

doi: 10.12029/gc20180107

王改云, 刘金萍, 王嘹亮, 简晓玲. 2018. 北黄海东部次盆地下白垩统沉积环境及沉积充填 [J]. 中国地质, 45(1): 69–80.

Wang Gaiyun, Liu Jinping, Wang Liaoliang, Jian Xiaoling. 2018. Early Cretaceous sedimentary environment and filling in the Eastern Sub-basin, North Yellow Sea[J]. Geology in China, 45(1): 69–80(in Chinese with English abstract).

北黄海东部次盆地下白垩统沉积环境及沉积充填

王改云 刘金萍 王嘹亮 简晓玲

(国土资源部海底矿产资源重点实验室, 广州海洋地质调查局, 广东 广州 510075)

摘要:下白垩统是北黄海东部次盆地目前最重要的油气勘探层位, 准确认识下白垩统的沉积特征, 对下一步油气勘探战略选区及优化勘探部署具有重要意义。依据钻测井、地震资料, 利用古生物、地球化学、地球物理等手段, 研究了下白垩统的沉积相类型, 分析了古气候、古盐度、古水动力、古物源等沉积环境, 最终探讨了三级层序地层格架内下白垩统的沉积充填及演化。结果表明, 北黄海东部次盆地下白垩统发育扇三角洲-湖泊沉积体系。该时期以亚热带炎热半干旱气候为主, 夹短暂温湿气候。古水体为淡水-半咸水性质, 接受来自北部、东部、西南等多个方向的物源供给。早期地层分布局限, 以滨浅湖亚相、扇三角洲相沉积为主; 之后, 湖泊水体范围扩大, 发育扇三角洲平原-扇三角洲前缘-滨浅湖亚相沉积序列; 中晚期地层受区域抬升作用的影响, 仅残存于盆地西北部, 以滨浅湖相沉积为主。

关键词:北黄海; 东部次盆地; 下白垩统; 沉积环境; 沉积充填

中图分类号: P736.21⁺3 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2018)01-0069-12

Early Cretaceous sedimentary environment and filling in the Eastern Sub-basin, North Yellow Sea

WANG Gaiyun, LIU Jinping, WANG Liaoliang, JIAN Xiaoling

(MLR Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, Guangdong, China)

Abstract: The Lower Cretaceous strata constitute the most important oil and gas exploration horizon at present in the Eastern Sub-basin of the North Yellow Sea. Accurate understanding of the Lower Cretaceous sedimentary characteristics is very important for the further strategic exploration and optimization of exploration deployment. According to drilling, well logging and seismic data and by means of paleontology, geochemistry and geophysics, the sedimentary facies types in the study area were analyzed. The sedimentary environments of paleoclimate, paleo-salinity, paleo-hydrodynamic force and provenance were studied. Finally, the sedimentary filling and evolution characteristics of the Lower Cretaceous period were discussed under the third sequences stratigraphic framework. The results show that the fan deltas and lacustrine facies were developed in the Lower Cretaceous. This period was dominated by subtropical hot and semi-arid climate, characterized by shortage of warm and humid climate. The ancient water bodies were fresh and brackish. The provenance was from north, east, southwest and some other directions. The early stratigraphic distribution of Lower Cretaceous was limited, and the sedimentary facies were dominated by shore shallow lake and fan delta

收稿日期: 2017-06-22 改回日期: 2018-01-29

基金项目: 国土资源部海底矿产资源重点实验室开放基金(KLMR-2014-A-10)资助。

作者简介: 王改云, 女, 1980年生, 博士, 高级工程师, 主要从事层序地层学及沉积学研究; E-mail: gaiyun520@163.com。

interbedding. After that, the lake water bodies expanded, and the sedimentary sequence of fan delta plain, fan delta front and shore shallow lake developed vertically. In the middle and late stage, influenced by the regional uplift and denudation, the strata remained only in the northwestern part of the basin, and the sedimentary facies were dominated by shore shallow lake.

Key words: North Yellow Sea; Eastern Sub-basin; Lower Cretaceous; sedimentary environment; sedimentary filling

About the first author: WANG Gaiyun, female, born in 1980, doctor candidate, senior engineer, mainly engages in sequence stratigraphy and sedimentology research. E-mail: gaiyun520@163.com.

Fund support: Support by Open Foundation for MLR Key Laboratory of Marine Mineral Resources(No. KLMMR-2014-A-10).

1 引 言

海域中生界是中国油气勘探的重要接替战场,目前已对中国近海中生界的油气勘探作了一些探索,除渤海海域外,其余海域至今未取得较好的油气突破。北黄海东部次盆地,前人多称之为“东部坳陷”(杜民等,2016;胡小强等,2015,2017;王改云等,2015),随实物资料的丰富及研究程度的深入,被确认发育一套中新世代碎屑岩沉积地层,周缘为前中生代基底隆起区,整体为独立的具盆状形态的地壳构造单元,故应为北黄海盆地群中的一个小型次盆地。东部次盆地是中国近海勘探及研究程度均较低的一个中生代含油气盆地,该盆地下白垩统是油气勘探的主力层系,油气显示活跃,已有多口井在该层获得油流,展示了下白垩统良好的油气资源前景。由于构造及油气成藏条件复杂,目前尚未取得油气勘探的重大突破。对于盆地构造、地层、沉积、成藏等方面前人研究较多(杜民等,2016;胡小强等,2015,2017;王改云等,2015;刘金萍等,

2015),而对于沉积环境研究较少,该时期的沉积格局对油气成藏规律的分析及有利勘探区带的预测具有重要意义。因此,笔者尝试利用已有的20余口钻测井资料,结合地震资料,探讨北黄海东部次盆地下白垩统的沉积环境及沉积充填,为该盆地下白垩统的油气勘探奠定基础。

2 地质背景

北黄海东部次盆地位于北黄海海域,构造上处于苏鲁造山带—临津江造山带与胶辽隆起之间。北为海洋岛隆起区,东靠朝鲜半岛西缘断裂,南临刘公岛隆起区。盆地面积超过5000 km²,现今呈“两坳四隆”的构造格局(图1)。其中,面积最大的中部坳陷,受控于边界断裂,整体呈“南断北超、西断东超”的半地堑形态,断层及局部构造发育,断层走向以北东和北西向为主,部分为近东西向,该坳陷是油气勘探的重点区域。

东部次盆地经历多期构造运动,盆地基底为太古宇—古元古界石英岩、片岩、片麻岩等中—深变

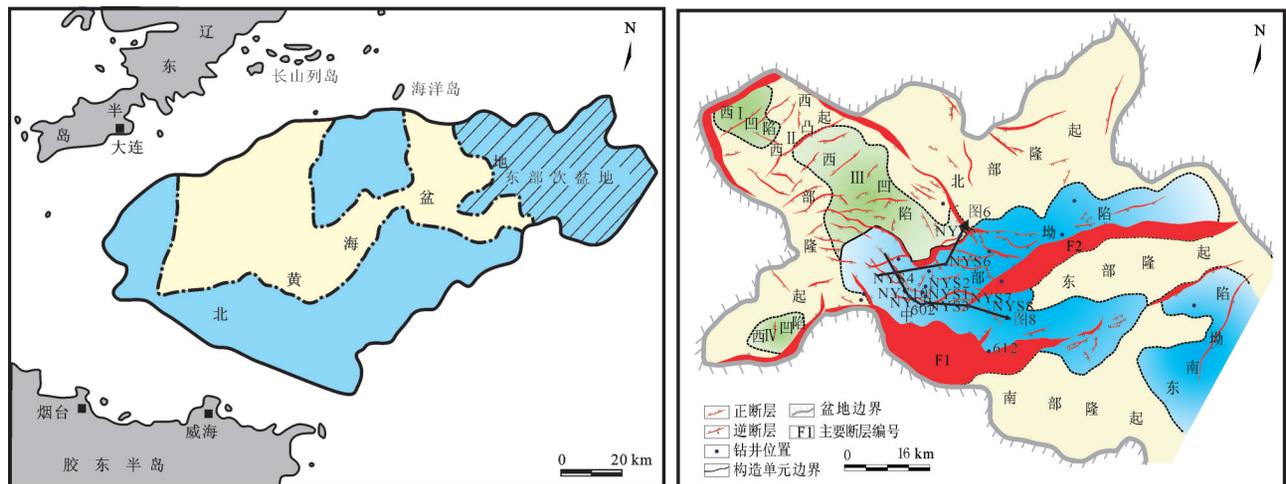


图1 北黄海东部次盆地地理位置及构造区划

Fig.1 Geographic location and tectonic division of the Eastern Sub-basin, North Yellow Sea

质的结晶岩系,局部残留中新元古界—寒武系的碳酸盐岩、板岩等。沉积盖层有中侏罗统、上侏罗统、下白垩统、渐新统、新近系、第四系等地层,总沉积厚度为400~7700 m。以陆相碎屑岩沉积为主,局部见岩浆岩侵入。

东部次盆地白垩纪的发展和演化是在太平洋板块、伊泽纳崎板块向欧亚板块俯冲的区域背景下进行的。早白垩世早期继承晚侏罗世的构造格局持续发展,随着伊泽纳崎板块俯冲方向由北西向逐渐转为北西西向,区域岩石圈伸展减薄作用逐渐减弱,盆地断陷活动及沉降速率减缓,东部沉积范围收缩。在区域左行张扭背景下,盆内以走滑张扭裂陷活动为主,盆地逐渐向北西向迁移扩展,沉积地层由早期的仅局限于中部拗陷逐渐演化为在中部拗陷及西部隆起均有沉积。晚白垩世,伊泽纳崎板块和太平洋板块同时北西西向向欧亚大陆板块俯冲,中国东部区域性的左旋活动停止,大部分地区处于隆升剥蚀状态。此时东部次盆地也遭受强烈剥蚀(胡小强等,2017),盆地的最大剥蚀量达1600 m。

下白垩统是一套以红色色调为主的碎屑岩地层。底部与上侏罗统或前中生界低角度不整合接触,且向北西方向依次超覆于老地层之上,顶部向东南方向见明显削截现象(图2),现今残余地层厚度0~2000 m。根据钻井及高精度三维地震资料综合解释,下白垩统自下而上可划分为5个三级层序(K₁SQ1~K₁SQ5)(王任等,2015)。

K₁SQ1 分布局限,仅位于中部拗陷的中西部,是油气勘探的主要层段目前有多口井在该段砂岩储层中获取油流。其下部岩性主要为浅灰色细砂岩、粉砂岩与红色、灰色、深灰色泥岩不等厚互层,夹含砾不等粒砂岩,上部为砂砾岩、含砾砂岩、粗砂岩夹薄层泥岩。

K₁SQ2 在中部拗陷普遍发育,呈水体向上变深的地层堆砌样式,下部主要岩性为细砂岩、不等粒砂岩、砂砾岩,局部夹薄层的泥岩和粉砂岩,向上渐变为大套的厚层泥岩,偶夹薄层的细砂岩或粉砂岩,整体为一套正旋回组合。

K₁SQ3 分布在中部拗陷的中西部及西部隆起区,岩性以红褐色、灰色、棕色泥岩为主,夹薄层泥质粉砂岩、粉细砂岩。

上部的两个层序(K₁SQ4、K₁SQ5),受燕山晚期

构造抬升剥蚀的强烈影响,只残留于西部隆起区及中部拗陷的西北部(图2)。其中K₁SQ4在中部拗陷的西北边缘钻遇,岩性主要表现为含砾中砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩、红褐色泥岩正旋回。

3 沉积类型

通过钻井岩心观察、单井沉积序列分析等研究,认为东部次盆地下白垩统主要发育扇三角洲、湖泊沉积(图3)。

扇三角洲沉积,主要发育于K₁SQ1及K₁SQ2中,依据地震响应、岩性组合、电性特征、沉积韵律、沉积构造等资料,可识别出扇三角洲平原和扇三角洲前缘两个亚相。

扇三角洲平原亚相,是扇三角洲的水上部分,地震反射以中-弱振幅中连续-断续为主。扇三角洲平原亚相由单层厚度大、粒度粗的辫状河道和辫状河道间细粒沉积组成,其中辫状河道微相岩性以浅灰色砾岩、砂砾岩和含砾砂岩为主,砾石成分主要为石英砾和中基性火成岩块,少量泥砾,砾径为0.2~10 cm,次圆状,分选较差(图4a),发育底部冲刷面(图4e)、块状构造、大型斜层理、交错层理及粒序层理,测井组合以齿化箱形、钟形为主,垂向总体表现为正旋回特征。辫状河道间微相岩性主要为红褐色、灰色泥岩、含砾泥岩及砂质泥岩,含有较多炭屑和炭化植干(图4h),测井曲线上表现为薄层的低幅锯齿状。

扇三角洲前缘亚相,是扇三角洲沉积的主体,地震剖面上以中振幅中连续-断续地震反射特征为主,见典型的中振幅中连续下超前积地震相。扇三角洲前缘亚相由水下分流河道和河道间组成。水下分流河道的岩性与陆上辫状河道相近,主要由细砾岩、含砾砂岩、砂岩组成,顶部为泥岩。底部有冲刷面,发育块状层理(图4d)、斜层理(图4c)、交错层理、平行层理(图4f),局部见砾石定向排列和滞留的砾石、泥砾(图4g)。自然伽马及电阻率曲线均表现为中高幅微齿钟形、箱形。水下河道间沉积主要以灰色、灰绿色块状或具水平层理的砂质、粉砂质泥岩夹薄层或透镜状砂岩,发育透镜状层理、脉状层理、泄水构造、生物扰动等(图4b),测井曲线多为齿形、指形,单层厚度0.8~4 m,横向分布不稳定。

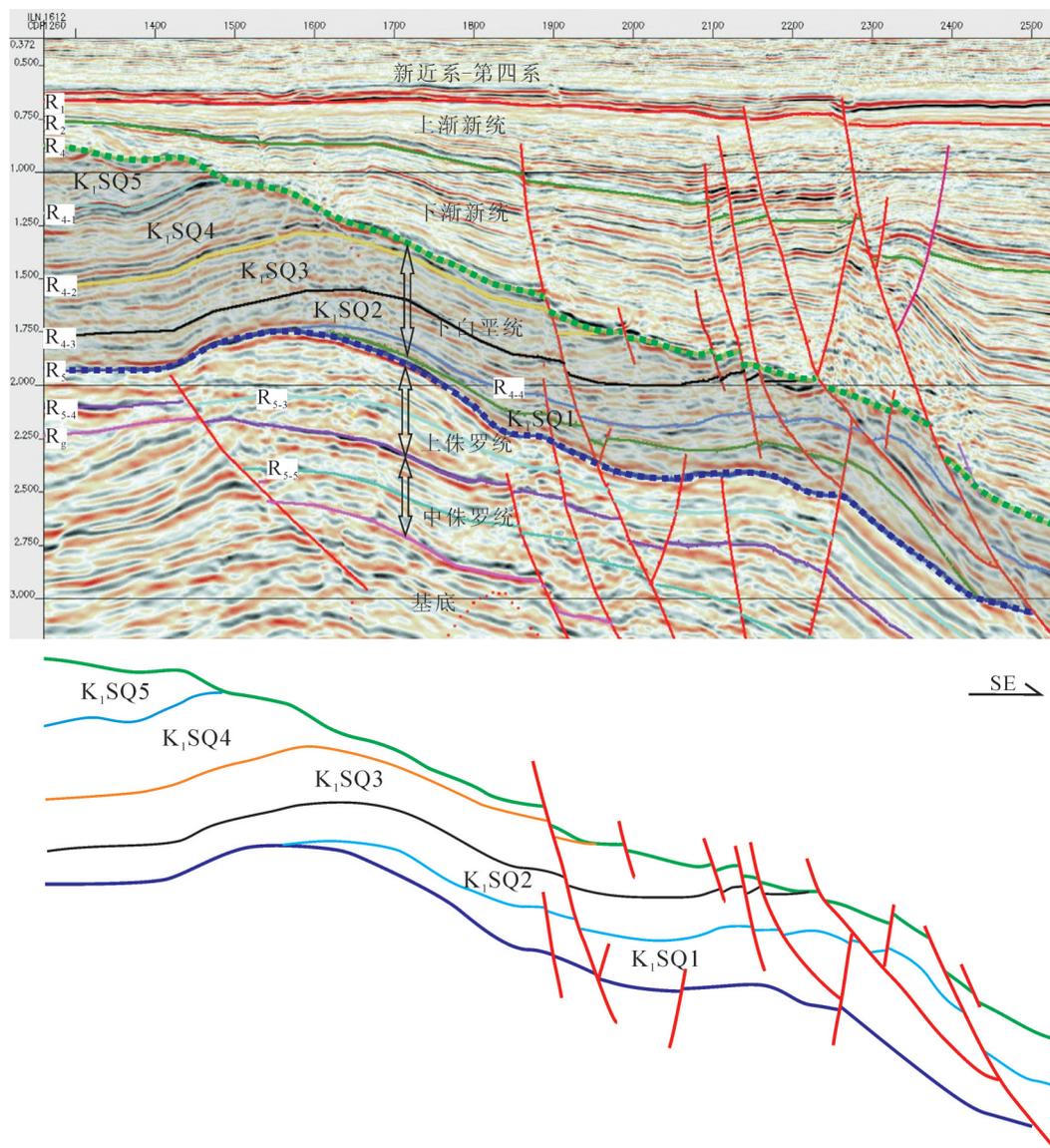


图2 北黄海东部次盆地地下白垩统层序地层格架

Fig.2 Sequence stratigraphic framework of lower Cretaceous in the Eastern Sub-basin, North Yellow Sea

湖泊沉积,主要发育滨浅湖亚相,在各层序中均有发育。岩性主要为灰褐色、灰色、红褐色泥岩、砂质泥岩和泥质粉砂岩,局部夹薄层细砂岩,发育水平层理、波状层理,常见泥岩与纹层状粉砂岩频繁互层,生物钻孔发育。横向分布相对稳定。测井曲线以微齿形为主,局部夹漏斗形和指形。

4 古沉积环境

碎屑岩的古沉积环境直接控制沉积相的类型、分布和演化。古沉积环境的恢复对于古地理演化分析

具有重要意义。受研究区勘探历史的限制,前人推断早白垩世北黄海位于干旱亚热带区,气候干燥,盆内充填陆相红层和火山碎屑岩(蔡峰,1997),但无实物资料证实。本文从近几年实施的多口探井出发,采用古生物、岩性组合、元素地球化学测试等资料综合恢复东部次盆地早白垩世的古沉积环境。

4.1 亚热带炎热半干旱古气候环境

泥岩颜色是沉积环境的良好反映标志。钻井资料表明,下白垩统总体为一套以红色色调为主的杂色碎屑岩组合,红褐色、褐灰色等偏氧化色的泥

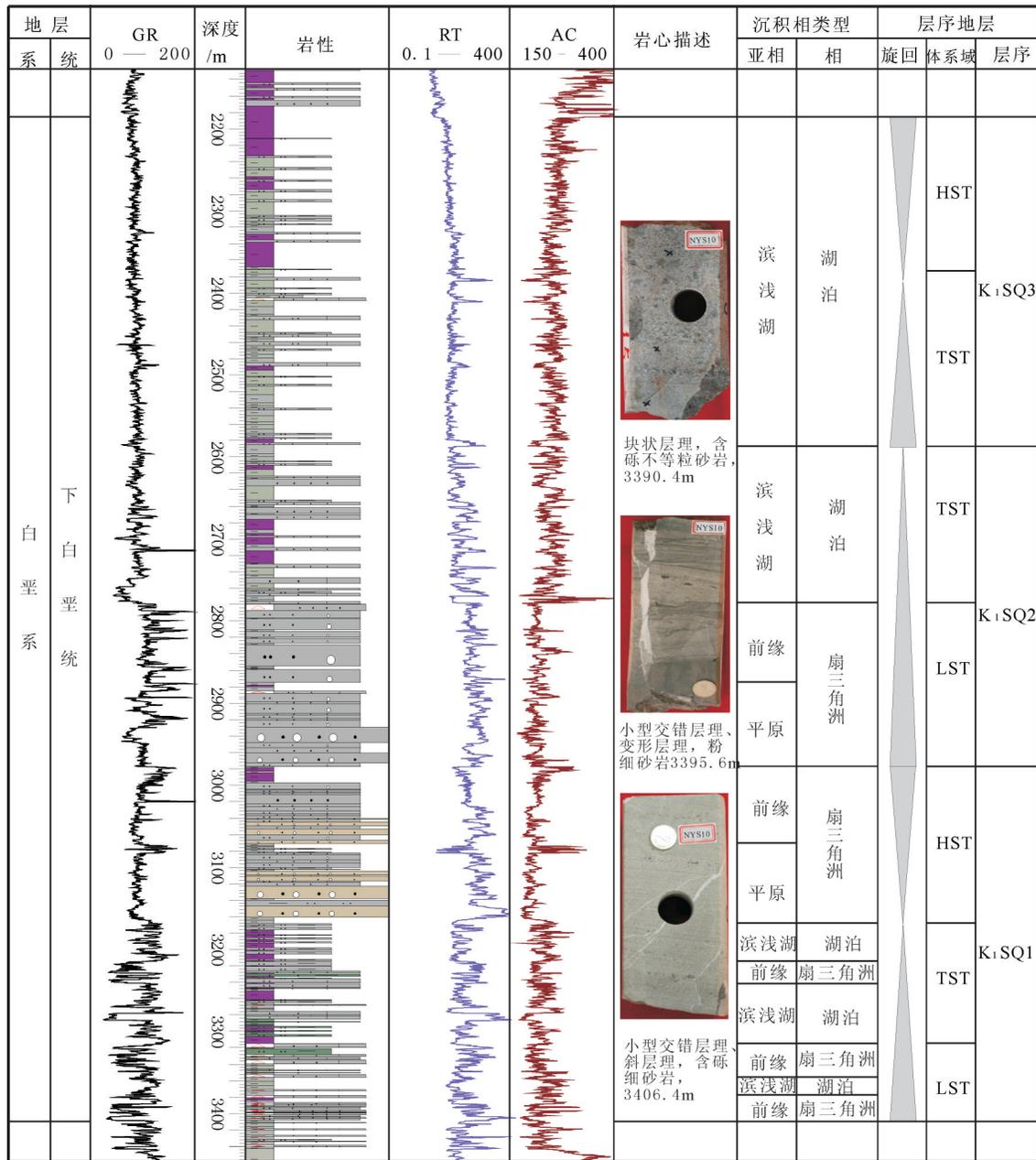


图3 北黄海东部次盆地NYS10井下白垩统单井沉积相

Fig.3 Sedimentary Facies of Lower Cretaceous in NYS10 well in the Eastern Sub-basin, North Yellow Sea

岩段广泛发育(图4)。滨浅湖相的泥质岩层累计厚度均大于100 m,最高达1043 m,但其有机碳含量极低,推断当时为半干旱气候。

孢粉是气候恢复最理想的指标。通过研究区20余口探井的孢粉资料可知,下白垩统裸子植物花粉占优势地位,主要是松科花粉,特别是 *Classopollis* (克拉梭粉) 含量高。蕨类孢子含量次之,见 *Cyathidites* (桫欏孢)、*Cicatricosisporites* (无突

肋纹孢)、*Schizaeosporites* (希指蕨孢) 等组合,说明当时气候较炎热干旱。胶莱盆地与朝鲜安州盆地为最邻接北黄海东部次盆地的陆域沉积盆地,同为中生代叠合盆地(吴琳等,2004),其中胶莱盆地下白垩统莱阳群为一套以灰绿色砾岩、灰紫色-黄绿色砂岩、粉砂岩、泥岩为主的河流-湖泊相沉积物(彭楠等,2015),当时为干旱-半干旱气候环境(周勇等,2011)。安州盆地下白垩统龙盘组孢粉组合



图4 北黄海东部次盆地下白垩统岩心沉积构造特征

Fig.4 Sedimentary structures on cores of Lower Cretaceous in the Eastern Sub-basin, North Yellow Sea

以裸子植物松柏纲花粉占绝对优势,海金沙科、莎草蕨科和桫欏科相当发育,反映当时为亚热带半干旱气候(江德昕等,1996)。

部分地球化学元素及其比值受成岩及后生作用影响较小,是判断古气候变化的良好标志。 MnO 、 Co 、 Sr/Cu 、 CaO/MgO 比值可间接反映古气候的变化。 Mn 在湖水中多以 Mn^{2+} 稳定存在,值越高代表蒸发越强烈,气候越炎热(梁文君等,2015)。 Sr/Cu 比值对古气候具较高的敏感度,通常认为 Sr/Cu 比值为 1.3~5.0 指示温湿气候,大于 5.0 则指示干热气候(钱利军等,2012)。通过多口井元素地球化学测试表明(表 1),研究区 Sr/Cu 比值变化范围为 2.69~34.12,平均值为 10.12,绝大部分样品都大于限

值 5,仅 K_1SQ1 的少量样品介于 2.69~4.98,且自下而上 Sr/Cu 比值逐渐变高,表明早白垩世整体以炎热半干旱气候为主, K_1SQ1 曾出现过短暂的温湿气候,此后气候逐渐趋向于干旱。

4.2 淡水-半咸水的古盐度条件

古盐度影响着湖盆的水介质条件,微量元素测试法是推断古盐度较有效的方法。微量元素 Sr (锶)、 Ba (钡)、 Ga (镓)、 B (硼)及其比值可以反映古盐度的变化及相对大小。不同地区盐度的 Sr/Ba 、 B/Ga 实际界限可能与区域环境背景值有关,但同一地区具明显的正相关性(林俊峰等,2015),比值随盐度增加而增加。一般认为,海相沉积 $Sr/Ba > 1$ 、 $B/Ga > 4$;陆相沉积 $Sr/Ba < 1$ 、 $B/Ga < 4$,其中 Sr/Ba 介

于0.5~1为半咸水环境, Sr/Ba < 0.5为淡水环境。

通过统计4口井31件泥质岩样品的微量元素数据可知, Sr/Ba 介于0.23~1.15, B/Ga 介于1.16~7.51, 大部分样品的 Sr/Ba < 1, B/Ga < 4。且 K₁SQ1样品的 Sr/Ba 多 < 0.5, 而 K₁SQ2样品的 Sr/Ba 则多介于0.5~1(表1, 图5), 指示了早白垩世整体为淡水~半咸水的古水体环境, 且 K₁SQ2的盐度高于 K₁SQ1, 其盐度特征与古气候特征一致。

4.3 浅水动荡的古水动力条件

早白垩世, 东部次盆地处于断陷萎缩阶段(王改云等, 2016), 基底沉降速率减缓, 边界及内部断

裂活动较弱, 对沉积控制不明显, 湖底地形较为平坦, 与周边物源区地形高差小。

水动力条件是水体深度、浪基面等的综合反映。下白垩统 K₁SQ2中上部及 K₁SQ3, 发育滨浅湖沉积。沉积物是一套厚达数百米的泥岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩夹薄层粉细砂岩, 岩性变化单调(图6)。其中, 泥岩颜色以褐色、红褐色、灰褐色、灰绿色为主, 褐、灰色相间为特色, 垂向上旋回发育, 平面上较为连续。反映了该时期湖水极浅, 受气候影响频繁变化, 碎屑物源供应不足。在水进体系域, 阵发性洪水导致大部分地区被淹没, 除洼地内灰色

表1 下白垩统部分泥岩样品元素地球化学测试结果

Table 1 Results of elemental geochemical test of mudstone samples of Lower Cretaceous

井号	深度/m	层序	B	Ba	Cr	Ga	Sr	MnO	Cu	Co	Sr/Ba	B/Ga	Sr/Cu	CaO/Mgo
			μg/g											
NYS4	1334.76	K ₁ SQ4	68.9	418	74.3	21.7	163	0.038	24.3	20.2	0.39	3.18	6.7	1.41
NYS4	1333.7	K ₁ SQ4	64.7	453	68.4	24.7	137	0.047	30.1	16.2	0.3	2.62	4.55	1.81
NYS4	1333.41	K ₁ SQ4	59.7	810	40.5	31.6	419	0.065	14.8	8.4	0.52	1.89	28.31	3.65
NYS4	1330.26	K ₁ SQ4	80.1	561	72.5	38.6	647	0.049	35.2	14.8	1.15	2.08	18.38	1.99
NYS1	2335.7	K ₁ SQ2	82.51	541	87.12	30.12	466.1	0.13	41.44	26.44	0.86	2.74	11.25	1.44
NYS1	2337.73	K ₁ SQ2	81.33	493.5	84.44	29.24	395.8	0.16	44.34	32.03	0.8	2.78	8.93	1.05
NYS1	2338.12	K ₁ SQ2	79.34	532.4	85.39	30.51	504.1	0.13	40.59	28.21	0.95	2.6	12.42	1.07
NYS1	2340.19	K ₁ SQ2	65.79	395.1	67.16	22.42	333.7	0.27	24.82	23.3	0.84	2.93	13.44	7.36
NYS1	2341.41	K ₁ SQ2	98.68	579.1	87.2	31.56	165.1	0.03	20.76	9.95	0.29	3.13	7.95	0.79
NYS4	2227.91	K ₁ SQ2	106	662	90.6	34.2	607	0.022	30.4	20.8	0.92	3.1	19.96	1.57
NYS4	2226.5	K ₁ SQ2	76.4	634	79.4	24	260	0.03	35.6	19.3	0.41	3.18	7.31	2.67
NYS4	2225.83	K ₁ SQ2	54.5	894	85.8	29.5	238	0.031	41.5	15	0.27	1.85	5.73	0.9
NYS4	2224.81	K ₁ SQ2	36.1	595	61.4	19.1	441	0.185	46.2	14.7	0.74	1.89	9.54	10.68
NYS4	2222.65	K ₁ SQ2	75.9	583	63.4	21.9	419	0.048	34.7	13.3	0.72	3.47	12.07	3.18
NYS1	2551.1	K ₁ SQ1	91.5	684	79.9	22.8	555	0.042	31.9	13.3	0.81	4.01	17.4	0.76
NYS1	2548.05	K ₁ SQ1	65.7	257	48.4	13.6	274	0.074	8.03	13.2	1.07	4.83	34.12	13.17
NYS1	2622.55	K ₁ SQ1	61.96	520	79.12	28.53	163.8	0.06	33.11	14.65	0.27	2.7	4.95	1.28
NYS1	2622.28	K ₁ SQ1	65.71	585	64.67	24.31	140.4	0.06	28.17	14.91	0.28	2.17	4.98	1.56
NYS3	2969.95	K ₁ SQ1	51.2	514	52.1	23.5	163	0.049	24.3	17.5	0.32	2.18	6.7	2.17
NYS3	2968.86	K ₁ SQ1	59.1	497	51.7	25.5	158	0.03	23.8	13.9	0.32	2.32	6.64	1.14
NYS3	2967.56	K ₁ SQ1	44.5	823	62.1	28.9	191	0.053	42.3	16.7	0.23	1.54	4.52	2.02
NYS3	2966.7	K ₁ SQ1	45.1	444	53.7	26.9	172	0.022	27.4	10.7	0.39	1.68	6.28	0.53
NYS3	3084.01	K ₁ SQ1	49.8	498	55.4	42.9	164	0.025	31.1	14	0.33	1.16	5.27	0.99
NYS3	3083.62	K ₁ SQ1	45.6	398	52.8	19.3	154	0.042	23.3	13.1	0.39	2.36	6.61	1.81
NYS9	3246.43	K ₁ SQ1	68.6	263	29.9	9.13	121	0.049	18.5	23.8	0.46	7.51	6.54	0.98
NYS9	3100.18	K ₁ SQ1	75	434	73.8	22.2	119	0.497	44.3	23.9	0.27	3.38	2.69	1.03
NYS9	3099.8	K ₁ SQ1	34.9	282	31.2	9.65	129	1.66	19	24.9	0.46	3.62	6.79	13.36
NYS9	3096.1	K ₁ SQ1	65.8	565	59.7	24.8	154	0.23	43.4	18.1	0.27	2.65	3.55	0.23

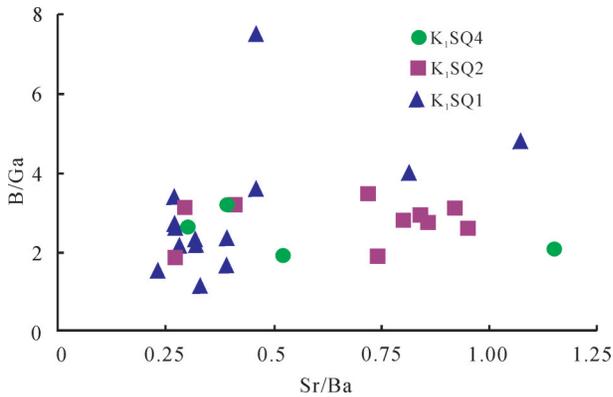


图5 下白垩统部分泥岩样品 Sr/Ba 与 B/Ga 相关图
Fig.5 Correlation of Sr/Ba and B/Ga of mudstone samples of Lower Cretaceous

泥岩外,多为灰绿色、灰褐色泥岩沉积,间夹薄层粉细砂岩;低位及高位体系域,原来的覆水区暴露地表接受氧化,形成褐色、红褐色泥岩。

4.4 多方向、近源、动态物源条件

早白垩世初期,盆地整体呈四面环隆、南陡北缓、一主坳多次坳的古地貌格局。通过对三维地震资料的反射特征、地震相、地震属性等的分析,认为

研究区物源具有多方向性,其中以北部、东部、西南方向的物源为主。通过对砂岩样品进行成分分析,发现盆地的不同部位其岩石成分略有不同。其中盆地中部砂岩类型以长石岩屑石英砂岩、岩屑石英砂岩为主,盆地北部主要为长石岩屑砂岩、岩屑砂岩,盆地东部则以长石岩屑砂岩为主。盆地北部与东部的岩屑成分及含量存在差异,盆地北部的 NYS6 井,镜下见较多的灰岩岩屑及岩屑被钙质交代的现象,且在盆地北缘的 NYS5 井钻遇前中生界灰岩基底,揭示盆地北部存在受基底灰岩影响的风化物源;盆地东部的 NYS7 井,物质组成为湖泊相沉积环境中陆缘细碎屑与火山灰的混合堆积,岩屑以火山岩屑为主,包括凝灰岩屑、流纹岩屑和安山岩屑,镜下同时见石英的溶蚀现象、凝灰质基质以及棱角状的石英颗粒被凝灰质基质包裹,其来自东部隆起的火山物源区。

物源的供给与分配是个动态过程且受古地貌影响,后期被覆盖的低凸起区在沉积早期可能为物源区(赖维成等,2010)。K₁SQ₁ 沉积期,沉积范围局限于中部坳陷的中西部,钻遇该套地层的 NYS9 井、NYS10 井,下部岩性为薄层泥岩、粉细砂岩互层,夹薄层含砾不等粒砂岩,上部为砂砾岩、砂岩沉积,砾

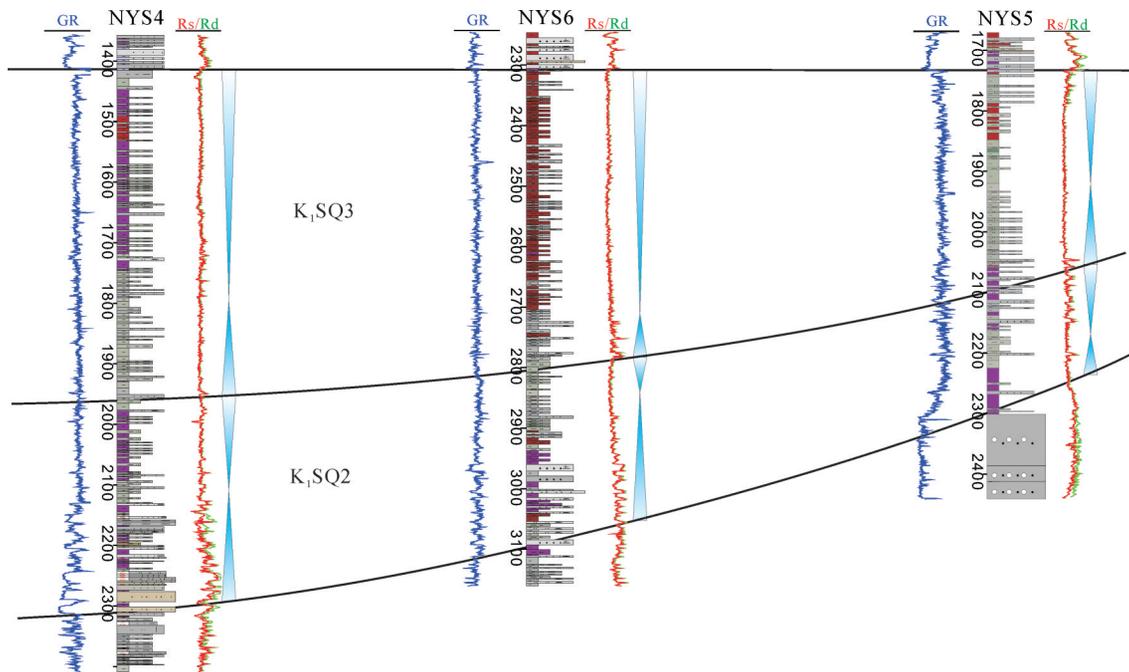


图6 北黄海东部次盆地下白垩统连井剖面图(剖面位置见图1)
Fig.6 Profiles of Lower Cretaceous in the Eastern Sub-basin, North Yellow Sea

石成分复杂,有花岗岩、火山岩、泥砾,同时大砾中含小砾,反映其物源搬运距离较近,周缘低凸起作为物源区,向坳陷中心输送砂体。至K₁SQ2沉积时期,底部仍为粗粒沉积,随着沉积基准面的上升,沉积范围北扩,物源区不断缩小,而可容纳空间大大增加,先前的剥蚀区接受沉积,主要以滨浅湖沉积为主。

4.5 岩浆活动的影响

北黄海海域在中生代发生广泛火山喷发、岩浆侵位(郑求根等,2005),这将对该时期的沉积物及沉积环境造成一定的影响。盆地内部的多口探井在侏罗系钻遇岩浆岩,通过锆石U-Pb测年,其成因除基底岩浆岩被剥蚀后搬运再沉积外,多为早白垩世岩浆侵入的结果。在605井、NYS4井上侏罗统钻遇花岗斑岩,厚度大于200 m,锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄多介于107~115 Ma,为早白垩世晚期岩浆活动的产物(许中杰等,2017);NYS3井上侏罗统夹两层厚度分别为20 m、81 m的英安岩,锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄分别介于139~149 Ma、141~151 Ma,代表形成于早白垩世早期

(王嘹亮等,2015)。在盆地周缘的隆起区,推测发育正常的火山喷出岩,地震剖面见典型的反射特征,其顶面为尖峰或锯齿状强振幅、低频率、粗同相轴,并且产生屏蔽现象,使火成岩内幕及下伏地层产生弱振幅、低频率的杂乱反射或空白反射。

火山作用为沉积地层提供物质成分。下白垩统整体为一套正常沉积的碎屑岩地层,沉积序列中未见岩浆岩体发育。对7口探井的下白垩统样品进行镜下鉴定,物质成分中骨架颗粒以岩屑和矿物碎屑为主,岩屑可见花岗岩屑、火山岩屑和沉积岩屑,其中火山岩屑主要为流纹岩屑和凝灰岩屑(图7a, e),矿物碎屑主要是石英和长石,石英包括风化来源和火山炸裂来源的石英颗粒,风化来源的石英多为次圆状,而火山来源的石英颗粒多为棱角状、港湾状(图7c, d, f)。在阴极发光显微镜下,砂岩中不同成因的石英颗粒具有不同发光的特征。镜下见到的蓝色石英是在高温条件下结晶形成(图7b),为火山成因。不发光的石英颗粒形成温度低于300°C,为沉积自生成因。这些揭示下白垩统的沉积物组成

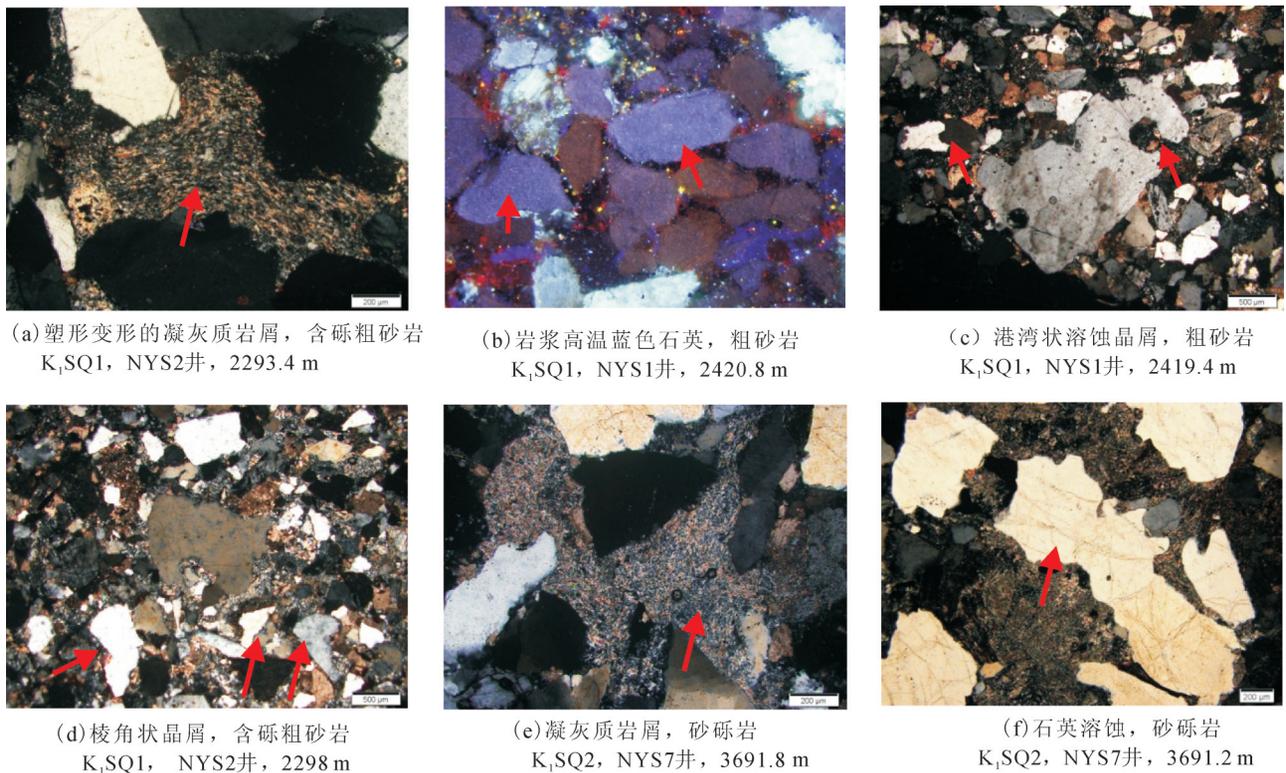


图7 下白垩统样品镜下特征

Fig.7 Microscopic characteristics of samples of Lower Cretaceous

受火山活动影响,这些火山物质可能由风携带进入盆地沉积下来。

5 沉积演化

早白垩世,北黄海东部次盆地整体处于亚热带半干旱的古气候环境,降水量较小,湖盆水体蒸发量远大于补给量,导致该区湖盆水体盐度相对较高。受构造运动的影响,盆地整体呈四面环隆、南陡北缓、一主坳多次坳的古地貌格局,但该时期盆地与周缘隆起区高差不大,物源具有多方向、近源、动态的特点。下白垩统主要发育扇三角洲、湖泊沉积(图8),其中湖泊主要为滨浅湖亚相,水浅,湖平面受气候影响频繁振荡式变化。

K_1S_{Q1} 沉积时期,沉积范围仅局限于中部坳陷的中西部,在NYS4、NYS2等井附近可见向北西、北东方向的超覆。地层厚度变化反映了湖泊沉降幅度和古地形的基本轮廓,NYS9井地层厚度最大,为527 m,向周缘地层厚度逐渐减薄,反映NYS9井附近区域为该时期的沉降中心。早期,存在两大沉积体系,其中以来自东北部的扇三角洲沉积为主,物源为周缘低凸起的早期沉积物,该沉积受控于多级

正断层,自东北向西南分多支河道向前推进。西北部见来自西北方向的扇三角洲前缘沉积,该扇三角洲延伸远,在NYS9井、NYS10井附近与东北向的扇三角洲沉积交汇。其他区域则为滨浅湖沉积夹零星滩坝复合体。晚期,湖平面发生强制湖退,整体以粗粒沉积为主。研究区东北部及东部主要为扇三角洲平原,向西南方向渐变为扇三角洲前缘沉积,仅在西南部见小范围滨浅湖沉积。

K_1S_{Q2} 沉积时期,中部坳陷的NYS9井附近区域仍为该时期的沉降中心,但沉积范围扩大,向东漫过低凸起延伸至控坳断裂F2附近,向北西方向逐渐超覆于西部隆起区的前中生界基岩之上。该时期气候变得更为干旱,湖水愈加咸化,垂向沉积了一套扇三角洲-滨浅湖序列。平面上,北部仍继承性发育扇三角洲沉积,自北向南沉积物粒度逐渐变细,泥岩颜色由以红褐色、灰紫色为主的氧化色过渡为以灰绿色、深灰色为主的还原色。在中部坳陷东部及西南部,受控坳断裂F2的影响,地形坡度相对较陡,又有充足物源供给,发育多个小型扇三角洲连片沉积,如NYS7井钻遇灰色含砾不等粒砂岩、中砂岩、细砂岩,垂向发育多个扇三角洲前缘砂体

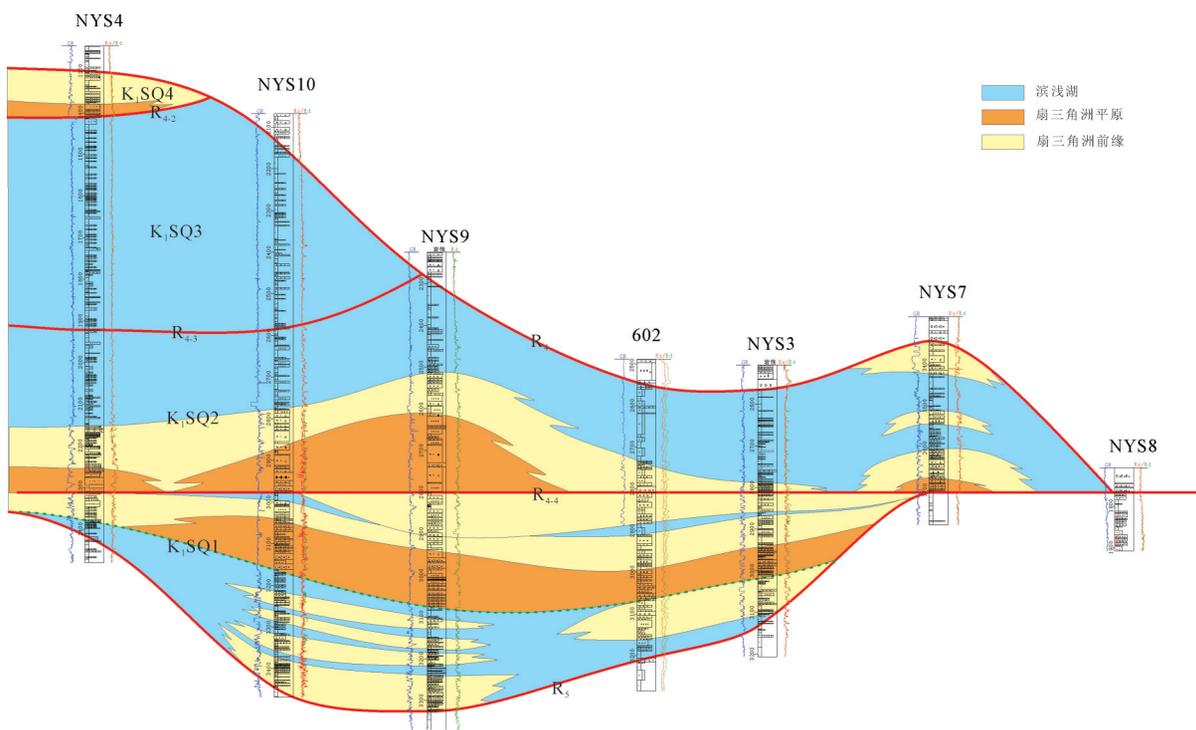


图8 北黄海东部次盆地下白垩统沉积相剖面图(剖面位置见图1)

Fig.8 Sedimentary facies profiles of Lower Cretaceous in the Eastern Sub-basin, North Yellow Sea

叠置。

K_1 SQ3 沉积时期,沉积范围进一步扩大,地层向北西方向进一步扩展,但向东及东南方向受后期区域抬升剥蚀作用影响,大多数地层剥蚀掉,地层仅残留于中部拗陷的西北部及西部隆起区,以滨浅湖沉积为主,气候干热,发育以红色色调为主的泥质沉积。

受晚白垩世区域抬升剥蚀作用的影响, K_1 SQ4、 K_1 SQ5 仅残留于中部拗陷的西北部及西部隆起区。其中 K_1 SQ4 仅在NYS4井、NYS6井等井中钻遇,岩性主要为杂色砂砾岩、灰白色细砂岩,泥质层在旋回的上部出现较多、较厚,为扇三角洲相沉积(图8)。

6 结 论

(1)早白垩世北黄海东部次盆地发育扇三角洲、滨浅湖沉积。该时期以炎热半干旱气候为主,见短暂温湿气候;湖泊水体具淡水-半咸水性质,水浅,湖平面受气候影响频繁振荡式变化;受构造及火山活动影响,扇三角洲沉积物的物源具有多方向、近源、动态变化的特点。

(2)北黄海东部次盆地下白垩统发育5个三级层序,早期层序(K_1 SQ1)局限于中部拗陷的中西部,先发育滨浅湖-扇三角洲相沉积体系,后强制性湖退,沉积了厚层的扇三角洲相砂体;之后层序(K_1 SQ2)的沉积范围向西北及东部扩张,湖泊水体范围逐渐扩大,垂向经历了扇三角洲平原亚相-扇三角洲前缘亚相-滨浅湖亚相的演化过程。受区域抬升剥蚀作用的影响,中晚期层序(K_1 SQ3~ K_1 SQ5)仅残存于中部拗陷的西北部及西部隆起区,其中 K_1 SQ3 以滨浅湖亚相沉积为主, K_1 SQ4 见小型扇三角洲相沉积。

References

Cai Feng. 1996. The Sedimentary environment and characteristic in Mesozoic- Cenozoic in North Yellow Sea Basin[J]. Marine Geology Development, 8: 1-3 (in Chinese with English abstract).

Du Min, Wang Houjin, Wang Gaiyun, Jian Xiaoling, Wan Xiaoming. 2016. Characteristics and formation mechanism of meso-cenozoic superimposed basins in the East Depression of the North Yellow Sea Basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 36(5): 85-96 (in Chinese with English abstract).

Hu Xiaoqiang, Shen Yanjie, Gao Dan, Wang Gaiyun, Cheng Rihui. 2015. Filled characteristics of depositional sequence and evolution

of Eastern Sag in North Yellow Sea Basin[J]. Global Geology, 34(4): 1042-1051 (in Chinese with English abstract).

Hu Xiaoqiang, Tang Daqing, Wang Liaoliang, Wang Houjin, Du Min. 2017. Fault structures in the Eastern Depression of the North Yellow Sea Basin[J]. Geological Science and Technology Information, 36(1): 117-127 (in Chinese with English abstract).

Jiang Dexin, Yang Huiqiu. 1996. Early Cretaceous palynoflora from Anchow Basin, Korea[J]. Acta Botanica Sinica, 38(2): 150-155 (in Chinese with English abstract).

Liang Wenjun, Xiao Chuantao, Xiao Kai, Lin wan. The relationship of Late Jurassic paleoenvironment and paleoclimate with geochemical elements in Amdo Country of northern Tibet[J]. Geology in China, 2015, 42(4): 1079-1091 (in Chinese with English abstract).

Liu Jinping, Wang Gaiyun, Wang Liaoliang, Jian Xiaoling, Du Min, Wan Xiaoming. 2015. Main controlling factors of hydrocarbon accumulation in the Eastern Sub-basin, North Yellow Sea[J]. Oil & Gas Geology, 36(6): 888-896 (in Chinese with English abstract).

Lin Junfeng, Hao Fang, Hu Haiyan, Tian Jinqiang, Duan Wei. 2015. Depositional environment and controlling factors of source rock in the Shahejie Formation of Langgu sag[J]. Acta Petrolei Sinica, 36(2): 163-173 (in Chinese with English abstract).

Lai Weicheng, Song Zhangqiang, Zhou Xinhui, Xu Changgui, Li Jianping, Wang Xiaogang. 2010. Model of dynamic source controlling sand[J]. Petroleum Exploration and Development, 37(6): 763-768 (in Chinese with English abstract).

Peng Nan, Liu Yongqing, Kuang Hongwei, Xu Huan, Zhang Peng, Chen Jun, An Wei, Wang Nengsheng. 2015. Provenance of Early Cretaceous Laiyang Group in Jiaolai Basin and its significance[J]. Geology in China, 2015, 42(6): 1793-1810(in Chinese with English abstract).

Qian Lijun, Chen Hongde, Lin Liangbiao, Xu Shenglin, Ou Lihua. 2012. Geochemical characteristics and environmental implications of Middle Jurassic Shaximiao Formation, Western Margin of Sichuan Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 30(6): 1061-1071 (in Chinese with English abstract).

Wang Liaoliang, Xu Zhongjie, Cheng Rihui, Hu Xiaoqiang, Liu Hongyan. 2015. Zircon U-Pb geochronology of early Jurassic-late Cretaceous volcanic rocks in North Yellow Sea basin[J]. Geotectonica et Metallogenia, 39(1): 179-186 (in Chinese with English abstract).

Wang Gaiyun, Liu Jinping, Wang Houjin, Jian Xiaoling, Du Min. 2015. Sedimentary characteristics and evolution of Mesozoic in the Eastern Depression, North Yellow Sea Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 33(3): 25-31 (in Chinese with English abstract).

Wang Gaiyun, Liu Jinping, Jian Xiaoling, Du Min. 2016. Sedimentary filling and favorable source-reservoir-seal rock assemblage of Mesozoic in the North Yellow Sea Basin[J]. Geology and Exploration, 52(1): 191-198 (in Chinese with English abstract).

- Wang Ren, Shi Wanzhong, Xiao Dan, Xia Fei, Xia Zhimin, Xu Qinghai. Architecture characteristic and control factors of Lower Cretaceous sequence in North Yellow Sea Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 36(12): 1531–1542 (in Chinese with English abstract).
- Wu Lin, Xu Hong, He Jiangqi, Cai Qianzhong, Sun Heqing, Li Gang, Yan Guijing, Yang Shengxiong. 2004. Comparison of the North Yellow Sea Basin with Anju Basin of Korea and Jiaolai Basin of China[J]. *Marine Geology Letters*, 20(8): 22–26 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhongjie, Cheng Rihui, Wang Liaoliang, Hu Xiaoqiang, Kong Yuan, Hu Zhaochu. 2017. U–Pb Zircon chronology and geochemistry of granite porphyry in North Yellow Sea basin and their geological significance[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 41(3): 577–589 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Qiugen, Cai Liguo, Ding Wenlong, Lu Yongde, Cao Qinggu. 2005. Development and evolution of basins in Yellow Sea[J]. *Oil & Gas Geology*, 26(5): 647–654 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Yong, Ji Youliang, Zhang Shanwen, Wan Lu. 2011. Characteristics and controlling factors on physical properties of low-permeability sandstones of the Laiyang Formation in the Laiyang Sag, Jiaolai Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 32(4): 611–620 (in Chinese with English abstract).
- 梁文君, 肖传桃, 肖凯, 林婉. 2015. 藏北安多晚侏罗世古环境、古气候与地球化学元素关系研究[J]. *中国地质*, 2015, 42(4): 1079–1091.
- 刘金萍, 王改云, 王嘹亮, 简晓玲, 杜民, 万晓明. 2015. 北黄海东部次盆地油气成藏主控因素[J]. *石油与天然气地质*, 36(6): 888–896.
- 林俊峰, 郝芳, 胡海燕, 田金强, 段威. 2015. 廊固凹陷沙河街组烃源岩沉积环境与控制因素[J]. *石油学报*, 36(2): 163–173.
- 赖维成, 宋章强, 周心怀, 徐长贵, 李建平, 王晓刚. 2010. “动态物源”控砂模式[J]. *石油勘探与开发*, 37(6): 763–768.
- 彭楠, 柳永清, 旷红伟, 许欢, 章朋, 陈军, 安伟, 王能盛. 2015. 胶莱盆地早白垩世莱阳群沉积物源及地质意义[J]. *中国地质*, 42(6): 1793–1810.
- 钱利军, 陈洪德, 林良彪, 徐胜林, 欧莉华. 2012. 四川盆地西缘地区中侏罗统沙溪庙组地球化学特征及其环境意义[J]. *沉积学报*, 30(6): 1061–1071.
- 王嘹亮, 许中杰, 程日辉, 胡小强, 刘红艳. 2015. 北黄海盆地上侏罗统–下白垩统火山岩形成时代: 锆石 LA-ICP-MS U–Pb 定年证据[J]. *大地构造与成矿学*, 39(1): 179–186.
- 王改云, 刘金萍, 王后金, 简晓玲, 杜民. 2015. 北黄海盆地东部坳陷中生界沉积特征及演化[J]. *沉积学报*, 33(3): 25–31.
- 王改云, 刘金萍, 简晓玲, 杜民. 2016. 北黄海盆地中生界沉积充填及有利生储盖组合[J]. *地质与勘探*, 52(1): 191–197.
- 王任, 石万忠, 肖丹, 夏飞, 夏治旻, 徐清海. 2015. 北黄海盆地下白垩统层序构成特点及控制因素[J]. *石油学报*, 36(12): 1531–1542.
- 吴琳, 许红, 何将启, 蔡乾忠, 孙和清, 李刚, 闫桂京, 杨胜雄. 2004. 北黄海盆地与朝鲜安州盆地和中国胶莱盆地的对比[J]. *海洋地质动态*, 20(8): 22–26.
- 许中杰, 程日辉, 王嘹亮, 胡小强, 孔媛, 胡兆初. 2017. 北黄海盆地花岗岩斑岩锆石 U–Pb 年代学、地球化学及其地质意义[J]. *大地构造与成矿学*, 41(3): 577–589.
- 郑求根, 蔡立国, 丁文龙, 陆永德, 曹清古. 2005. 黄海海域盆地的形成与演化[J]. *石油与天然气地质*, 26(5): 647–654.
- 周勇, 纪友亮, 张善文, 万璐. 2011. 胶莱盆地莱阳凹陷莱阳组低渗透砂岩储层特征及物性控制因素[J]. *石油学报*, 32(4): 611–620.

附中文参考文献

- 蔡峰. 1996. 北黄海盆地中新世沉积环境及特征[J]. *海洋地质动态*, 8: 1–3.
- 杜民, 王后金, 王改云, 简晓玲, 万晓明. 2016. 北黄海盆地东部坳陷中新世的叠合盆地特征及其成因[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 36(5): 85–96.
- 胡小强, 沈艳杰, 高丹, 王改云, 程日辉. 2015. 北黄海盆地东部坳陷沉积层序充填与盆地演化[J]. *世界地质*, 34(4): 1042–1051.
- 胡小强, 唐大卿, 王嘹亮, 王后金, 杜民. 2017. 北黄海盆地东部坳陷断裂构造分析[J]. *地质科技情报*, 36(1): 117–127.
- 江德昕, 杨惠秋. 1996. 朝鲜安州盆地早白垩世孢粉组合[J]. *植物学报*, 38(2): 150–155.