

李静和, 杨俊, 孟淑君. 桂地区页岩油气地球物理勘探现状及展望[J]. CT 理论与应用研究, 2018, 27(1): 123-136. doi:10.15953/j.1004-4140.2018.27.01.16.

Li JH, Yang J, Meng SJ. Status analysis of geophysical exploration for shale oil and gas in Guangxi province[J]. CT Theory and Applications, 2018, 27(1): 123-136. (in Chinese). doi:10.15953/j.1004-4140.2018.27.01.16.

## 桂地区页岩油气地球物理勘探现状及展望

李静和, 杨俊<sup>✉</sup>, 孟淑君

(桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林 541004)

**摘要:** “十三五”规划中桂地区页岩气基础地质调查地球物理勘探正有序开展。桂地区页岩油气地球物理勘探基础较弱, 如何有效开展地球物理勘探是当前基础地质调查重要课题。着重阐述了桂周边地区页岩油气地球物理勘探研究现状, 指出桂周边地区页岩油气地球物理勘探技术成熟并取得了进展性突破。基于桂地区与其周边地区页岩油气地质条件具有较好可比性, 重点讨论了周边地区页岩油气地球物理勘探成功经验对桂地区页岩油气地球物理勘探工作开展的几点认识及展望。指出今后开展桂地区页岩油气地球物理勘探及评价项目中需要注意的几个研究方向, 即稳健推广二维地震勘探、优先发展 2.5 维电磁勘探、加强系统性测试与分析、重磁地震综合为终极目标, 为实际勘探开展奠定理论基础。

**关键词:** 桂地区页岩油气; 地球物理勘探; 现状

doi:10.15953/j.1004-4140.2018.27.01.16 中图分类号: P 631 文献标志码: A

南方地区页岩油气储藏条件好, 但地形地貌及地质构造复杂, 为页岩气勘查攻关的“高陡”双复杂地区。该地区在“十三五”规划驱动下开展新一轮勘探工作, 目标圈定一批页岩气有利区<sup>[1]</sup>。地球物理方法在常规油气藏勘探中已发挥关键的作用。如何有效利用地球物理技术探明高陡双复杂地区页岩油气储量, 成为我国页岩油气勘探所面临的重要课题之一<sup>[2]</sup>。

南方页岩气基础地质调查在四川、渝东鄂西、滇黔北及湘西等地区陆续开展先导试验, 明确南方地区五峰组-龙马溪组层系普遍含气、高集高产的页岩气储集特征。四川盆地页岩气基础地质调查率先取得进展性成果, 是南方页岩油气勘探的主要地区<sup>[3]</sup>。广西(桂)地区早期开展大量的页岩气勘探, 主要偏重于成藏地质理论及钻井技术研究, 并未取得油气藏勘探突破。2014 年广西地区桂中盆地意外发现页岩气喷漏, 自此拉开了该地区页岩油气攻关项目勘探的序幕<sup>[4]</sup>。“十三五”规划南方页岩气基础地质调查工程明确广西地区页岩气基础地质调查、圈定含气页岩有利区的重要任务。虽然广西地区页岩地质调查有所发现, 但前景并不明朗。特别是地球物理勘探领域, 为井位部署和区块综合评价提供依据方面, 严重缺乏系统物探工作的开展<sup>[5]</sup>。

研究发现, 广西地区页岩油气发育过程经历多期强烈构造运动改造, 天然气扩散及微渗漏作用, 使得页岩油气分布分散储藏于复杂地质构造内<sup>[6]</sup>。广西高陡双复杂地区地球物理勘探数据采集及正反演算法发展相对滞后, 即常规地球物理勘探技术应用于更加复杂

收稿日期: 2017-10-30。

基金项目: 国家自然科学基金(41604097); 国家博士后科学基金(2016M502611)、桂林理工大学广西有色金属潜伏矿床勘查及材料开发协同创新中心(GXYSXTZX2017-II-5)。



地震勘探的地球物理基本前提<sup>[8]</sup>。南方地区地表裸露碳酸盐岩普遍发育，以喀斯特地貌为主；地下构造多为山前逆掩推覆带或高陡构造为主<sup>[10]</sup>。通常，地表碳酸盐岩严重风化剥蚀，岩石密度、速度及脆性等物性参数变化较大。因此，造成碳酸盐岩震源激发条件极度恶劣，仅有少数能量穿透岩层。而由目标层位反射和透射能量极低；接收方面受复杂构造能量衰减、干扰发育影响，总体上使得可采集地震信号信噪比低<sup>[10]</sup>。如南方地区<sup>[9]</sup>、鄂西地区<sup>[11]</sup>（图 2）穿过砂岩和灰岩地区二维地震剖面试验表明：不同岩性出露区，地震信号强度不同，总体表现为灰岩地区较砂岩地区地震信号信噪比差。由四川盆地采集地震记录<sup>[3]</sup>可见，南方地区典型页岩油气储层下志留系龙马溪组岩层反射较弱，波形同相轴呈不连续形状。因此，南方碳酸盐岩地区页岩气地震勘探有别于常规页岩油气勘探，需探索及应用具有南方地区特色的地震勘探技术。

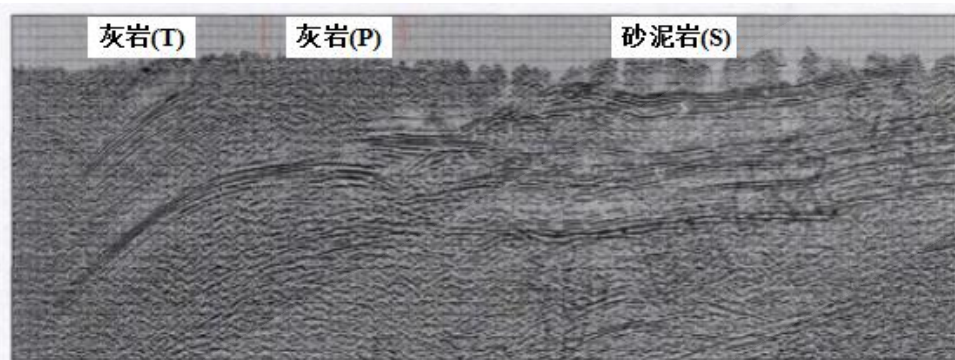


图 2 鄂西地区某地穿过地表不同岩性出露区二维地震剖面

Fig.2 Two-dimensional seismic profile covered different lithology outcrops in West Hubei

针对南方高陡双复杂地区地震勘探信噪比低问题，早在 20 世纪 80 年代我国石油部门已开展技术攻关，累计完成二维地震剖面近 2 km<sup>[4]</sup>。但早期的地震勘探数据质量及解释手段仅用于油气勘探普查阶段。近 10 年来，南方碳酸盐岩地区地震勘探如火如荼开展着。如李仲远<sup>[12]</sup>开展表层调查方法、观测系统设计、激发接收因素的选取等研究，提出切实可行的提高地震信噪比技术。刘厚裕<sup>[13]</sup>构建三个典型地表地层模型，提出相应解决方案。李志荣等<sup>[3]</sup>提出一套系统的页岩油气地震勘探思路及技术流程，对推动四川盆地页岩油气勘探具有重要意义。李祥明等<sup>[14]</sup>发现影响重庆黔江页岩气区地震单炮品质的主要因素，提出改善低信噪比的主要方法。刘文峰<sup>[15]</sup>总结影响渝东南地区单炮地震信号采集质量的主要因素，并讨论了采集过程中相应的解决方法及策略。曾维望等<sup>[16]</sup>针对湘西碳酸盐岩地区页岩油气地震勘探信号衰减严重问题，提出采用单/双井微测井相结合调查方法设计最优井深激发方式，并对如何压制多种地震干扰波提出了低频检波器多串、线性等组合接收方式。刘保林等<sup>[11]</sup>对适用于鄂西地区页岩气勘探的地震采集主要参数（最大炮检距、覆盖次数、激发因素等）开展系统理论研究，明确了该地区开展地震勘探相应主要参数的取值范围。

总体上，广西周边地区近 10 年对如何有效开展页岩油气地震勘探展开了深入研究，形成了各自地区特色的地震勘探技术，发现一大批页岩油气开发有利区<sup>[3, 8]</sup>。地震采集技术主要参数——炮检距、叠加次数、激发参数是广西周边地区开展页岩油气地震勘探技术理论与应用研究的热点，也是近年来地震勘探攻关方向。研究表明，采用高密度或组合道数、

适当小道间距、足够照明度排列长度及高效的叠加次数的地震勘探系统或可提高南方双复杂地区地震数据质量。具体主要参数选取：最大炮检矩不宜大于 6 km；最大叠加次数与工区出露岩性有关，在考虑成本、保证质量前提下，砂岩地区叠加次数为 60 次、灰岩地区则需结合宽线采集技术叠加次数 60 次以上；震源激发条件以高效实现为准则，通常放置炸药井深 12~16 m、药量 10~16 kg 为宜<sup>[11-16]</sup>。

## 1.2 电磁勘探

前已述及，复杂地形地貌及复杂地质构造对地震勘探采集要求高，干扰严重、难以获取高质量地震剖面。而南方高阻的碳酸盐岩对地震信息衰减严重，难以获取深部目标层位有效地震波。电性参数较地震波性质对页岩油气目标更敏感、电阻率及极化率电性参数可间接或者直接指示页岩油气目标的存在<sup>[17]</sup>。同时电磁波可有效穿透高阻碳酸盐岩<sup>[18]</sup>（图 3），某种程度上解决了上述地震勘探遇到的问题。电磁勘探在南方地区金属矿勘探及常规油气勘探中已发挥了重要的作用，如何有效利用电磁勘探开展南方地区页岩油气调查仍是问题所在。

大地电磁法采用天然电磁场源、地面放置接收器，在南方双复杂地区页岩油气区域调查具有显著的优势。如闵刚等<sup>[19]</sup>在黔东北地区及蒙应华等<sup>[20]</sup>在黔南地区，采用音频大地电磁法探明页岩气储层分布，为贵州地区页岩油气勘探建立了借鉴标准。艾斯卡尔等<sup>[18]</sup>探讨了大地电磁法在四川—雪峰盆山中上扬子地区页岩油气调查中的作用，并查明了局部构造发育情况。利用低频电磁波对高阻碳酸盐岩良好的穿透能力，大地电磁法在高阻覆盖区勘探具有较大潜力。然而，低频电磁场散射效应使得大地电磁法探测精度不及地震勘探，实际应用需明确勘探目的及要求。通过人工激发强大的电磁场，可控源电磁法采集电磁响应信噪比高，可提供更高精度的勘探结果。其中，广域电磁法在广西周边地区页岩油气勘探中应用广泛。如何继善等<sup>[21]</sup>将广域电磁法引入湘西碳质页岩探测，首次证实了广域电磁应用湘西北地区页岩勘探的可行性。郑冰等<sup>[22]</sup>在湖南保靖地区、符超等<sup>[23]</sup>在湘西北地区相继开展了页岩油气广域电磁法勘探实验，通过与大地电磁法勘探效果对比，验证了广域电磁法在南方双复杂地区页岩油气勘探的有效性。

结合时间域、频率域数据采集及处理技术的时频电磁法近年来在页岩油气勘探中应用广泛。如张春贺等<sup>[24]</sup>在四川南部地区开展了二维、三维时频电磁勘探，明确提出时频电磁法具有勘探富有机质页岩层系的能力。周印明等<sup>[17]</sup>为页岩气勘探提高成功率提出了快速识别页岩“甜点”目标的时频电磁勘探系统，并取得了成功应用。时频电磁法在页岩油气勘探的有效应用揭示了综合页岩油气电阻率及极化率特性的优势，同时也给后续页岩油气电磁勘探研究指明了方向，即如何有效利用激发极化特性探测页岩油气分布。如李鹏飞等<sup>[25]</sup>对川东南地区某地页岩岩芯复电阻率进行测试，分析复电阻率用于该地页岩油气勘探的可能性。向葵等<sup>[2]</sup>分别以川黔地区页岩岩样、南方海相筇竹寺组和龙马溪组 2 套产气主力为研究对象，探讨复电阻率法开展页岩油气勘探可行性。赵迪斐等<sup>[26]</sup>给出了复电阻率法应用于四川龙马溪组页岩油气藏勘探的理论依据。

## 1.3 重磁勘探及综合物探

作为非地震勘探主要技术，重磁勘探一直是区域构造及深部构造高效调查的主要方法。

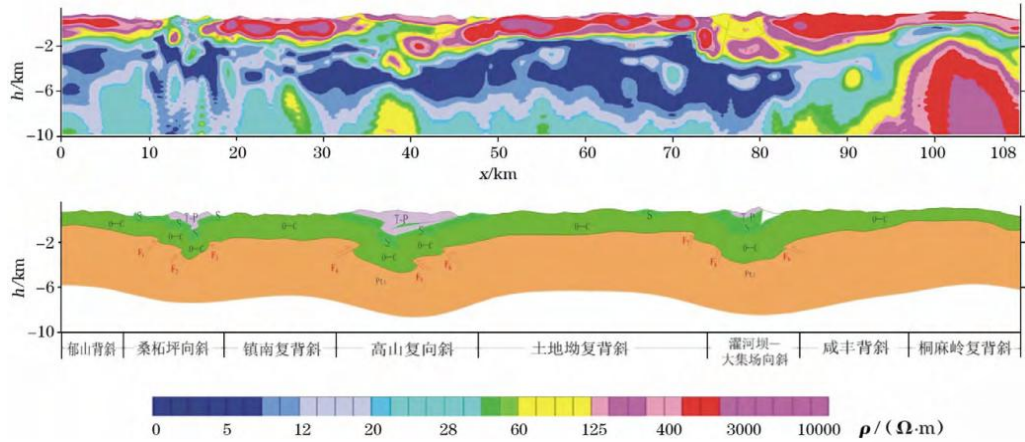
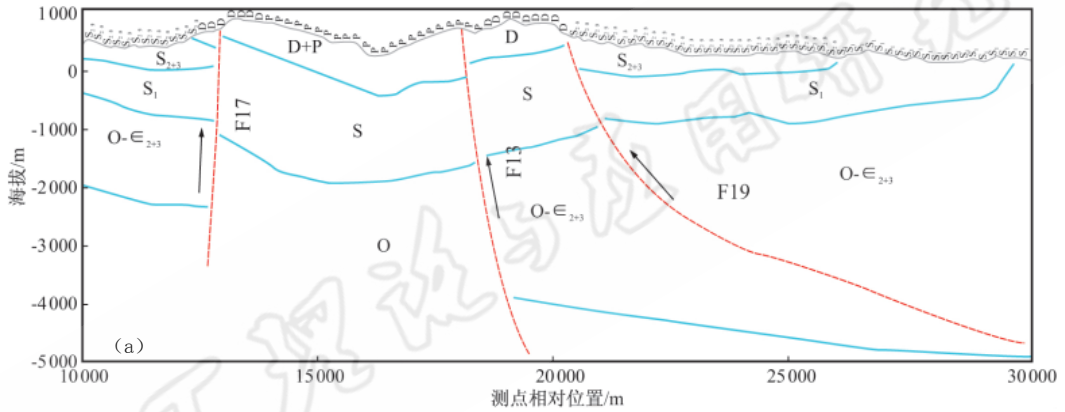
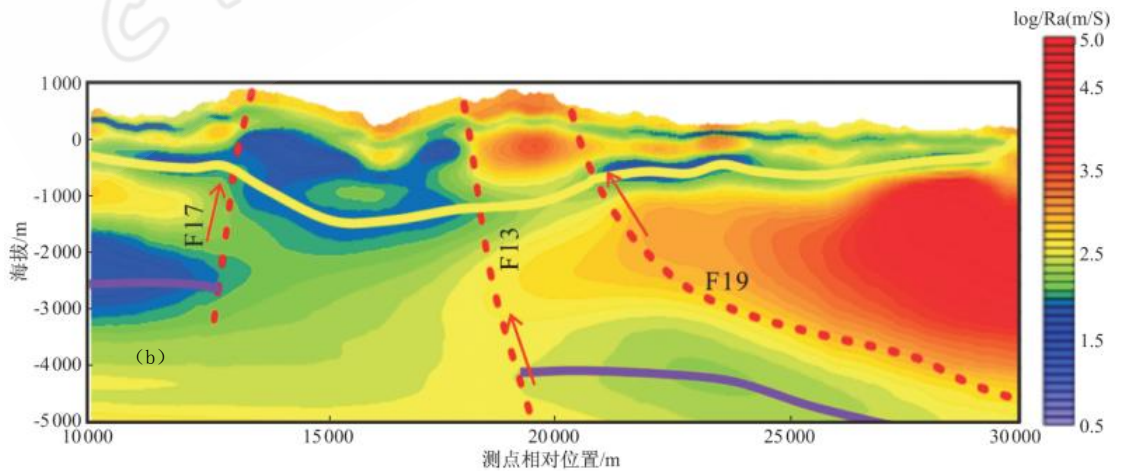


图3 扬子地块四川—雪峰山盆山过渡区页岩气大地电磁勘探二维反演及地质解释

Fig.3 Two-dimensional inverted result and geological interpretation for shale gas survey with magnetotelluric in Sichuan-Xuefengshan basin of Yangtze block



(a) 地震推断地质结构剖面图



(b) 广域电磁法电阻率推断地质剖面图

图4 湖南保靖地区综合物探页岩气储层评价

Fig.4 Shale gas exploration with seismic in Baojin of Hunan

其早期在南方高陡双复杂地区区域调查、金属矿、常规油气资源远景区探查方面已有广泛应用。如 20 世纪 90 年代梁德超等<sup>[27]</sup>在广西、云南和贵州地区开展了高精度航磁金矿普查工作。王亮等<sup>[28]</sup>对贵州地区 1:20 万重力异常分布特征分析讨论,揭示了重力异常透露的区域地质构造新信息。张家德等<sup>[29]</sup>利用重磁勘探推断黔中隆起及南北斜坡区至省界油气构造盆地。李富等<sup>[30]</sup>分析了西南地区航磁特征并划分了成矿区域带。然而,调研发现,将重磁勘探等位场方法用作唯一油气勘探技术的理论及应用研究极少。刘康等<sup>[31]</sup>指出油气勘探中的重磁勘探技术并没有区分,其在油气远景区评价方面具有极大优势。不同之处在于,非常规油气赋存的地质条件、形成机理较常规油气藏更复杂。因而,如何有效将重磁勘探与其他勘探方法有机结合,发挥重磁勘探最大优势,探明页岩油气是最关键的。

重磁勘探与电磁勘探、地震勘探有机结合,统称综合物探。地震勘探有效性与采集环境有关,高陡双复杂的南方地区地震采集就是一大挑战<sup>[4]</sup>。其次,地震勘探无法分清地层界面几何形状<sup>[31]</sup>。重磁勘探在查明区域构造及深部构造横向分布具有极高的分辨率,但其纵向分辨率并不能达到勘探需求。电磁勘探一定程度上弥补了地震勘探、重磁勘探的不足。因而,综合物探是南方地区页岩油气勘探领域尤其值得研究的方向。如陈思宇等<sup>[32]</sup>在四川雪峰山盆-山过渡区将大地电磁勘探结果作为地质-重磁勘探解释有效结合,揭示了本区的重点有利油气远景带。屈挺等<sup>[33]</sup>在四川雪峰山西侧油气远景区调查中开展了重、磁、电勘探,多种物探方法的联合减少了多解性,查明了该区地质构造分布。王延忠等<sup>[34]</sup>联合测井、地震勘探及广域电磁法对湖南保靖地区页岩气储层进行了评价,初步证实了该方法应用湖南地区页岩气勘探的可行性(图 4)。

## 2 桂地区页岩油气地球物理勘探现状

综合上述广西周边地区页岩油气地球物理勘探现状分析,系统的地球物理勘探对于广西地区页岩油气勘探突破至关重要。而当前国内未发现广西地区页岩油气地球物理勘探系统综述性文献。基于广西地区页岩油气地质条件及潜力与其周边地区具有极大相似性<sup>[6-7]</sup>,秉承“求同存异”,具体地区具体分析的原则,总结推动今后广西地区开展系统页岩油气地球物理勘探的几点认识。

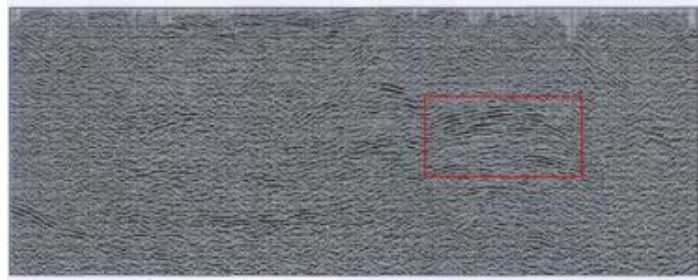
### 2.1 地震勘探

早在 20 世纪 80 年代,广西地区已开展页岩油气二维地震勘探剖面达 256.58 km,但限于当时落后技术手段,勘探效果并不明显<sup>[4]</sup>。后续研究主要为两个方向:① 研究提高高陡双复杂地区地震采集技术主要参数。如谢明干等<sup>[35]</sup>和胡建辉等<sup>[36]</sup>针对广西桂中坳陷喀斯特地形地区提出多种地震采集技术措施,提高了地震信号的信噪比(图 5);② 研究压制噪声提高信噪比地震勘探方法。如于世焕等<sup>[37]</sup>和龙奋<sup>[38]</sup>提出多线多炮宽线地震勘探技术。韦瑞表等<sup>[39]</sup>和张春贺等<sup>[40]</sup>提出弯线与宽线相结合拟三维新型地震勘探。

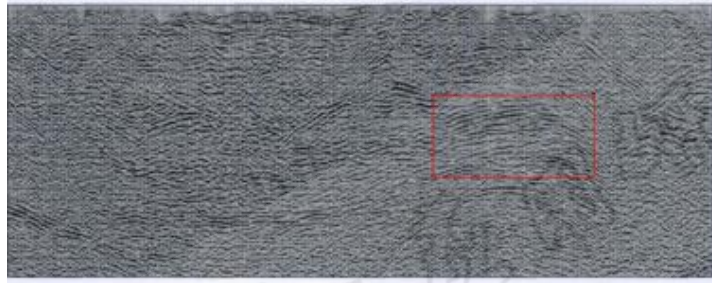
与广西周边地区页岩油气地震勘探研究类似,广西地区页岩油气地震勘探研究的主要方向仍然是如何有效提高地震信号信噪比。然而,广西地区页岩油气赋存深度偏浅( $<1\text{ km}$ )、页岩储层含脆性元素高、浅部局部构造(溶洞、晶洞)及微裂隙多种储集空间发育。采集方面,需解决更断续一弱振幅反射信号采集;处理方面,需更精细切除技术、静校正技术保护浅层信息;解释方面,需研究高陡双复杂地区正反演成像技术。

### 2.2 电磁勘探

广西地区页岩油气电磁勘探研究程度不高，国内外相关文献报道甚少。如李爱勇等<sup>[41]</sup>采用大地电磁法研究桂中拗陷及其周边的地质构造，揭示了桂中拗陷油气远景区（图6）。



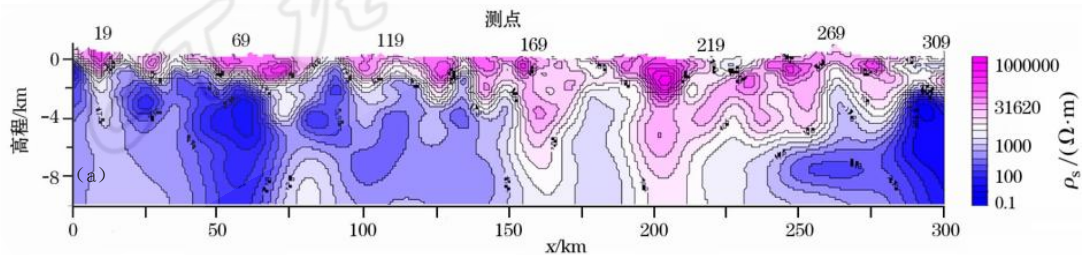
(a) 单线单炮



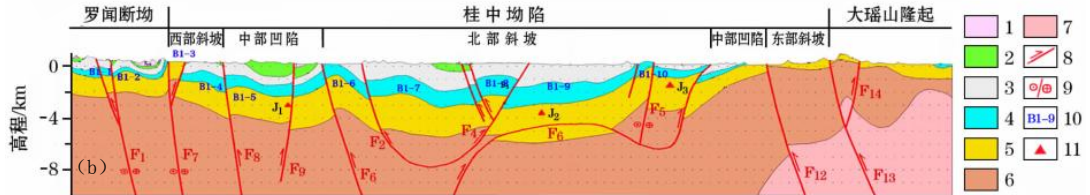
(b) 3线3炮

图5 桂中拗陷二维地震剖面

Fig.5 Two-dimensional seismic profile acquired with single in Guizhong basin



(a) 大地电磁法勘探电阻率剖面



(b) 地质解释

注：1—下三叠统；2—二叠系；3—石炭系；4—上泥盆统；5—中下泥盆统；6—前泥盆系；7—新元古界；8—逆断层；9—平移断层；10—背斜编号；11—礁体显示。

图6 桂中拗陷某地页岩气地球物理勘探及地质解释

Fig.6 Resistivity profile in Guizhong basin

然而,大地电磁法应用于广西地区复杂页岩油气储层( $<1\text{ km}$ )勘探精度并不高,特别是中浅部深度地质构造的刻画能力还有待提高。但大地电磁场对广西地区地表高阻碳酸盐岩具有较好穿透能力,仍具有较大潜力。针对广西地区中浅部页岩油气勘探,可控源电磁法或许是合适的选择。如高效、高精度广域电磁法或将是广西地区页岩油气勘探较有效电磁类地球物理方法。大功率时频电磁法在广西地区页岩油气勘探领域理论与应用研究亦是今后发展的方向。其中二维时频电磁采集较适用广西地区复杂地表地形情况,三维时频电磁采集则需要配合精准 GPS 定位。对于可控源电磁法在广西地区的应用,地表满是高阻碳酸盐岩,如何有效激发大功率人工场源、如何有效接收深部微弱有用信号仍是当前急需解决的问题。

由广西周边地区页岩油气电磁勘探经验可见,一个成功商业化页岩油气井发现离不开系统的电性参数测试。其重要性不仅在于为选取合适电磁技术提供理论依据,也为减少高陡双复杂地区页岩油气勘探解释多解性。因而,广西地区页岩油气电磁勘探亟待解决的问题还有页岩岩性系统电性参数测试及分析。特别是从页岩油气地质条件分析可知,广西地区页岩储层含碳性成分较多,通过系统电性参数测试,明确页岩储层激发极化特性,为复电阻率法在广西地区页岩油气勘探应用提供理论基础。复电阻率法已在广西周边地区页岩油气勘探中发挥了重要的作用,其应用的有效性与目标页岩油气含量高低有直接关系。而地质上揭示,广西地区页岩油气含量要比周边地区含量要高得多,因而在广西地区开展复电阻率法页岩油气勘探先导实验显得非常有必要。

### 2.3 重磁勘探及综合物探

广西地区重磁勘探在 20 世纪 90 年代就有相关文献报道。如舒孝敬等<sup>[42]</sup>探讨了桂北地区重磁异常与铀矿成矿带关系;邓世琦<sup>[43]</sup>基于广西德保地区 1:5 万航磁数据探讨了该地区找矿前景。近年来,朱国器等<sup>[44]</sup>讨论了广西地区重磁异常与岩浆岩体分布关系,建立了广西地区隐伏岩体重磁异常预测标准。广西地区页岩油气勘探仍缺乏高精度磁测数据,对于后续页岩油气精细勘探尤为重要。广西地区大比例尺重力勘探工作目前仍在进行中,未发现相关文献报道。对于广西地区页岩油气重磁勘探,常规重磁资料处理方法(延拓、方向导数、磁化极及剩余重力异常)仍需要技术攻关。

广西地区地形地貌复杂、地下构造复杂、浅部地层溶洞及晶洞发育、页岩油气储层多样化。相对于周边地区而言,该地区地球物理勘探的多解性更严重,页岩油气综合物探的开展更具紧迫性。在广西地区开展的综合物探页岩油气勘查实例并不多。如张春贺等<sup>[45]</sup>针对黔南-桂中坳陷,结合地质、地震、钻井及大地电磁资料,推断了礁体分布及油气远景有利区。然而,针对广西高陡双复杂地区页岩油气勘探而言,高精度综合物探仍是今后研究的主要方向。

## 3 未来展望

随着“十三五”规划南方页岩气基础地质调查工程中滇黔桂地区页岩气基础地质调查开展,广西地区页岩油气地震勘探、电磁勘探及重磁勘探按计划有序进行,取得了阶段性成果。在今后开展广西地区页岩油气地球物理勘探及评价项目中建议加强以下几个方向的研究:



(1) 广西周边地区页岩油气地震勘探成功实践表明, 二维地震勘探仍是当前南方高陡双复杂地区探明页岩油气储层地质结构行之有效的方法。研究适合广西地区页岩油气高精度二维地震勘探采集技术及数据处理一体化系统是重中之重。三维高精度地震勘探已在四川礁石坝地区页岩气调查中取得成功应用, 开展广西地区三维高精度地震勘探也是当务之急。高效、低廉二维及三维地震采集技术研究固然重要, 其相应配套的高陡双复杂地区地震全波形成像、各向异性正反演算法研究亦需要加强。

(2) 广西地区页岩油气二维大地电磁勘探已有实践应用, 但探测精度不足以满足广西地区页岩油气调查需求。针对广西地区中浅深度页岩油气勘探, 比较急需开展高精度二维可控源电磁勘探及其成像技术研究。三维可控源电磁数据采集及不规则点位三维数据点成像仍是当前一项极具挑战的任务。高陡双复杂地区 2.5 维可控源电磁勘探或是平衡二维与三维可控源电磁勘探折中的方法, 开发相对应高效 2.5 维成像技术也是当前研究热点。开展电磁勘探, 须重视页岩储层电性参数测试与分析。建议在广西地区页岩油气远景区开展系统页岩岩芯取样及分析, 为开展电磁勘探奠定基础。

(3) 广西地区页岩油气调查与开发中重磁、电、震综合地球物理勘探研究是今后发展的重要方向。当前, 广西地区页岩油气综合地球物理勘探仍属于探索阶段, “综合”的高效性取决于单个物探方法的发展好坏程度。应该认识到, 真正实现广西地区页岩油气综合地球物理勘探还需要长足发展。随着航空物探技术的快速发展, 高效、简便查明广大区域页岩油气远景区的位场方法(航空磁法、航空重力等)可大力发展, 为地震、电磁数据解释提供辅助材料, 提高勘探精度。

## 4 结论

(1) 着重对广西周边地区页岩油气地球物理勘探研究现状分析和总结。指出二维地震勘探已相当成熟, 并具有成功实践应用; 高精度三维地震是发展的重要方向。非地震方法勘探页岩油气分布也在不断开展先导实验, 特别是大地电磁法、广域电磁法、时频电磁法已有多个地区取得前瞻性进展。广西周边地区已开展了系统的页岩油气储层物性参数测试及分析, 为复电阻率法页岩油气勘探成功应用奠定基础。

(2) 重点探讨了周边地区页岩油气地球物理勘探现状对广西地区页岩油气地球物理勘探工作开展的几点认识。指出广西地区页岩油气地球物理勘探研究起步较晚, 针对该区特点的物探数据采集及处理技术比较落后, 未形成系统的理论及应用研究体系。

(3) 乘着“求同存异”的原则, 在充分汲取广西周边地区页岩油气勘探成功经验基础上, 给出了今后开展广西地区页岩油气地球物理勘探及评价项目中急需加强的研究方向, 即二维地震勘探稳健推广、2.5 维电磁勘探优先发展、加强系统物性测试与分析、重磁地震综合为终极目标。

## 参考文献

- [1] 邹才能, 董大忠, 王玉满, 等. 中国页岩气特征、挑战及前景(二)[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(2): 166-178.  
Zhou CN, Dong DZ, Wang YM, et al. Shale gas in China: Characteristics, challenges

- and prospects (II) [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2016, 43(2): 166-178. (in Chinese).
- [2] 向葵, 胡文宝, 严良俊, 等. 页岩气储层特征及地球物理预测技术[J]. *特种油气藏*, 2016, 23(2): 5-8.  
Xiang K, Hu WB, Yan LJ, et al. Shale gas reservoir characterization and geophysical prediction[J]. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 2016, 23(2): 5-8. (in Chinese).
- [3] 李志荣, 邓小江, 杨晓, 等. 四川盆地南部页岩气地震勘探新进展[J]. *天然气工业*, 2011, 31(4): 40-43.  
Li ZR, Deng XJ, Yang X, et al. New progress in seismic exploration of shale gas reservoirs in the southern Sichuan Basin[J]. *Natural gas industry*, 2011, 31(4): 40-43. (in Chinese).
- [4] 周雁, 朱东亚, 孟庆强, 等. 桂中盆地页岩气地质条件及潜力分析[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2014, 41(5): 529-537.  
Zhou Y, Zhu DY, Meng QQ, et al. Geological conditions and exploration potential of shale gas in central Guangxi basin, China[J]. *Journal of Chengdu University Technology (Science & Technology Edition)*, 2014, 41(5): 529-537. (in Chinese).
- [5] 黄绍甫, 高智. 广西油气资源勘探开发现状与发展前景展望[J]. *广西地质*, 2001, 14(4): 41-45.  
Huang SF, Gao Z. The current situation and prospect for oil and gas exploration and development in Guangxi[J]. *Guangxi Geology*, 2001, 14(4): 41-45. (in Chinese).
- [6] 刘磊. 湘桂地区构造运动对油气藏破坏作用研究[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2010.  
Liu L, Research on destruction of tectonic movements on oil and gas reservoirs Xianggui area[D]. Beijing: China University of Petroleum(Beijing), 2010. (in Chinese).
- [7] 李俊良, 谢瑞永, 游君君, 等. 贵州黔北地区页岩气成藏条件与勘探前景[J]. *中国矿业*, 2012, 21(2): 55-59.  
Li JL, Xie RY, You JJ, et al. Reservoir forming condition and exploration prospect of shale-gas in Guizhou Qianbei area[J]. *China Mining Magazine*, 2012, 21(2): 55-59. (in Chinese).
- [8] 腾龙, 徐振宇, 黄正清, 等. 页岩气勘探中的地球物理方法综述及展望[J]. *资源调查与环境*, 2014, 35(1): 61-66.  
Teng L, Xu ZY, Huang ZQ, et al. Summary and prospect of geophysical methods for the shale gas exploration[J]. *Resources Survey and Environment*, 2014, 35(1): 61-66. (in Chinese).
- [9] 杨松霖, 袁博, 李帝铨. 高陡双复杂地区多种页岩气勘探方法效果对比[J]. *物探与化探*, 2016, 40(5): 941-946.  
Yang SL, Yuan B, Li DQ. An analysis of some different exploration methods in complex terrain area[J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 2016, 40(5): 941-946. (in Chinese).
- [10] 齐中山. 改善灰岩裸露区地震激发环境的方法探讨[J]. *石油物探*, 2015, 54(4): 382-387.  
Qi ZS. Discussion on the improvement of the shooting cricumstance for the seismic acquisition in limestone outcropped area[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2015, 54(4): 382-387. (in Chinese).
- [11] 刘保林, 刘军胜, 王建斌. 鄂西地区页岩气勘探地震采集主要参数分析[J]. *石油物探*, 2015, 54(2): 188-196.  
Liu BL, Liu JS, Wang JB. Analysis on the main seismic acquisition parameters for shale gas exploration in western Huibei Province[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2015, 54(2): 188-196. (in Chinese).
- [12] 李仲远. 南方碳酸盐岩地区地震采集技术方法探讨[J]. *天然气工业*, 2009, 29(6): 33-36.  
Li ZY. A discussion on technologies of seismic data acquisition in carbonate area of South China[J]. *Natural Gas Industry*, 2009, 29(6): 33-36. (in Chinese).
- [13] 刘厚裕. 中国南方碳酸盐岩裸露区表层地震地质条件研究[J]. *油气评价与开发*, 2012, 2(6): 6-19.  
Liu HY. Research on surface seismic geologic conditions of carbonate exposed area in South

- China[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2012, 2(6): 6-19. (in Chinese).
- [14] 李祥明, 张志峰. 重庆黔江页岩气区地震资料采集技术方法探索[J]. 内蒙古石油化工, 2014, (5): 93-96.  
Li XM, Zhang ZF. Research of method for acquisition of seismic data in Zhongqin Qianjiang shale gas area[J]. Petroleum in Neimeng, 2014, (5): 93-96. (in Chinese).
- [15] 刘文峰. 渝东南地区地震采集单炮品质影响因素分析[J]. 内蒙古石油化工, 2015, (21): 48-50.  
Liu WF. Analysis of factors affecting the quality of seismic records from the southeast Chongqing city[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2015, (21): 48-50. (in Chinese).
- [16] 曾维望, 常锁亮. 湘西碳酸岩山区页岩气地震勘探采集技术研究[J]. 中国煤炭地质, 2015, 27(1): 66-76.  
Zeng WW, Chang SL. Study on shale gas seismic prospecting data acquisition technology in Western Hunan carbonate rock mountainous region[J]. Coal Geology of China, 2015, 27(1): 66-76. (in Chinese).
- [17] 周印明, 刘雪军, 张春贺, 等. 快速识别页岩气“甜点”目标的时频电磁勘探技术及应[J]. 物探与化探, 2015, 39(1): 60-63.  
Zhou YM, Liu XJ, Zhang CH, et al. The TEEM technology for quick identification of ‘sweet spot’ of shale gas and its applications[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2015, 39(1): 60-63. (in Chinese).
- [18] 艾斯卡尔, 张建龙, 谭钦银, 等. 大地电磁测深在中上扬子地区油气调查中的作用[J]. 物探与化探, 2015, 39(1): 48-53.  
Aisikaer, Zhang JL, Tan QY, et al. The effect of magnetotelluric (MT) sounding in oil-gas exploration in middle and upper Yangtze region[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2015, 39(1): 48-53. (in Chinese).
- [19] 闵刚, 王绪, 张兵, 等. AMT 法在黔东北岑巩地区的页岩气勘探试验[J]. 石油地球物理勘探, 2014, 49(4): 815-824.  
Min G, Wang X, Zhang B, et al. A shale gas exploration test with AMT method in Cengong area[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2014, 49(4): 815-824. (in Chinese).
- [20] 蒙应华, 汪玉琼, 杨仕欲. AMT 法与 TEM 法在黔南页岩气勘查中的综合应用[J]. 工程地球物理学报, 2015, 12(5): 627-632.  
Meng YH, Wang YQ, Yang SY. The comprehensive application of AMT and TEM to shale gas exploration in south of Guizhou[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2015, 12(5): 627-632. (in Chinese).
- [21] 何继善, 李帝铨, 戴世坤. 广域电磁法在湘西北页岩气探测中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2014, 49(5): 1006-1012.  
He JS, Li DQ, Dai SK. Shale gas detection with the wide field electromagnetic method in North-western Hunan[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2014, 49(5): 1006-1012. (in Chinese).
- [22] 郑冰, 李帝铨. 广域电磁法和大地电磁法在中国南方某页岩区块的对比试验[J]. 油气地球物理, 2015, 13(3): 45-49.  
Zheng B, LI DQ. Communicative test of wide field electromagnetic method and MT at shale gas block in the south of Chinese[J]. Petroleum Geophysics, 2015, 13(3): 45-49. (in Chinese).
- [23] 符超, 袁博, 李学兰, 等. 广域电磁法在保靖页岩气勘探中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2016, 13(4): 416-422.  
Fu C, Yuan B, Li XL, et al. The exploration of wide field electromagnetic method on shale gas[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2016, 13(4): 416-422. (in Chinese).
- [24] 张春贺, 刘雪军, 何兰芳, 等. 时频电磁法的富有机质页岩层系勘探研究[J]. 地球物理学报, 2013, 56(9): 3173-3183.  
Zhang CH, Liu XJ, He LF, et al. A study of exploration organic rich shales using time-frequency electromagnetic Method (TFEM)[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2013, 56(9): 3173-3183.

- (in Chinese).
- [25] 李鹏飞, 严良俊, 余刚. 南方页岩岩芯的复电阻率测试与分析[J]. 工程地球物理学报, 2014, 11(3): 383-386.  
Li PF, Yan LJ, Yu G. Testing and research of complex resistivity of the south shale core[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2014, 11(3): 383-386. (in Chinese).
- [26] 赵迪斐, 郭英海, 朱炎铭, 等. 龙马溪组页岩气复电阻率勘探的理论依据[J]. 非常规油气, 2016, 3(3): 15-19.  
Zhao DF, Gou YH, Zhu YM, et al. The theoretical basis of shale gas exploration with complex resistivity in longmaxi formation[J]. Unconventional Oil & Gas, 2016, 3(3): 15-19. (in Chinese).
- [27] 梁德超, 郑广和, 侯连超. 高精度航磁资料在桂滇黔地区金矿普查中的应用效果[J]. 物探与化探, 1995, 19(2): 128-134.  
Liang DC, Zheng GH, Hou LC. The effectiveness of applying high-precision aeromagnetic data in gold reconnaissance of Guangxi-Yunnan-Guizhou region[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 1995, 19(2): 128-134. (in Chinese).
- [28] 王亮, 龙秀洪, 张应文, 等. 贵州 1:20 万重力异常分布特征与透露的区域地质构造新信息[J]. 贵州地质, 2007, 24(1): 64-69.  
Wang L, Long XH, Zhang YW, et al. Distribution characteristics of gravity anomaly with a scale of 1:200,000 and new information exposed on regional geologic structure in Guizhou[J]. Guizhou Geology, 2007, 24(1): 64-69. (in Chinese).
- [29] 张家德, 王亮, 张家辉, 等. 黔中隆起及南北斜坡区至省界油气构造盆地的重磁法推断[J]. 贵州地质, 2014, 31(2): 116-120.  
Zhang JD, Wang L, Zhang JH, et al. Gravity and magnetic inference of oil and gas structure basin from central Guizhou uplift and slope of south and north area to the provincial boundary[J]. Guizhou Geology, 2014, 31(2): 116-120. (in Chinese).
- [30] 李富, 王永华, 曾琴琴, 等. 西南地区航磁区域特征[J]. 物探与化探, 2015, 39(1): 84-94.  
Li F, Wang YH, Zeng QQ, et al. Aeromagnetic regional characteristics in southwest China[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2015, 39(1): 84-94. (in Chinese).
- [31] 刘康, 郝天珩. 位场方法在非常规油气勘探中的应用[J]. 地球物理学进展, 2014, 29(2): 0786-0797.  
Liu K, Hao TY. Application of potential field method in the unconventional oil and gas exploration[J]. Progress in Geophysics, 2014, 29(2): 0786-0797. (in Chinese).
- [32] 陈思宇, 雷宛, 邵昌盛, 等. 综合物探解释在雪峰山盆-山过渡带油气勘探中的应用[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2014, 41(5): 587-595.  
Chen SY, Lei W, Shao CS, et al. Application of integrated geophysical interpretation in petroleum exploration of Xuefengshan basin-range transition belt in Hunan, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2014, 41(5): 587-595. (in Chinese).
- [33] 屈挺, 刘建利, 李磊, 等. 重、磁、电综合物探方法在雪峰山西侧油气远景区地质调查中的应用[J]. 物探与化探, 2016, 40(3): 452-460.  
Qu T, Liu JL, Li L, et al. The application of integrated gravitational, magnetic and electrical geophysical methods to geological exploration in oil and gas prospecting area on the west side of the Xuefeng Mountain[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2016, 40(3): 452-460. (in Chinese).
- [34] 王延忠, 沈金松, 周正武, 等. 井震约束的广域电磁数据反演及其在保靖页岩气储层评价中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2016, 13(3): 253-262.  
Wang YZ, Shen JS, Zhou ZW, et al. The inversion of the wide field electromagnetic measurements with well logging and seismic constraints and its application to evaluation of shale gas reservoir in Baojing area[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2016, 13(3):

- 253-262. (in Chinese).
- [35] 谢明干, 胡建辉, 韦添昌. 广西桂中坳陷喀斯特地形地震采集方法探讨[J]. 勘探地球物理进展, 2008, 31(5): 345-352.  
Xie MG, Hu JH, Wei TC. Seismic data acquisition in Karst area in Guizhong depression, Guangxi[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2008, 31(5): 345-352. (in Chinese).
- [36] 胡建辉, 谢明干, 韦添昌. 应用深地震反射技术揭示喀斯特地区深部地质结构特征[J]. 中国地质, 2009, 36(3): 742-745.  
Hu JH, Xie MG, Wei TC, et al. The application of deep seismic reflection methods to the detection of deep geological structures beneath Karst areas[J]. Geology in China, 2009, 36(3): 742-745. (in Chinese).
- [37] 于世焕, 赵殿栋, 秦都. 桂中山区宽线地震采集观测系统优选[J]. 石油物探, 2011, 50(4): 398-405.  
Yu SH, Zhao DD, Qin D. Geometry optimization for wide line seismic acquisition in Guizhong mountainous area[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2011, 50(4): 398-405. (in Chinese).
- [38] 龙奋. 石油地震勘探新技术新方法在桂中灰岩区取得良好勘探效果[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2012, 34(s2): 163-170.  
Long F. Good exploration effects made by using new technology, new method of petroleum seismic exploration in Guizhong limestone area[J]. Journal of Yunnan University (Science & Technology Edition), 2012, 34(s2): 163-170. (in Chinese).
- [39] 韦瑞表, 刘兵, 覃勇. 弯宽线采集技术在桂中山区的应用与效果[J]. 中国石油勘探, 2011, 19(2): 53-58.  
Wei RB, Liu B, Tan Y. Application of crooked wide-line seismic acquisition technique in Guizhong mountainous area[J]. China Petrolatum Exploration, 2011, 19(2): 53-58. (in Chinese).
- [40] 张春贺, 李世臻, 姚根顺, 等. 基于宽线+折线采集与拟三维处理配套的碳酸盐岩裸露区地震勘探技术[J]. 地球物理学报, 2014, 57(1): 229-240.  
Zhang CH, Li SZ, Yao GS, et al. Seismic exploration technology with the wide-line & crooked-line acquisition and the corresponding pseudo-3D processing in the carbonate outcrop areas in South China[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2014, 57(1): 229-240. (in Chinese).
- [41] 李爱勇, 刘建新, 朱春生, 等. 大地电磁测深在桂中坳陷油气勘探中的应用[J]. 物探与化探, 2012, 36(1): 8-12.  
Li AY, Liu JX, Zhu CS, et al. The application of magnetotelluric sounding to oil and gas exploration Guangxi depression[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2012, 36(1): 8-12. (in Chinese).
- [42] 舒孝敬, 段中凡, 郝玉华, 等. 桂北地区重磁特征及其与铀矿化的关系[J]. 中国核科技报告, 1993, 1-12.  
Shu XJ, Yin ZF, Hao YH, et al. Characteristics of gravity and magnetic field and their relationship with uranium mineralization in northern Guangxi area[J]. Report of China's Nuclear Technology, 1993, 1-12. (in Chinese).
- [43] 邓世琦. 广西德保地区 1/5 万航磁处理成果的找矿前景[J]. 桂林冶金地质学院学报, 1984, 4(3): 73-80.  
Deng SQ. Prospecting potential of interpretation from 1/5 aeromagnetic survey in Guangxi Debao[J]. Journal of the Guilin College of Geology, 1984, 4(3): 73-80. (in Chinese).
- [44] 朱国器, 黎海龙, 温融湘. 广西岩浆岩重磁异常特征探讨[J]. 工程地球物理学报, 2011, 8(5): 566-571.  
Zhu GQ, Li HL, Wen RX. Discussion on characteristics of the gravity and magnetic anomalies caused by magmatite rock in Guangxi[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2011,

8(5): 566-571 (in Chinese).

- [45] 张春贺, 乔德武, 李世臻, 等. 复杂地区油气地球物理勘探技术集成[J]. 地球物理学报, 2011, 54(2): 374-387.

Zhang CH, Qiao DW, Li SZ. et al. Integration of oil and gas geophysical technologies for geologically complex areas[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(2): 374-387. (in Chinese).

## Status Analysis of Geophysical Exploration for Shale Oil and Gas in Guangxi Province

LI Jing-he, YANG Jun<sup>✉</sup>, MENG Shu-jun

(College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

**Abstract:** Based on the important foundation investigations for shale gas exploration in 13th Five Year Plan of China, the geophysical surveys for shale oil and gas in Yunnan, Guizhou and Guangxi provinces are implemented in order. However, there are few research work considered the geophysical explorations for shale oil and gas in Guangxi province. It also is the main challenge to implement the suitable geophysical technologies effectively for the above goals in foundation investigations of south China in 13th Five Year Plan. With the geology comparability of Guangxi province and its peripheral areas for shale oil and gas exploration, the status analysis of geophysical exploration is given for the peripheral areas of Guangxi province. It is aimed at obtaining the wide applications of geophysical technologies for shale oil and gas exploration. Then some suggestions are given from the above analysis of geophysical exploration for shale oil and gas in Guangxi province. Moreover, the wide applications of 2D seismic exploration, the priority development of 2.5 D electromagnetic method, systemic testing of geophysical property and the application of hybrid geophysical survey are concluded by learning from the applications of geophysical exploration for shale oil and gas in peripheral areas of Guangxi province.

**Keywords:** shale oil and gas exploration in Guangxi province; geophysical; review



**作者简介:** 李静和(1985—), 男, 2015年中国地质大学(武汉)地球物理学专业获博士学位, 现为桂林理工大学地球科学学院教师, 主要从事地球物理快速正反演算法研究与教学工作, E-mail: lijinghe7513@163.com; 杨俊<sup>✉</sup>(1992—), 男, 2016年桂林理工大学地球科学学院勘查技术与工程专业获学士学位, 现为桂林理工大学地球科学学院在读硕士研究生, 主要从事地球物理快速正反演算法研究工作, E-mail: lijinghe7513@163.com。