

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2021.04.06

引用格式: 薛碧颖,陈斌,邹亮.我国海洋无碳能源调查与开发利用主要进展[J].中国地质调查,2021,8(4): 53-65. (Xue B Y, Chen B, Zou L. Main progress in investigation, development and utilization of marine carbon-free energy in China[J]. Geological Survey of China, 2021, 8(4): 53-65.)

我国海洋无碳能源调查与开发利用主要进展

薛碧颖^{1,2}, 陈斌^{1,2}, 邹亮^{1,2}

(1. 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071; 2. 海洋国家实验
室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 山东 青岛 266071)

摘要: 海洋可再生能源属于无碳能源,包括潮汐能、潮流能、波浪能、温差能、盐差能和风能等多种形式。文章介绍了国内外海洋无碳能源的开发利用现状,重点阐述了我国海洋无碳能源储量、分布及其开发利用条件,以及我国海洋无碳能源发展存在的问题和开发利用前景。开发利用海洋无碳能源符合碳中和发展需求,在能源转换中占有重要地位,对沿海和海岛经济发展、生态环境保护和海洋国防建设具有十分重要的战略意义。

关键词: 无碳能源; 海洋能; 资源量; 开发利用

中图分类号: P743; TK8

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2021)04-0053-13

0 引言

海洋中蕴藏着丰富的能源资源,由于海洋面积占地球表面积的71%,所以理论上海洋资源量要高于陆地资源量。依据海洋能资源的开采方法和存在形式,将其划分为海底化石能源、海洋非常规能源和海洋可再生能源3种。海洋可再生能源一般包括潮汐能、潮流能、波浪能、温差能和盐差能,而广义的海洋可再生能源还包括海洋上空的风能,上述这些能源都属于无碳能源,也称为清洁能源,具有可再生性和不污染环境等优点,是一种亟待开发的新能源。

为合理应对气候变化和能源消费结构的改变,全球正在逐步迈入以可再生能源为主的可持续能源时代,海洋可再生能源已经成为重要组成部分。据国际可再生能源署统计,2020年全球新增可再生能源装机容量相比上一年增长幅度大于45%,新增可再生能源装机容量约 2.80×10^8 kW,预计未来2 a可再生能源增量将占全球电力总增量的90%^[1]。全球

海洋能蕴藏量约为 776×10^8 kW^[2],由于海洋能仍处于研发初期,发电装机容量仅有 53×10^4 kW^[1]。目前,世界上已有30多个国家参与海洋能的开发,欧洲无论是自然资源、技术水平还是产业规模都居于领先地位,亚太、中东和非洲等地区的国家研发力度也在不断加强。开发利用海洋可再生能源符合碳中和发展需求,在能源转换中占有重要地位,对沿海和海岛经济发展、生态环境保护和海洋国防建设具有十分重要的战略意义。

1 海洋无碳能源开发利用现状

1.1 潮汐能开发利用现状

潮汐能的主要利用方式是潮汐发电。潮汐发电的原理就是在海湾入口或有潮汐的河口建筑堤坝、厂房和水闸,与外海隔开形成水库,利用涨落潮时库内水位与外海潮位之间形成的水位差推动水轮机发电。潮汐能发电技术已经基本成熟。潮汐能发电研究在世界上已有200多a的历史,早在18世纪,法国就开始研究如何利用潮汐能发电,1912

收稿日期: 2021-07-05; 修订日期: 2021-08-13。

第一作者简介: 薛碧颖(1992—),女,硕士,工程师,主要从事海洋地质与海洋资源环境等方面的研究。Email: biying_xue@163.com。

通信作者简介: 陈斌(1979—),男,博士,正高级工程师,主要从事海洋地质与海洋资源环境等方面的研究。Email: chenbin1007@hotmail.com。

年世界上第一座潮汐电站于德国建成^[3]。20 世纪 20 年代,陆续提出了多座潮汐电站的设计方案,但直到 1967 年世界上第一座大型潮汐电站才在法国正式投入商业运行^[4]。目前,全球运行、在建、设计及研究的潮汐电站达 100 余座^[5]。全球潮汐能的理论蕴藏量为 30×10^8 kW,其中 10×10^8 kW 集中在浅海海域,但潮汐能蕴藏量中只有一小部分可以利用^[3]。

我国潮汐能在开发利用技术水平、发电装置和设备等方面已具备较好的理论基础和丰富的实践经验。我国潮汐电站建设始于 20 世纪 50 年代中期,曾经建设了 76 座潮汐电站,但由于未进行正规的勘测设计和选址规划,海水腐蚀和生物附着等问题也没有得到合理解决,大部分潮汐电站短暂运行后就停办甚至废弃。我国目前仍在运行的潮汐电站有 3 座,分别是浙江温岭江厦潮汐电站、浙江海山潮汐电站和山东白沙口潮汐电站。其中,江厦潮汐电站是装机容量最大的电站,总装机容量达到 3 200 kW,位于全球第四^[6]。在我国东南沿海,有许多能量密度较高且自然环境条件优越的站址位于潮汐能资源较丰富区,平均潮差约 4 ~ 5 m。福建的大官坂、八尺门和浙江的健跳港、黄墩港站址已进行过前期调查勘测、规划设计和可行性研究工作,具有近期开发价值。

1.2 潮流能开发利用现状

潮流能发电的基本原理类似于风力发电,首先将海水的动能转换为机械能,然后再将机械能转换为电能。潮流能发电装置与潮汐能发电机组不同,它属于开放式的海洋能捕获装置,根据其叶轮旋转轴与水流方向的空间关系可分为水平轴式和垂直轴式两种结构。潮流能发电技术研究起步较晚,但发展很快。潮流能发电方案最早由美国提出,1985 年在墨西哥湾海域和纽约市的河中进行了潮流能发电的试验。英国从 20 世纪 90 年代初开始研究潮流能发电,1994 年在苏格兰近海进行潮流发电试验^[7]。全球多个国家的研发机构已参与到潮流能技术的研究中,目前基本处于试验和大规模商业化运行的早期阶段,许多大装机容量的潮流能站址正在筹划建设当中^[8]。

我国潮流能利用技术研究目前处于技术示范阶段。20 世纪 70 年代末,浙江省舟山市率先进行

了潮流能发电机组试验^[9-10]。2002 年,我国第一座潮流实验电站在浙江省舟山市岱山县龟山水道建成,总装机容量为 70 kW。2020 年,浙江大学在舟山摘箬山岛研发的潮流能试验电站最大发电功率达到 637 kW,使我国潮流能开发利用向低成本、规模化应用迈出了重要一步。

1.3 波浪能开发利用现状

波浪能的利用技术主要有 2 种基本原理,一种是利用物体在波浪作用下的升沉和摇摆运动将波浪能转换为机械能,另一种是利用波浪爬高将波浪能转换为水的势能;通过能量转换装置将波浪的能量转换为机械能,然后通过传动机构、气轮机、水轮机或油压马达驱动发电机发电。波浪能开发利用技术起步较早。1965 年,日本最早研发成功微型波力发电装置,主要用于航标灯的使用。20 世纪 80 年代,以为边远沿海和海岛(离岸距离小于 20 km)供电为目标,英国、日本、挪威等国陆续建成了 20 余个波浪能转换装置或电站^[11-12]。目前,国际上已有多个大型示范站实现了长期示范运行,振荡水柱式、振荡浮子式和越浪式等波浪能发电技术已较为成熟,波浪能极有可能成为下一个具有商业化价值的能源资源^[7]。

我国对波浪能利用技术还不成熟,仍处于海况示范研究阶段。尽管对波浪能的研究已经开展了 30 多 a,但只有 10 W 航标灯用微型波力发电装置已经形成商业化产品^[13]。目前,波浪能转换装置已完成实验室模型试验阶段,部分工程样机也已经完成海试,我国基本实现了波浪能发电技术的自主创新,正在突破高效转换、实用化等多项关键技术。2020 年 6 月,山东威海浅海海上综合实验场和广东珠海万山波浪能实验场完成建设,首台装机功率达 500 kW 的鹰式波浪能发电装置“舟山号”正式交付^[14],它是我国目前单台装机功率最大的波浪能发电装置,为我国继续开展波浪能利用技术的工程化、实用化和规模化的研发工作积累了发电装置并网运行经验。

1.4 温差能开发利用现状

温差发电是指利用海水的温差进行发电,其基本原理是借助一种工作介质,使表层海水中的热能向深层冷水中转移,从而做功发电。例如,使用低沸点的二硫化碳、氨或氟利昂做介质,在表层温水

热力作用下气化、沸腾,吹动透平机发电,再利用深层冷水把工作介质凝结成液态,一直循环往复,保持发电机运行^[15]。温差能技术研发起步较晚。最先提出利用海水温差发电设想的是法国物理学家阿松瓦尔,1926年海水温差发电试验成功。1930年,古巴建造了世界上第一座海水温差发电站^[16]。在温差能领域,美国和日本技术最为先进,先后研建了一些示范性电站^[17]。目前,世界海洋温差能发展着重于解决供电和饮用水、发展海水养殖和淡化海水制氢等产业,同时利用海水中稀有元素的分离和提取,提高海洋温差能发电技术所带来的经济效益^[18]。

我国温差能开发利用技术在示范规模和净输出功率方面还存在明显差距。2004年,天津大学成功研发了利用温差能驱动的水下滑翔器^[19]。2012年,中国海洋大学完成首个小型自主式海洋剖面观测平台海洋温差能发电试验系统^[20]。同年,自然资源部第一海洋研究所成功研制了总装机容量为15 kW的温差能发电试验装置,建成了我国首座运行的温差能试验电站^[21-22]。目前,我国温差能发电装置处于试验验证阶段,总装机容量与国外相比仍存在量级上的差异。

1.5 盐差能开发利用现状

盐差能是指2种含盐浓度不同的海水之间的化学电位差能,在自然界中主要存在于河流入海处,由于淡水和海水的盐度存在差异,海水相对于淡水存在渗透压以及稀释热、吸收热、浓淡电位差等浓度差能,这种能量可以转换成电能^[23]。盐差能利用技术尚处于实验室和中试规模研究阶段,离实际开发利用的距离还比较大。1939年,美国首次提出盐差能发电的设想,日本、瑞典等国都在积极研究盐差能开发利用技术。目前,高效、低成本渗透膜的研制等关键技术仍未得到较好解决。

我国盐差能在技术上处于原理探索和实验室研究阶段。1979年前后开始盐差能发电研究,2015年,国家海洋可再生能源专项资金首次设立盐差能项目,中国海洋大学的“盐差能发电技术与试验”项目获得资助^[23],通过对盐差能相关技术的研究与试验来解决发电技术的关键问题。高成本的膜材料是限制盐差能技术发展的主要因素,目前盐

差能仍处于理论研究阶段。

1.6 风能开发利用现状

风力发电原理是利用风力促使风车叶片带动风轮旋转,通过增速作用将旋转速度提升进而使得发动机进行发电。风能发电起步晚,但发展迅速,技术日趋成熟,规模急剧扩大。1991年,丹麦建成首个海上风力发电场,到2006年末,全球运行的装机容量超过 90×10^4 kW的海上发电场几乎全都在欧洲^[24],欧洲的海上风电技术水平代表了国际先进水平。与陆地风场相比,海上风电场具有土地资源占用少、地形地貌影响小、风力资源丰富、单机容量更大等优点^[25]。

我国已具备建设大型海上风电场的能力和经验。2007年,我国首座海上风力发电站建成投产,标志着我国海上风力发电有了实质性突破。2010年,上海东海大桥海上风电场并网运行,成为我国第一个海上风电示范项目,也是全球欧洲之外第一个海上风电项目^[26]。至2017年底,我国海上风电累计装机容量已达 279×10^4 kW,海上风电目前已基本具备大规模开发条件。

2 我国海洋无碳能源调查状况

我国对海洋无碳能源的开发利用十分重视,自20世纪50年代开始,先后开展了5次大规模的全海洋无碳能源调查。

1958年,水利电力部开展第一次全国沿海潮汐能资源普查。全国500处港湾、河口坝址的潮汐能资源,年理论蕴藏量约 $2\,751.6 \times 10^8$ kW·h,装机容量约 1.1×10^8 kW,可开发装机容量约 0.35×10^8 kW,年发电量约 874.3×10^8 kW·h^[27]。

1978年,水利电力部进行第二次全国沿海潮汐能资源普查。对全国沿海单坝址可开发装机容量大于500 kW的33个河口和156个海湾的潮汐能资源进行了调查,总理论装机容量为 0.22×10^8 kW^[28]。

1986年,水利电力部和国家海洋局组织全国沿海农村海洋能资源区划调查,我国近海200 kW以上坝址的潮汐能装机容量为 0.22×10^8 kW。虽然此次调查评估的坝址数较第二次调查增加了约76%,但由于新增的港湾面积偏小,潮汐能装机容

量仅增加了约 1%^[29]。

上述 3 次调查均属于“粗摸家底”式的普查,2004 年和 2010 年又先后开展了全国范围内更深入的细致的资源调查研究。2004 年,国家海洋局组织实施的“我国近海海洋综合调查与评价”专项(908 专项)对我国沿海地区潮汐能、波浪能、潮流能、温差能、盐差能和风能等海洋无碳能源相关要素进行了调查,结果显示:除台湾外,我国海洋无碳能源总蕴藏量为 15.80×10^8 kW,理论年发电量为 13.84×10^{12} kW·h^[31]。2010 年,在 908 专项的基础上,我国进一步开展了潮汐能、潮流能和波浪能优选区的资源勘查和选址规划的海洋能专项调查。

3 我国海洋无碳能源储量、分布及其开发利用条件

3.1 潮汐能

潮汐能资源主要与潮差有关。我国近海受天文、径流以及海湾形态等多种因素影响,平均潮差的分布及变化特征较为复杂,总趋势为东海最大,黄海和渤海次之,南海最小。东海沿岸海域基本属于中潮区($2.0\text{ m} \leq \text{平均潮差} < 4.0\text{ m}$)或者强潮区(平均潮差 $\geq 4.0\text{ m}$),坎门以南水域,除东山为中潮

区外,其余均为强潮区^[30];黄海大部分海域属于中潮区,山东半岛东北及连云港东南附近海域平均潮差小于 2.0 m,属于弱潮区^[30];渤海和南海大部分为弱潮海区(平均潮差 $< 2.0\text{ m}$),只有辽东湾附近的水域年平均潮差超过 2.0 m,属于中潮海区,其余海域平均潮差均小于 2.0 m^[31]。

我国近海潮汐能资源技术可开发装机容量大于 500 kW 的坝址共 171 个,总技术装机容量约为 $2\,282.91 \times 10^4$ kW(表 1)。我国近海潮汐能资源分布不均,主要集中在浙闽两省,其技术可开发装机容量约为 $2\,067.34 \times 10^4$ kW,年发电量约为 568.48×10^8 kW·h,分别占全国的 90.5% 和 90.7%。装机容量大于 10^6 kW 的电站有钱塘江口、三门湾、三都澳、兴化湾、福清湾和湄州湾,占全国总装机容量的 61%。908 专项调查结果表明,大于 500 kW 潮汐能资源可开发理论装机容量为 $2\,282.91 \times 10^4$ kW(表 1),而中国沿海农村海洋能资源区划调查统计结果表明,大于 200 kW 潮汐能资源可开发理论装机容量为 $2\,173.6 \times 10^4$ kW,理论上,200 kW 以上潮汐能资源可开发理论装机容量应大于 500 kW 以上,出现上述相反的结论是由于中国沿海农村海洋能资源区划调查时间较早,且随着自然演变和经济建设的发展,潮汐能资源的开发环境发生了较大变化。

表 1 我国近海潮汐能站址资源统计^[3,32-33]

Tab.1 Statistical table of tidal energy station sites in offshore China^[3,32-33]

省份	站址/个	大于 500 kW 潮汐能				大于 200 kW 潮汐能		
		蕴藏量		技术可开发量		技术可开发量		
		理论装机容量/ (10^4 kW)	理论年发电量/ (10^8 kW·h)	理论装机容量/ (10^4 kW)	理论年发电量/ (10^8 kW·h)	站址/个	装机容量/ (10^4 kW)	年发电量/ (10^8 kW·h)
辽宁	24	59.21	51.85	52.63	14.48	53	59.6	16.40
河北	1	0.10	0.05	0.09	0.02	20	1.0	0.21
山东	13	20.28	17.72	17.99	3.60	24	12.4	3.75
上海	1	79.78	69.87	70.91	19.50	2	70.5	22.80
浙江	19	964.36	844.36	856.85	235.60	73	891.3	266.90
福建	64	1 361.78	1 192.30	1 210.46	332.87	88	1 033.2	284.10
广东	23	39.70	34.73	35.26	9.70	49	57.2	15.20
广西	16	39.53	34.61	35.15	9.66	72	39.3	11.10
海南	10	4.00	3.48	3.57	0.98	27	9.1	2.30
合计	171	2 568.74	2 248.97	2 282.91	626.41	408	2 173.6	622.76

浙闽两省潮汐能资源丰富,开发利用条件最好(图 1)。从平均潮差和海岸类型看,平均功率密度和库容大小以浙闽沿岸开发条件最为优越,其次是

辽东半岛南岸东侧和山东半岛南岸北侧。上述海域平均潮差大,海岸类型以基岩海岸为主,海湾较多,是潮汐电站建设的理想区域。

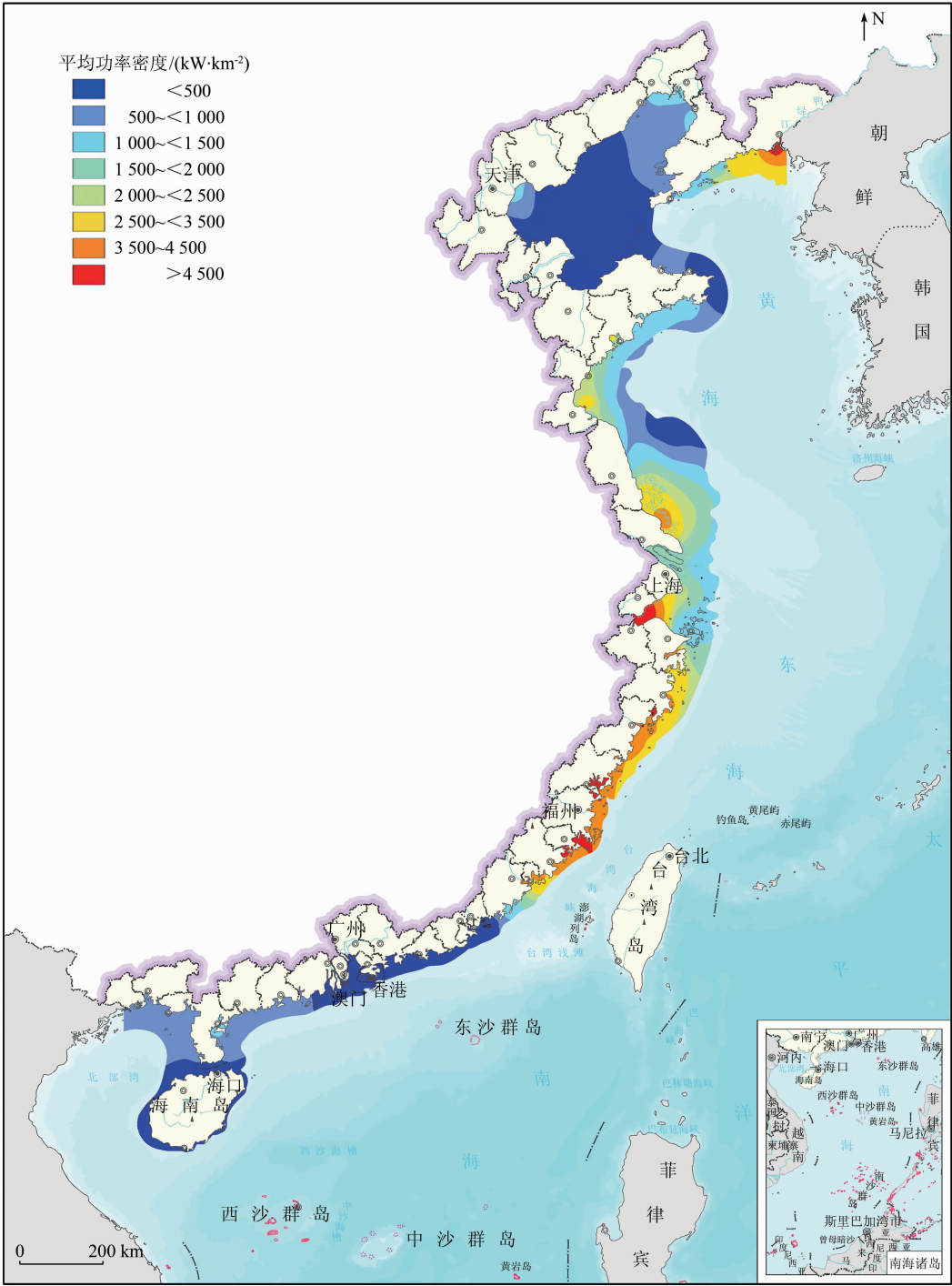


Fig.1 Distribution of tidal energy resources in China (Data from reference [3])

3.2 潮流能

我国渤海、黄海和东海沿岸海域潮流性质为规则半日潮流,而南海沿岸海域潮流性质为不规则半日潮流。黄海和东海近岸海域的潮流整体上强于渤海,东海的浙江沿岸海域、杭州湾、台湾岛北侧以及台湾浅滩都是流速较强的海区,最大潮流流速超

过 4 m/s^[34],南海的最强潮流区主要位于琼州海峡西侧的喇叭状湾口和海南岛西侧,最大潮流流速约 2 m/s^[35]。

我国近海主要水道的潮流能资源蕴藏量约为 833.38 × 10⁴ kW,技术可开发装机容量约 166.67 × 10⁴ kW。我国潮流能资源空间分布不均,浙江省沿

岸海域潮流能资源最为丰富,约为 516.77×10^4 kW, 占到我国潮流能蕴藏量的 50% 以上,其次是山东、江

苏、福建、广东、海南和辽宁六省,约占全国的 38%, 其他沿岸海域潮流能资源较少(图 2,表 2)。

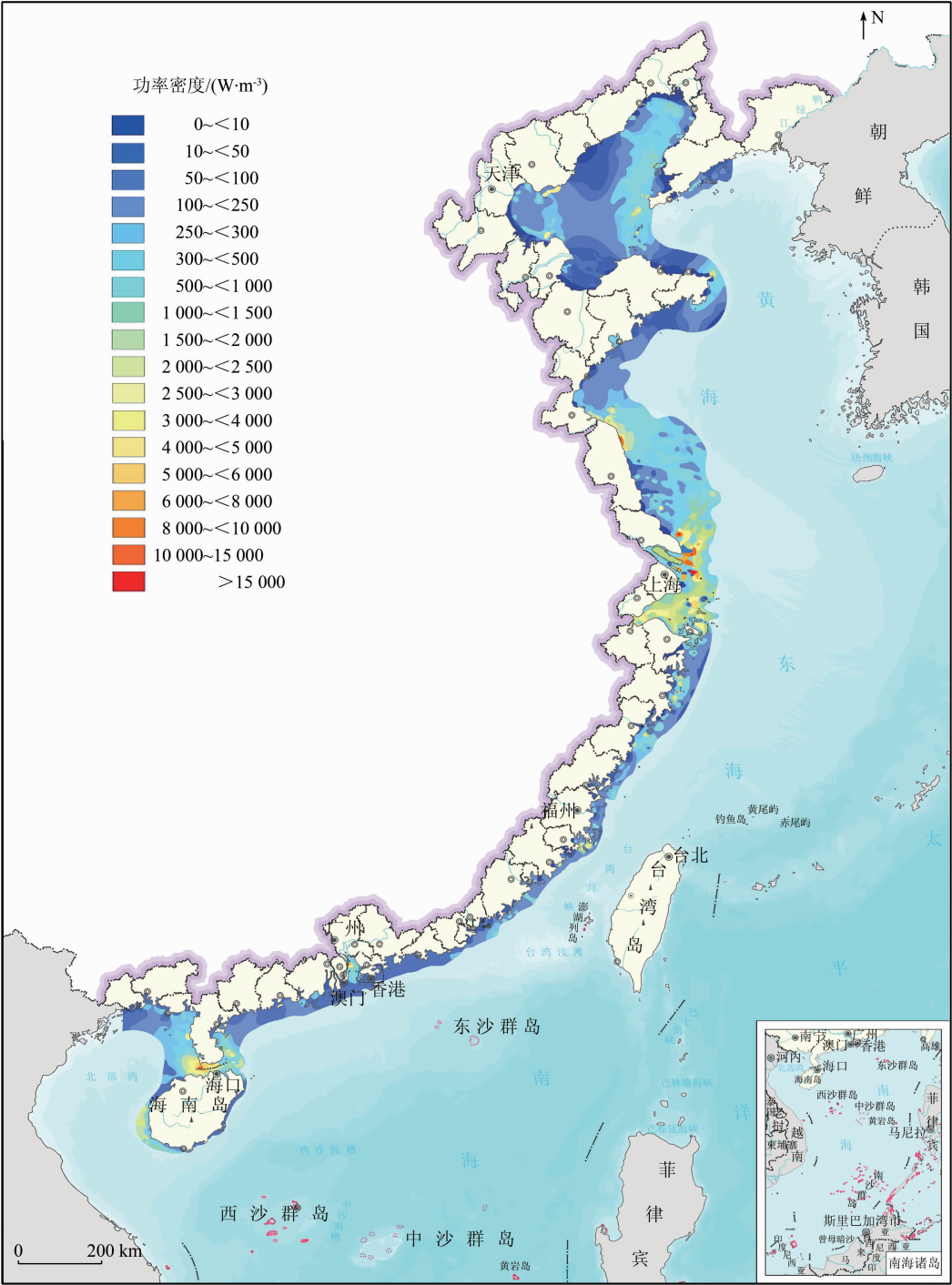


图 2 我国近海潮流能资源分布(数据来源于文献[3])

Fig.2 Distribution of tidal current energy resources in China (Data from reference [3])

表 2 我国近海潮流能资源统计^[3, 32, 36]
Tab.2 Statistical table of tidal current energy
resources in offshore China^[3, 32, 36]

省份	蕴藏量		技术可开发量		理论平均功率/ MW
	理论装机容量/ (10 ⁴ kW)	理论年发电量/ (10 ⁸ kW·h)	理论装机容量/ (10 ⁴ kW)	理论年发电量/ (10 ⁸ kW·h)	
辽宁	29.90	26.19	5.98	5.24	1 131
河北					
天津					
山东	117.13	102.61	23.43	20.52	1 178
江苏 (含上海)	56.37	49.38	11.27	9.88	305
浙江	516.77	452.69	103.35	90.54	7 091
福建	46.70	40.90	9.34	8.18	1 281
广东	33.65	29.48	6.73	5.90	377
广西	2.31	2.02	0.46	0.40	23
海南	30.55	26.76	6.11	5.35	282
合计	833.38	730.03	166.67	146.01	11 668

浙江省舟山群岛海域是我国潮流能功率密度最高的海域,开发利用条件优越。舟山海域拥有流速资源较好的众多强潮流水道,开发利用潮流能电站选址选择空间大,潮流能开发可减少对海上航运和海洋工程的影响,具有很好的潮流能电站建设条件。舟山 9 条水道的潮流能蕴藏量为 114.8×10^4 kW,其中蕴藏量最丰富的 3 条水道分别是西堠门水道(28.1×10^4 kW)、螺头水道(27.4×10^4 kW)和龟山航门水道(23.2×10^4 kW)。除舟山海域外,琼州海峡东口(20.8×10^4 kW)、老铁山北侧(21.6×10^4 kW)和小洋口外(25.9×10^4 kW)海域的潮流能蕴藏量也较为丰富^[3]。

3.3 波浪能

波浪的波高和周期是波浪能大小的重要参数。我国近海波高的分布状况表现为:渤海和黄海沿岸海域平均波高较小,大部分海域年平均波高约 0.5 m;东海沿岸海域波高较大,福建北部的北礮站年平均波高可达 1.3 m;南海海域波高小于东海沿岸海域,年平均波高约 0.8 m。波浪周期分布特征与波高类似,北部海域小于南海海域。

我国近海离岸 20 km 一线的波浪能蕴藏量为

$1\,599.52 \times 10^4$ kW,理论年发电量 $1\,401.17 \times 10^8$ kW·h,技术可开发装机容量为 $1\,470.59 \times 10^4$ kW,年发电量为 $1\,288.22 \times 10^4$ kW·h(表 3)。

表 3 我国近海波浪能资源统计^[3, 36]
Tab.3 Statistical table of wave energy
resources in offshore China^[3, 36]

省份	蕴藏量		技术可开发量		平均理论功率/ MW
	理论装机容量/ (10 ⁴ kW)	理论年发电量/ (10 ⁸ kW·h)	理论装机容量/ (10 ⁴ kW)	理论年发电量/ (10 ⁸ kW·h)	
辽宁	53.29	46.68	18.46	16.17	255.1
河北	10.54	9.23	9.95	8.71	143.6
天津	1.45	1.27	1.37	1.20	
山东	87.64	76.77	48.38	42.38	1 609.8
江苏	32.84	28.77	9.43	8.26	291.3
上海	20.77	18.19	16.01	14.02	164.8
浙江	196.79	172.39	191.60	167.84	2 053.4
福建	291.07	254.98	291.07	254.98	1 659.7
广东	464.64	407.02	455.72	399.21	1 739.5
广西	15.26	13.37	8.11	7.10	72.0
海南	425.23	372.50	420.49	368.35	562.8
合计	1 599.52	1 401.17	1 470.59	1 288.22	8 552.0

我国波浪能资源分布极不均匀(图 3)。在空间上,南方沿岸海域的波功率密度高于北方沿岸海域,外海海域的波功率密度高于近岸海域^[36]。渤海大部分海域年平均波功率密度小于 1 kW/m;黄海海域年平均波功率密度介于 1~2 kW/m;东海海域年平均波功率密度高于渤海和黄海,约为 3~10 kW/m;南海海域波浪能资源最丰富,年平均波功率密度为 4~18 kW/m,特别是海南岛南部海域,年平均波功率密度为 6~20 kW/m。在时间上,由于我国沿海地区以季风气候为主,波浪能季节性特征明显,一般情况下,秋、冬季波功率密度高于春、夏季。

我国沿岸有很多条件相对较好的地区可供波浪能开发利用。浙闽沿岸、广东东部和山东半岛南部中段沿岸等海域具有近岸水深浅、地形坡度大、波功率密度相对较高、季节变化不明显等优点,有利于发电装置的设计和安装,可提高总体转换效率,是我国波浪能开发利用条件最为理想的地区。

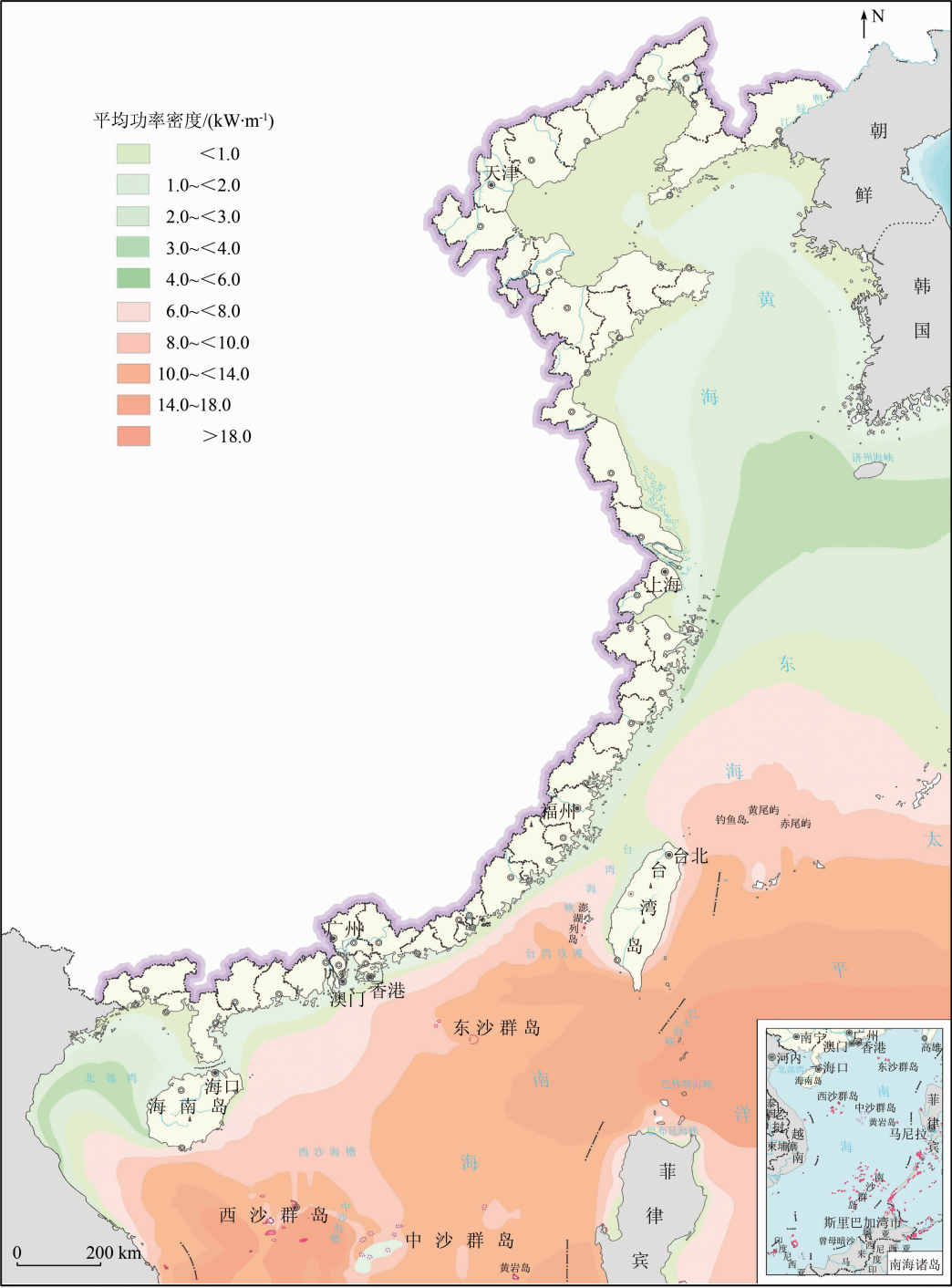


图3 我国近海波浪能资源分布(数据来源于文献[3])

Fig.3 Distribution of wave energy resources in China (Data from reference [3])

3.4 温差能

我国近海海域的表层海水和深层海水温差的分布特征有所差异。受太阳辐射年周期变化的影响,表层水温的年周期非常明显:渤海表层水温年较差较大,一般为23~28℃;黄海为16~25℃;东海为14~25℃;南海表层水温年较差最小,普遍

在10℃以下。黄海在每年的5~10月有黄海冷水团出现,其上部海水温度大于20℃;东海黑潮区表层海水温度约22~29℃,1 000 m以下终年水温小于4℃,海水温差可达18℃以上;南海表层水温均在25℃以上,500~800 m以下水温小于5℃,海水温差约为20~24℃^[36]。一般情况下,表层海水

和深层海水温差大于 18 ℃ 的海域适合开发温差能资源。

我国近海海域温差能资源储量丰富,主要储藏于南海,其次是东海。据王传崑等^[37]和吴文等^[38]估算,我国近海海域的温差能资源理论蕴藏量为 $1\,518.9 \times 10^{16}$ kJ,其中,黄海海域温差能蕴藏量为 14.1×10^{16} kJ,东海海域温差能蕴藏量为 208.8×10^{16} kJ,南海海域温差能蕴藏量为 $1\,296 \times 10^{16}$ kJ。908 专项调查结果表明,南海表层与深层海水温差大于等于 18 ℃,水体蕴藏的温差能为 $1\,160 \times 10^{16}$ kJ (表 4)。

表 4 我国近海温差能资源统计^[37-38]

Tab. 4 Statistical table of ocean thermal energy resources in offshore China^[37-38]

海域	蕴藏量/(10^{16} kJ)
黄海	14. 1
东海	208. 8
南海	1 296
合计	1 518. 9

温差能空间分布差异较大。渤海和黄海海域平均水深较浅,温差能开发利用难度较大。东海外陆架水深地形变化迅速,温差能资源丰富,开发条件较好,是岸基式温差能开发的优良站址。南海温差能资源最丰富,其资源蕴藏量分布具有明显的季节特征:春季蕴藏量小,主要集中在南海中部,西沙群岛附近海域蕴藏量较大;夏、秋两季蕴藏量丰富,主要集中在南海中部和东部水深较大的海域;冬季蕴藏量最小,整体分布较为均匀。南海北部海域距离大陆近,开发利用便利;南海南部深水海域温差能资源丰富,开发条件优越,具有广阔的开发前景,但因其距离大陆最远,目前不具备大规模开发条件,可以优先为岛屿开发利用;南海中部深水海域西部分布着西沙群岛,西沙群岛由大陆坡台阶上的岛礁组成,边坡陡峭,有利于陆基式或陆架式温差电站站址建设。

3.5 盐差能

盐差能资源蕴藏量取决于河流入海的淡水量,所以盐差能资源的分布具有与河流入海流量分布相同的不均匀性。盐差能资源主要分布在沿岸河口地区,入海流量越大盐差能资源最多,我国盐差能资源主要分布在长江口及其以南的河流入海口沿岸,特别是在夏季,径流量增加显著,例如夏季长江口附近盐度大幅度下降,盐度可达到 0. 2‰ ~

0. 3‰^[39]。我国 22 条主要入海河流的盐差能资源总蕴藏量为 1.13×10^8 kW,年发电量约 $9\,907 \times 10^8$ kW·h,若取可开发其中的 10%,则技术可开发量为 0.11×10^8 kW。我国主要河口盐差能资源蕴藏量见表 5。

表 5 我国近海盐差能资源统计^[3,40-41]

Tab. 5 Statistics of salinity gradient energy resources in offshore China^[3,40-41]

省份	河口	流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	蕴藏量		理论功率/MW
			装机容量/ (10^4 kW)	年发电量/ (10^8 kW·h)	
辽宁	鸭绿江	918	214	187. 5	630
	辽河	273	64	56. 1	347
河北	滦河	145	34	29. 8	351
山东	黄河	1 329	310	271. 6	3 320
江苏	射阳河	153	36	31. 5	
上海	长江	32 306	7 715	6 758. 3	70 220
	钱塘江	697	169	148. 0	2 250
	瓯江	347	69	60. 4	1 100
浙江	椒江	211	49	42. 9	513
	飞云江	141	33	28. 9	337
	甬江	109	26	22. 8	
福建	闽江	1237	294	257. 5	4 250
	九龙江	249	60	52. 6	1 133
	晋江	161	38	33. 3	390
	交溪	129	30	26. 3	506
广东	珠江	7 577	1 864	1 632. 9	22 030
	韩江	377	97	85. 0	1 857
	漠阳江	199	46	40. 3	462
	鉴江	191	45	39. 4	408
广西	南流江	168	39	34. 2	406
海南	南渡江	189	44	38. 5	455
	万泉河	141	33	28. 9	394
	合计	47 247	11 309	9 906. 7	111 359

盐差能总蕴藏量丰富但地理分布不均。我国主要入海河流的盐差能资源蕴藏量约为 1.13×10^8 kW,技术可开发装机容量约为 $1\,130.9 \times 10^4$ kW。长江口及其以南沿岸海域盐差能资源蕴藏量达 1.07×10^8 kW,占全国总量的 94%,其中长江口资源蕴藏量最大,约为 0.77×10^4 kW,占全国总量的 68%。受河流入海水量和海水盐度影响,盐差能季节变化和年际变化显著,一般汛期盐差能资源量可占到全年的 60% 以上,对盐差能开发利用装置以及装机容量的确定造成一定困难。

3.6 风能

同陆地风能资源相比,我国海上风能资源较为丰富。渤海海区年平均风功率密度可达 $200 \sim 500$ W/ m^2 ,年平均风速为 $6 \sim 9$ m/s; 黄海海区年

平均风功率密度可达 250 ~ 600 W/m², 年平均风速为 7 ~ 9.5 m/s; 台湾海峡和东海南部海区风能最为丰富, 年平均风功率密度达 500 ~ 1 500 W/m², 年平均风速为 7 ~ 11 m/s; 南海北部湾海区年平均风功率密度达 200 ~ 600 W/m², 年平均风速为 6.5 ~ 10 m/s^[42]。通过风场数值模拟和风能资源计算, 我国近海 50 m 等深线以浅海域 10 m 高度风能资源总蕴藏量为 8.83 × 10⁸ kW, 技术可开发量为 5.70 × 10⁸ kW(表 6)。

表 6 我国近海 50 m 等深线以浅海域 10 m 高度风能资源统计^[3, 42]

Tab. 6 Statistical table of wind energy resources at 10m height in the sea below 50 m isobath in offshore China^[3, 42]

省份	平均风功率密度/ (W·m ⁻²)	蕴藏量		技术可开发量	
		理论装机容量/ (10 ⁴ kW)	理论年发电量/ (10 ⁸ kW·h)	理论装机容量/ (10 ⁴ kW)	理论年发电量/ (10 ⁸ kW·h)
辽宁	148	7 980.8	7 008.0	4 411.6	2 245.9
河北	115	1 947.9	1 664.4	568.6	170.6
天津	81	86.0	87.6	11.0	6.1
山东	151	12 828.7	11 212.8	7 299.0	3 754.6
江苏	201	17 712.6	15 505.2	12 610.8	8 389.1
上海	183	2 321.1	2 014.8	1 631.0	1 127.7
浙江	188	7 550.0	6 657.6	5 001.5	2 915.9
福建	363	17 335.7	15 154.8	13 305.9	8 766.2
广东	182	13 152.9	11 563.2	8 107.7	4 517.6
广西	180	4 741.9	4 117.2	2 970.5	1 639.7
海南	124	2 658.8	2 365.2	1 116.7	593.0
合计		88 316.4	77 350.8	57 034.3	34 126.4

江苏、山东和辽宁三省海洋风能资源蕴藏量较大的原因是 50 m 等深线离岸相对较远, 统计的海域范围大, 而海南省海域由于 50 m 等深线离岸较近, 导致统计的海域范围小, 故海洋风能资源蕴藏量较小。但海南省近岸深水海域海洋风能开发利用可能性较大, 因为深海风电场已经成为目前海洋能开发的发展方向。

我国海洋风能资源好, 风速大, 风功率密度高。我国近海 50 m 等深线以内 60% 以上的海域面积年平均风功率密度为 150 W/m², 属于丰富区和较丰富区。我国沿海滩涂面积大, 地形平坦, 近海 30 ~ 50 m 水深的海域广阔, 适合海洋风能的开发利用, 沿海地区人口密集、经济发达、电力紧张, 海洋风能发电便于入网。

4 我国海洋无碳能源开发利用存在的问题、开发利用前景分析及建议对策

4.1 开发利用存在的问题

海洋无碳能源的主要利用形式就是发电, 除盐差能利用技术仍处于实验室研究阶段外, 其他无碳能源的发电技术均得到不同程度的研究与应用。我国开发利用潮汐能的技术相对成熟, 浙江温岭江厦潮汐试验电站已实现并网发电并进入商业化运营, 总装机容量位居世界第四。潮流能和波浪技术处于示范试验阶段, 已取得了一系列发电装置专利和科研成果。温差能利用技术也取得了较大进步, 研制成功了低装机容量的发电试验装置。我国风电设备制造和自主创新能力不断提升, 海上风电发展迅速, 山东、江苏海上风电基地已初具规模。总体上, 我国的海洋无碳能源开发已拥有部分成熟技术, 但已有技术的发电装置转换效率低, 在能量转换和能量稳定等方面的关键技术亟待突破, 大多数技术商业化开发还需深入研究完善。

4.2 开发利用前景分析

“十四五”期间, 为实现碳达峰、碳中和以及能源绿色低碳转型的战略目标, 清洁能源是我国能源发展的主导方向。据统计, 2020 年我国可再生能源利用规模达到 6.8 亿 t 标准煤, 相当于替代煤炭近 10 亿 t, 减少二氧化碳、二氧化硫和氮氧化物排放量分别约达 17.9 亿 t、86.4 万 t 和 79.8 万 t^[43]。截至 2019 年底, 我国可再生能源发电装机达到 7.94 亿 kW, 其中水电装机 3.56 亿 kW^[44], 浙江模块化大型海洋潮流能发电机组持续保持稳定运行, 累计并网发电已超过 180 万度。改变能源生产和消费结构, 逐步降低煤炭在能源结构中的比重是实现碳中和的必由之路。充分发挥海洋无碳能源的作用, 既可以逐步改善以煤炭为主的能源结构和电力供应结构, 使我国能源经济和环境协调发展, 也能解决沿海地区 and 海岛的用电用能问题, 使我国沿海地区生产生活用能条件不断提升。

目前, 海洋无碳能源的开发利用尚处于初步阶段。从技术成熟度和经济效益上讲, 风能最具有开发价值, 其次是潮汐能、波浪能和潮流能, 温差能和盐差能距实际应用还有一段距离。基于我国海洋

无碳能源利用的实际情况,近岸海域及海岛地区应大力发展海洋风能,因地制宜发展潮汐能,积极推进波浪能、潮流能和温差能开发实验,研究探索多种能源的综合利用示范。

4.3 建议对策

通过多次专项调查,利用实测站位和数值模拟,基本上掌握了近海海洋无碳能源的资源状况。但从总体上看,实测站位偏少且调查精度不足,观测时间偏短,除在重点海湾进行过潮汐能资源的开发规划和设计研究外,尚未对潮流能、波浪能等其他海洋资源的重点海域、海岛进行过更深入细致的资源调查研究。海洋无碳能源的资源区划指标较为单一,仅根据资源蕴藏量进行划分,未考虑开发利用的环境、地质、生态等方面的因素。另外,在海洋无碳能源建站选址和开发利用综合评价方面,我国海洋无碳能源建站选址尚未开展大面积的开发利用,仅在浙江和福建等沿海省份开展了电站选址、勘测、设计工作,可行性研究较多。

未来可根据地方和企业需求,对重点海域附近的海洋环境条件实施精细化调查和研究,进一步查明海洋无碳能源分布及蕴藏量,系统分析海域海底地貌、底质状况、地层结构、海流和波浪分布特征以及台风、海啸等灾害影响,开展不同开发规模下海洋生态环境监测,综合评价海洋无碳能源开发利用适宜性,提出各海洋无碳能源电站选址优选建议,进一步划定海洋能资源分区,可为国家海洋可再生能源预留发展空间。

参考文献(References):

- [1] 国际可再生能源署.海上可再生能源助力蓝色经济发展[R]. 2020;10-22.
International Renewable Energy Agency (IRENA). Fostering a Blue Economy: Offshore Renewable Energy[R]. 2020;10-22.
- [2] 杨瑾.浅议海洋新能源的开发现状、发展前景及应注意的几个问题[J].海洋开发与管理,2011,28(11):84-87.
Yang J. Discussion on the development status, development prospect and several problems of marine new energy[J]. Ocean Devel Manage, 2011, 28(11): 84-87.
- [3] 韩家新.中国近海海洋——海洋可再生能源[M].北京:海洋出版社,2015:4-212.
Han J X. China Offshore Waters—Marine Renewable Energy [M]. Beijing: China Ocean Press, 2015: 4-212.
- [4] 中华人民共和国国家发展计划委员会基础产业发展司.中国新能源与可再生能源[M].北京:中国计划出版社,2000:1-20.
Department of Basic Industry Development, State Development
- Planning Commission of the People's Republic of China. New Energy and Renewable Energy in China [M]. Beijing: China Planning Press, 2000: 1-20.
- [5] 孙志峰.国内外海洋能利用技术发展现状[J].中国造船, 2015, 56(S2): 519-526.
Sun Z F. Status of development of ocean energy [J]. Shipbuild China, 2015, 56(S2): 519-526.
- [6] 刘伟民,刘蕾,陈风云,等.中国海洋可再生能源技术进展[J].科技导报,2020,38(14):27-39.
Liu W M, Liu L, Chen F Y, et al. Technical progress of marine renewable energy in China [J]. Sci Technol Rev, 2020, 38(14): 27-39.
- [7] 王忠,王传崑.我国海洋能开发利用情况分析[J].海洋环境科学,2006,25(4):78-80.
Wang Z, Wang C K. Analysis on renewable oceanic energy use in China [J]. Mar Environ Sci, 2006, 25(4): 78-80.
- [8] 赵龙武,王树杰,李冬.国内外潮流能利用技术现状与发展[C]//第二届全国海洋能学术研讨会论文集.哈尔滨:中国可再生能源学会海洋能专业委员会,2009:162-177.
Zhao L W, Wang S J, Li D. The Status and Trends of Marine Current Energy Conversion in the World [C]//Proceedings of the Second National Symposium on Ocean Energy. Harbin: Ocean Energy Professional Committee of China Renewable Energy Society, 2009: 162-177.
- [9] 李近元,韩毅平,张吉,等.海上潮流能发电现状及前景探讨[J].风力发电,2020(2):1-4.
Li J Y, Han Y P, Zhang J, et al. Discussion on the current situation and prospect of offshore tidal power generation [J]. Windpower - Mon, 2020(2): 1-4.
- [10] 张继生,汪国辉,林祥峰.潮流能开发利用现状与关键科技问题研究综述[J].河海大学学报:自然科学版,2021,49(3):220-232.
Zhang J S, Wang G H, Lin X F. A review of recent development and key technology problems in utilization of tidal stream energy [J]. J Hohai Univ (Nat Sci), 2021, 49(3): 220-232.
- [11] 余志.海洋能利用技术进展与展望[J].太阳能学报,1999(2):214-226.
Yu Z. Progress and prospect of marine energy utilization technology [J]. Acta Energ Sol Sin, 1999(2): 214-226.
- [12] 叶盛林,孟伟庆,徐春红.实施标准战略加快我国海洋能的开发利用[J].标准科学,2010,439(12):29-33.
Ye S L, Meng W Q, Xu C H. Analysis of the exploitation of national ocean energy strengthened by standard strategy [J]. Stand Sci, 2010, 439(12): 29-33.
- [13] 潘桂凰.应用于航标的波浪能发电装置研究[D].舟山:浙江海洋大学,2018.
Pan G H. Research on Wave Energy Power Generation Device Applied to Navigation Mark [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2018.
- [14] 中国科学院广州能源研究所.“南海兆瓦级波浪能示范工程建设”项目首台500 kW 鹰式波浪能发电装置“舟山号”正式

- 交付[EB/OL]. (2020-07-02)[2021-07-05]. http://www.cas.cn/yx/202007/t20200702_4751808.shtml.
- Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences. Delivery of the first 500 kW Eagle Wave Power Generation Device[EB/OL]. (2020-07-02)[2021-07-05]. http://www.cas.cn/yx/202007/t20200702_4751808.shtml.
- [15] 王祺,汪东,陈建秋.海洋温差能发电的一种新设想[J]. 节能与环保,2003(5):33-35.
- Wang Q, Wang D, Chen J Q. A new idea of marine thermoelectric power generation[J]. Energy Conserv Environ Prot, 2003(5):33-35.
- [16] 褚同金. 海洋能资源开发利用[M]. 北京:化学工业出版社, 2005:28-40.
- Chu T J. Development and Utilization of Marine Energy Resources[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005:28-40.
- [17] 陈风云,刘伟民,彭景平. 海洋温差能发电技术的发展与展望[J]. 绿色科技,2012(11):246-248.
- Chen F Y, Liu W M, Peng J P. Development and prospect of ocean thermoelectric power generation technology[J]. Green Sci Technol, 2012(11):246-248.
- [18] 薛桂芳,武文,刘洪滨,等. 浅谈海洋温差能及其可持续利用[J]. 中国海洋大学学报:社会科学版,2008(2):15-19.
- Xue G F, Wu W, Liu H B, et al. Discussion on ocean temperature difference energy and its sustainable utilization[J]. Ocean Univ China (Soc Sci Ed), 2008(2):15-19.
- [19] 刘奕晴. 混合式海洋温差能利用系统的理论研究[D]. 天津:天津大学,2004.
- Liu Y Q. Theoretical Study on the Utilization System of Integrated Ocean Thermal Energy Conversion[D]. Tianjin: Tianjin University, 2004.
- [20] 王兵振,王猛,张巍,等. 小型海洋观测平台温差发电技术研究及验证[J]. 海洋技术学报,2015,34(6):78-82.
- Wang B Z, Wang M, Zhang W, et al. Research on the ocean thermal power generation technology for small-sized marine observation vehicles[J]. Ocean Technol, 2015, 34(6):78-82.
- [21] 施伟,刘伟民,刘蕾,等. 海洋温差电站垂向冷海水管内海水温升特性数值分析[J]. 海洋技术学报,2016,35(4):93-96.
- Shi W, Liu W M, Liu L, et al. Numerical analysis on the temperature rise characteristics of seawater in vertical cold-water pipe in OTEC power plant[J]. Ocean Technol, 2016, 35(4):93-96.
- [22] 葛云征,彭景平,吴浩宇,等. 海洋温差能向心透平的气动设计及性能研究[J]. 可再生能源,2019,37(10):1560-1566.
- Ge Y Z, Peng J P, Wu H Y, et al. Design and performance study of a radial-inflow turbine in OTEC[J]. Renew Energy Resour, 2019, 37(10):1560-1566.
- [23] 张仂,孟兴智,潘文琦. 盐差能利用趋势[J]. 盐科学与化工, 2021,50(4):1-3.
- Zhang L, Meng X Z, Pan W Q. Utilization trend of salinity gradient energy (SGE)[J]. Salt Sci Chem Ind, 2021, 50(4):1-3.
- [24] 沈德昌. 全球海上风电发展现状[J]. 太阳能,2011(20):52-53.
- Shen D C. Development status of off-shore wind energy technology in the world[J]. Solar Energy, 2011(20):52-53.
- [25] 林香红,高健,刘彬,等. 全球海上风电产业发展现状及对我国的启示[J]. 生态经济,2014,30(10):82-86.
- Lin X H, Gao J, Liu B, et al. Study on current situation of global offshore wind power industry and the enlightenments for China[J]. Ecol Economy, 2014, 30(10):82-86.
- [26] 刘佰琼,徐敏,刘晴. 我国海上风电发展的主要问题及对策建议[J]. 海洋开发与管理,2015,32(3):7-12.
- Liu B Q, Xu M, Liu Q. Main problems and countermeasures of offshore wind power development in China[J]. Ocean Dev Manag, 2015, 32(3):7-12.
- [27] 曾呈奎,徐鸿儒,王春林. 中国海洋志[M]. 郑州:大象出版社, 2003:52-130.
- Zeng C K, Xu H R, Wang C L. History of China marine[M]. Zhengzhou: Daxiang Press, 2003:52-130.
- [28] 武贺,王鑫,李守宏. 中国潮汐能资源评估与开发利用研究进展[J]. 海洋通报,2015,34(4):370-376.
- Wu H, Wang X, Li S H. Advance in the study of assessment and utilization of tidal energy resource in China[J]. Mar Sci Bull, 2015, 34(4):370-376.
- [29] 朱实. 中国沿海农村海洋能源区划研究[J]. 科技通报,1989(5):57-58.
- Zhu S. Study on marine energy regionalization in coastal rural areas of China[J]. Bull Sci Technol, 1989(5):57-58.
- [30] 张冲,杨同军. 我国东部沿海平均潮差分布特征及变化规律[J]. 水运工程,2013(1):60-65.
- Zhang C, Yang T J. Distribution and variation law of mean tidal range in eastern coastal China[J]. Port Waterway Eng, 2013(1):60-65.
- [31] 付延光,申宏,孙维康,等. 中国海域潮汐非调和常数的计算与分析[J]. 海洋技术学报,2016,35(1):79-83.
- Fu Y G, Shen H, Sun W K, et al. Computation and analysis of the nonharmonic constants of tides in China's sea areas[J]. Ocean Technol, 2016, 35(1):79-83.
- [32] 王传崑,陆德超. 中国沿海农村海洋能源区划[R]. 国家海洋局科技司,水电部科技司,1989:15-44.
- Wang C K, Lu D C. Regionalization of Marine Energy Resources in China's Coastal Rural Areas[R]. Department of Science and Technology, State Oceanic Administration and Ministry of Water Resources and Electric Power, 1989:15-44.
- [33] 陈思琪. 我国潮汐能发电的发展现状与前景展望[J]. 中文信息学报,2020(6):234-235.
- Chen S Q. Development status and Prospect of tidal power generation in China[J]. Chinese Information, 2020(6):234-235.
- [34] 韩志,唐志波,丁广佳,等. 杭州湾潮流能资源储量估算[J]. 水道港口,2012,33(4):303-309.
- Han Z, Tang Z B, Ding G J, et al. Tidal stream energy assessment of Hangzhou Bay[J]. Waterway Harb, 2012, 33(4):303-309.
- [35] 陈振华. 北部湾环流季节变化的数值模拟与动力机制分析[D]. 青岛:中国海洋大学,2013.
- Chen Z H. Numerical simulation on seasonal variation of ocean circulation and its dynamic mechanism in the Beibu Gulf[D].

- Qingdao: Ocean University of China, 2013.
- [36] 施伟勇, 王传崑, 沈家法. 中国的海洋能资源及其开发前景展望[J]. 太阳能学报, 2011, 32(6): 913–923.
- Shi W Y, Wang C K, Shen J F. Utilization and prospect of ocean energy resource in China[J]. Acta Energ Sol Sin, 2011, 32(6): 913–923.
- [37] 王传崑, 卢苇. 海洋能资源分析方法及储量评估[M]. 北京: 海洋出版社, 2009: 4–17.
- Wang C K, Lu W. Marine Energy Resources Analysis Method and Reserves Evaluation[M]. Beijing: China Ocean Press, 2009: 4–17.
- [38] 吴文, 蒋文浩. 我国海水温差能资源蕴藏量和可开发量估算[J]. 海洋工程, 1988, 6(1): 79–88.
- Wu W, Jiang W H. The estimation of the reservoir capacity and the exploitable quantity of China oceanic thermal energy [J]. Ocean Eng, 1988, 6(1): 79–88.
- [39] 孔亚珍, 贺松林, 丁平兴, 等. 长江口盐度的时空变化特征及其指示意义[J]. 海洋学报, 2004, 26(4): 9–18.
- Kong Y Z, He S L, Ding P X, et al. Characteristics of temporal and spatial variation of salinity and their indicating significance in the Changjiang Estuary[J]. Acta Oceanol Sin, 2004, 26(4): 9–18.
- [40] 中国自然资源丛书编撰委员会. 中国自然资源丛书(海洋卷)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995: 189–225.
- China Natural Resources Series Compilation Committee. China Natural Resources Series (Ocean Volume) [M]. Beijing: China Environmental Press, 1995: 189–225.
- [41] 薛鸿超, 谢金赞. 中国海岸带水文[M]. 北京: 海洋出版社, 1996: 7–8.
- Xue H C, Xie J Z. Coastal Hydrology in China[M]. Beijing: China Ocean Press, 1996: 7–8.
- [42] 张秀芝, 徐经纬. 中国近海的风能资源[J]. 风能产业, 2013, 7: 16–21.
- Zhang X Z, Xu J W. Offshore wind energy resources in China[J]. Wind Energy Industry, 2013, 7: 16–21.
- [43] 水电水利规划设计总院. 中国可再生能源发展报告(2020)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2021: 1–142.
- China Renewable Energy Engineering Institute. China Renewable Energy Development Report (2020) [M]. Beijing: China Water and Power Press, 2021: 1–142.
- [44] 中华人民共和国生态环境部. 中国应对气候变化的政策与行动 2020 年度报告[EB/OL]. (2021–07–13) [2021–07–05]. http://www.mee.gov.cn/ywgz/xdqhbh/syqhbh/202107/t20210713_846491.shtml.
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. China's Policies and Actions to Address Climate Change (2020) [EB/OL]. (2021–07–13) [2021–07–05]. http://www.mee.gov.cn/ywgz/xdqhbh/syqhbh/202107/t20210713_846491.shtml.

Main progress in investigation, development and utilization of marine carbon – free energy in China

XUE Biying^{1,2}, CHEN Bin^{1,2}, ZOU Liang^{1,2}

(1. Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Shandong Qingdao 266071, China; 2. Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Shandong Qingdao 266071, China)

Abstract: Ocean renewable energy is a carbon – free energy, including tidal energy, tidal current energy, wave energy, thermal gradient energy, salinity gradient energy and wind energy. With the rapid development of society, the demand for energy has been increasing and the development and utilization of marine energy has been paid more attention to around the world. The authors of this paper have introduced the development and utilization conditions, the existing problems and the prospects of marine energy in China. The development and utilization of marine energy is in conformance to the requirements of carbon neutral development and would play an important role in energy conversion, which is of great strategic significance to the coastal and island economic development, ecological environment protection and marine national defense construction.

Keywords: carbon – free energy; marine energy; resources; development and utilization

(责任编辑: 沈效群)