

我国海洋能研究与开发述评

蒋秋飏 鲍献文 韩雪霜

(中国海洋大学 青岛 266100)

摘要 综述了海洋能的各种形态及开发利用原理,总结分析了我国海洋能储量分布情况与研究开发现状,并结合海洋能开发利用中存在的主要问题,提出了我国海洋能研究开发的政策建议。

关键词 海洋能;研究与开发;政策建议

能源是现代经济社会发展的重要物质基础和重要制约因素。目前,我国已成为世界能源生产和消费大国,但人均能源消费水平还很低。随着经济和社会的不断发展,我国能源需求将持续增长。增加能源供应、保障能源安全、保护生态环境、促进经济和社会的可持续发展,是我国经济和社会发展的一项重大战略任务。可再生能源是我国重要的能源资源,在满足能源需求、改善能源结构、减少环境污染、促进经济发展等方面具有重要作用,因此应加快发展,提高在能源生产和消费中的比重。

一、海洋能的含义

海洋能是一种蕴藏在海洋中的重要的可再生清洁能源,主要包括潮汐能、波浪能、海流能(潮流能)、海水温差能和海水盐差能。更广义的海洋能还包括海洋上空的风能、海洋表面的太阳能以及海洋生物质能等。从成因来看,潮汐能和潮流能来源于太阳和月亮对地球的引力变化,其他基本上源于太阳辐射。海洋能按储存形式又可分为机械能、热能和化学能。目前,开发海洋能

的主要用途是发电。

我国海岸线广阔,蕴藏着丰富的海洋能资源。开发利用海洋能对于增加和改善能源供应,保护生态环境,促进经济社会可持续发展具有重要意义,是21世纪我国能源战略的重要选择。

二、海洋能储量分布及研究开发现状

从总体看,我国海洋能资源十分丰富,可开发利用量达10亿kW的量级。其中,我国沿岸的潮汐能资源总装机容量为2179万kW;沿岸波浪能理论平均功率为1285万kW;潮流能130个水道的理论平均功率为1394万kW;近海及毗邻海域温差能资源可供开发的总装机容量约为17.47亿~218.65亿kW;沿岸盐差能资源理论功率约为1.14亿kW;近海风能资源达到7.5亿kW。

目前,我国海洋能的开发利用除了潮汐能利用形成了较小的规模外,波浪能研究已进入示范试验并取得了一定的成果;潮流能开发利用技术研究已有多个部门正在进行关键技术研究,并取得了一定的突破。而其他形式的海洋能如海水盐差能、温差能等的研究与开发尚处于实验室原理

试验阶段。

(一)潮汐能

(1)潮汐现象是指海水在天体(主要是月球和太阳)引潮力作用下所产生的周期性运动,习惯上把海面铅直向涨落称为潮汐,而海水在水平方向的流动称为潮流。潮汐发电是利用海水潮涨潮落的势能发电。潮汐的能量与潮量和潮差成正比。实践证明,潮涨、潮落的最大潮位差应在 10 m 以上(平均潮位差 ≥ 3 m)才能获得经济效益,否则难于实用化。

(2)潮汐发电的原理:在适当的地点建造一个大坝,涨潮时,海水从大海流入坝内水库,带动水轮机旋转发电;落潮时,海水流向大海,同样推动水轮机旋转而发电。因此,潮汐发电所用的水轮机需要在正反两个方向的水流作用下均能同向旋转(图 1)。

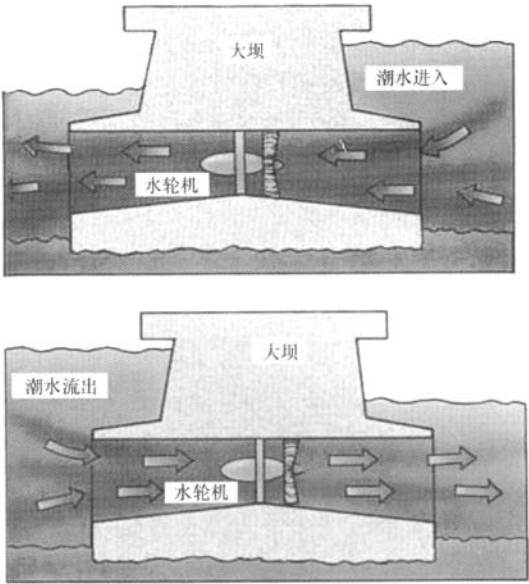


图 1 潮汐发电原理图

(3)潮汐能储量及分布情况:中国沿岸的潮汐能资源主要集中在东海沿岸,又以福建、浙江两省最多,合计装机容量为 1 925 万 kW,年发电量为 551 亿 kW·h,分别占全国总量的 88.3%。并

且两省内的资源分布也不均匀,主要集中在几个大海湾内。

(4)潮汐能研究开发现状:我国的潮汐电站建设开始于 20 世纪 50 年代中期,经过了 1958 年前后、70 年代初期和 80 年代 3 个时期建设,至 80 年代初共建设有 76 个潮汐电站。在 80 年代运行的有 8 座,目前还在运行的潮汐能电站只剩下了 3 座,分别是:总装机容量 3 200 kW 的浙江温岭的江厦站、总装机容量 150 kW 的浙江玉环的海山站、总装机容量 640 kW 的山东乳山的白沙口站。

(5)关键技术问题:主要包括低水头、大流量、变工况水轮机组设计制造;电站的运行控制;电站与海洋环境的相互作用,包括电站对环境的影响和海洋环境对电站的影响,特别是泥沙冲淤问题;电站的系统优化,协调发电量、间断发电以及设备造价和可靠性等之间的关系;电站设备在海水中的防腐等。

(二)波浪能

波浪是由于风、气压和水的重力作用等形成的起伏运动,它具有一定的动能和势能。波浪能的大小与波高和周期有关,是一种密度低、不稳定、无污染、可再生、储量大、分布广、利用难的能源。

(1)波浪发电的原理:利用海面波浪的垂直运动、水平运动和海浪中水的压力变化产生的能量发电。波浪能发电一般是利用波浪的推动力,使波浪能转化为推动空气流动的压力(原理与风箱相同,只是用波浪做动力,水面代替活塞),气流推动空气涡轮机叶片旋转而带动发电机发电。目前已经研究开发比较成熟的波浪发电装置基本上有三种类形。一是振荡水柱型(图 2),用一个容积固定的、与海水相通的容器装置,通过波浪产生的水面位置变化引起容器内的空气容积发生变化,压缩容器内的空气(中间介质),用压缩空气驱动叶轮,带动发电装置发电;中科院广

州能源研究所在广东汕尾建成的 100 kW 波浪发电站(固定岸式),日本海明发电船(浮式)以及航标灯式波力装置都是属于这种类型。二是机械型(图 3),利用波浪的运动推动装置的活动部分——鸭体、筏体、浮子、叶片等,活动部分压缩(驱动)油、水等中间介质,通过中间介质推动转换发电装置发电。三是水流型,利用收缩水道将波浪引入高位水库形成水位差(水头),利用水头直接驱动水轮发电机组发电(图 4)。

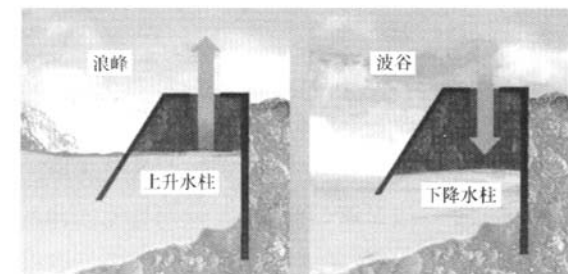


图 2 振荡水柱式波浪发电原理图

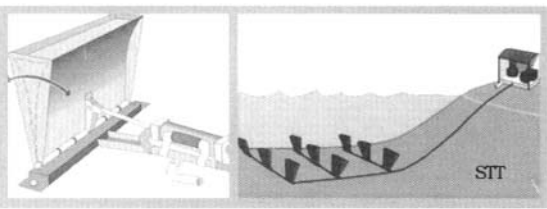


图 3 机械式波浪发电原理图

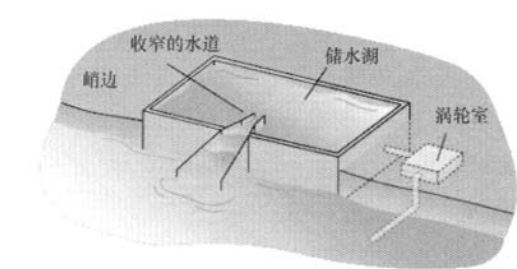


图 4 收缩水道式波浪发电原理图

(2)波浪能储量及分布情况:根据现有观测资料计算统计,全国沿岸波浪能资源平均理论功率为1 285万kW。需要指出的是,全国沿岸还有很多著名的大浪区,因迄今尚无实测资料,故无

法把这些资源计算在内。中国沿岸的波浪能资源以台湾省沿岸最多,为429万kW,占全国总量的1/3;其次是浙江、广东、福建和山东等沿岸较多,在161万~205万kW间,合计为706万kW,占全国总量的55%;其他省市沿岸则较少,在14.4万~56.3万kW间。

(3)波浪能研究开发现状:中国波浪发电研究开始于1978年,经过30年的开发研究,获得了较快的发展。我国波浪发电的相关成果有:额定功率为20 kW的岸基式广州珠江口大万山岛电站;额定功率为8 kW采用摆式波浪发电装置的小麦岛电站;额定功率为100 kW的广州汕尾岸式波浪实验电站;青岛大管岛30 kW摆式波浪实验电站;“十五”期间投资的广州汕尾电站,2005年1月成功地实现了把不稳定的波浪能转化为稳定电能。

(4)关键技术问题:主要包括波浪的聚集与相位控制技术;波能装置的波浪载荷及在海洋环境中的生存技术;波能装置建造与施工中的海洋工程技术;不规则波浪中的波能装置的设计与运行优化;往复流动中的透平研究等。

(三)潮流能

潮流是起因于潮汐现象的周期的海水流,在由大洋传至近海时,由于受到地形强迫的作用,潮流能逐渐加强,特别是在海湾入口狭窄之处或截断陆地后形成的狭窄海峡和水道处,流速较大。潮流能与太阳能、风能、波浪能等可再生能源相比较,其规律性较强,能量稳定,易于电网的发电管理,因此是优秀的可再生清洁能源。

(1)潮流发电的原理:利用海洋中沿一定方向流动的潮流的动能发电,潮流发电装置的基本形式与风力发电装置类似,故又称为“水下风车”。潮流能发电装置由水轮机和电机组成,水轮机有垂直翼和水平翼两种,视实际需要而定。当海流流过水轮机时,在水轮机的叶片上产生环流,导致升力,因而对水轮机的轴产生扭矩,推动水轮机上叶片的转动,故可驱动电机发电。

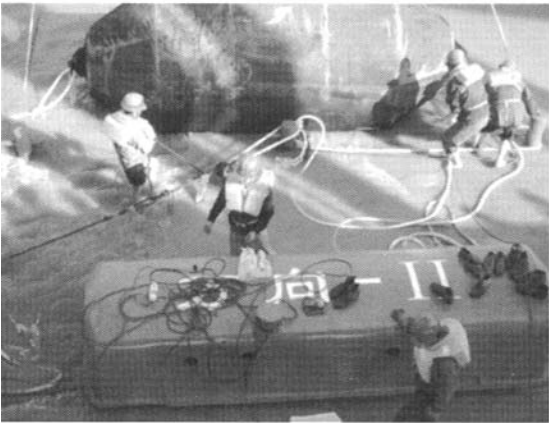


图 5 我国自行研制的 40 kW 潮流发电机

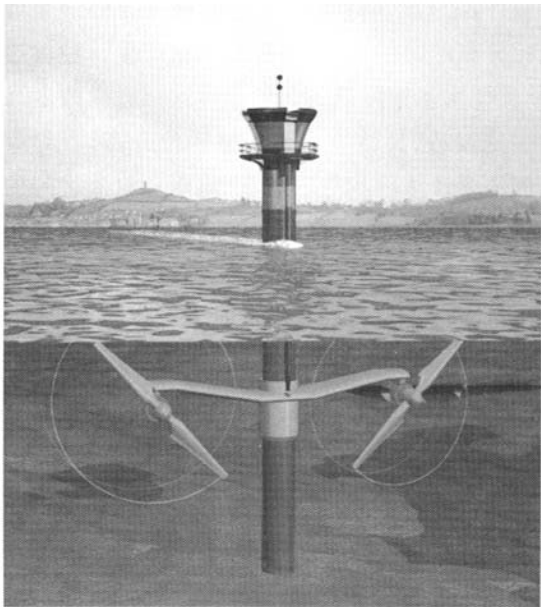


图 6 英国 MCT 公司生产的横轴式潮流发电机

(2)潮流能储量及分布情况:我国的浙江、福建和山东沿海是世界上潮流能资源最丰富的地区之一,其中舟山群岛一带的部分海域潮流流速在 2~4 m/s,其能流密度相当于 20~40 m/s(即 9~12 级以上)风能的能流密度,具有非常可观的开发价值。

(3)潮流能研究开发现状:我国较为系统的潮流能研究开始于 1982 年。2002 年,哈尔滨工程大学自行设计建造了我国第一座 70 kW 的潮

流实验电站;2005 年国家“863”科技计划的 40 kW 潮流能发电实验电站在浙江省舟山市岱山县建成并发电成功(图 5);2005 年,在“863”计划海洋监测技术主题的支持下,东北师范大学研制成功放置于海底的低流速潮流发电机;2006 年 4 月下旬,由浙江大学研制的 5 kW、叶轮半径为 1 m 的“水下风车”在浙江省舟山地区岱山县发电成功,洋流流速在 2 m/s 以上就能发电。

(4)关键技术问题:主要包括安装维护、电力输送、防腐、海洋环境中的载荷与安全性能等。此外,潮流发电装置和风力发电装置的固定形式和透平设计也有很大的不同。潮流装置可以安装固定于海底,也可以安装于浮体的底部,而浮体通过锚链固定于海上。潮流中的透平设计也是一项关键技术。

(四)温差能

海水温差能是指海洋表层海水和深层海水之间水温差的热能。

(1)温差发电的原理:海洋温差发电主要采用开式(图 7)和闭式(图 8)两种循环系统。在开式循环中,表层温海水在闪蒸发器中由于闪蒸而产生蒸汽,蒸汽进入汽轮机做功后流入凝汽器,由来自海洋深层的冷海水将其冷却。在闭式循环中,来自海洋表层的温海水先在热交换器内将热量传给丙烷、氨等低沸点物质,使之蒸发,产生的蒸汽推动汽轮机做功后再由冷海水冷却。

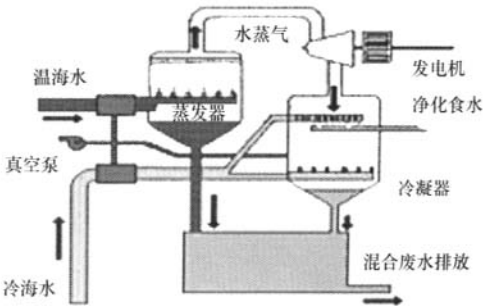


图 7 开式海水温差发电原理图

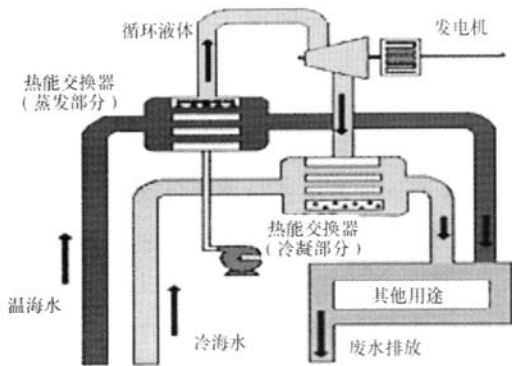


图8 闭式海水温差发电原理图

(2) 温差能储量及分布情况: 由于统计资料的限制, 这里主要是指近海及毗邻海域海洋温差能储量及分布情况。渤海由于水深浅, 全年表、深层水温基本一致, 因此不存在温差能资源。黄海和东海陆架区虽然在深水区夏半年也存在表层温差, 但是, 因为水深较浅、温差较小, 而且仅在夏半年发生, 冬半年表深层水温基本一致, 所以很难开发利用, 暂认为没有开发利用价值。东海东侧的黑潮区水深在 1 000 m 以上, 因有黑潮暖流由此经过, 全年表深层温差 20℃ 以上, 据王传崑和吴文等计算, 温差能理论储量约为 $(1.08 \sim 1.75) \times 10^{18}$ kJ, 技术上可利用量约为 $(54 \sim 112) \times 10^{15}$ kJ。南海温差能理论储量约为 $(13.0 \sim 13.3) \times 10^{18}$ kJ, 技术上可利用量约为 $(1.04 \sim 1.06) \times 10^{18}$ kJ。若取能量补充周期为 1 年, 按开发利用其中的 10%, 装置工作时间取全年的一半, 则中国近海及毗邻海域的温差能资源可供开发的总装机容量约为 17.47 亿~18.65 亿 kW。其中, 90% 以上分布在南海。

(3) 温差能研究开发现状: 20 世纪 80 年代初, 我国开始在广州、青岛和天津等地开展温差发电研究。1986 年广州研制完成开式温差能转换试验模拟装置, 实现电能转换。1989 年又完成了雾滴提升循环试验研究。目前, 天津大学正在开展利用海水温差能作为推动水下自持式观测

平台的动力。

(4) 关键技术问题: 温差能利用的最大困难是温差太小, 能量密度太低。温差能转换的关键是强化传热传质技术。同时, 温差能系统的综合利用, 还是一个多学科交叉的系统工程问题。

(五) 盐差能

盐差能是指海水和淡水之间或两种含盐浓度不同的海水之间的化学电位差能, 是以化学能形态出现的海洋能。主要存在与河海交汇处。盐差能是海洋能中能量密度最大的一种可再生能源。

(1) 盐差发电的原理: 当两种不同盐度的海水被一层只能通过水分而不能通过盐分的半透膜相分离的时候, 两边的海水就会产生一种渗透压, 促使水从浓度低的一侧通过这层膜向浓度高的一侧渗透, 使浓度高的一侧水位升高, 直到膜两侧的含盐浓度相等。通常, 海水和河水之间的化学电位差具有相当于 240 m 高水位的落差所产生的能量, 利用这一水位差就可以直接由水轮发电机发电。盐差能发电的基本方式是, 将不同盐浓度的海水之间或海水与淡水之间的化学电位差能转换成水的势能, 再利用水轮机发电。

(2) 盐差能储量及分布情况: 据王传崑利用中国江河入海水量资料计算, 我国沿岸盐差能资源主要分布在长江及其以南, 有大江河入海的各省市沿岸。理论储量约为 3.58×10^{15} kJ, 理论功率约为 1.14 亿 kW。其中, 长江口和珠江口的盐差能合计占全国的 81.24%。

(3) 盐差能研究开发现状: 1989 年, 广州能源所建造了两座容量分别为 10 W 和 60 W 的实验台。目前这项研究仍处在基础理论研究阶段, 尚未开展能量转换技术的实验。

(4) 关键技术问题: 渗透压式盐差能发电系统的关键技术是膜技术和膜与海水介面间的流体交换技术。除非半透膜的渗透流量能在目前水平的基础上再提高一个数量级, 并且海水可以不经预处理。否则, 盐差能利用难以实现商业化。

(六)近海风能

风能是地球表面大量空气流动所产生的动能。在海洋上,风力比陆地上更加强劲,方向也更加单一,据专家估测,一台同样功率的海洋风电机在一年内的产电量,能比陆地风电机提高 70%。

(1)风能发电的原理:风力作用在叶轮上,将动能转换成机械能,从而推动叶轮旋转,再通过增速机将旋转的速度提升,来促使发电机发电。

(2)风能储量及分布情况:我国近海风能资源是陆上风能资源的 3 倍,可开发和利用的风能储量有 7.5 亿 kW。长江到南澳岛之间的东南沿海及其岛屿是我国最大风能资源区以及风能资源丰富区。资源丰富区有山东、辽东半岛、黄海之滨,南澳岛以西的南海沿海、海南岛和南海诸岛。

(3)近海风能研究开发现状:海上风电建设工作已经起步。广东汕头市的南澳岛充分利用海洋风能,1991 年至今累计装机 129 台、总装机容量 56 640 kW,成为亚洲最大的海岛风电场;2007 年 11 月,由中国海洋石油总公司自主设计、建造安装的第一座海上风力发电站(图 9)投产,单机年发电量可达 440 万 kW 时,标志着我国发展海上风电获实质性突破;2006 年底,上海东海大桥两侧开展建设的 10 万 kW 海上风电项目完成招标,预计将于 2009 年建成投产,这将成为我国首座海上风力发电场。



图 9 我国海上首座风力发电站

(4)关键技术问题:海上风电的开发利用面临两大世界性难题。其一是全球还没有研发出成熟的、真正意义上的海上风电机。目前全球海上使用的风力机均为陆上风力机改造而成,而复杂的海上自然条件使得风机故障率居高不下。其二,电网难以承受海上大规模风电场的巨大电能。风能的自身特性导致风电具有波动性、间歇性和不规则性,因此,一般风电对电网的贡献率低于 10%。主要风电发展国家大多采取分布式风电场来缓解这一矛盾,但都是中小容量的分布式风电场。此外,我国风能发电由于缺乏系统、详细的海上风能资源评估,在风能资源测量、评估、仪器标定以及规范化的管理体系等方面尚不健全,尚未建立风电场风资源预报系统,这些都成为发展风能发电的制约因素。

三、我国海洋能发展存在的主要问题

(1)海洋能发展缺乏整体规划。在我国海洋能开发历史中,由于对资源本底状况缺乏整体认识,没有形成系统的发展方向、目标和计划,基本处于试验、探索阶段,甚至有一定的盲目性和重复性,从而影响了我国海洋能的研究开发和利用。当前,国家已制定了可再生能源中长期发展规划和可再生能源发展“十一五”规划,但对于海洋能的发展还没有一个整体的规划。

(2)海洋能高新技术研发能力不足。海洋能利用属于高新技术产业范畴,对工程技术有很高的要求。然而,我国历史上海洋能开发技术研究时冷时热,有些领域的研究曾因各种原因而一度中止,没有系统的科研规划和发展计划,只是由各研究单位开展了一些零星研究工作,从而造成我国海洋能开发利用停留在低水平重复阶段,未能形成规模和产业,总体研发能力不强。

(3)海洋能开发市场化运作难度大。我国乃至世界海洋能利用都还处于初级阶段,技术不成

熟,投入有风险,难以和其他类型能源开发在同一个市场上竞争,使得海洋能利用除国家投资的少数试验电站外,其他社会资金难以进入海洋能开发利用领域,限制了海洋能的发展规模。

(4)海洋能发展缺少相关扶持政策。一些发达国家都从国家的科技政策、环境政策、经济政策等方面,向包括海洋能在内的可再生能源领域倾斜,激励海洋能开发利用向产业化方向发展。目前,我国尚未形成促进海洋能发展的政策体系,海洋能发展的动力明显不足。

四、前景展望

海洋被认为是地球上最后的资源宝库,也被称作能量之海。21世纪海洋将在为人类提供生存空间、食物、能源及水资源等方面发挥更加重要的作用,而海洋能资源的研究与开发利用已成为增加能源供应,保护生态环境,促进人类可持续发展的重要保障。专家认为,从技术及经济上的可行性、可持续发展的能源资源以及地球生态平衡等方面分析,海洋能中的潮汐能作为成熟的技术将得到更大规模的利用;波浪能将逐步发展成为行业,近期主要是固定式,但大规模利用要发展漂浮式;可作为战略能源的海洋温差能得到更进一步的发展,并将与开发海洋综合实施,建立海上独立生存空间和工业基地相结合;潮流能也将在局部地区得到规模化应用。

五、政策建议

(1)制定海洋能发展规划。《中华人民共和国可再生能源法》指出,国家将可再生能源的开发利用列为能源发展的优先领域。《可再生能源中长期发展规划》中提出,把积极推进海洋能的开发利用作为重点发展领域。《可再生能源发展“十一五”规划》在总体布局和重点领域中提出,加强对近海风能开发技术的研究,开展近海风能

资源勘察评价和试点示范工程的前期准备工作。在此基础上,有必要就海洋能的研究开发和利用制定中长期发展规划。

(2)构建海洋能资源储量分布和评估体系。掌握海洋能资源储量和分布情况是合理有效开发利用海洋能的前提和基础。我国曾做过一些海洋能资源调查计算和研究工作,其中,以沿岸潮汐能资源调查最多。但是,总体上调查研究工作尚欠全面、深入,且由于沿岸各类海洋能资源的自然环境已发生了较大变化,前期资源调查的数据有失准确性。因此,为科学合理地开发利用海洋能,有必要开展全面深入地海洋能资源调查,并建立起海洋能资源储量分布和评估体系。

(3)选准优势资源重点开发。目前,世界各国都根据本国的优势资源,并考虑国际市场潜力,选取不同形式的海洋能作为研究开发重点,如英国重点开发的是潮汐能、波浪能,日本是波浪能、温差能,美国是温差能,俄国、法国、加拿大是潮汐能,挪威是波浪能。我国也应在调查研究海洋能资源储量、分布情况及开发难易程度的基础上,确定优势资源进行重点开发。

(4)加大政策倾斜和投入力度。目前,影响海洋能研究开发的一个主要因素是,一些关键技术问题尚未得到实质性解决,加之海洋能的自身特性导致现阶段开发利用海洋能的成本过高,难以真正实现规模化、产业化。因此,国家应加大海洋能研究开发政策倾斜和投入力度,建立专项资金;同时,广泛吸引社会资金投入,运用现代金融手段拓宽研发资金来源,促进产、学、研结合,组织协调攻关,加快技术创新步伐,推动重大关键技术问题的解决。

(5)加强国际合作与交流。我国海洋能的研究开发与利用应进一步加强在技术、管理、人才等领域的国际合作与交流,在突出自主创新的同时,通过合作与交流,引进、学习、消化吸收国外的先进技术和成功经验,带动我国海洋能研究与

开发整体水平的提升。

参考文献

- [1] 国家发展与改革委员会. 可再生能源中长期发展规划, 2007, 8.
- [2] 国家发展与改革委员会. 可再生能源发展“十一五”规划, 2008, 3.
- [3] 江泽民. 对中国能源问题的思考. 上海交通大学学报, 2008, 3(3): 345-359.
- [4] 黄其励. 加快能源结构调整积极发展可再生能源. 现代电力, 2007, 10(5): 1-5.
- [5] 王传崑, 施伟勇. 中国海洋能资源的储量及其评价. // 中国可再生能源学会海洋能专业委员会第一届学术讨论会文集. 2008, 3: 169-179.
- [6] 邓隐北, 熊雯. 海洋能的开发与利用[J]. 可再生能源, 2004(3): 70-72.
- [7] 海洋能源利用技术进展与展望. 中国新能源网. <http://www.newenergy.com.cn>.
- [8] 刘富铀, 赵世明, 张智慧, 等. 我国海洋能研究与开发现状分析[J]. 海洋技术, 2007, (3): 118-120.
- [9] 香港可再生能源网. http://re.emsd.gov.hk/sc_chi/other/marine/marine_tech.html.
- [10] 唐黎标. 海水盐差发电. 太阳能, 2003(2): 39-39.
- [11] 发展海上风电不能急于求成. http://www.yangtse.com/jspd/jj/200802/t20080218_409925.htm.
- [12] 阎季惠. 国外海洋能的利用及我国海洋能的开发. 海洋技术, 1996, 6(2): 79-83.
- [13] 王忠, 王传崑. 我国海洋能开发利用情况分析. 海洋环境科学, 2006, 11(4): 78-80.
- [14] 任建莉, 钟英杰, 等. 海洋波能发电的现状与前景. 浙江工业大学学报, 2006, 2(1): 69-73.
- [15] 新能源发电设备专委会. 国内外海洋能技术的发展与展望. 电气技术, 2005, (7): 1-5.
- [16] 王麟. 日新月异的海洋能制能技术. 中国新技术新产品精选, 2007, (5): 47-51.
- [17] 李晓英. 海洋可再生能源发展现状与趋势. 四川水力发电, 2005, 12(6): 113-116.
- [18] 李伟, 赵镇南, 等. 海洋温差能发电技术的现状与前景. 海洋工程, 2004, 5(2): 105-108.
- [19] 武全萍, 王桂娟. 世界海洋发电状况探析. 浙江电力, 2002, (5): 65-67.
- [20] 李春华, 张德会. 国外可再生能源政策的比较研究. 中国科技论坛, 2007, 12(12): 124-126.