

中国水产学会团体标准

《区域性人工鱼礁建设容量评估及布局规划技术规范》

编制说明

中国水产科学研究院南海水产研究所

二〇一九年十二月

团体标准

《区域性人工鱼礁建设容量评估及布局规划技术规范》编制说明

一、制定本标准的工作过程

1、任务来源

根据《中国水生生物资源养护行动纲要》及沿海各地规划，“十二五”及往后，我国仍将继续进行较大规模的人工鱼礁建设。为保障我国当前和以后的大规模人工鱼礁建设系统、科学、规范地进行，需要控制人工鱼礁的建设成本以避免盲目投入，科学设置人工鱼礁以保障建设效果最大化，实现人工鱼礁最优建设目标即“生物诱集效应最佳、流场造成效果最好、建礁成本比率最低”，以进一步实现区域内海洋牧场规模化可持续发展，这就要求制定布局及人工鱼礁建设容量评估技术的相关标准。2019年，根据《中国水产学会关于下达2019年第一批团体标准项目计划的通知》（农渔学〔2019〕9号，计划号：4），中国水产学会委托中国水产科学研究院南海水产研究负责起草《区域性人工鱼礁建设容量评估及布局规划技术规范》行业标准。

2、工作简介

《区域性人工鱼礁建设容量评估及布局规划技术规范》任务下达后，标准承担单位中国水产科学研究院南海水产研究所成立了专门的标准起草小组，明确标准制定的基本框架、工作内容、技术路线等，并对起草小组人员进行任务分工。为使本标准科学、规范、务实、易行，标准起草小组先后走访了各省市相关人工鱼礁建设和管理单位、水产科研机构、大专院校以及相关渔业行政主管部门等，收集、整理了大量理论和技术资料。在取得大量翔实资料的基础上，起草小组根据标准化工作导则 GB/T 1.1-2009 的规定进行编写，完成征求意见稿，于2019年11月提交给中国水产学会，经审核同意向？家有关单位和专家征求意见和建议，并在2020年？月完成了专家意见的收集和整理，根据专家意见进行了修改，于2020年？月通过中国水产学会初审，形成送审稿，并将相关材料送交农业农村部渔业局，按照农业农村部渔业局的安排，2020年？月在？召开标准的审定会议，本标准通过评审。根据审定会议意见进一步修改完善，形成报批稿。

3、基础资料分析和补充调研

起草小组对收集的人工鱼礁建设容量评估和布局技术的相关材料进行了系统的分析，对已经建成的人工鱼礁进行了现场调研，根据有关国家级、省级、市县级人工鱼礁建设容量评估和布局技术的要求，确定人工鱼礁建设容量评估及布局技术参数。为使本标准更加科学与准确，编写组收集、整理了大量理论和技术资料，主要文献简列如下：

(1) GB/T 8588-2001 渔业资源基本术语（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 2001-11-12 发布，2002-03-01 实施）。

(2) GB/T 12763.1-2007 海洋调查规范 第 1 部分：总则（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会 2007-08-13 发布，2008-02-01 实施）。

(3) GB/T 12763.2-2007 海洋调查规范 第 2 部分：海洋水文观测（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会 2007-08-13 发布，2008-02-01 实施）。

(4) GB/T 12763.4-2007 海洋调查规范 第 4 部分：海水化学要素调查（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会 2007-08-13 发布，2008-02-01 实施）。

(5) GB/T 12763.6-2007 海洋调查规范 第 6 部分：海洋生物调查（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会 2007-08-13 发布，2008-02-01 实施）。

(6) GB/T 12763.9-2007 海洋调查规范 第 9 部分：海洋生态调查指南（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会 2007-08-13 发布，2008-02-01 实施）。

(7) GB/T 12763.10-2007 海洋调查规范 第 10 部分：海底地形地貌调查（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会 2007-08-13 发布，2008-02-01 实施）。

(8) GB/T 15918-2010 海洋学综合术语（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会 2011-01-14 发布，2011-06-01 实施）

(9) GB/T 15919-2010 海洋学术语 海洋生物学（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会 2011-01-14 发布，2011-06-01 实施）。

(10) GB/T 17108-2006 海洋功能区划技术导则（中华人民共和国国家质量监督检

验检疫总局 中国国家标准化管理委员会 2006-12-29 发布，2007-05-01 实施)

(11) GB 17378.2-2007 海洋监测规范 第 2 部分：数据处理与分析质量控制（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会 2007-10-18 发布，2008-05-01 实施）。

(12) GB 17378.3-2007 海洋监测规范 第 3 部分：样品采集、贮存与运输（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会 2007-10-18 发布，2008-05-01 实施）。

(13) GB 17378.4-2007 海洋监测规范 第 4 部分：海水分析（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会 2007-10-18 发布，2008-05-01 实施）。

(14) GB 17378.5-2007 海洋监测规范 第 5 部分：沉积物分析（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会 2007-10-18 发布，2008-05-01 实施）。

(15) GB 17378.7-2007 海洋监测规范 第 7 部分：近海污染生态调查和生物监测（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会 2007-10-18 发布，2008-05-01 实施）。

(16) GB 18668-2002 海洋沉积物质量（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 2002-03-10 批准，2002-10-01 实施）。

(17) GB/T 19834-2005 海洋学术语 海洋资源学（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会 2005-07-15 发布，2006-01-01 实施）。

(18) GB 50021-2001 岩土工程勘察规范（中华人民共和国建设部 国家质量监督检验检疫总局 2002-01-10 发布，2002-03-01 实施）

(19) HY/T 123-2009 海域使用分类（国家海洋局 2009-03-23 发布，2009-05-01 实施）

(20) HY/T 124-2009 海籍调查规范（国家海洋局 2009-03-23 发布，2009-05-01 实施）

(21) JTJ 240-97 港口工程地质勘察规范（中华人民共和国交通部 1997-08-22 发布，1998-01-01 实施）。

(22) SC/T 9416-2014 人工鱼礁建设技术规范（中华人民共和国农业部 2014-03-24

发布, 2016-06-01 实施)

(23) SC/T 9417-2015 人工鱼礁资源养护效果评价技术规范(中华人民共和国农业部 2015-02-09 发布, 2016-05-01 实施)

(24) 崔勇, 关长涛, 万荣, 等. 布设间距对人工鱼礁流场效应影响的数值模拟[J]. 海洋湖沼通报, 2011, (2): 59-65.

(25) 陈丕茂, 秦传新, 舒黎明, 等. 珠江口人工鱼礁场生态效应[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018。

(26) 《广东省人工鱼礁管理规定》(广东省人民政府令 第 91 号)(2004-09-07 发布, 2004-11-01 实施)。

(27) 李文涛, 张秀梅. 我国发展人工鱼礁业亟需解决的几个问题[J]. 现代渔业信息, 2003, 18 (9): 3-6。

(28) 林军, 章守宇. 人工鱼礁物理稳定性及其生态效应的研究进展[J]. 海洋渔业, 2006, 28 (3): 257-262。

(29) 陶峰, 贾晓平, 陈丕茂等. 人工鱼礁礁体设计的研究进展[J]. 南方水产, 2008, 14 (3): 64-69。

(30) 贾晓平, 陈丕茂, 唐振朝等. 人工鱼礁关键技术研究示范[M]. 北京: 海洋出版社, 2011。

(31) 刘同渝. 人工鱼礁的流态效应[J]. 水产科技, 2003, (4): 43-44。

(32) 潘灵芝, 林军, 章守宇. 铅直二维定常流中人工鱼礁流场效应的数值实验[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14 (4): 406-412。

(33) 邵万骏, 刘长根, 聂红涛等. 人工鱼礁的水动力学特性及流场效应分析[J]. 水动力学研究与进展, 2014, 29 (5): 580-585。

(34) 唐衍力, 龙翔宇, 王欣欣等. 中国常用人工鱼礁流场效应的比较分析[J]. 农业工程学报, 2017, 33 (8): 97-103。

(35) 王云新, 冯吉南. 鱼礁与聚鱼[J]. 水产科学, 2002, 2: 30-31。

(36) 杨吝, 刘同渝, 黄汝堪. 人工鱼礁的起源和历史[J]. 现代渔业信息, 2005, 20 (12): 5-8。

(37) 杨吝, 刘同渝, 黄汝堪等. 中国人工鱼礁理论与实践[M]. 广州: 广东科技出版社, 2005。

(38) 虞聪达,俞存根,严世强. 人工船礁铺设模式优选方法研究[J]. 海洋与湖沼, 2004, 35 (4): 299-305。

(39) 赵海涛,张亦飞,郝春玲等. 人工鱼礁的投放区选址和礁体设计[J]. 海洋学研究, 2006, 24 (4): 72-74。

(40) 张本,孙建璋. 南麂列岛人工鱼礁生态休闲渔业设计与初步实施[J]. 渔业现代信息, 2002, 17 (9) 3-7。

(41) 周艳波,蔡文贵,陈海刚等. 10 种人工鱼礁模型对黑鲷幼鱼的诱集效果[J]. 渔水产学报, 2011, 35 (5) 711-718。

(42) 周艳波,蔡文贵,陈海刚等. 试验水槽中多种人工鱼礁模型组合对紫红笛鲷幼鱼的诱集效果[J]. 台湾海峡, 2012, 32 (2) 231-237。

4、标准主要起草人及其所做的工作等

陈丕茂：全面主持；

舒黎明：负责内容设计、草案起草、标准编写及修改等工作；

袁华荣：收集国内外相关资料及草案起草；

冯雪：收集国内外相关资料及草案起草；

佟飞：收集国内外相关资料及草案起草；

陈钰祥：收集国内外相关资料及草案起草；

罗刚：标准内容设计、调查研究、技术验证；

陈勇：标准内容设计、调查研究、技术验证；

关长涛：标准内容设计、调查研究、技术验证；

李圣法：标准内容设计、调查研究、技术验证；

田涛：标准内容设计、调查研究、技术验证；

李娇：标准内容设计、调查研究、技术验证；

姜亚洲：标准内容设计、调查研究、技术验证；

刘年飞：标准内容设计、调查研究、技术验证。

二、编制本标准的原则和标准主要内容

1、编制本标准的原则

(1) 遵循国家有关方针、政策、法律和法规等。

(2) 格式按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

(3) 进行广泛调查研究，根据我国人工鱼礁建设的实际情况，统筹兼顾不同区域、不同人工鱼礁的特点，建立人工鱼礁增殖容量评估的程序和方法、确定人工鱼礁布局的主要要求和指标。

(4) 密切结合我国国情，严格执行强制性国家标准，充分考虑与其它相关标准及法律法规的协调性。

2、本标准的主要内容和适用范围

1 范围（名称的确定）

本标准规定了区域性人工鱼礁区的选址原则和人工鱼礁建设容量评估的内容、步骤和方法，以及人工鱼礁布局规划的原则、方法和要求。

本标准适用于区域性人工鱼礁建设容量评估及布局规划。

说明：原计划名称“区域性人工鱼礁建设容量及布局规划技术规范”，现名称“区域性人工鱼礁建设容量评估及布局规划技术规范”；“建设容量”改成“建设容量评估”：使句子意义完整，明确标准部分内容为建设容量的评估。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50021 岩土工程勘察规范

GB/T 12763.2 海洋调查规范 第 2 部分 海洋水文观测

GB/T 12763.6 海洋调查规范 第 6 部分 海洋生物调查

GB/T 12763.10 海洋调查规范 第 10 部分：海底地形地貌调查

GB/T 15918—2010 海洋学综合术语

HY/T 124 海籍调查规范

JTJ 240 港口工程地质勘察规范

SC/T 9416—2014 人工鱼礁建设技术规范

3 术语和定义

说明: 为突出本标准的重点, 易于理解本标准的相关概念和操作, 根据审定会议和专家意见, 对“人工鱼礁, 海域, 区域性海域, 人工鱼礁区, 空方, 礁体宽度, 礁体高度, 鱼礁间距, 单位鱼礁、鱼礁群、鱼礁带、人工鱼礁渔场的间距, 对象生物, I型鱼礁生物, II型鱼礁生物, 人工鱼礁建设容量, 人工鱼礁生物效应, 人工鱼礁流场效应, 人工鱼礁建礁成本, 人工鱼礁布局”等进行了定义。

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

海域 sea areas

一定界限内的海洋区域, 包括区域内的水面、水体、海床和底土。

[GB/T 15918—2010, 定义3.1]

3.2

区域性海域 regional sea areas

全国、省级行政区域、市级行政区域或县级行政区域的海域。

3.3

人工鱼礁 artificial reef

用于修复和优化海域生态环境, 建设海洋水生生物生息场的人工设施。

[SC/T 9416—2014, 定义3.1]

说明: 人工鱼礁的定义较多, 但或多或少存在问题, 本标准引用《SC/T 9416—2014 人工鱼礁建设技术规范》中“人工鱼礁”的定义。

3.4

空方 hollow stere

人工鱼礁外部结构几何面轮廓所包围的体积, 单位用“空m³”表示。

[SC/T 9416—2014, 定义3.2]

3.5

人工鱼礁区 artificial reef area

已经敷设人工鱼礁，并按其功能辐射范围划定的水域。

[SC/T 9416—2014，定义3.3]

3.6

礁体宽度 width of the underside of an artificial reef

单体鱼礁底面的宽度。

3.7

礁体高度 height of an artificial reef

单体鱼礁的垂直高度。

3.8

鱼礁间距 distance between adjacent edge of two monomer reefs

两个单体鱼礁相邻边缘的最短距离。

[SC/T 9416—2014，定义3.10]

3.9

单位鱼礁、鱼礁群、鱼礁带、人工鱼礁渔场的间距 distance between two unit reefs, reef clusters, reef cingulums and artificial reef fishing grounds

单位鱼礁、鱼礁群、鱼礁带、人工鱼礁渔场相邻边缘的最短距离。

[SC/T 9416—2014，定义3.11]

3.10

对象生物 target organism

投放人工鱼礁的主要目的生物。

[SC/T 9416—2014，定义3.12]

3.11

I型鱼礁生物 type I organism

如六线鱼、褐菖鲉、龙虾、蟹、海参、海胆、鲍等身体的部分或大部分接触鱼礁的鱼类或其他海洋动物。

[SC/T 9416—2014, 定义3.13]

3.12

II型鱼礁生物 type II organism

如真鲷、石斑鱼、牙鲆等身体接近但不接触鱼礁，经常在鱼礁周围游泳和海底栖息的鱼类及其他海洋动物。

[SC/T 9416—2014, 定义3.14]

3.13

人工鱼礁建设容量 construction capacity of artificial reef

区域性海域中人工鱼礁建设数量实现“生物效应、流场效应、建礁成本”相协调要求的人工鱼礁建设总空方量。

3.14

人工鱼礁生物效应 biological effects of artificial reef

人工鱼礁在海水中对水生生物产生影响的强度和范围，尤其是人工鱼礁在海水中对游泳动物产生诱聚影响的范围。

注1: 人工鱼礁生物效应又可称为人工鱼礁生物诱集（诱聚）效应。

注2: 这里的人工鱼礁主要为底鱼礁。

3.15

人工鱼礁流场效应 flow field effect of artificial reef

在一定流速的水流作用下，人工鱼礁形成的上升流、背涡流的强度和范围。

3.16

人工鱼礁建礁成本 construction cost of artificial reef

人工鱼礁建设投入的费用，包括设计成本、材料成本、制造成本、运输成本、投放成本、维护成本。

3.17

人工鱼礁布局 layout of artificial reef

对人工鱼礁区内的单体鱼礁、单位鱼礁、鱼礁群和鱼礁带的建设规模、布置、分期等所作的总体筹划和部署计划。

4 区域性人工鱼礁建设容量评估

4.1 评估范围

人工鱼礁建设容量评估的范围为全国、省级行政区域、市级行政区域或县级行政区域的海域，以县级行政区域的海域作为评价单元。

4.2 数据采集要求

数据采集按以下要求进行：

- a) 各评价指标的数据主要来自现有文献资料和调查研究。
- b) 数据由具有一定资质的从事人工鱼礁研究的专业人员采集，并由相关专家审定。

4.3 区域性人工鱼礁适宜建设海域面积计算

4.3.1 宜建礁海域要求

宜建礁海域按以下条件选择：

- a) 宜建礁海域的确定，应符合国家和地方的海洋功能区划、生态红线保护制度、养殖水域滩涂规划制度，与水利、海上开采、航道、港区、锚地、通航密集区、倾废区、海底管线及其他海洋工程设施和国防用海等不相冲突。
- b) 宜建礁海域的确定，应符合 SC/T 9416 中的“根据真光层深度、对象生物栖息的适宜深度等，确定鱼礁投放的水深（指低潮位下水深）。沿岸以增养殖为主的鱼礁投放适宜水深为 2m~30m，其他类型鱼礁适宜水深为 100m 以内，最好设置于 10~60 m”的要求。
- c) 国家级海洋牧场示范区宜建礁海域的确定，应符合《国家级海洋牧场示范区创建基本条件》（农办渔〔2018〕67）中的“海底地形坡度平缓或平坦，水深在 6m 以上且不超过 100m，海底地质稳定，海底表面具备一定的承载力；水体交换通畅，流速宜小于 1.5m/s，淤泥厚度不宜超过 0.6m”的要求，其中海底坡度宜小于 5°。

4.3.2 数据采集

区域性人工鱼礁适宜建设海域面积数据，结合海洋功能区划、海洋生态红线、养殖水域滩涂规划的文献资料分析以及海域使用现状调查获得，其中海域使用现状调查参照HY/T 124的要求执行。

数据需调查研究获得的，海洋水文观测按照GB/T 12763.2的要求执行，海洋生物调查按照GB/T 12763.6的要求执行，海底地形地貌调查按照GB/T 12763.10的要求执行，海底淤泥厚度调查参照GB 50021的要求和参照JTJ 240的要求执行。

4.3.3 计算方法

区域性人工鱼礁适宜建设海域面积按公式（1）计算。

$$S_Z = S_0 + S_1 - \sum S_i \quad (1)$$

式中：

S_Z ——区域性人工鱼礁适宜建设海域面积， km^2 ；

S_0 ——区域中领海线内水深大于2m的农渔业区（养殖区中未开发利用的区域、增殖区、捕捞区、重要渔业品种养护区）以及领海线外水深100m以内的海域的面积， km^2 ；

S_1 ——区域中领海线内水深大于2m的旅游休闲娱乐区、保留区海域的允许建设人工鱼礁的海域面积， km^2 ；

S_i ——区域中 S_0 及 S_1 海域中不宜建设人工鱼礁的第*i*种的海域面积，*i*分别表示流速大于1.5m/s的海域、淤泥厚度超过0.6m的海域、海底坡度大于5°的海域、海上风电或钻井平台等排他性用海的面积， km^2 。

4.4 单体鱼礁生物效应估算

说明1：人工鱼礁的布局要求达到生物诱聚效益最佳，生物诱聚效果越高则生态效益也越好。为了便于操作，应由定量的衡量，通过水槽试验或投礁现场观测，统计典型鱼礁生物在礁体区的出现和在礁体周边出现的密集区、趋附区和离散区。

说明2：这里的生物效应主要是针对I型鱼礁生物、II型鱼礁生物，对应的鱼礁为沉鱼礁。

4.4.1 评估步骤

单体鱼礁生物效应估算按以下步骤进行：

- a) 通过水槽试验，统计静止海水中对象生物（I型鱼礁生物、II型鱼礁生物）在礁体及周边的出现范围和出现率；
- b) 计算单体鱼礁在静止海水中的生物效应分区宽度与礁体宽度的倍比；获得单体鱼礁之间能产生协同生物效应的间距；
- c) 确定单体鱼礁在静止海水中的生物效应的分级标准。

4.4.2 单体鱼礁生物效应计算

记录对象生物在静止海水中的不同时间点分布位置及其距礁体中心点的距离，统计对象生物随距离出现的频次，进行曲线趋势回归，划定对象生物在礁体及周边出现的密集区（高斯回归曲线中 $x_0 \pm 0.75\omega$ 的区域）、趋附区（密集区的外缘到以各个曲线回归的拐点为半径的区域）和离散区（趋附区外缘以外的区域）。

单体鱼礁生物效应的分区按（2）计算。

$$y = y_0 + \frac{A}{\omega\sqrt{\pi}/2} e^{-2\frac{(x-x_0)^2}{\omega^2}} \quad (2)$$

式中：

Y ——对象生物随距离出现的频次；

ω ——满足高斯分布的标准差；

x ——距离鱼礁中心点的距离半径，m；

x_0 ——服从高斯分布的随机变量的均值，也为高斯分布的位置参数，描述正态分布的集中趋势位置；

A, y_0 ——回归图形的调整参数。

在此基础上，计算单体鱼礁在静止海水中的生物效应分区宽度与礁体宽度的倍比，获得单体鱼礁之间能产生协同生物效应的间距。

单体鱼礁生物效应的海上验证，参照GB/T 12763.6的要求进行现场观测。

说明：该部分规定了相关参数的具体计算方法。

4.4.3 单体鱼礁生物效应分级

通过计算密集区、趋附区和离散区的边缘线至礁体外缘线之间的距离与礁体宽度的倍比，进行单体鱼礁在静止海水中的生物（主要针对I型和II型鱼礁生物）效应的分级。

单体鱼礁在静止海水中的生物效应的分级，参照表1执行。

表1 单体鱼礁在静止海水中的生物效应分级

分级	密集区	趋附区	离散区
生物效应, 礁宽倍数	0~1	1~1.5	>1.5

4.5 单体鱼礁流场效应估算

4.5.1 评估步骤

单体鱼礁流场效应估算按以下步骤进行:

- 通过文献资料或投礁现场观测获得用于计算人工鱼礁流场效应的流速、流向等海洋水文数据, 其中现场观测按照 GB/T 12763.2 的要求执行;
- 采用计算流体动力学方法, 分析人工鱼礁的流场分布特性; 计算单体鱼礁背涡流长度与礁体宽度的倍比; 获得单体鱼礁之间能产生协同流场效应的间距;
- 确定单体鱼礁流场效应的分级标准。

4.5.2 单体鱼礁流场效应计算

根据人工鱼礁建设海域现场测流数据, 通过物理建模、网格划分、数值计算和后处理, 最后得到不同礁高水深比条件下、各来流条件下单体鱼礁的背涡流场和上升流场的分布特性。

假设流体为不可压缩流动, 用Navier-Stokes方程 (3) - (6) 式计算、分析单体鱼礁的流场分布特性。

连续方程:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

动量方程:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + f_x + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + f_y + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + f_z + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (6)$$

式中:

u 、 v 、 w ——分别为 x 、 y 、 z 方向上的分速度;

ν ——流体的运动学黏性系数;

t ——时间;

ρ ——流体密度;

p ——压强;

f_x 、 f_y 、 f_z ——分别为x、y、z方向上的单位质量力。

单体鱼礁的上升流造成系数与背涡流造成系数，用(7)和(8)式计算。

$$F_u = \ln(V_u/V_J) \quad (7)$$

$$F_e = \ln((L_e/L_J)(H_e/H_J)) \quad (8)$$

式中:

F_u ——上升流造成系数;

F_e ——背涡流造成系数;

V_u ——上升流区域，“流速 $>0.1 \times$ 入流速度”的区域;

V_J ——礁体体积，空 m^3 ;

L_e ——背涡流长度，m;

L_J ——沿着来流方向的礁体宽度，m;

H_e ——背涡流涡心高度，m;

H_J ——礁体高度，m。

在此基础上，计算单体鱼礁背涡流长度与礁体宽度的倍比，获得单体鱼礁之间能产生协同流场效应的间距。

单体鱼礁流场效应的海上验证，参照GB/T 12763.2的要求进行现场观测。

说明：一般来说，人工鱼礁投放下去后，流场越复杂，影响范围越大，则起的效果越好，为操作方便，需要定量的衡量流场造成效果，采用了上升流造成系数和背涡流造成系数进行衡量。具体可参照陈丕茂等（2018）的第三章第三节相关内容。

4.5.3 单体鱼礁流场效应分级

通过计算背涡流强流区、背涡流弱流区的边缘线至礁体外缘线之间的距离与礁体宽度的倍比，进行单体鱼礁流场效应的分级。

单体鱼礁生物效应的分级标准，参照表2执行。

表2 单体鱼礁流场效应分级

分级	背涡流强流区	背涡流弱流区	背涡流消失区
----	--------	--------	--------

流场效应, 礁宽倍数	0~1.5	1.5~2.5	>2.5
------------	-------	---------	------

4.6 单体鱼礁建礁成本估算

说明: 人工鱼礁的建设达到质量相关要求以及满足生物、生态要求的的前提下尽量降低建礁成本, 因而对成本进行计算。

4.6.1 评估步骤

单体鱼礁建礁成本估算按以下步骤进行:

- a) 人工鱼礁的设计、选材、形状与结构、礁体制作、投放, 按照 SC/T 9416 的要求执行; 其中, 礁体高度应为水深的 1/10, 礁体宽度须满足 (9) 式的要求;

$$Bu/v = 10^4 \quad (9)$$

式中:

B ——礁体宽度, m;

u ——水体流速, m/s;

v ——水体黏滞系数, Pa·s。

- b) 收集当地物价部门提供或其网站显示的物价资料、当地市场的物价询价资料, 调研当地人工鱼礁工程的设计、建造和投放价格资料, 结合当地(或邻近地区)往年人工鱼礁工程造价的文献资料, 获得用于计算人工鱼礁建礁成本的数据资料;
- c) 计算单体鱼礁的建设成本; 获得单位海域面积中按照不同单体鱼礁间距(以礁宽倍数表示)布设的工况的建礁成本与礁体宽度的倍比;
- d) 确定单体鱼礁建礁成本的分级标准。

4.6.2 单体鱼礁建礁成本计算

单体鱼礁的建礁成本用 (10) 式计算。

$$C_I = D_I + \sum M_i P_{mi} + \sum B_j P_{Bj} + \sum L_k P_{Lk} \quad (10)$$

式中:

C_I ——单体鱼礁工程成本, 元;

D_I ——单体鱼礁设计成本, 从当地人工鱼礁工程设计费和该工程建礁数量计算获得;

M_i ——第 i 种材料的用量, i 分别表示钢筋、水泥、砂、石、模板、水、电等各种材料;

P_{mi} ——第 i 种材料的单价;

B_j ——第 j 种制作礁体的工程量, j 分别表示场地、材料倒运、钢筋等材料加工、礁体制作等项目;

P_{Bj} ——第 j 种制作礁体的工程的单价;

L_k ——第 k 种运输投放礁体的工程量, k 分别表示礁体吊装、车运、船运、投放等项目;

P_{Lk} ——运输投放礁体的工程的单价。

如果当地人工鱼礁工程的设计、建造和投放价格资料不完善, 确难以用 (9) 式计算人工鱼礁建礁成本, 应参照《人工鱼礁建设项目管理细则》(农办渔〔2018〕66号) 的“人工鱼礁的补助标准(仅包括鱼礁的设计、建造和投放)为: 构件礁每空方中央补助不超过 500 元, 投石礁每空方中央补助不超过 200 元”进行单体鱼礁建礁成本的估算, 即用构件礁 $C_I=500$ 元/空 m^3 或投石礁 $C_I=200$ 元/空 m^3 进行单体鱼礁建礁成本的估算。

4.6.3 单位海域面积建礁成本计算

在单体鱼礁之间能产生协同生物效应、流场效应的间距内, 单体鱼礁呈品字形布设所产生的生物(I型鱼礁生物、II型鱼礁生物)效应、流场效应好。按每4个单体鱼礁呈品字形按不同的间距布设, 计算按照不同间距布设工况下单位海域面积建礁成本。

单位海域面积建礁成本用 (11) 式计算。

$$C_S = 4(10^{-4}C_I)/\{[10^{-3}(2L_{J1} + J_{L1})][10^{-3}(2L_{J2} + J_{L2})]\} \quad (11)$$

式中:

C_S ——单位海域面积建礁成本, 万元/ km^2 ;

C_I ——单体鱼礁工程成本, 元;

L_{J1} ——沿着来流方向的礁体宽度, m;

J_{L1} ——沿着来流方向的鱼礁间距, m;

L_{J2} ——沿着来流垂直方向的礁体宽度, m;

J_{L2} ——沿着来流垂直方向的鱼礁间距, m。

4.6.4 单位海域面积建礁成本分级

通过计算按照不同间距布设工况下单位海域面积建礁成本，进行单位海域面积建礁成本的分级；单位海域面积建礁成本的分级，参照表3执行。

表3 单位海域面积建礁成本分级

按不同鱼礁间距分级	1 倍礁宽	1.5 倍礁宽	2 倍礁宽	2.5 倍礁宽	大于 2.5 倍礁宽
单价为 C_I 时的建礁成本，万元/ km^2	$400C_I / (9L_{J1}L_{J2})$	$400C_I / (12.25L_{J1}L_{J2})$	$400C_I / (16L_{J1}L_{J2})$	$400C_I / (20.25L_{J1}L_{J2})$	$<400C_I / (20.25L_{J1}L_{J2})$
例：单价 500 元/空 m^3 ， $3\text{m} \times 3\text{m} \times 3\text{m}$ 正 方体水泥礁的建礁成本，万元/ km^2	2500	1800	1400	1100	<1100
例：单价 200 元/空 m^3 ，底面 $3\text{m} \times 3\text{m}$ ， 高 3m 的锥体投石礁的建礁成本，万元/ km^2	3000	2200	1700	1300	<1300

4.7 区域性人工鱼礁建设容量评估

4.7.1 建礁容量评估要求

区域性海域中人工鱼礁建设数量实现“生物效应、流场效应、建礁成本”相协调的要求，即单体鱼礁呈品字形按1.5~2.5倍礁宽的间距布设。

4.7.2 区域性人工鱼礁建设容量计算

4.7.2.1 建设容量计算

区域性人工鱼礁建礁容量用（12）式计算。

$$R_Z = S_Z R_I \left(\frac{C_S}{C_I} \right) \quad (12)$$

式中：

R_Z ——区域性人工鱼礁建礁容量，万空 m^3 ；

S_Z ——区域性人工鱼礁适宜建设海域面积， km^2 ；

C_S ——单位海域面积建礁成本，万元/ km^2 ；

C_I ——单体鱼礁工程成本，元；

R_I ——单体鱼礁的空方量，空 m^3 。

说明：根据可投放面积，在相关评估原则下进行容量的评估。

例1：珠海大蜘洲人工鱼礁区：可建面积为2.16 km²，采用4m×4m×4m正方体水泥礁，则鱼礁空方量为36万m³；每个鱼礁单体成本约为14000元，

根据4.6.3的计算格式得到2.5倍礁宽的建礁成本约为600万元/km²；则

容量=20*36*（600/14000）=31万空m³

根据4.6.3的计算格式得到2.0倍礁宽的建礁成本约为800万元/km²；则

容量=20*36*（800/14000）=41万空m³

实际投放量为40.176万空m³。处于2.0~2.5倍礁宽计算容量范围内。

例2：阳江红鱼排人工鱼礁区（规划）：可建面积为20 km²，采用3m×3m×3m正方体水泥礁，则鱼礁空方量为27万m³；每个鱼礁单体成本约为13500元，

2.5倍礁宽的建礁成本为1100万元/km²；则

容量=20*27*（1100/13500）=44万空m³

2.0倍礁宽的建礁成本为1400万元/km²；则

容量=20*27*（1400/13500）=56万空m³

选取中间值，约为50万空m³。

4.7.2.2 建设成本计算

区域性人工鱼礁建礁成本用（13）式计算。

$$C_Z = S_Z / C_S \quad (13)$$

式中：

C_Z ——区域性人工鱼礁建礁成本，万元；

S_Z ——区域性人工鱼礁适宜建设海域面积，km²；

C_S ——单位海域面积建礁成本，万元/km²。

说明：建设成本估算在容量确定后进行计算。

5 人工鱼礁布局规划

5.1 布局规划原则

人工鱼礁的布局规划按以下原则进行：

- a) 人工鱼礁的单位鱼礁配置、鱼礁群配置、鱼礁带配置、人工鱼礁渔场配置，按照SC/T 9416的要求执行；
- b) 人工鱼礁区的单体鱼礁、单位鱼礁、鱼礁群、鱼礁带的布局，应达到“生物效应、流场效应、建礁成本”相协调的要求；
- c) 可开发休闲渔业的人工鱼礁区，布局要考虑休闲渔业的渔具渔法要求。

5.2 布局规划方法

人工鱼礁的布局规划按以下方法进行：

- a) 根据礁高水深比为0.25、礁体宽度与礁体高度相应的原则，确定区域性海域中单体鱼礁的礁体宽度、礁体高度等规格；
- b) 人工鱼礁区的总体规模应根据海区范围、对象生物、水深、鱼礁密度和投资规模等因素综合平衡后确定。资源保护型鱼礁规模应大于3000空 m^3 ，增殖型鱼礁不应小于400空 m^3 ；
- c) 相邻两行的单体鱼礁、相邻两行的单位鱼礁、相邻两行的鱼礁群，宜对着潮流主流轴方向错开排列、呈“品”字形布置；
- d) 1个单位鱼礁以不少于15个单体鱼礁组成，单位鱼礁内单体鱼礁之间的距离宜为1.5~2.5倍礁宽；
- e) 1个鱼礁群由多个单位鱼礁组成；单位鱼礁的间距应小于200m，横向（与水流方向垂直）距离宜为6~10倍礁宽，纵向（与水流方向平行）距离宜为15~35倍礁宽；
- f) 1个人工鱼礁区由多个鱼礁群组成，鱼礁群之间的距离应小于1000m，宜为50~100倍礁宽；鱼礁群应顺流方向配置于鱼类洄游路线上；
- g) 1个人工鱼礁渔场由多个人工鱼礁区组成，人工鱼礁区之间按2000m以上配置，形成鱼礁带，鱼礁带应顺流方向配置；
- h) 人工鱼礁渔场的间距以2000m以上为宜。

说明1：“礁高水深比为0.25”确定依据：

陈丕茂等（2018）研究表明：礁高水深比 $r=0.25$ 时礁体在均匀来流条件下的上升流面积最大，能最大限度地发挥人工鱼礁的流场效应，更易吸引海洋生物栖息。当礁宽水深比 $r \geq 0.25$ 时，礁体宽度应与礁体高度相适应，礁体在水流的作用下不易滑移、较

稳定。当 r 值越大，礁体越稳定，但随着 r 值的增大，礁体横截面增大、建礁材料增加、建礁成本增大。因此，取礁宽水深比 $r=0.25$ ，确定的礁宽较适宜。

说明2：“单位礁内单体礁之间的距离宜控制在1.5~2.5倍礁宽”确定依据。

崔勇等（2011）通过基于CFD原理的数值模拟方法，在不同流速和布设间距的情况下，模拟分析了星体型鱼礁和方形礁体所产生的流场效应；结果表明，数值模拟较好地反映了人工鱼礁周围上升流和背涡流的分布情况：当两礁体布设间距为1.50倍礁体尺寸时，所产生的上升流高度达到最大值；当布设间距为1倍时，其上升流的影响面积为最大；当布设间距为1.50倍时所产生的背涡流效果最好；两礁体的最佳布设间距应为礁体尺寸的1.00~1.50倍，且数值模拟结果与风洞实验结果基本相符。

陈丕茂等（2018）研究表明，在3×3的礁体排列中，礁体的间距超过两倍礁体宽度时，第二及第三排礁体对流场的调控作用不足，上升流和背涡流效应均有一定减弱。上升流造成系数与背涡流造成系数随礁体间距变化的特点：间距过小、礁体密度高的情况下，调控能力增强但调控总面积变小；间距过大、礁体密度低的情况下，调控总面积相应增大但流场造成能力也会下降。分析比较得到的结果来看，单位礁体中各礁体的间距选择3~5 m较为合适。

说明3：“以不少于15个单体礁组成一个单位礁”；“相邻两行的单体礁、相邻两行的单位礁、相邻两行的鱼礁群、相邻两行的鱼礁分区，宜对着潮流主流轴方向错开排列、呈“品”字形布置”确定依据：

林军等（2013）研究表明：边长3m的正方体鱼礁，以20~30个单礁、1~2倍礁距进行五点式、对称型单位鱼礁组合投放为宜，这样既能发挥礁体的协同效应，又能使单位鱼礁的调控范围达到最大化。

说明4：“礁群之间的距离宜控制在50~100倍礁宽”确定依据：

贾晓平等（2011）研究表明：在单位礁群边长为100米的条件下，单位礁群间距为2倍单位礁群边长时（即为200m），即保证了较好的水交换效率，又保证了单位礁群空间的较大利用效率。根据礁体宽度，一般为2~4米的鱼礁换算成倍数礁宽即为50~100倍礁宽。

为了将更小的礁体也囊括进该范围，因而参照上述的表述，礁区距离采用50~100倍礁宽。

说明5:根据SC/T 9416-2014《人工鱼礁建设技术规范》单位鱼礁的间距应小于200m,鱼礁群之间的距离应小于1000m。

说明6:为了避免分散投放,体现集中力量办大事,规定“单位鱼礁的空方量规模为400空方以上”。单位鱼礁多个单体鱼礁组成,其单体鱼礁的数量应有15个以上。

三、 主要试验（或验证）的分析、综合报告、技术经济论证，预期的经济效果

1、主要试验（或验证）的分析、综合报告、技术经济论证等

无。

2、预期经济效果

《区域性人工鱼礁建设容量评估及布局规划技术规范》的制定,有利于我国各地开展的人工鱼礁投放和布局工作科学、规范、高效地进行,为我国人工鱼礁的建设和管理提供科学指导,充分发挥我国人工鱼礁建设应有的作用,并实现经济、生态的协调发展。

四、 采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类水平的对比情况，或与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

《区域性人工鱼礁建设容量评估及布局规划技术规范》是人工鱼礁建设容量评估的提纲,是进行人工鱼礁投放的基础。国内尚属首次,填补了国内空白。

五、 与相关的现行法律、法规和强制性标准的关系

本标准编制过程中,参考了国家、行业、地方有关标准,与相关的现行法律、法规和强制性标准相协调,无冲突。

六、 重大分歧意见的处理经过和依据

标准草案经相关专家内审,目前尚无重大分歧意见。

七、 标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

建议本标准作为推荐性团体标准。中国水产学会组成单位对我国开展的人工鱼礁建设容量评估及布局工作,尽可能按本标准的规定进行。

八、 贯彻标准的要求和措施建议

《区域性人工鱼礁建设容量评估及布局规划技术规范》团体标准的制定，为中国水产学会团体的组成单位进行相关工作提供了统一的依据，也为我国渔业主管机构、人工鱼礁建设和管理机构以及从事人工鱼礁工作研究的科研部门对人工鱼礁容量评估及布局工作提供了参考，有利于规范我国人工鱼礁容量评估和布局投放工作。

本标准发布实施后，应及时在中国水产学会团体组成单位进行宣讲贯彻，在实际实施效果较好的前提下在我国有关地区、特别是人工鱼礁建设、管理等实施单位和有关研究机构进行推广，促进我国人工鱼礁建设科学、健康、持续发展。

九、 废除现行标准的建议

无。

十、 其他应予说明的事项

无。