

我国低效气藏的地质特征及其成因特点

田昌炳^{1,2}, 于兴河³, 徐安娜², 朱怡翔^{2,3}

(1. 石油大学, 北京 102200; 2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 3. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 低效天然气藏是一个相对的概念, 它是针对我国广泛存在的低孔渗、低丰度、低产能的天然气藏而划分出来的一类气藏。该文在系统分析我国天然气藏的基本特征之后, 总结了低效气藏的资源分布状况, 从圈闭类型、沉积类型和成岩阶段上提出了低效气藏的地质特点, 并围绕导致天然气层低效的地质因素进行了探讨, 以期为我国低效气藏形成的主控因素的分析 and 地质模式的建立打下基础。

关键词: 形成特点; 地质特征; 低效气藏

中图分类号: TE122. 3

文献标识码: A

我国的低效气藏分布广泛, 以储量丰度小于 $3 \times 10^8 \text{m}^3/\text{km}^2$ 为标准, 我国天然气藏中的 38. 2% 属低丰度气藏, 占总探明储量的 34. 6%。以产能小于 $5 \times 10^4 \text{m}^3/\text{km} \cdot \text{d}$ 为标准, 我国 57% 气藏属低产能气藏, 占总探明储量的 47. 1% (图 1)。

综合“低丰度、低产能”情况, 我国 66. 7% 天然气藏属低效气藏, 占总天然气探明储量的 66. 6%, 可见低效气藏是今后天然气勘探开发研究的主要对象。

同时由于我国以前对气田开发的重视程度远低于对油田的开发, 对如何合理有效的利用开发好现有的低效气藏的研究程度还不够。为了将开采价值低的低效气藏改变为开采价值较高的高效气藏, 较为有效的途径之一就是研究低效气藏的形成机理及地质模式, 为低效气藏的经济开发提供地质理论依据; 另一途径就是搞清楚低效气藏形成的主控因素, 提出工程和工艺上开发好这类低效气藏高效保护或改造方向。

1 我国低效气藏的地质特点

我国低效气藏在圈闭类型、沉积类型和成岩阶段上具有以下地质特点。

1.1 圈闭类型特征

我国低效气藏的圈闭类型主要包括构造-岩性、岩性-构造、地层-构造和构造圈闭等。统计表明, 探明储量的 66. 5% 储存于构造-岩性复合圈闭中, 65. 2% 的气藏属于构造-岩性复合圈闭气藏(图 2)。

1.2 沉积特征

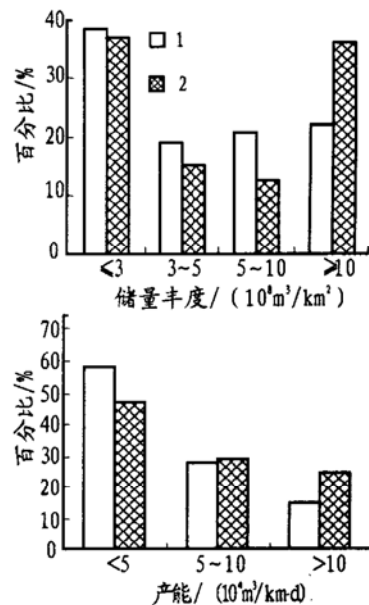


图 1 我国不同储量丰度、不同产能天然气藏分布状况
1. 气藏个数; 2. 探明储量

Fig. 1 Distribution of gas pools with different reserve abundance and off-take potential in China

收稿日期: 2003- 01- 27; 修订日期: 2003- 03- 27.

基金项目: 国家重大基础研究发展规划(973)项目(2001CB209100).

作者简介: 田昌炳(1964—), 男(汉族), 湖北仙桃人, 博士生、高级工程师, 主要从事油气田开发地质研究.

我国低效气藏在陆相、海相和基岩中都有分布。其中陆相低效气藏占 58.7%，海相低效气藏占 34.8%，基岩低效气藏占 6.5%；储量上陆相低效气藏占 54.0%，海相低效气藏占 40.1%，基岩低效气藏占 1.1%。可见，我国低效气藏主要分布于陆相沉积储层中，其中河流相和河流—三角洲相储层占主导地位，约为 77.8%，占陆相低效气藏探明储量的 87.9%，可见河流相和河流—三角洲相储层是今后低效储层研究的一个重点(图 3、图 4)。

1.3 成岩阶段特征

我国低效天然气藏普遍存在于地质时代较老的地层中，遭受了较强的成岩作用。据统计，我国 79.8% 低效气藏的储层成岩阶段处于晚成岩 A 期，相当于有机质处于成熟到高成熟阶段，相应于大量煤成油和轻质油产生阶段(图 5)。

2 我国低效气藏地质成因特点

低效气藏形成的原因有两种，其一为地质因素引起的低效，它是由于储量丰度低、渗透率低引起的；另一原因是由于工程技术上或工艺参数控制不合理。对后一类气藏主要是通过气藏保护或改造而达到高效的目的。

导致我国陆相气藏低效的地质因素主要有 2 类

(图 6)，一类为低丰度，它是由于单位面积储集层中天然气聚集总量达不到一定的数量而制约了单井控制储量形成低效；另一类为低渗透，它是由于储集层内微观孔喉结构的复杂性限制了天然气在其内部流动的渗透性。前者主要是由储层的沉积作用和成藏因素引起的低效，后者主要受成岩作用的影响。这两种类型都受到了构造的控制。所以，构造、沉积和成岩是导致陆相气藏低效的 3 种基本的地质因素。

2.1 构造因素

构造因素对低效气藏形成的控制主要表现在 3 方面。一方面构造模式控制了沉积砂体的展布，从而控制低丰度类型低效气藏的形成；另一方面，构造样式控制了储层埋藏过程中成岩作用的发生和次生孔隙的发育，从而控制了低渗类型低效气藏的形成；第三方面，构造可使油气重新分配，使含气饱和度发生变化。在储层渗透率相近的条件下，构造圈闭幅度越大，含油气饱和度越高，如发生构造抬生、沉降或断裂可使原来的油气饱和度发生改变^[1]。

构造沉降与砂岩致密化有密切联系，经常用来表征二者之间的关系的是 Schmoker 的孔隙度(φ)与埋深(D)的最一般关系式： $\varphi = a \cdot e^{bd}$ 。中国地质结构复杂，根据含气盆地的构造演化特征、储集砂岩的致密化过程和天然气成藏过程，我国致密砂岩气田可概括为 4 大类型：前陆盆地活动性超致密砂岩

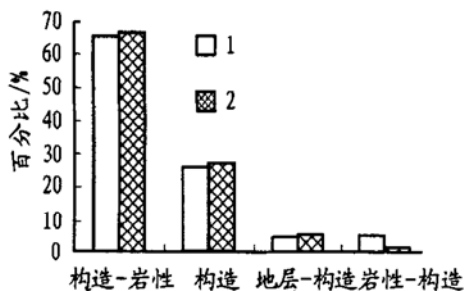


图 2 我国低效天然气藏圈闭类型统计图
1. 气藏个数; 2. 探明储量

Fig. 2 Statistic histogram of trap styles for low efficiency gas pools in China

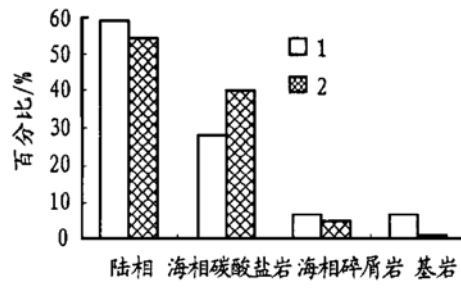


图 3 我国低效天然气藏沉积类型统计图
1. 气藏个数; 2. 探明储量

Fig. 3 Statistic histogram on sedimentary types for low efficiency gas pools in China

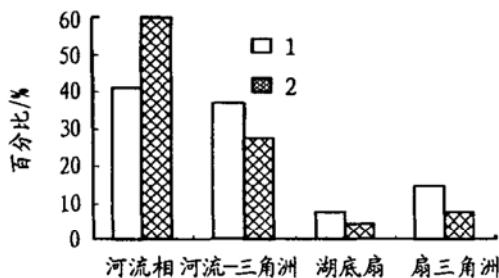


图 4 我国陆相低效天然气藏储层类型统计图
1. 气藏个数; 2. 探明储量

Fig. 4 Statistic histogram on terrestrial facies for low efficiency gas pools in China

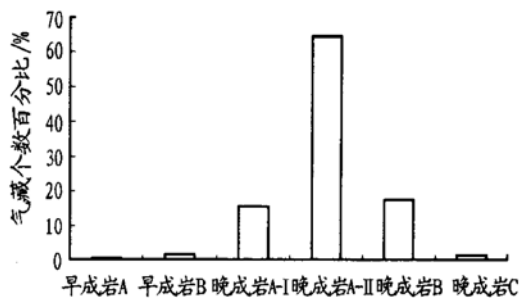


图 5 我国陆相低效天然气藏成岩阶段统计图

Fig. 5 Statistic histogram on the diagenetic stages for low efficiency gas pools in China

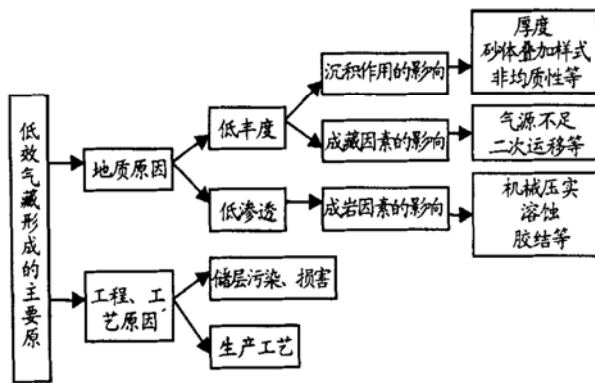


图6 低效气藏形成的主要原因分析图

Fig. 6 Analytical diagram on the cause of formation for low efficiency gas pools

气田(如四川西部超致密气藏), 克拉通盆地深盆气田(如鄂尔多斯深盆气藏), 弧后裂谷盆地断陷致密砂岩气田(如松辽 J₃-K₁ 断陷气藏), 前陆盆地深埋致密砂岩气田(如准噶尔盆地南部深埋气藏)。以川西含气致密砂岩为例, 我国含气致密砂岩成藏模式可划分为四个阶段: 阶段 iv 为原生常规储层油气聚集; 阶段 ④ 为“深盆气”; 阶段 ④ 为超致密化; 阶段 ⑤ 为裂缝重组气藏; 阶段 ⑤ 为次生浅层气藏。

2.2 沉积因素

沉积因素对低效气藏的形成的控制主要表现在两方面。

一方面沉积相类型决定储层的矿物成分、粒度大小和分选磨圆, 从而决定孔隙结构成熟度, 控制孔隙毛管力大小, 影响流体渗流特征(即相对渗透率和含气饱和度高低), 直接影响储层原始物性特征变化。一般的, 低效气藏的储层以三角洲相和河流相为主, 储集砂岩岩石类型以长石砂岩为主, 岩石矿物中长石和岩屑含量较高, 泥质含量高, 储层孔隙结构复杂, 毛管力大, 造成孔隙中含水饱和度增高, 含气饱和度降低, 致使气藏储量丰度低, 产能低。

另一方面, 储层矿物成分、粒度大小决定成岩作用类型和强度。岩屑、长石含量高, 易碎易变形使孔道变小, 成岩作用中、晚期储层受到白云石、铁白云石、石膏、沸石的充填或交代, 自生绿泥石和水云母充填或包围颗粒形成薄膜, 改造储层孔渗结构。

2.3 成岩因素

沉积物沉积后, 贯穿整个成岩过程的白云石化、化学压实、淋滤和胶结等成岩作用是控制储层质量的关键因素。对储层物性有利的成岩作用包括长石溶解、碳酸盐溶解及白云岩化作用等; 对储层物性不利的成岩作用包括机械压实、化学压溶作用、硅质胶结作用、粘土矿物形成及转化作用、碳酸盐胶结作用

等^[4,5]。

2.3.1 机械压实

机械压实发生于早成岩阶段。研究表明, 压实作用的程度可随塑性物质的含量增加而增强。相同条件下, 高含杂基的砂岩因机械压实作用而导致的孔隙度减少量大于净砂岩孔隙度减少量。

2.3.2 溶解作用

长石溶解作用: 长石溶解在次生孔隙中占有显著地位, 除粒间碳酸盐溶解外, 粒内溶解主要是长石。长石溶解有的沿解理缝和裂缝溶解, 形成蜂窝状溶孔; 有的长石发生大面积溶解。在侵蚀面附近发生的长石溶解主要是长石受碳酸的侵蚀所致。在地层深处, 也可见少量长石溶解现象, 这与富含有机质层产出的大量酸性水有关。碳酸的存在会引起碳酸盐的溶解, 但对铝硅酸盐溶解甚微。这样, 长石的溶解只能靠浅部地下水淋滤作用。

碳酸盐溶解作用: 碳酸盐溶解作用可表现为方解石孔隙充填结构及其碎屑交代物的溶解, 并形成较为特征的溶解颗粒残余结构及孔隙空间充填残余物, 有的颗粒呈蜂窝状结构, 从而产生大量的次生孔隙。深部的碳酸盐溶解作用, 随着埋深增加, 地温增高, 溶液 pH 值将不受矿物反应和有机酸的控制, 取而代之的是以有机质成熟产生的 CO₂ 为主。随着 CO₂ 增加, 产生 H₂CO₃, 离解形成大量的 H⁺ 使碳酸盐大量溶解。

2.3.3 淋滤作用

淋滤作用一般有两期。第一期淋滤作用发生于地表或地下浅处, 或是阶段性的沉积间断(或间歇性地暴露于大气中), 或常常侵入早期的排泄系统(即压实流体的排出)。该期淋滤作用对灰岩影响最大, 形成大量的铸模孔和次生微孔隙。第二期淋滤作用要晚得多, 一般出现在持续埋藏作用和化学压实之后。该期淋滤作用的流体, 可能来自上覆膏盐层溶解形成的高矿化度含钙盐水, 淋滤流体随后向下运移且通过晚期形成的渗滤系统作用侧向运移。此期淋滤作用对白云石和混合白云石化方解石层段影响最大。

与化学压实有关的淋滤作用时期的差异对影响储层性质非常关键。许多经过早期淋滤的灰岩储层曾经拥有极佳的孔渗性, 但由于压实和相应的埋藏胶结作用而使孔渗性降到了“极限”, 或成为“非储集”层。多数经晚期淋滤的白云岩储层因相对抗压实和后期成岩作用过程中没有足够的时间和充填物来堵塞渗滤系统, 因而保留了其孔渗性特征。

2.3.4 胶结作用

胶结作用是导致地层致密的主要因素,包括硅质胶结作用和碳酸盐胶结作用。硅质胶结作用的强度与泥岩中的粘土矿物组分及转化程度有关。I/S—伊利石转化中脱出 SiO_2 多是造成硅质胶结物较丰富的原因。

2.3.5 自生粘土矿物

自生粘土是成岩过程中从地层水中沉淀或碎屑粘土蚀变形成。大多数低渗砂岩的碎屑粘土成分高,且无一不含有自生粘土,有的含量可超过 25%。与渗透滤较高的砂岩相比,除了粘土数量较多之外,低渗透砂岩所含的自生粘土多为水敏粘土(蒙脱石、伊利石)以及酸敏性粘土(绿泥石、遇富气流体形成氧化铁沉淀)为主。粘土形态又多以膜状或桥状为主。粘土微粒的释放、迁移、堵塞和膨胀是低渗透砂岩储层伤害的主要原因。

2.3.6 石英次生加大

石英次生加大对孔隙度减少影响甚微,但使渗透率明显降低。因为多次加大作用缩小了粒间孔隙之间的连通吼道,使较粗的管状喉道变成片状甚至堵死,严重阻碍了流体流动。

3 结论

我国半数以上的天然气探明储量属低效储量,大部分天然气藏属低效气藏。目前我国低效气田探明储量最大的是古生界,其次是中生界,主要分布在中深层和超深层。在数量上以凝析气藏和煤成气藏为主,圈闭类型多为构造—岩性复合圈闭,主要分布于陆相沉积储层中,其中河流相和河流—三角洲相储层占主导地位,79.8%低效气藏的储层成岩阶段处于晚成岩 A 期。我国低效气藏的总体特征为时代老、埋藏深,成岩作用强烈。构造、沉积和成岩是导致陆相气藏低效的 3 种基本的地质因素。

参考文献:

- [1] 洪峰,宋岩. 松辽盆地天然气聚集带特征及其控制因素探讨[J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(3).
- [2] 王金琪. 超致密砂岩含气问题[J]. 石油与天然气地质, 1993, 14(3): 169 - 179.
- [3] 张子枢. 世界大气田概论[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990.
- [4] 戴金星,等. 大中型气田发育的气聚集带特征[A]. 天然气地质研究[J]. 北京: 石油工业出版社, 1992. 1- 7.
- [5] 霍布森 G D. 陈荷立,等. 石油地质学导论[M]. 北京: 石油工业出版社, 1984.

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND ORIGIN PECULIARITIES OF LOW EFFICIENCY GAS RESERVOIRS IN CHINA

TIAN Chang-bing^{1,2}, YU Xing-he³, XU Anna², ZHU Yixiang^{2,3}

(1. Petroleum University, Beijing 102200, China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing 100083, China; 3. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Low efficiency gas reservoirs as a relative definition refer to a new kind of gas reservoir that is widely occurred in China, and characterized by low porosity, low permeability, low abundance and low deliverability. The resources distribution of low efficiency gas reservoirs is summarized after the systematic analysis of their basic characteristics. The geological characteristics of this new type of gas reservoirs are put forward in terms of trap, sedimentation and rock formation types. The geological factors resulting in low efficiency of natural gas pay zones are discussed with expectation to form the basis of further study of major controlling factors such as the formations of low efficiency gas reservoirs in China and the corresponding geological model establishments.

Key words: origin peculiarity; geological characteristics; low efficiency gas reservoir