

海水温差能发电的经济和环保效益

Economic and environmental benefits of ocean thermal energy conversion

王 迅, 李 赫, 谷 琳

(天津大学 机械工程学院, 天津 300072)

中图分类号: P743.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096 (2008) 11-0084-04

能源是国民经济的重要战略资源,随着世界经济和社会的发展,能源的消耗量也在快速增长。同时,由于矿物燃料的大量使用,世界的环境日益恶化,使人类面临着前所未有的环境问题。中国是世界上仅次于美国的第二能源消费大国,也是能源需求增长最快的国家之一,能源已成为制约经济社会快速发展的瓶颈。在当前日益严峻的能源和环境生态危机形式下,开发新能源特别是清洁、可再生能源和提高能源效率成为世界各国致力解决能源危机和实现可持续发展的主要途径。

海洋是世界上最大的太阳能采集器,蕴藏有丰富的无污染的可再生能源。它吸收的太阳能达 37 万亿 kW,可开发利用部分远远超出全球能源的总消耗量。目前,以潮汐能、波浪能和海水温差能发电为海洋能开发利用的主要形式。在各种海洋能的应用之中,温差能发电潜力巨大,全世界海水温差能的理论储量估计为 600 亿 kW^[1],居于海洋各种能源之首。

我国海域辽阔,大陆海岸线长达 18 000 km 多,海洋面积为 470 万 km² 多,海洋能资源十分丰富,海水温差能蕴含量约 1.2 亿 kW^[1]。而我国发达的沿海地区恰好是主要耗能区,随着工业技术的不断发展,国内能源的需求量将不断增加。开发海水温差能不仅可以调整我国不合理的能源结构,而且可以适当缓解当地的能源供应压力。因此有必要对我国的海水温差能的利用进行积极的研究。

1 海水温差能发电的原理

海水温差能是指海洋表层的高温海水和深层的低温海水之间所蕴藏的水温差的热能,其实质是储存的太阳能。热带或亚热带海域的表层海水(0~50 m)由于受到太阳辐射,温度常年介于 24~29℃,而由于海水的导热率低,表层的热量难以传到深层,500~1 000 m 深处的水温仅为 4~7℃,表层海水

和深层海水终年形成 20℃ 以上的垂直温差。利用此温差可实现热力循环发电,这种发电方式叫做海水温差能发电^[2]。

海水温差能发电的基本原理是:利用海洋表层的温海水直接作为工质,或作为热源对循环工质加热,工质汽化后驱动汽轮机发电;用深层低温海水,将做功后的工质气体冷却,使之重新变为液体,并进入下一轮驱动循环。

海水温差能发电一般分为三种系统,即开式循环系统、闭式循环系统和混合系统。其中闭式循环系统简图如图 1 所示,由蒸发器、汽轮机、发电机、冷凝器、工质泵、温水泵和冷水泵等部件组成。系统通常采用朗肯循环,利用低沸点工质(如丙烷、异丁烷、氟里昂、氨等)循环做功,将海水温差形成的热能转化为电能。闭式循环由于使用了低沸点工质,使整个装置,特别是透平机组的尺寸大大缩小,因此,易于实现装置的小型化以及规模的大型化。

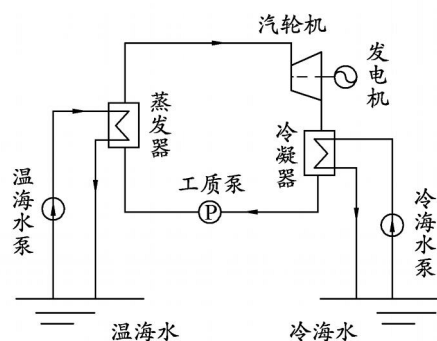


图 1 闭式循环系统

收稿日期:2006-06-30;修回日期:2006-09-08

基金项目:国家 863 计划项目(2001AA516060)

作者简介:王迅(1963-),男,天津人,副教授,博士,主要从事新能源利用和传热传质方面的研究,电话:022-27400731, E-mail:wangxun@tju.edu.cn

目前,国外对温差发电的研究已接近商业化,以美国、日本为代表的海洋国家,已成功开发出 9,50^[3],75,120,210^[4] kW 的海水温差发电系统。我国大陆沿岸和海岛附近蕴藏着丰富的海洋能资源,但是对温差能的研究却很少,除了七八十年代台湾和广州能源研究所少量研究外,基本处于空白。如果能因地制宜的开发海水温差能这一清洁可再生能源,将会对缓解我国未来能源压力有一定作用。

2 利用海水温差能发电的可行性

海水温差能实质是储存的太阳能,与太阳能相比,比较稳定,24 h 不间断,昼夜波动小,只稍有季节性的变化。它是清洁的可再生能源,其利用不消耗燃料,不排放污染物,还可以搞各种综合利用,这些优点恰是常规能源的弱点。因此,海水温差能发电已被国际社会认为是最具潜力的海洋能源开发方式之一。

下面从海水温差能发电的经济效益和环保效益出发,探讨海水温差能发电的可行性。

2.1 经济效益

发电效益应综合考虑建设成本、燃料成本和运转维护成本。海水温差能发电与太阳能、地热发电系统一样,都是不消耗燃料的发电方式,运行费用很

低,但是建设费用较高。建设费用和运行费用在整个费用中所占的比例及与其他发电方式的比较见图 2。

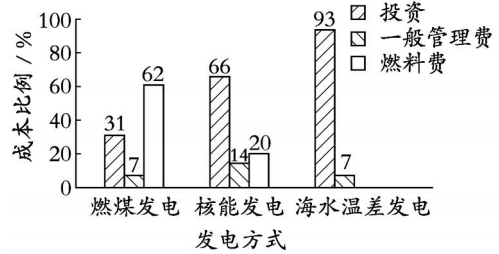


图 2 各种电站发电成本的分配比较

在进行海水温差能发电与普通电厂的发电成本比较时,虽然普通电厂的成本容易计算而且较准确,但是海水温差能发电的成本却因为估算者、制造技术、电站建造地点、环境等许多不确定因素的关系而有所差异。

表 1 是美国海水温差能发电与燃煤发电和核能发电成本的比较。从表中可以看出,初投资费用以燃煤发电最低,核能发电次之,海水温差能发电最高,比燃煤发电约高 3~5 倍;至于燃料费,核能发电为 0.8 日元/(kW·h),燃煤发电为 3.1~3.9 日元/(kW·h),而海水温差能发电则不需要燃料费。

表 1 美国海水温差能发电(开式循环)与燃煤发电及核能发电成本比较一例

发电类型	投资 (万日元/kW)	利用率 (%)	固定资金占全部 资金比例(%)	费用		
				固定资金 (日元/(kW·h))	运行费 (日元/(kW·h))	燃料费 (日元/(kW·h))
燃煤发电	12.7	75	15	2.8	0.28	3.1~3.9
核能发电	14.1~18.2	60	15	3.9~8.2	0.28	0.8
开式海水温差 能发电	28.2~70.2	90	13~10	4.8~9.0	0.28	0

所以,与一般火力发电和核能发电相比,最初发电成本仍是火力发电最低,海水温差能发电最高。但是,由于温差能发电的燃料不但免费而且供应不断,不受燃料供应短缺或价格波动的影响,若综合考虑建设投资、运转维护、长期效益,比较连续运转 25 a 之平均成本,则随着煤、石油燃料价格的上涨及温差能发电技术的改进,海水温差能发电与火力发电相比,将具有一定的竞争性。

事实上,海水温差能是一种全面的资源系统,其开发利用在商业上取得成功的关键是提高其综合经济效益。因此,要充分发挥海水温差能的优势,围绕海洋热能发电技术的开发,积极开展海洋资源的综

合利用。现在已经取得成效的综合利用途径主要有以下几种:(1)海水淡化处理;(2)海水养殖;(3)建筑物空调;(4)热带农业;(5)氢、氨等制造;(6)重水采集等^[5]。根据调查,目前对海水温差能进行综合开发利用,不仅可以缓解电站建设的经济压力,而且有利于改善自然、社会和经济环境,促进经济社会的发展和居民生活质量的提高,是降低海水温差能发电成本的有效途径。

2.2 环保效益

目前我国消耗的能源主要来自煤炭、石油、天然气等化石燃料(图 3)。

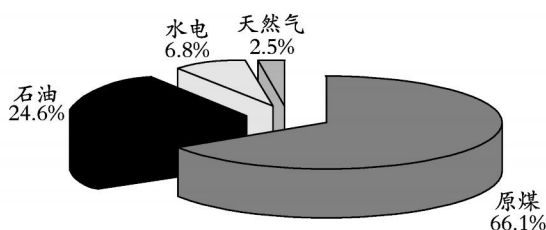


图3 2000年中国能源结构

化石燃料最主要的用途就是火力发电。然而,大量化石燃料的消耗给自然环境带来严重污染。以一座年发电量 30 亿 kW·h 的燃煤发电站为例^[6],每年要烧掉约 140 万 t 煤,同时向大气层倾吐出 2 万 t 多二氧化硫、200 万 t 多二氧化碳以及氮氧化物、烟灰等有害物质,造成空气严重污染毒化。据统计,每年仅因火力发电排放的 SO₂ 和烟尘两项就造成近千亿元的经济损失,见表 2。

表2 2001年全国火力发电排放污染物及经济损失情况^[7]

污染物	火力发电排放量 (万 t)	占总排放比例 (%)	经济损失 (亿元)
SO ₂	653.98	33.6	327
烟尘	289.73	27.4	288~625

此外,我国还是仅次于美国的 CO₂ 第二排放大国,每年 CO₂ 排放量已占全球总排放量的 13% 以上,有关专家预测,到 2010 年,我国 CO₂ 排放量将达到 13 亿 t。从表 3 中可以看出,1960~2002 年全球平均气温随着 CO₂ 浓度的增加逐年升高,若不减缓化石燃料的大量消耗,全球变暖的趋势将愈加严重。

环境污染和破坏的影响将是长期性的,一旦污染和破坏后果发生,其巨大的环境治理成本将成为国家的经济重负,严重制约未来经济的持续、健康发展。因此,电力发展中面临的环境保护问题相当严重。要保持我国经济发展的良好趋势,就必须大力推进节能技术,加大清洁无污染的可再生能源的开发利用,逐步改善不合理的能源结构,减轻发展中的环境压力。

表3 全球平均温度和化石燃料燃烧的碳排放以及大气 CO₂ 的浓度^[8]

年份	温度 ()	碳排放 (万 t)	CO ₂ (×10 ⁻⁶)
1960	14.01	2 535	316.7
1980	14.16	5 177	338.5
1990	14.37	5 953	354.0
1995	14.37	6 187	360.9
2000	14.31	6 315	369.4
2002	14.52	6 443	372.9

与常规能源的发电方式相比,海水温差能发电

的环保优点是显而易见的。首先,海水温差能是清洁的可再生能源,其利用不消耗燃料,不会受到能源枯竭的威胁,还可以减少 CO₂ 的排放^[9],不会加重日益恶化的环境负担。其次,在各类海洋能源中,温差能储量又是居于首位,能量资源大,来源稳定,不受时间和气候的限制,不存在间歇性等问题。更值得一提的是,海水温差能发电站与珊瑚岛礁生态系统相结合,还具有固定温室效应气体 CO₂ 的作用^[10],这在大规模消费矿物能源所造成的全球气候日益变暖的今天,已成为国际社会关注的焦点;而且,温差发电车间还可辅助电解海水而获得氢气,为世界耗能从石化燃料转向为氢燃料提供了潜力。

但是,利用海水温差能发电对生态环境也存在一定影响。电站排入海洋的水,与海水的温度和密度都不同,会同时出现温度扩散和密度扩散的现象,虽然它与周围环境差别很小,但从性质上来说仍是一个复杂的问题;排出的冷水也会使生物存在的环境发生变化。另外,大规模利用海水温差能发电,会对大气和海洋的热交换有所影响,从而可能使得电站周围的海洋蒸发率降低,局部气候有所改变。然而,利用海水温差能发电在改变生态环境的同时也会带来一定好处,比如,释放的冷海水把深海中丰富的营养盐带到海面上来,从而使海洋生物的生产率得到大大提高。

所以,虽然利用海水温差能发电还存在一定的问题,造成的生态问题有多大还不明朗,但可以肯定的是比火力发电和核电造成的污染危害要小。因此,在全球面临常规能源日益耗减、环境负荷日益加深的迫切形势下,海水温差能作为一种有发展潜力的新能源,已经引起许多海洋国家的重视。有理由相信,未来海水温差能的研究和利用将逐渐走向成熟。

3 我国进行海水温差能发电的设想

我国大陆海岸线长达 1.8 万 km,拥有大小岛屿 6 000 多个,海洋能资源极为丰富。下面主要针对我国海水温差能,分析其分布区域及可能开发的地点。

海水的导热率低,辐射在海面上的太阳能仅有 1% 可以透过海水到达 10 m 以下的深处,海水温度沿垂直方向是随深度逐渐下降的。因此,适宜利用海水温差能的地方不仅表面温度要高,而且要有足够的深度以取得冷海水。

由于适宜开发海水温差能的地域的地形不同,建站的方式也不同,大致分成岸基式和离岸式。岸基式是把热力系统设置在海岸,而把取水管延伸到 500~1 000 m 或更深的深海处;离岸式是把热力系统安装在平台或船上,电力通过海底电缆输送^[2]。

我国海域辽阔,渤海、黄海、东海和南海四海相连,面积达 470 万 km²。但是由于表面海水温度和海水深度的限制,并非都适宜开发利用。

渤海表面水温较低,年平均温度在 10.4~12.8 之间,而且水深较浅,最深处只有 70 m^[11]。黄海年平均温度也较低,其平均深度为 44 m,最深处为 140 m^[12]。因此,渤海和黄海由于表层与底层海水温差小,均不适宜开发海水温差能。

东海中部及南部表面水温较高,一般在 19~25 之间;东海的海底地形西北高、东南低,与琉球岛之间的海槽深度较大,最大深处超过 2 719 m^[12],但是由于与岛屿之间隔着宽度较大的大陆坡,因此适宜建设离岸式温差电站。

台湾岛以东的海域是狭窄的岛缘陆架,陆架外侧是陡窄的大陆坡,距岸不远处为水深超过 3 000 m 的深海盆地^[12]。而且,台湾以东海域表层水温全年在 24~28 ℃,500~800 m 以下的深层水温在 5 ℃以下,全年水温差 20~24 ℃,是适宜建设岸基式海水温差能发电站的天然场所。据台湾电力专家估计,该区域温差能资源蕴藏量约为 2.16 × 10¹⁴ kJ。

南海地处北回归线以南,太阳辐射强烈,是典型的热带海洋,表层水温均在 25 ℃以上。南海海底是盆地地形,中间深,边缘浅,平均水深在 1 212 m,盆地周围的大陆架宽度较大,多适宜建立离岸式温差电站。但是海底地貌复杂,岛屿周围仍不乏陡峭之处,例如中沙群岛外侧有一个 51°的陡坡^[11],因此可以因地制宜,根据地形的不同建立岸基式温差电站。

此外,还需注意,选择建立海水温差电站的地理位置,不仅受表层海水的温度和海水深度的影响,还受技术条件和经济因素的影响,要全面综合考虑。例如考虑当地的海底地形是否能够铺设冷水管,当地的海风海浪是否剧烈,周围的副产品市场是否适宜海水养殖、冷水空调、农业灌溉等温差能的综合开发等诸多因素。

4 结论

从以上对海水温差能发电的经济效益、环保效益以及我国可利用的温差发电区域的分析可知,发展利用海水温差能具有很大的实用价值。

海水温差能的利用可以提供可持续发展的能源、淡水、生存空间,并可以和海洋采矿与海洋养殖业共同发展,解决人类生存和发展的资源问题。开展海洋能资源的综合利用,不仅是降低海洋能发电成本的有效途径,而且是有利于改善自然、社会和经济环境,促进经济社会的发展和居民生活质量的提高。海水温差能资源的开发,还能为将来的海上工

程作业提供便利的电力。随着人类对海洋资源认识的深入和科学技术的发展,海洋开发已经处于离岸向纵深发展的阶段。海洋开发本身需要越来越多的能源,例如海上钻井平台主要依靠柴油机发电,电源有限并且缺乏淡水,如果发展海上移动式海水温差能发电装置,可以跟随海上工程活动使用,解决离岸用电以及生活用水等问题。

综上所述,海水温差能的利用不仅在技术上是可行的,在经济上也是可行的。海水温差能作为一种清洁、可再生的能源,具有很好的发展前景。其开发、利用对我国经济的可持续发展和人民生活水平的提高具有重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 崔金泰. 各显神通的新能源[M]. 北京:北京工业大学出版社,1993. 104-105.
- [2] Department of International Economic and Social Affairs. A guide to ocean thermal energy conversion for developing countries[R]. New York: United Nations, 1984. 1-85.
- [3] Lennard D E. The viability and best locations for ocean thermal energy conversion systems around the world [J]. *Renewable Energy*, 1995, 5(3): 359-365.
- [4] Vega L A. The 210 kW open cycle OTEC experimental apparatus: status report [A]. MTS/ IEEE. Oceans' 95 MTS/ IEEE 'challenges of our changing global environment' conference proceedings (2) [C]. California, USA: San Diego, 1995. 1 110-1 115.
- [5] Dylan T. Ocean thermal energy conversion: current overview and future outlook [J]. *Renewable Energy*, 1995, 6(3): 367-373.
- [6] 周浩,魏学好. 天然气发电的环境价值[J]. 热力发电, 2003, 5: 2-5.
- [7] 胡予红,孙欣,张文波,等. 煤炭对环境的影响研究[J]. 中国能源, 2004, 26(1): 32-35.
- [8] 贡光禹. 2002 年的世界能源和大气趋势[J]. 能源政策研究, 2004, 1: 54-59.
- [9] Tahala K, Houliuchi K, Kojima T. Ocean thermal energy conversion (OTEC) systems as countermeasure for CO₂ problem-energy balance and CO₂ reduction potential [J]. *Energy conversion management*, 1995, 36(6-9): 857-860.
- [10] 胡保亭,胡仰栋,伍联营. 海洋热能的利用[J]. 海洋技术, 2004, 23(2): 96-106.
- [11] 雷宗友. 中国海环境手册[M]. 上海:上海交通大学出版社,1988.
- [12] 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会. 中国自然地理——海洋地理[M]. 北京:科学出版社,1979.

(本文编辑:刘珊珊)