引用格式：王玉芳，翟刚毅，石万忠，等，2025. 滇黔桂地区垭紫罗裂陷海槽泥盆系—石炭系页岩气富集成藏主控因素[J]. 地质力学学报，31（2）：248−266. DOI：10.12090/j.issn.1006-6616.2024059

Citation: WANG Y F，ZHAI G Y，SHI W Z，et al.，2025. Factors controlling enrichment and accumulation of Devonian–Carboniferous shale gas in the Yaziluo rift trough in the Yunnan–Guizhou–Guangxi region[J]. Journal of Geomechanics，31（2）：248−266. DOI：10.12090/j.issn.1006-6616.2024059

滇黔桂地区垭紫罗裂陷海槽泥盆系—石炭系页岩气富集成藏主控因素

王玉芳[1,2,3]，翟刚毅[1,2]，石万忠[4]，王劲铸[1,2,3]，张家政[1,2,3]，康海霞[1,2,4]，张云枭[1,2,3]，周　惠[1,2,3]，张舒婷[5]

WANG Yufang[1,2,3]，ZHAI Gangyi[1,2]，SHI Wanzhong[4]，WANG Jinzhu[1,2,3]，ZHANG Jiazheng[1,2,3]，KANG Haixia[1,2,4]，ZHANG Yunxiao[1,2,3]，ZHOU Hui[1,2,3]，ZHANG Shuting[5]

1. 中国地质调查局油气资源调查中心，北京 100029；
2. 中国地质调查局非常规油气地质重点实验室，北京 100029；
3. 多资源协同陆相页岩油绿色开采全国重点实验室，北京 100029；
4. 中国地质大学（武汉）资源学院，湖北 武汉 430074；
5. 自然资源部油气资源战略研究中心，北京 100037

1. *Oil & Gas Survey*, *China Geological Survey*, *Beijing* 100029, *China*;
2. *The Key Laboratory of Unconventional Petroleum Geology*, *China Geological Survey*, *Beijing* 100029, *China*;
3. *State Key Laboratory of Continental Shale Oil*, *Beijing* 100029, *China*;
4. *School of Earth Resources*, *China University of Geosciences*, *Wuhan* 430074, *Hubei*, *China*;
5. *Oil and Gas Resources Strategic Research Center of the Ministry of Natural Resources*, *Beijing* 100037, *China*

Factors controlling enrichment and accumulation of Devonian–Carboniferous shale gas in the Yaziluo rift trough in the Yunnan–Guizhou–Guangxi region

Abstract: ［**Objective**］Compared with the Wufeng-Longmaxi Formation in the Sichuan Basin and its periphery, the Yunnan-Guizhou-Guangxi region has more complex conditions for the enrichment and accumulation of shale gas. Currently, the exploration degree of shale gas in the Yunnan-Guizhou-Guangxi region is relatively low, and the main factors controlling the enrichment and accumulation of shale gas are unclear. ［**Methods**］This paper relies on a large number of studies from the basic surveys of shale gas and major special projects in the Yunnan-Guizhou-Guangxi region. The research includes the sedimentary characteristics, diagenesis, hydrocarbon generation, thermal evolution characteristics, shale reservoir characteristics, accumulation patterns, and preservation conditions of the Devonian-Carboniferous shale in the Yunnan-Guizhou-Guangxi region. ［**Results**］The research indicated that the deposition of Devonian-Carboniferous organic-rich shale was mainly controlled by rift troughs, and the sweet spots of organic-rich shale were mainly formed in the transgressive system tract and the early highstand system tract of deep-water facies sedimentation. The regional sea level rise has brought abundant nutrients, promoting the wealth of organisms in the water body and generating strong biological productivity, which provides a good material basis for the formation of organic-rich

基金项目：中国地质调查局地质调查项目（DD202402007，DD20190108）；国家科技重大专项项目（2016ZX05034）

This research is financially supported by the Geological Survey Project of China Geological Survey (Grant Nos. DD202402007 and DD20190108) and the National Science and Technology Major Special Project (Grant No. 2016ZX05034).

第一作者：王玉芳（1977—），女，硕士，教授级高级工程师，主要从事页岩气地质调查和勘探开发研究。Email：147444819@qq.com

通信作者：翟刚毅（1958—），男，博士，教授级高级工程师，主要从事页岩气基础调查和资源潜力评价研究。Email: zhaigangyi@126.com

收稿日期：2024−11−20；**修回日期**：2025−03−06；**录用日期**：2025−03−10；**网络出版日期**：2025−03−10；**责任编辑**：范二平

sediments. Seismic interpretation reveals that most of the areas distributed along the main rift trough are greatly affected by destruction by late-stage tectonic activities, leading to the deterioration of the preservation conditions of shale gas. In contrast, the secondary rift troughs around the main rift trough have relatively stable structures, providing good conditions for the preservation of shale gas. [**Conclusion**] On this basis, the main controlling model for the enrichment and accumulation of shale gas in the Devonian-Carboniferous system in the Yunnan-Guizhou-Guangxi region is proposed: "rift trough deposition, deep-water lithofacies controlled hydrocarbon generation, and structural preservation in secondary rift troughs". The model has been confirmed through the drilling of multiple wells. [**Significance**] The results of this research can be used as a guide for the optimal selection of favorable shale gas areas and for the drilling of parameter wells in the future.

Keywords: Yunnan-Guizhou-Guangxi region; Devonian-Carboniferous shale gas; rift trough; secondary rift trough; enrichment and accumulation rules; shale gas

摘　要：相比于四川盆地及周缘五峰组—龙马溪组页岩气富集成藏特征，滇黔桂地区页岩气的富集成藏条件更加复杂，目前滇黔桂地区的页岩气勘探程度较低，页岩气富集成藏主控因素不清。基于滇黔桂地区页岩气的基础调查与已有的大量成果，对其泥盆系—石炭系页岩的沉积特征、成岩/生烃热演化特征、储集特征、成藏模式及保存条件进行了系统地分析与总结。研究表明，泥盆系—石炭系富有机质页岩的沉积主要受控于裂陷海槽，富有机质页岩甜点段主要形成于深水相沉积的海侵体系域和早期高水位体系域；区域性海平面上升带来丰富的营养物质，促进水体中生物繁殖，产生强大的生物生产力，为富有机质沉积物的形成提供了良好的物质基础。同时地震剖面解释发现，沿主裂陷槽分布的大部分地区受后期构造活动破坏影响大，导致页岩气保存条件变差；而主裂陷槽周缘的次级裂陷槽构造相对稳定，为页岩气保存提供了良好的条件。在此基础上，提出滇黔桂地区泥盆系—石炭系“裂陷槽沉积、深水岩相控烃、次级裂陷槽构造保存”的页岩气富集成藏主控模式，并已通过多口钻井钻探得到证实。研究成果可为今后该地区的页岩气有利区优选及参数井钻探提供指导。

关键词：滇黔桂地区；泥盆系—石炭系；裂陷海槽；次级裂陷槽；富集成藏主控因素；页岩气

中图分类号：TE132　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1006-6616(2025)02-0248-19

DOI：10.12090/j.issn.1006-6616.2024059

0　引言

2009 年以来，随着四川盆地内焦石坝、长宁、威远等地页岩气的不断突破与开发，围绕奥陶系五峰组—志留系龙马溪组海相页岩气的富集成藏规律，国内专家马永生等(2018)提出“沉积环境控制优质页岩分布、保存是关键因素、可压性是高产核心”、郭旭升(2014)提出“二元富集”、赵文智等(2016)提出“三高一保一适中”、邹才能等(2016)提出“深水陆棚笔石黑色页岩富集机理”、孙冬胜等(2022)提出“近源断裂输导、高能相带控储、岩性圈闭控藏、局部构造控富”等一系列原创性认识。针对盆外复杂构造区海相页岩气富集成藏规律认识，笔者团队提出“源-成-藏”页岩气富集主控因素，并提出古隆起边缘控藏模式(翟刚毅等，2017a，2017b；Zhai Gangyi et al.，2018；翟刚毅等 2020a，2020b)。围绕四川盆地震旦系—寒武系古老地层页岩气的成藏规律，魏国齐等(2015)提出四川盆地古隆起不同构造部位发育不同的震旦系—寒武系气藏成藏模式。刘树根等(2013)提出四川盆地震旦系—下古生界油气聚焦主要受绵阳-长宁裂陷槽控制。

受勘探程度低的影响，滇黔桂地区泥盆系—石炭系页岩气富集成藏规律认识一直不清。围绕桂中坳陷泥盆系—石炭系页岩气成藏条件，贺训云等(2010)提出后期构造抬升剥蚀是破坏油气成藏的重要原因；王鹏万等(2012)提出中—下泥盆统具备良好的页岩气成藏条件；汪凯明(2013)分析了泥盆系页岩气的成藏条件，认为多期构造改造、断裂发育和部分地区的岩浆活动导致了页岩气藏保存条件变差；胡东风等(2018)提出桂中坳陷石炭系具有良好的页岩气勘探前景；周雯等(2019)对桂中坳陷下石炭统鹿寨组页岩的分布、有机地球化学特征、储层特征和含气性等成藏条件进行了研究，提出桂中坳陷石炭系页岩气具备成藏条件，且柳州-鹿寨和

河池–宜州为页岩气有利区；胡志方等(2023)提出桂中坳陷石炭系富有机质页岩主要发育在垭紫罗裂陷槽内或相邻的次级裂陷槽内，次级裂陷槽因受逆断层封堵更有利于页岩气保存。文章在系统梳理评价中国南方滇黔桂地区泥盆系—石炭系页岩的沉积环境、成岩演化、储集条件和构造保存条件基础上，提出了针对泥盆系—石炭系“裂陷槽沉积、深水岩相控烃、次级裂陷槽构造保存”的页岩气富集成藏主控因素认识，可为今后滇黔桂地区页岩气有利区优选和参数井部署提供借鉴。

1 地质构造背景

中国南方泥盆系—石炭系主要分布于滇黔桂地区，该地区区域构造上分属扬子准地台、华南褶皱系及三江褶皱系3大构造单元(图1)。该区先后历经加里东期、华力西期、印支期、燕山期—喜马拉雅期等构造运动，形成了现今的地形地貌。加里东运动对地壳产生强烈拉张活动，促使海底发育拉张断裂和扩张，沿着断裂带形成了一系列的同沉积断裂带，伴随海侵在滇黔桂地区形成了一系列裂陷海槽(梅冥相等，2005；李浩，2005)。受构造格架和演化控制，泥盆系—石炭系主要形成隆凹相间的台–丘–槽相分异沉积，由北至南整体呈现出古陆、滨岸、陆棚、碳酸盐台地、台盆与台地相互交错的沉积相带变化趋势。富有机质页岩主要发育在裂陷槽内，沿垭紫罗断裂带和右江裂陷槽分布。垭紫罗断裂带深部由1条或几条切穿基底(至上地幔)的深断裂组成，具有分段性。深部构造的不同决定了后期构造变形强度的差异性，其空间结构上由北西至南东可分为威宁–水城段、小河边–关岭段与紫云–罗甸段3段。该断裂带构造演化经历了志留纪的萌生期、泥盆纪—中三叠世的强烈伸展–断陷期、中—晚三叠世的反转挤压期、侏罗纪—古近纪的陆内收缩挤压–走滑期与新近纪以来的消亡期5个阶段(张荣强等，2009；汪新伟等，2013)。垭紫罗断裂带作为扬子板块南缘克拉通内盆地与克拉通边缘盆地的1条重要分界断裂，控制了海西期—印支早期扬子板块南缘盆地的类型、沉积物岩性和岩相差异，从而控制着两侧盆地油气成藏的差异性(吴国

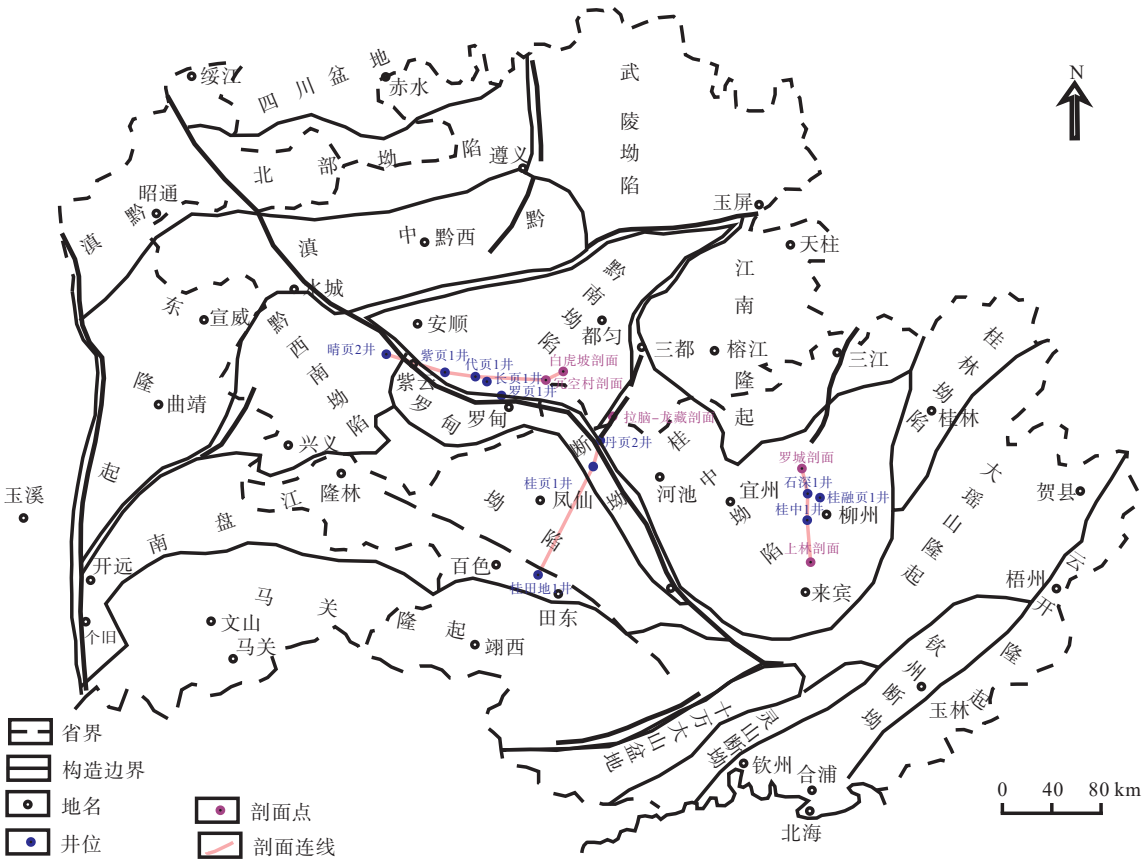


图1 滇黔桂地区构造单元划分图

Fig. 1 Tectonic division map of the Yunnan–Guizhou–Guangxi region

干等, 2009; 张荣强等, 2009; 汪新伟等, 2013)。文章主要针对滇黔桂地区沿垭紫罗断裂带一线及桂中坳陷的泥盆系—石炭系页岩气富集成藏主控因素进行分析研究。该地区地层从老到新为中—新元古界四堡群、青白口系、南华系、震旦系，古生界寒武系、泥盆系、石炭系以及新生界第四系，沉积厚度大于 7000 m。各层位地层出露并不连续、完整，其中四堡群与青白口系、寒武系与上覆泥盆系为角度不整合接触关系。寒武系、泥盆系和石炭系分布最为广泛。多口钻井及野外典型露头剖面显示，该地区泥盆系富有机质页岩主要发育在中泥盆统罗富组和东岗岭组，石炭系富有机质页岩主要发育在鹿寨组和打屋坝组，以深水盆地相和斜坡相沉积为主(表 1)。

表 1　桂中地区上古生界地层划分表

Table 1　Classification of Paleozoic strata in the Guizhong region

<table>
<tr><td colspan="3">地层</td><td colspan="3">盆地相</td><td colspan="2">孤台相</td><td colspan="2">台地相</td></tr>
<tr><td>界</td><td>系</td><td>统</td><td colspan="3">组</td><td colspan="2">组</td><td colspan="2">组</td></tr>
<tr><td rowspan="19">上古生界</td><td rowspan="9">二叠系</td><td rowspan="4">上统</td><td>长兴</td><td rowspan="3">领薷</td><td rowspan="5">晒瓦</td><td>长兴</td><td rowspan="2">长兴</td><td>大隆</td></tr>
<tr><td>长兴</td></tr>
<tr><td>吴家坪（龙潭）</td><td>吴家坪（龙潭、合山）</td><td colspan="2">龙潭（吴家坪）</td></tr>
<tr><td>峨眉山玄武岩</td><td rowspan="2">岜仙</td><td colspan="2">峨眉山玄武岩</td></tr>
<tr><td rowspan="4">下统</td><td>茅口</td><td>茅口</td><td colspan="2">茅口</td></tr>
<tr><td colspan="2">栖霞</td><td>栖霞</td><td colspan="2">栖霞</td></tr>
<tr><td colspan="2">隆林</td><td>梁山</td><td colspan="2">梁山</td></tr>
<tr><td colspan="2">紫松</td><td>紫松</td><td colspan="2">紫松</td></tr>
<tr><td rowspan="8">石炭系</td><td>上统</td><td colspan="2">马平</td><td>马平</td><td colspan="2">马平</td></tr>
<tr><td>中统</td><td colspan="2">黄龙</td><td>黄龙</td><td colspan="2">黄龙（威宁）</td></tr>
<tr><td rowspan="6">下统</td><td colspan="2">德坞（摆佐）</td><td>大埔</td><td colspan="2">大埔</td></tr>
<tr><td colspan="2">大塘</td><td>摆佐</td><td colspan="2">摆佐（德坞）</td></tr>
<tr><td colspan="2">岩关（鹿寨）</td><td>大塘</td><td>都安</td><td>上司（罗成）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">岩关</td><td rowspan="2">岩关</td><td>旧司（寺门）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">岩关（融安）</td><td>祥摆（黄金）</td></tr>
<tr><td>汤耙沟（英塘）</td></tr>
<tr><td rowspan="5">泥盆系</td><td rowspan="2">上统</td><td colspan="2">代化</td><td>五指山</td><td rowspan="2">融县</td><td>尧梭</td><td rowspan="2">融县</td></tr>
<tr><td colspan="2">响水洞</td><td>榴江</td><td>望城坡</td></tr>
<tr><td rowspan="2">中统</td><td colspan="2">罗富</td><td colspan="2">东岗岭</td><td colspan="2">独山（东岗岭）</td></tr>
<tr><td>纳标</td><td rowspan="2">高峰街</td><td rowspan="2">应堂</td><td>大河口</td><td rowspan="2">应堂</td></tr>
<tr><td rowspan="3">下统</td><td>塘丁</td><td>德峨</td><td>龙洞水</td></tr>
<tr><td colspan="2">益兰</td><td>郁江</td><td rowspan="3">坡脚</td><td rowspan="2">丹林</td><td>郁江</td></tr>
<tr><td colspan="2">那高岭</td><td>那高岭</td><td>那高岭</td></tr>
<tr><td colspan="2">莲花山</td><td>莲花山</td><td colspan="2">莲花山</td></tr>
</table>

2 泥盆系—石炭系富有机质页岩沉积特征

2.1 泥盆系—石炭系富有机质页岩沉积环境

泥盆纪—早三叠世,华南陆块四周被古特提斯洋和泛大洋包围(Zhao et al., 2018)。受周围各洋盆阶段性的洋脊扩张与海沟带俯冲的影响,挤压抬升与拉张裂陷交替出现,在华南陆块南缘形成右江−垭紫罗泥盆系—石炭系裂陷海槽。早泥盆世初期,除钦防浅海外,大陆四周全被海域包围,海水大面积北进,该地区从晚古生代泥盆纪开始进入大面积伸展裂陷阶段(马永生等, 2009; 侯方浩等, 1988; 吴玉等, 2019; 张鹏等, 2019; 周雯等, 2019)。北东向的师宗−弥勒断裂和南盘江断裂则成为盆地西部裂陷带。北西向的垭都−紫云断裂、南丹−都安断裂至右江断裂等一系列断裂在早泥盆世晚期开始形成深水裂陷海槽,盆地开始出现台盆分割雏型。中泥盆世由于走滑拉张活动和海平面上升、海水北进的双重影响,海盆进一步分割,沉积分异和裂陷海槽更加明显。至晚泥盆世早中期,滇黔桂和湘桂浅海的裂陷海槽进入最大海侵期,裂陷海槽逐渐形成菱形外貌。晚泥盆世末开始海退,裂陷海槽收缩变浅(陈林等, 2019; 罗宏谓, 2019; 苑坤, 2019; 张子亚, 2019a, 2019b)。至石炭纪,构造活动减弱,碳酸盐台地范围逐渐扩大,晚石炭世出现了浅水碳酸盐岩台地和台间深海裂陷海槽(金小赤, 1988; 张矿明等, 2018; 区小毅等, 2019)。

基于滇黔桂地区台盆相间的古地理格局,结合控凹断层展布特征及南北向连井剖面所显示的岩相分布特征,文章重新厘定了中泥盆统吉维特阶海侵期岩相古地理展布(图 2)。该地区中泥盆统岩相展布具有较强的非均质性特征,最北部地区与最南部地区沉积物源受陆源碎屑影响较大,发育灰质及灰/泥混合质岩相类型;中部台盆相间古地理格局明显,台地南北边界沉积终止于北北西向断裂,凹陷与台地长轴方向一致,呈北西—南东向展布,台地东西边界沉积终止于北东向及东西向断裂。受垭紫罗断裂带控制,滇黔桂地区北部中泥盆统页岩发育最厚,可达 60 m;南部盆地页岩厚度次之,最厚为 40 m。

早石炭世滇黔桂地区的古地理格局继承了台盆相间的特征,同样控制着下石炭统页岩的空间展布。受此影响,下石炭统富有机质页岩主要发育于滇黔桂地区的右江陆缘裂陷盆地、湘桂陆内裂陷盆地及钦防海槽相等盆地内(图 3)。其中,北部地区盆地内页岩发育厚度较大,斜坡带发育的页岩厚度小。北部盆地因离古陆较近而发育混合质页岩,南部盆地则发育硅质页岩。实测控制点数据揭示,下石炭统页岩厚度最大可达 60 m。

2.2 泥盆系—石炭系槽台相沉积特征

泥盆系富有机质页岩主要位于中泥盆统,选取横切垭紫罗和右江裂陷槽的 2 组南北向连井剖面(拉脑−龙藏剖面—丹页 2 井—桂页 1 井—桂田地 1 井、罗城剖面—石深 1 井—桂中 1 井—上林剖面)可反映泥盆系页岩沉积岩相分布特征。2 组连井剖面共同显示(图 4, 图 5),该地区南部盆地沉积相中发育硅质岩相泥页岩,斜坡沉积相带中发育灰/泥混合质岩相页岩。垭紫罗断裂带周缘断陷盆地内台盆沉积相沉积受北部陆源碎屑影响严重,主要发育粉砂质泥岩、泥质页岩,属黏土质泥岩相类型;而斜坡沉积相带发育泥质粉砂岩等,属粉砂质泥岩相。

近东西向连井剖面(晴页 2 井—紫页 1 井—代页 1 井—冗空村剖面—白虎坡剖面)可反映石炭系页岩岩相分布特征。连井剖面显示(图 6),不同于南部盆地沉积相中发育硅质岩相泥页岩,斜坡沉积相带中发育灰/泥混合质岩相页岩;垭紫罗断裂带周缘断陷盆地内台盆沉积相沉积受北部陆源碎屑影响严重,主要发育粉砂质泥岩、泥质页岩,属黏土质泥岩相类型;而斜坡沉积相带发育泥质粉砂岩等,属粉砂质泥岩相。

2.3 泥盆系—石炭系富有机质页岩成因模式

中泥盆统期,广西南丹地区经历了海平面从相对下降到上升的过程:塘丁组为浅水陆棚相沉积;纳标组—罗富组沉积了富含竹节石化石的富有机质页岩,为深水盆地相沉积;罗富组中上部沉积较厚的灰色、灰黑色泥灰岩,为浅水盆地相沉积。有机质与沉积环境密切相关,在深水缺氧或贫氧环境下,有机物不容易被微生物降解而保存下来,从而导致 Ba 元素累积和总有机碳(TOC)含量的升高。桂页 1 井中 Ba 元素在 700 m 深度附近出现高值,与 V/(V+Ni)、V/Cr、Ni/Co 等环境判别指标解释相吻合(图 7),说明缺氧环境是影响有机质保存的主要原因。

竹节石化石的富集程度也能指示沉积沉积环境,薄壳竹节石、放射虫、菊石和牙形石等生物组

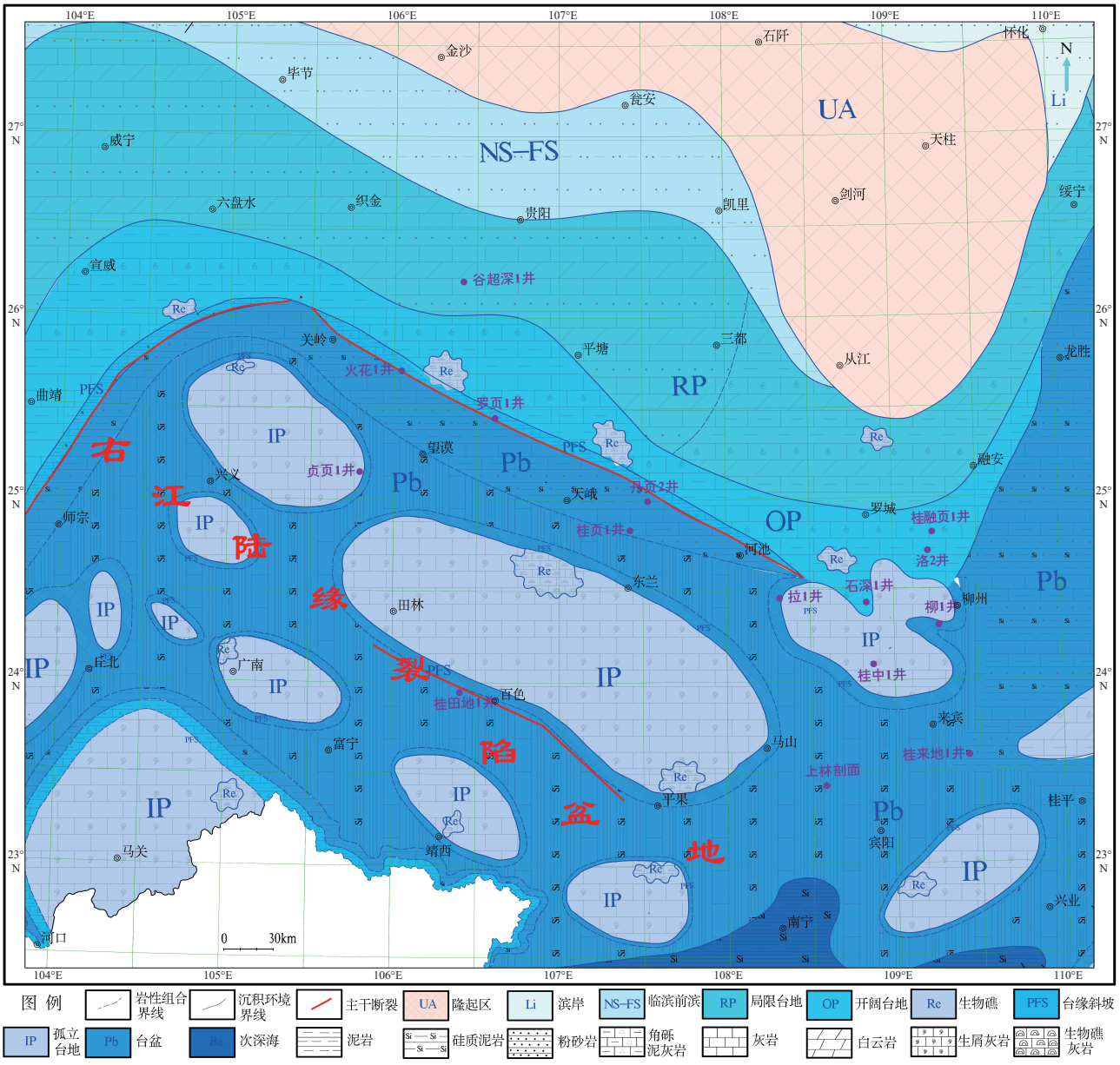


图 2　滇黔桂地区中泥盆统吉维特阶海侵期岩相古地理图

Fig. 2　Lithofacies and paleogeography map for the Givetian (Middle Devonian) transgressive period in the Yunnan–Guizhou–Guangxi region

合通常分布在远岸和较深的海域，往往指示缺氧和相对平静环境。岩心观察发现，纳标组的竹节石生物化石比罗富组和塘丁组丰富，说明纳标组沉积时期的水体较深，而罗富组和塘丁组沉积水体变浅，含氧量增加不利于有机质保存，有机质丰度降低。

以黔南坳陷下石炭统页岩为例，下石炭统大塘组黑色岩系岩性以黑色泥页岩、灰黑色泥灰岩和灰岩为主，TOC 含量介于 0.90%～2.83%，平均为 1.45%，泥页岩的 TOC 含量明显高于泥灰岩。TOC 含量与地层旋回有很好的响应关系。下石炭统大塘组黑色岩系样品的 U/Th 比、V/Cr 比和 Ni/Co 比分别为 0.15～0.71、0.37～1.28、1.60～16.45，平均为 0.24、1.06 和 5.69，揭示其沉积时期水体处于氧化—次氧化状态。上述元素比值与 TOC 含量相关性不强，表明富氧水体环境不是控制有机质富集的关键因素。

Ba 和 Mo 含量反映了古生产力变化与区域性海平面变化具有很好的一致性。海平面上升把深水的营养物质带到浅海透光带，使生物大量繁衍，形成强生物生产力。尽管 Ba 含量与 TOC 含量的相关性不大，但 Mo 含量与 TOC 含量呈明显的正相关性，表明下石炭统大塘组有机质富集主要受古生产力控制。

下石炭统页岩的富集主要受古生产力影响，古

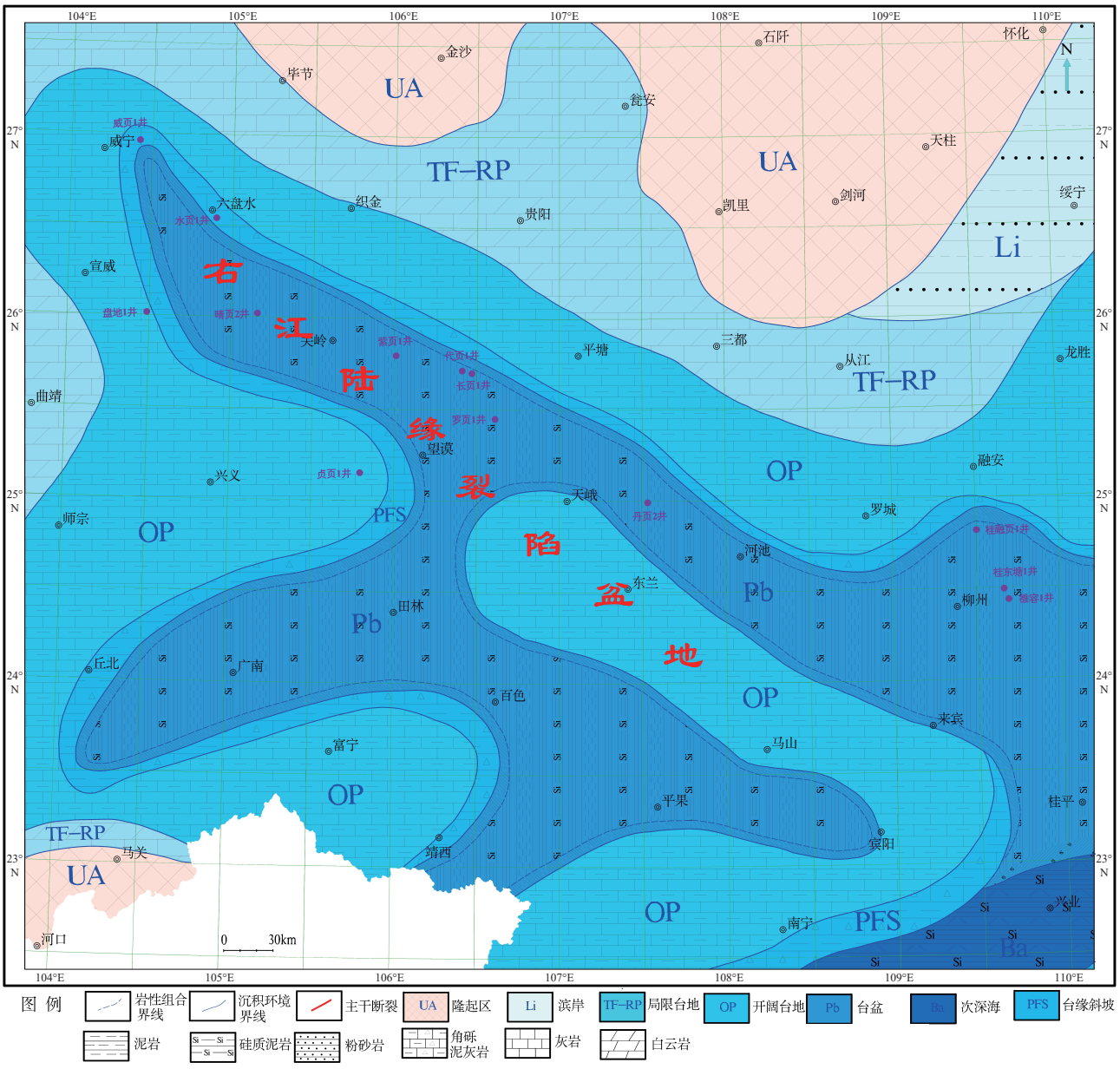


图 3 滇黔桂地区下石炭统大塘阶海侵期岩相古地理图

Fig. 3 Lithofacies and paleogeography map for the marine transgression in the Datang stage (early Carboniferous) in the Yunnan–Guizhou–Guangxi region

生产力为富有机质沉积提供了物质基础，虽然富氧环境不利于有机质保存，但区域性海平面上升带来丰富的营养物质，促进生物繁殖，大量有机质来不及被氧化或降解就直接进入埋藏阶段，反而促进了有机质的富集。

3 泥盆系—石炭系富有机质页岩成岩热演化特征

3.1 泥盆系—石炭系富有机质页岩有机碳含量

受沉积环境差异影响，中泥盆统不同页岩层段的 TOC 含量平面分布差异大。桂来地 1 井中泥盆统东岗岭组页岩 TOC 含量介于 0.29%～1.94%，平均为 1.08%。桂页 1 井中泥盆统页岩 TOC 含量介于 0.27%～3.53%，平均为 1.45%。其中，罗富组页岩 TOC 含量介于 0.27%～2.70%，平均为 1.06%；纳标组页岩 TOC 含量介于 0.64%～3.53%，平均为 1.98%。纳标组页岩是最有利层段，整体属于中等—好烃源岩。

黔南地区下石炭统打屋坝组页岩 TOC 含量主要集中在 2% 左右，整体较高。其中，代页 1 井打屋坝组储层段 TOC 含量主要介于 0.41%～6.93%，平均为 2.19%；长页 1 井打屋坝组 TOC 含量主要介于

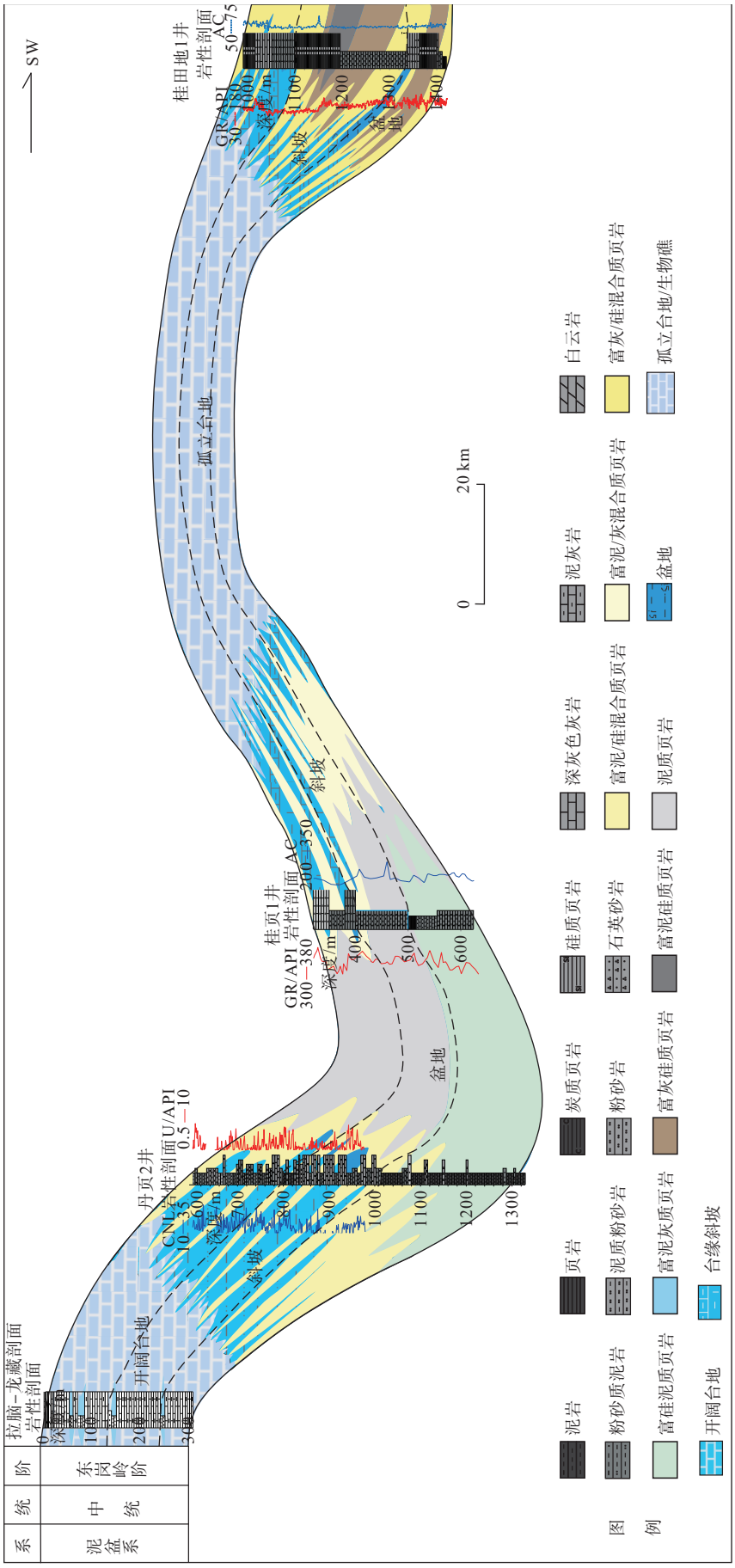


图 4　拉脑—龙藏剖面—丹页 2 井—桂页 1 井—桂田地 1 井中泥盆统页岩岩相连井剖面（剖面位置见图 1）

Fig. 4　Cross section of middle Devonian shale lithofacies along Lanao-Longzang profile–Danye well 2–Guiye well 1–Guitiandi well 1 (see Fig. 1 for the profile location)

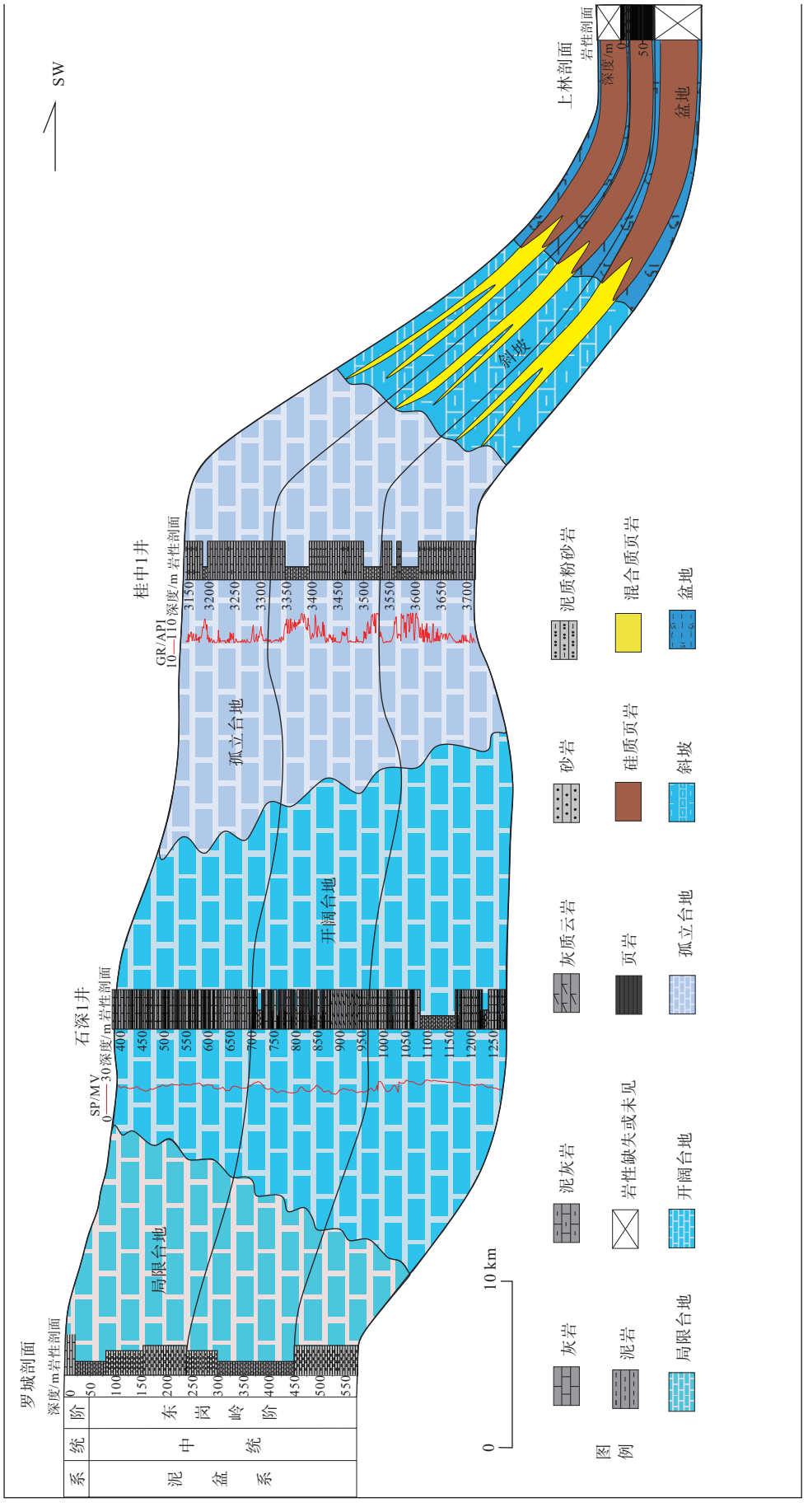


图 5 罗城剖面—石深 1 井—桂中 1 井—上林剖面中泥盆统页岩岩相连井剖面（剖面位置见图 1）

Fig. 5 Cross section of the middle Devonian shale lithofacies along Luocheng profile–Shishen well 1–Guizhong well 1–Shanglin profile (see Fig. 1 for the profile location)

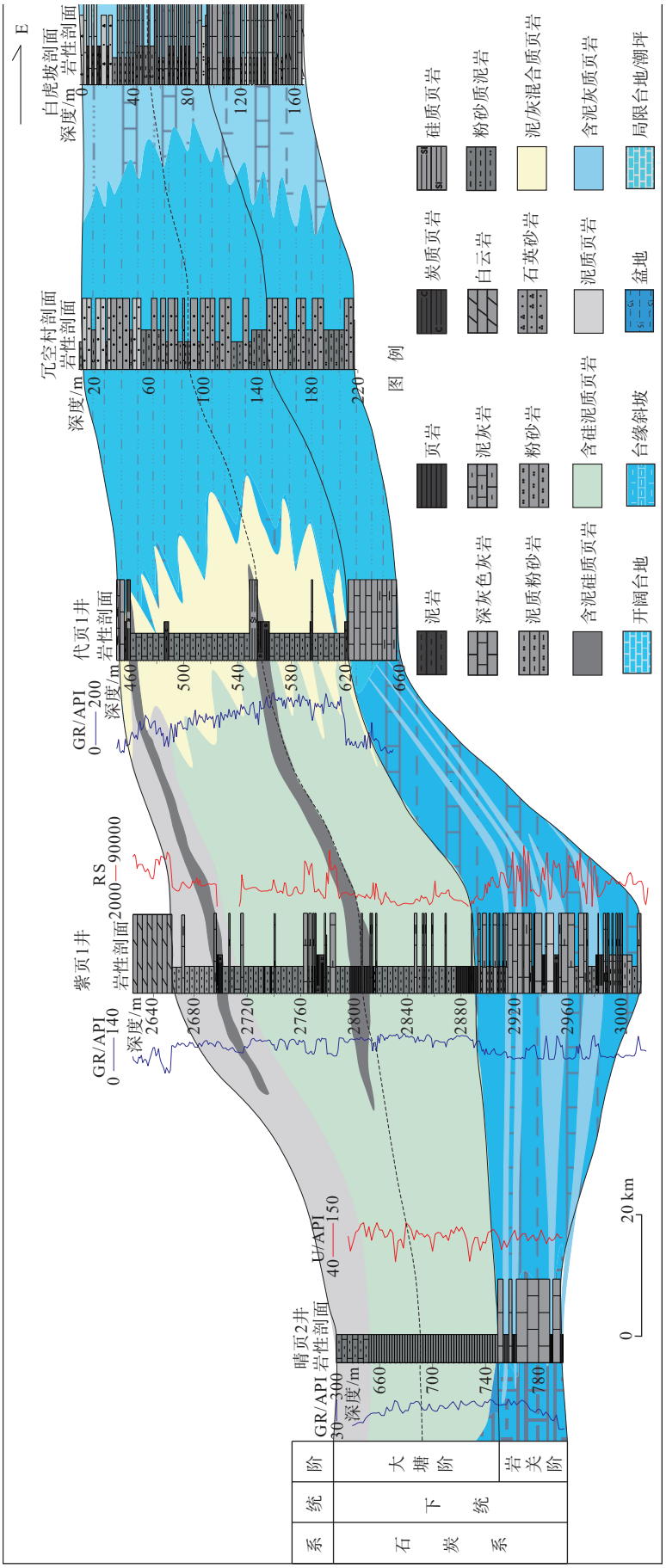


图 6　晴页 2 井—紫页 1 井—代页 1 井—冗空村剖面—白虎坡剖面下石炭统泥页岩岩相连井剖面（剖面位置见图 1）

Fig. 6　Cross section of the lower Carboniferous mud shale lithofacies along Qingye well 2–Ziye well 1–Daiye well 1–Rongkongcun profile–Baihupo profile (see Fig. 1 for the profile location)

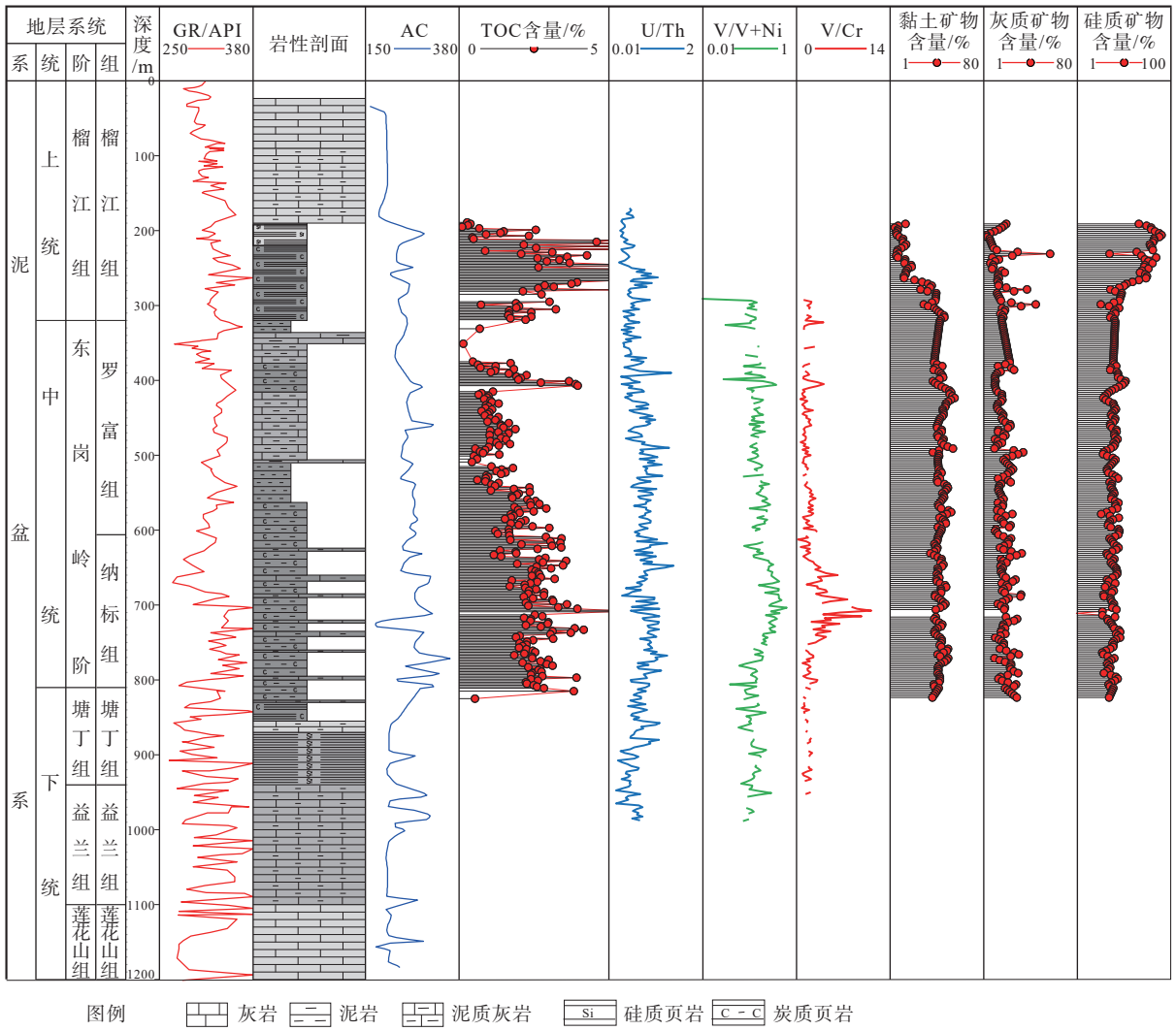


图 7 桂页 1 井综合柱状图

Fig. 7 Comprehensive histogram of Guiye well 1

0.21%～4.51%, 平均为 1.79%; 紫页 1 井打屋坝组 TOC 含量主要介于 0.56%～2.64%, 平均为 1.45%。水城剖面、双水剖面、新寨剖面、蛮场剖面、格凸河剖面和罗岗剖面等打屋坝组野外露头样品 TOC 含量总体介于 0.34%～3.58%, 平均约为 1.29%。

桂中坳陷石炭系鹿寨组不同段页岩有机碳含量差别较大, 整体属于中等—好烃源岩。其中, 东塘 1 井鹿寨组 TOC 含量最小为 0.41%, 最大为 5.35%, 平均为 1.02%。桂融页 1 井鹿寨组底部鹿寨组一段页岩的 TOC 含量较高, 最高为 5.15%, 平均为 1.99%。中上部的鹿寨组二段和鹿寨组三段页岩 TOC 含量相对较低, 平均约为 1.05%, 整体属于中等—好烃源岩。

3.2 泥盆系—石炭系页岩成岩热演化程度

黎塘–贵港剖面、大厂剖面、桂页 1 井、桂页 1 井及莫德剖面页岩的镜质体反射率(R_O)测试结果显示, 不同地区中泥盆统各组页岩的成熟度特征具有明显差异。其中, 十万大山东岗岭组页岩 R_O 介于 0.94%～1.12%, 平均为 1.04%, 表明烃源岩有机质热解生油正处于高峰期, 在此阶段可形成大量成熟油而未进入生气阶段。大厂剖面罗富组页岩 R_O 介于 1.53%～2.03%, 平均为 1.71%, 处于高成熟期阶段, 产轻质油、凝析油和湿气等; 小部分页岩处于过成熟期的早期阶段, 烃源岩有机质热裂解可产生少量干气。桂页 1 井罗富组页岩 R_O 介于 2.17%～2.83%, 平均为 2.56%, 属于过成熟期阶段页岩, 在此阶段烃源岩有机质热裂解可产生大量干气。纳标组页岩 R_O 介于 1.88%～2.76%, 平均为 2.49%。其中, 大部分页岩属于过成熟期阶段页岩, 烃源岩有机质可热裂解产生大量干气, 小部分页岩处于高成熟期的后期阶段, 以产湿气为主。桂页 1 井罗富组和纳标组测试结果对比显示, 罗富组页岩 R_O 普遍比纳标组页岩

高，即罗富组页岩具有更好的生气能力。

莫德剖面上罗富组页岩 R_O 普遍较高，整体大于 3.00%，最高可达 4.19%，平均为 3.59%。由此可见，此处罗富组页岩属于过成熟期，随烃源岩有机质热解可大量生成干气，且生气能力足。小部分页岩 R_O 大于 4.00%，虽有极强的生气能力，但成熟度过高引起页岩碳化、导致页岩结构发生改变，使得孔隙度和渗透率降低，从而降低页岩储层含气性，反而不利于页岩气富集和保存。综上所述，滇黔桂地区中泥盆统主要发育过成熟期页岩，高成熟期页岩和成熟期页岩发育次之。其中，桂中坳陷西北部地区中泥盆统页岩具有较好的生气能力，是泥盆系页岩气有利勘探区域。

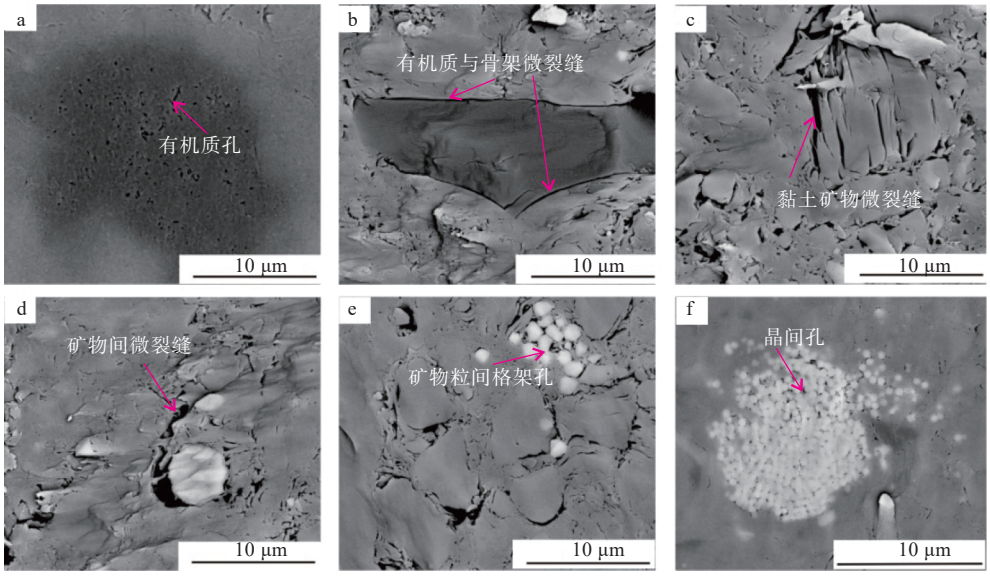
黔南地区石炭系页岩整体处于高—过成熟早期阶段，以过成熟早期阶段为主，属于干气成烃阶段。黔南地区代页 1 井石炭系打屋坝组页岩 R_O 介于 2.15%～2.65%，平均为 2.41%；黔水地 1 井打屋坝组页岩 R_O 介于 1.82%～3.90%，平均为 2.16%；长页 1 井打屋坝组页岩 R_O 介于 1.75%～2.9%，平均为 2.38%。

桂中坳陷石炭系页岩页岩总体上处于高成熟阶段，R_O 整体在 1.5% 以上，属于干气成烃阶段。桂中坳陷周缘上林剖面测试结果显示，鹿寨组页岩 R_O 在 1.89%～2.68% 间，平均为 2.20%，所有的样品均达到了成熟阶段；85.7% 的页岩样品 R_O 集于 2.0%～3.0%，属于过成熟早期阶段，即处于有机质在高温下裂解成干气阶段。桂融页 1 井鹿寨组页岩 R_O 介于 2.08%～2.87%，平均为 2.57%，处于高—过成熟演化阶段。潭头剖面露头样品页岩 R_O 介于 2.29%～2.34%，平均为 2.33%，处于高—过成熟演化阶段。

4　泥盆系—石炭系页岩储层储集特征

页岩气富集主要受页岩的沉积厚度、有机碳含量和页岩孔隙裂缝等发育程度的影响。在一定的沉积环境下，页岩厚度越大，有机碳含量越高，越具备页岩气生烃和富集的物质基础。足够的储渗空间即孔隙裂缝体积是页岩气富集的重要条件。从泥盆系—石炭系页岩的储集孔隙类型来看，有机孔、无机孔及微裂缝是其主要储集空间，相较于五峰—龙马溪组，其有机孔的发育程度较低，而通过成岩作用或后期构造作用形成的无机孔及微裂缝则是页岩气的主要储集空间。

以南丹剖面为例分析中泥盆统罗富组页岩的储集特征。扫描电镜（SEM）特征揭示，罗富组页岩发育孔隙类型包含有机孔、无机孔和微裂缝等。其中，有机质孔较为发育（图 8a）。由于抗压实能力差异，使得有机质与骨架矿物收缩程度不同，从而造成有机质与骨架矿物之间出现微裂缝（图 8b）。罗富组页岩中泥质含量较高，黏土矿物在成岩阶段时发生脱水作用，使得黏土矿物间可产生微裂缝（图 8c、



a—有机质孔；b—有机质与骨架矿物间微裂缝；c—黏土矿物间微裂缝；d—黏土矿物间微裂缝；e—矿物粒间格架孔；f—晶间孔

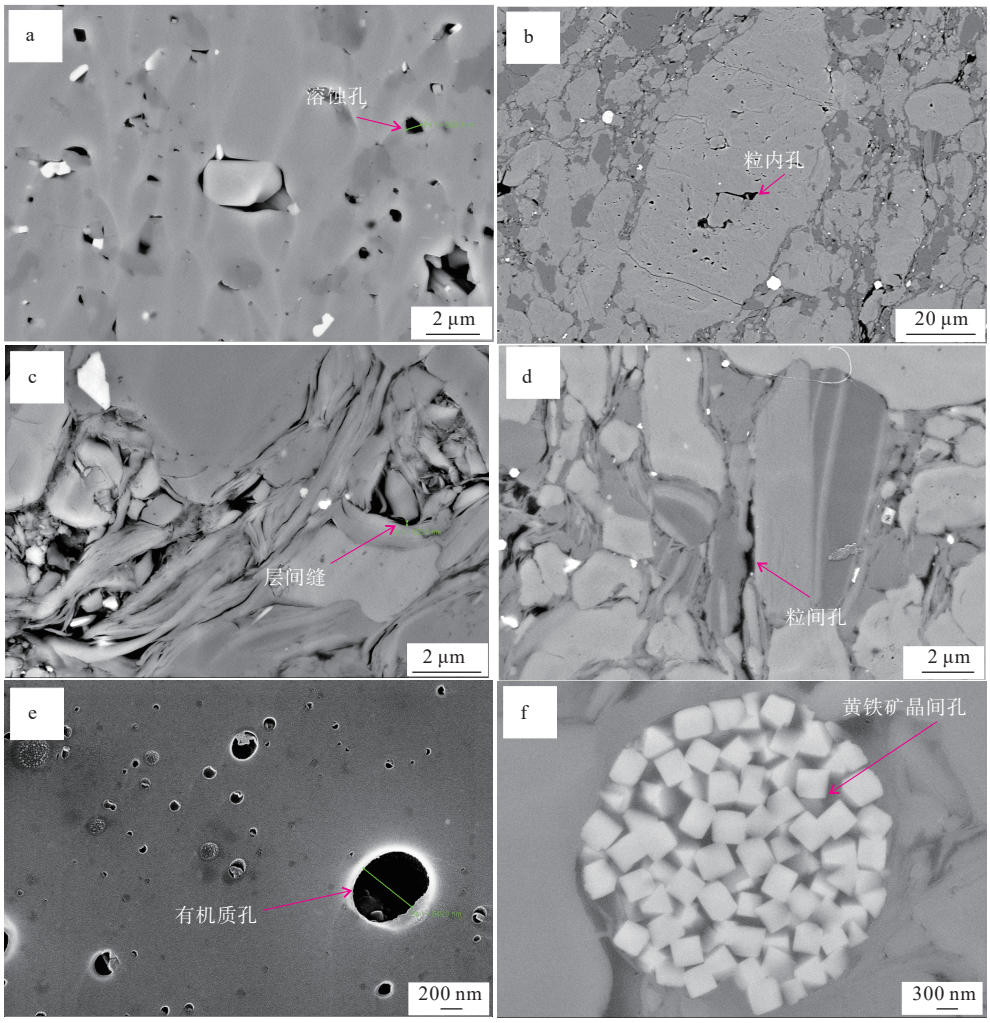
图 8　南丹剖面中泥盆统罗富组页岩微观孔隙类型特征

Fig. 8　Microscopic pore characteristics of shale from the middle Deconian Luofu Formation of the Nandan section

(a) Pores in organic matter; (b) Microcracks between organic matter and skeletal minerals; (c) Microcracks between clay minerals; (d) Microcracks between clay minerals; (e) Intergranular pores between minerals; (f) Intergranular pores

8d)。南丹地区中泥盆统罗富组页岩发育于盆地相沉积环境中，还原环境使得泥页岩中发育大量黄铁矿颗粒，颗粒间相互支撑，形成矿物粒间格架孔(图 8e)。此外，黄铁矿颗粒晶间孔形态上与矿物粒间格架孔较为相似，但其空间大小容易受黄铁矿压实程度的不同而发生改变(图 8f)。

SEM 显示，桂融页 1 井石炭系鹿寨组页岩中无机孔类型以矿物溶蚀孔(图 9a)、粒内孔(图 9b)、层间缝(图 9c)和粒间孔(图 9d)为主；无机孔和有机孔均较为发育(图 9e)，局部发育草莓状黄铁矿形成的晶间孔(图 9f)。



a—溶蚀孔；b—粒内孔；c—层间缝；d—粒间孔；e—有机质孔；f—黄铁矿晶间孔

图 9 桂融页 1 井石炭统鹿寨组页岩微观孔隙类型特征

Fig. 9 Microscopic pore characteristics of shale from the Carboniferous Luzhai Formation in the Guirongye well 1

(a) Dissolution pores; (b) Intragranular pores; (c) Interlayer seam; (d) Intergranular pores; (e) Pores in organic matter; (f) Intergranular pores between pyrites

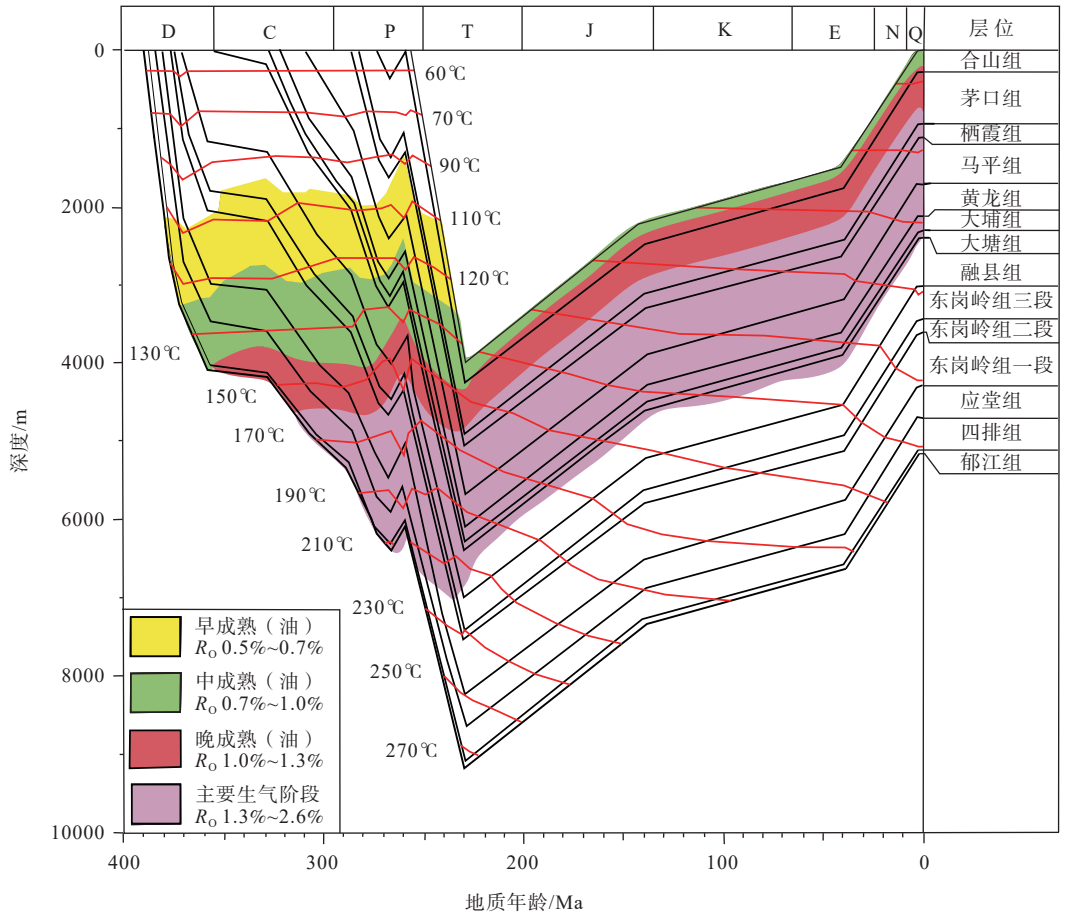
5 泥盆系—石炭系页岩成藏模式

5.1 泥盆系—石炭系页岩差异性埋深与页岩气形成

根据钻井分层、录井岩性、地层时代与剥蚀厚度、盆地构造类型和关键构造事件以及地层抬升时间等数据资料，同时基于磷灰石和锆石裂变径迹以及 U-Th/He 低温热年代学与热声发射岩石最高古地温测定等研究结果的约束，利用盆地模拟技术对桂中坳陷和黔南坳陷泥盆系—石炭系地层埋藏-热演化生烃-抬升历史进行模拟。

模拟结果表明，桂中坳陷德胜 1 井中—上泥盆统东岗岭组—融县组在最大埋深 6500 m 处(早印支

期抬升前），该页岩层段古地温已达到 200～210 ℃，模拟得到的 R_O 达 3.5% 左右，为过成熟干气生成阶段（图 10）。中—下泥盆统烃源岩在早石炭世进入生油高峰，在中—晚石炭世进入高成熟阶段，达到生气高峰；至早二叠世，有机质进入过成熟阶段，生成的油气开始裂解，同时可能伴随有机质的再生烃，R_O>3.0% 后生烃能力逐渐变弱；二叠纪中—晚期—早三叠世为有机质裂解高峰期，最终完成有机质的生烃过程，原油基本裂解形成沥青和甲烷气。而燕山—喜马拉雅期应堂组上部油层代表后期高成熟阶段烃类的充注，可能来自区域内至今仍处在高—过成熟阶段的页岩。



D—泥盆系；C—石炭系；P—二叠系；T—三叠系；J—侏罗系；K—白垩系；E—古近系；N—新近系；Q—第四系

图 10　桂中坳陷德胜 1 井地层埋藏–热演化生烃–抬升历史模拟结果图

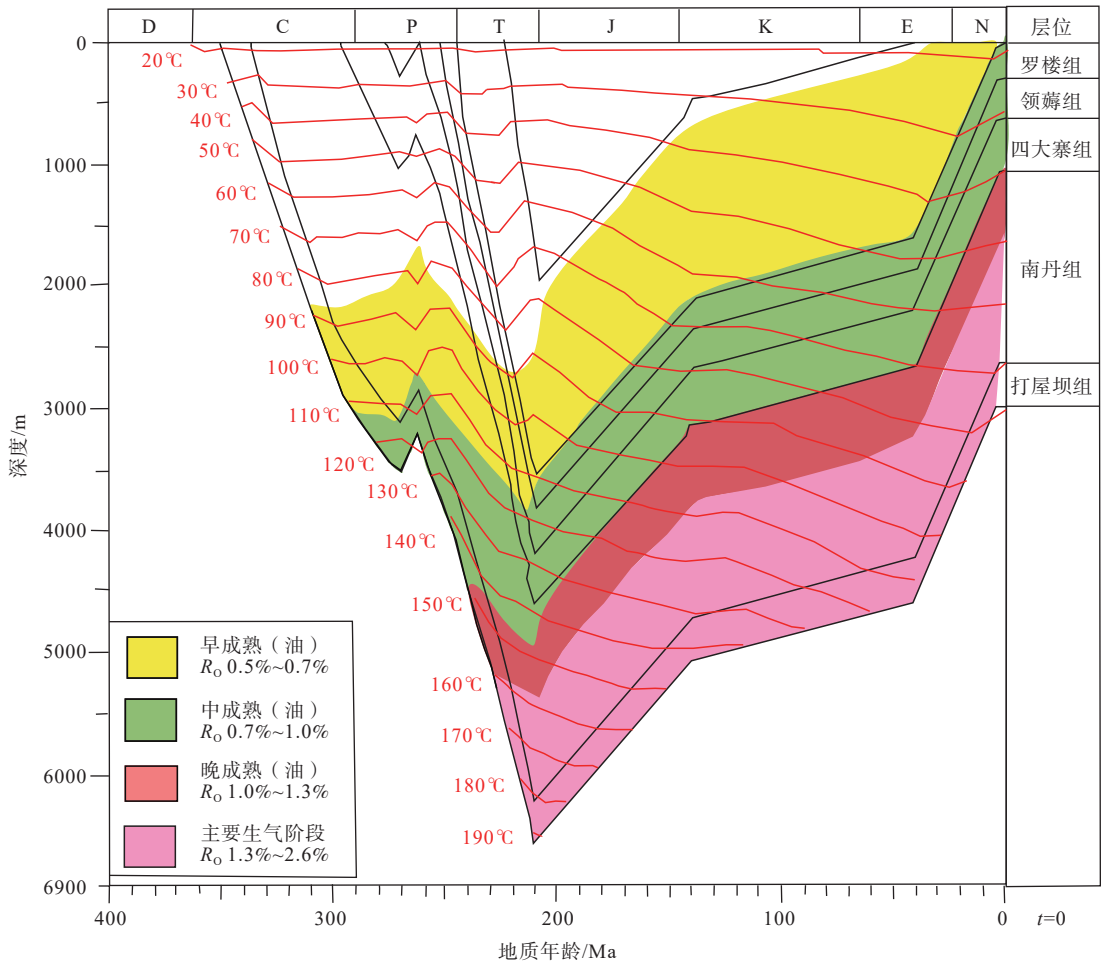
Fig. 10　Stratigraphic burial-thermal evolution-hydrocarbon generation-uplift history simulation of Desheng well 1 in the Guizhong depression

D—Devonian System; C—Carboniferous System; P—Permian System; T—Triassic System; J—Jurassic System; K—Cretaceous system; E—Paleogene system; N—Neogene System

早印支期抬升前，黔南坳陷黔紫页 1 井下石炭统打屋坝组最大埋深为 6000 m，该页岩层段古地温达到 190 ℃，模拟得到的 R_O 达 2.6% 左右，为过成熟干气生成阶段（图 11）。模拟结果整体反映出黔南地区海西早期开始快速沉降、中期缓慢沉降、晚期又快速沉降，印支期加速沉降以及燕山期快速抬升的过程。页岩最大埋深达 8000 m 以上。该地区中泥盆页岩在晚泥盆世早期达到生油门限，至早石炭世进入生油高峰，早石炭世末期进入凝析气阶段，石炭纪晚期则以干气为主。

5.2　泥盆系—石炭系页岩气保存条件

滇黔桂地区先后经历加里东、华力西、印支、燕山和喜马拉雅等构造运动，形成了现今的地形地貌（王鸿祯，1982；刘宝珺等，1993；殷鸿福等，1999；张克信等，2015，2016，2017；潘桂棠等，2016；任纪舜等，2016）。早泥盆世滇黔桂地区开始进入被动陆缘裂陷盆地阶段，加里东期的北东向和北西向断裂重新活动，其在海西早期出现典型的台盆分异格局，一直保持到晚二叠世。北西向紫云–南丹–河池断裂及北东向弥勒–师宗–普安断裂构成了裂陷盆



D—泥盆系；C—石炭系；P—二叠系；T—三叠系；J—侏罗系；K—白垩系；E—古近系；N—新近系

图 11 黔南坳陷黔紫页 1 井地层埋藏–热演化生烃–抬升历史模拟结果图

Fig. 11 Stratigraphic burial-thermal evolution-hydrocarbon generation-uplift history simulation of Qianziye well 1 in the Qiannan depression

D—Devonian System; C—Carboniferous System; P—Permian System; T—Triassic System; J—Jurassic System; K—Cretaceous System; E—Paleogene System; N—Neogene System

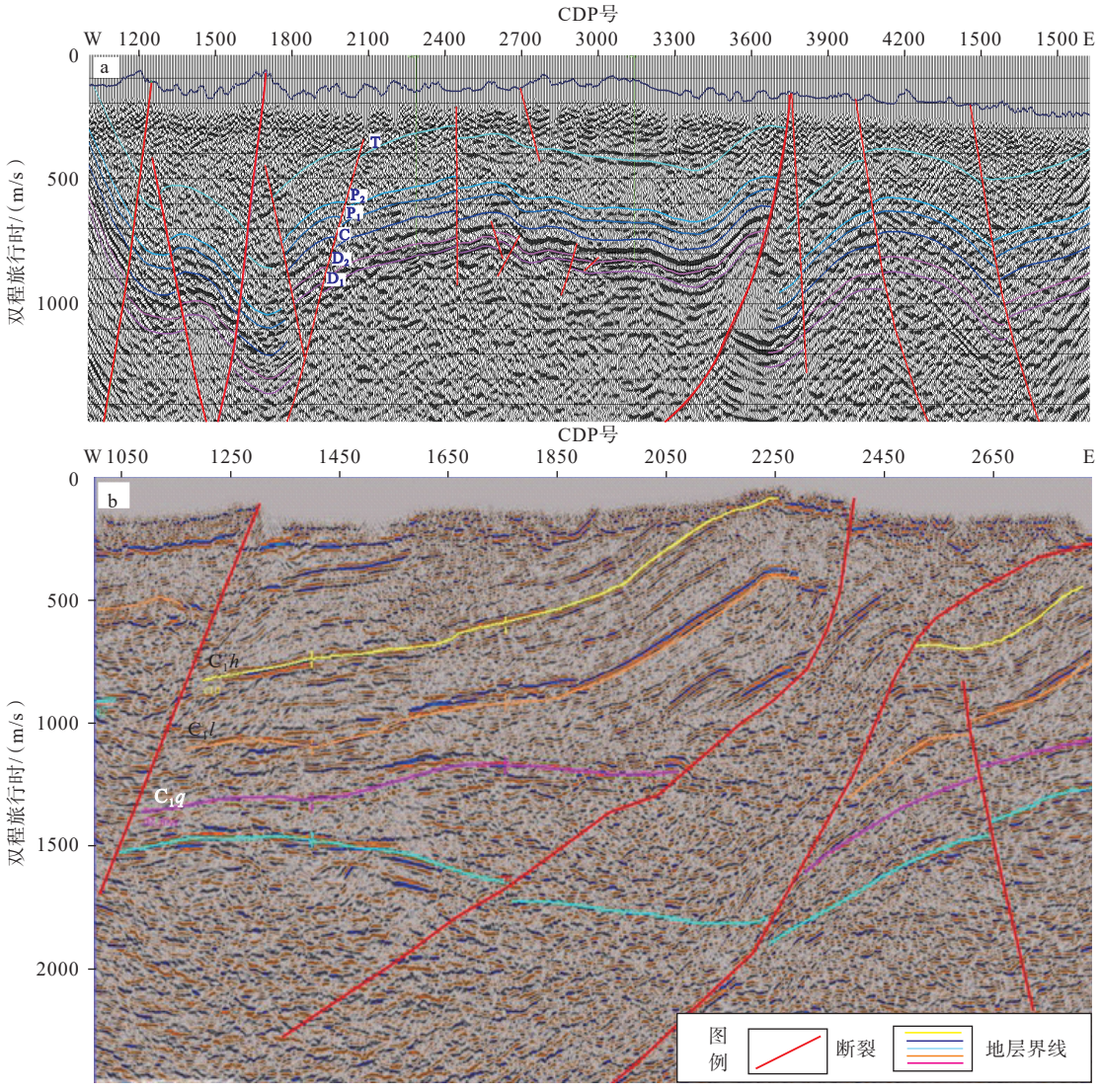
地的边界。海西期受古特提斯洋影响，全区拉张下沉、接受沉积，形成被动大陆边缘坳陷盆地。印支期该区出现浅海台地与深水盆地并存的格局；至晚三叠世晚期的印支运动，该区以挤压抬升为主，区域发生整体的褶皱抬升，结束了南方自吕梁期至晚三叠世长达 2300 Ma 的海相沉积历史。自晚三叠世晚期开始进入燕山—喜马拉雅阶段，由于逆冲推覆作用区内发生褶皱变形。现今贵州、广西省内主要构造形迹定型于燕山运动第二幕，喜马拉雅运动各幕对其进行了不同程度的改造。

加里东晚期，区内主要深大断裂已明显活动，海西—印支期这些深大断裂继续活动，并有大量新断裂发生，海西—印支期是该区断裂活动的鼎盛时期之一，纵贯黔桂两省区呈北西向延伸的垭都–紫云–南丹–都安断裂、北东向滇东师宗–弥勒断裂、穿越滇东/桂西北和黔南的北东东向南盘江断裂、桂东南的北东向钦州–灵山断裂以及黔东南的北东—北北东向三都断裂等，此时期都异常活跃。加里东期的古断裂及其后期的再活动，控制并形成了海西—印支期该区裂陷槽及台–盆相间的构造格局。这些深大断裂及其形成的地质背景构成了印支—燕山期及其以后褶皱运动的边界，对印支—燕山期褶皱构造具有重大影响。在经历印支—燕山期强烈变形后，这些古断裂往往以断裂束、断层、褶皱–冲断带和断褶带等形式存在。此外，印支—燕山期的强烈变形作用以及喜马拉雅运动的进一步改造也形成了大量规模较大的断层或断裂带。

基于古地理格局演化控制页岩时空展布的理论，中泥盆统和下石炭统页岩发育范围有限，主要发育在滇黔桂地区垭紫罗裂陷槽和右江裂陷槽的

盆地相和斜坡相范围内。滇黔桂地区盆地相内页岩发育厚度最大，TOC 含量高；斜坡上页岩发育厚度小，TOC 含量较低。其中，受北部古陆影响，北部地区盆地内发育混合质岩相页岩，南部地区盆地内发育硅质岩相页岩。

近几年页岩气调查评价发现，滇黔桂地区中泥盆统、下石炭统富有机质页岩主要发育在台盆相间的台沟相，受垭紫罗断裂带控制，富有机质页岩主要沿垭紫罗主裂陷槽或次级裂陷槽分布。通过多地区地震资料解释对比发现，主裂陷槽内的断裂更复杂，而次级裂陷槽则构造相对稳定，断裂规模较小，地层相对连续稳定，有利于页岩气保存，并已通过多口钻井钻探得到证实（图 12）。



D_1—下泥盆统；D_2—中泥盆统；C—石炭系；P_1—下二叠统；P_2—中二叠统；T—三叠系；C_1q—清溪组；C_1l—鹿寨组；C_1h—黄金组

图 12　垭紫罗主裂陷槽与次级裂陷槽地震剖面

Fig. 12　Seismic profiles of major and secondary rift troughs

D_1—Early Devonian System; D_2—Middle Devonian System; C—Carboniferous System; P_1—Early Permian System; P_2—Middle Permian System; T—Triassic System; C_1q—Qingxi Formation; C_1l—Luzhai Formation; C_1h—Huangjin Formation

6　结论

围绕垭紫罗裂陷槽泥盆系—石炭系页岩气地质调查研究发现，泥盆系—石炭系富有机质页岩主要沿贵州六盘水–贵州紫云、罗甸–广西环江和广西融水等地区的垭紫罗裂陷槽呈带状分布。黔水地 1 井、黔紫页 1 井、宜页 1 井、桂融页 1 井等多口钻

井揭示泥盆系—石炭系优质页岩发育厚度大、含气性好,具备规模化开发潜力。

(1)滇黔桂地区北部中泥盆统、下石炭统富有机质页岩主要发育在台盆相间的盆地和斜坡深水相带,富有机质页岩主要沿垭紫罗主裂陷槽或次级裂陷槽分布。

(2)泥盆系—石炭系较高的古生产力为富有机质沉积物的形成提供了良好的物质基础,富有机质页岩TOC含量较高,热演化程度适中、部分地区热演化程度较高;储集孔隙类型可见有机孔、无机孔及微裂缝,有机孔的发育程度较五峰组—龙马溪组欠缺,而通过成岩作用或后期构造作用而成的无机孔及微裂缝是页岩气的主要储集空间。

(3)地震剖面对比显示,垭紫罗主裂陷槽内的断裂更复杂,而次级裂陷槽则构造相对稳定、断裂规模较小、地层更加连续稳定,有利于页岩气保存。滇黔桂地区泥盆系—石炭系页岩气富集成藏主控因素呈“裂陷槽沉积、深水岩相控烃、次级裂陷槽构造保存”的特征,因此,在今后的页岩气有利区评价和参数井钻探时,应重点关注沿垭紫罗主裂陷槽发育的次级裂陷槽地区,其可能是页岩气富集保存成藏的有利区。

References

CHEN L, ZHANG B M, CHEN X H, et al., 2019. Sedimentary characteristics and depositional environment of the Shetianqiao formation in the Shaoyang sag, Xiangzhong depression[J]. Journal of Stratigraphy, 43(2): 171-180. (in Chinese with English abstract)

GUO X S, 2014. Rules of two-factor enrichiment for marine shale gas in Southern China-understanding from the Longmaxi Formation shale gas in Sichuan Basin and its surrounding area[J]. Acta Geologica Sinica, 88(7): 1209-1218. (in Chinese with English abstract)

HE X Y, YAO G S, HE X S, et al. , 2010. Bitumen genesis and hydrocarbon accumulation pattern of well Guizhong-1 in Guizhong depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 31(3): 420-425, 431. (in Chinese with English abstract)

HOU F H, HUANG J X, FANG S X, et al., 1988. Sedimentary characteristics tectonic activity and oil-gas prospects of the deep-water depositional environment during Devonian and Carboniferous periods in south China[J]. Journal of Southwestern Petroleum Institute, 10(4): 1-19. (in Chinese with English abstract)

HU D F, WEI Z H, LIU R B, et al., 2018. Development characteristics and shale gas exploration potential of the lower carboniferous black shale in the Guizhong depression[J]. Natural Gas Industry, 38(10): 28-37. (in Chinese with English abstract)

HU Z F, WANG Y F, ZHAI G Y, et al., 2023. Reservoir characteristics of high-quality shale of Carboniferour Luzhai Formation in Rongshui area, Guangxi[J]. Earth Science, 48(4): 1587-1602. (in Chinese with English abstract)

JIN X C, 1988. Early middle Devonian brachiopod biostratigraphy in Guangxi with a discussion on the middle Devonian event[J]. Professional Papers of Stratigraphy and Palaeontology(3): 193-236. (in Chinese with English abstract)

LI H. 2005. 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). (in Chinese with English abstract)

LIU B J, Xu X S, PAN X N, et al. 1993. Sedimentary crustal evolution and mineralization of ancient continents in southern China[M]. Beijing: Science Press. (in Chinese with English abstract)

LIU S G, SUN W, LUO Z L, et al., 2013. Xingkai taphrogenesis and petroleum exploration from Upper Sinian to Cambrian Strata in Sichuan basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 40(5): 511-520. (in Chinese with English abstract)

LUO H W, HOU M C, LIU Y, et al., 2019. Geochemical characteristics and organic matter enrichment of the lower section of Luzhai formation in Luzhai area, Guangxi, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 46(2): 227-239. (in Chinese with English abstract)

MA Y S, CAI X Y, ZHAO P R, 2018. China’s shale gas exploration and development: understanding and practice[J]. Petroleum Exploration and Development, 45(4): 561-574 (in Chinese with English abstract)

MA Y S, CHEN H D, WANG G L, 2009. Atlas of Structure Sequence Lithofacies Paleogeography in Southern China[M]. Science Press. (in Chinese with English abstract)

MEI M X, MA Y S, DENG J, et al., 2005. Tectonic palaeogeographic changes resulting from the Caledonian movement and the formation of the Dianqiangui Basin: Discussion on the deep exploration potential of oil and gas in the Dianqiangui Basin[J]. Earth Science Frontiers, 12(3): 227-236. (in Chinese with English abstract)

OU X Y, LI H L, YANG F Q, et al., 2019. Application of integrated gravitational, magnetic and electrical geophysical methods to the shale gas geological exploration in southern: a case study of Luzhai, Guizhong depression[J]. Progress in Geophysics, 34(3): 1081-1088. (in Chinese with English abstract)

PAN G T, LU S N, XIAO Q H, et al., 2016. Division of tectonic stages and tectonic evolution in China[J]. Earth Science Frontiers, 23(6): 1-23. (in Chinese with English abstract)

REN J S, LI C, 2016. Cathaysia old land and relevant problems: pre-Devonian tectonics of southern China[J]. Acta Geologica Sinica, 90(4): 607-614. (in Chinese with English abstract)

SUN D S, LI S J, LI J J, et al., 2022. Insights from a comparison of hydrocarbon accumulation conditions of Sinian-Cambrian between the Tarim and the Sichuan basins[J]. Acta Geologica Sinica, 96(1): 249-264. (in Chinese with English abstract)

WANG H Z, 1982. The main stages of crustal development of China[J]. Earth Science-Journal of Wuhan College of Geology(3): 155-178. (in Chinese with English abstract)

WANG K M, 2013. Shale gas accumulation conditions of Devonian strata in Guizhong depression[J]. Geology in China, 40(2): 430-438. (in Chinese with English abstract)

WANG P W, CHEN Z L, HE X Y, et al., 2012. Shale gas accumulation conditions and play evaluation of the Devonian in Guizhong Depression[J]. Oil & Gas Geology, 33(3): 353-363. (in Chinese with English abstract)

WANG X W, GUO T L, WO Y J, et al., 2013. Characteristics of deep structural segmentation and transformation of the Yaziluo fault zone[J]. Oil & Gas Geology, 34(2): 220-228. (in Chinese with English abstract)

WEI G Q, YANG W, XIE W R, et al., 2015. Formation conditions, accumulation models and exploration direction of large gas fields in Sinian-Cambrian, Sichuan Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 26(5): 785-795. (in Chinese with English abstract)

WU G G, YAO G S, XU Z Y, et al., 2009. Structural patterns and origin of tectonic reformation in Guizhong depression[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 14(1): 33-40. (in Chinese with English abstract)

WU Y, ZHANG S, HUANG Z, et al., 2019. Meso-Cenozoic tectonic evolution of the Nandan-Libo area, northwestern Guangxi, China: Evidence from Palaeo-tectonic stress fields analyses[J]. Geotectonica et Metallogenia, 43(5): 872-893. (in Chinese with English abstract)

YIN H F, WU S B, DU Y S, et al., 1999. South China defined as part of Tethyan archipelagic ocean system[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 24(1): 1-12. (in Chinese with English abstract)

YUAN K, CHEN R, LIN T, et al., 2019. Petrological characteristics and sedimentary environment in the southern Guizhou during the late Carboniferous[J]. Petroleum Geology & Experiment, 41(1): 38-44. (in Chinese with English abstract)

ZHAI G Y, BAO S J, WANG Y F, et al., 2017a. Reservoir accumulation model at the edge of Palaeohigh and Significant discovery of shale gas in Yichang area, Hubei Province[J]. Acta Geoscientia Sinica, 38(4): 441-447. (in Chinese with English abstract)

ZHAI G Y, WANG Y F, BAO S J, et al., 2017b. Major factors controlling the accumulation and high productivity of Marine shale gas and prospect forecast in southern China[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 42(7): 1057-1068. (in Chinese with English abstract)

ZHAI G Y. WANG Y F, ZHOU Z, et al., 2018. "Source-Diagenesis-Accumulation" enrichment and accumulation regularity of marine shale gas in southern China[J]. China Geology, 3(1): 319-330.

ZHAI G Y, WANG Y F, LIU G H, et al., 2020a. Accumulation model of the Sinian-Cambrian shale gas in western Hubei Province, China[J]. Journal of Geomechanics, 26(5): 696-713. (in Chinese with English abstract)

ZHAI G Y, WANG Y F, LIU G H, et al., 2020b. Enrichment and accumulation characteristics and prospect analysis of the Permian marine conticental multiphase shale gas in China[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 40(3): 102-117. (in Chinese with English abstract)

ZHANG K M, FAN Z W, MA C X, et al., 2018. Analysis of the provenance and lithofacies palaeogeography sedimentary facies in Simen formation in the lower Carboniferous in Guizhong area[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 42(6): 10-21. (in Chinese with English abstract)

ZHANG K X, PAN G T, HE W H, et al., 2015. New division of Tectonic-Strata superregion in China[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 40(2): 206-233. (in Chinese with English abstract)

ZHANG K X, HE W H, XU Y D, et al., 2016. Palaeogeographic distribution and tectonic evolution of OPS in China[J]. Earth Science Frontiers, 23(6): 24-30. (in Chinese with English abstract)

ZHANG K X, HE W H, XU Y D, et al. 2017. Sedimentary rock formations and sedimentary geological structures in China[M]. Beijing: Geological Publishing House. (in Chinese with English abstract)

ZHANG P, HUANG Y Q, ZHANG J C, et al., 2019. Fractal characteristics of pore in marine shale and marine-continental transitional shale in northwest Guizhou[J]. Geology and Exploration, 55(4): 1073-1081. (in Chinese with English abstract)

ZHANG R Q, ZHOU Y, WANG X W, et al., 2009. Structural features and tectonic evolution of the Wei-Zi-Luo fault zone in southwestern Guizhou province[J]. Journal of Geomechanics, 15(2): 178-189. (in Chinese with English abstract)

ZHANG Z Y, WU C W, SHI D S, et al., 2019a. Potential evaluation of the lower Carboniferous shale gas in northern Guangxi, China: a case study of Shimen section at Daliang village[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 46(2): 162-170. (in Chinese with English abstract)

ZHANG Z Y, WEI J Q, SHI D S, et al., 2019b. Shale gas characteristics of organic-rich shale in Luofu formation in Guizhong depression[J]. Petroleum Geology & Experiment, 41(1): 16-22. (in Chinese with English abstract)

ZHAO G C, WANG Y J, HUANG B C, et al., 2018. Geological reconstructions of the East Asian blocks: from the breakup of Rodinia to the assembly of Pangea[J]. Earth-Science Reviews, 186: 262-286.

ZHAO W Z, LI J Z, YANG T, et al., 2016. Geological difference and its significance of marine shale gases in South China[J]. Petroleum Exploration and Development, 43(4): 499-510. (in Chinese with English abstract)

ZHOU W, JIANG Z X, QIU H Y, et al., 2019. Shale gas accumulation conditions and prediction of favorable areas for the Lower Carboniferous Luzhai Formation in Guizhong Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 40(7): 798-812. (in Chinese with English abstract)

ZOU C N, DONG D Z, WANG Y M, et al., 2016. Shale gas in China: characteristics, challenges and prospects (Ⅱ)[J]. Petroleum Exploration and Development, 43(2): 166-178. (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

陈林，张保民，陈孝红，等，2019. 湘中坳陷邵阳凹陷佘田桥组沉积特征及沉积环境分析[J]. 地层学杂志，43(2)：171-180.

郭旭升，2014. 南方海相页岩气"二元富集"规律：四川盆地及周缘龙马溪组页岩气勘探实践认识[J]. 地质学报，88(7)：1209-1218.

贺训云，姚根顺，贺晓苏，等，2010. 桂中坳陷桂中 1 井沥青成因及油气成藏模式[J]. 石油学报，31(3)：420-425, 431.

侯方浩，黄继祥，方少仙，等，1988. 中国南方泥盆纪、石炭纪深水沉积环境沉积特征、构造活动及含油气性[J]. 西南石油学院学报，10(4)：1-19.

胡东风，魏志红，刘若冰，等，2018. 桂中坳陷下石炭统黑色页岩发育特征及页岩气勘探潜力[J]. 天然气工业，38(10)：28-37.

胡志方，王玉芳，翟刚毅，等，2023. 广西融水地区石炭系鹿寨组优质页岩储层特征与成藏模式[J]. 地球科学，48(4)：1587-1602.

金小赤, 1988. 广西中泥盆世早期腕足类生物地层学兼论中泥盆世事件[J]. 地层古生物论文集(3): 193-236.

李浩, 2005. 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).

刘宝珺, 许效松, 潘杏南, 等, 1993. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿[M]. 北京: 科学出版社.

刘树根, 孙玮, 罗志立, 等, 2013. 兴凯地裂运动与四川盆地下组合油气勘探[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 40(5): 511-520.

罗宏谓, 侯明才, 刘宇, 等, 2019. 桂中鹿寨地区鹿寨组下段地球化学特征及有机质富集因素[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 46(2): 227-239.

马永生, 陈洪德, 王国力, 等, 2009. 中国南方构造—层序岩相古地理图集[M]. 北京: 科学出版社.

马永生, 蔡勋育, 赵培荣, 2018. 中国页岩气勘探开发理论认识与实践[J]. 石油勘探与开发, 45(4): 561-574.

梅冥相, 马永生, 邓军, 等, 2005. 加里东运动构造古地理及滇黔桂盆地的形成: 兼论滇黔桂盆地深层油气勘探潜力[J]. 地学前缘, 12(3): 227-236.

潘桂棠, 陆松年, 肖庆辉, 等, 2016. 中国大地构造阶段划分和演化[J]. 地学前缘, 23(6): 1-23.

区小毅, 黎海龙, 杨富强, 等, 2019. 重磁电综合物探技术在南方页岩气地质调查中的应用研究: 以桂中坳陷鹿寨地区为例[J]. 地球物理学进展, 34(3): 1081-1088.

任纪舜, 李崇, 2016. 华夏古陆及相关问题: 中国南部前泥盆纪大地构造[J]. 地质学报, 90(4): 607-614.

孙冬胜, 李双建, 李建交, 等, 2022. 塔里木与四川盆地震旦系-寒武系油气成藏条件对比与启示[J]. 地质学报, 96(1): 249-264.

王鸿祯, 1982. 中国地壳构造发展的主要阶段[J]. 地球科学——武汉地质学院学报(3): 155-178.

汪凯明, 2013. 桂中坳陷泥盆系页岩气成藏条件浅析[J]. 中国地质, 40(2): 430-438.

王鹏万, 陈子炓, 贺训云, 等, 2012. 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, 33(3): 353-363.

汪新伟, 郭彤楼, 沃玉进, 等, 2013. 垭紫罗断裂带深部构造分段特征及构造变换作用[J]. 石油与天然气地质, 34(2): 220-228.

魏国齐, 杨威, 谢武仁, 等, 2015. 四川盆地震旦系-寒武系大气田形成条件、成藏模式与勘探方向[J]. 天然气地球科学, 26(5): 785-795.

吴国干, 姚根顺, 徐政语, 等, 2009. 桂中坳陷改造期构造样式及其成因[J]. 海相油气地质, 14(1): 33-40.

吴玉, 张松, 黄铮, 等, 2019. 桂西北南丹-荔波地区中、新生代构造演化: 来自古构造应力场的证据[J]. 大地构造与成矿学, 43(5): 872-893.

殷鸿福, 吴顺宝, 杜远生, 等, 1999. 华南是特提斯多岛洋体系的一部分[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 24(1): 1-12.

苑坤, 陈榕, 林拓, 等, 2019. 贵州南部晚石炭世沉积环境与古地理特征[J]. 石油实验地质, 41(1): 38-44.

翟刚毅, 包书景, 王玉芳, 等, 2017a. 古隆起边缘成藏模式与湖北宜昌页岩气重大发现[J]. 地球学报, 38(4): 441-447.

翟刚毅, 王玉芳, 包书景, 等, 2017b. 我国南方海相页岩气富集高产主控因素及前景预测[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 42(7): 1057-1068.

翟刚毅, 王玉芳, 刘国恒, 等, 2020a. 鄂西地区震旦系-寒武系页岩气成藏模式[J]. 地质力学学报, 26(5): 696-713.

翟刚毅, 王玉芳, 刘国恒, 等, 2020b. 中国二叠系海陆交互相页岩气富集成藏特征及前景分析[J]. 沉积与特提斯地质, 40(3): 102-117.

张克信, 潘桂棠, 何卫红, 等, 2015. 中国构造—地层大区划分新方案[J]. 地球科学, 40(2): 206-233.

张克信, 何卫红, 徐亚东, 等, 2016. 中国洋板块地层分布及构造演化[J]. 地学前缘, 23(6): 24-30.

张克信, 何卫红, 徐亚东, 等, 2017. 中国沉积岩建造与沉积大地构造[M]. 北京: 地质出版社.

张矿明, 范志伟, 马成宪, 等, 2018. 桂中地区下石炭统寺门组物源特征与岩相古地理分析[J]. 东北石油大学学报, 42(6): 10-21.

张鹏, 黄宇琪, 张金川, 等, 2019. 黔西北海相、海陆过渡相页岩孔隙分形特征对比研究[J]. 地质与勘探, 55(4): 1073-1081.

张荣强, 周雁, 汪新伟, 等, 2009. 贵州西南部威-紫-罗断裂带构造特征及演化[J]. 地质力学学报, 15(2): 178-189.

张子亚, 吴超伟, 石砥石, 等, 2019a. 以石门剖面为例分析桂北地区下石炭统页岩气勘探潜力[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 46(2): 162-170.

张子亚, 魏家琦, 石砥石, 等, 2019b. 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, 41(1): 16-22.

赵文智, 李建忠, 杨涛, 等, 2016. 中国南方海相页岩气成藏差异性比较与意义[J]. 石油勘探与开发, 43(4): 499-510.

周雯, 姜振学, 仇恒远, 等, 2019. 桂中坳陷下石炭统鹿寨组页岩气成藏条件和有利区预测[J]. 石油学报, 40(7): 798-812.

邹才能, 董大忠, 王玉满, 等, 2016. 中国页岩气特征、挑战及前景(二)[J]. 石油勘探与开发, 43(2): 166-178.