

港湾生态综合评价方法研究 ——象山港为例

GANGWAN SHENGTAI ZONGHE PINGJIA FANGFA YANJIU
——XIANGSHANGANG WEILI

黄秀清 刘 莲 蔡燕红 主编



海洋出版社

港湾生态综合评价方法研究

——象山港为例

黄秀清 刘 莲 蔡燕红 主编



海洋出版社

2018年·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

港湾生态综合评价方法研究: 象山港为例/黄秀清, 刘莲, 蔡燕红主编. —北京: 海洋出版社, 2018. 1

ISBN 978-7-5027-0035-1

I. ①港… II ①黄… ②刘… ③蔡… III. ①港湾-生态环境-综合评价-研究-宁波
IV. ①X321.255.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 019389 号

责任编辑: 张 荣

责任印制: 赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京朝阳印刷厂有限责任公司印刷 新华书店北京发行所经销

2018 年 2 月第 1 版 2018 年 2 月第 1 次印刷

开本: 787 mm×1092 mm 1/16 印张: 43

字数: 920 千字 定价: 228.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093 总编室: 62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

《港湾生态综合评价方法研究——象山港为例》

编写委员会

主 编：黄秀清 刘 莲 蔡燕红

副主编：徐国锋 姚炎明 何东海 何琴燕 杨耀芳

魏永杰 任 敏 秦铭俐 王晓波 李 婷

编 委：陈丹琴 陈 琴 曹 维 周红宏 秦 平

叶 然 周已颖 赵 强 徐 清

顾 问：李晓明

前言

海洋环境质量评价是海洋环境保护的一项基础性工作。随着海洋环境保护工作的不断推进,海洋环境质量评价也在不断完善,从最初的单一污染评价到目前包括自然、社会、生态、效应等环境质量综合评价,都得到了广泛的应用与研究。21世纪以来,全球海洋环境,特别是近岸海域(包括港湾)环境不断恶化,如何有效地保护海洋环境已成为各沿海国家所共同面临的问题。想有效地解决海洋的生态与环境问题,首先需要对保护对象给出一个科学的评估,为海洋管理以及资源利用提供指导与参考。

对于环境质量评价,国内外都有不少的研究,虽然还没有形成统一的概念与方法,但对于我国的生态环境质量评价工作起着重大推进作用,也为海洋环境质量评价提供指导与借鉴。环境质量一般包括自然环境质量和社会环境质量,环境质量评价是指根据选定的指标体系和质量标准,运用恰当的方法评价某区域环境质量的优劣程度及其影响作用关系。起初,人们对环境质量的评价往往重在对某一环境受污染情况的分析和评价。后来,随着人们对环境、生态环境和生态系统等概念与方法研究的深化,逐步形成了以对污染源、环境现状和生态效应的调查、监测、评价和规划为主的环境质量评价体系,即从单一的污染评价发展为面向包括自然、社会、生态、效应等体现环境质量优劣程度的各种因素的综合评价。在环境质量评价方法体系中,国内外最具影响力和代表性的评价模型主要有:20世纪80年代末由联合国经济合作开发署(OCED)和环境规划署(UNEP)共同发展的压力-状态-响应模型(Pressure-State-Response, PSR)和1996年由联合国可持续发展委员会(DPCSD)提出的驱动力-状态-响应模型(Driving Force-State-Response, DSR),该模型将人类活动对环境的影响更全面地纳入到指标框架内,具有较强的系统性,可形成一个体系圈,适合于大多数生态问题指标体系的建立,如美国“河口营养状况评价综合法”(ASSETS, Bricker et al, 2003)和欧盟 OSPAR“综合评价法”(OSPAR-COPMM, OSPAR Commission, 2003)。这两种方法都是基于压力-状态-响应评价指标框架而建立的富营养化评价体系,为多参数评价体系,评价参数较多,评价结果较为客观,在美国和欧盟等得到了广泛应用。又如,随着

对生态问题和生态系统的关注聚焦,人们对“生态健康”“生态安全”“可持续发展”等词也耳熟能详,并开展大量的探索与研究。2000年欧盟的水框架指令(Water Framework Directive, WFD),以水生态区划为概念,提出了系列较完整的海洋环境评价技术导则,实现了水质管理从水化学指标向水生态指标管理的转变。2001年联合国启动的“新千年生态系统评估”(Millennium Ecosystem Assessment, MA),标志着陆地、淡水和海洋区域性生态环境评价进入了一个全新的发展阶段。MA的核心内容主要包括对全球及重点区域生态系统的现状评估、存在问题与压力、未来变化预测以及提出对策等。2005年我国制定了近岸海洋生态健康评价指南,国内不少学者也对我国的一些典型河口、港湾、海岸带以及海岛等开展了系列评价与研究,如陈小燕(2011)基于MA基本框架的珠江口和大亚湾河口、海湾生态系统健康评价;石洪华等(2008)基于MA评估框架的典型养殖型海湾——桑沟湾的生态服务功能评价;叶属峰等(2007)通过物理化学指标、生态学指标和社会经济学指标三大类30个指标建立了长江河口生态系统健康评价指标体系;孙磊等(2008)采用压力-状态-响应框架评价与预测胶州湾海岸带生态系统健康状况;王欣平(2014)结合遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术开展曹妃甸海岸带生态系统健康评价及空间表征以及王小龙(2006)采用区域生态风险评价模型开展海岛生态风险评价方法及应用研究和田星星(2014)基于可持续发展、国际竞争力和国家综合实力的理论基础构建海洋强国综合实力评价指标体系和评价模型等。这些成果为后人的应用与研究提供了很有价值的素材。在评价方法方面,国内外也进行了很多的研究与探讨,运用较多的主要有:综合评价法[层次分析法(AHP法)等]、指数评价法(EQI法、NWF法等)、模糊评价法、人工神经网络评价法、物元分析评价法、灰色评价法、主分量法、密切值法、景观生态法、生态足迹法、生态承载力法、能值法等,不同的评价方法均有特定的适应性和限制性。综上所述,在环境质量评价、指标体系和评价方法等方面,诸多学者做了大量有益的研究,为环境质量评价奠定了坚实的理论基础和案例分析,但是所采用的评价方法与评价体系繁杂众多,因此,目前尚无统一的评价方法与评价体系。

象山港为我国典型的狭长型半封闭式港湾,纵深约60 km,港内三支汊港,水体自净能力较差,生态环境脆弱。港域岸线曲折,自然环境优美,海洋资源丰富,是浙江省重要的水产养殖基地,也是宁波市未来城市发展的“后花园”。区域海洋开发活动主要以海水养殖、滨海工业为主。滨海工业主要包括滨海工业园、火力发电厂、船舶修造业以及跨海桥梁、大型围填海等大型涉海

工程建设,陆源排污压力和海洋生态环境问题未减,海洋生物资源衰减明显,区域发展与环境保护矛盾日益突出,这也将制约着象山港区域各方面的可持续发展。因此,如何全面客观分析与评价象山港海洋环境质量的现状和存在的问题,建立象山港港湾生态的环境质量综合评价方法和评价体系,从而为海洋生态管理提供服务具有重要意义。根据相关文献与研究成果表明,目前国内外虽已有许多较为成熟的环境质量评价框架、方法和体系,但由于不同水域、气候特征等特点存在差异,因此在评价参数的选择、生态特征与环境问题的甄别以及基础资料的获取等方面将均存在较大差异,不同的研究对象和评价要求,也有着不同的评价指标体系和评价方法。因此,本研究在借鉴国内外评价方法与模型应用时,结合了象山港海域自身的特性,不断完善和改进其方法与体系。

本文的研究内容和研究思路主要是:基于MA概念,首先分析了象山港区域自然环境条件、生态环境特征、排污现状及海洋开发活动,客观评估区域环境生态问题、压力及其环境质量变化趋势,建立了采用生态分区理念并基于区域环境基准值的象山港生态环境综合评价方法,为客观诊断象山港港湾生态健康状况奠定基础;其次,为满足水质污染防控,开展了海洋环境容量及污染物总量控制研究,并进行了减排示范应用,有效落实象山港海域的污染物总量控制制度,为浙江省及我国其他重要港湾的污染物重量控制实施提供借鉴与参考;第三,针对大型的海洋开发利用活动,基于力-状态-响应框架理念,针对不同的海洋开发活动进行分类研究,建立了象山港海水增养殖、陆源排污、跨海桥梁、滨海电厂、大型围填海等不同开发活动的综合评价方法体系;第四,基于遥感技术和地理信息技术,建立了一套分区、海陆联动、多要素的象山港海岸带遥感综合评价方法,并对象山港大米草等生态灾害进行遥感演绎与评价研究;最后,综合优化设计了象山港趋势性监测方案,重点包括监测站网、监测时间频次以及监测指标的优化,并对象山港水质数据的同步化问题进行探讨性研究。评价方法则主要采用了综合评价法[层次分析法(AHP法)]以及专家评价法等。总之,本研究主要从污染防控、自身环境条件、生态特征及问题现状,并综合考虑物理、化学、生物生态以及区域开发活动等自然与社会因素,在借鉴国内外研究成果的基础上结合象山港区域自身特点,多层次、多角度,采用分类分区方法,建立了象山港港湾生态系统的海洋环境质量综合评价方法与评价体系,使得对象山港典型海域——港湾生态系统的环境质量评价结果更具科学意义和参考价值,可为象山港海域的海洋管理和生态建设提供服务,也可为我国其他港湾的生态环境综合评价提供借鉴。同时,在监测数据同步化、监测站网优化等方面的探索性研究,亦具有较好的创新性。

本专著的成果得到了国家海洋局“象山港海域海洋环境质量综合评价”[编号: DOMEPI (MEA-03-02)]、宁波市财政专项“象山港主要陆源入海口污染物总量减排考核监测及象山港海洋环境保护规划”(编号: 甬海[2014]46号)、2009年海洋公益性行业科研专项“滨海电厂污染损害监测评估及生态补偿技术研究”(编号: 200905010)等项目的支持。全书共分为13个部分, 编著者分别为: 前言由黄秀清、刘莲编写; 第1章概述由何东海、曹维、周红宏、蔡燕红等编写; 第2章自然环境、开发活动及社会经济状况由杨耀芳、周已颖等编写; 第3章海域水动力特征由何琴燕、赵强等编写; 第4章海域环境状况由秦铭俐、叶然等编写; 第5章海洋生物生态状况由王晓波、魏永杰等编写; 第6章海洋环境容量研究及减排技术示范由何琴燕、姚炎明、刘莲、陈丹琴、陈琴等编写; 第7章港湾生态监测方法研究由徐国锋、蔡燕红、姚炎明等编写; 第8章基于环境基准的港湾水质评价方法由杨耀芳、周红宏等编写; 第9章生态环境状况综合评价方法由何东海、李婷、魏永杰、曹维、徐国锋、秦平等编写; 第10章主要海洋开发活动及生态灾害综合评价由任敏、陈丹琴、曹维、杨耀芳、何琴燕等编写; 第11章海洋生态功能区划研究由魏永杰等编写; 第12章海洋生态红线划定研究由任敏、何琴燕、周已颖等编写, 第13章结论与展望由刘莲、黄秀清编写。全书由黄秀清、刘莲统稿。同时在专题研究和编著过程中, 得到了国家海洋局李晓明司长的悉心指导与大力支持, 在此, 表示由衷地感谢!

由于著者水平有限, 研究时间及编写时间仓促, 书中难免有不足与错误之处, 敬请大家批评指正。

编者

2017年5月

目 次

第 1 章 概述	(1)
1.1 项目由来	(1)
1.2 研究概况	(2)
1.3 主要海洋生态问题及现有评价技术的不足	(4)
1.4 资料来源	(6)
1.4.1 海域环境调查	(6)
1.4.2 污染源调查与估算	(17)
1.5 研究范围及研究内容	(19)
1.5.1 研究范围	(19)
1.5.2 主要研究内容	(20)
参考文献	(22)
第 2 章 自然环境、开发活动及社会经济状况	(23)
2.1 自然环境	(24)
2.1.1 地形地貌	(24)
2.1.2 气候特征	(26)
2.1.3 海洋水文	(27)
2.1.4 波浪	(27)
2.1.5 生态环境质量	(28)
2.1.6 海洋自然资源	(28)
2.1.7 海洋生态灾害	(30)
2.2 社会经济及海洋开发活动	(31)
2.2.1 行政区划	(31)
2.2.2 社会经济状况	(32)
2.2.3 海洋开发活动	(33)
2.3 小结	(41)
第 3 章 海域水动力特征	(43)
3.1 实测水文特征	(43)

3.1.1	潮汐	(43)
3.1.2	潮流	(45)
3.1.3	余流	(49)
3.1.4	波浪	(52)
3.2	水动力数值模拟	(52)
3.2.1	水动力模型建立	(52)
3.2.2	纳潮量的计算与分析	(61)
3.2.3	水体交换能力数值计算与分析	(61)
3.3	小结	(67)
	参考文献	(68)
第4章	海域环境状况	(69)
4.1	调查内容	(69)
4.1.1	调查站位	(69)
4.1.2	调查项目	(70)
4.1.3	调查时间和频率	(71)
4.2	水质状况	(71)
4.2.1	水质大面站调查结果与评价	(71)
4.2.2	主要水质要素平面分布特征	(73)
4.2.3	水质变化趋势	(83)
4.2.4	水质连续测站调查结果	(86)
4.3	沉积物质量现状	(97)
4.3.1	沉积物要素浓度	(97)
4.3.2	典型沉积物要素平面分布	(99)
4.3.3	沉积物变化趋势	(104)
4.4	生物质量监测	(106)
4.4.1	监测结果	(106)
4.4.2	重金属含量变化趋势	(109)
4.4.3	海水的富集状况	(110)
4.5	小结	(113)
4.5.1	水质	(113)
4.5.2	沉积物	(114)
4.5.3	生物质量	(114)
	参考文献	(115)
第5章	海洋生物生态状况	(116)
5.1	叶绿素 a	(116)

5.1.1	含量分布	(116)
5.1.2	周日连续变化	(117)
5.1.3	历年变化趋势	(117)
5.2	浮游植物	(118)
5.2.1	种类组成	(118)
5.2.2	数量平面分布	(122)
5.2.3	优势种	(127)
5.2.4	生态类型	(130)
5.2.5	生物多样性	(132)
5.2.6	历年变化趋势	(137)
5.3	浮游动物	(138)
5.3.1	种类组成	(138)
5.3.2	密度及生物量分布	(142)
5.3.3	优势种及其分布	(146)
5.3.4	生态类型	(151)
5.3.5	周日连续变化	(152)
5.3.6	生物多样性	(152)
5.3.7	历年变化趋势	(153)
5.4	大型底栖生物	(156)
5.4.1	种类组成	(156)
5.4.2	密度和生物量	(159)
5.4.3	优势种及生态类群	(161)
5.4.4	生物多样性	(163)
5.4.5	历年变化趋势	(164)
5.5	潮间带生物	(165)
5.5.1	种类组成	(166)
5.5.2	栖息密度和生物量	(174)
5.5.3	生物群落结构	(175)
5.5.4	生物多样性	(176)
5.6	小结	(178)
	参考文献	(180)
第6章 象山港海洋环境容量研究及减排技术示范		(181)
6.1	污染源调查与估算	(181)
6.1.1	海区及汇水区划分	(181)
6.1.2	调查与估算结果	(183)

6.2 海域环境容量估算	(214)
6.2.1 技术路线及环境容量计算因子的选择	(214)
6.2.2 海域污染物动力扩散数值研究	(216)
6.2.3 海域控制点设置及水质控制目标的确定	(230)
6.2.4 COD _{Mn} 环境容量估算	(232)
6.2.5 无机氮削减量估算	(235)
6.2.6 活性磷酸盐削减量估算	(241)
6.3 海域污染物总量控制容量分配	(247)
6.3.1 总氮、总磷优化分配技术路线	(247)
6.3.2 总氮、总磷容量削减基础信息资料	(248)
6.3.3 分配权重计算	(250)
6.3.4 削减量分配结果	(257)
6.3.5 近期优化分配方案的确定	(269)
6.3.6 沿岸各区(县、市)近期总量控制方案	(271)
6.4 减排技术研究	(272)
6.4.1 初始源强确定	(273)
6.4.2 响应系数场计算	(280)
6.4.3 入海口减排权重分配	(286)
6.4.4 入海口减排量分配	(289)
6.4.5 减排量分配结果小结	(293)
6.5 减排考核示范应用	(293)
6.5.1 污染物排放通量	(294)
6.5.3 总量减排结果	(299)
6.6 小结	(302)
参考文献	(305)
第7章 港湾生态监测方法研究	(307)
7.1 监测站位优化	(307)
7.1.1 优化前站位	(307)
7.1.2 站位优化方法	(309)
7.2 监测指标优化	(331)
7.2.1 海洋水文	(332)
7.2.2 水环境	(336)
7.2.3 沉积环境	(341)
7.2.4 指示生物	(345)
7.2.5 生物生态	(350)

7.2.6 监测指标体系	(359)
7.3 监测时间和频率优化	(359)
7.3.1 海洋水文	(359)
7.3.2 水环境	(360)
7.3.3 沉积环境	(366)
7.3.4 生物生态	(366)
7.3.5 海岸带	(373)
7.3.6 监测时间和频率	(374)
7.4 同步化处理	(374)
7.4.1 计算方法	(375)
7.4.2 数值试验	(375)
7.4.3 监测数据同步化	(377)
7.5 小结	(398)
7.5.1 监测站位优化	(398)
7.5.2 监测指标优化	(399)
7.5.3 监测频率优化	(399)
7.5.4 数据同步化处理	(400)
参考文献	(400)
第8章 基于环境基准的港湾水质评价方法	(402)
8.1 研究现状	(402)
8.1.1 水质基准的概念及国外研究进展	(402)
8.1.2 水质基准确定方法研究进展	(405)
8.1.3 评价方法研究进展	(405)
8.2 材料与方法	(407)
8.2.1 数据来源	(407)
8.2.2 数据处理方法	(407)
8.3 水质基准的确定	(408)
8.3.1 基准年	(408)
8.3.2 基准值	(409)
8.4 评价标准研究	(411)
8.4.1 评价指标的确定	(411)
8.4.2 评价等级的确定	(413)
8.5 评价结果	(414)
8.5.1 评价单元的划分	(414)
8.5.2 评价结果	(414)

8.6 与其他港湾基准值比较	(420)
8.6.1 数据来源	(420)
8.6.2 数据处理方法	(422)
8.6.3 基准值的确定	(423)
8.6.4 与乐清湾基准值的比较	(425)
8.7 与现行的水质评价结果比较	(425)
8.8 小结	(426)
参考文献	(427)
第9章 生态环境状况综合评价方法	(429)
9.1 生态环境分区	(429)
9.1.1 分区指标设置	(429)
9.1.2 分区结果	(430)
9.2 生态环境状况分区分类评价	(462)
9.2.1 指标体系	(462)
9.2.2 评价等级划分	(462)
9.2.3 港湾环境评价方法和标准	(463)
9.2.4 评价结果	(464)
9.3 海岸带生态评价	(466)
9.3.1 评价单元的划分	(466)
9.3.2 海岸带评价指标体系	(467)
9.3.3 海岸带调查结果	(470)
9.3.4 海岸带综合评价	(473)
9.4 海岸带—港湾生态综合评价	(475)
9.4.1 港湾生态综合评价方法	(475)
9.4.2 海岸带—港湾生态综合评价方法	(475)
9.4.3 海岸带—港湾生态综合评价结果与分析	(477)
9.4.4 与港湾生态综合评价结果的比较分析	(480)
9.5 小结	(481)
参考文献	(482)
第10章 主要开发活动(功能区)及生态灾害综合评价	(483)
10.1 海水增养殖区综合评价——以西沪港网箱养殖区为例	(483)
10.1.1 海水增养殖区海洋环境状况	(484)
10.1.2 西沪港海水增养殖区评价指标体系	(492)
10.1.3 综合评价方法及结果	(497)

10.2	入海河流污染物监测与环境影响评价	(504)
10.2.1	监测内容和方法	(505)
10.2.2	入海通量估算	(507)
10.2.3	入海河流对生态环境的影响及评价	(507)
10.3	大桥建设工程综合评价	(527)
10.3.1	大桥及接线工程海洋环境影响因子筛选	(527)
10.3.2	综合评价方法及结果	(538)
10.4	滨海电厂开发活动综合评价	(541)
10.4.1	电厂海洋环境影响因子筛选	(541)
10.4.2	综合评价方法及结果	(560)
10.5	围填海开发活动综合评价	(563)
10.5.1	围填海开发活动海洋环境影响因子筛选	(564)
10.5.2	评价体系建立	(568)
10.6	外来物种(大米草)灾害综合评价	(570)
10.6.1	西沪港大米草分布现状及发展趋势	(571)
10.6.2	大米草生态灾害风险评价方法研究	(574)
10.7	小结	(577)
	参考文献	(578)
第11章	海洋生态功能区划研究	(582)
11.1	研究技术方法	(583)
11.2	海洋生态功能分类	(584)
11.2.1	供给功能	(585)
11.2.2	调节功能	(587)
11.2.3	文化功能	(592)
11.2.4	支持功能	(594)
11.2.5	海洋生态功能分类研究结果	(596)
11.2.6	象山港海洋生态功能类型	(597)
11.3	海洋生态功能重要性评价	(598)
11.3.1	水产品提供(人工)	(598)
11.3.2	水质净化	(600)
11.3.3	海岸侵蚀防护	(601)
11.3.4	泄洪	(603)
11.3.5	自然景观	(606)
11.3.6	生物物种多样性	(607)
11.3.7	生物繁育场	(607)

11.3.8 土地储备	(608)
11.3.9 港航交通	(609)
11.4 主导生态功能评价	(610)
11.5 与相关法规的衔接	(614)
11.5.1 与海洋功能区划的衔接	(614)
11.5.2 与其他规划的衔接	(615)
11.6 海洋生态功能区划定	(615)
11.7 海洋生态功能区控制指标	(615)
11.7.1 水产品提供(人工)生态功能区	(615)
11.7.2 水质净化生态功能区	(616)
11.7.3 海岸侵蚀防护生态功能区	(616)
11.7.4 泄洪生态功能区	(616)
11.7.5 自然景观生态功能区	(616)
11.7.6 生物物种多样性生态功能区	(616)
11.7.7 生物繁育场生态功能区	(617)
11.7.8 土地储备生态功能区	(617)
11.7.9 港航交通生态功能区	(617)
11.8 小结	(617)
参考文献	(618)

第12章 海洋生态红线区划定研究 (622)

12.1 海洋生态红线研究进展	(622)
12.1.1 生态红线内涵	(622)
12.1.2 生态红线相关领域研究进展	(624)
12.1.3 生态红线划定方法研究	(627)
12.1.4 生态红线管控措施	(628)
12.1.5 生态红线管理机制	(629)
12.2 海洋生态红线区指标体系研究	(630)
12.2.1 海洋生态敏感性研究指标体系	(630)
12.2.2 海洋生态脆弱性研究指标体系	(633)
12.2.3 海洋生态重要性指标研究	(635)
12.2.4 海洋生态红线划定指标体系	(643)
12.3 海洋生态红线区划定方法研究	(644)
12.3.1 划定方法	(644)
12.3.2 方法与过程	(646)
12.4 海洋生态红线区划管控措施	(660)

12.4.1 禁止开发区	(661)
12.4.2 限制开发区	(661)
12.5 小结	(663)
参考文献	(663)
第13章 结论与展望	(665)
13.1 结论	(665)
13.2 展望	(668)