

# 海南洋浦围填海造地的海洋生态系统 服务功能价值损失评估\*

王衍, 孙士超

(海南省海洋监测预报中心 海口 570204)

**摘要:**为揭示热带海域围填海造地的海洋生态系统服务功能价值损失,选取海南洋浦围填海造地海域,建立了围填海造地的海洋生态系统服务功能价值损失评估方法,并对海南洋浦围填海造地的海洋生态系统服务功能价值损失进行了评估。结果表明:海南洋浦围填海造地占用海域面积 650 hm<sup>2</sup>,由此造成海洋生态系统服务功能价值损失 84.35 亿元,其中物质供给功能价值损失 71.65 亿元,占 84.94%,环境调节功能价值损失 6.11 亿元,占 7.25%,文化娱乐功能价值损失 5.91 亿元,占 7.01%,服务支持功能价值损失 0.68 亿元,占 0.81%。在具体服务功能类型上,海域人工养殖生产功能、自然海域渔业生产功能和旅游休闲娱乐功能占洋浦经济开发区围填海造地的生态系统服务功能价值损失总量的 91.82%。

**关键词:**围填海造地;生态系统服务功能;损失;价值估算;洋浦

中图分类号:P74

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2015)07-0074-07

海洋是全球三大生态系统之一,在气候调节、物种庇护、渔业生产、环境调节等很多领域发挥着重要的生态系统服务功能,是维护地球生命系统的重要保障<sup>[1-2]</sup>。

围填海造地是一种彻底将自然海洋空间改变为陆地空间的海洋开发利用活动,其对海洋生态系统服务功能的影响已经引起了国内外学者的广泛关注<sup>[3-5]</sup>。王萱等<sup>[6]</sup>对福建同安湾围填海造地的生态系统服务损害的货币化价值进行了预测评估;索安宁等<sup>[7-8]</sup>对曹妃甸围填海造地的生态环境影响及生态服务功能价值损失进行了系统评估;张惠等<sup>[9]</sup>对青岛前湾围填海造地的海洋生态系统服务功能价值损失进行了评估。综述国内的围填海生态系统服务功能价值,可以发现这些研究多集中于北方的暖温带和亚热带海域,而对华南地区热带海域的围填海造地的海洋生态系统服务功能损害少有研究。为揭示热带海域围填海造地的海洋生态系统服务功能损害问题,本文选取海南洋浦围填海造地为例,结合热带海域的生态系统服务功能特征,通过建立围填海造地的生态系统服务功能价值损失评估方

法,详细评估海南洋浦围填海造地的海洋生态系统服务功能价值损失,以期为热带海域围填海造地的生态环境损害提供剖析思路。

## 1 研究区域

海南洋浦经济开发区位于海南省儋州市的洋浦半岛,是1992年3月国务院批准成立的国家级经济开发区,是我国首例由外商成片开发的开发区。开发区内面积 30 km<sup>2</sup>,区外规划用地 70 km<sup>2</sup>,区内常住人口约 4 万人。洋浦经济开发区毗邻的洋浦湾是一个向西南方向敞开的弧形海湾,洋浦湾内有一内湾——新英湾(又叫儋州湾),新英湾和洋浦湾共同构成洋浦潮汐汊道海湾。洋浦湾北岸与新英湾北岸均为基岩海岸,海岸陡峭,高度为 10 m 左右。西北侧岸段则在基岩海岸基础上发育一条向西南方向延伸的狭长沙嘴,长度达 2.8 km,并与其南侧的小铲滩毗邻,构成了海湾西北侧的洋浦鼻(咀)岸段。洋浦经济开发区毗邻海域是我国重要的渔业资源水域,可捕捞的海洋生物资源有红鱼、石斑鱼、马鲛鱼等鱼类 600 多种,青蟹、白叠贝、珍珠贝等底栖动

\* 基金项目:海洋公益性行业科研专项经济项目(201105006)。

物 100 余种。毗邻海域有珊瑚、红树林等生态旅游资源。2010 年以来,洋浦经济开发区为了发展临海工业的需要,先后在开发区西海岸填海造地 650 hm<sup>2</sup>,布置了洋浦天然气加工利用基地、莲花山临港石化工业园、莲花山临港石化物流园等 11 个项目,形成了海南洋浦经济开发区临海工业聚集区。洋浦经济开发区围填海造地空间分布见图 1。

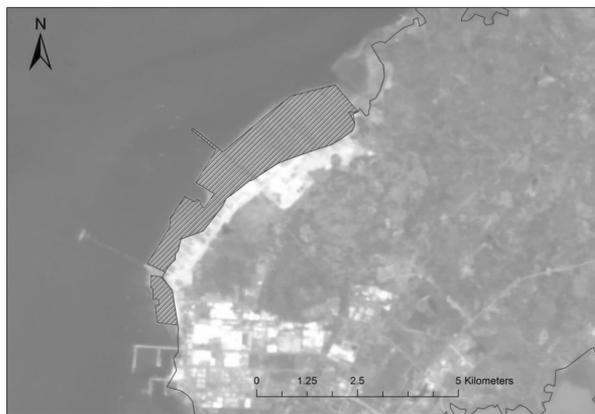


图 1 洋浦经济开发区围填海造地分布

## 2 围填海造地的海洋生态系统服务功能价值损失评估方法

根据海洋生态系统服务功能特征<sup>[10]</sup>,将洋浦围填海造地的生态系统服务功能价值损失归纳为供给功能损失、环境调节功能损失、服务支持功能损失和娱乐功能损失 4 大类 8 项生态服务功能损失类型,包括水产养殖生产功能、灾害调节与控制功能、气候调节功能、污染物净化功能、生物多样性维持功能、旅游休闲娱乐功能和文化知识扩展功能。各服务功能类型的具体估算方法如下。

### 2.1 水产养殖生产功能损失评估

围填海造地使原来的海域转化为陆地,损害了海域原有的海水生产功能,其价值可以根据市场价值法,用被填海域海水生产价值的利润来估算。洋浦经济开发围填海的食物损失价值损失包括 2 部分:一部分为人工养殖水产品的价值损失;另一部分为海域自然生物量的价值损失。

#### 2.1.1 人工养殖水产品的价值损失估算

人工养殖水产品价值损失的估算模型为

$$P_{11} = (R - C) \times S \quad (1)$$

式中: $P_{11}$ 为海水人工养殖的价值损失; $R$ 为每年单位面积的产值; $C$ 为养殖成本; $S$ 为围填海域面积。取利润率为 20%,则  $P_{11} = 0.2(R - C)S$ 。

洋浦经济开发区围填海造地工程范围内有 7 宗养殖用海,7 宗养殖用海项目使用海域总面积为 158.382 hm<sup>2</sup>。养殖方式基本为网箱养殖,养殖品种主要为军曹鱼、石斑鱼、鲷鱼,平均养殖产量为 19.00 t/hm<sup>2</sup>。根据对海南省水产养殖市场调研,石斑鱼市场批发价格平均为 4 万元/t,军曹鱼市场批发价格平均为 3.2 万元/t,取它们的平均值 3.6 万元/t。根据海南省 2013 年水产养殖调查,鱼类水产养殖总投入平均占总收入的 20.76%。海域水产养殖年限按 50 a 计算,养殖水产品生长周期约为 2 a,则洋浦经济开发区围填海造地导致的人工养殖价值损失估算如下:

$$158.382 \text{ hm}^2 \times 19.00 \text{ t/hm}^2 \times 3.6 \text{ 万元/t} \times (50/2) - 20.76\% [158.382 \text{ hm}^2 \times 66.76 \text{ t/hm}^2 \times 5.1 \text{ 万元/t} \times (50/2)] = 21.46 \text{ 亿元}。$$

#### 2.1.2 海域自然生物量的价值损失估算

洋浦湾附近海域的生物物种繁多,除鱼类、贝类等常见的水产资源外,还有海参、珊瑚、白蝶贝、海藻等海洋生物。2010 年 3 月调查共捕获鱼类生物 22 种,其中尾数占优势的鱼类是褐篮子鱼 (*Siganus fuscescens*)、五带笛鲷 (*Lutjanus spilurus*) 和黑斑鲷 (*Leiognathus daura*),其渔获量分别占总渔获量的 20%、11% 和 10%,渔获重量的优势种是褐篮子鱼 (*Siganus fuscescens*)、五带笛鲷 (*Lutjanus spilurus*) 和黑斑鲷 (*Leiognathus daura*),其渔获量分别占总渔获量的 24%、6.7% 和 2.3%。

本文主要估算渔业捕捞的鱼类、贝类、藻类等水产品。渔业捕捞水产品的估算应扣除人类将此项服务带到市场的成本。围填海造地造成海域自然生物量价值损失评估,一方面可依据海域贝类生物量的价值损失估算;另一方面也可直接估算自然海域鱼类、贝类、藻类的直接生物量价值损失。海域贝类生物量价值损失评估模型为

$$P_{12} = 0.2 \frac{XES}{a} bP \quad (2)$$

式中: $P_{12}$ 为海域水产品价值损失; $X$ 为初级生产力; $E$ 为初级生产力转化为软体动物的转化率; $S$

为围填海域面积;  $a$  为贝类产品混合含碳率;  $b$  为贝类重量与软体动物重量的比;  $P$  为贝类产品平均市场价格。

根据 Tait R. V. 对近岸海域生态系统能流的分析<sup>[11]</sup>, 10% 的初级生产力会转化为软体动物, 卢振彬等<sup>[12]</sup> 人的研究表明, 软体动物混合含碳率为 8.33%, 贝类重量与软体组织平均重量的比为 4:1。贝类产品平均市场价格为 20 元/kg, 销售利润率取 60%, 鱼贝类生长周期约为两年。

2010 年 3 月洋浦港邻近海域初级生产力水平调查结果显示, 调查海域初级生产力水平范围在 385~4 419 mg/(m<sup>2</sup>·d) (以碳计), 平均为 1 530 mg/(m<sup>2</sup>·d) (以碳计)。

海南洋浦经济区围填海造地 650 hm<sup>2</sup>, 除去人工养殖海域面积 150.95 hm<sup>2</sup>, 则导致 499.05 hm<sup>2</sup> 的海域渔业资源自然生物量价值损失计算如下。

贝类软体组织生物量损失为

$$[1\ 530\ \text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) \times 499.05\ \text{hm}^2 \times 365\ \text{d} \times (50/2) \times 10\%] / 8.33\% = 167\ 293\ 708\ \text{kg}$$

贝类损失的价值为

$$167\ 293\ 708\ \text{kg} / 20\% \times 20\ \text{元}/\text{kg} \times 60\% = 50.19\ \text{亿元}$$

即洋浦经济区围填海造地 650 hm<sup>2</sup> 造成海域自然生物量损失价值为 50.19 亿元。

## 2.2 海洋生物多样性维持及基因资源供给功能损失评估

北部湾海域浮游植物年生产量高, 生物饵料十分丰富, 水生物种多样性极高, 是多种鱼、虾、蟹、贝类繁殖、栖息、生长的良好场所, 具有十分重要的物种多样性维持生态功能。洋浦经济开发区附近海域位于北回归线以南的热带海洋区域, 区域内海洋生物种类众多, 拥有红树林、白蝶贝等珍稀生物资源, 具有较高的基因资源价值。海洋生态系统的基因资源供给服务功能价值, 目前尚没有公认成熟的评估方法, 可采用成果参照法进行估算。2002 年 DE Groot 提出全球各类生态系统提供基因资源的单位面积价值介于 6~112 美元/(hm<sup>2</sup>·a) 之间<sup>[13]</sup>。考虑到洋浦经济开发区附近海域位于热带海区, 拥有丰富的生物资源和生物多样性, 同时参考胡小颖<sup>[14]</sup>、索安宁等<sup>[8]</sup> 研究, 本文取单位面积海域物种多样性维持及基因资源供给功能价值为 2 100 元/(hm<sup>2</sup>·a)。

洋浦经济开发区围填海造地 650 hm<sup>2</sup> 导致的海洋生物多样性维持及基因资源供给功能价值损失为

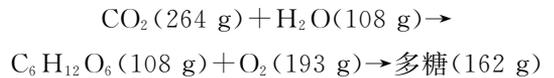
$$650\ \text{hm}^2 \times 2\ 100\ \text{元}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a}) \times 50\ \text{a} = 0.682\ 5\ \text{亿元}$$

即洋浦经济开发区围填海造地 650 hm<sup>2</sup> 导致海洋生物多样性维持及基因资源供给功能价值损失为 0.682 5 亿元。

## 2.3 海洋气候调节服务功能损失评估

海洋生态系统的气候调节服务来源于海洋生态系统及各种生态过程通过对温室气体的吸收和固定, 达到对某一区域或全球气候的调节作用。海洋生态系统的气候调节服务主要来源于海洋生物光合作用生长过程对 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>x</sub>O (过氧化氮)、CFC (氟氯烃) 等温室气体的吸收和固定。由于温室气体的数量与区域或全球的平均气温呈正相关, 所以海洋的气候调节服务评估可采用海洋生态系统对温室气体的固定数量来确定。

海洋浮游生物光合作用反应方程式



可知, 海洋浮游生物每生产 162 g 的干物质可吸收固定 264 g 的二氧化碳, 同时也释放 108 g 的氧, 即海洋浮游生物每生产 1 g 干物质可固定 1.63 g 二氧化碳, 同时释放 1.19 g 的氧。

围填海造地的海洋生态系统气候调节服务功能价值损失计算公式为

$$\text{VOC} = \sum_{i=1}^n \text{PP}i \times C_i \quad (3)$$

式中: VOC 为气候调节服务的价值损失; PP $i$  为评价海域固定  $i$  类温室气体的数量;  $C_i$  为固定单位数量温室气体的费用。

根据光合作用方程式可以推算出植物每生产 1 g 干物质, 需要吸收 1.63 g 二氧化碳。根据目前国际上通用的碳税率标准和我国的实际情况, 采用我国的造林成本 260 元/t 和国际碳税标准 150 美元/t 的平均值 635 元/t 作为碳税标准。

海洋浮游生物光合作用生长过程在固定温室气体二氧化碳的同时, 还释放一定数量氧气。其计量指标可以采用氧气的释放数量费用, 有害气体的吸收数量费用等, 计算公式为

$$VOA = \sum_{i=1}^n QE_i \times C_i + \sum_{j=1}^m QA_j \times C_j \quad (4)$$

式中:VOA 为空气质量调节的价值; $QE_i$  为评价海域释放的氧气数量; $C_i$  为生产单位数量  $i$  气体的费用; $QA_j$  为评价海域吸收的  $j$  类有害气体数量; $C_j$  为处理单位数量  $j$  类气体的费用。由于其他有害气体计算比较复杂,本研究只计算海洋生态系统氧气释放的价值。根据光合作用方程式可以推算出植物每生产 1 g 干物质,可以释放 1.19 g 氧气,氧气吸收价值采用工业制造氧气的费用 400 元/t 作为估算标准<sup>[15]</sup>。

根据 2010 年 3 月洋浦港邻近海域初级生产力水平调查结果,洋浦海域初级生产力水平范围在 385~4 419 mg/(m<sup>2</sup>·d)(以碳计),平均为 1 530 mg/(m<sup>2</sup>·d)(以碳计)。洋浦经济开发区围填海造地 650 hm<sup>2</sup> 造成的海域气候调节功能价值损失计算如下。

固定温室气体 CO<sub>2</sub> 的功能损失数量为

$$650 \text{ hm}^2 \times 1\,530 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) \times 365 \text{ d} \times 1.63 \times 50 \text{ a} = 295\,838.89 \text{ t}$$

固定温室气体 CO<sub>2</sub> 功能损失的价值为

$$295\,838.89 \text{ t} \times 635 \text{ 元}/\text{t} = 1.88 \text{ 亿元}$$

释放有益气体 O<sub>2</sub> 的功能损失数量为

$$650 \text{ hm}^2 \times 1\,530 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) \times 365 \text{ d} \times 1.19 \times 50 \text{ a} = 215\,980.54 \text{ t}$$

释放有益气体 O<sub>2</sub> 的功能损失价值为

$$215\,980.54 \text{ t} \times 400 \text{ 元}/\text{t} = 0.86 \text{ 亿元}$$

## 2.4 海洋灾害调节与控制功能损失评估

2002 年 De Groot<sup>[13]</sup> 提出全球生态系统生物控制服务的单位价值为 2~78 美元/(hm<sup>2</sup>·a)。海南洋浦经济开发区附近海域为热带海域,台风、风暴潮等海洋灾害问题突出,海岸带生态系统在防护台风等自然灾害方面发挥着重要的作用。因此,取二者的最高值 78 美元/(hm<sup>2</sup>·a),即 487.72 元/(hm<sup>2</sup>·a) 作为洋浦经济开发区单位面积海域所提供的生物控制服务功能的估算价值基准。

洋浦经济开发区围填海造地 650 hm<sup>2</sup>, 导致此区域海域转变成为陆地,完全丧失海岸灾害调节与控制功能,造成的海岸灾害调节与控制功能损失价值为

$$650 \text{ hm}^2 \times 487.72 \text{ 元}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a}) \times 50 \text{ a} =$$

0.158 5 亿元

即洋浦经济开发区围填海造地 650 hm<sup>2</sup> 导致的海岸灾害调节与控制功能价值损失 0.158 5 亿元。

## 2.5 海洋污染物净化功能损失评估

陆源入海污染物通过海洋生态系统的生物、化学、水文等一系列海洋生态过程而转化为无毒无害的物质,其作用的性质与污水处理工厂相似。海洋生态系统的污染物净化功能主要体现在对进入近海海域引起海水富营养化的氮元素和磷元素的固定,以及对 COD 和石油烃的去除等方面。污染物处理功能大小与海洋环境容量价值密切相关<sup>[16]</sup>,采用影子工程法间接估算洋浦经济开发区围填海造地造成的污染物处理服务功能价值损失,其估算公式如下:

$$P_i = X_i C_i \quad (5)$$

式中: $P_i$  为评价海域某一污染物每年的环境容量价值; $X_i$  为评价海域该污染物每年的环境容量; $C_i$  为评价海域该污染物的人工处理成本。选择无机氮、无机磷和石油类作为污染评价因子。2010 年 3 月份调查获得的洋浦经济开发区围填海造地海域水体主要污染物浓度见表 2。

表 1 洋浦经济开发区围填海海域海洋水体

污染物种类	主要污染物浓度			环境容量
	大潮平均值	小潮平均值	三类水质标准	
溶解氧	7.230	7.250	4.00	3.250
化学需氧量	0.450	0.360	4.00	3.595
石油类	0.008	0.011	0.030	0.021
无机氮	0.089	0.052	0.400	0.330
无机磷	0.002	0.003	0.030	0.028

由表 1 可以看出,根据海南省海洋功能区划,洋浦经济开发区围填海造地海域属于工业与城镇建设功能区,工业与城镇建设功能区水体环境质量管理要求达到第三类水体质量标准,具体指标为石油类 0.030 mg/L、无机氮 0.400 mg/L、无机磷 0.030 mg/L。依据调查得到的石油类、无机氮和无机磷水体浓度和三类海水水质标准,可计算得到石油类的环境容量为 0.021 mg/L、无机氮的环境容量为 0.330 mg/L、无机磷的环境容量为 0.028 mg/L。洋浦经济开发区围填海造地 650 hm<sup>2</sup> 造成石油类、无机氮、无机磷的环境容

量损失估算如下。围填海区域平均水深 7 m。

石油类:  $650 \text{ hm}^2 \times 7 \text{ m} \times 0.021 \text{ mg/L} \times 50 = 46.638 \text{ t}$

无机氮:  $650 \text{ hm}^2 \times 7 \text{ m} \times 0.330 \text{ mg/L} \times 50 = 749.613 \text{ t}$

无机磷:  $650 \text{ hm}^2 \times 7 \text{ m} \times 0.028 \text{ mg/L} \times 50 = 62.563 \text{ t}$

根据国务院《排污费征收使用管理条例》，石油类去除成本取 7 000 元/t。无机氮的去除成本为 1 500 元/t，磷酸盐的去除成本为 2 500 元/t，采用替代成本法，估算洋浦经济开发区围填海区域的环境容量及其充分利用该容量进行污染物净化的生态服务功能价值。

石油类:  $46.638 \text{ t} \times 7 000 \text{ 元/t} = 32.64 \text{ 万元}$

无机氮:  $749.613 \text{ t} \times 1 500 \text{ 元/t} = 112.44 \text{ 万元}$

无机磷:  $62.563 \text{ t} \times 2 500 \text{ 元/t} = 15.64 \text{ 万元}$

以上总和为  $32.64 \text{ 万元} + 112.44 \text{ 万元} + 15.64 \text{ 万元} = 160.72 \text{ 万元}$ 。即洋浦经济开发区围填海造地  $650 \text{ hm}^2$  造成的海洋污染物净化功能价值损失为 160.72 万元。根据洋浦经济开发区附近海域的水动力环境观测结果，近岸海域海水循环周期为 3 个月，则 50 a 的海域污染净化功能价值损失为 3.21 亿元。

## 2.6 海洋文化服务功能损失评估

海洋生态系统所产生和吸引的科学研究以及对人类知识的补充等贡献，可以通过对该地区进行的科学研究投入数量以及获得的科学研究成果数量来间接计算此项服务<sup>[11]</sup>。在实际操作中，由于各类科研投入部门不一，形式多样，科研成果数量类型复杂，难以量化。当前洋浦经济开发区所在的洋浦半岛正处于开发大发展的起步阶段，在水产养殖、海洋开发技术、海洋生态环境保护 and 海洋经济产业等方面具有典型而重要的研究价值。1997 年 Costanza 等<sup>[17]</sup> 提出近岸海洋水域单位面积的精神文化服务价值约为 5 425 美元/ $(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ，我国陈仲新等<sup>[18]</sup> 根据中国生态系统的实际现状计算出中国各类生态系统单位面积的平均科研文化价值约为 3.55 万元/ $(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。采用成果参照法，本研究取以上二者的平均值 3.47 万元/ $(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。则洋浦经济开发区围填海造地  $650 \text{ hm}^2$  造成的海洋文化服务功能损失价值为

$650 \text{ hm}^2 \times 3.47 \text{ 万元}/(\text{km}^2 \cdot \text{a}) \times 50 \text{ a} = 0.11 \text{ 亿元}$

即洋浦经济开发区围填海造地  $650 \text{ hm}^2$  造成的海洋文化服务功能损失价值为 0.11 亿元。

## 2.7 海洋旅游娱乐服务功能损失评估

海岸景观和海岸优质的生态环境是旅游娱乐休闲产业的重要基础资源，据调查分析海南省儋州市旅游业 80% 与海岸和海洋有关，滨海旅游是区域旅游业的重要内容。2012 年洋浦经济开发区所在的儋州市全面共接待国内外游客 63.83 万人次，旅游收入 4.72 亿元。儋州市海岸线长度为 267.30 km，其中本次围填海造地占用海岸线 8.206 km，形成工业与港口区域，彻底失去旅游娱乐功能价值。旅游收入的 80% 为海岸与海洋旅游收入，则单位海岸线的旅游收入为 141.26 万元/km。

洋浦经济开发区围填海造地  $650 \text{ hm}^2$  占用海岸线 8.21 km，造成的旅游娱乐功能价值损失计算如下

$141.26 \text{ 万元/km} \times 8.21 \text{ km} \times 50 \text{ a} = 5.80 \text{ 亿元}$ 。

即洋浦经济开发区围填海造地占用海岸线 8.206 km 造成的旅游娱乐功能价值损失 5.80 亿元。

## 3 结果分析

评估结果表明(表 2)，洋浦经济开发区围填海造地  $650 \text{ m}^2$  的生态系统服务功能价值损失总计达到 84.35 万元。在这些海域生态系统服务功能价值损失组成中，以物质供给功能组价值损失量最大，为 71.65 亿元，主要为围填海造地海域的水产养殖功能损失和自然海域渔业生产功能的损失，占洋浦经济开发区围填海造地生态系统服务功能价值损失总量的 84.94%；其次为环境调节功能，损失的生态系统服务功能价值为 6.11 亿元，占围填海造地的生态服务功能价值损失总量的 7.25%；文化娱乐功能组的服务功能价值损失量位居第三，达到 5.91 亿元，占洋浦经济开发区围填海造地的生态系统服务功能价值损失量的 7.01%；服务支持功能组的生态系统服务功能价值损失最小，只有生物多样性维持功能 1 项，价值损失 0.68 亿元，仅占洋浦经济开发区围填海造地的总生态服务功能价值损失量的 0.81%。

表 2 曹妃甸围填海工程的海域生态服务功能损害价值

功能组	服务价值 变化/亿元	百分比/%	功能类型	服务价值 变化/亿元	百分比/%
物质供给功能	71.65	84.94	人工养殖生产功能	21.46	25.44
			自然海域渔业生产功能	50.19	59.50
环境调节功能	6.11	7.25	灾害调节与控制功能	0.16	0.19
			气候调节功能	2.74	3.25
			污染物净化功能	3.21	3.81
文化娱乐功能	5.91	7.01	旅游休闲娱乐功能	5.80	6.88
			文化知识扩展功能	0.11	0.13
服务支持功能	0.68	0.81	生物多样性维持功能	0.68	0.81
总计	84.35	100.00	总计	84.35	100.00

在具体的 8 项生态系统服务类型中,自然海域的渔业资源生产功能价值损失是洋浦经济开发区围填海造地的海洋生态系统服务功能价值损失最大类型,损失价值每年将近 1.00 亿元,占海域总生态服务功能价值损失量的 59.50%。其次为海域的人工养殖生产功能价值损失,围填海造地海域原有人工水产养殖海域约 150 hm<sup>2</sup>,围填海造地造成水产养殖海域养殖功能的彻底丧失,丧失的养殖功能价值每年为 0.43 亿元,占围填海造地的海域生态服务功能价值损失的 25.44%。旅游休闲娱乐功能价值损失量为第三,每年损失休闲娱乐功能价值 1 160 万元,占围填海造地的生态系统服务功能价值的 6.88%。另外,污染净化功能、灾害调节功能、气候调节功能和生物多样性维持功能的价值损失分别每年达到 642 万元、32 万元、548 万元和 136 万元。

#### 4 结论

根据海南热带海洋生态系统特点,构建了围填海造成的海域生态系统服务功能损害的货币化评估模型与方法,评估了海南洋浦围填海造地的海洋生态系统服务功能价值损失。结果表明:海南洋浦经济开发区围填海造地 650 hm<sup>2</sup>,造成的海洋生态系统服务功能价值损失 84.35 亿

元,其中物质供给功能价值损失占 84.94%,环境调节功能价值损失占 7.25%,文化娱乐功能价值损失占 7.01%,服务支持功能价值损失占 0.81%。在具体服务功能类型上,自然海域渔业生产功能和海域人工养殖生产功能损失最大,分别达到 50.19 亿元和 21.46 亿元,其次为旅游休闲娱乐功能,价值损失 5.80 亿元,以上 3 项服务功能价值损失占洋浦经济开发区围填海造地的生态系统服务功能价值损失总量的 91.82%。

可以看出,洋浦经济开发区围填海造地对海洋生态系统服务功能损失最大的是海洋的渔业生产功能,其次为海岸、滨海地区的休闲旅游娱乐功能,这两项海洋服务功能也是当前海南省海域空间的主要生态服务功能。围填海造地也对海岸/海域的环境调节功能造成一定损伤,主要包括海域的灾害调节功能、气候调节功能和污染净化功能。围填海对海洋生态系统服务功能损伤的另一类型是海域的服务支撑功能,由于该项功能相对复杂,限于技术原因本研究只评估了围填海造地对海域生物多样性物质功能/基因资源供给功能的价值损失,由于评估范围有限,围填海造地对该项功能价值的损失也最小。

#### 参考文献

- [1] DAILY G C. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington D C: Island Press,1997.
- [2] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等. 生态系统服务的供给、消费和价值化[J]. 资源科学, 2008, 30(1):93-99.
- [3] PENG B, HONG H, HONG J, et al. Ecological damage appraisal of sea reclamation and its application to the establishment of us-

- age charge standard for filled seas; case study of Xiamen, China[J]. Environmental Informatics Archives, 2005(3):153-165.
- [4] ZHANG M H, CHEN C P, SUO A N. Estimation method for spatial capacity of sea areas reclamation[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 260:1026-1029.
- [5] SSHIN I S, MIKIO A. Ecological and paleoecological implications of the rapid increase and decrease of an introduced bivalve *Potamocorbula* sp. after the construction of a reclamation dike in Isahaya Bay, western Kyushu[J]. Japan. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2002, 185:369-378.
- [6] 王萱, 陈伟琪, 张珞平, 等. 同安湾围(填)海生态系统服务损害的货币化预测评估[J]. 生态学报, 2010, 30(21):5914-5924.
- [7] 索安宁, 张明慧, 于永海, 等. 曹妃甸围填海工程的环境影响回顾性评价[J]. 中国环境监测, 2012, 28(2):105-110.
- [8] 索安宁, 张明慧, 于永海, 等. 曹妃甸围填海工程的海洋生态服务功能损失估算[J]. 海洋科学, 2012, 36(3):108-114.
- [9] 张惠, 孙英兰. 青岛前湾填海造地海洋生态系统服务价值损失的估算[J]. 海洋湖沼通报, 2009, 3: 34-38.
- [10] 陈尚, 张朝晖, 马艳, 等. 我国海洋生态系统服务功能及其价值评估研究计划[J]. 地球科学进展, 2006, 21(11): 1127-1133.
- [11] 陈应发. 中国森林环境资源价值评估: 国家科委自然资源核算 04 子项目报告之三[R]. 北京: 中国林业科学研究院科信所, 1994.
- [12] 卢振彬, 杜琦, 颜允明, 等. 厦门沿岸海域贝类适养面积和可养量的估算[J]. 台湾海峡, 1999, 18(2):63-72.
- [13] DE GROOT R S, WILSON M A, BOUMAN R M J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem services, goods and services [J]. Ecological Economics, 2002, 41: 393-408.
- [14] 胡小颖, 雷宁, 赵晓龙, 等. 胶州湾围填海的海洋生态系统服务功能价值损失的估算[J]. 海洋开发与管理, 2013, 30(6):18-24.
- [15] 欧阳志云, 郑华. 生态系统服务的生态学机制研究进展[J]. 生态学报, 2009, 29(11): 6183-6188.
- [16] 郭良波. 渤海环境动力学数值模拟及环境容量研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- [17] COSTANZA R, ARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and nature capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260.
- [18] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值[J]. 科学通报, 2000, 45(1): 108-116.