

南黄海盆地二叠系地震地层特征与识别

雷宝华, 陈建文, 李 刚, 龚建明, 张银国, 杨艳秋, 王建强

(国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071; 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071; 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266071)

摘 要:南黄海盆地钻遇二叠系的井仅有 4 口, 对大面积无井区(如崂山隆起)的地层特征认识不统一。从二叠系岩性特征和海陆钻井地层对比为出发点, 结合二叠系内部及其上下地层的地震波组和速度特征, 认为南黄海盆地二叠系分上下 2 段。上段为大隆—龙潭组含煤碎屑岩地层, 煤系地层较薄且分布不稳定, 存在相变特征, 使得该组地层在地震反射特征上的规律性变差, 地震上表现为较连续、中—高频反射和低速特征; 下段为栖霞组灰岩夹泥页岩地层, 地震上表现为较连续、中—低频反射和高速特征。在无井区识别二叠系时, 抓住二叠系地层界面极性为“2 负+1 正”的强反射特征。下二叠统一中、上石炭统地震波组特征相似, 由 4~5 个同相轴组成, 厚度稳定(时间约为 200 ms), 地震波极性表现为“上正下负”的地层界面反射特征, 可作为全区追踪的标准层。

关键词:南黄海盆地; 二叠系; 地震地层; 标准层; 速度反转

中图分类号: P539.1; P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2016.01005

南黄海盆地的油气勘探始于 20 世纪 60 年代, 主要目的层为中、新生代陆相沉积, 多侧重于古近系的研究。从 20 世纪 80 年代开始重视海相中—古生界的油气地质研究^[1]。近年来, 新一轮的油气地质调查在崂山隆起取得了突破性进展, 在新近系之下发现了层状地层的有效地震反射, 使南黄海盆地海相地层的油气勘探成为人们关注的热点^[2]。

海相中—古生代地层的突破口主要是针对二叠—三叠系的研究。前人对二叠—三叠系地层(主要关注的是三叠系下统青龙组—二叠系上统龙潭组、大隆组)的研究涉及到地震多属性^[3, 4]、

沉积相^[5-8]、烃源岩孢粉相^[9]、构造作用及油气成藏^[10-12]等多个方面。

由于①海相地层的勘探程度低(钻遇二叠系地层的钻井仅有 4 口, 大面积为无井区); ②地震资料品质不佳; ③构造复杂(受印支—喜山运动的影响, 中生界—古生界海相地层产生强烈褶皱和断裂, 地层剥蚀严重, 海相构造层演化南、北差异很大)等原因, 导致地震反射层的地层属性的确定存在困难^[4], 使得石油地质学家对区内地层和岩性的猜测较多, 对地层的归属存在争议, 认识不一^[1, 13]。

1 区域地质概况

南黄海盆地位于下扬子地块东北部, 为扬子地块向海域的延伸, 是叠合于下扬子地台前震旦系变质岩基底上, 由海相中—古生界残留盆地和陆相中—新生界断陷盆地构成的多旋回叠合盆地^[14-16]。自北向南分布着烟台坳陷(北部坳陷)、

收稿日期: 2015-12-10

基金项目: 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室开放基金(MRE201316); 中国地质调查局项目“南黄海海域油气资源普查”(GZH200800503)

作者简介: 雷宝华(1984—), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事石油构造分析和海洋油气地质方面的研究工作。E-mail: manoil@163.com

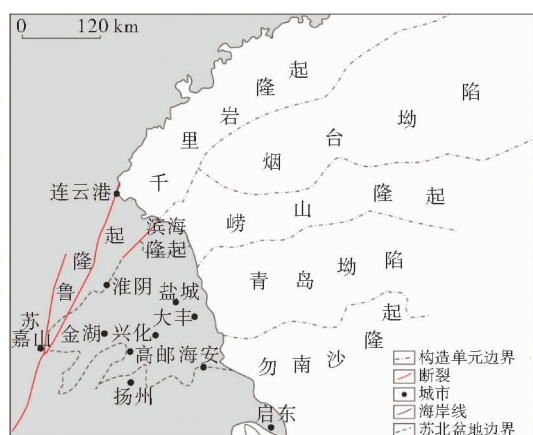


图 1 南黄海盆地构造单元划分(据文献 [21])

Fig. 1 Sketch for tectonic unit division of the South Yellow Sea Basin (from reference [21])

崂山隆起(中部隆起)和青岛坳陷(南部坳陷)3个二级构造单元^[17, 18](图1)。钻井揭露地层包括石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系与第四系,最老地层为石炭系;钻遇岩性有碳酸盐岩、煤系和碎屑岩^[19](图2)。根据下扬子区陆上苏北盆地揭示的海相地层,自下而上发育有震旦系、寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系^[20],推测南黄海盆地震旦系—古生界发育完整。



图 2 南黄海盆地钻遇的海相地层(据文献 [4])

Fig. 2 Drilling encountered marine strata in the South Yellow Sea Basin (from reference [4])

2 钻井岩性特征

南黄海盆地 1961 年开始油气勘查,而首口钻井始于 1974 年,至今超过 1 000 m 的钻井总计 27 口(包括 5 口韩国钻井和 1 口钻进中的科学钻井 CSDP-02)。其中,共有 8 口井钻遇中生界—古生界海相地层。仅 4 口井揭露古生界,分别是 WX5ST-1、CZ35-2-1、CZ12-1-1 及 CSDP-02。

由于地层岩性和物性的差异,会造成地震波运动学和动力学方面的差异。为了识别二叠系内部以及二叠系上下界面地震地层特征,下文从南黄海及陆上邻区钻井岩性特征对二叠系及上覆和下伏地层岩性进行描述。

2.1 下三叠统青龙组(T_1q)

南黄海盆地目前有 6 口井钻遇三叠系,钻遇地层最全的井位于青岛坳陷,钻遇了完整的青龙组,厚 1 410 m。青龙组以大套灰岩为特征,为碳酸盐台地相和缓坡相沉积^[4]。青龙组分上下 2 段,上段厚 530~580 m,以大套厚层灰岩为主^[4, 13, 22];下段厚 800~850 m,灰岩与泥质灰岩互层,夹泥岩和粉砂岩^[4, 13, 22]。

2.2 上二叠统大隆—龙潭组(P_2d+P_2l)

大隆组:厚 110~115 m,主要岩性为页岩、钙质页岩,为盆地相沉积^[4, 13, 22]。

龙潭组:厚 330 m,其上段为灰白—深灰色细砂岩、黑色泥岩,夹多层煤层;下段为灰白—深灰色粉细砂岩、粉砂岩间夹灰岩薄层;横向上岩性可变为以黑色泥岩为主夹砂岩和炭质泥岩^[22]。

在过煤 14 井(位于陆上滨海隆起)—CZ35-2-1 井(位于勿南沙隆起)—WX5-ST1 井(位于青岛坳陷)的龙潭组沉积相连井对比图上可以看出(图 3),龙潭组地层横向存在相变,煤层厚薄不均,说明龙潭组煤系地层分布不稳定,总体属于滨海三角洲—沼泽相沉积^[4]。

2.3 下二叠统一中、上石炭统(P_1+C_{2+3})

下二叠统:栖霞组厚 200~300 m,主要岩性为深灰—黑色灰岩、泥灰岩,局部夹黑色页岩和炭质页岩,上部灰岩中偶含白云质和燧石结核,属于

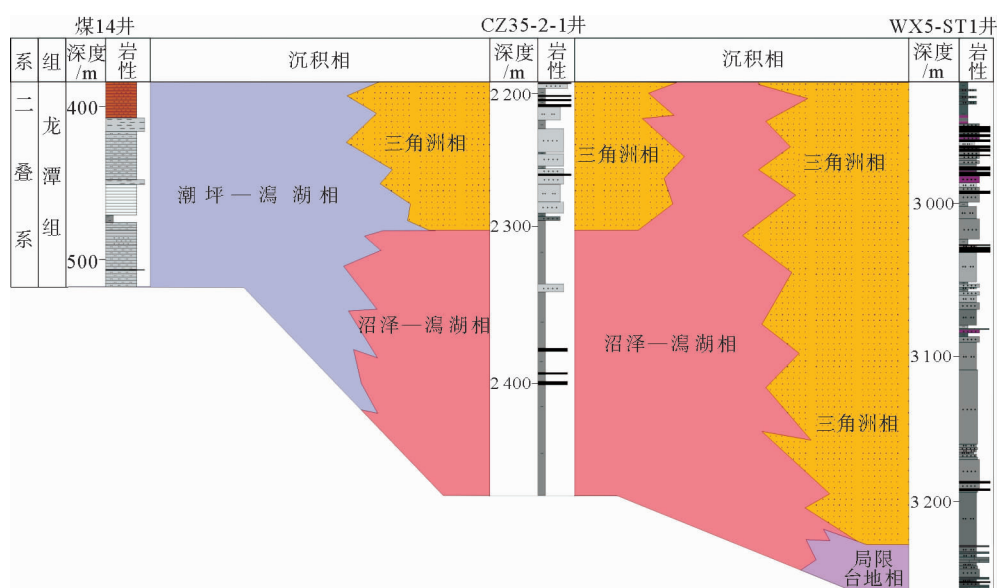


图 3 滨海隆起煤 14 井—南黄海盆地 CZ35-2-1 井—WX5-ST1 井龙潭组沉积相连井对比

Fig. 3 Facies correlation of the Longtan Formation based on Wells Mei 14 (in the Coastal Uplift), CZ35-2-1 and WX5-ST1 (in the South Yellow Sea Basin)

开阔台地相沉积;孤峰组厚 30~60 m,主要岩性为薄层硅质岩、硅质页岩夹炭质页岩,属于盆地相沉积。

中、上石炭统:与栖霞组地层相似,为灰岩夹泥页岩地层。

2.4 志留系—上泥盆统—下石炭统

为一大套以砂岩为主,夹有泥岩、页岩、泥灰岩和白云岩的碎屑岩储层。

3 地震地层特征

在常规的地震资料中,地震反射参数包括地震相的外形与内部结构、与顶底界的接触关系、反射的振幅、连续性、频率、层速度及参数的侧向变化。这些参数和地下地层的沉积特点是相关的,如反射的振幅反映了层间的岩性差异,连续性反映了沉积过程的稳定性,频率的高低反映了沉积的速度等,所以要充分运用地震资料中的各种参数来进一步认识地下地层的变化情况^[13]。

3.1 下三叠统青龙组

在过井(CZ35-2-1、WX5-ST1)的 97R33(图 4)及 XQ06-4 剖面(图 5)所标定的三叠系中、下统

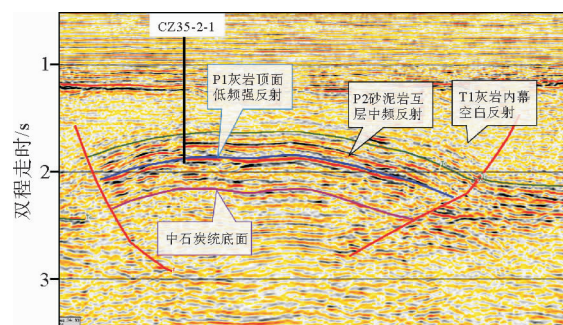


图 4 位于勿南沙隆起过 CZ35-2-1 井 97R33 解释剖面

Fig. 4 The seismic interpretation section crossing Well CZ35-2-1 located in the Wunansha Uplift

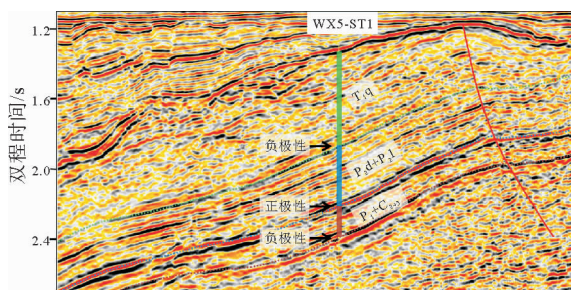


图 5 位于青岛坳陷过 WX5-ST1 井的 XQ06-4 地震剖面

Fig. 5 The XQ06-4 seismic section crossing Well WX5-ST1 located in the Qingdao Depression

地震反射层序内,其地震地层特征总体表现为:中—弱振幅、不连续—较连续—连续、中—高频

率、平行—较平行内部反射结构和席状外部形态。

上下青龙组由于灰岩成分的不同,形成了不同地震反射特征。上青龙组泥晶灰岩,成分较单纯,因此,内幕无明显成层性反射;而下青龙组由于是泥质灰岩与泥晶灰岩互层,所以纵向上形成一套中等频率的密集反射。青龙组层速度表现为高速,为 5 200~6 500 m/s(图 6)。

3.2 上二叠统大隆—龙潭组

在过井(CZ35-2-1、WX5-ST1)的 97R33(图

4)及 XQ06-4 剖面(图 5)所标定的上二叠统(煤系地层)地震反射层序内,地震地层特征总体表现为:中—弱振幅、不连续—较连续—连续、中—高频率、平行—较平行内部反射结构和席状外部形态。煤系地层发育处,在地震剖面上表现为较强振幅反射,但反射振幅在横向上会因含煤层厚度变化而变化。上二叠统碎屑岩速度表现为低速,大小为 3 800~5 200 m/s(图 6)。在该套地层的顶部,速度反转,地震最强相位表现为负极性(黑轴为负极性,红轴为正极性)。

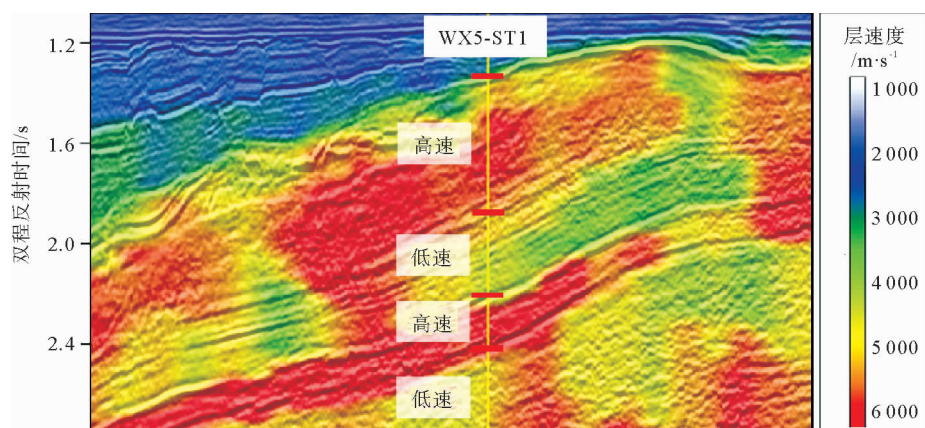


图 6 过 WX5-ST1 井的 XQ06-4 层速度剖面

Fig. 6 The XQ06-4 interval velocity section crossing Well WX5-ST1

从已有钻井来看,CZ35-2-1 井 VSP 测井资料提供的青龙组的层速度是 5 229 m/s,大隆+龙潭组层速度是 3 851 m/s,而 WX5-ST1 井声波测井资料转换的青龙组的层速度是 6 261 m/s,大隆+龙潭组层速度是 4 350 m/s^[13]。下三叠统青龙组灰岩地层与上二叠统大隆—龙潭组碎屑岩之间确实存在速度反转。

3.3 中、上石炭统一下二叠统栖霞组

由于中、上石炭统与下二叠统栖霞组岩性相似,主要为灰岩夹泥岩地层,因此,在地震反射特征上难以区分。该套地层在地震剖面上大体由 4~5 个同相轴组成,厚度稳定(时间厚度约为 200 ms),表现为中等振幅、连续—较连续、中—低频率、平行—较平行内部反射结构和席状外部形态(图 4、5)。石炭系—二叠系下统为碳酸盐岩

地层,层速度表现为高速,大小为 5 500~6 000 m/s(图 6)。

在该套地层的顶部,从上二叠统大隆—龙潭组煤系地层到中、上石炭统一下二叠统栖霞组灰岩地层,速度正向突变,可形成强波阻抗面,地震最强相位表现为正极性(图 4、图 5)。在该套地层的底部,从中、上石炭统一下二叠统栖霞组灰岩地层到志留系—上泥盆统一下石炭统碎屑岩地层,速度反转,可形成强波阻抗面,地震最强相位表现为负极性(图 4、5)。

因此,二叠系地层界面为“2 负+1 正”的界面强反射特征。“2 负”强反射界面将二叠系+中、上石炭统与上覆下三叠统青龙组地层和下伏志留系—上泥盆统一下石炭统分开;“1 正”强反射界面将上二叠统大隆—龙潭组煤系地层和下二叠统栖霞组地层分开。

4 结论

(1)南黄海盆地二叠系地层分上下 2 段。上段为大隆—龙潭组含煤碎屑岩地层,煤系地层较薄且分布不稳定,存在相变特征,使得该组地层在地震反射特征上的规律性变差,地震上表现为较连续—连续、中—高频反射特征;下段栖霞组—中、上石炭统为灰岩夹泥页岩地层,使得栖霞组—石炭系地震反射波组表现为较连续、中—低频反射特征。

(2)在识别无井区的二叠系地层时,应抓住二叠系地层界面为“2 负+1 正”的界面强反射特征。二叠系顶面:从高速层到低速层,成负极性较强反射;上下二叠统界面:上二叠统大隆—龙潭组碎屑岩与下二叠统栖霞组灰岩为由低速层到高速层成正极性较强反射特征;二叠系—中、上石炭统底界:二叠系—中、上石炭统灰岩与下伏志留系—上泥盆统—下石炭统碎屑岩,从高速层到低速层成负极性较强反射特征。

(3)栖霞组—石炭系地震波组特征可作为全区追踪的标准特征波。在地震反射特征上,栖霞组—石炭系表现为低频和高速,由 4~5 个同相轴组成,厚度稳定(时间约为 200 ms),其上下界面地震反射表现为强振幅,反射波极性为“上正下负”。

参考文献:

- [1] 杨艳秋,易春燕,李 刚.南黄海中部长隆起地震层序地层的识别及其地质时代探讨[J].海相油气地质,2015,20(4):49-56.
- [2] 张海敏,陈建文,李 刚,等.地震调查在南黄海崂山隆起的发现及其石油地质意义[J].海洋地质与第四纪地质,2009,29(3):107-113.
- [3] 吴淑玉,刘 俊,肖国林,等.地震多属性预测技术在南黄海二叠系至三叠系沉积分析中的应用[J].海洋地质与第四纪地质,2011(5):109-116.
- [4] 林年添,高登辉,孙 剑,等.南黄海盆地青岛坳陷二叠系、三叠系地震属性及其地质意义[J].石油学报,2012,33(6):987-995.
- [5] 王明健,张训华,王安国,等.南黄海盆地南部坳陷下三叠统沉积相[J].海洋地质前沿,2014,30(10):51-56.
- [6] 张银国,梁 杰.南黄海盆地二叠系至三叠系沉积体系特征及其沉积演化[J].吉林大学学报(地球科学版),2014,44(5):1406-1418.
- [7] 王明健,张训华,王安国,等.南黄海盆地南部坳陷二叠系龙潭组—大隆组沉积相[J].海洋地质前沿,2014,30(7):46-50,65.
- [8] 张银国,陈清华,陈建文.南黄海盆地上二叠统一三叠统基准面旋回特征及沉积充填模式[J].海相油气地质,2015,20(3):10-16.
- [9] 谭思哲,高顺莉,葛和平,等.南黄海盆地二叠系烃源岩孢粉相特征及其形成环境[J].吉林大学学报(地球科学版),2015,45(3):691-700.
- [10] 王明健,张训华,吴志强,等.南黄海南部坳陷构造演化与二叠系油气成藏[J].中国矿业大学学报,2014,43(2):271-278.
- [11] 王明健,张训华,肖国林,等.南黄海盆地南部坳陷三叠纪以来的构造演化与油气成藏[J].天然气地球科学,2014,25(7):991-998.
- [12] 梁 杰.构造作用对南黄海盆地三叠系青龙组储层的影响[J].海洋地质前沿,2014,30(10):57-61.
- [13] 杨艳秋.南黄海南部二叠系上统—三叠系下统的分布特征及油气勘探的意义[D].长春:吉林大学,2004.
- [14] 郭玉贵,李延成,许东禹,等.黄东海大陆架及邻域大地构造演化史[J].海洋地质与第四纪地质,1997,17(1):2-13.
- [15] 蔡乾忠.中国东部与朝鲜大地构造单元对应划分[J].海洋地质与第四纪地质,1995,15(1):7-24.
- [16] 张训华,杨金玉,李 刚,等.南黄海盆地基底及海相中、古生界地层分布特征[J].地球物理学报,2014,57(12):4041-4051.
- [17] 邢 涛,张训华,张维冈.南黄海区域地质构造研究进展[J].海洋地质动态,2005,21(12):6-9.
- [18] 闫桂京,李慧君,何玉华,等.南黄海水相层石油地质条件分析与勘探方向[J].海洋地质与第四纪地质,2012,32(5):107-113.
- [19] 许 红,张海洋,张柏林,等.南黄海盆地 26 口钻井特征[J].海洋地质前沿,2015,31(4):1-6.
- [20] 梁 杰,张银国,董 刚,等.南黄海水相中—古生界储集条件分析与预测[J].海洋地质与第四纪地质,2011,31(5):101-108.
- [21] 杨艳秋,李 刚,易春燕.南黄海盆地海相地层地震反射特征及地震层序地质时代[J].东北石油大学学报,2015,39(3):50-59,124.
- [22] 蔡乾忠.中国海域油气地质学[M].北京:海洋出版社,2005:406.

SEISMIC STRATIGRAPHIC FEATURES AND RECOGNITION OF THE PERMIAN IN THE SOUTH YELLOW SEA BASIN

LEI Baohua, CHEN Jianwen, LI Gang, GONG Jianming, ZHANG Yinguo,
YANG Yanqiu, WANG Jianqiang

(Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China;
Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China;
Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China)

Abstract: Only four wells have been drilled up to the Permian so far in the South Yellow Sea Basin, and the understanding is diverse concerning its stratigraphic features in the huge area without wells, e. g. the Laoshan Uplift. This article is supposed to be a starting point from lithology and land-sea correlation to drilled strata of the Permian for further study of seismic wave groups and velocity characteristics of its internal, Upper and Lower Permian strata in the South Yellow Sea Basin. Studies suggest that: the Permian is divided into upper and lower groups. The upper group includes the Dalong and Longtan Formations and is a coal-bearing clastic deposit. The coal seams are thin and distributed unstably, showing characteristics of phase transition, so the strata's regularity is deteriorated in seismic reflections. The seismic is slight continuous with middle-high frequency and low interval velocity; the lower section is the Qixia Formation containing limestone intercalating shale. The seismic is slightly continuous with middle-low frequency and high interval velocity. In the area in absence of wells, the Permian may be identified with the strong reflections of strata interface polarity of "2-negative and 1-positive" characteristics. The Lower Permian, Middle and Upper Carboniferous show similar seismic patterns, which consist of 4-5 seismic events, with rather stable thickness (about 200ms time thickness), and seismic wave polarity in "up-positive and down-negative" interface reflection characteristics. It can be used as the standard for regional correlation.

Key words: South Yellow Sea Basin; Permian; seismic stratigraphy; standard layer; speed reverse