

doi: 10.11720/wtyht.2020.1570

李帝铨,汪振兴,胡艳芳,等.广域电磁法在武陵山区页岩气勘探中的探索应用——以黔北桐梓地区为例[J].物探与化探,2020,44(5):991-998.http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1570

Li D Q, Wang Z X, Hu Y F, et al. The application of wide field electromagnetic method to shale gas exploration in Wuling Mountain area: A case study of Tongzi area in northern Guizhou[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(5): 991-998. http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1570

# 广域电磁法在武陵山区页岩气勘探中的探索应用 ——以黔北桐梓地区为例

李帝铨<sup>1,2,3</sup>, 汪振兴<sup>1,2,3</sup>, 胡艳芳<sup>1,2,3</sup>, 王涵<sup>1,2,3</sup>, 苏煜堤<sup>1,2,3</sup>

(1.中南大学地球科学与信息物理学院,湖南长沙 410083; 2.有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室(中南大学),湖南长沙 410083; 3.有色资源与地质灾害探测湖南省重点实验室,湖南长沙 410083)

**摘要:**武陵山区具备巨大的页岩气资源潜力,但该区地质构造复杂,地形起伏剧烈,大面积碳酸盐岩出露,油气勘探不适于使用以地震勘探为主的传统物探方法。本次采用广域电磁法在黔北桐梓地区开展页岩气勘探,克服了地形、碳酸盐岩和构造复杂的影响,查明了桐梓地区从EN—WS呈“凹隆相间”的构造格局,落实了目的层五峰—龙马溪组的空间展布特征,圈定出4处页岩气勘探有利区,有望助力实现武陵山区页岩气勘探开发由点到面的突破。

**关键词:**广域电磁法;页岩气;武陵山区;五峰—龙马溪组

**中图分类号:** P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2020)05-0991-08

## 0 引言

页岩气是指主体位于暗色泥页岩或高碳泥页岩中,以吸附或游离状态为主要存在方式的天然气聚集<sup>[1-2]</sup>。我国的页岩气储量巨大,具有含气面积广、资源量大和开采周期长等优点。我国也是能源需求大国,清洁能源的使用是行业发展导向,页岩气的勘探与开发尤为重要<sup>[3-4]</sup>。

自安页1井<sup>[5-6]</sup>获得了油气重大突破后,证明了武陵山区具备巨大的页岩气资源潜力,由此自然资源部加大了对武陵山区7800 km<sup>2</sup>残留向斜页岩气及油气勘查开发。桐梓地区地处武陵山区,页岩油气与致密砂岩油气资源储存潜力巨大。桐梓位于黔北山地与四川盆地的衔接地带,构造体系复杂,构造运动强烈,地势呈东北高、西南低形状,岩溶广布,石峰林立,洼地、漏斗、竖井、盲谷比比皆是,暗河、溶洞十分发育<sup>[7-9]</sup>。五峰—龙马溪组是勘探目的层,其页岩埋藏深度大,平均超过1300 m,常规电法勘

探难以满足要求。为了更好地明确五峰—龙马溪组泥页岩的空间展布、埋深、厚度等信息,落实区内主要断裂构造特征,优选页岩气富集有利区,在该区开展了广域电磁法勘探,联合电阻率和埋深参数,实现页岩气储层关键地质参数识别和勘探,建立了研究区内含气特征模型,查明了桐梓地区从东北向西南呈“凹隆相间”的构造格局,圈定出4处页岩气勘探有利区,为我国复杂地质、地表条件的富有机质泥页岩电磁法识别与预测提供参考<sup>[10]</sup>。

## 1 广域电磁法基本原理

广域电磁法是相对于传统的CSAMT法和MELOS方法提出来的,使用人工场源发射电流,采用单分量或多分量测量和适合于全域的公式来计算广域视电阻率,供电频率的带宽选择较大,适合大深度勘探<sup>[11]</sup>。

广域电磁法测量方式灵活多变,根据场源激发方式不同分为水平电流源和垂直磁场源<sup>[12]</sup>。水平

收稿日期:2019-12-06;修回日期:2020-07-17

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFC0807802);国家自然科学基金面上项目(41874081)

作者简介:李帝铨(1982-),男,教授,博士生导师,主要从事有关电磁法探测理论与技术的教学与研究工作。Email: lidiquan@csu.edu.cn

电流源采用一对接地双极源供电,产生的电磁场有多个可观测的分量,每个分量均可以使用迭代或逆样条插值的方法求出广域视电阻率。理论分析与试验表明,观测水平电流源激发的场  $E_x$  分量,以其野外敷设和收拢方便、移动灵活、信号强度大等优势在实际勘探中更为实用。此次研究采用  $E-E_x$  观测方式,计算广域视电阻率,依据页岩层低电阻率电性特征,结合区内地质资料对反演结果进行分析,获取富有机质页岩的空间展布,达到勘探目的。

## 2 研究区地质与地球物理概况

研究区地处贵州高原北部向四川盆地过渡地带,地势西北高东南低,属黔北高原峡谷、丘陵盆地地貌,海拔 800~1 800 m,以峡谷溶蚀地貌为主。构造上位于黔北断褶带,受东边遵义—南川断裂、北部齐岳山断裂和南部赫章—金沙断裂控制,属大娄山构造体系(图 1)。研究区及周边广泛发育隔槽式褶皱,向斜轴部为三叠系,背斜核部由寒武系组成,奥陶系、志留系地层沿褶皱翼部呈环形分布,背斜构

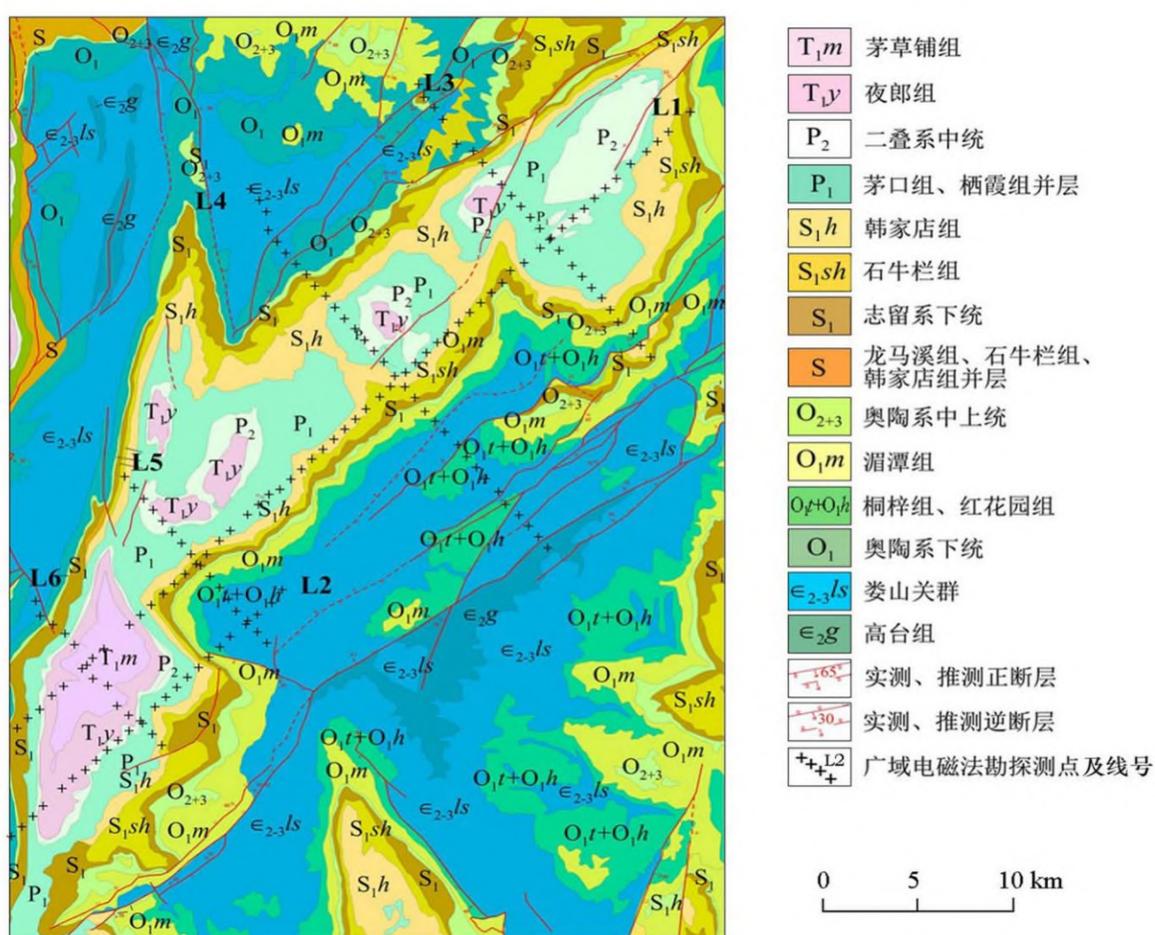


图 1 工区测线布置示意

Fig.1 Layout of survey line in study area

造带相伴生的断层发育普遍,断层的发育对地层分布的控制作用明显<sup>[13-14]</sup>。地层由寒武系中统高台组至三叠系下统茅草铺组组成,其中缺失泥盆、石炭系及上三叠统,其余均有沉积。此外,尚有古近系及第四系零星分布。地表出露地层以寒武系、奥陶系、志留系和二叠系发育最全,分布区域最广。

工区内共布设广域电磁法测线 6 条,L1 线贯穿研究区南北,L2 线布设在研究区东南部,与构造走向平行,L3、L4、L5、L6 线都垂直构造走向布设(见图 1),测线总长 140 km,点距 100 m,点号北小南大,西小东大。采用  $E-E_x$  观测方式,共布设 4 个场源(图 2),覆盖所有测线范围,收发距 12~20 km,发射电流 120 A。

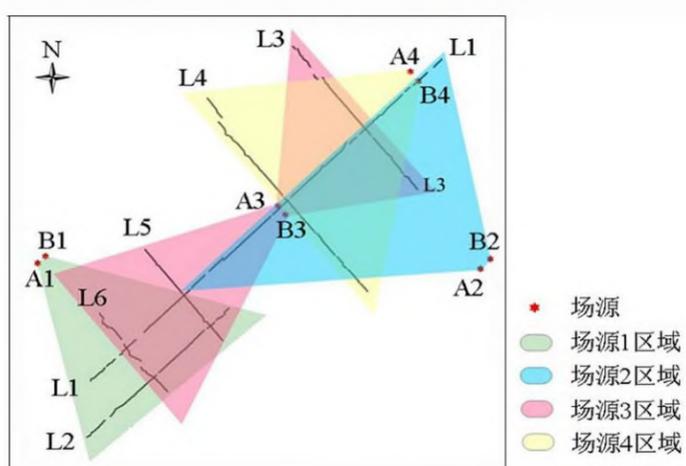
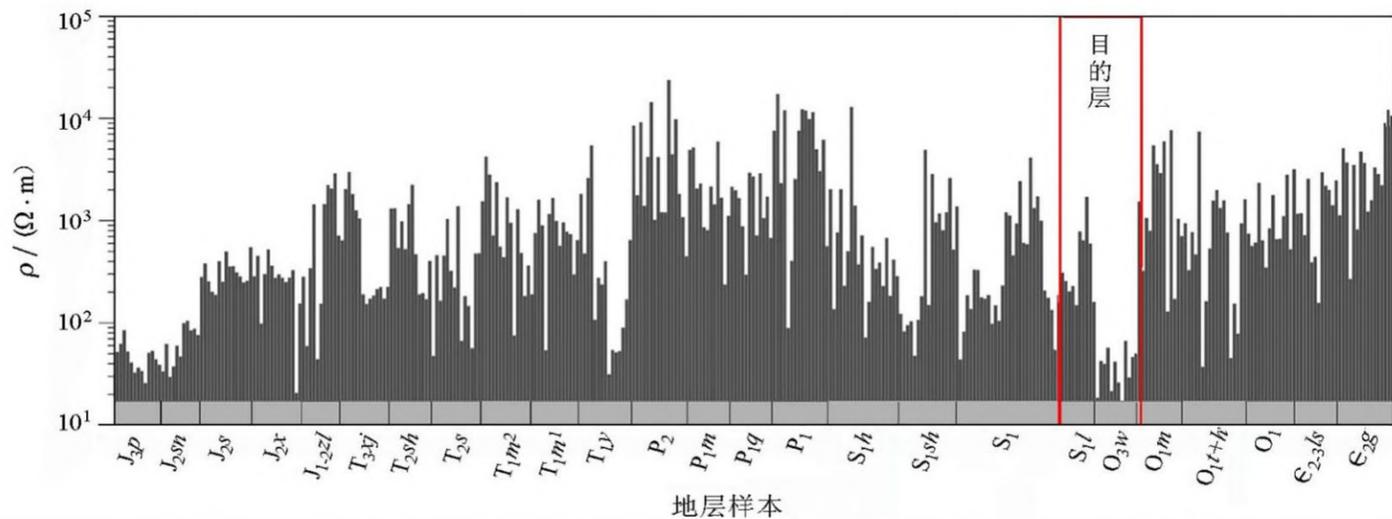


图 2 工区场源布置示意

Fig.2 Layout of field source in study area



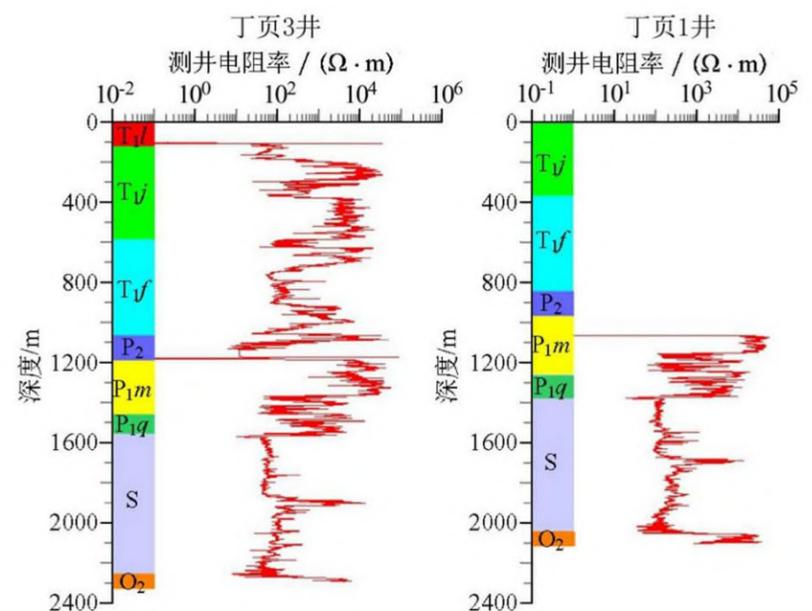
J<sub>3p</sub>—蓬莱镇组; J<sub>2sn</sub>—遂宁组; J<sub>2s</sub>—下沙溪庙组; J<sub>2x</sub>—下沙溪庙组; J<sub>1-2zl</sub>—自流井群; T<sub>3xj</sub>—须家河组; T<sub>2sh</sub>—狮子山组; T<sub>2s</sub>—松子坎组; T<sub>1m2</sub>—茅草铺组第二段; T<sub>1m1</sub>—茅草铺组第一段; T<sub>1y</sub>—夜郎组; P<sub>2</sub>—二叠系上统; P<sub>1m</sub>—茅口组; P<sub>1q</sub>—栖霞组; P<sub>1</sub>—二叠系下统; S<sub>1</sub>—志留系下统; S<sub>1h</sub>—韩家店组; S<sub>1sh</sub>—石牛栏组; S<sub>1l</sub>—龙马溪组; O<sub>3w</sub>—五峰组; O<sub>1m</sub>—湄潭组; O<sub>1t+h</sub>—红花园组、桐梓组; O<sub>1</sub>—奥陶系下统; ε<sub>2-3ls</sub>—娄山关群; ε<sub>2g</sub>—高台组

图 3 地层标本电阻率测量统计

Fig.3 Stratum specimen resistivity measurement chart

研究区主要出露二叠系和三叠系地层,利用双频激电仪对研究区出露地层电阻率进行小四极测量,获得岩石样品的电阻率特征(图 3)。统计分析结果表明:上奥陶统五峰组岩层的电阻率集中在 10~100 Ω·m 之间,志留系石牛栏组(S<sub>1sh</sub>)与奥陶系湄潭组(O<sub>1m</sub>)地层电阻率相对较高,分别介于 500~5 000 Ω·m 和 1 000~9 000 Ω·m 之间。

对于研究区深部岩层的电阻率分布特征,根据邻区丁页 3 井和丁页 1 井的电阻率测井曲线(图 4),认为志留系地层表现为明显的低阻特征,电阻率集中在 10~100 Ω·m,二叠系下统茅口组和栖霞组电阻率相对较高,达到 10 000 Ω·m,奥陶系中统宝塔组、十字铺组地层电阻率甚至超过 10 000 Ω·m。根据地表岩石样品电阻率测量特征及邻区电阻率测井曲线分析,总结出研究区内各地层物性特征(表 1),表明泥质灰岩和页岩与围岩存在明显的电性差异,这为电磁法勘探提供了可靠的物性基础。



T<sub>2l</sub>—雷口坡组; T<sub>1j</sub>—嘉陵江组; T<sub>1f</sub>—飞仙关组; P<sub>2</sub>—二叠系上统; P<sub>1m</sub>—茅口组; P<sub>1q</sub>—栖霞组; S—志留系; O<sub>2</sub>—奥陶系中统

图 4 电阻率测井曲线

Fig.4 Resistivity logging curves

表 1 五峰—龙马溪组及围岩电阻率数值统计

Table 1 Statistical table of physical properties of Wufeng-Longmaxi Formation and surrounding rocks

地层	主要岩性	范围/(Ω·m)	平均值/(Ω·m)	电性特征
茅口组(P <sub>1m</sub> )	灰岩	15.2~99 909.2	8 853.1	高阻
栖霞组(P <sub>1q</sub> )	灰岩、灰色黏土岩	8.6~15 714.7	2 074.4	高阻
韩家店组(S <sub>1h</sub> )	页岩、泥质砂岩、碎屑灰岩	11.3~176.1	39.7	低阻
小河坝组(S <sub>1x</sub> )	泥质石英粉砂岩夹页岩	17.9~88.1	29.1	低阻
龙马溪组(S <sub>1l</sub> )	泥质灰岩、钙质页岩互层、灰黄色页岩、黑色炭质页岩	4.4~96.8	25.2	低阻
五峰组(O <sub>3w</sub> )	泥质灰岩、黑色炭质页岩	7.1~73.1	21.7	低阻
临湘组(O <sub>3l</sub> )	泥质灰岩	99.8~3 345.1	926.7	中高阻
宝塔组(O <sub>2b</sub> )	龟裂纹灰岩	606.6~4 595.7	1 661.1	高阻
十字铺组(O <sub>2sh</sub> )	微粒灰岩、泥质灰岩	987.5~8 080.6	2 212.1	高阻

### 3 资料处理与解释

广域电磁法资料处理解释以岩石导电性为基础,通过对原始数据飞点剔除、静态校正等预处理并结合原始数据“频率—视电阻率”曲线完成定性分析,因为广域视电阻率与 MT 视电阻率在曲线形式上相似,可以在带源反演之前先进行 MT 反演来建立一个合理的初始模型,通过使用非线性最小二乘法完成反演计算。反演过程可以结合已有的地震及测井资料进行约束反演计算,有效降低反演的多解

性<sup>[15]</sup>。

可以根据视电阻率曲线图的横向变化和拟地震剖面图的同相轴的连续性来判断构造的发育情况。图 5 为 L6 线的原始数据曲线与拟地震剖面,图中 126~136 点、162~172 点的中频段视电阻率曲线变化紊乱,拟地震图同相轴明显错断,推测这两段内可能存在断层发育。图 6 为 L6 线原始数据等频率曲线,可以定性地了解测线电性分布、基底起伏、断层分布、电性层划分等断面特征,判断目的层的起伏形态,图中在 130~150 点范围内中低频有明显凹陷特征,往后逐渐趋缓。

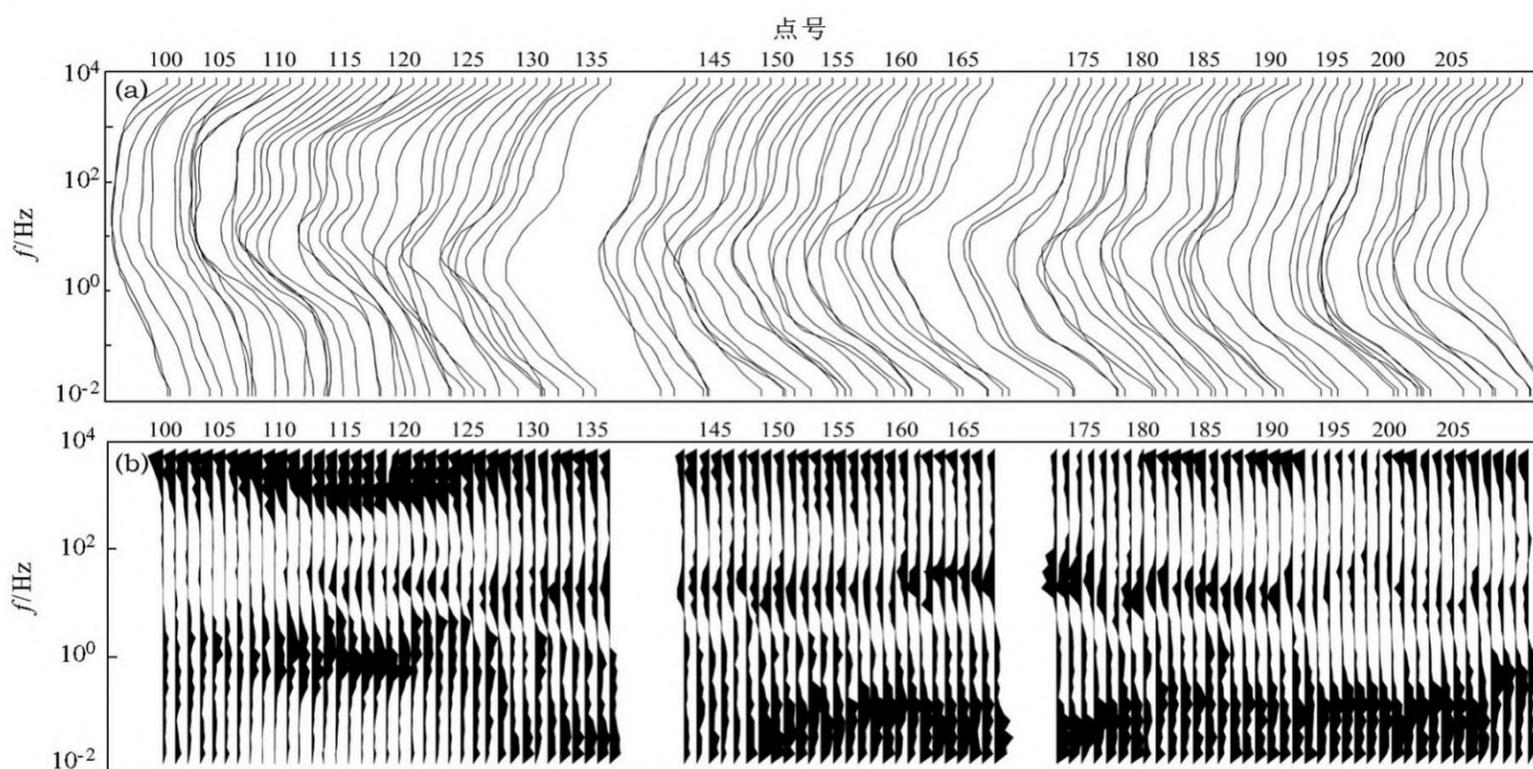


图 5 L6 线原始数据曲线 (a) 与拟地震剖面 (b)

Fig.5 Raw data graph of L6 line (a) and quasi-seismic profile of L6 line (b)

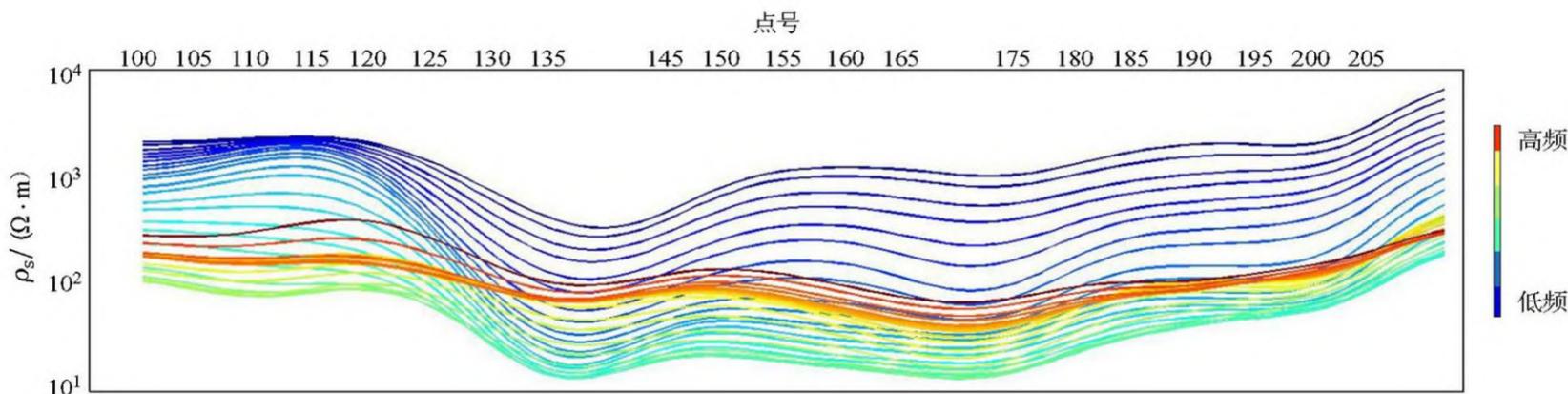


图 6 L6 线等频率视电阻率曲线

Fig.6 Equal frequency apparent resistivity curve of L6 line

图 7a 是对 L6 线原始数据进行一维井震约束反演成像结果,反演拟合差为 7.89%。由反演结果可知,测线控制范围内电性特征在纵向上主要表现为高—低—高—低—高 5 个阶段。深部低阻地层的起

伏形态与图 5 原始数据中低频曲线起伏形态相似,在 126~136 点和 162~172 点,电阻率曲线分别在海拔 300 m 和 -50 m 附近沿测线方向出现明显畸变,推测这两处存在断层发育。中间地层整体呈凹陷形

态,根据物性特征划分出志留系层位的埋深位置,从而判断出上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组的埋深信息,其埋深位置及起伏形态与地震解释剖面基本一致(图 7b)。由地质解释结果(图 8)可知,F1 断层自二叠系茅口组、栖霞组向北倾斜穿过志留系地层,与向南倾斜的逆断层 F2 共同将剖面划分成 3 段。北段 113~121 号点可见出露的志留系泥质砂

岩、页岩,向深部延伸与 F1 断层下盘接触,断距较小;F2 断层在 162 号向南倾斜,穿过志留系延伸至奥陶系地层南段上盘志留系泥质页岩,向测线方向前部延伸;L6 线中部目的层形态相对稳定,地层连续性较好,构造作用小,埋藏深度较大,层厚 100~300 m。沉积较稳定的 140~190 点之间为页岩气富集有利区段,埋深为海拔-700~-200 m。

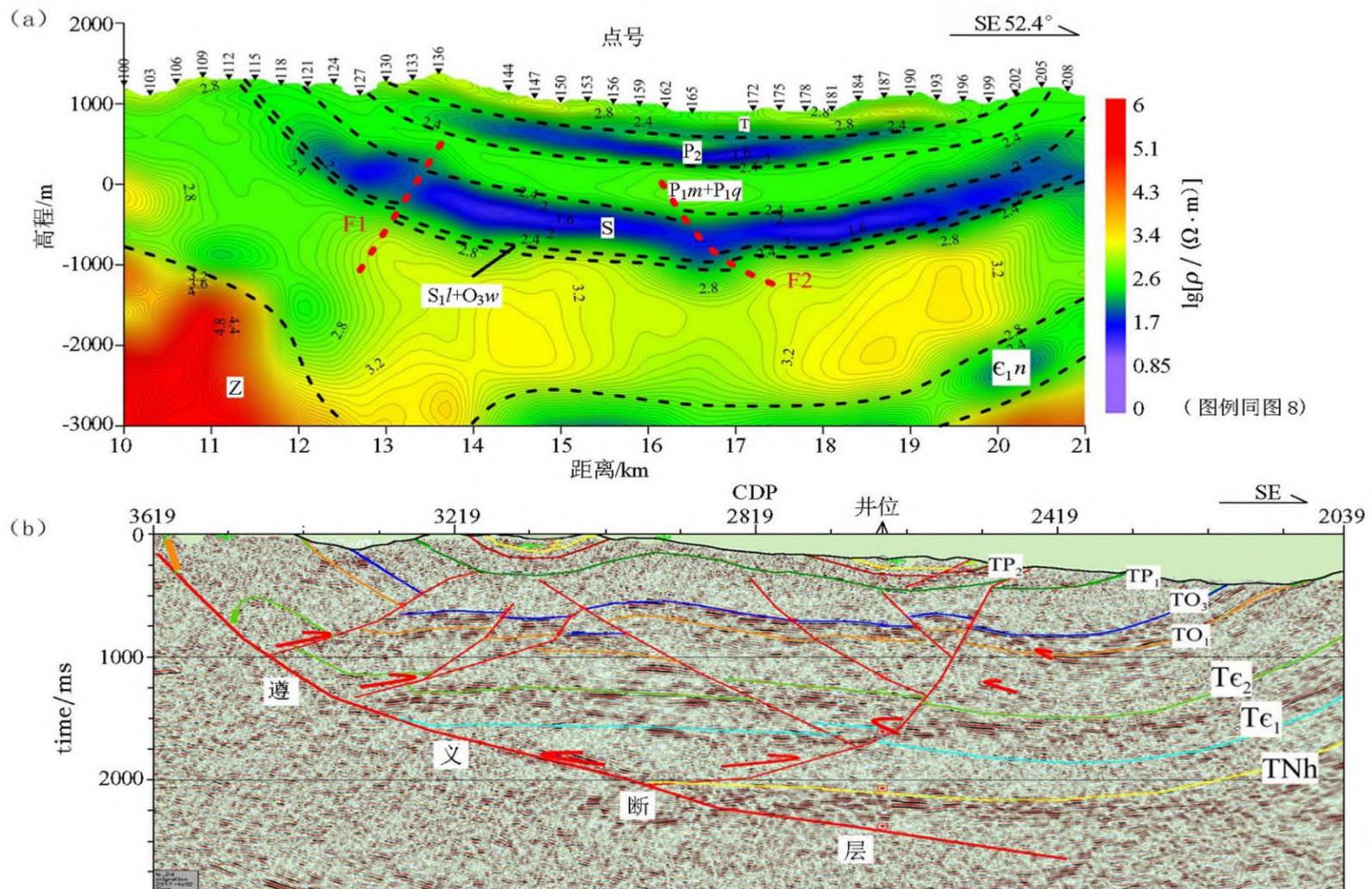


图 7 L6 线反演断面 (a) 和地震解释剖面 (b)

Fig.7 Inversion cross-section of L6 line (a) and seismic interpretation section (b)

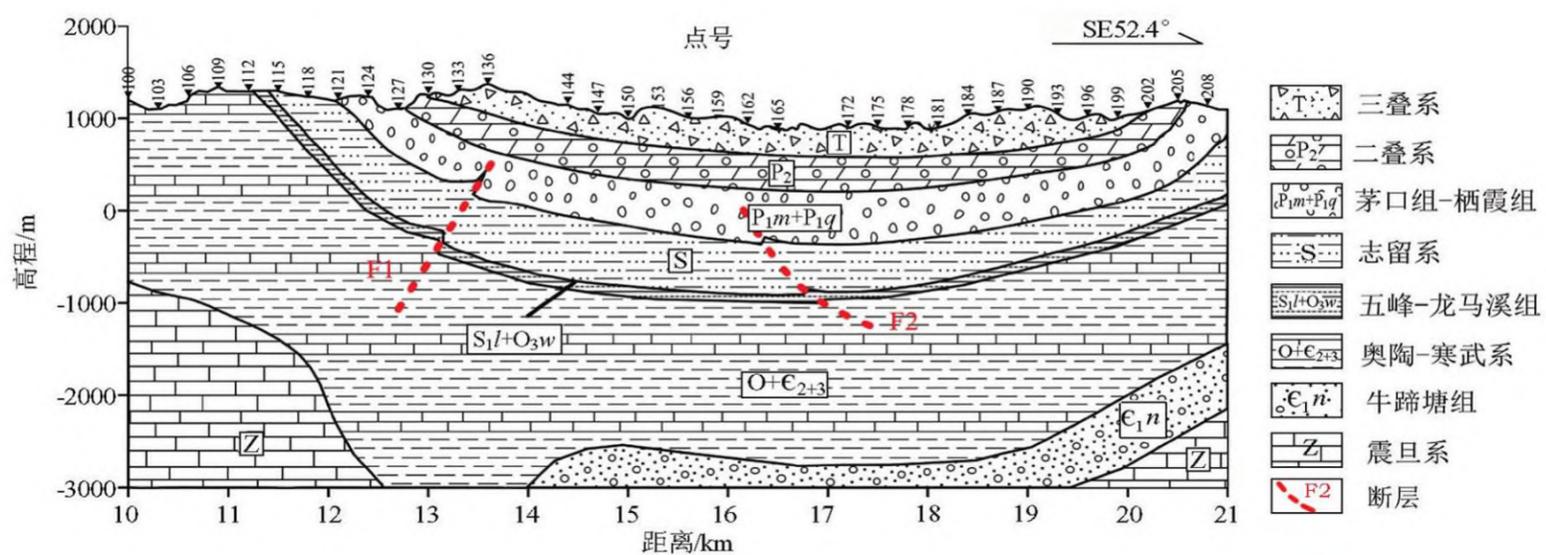


图 8 L6 线地质解释剖面

Fig.8 Geological interpretation profile of line L6

### 4 有利区预测

页岩气储层的含气量是页岩气富集的体现,页岩层系的含气与否,表现出的电磁特性也不同,所以可以通过分析含气量与 TOC 及视电阻率的关系来建立含气特征模型。图 9a 反映了邻区丁页 3 井五峰组—龙马溪组含气量与 TOC 的关系,可见五峰组—龙马溪组含气量和 TOC 含量呈明显的正相关关系。图 9b 反映了丁页 3 井五峰组—龙马溪组含气量与视电阻率的关系,分析可知,当含气量为 0.5~4.5 m<sup>3</sup>/t 时,视电阻率变化范围在 50~250 Ω·m,整体表现为正相关关系。据此建立以电性为表征的含气性特征模型,进而为圈定广域电磁法勘探有利区提供参考依据,评价页岩气储集特征。分析获得研究区内含气性特征模型参数为:电阻率范围 5~100 Ω·m,埋深 1 000~2 400 m,离主要断裂的距离大于 1 km,厚度适当。

根据总结的含气特征模型,解释出研究区的电阻率有利区、埋深有利区及综合勘探有利区。从电阻率有利区平面展布图(图 10a)可知,测区内五峰—龙马溪组有利区电阻率范围分布在 5~100 Ω·m 之间,电阻率较低区域主要在测区的东北、中部和西南部,电阻率在 5~50 Ω·m 之间,也是泥页岩富集地区。

从目的层埋深有利区平面展布图(图 10b)可知,测区内五峰—龙马溪组有利区的埋深在 1 000~2 400 m 之间,在测区的东北、中部和西南部埋藏深度相对更大,达到 2 000 m,目的层在测区东北部呈向斜形态,中部局部隆起,形成从东北向西南“凹隆相间”的构造格局。

综上所述,在测区内预测页岩气勘探有利区 4 处(图 10c),即测区东北部 1 处,中部 1 处,西南部 2 处。综合分析,五峰—龙马溪组视电阻率相对较低,埋深相对较大,且远离断层发育,反映富有机质泥页岩发育,推测页岩气勘探前景较好。

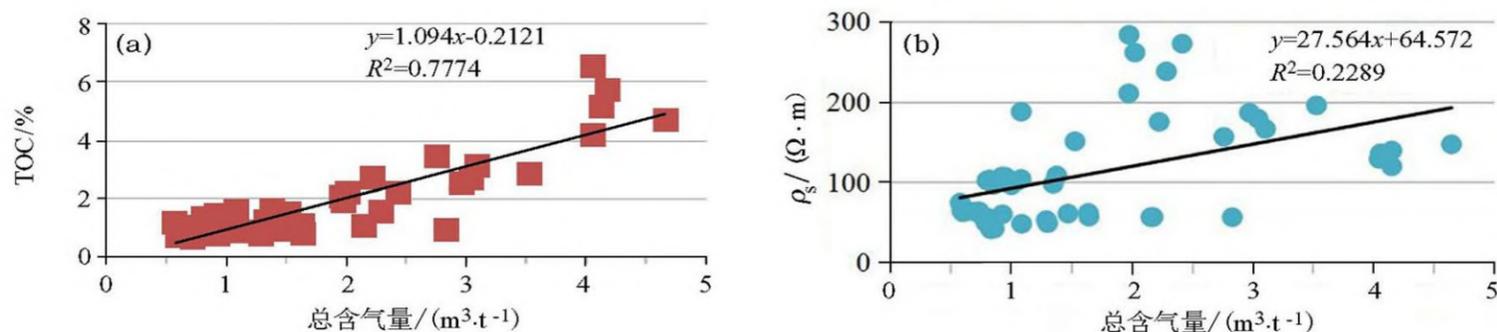


图 9 丁页 3 井五峰组—龙马溪组含气量与 TOC(a) 及视电阻率(b) 的关系

Fig.9 Relationship between gas content, TOC(a) and apparent resistivity(b) of Wufeng Formation—Longmaxi Formation in Well Dingye3

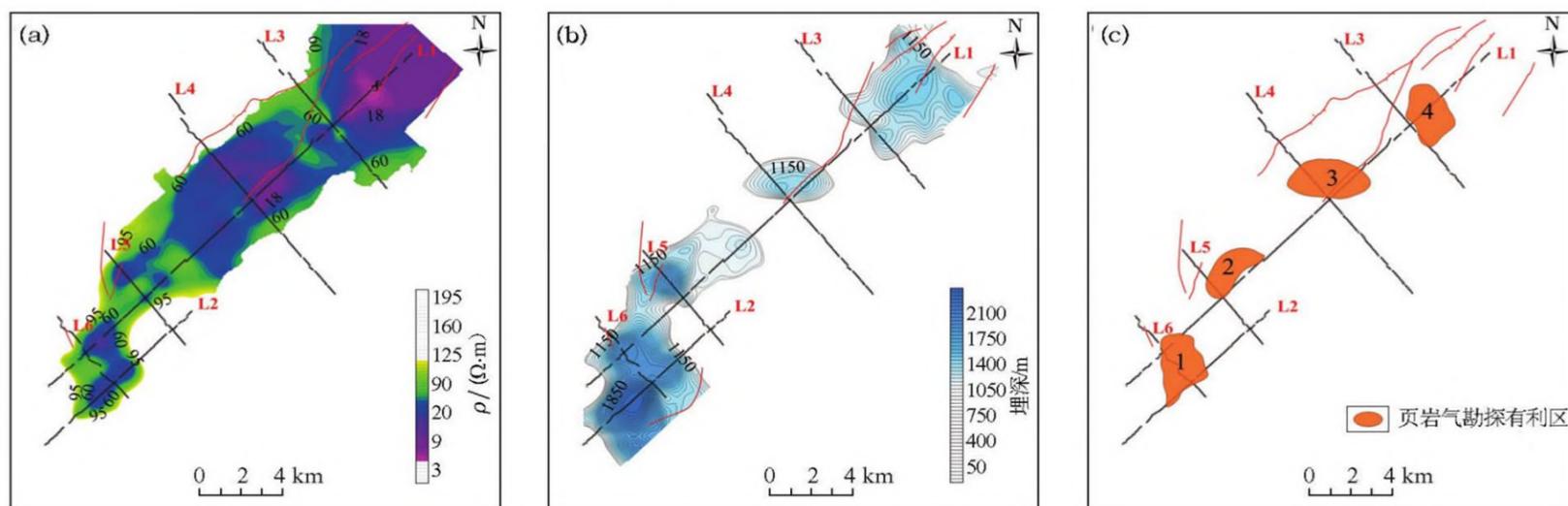


图 10 勘探区目的层电阻率(a)、埋深(b)、综合有利区预测结果(c)

Fig.10 Target area resistivity (a), buried depth (b), comprehensive favorable area prediction result in exploration area (c)

## 5 结论

1) 黔北桐梓地区上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组富有机质泥页岩电性相对底板奥陶系临湘组泥质灰岩表现为明显的低阻特征,具备开展广域电磁勘探的物性条件,可以通过寻找临湘组的顶板直接找出五峰组—龙马溪组的埋藏位置。

2) 查明了桐梓地区东北和西南呈现凹陷展布,中部局部隆起,断裂多为逆断层,五峰组—龙马溪组地层较稳定连续;推断了页岩气勘探有利区 4 处。

3) 将广域电磁法应用于桐梓地区页岩气勘探靶区的预测是一个探索,是在综合分析广域电磁法数据解释与地震对比研究的基础上得出了推测性结论,目前本区并无钻井资料验证。此次探测成果有望助力实现武陵山区页岩气勘探开发由点到面的突破,促进沿江清洁能源产业发展,为长江经济带战略提供支撑。

## 参考文献 (References):

- [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(7):15-18,131-132.  
Zhang J C, Jin Z J, Yuan M S. Reservoiring mechanism of shale gas and its distribution[J]. Natural Gas Industry, 2004(7): 15-18, 131-132.
- [2] 李建忠,吴晓智,郑民,等.常规与非常规油气资源评价的总体思路、方法体系与关键技术[J].天然气地球科学,2016,27(9):1557-1565.  
Li J Z, Wu X Z, Zheng M, et al. General philosophy, method system and key technology of conventional and unconventional oil & gas resource assessment [J]. Natural Gas Geoscience, 2016, 27(9): 1557-1565.
- [3] 董大忠,王玉满,李新景,等.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 D Z, Wang Y M, Li X J, et al. Breakthrough and prospect of shale gas exploration and development in China[J]. Natural Gas Industry, 2016, 36(1): 19-32.
- [4] 彭安钰.贵州黔北地区页岩气的勘探前景[J].中国石油和化工标准与质量,2017,37(10):67-69.  
Peng A Y. Prospects for shale gas exploration in Qianbei area of Guizhou[J]. China Petroleum and Chemical Standards and Quality, 2017, 37(10): 67-69.
- [5] 张鹏,张金川,雷怀玉,等.黔北安页1井区松坎组沉积环境及其对页岩气成藏的影响[J].资源与产业,2018,20(3):34-41.  
Zhang P, Zhang J C, Lei H Y, et al. Sedimentary environment and its influence on shale gas accumulation of Songkan formation of Anye-1 well district in northern Guizhou[J]. Resources & Industries, 2018, 20(3): 34-41.
- [6] 滕吉文,刘有山.中国油气页岩分布与存储潜能和前景分析[J].地球物理学进展,2013,28(3):1083-1108.  
Teng J W, Liu Y S. Analysis of diatribution storage potential and prospect for shale oil and gas in China[J]. Progress in Geophysics, 2013, 28(3): 1083-1108.
- [7] 张本杰,韩忠勤,张伟,等.贵州五峰组—龙马溪组页岩气研究进展[J].天然气技术与经济,2017,11(6):19-23.  
Zhang B J, Han Z Q, Zhang W, et al. Research on shale gas of Wufeng-Longmaxi formation, Guizhou Province [J]. Natural Gas Technology and Economy, 2017, 11(6): 19-23.
- [8] 闫剑飞.黔北地区上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组黑色岩系页岩气富集条件与分布特征[D].成都:成都理工大学,2017.  
Yan J F. The shale gas accumulation conditions and distribution characteristics of black shales in the Upper Ordovician Wufeng formation—Lower Silurian Longmaxi formation of northern Guizhou [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2017.
- [9] 张乔勋,李帝铨,田茂军.广域电磁法在赣南某盆地油气勘探中的应用[J].石油地球物理勘探,2017,52(5):1085-1092.  
Zhang Q X, Li D Q, Tian M J. Application of wide field electromagnetic method to the hydrocarbon exploration in a basin of South Jiangxi [J]. OGP, 2017, 52(5): 1085-1092.
- [10] 李帝铨,胡艳芳.强干扰矿区中广域电磁法与CSAMT探测效果对比[J].物探与化探,2015,39(5):967-972.  
Li D Q, Hu Y F. A comparison of wide field electromagnetic method with CSAMT method in strong interferential mining area [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(5): 967-972.
- [11] 何继善.广域电磁测深法研究[J].中南大学学报:自然科学版,2010,41(3):1065-1072.  
He J S. Wide field electromagnetic sounding methods [J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2010, 41(3): 1065-1072.
- [12] 何继善.广域电磁法和伪随机信号电法[M].北京:高等教育出版社,2010.  
He J S. Wide field electromagnetic method and pseudorandom signal electrical method [M]. Beijing: Higher Education Press, 2010.
- [13] 刘树根,马文辛, LUBA Jansa, 等.四川盆地东部地区下志留统龙马溪组页岩储层特征[J].岩石学报,2011,27(8):2239-2252.  
Liu S G, Ma W X, Luba J, et al. Characteristics of the shale gas reservoir rocks in the Lower Silurian Longmaxi Formation, East Sichuan basin, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(8): 2239-2252.
- [14] 尹福光,许效松,万方,等.加里东期上扬子区前陆盆地演化过程中的层序特征与地层划分[J].地层学杂志,2002(4):315-319.  
Yin F G, Xu X S, Wan F, et al. Characteristic of seqence and stratigraphical division in evolution of upper yangtze region during Caledonian [J]. Journal of Stratigraphy, 2002(4): 315-319.
- [15] 索光运,李帝铨,胡艳芳.基于解析雅克比矩阵的 $E-E_x$ 广域电磁法—维并行约束反演[J].物探化探计算技术,2019,41(1):55-61.

Suo G Y, Li D Q, Hu Y F. One-dimension parallel constrained inversion of  $E-E_x$  wide field electromagnetic method based on analytical Jacobian matrix [ J ]. Computing Techniques for Geophysical

and Geochemical Exploration, 2019, 41(1) : 55-61.

## The application of wide field electromagnetic method to shale gas exploration in Wuling Mountain area: A case study of Tongzi area in northern Guizhou

LI Di-Quan<sup>1,2,3</sup>, WANG Zhen-Xing<sup>1,2,3</sup>, HU Yan-Fang<sup>1,2,3</sup>, WANG Han<sup>1,2,3</sup>, SU Yu-Di<sup>1,2,3</sup>

(1. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China; 2. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals and Geological Environment Monitoring (Central South University), Ministry of Education, Changsha 410083, China; 3. Key Laboratory of non-ferrous and geological hazard detection, Changsha 410083, China)

**Abstract:** After the major breakthrough in oil and gas was obtained from the Well Anye 1, the Ministry of Natural Resources increased the residual shale gas and oil and gas exploration and development of 7,800 square kilometers in the Wuling Mountain. The Wulong Mountain area has complex geological structures, undulating terrain and large areas of carbonate rock, which has led to great challenges to traditional oil and gas exploration methods based on seismic exploration. Wide field electromagnetic method has the characteristics of green, high efficiency and low cost, and hence has become one of the powerful methods for oil and gas exploration and is now being widely used in shale gas exploration in southern China. It is a favorable method for shale gas exploration in southern China. The strata in Tongzi Guizhou are relatively stable, and the organic carbon content in the upper Ordovician Wufeng-Lower Silurian Longmaxi Formation is high. Through surface sample collection and well logging data analysis, the organic shale in this formation shows obvious low resistivity characteristics, which has the physical conditions of electromagnetic exploration. The wide field electromagnetic method was used to carry out shale gas exploration in Tongzi area of northern Guizhou, which overcame the complex influence of topography, carbonate rocks and structure. It is found that the structure pattern of Tongzi area is characterized by "depression and uplift" from northeast to southwest. The spatial distribution characteristics of the Wufeng-Longmaxi Formation in the target layer were detected, and four favorable areas for shale gas exploration were delineated. The prediction of shale gas exploration target area by wide area electromagnetic method is expected to help realize the breakthrough of shale gas exploration and development from point to surface in Wuling Mountain area and promote the development of clean energy industry along the river.

**Key words:** wide field electromagnetic method; shale gas; Wuling Mountain area; Wufeng-Longmaxi Formation

(本文编辑:沈效群)