

A Review of Oscillating Water Column Converter Applications

Dexing Liu^{1,2}, Yanna Zheng¹, Jiaying Zhang¹

¹School of Ocean and Civil Engineering, Dalian Ocean University, Dalian

²Zhejiang Windey Co., Ltd., Hangzhou

Email: liu_dexing@126.com

Received: Jul. 30th, 2014; revised: Aug. 15th, 2014; accepted: Sep. 2nd, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Oscillating Water Column (OWC) converter is the most widely used wave energy converter because of its simplicity and reliability. However, the OWC march slowly in China and no possibility of grid-connection can be seen yet. The principle of OWC is presented and a new concept, OWC-breakwater which would be a potential way in the future, is highlighted. In the end, approaches for OWC research and development in China are proposed aiming at the specific problems.

Keywords

OWC, Wave Energy, Breakwater

振荡水柱波浪发电装置的应用进展研究

刘德兴^{1,2}, 郑艳娜¹, 张佳星¹

¹大连海洋大学, 海洋与土木工程学院, 大连

²浙江运达风电股份有限公司, 杭州

Email: liu_dexing@126.com

收稿日期: 2014年7月30日; 修回日期: 2014年8月15日; 录用日期: 2014年9月2日

摘要

振荡水柱(OWC)因为结构简单,性能可靠等优点而成为目前全球最广泛使用的波浪能转化装置。本文在简略的介绍OWC波浪转换装置基本原理的基础上,对国内外OWC波浪能发电装置的研发历史进行了概述,重点介绍了OWC波浪转化装置的新生物:OWC型防波堤;指出国内OWC波浪能发电研发目前存在的问题并提出解决建议。

关键词

振荡水柱,波浪能,防波堤

1. 引言

海洋波浪蕴含着大量的能量,但如何有效的捕获并转化为人们方便使用的电能至今还需要大量的工作和深入的研究。经过多年的研究、试验和发展,不同方式的海洋波浪能发电在新能源的利用领域已经占有了一席之地。2004年世界工程师大会的资料显示,如果充分利用波浪能,年产量约可达2000TWh,大约占世界能源总消耗量的10%。

2000年,波浪能开发领域取得了里程碑性的进展,很多的难题如经济性差、转换效率低等都被得到很好的改善。如今,在全球多个国家都有波浪能开发的原型试验基地,而且很多波浪能发电厂也已经建立起来[1]。日本、中国、英国、葡萄牙、美国以及一些欧洲国家都成功试验并完成了相关的波浪能转化装置。这些波能发电装置可根据他们的布置型式进行分类,如基于海岸的终结者(Terminator),利用振荡水柱的LIMPET,形如海蛇的Attenuator,越浪式的波龙(Wave Dragon),还有点浮子式的AquaBuoy。自从LIMPET捕获装置获得成功,Voith Hydro Wavegen公司就专注于振荡水柱(OWC)波浪能发电装置的开发[2],该公司的成功运作很好的证明了海洋能开发的价值和OWC波能发电装置的可行性。

在中国,小型的OWC波浪转化装置如OWC型航标灯已经能批量生产并出口,但大型OWC波浪转换装置的研发进展缓慢,至今还没有能并网发电的可能。本文简略的介绍OWC波浪转换装置基本原理;对国内外OWC波浪能转化装置的研发进行概述,重点介绍OWC波浪转化装置的新生物:OWC型防波堤装置的应用;最后,总结国内OWC波浪转化装置研发上存在的问题和不足,并提出建议相关。

2. 振荡水柱波浪能转换原理及优点

作为目前世界上应用最广泛的波浪能转换装置,振荡水柱(OWC)波浪发电装置的结构如图1所示,利用波浪的起伏带动OWC装置内水柱的振荡(即装置内自由水面的上下浮动)从而压缩气室(Air Column)内的空气,为防止排气口在水柱下降时倒流,可以设置并控制吸、排气阀相应开启和关闭,使交变气流整流成单向气流通过空气透平(Turbine),带动发电机(Generator)发电。

当该装置为连岸式的时候,即如图1所示,后墙面(Back Wall)与岸边和海底(Sea bed)连为一体,相当于一个钢混结构的防波堤,保护着海岸免于海浪的冲刷。当该装置与浮式结构相结合,远离岸时,又可以发挥浮式防波堤的作用。由于其特殊的结构形式,相比于其他波浪能转化装置,它具有以下优点:

- 1) 结构简单,没有太多的运动构件,因此可以减少转化过程中的能量损失;
- 2) 机械装置不跟海水直接接触,不易受到腐蚀;
- 3) 该装置的适应性强,可布置于海岸、近岸或离岸,可有效利用海洋空间;

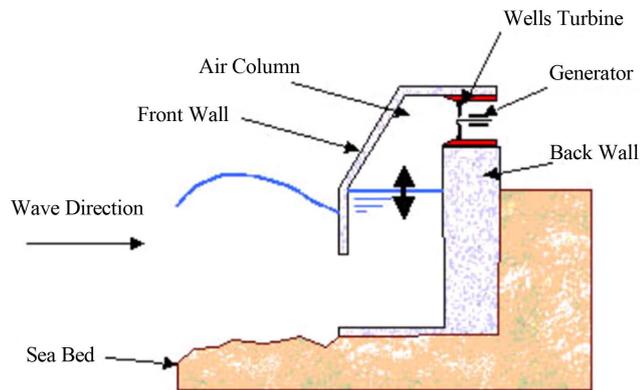


Figure 1. Principal of OWC converter
图 1. 振荡水柱发电原理图

4) 空气透平的使用不需要齿轮箱等传动装置，性能可靠，维护简单。

3. OWC 波浪转化装置的发展历程

OWC 波浪转化装置从第一次应用开始，经历了从小型化到大型化的发展，而其结构也从基于岸式的固定结构向浮式结构转变。尽管大型化的 OWC 波浪转化装置目前仍在试验阶段，但随着研究的不断深入，OWC 波浪转化装置的推广指日可待。

1) 从小型化到大型化

据记载，OWC 型装置的最早应用是 19 世纪作为导航的响哨浮标[3](whistling buoy)，它通过发声为航行做导向。根据 1885 年的《Scientific American》报道，在美国的海岸带有 34 台该设备被使用[4]。半个世纪后，波力发电之父——益田善雄在 1947 年设计了一个 OWC 发电装置，安装于大阪的海湾并成功为航标灯供电[5]，之后日本的绿星株式会社根据该原型设计了一系列的商品化的航标设备[6]。虽然这些装置的电能输出只有 70 W 到 500 W 之间，但它们确实是最早实现应用的 OWC 波浪发电装置。

随着研发的深入，人们开始对大型 OWC 波浪发电装置进行了探索。上世纪 80 年代至 90 年代，包括日本、印度、中国、挪威、葡萄牙、英国在内的许多国家都试验并建立了岸式和半岛式的 OWC 波浪转换装置。其中最大的是日本酒田港口的 OWC 岸式波浪电站，该装置由五个 OWC 气室组成，各串联了额定功率为 60 kW 威尔士(Wells)透平，并于 1989 成功实现向陆地供电。之后，北爱尔兰的女王大学在 Islay 岛上一个相对隐蔽的港湾内建立了单机容量为 75 kW 波力发电装置[4]，该装置在 1991 年至 2000 年期间并网工作。

在 Islay 岛 OWC 波浪发电的研发基础上，女王大学的研发团队在原电厂附近制造了 LIMPET 发电厂。与前者不同，该装置处在大西洋季风的风口上，额定功率达 500 kW[2]。与此同时，葡萄牙的 Electricidade dos Açores 公司在皮库(Pico)岛建造了 400 kW 的 OWC 波浪电厂，目前该电厂隶属于葡萄牙的波浪能研究中心，主要用于 OWC 发电装置的研发。

2) 浮式 OWC 结构

在 OWC 波浪转化装置大型化的同时，人们也不断对浮式 OWC 结构进行探索。在国际能源署的推动下，1976 年至 1979 年间，由日本牵头，英国、加拿大、爱尔兰和美国参与的研发团队开始对浮式的 OWC 发电装置“海明”号进行试验，该装置长 80 米，重 800 吨，八个额定功率为 125 kW 的 OWC 气室被安装于浮式结构上[4]。之后，日本还进行了浮式结构 Mighty Whale 的试验，但最终都因机械的效率不高，经费不足等问题在本世纪初停止了运行。

不久之后,浮式 OWC 波浪转化装置在欧洲和澳洲取得了突破性进展。最为典型的是爱尔兰的 Ocean Energy 公司于 2006 年开发的浮式波浪能发电装置。该装置在经历了超过 20,000 小时的海上实况试验依然完好运行,记录中最恶劣海况为风速达到 25~30 m/s,波高 8.2 m[7]。另一个典型的案例是 Oceanlinx 公司研发的 MK3 浮式 OWC 波浪转化装置[8],该装置约为 2.5 MW 示范性波能发电装置大小的三分之一,从 2010 年 5 月开始就安装于澳大利亚肯布蓝港,兼作为港口西侧的浮式防波堤。该装置已经并网运行,并将电能送往当地的 Intergal Energy 电网公司。

3.1. 国内 OWC 装置的发展历程

我国对于 OWC 装置的研发相比于西方国家起步较晚。上世纪八十年代中期才研发了 10 W 的 OWC 航标灯,之后又研发了 60 W、100 W 的 OWC 发电装置。其中,10 W 航标灯于 2003 年投入生产,该装置在我国沿海地区广泛使用,并出口多个国家[9]。87 年开始研发 3 kW 岸式结构并于 89 年在大万山岛建成,经过实测海况试验证明,透平功率远远大于 3 kW,发电效率较高[10]。

1992 年至 1996 年期间,我国建成了 20kW 岸式装置[10]和 5 kW 浮式后弯管 OWC 发电船[11] [12]。其中,20 kW 装置与柴油发电机并联运行,最终因为柴油发电机滞后于波力发电装置的变化而不能稳定输出。同期的 5 kW 浮式装置是我国首次研发出的 kW 级的浮式波浪发电装置,该装置进行了 18 天的海上实况试验,最大功率约 1.8 kW,后因为锚链断裂而不得不停止试验[13];1997 年至 2002 年,我国研制了并网发电的岸式 OWC 波浪发电站,额定功率可达 100 kW[14]。2002 年之后,我国对于振荡水柱的研发基本停止,大多数的学者开始转向其他波浪能发电装置的研发。目前,只有为数不多的一些大学和科研机构继续着理论和实验上的研究。

3.2. OWC 装置的新突破——OWC 型防波堤

随着研发的不断深入,小型的 OWC 波浪发电装置已经被商业化生产,而大型的 OWC 结构由于成本高,经济效益低,部分技术还不够成熟等原因而一直处于试验阶段。OWC 型防波堤的出现,增进了该装置被推广使用的可能。2011 年夏,Voith 公司在西班牙北部 Mutriku 建立全球第一个 OWC 型防波堤[15],如图 2 所示。

该装置发电功率约 300 kW,可满足约 250 个家庭的需要。该机组设备包括 16 台功率为 18.5 KW 的 Wells 透平机,16 个 OWC 气室安装在 Mutriku 当地政府新建的防波堤上,该工程不仅分担了政府的建设投资,还更充分地利用了现有的基础设施(如电网、路径等),为 OWC 波能转化装置的研究和维护提供了



Figure 2. OWC breakwater at Mutriku
图 2. 穆特利库 OWC 型防波堤

一个很好的平台。

此外，该公司还计划在苏格兰 Lewis 岛的西北海岸建造一座连岸式的 OWC 型防波堤装置，该装置包含 15 个 OWC 单元，每个单元连接 2 个单机容量为 132 kW 的透平发电机，额定发电量可达 4 MW。该项目建成将成为全球第一个全新建造的 OWC 防波堤发电厂，其电量的输出将使众人受益，考虑到项目的建成将会对当地的电网带来巨大影响，一系列其他相关的因素如电量的贮存、控制等都将按计划在项目内。

4. 存在的问题及建议

就目前来看，OWC 波浪发电装置的研发仍处于初级阶段，波浪发电的净成本比传统发电方式的成本高，因此商业开发价值目前仍然有限。波浪发电的效益可由如下方法计算：

$$\text{波浪发电效益} = \frac{\text{安装成本} + \text{运营和维护成本}}{\text{电能的产出}}$$

由于运营和维护成本主要发生在产品运行一段时间以后，所以对于波浪发电的研发和探索阶段，如何提高电能的产出以及减少安装成本显得尤为重要。虽然国内外若干 OWC 波浪发电厂的建立，使人们对这项技术有了更大的信心，但要使其完全推广，还有很长的一个过程。

通过国内外的 OWC 波浪转化装置的进展对比，我国在该领域的研究主要存在以下问题：

1) 缺乏国际合作。日、英、加、美等国在上世纪 90 年代就联合研发浮式 OWC 波浪发电装置，而近几年来从被 Science Direct 收录的 OWC 波浪转化研究的文献[16]可以看出，西方国家在该领域的研究上合作紧密，大多数是多方参与共同研究。而国内的研究[17]，不仅数量上十分有限而且多单位的合作研究并不多，国际交流方面更屈指可数。

2) 专职研究人员较少，坚持专项研究的更少。广州能源所在 2002 年安装了 100 kW 的岸式 OWC 波浪发电装置后就基本停止了对该装置的研发，目前只有中国海洋大学、大连理工大学等少数高校在做理论和实验的研究，由于高校主要偏向于理论研究和人才的培养，因此在 OWC 波浪转换装置的研发上进展缓慢。

3) 学习、科研、开发脱节。纵观全球 OWC 波浪发电装置的结构成功范例，无论是英国的爱尔兰的 Ocean Energy 的突破还是澳大利亚 Oceanlinx 的成功，都是企业和大学共同研发的结果。大学的研究和企业的研发紧密联合，真正实现产、学、研一体化。而国内在该领域的研究基本上相对独立，不仅和国际上的交流比较有限，甚至国内同行的交流也不甚广泛。

4) 资金不足，管理不完善。OWC 波浪能发电装置的研发需要对装置的零部件进行量身订做，零部件的互换性低，无形中增加了成本，研发的前期需要大量的资金投入，国内相关领域研究的科研人员由于获得的资金支持不够而难以继续。对于一些适合安装 OWC 波浪能发电设备的地点，陆地上的电网管理还不完善，给装置的并网研究和试验带来许多问题。

针对以上问题，现建议如下：

1) 增加国际合作与交流。在全球化的今天，各个领域的发展都日新月异，加强国际的交流和合作不仅能实现资源的有效利用，更能为该领域培养出综合型人才；

2) 增加专业人才的培养。OWC 波浪转化装置的研究涉及学科的交叉，是一项漫长而又复杂的任务，因此要不断提高专业人才的素养，不仅要培养理论学习能力，更要培养对科研的信仰，坚持专项研究；

3) 各高校和科研单位应该加强和企业的合作，实现产、学、研相辅相成，相互促进。

4) 政府应该增加对该领域研究的投入和扶持，为科研人员创造更好的科研环境和学术氛围；在科研需要其他相关部门协助的情况下，应对相关部门进行积极引导，使研发任务能更加行之有效。

总之, OWC 波浪发电装置的研发和推广不仅需要科研人员的不断努力, 更加需要政府的大力支持。在全球化发展的今天, 增强国际合作与交流, 向 OWC 技术更为成熟的发达国家学习也是缩短该领域国内外技术差距的一种有效方法。

5. 结论

作为波浪能转化装置的一种形式, OWC 无疑是被广泛和深入研究的对象, 也是目前发展的最好的波浪能转化装置。岸式 OWC 波浪转化装置的成功应用, 有力的证明了该型式波浪发电的科学性和可靠性, 也为该装置与防波堤等其他海洋工程结构物相结合打下了坚实的基础。目前, OWC 波浪转化装置面临的主要问题就是发电成本过高, 使其难以商业化推广, 这也是所有波浪能转化装置所面临的问题。在能源日益紧缺的今天, 开发清洁可再生能源迫在眉睫, 只有通过研究的逐步深入和科研人员的不断积累, 同时不断加强国际合作与交流, 才能逐渐减少该领域与国外的差距, 并真正将 OWC 技术转化为生产力。

参考文献 (References)

- [1] Jones, A.T., Westwood, A. (2005) Recent progress in offshore renewable energy technology development. *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2, 2017-2022.
- [2] <http://voith.com/en/products-services/hydro-power/ocean-energies/wave-power-plants-590.html>
- [3] Barnard, C. (1887) The whistling buoy. Kessinger Publishing, Whitefish.
- [4] Heath, T.V. (2012) A review of oscillating water columns. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, **370**, 235-245.
- [5] Nagata, S., Toyota, K., Yasutaka, Y., et al. (2007) Experimental research on primary conversion of a floating OWC "Backward Bent Duct Buoy". The International Society of Offshore and Polar Engineers.
- [6] http://www.ryokuseisha.com/product/beacon/light_buoy/kogata.html
- [7] Ocean energy philosophy. <http://www.oceanenergy.ie/oe-technology/development-history.html>
- [8] <http://www.oceanlinx.com/>
- [9] 游亚戈, 盛松伟, 吴必军 (2012) 海洋波浪能发电技术现状与前景. 第十五届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集, 9-16
- [10] Liang, X., Gao, X., Zheng, W., Yu, Z., et al. (1990) Experiment wave power plant at pearl river estuary. International Conference on New and Renewable Energy.
- [11] Yu, Z., Jiang, N., You, Y. (1993) Power output of an onshore OWC wave power station at Dawanshan Island. European Wave Energy Symposium.
- [12] 梁贤光, 蒋念东, 王伟 (1999) 5kW 后弯管波力发电装置的研究. *海洋工程*, **4**, 55-63.
- [13] You, Y. and Yu, Z. (1995) The simulation of a backward bend duct wave power device. *The Second European Wave Power Conference*, 389-395.
- [14] 游亚戈, 蒋念东, 余志 (2000) 100kW 岸式波力电站系统研究报告. 中国科学院广州能源研究所研究报告.
- [15] <http://voith.com/en/products-services/hydro-power/ocean-energies/wave-power-plants-590.html>
- [16] http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=-585983846&_sort=r&_st=13&_view=c&_md5=30c2bef3545754b70e05505da1a0add9&searchtype=a
- [17] http://epub.cnki.net/kns/brief/default_result.aspx.