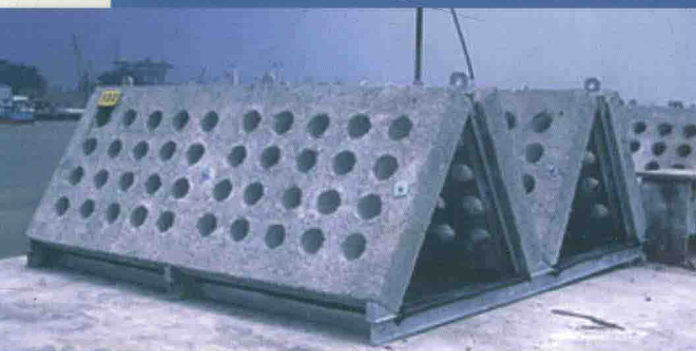


人工鱼礁

效果评价理论与方法

Rengong Yujiao Xiaoguo Pingjia Lilun yu Fangfa

尹增强 著



 中国农业出版社

辽宁省科技厅重大项目“辽宁近海鱼类资源养护型海洋
牧场建设技术研究与示范”资助

人工鱼礁

效果评价理论与方法

尹增强 著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

人工鱼礁效果评价理论与方法 / 尹增强著. —北京:
中国农业出版社, 2016. 7

ISBN 978-7-109-21926-7

I. ①人… II. ①尹… III. ①鱼礁—人工方式—效果
—评价—研究 IV. ①S953.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 160769 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

责任编辑 刘明昌

北京万友印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2016 年 7 月第 1 版 2016 年 7 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 14.75

字数: 270 千字

定价: 38.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

前 言

20 世纪 70 年代中期以来,海洋渔业资源特别是近海渔业资源由于过度捕捞、填海造地与海洋工程等原因,导致渔业资源密度下降、生物栖息地破坏。为了稳定近海渔业捕捞产量和修复鱼类传统渔场,日本在 20 世纪 70 年代开始有计划地开展人工鱼礁建设,以修复与开发浅海渔场,同时也加强了鱼礁环境功能与集鱼效果的研究。进入 90 年代为了加强 200 海里专属经济区管理,满足国民对水产蛋白质的需求,修复改善近海海洋生态环境,高效利用管辖海域,在农林水产省的指导下,沿岸渔业振兴开发协会制定了《人工鱼礁渔场建设计划指针》,对鱼礁渔场的作用、建造、效果调查和渔场利用与管理进行了规范。美国、欧洲、韩国等也开展了适应本国海域环境特点、资源生产需求的海洋牧场建设与研究,人工鱼礁作为海洋牧场载体,成为重要组成部分。例如美国在南加利福尼亚沿岸,投放大石块礁使得巨藻孢子易于附着,从而通过修复巨藻藻场来增殖当地美洲龙虾资源;在马里兰的切萨皮克湾,投放藻礁,增殖当地牡蛎资源。为科学调查和评价人工鱼礁,美国的 Seaman 博士归纳总结了天然礁区和海域的环境资源的调查评价方法,编制成《人工鱼礁评估——基于海洋天然栖息地评价程序》,不仅为人工鱼礁海域资源调查与评价提供了重要参考,而且对当地后续人工鱼礁建设具有指导意义。

中国大陆鱼礁建设从 1979 年开始,在广东、广西、辽宁、山东、河北、江苏、浙江和福建 8 个省、自治区的 23 个县投放各类鱼礁约 8 586 个,总规模 84 870 空 m^3 。因资金所限,鱼礁投放数量和规模较小,20 世纪 90 年代鱼礁建设停滞。进入 21

世纪以来,中国政府根据渔业资源衰退、近海生态环境恶化的形势,开展了大规模的鱼礁建设。鱼礁建设效果如何?如何科学地评价鱼礁效果?鱼礁效果评价依据、方法和标准又如何确定?这些是当前鱼礁建设急需解决的问题,它对于渔业行政主管部门准确掌握当前鱼礁建设效果,以指导后续鱼礁建设具有重要的理论和现实意义。本书围绕上述问题,对鱼礁效果评价的基础理论进行了较深入探讨,并运用鱼礁效果评价理论对浙江嵊泗鱼礁效果进行了评估,建立了鱼礁效果评价指标体系和评价标准。应该认识到,全面深入的解析鱼礁效果是一个很复杂、很困难的问题,需要数学、物理、化学、工程学、生物学、海洋学等各学科的综合应用。近年来国内学者根据鱼礁现场调查资料解析了当地鱼礁的建设效果,并取得了一定进展。希望本书能起到抛砖引玉之作用,以促进我国人工鱼礁的科学有序建设。

本书共分五章,从理论与方法到实证研究讲述人工鱼礁效果评价。

第一章为绪论,对研究背景和国内外有关鱼礁生态效果、经济效益、社会效益和调查方法的研究现状以及存在问题进行分析,对本研究的主要内容和研究体系作简要介绍。

第二章为人工鱼礁效果评价的基本理论,阐释鱼礁的定义、建设目标、种类和作用;分析鱼礁生态效果产生的机理,并根据产生机理,探讨鱼礁生态效果评价的基本理论和方法;解析鱼礁经济效益的评价内容、评价参数和评价指标及其计算方法等;分析和探讨社会效益评价的理论基础和方法。

第三章为人工鱼礁效果评价体系的研究,根据作者几年来对鱼礁综合评价的应用和理解,通过查阅文献、结合现场调查与社会调研资料,形成人工鱼礁生态、经济和社会效果评价指标体系,并确定出本书选定的鱼礁效果评价指标的评价标准和评价方法;运用 AHP 法确定了生态效果和社会经济效益评价指

标的权重。

第四章为人工鱼礁效果评价理论与方法的实证研究。包括浙江嵊泗人工鱼礁效果评析和人工鱼礁效果评价体系应用实例两部分。第一部分根据浙江嵊泗人工鱼礁拖网调查数据分析鱼礁对鱼礁区优势种鱼类个体生长、渔业资源生态容纳量、群落生物多样性、生态系统结构有序度的影响；根据浙社会调研数据和潜水资料，运用工程经济学方法评估嵊泗鱼礁项目的经济效益，计算鱼礁工程的环境改善价值（包括游憩价值、CO₂ 固定的价值、制氧价值、水质净化价值和消减风暴潮价值等）。第二部分根据东海区两个鱼礁项目效果监测数据，运用鱼礁效果评价指标体系对其生态、经济和社会效果进行评价。

第五章为总结，对研究结论进行概括总结，对存在的不足和尚需深入研究的问题进行探讨。

由于作者水平所限，时间仓促，错误与不妥之处在所难免，请各位专家同仁批评指正。

本书得到辽宁省科技厅重大项目“辽宁近海鱼类资源养护型海洋牧场建设技术研究与示范”的大力资助，在此表示衷心感谢。

尹增强

2016年3月16日

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 过度捕捞	1
1.1.2 环境污染	3
1.1.3 生物栖息环境退化	3
1.1.4 人工鱼礁的大规模建设	5
1.2 国内外人工鱼礁效果评价的研究进展	7
1.2.1 生态效果	7
1.2.2 经济效果	12
1.2.3 社会效果	13
1.2.4 鱼礁效果调查方法	14
1.2.5 存在的问题	17
1.3 研究内容及技术路线	18
第二章 人工鱼礁效果评价的基本理论	21
2.1 人工鱼礁的概念、作用、种类和建设目标	21
2.1.1 人工鱼礁的概念	21
2.1.2 人工鱼礁的作用	22
2.1.3 人工鱼礁的种类	23
2.1.4 人工鱼礁的建设目标	28
2.2 人工鱼礁生态效果评价的基本理论	31
2.2.1 人工鱼礁生态效果产生机制	31
2.2.2 人工鱼礁生态效果评价的基本理论	45

2.3 人工鱼礁社会经济效果评价理论与方法	66
2.3.1 人工鱼礁的经济效益	66
2.3.2 人工鱼礁的社会效益	77
2.4 小结	87
第三章 人工鱼礁效果评价体系的研究	90
3.1 评价指标体系构建的基本理论	91
3.1.1 评价的概念	91
3.1.2 评价指标	92
3.1.3 评价指标体系建立的基本原则	93
3.1.4 评价指标体系的建立方法	94
3.1.5 评价指标权重的确定方法	97
3.2 人工鱼礁效果评价指标体系框架	99
3.2.1 生态效果评价指标体系	100
3.2.2 经济效果评价指标体系	102
3.2.3 社会效果评价指标体系	103
3.3 人工鱼礁效果评价指标的含义、测度与评价标准	104
3.3.1 生态效果评价指标的含义、测度与评价标准	104
3.3.2 经济效果评价指标的含义、测度与评价标准	115
3.3.3 社会效果评价指标的含义、测度与评价标准	120
3.4 人工鱼礁效果评价体系指标权重的确定	127
3.5 小结	130
第四章 人工鱼礁效果评价理论与方法的实证研究	131
4.1 浙江嵊泗鱼礁生态效果评析	131
4.1.1 浙江嵊泗人工鱼礁生态效果评价	132
4.1.2 浙江嵊泗人工鱼礁社会经济效果评估	162
4.2 人工鱼礁效果评价体系应用实例	179
4.2.1 材料与方法	180
4.2.2 结果与分析	182
4.2.3 讨论	182
4.3 小结	183

第五章 总结	186
5.1 主要结论	186
5.1.1 人工鱼礁效果评价的基本理论	186
5.1.2 人工鱼礁效果评价体系	188
5.1.3 人工鱼礁效果评价理论与方法实证分析	189
5.2 有待进一步开展的研究	191
附录	192
附录 1 遗传算法的 MATLAB 程序	192
附录 2	201
附表 1 东海区主要经济种类体长体重关系式	201
附表 2 嵎泗鱼礁项目可行性报告的净现金流量表	203
附录 3 人工鱼礁效果评价体系指标权重确定的判断矩阵	204
参考文献	207
后记	225

第一章 绪 论

1.1 研究背景

人类社会的发展历史从某种程度上说是人类认识自然、改造自然、顺应自然与自然协调发展进化的历史。人类社会历经渔猎文明、农业文明、工业文明再到当前的生态文明。人类社会如何发展？选择什么样的模式发展？一直是困惑人类的重大问题。从对大自然的敬畏而顶礼膜拜到对科学技术的自信而“唯我独尊”，从对“人定胜天”的执著到对顺应自然规律与生态环境的和谐相处的认识认知并付诸实施，这是一个艰难的认识、实践、再认识、再实践的过程。随着社会物质生活水平的日益提高，改善生态环境、促进社会经济可持续发展已经逐渐成为衡量一个国家和民族文明进步的重要标志，并已经被世界绝大多数国家所认同。哥本哈根会议协议达成的共识就是一个很好的例证。海洋占地球表面积的70%以上，是人类赖以生存的最重要的生态环境。然而由于过去人类在无休止的开发利用海洋资源时，没有采取有效的保护和修复措施，导致海洋肌体健康遭受到严重威胁。这些威胁主要包括过度捕捞、环境污染、生物栖息环境退化等。

1.1.1 过度捕捞

全球每年从海洋捕获约1亿t海洋经济动植物，这实际上已经对海洋

生态系统产生了强大的冲击。超强度的海洋捕捞压力已经对高营养级海洋鱼类和其他经济动物的生长繁育造成严重影响,致使其种群数量下降,且大多数出现性成熟提前、鱼体规格小型化等资源衰退迹象。例如,我国东海区江苏浙江近海的野生大黄鱼资源已经严重衰退,在某些海域甚至已经绝迹;加拿大东部和英格兰沿海的鳕和黑线鳕,被当地渔民作为重要捕捞对象,已有 200 余年历史,到 20 世纪末几乎已经不能形成渔汛了。最新统计表明,全球大约 25% 的海洋鱼类因过度捕捞导致资源枯竭,25% 正从过度捕捞中逐渐恢复,50% 已被充分开发利用。我国几乎所有沿岸和近海海域的底层、近底层鱼类资源都因捕捞过度而严重衰退,甚至濒临枯竭,底层鱼类产量中 70%~80% 由幼鱼组成。我国大部分传统渔业对象也因过度捕捞已经形不成渔汛,并且有些渔业种类(如大黄鱼、墨鱼等)产量大幅度下降甚至枯竭;有些种类(带鱼、小黄鱼等)即使维持较高产量,但是也出现了个体小型化、性成熟年龄提前现象。与此同时,渔业对象逐渐转向营养级次较低的、个体较小的种类(原来它们是传统渔业对象的饵料生物),我国的黄海与东海在 20 世纪 50—60 年代是以大黄鱼、小黄鱼和带鱼等高营养价值的底层鱼类为主,70 年代以太平洋鲱鱼、蓝点马鲛和鲈鱼等中上层鱼类为主,至 80 年代和 90 年代则转变为以鳀鱼和黄鲫等小型中上层鱼类为主。由于鳀鱼和黄鲫等小型中上层鱼类所处营养级很低,因此根据生态效率原理可知生物量大大高于以大小黄鱼等高营养级的底层鱼类为主的生物群落的生物量是必然的。但是由于超强度的捕捞目前鳀鱼资源也已充分利用并出现衰退迹象,而另一种低营养级的小型鱼类——玉筋鱼资源量和捕捞量明显增加。我国近半个多世纪以来,由于过度捕捞,致使捕捞对象频繁更替,这将对黄海和东海渔业生态系统的结构产生重大影响,高营养级海洋生物种类急剧减少甚至绝迹。低营养级生物群落种类组成和数量结构也将因营养关系而产生重大变化。例如称为“鲛鱼食”的鳀鱼在 90 年代产量跃居我国海洋捕捞单鱼种产量首位,这与鲛鱼(即蓝点马鲛)资源的过度利用具有莫大关系。这种捕捞对象更替究竟会带来哪些生态后果,是今后海洋渔业学者共同面临的重大课题之一。人类对海洋渔业生物资源无度利用还导致了珍稀野生物种濒临灭绝。大多数海洋哺乳动物属濒危物种如海豹、海狮、海象、海獭和海牛,有的则已经绝迹,如无齿海牛(*Hydrodamalis gigas*)在 1741 年被人类发现并作为捕捞对象,但在 1768 年就已灭绝,从被发现到灭绝仅仅 27 年。海洋哺乳动物往往是 K

型种群生存策略者,具有生命周期长、个体大、性成熟很晚、产仔量少的特点,因此种群抗干扰能力(如人类捕捞)特别脆弱,一旦种群数量衰退就很难恢复。很多海洋无脊椎动物也被过度采捕。如地中海和加勒比海中约有 15 种海绵动物因过度捕捞而遭到灭顶之灾;珊瑚礁的各种各样漂亮美丽的珊瑚以及法螺等腹足类软体动物均被大量采捕作为观赏商品出售。此外,随着沿海国 200 海里专属经济区制度的逐步实施以及公海渔业管理制度的制定与执行,世界远洋渔业国不得不把海洋捕捞力量逐步回缩至近海水域,这无疑将进一步加大近海渔业资源的捕捞压力。

1.1.2 环境污染

现代工农业的巨大发展使沿海人口剧增,海上石油开采和海水养殖等活动频繁,因利益驱动,工业发展和海上活动无度,造成海水污染和富营养化。部分海域对污染物的负荷已经远远超过海洋的自净能力。据统计 2002 年世界沿海人口达 25 亿,占总人口比例的 41%,全球超过 800 万人口的 33 个大都市中有 21 个与海岸线的距离在 100km 以内。沿海地区人口高度集中,生活废水和污水排放量大。据统计全球每年生活污水和废水排放量约 6 000 亿 t,每年农药用量约 6 000 万 t,化肥用量约 200 亿 t,其中仅约有 1/3 被植物吸收或滞留于土壤中,而 2/3 以上随径流注入海洋。在沿岸和海湾水域,由于污染物的大量积聚使环境大为恶化,造成许多近海生物群落灭绝;在沿岸和海湾水域,有机物污染导致海区富营养化严重,赤潮现象发生频繁,海洋生物大批死亡,造成很多海区下层水体 H_2S 充斥、溶解氧缺乏,使生物无法生存,给海水养殖、海产品质量安全和海洋生态健康均造成了严重影响。据不完全统计,全球每年大约有 2 000 人因食用含有赤潮毒素的海产品而中毒。《中国近岸海域环境质量公报》报告显示,2006 年我国近岸海域一类和二类海水约为 67.7%,三类海水约为 8.0%,四类及以上海水约为 24.3%,其中四类与劣四类水质的严重污染海域面积已达 52 608km²,主要污染物质为无机磷和无机氮。

1.1.3 生物栖息环境退化

底层拖网渔业对海床环境将会造成难以想象的破坏。据沈国英

(2002) 知海底是各种非生物成分、生物成分与生物活动相结合、结构高度复杂的沉积物复合体。海底地形与底质结构构成了适宜特定海洋生物群落生存的海洋环境, 环境与生物的相互依存关系对于海洋生物物种多样性和海洋底质结构和过程复杂性的维持具有重要意义。海洋生物在生活史的不同阶段对栖息地的依赖程度有所不同。在幼体时期对栖息地的依赖性最大(在栖息地觅食和躲避敌害), 而成体可以在此觅食和进行繁殖活动。底拖网捕捞方式已经严重改变了渔业生物栖息地的物理结构、形态以及生物生存条件, 大大降低了底质结构的异质性, 底质环境中物理与生源结构的细微改变, 都将会对生物物种多样性产生难以想象的负面作用。底拖网捕捞方式对各种不同底质的栖息地都会产生急性和累积性的破坏作用。资料表明, 底拖网对底质影响的恢复对于柳珊瑚和软珊瑚群落来说最少需要 10~15 年。拖网类作业还会使底泥和其中的污染物浮起, 造成水体二次污染。此外被誉为“蓝色沙漠中的绿洲”和“海洋中的热带雨林”的珊瑚礁生境丧失相当严重, 珊瑚礁分布面积从 20 世纪 60 年代至今已减少了约 80%, 生物物种多样性明显下降。

针对上述问题, 为修复海洋渔业生态环境、改变渔业资源的衰退趋势。世界各国政府采取了诸如控制网目尺寸、设置禁渔区和禁渔期、限制底拖网、减少近海作业渔船、实施总允许渔获量制度(TAC 制度)、鼓励远洋渔业生产等措施, 对恢复和养护近海渔业资源起到了一定作用, 但均不能彻底解决近海栖息地退化和捕捞强度过大等造成的传统高质渔业资源衰退的问题。因此世界各国渔业管理部门、科学家和渔业生产者都在思考采用什么样的模式开发利用海洋渔业资源才能达到既不损害海洋生态健康, 又能满足人类社会经济发展的需要的目的。曾呈奎、邓景耀、徐恭昭等海洋生物学专家认为海洋生产力有极大的可塑性。如果在海洋开展如陆地种植蔬菜和水果、栽培粮食作物和饲养家禽家畜以及放牧牛羊那样的农业化和牧业化生产方式就可最大限度地利用海洋渔业生态系统以满足人们日益增长的水产动物蛋白质的需求。这种模式就是当前海洋渔业专家和学者倡导的海洋牧场。海洋牧场是一种新型的海洋渔业增养殖系统。即在某一海域内, 通过建设适应渔业资源生态特点的人工栖息场和采用移植放流与增殖放流的方法, 将生物种苗经过人工驯化或中间育成后放流入海, 利用海域天然生产力并进行微量投饵育成, 同时采用先进的鱼群控制技术与环境监控手段对其进行科学管理, 使渔业资源量增大, 有计划且高效率的

进行渔获的半人工调控的渔业生态增养殖系统。因此海洋牧场作为一项系统工程包括海洋生物栖息地改造、生物资源增殖、动物行为控制和生物资源回捕等方面。栖息地改造是海洋牧场工程的重要组成部分。人工鱼礁则是海洋生物栖息地改造的重要手段。

1.1.4 人工鱼礁的大规模建设

人工鱼礁建设作为修复改善海洋生态环境、增殖保护渔业资源的有效手段,在世界大多数沿海国家展开,并进行了较深入的研究。目前,全球已有 50 多个国家和地区建设人工鱼礁。日本共建设人工鱼礁约 7 000 多座(截至 2000 年),建设资金超过 12 008 亿日元(折合人民币 380 亿元);韩国政府建成礁区 1 200 座(截至 2001 年),投放礁体 700 万 m^3 ,面积 14 万公顷,共投资约 5 500 亿韩元(折合人民币约 40 亿元);美国近 20 年来共投放约 500 多座人工鱼礁(包括海洋平台的水下导管架制作的人工鱼礁、退役军舰等),每处礁群面积达几十公顷;20 世纪 80—90 年代,欧洲各国人工鱼礁建设迅速,英国、法国、西班牙、意大利、希腊、葡萄牙、马耳他、波兰、以色列、荷兰、芬兰、土耳其、挪威、罗马尼亚、俄罗斯、乌克兰和摩纳哥等都开展了人工鱼礁建设;澳大利亚已建成人工鱼礁 72 座;中国台湾省在 1974 年就开始人工鱼礁建设,截至 2004 年,投放礁体 18 万多个,建成礁区 85 处,投入约 13 亿元新台币,如今整个台湾岛沿岸均设置了人工鱼礁区;中国香港截至 2005 年,已投放各类人工鱼礁礁体 637 个,投放规模约 16.563 万 m^3 。

中国大陆鱼礁建设从 1979 年开始,在广东、广西、辽宁、山东、河北、江苏、浙江和福建 8 个省、自治区的 23 个县投放各类鱼礁约 8 586 个,总规模 84 870 空 m^3 。农牧渔业部于 1987 年组织专家对人工鱼礁进行考察,通过试捕发现各鱼礁点均取得明显的效果。因资金所限,鱼礁投放数量和规模较小,20 世纪 90 年代建礁工作停止。进入 21 世纪以来,由于近海生态环境恶化和渔业资源严重衰退,我国沿海掀起了人工鱼礁建设高潮。广东省在 2002—2008 年投放混凝土礁体 19 818 个,报废渔船 88 艘,总规模 90.97 万空 m^3 ,建成鱼礁区 10 座。江苏省在 2003 年于海州湾中部海域投放了船礁 30 艘,钢筋混凝土礁体 1 000 个,总规模 1.353 万空 m^3 。浙江省在 2001—2006 年投放各类鱼礁 44.6 万空 m^3 。山东省在

2002—2005 年共投放石块 145 万 m^3 , 报废渔船 890 艘, 混凝土构件 30 543 个, 废旧车体 421 辆。我国人工鱼礁建设方兴未艾。根据《中国水生生物资源养护行动纲要》要求和各地规划, 在“十二五”乃至更长时期内, 中国鱼礁建设总规模将超过 1 500 万空 m^3 。广东省海洋与渔业局制定了《广东省沿海人工鱼礁建设总体规划》, 据《规划》要求在 2012 年前省政府将投资 8 亿元建设 100 座人工鱼礁, 共设立 12 个人工鱼礁区, 其中包括开发休闲渔业的“开放型”人工鱼礁 50 座, 禁止开发利用的“生态公益型”人工鱼礁 26 座, 限制性开发利用的“准生态公益型”人工鱼礁 24 座。2003 年浙江省编制完成《浙江省人工鱼礁建设布局规划》和《浙江省人工鱼礁建设操作规程》。根据《规划》要求浙江省计划在未来 5 年内投资 1.8 亿元, 在自然保护区海域范围内投放各种材质和各种类型的人工鱼礁约 68.8×10^4 空 m^3 , 形成 3 000~8 000 m^3 的人工鱼礁渔场 56 个。此外浙江省特别重视发展休闲生态型鱼礁, 制定了《浙江省休闲生态型人工鱼礁建设布局规划 (2003—2020)》。该规划的总体目标是: 2003—2020 年, 总投资为 4.5 亿元, 于沿岸岛礁附近建设以休闲、游钓为特色的休闲生态型人工鱼礁群 15~18 座, 每座鱼礁群设置单位鱼礁 20 个, 总投放礁体 200×10^4 空 m^3 。广西规划在 2003—2010 年, 沿海建设 4 个游钓鱼礁区、5 个大型生态保护型鱼礁区和 1 个牡蛎增殖鱼礁区, 投放礁体总量为 $200 \times 10^4 \text{m}^3$, 总投资 4 亿元。江苏省连云港海州湾人工鱼礁工程计划利用 10 年左右时间, 修建人工礁体 30 000 m^3 , 人工放流鱼苗和贝类、海参、鲍鱼等海珍品, 建成江苏最大的海上牧场。

当前鱼礁的建设效果如何? 今后如何高效有序地建设鱼礁? 这是鱼礁建设单位、鱼礁监管部门和渔业生产者共同关注的课题。要解决上述问题, 就需要对鱼礁的建设效果进行科学准确的定量评价。如何科学有效地评价鱼礁效果? 鱼礁效果评价依据、方法和标准又如何确定? 如何建立鱼礁效果评价指标体系以能全面客观地反映鱼礁建设效果? 这是当前鱼礁建设急需解决的问题。国外比较发达的人工鱼礁建设国家已经和正在开展人工鱼礁效果评价工作。例如日本为了适应业已建立的 200 海里专属经济区海洋新秩序, 满足国民对水产蛋白质的需求, 降低水产品进口量, 修复改善近海海洋生态环境, 高效利用周边海域, 在农林水产省的指导下, 沿岸渔业振兴开发协会制定了《人工鱼礁渔场建设计划指南》, 对鱼礁渔场的

作用、建造、效果调查和渔场利用与管理进行了讲解。美国的 Seaman 博士归纳总结了天然礁区和海域的环境资源的调查评价方法,编制成《人工鱼礁评估——基于海洋天然栖息地评价程序》。进入 21 世纪以来,中国政府根据渔业资源衰退、近海生态环境恶化的形势,开展了大规模的鱼礁建设。因此国家渔业行政主管部门急需掌握当前鱼礁的建设效果。因此需要建立一套适合中国渔业水域状况的鱼礁效果评价方法和评价标准,这样就可以通过建立鱼礁效果评价方法和评价标准比较建成的鱼礁项目的建设效果优劣,从而寻找总结优秀鱼礁项目的建设经验、查找吸取建设效果不佳的鱼礁项目的不足,对指导后续鱼礁建设将具有现实意义。

1.2 国内外人工鱼礁效果评价的研究进展

人工鱼礁效果包括生态效果、经济效果和社会效果 3 个方面。生态效果主要体现在环境改善效果(包括流场效应、水质和底质改变效应、饵料效应以及庇护效应等效果)和对鱼类等大型动物增殖保护效果等。各种效果的调查研究方法有所不同。

1.2.1 生态效果

1.2.1.1 流场与庇护所效果

鱼礁投放在海底,改变了海水流态。由于礁体的形状和大小不同,鱼礁设置处的本底流场也因地而异,因此人工鱼礁产生地流态也非常复杂,一般鱼礁的前侧会产生上升流、滞流和紊流,后侧会产生涡流。最主要的是后侧涡流,因为它的影响范围大,并且背面会产生负压区,海底泥沙和大量漂浮物(如海藻等)都会在此区停滞,吸引鱼类,此外涡流会产生低频振荡,诱集鱼类。其次是上升流,把海底的营养盐翻起和扩散。佐藤修(1984)通过实验测定了鱼礁单体在流速为 $18\sim 20\text{cm/s}$ 时,阴影长度为鱼礁单边长度的 $1.1\sim 2.7$ 倍。黑木(1964)在回流水槽中观测了四角形鱼礁和圆筒形鱼礁模型周围流场的变化。影山等(1982)、佐久田等(1981)也实验研究了鱼礁模型的流场情况。Fujihara 等(1997)开辟了

用数值计算研究鱼礁流场的先河,他将数值计算方法用于分析鱼礁设置后定常层流水域的流场变化。刘同渝等(2003)针对半球形、梯形、堆叠式和三角锥体鱼礁模型做了风洞和水槽实验,实验结果表明鱼礁两侧形成缓流区,缓流区范围约为礁体的 $1/3$;鱼礁背部形成涡流区,涡流区范围可达礁体长度的 $2\sim 3$ 倍,靠近鱼礁处涡流强度大,渐远渐弱,礁体正面形成上升流。虞聪达等(2004)把人工船礁优化组合方式及其水动力学特征作为主要研究对象,采用数值方法分析了人工船礁的不同组合及规模对形成背涡流与上升流的效果、促进海水垂直混合与交换的影响,并在此基础上构建了人工船礁铺设方式的优选模式。张硕(2006)通过水槽模型和数值模型实验对人工鱼礁的流场效应中上升流、背涡流的规模进行了分析研究。Brock 与 Norris (1987)对放置于热带水域的 4 种类型鱼礁进行跟踪调查,这 4 种鱼礁大小相似,材料和结构不同,通过观测确定每种礁型的鱼类的密度、群体结构和现存量的估计值,来确定各种鱼礁的集鱼效果,通过现场调查比较得出 42 开口结构的混凝土立方体礁体不仅具有在强流场环境中预期寿命长、稳定性高的特点,而且也取得了令人瞩目的增殖效应(例如平均现存量、鱼体平均体长、各生物种类的平均数量均比其他 3 种鱼礁效果要好),另外它也为鱼类提供了最大的庇护空间。Kurtisl (1995)所在的海洋渔业人工鱼礁项目北卡罗来纳州分部,1990 年和 1991 年在北卡罗来纳州 Onslow 湾,调查测试了 3 种类型海底人工鱼礁礁体(包括钢制立方体礁、表层玻璃纤维的塑料穹形礁和混凝土管状礁)。定量比较了 3 种人工鱼礁的稳定性、耐久性、目标鱼的诱集能力和单位区域成本 4 个方面。结果表明在浅水区域 ($<15\text{m}$) 立方体礁和穹形(圆屋顶形)礁比较稳定,在深水区域 ($\geq 15\text{m}$) 管状礁和穹形礁比较稳定,立方体礁不稳定;管状礁和穹形礁耐久性较高;三种人工鱼礁区的目标鱼类的相对丰度和种类丰富度基本相似。其中小鳞喙鲈 (*Mycteroperca microlepis*) 的相对丰度在管状和穹形礁间存在显著差异 ($P=0.0001$),在管状和立方体礁间存在显著差异 ($P=0.0087$)。管状礁区的美洲黑石斑 (*Centropristis striata*) 相对丰度在年间显著差异 ($P=0.023$),即第 2 年显著下降,可能是由于高捕捞死亡率造成的。3 种材料的单位海域的成本为管状礁 15.97 美元/ m^2 ,立方体礁 32.07 美元/ m^2 ,穹形礁 30.13 美元/ m^2 。以上费用包括到北卡罗来纳州 Morehead 城的运输费,以及所有配套费和投放费。基于目标鱼种诱集、鱼礁稳定性和耐久