

# 中国煤系气成藏特征及勘探对策

欧阳永林<sup>1</sup> 田文广<sup>1</sup> 孙斌<sup>1</sup> 王勃<sup>2</sup> 祁灵<sup>1</sup> 孙钦平<sup>1</sup> 杨青<sup>1</sup> 董海超<sup>3</sup>

1. 中国石油勘探开发研究院 2. 国家安全生产监督管理局信息研究院 3. 中国石油煤层气有限责任公司

**摘要** 广义的煤系气是指赋存于煤系地层中的全部天然气,而狭义的煤系气则主要指赋存于煤层中的煤层气及其附近致密砂岩储层中的天然气。为了提高煤层气的开发效益,从烃源岩分布、煤与砂岩的组合类型、沉积相、封闭体系等方面分析了我国狭义煤系气的成藏特征及其控制因素。结果表明:①我国含煤盆地煤系地层煤与砂岩组合配置关系多样;②广覆式烃源岩分布为煤系气的富集提供了充足的气源基础;③沉积相控制了煤系气生储盖组合的配置关系,构成煤系气成藏的先天物质基础,河流、三角洲沉积体系煤层和砂岩均发育,是煤系气共生藏最有利的沉积相带;④封闭体系对煤层(系)气的控制作用贯穿于煤层(系)气生成、聚散、富集及成藏等全过程,可划分出3种煤系气气藏类型——自生自储型煤层气藏、煤层气—砂岩气共生气藏、煤成砂岩气藏,其中前者是目前煤层气勘探开发的主要对象。进而指出了下一步的煤系气勘探方向:①以沁水、鄂尔多斯、准噶尔、海拉尔、鸡西等煤系气资源量较大的盆地为重点,开展煤系气勘探和评价;②针对不同煤系气气藏类型开展有针对性的勘探工作,在浅部自生自储型煤层气富集区进行煤层气勘探,对深部煤层气—砂岩气共生气藏进行煤层气+砂岩气综合勘探,对煤成砂岩气藏重点开展砂岩气勘探。

**关键词** 中国 煤系气 煤层气 致密砂岩气 成藏特征 控制因素 封闭体系 综合勘探开发

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2018.03.002

## Characteristics of coal measure gas accumulation and such gas exploration strategies in China

Ouyang Yonglin<sup>1</sup>, Tian Wenguang<sup>1</sup>, Sun Bin<sup>1</sup>, Wang Bo<sup>2</sup>, Qi Ling<sup>1</sup>, Sun Qinping<sup>1</sup>, Yang Qing<sup>1</sup> & Dong Haichao<sup>3</sup>

(1. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Langfang, Hebei 065007, China; 2. National Institute for Occupational Safety, State Administration of Work Safety, Beijing 100713, China; 3. PetroChina Coalbed Methane Company Limited, Beijing 100013, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 38, ISSUE 3, pp.15-23, 3/25/2018. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

**Abstract:** Coal measure gas is broadly defined as all natural gas occurring in coal measure strata while narrowly defined as the coalbed methane (CBM) in coal beds and the natural gas in the adjacent tight sandstone reservoirs. In this paper, the hydrocarbon accumulation characteristics and control factors of narrowly defined coal measure gas in China were analyzed from the aspects of source rock distribution, coal-sandstone combination type, sedimentary facies and closed system to improve CBM development benefit. And the following research results were obtained. First, there are various coal-sandstone combination relationships in coal measure strata of coal bearing basins in China. Second, the widely-distributed source rocks provide sufficient gas sources for the enrichment of coal measure gas. Third, sedimentary facies dominate the combination relationships of source-reservoir-caprock assemblages of coal measure gas, so the inborn material base of coal measure gas accumulation is formed. The sedimentary systems of fluvial facies and delta facies are the most favorable sedimentary facies for the paragenesis and accumulation of coal measure gas for their coal beds and sandstones are developed. Fourth, the closed system controls the whole process of generation, enrichment and accumulation of CBM (coal measure gas). Three types of coal measure gas reservoirs are identified: self-source and self-reservoir CBM reservoirs, paragenetic CBM-sandstone gas reservoirs, coal-derived sandstone gas reservoirs, among which the first type is currently the main target of CBM exploration and development. Finally, the next exploration direction of coal measure gas was pointed out as follows. First, the exploration and evaluation of coal measure gas shall be focused on the giant basins with abundant coal measure gas, such as Qinshui, Ordos, Junggar, Hailar and Jixi. Second, coal measure gas reservoirs shall be explored specifically based on different types. It is necessary to carry out CBM exploration in the self-source and self-reservoir CBM enriched zones in the shallow layers, integrated exploration of CBM and sandstone gas in the paragenetic CBM-sandstone gas reservoirs in the deep layers, and sandstone gas exploration in coal-derived sandstone gas reservoirs.

**Keywords:** China; Coal measure gas; Coalbed methane (CBM); Tight sandstone gas, Hydrocarbon accumulation characteristic; Control factor; Closed system; Integrated exploration and development

**基金项目:** 国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”子项目“中低煤阶煤层气规模开发区块优选评价”(编号: 2016ZX05041-002、2016ZX05041-004、2016ZX05041-005)。

**作者简介:** 欧阳永林, 1958年生, 教授级高级工程师, 硕士; 主要从事油气地球物理和煤层气勘探等方面的研究工作。地址: (065007) 河北省廊坊市广阳区万庄44号信箱。ORCID: 0000-0001-9240-4966。E-mail: ylinoy@petrochina.com.cn

**通信作者:** 田文广, 1979年生, 高级工程师, 博士; 主要从事煤层气、致密砂岩气等方面的研究工作。地址: (065007) 河北省廊坊市广阳区万庄44号信箱。ORCID: 0000-0002-9895-5483。E-mail: tianwg69@petrochina.com.cn

我国煤层气地面勘探开发始于 20 世纪 90 年代初, 经过近 30 年的发展, 已形成沁水、鄂东两大煤层气产业基地, 煤层气适用配套开发工艺技术也初步成型<sup>[1-4]</sup>。整体来看, 受制于煤层气资源品位较差、投资大、回报周期长、产出低、价格较低等因素<sup>[5-6]</sup>, 煤层气产业现状与国家“十二五”规划的目标仍存在着较大的差距, 产业发展受到制约。而煤系气作为一种潜力巨大的非常规天然气资源, 逐渐成为研究的热点和勘探开发的现实选择<sup>[7-10]</sup>。

广义的煤系气是指由整个煤系的烃源岩母质在生物化学、物理化学及煤化作用过程中演化生成赋存于煤系地层中的全部天然气, 包括煤系泥/页岩的页岩气、煤层气和致密砂岩气<sup>[11-12]</sup>。而从提升煤层气开发效益的角度, 狭义的煤系气主要是指赋存于煤层中的煤层气及其附近致密砂岩储层中的天然气。研究煤系气的成藏特征, 剖析其勘探前景, 对于促进非常规天然气勘探开发意义重大。本文所述为狭义的煤系气, 从烃源岩分布、煤与砂岩组合类型、沉积相、封闭体系等方面分析了其成藏特征及控制因素, 提出了煤系气的勘探对策。

## 1 煤系气成藏特征

### 1.1 广覆式烃源岩分布, 提供了充足的气源基础

煤系地层烃源岩主要包括煤岩、暗色泥岩和石灰岩等类型, 其中煤岩为重要的气源岩, 不同类型烃源岩互层叠置分布, 具有分布稳定、厚度大、面积广等共性, 这些是煤系气成藏的良好物质基础。

以鄂尔多斯盆地上古生界煤系地层为例, 气源岩主要包括煤层、暗色泥岩和含泥的生物灰岩等<sup>[13]</sup>, 煤系气源岩分布面积超过  $24 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 整体进入大量生气阶段的煤系气源岩面积超过  $18 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 表现为大面积生烃特征 (图 1), 盆地现今总生气强度普遍高于  $12 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ , 东部地区可达  $42 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ <sup>[14]</sup>。可见, 上古生界烃源岩有效生烃范围几乎覆盖整个盆地, 表现出广覆式生烃的特点。

### 1.2 煤与砂岩组合配置关系多样

煤系气主要储存在煤层及附近的砂岩中, 可将煤层与砂岩互层段统一作为目的层进行综合评价, 在

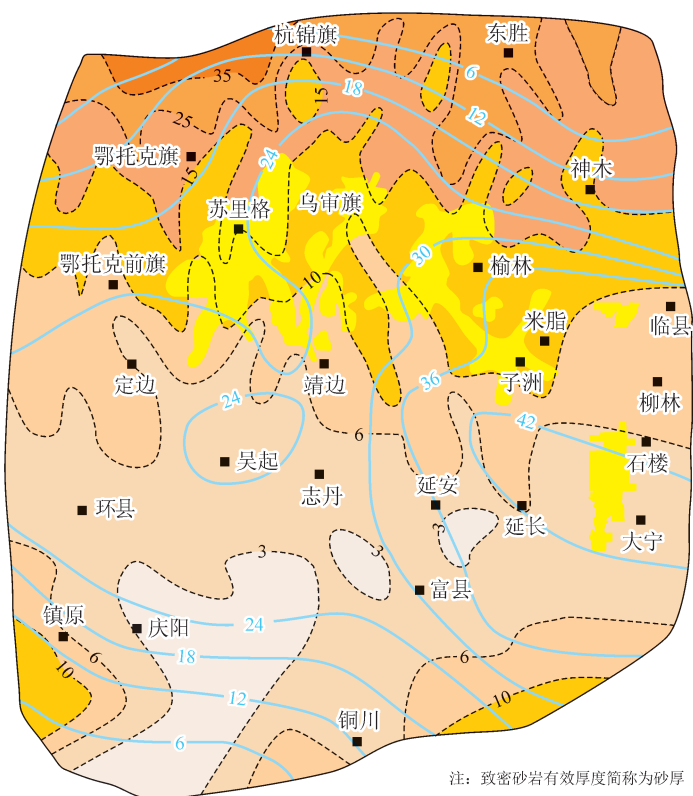
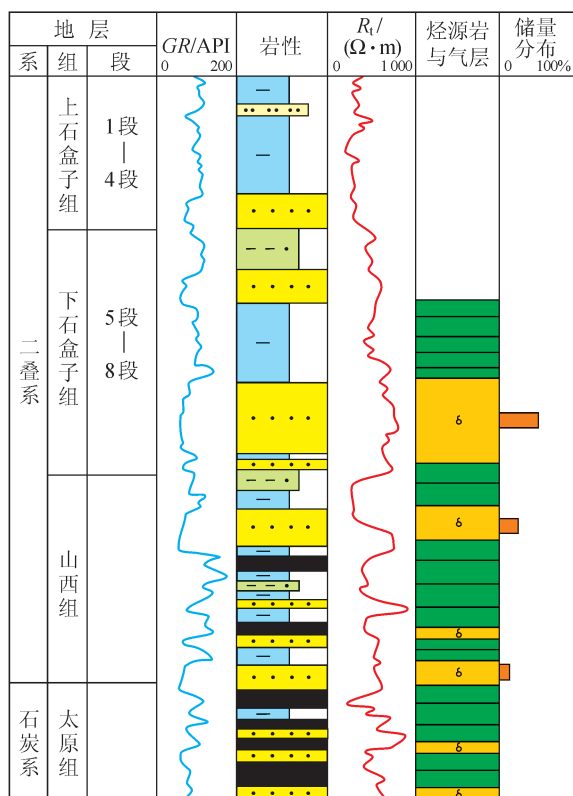


图 1 鄂尔多斯盆地上古生界地层柱状图及烃源岩与盒 8 段储层分布叠合图 (据赵文智等<sup>[14]</sup> 修改)

垂向上拓展勘探开发空间，显著增加资源丰度<sup>[3]</sup>。但不同煤与砂岩组合配置关系，决定了煤系气气藏类型和开发方式。笔者根据煤层与附近砂岩的组合关系，提出了 4 种组合类型（图 2）。

I 类组合：多层煤+多层砂岩组合。该组合类型反映聚煤环境旋回式演变，形成多套煤与多套砂岩纵向旋回性互层叠置，煤层既可作为气源岩，又可作为煤层气储层，煤生成的烃类气体直接在附近砂岩中储存，配合良好的区域盖层，形成源储互动式煤系气成藏组合（图 2-a）。

II 类组合：多层煤+少层或无砂岩组合。该组合类型煤岩发育，砂岩欠发育或不发育，反映沉积环境长期处于沼泽化环境，陆源碎屑供给不充分，往

往泥岩较发育，具备良好的封盖条件，利于煤层气的保存（图 2-b）。

III 类组合：单层或少层煤层+多层砂岩组合。该组合类型煤层层数少，煤层上下多套砂岩发育，反映陆源碎屑供给充分，煤层分布局限，煤岩生成的烃类气体可直接在附近砂岩中储存，由于砂体发育，煤系是否存在良好的区域盖层决定了该区煤系气能否富集成藏（图 2-c）。

IV 类组合：单层、少层或无煤层与少层砂岩或无砂组合。该组合类型总体反映水体较深，封盖条件好，砂体不发育，如有煤层，利于形成单一煤层气藏，如无煤层或煤层较薄，则不利于煤层气富集，但若页岩发育则可形成页岩气藏（图 2-d）。

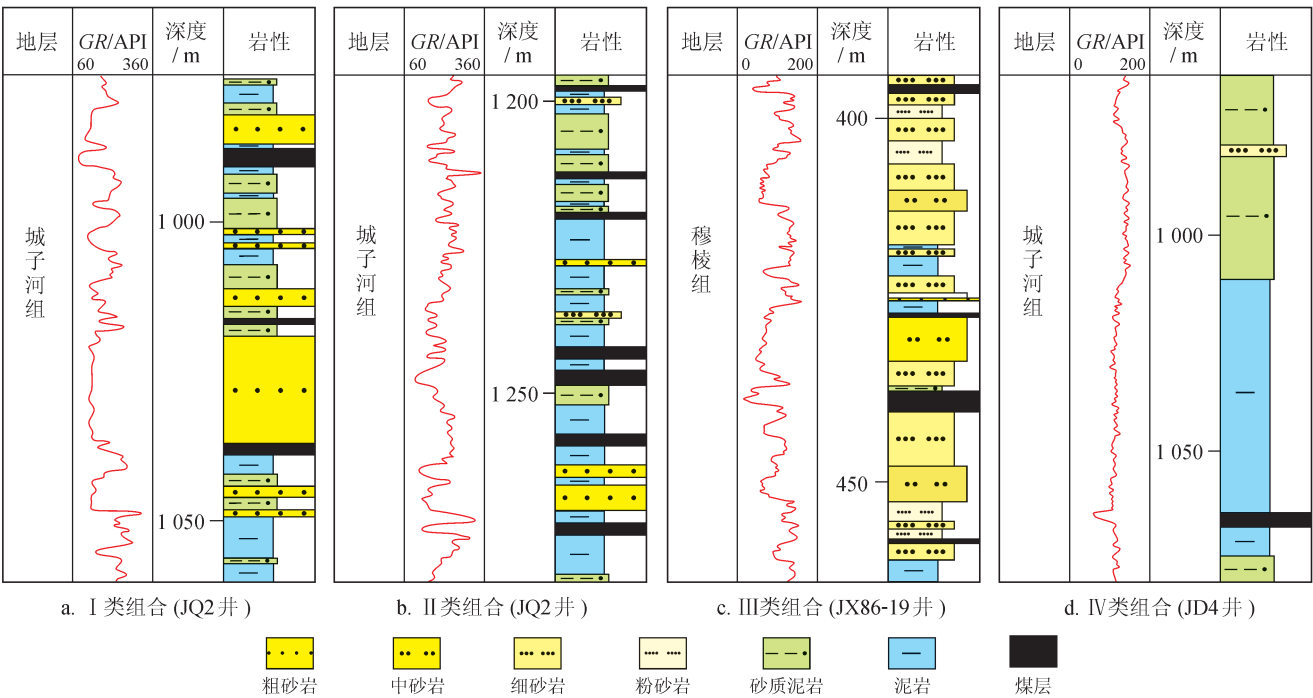


图 2 鸡西盆地煤系地层煤与砂岩组合类型图

## 2 煤系气成藏控制因素

### 2.1 沉积相控制生储盖组合配置关系

我国煤系地层发育的沉积体系主要有浅海—障壁海岸、浅海—无障壁海岸、冲积扇、河流、三角洲、湖泊等<sup>[15]</sup>。不同类型含煤盆地，空间上存在明显的沉积分异作用，时间上经历多期次的水进水退旋回，形成了上述不同类型的沉积体系，造成煤及砂岩储层和封存能力的显著差异性变化，形成不同类型生储盖组合的时空配置关系。

浅海—障壁海岸沉积体系中沉积物一般由中—细碎屑岩和泥岩组成，砂岩主要为障壁砂坝和砂坪，一般分布比较局限，煤与砂岩组合类型一般为 II 类组合（多层煤+少层或无砂岩组合），煤层顶底板泥岩发育，封盖能力强，适合单一煤层气勘探，如鄂尔多斯盆地中北部下二叠统太原组、华南下石炭统测水组 and 上二叠统龙潭组。

浅海—无障壁海岸沉积体系中煤层一般较薄，且砂岩不发育，煤与砂岩组合类型一般为 IV 类组合（单层、少层或无煤层与少层或无砂组合），煤层顶板多为台地相碳酸盐岩，生储盖组不适合煤系气勘探，

例如鄂尔多斯盆地中部和沁水盆地下二叠统太原组上亚段。

河流沉积体系煤层一般较厚，与河道砂岩旋回性叠置，若河道发生侧向迁移或决口，则会使煤层受到冲刷变薄，河道或决口扇砂岩往往形成煤层直接顶板，煤与砂岩组合类型一般为Ⅰ类组合（多层煤+多层砂岩组合），河流沉积体系河漫滩和泛滥盆地沉积微相泥质岩沉积可作为良好的盖层，浅部适合煤层气勘探，深部适合煤系气勘探，例如鄂尔多斯盆地北部下二叠统山西组，鸡西盆地下白垩统城子河组，准噶尔盆地下侏罗统西山窑组、八道湾组等。

三角洲沉积体系三角洲平原和分流间湾是有利的聚煤场所，煤层连续性较好，同时三角洲分流河道、前缘砂、河口坝等砂体与煤层互层发育，煤与砂岩组合类型一般为Ⅰ类组合（多层煤+多层砂岩组合），上覆分流间湾相泥岩可作为良好的盖层，浅部适合煤层气勘探，深部适合煤系气勘探，如鄂尔多斯盆地北部下二叠统太原组，中南部下二叠统山西组以及准噶尔盆地下侏罗统西山窑组、八道湾组等。

湖泊沉积体系滨湖沼泽为有利聚煤场所，但煤层向陆和向湖方向变薄、分叉和尖灭，砂岩欠发育且分布规模较小，煤层顶底板湖相泥岩发育，如滨湖沼泽较发育，煤与砂岩组合类型一般为Ⅳ类组合（单层、少层或无煤层与少层或无砂组合），利于煤层气富集，适合单一煤层气勘探，例如鄂尔多斯盆地中部下二叠统山西组。

冲积扇沉积体系废弃扇间洼地和冲积扇前缘为有利聚煤场所，煤层分布局限，煤层上下粗粒砂岩或砾岩发育，煤与砂岩组合类型一般为Ⅲ类组合（单层或少层煤层+多层砂岩组合），由于该沉积体系一般发育在断陷盆地陡坡带或大一中型盆地周缘，靠近物源区，沉积物粒度较粗，封盖条件较差，一般不具备煤系气勘探开发潜力，例如鄂尔多斯盆地北缘下二叠统山西组等。

总之，不同沉积相控制煤系生储盖组合配置关系，河流、三角洲沉积体系是煤系气共生成藏得最有利沉积相带，适合煤层气勘探和煤系气综合勘探，湖泊、障壁海岸最适合单一煤层气勘探，而冲积扇和无障壁海岸不适合煤层气和煤系气勘探（表1）。

以鄂尔多斯盆地太原组一山二段煤系地层为例，该区山西组二段在北部准格尔旗—河曲地区为冲积扇—辫状河上游沉积体系，不利于煤层气与煤系气勘探。保德—三交—大宁地区为河流、三角洲沉积体系，煤层气与煤系气勘探均获得了较好效果。吉县地区为湖泊沉积体系，砂岩不发育，滨湖沼泽相煤层稳定发育，适合单一煤层气勘探。南部韩城—合阳地区受南部物源控制，发育三角洲沉积体系，适合煤层气与煤系气综合勘探；该区太原组在北部准格尔旗—河曲地区为三角洲沉积体系，适合煤层气与煤系气综合勘探，目前勘探未获得突破的原因在于烃源岩演化程度低、气源不足。保德—三交地区太原组为浅海—障壁海岸沉积体系，煤层气勘探效果较好，但由于煤

表1 煤系气生储盖组合类型与沉积体系的关系表

| 沉积体系     | 煤与砂岩组合类型 | 封盖能力 | 配置关系评价         | 典型实例                                            |
|----------|----------|------|----------------|-------------------------------------------------|
| 浅海—障壁海岸  | Ⅱ类组合     | 强    | 适合单一煤层气勘探      | 鄂尔多斯盆地中北部下二叠统太原组、华南下石炭统测水组、华南上二叠统龙潭组            |
| 浅海—无障壁海岸 | Ⅳ类组合     | 弱    | 一般不具备煤系气勘探开发潜力 | 鄂尔多斯盆地中部下二叠统太原组上亚段、沁水盆地下二叠统太原组上亚段               |
| 河流       | Ⅰ类组合     | 一般   | 适合煤层气、煤系气勘探    | 鄂尔多斯盆地北部下二叠统山西组，鸡西盆地下白垩统城子河组，准噶尔盆地下侏罗统西山窑组、八道湾组 |
| 三角洲      | Ⅰ类组合     | 较强   | 适合煤层气、煤系气勘探    | 鄂尔多斯盆地北部下二叠统太原组、中南部下二叠统山西组，准噶尔盆地下侏罗统西山窑组、八道湾组   |
| 湖泊       | Ⅳ类组合     | 强    | 适合单一煤层气勘探      | 鄂尔多斯盆地中部下二叠统山西组                                 |
| 冲积扇      | Ⅲ类组合     | 弱    | 一般不具备煤系气勘探开发潜力 | 鄂尔多斯盆地北缘下二叠统山西组                                 |

层附近砂岩发育局限,煤系气勘探潜力不足。三交—吉县地区太原组下亚段为浅海—障壁海岸沉积体系,适合煤层气勘探,但主力煤层顶板为厚层石灰岩,保存条件一般,太原组上亚段为浅海—无障壁海岸沉积体系,煤层和砂岩均不发育,不适合煤层气与煤系气勘探。南部韩城—合阳地区太原组为浅海—障壁海岸沉积体系,适合煤层气勘探(图 3)。

2.2 封闭体系控制成藏类型及规模

笔者之前就封闭体系对煤层(系)气的富集已有详细论述<sup>[16]</sup>,封闭体系对煤层(系)气的控制作用贯穿于煤层(系)气生成、聚散、富集及成藏等全过程。封闭体系要素包括区域性盖层、煤层直接盖层、后期构造运动的改造强度、断层及地层倾角等。根据各要素之间的配置关系可分为自生自储型煤层气藏、煤层气—砂岩气共生气藏及煤成砂岩气藏 3 种气藏类型。

自生自储型煤层气藏是目前煤层气勘探开发的主要气藏类型<sup>[17]</sup>。该类气藏具有成因类型多样、埋藏较浅、以吸附气为主、层内非均质性强等特点。气

藏规模大小受煤储层的空间展布及储盖组合共同控制,在封闭体系的上、下封盖层均为泥岩的条件下,区域性泥岩呈广覆式分布,煤层厚度越大、横向展布越稳定,该类型气藏规模越大。煤层浅部压实作用弱的上斜坡、浅部封闭好的厚煤层发育区、抬升盆地凹中隆火山岩发育区<sup>[18]</sup>、局部宽缓的构造高部位、浅部低应力区、深部煤层裂隙发育带<sup>[19]</sup>及宽缓向斜等区域是该类型气藏富集高产的有利部位。

煤成砂岩气藏主要以煤系地层或附近的致密砂岩为勘探目的层。气源来自煤系烃源岩并在煤系地层或附近的致密砂岩中储存,该类气藏具有气源充足、埋深较大、孔隙度低、渗透率低、含气饱和度低、以游离气为主、地层旋回性强等特点<sup>[20-22]</sup>。气藏规模大小受砂岩储层的空间展布或圈闭规模大小控制,在封闭体系的上、下封盖层均为泥岩的条件下,区域性泥岩呈广覆式分布,砂岩厚度越大、横向展布越稳定,则可能形成连续性煤成砂岩气藏,如果岩性旋回交替性重复出现,垂向上构成多套生储盖组合及多重内幕封盖<sup>[22]</sup>,可呈现多套连续性煤成气藏叠置;在合适的构造圈闭条件下,砂岩分布范围有限,

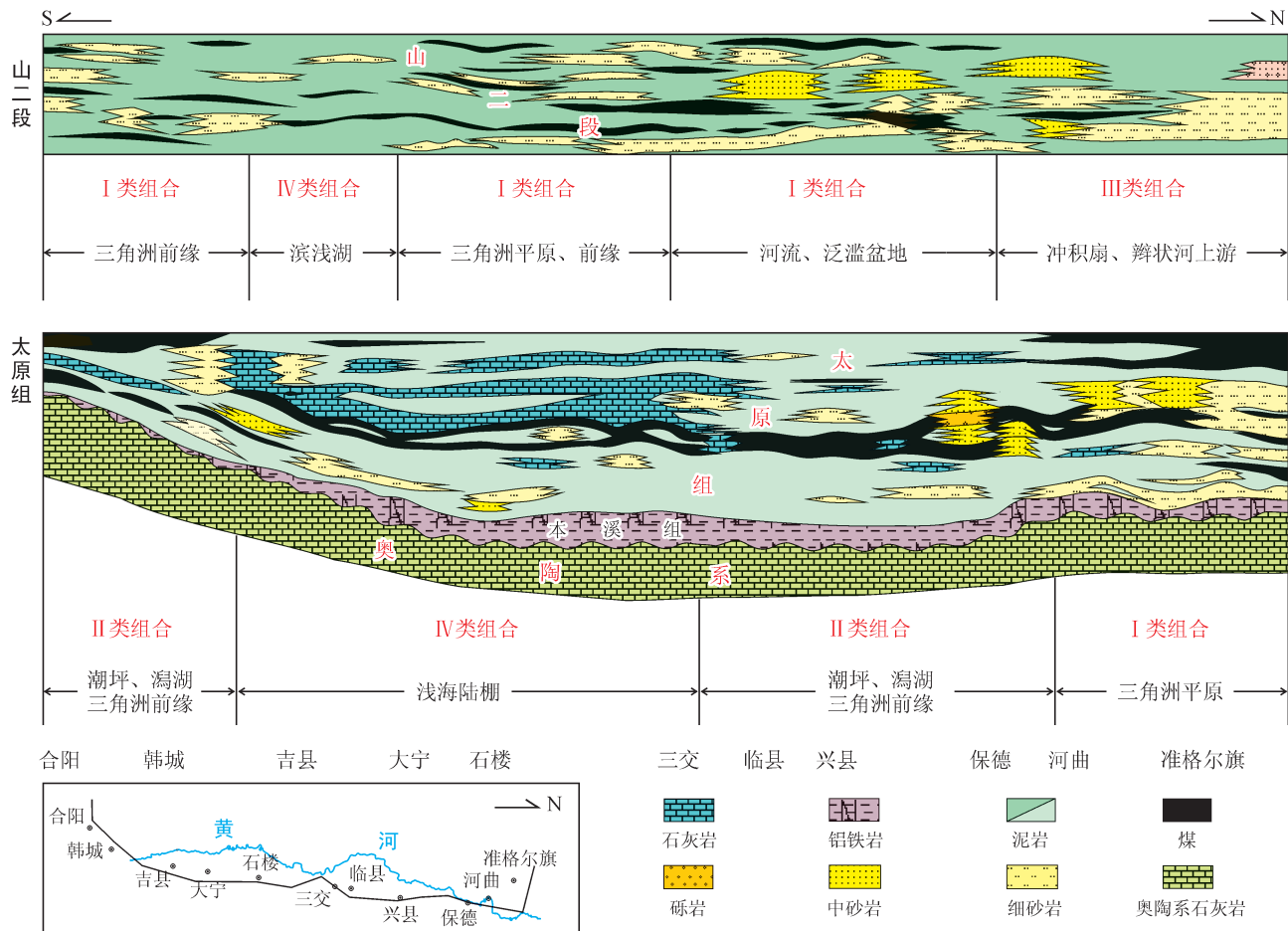


图 3 鄂尔多斯盆地东缘合阳—准格尔旗太原组—山二段南北向沉积相对比剖面示意图

则可能形成规模较小的圈闭型砂岩气藏。

煤层气—砂岩气共生型气藏具有煤层和致密砂岩互层叠置的特点,以煤层和上下致密砂岩为勘探目的层,兼有自生自储型煤层气藏与煤成砂岩气藏的特点,气体赋存状态既有煤层中的吸附气,又有砂岩层中的游离气,吸附气、游离气具有同源共生性、伴生性、转换性和叠置性,可叠加成大面积分布的煤层—砂岩共生型气藏<sup>[23]</sup>。该类气藏在美国皮申思盆地白河隆起已经实现商业开发,该地区煤层直接顶底板均为致密砂岩,间接顶底板为泥页岩<sup>[24-25]</sup>,通过对深部煤层气与顶底板低渗砂岩气合采,合采深度介于 1 560 ~ 2 560 m,单井平均日产气量稳定

在 10 890 m<sup>3</sup> 左右,采出气中的 70% ~ 90% 来自煤层生成的气。

准噶尔盆地东部斜坡带侏罗系煤系地层具备上述 3 种煤系气成藏类型,以白家海凸起为例,该区西山窑组煤层稳定发育,煤层顶底板泥岩封盖层稳定发育,形成典型的自生自储型煤层气藏;八道湾组煤层顶底板及附近砂岩发育,气体赋存状态既有煤层中的吸附气,又有砂岩层中的游离气,上覆区域性盖层分布稳定,形成典型的煤层气—砂岩气共生型气藏;三工河组煤层不发育,砂岩气气源主要来自附近煤层以及深部二叠系、三叠系烃源岩<sup>[26-27]</sup>,属于典型的煤成砂岩气藏(图 4)。

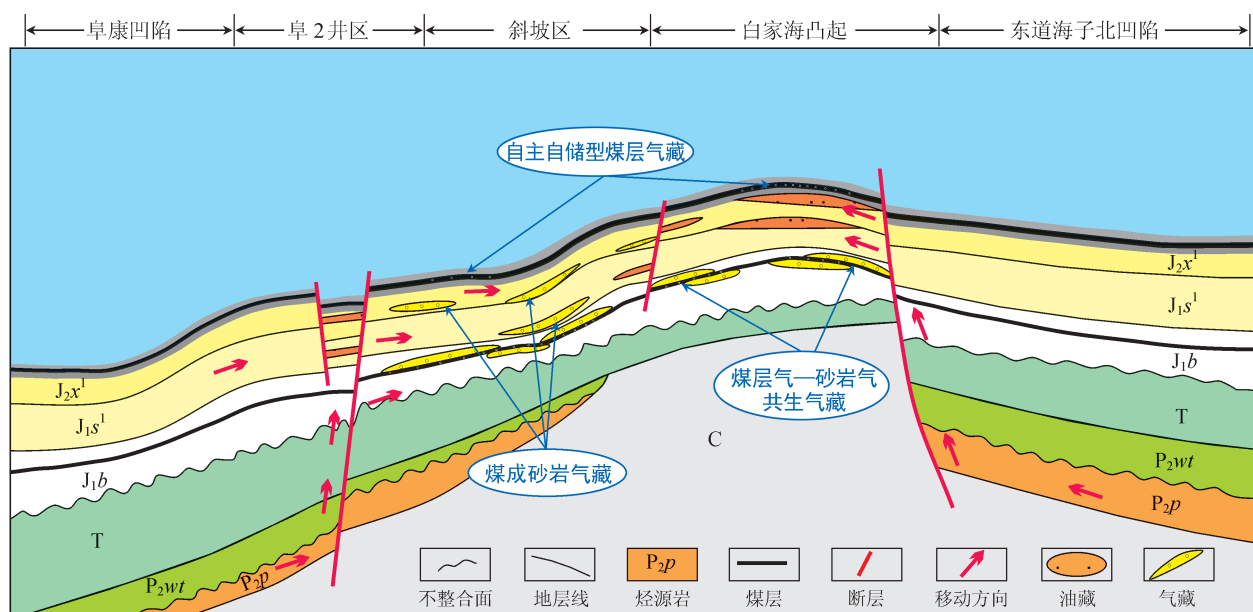


图 4 准噶尔盆地东部白家海凸起侏罗系煤系气成藏模式图

### 3 煤系气资源潜力及勘探对策

中国煤系气具有储层类型多样、分布规模大的特点。我国煤层埋深 2 000 m 以浅的煤层气资源量为  $30.05 \times 10^{12} \text{ m}^3$  (据国土资源部最新一轮煤层气资源评价结果);据估算,埋深介于 2 000 ~ 3 000 m 的煤层气资源量为  $18.47 \times 10^{12} \text{ m}^3$ <sup>[3]</sup>;致密砂岩气资源量介于  $17.4 \times 10^{12} \sim 25.1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ <sup>[21]</sup>,煤系气资源潜力巨大。目前,煤系气资源量较大的盆地主要有沁水、鄂尔多斯、准噶尔、海拉尔、鸡西等盆地,不同盆地针对不同气藏类型应开展针对性的勘探工作。

煤层气勘探开发实践表明,对于浅部自生自储型煤层气富集区,煤层气开发工艺技术较成熟,应重点开展煤层气勘探,例如沁水盆地浅层、鄂尔多

斯盆地东缘浅层、准噶尔盆地南缘浅层以及海拉尔、鸡西盆地浅部富煤区等。

对于深部单一开发煤层气较难获得较好的经济效益,应重点探索煤系气综合勘探。针对煤层气—砂岩气共生型气藏,可将煤层与砂岩互层段统一作为目的层开展煤层气+砂岩气综合勘探,该气藏类型主要分布在准噶尔盆地东部、沁水盆地深部和鄂尔多斯盆地中北部煤层与砂岩直接接触的地区、海拉尔盆地和鸡西盆地深部薄煤层与砂岩互层地区等,例如准噶尔盆地东部白家海地区西山窑组和八道湾组煤层气+砂岩气综合勘探取得良好的试气效果<sup>[28]</sup>,鸡西盆地 JQ1 井煤层+砂岩多层压裂试气获高产工业气流,海拉尔盆地牙克石地区多口井薄煤层与附近砂岩多层压裂、合层开采获稳定日产气 1 000 ~ 1 500 m<sup>3</sup>,煤

层气+煤系砂岩气综合勘探显示出良好的发展苗头；针对煤成砂岩气藏，应重点开展砂岩气勘探，例如鄂尔多斯盆地东部临兴、石楼西、大宁—吉县区块煤系地层砂岩气勘探均获得突破，准噶尔盆地准东斜坡带三工河组、头屯河组砂岩气勘探也有不同程度的发现，具备良好的勘探前景（表 2）。

表 2 中国重点盆地煤系气分布、类型及勘探对策表

| 盆 地  | 层系       | 气藏类型        | 有利勘探领域或方向      | 勘探对策        |
|------|----------|-------------|----------------|-------------|
| 沁水   | C—P      | 自生自储型煤层气藏   | 煤系地层浅层         | 重点开展煤层气勘探   |
|      |          | 煤成砂岩气藏      | 深部煤系地层         | 重点开展砂岩气勘探   |
|      |          | 煤层气—砂岩气共生气藏 | 深部煤系地层         | 重点开展煤系气综合勘探 |
| 鄂尔多斯 | C—P<br>J | 自生自储型煤层气藏   | 东缘浅层、南缘侏罗系浅层   | 重点开展煤层气勘探   |
|      |          | 煤成砂岩气藏      | 深部煤系地层         | 重点开展砂岩气勘探   |
|      |          | 煤层气—砂岩气共生气藏 | 深部煤系地层         | 重点开展煤系气综合勘探 |
| 准噶尔  | J        | 自生自储型煤层气藏   | 南缘浅层           | 重点开展煤层气勘探   |
|      |          | 煤成砂岩气藏      | 准东斜坡带三工河组、头屯河组 | 重点开展砂岩气勘探   |
|      |          | 煤层气—砂岩气共生气藏 | 准东斜坡带煤系地层      | 重点开展煤系气综合勘探 |
| 海拉尔  | K        | 自生自储型煤层气藏   | 浅部富煤区          | 重点开展煤层气勘探   |
|      |          | 煤层气—砂岩气共生气藏 | 深部煤系地层         | 重点开展煤系气综合勘探 |
| 鸡西   | K        | 自生自储型煤层气藏   | 浅部富煤区          | 重点开展煤层气勘探   |
|      |          | 煤层气—砂岩气共生气藏 | 深部煤系地层         | 重点开展煤系气综合勘探 |

4 结 论

1) 我国含煤盆地煤系地层广覆式烃源岩分布为煤系气富集提供了充足的气源基础，煤与砂岩组合配置关系多样，划分 4 种煤与砂岩组合类型。

2) 沉积相控制煤系气藏生储盖组合配置关系，构成煤系气成藏的先天物质基础，河流、三角洲沉积体系煤层和砂岩均发育，是煤系气共生成藏的最有利沉积相带。

3) 封闭体系对煤层（系）气的控制作用贯穿于煤层（系）气生成、聚散、富集及成藏等全过程，划分出自生自储型煤层气藏、煤层气—砂岩气共生气藏及煤成砂岩气藏等 3 种煤系气气藏类型。

4) 应以沁水、鄂尔多斯、准噶尔、海拉尔、鸡西等煤系气资源量较大的盆地为重点，开展煤系气勘探和评价，浅部自生自储型煤层气富集区重点开展煤层气勘探，深部煤层气—砂岩气共生气藏开展煤层气+砂岩气综合勘探，煤成砂岩气藏应重点开展砂岩气勘探。

参 考 文 献

[1] 赵贤正, 朱庆忠, 孙粉锦, 杨延辉, 王勃, 左银卿, 等. 沁水盆地高阶煤层气勘探开发实践与思考 [J]. 煤炭学报, 2015,

40(9): 2131-2136.  
Zhao Xianzheng, Zhu Qingzhong, Sun Fenjin, Yang Yanhui, Wang Bo, Zuo Yinqing, et al. Practice and thought of coalbed methane exploration and development in Qinshui Basin[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(9): 2131-2136.  
[2] 王丹, 赵峰华, 姚晓莉, 索航, 孙伟. 临汾区块煤层气产能地质影响因素分析 [J]. 特种油气藏, 2016, 23(2): 1-4.  
Wang Dan, Zhao Fenghua, Yao Xiaoli, Suo Hang & Sun Wei. Analysis of geological factors on CBM productivity in Block Linfen[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2016, 23(2): 1-4.  
[3] 李五忠, 孙斌, 孙钦平, 杨焦生, 张义. 以煤系天然气开发促进中国煤层气发展的对策分析 [J]. 煤炭学报, 2016, 41(1): 67-71.  
Li Wuzhong, Sun Bin, Sun Qinpeng, Yang Jiaosheng & Zhang Yi. Analysis on coal-bed methane development based on coal measure gas in China and its countermeasure[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(1): 67-71.  
[4] 穆福元, 仲伟志, 赵先良, 车长波, 陈艳鹏, 朱杰, 等. 中国煤层气产业发展战略思考 [J]. 天然气工业, 2015, 35(6): 110-116.  
Mu Fuyuan, Zhong Weizhi, Zhao Xianliang, Che Changbo, Chen Yanpeng, Zhu Jie, et al. Strategies for the development of CBM gas industry in China[J]. Natural Gas Industry, 2015, 35(6): 110-116.  
[5] 宋晓丹, 孔令峰, 洪保民, 孙万军, 李华启. 我国煤层气产业发展政策现状分析与发展建议 [J]. 天然气工业, 2013, 33(2): 1-6.  
Song Xiaodan, Kong Lingfeng, Hong Baomin, Sun Wanjun & Li Huaqi. The status quo of policies and the proposals for the devel-

- opment of coalbed methane gas industry in China[J]. *Natural Gas Industry*, 2013, 33(2): 1-6.
- [6] 雷怀玉, 孙粉锦, 陈艳鹏. 中国煤层气产业发展现状与展望——兼析《煤层气产业政策》的出台和影响[J]. *国际石油经济*, 2013, 21(4): 11-16.  
Lei Huaiyu, Sun Fenjin & Chen Yanpeng. Status and prospects of China's CBM industry—Impact of government's CBM industry policy[J]. *International Petroleum Economics*, 2013, 21(4): 11-16.
- [7] 戴金星, 倪云燕, 吴小奇. 中国致密砂岩气及在勘探开发上的重要意义[J]. *石油勘探与开发*, 2012, 39(3): 257-264.  
Dai Jinxing, Ni Yunyan & Wu Xiaoqi. Tight gas in China and its significance in exploration and exploitation[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(3): 257-264.
- [8] 王佟, 王庆伟, 傅雪海. 煤系非常规天然气的系统研究及其意义[J]. *煤田地质与勘探*, 2014, 42(1): 24-27.  
Wang Tong, Wang Qingwei & Fu Xuehai. The significance and the systematic research of the unconventional gas in coal measures[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2014, 42(1): 24-27.
- [9] 沈玉林, 秦勇, 申建, 顾娇杨. 鄂尔多斯盆地东缘上古生界煤系叠置含气系统发育的沉积控制机理[J]. *天然气工业*, 2017, 37(11): 29-35.  
Shen Yulin, Qin Yong, Shen Jian & Gu Jiaoyang. Sedimentary control mechanism of the superimposed gas bearing system development in the Upper Palaeozoic coal measures along the eastern margin of the Ordos Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2017, 37(11): 29-35.
- [10] 曹作华, 范亚芳, 王健, 孔威. 我国十年来煤层气研究热点分布转换与产业发展[J]. *煤炭科学技术*, 2015, 43(2): 5-9.  
Cao Zuohua, Fan Yafang, Wang Jian & Kong Wei. Transformation and industrial development of coalbed methane study hot point distribution in passed ten years of China[J]. *Coal Science and Technology* 2015, 43(2): 5-9.
- [11] 戴金星, 裴锡古, 戚厚发. 中国天然气地质学: 卷一[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992.  
Dai Jinxing, Pei Xigu & Qi Houfa. *Natural gas geology in China (Vol. 1)*[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992.
- [12] 张水昌, 米敬奎, 刘柳红, 陶士振. 中国致密砂岩煤成气藏地质特征及成藏过程——以鄂尔多斯盆地上古生界与四川盆地须家河组气藏为例[J]. *石油勘探与开发*, 2009, 36(3): 320-330.  
Zhang Shuichang, Mi Jingkui, Liu Liuhong & Tao Shizhen. Geological features and formation of coal-formed tight sandstone gas pools in China: Cases from Upper Paleozoic gas pools, Ordos Basin, and Xujiahe Formation gas pools, Sichuan Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2009, 36(3): 320-330.
- [13] 戴金星. 中国煤成大气田及气源[M]. 北京: 科学出版社, 2014.  
Dai Jinxing. *Large coal fields and gas sources in China*[M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [14] 赵文智, 卞从胜, 徐兆辉. 苏里格气田与川中须家河组气田成藏共性与差异[J]. *石油勘探与开发*, 2013, 40(4): 400-408.  
Zhao Wenzhi, Bian Congsheng & Xu Zhaozhui. Similarities and differences between natural gas accumulations in Sulige Gas Field in Ordos Basin and Xujiahe Gas Field in central Sichuan Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2013, 40(4): 400-408.
- [15] 秦勇, 傅雪海, 岳巍, 林大扬, 叶建平, 焦思红. 沉积体系与煤层气储盖特征之关系探讨[J]. *古地理学报*, 2000, 2(1): 77-84.  
Qin Yong, Fu Xuehai, Yue Wei, Lin Dayang, Ye Jianping & Jiao Sihong. Relationship between depositional systems and characteristics of coalbed gas reservoir and its caprock[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2000, 2(1): 77-84.
- [16] 欧阳永林, 孙斌, 王勃, 田文广, 赵洋, 曹海霄. 煤层气封闭体系及其与煤层气富集的关系[J]. *天然气工业*, 2016, 36(10): 19-27.  
Ouyang Yonglin, Sun Bin, Wang Bo, Tian Wenguang, Zhao Yang & Cao Haixiao. CBM sealing system and its relationship with CBM enrichment[J]. *Natural Gas Industry*, 2016, 36(10): 19-27.
- [17] 赵庆波, 孔祥文, 赵奇. 煤层气成藏条件及开采特征[J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(4): 552-560.  
Zhao Qingbo, Kong Xiangwen & Zhao Qi. Coalbed methane accumulation conditions and production characteristics[J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(4): 552-560.
- [18] 赵庆波, 陈刚, 李贵中. 中国煤层气富集高产规律、开采特点及勘探开发适用技术[J]. *天然气工业*, 2009, 29(9): 13-19.  
Zhao Qingbo, Chen Gang & Li Guizhong. The regular patterns of highly-produced CBM, its production performance and the progress of prospecting technologies in China[J]. *Natural Gas Industry*, 2009, 29(9): 13-19.
- [19] 孙粉锦, 王勃, 李梦溪, 梁宏斌. 沁水盆地南部煤层气富集高产主控地质因素[J]. *石油学报*, 2014, 35(6): 1070-1079.  
Sun Fenjin, Wang Bo, Li Mengxi & Liang Hongbin. Major geological factors controlling the enrichment and high yield of coalbed methane in the southern Qinshui Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2014, 35(6): 1070-1079.
- [20] 戴金星, 秦胜飞, 陶士振, 朱光有, 米敬奎. 中国天然气工业发展趋势和天然气地质理论重要进展[J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(2): 127-142.  
Dai Jinxing, Qin Shengfei, Tao Shizhen, Zhu Guangyou & Mi Jingkui. Developing trends of natural gas industry and the significant progress on natural gas geological theories in China[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(2): 127-142.
- [21] 贾承造, 郑民, 张永峰. 中国非常规油气资源与勘探开发前景[J]. *石油勘探与开发*, 2012, 39(2): 129-136.  
Jia Chengzao, Zheng Min & Zhang Yongfeng. Unconventional hydrocarbon resources in China and the prospect of exploration and development[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(2): 129-136.
- [22] 秦勇, 申建, 沈玉林. 叠置含气系统共采兼容性——煤系“三气”及深部煤层气开采中的共性地质问题[J]. *煤炭学报*, 2016, 41(1): 14-23.  
Qin Yong, Shen Jian & Shen Yulin. Joint mining compatibility of superposed gas-bearing systems: A general geological problem for extraction of three natural gases and deep CBM in coal series[J]. *Journal of China Coal Society*, 2016, 41(1): 14-23.

- [23] 桑树勋, 范炳恒, 秦勇, 唐书恒, 叶建平, 贾社屯. 煤层气的封存与富集条件 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 104-107. Sang Shuxun, Fan Bingheng, Qin Yong, Tang Shuheng, Ye Jianping & Jia Shetun. Conditions of sealing and accumulation in coal bed gas[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(2): 104-107.
- [24] Zhang Etuan, Hill RJ, Katz BJ & Tang Yongchun. Modeling of gas generation from the cameo coal zone in the Piceance Basin, Colorado[J]. AAPG Bulletin, 2008, 92(8): 1077-1106.
- [25] Tyler R, Ambrose WA, Scott AR & Kaiser WR. Evaluation of the coalbed methane potential in the Greater Green River, Piceance, Powder River, and Raton Basins[C]//Proceedings of the 43<sup>rd</sup> Annual Field Conference Guidebook, 13-16 September 1992, Casper, Wyoming, USA. Casper: AAPG, 1992.
- [26] 胡平, 石新璞, 徐怀保, 谭强, 吴俊军. 白家海—五彩湾地区天然气成藏特征 [J]. 新疆石油地质, 2004, 25(1): 29-32. Hu Ping, Shi Xinpu, Xu Huaibao, Tan Qiang & Wu Junjun. Gas accumulation characteristics in Baijiahai-Wucaiwai area[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2004, 25(1): 29-32.
- [27] 许婷, 伏海蛟, 马英哲, 陈宝利, 浮昀. 准噶尔盆地东南缘煤层气勘探目标优选 [J]. 特种油气藏, 2017, 24(2): 18-23. Xu Ting, Fu Haijiao, Ma Yingzhe, Chen Baoli & Fu Yun. Selection of CBM exploration targets in southeastern margin of Junggar Basin[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2017, 24(2): 18-23.
- [28] 陈刚, 秦勇, 胡宗全, 李五忠. 准噶尔盆地白家海凸起深部含煤层气系统储层组合特征 [J]. 煤炭学报, 2016, 41(1): 80-86. Chen Gang, Qin Yong, Hu Zongquan & Li Wuzhong. Characteristics of reservoir assemblage of deep CBM-bearing system in Baijiahai Dome of Junggar Basin[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(1): 80-86.
- (修改回稿日期 2017-12-25 编辑 罗冬梅)

## 中石化江汉石油工程公司页岩气开发关键技术 100% 实现国产化

焦页 29-S2HF 井三开井段钻井用时仅 6 天, 在造斜段、水平段均实现一趟钻, 这是中石化涪陵页岩气田第一口两趟完成三开施工任务的井, 创该气田三开国产技术钻井周期最短纪录。这只是中石化江汉石油工程公司(以下简称公司)在涪陵页岩气田创造的 100 多项施工纪录之一。作为涪陵页岩气开发主力军, 自 2012 年起, 就举全公司之力加快科技创新和攻关。5 年来, 公司创新形成钻井、测录井、压裂试气、环保等 7 项页岩气开发国产成套技术。“涪陵大型海相页岩气田高效勘探开发”项目打破国外技术垄断, 为我国页岩气勘探开发提供了能复制、可推广的经验, 项目获国家科技进步一等奖。

我国页岩气埋藏深、构造复杂、优质页岩储层厚度小, 开采难度远超美国。在页岩气开发早期, 公司对页岩气几乎是“四大皆空”——无经验、无技术、无设备、无人才。

在中国石化第一口页岩气水平井——建页 HF-1 井施工中, 油基钻井液、水平段测井、桥塞分段和分级射孔技术服务均为国际知名油田服务公司。但由于国内外地质特征和开发环境的差距, 国外页岩气技术在中国页岩气勘探开发中时常“水土不服”, 应用存在着很多困难, 钻探效果也不理想。同时还面临着高昂的成本——关键装备只租不卖, 每次设备售后维护都要付出昂贵的服务费。

何以解忧? 唯有创新。为了实现页岩气高效率、低成本、规模化商业开发, 必须加快页岩气开发技术国产化研究, 公司确立“长水平段钻完井技术”“非常规水平井分级射孔工艺”等 20 多项科研先导项目, 规划科技攻关路线图, 踏上了自主创新之路, 实现了多项技术瓶颈的重大突破: ①建立适合涪陵页岩气田水平井优快钻井的井身结构方案, 解决了空气钻风险大、泡沫钻对环境有污染等难题, 提高了机械钻速; ②研制定向 PDC 钻头和配套螺杆等工具, 替代进口的旋转导向工具, 解决长水平段定向钻进困难, 在多口井实现水平段一只钻头一根螺杆一趟钻钻完; ③研发国产油基钻井液, 价格仅为进口产品的 40%; ④研发水泥浆体系, 满足了页岩气开发对井筒高强度的要求, 固井质量明显提高; ⑤改进桥塞材料, 完成国产化桥塞研发, 桥塞价格降至进口产品的十分之一; ⑥大力开展“井工厂”批量化钻井, 提高施工效率 50% 以上……涪陵页岩气田优快钻井技术成果经重庆市科委鉴定, 整体达到国际先进水平。

目前, 公司所有关键页岩气开发技术均 100% 实现国产化。国产桥塞与多级射孔、油基钻井液、牵引器测井、地质导向等 4 项国产化技术的应用, 降低施工成本 70%。

(天工 摘编自《中国石化报》)