

8-25-2019

## Analysis of reservoir conditions of shale gas in Middle Permian Wenbishan Formation in Fujian Province

CHEN Quanlin

*School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; Fujian Administration of Coal Geology, Fuzhou 350005, China*

Follow this and additional works at: <https://cge.researchcommons.org/journal>



Part of the [Earth Sciences Commons](#), [Mining Engineering Commons](#), [Oil, Gas, and Energy Commons](#), and the [Sustainability Commons](#)

---

### Recommended Citation

C. (2019) "Analysis of reservoir conditions of shale gas in Middle Permian Wenbishan Formation in Fujian Province," *Coal Geology & Exploration*: Vol. 47: Iss. 4, Article 15.

DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2019.04.014

Available at: <https://cge.researchcommons.org/journal/vol47/iss4/15>

This Coal-measure Gas, Coal-hosted Minerals is brought to you for free and open access by Coal Geology & Exploration. It has been accepted for inclusion in Coal Geology & Exploration by an authorized editor of Coal Geology & Exploration. For more information, please contact [380940179@qq.com](mailto:380940179@qq.com).

文章编号: 1001-1986(2019)04-0088-06

# 福建二叠系中统文笔山组页岩气储层条件分析

陈泉霖<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 2. 福建省煤田地质局, 福建 福州 350005)

**摘要:** 为丰富福建省页岩气资源调查评价的基础研究工作, 以有机地球化学、岩石矿物成分和储层物性分析等实验为重点, 结合野外地质调查、露头及钻井等资料, 分析研究了福建省二叠系中统文笔山组页岩气储层地质条件。结果表明: 福建二叠系中统文笔山组泥页岩干酪根为 III 型; 有机碳质量分数普遍在 1%~2%, 有机质丰度中等;  $R_{\text{ran}}$  值介于 3.76%~4.91%, 泥页岩处于过成熟演化阶段; 岩石脆性矿物普遍较低; 泥页岩孔隙度中等, 渗透率极低, 微孔和中孔提供了气体吸附的主要场所。与国内外典型含气泥页岩相比, 福建文笔山组具有形成页岩气的物质基础和埋藏条件, 初步认为福建省中部龙岩一带可以作为下一步工作的重点区域。后期需要加强有机质成熟度和微观孔隙结构对储气性能的研究, 了解研究区内泥页岩的吸附能力、孔隙形态及发育特征, 为福建地区页岩气勘探开发提供指导作用。

**关键词:** 页岩气; 二叠系; 文笔山组; 储层特征; 构造运动; 福建龙岩

**中图分类号:** P618 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1986.2019.04.014



## Analysis of reservoir conditions of shale gas in Middle Permian Wenbisha Formation in Fujian Province

CHEN Quanlin<sup>1,2</sup>

(1. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Fujian Administration of Coal Geology, Fuzhou 350005, China)

**Abstract:** This study is performed on the geological conditions of shale gas in Middle Permian Wenbisha Formation in Fujian Province. It is based on organic geochemistry, rock minerals and reservoir physical property after geology survey and drilling. The results indicate that kerogen is III-type, organic carbon is usually between 1% to 2%,  $R_{\text{ran}}$  is between 3.76% to 4.91% in the shale of Wenbisha Formation, and the shale is in the mature stage. The content of brittle minerals is generally low. The shale has medium porosity and extremely low permeability, the micro and meso-pores constitute the major space for gas adsorption. In comparison with other typical studies, Wenbisha Formation in Fujian Province has material basis and buried condition for forming shale gas. It is preliminarily believed that Longyan in the central part of Fujian Province can be used as a key region for further work. In the next study, the effect of organic matter maturity and micro-pore structure on gas storage performance, and adsorption capacity, pore morphology as well as development characteristics of the shale should be enhanced, all of them could direct the exploration and development of shale gas in Fujian Province.

**Keywords:** shale gas; Permian; Wenbisha Formation; reservoir characteristics; tectonic movement; Longyan, Fujian province

页岩气是指在暗色泥页岩或高炭泥页岩中“持续式”聚集的非常规天然气<sup>[1-4]</sup>, 经过近几十年的发展, 已经成为一种重要的战略意义能源。页岩气的勘探开发首先在美国取得了突破, 自 2000 年以来,

先后于福特沃斯盆地的 Barnett 页岩、密歇根盆地的 Antrim 页岩、阿巴拉契亚盆地的 Ohio 页岩、圣胡安盆地的 Lewis 页岩以及伊利诺伊盆地的 New Albany 页岩发现页岩气并实现了大规模的商业开发<sup>[5-8]</sup>。在此

收稿日期: 2015-12-09

基金项目: 福建省公益性基础性地质调查(GY20140301)

**Foundation item:** Public Welfare and Fundamental Geological Survey in Fujian Province(GY20140301)

作者简介: 陈泉霖, 1964 年生, 男, 福建莆田人, 教授级高级工程师, 博士研究生, 从事煤田地质与矿井地质工作。E-mail: 553776060@qq.com

引用格式: 陈泉霖. 福建二叠系中统文笔山组页岩气储层条件分析[J]. 煤田地质与勘探, 2019, 47(4): 88-93.

CHEN Quanlin. Analysis of reservoir conditions of shale gas in Middle Permian Wenbisha Formation in Fujian Province[J]. Coal Geology & Exploration, 2019, 47(4): 88-93.

背景下,许多国家开始重视泥页岩层系中页岩气的研究。我国经过十多年的发展,已经在重庆涪陵、四川长宁-威远建成页岩气产区<sup>[9]</sup>,进行商业开发。国内外学者对以上盆地和地区进行研究,基本认为有机质丰度、有机质成熟度、有机质类型、矿物组分、孔隙结构、埋藏深度及有效厚度等是评价页岩气储层的重要因素。目前,福建省开展的页岩气资源评价调查工作很少<sup>[10]</sup>,笔者依托福建省页岩气资源潜力调查与评价项目,对福建省二叠系中统文笔山组页岩气储层地质条件进行分析,为福建省下一步页岩气勘探提供理论依据和技术支撑。

### 1 地质背景

根据全国大地构造单元划分,福建位于羌塘-

扬子-华南板块(一级构造单元)之华南新元古代—早古生代造山带(二级构造单元内),同时以政和-大埔断裂带为界,将福建划分为闽西地块和闽东沿海中生代岩浆带两个三级构造单元<sup>[11]</sup>。闽西地块以南平-宁化岩浆带为界,划分为闽北变质岩分布区和闽西南拗陷区,闽东沿海为火山岩分布区(图 1)。在构造运动和岩浆侵入作用的控制影响下,福建省文笔山组的沉积岩系主要分布在闽西南拗陷区和闽北变质岩分布区。各时代沉积地层岩性、岩相比较为一致,差异不大,基本可对比<sup>[12]</sup>。区内首先于早古生代发育一套海相细碎屑岩、暗色千枚状泥岩、板岩和粉砂质泥岩,由于受加里东期构造运动及岩浆活动的强烈破坏,部分地层发生浅变质作用;中二叠世—早三叠世暗色泥页岩最为发育,沉积累

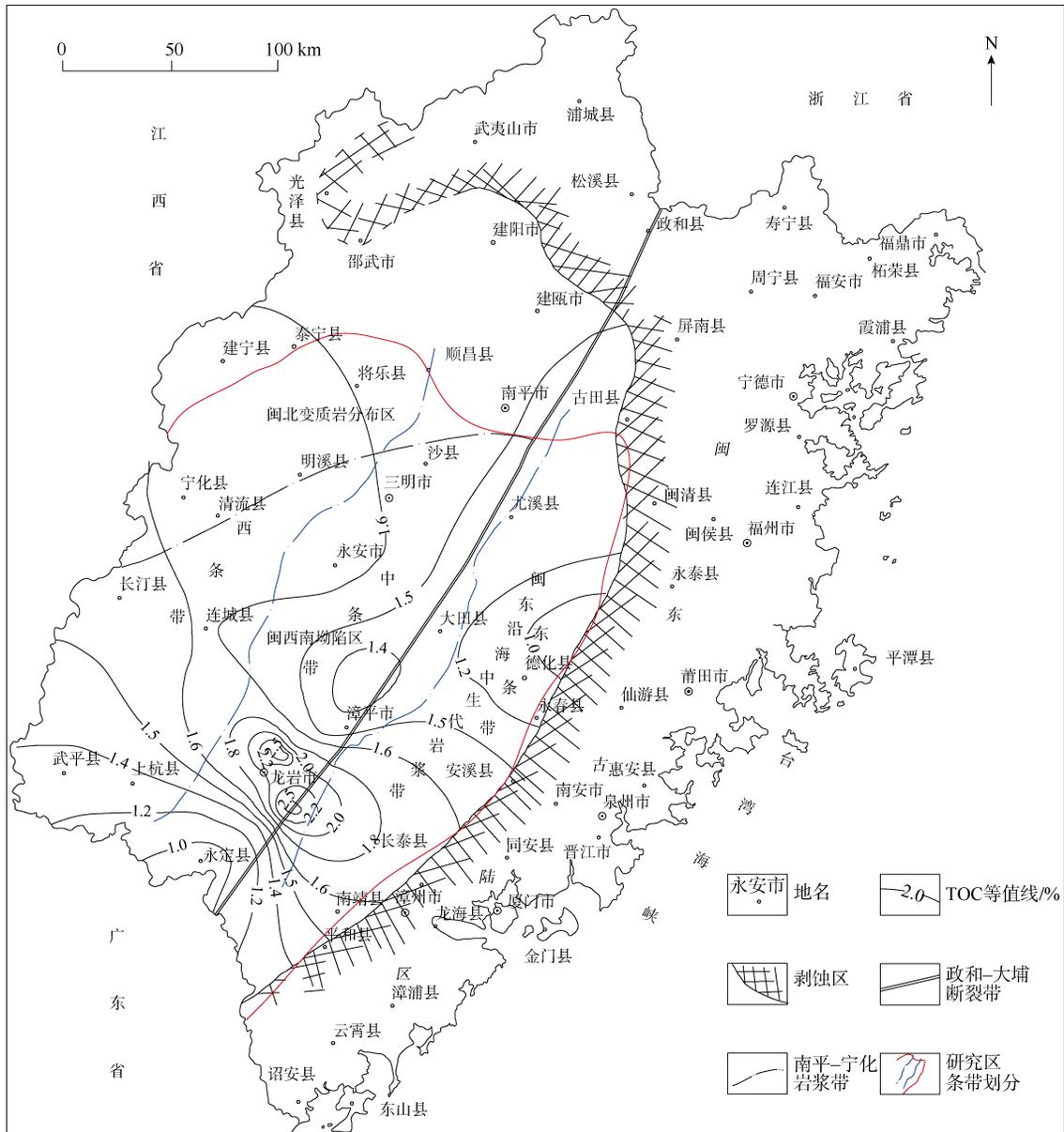


图 1 福建省二叠系中统文笔山组泥页岩有机碳等值线

Fig.1 The isoline of thermal maturity in Middle Permian Wenbishan Formation shale, Fujian Province

计厚度一般超过 800 m, 该时期龙岩、永安、大田、将乐等地沉积的地层未发生明显变质作用, 是福建省页岩气调查研究的重点目标层位<sup>[10]</sup>; 早侏罗世为一套受海侵影响的陆相沉积, 岩性以中-细粒碎屑为主, 暗色泥岩也多以夹层为主, 岩性特征不利于页岩气的生成。

## 2 样品采集与测试

福建省区域地质志<sup>[11]</sup>中将文笔山组的上覆地层童子岩组分为西、中、东 3 个条带, 其中中条带又分为龙岩-永定区域和永安-大田区域。根据童子岩组条带分区情况, 此次调查研究过程中共采取文

笔山组样品 85 件, 其中西条带 10 件, 中条带(龙岩-永定)53 件, 中条带(永安-大田)12 件, 东条带 10 件。样品的测试分析主要在中国地质调查局南京地质调查中心(国土资源部华东矿产资源监督检测中心)完成, 仅氮气吸附实验在中国地质大学(武汉)教育部构造与油气资源重点实验室完成。

测试分析项目有总有机碳含量(TOC)(85 件)、干酪根类型(20 件)、有机质成熟度( $R_{\text{ran}}$ )(57 件)、岩石矿物组成(7 件)、孔隙率(4 件)、渗透率(4 件)、氮气吸附实验(4 件), 具体各条带地球化学特征与孔隙率、渗透率数据见表 1。

表 1 福建省二叠系中统文笔山组泥页岩地球化学特征与孔隙率、渗透率数据  
Table 1 Geochemical characteristics, porosity and permeability of Middle Permian Wenbishan Formation shale, Fujian Province

研究区分区	有机碳质量分数/%	镜质体反射率 $R_{\text{ran}}/\%$	干酪根类型指数	孔隙率/%	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$
西条带	0.24~3.65/1.32(10)	3.97~4.59/4.35(6)	-78.50~-76.00/-76.90(4)		
中条带(龙岩-永定)	0.21~12.97/1.71(53)	3.76~4.38/4.32(25)	-78.75~-76.25/-77.17(8)	5.15~6.84/6.00(2)	0.000 3~0.001 8/0.001 0(2)
中条带(永安-大田)	0.42~4.98/1.55(12)	3.94~4.68/4.37(13)	-78.00~-76.50/-77.06(4)	4.53(1)	0.005 6(1)
东条带	0.45~2.67/1.26(10)	4.11~4.91/4.55(13)	-77.75~-76.25/-76.72(4)	5.49(1)	0.000 7(1)

注: 0.24~3.65/1.32(10): 最小值~最大值/平均值(样品数), 其他数据同。

## 3 文笔山组页岩气储层特征

### 3.1 地层厚度及赋存特征

研究区二叠系中统文笔山组泥页岩主要分布于将乐-建瓯一线以南, 德化-安溪-南靖一线以西, 范围涵盖整个闽西南坳陷区及部分闽北变质岩分布区<sup>[11]</sup>, 为一套浅海相细碎屑岩, 岩性基本上为泥岩、粉砂岩和少量细砂岩的组合。其中, 闽北变质岩分布区建宁-泰宁-建瓯一带, 为砂岩-粉砂岩组, 宁化-将乐一带主要为粉砂岩-砂岩-泥岩组; 闽西南坳陷区龙岩-永安一带为泥页岩-粉砂岩组, 武平-连城为泥岩-砂岩组; 闽东沿海中生代岩浆带内主要是砂岩-粉砂岩组。文笔山组厚度表现为西部厚度较大, 往东、北方向呈不断变薄趋势。厚度较大的区域在福建省西部连城-清流一带, 厚度为 300~520 m; 中部龙岩-永安一带厚度为 135~320 m; 东部永春-南靖一带厚度为 71~160 m; 泥页岩的净厚度为 35~90 m。埋深受晚古生代坳陷控制, 较深区域位于龙岩-漳平-永安一带, 埋深为 500~2 500 m。

### 3.2 有机质类型与丰度

福建省二叠系中统文笔山组干酪根有机显微组分中, 主要为镜质组和惰质组, 壳质组和腐泥组较缺乏。干酪根类型指数为-76~-79, 干酪根类型划分为 I 型。分析认为文笔山组泥页岩中有机显微

组分的物源主要来自于植物遗骸, 现阶段主要产出干气。

有机碳含量(TOC)数据统计表明, 研究区文笔山组泥页岩有机质富集度中等, 有机碳质量分数为 0.21%~12.97%, 其中西条带有机碳质量分数平均值为 1.32%, 中条带(龙岩-永定)为 1.71%, 中条带(永安-大田)为 1.55%, 东条带为 1.26%(表 1)。有机碳(TOC)质量分数主要分布在 1%~2%, 具有高产气能力(TOC> 2%)的测试样品最少。根据 2014 年发布的《页岩气资源/储量计算与评价技术规范》规定的有机碳含量划分标准, 文笔山组泥页岩有机质含量中等, 具有一定的生烃潜力。文笔山组有机碳含量(TOC)在平面上分布特征明显。东部德化县、永春县泥页岩有机碳质量分数低于 1.20%, 有机质富集度较低; 中部区域有机碳含量高于东部和西部, 尤其是龙岩一带, 泥页岩有机碳质量分数超过 2.00%, 有机质富集度高, 生烃潜力较好, 可以作为下一步勘探工作的重点区域; 西部区域泥页岩有机碳质量分数为 1.00%~1.60%(图 1)。

### 3.3 有机质成熟度

有机质成熟度是表征有机质生油产气的重要因素, 它不仅决定着泥页岩的生烃潜力, 还可以影响有机质表面的吸附量<sup>[13]</sup>。此次调查结果表明, 福建省文笔山组泥页岩有机质成熟度普遍较高, 有机

质成熟度  $R_{ran}$  为 3.76%~4.91%，平均 4.41%。文笔山组有机质成熟度在平面上普遍大于 3.50%，处于过成熟演化阶段。在垂向上，龙潭矿区 ZK22-03 孔泥页岩样品有机质成熟度随埋深增加而减小，两者之间为负相关关系，可能与该钻孔中上部岩浆侵入体有关。永定县培丰-适中矿区 ZK1 和红林坪矿区 ZK11-3 孔泥页岩样品有机质成熟度随埋深增加而变大，两者之间为正相关关系(图 2)。初步认为，福建省地质历史过程中剧烈的岩浆活动和构造运动给文笔山组地层带来大量的热量，促使泥页岩有机质成熟度过高。

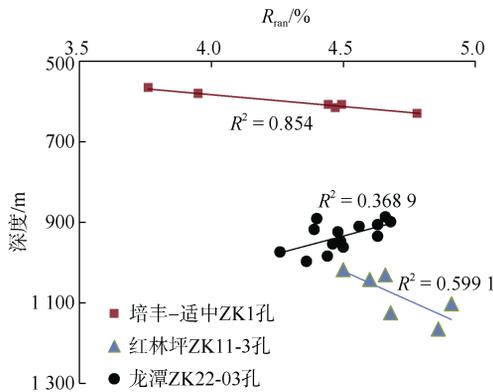


图 2 福建省二叠系中统文笔山组镜质体反射率与深度关系

Fig.2  $R_{ran}$  of vitrinite and depth for the Middle Permian Wenbisha Formation, Fujian Province

### 3.4 矿物特征

当泥页岩中脆性矿物较多时，易于进行水力压裂，提高气体采收率，而当脆性矿物过高时，不利于页岩气的生成和保存。一般认为，泥页岩的黏土矿物质量分数应小于 50%，脆性矿物质量分数大于 30%<sup>[14]</sup>。通过 X 射线衍射分析，文笔山组页岩岩石矿物组成主要为黏土矿物和石英。黏土矿物质量分数为 69%~88%，平均 80.14%，含量较高，降低了岩石的脆性，削弱了岩石中裂缝的生成和发育；石英质量分数为 12%~31%，平均 19.86%(图 3)，石英含量低，对页岩储层的压裂改造较为不利<sup>[15]</sup>。

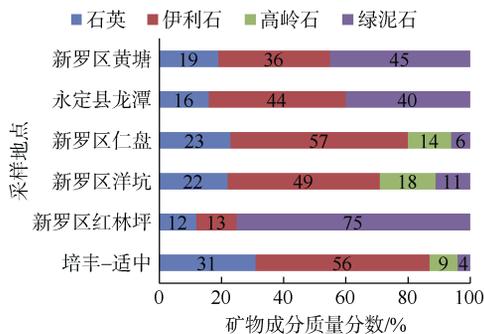
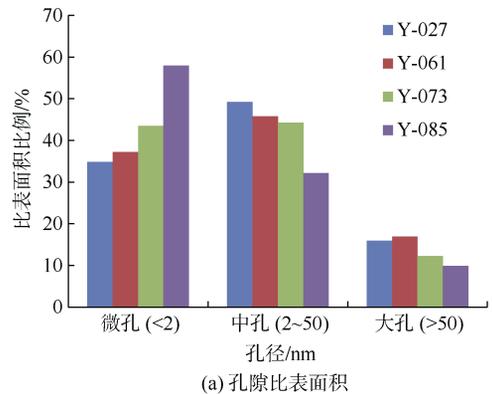


图 3 福建省二叠系中统文笔山组泥页岩矿物组成  
Fig.3 Mineral composition of shale in Middle Permian Wenbisha Formation, Fujian Province

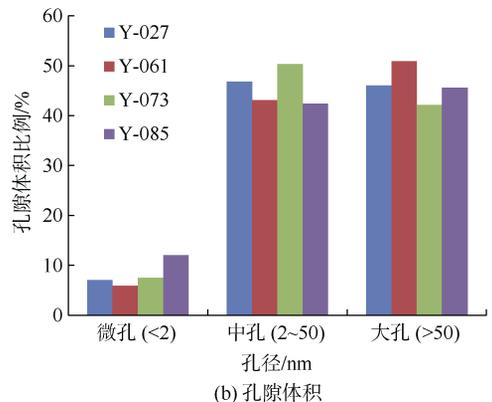
### 3.5 储层物性

泥页岩的储层物性对页岩气的聚集和后期勘探开发有重要影响<sup>[16]</sup>。通常情况下，含气泥页岩具有低孔、低渗透性特点<sup>[17]</sup>，页岩气储层较为致密。根据国内外页岩优选划分标准<sup>[18]</sup>，文笔山组泥页岩孔隙率中等，介于 4.53%~6.84%，平均 5.50%；渗透率极低，为(0.000 3~0.005 7)×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>，平均 0.002 1×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>。

此外，通过低温液氮吸附实验结果(图 4)显示，研究区泥页岩平均孔径为 6.72~9.89 nm，平均孔径在中孔(2~50 nm)范围内；比表面积为 5.99~7.44 m<sup>2</sup>/g，平均 6.89 m<sup>2</sup>/g。文笔山组泥页岩平均孔隙比表面积主要集中在微孔和中孔，分别占总比表面积的 43.39%、42.86%。平均孔隙体积主要集中在中孔和大孔，分别占总孔隙体积的 45.68%和 46.16%。



(a) 孔隙比表面积



(b) 孔隙体积

图 4 福建省二叠系中统文笔山组泥页岩孔隙体积与孔比表面积分布直方图

Fig.4 Histogram of pore volume and pore specific surface area of shale in Middle Permian Wenbisha Formation, Fujian Province

## 4 讨论

通过上述分析，总结福建省二叠系中统文笔山组页岩气储层条件，并与我国四川盆地及美国典型盆地含气泥页岩储层进行对比(表 2)。

### 有机质丰度

研究区文笔山组泥页岩层系有机质丰度与其他典型盆地含气泥页岩相当，稍有差异；文笔山组有

表 2 页岩储层特征对比  
Table 2 Comparison of characteristics of shale reservoir

盆地(地区)	目标层位	时代	埋深/m	净厚度/m	TOC/%	有机质成熟度 $R_{\text{ran}}/\%$	孔隙率/%	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	干酪根类型
福建省	文笔山组	中二叠世	500~2 500	35~90	0.2~12.9	3.9~4.9	4.5~6.8	0.002	型
四川盆地 <sup>[1,9,20]</sup>	龙马溪组	早志留世	2 500~3 500	84~102	0.6~8.4	2.2~3.1	1.2~5.8	0.023	、型为主
四川盆地 <sup>[1,9,20]</sup>	筇竹寺组	早寒武世	1 500~5 000	40~100	0.6~4.5	2.0~4.5	0.1~3.0	< 0.01	、型为主
福特沃斯 <sup>[5,6]</sup>	Barnett	早石炭世	1 981~2 592	61~152	1.0~13.0	1.1~2.1	4.0~5.0	< 0.01	型为主
阿巴拉契亚 <sup>[5,7,20]</sup>	Ohio	泥盆纪	610~1 524	91~305	0.5~4.8	0.4~1.3	2.0~11.0	< 0.1	、型为主
密执安 <sup>[5,20]</sup>	Antrim	泥盆纪	200~720	21~37	0.3~25.0	0.4~0.6	2.0~10.0	< 0.1	型为主
伊利诺斯 <sup>[5,8,20]</sup>	New Albany	泥盆纪	183~1 500	31~140	1.0~25.0	0.4~1.0	5.0~15.0	< 0.1	型为主
圣胡安 <sup>[5,8,20]</sup>	Lewis	早白垩世	914~1 829	152~579	0.45~2.5	1.6~1.9	0.5~5.5	< 0.1	型为主

机碳含量(TOC)下限比国内外典型盆地偏低,但上限比国内的龙马溪组、筇竹寺组以及国外的 Ohio、Lewis 页岩偏高,有机碳(TOC)质量分数主要集中在 1%~2%,总体反映文笔山组泥页岩有机质富集度中等,具有一定的生烃潜力。同时四川盆地页岩气主要产层有机碳质量分数介于 1.1%~8.4%<sup>[19]</sup>,说明文笔山组有机碳含量达到评价要求。

#### 埋深与净厚度

与其他典型盆地相比,文笔山组埋藏深度浅于四川盆地的龙马溪组、筇竹寺组,深于美国阿巴拉契亚、密歇根、伊利诺斯、圣胡安等 4 大盆地的页岩,相比较国内四川盆地,勘探与开采成本略有优势;文笔山组泥页岩净厚度为 35~90 m,略小于四川盆地龙马溪组、筇竹寺组,与阿巴拉契亚、圣胡安盆地页岩差距较大。

#### 有机质成熟度

研究区文笔山组有机质成熟度普遍高于其他层系,且其不介于一般商业性页岩气藏有机质成熟度 2.0%~3.5%的范围<sup>[18]</sup>,过高的演化程度预示着生烃能力的减弱,对一个地区的页岩气评价不利。国内海相页岩仅四川盆地筇竹寺组部分地区泥页岩有机质成熟度超过 3.5%,甚至在高达 4.5%的情况下仍然有工业气产出,其他地区尚未出现同类情况。说明文笔山组泥页岩有机质成熟度是其页岩气评价的不确定因素,需要开展进一步研究圈定有机质成熟度相对较低的区域。

#### 泥页岩渗透率

相较于其他层系,研究区文笔山组泥页岩的渗透率明显低于四川盆地龙马溪组、筇竹寺组,比国外典型盆地含气泥页岩更低。

#### 泥页岩孔隙特征

文笔山组泥页岩孔隙率条件较好,略优于龙马溪组、筇竹寺组。文笔山组有远大于常规岩石储层的孔隙率和孔比表面积,有利于气体的吸附,

具有较好的气体吸附场所。但较弱的渗透能力,后期需要加强对微观孔隙结构的研究,了解具体的孔隙形态和发育特征,为水力压裂作业提供指导,尽可能减小渗透率偏低带来的不利。

文笔山组页岩气储层有一定的研究前景,需要注意的是,有机质成熟度普遍偏高是文笔山组页岩气评价的不确定因素。根据表 1 数据统计结果,中条带的龙岩-永定地区有机质成熟度为 3.76%~4.38%,平均 4.32%,为 4 个分区中演化程度相对最低的地区,将是福建省文笔山组页岩气的有利区。

## 5 结论

a. 福建二叠系中统文笔山组页岩干酪根类型为 型;有机碳质量分数普遍在 1%~2%,有机质丰度中等,具有一定的生烃潜力;有机质成熟度  $R_{\text{ran}}$  为 3.94%~4.91%,页岩储层处于过成熟演化阶段;岩石脆性矿物普遍较低。

b. 文笔山组泥页岩孔隙率中等,为 4.53%~6.84%;渗透率极低,为(0.000 3~0.005 7) $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。文笔山组泥页岩具有较好的孔隙体积和孔隙比表面积,微孔和中孔是气体吸附的主要场所,同时泥页岩发育一定量的微裂隙且有机质表面孔隙发育,为气体的脱附和排出提供了通道。

c. 文笔山组有形成页岩气的物质基础和埋藏条件,但与国内外典型页岩气盆地含气泥页岩相比,文笔山组有机质成熟度过高、渗透率偏低,需要圈定出演化程度相对低的地区。福建省中条带龙岩-永定地区演化程度相对最低,有机质成熟度  $R_{\text{ran}}$  为 3.76%~4.38%,平均 4.32%,初步认为该地区可以作为下一步工作的重点。后期工作需要加强有机质成熟度和微观孔隙结构对储气性能的影响研究,了解研究区内泥页岩的吸附能力、孔隙形态及发育特征,为准确圈定文笔山组页岩气成藏有利区提供技术支撑。

致谢: 感谢中国地质大学(武汉)地球科学学院冯庆来教授的悉心指导, 感谢中国地质调查局南京地质调查中心提供的帮助, 感谢课题组邓瑞锦、程乔同仁的协助。

## 参考文献

- [1] 张金川, 金之钧, 袁明生. 气成藏机理和分布[J]. 天然气工业, 2004, 24(7): 15-18.  
ZHANG Jinchuan, JIN Zhijun, YUAN Mingsheng. Reservoiring mechanism of shale gas and its distribution[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(7): 15-18.
- [2] 聂海宽, 唐玄, 边瑞康. 页岩气成藏控制因素及中国南方页岩气发育有利区预测[J]. 石油学报, 2009, 30(4): 484-491.  
NIE Haikuan, TANG Xuan, BIAN Ruikang. Controlling factors for shale gas accumulation and prediction of potential development area in shale gas reservoir of south China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(4): 484-491.
- [3] 汤庆艳, 张铭杰, 余明, 等. 页岩气形成机制的生烃热模拟研究[J]. 煤炭学报, 2013, 38(5): 742-747.  
TANG Qingyan, ZHANG Mingjie, YU Ming, et al. Pyrolysis constraints on the generation mechanism of shale gas[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(5): 742-747.
- [4] 曹代勇, 王崇敬, 李靖, 等. 煤系页岩气的基本特点与聚集规律[J]. 煤田地质与勘探, 2014, 42(4): 25-30.  
CAO Daiyong, WANG Chongjing, LI Jing, et al. Basic characteristics and accumulation rules of shale gas in coal measures[J]. Coal Geology & Exploration, 2014, 42(4): 25-30.
- [5] CURTIS J B. Fractured shale-gas systems[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1921-1938.
- [6] BOWKER K A. Barnett shale gas production, Fort Worth basin: Issues and discussion[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 523-533.
- [7] JARVIE D. Geochemical comparison of shale resource systems[C]//Presented at Insight Gas Shafe Summit Dallas. Texas, 2008, 6-7.
- [8] BUSTIN R M. Gas shale tapped for big pay. AAPG Explorer, 2005, February: 6-8.
- [9] 邹才能, 杜金虎, 徐春春, 等. 四川盆地震旦系—寒武系特大型气田形成分布、资源潜力及勘探发现[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(3): 278-293.  
ZOU Caineng, DU Jinhu, XU Chunchun, et al. Formation, distribution, resource potential and discovery of the Sinian-Cambrian giant gas field, Sichuan basin, SW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(3): 278-293.
- [10] 陈泉霖. 福建二叠系中统童子岩组页岩气储层特征[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46(4): 79-85.  
CHEN Quanlin. Characteristics of shale gas in Middle Permian Tongziyan Formation in Fujian Province[J]. Coal Geology & Exploration, 2018, 46(4): 79-85.
- [11] 福建省地质调查研究院. 中国区域地质志: 福建志[M]. 北京: 地质出版社, 2016.
- [12] 福建省地质矿产勘查开发局. 福建闽南地区页岩气选区评价2014年度成果报告[R]. 福州: 福建省地质矿产勘查开发局, 2016.
- [13] 高苑, 王永莉, 何大祥, 等. 准噶尔盆地东南缘油页岩有机地球化学特征及含气潜力[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(6): 1196-1204.  
GAO Yuan, WANG Yongli, HE Daxiang, et al. Shale gas potential and organic geochemical characteristics of oil shale in the southeast of Junggar basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(6): 1196-1204.
- [14] 孟庆峰, 侯贵廷. 页岩气成藏地质条件及中国上扬子地区页岩气潜力[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(1): 11-14.  
MENG Qingfeng, HOU Guiting. Geological controls on shale gas play and potential of shale gas resource in upper Yangtze region, China[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(1): 11-14.
- [15] ROSS D J, BUSTIN R M. Characterizing the shale gas resource potential of Devonian-Mississippian strata in the western Canada sedimentary basin: Application of an integrated formation evaluation[J]. AAPG Bulletin, 2008, 92(1): 87-125.
- [16] 吉利明, 邱军利, 夏燕青, 等. 常见黏土矿物电镜扫描微孔隙特征与甲烷吸附性[J]. 石油学报, 2012, 33(2): 249-256.  
JI Liming, QIU Junli, XIA Yanqing, et al. Micro-pore characteristics and methane adsorption properties of common clay minerals by electron microscope scanning[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(2): 249-256.
- [17] 陈尚斌, 秦勇, 王阳, 等. 中上扬子区海相页岩气储层孔隙结构非均质性特征[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(8): 1455-1463.  
CHEN Shangbin, QIN Yong, WANG Yang, et al. Pore structure and heterogeneity of marine shale[J]. Engineering Sciences, 2015, 26(8): 1455-1463.
- [18] 王社教, 杨涛, 张国生, 等. 页岩气主要富集因素与核心区选择及评价[J]. 中国工程科学, 2012, 14(6): 94-100.  
WANG Shejiao, YANG Tao, ZHANG Guosheng, et al. Shale gas enrichment factors and the selection and evaluation of the core area[J]. Engineering Sciences, 2012, 14(6): 94-100.
- [19] 邹才能, 董大忠, 王玉满, 等. 中国页岩气特征、挑战及前景(二)[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(2): 166-178.  
ZOU Caineng, DONG Dazhong, WANG Yuman, et al. Shale gas in China: Characteristics, challenge and prospects(II)[J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(2): 166-178.
- [20] 王淑芳, 董大忠, 王玉满, 等. 中美海相页岩气地质特征对比研究[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(9): 1666-1678.  
WANG Shufang, DONG Dazhong, WANG Yuman, et al. A comparative study of the geological feature of marine shale gas between China and the United States[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(9): 1666-1678.