

文章编号: 1000-0550(2012)05-0879-12

渤海湾西北岸埋藏牡蛎礁礁顶上下沉积物中 硅藻对“礁泥转换”古沉积环境的重建^①

方晶^{1,2} 王宏² 王福² 商志文² 胡克³ 杨永强³ 范昌福⁴ 王海峰³

(1. 天津师范大学城市与环境科学学院 天津 300387; 2. 中国地质调查局天津地调中心 天津 300170;

3. 中国地质大学海洋学院 北京 100083; 4. 中国地质科学院矿产资源研究所 北京 100037)

摘要 渤海湾西北岸大吴庄牡蛎礁是近年来研究程度最高的礁体,天津空港物流中心牡蛎礁则是近年来新发现的礁体。该两处礁体上部的牡蛎个体内部充填的泥、个体之间的泥以及礁体上覆沉积泥层中的硅藻研究表明,礁顶上下(即礁体的上部一顶部和上覆沉积泥层的下部)均富含潮间带环境指示种的 *Auliscus caelatus*,表明礁体发育后期和上覆沉积泥层的初期均为潮间带环境。尽管如此,从礁顶向上覆沉积泥层转换方式在两处礁体却不相同:(1)大吴庄:*Auliscus caelatus*种向上逐渐减少,暗示着大吴庄剖面由礁体上部的潮间带中上部、直至上覆沉积泥层下部的潮间带上部、进一步向上覆沉积泥层上部的潮上带转化的趋势。(2)空港:牡蛎礁上覆沉积泥层出现了比例达6%~23%的河口咸水一半咸水种 *Achnanthes brevipes*,而下伏礁体内则未见该种,暗示此处泥层受河口作用显著影响。此种不同揭示了礁体停止发育的原因有所不同:在5520cal BP时,大吴庄礁顶进入潮间带中上部,礁体经常脱离海水而发育停止;在约4000cal BP时,空港礁体所在位置因河流作用突然增强,在时间上看很可能是黄河改道在天津入海,古黄河携带大量泥沙入海,掩盖了潮间带的牡蛎礁而导致牡蛎礁发育停止。

关键词 渤海湾西北岸 大吴庄牡蛎礁 空港物流中心牡蛎礁 硅藻分析 潮间带

第一作者简介 方晶 男 1963年出生 博士 讲师 海洋地质学 E-mail: mdfangjing@yahoo.com.cn

通讯作者 胡克 E-mail: huke@cugb.edu.cn

中图分类号 P618.130.2⁺1 TE122.2⁺21 **文献标识码** A

渤海湾西北岸海河以北平原至今已发现40余处埋藏牡蛎礁体,这些牡蛎礁均被厚达0.5~6m的沉积泥层所覆盖,形成由礁体和上覆泥层两种沉积单元组成的“礁泥”二元结构。礁体一般由直立向上生长的牡蛎壳及若干水平夹层所组成。上覆泥层的下部为灰色过渡到灰褐色的黏土、粉砂,向上为浊黄棕色“蒜瓣土”。上覆泥层下部呈块状构造,内含零星的双壳闭合牡蛎的个体。再向上,开始堆积开放潮坪相泥质沉积,含大量不规则的砂质纹层透镜体;然后转为潟湖—河流溢流扇环境^[1]。近年来,很多研究者以渤海湾西北岸牡蛎礁礁体为研究对象,在壳体组成和形态、礁体的年龄、不同礁体形成古环境对比、牡蛎礁与海面变化的关系以及礁体中水平夹层的成因等方面进行了大量的研究^[2~7]。相对于礁体本身而言,对覆盖在牡蛎礁之上的上覆泥层古沉积环境的研究还不多见,特别是对于牡蛎礁发育后期的古环境与上覆泥层的沉积环境有何不同,何种因素导致了牡蛎礁

停止发育,从礁体向上覆泥层的“礁泥转换”是如何进行的,不同时期的“礁泥转换”规律是否一致等问题还有待深入研究。

硅藻分析是国内外重建古海岸平原沉积环境的重要手法之一。通过硅藻鉴定恢复海岸带沉积物古沉积环境的研究,近年在国内得到开展和应用^[4,8,9]。本文选择位于渤海湾西北岸牡蛎礁平原东北部和西南部的大吴庄和天津空港物流中心两个牡蛎礁剖面为研究对象,通过对两剖面礁体顶面上下的泥质沉积物做硅藻分析,首次查明了渤海湾西北岸牡蛎礁上覆泥层的硅藻组合特征,并对牡蛎礁结束前后的古沉积环境进行了复原,对礁体停止发育的原因、牡蛎礁与上覆泥层的转换关系及其古环境变化进行探讨,并对大吴庄与空港两处不同时期不同地点发育的礁体的“礁泥转换”的规律进行了总结。

1 研究区域概况及研究方法

研究区为海河以北的渤海湾西北岸平原。大吴

^①国家自然科学基金项目(批准号:40872106)和中国地质调查局项目(编号:1212010911069)资助。

收稿日期:2011-12-10;收修改稿日期:2012-01-04

庄牡蛎礁位于研究区东北部,属于唐山市丰南区境内,礁体距离现代海岸线约40 km,面积约0.02 km²。其起迄年代为7 170~5 650 cal BP^[3],属于第II礁群单元^[1]。大吴庄礁体厚度约为6 m,其上方被约4 m厚的上覆沉积泥层所覆盖。在大吴庄周围的黄庄、史庄、东棘坨、毛毛匠、孟庄、侯口、岭头、裴庄一线、北淮淀、营城、北塘口等均有埋藏牡蛎礁发育。天津空港物流中心牡蛎礁(以下简称空港牡蛎礁)位于研究区西南部,为迄今为止所发现的礁体中最靠近渤海湾牡蛎礁平原西南端的礁体,由天津地质调查中心海岸带研究小组2011年新发现的牡蛎礁体。空港牡蛎礁距海河约10 km,距离海河口约30 km(图1)。

耿秀山等^[10]对小清河、淄脉沟河口牡蛎礁做研究发现,正在生长的礁体中的牡蛎个体之间,已经有泥充填。由于牡蛎礁体为原位生长的牡蛎壳体组成,

且个体与个体之间以及死亡的双壳之间被同期沉积的泥砂沉积物充填。根据此原则,笔者对大吴庄的埋藏牡蛎礁DW11剖面中礁体上覆泥层和DW9剖面的礁体牡蛎壳间的泥质充填物,以及天津空港牡蛎礁的牡蛎壳内泥质充填物和上覆泥层进行硅藻分析。前处理方法如下:(1)取样品约1~2 cm³,放入三角杯中,加入适量双氧水使有机质氧化分解并分散颗粒;(2)反应结束后,加入蒸馏水静置24 h后倒掉上澄液;(3)加入蒸馏水静置3~4 h,倒出上部澄液,这样反复清洗4~5次,洗净后做成硅藻薄片。薄片鉴定使用400倍的显微镜(对于体形小的进一步用1 000倍的显微镜)进行。每个薄片大约统计200个硅藻,对每层硅藻进行种属定名并计算出各种属硅藻的百分含量,绘制硅藻图谱。硅藻种属鉴定和硅藻生态主要参考日本已有的研究成果^[11~14]。

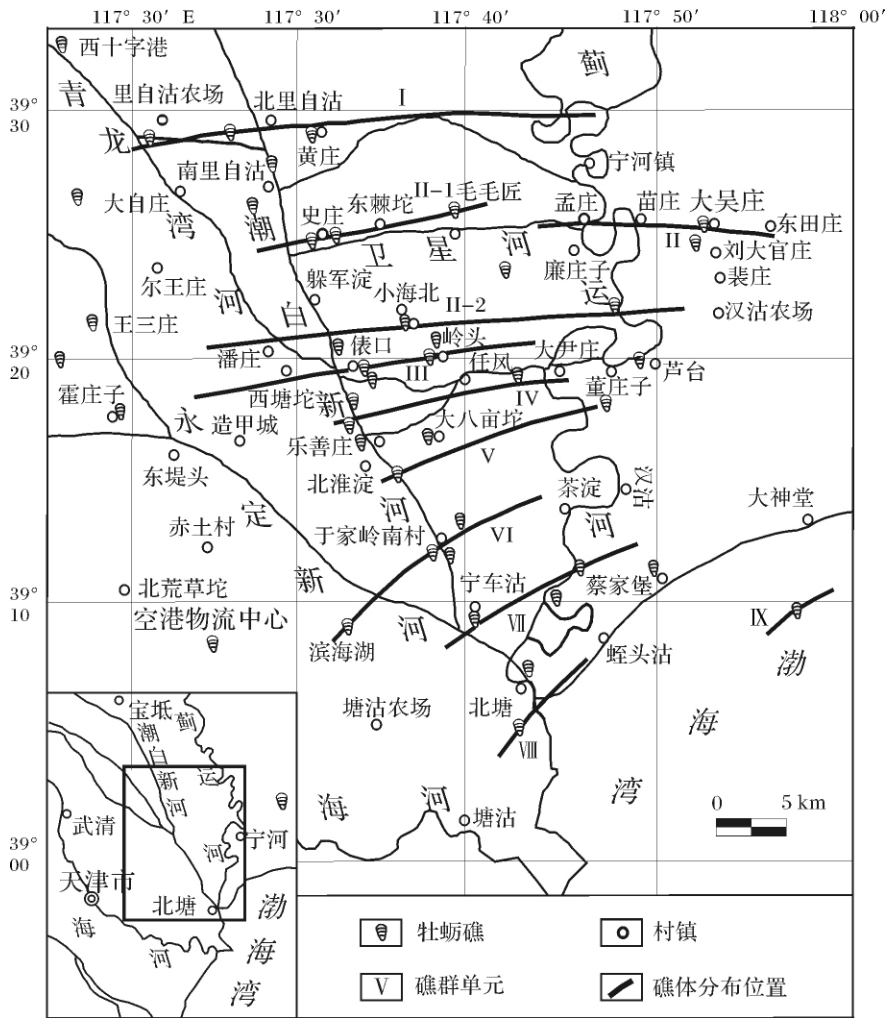


图1 渤海湾西北岸牡蛎礁群分布位置图^[1]

Fig. 1 Map showing the locations of oyster reefs on the Northwest Coast of Bohai Bay^[1]

表1 AMS ^{14}C 和 OSL 年代测定结果
Table 1 Result of AMS ^{14}C and OSL dating

采样地点	原始编号	测试材料	取样高程/m	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	^{14}C 年龄 /aBP	^{14}C 校正年龄 /cal BP	OSL 年龄 /ka	Lab 编号	文献
大吴庄	DW7-1	树枝	-2.84	-27.26	4 810 ± 35	5 520(5 483 ~ 5 593)		BA091202	16
大吴庄剖面 2		泥层	-1.81				4.71 ± 0.34		3
天津空港	TJ19	贝壳	-2.10 ~ -2.05		3 145 ± 25	3 178(3 090 ~ 3 261)		BA101111	本文
天津空港	TJ18	贝壳	-2.90 ~ -2.85		3 800 ± 25	3 980(3 899 ~ 4 063)		BA101110	本文

对大吴庄牡蛎礁 DW9 剖面直接覆盖在其礁顶上的炭化树枝和空港 TJ 剖面礁顶礁泥转换处的梯蛤 (*Trapezium liratum*) 和距礁顶 80 cm 处上覆泥层中的菲律宾帘蛤 (*Potamocorbula laevis*) 做了 AMS ^{14}C 年代测定。年代测定由北京大学考古文博学院加速器测年实验室完成。测定值以 5 568 半衰期计年,将 ^{14}C 年龄值代入 Stuiver 等的 CALIB REV6. 0. 1 (MARINE09) 校正程序^[15]进行校正, (R 值采用 (178 ± 50) (Stuiver *et al.*, 2010, CALIB6. 0), 校正年龄用 cal BP 表示。校正年龄采用年龄范围和中值表示(表 1)。

2 硅藻分析结果

2.1 大吴庄 DW9—DW11 剖面硅藻分析结果

DW11 剖面 and DW9 剖面(117°52'N 39°25'E)位于唐山市丰南区大吴庄,为农民开挖牡蛎礁的同一个大坑边部。两剖面相距约 20 m。经测量, DW9 剖面地表高程为海拔 0.542 m。DW11 剖面顶部为 -0.144 m,其顶部为废弃水渠的底部,较周边地表低出约 0.7 m。DW11 剖面顶部至深 0.53 m 为水渠底部泥质堆积物;深 0.53 ~ 1.0 m 为具水平纹理灰黑色黏土;深 1.0 ~ 1.6 m 为褐色含大量粉砂透镜体的浅褐色黏土;深 1.6 ~ 2.5 m 为蓝灰色黏土;深 2.5 m 以下为牡蛎礁(图 2)。对 DW9 剖面从礁顶面开始向下 45 cm 之间的牡蛎壳个体之间的泥质沉积物,每隔 10 cm 取样,对 DW11 剖面的礁体上覆沉积物以 20 cm 间隔取样,做硅藻分析,将两剖面合为一起,从下到上分为 3 个硅藻带(图 3)。

I 带:为大吴庄 DW9 剖面牡蛎礁礁体顶面以下 0.45 m ~ 礁顶下 0.1 m。该带咸水种硅藻含量较高,占 67% ~ 76%,半咸水种占 24% ~ 33%。其中外洋指标群种的 *Coscinodiscus* spp. 和 *Actinocyclus* spp. 分别为 20% ~ 31% 和 6% ~ 12%;内湾沿岸种的 *Thalassionema nitzschioides* 达到 14% ~ 18%;内湾指标群种的 *Cyclotella stylonum* 和 *Paralia sulcata* 分别占 6% ~



图2 大吴庄 DW11 剖面

Fig. 2 DW11 profile in Dawuzhuang

13% 和 2% ~ 8%; 而做为海水砂质潮间带标志种的 *Auliscus caelatus* 含量较高,达到 13% ~ 26%。推断 I 带为受海水影响较强的潮间带中部或中上部环境。

II 带:大吴庄 DW9 剖面的礁体顶面以下 0.1 m 至礁顶及大吴庄 DW11 剖面的礁顶至深 1.9 m 两部分组成。II 带的咸水种硅藻所占比例较 I 带有所下降,为 52% ~ 63%。半咸水种比例较 I 带有所增加,为 37% ~ 47%。其中外洋指标群种的 *Coscinodiscus* spp. 和 *Actinocyclus* spp. 分别为 20% ~ 29% 和 6% ~ 13%; *Thalassionema nitzschioides* 比例明显降低,为 6% ~ 18%;内湾指标群种的 *Cyclotella stylonum* 和 *Paralia sulcata* 分别为 5% ~ 7% 和 3% ~ 6%;海水砂

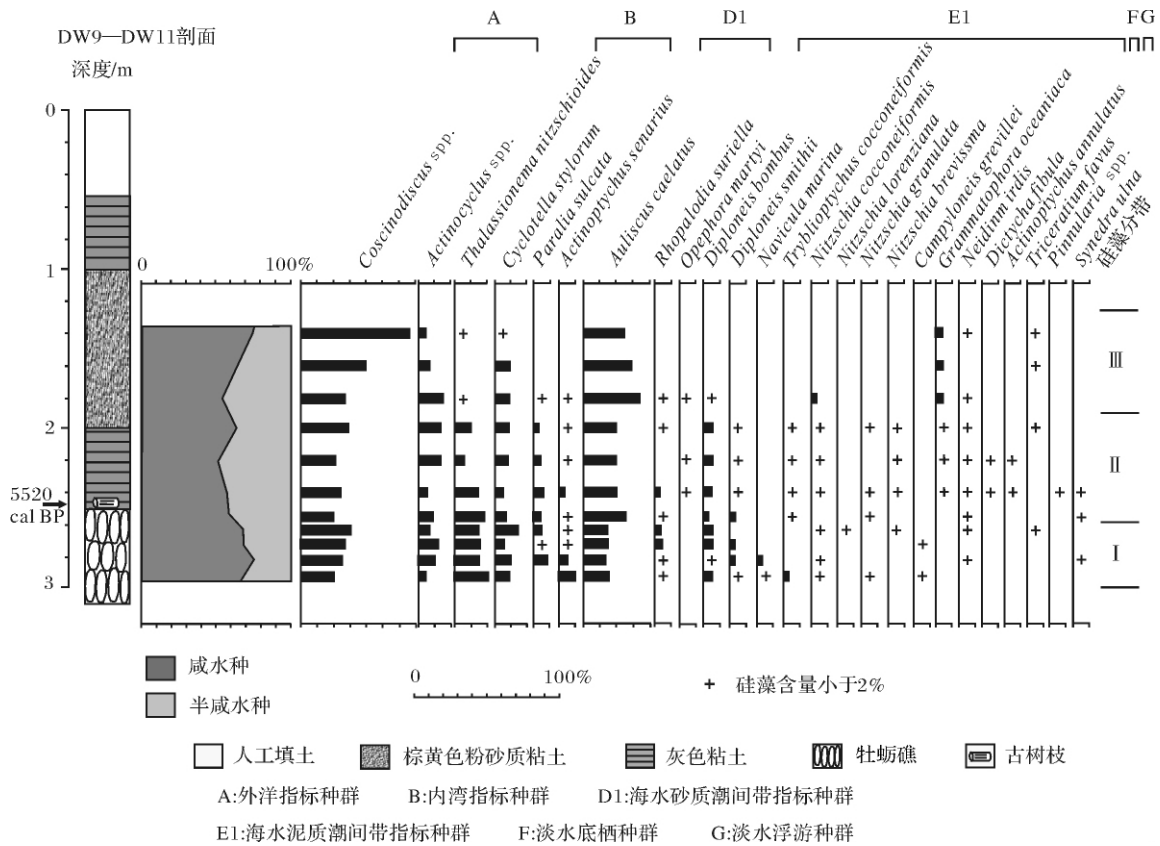


图3 大吴庄 DW11 和 DW9 牡蛎礁剖面硅藻分析结果(据文献[16]改绘)

Fig. 3 Diatom diagram of DW11 and DW9 profiles in Dawuzhuang oyster reef(modified from [16])

质潮间带标志种的 *Auliscus caelatus* 较 I 带增多, 达到 20% ~ 26%。推测牡蛎礁所在位置为海水变浅的潮间带上部环境。

III带: 大吴庄 DW11 剖面顶部以下 1.9 ~ 1.3 m。薄片中的硅藻数量大幅度减少。咸水种硅藻所占比例为 54% ~ 72% 半咸水种达到 28% ~ 45% 其中外洋指标群种的 *Coscinodiscus* spp. 和 *Actinocyclus* spp. 分别为 27% ~ 66% 和 4% ~ 15%; *Thalassionema nitzschioides* 急剧减少, 小于 2%; 内湾指标群种的 *Cyclotella stylonum* 占 2% ~ 8%; *Paralia sulcata* 急剧减少, 小于 2%; 海水砂质潮间带指标种群标志种的 *Auliscus caelatus* 较 I 带和 II 带明显增多, 达 23 ~ 33%。推测为潮间带上部接近平均高潮线的位置。

IV带: 大吴庄 DW11 剖面顶部以下 1.2 m 处。硅藻稀少, 仅见少量 *Coscinodiscus* spp. 碎屑。推测为受海水影响的潮上带环境。因硅藻少见, 图 3 中未绘出 IV 带硅藻图谱。

V带: 大吴庄 DW11 剖面顶部以下 0.75 m 处的具水平层理的灰黑色黏土。硅藻组合与硅藻比例与 DW7 剖面的 I 带相似。咸水种硅藻含量较高, 占

68% , 半咸水种占到总含量的 32%。其中外洋指标群种的 *Coscinodiscus* spp. 和 *Actinocyclus* spp. 分别为 19% 和 9% , *Thalassionema nitzschioides* 达到 20%; 内湾指标群种的 *Cyclotella stylonum* 和 *Paralia sulcata* 分别占 11% 和 8%; 海水砂质潮间带指标种群标志种的 *Auliscus caelatus* 为 14%。推断为受海水影响较强的潮间带中下部。对 DW11 剖面附近的钻孔岩芯剖面进行观察, 在同样高度未见到该灰黑色海相黏土层, 表明这层海相黏土层为海水涨潮时逆潮沟而上形成的近代潮沟沉积物。因为 V 带为后期现代潮沟沉积, 不属于连续的沉积物, 对讨论礁泥转换无影响, 在图 3 中未绘制第 V 带硅藻图谱。

2.2 天津空港 TJ 剖面硅藻分析结果

天津空港物 TJ 剖面(39°09'24.9"E、117°23'09.7"N) 位于天津空港物流中心附近建筑工地, 为开挖地基出露的剖面。经测量, 地表高程为海拔 2.38 m。牡蛎礁顶面高程为海拔 -2.9 m。牡蛎礁之上被厚约 5.28 m 的灰色及褐色黏土覆盖。TJ 剖面地表—深 2.42 m 为暗褐色黏土; 深 2.42 ~ 2.54 m 为褐色黏土与蓝灰色黏土混染; 深 2.54 ~ 4.10 m 为灰色黏土; 深

4.10~4.75 m 为含大量贝壳碎屑的灰色粉细砂;深 4.75~4.84 m 为暗灰色黏土;深 4.84~5.07 m 为暗灰色粉细砂夹黏土;深 5.07~5.30 m 为灰色黏土;深 5.28 m 以下牡蛎礁 礁体出露厚度为 1.3 m,未及礁体底部(图 4)。在 TJ 剖面西侧约 100 m 处见由礁体底部和礁体下伏泥层组成的剖面。礁体底部牡蛎残留约 30 cm 厚,上部被施工挖掉。经全站仪测量其礁体底面比 TJ 剖面的礁体顶面低约 2.3 m,推得空港牡蛎礁礁体厚度大约为 2.3 m。以牡蛎礁顶面为界,对 TJ 剖面的礁体牡蛎壳内的泥质充填物和礁体上覆泥层,分别以 20 cm 间隔取样,并对礁体底面上 20 cm 处的牡蛎礁壳内的泥做硅藻分析,其结果如下:



图 4 天津空港 TJ 剖面

Fig. 4 TJ profile in Konggang of Tianjin

I 带:礁体底面上 20 cm 处~深 5.28 m 的礁顶(中间缺失深约 6.6~礁底上 30 cm 段的长约 70 cm 的礁体样品),为正常直立的牡蛎礁礁体。其硅藻组成特征是咸水种硅藻所占比例达到 33%~71%;半咸水为 29%~66%。其中外洋指标群种的 *Coscinodiscus* spp. 和 *Actinocyclus* spp. 分别为 14%~49% 和 4%~16%;*Thalassionema nitzschioides* 含量较低,仅为 1%~6%;内湾指标群种的 *Cyclotella stylonum* 含量达

5%~11%;内湾指标群种的 *Paralia sulcata* 也含量较低,小于 9%;海水砂质潮间带指标种群标志种的 *Auliscus caelatus* 含量较高,为 27%~59%。结合出现少量淡水浮游种的硅藻,推断天津空港礁体的形成环境为盐度较低、水体较浅的潟湖潮间带环境(见图 5)。

II 带:深 5.28~2.8 m,为灰色黏土。硅藻组合特征为咸水种硅藻所占比例为 38%~60%;半咸水种较 I 带略高,为 39%~62%。淡水种比例较 I 带略高,但小于 4%。外洋指标群种的 *Coscinodiscus* spp. 和 *Actinocyclus* spp. 分别为 8%~26% 和 3%~9%;*Thalassionema nitzschioides* 含量较低,仅占到 4~12%,但整体比 I 带略高;内湾指标群种的 *Cyclotella stylonum* 含量达 3%~12%;内湾指标群种的 *Paralia sulcata* 含量较小,为 2%~12%,整体也较 I 带略高;海水砂质潮间带指标种群标志种的 *Auliscus caelatus* 含量较高,为 18%~38%,比 I 带有所降低。在 II 带出现半咸水河口环境^[13]下生息 *Achnanthes brevipes*,所占比例为 6%~23%。另外淡水中硅藻比 I 带增加,特别是沼泽湿地环境中浮游的淡水种,显示 II 带为河口附近显著受河流影响且盐度较 I 带略高的潟湖潮间带环境。

III 带:深 2.8~2.4 m。为褐色黏土与蓝灰色黏土混染。硅藻组合特征为咸水种硅藻所占比例为 57%~65%;比 II 带略高,半咸水种为 35%~38%,比 II 带略低。外洋指标群种的 *Coscinodiscus* spp. 和 *Actinocyclus* spp. 分别为 33%~48% 和 9%~10%;*Thalassionema nitzschioides* 含量较 II 带降低,仅占到 1%;内湾指标群种的 *Cyclotella stylonum* 含量达 4%~7%;内湾指标群种的 *Paralia sulcata* 含量较 II 带降低,为 2%~5%;海水砂质潮间带指标种群标志种的 *Auliscus caelatus* 含量较高,为 28%~24%。在 III 带出现半咸水河口环境下生息 *Achnanthes brevipes* 所占急剧下降,仅占 1%,显示 III 带为受河流的影响显著降低且盐度略有下降或相对海平面略呈下降趋势的潟湖潮间带环境。

IV 带:深 2.3 m 处。为褐色黏土。硅藻少见,仅见少量 *Paralia sulcata*,*Grammatophora macilenta* 和 *Coscinodiscus* spp. 碎片,表明为略受海水影响的潮上带环境。

V 带:深 2.1~地表。沉积物为褐色黏土,不含硅藻。推断为陆相沉积。

和图 5)。其下,含有大量的咸水和半咸水种硅藻,而陆相硅藻含量极低,不超过 4%。其上,沉积物中不含硅藻。据其颜色为黄褐色和不含砂质纹层等沉积特征,可将界线以上不含硅藻的沉积物视为陆相沉积,而界线以下的灰色黏土和具有砂质透镜体的灰褐色黏土以及礁体内部,由于咸水种和半咸水种硅藻含量极为丰富,可认为是海相或海陆过渡相沉积。因本区陆相硅藻极为少见,这样对于本区海相层和海陆过渡相沉积层的划分就需要利用潮间带的硅藻标志种和咸水种与半咸水种硅藻的比例进行做判断。笔者首次在大吴庄和空港剖面的牡蛎礁和礁体上覆泥质沉积物中发现 *Auliscus caelatus* 的大量存在。*Auliscus caelatus*(侧窝眼纹藻),外形呈圆形,内部由两个似眼球形状的小圆圈及周围的纹饰组成,但极易脱落。*Auliscus caelatus* 在镜下常呈不完整的个体,甚至仅剩外面的圆环,鉴定时易被忽略。小杉(1987)对干叶县小柜河下游自然状态宽度超过 1 km 的潮间浅滩以及咸水湖沼、放射状河流等不同地点连续取样,分别统计活体硅藻和遗骸硅藻种类,发现活体硅藻比遗骸硅藻的分布范围要狭窄得多,但不论是活体还是遗骸的 *Auliscus caelatus*,均仅存在于潮间浅滩。在潮下带和潮上带的盐性湿地等环境中并未出现该种硅藻^[17]。据此将 *Auliscus caelatus* 定为海水砂质潮间带标志种,指出 *Auliscus caelatus* 在盐度大于 26‰ 的砂底(砂粒间)营底栖生活,其生息场所还有 *Batillara multiformis*, *Ethalia guamensis*, *Tapes japonica* 和 *Meretrix lusoria* 等潮间带贝类^[11]。笔者在渤海湾现代潮间带中部表层泥砂中也发现了大量的 *Auliscus caelatus*。大吴庄 DW 剖面自下至上 *Auliscus caelatus* 硅藻的比例逐渐增大,这与该区全新世最大海侵之后的海水变浅,大吴庄由潮下带向潮间带,再转为潮上带的海退趋势相一致。因此 *Auliscus caelatus* 等底栖硅藻就成为划分潮间带环境的重要指示种。也有报道称 *Auliscus caelatus* 在冲绳海槽表层沉积物中也有发现^[18],这可能是由于洋流等海洋作用将沉积于潮间带砂泥颗粒间的 *Auliscus caelatus* 随泥砂搬运再异地沉积所致。

小杉(1988)在干叶县小柜河基础上又对日本共 16 个地区 110 个地点的现生硅藻进行了调查取样,将采集的活体硅藻立刻用福尔马林浸泡,在实验室中做成硅藻薄片后进行鉴定,对现生种硅藻生态作了划分,主要为外洋指标种群(A),内湾指标种群(B),海水藻场指标种群(C1),半咸水藻场指标种群(C2),

海水砂质潮间带指标种群(D1),半咸水砂质潮间带指标种群(D2),海水泥质潮间带指标种群(E1),半咸水泥质潮间带指标种群(E2),淡水底生种群(F),淡水浮游生种群(G),河口浮游生种群(H)等 11 种群^[11]。

大吴庄 DW9—DW11 综合剖面主要鉴定出 25 个种属的硅藻。这些硅藻多为咸水和半咸水种,鲜见淡水种硅藻。按小杉(1988)的分类方法,该剖面出现的硅藻主要有:外洋指标种群(A)的 *Coscinodiscus* spp. (圆筛藻属), *Actinocyclus* spp., *Thalassionema nitzschioides* (菱形海线藻)。内湾指标种群(B)的 *Cyclotella stylonum* (柱状小环藻), *Paralia sulcata* (具槽直链藻), *Cymatotheca weissflogii*。海水砂质潮间带指标种群(D1)的 *Auliscus caelatus* (侧窝眼纹藻), *Rhaphoneis surirella*, *Opephora martyi*。海水泥质潮间带指标种群(E1)的 *Diploneis smithii* (史氏双臂藻), *Rhopalodia gibberula* (驼峰棒杆藻), *Nitzschia Cocconeiformis* (球形菱形藻), *Navicula marina* 和 *Nitzschia granulata*。

另外还有 *Diploneis bombus* (蜂腰双臂藻), *Nitzschia lorenziana* (洛伦菱形藻), 沿岸底栖生的 *Actinocyclus splendens* (华美幅裱藻), 海水底栖生的 *Tryblionia cocconeiformis*, *Campyloneis grevillei* (鞍形藻), *Dictycha fibula*, 沿岸内湾附着生的 *Triceratium favus* (蜂窝三角藻) 和 *Grammatophora macilenta*。这些为沿岸底栖硅藻,存在于咸水和半咸水环境中。因在剖面中含量低,对判断古环境并无太大影响,暂且将其归为海水泥质潮间带指标种群(E1)。

天津空港牡蛎礁剖面的硅藻种类大吴庄略多,为 29 个种属,而大吴庄为 25 个种属。除以上大吴庄剖面出现的硅藻种属外,天津空港牡蛎礁 TJ 剖面在上覆泥层沉积物中出现半咸水河口环境生息的 *Achnanthes brevipes*, 另外还有少量包括沼泽湿地的 *Pinnularia* spp. 和 *Eunotia* spp., 底栖喜碱性的 *Cymbella cuspidata*, *Tabellaria fenestrata* 和 *Synedra ulna* 等淡水种硅藻。表明天津空港物流中心的牡蛎礁比大吴庄牡蛎礁受淡水影响强烈一些。

在大吴庄 DW9—DW11 牡蛎礁剖面礁体所在的 I 带中,咸水种硅藻占 67%~76%,半咸水种为 23%~30%;牡蛎礁上覆沉积泥层所在的 II 带中,其咸水种比例显著下降至 52%~64%,半咸水种则有所增加,达 36%~46%;III 带的咸水种比例进一步减小为 56%~72%,半咸水种增加到 33%~50%;在 III 带上

方的IV带沉积物中硅藻稀少,仅见少量 *Coscinodiscus* spp. 碎屑,应为略受海水影响的陆相沉积。显示出大吴庄牡蛎礁剖面,从牡蛎礁上部(I带)到上覆沉积泥层的II和III带,具有咸水种比例减小、半咸水种比例增大的趋势。另外,代表内湾环境生息的浮游种 *Cyclotella stylonum* 的比例,从I带的6%~13%,到II带的5%~7%和III带的2%~8%,略呈下降趋势;咸水种沿岸生活的 *Thalassionema nitzschioides* 和内湾指标群种的 *Paralia sulcata* 也有明显的下降趋势;表明海水盐度具有向上逐渐降低的趋势。而自下至上,代表半咸水种、海水砂质潮间带指标种群标志种的 *Auliscus caelatus* 所含比例却明显逐渐增大,由I带的13%~26%,上升为II带的20%~26%,III带又有上升,达23~33%,再向上,IV带沉积物中的硅藻几乎完全消失。显示大吴庄牡蛎礁礁体经历了潮间带中下部向潮间带上部转化,再进一步海水从大吴庄完全退出转为潮上带沉积,即海水逐渐变浅的过程。以上分析表明,从大吴庄牡蛎礁上部(I带)到上覆沉积泥层下部(II带、III带),均形成于潮间带环境,但自下至上盐度逐渐下降,表明从牡蛎礁发育后期到上覆泥层沉积期间存在海水相对变浅,海岸线不断向海推进的过程。

末次冰期以来,海面急剧上升,大约7000年前,渤海湾平原达到最大海侵范围。对大吴庄礁体剖面1用液体闪烁计数器方法测得¹⁴C数据显示大吴庄牡蛎礁发育时期为7170~5650 cal BP^[3],即形成于全新世最大海侵期及稍后一段时间。王宏^[19]总结Peltier的冰川均衡、水均衡和大地水准变形等因素的模型,提出在包括渤海湾平原地区在内的属于IV带即远离冰川中心的远区(the far field)^[20],自中全新世以来,不存在真正意义的水动型高海面的研究假说^[20],认为冰川消融结束后,该地区不会再有大规模的水动型海面上升,7 ka cal BP达到最大海侵后,海面上升变缓并逐渐趋于稳定^[19]。在最大海侵7~6 ka cal BP礁体发育早期,因渤海湾为地壳下降区,地壳下降而海面稳定,牡蛎礁不断得到向上生长的空间,在大吴庄发育了6 m厚的牡蛎礁。但随着礁体向上生长,调适空间不断变小,礁体由前期的潮间带下部环境变为潮间带中上部环境^[7]。假设绝对海面不变,则河流或沿岸流等带来的泥砂堆积速度超过地壳下降速度,导致海水变浅,潮间带位置发生变化,使得牡蛎礁暴露水面之上而停止发育,最后被潮间带的泥砂覆盖,再后来大吴庄牡蛎礁所在位置转为潮上带,海水

完全退出。大吴庄 DW9 剖面直接覆盖在礁顶上的古树枝 AMS ¹⁴C 校正年龄为 5 520 cal BP^[16],表明 5 520 cal BP 大吴庄牡蛎礁停止发育,并被潮间带泥质沉积物覆盖,潮间带沉积厚度约为 1.2 m。笔者所在的研究小组近年对大吴庄牡蛎礁在百米范围内的 11 处剖面进行了调查取样,并对其中部分剖面进行了微体古生物、地球化学和年代学等多学科的研究。其中,距大吴庄 DW11 剖面北约 30 m 处剖面 2,对其海拔 -1.81 m 处的泥质沉积物做 OSL 年龄测定,得到年代值为 4.71 ± 0.34 ka BP^[3]。本文研究的大吴庄 DW11 剖面的潮间带沉积物上限为礁顶以上 1.2 m,即海拔 -1.44 m,较剖面 2 的 OSL 测年处的海拔 -1.81 m 的位置高,表明海水完全退出大吴庄的时期应略晚于 4 700 年前。

天津空港牡蛎礁 TJ 剖面,牡蛎礁上覆泥层所在的 II 带中大量出现 *Achnanthes brevipes*,所占比例达 6%~23%,而牡蛎礁本身所在的 I 带则未见 *Achnanthes brevipes*。*Achnanthes brevipes* 为半咸水河口环境生息种^[13],每年 2~4 月、7 月和 9~10 月,*Achnanthes brevipes* 在海河入海的塘沽一带的潮间带大量附着生息^[21]。显示上覆泥层所在的 II 带处于受河流强烈影响的河口潮间带位置。作为海水砂质潮间带标志种的 *Auliscus caelatus*,在 II 带(18%~38%)比 I 带(27%~59%)有所降低。但 II 带中的半咸水河口潮间带的 *Achnanthes brevipes* 占 6%~23%。II 带的咸水种和半咸水种比例和 I 带并无大的变化,显示 I 带和 II 带均为潮间带环境。*Achnanthes brevipes* 的出现,暗示 II 带为受河流影响显著的河口附近潮间带环境。推测天津空港牡蛎礁礁体停止发育主要是由于河流作用增强所致。根据天津空港 TJ 剖面中少量出现沼泽湿地生息的 *Pinnularia* spp. 和 *Eunotia* spp.,底栖喜碱性的 *Cymbella cuspidata*, *Tabellaria fenestrata* 和 *Synedra ulna* 等淡水种硅藻,且上覆泥层中的灰色泥层(潮间带沉积)较厚,达 2.9 m(大吴庄灰色泥层厚度未达 1 m,潮间带沉积厚度仅为 1.2 m),灰色软泥多植物根系等特征,推测空港牡蛎礁和上覆灰色泥层发育期间可能处于壁障岛之后的潟湖环境。*Auliscus caelatus* 等潮间带标志种和上覆灰色泥层中半咸水河口潮间带环境下生息 *Achnanthes brevipes* 的大量存在,表明潟湖水深较浅。另外,空港剖面中沿岸浮游生的 *Thalassionema nitzschioides*, II 带(4%~12%)比 I 带(1%~6%)略有增加;内湾指标群种的 *Paralia sulcata*, II 带(2%~12%)比 I 带(0%~9%)也略有

增加,表明Ⅱ带比起Ⅰ带,其盐度略有增大,表明Ⅱ带和Ⅰ带相比,河流作用突然加强但水体的盐度并未下降,其海水的影响和河流的影响均有增强的趋势。在海面不变的假设下,说明该阶段地壳下降显著,在上覆泥层发育期间,河流带来的泥砂与地壳下降的速度相平衡,故在牡蛎礁上沉积了较厚的潟湖潮间带沉积。对空港礁顶礁泥转换处附着在牡蛎壳上的梯蛤(*Trapezium liratum*)和上覆泥层礁顶面以上80 cm处的菲律宾帘蛤(*Ruditapes philippinarum*)贝壳层做AMS¹⁴C年代测定,分别得到3 980(3 899~4 063) cal BP和3 178(3 090~3 261) cal BP的年代值,据此算出上覆灰色泥层的沉积速率约为0.1 cm/a。对空港剖面硅藻分析表明,以礁顶面之上2.9 m(海拔-0.02 m)的Ⅲ带和Ⅳ带的界线为海水影响的上限,其上,沉积物几乎不见硅藻陆相沉积,其下,显示为潟湖潮间带环境。根据上覆灰色泥层的沉积速率,推算礁顶面之上2.9 m厚的潟湖潮间带沉积物大致沉积了2 900 a,因而推断空港附近海水大约在距今1 080年前退出。而对空港礁顶礁泥转换处的梯蛤做¹⁴C年代测定,表明空港牡蛎礁约在4 000 cal BP停止发育。

近来不少研究表明,4 000 cal BP,我国为洪水多发期^[22],曾发生了全新世中期以来第一次明显的降温事件^[23,24]和东亚季风变迁^[25]。渤海湾牡蛎礁中部的俵口牡蛎礁也于4 000 cal BP停止发育^[26]。任美镔认为4 280a前太行山大地震,在太行山东南麓出现一条裂谷(rift valley),成为黄河下游洪水和泥砂的天然通道。4 080 a前大禹治水将黄河下游河道加以疏导,使得古黄河的北支—山经河在天津以北入海^[27]。本文讨论的4 000 cal BP开始,半咸水河口环境下生息*Achnanthes brevipes*在空港TJ剖面上覆泥层Ⅱ带突然大量出现,显示河流作用突然增强,河流携带大量泥砂较迅速地将牡蛎礁掩埋导致礁体发育停止。这一的时间,与任美镔^[2]讨论的大禹治水黄河入海的时期非常接近。推测约在4 000 cal BP,由于古黄河改道或摆动由空港物流中心附近入海,可能是导致空港牡蛎礁被泥层覆盖,牡蛎礁停止发育的一个重要原因。距今7 000 a~公元1 128年在渤海西岸形成多期黄河三角洲,并在距今4 500~3 400 a、距今3 000 a~公元前4世纪和公元1 048~1 128年分别在天津附近由西东依次形成多个超级黄河三角洲叶瓣^[29]。而黄河改道对渤海湾西北岸的贝壳堤和牡蛎礁的发育和结束有着深刻的影响^[28]。位于渤海湾平

原北东距现今海岸约40 km处,属于第Ⅱ道牡蛎礁群的大吴庄牡蛎礁剖面,从礁体在7 170 cal BP^[3]开始形成,到5 520 cal BP^[16]礁体停止发育,再到海水在不早于4 700年前退出,代表了全新世海进达到最大范围及稍后,海面稳定,海水相对变浅,大吴庄一带从潮间带下部到中上部,再到潮上带的海退过程。随后发育了第Ⅲ道牡蛎礁群的俵口—岭头牡蛎礁(距今5 800~4 070 cal BP),其停止发育时期与空港牡蛎礁大致相同,其牡蛎礁停止发育可能也与黄河改道在渤海湾西岸入海有关。4 000 cal BP空港牡蛎礁停止发育之后,因地壳持续下沉,假设海面不变的情况下,古黄河带来充足的泥砂沉积在相对静稳的潟湖中,沉积了厚度达2.9 m的潟湖潮间带沉积物,直到约1 100年前,海水才退出天津空港。黄河等河流在渤海湾西岸的长期作用带来的充足泥砂促使海岸线向海方向推进,导致海退,并使得北淮淀(起讫时期3 210~2 630 cal BP)、于家岭南村(起讫时期2 140~1 650 cal BP)、宁车沽(起讫时期1 555~1 445 cal BP)和北塘(起讫时期1 170~950 cal BP)等Ⅵ~Ⅷ道牡蛎礁^[30]依次形成。

大吴庄和空港剖面的海相层上限的位置分别是海拔-1.44 m和海拔约0 m左右。这两个高度代表了海水退出两地点当时的平均大潮高潮线的高度。渤海湾现代平均大潮差为3.02 m^[31],假设古今潮差不变,海拔-1.44 m和海拔约0 m分别减去平均大潮差的一半(1.51 m),推出距今4 700 a以前和1 100 a的相对海平面要分别低于现在约2.95 m和约1.5 m,这种差值是由于地壳下降和压实作用所致,反映出在渤海湾西岸海退越早,海相层的上限高度越低。

4 结论

(1) 硅藻分析表明,位于海河以北渤海湾西北岸的大吴庄牡蛎礁和天津空港牡蛎礁,其礁体上部与上覆泥层下部均富含海水砂质潮间带指标种群标志种的*Auliscus caelatus*,表明两处礁体顶面上下均为潮间带环境。但空港硅藻种属较大吴庄剖面多,牡蛎礁上覆泥层的灰色泥层较大吴庄厚,且存在沼泽湖泊环境生息淡水种硅藻,推测空港牡蛎礁和上覆灰色泥层形成于潟湖潮间带环境。

(2) 大吴庄牡蛎礁,从牡蛎礁体上部至上覆泥层,咸水种的沿岸生息的*Thalassionema nitzschioides*和内湾指标群种的*Paralia sulcata*向上逐渐减少;半

咸水种的海水砂质潮间带指标种群标志种的 *Auliscus caelatus* 向上逐渐增多,显示大吴庄剖面具有自下而上为盐度减小、海水相对变浅、潮间带相对位置逐渐向陆地方向移动的海退特征。天津空港牡蛎礁上覆灰色泥层出现比例较高的代表咸水一半咸水环境下的河口区域生息的 *Achnanthes brevipes*,而下伏礁体中则未见 *Achnanthes brevipes*,表明礁体上覆灰色泥层强烈受河流作用的影响,而礁体发育期间河流作用的影响相对较弱。

(3) 大吴庄礁体与天津空港礁体停止发育的原因各异。前者为全新世最大海侵后,因海面上升停止,泥砂堆积速率超过地壳下沉速率导致海水不断变浅,使得牡蛎向上生长达到潮间带上部,牡蛎礁较长时间出露水面,牡蛎得不到充足的食物所致而停止发育。后者是由于4 000 cal BP,洪泛作用增强,河流携砂量增加,导致牡蛎礁被河流沉积物所覆盖而使牡蛎礁停止发育。其中黄河改道北上,古黄河从空港附近入海导致泥砂堆积旺盛,掩盖牡蛎礁可能是礁体停止发育的重要原因。

(4) 大吴庄牡蛎礁与天津空港牡蛎礁停止发育并开始被泥层覆盖的时期,即“礁泥转换”期分别约为5 520 cal BP和4 000 cal BP。两地点礁体停止发育时海水并未很快退出,其后又分别沉积了约1.2 m和2.9 m厚的潮间浅滩和潟湖潮间带沉积物。推测海水从两地完全退出时间分别为略晚于4 700年前和约1 100年前,当时相对海平面高度分别海拔-2.95 m和海拔约-1.5 m的位置,表明海水退出时间越早,海水影响的上限高度越低,这种差异是由于地壳下降和压实作用所致敬。4 000 cal BP古黄河改道自天津入海,泥砂大量入海使得相对海面虽未降低,但海岸线不断向海方向前进,导致其后的牡蛎礁也向海方向依次发育。

参考文献(References)

- 王宏,范昌福,李建芬,等.渤海湾西北岸牡蛎礁研究概述[J].地质通报,2006,25(3):315-331 [Wang Hong, Fan Changfu, Li Jianfen, et al. Summary of the studies on Holocene oyster reefs in the northwest coast of Bohai Bay [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(3): 315-331]
- 范昌福,裴艳东,王宏,等.渤海湾西北岸埋藏牡蛎礁体中的壳体形态与沉积环境[J].第四纪研究,2007,27(5):806-813 [Fan Changfu, Pei Yandong, Wang Hong, et al. Correlation of oyster shell form and sediment environment from two buried oyster reefs on the northwest coast of Bohai Bay [J]. Quaternary Sciences, 2007, 27(5): 806-813]
- 范昌福,李建芬,王宏,等.渤海湾西北岸大吴庄牡蛎礁测年与古环境变化[J].地质调查与研究,2005,28(2):124-129 [Fan Changfu, Li Jianfen, Wang Hong, et al. Age and paleoenvironmental change of Dawuzhuang oyster reef on the northwest coast of Bohai Bay [J]. Geological Survey and Research, 2005, 28(2): 124-129]
- 商志文,范昌福,李冬玲,等.硅藻组合指示的渤海湾西北岸两个牡蛎礁体生长环境的差异[J].海洋地质与第四纪地质,2010,30(5):33-39 [Shang Zhiwen, Fan Changfu, Li Dongling, et al. Revealing paleo-environment difference of two oyster reefs by diatom assemblages in the northwest coast of Bohai Bay [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2010, 30(5): 33-39]
- 范昌福,王宏,李建芬,等.渤海湾西北岸牡蛎礁体对区域性构造活动与水动力型海面变化的响应[J].第四纪研究,2005,(2):235-244 [Fan Changfu, Wang Hong, Li Jianfen, et al. Oyster reefs response to the regional neotectonics and eustatic sea-level, northwest coast of Bohai Bay [J]. Quaternary Sciences, 2005, 25(2): 235-244]
- 范昌福,王宏,裴艳东,等.稳定同位素贝壳年轮指示的牡蛎礁体水平夹层的成因[J].第四纪研究,2010,30(5):995-1002 [Fan Changfu, Wang Hong, Pei Yandong, et al. Summary of the studies on Holocene oyster reefs in the northwest coast of Bohai Bay [J]. Quaternary Sciences, 2010, 30(5): 995-1002]
- 方晶,范昌福,王海峰,等.粘土混浊水电导率对牡蛎礁水平夹层成因的解释——以渤海湾西北岸大吴庄牡蛎礁为例[J].第四纪研究,2011,31(4):746-748 [Fang Jing, Fan Changfu, Wang haifeng, et al. A causal explanation for the intercalated horizontal layers of Dawuzhuang oyster reef by the clay-water electric conductivity [J]. Quaternary Sciences, 2011, 31(4): 746-748]
- 方晶,胡克.辽东半岛大孤山一带沟谷埋藏泥炭的硅藻组合以及古环境和全新世最高海平面[J].第四纪研究,2007,29(5):797-805 [Fang Jing, Hu Ke. Holocene paleoenvironments of the peat imbedded in the ditch and the highest sea-level based on the diatom assemblages in Dagu mountain, Liaodong Peninsula [J]. Quaternary Sciences, 2007, 29(5): 797-805]
- 方晶,武亚芳,李瑞武,等.辽宁沿海早、中期全新世海进中的一次海退事件[J].地学前缘,2009,16(2):376-403 [Fang Jing, Wu Yafang, Li Ruiwu, et al. Discussion on marine regression event during the Early-Middle Holocene in the Liaoning Coast [J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(2): 376-403]
- 耿秀山,傅命佐,徐孝诗,等.现代牡蛎礁发育与生态特征及古环境意义[J].中国科学: B辑,1991,8:867-875 [Geng Xiushan, Fu Mingzuo, Xu Xiaoshi, et al. The evolution of modern oyster bioherms and their ecological character with significance of paleo-environment [J]. Science in China: Series B, 1991, 8: 867-875]
- 小杉正人.硅藻の環境指標種群の設定と古環境復元への応用[J].第四紀研究,1988,27(1):1-20 [Masato Kosugi. Classification of living diatom assemblages as the indicator of environments, and its application to reconstruction of paleo-environments [J]. The Quaternary Sciences, 1988, 27(1): 1-20]
- 鹿島薫.沖積層中の硅藻遺骸群集の推移と完新世の古環境変遷[J].地理学評論,1986,59(7):383-403 [Kaoru Kashima. Holocene successions of diatom fossil assemblages in alluvium, and those relations to paleogeographical changes [J]. Geographical Review of Japan,

- 1986 59(7): 383-403]
- 13 鹿島薫. 沖積層から得られた珪藻化石カタログ(その1)北海道常呂平野[R]. 九州大学教養学部地学研究報告,1992,29:1-36[Kaoru Kashima. Catalog of Holocene diatom fossil. Part 1. Tokoro Plain, Hokkaido, North Japan [R]. Reports on Earth Science Collage of General Education Kyushu University, 1992 29:1-36]
 - 14 安藤一男,藤本潔. 珪藻群集からみた埼玉県荒川低地中流域における古環境の変遷と旧海水準[J]. 第四紀研究,1990,29(5):427-437[Kazuo Ando, Kiyoshi Fujimoto. Paleo-environmental history and sea-level records based on the diatom assemblages in the middle part of the Arakawa lowland, Central Japan [J]. The Quaternary Sciences, 1990, 29(5): 427-437]
 - 15 Stuiver M, Reimer P J, Reimer R. CALIB6. 0. 1Manuals [M/OL]. 2010, <http://calib.qub.ac.uk/calib>
 - 16 刘会敏. 渤海湾西北岸大吴庄牡蛎礁礁泥转换与地质环境变迁[D]. 长春: 吉林大学, 2010: 1-51 [Liu Huimin. Dawuzhuang Oyster Reef: its Reef-mud transformation and the geo-environmental changes on the northwest coast of Bohai Bay [D]. Changchun: Jilin University, 2010: 1-51]
 - 17 小杉正人. 現世干潟における珪藻遺骸の運搬? 堆積パターン - 小櫃川下流域の場合 - [J]. 地理学評論, 1986, 59(1): 37-50 [Masato Kosugi. Transportation and sedimentation patterns on dead diatoms in a tidal area a case study in the Lower Reach of the Obitsu River [J]. Geographical Review of Japan, 1986, 59(1): 37-50]
 - 18 金德祥, 程兆第, 林均民, 等. 中国海洋底栖硅藻类(上) [M]. 北京: 海洋出版社, 1982 [Jin Dexiang, Cheng Zhaodi, Lin Junmin *et al.* Diatom of China Sea(I) [M]. Beijing: Marine Press, 1982]
 - 19 王宏. 渤海湾牡蛎礁与新构造活动: 几个基本问题的讨论[M]//新构造与环境. 北京: 地震出版社, 2001: 171-184 [Wang Hong. Oyster Reefs and Neotectonic Movements in the Bohai Bay: Discussion of Some Questions [M] // Neotectonism and Environment. Beijing: Seismological Press, 2001: 171-184]
 - 20 Peltier W R. Mechanisms of Relative Sea-Level Change and the Geophysical Responses to Ice-Water Loading [M] // Devoy R J N ed. Sea Surface Studies, Croom Helm, 1987: 57-94
 - 21 金德祥, 程兆第, 刘师成, 等. 中国海洋底栖硅藻类(下) [M]. 北京: 海洋出版社, 1991 [Jin Dexiang, Cheng Zhaodi, Liu Shicheng *et al.* Diatom of China Sea(II) [M]. Beijing: Marine Press, 1991]
 - 22 张俊娜, 夏正楷. 中原地区4 ka BP 前后异常洪水事件的沉积证据[J]. 地理学报, 2011, 66(5): 685-696 [Zhang Junna, Xia Zhengkai. Depositional evidences of the 4 ka BP flood events in central China Plains [J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(5): 685-696]
 - 23 Perry C A, Hsu K J. Geophysical, archaeological, and historical evidence support a sola routput model for climate change [J]. Proceedings of National Academy of Science of USA, 2000, 97(23): 12 433-12 438
 - 24 吴文祥, 刘东生. 4000aB. P. 前后降温事件与中华文明的诞生[J]. 第四纪研究, 2001, 21(5): 443-451 [Wu Wenxiang, Liu Dongsheng. 4000aB. P. event and its impact for the origin of ancient Chinese civilization [J]. Quaternary Sciences, 2001, 21(5): 443-451]
 - 25 吴文祥, 刘东生. 4000 aB. P. 前后东亚季风变迁与中原周围地区新石器文化的衰落[J]. 第四纪研究, 2004, 24(3): 278-284 [Wu Wenxiang, Liu Dongsheng. Variations in East Asia Monsoon around 4000 a B. P. and the collapse of Neolithic Cultures around Central Plains [J]. Quaternary Sciences, 2004, 24(3): 278-284]
 - 26 王宏. 渤海湾全新世贝壳堤和牡蛎礁的古环境[J]. 第四纪研究, 1996, 16(1): 71-79 [Wang Hong. Palaeoenvironment of the Holocene Cheniers and oyster reefs in the Bohai Bay, China [J]. Quaternary Sciences, 1996, 16(1): 71-79]
 - 27 任美镔. 4 280aB. P. 太行山大地震与大禹治水后(4 070aB. P.) 的黄河下游河道[J]. 地理科学, 2002, 22(5): 543-545 [Ren Meie. The great earthquake in 4 280aB. P. and early course of the Lower Yellow River, China [J]. Scientia Geographica Sinica, 2002, 22(5): 543-545]
 - 28 薛春汀, 周永青, 朱雄华. 晚更新世末至公元前7 世纪的黄河流域和黄河三角洲[J]. 海洋学报, 2004, 26(1): 48-61 [Xue Chunting, Zhou Yongqing, Zhu Xionghua. The Huanghe River course and delta from the end of Late Pleistocene to 7th century BC [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004, 26(1): 48-61]
 - 29 薛春汀. 7 000 年来渤海西岸、南岸海岸线变迁[J]. 地理科学, 2009, 29(2): 217-222 [Xue Chunting. Historical changes of coastlines on west and south coasts of Bohai Sea since 7 000 a B. P. [J]. Scientia Geographica Sinica, 2009, 29(2): 217-222]
 - 30 王海峰, 裴艳东, 刘会敏, 等. 渤海湾全新世牡蛎礁: 时空分布和海面变化标志点[J]. 地质通报, 2011, 30(9): 1396-1404 [Wang Haifeng, Pei Yandong, Liu Huimin *et al.* Holocene oyster reefs: spatial and temporal distribution and sea level indicators in Bogai Bay [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(9): 1396-1404]
 - 31 刘爱菊, 张延廷, 黄易畅. 河北省海岸带潮汐特征[J]. 黄渤海海洋, 1986, 4(3): 1-7 [Liu Aiju, Zhang Yanting, Huang Yichang. Characteristics of the coastal tidal in hebei province [J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1986, 4(3): 1-7]

Diatom Analysis in the Top and Bottom Muddy Sediments of Buried Oyster Reef for the Reef Mud Conversion Palaeoenvironmental Reconstruction , Northwest Bohai Bay

FANG Jing^{1,2} WANG Hong² WANG Fu² SHANG Zhi-wen² HU Ke³
YANG Yong-qiang³ FAN Chang-fu⁴ WANG Hai-feng³

(1. College of Urban and Environmental Science , Tianjin Normal University , Tianjin 300387;

2. Tianjin Centre of China Geological Survey , Tianjin 300170;

3. School of Marine Sciences , China University of Geosciences , Beijing 100083;

4. Institute of Mineral Resources , Chinese Academy of Geological Sciences , Beijing 100037)

Abstract: Dawuzhuang oyster reef is the deeply studied one in the recent years while Konggang oyster reef is a new one on the northwest coast of Bohai Bay. Diatom analysis of the muddy sediments filling into the oyster shells , between the shells and in the overlying muddy layers all contained the *Auliscus caelatus* which indicated that the late development of the reef and the early stage of the overlying muddy layers are all belonging to the intertidal zone environment. However , the reef-mud conversion was not the same in these two reefs. (1) The *Auliscus caelatus* in Dawuzhuang oyster reef decreased gradually from the top of the reef to the overlying muddy layers , which indicated an environment change from the middle to upper parts of intertidal zone , upper parts of intertidal zone to supratidal zone. (2) The *Achnanthes brevipes* , indicating estuary environment , with the percentage of 6% ~23% were found only in the overlying muddy layers of Konggang oyster reef. It showed estuary influence in the muddy layers. The above differences revealed the reef-mud conversion was not the same in the two reefs. The Dawuzhuang oyster reef grew up to the middle to upper parts of intertidal zone in the year 5 520 cal BP , and development stopped with the gradual disappearance of the marine influence. The Konggang oyster reef grew up to the intertidal zone in the year 4 000 cal BP and was suddenly buried by the muddy and sandy sediments which maybe from the Yellow River.

Therefore , the "reef-mud conversion" periods , which the oyster reefs stopped growing up and began overlaid by the mud layers , are 5 520 cal BP and 4 000 cal BP in Dawuzhuang and Tianjin Konggang , respectively. The seawater didn't quickly exit when the two reefs stop growing , and then 1.2m thick intertidal zone sediments and 2.9 thick lagoon-intertidal zone sediments respectively deposited in the two locations. The author speculated that the seawater completely withdraw from the two reefs were later than 4 700 and 1 100 years ago. The altitudes of the maximum marine layers are -1.44 m in Dawuzhuang and 0m in Konggang profiles. It was speculated that the relative sea level were 2.95 m under the modern sea level in 4 700a ago and 1.5m under the modern sea level in 1 100a ago. This is due to the crust decline and compaction which indicated that the earlier of the regression , the lower position of the upper limit of the marine layer in the west Bohai Bay.

The ancient Yellow River diverged and into the sea from Tianjin in 4 000 years ago. At the same time , the large number of the sediments into the sea and made the coastline constantly advanced seaward which lead to the subsequent oyster reefs developed seaward.

Key words: northwest Bohai Bay; oyster reef in Dawuzhuang; oyster reef in Konggang; diatom analysis; intertidal zone