

人工浮岛研究及其在海域海岛优化 开发中的应用启发

常立侠^{1,2,3}, 赵旭锋³, 陈昌亮³, 林徽慰³

(1. 南京大学 地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210000; 2. 海岸与海岛开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210000;
3. 广东省海洋发展规划研究中心, 广东 广州 510000)

摘 要:人工浮岛是人工岛的一种方式,在国外至少有千年之久的发展历史,国内外对于人工浮岛技术及应用已开展大量研究。本文概括了人工岛、人工浮岛定义及其分类,通过文献收集分析了国内外关于人工浮岛在环境改善、生态修复、景观改造、栖息地建造等方面的应用优势及相关的各种专利产品。国外人工浮岛在居住功能、环境改善和栖息地改造、景观改造等方面的成功经验值得我们学习,在利用人工浮岛技术向远海开发拓展、转移近岸海域海岛生态环境压力、建设海洋多功能平台,开展多元化开发利用等方面具有启发和前景,将其技术借鉴至海岸带水环境治理、生物岸线的改造、旅游规划等方面将对于促进海洋生态文明建设,利用新技术改善海域海岛生态环境具有重要意义。

关键词:人工浮岛;应用;生态文明;启发

中图分类号:U656

文献标识码:A

文章编号:1002-3682(2018)03-0072-11

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2018.03.009

国内外关于浮岛技术的研究已有较为悠久的历史,也在环境治理、景观美化、栖息地创建等方面发挥了不少作用,取得了一定的成效。目前国内外的人工浮岛技术在淡水资源环境保护与管理、陆地景观公园、绿化等方面的应用较为普遍,但在海岛、海洋相关领域的应用尚有较大提升空间。随着社会科技的进步以及沿海经济发展的环境、资源瓶颈制约,人工浮岛不失为一种科学的用海、用岛模式。基于此,本文简要概述了人工浮岛的定义、分类、应用等基本情况,结合海岛、海域资源环境现状和管理需求,提出在海岛、海域综合开发与管理方面应用人工浮岛技术提供支撑的启发,以期对当下海洋高质量发展、促进海洋公共服务事业的发展提供基础依据。

1 人工浮岛定义、分类及原理

1.1 人工岛的定义及分类

人工岛(Artificial Island)指为了一定的目的和用途,在海中人工建造的岛屿。广义的人工岛则包括桩式和漂浮式等能在海域中形成一定使用场地的各种海上建筑物^[1]。

Takagi^[2]曾指出建造人工岛屿是未来海洋工程师和土木工程师最有希望的目标之一。海上人工岛建设正成为土地资源相对贫乏的国家和地区开发利用海洋资源的重要方式之一^[3]。人工岛的设计与其他的海岸

收稿日期:2018-01-12

资助项目:广东省海洋与渔业厅海洋与渔业科技对外合作及生态环境保护研究项目——广东省海岛植被生态修复实践研究—以三角岛为例(A201700005)和围填海生态恢复调查与评价标准研究(A201700008)

作者简介:常立侠(1983-),女,高级工程师,博士研究生,主要从事海岛海岸带资源开发与管理方面研究。E-mail: 18825186351@163.com

(王佳实 编辑)

工程建筑物的设计既有共同点,又有其特殊性^[4],其特殊性在于人工岛的形状选择和总体布置、对附近海岸变形、波浪绕射、局部冲淤形态的影响以及它的结构型式和建造方法等^[5]。

目前主要依据其功能和结构对人工岛进行分类:从使用功能来说,人工岛可用作海港作业区、海上机场、海上发电厂、海上工业基地、海上钻采和储存石油设施、海上旅游城市以及海上军事设施等^[1];按结构类型分类时,人工岛可分为固定式和漂浮式两大类,固定的人工岛即传统的桩式和填筑式,漂浮的人工岛即可以漂浮在水上的人工构筑物,规模可大可小。

1.2 人工浮岛

1.2.1 定义

“浮岛”是指由于泥碳层向上浮起作用,使湖岸的植物一部分被切断,漂浮在水面的一种自然现象^[6],正如 Harding 所展示的一样^[11](图 1),它存在于各种水体中,是一种特殊构筑物,利用有机或合成材质作为载体而漂浮于水体,其上可栽植植物,其作用是改善水体环境^[7]。人工浮岛(Artificial Floating Island)是与自然形成的“浮岛”相对应的一种由人工建造的浮岛,又称人工浮床、生态浮岛,是一种像筏子似的人工浮体^[8],将具有一定浮力的材料作为漂浮在水面上的载体,其上“种植”水生植物^[9]。人工浮岛由植物体、植物浮床、浮岛平台和水下固定装置四部分组成^[10](图 2)。

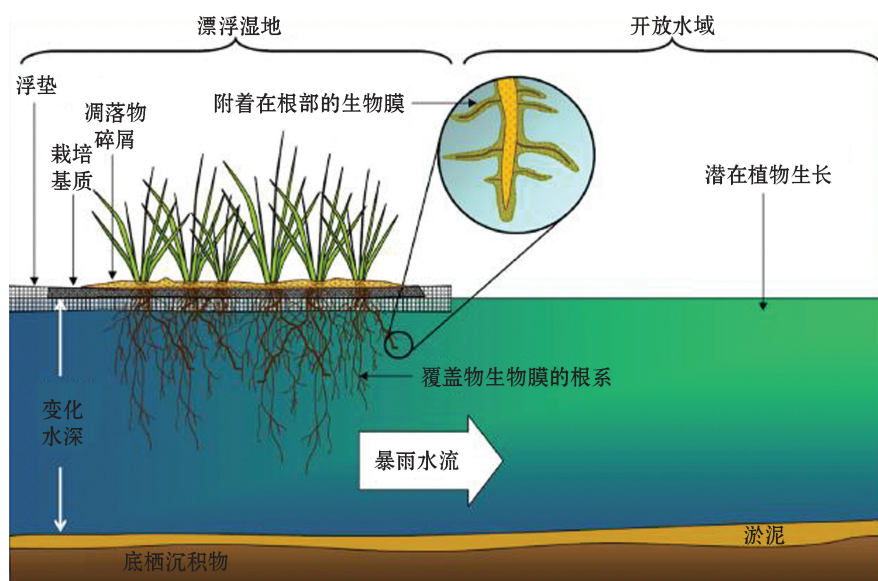


图 1 人工浮岛示意图(即综合浮式处理湿地或综合生态浮床)^[11]

Fig.1 A schematic map of an artificial floating island

(also called as integrated floating wetland or integrated ecological floating bed)^[11]

人工浮岛技术是一种倡导的生态环境技术,具有污染物净化,生境恢复,生态系统恢复,景观改善等功能,在水体综合治理领域具有良好的应用前景^[10]。最早研究浮岛技术的学者是美国生态学家 Gurney,他在 1971 年发表关于加拿大雁的水上漂浮式人工巢的论文^[12]。

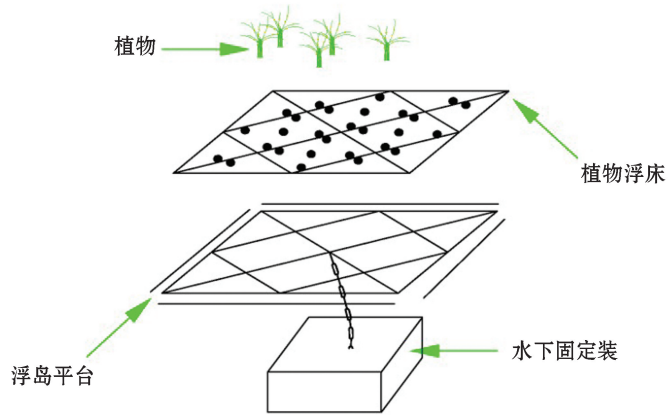


图2 人工浮岛组成示意图

Fig.2 Composition of an artificial floating island

1.2.2 人工浮岛分类

人工浮岛技术最初研究目的是用于生态修复,按照介质和所处的水域环境均可分为两大类。其中按照介质可分为:1)湿式浮岛(“wet”),其设计模式是植物的根可以伸展到水中;2)干式浮岛(“dry”),其设计模式是植物的根生长在浮岛铺垫的基质中,不与水接触^[12],见图3。



(a)干式浮岛



(b)湿式浮岛

图3 按照介质分类的人工浮岛示意图

Fig.3 The artificial floating islands classified based on medium

人工浮岛按照所处的水域环境可分为:1)淡水人工浮岛,如当前各种应用于水环境治理和改善的人工浮岛,主要是湖泊、水库,规模相对不大;2)海洋人工浮岛,也可以称之为“海上碉堡”,这类人工浮岛一般规模较大,以服务于海洋开发的“陆基”需求。

1.2.3 人工浮岛的原理及设计

在1995年第6届国际湖泊环境大会上,人工浮岛技术在环境方面的作用成功吸引了人们的注意。它对环境的净化和改善作用主要基于水生植物对环境的净化原理,即水生植物在生长过程中需要吸收氮、磷等大量营养元素,种植于浮岛上的植物通过吸收水体中的营养元素既能维持自身的生长,又能起到削减富集水体中的氮、磷^[13]以及有机、有毒物质,从而使得水质得到净化、质量得到改善,促进当地水生态环境的恢复。同

时植物根系巨大的表面积成为大量微生物附着的优良生物载体,在浮岛的避光环境下,间接地抑制了藻类的繁殖,能有效地阻止水华的发生^[14]。由于植物本身具有一定的景观效应,故很多人工浮岛在起到环境净化的同时,也具有一定的景观效应。

基于上述原理,在人工浮岛的设计过程中,需要考虑以下几个方面的内容^[9,15]:

1)浮岛结构的稳定性:应具有一定稳定性,能抗风浪和浮岛单元相互间的碰撞。

2)载体的耐用性:浮岛载体应经久耐用,尽量选择无污染、抗老化、耐腐蚀的材料,避免因浮岛经常破损而更换载体,导致运营管理难度加大且容易造成二次污染。

3)浮岛的景观效应:在浮岛设计时要考虑浮岛与周边景观的协调性,在处理水体的同时美化人们的视野。

4)灵活性:浮岛单元应便于运输,易于拼接,依据不同的工程要求可以拼接成所需的大小和形状,且要便于后期维护。

5)植被的选择:根系发达、长势强,且适应无土环境;植株生物量大,能从环境中带走较多的冗余营养,适应污染水体的能力强;植株常绿期长,萌蘖速度快,生长迅速;植株组织致密,残体或死亡后不易造成二次污染。

人工浮岛的布设因目的与环境的不同,规模也不同,目前,还没有固定的公式可套^[7]。研究结果表明提供鸟类生息环境至少需要 0.1 万 m² 的面积;以净化水质为目的的人工浮岛规模,专家认为覆盖水面的 25%~30% 是必要的;若是以景观为主要目的的浮岛,至少应在视角 10°~20° 的范围内布设^[6]。

2 国内外人工浮岛的应用及研究进展

在国外,人工浮岛的起源可追溯到千年之前,如缅甸莱茵湖上数千个浮岛形成的 30 多个村落,其历史已有千年之久;在赞比亚北部的班韦乌卢湖上的卡帕萨岛,面积约 1 km²,但该岛浮力有限,仅能承重 80 人;此外,在南美洲的喀喀湖上秘鲁乌岁族印第安人利用该湖所产的香蒲植物编造的“香蒲岛”,在巴西西部的福莫索湖因泥崩而形成的福莫索岛^[16],均起到提供居住场所和生活空间的作用,这些早期人工浮岛的开发利用,恰恰推动了后期人工浮岛技术的应用及发展。

伴随着海洋技术的发展和人们对资源环境日益紧张的认识,人工浮岛也逐渐成为备受环境学者等推崇的人工岛类型。1988 年,美国德裔植物学家 Sven Hoeger 在论文《Schwimmkampen-Germany's Artificial Floating Islands》中概括了人工浮岛的六大功能:防止堤岸侵蚀、保护海岸线、为野生动物提供栖息地、美化景观、生物消毒作用等^[9]。

概括来讲,人工浮岛的应用及研究可归纳为应用研究、理论研究和专利、技术研究三个方面,在应用研究方面主要是体现在环境改善、景观再造、生态修复等。

2.1 应用研究

Nakamura 和 Mueller^[11]指出,许多国家建有人工浮岛,如日本,德国,英国,韩国等;人工浮岛在日本非常流行,面积超过 7 万 m² 的浮式人工岛较多。20 世纪 20 年代,日本建造了第 1 个漂浮建筑物,用于鱼类产卵。20 世纪 80 年代,日本在琵琶湖开始进行大型人工浮岛的设计和实验,之后日本的人工浮岛技术得到社会各界的广泛关注和青睐,随后传播到韩国、澳大利亚、加拿大、中国、印度、德国和美国等,大大促进了全球人工浮岛技术的研发和应用。1979 年,德国设计出现代化的人工浮岛——Schwimmkampen,意思是漂浮的校园,成为世界著名的案例。

人工浮岛作为一种生态型技术,具有景观性好、适用性强、无二次污染等特点,在水环境治理方面得到较好应用^[17]。国外对于人工浮岛的其他应用主要是集中在净化水质、改善栖息地环境等方面。研究发现,人工浮岛不仅在为鸟类、鱼类提供栖息地及其数量和生物量方面发挥了重要作用^[11,18],还在水质净化与环境

治理、营养清除、水产养殖和农业以及废水、雨水处理等多种应用中具有潜在优势^[11,19]。

20 世纪 80 年代我国已开展试验建造人工浮岛,其应用主要针对河流、湖泊等水环境治理工程、景观改造等,主要代表研究有水环境的净化及修复^[20-23]、利用生物浮岛以景观改造^[17,23-24]改善栖息地环境和生物量^[25]、植物栽培^[26]、园林景观^[27-28]。Chang 等^[29]对于利用太阳能生态浮岛的水质改善实验进行了模拟和研究(图 4),在传统利用人工浮岛改善水体环境的基础上增加改善氧化作用、均匀化水体温差、超速电解电容器等新的性能。

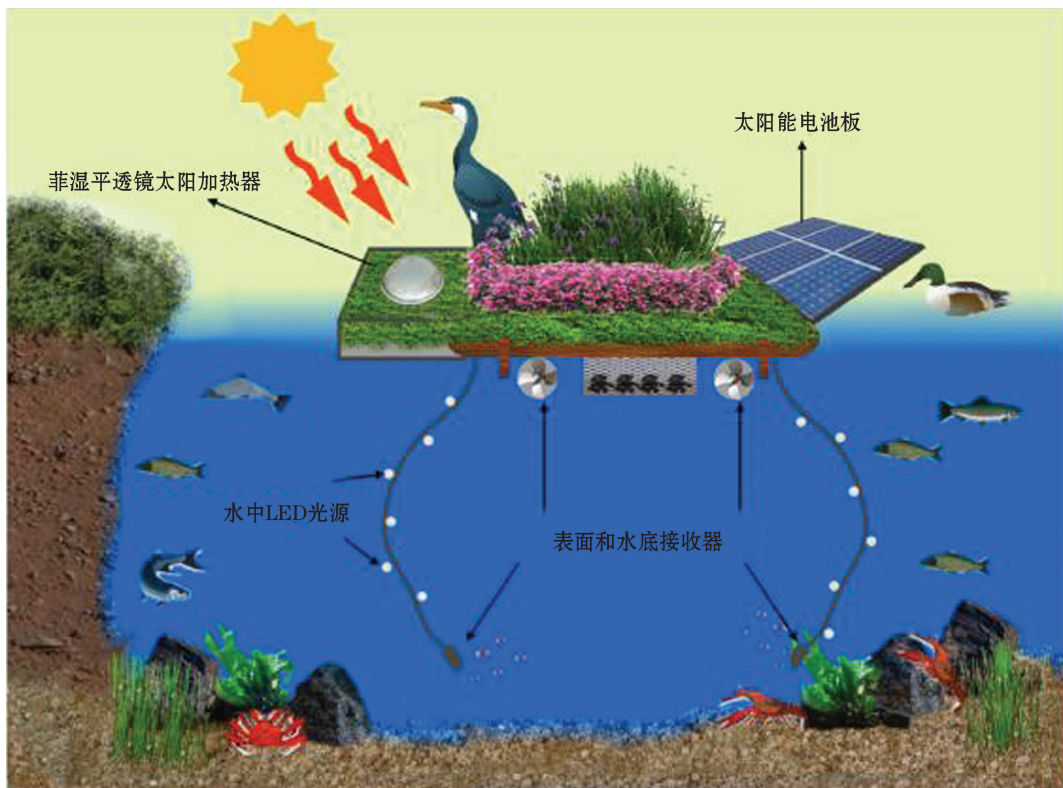


图 4 太阳能生物浮岛结构示意图^[32]

Fig.4 Structure diagram of the solar powered biological floating island^[32]

在人工浮岛的海洋应用方面,以日本为代表的西方海洋国家开展了超大型浮体材料作为人工岛或深海平台的备选材料的研究^[30],并于 1999 年建立了长 1 000 m、最宽 121 m、重约 40 000 t 的巨型浮体机场模型并进行性能的检测,可以说日本已经具备了建造运行超大型浮体平台所必须的各种技术。由挪威国家石油公司和阿联酋马斯达尔公司联合开发的全球首个商业级海上漂浮式风力发电场 Hywind 项目已经于 2017 年底在苏格兰阿伯丁郡海岸外完成部署^[31]。

国内对人工浮岛的研究应用主要集中在淡水区域,对于海上人工浮岛的研究则较少,目前最具有典型代表的是山东的海洋牧场,是全国最大的人工浮岛建设及应用的案例^[33]。目前海洋超大型浮体建设技术上美日欧走在前列,我国起步较晚,仍处于追赶中,已有大连船舶重工等企业在浮式平台等方面有所突破,还有深圳的海斯比浮岛科技开发有限公司在国内首次提出复合材料移动浮岛概念^[34],但核心的设计和关键设备上仍受制于人^[35]。

此外,美国、挪威、日本等世界渔业发达国家还利用浮式养殖平台和深水巨型养殖网箱发展深远海养殖工程装备^[36]。与挪威等国家相比,我国在深远海养殖方面起步晚,各方面差距颇大。2014 年,我国启动了首个深远海大型养殖平台建设,能够提供养殖水体近 8 万 m^3 ,可满足抗 12 级台风和 3 000 m 水深以内海上

养殖需求^[36-37]。

2.2 理论研究

在人工浮岛的理论研究方面,国内外学者比较关注人工浮岛的稳定性、可行性以及环境影响等方面的研究。Beyth 等^[38]为研究人工浮岛在以色列海岸建造的稳定性,对荷兰/以色列海岸建造人造岛屿的环境、技术和经济及法律可行性进行了模拟研究,还考虑了以浮岛、桩基岛和 PSP 浮岛等方式建造岛屿的可能性。为克服利用金属或混凝土建筑浮动式的人造岛屿造价昂贵的缺点,1996 年 Takagi^[2]在其研究中提出了一种驳船式浮岛,其结构简单,沾水面积小。Yeh 等^[19]简要地讨论了数值模型在决策过程中的作用,以便为待处理场地选择适当的 AFI 系统规模,同时也指出,在引用人工浮岛时也可能存在对本地生态系统的影响和二次污染^[39]。国内的马凤有等^[40]、Su 等^[41]分别对人工浮岛的抛锚定位法和移桩固定进行了实验研究,为人工浮岛设计提供了理论基础。陈荷生等^[42]开展了人工浮床的研究与应用工作,通过在全国多个地方开展实验研究,为我国人工浮岛技术研究及其应用积累了宝贵的经验。这些探索和研究对于提升、完善和检验人工浮岛技术的应用意义重大。

2.3 专利和技术研究

在人工浮岛的研究过程中还形成了较多的专利产品,主要涵盖可生物降解的防水人工浮岛^[43]、软性人工浮岛生态护岸^[44]、可降解的人工浮岛、建造无机人造物质浮岛的方法^[45]、A²/O 人造浮岛的水体净化方法^[46]、综合型人造浮岛模块设计^[47]、太阳能生物浮岛、多功能生态浮岛^[48]、小型浮岛公园^[49]、浮岛单体及由单体的组合式生态浮岛^[50]、煤矿废水处理的生态浮岛^[51]、一种防漂浮植物逃跑的人工浮岛^[52]、智能化人工浮岛^[53]以及由多个空心岛模块形成的浮动人工岛等。

3 人工浮岛在海域海岛应用中的启发及前景展望

3.1 启发

1) 大力发展超大型浮体建造技术,向深远海开发进军

随着海洋生态文明建设的需求和形势发展要求以及人们对于美好环境、生活的向往,滨海地区近岸应以打造绿色、和谐的生态环境,以为滨海居住提供高质量、绿色、生态的生活空间,海岸活动向深远海发展是必然的趋势,借鉴人工浮岛技术,大力发展超大型浮体建造技术,向深远海要空间、要资源、要环境,缓解近岸资源环境压力是全面实施海洋生态文明建设的重要举措。

2) 开展近岸海域、海岛资源、环境治理

生态浮岛在改善水环境方面的应用已经在内陆水体取得成熟的经验和做法,应用生态浮岛、人工浮岛技术开展近岸海域、海岛水体环境的治理和生态修复,对于解决海岛海岸带开发所造成的环境影响具有重要借鉴意义。同时,生态浮岛不仅具有环境改善的作用,最重要的是其采用自然植物进行栽培,因此将其应用于大陆、海岛近岸,对优化岸线的利用、创造具有自然生态功能属性的岸线具有重要意义。

3) 开展海域、海岛景观的应用尝试

应用生态浮岛技术增强海域景观,将浮岛技术的旅游景观作用和环境改善作用有机结合,在近岸海域,特别是围填海项目、海岛旅游开发项目,打造水上景观,无疑可以成为一道亮丽的风景。特别是对海岛开发的绿化设计而言,相比于岛上进行植被恢复高昂的费用而言,借助生态浮岛技术进行海岛近岸景观改造和环境的改善不失为一种有益尝试。

4) 采用可降解材料减少对海域环境的影响,进行资源的循环利用

目前已经有研究发明出人工浮岛的可降解材料,既有利于促进资源的再利用,能够最大程度地减少环境

污染,对于原本具有减少二次污染的人工浮岛技术而言,将是锦上添花,若能将其推广到海域、海岛资源环境的开发利用中,将极大造福社会。

5) 浮岛技术与人工鱼礁、海上钻井平台等进行有机结合,发挥更大的作用

人工浮岛最大的优点是可移动,利用这一优点,将其与大型人工鱼礁、海上钻井平台等充分结合应用,可以最大程度地实现资源的再利用,不仅能节约资源,还能促进环境的改善,其益处较多,这对于促进海洋生态文明建设同样具有重要意义。

3.2 前景展望

21 世纪是海洋的世纪,随着“一带一路”等国际战略的提出,海洋的作用将在未来的发展中日益凸显。大型人工浮岛技术在海洋工程及海洋生产中的应用将发挥巨大的作用,在海洋、海岛开发和资源环境保护等多个方面能发挥举世瞩目的作用。

1) 建设多功能海洋平台,发展海洋特色旅游

国内已有山东威海成功建设了“万和福岛”多功能海洋平台^[33],拓展海上休闲旅游广度与维度。该平台既满足了海洋旅游服务的需要,又满足了海洋环境要素监测与应急救护的公共服务需要,还现场开展了海洋科普宣传,更开创了海洋牧场与海洋休闲旅游结合的新路子。“万和福岛”对于我国发展蓝色经济有巨大的借鉴意义。国外不少浮岛也成功吸引了来自世界各地游客的青睐。可见,浮岛技术在未来海洋多功能平台建设,发展别具特色的海洋旅游方面具有较好前景。

2) 改善海洋环境,提高海域环境综合治理能力

生态型人工浮岛技术对于支撑海洋发展和环境保护具有重要的实践意义,值得进一步探索相关的技术和专利产品的开发,探索经济效益和生态效益之间的关系。利用生态浮岛技术开展海洋水体的净化与环境修复,为近岸海域环境治理提供技术支撑,提高海域环境综合治理能力。

3) 近海危险化学品/废弃物堆放场

借鉴国外塑料岛、生活垃圾处理后的填埋技术,利用远离海岸建设人工浮岛处理城市生活垃圾,缓解城市土地资源的紧张和居民生活环境的保护,开展惠民工程,为城市居民打造绿色、和谐的生态发展环境。

4) 海上作战平台

20 世纪 90 年代,冷战结束后,美国作战研究机构首次提出建设“联合海上浮动基地”,俗称“人工浮岛基地”^[54]。在当前海洋权益越演越烈的国际形势下,研发海上基地后勤保障技术,也将是捍卫国家领海主权,实施海上权益巡查维护的重要保障之一。

4 讨 论

海上人工岛的建设起步较晚,同时由于人类对海洋认识的局限性,使得海上人工岛建设还面临较多的问题,诸如功能与规模确定、设计标准、选址、关键基础资料获取等尚有较大空间^[5]。当前国内外有关人工浮岛的研究及应用主要关注陆域水资源环境的治理和改善,而针对海洋人工浮岛的研究还较少,21 世纪是海洋经济时代,辽阔的海洋蕴藏着无比丰富多样的资源,发展海洋经济是开拓人类发展空间的必然选择,随着全球海洋开发战略意义和内容的丰富,大型海上人工浮岛将会成为有效利用和开发海洋空间及资源的重要可靠手段^[55],对于海洋人工浮岛的研究势在必行,这方面的研究还有待加强。但由于海洋与陆地淡水环境存在较大差别,人工浮岛的生态修复、环境改善技术在海洋中的应用将面临全新的挑战,一些净化水质的植物及其相关的生活习性需要进行研究和试验推广,对于景观物种的选择以用来实现符合具有生态功能的岸线也值得深入研究。

人工浮岛在海域海岛环境治理、景观改造中存在着诸多可借鉴之处。未来应在开展国内外成功案例研究的基础上,通过对有关技术单位的考察与学习,深入了解人工浮岛技术在应用中的前景与需要突破的技术

难题,重点加强在海域海岛环境治理、生物岸线建造以及近岸景观改造等技术方面的研究和推广应用。

5 结 语

人工岛和人工浮岛技术主要在国外欧美、日韩等国家发展较成熟,应用较多,我国虽起步较晚,但赶超发展速度较快。人工浮岛在水环境治理、生态修复、旅游景观改造、提供栖息地等方面具有成熟的应用。随着技术的发展,人工浮岛在海洋资源环境开发与优化管理中的应用也逐渐发挥重要作用,如进行生物岸线的建造、海域水体环境的治理、近岸景观改造等。一些超大型浮体材料的设计研发将为人类向深远海进军乃至提供海上作战平台的后勤保障提供重要支撑能力,发展前景值得期待。

参考文献(References):

- [1] YUE N N. Impact studies of the man-made island project to the vicinity of area on the sandy coast[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008. 岳娜娜. 离岸人工岛对沙质海岸的影响研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2008.
- [2] TAKAGI K. Interaction between tsunami and artificial floating island[J]. International Journal of Offshore & Polar Engineering, 1996, 6(3): 171.
- [3] ZHANG M L, WU W Q, CHEN L, et al. On the construction of crescent-shaped artificial island in Jiangsu Province[J]. Ocean Development and Management, 2011, 28(3): 30-33. 张名亮, 吴伟强, 陈丽, 等. 江苏新月形人工岛建设探讨[J]. 海洋开发与管理, 2011, 28(3): 30-33.
- [4] XIE S L. The Progress of artificial island design[J]. Coastal Engineering, 1995, 14(1): 1-7. 谢世楞. 人工岛设计的进展[J]. 海岸工程, 1995, 14(1): 1-7.
- [5] ZHANG Z M, LIU L S, QIAN L M, et al. On key design technology for large offshore man-made island[J]. Port and Waterway Engineering, 2011, 458: 1-7. 张志明, 刘连生, 钱立明, 等. 海上大型人工岛设计关键技术研究[J]. 水运工程, 2011, 458: 1-7.
- [6] DING Z P. Introduction of man-made floating island with marshland purifying technology in Japan[J]. Haihe Water Resources, 2007(2): 63-65. 丁则平. 日本湿地净化技术人工浮岛介绍[J]. 海河水利, 2007(2): 63-65.
- [7] MA F Y, LI Q, DENG F S. Design of artificial floating island carrier[J]. China Rural Water and Hydropower, 2007(5): 85-87. 马凤有, 李强, 邓辅商. 人工浮岛载体设计研究[J]. 中国农村水利水电, 2007(5): 85-87.
- [8] SHI X H, LIANG S J, DU L G, et al. Production and analysis of artificial floating island and its application prospect in wetland[J]. Guangdong Science & Technology, 2008, 189: 201-202. 史秀华, 梁素娟, 杜林根, 等. 人工浮岛的制作解析及其在湿地中的应用展望[J]. 广东科技, 2008, 189: 201-202.
- [9] WANG T, ZHOU X Q, SU X, et al. Application of artificial floating island to water in-situ remediation[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University(Natural Science Edition), 2012, 29(6): 63-66. 王涛, 周晓琴, 苏翔, 等. 人工浮岛在水体原位修复中的应用[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2012, 29(6): 63-66.
- [10] CHEN S, CHAO L, ZHAO J, et al. Application and development of artificial floating island technology[J]. Applied Mechanics & Materials, 2014, 587-589: 696-700.
- [11] NAKAMURA K, MUELLER G. Review of the performance of the artificial floating island as a restoration tool for aquatic environments [C]//Environmental & Water Resources Institute of World Environmental and Water Resources Congress. Hawaii: ASLE, 2008: 1-10.
- [12] NIE Z Y. The overview and prospect of artificial floating island[J]. Urban Construction Theory Research(Electronic Edition), 2014(7): 2095-2104. 聂志勇. 人工浮岛的概述及展望[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2014(7): 2095-2104.
- [13] LU J D, ZHAO L Y, KANG Q, et al. The present study conditions of harnessing eutrophic water by man-made floating culture beds[J]. Journal of Human Environment-Biological Polytechnic, 2005, 11(3): 214-218. 卢进登, 赵丽娅, 康群, 等. 人工生物浮床技术治理富营养化水体研究现状[J]. 湖南生态科学学报, 2005, 11(3): 214-218.
- [14] WU L H, WU L L, HUANG M S, et al. Constructed floating beds and their application advancement on polluted waterbody remediation[J]. Water Purification Technology, 2006, 25(4): 8-9. 武琳慧, 吴林林, 黄民生, 等. 人工浮床及其在污染水体治理中应用进展[J]. 净水技术, 2006, 25(4): 8-9.
- [15] ZHANG H. Application of artificial floating island in improving the water quality of Dingxiang Lake[J]. Environmental Protection Science, 2011, 37(2): 34-37. 张华. 人工浮岛在丁香湖水质改善中的应用[J]. 环境保护科学, 2011, 37(2): 34-36.
- [16] HUA P C. Some interesting things of man-made floating island[J]. Navigation, 1991(1): 36-37. 华丕长. “浮岛”集趣[J]. 航海,

- 1991(1): 36-37.
- [17] AN M. Preliminary analysis of artificial floating island species and application effect[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2017, 23(3): 48-49. 安曼. 人工浮岛种类及应用效果初步分析[J]. 水利科技与经济, 2017, 23(3): 48-49.
- [18] HANCOCK M. Artificial floating islands for nesting Black-throated Divers *Gavia arctica* in Scotland: construction, use and effect on breeding success[J]. Bird Study, 2000, 47(2): 165-175.
- [19] YEH N, YEH P, CHANG Y H. Artificial floating islands for environmental improvement[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015(47): 616-622.
- [20] BING X W, CHEN J C. The control of eutrophic water in ponds by floating-bed soilless culture of plants[J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2001, 21(3): 29-33. 邝旭文, 陈家长. 浮床无土栽培植物控制池塘富营养化水质[J]. 湛江海洋大学学报, 2001, 21(3): 29-33.
- [21] WANG Z, LIU Y, WANG Z M, et al. Application prospect of artificial floating islands[J]. Environmental Protection Science, 2008, 34(5): 23-25. 王劼, 刘阳, 王泽民, 等. 人工浮岛技术应用前景[J]. 环境保护科学, 2008, 34(5): 23-25.
- [22] LIU L, YANG R Q. Application of artificial floating island in Xuzhou City[J]. Journal of Green Science and Technology, 2012(2): 99-101. 刘雷, 杨瑞卿. 人工生物浮岛在徐州的应用初探[J]. 绿色科技, 2012(2): 99-101.
- [23] SUN W H. Application of artificial floating islands in the water landscape in cold area[J]. Business China, 2013, 2(2): 385. 孙伟红. 生物浮岛在高寒区水体景观中的应用[J]. 中国商界, 2013, 2(2): 385.
- [24] LI Y J, JIN X C, NIAN Y G, et al. Artificial floating island technology and its applied research[J]. Technology of Water Treatment, 2007, 33(10): 49-51. 李英杰, 金相灿, 年跃刚, 等. 人工浮岛技术及其应用[J]. 水处理技术, 2007, 33(10): 49-51.
- [25] LI H S, NIE C R, FANG W J, et al. Studies on the growing characteristics of plants grown in floating soilless culture system[J]. Journal of South China Agricultural University(Natural Science Edition), 2003, 24(2): 12-15. 黎华寿, 聂呈荣, 方文杰, 等. 浮床栽培植物生长特性的研究[J]. 华南农业大学学报(自然科学版), 2003, 24(2): 12-15.
- [26] DAI P, WU X G, ZHANG W H, et al. Development in the study of man-made floating culture islands' carrier[J]. Environmental Science and Management, 2006, 31(6): 13-16. 代培, 吴小刚, 张维昊, 等. 人工生物浮岛载体的研究进展[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(6): 13-16.
- [27] LI S H. A new type of garden Space——artificial floating island[J]. Flowers & Horticulture, 2005(12): 8-9. 李树华. 一种新型的园林绿地——人工浮岛绿地[J]. 花木盆景, 2005(12): 8-9.
- [28] LI C F, XIONG Y M, XIA H P. A brief introduction to a new gardening and ecological technics——artificial floating island[J]. Guangdong Landscape Architecture, 2007, 29(4): 29-32. 李翠芬, 熊燕梅, 夏汉平. 介绍一种新型的园林生态工艺——人工浮岛[J]. 广东园林, 2007, 29(4): 29-32.
- [29] CHANG Y H, KU C R, YEH N. Solar powered artificial floating island for landscape ecology and water quality improvement[J]. Ecological Engineering, 2014, 69(4): 8-16.
- [30] ZHANG D F. Offshore floating airport——the development of super large floating body material[J]. Recent Developments in Science & Technology Abroad, 2000(6): 27-28. 张东峰. 海上漂浮机场——超大型浮体的研制[J]. 国外科技动态, 2000(6): 27-28.
- [31] NAMELESS. The first commercial offshore floating wind power plant built in the world[J]. The World of Power Supply, 2017(7): 23. 佚名. 全球首个商业级海上漂浮式风力发电场建成[J]. 电源世界, 2017(7): 23.
- [32] LU H L, KU C R, CHANG Y H. Water quality improvement with artificial floating islands[J]. Ecological Engineering, 2015, 74: 371-375.
- [33] LI B J. Weihai has built a multi-functional marine platform[N]. China Ocean News, 2017-07-13(2). 李宝杰. 威海建成多功能海洋平台[N]. 中国海洋报, 2017-07-13(2).
- [34] LIAO J. Artificial floating island: Making a world class "made in China"[J]. Ocean and Fishery, 2017(11): 53-54. 廖静. 人工移动浮岛: 打造出世界级的“中国制造”[J]. 海洋与渔业, 2017(11): 53-54.
- [35] LENG D, SI Z Q. The present situation and prospect analysis of the development of China's offshore platform[J]. China Industry Review, 2016(9): 50-57. 冷单, 司志强. 我国海洋平台发展现状与前景分析[J]. 中国工业评论, 2016(9): 50-57.
- [36] MAI K S, XU H, XUE C H, et al. Study on strategies for developing offshore as the new spaces for mariculture in China[J]. Engineering Science, 2016, 18(3): 90-95. 麦康森, 徐皓, 薛长湖, 等. 开拓我国深远海养殖新空间的战略研究[J]. 中国工程科学, 2016, 18(3): 90-95.
- [37] China's first offshore large-scale aquaculture platform starts building[J]. China Fishery Economy, 2014, 32(6): 3. 我国首个深远海大型养殖平台启动构建[J]. 中国渔业经济, 2014, 32(6): 3.
- [38] BEYTH M, ELYAHU H B. Artificial islands offshore Israel—Dutch/Israeli feasibility study[C]. Geological Survey of Israel. Israel Geological Society Annual Meeting. Ashkelon, 2012.
- [39] LIU X Y, LI J. The progress of Chinese aquatic ecological restoration[J]. Open Access Scientific Reports, 2013, 2(1): 1-3.

- [40] MA F Y, LI L, YE Y Z, et al. Experiment of artificial floating-island anchoring fixation[J]. China Rural Water and Hydropower, 2008(1): 89-90. 马凤有, 李兰, 叶奕佐, 等. 人工浮岛抛锚法定位试验[J]. 中国农村水利水电, 2008(1): 89-90.
- [41] SU F L, SHI S Y, LI H F, et al. Experiment of artificial floating island displacement pile fixation[J]. Applied Mechanics & Materials, 2012, 220-223: 1670-1674.
- [42] CHEN H S, SONG X F, ZOU G Y. Treatment in water bodies pollution by ecological floating bed technology[J]. China Water Resources, 2005(5): 50-53. 陈荷生, 宋祥甫, 邹国燕. 利用生态浮岛技术治理污染水体[J]. 中国水利, 2005(5): 50-53.
- [43] YANG L Z, WU Y H. A biodegradable waterproof material of artificial floating island; 200610038452.40[P]. 2011-04-07, 2011-05-17. 杨林章, 吴永红. 一种可生物降解的防水人工浮岛材料: 200610038452.40[P]. 2011-04-07, 2011-05-17.
- [44] ZHOU L, HUI F. Ecological soft revetment of artificial floating island; 201320360931.3[P]. 2014-01-08. 周丽, 惠峰. 软性人工浮岛生态护岸: 201320360931.3[P]. 2014-01-08.
- [45] ZHANG W H, DAI P, WU X G, et al. A method of constructing inorganic artificial floating island; 1850659[P]. 2006-10-25. 张维吴, 代培, 吴小刚, 等. 一种无机人工生物浮岛的构建方法: 1850659[P]. 2006-10-25.
- [46] CUI Q, YANG Z F, PEI Y S, et al. A water purifying method of A_2/O type artificial floating island; 101607778[P]. 2012-12-23. 崔倩, 杨志峰, 裴元生, 等. 一种 A^2/O 型人工浮岛的水体净化方法: 101607778[P]. 2012-12-23.
- [47] CAI Y Z. Integrated type artificial ecological floating island module; 201873574U[P]. 2011-06-22.
- [48] DONG B. A multifunctional artificial ecological floating island; 205222826[P]. 2016-05-11. 董彬. 一种多功能生态浮岛: 205222826[P]. 2016-05-11.
- [49] WU G, DENG F T. A small artificial floating island park; 1827472[P]. 2006-09-06. 吴广, 邓辅唐. 一种小型浮岛公园: 1827472[P]. 2006-09-06.
- [50] WANG Y T, ZHANG D M, HUANG L, et al. The floating island monomer and the ecological floating island combined by floating island monomer; 106277347[P]. 2017-01-04. 王艳婷, 张德民, 黄雷, 等. 一种浮岛单体及应用该浮岛单体的组合式生态浮岛: 106277347[P]. 2017-01-04.
- [51] LIU F. A ecological floating island for coal mine wastewater treatment; 205603322[P]. 2016-09-28. 刘飞. 一种用于煤矿废水处理的生态浮岛: 205603322[P]. 2016-09-28.
- [52] LIANG Z Q, LI M G, RAN H, et al. An artificial floating island anti floating plant drifting; 205367896U[P]. 2016-07-06. 梁正其, 李明刚, 冉辉, 等. 一种防漂浮植物逃跑的人工浮岛: 205367896U[P]. 2016-07-06.
- [53] LIANG Z Q, LI M G, LUO Y, et al. A design of energy conservation and environment protection for intelligent artificial floating island; 205398394U[P]. 2016-07-27. 梁正其, 李明刚, 罗勇, 等. 一种节能环保智能化人工浮岛设计: 205398394U[P]. 2016-07-27.
- [54] ZHONG C H, YU X Y, MENG F Y. Artificial floating island; a new platform for future naval base[N]. China Military, 2016-06-30(07). 钟昌辉, 余修远, 孟凡洋. 人工浮岛基地: 未来海战新平台[N]. 解放军报, 2016-06-30(7).
- [55] SUN J Y, SHI P F, LI W. Construction technology of large artificial floating island on the sea[J]. Construction Mechanization, 2014, 35(Suppl. 1): 5-10. 孙建运, 史鹏飞, 李伟. 大型海上人工浮岛建造技术[J]. 建筑机械化, 2014, 35(增刊 1): 5-10.

Research on Artificial Floating Island and Its Enlightenment and Application in Optimizing and Developing the Sea Islands

CHANG Li-xia^{1,2,3}, ZHAO Xu-feng³, CHEN Chang-liang³, LIN Hui-wei³

(1. *School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China;*

2. *The key Laboratory of Coast island and Development of Ministry of Education, Nanjing 210023, China*

3. *Guangdong Center for Marine Development Research, Guangzhou 510220, China*)

Abstract: Artificial floating islands are a way of artificial islands and have a history of development in foreign countries for at least a thousand years. Around the world, lots of researches have been carried out on technology and application of the artificial floating islands. In this paper, the definitions and classifications of the artificial islands and the artificial floating islands are summarized and the application advantages of the artificial floating islands in environmental improvement, ecological remediation, landscape renovation and habitat construction and related patented products are analyzed by collection of references. The successful experiences of the artificial floating islands in living function, environmental improvement, habitat modification and landscape renovation in the foreign countries are worth our learning, and have enlightenment and prospect in using the artificial floating island technology to develop and expand towards the oceans, to transfer the ecological environmental pressure of islands in the coastal areas, to build the marine multifunctional platforms and to carry out the diversified development and utilization. If this technology can be used as reference for the coastal water environment control, the biological shoreline reconstruction and the tourism planning, it will be of great significance to promote the construction of marine ecological civilization and improve the ecological environment of islands in the seas by using new technology.

Key words: artificial floating island; application; ecological civilization; enlightenment

Received: January 10, 2018