

波浪能发电工程的环境问题思考^{*}

李 晖^{1,2,3}，何宏舟^{1,2,3}，杨绍辉^{1,2,3}

(1. 集美大学 福建省能源清洁利用与开发重点实验室 厦门 361021; 2. 集美大学 福建省清洁燃烧与能源高效利用
工程技术研究中心 厦门 361021; 3. 集美大学 机械与能源工程学院 厦门 361021)

摘 要：波浪能发电技术在我国具有广阔的应用前景。文章介绍了波浪能发电工程对海洋及其附近环境可能造成的各种影响，认为通过对波浪能装置进行正确选址，波浪能发电将成为对海洋环境最友好的发电技术之一。

关 键 词：波浪能；发电；工程；环境；影响

1 引言

波浪能是一种蕴藏在海洋中的可再生清洁能源，开发和利用波浪能对于改善我国能源供应，保护生态环境，促进经济社会可持续发展具有重要意义。我国海岸线漫长，海域广阔，在利用波浪能方面具有先天的优势^[1]。作为波浪能利用的主要形式，波浪能发电工程近年来在我国发展迅速。然而，波浪能发电工程的实施有可能干扰海洋中的各种自然过程，对当地环境产生影响。因此，在波浪能发电工程的选址过程中，必须要全面评估工程对当地环境的潜在影响，趋利避害，最大化发挥波浪能发电技术的优势。本研究将从正反两方面分析波浪能发电工程对环境的影响，同时提出相应的建议，希望对波浪能的开发利用和环境保护提供有益参考。

2 波浪发电装置造成的波浪能衰减

由于对波浪能的吸收作用，离岸波浪能发电装置会造成其背后水域的波浪能级大幅降低。波浪能衰减造成的浪高降低有可能会影响某些需要“急风高浪”的人类活动（如冲浪运动），还有可能对近岸的生态群体构成、沿岸的沉积物运动产生影响。因此本节首先说明波浪能发电装置附近海域波浪能衰减的情况。

下面以美国夏威夷瓦胡岛 Waimanalo 海滩上的波能发电装置为例，说明装置造成的波浪能衰减情况。该波能发电装置采用了 180 个海蛇波能转换装置，分成 4 组，每组 45 个单元；每组分成 3 行，每行有 15 个海蛇装置^[2]。总的波浪能装置的宽度是 12 km，每组装置之间的海面为 600 m 宽的航道。据计算，在装置背后浪高的总衰减达到 12%。图 1 所示为波浪通过一组装置（45 个海蛇装置）的能量衰减情况^[2]。

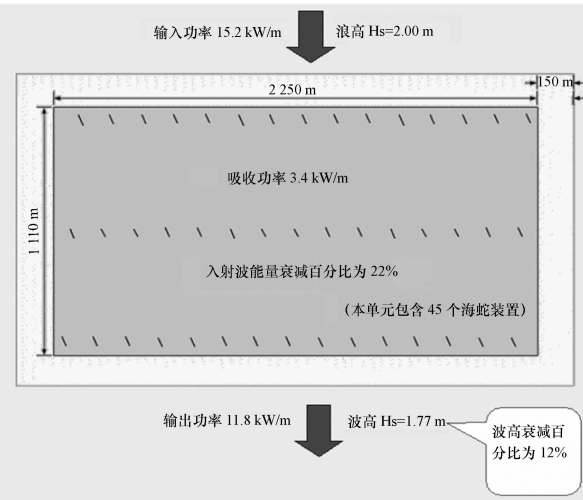


图 1 具有 45 个海蛇装置的单一波能采集单元对波浪的衰减情况^[2]

除了通过装置本身的间隙进行透射，波浪能还经过装置的两侧，通过衍射向装置的背后

^{*} 基金项目：国家海洋局海洋可再生能源专项项目（XMME2011BL02）；国家自然科学基金项目（51209104）；集美大学黄慧贞基金项目（ZC2011019）。

传播。当波浪到达浅水区和分割深度时,由于临近波浪的帮助其高度将再次建立。需要说明的是,海蛇装置以及其他漂浮式波能装置优先从短波中吸收能量,因而对产生冲浪波的长波的影响不大。

3 波浪能发电对海洋生物的影响

我国海域广阔,海洋动物资源及海底生态系统十分丰富,波浪能开发有可能对水下生物、海鸟以及海底生态系统造成影响。

3.1 对水下生物和海鸟的影响

(1) 波能装置的安装如果在海洋哺乳动物的迁徙路径上进行,则会干扰动物的迁徙行程。在北美的西海岸沿线,人们注意到灰鲸每年都在阿拉斯加州的大西洋海域和下加利福尼亚州的海岸咸水湖之间迁徙。向南的迁徙发生在每年的11月和12月;向北的迁徙则发生在两个时段:第一个时段为3月和4月,第二个时段为5月。在美国,有可能涉及灰鲸迁徙路径的波能发电工程施工活动(如海底测绘,动力电缆的布线等),都安排在灰鲸不迁徙的月份(7—9月),尽量降低对动物的干扰^[3]。这种做法可以为我国借鉴和参考。

(2) 水下波能设备的安装可能会对海草林造成破坏,而海草林经常是海洋动物的栖息和避难场所。例如,潜水箱式的波能装置一般安装在水下不到20 m的深度,且在离岸2 km以内,而这也是海草林可能生长的区域。因此,要尽量避免在海草林生长的地方施工。

(3) 来自波能设备的噪音排放有可能使动物受到惊吓,甚至严重危及依靠声音定位的海洋动物的生存。

(4) 高而干燥的海上波能装置还有可能成为海鸟的理想筑巢地。这种影响从海鸟的角度看是正面的,因为它促进了鸟儿数量的增加。不过在设备维护期间,要采取必要措施避免干扰海鸟的筑巢区域,尤其是在它们产卵和孵化的季节。

3.2 对海底生态系统的影响

由于波浪能发电工程的离岸施工活动会破坏海床,波浪能装置的安装可能对海底的生态

系统造成影响。海草床是最可能被波能发电工程影响的海底生态系统。海草是红树林和珊瑚礁之外又一个重要的海洋生态系统,大面积的连片海草被称为海草床,是许多大型海洋生物甚至哺乳动物赖以生存的栖息地,在生态上具有重要意义,在我国南海海域已经发现了宝贵的海草床生态系统^[4]。如果要在海草床上安装一个波能装置,设备的安装施工会对海草床产生严重影响,不仅设备放置的地方的海草会遭到破坏,而且设备周围的海草也要被拔除。此外,电力传输电缆的铺设也会给海草床带来影响。研究显示,电缆的铺设将影响5 m半径范围的区域,而相关的泥沙采集活动则会影响更广的领域^[5]。同时,这些活动将影响海底物种,破坏生态群体组成;也会降低海水的透明度,进而影响其他的植物群和动物群。

另外,由于波浪能发电装置会造成波浪能的局部衰减,这可能改变近岸和潮间带中藻类群体的物种结构。理论上,波浪能的衰减会促进藻类中非耐波性物种的快速生长,而耐波性物种则受到抑制。例如,食肉型藻类的竞争性生长将得到增强,而钙化藻则恰好相反^[6]。

4 波浪能发电对沿岸沉积物的影响

最常见的沿岸沉积物是泥沙。海水通过波浪将泥沙带到海岸带,当波浪运动到极限位置,速度减小为零时,所携带的泥沙就沉积在海岸上。由于波浪的速度由海向陆逐渐减慢,当速度较大时,所有泥沙都随海水搬运,在速度减慢过程中,海水中携带的泥沙颗粒大、比重大的先沉积,颗粒小、比重小的后沉积。显然,波能装置造成的波浪能衰减将会影响沿岸沉积物的运动,这取决于波能装置的类型、尺寸和安装位置。

(1) 漂浮式装置。漂浮式装置由于不能吸收高位海域的波浪能,因此对沿岸沉积物的运动影响较小。

(2) 海底固定式装置。在海底固定式装置的背后,将形成一个明显的、低能量的“阴影区”,从而削弱到达岸边的波能,影响沉积物的沉积地点而使潮滩变浅。

从上述影响来看,应该要注意选取波浪能

发电装置的位置，尤其是近岸的海底固定式装置。

5 波浪能发电对海洋环境的污染

波浪能装置对海洋的污染情况取决于具体的波能转换方法。主要的污染源来自于两个方面：一是具有闭环液压系统的设备可能存在液压油泄漏；二是为了防止生物腐蚀和破坏，大部分设备使用了有毒化学品进行涂层。

对于液压油的泄漏问题，可考虑如下解决措施：① 采用海水或空气作为工作流体，这样液压油的泄漏影响就可以减轻，同时也会减少火灾或爆炸的发生。② 使用隔离阀门增加可靠性控制，一旦发生泄漏就由装置的监测系统进行报告。③ 通过对设备定期潜水维护或者采用抗破坏涂层来实现漏油控制。在抗破坏涂层的选用方面，推荐使用有机锡化合物（如 TBT），这种材料的涂层使用寿命可达 6~7 年^[7]。

由于用于防止浮游生物破坏设备的涂层大多具有毒性（如上文提到的 TBT），可考虑将 TBT 等物质结合到橡胶材料的内部结构中，这样其挥发速率就比涂层要低得多，而且在抗破坏方面仍然有效。

6 波浪能发电造成的视觉和噪音污染

6.1 视觉污染

波能装置给人造成的视觉污染取决于 6 个因素：① 装置离岸的距离；② 观察者的主观感受；③ 海上天气条件；④ 组成整个装置的单个设备尺寸；⑤ 装置和海水之间的颜色反差；⑥ 周围景观的影响。

假设观察者身高 180 cm，站在平均海平面位置，在薄雾中（国际能见度为 6，范围为 2~10 km）离岸视野范围为 5.2 km^[8]。这表明，可以从很远的距离观察到近岸的波能装置，除非海岸地形条件或天气条件很差。而且，出于海上运输的安全需要，波能装置要求使用航行灯，并且要与海水形成较大的颜色反差。因此，在海岸线上进行观察，再小的波能装置也会对环境造成视觉污染。尤其在旅游景点，这种影响更不能忽略。此外，在岸的传输设备（如转换

站，架空输电线路等）也会给人造成视觉冲击。不过，随着距离的增加，漂浮式波能装置的视觉可见度会剧烈下降。图 2^[9]展示了一个高度颜色反差的波浪能转换装置的例子，由图 2 可见，随着观察距离的增加，装置造成的视觉污染迅速弱化^[9]。



(a) 近距离



(b) 远距离

图 2 不同观察距离下波能装置带来的视觉污染

6.2 噪音污染

在岸的威尔斯涡轮机和近岸的振荡水柱（OWC）装置会发出令人不悦的噪音。实践表明，通过优化设计和进行声音屏蔽（如采用消声器），这些噪音可以被降低到人类可接受的程度。

文献中曾经报道过 OWC 装置中所用的威尔斯涡轮机发出的空气噪声级别，针对一个 150 kW 的 OWC 装置，测量显示，在装置处向海端的噪音达到 70~90 分贝；在岸上距离装置 650 m 的地方，噪音小于 60 分贝；而在附

近山谷中测到的噪音相当于一个小型单引擎的飞机飞过头顶^[10]。

不过,即使空气涡轮机的噪音被消声器屏蔽,这个声波也会被带到周围的水域中,从而可能干扰军事声音追踪设备。另外,液压机械也有可能产生水下噪音。

7 波浪能发电与其他海洋空间活动的冲突

波能发电装置会占据一定的海洋空间,与其他的海洋空间利用活动产生冲突。波能装置所占据的空间不仅包括设备的基建空间和锚系空间,而且包括设备周围的安全隔离区域(用以避免离岸火灾或爆炸的危险,一般是500 m的半径范围)。此外,传输电缆也要占据一定的海床区域。为了减少与其他海洋空间活动的冲突,在波能装置的选址方面要谨慎计划和实施。

7.1 对渔业的影响

波能发电工程会给渔业活动带来限制,这是因为捕鱼工具会破坏电缆,因此在波能装置安装的区域要严格限制捕鱼作业。尽管对渔民的经济收益有影响,但实际上这样做会对鱼类提供一个有益的保护,由于增加了鱼类栖息地,鱼类数量得到增加。总之,波能开发预计不会对渔业造成破坏性影响。

7.2 对海洋交通的影响

一般来说,大部分的波能发电工程都将对海洋交通形成障碍。尤其是当波能装置的实施地点靠近航道、港口、停泊站点或海洋交通比较繁忙的水域时,这种影响更加明显。为了安全起见,要注意在波能装置附近设置安全区域,并使用航标灯和雷达反射器,以减少船只与装置的碰撞危险。此外,漂浮式装置必须要锚系牢固,一旦脱离开,就会对过往船只形成新的危险。

7.3 对休闲区和旅游业的影响

首先,对休闲和旅游人群来说,波能装置的最重要影响是视觉污染,当大规模开发波浪能时,这种影响不能忽视。其次,对于各种海上休闲运动来说,波能装置的影响不尽相同:由于波能装置会造成波浪能的衰减,波能装置背后较安静的水域可能对潜水、划艇、赛艇等

运动比较有利,而对冲浪等需要风高浪急的运动较为不利。从冲浪运动的角度考虑,离岸发电装置对冲浪波高度的减少范围应在10%~15%。因此,波能装置的选址要结合当地的休闲运动方式综合考量。

7.4 其他潜在的海洋空间冲突

与波能发电工程可能发生冲突的其他海洋空间利用还包括:国家海洋保护区、国家海洋野生动物保护区、科学研究活动、军事警戒区、远程通信电缆铺设和采沙采泥活动等。

8 结论

波浪能发电技术在我国海域具有广阔的应用前景,在开发和利用波浪能时,应考虑到波浪能发电工程对当地环境造成的潜在影响。这些影响包括:对海洋动物和生态系统的影响;对沿岸沉积物运动的影响;对海洋环境的污染;视觉和噪音污染;与其他海洋空间利用方式的冲突等。在评估各种潜在影响的基础上,通过对波浪能装置进行正确选址,波浪能发电将会成为对海洋环境最友好的发电技术之一。

参考文献

- [1] ZHANG D, LI W, LIN Y. Wave energy in China: current status and perspectives[J]. *Renewable Energy*, 2009, 34(10): 2089—2092.
- [2] HAGERMAN G, BEDARD R. Offshore wave power in the US: environment issues[J]. *Global Energy Partners*, 2004(7): 6—11.
- [3] Marine Corps Base, Kaneohe Bay, Hawaii, Department of the Navy. Environmental Assessment, Proposed Wave Technology Project [R]. 2003.
- [4] 百度百科. 海草床[EB/OL]. (2006—06—20) [2013—02—05]. <http://baike.baidu.com/view/292641.htm>.
- [5] BOEHLERT G. W, MCMURRAY G R, TORRICI C E (editors). Ecological effects of wave energy in the Pacific Northwest [Z]. U. S. Dept. Commerce, NOAA Tech. Memo. NMFS—F/SPO—92, 2008: 25—67.
- [6] DENNY M, COWEN B. Flow and Flexibility. II. The roles of size and shape in determining wave forces on the bull kelp *nereocystis luetkeana* [J]. *J*

Exp Biol, 1997, 200(24):3165—3183.

[7] STALLARD M, HODGE V, GOLDBERG E D. TBT in California coastal waters: Monitoring and assessment[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1987, 9(2):195—220.

[8] TIWARY A, COLLS J. Air pollution: measurement, modeling, and mitigation [M]. London: Routledge, 2002:54—63.

[9] GEORGE H. Offshore wave power in the US: environmental issues [EB/OL]. (2004—12—21) [2013—02—05]. http://oceanenergy.epri.com/attachments/wave/reports/007_Wave_Envr_Issues_Rpt.pdf

[10] FALNES J. A review of wave-energy extraction [J]. Marine Structures, 2007, 20:185—201.