

申建,秦勇,张兵,等.鄂尔多斯盆地东缘临兴区块煤系叠置含气系统及其兼容性[J].煤炭学报,2018,43(6):1614-1619. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2018.4022

SHEN Jian, QIN Yong, ZHANG Bing, et al. Superimposing gas-bearing system in coal measures and its compatibility in Linxing block, east Ordos Basin[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(6): 1614-1619. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2018.4022

鄂尔多斯盆地东缘临兴区块煤系叠置含气系统及其兼容性

申建^{1,2}, 秦勇^{1,2}, 张兵³, 李国璋^{1,2}, 沈玉林^{1,2}

(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. 中国矿业大学 资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221116; 3. 中联煤层气有限责任公司, 北京 100011)

摘要:叠置含气系统及其兼容性是煤系多类型非常规天然气合采可行性判识基础。基于临兴区块地层压力、天然气地球化学及生产数据解译,划分了叠置独立含气系统,探讨了含气系统间兼容性。基于地层压力梯度差异认为目标层段至少存在7套独立含气系统;基于产层的天然气甲烷同位素差异,认为太2段、山2~山1段、盒8~盒6段、盒3段等4套层系互不连通;基于天然气生产曲线差异,识别出山西组与石盒子组为2套独立含气系统。综合将研究区自上而下划分为千1~千4段、千5段、盒1~4段、盒5~8段、山1~太1段、太1~太2、本1段及本2段等独立含气系统。提取了地层压力梯度、气层厚度、渗透率及可动水量等影响合采兼容性关键因素,采用最优分割分类方法,指出研究区含气系统兼容性最佳分类数为5~6类,千5段、盒1~4段、盒5~8段等3套叠置含气系统合采兼容性较好。

关键词:临兴区块;煤系气;含气系统;连通性;产层兼容性

中图分类号:P618.11 文献标志码:A 文章编号:0253-9993(2018)06-1614-06

Superimposing gas-bearing system in coal measures and its compatibility in Linxing block, east Ordos Basin

SHEN Jian^{1,2}, QIN Yong^{1,2}, ZHANG Bing³, LI Guozhang^{1,2}, SHEN Yulin^{1,2}

(1. Key Laboratory of Coalbed Methane Resource & Reservoir Formation Process, Ministry of Education, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China; 2. School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 3. China United Coalbed Methane Corporation, Beijing 100011, China)

Abstract: Superimposing gas-bearing systems and their compatibility are the key to commingling production of multi-type unconventional natural gas from coal measures. Based on the pressure, geochemistry of natural gas and production data of the Linxing block, the independent gas-bearing system was divided, and their compatibility for comingling production was investigated. Based on the differences of reservoir pressure gradient, there are at least seven sets of independent pressure systems in the target coal measure. Based on the properties of methane isotopes of natural gas from the actual production seams, three sets of combined production layers, including Tai2 to Shan2 members, He8 to He6 members, He3 member, are not connected. Based on the differences of natural gas production curve, the Shanxi and Shihezi Groups are apparently two independent gas-bearing systems. In summary, there are at least eight independent gas systems, including Qian1-Qian4 member, Qian5 member, He1-He4 member, He5 to H8 member, Shan1 to Tai1 member, Tai1-Tai2 member, Ben1 member and Ben2 member. The key factors that affect the compatibility of coming-

ling production from independent gas-bearing systems, such as formation pressure gradient, the thickness of the gas-bearing layer, permeability, and movable water content, were extracted. Optimal partitioning method was adopted to classify the compatibility of comingling production from the different gas-bearing system in the target block. The best classification of gas-bearing system compatibility in the study area is 5-6, and the gas-bearing system compatibility of Qian5, He1-4, and He5-8 are better than those of other systems.

Key words: Linxin block; coal measure gas; reservoir; gas-bearing system; pay horizon compatibility

煤系天然气类型多样、资源丰富,共同开发受到国内外学者高度关注^[1-7]。然而,煤系多类型储层层数众多、储层(产层)/盖层薄且、频繁互层叠置发育,造成内部多套压力系统共存,系统间兼容性程度控制了合层开发效果^[8-9]。因此,含气系统划分及其兼容性评价对于煤系多类型产层合采、储量动用及稳产高产具有重要意义。在含气系统划分研究方面,尽管学者提出了综合地质、地层压力系数、流体地球化学特征差异、井间干扰试井、生产动态等分析方法^[10-14],但是尚未有任何一种方法是证明独立含气系统的充分必要条件。基于地质地球化学及数值模拟原理,学者进一步探索了含气系统兼容性评价方法以及合采开发技术,为解放煤系多类型天然气资源奠定了一定基础^[15-17]。临兴区块煤系三气合采示范工程煤系气开发实践表明,叠置含气系统及其兼容性程度不同造成产层组合产能差异极为显著。因此,查明区内含气系统分布及兼容性是当前合采工程示范迫切需要解决的问题。本次研究拟通过综合分析地层压力、天然气地球化学及生产曲线,探讨区块含气系统发育特征及其合采兼容性,以期为本区煤系气合采提供指导。

1 研究区地质概况

临兴区块地处山西省兴县南部和临县北部,盆地区划属于鄂尔多斯盆地东缘。区内构造以中东部紫金山岩体为中心,由内至外,划分为底辟构造隆起带、环形沟槽带、低幅背斜带等次级构造单元。

目标地层为晚古生代上石炭统至上二叠统的本溪组、太原组、山西组、石盒子组、石千峰组。本溪组为区内主要含煤地层之一,厚 51 ~ 70 m,含煤 1 ~ 4 层,主要可采煤层 8,9 号煤,岩性以铝土质泥岩、砂质泥岩、粉砂岩、细砂岩及粗粒石英砂岩为主,沉积环境以碳酸盐潮坪-障壁砂坝-潟湖体系沉积为特征。本溪组划分为本 2 与本 1 段,其中本 2 段底界为铁铝岩层底、顶界为 K1 砂岩底,本 1 段顶界为 8+9 号煤顶面(表 1)。太原组厚 32 ~ 100 m,由一套灰黑色泥岩、粉砂岩、细-粗砂岩、生物碎屑灰岩及煤层组成,沉积环境以海陆交互的三角洲-碳酸盐台地-潟湖潮坪为特征。太原组分为两段,其中太 2 段为 8+9

号煤顶面至斜道灰岩(L₄ 灰岩)底面一套岩层,太 1 段顶界为北岔沟砂岩底面(表 1)。山西组,本区另一主要含煤层组,厚 87 ~ 130 m,含煤 2 ~ 5 层,主采煤层为 4,5 号煤层,岩性主要为细-粗粒砂岩、粉砂岩、砂质泥岩及煤层,沉积环境以浅水三角洲沉积为特征。山西组亦划分为两段,山 2 段为北岔沟砂岩底至铁磨沟砂岩底面的一套岩性组合,山 1 段顶界为骆驼脖子砂岩(K₄ 砂岩)底面(表 1)。下石盒子组,厚 120 ~ 208 m,岩性由浅灰色含砾粗砂岩、灰白色中粗粒砂岩及灰绿色岩屑质石英砂岩夹灰绿色砂质泥岩、粉砂岩组成,沉积环境为河流沉积。依据岩性组合和沉积旋回特征,将下石盒子组自上而下可划分为盒 5、盒 6、盒 7 和盒 8 等 4 个气层组(表 1)。上石盒子组,厚 178 ~ 343 m,岩性由灰绿色、灰紫色、暗紫色和紫红色泥岩夹灰绿色、暗紫色中-细粒长石石英砂岩、岩屑砂岩、长石岩屑砂岩。自上而下将上石盒子

表 1 各段地层压力梯度特征

Table 1 Reservoir pressure gradient for different interval

组	段	地层压力梯度/(MPa·hm ⁻¹)		
		最小值	最大值	平均值
石千峰组	千 1	0.96	1.10	1.00
	千 2	0.95	1.12	1.02
	千 3	0.95	1.14	1.01
	千 4	0.94	1.10	1.00
	千 5	0.91	1.08	0.98
上石盒子组	盒 1	0.57	1.09	0.93
	盒 2	0.75	1.09	0.93
	盒 3	0.61	1.11	0.92
	盒 4	0.82	1.13	0.94
下石盒子组	盒 5	0.74	1.04	0.90
	盒 6	0.73	1.11	0.91
	盒 7	0.69	1.10	0.92
	盒 8	0.60	1.11	0.92
山西组	山 1	0.86	1.11	0.97
	山 2	0.67	1.12	0.96
太原组	太 1	0.79	1.13	0.96
	太 2	0.87	1.10	0.96
本溪组	本 1	0.80	1.10	0.93
	本 2	0.62	1.12	0.90

组划分为盒1、盒2、盒3和盒4等段(表1)。石千峰组,厚173~286 m,岩性主要为紫红色含砾粗粒砂岩夹紫红色-灰绿色砂质泥岩呈不等厚互层组成。进一步亦将石千峰组自上而下划分为千1、千2、千3、千4和千5等段(表1)。

2 含气系统显现特征

2.1 含气系统原始地层压力显示

储层流体能量影响天然气产出能力,其垂向分布以含气系统为单元,垂向分布特点决定了含气系统的发育特征。多类型储层在垂向上往往叠置发育多套含气系统,每个含气系统具有独立的压力系统^[8-9]。以研究区实测地层压力数据为约束,通过常用地层压力系数预测等效深度、地震与测井预测、经验公式等方法计算结果对比显示^[18-21],Eaton法结果最为可靠,与实测结果误差低于5%。因此,本次研究采用此法对研究区目标层段地层压力进行计算。

见表1,自上而下,临兴区块千1段地层压力梯度介于0.96~1.10 MPa/hm,平均为1.00 MPa/hm;千2段地层压力梯度介于0.95~1.12 MPa/hm,平均为1.02 MPa/hm;千3段地层压力梯度介于0.95~1.14 MPa/hm,平均为1.01 MPa/hm;千4段地层压力梯度介于0.94~1.10 MPa/hm,平均为1.00 MPa/hm;千5段地层压力梯度介于0.91~1.08 MPa/hm,平均为0.98 MPa/hm;盒1段地层压力梯度介于0.57~1.09 MPa/hm,平均为0.93 MPa/hm;盒2段地层压力梯度介于0.75~1.09 MPa/hm,平均为0.93 MPa/hm;盒3段地层压力梯度介于0.61~1.11 MPa/hm,平均为0.93 MPa/hm;盒4段地层压力梯度介于0.82~1.13 MPa/hm,平均为0.94 MPa/hm;盒5段地层压力梯度介于0.74~1.04 MPa/hm,平均为0.90 MPa/hm;盒6段地层压力梯度介于0.73~1.11 MPa/hm,平均为0.91 MPa/hm;盒7段地层压力梯度介于0.69~1.10 MPa/hm,平均为0.92 MPa/hm;盒8段地层压力梯度介于0.60~1.11 MPa/hm,平均为0.92 MPa/hm;山1段地层压力梯度介于0.86~1.11 MPa/hm,平均为0.97 MPa/hm;山2段地层压力梯度介于0.67~1.12 MPa/hm,平均为0.96 MPa/hm;太1段地层压力梯度介于0.79~1.13 MPa/hm,平均为0.96 MPa/hm;太2段地层压力梯度介于0.87~1.10 MPa/hm,平均为0.96 MPa/hm;本1段地层压力梯度介于0.80~1.10 MPa/hm,平均为0.93 MPa/hm;本2段地层压力梯度介于0.62~1.17 MPa/hm,平均为0.90 MPa/hm(图1)。

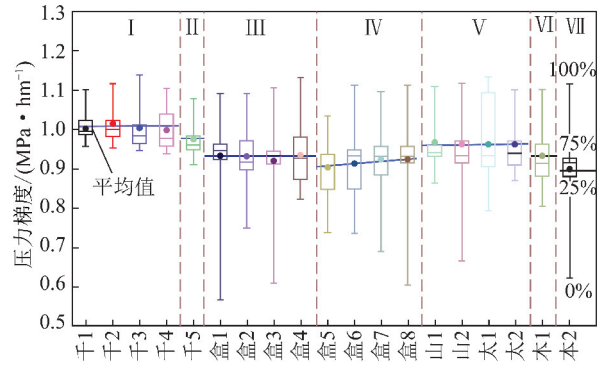


图1 地层压力梯度箱形分布

Fig. 1 Box chart of the reservoir pressure gradient

按同一含气系统划分基本原理,即单一相态条件下等压力梯度或气水共存下压力系数递减模式。按此两个充分条件,将临兴区块目标层段自上而下划分为7套独立压力系统,包括千1~4段、千5段、盒1~4段、盒5~8段、山1~太2段、本1段及本2段(图1)。

2.2 含气系统地球化学显示

通过研究区22口井8个产层组合类型的天然气中甲烷同位素测试结果显示:盒3段 $\delta^{13}C_1$ 为-39.3‰、盒6段为-38‰、盒7段介于-38.5‰~-37.2‰(平均为-37.9‰)、盒8段在-38.8‰~-35.5‰(平均为-37.6‰)、盒1+4+7段介于-35.8~-34.6‰(平均为-35.3‰)、山1+山2+盒8段在-42.1‰~-41.5‰(平均为-41.8‰)、太2段在-42.2‰~-33.2‰(平均为-40.4‰)。

图2显示,盒6,7,8段同位素差异较小,彼此层系间可能连通。盒8段与下伏盒8+山1+山2同位素相比较,下伏产层同位素显著偏重,显然该组合天然气产能贡献主要来自于山1与山2段,且山1与山2段同位素偏轻,与下伏太2段同位素接近。由此,石盒子组与山西组两者可能未沟通。盒1+4+7产层同位素较盒7段显著偏重,那么盒1段或者盒4段或者两段甲烷碳同位素皆偏重,由此在盒3段到盒6段之间可能存在封隔层阻挡了上覆和下伏地层的连通。

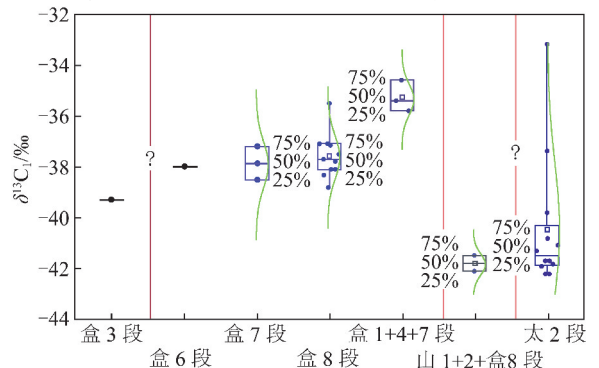


图2 临兴区块天然气井甲烷碳同位素分布

Fig. 2 Methane isotope of natural gas in Linxin Block

此外,山1+山2+盒8段与太2段同位素差异显著,太2段值偏轻且变化范围明显较前者变化幅度宽。因此,根据同位素分布特征,由图2至少可以判断出盒3、盒6~盒8、山1~山2、太2段为4套未连通的层段组合,即可能至少存在4套独立系统。

2.3 含气系统生产曲线显示

由图3可知,研究区生产曲线可划分为3种类型:第1类,游离为主衰减型,初始生产产量高,随生产进行,天然气井产量呈指数式衰减,与典型常规游离气藏生产机制相同,如盒1+4、盒6、盒8段;第2类,解吸为主似对数正态分布型,初始产气量处于低

位状态,随排采进行天然气产量有逐步增加趋势,达到峰值后呈逐渐降低趋势,与煤层气等吸附型气藏生产机制相似,如太2段生产曲线;第3类,解吸-游离混合型,呈多峰态分布,表现出解吸、游离气双重形态,受其对产量贡献差异,解吸与游离气在生产曲线形态表现侧重有所不同,如山1+山2+盒8、太2+山1+盒8段、太2+盒7段合采曲线。因此,基于不同含气系统生产曲线差异这一分析基础,结合有限的层系组合天然气生产数据,太原组、山西组与石盒子组生产曲线差异显著,因此至少可判定山西组与石盒子组为两套独立含气系统。

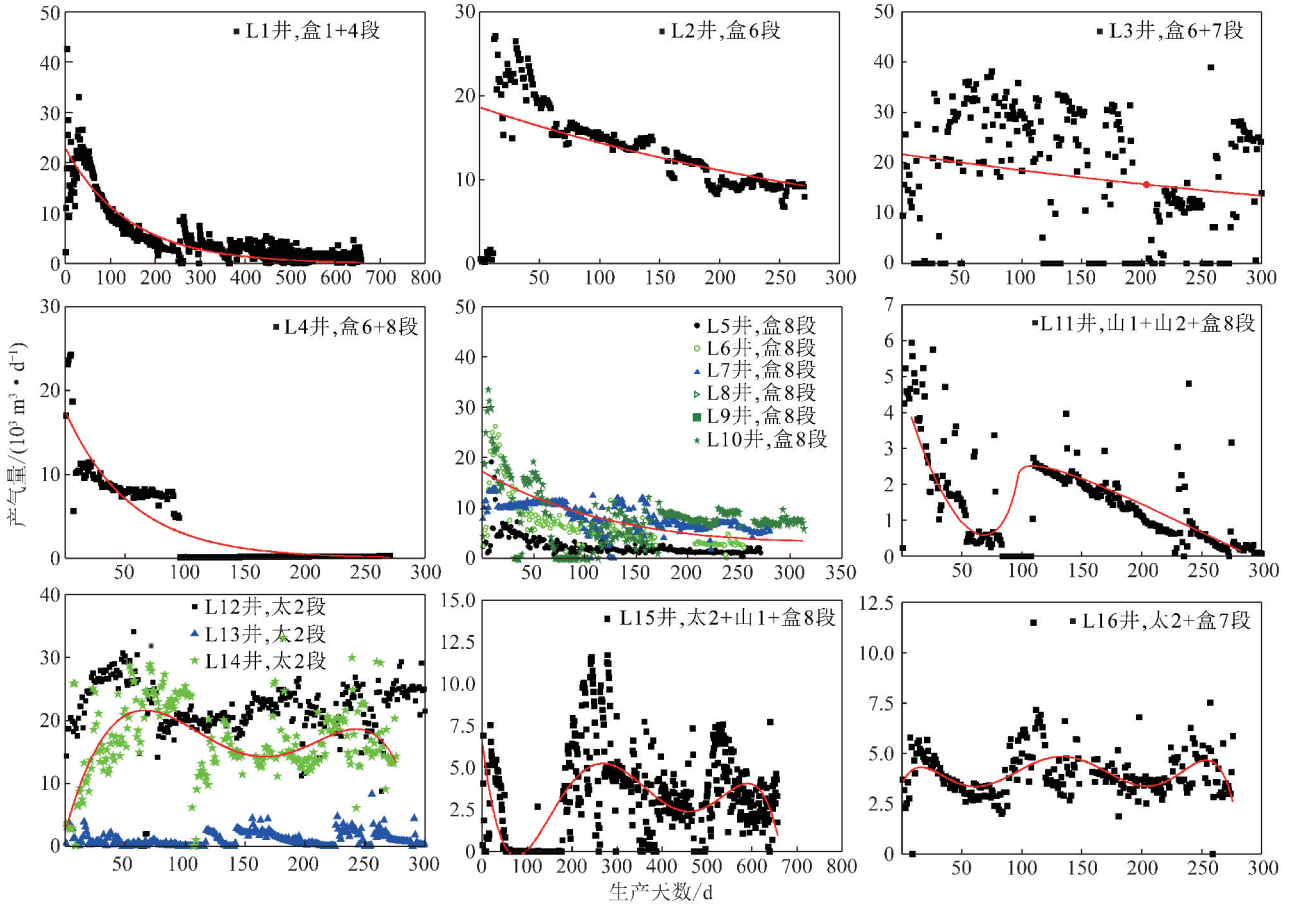


图3 不同层段天然气产量曲线特征

Fig. 3 Curves from different commingle Production members

3 含气系统兼容性评价

3.1 含气系统特征

基于上述煤系地层压力梯度、天然气中甲烷同位素及生产曲线差异分析,研究区目标层段自上而下至少可划分为千1~4段、千5段、盒1~4段、盒5~8段、山1~太1段、太1~2段、本1段与本2段等8套独立含气系统。

自上而下统计研究区各含气系统气层资料显示(本2段无气层,故其含气系统特征未作统计),平

均地层压力梯度分别为 1.06, 1.01, 0.95, 0.95, 0.84, 0.83 和 0.69 MPa/hm;平均产层厚度分别为 2.14, 3.50, 3.82, 3.08, 2.35, 3.53 和 6.13 m;平均渗透率分别为 0.43×10^{-15} , 0.79×10^{-15} , 1.23×10^{-15} , 0.84×10^{-15} , 0.15×10^{-15} , 0.38×10^{-15} 和 $0.15 \times 10^{-15} \text{ m}^2$;基于核磁共振平均可动水量分别为 0.010, 0.025, 0.022, 0.018, 0.010, 0.023 和 0.012(表2)。

3.2 影响含气系统兼容性因素

叠置含气系统的客观存在,且受其产层厚度、物性、含水性等其他条件差异作用,导致开采条件下系

表2 含气系统特征

Table 2 Properties of gas-bearing system

含气系统	所属层段	压力梯度/ (MPa·hm ⁻¹)	厚度/ m	渗透率/ 10 ⁻¹⁵ m ²	可动水量 (小数)
I	千1~4	1.06	2.14	0.43	0.010
II	千5段	1.01	3.50	0.79	0.025
III	盒1~4	0.95	3.82	1.23	0.022
IV	盒5~8	0.95	3.08	0.84	0.018
V	山1~2	0.84	2.35	0.15	0.010
VI	太2段	0.83	3.53	0.38	0.023
VII	本1段	0.69	6.13	0.15	0.012

统之间的流体原始能量、输入输出速率及量差异。该差异大小是反映含气系统兼容程度进而影响合采可行性的直接地质原因。首先,在合采情况下,不同压力系数条件下,一旦井眼贯通不同的叠置含气系统,必将导致流体自高势含气系统向低势含气系统转移,进而造成“产量抑制”甚至“倒灌”,其影响程度与其差异呈正相关关系。其二,叠置含气系统产层厚度和渗流能力差异,其可能造成统一含气系统物质传递能量速率不同,进而导致弱传输能力储层产量受抑制。其三,不同系统能量构成的气、水贡献比例,贯通诱导气水井筒2次分配,可能导致水锁效应,亦可造成多套叠置含气系统合采产气能力抑制。由此可见,压力梯度、产层厚度、渗透率及可动水量是影响含气系统兼容性的关键因素,其差异大小直接控制了叠置独立含气系统天然气合采效果。

3.3 含气系统兼容性评价

由于煤系复杂叠置系统及其气水互动机制复杂性,目前仅确定了影响合采兼容性关键要素,而尚未取得合采兼容性影响定量数理函数。在此背景下,为了满足合采工程实施,针对影响合采兼容性四关键因素,以相近程度判断含气系统间合采兼容性是目前较为可行方法之一。因此,本次研究采用最优分割法对其进行分类。该方法基本原理通过研究对象之间的相近程度(距离或相似系数),将性质相近的对象聚为一类^[22]。

基于地层压力梯度、产层厚度、渗透率及可动水量等4个参数作为含气系统合采兼容评价的特征参数(表1),将临兴区块叠置含气系统进行了最优分割法聚类。具体步骤包括:①建立4个特征参数矩阵;②标准化数据;③计算层间距离,两产层相似程度用P维空间两点距离来度量,距离小的产层即划分为一类^[22]。

如图4所示,叠置含气系统兼容性由弱至强包含2~6种类型。基于距离系数和不一致系数综合分

析,在4与5类间出现显著拐点,即最优聚类数为5~6类。换言之,千5、盒1~4、盒5~8这3套含气系统之间储层参数差异较小,合采兼容性较好;而其他系统间分属于不同类型,显示含气系统间差异显著,合采兼容性较差。

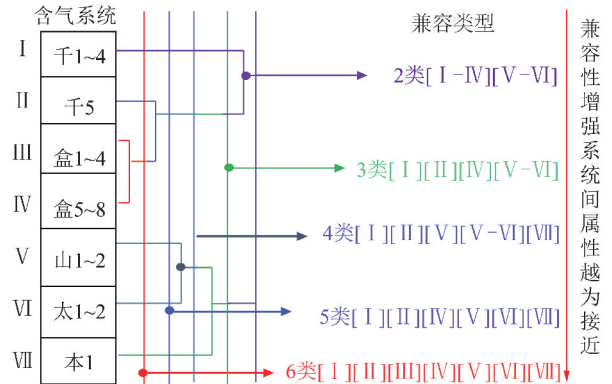


图4 叠置含气系统兼容性

Fig. 4 Compatibility of superposing gas-bearing system

4 结 论

(1) 临兴区块垂向叠置千1~4段、千5段、盒1~4段、盒5~8段、山1~太1段、太1~2段、本1段与本2段等8套含气系统。

(2) 提取了地层压力梯度、产层厚度、渗透率及可动水量等含气系统兼容评价关键参数,采用最优分割法确定了叠置含气系统兼容性。

(3) 指出研究区含气系统兼容性最佳分类数为5~6类,千5段、盒1~4段、盒5~8段等3套叠置含气系统合采兼容性较好。

参考文献(References):

- 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.
- 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.
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.
- 傅雪海,朱炎铭,申建,等.煤系非常规天然气资源特征及分隔合采技术[J].地学前缘,2016,23(3):36-40.
FU Xuehai, ZHU Yanming, SHEN Jian, et al. Resources characteristics and separated reservoirs' drainage of unconventional gas in coal measures[J]. Earth Science Frontiers, 2016, 23(3): 36-40.
- 曹代勇,刘亢,刘金城,等.鄂尔多斯盆地西缘煤系非常规气共生组合特征[J].煤炭学报,2016,41(2):277-285.

- CAO Daiyong, LIU Kang, LIU Jincheng, et al. Combination characteristics of unconventional gas in coal measure in the west margin of Ordos Basin[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(2): 277-285.
- [5] ZHENG Lihui, WEI Panfeng, ZHANG Zhen, et al. Joint exploration and development: A self-salvation road to sustainable development of unconventional oil and gas resources[J]. Natural Gas Industry B, 2017, 4(6): 477-490.
- [6] OLSON T M. White river dome field: Gas production from deep coals and sandstones of the Cretaceous williams fork formation[R]. Denver, Colo.: Rocky Mountain Assn. of Geologists, 2003: 155-162.
- [7] 李辛子, 王运海, 姜昭琛, 等. 深部煤层气勘探开发进展与研究[J]. 煤炭学报, 2016, 41(1): 24-31.
- LI Xinzi, WANG Yunhai, JIANG Zhaochen, et al. Progress and study on exploration and production for deep coalbed methane[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(1): 24-31.
- [8] 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.
- [9] 秦勇, 熊孟辉, 易同生, 等. 论多层叠置独立含煤层气系统——以贵州织金-纳雍煤田水公河向斜为例[J]. 地质论评, 2008, 54(1): 65-70.
- QIN Yong, XIONG Menghui, YI Tongshen, et al. On unattached multiple superposed coalbed-methane system: In a case of the Shuigonghe syncline, Zhijin-Nayong coalfield, Guizhou[J]. Geological Review, 2008, 54(1): 65-70.
- [10] 秦勇, 张政, 白建平, 等. 沁水盆地南部煤层气井产出水源解析及合层排采可行性认识[J]. 煤炭学报, 2014, 39(9): 1892-1898.
- QIN Yong, ZHANG Zheng, BAI Jianping, et al. Source apportionment of produced-water and feasibility discrimination of commingling CBM production from wells in Southern Qinshui Basin[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(9): 1892-1898.
- [11] 沈玉林, 秦勇, 申建, 等. 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, et al. Sedimentary control mechanism of the superimposed gas bearing system development in the Upper Paleozoic coal measure along the eastern margin of Ordos Basin[J]. Natural Gas Industry, 2017, 37(11): 29-35.
- [12] 周培明, 金军, 罗开艳, 等. 黔西松河井田多层叠置独立含煤层气系统[J]. 煤田地质与勘探, 2017, 45(5): 66-69.
- ZHOU Peiming, JIN Jun, LUO Kaiyan, et al. Unattached multiple layer superimposed coalbed methane system in Songhe mine, west Guizhou[J]. Coal Geology & Exploration, 2017, 45(5): 66-69.
- [13] 彭文丰, 漆智, 张乔良, 等. 井间连通综合分析方法在复杂断块油藏的应用[J]. 海洋石油, 2015, 35(3): 33-37.
- PENG Wenfeng, QI Zhi, ZHANG Qiaoliang, et al. Application of comprehensive method for analyzing interwell communication in complex faulted block reservoirs with distributary channels[J]. Offshore Oil, 2015, 35(3): 33-37.
- [14] 秦勇, 汤达祯, 刘大猛, 等. 煤储层开发动态地质评价理论与技术进展[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(1): 80-88.
- QIN Yong, TANG Dazhen, LIU Dameng, et al. Geological evaluation theory and technology progress of coal reservoir dynamics during coalbed methane drainage[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(1): 80-88.
- [15] 张军建, 韦重韬, 陈玉华, 等. 多煤层区煤层气开发优选评价体系分析[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(9): 13-17.
- ZHANG Junjian, WEI Chongtao, CHEN Yuhua, et al. Analysis on optimized evaluation system of coalbed methane development in multi seams area[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(9): 13-17.
- [16] 申建, 张春杰, 秦勇, 等. 鄂尔多斯盆地临兴地区煤系砂岩气与煤层气共采影响因素和参数门限[J]. 天然气地球科学, 2017, 28(3): 479-487.
- SHEN Jian, ZHANG Chunjie, QIN Yong, et al. Effect factors on co-mining of sandstone gas and coalbed methane in coal series and threshold of parameter in Linxing block, Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2017, 28(3): 479-487.
- [17] 张芬娜, 张皓, 綦耀光, 等. 共采技术现状与在煤系气共采中的适应性分析[J]. 煤炭学报, 2017, 42(S1): 203-208.
- ZHANG Fengna, ZHANG Hao, QI Yaoguang, et al. Adaptability analysis and co-exploration technology status summary in coal-bearing gas[J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(S1): 203-208.
- [18] 云美厚. 地震地层压力预测[J]. 石油地球物理勘探, 1996, 31(4): 575-586.
- YUN Meihou. Formation pressure prediction using seismic data[J]. Oil Geophysical Prospecting, 1996, 31(4): 575-586.
- [19] 魏茂安, 陈潮, 王延江, 等. 地层孔隙压力预测新方法[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(3): 395-400.
- WEI Maoan, CHEN Chao, WANG Yanjiang, et al. New approach for pore pressure prediction[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(3): 395-400.
- [20] 王震亮, 孙明亮, 耿鹏, 等. 淮南地区异常地层压力发育特征及形成机理[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(1): 32-34.
- WANG Zhenliang, SUN Mingliang, GENG peng, et al. The development features and formation mechanisms of abnormal high formation pressure in southern Junggar region[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(1): 32-43.
- [21] EATON B A. The equation for geopressure prediction from well logs[A]. HOUSTON F. Proceedings of the Fall meeting of the Society of Petroleum Engineers of AIME[C]. Society of Petroleum Engineers, 1975.
- [22] 吴惠梅, 李忠慧, 朱亮, 等. 有序样品聚类的最优分割法在地层特性评价中的应用[J]. 石油天然气学报, 2008, 30(2): 460-462.
- WU Huimei, LI Zhonghui, ZHU Liang, et al. The application of optimal segmentation method in the evaluation of formation characteristics of ordered samples[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008, 30(2): 460-462.