

# 页岩气及其成藏机理

张金川<sup>1</sup>, 薛 会<sup>2</sup>, 张德明<sup>1</sup>, 蒲 军<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学 能源地质系, 北京 100083; 2. 石油大学 盆地中心, 北京 102249)

页岩气是以多种相态存在并富集于泥页岩(部分粉砂岩)地层中的天然气。1821 年在美国 Chautauqua 县钻探的第一口天然气生产井就是页岩气井(在井深 21 m 处, 从 8 m 厚的页岩裂缝中产出天然气)。1998 年美国的页岩气当年采气量超过了 100 亿 m<sup>3</sup>, 其发现储量占美国天然气探明储量的 2.3%。页岩气是目前经济技术条件下天然气工业化勘探的重要领域和目标。

根据 Curtis 等人的资料分析页岩气具有如下基本特征:(1) 岩性多为沥青质或富含有机质的暗色、黑色泥页岩(高炭泥页岩类), 岩石组成一般为 30%~50% 的粘土矿物、15%~25% 的粉砂质(石英颗粒)和 1%~20% 的有机质, 多为暗色泥岩与浅色粉砂岩的薄互层;(2) 页岩气可以主要来源于生物作用或热成熟作用,  $u(\text{TOC})$  介于 0~25% 之间, 镜质体反射率介于 0.4%~2% 之间;(3) 页岩本身既是气源岩又是储集层, 目前可采的工业性页岩气藏埋深最浅为 182 m。页岩总孔隙度一般小于 10%, 而含气的有效孔隙度一般只有 1%~5%, 渗透率则随裂缝发育程度的不同而有较大的变化;(4) 页岩具有广泛的饱含气性, 天然气的赋存状态多变, 吸附态天然气的含量变化于 20%~85% 之间;(5) 页岩气成藏具有隐蔽性特点, 不以常规圈闭的形成存在, 但当页岩中裂缝发育时, 有助于游离相天然气的富集和自然产能的提高。当页岩中发育的裂隙达到一定数量和规模时, 就成为天然气勘探的有利目标。页岩气的资源量较大但单井产量较小, 美国页岩气井的单井采气量为 2 800~28 000 m<sup>3</sup>/d;(6) 在成藏机理上具有递变过渡的特点, 盆地内构造较深部位是页岩气成藏的有利区, 页岩气成藏和分布的最大范围与有效气源岩的面积相当;(7) 原生页岩气藏以高异常压力为特征, 当发生构造升降运动时, 其异常压力相应升高或降低, 因此页岩气藏的地层压力多变。

页岩气不仅仅是存在于裂缝中的游离相天然气, 它还不服从天然气聚集的常规成藏机理。根据不同的成藏条件, 页岩气成藏可以表现为典型的吸附机理、活塞运聚机理或置换运聚机理。因此, 页岩气成藏经历了非常复杂的多机

理过程, 是天然气成藏机理序列中的重要构成和典型代表。在成藏机理特征上, 页岩气介于根状气(典型的吸附气, 如煤层气藏)根缘气(典型活塞式成藏的游离气, 如狭义深盆气藏)和根远气(典型置换式运聚的游离气, 如常规的背斜圈闭气藏)3 大类气藏之间。由于页岩气在主体上表现为吸附或游离状态, 成藏过程中没有或仅有极短距离的运移, 因此从某种意义上说, 页岩气藏具有典型煤层气和典型根缘气的双重机理, 表现为过渡特征。

页岩气的成藏至少分为两个阶段: 第一阶段是天然气的生成与吸附, 具有与煤层气相同的富集成藏机理; 第二阶段则是天然气的造隙及排出, 由于天然气的生成来自于化学能的转化, 可以形成高于地层压力的排气压力, 从而导致沿岩石的薄弱面产生小规模的裂缝, 天然气就近在裂缝中保存。在该阶段中, 天然气主体上受生气膨胀力的推动而成藏, 近源分布且不受浮力作用, 反映了活塞式的运聚特征, 与根缘气具有相同的形成机理; 如果天然气生成量继续增加, 则裂隙彼此连通构成较大的裂缝网络(运移高速通道), 浮力作用促使天然气以置换方式从泥页岩层向外运移, 为常规圈闭气的成藏打开了通道, 此时进入第三成藏阶段。

影响页岩气成藏的主要因素是源岩的有机质含量及其生气作用, 而控制天然气自然产能的主要条件是页岩中的裂缝发育程度。因此, 页岩气成藏并具有工业价值的基本条件是气藏埋藏较浅且泥页岩厚度较大, 母质丰富且生气强度较大以及裂缝发育等。在中国, 许多盆地具有页岩气成藏条件, 如西部地区的吐哈、塔里木和准噶尔盆地等, 中部地区的四川和鄂尔多斯盆地等, 东部地区的松辽和渤海湾盆地等。

页岩气成藏具有复合性特点, 服从物质平衡(天然气聚散)原理、能量守恒定律以及动力平衡原则。就理论研究来说, 煤层气的吸附机制、根缘气的活塞式推进原理、常规圈闭气的置换式成藏作用以及溶解气的变化规律等均是在页岩气成藏分析中所需考虑的因素。用于煤层气、根缘气、常规圈闭气甚至溶解气研究和勘探中成功的方法和技术均可作为页岩气勘探提供有效的帮助。

收稿日期: 2003-05-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(40272062; 40172052)。

作者简介: 张金川, 男, 副教授, 博士, 1964 年出生, 石油地质学专业, 从事非常规天然气、成藏机理及资源评价的研究。