

开江 - 梁平地区吴家坪组页岩气储层分布特征与有利区评价体系构建

文其兵¹, 胥良君¹, 杨昕睿¹, 刘冬玺¹, 徐 露¹, 易娟子¹, 张 雷², 刘如昊^{2*}

¹中国石油西南油气田分公司重庆气矿, 重庆

²重庆科技大学石油与天然气工程学院, 重庆

收稿日期: 2026年8月13日; 录用日期: 2026年10月2日; 发布日期: 2026年10月14日

摘 要

开江 - 梁平地区上二叠统吴家坪组页岩具有良好的页岩气勘探前景, 但储层非均质性强、甜点分布规律不清, 缺乏针对性的有利区评价体系。本研究基于单井的测试数据及示踪剂产气占比资料, 系统分析了影响吴家坪组页岩储层品质的主控因素, 建立了有利区评价参数体系与分级标准。结果表明: 单井尺度上含气量与产能相关性最高($R^2 = 0.18$), 单簇尺度上TOC相关性最高($R^2 = 0.36$), 不同尺度主控因素存在差异; 采用灰色关联度法计算得到TOC、孔隙度、含气量和脆性指数的综合权重分别为0.30、0.23、0.29和0.18, 其中TOC与含气量是关键控制参数。基于综合品质指数(X)建立了I~III类储层分级标准。井震结合预测揭示优质储层沿开江 - 梁平海槽呈条带状分布, 南雅、巫山坎、五百梯等地区一类储层厚度较大。综合考虑储层厚度、埋深及构造条件, 划分出南雅向斜、檀木场向斜、五百梯向斜等I类有利区。该评价体系为吴家坪组页岩气甜点预测及钻井压裂部署提供了科学依据, 对类似层系页岩气评价也具有参考价值。

关键词

吴家坪组, 页岩气, 有利区评价, 灰色关联度, 综合品质指数

Distribution Characteristics of Shale Gas Reservoirs and Construction of a Favorable Area Evaluation System for the Wujiaping Formation in the Kaijiang-Liangping Area

Qibing Wen¹, Liangjun Xu¹, Xinrui Yang¹, Dongxi Liu¹, Lu Xu¹, Juanzi Yi¹, Lei Zhang², Ruhao Liu^{2*}

¹Chongqing Gas Mine of Petro China Southwest Oil and Gas Field Company, Chongqing

²School of Petroleum Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

*通讯作者。

文章引用: 文其兵, 胥良君, 杨昕睿, 刘冬玺, 徐露, 易娟子, 张雷, 刘如昊. 开江-梁平地区吴家坪组页岩气储层分布特征与有利区评价体系构建[J]. 地球科学前沿, 2026, 16(10): 1413-1422. DOI: 10.12677/ag.2026.1610125

Abstract

The Upper Permian Wujiaping Formation shale in the Kaijiang-Liangping area exhibits considerable shale gas exploration potential; however, strong reservoir heterogeneity, unclear sweet spot distribution patterns, and the lack of a targeted favorable area evaluation system remain major challenges. Based on single-well test data and tracer-derived gas production proportion data, this study systematically analyzed the dominant factors controlling the reservoir quality of the Wujiaping Formation shale and established an evaluation parameter system with corresponding classification criteria. Results indicate that gas content exhibits the highest correlation with productivity at the single-well scale ($R^2 = 0.18$), whereas TOC shows the highest correlation at the single-cluster scale ($R^2 = 0.36$), revealing scale-dependent variations in the dominant controlling factors. Using the grey relational analysis method, the integrated weights of TOC, porosity, gas content, and brittleness index were determined as 0.30, 0.23, 0.29, and 0.18, respectively, with TOC and gas content being the key controlling parameters. A I~III class reservoir classification standard was established based on the comprehensive quality index (X). Integration of well logging and seismic data reveals that high-quality reservoirs are distributed in a belt-like pattern along the Kaijiang-Liangping trough, with greater Class I reservoir thicknesses in the Nanya, Wushankan, and Wubaiti areas. Considering reservoir thickness, burial depth, and structural conditions, the Nanya Syncline, Tanmuchang Syncline, and Wubaiti Syncline were classified as Class I favorable areas. The proposed evaluation system provides a scientific basis for sweet spot prediction and drilling/fracturing deployment in the Wujiaping Formation shale, and offers reference value for shale gas evaluation in analogous strata.

Keywords

Wujiaping Formation, Shale Gas, Favorable Area Evaluation, Grey Relational Degree, Comprehensive Quality Index

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

页岩气作为清洁高效的非常规天然气资源，已成为全球能源领域的重要增长极。中国页岩气资源丰富，四川盆地及周缘地区已实现志留系龙马溪组页岩气的商业化规模开发，推动了我国页岩气勘探开发理论与技术体系的持续完善。然而，随着中浅层优质页岩资源逐步消耗，勘探目标正逐步向新区、新层系拓展。上二叠统吴家坪组作为四川盆地重要的海相页岩发育层系，具有分布广、厚度大、有机质丰度高的特点，是继龙马溪组之后最具潜力的接替层系之一[1][2]。

开江-梁平地区位于四川盆地东北缘，吴家坪组页岩发育完整，近年来多口钻井在该区吴家坪组获得良好页岩气显示，展示了较好的勘探前景[3]。然而，与已实现规模开发的龙马溪组不同，吴家坪组页岩沉积背景更为复杂，储层非均质性强，有机质类型与赋存状态存在差异，甜点主控因素尚不明确[4][5]。已有的页岩气有利区评价体系多基于龙马溪组建立，其参数权重与分级标准是否适用于吴家坪组尚待验证。特别是，前期测试数据表明，南雅地区吴家坪组页岩 TOC 平均达 5.36%、含气量平均为 6.73 m³/t，明显高于渝西地区龙马溪组的 4.24% 和 4.42 m³/t，这一“高 TOC、高含气量”的特殊性要求评价体系必

须因地制宜,重新厘定关键参数及其权重[6][7]。

针对上述问题,本研究以开江-梁平地区吴家坪组为研究对象,基于 DY1H 等 7 口钻井的测试数据及单井示踪剂产气占比资料,系统开展以下工作:1) 从单井和单簇两个尺度厘定有利区评价的主控因素,采用灰色关联度法计算各参数的权重系数,建立适用于吴家坪组页岩的评价参数体系;2) 依据页岩气测井评价技术规范,结合本地区参数分布特征,构建基于综合品质指数的储层分级标准,并进行适用性验证;3) 刻画甜点参数的平面分布特征,阐明优质储层发育规律;4) 综合储层厚度、埋深及构造条件,完成有利区划分。研究成果旨在为开江-梁平地区吴家坪组页岩气甜点预测及后续钻井压裂部署提供科学依据,同时为同类型海相页岩层系的有效区评价提供方法参考。

2. 区域地质概况

研究区位于四川盆地东北部的开江-梁平海槽东南部。四川盆地作为扬子地块西北缘重要的海相沉积盆地,其晚二叠世构造-沉积格局受峨眉地裂运动的深刻影响,形成了台地-海槽相间的古地理格局[8]-[10]。

开江-梁平海槽呈北西-南东向展布,是晚二叠世期间连通鄂西海盆与川中碳酸盐台地的深水沉积区,其内部发育深水陆棚至盆地相沉积,是硅质页岩发育的有利场所。

目的层吴家坪组(P_3w)整合覆盖于茅口组(P_2m)灰岩之上。依据岩性组合,吴家坪组自下而上可划分为三段:吴一段(P_3w^1)主要发育黑色页岩与玄武岩、凝灰岩等火山岩互层;吴二段(P_3w^2)为灰黑色页岩与石灰岩互层;吴三段(P_3w^3)则以大套灰黑色页岩沉积为主。

开江-梁平海槽内吴家坪组深水陆棚相黑色页岩有机碳含量高,TOC 通常在 3%以上。大页 1H 井吴三段页岩平均 TOC 高达 9.83%,较志留系龙马溪组黑色页岩有机质丰度更高。川东北地区吴二段 TOC 平均值为 4.80%,吴家坪组硅质页岩 TOC 含量为 3.07%~11.29%。有机质类型以 II 型干酪根为主,热演化程度达到过成熟阶段(R_o 平均值为 2.53%),具有良好的生气潜力。

综上所述,开江-梁平地区吴家坪组页岩具备“高 TOC、高孔隙度、高含气量、高脆性”的“四高”特征,页岩气成藏地质条件优越,是四川盆地继龙马溪组之后最具潜力的页岩气勘探新层系。

3. 有利区评价参数体系的建立

3.1. 主控因素优选

页岩储层品质受多种地质因素共同控制,优选关键参数是建立有利区评价体系的基础。前人研究表明,总有机碳含量(TOC)、孔隙度、含气量和脆性指数是影响页岩储层含气性与可压性的核心参数,但这类参数在不同层系、不同尺度下对产能的贡献存在显著差异。为明确吴家坪组页岩的主控因素,本研究分别从单井产能尺度和单井单簇压裂段尺度开展相关性分析,以揭示不同尺度下各地质参数对产量的控制作用及其差异。

在单井尺度上,本研究收集了 DY1H 等 7 口井的测试数据,各井试气产量均为完井压裂后稳定试气阶段的测试值,测试条件基本一致,以试气产量为产能指标,分别计算 TOC、孔隙度、含气量和脆性指数与产量的相关系数。结果表明(图 1),含气量与产量的相关性最高($R^2=0.18$),其次为孔隙度($R^2=0.17$),TOC ($R^2=0.12$)和脆性指数($R^2=0.10$)的相关性相对较弱。这一结果反映出在单井尺度上,含气量作为有机质生烃与储集条件的综合响应指标,对最终产能的指示作用最为直接。孔隙度的较高相关性则表明储集空间的大小对单井产能同样具有重要影响。

在单井单簇尺度上,利用 DY1H 井与 D201 井的示踪剂测试产气占比数据,分析单段产气占比与各段地

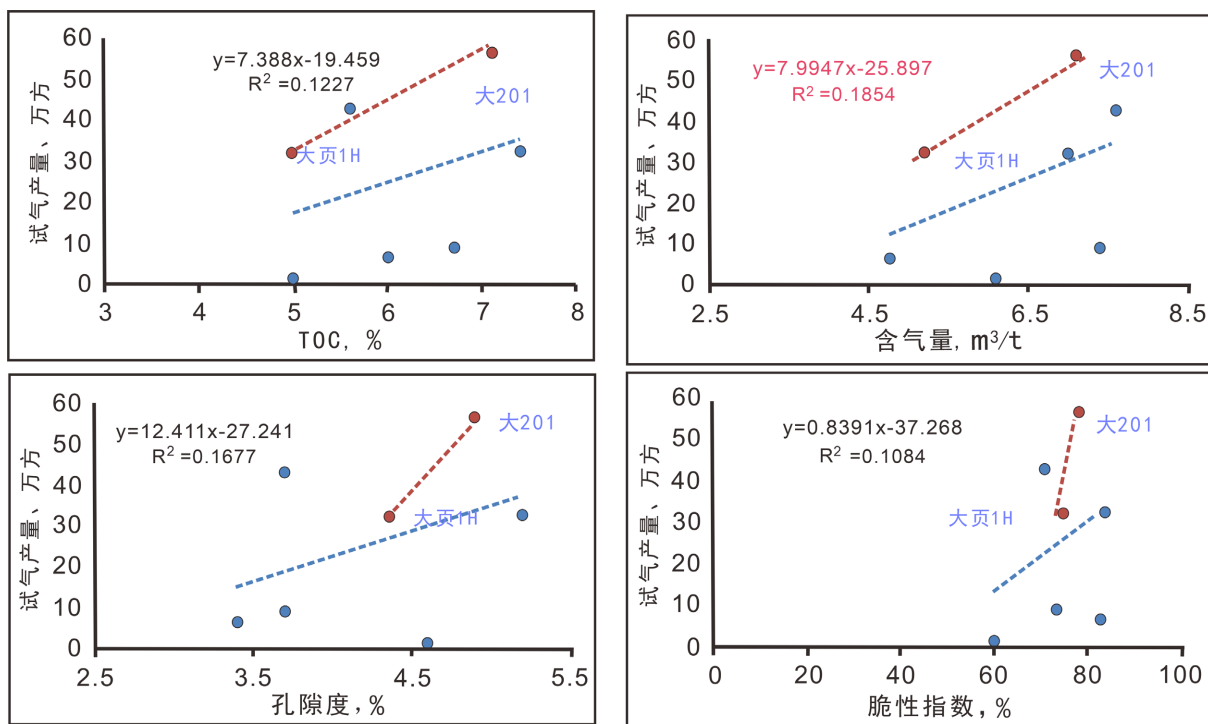


Figure 1. Correlation between single-well test production and local geological parameters

图 1. 单井测试产量与各地质参数相关性

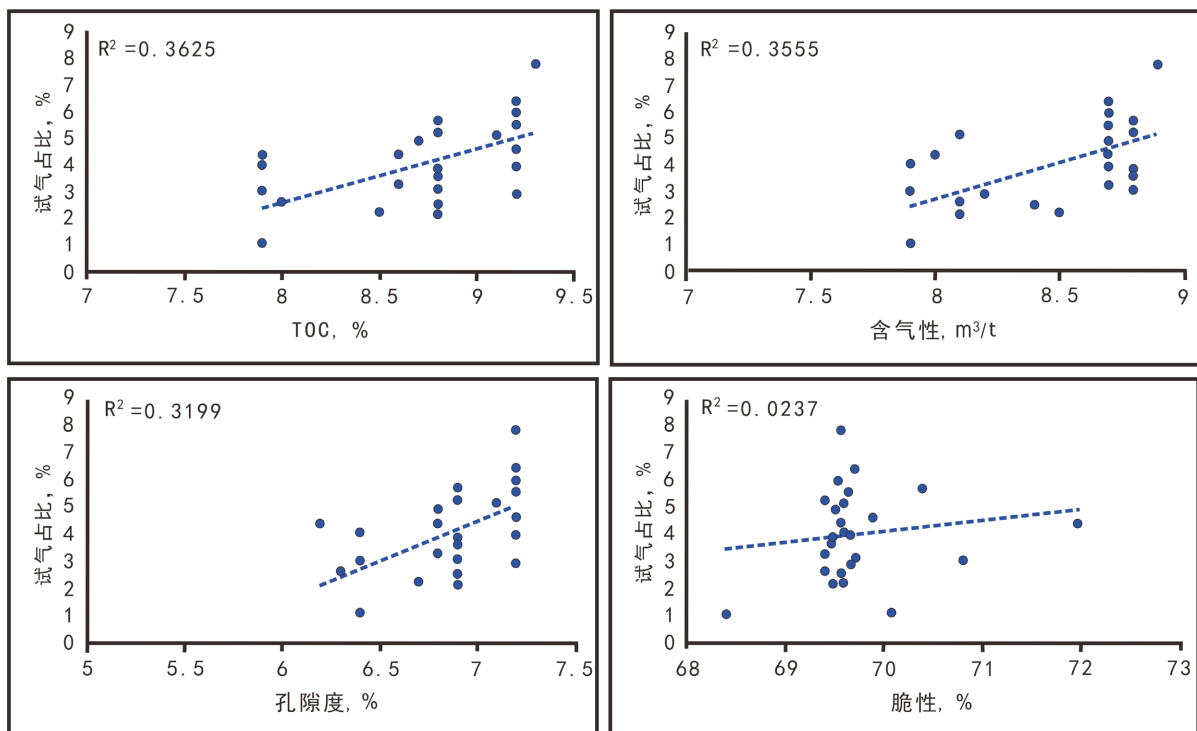


Figure 2. Correlation between the proportion of gas production in a single stage and geological parameters in various regions

图 2. 单段产气占比与各地质参数相关性

质参数的相关性。与单井尺度不同，单簇尺度的结果显示 TOC 的相关性最高($R^2 = 0.36$)，含气量($R^2 = 0.35$)

和孔隙度($R^2 = 0.32$)次之，而脆性指数的相关性显著降低($R^2 = 0.02$) (图 2)。这一差异具有重要的工程意义：在压裂段尺度上，TOC 对产量的贡献最为突出，反映出有机质丰度不仅控制着页岩的生烃潜力，还通过影响有机质孔隙的发育程度直接决定了储集性能；含气量和孔隙度同样具有较高的相关性，验证了这三者之间的内在成因联系。脆性指数相关性较低，其原因为吴家坪组页岩储集空间以有机质孔隙为主，无机孔隙占比较低。储层品质主要受控于有机质的发育程度，而非脆性矿物含量。脆性矿物含量反映的是岩石的可压裂属性而非储集属性。因此，在吴家坪组页岩的有利区评价中，脆性指数可作为辅助参数，但其权重不宜过高。

对比两个尺度的分析结果，可以识别出主控因素的尺度效应：宏观上含气量是控制单井产能的综合性指标，其涵盖了从生烃到储集的全过程信息；而在压裂段尺度上，TOC 对产量的控制作用更为直接，反映出有机质丰度是决定页岩储层品质的最基础参数。这一发现对有利区评价参数的选取具有指导意义——在区域评价阶段应以含气量为核心指标，而在精细选段和压裂优化阶段则应更加重视 TOC 的精细刻画。

3.2. 权重系数计算

在厘定主控因素的基础上，需进一步量化各参数对储层品质的贡献程度。本研究采用灰色关联度分析法计算权重系数，该方法通过计算母序列与子序列之间的几何形状相似度来判定关联程度，适用于数据量有限、信息不完整的灰色系统，能够较好地处理地质参数之间非线性、多因素交织的复杂关系。计算流程如下：首先以试气产量或产气占比为参考序列，以 TOC、孔隙度、含气量和脆性指数为比较序列，对各序列进行无量纲化处理以消除量纲影响；随后计算各比较序列与参考序列在每一数据点上的绝对差值，确定两级最小差与最大差，计算灰色关联系数，见表 1。

在单井尺度上，TOC、孔隙度、含气量和脆性指数的灰色关联度分别为 0.579、0.4325、0.5279 和 0.3457，权重系数依次为 0.31、0.23、0.28 和 0.18，各参数权重较为均衡，其中含气量略高。在单井示踪剂尺度上，各参数灰色关联度分别为 0.5274、0.4211、0.5652 和 0.3457，权重系数为 0.29、0.23、0.30 和 0.18，TOC 与含气量的权重明显高于孔隙度和脆性指数。

综合两个尺度的计算结果，取算术平均得到最终权重系数：TOC 为 0.30，孔隙度为 0.23，含气量为 0.29，脆性指数为 0.18。TOC 与含气量的权重合计达 0.59，表明二者是控制吴家坪组页岩储层品质的核心参数。与大足地区龙马溪组页岩的相应权重(TOC 0.28、孔隙度 0.22、含气量 0.32、脆性指数 0.18)相比，吴家坪组页岩的孔隙度权重较高、含气量权重偏低，可能反映了不同层系在储集空间类型与含气性控制因素上的差异。后续分级评价与有利区预测将以这组综合权重为基础开展。

Table 1. Calculation results of weighting coefficients for evaluation parameters of the Wujiaping Formation shale gas reservoir
表 1. 吴家坪组页岩气储层评价参数权重系数计算结果

单井测试				
参数	TOC	孔隙度	含气量	脆性指数
灰色关联度	0.579	0.4325	0.5279	0.3457
权重系数	0.31	0.23	0.28	0.18
单井单段示踪剂				
灰色关联度	0.5274	0.4211	0.5652	0.3457
权重系数	0.29	0.23	0.30	0.18
综合计算				
权重系数	0.30	0.23	0.29	0.18

3.3. 分级标准建立与综合品质指数计算

依据《页岩气测井评价技术规范》(Q/SY 1847-2015), 结合吴家坪组页岩实际测试数据与参数分布特征, 建立 I~III 类储层分级标准(表 2)。I 类储层为优质甜点, 要求 TOC>3%、孔隙度 >4%、含气量 >3 m³/t、脆性指数 >55%; II 类为过渡类型, 对应 TOC 2%~3%、孔隙度 3%~4%、含气量 2~3 m³/t、脆性指数 45%~55%; III 类为品质较差储层, 各参数下限分别低于 2%、3%、2 m³/t 和 35%。

在单项参数分级标准基础上, 需构建一个能够综合反映储层品质的定量指标。本研究采用加权求和法, 将各参数的分级赋值与其权重系数相乘后累加, 得到综合品质指数(X), 计算公式如下:

$$X = A + B + C + D$$

其中 A、B、C、D 分别为 TOC、含气量、孔隙度和脆性指数的单项加权分值, 各单项分值沿用以往邻区参数权重数值(I 类 1.0、II 类 0.7、III 类 0.4) [11], 乘以该参数的综合权重系数获得, 具体为:

$$A = \begin{cases} 0.300 - \text{TOC} > 3\% \\ 0.210 - 2\% < \text{TOC} < 3\% \\ 0.120 - \text{TOC} < 2\% \end{cases}$$
$$B = \begin{cases} 0.29 - \text{含气量} > 3 \text{ m}^3/\text{t} \\ 0.203 - 2 \text{ m}^3/\text{t} < \text{含气量} < 3 \text{ m}^3/\text{t} \\ 0.116 - \text{含气量} < 2 \text{ m}^3/\text{t} \end{cases}$$
$$C = \begin{cases} 0.23 - \text{孔隙度} > 4\% \\ 0.161 - 3\% < \text{孔隙度} < 4\% \\ 0.092 - \text{孔隙度} < 3\% \end{cases}$$
$$D = \begin{cases} 0.180 - \text{脆性指数} > 55\% \\ 0.126 - 45\% < \text{脆性指数} < 55\% \\ 0.072 - \text{脆性指数} < 35\% \end{cases}$$

根据 X 值将储层划分为三个品质级别: X≥0.85 为 I 类储层, 代表优质甜点; 0.60≤X<0.85 为 II 类储层, 品质中等; X<0.60 为 III 类储层, 品质较差。以研究区南雅地区吴家坪组页岩平均实测值为例(TOC 5.36%、孔隙度 4.42%、含气量 6.73 m³/t、脆性指数 75.01%), 四项参数均满足 I 类条件, X = 0.30 + 0.29 + 0.23 + 0.18 = 1.00, 储层品质达到最优级别。该指数可为单井储层纵向品质剖面刻画和一类储层厚度统计提供统一的定量依据。

Table 2. Evaluation criteria for comprehensive quality classification of shale
表 2. 页岩综合品质分类评价标准

评价参数	单项参数权重	单项分类权重			综合品质指数		
		I 类	II 类	III 类	I 类	II 类	III 类
TOC 含量	0.30	1	0.7	0.4	≥0.85	≥0.6	<0.6
孔隙度	0.23	1	0.7	0.4			
含气量	0.29	1	0.7	0.4			
脆性指数	0.18	1	0.7	0.4			

4. 有利区综合评价

4.1. 优质储层分布特征

吴家坪组页岩甜点参数的平面分布受控于沉积相与古地貌。吴三段沉积期发育深水缓坡相，沿开江 - 梁平海槽呈北西 - 南东向条带状展布。古地貌低凹带水体较深、还原环境强，有利于有机质的富集与保存，是高品质页岩储层发育的有利区带。

从各参数的平面分布特征来看(图 3)，TOC、含气量和孔隙度的分布趋势具有高度一致性，均沿海槽方向呈条带状展布，高值区主要集中于南雅、巫山坎、五百梯、七里峡等地区。这一趋势与沉积相带展布方向吻合，反映出沉积环境对储层品质的基础控制作用。TOC 高值区(>4%)主要分布于海槽轴部及两侧的深水陆棚区，向外侧台地斜坡方向逐渐降低；含气量平面分布与 TOC 高度协同，验证了有机质丰度对含气性的主导控制；孔隙度高值区同样集中于海槽内部。脆性指数高值区分布范围更广，不仅覆盖海槽区，还向台地斜坡方向延伸，可能与硅质生物放射虫的广泛发育有关。

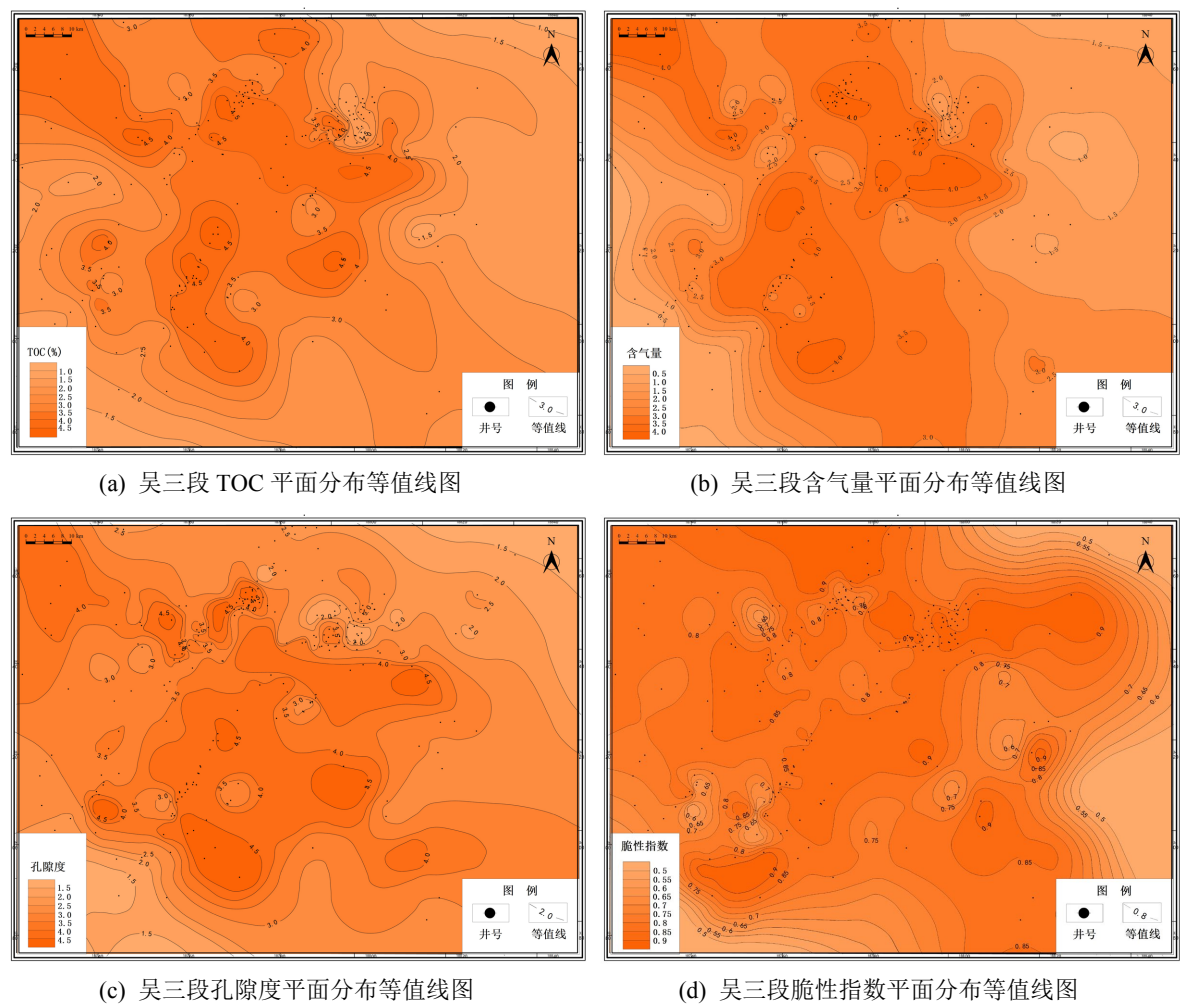


Figure 3. Planar distribution contour map of various parameters of Wujiaping Formation in Kaijiang-Liangping area
图 3. 开江 - 梁平地区吴家坪组各参数平面分布等值线图

基于上述各参数平面预测结果，计算综合品质指数 X，并统计吴三段落差内 $X \geq 0.85$ 的累计厚度，得到一类页岩储层厚度平面分布图(图 4)。结果表明，开江 - 梁平地区一类页岩储层沿北西 - 南东方向呈

条带状分布，与海槽展布方向一致。一类储层厚度较大的区域主要集中于南雅向斜、巫山坎向斜、五百梯向斜及七里峡等地区，厚度普遍大于 10 m，局部可达 15 m 以上。

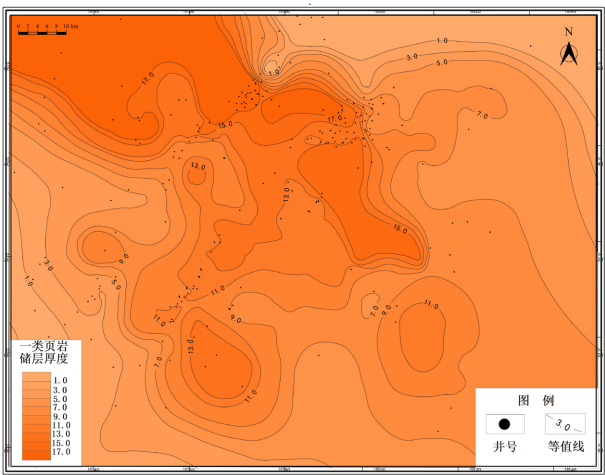


Figure 4. Plan view of the thickness distribution of Class I shale reservoirs in the Wusan Member of the Kaijiang-Liangping area
图 4. 开江 - 梁平地区吴三段一类页岩储层厚度分布平面图

4.2. 有利区评价

在优质储层分布规律研究的基础上，综合考虑地质与工程两类约束条件，制定有利区划分原则。地质条件方面包括：1) 远离一级断层，上盘 0.4 km 以外、下盘 2 km 以外，以确保保存条件，距实钻井数据统计，含气量、含气饱和度与井距 I 类储层距离呈正相关，远离断层含气性高，含气下限为上盘距断层 0.4 km，下盘距断层 2 km 以上(图 5)；2) 位于深水缓坡相带范围内，确保储层原生品质；3) 一类页岩储层厚度 > 10 m；4) 埋深 < 5000 m，兼顾经济可采性，开江 - 梁平地区地温梯度约为 2.5~2.8℃/100 m，埋深超过 5000 m 时，地层温度超过 150℃，对压裂液性能和井下工具耐温性提出更高要求，工程难度与成本显著增加。同时，埋深增大伴随着有效应力的增加，裂缝闭合压力升高，压裂改造效果变差。因此，将 5000 m 作为经济可采性的关键阈值具有充分的工程依据。

根据上述原则，将开江 - 梁平地区吴三段页岩划分为 I 类有利区、II 类有利区和 III 类有利区三个级别，各级别的具体划分标准见表 3。

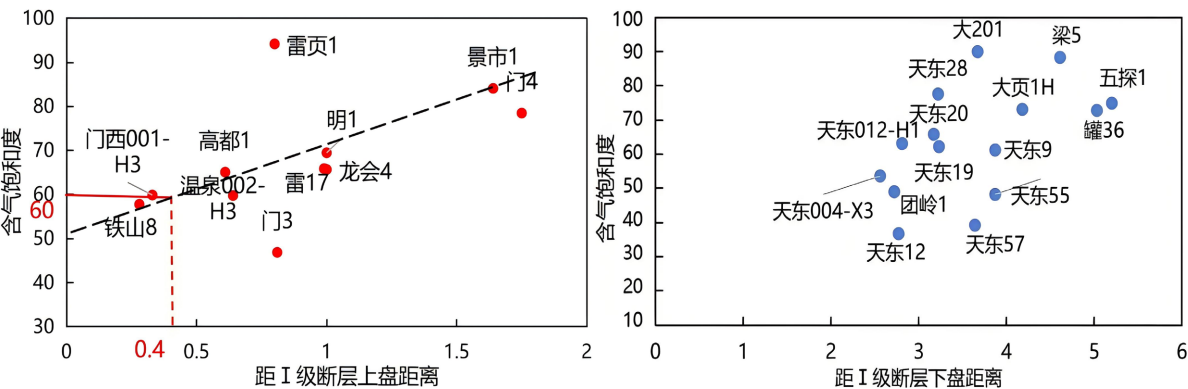


Figure 5. Scatter plot showing the correlation between distance from Class I faults and gas saturation
图 5. 距 I 类断层距离与含气饱和度相关性散点图

Table 3. Division of favorable areas in Wusan section
表 3. 吴三段有利区划分表

有利区划分		区域原则	储层厚度	埋深
I 类有利区	I1		I 类储层厚度 > 10 m	埋深 < 5000 m
I 类有利区	I2	① 远离 I 级上盘 0.4 km, 下盘 2 km;	I 类储层厚度 > 10 m	埋深 > 5000 m
II 类有利区		② 深水缓坡范围内	I 类储层厚度 < 10 m	埋深 < 5000 m
III 类有利区			I 类储层厚度 < 10 m	埋深 > 5000 m

依据上述划分原则与标准，对开江 - 梁平地区吴三段页岩进行有利区划分(图 6)，结果如下：

I1 类有利区：该区域位于深水缓坡相带核心区，一类储层厚度普遍大于 12 m，局部可达 15 m 以上，埋深介于 3800~5000 m 之间，远离一级断层，保存条件优越，为最优先的勘探部署目标。

I2 类有利区：该区域一类储层厚度 10~12 m，储层品质与保存条件略逊于 I1 类，但整体仍属于优质勘探目标，具备较高的勘探成功率。

II 类有利区：该类区域虽处于深水缓坡相带范围内，但由于靠近一级断层(保存条件变差)或埋深大于 5000 m，I 类储层厚度小于 10 m，勘探风险增高，可作为后备勘探区域。

III 类有利区：I 类储层厚度小于 10 m 且埋深大于 5000 m，储层品质与可采性均不具优势，勘探潜力有限。

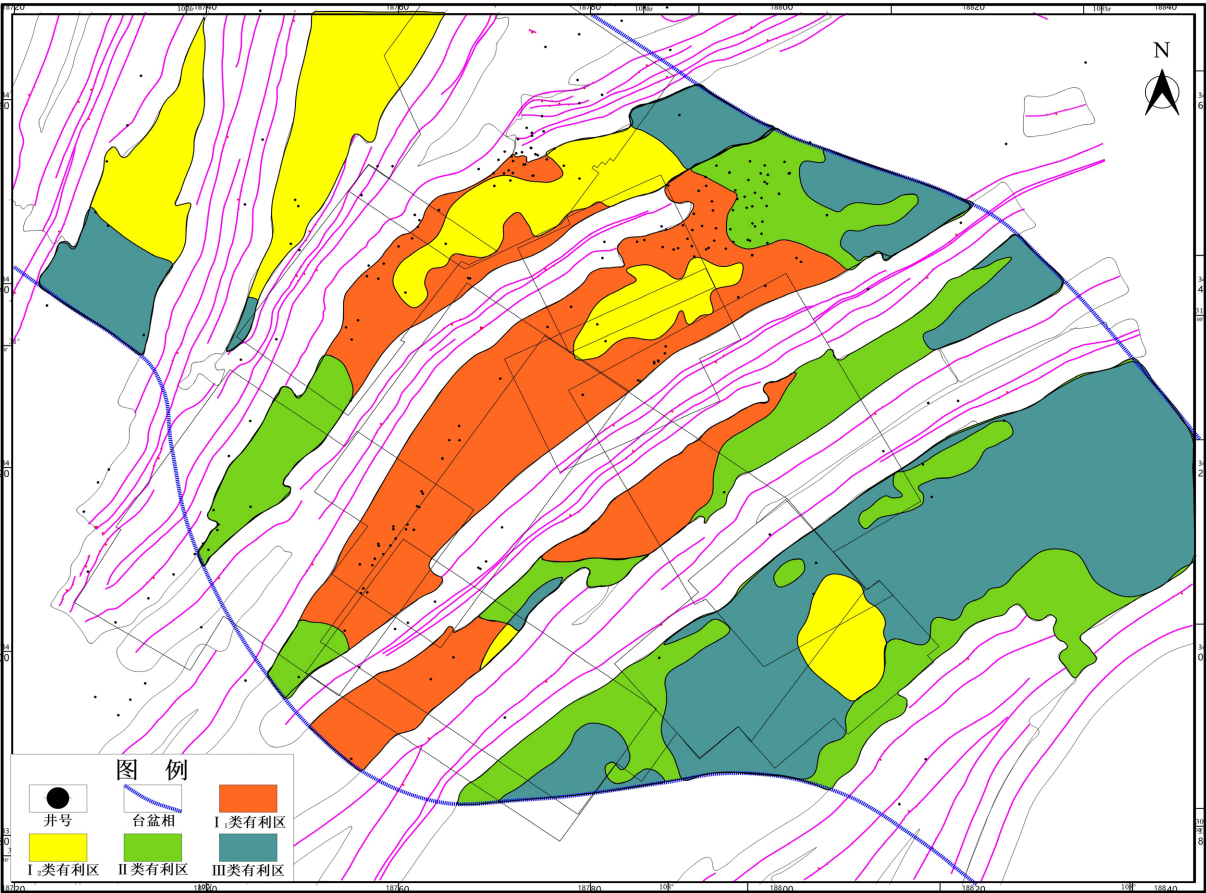


Figure 6. Classification map of favorable areas in the Wusan section of the Kaijiang-Liangping area
图 6. 开江 - 梁平地区吴三段有利区分类图

5. 结论

1) 明确了吴家坪组页岩储层品质的主控因素及其尺度效应。单井尺度上, 含气量对产能的控制最显著($R^2 = 0.18$); 单簇尺度上, TOC 相关性最高($R^2 = 0.36$), 脆性指数在两个尺度上相关性均最低。采用灰色关联度法计算得到 TOC、孔隙度、含气量和脆性指数的综合权重分别为 0.30、0.23、0.29、0.18, TOC 与含气量合计权重达 0.59, 是控制储层品质的核心参数。

2) 揭示了优质储层沿开江-梁平海槽呈条带状分布的特征, TOC、含气量及孔隙度高值区集中于南雅、巫山坎、五百梯、七里峡等地区, 分布受沉积相与古地貌共同控制。综合考虑储层厚度(>10 m)、埋深(<5000 m)及构造条件, 完成有利区划分为下一步勘探部署提供了方向。

基金项目

重庆市教委科学技术研究项目, 编号: KJQN202601534、KJQN202601535、KJZD-K202401503。

参考文献

- [1] Wen, L., Dang, L., Xie, J., Zhang, B., Lu, J., Sun, H., *et al.* (2025) Enrichment and Exploration Potential of Shale Gas in the Permian Wujiaping Formation, Northeastern Sichuan Basin. *Energies*, **18**, Article 4506. <https://doi.org/10.3390/en18174506>
- [2] Liu, D., Xu, M., Chen, H., Cao, Q., Jiang, Z. and Tang, X. (2025) Tectonic Impact on Organic Matter Enrichment in Paleozoic Marine Shales from the Yangtze Block, SW China. *Journal of Marine Science and Engineering*, **13**, Article 1028. <https://doi.org/10.3390/jmse13061028>
- [3] 吴建发, 杨雨然, 张景缘, 等. 四川盆地北部二叠系吴家坪组页岩岩相分异规律及其勘探开发启示[J]. 天然气工业, 2026, 46(7): 92-107, 247.
- [4] 李骞, 刘勇, 赵圣贤, 等. 四川盆地东部二叠系吴家坪组地质特征及开发技术对策——以南雅向斜大页 1 井区为例[J]. 天然气工业, 2026, 46(2): 68-78.
- [5] 袁乐欣, 徐志明, 孙豪飞, 等. 开江-梁平海槽二叠系吴家坪组页岩孔隙非均质性及地质意义[J]. 海相油气地质, 2025, 30(6): 563-574.
- [6] 罗冰, 文华国, 廖义沙, 等. 川东北地区二叠系吴家坪组二段页岩储层特征及有利区分布[J]. 岩性油气藏, 2025, 37(1): 1-12.
- [7] 明盈, 孙豪飞, 叶玥豪, 等. 川东北地区页岩气地质条件及其勘探潜力——以峰探 1 井上二叠统吴家坪组为例[J]. 天然气勘探与开发, 2023, 46(4): 133-147.
- [8] Hu, G., He, F., Mi, J., Yuan, Y. and Guo, J. (2021) The Geochemical Characteristics, Distribution of Marine Source Rocks and Gas Exploration Potential in the Northwestern Sichuan Basin, China. *Journal of Natural Gas Geoscience*, **6**, 199-213. <https://doi.org/10.1016/j.jnggs.2021.07.004>
- [9] He, L., Luo, X., Liu, L.P., *et al.* (2008) A Discussion on Depositional Environment in Late Permian and Distribution of Reef-Bank in Sichuan Basin. *Natural Gas Industry*, **28**, 28-32, 162. (In Chinese)
- [10] 刘喜停, 马志鑫, 颜佳新. 扬子地区晚二叠世吴家坪组沉积环境及烃源岩发育的控制因素[J]. 古地理学报, 2010, 12(2): 244-252.
- [11] 姚永君, 王欣, 邹良志, 等. 万州地区吴家坪组海相页岩测井储层分类评价标准探讨[C]//中国石油学会天然气专业委员会. 第 33 届全国天然气学术年会(2023)论文集(01 地质勘探). 2023: 137-149.