杨 强,孟祥君,孙中宇,等.辽东湾坳陷古近系残留厚度及基底特征[J].海洋地质前沿,2019,35(11):14-18.

辽东湾坳陷古近系残留厚度及基底特征

杨强¹, 孟祥君^{2*}, 孙中宇¹, 陈晓红¹, 刘 展¹

(1 中国石油大学地球科学与技术学院,青岛 266580;2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所,青岛 266071)

摘 要:以最新的高精度重磁资料为基础,辅以收集的前人地震解释剖面,采用多密度界面同时反演方法,得到了辽东湾坳陷处古近系顶底界面的埋深,在此基础上编制了古近系残留厚度图,并结合收集到的地震解释结果拉取一条剖面,利用重磁联合解释方法对区内基底的构造形态和古近系地层展布特征进行了分析。结果表明:古近系地层在本区内部分缺失,缺失地点主要位于F1断裂西侧的近陆域部分和辽东凸起的构造高点处,其他区域地层厚度分布与构造形态保持一致,即在凹陷处厚而在凸起处薄,整体分布自西向东为"厚—薄—厚— 薄—厚"的特点,自SW向NE整体厚度变化不大,辽中凹陷为本区的沉降中心。 关键词:辽东湾凹陷;古近系;残留厚度;密度界面反演

中图分类号:TE121.3 文献标识码:A DOI:10.16028/j.1009-2722.2019.11003

0 引言

辽东湾坳陷位于渤海湾盆地东北部,是渤海 湾盆地的重要构造单元,是渤海湾盆地的重要储 油地区,一直备受关注。许多学者对其新生代构 造演化过程进行了研究,认为郑庐断裂带在新生 代活动剧烈,其中古近系以伸展活动为主,新近系 东营期主要为右旋走滑活动^[1],由于受郑庐断裂 带的早期伸展和晚期走滑影响,使得辽东湾坳陷 的构造形态十分复杂。近年来发现的储油层都集 中于坳陷内古近系的沙河街组与东营组地层^[2], 因而,研究古近系在本区的残留厚度展布对以后 区内油气分布研究与油气开发具有一定的意义。 同时,辽东湾坳陷新生代断裂构造变形主要受控 于基底先存构造,基底的埋深特征可以反映出的

收稿日期:2019-03-25

整个区域的构造形态。本文以最新的高精度重力 资料,结合收集到的前人资料,利用重力多界面反 演方法,计算得到了前新生界基底(中生界顶界 面)埋深和新生界古近系于研究区内的残留厚度 分布,并对其分布特征进行了分析,为对辽东湾坳 陷新生代构造活动的进一步认识提供依据,同时 为进一步的油气勘探提供指导。

本文采用的资料如下(图1):海域部分使用 全长2500km的船测高精度重磁资料,共37条 测线,其中分为24条垂直于构造走向的NW向 主测线和13条沿构造走向的NE向联络测线,且 另外收集了5条前人的地震剖面资料(红色测 线),陆域部分使用高精度重力资料而海岸线附近 的浅海区则使用卫星重磁数据进行补充。

1 区域地质与地球物理特征

1.1 构造及地层特征

辽东湾坳陷位于渤海湾盆地东北部,北连辽 河断陷,南接渤中坳陷,总面积约26000 km²,整 体沿郯庐断裂带呈 NE 和 NNE 走向。由于辽西

基金项目:中国地质调查局海洋地质调查专项(GZH201400205) 作者简介:杨 强(1994—),男,在读硕士,主要从事海洋重磁数 据处理、解释工作.E-mail:13390705076@163.com

^{*}通讯作者:孟祥君(1975一),男,硕士,教授级高级工程师,主要 从事海洋地球物理调查与研究工作.E-mail:sdqumxj@126.com

南凸起未延伸至研究区内,因此,研究区内海域自 西向东可划分为辽西凹陷、辽西凸起、辽中凹陷、 辽东凸起、辽东凹陷 5 个次级构造单元,呈现出 "三堑夹二垒"的格局^[3]。其中,辽西凹陷和辽中 凹陷为"东断西超"的箕状半地堑,而辽东凹陷为 一个"西断东超"的箕状半地堑,3 个凹陷构造单 元中,辽中凹陷范围最大,埋深最深,而辽东凹陷 原本也是辽中凹陷的一部分,后经过走滑作用改造,形成辽东凸起,将辽东凹陷从辽中凹陷中分割出来^[4-6]。辽西凸起为"西断东超"结构,西侧发育伸展性质的边界断裂。凸起分为南北两段,凸起连续性好,隆升强度南强北弱,整体构造较为平缓。辽东凸起为一受走滑断裂控制的"东西双断式"凸起^[7]。







辽东湾坳陷基底构造经历了太古宙一古元古 代的结晶基底形成阶段、中一新元古代裂谷盆地 发育阶段、早古生代稳定克拉通盆地发育阶段、晚 古生代一中生代中三叠世不稳定克拉通盆地发育 阶段、中生代晚三叠世一中侏罗世内陆盆地发育 阶段和最终的晚侏罗世一白垩纪的裂陷盆地发育 阶段 6 个构造发育时期^[1],在此基础上奠定了辽 东湾坳陷的构造格局。

辽东湾坳陷内古近系地层发育广泛,整个区 域内发育有东营组、沙河街组与孔店组等古近系 地层。辽西凹陷内北段古近系地层相比南段较 薄,凹陷内缺失沙河街组四段与孔店组地层。辽 西凸起内地层剥蚀较为严重,沙河街组地层厚度 较薄,东营组地层保存完好;辽中凹陷新生代沉积 地层相对较厚,孔店组、沙河街组、东营组地层发 育齐全;辽东凸起北段之上覆盖有较薄的古近系 沙河街组、东营组地层,地层剥蚀最为严重,缺失 地层最多;辽东凹陷内沉积地层南厚北薄,古近系 地层缺失孔店组和沙河街组三、四段,沙河街组一 二段地层直接覆盖于中生界基底之上^[8]。

1.2 地球物理特征

岩石密度的差异导致研究区内产生了以下 3 个密度差异较大的密度界面(表 1): 馆陶组与东 营组(本区内即新近系与古近系)之间密度差为 0.1g/cm³, 对应的地震反射界面为 T₂反射面; 沙河街组与孔店组之间密度差为 0.19g/cm³, 对 应的地震反射界面为 T₇反射面; 古近系与古生 界间的密度差为 0.16g/cm³, 对应于 T₈反射面。

2 研究方法

本文通过收集到的地震剖面解释结果和部分 地层深度资料建立了密度界面的初始模型,利用 基于 Parker 算法的多密度界面反演方法,同时反 演新近系底界面、沙河街组底界面和古近系底界 面等多个密度界面的埋深,根据反演结果编制了 古近系底界面埋深图和古近系残留厚度分布图。

2.1 反演原理

Parker法利用傅里叶变换的方法将空间域

Table 1 The wave impedance and density interface of Liaodong Bay Depression (from reference [9])							
地层			密度/(g/cm³)		密度差	地震反射界面编号	
新生界	新近系	馆隘	同组	2.155		0.1	т
	古近系	东营组		2.255		0.1	12
		沙河 街组	沙一段	2.306	2.376	0.19	т
			沙二段	2.298			
			沙三段	2.376			
		孔店组		2.565		0.16	T ₈
中生界	白垩系	梨树沟组		2.401			
	侏罗系	小岭组		2.48	2.51		
		小东沟组		2.65			

表1 辽东湾坳陷地层密度(据文献[9])

的褶积转换为了频率域的乘积,大大简化了计算, 提高了效率,得到了广泛的应用。然而,传统的 Parker 公式是单界面模型,在此基础上,国内许 多学者对其进行了进一步的推导^[10-11],得出多密 度界面的 Parker 法反演公式如下^[12]:

$$h_{1(i)}(x,y) =$$

$$F^{-1}\left[\frac{\varphi B(\omega)}{2\pi G\rho_{1}\lambda_{1}}e^{\omega z_{1}}F\left[\Delta g(x_{0},y_{0},z_{0})\right] - \sum_{n=2}^{m}\frac{1}{n!}\omega^{n-1}\cdot F\left[h_{1(i-1)}^{n}(x,y)\right]\right];$$

$$h_{2(i)}^{-1}(x,y) =$$

$$F^{-1}\left[\frac{\varphi B(\omega)}{2\pi G\rho_{2}\lambda_{2}}e^{\omega z_{2}}F\left[\Delta g(x_{0},y_{0},z_{0})\right] - \sum_{n=2}^{m}\frac{1}{n!}\omega^{n-1}\cdot F\left[h_{2(i-1)}^{n}(x,y)\right]\right]$$

式中: $h_1(x,y)$ 和 $h_2(x,y)$ 分别为第1层和第2 层的密度界面的深度;

φ 为每层密度界面的权重因子,需要根据各
 个密度界面对实测异常的贡献度进行调整;

B(ω)为一低通滤波器;

 $ρ_1, z_1$ 和 $ρ_2, z_2$ 分别为第 1 层与第 2 层密度 界面的密度和参考深度,参考深度一般取初始模 型的平均深度;

 $\Delta g(x_0, y_0, z_0)$ 为观测面上的实测重力异常。

2.2 反演步骤

密度界面反演首先需要建立地下密度界面的 初始模型并获得相对应的反演场。密度界面的初 始模型包括密度界面的埋深和对应的上下地层密 度差。首先,采用收集的五条地震剖面解释结果 辅以收集到的地层埋深信息^[13-14],获得了初始模型与反演场数据之后,采用"多界面一体化重力界面正反演"软件对多个密度界面进行同时反演,根据反演结果编制了古近系底界面埋深图(图 2)和古近系底界面残留厚度图(图 3),图中橙色区域为辽东湾坳陷内的各次级构造单元分区。又选取了一条测线 AA',提取了对应的二维重力异常,并对其进行重磁异常同步拟合,拟合结果见图 4。



图 2 辽东湾坳陷基底深度构造图 Fig.2 The basement tectonic map of Liaodong Bay Depression









3 结果分析

3.1 基底特征

由图2可以看出:

(1)区内基底起伏变化剧烈,其中东西两侧构 造变化相对平缓,中部的辽中凹陷为全区埋藏深 度最大部分,基底埋深最大可达7km,而在西部 近陆域部分由图4可以看到,古近系和新近系地 层缺失严重因而导致基底埋深较浅,仅在1km 左右,全区基底平均埋深在3~4km范围内。

(2)研究区最西部为辽西凹陷,埋藏深度分布 在1~3.5 km,整体埋深自西向东逐渐增大,除西 北部近陆域部分埋藏较浅外(1 km 左右),其余部 分埋深变化不大,整体较为平缓,埋深范围均在 3 km附近,沿走向方向西北部相对较深。F5 断裂 为辽西凹陷与辽西凸起的分界,与 F6 断裂一起控 制了辽西凸起的构造形态,在辽西凸起中,整体构 造较为平缓,主要分为两个凸起部分,其中一部分 由辽西凸起的西南部向东北部延伸,至区内约 2/3 的位置处结束;另一构造高点位于区内东北部 F5 断裂附近,两处埋深范围均在 2.5 km 附近。在 F6 断裂东侧、F8 断裂西部的辽中凹陷区为全研究区 的最深沉降区,断裂两侧构造变化活动剧烈,在断 裂处辽中凹陷区与邻近的辽西、辽东凸起区基底深 度差可达 1.5~2 km, 而在辽中凹陷内部整体变化 相对平缓,虽然深度变化范围可达 2~2.5 km,但 整体变化梯度较小,凹陷区东北部近陆域部分埋深 最浅,凹陷内部的平均深度可达5 km。自辽中凹 陷区向东,与辽东凸起交界处,埋深迅速减小变化 剧烈,由图4可以看到,在辽东凸起处仅发育有沙 河街组三段的地层,与断裂西侧的辽中凹陷相比缺 失了东营组和沙河街组一段和二段的地层,整体凸 起面积较小并于区内东北部尖灭,凸起内部深度变 化平缓,平均埋深仅为1.5 km。自辽东凸起向东 至辽东凹陷部分埋深逐渐增大,变化过程较为平 缓,辽东凹陷内平均埋深约 2.5 km,沿构造走向基 底呈现南部较深而北部较浅的特点且于北部有一 个局部高点,整体变化幅度不大。

3.2 古近系残留厚度分布特征

由图 3 可以看出:

(1)研究区内古近系地层残留厚度分布差异 较大,整体分布特征为"中部厚东西两侧薄"。古 近系地层在 F1 主断裂附近缺失较为严重,在辽 东凸起处也有部分缺失。总体上凹陷处厚而凸起 处薄,其中辽中凹陷区残留厚度最大。3 处凹陷 区域辽中凹陷平均厚度达到 3.5 km,而辽东凹陷 与辽西凹陷厚度均分布在 2 km 左右,辽西、辽东两 处凸起厚度分布在 1 km 附近。研究区的整体沉降 中心在辽中凹陷处,最大残留厚度可达 5.5 km。

(2)研究区内 F1 断裂西侧古近系地层大量 缺失,断裂右侧辽西凹陷内部地层沿 NE 向发育, 最大厚度可达 2 km,由中部向东西两侧逐渐减 小,于西北部有部分地层缺失。

(3) 辽西凸起部分地层厚度较薄,区内前 2/3 地层展布为 NE向,后 1/3 段转为 NNE向,除区内 东北部外,地层厚度分布均匀,最薄处约0.5 km,区 内东北部地层局部变厚,厚度达 3 km。

(4) 辽中凹陷为本区的沉降中心,与辽东凸起 和辽西凸起分别以 F6、F8 断裂为界,两条断裂两侧 地层厚度变化剧烈,其中 F8 断裂两侧变化梯度最 大。凹陷内部前 2/3 段地层发育沿 NE 向展布,后 1/3 段沿 NNE 向展布,区内沉降部分位于 F8 断裂 附近,厚度最大可达 5.5 km,区内东北部邻近辽东 凹陷处地层变薄,厚度减至1.5 km。

(5) 辽东凸起在构造高点处,古近系地层部分 缺失,从图 4 上可以看出辽东凸起内仅发育有一 层沙河街组三段地层,与研究区西部的辽西凹陷, 辽西凸起和辽中凹陷相比缺失了整个东营组和沙 河街组一、二段地层。

(6) 辽东凹陷地层与辽中凸起相比厚度小幅增加,但整体相比两构造单元厚度变化不大,厚度差为1.5 km。凹陷内部地层厚度分布较均匀,均在2 km 附近,其中南部地层相对较厚。F2 断裂东侧地层变薄,后于近陆域部分又逐渐变厚并于研究区的东南角产生一局部沉降中心,地层厚度达3 km。

4 结论

(1)辽东湾凹陷内部古近系地层分布广泛,仅 在辽东凸起和辽西凹陷的西北部有部分缺失。

(2)研究区内古近系地层沿郯庐断裂带南部 呈 NE 和北部呈 NNE 向展布,自西向东为"厚— 薄—厚—薄—厚"的分布特点,整体来看中部厚而 东西薄,北部厚南部相对较薄。各构造单元内部 地层厚度变化幅度不大,但全区内地层厚度变化 较大,以辽中凹陷与辽东凸起间变化梯度最大,厚 度差可达 3 km。

(3)研究区内的沉降中心位于辽中凹陷,凹陷 内地层发育齐全,且各地层厚度均较厚,凹陷北侧 残留厚度最大,可达6km。

参考文献:

- [1] 贾 楠. 辽东湾坳陷新生代构造特征及其演化与油气赋存 效应[D].西安:西北大学,2015.
- [2] 朱政源. 辽东湾坳陷东北部古近系东营组层序一岩相古地 理特征[D].成都:成都理工大学,2016.
- [3] 周心怀,余一欣,汤良杰,等.渤海海域新生代盆地结构与构 造单元划分[J].中国海上油气,2010,22(5):285-289.
- [4] 陈珊珊,陈晓辉,孟祥君,等.渤海辽东湾海域海底底形特征 及控制因素[J].海洋地质前沿,2016,32(5):31-39.
- [5] 徐长贵,任 健,吴智平,等.辽东湾坳陷东部地区新生代断裂 体系与构造演化[J].高校地质学报,2015,21(2):215-222.
- [6] 赵维娜,张训华,孟祥君,等.辽东湾地区地球物理场与岩石 层特征[J].海洋地质前沿,2016,32(5):8-12,47.
- [7] 张 婧,吴智平,李 伟,等.辽东湾坳陷新生代构造特征及 演化[J].海洋地质前沿,2017,33(11):9-17.
- [8] 徐长贵,任 健,吴智平,等,辽东湾坳陷东部地区新生代断裂 体系与构造演化[J].高校地质学报,2015,21(2):215-222.
- [9] 孟祥君,刘展,张 松,等.辽东湾沿岸岩石物性特征[J].海 洋地质前沿,2016,32(5):1-7.
- [10] 冯 锐. 三维物性分布的位场计算[J]. 地球物理学报, 1986, 29(4): 399-406.
- [11] 柴玉璞,贾继军.Parker 公式的一系列推广及其在石油重 力勘探中的应用前景[J].石油地球物理勘探,1990,25 (3):321-332.
- [12] 李庆春,潘作枢.多层界面快速反演在高精度石油重力勘 探中的应用[J].西安工程学院学报,1997(1):69-75.
- [13] 漆家福,周心怀,王谦身.渤海海域中郯庐深断裂带的结构模型及新生代运动学[J].中国地质,2010,37(5):1231-1242.
- [14] 杨 桥,魏 刚,马宝军,等.郑庐断裂带辽东湾段新生代 右旋走滑变形及其模拟实验[J].石油与天然气地质, 2009,30(4):483-489,496.

PALEOGENE RESIDUAL THICKNESS AND BASEMENT FEATURES OF LIAODONG BAY DEPRESSION

YANG Qiang¹, MENG Xiangjun²*, SUN Zhongyu¹, CHEN Xiaohong¹, LIU Zhan¹ (1 School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

(1 School of Scostenees) enhal enversity of 1 choicean, anguas 200000, enhalt

2 Qingdao Institute of Marine Geology, China Geology Survey, Qingdao 266071, China)

Abstract: In this paper, we calculated the depth of the upper and lower boundaries of the Paleogene for Liao Dong Bay Depression based on the newly acquired gravity data. Residual thickness of the Paleogene and its distribution pattern are analyzed and studied with the results. The research results show that the Paleogene is partly missed on the Liaodong bulge to the west of the fault F1. The data also shows that the residual thickness of the Paleogene is unevenly distributed in different tectonic units, showing a pattern of " thick-thin-thick-thin-thick" trend on plane view, while the Liaozhong Sag remains the sedimentation center of this area.

Key words: Liaodong Bay Depression; Paleogene; residual thickness; density interface inversion