

桂中坳陷中泥盆统罗富组 富有机质泥页岩特征及意义

张子亚^{1,2}, 魏家琦³, 石砥石^{1,2}, 覃英伦^{1,2}, 赵应权³, 庞春雨³, 刘洋³

(1. 中国地质调查局 油气资源调查中心, 北京 100083; 2. 中国地质调查局 非常规油气地质重点实验室, 北京 100029;
3. 成都理工大学 沉积地质研究院, 成都 610059)

摘要:通过全岩 X 衍射、黏土矿物 X 衍射、有机地球化学特征分析, 研究桂中坳陷中泥盆统罗富组富有机质泥页岩特征。该泥页岩主要发育于台盆环境, 岩性主要为黑色泥页岩、碳质页岩、硅质页岩和硅质泥页岩; 鹿寨南部有机碳含量最高超过 2.55%, 合山—上林一线西北部最高超过 3.0%; 有机质类型为 I—II₁ 型为主的混合型, 生烃潜力较大, 热演化程度高, 具备页岩气藏发育的良好地质条件。页岩气富集因素分析表明, 南丹—天峨一线与合山附近区域页岩气聚集条件较优越, 是桂中坳陷中泥盆统罗富组页岩气勘探开发的有利区域。

关键词:泥页岩特征; 聚集条件; 页岩气; 罗富组; 中泥盆统; 桂中坳陷

中图分类号: TE132.2

文献标识码: A

Shale gas characteristics of organic-rich shale in Luofu Formation in Guizhong Depression

ZHANG Ziya^{1,2}, WEI Jiaqi³, SHI Dishu^{1,2}, QIN Yinglun^{1,2}, ZHAO Yingquan³, PANG Chunyu³, LIU Yang³

(1. Oil & Gas Survey Center, China Geological Survey, Beijing 100083, China;

2. Key Laboratory of Non-conventional Oil and Gas Geology, China Geological Survey, Beijing 100029, China;

3. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: The characteristics of organic-rich shale in the Middle Devonian Luofu Formation in the Guizhong Depression were studied using whole rock and clay mineral X-ray diffraction, and organic geochemical analyses. The shale was deposited as a black mud shale, carbonaceous shale, siliceous shale and siliceous mud shale. The organic carbon content in the southern Luzhai is higher than 2.55%, and the highest value in the northwest of Heshan—Shanglin is above 3.0%. The organic matter is mainly mixed types I and II₁, which showed a great hydrocarbon generation potential and a high thermal evolution degree. The analysis of shale gas enrichment factors indicated that the regions close to Nandan—Tian'e and Heshan were favorable for shale gas accumulation, which were exploration targets in the Middle Devonian Luofu Formation in the Guizhong Depression.

Key words: shale characteristics; accumulation condition; shale gas; Luofu Formation; Middle Devonian; Guizhong Depression

美国页岩气革命的爆发, 在全世界掀起了页岩气勘探与开发的热潮。随着我国对页岩气资源调查与勘探工作的不断深入, 在四川盆地涪陵地区取得了页岩气勘探的巨大突破, 并进入商业开采阶段^[1-5]。后续研究与勘探工作^[6-18]揭示我国保存有巨量的页岩气资源^[13-16], 并且在多个地区都取得了页岩气勘探的可喜发现^[19-21], 显示出大有可为的态势。桂中坳陷一直以来是油气勘探的重点区域^[22-35], 主要发育生物礁储层, 烃源岩条件较为优越, 保存条件相对较差^[35]。但是, 对桂中坳陷中

泥盆统罗富组富有机质泥页岩的系统研究仍然较为缺乏^[28,30], 笔者开展了泥页岩厚度、矿物组成、有机质丰度、有机质成熟度及类型研究, 在此基础上结合选取标准, 预测了罗富组富有机质泥页岩的页岩气勘探有利区。

1 地质背景

桂中坳陷位于广西壮族自治区东北部, 泥盆纪受拉张运动影响, 在坳陷内部形成了北西和北东向的2组边界断裂; 同时, 由于海侵规模扩张, 坳陷内

收稿日期: 2018-09-19; 修订日期: 2018-11-08。

作者简介: 张子亚(1990—), 男, 硕士研究生, 从事页岩油气调查与选区评价工作。E-mail: zyzhang3327@163.com。

基金项目: 国家科技重大专项“页岩气资源评价方法与勘查技术攻关”(2016ZX05034) 和中国地质调查局二级项目“滇黔桂地区上古生界海相页岩气基础地质调查项目”(121201021000150011) 联合资助。

部形成了台盆相间的沉积格局^[34]。现今坳陷面积约 $4.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，北部与江南古陆毗邻，东部以龙胜—永福断裂及大瑶山隆起为界，西部以南丹—都安断裂为界^[35-36]。中泥盆世早期，碎屑物源因为雪峰古陆近乎夷平而大为减少，碳酸盐沉积逐渐增加；沉积环境以台盆相为主，滨岸相几乎不存在，其余地带与早泥盆世晚期大致相同，局部可见海退现象而呈现半局限台地，表现为三台围一坳，在坳陷北部隆起区不发育；在南丹—环江—罗城—百亩—茶洞一线以北，表现为碳酸盐开阔台地环境沉积，以灰岩沉积为主；灵川—临桂—永福—金秀—东乡—六陈以东地区，表现为孤立台地沉积，以灰岩沉积为主；在黎塘—贵港以南地区也发育一个小区域的孤立台地沉积；而在坳陷的其他区域则表现为台盆相沉积(图 1)，发育有大套的暗色富有机质泥页岩，为页岩气潜在有利勘探目标。

2 富有机质泥页岩沉积特征

2.1 岩性特征

桂中坳陷中泥盆统沉积期发育台盆相间的沉积格局(图 1)，受此影响，主要发育泥页岩和碳酸盐岩，其中泥页岩主要发育于台盆相区。根据本次野外实测剖面，发育于台盆相区的泥页岩主要有 3 种类型：灰黑色泥页岩、黑色碳质泥页岩和竹节石泥页岩，其中竹节石泥页岩风化后呈红褐色(图 2)。

2.2 厚度分布

页岩气的分布与富有机质泥页岩的分布关系

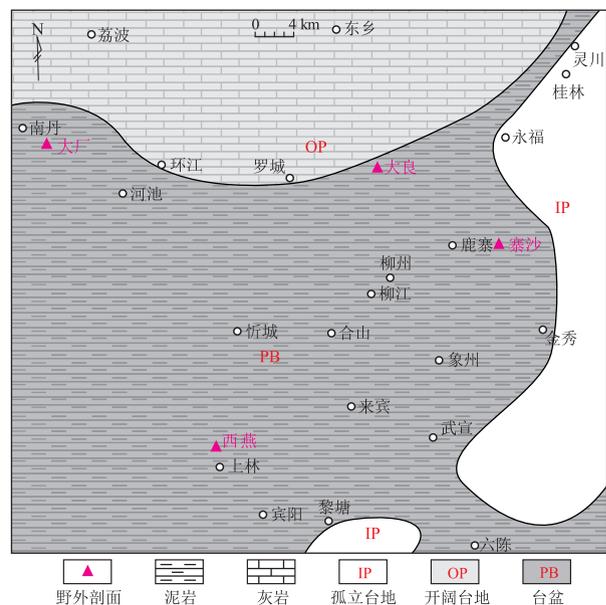


图 1 桂中坳陷罗富组沉积期岩相古地理

Fig.1 Lithofacies-paleogeography of Luofo Formation, Guizhong Depression

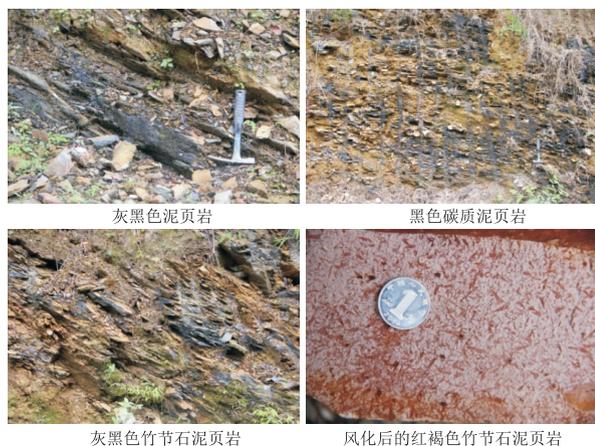


图 2 桂中坳陷上林地区罗富组岩石类型

Fig.2 Rock types of Luofo Formation, Shanglin area, Guizhong Depression

密切，查明富有机质泥页岩的空间展布特征，尤其是其厚度展布特征，是揭示页岩气潜力的重要工作之一。在富有机质泥页岩有机地化特征相同的情况下，其厚度越大，相应的油气勘探潜力也就越大。中泥盆统沉积期，罗富组是桂中坳陷富有机质泥页岩的主要赋存层位，以南丹—罗甸、合山及柳州—鹿寨为沉积中心。根据野外和钻井资料揭示，该地区富有机质泥页岩厚度平均超过 250 m，沉积中心的厚度达 550 m 以上(图 3)。

3 富有机质泥页岩特征

3.1 矿物组成特征

X 射线衍射全岩分析和黏土矿物分析显示，中

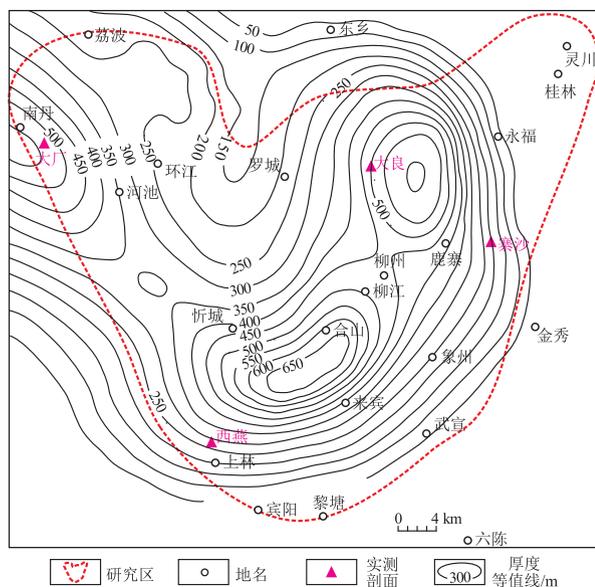


图 3 桂中坳陷中泥盆统罗富组富有机质泥页岩厚度平面分布

Fig.3 Thickness of organic rich shale in Luofo Formation, Guizhong Depression

泥盆统罗富组富有机质泥页岩与其他富有机质页岩具有相似性,都由脆性矿物和黏土矿物组成。

脆性矿物主要由石英、长石、碳酸盐岩矿物组成。其中石英为优势脆性矿物,20 件样品中其含量在 24%~84%,平均 53%(图 4)。长石含量次之,主要为斜长石,钾长石含量较少。20 件样品中 19 件检出斜长石,其含量介于 2%~17%,平均 7%;钾长石大部分样品未检测出,仅少数几件测出。碳酸盐岩矿物主要为菱铁矿,少量样品含有白云石。菱铁矿含量总体也较低,介于 1%~8%,平均 3%。其他脆性矿物,如黄铁矿、石膏、重晶石等未检测出。

黏土矿物以伊利石为主,绿泥石和高岭石次之,含有少量的伊/蒙混层。黏土矿物总含量介于 3%~71%,平均 35%(图 5)。伊利石含量介于 68%~95%,平均 84%。20 件样品中高岭石矿物仅在第 1 层至第 7 层以及第 9 层发育,含量介于 5%~29%,平均 16%;其他层位未检测出。绿泥石矿物在大部分样品中皆有发现,含量介于 2%~26%,平均 9%;在第 1 层、第 2 层、第 4 层、第 6 层以及第 22 层共计 5 层中未检出。

3.2 有机质丰度、类型及成熟度

3.2.1 有机质丰度

通常采用总有机碳含量、氯仿沥青“A”、生烃潜量(S₁+S₂)和总烃含量来表征富有机质泥页岩的有机质丰度。但在高热演化条件下,除了总有机碳含量尚具有一定的参考价值之外,氯仿沥青“A”

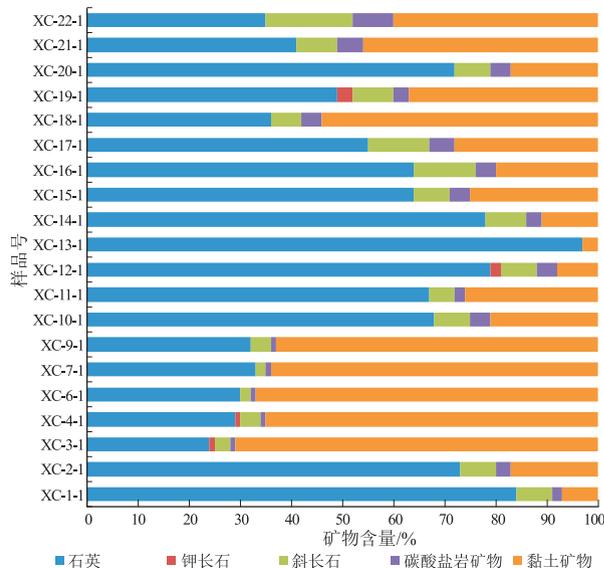


图 4 桂中坳陷中泥盆统罗富组富有机质泥页岩脆性矿物含量

Fig.4 Brittle mineral contents in organic rich shale, Luofu Formation, Guizhong Depression

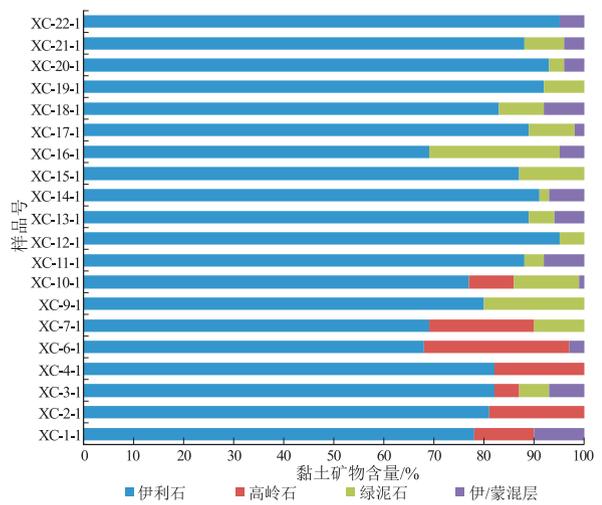


图 5 桂中坳陷中泥盆统罗富组富有机质泥页岩黏土矿物含量

Fig.5 Clay mineral contents in organic rich shale, Luofu Formation, Guizhong Depression

等 3 项指标已经不再具有指示功能。

受加里东构造运动影响,中泥盆世桂中坳陷裂隙活动发育,导致台盆范围扩大,并伴随有台盆水体加深。在此条件下,有机质得以大量富集和保存,为后续页岩气勘探提供了良好的条件。野外资料点和钻井资料综合揭示,罗富组富有机质泥页岩有机质丰度整体较好,达 1.0% 以上;其中又以南丹、柳州和合山—上林 3 个区域最为富集,合山—上林一线西北部最高可达 3.0 % 以上(图 6)。

3.2.2 有机质类型

有机质类型是烃源岩研究的重要指标之一,表

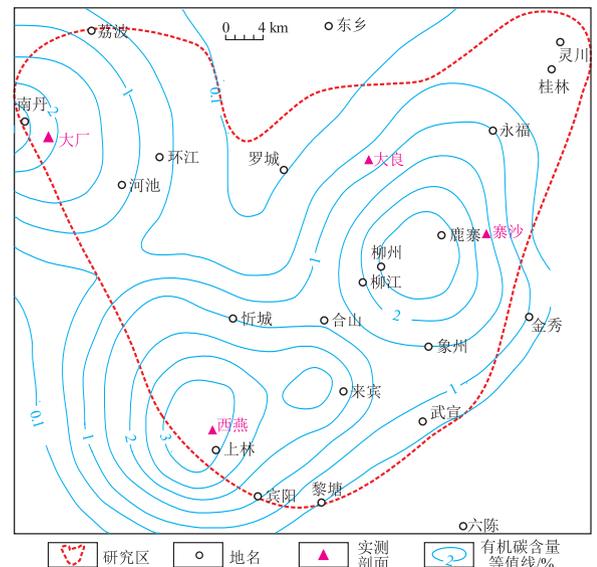


图 6 桂中坳陷中泥盆统罗富组富有机质泥页岩 TOC 平面分布图

Fig.6 TOC distribution of organic rich shale, Luofu Formation, Guizhong Depression

征着烃源岩是生油亦或是生气。其主要表征参数是烃源岩中干酪根有机显微组分, 通常包括镜质组、惰性组、壳质组等单元, 性质与特征各不相同^[37]。因此, 查明烃源岩干酪根显微组分的差异性, 也就能了解有机质类型的差异。

结合南丹大厂剖面实测资料, 罗富组富有机质泥页岩中干酪根显微组分以腐泥组和壳质组为主, 两者含量占绝对优势, 为 59.3%~87.7%, 而镜质组含量仅为 12.0%~40.7%, 惰性组含量几乎为 0, 总体表现为 I—II₁ 型有机质 (图 7)。罗富组干酪根碳同位素值为 -27.44‰~-24.84‰^[38], 同样偏轻, 表现为 II₁ 型有机质, 与干酪根镜鉴结果一致。

3.2.3 有机质成熟度

富有机质泥页岩有机质成熟度评价是开展页岩气调查的重要组成部分之一, 研究揭示富有机质泥页岩有机质只有达到一定的成熟度之后, 才会具有较高的油气勘探价值和潜力。有机质成熟度是指有机质的热演化程度, 在油气地质上常采用镜质体反射率 (R_o) 与热解法 (T_{max}) 来揭示。本次研究通过对样品开展镜质体反射率和热解法测试, 将有机质热演化划分为 4 个阶段, 即: 未成熟、低成熟、成熟和过成熟。

桂中坳陷富有机质泥页岩镜质体反射率整体较高, 介于 2.0%~3.0%, 处于过成熟演化阶段; 桂中坳陷“罗城—柳州—来宾—上林”一线以东地区镜质体反射率低于 2.0% (图 8), 表明该地区富有机质泥页岩可能大量生气, 具有较好的勘探前景。

研究区中泥盆统内样品的 T_{max} 值均分布在 315~524 °C 之间 (图 9)。意味着研究区内部分样品尚未进入成熟阶段 (T_{max} 小于 430 °C), 部分样品

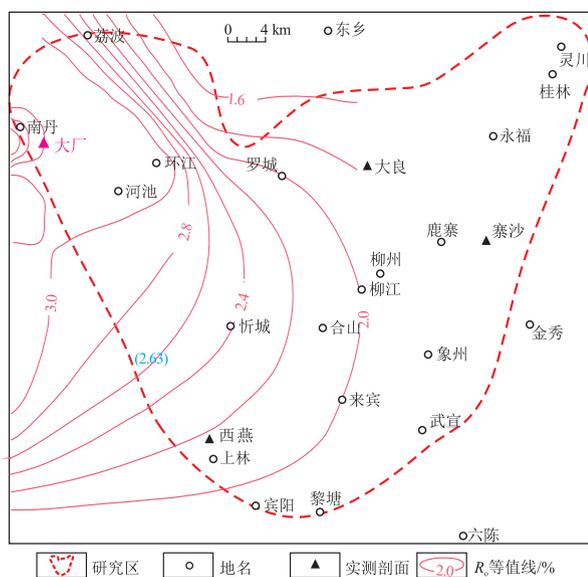


图 8 桂中坳陷中泥盆统罗富组富有机质泥页岩镜质体反射率平面分布
Fig.8 R_o distribution of organic rich shale, Luofu Formation, Guizhong Depression

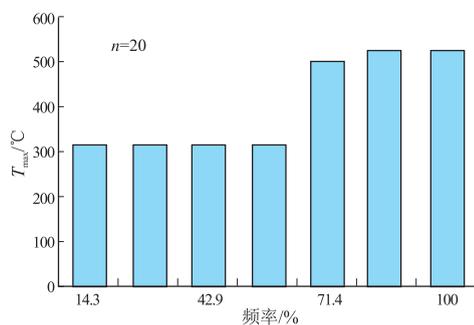


图 9 桂中坳陷中泥盆统罗富组富有机质泥页岩 T_{max} 直方图
Fig.9 T_{max} of organic rich shale, Luofu Formation, Guizhong Depression

已经进入了高成熟阶段 (T_{max} 大于 450 °C), 且有部分样品进入了过成熟阶段 (T_{max} 大于 500 °C)。这说明中泥盆统的泥页岩在热演化过程中呈现出了 2 个极端, 即部分未成熟, 部分已经高成熟或过成熟。 T_{max} 值揭示的特征与镜质体反射率 (R_o) 揭示的具有一致性, 充分表明该地区可能具有较好的勘探潜力。

同时, 结合表 1, 桂中坳陷中泥盆统罗富组富有机质泥页岩样品的热解烃 (S_2) 含量普遍超过 0.1 mg/g, 且远超过可溶解烃 (S_1), 表明残留物以稳定性高的干酪根为主, 也表明该地区富有机质泥页岩的热演化程度较高。

4 页岩气富集有利区

4.1 选区标准

笔者主要选取富有机质泥页岩有效厚度、有

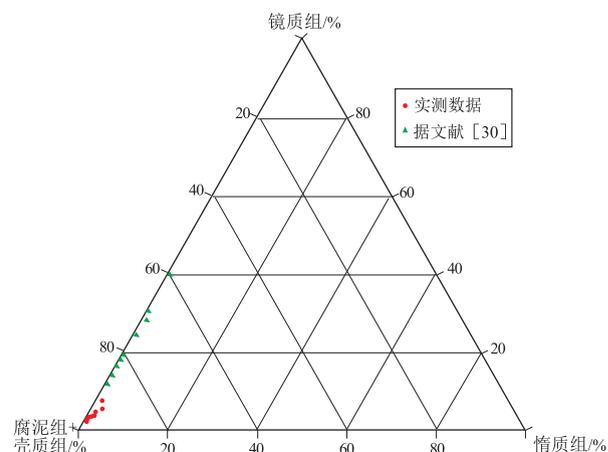


图 7 桂中坳陷中泥盆统罗富组富有机质泥页岩显微组分三角图

Fig.7 Ternary diagram of organic rich shale, Luofu Formation, Guizhong Depression

表 1 桂中坳陷中泥盆统罗富组富有机质泥页岩热解参数

Table 1 Pyrolysis parameters of organic rich shale, Luofu Formation, Guizhong Depression

样品号	$S_1/(mg \cdot g^{-1})$	$S_2/(mg \cdot g^{-1})$	$S_1/(S_1+S_2)$
LF-01	0.013 3	0.049 2	0.212 8
MNP-27	0.018 7	0.070 2	0.210 3
MNP-21	0.019 3	0.048 5	0.284 7
MNP-20	0.018 3	0.046 7	0.281 5
MNP-15	0.017 2	0.059 6	0.224 0
MNP-11	0.029 9	0.058 7	0.337 5
BLF-07	0.016 0	0.038 5	0.293 6
XC-1-1	0.013 0	0.040 3	0.243 9
XC-3-1	0.012 8	0.033 5	0.276 5
XC-6-1	0.014 6	0.039 1	0.271 9
XC-9-1	0.016 3	0.034 6	0.320 2
XC-11-1	0.018 3	0.033 5	0.353 3
XC-14-1	0.018 3	0.030 1	0.378 1
XC-18-1	0.012 7	0.035 9	0.261 3
XC-19-1	0.016 5	0.052 2	0.240 2
XC-22-1	0.012 9	0.034 8	0.270 4

表 2 有利区优选参考指标

Table 2 Optimum parameter list of favorable zones

主要参数	变化范围
页岩面积下限	有可能在其中发现勘查区块的最小面积,在稳定区和改造区都有可能分布。根据地表条件和资源分布等多因素考虑,面积下限为 200~500 km ²
泥页岩厚度	含气泥页岩层段厚度大于 20 m
有机碳含量	平均不小于 2.0%
镜质体反射率	I 型干酪根 $R_o \geq 1.2\%$, II 型干酪根 $R_o \geq 0.7\%$, III 型干酪根 $R_o \geq 0.5\%$
埋深	300~4 500 m
地表条件	地形高差较小,如平原、丘陵、低山、中山、沙漠等
总含气量	不小于 0.5 m ³ /t
保存条件	中等—好

机质丰度、成熟度及有机质类型为指标(表 2),采用综合信息叠合法,对研究区页岩气有利勘探区进行预测。具体做法为,将有机碳含量大于 2%,镜质体反射率介于 2%~3%,厚度大于 100 m 的叠合区域圈定为有利富集带。

4.2 有利区分布

根据上述页岩气有利勘探区圈定原则,综合构造、有机碳含量、富有机质泥页岩成熟度及有机质类型等信息,上林地区马山—上林一带中泥盆统罗富组泥页岩有机碳含量较高(大于 2%),有机质成熟度达到高一过成熟阶段(大于 2%),泥页岩厚度较厚(50~350 m),分布广泛,埋深适中,因此中泥盆统页岩气有利勘探区分布于马山—上林一带与南丹—天峨一线(图 10)。

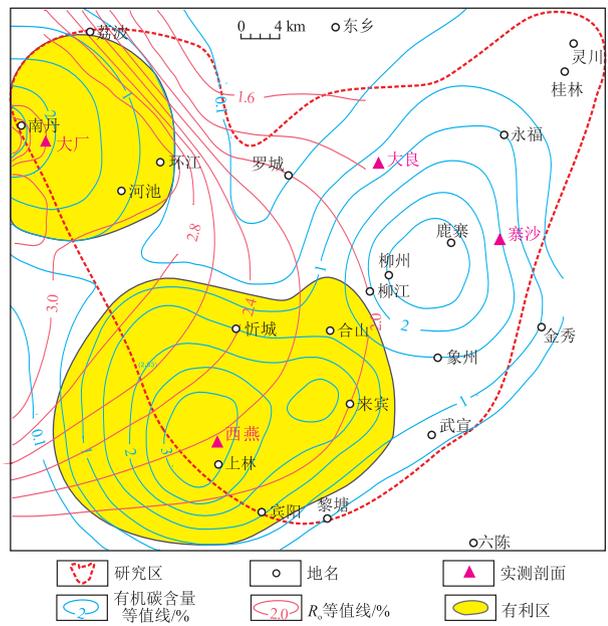


图 10 桂中地区中泥盆统罗富组下段富有机质泥页岩生烃有利区预测

Fig.10 Exploration targets for shale gas in organic rich shale, Luofu Formation, Guizhong Depression

5 结论

(1)中泥盆统罗富组沉积期,桂中坳陷富有机质页岩主要发育于台盆环境,以南丹—罗甸、合山及柳城—鹿寨为沉积中心,沉积中心的平均厚度超过 550 m。

(2)中泥盆统罗富组有机质类型主要为 I—II₁型;有机碳含量在坳陷内整体较好,高于 1%;镜质体反射率介于 2.0%~3.0%;有机地化特征揭示有利于页岩气成藏。

(3)综合沉积环境和富有机质泥页岩特征,认为中泥盆统页岩气有利勘探区分布于马山—上林与南丹—天峨一带。

致谢:感谢成都理工大学沉积地质研究院侯明才教授团队在广西野外和后期样品处理过程中的帮助!

参考文献:

[1] 郭彤楼,张汉荣.四川盆地焦石坝页岩气田形成与富集高产模式[J].石油勘探与开发,2014,41(1):28-36.
GUO Tonglou,ZHANG Hanrong. Formation and enrichment mode of Jiaoshiba shale gas field, Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(1): 28-36.

[2] 张柏桥,孟志勇,刘莉,等.四川盆地涪陵地区五峰组观音桥段成因分析及其对页岩气开发的意义[J].石油实验地质,2018,40(1):30-37.
ZHANG Boqiao, MENG Zhiyong, LIU Li, et al. Significance of shale gas genesis to the development of Guanyinqiao Member,

- Wufeng Formation, Fuling area, Sichuan Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2018, 40(1): 30-37.
- [3] 刘尧文,王进,张梦吟,等.四川盆地涪陵地区五峰—龙马溪组页岩气层孔隙特征及对开发的启示[J].*石油实验地质*, 2018, 40(1): 44-50.
- LIU Yaowen, WANG Jin, ZHANG Mengyin, et al. Pore features of shale gas layer in Wufeng-Longmaxi formations in Fuling area of Sichuan Basin and the application to development [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2018, 40(1): 44-50.
- [4] 王超,张柏桥,舒志国,等.四川盆地涪陵地区五峰组—龙马溪组海相页岩岩相类型及储层特征[J].*石油与天然气地质*, 2018, 39(3): 485-497.
- WANG Chao, ZHANG Boqiao, SHU Zhiguo, et al. Lithofacies types and reservoir characteristics of marine shales of the Wufeng Formation-Longmaxi Formation in Fuling area, the Sichuan Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2018, 39(3): 485-497.
- [5] 刘猛,刘超,舒志恒,等.四川盆地涪陵焦石坝地区黑色页岩非均质性特征及控制因素[J].*石油实验地质*, 2018, 40(1): 118-125.
- LIU Meng, LIU Chao, SHU Zhiheng, et al. Heterogeneity characteristics and controlling factors of black shale in Jiaoshiba, Fuling, Sichuan Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2018, 40(1): 118-125.
- [6] 靳雅夕,蔡潇,袁艺,等.渝东南地区志留系龙马溪组页岩粘土矿物特征及其地质意义[J].*中国煤炭地质*, 2015, 27(2): 21-25.
- JIN Yaxi, CAI Xiao, YUAN Yi, et al. Clay mineral characteristics and geological significance in Silurian Longmaxi Formation shale, southeastern Chongqing [J]. *Coal Geology of China*, 2015, 27(2): 21-25.
- [7] 李一凡,樊太亮,高志前,等.渝东南地区志留系黑色页岩层序地层研究[J].*天然气地球科学*, 2012, 23(2): 299-306.
- LI Yifan, FAN Tailiang, GAO Zhiqian, et al. Sequence stratigraphy of Silurian black shale and its distribution in the southeast area of Chongqing [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2012, 23(2): 299-306.
- [8] 冉天,谭先锋,陈浩,等.渝东南地区下志留统龙马溪组页岩气成藏地质特征[J].*油气地质与采收率*, 2017, 24(5): 17-26.
- RAN Tian, TAN Xianfeng, CHEN Hao, et al. Geological features of shale gas accumulation in the Lower Silurian Longmaxi Formation, southeast Chongqing [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2017, 24(5): 17-26.
- [9] 刘伟,余谦,闫剑飞,等.上扬子地区志留系龙马溪组富有机质泥岩储层特征[J].*石油与天然气地质*, 2012, 33(3): 346-352.
- LIU Wei, YU Qian, YAN Jianfei, et al. Characteristics of organic-rich mudstone reservoirs in the Silurian Longmaxi Formation in Upper Yangtze region [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(3): 346-352.
- [10] 熊健,刘向君,梁利喜.四川盆地富有机质页岩孔隙分形特征[J].*断块油气田*, 2017, 24(2): 184-189.
- XIONG Jian, LIU Xiangjun, LIANG Lixi. Fractal characteristics of organic rich shale pore in Sichuan Basin, China [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2017, 24(2): 184-189.
- [11] 聂海宽,包书景,高波,等.四川盆地及其周缘上奥陶统一下志留统页岩气成藏体系研究[J].*石油实验地质*, 2012, 34(2): 115-119.
- NIE Haikuan, BAO Shujing, GAO Bo, et al. Accumulation system for shale gas from Upper Ordovician to Lower Silurian in Sichuan Basin and surrounding areas [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2012, 34(2): 115-119.
- [12] 张金川,金之钧,袁明生.页岩气成藏机理和分布[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.
- [13] 闫存章,黄玉珍,葛春梅,等.页岩气是潜力巨大的非常规天然气资源[J].*天然气工业*, 2009, 29(5): 1-6.
- YAN Cunzhang, Huang Yuzhen, Ge Chunmei, et al. Shale gas: enormous potential of unconventional natural gas resources [J]. *Natural Gas Industry*, 2009, 29(5): 1-6.
- [14] 闫剑飞,余谦,刘伟,等.中上扬子地区下古生界页岩气资源前景分析[J].*沉积与特提斯地质*, 2010, 30(3): 96-103.
- YAN Jianfei, YU Qian, LIU Wei, et al. Perspectives of the Lower Paleozoic shale gas resources in the Middle-Upper Yangtze area [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2010, 30(3): 96-103.
- [15] 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.
- [16] 邹才能,董大忠,王社教,等.中国页岩气形成机理、地质特征及资源潜力[J].*石油勘探与开发*, 2010, 37(6): 641-653.
- ZOU Caineng, DONG Dazhong, WANG Shejiao, et al. Geological characteristics, formation mechanism and resource potential of shale gas in China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010, 37(6): 641-653.
- [17] 陈更生,董大忠,王世谦,等.页岩气藏形成机理与富集规律初探[J].*天然气工业*, 2009, 29(5): 17-21.
- CHEN Gengsheng, DONG Dazhong, WANG Shiqian, et al. Analysis of controls on gas shale reservoirs [J]. *Natural Gas Industry*, 2009, 29(5): 17-21.
- [18] 郭旭升,郭彤楼,魏志红,等.中国南方页岩气勘探评价的几点思考[J].*中国工程科学*, 2012, 14(6): 101-105.
- GUO Xusheng, GUO Tonglou, WEI Zhihong, et al. Thoughts on shale gas exploration in southern China [J]. *Engineering Science*, 2012, 14(6): 101-105.
- [19] 杜世涛,田继军,李沼鹤,等.准噶尔盆地二叠系页岩气储层特征及潜力区优选[J].*特种油气藏*, 2018, 25(2): 49-55.
- DU Shitao, TIAN Jijun, LI Zhaohao, et al. Permian shale gas reservoir characterization and favorable area identification in Junggar Basin [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2018, 25(2): 49-55.
- [20] 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.
- [21] 许露露,刘早学,张焱林,等.鄂西鹤峰区块大隆组含页岩气

- 地层潜力评价[J].特种油气藏,2018,25(2):14-18.
- XU Lulu, LIU Zaoxue, ZHANG Yanlin, et al. Shale gas reservoir potential evaluation of Dalong Formation in Hefeng of western Hubei Province [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2018, 25(2):14-18.
- [22] 蔡勋育, 黄仁春. 桂中坳陷构造演化与油气成藏[J]. 南方油气, 2003, 16(3):6-9.
- CAI Xunyu, HUANG Renchun. Structural evolution and hydrocarbon reservoir formation of Guizhong Depression [J]. Southern China Oil & Gas, 2003, 16(3):6-9.
- [23] 陈洪德, 庞林, 倪新锋, 等. 中上扬子地区海相油气勘探前景[J]. 石油实验地质, 2007, 29(1):13-18.
- CHEN Hongde, PANG Lin, NI Xinfeng, et al. New brief remarks on hydrocarbon prospecting of marine strata in the Middle and Upper Yangtze region [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(1):13-18.
- [24] 陈能贵, 杨斌. 中国南方海相地层区烃源岩有机质热演化特征[J]. 海相油气地质, 1999, 4(1):1-6.
- CHEN Nenggui, YANG Bin. Characteristics of hydrocarbon source rock of marine source rocks, South China [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 1999, 4(1):1-6.
- [25] 陈子焯, 姚根顺, 郭庆新, 等. 桂中坳陷海相地层油气成藏与热作用改造[J]. 海相油气地质, 2010, 15(3):1-10.
- CHEN Ziliao, YAO Genshun, GUO Qingxin, et al. Hydrocarbon accumulation and thermal reconstruction of Neopaleozoic marine strata in Guizhong Depression [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2010, 15(3):1-10.
- [26] 陈子焯, 姚根顺, 楼章华, 等. 桂中坳陷及周缘油气保存条件分析[J]. 中国矿业大学学报, 2011, 40(1):80-88.
- CHEN Ziliao, YAO Genshun, LOU Zhanghua, et al. Study of hydrocarbon preservation condition in Guizhong Depression and the margin [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2011, 40(1):80-88.
- [27] 贺训云, 姚根顺, 贺晓苏, 等. 桂中坳陷桂中 1 井沥青成因及油气成藏模式[J]. 石油学报, 2010, 31(3):420-425.
- HE Xunyun, YAO Genshun, HE Xiaosu, et al. Bitumen genesis and hydrocarbon accumulation pattern of well Guizhong-1 in Guizhong Depression [J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(3):420-425.
- [28] 潘仁芳, 唐小玲, 孟江辉, 等. 桂中坳陷上古生界页岩气保存条件[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(4):534-541.
- PAN Renfang, TANG Xiaoling, MENG Jianghui, et al. Shale gas preservation conditions for the Upper Paleozoic in Guizhong Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(4):534-541.
- [29] 汪新伟, 沃玉进, 张荣强. 扬子克拉通南华纪—早古生代的构造—沉积旋回[J]. 现代地质, 2008, 22(4):523-533.
- WANG Xinwei, WO Yujin, ZHANG Rongqiang, et al. Tectonic-sedimentary cycle of the Yangtze Craton from Nanhuaan to the Early Palaeozoic [J]. Geoscience, 2008, 22(4):523-533.
- [30] 王鹏万, 陈子, 贺训云, 等. 桂中坳陷泥盆系页岩气成藏条件与有利区带评价[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(3):353-363.
- WANG Pengwan, CHEN Ziliao, HE Xunyun, et al. Shale gas accumulation conditions and play evaluation of the Devonian in Guizhong Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(3):353-363.
- [31] 韦宝东. 桂中坳陷泥盆系烃源岩特征[J]. 南方油气, 2004, 17(2):19-21.
- WEI Baodong. Features of hydrocarbon source rocks of Devonian in Guizhong Depression [J]. Southern China Oil & Gas, 2004, 17(2):19-21.
- [32] 吴国干, 姚根顺, 徐政语, 等. 桂中坳陷改造期构造样式及其成因[J]. 海相油气地质, 2009, 14(1):33-40.
- WU Guogan, YAO Genshun, XU Zhengyu, et al. Structural patterns and origin of tectonic reformation in Guizhong Depression [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2009, 14(1):33-40.
- [33] 杨振恒, 李志明, 沈宝剑, 等. 页岩气成藏条件及我国黔南坳陷页岩气勘探前景浅析[J]. 中国石油勘探, 2009, 14(3):24-28.
- YANG Zhenheng, LI Zhiming, SHEN Baojian, et al. Shale gas accumulation conditions and exploration prospect in southern Guizhou Depression [J]. China Petroleum Exploration, 2009, 14(3):24-28.
- [34] 曾允孚, 刘文均, 陈洪德, 等. 华南右江复合盆地的沉积构造演化[J]. 地质学报, 1995, 69(2):113-124.
- ZENG Yunfu, LIU Wenjun, CHEN Hongde, et al. Evolution of sedimentation and tectonics of the Youjiang composite basin, South China [J]. Acta Geologica Sinica, 1995, 69(2):113-124.
- [35] 周雁, 李双建, 张荣强, 等. 中上扬子地区海相隆坳格局与油气聚集保存[J]. 地球科学与环境学报, 2016, 38(3):365-377.
- ZHOU Yan, LI Shuangjian, ZHANG Rongqiang, et al. Characteristics of paleo-structure and hydrocarbon accumulation of marine sequence in the Middle and Upper Yangtze region [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2016, 38(3):365-377.
- [36] 张矿明, 范志伟, 罗彦萍, 等. 桂中坳陷泥盆纪层序岩相古地理与孤立丘台礁滩发育特征[J]. 沉积学报, 2017, 35(1):102-116.
- ZHANG Kuangming, FANG Zhiwei, LUO Yanping, et al. Sequence litho-paleogeography and characteristics of Devonian isolated reef in Guizhong Depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2017, 35(1):102-116.
- [37] 涂建琪, 王淑芝, 费轩冬. 干酪根有机质类型划分的若干问题的探讨[J]. 石油实验地质, 1998, 20(2):187-191.
- TU Jianqi, WANG Shuzhi, FEI Xuandong. Discussion on certain problems to the division of organic matter types in kerogen [J]. Experimental Petroleum Geology, 1998, 20(2):187-191.
- [38] 龚宇. 广西页岩气资源分布规律研究[D]. 荆州: 长江大学, 2013.
- GONG Yu. The research on distribution regularities of shale gas in Upper Paleozoic in the Guangxi area [D]. Jingzhou: Yangtze University, 2013.