

珠江口盆地白云凹陷深水区超压演化模拟

Simulation of the Evolution of Overpressure in the Deep Water Area of Baiyun Sag, Pearl River Mouth Basin

张力升^{1,2} 潘琦^{1,2}

Lisheng Zhang^{1,2} Qi Pan^{1,2}

1. 西安石油大学地球科学与工程学院 中国·陕西 西安 710065

2. 陕西省油气成藏地质学重点实验室 中国·陕西 西安 710065

1. School of Earth Science and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

2. Shaanxi Key Laboratory of Petroleum Accumulation Geology, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

摘要: 珠江口盆地白云凹陷深水区普遍发育超压, 超压对油气的运移起到重要作用, 且对于海上钻井的安全有着重要影响。因此, 有必要进一步明确白云凹陷的超压成因、各时期压力的平面分布及释放的时期、方式及过程。论文通过地质钻井资料收集、参数恢复、含油气盆地建模 Petromod 等对白云凹陷压力演化及关键泄压期次进行了恢复。研究表明: ①超压广泛分布于白云主洼及白云东中深层; ②断裂与底辟共同控制白云凹陷压力释放, 形成不同构造分区多个增泄压旋回。

Abstract: Overpressure is commonly developed in the deepwater Baiyun Depression in the Pearl River Estuary Basin, and it plays an important role in the transportation of oil and gas, and has an important impact on the safety of offshore drilling. Therefore, it is necessary to further clarify the causes of overpressure in Baiyun depression, the planar distribution of pressure in each period and the period, mode and process of release. In this paper, the pressure evolution and key pressure release periods in the Baiyun Depression were recovered through geological drilling data collection, parameter recovery, and oil and gas-bearing basin modeling Petromod. The study shows that: ① the overpressure is widely distributed in the Baiyun Main Depression and Baiyun East Middle and Deep Water; ② the fracture and bottoming jointly control the pressure release in the Baiyun Depression, forming multiple pressure relief spins in different tectonic zones.

关键词: 白云凹陷; 深水区; 超压; 增泄压旋回

Keywords: Baiyun depression; deep water area; overpressure; pressure release spiral

DOI: 10.12346/se.v4i2.6522

1 地质背景

珠江口盆地是南海北部最大的中、新生代沉积盆地, 面积 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是在复杂基底上发育起来的准被动大陆边缘盆地, 属于华南大陆的水下延伸部分^[1]。白云凹陷位于珠江口盆地南部坳陷带珠 II 坳陷内, 面积 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$, 整体呈 NEE 向展布, 新生代最大沉积厚度超过 12km, 是整个珠江口盆地面积最大, 也是沉积厚度最厚的凹陷^[2]。由于处在陆架到陆坡位置, 白云凹陷水深变化较大, 介于 500~2000m。在位置上, 凹陷东侧为潮汕凹陷; 西侧为开平凹陷, 以云开低凸起相隔; 北侧为中央隆起带番禺低隆起, 南侧为南部隆起带(孔令涛, 2019)。

2 盆地模拟结果

2.1 1D 模拟结果

本次模拟采用实测压力和实测地温与 Ro 数据检验结果

(见图 1)。热约束使用来自地层测试和样品测试的温度和成熟度 (Ro) 数据; 流体压力约束使用实测压力数据。

根据 1D 模拟结果, 选取白云凹陷主洼白云井区与荔湾井区两口井, 其实测成熟度 Ro 整体都在 0.5%~2.0%, 目前异常压力测点主要集中在珠海组, 超压顶面在 3200-4000m 之间, 实测与模拟符合, 结果可信, 同样热流与其他边界条件符合地质背景^[3]。

2.2 1D 模拟结果分析

为了讨论超压与孔隙度和烃源岩成熟度之间的关系, 选取凹陷不同构造重点井经过一维压力模拟可知: W3-3 井超压顶面在珠海组顶部, 深度约 3100m, 此时 Ro=0.5%~0.6%, 烃源岩处于刚刚成熟阶段, 该深度孔隙度降低, 表明超压形成和烃源岩生烃有较好对应^[4]。就地温环境和压实环境而言, 普遍认为, 不均衡压实超压形成于埋藏

【作者简介】张力升 (1996-), 男, 硕士, 从事油气成藏地质学及含油气盆地模拟研究。

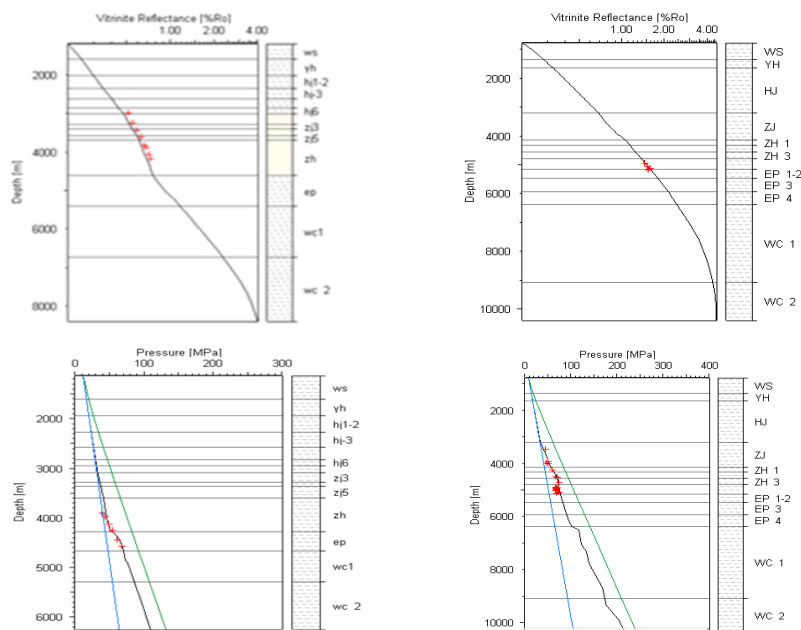


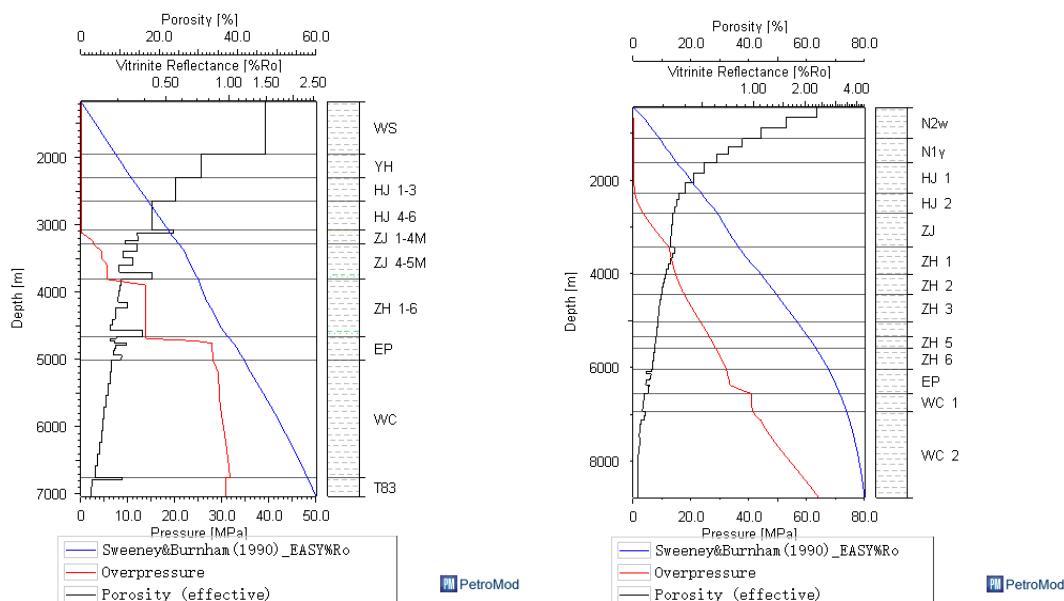
图 1 白云凹陷古压力模拟结果检验 (单井模拟结果由 2D 测线提取)

较浅 (一般小于 2~3km)、温度一般低于 70℃~80℃的低地温环境, 该环境的压实作用以机械压实作用占主导; 而流体膨胀和成岩作用引起的超压形成于埋藏较深 (一般大于 2~3km)、温度一般大于 70℃~80℃的中高地温环境 (赵靖舟等, 2017)。与此同时, A 井超压顶面位于 2100m, 随着孔隙度持续减小, Ro 进入 0.55% 早生油阶段, 文昌组地层压力持续增大 (见图 2), 表明深部超压不主要依赖于孔隙度增大而增大, 从而排除了超压为欠压实成因。与此同时, 根据模拟结果明确了白云凹陷不同构造单元泄压期次^[5]。

2.3 2D 模拟结果分析

Line2 剖面近 NE-SW 走向, 经过白云主洼, 北东至流

花井区, 压力演化模拟结果显示, 恩平组沉积结束时, 主洼就已经发育超压, 洼陷中心超压顶界面为文昌组顶, LH28 至 LH33 次级洼陷超压顶面也发育在文昌组顶部, 压力受烃源岩平面分布及深度构造控制, 超压范围受白云主洼及北坡 NW-SE 断裂控制。16.5Ma 积累的超压在断裂活动下发生泄压, 泄压通道主要为控洼断裂, 随后由于断裂活动减弱, 主洼中部超压持续增加, 随后, 10Ma 的东沙运动造成泄压作用, 压力再次降低, 5Ma 以后超压再次积累, 超压剖面分布基本定型, 从剖面结果来看, 主洼的超压强于其他构造, 构造活动是调整压力分布格局的主要因素 (见图 3)。



(左为白云东 W3-3; 右为主洼虚拟井 A)

图 2 西湖凹陷 1D 压力模拟结果

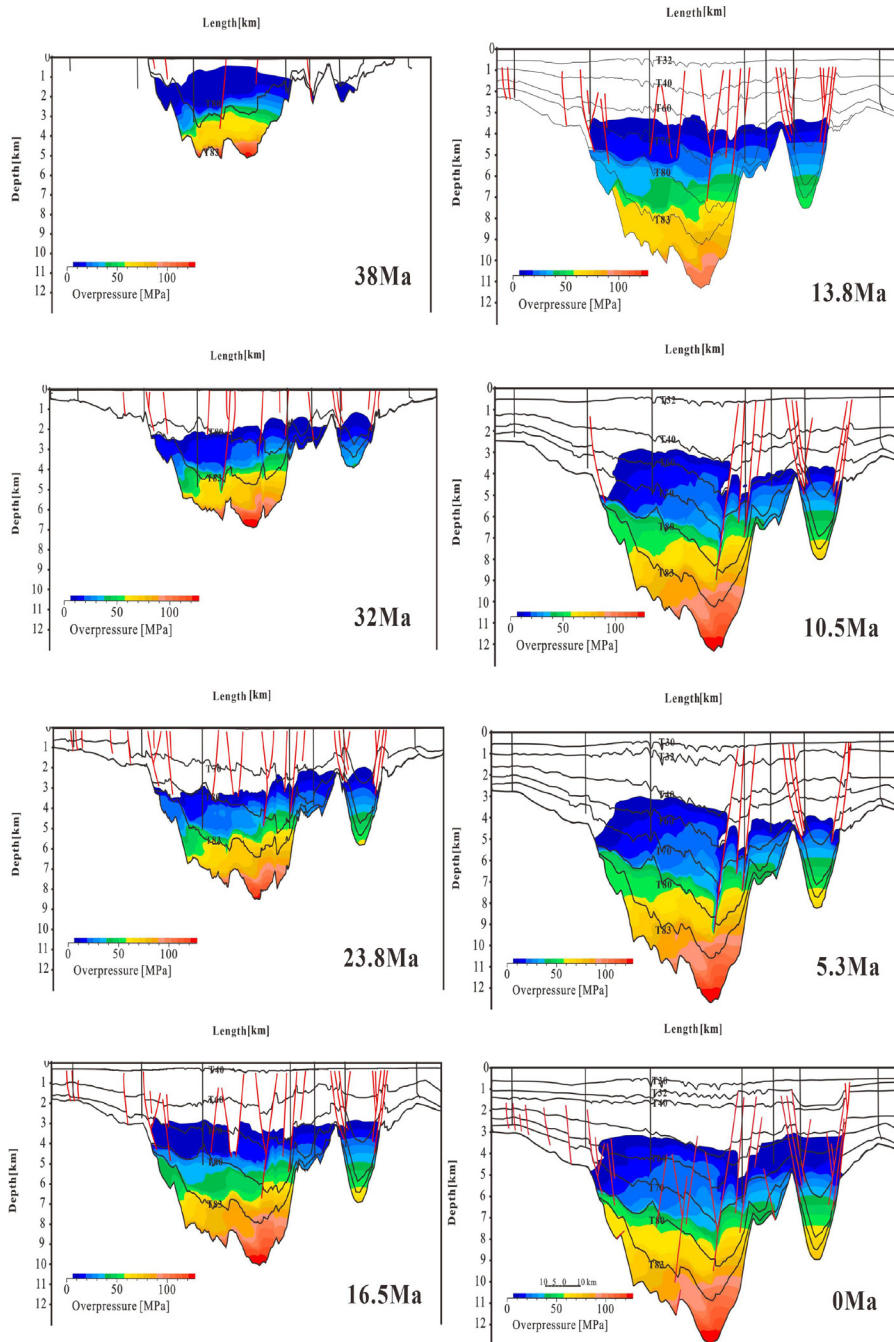


图 3 白云凹陷 Line2 测线地层超压模拟演化图

3 泄压期次

通过 Petromod 选取在烃源岩成熟度 R_o 以及基于测井曲线砂泥岩孔隙度计算与 Kozeny-Carman 孔渗方程的换算孔隙度模型约束基础上, 模拟所得的关键时期泄压期与构造运动耦合表 (见图 4), 主洼及白云东存在数个增-泄压旋回, 泄压期次与白云凹陷构造活动耦合, 且泄压强度与断层活动时间、生长指数及底辟等活动时间匹配。白云凹陷主洼-北

坡及白云东 23.8Ma 均可见压力系数发生较大变化, 这一时期是白云运动 (23Ma) 的发生, 造成南海洋中脊向南发生跃迁, 使得挤压应力作用突然减弱, 同时也造成白云凹陷内部断裂多数活动至 23Ma。

根据对各时期压力系数变化与地质时间的关系, 结合白云凹陷构造演化特征与其他泄压时期的关系, 得到泄压与构造关系的耦合表 (见表 1)。

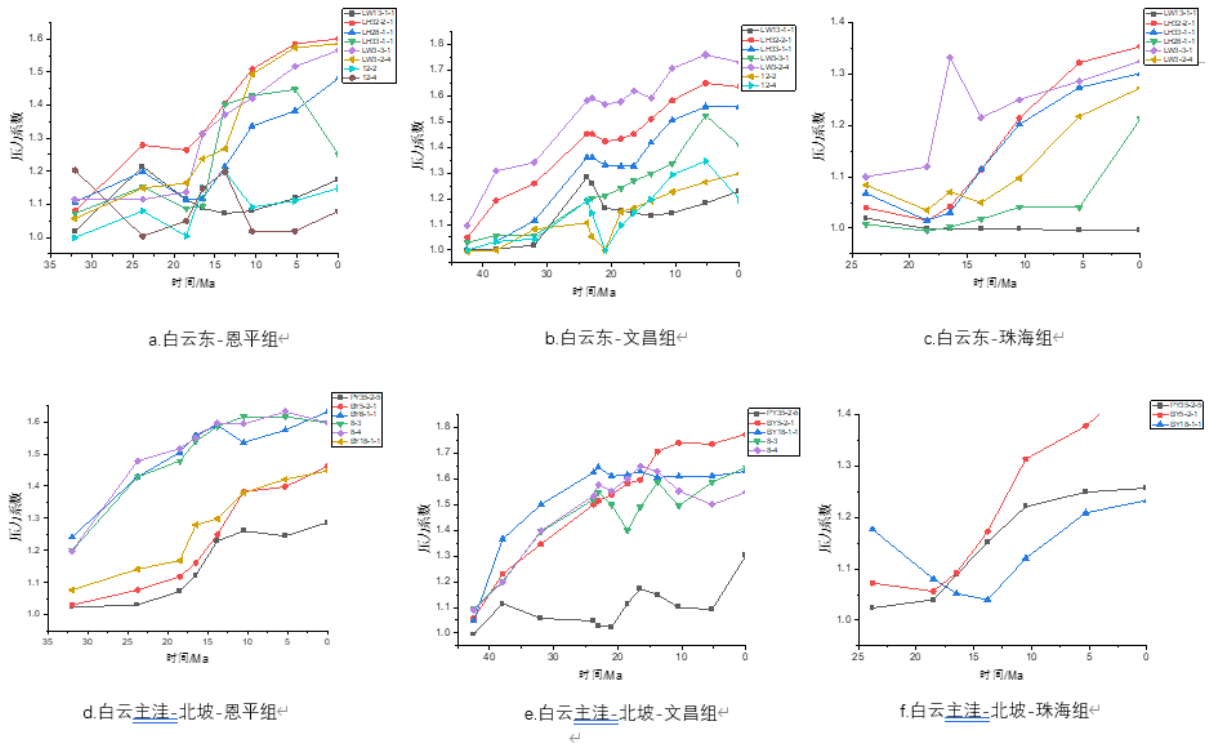


图 4 白云主洼 - 北坡、白云东珠海、恩平、文昌各时期泄压期次图

表 1 白云凹陷泄压期及与构造运动耦合关系表

层位 \ 泄压区域	白云主洼 - 北坡	白云东
珠海组	23.8~18.5Ma (白云运动)	23.8~18.5Ma (白云运动) 16.5~13.8Ma
恩平组	13.8~10.5Ma 10.5~5.3Ma (东沙运动) 5.3~0Ma	23.8~18.5Ma (白云运动) 13.8~10.5Ma
文昌组	23.8~21Ma (白云运动) 18.5~5.3Ma	38~32Ma (琼琼运动 II 幕) 23.8~21Ma (白云运动) 5.3~0Ma

4 结论

①根据盆地模拟 1D、2D 结果来看,白云凹陷主洼 T70(恩平组)中部压力系数大于 1.5,文昌组现今压力系数超过 1.8,整体上超压的大小和分布范围具有继承性。

②白云凹陷存在多个增压旋回,泄压期次与构造运动密切相关,为底辟 - 断层共同控制。

参考文献

[1] 孔令涛.珠江口盆地白云深水区汇聚式流体流动系统建模[D].

北京:中国地质大学,2019.

[2] 赵靖舟,李军,徐泽阳.沉积盆地超压成因研究进展[J].石油学报,2017,38(9):973-998.

[3] 田立新,张忠涛,庞雄,等.白云凹陷中深层超压发育特征及油气勘探新启示[J].中国海上油气,2020,32(6):1-11.

[4] 张向涛,李军,向绪洪,等.珠江口盆地深水区白云凹陷超压成因机制及其勘探意义[J].石油学报,2022,43(1):41-57.

[5] 宋洋,赵长煜,张功成,等.南海北部珠江口与琼东南盆地构造-热模拟研究[J].地球物理学报,2011,54(12):3057-3069.