.7	1.7	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0
cycl-y147	2989.95	泥岩		54				30.8	5.3	8.6	0.0	0.0	0.0	0.9
cycl-y162	3015.51	泥岩		63				26.5	1.7	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0
cycl-y174	3029.64	泥岩		67	18	7	8	27.7	1.8	10.4	0.0	0.0	0.0	0.0
cycl-y181	3039.86	泥岩		65				24.4	1.7	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0
cycl-y190	3051.05	泥岩		60	21	4	15	30.1	1.8	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0
cycl-y201	3066.75	泥岩		62				30.8	0.0	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0
cycl-y212	3081.22	泥岩		60				30.0	1.8	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0
cycl-y217	3088.71	泥岩		62	23	5	10	34.9	1.5	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0

昌页参 1 井揭露岩石中黏土矿物主要为伊蒙混层、伊利石、高岭石、绿泥石。伊蒙混层占 47%~73%，平均值为 59%；伊利石占 18%~40%，平均值为 28%；高岭石占 2%~15%，平均值为 6%；绿泥石占 3%~15%，平均值为 7% (图 4)。

比较凹陷内其他钻孔，孔店组二段黏土矿物含量以蒙脱石、伊蒙混层、高岭石为主。蒙脱石在一定压力、温度下的碱性环境中，随深度的增加会向伊利石转化，若存在 Fe²⁺、Mg²⁺ 则向绿泥石转化；在一定压力、温度下的酸性环境中会向高岭石转化 (Liang Junhong et al., 2016)。从孔店组二段黏土矿物含量统计表中 (表 2) 可以看出，昌 11 井样品为富 Fe²⁺、Mg²⁺ 环境转化产物，昌 67 井、昌页参 1 井

蒙脱石的转化程度高于昌 68 井、昌 69 井，高于昌 70 井、昌 3-1 井。

表 2 淮北凹陷孔店组二段黏土矿物含量统计表 (%)

Table 2 Clay mineral content (%) statistics of the 2nd Member of Kongdian Formation in Weibei sag

井号	井深 (m)	伊蒙混层	伊利石	高岭石	绿泥石	蒙脱石
昌 70	1409.54		16	37	4	43
昌 3-1	1841~1868		3	44	11	42
昌 69	2377.85		2	64	15	19
昌 681	2646~2647	14	8	59	15	19
昌 68	2568.27	12	6	69	13	
昌 11	2777.63		16	11	71	
昌 67	3312.7	49	10	26	15	
昌页参 1	2649.46~3088.71	59	28	6	7	

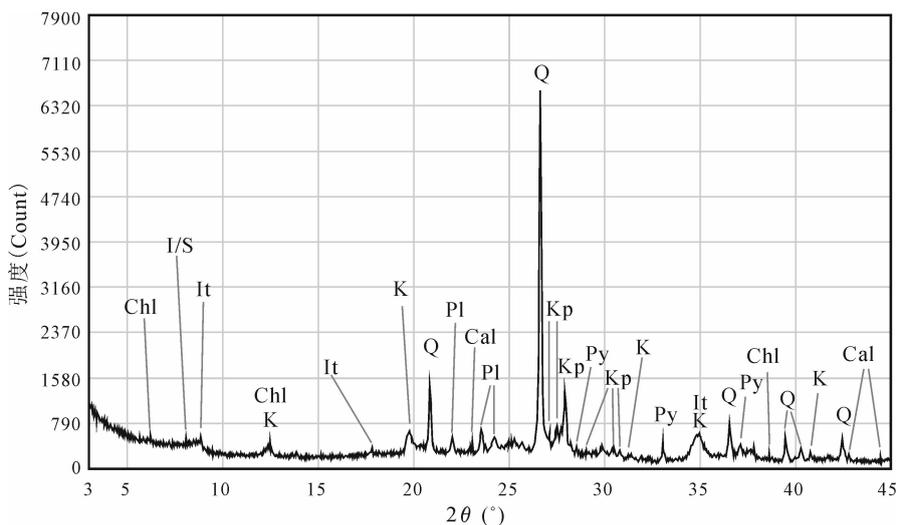


图2 昌页参1井孔店组二段 cycl-y066 样品 X 射线衍射分析图谱

Fig. 2 X-ray diffraction analysis of sample cycl-y066 from the 2nd Member of Kongdian Formation in well Changyecan-1

It—伊利石; K—高岭石; Chl—绿泥石; I/S—伊/蒙混层; Q—石英; Cal—方解石; Pl—斜长石; Kp—钾长石; Py—黄铁矿

It—Illite; K—kaolinite; Chl—chlorite; I/S—illite/montmorillonite interlayer mineral; Q—quartz;

Cal—calcite; Pl—plagioclase; Kp—potash feldspar; Py—pyrite

4 讨论

4.1 矿物组成反映的沉积环境

孔店组二段沉积时凹陷边缘为沼泽-浅水环境, 往中心逐渐过渡为较深水-深水的沉积环境 (Peng Wenquan, 2016)。X 射线衍射测试结果显示, 泥(页)岩中石英含量平均约为 29.3%, 还含有斜长石、钾长石、方解石和部分白云石等矿物, 部分样品中还可见到黄铁矿、菱铁矿等低价铁化合物。这些均表明研究区孔店组二段为还原性的半深湖沉积环境。

还原环境为还原菌提供了生存条件, 分解有机质产生的硫化氢将岩石中的高价铁化合物还原为低价铁, 生成黄铁矿, 同时, 高铁化合物也可直接被有机质还原为菱铁矿。深水-较深水相是生物生殖的良好场所, 而弱还原-还原相则是有机质堆积保存的良好环境, 这种还原沉积环境为页岩气藏的形成提供了良好的沉积条件 (Loucks et al., 2007)。

4.2 矿物组成反映的成熟度信息

泥(页)岩中黏土矿物的形成、转变、消失及其所反映出的分布规律受古环境、成岩作用及物源等多种因素控制, 但不同地区、不同层位黏土矿物的控制因素往往不同, 导致其黏土矿物的分布类型也不相同。分析黏土矿物的分布类型有助于分析其所经历的古环境和成岩作用。页岩气成藏与成熟度关系密切, 某些标志性的黏土矿物演化及组合可以作为表

征成岩作用阶段及其成熟度的指标。

研究认为, 伊蒙混层、高岭石、伊利石和绿泥石组合是中成岩作用阶段的特征组合 (Liu Weixin et al., 2007), 孔店组二段具有这种黏土矿物组合, 表明其至少已经进入中成岩作用阶段; 伊利石主要在晚成岩作用阶段和甚低级变质作用阶段出现, 孔店组二段伊利石含量占黏土矿物含量的 18%~40%, 平均达到了 27.6%, 高而稳定的伊利石含量表明成岩作用已经历晚成岩作用阶段 (Weaver et al., 1983; Yang Xianzhong, 1993; Yu Xinghe, 2008); 伊蒙混层含量为 47%~73%, 平均为 59.4%, 孔店组二段进入了晚成岩作用阶段, 对应有有机质演化的成熟—高成熟阶段 (R_o 为 0.78%~1.42%, 孔隙度小于 8%)。以上矿物组成所反映的成熟度表明孔店组二段具有较适宜的页岩气成熟度条件 (Ma Li et al., 2004; Peng Wenquan et al., 2017)。

4.3 黏土矿物对孔隙率的影响

黏土矿物对孔隙的演化和保存具有重要作用, 高岭石相对含量的变化与孔隙演化趋势一致, 伊利石、绿泥石相对含量的变化与孔隙演化趋势相反 (Cheng Xiaoling, 2006)。研究区孔店组二段伊利石和绿泥石含量有减小趋势, 推测可能具有较高的孔隙率, 能为页岩气的储存提供良好的场所。但总的来说, 孔店组二段中黏土矿物对页岩气藏的形成和开发有积极意义, 特别是中下部高孔隙率, 是页岩气勘探开发的重点层段。

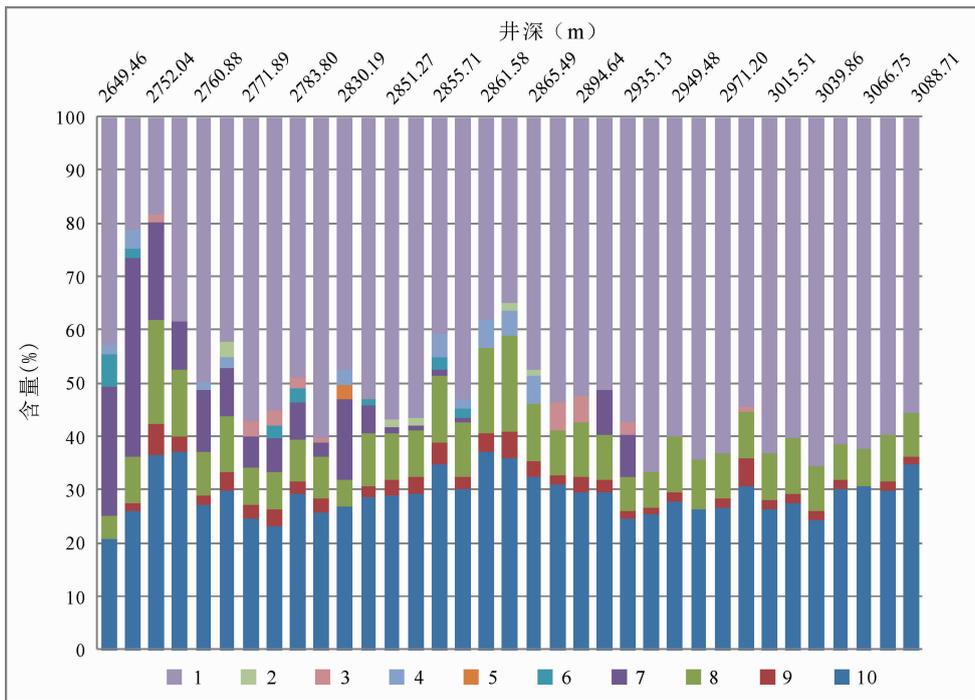


图 3 昌页参 1 井全岩矿物百分含量图

Fig. 3 Percentage of whole rock minerals of the well Changyecan-1

1—黏土矿物; 2—铁白云石; 3—赤铁矿; 4—黄铁矿; 5—菱铁矿; 6—白云石; 7—方解石; 8—斜长石; 9—钾长石; 10—石英
 1—Clay minerals; 2—iron dolomite; 3—hematite; 4—pyrite; 5—siderite; 6—dolomite;
 7—calcite; 8—plagioclase; 9—potassium feldspar; 10—quartz

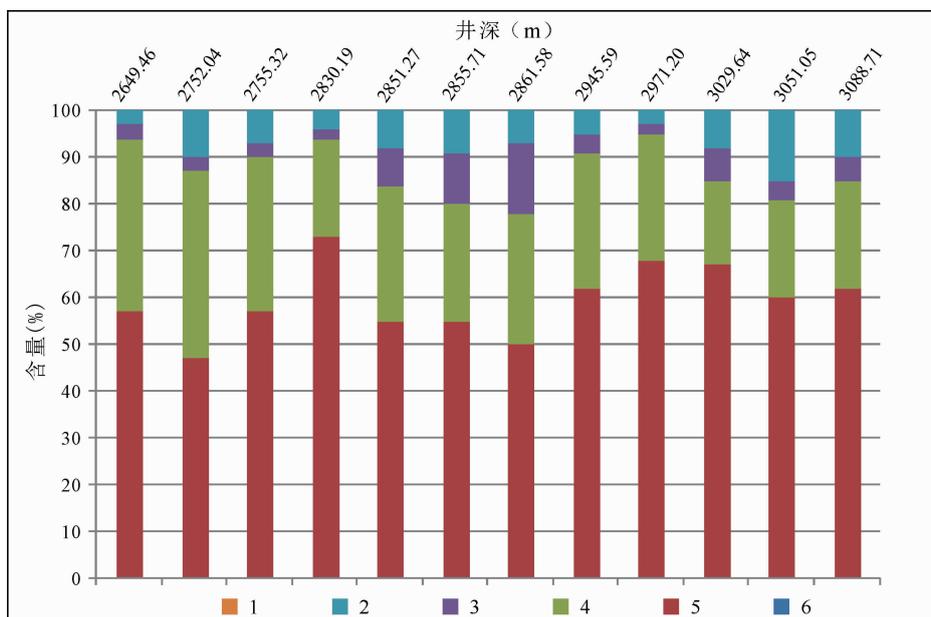


图 4 昌页参 1 井黏土矿物百分含量图

Fig. 4 Percentage of the clay minerals of the well Changyecan-1

1—绿/蒙间层矿物; 2—绿泥石; 3—高岭石; 4—伊利石; 5—伊/蒙间层矿物; 6—蒙脱石
 1—Chlorite/montmorillonite interlayer mineral; 2—chlorite; 3—kaolinite; 4—illite;
 5—illite/montmorillonite interlayer mineral; 6—montmorillonite

4.4 颗粒状矿物含量的地质意义

研究显示, 岩石脆性程度与其矿物组成有关, 目

前主要认为来自生物硅酸盐的石英和碳酸盐岩的方解石对此有重要贡献(Wang Shejiao et al. 2009)。

泥(页)岩脆性强,在外力作用下容易形成天然裂隙和诱导裂隙,利于渗流(Wang Ruyue et al., 2016; Xiao Jialin et al., 2017; Chen Jing et al., 2017)。

尽管有研究认为碳酸盐矿物和硅酸盐矿物有减弱页岩层吸附甲烷的能力(Loucks et al., 2007),也因降低页岩的孔隙度而使游离态页岩气的储存空间减少(Ross et al., 2007),但石英和方解石含量的增加,可使储层脆性提高,易形成天然裂隙和诱导裂隙,有利于页岩气的解吸和渗流,并增加游离态页岩气储存空间(Bowker, 2007)。

根据研究成果(Wang Zhiyue et al., 2015),孔店组二段有2段含页岩气有利层位(图5),分别为上亚段下部和中亚段下部,厚度均在60~70m之间;而且,从石英含量(>30%)来看,孔店组二段中下部至少有厚约30m的泥岩(页)岩是理想的页岩气重点研究勘探开发层位(图3);而较低的石英含量,对页岩气储层的造缝能力具有较大的影响,进而对开采压裂工艺提出更高的要求。

石英和方解石是泥(页)岩中的主要颗粒状矿

物,其相对含量的变化影响了岩石的力学性质、孔隙结构及其对气体的吸附能力;石英含量的增加可提高泥(页)岩的脆性,而碳酸盐矿物含量的增加有利于后期泥(页)岩的改造;富含石英和碳酸盐矿物的储层易于形成复杂裂缝,而黏土含量高的储层则不易形成(Riek et al., 2008)。如果有有机质生成、保存和储集了大量的烃类,但每个储集空间没有裂缝连通,则天然气产量也会很有限(Bowker, 2003)。与石英和方解石相比,黏土矿物具有较多的微孔隙和较大的比表面积,对气体有较强的吸附能力(Ross et al., 2008; Liu Yi et al., 2017),特别是在有机碳含量较低的页岩中,伊利石的吸附作用十分显著(Lu Xiaochun et al., 1995)。但在水饱和情况下,黏土矿物对气体的吸附能力降低,且随着石英和碳酸盐矿物含量的增加,将降低泥(页)岩的孔隙,使游离气的储集空间减少,特别是方解石在埋藏过程中的胶结作用,将进一步减少孔隙。因此对页岩气储层的评价,必须在黏土矿物、水分、石英、碳酸盐岩含量之间寻找一种平衡(Ross et al., 2011)。从这一

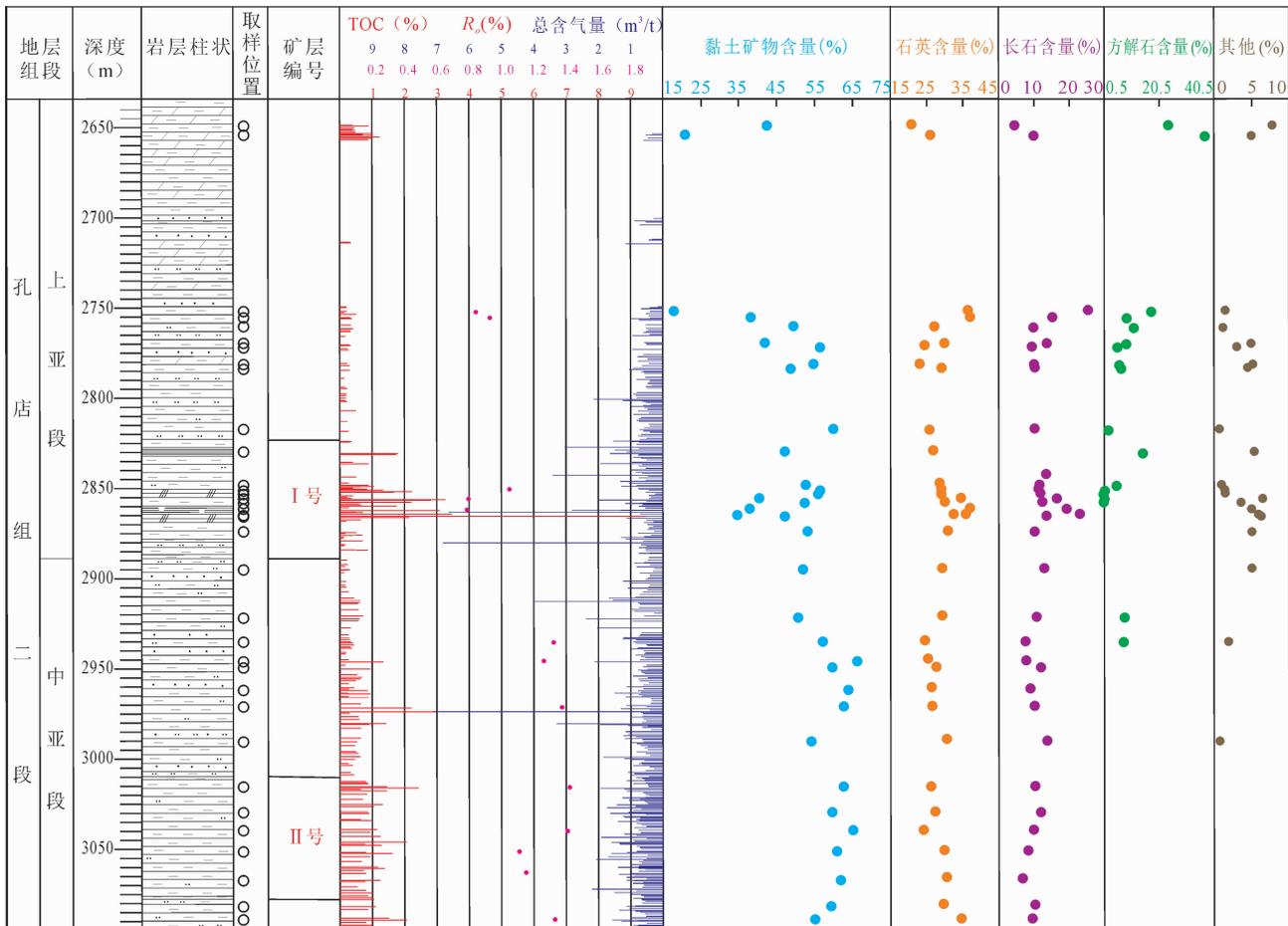


图5 昌页参1井含页岩气有利层位图

Fig. 5 Favorable horizons with shale gas in the Changyecan-1 well

角度来看,如果工作区想要获得突破,必须在深入研究矿物组成的基础上,寻找页岩气含气量与颗粒状矿物含量之间的平衡关系,开展有效的压裂增产措施(Chen Shangbin et al., 2010)。

5 结论

淮北凹陷古近系孔店组二段含页岩气层段矿物组成种类较多,其中黏土矿物含量最高,其次为石英、方解石;还有斜长石、钾长石、白云石、菱铁矿、黄铁矿、赤铁矿、铁白云石等。

矿物组成特征反映出孔店组二段为深湖-半深湖相沉积环境,有利于有机质的富集和保存,也为页岩气藏的形成提供了良好的沉积条件;黏土矿物组合特征反映孔店组二段进入晚成岩阶段,对应的有机质演化达到成熟—高成熟阶段,具有适宜页岩气形成的成熟度条件。

黏土矿物是影响孔隙度的重要内在因素,孔店组二段中黏土矿物对页岩气藏的形成和开发有一定积极意义,特别是底部伊利石和绿泥石含量低、相应孔隙率高的层位;孔店组二段底部厚度约 30 m 的地层石英含量大于 50%,是理想的页岩气重点研究勘探开发层位。

矿物组成研究是页岩气储层研究中重要的组成部分,是页岩气吸附储存、渗流运移、裂缝评价、压裂改造等研究的重要基础。但页岩气勘查技术研究是个复杂的过程,在深入研究矿物组成的基础上,还应全面开展泥烃源岩孔隙结构、成熟度、含气性等方面的研究工作,揭示页岩气成藏特征和开采开发地质特性,寻求烃源岩、储层和压裂开发三者间的最优匹配关系,以实现页岩气的商业化开采。

References

- Bowker K A. 2003. Recent developments of the Barnett shale play, Fort Worth Basin. West Texas Geological Society Bulletin, 42 (6): 4~11.
- Bowker K A. 2007. Barnett shale gas production, Fort Worth Basin: Is-sues and discussion. AAPG Bulletin, 91(4): 523~533.
- Chen Shangbin, Zhu Yanming, Wang Hongyan, et al. 2010. Research status and trends of shale gas in China. Acta Petroli Sinica, 31(4): 689~694(in Chinese with English abstract).
- Chen Jing, Huang Wenhui, Chen Yanping, Lu Xiaoxia. 2017. Evaluation of shale reservoir and its influencing factors in coal-bearing strata of Qinshui Basin. Journal of China Coal Society, 42(A1): 215~224 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Xiaoling. 2006. Laws of clay mineral transformation and reservoir porosity evolution: A case study of Fu III Member of Taixing oil field in Subei basin. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 25(1): 43~45 (in Chinese with English abstract).
- Liang Junhong, Sun Baoliang. 2016. Research on clay minerals during diagenesis of argillaceous rock. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 31(4): 543~549(in Chinese with English abstract).
- Liu Weixin, Wang Yanbin, Qin Jianzhong. 2007. Characteristics of the Triassic clay minerals in Aba area, northern Sichuan, and its geological implications. Chinese Journal of Geology, 42(3): 469~482(in Chinese with English abstract).
- Liu Yi, Lu Zhengyuan, Peng Mingshi, Wang Jun, Tian Tonghui, Chao Jing. 2017. Micro-pore characteristics of shale oil reservoirs of the Shahejie Formation in the Dongying sag, Bohai basin. Acta Geologica Sinica, 91(3): 629~644 (in Chinese with English abstract).
- Loucks R G, Ruppel S C. 2007. Mississippian Barnett shale: Lithofacies and depositional setting of a deep-water shale-gas succession in the Fort Worth basin, Texas. AAPG Bulletin, 91(4): 579~601.
- Lu Xiaochun, Li Fanchang, Watson A T. 1995. Adsorption measurements in Devonian shales. Fuel, 74(4): 599~603.
- Ma Li, Chen Huanjiang, Gan Kewen, et al. 2004. Geostucture and marine facies hydrocarbon geology of South China: Volume one. Beijing: Geological Publishing House, 259~364 (in Chinese with English abstract).
- Peng Wenquan. 2016. Analysis of shale gas resource potential for Kong-2 Member of Kongdian Formation in Weibei sag. Shandong Land and Resources, 32(11): 36~39 (in Chinese with English abstract).
- Peng Wenquan, Lian Yongbiao. 2017. Discussion on influencing factors of gas content in mud shale of terrestrial sedimentary basin-Taking the Weibei sag as an example. Shandong Land and Resources, 33(7): 25~30 (in Chinese with English abstract).
- Rick Rickman, Mike Mullen, ErikPetre, et al. 2008. A practical use of shale petrophysics for stimulation design optimization: all shale plays are not clones of the Barnett shale. SPE 115258, SPE Annual Technical Conference and Exhibition.
- Ross D J K, Bustin R M. 2007. Shale gas potential of the Lower Jurassic Gordondale Member, northeastern British Columbia, Canada. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 55(1): 51~75.
- Ross D J K, Bustin R M. 2008. Characterizing the shale gas resource potential of Devonian-Mississippian strata in the western Canada sedimentary basin: Application of an integrated formation evaluation. AAPG Bulletin, 92(1): 87~125.
- Ross D J K, Bustin R M. 2009. The importance of shale composition and pore structure upon gas storage potential of shale gas reservoirs. Marine and Petroleum Geology, 26(6): 916~927.
- Wang Ruyue, Gong Dajian, Ding Wenlong, Leng Jigao, Yin Shuai, Wang Xinghua, Sun Yaxiong. 2016. Brittleness evaluation of the Lower Cambrian Niutitang shale in the Upper Yangtze region: A case study in the Cengong block, Guizhou Province. Earth Science Frontiers, 23(1): 87~95 (in Chinese with English abstract).
- Wang Shejiao, Wang Lansheng, Huang Jinliang, et al. 2009. Accumulation conditions of shale gas reservoirs in Silurian of the Upper Yangtze region. Natural Gas Industry, 29(5): 45~50(in Chinese with English abstract).
- Wang Shejiao, Li Denghua, Li Jianzhong, et al. 2011. Exploration potential of shale gas in Ordos basin. Geologic Examination, 21(12): 1~7(in Chinese with English abstract).
- Wang Zhiyue, Peng Wenquan, Song Zhaorui, Liang Yunhan, Han Lanzhen. 2015. Explore of the influence factors of shale gas scene analysis gas—Take Changyecan 1 Well as an example. Shandong Land and Resources, 31(9): 22~25 (in Chinese with English abstract).
- Weaver C E, Pollard L D. 1983. Clay Mineral Chemistry. Beijing: Geological Publishing House.
- Xiao Jialin, Li Yuanzhao, Hou Zhenkun, Guo Yintong, Wang Lei. 2017. Evaluation method for shale reservoir brittleness. Fault-

Block Oil & Gas Field, 24(4): 486~489 (in Chinese with English abstract).

Yang Xianzhong. 1993. Illite crystallinity and its geological significances. Acta Sedimentologica Sinica, 11(4): 93~98 (in Chinese with English abstract).

Yu Xinghe. 2008. Clastic Reservoir Oil and Gas Reservoir Sedimentology. Beijing: Petroleum Industry Press (in Chinese with English abstract).

Zhang Chunchi, Peng Wenquan, Gao Bingyan, Yu Deming, Yang Changjiang. 2019. Favorable exploration strata and resource evaluation of shale gas in Shandong Province. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 26(2): 7~13 (in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

陈晶, 黄文辉, 陈燕萍, 陆小霞. 2017. 沁水盆地煤系地层页岩储层评价及其影响因素. 煤炭学报, 42(A1): 215~224.

陈尚斌, 朱炎铭, 王红岩, 等. 2010. 中国页岩气研究现状与发展趋势. 石油学报, 31(4): 689~694.

程晓玲. 2006. 黏土矿物转化与储层孔隙演化的规律性研究——以苏北盆地台兴油田阜三段储层为例. 大庆石油地质与开发, 25(1): 43~45.

梁俊红, 孙定亮. 2016. 泥质岩成岩作用中的黏土矿物研究. 地质找矿论丛, 31(4): 543~549.

刘伟新, 王延斌, 秦建中. 2007. 川北阿坝地区三叠系黏土矿物特征及地质意义. 地质科学, 42(3): 469~482.

刘毅, 陆正元, 冯明石, 王军, 田同辉, 晁静. 2017. 渤海湾盆地东营

凹陷沙河街组页岩油储层微观孔隙特征. 地质学报, 91(3): 629~644.

马力, 陈焕疆, 甘克文, 等. 2004. 中国南方大地构造和海相油气地质: 上册. 北京: 地质出版社, 259~364.

彭文泉. 2016. 淮北凹陷孔店组二段页岩气资源潜力分析. 山东国土资源, 32(11): 36~39.

彭文泉, 廉永彪. 2017. 陆相沉积盆地泥页岩含气量影响因素探讨——以淮北凹陷为例. 山东国土资源, 33(7): 25~30.

王濡岳, 龚大建, 丁文龙, 冷济高, 尹帅, 王兴华, 孙雅雄. 2016. 上扬子地区下寒武统牛蹄塘组页岩储层脆性评价: 以贵州岑巩区块为例. 地质前缘, 23(1): 87~95.

王社教, 王兰生, 黄金亮, 等. 2009. 上扬子区志留系页岩气成藏条件. 天然气工业, 29(5): 45~50.

王社教, 李登华, 李建忠, 等. 2011. 鄂尔多斯盆地页岩气勘探潜力分析. 地质勘探, 21(12): 1~7.

王之跃, 彭文泉, 宋昭睿, 梁云汉, 韩兰臻. 2015. 页岩气现场解析气量影响因素探讨——以淮北凹陷昌页参1井为例. 山东国土资源, 31(9): 22~25.

肖佳林, 李远照, 侯振坤, 郭印同, 王磊. 2017. 一种页岩储层脆性评价方法. 断块油气田, 24(4): 486~489.

杨献忠. 1993. 伊利石结晶度及其地质意义综述. 沉积学报, 11(4): 93~98.

于兴河. 2008. 碎屑岩系油气储层沉积学. 石油工业出版社.

张春池, 彭文泉, 高兵艳, 于得明, 杨长江. 2019. 山东省页岩气有利勘探层系与资源评价. 油气地质与采收率, 26(2): 7~13.

Characteristics and significance of mineral composition in the 2nd Member of Kongdian Formation in Weibei sag ——take well Changyecan-1 as an example

LIANG Yunhan*

No. 1 Institute of Geology and Mineral Resources of Shandong Province, Jinan, 250100

* Corresponding author: ahan0416@126.com

Abstract

The X-ray diffraction technique was used to qualitatively and quantitatively analyze the core samples of the 2nd Member of the Kongdian Formation of the well Changyecan-1 in the Weibei sag. The results show that the mineral composition of the 2nd Member of the Kongdian Formation is mainly composed of clay minerals, quartz and calcite, with an average content of 51.7%, 29.3% and 9.6%, respectively. In addition, there contains feldspar and a small amount of dolomite, and pyrite, et al. The mineral composition reflects that the deep lake-semi-deep lacustrine sedimentary environment in the second part of the Kongdian Formation, providing a certain sedimentary condition for the formation and storage of shale gas reservoirs. The clay mineral composition reflects TOC of the Kongdian store evolved into a mature-high maturity stage with maturity conditions for shale gas formation. In short, the mineral composition has certain positive significance for the formation and development of shale gas reservoirs. The thickness of the two layers of shale gas in the second Member of Kongdian Formation is 60.48 m and 68.09 m, respectively. The illite and chlorite content is low and the corresponding pores are the high rate and granular mineral (quartz + calcite) content is between 30% and 50%, which is an ideal shale gas key exploration and development horizon.

Key words: 2nd Member of Kongdian Formation; Weibei sag; shale gas; mineral composition; X-ray diffraction