

中国海岸带研究

future
coa



海洋科学与工程分会
Association of Coastal
Science and Engineering, CSE



黄河三角洲滨海湿地 演变机制与生态修复

Evolution Mechanism and Ecological Restoration of
Coastal Wetlands in the Yellow River Delta

韩广轩 王光美 毕晓丽 王传远 等 著



科学出版社

中国海岸带研究

黄河三角洲滨海湿地 演变机制与生态修复

韩广轩 王光美 毕晓丽 王传远 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书重点介绍了水盐作用和气候变化(增温和增减雨)对滨海湿地演变的影响,阐明了滨海湿地景观演变动态与驱动机制;确定了滨海湿地优势植物物种分布的主导环境因子,模拟了优势植物物种的潜在分布;建立了陆海过渡带生态环境脆弱性的评估指标和评估方法,并对滨海湿地的脆弱性进行了评价模拟与预测;提出了盐渍化滨海湿地生态恢复的概念模式,建立了基于微地形营造-水位调节的退化滨海湿地生态修复技术和生态修复示范区;最后提出了湿地生态网络规划方案,确定了黄河三角洲滨海湿地主导功能分区和生态红线分区方案,以实现滨海湿地保护与合理利用,环境效益和经济效益共赢。本书将充实滨海湿地生态环境演变与调控理论,为政府部门保护、开发和管理滨海湿地提供科学依据和技术支持。

——本书可作为国家及地方滨海湿地与海岸带环境保护和区域规划等管理部门的重要参考资料,也可供湿地、生态、地理、环境、水资源、气象、信息等科学领域的科研与教学人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄河三角洲滨海湿地演变机制与生态修复/韩广轩等著. —北京:科学出版社, 2018.6

(中国海岸带研究)

ISBN 978-7-03-057242-4

I. ①黄… II. ①韩… III. ①黄河-三角洲-沼泽化地-演变-研究②黄河-三角洲-沼泽化地-生态恢复-研究 IV. ①P942.520.78

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第083805号

责任编辑:朱 瑾 / 责任校对:郑金红

责任印制:张 伟 / 封面设计:北京图阅盛世文化传媒有限公司

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>

北京虎彩文化传播有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年6月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2018年6月第一次印刷 印张: 13

字数: 262 000

定价: 198.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

“中国海岸带研究”丛书

编委会

主 编：骆永明

副主编：刘东艳 黄邦钦 王厚杰 黄小平 孙永福

刘 慧 王菊英 崔保山 刘素美

编 委（按姓氏笔画排序）：

王秀君 王金坑 王厚杰 王菊英 尤再进

仝 川 印 萍 吕 剑 刘 慧 刘东艳

刘芳华 刘素美 孙永福 李 远 李 博

李杨帆 吴纪华 吴嘉平 张 华 陈凯麒

周 锋 於 方 侯西勇 施华宏 骆永明

秦 松 涂 晨 黄 鹄 黄小平 黄邦钦

龚 骏 崔保山 章海波 韩广轩 韩秋影

雷 坤 潘响亮

《黄河三角洲滨海湿地演变机制与生态修复》 撰写组

组 长：韩广轩

副组长：王光美 毕晓丽 王传远

成 员（按姓氏笔画排序）：

于良巨 吕卷章 朱书玉 刘佳琦

刘晓玲 孙宝玉 吴晓青 吴晶晶

初小静 陈 亮 宗 敏 贺文君

莫定源 高 猛 管 博 魏 帆

丛 书 序

海岸带是地球表层动态而复杂的陆-海过渡带, 具有独特的陆、海属性, 承受着强烈的陆海相互作用。广义上, 海岸带是以海岸线为基准向海、陆两个方向辐射延伸的广阔地带, 包括沿海平原、滨海湿地、河口三角洲、潮间带、水下岸坡、浅海大陆架等。海岸带也是人口密集、交通频繁、文化繁荣和经济发达地区, 因而又是人文-自然复合的社会-生态系统。全球有 40 余万千米海岸线, 一半以上的人口生活在沿海 60 千米的区间内, 人口在 250 万以上的城市有 2/3 位于海岸带的潮汐河口附近。在中国, 大陆及海岛海岸线总长约为 3.2 万千米, 跨越热带、亚热带、温带三大气候带; 大陆 11 个沿海省、自治区和直辖市的面积约占全国陆地国土面积的 13%, 集中了全国 50% 以上的大城市、40% 的中小城市、42% 的人口和 60% 以上的国内生产总值, 新兴海洋经济还在快速增长。21 世纪以来, 我国在沿海地区部署了近 20 个战略性国家发展规划, 现在的海岸带既是国家经济发展的支柱区域, 又是区域社会发展的“黄金地带”。在国家“一带一路”和生态文明建设战略部署下, 海岸带作为第一海洋经济区, 成为拉动我国经济社会发展的新引擎。

然而, 随着人类高强度的活动和气候变化, 我国乃至世界海岸带面临着自然岸线缩短、泥沙输入减少、营养盐增加、污染加剧、海平面上升、强风暴潮增多、围填海频发和渔业资源萎缩等严重问题, 越来越多的海岸带生态系统产品和服务呈现不可持续的趋势, 甚至出现生态、环境灾害。海岸带已是自然生态环境与经济社会可持续发展的关键带。

海岸带既是深受相连陆地作用的海洋部分, 也是深受相连海洋作用的陆地部分。海岸动力学、海域空间规划和海岸管理等已超越传统地理学的范畴, 海岸工程、海岸土地利用规划与管理、海岸水文生态、海岸社会学和海岸文化等也已超越传统海洋学的范畴。当今人类社会急需深入认识海岸带结构、组成、性质及功能, 陆海相互作用过程、机制、效应及其与人类活动和气候变化的关系, 创新工程技术和政策, 发展海岸科学, 支持可持续发展。目前, 如何通过科学创新和技术发明, 更好地认识、预测和应对气候、环境和人文的变化对海岸带的冲击, 管控海岸带风险, 增强其可持续性, 提高其恢复力, 已成为我国

乃至全球未来地球海岸科学与可持续发展的重大研究课题。近年来，国际上设立的“未来地球海岸国际计划（Future Earth Coasts, FEC）”，以及我国成立的“中国未来海洋联合会”“中国海洋工程咨询协会海岸科学与工程分会”“中国太平洋学会海岸管理科学分会”等，充分反映了这种迫切需求。

“中国海岸带研究”丛书正是在认识海岸带自然规律和支持可持续发展的需求下应运而生。该丛书邀请了包括中国科学院、教育部、国土资源部（国家海洋局）、环境保护部、农业部、交通运输部等系统及企业界在内的数十位知名海岸带研究专家、学者、管理者 and 企业家，以他们多年的科学技术部（科技部）、国家自然科学基金委员会、国家海洋局及国际合作项目等研究进展、工程技术实践和旅游文化教育为基础，组织撰写丛书分册。分册涵盖海岸带的自然科学、社会科学和社会-生态交叉学科，涉及海岸带地理、土壤、地质、生态、环境、资源、生物、灾害、信息、工程、经济、文化、管理等多个学科领域，旨在持续向国内外系统性展示我国科学家、工程师和管理者在海岸带与可持续发展研究方面的新成果，包括新数据、新图集、新理论、新方法、新技术、新平台、新规定和新策略。出版“中国海岸带研究”丛书在我国尚属首次。无疑，这不仅可以增进科技交流与合作，促进我国及全球海岸科学、技术和管理的研究与发展，而且必将为我国乃至世界海岸带保护、利用和改良提供科技支撑和重要参考。

中国科学院院士、厦门大学教授



2017年2月于厦门

前 言

滨海湿地是最具服务价值的生态系统之一，是沿海地区生态安全的重要屏障。黄河三角洲由我国第二大河——黄河冲淤积而成，具有典型的原生性、脆弱性、稀有性及国际重要性等特征，具有较高的生物多样性，是重要的经济资源和渔业资源的产卵场、索饵场和越冬场，也是东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的重要中转站，及越冬栖息地和繁殖地，在世界河口湿地生态系统中极具代表性。受黄河尾闾摆动、水沙通量变化、气候变化等共同作用，黄河三角洲的发育处于动态变化之中，湿地演变剧烈。同时，黄河三角洲区位优势，具备丰富的油气资源、港口资源和多样化的湿地资源。近年来，受石油开发、围滩养殖、围垦耕种、盐田开发、港口和防潮堤坝建设、道路建设及水资源短缺等因素影响，黄河三角洲滨海湿地不断退化和萎缩，土地盐渍化、生物多样性减少等生态环境问题凸显，区域开发与湿地保护的矛盾突出。

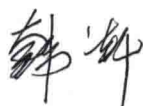
本书从滨海湿地生态系统健康和可持续发展的角度出发，选择黄河三角洲滨海湿地和潮间带为主要研究对象，以水文过程和水盐交互作用为主线，采用资料分析与现场调查、过程与机制探索、指标与评价方法、工程示范与决策支持相结合的系统研究方法，确定黄河三角洲滨海湿地的演变与退化机制，评估其脆弱性状况，并建立退化滨海湿地生态修复技术，提出滨海湿地保护与合理利用对策。全书共分7章。第1章在介绍黄河三角洲区域概况及滨海湿地形成与演化的基础上，分析滨海湿地面临的主要生态环境问题，提出滨海湿地生态环境保护的现实需求和研究思路。第2章通过定位监测与控制试验，阐明滨海湿地植被对水盐交互作用的生理生态响应，分析增温和增减雨对湿地演变的影响。第3章重点分析自然湿地演变特征、湿地连通性变化的景观驱动因素，以及人工沟渠演变过程与机制。第4章在滨海湿地植被调查的基础上确定优势植物物种及其主导环境因子，通过模型对滨海湿地优势植物物种的潜在分布进行模拟，对滨海湿地优势植被群落进行空间优化设计。第5章在分析脆弱性评估理论依据和滨海湿地演变机制的基础上，建立陆海过渡带生态环境脆弱性的评估指标和评估方法，并对滨海湿地生态系统状态进行评价模拟与预测。第6章提出盐渍化滨海湿地生态修复的概念模式，建立基于微地形营造-水位调节的退

化滨海湿地生态修复技术,建成规模化生态修复示范区,在动态监测的基础上对生态修复效果进行综合评估及应用前景分析。第7章提出湿地生态网络构建方案,确定黄河三角洲湿地主导功能和开发利用方向,提出湿地生态红线分区方案,以实现滨海湿地保护与合理利用、环境效益和经济效益共赢。本书将充实滨海湿地生态环境演变与调控理论,为政府部门保护、管理和开发滨海湿地提供科学依据和技术支持。

本书是由中国科学院烟台海岸带研究所骆永明研究员负责组织的“中国海岸带研究”丛书中的一册。本书以中国科学院科技服务网络计划(Science and Technology Service Network Initiative, STS)项目“典型滨海湿地及潮间带生态环境脆弱性评估和生态修复示范”(KFJ-EW-ST-127)和中国科学院烟台海岸带研究所自主部署项目群“黄河三角洲滨海湿地环境演变与陆海连通性研究”(Y755021021)为依托。本书的出版得到了中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室(烟台海岸带研究所)的经费支持。本书第1章由韩广轩、王光美、毕晓丽、王传远撰写,第2章由韩广轩、管博、孙宝玉、陈亮撰写,第3章由韩广轩、毕晓丽、宗敏、王光美撰写,第4章由韩广轩、宗敏、王光美撰写,第5章由王传远、于良巨、高猛、莫定源撰写,第6章由王光美、吕卷章、朱书玉、刘晓玲撰写,第7章由毕晓丽、吴晓青、吴晶晶、刘佳琦撰写。全书由韩广轩、初小静、贺文君、魏帆统稿,韩广轩定稿。中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态试验站和山东黄河三角洲国家级自然保护区管理局为本书提供了野外监测数据支持。本书在编写过程中得到了许多同仁的关心和帮助,在此一并表示感谢!

由于作者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请各位同仁批评指正。

中国科学院烟台海岸带研究所研究员



2017年12月于烟台

目 录

第 1 章	黄河三角洲滨海湿地生态环境现状及问题	001
1.1	黄河三角洲区域概况	002
1.2	黄河三角洲滨海湿地的形成与演化	005
1.3	黄河三角洲滨海湿地主要生态环境问题及需求分析	008
1.4	黄河三角洲滨海湿地演变机制与生态修复研究思路	016
	主要参考文献	017
第 2 章	水盐交互作用对滨海湿地演变的影响	021
2.1	水盐交互作用对滨海湿地植被生理生态的影响	022
2.2	增温对水盐交互作用和湿地演变的影响	033
2.3	降水量增减对水盐交互作用和湿地演变的影响	044
	主要参考文献	058
第 3 章	黄河三角洲滨海湿地景观演变动态与驱动机制	067
3.1	黄河三角洲自然湿地演变特征	068
3.2	黄河三角洲湿地连通性变化的景观驱动因素分析	074
3.3	人工沟渠演变过程与机制	078
	主要参考文献	088

第 4 章	黄河三角洲滨海湿地优势植物的空间分布与模拟	093
4.1	黄河三角洲滨海湿地植被调查及优势物种确定	095
4.2	优势植物物种的主导环境因子选取	097
4.3	主导环境因子与优势物种存在概率的关系	099
4.4	黄河三角洲滨海湿地优势植物物种潜在分布模拟	101
4.5	黄河三角洲滨海湿地优势植被群落空间优化设计	103
4.6	影响优势物种分布模拟准确性的因素	105
	主要参考文献	106
第 5 章	黄河三角洲滨海湿地生态环境脆弱性评估	109
5.1	脆弱性评估的理论依据	110
5.2	脆弱性评估指标体系和方法的选取与确定	112
5.3	脆弱性评估结果及验证	116
5.4	脆弱性模拟预测	120
	主要参考文献	123
第 6 章	黄河三角洲退化滨海湿地生态修复技术与示范	127
6.1	滨海湿地退化背景分析	128
6.2	退化滨海湿地生态修复模式构建	129
6.3	退化滨海湿地生态修复示范区建设	131
6.4	退化滨海湿地生态修复效果监测与评估	132
6.5	退化滨海湿地生态修复技术总结及推广应用	153
	主要参考文献	155
第 7 章	黄河三角洲滨海湿地生态网络构建与生态红线划定	159
7.1	黄河三角洲滨海湿地生态网络构建	160
7.2	黄河三角洲滨海湿地生态红线选划	168

7.3 黄河三角洲滨海湿地生态保护与综合管理.....	176
主要参考文献.....	183
附录 黄河三角洲滨海湿地生态修复示范区鸟类名录.....	185

第1章

黄河三角洲滨海湿地 生态环境现状及问题

1.1 黄河三角洲区域概况

1.1.1 黄河三角洲的地理位置

黄河三角洲 ($36^{\circ}55' \sim 38^{\circ}16'N$, $117^{\circ}31' \sim 119^{\circ}18'E$) 地处渤海之滨, 是黄河挟带大量泥沙在渤海凹陷处沉积形成的冲积平原, 在黄河径流泥沙、河道边界和海洋动力的共同作用下, 河口尾闾不断游积延伸、摆动改道、循环演变, 面积不断延伸和蚀退, 是古代、近代和现代 3 个三角洲的叠合体。古代黄河三角洲是指黄河于 1855 年夺大清河入海之前, 河道多次变迁冲积形成的诸多三角洲的总称, 是以河南省巩县为顶点, 北起天津附近, 南至徐淮的一个庞大的全新三角洲体系, 面积约为 $250\,000\text{km}^2$; 近代黄河三角洲是 1855 年黄河从河南省铜瓦厢决口夺大清河入渤海后冲积形成的以垦利县宁海为顶点的扇面, 西起套尔河口, 南抵支脉沟口, 面积约为 5400km^2 。本书所指的是 1934 年以来至今仍在继续形成的现代三角洲, 它以东营市垦利区渔洼村为顶点, 西起挑河口, 南至宋春荣沟, 东到海岸之间的扇形区域 (田家怡等, 2005)。行政区域上包括东营市垦利区和河口区的大部分, 以及利津县的小部分。

1.1.2 黄河三角洲的地质地貌特征

黄河三角洲处于中朝古陆的华北地台上, 位于华北凹陷区之济阳凹陷东端, 属于济阳凹陷次一级构造单元。区内基底是现代沉积层, 北部为渤海浅海沉积层, 由灰黑色黏土质粉砂组成, 有些地方可见砂质层; 南部为大清河等短源河流沉积层, 主要组成为黄色粉砂 (刘庆生等, 2003)。

黄河三角洲地形地貌主要受黄河流路的演变及形成所控制, 是典型的扇形三角洲, 属于河流冲积物覆盖海相层的二元相结构, 微斜平地是主要的地貌类型 (任杰和戴志军, 1999)。三角洲西南高、东北低, 沿黄河走向自西南向东北微倾, 西南部最高高程为 28m (大沽高程, 下同), 东北部最低高程为 1m, 自然比降为 $1/12\,000 \sim 1/8000$ (于冠营, 2003)。

黄河三角洲地表既受海河水冲刷, 又受淤积套叠, 因此微地貌发育较好, 形态复杂, 类型较多。根据地貌成因, 可分为山前冲洪积平原、古黄河三角洲平原和现代黄河三角洲平原 3 种地貌景观; 根据地貌形态, 可分为河成高地、坡地、河口沙嘴、残留冲积岛、洼地和潮滩地貌 6 种形态类型。

1.1.3 黄河三角洲的气候特征

黄河三角洲地处中纬度,西依华北平原,北临渤海,受亚欧大陆和西太平洋的共同影响,属暖温带大陆性季风气候。总的气候特点是光照充足,雨热同期,四季分明。年均温为 12.9°C ,其中1月最低气温为 -2.8°C ,7月最高气温为 26.7°C (Han et al., 2015), $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温约为 4300°C 。1960 ~ 2010 年年均降水量为 609.5mm,降水量年际变化较大,年内降水不均,季节差异明显,夏季降水量占全年降水量的 68.4%,秋季和春季降水量分别占 15.5% 和 13.1%,冬季降水量仅占 3%。其中夏季降水量决定了全年降水量的丰枯情况,一年中,春季降水量为 80.0mm,夏季降水量为 417mm,秋季降水量为 94.5mm,冬季降水量为 18.0mm (宋德彬等, 2016)。年均日照时数为 2750.9h,日照率达 62%,由于日照时数较长,空气干燥,年均蒸发量为 1962mm,蒸降比为 3.2 : 1 (Han et al., 2015),平均无霜期为 206 天,年平均风速为 4m/s 左右,夏季盛行东南风,冬季盛行西北风。

1.1.4 黄河三角洲的水文概况

黄河三角洲入海河流有 20 多条,黄河是流经三角洲地区最长、影响最深刻的河流,黄河入海径流量占该地区全部入海河流总径流量的 94.2%,年输沙量占各河流总输沙量的 99.8%,除黄河外,其他多为排涝河道。按流域划分,黄河三角洲以黄河为分界线划分为两个流域,黄河以北属海河流域,黄河以南属淮河流域。黄河本身属于黄河流域,在东营市境内河道长 138km,直接控制影响的面积为 5400km^2 。海河流域水系多为南北走向,由西向东有潮河及其支流褚官河,挑河,神仙沟及其支流新卫东河等 10 条河道;淮河流域水系多为东西走向,由南向北有小清河及其支流淄河、阳河,永丰河等 20 条河流 (《东营市国土资源志》编纂委员会, 2003)。这些河流多为季节性河流,以黄河现行流路为分水岭向海呈放射状展布。

黄河三角洲地下水系统由浅层潜水 - 微承压水系统 (埋深 0 ~ 60m)、中深层承压水系统 (埋深 60 ~ 200m) 和深层承压水系统 (埋深 $> 200\text{m}$) 构成,水质有淡水、咸水和卤水,水质和埋藏条件在空间分布上有明显的分带性,各种地下水相间分布,均呈渐变关系 (关元秀等, 2001)。3 种地下水子系统由较完整的隔水层隔离,处于相对独立的状态,但仍存在着一定的水力联系。其中浅层地下水以垂直向上的补给、排泄为主,补给来源主要为大气降水入渗,以及河流、

沟渠等的地表水下渗（袁瑞强等，2009）。黄河三角洲地区地下水埋深较浅，没有良好而稳定的隔水层，相互间有密切的联系，垂直交替循环剧烈，就地补给、就地排泄，间接补给连续排泄是浅层地下水的运动特征。而中深层地下水埋深较大，补给除侧向径流外，还有浅层地下水的越流补给，其动态变化与水文气象等没有直接关系，季节性变化不明显，排泄主要为人工开采（李胜男等，2008）。

1.1.5 黄河三角洲的土壤类型

根据龚子同等（1999，2007）提出的中国土壤系统分类参比，黄河三角洲地区的土壤类型按发生分类包括 6 个土纲、10 个土类、22 个亚类、65 个土属；按系统分类包括 6 个土类、12 个亚类。黄河三角洲土壤的分布主要受黄河、地形地貌、潜水埋深和成土母质的影响，由海向陆过渡，土纲（发生分类）类型呈盐碱土、半水成土和初育土、半淋溶土和淋溶土依次分布的趋势，其中以半水成土分布最为广泛，淋溶土所占面积最小。按发生分类 / 系统分类土壤的占地面积，潮土 / 锥形土和滨海盐土 / 盐成土占绝对优势，是黄河三角洲最主要的土壤类型。亚类土壤（发生分类 / 系统分类）以盐化潮土 / 弱盐淡色潮湿锥形土、滨海盐土 / 海积潮湿正常盐成土和潮土 / 淡色潮湿锥形土为主要土壤类型，占 77.6%；其次为冲积土 / 冲积新成土、潮棕壤 / 斑纹筒育湿润淋溶土和棕壤 / 筒育湿润淋溶土。土属土壤（发生分类）以壤质滨海盐土、壤质氯化物盐化潮土、灰壤质潮土和黏质滨海潮滩盐土为主要类型，占 75%（骆永明等，2017）。

1.1.6 黄河三角洲的植被特征

黄河三角洲属暖温带落叶阔叶林区，受人为活动干扰及土壤盐渍化影响，植物区系和植被类型比较简单，无地带性植被类型，以耐盐或轻度耐盐的盐生或中生植物较为多见。在天然植被中，以滨海盐生植被为主，占天然植被的 56.5%，沼生和水生植被占天然植被的 21%，阔叶林仅占天然植被的 1.5% 左右（田家怡，1999）。区内植被以世界广布种和温带成分占优势，木本植物较少，以草本植物为主；种类组成单调，以禾本科和菊科为主；湿生植物和盐生植物是区域植被的主要建群种和优势种；植被形成时间短，群落稳定性差（赵延茂和宋朝枢，1995）。主要的植物群落有沼生芦苇群落、杞柳群落、扁秆藾草群落、互花米草群落、怪柳群落、碱蓬群落、獐毛群落和补血草群落（张建锋等，2006）。

黄河三角洲地区共有种子植物 189 种，隶属 40 科 120 属；另外，还有蕨类植物 3 科 3 属 4 种（陈汉斌，1990；陈汉斌等，1997）。张绪良等（2009）在群

落样方调查基础上对黄河三角洲自然湿地植被进行了分类及分布研究,发现自然湿地植被有两个植被亚型、7个群系、51个群丛,分盐生植被、水生植被和湿生植被3类。盐生植被、水生植被和湿生植被分别包括10个、19个和22个群丛类型。盐生植被和湿生植被的面积各占自然湿地总面积的44.8%,水生植被约占自然湿地总面积的10.5%。湿地植被的分布受距海远近、黄河河道摆动和人类活动的制约,地下水埋深、土壤盐分对天然植被分布有显著影响(白世红等,2010;马玉蕾等,2013)。盐生植被主要分布在三角洲外缘潮间带滩涂和潮上带外缘的微斜平地上,湿生植被、水生植被主要分布在潮上带中上部的微斜平地、黄河入海河道两侧及古河道、决口扇形地间的河间洼地上(张绪良等,2009)。

1.2 黄河三角洲滨海湿地的形成与演化

1.2.1 黄河三角洲洲体形成与湿地演化

由于黄河下游河道易决易徙,黄河三角洲在不同流路时期以当时的行水河道为轴形成不同的沉积体叶瓣,这些叶瓣随黄河流路的变迁呈扇形展布,共同组成了现在的黄河三角洲(徐元芹等,2011)。每个黄河亚三角洲堆积体,即三角洲叶瓣的演化与其尾间河道的演化相对应,遵循“叶瓣开始生长一向海中伸展—横行扩展—废弃蚀退成堤”的规律(乔淑卿和石学法,2010)。黄河水沙供给直接影响着三角洲的淤蚀进退,三角洲面积增长与河流供沙量存在着较强的相关关系(韩广轩等,2011)。根据三角洲沉积物与沉积相的空间结构特征,结合三角洲前缘河口及海岸历史、沉积作用和单流路河道的小循环演化规律,三角洲沉积体发育过程可分为漫流填湾淤高阶段—顺直外延下切阶段—弯曲出汉充填堆积阶段—蚀退成堤平衡阶段等4个阶段(王爱华和业治铮,1990)。前3个阶段均为叶瓣的正向演进,沉积体加积淤长,陆域面积扩张,为三角洲的建设期;最后一个阶段河流改道废弃,叶瓣遭受侵蚀,面积缩减,为三角洲的破坏期(王爱华和业治铮,1990;徐元芹等,2011)。

黄河三角洲滨海湿地就是在这个三角洲沉积体上逐步发育演化而来的(徐元芹等,2011),伴随着流域泥沙的聚集,其形成的层序从三角洲前缘、下三角洲平原直至上三角洲平原,最后湿地土壤不断脱水,地表增高,向陆地生态系统过渡(顾效源等,2016)。同时大量的近海泥沙还可以通过潮汐的平流向滨海湿地输入。黄河三角洲滨海湿地形成与演替可以分为4个阶段(顾效源等,2016)(图1-1)。第一阶段为水深超过6m的远端沙坝与前三角洲,即水生系统,其形成成为滨海湿地演化提供了空间;第二阶段为水深低于6m的三角洲前缘的河口沙