

桂中坳陷泥盆系页岩气成藏条件浅析

汪凯明

(中石化华东分公司石油勘探开发研究院, 江苏 南京 210011)

摘要:对桂中坳陷泥盆系泥页岩的成藏条件进行了分析,认为区内泥页岩主要发育在中-下泥盆统,该层系泥页岩分布面积广,沉积厚度大,有机碳含量高,泥页岩层段埋藏深度适中,具备页岩气成藏的基本条件。但桂中坳陷历经多期强烈的构造改造,断裂发育,部分地区还伴随岩浆活动,导致桂中坳陷页岩气藏的保存条件较差,而断裂和岩浆活动影响相对较小的中西部地区是桂中坳陷页岩气勘探的有利方向。认为在有机质演化程度高,构造运动复杂的地质背景下,页岩气的勘探必须强调保存条件,保存条件将会是制约中国页岩气藏勘探的关键因素之一。

关键词:页岩气;成藏条件;保存条件;泥盆系;桂中坳陷

中图分类号:P618.130.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)02-0430-09

1 地质概况

桂中坳陷位于广西壮族自治区中北部,是古生代南盘江盆地靠近江南古陆边缘的一个次级沉积坳陷,面积约为 $4.6 \times 10^4 \text{ km}^2$;大地构造位置处于扬子陆块西南缘与华南加里东褶皱带的结合部位,夹持于滨太平洋构造域与特提斯构造域之间。

桂中坳陷形成于古特提斯洋打开的构造背景下,加里东期坳陷明显具有被动大陆边缘裂陷盆地的性质;海西期,由于受南部古特提斯洋拉张裂陷系统的影响,全区拉张下沉接受沉积,形成被动大陆边缘裂陷盆地,盆内出现沉积分异,台盆格局形成;印支期,受南部特提斯洋俯冲-碰撞与关闭的影响,本区东部发生造山作用,桂中坳陷又转化为前陆盆地;燕山期的挤压与逆冲推覆作用以及喜山期坳陷的整体稳定抬升与剥蚀,形成了桂中坳陷现今的构造残留盆地面貌。桂中坳陷北部与江南古陆(雪峰山隆起)毗邻,西北部与黔南坳陷相接,东部以龙胜—永福断裂及大瑶山断裂为界,与桂林坳陷及大瑶山隆起相邻,西部以南丹—都安断裂为界而与南盘江坳

陷及罗甸断坳相接^[1-3](图 1)。

2 桂中坳陷页岩气成藏条件

2.1 泥页岩的厚度与分布

众所周知,广泛分布的泥页岩是形成页岩气的重要条件。同时,沉积有效厚度是保证足够的有机质及充足的储集空间的前提条件,页岩的厚度越大,页岩的封盖能力越强,有利于气体的保存,从而有利于页岩气成藏^[4]。

桂中坳陷主要发育泥盆系泥质烃源岩。区内泥盆纪呈台盆相间的沉积格局,泥质烃源岩的分布受沉积相控制明显,暗色泥页岩主要分布于盆地相区,灰-灰黑色泥页岩主要分布在台地边缘斜坡相区。盆地相区的下泥盆统塘丁组(D_{1t})、中泥盆统纳标组(D_{2n})和中泥盆统罗富组(D_{2l})(层位分别对应于台地相区的郁江组(D_{1y})、应堂组(D_{2y})和东岗岭组(D_{2d}))为泥页岩主要的发育层系。

根据沉积相及周边露头区的资料(图 2),台盆相暗色泥页岩从南丹、河池往南至来宾、柳州到鹿寨、永福一带均有分布,累积厚度为 200~600 m。暗

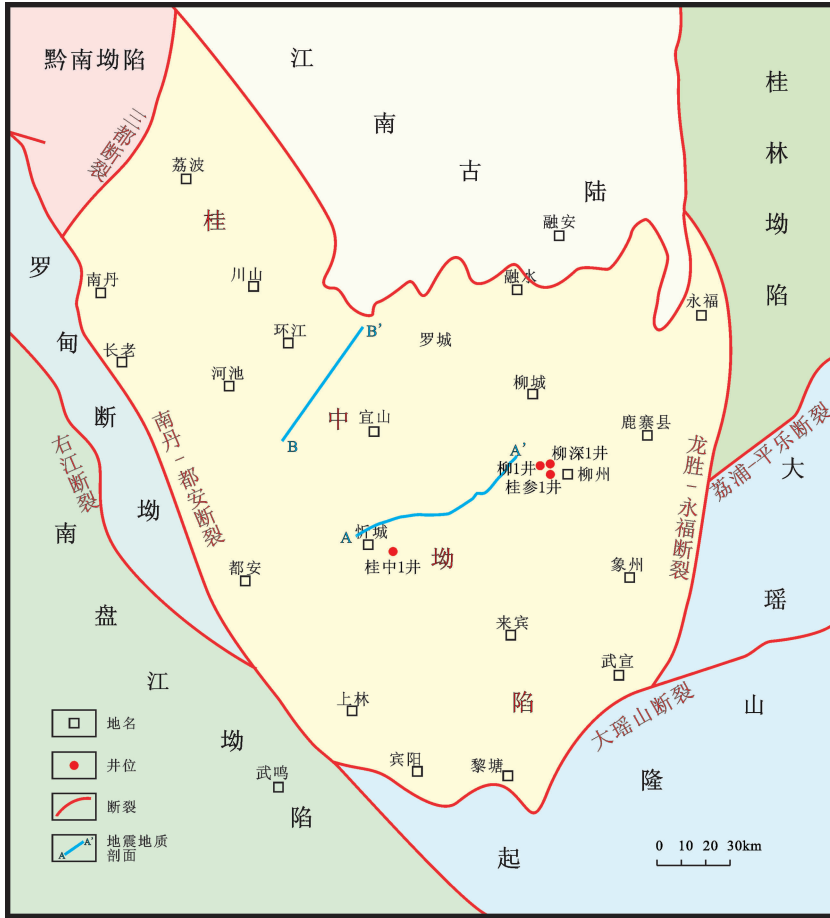


图 1 桂中坳陷构造及位置图

Fig.1 Tectonic units and location of Guizhong depression

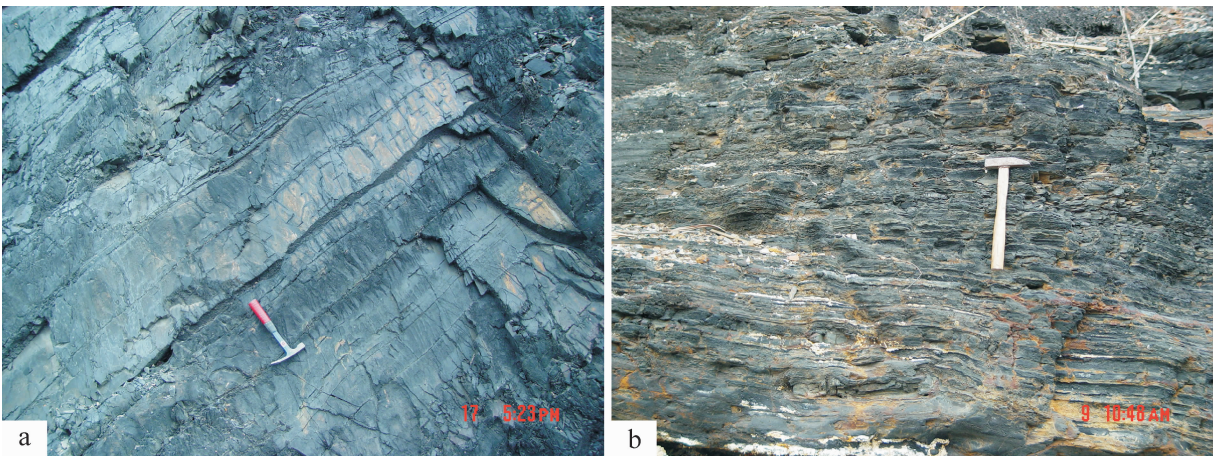


图 2 广西南丹吾隘、罗富剖面中泥盆统灰黑色炭质泥岩

a—南丹吾隘剖面灰黑色中-厚层状炭质泥岩; b—南丹罗富剖面灰黑色薄层状炭质泥岩

Fig.2 Grayish black medium to thick-bedded middle Devonian carbonaceous mudstone along Wuai and Luofu sections in Guizhong depression

a—Grayish black medium to thick-bedded carbonaceous mudstone along Wuai sections; b— Grayidh black flaggy carbonaceous mudstone along Luofu sections

色泥页岩的沉积中心位于南丹—宜山—柳州一带,累计厚度 600~1200 m(图 3)。

此外,多口钻井资料揭示井下暗色泥岩也极为发育,具有厚度大,层数分布多的特点(表 1)。柳 1 井暗色泥岩单层数为 41 层,单层厚度最大为 24.1 m,累计视厚度为 301.6 m,占中泥盆统地层厚度的 36.7%(图 4);柳深 1 井暗色泥岩单层数为 41 层,单层厚度最大为 65 m,累计视厚度为 783 m,占中泥盆统地层厚度的 41.5%,灰色、深灰色泥岩多夹薄层灰黑色泥灰岩,泥岩局部页理发育。综合地面露头剖面和井下地层分布特征,认为桂中坳陷泥盆系泥页岩具有分布面积大、沉积厚度大的特点,泥页岩厚度在 200~500 m。

2.2 泥页岩有机质丰度

烃源岩中有机质的数量是油气形成的物质基础,它取决于烃源岩中的有机质丰度,对页岩气藏来

讲,有机质丰度更为关键。高有机质丰度既是成烃的物质基础,也是页岩气吸附的重要载体。研究表明,页岩气含量与有机质丰度成正相关,即丰度越高,含气量越大。统计的美国 7 大页岩气盆地有机质与含气量的关系也说明页岩中的有机碳含量是页岩气成藏最基本的要素^[9](图 5)。

桂中坳陷泥盆系泥页岩有机碳含量较高。韦宝东^[6](2004)据露头剖面样品分析结果表明,桂中坳陷下泥盆统泥页岩有机碳含量最大为 5.69%,最小为 0.5%,平均 0.72%;中统泥岩类有机碳含量最大为 9.46%,最小为 0.5%,平均 2.4%;上统泥岩类有机碳含量最大为 12.1%,最小为 0.5%,平均 2.47%。林良彪等^[7](2009)测定的南丹大厂剖面中泥盆统罗富组(D₂)10 件黑色泥岩样品有机碳数据中,仅 1 件样品小于 2.0%,其他均大于 2.0%,最高可达 4.74%,平均为 3.23%(表 2)。南丹罗富地区的 6 口浅钻井显示^[8],

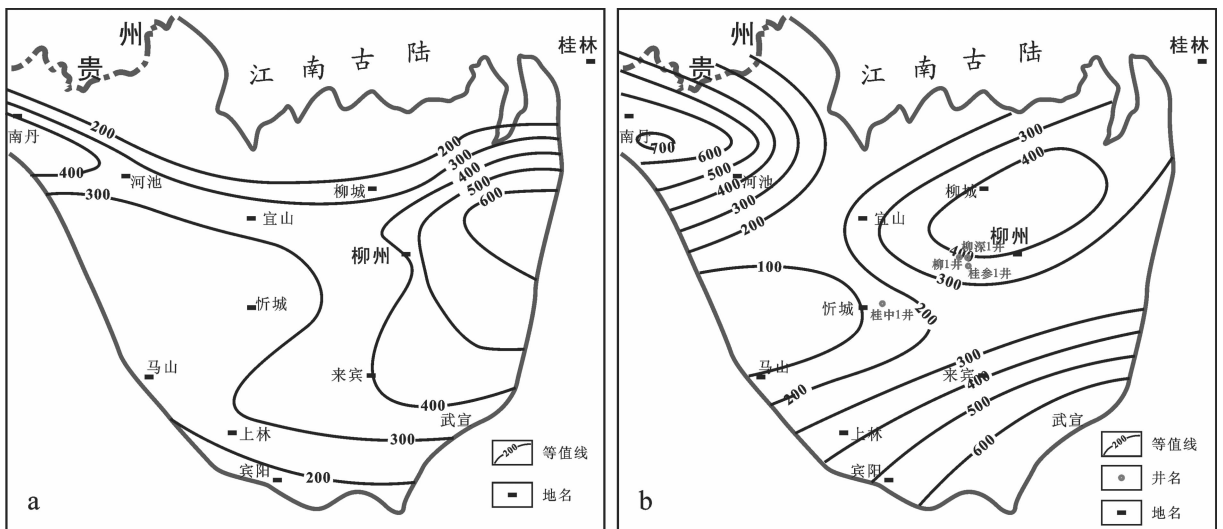


图 3 桂中坳陷泥盆系泥质岩厚度等值线图

a—下泥盆统;b—中泥盆统

Fig.3 Thickness distribution of Devonian mudstone in Guizhong depression

a—Lower Devonian;b—Middle Devonian

表 1 桂中坳陷单井泥盆系泥岩视厚度统计

Table 1 Apparent thickness of Devonian mudstone in wells of Guizhong depression

井名	井深/m	D ₃ 厚度/m	D ₂ 厚度/m	D ₁ 厚度/m	泥岩统计数据		
					泥岩厚度/m	单层厚度范围/m	单层数量/层
柳 1 井	1621	799.5	821.6(未钻穿)		301.6	1~24.1	41
柳深 1 井	2444	558	1886(未钻穿)		783	0.5~65	255
桂参 1 井	3630	1210	1232	1182(未钻穿)	350.5	0.5~18	98

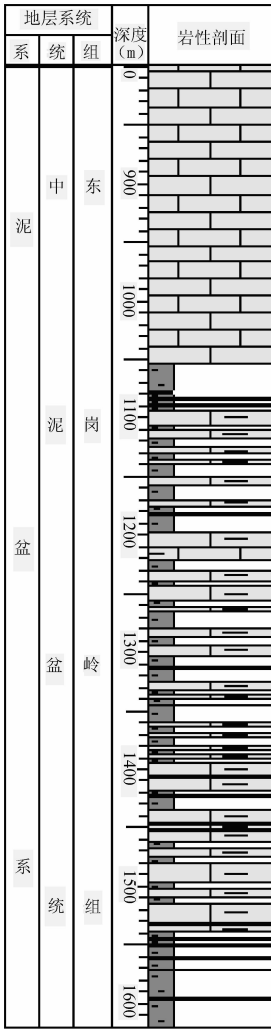


图 4 柳 1 井中泥盆统东岗岭组岩性剖面
Fig.4 Lithologic section of middle Devonian Donggangling Formation in Well Liu 1

泥盆系泥岩有机碳含量平均为 1.69%，120 件样品中仅 7.5% 的有机碳含量 < 0.5%，而有 44% 的样品有机碳含量 > 2%。其中罗富组 (D_{2l}) 的有机碳为 0.37%~3.63%，平均值为 1.35%；纳标组 (D_{2n}) 的有机碳为 1.30%~3.50%，平均值为 2.20%；塘丁组 (D_{1t}) 有机碳为 0.39%~2.97%，平均值为 1.69%。总体来看，桂中坳陷泥盆系泥页岩的有机质丰度较高，以中泥盆统为甚。

2.3 泥页岩有机质成熟度

沉积岩石中分散有机质的丰度是油气生成的物质基础，而有机质的成熟度则是油气生成的关键，干酪根只有达到一定的成熟度才能开始大量生烃和排烃。美国主要产页岩气盆地页岩成熟度变化较大，从未成熟到成熟均有发现，但对于热成因的页岩气藏，进入生气窗是页岩气成藏的必要条件。勘探实践以

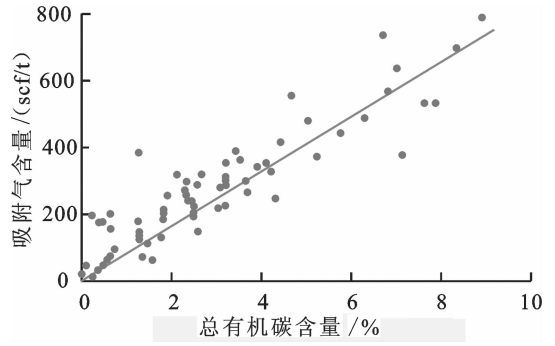


图 5 全美页岩气产气盆地页岩有机碳含量与吸附气含量关系图
(1 scf=0.0283 m³)

Fig.5 Plot of methane capacity with varying TOC content of the shale gas basin in America

及研究结果显示，目前美国已发现的具有商业价值的、热成因的页岩气藏，其有机质成熟度 (R_o) 大多分布在 1.1%~3.0% 的范围内，理论上成熟度 (R_o) > 3.0% 通常被认为是页岩气的死亡线。

桂中坳陷露头区泥盆系泥页岩的有机质成熟度分布在 1.5%~3.0%，处于高成熟-过成熟演化阶段，岩石热解参数中，热解峰顶温度 T_{max} 为 444~515℃^[9]，也显示出泥盆系泥页岩处于高成熟-过成熟演化阶段。2007 年完钻的桂中 1 井显示，区内泥盆系泥质岩有机质成熟度为 2.0%~3.8% (图 6)^[9]，总体上处于过成熟-超成熟阶段，其中中泥盆统泥质岩有机质成熟度多在 2.0%~2.8%，处于过成熟演化阶段。

桂中坳陷泥盆系烃源岩的沉积埋藏史和生烃演化史表明，泥盆系烃源岩在中石炭世进入生油窗 (R_o=0.6%)；晚石炭世-晚二叠世处于生油高峰 (R_o 为 0.9%~1.2%)；中三叠世进入湿气阶段 (R_o 为 1.3%~2.0%)；中三叠世晚期进入干气阶段 (R_o > 2.0%)，现今，泥质岩演化进入高成熟-过成熟阶段，以提供干气为主。

2.4 泥页岩埋深

泥页岩的埋藏深度是评价页岩气成藏条件及后期经济开发的一个重要指标。其主要表现为以下几个方面：(1) 页岩的原始孔隙度可达 35% 以上，随埋藏深度增加，迅速降低，在埋深 2000 m 以后，孔隙度仅残留 10% 或更低；(2) 随着埋深的增加，毫无疑问，有机质成熟度、地层温度也随之增加，温度越高，相同压力下游离气含量越低，同时，温度越高，吸附气含量也越低 (图 7)^[10]，因此，高成熟度以及高的温度

表2 南丹大厂剖面中泥盆统罗富组有机质特征数据

Table 2 Characteristics of middle Devonian organic matter along Dachang section in Guizhong depression

序号	层位	岩性	TOC/%	S ₁ +S ₂ /(mg/g)	R _o /%
1	D ₂ l	黑色泥岩	1.76	0.04	-
2	D ₂ l	黑色泥岩	2.57	0.05	-
3	D ₂ l	黑色泥岩	2.61	0.03	1.7
4	D ₂ l	黑色泥岩	2.7	0.04	1.63
5	D ₂ l	黑色泥岩	3.01	0.07	-
6	D ₂ l	黑色泥岩	3.12	0.05	1.55
7	D ₂ l	黑色泥岩	3.2	0.04	-
8	D ₂ l	黑色泥岩	4.15	0.03	1.85
9	D ₂ l	黑色泥岩	4.45	0.03	1.73
10	D ₂ l	黑色泥岩	4.74	0.08	-

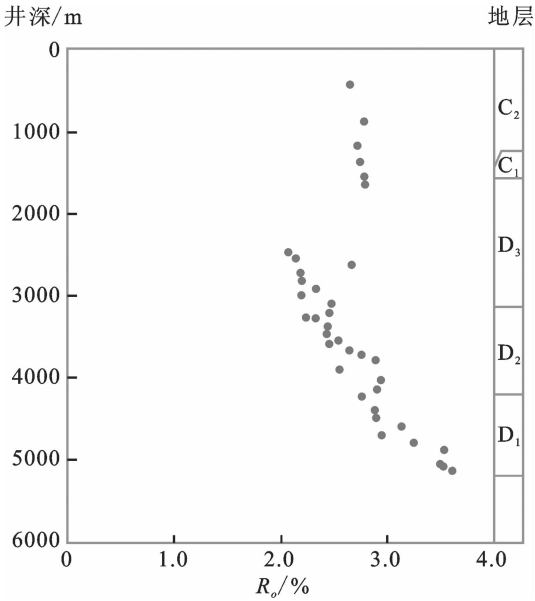


图6 桂中1井镜质体反射率与深度之间的关系

Fig.6 Relationship between vitrinite reflectance and depth in Well Guizhong 1

对于页岩气藏的形成都是不利的;(3)随着深度的加大,钻机开发成本也是成倍增长的。因此,埋深无论是对于页岩气藏的形成,还是其后期开发都是至关重要的。美国商业规模开发的五大含气页岩系统埋藏深度 183~3000 m,部分已突破 3000 m,目前页岩气单井产量和年产量较高的 Barnett 页岩系统埋藏深度在 1829~2743 m^[10]。综合认为页岩气藏的勘探层系埋深在 3000 m 以内较为适宜。

根据已有的地震资料(图 8)^[3]和钻井情况来看,桂中坳陷泥盆系底界埋深分布在 2000~5000 m 之

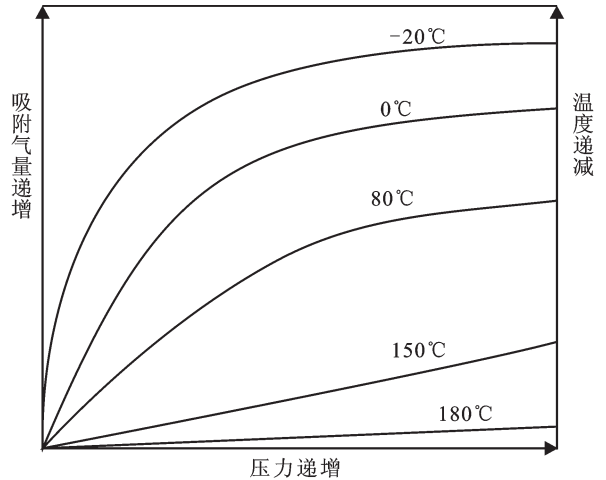


图7 不同温度下甲烷在页岩上的吸附量示意图

Fig.7 Sketch map showing methane adsorption on shale at different temperatures

间,且泥盆纪地层埋深自西南-东北向地层埋深逐渐变浅。桂中1井构造上位于桂中坳陷中部凸起带中部偏北,是目前坳陷内最深的1口探井,完井深5151.86 m,完钻层位是下泥盆统那高岭组,中泥盆统的底面埋深为4200 m^[11];桂参1井构造上位于桂中坳陷北部凹陷北部,完井深3630 m,是坳陷内次深井,完钻层位为下泥盆统那高岭组、未穿,中泥盆统的底面埋深为2448 m,泥页岩主要发育在1300~2300 m之间的中泥盆统;此外,从柳1井和柳深1井钻井资料来看,泥页岩段的埋深分布在1000~2400 m之间。综合钻井和地震资料,认为桂中坳陷泥盆系泥页岩层段埋深一般在1000~3000 m之间,适

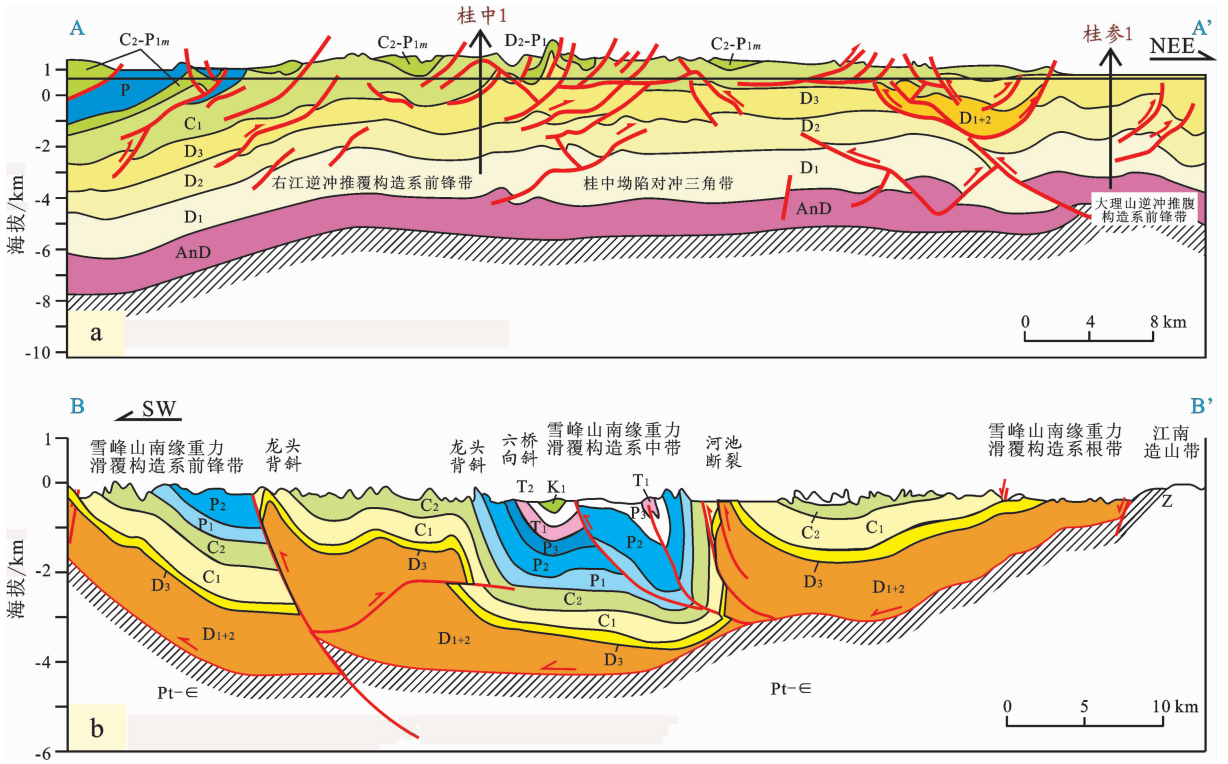


图 8 桂中坳陷物探地质解释剖面

a—GZ03-200 测线地震地质解释图;b—桂中坳陷西北部太阳山—杨家岭物探综合解释大剖面;A-A'、B-B'剖面位置见图 1

Fig.8 Geophysical-geological interpretation profile in Guizhong depression

a—Seismic geological sections of the GZ203-200 seismic profile;b— Geophysical geological interpretation profile from Taiyangshan toYangjialing in northwest Guizhong depression

宜页岩气藏的勘探。

2.5 保存条件

页岩气藏与常规油气藏不同，作为烃源岩的泥页岩集生、储、盖“三位一体”，自身构成一个独立的成藏系统。石油地质工作者认为页岩气藏较易保存，主要基于以下三点：首先，页岩气藏多形成于盆地构造低部位或盆地中心，这是由页岩地层的沉积特征所决定的；其次，页岩气藏为不间断供气、连续聚集成藏。页岩气藏即使在遭受构造运动局部有所抬升，在烃源岩分布的较大范围内，仍部分处于油气持续演化状态，对整个页岩气藏保持不间断持续供气、连续聚集，从而弥补因构造活动可能造成的部分散失；最后，页岩气藏中 16%~80%的气体是以吸附状态存在，即使游离气散失殆尽，吸附气也可保存下来，不至于整个气藏遭到完全破坏。因此，即使在构造油气藏破坏严重的盆地或区带，仍有勘探开发页岩气藏的前景^[2]。但是这一观点的前提是要求泥页岩的有机质成熟度在生气窗之类(R_o 为 1.3%~3.0%)，能

够为页岩气藏持续供气，补给破坏条件下烃类气体的逸散，而连续聚集成藏。但是，中国南方泥页岩地层普遍具有高演化、高—过成熟的特征^[13-14]。如四川盆地震旦系—下古生界烃源岩处于高过成熟度阶段，其 R_o 一般为 2.36%~3.39%^[15]；上扬子地区志留系页岩 R_o 平均已在 2.5% 以上，川东的涪陵—石柱， R_o 值 3.2%~3.8%，川东北的达川—万县地区已近 4%；最近钻井揭示的长芯 1 井志留系页岩成熟度显示，该区龙马溪组成熟度较高， R_o 均在 3.0% 以上，平均已达 3.21%，均进入了过成熟演化阶段^[16]。此时，我们勘探的页岩气实际上是泥质烃源岩在排烃后未运移出源岩的“残留气”，基本上无后续烃源补给。加之，在漫长的地质历史中，中国南方海相地层经历了多旋回构造运动和强烈的后期改造，对油气藏破坏严重^[17-22]，因此，在这种有机质演化程度高，构造运动复杂的地质背景下，页岩气的勘探必须强调保存条件，可以说，保存条件将会是中国现在和未来寻找页岩气藏的关键所在。

桂中坳陷自震旦纪以来,经历了多期强烈的构造运动,其中对地质结构和构造格局起明显影响的构造运动包括海西运动、印支运动、燕山运动和喜山运动,而以印支运动、燕山运动和喜马拉雅运动对油气的保存影响较大。受各期构造运动的影响,桂中坳陷发育 NNE-NE、NW、近 EW 与近 SN 向四组规模不等的断裂系^[1],早期形成的断层既有张性的正断层,也有挤压性质的逆掩断层或逆冲断层。后期经燕山、喜山运动构造叠加作用,形成逆冲断层。虽然逆冲断层具有较好的封堵性,但构造运动所引起的剥蚀、断裂、岩浆活动及大气淡水下渗淋滤作用不容忽视,仍是油气藏最主要的破坏改造因素,如桂中 1 井石炭系镜质体反射率异常倒转表明桂中 1 井可能遭受过岩浆烘烤等异常热事件^[2](图 5)。整体上桂中坳陷构造作用由西往东增强,中西部构造变形强度相对较弱,深大断裂发育少且多为封闭型,东部深大断裂较多且多具开启性;燕山—喜山运动导致桂中坳陷整体抬升以致地层遭受大量剥蚀,剥蚀厚度由东往西逐渐减小,坳陷中西部的剥蚀厚度在 1 500~3 000 m,东部普遍 3 000 m 以上^[3],大部分地区泥盆系直接出露,进而导致东部盖层的整体封闭性受到了一定的破坏。因此整体来看,桂中坳陷页岩气藏的保存条件较差,桂中坳陷中西部现今处于构造相对稳定区,断裂和岩浆活动影响相对较小的中西部地区是桂中坳陷页岩气勘探的有利方向。

3 勘探前景浅析

根据页岩气成藏机理特点和成藏的有利地质因素,并结合桂中坳陷的地质背景,对桂中坳陷泥盆系页岩气成藏条件进行了分析,认为桂中坳陷泥盆系具有页岩气成藏的基本条件,仅从区内泥页岩的分布面积、沉积厚度、有机碳含量方面来看,桂中坳陷显示出一定的页岩气勘探前景。但目前缺乏孔隙度、渗透率、粘土矿物组成等方面的测试数据,无法确定泥页岩储层的优劣,其有效勘探潜力还有待进一步研究和开发试验。此外,区内泥页岩有机质演化程度高,加之多次强烈的构造运动,导致桂中坳陷泥盆系页岩气藏的保存条件较差,在一定程度上会导致页岩气逸散,泥页岩出现脱吸现象,降低含气饱和度,由于目前没有实际测得页岩含气量数据,桂中坳陷泥盆纪泥页岩的实际页岩气资源潜力还有待进一步研究。从页岩气保存条件来看,断裂和岩浆活动影响

相对较小的中西部地区是桂中坳陷泥盆系页岩气勘探的有利方向。

4 结论与建议

(1)桂中坳陷泥盆系泥页岩的分布受沉积相控制明显,暗色泥页岩主要分布于盆地相区,灰—灰黑色泥页岩主要分布在台地边缘斜坡相区,沉积中心位于南丹—宜山—柳州一带。

(2)桂中坳陷有利页岩气层主要发育在中—下泥盆统,该层系泥页岩分布面积广,沉积厚度大,有机碳含量高,泥页岩层段埋深适中,一般在 1 000~3 000 m 之间,具备页岩气成藏的基本条件。

(3)桂中坳陷历经多期强烈的构造改造,断裂发育,部分地区还存在岩浆活动,导致桂中坳陷页岩气藏的保存条件较差,而断裂和岩浆活动影响相对较小的中西部地区是桂中坳陷页岩气勘探的有利方向。

(4)认为在有机质演化程度高,构造运动复杂的地质背景下,页岩气的勘探必须强调保存条件,保存条件将会是制约中国页岩气藏勘探的关键因素之一。

参考文献(References):

- [1] 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 (in Chinese with English abstract).
- [2] 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 (in Chinese with English abstract).
- [3] 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 (in Chinese with English abstract).
- [4] 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 (in Chinese with English abstract).
- [5] 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 (in Chinese with English abstract).
- [6] 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 (in Chinese with English abstract).
- [7] 林良彪, 陈洪德, 陈子焯, 等. 桂中坳陷中泥盆统烃源岩特征[J]. 天然气工业, 2009, 29(3):45-47.
Lin Liangbiao, Chen Hongde, Chen Ziliao, et al. Characteristics of Middle Devonian hydrocarbon source rocks in the Guizhong (Middle Guangxi) depression [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(3): 45-47 (in Chinese with English abstract).
- [8] 赵孟军, 赵陵, 张水昌, 等. 南盘江盆地主要烃源岩地球化学特征研究[J]. 石油实验地质, 2006, 28(2):162-167.
Zhao Mengjun, Zhao Ling, Zhang Shuichang, et al. Geochemical characteristics of main source rocks in the Nanpanjiang Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28 (2):162-167 (in Chinese with English abstract).
- [9] 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 (in Chinese with English abstract).
- [10] 《页岩气地质与勘探开发实践丛书》编委会. 北美地区页岩气勘探开发新进展[M]. 北京:石油工业出版社, 2009:10-32.
Editorial Committee of Shale Gas Geology and Exploration and Development Practice Series. New Progress of Shale Gas Exploration and Development in North American [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009:10-32(in Chinese).
- [11] 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(in Chinese with English abstract).
- [12] 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 (in Chinese with English abstract).
- [13] 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(in Chinese with English abstract).
- [14] 梁狄刚, 郭彤楼, 陈建平, 等. 中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展(二):南方四套区域性海相烃源岩的地球化学特征[J]. 海相油气地质, 2009, 14(1):1-15.
Liang Digang, Guo Tonglou, Chen Jianping, et al. Some progresses on studies of hydrocarbon generation and accumulation in marine sedimentary regions, southern China (Part 2): Geochemical characteristics of four suits of regional marine source rocks, South China[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2009, 14(1):1-15 (in Chinese with English abstract).
- [15] 张林, 魏国齐, 李熙喆, 等. 四川盆地震旦系-下古生界高过成熟烃源岩演化史分析[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(5):726-731.
Zhang Lin, Wei Guoqi, Li Xizhe, et al. The thermal history of Sinian-Lower Palaeozoic high/over mature source rock in Sichuan Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(5):726-731 (in Chinese with English abstract).
- [16] 王社教, 王兰生, 黄金亮, 等. 上扬子区志留系页岩气成藏条件 [J]. 天然气工业, 2009, 29(5):45-50.
Wang Shejiao, Wang Lansheng, Huang Jinliang, et al. Accumulation conditions of shale gas reservoirs in Silurian of the Upper Yangtze region[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(5):45-50 (in Chinese with English abstract).
- [17] 王根海. 中国南方海相地层油气勘探现状及建议 [J]. 石油学报, 2000, 21(5):1-6.
Wang Genghai. Petroleum exploration in the marine strata in southern China—Exploration situation and proposal [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(5):1-6 (in Chinese with English abstract).
- [18] 戴少武, 贺自爱, 王津义. 中国南方中、古生界油气勘探的思路 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3):195-202.
Dai Shaowu, He Zi'ai, Wang Jinyi. Thinking of Meso-Paleozoic hydrocarbon exploration in south China [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(3):195-202(in Chinese with English abstract).
- [19] 赵宗举, 俞广, 朱琰, 等. 中国南方大地构造演化及其对油气的控制[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2003, 30(2):155-168.
Zhao Zongju, Yu Guang, Zhu Yan, et al. Tectonic evolution and its control over hydrocarbon in Southern China [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2003, 30 (2):155-168 (in Chinese with English abstract).
- [20] 马永生, 楼章华, 郭彤楼, 等. 中国南方海相地层油气保存条件综合评价技术体系探讨[J]. 地质学报, 2006, 80(3):406-417.
Ma Yongsheng, Lou Zhanghua, Guo Tonglou, et al. An exploration on a technological system of petroleum preservation evaluation for marine strata in South China [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(3):406-417 (in Chinese with English abstract).
- [21] 郭旭升, 梅廉夫, 汤济广, 等. 扬子地块中、新生代构造演化对海相油气成藏的制约[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3):295-304.
Guo Xusheng, Mei Lianfu, Tang Jiguang, et al. Constraint of Meso-Cenozoic tectonic evolution of Yangtze massif on formation of marine reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3):295-304 (in Chinese with English abstract).
- [22] 肖开华, 沃玉进, 周雁, 等. 中国南方海相系油气成藏特点与勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3):316-325.

Xiao Kaihua, Wo Yujin, Zhou Yan, et al. Petroleum reservoiring characteristics and exploration direction in marine strata in southern China [J]. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27 (3):316-325 (in Chinese with English abstract).

[23] 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 (in Chinese with English abstract).

Shale gas accumulation conditions of Devonian strata in Guizhong depression

WANG Kai-ming

(*Research Institute of Petroleum Exploration and Development, East China Branch Company, SINOPEC, Nanjing 210011, Jiangsu, China*)

Abstract: Using samples from typical sections, drilling data and geochemical information from the Devonian black shale in Guizhong depression of central Guangxi, the authors analyzed the accumulation condition of shale gas reservoirs. The results demonstrate that there exist two suites of excellent marine source rocks in the middle and lower Devonian strata of Guizhong depression, which are characterized by large thickness and extensive distribution, high abundance of organic matter and moderate buried depth, thus possessing basic conditions for the formation of shale gas reservoirs. However, the preservative condition of shale gas is very poor because of the subsequent multistage severe tectonic movements as well as the development of faults and magmatic activities in some areas. Therefore, the central and western areas of Guizhong depression with integrated strata, underdeveloped faults and magmatic activities seem to be the favorable places for shale gas exploration. It is suggested that the preservation condition is very important in exploring shale gas resources under the conditions of high organic thermal evolution extent and subsequent multistage severe tectonic movements. The preservation condition is one of the key factors for shale gas exploration in China.

Key words: shale gas; accumulation condition; preservation condition; Devonian; Guizhong depression

About the first author: WANG Kai-ming, male, born in 1982, master, engineer, mainly engages in the study of sedimentology and petroleum geology; E-mail: kaiming214@126.com.