

文章编号: 1001-6112(2011)05-0513-04

# 大牛地气田上古生界储层物性差异影响因素

王永建<sup>1</sup>, 王延斌<sup>2</sup>, 李霞<sup>2</sup>, 高莎莎<sup>2</sup>, 郭慧<sup>2</sup>

(1. 华北科技学院 安全工程学院, 河北 廊坊 065201;

2. 中国矿业大学(北京) 煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 北京 100083)

**摘要:**大牛地气田上古生界储层是典型的低孔低渗,从储层物性来看,盒3、盒2段最好,其次是山1段,较差的为山2、盒1段。造成上古生界主要储层物性差异的因素主要为沉积相、成岩作用、粘土矿物和裂缝等。沉积相是形成物性差异的基础,曲流河砂体物性最好,其次是辫状河砂体,而三角洲河道砂体最差;成岩作用是形成物性差异的重要因素,尤其是压实作用,从山1段至盒3段随着压实作用的减弱,储层剩余粒间孔隙增多,物性相对变好;粘土矿物成分、含量及裂缝对物性差异的形成有着不可忽视的作用,一般伊利石含量越高,物性越差;微裂缝越发育,物性越好。

**关键词:**储层物性;成岩作用;沉积相;上古生界;大牛地气田

**中图分类号:** TE122.2<sup>+</sup>4

**文献标识码:** A

## Controlling factors of physical property of Upper Paleozoic reservoir, Daniudi Gas Field

Wang Yongjian<sup>1</sup>, Wang Yanbin<sup>2</sup>, Li Xia<sup>2</sup>, Gao Shasha<sup>2</sup>, Guo Hui<sup>2</sup>

(1. Safety Engineering College, North China Institute of Science and Technology, Langfang, Hebei 065201, China; 2. State Key Laboratory of Coal Resources and Mine Safety, China University of Mining and Technology, Beijing 1000083, China)

**Abstract:** The Upper Paleozoic reservoirs in the Daniudi Gas Field are characterized by low porosity and low permeability. The physical property of the 3rd and 2nd members of Lower Shihezi Formation is the best, while that of the 1st member of Shanxi Formation is worse, and that of the 2nd member of Shanxi Formation and the 1st member of Lower Shihezi Formation is the worst. The difference of physical property is influenced by several factors such as sedimentary facies, diagenesis, clay mineral, fissure and so on. Sedimentary facies is the basic factor. Meandering sand body has the best physical property, braided fluvial sand body the second, and delta channel sand body the worst. Diagenesis also plays an important role, especially the compaction effect. From the 1st member of Shanxi Formation to the 3rd member of Lower Shihezi Formation, as the compaction effect decreases, the surplus interparticle porosity of reservoir increases and the physical property is improved. Clay mineral composition, content and fissure also influence physical property. Generally speaking, higher illite content results in worse property, and the generation of microfracture may improve property.

**Key words:** reservoir physical property; diagenesis; sedimentary facies; Upper Paleozoic; Daniudi Gas Field

### 1 地质概况

鄂尔多斯盆地位于华北地台西部,面积  $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,是一个长期稳定发育的多旋回大型克拉通叠合盆地<sup>[1]</sup>。盆地沉积地层平均厚度为 5 000 m,其中上古生界以河流、三角洲相沉积为主,地层厚度为 600~1 700 m;缺失志留系和泥盆系。大牛地气田位于盆地北部伊陕斜坡东北段,勘探面积

约  $400 \text{ km}^2$ ,该斜坡为一单调的西倾大单斜,倾角不足  $1^\circ$ ,断裂和局部构造不发育,只有一些局部低幅度隆起。

大牛地气田钻井揭露的地层有第四系、白垩系、侏罗系、三叠系、二叠系、石炭系及奥陶系。上古生界储层属于典型的低孔低渗,主力产气层为二叠系山西组和下石盒子组,属于三角洲和河流沉积体系。根据沉积特点自下而上山西组分为山1、山2段,下

收稿日期: 2011-04-07; 修订日期: 2011-09-24。

作者简介: 王永建(1981—),男,博士,从事煤及油气地质研究。E-mail: wyj19801226@163.com。

基金项目: 国家自然科学基金项目(40872105)和中央高校基本科研业务费(2011A02)资助。

石盒子组分为盒 1、盒 2、盒 3 段。目前,有关气田低渗储层成因和特征的研究较多,但对 5 套储层物性差异原因研究较少。例如,周锋德等<sup>[2]</sup>对气田低渗储层的成因进行分析指出,成岩作用强是造成低孔低渗的重要原因。罗月明等<sup>[3]</sup>对气田储层成岩作用研究表明,成岩作用类型主要有压实作用、胶结作用、溶蚀作用、交代与蚀变作用及微裂隙作用,且微裂隙作用在低孔低渗致密砂岩储层中起重要作用。段春节等<sup>[4]</sup>对气田上古生界低渗储层综合评价,把储层划分为 4 类,其中 I, II, III 类为有效储层,IV 类为非有效储层; I, II 类在盒 3、盒 2 和山 1 气藏相对发育。因此,本文在论述 5 套储层物性差异的基础上,从沉积相、成岩作用、粘土矿物、裂缝等方面,分析了造成这一差异的原因。

### 2 储层物性特征

大牛地气田上古生界主要储层在孔隙度、渗透率、喉道半径、孔隙半径等方面存在一定的差异(表 1),具体表现为:1)从孔隙度、渗透率来看,盒 3、盒 2 段要明显好于其它层段;2)从喉道半径、中值压力看,盒 3、盒 2 段也相对较好;3)从孔隙半径看,盒 3 段最好,其次是山 1、盒 2 段,而山 2、盒 1 段较差。因此,总体看来,储层物性较好的为盒 3、盒 2 段,其次是山 1 段,较差的为山 2、盒 1 段。

### 3 物性差异的原因

针对 5 套主要储层物性差异,根据气田储层特征及前人研究成果<sup>[5-7]</sup>,从沉积相、成岩作用、粘土矿物及裂缝等方面分析其原因。

#### 3.1 沉积相

大牛地气田上古生界从山 1 段至盒 3 段整体是一个水退的沉积序列,沉积体系由三角洲向河流相演变,即山 1 段三角洲前缘→下三角洲平原→山 2 段上三角洲平原→盒 1、盒 2 段辫状河→盒 3 段曲流河,且随之泥岩颜色由深变浅(图 1)。三角洲相主要为三角洲平原分流河道及分流间湾,岩性主

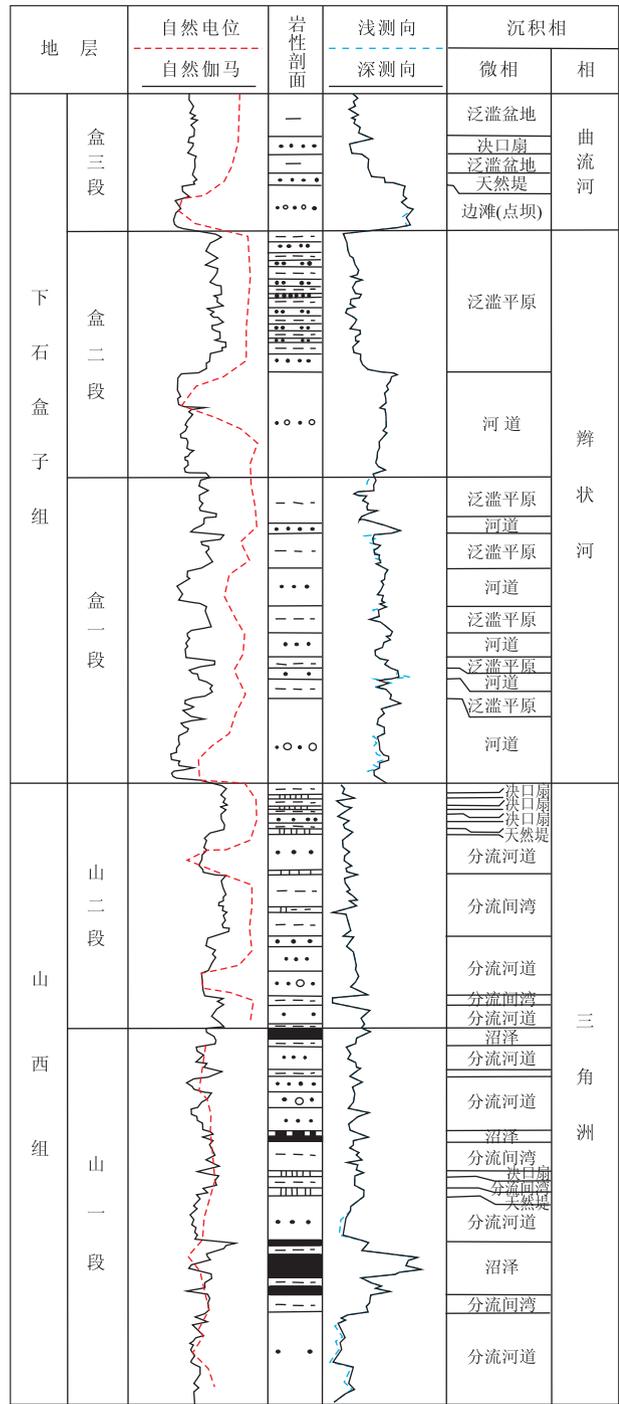


图 1 大牛地气田综合柱状图

Fig. 1 Composite columnar section of Daniudi Gas Field

要为中—粗砂岩及粉砂岩,发育槽状交错层理、平行层理、小型波状层理等;砂体平面分布较广,侧向连通性好,纵向连通性较差。河流相主要发育河道沉积和泛滥平原,岩性主要为砾岩、粗砂岩及中—细砂岩,发育块状层理、大型交错层理、波状层理等;砂体受河道限制,平面展布呈条带状,但纵向连通性较好。

山 1、山 2 段主要储集体为三角洲平原分流河

表 1 大牛地气田上古生界储层物性统计

Table 1 Physical property of Upper Paleozoic reservoir in Daniudi Gas Field

| 层位    | 孔隙度/<br>% | 渗透率/<br>10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup> | 喉道半径/<br>μm | 孔隙半径/<br>μm | 中值压力/<br>MPa |
|-------|-----------|--|-------------|-------------|--------------|
| 山 1 段 | 7.41      | 0.67                                     | 0.32        | 32.78       | 38.53        |
| 山 2 段 | 6.49      | 0.421                                    | 0.30        | 28.93       | 11.85        |
| 盒 1 段 | 6.97      | 0.338                                    | 0.21        | 26.21       | 36.98        |
| 盒 2 段 | 8.85      | 0.996                                    | 0.34        | 32.05       | 16.67        |
| 盒 3 段 | 9.6       | 0.723                                    | 0.39        | 35.85       | 4.69         |

道砂体,剖面上呈多个透镜体相互叠置,平面上由于河道分岔及侧向迁移呈网状;砂体厚一般3~4 m,宽几十米至几百米,物性较好。山1段以下三角洲为主,而山2段发育上三角洲,且晚期向河流体系逐渐演变。盒1、盒2段主要储集体为辫状河河道砂体,具有典型的心滩特征,多个冲刷面,单个砂体的规模不大,但相互叠合粘连,形成复合砂体,物性良好。盒3段主要储集体为曲流河河道砂体,平面上近似南北向展布,呈半圆状及带状;横断面上呈透镜体及不规则板状体,一般具有底凸顶平的特点,有多个砂体叠置,冲刷切割现象普遍,储集性能很好。

因此,由山1段至盒3段随着沉积体系从三角洲向河流相逐渐演化,砂体储层物性也逐渐呈变好趋势,很好地体现了沉积相对物性的控制。

### 3.2 成岩作用

大牛地气田上古生界主要储层成岩作用很强,以破坏性的压实、胶结作用为主,而建设性的溶蚀作用等相对较弱。

#### 3.2.1 压实作用

研究区压实作用很强(图版 a),但从山1段至盒3段总体呈现出逐渐减弱趋势。例如,从山1段至盒3段颗粒接触关系由缝合接触→凸凹接触→线接触→点接触逐渐演变,反映了压实程度的逐渐降低。这一特征导致从山1段至盒3段原生孔隙逐渐增加,储层物性逐渐变好。

#### 3.2.2 胶结作用

研究区胶结作用破坏了较多的粒间、粒内孔隙,对储层发育不利。胶结物主要为硅质胶结物(石英)和碳酸盐胶结物(方解石、菱铁矿、白云石等)、自生粘土矿物(高岭石、伊利石、绿泥石等)。硅质胶结主要以石英次生加大边的形式胶结颗粒表面(图版 b),加大边宽度一般在0.05~0.1 mm,最宽可达0.3 mm;次生加大主要为II和III级,且主要发生在中等埋藏深度,而在深埋藏阶段因碱性溶蚀等抑制了它的发育。因而,从山1段至盒3段次生加大强度总体呈递减趋势。碳酸盐胶结以方解石胶结为主,主要发生在中—深埋藏阶段,形成于石英次生加大后。粘土矿物胶结主要发育高岭石、绿泥石、伊利石胶结,其中高岭石以书页状充填于粒间,晶体形态完整(图版 c);绿泥石以叶片状胶结于颗粒表面和孔隙中;伊利石以片状、丝状充填于孔隙。研究表明,山1、山2段以碳酸盐胶结作用为主,盒1、盒2、盒3段以环边绿泥石—硅质—含铁方解石胶结为主。另外,在山1、山2段

砂岩中,多见菱铁矿砂屑及铁白云石,而盒1、盒2、盒3段中未见,但常见环边绿泥石。

#### 3.2.3 溶蚀作用

研究区溶蚀作用相对较弱,但仍是储层次生孔隙的产生、改善微观孔喉结构的主导因素。从溶蚀介质的化学性质可分为酸性溶蚀(主要对象为碳酸盐胶结物和长石)和碱性溶蚀(主要对象为石英、硅质岩屑等)两类。常见溶蚀现象有长石溶蚀、岩屑溶蚀和粘土矿物溶蚀等(图版 d)。山1、山2、盒1段由于埋深较深,压实作用较强,原生孔隙不发育,不利于水、酸等液体流动,因而溶蚀作用相对较弱。盒2、盒3段由于埋深较浅,压实作用相对较弱,保留了一定的原生孔隙,易于水、酸等流体的流动,溶蚀作用相对较强。

### 3.3 粘土矿物

粘土矿物是敏感性矿物,当流体流速、化学性质变化时可能引发微粒失稳,分散、运移,或形成不利的无机沉淀,导致储层渗透率降低<sup>[8-10]</sup>。大牛地气田上古生界主要储层中粘土矿物包括伊利石、高岭石、绿泥石和伊/蒙间层4种,总体呈伊利石—高岭石—绿泥石—伊/蒙混层型和伊利石—高岭石—蒙/伊混层型2种组合方式;前者主要分布在盒1、盒2、盒3段,后者主要分布在山1、山2段。4种粘土矿物在主要储层中的分布存在明显的非均质性(表2)。伊利石分布最为广泛,尤其在山1段中含量很高;高岭石仅次于伊利石,且在部分层段中含量大于伊利石;绿泥石、伊/蒙混层分布相对局限,在各层段中含量相对较低,仅部分层段中较多。另外,不同粘土矿物对储层孔隙的破坏能力是不同的,研究发现储层中伊利石对孔隙破坏能力最强。因此,总体看来,从山1段至盒3段随着伊利石含量逐渐减少,物性在一定程度上有变好趋势。

### 3.4 裂缝

大牛地气田构造总体不发育,断层较少,没有大规模脆性破裂变形的迹象。因此,大裂缝发育较少,但微裂缝在研究区主要储层中相对发育(图版 e)。

表2 大牛地气田上古生界储层粘土矿物含量

Table 2 Content of clay mineral in Upper Paleozoic reservoir, Daniudi Gas Field %

| 层位  | 伊利石  | 高岭石  | 绿泥石  | 伊/蒙混层 |
|-----|------|------|------|-------|
| 盒3段 | 35   | 28.4 | 18   | 18.6  |
| 盒2段 | 32.5 | 39.5 | 14.5 | 13.5  |
| 盒1段 | 22.8 | 43.4 | 26.1 | 7.7   |
| 山2段 | 53.9 | 15.7 | 19.6 | 10.8  |
| 山1段 | 76   | 19.1 | 0.2  | 4.7   |

大裂缝根据产状可分为高角度、低角度和不规则 3 种,研究区以高角度为主,具有剪破裂特点。通过对 15 口井的岩心观察和统计,表明山 1 段大裂缝相对发育,平均密度为 54.74 条/km;其次是山 2、盒 1 段,分别为 19.99 条/km 和 18.34 条/km;较少的为盒 2、盒 3 段。但对研究区储集性能影响较大的是微裂缝的发育情况。微裂缝按产状可分为构造裂缝和粒缘裂缝,前者在研究区较为常见。根据薄片、铸体薄片岩心统计(表 3),盒 1、盒 2、盒 3 段微裂缝发育较多,尤其是盒 2、盒 3 段微裂缝密度较大,且多数未充填;而山 1、山 2 段相对较少,且部分充填。

### 4 结论

1)大牛地气田上古生界储层是典型的低孔低渗,从储层物性来看,盒 3、盒 2 段为最好,其次是山 1 段,较差的为山 2、盒 1 段。

2)综合以上分析表明,造成大牛地气田上古生界主要储层物性差异的因素主要为沉积相、成岩作用、粘土矿物和裂缝特征等。首先,沉积相是形成

物性差异的基础,曲流河砂体物性最好,其次是辫状河砂体,而三角洲河道砂体最差;第二,成岩作用是形成物性差异的重要因素,尤其是压实作用,从山 1 段至盒 3 段随着压实作用的减弱,储层剩余粒间孔隙增多,物性相对变好;第三,粘土矿物成分、含量对物性差异的形成也有一定的影响,一般伊利石含量越高,储层物性相对越差;最后,裂缝在形成物性差异上也存在不可忽视的作用,尤其是微裂缝,统计发现微裂缝相对发育的储集层,其物性也就越好。

### 参考文献:

- [1] 赵虹,党桦,姚泾利,等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组长 2 低阻油层成因机理[J]. 石油实验地质,2009,31(6):588-592.
- [2] 周锋德,姚光庆,赵彦超. 鄂尔多斯北部大牛地气田储层特低渗成因分析[J]. 海洋石油,2003,23(2):27-31.
- [3] 罗月明,刘伟新,谭学群,等. 鄂尔多斯大牛地气田上古生界储层成岩作用评价[J]. 石油实验地质,2007,29(4):384-390.
- [4] 段春节,陈路原,吴汉宁. 大牛地气田下二叠统叠合气藏开发地质特征[J]. 石油实验地质,2009,31(5):495-499.
- [5] 马新华. 鄂尔多斯盆地天然气勘探开发形势分析[J]. 石油勘探与开发,2005,32(4):50-53.
- [6] 陈俊亮,吴亮,崔建军. 大牛地气田沉积相特征[J]. 焦作工学院学报(自然科学版),2004,23(2):89-94.
- [7] 王付斌,贾会冲,孟军田. 鄂尔多斯盆地大牛地气田盒 2+3 气藏特征[J]. 西北大学学报(自然科学版),2004,34(5):587-594.
- [8] Masters J A. Lower Cretaceous Oil and Gas in Western Canada [M]//Masters J A, ed. Elsworth Case Study of a Deep Basin Gasfield, AAPG Memair 38. Tulsa: AAPG,1984:1-34.
- [9] 朱宏权,徐宏节. 鄂尔多斯盆地北部上古生界储层物性影响因素[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2005,32(2):133-137.
- [10] 邓礼正. 鄂尔多斯盆地上古生界储层物性影响因素[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2003,30(3):270-272.

(编辑 徐文明)

表 3 大牛地气田上古生界储层微裂缝  
Table 3 Microfracture in Upper Paleozoic reservoir, Daniudi Gas Field

| 层位    | 微裂缝密度/<br>(个·cm <sup>-2</sup> ) | 微裂缝宽度/mm |       |       | 微裂缝充填状况  |
|-------|---------------------------------|----------|-------|-------|----------|
|       |                                 | 最大       | 最小    | 平均    |          |
| 山 1 段 | 0.41                            | 0.06     | <0.01 | <0.03 | 部分充填     |
| 山 2 段 | 0.75                            | 0.06     | <0.01 | <0.03 | 部分充填     |
| 盒 1 段 | 1.04                            | 0.1      | <0.01 | <0.05 | 少数半充填、充填 |
| 盒 2 段 | 2.5                             | 0.02     | <0.01 | <0.01 | 绝大多数未充填  |
| 盒 3 段 | 2.1                             | 0.04     | <0.01 | <0.02 | 未充填      |

### 图 版

