

# 胶州湾的 化学环境演变

宋金明 段丽琴 袁华茂 编著



科学出版社

# 胶州湾的化学环境演变

宋金明 段丽琴 袁华茂 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书作为国家重点基础研究发展计划项目课题(2015CB452901、2015CB452902)的成果之一,其主体内容基于胶州湾大量现场航次调查资料,分五章从海水、沉积物、输入胶州湾物质角度切入,在胶州湾化学环境演变的研究现状、演变趋势、物质输入、海水环境变化、沉积物演变过程等方面系统阐述和揭示了胶州湾的化学环境演变过程、现状和趋势。

本书可供海洋科学、环境科学、地理学以及人文科学领域的科研、教学人员以及本科生、研究生阅读、参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

胶州湾的化学环境演变 / 宋金明, 段丽琴, 袁华茂编著. —北京: 科学出版社, 2016. 7

ISBN 978-7-03-048094-1

I. ①胶… II. ①宋…②段…③袁… III. ①黄海-海湾-海洋化学-海洋环境-环境演化-研究 IV. ①P736.525②P734

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 085559 号

责任编辑: 周 杰 李晓娟 / 责任校对: 邹慧卿

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 铭轩堂

**科学出版社** 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

**中国科学院印刷厂** 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2016 年 7 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 7 月第一次印刷 印张: 25 3/4

字数: 600 000

**定价: 180 元**

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 前 言

海湾作为三面环陆一面环海的海域，其沿岸区域往往是社会经济高度发展的发达地区，受到人类活动的影响强烈，不仅承受了大量来自陆源河流及排污口注入的工农业/生活固体废弃物和污水，也接收了大气干湿沉降输入以及养殖排放的污染物质。海湾生态环境正在发生剧烈的变化，海湾正在承受着来自人类的巨大压力！

胶州湾素有青岛母亲湾之称，内有大沽河、南胶莱河等注入，湾口为青岛港（包括青岛大港区、黄岛油港区、前湾新港区和董家口港区四大港区），沿岸政区按逆时针方向依次为市南区、市北区、李沧区、城阳区、胶州市、黄岛区（西海岸新区）。胶州湾环境变化主要来自人为影响和自然变化两大方面，填海造地和近岸海洋工程是导致胶州湾环境变化的主导因素。据报道，1935年胶州湾的总体纳潮量为11.8亿 $m^3$ ，最大表层流速为1.8m/s，1985年的纳潮量为9.1亿 $m^3$ ，最大表层流速为1.2m/s，2008年的纳潮量为8.5亿 $m^3$ 左右，2014年的纳潮量为7.6亿 $m^3$ 左右，仅从胶州湾的纳潮量就足以看出胶州湾的环境在过去几十年发生着明显的变化。

就胶州湾的海水化学环境而言，自1962年以来，海水溶解无机营养盐浓度均呈现显著升高的趋势，但不同营养盐变化的特征不同。氨氮浓度从20世纪80年代起逐渐升高，到2001年达到顶峰，季度月平均浓度高达0.26mg/L，随后几年氨氮含量呈现下降趋势。亚硝酸盐和硝酸盐含量在20世纪90年代之后上升比较明显，尤其是2000年之后，升高幅度非常显著。与此相对应，总溶解无机氮浓度从20世纪80年代起逐渐升高，呈现较好的线性回归关系。磷酸盐和硅酸盐浓度在20世纪80~90年代中期是下降的，从90年代中后期开始，二者皆表现出显著升高的趋势。自2000年以来，除氨氮含量出现下降趋势外，其他营养盐浓度增加的幅度进一步提高。营养盐的结构也随之发生变化，胶州湾高的氮磷比自2000年以后开始下降，硅氮比有所上升（仍然低于Redfield比值），20世纪90年代营养盐比例严重失衡、硅限制的状况有所缓解。将来变化的趋势是胶州湾海水中DIN和磷酸盐在未来20年会呈现缓慢增加趋势，DIN年均浓度可能会略低于国家Ⅱ类海水水质标准，磷酸盐年均浓度可能会略高于国家Ⅰ类海水水质标准，氮磷比值会进一步下降，硅氮比会有所升高，胶州湾营养盐比例严重失衡、硅限制的状况将会进一步得到缓解，胶州湾COD仍会有缓慢增加，其浓度仍不会超过国家Ⅰ类海水水质标准，石油烃年均浓度

可能会超过国家 I / II 类海水水质标准, Pb 年均浓度可能会超过国家 I 类海水水质标准。

就胶州湾的沉积环境而言, 胶州湾沉积环境演变的一个较显著特征是沉积物生源要素的埋藏通量在 20 世纪初至 70 年代大致处于一个较低的水平, 说明在这期间没有大的环境改变。从 80 年代开始, 由于沿岸工农业的迅猛发展, 在人类活动的影响和干预下, 胶州湾海水的富营养化程度不断加重, 作为与富营养化密切相关的生源要素, 其埋藏通量不断增大, 这种影响在 90 年代中末期表现得尤为严重。在此期间, 沉积物中生源要素的埋藏通量达到了近百年来的最高值, 反映了该段时间内胶州湾的环境污染状况。如总氮的埋藏通量从 80 年代初的  $3.931 \mu\text{mol}/(\text{a} \cdot \text{cm}^2)$  增加到 90 年代中末期的  $4.937 \mu\text{mol}/(\text{a} \cdot \text{cm}^2)$ , 有机磷的埋藏通量从 80 年代初的  $0.464 \mu\text{mol}/(\text{a} \cdot \text{cm}^2)$  激增到 90 年代中末期的  $1.569 \mu\text{mol}/(\text{a} \cdot \text{cm}^2)$ , 总磷的埋藏通量从 80 年代初的  $1.831 \mu\text{mol}/(\text{a} \cdot \text{cm}^2)$  增加到 90 年代中末期的  $5.047 \mu\text{mol}/(\text{a} \cdot \text{cm}^2)$ 。到 21 世纪初, 由于加大了沿岸治污措施, 胶州湾的富营养化程度有所减轻, 表现为生源要素的埋藏通量显著下降, 总氮的埋藏通量已经下降到了  $3.309 \mu\text{mol}/(\text{a} \cdot \text{cm}^2)$ , 有机磷以及总磷的埋藏通量已经分别降至  $0.145 \mu\text{mol}/(\text{a} \cdot \text{cm}^2)$  和  $1.818 \mu\text{mol}/(\text{a} \cdot \text{cm}^2)$ , 大体恢复到了 20 世纪 80 年代的水平, 说明近年来城市生活污水、工农业废水以及农用化肥、农药的排放等陆源输入等对胶州湾的影响已经得到了一定的控制, 胶州湾的整个生态环境在向好的方向变化。未来 20 年胶州湾的沉积环境应该变化不大。

就影响胶州湾化学环境演变的重要因素, 即海底冲淤、岸线与面积变化等而言, 自 1990 年以来胶州湾多数岸段向海有明显的淤积趋势, 在内湾 (团岛头与黄岛间连线以北海域) 北部河口两侧和黄岛前湾及海西湾内尤为明显, 黄岛前湾附近主要是由填海造陆和修堤筑港造成, 而内湾北部的变化主要是围海造地引起的。未来 20 年胶州湾仍将保持湾内以冲刷为主, 局部淤积, 具体表现为胶州湾内西北部略有淤积, 主要集中在大沽河入海口, 另外, 李村河口也会有少量淤积。一百多年来胶州湾海域面积不断减小, 1863 年为  $579\text{km}^2$ , 1935 年为  $559\text{km}^2$ , 1971 年为  $452\text{km}^2$ , 1988 年为  $390\text{km}^2$ , 2001 年为  $365\text{km}^2$ , 2012 年为  $343\text{km}^2$ 。未来 20 年, 胶州湾的水域面积总体变化不大, 但较小规模的围填海还会产生, 其水域面积会稍有减少, 减小的速度将会明显低于近 20 年。胶州湾的人工岸线将会稍有增加, 但总体岸线长度基本稳定, 增加的速率也会低于近 20 年。未来 20 年, 胶州湾的岸线长度和面积将会在  $195\text{km} \pm 5\text{km}$  和  $340\text{km}^2 \pm 10\text{km}^2$  变化。

水动力、气候、生态系统等的变化与胶州湾化学环境演变密切相关。1935 ~ 2008 年, 胶州湾的水交换能力减小了 9.2%, 平均逐年减少 0.13%。从逐年变化率的角度看, 1966 ~ 1985 年水交换平均逐年减少 0.33%, 1985 ~ 2000 年水交换平均逐年减少约 0.08%, 2000 ~ 2008 年的水交换变化较快, 平均逐年减少了 0.3%。1935 年、1966 年、1986 年、2000 年和 2008 年的胶州湾水体半交换时间分别是 37.0 天、36.7 天、39.2 天、39.7 天和 40.8 天, 也就是说经过这些天的水交换就可将整个胶州湾内的水体污染物浓度降低到初始

浓度的一半。2008 年的水体半交换时间比 1935 年的延长了 3.8 天, 说明随着岸线、面积和海底地形的变化, 胶州湾的水体交换能力越来越差。未来 20 年, 胶州湾的水动力总体变化不大, 主要表现在胶州湾的纳潮量仍会减小, 但幅度不大;  $M_2$  分潮的振幅, 即潮波从湾口到湾顶的传播时间仍会减小, 但变化不会太显著; 流场结构变化不会很大, 但流速仍会呈有小幅减小趋势; 欧拉余流的“团团转”的多涡结构基本保持不变, 位置、强度大小会有很小的变化, 最强的欧拉余流仍会出现在团岛附近, 最大值在 0.5m/s 左右; 水交换能力仍有小幅度的减弱。

就气候而言, 近 60 年来胶州湾地区平均气温增加了 1.65℃, 线性增温速率为 0.34℃/10 a, 高于同期全国平均增温率的 0.22℃/10 a, 稍高于全球近 50 年的平均增温率 (0.3℃/10 a)。平均气温呈现出两个较为明显的暖期和一个冷期, 暖期分别出现在 20 世纪 50 年代末 60 年代初和 20 世纪 80 年代中后期以后, 进入 90 年代后温度上升尤为显著, 1990~2008 年的线性增温率达到 0.51℃/10 a, 较前 30 年的增温速率显著提高。胶州湾四季平均气温均呈增加趋势, 但年际变化及增温速率存在较大差异, 以冬季增暖最为显著, 其次是春季和秋季, 夏季最小。未来 20 年胶州湾地区年平均气温仍呈增加趋势, 2011~2030 年年平均气温预测为 13.6℃, 较 1961~1990 年的平均值 12.0℃增加了 1.6℃, 线性倾向率为 0.77℃/10 a, 较近 50 年的增温速率增大了 1 倍多, 区域东南部的升温趋势要较西北部将更为明显。关于降水变化, 未来 20 年胶州湾地区年降水量也有所增加, 2011~2030 年 20 年的平均降水量预测为 710mm/a, 较多年平均降水量 (1961~1990 年) 的 701mm/a 相差不多。

胶州湾生态系统中的浮游植物自 1981 年以来总量呈现增加趋势, 中肋骨条藻、角毛藻等小型链状硅藻数量呈现增加趋势, 波状石鼓藻等暖水性种类的数量持续升高, 甲藻类浮游植物数量升高、分布范围扩大, 但空间分布格局没有发生明显改变。胶州湾的浮游植物优势种组成发生改变, 洛氏角毛藻、密联角毛藻、波状石鼓藻、叉角藻与梭角藻等成为近年来新的优势种。胶州湾浮游动物生物量呈现明显的上升趋势。20 世纪 90 年代的季度月平均生物量为 0.102 g/m<sup>3</sup>, 2001~2008 年的平均生物量达到 0.361 g/m<sup>3</sup>, 约为 20 世纪 90 年代的 3.54 倍。自 20 世纪 90 年代以来, 浮游动物生物量增加最显著的季节为春季和夏季, 以春季最为明显, 秋季和冬季生物量稍有增加, 但并不显著。未来 20 年, 胶州湾浮游植物总量仍会呈现增加的趋势, 且尤以冬季增加更为明显。中肋骨条藻、旋链角毛藻、星脐圆筛藻、柔弱角毛藻、尖刺拟菱形藻、浮动弯角藻等仍会为优势种。此外, 甲藻类浮游植物数量会有升高, 且分布范围会有扩大。胶州湾浮游动物生物量也会呈现上升趋势, 且仍为春季生物量和丰度最高, 夏季次之。胶州湾浮游动物多样性呈增加趋势, 特别是暖水性种类数量, 如水母类增加最为明显。

本书的研究获国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目“人类活动引起的营养物

质输入对海湾生态环境影响机理与调控原理”(2015CB452900)课题“营养物质输入通量及海湾环境演变过程”(2015CB452901)、“海湾营养物质迁移转化规律及其环境效应”(2015CB452902);国家自然科学基金委员会-山东省联合基金项目“海洋生态与环境科学”(U1406403)研究方向“海洋生态环境变化的生物地球化学机制”;青岛国家海洋科学与技术重点实验室项目“鳌山人才”卓越科学家专项的资助,特向以上项目资助表示感谢!

本书是集体劳动成果的结晶,近10年来中国科学院海洋研究所海洋生物地球化学研究组的多位同志及研究生参与了此项研究,他们是李学刚、戴纪翠、李宁、齐君等,没有他们的付出,本专著不可能完成。同时,书中还参考了若干胶州湾研究学者的研究工作及成果,特向他们表示深深的谢意!书中第2章有关营养盐监测资料由山东胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站提供,特此感谢!

本书由宋金明、段丽琴、袁华茂分工撰写,宋金明撰写第1章、第4章以及第5章的5.1、5.2和5.3节,段丽琴撰写第2章以及第5章的5.4和5.5节,袁华茂撰写第3章。段丽琴、袁华茂绘制了全书图表,全书由宋金明统稿。

作为我国第一部系统阐述胶州湾化学环境演变的专著,无论从研究的深度和广度,还是采用的技术方法以及撰写者的水平角度,本书还有诸多的欠缺和不足,甚至错误,敬请读者批评指正。

宋金明

2016年5月于胶州湾畔

# 目 录

第 1 章 胶州湾及其化学环境演变概述 .....	1
1.1 胶州湾概况 .....	1
1.1.1 胶州湾自然地理简况 .....	1
1.1.2 胶州湾生物资源 .....	4
1.1.3 胶州湾地形地貌与沉积环境 .....	4
1.2 胶州湾的开发利用及环境影响 .....	9
1.2.1 胶州湾岸线与面积变迁 .....	10
1.2.2 胶州湾贝类养殖及环境影响 .....	14
1.3 胶州湾化学环境演变概况 .....	19
1.3.1 胶州湾营养盐长期变化 .....	19
1.3.2 胶州湾沉积环境演变 .....	23
第 2 章 胶州湾水化学环境及变化 .....	29
2.1 胶州湾的水环境状况 .....	29
2.1.1 海水温度 .....	29
2.1.2 盐度 .....	33
2.1.3 溶解氧 .....	36
2.1.4 pH .....	41
2.2 海水中的营养盐 .....	44
2.2.1 海水中的氮 .....	44
2.2.2 海水中的磷 .....	49
2.2.3 海水中溶解硅酸盐 .....	51
2.2.4 胶州湾海水中营养盐的月际变化 .....	52
2.2.5 营养盐的年际变化特征 .....	59
2.2.6 海水营养盐结构的年际变化 .....	74
2.3 海水碳化学 .....	76
2.3.1 $p\text{CO}_2$ .....	76
2.3.2 溶解无机碳 .....	85



2.3.3 有机碳 .....	88
2.4 海水中的痕量元素 .....	93
2.4.1 海水中重金属含量 .....	94
2.4.2 其他痕量元素 .....	103
2.5 海水中的其他化学物质 .....	115
2.5.1 有机污染物 .....	115
2.5.2 氨基酸 .....	125
2.5.3 低分子量有机酸 .....	133
<b>第3章 输入胶州湾物质的变化特征 .....</b>	<b>138</b>
3.1 陆源输送进入胶州湾的物质 .....	138
3.1.1 陆源污水输入 .....	139
3.1.2 化学需氧量的入海通量 .....	140
3.1.3 营养盐的输入通量 .....	142
3.1.4 痕量元素的输入通量 .....	161
3.2 通过大气干湿沉降输入到胶州湾的物质 .....	162
3.2.1 大气营养盐干湿沉降对胶州湾的输入 .....	162
3.2.2 大气气溶胶中的可溶性无机离子 .....	177
3.2.3 大气干湿沉降对胶州湾微(痕)量元素的输入 .....	189
3.3 养殖排放对胶州湾物质的输送 .....	215
3.3.1 胶州湾海水养殖状况 .....	215
3.3.2 不同养殖方式污染物排放通量的估算方法 .....	218
3.3.3 胶州湾海水养殖排放 COD 与营养物质的通量 .....	220
3.3.4 海水养殖排入胶州湾营养盐的通量 .....	221
3.4 地下水和沉积物-海水界面迁移对胶州湾物质的输入 .....	226
3.4.1 胶州湾地下水物质输入通量 .....	226
3.4.2 沉积物-海水界面交换 .....	239
<b>第4章 胶州湾沉积环境演变的过程及表征 .....</b>	<b>254</b>
4.1 胶州湾的现代沉积速率 .....	254
4.1.1 样品采集与分析 .....	254
4.1.2 胶州湾现代沉积速率 .....	257
4.2 沉积物中的氮与磷 .....	264
4.2.1 沉积物中氮的生物地球化学特征 .....	264
4.2.2 沉积物中磷的生物地球化学特征 .....	287

4.3	沉积物中的微量元素 .....	315
4.3.1	胶州湾柱状沉积物定年与重金属污染状况 .....	316
4.3.2	胶州湾沉积物重金属的累积过程与特征 .....	319
4.3.3	胶州湾 B3 与 D4 柱状沉积物中重金属的污染状况评价 .....	324
4.4	胶州湾滨海湿地碱蓬与盐渍土环境 .....	329
4.4.1	胶州湾滨海盐渍土及碱蓬样品的采集与分析 .....	330
4.4.2	胶州湾滨海盐渍土对重金属的聚集与分散特性 .....	331
4.4.3	碱蓬对胶州湾滨海湿地重金属的富集与迁移 .....	337
4.4.4	胶州湾滨海湿地中的 Li、Rb、Cs、Sr、Ba 及碱蓬对其的“重力分馏” .....	344
4.4.5	胶州湾滨海湿地盐渍土环境及碱蓬的作用 .....	348
<b>第 5 章</b>	<b>胶州湾环境演变的趋势分析 .....</b>	<b>350</b>
5.1	环胶州湾气候变化趋势 .....	350
5.1.1	近 50 年胶州湾的气候变化 .....	351
5.1.2	近 50 年胶州湾的降水变化 .....	353
5.1.3	未来 20 年胶州湾气候变化趋势 .....	354
5.2	岸线与面积变化趋势 .....	355
5.2.1	胶州湾岸线与面积的变化 .....	355
5.2.2	胶州湾岸线与面积的变化趋势 .....	361
5.3	海湾冲淤预测 .....	362
5.3.1	近几十年的冲淤现状 .....	362
5.3.2	胶州湾冲淤预测 .....	368
5.4	水动力与水质变化趋势 .....	369
5.4.1	近 70 年胶州湾的水动力变化 .....	369
5.4.2	胶州湾水动力变化趋势预测 .....	376
5.4.3	胶州湾的水质变化趋势 .....	376
5.4.4	胶州湾水质变化趋势预测 .....	377
5.5	生态系统变化趋势 .....	379
5.5.1	浮游植物 .....	379
5.5.2	浮游动物 .....	382
5.5.3	底栖生物 .....	388
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>395</b>

# 第 1 章 | 胶州湾及其化学环境演变概述

## 1.1 胶州湾概况

### 1.1.1 胶州湾自然地理简况

胶州湾位于山东半岛南岸的黄海之滨，其以团岛头（ $120^{\circ}16'49''\text{E}$ ， $36^{\circ}02'36''\text{N}$ ）与薛家岛脚子石（ $120^{\circ}17'30''\text{E}$ ， $36^{\circ}00'53''\text{N}$ ）连线为界、与黄海相通的半封闭式海湾，胶州湾又以团岛头和黄岛的黄山咀连线分为内湾和外湾。内湾中有沧口湾、阴岛湾，外湾有黄岛前湾、海西湾等小湾，湾内原有的阴岛（红岛）、团岛、黄岛均与陆地相连，在其北部建有跨越东西两岸的胶州湾大桥、南部口门附近有胶州湾隧道（图 1-1）。



图 1-1 胶州湾略图

胶州湾环湾地带为青岛市辖的区市，沿岸自东向西分别与青岛市市南区、市北区、李

沧区、城阳区、胶州市、黄岛区相邻，其东侧和南侧陆域为崂山山地和珠山山地，北部和西部则为胶莱河平原及丘陵。胶州湾海岸多为基岩，潮间带较窄，属于侵蚀海岸或稳定海岸，仅红石崖以北至山角底为粉砂淤泥质海岸。胶州湾北部为淤泥粉砂质海岸，潮滩较宽，因受大沽河和洋河泥沙来源影响，岸滩逐渐淤涨，为淤涨海岸。红石崖至辛岛东海岸为沙质海岸，海岸相对稳定。胶州湾区域具明显的海洋性气候特征，累年年平均气温 $12.3^{\circ}\text{C}$ ，平均降水量 $755.6\text{mm}$ 。风的季节性明显，春夏基本一致，盛行SE向风；秋冬基本一致，盛行N—NW向风。此外，台风、暴潮、寒潮、海冰也是这一区域较为常见的灾害性天气现象。

胶州湾沿岸水系较发达，尤以北侧陆区河流较多，呈放射状辐聚汇流于海湾，但无大河入海，影响其泥沙来源和水文状况的河流主要是山溪性雨源河流，如洋河、南胶莱河、大沽河、墨水河、白沙河、李村河等，其中最大的是大沽河，其次是南胶莱河、白沙河，这些河流均从团岛—黄岛一线以北注入胶州湾的，在其以南入湾的河流只有辛安河，流域面积为 $58\text{km}^2$ （图1-2）。

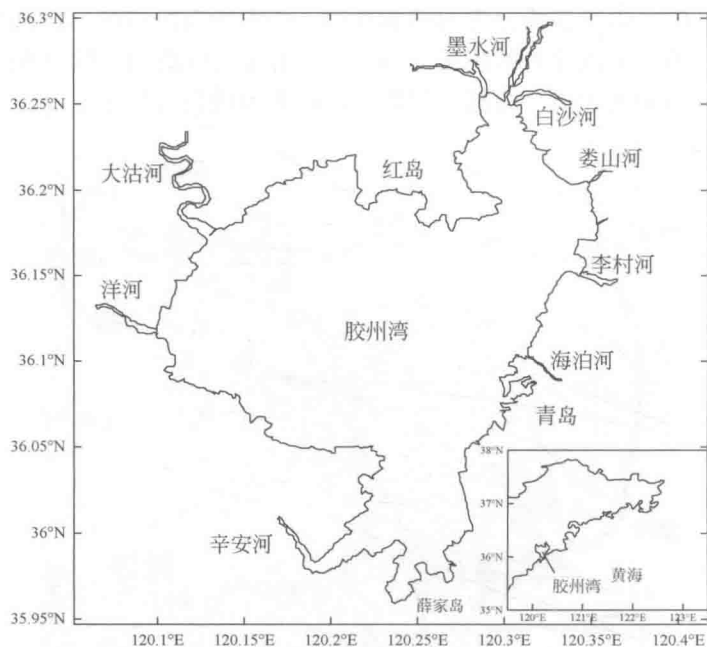


图1-2 胶州湾输入的河流

胶州湾湾内平均水深 $7.0\text{m}$ ，最大水深在湾口附近，局部可达 $71\text{m}$ ，总体地貌特征呈簸箕形直倾斜在湾口区又转而东倾斜，海底地形总的特点是除湾顶部分外，东部深、西部浅， $10\text{m}$ 以浅至潮间带之间的水下浅滩地形缓慢倾斜。在黄岛前湾和海西湾，绝大部分水深小于 $5\text{m}$ ，水下地形呈坡状且坡度平缓，平均坡降 $1.0\text{‰} \sim 1.25\text{‰}$ 。胶州湾东西宽约 $27.8\text{km}$ ，南北长 $33.3\text{km}$ ，高潮岸线长 $239\text{km}$ ，平均低潮岸线长 $162\text{km}$ ，其中，岩石岬角岸线占 $2/3$ 以上，目前水域面积为 $380\text{km}^2$ ， $0\text{m}$ 等深线以下的水域占 $78.1\%$ ， $-5 \sim -10\text{m}$

水域占 7.5%，-10m 以下水域面占 14.4%。

胶州湾主要受控于两大波浪系统：一个是湾内产生的小尺度短风区的自生风浪，周期小，成长发展快；另一个是以涌浪形式传入湾内的外海风浪，周期较大，波高较湾内自生浪大。据实测资料，其强浪向为 E，最大波高为 3.1m；次强浪向为 NNE，最大波高 2.2m。常浪向为 SE，频率为 21%，次常浪向为 NW，频率为 17%。胶州湾的波浪主要是小浪，中浪很少，十分之一大波波高小于 0.5m 的频率为 90% 左右，大浪只有在台风天气才偶然出现。胶州湾潮汐属规则半日潮，有低潮日不等现象，一般平均高潮位位于海图零点以上 3.8m，平均低潮位位于海图零点以上 1.02m，平均潮差 2.78m，最大潮差可达 4.75m。潮流总的特征是涨潮流速大于落潮流速，涨潮时小于落潮时，一般短 1~2h，黄山咀附近最大涨潮流速为 276cm/s，发生在 9 月份，一般比最大落潮流速大 15cm/s 以上。潮流的基本运动形式为往复流，最大潮流流速方向与海岸线平行，在转流期间湾顶附近海域有旋涡形成。在外湾口、内湾口和中沙礁两侧的深水通道形成三处强流区，均为比较典型的往复流，流速可达 191cm/s。而在胶州湾的一些小海湾，如海西湾、黄岛前湾、胶州湾的西部（红岛至红石崖以西）海域，形成弱潮流区，大潮平均流速一般不超过 20cm/s。胶州湾主要气象水文要素见表 1-1。

表 1-1 胶州湾主要气象水文要素

项目	春	夏	秋	冬	全年
盛行风向	SE	SE	N	NNW	SE
频率/%	16	22	15	19	12
平均风速/(m/s)	5.5	4.8	5.7	6.1	5.5
最大风速/(m/s)	28	38	28	28	38
风力≥8 级天数/d	9.8	5.4	11.6	12.7	39.5
平均气温/℃	9.8	21.3	16.3	1.0	12.5
最高/最低气温/℃	32.4/-7.0	34.3/10	34.3/-12.3	16.0/-16	15.8/-9.8
平均降水量/mm	97.6	396.4	203.9	34.8	732.7
日最大降水量/mm	60.4	181.5	182.0	24.2	182.0
强浪向/波高/m	NNE/1.4	E/3.1	NE/2.1	NNE/1.9	E/3.1
常浪向/频率/%	SE/33	SE/30	NW/17	NW/31	SE/21
波高<0.5m 的频率/%	22.93	24.02	21.13	20.14	88.22
波高≥1.5m 的频率/%	0	0.03	0.01	0.01	0.05
表层海水温度/℃	12.9~15.9	25~27	9.6~14	2.3~3.3	2.3~27
表层海水盐度	32.0~32.4	31.5~32.3	32.0~32.3	31.8	31.5~32.4

## 1.1.2 胶州湾生物资源

### (1) 浮游植物

胶州湾浮游植物有 174 种, 在胶州湾南北两翼近海鉴定浮游植物约有 165 种。根据浮游植物的生态特点, 可归纳为 3 个生态类群: ①湾内优势类群, 它们密集于湾内沿海水域, 是湾内浮游植物的显著优势种, 主要有骨条藻、尖刺菱、双突角刺藻等; ②湾外优势类群, 其特点是先出现于湾外, 逐渐向北分布, 主要有几内亚藻、扭鞘藻、双凹梯形藻和波状石鼓藻等; ③广布性类群, 在湾内外出现频率和数量都较高, 主要有伏恩海毛藻、翼根管藻印度变型、刚毛根管藻、窄隙角刺藻和聂氏海棒藻等。

### (2) 浮游动物

胶州湾的浮游动物约有 148 种, 主要分布在湾北部。其中原生动物 31 种、腔肠动物 52 种、栉水动物 2 种、轮虫动物 1 种、甲壳动物 53 种、软体动物 3 种、毛鄂动物 3 种、被囊动物 3 种。另有浮游幼虫 26 种。

### (3) 底栖生物

胶州湾海域底栖生物有文昌鱼群落、海蛹-扇栉虫群落、细雕刻肋海胆-日本本棘蛇尾群落、菲律宾蛤仔-日本浪漂水蚤群落、棘刺锚参-胡桃蛤群落、勒特蛤-菲律宾蛤仔群落 6 个群落。

### (4) 游泳动物

胶州湾海域的游泳生物主要包括鱼类、虾类和某些软体动物等。有鱼类 100 多种, 优势种有斑鲫、梭鱼、青鳞鱼和牙鲆等 23 种, 构成渔获尾数的 96%。无脊椎动物主要有甲壳类中的虾、蟹类和软体动物中的头足类。大多数是以胶州湾及沿岸海域为产卵、育幼场。中国对幼虾于 4 月份进入胶州湾产卵, 新生幼虾于 8 月底移至湾外沿岸海域, 完成发育过程, 11 月约定进行越冬回游。

### (5) 湿地鸟类

胶州湾湿地是过境候鸟中途停歇、补充能量的“驿站”和珍稀水鸟的重要越冬区、繁殖区。调查记录到的湿地鸟类有 155 种, 包括冬候鸟 34 种、夏候鸟 28 种、留鸟 8 种、旅鸟 88 种。其中, 属于国家级重点保护的水鸟有 29 种, 一级保护鸟类有丹顶鹤、白鹤、白鹳、中华秋沙鸭等 10 种, 二级保护水鸟有大天鹅、灰鹤、蓑羽鹤、鸳鸯、小杓鹬等 19 种。另据调查发现, 还有 10 余种全球濒危、稀有繁殖水鸟种群, 如黑嘴鸥、黑翅长脚鹬、大杓鹬等。国际鸟类保护联盟的《全球生态区 2000 年规划》中明确将胶州湾湿地划为国际重要鸟区。

## 1.1.3 胶州湾地形地貌与沉积环境

### 1.1.3.1 海底地形地貌特征

胶州湾处于华北地台鲁东地盾的海阳-高密拗陷和胶南隆起的过渡, 自太古代以来长

期处于稳定上升、剥蚀夷平阶段，到了中生代晚期才发生强烈的地壳运动，产生了一系列构造，同时伴随岩浆活动，并在拗陷区沉积了很厚的沉积岩。胶州湾的大地构造属于新华夏系第二隆起带胶东隆起区，断裂构造异常发育。这对海湾形成早期的地貌形态和岸线变化起着主导作用，第四纪以来，胶州湾地区的地壳比较稳定，基本上处于缓慢上升和剥蚀夷平过程。

胶州湾及其周边地区出露的地层主要包括古老的太古界-元古界变质岩系、中生代侏罗系-白垩系的火山碎屑岩系和河湖相沉积岩（该区主要地层单元）以及第四系松散沉积物。东部为崂山花岗岩，北部是火山杂岩，西部是砂岩和砾岩，西南部是变质岩系，南部则是花岗岩和火山岩错杂分布区，西北部为第四系松散沉积区。该区以断裂构造为主，主要发育 NE 向、NNE 向、近 NE 向和 NW 向构造，其中以 NNE 向即墨-流亭断裂为主，基本控制了胶州湾的地质和地貌格局，此外红岛地区的 NE 向断层也很重要。

胶州湾的地形西北浅，东南深，海底地势自北向南倾斜，腹大口小，其西北部有 7~8km 宽的滩地和宽阔的浅水区。湾口一条深 30~40m 的深水槽呈 NNW 向伸入湾内，该深水槽在黄岛和团岛之间转向朝北，转折处形成水深达 64m 的深水潭，其东南侧受沧口断裂影响形成陡坎，是湾内景深的地区。在中砂礁西北侧有 -40m 深的洼地，湾内自东往西有 5 条水道向湾口汇集，而后通向外海，水道之间为凸的正地形，这些水道是胶州湾内潮水涨落的主要通道。根据地貌类型成因分类其海底地貌可分为两大类，即海蚀地貌和堆积地貌。

### (1) 海蚀地貌

主要分布于湾口潮流通道及其两侧，主要有 3 种：①侵蚀深槽，这种侵蚀地貌是湾区的主要负地形体系，为潮流的主要通道。它是在原始海底地形、地质构造的控制下，由潮流的冲刷作用而形成的冲刷槽，该冲刷槽体自湾口地区起呈带状向湾内延伸，进入湾内后，沿 5 条水道呈指状散开。往 NNE、N 和 NW 方向伸延，其中以 NNE 向的沧口水道延伸最远，沧口水道冲刷槽正好处于控制本区的新华夏构造系内。②侵蚀洼地，个别地段动力条件较强或受构造、岩性等因素影响，侵蚀速度较快而形成的面积较小、深度较大的侵蚀负地形。胶州湾内有两个典型侵蚀洼地：一个是中砂礁西北侵蚀洼地，呈椭圆形，水深 30~40m，另一个位于黄岛和团岛之间的侵蚀深槽中，也呈椭圆形，最大水深 64m，底部为花岗岩。这两处都位于基岩埋深较深处，其在全新世海侵前地势低洼，在海侵后又处于两个潮流涡旋中心，受到长期侵蚀而成为侵蚀洼地。③水下侵蚀台地和岩礁，岩礁大部分在沿岸海区，也有的位于冲蚀海槽内，由基岩组成。胶州湾内发育有许多大大小小的礁石和水下侵蚀平台，如马蹄礁、安湖石、黑孤石、大孤石等。胶州湾内最大的侵蚀平台是中砂礁，位于黄岛东北部，距黄岛 1.9km，中砂礁 20m 水深以浅的面积为 1.05km<sup>2</sup>，它原为黄岛岩体的一部分，由崂山花岗岩组成。

### (2) 堆积地貌

主要分布在海湾顶部水动力条件较弱地段，主要有 2 类：①潮流沙脊，分布于潮流通道水道两侧，呈长条状，规模大小不一。潮流沙脊是由潮流在运动中产生分流或水流扩散造成的水流减缓而形成的埋积体，其组成物质以中粗砂为主，混有一定量的黏土，湾内最

大的沙脊位于沧口水道西侧。南北长 15km, 东西宽 1.5 ~ 2km, 两侧地形高差达 20m。②水下堆积平地和水下浅滩, 主要分布于近岸浅水地带, 这些区域水动力条件较弱, 周边河流和岸段冲刷带来大量泥沙形成细粒堆积区, 其特点是海底地形平坦, 坡度很小, 组成物质很细, 多为淤泥质粉砂。胶州湾东北部的浅滩因泥沙来源复杂, 沉积物质组成也较复杂。这些区域的松散层厚度都在 20m 左右, 其中海相层最厚处 10m, 如海西湾口, 其余为陆相地层。根据水深和地形坡度的大小, 该类型又可进一步分为水下浅滩和水下堆积平地。

### 1.1.3.2 海底地貌对陆相地貌的继承

胶州湾地区没有发现第三纪的沉积, 海底最老地层为  $18\ 000a \pm 200a$  的晚更新世产物, 这样可以推断, 形成现在胶州湾海底基岩起伏形态的时间, 应在第三纪末至晚更新世前, 即喜山运动第二幕。在此地质时期, 该区的老构造开始复活, 并继承块状断裂, 形成了胶州湾断陷盆地的皱型, 为今日胶州湾海底地貌奠定了最原始的地形基础。晚更新世开始至距今 15 000a 前, 海面要比目前低 130 ~ 150m, 距今 12 500a 前, 海面要比现在低 50m, 那时黄渤海海底全部裸露成陆, 胶州湾为内陆的一个小盆地。当时的气候与现在相比既寒冷又干燥, 基岩岩石出现了风化, 产生了风化壳和残积物, 低洼处又接受了坡积和洪冲积, 现今胶州湾大部分基岩之上都有这层陆相层。晚更新世以来至第四纪最后一次冰期结束, 世界性气候也有所波动, 那时有众多的大小河流流入胶州湾这个起伏不平的内陆盆地, 并带来了大量泥沙, 在胶州湾现在海底堆积了以冲积为主的洪冲积层。晚更新世晚期, 世界气候开始逐渐转暖, 现在胶州湾海底部分地段又出现了湖泊沼泽相沉积。总的来说, 全新世海侵前, 胶州湾盆地普遍堆积了陆相松散沉积物, 其厚度为 10 ~ 20m。剖面仪探测证实, 现今胶州湾几条水道和水道交汇地区等低洼海底, 没有接受该陆相沉积或沉积层较薄, 这可能与这些地区基岩岩性难以风化、地势陡峭和水流湍急, 松散物质难以沉积有关。但也不能排除海侵后水动力的冲刷侵蚀。第四纪最后一次冰期即玉木冰期结束, 海面逐渐上升, 胶州湾这个断陷盆地才渐渐被海水淹没而成为海湾。胶州湾海底在新的水动力、泥沙运动等因素相互作用下, 产生了新的侵蚀和新的海冲及海湾相沉积, 距今 6000a 左右, 海侵海水上升到最高高度, 当时胶州湾水域范围要比现在大得多。距今 3000a 前海平面又有一次下降, 形成海退, 而后海面经过几次小波动, 逐渐稳定到目前高度。尽管第四纪冰期结束后至今出现了海侵、海退和海平面几次波动, 但胶州湾海积平原面积不断扩大。海湾内除部分地段因海退或海平面波动, 发生侵蚀基准面下降, 引起已沉积的海相层及陆相地层受到侵蚀切割 (海平面稳定后又重新得到了沉积) 外, 湾内浅水水域面积也不断扩展, 湾内沟谷、低洼处或为海水进出胶州湾的主要通道, 部分地段受到不断侵蚀加深, 湾内礁石、岬角区也不断被侵蚀冲刷, 胶州湾海底就渐渐发育了与侵蚀、堆积相适应的地貌形态。因此, 可以认为海侵前的地形形态, 控制了海侵后水动力和泥沙运移的方向、大小, 胶州湾不同区域的水动力和泥沙环境也就不一样了, 海底也就发育了与水动力、泥沙运动相应的地貌形态, 这些海底地貌形态是继承了海侵前的地形形态或在原始地形基础上发育而成。在地貌继承性上, 又尤以侵蚀深槽、侵蚀洼地和潮流沙脊最为典型。



### (1) 侵蚀深槽和侵蚀洼地

胶州湾的侵蚀深槽和侵蚀洼地其基岩埋深和海侵前水深比两侧或周围要深而陡，没有接受陆相沉积或者陆相松散层较薄，海侵前已经是几条（五条）沟谷，当时通入胶州湾内十几条大小河流入，它们的流水汇集到这几条沟谷内向胶州湾口流出。第四纪最后一次冰期结束，全球气候转暖，海平面上升，发生海侵，海水进入胶州湾这个盆地，形成海湾。胶州湾的潮流属正规半日潮，涨潮流速大，落潮流速小，涨潮时间短，落潮时间长，因潮流受到原始地形影响和制约，故在湾口、岬角和水道处形成了许多强流和涡旋流区，最大流速超过  $150\text{cm/s}$ ，胶州湾口最大流速为  $194\text{cm/s}$ 。海侵前5条流水沟谷现在成为涨落潮流的主要通道，流水通道中流速相应较大，泥沙淤积无几，地貌形态继承了原始地形，成为侵蚀深槽。胶州湾海底现在的侵蚀洼地地貌，也是继承了海侵前胶州湾盆地中的两个低洼地形，海侵后因原始地形对潮流的控制，潮流在洼地处形成急流和涡旋中心，现今该两处还是侵蚀环境。

### (2) 潮流沙脊

胶州湾内的潮流脊主要是湍礁潮流三角洲和水道之间的沙脊或隆脊。湍礁潮流三角洲，位于岛洱河和黄岛水道之间，湍礁处最底部的基岩埋深为  $25\text{m}$  以浅，到海侵前地形深度是  $15\text{m}$  以浅，也就是海侵前基岩上接受  $10\text{m}$  左右厚的陆相松散沉积，其周围深度都在  $15\sim 20\text{m}$ ，那时已形成了湍礁隆起的皱形。海侵使胶州湾成为一个名符其实的海湾，涨落潮流通过中砂礁与黄岛之间的黄岛水道，流水到处产生分流扩散并遇隆起，造成水流减缓，泥沙迅速落淤，久而久之，形成了湍礁潮流三角洲。从三角洲构造形态分析，湍礁潮流三角洲是涨潮型。从泥沙来源分析，在胶州湾形成海湾的初期，浪大流急时，湾口地区被侵蚀的松散物可被流挟带入胶州湾内，现在胶州湾口门区海底是基岩，在大风大浪的环境下，水体依然清澈透明，含沙量很少，说明外海和湾口来沙极少。湍礁潮流三角洲形成初期沉积物有一部分是湾口带入的，但是主要泥沙来源是附近岸滩、海底和侵蚀洼地。湍礁潮流三角洲附近的潮流分析得知，该处在一个反时针涡旋流的边缘，东北部是水深  $40\text{m}$  的侵蚀洼地，涡旋在浪大流急情况下，侵蚀洼地的侵蚀物和周围海底泥沙被掀起，随流带人湍礁隆起，又因潮流出现分流扩散，流速减缓，泥沙落淤而产生堆积。沧口和中央两水道之间是隆起的正地形，有人称之为沙脊，也有人称之为隆脊。从地貌形态与原始地形的关系来研究，现在  $15\text{m}$  等深线处，基岩埋深为  $30\text{m}$  以浅，并有两个  $25\text{m}$  深的隆起，最浅为  $15\text{m}$ ；海侵前，原始地形深度为  $20\sim 25\text{m}$ ，现在  $10\text{m}$  水深等深线与海侵前  $15\text{m}$  等值线基本吻合，原始地形与两侧沟谷相比，它已是一个长条状的隆起。海侵后，进出胶州湾内的涨落潮流遇该隆起，产生分流，分两股（沧口和中央水道）进出内湾，隆起处流速降缓，引起泥沙落淤，原始隆起的低洼部分逐渐淤高，形成了今日的隆脊地貌。

综上所述，胶州湾的海底地貌是继承了海侵前原始地形的形态，即是原始地形控制着水动力和泥沙运动，而水动力和泥沙运移使得，在原始地形的基础上发育了今日的海底地貌。

#### 1.1.3.3 胶州湾全新世以来的海岸变迁

胶州湾区域全新世海岸变迁大体过程为：①大理冰期之后，全球气温变暖，冰川消