

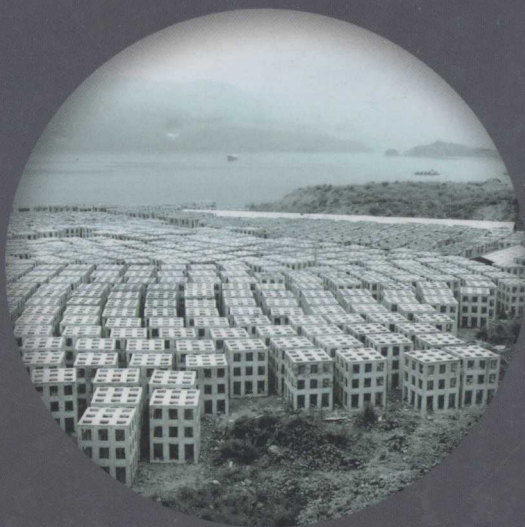


人工鱼礁

关键技术与示范

RENGONG YUJIAO
GUANJIAN JISHU YANJIU YU SHIFAN

贾晓平 陈丕茂 唐振朝 等著
蔡文贵 李纯厚 秦传新



 海洋出版社

人工鱼礁关键技术与示范

贾晓平 陈丕茂 唐振朝 等著
蔡文贵 李纯厚 秦传新

海洋出版社

2011年·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

人工鱼礁关键技术与示范/贾晓平等著. —北京: 海洋出版社, 2011. 7
ISBN 978 - 7 - 5027 - 8051 - 7

I. ①人… II. ①贾… III. ①鱼礁 - 人工方式 - 研究 - 中国 IV. ①S953. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 123018 号

责任编辑: 唱学静

责任印制: 刘志恒

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

北京盛兰兄弟印刷装订有限公司印刷 新华书店发行所经销

2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷

开本: 210mm × 285mm 1/16 印张: 22.375

字数: 573 千字 定价: 90.00 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

前 言

当前,海洋生态环境不断恶化,海洋生物资源急剧衰退,生物多样性水平持续下降,已成为世界渔业和我国海洋渔业可持续发展的严重障碍。因此,改善海洋生态环境,养护海洋生物资源,保护海洋生物多样性是各国共同面临的重要课题和艰巨任务。人工鱼礁建设在培育和增殖近海渔业资源、修复和优化渔场环境、维护海洋生态系统健康等方面的积极作用和实际效果已在国内外得到一致认可。

近10多年来,我国人工鱼礁建设已进入大规模发展时期,但人工鱼礁建设的相关基础研究还十分薄弱,诸多科学问题和关键技术亟待解决。由于人工鱼礁建设是一个复杂的系统工程,涉及众多学科,因此需要开展系统的科学研究和技术攻关,才能引领我国人工鱼礁建设健康发展。

2006年以来,在国家“十一五”“863”计划现代农业技术领域项目“南海人工鱼礁生态增殖及海域生态调控技术”和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目“人工鱼礁对浅海生态系统结构和功能的效应”的支持下,项目组研究人员紧密围绕我国大规模人工鱼礁建设中亟须解决的关键科学技术问题,重点开展了人工鱼礁工程设计与结构优化技术、人工鱼礁生物附着技术、人工鱼礁鱼类生态诱集技术、人工鱼礁渔业资源增殖与效果评价技术四方面共性技术研究,并在此基础上对人工鱼礁关键技术进行组装集成,初步形成人工鱼礁建设技术体系,成功应用于人工鱼礁生态调控区的建设实践,为我国人工鱼礁科学、合理、高效建设提供了有力的技术支撑,发挥了良好的示范和指导作用。

本书是最近5年来本项目研究的理论和技术成果总结,是我国第一部以自主创新研究成果为基础形成的人工鱼礁专著,是我国现代人工鱼礁科学技术研究进展新的里程碑。本书丰富和充实了我国人工鱼礁和海洋牧场的理论,填补了我国人工鱼礁和海洋牧场技术的多项空白,并针对我国人工鱼礁建设的实际需求,力求物化于礁区建设的实践。我们希望,本书有助于促进我国近海人工鱼礁建设,为我国海洋生态型渔业的持久稳定发展发挥积极作用。

贾晓平

2011年5月于广州

目 录

第一篇 人工鱼礁工程设计与结构优化的研究

1 人工鱼礁工程设计与结构优化的研究概况	(3)
1.1 研究进展概况	(3)
1.1.1 礁体结构与水动力学特性	(3)
1.1.2 礁体结构对附着生物的影响	(4)
1.1.3 礁体结构对诱集效果的影响	(4)
1.1.4 礁体制作材料的选择	(5)
1.2 本研究的主要内容	(5)
2 人工鱼礁抗滑移抗倾覆技术研究	(7)
2.1 材料与方法	(7)
2.1.1 研究内容	(7)
2.1.2 模型试验	(7)
2.1.3 数值计算	(8)
2.2 结果与分析	(9)
2.2.1 水流作用下的礁体试验结果	(9)
2.2.2 波流作用下的礁体试验结果	(14)
2.2.3 大亚湾波浪下的礁体稳定性	(16)
2.2.4 礁体自身重量与投放水深安全范围的研究	(18)
2.2.5 旁扫声纳现场调查验证	(23)
2.2.6 现场潜水调查验证	(27)
2.3 小结	(27)
3 人工鱼礁物理环境功能造成技术研究	(30)
3.1 材料与方法	(30)
3.2 结果与分析	(30)
3.2.1 上升流面积	(30)
3.2.2 背涡流范围	(32)
3.3 小结	(33)
4 礁体(群)配置组合技术研究	(34)
4.1 材料与方法	(34)
4.1.1 数值方法	(34)
4.1.2 边界条件	(35)

4.2	结果与分析	(36)
4.2.1	礁群(区)配置布局技术	(36)
4.2.2	杨梅坑人工鱼礁区水交换特性	(42)
4.3	人工鱼礁生态调控区调控面积计算	(47)
4.3.1	模型1 计算结果与分析	(47)
4.3.2	模型2 计算结果与分析	(49)
4.3.3	模型3 计算结果与分析	(51)
4.4	小结	(52)
5	人工鱼礁工程设计与结构优化技术研究	(53)
5.1	人工鱼礁工程设计与结构优化的要点和准则	(53)
5.1.1	礁体设计、礁群配置及礁区布局的要点	(53)
5.1.2	人工鱼礁工程设计与结构优化的准则	(53)
5.2	工程设计与结构优化实例	(54)
5.2.1	礁体结构设计实例	(54)
5.2.2	礁群配置与礁区布局的设计与优化实例	(55)
5.3	研究成果与技术指标	(55)
5.3.1	抗滑移抗倾覆技术指标	(55)
5.3.2	礁区物理环境功能造成技术指标	(57)
5.3.3	礁体(群)配置组合技术指标	(57)

第二篇 南海人工鱼礁生物附着技术研究

1	人工鱼礁附着生物的研究概况	(61)
1.1	人工鱼礁附着生物的研究概况	(61)
1.2	研究目的、意义和实际应用价值	(62)
1.3	研究展望	(62)
2	不同礁体材料附着生物生态特征及附着效果比较	(66)
2.1	材料与方法	(66)
2.1.1	调查区域	(66)
2.1.2	样品采集和处理	(66)
2.1.3	数据分析	(67)
2.2	结果与分析	(67)
2.2.1	种类组成及季节变化	(67)
2.2.2	群落结构	(67)
2.2.3	栖息密度及季节变化	(70)
2.2.4	生物量及季节变化	(70)
2.2.5	不同栖息水层的种类组成与生物量	(71)

目 录

2.2.6 优势种	(72)
2.2.7 多样性的季节变化	(74)
2.2.8 两种礁体材料生物附着效果比较	(75)
2.3 讨论	(75)
2.3.1 人工鱼礁附着生物种类成分和生物量的季节变化	(75)
2.3.2 附着生物群落种群优势度的季节变化	(75)
2.3.3 附着生物群落多样性的季节变化	(76)
2.4 小结	(76)
3 不同人工挂板材料附着生物生态特征及效果比较	(78)
3.1 材料与方法	(78)
3.1.1 样品采集与数据处理	(78)
3.1.2 分析方法	(79)
3.2 结果分析	(79)
3.2.1 种类组成变化	(79)
3.2.2 栖息密度变化	(80)
3.2.3 生物量变化	(80)
3.2.4 群落多样性变化	(81)
3.2.5 不同挂板材料生物附着效果比较	(82)
3.3 讨论	(82)
3.3.1 材料对附着生物种类组成的影响	(82)
3.3.2 材料对附着生物栖息密度的影响	(82)
3.3.3 材料对附着生物生物量的影响	(83)
3.3.4 材料对附着生物群落多样性的影响	(83)
3.4 小结	(83)
4 理化因子对附着生物分布的影响	(85)
4.1 材料与方法	(85)
4.1.1 样品采集与数据处理	(85)
4.1.2 分析方法	(86)
4.2 结果分析	(86)
4.2.1 附着生物种类分布	(86)
4.2.2 理化指标	(87)
4.2.3 附着生物种群的除趋势对应分析(DCA)	(87)
4.2.4 附着生物与环境因子的典范对应分析(CCA)	(88)
4.2.5 DCA 和 CCA 的比较	(89)
4.3 讨论	(89)
4.3.1 水深与附着生物的关系	(89)

4.3.2	透明度与附着生物的关系	(90)
4.3.3	盐度与附着生物的关系	(90)
4.3.4	温度与附着生物的关系	(90)
5	基于熵值法的人工鱼礁生物附着效应评价模型	(92)
5.1	人工鱼礁评价附着生物群落指标体系的建立	(92)
5.1.1	指标体系框架	(92)
5.1.2	主要评价指标简要分析	(92)
5.2	基于熵值法的人工鱼礁附着生物生态效应评价模型	(93)
5.2.1	熵值法的原理	(93)
5.2.2	应用示例	(94)
5.3	结论	(95)

第三篇 人工鱼礁模型对海洋生物的诱集效果研究

1	国内外研究现状	(99)
1.1	研究背景	(99)
1.2	鱼类行为学研究进展	(99)
1.3	人工鱼礁生态诱集技术的研究进展	(100)
1.3.1	国外人工鱼礁生态诱集技术的研究进展	(100)
1.3.2	我国人工鱼礁生态诱集技术的现状及进展	(101)
1.4	人工鱼礁生态诱集技术面临的问题及发展前景	(101)
1.4.1	人工鱼礁生态诱集技术面临的问题	(101)
1.4.2	人工鱼礁生态诱集技术应用前景	(101)
2	人工鱼礁模型诱集效应的研究方法	(104)
2.1	人工鱼礁模型的类型	(104)
2.2	试验生物种类	(104)
2.3	实验设置与条件	(105)
2.3.1	试验水槽	(105)
2.3.2	观测仪器	(107)
2.3.3	试验条件	(107)
2.4	分析与统计方法	(107)
2.4.1	数据处理	(107)
2.4.2	诱集效果等级划分标准	(107)
3	人工鱼礁生态诱集效应	(109)
3.1	自然光条件下单礁模型的诱集效应	(109)
3.1.1	不同生物种类的诱集效果分析	(109)
3.1.2	结论	(115)

3.2 不同光照条件下单礁模型对花尾胡椒鲷的诱集效应	(116)
3.2.1 试验条件设置	(116)
3.2.2 诱集效果分析	(116)
3.3 多礁组合的诱集效应	(120)
3.3.1 3种双礁组合对花尾胡椒鲷的诱集效应	(120)
3.3.2 4种三礁组合对黄斑蓝子鱼的诱集效应	(121)
3.3.3 4种四礁组合对黄斑蓝子鱼的诱集效应	(122)
3.4 各种礁体模型诱集结果比较	(123)
3.5 主要研究结果	(123)
3.6 未来研究工作展望	(124)

第四篇 南海人工鱼礁渔业资源增殖及效果评价技术研究

1 渔业资源增殖和评价技术研究概况	(127)
1.1 国内外研究进展	(127)
1.2 研究展望	(128)
2 渔业资源增殖放流技术研究	(130)
2.1 增殖放流种类选择和放流规格确定	(130)
2.1.1 增殖放流种类选择原则	(130)
2.1.2 增殖放流种类和放流规格	(130)
2.2 广东近海人工鱼礁区渔业资源现状	(130)
2.2.1 人工鱼礁区渔业资源密度	(130)
2.2.2 人工鱼礁区出现的生物类型	(131)
2.3 广东人工鱼礁区增殖放流种类的选择	(131)
2.3.1 适宜增殖放流的鱼类	(131)
2.3.2 适宜增殖放流的虾类	(136)
2.3.3 适宜增殖放流的蟹类	(137)
2.3.4 适宜增殖放流的贝类	(138)
2.3.5 适宜增殖放流的棘皮动物	(139)
2.3.6 适宜增殖放流的海底植物	(139)
2.4 最适放流数量评估技术研究	(139)
2.4.1 材料与方法	(139)
2.4.2 结果与分析	(140)
2.5 人工放流资源增殖放流评价技术研究	(141)
2.5.1 材料与方法	(141)
2.5.2 结果与分析	(144)
2.5.3 小结	(153)

3 人工鱼礁调控区渔业资源增殖效果评价技术研究	(156)
3.1 渔业资源拖网调查评估技术研究	(156)
3.1.1 材料与方法	(156)
3.1.2 结果与分析	(157)
3.1.3 小结	(158)
3.2 流刺网调查评估技术研究	(158)
3.2.1 材料与方法	(158)
3.2.2 结果与分析	(159)
3.2.3 小结	(160)
3.3 渔业声学评估技术研究	(160)
3.3.1 材料与方法	(161)
3.3.2 结果与分析	(170)
3.3.3 讨论	(180)
3.3.4 小结	(180)
3.4 人工鱼礁区渔业资源卫星遥感评估技术	(181)
3.4.1 材料与方法	(181)
3.4.2 结果与分析	(182)
3.4.3 讨论	(184)
3.4.4 小结	(185)

第五篇 大亚湾人工鱼礁生态调控区构建与示范

1 大亚湾自然环境概况	(191)
1.1 地理位置和地形	(191)
1.2 气候特征	(191)
1.3 海洋水文	(192)
2 深圳大亚湾杨梅坑人工鱼礁生态调控区的构建	(194)
2.1 杨梅坑人工鱼礁生态调控区构建概况	(194)
2.2 杨梅坑人工鱼礁区的礁体类型	(194)
2.3 杨梅坑人工鱼礁生态调控区的礁群类型	(196)
2.4 杨梅坑人工鱼礁生态调控区的整体结构布局	(197)
3 大亚湾杨梅坑人工鱼礁区生态调控效果评价	(198)
3.1 材料与方法	(198)
3.1.1 样品采集与调查站位	(198)
3.1.2 调查采样时间	(198)
3.1.3 样品分析与测定	(199)
3.1.4 统计分析与评价方法	(199)

3.2 海水水文与化学要素状况	(201)
3.2.1 透明度	(201)
3.2.2 DO	(203)
3.2.3 BOD	(204)
3.2.4 COD	(206)
3.2.5 悬浮物	(207)
3.2.6 无机氮	(209)
3.2.7 磷酸盐	(211)
3.3 叶绿素 a 和初级生产力	(212)
3.3.1 叶绿素 a	(212)
3.3.2 初级生产力	(215)
3.4 浮游植物	(217)
3.4.1 种类组成	(217)
3.4.2 主要优势种	(217)
3.4.3 栖息密度	(218)
3.4.4 多样性指数	(220)
3.5 浮游动物	(222)
3.5.1 种类组成	(222)
3.5.2 主要优势种	(223)
3.5.3 平面分布	(223)
3.6 底栖生物	(229)
3.6.1 种类组成	(229)
3.6.2 主要优势种	(230)
3.6.3 平面分布	(231)
3.7 沉积物	(236)
3.8 人工鱼礁区海洋环境质量评价	(236)
3.8.1 水质评价	(236)
3.8.2 饵料生物水平	(239)
3.8.3 人工鱼礁环境调控效果综合评价	(240)
4 大亚湾杨梅坑人工鱼礁区渔业资源增殖效果评价	(242)
4.1 材料与方法	(242)
4.1.1 渔业资源拖网调查方法	(242)
4.1.2 流刺网调查方法	(243)
4.2 渔业生物种类组成	(243)
4.2.1 拖网调查渔获种类组成	(243)
4.2.2 刺网渔获种类组成	(248)

4.3	数量分布	(250)
4.3.1	拖网调查资源密度分布	(250)
4.3.2	刺网调查渔获率分布	(258)
4.4	拖网调查游泳生物优势种和优势度	(262)
4.4.1	本底拖网调查游泳生物优势种和优势度	(262)
4.4.2	第1次拖网跟踪调查游泳生物优势种和优势度	(263)
4.4.3	第2次拖网跟踪调查游泳生物优势种和优势度	(264)
4.4.4	第3次拖网跟踪调查游泳生物优势种和优势度	(265)
4.4.5	第4次拖网跟踪调查游泳生物优势种和优势度	(266)
4.4.6	第5次拖网跟踪调查游泳生物优势种和优势度	(267)
4.4.7	拖网调查游泳生物优势种中的优质经济鱼类分布	(268)
4.5	拖网调查游泳生物多样性指数与均匀度	(269)
4.5.1	拖网调查游泳生物多样性指数	(269)
4.5.2	拖网调查游泳生物均匀度	(269)
4.6	小结	(270)
4.6.1	建礁后渔业资源种类数增加明显	(270)
4.6.2	建礁后渔业资源生物量增加明显	(270)
4.6.3	建礁后优势种中的优质经济鱼类种数及生物量明显增加	(271)
4.6.4	建礁后生物多样性明显优于建礁前	(272)
5	大亚湾杨梅坑人工鱼礁区生态系统服务功能与价值评估	(273)
5.1	深圳市附近海域和杨梅坑礁区概况	(273)
5.2	材料与方法	(274)
5.2.1	主要生态系统服务类型	(274)
5.2.2	服务价值的计算方法	(274)
5.2.3	杨梅坑人工鱼礁区中长期生态系统服务价值预测	(274)
5.3	结果	(278)
5.3.1	深圳市附近海域生态系统服务价值	(278)
5.3.2	杨梅坑人工鱼礁区生态系统服务价值	(281)
5.3.3	杨梅坑人工鱼礁区生态系统服务价值中长期预测	(284)
5.4	讨论	(285)
5.4.1	人工鱼礁生态系统影响并改变了区域海洋生态系统服务价值结构	(285)
5.4.2	人工鱼礁生态系统提高了区域生态系统服务价值	(285)
5.4.3	人工鱼礁生态系统是一个不断的发展演替的生态系统	(287)
5.4.4	生态系统服务功能及价值评价方法可对人工鱼礁区效益进行综合评价	(287)
5.5	小结	(287)
5.5.1	提供了一种人工鱼礁区综合效益评价方法	(287)

目 录

5.5.2	人工鱼礁区构建后提高了礁区及周边海域的生态系统服务价值	(288)
5.5.3	食品供给和休闲渔业服务方式是主要驱动力	(288)
5.5.4	礁区生态系统服务价值变动复合 logistics 方程的上升趋势	(288)
6	人工鱼礁生态调控技术的示范与推广	(291)
6.1	编制人工鱼礁建设和发展规划,推广示范人工鱼礁配套技术	(291)
6.1.1	编制人工鱼礁建设和发展规划	(291)
6.1.2	大力推广示范人工鱼礁配套技术	(291)
6.2	成果转化应用取得了巨大的效益	(291)
6.2.1	课题成果发展了渔业牧场化生产新模式,取得良好的经济效益	(291)
6.2.2	课题成果发挥重要载体和平台作用,取得显著社会效益	(292)
6.2.3	课题成果拓展了海洋生物资源养护的新路子,取得显著的生态效益	(292)
6.3	加大示范力度和辐射强度,进一步推动成果转化应用	(292)
6.4	人工鱼礁生态系统构建技术具有极为广阔的发展应用前景	(293)

附 录

附录 1	杨梅坑人工鱼礁区及其邻近海域浮游植物名录	(297)
附录 2	杨梅坑人工鱼礁区及其邻近海域浮游动物名录	(303)
附录 3	杨梅坑人工鱼礁及其邻近海域附着生物名录	(312)
附录 4	杨梅坑人工鱼礁区及其邻近海域底栖生物名录	(317)
附录 5	杨梅坑人工鱼礁区及其邻近海域拖网调查种类名录	(324)
附录 6	杨梅坑人工鱼礁区及其邻近海域刺网调查种类名录	(338)

第一篇

人工鱼礁工程设计与结构优化的研究

本篇编写人员：唐振朝 贾晓平 陈丕茂
陶 峰 王 宏

1 人工鱼礁工程设计与结构优化的研究概况

1.1 研究进展概况

1.1.1 礁体结构与水动力学特性

自 20 世纪 60 年代开始,国内外学者曾围绕人工鱼礁功能、特性等开展了相关的基础研究和应用技术研究,主要从水动力学、生物学和空间几何学等方面展开。日本从 20 世纪 60 年代开始对人工鱼礁的水动力学特性做过较为系统的研究。佐藤修和影山方郎(1984)设计了对角型、圆筒型、四角型鱼礁模型,通过水槽模型试验定量研究了礁体模型周边流场的变化及影响范围。对鱼礁投放后的流场变化进行研究,得到上升流范围及分布特点。国外学者的研究表明,在鱼礁的阻流作用下,鱼礁下游的流场可根据紊动程度分为 3 个区域:紊流区、过渡区和未受扰动区。通透性礁体与非通透性礁体所产生的紊流区长度比和高度比均不同,通透性礁体的高度比小于 1,长度比小于 4,非通透性礁体的高度比大于 1,长度比可达到 14 (Fujihara et al. 1997)。国内对人工鱼礁水动力数值模拟的研究尤其是定量研究较少。刘同渝(2003)等对梯型、半球型、三角锥体、堆叠式鱼礁模型作了水槽和烟风洞实验,指出人工鱼礁在风浪中的稳定性与所受的波浪力有密切关系,为礁体结构设计提供外力荷载的依据。虞聪达等(2004)对人工鱼礁单体和人工船礁的流场进行模拟计算,结合对鱼礁铺设区域的生态研究,确定评价鱼礁铺设方式的影响因子,用模糊综合评判法建立了评价模式。吴子岳等(2003)对礁体进行安全性校核后,设计了 $2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 的“十”字型混凝土礁体。钟术求等(2006)根据台州大陈海域的波流状况、水深等设计了钢制四方台型礁体,并对此礁体在实际投放海域所受到的最大作用力、抗漂移系数以及抗倾覆系数等进行了计算。田文敏等(1997)发现,礁体出现沉陷或遭到掩埋的主要原因与礁体尺寸和重量、沉积物性质以及海况有密切关系,波浪及海流所造成的沉积物冲刷作用是鱼礁下沉的最主要原因。史红卫等(2006)对正方体人工鱼礁在与来流呈不同角度时的受力状况进行了研究,找出了方型鱼礁的自动模型区域。赵海涛等(2006)结合近年来我国在东南沿海地区进行人工鱼礁投放的初步尝试经验,提出了礁体设计的原则(确保可行性、不同高度的礁体配合投放、良好的透空性、增大礁体的表面积、良好的透水性)和礁体设计过程中应当考虑的几个重要的因素(基底承载力的验算、整体滑移验算、整体倾覆验算、礁体周围局部的冲淤分析)。潘林芝等(2005)对铅直二维定常流中人工鱼礁的流场效应进行了数值试验,得到结论:在鱼礁为实心方体的情况下,在鱼礁迎流面产生上升流、背流面产生涡流;上升流域的规模、强度随着礁高的增大而增大,而上升流面积的平均产量与边际产量随礁高先增后减,在礁高水深比为 0.1 时上升流效应最佳;背涡流域的规模也随着礁高的增大而增大,其面积的平均产量随礁高先增后减,在礁高水深比为 0.1 时达到极值。国外的研究人员从礁体抗倾覆抗滑移的角度进行了礁体投放海域选址及礁体安全重量方面的研究,给出了在一定波浪条件下礁体安全重量与投放水深的关系。人工鱼礁建设中礁区选址及礁体设计

的不合理均会导致礁体出现滑移、翻滚或者沉陷,直接影响礁体的功能及使用年限,还可能造成航道堵塞。国外的调查报告表明,波浪过大的情况下,被放置在5~33 m水深海域的小型鱼礁移动距离可长达1~2 km。

1.1.2 礁体结构对附着生物的影响

人工鱼礁投放后的礁体表面通常会生附着生物,鱼礁周围的底栖生物和浮游生物的种类、数量、分布也发生变化,从而形成礁体特有的生物群落。日本大久保久直等(1980)研究表明,因为附着植物的着生量受水深、透明度、种类等影响,一般情况下,水深较浅的水域较多,且着生量在鱼礁上面和侧面的上部较多;附着动物的着生量,在透明度高、底质较粗和流速较快的水域中较多;附着生物总量在一定时间内逐渐增多,但鱼礁单体内部和附近区域内附着动物种类和个体数有减少的倾向;鱼礁内部和后方聚集着许多浮游动物,其中桡足类主要分布在礁后,糠虾类则多分布在礁内部;桡足类在流速快时,集中于礁后流影处,流速慢时活跃在礁后方,因此在礁体设计的过程中应当充分考虑礁体的复杂性,也应当考虑礁体的形状所引起的水流改变。

附着生物是人工鱼礁最主要的生物环境因子,又是人工鱼礁渔业对象的主要饵料生物,不管是哪种建筑材料,包括水泥、钢铁、煤渣、混凝土等所构成的人工鱼礁,下水后都将附着生物群落,因此附着物对礁体形状设计的影响可以说是不明显的或是间接的。对礁体形状设计影响较大的还是鱼类的行为。

1.1.3 礁体结构对诱集效果的影响

日本学者(小川良德和竹村嘉夫,1966;小川良德,1968;岗本峰雄等,1979;增沢寿,1974)通过鱼探仪对底层鱼类在礁区的昼夜活动规律进行了研究;通过水下摄像和潜水方式,对斑鳍光鳃鱼、黑鳃梅童鱼、真鲷和牙鲆等鱼类在人工鱼礁中的行为特性进行了细致观察。得出不同构造和形状的鱼礁其诱集的鱼类也不同,形成小空间的鱼礁中小型鱼类较多,而真鲷却在多个小型鱼礁单体排列而成的鱼礁群中数量较多。鱼礁的构造越复杂,其诱集鱼类的种数和生物量越多。此外,鱼类所喜欢的鱼礁构造还会随着种类不同和生长阶段的不同而变化。因此在设计鱼礁的过程中应当使鱼礁的结构复杂多变,或是使礁体内部的结构复杂一点,不能单一地使用一种礁型或是形状简单的礁体。Spieler等(2001)研究了礁体结构复杂性与鱼类数量和物种多样性的关系。

我国学者也对不同结构的模型礁对鱼类的诱集效果进行了比较,陈勇等(2002;2006)通过对不同结构模型礁对许氏平鲈幼鱼的诱集效果的研究和对模型礁对幼鲍、幼海胆行为的影响的两项研究表明:许氏平鲈、幼鲍、幼海胆对不同模型礁均表现出明显的趋集反应;吴静等(2004)研究了牙鲆对不同结构模型礁的行为反应;何大仁和丁云(1995),何大仁和施养明(1995)曾研究了鱼礁模型对黑鲷和赤点石斑鱼的诱集效果。另外,对于物理与生物环境的关系也有相关的报道。有研究表明礁体和主流流(优势流)的相互作用往往在礁体下游形成一个充满旋涡的背涡流区。当礁体厚度或宽度与鱼礁周围流速的乘积超过 $100\text{ cm}^2/\text{s}$ 时,旋涡将从礁体上脱落,某些鱼类将被吸引到礁后的背涡流区中,背涡流区又可观察到明显的底质和营养盐的沉积。礁体高度为水深的10%时,紊流范围即可达到水柱的80%~100%。弄清海域的优势流以后,就能设计一定的礁体以产生预期尺度的背涡流区。另外,背涡流区外的高紊流区还能吸引其他的趋流性鱼种来栖息。