郭兴伟, 庞玉茂, 张训华, 等. 大陆架科学钻探 CSDP-2 井揭示的南黄海中一古生代构造演化框架 [J]. 海洋地质前沿, 2019, 35(3): 68-72.

DOI:10.16028/j.1009-2722.2019.03008

大陆架科学钻探 CSDP-2 井揭示的 南黄海中一古生代构造演化框架

郭兴伟¹, 庞玉茂², 张训华³, 侯方辉¹, 吴志强¹, 肖国林¹, 朱晓青¹, 蔡来星¹ (1青岛海洋地质研究所, 青岛 266071; 2 山东科技大学, 青岛 266237; 3 南京地质调查中心, 南京 210016)

0 引言

"大陆架科学钻探"计划,是一个聚焦中国大 陆架以及东亚大陆边缘的形成演化,以中国大陆 架的地层、构造、环境和资源等科学问题作为具体 目标,以获取连续的大陆架海底岩心为手段,进行 多学科多目标综合研究的科学计划。

CSDP-2 井选址在工作程度较高且科学问题 比较聚焦的南黄海,是大陆架科学钻探的第二口 科学探井。其科学目标为,获取中一古生界的连 续海相地层岩心,利用古生物等系统确定岩心的 地层时代;综合识别所钻遇的不整合面、断层等构 造记录,恢复构造演化历史;系统分析沉积环境变 迁,对关键的环境或气候事件进行识别和高分辨 率研究;系统评价烃源岩、储层和盖层特征,为油 气勘探提供基础数据;系统建立南黄海地区标准 的岩性一物性模型以及深度一速度模型,为地震 资料采集、处理和解释提供基本参数。建立地震 台站,实施井中观测,提高东部海区的减震防灾能 力;综合研究贯穿南黄海中一古生代的古地理格 局、构造演化格架,并探索其地球动力学机制。

收稿日期:2018-02-26

1 地质背景

CSDP-2 井位于南黄海中部隆起之上,是目前位于扬子块体最东北的科学钻井。南黄海在构造位置上北与苏鲁造山带相邻,西以郯庐断裂与华北块体分界,西南与下扬子块体陆区相连,南以江绍断裂在海区东延断裂与华南块体相邻,东与朝鲜半岛相邻。南黄海地区的构造格架奠基于前震旦纪变质岩基底之上,历经震旦纪一早古生代克拉通发育、晚古生代一早中三叠世海相台地发育、晚三叠世一早白垩纪剥蚀定型发育、晚白垩纪一古近纪断陷发育和新近纪一第四纪坳陷发育等多个演化阶段。依据其中一新生代陆相断陷一 均陷盆地的分布范围,南黄海地区自北而南可划分为5个二级构造单元,即千里岩隆起、北部坳陷、中部隆起、南部坳陷及勿南沙隆起等(图1)。

2 CSDP-2 并揭示的中一古生代地层

CSDP-2 井完井深度 2 843.18 m,创造了全 球陆架全取心钻探的最深记录,综合取心率 97.7%,其中中一古生代地层取心 2 198.10 m, 取心率 99.3%。

通过系统的古生物鉴定和岩性对比,CSDP-2 井钻遇的地层时代可较准确地厘定,先后钻遇第 四系一新近系、下三叠统青龙组、二叠系大隆组、 龙潭组、孤峰组和栖霞组,石炭系船山组、黄龙

基金项目:国家海洋地质专项项目(DD20160147);山东省自然科 学基金项目(ZR2018BD026)

作者简介:郭兴伟(1978一),男,博士,教授级高级工程师,主要从 事海洋区域地质和构造地质方面的研究工作.E-mail:xwguo_qd @126.com





图 1 南黄海构造与 CSDP-2 井位置简图 Fig. 1 Tectonic map of South Yellow Sea and location of CSDP-2 well

组和高骊山组,泥盆系五通组,志留系坟头组和高 家边组(图 2)。自印支面之下钻遇三叠纪青龙 组,井底部为晚奥陶世一早志留世高家边组,除加 里东面之外,无明显地层缺失和倒置。井中发现 了大量化石,可与下扬子区地层对比,包括三叠纪 蛇菊石 Ophiceratida 和二叠纪菊石 Roadoceras cf. sinens,三叠纪牙形刺 Clarkina planata 和 Hindeodus parvus 生物带、二叠纪牙形刺 Clarkina changxingensis-C. deflecta-C. yini 和 Clrkina wangi-C. subcarinata 生物带,以及泥盆 纪的植物化石 Archaeopteris cf. hallian 等等。 晚泥盆世晚期的古羊齿和亚鳞木等植物大化石和 大量标志性孢子,更是证实了扬子块体的东北界 限可东延至朝鲜半岛中部。然而,也有一些地层

与扬子出现差异,例如与陆区广布臭灰岩为特征的栖霞组,南黄海则以碎屑岩为主,龙潭组的沉积环境与陆区也有些许差异。所以,CSDP-2揭示的南黄海中一古生代地层可以说处于扬子地层大区之上,具有区域代表意义,但更是南黄海在中一古生代时期沉积和构造演化环境的体现。

3 中一古生代构造演化框架

3.1 构造演化历史框架

从 CSDP-2 井岩心中发育的断层和层理倾角 来看,南黄海受印支一早燕山运动影响非常大,发 育多期多次的逆冲推覆构造,最大的地层倾角出



图 2 大陆架科学钻探 CSDP-2 井综合柱状图

Fig. 2 Integrated column of CSDP-2 well of the "Continental Shelf Drilling Program"

现在龙潭组内部,最大可达 80°,滑脱面不是在某 一特定地层内部,而是在多个软弱层都有发生,在 CSDP-2 井中最大的滑脱层是孤峰组顶部/龙潭 组底部,该部位为泥岩夹煤线的软弱层。印支一 早燕山运动造成的青龙组顶部的剥蚀量高达 1 200~1 400 m。中部隆起受加里东运动影响, 以垂向的抬升为主,表现为中上志留统和下中泥 盆统的缺失,但在早二叠纪栖霞组地层之下地层 未发生大规模的逆冲推覆构造。

3.2 印支面剥蚀厚度估算

前期通过声波时差法和镜质体反射率法,并 与地震解释剖面估算的剥蚀量进行了对比,成功 地恢复了南黄海中部隆起印支面的剥蚀量。

声波时差法计算剥蚀量的原理是基于泥岩孔 隙度与埋深间的指数关系。基于统计的印支面之 下的泥岩段测井声波时差,在 900 m 至 1 500 m 层段获取了相关系数较高的趋势线,进而计算得 到印支面的剥蚀厚度约为 1 200 m。此外,CSDP-2 井在约 1 500 m 附近钻得的岩心较为破碎,地 层倾角差异较大,结合地震解释,认为该深度附近 存在显著的地层滑脱。

镜质体反射率法(Ro)计算剥蚀量是基于其 在岩石热演化过程中的不可逆性,根据相应的化 学动力学模型将实测数据转换得到最高古地温 值,拟合不同构造层的最高古地温梯度趋势,该趋 势线上古地表与不整合面间的垂直距离可近似为 地层剥蚀量,据此计算的剥蚀量为1400 m。

南黄海盆地 N-S 走向的 XQ09-4 测线纵穿 CSDP-2 井(图 3),通过井位标定及构造解释,并 利用 CSDP-2 井钻、测井资料估算了层速度,据此 估算 CSDP-2 井附近的剥蚀量约为1400 m。



图 3 南黄海中部隆起 CSDP-2 井地震剖面及解释结果

Fig. 3 Seismic profile and data interpretation of CSDP-2 well on the central uplift of the South Yellow Sea

3.3 热演化历史

通过 CSDP-2 井 2 000 m 段岩心的古温标热 史分析,重建了其晚古生代末以来的热演化历史 (图 4)。南黄海中部隆起晚古生代古地温较低, 早二叠世受大规模海侵作用影响,沉积速率加快, 地层温度整体呈现缓慢升高趋势,晚三叠世开始 升温过程加快,在晚侏罗世最高可达 190 ℃。此 后,受印支运动影响,区域挤压作用增强,地层整 体抬升并遭受剥蚀,古地温降低,在此期间,部分 地区因前陆沉积的发育,导致地层小幅升温,之后 伴随早白垩世末期强烈的隆升及剥蚀过程,降温 幅度较大,二叠系龙潭组样品磷灰石裂变径迹分 析表明,其在早白垩世尚未进入 80~110 ℃退火 带温度区间,此时的古地温大致在 110~140 ℃, 之后发生两期快速降温,一是约 80~75 Ma 期间 的冷却事件,古地温下降到磷灰石裂变径迹退火 带范围,其次是渐新世末期(~35 Ma)的快速降 温过程,并持续到中新世早期。新近纪开始,南黄 海盆地开始发生拗陷沉降,导致地温小幅回升至 现今水平。



图 4 CSDP-2 井 2 000 m 段埋藏史及古地温模拟结果

Fig. 4 Buried history and paleogeothermal simulation results of the upper 2 000 m of CSDP-2 well

4 结论

(1)大陆架科学钻探 CSDP-2 井钻探揭示了 自晚奥陶世一早志留世高家边组,至三叠纪青龙 组,近乎完整的地层,能较完整地揭示南黄海这一 时期的构造演化框架。

(2)南黄海受印支一早燕山运动影响非常大, 发育多期多次的逆冲推覆构造,在 CSDP-2 井中 最大的滑脱层是孤峰组顶部/龙潭组底部,其造成 的印支面的剥蚀量高达1200~1400 m。中部隆 起受加里东运动影响,以垂向的抬升为主,表现为 中上志留统和下中泥盆统的缺失。

(3)南黄海中部隆起古地温自晚古生代至侏 罗纪末期大致为持续的升温过程,并于晚三叠世 早期达到顶峰,主控因素为相对稳定的沉积发育 过程,随后受区域挤压逆冲影响,地层相对抬升, 古地温降低,自中晚白垩世开始,伴随区域隆升及 剥蚀速率的加快,出现 80~75 Ma 及 35 Ma 的两 期明显的冷却降温事件。