

李淑玲,孟小红,付立新等.综合地球物理方法在华南桂中海相残留盆地沉积相预测中的应用.地球物理学报,2009,52(10):2619~2626,DOI:10.3969/j.issn.0001-5733.2009.10.022

Li S L, Meng X H, Fu L X, et al. Application of integrative geophysical methods to predicting sedimentary facies of marine residual basins in middle Guangxi province, China. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2009, 52(10):2619~2626, DOI:10.3969/j.issn.0001-5733.2009.10.022

综合地球物理方法在华南桂中海相残留 盆地沉积相预测中的应用

李淑玲^{1,2},孟小红^{1,2},付立新³,姚长利^{1,2},郭良辉^{1,2},陈召曦^{1,2},石磊^{1,2}

1 地下信息探测技术与仪器教育部重点实验室(中国地质大学,北京),北京 100083

2 中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院,北京 100083

3 中国石油大港油田公司,天津 300280

摘 要 沉积相研究是盆地隐蔽油气藏勘探中重要的研究内容之一,综合利用地球物理方法有效识别构造、岩性或沉积相差异是盆地隐蔽油气藏勘探的前提.本文基于重力、航磁、地震等综合地球物理资料,通过重磁异常正演剥离和剖面正反演拟合技术研究了华南桂中地区海相地层的密度分布特征,预测了岩相、沉积相的变化规律.研究发现,本区中、下泥盆统海相地层存在横向的岩性、岩相变化,研究区西北、东南部的台地相区重力异常高、岩石拟合密度值高;中部“X”型台地边缘相区重力异常杂乱、岩石拟合密度变化范围大;东部台沟相区重力异常低、岩石拟合密度值低.利用综合地球物理方法预测沉积相为盆地岩性圈闭油气藏和生物礁油气藏勘探提供了新的研究思路,研究成果已得到初步检验,但还有待进一步完善与实践.

关键词 残留盆地,沉积相,地球物理方法,位场异常分离,正反演拟合技术,岩性圈闭,生物礁

DOI:10.3969/j.issn.0001-5733.2009.10.022

中图分类号 P631

收稿日期 2009-06-23,2009-07-28 收修定稿

Application of integrative geophysical methods to predicting sedimentary facies of marine residual basins in middle Guangxi province, China

LI Shu-Ling^{1,2}, MENG Xiao-Hong^{1,2}, FU Li-Xin³, YAO Chang-Li^{1,2},
GUO Liang-Hui^{1,2}, CHEN Zhao-Xi^{1,2}, SHI Lei^{1,2}

1 Key Laboratory of Geo-detection (China University of Geosciences, Beijing), Ministry of Education, Beijing 100083, China

2 School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

3 Dagang Oil Field Company, CNPC, Tianjin 300280, China

Abstract The sedimentary facies study is one of the key procedures in exploration of subtle reservoirs in basins, of which a prerequisite is effective identification of its structural, lithologic or lithofacies differences through integrated usage of geophysical methods. Based on geophysical data, including gravity, aeromagnetic and seismic data, this paper describes the density distribution characteristics of marine strata in middle Guangxi province, south China, and predicts the regularities of lithofacies and sedimentary facies changes in terms of potential field forward stripping and profile forward/inverse fitting. It is revealed that transversal lithologic and

基金项目 国家 863 计划课题(2006AA06Z111, 2006AA06A201-3, 20060109A1002-0201-03)资助.

作者简介 李淑玲,女,1971 年生,博士,讲师,中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院,主要从事地球物理重磁方法、地球物理综合处理解释方面的教学与研究工作. E-mail: lisl@cugb.edu.cn

lithofacies changes exist in the marine strata of mid- and lower-Devonian series of the area. The platform zones in northwest and southeast of the area have high gravity anomalies and high fitting rock density. The "X"-shaped platform-marginal facies zone in the middle is characterized by irregular gravity anomalies and a large variation range of fitted rock density. And the platform-trough facies zone in the east exhibits low gravity anomalies as well as low fitted rock density. Predicting sedimentary facies through integrative geophysical methods offers a new approach for exploration of lithologic trap reservoirs and bioherm reservoirs in basins. This method has been preliminarily proved, and needs further improvements and applications.

Keywords Residual basin, Sedimentary facies, Geophysical methods, Potential field anomaly forward stripping, Forward/Inverse fitting technique, Lithologic trap, Bioherm

1 引言

我国南方前新生代海相残留盆地有着良好的油气勘探前景,具有隐蔽油气藏形成的良好地质条件.中国的地质演化史造就了众多的新生代盆地与前新生代残留盆地相叠合的复合型盆地,它们在古-中生代块体聚敛、拼合的过程中,广泛存在着古大陆边缘,在广阔海域环境中发育了海相碳酸盐岩沉积,具有极其良好的生油环境.但许多中-古生代沉积盆地在经历中生代强烈挤压和改造后可能部分残留成为残留盆地^[1],它们大多失去原有盆地的几何形态,构造特征和岩性分布也发生了翻天覆地的变化,形成了丰富多彩的油气藏类型.

随着隐蔽油气藏勘探技术的发展,深度大、年代老、遭破坏多、勘探难度大的前新生代残留盆地油气藏勘探日益得到重视.但残留盆地研究与油气评价是一项系统工程,需要进行地质、地球物理、地球化学等多学科高层次的综合研究.地球物理作为认识地下地质结构、资源勘探的一种先导方法与重要手段,需要地震、重力、磁力和电法等多种资料的综合研究来揭示残留盆地复杂的内部结构^[2~4].近年来,综合地球物理研究在分析残留盆地结构方面取得了很大的进展^[5,6],大多采用位场与地震方法相结合,利用浅部地震资料约束下的位场异常分离与正反演技术研究残留盆地的展布、反演基底及计算残留地层厚度等,但涉及盆地相分析的综合地球物理研究较少.

沉积相研究是盆地隐蔽油气藏勘探中重要的研究内容之一,沉积相和沉积微相的划分通常是油藏描述的重要内容^[7],但对于勘探程度较低、尚处于油气选区阶段的盆地研究,综合利用地球物理方法有效识别构造、岩性或沉积相差异是盆地隐蔽油气藏

勘探的前提.沉积相作为反映沉积环境的综合物质表现,可以理解为一个“沉积环境”中所有原生沉积特征的总和,包括岩石、古生物和岩石地球化学等特征,它是判别古环境的标志^[8].盆地隐蔽油气藏,尤其是受储集体岩性、岩相、物性的纵横向变化或由于纵向沉积连续性中断而形成的岩性圈闭油气藏^[9,10]、生物礁油气藏^[11]均与沉积环境有着密切的联系.特定沉积环境下的岩相、生物相在满足物性纵横向变化形成的封堵圈闭和生物礁体堆积条件下利于形成古油藏.综合利用地球物理方法开展盆地沉积相研究对盆地隐蔽油气藏,尤其是非构造圈闭油气藏勘探具有重要的现实意义.

本文中研究区地震勘探程度较低,二维地震测网密度低且覆盖范围有限,为了宏观把握海相地层的沉积相变规律,采用地震资料与位场资料相结合的研究思路,充分发挥地震资料垂向分辨率高和位场资料横向分辨率高的优势,基于地震资料约束下的位场异常分离特征和剖面密度拟合结果分析海相地层沉积相的横向变化.本文针对研究区重力场特征与构造起伏不协调情况,从岩石物性分析入手,利用浅层地震资料约束下的位场正演剥离与位场正反演拟合技术,提取盆地沉积盖层剩余重力场,反演古生代海相地层的空间密度分布特征,结合地质、沉积古地理等资料推测海相地层沉积相带的分布规律,从而为岩性圈闭和生物礁油气藏靶区的选取提供地球物理信息.

2 区域地质特征

研究区地处我国南方扬子板块的西南缘,属海西期晚古生代海相残留盆地,其北部与江南古陆毗邻,东部以龙胜—永福断裂及大瑶山隆起为界,西部以南丹—都安断裂为界.该区在古生代经历了复杂

的海陆变迁,在漫长地质历史时期的构造古地理转变过程中,形成了特殊的早古生代与晚古生代优质烃源岩的空间叠合区域,区内发育多个大型宽缓背斜,断裂不发育,岩浆活动较弱,有利于油气的运移和储集,在古生界海相地层中具有油气勘探潜力,是中国海相领域油气勘探的有利区块之一^[12,13]。

盆地基底为下古生界一元古界的浅变质岩系,出露于拗陷的边缘地带。沉积盖层主要由泥盆系-中三叠统海相沉积地层组成,以巨厚的碳酸盐岩沉积为主,并夹有泥页岩互层,在垂向上具有良好的生储盖条件。

盆地在演化过程中经历了两次海侵与海退过程,其中泥盆系因深埋于地腹,且具有完整的大型沉积旋回。早泥盆世至中泥盆世早期以陆缘碎屑沉积和碳酸盐岩沉积相伴为特点,中泥盆世中晚期至晚泥盆世为碳酸盐岩沉积,在沉积过程中经历了沉积相分异阶段,具有沟、槽相间的横向沉积相变特征^[14,15],其中台沟相利于烃源岩发育,台地边缘相利于生物礁发育,从而为岩性圈闭油气藏和生物礁油气藏的形成与赋存提供有利条件。

扬子地区古生界的古油藏和残留油气藏分布有一定规律,主要分布在台地边缘或台地边缘发育的生物礁和生物滩相区。台地边缘相处于台地相和盆地相的过渡区,属于浅水至深水的沉积环境,构造运动弱,沉积作用活跃,海进、海退频繁交替,有利古油藏生成,古生界各演化阶段的台地边缘相是寻找古生界油气藏的一个重要方向^[16],本区泥盆系地层是重要的油气勘探目的层。

3 地球物理场特征

3.1 岩石、地层的物性特征

在前人物性调查研究的基础上,结合区内采样岩石的物性测定,归纳总结出本区岩石和地层的物性特征。

区内主要岩石的物性特征:陆相砾岩、砂岩为低密度(2.60 g/cm^3)、无磁或弱磁、低阻高极化率;海相碳酸盐岩为高密度、无磁或弱磁、高阻低极化率,其中灰岩和白云岩密度大,平均密度分别为 2.74 g/cm^3 和 2.77 g/cm^3 ;海相页岩、泥页岩及泥灰岩密度较低,分别为 2.17 g/cm^3 、 2.47 g/cm^3 、 2.68 g/cm^3 ;硅质岩密度较碳酸盐岩低且变化较大($1.66 \sim 2.86 \text{ g/cm}^3$),其密度值与其变质程度有关;生物礁灰岩密度偏低($2.62 \sim 2.68 \text{ g/cm}^3$),无磁性、低阻。

盆地基底和沉积地层的物性特征:变质基底密度高、具一定磁性;沉积地层密度低、无磁性,且陆相地层密度低于海相地层,海相地层又因岩性不同表现出密度的差异性变化,含泥页岩成分较多的地层密度偏低,碳酸盐岩纯度高的地层密度偏高。

不同的沉积相区具有不同的岩石组合类型,研究区边缘位于晚古生代上扬子古陆南缘,为传统的碳酸岩台地,孤立台地广泛分布,水体相对浅,构造相对稳定,岩性较单一;盆地相区,水体较深,以泥岩、硅质岩夹凝灰岩为特征^[14];台地边缘相区沉积物相对复杂,以生物礁灰岩为主的礁滩发育。据不同相区的主要岩石类型分析认为,以碳酸盐岩为主要的传统碳酸盐台地区地层密度值较高($>2.70 \text{ g/cm}^3$),以海相泥岩、硅质岩和泥灰岩为主的盆地(台沟)相区地层密度值低且变化范围较大($1.66 \sim 2.86 \text{ g/cm}^3$),台地边缘相区因发育生物礁,较大的岩石孔隙度和生物骨架结构使地层密度值偏低($2.62 \sim 2.68 \text{ g/cm}^3$),其密度值总体特征介于台地相和盆地(台沟)相之间。

3.2 重力异常特征

从研究区布格重力异常图(如图 1)可以看出,异常等值线整体呈北东向展布,表现出东南高西北低的趋势,异常从西北角的一 78 mGal 上升至东南角的一 32 mGal ,异常变化幅值达 46 mGal 。测区西侧由南到北存在一组弧形重力梯度带,在上述区域背景的基础上,存在着不同延伸方向、不同大小规模的局部重力高、重力低以及等值线的抖动。结合区域地质和地球物理资料分析,认为重力场的变化包含了诸多地质因素的影响,如地下不同深度地质(密度)界面起伏、断裂构造、盖层内局部构造、岩相和岩性的变化等,其中莫霍面起伏是引起本区区域异常的主要地质因素,由浅变质岩系构成的盆地基底及其深部岩石因变质程度不同产生的界面起伏也是引起较大规模重力异常的重要因素。

3.3 密度界面划分

基于本区岩石、地层的物性特征以及引起重力异常的主要地质因素分析,在区内划分了六个主要密度界面,在此仅介绍与沉积盖层剩余重力场提取有关的三个深部密度界面,密度界面的位置、深度及界面上下的岩性与密度差见表 1。利用地震资料和其他地球物理资料提取各界面深度,通过界面正演剥离与滤波方法提取沉积盖层剩余重力场。深部密度界面的划分直接关系到沉积盖层剩余重力场的提取,对重力场分离效果、重力剖面密度反演结果至关重要。

表 1 研究区主要密度界面划分

Table 1 Demarcation of main density interfaces of the area-under-study

界面名称	界面位置	界面平均深度(km)	岩性差异	密度差 g/cm ³
泥盆系底 基底面	D3/AnD 间	8	上为沉积岩类, 下为变质基底	0.02
变质岩界面	结晶基底内	14	上为浅变质岩, 下为深变质岩	0~0.2
莫霍面	壳幔间	36	上为玄武岩类, 下为橄榄岩类	0.2~0.5

本区航磁异常等值线平缓,变化幅度小,主要反映了结晶基底的起伏及基底内磁性不均匀体分布,由于磁测资料精度较低,结晶基底的深度数据取自地震勘探的构造解释成果。

4 地球物理综合研究与解释

基于地质、地球物理场及物性综合分析,确定了综合地球物理研究路线(如图 2)。

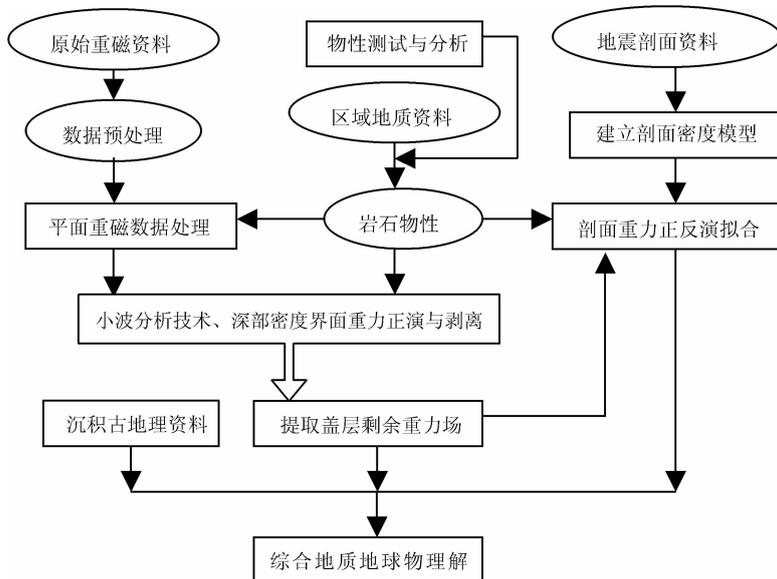


图 2 沉积相预测的综合地球物理研究流程

Fig. 2 Flow chart of integrative geophysical studies for sedimentary facies prediction

研究中采用位场异常小波分解、界面正演与异常剥离、地震约束下的剖面重力正反演拟合等多项关键技术,在消除深部密度界面的重力影响后,提取了沉积盖层剩余重力异常场,模拟了地震剖面范围内地层密度的分布特征,在此基础上结合地质、沉积古地理资料推测海相地层的横向相变。下面简要介绍位场数据处理中的关键技术与应用效果。

4.1 位场小波分析

小波分析方法是近年来应用于位场数据处理的新方法,其多尺度分析特性可对重磁场进行多尺度异常分离^[17~20]。莫霍面(即地壳厚度)是形成本区重力区域场的主要地质因素,地震测深结果显示本区莫霍面总体上为一自北西 40 km 向南东抬升至 32 km 的倾斜面,8 km 的抬升幅度可引起高达 42 mGal 的重力异常。本文利用小波分析方法对布格重力异常场进行了小波分解,通过 6 阶小波近似异常的功率谱计算场源深度与本区莫霍面深度相当,同时又将提取的小波近似异常与研究区莫霍面模型(数据来

源于“中国莫霍面等深度图”)正演的重力异常进行对比,表明 6 阶小波近似异常基本反映了莫霍面重力异常。

4.2 界面正演与异常剥离

正演剥离方法是一种常用的地球物理联合反演方法。在位场数据处理中,通常采用重震资料相联合,由地震资料获取地下不同深度地质界面的埋深与起伏构造特征,然后根据研究需要,选取要剥离的界面进行异常正演并从异常总场中加以剥离。既可以正演剥离浅部或深部界面异常场得到相应的深部区域场或浅部剩余场,也可通过多个深、浅界面正演场的剥离分离出中部目标层的剩余场。

布格重力异常总场在消除莫霍面的重力(6 阶小波近似异常)影响后,仍包含莫霍面以上所有密度界面起伏、断裂构造及岩相、岩性差异引起的异常,其中盆地结晶基底面和基底内康氏面(变质岩内部界面)起伏是影响重力异常的两个重要因素。为提取沉积盖层剩余重力场,通过地震资料提取界面的埋

深及起伏特征,而后利用界面异常正演与剥离提取出盆地沉积盖层剩余重力场,为后续的盆地盖层密度反演提供较为精细的目标场。

沉积盖层剩余重力异常场(如图 3)显示,异常总体特征与沉积盖层内较大规模的构造格局有对应关系,如西北部的弧形隆褶带、南部的背斜构造均表现为重力高、东部向斜构造带表现为重力低。但研究区中部(地震剖面交叉范围)的低重力异常特征与宽缓背斜构造不协调。基于区域地质资料及后续的密度拟合分析,推测背斜构造上的重力低异常由泥盆纪台地边缘相沉积的低密度岩层所引起。

4.3 地震资料约束下的剖面重力正反演拟合

人机交互重磁正反演拟合是当前实用性很强的位场定量反演方法,通过可视化实时人机交互正反演可以完成地质模型的平剖面联合建模与正反演拟合计算。该方法利用二度半组合体正演公式进行正演,在正演人机联作修改模型基础上,采用最优化方法进行物性反演,正反演过程中模型与物性参数的改变可实时观察到异常的变化及拟合效果,反演效

果和效率较高^[21]。另外,值得说明的是,地质模型的合理性、精确度、约束信息的多少都直接影响着正反演拟合结果,模型约束信息越丰富、准确,计算结果越接近于实际地质情况。

考虑到地震剖面对沉积地层界面的精细刻划,以地震构造解释成果(如图 4)为基础建立初始的剖面模型,模型中地层界面的深度、起伏特征严格受控于地震信息,交互反演过程中保持构造特征(指界面深度与起伏)不变调整地层密度,通过地层的横向分块切割赋值实现重力异常的拟合计算,密度的设置与调整综合参考了研究区物性资料与岩样测试结果。图 4 显示 AA' 剖面中部为一大型宽缓背斜构造,但其对应的沉积盖层剩余重力异常为局部重力低,重力场与构造不协调现象明显(如图 5),推测古生界海相地层存在横向相变,地层密度存在横向差异。

据地质、沉积古地理和物性资料,认为石炭系(C)、上泥盆统(D₁)和下古生界(AnD)岩性主要为海相沉积碳酸盐岩,岩性稳定,整体厚度大且密度较高;而中、下泥盆统地层可能存在沉积相差异,岩性

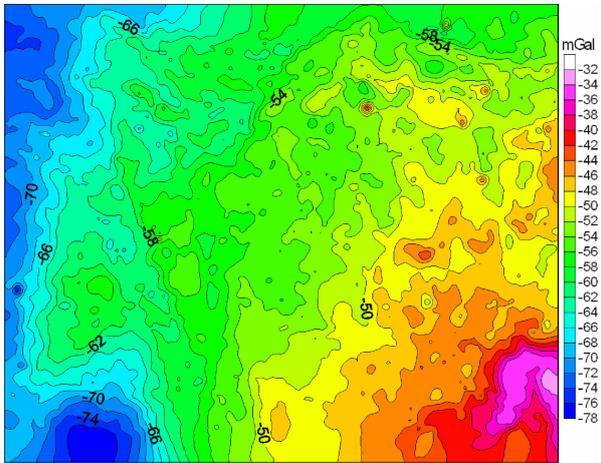


图 1 研究区布格重力异常图(单位:mGal)
Fig. 1 Bouguer gravity anomaly map of the area-under-study(unit: mGal)

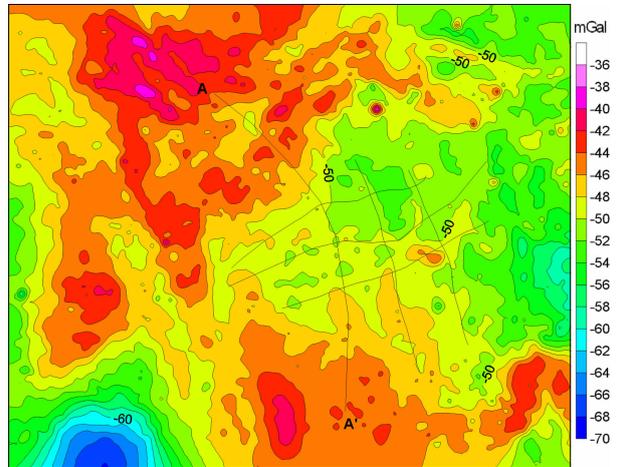


图 3 沉积盖层剩余重力异常(单位:mGal)
Fig. 3 Residual gravity anomaly map of the sedimentary cap(unit: mGal)

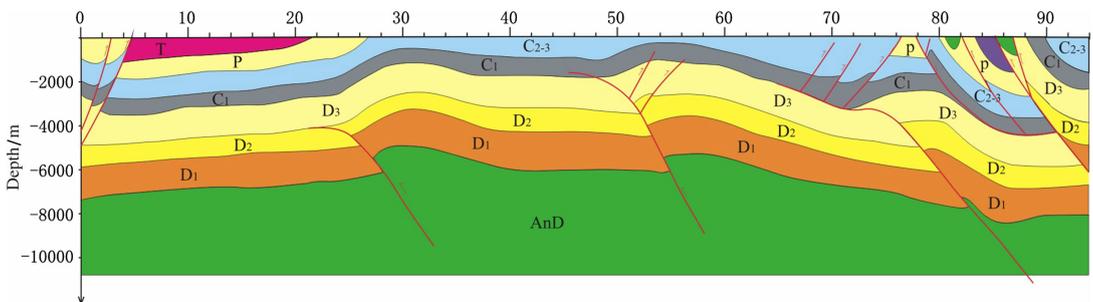


图 4 AA' 地震剖面构造解释图
Fig. 4 AA' section of seismotectonic map

和密度变化较大. 拟合计算中, 综合参考区域物性资料和标本实测数据, 石炭系 (C) 地层密度赋值范围为 2.68~2.70 g/cm³, 上泥盆统 (D₁) 和下古生界 (AnD) 地层密度分别赋值 2.74 g/cm³、2.70 g/cm³, 中下泥盆统地层密度赋值范围为 2.58~2.85 g/cm³.

在 AA' 剖面中以不同颜色的色块来表示地层的密度值高低 (如图 5), 其中蓝色表示相对低密度值 (2.58~2.67 g/cm³), 黄色表示相对高密度值

(2.71~2.85 g/cm³), 绿色表示密度值居中 (2.68~2.70 g/cm³). 图中显示中、下泥盆统 (D₁₋₂) 地层的密度变化表现为南北高、中间低的特点, 在宽缓背斜构造处 D₁₋₂ 地层密度较低, 与泥灰岩、生物礁灰岩密度接近, 在背斜南北两侧 D₂ 地层的拟合密度值较高, 与碳酸盐岩密度值相当. 拟合结果显示中、下泥盆统 (D₁₋₂) 地层的横向密度差异是造成重力异常与构造不协调的主要因素, 背斜构造处的低

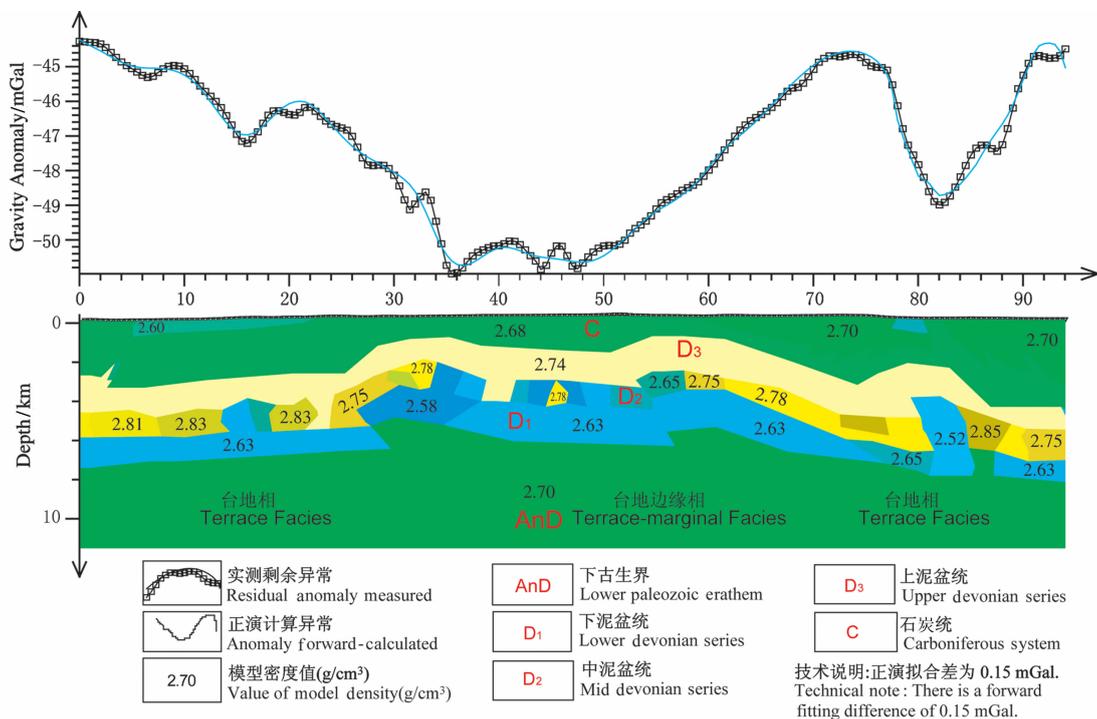


图 5 AA' 南北向地震剖面线上重力正反演拟合结果

Fig. 5 Fitting result of gravity forward/inverse calculation in seismic profile AA' north-southward

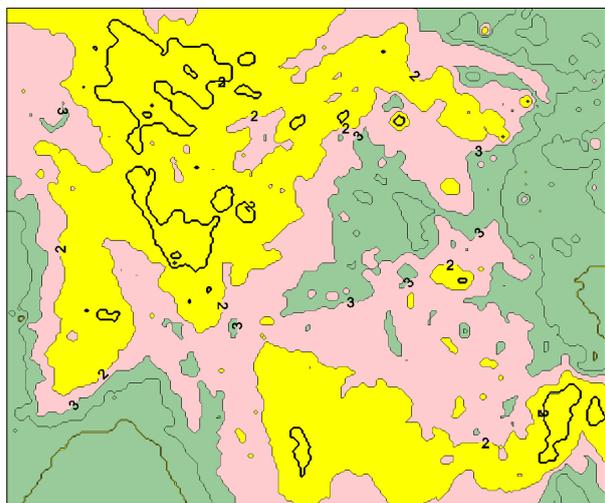


图 6 沉积盖层剩余重力异常聚类图

Fig. 6 Residual gravity anomaly cluster map of the sedimentary cap

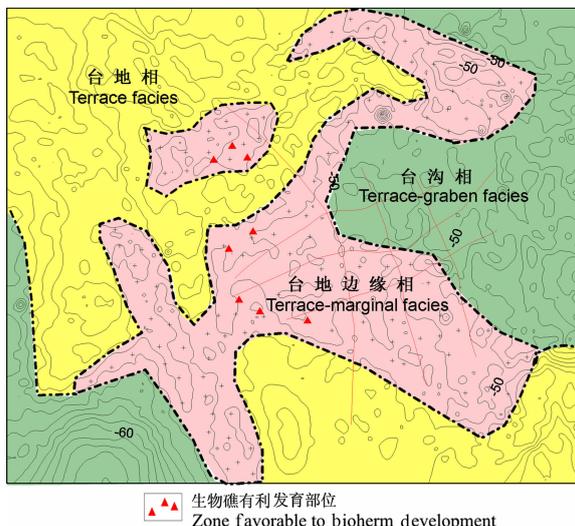


图 7 沉积相带预测图

Fig. 7 The prediction map of sedimentary facies area

密度岩层导致了重力低异常,推测 AA'剖面范围内由北至南为台地相—台地边缘相—台地相。

本文利用区内 6 条地震剖面进行了密度拟合计算,其中 AA'剖面东侧两条南北向剖面的密度拟合结果显示,中、下泥盆统(D₁₋₂)地层由北至南密度值由低变高,表现为台沟相—台地边缘相的岩石密度特征;东西向展布的三条剖面密度拟合结果显示,中、下泥盆统地层(D₁₋₂)密度值西高东低,表现为台地边缘相—台沟(盆地)相的岩石密度特征。推测在 6 条剖面覆盖范围内存在台地相、台地边缘相和台沟(盆地)相三种沉积相。

4.4 综合地质、地球物理解释

沉积相带的平面展布不仅表现为区内各剖面线上密度的横向变化,而且与沉积盖层剩余重力场特征密切相关,背斜构造处的低重力异常特征恰恰反映了低密度地层的存在。为了从重力场特征中提取相带展布信息,利用统计学方法对沉积盖层剩余重力场进行聚类分析(如图 6),聚类特征宏观地显示三类异常分区,其西北部和南部黄色区域为高值异常区,东部与西南部绿色区域为低值异常区,中部粉色区域介于二者之间。

在地质理论指导下,结合地质、地球物理、沉积古地理等资料^[22,23],针对宽缓背斜构造上的低重力异常特征,基于多条地震剖面揭示的构造特征、地震资料约束下的拟合密度分布、沉积盖层剩余重力场及聚类特征,通过综合分析认为中、下泥盆统地层(D₁₋₂)存在着横向的密度和沉积相差异(如图 7)。图中显示,研究区西北和东南部为台地相区,其范围与沉积盖层剩余重力场的重力异常高值区相对应,与南北向 AA'密度拟合剖面的北段与南段高密度值区相对应;中部“X”形态展布的台地边缘相区,与地震剖面交汇处小异常散乱分布的低值异常区相对应,与 AA'拟合剖面的中段及东西向三条拟合剖面的西段相对应,此间密度值高、低相间分布;东部的台沟(盆地)相区,与盖层剩余重力场的重力异常低值区相对应,与东西向密度拟合剖面的东段和 AA'东侧两条南北向剖面的北段低密度值相对应。

本着宏观把握本区沉积相变规律并指导找礁的思路,基于前人对华南地区泥盆纪生物礁发育、分布规律的认识,认为生物礁最有利的发育和分布范围在台地相与台沟相过渡的台地边缘相中。

5 结 论

(1)本文充分利用地震资料垂向分辨率高和重

磁资料横向分辨率高的特点,以地震资料为约束,利用位场异常正演与剥离技术精细提取出沉积盖层剩余重力场,而后利用人机交互正反演拟合技术反演地震剖面线上海相地层的密度分布。结合沉积盖层平面重力场特征与重力剖面上密度的横向分布规律预测沉积相带,划分出台地相、台地边缘相与台沟相,指出生物礁的有利分布区,为岩性圈闭和生物礁体油气藏靶区的选取提供地球物理信息。

(2)利用地球物理方法预测沉积相尚处于探索阶段,研究成果还有待进一步完善,如选用高精度重磁数据,联合电法、测井、钻井等资料来增加反演约束条件,有效降低地球物理在解决地学问题中的多解性。

(3)本文取得的初步研究成果为盆地相分析及隐蔽油气藏勘探提供新的研究思路,同时为拓宽重磁方法的应用领域作出有益的探索,但沉积相分析是一项复杂的系统工程,应重视地质理论的指导,加强物化探等多方法、新技术的联合应用,联合多种地学信息提高地质解译能力。

参考文献(References)

- [1] 刘光鼎. 以地球物理为先导,开展残留盆地的油气勘探. 同济大学学报(自然科学版), 2005, **33**(9): 1154~1159
Liu G D. Oil and gas exploration for residual basins by Taking geophysics as guide. *Journal of Tongji University (Natural Science)* (in Chinese), 2005, **33**(9): 1154~1159
- [2] 刘光鼎,肖一鸣. 油气沉积盆地的综合地球物理研究. 石油地球物理勘探, 1985, **20**(5): 445~454
Liu G D, Xiao Y M. Integrated geophysical studies on petroliferous sedimentary basins. *Oil Geophysical Prospecting* (in Chinese), 1985, **20**(5): 445~454
- [3] 刘光鼎,宋海斌,张福勤. 中国近海前新生代残留盆地初探. 地球物理学进展, 1999, **14**(3): 1~8
Liu G D, Song H B, Zhang F Q. A preliminary study of Chinese offshore pre-cenozoic residual basins. *Progress of Geophysics* (in Chinese), 1999, **14**(3): 1~8
- [4] 刘光鼎,陈洁. 中国前新生代残留盆地油气勘探难点分析及对策. 地球物理学进展, 2005, **20**(2): 273~275
Liu G D, Chen J. Analysis of difficulties in gas-petroleum prospecting in Chinese Pre-cenozoic relic basin and the corresponding solutions. *Progress of Geophysics* (in Chinese), 2005, **20**(2): 273~275
- [5] 刘丽峰,郝天珧,江为等为. 大港探区综合地质地球物理研究. 地球物理学进展, 2003, **18**(2): 317~322
Liu L F, Hao T Y, Jiang W W, et al. Comprehensive geophysics research in Dagang prospecting area. *Progress of Geophysics* (in Chinese), 2003, **18**(2): 317~322
- [6] 徐亚,郝天珧,戴明刚等. 渤海残留盆地分布综合地球物理

- 研究. 地球物理学报, 2007, **50**(3): 868~881
- Xu Y, Hao T Y, Dai M G, et al. Integrated geophysics research on distribution of residual basins of Bohai Sea. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2007, **50**(3): 868~881
- [7] 胡俊, 颜英, 陈明江. 模式识别在测井资料划分沉积相中的应用研究. 四川地质学报, 2007, **27**(1): 71~74
- Hu J, Yan Y, Chen M J. The application of pattern recognition to the division of sedimentary facies by logging data. *Journal of Sichuan Geological Institute* (in Chinese), 2007, **27**(1): 71~74
- [8] 陈建强, 周洪瑞, 王训练. 沉积学及古地理学教程. 北京: 地质出版社, 2004
- Chen J Q, Zhou H R, Wang X L. *Sedimentology and Paleogeography* (in Chinese). Beijing: Geological Publishing House, 2004
- [9] 靳军, 刘楼军, 邵雨等. 综合地球物理方法识别准噶尔盆地的岩性圈闭. 石油地球物理勘探, 2002, **37**(3): 287~290
- Jin J, Liu L J, Shao Y, et al. Discussion on identifying method for Identification of lithologic traps in Junggar Basin by comprehensive geophysical method. *OGP* (in Chinese), 2002, **37**(3): 287~290
- [10] 杨占龙, 陈启林. 岩性圈闭与陆相盆地岩性油气藏勘探. 天然气地球科学, 2006, **17**(5): 616~621
- Yang Z L, Chen Q L. Lithologic traps and lithologic reservoirs exploration in continental basins. *Natural Gas Geoscience* (in Chinese), 2006, **17**(5): 616~621
- [11] 蒋晓光, 彭大钧, 陈季高等. 滨里海盆地东缘生物礁预测研究. 成都理工大学学报(自然科学版), 2005, **32**(5): 492~497
- Jiang X G, Peng D J, Chen J G, et al. Prediction of organic reefs on the east edge in the Near Caspian Sea basin. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)* (in Chinese), 2005, **32**(5): 492~497
- [12] 蔡勋育, 黄仁春. 桂中坳陷构造演化与油气成藏. 南方油气, 2003, **16**(3): 6~9
- Cai X Y, Huang R C. Structural evolution and hydrocarbon reservoir formation of Guizhong depression. *Southern China Oil & Gas* (in Chinese), 2003, **16**(3): 6~9
- [13] 梅冥相, 马永生, 邓军等. 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. 地学前缘, 2005, **12**(3): 227~236
- Mei M X, Ma Y S, Deng J, et al. 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. *Earth Science Frontiers* (in Chinese), 2005, **12**(3): 227~236
- [14] 徐胜林, 尚云志, 陈安清. 黔南—桂中地区泥盆系沉积体系研究. 四川地质学报, 2007, **27**(1): 7~13
- Xu S L, Shang Y Z, Chen A Q. Study of Depositional System of the Devonian System in South Guizhou-Central Guangxi. *Journal of Sichuan Geological Institute* (in Chinese), 2007, **27**(1): 7~13
- [15] 梅冥相, 李仲远. 滇黔桂地区晚古生代至三叠纪层序地层序列及沉积盆地演化. 现代地质, 2004, **18**(4): 555~563
- Mei M X, Li Z Y. Sequence-stratigraphic succession and sedimentary-basin evolution from late Palaeozoic to Triassic in the Yunnan-Guizhou-Guangxi region. *Geoscience* (in Chinese), 2004, **18**(4): 555~563
- [16] 戴宗林. 南方海相油气地质特征及勘探方向的选择. 海相油气地质, 1997, **2**(4): 20~29
- Dai Z L. The choice of geological characteristics and exploration direction in the southern marine oil and gas reservoirs. *Marine Oil and Gas Geology* (in Chinese), 1997, **2**(4): 20~29
- [17] 刘天佑. 位场勘探数据处理新方法. 北京: 科学出版社, 2007
- Liu T Y. *New Data Processing Methods For Potential Field Exploration* (in Chinese). Beijing: Science Press, 2007
- [18] 侯遵泽, 杨文采. 中国重力异常的小波变换与多尺度分析. 地球物理学报, 1997, **40**(1): 85~95
- Hou Z Z, Yang W C. Wavelet transform and multi-scale analysis on gravity anomalies of China. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 1997, **40**(1): 85~95
- [19] 江为为, 宋海斌, 郝天璠等. 东海陆架盆地及其周边海域地质、地球物理场特征. 地球物理学进展, 2001, **16**(2): 18~27
- Jiang W W, Song H B, Hao T Y, et al. The characters of geology and geophysics of shelf basins of east china sea and adjacent sea area. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 2001, **16**(2): 18~27
- [20] 刘天佑, 吴招才, 詹应林等. 磁异常小波多尺度分解及危机矿山的深部找矿: 以大冶铁矿为例. 地球科学—中国地质大学学报, 2007, **32**(1): 135~140
- Liu T Y, Wu Z C, Zhan Y L, et al. Wavelet multi-scale decomposition of magnetic anomaly and its application in searching for deep-buried minerals in crisis mines: A case study from daye iron mine. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences* (in Chinese), 2007, **32**(1): 135~140
- [21] 管志宁. 地磁场与磁力勘探. 北京: 地质出版社, 2005
- Guan Z N. *Geomagnetic Field And Magnetic Exploration* (in Chinese). Beijing: Geological Publishing House, 2005
- [22] 曾允孚, 张锦泉, 刘文均等. 中国南方泥盆纪岩相古地理与成矿作用. 北京: 地质出版社, 1994. 1~120
- Zeng Y F, Zhang J Q, Liu W J, et al. Devonian Lithofacies Paleogeography and Mineralization in South China. Beijing: Geological Publishing House, 1994. 1~120
- [23] 冯增昭, 彭勇民, 金振奎等. 中国南方寒武纪和奥陶纪岩相古地理. 北京: 地质出版社, 2001. 1~221
- Feng Z Z, Peng Y M, Jin Z K, et al. Lithofacies Paleogeography of The Cambrian and Ordovician in South China. Beijing: Geological Publishing House, 2001. 1~221