

# 海洋温差能开发特点及其对生态环境的影响方式

兰志刚<sup>1,2</sup>, 李新仲<sup>1,2</sup>, 姬忠礼<sup>1,3</sup>, 于汀<sup>1,2</sup>, 刘强<sup>1,3</sup>, 李大树<sup>1,2</sup>

(1. CNOOC-CUP 海洋能源工程技术联合研究院, 北京 102209; 2. 中海石油(中国)有限公司北京研究中心, 北京 100028; 3. 中国石油大学(北京), 北京 102249)

**摘要:** 根据海洋温差能转换(OTEC)工艺过程的特点, 分析了海洋温差能开发对海洋生态环境的特殊影响。认为大流量吸排水形成的大尺度水团在海洋中的重新分布, 致使厂址周边海水的层化结构和环流结构以及海水盐度、溶解氧和营养水平等参数发生变化, 进而对海洋环境造成很大改变, 形成了 OTEC 技术特殊的环境影响方式。还着重分析了羽状流对初级生产力的影响, 以及卷载和冲击对海洋生物的影响, 分析归纳了海洋温差能开发生态环境影响的关键评价因子, 对下一步的研究重点提出了建议。为未来开展洋温差能开发以及全面评价海洋温差能开发造成的生态环境影响提供技术参考。

**关键词:** 海洋温差能; 环境影响; 海洋生态

**中图分类号:** X55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2018)08-0116-06

**DOI:** 10.11759/hyxx20171225003

世界经济高速发展的今天, 化石能源日益紧缺。与此同时, 经济增长与环境恶化之间的两难冲突, 日益凸现。在这种双重压力下, 研究和开发新型环保可替代能源, 便成为保障国家能源安全和经济可持续发展的重要战略。海洋能作为一种储量巨大的绿色可再生能源, 自然成为了能源领域关注的重点。海洋温差能是海洋能中储量最大、最稳定的一种能源。据估计在赤道 30°S~30°N 以内, 由表、深层海水温度差所形成海洋温差能, 高达  $1.3 \times 10^{24} \sim 3.0 \times 10^{24}$  J, 相当于  $40 \times 10^{12} \sim 100 \times 10^{12}$  t 标准煤。中国海域广阔, 东海和南海均处于 30°N 以内, 温差能资源极为丰富。特别是南海, 是中国近海及毗邻海域中温差能能量密度最高、资源最富集的海域, 也是全球海洋中温差能资源最好的海域之一, 温差能蕴藏量为  $3.67 \times 10^8$  kW<sup>[1]</sup>, 具有很好的开发利用前景。

每一项新能源技术在实施过程中都会面临环境影响、社会接受程度以及工程技术方面的挑战, 海洋温差能的开发利用也概莫能外。其中环境影响评价是海洋温差能转换技术(OTEC)走向工程示范或者商业化应用的过程中, 不可或缺的重要技术环节, 因此针对 OTEC 技术的环境影响分析研究也成为 OTEC 研究人员重点关注的领域。尽管 OTEC 技术并不像传统能源生产方式那样, 产生大量的化学污染物排放, 其对环境的作用也更加温和, 但依然可能对陆地、大气、海洋等生态环境产生一系列影响。

Quinby-Hunt 等人于 20 世纪 80 年代分别开展了开式和闭式 OTEC 的环境影响研究, 对 OTEC 运行中对陆地、大气和海洋环境影响途径和影响方式作了分析, 对影响因子结果作了分析和归纳<sup>[2]</sup>。1986 年美国国家海洋和大气管理局(NOAA)组织了开展了 OTEC 对渔业的影响研究, 研究重点是温冷水大量抽取及排放对生物群体的影响, 包括对生物群体冲击和卷载、对生物群体的二次卷载, 海水性质的重新分布、添加杀菌剂和其他化学成分引起的环境影响。研究表明, 一个 40 MW 的 OTEC 工厂, 每天在温水进水端受到冲击效应的损害的海洋生物量有 20~30 kg, 冷水进水端受到冲击效应的损害的海洋生物量有 40~65 kg; OTEC 工厂还通过多种途径对鱼类的食物链产生潜在影响<sup>[3]</sup>。

2010 年, NOAA 和美国能源部(DOE)举行了 OTEC 设施的潜在环境影响的研讨会, 研讨会的重点是评估 OTEC 的潜在影响, 如大型水团在海洋再分配以及平台的存在引发的影响, 电磁场和噪音污染等。研究表明, OTEC 设施的安装和操作过程中,

收稿日期: 2017-12-25; 修回日期: 2018-01-26

基金项目: 中海石油有限公司科技项目(YXKY-2018-ZY-09)

[Foundation: Science and Technology Project Foundation of China Off-shore Oil Corporation, No. YXKY-2018-ZY-09]

作者简介: 兰志刚(1963-), 男, 山东青岛人, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事海洋工程环境、新能源、海洋腐蚀与防护方面的研究工作, 电话: 010-84522243, E-mail: lanzhg@cnooc.com.cn

可能对环境产生物理、化学和生物影响。影响的程度和规模与 OTEC 装备的大小成正比, 且与 OTEC 装备的类型有关<sup>[3]</sup>。

要掌握 OTEC 系统运行对海洋生态环境的潜在影响, 必须对 OTEC 工艺过程进行分析, 并在此基础上从关键评价因子的确立入手, 开展 OTEC 运行的生态环境影响分析。

## 1 影响海洋生态环境的 OTEC 工艺过程

OTEC 是一种利用表面温暖海水和深冷海水之间的热梯度进行发电的热电转换技术, 它以海洋中受太阳能加热的表层海水(25~28℃)作为热机系统的高温热源, 以 500~1 000 m 深处的冷海水(4~7℃)作为热机系统低温热源, 形成热力循环系统, 驱动透平进行发电, 参见图 1。为了获取作为冷热源的海水, OTEC 发电装置运行过程中, 将利用泵和进水管分别把位于大约 20 m 水深的温水, 和约 1 km 水深的冷水吸取上来, 冷热海水经换热器进行热交换之后, 被混合排至 60 m 或更深的海水中。由于表面温暖海水和深冷海水之间的温差仅有 20℃左右, OTEC 技术的热电效率很低, 通常仅能达到 3%左右, 由此决定了系统对冷热水的需求量非常大, 研究表明, 利用 OTEC 技术发电, 所需温海水的流量约为  $5 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{MW})$ , 冷海水流量为  $2.5 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{MW})$ <sup>[2]</sup>。如, 对于一个 5 MW 的试验工厂分别需要  $12.5 \text{ m}^3/\text{s}$  和  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  的冷暖水流量, 折算成日流量为两百多万立方米, 对一个达到商业运行规模 OTEC 来说, 其流量将高达  $500 \text{ m}^3/\text{s}$ 。一个 400 MW 的 OTEC 工厂, 其冷暖水排量可大约  $3 000 \text{ m}^3/\text{s}$ , 该值远大于尼罗河的平均流量。

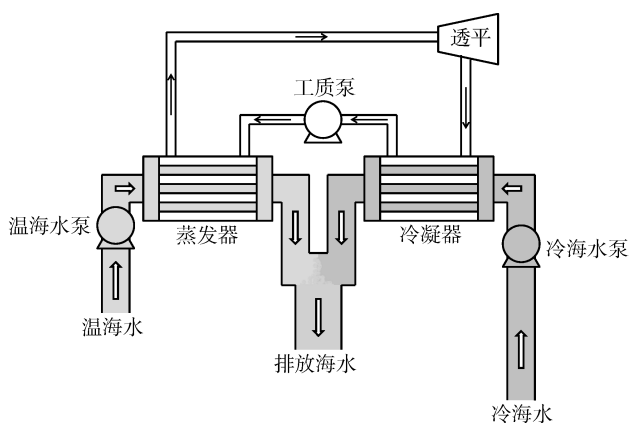


图 1 OTEC 发电工艺流程图

Fig. 1 Flow chart of OTEC power generation process

## 2 OTEC 运行的生态环境影响分析

OTEC 开发引发的环境影响既有与一般海洋工程相似的海洋环境影响, 如: 铺缆和锚固对海底生物栖息地的干扰、海洋工业活动造成的海洋生物迁移或吸引、安装阶段含油物质释放对水质造成的影响等, 也有与 OTEC 开发技术相关的特殊的海洋环境影响, 特别是大流量吸排水形成的大尺度水团在海洋中的重新分布, 改变厂址周边海水的层化结构, 环流结构以及海水中的盐度、溶解氧以及营养水平等参数变化, 对海洋环境造成很大改变, 形成了 OTEC 技术特殊的环境影响方式。

OTEC 开发所位于的热带海洋存在着两个明显不同的水层: 一个是温暖的表层水, 其营养水平低, 一个是冷深水层, 其营养丰富。深层冷海水含有溶解的无机营养物质, 主要是磷酸盐、硝酸盐和硅酸盐。OTEC 在运行时汲取并排放深冷海水的过程, 将深层海水中的营养物质引入光照条件好的上层海水, 其中的富营养物质可以促进光合生物的大量繁殖, 如促进浮游生物的生长, 或者造成藻类大量繁殖。然而, 由于深冷海水的密度比表层海水的密度高, 因此排在温跃层上方的深冷海水会逐渐下沉至新的平衡深度。因此, OTEC 工厂的海水排放应该达到足够的深度, 在该深度下, 存在于排放掉的海水中的营养素就不会引发生物生长。深层水还含有高浓度溶解二氧化碳, 当排出水与大气接触时, 会将二氧化碳释放到大气中。OTEC 运行过程中还会对栖息在该水域或移动到该水域的海洋生物产生影响, 科学家已经识别出了一些潜在的生物影响, 包括营养物的分布变化、卷载、冲击、海洋生物的吸引、回避现象、释放杀菌剂等造成的生态影响。例如, 与其他海上作业一样, OTEC 工厂运行时可能会吸引鱼和海鸟; 产生的噪声会干扰海洋动物间的信号通信; 润滑剂和防海洋生物附着的化学品会进入海洋, 带来污染; 一些海洋生物的行为与一定的温度和盐度梯度密切相关, 还有一些海洋生物的行为明显受到养分增加的影响而发生改变, 而大量的吸排水会改变厂址周边的生态环境, 如海水的层化结构、环流结构、盐度、溶解氧以及营养水平等, 从而对上述生物产生影响。除此之外, 浮游生物和小型自游生物会随着进水的流动被卷载在 OTEC 的冷热进水管中, 并且因温度和压力的快速变化而导致死亡, 还有一些生物会因为其游泳能力无法克服管线中水流而撞击

在过滤栅上,导致其死亡。

## 2.1 生态环境影响的关键评价因子

OTEC 环境影响评价所需的参数包括物理海洋参数、海洋化学参数以及海洋生态参数。主要的物理海洋参数主要包括:环流特征、海流剖面分布、混合层深度、透光区深度等。主要的化学参数有:硝酸盐、磷酸盐、硅酸盐、叶绿素 a、温度、盐度、溶解氧、pH 值、溶解无机碳和碱度等,利用这些参数可以导出一些基本海洋参数,如营养水平、初级生产力以及碳循环等等;主要的海洋生态学参数包括初级生产力、动物量、密度、生态物种及栖息地分布等等<sup>[3]</sup>。

环流分布特征会影响到 OTEC 排放水体羽状流的形状和扩散,也决定着 OTEC 装备的排放设计,如排放的具体深度需要通过海洋环境的影响分析来予以确定。混合层是海洋近表层在海-气通量变化和风浪搅拌作用下,生成的厚度一定、水温均一的水层,对大气与海洋之间的动量、热量和质量的交换起着重要的作用,它的温度、盐度、密度垂直变化小,存在显著的季节和年际变化。透光区位于海表面,它是光从海水表面穿过水体到达亮度为表面值的 1% 的深度的水层。大多数(尽管不是全部)初级生物生产力都发生在透光区。通常情况下,OTEC 开发海域的透光区深度范围大约为 120~140 m<sup>[2]</sup>。

海洋化学参数,包括吸排水深度和排放羽状流稳定深度的营养物和溶解氧水平对 OTEC 环境影响评价也非常重要。另外冷水取水口和排水口深度的二氧化碳饱和度,也是评价 OTEC 运行过程中二氧化碳向大气中释放的重要参数。营养水平用硝酸盐浓度指示,在热带表面海水中浓度很低,它随深度而增加,在 700~800 m 深度达到最大,而 OTEC 的冷水汲取深度在大约 1 000 m,该深度的硝酸盐浓度水平比最大值略低。磷酸盐和硅酸盐浓度随深度的变化,呈相似的变化规律。溶解氧通常在海面处最大,随深度增加其浓度逐渐减少,最小值在大约 500 m 深处。在大约 1 000 m 深处,其值大约回升至海面值的 60%<sup>[3]</sup>。

在海水中,二氧化碳与碳酸盐、碳酸氢盐以及碳酸处于饱和平衡状态。周边海水的压力、温度和盐度一起控制着二氧化碳的饱和浓度。随着水深的减少,温度和盐度的增加,二氧化碳的饱和浓度会降低,由于这个原因,OTEC 运作过程中的冷深海水的

上涌可能会导致部分二氧化碳释放到大气中<sup>[3]</sup>。

与 OTEC 工厂运行的环境影响相关的生物因素包括:在位于海气界面的漂游生物层到位于中层和深层之间边界层,深度超过 1 000 m 范围内的所有生态系统的各个方面。浮游植物是自由浮动的藻类,它产生的有机物是海洋食物链赖以形成的基础。浮游植物生产是发生在透光带的光合作用过程。叶绿素 a 测量用于估计浮游植物生物量。热带和亚热带海洋水域的叶绿素 a 表层值普遍偏低,随着深度逐渐增加,在水深 75~150 m 达到最大。浮游动物,是位于海洋食物链下一营养级上的一个重要组成部分,由水体中被动漂浮或弱游动物组成。浮游动物都集中在约 200~300 m 以浅的上层水域,低于这个深度,其密度下降很快,水深 1 000 m 的密度只有海表密度的 1% 至 10%。微型自泳生物是主动自由游泳的海洋生物,其体长在 1~10 cm,包括重要的商业品种幼体。主要微型自泳生物群体包括鱼类、甲壳类、头足类和胶状生物。微型自泳生物生物量和密度随海区和深度不同呈现出很大的差异。自游动物为大型自由游动的海洋鱼类,包括在热带海域中具有很大商业价值的金枪鱼、鲣鱼、旗鱼、剑鱼、旗鱼等。对较小的商业价值,也包括商业价值略低的乌贼、鲨鱼、飞鱼、翻车鱼等其他自游生物。OTEC 运行期间,对深海底栖生物影响相对不大<sup>[2]</sup>。

## 2.2 羽状流

OTEC 工厂的吸排水量很大,一个 400 MW 的 OTEC 工厂,其冷暖水排量可大约 3 000 m<sup>3</sup>/s,该值大于尼罗河的平均流量。如此大量的吸排水,会改变附近水域的局地海流结构,而 OTEC 排放的羽状流,其物理化学性质与其环境海水的有很大不同,从而对海洋生态造成影响。

掌握海洋的物理特性以及流场特征是研究 OTEC 工艺排水扩散行为的基础,在此基础上可以算出扩散水体羽状流的轨迹,从而掌握 OTEC 运行过程中,所排废水在海洋环境中的混和情况。羽状流模拟可以用来预测给定物理海洋环境条件下,羽状流的扩散轨迹,确定羽状流的最终下沉深度,营养物质浓度,以及不同流速对羽状流的影响。Paddock<sup>[4]</sup>的研究表明,羽状流的水动力行为,在不同的流动区域(近场,中场和远场)受不同的因素支配。其中,在近场主要受动力和浮力支配,在中场主要受重力和界面剪切力支配,在远场则主要受对流和弥散机

制支配。

OTEC 排放的羽状流,其物理化学性质与其环境海水的有所不同,特别是与周边海水相比,温度低且密度高,由此会造成羽状流下沉,直至其到达新的平衡深度。为防止排出的海水因再循环过程而影响暖海水取水,往往将混合排水口的位置设计在混合层下方(大约位于海面 30 m 以下)。另外,1 000 m 深的海水的化学性质,与表层海水相比,也有显著的不同。如果羽状流的平衡深度位于透光层,由此造成的营养盐浓度的升高会促进浮游植物大量繁殖,而初级生产的增加又会改变食物网动态。因此要减少 OTEC 运行对环境的影响,必须确保营养丰富的羽状流排放至生物生产力最强的深度以下。此外,许多海洋动物对温度、盐度、pH 值的变化很敏感,而羽状流会造成这些局部参数的变化。因此,了解和掌握 OTEC 运行的环境影响的关键,就是要监测周围水体以及羽状流的海洋参数,对这些变化进行量化,并依据当地的海洋环流知识预测羽状流的远场行为。

马凯海洋工程以美国环境保护署的水动力模式为基础,开展了 OTEC 运行的羽状流对生物影响的模拟研究,研究了 OTEC 对 3 类海洋微生物的生化影响,包括超微型浮游生物(<2  $\mu\text{m}$ )、微型浮游生物(2~20  $\mu\text{m}$ )、浮游生物(>20  $\mu\text{m}$ )。通过对夏威夷水域 100 MW OTEC 工厂排放的羽状流运行进行模拟,分析了营养物增加造成的海洋生化影响,发现在排放终端的近场羽状流位于 1%亮度级以下的深度(对于研究海域,该深度约为 120 m)时,没有发生营养物立即被该水体中的生物利用的情况。研究人员对这一情况的解释是:由于硝酸盐向下游输送扩散,而一部分深海营养物(扰动<0.5  $\mu\text{mol} / \text{kg}$ )向上混合,营养物在这一过程中被周边的浮游植物利用了,研究人员距离 OTEC 工厂下游大约 25 km 处的 70~110 m 水深处,发现了这一现象<sup>[5]</sup>。

### 2.3 初级生产力的变化

OTEC 开发最大的环境担忧是深层富营养海水的上涌,使表层海水变得肥沃,因此引发浮游植物大量繁殖。为了评估 OTEC 是否会引起初级生产力的改变,必须了解自然状态下开发水域初级生产力的变化特点。例如 OTEC 运行时,如果发现观测到的叶绿素在一个长时间段里明显高于正常范围,则上升的深层海水很可能就是产生这一影响的主因<sup>[3]</sup>。

为了避免深冷海水上涌给表层海水带来明显的

“施肥”效用,排放的冷水羽状流必须沉降至混合层以下,否则海表面的风会通过混合作用将羽状流中的营养物带到上部透光层。冷水排水口应位于开发水域 1%亮度级以下的深度,从而使羽状流的平衡深度远低于混合层深度,而且在这样亮度水平下,光合作用效率也较低<sup>[6]</sup>。

不过,羽状流位于透光层时,其较冷的温度对浮游生物的生长也能产生抑制作用。美国科学家在夏威夷开展 OTEC 实验研究时发现,在含有 50%深层冷水的海水中,浮游植物的生长有 6 天的滞后期。生长滞后加上羽状流的下沉、低温以及浮游植物的卷载效应,可以减少海洋温差能开发带来的浮游植物生物量的增加趋势<sup>[6]</sup>。

### 2.4 卷载和冲击效应

卷载效应是指电厂取排水过程对于通过滤网系统进入冷凝器的小型浮游生物、卵、大型生物级鱼类幼体造成的损害。主要损害形式有系统内的瞬时高温冲击、机械损伤以及位防止管道堵塞而投放药剂引发的对上述生物体的化学毒害。卷载效应可以用以下公式来定量描述:

$$R=(E/M)\times 100\% \quad (1)$$

式中, $M$  为水体中可受卷载效应影响的生物体的生物总量, $E$  为水体中被取水口吸入的生物量。

大量研究表明,机械应力是卷载效应中对生物损伤最重要的因素。经过冷却系统的所有幼鱼中,仅有 1%至 3.7%能够有幸存活下来,其中冷凝器内造成的死亡率约占 34.5%,其他机械应力造成的死亡率约为 49.5%,机械应力造成的死亡占总死亡率的 80%以上。另外,从被卷吸生物的生物特征和冷却系统的物理特征来看,被卷吸生物的体长、二次滤网孔径以及系统内水的流速,甚至生物个体形态特征等都会影响着卷载效应的危害程度。冲击时间越长,增温幅度越大,被卷吸生物的致死率也就越高<sup>[7]</sup>。卷载效应对浮游藻类的损伤程度与其自身的形态结构和群落组成有关,对浮游动物损伤的程度与其形态特征和体型大小密切相关,且对浮游动物损伤的程度高于浮游藻类<sup>[8]</sup>。

海洋生物在进水管由于卷载和冲击效应而致死,是 OTEC 运行期间对生态环境的主要影响之一。当水生生物、卵和幼虫被吸入到一个 OTEC 冷暖海水循环系统,通过入水管、热交换器,然后再由泵排放回海洋的过程中,系统会对这些海洋生物产生卷载

效应。当鱼类和其它水生生物被困于入水管隔栅时, 则对生物体产生冲击效应, 如小型海洋生物如果游泳能力不够, 在进水管段会由于撞击在过滤隔栅上而致死。对生物密度、卷载和冲击发生点水深的估计, 是用来估算 OTEC 运行中上述效应对生物群落的影响程度的必不可少的环境参数。美国科学家在对位于夏威夷的 OTEC 工厂周边海域开展过生物调查, 发现大部分金枪鱼幼虫主要生活在 10~20 m 水深海域, OTEC 的暖海水管对它们造成卷载和冲击影响的风险很高。生活在深海的海洋生物同样面临来自冷水管处的卷载和冲击影响。卷载效应对浮游动物影响的研究结果表明, 卷载效应对浮游动物的影响, 要大于恢复速度较快的藻类。在浮游动物中, 受损伤最重的类群是桡足类和无节幼虫, 受损后恢复速度最慢的是桡足类<sup>[6]</sup>。

开展此类研究可以借助拖网和水声技术。水声技术是一种遥测技术, 主要是利用声波的反向散射来识别海洋生物种类及其行为方式, 该方法已被美国科学家用于开展夏威夷海域中层水体的生物群落空间生态学研究, 也可用来监测入水隔栅处生物体受到的冲击效应。

由于海面上的浮体结构的周边水域, 往往会成为鱼类的聚集地。因此, 大型的海洋生物会受到 OTEC 工厂的吸引, 但大中型鱼类、海洋哺乳动物、海龟等, 其游泳能力很强, 可以轻松应对 0.15 m/s 的水流, 通常不会受到冲击效应的影响。OTEC 进水管的进水流速设计得尽可能低, 以尽量减少对海洋生物的冲击效应。

### 3 结语

OTEC 开发会以其特殊的方式, 直接或者间接地作用于周边的生态环境, 对海洋生态环境造成一定的影响, 特别是大流量吸排水形成的大尺度水团在海洋中的重新分布, 致使厂址周边海水的层化结构和环流结构以及海水盐度、溶解氧和营养水平等参数发生变化, 进而对海洋环境造成很大改变, 形成了 OTEC 技术特殊的环境影响方式。为了积极推进 OTEC 技术的发展, 应进一步加强海洋温差能开发的生态环境影响的专题研究, 特别是应进一步针对排放羽状流中压力、温度和营养盐等成分变化对海洋生态的影响, 以及 OTEC 运行造成的营养物浓度的变化、初级生产力的变化、仔鱼和其他浮游生物密度变化等方向开展相关研究工作。要了解和

掌握 OTEC 对海洋生态的影响, 还需要对海洋的初级生产力、动物量、密度、栖息地分布以及卷载率等进行监测和分析, 观测系统应跟踪温度、盐度、营养物、初级生产力以及其他海洋参数, 其设计应确保能够捕捉到该生态的季节变化和 10 年期尺度的振荡以及其他大尺度波动, 以更清楚地了解和掌握 OTEC 开发对海洋生态环境的影响程度及作用机制。

#### 参考文献:

- [1] 刘富铀, 马治忠, 孟洁, 等. 三沙海洋可再生能源的开发利用[J]. 海洋开发与管理, 2013, 增刊: 27-33.  
Liu Fuyou, Ma Zhizhong, Meng Jie, et al. Development and utilization of Sansha marine renewable energy[J]. Marine Development and Management, 2013, Supplement: 27-33.
- [2] Quinby M S, Wilde P, Dengler A T. Potential environmental impact of open-cycle thermal energy conversion[J]. Environmental Impact Assessment Review, 1986, 6: 77-93.
- [3] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Ocean thermal energy conversion: assessing potential physical, chemical, and biological impacts and risks[R]. Durham: University of New Hampshire, 2010.
- [4] Paddock R A, Ditmars J D. Initial screening of license applications for ocean thermal energy conversion (OTEC) plants with regard to their interaction with the environment[R]. Argonne, IL: Argonne National Laboratory, 1983.
- [5] Christina M C, Luis V. Environmental assessment of ocean thermal energy conversion in Hawaii[J]. Oceans, 2011, 20: 1-8.
- [6] Taguchi S, Jones D, Hirata J A, et al. Potential effect of ocean thermal energy conversion (OTEC) mixed water on natural phytoplankton assemblages in Hawaiian waters[J]. Bulletin of Plankton Society of Japan, 1997, 34(2): 125-142.
- [7] 盛连喜, 侯文礼, 赵国, 等. 电厂冷却系统对梭幼鱼和对虾仔虾卷载效应的初步探讨[J]. 环境科学学报, 1994, 14(1): 47-55.  
Sheng Lianxi, Hou Wenli, Zhao Guo, et al. Entrainment effect of power plant cooling system on young fish and postlarve shrimp[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1994, 14(1): 47-55.
- [8] 盛连喜, 王显久, 李多元, 等. 青岛电厂卷载效应对浮游生物损伤研究[J]. 东北师大学报自然科学版, 1994, 26(2): 83-89.  
Sheng Lianxi, Wang Xianjiu, Li Duoyuan, et al. The study of plankton damaged in Qingdao power plant[J]. Journal of Northeast Normal University, 1994, 26(2): 83-89.

# Characteristics of eco-environmental impact of ocean thermal energy conversion

LAN Zhi-gang<sup>1, 2</sup>, LI Xin-zhong<sup>1, 2</sup>, JI Zhong-li<sup>1, 3</sup>, YU Ting<sup>1, 2</sup>, LIU Qiang<sup>1, 3</sup>,  
LI Da-shu<sup>1, 2</sup>

(1. CNOOC-CUP Joint Research Institute of Ocean Energy Engineering Technology, Beijing 102209, China; 2. CNOOC Research Institute, Beijing 100028, China; 3. China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**Received:** Dec. 25, 2017

**Key words:** ocean thermal energy; environment impact; ocean ecological system

**Abstract:** In this paper, based on the characteristics of ocean thermal energy conversion (OTEC) process specific effects of ocean thermal energy development on marine ecological environment are analyzed. The redistribution of large-scale water masses formed by the large intake or discharge flow of the OTEC technology alters the marine environment through changes in the stratification, circulation, salinity, dissolved oxygen, and nutrient levels of the seawater around the OTEC site. The impact of the OTEC discharge plume on primary productivity and the entrainment effect on marine organisms in the intake pipes are analyzed. The key factors to be assessed in the environmental impact of OTEC on marine ecological environment are summarized, and suggestions for future research in this area are put forward in this paper.

(本文编辑: 刘珊珊)