

桂中坳陷上古生界页岩气保存条件

潘仁芳¹,唐小玲¹,孟江辉¹,张喜满²,龚宇¹

(1. 长江大学 地球科学学院,湖北 武汉 430100; 2. 中国石油 南方石油勘探开发有限公司,广东 广州 510240)

摘要:桂中坳陷上古生界中、下泥盆统以及下石炭统页岩具有良好的生烃及储集条件,但受多期构造运动改造,页岩气保存条件复杂。从宏观和微观分析入手,对该区上古生界页岩气保存条件进行综合评价,预测其勘探潜力及有利勘探区。在野外地质调查的基础上,结合钻井资料、镜质体反射率、粘土矿物X-射线衍射、泥页岩物性分析数据以及构造演化史和埋藏史-热史恢复,从盖层封闭性、断裂和抬升剥蚀作用影响等方面评价了桂中坳陷上古生界页岩气保存条件。结果表明:桂中坳陷中泥盆统泥页岩沉积厚度大(暗色泥页岩厚250~650 m)、分布连续且韧性和微观封闭性较好,可作为页岩气直接和区域盖层;下石炭统虽然分布局限,但韧性和封闭性好,可作为局部盖层;燕山期为研究区主要变形期,大量叠瓦状逆冲断裂和高角度逆冲断层在此时发育,对现今残存的页岩气藏分布格局起着决定性影响,坳陷中、西部遭受的构造改造相对较弱;强烈的剥蚀作用破坏了页岩气的保存,但坳陷中、西部地区剥蚀程度较小。总之,桂中坳陷中、西部的柳江低凸起内天山背斜及西部、马山断凸中部和红渡浅凹中部一带页岩盖层分布稳定且韧性和封闭性较好、遭受的构造破坏较弱、剥蚀厚度较小,为页岩气有利勘探区。

关键词:油气保存条件;盖层封闭性;构造作用;页岩气;桂中坳陷

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Shale gas preservation conditions for the Upper Paleozoic in Guizhong Depression

Pan Renfang¹, Tang Xiaoling¹, Meng Jianghui¹, Zhang Ximan², Gong Yu¹

(1. College of Earth Science, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China; 2. South China Petroleum Exploration and Development Limited, PetroChina, Guangzhou, Guangdong 510240, China)

Abstract: The Middle and Lower Devonian as well as the Lower Carboniferous shale in the Upper Paleozoic in the Guizhong depression are favorable for hydrocarbon generation and accumulation, but the preservation conditions of shale gas are very complex due to multistage tectonic activities. The shale gas preservation conditions in the Upper Paleozoic of the Guizhong depression were comprehensively evaluated and the play fairways were identified based on both macroscopic and microscopic analyses. Based on the field geological survey data, in combination with drilling data, vitrinite reflectance, clay mineral X-ray diffraction, physical property, tectonic evolution history, and reconstruction of burial history and thermal history, we studied the shale gas preservation conditions in respects of the sealing capacity of cap rocks and the influence of faulting and uplifting. The following conclusions were obtained. The Middle Devonian shale in Guizhong depression has large thickness (of 250–650 m), continuous distribution, better ductility and high micro sealing capacity, thus can act as an regional cap rock for shale gas preservation. Although the Lower Carboniferous shale is limited in distribution, it has good ductility and strong sealing capacity, thus can act as local cap rocks. The Yanshanian period is the main deformation period in the study area, during which large imbricated thrust faults and high angle thrust faults were developed and influenced the present distribution patterns of the shale gas reservoirs. The strong denudation in this area destroyed the preservation of shale gas. Tectonic activity was weak and the amount of denudation was small in the west-central part of the depression. In conclusion, the Tianshan anticline and its west area in Liujiang low salient, the central part of Mashan uplifted as well as the central part of Hongdu shallow sag are the favorable areas for shale gas exploration thanks to their stable distribution and better ductility and strong sealing capacity as well as its weak tectonic destruction and weak denudation.

Key words: preservation condition for oil and gas, sealing capacity of cap rocks, tectonics, shale gas, Guizhong Depression

与常规油气藏相比页岩气成藏对圈闭与盖层条件的要求相对较低^[1],但中国页岩气地质条件复杂,尤其

收稿日期:2013-04-20。

第一作者简介:潘仁芳(1962—),教授、博士生导师,石油与天然气地质、地球物理勘探。E-mail:rfpan@qq.com。

基金项目:国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2014CB239100);中国博士后科学基金项目(2013M530342)。

是我国南方海相地层受构造运动改造,破坏作用明显^[2-4],页岩气保存条件的评价和研究不可忽视。常规油气藏保存条件的研究主要从盖层宏观和微观封闭性、断裂和剥蚀作用、岩浆活动以及大气水下渗影响范围、生储盖组合配置关系等方面进行综合考虑^[5-6]。学者对桂中坳陷上古生界页岩气资源情况进行了评价探讨,认为该区尤其是下中泥盆统具有良好的页岩气勘探潜力^[7-8],但对于保存条件仍待进一步探讨。本文以常规油气藏保存条件评价方法为基础,从页岩气盖层封闭性、断裂和抬升剥蚀作用等方面对桂中坳陷上古生界页岩气保存条件进行综合分析,以期能对该地区上古生界页岩气勘探提供一定的参考。

1 地质概况

桂中坳陷面积^[9]约 $4.6 \times 10^4 \text{ km}^2$,周围分布有影响其构造格局的不同时期形成的坳陷和隆起,其中雪峰山隆起和西大明山隆起为加里东期构造,黔南、桂林坳陷为海西期坳陷,西部为受海西-印支运动叠加改造形成的南盘江坳陷,东南部的大瑶山隆起属晚古生代隆起^[10](图1)。桂中坳陷晚古生代从早期的台盆相沉积为主逐渐演变为台-盆相间的格局,地层岩性下部以碎屑岩为主,向上变为碳酸盐岩为主的沉积(图2)^[11]。坳陷内下、中泥盆统郁江-东岗岭阶分布的暗色泥页岩具有分布范围广、厚度大且有机质丰度高的特点,页岩气成藏条件最好;

石炭系底部岩关阶见黑色页岩、碳质泥岩且有机质丰度高,最具勘探前景;上二叠统分布的泥页岩因厚度较薄且广泛剥蚀暴露而缺乏页岩气勘探潜力。

2 页岩气盖层

页岩气成藏过程中含气页岩本身即可作为直接盖层^[12-14],但大量的烃类富集将导致页岩产生微裂缝,封盖能力降低,故页岩气保存条件中区域盖层的存在同样十分重要。但应当说明:尽管下泥盆统位于上古生界的底部,因其自生自储的因素,故将其纳入盖层评价内容中。

2.1 盖层宏观封闭性

2.1.1 厚度及横向分布特征

桂中坳陷晚古生代属拉张裂陷阶段,泥盆纪早中期坳陷以台盆相沉积环境为主,北部发育开阔台地相沉积体系,形成了中下泥盆统泥页岩连续分布且沉积厚度由东南-西北逐渐减小的沉积模式。通过野外地质调查,结合前期广西区域地质测量成果,统计出实测暗色泥页岩厚度,再结合沉积相展布特征,编绘了研究区上古生界各地层泥页岩厚度分布(图3)。其中,下泥盆统暗色泥页岩累计厚度 100~500 m,泥页岩单层厚度 2~240 m;中泥盆统厚度在 450~650 m 的暗色泥页岩连续分布于坳陷东部和南部地区,仅在环江浅凹和罗城低凸起一带厚度相对较小。

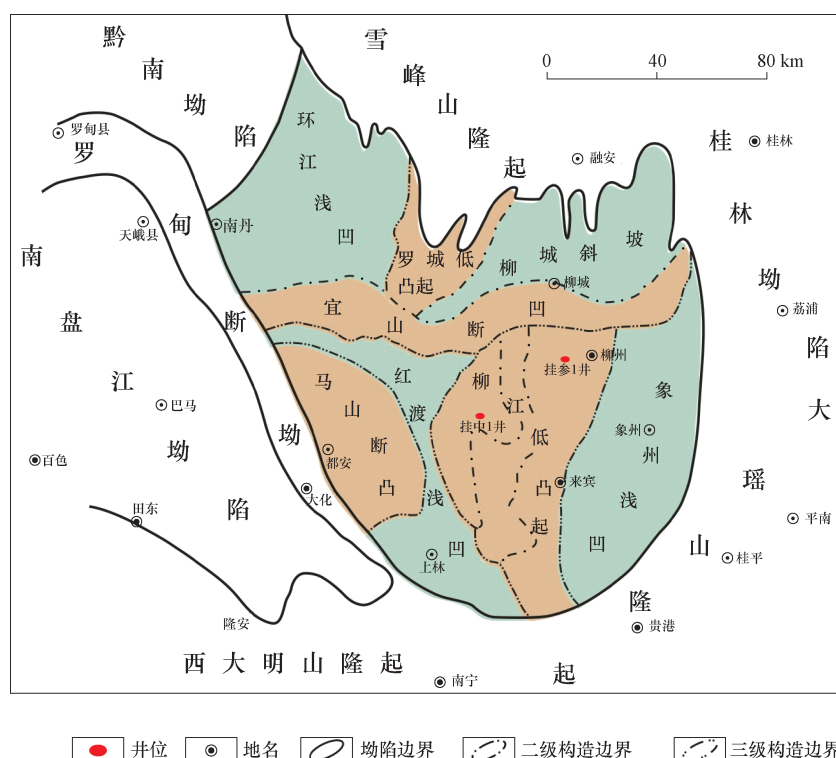


图1 桂中坳陷及其周缘构造单元分布(据楼章华等^[10]修改,2011)

Fig. 1 Structure units in Guizhong Depression and its periphery(revised from Lou Zhanghua,2011)^[10]

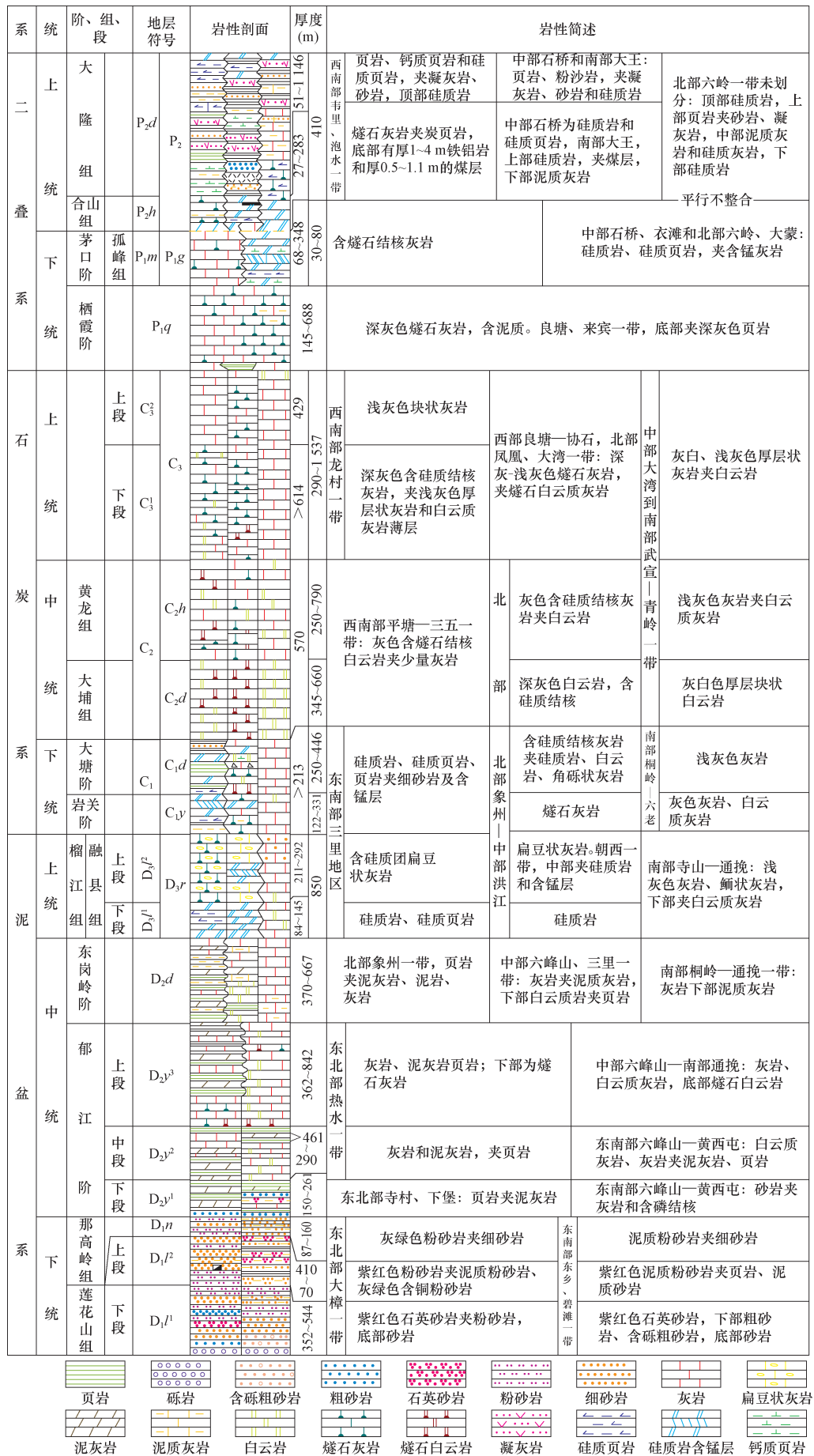


图 2 桂中坳陷来宾市上古生界地层综合柱状图^[11] (1970 年)

Fig. 2 Stratigraphy column of the Upper Paleozoic of Laibin in Guizhong Depression^[11] (1970)

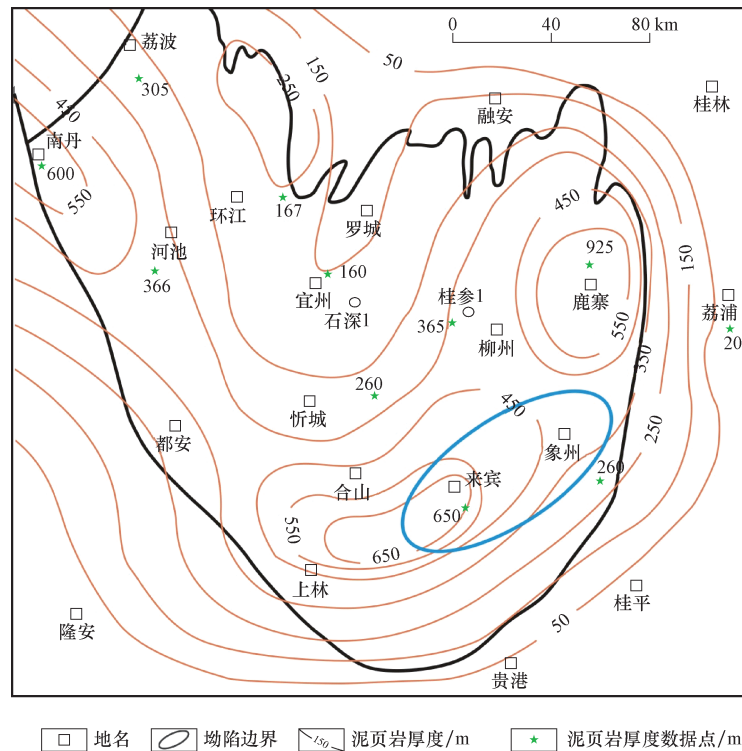


图3 桂中坳陷中泥盆统泥页岩厚度分布

Fig. 3 Isopach of the Middle Devonian shale in Guizhong Depression

象州一带泥页岩剖面实测结果(图4)表明:中泥盆统泥页岩累计厚度达404 m,岩性以黑色-灰色页岩、炭质页岩为主,泥页岩单层数10层,单层厚度12~103 m。因早石炭世坳陷主体处于台盆时间较短,下石炭统分别以鹿寨和环江为中心发育有厚度为400~500 m暗色泥页岩。鹿寨县屯连村一带下石炭统出露最好,大塘阶和岩关阶以灰褐色、黑色页岩为主,累计厚度达600 m以上,层数为8层,单层厚度60~150 m。坳陷内上二叠统由西北至东南部呈渐变性沉积,仅在象州浅凹南部地区发育有厚200~250 m暗色泥页岩。

整体而言,下、中泥盆统泥页岩可作为区内良好的区域盖层,尤其以中泥盆统最好。下石炭统泥页岩尽管沉积厚度较大,但分布局限,因此只能起到局部封盖作用。

2.1.2 盖层韧性

韧性分析是盖层评价的重要内容,其中,粘土矿物含量和种类对泥页岩韧性产生主要影响,而这些与岩石的成岩阶段有着密切关系^[14-16]。研究区下泥盆统泥页岩镜质体反射率(R_o)为2.0%~3.0%,伊蒙混层中的蒙皂石含量(S)为10%,伊利石相对含量大于75%,为晚成岩阶段,此时岩石裂缝发育(判别标准据SY/T 5477—2003)。中泥盆统泥页岩 R_o 为1.0%~3.0%, S 为10%,伊利石相对含量为30%~45%,中泥盆统成岩阶段属中成岩阶段B期,粘土矿物含量较高,盖层韧性较好。下石炭统 R_o 以1.0%~2.5%为主, S 为10%~15%,属中成岩阶段

B期,鹿寨一带盖层韧性优于桂林和上林地区。上二叠统泥页岩 R_o 多小于2.0%,结合 S 值判断为中成岩阶段B期,但韧性差于中泥盆统一下石炭统(表1)。对比上扬子地区下古生界筇竹寺组和龙马溪组页岩^[12],桂中坳陷上古生界泥页岩粘土矿物伊利石相对含量较低,粘土矿物演化程度偏低,泥页岩韧性整体偏好。研究区中泥盆统和鹿寨一带下石炭统泥页岩韧性优于上二叠统,且均处于中成岩阶段B期,该阶段岩石孔隙、裂缝均发育较差,故中泥盆统和东部下石统泥页岩可能为较理想的页岩气封盖层,二叠系次之。

2.2 盖层微观封闭性

物性封闭为最基本和最重要的盖层微观封闭机理^[15,18]。盖层物性封闭主要受排替压力影响,通常只需将实验所获得的岩石突破压力进行一定的校正便可得到相应的排替压力^[19]。由于页岩气本身具有烃浓度封闭特征,故本文主要探讨研究区上古生界页岩气物性封闭机理。

桂中坳陷泥页岩露头取样分析结果(表2)表明:研究区上古生界泥页岩盖层表现出超低-中孔、低-中渗特征。其中,中下泥盆统泥页岩平均岩石密度为2.65~2.71 g/cm³,平均孔隙度为1.15%~2.50%,平均渗透率为 $0.0063 \times 10^{-3} \sim 0.0087 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;下石炭统泥页岩平均岩石密度为2.23~2.60 g/cm³,平均孔隙度为3.34%~8.40%,平均渗透率为 $0.0105 \times 10^{-3} \sim 0.1508 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。中、下泥盆统盖层岩石密

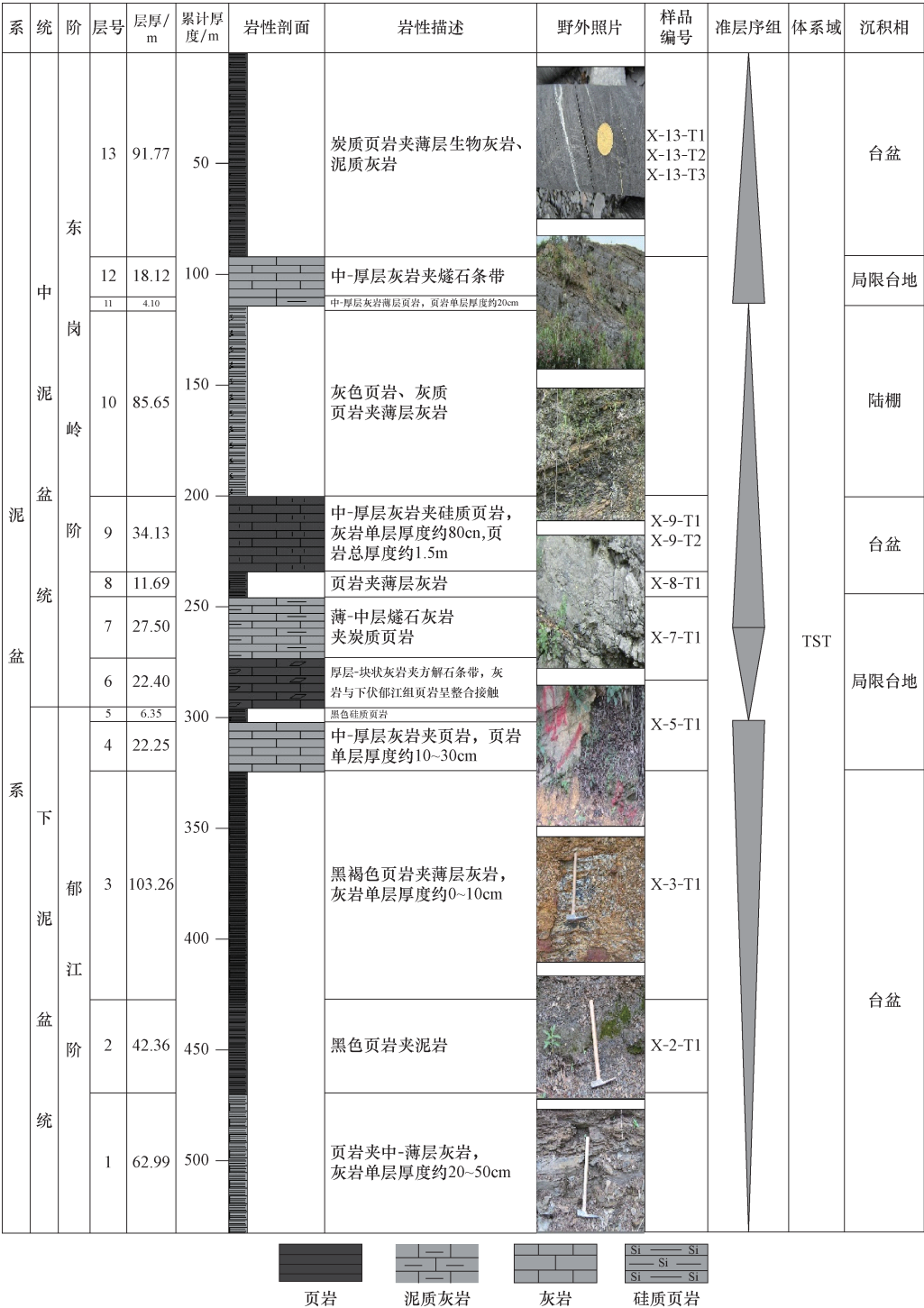


图 4 桂中坳陷象州县中 - 下泥盆统沉积柱状图

Fig. 4 Sedimentary column of the Lower and Middle Devonian in Xiangzhou County, Guizhong Depression

表 1 桂中坳陷泥盆系 - 二叠系粘土矿物 X - 射线衍射分析统计									
Table 1 Statistics of clay mineral X-ray diffraction analysis data from the Devonian to Permian in Guizhong Depression									
序号	采样地点	岩性	样品数量/ 块	层位	部分粘土矿物相对含量/%			全岩中粘土 总量/%	R ₀ /%
					I	I/S	S		
1	来宾	泥岩	4	P ₂	32 ~ 43	45 ~ 47	10	15 ~ 38	1.8 ~ 2.0
2	上林	泥岩	9	C ₁	74 ~ 89	10 ~ 20	5	1 ~ 3	1.9 ~ 2.5
3	鹿寨	页岩、泥岩	12	C ₁	10 ~ 30	40 ~ 60	10 ~ 15	40 ~ 70	1.6 ~ 1.9
4	桂林	页岩、泥岩	4	C ₁	23 ~ 34	60 ~ 74	15	31 ~ 39	2.0 ~ 3.0
5	象州	页岩	10	D ₂	30 ~ 45	50 ~ 65	10	50 ~ 70	1.0 ~ 3.0
6	南丹、河池	泥岩	3	D ₁	> 75	—	—	25 ~ 40	2.0 ~ 3.0

注：I. 伊利石；S. 蒙皂石；I/S. 伊/蒙混层；R₀. 镜质体反射率；检测环境温度 24 ℃，湿度 35%。

表 2 桂中坳陷上古生界野外露头泥页岩物性分析统计

Table 2 Statistics of the physical analysis data of the Upper Paleozoic shale on the outcrop in Guizhong Depression

层位	阶、组	岩性	采样地区	样品数/ 块	平均孔隙度/%	平均渗透率/ ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	平均岩石密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	突破压力/MPa
$P_2h - P_2d$	合山 - 大隆组	泥岩	来宾	2	0.55	0.110 0	2.68	—
C_1y	岩关阶	硅质、炭质泥岩	上林	4	5.75	0.150 8	2.31	—
C_1y	岩关阶	硅质页岩	鹿寨	2	7.60	0.015 4	2.23	—
C_1y	岩关阶	硅质泥岩	桂林	1	8.40	0.010 5	2.26	—
C_1y	岩关阶	泥岩	环江	1	3.34	0.086 5	2.60	38.2
C_1y	岩关阶	泥岩	石门	2	5.70	—	2.60	17.2
D_3	榴江组	钙质泥岩	南丹	1	4.07	0.010 3	2.43	25.5
D_2d	东岗岭组	泥岩	南丹	6	2.50	—	2.65	15.0 (均值)
D_2d	东岗岭组	炭质页岩	象州	2	1.15	0.006 3	2.71	—
D_1y	郁江组	炭质页岩	象州	1	1.30	0.008 7	2.68	—

注:检测环境:室温 23 ℃,湿度 50%,大气压力 1 025 hPa;检测条件:孔隙度测定参比室压力为 0.07 MPa。

度较下石炭统偏大,而渗透率、孔隙度值较下石炭统偏小。盖层排替压力与孔隙度、渗透率具有负相关关系,而与岩石密度呈正相关关系(据付广等,1995)。据此推断,桂中坳陷中下泥盆统泥页岩盖层具有较大的排替压力,盖层物性封闭能力优于下石炭统。

笔者整理了桂中坳陷泥盆系 - 石炭系岩石突破压力值(表 2),为 15.0 ~ 38.2 MPa,属中等 - 好的突破压力,由突破压力值可判断桂中坳陷下石炭统盖层物性封闭能力优于泥盆系。但由于数据较少且缺乏代表性,以及突破压力并不直接等同于排替压力,故认为由岩石物性参数判断研究区盖层微观封闭性所得结果较为可靠,而突破压力值仅作参考。

3 构造作用

地壳活动造成的地层抬升剥蚀、断裂以及岩浆活动易造成页岩气藏的解吸或变质,导致页岩中的气体逸散。但因研究区内晚古生代以来岩浆活动不发育^[10,20],故构造作用是该区页岩气保存条件主要外部因素。

3.1 断裂作用

受晚古生代以来的印支、燕山和喜山运动影响,研究区发生强烈的构造变形^[21]。构造作用对原生页岩气藏会起到明显的调整作用,控制其成藏格局。以坳陷内柳江低凸起为例进行构造演化史分析(图 5),结果表明:研究区内印支和喜山期以褶皱隆升为主,断裂不发育,对页岩气成藏影响较小;燕山期为主要变形期,大量叠瓦状逆冲断裂在此时发育,并出现高角度逆冲断层,断层断穿泥盆系 - 三叠系,对现今可能残存的页岩气藏的分布格局有着决定性影响。如图 5a,柳江低凸起内天山背斜及西部地层变形强度最低,断裂应力背景单一,且一直处于压扭状态,断层封闭性好,仅发育细短、分散的层间或层内滑脱小断层,因此是页岩气保存条件最好的部位。中部的合山向斜带地层变形程度

大,发育树枝状断裂群,沟通上古生界至地表,断裂对盖层的破坏较为强烈,其保存条件较差。东部的柳州背斜带发育深大断裂沟通至地表,并伴生树枝状断裂群,深大断裂东部的地层变形严重,页岩气保存条件也较差。

整体上,桂中坳陷西部为泥岩、粉砂质泥岩地层覆盖区,较东部 - 北部碳酸盐岩覆盖区断裂作用弱,断裂密度较小。据统计,坳陷北部和东南部密集发育北北东 - 北东向深大断裂,其中环江浅凹、宜山断凸和罗城低凸起断裂发育密度大于 0.73 条/100 km²,且以走滑断裂、高角度逆冲断裂为主^[21],断层封闭性差,不利于页岩气保存。而坳陷中西部马山断凸、红渡浅凹和柳江低凸起内尽管发育北西、北东和近南北向断裂,但断裂发育密度小于 0.44 条/100 km²,以逆冲断裂、压扭性断裂为主^[21],断层封闭性较好,且地层相对平缓,对页岩气保存条件破坏较弱。如坳陷西部南丹 - 都安深大断裂,该断裂在盆地演化期呈拉张性质,而在盆地改造期受构造应力作用转为压扭性质,形成逆冲断裂系,而在该断裂附近的钻井中发生的气喷现象也佐证断层封闭性较好。

3.2 抬升剥蚀作用

地壳抬升对页岩气藏保存条件的破坏性主要表现为区域盖层的破坏以及断层封闭性的降低^[22]。印支、燕山和喜山运动导致桂中坳陷内发生了强烈的抬升剥蚀,坳陷内下三叠统(T_1)、下白垩统(K_1)、第四纪(Q)地层依次呈角度不整合接触关系(据广西区域地质测量报告,1970),而前人通过研究认为燕山和喜马拉雅运动导致的构造抬升是桂中坳陷油气藏破坏的主要因素之一^[21-24]。根据桂中 1 井的分层数据、不同时期的剥蚀厚度以及古大地热流值、古水深、古盐度等数据,使用 PetroMod 绘制出的桂中 1 井埋藏史 - 热史图(图 6),结果显示:早三叠世以前研究区晚古生代地层处于快速沉降和埋深时期,之后转为抬升剥蚀,坳陷在盆地改造期经历各运动期次造成的抬升剥蚀情况有所差异,印支期抬升幅度为 20% 左右,燕山和喜马拉雅

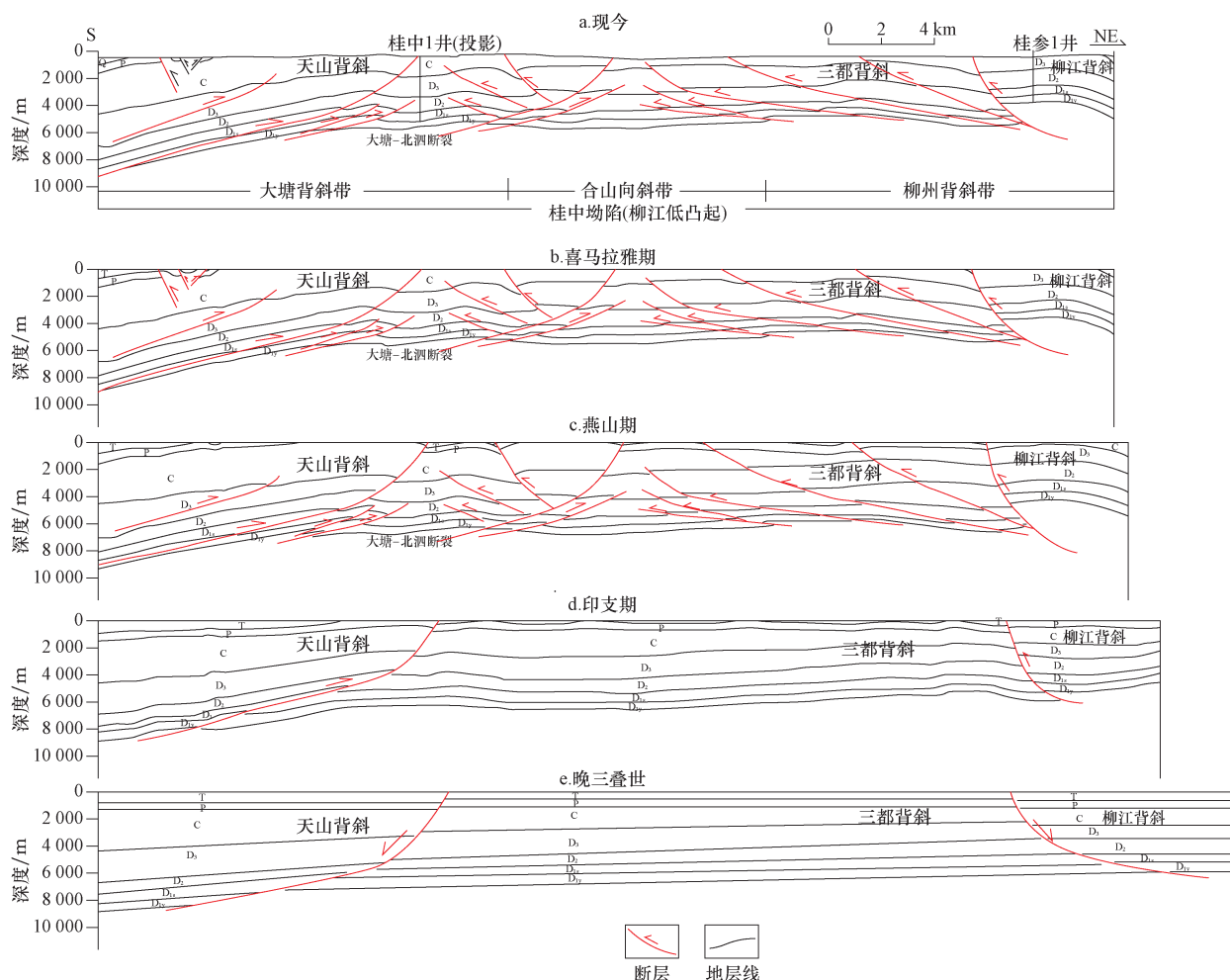


图5 桂中坳陷柳江低凸起构造演化史

Fig. 5 Tectonic evolution of Liujiang salient in Guizhong Depression

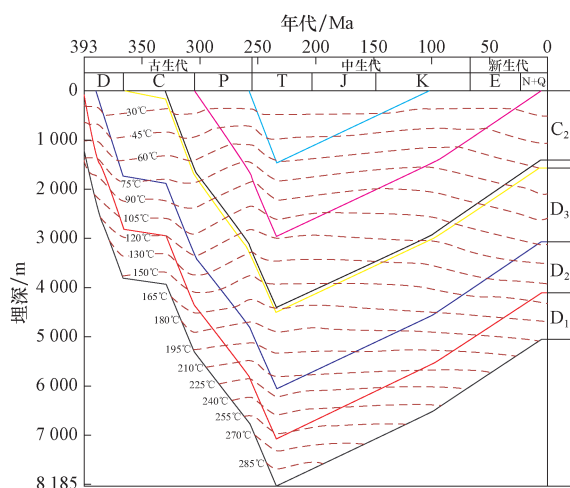


图6 桂中坳陷桂中1井埋藏史-热史图

Fig. 6 Buried history vs. thermal maturity

history of Well Guizhong-1 in Guizhong Depression

期抬升幅度分别约为50%和30%左右。通过碳、氧同位素计算以及楼章华等^[21]利用 R_o 恢复研究区的剥蚀厚度结果均表明,桂中坳陷总剥蚀厚度达2 000 m以上。横向上,研究区内石炭系大面积出露,部分地区背斜核部上泥盆统也有出露,如环江浅凹中筒背斜和柳州背斜带。而西部地区受构造作用影响较弱,大塘背

斜带西南部以及宜山浅凹西部仍可见二叠系残余。除马山断凸中北部、红渡浅凹中部以及柳江低凸起西部以外,剥蚀厚度基本在3 500 m以上。

上述分析表明,强烈的剥蚀作用导致研究区内页岩气保存条件遭受严重破坏,但坳陷内马山断凸中北部、红渡浅凹中部以及柳江低凸起西部一带中、下泥盆统地层可能仍存在良好的页岩气保存条件。

4 结论

1) 桂中坳陷中泥盆统泥页岩沉积厚度大且分布连续,盖层具有良好的韧性和物性封闭能力,可作为良好的页岩气区域盖层;下石炭统盖层物性较好且东部鹿寨一带具有较好的韧性,封闭性较好,是较可靠的自身储盖层以及作为下覆层的局部盖层;下泥盆统泥页岩则可作为其本身良好的直接盖层,尽管韧性较差,但上覆区域盖层可对其保存条件进行补充。

2) 燕山期的构造活动是本区上古生界页岩气保存条件破坏的主要因素,但区域上,坳陷内柳江低凸起内的天山背斜及其西部、马山断凸中部以及红渡浅凹中部一带的中、下泥盆统地层受断裂、抬升剥蚀作用影

响还是较小,页岩气保存条件相对较好;而南部的上林一带盖层韧性差,不利于页岩气保存。

参 考 文 献

- [1] 邹才能,杨智,等. 纳米油气与源储共生型油气聚集[J]. 石油勘探与开发,2012,39(13):13-26.
Zou Caineng, Yang Zhi, et al. Nano-hydrocarbon and the accumulation in coexisting source and reservoir[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(13): 1326.
- [2] 聂海宽,包书景,高波,等. 四川盆地及其周缘下古生界页岩气保存条件研究[J]. 地学前缘,2012,19(3):280-294.
Nie Haikuan, Bao Shujing, Gao Bo, et al. A study of shale gas preservation conditions for the Lower Paleozoic in Sichuan Basin and its periphery[J]. Earth Science frontiers, 2012, 19(3): 280-294.
- [3] 李建忠,李登华,董大忠,等. 中美页岩气成藏条件、分布特征差异研究与启示[J]. 中国工程科学,2012,14(6):56-63.
Li Jianzhong, Li Denghua, Dong Dazhong, et al. Comparison and enlightenment on formation condition and distribution characteristics of shale gas between China and U. S. [J]. Engineering Sciences, 2012, 14(6): 56-63.
- [4] 郭旭升,郭彤楼. 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. Thoughts on shale gas exploration in southern China[J]. Engineering Sciences, 2012, 14(6): 101-105.
- [5] 李明诚,李伟,蔡峰,等. 油气成藏保存条件的综合研究[J]. 石油学报,1997,18(2):41-48.
Li Mingcheng, Li Wei, Cai Feng, et al. Integrative study of preservation conditions of oil and gas pools[J]. Acta Petrolei Sinica, 1997, 18(2): 41-48.
- [6] 马永生,楼章华,李建忠,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):408-417.
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): 408-417.
- [7] 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.
- [8] 黄羚,徐政语,王鹏万,等. 桂中坳陷上古生界页岩气资源潜力分析[J]. 中国地质,2012,39(2):497-506.
Huang Ling, Xu Zhengyu, Wang Pengwan, et al. An analysis of resource potential of Upper Paleozoic shale gas in Guizhong Depression [J]. Geology in China, 2012, 39(2): 497-506.
- [9] 吴干国,姚根顺,陈子焯,等. 桂中坳陷海相地层油气成藏与改造过程[C]. 第五届油气成藏机理与油气资源评价国际学术研讨会论文集,北京,2009:781-793.
Wu Ganguo, Yao Genshun, Chen Ziliao, et al. Hydrocarbon accumulation and reconstruction of marine strata in Guizhong Depression [C]. The fifth international symposium on petroleum accumulation and resource evolution, Beijing, 2009: 781-793.
- [10] 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.
- [11] 中华人民共和国区域地质测量报告书(1:20万)-上林幅、来宾幅、柳州幅、融安幅、宜山幅、罗城幅,1970.
Chinese regional geological survey report (1:200,000)- Shanglin Block, Laibin Block, Liuzhou Block, Rong'an Block, Yishan Block, Luocheng Block, 1970.
- [12] 潘仁芳,黄晓松. 页岩气及国内勘探前景展望[J]. 中国石油勘探,2009(3):1-5.
Pan Renfang, Huang Xiaosong. Shale gas and its exploration prospects in China[J]. China Petroleum Exploration, 2009(3): 1-5.
- [13] 董大忠,邹才能,李建忠,等. 页岩气资源潜力与勘探开发前景[J]. 地质通报,2011,30(2-3):324-336.
Dong Dazhong, Zou Caineng, Li Jianzhong, et al. Resource potential, exploration and development prospect of shale gas in the whole world [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(2-3): 324-336.
- [14] 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. A preliminary study on accumulation mechanism and enrichment pattern of shale gas[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(5): 17-21.
- [15] 柳广弟. 石油地质学[M]. 北京:石油出版社,2010:63-69,2227-229.
Liu Guangdi. Petroleum Geology[M]. 4th edition. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010: 63-69, 2227-229.
- [16] 何幼斌,王文广. 沉积岩与沉积相[M]. 北京:石油工业出版社,2007:96.
He Youbin, Wang Wenguang. Sedimentary rocks and sedimentary Facies[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007: 96.
- [17] 董大忠,程克明,王玉满,等. 中国上扬子区下古生界页岩气形成条件及特征[J]. 石油与天然气地质,2010,31(3):288-308.
Dong Dazhong, Cheng Keming, Wang Yuman, et al. Forming conditions and characteristics of shale gas in the Lower Paleozoic of the Upper Yangtze region, China[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 288-308.
- [18] 傅广,陈章明,姜振学. 盖层封堵能力评价方法及其应用[J]. 石油勘探与开发,1995,22(3):46-50.
Fu Guang, Chen Zhangming, Jiang Zhenxue. Evaluation of the sealing ability of cap rock and its application[J]. Petroleum Exploration and Development, 1995, 22(3): 46-50.
- [19] 黄志龙,郝石生. 盖层突破压力及排替压力的求取方法[J]. 新疆石油地质,1994,15(2):163-166.
Huang Zhilong, Hao Shisheng. A method of estimating breakthrough pressure and displacement pressure of caprock[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1994, 15(2): 163-166.
- [20] 刘磊. 湘桂地区构造运动对油气藏破坏作用研究[D]. 中国石油大学(华东)硕士学位论文. 2010:54-56,65.
Liu Lei. Research on destruction of tectonic movements on oil and gas reservoirs in Xianggui area[D]. China University of Petroleum (East China) master degree thesis. 2010: 54-56, 65.
- [21] 刘东成. 桂中坳陷构造演化及油气保存条件[D]. 中国石油大学(华东)硕士学位论文,2009:49-56.
Liu Dongcheng. The analysis of tectonic evolution and preservation condition of oil and gas in Guizhong depression[D]. China University of Petroleum (East China) master degree thesis, 2009: 49-56.
- [22] 付广,王剑秦. 地壳抬升对油气藏保存条件的影响[J]. 天然气地球科学,2000,11(2):18-24.
Fu Guang, Wang Jianqin. Influence of crustal uplift to preservation of oil or gas pools[J]. Natural Gas Geoscience, 2000, 11(2): 18-24.
- [23] 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.
- [24] 白忠峰. 桂中坳陷构造特征及其与油气关系[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文,2006.
Bai Zhongfeng. Structural characteristics and the relation with the petroleum and gas in Guizhong Depression[D]. China University of Geosciences (Beijing) Master Degree Thesis. 2006.

(编辑 高岩)