

引用格式:李豪,张英杰.广西南丹—柳州地区泥盆系页岩气成藏条件分析[J].油气地质与采收率,2025,32(1):63-70.
LI Hao, ZHANG Yingjie. Analysis of Devonian shale gas accumulation conditions in Nandan-Liuzhou area of Guangxi Province[J].
Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2025, 32(1): 63-70.

广西南丹—柳州地区泥盆系页岩气成藏条件分析

李豪,张英杰

(中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083)

摘要:广西南丹—柳州一带主要属于桂中坳陷,该区广泛分布了硅质泥页岩为主要岩性的台盆相沉积以及钙质泥页岩为主要岩性的台棚相沉积,二者共同构成了一套泥盆系暗色泥页岩系。通过野外典型剖面、地球化学数据等资料分析,认为以中泥盆统罗富组暗色泥页岩为主体的中泥盆统烃源岩具有优越的页岩气成藏条件。该套烃源岩最大厚度可达600 m, TOC值为0.61%~3.60%, R_o 值为2.55%~3.63%,处于高一过成熟阶段,具有较大的生烃潜力。孔隙度为1.7%~2%,平均渗透率为0.11 mD,属于特低孔低渗透储层,黏土矿物含量平均为41.6%,脆性矿物含量平均为59%,是良好的页岩气储层。研究区内区域盖层和顶底板条件良好,局部构造变形较弱,具备良好的保存条件。综合研究表明,环江—宜州一线以西地区为研究区泥盆系页岩气勘探有利区。

关键词:泥盆系;中泥盆统罗富组;暗色泥页岩;页岩气;桂中坳陷

文章编号:1009-9603(2025)01-0063-08

DOI:10.13673/j.pgre.202411025

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Analysis of Devonian shale gas accumulation conditions in Nandan-Liuzhou area of Guangxi Province

LI Hao, ZHANG Yingjie

(School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing City, 100083, China)

Abstract: Nandan-Liuzhou area of Guangxi Province is located in Guizhong Depression. The platform basin facies with the primary lithology of siliceous mudstone and the platform shelf facies with the primary lithology of calcareous mudstone are widely distributed in the area, which together constitute a set of the Devonian dark shale series. Based on the analysis of typical field profiles and geochemical data, it is concluded that the Middle Devonian source rocks mainly dominated by dark muddy shale of Luofu Formation of the Middle Devonian Series have superior shale gas accumulation conditions. The maximum thickness of the source rock can reach 600 m; the TOC value is 0.61%-3.60%; the R_o value is 2.55%-3.63%, and it is in the high to over-mature stage and has great hydrocarbon generation potential. The porosity is 1.7%-2%, and the average permeability is 0.11 mD, indicating an extremely low porosity and low permeability reservoir. Its average clay mineral content is 41.6%, and its average brittle mineral content is 59%, belonging to a high-quality shale gas reservoir. The cap rock and roof-to-floor conditions of the study area are good, and the local structural deformation is weak, offering great preservation conditions. The comprehensive study shows that the west of Huanjiang-Yizhou area is a favorable area for Devonian shale gas exploration in the study area.

Key words: Devonian; Luofu Formation of Middle Devonian Series; dark muddy shale; shale gas; Guizhong Depression

烃源岩在特定温压条件下所形成的天然气在排烃运移后残余在原地的残余型天然气被称为页岩气,也被称为“源内气”^[1-2]。页岩气作为一种近年

来我国新兴的油气资源,具有清洁环保、可开采资源量大的特点。自20世纪60年代以来,我国有关页岩气藏的研究逐渐受到相关学者的重视,近年来

收稿日期:2024-11-26。

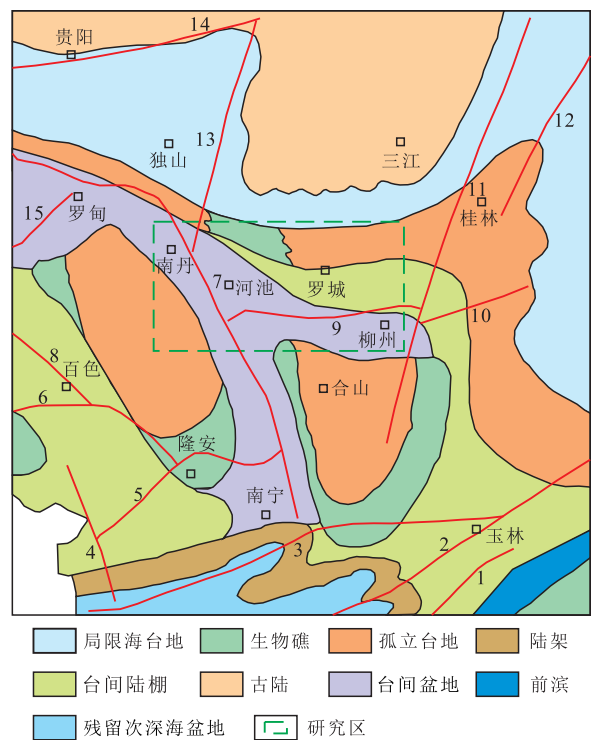
作者简介:李豪(1999—),男,山东烟台人,在读硕士研究生,从事页岩气勘探地质研究工作。E-mail:Mrhaoli12138@163.com。

我国页岩气的勘查与开发也取得一定进展与突破。依据前人的工作经验,页岩气藏中成藏岩层作为烃源岩,同时也是储层和盖层,构成独特的“三位一体”的完整成藏系统^[3],优质页岩气藏的形成主要依赖于页岩独特的沉积机理和构造位置,并受到优质泥页岩的发育和良好的保存条件2个因素的控制。四川盆地及周边的涪陵、昭通和黔北等地区之所以能够成为我国主要的页岩气产区,便得益于区域内上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组独特的构造位置、优质暗色页岩的发育以及较好的保存环境等条件。同样,作为中国南方地区海相沉积发育形成的8套以暗色页岩为主体的烃源岩层系之一,桂中坳陷发育的以中泥盆统罗富组为代表的烃源岩具有厚度大、空间展布广、油气源条件丰富、储集条件好等诸多成藏优势,具有很大的页岩气勘探潜力^[4-5]。因此,笔者着眼于桂中坳陷中泥盆统海相泥页岩的烃源岩特征、储集以及保存条件,对广西南丹—柳州地区页岩气勘探开发潜力进行分析。

1 区域地质背景

研究区位于广西中北部,扬子陆块的西南缘(图1),主要包括桂中坳陷中北部及极少部分的南盘江坳陷。桂中坳陷经历了多期的构造运动,其中影响最明显的包括海西运动、印支运动、燕山运动和喜马拉雅运动。受海西运动影响,区域内板块发生剧烈的伸展与扩张,发育了NW与NNW—NE向2组断裂;印支运动期间,桂中坳陷发生板块抬升,沉积环境由海相向陆相靠近,开始发育陆前盆地;燕山运动时期地层受到强烈挤压,发育了大量的褶皱和断裂,主要包括宜州断裂在内的走向为NNE向、NW向、SN向、EW向的4组断裂^[7-9];喜马拉雅运动期间,桂中坳陷及周边地区发生抬升,在此之后地层受到持续剥蚀,剥蚀厚度达到了千米,并自宜州断裂位置向南北两侧递增。

受上述构造运动的影响,桂中坳陷内泥盆系大致按照“台-盆-丘-槽”样式的古地理格局分布^[10],主要出露于区域的东部及北部。早泥盆世初期,桂中坳陷主要发育潮坪滨岸相沉积,形成了一套潮下坪砂岩;随着海平面的不断上升,沉积环境由潮汐动力为主的潮坪环境向陆棚环境转变,发育了一套陆棚相泥页岩,与潮下坪砂岩共同构成了泥盆系的基底。早泥盆世晚期,桂中坳陷经历了大规模的海侵事件,形成了大规模的沉积相分异:台盆环境中,发育了一



1—博白断裂; 2—灵山断裂; 3—宁明-南宁断裂; 4—靖西断裂; 5—下雷-灵马断裂; 6—田阳断裂; 7—紫云-罗甸-南丹-都安断裂; 8—右江断裂; 9—宜山断裂; 10—荔浦断裂; 11—永福-来宾断裂; 12—资源断裂; 13—三都-南丹断裂; 14—弥勒-师宗-普安断裂; 15—南盘江断裂

图1 南丹—柳州地区区域位置及中泥盆统岩相古地理图 (据文献[6]修改)

Fig.1 Location of Nandan-Liuzhou area and paleogeographic map of Middle Devonian lithofacies (Modified by Reference [6])

套台间盆地相泥页岩;在连陆台地的近海缘发育砂岩或灰岩地层;在孤立台地边缘,则发育一套潮坪沼泽相的混合岩系^[11]。中泥盆世,因海退作用,台间盆地在桂中坳陷大面积分布,局部呈现局限台地,表现为“三台围一坳”构造格局^[12],而在南丹县同贡村周边区域,发育了大套含较多生物碎屑的暗色泥页岩,可以作为优质烃源岩^[13]。该套生物碎屑含量较高的硅质碳质暗色泥页岩主要分布在深水台盆区域,而含少量或不含生物碎屑的硅质钙质泥页岩、钙质泥页岩及粉砂质泥页岩主要分布在浅水台棚区域和陆棚区域。晚泥盆世早期,桂中坳陷持续受到强烈的构造拉伸作用,直至晚泥盆世晚期,构造环境开始相对稳定。经过持续沉积充填,台盆萎缩,以灰岩为主的台地相沉积中开始发育瘤状灰岩。

从层序地层的角度,以南丹县同贡村附近一典型的泥盆系“南丹型”剖面^[14](称为同贡剖面)为例,研究区泥盆系可以整体看作一个二级层序,可以划分为莲花山组、那高岭组、益兰组、塘丁组、纳标组、罗富组、榴江组以及五指山组,含13个三级层序(图2)。从泥盆系底部莲花山组的潮坪相砂岩沉积,到

那高岭组主要的滨岸相砂岩沉积,到中部由益兰组、塘丁组、纳标组和罗富组共同组成的以含生物碎屑泥页岩为主的深水相沉积,再到榴江组硅质含量相较其他组明显增高的硅质泥页岩和碳质泥页岩,最后过渡到五指山组顶部含瘤状灰岩的泥灰岩层,反映了自早泥盆世晚期的大规模海侵事件之后,研究区内整体海平面都处于相对较高的状态,在以南丹地区为中心的部分区域内逐渐沉积了一套厚层的富含有机质的海相深水沉积,直至晚泥盆

世末期发生海退事件才使得海平面开始降低,研究区内又开始出现浅水相沉积。因此南丹—柳州地区多个区块的下泥盆统顶部至上泥盆统底部都有望成为页岩气勘探的有利层位。

2 烃源岩特征

天然气的生成受到多种因素的控制,其中首要的就是具备丰富的油气源条件,在要求烃源岩具有

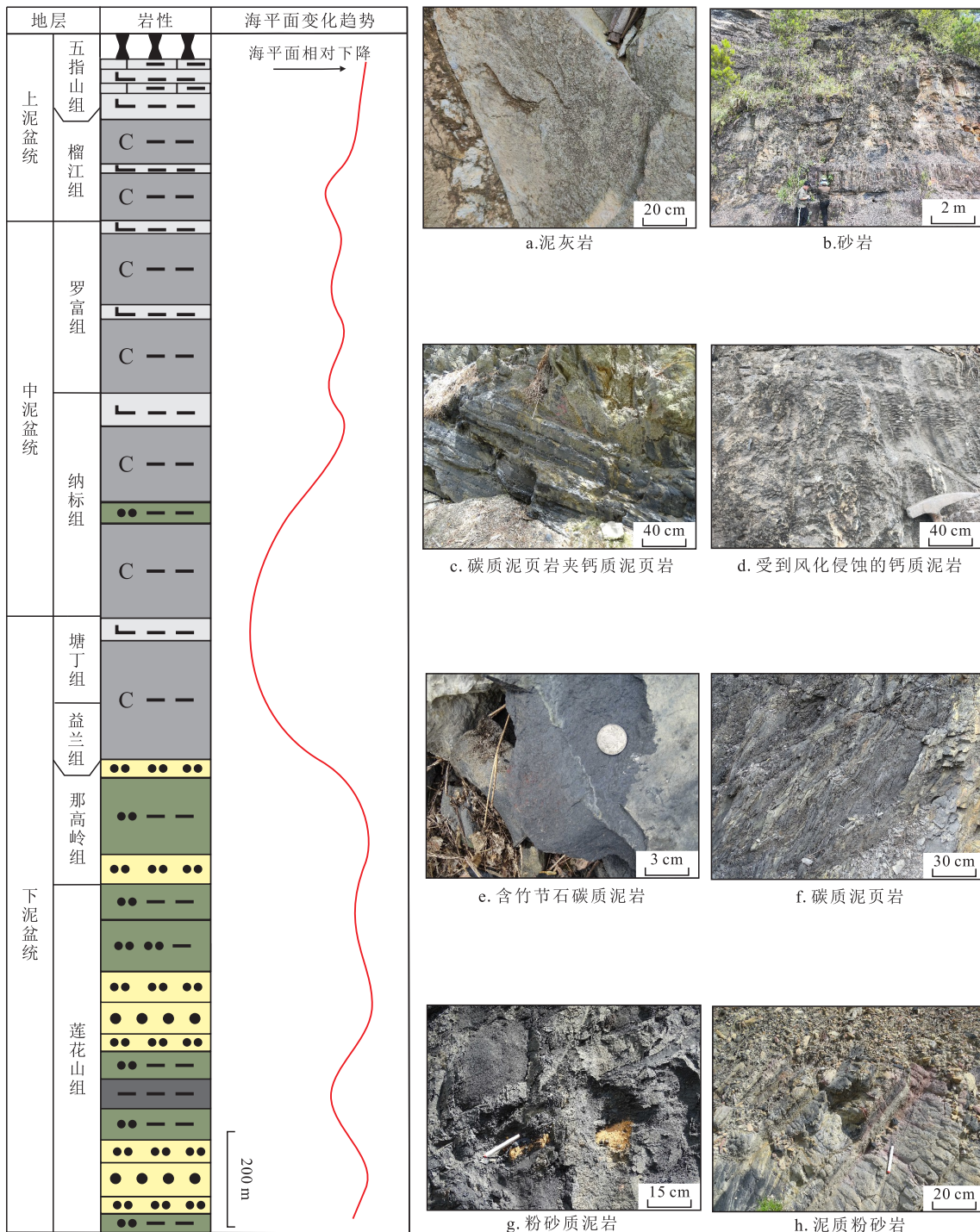


图2 南丹县同贡剖面泥盆系地层柱状图

Fig.2 Histogram of Devonian strata in Tonggong section of Nandan County

一定的厚度及分布范围的同时,还对烃源岩总有机碳含量、热演化程度等诸多条件有所要求^[15-18]。综合考虑,中泥盆统罗富组作为桂中坳陷富有机质泥页岩主要赋存层位之一,具有分布广泛、厚度较大、总有机碳含量及有机质热演化程度高等特点;且罗富组黑色碳质泥页岩中含有大量的竹节石、介形虫、有孔虫等化石(图3),一定程度上可以反映该套暗色泥页岩的沉积环境属于水体较深、水动力条件较弱的缺氧环境,有利于有机质的积累与保存。综上,以中泥盆统罗富组暗色泥页岩为例,论述广西南丹—柳州地区泥盆系页岩气烃源岩的资源潜力。

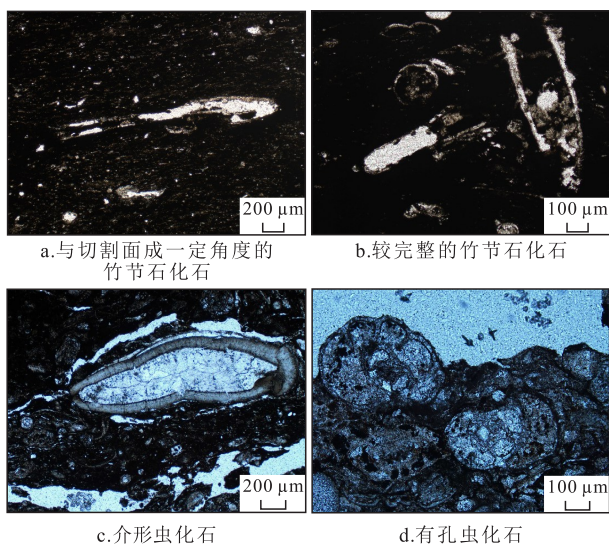


图3 罗富组黑色碳质泥页岩中生物化石显微镜下照片

Fig.3 Microscopic photos of biological fossils in black carbonaceous mudstone of Luofu Formation

2.1 烃源岩平面展布及厚度

页岩气的基本特征就是富有机质页岩的分布与页岩气的分布密切相关,因此明确富有机质页岩的横向展布与厚度,对于页岩气勘探潜力评价具有重要意义。罗富组在桂中坳陷除东部及南部小范围台地相区域外都有分布,以南丹—罗城及柳州—鹿寨一带为主。其中南丹地区作为沉积中心,发育一套厚度超过630 m的中泥盆统富有机质的优质烃源岩,是研究区页岩气成藏的主要层系。

2.2 总有机碳含量

有机质丰度通常用总有机碳含量、氯仿沥青“A”、生烃潜量和总含烃量来进行表征,但是考虑到南丹—河池一带暗色泥页岩基本都已处于高一过成熟演化阶段,氯仿沥青“A”、生烃潜量和总含烃量失去了指示意义,因此选择总有机碳含量(TOC)来表征有机质丰度。结合前人有关研究区中泥盆统泥页岩总有机碳含量的资料,绘制了中泥盆统暗色泥页岩 TOC分布(图4,图5)。可以看出,南丹县及

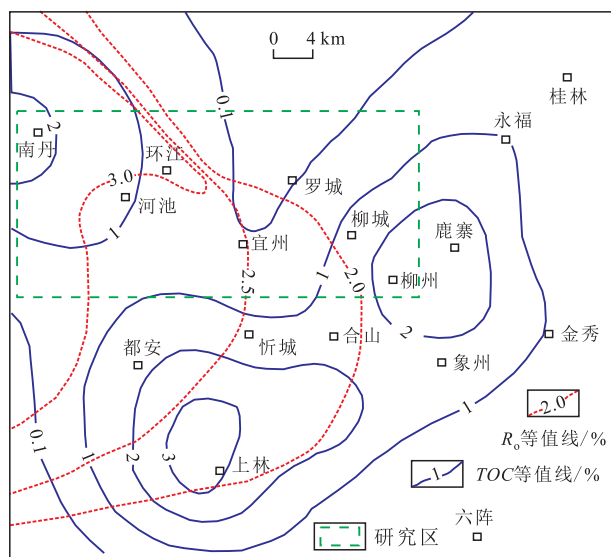


图4 中泥盆统泥页岩 TOC及Ro等值线分布 (据文献[12]修改)

Fig.4 TOC and Ro contour line distribution of Middle Devonian mudstone (Modified by Reference [12])

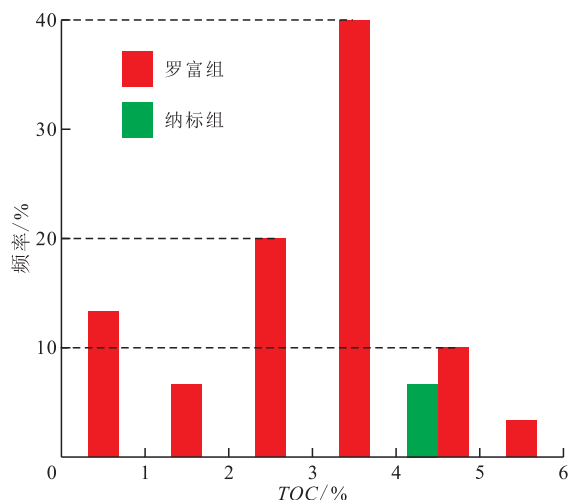


图5 暗色泥页岩样品 TOC 区段分布

Fig.5 TOC section distribution of dark mudstone sample

周边区域中泥盆统暗色泥页岩的 TOC 值绝大部分高于1%,南丹与柳州周边地区都超过了2%,其中罗富组的黑色碳质泥页岩样品 TOC 值普遍超过了1.7%,而同属于中泥盆统的纳标组,TOC 要稍逊于罗富组,因此中泥盆统罗富组作为页岩气烃源岩具有更大的生烃潜力。

2.3 热演化程度

沉积物中有机质的热成熟度是油气生成的关键,干酪根只有达到一定的热成熟度之后才会开始大量排烃。通常用镜质体反射率(Ro)来衡量烃源岩的有机质热成熟度。尽管北美页岩气藏其烃源岩的成熟度从未成熟到成熟均有发现,但是具有开采价值的页岩气藏的Ro值应大于1.1%,以不超过5%为宜^[19]。通过总结前人关于泥页岩有机质成熟度

资料^[12,20-21],结合部分样品测试分析结果得到研究区中泥盆统泥页岩 R_o 等值线分布(图4),其中南丹地区热成熟度普遍较高,大部分地区超过了3%,最高达到了3.63%,向东南方向成熟度虽有所降低,但大部分地区仍处于过成熟阶段, R_o 值达到了2%以上。

2.4 有机质类型

桂中坳陷泥盆系泥质烃源岩干酪根类型主要为II型。根据干酪根显微组分统计,中泥盆统罗富组烃源岩干酪根显微组分以腐泥组为主,相对含量为40.3%~87.7%,其次为镜质组,惰性组含量几乎为0,总体表现为I—II₁型;干酪根碳同位素值为-27.44‰~24.84‰,主要为II型,与显微组分鉴定结果一致^[22]。

3 储集条件

页岩气与其他油气资源不同,最大的特点就是“自生自储”,因此评价研究区泥盆系泥页岩成藏潜力,除了分析作为烃源岩的相关地球化学参数外,还要考虑作为储层的相关参数。当作为储层时,泥页岩储集吸附气的能力与其黏土矿物含量有关,储集游离气的能力则与脆性矿物和孔隙度有关。

3.1 矿物组成特征

研究区泥页岩的矿物成分比较复杂,主要包括伊利石、高岭石、绿泥石等为主的黏土矿物和以石英、长石、碳酸盐矿物为主的脆性矿物,二者的含量与泥页岩的储集能力息息相关^[22]。

一定含量的黏土矿物有利于天然气的吸附,但

是当黏土矿物含量过高时,泥页岩的脆性就会受到影响,进而影响天然裂缝的生成以及后期压裂造缝的进行。研究区泥页岩中的黏性矿物以伊利石为主,绿泥石和高岭石次之;黏土矿物的总含量为2%~74%,平均为41.6%^[23]。脆性矿物良好的抗压实性可以在储层成岩阶段较好的保护孔隙不受破坏;同时,随着脆性矿物含量的增加,在后期的改造中储层更容易形成裂缝(隙),为页岩气资源的动用提供运移通道及储存空间,因此较高的脆性矿物含量往往是页岩气优质储层形成的必要条件。研究区泥页岩的脆性矿物以硅质、长石为主。据统计,以罗富组为主的中泥盆统暗色泥页岩中,石英作为优势脆性矿物,含量为24%~97%,平均为56%^[12,23],其次为长石,主要为斜长石,钾长石含量较少。以长英质与碳酸盐矿物为主体的脆性矿物总量平均值为59%^[24-26](图6),是良好的页岩气储层,而其他层组不论是泥页岩,还是碳质页岩,脆性矿物的含量均达40%以上,也是较好的页岩气储层。

3.2 孔隙度

借鉴美国页岩气勘探开发经验,总结出了页岩气藏储层孔隙度的指标:有效孔隙度应达2%以上,有效孔隙半径应超过4.25 nm^[22,27-28]。在同层剖面采集的泥页岩样品中,粒间微孔、晶内微孔和溶蚀孔都有发育,孔隙半径主要集中在2~5 nm;孔隙度与渗透率均较小,孔隙度为1.7%~2.0%,平均渗透率为0.11 mD^[22,25],属于特低孔低渗透储层。

3.3 裂缝发育条件

裂缝可以为游离油气提供运移通道和一定的储集空间^[29-30]。桂中坳陷中、下泥盆统泥页岩已到

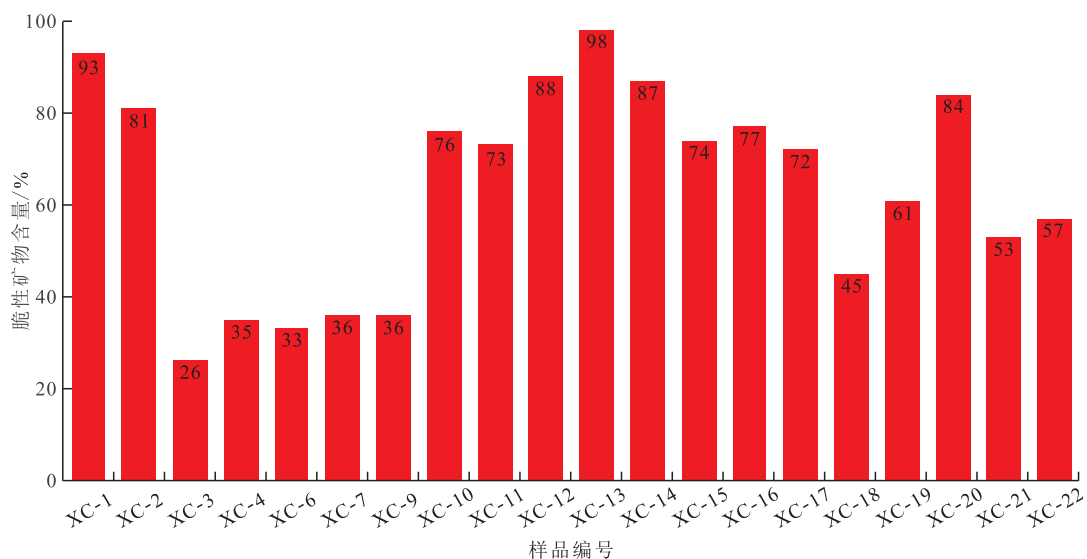


图6 中泥盆统泥页岩脆性矿物含量分布(据文献[23]修改)

Fig.6 Brittle mineral content distribution of Middle Devonian mudstone (Modified by Reference [23])

达晚成岩阶段,脆性较大,加之桂中坳陷前后经历了多次构造运动持续改造影响,较容易发育节理和裂缝,利于油气的运移与储存的同时,也对页岩气的保存条件造成了一定程度的破坏;除了构造应力,有机质生烃过程会导致页岩内压增大,突破了岩石的承受极限,同样会导致岩石破裂从而形成微小的裂隙,既为页岩气的储集提供了空间,又为页岩气的运移提供了通道。

4 保存条件

与常规油气藏相比,页岩气藏的形成对盖层的要求相对较低,一方面是因为页岩本身结构致密,孔隙度与渗透率普遍偏低,封闭性较好;另一方面主要因为页岩通常形成于构造环境相对稳定的盆地中心或者构造位置较低的区域,理论上受到构造运动的破坏作用相对比较弱。从微观物性特征上看,研究区泥页岩普遍具有低孔低渗透的特点,大部分地区处于成岩作用中期—晚期,结构致密,封闭性能好。从宏观尺度上看,南丹地区中泥盆统罗富组与纳标组同属于中国南方厚度较大的页岩气潜在目的层系,该层系与上覆榴江组、下伏塘丁组之间接触面封闭性较好,不易造成天然气的运移,非常利于页岩气的保存^[31-32];研究区东部地区虽然因出露地表受到剥蚀,造成了局部盖层封闭性破坏,但对整体盖层的封闭性并无太大影响^[33],且中泥盆统盖层在沉积后,并未受到后期构造抬升的过度破坏,河池—南丹一带泥质岩盖层的厚度超过500 m,鹿寨—象州一带的泥质岩厚度最高超过了700 m,具有良好的盖层条件。整体来看,桂中坳陷盖层较为发育,岩性多样,但以泥质岩盖层起主要作用(图7),主要分布在下泥盆统、下石炭统、上二叠统,其中下泥盆统属于区域性盖层,其余层位主要是起局部盖层作用^[35]。

5 页岩气勘探潜力分析

研究区内环江—宜州一线以西地区,中泥盆统烃源岩厚度约为50~350 m,南丹地区甚至超过了600 m; TOC 值一般为0.61%~3.60%,最高可达4.14%; R_o 值大部分为2.55%~3.63%,处于过成熟阶段且紧邻生烃中心,资源潜力较大;脆性矿物含量平均为59%,孔隙度为1.7%~2.0%,渗透率平均为0.11 mD;盖层受到后期构造运动破坏相对较轻,南

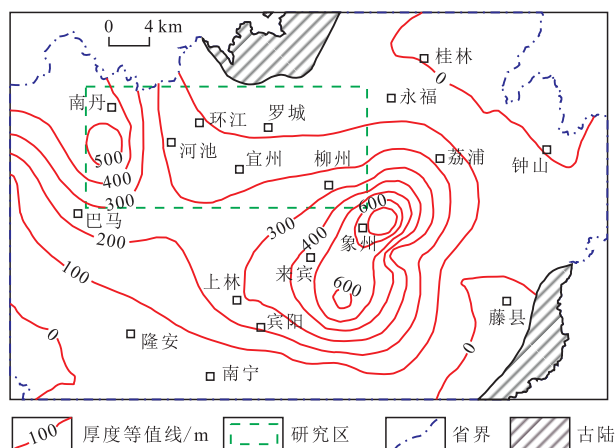


图7 区域泥质岩盖层厚度分布(据文献[34]修改)

Fig.7 Thickness distribution of regional argillaceous cap rock (Modified by Reference [34])

丹东南方向厚度超过500 m;尽管泥盆系也存在部分层组均质性较差,局部区域富有机质泥页岩厚度不大或空间延展较差的问题,但是并不影响整体页岩气的勘探。综上,环江—宜州一线以西地区是研究区页岩气有利分布区,其中以南丹—河池一线以西地区最为有利。

6 结论

(1)南丹—柳州地区中泥盆统罗富组深水台盆相暗色泥页岩厚度大且空间展布广, TOC 值绝大部分高于1%,处于高一过成熟阶段, R_o 值达到了2%以上,干酪根显微组分以腐泥组为主,主要为II型干酪根,具备较好的页岩气形成物源基础。

(2)罗富组暗色泥页岩发育粒间微孔、晶内微孔和溶蚀孔,属于特低孔低渗透储层。黏土矿物含量平均为41.6%,以伊利石、绿泥石和高岭石为主,具有良好的储层条件;同时,脆性矿物含量平均为59%,结构致密,可压性好,在后期的压裂中利于裂缝(隙)形成。

(3)南丹—柳州地区虽然经历了海西运动、印支运动、燕山运动和喜马拉雅运动的改造,并经历了较大的抬升剥蚀,但其中泥盆统盖层并未受到后期构造抬升的过度破坏,罗富组与顶底板接触面封闭性良好,对页岩气的保存非常有利。

(4)研究区泥盆系页岩气开发仍处于起步阶段,结合页岩气成藏各控制因素,认为环江—宜州一线以西地区为页岩气勘探的有利地区。

(5)后续研究工作考虑从层序地层的角度入手,理清各个沉积相在垂向、水平向上的演化过程,建立富有机质页岩主导的层序格架,并结合地球物

理勘探数据,找寻更精确的页岩气发育有利区域。

参考文献

- [1] 张金川.页岩气理论研究的基础意义[J].地质通报,2011,30(2):318-323.
ZHANG Jinchuan. Fundamental significance of gas shale theoretical research [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(2): 318-323.
- [2] 董大忠.中国页岩气勘探开发新突破及发展前景思考[J].天然气工业,2016,36(1):19-32.
DONG Dazhong. Breakthrough and prospect of shale gas exploration and development in China [J]. Natural Gas Industry, 2016, 36(1): 19-32.
- [3] 龚月,高和群,李小越,等.四川盆地及周缘页岩气赋存方式展布特征研究[J].非常规油气,2023,10(2):49-56.
GONG Yue, GAO Hequn, LI Xiaoyue, et al. Study on the distribution characteristics of occurrence modes of shale gas in the Sichuan Basin and its periphery [J]. Unconventional Oil & Gas, 2023, 10(2): 49-56.
- [4] 邹才能,董大忠,杨桦,等.中国页岩气形成条件及勘探实践[J].天然气工业,2011,31(12):26-39,125.
ZOU Caineng, DONG Dazhong, YANG Hua, et al. Conditions of shale gas accumulation and exploration practices in China [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(12): 26-39, 125.
- [5] 邹才能.非常规源岩层系油气形成分布与前景展望[J].地球科学,2022,47(5):1 517-1 533.
ZOU Caineng. Formation, distribution and prospect of unconventional hydrocarbons in source rock strata in China [J]. Earth Science, 2022, 47(5): 1 517-1 533.
- [6] 梅冥相,郑宽兵,初汉民,等.滇黔桂盆地及邻区二叠纪层序地层格架及古地理演化[J].古地理学报,2004,6(4):401-418.
MEI Mingxiang, ZHENG Kuanbing, CHU Hanmin, et al. Sequence stratigraphic framework and palaeogeographical evolution of the Permian of Dian-Qian-Gui Basin and its adjacent areas [J]. Journal of Palaeogeography, 2004, 6(4): 401-418.
- [7] 李浩.滇黔桂地区加里东构造古地理变迁及油气勘探潜力分析[D].北京:中国地质大学(北京),2005.
LI Hao. Analysis of tectonic-palaeogeographic variance of the caledonian movement and oil-gas exploration potential in the Dian-Qian-Gui area [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2005.
- [8] 吴国干.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. Structural patterns and origin of tectonic reformation in Guizhong Depression [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2009, 14(1): 33-40.
- [9] 黄文芳,马成龙,岑文攀,等.桂中坳陷北部下石炭统鹿寨组页岩岩相类型及储层特征[J].断块油气田,2024,31(6):968-977.
HUANG Wenfang, MA Chenglong, CEN Wenpan, et al. Lithofacies types and reservoir characteristics of shale of Lower Carboniferous Luzhai Formation in northern Guizhong Depression [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2024, 31(6): 968-977.
- [10] 梅冥相,马永生,高金汉,等.滇黔桂盆地及其邻区晚古生代层序地层格架及相对海平面变化[J].现代地质,2002,16(4):365-373.
MEI Mingxiang, MA Yongsheng, GAO Jinhan, et al. Sequence-stratigraphic framework and relative sea-level changes of late paleozoic in the Dianqiangui basin and its adjacent areas [J]. Geoscience, 2002, 16(4): 365-373.
- [11] 梅冥相,曾萍,初汉明,等.滇黔桂盆地及邻区泥盆纪层序地层格架及其古地理背景[J].吉林大学学报:地球科学版,2004,34(4):546-554.
MEI Mingxiang, ZENG Ping, CHU Hanming, et al. Devonian sequence-stratigraphic framework and its paleogeographical background in the Dianqiangui Basin and its adjacent areas [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2004, 34(4): 546-554.
- [12] 张子亚.桂中坳陷中泥盆统罗富组富有机质泥页岩特征及意义[J].石油实验地质,2019,41(1):16-22.
ZHANG Ziya. Shale gas characteristics of organic-rich shale in Luofu Formation in Guizhong Depression [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2019, 41(1): 16-22.
- [13] ZHANG Yingjie, CEN Wenpan, CHAI Kaiqi, et al. Sequence stratigraphic analysis and distribution features of Lower Carboniferous organic-rich shales in northern Guangxi [J]. Marine and Petroleum Geology, 2024, 162: 106727.
- [14] 琚宜文,卜红玲,王国昌.页岩气储层主要特征及其对储层改造的影响[J].地球科学进展,2014,29(4):492-506.
JU Yiwen, BU Hongling, WANG Guochang. Main characteristics of shale gas reservoir and its effects on the reservoir reconstruction [J]. Advances in Earth Science, 2014, 29(4): 492-506.
- [15] 何贵松,何希鹏,高玉巧,等.中国南方3套海相页岩气成藏条件分析[J].岩性油气藏,2019,31(1):57-68.
HE Guisong, HE Xipeng, GAO Yuqiao, et al. Analysis of accumulation conditions of three sets of marine shale gas in southern China [J]. Lithologic Reservoirs, 2019, 31(1): 57-68.
- [16] 魏富彬,刘珠江,陈斐然,等.川东南五峰组—龙马溪组深层、超深层页岩储层特征及其页岩气勘探意义[J].石油实验地质,2023,45(4):751-760.
WEI Fubin, LIU Zhujiang, CHEN Feiran, et al. Characteristics of the deep and ultra-deep shale reservoirs of the Wufeng-Longmaxi formations in the southeastern Sichuan Basin and the significance of shale gas exploration [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2023, 45(4): 751-760.
- [17] 刘洪林,王怀厂,李晓波.泸州地区五峰组—龙马溪组页岩气成藏特征[J].新疆石油地质,2024,45(1):19-26.
LIU Honglin, WANG Huaichang, LI Xiaobo. Shale gas accumulation characteristics of Wufeng Formation-Longmaxi Formation in Luzhou area [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2024, 45(1): 19-26.
- [18] 裴思嘉.多参数融合的页岩气地质甜点预测技术在川东南C工区的应用[J].大庆石油地质与开发,2023,42(2):33-39.
PEI Sijia. Application of multi-parameter fusion prediction tech-

- nology of shale gas geological sweet spot in C work area in southeast Sichuan [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2023, 42(2): 33-39.
- [19] 王元,杨恒林,黄浩勇,等.四川盆地泸州区块深层页岩气地质力学研究及应用[J].*中国石油勘探*,2023,28(5):68-83.
WANG Yuan, YANG Henglin, HUANG Haoyong, et al. Geomechanical study of deep shale gas and application in Luzhou block, Sichuan Basin [J]. *China Petroleum Exploration*, 2023, 28(5): 68-83.
- [20] 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):1 583-1 601.
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): 1 583-1 601.
- [21] 张英杰.广西中部泥盆系页岩气潜在性勘探目的层研究[D].北京:中国地质大学(北京),2021.
ZHANG Yingjie. Research on potential exploration target layers of shale gas in Devonian in the central area of Guangxi [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2021.
- [22] 王鹏万,陈子焯,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.
- [23] 魏家琦.桂中坳陷中泥盆统罗富组富有机质泥页岩特征[D].成都:成都理工大学,2019.
WEI Jiaqi. Characteristics of organic-rich shale of Middle Devonian Luofu Formation in Guizhong Depression [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2019.
- [24] 孟江辉.滇黔桂盆地泥盆系页岩气成藏条件及资源潜力分析[J].*现代地质*,2016,10(1):181-191.
MENG Jianghui. Shale gas accumulation condition and resource potential analysis of Devonian in Dian-Qian-Gui Basin [J]. *Geoscience*, 2016, 10(1): 181-191.
- [25] 巩书华.广西天峨-南丹地区中泥盆统罗富组页岩气地质条件研究[J].*中国煤炭地质*,2020,32(5):27-31.
GONG Shuhua. Study on Middle Devonian Luofu Formation shale gas geological condition in Tian'e-Nandan Area, Guangxi [J]. *Coal Geology of China*, 2020, 32(5): 27-31.
- [26] 张聪,刘欣春,徐胜林,等.台间盆地相富有机质页岩特征研究——以南丹地区莫德剖面罗富组为例[J].*矿物岩石*,2017,37(1):84-92
ZHANG Cong, LIU Xinchun, XU Shenglin, et al. The characteristics of organic rich shale in inter-platform basin—a case study on Luofu Formation from mode cross section in Nandan [J]. *Mineralogy and Petrology*, 2017, 37(1): 84-92
- [27] 蒋裕强,付永红,谢军,等.海相页岩气储层评价发展趋势与综合评价体系[J].*天然气工业*,2019,39(10):1-9.
JIANG Yuqiang, FU Yonghong, XIE Jun, et al. Development trend of marine shale gas reservoir evaluation and a suitable comprehensive evaluation system [J]. *Natural Gas Industry*, 2019, 39(10): 1-9.
- [28] 蒋裕强,董大忠,漆麟,等.页岩气储层的基本特征及其评价[J].*天然气工业*,2010,30(10):7-12.
JIANG Yuqiang, DONG Dazhong, QI Lin, et al. Basic features and evaluation of shale gas reservoirs [J]. *Natural Gas Industry*, 2010, 30(10): 7-12.
- [29] 裴健.页岩气成藏微观力学平衡研究方法及应用[D].北京:中国地质大学(北京),2016.
PEI Jian. Shale gas reservoirs micromechanics balance and its application [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2016.
- [30] 苑坤,方欣欣,阚涛,等.桂中坳陷西北部桂页1井泥盆系页岩气聚集条件研究[J].*中国石油勘探*,2017,22(4):90-97.
YUAN Kun, FANG Xinxin, WEN Tao, et al. Accumulation conditions of Devonian shale gas in Well GY 1 in northwestern Central Guangxi depression [J]. *China Petroleum Exploration*, 2017, 22(4): 90-97.
- [31] 张旭,桂和荣,洪大军,等.下扬子宣城地区二叠系孤峰组页岩气勘查方法研究[J].*特种油气藏*,2023,30(1):29-35.
ZHANG Xu, GUI Herong, HONG Dajun, et al. Study on the exploration method of shale gas in Permian Gufeng Formation, Xuancheng Area, Lower Yangtze Block [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2023, 30(1): 29-35.
- [32] 郭旭升,胡东风,段金宝.中国南海相油气勘探展望[J].*石油实验地质*,2020,42(5):675-686.
GUO Xusheng, HU Dongfeng, DUAN Jinbao. Marine petroleum exploration in South China [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2020, 42(5): 675-686.
- [33] 杨锐.广西页岩气成藏特征分析:以桂中坳陷为例[D].武汉:长江大学,2013.
YANG Rui. Shale gas accumulation characters of Upper Palaeozoic in Guangxi Province: a case study in Guizhong Depression [D]. Wuhan: Yangtze University, 2013.
- [34] 楼章华,尚长健,姚根顺,等.桂中坳陷及周缘海相地层油气保存条件[J].*石油学报*,2011,32(3):432-441.
LOU Zhanghua, SHANG Changjian, YAO Genshun, et al. Hydrocarbon preservation conditions in marine strata of the Guizhong Depression and its margin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(3): 432-441.
- [35] 李清.桂中坳陷泥盆系页岩气勘探潜力分析[J].*长江大学学报:自然版*,2014,11(4):13-16.
LI Qing. Analysis of shale gas exploration potential of the Devonian in Guizhong Depression [J]. *Journal of Yangtze University: Natural Edition*, 2014, 11(4): 13-16.