

文章编号: 1001-6112(2000)03-0265-05

舞阳盐湖盆地地层压力特征与成因机理探讨

李兰斌¹, 孙家振¹, 陈文礼², 扬云飞², 李丽贤²

(1. 中国地质大学 资源学院, 湖北 武汉 430074; 2. 河南石油勘探局 勘探开发研究院, 河南 郑州 473132)

摘要: 本文针对舞阳陆相盐湖盆地盐泥互层的地层结构特殊性, 从盆地内异常流体压力分布特征出发, 结合盆地埋藏史和热演化史, 分析探讨其形成机理。压力计算结果表明盐湖盆地内异常流体压力可分为浅、中、深 3 套压力封闭体系: 浅层为渐变过渡中等异常高压体系; 中间盐泥间互发育段为多套低异常高压体系; 深部为突变高异常压力体系。异常压力的形成主要与快速沉降造成不平衡压实引起的非渗透性岩层中流体不能排泄出的欠压实作用有关, 还与水热增压、有机物转化成烃及构造挤压等有关。

关键词: 成因机理; 异常压力; 膏盐岩层; 盐湖盆地; 舞阳

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

自 Hunt^[1]提出异常流体压力仓与油气生成和运移模式以来, 沉积盆地的异常超压问题一直受到石油地质界的关注。国内外许多学者开展了这方面的研究。他们研究沉积负荷、烃类生成、热流作用及构造作用与压力的成因关系^[2], 并应用三维模拟技术开展沉积盆地中异常流体压力系统演化与油气运移路径及充注模型的研究^[3]。

这些研究主要集中在对正常盆地异常压力的产生原因、识别及预测等方面的探讨上, 较少考虑陆相含盐盆地异常压力的分布问题。本文针对我国新生代盐湖盆地特定的盐泥互层的地层结构和岩盐封隔层的特殊性, 从舞阳盐湖盆地内异常流体压力的分布特征出发, 探讨了控制盐湖盆地内异常流体压力形成的主要机理。这对于认识盐湖盆地压力动态演化与油气运聚关系和油气分布规律具有重要意义。

1 基本地质特点

舞阳凹陷位于河南省境内的平顶山—漯河以南, 为中—新生代断陷盆地, 面积约 1800km², 最大沉积厚度 8 000 余米。凹陷内地层构成下第三系自下而上发育玉皇顶组、大仓房组、核桃园组和廖庄组 4 套地层。玉皇顶组—大仓房组是一套紫红色砂砾

岩与泥岩互层沉积, 向上粒度变细、颜色变灰, 与核桃园组为渐变过渡关系。核桃园组自下而上分为三段。核三段为一套棕红色含砾砂岩、细砂岩及粉砂岩与褐灰色泥岩互层, 上部含石膏。核二段和核一段为盐岩发育段, 主要为一套岩盐和深灰色泥岩、泥膏盐、膏盐岩不等厚互层。在约 1 500m 厚的盐系地层内, 共发育 50 多个含盐韵律层。单个岩盐层的厚度一般在 4~15m 之间, 最大单层厚度达 50m, 其地层密度由浅至深逐渐变大。石盐岩主要由含各种钠、钾、镁硫酸盐的盐岩组成, 其密度由浅至深保持在 2.04~2.13kg/cm³。廖庄组为一套灰白色、灰黄色砾状砂岩、含砾砂岩、粉砂岩夹棕紫色泥岩构成, 与上覆上第三系上寺组呈不整合接触。舞阳凹陷成岩阶段的地层结构与江汉盆地潜江凹陷基本相似^[4]。受古气候条件的周期性变化、盆地沉降和物源供给等因素的控制, 碎屑岩、碳酸盐岩和蒸发岩纵向上频繁交互、横向上紧密共生, 旋回性和韵律性十分发育, 构成非常复杂的多层系盐泥间互地层结构剖面。

2 压力计算

众多研究表明, 声波测井较密度测井、电阻率测

收稿日期: 2000-06-12; 修订日期: 2000-06-30.

作者简介: 李兰斌(1964-), 女(汉族), 湖南岳阳人, 博士生, 主要从事地震勘探及油气盆地分析的教学及科研工作.

井等受井眼、地层条件等因素的影响小,而且资料较齐全,精度较高。利用声波时差计算地层压力具有代表性和普遍性。用声波时差 t 计算孔隙流体压力常采用 Magara 的等效深度法^[5]。舞阳凹陷地层水矿化度纵向变化明显。据此特点,静水压力梯度 r_w 纵向分三段采用不同的值:上部淡水层 $r_w = 0.102$;中部盐水层 $r_w = 0.113$;下部较淡水层 $r_w = 0.105$ 。一般认为,盐湖盆地具有低温冷盆特点。从舞阳实测资料来看,地温梯度分布不均:不含盐区域地温梯度较高,为 $3.14 \sim 3.26$ /100m;含盐区域地温梯度较低,如 WC2 井地温梯度为 2.7 /100m。因此,增热系数 k 分区取不同的值。

3 异常压力分布特点

异常压力计算结果表明:其压力体系与碎屑岩沉积为主的淡化盆地及发育巨厚的块状盐岩层并以海相沉积为主的含盐盆地均存在较大的差异性。如图 1 所示,各单井测井压力计算显示,由浅至深泥岩地层中表现出不同程度的异常超压。具体表现为纵向上分为上、中、下 3 套压力封闭体系。上部及下部

均为砂泥岩互层地层中的泥岩超压,而中部为膏盐泥互层地层中的泥岩超压,且膏盐泥地层可作为下部超高压异常压力系统的封闭层。平面上,联系各井异常压力特征可知,异常流体压力分布不受盐岩分布的限制,具有侧向传递特性。

舞阳凹陷异常压力计算结果显示,异常压力纵向可分为 3 套异常压力体系。上部异常压力体系深度范围为 900 ~ 1 200m;中部盐间多层系异常压力体系深度范围视岩盐段的分布范围而定,上限在 1 000m 上下,下限为 2 400 ~ 3 000m;深部异常压力体系深度范围在 2 400 ~ 3 000m 以下。3 套异常压力体系的异常压力值具有较大的差异性。上部压力体系异常压力值相对较大,顶部发育异常压力过渡带;中部盐间多层系异常压力体系可进一步分为多个异常压力段,异常压力值较小,由膏盐封隔;深部异常流体压力体系的异常压力段范围大、异常压力值最大,顶部突变过渡。

上部盐上异常压力体系主要由廖庄组大套低渗透泥岩砂砾岩系组成,约从埋深 1 000m 开始出现异常压力。如图 2 所示:位于盆地主断层一侧较深部位的 W2 井在井深 1000 ~ 1100m 井段约 100m 范

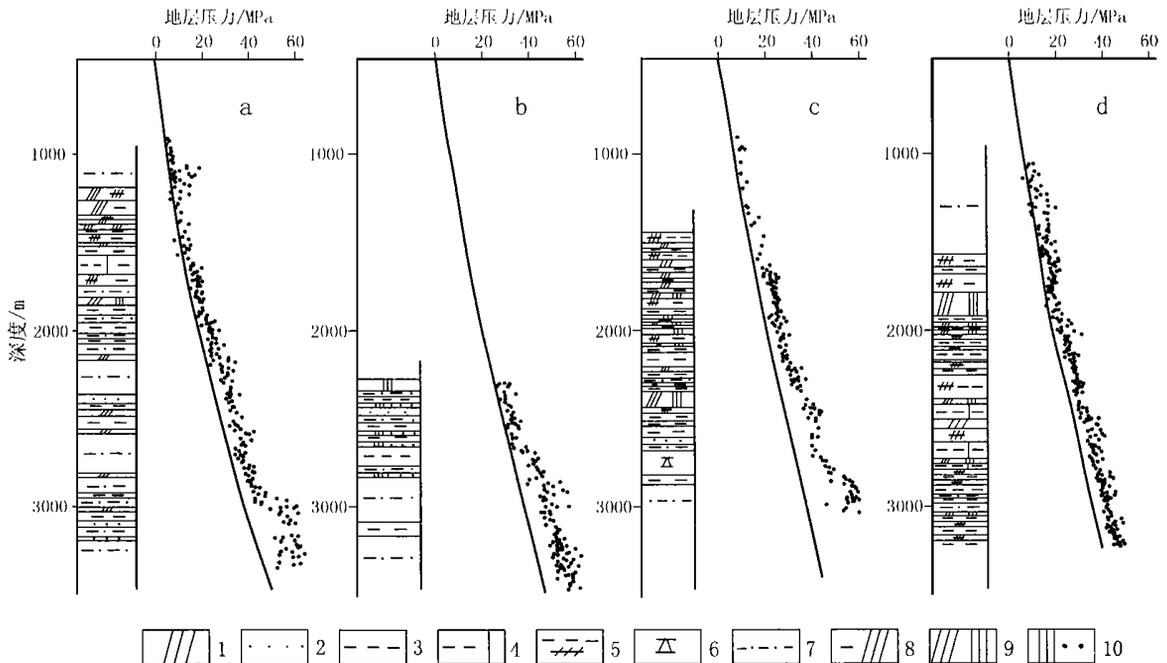


图 1 舞阳凹陷测井地层压力

a. W2 井; b. W3 井; c. W4 井; d. W5 井

- 1. 盐岩; 2. 砂泥; 3. 泥岩; 4. 白云质泥岩; 5. 含膏泥岩与泥岩互层;
- 6. 泥质白云岩; 7. 砂泥岩互层; 8. 泥膏岩; 9. 盐膏岩; 10. 石膏质砂岩

Fig. 1 Formation pressure from logging in the Wuyang Depression

围内异常压力从零逐渐开始上升,最大达 10MPa,但很快恢复为正常流体压力;位于盆地相对较高部位的 W8 井在井深 900~1 100m 井段约 200m 范围内异常压力从零开始迅速上升,最大达 10MPa,很快又恢复为正常流体压力。W8 井上部异常压力段比 W2 井异常压力段范围大约一倍,这可能与 W8 井位于相对较高部位、异常压力具有侧向传递特性有关。

中部盐间异常压力体系主要由核一段和核二段盐泥间互岩系组成,深度范围在 1 000~2 400m 之间,在盐间泥岩厚度较大处发育小的压力封闭层,表现为异常压力层多、层段薄、异常压力值较小。如图 2 所示,W2 井在井深 1 200~2 000m 井段主要为岩盐沉积,相对较薄,异常压力值为零;2 000~2 600m 井段可分为两个小的异常压力段,这两个小的压力封闭层与盐间泥岩相对应。W8 井分别在 1 200~1 400m、1 600m 上下发育两个小的压力封闭层,这两个小的压力封闭层与含膏泥岩相对应。由此可见,在盐泥间互的地层结构中,当泥岩厚度较大时(10~50m),岩盐作为非渗透性的封闭层,使盐间泥岩孔隙水不易排泄,易于形成异常压力。钻井过程中钻穿该层后,异常压力即迅速释放,由于其渗透性差,很快恢复静水压力。

深部盐下异常压力体系主要由核三段碎屑岩系组成,与世界上大多数具有异常压力盆地形成的深

度范围基本相近,在大套的盐下层开始产生异常压力。如位于盆地沉积中心的 W2 井,从井深 3 000m 开始异常流体压力呈突变形式迅速上升,表现为异常压力大,最大达 60MPa,接近于地静压力;且异常压力段范围大,目前钻井揭示的厚度约为 400m(未钻穿)。与之相对应,位于盆地边缘的 W8 井从 2 400m 开始产生异常压力,比 W2 井浅 400m,且上覆岩盐层相对不发育,表现为异常压力相对 W2 井较低(图 3)。W8 井形成异常压力的深度与南海北部湾从 2 000m 开始形成异常压力的深度相近,这是否与位于深部的异常压力层通过压力通道的侧向传递作用有关有待于进一步研究。

4 异常压力成因机理

通过对舞阳凹陷现今异常压力分布特点的分析,我们认为形成异常压力的机制与以下几种主要因素有关。

上部异常压力与快速沉降造成不均压实和构造挤压引起的压应力的增加有关。由浅层异常压力体系与地层岩性结构特征分析可知,廖庄组由大套低渗透泥岩和砂砾岩系组成。沉积速率表明,廖庄组沉积后,上第三系为快速沉积阶段,沉积速率最大达 50m/Ma,比下伏岩层沉积速率大 2~3 倍(图 2)。这种快速沉降使廖庄组低渗透泥岩孔隙水不能很快

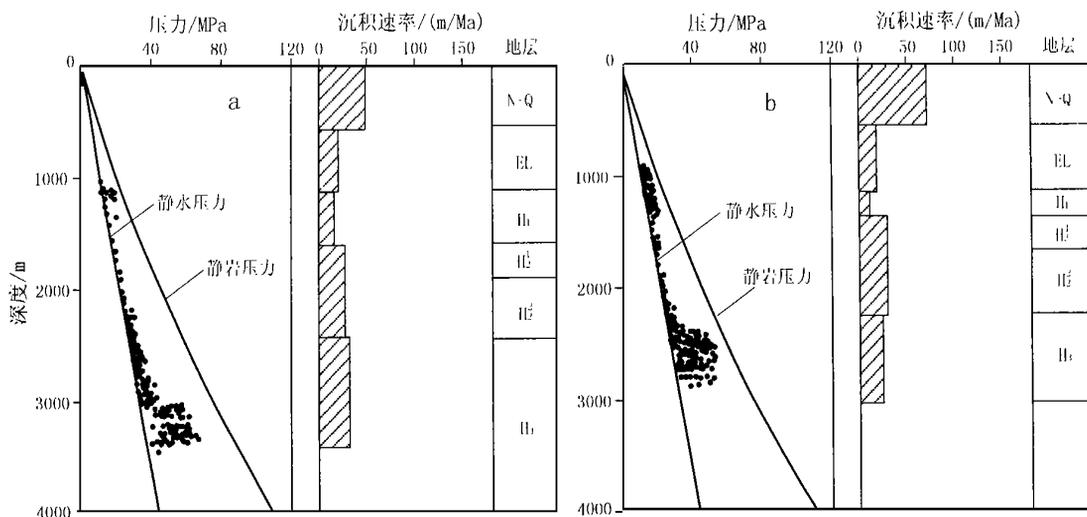


图 2 舞阳凹陷地层压力和地静压力与沉积速率关系图

a. W2 井; b. W8 井

Fig. 2 Relationship of formation pressure and geostatic pressure to sedimentation rate in the Wuyang Depression

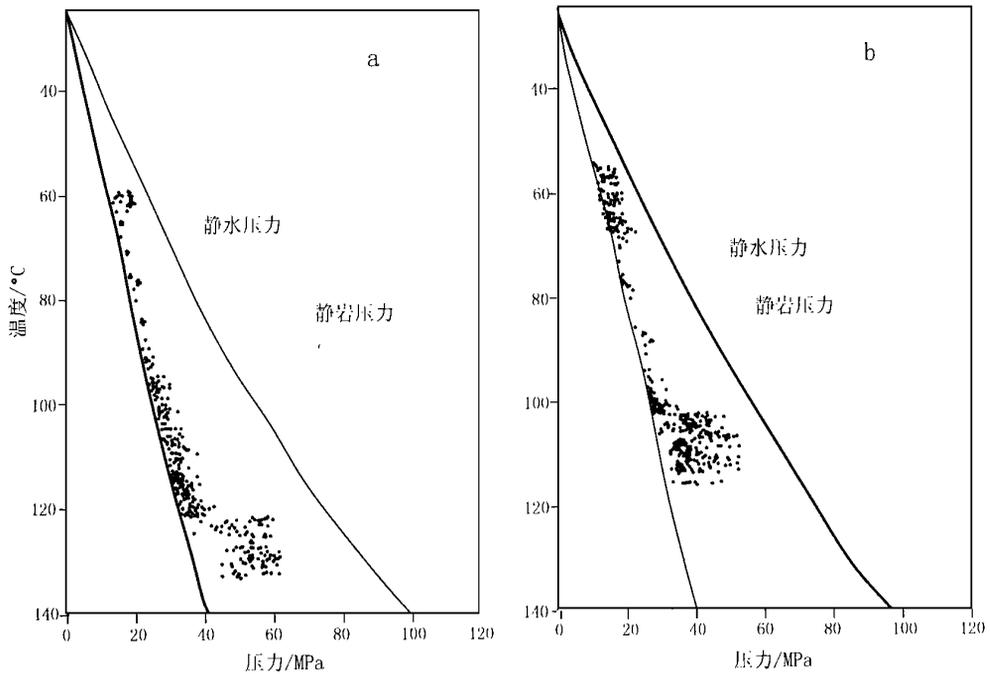


图 3 舞阳凹陷地层压力和地静压力与温度关系图
a. W2 井; b. W8 井

Fig. 3 Relationship of formation pressure and geostatic pressure to temperature in the Wuyang Depression

排泄出,形成欠压实泥岩封闭层,在渗透性砂砾岩中形成流体异常压力。此外,上第三系沉积时期盆地内部应力场发生转变和盐构造上拱活动的影响产生的横向构造挤压应力也能对封闭体中孔隙流体压力的增高产生一定的影响。

中部盐间多层系异常压力层体系则主要与岩盐封闭性使泥岩中的流体在沉降过程中不能排泄出而在欠压实泥岩中形成的压应力的增加有关。发育小的压力封闭层表现为异常压力层多,以层段薄、异常压力值较小为典型特征。此外,实测岩盐密度资料表明,岩盐从沉积开始到埋深 2 300m 密度保持不变;800m 以上岩盐密度大于砂泥岩,为正常密度关系;800m 以下深度,经过压实的砂岩和泥岩的密度大于岩盐密度,位于深部的岩盐形成密度倒转,在温度升高的条件下软化而发生流动,这种岩盐流动在盐间地层产生的差异减薄和增厚可能对局部异常压力的增高有一定的影响。

深部盐下异常压力体系与大多数超压盆地中的成因机理相同,主要与盆地快速沉降、水热增压和有机物转化成烃等多因素综合作用有关。廖庄组沉积后,由于盆地的快速沉降和沉积使盐下岩层地温升

高,油气开始生成,岩盐作为封闭层生成的油气和水不能排出,因此在盐下层开始产生异常压力。位于盆地沉积中心的 W2 井从井深 3 000m 开始异常压力呈突变形式上升,接近于地静压力。可以看出,压力形成的温度范围与世界上多数超压流体封闭体的顶部一般分布在 90 ~ 100 的温度范围可对比(图 3,图中温度值由实测地温梯度换算而得)。

由舞阳凹陷有机质热演化分析资料可知,凹陷内反映有机质热演化的主要参数干酪根具有不均衡性。如在 W6 井无盐区 1 680m 的 R_o 为 0.52 % (实测值),门限深度约为 1 700m;位于凹陷中心的 W5 井岩盐极发育区 2 715m 深度上 R_o 为 0.38 % (实测值),门限深度在 2 715 ~ 2 941m 之间,与 W6 井相比相差达 1 000m。这与北海盆地中央地堑异常高压顶部封闭层是沿着斜温层形成的特点基本一致^[6],同时说明封闭层下异常压力对干酪根成熟有抑制作用。

Sahay 和 Fertl (1988) 认为石膏和硬石膏的转化,无论是石膏脱水转化成硬石膏,还是硬石膏在深部再水合成石膏,都产生异常压力。在舞阳盆地成盐早期盐下层发育大量的膏泥岩,因此,也不排除石

膏和硬石膏在深部再水合成对产生异常压力的影响作用。

5 结论

上述分析表明,舞阳陆相盐湖盆地盐泥互层和岩盐层作为一种特殊岩层,具有不可压实性、封隔性等特点。盐湖盆地内异常流体压力可分为浅层渐变过渡中等异常高压封闭体系、中部盐泥间互多套低异常高压封闭体系和深部突变高异常压力体系。初步认为异常压力的成因机理是:浅部盐上异常压力体系与快速沉降造成不均衡压实和构造挤压引起的压应力的增加有关;中部盐间异常压力体系则主要与岩盐封闭性使泥岩中的流体在沉降过程中不能排泄出,在欠压实泥岩中形成的压应力的增加有关;深部盐下异常压力体系与大多数超压盆地中的成因机理相同,主要与盆地快速沉降、水热增压和有机物转

化成烃等多因素综合作用有关。

参考文献:

- [1] Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74: 1 - 12.
- [2] Ulisses T M, Carry D K. Development of sediment overpressure and its effective thermal maturation: application to the Gulf of Mexico Basin [J]. AAPG Bulletin, 1996, (9): 1367 - 1396.
- [3] Andrew D H. Petroleum migration pathways and charge concentration: a three-dimensional model [J]. AAPG Bulletin, 1997, (9), 1451 - 1481.
- [4] 王典敷,汪仕忠. 盐湖油田地质[M]. 北京:石油工业出版社, 1998.
- [5] 陈发景,田世澄. 压实与油气运移[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1989.
- [6] 杨瑞召. 流体压力封隔体在油气勘探中的意义[J]. 国外油气勘探, 1993, 5(3), 297 - 306.

CHARACTERISTICS AND GENETIC MECHANISM OF FORMATION PRESSURE IN THE WUYANG SALT-LAKE BASIN

LI Lan-bin¹, SUN Jia-zhen¹, CHEN Wen-li², YANG Yun-fei², LI Li-xian²

(1. College of Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China;

2. Research Institute of Exploration and Development, Henan Bureau of Petroleum Exploration, Zhengzhou, Henan 473132, China)

Abstract: Based on the particularity of stratigraphic structure for the salt-mud interbeds of the Wuyang Continental Salt-lake Basin, the authors discussed the genetic mechanism of anomalous fluid pressure in the basin starting with its distributive characteristics combined with the burial history and thermal evolutionary history of the basin. The calculated results of pressure reveal that the anomalous fluid pressure in the salt-lake basin can be classified into shallow, middle and deep three sets of pressure-sealing systems, that is the gradational and transitional moderately anomalous high pressure system in shallow beds, the multiple sets of low-degree anomalous high pressure system in middle salt-mud interdeveloping members and the abrupt high-degree anomalous pressure system in deep beds. The formation of anomalous pressure is mainly related to the undercompaction that the fluid in non-penetrative beds cannot drain off due to non-isostatic compaction result from rapid subsidence. It also has something to do with hydrothermal pressure-enhancement, organic matter converting into hydrocarbon, tectonic compression, etc.

Key words: genetic mechanism; anomalous pressure; gypsum beds; salt-lake basins; Wuyang