

秦 勇,梁建设,申 建,等. 沁水盆地南部致密砂岩和页岩的气测显示与气藏类型[J]. 煤炭学报,2014,39(8):1559-1565. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2014.9003  
Qin Yong,Liang Jianshe,Shen Jian,et al. Gas logging shows and gas reservoir types in tight sandstones and shales from Southern Qinshui Basin[J]. Journal of China Coal Society,2014,39(8):1559-1565. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2014.9003

## 沁水盆地南部致密砂岩和页岩的气测显示与气藏类型

秦 勇<sup>1</sup>,梁建设<sup>2</sup>,申 建<sup>1</sup>,柳迎红<sup>2</sup>,王存武<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学 煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室,江苏 徐州 221008;2. 中海石油有限公司 北京研究中心,北京 100027)

**摘 要:**煤系本身及其上覆地层能够形成具有工业开发价值的致密砂岩和页岩气藏,综合勘探这些非常规天然气资源将有助于提高煤层气开发效益。依托 17 口井的气测录井资料,分析了沁水盆地南部石炭二叠纪煤系及其上覆地层致密砂岩和页岩的气测显示规律,讨论了致密砂岩气与页岩气的赋存方式和勘探前景。结果显示:区内砂岩和页岩的气测显示十分普遍,区域和层位显示差异较大;砂岩气发现几率相对较高,页岩气品位相对较好;下石盒子组具有砂岩气和页岩气的勘探潜力,太原组具有页岩储层厚度品位,山西组具有砂岩储层厚度品位。研究认为,页岩气最有利勘探层位为太原组,砂岩气最有利层位是下石盒子组,山西组也有一定的砂岩气和页岩气勘探潜力。以此为基础,初步划分出独立砂岩气、独立页岩气、煤—页岩—砂岩互层气组合 3 种气藏类型,认为砂岩气和页岩气有利区主要位于盆地中央地带,总体上沿复向斜轴部呈 NNE 向展布。其中,沁源区块—南部、郑庄区块—马必区块—沁南区块结合部、柿庄北区块西北部 3 个核心区值得关注。

**关键词:**沁水盆地;致密砂岩气;页岩气;气测显示;气藏类型;石炭二叠系

中图分类号:P618.11

文献标志码:A

文章编号:0253-9993(2014)08-1559-07

### Gas logging shows and gas reservoir types in tight sandstones and shales from Southern Qinshui Basin

QIN Yong<sup>1</sup>, LIANG Jian-she<sup>2</sup>, SHEN Jian<sup>1</sup>, LIU Ying-hong<sup>2</sup>, WANG Cun-wu<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of CBM Resources & Reservoiring Process, Ministry of Education of the PR China, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 2. Beijing Research Center, CNOOC Ltd., Beijing 100027, China)

**Abstract:** Tight sandstone and shale gas reservoirs with commercial value can occur in coal measures and its overlying strata, and the integrated exploration of these unconventional gas resources will help to improve the efficiency of the coalbed methane development. Based on the gas logging data from 17 wells, the gas shows of the tight sandstones and shales in the Permo-carboniferous coal measures and its overlying strata from southern Qinshui basin were investigated, and the occurrence and exploration prospects of the gas resources were discussed. It is turned out that the gas logging show of the sandstones and shales in the basin is widespread, but there is a large difference in region and horizon showed. The gas show has a relatively high probability in the sandstones and relatively good grade in the shales. Lower Shihezi formation has the exploration potential of the sandstone and shale gas, the Taiyuan formation has a grade advantage of the reservoir thickness in shale, and the Shanxi formation in sandstone. Investigation showed that the most favorable exploration hori-

收稿日期:2014-03-26 责任编辑:韩晋平

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(U1361207);山西省煤层气联合基金资助项目(2012012001);国家科技重大专项资助项目(2011ZX05034)

作者简介:秦 勇(1957—),男,重庆人,教授,博士生导师。E-mail: yongqin@cumt.edu.cn

zon for shale gas occurs in Taiyuan formation, for sandstone gas in the Lower Shihezi formation, and the Shanxi formation also has a certain exploration potential of sandstone and shale gases. On this basis, three types of gas reservoir was preliminarily distinguished including the independent sandstone gas, independent shale gas and interbedded coalbed-shale-sandstone gas reservoirs. Investigation showed that the gas favorable area might occurs in the central belt of the basin with a NNE strike along the synclinore axis as the whole. Among them, three core blocks are worthy of attention, including the central and southern Qinyuan, bond zone among Zhengzhuang, Mabi and south Qinnan, and northwestern Shizhuangbei.

**Key words:** Qinshui Basin; tight sandstone; shales; gas logging shows; gas reservoir types; permo-carboniferous

如果地质条件配置有利,煤系本身及其上覆地层能够形成具有工业开发价值的致密砂岩气和页岩气藏。单纯的煤层气单井产量往往较低,综合勘探开发煤系非常规天然气则是提高煤层气开发效益的重要途径。在盆地中心地带,煤层、砂岩、页岩往往呈气饱和状态,且产水量非常之低<sup>[1]</sup>。美国皮申斯盆地煤系气共采先导性试验显示,60口井平均单井产气量达10 000 m<sup>3</sup>/d,其中40%来自于致密砂岩储层的游离气<sup>[2]</sup>。沁水盆地天然气地质调查始于20世纪50年代,其中游离气资源前景曾遭否定,著名天然气地质专家戴金星院士对此提出异议<sup>[3]</sup>。沁水盆地南部作为我国目前生产规模最大的煤层气开发基地,煤层气与其他类型非常规天然气的综合勘探开发重新受到关注<sup>[4-11]</sup>。在天然气勘探初期阶段,储层含气性和气藏难以识别,气测录井可为气藏识别、有利区优选和勘探方向确定提供关键依据。鉴于此,笔者依托17口井的气测录井资料,分析了沁水盆地南部石炭二叠纪煤系及其上覆地层致密砂岩气和页岩气的成藏显现特征,初步划分了气藏类型,讨论了致密砂岩气与页岩气的综合勘探前景。

## 1 油气地质背景

研究区位于沁水盆地南部,北至沁源区块北界,东、南、西至盆地边缘,包括沁源、沁南、柿庄北、柿庄南、郑庄、樊庄、潘庄等重点煤层气区块,面积约为12 500 km<sup>2</sup>,是我国目前最重要的煤层气地面开发基地(图1)。构造上,研究区位于沁水大型复向斜的中段和南段。沁源区块东部、沁南区块中部和郑庄区块北部处于复向斜轴部,呈NNE向展布。石炭系埋深在沁源区块东部、郑庄区块北部分别可达2 300和1 300 m,在南部仰起端的潘庄一带浅于800 m。区内赋存晚石炭世—早二叠世含煤地层,包括本溪组、太原组和山西组,与上覆的二叠纪和三叠纪地层连续沉积,共同构成了煤系非常规天然气的生储盖有利组合关系(表1)。

上石炭统本溪组为碳酸盐潮坪—障壁砂坝—泻

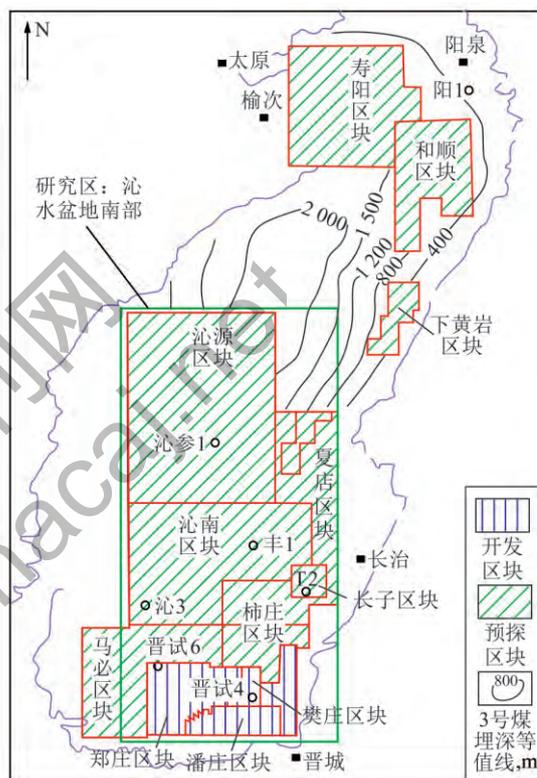


图1 研究区地理位置及范围示意

湖沉积,厚度一般在20 m左右,与下伏中奥陶统平行不整合接触,发育灰色铝土质泥岩和深灰色砂质泥岩,夹薄层细砂岩,中上部含不可采煤层。上石炭统—下二叠统太原组主要沉积于碳酸盐潮坪—障壁砂坝—泻湖体系,厚度一般在90 m左右,由砂岩、泥质岩、灰岩和煤层等组成,含煤7~9层,灰岩往往构成煤层的直接顶板。下二叠统山西组主要形成于三角洲前缘—湖泊沉积环境,厚度一般在45 m左右,以砂岩和泥质岩为主,含煤4~5层。具体见表1。

中二叠统下石盒子组主要为浅水三角洲沉积,厚度一般在45 m左右,主要为灰—灰绿色中—细砂岩、粉砂岩、泥岩及铝土质泥岩,顶部发育紫红色铝土质泥岩夹薄层细砂岩。中二叠统上石盒子组形成于河流—湖泊沉积体系,厚490~520 m,下部发育灰绿色粉砂岩夹薄层细砂岩及紫灰色泥岩,中部为紫红色

粉砂岩、泥岩及灰绿色中—细砂岩互层,上部以杂色 砂岩、粉砂岩为主。

表 1 沁水盆地南部沉积地层

Table 1 Summary table of sedimentary strata in Southern Qinshui Basin

地层单位			地层厚度/m	主要岩性
系	统	组		
第四系	全新统		0~30	亚黏土及卵砾石
	更新统		0~50	黄土、亚砂土、亚黏土夹钙质结核层
新近系			0~50	半胶结钙质黏土、红色黏土、砂质黏土及透镜状砂砾互层
三叠系	中统	二马营组	412~573	厚层中粒长石石英砂岩夹暗紫色泥岩
	下统	和尚沟组	160~210	紫红色砂岩与泥岩互层
		刘家沟组	338~442	紫红、棕红色细粒长石石英砂岩夹砾岩及砂质泥岩
上统	石千峰组	70~141	砂质泥岩、泥岩夹细砂岩	
二叠系	中统	上石盒子组	490~520	长石石英砂岩及砂质泥岩、泥岩
	下统	下石盒子组	43.75~62.20	长石质砂岩、粉砂岩及紫红色泥岩、铝质泥岩
	下统	山西组	30.00~57.64	细粒砂岩、粉砂岩、泥岩互层,含煤 4~5 层
石炭系	上统	太原组	80.00~92.74	K <sub>2</sub> ~K <sub>6</sub> 灰岩,中—粗粒砂岩,粉砂岩,泥岩,含煤 7~9 层
	上统	本溪组	4.85~45.00	铝土岩、褐铁矿、石英砂岩,泥岩局部夹薄层灰岩和煤线
奥陶系	中统	峰峰组	90~150	上部白云质泥灰岩、泥灰岩、泥质灰岩夹石膏,下部厚层状灰岩
	中统	马家沟组	217~315	泥灰岩、白云质灰岩、泥质白云岩、灰岩,夹石膏层
	下统	亮甲山组	17~54	中层—厚层夹薄层白云岩,岩性单一
		冶里组	44~90	中层—薄层结晶质白云岩,夹竹叶状石灰岩条带状白云岩

沁水盆地目前仍残留较为完整的三叠纪地层,由一套陆相碎屑砂岩、泥岩组成,底部与二叠系呈过渡接触,大面积平坦地覆盖于盆地主体部位<sup>[12]</sup>。据区域地质调查和钻探揭露资料,三叠系最大残留厚度在北部的阳泉一带大于 800 m,在中—南部的武乡、沁源、潞安一带大于 1 800 m,在南部的晋城一带介于 115~595 m(一般 400 m 左右),为致密砂岩气和页岩气的保存提供了巨厚盖层。

太原组 15 号煤层和山西组 3 号煤层厚度较大,几乎全区发育,是区内最主要的煤层气目的层。其中,3 号煤层厚度为 0.8~6.4 m,厚度大于 5 m 的富煤带主要分布在西部的郑庄—马必—沁源以及东部的柿庄—长子—屯留一带,位于三角洲分流间湾相区;15 号煤层厚度为 1.0~5.0 m,总体上小于 3 号煤层,厚度大于 3.5 m 的富煤带分布在沁南区块西部,主要发育在泻湖—潮坪相区<sup>[13]</sup>。

沁水盆地南部石炭二叠系泥页岩和砂岩广泛发育,页岩既为烃源岩也为页岩气储集层,砂岩为游离气提供了储集空间。据统计,沁水盆地太原组和山西组分别发育泥页岩 7~28 层和 3~22 层,单层厚度分别为 0.2~11.5 m 和 0.2~13.5 m,单层平均厚度分别为 0.7~3.5 m 和 0.7~6.0 m;下、上石盒子组发

育泥页岩 13~80 层,最大厚度 332.2 m,单层最大厚度 22.47 m,单层均厚 0.9~14.1 m<sup>[7]</sup>。本溪组砂体分布局限,厚度一般小于 5 m;太原组砂体规模仍然相对较小,但厚砂带范围明显扩大,主砂体发育在沁源区块,最厚可达 30~40 m,在沁南区块西部和长子区块一带一般为 20~30 m;山西组厚砂带分布范围更广,具有河控三角洲的典型特点,沁源—柿庄一线砂体厚度增加到 40 m 以上,盆地南缘小型砂体厚度一般为 10~20 m;下石盒子组砂体全区分布,在沁源区块南部、沁南区块西部和中部、郑庄—樊庄区块、长子区块一带厚达 30~40 m,在沁源区块东南部、柿庄南区块的厚度中心可达 40~50 m<sup>[13]</sup>。

区内煤层气和煤炭资源勘探开发与研究程度高,但对致密砂岩气和页岩气地质条件知之甚少。盆地油气地质调查始于 1957 年,断续进行到 20 世纪 80 年代。其间,原石油工业部、地质矿产部、山西省地质局石油普查队先后做过调查工作,基本查明了盆地构造特征,对烃类生成、储集、盖层和圈闭等条件形成初步认识<sup>[3,14-15]</sup>。近年来,国内相关机构重新对盆地致密气和页岩气开展地质调查,认为沁水盆地页岩气资源为 0.49 万亿~0.65 万亿 m<sup>3</sup><sup>[5-6,9-10]</sup>。然而,砂岩和页岩含气性的实测资料仍然十分有限,气测录井则

为了解含气性进而开展勘探选区提供了关键依据。

## 2 致密砂岩与页岩气测录井显示

实际上,盆地早期油气勘探中多口井已发现页岩和砂岩气测异常<sup>[3]</sup>。华北油田煤层气公司对郑庄区块 26 口井进行测井综合解释,发现 15 口井存在含气层<sup>[5]</sup>。近年来,中联煤层气有限公司对相关区块 17 口井实施了气测录井,其中 16 口井发现气测异常层、含气层和气层,笔者重点对此分析讨论。

### 2.1 前期砂岩与页岩气显示发现

戴金星院士等(1986 年)指出,沁水盆地确实存在可靠且与煤系有关的天然气显示,气显示处于盆地边缘,埋藏较浅尚且保存部分煤成天然气,那么盆地内部保存煤成气的可能性将会更大<sup>[3]</sup>。事实也的确如此,近 10 年来盆地的非常规天然气勘探为此提供了更多依据,几乎在每个煤层气区块都见到致密砂岩气和页岩气的显示,某些区块取得勘探突破,在致密砂岩中获得了工业气流。

在沁水盆地早期油气勘探中,多地多口井中发现砂岩、泥岩和灰岩层中的气测异常<sup>[3,7]</sup>。在盆地东北部的冶西鼻状背斜和聂家庄背斜,阳 1 井太原组灰岩、砂岩和页岩中全烃异常高出背景值 5~8 倍,灰岩层位在没有压裂的情况下试气获得 2 300 m<sup>3</sup>/d 的工业性气流;阳 2 井山西组砂岩全烃异常是背景值的 2~3 倍,太原组灰岩和页岩全烃异常达到背景值的 2~4 倍。在沁源区块范围内,4 口井中有 2 口出现气测异常;在沁南、郑庄区块范围内,3 口井中 2 口发现气测异常。

郑庄区块致密砂岩气勘探已获初步成果<sup>[5]</sup>。通过测井综合解释,发现上石盒子组显示含气的有 30 口井,下石盒子组有 8 口井,山西组有 6 口井,太原组有 7 口井,表明含气层位主要集中在上石盒子组,认为主要与喜马拉雅构造运动期的调整与改造有关,并根据砂岩、灰岩储层分布特点初步预测了游离气藏有利区。由此,根据煤层与煤系地层中其他岩层之间的关系,将煤系非常规天然气共存系统划分为煤岩一顶板型、煤岩一底板型、煤岩围限型 3 种类型。

目前,关于沁水盆地页岩和砂岩含气量的实测资料极少。据中联煤层气公司测试结果,盆地北部寿阳一带太原组和山西组页岩含气量分别为 0.52~0.66 和 3.78~5.51 m<sup>3</sup>/t,南部潘庄区块一带山西组页岩含气量为 0.44~1.69 m<sup>3</sup>/t,认为寿阳地区山西组页岩含气量可与美国已经工业化开采的上侏罗统 Haynesville 页岩、上泥盆统 Woodford 页岩及 Fay-

etteville 页岩类比<sup>[6,11]</sup>。也有资料表明,山西组 3 号煤层上覆下伏泥岩经岩芯现场解吸获得的吸附气含量介于 1.0~6.4 m<sup>3</sup>/t<sup>[10]</sup>。

### 2.2 砂岩和页岩气显示的岩性与级别及其分布

统计分析显示,沁源、柿庄南、柿庄北 3 区块 17 口井累计发现气显示 45 井次 74 层,总厚度为 149.5 m。其中,砂岩气显示 23 井次 42 层,页岩气显示 23 井次 32 层,砂岩与页岩显示井次相当,但砂岩显示层数明显多于页岩;气显示砂岩单层平均厚度 1.82 m,页岩为 2.28 m。由此表明,区内砂岩气勘探发现几率相对较高,但页岩气品位可能相对较好。

就气显示岩性分析,砂岩显示井次占总井次的比例以下石盒子组最高,达 53%,山西组(33%)和太原组(29%)次之,上石盒子组和本溪组较低;页岩显示井数以下石盒子组和太原组最高,均为 41%,山西组略低,也达 35%(图 2(a))。砂岩显示厚度占砂岩+泥岩显示总厚度之比同样以下石盒子组最高,达 29%,山西组次之,仅有 13%,其他两个地层组较低;页岩气显示则太原组远高于其他地层组,达 27%,山西组仅 13%,上石盒子组较低(图 2(b))。也就是说,砂岩气显示集中于下石盒子组和山西组,前者品位明显较高;页岩气显示比例在下石盒子组、山西组和太原组都较高,但品位以太原组较好。

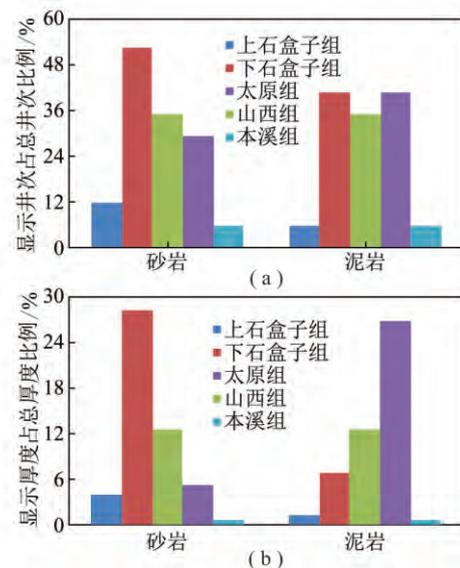


图 2 沁水盆地南部气测显示井次与厚度的地层分布

Fig. 2 Well number percentage and thickness of gas logging shows in different strata of southern Qinshui Basin

气显示单层平均厚度进一步给出了发现几率和品位的有关信息。砂岩气显示单层平均厚度以上石盒子组最厚,山西组次之,下石盒子组稍低,分别为 3.33, 2.38, 1.70 m,太原组和本溪组均仅有 1.00 m;页岩气显示单层平均厚度以太原组和上石盒子组最

厚,分别为 2.13 和 2.00 m,山西组和下石盒子组稍低,分别为 1.46,1.27 m,本溪组在 1.00 m 左右(图 3(a))。可以看出,上石盒子组具有砂岩气和页岩气的

勘探潜力,太原组可能具有页岩气厚度品位,山西组具有砂岩气厚度品位。这一初步认识,与基于气显示井次和总厚度得出的认识一致,同时略有扩展。

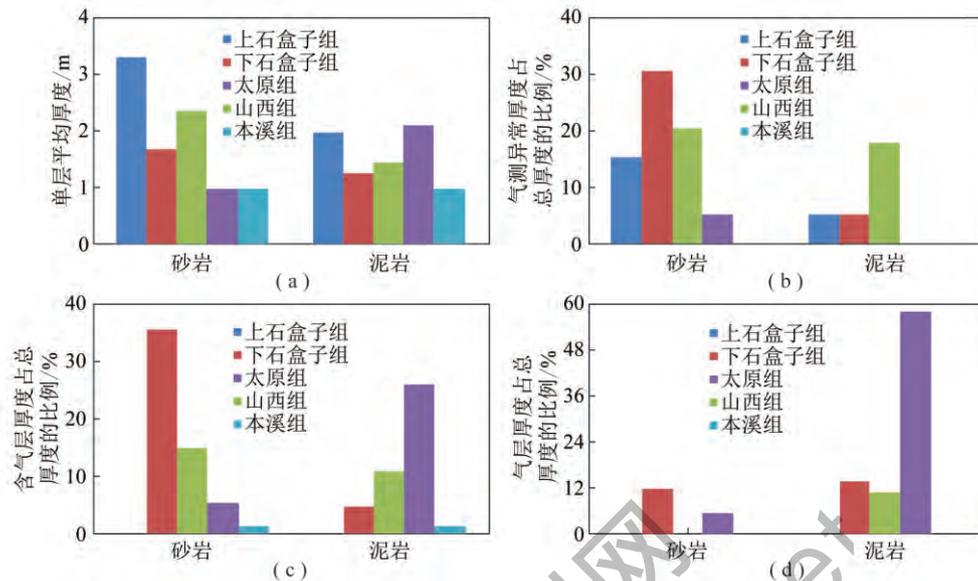


图 3 沁水盆地南部气测显示单层平均厚度及含气级别比例分布

Fig. 3 Single average thickness and gas bearing level ratios of gas logging shows in southern Qinshui Basin

气测含气级别是勘探初期阶段评价天然气品位最可靠的便捷依据。在 74 层厚 149.5 m 的砂岩和页岩气显示地层中,气测异常层、含气层和气层的厚度分别为 39.0,74.0,36.5 m,分别占气显示总厚度的 26%,50%和 24%,含气品位以中等品质为主,但高含气品位储层厚度也接近总显示厚度的 1/4。进一步分析,气测异常层主要见于下石盒子组和山西组的砂岩以及山西组页岩,太原组所占比例很低;含气层厚度比例以下石盒子组砂岩和太原组页岩显著较高,山西组砂岩和泥岩占一定比例,上石盒子组没有见及;气层绝大部分发育在太原组泥岩,在山西组砂岩、页岩以及下石盒子组砂岩中有一定分布,上石盒子组和本溪组中均无发现(图 3(b)~(d))。由此指示,在气测井区及其周边范围内,页岩气最有利勘探层位为太原组,砂岩气最有利层位是下石盒子组,山西组也有一定的砂岩气和页岩气勘探潜力。

### 2.3 砂岩和页岩显示的地层与区块分布

沁水盆地南部砂岩气和页岩气勘探潜力的时空分布具有高度非均一性和规律性。17 井次 45 个显示层中,上石盒子组只占 3 井 5 个层次,仅分布在沁源区块和柿庄北区块,且全为含气品位较低的气测异常层(图 4(a))。这一分布特点,与始显深度有关,其中沁源区块 2 口井的始显深度均超过 1 900 m。结合早期油气地质调查与勘探成果以及郑庄区块勘探发现,可以认为沁水盆地南部大部分区域上石盒子组不利于砂岩气和页岩气成藏,潜在的有利区可能位于沁源区块埋深超过 2 000 m 的深盆地带。

下石盒子组气测显示同样在沁源区块和柿庄北区块相对强烈(图 4(b))。砂岩气显示以含气层为主,沁源区块含气层厚度占该区块砂岩气测显示总厚度的 75%,且有气层发育,始显深度 1 171 m;柿庄北区块砂岩含气层厚度占该区块气测显示砂岩总厚度的 28%,且厚度较大,同样检测到有一定厚度气层的存在,始显深度只有 882 m;柿庄南区块砂岩气显示以异常层为主,见到 0.3 m 的薄层气层。页岩气显示只在沁源区块较为强烈,有一定厚度的气层产出,始显深度 1 662 m;其他 2 个区块气显示相对较弱,全部为气测异常层或含气层,没有检测到气层。由此可知,区内下石盒子组砂岩气以沁源区块最为有利,有利深度超过 1 200 m,在柿庄北区块埋深超过 1 000 m 的地带可能寻找下石盒子组砂岩气藏;下石盒子组页岩气有利区可能只发育在沁源区块,埋深超过 1 700 m。

山西组气测显示也有其规律和特点,沁源区块以发育页岩气层、含气品位高为特征,柿庄北区块砂岩气和页岩气显示厚度大、品位中等且始显深度相对较浅,柿庄南气显示相对较弱且含气品位不高(图 4(c))。其中,沁源区块在 1 245 m 以深见到气层,指示气层发育的有利深度可能超过 1 300 m;柿庄北区块山西组气显示深度在 900~1 000 m,表明砂岩气和页岩气有利勘探深度超过 1 000 m。

太原组气测显示以沁源区块和柿庄北区块的页岩为主,砂岩气层只在沁源区块见及,柿庄南区块气显示较弱(图 4(d))。其中,沁源区块 4 口井页岩气显示层厚度 27.2 m,始显深度 1 317 m,气层厚度比

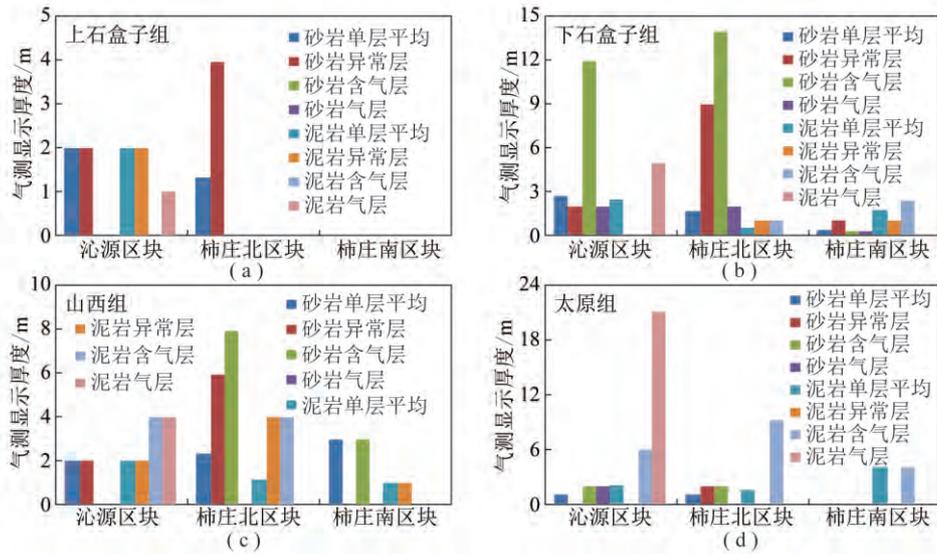


图 4 沁水盆地南部气测分组显示的区块分布

Fig 4 Gas logging show of relative blocks in Southern Qinshui Basin

例高达 78%，厚度之大和含气品位之高，在整个沁水盆地南部为最；砂岩也见有一定厚度的气层，始显深度 1 669 m。柿庄北区块砂岩和页岩都见到含气层，始显深度在 1 000 m 左右。就此来看，沁源区块 1 300 m 以深是沁水盆地南部页岩气最有利的区域，砂岩气也有一定勘探前景，有利勘探深度分别超过 1 300 m 和 1 700 m；柿庄北区块 1 000 m 以深地带可考虑砂岩气、页岩气与煤层气的共探共采。

### 3 致密砂岩与页岩气藏类型

根据沁水盆地南部石炭二叠系生储盖组合以及煤系自身特点，初步将区内致密砂岩气藏和页岩气藏归纳提炼为 3 种类型：一是独立砂岩气藏，主要发育在上、下石盒子组，气源来自下伏煤系烃源岩，通过扩散作用和盖层突破注入砂岩储层，储层被内幕区域性泥质岩类盖层及上覆三叠系所封盖；二是独立页岩气藏，发育地层同样以上、下石盒子组为主，除了自身微弱的生气能力之外，气源主要来自下伏煤系烃源岩，内幕区域性泥质岩类及上覆三叠系为其提供封盖条件；三是煤—页岩—砂岩互层型气藏，赋存层系为山西组和太原组，砂岩气、页岩气与煤层气互层产出，具有共探共采前景。

进一步分析沁水盆地南部砂岩气和页岩气成藏条件：其一，煤系烃源岩有机质热演化普遍达到高成熟—过成熟阶段，生烃强度高，且煤层所生成的天然气在早—中侏罗系、燕山中期和新生代以来不断向砂岩和页岩储层充注<sup>[16]</sup>，砂岩气和页岩气的气源充足；其二，太原组、山西组和下石盒子组均发育数层区域性分布的泥质岩类，具有强烈的区域性“内幕”封盖作用，同时巨厚的上覆三叠系对石炭二叠系各类储层形

成了强大的封盖能力，这也是研究区天然气成藏的一个重要特点；其三，区内存在多种圈闭类型，独立砂岩气藏主要受控于构造圈闭，独立页岩气藏耦合受控于构造圈闭和水力圈闭，煤系互层型气藏则明显受到水力圈闭作用的控制<sup>[16]</sup>。

基于气测录井显示特点，结合区内天然气成藏基本条件分析，初步预测沁水盆地南部砂岩气和页岩气有利区主要位于盆地中央地带，总体上沿复向斜轴部呈 NNE 向展布。在此总体背景下，有 3 个核心区域值得关注（图 1）：一是沁源区块中—南部有利区，区内发育一系列 NNE 向展布的次级褶曲，其中的次级背斜构造高部位是寻找下石盒子组独立砂岩气藏和页岩气藏的有力部位，次级褶曲斜坡及向斜可能发育山西组—太原组互层组合型气藏；二是郑庄区块北部—马必区块东北部—沁南区块南部有利区，总体上为一 NE 向展布的次级向斜，次级向斜斜坡带埋深 800~1 000 m 的山西组砂岩气显示强烈，次级向斜轴部 1 000 m 以深可能发育煤—页岩—砂岩互层型气藏；三是柿庄北区块西北部有利区，总体上为一向 NW 倾斜的单斜，在此背景上发育若干 NNE 向展布的次级褶曲，次级背斜斜坡部位检测到气层的存在，砂岩气显示强于泥页岩，1 000 m 以深具有寻找独立砂岩气藏和互层组合气藏的潜力。

### 4 结 论

(1) 沁水盆地南部砂岩和页岩气测显示十分普遍，区域和层位显示差异较大。砂岩气勘探发现几率相对较高，但页岩气品位可能相对较好；下石盒子组具有砂岩气和页岩气的勘探潜力，太原组可能具有页岩气厚度品位，山西组具有砂岩气厚度品位。页岩气

最有利勘探层位为太原组,砂岩气最有利层位是下石盒子组,山西组也有一定的砂岩气和页岩气勘探潜力。沁源区块以页岩气层发育、含气品位高为特征,有利勘探深度可能超过 1 200 m;柿庄北区块砂岩气和页岩气显示厚度大,品位中等,且始显深度相对较浅,有利勘探深度可能超过 1 000 m。

(2)区内发育有利于砂岩气和页岩气成藏的主控因素配置条件。煤层的生烃强度和排烃强度高,为砂岩和页岩储层提供了丰富气源。发育下生(太原组和山西组)、下一中储(太原组一下石盒子组)、上盖(上二叠统一三叠系)的含气系统,存在有利的油气生储盖组合关系。砂岩气和页岩气成藏圈闭形式多样,包括构造圈闭、岩性圈闭和水力圈闭。目前残留的巨厚三叠系地层,为石炭二叠系砂岩气和页岩气提供了区域性封盖条件。石炭二叠系具有封盖性质的泥页岩与具有游离气储集功能的砂岩互层产出,该套地层本身就具有良好的内幕封盖条件。

(3)砂岩气和页岩气有利区总体上呈 NNE 向展布,其中 3 个核心区值得关注。初步认为区内发育独立砂岩气、独立页岩气、煤—页岩—砂岩互层 3 种气藏类型,有利区主要位于盆地中央地带,总体上沿复向斜轴部呈 NNE 向展布。其中,沁源区块中—南部、郑庄区块北部—马必区块东北部—沁南区块南部、柿庄北区块西北部 3 个核心区应为优先勘探区域。

由于勘探和研究资料的有限,上述认识是较为初步的,有待勘探进展予以补充、修正和完善。

#### 参考文献:

- [1] Johnson R C, Flores R M. Developmental geology of coalbed methane from shallow to deep in Rocky Mountain basins and in Cook Inlet-Matanuska basin, Alaska, U. S. A. and Canada[J]. *International Journal of Coal Geology*, 1998, 35(1-4): 241-282.
- [2] Olson T, Hobbs B, Brooks R, et al. Paying off for Tom Brown in White River Dom Field's tight sandstone, deep coals[R]. *The American Oil and Gas Reports*, 2002: 67-75.
- [3] 戴金星, 戚发厚. 从煤成气观点评价沁水盆地含气远景[J]. *石油勘探与开发*, 1986(6): 19-33.  
Dai Jinxing, Qi Houfa. Evaluation of natural gas prospect in Qinshui Basin in the light of coal-derived gas[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1986(6): 19-33.
- [4] 秦 勇, 宋全友, 傅雪海. 煤层气与常规油气共采可行性的探讨: 深部煤储层平衡水条件下的吸附效应[J]. *天然气地球化学*, 2005, 16(4): 492-498.  
Qin Yong, Song Quanyou, Fu Xuehai. Discussion on reliability for co-mining the coalbed gas and normal petroleum and natural gas: Absorptive effect of deep coal reservoir under condition of balanced water[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(4): 492-498.
- [5] 梁宏斌, 林玉祥, 钱 铮, 等. 沁水盆地南部煤系地层吸附气与游离气共生藏研究[J]. *中国石油勘探*, 2011(2): 72-78.  
Liang Hongbin, Lin Yuxiang, Qian Zheng, et al. Study on coexistence of absorbed and free gases in coal strata of southern Qinshui Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2011(2): 72-78.
- [6] 顾娇杨, 叶建平, 房 超, 等. 沁水盆地页岩气资源前景展望[A]. 叶建平, 傅小康, 李五忠. 2011 年煤层气学术研讨会论文集[C]. 北京: 地质出版社, 2011.
- [7] 于腾飞. 煤系地层游离气成藏机制与模式研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2011.
- [8] 王 鹏. 沁水盆地石炭二叠系煤系地层游离气多赋存类型依存关系定量分析[D]. 青岛: 山东科技大学, 2011.
- [9] 王莉萍. 沁水盆地山西组页岩气勘探前景[J]. *石油化工应用*, 2012, 31(12): 1-3, 14.  
Wang Liping. Shale gas exploration prospect of Shanxi formation in Qinshui Basin[J]. *Petrochemical Industry Application*, 2012, 31(12): 1-3, 14.
- [10] 房 超, 顾娇杨, 张 兵, 等. 海陆交互相含煤盆地页岩气储量估算参数选取简析——以沁水盆地为例[J]. *化工矿产地质*, 2013, 35(3): 169-174.  
Fang Chao, Gu Jiaoyang, Zhang Bing, et al. The parameters analysis of shale gas reserves estimation in paralic facies coal-bearing basin: Taking Qinshui Basin as an example[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 2013, 35(3): 169-174.
- [11] 陈燕萍, 黄文辉, 陆小霞, 等. 沁水盆地海陆交互页岩气成藏条件分析[J]. *资源与产业*, 2013, 15(3): 68-72.  
Chen Yanping, Huang Wenhui, Lu Xiaoxia, et al. Shale gas reservoir-forming condition in Qinshui Basin's marine-continental facies[J]. *Resources and Industries*, 2013, 15(3): 68-72.
- [12] 吴 奇, 李三忠, 刘 鑫. 山西南部燕山期类隔挡式褶皱构造特征[J]. *大地构造与成矿学*, 2012, 36(4): 483-489.  
Wu Qi, Li Sanzhong, Liu Xin. Characteristics of the Yanshanian chevron Anticline-like folds in the southern part of Shanxi Province[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2012, 36(4): 483-489.
- [13] 秦 勇, 杨兆彪, 吴财芳, 等. 沁水盆地南部天然气重点区块成藏特征研究[R]. 徐州: 中国矿业大学, 2014.
- [14] 梁生正, 谢恭俭, 马 郡. 华北石炭二叠系残留盆地天然气勘探方向[J]. *天然气工业*, 1998, 18(6): 16-19.  
Liang Shengzheng, Xie Gongjian, Ma Jun. Exploration prospects for natural gas in the remnant Permo-Carboniferous basins in North China[J]. *Natural Gas Industry*, 1998, 18(6): 16-19.
- [15] 王兆云, 何海清, 程克明. 华北区古生界原生气藏勘探前景[J]. *石油学报*, 1999, 20(2): 1-6.  
Wang Zhaoyun, He Haiqing, Cheng Keming. Exploration prospect of Paleozoic primary oil and gas pools in Huabei area[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1999, 20(2): 1-6.
- [16] 秦 勇, 傅雪海, 韦重韬, 等. 煤层气成藏动力条件及其控藏效应[M]. 北京: 科学出版社, 2012.