

引用格式: 崔凯. 黔北绥页1井牛蹄塘组页岩气地质特征及资源潜力分析[J]. 中国地质调查, 2016, 3(3): 16–20.

黔北绥页1井牛蹄塘组页岩气地质特征及资源潜力分析

崔凯

(山东省煤田地质规划勘察研究院, 泰安 271000)

摘要: 黔北地区位于上扬子地台区, 断裂构造发育。该地区下寒武统牛蹄塘组海相沉积发育, 以陆棚沉积为主, 尤以深水陆棚沉积对页岩气形成有利。目标层位牛蹄塘组绥页1井资料分析的结果表明: 牛蹄塘组有利潜质页岩主要位于该组下部, 有机质丰度高、成熟度高、微裂隙发育、含气性好, 页岩气的保存条件好, 牛蹄塘组上段成为保存页岩气的良好盖层。牛蹄塘组页岩气地质特征分析表明, 牛蹄塘组页岩气资源潜力较大。

关键词: 页岩气; 牛蹄塘组; 地质特征; 黔北地区

中图分类号: P618.13; TE132.2

文献标志码: A

文章编号: 2095–8706(2016)03–0016–05

潜力, 具有进一步开发研究的价值^[7–9]。

0 引言

页岩气是以吸附、游离状态残留在页岩中的气体, 因此, 页岩不单是生气层, 还是页岩气的储集层。与传统天然气相比, 页岩气保存与运移受到更多因素的制约^[1]。美国在对页岩气的研究方面已取得巨大成功, 而我国对页岩气的研究还有待加强^[2–5]。现以黔北地区上寒武统牛蹄塘组潜质页岩为研究重点, 详细研究牛蹄塘组潜质页岩形成时的沉积环境, 探讨该组页岩气的地质特征、存储条件、含气性等问题。

通过查明黔北地区震旦纪—早古生代潜质页岩的发育层位、基本地质特征和分布规律, 分析页岩气富集条件, 获得页岩气地质系统参数, 开展页岩气资源评价, 优选有利区, 查明页岩气资源分布, 并进行页岩气勘探开发综合评价。牛蹄塘组与龙马溪组具有高有机碳含量、高成熟度、高脆性矿物含量、低孔—超低渗、微孔隙较为发育的特点。刘伟等^[6]初步估算表明, 黔北地区有利区页岩气地质资源量期望值 P50 为 $3.113 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 可采资源量期望值 P50 为 $0.560 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。因此, 黔北地区具有较大的页岩气开发

1 区域地质特征

黔北地区属于上扬子地台区, 与扬子地台的区域构造演化具有一致性。通常所说的扬子地台范围是红河断裂(哀牢山—红河构造带)、龙门山断裂西缘以东, 嘉山—响水断裂和勉略—大别山南缘断裂以南, 师宗—弥勒断裂、垭都—紫云断裂、濛浦—四堡断裂以北的范围。

扬子地台演化过程经历了雪峰运动时期(Z)、早—中加里东时期(C—O)、晚加里东时期(S)、华力西期(D—C)、印支期、燕山期和喜马拉雅期。多期构造运动的叠加, 造成了扬子地台复杂的构造形态。

黔北页岩气成藏区是指遵义断裂以东、贵阳—镇远断裂以北的贵州省行政区范围, 面积约 $4.9 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。构造位置处于武陵坳陷构造单元。在南华系裂陷盆地沉积的基础上, 黔北地区震旦系—志留系总体发育完整^[10]。经过勘探查明了黔北地区潜质页岩分布情况, 目的层为震旦系陡山沱组、下寒武统牛蹄塘组、变马冲组、上奥陶统一志留统龙马溪组等海相潜质含气页岩层段。

2 绥页 1 井下寒武统沉积体系

钻井完整揭示西部相区下寒武统地层,自下而上分别为牛蹄塘组、明心寺组和金顶山组
绥页 1 井位于绥阳县青杠塘镇后槽村岔坝, (图 1)。

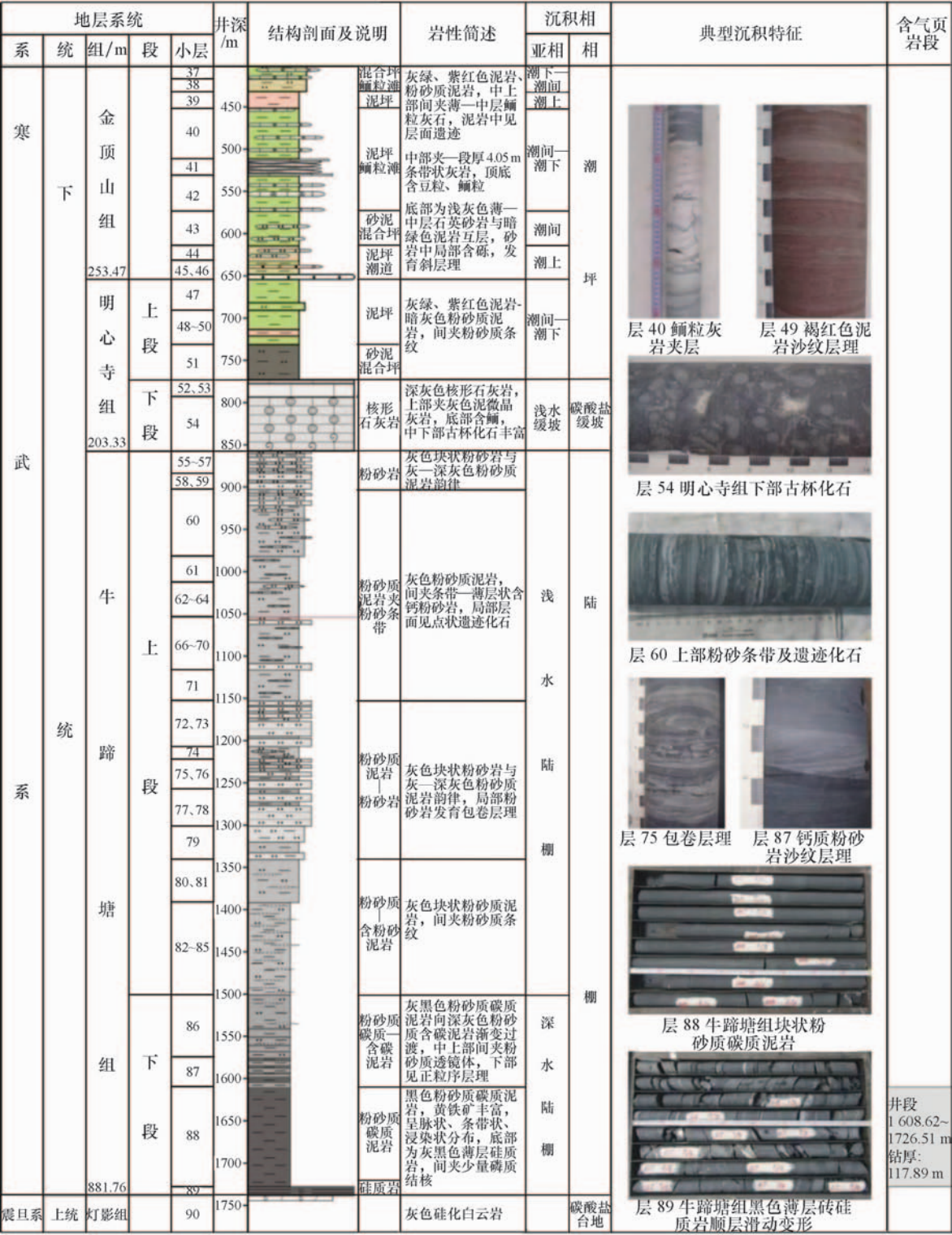


图 1 绥页 1 井综合柱状剖面图

Fig.1 Composite columnar section of well Suiye 1

牛蹄塘组：井段 857.08 ~ 1 738.84 m, 钻厚 881.76 m。该组与下伏震旦系灯影组整合接触, 未见暴露及水下沉积间断标志。

底部 12.33 m 为灰黑色薄层硅质岩, 层间为碳泥质夹层。前期研究在该岩性段中可见硅质海绵骨针化石。

下段下层(88), 钻厚 117.89 m, 岩性为黑色粉砂质碳质泥岩、黑色含粉砂碳质泥岩; 沉积构造缺乏; 黄铁矿丰富, 呈结核状、星点状、脉状。地表剖面同层段可见风化面, 呈中—厚层结构, 向上至中层(金沙岩孔、石阡尧上)减薄, 呈薄层结构。沉积环境代表了海侵过程中的还原、低能沉积, 属深水陆棚相。

下段中上层(87、86), 钻厚 108.86 m, 岩性为灰黑—深灰色泥岩, 与碳质泥岩呈深、浅色薄层间交互过渡, 沉积构造缺乏, 碳质降低, 还原环境减弱。

上段(55 ~ 85), 钻厚 642.68 m, 岩性为深灰、灰色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩, 中段及顶部夹粉砂岩薄层。粉砂质泥岩中, 钙质粉砂条纹、条带极为发育, 其中条带可见沙纹层理, 单向流特征。上部间或可见点状遗迹化石, 推测为潜穴。中段粉砂岩、泥质粉砂岩中包卷层理极为发育, 判断为退积过程中沉积基面坡度增大所致。综合分析该段沉积相属粉砂、泥质陆棚, 处于弱还原、弱氧化环境过渡区。

明心寺组：井段 653.75 ~ 857.08 m, 钻厚 203.33 m。根据岩性组合分为上下两段。下段为灰岩段(即古杯灰岩段), 底部岩性为鲕粒灰岩、古杯灰岩; 中部为核形石灰岩; 上部为泥微晶灰岩; 顶部为不规则斑状灰岩, 含核形石。从生物、岩性

组合来看, 属浅水缓坡相沉积。上段为泥岩段, 暗灰—灰绿、紫红色泥岩, 粉砂质条带夹层发育沙纹层理, 泥岩层面见遗迹化石, 属潮坪相沉积。

金顶山组：井段 400.28 ~ 653.75 m, 钻厚 253.47 m。岩性为灰绿、紫红色泥岩, 中部夹古杯灰岩, 间夹鲕粒灰岩条带, 属泥质潮坪相沉积, 含小型鲕滩。

3 黔北牛蹄塘组页岩气成藏地质特征及资源潜力分析

3.1 封盖层特征

牛蹄塘组上部覆盖有中—上寒武统、奥陶系、志留系、二叠系和三叠系, 其中对下伏牛蹄塘组页岩气具有封盖能力的富泥质地层有寒武系明心寺组—金顶山组泥岩、变马冲组泥岩、杷榔组泥岩、奥陶系湄潭组泥岩、志留系龙马溪组泥岩和韩家店组泥岩, 受构造抬升和风化剥蚀作用影响, 研究区残留盖层以下寒武统为主, 除基底出露区域外, 分布面积广, 厚度大。

压力测试表明页岩气调查井泥岩突破压力平均可达 21.5 MPa(表 1), 固体矿产井泥岩突破压力平均为 5.2 MPa, 一般认为当突破压力小于 0.5 MPa 时, 盖层不具备封盖性。以突破压力对盖层进行评价划分等级^[11], 黔北地区页岩气调查井正页 1 井、湄页 1 井、绥页 1 井、道页 1 井等钻井均为 I 类盖层。由此可见, 黔北构造宽缓地区潜质页岩封盖层总体具有较好的封盖能力。

表 1 黔北地区突破压力测试结果
Tab.1 Test results of breakthrough pressure in northern Guizhou

井名	样品名	层位	模拟上覆压力/MPa	模拟温度/℃	模拟地层压力/MPa	模拟介质	突破压力/MPa
正页 1 井	ZY1-I5	牛蹄塘组	30	75	15	气—水	19.5
正页 1 井	ZY1-S79	牛蹄塘组	30	75	15	气—水	21.2
湄页 1 井	MY1-TP1	牛蹄塘组	30	75	15	气—水	20.6
湄页 1 井	MY1-DW11	牛蹄塘组	30	75	15	气—水	21.1
绥页 1 井	SY1-23	牛蹄塘组	30	75	15	气—水	25.6
绥页 1 井	SY1-125	牛蹄塘组	30	75	15	气—水	20.8

3.2 潜质页岩岩石矿物特征

借助镜下观察、有机地化分析、X 衍射矿物组成及含量测定等手段, 综合研究黔北地区下寒武统潜质页岩岩石矿物学特征。研究表明, 潜质页岩段脆性矿物组分以石英、长石等碎屑矿物为主, 方解石、白云石、黄铁矿等自生脆性矿物含量总体较低。

脆性矿物总含量均大于 50%, 具较好的破裂潜力。

牛蹄塘组岩石类型主要有含粉砂—粉砂质伊利石含碳(碳质)泥岩、含钙含粉砂伊利石含碳泥岩。潜质页岩段脆性矿物组分接近, 以石英、长石等碎屑矿物为主, 平均含量 66.12%; 方解石、白云石、黄铁矿等含量总体较低, 平均含量 14.60%; 黏

土矿物平均含量 19.28%，以伊利石—伊蒙混层为主，约占黏土总量的 88%，次为绿泥石，约占 12%，高岭石微量，不含蒙脱石。

西部相区正页1井、绥页1井、涪页1井、德页1井牛蹄塘组潜质页岩段岩石矿物组成特征及变化特征接近，潜质页岩段主体为富粉砂，粉砂质含量总体稳定，含量可达 30%~40%；潜质页岩段顶部粉砂含量均呈现逐渐降低的趋势。

粉砂级碎屑物有石英和长石，以石英为主，矿物形态以次棱角状为主，磨圆度较差，矿物粒度由粗粉砂—细粉砂变化，分选中等、差。自生脆性矿物方解石、白云石含量在 5%~20% 之间，潜质页岩段上部含量与下部相比相对较高。局部可见硅质或硅质生物（海绵骨针）分布。

3.3 潜质页岩储层物性特征

3.3.1 岩石密度

利用钻井岩心实测牛蹄塘组平均岩石密度为 2.52 g/cm³ (TOC > 1.5%)，2.67 g/cm³ (TOC < 1.5%) (图2)，从交汇图来看，随着有机质含量增高，岩石密度呈降低的趋势。

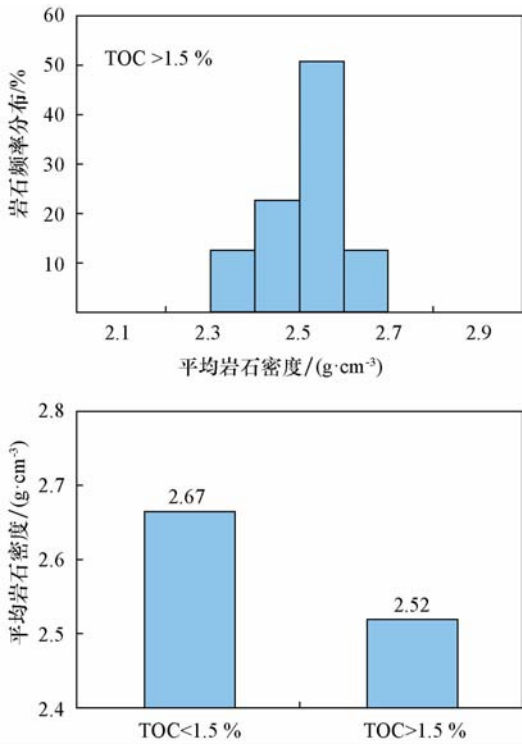


图2 牛蹄塘组岩石密度与有机碳含量交汇图
Fig.2 Cross plots of the rock density and organic carbon from the Niutitang Formation

3.3.2 比表面积

潜质页岩比表面积较大，吸附能力较强。与有

机碳含量 TOC 呈正比关系，指示有机质含量越高，潜在的吸附能力越强。

牛蹄塘组钻孔岩心测试页岩 BET 比表面积为 0.33~33.76 m²/g，平均 9.01 m²/g。当 TOC > 4.0 时，平均可达 11.35 m²/g。

通过对表面积与有机碳含量 (TOC) 统计分析可知，比表面积与有机碳含量 TOC 呈正相关关系，其中涪页1井、德页1井等井均表现出较强的线性关系。

3.3.3 孔渗物性

在前期开展工作的基础上，利用脉冲渗透率测定等方法对潜质页岩孔渗物性开展分析测试。结果表明，潜质页岩储层普遍具有低孔、超低渗特征。统计表明，黔北地区牛蹄塘组孔隙度为 1.7%~25.6%，平均 11.1%；渗透率 0.003 7~1.49 mD (1 mD = 10⁻³ μm²)，平均 0.220 7 mD。龙马溪组孔隙度一般 1.5%~6.1%，平均 4.16%，其中务川、秀山、南川和德江地区物性较好，渗透率 0.001 4~0.007 0 mD，平均 0.003 5 mD。

绥页1井脉冲法、气体法测试潜质页岩孔隙度、渗透率结果表明，牛蹄塘组有效孔隙度介于 0.31%~1.54% 之间，平均 0.93%；渗透率 0.000 7~0.007 8 mD，平均 0.003 4 mD。

3.3.4 孔隙结构

井下样品压汞分析揭示下寒武统潜质页岩段孔隙结构特征为孔隙喉道分选差，喉道偏细。结果表明，排驱压力为 24.7~55.1 MPa，平均 39.6 MPa；孔隙半径最大值 0.013~0.300 μm，平均 0.020 μm；平均孔隙半径 0.005~0.012 μm，平均 0.008 μm。孔隙分布峰位 0.010~0.025 μm，平均 0.015 μm；剩余汞饱和度 7.1%~10.9%，退汞效率 71.8%。

3.3.5 储集空间

(1) 微观孔隙结构储集空间。牛蹄塘组潜质页岩电镜及背散射观察，粒间（晶间）微孔、黏土矿物层间微孔缝均较为发育，但微裂缝总体不发育，缺乏较好的渗流通道。

牛蹄塘组脆性矿物含量较高，粒间、晶间微孔发育，孔隙直径一般 0.5~5 μm，但喉道以紧闭为主。偶有少量微裂缝，延伸长度约 400 μm，沥青质充填—无充填。早期较宽裂缝有的被方解石或白云石充填，有的被压实截断，充填沥青质并有自生石英。黏土矿物层间微孔缝也较为发育，片状孔隙，无充填。

(2) 宏观裂隙特征。牛蹄塘组及相邻地层裂隙中，高角度—垂直缝较为发育，次为近水平缝。

前者表现为缝面平直,方解石、黄铁矿等充填;受岩性差异及发育期次影响,可见收敛和切割特征;缝面亦有擦痕及阶步特征。后者表现为顺层稳定延伸,受地层揉皱可发生变形,部分方解石及黄铁矿充填,少量泥质或干沥青充填。此外,小断层附近地层中常见挤压错动,煤镜质光泽较为典型。

4 绥页 1 井及黔北地区牛蹄塘组页岩资源潜力分析

综上可见,贵州寒武系底部牛蹄塘组页岩气资源潜力大,碳泥质充填裂缝见缝面镜质光泽,并有滑动擦痕。这类裂缝多受后期构造控制,裂缝提供了油气运移的通道,对页岩储集性具有一定的意义。

页岩气找气方向主要包括有利的沉积微相、充足的储集空间、较高的有机质丰度、合适的矿物组成及较好的保存环境。页岩气纵向上分布于微裂隙、超压发育的潜质页岩段,平面上分布于生烃潜力大、保存条件好的潜质页岩区。潜质页岩段岩心微裂缝越发育,损失气量+解析气量越高,则游离状态的页岩气含量越高,测录井响应增强,较完整段残留气含量高。以上表明勘探“甜点”就是寻找裂缝。

5 结论

(1)牛蹄塘组具有高有机质丰度、高成熟度的特点。

(2)牛蹄塘组具有高脆性矿物含量、高比表面

积、低孔、超低渗、微孔隙和裂缝较为发育的特点。

(3)初步证实了牛蹄塘组西部相区具有较好的含气性。

(4)通过探讨区域盖层特征、断裂影响程度因素与页岩气保存条件的关系,认为黔北地区牛蹄塘组有利保存条件主要分布在远离深断裂的宽缓背斜翼部—复向斜区域(地表出露志留系—三叠系),埋深不小于 2 000 m。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] EIA. Review of emerging resources[J]. U S Shale Gas and Shale Oil Play, 2011, 7: 1-82.
- [3] 李建忠,董大忠,陈更生,等.中国页岩气资源前景与战略地位[J].天然气工业,2009,29(5):11-16.
- [4] 聂海宽,何发岐,包书景,等.中国页岩气地质特殊性及其勘探对策[J].新能源,2011,31(11):111-132.
- [5] 董大忠,邹才能,杨桦,等.中国页岩气勘探开发进展与发展前景[J].石油学报,2012,33(1):107-114.
- [6] 刘伟,余谦,张海全,等.黔北地区页岩气资源调查评价子项目研究报告[R].成都:成都地质矿产研究所,2013.
- [7] 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.
- [8] 邹才能,陶士振,侯连华,等.非常规油气地质[M].北京:地质出版社,2011:1-47,128-162.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 吕延防,付广,于丹.中国大中型气田盖层能力综合评价及其对成藏的贡献[J].石油与天然气地质,2005,26(6):742-745.

Geological characteristics and resource potential of shale gas from well Suiye 1 in the Niutitang Formation, northern Guizhou

CUI Kai

(Shandong Provincial Research Institute of Coal Geology Planning and Exploration, Taian 271000, China)

Abstract: The fault structure and the Lower Cambrian Niutitang Formation are widely distributed in northern Guizhou of the upper Yangtze platform. The Niutitang Formation is a set of marine sedimentary and is mainly composed of shelf deposit, especially deep water shelf deposit which is favorable for the formation of shale gas. Information from well Suiye 1 in the Niutitang Formation revealed that the upper deposit was a good cap rock, and the advantageous potential shale mainly located in the lower, with high organic matter abundance, high maturity, a large number of micro-fissure, high gas-bearing properties and favorable preservation condition. According to the comprehensive analysis of the shale gas geological characteristics, we proposed that the Niutitang Formation was a good prospect for shale gas exploration.

Key words: shale gas; Niutitang Formation; geological characteristics; northern Guizhou

(责任编辑:常艳)