

BOHAIWAN GANGKOU QUYU FAZHAN YU
HUANJING CHENGZAILI XIANGYING JIZHI YANJIU

渤海湾港口 区域发展与环境承载力 响应机制研究

白景峰 于 航 主编



海洋出版社

渤海湾港口 区域发展与环境承载力 响应机制研究

白景峰 于 航 主编

海洋出版社

2016年·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

渤海湾港口区域发展与环境承载力响应机制研究/白景峰, 于航主编.
—北京: 海洋出版社, 2016. 12
ISBN 978-7-5027-9639-6

I. ①渤… II. ①白… ②于… III. ①港口经济-区域发展-环境承载力-研究-滨海新区 IV. ①F552.721.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 316201 号

责任编辑: 常青青

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

北京画中国画印刷有限公司印刷

2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 10.75

字数: 243 千字 定价: 48.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093

总编室: 62114335 编辑室: 62100038

海洋版图书印、装错误可随时退换

目 录

第1章 前 言	(1)
1.1 研究目的及意义	(1)
1.2 研究目标	(4)
1.3 研究范围及功能选取	(4)
1.4 研究内容	(5)
1.5 技术路线	(6)
第2章 环境承载力预测评估国内外研究进展	(7)
2.1 承载力对象研究进展	(7)
2.2 承载力研究方法进展	(12)
2.3 研究小结	(18)
第3章 研究区域背景分析	(20)
3.1 发展现状概述	(20)
3.2 自然环境状况分析	(31)
3.3 社会经济状况分析	(34)
第4章 天津港口区域环境状况分析	(40)
4.1 大气污染状况分析	(40)
4.2 水污染状况分析	(49)
4.3 固废污染状况分析	(58)
4.4 噪声污染现状分析	(60)
4.5 研究小结	(61)
第5章 港口区域环境承载能力研究内涵分析	(63)
5.1 港口在经济发展中的作用	(63)
5.2 我国港口环境污染现状	(64)
5.3 港口环境承载力定义	(66)
5.4 港口环境承载力的内涵	(67)
5.5 研究方法分析	(68)
第6章 港口区域环境承载力指标体系研究	(71)
6.1 指标体系建立原则	(71)
6.2 指标体系框架构建	(73)
6.3 指标体系层次分析	(75)
6.4 指标体系层次的构建方法	(78)
6.5 港口区域环境承载力因素分析	(78)

6.6	指标体系构建流程及指标筛选	(80)
6.7	研究小结	(84)
第7章	港口区域环境承载力系统动力学预测模型构建	(86)
7.1	港口区域环境承载力模型构建方法研究	(86)
7.2	系统动力学预测模型构建原理与原则	(94)
7.3	港口区域环境承载力系统动力学模型子系统构建	(101)
7.4	港口区域环境承载力基本数据模拟结果输出	(118)
7.5	研究小结	(128)
第8章	港口发展与环境承载力响应机制研究	(130)
8.1	天津港口区域环境承载力趋势研究	(131)
8.2	天津港口发展与环境承载力响应机制研究	(135)
8.3	研究小结	(150)
第9章	港口区域提高环境承载力对策措施研究	(151)
9.1	天津港口外部区域对策措施分析	(151)
9.2	天津港口内部区域对策措施分析	(156)
第10章	结论与建议	(160)
10.1	研究主要结论	(160)
10.2	研究展望与建议	(160)
参考文献		(162)

第1章 前言

1.1 研究目的及意义

1.1.1 项目概要

随着工业化国家经济的迅速发展,环境污染与资源短缺问题日渐明显,环境污染一方面使资源利用价值降低和资源短缺的矛盾突出;另一方面,大气、水体、固体废物的污染对人类的生存构成了严重威胁。为此,相关研究机构相继提出了环境自净能力、环境容量、环境总量、环境承载力等概念,并受到了世界各国的普遍重视与广泛应用。

港口经济是沿海区域经济发展的重要支撑部分,其服务功能对沿海地区经济发展起着决定性作用。进入21世纪以来,人们对海岸带这个重要自然资源的关注程度进一步增大,对于港口的建设发展也逐渐增快。但是,港口的高速发展伴随着资源的迅速消耗,特别是海岸带地区大规模的港口开发,给周边区域带来了诸多环境问题,诸如水环境质量下降、生态灾害频繁发生、生物资源衰退、后备土地资源不足等;港口开发建设带来的大气污染、PM_{2.5}指标逐渐升高,已经对周边区域的整体环境质量和居民身体健康造成了一定影响,严重制约了港口周边地区社会经济的可持续发展,也限制了我国港口水运交通的进一步发展。环渤海地区是我国经济发展最为迅速、港口开发活动最为活跃、环境问题最为突出的区域之一。特别是近几年,渤海湾沿岸城市化和工业化展现出更加迅猛的发展趋势,港口建设及运行规模也逐渐增多,几十平方千米的围填海工程已很常见。天津港、秦皇岛港、营口港、曹妃甸等大型港口建设开发不仅直接侵占大面积的滩涂湿地,改变了近岸水动力过程和物质输运模式,而且排海污染物大幅度增加,大型电厂建设运行导致大量的温排水和浓盐水排海,并造成局部海洋环境的明显改变。同时各类港口活动产生的粉尘会对周边地区造成污染,PM₁₀及PM_{2.5}的增多,造成空气环境质量下降,雾霾天气增多,不仅对生态环境产生影响,也对周边居民的身体健康带来不利影响。人们逐渐认识到,我国华北地区大范围雾霾天气的产生,PM_{2.5}指标持续升高,不仅包括汽车尾气、工业生产等活动的影响,港口的大规模建设和生产也是造成空气质量下降的主要原因之一。但是,目前还没有对于港口活动对周边区域环境承受能力的相关研究,缺少量化判断港口活动对周边区域的影响,这与我国建设绿色港口、实现港口资源集约利用、促进环境与经济可持续发展的交通环保方针政策是不相符的。

可持续发展作为当代发展的目标与战略,已被国际社会所公认,我国也将可持续发展作为今后的发展战略,国家领导在多次会议上都强调指出,在现代化建设中,必须把

实施可持续发展作为一项重大战略。而环境承载力作为可持续发展的支撑理论和衡量可持续发展的标志已逐渐得到国内外研究者的普遍认可与重视。环境承载力是环境系统和社会、经济系统在物质、能量和信息方面的联系的体现。叶文虎等（1992）提出：“环境承载力”在环境与人类活动之间建立了联系的桥梁，使环境与社会经济的协调的衡量有了宏观准则。因此，研究环境承载力对坚持可持续发展战略具有重要意义。

近年来，有关承载力问题的研究已成为国内外科研工作者研究的热点问题。一方面是因为承载力问题直接回答了人类对某研究对象索取需求的高低；另一方面也反映了研究对象的健康状况，即研究对象是否能持续满足人类的某种或某一系列的需求。如果人类的索取大于研究对象的产出能力，则表明人类的这种索取是不可持续的，必然导致索取对象更加不健康，人类社会面临的生态环境将更加不和谐。例如：2006 年国际自然基金会保护联盟采用承载力研究了人类对自然资源的索取的可持续性问题的，结果表明，人类正以前所未有的速度掠取自然资源，照这样下去，从 2050 年起只有相当于两个地球的自然资源量才能满足人类每年的需要。

港口是一个复杂的有机结合系统，其承载力涉及港口建设、污染物排放、航运、环境与生态以及社会经济等各个方面。港口环境承载力是衡量港口可持续发展的重要标志，是港口环境保护的基准，港口的开发、规划、建设规模，污染物排放及污染物总量控制等无一不是建立在港口环境承载力的基础之上。建立港口环境承载力的定义、评价指标体系及评价计算方法，可以为解决港口建设、资源配置、污染物排放与港口环境之间的协调与平衡提供科学依据，从而为实现港口生态系统的良性循环，促进港口周边经济的可持续发展奠定基础。

综上所述，急需开展港口开发区域的环境承载能力研究，避免港口开发建设对环境造成的危害。因此本研究以渤海湾典型港口区域——天津滨海新区及其港口为研究对象，分析滨海新区港口活动对区域生态环境的影响，建立港口区域环境承载力评估指标体系，开展环境承载力预测评估，建立环境承载力与港口发展的响应机制，提出合理的港口发展决策，推动绿色型港口、资源集约利用型港口的建设，为我国的水运交通发展提供技术支持和保障。

1.1.2 项目研究背景及必要性

港口是我国航运和物流的重要组成部分，起到水、陆运输方式转换的衔接作用，港口经济已成为推动区域经济发展的支柱力量。但随之而来的资源、环境及港口的可持续发展问题逐渐浮出水面，同时也引起了世界各国的广泛关注。随着港口吞吐量的增加，港口规模的扩大，港口所在区域的生态环境面临着巨大的威胁；港区范围内海水水质污染严重；散杂货码头（特别是矿石码头）空气中固体颗粒物含量较高，对港口工作人员身体健康有着极大的影响，同时对港口所在城市的空气质量也存在着巨大威胁；原油码头石油泄漏及爆炸事件也在攀升，对所在海域的影响将持续几十年，甚至上百年；港口各种设备的能源消耗也使人均能源本就紧张的我国不得不重视这一问题的解决。根据最新的港城关系研究进展，研究人员们发现港城关系似乎开始进入一个新的阶段，即随着港口城市规模的扩大，港口与城市间存在着交叉的部分，可用于港口扩张的陆域空间

越来越小,同时在交叉区域范围内,人们为保持正常的出行和生活,对港口生产过程中产生的道路拥挤及噪音等不利因素加以限制。因此,港口所面临的来自生态环境和社会经济活动的压力越来越突出。

作为渤海湾地区的主要港口发展区域,天津滨海新区的水运交通建设逐渐加快,但随着港口发展速度的加快,城区及其周围自然资源和生态环境都遭受到不同程度的破坏,给相当脆弱的区域环境带来更大的压力,特别是近年来空气环境质量不断降低,PM10以及PM2.5等大气质量指标不断上升,滨海新区生态环境整体水平持续降低,直接影响了该区域的可持续发展能力。在此情况下,港口不得不将面临着发展空间有限、生态环境恶化等多方面的压力,而这一冲突较以往更为突出。如何清醒地认识到问题的所在,并及时采取有效的解决措施,将是值得水运交通管理部门所思考的;港口就现有的资源及环境条件下,究竟能够承受多大的吞吐量,能够抵御怎样的外界压力,如何通过政策调整降低港口建设对环境的影响,也是目前水运交通发展需要迫切解决的问题。

环境承载力作为可持续发展的支撑理论,作为衡量可持续发展的标志已逐渐得到国内外研究者的普遍认可与重视。环境承载力是环境系统和社会、经济系统在物质、能量和信息方面联系的体现。港口环境承载力是评价港口可持续发展的重要指标,是港口在发展、建设、经营中的重要指南。港口环境承载力是港口现有资源、环境、软硬件设施等现有发展潜力的重要体现,是指导港口建设的重要依据,港口区域环境承载力的研究对于水运港口发展是必不可少的。

具体来讲,开展港口开发区域环境承载力研究具有以下必要性:

(1) 是实现可持续发展的必要条件。从环境承载力的角度看,物质的消耗和污染物的排放必须限定在资源储量及环境容纳的阈值以内。掌握港口人为活动对环境承载力的影响规律,才能使港口区域的可持续发展,特别是港口水运的可持续发展成为可能。

(2) 环境承载力是区域可持续发展能力的重要组成部分,对其进行研究也是提高区域资源利用水平的重要手段,因此研究环境承载力的变化趋势对提高港口周边区域生态环境质量、资源高效利用具有积极的推动作用,是国家建设节约型、环保型社会,建设绿色港口方针政策的重要保障。

(3) 开展港口开发区域环境承载力研究,保证环渤海的经济的发展,也是对国家经济、水运港口发展政策的积极响应。在交通运输部《公路水路交通运输环境保护“十三五”发展规划》中将生态保护与建设,注重资源节约和集约利用作为今后的发展重点,而开展港口区域的环境承载力研究,提出新形势下的港口发展机制与决策,对于保障水运港口发展、国家经济建设具有重要的意义,是国家经济交通政策的重要体现。

(4) 通过开展港口区域环境承载力与港口发展响应机制研究,提出改善环境质量和资源利用方式的对策措施,可以使港口交通环境污染得到缓解,降低港口主要污染物的排放强度,使粉尘、噪音、污水污染得到有效控制,有助于推动内河港口生产污水、散货码头粉尘等港口行业环保薄弱环节的改善,也有助于节能、低碳新技术的推行,促进以低碳排放为特征的交通运输体系建设,能够保障水运交通“十三五”规划的顺利实施。

(5) 通过对港口区域环境承载力水平的系统分析和评价,将有助于深入掌握港口

区域人类活动,特别是港口建设对生态环境的影响,从而为渤海湾港口区域的港口水运发展提供决策依据。此外,通过天津港的实例研究所建立起来的一整套环境承载力与港口发展响应机制评价方法和体系,对其他地区水运港口建设机制和决策的制定也具有重要的借鉴价值。

1.2 研究目标

以天津港口区域为主体研究对象,全面开展港口及周边区域的经济社会资源环境调查,分析天津港口在开发过程中可能存在的主要社会环境问题;开展环境承载力预测技术研究,重点以系统动力学为技术手段,建立港口区域环境承载力指标体系及预测仿真模型;将港口吞吐量变化、环境质量作为重点要素,开展港口区域环境承载力预测评估模型构建研究;在此基础上,开展港口承载力预测评估研究,预测其变化趋势,为天津港口及周边区域的整体发展提供科学依据;最后形成环境承载力预测模拟软件,为港口区域发展决策提供技术支持,主要实现以下目标:掌握港口发展对天津滨海新区生态环境的影响特征;得出港口开发区域环境承载力系统内部各指标的相互关联;得出天津滨海新区在不同经济发展与水运港口发展规划下的环境承载力状态;建立环境承载力与港口开发响应机制;提出控制港口粉尘产生量、提高岸线资源、水资源利用率的具体措施,指导港口生产作业与资源利用,保证港口水运建设与生态环境的和谐发展。

1.3 研究范围及功能选取

渤海湾是我国的内海海湾,生态脆弱,开发力度大,保护难度大。而渤海地区是我国继珠江三角洲、长江三角洲后的中国经济发展的第三个“增长极”,其经济发展与渤海湾生态环境保护问题一直是国家关注的热点问题。然而,近年来,有关渤海湾海岸带生态环境的保护的研究主要集中在本底调查与评价,水、生物、污染物监测与评价等方面研究,这些研究虽然可以为渤海湾海岸带的综合承载力评价提供基础资料,但研究的整体性不强,理论性差,研究成果综合指导实际生产的能力差,还不能为促进滨海新区的开发开放,保障渤海湾生态环境的不再恶化,为渤海湾的进一步保护规划提供足够的技术支持。因此本研究选取天津港及其周边区域作为研究对象,针对该区域大规模港口建设的工程特点,将区域环境质量的变化纳入环境承载力研究体系中,开展环境承载力预测分析研究。

天津港是首都北京及天津的海上门户,踞海河下游及入海口处,地处渤海西部海岸中心位置(图1-1)。天津港位于海河下游段及其入海口处,地理坐标 $38^{\circ}59'08''\text{N}$ 、 $117^{\circ}42'05''\text{E}$,是渤海湾中与华北、西北地区内陆距离最短的港口,毗邻华北最大的工业城市群,亦是亚欧大陆桥的东端起点之一。天津港是世界等级最高的人工深水港,主航道水深已达 -22.0 m ,30万吨级船舶可乘潮进出港。2013年天津港复式航道试通航,使航道通航能力在双向通航基础上实现了再次升级。

天津港是我国沿海主要港口和集装箱干线港,能源、原材料运输的主要中转港,国



图 1-1 天津港现状

家综合运输体系的重要枢纽。天津港是实施滨海新区开发开放、形成滨海产业带的重要基础；是天津市建设北方经济中心、北方国际航运中心和国际物流中心的重要支撑；是京津冀和华北、西北地区对外开放，促进产业结构升级和加快实现现代化的重要依托。

目前天津港在巩固和强化装卸储存、中转换装、运输组织、通信信息等传统功能的同时，重点发展以下功能。

现代航运服务：建设集融资、交割、结算和保险为一体的航贸金融市场，发展航运经纪、航运保险、航运融资、航运咨询、海事仲裁与法律、信息发布等现代航运服务功能。

临港工业：继续服务于临港工业区、海河下游冶金工业区、军粮城重型装备机械制造园，进一步依托高沙岭港区发展装备制造产业，依托大港港区发展石化、冶金等重化工业，为滨海新区承接产业转移、优化生产力布局提供支撑。

现代物流：强化辐射纵深腹地运输通道，积极有效地整合各类资源，发展现代港口物流，为广大腹地提供仓储、配送、信息、中转、流通加工等全面、优质的物流服务。

保税：充分发挥国际贸易物资集散中心、资源配置枢纽的区位优势 and 滨海新区综合配套改革试验区、东疆保税港区的政策优势，积极发展保税功能。

旅游客运：发展依托邮轮、游艇、游船等的旅游客运。

1.4 研究内容

由于渤海湾区域港口众多，各港口之间差别较大，环境因素也较为复杂，若将整体渤海湾作为研究对象进行环境承载力研究，将大量增加数据收集与模型构建工作难度，操作难度极大，同时模型模拟结果也很难体现各港口的实际特点，研究结论对于各港口的实际指导意义不强。因此本研究根据围填海及港口发展等特点，选取天津港及周边区

域作为研究对象，开展天津港口及其周边区域环境现状调查，分析天津港的港口区域环境承载力，研究天津港开发活动与环境承载力之间的响应机制，为其他港口地区的环境承载力预测评估提供借鉴。

1.5 技术路线

本项目在数据收集、文献分析、实地调研的基础上，分析天津港口开发区域的主要生态环境问题，建立环境承载力评价指标体系，通过定量与定性相结合的研究方法，模拟预测水运港口开发建设对区域环境承载力的影响，建立环境承载力与港口开发响应机制，提出可行的港口开发决策，并提出相应的对策措施，为水运港口发展与区域生态环境保护提供理论依据，具体技术路线如图 1-2 所示。

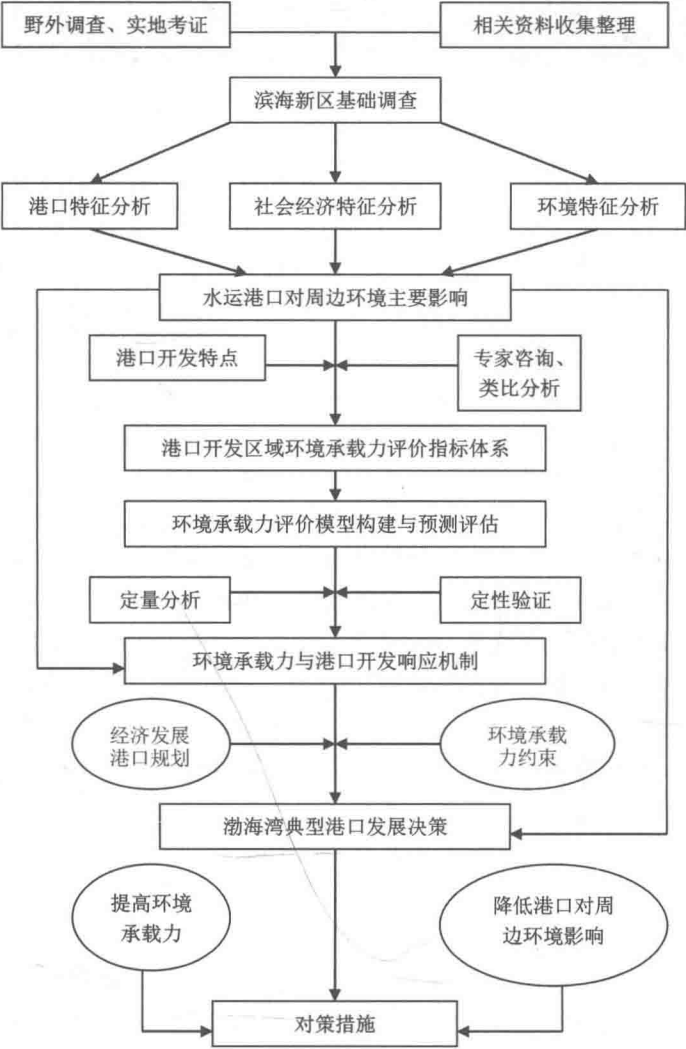


图 1-2 项目技术路线图

第2章 环境承载力预测评估国内外研究进展

2.1 承载力对象研究进展

2.1.1 国外研究进展

世界自然保护联盟、联合国环境规划署、世界野生生物基金会（1991）在共同发表的《保护地球——可持续生存战略》一书中，对承载力的概念进行了描述：“地球或任何一个生态系统所能承受的最大限度的影响就是其承载力。人力对这种承载力可以借助于技术而增大，但往往是以减少生物多样性或生态功能作为代价的，然而在任何情况下，也不可能将其无限增大。这一极限取决于系统自身的更新或对废弃物的安全吸收。除非人口和资源需求的水平能降低到地球承载力范围以内否则人类生存持续性是不能保持的。”

随着人地矛盾不断加剧，承载力概念发展并应用到自然-社会系统中，提出了土地资源承载力概念；随着工业化国家经济的迅速发展，资源短缺与环境污染问题日渐明显，资源承载力、环境承载力、生态承载力等概念相继被提出，并受到了世界各国的普遍重视与广泛应用。土地资源的系统研究始于1982年联合国粮农组织（FAO）对发展中国家的土地资源、人口承载能力所进行的研究工作。国外对承载力的研究早在18世纪末的工业化时期就已经展开。英国学者马尔萨斯（Malthus, 1795）的诸多研究及其著名的《人口原理》就已经基本体现了人口承载力的概念基础。马尔萨斯探讨了人口增长与支撑人口生存的粮食生产增长之间的关系，认为如果人口增长若得不到控制以适应粮食增长，作为一种自适应机制，战争和瘟疫将反过来强迫人口数量的减少。此后的一段较长时间内，人们对于承载力的研究始终停留在对各种载体所能承载的人口数量的研究。如美国的 William A. Allan（1812）在对赞比亚制度研究的基础上所计算的土地退化开始前区域所能容纳的最大人口数量。

综合承载力是以区域资源、环境为对象，研究它同人类的经济社会活动之间的相互关系。20世纪60年代末70年代初，“罗马俱乐部”利用系统动力学模型对世界资源、环境与人的关系进行评价，构建了著名的“世界模型”，提出了经济的“零增长”发展模式。英国斯莱瑟（Malcolm Slessor, 1967）提出了新资源环境承载力计算方法——提高承载能力的备选方案模型（Enhancement of Carrying Capacity Options, ECCO），在“一切都是能量”的假设下，综合考虑人口-资源-环境-发展关系，以能量为折算标准，建立系统动力学模型，得到联合国开发计划署（UNDP）的认可。

另外还有很多学者还对区域综合承载力进行了研究。联合国粮农组织（FAO）在

20 世纪 80 年代初对发展中国家进行了土地承载力的研究。爱丁堡大学的 Malcolm Sleeser 教授在联合国教科文组织（UNESCO）的资助下，提出了用于计算区域资源环境承载力的 ECCO（Enhancement of Carrying Capacity Options）模型。Lieth 提出了净第一性生产力计算模型，并对全球生态系统净第一性生产力进行了计算，间接度量了承载力。1984 年，Odum 基于生态系统和经济系统的特征以及热力学定律，提出了以能量为核心的系统分析方法——能值分析法，该方法能够定量地分析生态承载力的现状。1986 年，Vitousek 等对初级生产量的人类占用进行了研究。1992—1996 年，Rees 和 Wakemagle 提出和完善了生态足迹方法，并对 52 个国家以及全球的生态足迹和生态承载力状况进行了计算和分析。1996 年，美国在南部佛罗里达州门罗县人口最多的地区——佛罗里达可斯地区设立一个重点承载力研究项目，即“佛罗里达承载力研究”，虽然这个项目与南部佛罗里达州耗资 78 亿美元恢复城郊湿地生态系统的计划相比，在地理尺度、资金投入和预期研究时间上要小，但是该研究在把承载力概念应用在复杂的社会经济和生态环境系统中是一个大胆的尝试，掀起一个研究承载力的热潮。1999 年 Harris 和 Kennedy 建立一个用于全球农业产量的逻辑斯谛模型。基于该模型，他们预测了 21 世纪的全球农业的供给和需求，暗示世界的发展与农业承载力是密切相关的。

此外还有很多学者将系统动力学应用到海洋环境及承载力研究领域。1995 年全球海洋生态系统动力学研究计划（GLOBEC）被纳入国际地圈生物圈计划（IGBP）的核心计划，海洋生态系统动力学研究成为当今海洋科学跨学科研究的国际前沿领域。20 世纪 80 年代以来，在围绕大西洋北海和地中海生态研究以及美国佐治亚海和日本若干海湾的生态研究中，提出了几十个不同营养层次和类型的海洋生态动力学模型。汉堡大学海洋研究所近年来发展起来的汉堡欧洲北海生态模型（Moll, 1995），已成功地进行了欧洲北海生态系统一年的初级生产力的模拟，其模型结构如图 2-1 所示。

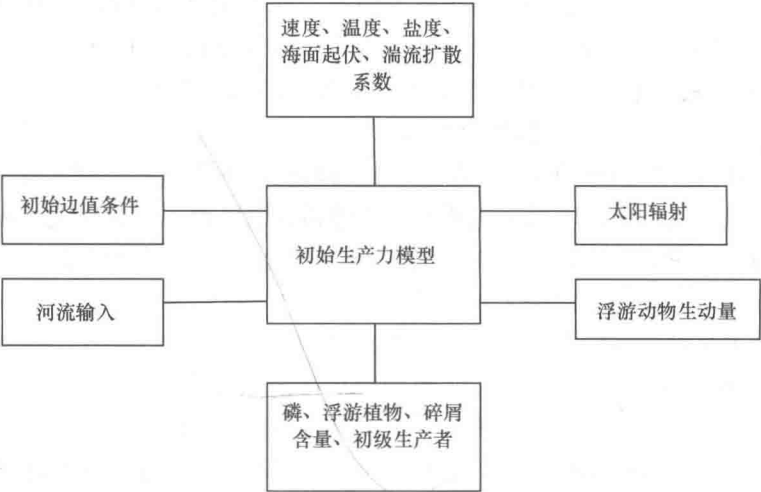


图 2-1 欧洲北海生态模型结构

与此同时,与海洋生态有关的研究也有了较广泛的开展。McGowan 等(1987)利用长期观测的海表温度监测环境扰动,发现温度变化、厄尔尼诺的变动严重干扰并改变了太平洋东北部的浮游动物生物量及整个生态系统;Greene 等(1990)分析了大西洋西北年代际的气候波动对浮游动物飞马哲水蚤的丰度的影响;Stenseth 等(1989)总结了北大西洋波动、厄尔尼诺对生态系统的过程和分布的影响;大量的观测现象表明大尺度、低频气候变动严重影响着生态系统的结构和功能。

20 世纪 80 年代以来,社会发展和科学进步为海洋科学发展提供了新的机遇,产生了一系列大型国际海洋研究计划,如“世界气候研究计划”(WCRP)推动的热带海洋与全球大气计划(TOGA)、“全球海洋环流实验”(WOCE)、“国际地圈生物圈计划”(IGBP)倡导的“全球海洋通量联合研究”(JGOFS)和“海岸带海陆相互作用”(LOICZ)等。在这些计划的发展过程中,人们发现海洋物理过程与生物资源变化密切相关,对其相互关系研究基本上空白。于是多学科交叉综合研究成为海洋生态学发展的生长点,它把海洋看作一个整体来研究它的生态过程和受控机制,同时对研究的区域规模和时间尺度也有了较多的要求,产生了一些新的概念和理论。20 世纪 80 年代中期,美国等国家提出和发展了大海洋生态系(LMES)概念。它以 200 海里专属经济区为主,将全球海洋划为 50 个大海洋生态系,我国的黄海生态系统和东海生态系统是其中的 2 个。这 50 个大海洋生态系统虽然仅占全球海洋面积的 10%,但它包含全球 95% 以上的海洋生物资源产量。大海洋生态系作为一个具有整体系统水平的管理单元,使海洋资源管理从狭义的行政区划管理走向以生态学和地理学界为依据的生态系统管理,有利于解决海洋可持续发展以及跨界管理的有关问题。为此,大海洋生态系的动态变化及其机制受到了关注,科学家们注意到海洋生物资源的变动并非完全受捕捞的影响,渔业产量也和全球气候波动密切有关,环境变化对生物资源补充量有重要影响。一批生物、渔业海洋学家还认为,浮游动物的动态变化不仅影响许多鱼类和无脊椎动物种群的生物量,同时,浮游动物在形成生态系统结构和生源要素循环中起重要作用,从而也对全球的气候系统产生影响。因此,1991 年在国际海洋研究科学委员会(SCOR)和联合国政府间海洋委员会(IOC)等国际主要海洋科学组织的推动下,“全球海洋生态系统动力学研究计划”(GLOBEC)开始筹划,1995 年该计划被遴选为 IGBP 的核心计划,使海洋生态系统动力学研究成为当今海洋科学跨学科研究的国际前沿领域。

国际 GLOBEC 科学指导委员会为推动海洋生态系统动力学学科发展做出了重要贡献,它先后于 1994 年召开了国际 GLOBEC 战略计划大会,1997 年公布了 GLOBEC 科学计划,1998 年召开了国际 GLOBEC 科学大会,1999 年公布了 GLOBEC 实施计划。国际 GLOBEC 的目标被确定为:提高对全球海洋生态系统及其主要亚系统的结构和功能以及它对物理压力响应的认识,发展预测海洋生态系统对全球变化响应的能力。主要任务是:①更好地认识多尺度的物理环境过程如何强迫大尺度的海洋生态系统变化;②确定生态系统结构与海洋系统动态变异之间的关系,重点研究营养动力学通道、它的变化以及营养质量在食物网中的作用;③使用物理、生物、化学耦合模型确定全球变化对群体动态的影响;④通过定性定量反馈机制,确定海洋生态系统变化对全球地球系统的影响。目前国际 GLOBEC 已在全球范围内形成 4 个区域性研究计划:“南大洋生态系统动

力学”、北大西洋的“鳕鱼与气候变化”、北太平洋的“气候变化与容纳量”和全球性的“小型中上层鱼类与气候变化”。与此同时,国家计划也得到迅速发展,先期发展的国家有美国、日本、挪威、加拿大、中国和南非等,近期发展的国家有英国、德国、法国、荷兰、巴西、智利、新西兰等。在这些研究计划中,“过程研究”和“建模与预测研究”成为重中之重,表明海洋生态系统动力学是一项目标明确、学术层次高的基础研究计划。另外,无论是大区域性研究计划,还是国家计划,无不与生物资源可持续利用问题相联系。人们在关注人类活动和气候变化对海洋生态系统影响的同时,更为关注它对海洋生物资源的影响,特别是对与全球食物供给密切相关的渔业补充量变化的影响。

Huisman 和 Weissing (1995) 构造了营养物质-浮游植物的微分动力学模型,发现在系统出现混沌动力学行为的时候,多种浮游植物可以依赖少数几种营养物质共存,为浮游生物反论提供了一种新的解释。Karolyi 和 Scheuring 等 (1992) 利用格子模型模拟混沌混合的水体,同样发现混沌混合有利于水生生物的多样性维持。以上两种观点并没有涉及复杂性与多样性的关系,而是从复杂动力学的角度去研究生物多样性的维持机理。Raffaelli (1997) 指出海洋生态系统多样性的研究重点应该放在多样性与生态系统功能的关系和多样性的丧失对生态系统功能的影响上。当前描述海洋生态系统物质循环的系统动力学模型一般采用生物地球化学模型,主要研究的对象是 C、N、Si、Fe、P 等元素。Anderson 和 Pondaven (1998) 应用这种模型研究了大西洋百慕大海域的 C 和 N 的循环,模型结果与该海域表层海面溶解有机碳下降相吻合,但是 C/N 输出比偏高,说明 C 和 N 循环的相互作用的复杂性。

2.1.2 国内研究进展

与国外的研究相比,国内的研究相对开展较晚。20 世纪 90 年代以来,国内学者开始以区域资源、环境要素综合体为对象进行区域承载力研究。任美镔是我国最早注意到承载力研究重要性的学者。1986 年中国科学院等多家科研单位联合开展的“中国土地生产潜力及人口承载量研究”是我国迄今为止进行的最全面的土地承载力方面的研究。随后我国学者对土地资源承载力从各个方面进行了研究,提出了不同的土地资源承载力概念,其中耕地粮食人口承载力研究始终是主流。水资源承载力是继土地资源承载力研究之后,研究比较多的一部分,特别是在我国缺水问题日益突出的今天,加强水资源承载力的研究对我国很具现实意义。目前国内对矿产资源承载力的研究开展得不够充分,徐强是较早对矿产资源承载力开展研究的学者。森林资源承载力研究是资源承载力研究的深入和发展。

王学军 (1992) 提出“地理环境人口承载力”的概念,通过构建评估指标体系,采用二级模糊综合评价方法和层次分析法选取指标及确定权重,从自然、社会、经济三个层面对中国分省的地理环境承载潜力进行了评判。牛文元等 (2001) 将区域承载力研究同实施可持续发展战略相结合,提出了一套包括 5 个支持系统、16 个系统状态、47 个变量指数、249 个具体指标的指标体系,对全国 30 个省、市、自治区的可持续发展总体能力进行了综合评价。

环境承载力的概念在国家重点科研项目《我国沿海新经济开发区环境的综合研究——福建省湄洲湾开发区环境规划综合研究报告》(1991)中首次被明确提出,此后,许多学者对环境承载力做过系统研究。与资源短缺和环境污染不可分割的另一问题是生态破坏,生态破坏的显著特点是生态系统的完整性遭到损坏,从而使生存于生态系统之内的人和各种动物面临生存危机。为此,许多科学家呼吁,保持生态系统的完整性,把人类的活动控制在生态系统承载力范围之内。于是许多学者从系统的整合性出发,提出了生态承载力的概念。高吉喜(2001)较为系统地开展了生态承载力的理论、方法研究,提出了生态承载递阶原理,论述了生态可持续承载的条件与机制,研究了可持续承载的原理、方式及调控机理与模式,探索性地提出了生态承载力的判定模式(包括生态系统的弹性力、资源与环境的供容能力、具有一定生活水平的人口数三个层面)与综合评价方法,并以黑河流域为例开展了基于生态承载力的可持续发展示范研究。王开运(2007)以崇明岛为例,开展了生态承载力复合模型系统与应用研究。

我国对环境承载力的研究主要综合环境承载力研究和环境要素承载力研究两个方面,同时提出了相应的概念和量化研究方法。李清龙、张焕楨、王路光等(1986)分析了水环境承载力主要受水环境质量标准、水环境容量、水环境自净能力、流域(区域)水资源量、社会生产力水平、科学技术水平、人类生活水平及人口规模、政策、法规、规划等因素影响。龙平沉、周孝德等(1986)及钱华、李贵宝等(1988)分析并提出了以城市化水平的倒数、人均工业产值、工业固定资产产出率、可用水资源总量与城市总用水量之比、单位水资源消耗量的工业产值、单位水资源消耗量的农灌面积、污水处理投资占工业投资之比、污水处理率、单位COD排放量的工业产值、BOD排放量的工业产值、BOD控制目标与COD(或BOD)浓度之比等指标的水环境承载力指标体系。王俭、孙铁晰等(1993)对目前国内外用于环境承载力定量化研究的指数评价法、承载率评价法、系统动力学方法和多目标模型最优化等方法进行比较,并对环境承载力研究的发展趋势进行分析。

在海洋系统的承载能力研究方面,国内也有一些相关的研究。我国在海洋生态系统承载能力方面的研究发展较晚,但目前已成为研究的热点。在1958年的全国海洋普查、“渤海水域渔业资源、生态环境及其增殖潜力的调查研究”(1981—1985)、“三峡工程对长江口生态系统的影响”(1985—1987)、“黄海大海洋生态系统调查”(1985—1989)、“闽南—台湾浅滩渔场上升流区生态系研究”(1987—1990)、“渤海增养殖生态基础调查研究”(1991—1995)等,这些调查研究积累了大量宝贵的物理、生物、化学和地质资料。特别是最近几年开展的国家自然科学基金重点项目“东海海洋通量关键过程研究”“台湾海峡生源要素生物地球化学过程研究”“典型海湾生态系统动态过程研究”“黄海环流及营养物质长期输运研究”,国家自然科学基金重大项目“渤海生态系统动力学与生物资源可持续利用研究”,国家重点基础研究发展规划“973”项目“东、黄海生态系统动力学与生物资源可持续利用”等研究,从整个生态系统的角度开展了系统的海上观测、过程研究和模式方面的工作,开创了我国海洋生态系统动力学研究的新局面。近年来在过程及模型研究中,高会旺略去物理因素作用,采用零维NPZD生物模型对渤海初级生产力年循环进行了分析与模拟,并对影响渤海初级生产力的几个

理化因子进行了探讨；俞光耀等（1999）采用箱式模型对胶州湾浮游生态系统的物流动态特征及季节变化进行了模拟；崔茂常等（2001）采用物理与生物耦合模型，考虑浮游植物、浮游动物、贝类等9个生物化学参量，对胶州湾生态系统进行了研究，指出微食物环在胶州湾生态系中起着重要作用；张书文等（2000）采用简单物理与生物耦合模式模拟了黄海冷水域叶绿素和营养盐的年变化；刘桂梅等（2001）发现黄海春、秋季浮游动物中华哲水蚤通常位于锋区等。

近年来我国在生态动力学模型研究中，吴增茂与俞光耀、崔茂常、魏皓、刘桂梅、乔方利等（2003）分别采用不同的模型对不同海域进行了研究。翟雪梅和张志南（2003）开发了生态建模软件，比较成功地模拟了养虾池的生态演变过程；吴增茂与俞光耀等（2000）对胶州湾水体中营养盐、浮游植物、浮游动物、DO、POC、DOC等的周年变化做了较好的模拟再现；崔茂常等（2000）对中国东海中心区域的简单的生态模型，模拟了包括浮游植物、浮游动物、自养和异养细菌、硝酸和DOC在内各组分垂直分布的季节特征，这些研究开创了我国海洋生态系统动力学研究的新局面，也促进了我国海洋生态系统动力学研究。

李月辉等（1998）对内蒙科尔沁左翼后旗的土地承载力进行的研究；徐琪、刘逸农等对开县土地承载能力进行的研究；陈传美等（2003）对郑州市土地承载力研究；崔凤军（2004）“城市水环境承载力及其实证研究”；贾嵘（2005）“区域水资源承载力研究”；李利娟等（2005）“柴达木盆地水资源承载力研究”；“柴达木盆地水资源承载方案系统分析”；齐文虎（2006）“资源承载力计算的系统动力学模型”；唐国平等（2007）“人口容量理论与量化方法研究进展”；毛汉英、余丹林（2000）“环渤海地区区域承载力研究”等。这些研究都采用的是系统动力学方法，这为本项目的研究提供了实证依据并使其成为可能。

2.2 承载力研究方法进展

2.2.1 国外研究进展

国外对于环境承载力的研究相对较早，早期的环境承载力研究首先与生态学的发展相关，1921年帕克和伯吉斯就在有关的人类生态学杂志中提出了承载力的概念，即“某一特定环境条件下（主要指生存空间、营养物质、阳光等生态因子的组合）某种个体存在数量的最高极限”。世界自然保护联盟、联合国环境规划署、世界野生生物基金会（1991）在共同发表的《保护地球——可持续生存战略》一书中，对承载力的概念进行了描述：“地球或任何一个生态系统所能承受的最大限度的影响就是其承载力。人力对这种承载力可以借助于技术而增大，但往往是以减少生物多样性或生态功能作为代价的，然而在任何情况下，也不可能将其无限增大。”Peterson（1987）应用随机景观模型研究了林火干扰对美国佛罗里达州北部森林生态系统的影响，发现林火发生的频度和空间分布对森林生态系统的状态具有重要影响；Ludwig等（1990）运用数学模型研究了病虫害干扰对北方针叶林生态系统影响；Walker（1984）对社会生态系统的生态承