

Doi: 10.11840/j.issn.1001-6392.2018.02.015

三沙市温差能电站潜在站址选划分析

白杨, 张松, 汪小勇, 杜敏

(国家海洋技术中心 天津 300112)

摘 要: 本文基于 Nihous 等人的方法利用 WOA13 海洋再分析资料针对三沙市所属几个重要海岛进行了温差能电站站址选划工作。研究表明南中国海温差能资源十分丰富, 且功率密度的年变化很小, 资源稳定性良好。综合考虑温差能资源开发所涉及的温差、水深地形、离岸距离、环境影响以及社会经济等指标, 本文在三沙市重点岛礁中优选出 4 个具有潜在开发价值的温差能潜在站址, 并进行了详细的资源评估。结果显示: 4 个电站表层暖水温度介于 24 °C~28 °C 之间, 年平均值为 26 °C, 1 000 m 水深冷水温度约为 4 °C, 表层暖水与 1 000 m 水深处年平均温差约为 22 °C, 冬季最低为 20 °C, 夏季最高为 26 °C。温差达 20 °C 时的水深分布情况显示, 冷水可获取深度约为 500~600 m, 离岸距离均在 10 km 以内。在设计输出功率为 10 MW 的前提下, 年净输出功率均在 10~19 MW 之间, 每年发电 80 GWh 并输出 22 000 m³ 淡水。

关键词: 温差能发电; 南中国海; 三沙市

中图分类号: P743.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-6932(2018)02-0230-05

An analysis on the potential site of ocean thermal energy conversion (OTEC) in Sansha

BAI Yang, ZHANG Song, WANG Xiao-yong, DU Min

(National Ocean Technology Center, Tianjin 300112, China)

Abstract: The South China Sea (SCS) is characterized by warm tropical and subtropical water with the surface temperature around 24–30 °C throughout the year, which makes it a suitable region for the Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC). In this study, the OTEC resources over the entire SCS are assessed following Nihous' method based on the most recent World Ocean Atlas data (2013). Through the analysis of the temperature difference, the offshore distance and the bathymetrical and socio-economical characteristics, the area around the Sansha city is found to be ideal for the implementation of OTEC operations, where the temperature difference between the warm surface and 1 000 m depth always ranges from 20 °C (in winter) to 26 °C (in summer) and the cold water intake depth is about 500–600 m within a short offshore distance of 10 km. Under present conditions and standardized OTEC operations, four candidate sites that are suitable for OTEC power plants are selected around this area. With a 10 MW designed power output of OTEC facility, all of the four candidate sites can yield an annual gross electrical power of 13–22 MW and 10–19 MW net power. And these plants could produce about 80 GWh of electricity per year and about 22 000 cubic meters of desalinized water per day.

Keywords: OTEC; South China Sea; Sansha city

随着共建“丝绸之路经济带”和“21 世纪海上丝绸之路”的重大倡议的提出, 南海作为自古以来海上丝绸之路的“黄金水道”, 具有愈发重要

的地位, 三沙市政府已经开展建设南海服务合作基地、渔业—水产基地以及大型物资集散中心, 这些基础设施的建设离不开能源供给, 而在远离

收稿日期: 2017-03-06; 修订日期: 2017-07-17

基金项目: 中国科学院海洋环境与波动重点实验室开放研究基金 (KLOCW1606); 海洋可再生能源基金 (GHME2016ZC04; GHME2017ZC04); 基于 CORA 资料的南海温差能资源评估。

作者简介: 白杨 (1986–), 硕士研究生, 工程师, 主要从事海洋能源调查与评估方法研究。电子邮箱: minibaiyang@qq.com。

通讯作者: 张松, 硕士, 助理研究员。电子邮箱: zhangsong1006@163.com。

大陆的南海诸岛, 绿色、环保且可再生的温差能是非常合适的选择。

海洋温差能转换技术, 就是利用海洋表层和深层水之间的温度差, 将热能转换为电能。其基本原理是利用海洋表面的温海水加热某些低沸点工质并使之汽化, 或通过降压使海水汽化以驱动汽轮机发电 (D'Arsonval, 1881; Claude, 1930)。中国的温差能资源开发利用研究起步较晚, 在国内温差能资源评估方面, 王传崑 (2009)、吴文 (1988) 等分别进行过我国近海及毗邻海域温差能资源的估算, 计算得到理论蕴藏量约为 $14.4 \times 10^{21} \sim 15.9 \times 10^{21}$ J, 可开发装机总容量为 $17.47 \times 10^8 \sim 18.33 \times 10^8$ kW。韩家新 (2015) 等针对南海海域进行了温差能资源的调查、评价以及选划工作, 研究表明南海表层与深层海水温差大于等于 18°C 水体蕴藏的温差能为 1.160×10^{16} kJ, 温差能资源蕴藏量为 3.67×10^8 kW, 取热效率为 6%, 技术可开发装机容量为 2.570×10^4 kW。到目前为止, 国内不少学者开展了海洋能资源的评估工作 (武贺, 2015), 但是针对三沙市的温差能资源开发利用开展评估工作较少。已有工作在资料使用方面代表性较差, 无法有效的代表整个研究区域的温度、空间和时间分布特征, 在计算方法选择上均采用 20 个世纪 80 年代所采用的理论估算公式, 结果较为粗糙, 并且在评估参数上比较单一, 对温差能开发利用指导性较差。因此本文利用美国国家海洋数据中心 (National Ocean Data Center, NODC) 最新的再分析数据 World Ocean Atlas 13 (WOA13) 数据, 并选取温差、潜在量、离岸距离、温差 20°C 时最小水深、温差季节变化指数等参数对三沙市海域开展基于温差能电站选址的资源评估工作。

1 研究内容

1.1 评估方法

本文在三沙市温差能资源评估工作中选取了美国国家海洋和大气局 (NOAA) 国家海洋数据中心 (NODC) 的气候态再分析数据 World Ocean Atlas 2013 (WOA13)。对资源评估方法来说本文选择了 Nihous (2005, 2007) 等人的方法, 在考虑普遍性的前提下, 将一个标准的温差能转换过程假想成一个模型。在该方法中温差能发电系统的总

电力 P_g 可以写成:

$$P_g = \frac{Q_{CW} \rho C_p 3\gamma \varepsilon_{ig}}{16(1+\gamma) T_{uw}} \Delta T^2 \quad (1)$$

其中, Q_{CW} 为冷水流速, Q_{WW} 为暖水流量, 单位均为 m^3/s , γ 为 Q_{WW} 与 Q_{CW} 之比, T_{uw} 是表层海水温度, ε_{ig} 是汽轮机效率, 最高为 0.85, ΔT 为冷暖水温差, ρ 是平均海水密度, 取 1025 kg/m^3 , C_p 是海水热容量, 取 4 kJ/kg K 。

由于整个系统需要从深海抽取大量的冷水, 因此必须估算这部分的消耗, 进而推算出整个系统的净输出功率。一般情况下, 这部分消耗大约占温差能装置设计条件下总输出功率的 30%, 同时考虑到随着 γ 的变化, 这部分的消耗也应存在相应变动, 因此 P_{net} 表示为:

$$P_{net} = \frac{Q_{CW} \rho C_p \varepsilon_{ig}}{8 T_{uw}} \left\{ \frac{3\gamma}{2(1+\gamma)} \Delta T^2 - 0.18 \Delta T_{design}^2 - 0.12 \left(\frac{\gamma}{2} \right)^{2.75} \Delta T_{design}^2 \right\} \quad (2)$$

式中, ΔT_{design} 为设计温差。

与之前的评估方法相比, 该方法更加接近于真实的温差能开发利用过程, Nihous (2007) 利用该方法估算了大西洋和全球温差能资源潜在量, Rajagopalan 等 (2013) 利用该方法估算了全球温差能资源潜在量。

为了进一步分析温差能资源的季节变化情况, 本文引入了季节指数 (SV) (Andrew et al, 2008) 作为温差能资源的评估参数, 其计算公式如下:

$$SV = \frac{P_{S1} - P_{S4}}{P_{year}} \quad (3)$$

其中, P_{S1} 是平均温差能资源最丰富的季节, P_{S4} 平均温差能资源最贫乏的季节, P_{year} 是年平均值。该值的大小反映了温差能资源的稳定情况, 值越小说明该区域温差能资源年周期内震荡越小, 越有利于资源的开发。

1.2 潜在站址资源评估

研究表明以 18°N 为分界线, 该线以北以及越南近岸陆架区和加里曼丹岛以西海域, 温差在年平均值小于 12°C , 不具备开发温差能资源的条件。除此之外, 三沙市所辖海域年平均温差在 22°C 以上, 具备较高的开发利用潜力。

根据 1.1 节的公式本文计算了研究海域温差能年平均净输出功率密度, 其中 ρ 取 1025 kg/m^3 , C_p

取 4 kJ/kg K , OTEC 等量深层海水垂向速率 w_{cw} 取 20 m/year , ε_{ig} 汽轮机效率, 取 0.75 , γ 取 1.5 , 统计了该区域的温差能潜在量, 将每个格点的功率密度乘以其单位面积, 最终计算得到三沙市温差能潜在量为 0.5 TW , 相比于吴文等 (1988) 的结果, 该结果相对保守, 不过这个结果应该是在不影响该海域温盐结构的前提下, 最大的温差能可开发利用量, Nihous (2013) 给出的全球温差能最大产能为 7 TW , 可见三沙市温差能资源潜在量占全球的 $1/14$ 。通过计算, 三沙市温差能年平均功率密度绝大部分区域在 300 kW/km^2 以上, 这个结果与 Nihous (2013) 全球计算结果非常接近, 从全球总体资源情况来看, 研究海域的温差能资源属于较好的区域之一。

研究表明, 年周期内海表面温度保持在 24°C 以上, 温差在 20°C 以上就具备较好的开发潜力, 从这点来讲, 整个三沙市海域除去北部和近岸区域都具备这种条件, 但是必须考虑电力的输出问题, 现在的海底电缆技术还存在着较大的局限, 在远离大陆的区域, 通过海底电缆输送电力的过

程中不可避免地会有大量的能量损失, 且布设的费用也是非常昂贵的 (苏佳纯等, 2012)。因此, 综合考虑, 尽管在海南岛东南沿海区域存在着温差能净输出功率, 但具备一定经济价值的可开发区域距离大陆约为 200 km , 因此, 暂时不予考虑, 就目前的技术而言应将目光聚集在南海众多的岛屿上。表 1 是目前具备一定开发潜力的海岛按照离岸距离、平均海表温度、平均 1000 m 海水温度, 平均表、深层海水温差以及温差为 20°C 时的最小取水深度和季节指数优选出的几个潜在的温差电站站址。

本文选取的四个岛屿位于海上丝绸之路沿线, 具有良好的开发前景。永兴岛是海南省三沙市政府所在地, 也是大陆连接南沙的桥梁和纽带。美济礁、永暑礁和渚碧礁上的三大人工岛在南沙腹地形成大三角, 互相支撑, 加上里面的赤瓜礁、南薰礁、东门礁等形成内部拱卫, 在南沙腹地形成强大的中国守护力量, 同时几个海岛的开发有助于国际公益活动, 有利于为中国渔民事务活动及国际航运、国际救援、打击海盗提供强大帮助。

表 1 三沙市温差能电站潜在站址信息一览表

站址	地点	经度/ $^\circ\text{E}$	纬度/ $^\circ\text{N}$	离岸距离/km	暖水温度/ $^\circ\text{C}$	冷水温度/ $^\circ\text{C}$	温差/ $^\circ\text{C}$	取水深度/m	季节指数
P1	永兴岛	112.447	16.81	9.52	27.19	4.95	22.24	650	0.46
P2	美济岛	115.60	9.89	3.04	28.65	4.37	24.28	550	0.24
P3	永暑岛	112.91	9.51	2.61	28.45	4.46	23.99	550	0.23
P4	渚碧岛	114.07	11.00	7.36	28.31	4.41	23.90	550	0.20

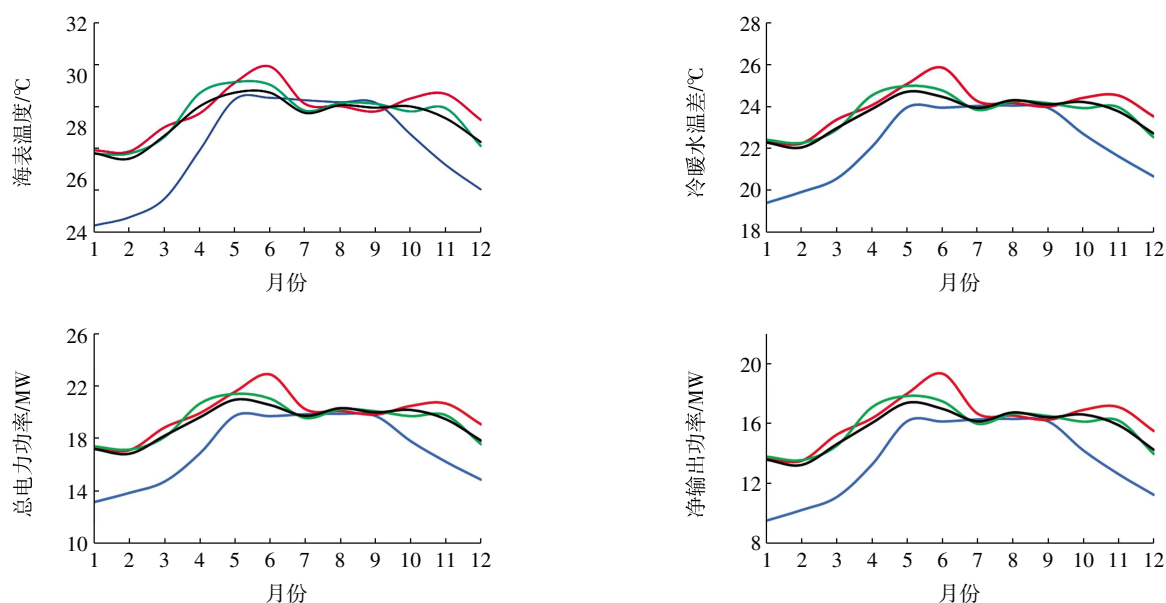


图 1 潜在站址温差能资源年变化统计图 (P1—P2—P3—P4—)

但是, 这几个岛屿均无地下饮用水源, 须靠船舰运补, 能源供给靠传统柴油发电。这严重制约着该岛的发展, 因此本文将这几个海岛作为优先进行温差能资源开发的试点。

图 1 是 4 个潜在站址的温差能资源年变化图, 相对于其他 3 个站址永兴岛站址 (P1) 的温差能资源在年周期内变动最大, 其地理位置靠北, 冬季受寒潮影响较大, 其海表温度 1 月份达到全年最低值, 仅为 24.25°C , 6 月份最高, 为 29.13°C , 年周期内变化为 4.88°C , 其余 3 个站址冬季几乎不受寒潮影响, 海表温度年周期内变化非常小, 约为 3°C (大约在 $27\sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间变化), 其最小值和最大值出现在 1 月份和 5、6 月份。由于深层的冷水年变化范围非常小, 所以温差的年变化趋势同海表温度类似, 永兴岛站址 (P1) 的温差变动最大, 1 月份温差在 19°C 左右, 为全年最小值, 7、8 月份最高达到 24°C 左右, 其余 3 个站址温差全年在 22°C 以上, 其中, 美济岛站址 (P2) 6 月份温差可达 26°C 。按照 Nihous 等人的方法, 本文利用公式 (1) 和 (2) 分别计算了 4 个潜在站址的总电力功率 (Gross Electrical Power) 和净输出功率 (Net OTEC Power), 在参数选取方面, 以设计输出功率为 10 MW 的 OTEC 电站为例, 冷水抽取速率 Q_{CW} 取 $30\text{ m}^3/\text{s}$, ε_{g} 取 0.75, γ 取 1.5, 在计算净输出功率时, 电站的设计温差 ΔT_{design} 取 20°C 。图 1 还可以看出, ΔT 的变化对功率输出的影响是非常大的, 一般来讲, 1°C 的温差可以带来大约 15% 的 P_{net} 变化。当温差为 20°C 时, P_{net} 即能达到设计的 10 MW 输出功率, 当温差在 26°C 时 (P2 六月份) 功率可达 19 MW。

1.3 潜在站址自然条件

永兴岛属于中国西沙群岛里的宣德群岛。岛呈椭圆形, 东西长约 1 950 m, 南北宽约 1 350 m, 面积扩建到 2.6 km^2 , 平均海拔 5 m, 是西沙最大岛屿, 也长期是南海诸岛中最大的岛屿, 南沙部分岛礁吹沙填海后为南海诸岛中面积第四大岛屿。该岛属海南省三沙市管辖, 是西沙、南沙、中沙 3 个群岛的军事、政治、文化中心, 三沙市人民政府和众多政府机构的驻地。该岛建有永兴岛机场, 可起降大型客机, 码头可停靠 5 000 t 位的船只, 其它基础设施和接待设施也比较齐全。该岛常住人口有 1 000 人。

美济岛位于南沙群岛中东部海域, 西距赤瓜礁基地 140 km 上下, 距永暑岛基地 295 km, 是一个椭圆形的珊瑚环礁, 东西约 9 km, 南北约 6 km, 总面积约 46 km^2 。退潮时露出水面 1.83 m, 礁盘外约 1 km 处, 水深超过千米。潟湖面积约 36 km^2 , 水深 20 m~30 m。西南部有两个礁门, 南门西水道有 37 m 宽, 长 275 m, 水深 18 m 以上, 进过航道疏浚大型船只可直接进入潟湖, 是南沙罕见的天然大型避风良港, 具备建成南沙大型渔业—水产基地的良好条件。

永暑岛位于南沙群岛中部, 距中国大陆约 740 海里, 据海南岛榆林港 560 海里, 地处太平岛至南威岛的中途, 位于南海中央航线和南沙水道交汇处, 地理位置重要。永暑岛呈长椭圆形, 分为西南和东北两块, 整个礁盘宽约 7.8 km, 长 26 km, 面积 108 km^2 , 浅湖形态不明显, 水深 14.6~40 m, 涨潮时礁盘没在 0.5~1 m 水深以下, 退潮时只露出少许礁石。“一带一路”战略开展后, 永暑岛作为未来中国在南沙最大的物资集散中心开始进行造陆工作, 自 2013 年底至 2015 年 4 月, 中国完成在永暑礁西南陆域 (低潮时出水的陆域为“礁陆”) 上吹沙填海作业, 填出永陆 2.8 km^2 。2015 年底永暑礁机场竣工并成功起降大型客机, 接下来将逐步进行其它功能区的建设。

渚碧岛, 中国南沙群岛岛礁之一, 是西沙主岛永兴岛到南沙最近的大基地。该礁是南沙群岛一座孤立的环形暗礁, 位于中业群礁西南方向, 中业岛西南 23 km 处。该礁自东北到西南约为 6.5 km, 宽 3.7 km, 礁盘面积为 16.1 km^2 , 其中礁坪面积大约占一半, 是大型环礁, 具有建成大型渔业基地和行政中心的良好条件。2015 年 1 月开始在渚碧礁礁盘吹沙填海产生渚碧岛; 后来永陆面积 4.3 km^2 , 超过永暑岛的 2.8 km^2 , 仅次于美济岛的 5.6 km^2 , 成为南沙面积第二大岛屿。

2 结论

本文利用 WOA13 数据采用 Nihous 等人的方法计算了南中国海温差能资源潜在量, 并从海表温度、表、深层海水温差、温差为 20°C 时的最小取水深度等方面详细分析了温差能资源的时空分布情况, 结论如下:

(1) 三沙市海域海表温度年平均变化范围为 24℃~29℃, 除去 18°N 以北以及越南近岸陆架区和加里曼丹岛以西海域, 年平均温差在 22℃以上温差能净输出功率密度年平均绝对大部分区域在 300 kW/km² 以上, $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ 时最小取水深度在 540~660 m 之间, 从这几个参数来看南中国海具备较高的温差能资源开发利用潜力。

(2) 初选的 4 个潜在站址离岸距离均小于 10 km, 最近的为 2.61 km, 最远的 9.52 km, 4 个站址年平均 SST 在 27℃以上, 1000 m 水深出温度常年稳定在 4℃~5℃之间, 年平均温差均在 22℃以上, 以 10 MW 设计电站参数计算得到的年净输出功率在 9~20 MW 之间震荡, 1 月份最低, 7、8 月份最高。

参 考 文 献

- Andrew M C, 2008. A global wave energy resource assessment. Proceeding of the Eighteenth International Offshore and Polar Engineering Conference Vancouver, Canada, July: 6–11.
- Claude G, 1930. Power From the Tropical Seas. Mech. Eng, 52 (12): 1039–1044.
- D'Arsonval, 1881. Utilisation des forces naturelles Avenir de l'Électricité. Rev Sci, 17: 370–372.
- Nihous G C, 2005. An order of magnitude estimate of Ocean thermal energy conversion resources. Energy Res. Technol, 127: 328–33.
- Nihous G C, 2007. A preliminary assessment of ocean thermal energy conversion (OTEC) resources. Energy Res. Technol, 129(1): 10–17.
- Nihous G C, 2007. An Estimate of Atlantic Ocean Thermal Conversion (OTEC) Resources. Ocean Eng, 34: 2210–2221.
- Rajagopalan K, Nihous G C, 2013. Estimates of Global Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) Resources Using an Ocean General Circulation Model. Renewable Energy, 50: 532–540.
- Rajagopalan K, Nihous G C, 2013. An Assessment of Global Ocean Thermal Energy Conversion Resources With a High-Resolution Ocean General Circulation Model. Energy Res. Technol, 135: 041202–1–041202–9.
- 韩家新, 2015. 中国近海海洋—海洋可再生能源. 北京: 海洋出版社, 136–141.
- 苏佳纯, 曾恒一, 肖钢, 等, 2012. 温差能发电技术研究现状及在我国的发展前景. 中国海上油气, 24(4).
- 王传崑, 2009. 海洋能资源分析方法及储量评估. 北京: 海洋出版社, 181–182.
- 武贺, 王鑫, 李守宏, 2015. 中国潮汐能资源评估与开发利用研究进展. 海洋通报, 34(4): 370–376.
- 吴文, 蒋文浩, 1988. 我国海水温差能资源蕴藏量和可开发量的估算. 海洋工程, 6(1): 79–88.

(本文编辑: 宋雪莲)