

辽东湾北部地层压力预测及生压机理分析

郭君¹, 高建国¹, 李西¹, 姚剑²

(1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 胜利油田地质科学研究所, 山东 东营 257015)

摘要: 为研究辽东湾北部深部地层压力状况, 选择资料丰富、可靠性较高的4条主测线和3条联络测线, 运用 Filippone (1979, 1982) 的经验公式预测凹陷深部的压力特征, 代表性选择了剩余压力和剩余压力系数作等值线图, 并作双程反射时间在1.5~3.5 s的水平切片图来说明地层压力特征, 得出辽东湾北部大致分为: 辽西凹陷超压区, 辽西低凸起超压区和辽中凹陷超压区。确定辽东湾北部异常高压流体属于半封闭型, 它与 Hunt (1990) 提出的异常高压流体仓具有不同的压力剖面。生压机理推测是欠压实作用、成岩作用、成烃增压、深部热流体进入等。

关键词: 地层压力; 剩余压力; 压力仓; 辽东湾

中图分类号: TE132.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2005)01-0005-05

Prediction of the Formation Pressure in the Northern Part of Liaodong Bay Basin and Analysis on the Pressure Forming Mechanism

GUO Jun¹, GAO Jian-guo¹, LI Xi¹, YAO Jian²

(1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Geological Scientific Research Institute of Shengli Oil Field, Dongying, Shandong 257015, China)

Abstract: To study the formation pressure condition of deep-seated strata of the northern part of Liaodong Bay Basin, a prediction is made on the pressure by using four main seismic lines, three contact seismic lines in the study area and empirical formula of Filippone (1979, 1982). The formation pressure and surplus formation pressure coefficient contour profiles are selected along the lines and formation pressure horizontal slice maps from 1.5 to 3.5 seconds of two-way travel time. The abnormal formation pressure distribution in the northern part of Liaodong Bay Basin can be grossly divided into three areas: Liaozhong Depression, Low Liaozhong Bulge and Liaoxi Depression over-pressured area. The formation pressure structures of the three areas are different from those of abnormally pressured fluid compartments presented by Hunt (1990), and belong to the type of half-sealed pressure compartment. Prediction of pressure forming mechanism in the northern part of Liaodong Bay is subcompaction, diagenesis, hydrocarbon forming and deep thermal fluid.

Key words: formation pressure; surplus pressure; formation pressure compartment; Liaodong Bay Basin

0 引言

地层压力预测特别是异常地层压力预测具有重要的实际意义。在油气勘探过程中, 弄清地层压力的分布规律, 有助于分析油气成藏过程与动力机制。辽东湾北部地区是辽河盆地在渤海湾海域的自然延伸, 是渤海湾地区的重要组成部分。渤海和辽东湾海域下第三系及其储层中存在异常压力已发现多年, 但对该区地层异常压力场作系统研究则不多。初步研究表明, 辽东湾地区异常压力十分显著, 对油气生成和油气藏形成、分布有密切关系。笔者结合前人资料, 运用 Filippone 的经验公式预测辽东湾北部地层压力特征, 并对其生压机理进行了研究。

收稿日期: 2004-03-01.

第一作者简介: 郭君(1979~), 女, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 资源信息系统集成及应用. E-mail: juny_g21992@163.com

1 地质概况

辽东湾地区系指辽东湾半岛老铁山到河北秦皇岛市一线的东北海域,东经 120°54' ~ 122°18',北纬 40°12' ~ 41°00',是一个中、新生代陆相断陷盆地,其“三凸两凹”的构造格局可与陆上部分一一对应,凹陷结构及其演化特点也与陆上部分相似,主要发育有燕南潜山带、太阳岛断裂背斜构造带、盖州滩西地层超覆带、仙鹤断鼻构造带、笔架岭坡构造带、葫东超覆构造带和西斜坡构造带等 8 个二级正向构造带.主干断裂的活动表现为“三性”,即多期性、分段性和性质多样性.

辽东湾地区具有较好的成油地质条件:受构造演化和沉积条件的控制,而形成了巨厚的油气源岩.据已揭露的各类砂岩储层,原始物性均较好,成岩压实胶结作用较弱,有利于原生孔隙存在和油气的保存;同时东营末期长时间的抬升剥蚀,受大气淡水淋滤的作用促使储层次生溶孔较发育,有机质的热演化也促使次生孔隙的产生,因而形成了多个次生孔隙发育带.因此,本区砂岩储层具有较好的储集性能,为油气储集提供了良好的空间.同时,构造演化的多期性及其所控制的沉积条件的差异,形成了多层次,多种类型的圈闭.具有一定成因联系的圈闭在纵向和横向上有机地组合,便构成了不同类型的复式圈闭带,为油气聚集提供了有利场所^[1].

2 地层压力预测

2.1 预测方法简介

利用地震资料预测地层压力的依据是:地震波传播速度与地层压力存在一定的关系.影响地层压力的因素很多,但其中最主要的影响因素是沉积压实作用,当地下地层处于欠压实时,地层孔隙中的流体就要承受上覆岩层的一部分重量,使地层中岩石具有较高的孔隙度.我们知道地震波速度与孔隙度有一定联系,孔隙度增加使地震波速度降低,同时地层压力也增加,这就是利用地震波速度预测地层压力的物理基础.根据目前利用地震资料预测地层压力的方法,利用 Fillippone(1979,1982)提出的经验公式计算地层压力 P_f ^[2].

$$P_f = (V_{max} - V_i) \times K \times P_{ov} / (V_{max} - V_{min})$$

式中 V_{max} 是有效孔隙度接近零的骨架岩石的速度,近似于机质速度; V_i 即预测层段的层速度; P_{ov} 为平均地层压力; V_{min} 是岩石刚性为零的压缩速度,近似于流体速度.

经验公式中, V_{max} , V_{min} 采取如下公式计算.

$$V_{max} = 1.4 V_{Ro} + 3 K \times t$$

$$V_{min} = 0.7 V_{Ro} + 0.5 K \times t$$

式中 V_{Ro} 为均方根速度随 t 变化的截距(t 为双程反射时间), k 为其斜率(通过程序设计来实现).

P_{ov} 采用下面公式计算:

$$P_{ov} = z \times \rho = 1.73 + 1.64 \exp(-3048/V_a)$$

式中 Z 为研究层的深度, ρ 为其上覆地层平均体积密度(单位: g/cm^3), V_a 为上覆地层的平均速度(单位: m/s).

然后,计算剩余地层压力 D_p 及剩余压力系数 C_p 绘制地层压力参数剖面及水平面变化图.其中:

$$D_p = P_f - P_{水}, P_{水} = \rho \times t_i \times V_i, C_p = D_p / P_{水}.$$

2.2 预测的测线选择

选择了穿过辽东湾盆地北部州 20 - 2(JZ20 - 2) 构造北、中、南部三个高点的三条主测线 L Z268, L Z263, L Z254 和同一地区分别位于辽西凹陷、辽西低凸起和辽中凹陷的三条联络测线 LL40, LL51, LL60 以及辽东湾盆地北偏中的一条主测线 L Z243 为预测地层压力对象,如图 1 所示.

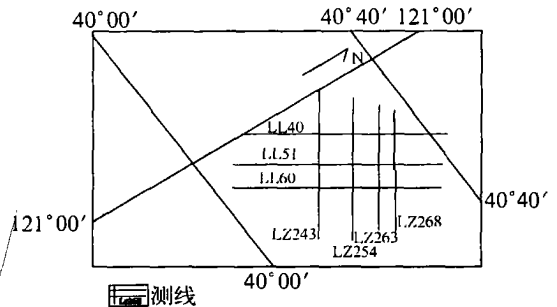


图 1 测线的位置
Fig.1 Position of the seismic lines

2.3 预测结果

根据地震速度资料预测,从剖面、水平切片、空间特征三个方面通过作一系列的等值线图来分析辽东湾北部地层压力特征.

2.3.1 剖面特征

现提取其中一条测线 L Z268 对其进行分析:

根据图 2, 图 3 对该测线所切的各构造单位地层压力基本特征如的简述.

1) 辽西凹陷. 西凹 D_p 值很小, D_p 一般小于 5 MPa, 从 1 500 ms 左右向下直到基底大致相等; 增压系数 C_p 小于 0.2. 东凹的 D_p 值明显增大, D_p 值一般大于 5 MPa, 增值幅度从 2 500 ms 向下明显增大; C_p 值从 1 500 ms 向下大于 0.2, 据 C_p 等值线图, 似可分两个小的亚区: 西亚区 3 000 ms 以下 C_p 值增至 0.6 以上, 分布很局限; 东亚区位于 1 500 ~ 3 000 ms, C_p 值达 0.35 以上, C_p 等值线越过辽西凹陷的东界大断层与辽西低凸起 C_p 等值线连成一片.

2) 辽西低凸起: 仅在凸起顶部 2 000 ms 以下才出现明显正异常压力, D_p 值 3 ~ 8 MPa, C_p 值为 0.2 ~ 0.35. 如前所述, C_p 等值与辽西凸起西凹东亚区连成一片. 辽西低凸起的东斜坡没有地层压力异常.

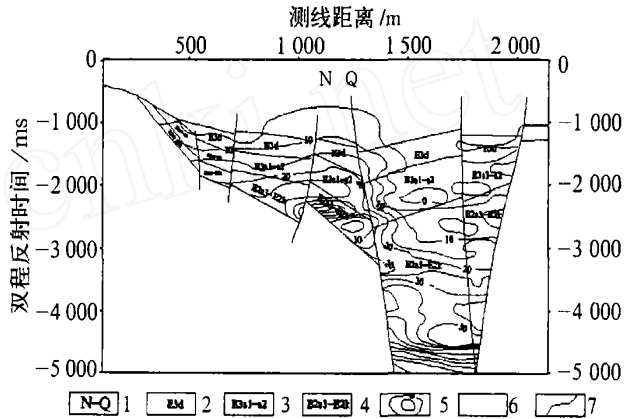
3) 辽中凹陷: 浅部 D_p 值与前两个构造单元一样 D_p 值很小, C_p 值虽然很大, 但属假超压.

2.3.2 水平切片特征

选择 1.5 ~ 3.5 s 作切片图 1.55 ~ 2.7 s 的切片图上, LL40 测线上出现两个超压区: 北部超压区和南部超压区, 剩余压力系数大于 0.6. 在联络测线 LL51 - LL60 和主测线 LZ243 - LZ263 也存在一个异常超压区即辽中凹陷超压区. 在 2.7 ~ 3.5 s 的切片图上, LL40 测线上的两个超压区连成一片, 形成一个大的异常压力区, 即辽西凹陷超压区. 辽中凹陷超压区范围变小. 分布在 LL40 - LL51 和 LZ268 - LZ254 测线之间的异常压力区即辽西低凸起超压区各切片剩余压力变化不显著.

2.3.3 空间特征

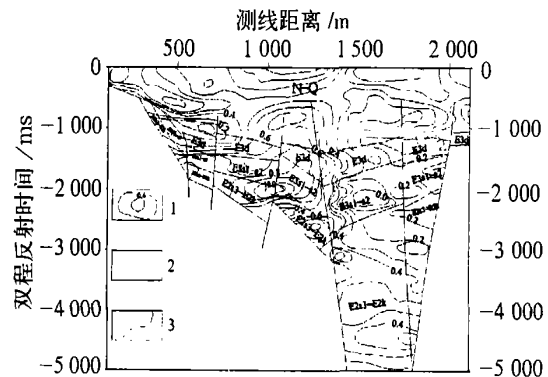
辽西凹陷超压区在地层浅部分成两个小范围的超压区, 在深部连成一个大的超压区. 辽中凹陷从地层浅部至深部超压区范围有变小的趋势, 推测可能是受断层所影响, 剩余压力值递增至一最大值而后再逐渐减小. 辽西低凸起超压区范围没什么大变化.



1. 晚第三纪至第四纪; 2. 早第三纪东营组; 3. 早第三纪沙河街组沙一段至沙二段; 4. 早第三纪沙河街组沙段至孔店组; 5. 等值线; 6. 深部地层地震波速度无意义地区; 7. 地层界线

图 2 LZ268 测线 D_p 等值线图(单位: MPa)

Fig.2 D_p 's equivalence line chart of LZ268 seismic line (unit: MPa)



N - Q 晚第三纪至第四纪; E3d 早第三纪东营组; E3s2 - s1 早第三纪沙河街组沙一段至沙二段; E2s3 - E1k 早第三纪沙河街组沙段至孔店组; 1 等值线; 2 深部地层地震波速度无意义地区; 3 地层界线

图 3 LZ268 测线 C_p 等值线图

Fig.3 C_p 's equivalence line chart of LZ268 seismic line

3 地层压力仓问题探讨

Hunt(1991)通过统计世界上180个盆地的实测压力资料后指出:许多盆地有两个以上的地层压力系统,为封闭型压力仓.在分析以上计算和作图提供的地下流体压力场特征的全部信息的基础上,去伪存真的可以对辽东湾北部,特别是辽中凹陷压力仓特征作出基本的总结,提出辽中凹陷北部压力仓为半封闭型多层压力仓^[3].

$C_p = 0.2$ 的等值线一般在2500~3200ms深度延伸.凹陷深洼内埋深较大,向西侧辽西低凸起方向变浅.相应的地层层位亦由深洼内的 E_{3d} 顶-上部提高到 E_{3d_2} 中下部.此深度分布范围,与Hunt总结的大多数沉降盆地内超压仓顶部深度具有大体的一致性,但不完全一致.整个压力仓在LZ268测线上,厚达5km以上.向南在LZ243测线,该带仅厚2.5km左右,而且在趋近基底附近,超压减弱,进而转变为正常压力系统.

压力仓内部可以是统一或基本统一的超压系统,压力系统由上正常压力带(在超压带内自上而下 C_p 呈递增,达到最大值后,向下呈递减趋势)正常压力带.但也可能包含若干次一级的多个压力仓,这种现象在LZ263和LZ254均有明显的显示.因此,在辽中凹陷北部发育统一的超压系统或存在两个超压系统完全是可能的.预测的超压系统及其特征应认为是可靠的.多层压力仓是一个由许多个垂向上叠置,横向层压力仓中的小压力仓具有静水压力梯度渗透层(或半渗透层)内以滞流带的压力系数数值最大,而向压力仓的顶、底递降直到正常静水压力为止.相应地,滞留带的 D_p 最大,而向压力仓的顶、底递降直到零为止.两种不同类型压力仓结构如图4所示.

4 生压机理分析

本文主要分析异常压力的成因机制,异常压力的成因多种多样,一种异常压力现象可能是多种互相叠置的因素所致,其中包括地质的、物理的、地球化学的和动力学的因素.但就一个特定异常压力体而言,其成因可能是以某一种因素为主,其它因素为辅,或是多种因素的复合叠加^[4].

辽东湾地区的异常压力成因复杂,根据现有资料可推测其异常压力的主要成因有欠压实作用、成岩作用、成烃增压、深部热流体进入等.

所谓欠压实是指快速沉积的厚层泥、页岩中的孔隙水被禁锢并与周围失去联系而不能排除,导致沉积物不能被压实.其中的流体不仅承受着静水压力,也承受上覆地层的重量,从而形成超压地层系统.根据前人资料结果显示在辽西低凸起进行实测所得到地层压力值要高于计算所得的压力值,故可以断定该区的压力形成机制中,欠压实是形成超压的主要因素^[5].成岩作用主要包括粘土矿物转化、砂岩孔隙堵塞和封隔层形成等.粘土矿物的转化主要指粘土矿物蒙脱石向伊利石的转化作用.蒙脱石向伊利石转化过程中大量的层间水从蒙脱石转移到颗粒之间成为粒间水,是泥岩体积缩小而形成高压异常.众所周知,沉积物中的有机质在一定条件下转化为烃类的过程是引起异常高压的重要因素.有机质生成烃类,其体积增大,所生成的物质和水混合在一起,在地层中变单相流动为多相流动,降低了流体的渗透率,从而大幅度的提高已压实岩层中的压力.另外,根据前人对油气地质研究表明,辽西低凸起地区油气田的凝析气主要来自东侧辽中凹陷深部沙三段,因此深层高压凝析气进入该油气田带是该区超压的重要因素之一.

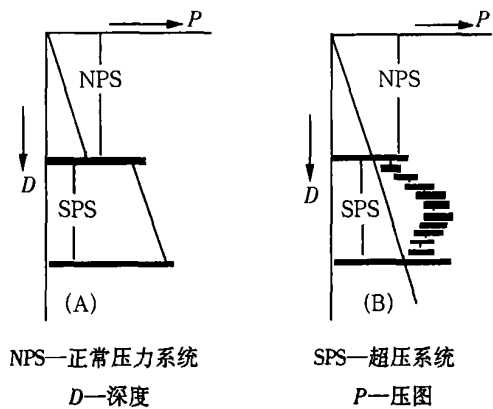


图4 封闭(A)和半封闭(B)超压系统的压力剖面示意图

Fig.4 Section sketch maps in sealed (A) and half-sealed (B) over-pressured compartments

5 结论

辽东湾北部地区存在三个异常压力区: 辽西凹陷超压区, 辽西低凸起超压区和辽中凹陷超压区。确定辽东湾北部异常高压流体属于半封闭型, 它与 Hunt (1990) 提出的异常高压流体仓具有不同的压力剖面。另外, 辽东湾地区的异常压力成因复杂, 根据现有资料可推测其异常压力的主要成因有欠压实作用、成岩作用、成烃增压、深部热流体进入等。因此, 深入研究该区地下流体压力场特征及其对油气藏形成的控制作用对我国东部及海域年青沉积盆地的大中型油气田的勘探和发展油气地质理论, 具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1] 金尚柱, 孙洪斌. 辽东湾北部滩海油气地质[M]. 北京: 地质出版社, 2000. 10 ~ 41.
- [2] Fillippone W R. On the Prediction of Abnormally Pressure Sedimentary Rocks from Seismic Data[M]. OTC3662. 1979. 2667 ~ 2676.
- [3] Hunt J M. Generation and Migration of Petroleum from a Bnormally Presscored Fluid Compartment[J]. AAPG Bull., 1990, 74:1 ~ 12.
- [4] 孙洪斌, 谢文彦. 辽河滩海油气勘探与开发[M]. 北京: 地质出版社, 2000. 29 ~ 39.
- [5] 孙家振, 李兰斌. 地震地质综合解释教程[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2002. 111 ~ 112.

(上接第 4 页)

5 结语

由此可以看出, 在地学空间数据库建设过程中, 灵活地综合运用 GIS 及相关软件的各种潜在功能可以成百上千倍地提高工作效率, 从而快速有效地建立起满足要求的高质量的空间数据库, 加快空间信息系统的建设速度。

参考文献:

- [1] 吴立新, 刘纯波, 牛本宣, 等. 试论发展我国矿业地理信息系统的若干问题[J]. 矿山测量, 1998, (4): 48 ~ 51.
- [2] 邬伦, 刘瑜, 张晶, 等. 地理信息系统——原理、方法和应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 3 ~ 31.
- [3] 中国地质大学信息工程学院. MAPGIS 地理信息系统参考手册[Z]. 中国地质大学, 1997. - 3 - 1 ~ - 3 - 9.
- [4] 赵鹏大, 李紫金, 胡旺亮. 矿床统计预测[M]. 北京: 地质出版社, 1983. 95 ~ 99.
- [5] 王润生, 杨文立, 黄大年, 等. 地质勘查图像分析与综合[M]. 北京: 地质出版社, 1992. 169 ~ 204.
- [6] 杨学善, 秦德先, 陈耀光, 等. 地理信息系统(GIS)支撑下的综合信息成矿预测[J]. 地质与勘探, 2004, 40(2): 71 ~ 76.
- [7] 杨建宇, 秦德先, 赵俊三, 等. 基于 Mapinfo 的城镇土地定级估价信息系统的设计与实现[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2004, 29(5): 13 ~ 17.