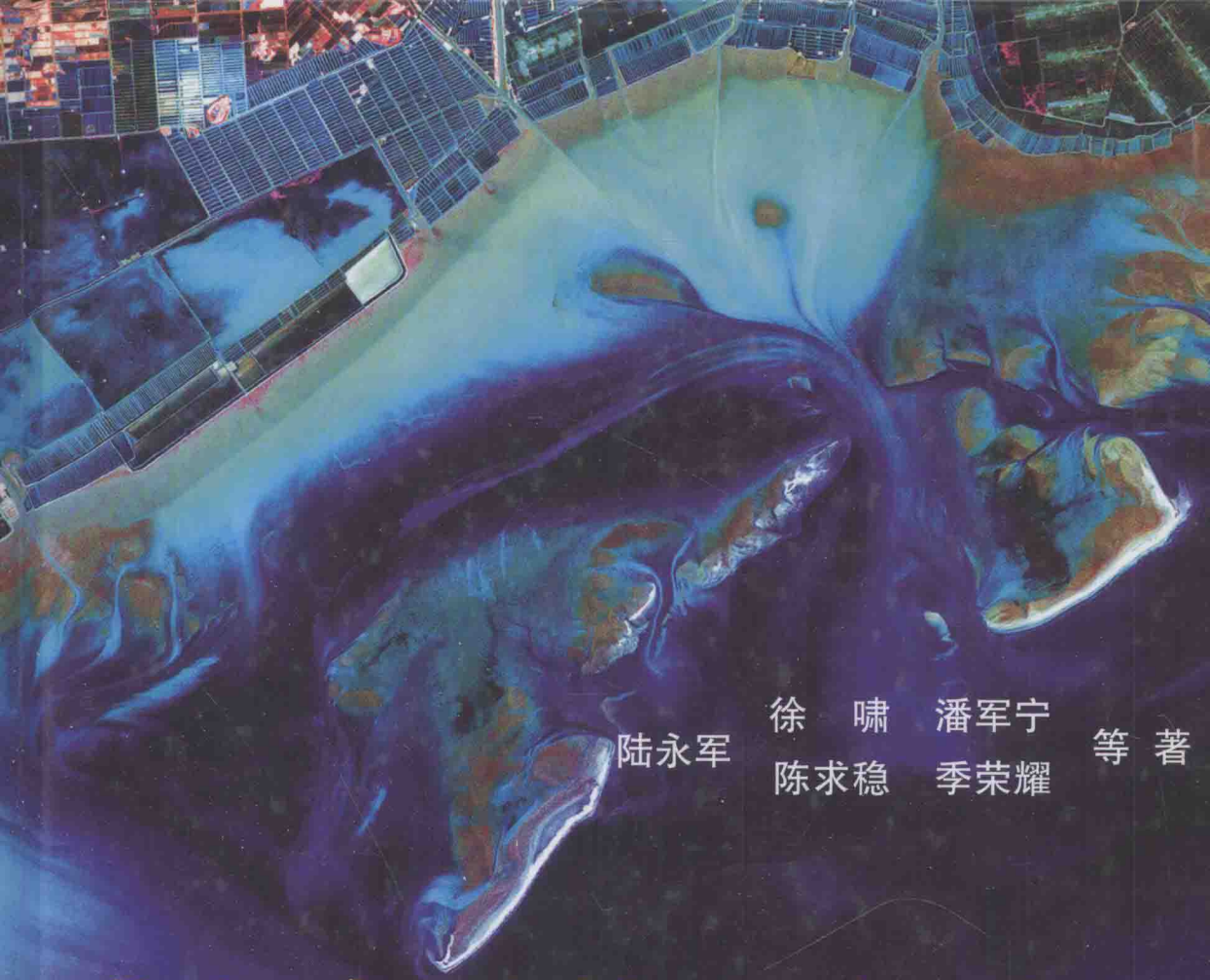




陆永军 徐 啸 潘军宁 等 著
陈求稳 季荣耀

曹妃甸滩涂开发利用 与环境效应



科学出版社

曹妃甸滩涂开发利用与环境效应

陆永军 徐 啸 潘军宁 陈求稳 季荣耀 等 著

科 学 出 版 社

内 容 简 介

本书针对大规模滩涂开发中可能存在的资源、环境和生态问题,以我国单体规模最大的滩涂开发工程——曹妃甸循环经济示范区建设为例,系统分析了曹妃甸海区动力地貌体系的形成演变过程、水沙输移机制和滩槽冲淤演变规律,开发了大型海岸工程演变效应数学模型和物理模型模拟技术,揭示了港区围涂等各类滩涂开发工程驱动下动力地貌与环境演变效应,确定了海堤防浪防潮标高和断面型式,提出了基于港口、工业区和城市联动的曹妃甸滩涂开发利用新型生态文明模式。研究成果已经直接应用于曹妃甸滩涂开发工程,并已得到了工程实践的检验。

本书可供从事水利工程、港口航道及河口海岸动力学等方面研究的科技人员以及高等院校相关专业的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

曹妃甸滩涂开发利用与环境效应 / 陆永军等著. —北京: 科学出版社, 2013

ISBN 978-7-03-038820-9

I. ①曹… II. ①陆… III. ①海涂资源-资源利用-关系-环境效益-研究-唐山市 IV. ①P748②X24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 240006 号

责任编辑: 陈 婕 / 责任校对: 赵桂芬

责任印制: 张 倩 / 封面设计: 蓝正设计

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>

北京彩虹伟业印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 10 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2013 年 10 月第一次印刷 印张: 23 1/2

字数: 460 000

定价: 118.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

曹妃甸位于渤海湾北部,“面向大海有深槽,背靠陆地有滩涂”是其最明显的特征和优势;同时,其毗邻我国北方经济发展核心区域京津冀都市圈,腹地为我国能源原材料生产最集中的地区。曹妃甸良好的地理区位、独特的自然条件、较强的资源支撑及产业后发等优势,已为大规模开发建设临港产业循环经济示范区提供了重要基础和良好条件;但考虑到滩涂是陆地系统和海洋系统物质流动的敏感区,也是生态链中的脆弱带,如何通过科学规划和严格论证,正确处理好资源合理利用、生态环境保护及社会经济发展之间的关系,实现滩涂资源的大规模开发利用与可持续发展,对于确保高起点、高质量、高水平地建设好曹妃甸、实现循环经济发展战略目标具有十分重要的现实意义。特别是曹妃甸从一个紧邻深槽的沙质岛屿围填开发建设为 380km^2 的循环经济工业园区,它具有巨大的滩槽高差和陡峻的水下岸坡,且在周边海区整体处于侵蚀冲刷态势和前沿深槽强劲的潮流动力作用下,近期是否稳定以及未来稳定性变化趋势的科学论证成为曹妃甸海区能否顺利开发建设的关键。

针对曹妃甸滩涂开发中的滩槽稳定性、海堤防浪挡潮减灾和生态环境效应等关键技术难题,以及不同开发阶段的研究重点及技术需求,南京水利科学研究院、南京大学、中国科学院生态环境研究中心等单位自 20 世纪 90 年代初期以来就开展了大量的调查勘测和科研论证,完成了百余项科研课题,总结分析了曹妃甸海区动力地貌体系的形成演变过程、水沙输移机制和滩槽冲淤演变规律,开发了大型海岸工程效应数学模型和物理模型模拟技术,揭示了港区围涂等各类滩涂开发工程驱动下的动力地貌与环境演变效应,确定了海堤防浪防潮标高和断面型式,提出了基于港口、工业区和城市联动的曹妃甸滩涂开发利用新型生态文明模式,为曹妃甸的开发决策和顺利实施提供了科学依据和技术支撑。

目前,这些研究成果大都已直接应用于曹妃甸接岸大堤、港区围涂、港口码头等各类滩涂开发工程,并得到了工程的成功实践,其社会、经济及环境效益显著。截至 2012 年年底,曹妃甸国家循环经济区累计完成投资 3000 亿元,围涂造地面积达 210km^2 ,建成各类生产性泊位 43 个,港口年吞吐量超 1.94 亿 t。曹妃甸海区开发建设过程中的多次现场观测和调查资料分析表明,滩涂开发工程没有明显改变周边海区的宏观动力地貌格局,整个海区滩槽稳定性良好。

本书是在曹妃甸滩涂开发利用关键技术与环境效应研究成果的基础上,通过

系统总结提炼而成。全书共分 8 章，主要内容及编写人员如下：第 1 章绪论，由陆永军、季荣耀、侯庆志等执笔；第 2 章曹妃甸海区动力地貌体系，由季荣耀、徐啸、陆永军、汪亚平、邹欣庆等执笔；第 3 章波流共同作用下的泥沙输移机制，由陆永军、左利钦、李寿千等执笔；第 4 章曹妃甸海区深槽形成机制与滩槽稳定性分析，由季荣耀、汪亚平、徐啸、陆永军等执笔；第 5 章曹妃甸围涂工程效应数值模拟技术，由陆永军、左利钦、季荣耀等执笔；第 6 章曹妃甸围涂工程效应物理模型模拟技术，由徐啸、余小建、崔铮、毛宁等执笔；第 7 章曹妃甸滩涂开发海堤防浪技术，由潘军宁、王红川、周益人等执笔；第 8 章曹妃甸海区滩涂开发生态环境效应，由陈求稳、李宝盛、李若男等执笔。全书由陆永军、徐啸、潘军宁、陈求稳、季荣耀等审定统稿。

需要特别说明的是，本书涉及研究成果是在多家科研单位的共同努力下完成的。参加研究的还有南京水利科学研究院的张金善、黄建维、王登婷、章卫胜、黄海龙、张磊、琚烈红、李鹏、陆彦、王志力、刘怀湘等，南京大学的张永战、殷勇、何华春等，中国科学院生态环境研究中心的葛方龙等。此外，在曹妃甸滩涂综合开发研究论证过程中，唐山市发展和改革委员会、唐山市曹妃甸工业区管理委员会、唐山市曹妃甸新区管理委员会、唐山市港航管理局、唐山市环境保护局、交通运输部规划研究院、中交水运规划设计研究院有限公司、中交第一航务工程勘察设计院有限公司、中交上海航道局有限公司、中交上海航道勘察设计院有限公司、首钢京唐钢铁联合有限责任公司、中国石油天然气股份有限公司等诸多单位与同仁给予了大力支持和配合，在此表示诚挚的感谢。

本书的出版得到了国家科技支撑计划课题（2012BAC07B02）、国家自然科学基金资助项目（51061130546、51379127）和南京水利科学研究院专著出版基金的资助，谨此表示感谢。

限于作者水平，书中难免存在欠妥之处，敬请读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 曹妃甸海区开发利用概况	1
1.2 国内外相关研究现状	6
1.2.1 国内外滩涂开发利用现状	6
1.2.2 滩涂开发动力地貌演变效应	8
1.2.3 滩涂开发水环境与生态系统效应	10
1.2.4 滩涂开发对海堤防浪防潮的影响	12
1.2.5 曹妃甸海区相关研究概况	13
参考文献	15
第 2 章 曹妃甸海区动力地貌体系	20
2.1 海岸体系的形成发育	21
2.2 潮汐深槽地貌体系	24
2.2.1 曹妃甸岬角-深槽体系	25
2.2.2 老龙沟潟湖-潮汐通道体系	27
2.2.3 南堡深槽-潮流沙脊体系	29
2.3 水流泥沙输移特征	30
2.3.1 潮汐与潮流	30
2.3.2 风况与波浪	37
2.3.3 悬移质泥沙	40
2.3.4 表层沉积物	47
2.3.5 动力输沙模式与特征	53
参考文献	54
第 3 章 波流共同作用下的泥沙输移机制	56
3.1 风浪掀沙现场观测及其动力机制分析	56
3.1.1 水流结构	56
3.1.2 剪切应力	59
3.1.3 涡黏系数	62
3.1.4 不同水文气象条件下的含沙量	63

3.2 波流共同作用下的泥沙起动规律	64
3.2.1 水槽试验设计	64
3.2.2 单向流泥沙起动 Shields 曲线	68
3.2.3 波浪泥沙起动 Shields 曲线	79
3.2.4 波流泥沙起动 Shields 曲线	85
3.3 波流共同作用下的挟沙能力	90
3.3.1 水槽试验设计	90
3.3.2 泥沙输移现象	91
3.3.3 含沙量	94
参考文献	105
第4章 曹妃甸海区深槽形成机制与滩槽稳定性分析	109
4.1 基于遥感影像和数字地形高程模型的滩槽现代冲淤演变特征	109
4.1.1 遥感影像处理与数字地形高程模型构建	109
4.1.2 滩槽冲淤变化总趋势	113
4.1.3 曹妃甸深槽冲淤变化	114
4.1.4 南堡海区冲淤变化	117
4.1.5 老龙沟海区冲淤变化	119
4.2 滩槽冲淤演变主因分析	122
4.2.1 泥沙供给不足是影响滩槽演变的基本因素	122
4.2.2 老龙沟西支深槽西摆的主因探讨	124
4.2.3 人类开发活动对滩槽冲淤演变的影响日益增强	126
4.3 潮汐深槽形成动力机制	127
4.3.1 曹妃甸深槽	127
4.3.2 南堡深槽	129
4.3.3 老龙沟深槽	133
4.4 滩槽稳定性分析	133
4.4.1 滩槽稳定性长期变化趋势	133
4.4.2 岸滩平衡剖面计算与分析	134
4.4.3 活动性时间和活动层厚度	138
4.4.4 曹妃甸滩涂开发稳定性分析	140
参考文献	143
第5章 曹妃甸围涂工程效应数值模拟技术	145
5.1 多因子复合动力地貌模拟系统	145
5.1.1 多因子动力地貌演变模拟系统的构建	146

5.1.2 模型验证	154
5.2 曹妃甸接岸大堤建成前后周边水动力环境影响计算	163
5.2.1 接岸大堤工程前的潮流过程及其模拟	163
5.2.2 大堤建设对水动力环境的影响	165
5.3 曹妃甸围涂工程开发动力地貌演变效应	168
5.3.1 曹妃甸港区规划方案对水动力及泥沙冲淤的影响	168
5.3.2 老龙沟拦门沙航道泥沙回淤	175
参考文献	178
第6章 曹妃甸围涂工程效应物理模型模拟技术	180
6.1 围涂工程物理模型模拟关键技术	181
6.1.1 超大变率潮流泥沙物理模型模拟技术	181
6.1.2 波流共同作用下的动床物理模型模拟技术	185
6.2 曹妃甸滩涂开发物理模型试验	196
6.2.1 曹妃甸接岸大堤动力地貌演变效应研究	196
6.2.2 曹妃甸港区开发总体规划方案优化论证研究	198
6.3 物理模型在各类滩涂开发工程影响论证中的应用	202
6.3.1 港口航道开发对水动力和泥沙冲淤的影响	202
6.3.2 首钢取沙对岸滩稳定性影响研究	216
6.3.3 冀东油田人工岛工程岸滩稳定性影响研究	226
6.3.4 东坑坨旅游岛工程水动力环境影响研究	229
6.3.5 电厂温排放对周边海区环境影响的研究	232
6.4 曹妃甸滩涂开发工程实践效果初步分析	237
参考文献	238
第7章 曹妃甸滩涂开发海堤防浪技术	240
7.1 曹妃甸海区波浪特性分析	240
7.1.1 波型分析	240
7.1.2 波高和波周期的关系	243
7.1.3 曹妃甸外海深水波要素	244
7.2 曹妃甸滩涂开发工程波浪数学模型研究	245
7.2.1 高阶抛物型方程数学模型	245
7.2.2 高阶抛物型方程数学模型改进	246
7.2.3 港内波浪数学模型	249
7.2.4 不规则波的模拟	250
7.3 曹妃甸海堤设计波浪要素	251

7.3.1 曹妃甸接岸大堤设计波要素	251
7.3.2 曹妃甸东南海堤设计波要素	252
7.3.3 曹妃甸西南海堤设计波要素	256
7.3.4 曹妃甸港区规划方案波浪研究	256
7.3.5 LNG 码头及护岸设计波要素	265
7.3.6 曹妃甸南堡油田工程设计波浪	266
7.3.7 曹妃甸三港池设计波浪	269
7.4 曹妃甸海堤断面波浪模型试验研究	273
7.4.1 首钢围海造地工程围堤断面波浪模型试验	273
7.4.2 东南海堤工程围堤断面波浪模型试验	279
7.4.3 西南海堤工程围堤断面波浪物模试验	287
7.4.4 五港池航道与防波堤工程波浪整体物理模型试验	294
7.4.5 二港池航道与防波堤工程波浪整体物理模型试验	298
参考文献	300
第 8 章 曹妃甸海区滩涂开发生态环境效应	303
8.1 曹妃甸滩涂开发环境效应研究范围和关键要素	303
8.1.1 研究范围	303
8.1.2 关键生态要素和因子	303
8.2 曹妃甸区域生态环境现状分析	307
8.2.1 曹妃甸区域污染源调查与评价	307
8.2.2 曹妃甸区域生态系统调查与评价	309
8.2.3 曹妃甸区域环境质量现状评价	332
8.3 曹妃甸区域开发生态环境效应	341
8.3.1 大气环境影响预测与分析	341
8.3.2 港口噪声影响分析	345
8.3.3 海洋环境效应分析	346
8.3.4 环境风险评价	360
8.4 港区生态文明发展	363
参考文献	365

第 1 章 绪 论

我国沿海滩涂资源丰富,其不仅是一种重要的土地资源 and 空间资源,而且本身也蕴藏着各种矿产、生物及其他海洋资源,同时还是重要的湿地资源,具有蓄洪消浪、稳定海堤、缓冲风暴潮侵袭、保护生物多样性、降解环境污染等功能。作为我国重要的一项后备土地资源,滩涂具有面积大、分布集中、区位条件好、综合开发潜力大、投资利用价值高等特点,其开发利用向来都是沿海地区缓解人地矛盾、推动经济社会发展的重要途径之一。目前,随着沿海地区经济与社会的高速发展,滩涂主要开发利用方式也正由传统的围涂扩大耕地面积水产养殖、城镇建设、港口码头建设、滨海旅游开发等多元化方向发展,开发利用广度和强度也在不断拓展^[1~3]。初步统计^[2],新中国成立后 50 年间全国围涂造地面积累计达 1.2 万 km²,平均每年为 230~240km²。

滩涂是陆地系统和海洋系统物质流动的敏感区,也是生态链中的脆弱带。作为一种严重干扰或改变海域自然属性的人类开发利用海洋资源的行为,滩涂资源开发在产生巨大经济效益的同时,也可能对周边海区水沙运动、滩槽演变、防洪纳潮、防风抗浪、生态环境等产生较大影响^[3~7]。特别是一些滩涂开发项目存在缺乏科学论证,受经济利益驱动盲目开发的现象,致使周边海区环境质量不断恶化,滩涂资源的整体效益下降,生态脆弱性日益明显。由此可见,如果论证不充分、规划不合理,不仅影响海域的合理开发和可持续利用,而且还有可能破坏滩涂资源和生态环境,加剧海岸侵蚀,造成泥沙淤积,进而影响泄洪御潮能力和港口码头正常运行,威胁人民群众的生命财产安全。大量工程实践已经证明,滩涂资源的合理开发利用对于缓解我国沿海地区人地矛盾、推动社会经济可持续发展具有十分重要的现实意义,可产生显著的社会、经济与生态效益;但违背客观自然规律的无序无度滩涂开发必将给沿海地区带来严重的、长期的、负面的资源、环境和社会问题。

1.1 曹妃甸海区开发利用概况

曹妃甸位于河北省唐山市南部沿海、渤海湾中心地带,原为渤海湾湾口北侧一个 NE—SW 向的带状沙岛,距离大陆岸线约 19km (图 1.1)。“面向大海有深槽,背靠陆地有滩涂”是曹妃甸海区最明显的特征和优势。曹妃甸沙岛外侧即为

渤海湾深槽水域, 甸头前沿 500m 外天然水深一般可达 25m 以上 (图 1.2), 30m 水深岸线长达 6km, 且不冻不淤, 是渤海唯一不需要开挖航道和港池就可建设 30 万 t 级大型泊位的“钻石级”天然港址; 该深槽由曹妃甸向渤海海峡延伸, 形成一条水深达 27m 的天然水道直通黄海^[8]。曹妃甸沙岛后方与大陆岸线之间则为大片浅滩, 其中仅大清河口、南堡和曹妃甸之间 0m 等深线以浅的潮滩水域面积约 380km² (图 1.2), 可为临港产业布局和城市的开发建设提供足够的土地资源。大面积滩涂与深水岸线的天然结合, 为曹妃甸大型深水港口和临港工业的开发建设提供了得天独厚的条件与优势, 具有广阔的发展前景。



图 1.1 曹妃甸地理位置示意图

曹妃甸海区综合开发谋划论证始于 20 世纪 90 年代初期, 经过众多勘测、科研和设计施工单位 20 多年的长期论证、研讨和优化, 为有关决策提供了大量科学翔实的依据和技术支撑。按照国家和省、市批准的发展规划, 确定曹妃甸功能定位为: 能源、矿石等大宗货物的集疏港, 新型工业化基地, 商业性能源储备基地, 国家级循环经济示范区, 中国北方商务休闲之都和生态宜居的滨海新城^[9~12]。根据《曹妃甸工业区总体规划 (2009—2020 年)》^[12] 和《唐山港总体规划》^[9], 曹妃甸港口工业区规划控制范围为 380km², 其将以围涂造地、港池疏浚开挖相结合的方式形成工业区陆域与水域 (图 1.3), 其中水域 70km², 陆域 310km²; 港区开发将以建设世界一流的综合性、国际性深水大港为目标, 规划建设 260 多个港口泊位, 其中 30 万 t 级以上大型泊位 16 个, 10~15 万 t 级泊位 50 个, 年吞吐量超过 5 亿 t。为实现港口、港区、港城协调发展, 同时在工业区

的东部滨海地区规划建设面积为 150km^2 、人口规模为 100 万的唐山湾生态城^[11]，作为曹妃甸工业区的生产生活服务基地和城市依托。



图 1.2 曹妃甸海区 2006 年水下地形图

曹妃甸从一个沙岛开发建设为 380km^2 的循环经济工业园区，相当于半个新加坡的国土面积，是当前我国规模最大的滩涂综合利用工程。曹妃甸良好的地理区位、独特的自然条件、较强的资源支撑及产业后发等比较优势，已为大规模开发建设临港产业循环经济示范区提供了重要基础和良好条件；但考虑到滩涂是陆地系统和海洋系统物质流动的敏感区，也是生态链中的脆弱带，如何通过科学规划和严格论证，正确处理好资源合理利用、生态环境保护及经济社会发展之间的关系，实现滩涂资源的开发利用与可持续发展，对于确保高起点、高质量、高水平地建设好曹妃甸，实现循环经济发展战略目标十分重要。针对曹妃甸循环经济区开发建设的迫切需要，本海区在滩涂综合利用过程中亟待解决以下几方面关键技术难题。

(1) 滩槽稳定性评价。大面积滩涂与深水岸线是曹妃甸开发建设中的核心资源，必须注意科学开发与合理保护；因此，岸滩与深槽的稳定性评价成为曹妃甸海区能否顺利开发建设的关键^[13~16]，这其中又包括开发前天然条件下以及开发

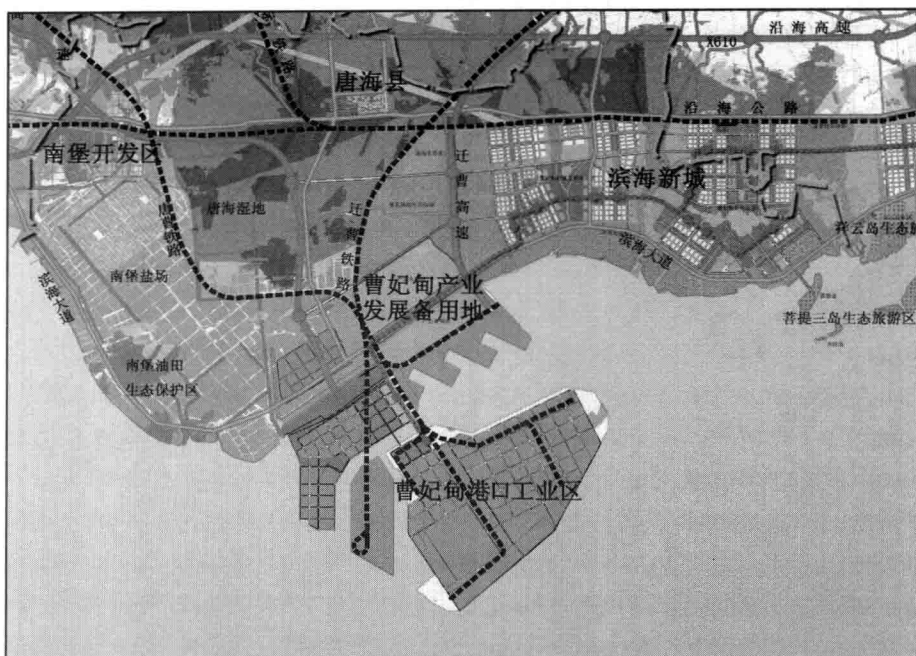


图 1.3 曹妃甸海区开发利用规划示意图

后工程影响下滩槽能否保持稳定两个方面。一方面，曹妃甸是由古滦河废弃三角洲长期演变而成，因古滦河改道后缺乏足够的泥沙补给来源，使得沙岛外侧海区长期处于侵蚀态势，这与长江三角洲、珠江三角洲等河口三角洲保持长期缓慢淤展明显不同；加之曹妃甸具有独特的动力地貌条件，沙岛前沿水下岸坡陡峻，距岸仅 400~500m，即为 30m 深槽水域，也是本海域的潮流动力最强区。可见，曹妃甸作为一个紧邻深槽的沙质岛屿，有巨大的滩槽高差和陡峻的水下岸坡，在周边海区整体处于侵蚀冲刷态势及前沿深槽强劲的潮流动力作用下，近期是否稳定以及未来滩槽稳定性变化趋势的科学论证就成为判断深槽与浅滩能否开发利用的关键依据。另一方面，曹妃甸滩涂综合利用不仅需要大规模围涂造地占用数百平方千米的浅滩纳潮区，同时还涉及海堤建设、港口码头、航道整治、海床采沙、人工岛、取排水口等众多各类海岸工程，因此需要科学评价滩涂综合开发对周边海域水沙输移、海床冲淤变化、滩槽稳定性及海岸工程设施运行维护的影响，通过比选论证优化滩涂开发布局 and 工程设计方案，为减小海岸工程负面影响并维护滩槽长期稳定提供必要的技术支持和科学依据。

(2) 海堤防浪挡潮减灾。海堤具有防御风浪与风暴潮的能力，可以极大地降低自然灾害发生的概率，对于区域内防浪挡潮减灾、滩涂开发、城市建设、生态

环境改善具有十分重要的意义。由于曹妃甸海区所在的渤海湾沿岸是我国风暴潮最严重的地区之一^[17]，且曹妃甸位于渤海湾口北部突出部位，地势平坦，较容易受到台风浪和风暴潮的侵袭，因此在新建海堤设计与实施建设中需要充分考虑这一因素，通过科学论证控制海堤越浪，有效降低堤顶高程的技术措施，合理确定海堤的防浪防潮安全标高和断面型式，提高曹妃甸滩涂开发工程防浪挡潮减灾能力，确保海堤工程设计安全、经济、合理，以期解决大规模滩涂开发区新建海堤防潮减灾关键问题。

(3) 滩涂开发的生态环境效应。滩涂是陆地系统和海洋系统物质流动的敏感区，也是生态链中的脆弱带。大规模围涂造地是一种严重干扰海域自然属性的人类开发利用海洋资源的行为，加之新增土地不同利用方式的影响，可能会给沿海地区带来严重的生态与资源环境问题^[4~7]。曹妃甸循环经济区的规划与开发建设应以建立生态建设和环境保护体系为重点，最大限度地节约资源、保护环境，实现人与自然的和谐发展。因此，调查曹妃甸海区的环境质量和生态系统现状，预测滩涂开发引起的生态环境效应，评价区域生态安全及经济发展现状，提出滩涂开发利用新型生态文明模式，对于曹妃甸滩涂开发中的生态文明建设、促进资源与环境协调发展具有极其重要的指导意义。

围绕这些关键技术难题，针对曹妃甸海域独特的自然条件和滩涂开发不同阶段的研究重点及需求，南京水利科学研究院、南京大学、中国科学院生态环境研究中心等单位近20年来开展了大量的调查勘测和科研论证，完成了百余项科研课题^[18~23]，总结分析了曹妃甸海区动力地貌体系的形成演变过程、水沙输移机制和滩槽冲淤演变规律，开发了大型海岸工程效应数学模型和物理模型模拟技术，揭示了港区围涂等各类滩涂开发工程驱动下动力地貌与环境演变效应，确定了海堤防浪防潮标高和断面型式，提出了基于港口、工业区和城市联动的曹妃甸滩涂开发利用新型生态文明模式，为曹妃甸的开发决策和顺利实施提供了重要科学依据和技术支撑。

目前这些研究成果大都已经得到相关工程的成功实践（图1.4）。例如，曹妃甸接岸大堤全长18.4km，2003年3月开工建设，2004年5月建成通车；首钢基地吹填工程2006年4月完成一期造地12km²，截至2012年年底，曹妃甸地区累计围涂造地面积超过210km²；25万t级矿石码头2005年12月建成投产，矿石码头二期及三期，煤炭、原油、散杂货码头等43个码头泊位已相继投入使用，2012年完成吞吐量1.94亿t；一港池航道及防波堤工程2008年8月建成投入使用，二港池航道及防波堤、三港池航道、LNG码头、煤码头续建工程、多用途泊位、东坑坨旅游岛等工程正在加紧建设。截至2012年年底，曹妃甸自开发建设以来已累计完成投资3000多亿元。曹妃甸海区开发建设过程中的多次现场观

测和调查资料分析表明, 海岸工程没有改变甸头前沿深槽的动力形成机制, 整个海区滩槽稳定性良好。



图 1.4 曹妃甸滩涂 2012 年开发利用现状

1.2 国内外相关研究现状

河口海岸滩涂是陆海相互作用的集中地带, 其物理、化学、生物、地质等多类过程复杂, 生态环境脆弱, 灾害频繁, 加上全球气候环境变化与人类活动, 致使该地区的多种现象更为复杂^[24]。国内外学者从地学、水利工程、环境学、生态学等不同学科角度, 对滩涂的演变、水生态、水灾害、开发利用等方面进行了大量研究。

1.2.1 国内外滩涂开发利用现状

开发利用海洋空间资源, 向海要地, 以寻求新的发展空间, 在世界沿海国家变得日益迫切和普遍, 尤其是陆地资源贫乏的沿海国家, 都非常重视利用滩涂或海湾造地, 扩大耕地面积, 提高粮食产量, 增加城市建设和工业生产用地^[25], 如荷兰、日本、美国、英国、法国、韩国、澳大利亚、新西兰等^[26]。英国塞文河口、沃什湾区域的围垦可以上溯到罗马时代。荷兰近 800 年围海造地历史中累计围涂约 9000km², 相当于国土陆地总面积的 1/4, 其中 1920 年起开始进行的须德海围海工程围涂造地约 2200km²。新加坡国土面积 1960 年为 581.5km², 通过填海造地, 2010 年面积达到 712.4km², 面积增加 22.5%, 如樟宜国际机场和工

业区裕廊镇等都是填海而建的。日本在过去的100年中填海12万 km^2 ,沿海城市约有1/3的土地是通过填海获得的,如神户港岛填筑、六甲人工岛、关西机场等都是建在4~20m水深的浅海。韩国1946~2002年共围涂造地2211 km^2 ,近年来围涂的数量、面积和规模逐渐加大。

围涂造地是滩涂开发利用的传统和最主要模式。我国围涂造地历史悠久,早在汉代就开始围填海,唐、宋时江苏、浙江沿海围填海规模逐年扩大,如唐代在盐城—阜宁一线筑“李堤”,北宋在李堤基础上筑“范公堤”,明清两代大兴海煮盐,清乾隆年间大规模修建江浙海塘,晚清以张謇为代表的实业家大规模发展滩涂垦荒植棉等。新中国成立以来,我国围填海得到了较快的发展,沿海地区先后兴起了四次大的围涂造地高潮^[2]。第一次是新中国成立初期的围海晒盐;第二次是20世纪60年代中期至70年代,围垦海涂扩展农业用地;第三次是20世纪80年代中后期到90年代中期的滩涂围垦养殖热潮;20世纪90年代中期以来,随着我国新一轮沿海开发战略的实施,沿海地区利用围填海拓展发展空间,从而掀起了以工业和城市建设为主的围涂造地新热潮,并有向综合性开发利用的发展趋势。在此背景下,各地围涂造地活动呈现出速度快、面积大、范围广的发展态势,围填区也出现了从高滩向中低滩扩展的趋势。据统计,我国历史上围填海面积累计已超过10万 km^2 ,约占我国可耕地面积的12%以上;其中1950~2000年全国围涂造地面积为1.1万~1.2万 km^2 ,平均每年为230~240 km^2 ^[2]。例如,江苏省围填海造地2680 km^2 ,浙江省围填海造地1650 km^2 ,上海市围填海造地730 km^2 ,珠江口仅珠海一市就围填海造地270 km^2 。近十多年来,围涂造地高潮中的典型工程有天津滨海新区填海工程、唐山曹妃甸填海工程、大连长兴岛填海工程等。以天津滨海新区为例,到2020年,围海吹填造陆面积将达300~400 km^2 ,正在建设中的南港工业区,规划面积为200 km^2 ,其中围海造陆124 km^2 ,占总土地面积的62%。

随着沿海地区社会经济的快速发展,滩涂围垦的目的正由最初的防灾减灾、扩大耕地面积逐步向工业、农业、城镇建设和港口发展等多目标发展。亚非拉欠发达地区大多利用滩涂大力发展农业和港口城镇建设,而经济发达的沿海国家(地区)如新加坡、日本、中国香港等地则大量围海造地用以建设沿海工业园区。目前,西方各国滩涂利用主要有以下几种方式:个体经营大规模机械化农场,发展大农业;浅海滩涂自然保护区;盐田海水制盐;海滨康乐游览地;港口城镇社区建设。我国内地滩涂则经历了兴海煮盐、垦荒植棉、围海养殖、临港工业为主要利用方式的多个阶段。

此外,历经千百年世界各国人民的科学实践,滩涂开发利用技术也获得了前所未有的进步,开发利用模式也越来越科学、生态、经济^[1,27,28]。著名的荷兰须

德海工程是一项大型挡潮围垦工程, 不仅将防潮堤线缩短了 45km, 还将面积 3388km² 的须德海与外海隔开, 通过排咸纳淡, 使内湖变成淡水湖。荷兰政府通过科学规划来协调涉海部门的利益, 实现水利、交通、建设、农业、环保等部门通力合作, 达到国家的战略目标; 同时注重寻求和谐的生态效益, 将过去的湿地与水边连锁性复原, 有效地维持了生态系统的稳定。日本十分注重滩涂围填区域的整体规划, 在经过长期、快速、大规模的填海活动后, 仍保持着有序规划布局和较大的储备发展空间; 历年来实施的围填海项目基本都在各自所规划的功能区内扩展, 很少出现功能穿插现象, 也不存在大规模的功能调整及置换问题。其填海方式从早期沿岸直接外延、平推的低成本方式逐渐被顺岸分离和人工岛的填海方式所取代, 在一定程度上维持了海洋水动力模式、水体交换和海洋生态系统, 并通过岸线处理, 提高了生境多样性, 吸引了海洋生物。

国内滩涂开发利用主要途径(以浙江省为例)^[29]有: 一般工程, 通过对已淤涨到适围高程的滩涂湿地进行筑堤建闸圈围, 使之与潮水隔绝, 并在围区建设排水灌溉等工程设施; 促淤工程, 一般针对高程较低的滩涂湿地, 在工程上可分为丁顺坝促淤、联岛筑坝促淤、堵港促淤、围涂前期促淤, 在技术上可分为工程促淤和生物促淤; 治江工程主要分布在河口段, 以围涂服从治江、促进治江为原则; 堵港工程, 筑堤堵截港湾用以防御咸潮、蓄存淡水、开发利用港内水域和滩涂湿地。近年来国内沿海滩涂开发利用过程中, 注重综合效益的同时加强生态环境保护、进行生态补偿的理念在滩涂围垦布局中日益得到重视。例如, 《江苏沿海滩涂围垦及开发利用规划纲要》初步提出了“黄海兰花”海上围垦远景开发理念, 旨在充分利用辐射沙脊群九大水道的强大潮流输沙能力和八大沙脊的自然淤长趋势, 在保持潜在港航资源的基础上, 从景观、生态环境、港口航道、围堤安全等角度进行系统布局规划, 展现“道法自然、天人合一”的人文价值观以及人海和谐的科学观, 目前这一布局尚需进一步深入研究^[30]。此外, 针对我国围涂造地工程基本采用岸线向外延伸平推的方式且许多围涂面积较大等情况, 索安宁等^[31]提出了一套围填海工程平面设计评价方法, 包括围填海强度、海岸线冗亏、亲海岸线营造、自然海岸线利用程度、水域面积预留、水动力通畅程度评价及工程平面设计综合评价。

1.2.2 滩涂开发动力地貌演变效应

滩涂开发通过改变局部海岸与海床地形边界, 影响近岸海域的潮汐、波浪等水动力条件, 导致附近泥沙输移过程发生变化, 并形成新的冲淤演变态势, 从而可能对岸线、地貌、纳潮、泄洪、风暴潮增水等带来影响^[32, 33]。最初人们对围涂工程的影响进行论证多从水动力条件和海床冲淤条件的改变这两方面来考虑, 研