

# 勘探阶段页岩气资源与选区评价思路和方法 ——以五峰组—龙马溪组海相页岩气为例

边瑞康<sup>1,2,3</sup>

1 页岩油气富集机理与高效开发全国重点实验室; 2 中国石化页岩油气勘探开发重点实验室;  
3 中国石化石油勘探开发研究院

**摘要** 勘探阶段由于钻井及其他相关资料较少,页岩气的资源评价和选区评价工作具有一定的特殊性,应根据阶段特点选择相适应的评价思路 and 评价方法。基于五峰组—龙马溪组海相页岩气勘探工作实践,系统梳理了勘探阶段页岩气资源评价和选区评价的内容和思路,明确了该阶段相适应的资源评价和选区评价方法。将页岩气勘探阶段划分为区带评价、目标评价和气藏评价等3个次一级评价阶段。资源评价中区带评价阶段的主要方法为含气量类比法、资源丰度类比法、成因法和综合法;目标评价阶段的主要方法为含气量体积法、含气量类比法、资源丰度类比法和综合法;气藏评价阶段的主要方法为含气量体积法、含气量体积法+含气饱和度容积法和综合法。以四川盆地焦石坝地区五峰组—龙马溪组作为类比标准区,建立了总含气量和资源丰度2个关键参数的类比参数体系。勘探阶段页岩气选区评价方法可归纳为2种:综合参数叠合分析法(叠图法)和参数归一化定量评价法。针对区带评价阶段建立了“地质条件—工程条件”双因素区带评价参数体系;针对目标评价阶段建立了“地质条件—工程条件—经济条件”3因素目标评价参数体系。建立的区带评价和目标评价参数体系更能体现评价阶段特点,很好地满足了相应的评价需求。

**关键词** 资源评价;选区评价;勘探阶段;页岩气;五峰组—龙马溪组

**中图分类号**:TE122 **文献标识码**:A

**引用**:边瑞康. 勘探阶段页岩气资源与选区评价思路和方法:以五峰组—龙马溪组海相页岩气为例[J]. 海相油气地质, 2024, 29(3): 316-326.

BIAN Ruikang. Ideas and methods for shale gas resource and favorable area evaluation in the exploration stage: taking Wufeng Formation-Longmaxi Formation marine shale gas as an example[J]. Marine origin petroleum geology, 2024, 29(3): 316-326.

## 0 前言

中国页岩气勘探虽然起步相对较晚,但发展速度很快,在15年勘探实践中取得了丰硕成果。自2009年原国土资源部油气资源战略研究中心和中国地质大学(北京)部署钻探第一口页岩气调查井——渝页1井<sup>[1]</sup>以来,页岩气勘探成果逐步扩大。2010年,中国石油威201井在龙马溪组和筇竹寺组获得了测试产量超 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (直井压裂)的工业气流<sup>[2-3]</sup>。2011年,中国石油宁201-H1井在五峰组—龙马溪组获得了测试产量 $15.26 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的商业气流<sup>[3]</sup>。2012年,中国石化焦页1HF井在五峰组—龙马溪组获得了 $20.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的高产商业气流,发现涪陵页岩气田,并于2014年国内首次提交

页岩气探明地质储量 $1.068 \times 10^8 \text{ m}^3$ <sup>[4-7]</sup>。截至2023年底,中国已累计提交页岩气探明地质储量 $29.553 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。在勘探工作的大力保障下,页岩气开发工作迅速开展,2023年页岩气年产量达到 $250 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,成为中国天然气供应的重要组成部分。

资源评价是预测资源和落实潜力的基础评价工作,选区评价是明确有利评价区和发现气藏的基础评价工作,两者均在页岩气勘探工作中发挥着重要作用。勘探阶段一般钻井较少,各种资料丰富程度相对较低,因此该阶段的资源评价和选区评价工作具有其阶段特殊性。对应于常规油气勘探评价中的区域勘探、圈闭预探和油气藏评价等3个主要工作阶段<sup>[8]</sup>,页岩气勘探评价可划分为区带评价、目标评价和气藏评价等3个主要阶段。在中国20年

收稿日期:2023-12-26;改回日期:2024-03-28

本文受国家自然科学基金项目“浅层页岩气储层孔隙演化与差异富气机制——以四川盆地南部太阳—海坝气田五峰组—龙马溪组为例”(编号:42272143)和中国石化科技项目“川东南深层—超深层页岩气演化与差异富集机制”(编号:P23132)联合资助

**第一作者**:边瑞康,博士,高级工程师,主要从事页岩油气地质研究工作。通信地址:102206北京市昌平区百沙路197号;E-mail:bianruikang@foxmail.com

的页岩气研究评价与生产实践中,众多学者提出了多种页岩气资源评价和选区评价的思路和方法,但 these 方法往往没有区分勘探与开发阶段,更少有对勘探阶段的细分。因此,本次研究基于四川盆地五峰组—龙马溪组海相页岩气的勘探工作实践,根据勘探阶段的工作需求和资料丰富程度,系统梳理出勘探阶段资源评价和选区评价的内容和思路,明确与勘探阶段及细分阶段相适应的资源评价和选区评价方法,以期页岩气勘探评价工作提供一定参考。

## 1 页岩气资源评价

### 1.1 资源评价思路

页岩气资源评价的主要内容是开展基础地质条件研究,明确页岩气资源分布的潜在地区,通过评价单元划分、针对性选择资源评价方法、关键评价参数赋值分析,对评价区进行资源量计算,并对资源量数据进行可靠性分析和汇总评价<sup>[9-15]</sup>。资源评价工作贯穿于区带评价、目标评价和气藏评价整个勘探阶段,直至资源被探明且上报探明储量。虽然不同勘探阶段资料丰富程度不同,资源评价方法的选择有所不同,但一般需开展以下工作(图1):

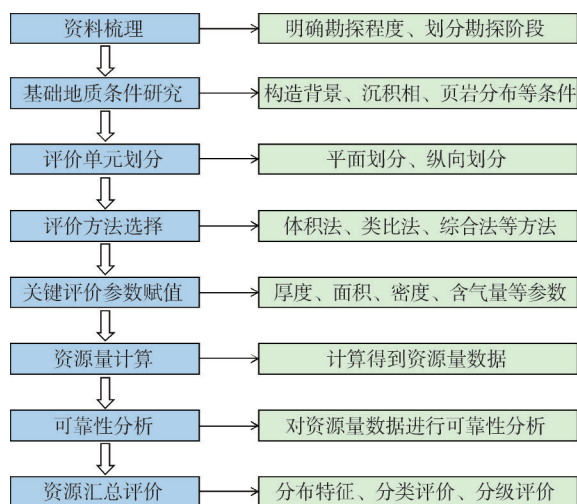


图1 页岩气资源评价思路与内容

Fig. 1 Ideas and contents of shale gas resource evaluation

(1)对评价区现有资料开展系统梳理,明确评价区勘探程度(低勘探程度、中勘探程度、高勘探程度),并划分勘探阶段(区带评价阶段、目标评价阶段和气藏评价阶段)。

(2)开展区域构造背景、沉积相带、页岩厚度与分布范围等页岩气基础地质条件研究。

(3)评价单元划分,包括平面划分和纵向划分。评价单元平面划分根据勘探阶段和评价对象的不同,可以是区带、区块、目标、气藏、储量提交区,其平面界限主要为构造边界、沉积相边界,以及页岩厚度、TOC等具体评价参数等值线等界线。评价单元平面划分要充分考虑平面上页岩含气性的差异和主控因素的不同。

评价单元纵向划分的主要依据:①含气层段是以富有机质页岩为主的含气层段,且具有一定的分布规模;②顶、底板为致密岩层,内部无明显水层;③总含气量大于 $0.5 \text{ m}^3/\text{t}$ ,或气测曲线上有明显的含气性异常;④在同一地层压力系统内;⑤如果钻井资料不完备,也可考虑露头资料,以富有机质页岩发育段作为纵向评价单元。

(4)根据勘探阶段和资料丰富程度选择合适的评价方法(体积法、类比法、成因法、综合法等方法)。

(5)确定关键评价参数(厚度、面积、密度、含气量、孔隙度、含气饱和度等参数),编制相关基础图件,并对关键参数的赋值进行分析。

(6)对评价区开展资源量计算。

(7)对计算得到的资源量数据进行可靠性分析。

(8)汇总资源量数据,并开展资源分布、分类和分级评价,为进一步的区带评价、目标评价和气藏评价提供资源依据。

### 1.2 资源评价方法

页岩气资源评价方法可归纳为基础评价方法和再评价方法两大类<sup>[11,16-23]</sup>(图2)。基础评价方法主要包括体积法、成因法和动态法,其关键评价参数可通过实验、测试等基础技术手段直接获得,如体积法中的含气量、含气饱和度,动态法中的地层压力、累积产量等参数;再评价方法主要包括类比法、统计法和综合法,其关键评价参数需通过类比、计算、统计等方法手段间接获得,如类比法中的含气量、资源丰度,统计法中细分评价单元的资源量,综合法中各方法计算得到的资源量等参数。

几类评价方法中,动态法是根据页岩气在实际开发过程中的动态生产资料,建立生产参数与产量相对应的计算公式,进而计算资源量/储量(如物质平衡法、递减曲线法、弹性二相法),因此使用动态法需具备足够的钻井和生产数据<sup>[21-24]</sup>。统计法可以

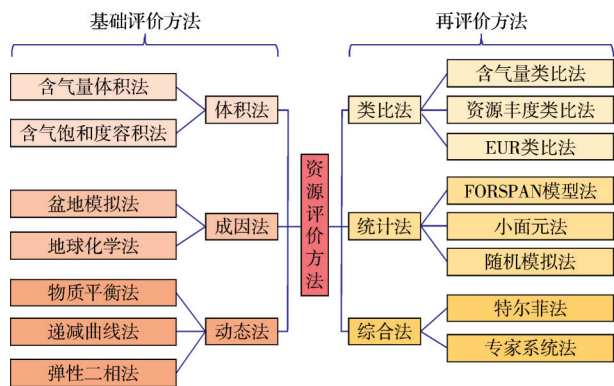


图2 页岩气资源评价方法体系  
Fig. 2 Shale gas resource evaluation method system

是在静态地质参数精细刻画的基础上,将评价区划分为若干个评价单元,利用体积法(容积法)对每个评价单元进行资源量/储量计算,然后统计汇总得到整个评价区的资源量/储量(如小面元法)<sup>[14-15]</sup>;也可以是对大量动态生产数据或资源量/储量数据进行统计分析,建立相关数学统计模型,进而预测页岩气资源量/储量(如FORSPAN模型法、随机模拟法)<sup>[16,21-23,25-26]</sup>。统计法的应用需要对评价区有精细的地质刻画,或有大量的动态生产数据,甚至是以资源量/储量数据作为基础<sup>[14-15,21-23,25-26]</sup>。因此,动态法和统计法多适用于页岩气开发阶段对储量的动态评价,或是已开发单元剩余资源潜力的预测<sup>[16,23]</sup>。

勘探阶段一般钻井较少,获取的静态地质资料和生产数据也较少。即便是在达到上报储量条件的高勘探程度阶段,其对评价井的试采时间要求(大于3个月)也相对宽松<sup>[24]</sup>,较难满足动态法和统计法的应用条件。因此,勘探阶段常用的评价方法主要为基础评价方法中的体积法和成因法,以及再评价方法中的类比法和综合法(图2)。

1.2.1 体积法

体积法也叫容积法,其基本原理是通过计算页岩体积(或质量)与单位体积(或质量)页岩所含天然气数量的乘积来获得资源量,因此单位体积(或质量)页岩所含天然气数量为关键评价参数<sup>[11,21-23,27]</sup>。表征单位体积(或质量)页岩所含天然气数量的参数主要有2种形式。一种是根据岩心解吸实验获取的天然气数量(含气量)来表征,总含气量由实验中不同操作流程获得的解吸气量、残余气量和损失气量组成<sup>[28]</sup>,为单位质量页岩所含天然气数量。另一种是根据页岩中不同赋存状态的天然气数量来综合表征,由吸附气量和游离气量组成(一般溶解气量极少,往往忽略不计)。其中,吸附气量由等温吸附实验获得<sup>[11,24,29]</sup>,为单位质量页岩所含天然气数量;游离气量由含气饱和度结合体积系数和孔隙度来获得<sup>[11,24]</sup>,为单位体积页岩所含天然气数量。目前的资源评价工作中,习惯将以单位质量所含天然气数量(总含气量、吸附气量)为计算参数的方法统称为体积法,而将以单位体积所含天然气数量(含气饱和度)为计算参数的方法统称为容积法。本文为了进一步合理细分体积法,将以单位质量所含天然气数量为计算参数的方法称作含气量体积法,将以单位体积所含天然气数量为计算参数的方法称作含气饱和度容积法(图2)。

体积法是勘探阶段最常用的资源评价方法之一,也是类比法所依据的主要基础评价方法。由于体积法的使用需要有岩心测试分析提供的含气性量化数据,需要有探井资料的支撑,因此体积法一般适用于中高勘探程度的目标评价阶段和气藏评价阶段(表1)。在目标评价阶段主要使用含气量体积法计算资源量,而在气藏评价阶段可以使用含气

表1 勘探阶段页岩气资源评价方法及适用条件  
Table 1 Evaluation methods and applicable conditions for shale gas resource during exploration stage

勘探阶段	评价对象	勘探程度	资料丰富程度			评价方法
			探井资料	分析测试资料	关键参数资料	
区带评价	区带、区块	低	无针对目的层的专探井,有兼探井或过路井,能通过露头特征推测页岩基本发育情况	岩心分析测试资料较少,主要以露头样品分析测试资料推测	关键参数缺乏,需通过地质条件类比获得	含气量类比法、资源丰度类比法、成因法、综合法
目标评价	区块、目标	中	有针对目的层的一定数量的专探井,但尚不能揭示目的层的整体分布特征,有部分测井资料	有一定数量的分析测试资料,但资料较少或分布不均,尚不能系统标定测井资料	有部分关键参数,但尚不系统,不能刻画其空间分布特征	含气量体积法、含气量类比法、资源丰度类比法、综合法
气藏评价	气藏、储量提交区	高	专探井数量相对较多,能基本揭示目的层的整体分布特征,测井资料基本齐全	分析测试资料较丰富,能基本建立页岩气富集各要素空间展布格架,能较系统地标定测井资料	关键参数资料较丰富,能较好地控制其空间展布特征	含气量体积法、含气量体积法+含气饱和度容积法、综合法



量体积法计算资源量,也可以使用含气量体积法和含气饱和度容积法分别计算吸附气量和游离气量来综合计算页岩气储量<sup>[11,24]</sup>。

### 1.2.2 成因法

成因法主要是从泥页岩生、排、滞留烃演化过程出发,通过计算评价区泥页岩生/排油、气量和原油裂解气量,得到泥页岩中残余天然气量<sup>[21-23]</sup>。成因法主要包括盆地模拟法和地球化学法<sup>[30]</sup>(图2)。成因法的准确性和可靠性主要依赖于对生烃、运移和聚集等主要石油地质问题的全面理解以及对地球化学参数的正确选取<sup>[31]</sup>。成因法在常规油气资源评价中被广泛应用,但目前在页岩气资源评价中较少采用,其主要原因是难以准确预测泥页岩在地质历史时期的生、排、滞留烃演化过程,进而准确计算泥页岩层系中的残留烃量<sup>[23]</sup>;同时在具体实施过程中,涉及大量参数且大部分参数获取较困难<sup>[21]</sup>,在推广应用上存在一定的劣势。因此,成因法主要作为一种后备方法,可在勘探程度较低的区带评价阶段,页岩气相关资料较少而与目的层相关的常规油气资料较丰富的情况下用于资源评价。

### 1.2.3 类比法

类比法也是勘探阶段最常用的资源评价方法之一。类比的关键参数主要有含气量、资源丰度和EUR等参数,其各自对应的方法分别为含气量类比

法、资源丰度类比法和EUR类比法<sup>[23]</sup>(图2),其中勘探阶段以前两种方法应用最为广泛,主要适用于中低勘探程度的区带评价和目标评价阶段(表1)。类比法应用的关键是选择合适的类比标准区(刻度区),以及建立合理的类比参数体系来确定关键参数的类比系数<sup>[21]</sup>。

前期文献对于类比法的基本原理介绍较多,但对于类比参数体系的介绍较少。本文以焦石坝地区五峰组—龙马溪组作为类比标准区为例,建立了基于生烃、储集和保存条件为核心的总含气量和资源丰度2个关键参数的类比参数体系(表2)。对于资源丰度,选择五峰组—龙马溪组一段 $TOC \geq 1.0\%$ 的整个含气页岩层段的平均资源丰度作为类比标准。对于总含气量,选择五峰组—龙马溪组一段1亚段 $TOC \geq 2.0\%$ 的优质页岩段平均总含气量作为类比标准,相对于五峰组—龙马溪组一段整个含气层段,1亚段总含气量整体较高且纵向差异性较小。基于评价区一般为中低勘探程度地区、认识程度和资料数量均有限的实际情况,综合考虑了关键控制因素和类比参数数据获取的难易程度。根据评价区实际情况,将各项参数依据表2进行赋值,并获得计算权重,采用“归一化加权求和”方法得到相应的类比系数:

$$A = \sum_{i=1}^n k_i \times a_i \quad (1)$$

式(1)中: $A$ 为类比系数; $k_i$ 为第 $i$ 个参数的计算权

表2 五峰组—龙马溪组海相页岩气总含气量和资源丰度类比参数体系

Table 2 Analogical parameter system of total gas content and resource abundance of Wufeng Formation—Longmaxi Formation marine shale gas

参数类型	参数名称	参数权重		参数赋值		
		含气量 类比法	资源丰度 类比法	[0.75, 1.0]	[0.5, 0.75)	[0, 0.5)
生烃 条件	$TOC \geq 1.0\%$ 页岩厚度/m	—	0.2	$\geq 60$	[30, 60)	$< 30$
	有机碳含量/%	0.2	—	$\geq 4$	[2, 4)	$< 2$
		—	0.1	$\geq 3$	[1, 3)	$< 1$
	成熟度 $R_o$ /%	0.1	0.1	[2.0, 3.0]	[1.3, 2.0)或(3.0, 3.5]	$< 1.3$ 或 $> 3.5$
	有机质类型	0.05	0.05	I型	II <sub>1</sub> 型	II <sub>2</sub> 型
储集 条件	孔隙度/%	0.2	—	$\geq 4$	[2, 4)	$< 2$
		—	0.15	$\geq 3$	[1, 3)	$< 1$
	微裂缝发育程度	0.1	0.1	发育	较发育	不发育
保存 条件	埋藏深度/m	0.2	0.15	$\geq 2\ 000$	[500, 2 000)	$< 500$
	构造复杂程度	0.1	0.1	断裂不发育、褶皱宽缓	断裂较少、褶皱较宽缓	断裂发育、褶皱紧闭
	顶底板条件	0.05	0.05	顶底板均为非渗透性岩层	顶板或底板为非渗透性岩层	顶底板均为渗透性岩层

重; $a_i$ 为第*i*个参数的赋值。焦石坝地区已处于开发阶段中后期,含气性和资源情况落实,其优质页岩层段平均总含气量为 $6.1 \text{ m}^3/\text{t}$ ,含气层段平均资源丰度为 $9.9 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ <sup>[5]</sup>。评价区类比系数与焦石坝地区实际数据的乘积即为评价区的类比参数取值。

## 1.2.4 综合法

综合法是在使用多种方法进行资源量计算的基础上,由专家组成员按照各自对评价区页岩气资源的整体认识,对不同方法评价的资源结果赋予权重系数,从而综合求出相对可靠的资源量<sup>[21]</sup>。综合法主要包括特尔菲法和专家系统法等方法<sup>[21-23]</sup>。由于勘探阶段资料的丰富程度较低,不同参数赋值的可靠程度差异较大,因此往往出现不同方法计算的资源量差别较大的情况,此时可通过综合法来平衡不同方法间较大的计算结果差异,得到相对可靠的资源评价结果。

# 2 页岩气选区评价

## 2.1 选区评价思路

页岩气选区评价是根据已有地质资料,按照勘探阶段和目的要求,通过构造、沉积、地球化学、储层特征、含气量等研究,依据一定的参数指标在有效的空间范围内筛选、比对而确定相对有利区域<sup>[11]</sup>。而作为“人工气藏”,页岩气井要获得高产,一般需通过水平井分段压裂等工程改造,因此反映改造难易程度的工程条件参数往往从广义的地质条件中单独列出,成为选区评价的一类重要评价参数<sup>[12,17,32-39]</sup>。当选区评价进入到探井论证实施阶段时,还应加入经济条件方面的参数,以评价目标是否具有实现经济效益的良好基础(图3)<sup>[13,40-41]</sup>。

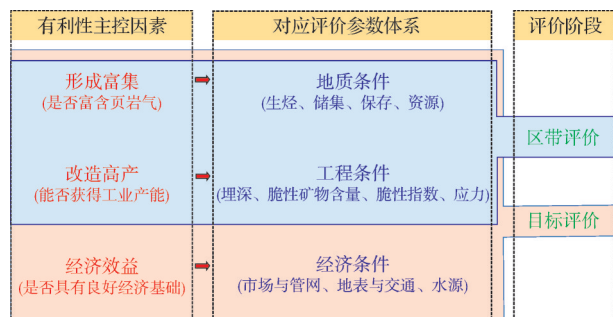


图3 页岩气不同评价阶段有利性主控因素及其评价参数体系

Fig. 3 The main controlling factors and evaluation parameter system of favorable shale gas in different assessment stages

因此,页岩气选区评价的主要内容是通过地质条件、工程条件和经济条件的系统分析,明确页岩气形成富集、改造高产和经济效益的主控因素,针对性选择评价方法和关键参数,逐级评价优选有利区带和有利目标(图4),为勘探突破和气藏发现提供资源阵地。

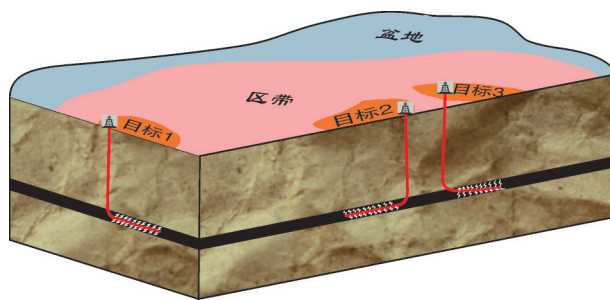


图4 页岩气区带和目标分布特征示意图

Fig. 4 Schematic diagram illustrating distribution characteristics of shale gas plays and targets

页岩气选区评价工作主要包括以下内容(图5):

(1)对评价区现有资料开展系统梳理,明确评价区勘探程度并划分勘探阶段。选区评价一般仅涉及区带评价阶段和目标评价阶段。

(2)开展区带评价。对待评价区基础条件进行系统研究,明确页岩气形成、富集和高产主控因素,从地质条件(生烃条件、储集条件、保存条件和资源条件)和工程条件(埋深条件和可压裂性条件)2方面优选评价参数,开展参数赋值标准分析,选择合适的评价方法对区带进行分类评价,优选有利区带。

(3)开展目标评价。在区带评价的基础上,对有利区带内待评价目标的基础条件进行系统研究,明确页岩气形成、富集、高产和经济性的主控因素,从地质条件(生烃条件、储集条件、保存条件和资源条件)、工程条件(埋深条件和可压裂性条件)和经

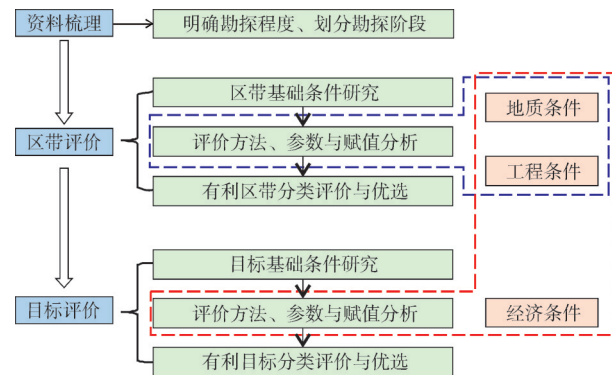


图5 页岩气选区评价的内容与思路

Fig. 5 Contents and ideas of shale gas favorable area evaluation

济条件(市场与管网条件、地形与交通条件和水源条件)3方面优选评价参数,开展参数赋值标准分析,选择合适的评价方法对目标进行分类评价,优选有利目标。

## 2.2 选区评价方法

北美地区页岩气选区评价方法主要有3种:以BP公司、新田公司为代表的综合风险分析法(CCRS方法),以埃克森美孚为代表的边界网络节点法(BNN—Boundary Network Node),以雪佛龙公司、HESS公司、哈丁歇尔顿等能源公司为代表的地质参数图件综合分析法<sup>[4,42]</sup>。这些选区评价方法及参数因每个公司的侧重点不同而有所差异,基本思路是从生气能力、储气能力和易开采性等3方面进行筛选分类<sup>[4,42]</sup>。国内原国土资源部油气资源战略研究中心<sup>[43]</sup>及张金川等<sup>[11]</sup>建立了单一区域内逐级优选的选区评价方法,将页岩气分布区划分为远景区、有利区和目标区(核心区)等3个级别,逐级建立了相对应的评价参数体系,通过多参数叠合方式达到了中低勘探程度下的选区评价目的。杨振恒等<sup>[44]</sup>提出了以盆地类型控制选区,以有机相优选区带,以残余有机碳含量、有机质成熟度、泥页岩厚度和泥页岩埋深等参数约束勘探目标,以泥页岩脆性、泥页岩层温度和压力系统、地层沉降史、原地含气量等参数约束“甜点”位置的页岩气勘探选区模型。刘超英<sup>[42]</sup>在分析页岩气勘探选区评价关键问题的基础上,突出页岩气的富集性(生烃条件、赋存条件和油气发现程度)和可采性(可采条件、资源规模和层资源丰度),建立了页岩气“富集概率—资源价值”选区评价模型及数值化计算公式。谷宁等<sup>[45]</sup>通过分析控制非常规油气资源成藏和开采的关键因素,建立了以地质条件和资源情况为评价对象的双因素半定量选区评价模型。国家标准“海相页岩气勘探目标优选方法”<sup>[40]</sup>从地质条件、地表条件和经济条件3方面优选目标评价关键参数,系统形成评价参数体系,建立了“归一化加权求和”的目标定量评价和优选方法。张虎等<sup>[35]</sup>总结了我国页岩气选区评价的3种主要方法:综合信息叠合法、权重系数法和地震属性预测法,认为前两种方法主要用于远景区、有利区、核心区的优选,地震属性预测法主要针对工程甜点区的优选。

综合上述评价方法,结合页岩气勘探实践,认

为勘探阶段页岩气选区评价方法可主要归纳为2种:综合参数叠合分析法(叠图法)和参数归一化定量评价法。综合参数叠合分析法(叠图法)通过对评价参数进行分类,对评价区进行综合约束与叠合,最终优选出不同类别的有利区带和有利目标。利用平面图件信息进行叠合优选是其评价结果直观的展现形式。参数归一化定量评价法同样对评价参数进行分类,同时给定归一化赋值区间,所有参数均可转化为 $[0,1]$ 之间的数值,再根据不同参数对评价结果的影响程度给定权重,通过一定的公式计算得到定量化评价结果。推荐使用“归一化加权求和”方法<sup>[40]</sup>:

$$P = \sum_{i=1}^n k_i \times p_i \quad (2)$$

式(2)中: $P$ 为定量化评价结果; $k_i$ 为第 $i$ 个参数的计算权重; $p_i$ 为第 $i$ 个参数的赋值。单一评价区可通过计算结果数值划分评价类别,多个评价区还可以根据计算结果数值大小进行对比优选,选区评价的结果可划分为Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类等3个类别。该方法相对简单且易于操作,在实际工作中应用广泛,且效果良好。综合参数叠合分析法中当所有参数满足高类别标准时评价为高类别,否则评价为低一级类别。参数归一化定量评价法中按照Ⅰ类 $\geq 0.75$ 、Ⅱ类介于 $[0.5, 0.75)$ 、Ⅲ类 $< 0.5$ 来划分评价结果类别。两种选区评价方法对于区带评价和目标评价均适用,其主要区别在于评价参数体系中参数类型和数量的不同。评价参数的类型和数量既要满足不同勘探阶段的评价要求,达到阶段评价目的,又要兼顾不同勘探程度和资料丰富程度下参数数据的可获得性。

基于四川盆地及周缘五峰组—龙马溪组海相页岩气特点,结合勘探实践中各评价参数与形成富集、改造高产和经济效益的对应关系,分别建立了区带评价参数体系(表3)和目标评价参数体系(表4)。

区带评价参数体系所采用的参数包括两大类,即地质条件参数和工程条件参数。地质条件参数控制了页岩气的形成与富集,包括生烃条件、储集条件、保存条件和资源条件等4个方面的参数,具体参数包括 $TOC \geq 1.0\%$ 含气页岩连续厚度、成熟度、孔隙度、含气量、构造复杂程度、顶底板条件、资源丰度。工程条件参数控制了页岩的可压裂改造程度,即页岩气的高产,具体参数包括埋深和脆性矿物含量。具体参数赋值标准见表3。



表3 五峰组—龙马溪组海相页岩气区带评价参数体系  
Table 3 Play evaluation parameter system of the Wufeng Formation—Longmaxi Formation marine shale gas

评价参数(相对于上一级的权重)		参数赋值			
		[0.75,1.0]	[0.5,0.75)	[0,0.5)	
地质 条件 (0.6)	生烃条件 (0.3)	TOC>1.0% 含气页岩 连续厚度/m(0.6)	≥40	[20,40)	< 20
		成熟度 $R_o$ /%(0.4)	[1.3,3.0]	[1.1,1.3)或(3.0,3.5]	< 1.1 或 > 3.5
	储集条件 (0.3)	孔隙度/%(0.6)	≥4	[2,4)	< 2
		含气量/ ( $m^3 \cdot t^{-1}$ )(0.4)	≥4	[2,4)	< 2
	保存条件 (0.3)	构造复杂程度(0.6)	断层断距小,未断穿目的层,褶皱形态宽缓	断层断距较小,断穿目的层,但未断穿上下地层,褶皱形态较宽缓	断层断距大,断穿目的层及上下地层,褶皱形态紧闭
		顶底板条件(0.4)	顶底板为非渗透性岩层,厚度≥20 m	顶底板为非渗透性岩层,厚度介于10~20 m	顶底板非渗透性岩层,厚度 < 10 m
	资源条件 (0.1)	资源丰度/ ( $10^8 m^3 \cdot km^{-2}$ )(1)	≥5	[2,5)	< 2
工程 条件 (0.4)	埋深条件(0.6)	埋深/m(1)	[1 500,3 500]	[1 000,1 500)或(3 500,4 500]	< 1 000 或 > 4 500
	可压裂性条件 (0.4)	脆性矿物含量/%(1)	≥50	[35,50)	< 35

表4 五峰组—龙马溪组海相页岩气目标评价参数体系  
Table 4 Target evaluation parameter system of the Wufeng Formation—Longmaxi Formation marine shale gas

评价参数(相对于上一级的权重)		参数赋值			
		[0.75,1.0]	[0.5,0.75)	[0,0.5)	
地质 条件 (0.6)	生烃条件 (0.3)	TOC≥2.0% 含气页岩 连续厚度/m(0.4)	≥30	[10,30)	< 10
		TOC≥3.0% 含气页岩 连续厚度/m(0.4)	≥15	[5,15)	< 5
		成熟度 $R_o$ /%(0.2)	[1.3,3.0]	[1.1,1.3)或(3.0,3.5]	< 1.1 或 > 3.5
	储集条件 (0.3)	孔隙度/%(0.6)	≥4	[2,4)	< 2
		含气量/( $m^3 \cdot t^{-1}$ )(0.4)	≥4	[2,4)	< 2
	保存条件(0.3)	压力系数(1)	≥1.2	[1,1.2)	< 1
	资源条件 (0.1)	目标面积/ $km^2$ (0.4)	≥100	[50,100)	< 50
		资源丰度/( $10^8 m^3 \cdot km^{-2}$ )(0.6)	≥5	[2,5)	< 2
工程 条件 (0.3)	埋深条件(0.5)	埋深/m(1)	[1 500,3 500]	[1 000,1 500)或(3 500,4 500]	< 1 000 或 > 4 500
	可压裂性条件 (0.3)	脆性矿物含量/%(0.5)	≥50	[35,50)	< 35
		脆性指数/%(0.5)	≥50	[35,50)	< 35
	地应力条件(0.2)	水平应力差异系数(1)	≤0.2	(0.2,0.3]	> 0.3
经济 条件 (0.1)	市场与管网条件 (0.3)	市场条件(0.5)	市场需求大	市场需求一般	市场需求小
		管网条件(0.5)	管网设施齐全	管网设施较齐全	管网设施不齐全
	地形与交通条件 (0.4)	地形条件(0.5)	地形高差小,以平原和丘陵 为主,占评价区面积的 75%以上,有利于钻井和 压裂等工程作业的开展	地形高差较小,平原和丘陵 面积占评价区面积的50% 以上,较有利于钻井和压裂 等工程作业的开展	地形高差大,以山地、高原 为主,不利于钻井和 压裂等工程作业的开展
		交通条件(0.5)	各级道路均有,交通便利, 不需要新建道路	临近各级道路,交通较便利, 需要短距离新建道路	远离各级道路,交通不便, 需长距离新建道路
	水源条件(0.3)	水源条件(1)	具有充足的水源,满足钻井 和压裂等工程作业的需求	具有一定的水源,可满足钻井 作业的需求,不满足压裂作业 的需求,需部分外调	水源缺乏,不满足钻井 和压裂作业的需求,需 外调水源

由于目标评价的结果直接支撑探井上钻部署,因此在评价参数中加入了经济条件的内容,从而形成“地质条件-工程条件-经济条件”的评价参数体系。目标评价中地质条件和工程条件虽然与区带评价在大类上具有一致性,但具体参数更为多样和精细。地质条件中,生烃条件将  $TOC \geq 1.0\%$  含气页岩连续厚度替换为  $TOC \geq 2.0\%$  含气页岩连续厚度和  $TOC \geq 3.0\%$  含气页岩连续厚度,保存条件将构造复杂程度和顶底板条件替换为压力系数,资源条件中增加目标面积。工程条件中,增加地应力条件(水平应力差异系数),可压裂性条件增加脆性指数。经济条件主要有市场与管网条件、地形与交通条件和水源条件。具体参数赋值标准见表4。

区带评价和目标评价参数体系的建立,在四川盆地及周缘五峰组—龙马溪组海相页岩气勘探评价工作中发挥了重要作用。区带评价方面,评价优选出川东南盆缘复杂构造带中浅层高压有利区带、川东南盆内深层—超深层高压有利区带及川东南周缘残留向斜常压有利区带等。目标评价方面,支撑中国石化后备目标整体评价与优选,以及年度风险探井、重点预探井的上钻部署,有力支撑了近期阳春沟、新场、林滩场等目标的勘探突破。

### 3 结 论

页岩气勘探评价工作可划分为区带评价、目标评价和气藏评价等3个阶段。页岩气资源评价工作贯穿于勘探评价的整个阶段,页岩气选区评价工作主要集中在区带评价和目标评价2个阶段。

勘探阶段页岩气资源评价的主要内容是开展基础地质条件研究,明确页岩气资源分布的潜在地区,通过评价单元划分、针对性选择资源评价方法、关键评价参数赋值分析,对评价区进行资源量计算,并对资源量数据进行可靠性分析和汇总评价。建立了页岩气资源评价方法体系,明确了体积法、成因法、类比法和综合法为勘探阶段的主要方法类型,明确了区带评价、目标评价和气藏评价各阶段适用的具体评价方法。以四川盆地焦石坝地区五峰组—龙马溪组作为类比标准区为例,建立了基于生烃、储集和保存条件为核心的总含气量和资源丰度2个关键参数的类比参数体系和定量类比方法。

勘探阶段页岩气选区评价的主要内容是通过地质条件、工程条件和经济条件的系统分析,明确

页岩气形成富集、改造高产和经济效益的主控因素,针对性选择评价方法和关键参数,逐级评价优选有利区带和有利目标,为勘探突破和气藏发现提供资源阵地。将勘探阶段页岩气选区评价方法归纳为2种主要方法:综合参数叠合分析法和参数归一化定量评价法。根据四川盆地及周缘五峰组—龙马溪组海相页岩气的特点,分别建立了“地质条件-工程条件”双因素区带评价参数体系和“地质条件-工程条件-经济条件”3因素目标评价参数体系,满足了不同勘探阶段的评价需求,支撑了四川盆地及周缘五峰组—龙马溪组海相页岩气有利勘探区带和目标的评价与优选。

### 参 考 文 献

- [1] 张金川,李玉喜,聂海宽,等. 渝页1井地质背景及钻探效果[J]. 天然气工业, 2010, 30(12): 114-118.  
ZHANG Jinchuan, LI Yuxi, NIE Haikuan, et al. Geologic setting and drilling effect of the shale cored Well Yuye-1, Pengshui county of Chongqing[J]. Natural gas industry, 2010, 30(12): 114-118.
- [2] 董大忠,邹才能,杨桦,等. 中国页岩气勘探开发进展与发展前景[J]. 石油学报, 2012, 33(增刊1): 107-114.  
DONG Dazhong, ZOU Caineng, YANG Hua, et al. Progress and prospects of shale gas exploration and development in China[J]. Acta petrolei sinica, 2012, 33(S1): 107-114.
- [3] 马新华,张晓伟,熊伟,等. 中国页岩气发展前景及挑战[J]. 石油科学通报, 2023, 8(4): 491-501.  
MA Xinhua, ZHANG Xiaowei, XIONG Wei, et al. Prospects and challenges of shale gas development in China[J]. Petroleum science bulletin, 2023, 8(4): 491-501.
- [4] 郭旭升. 南海海相页岩气“二元富集”规律: 四川盆地及周缘龙马溪组页岩气勘探实践认识[J]. 地质学报, 2014, 88(7): 1209-1218.  
GUO Xusheng. Rules of two-factor enrichment for marine shale gas in Southern China: understanding from the Longmaxi Formation shale gas in Sichuan Basin and its surrounding area[J]. Acta geologica sinica, 2014, 88(7): 1209-1218.
- [5] 郭旭升,胡东风,魏志红,等. 涪陵页岩气田的发现与勘探认识[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(3): 24-37.  
GUO Xusheng, HU Dongfeng, WEI Zhihong, et al. Discovery and exploration of Fuling shale gas field[J]. China petroleum exploration, 2016, 21(3): 24-37.
- [6] 蔡勋育,赵培荣,高波,等. 中国石化页岩气“十三五”发展成果与展望[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(1): 16-27.  
CAI Xunyu, ZHAO Peirong, GAO Bo, et al. Sinopec's shale gas development achievements during the "Thirteenth Five-Year Plan" period and outlook for the future[J]. Oil & gas geology, 2021, 42(1): 16-27.
- [7] 郭旭升,胡德高,舒志国,等. 重庆涪陵国家级页岩气示范区勘探开发建设进展与展望[J]. 天然气工业, 2022, 42(8):



- 14–23.  
GUO Xusheng, HU Degao, SHU Zhiguo, et al. Exploration, development and construction in the Fuling national shale gas demonstration area in Chongqing: progress and prospect [J]. Natural gas industry, 2022, 42(8): 14–23.
- [8] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 石油天然气勘探规范: GB/T 39537—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.  
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Regulation for petroleum exploration: GB/T 39537—2020 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.
- [9] 张金川, 徐波, 聂海宽, 等. 中国页岩气资源勘探潜力[J]. 天然气工业, 2008, 28(6): 136–140.  
ZHANG Jinchuan, XU Bo, NIE Haikuan, et al. Exploration potential of shale gas resources in China [J]. Natural gas industry, 2008, 28(6): 136–140.
- [10] 朱华, 姜文利, 边瑞康, 等. 页岩气资源评价方法体系及其应用: 以川西坳陷为例[J]. 天然气工业, 2009, 29(12): 130–134.  
ZHU Hua, JIANG Wenli, BIAN Ruikang, et al. Shale gas assessment methodology and its application: a case study of the western Sichuan Depression [J]. Natural gas industry, 2009, 29(12): 130–134.
- [11] 张金川, 林腊梅, 李玉喜, 等. 页岩气资源评价方法与技术: 概率体积法[J]. 地学前缘, 2012, 19(2): 184–191.  
ZHANG Jinchuan, LIN Lamei, LI Yuxi, et al. The method of shale gas assessment: probability volume method [J]. Earth science frontiers, 2012, 19(2): 184–191.
- [12] 陈新军, 包书景, 侯读杰, 等. 页岩气资源评价方法与关键参数探讨[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(5): 566–571.  
CHEN Xinjun, BAO Shujing, HOU Dujie, et al. Methods and key parameters of shale gas resources evaluation [J]. Petroleum exploration and development, 2012, 39(5): 566–571.
- [13] 董大忠, 王玉满, 黄旭楠, 等. 中国页岩气地质特征、资源评价方法及关键参数[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(9): 1583–1601.  
DONG Dazhong, WANG Yuman, HUANG Xunan, et al. Discussion about geological characteristics, resource evaluation methods and its key parameters of shale gas in China [J]. Natural gas geoscience, 2016, 27(9): 1583–1601.
- [14] 李建忠, 吴晓智, 郑民, 等. 常规与非常规油气资源评价的总体思路、方法体系与关键技术[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(9): 1557–1565.  
LI Jianzhong, WU Xiaozhi, ZHENG Min, et al. General philosophy, method system and key technology of conventional and unconventional oil & gas resource assessment [J]. Natural gas geoscience, 2016, 27(9): 1557–1565.
- [15] 吴晓智, 王社教, 郑民, 等. 常规与非常规油气资源评价技术规范体系建立及意义[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(9): 1640–1650.  
WU Xiaozhi, WANG Shejiao, ZHENG Min, et al. Standard system establishment for conventional and unconventional hydrocarbon resources assessment techniques and its significance [J]. Natural gas geoscience, 2016, 27(9): 1640–1650.
- [16] 董大忠, 程克明, 王世谦, 等. 页岩气资源评价方法及其在四川盆地的应用[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 33–39.  
DONG Dazhong, CHENG Keming, WANG Shiqian, et al. An evaluation method of shale gas resource and its application in the Sichuan Basin [J]. Natural gas industry, 2009, 29(5): 33–39.
- [17] 李延钧, 刘欢, 刘家霞, 等. 页岩气地质选区及资源潜力评价方法[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2011, 33(2): 28–34.  
LI Yanjun, LIU Huan, LIU Jiaxia, et al. Geological regional selection and an evaluation method of resource potential of shale gas [J]. Journal of Southwest Petroleum University (science & technology edition), 2011, 33(2): 28–34.
- [18] 王世谦, 王书彦, 满玲, 等. 页岩气选区评价方法与关键参数[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2013, 40(6): 609–620.  
WANG Shiqian, WANG Shuyan, MAN Ling, et al. Appraisal method and key parameters for screening shale gas play [J]. Journal of Chengdu University of Technology (science & technology edition), 2013, 40(6): 609–620.
- [19] 邱小松, 胡明毅, 胡忠贵, 等. 页岩气资源评价方法及评价参数赋值: 以中扬子地区五峰组—龙马溪组为例[J]. 中国地质, 2014, 41(6): 2091–2098.  
QIU Xiaosong, HU Mingyi, HU Zhonggui, et al. Evaluation methods and parameter assignments of shale gas resources: a case study of the Wufeng–Longmaxi Formation in the middle Yangtze region [J]. Geology in China, 2014, 41(6): 2091–2098.
- [20] 郭秋麟, 谢红兵, 黄旭楠, 等. 油气资源评价方法体系与应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2016.  
Guo Qiulin, Xie Hongbing, Huang Xunan, et al. Oil and gas resources evaluation method system and application [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2016.
- [21] 姜生玲, 张金川, 李博, 等. 中国现阶段页岩气资源评价方法分析[J]. 断块油气田, 2017, 24(5): 642–646.  
JIANG Shengling, ZHANG Jinchuan, LI Bo, et al. Analysis of shale gas resources assessment method in China [J]. Fault-block oil and gas field, 2017, 24(5): 642–646.
- [22] 柳广第, 刘成林, 郭秋麟. 油气资源评价[M]. 北京: 石油工业出版社, 2018.  
LIU Guangdi, LIU Chenglin, GUO Qiulin. Petroleum resource assessment [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2018.
- [23] 宋振响, 徐旭辉, 王保华, 等. 页岩气资源评价方法研究进展与发展方向[J]. 石油与天然气地质, 2020, 41(5): 1038–1047.  
SONG Zhenxiang, XU Xuhui, WANG Baohua, et al. Advances in shale gas resource assessment methods and their future evolution [J]. Oil & gas geology, 2020, 41(5): 1038–1047.
- [24] 中华人民共和国自然资源部. 页岩气资源量和储量估算规范: DZ/T 0254—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.  
Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. Regulation of shale gas resources and reserves estimation: DZ/T 0254—2020 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.

- na, 2020.
- [25] KLETT T R, CHARPENTIER R R. FORSPAN model users guide: OFR-03-354 [R]. Denver: U. S. Geological Survey, 2003.
- [26] 周庆凡. 页岩油气资源评价基本问题的讨论[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(1): 26-33.  
ZHOU Qingfan. Discussion on key issues of shale oil/gas resource assessment[J]. Oil & gas geology, 2022, 43(1): 26-33.
- [27] 马玉娟. 非均质油藏容积法储量计算方法研究[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(15): 3540-3542.  
MA Yujuan. Study on OOIP calculation of heterogeneous reservoirs using volumetric method[J]. Science technology and engineering, 2011, 11(15): 3540-3542.
- [28] 国家能源局. 页岩含气量测定方法: SY/T 6940—2020[S]. 北京: 石油工业出版社, 2020.  
Natural Energy Administration of the People's Republic of China. Measurement method of shale gas content: SY/T 6940—2020[S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2020.
- [29] 边瑞康, 张金川. 页岩气成藏动力特点及其平衡方程[J]. 地质前缘, 2013, 20(3): 254-259.  
BIAN Ruikang, ZHANG Jinchuan. Accumulation dynamic characteristics and the dynamic equations of shale gas[J]. Earth science frontiers, 2013, 20(3): 254-259.
- [30] 林腊梅. 页岩气资源评价方法研究及应用[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013.  
LIN Lamei. Shale gas resources assessment methodology and application [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2013.
- [31] 金之钧, 张金川. 油气资源评价方法的基本原则[J]. 石油学报, 2002, 23(1): 19-23.  
JIN Zhijun, ZHANG Jinchuan. Fundamental principles for petroleum resources assessments [J]. Acta petrolei sinica, 2002, 23(1): 19-23.
- [32] 郭秀英, 陈义才, 张鉴, 等. 页岩气选区评价指标筛选及其权重确定方法: 以四川盆地海相页岩为例[J]. 天然气工业, 2015, 35(10): 57-64.  
GUO Xiying, CHEN Yicai, ZHANG Jian, et al. Assessment index selection and weight determination of shale gas plays: a case study of marine shale in the Sichuan Basin [J]. Natural gas industry, 2015, 35(10): 57-64.
- [33] 张鉴, 王兰生, 杨跃明, 等. 四川盆地海相页岩气选区评价方法建立及应用[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(3): 433-441.  
ZHANG Jian, WANG Lansheng, YANG Yueming, et al. The development and application of the evaluation method of marine shale gas in Sichuan Basin [J]. Natural gas geoscience, 2016, 27(3): 433-441.
- [34] 马永生, 蔡勋育, 赵培荣. 中国页岩气勘探开发理论认识与实践[J]. 石油勘探与开发, 2018, 45(4): 561-574.  
MA Yongsheng, CAI Xunyu, ZHAO Peirong. China's shale gas exploration and development: understanding and practice [J]. Petroleum exploration and development, 2018, 45(4): 561-574.
- [35] 张虎, 甘辉. 中国页岩气选区评价研究进展概论及思考[J]. 复杂油气藏, 2019, 12(2): 32-35.  
ZHANG Hu, GAN Hui. Progress of shale gas constituency evaluation research in China [J]. Complex hydrocarbon reservoirs, 2019, 12(2): 32-35.
- [36] 陆亚秋, 王进, 曹梦茜. 基于改进的层次分析法的页岩气开发选区评价方法[J]. 油气藏评价与开发, 2021, 11(2): 204-211.  
LU Yaqiu, WANG Jin, CAO Mengqian. Evaluation method of shale gas development area selection based on improved analytic hierarchy process [J]. Reservoir evaluation and development, 2021, 11(2): 204-211.
- [37] 边瑞康, 刘忠宝, 张培先, 等. 四川盆地五峰组黑色页岩放射性元素含量特征及其地质意义[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(28): 12339-12348.  
BIAN Ruikang, LIU Zhongbao, ZHANG Peixian, et al. Characteristics of radioactive elements in black shale of Wufeng Formation in Sichuan Basin and its geological significance [J]. Science technology and engineering, 2022, 22(28): 12339-12348.
- [38] 唐令, 宋岩, 陈晓智, 等. 页岩气选区评价关键参数及上下限: 以四川盆地五峰组—龙马溪组为例[J]. 天然气地球科学, 2023, 34(1): 153-168.  
TANG Ling, SONG Yan, CHEN Xiaozhi, et al. Key parameters and the upper-lower limits of shale gas selection evaluation: case study from the Wufeng-Longmaxi Formation in the Sichuan Basin [J]. Natural gas geoscience, 2023, 34(1): 153-168.
- [39] 边瑞康, 孙川翔, 聂海宽, 等. 四川盆地东南部五峰组—龙马溪组深层页岩气藏类型、特征及勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2023, 44(6): 1515-1529.  
BIAN Ruikang, SUN Chuanxiang, NIE Haikuan, et al. Types, characteristics, and exploration targets of deep shale gas reservoirs in the Wufeng-Longmaxi Formation, southeastern Sichuan Basin [J]. Oil & gas geology, 2023, 44(6): 1515-1529.
- [40] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 海相页岩气勘探目标优选方法: GB/T 35110—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Target optimization methods for marine shale gas exploration: GB/T 35110—2017 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [41] 张培先, 何希鹏, 高玉巧, 等. 川东南五峰组—龙马溪组页岩气目标评价及水平井设计技术[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(3): 1024-1032.  
ZHANG Peixian, HE Xipeng, GAO Yuqiao, et al. Shale gas target evaluation techniques and horizontal well design technology of Wufeng-Longmaxi Formation in southeast Sichuan [J]. Science technology and engineering, 2023, 23(3): 1024-1032.
- [42] 刘超英. 页岩气勘探选区评价方法探讨[J]. 石油实验地质, 2013(5): 564-569, 573.  
LIU Chaoying. Discussion on methods of shale gas exploration evaluation [J]. Petroleum geology and experiment, 2013 (5): 564-569, 573.

- [43] 国土资源部油气资源战略研究中心. 页岩气资源潜力评价与有利区优选方法[R]. 北京:中国地质大学(北京), 2011.  
Strategic Research Center of Oil and Gas Resources. Evaluation of resource potential and selection of favorable areas of shale gas[R]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2011.
- [44] 杨振恒, 腾格尔, 李志明. 页岩气勘探选区模型: 以中上扬子下寒武统海相地层页岩气勘探评价为例[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(1): 8–14.
- YANG Zhenheng, TENG Geer, LI Zhiming. An example of shale gas selected marine area model of Lower Cambrian on the middle and upper Yangtze [J]. Natural gas geoscience, 2011, 22(1): 8–14.
- [45] 谷宁, 郭金瑞, 李庆. 基于概率分析的非常规油气选区方法[J]. 天然气与石油, 2016, 34(3): 73–78.  
GU Ning, GUO Jinrui, LI Qing. Method for unconventional oil & gas area selection based on probability analysis[J]. Natural gas and oil, 2016, 34(3): 73–78.

编辑:刘江丽 张润合

## Ideas and methods for shale gas resource and favorable area evaluation in the exploration stage: taking Wufeng Formation–Longmaxi Formation marine shale gas as an example

BIAN Ruikang<sup>1, 2, 3</sup>

1. State Key Laboratory of Shale Oil and Gas Enrichment Mechanisms and Efficient Development; 2. Key Laboratory of Shale Oil and Gas Exploration & Production, Sinopec; 3. Petroleum Exploration and Production Research Institute, Sinopec

**Abstract:** Due to the relatively limited drilling and other relevant data during the exploration stage, the resource and favorable area evaluation of shale gas have certain specificity. Suitable evaluation ideas and methods should be sorted out based on the characteristics of the stage. According to the practice of marine shale gas exploration, the content and ideas of shale gas resource and favorable area evaluation in the exploration stage are systematically sorted out, and the corresponding resource and favorable area evaluation methods for this stage are clarified. The shale gas exploration stage is divided into three secondary evaluation stages: play evaluation, target evaluation, and gas reservoir evaluation. It is believed that the main methods for resource evaluation in the play evaluation stage are gas content analogy, resource abundance analogy, genesis method, and comprehensive method. The main methods for target evaluation stage are gas content volume method, gas content analogy method, resource abundance analogy method, and comprehensive method. The main methods for gas reservoir evaluation stage are gas content volume method, gas content volume method+gas saturation volume method and comprehensive method. Taking the Wufeng Formation–Longmaxi Formation in the Jiaoshiba area as an example, a system of analogy parameters for the total gas content and resource abundance of marine shale gas is established. This system can further improve the important aspects of analogy that still have shortcomings. The methods for shale gas favorable area in the exploration stage can be summarized into two main methods: comprehensive parameter superposition analysis method (stacking map method) and parameter normalization quantitative evaluation method. The two favorable area evaluation methods are applicable for both play evaluation and target evaluation, with the main difference of the differences in parameter types and quantities in the evaluation parameter system. In view of the emphasis on the evaluation of shale gas formation and enrichment conditions (geological conditions) and fracturing high production conditions (engineering conditions) in the play evaluation stage, a dual factor play evaluation parameter system of “geological conditions–engineering conditions” has been established. In the stage of target evaluation, it is necessary to consider the evaluation of economic benefits and further enrich the parameters. A three factor target evaluation parameter system of “geological conditions–engineering conditions–economic conditions” has been established. At the same time, the evaluation parameters in terms of hydrocarbon generation, preservation, resources, and geostress have also been further deepened. The established play evaluation and target evaluation parameter system can better reflect the characteristics of the evaluation stage and meet the corresponding evaluation needs.

**Key words:** resource evaluation; favorable area evaluation; exploration stage; shale gas; Wufeng Formation–Longmaxi Formation

**BIAN Ruikang**, First author: PhD, Senior Engineer, mainly engaged in shale oil and gas geological research. Add: No. 197 Baisha Rd., Changping District, Beijing 102206, China. E-mail: bianruikang@foxmail.com