

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6535.2012.04.006

从成藏条件和成藏机理对比非常规页岩气和煤层气

邵珠福¹, 钟建华^{1,2}, 于艳玲¹, 吴琼玲¹, 孙红华³

(1. 中国石油大学, 山东 青岛 266555; 2. 中科院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640;

3. 山东科技大学, 山东 青岛 266510)

摘要: 作为重要的接替能源,页岩气、煤层气等非常规能源的勘探开发将会影响到全球未来整体能源局势。页岩气和煤层气在成藏条件和成藏机理上既有区别又有相同点,都包括原生生物成因、次生物成因、热成因以及混合成因;储集层为低孔、低渗,储集空间都包括孔隙和裂隙。但页岩气的保存不需要盖层,煤层气藏不仅需要良好的盖层条件,还需要煤层底板具有良好的封闭性;煤层气具有吸附性成藏机理,而页岩气兼具吸附性、活塞性双重成藏机理。

关键词: 成藏条件;成藏机理;非常规能源;页岩气;煤层气

中图分类号: TE122.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6535(2012)04-0021-04

引言

页岩气是指以吸附态或游离态在暗色泥岩、高碳质泥岩中“原地”成藏的天然气聚集体^[1]。全球对页岩气的勘探开发并不普遍^[2-3]。美国和加拿大是世界上最早进行页岩气勘探开发的国家,目前已进入页岩气勘探开发快速发展阶段,而中国页岩气勘探开发总体处于前期探索和准备阶段^[4]。

煤层气指赋存于煤层,以甲烷为主的,吸附在煤基质颗粒表面的、部分游离于煤孔隙或溶解于煤层水中的烃类气体^[5]。美国、加拿大等国已经成功对其进行商业性开发,预计到2014年加拿大生产总量将超过 $204.4 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$ ^[6];中国自20世纪80年代开始研究,形成了1套煤层气勘探开发的理论体系与技术方法^[7-9]。

1 成藏条件对比

1.1 气源条件对比

对于自生自储式气藏,烃源岩的有效厚度是保证有机质供应和储集空间充足的前提。研究表明,形成页岩气要求的页岩有效厚度下限为15 m,具有工业开采价值的页岩气要求页岩厚度在30 m以

上(图1)。美国5大页岩气勘探开采区的页岩净厚度为9.14~91.44 m,产气量较高的Barnett页岩和Lewis页岩的平均厚度在30.48 m以上^[10]。

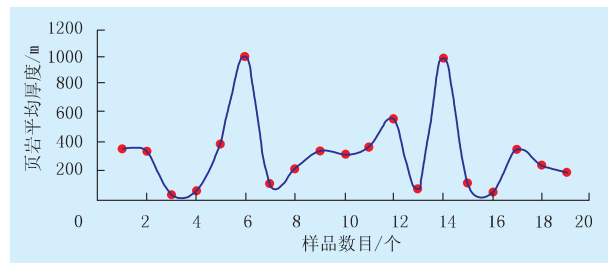


图1 美国和中国几个页岩气区页岩平均厚度

相比而言,煤层气的下限厚度较小,房德权^[11]统计的中国几个主要煤层气试验区的平均煤厚在0.7~4.5 m之间(图2);张建博等^[12]根据多年研究工作提出煤层厚度下限暂定为1 m;钱凯^[5]等根据美国煤层气勘探开发试验数据,认为煤层厚度以0.6~5.0 m对煤层气的富集、开发有利。

1.2 成因类型对比

页岩气和煤层气的成因类型都包括原生生物成因、次生物成因、热成因、生物成因和热成因的混合成因(图3)。

(1) 原生生物成因气是在温度相对较低的地

收稿日期:20111120;改回日期:20120110

基金项目:国家自然科学基金“柴达木盆地中生界类叠瓦构造的研究”(41172093)

作者简介:邵珠福(1984-),男,2007年毕业于中国石油大学(华东)勘查技术与工程专业,现为该校地质学专业在读博士研究生,从事非常规油气的勘探研究工作。

表浅处,在有机质演化低成熟或低变质阶段经微生物作用生成烃类气体,生气量随着 R_o 的增高逐渐降低。对于页岩气来说,有机质演化的温度为 $10 \sim 60^\circ\text{C}$, $R_o \leq 0.4\%$;煤层气的生成温度一般小于 50°C , $R_o \leq 0.3\%$ 。

(2) 次生生物气是后期由于地层抬升至近地表,地层水顺裂缝系统进入储集层,其中储集层中已存在的气体被携带的细菌、微生物及其他有机质降解、代谢,生成烃类气体。

(3) 热成因型煤层气是指在高温(大于 50°C)和高压下,煤中有机质产生的主要以甲烷、二氧化碳和水的形式释放出来的富氢富氧的天然气。根据 R_o 可将热成因型煤层气的生成分为长焰煤阶段、长焰煤-焦煤阶段和瘦煤-无烟煤阶段 3 个阶段(图 3)。热成因型页岩气生成有利的 R_o 范围是 $1.1\% \sim 3.0\%$ [13]。

(4) 页岩和煤系地层中有机质生气是 1 个连

续的过程,在生烃演化过程中,生物成因气和热成因气之间存在 1 个过渡区域,即混合成因气区。本

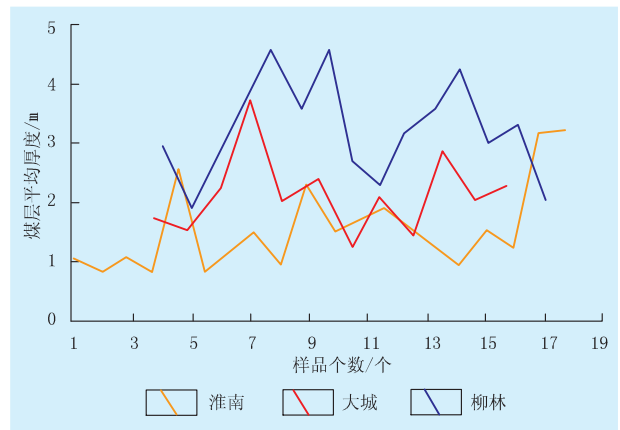


图 2 中国几个主要煤层气试验区煤层厚度对比

文将以往不同学者 [14-16] 对原生生物气和热成因气阶段划分的争议区作为混合成因气区。页岩中混合成因气的 R_o 为 $0.4\% \sim 1.0\%$,煤储层中的混合成因气的 R_o 为 $0.3\% \sim 0.6\%$ 。

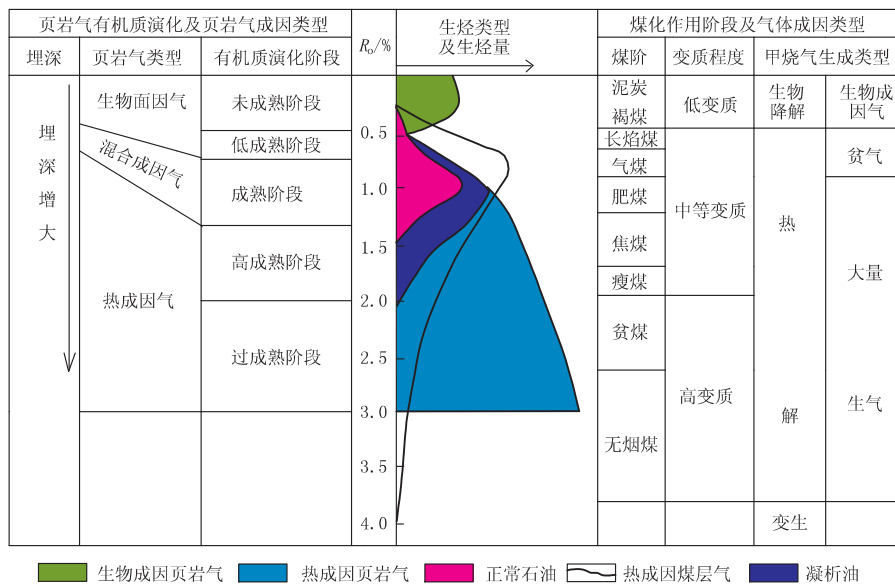


图 3 页岩气及煤层气演化模式及天然气类型对比

1.3 储集条件对比

页岩气以泥岩或页岩及其间的砂质岩夹层为主要储集介质,煤层气以煤层为主要储层,这 2 类气藏主要以吸附态赋存于孔隙和裂缝储集层,均具有低孔低渗、非均质性强等特点。

储层中孔隙的容积和孔径大小能显著影响页岩气和煤层气的赋存形式。孔隙通常可以分为微

孔(小于 2 nm)、过渡孔($2 \sim 50 \text{ nm}$)和大孔(大于 50 nm)。气体在大孔中主要以层流、紊流形式存在,在过渡孔中以层流和毛细管凝结的形式存在,在微孔中以毛细管凝结、物理吸附和扩散等方式存在。因此,气体主要以游离态赋存于大孔,以吸附态赋存于微孔,以混合态赋存于过渡孔。孔径越大,游离气所占比例越大;微孔的总体积越大,储层对气体的吸附能力越强。Ross [13] 和王祥 [16] 等研

究表明当孔隙度从 0.5% 增大到 4.2% 时, 游离态气体的含量从原来的 5% 上升到 50% (图 4)。

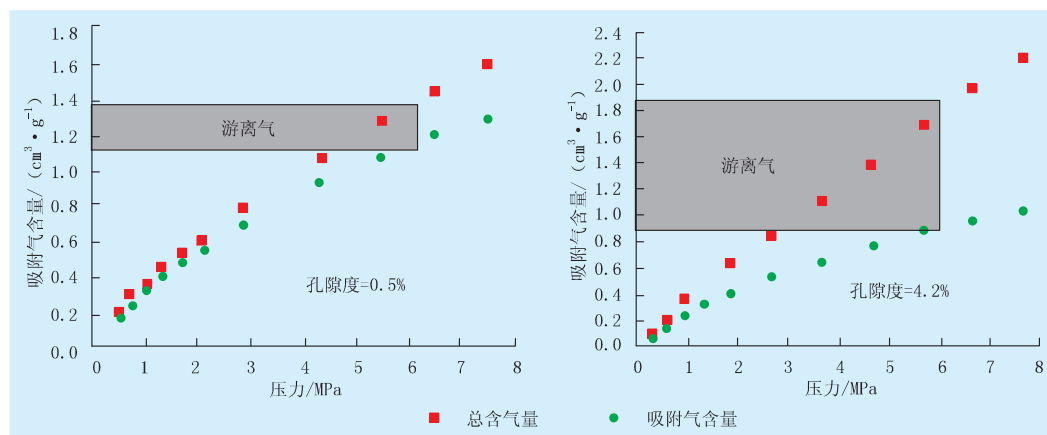


图 4 孔隙度对游离气含量的影响

$0.001 \times 10^{-3} \sim 2.000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $0.0409 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。煤的孔隙度大小与煤阶有关, 变化在 2% ~ 25% 之间, 中国煤储层渗透率一般小于 $1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。煤层的孔隙度总体相对较大, 但煤层中的吸附气含量占总含气量的 90% ~ 95%, 页岩气中吸附气含量为 20% ~ 85%。煤层气主要以吸附气形式存在, 页岩气的赋存以吸附气和游离气为主。

1.4 圈闭条件

页岩气藏和煤层气藏形成并富集在烃源岩内部, 无清晰的气水界面, 气藏的分布受烃源岩控制, 分布范围近似等于烃源岩的分布范围, 所以其成藏不需要常规意义上的圈闭, 没有明显的气藏边界, 气藏内外只有含气丰度的差别, 而没有有气和无气的差别。

1.5 保存条件

(1) 盖层条件。对于页岩气来说, 页岩的渗透率极低, 属于致密层, 页岩本身就是良好的盖层。但煤层气的保存不仅需要良好的盖层条件, 而且煤层底板的封闭物性也很重要。围岩封闭机理有毛细管封闭、压力封闭和烃浓度封闭 3 种(表 1)。厚度大、分布稳定和封闭物性好的盖层对于煤层气的富集十分有利。

(2) 水文地质条件。对页岩气和煤层气的保存具有双重作用, 地表水携带的细菌有利于生物排烃, 地层水对气体既可运移又可封堵, 同时又可以溶解气体, 打破储层中原有吸附气、游离气和溶解

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%^[14-17], 渗透率一般为

气之间的动态平衡。

表 1 围岩封闭机理类型

封闭类型	封闭机理	围岩类型
毛细管封闭	毛细管压力	泥岩、油页岩、致密灰岩、砂岩
压力封闭	厚层泥岩欠压实、地层压力异常	含水泥岩、巨厚泥岩
烃浓度封闭	烃浓度	油页岩、碳质泥岩

(3) 构造条件。页岩气藏多位于构造低部位或盆地中心, 即使在构造油气藏破坏最严重的区带, 仍有勘探开发页岩气藏的前景^[14], 如美国发现的页岩气藏大多在古生代地层中, 均经历了多次构造运动, 仍能形成高产气藏^[18]。构造运动对煤储层影响较大, 构造沉降促进气的生成和吸附保存, 构造抬升导致气体散逸损失; 张性、张扭性等开放性断层是煤层气运移的主要通道, 不利于煤层气的保存; 压性、压扭性断层的封闭性较好, 背斜的核部、向斜倾角较陡的翼部断裂发育含气性较差; 向斜核部、背斜的两翼和倾伏端方向含气性较好^[19]。

2 成藏机理对比

2.1 页岩气成藏机理

按成因机理, 页岩气成藏可分为 2 个阶段。一是在页岩气藏早期, 页岩气主要以吸附态附着于黏土颗粒和有机质颗粒表面; 二是在生气高峰, 随着气体大量产出, 当页岩黏土颗粒和有机质颗粒所提供的最大吸附气量不足以满足所生成的天然气聚集需求时, 游离态的天然气开始出现, 该阶段页岩气主体受生烃膨胀力的推动成藏, 不受浮力影响,

且由于页岩的孔喉较小,游离态天然气对地层水的排驱为活塞式整体排驱,因此,该阶段表现为活塞式运聚的特点,由此可知页岩气具有典型的双重成藏机理。

2.2 煤层气成藏机理

煤层气生成后首先以吸附态赋存于煤岩基质表面,研究表明 1 g 煤的表面积可达 100~400 m²,为吸附气提供了充足的附着空间。当煤层气的产出量满足了煤岩基质的吸附需求后,多余的煤层气就以游离态赋存于煤孔隙中或溶于孔隙水中。煤层气的吸附属于物理吸附,吸附动力为分子间作用力,因此煤层气的吸附与解吸是一个可逆过程。由于煤层气的聚集不受流体场的控制而受温压场的控制,当外界温压场发生变化时,煤层气的赋存状态会随之改变,使其处于游离态、溶解态和吸附态之间动态平衡。由于煤层气属于自生自储式气藏,煤层气藏不需要常规意义上的圈闭条件,只要有较好的围岩(盖层和底板)条件,无论是构造高位还是低位,都可以形成煤层气聚集。

3 结 论

(1) 页岩气与煤层气成因类型都包括生物成因、热成因和混合成因,但 2 类天然气生成时的演化阶段和热演化温度不同。

(2) 2 类天然气的赋存方式以吸附态为主,储集层具有低孔低渗的特点,储集空间都包括孔隙和裂隙,页岩气藏中吸附气含量低于煤层气藏中吸附气的含量。

(3) 页岩气保存不需要盖层,煤层气藏不仅需要良好的盖层条件,还需要底板具有良好的封闭物性。页岩气兼具吸附式和活塞式双重成藏机理,煤层气具有吸附性成藏机理。

参考文献:

[1] 徐建永,武爱俊.页岩气发展现状及勘探前景[J].特种油气藏,2010,17(5):1-7.
[2] 张焕芝,何艳青.全球页岩气资源潜力及开发现状

[J].石油科技论坛,2010,29(6):53-57.
[3] 徐波,李敬含,谢东,等.中石油探区主要盆地页岩气资源分布特征研究[J].特种油气藏,2011,18(4):1-6.
[4] 米华英,胡明,冯振东,等.我国页岩气资源现状及勘探前景[J].复杂油气藏,2010,3(4):10-13.
[5] 傅雪海,秦勇,韦重韬,等.煤层气地质学[M].徐州:中国矿业大学出版社,2007:10.
[6] 李旭.世界煤层气开发利用现状[J].煤炭加工与综合利用,2006,28(6):41-45.
[7] 饶孟余,杨陆武,冯三利,等.中国煤层气产业化开发的技术选择[J].特种油气藏,2005,12(4):1-4.
[8] 鲜保安,高德利,陈彩红,等.煤层气高效开发技术[J].特种油气藏,2004,11(4):63-67.
[9] 李铭,楚泽涵,卢颖忠.煤层气测井评价[J].特种油气藏,2000,7(1):4-9.
[10] 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):15-18.
[11] 房德权,宋岩.中国主要煤层气试验区地质特征对比[J].天然气工业,1997,17(6):15-18.
[12] 李文阳.中国煤层气地质评价与勘探技术进展[M].北京:中国矿业大学出版社,2001:20-25.
[13] Ross D J, Bustin R M. Shale gas potential of the lower jurassic gordonale member northeastern british columbia, canada [J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 2007, 55(1):51-75.
[14] Scott A R, Kaise W R, et al. Thermogenic and secondary biogenic gases, san juan basin, colorado and new mexico complications for coalbed gas producibility [J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(8):186-209.
[15] Law B E, Rice D D, et al. Hydrocarbons from coal [M]. AAPG Studies in Geology Series 38, 1993:159-184.
[16] 王祥,刘玉华,张敏.页岩气形成条件及成藏影响研究[J].天然气地球科学,2010,21(2):350-356.
[17] 赵群,王红岩,刘人和,等.世界页岩气发展现状及我国勘探前景[J].天然气技术,2008,2(3):11-14.
[18] 陈更生,董大忠,王世谦.页岩气藏形成机理与富集规律初探[J].天然气工业,2009,29(5):17-21.
[19] 员争荣.试论构造控制煤层气藏储集环境[J].中国煤田地质,2000,12(3):22-24.

编辑 黄华彪

Key words: logging identification; fluid property discrimination; reservoir; Qixia formation; west Sichuan

Compare shale gas with CBM in accumulation conditions and mechanisms

SHAO Zhu - fu¹, ZHONG Jian - hua^{1,2}, YU Yan - ling¹, WU Qiong - ling¹, SUN Hong - hua³

(1. *China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266555, China;*

2. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China;*

3. *Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266510, China)*

Abstract: As important alternative energy resources, the exploration and development of shale gas and CMB will play a decisive role on future global energy situation. The two gases have differences and common features in accumulation conditions and mechanisms. The common features are they all involve primary biogenesis, secondary biogenesis, thermogene and hybrid origin; they both occur in low porosity and low permeability pores and cracks. However, shale gas reservoirs do not need cap rock, while CMB reservoirs need not only good cap rock but good coal floor sealing property as well; as for accumulation mechanisms, CMB accumulates by adsorption, while shale gas accumulates by both adsorption and piston type mechanism.

Key words: shale gas; coalbed methane; unconventional; accumulation condition; mechanism

Geological study on shale gas reservoirs in the Longmaxi formation of lower Silurian in northeast Chongqing

ZHANG Zhi - ping, CHENG Li - jun, ZENG Chun - lin, WANG Sheng - xiu, WANG Qiao - li

(*Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 400042, China)*

Abstract: Shale gas is an important unconventional resource. Comprehensive study on the geological setting, organic geochemical characteristics and physical parameters of the black shale developed in the Longmaxi formation of lower Silurian in northeast Chongqing indicate that this area has the geological conditions of shale gas reservoir. The potential shale gas zone has been located for the Longmaxi formation of lower Silurian in this area by applying evaluation standards at home and abroad. And the resource extent of shale gas is calculated by using analogy method, volumetric method and Turle Philippines method for the study area.

Key words: reservoir forming condition; resource extent; shale gas; Longmaxi formation; Silurian; northeast Chongqing

Metamorphic rock buried hill reservoir characteristics and suggestions on high efficiency development

WANG Li - bing¹, TONG Kai - jun¹, MA Shi - gang², ZHOU Rong³

(1. *CNOOC Tianjin Branch, Tianjin 300452, China;*

2. *CNOOC, Beijing 100010, China;*

3. *Jilin Oilfield Company, PetroChina, Songyuan, Jilin 138000, China)*

Abstract: The Archean buried hill reservoir in Bohai JZ25 - 1S oilfield is a metamorphic rock, quasi - lamellar reservoir with bottom water and well developed pores and crevices. The reservoir has extremely complex geologic structure, is characterized by big differences in spatial development of fractures, unknown interconnection of fractures inside the buried hill, drastic change of high quality reservoir, severe heterogeneity, and poor continuity and comparability. Based on the features of high production wells in the JZ25 - 1S buried hill reservoir as well as lithology, tectoclase development, well type and other factors, this paper analyzes the control factors on buried hill reservoir deliverability, proposes suggestions on efficient reservoir development, and provides certain reference for subsequent development of buried hill reservoir.

Key words: fracture; development characteristics; control factor; metamorphic rock; buried hill reservoir; Bohai JZ25 - 1S oilfield

Characteristics of the Mesozoic - Cenozoic igneous reservoirs in the Qikou depression of Bohai Bay Basin

GUO Yong - feng^{1,2}, LUO Jing - lan¹, LIU Hua - qing³, LI Shuang - wen³, YAO Jun³

(1. *MOE Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;*

2. *Xi'an Institute of Geological and Mineral Exploration, Shaanxi Geological Prospecting Bureau, Xi'an, Shaanxi 710061, China;*

3. *Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Lanzhou, Gansu 730020, China)*

Abstract: The Mesozoic - Cenozoic igneous reservoirs in the Qikou depression of Bohai Bay Basin are studied for rock type, reservoir space and physical property based on identification and statistics of core observation, conventional thin section and cast thin section, as well as porosity and permeability measurements. The major control factors of igneous reservoir development are demonstrated and analyzed. The results show that the Mesozoic - Cenozoic igneous rocks in the Qikou depression can be classified into more than 20 types in six categories. The best physical property is found in andesite and basalt, then in diabase and tuff, and the poorest is in dacite. The formation and quality improvement of igneous reservoirs are closely related to tectonism, weathering, leaching, dissolution and alteration.

Key words: reservoir characteristics; reservoir space type; igneous rock; Qikou depression; Bohai Bay Basin

Application of fluid inclusion in hydrocarbon accumulation study

GAO Yong¹, MU Zhi - quan¹, WANG Yong - kai¹, DOU Hong - kun², ZENG Jian - hong¹

(1. *Dagang Oilfield Company, PetroChina, Tianjin 300280, China;*

2. *Dagang Geophysical Prospecting Department, BGP INC., CNPC, Tianjin 300280, China)*

Abstract: This paper analyzes the distribution of homogenization temperature of fluid inclusion, the occurrence of hydrocarbon inclusion, and the genesis of inclusions and bitumen for Es₃ in Binhai fault nose, Es₂ in Qibei slope and Es₁ in Binhai slope; and discriminates hydrocarbon accumulation period, timing and control factors. It is concluded that the study area has the characteristics of "two stages of hydrocarbon filling, oil before gas, differential accumulation, and oil higher than gas"; reservoir distribution is subject to evolution of hydrocarbon generation, structure development configuration, and widespread lithologic traps; superimposed mul-