

中国沿海农村 海洋能资源区划

王传昆 陆德超 等编著



国家海洋局科技司
水电部科技司
一九八九年五月

内 容 简 介

本区划“通过大量调查研究,收集了丰富的实测资料,采用了系统的科学分析统计方法,给出了全国沿海农村潮汐能的可开发装机容量和波浪能、潮流能的理论功率,摸清了沿海农村海洋能资源的主要分布情况,分析评价了开发利用条件。对各省区沿海农村三种海洋能资源进行了区划和分区,推荐了一些能量密度较高、开发条件较好的岸段和站址。全面完成了(国务院农村能源领导小组办公室)所提出的各项任务。”并对我国海洋能开发利用现状做了分析评价,还对我国今后海洋能开发利用的方政策和部署提出若干建议。“此区划属于国内首次,填补了我国国内农村海洋能资源区划的空白。此区划为全国农村能源区划提供了基础资料,具有重大参考价值和实用意义,可作为宏观决策的依据。可供编制农村能源结构和综合区划参考。这一全面系统的研究成果,将对沿海农村海洋能资源的开发利用起到推动作用。并为今后农村能源综合区划工作创造了良好的条件”(专家评审意见摘录)。

本区划资源蕴藏量统计成果是:可开发装机容量200—1000kw的潮汐能资源坝址242处,总装机容量为125.55MW,年发电量为 $314.03 \times 10^6 \text{ kWh}$ 。波浪能理论平均功率为12852.00MW。潮流能130个水道的理论平均功率为13948.52MW。

前 言

七十年代西方国家发生石油危机以后,能源问题一直是各国政府和科学家最为关心的问题之一。未来能源的出路和能源结构体系成为近十几年几次世界能源大会的中心议题。多数专家普遍认为,研究这些问题不应仅着眼于解决当前的能源短缺,而应立足于长远的考虑。持久的能源供应应建立在可再生和潜力巨大的资源基础上,未来的能源结构应是一个持久的、可再生的、干净的多元化体系。可再生的太阳能和潜力巨大的核聚变能,以及生物质能、水力、风力、海洋能等能源的开发利用,是把人类从可燃矿物最终枯竭和生活环境日趋恶化的威胁中解放出来的希望之路。

我国当前能源供求的紧张形势已是众所周知。我们虽然能源资源蕴藏量巨大,但由于人口多,现有消费水平低,需求潜力是很大的,所以未来能源供求形势是严峻的。显然我们能源的生产和消费结构不能沿袭各工业化国家的老路,他们经历漫长历程后得到的以上认识是值得借鉴的,不能过分依赖矿物燃料动力,应该走多元化能源结构的道路。

根据各国海洋能开发利用的实践和研究成果,国外专家预言,到廿一世纪海洋能将为人类提供巨量的电能,显示其巨大的潜力和竞争力。在我国漫长的海岸线及众多的岛屿附近和辽阔的海域里蕴藏着较为丰富的海洋能资源,我国海洋能开发利用已有较长的历史和较好的基础,为使海洋能作为重要的补充能源,加入沿海地区多元化的能源结构,我们现在就应加强对海洋能资源的调查研究和规划。

为了摸清海洋能资源情况,国务院农村能源领导小组办公室以(85)34号文,向国家海洋局和水电部下达了全国海洋能资源专业区划任务。1986年2月水电部科技司和国家海洋局科技司以国海科(86)114、技水电联字(86)42号文,向两个系统的有关单位发出了《关于落实海洋能资源区划的通知》,明确了本项目的目的任务、区划编制原则和组织实施等主要问题。随后,于1986年3月、7月召开了第一、二次海洋能资源区划技术指导小组会议,对区划工作的有关问题做了研究,讨论通过了《全国海洋能资源区划技术规定》。根据农村能源综合区划只统计2000年前有现实开发意义的资源的要求,结合海洋能资源只分布于沿岸和海域的特殊性及我国海洋能资源开发利用的技术经济现状和前景,对作为农村能源的沿岸海洋能资源的区划(称《中国沿海农村海洋能资源区划》,以下简称本区划)做了如下具体规定。

本区划的基本目的:全面系统地调查统计沿岸潮汐能、波浪能和潮流能资源蕴藏量(其他海洋能暂不统计),分析评价海洋能资源状况、开发利用条件和开发利用现状,提出今后海洋能资源开发利用的建议。为全国农村能源资源区划提供基础资料,供分析建立更加合理的沿海农村能源结构和编制农村能源综合区划参考,为制定农村能源建设发展规划提供依据。

本区划的主要任务:调查统计各省区沿岸可开发装机容量200—1000kW的潮汐能资源量,波浪能和潮流能资源理论平均功率,以及与开发利用有关的

11.163

125 23985

主要自然环境要素资料；分析评价三种资源的数量质量特征、时空分布变化规律及开发利用条件；分析评价开发利用现状；提出今后开发利用重点、途径和措施的建议。

本区划的编制程序：先由各承担单位按分工进行各省区沿岸潮汐能、波浪能和潮流能的资源统计和区划，再合成各省区沿海农村海洋能资源区划，最后编制中国沿海农村海洋能资源区划。

本区划工作的组织领导和分工：本项目工作由国家海洋局科技司和水电部科技司领导，项目负责人为国家科委海洋专业组——学科组办公室金鼎华。具体工作分工如下：各省区沿岸潮汐能资源统计和区划分别由辽宁省水电设计院、山东省水利勘测设计院、江苏省水利勘测设计院、浙江省河口海岸研究所、福建省水电勘测设计院、广东省水电勘测设计院、广西水电设计院北海分院和广西钦州地区水电设计院承担，由水电部华东勘测设计院汇总。各省区沿岸波浪能和潮流能资源统计和区划分别由国家海洋局一所、二所、三所和南海分局承担，由国家海洋局二所汇总。国家海洋局情报所承担工作底图设计、印刷和图件清绘及全部成果出版工作。国家海洋局二所承担全部成果的汇总、各省区区划统稿和全国区划编写。

参加本工作的各单位于1987年12月底，根据要求和分工完成了资源统计和区划。在各单位工作的基础上，国家海洋局二所于1988年3月完成了本区划初稿。1988年5月和10月先后召开初审会和评审会，对本区划的初稿和送审稿进行了评审。根据评审会的意见和要求，有关单位又做了相应补充工作，最后由国家海洋局二所完成本区划。

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
第一节 海洋能概述	(1)
第二节 资源统计要求和分区标准	(4)
第二章 自然环境条件	(9)
第一节 一般地理概况	(9)
第二节 气候特征	(11)
第三节 海洋水文特征	(12)
第三章 海洋能资源及其评价	(15)
第一节 潮汐能	(15)
第二节 波浪能	(22)
第三节 潮流能	(28)
第四章 海洋能开发利用现状及其评价	(35)
第一节 潮汐能	(35)
第二节 波浪能	(40)
第三节 潮流能	(41)
第五章 关于今后海洋能开发利用的建议	(43)
第六章 各省(市、区)沿海农村海洋能资源区划	(45)
第一节 辽宁省沿海农村海洋能资源区划	(45)
第二节 河北省沿海农村海洋能资源区划	(48)
第三节 山东省沿海农村海洋能资源区划	(49)
第四节 江苏省沿海农村海洋能资源区划	(53)
第五节 上海市长江口区沿海农村海洋能资源区划	(55)
第六节 浙江省沿海农村海洋能资源区划	(56)
第七节 福建省沿海农村海洋能资源区划	(62)
第八节 台湾省沿海农村海洋能资源区划	(66)
第九节 广东省沿海农村海洋能资源区划	(69)
第十节 广西壮族自治区沿海农村海洋能资源区划	(73)
第十一节 海南省沿海农村海洋能资源区划	(76)
附录一 各省(市、区)沿海农村海洋能资源统计表	(80)
附录二 各省(市、区)沿海农村海洋能资源分布图	(104)

第一章 绪 论

第一节 海洋能概述

一、海洋能及其分类

海洋能通常指海洋中所特有的自然能源,即潮汐能、波浪能、海流能(潮流能)、海水温差能和海水盐差能。究其成因,潮汐能和潮流能来源于太阳和月亮对地球的引力,其他均源于太阳辐射。

海洋能按储存形式可分为机械能、热能和化学能。机械能指潮汐、潮流、海流和波浪运动所具有的能。潮汐的能量与潮量和潮差成正比。或者说,与潮差的平方和水库面积成正比。潮流和海流的能量与流速的平方和流量成正比。波浪的能量与波高的平方和波动海面面积成正比。海洋热能指温差能,是由太阳辐射产生的表层和深层海水之间的温度差所蕴藏的能量,其能量与表层的暖水量和温差成正比。海水化学能指盐差能,是流入海洋的江河淡水与海水之间的盐度差所蕴藏的能量,其能量与渗透压和渗透水量(淡水量)成正比。

二、海洋能的特点

海洋能源与常规能源相比具有以下特点:

(一) 能量密度低,但总蕴藏量大,可再生。各种海洋能的能量密度一般较低。如潮汐能的潮差较大值为 $13\sim 15\text{m}$,我国最大值(杭州湾澉浦)仅 8.9m ;潮流能的流速较大值为 5m/s ,我国最大值(杭州湾和舟山海区)仅 $3\sim 4\text{m/s}$;海流能的流速较大值为 $1.5\sim 2.0\text{m/s}$,我国最大值(东海东部的黑潮流域)仅 1.5m/s ;波浪能的波高较大值为 $20\sim 25\text{m}$,我国沿岸波高最大值(东海沿岸)仅 10m ;温差能的表、深层海水温差较大值为 24°C ,我国最大温差(南海深水海区)可达此值;盐差能的能量密度最大,其渗透压一般为 25122hpa ,相当 256m 水头,我国也可接近此值。但是,由于海洋能广泛地存在于占地球表面积 71% 的海洋上,所以其总蕴藏量却是巨大的。据国外学者们计算,全世界各种海洋能固有功率的数量级,以海水温差和盐差能最大约为 10^{10}kW ,波浪能和潮汐能居中均为 10^9kW ,海流能最小为 10^8kW 。另外由于海洋永不间断地接受着太阳辐射和月亮、太阳的作用,所以海洋能又是可再生的。因此海洋能可称谓取之不尽,用之不竭。当然,也必须指出,以上巨量的海洋能资源,并不是全部可以开发利用。据联合国教科文组织出版物的估计,全球海洋能理论可再生的总功率为 $766\times 10^8\text{kW}$,技术上允许利用的功率仅为 $64\times 10^8\text{kW}$,即使如此,这一数字也为目前全世界发电机总容量的两倍。

(二) 能量随时空变化,但有规律可循。各种海洋能按各自的规律发生和变化。就位置而言,既因地而异,又不能搬迁,各有不同的富集海域。温差能主要集中在低纬度大洋深水海域,我国主要在南海(远海、深海);潮汐、潮流能主要集中在沿岸海域,我国东海沿岸最富集(沿岸、浅海);海流能主要集中在北半球两大洋西测,我国主要在东海的黑潮流域(外海、深海);波浪

能近海、外海都有，但以北半球两大洋东侧中纬度 ($30^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{N}$) 和南极风暴带 ($40^{\circ} - 50^{\circ} \text{S}$) 更为富集，我国东海和南海北部较大 (全海域)；盐差能主要在江河入海口附近沿岸，我国主要在长江和珠江等大江河口 (沿岸、浅海)。就时间而言，除温差能和海流能较稳定外，其他均具有明显的日、月变化，故海洋能发电多存在不稳定性。不过，各种海洋能能量密度的时间变化，一般均有规律性，可以预报。特别是潮汐和潮流的变化，目前已能作出较准确的预报。

(三) 开发环境严酷，一次性投资大，单位装机造价高，但不污染环境，不占用土地，可综合利用。由于不论在沿岸近海，还是在外海深海，开发海洋能资源都存在风、浪、流等动力作用，海水腐蚀、海生物附着以及能量密度低等问题，所以使转换装置设备庞大、材料要求强度高防腐好、设计施工技术复杂难度大、投资大造价高。但是，由于海洋能发电在沿岸和海上进行，所以不但不占用土地资源，不需要迁移人口，而且还多具有围垦土地、水产养殖、海洋化工、观光旅游等综合利用效益。同时，由于海洋能源发电不消耗一次性矿物燃料，所以既不付燃料费，又不受能源枯竭的威胁。另外，海洋能发电几乎都不伴有氧化还原反应，并且不向大气排出有害气体和热，故也不存在常规能源发电多存在的环境污染问题，这就避免了很多社会问题的处理。

三、国外海洋能开发利用现状

潮汐能、波浪能、温差能开发利用研究的历史都已有近百年，而引起众多国家政府的重视，则是近二三十年的事。海洋能开发利用的兴衰，既决定于科学技术水平，又受社会经济因素的制约。本世纪 50 年代苏伊士运河停运，出现的西欧能源危机，促使法国 60 年代兴建朗斯潮汐电站。由于 70 年代西方的石油危机，促使各工业化国家寻求石油的替代能源，海洋能开发利用开始引起许多沿海国家的重视。

各类海洋能开发利用现状，从当前国际报导看，潮汐能走在最前列，技术最为成熟；温差能蕴藏量最大，能量最稳定，寄期望最大，研究投资最多，技术基本成熟；波浪能因其在世界各地能源严重短缺的沿海岛屿有广阔的市场，近几年的研究和开发最活跃，技术基本成熟；潮流能利用研究起步较晚，目前尚处试验研究阶段。下面简介与本区有关的潮汐能、波浪能和潮流能的开发利用现状。

潮汐能。法国于 1967 年建成朗斯潮汐电站，采用灯泡贯流式机组，总装机容量 240MW，年实际发电量约 $5 \times 10^8 \text{kWh}$ ，至今运行良好。前苏联 1968 年建成基斯拉雅潮汐电站，总装机容量 800kW，施工不围堰，采用浮运沉箱法获得成功，缩短了工期，节省了投资。加拿大 1984 年建成安纳波利斯潮汐电站，总装机容量 20MW，采用新型的全贯流机组，已取得了良好的经济效益。它是为在芬迪湾建设大型潮汐电站的中间试验电站，它的建成发电证明 4000MW 的科比奎得潮汐电站是经济可行的，该站现已在筹建中。据英国能源部宣布的潮汐发电计划，正在投资 2000 万英镑，对塞汶河口潮汐电站

(7200MW) 进行初步设计。前苏联 1984 年在电力工业部会议上, 提出把潮汐能利用工作放在重要位置, 决定加速建设装机容量 40MW 的克尔斯卡雅潮汐试验电站, 还研究制定了建设更大规模潮汐电站的计划。现已在进行 8000MW 级和 15000MW 级的电站设计和技经论证工作。另外, 南朝鲜、印度、澳大利亚、美国等都在积极准备建设较大型的潮汐电站。

波浪能。日本 1974 年开始进行船型波力发电装置“海明”号的研究, 已解决了发电、装置系留和向大陆送电等一系列技术问题, 取得了年发电 $19 \times 10^4 \text{kWh}$ 的实绩。现正在进行第二期研究, 发电成本目标为 47 日元每千瓦时, 低于当地(离岛)柴油发电成本。1984 年日本在山形县建成 40kW 的固定式波力发电试验装置。1988 年开始日本在酒井港进行较大规模固定式波力发电站的建设。挪威的波力发电研究后来居上, 1985 年在卑尔根市附近的海岛上, 相继建成两座不同型式的岸式波力发电站, 装机容量分别为 350kW 和 500kW, 取得良好的经济效益。发电成本为 5 美分每千瓦时, 低于当地柴油发电成本。已达到实用化和商品化阶段。据报导挪威已经开始建设更大规模(10MW)的波力发电站, 预计 1990 年运行, 发电成本可低于 2.5 便士每千瓦时。挪威已开始向国外市场推销其波力发电技术, 1988 年与印尼签订协议, 在巴厘岛兴建装机容量 1500kW, 年发电量 $8 \times 10^6 \text{kWh}$ 的商用波力电站, 预计发电成本为 6-7 美分每千瓦时。并有在印尼修建几百个波力电站, 联成电网的计划。英国 70 年代初很重视波力发电研究, 投资较多, 后因对经济性争论不休, 而受到一定影响, 放慢了步伐。当看到挪威的实用性波力电站确有良好的经济效益后, 又急起直追, 决定在苏格兰西岸兴建一座示范电站, 并将援助毛里求斯建一座装机容量 20MW 的固定式波力电站。另外, 澳大利亚 1987 年开始在西部的埃斯佩立斯建一座装机容量 1000kW 的波力电站, 计划 1989 年建成。

海流(潮流)能。海潮流能的利用到本世纪 70 年代才引起人们的重视。美国 1973 年提出了用巨型水轮发电机组——科里奥利系统, 利用佛罗利达海流的方案。日本 1975 年开始了利用黑潮的动能发电的调研工作。据国外报导, 在 1985 年春季美国在纽约东河的吊桥上, 试验了一台涨落潮水流可驱动透平发电的试验装置。日本 1988 年对一种新型电磁发电的潮流发电装置进行了试验。英国试制成功一种布里斯托尔水下气缸潮流发电装置。总之, 国际上关于海潮流发电的研究尚处于试验研究阶段。

四、海洋能利用的经济性问题

在此要着重讨论海洋能源发电的经济性问题。在经济上新能源电站本身还不能与常规能源发电竞争(常规能源短缺的海岛除外), 这是所有新能源发电现存的普遍弱点, 又是海洋能源开发利用技术的共同问题, 也是国外潮汐能发电、温差能发电尽管技术已经成熟, 但还不能大规模发展的原因。

但是, 在评价海洋能电站的合理性时, 国外海洋能专家的以下意见是值得考虑的。有的专家提出: 一方面常规能源利用的费用将不断提高; 另一方面在

缺乏燃料的世界中，价格并不是我们考虑的唯一因素，能源经济不能只算经济账，还要算能源账。因此，在建设一个海洋能电站时，要考虑需要投入多少能量，它能生产多少能量，以及多少时间能把投入的能量收回，应以此作为衡量电站合理性的指标。也有的专家提出：用建设投资加燃料、维修等运行总费用与所得经济效益之比，作为评价能量生产系统的标准。按这些概念，显然海洋能源是“有希望的有竞争力的能源”。

近几年来，中国专家同样也提出，只孤立地算电站发电账是不合理的，应该考虑全社会的经济效益。这样在对潮汐电站与其他电站进行经济效益对比评价时，就应考虑：火、水电站多有远距离运煤、输电设备及电能耗损的开支；水电站建设要淹没土地，迁移人口；火电站要加配套煤矿、耗煤、炭渣堆放和处理污染环保投资。而潮汐电站建在沿海靠近负荷中心，不但没有以上问题，而且在发电的同时，还可以兼收围垦种植、水产养殖、蓄淡灌溉、便利交通、发展旅游等综合利用效益。其他，如温差能发电也可兼收制氢、发展海洋牧场、海水淡化等效益。

综上所述，海洋能源有蕴藏量大，可再生，发电不耗燃料，不污染环境，不占用土地等优点；但也存在能量密度低，开发环境严酷，一次性投资大，单位装机容量造价高，发电不稳定等缺点。因此，尽管近十年来不少工业发达国家都在积极研究开发利用海洋能源，但是，目前从总体上讲，海洋能源开发利用技术还处在发展的初期。虽然，潮汐发电和温差发电技术已成熟或趋于成熟，在技术上认为是可行的，但在经济上造价和电能成本尚不能与常规能源发电相竞争。不过，从长远观点看，据国外能源专家预测，海洋能源将是 21 世纪的重要能源，首先可作为沿海和岛屿的重要补充能源。今后，一方面随着经济发展使能耗增加，常规能源将越来越紧张，使常规能源发电造价和成本越来越高；另一方面随着科学技术的进步，海洋能源开发技术将会出现突破，使造价和电能成本降低，使其与常规能源相比具有竞争力。国外的进展表明，造价和电能成本的差距正在缩小，在海岛潮汐发电和波浪发电与柴油发电和外运煤炭发电相比，已经具有竞争力。

中国沿岸蕴藏着较为丰富的海洋能资源，潮汐能发电已有较长的历史，已打下了较好的基础和取得了丰富的经验，小型潮汐电站技术基本成熟；波浪发电技术虽研究较短，但也已取得可喜进展。因此，根据中国的基础和条件，为了促进沿海农村海洋能资源的开发，特别是潮汐能的开发，为解决偏僻沿海和岛屿能源奇缺做出贡献，摸清沿岸的海洋能资源是完全正确和必要的，这正是本区划工作的指导思想和目的。

第二节资源统计要求和分区标准

一、资源统计要求

(一) 潮汐能

1. 统计范围。统计全国大陆和岛屿沿岸可开发装机容量在 200 至 1000kW

之间的坝址的潮汐能资源。其中，有永久军事和交通设施或已围垦和淤塞的港湾内的资源，以及沿平直海岸滩涂上的资源，均不予以统计。

2.统计项目。统计各坝址的坝长(L)、平均水库面积(F)、多年平均潮差(A)和最大潮差(A_m)。

3.统计方法。由于沿岸可开发装机容量500kW及其以上的潮汐能资源，1982年已进行过普查。为了既能充分利用普查成果，又避免重复，对本区划资源统计特做如下规定。(1)单独港湾的资源：装机容量500kW及其以上的坝址，均利用普查结果。装机容量500kW以下的坝址，按本规定进行统计。(2)大湾套小湾的资源：装机容量大于1000kW的大湾内200至1000kW的小湾资源，按本规定统计。装机容量500至1000kW的大湾资源利用普查结果，其内的小湾资源，按本规定统计。在计算全国和各省区沿海农村潮汐能资源总量时，只统计大于1000kW的大湾内的小湾资源和小于1000kW的大湾资源。

对资料的使用做如下规定。(1)已建、在建潮汐电站和具有初步设计深度的电站，应汇总已有的基本资料及技术经济指标。(2)过去已进行过一定地质勘探和规划设计工作，以及对开发条件已有所了解的电站，应充分利用过去的资料和成果。(3)尚未达到上述资源工作深度的坝址，可利用1:5万或1:2.5万海图或军用地形图(当有更大比例尺的地形图时，应尽量利用)，并参考1:20万区域地质图(当有更大比例尺的地质图时，应尽量利用)，按潮汐电站对地质等自然环境条件的要求，在处理好与海岸带其他资源(如军事、航运、渔业、围垦、蓄淡等)开发的关系的前提下，选定坝址，并估算可开发装机容量(N₂)和年发电量(E₂)。另外，对沿岸海湾，特别是开发利用条件较好的坝址的自然环境和开发利用现状，应进行调查核实。

潮汐能可开发资源量按以下公式计算。

(1)单向发电潮汐电站

$$N_2 = 200WA(\text{kW}) \quad (1-1)$$

$$E_2 = 0.40 \times 10^3 WA(10^3 \text{kWh}) \quad (1-2)$$

式中W为潮容量， $W = FA$ ，故也可以取下式

$$N_2 = 200FA^2(\text{kW}) \quad (1-3)$$

$$E_2 = 0.40 \times 10^3 FA^2(10^3 \text{kWh}) \quad (1-4)$$

式中F单位为 km^2 ，A单位为m。

(2)双向发电潮汐电站

$$N_2 = 200WA(\text{kW}) \quad (1-5)$$

$$E_2 = 0.55 \times 10^3 WA(10^3 \text{kWh}) \quad (1-6)$$

或：

$$N_2 = 200FA^2(\text{kW}) \quad (1-7)$$

$$E_2 = 0.55 \times 10^3 FA^2(10^3 \text{kWh}) \quad (1-8)$$

4.绘制图件。绘制各省沿岸潮汐能可开发资源量(装机容量和年发电量)分布图。

(二) 波浪能

1.统计范围。统计全国大陆和岛屿沿岸的波浪能资源。

2.统计项目。统计沿海各测波站代表年全年逐次观测的平均波高(即十分之一大波波高, $H_{\frac{1}{10}}$, 本区划所提平均波高均指此波高)和平均周期($\bar{T}$)。

3.统计方法。首先,应尽量多收集大陆和岛屿沿海测波站的实测资料,并从中选出距大陆海岸较远、波浪资料对周围水域代表性较好的测站,作为代表测站。然后,由各代表测站每日四次观测的四个平均波高和平均周期,计算相应的波浪能流密度(F),由此再计算该站的日、月、年平均波浪能流密度。最后,用这些站的年平均能流密度和代表区段长度(L,以相邻两站连线的中点为界,跨省区段以本省内实际长度为准),推算各站代表区段上的波浪能理论平均功率(N)。各区段的波浪能理论平均功率之和为各省区沿岸的总波浪能理论平均功率。

波浪能资源理论蕴藏量按以下公式计算。

$$F = H_{\frac{1}{3}}^2 T_{\frac{1}{3}} C_g / C_0 \quad (\text{kW} / \text{m}) \quad (1-9)$$

式中 C_g / C_0 为波浪群速与波速之比,可由专用表查取。 $H_{\frac{1}{3}}$ 、 $T_{\frac{1}{3}}$ 分别为有效波高和有效波周期,单位分别为 m 和 s。

$$N = FL \quad (\text{MW}) \quad (1-10)$$

式中 L 单位为 km。

以上波浪能计算公式均由小振幅波理论推出,在利用测波站观测的平均波高($H_{\frac{1}{10}}$)和平均周期($\bar{T}$),计算实际波浪(不规则波)波能理论平均功率时,需按 $H_{\frac{1}{3}} = 0.7864 H_{\frac{1}{10}}$ 和 $T_{\frac{1}{3}} = 1.15 \bar{T}$ 关系换算后代入公式。

4.绘制图件。绘制各省区沿岸波浪能资源(能流密度和理论平均功率)分布图。

(三) 潮流能

1.统计范围。统计全国沿岸海域实测最大潮流速度 1.28m/s 以上的湾口、水道、航门等处的潮流能资源。非湾口、水道、航门处的潮流能资源,因较难确定横断面宽度,暂不进行资源统计。

2.统计项目。统计强潮流水域的大潮期间最大潮流流速(V_m ,涨、落潮流均可,下同),小潮期间最大潮流流速(V_s),水道宽度(B,水道通过测流站位的横断面长度),平均水深(H,水道横断面上水深的平均值)。对于既无大小潮,又无任意一周日观测潮流资料的水域,应在大于 1:5 万比例尺海图上,选取图中标注的潮流流速最大值,作为最大潮流流速 V_m ,然后按附近主港潮差的比数推算 V_s 。

3.统计方法。利用收集的资料计算各水道的潮流能最大能流密度(P_m),平均能流密度(P)和理论平均功率(N)。当同一水道横断面上,有不相等的

几个流速值时,则应分段进行资源统计,并分段标在资源分布图上。当同一海湾内,有多处资源点时,不做重复统计。

半日潮型往复流的潮流能理论蕴藏量按以下公式计算。

$$P_m = 0.512 V_m^3 \quad (\text{kW} / \text{m}^2) \quad (1-11)$$

$$P = \frac{1}{12\pi} (5 + 3a + 3a^2 + 5a^3) P_m \quad (\text{kW} / \text{m}^2) \quad (1-12)$$

$$N = 10^{-3} BHP \quad (\text{MW}) \quad (1-13)$$

$$a = V_s / V_m \quad (\text{无周日观测资料时,以主港潮差比数为准}) \quad (1-14)$$

式中 V 单位为 m / s , B 和 H 单位为 m 。

4. 绘制图件: 绘制各省沿岸潮流能资源 (最大能流密度和理论平均功率) 分布图。

(四) 资源统计共同要求

1. 因为本区划的最终目的是为海洋能资源开发服务,故资源统计要求遵循既讲求科学性,又讲求实用性,从实际出发,实事求是的原则。

2. 资源统计主要靠收集各系统、各单位的历史资料。为使资源统计结果符合客观实际,资源统计工作中,应尽力收集近年来海岸带调查的成果,并了解海岸带自然环境及其开发利用现状,以核实历史资料。

3. 在收集与海洋能资源有关的潮差、波高及周期、潮流速度等要素资料的同时,还应尽量收集与开发潮汐能波浪能和潮流能有关的沿岸一般地理、气候、海洋水文等自然环境要素资料,以供分析评价资源开发利用条件。

4. 使用资料年限和年代要求。平均 (最大) 潮差: 一般取十年,最少取一年。平均波高 (周期): 统一取 1976 年全年资料,如无 1976 年资料,可取就近中等波浪的一年资料。潮流速度: 一般取三次以上实测资料或推算的半日潮流资料,最少应有一次实测资料。

二、资源区划分区标准

资源区划按下表 (表 1-1) 所列标准分区。

表 1-1 中国沿海农村海洋能资源区划分区标准表

能 类	指标要素	一类区	二类区	三类区	四类区
潮汐能	平均潮差 $A (\text{m})$	$A \geq 4$	$4 > A \geq 2$	$2 > A \geq 1$	$1 > A$
波浪能	平均波高 $H_{\frac{1}{10}} (\text{m})$	$H_{\frac{1}{10}} \geq 1.3$	$1.3 > H_{\frac{1}{10}} \geq 0.7$	$0.7 > H_{\frac{1}{10}} \geq 0.4$	$0.4 > H_{\frac{1}{10}}$
潮流能	最大流速 $V_m (\text{m} / \text{s})$	$V_m \geq 3.06$	$3.06 > V_m \geq 2.04$	$2.04 > V_m \geq 1.28$	$1.28 > V_m$

第二章 自然环境条件

第一节 一般地理概况

一、海岸

中国海岸的形态和成因类型多种多样，主要有平原海岸、基岩港湾海岸和生物海岸三类，以前两类为主，每类又分若干小类别。以下简述各类海岸的地质地貌特征和分布。

(一) 平原海岸。主要由江河携带入海的泥沙，在风浪和沿岸流作用下形成。潮流是塑造此类海岸的主要动力因素，波浪作用较弱，仅作用在岸外较远处，岸外有很宽的破波带。此类海岸由巨厚而松散的沉积物组成，主要成分是细粉砂、极细粉砂和粘土等。此类海岸线比较平直单调，岸上地势平坦，潮间带宽阔。沿岸湾少水浅，缺乏天然良港和岛屿，多沙洲、浅滩。平原海岸又可分为以下三类。1. 三角洲海岸，主要分布在大河入海处，如辽河、黄河、长江、钱塘江和珠江等河口附近。三角洲海岸的特征是地势平坦，沿岸水浅坡缓，海岸组成物质较细。在北方多为向海突出的弧状三角洲，在南方多为海湾型三角洲。2. 砂砾质海岸，主要分布于辽宁省黄龙尾至盖平角，河北省大清河口以东，福建闽江口以南，台湾岛西岸，广东大亚湾以东和漠阳江以西，海南岛和广西沿岸。其特征是海岸组成物质以粗粒级为主，海滩和水下岸坡远较淤泥质海岸陡，通常为 8.75×10^{-2} 左右。海滩一般较狭窄，仅几十米至几百米。3. 淤泥质海岸，主要分布在辽东湾、渤海湾、莱州湾、苏北沿岸、长江口至杭州湾、浙江至闽江口以北的港湾和珠江口等岸段。其特征是海岸组成物质较细，一般海滩宽度大坡度小，滩宽几公里至几十公里，坡度为 8.70×10^{-3} 左右。

(二) 基岩港湾海岸。主要由地质构造活动及波浪作用形成。沿岸波浪能量大，作用强烈，是塑造海岸的主要动力。其特征是山地直接临海，地势险峻，海岸曲折，多天然良港，岬湾相间，沿岸基岩岛屿众多，岸滩狭窄，水下岸坡较陡，深水逼岸，海岸带的潮上带往往基岩裸露，潮下带沉积物由砾石和粗砂组成。主要分布在北起辽东半岛南部的城山头，向西经旅大老铁山角至黄龙尾，小凌河口至河北秦皇岛，山东半岛北部掖县虎头崖向东绕过山东半岛顶部至江苏连云港附近，浙江镇海角以南经福建至广东雷州半岛西岸，以及海南岛沿岸。此类海岸具有开发海洋能资源的良好地质条件。

(三) 生物海岸。1. 珊瑚礁海岸是指由珊瑚的骨骼聚积而成的礁石海岸。主要分布于南海诸岛，雷州半岛、海南岛东北和西北部沿岸也有断续分布。2. 红树林海岸主要分布在福建福鼎以南经泉州湾至广东珠江口以西部分岸段，此外广西钦州湾一带也有断续分布。

二、港湾

中国沿岸港湾密集，其中较大的港湾自北向南有：辽东湾、渤海湾、莱州

湾、胶州湾、海州湾、长江口、杭州湾、三门湾、乐清湾、温州湾、沙埕港、三都沃、兴化湾、湄州湾、厦门湾、珠江口、广州湾、钦州湾等。以上港湾不少面积较大、潮差较大，蕴藏着丰富的潮汐能资源，是未来大型潮汐电站建设的良好坝址。而可作沿海农村小型潮汐电站站址的小型湾岬、港汊在基岩港湾海岸几乎到处可见，数不胜数。

三、水道

中国沿岸水道航门众多，主要的水道有：长山列岛海域的里、外长山水道，渤海海峡的老铁山水道、大(小)钦水道、南(北)砣矶水道、长山水道、登州水道，长江口区的北支、北港、南槽、北槽诸水道，舟山海域的金塘水道、西候门水道等近 30 个航门水道，福建沿岸港湾中的诸水道和琼州海峡中的诸水道等。这些水道航门，尤其是舟山海域的水道航门，一般潮流较强，蕴藏着较丰富的潮流能资源。

四、岛屿

中国沿岸岛屿星罗棋布，共计 7100 多个。其中，以浙江、福建和广东省沿岸最多，分别约 1000~2000 个。其次，是广西、辽宁、山东和台湾省沿岸，分别约 200~700 个。其他省市沿岸较少。这些岛屿沿岸及附近海区蕴藏着丰富的海洋资源，是发展海洋渔业、水产养殖、交通运输、盐业和旅游等海洋产业，建设沿海外向型经济的重要基地。同时，这些岛屿沿岸及附近海区又蕴藏着较丰富的海洋能资源。特别是离大陆较远的岛屿附近，一般波浪较大，浙江中部至福建中部一带沿岸岛屿潮差较大，是开发波浪能和潮汐能的较好场地。

五、河流

中国沿海有大小入海河流 1800 余条，其中长度大于 50km 的有 122 条。根据 60 条主要入海河流的不完全统计，每年入海径流总量约为 16215 亿 m^3 ，入海悬沙约为 18.56 亿 t，推移质约 1.856 亿 t（按悬沙的 10% 估计）和溶解质约 6.49 亿 t（按悬沙的 35% 估计）共计每年入海物质约为 26.9 亿 t。河流的入海径流量和输沙量皆具有明显的季节变化，河流汛期的人海水量和输沙量占全年比重较大。如长江，多年平均径流总量达 9250 亿 m^3 ，洪水季（5~10 月）径流量占全年的 71.7%，多年平均输沙总量为 4.86 亿 t，洪水季输沙量占全年的 87.2%。华南沿海河流的汛期（4~9 月）输沙量占全年的 80~90%。

大量的淡水 and 泥沙物质由河口泻入海洋，对我国海岸带的形成和发育产生巨大的影响，是开发海洋能资源不容忽视的因素。径流挟带入海的泥沙，一部分在河口营造三角洲，另一部分则被水流或波浪输往沿岸地带和陆架或深海。一般而言，颗粒较粗的推移质多堆积在河口区域，或被波浪输往沿岸地带，颗粒较细的悬沙和溶解质，除部分沉积于河口区域外，尚有部分在潮流和海流作用下向附近海岸、陆架和深海扩散。

巨量的淡水注入海洋，使河口处蕴藏着丰富的盐差能资源。如鸭绿江、辽河、黄河、长江、钱塘江、闽江和珠江等河口都是盐差能富集区。

第二节 气候特征

一、气温

中国海岸带气温地理分布的总趋势是南高北低。年平均气温分布是：渤海沿岸为 $9\sim 15^{\circ}\text{C}$ ，东海沿岸为 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，南海沿岸为 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ ，南北差约 15°C 。冬季为气温最低的季节，渤海沿岸（1月）为 $-8.1\sim -1.5^{\circ}\text{C}$ ，黄海沿岸（1月）为 $-7.5\sim 5^{\circ}\text{C}$ ，东海沿岸（2月）为 $6.5\sim 12.7^{\circ}\text{C}$ ，南海沿岸（1月）为 $13.7\sim 22.8^{\circ}\text{C}$ ，南北气温差达 31°C 。夏季为气温最高的季节，渤海沿岸（8月）为 $24.3\sim 26.4^{\circ}\text{C}$ ，黄海沿岸（8月）为 $23.8\sim 27.2^{\circ}\text{C}$ ，东海沿岸（8月）为 $26.4\sim 28.3^{\circ}\text{C}$ ，南海沿岸（7月）为 $27.3\sim 29.1^{\circ}\text{C}$ ，南北气温差较小，仅 5°C 。

二、降水

中国海岸带降水量地理分布是北少南多。年平均降水量大致以苏北废黄河口为界，其北小于 1000mm ，其南大于 1000mm 。具体分布是：渤海沿岸为 $474\sim 684\text{mm}$ ，黄海沿岸为 $562\sim 1000\text{mm}$ ，东海沿岸为 $1080\sim 1343\text{mm}$ （岛屿普遍较少，在 900mm 以下），南海沿岸为 $925\sim 2000\text{mm}$ 。降水主要集中在夏季，渤、黄海沿岸夏季降水量为全年的 $50\sim 70\%$ ，东海和南海沿岸4~9月的降水量分别占全年的 70% 和 80% 。

三、风况

中国海岸带位于亚洲东南季风气候带。沿岸的常风向和强风向分布：冬季，黄、渤海沿岸为西北和北向，东海沿岸为偏北向，南海沿岸为东北和东北东向。夏季，渤海的辽东湾和莱州湾沿岸为东南和南向，渤海湾沿岸为东南和东向，黄海的辽东半岛东南岸为东南和南向，山东半岛北岸为偏南向，山东半岛南岸及江苏沿岸为东南向，东海的长江口至浙江沿岸为东南和南向，自福建至两广沿岸为西南和南向。

中国沿岸平均风速既因地而异，又随季节变化。风速等值线分布明显地呈海岸线走向的趋势，风速从海洋向内陆递减。一般而言，年平均风速以东海沿岸最大，南海沿岸最小。渤海沿岸为 $3.0\sim 5.5\text{m/s}$ ，黄海沿岸为 $4.0\sim 6.5\text{m/s}$ ，东海沿岸为 $5.5\sim 7.0\text{m/s}$ ，南海沿岸为 $2.4\sim 5.3\text{m/s}$ ，各岸段风速又以岛屿和海峡较大。平均风速的季节变化是：冬季最大，春秋次之，夏季最小。最大风速以渤海东部近岸岛屿和海峡地区、黄海北部沿岸和山东半岛东端、东海沿岸及南海的粤东沿岸等岸段最大，多年最大风速均可达 40m/s 。

中国沿岸每年都有台风、寒潮（强冷空气）、温带气旋等灾害性天气发生。台风袭来时，常伴随狂风、暴雨、巨浪和暴潮等灾害。寒潮过境则带来刷

烈降温、霜冻、大风等天气。中国海岸带地区的大风以冷空气带来的最多，以台风带来的最凶猛。寒潮大风主要发生在冬春季，风向为偏北，风力一般为6~7级，长江口以北可达8~9级。台风大风主要发生在夏秋季，风向较分散，以偏东向为多，风力一般为8~9级，常可达10级以上，最大可达12级，近海岛屿附近大于沿海岸陆域。论对沿岸海洋能资源开发工程的影响，以台风灾害最重要。

据1949至1981年资料统计，共有264个台风和强台风（按1988年前中国分级标准）在中国登陆，平均每年有8个，最多年份有12个，最少年份也有5个。台风在中国登陆最早月份是5月，最晚是11月。7~9月登陆次数最多，占全年的79%。台风在中国登陆的范围很广，南起两广，北至辽宁沿岸都可能台风登陆，但广东和海南岛最多，占全国沿岸登陆台风的50.7%，其次是台湾省占19.4%，福建省占15.7%，上海、江苏、山东、辽宁合计仅占6.7%。因为台风路径随季节变化，所以不同季节登陆地点也不同，5、6月只在两广和台湾沿岸登陆，而7、8月台风登陆北界可扩展到辽宁，9月起台风渐少。

四、海冰

渤海和北黄海的辽宁、河北、天津和山东北部沿岸水域，冬季由于寒潮的频繁侵袭，气温急剧下降，海水出现不同程度的结冰。在某些气候特别寒冷的年份，渤海和北黄海可出现极为严重的冰封现象，海面被海冰覆盖，沿岸许多港湾堆积有厚冰。在气候正常的年份里，一般于11月中、下旬至12月上、中旬，北方海域沿岸由北往南逐渐开始结冰，来年2月下旬至3月上、中旬，海冰开始融化，逐渐消失，冰期约2~4个月。辽东半岛南端的大连至老铁山角和山东半岛北部的龙口以东沿岸，一般不结冰。山东半岛南岸个别伸入内陆的海湾和港口，如乳山口、胶州湾等，冬季也有轻微的结冰现象。冬季沿岸海水结冰有碍海洋能资源开发利用，降低了那里海洋能资源开发利用的价值。

第三节 海洋水文特征

一、潮汐

中国海的潮汐主要由太平洋传入的潮波引起，由太平洋向中国海域传来的潮波，一支经日本九州和我国台湾之间水域进入东海，其中小部分进入台湾海峡，而绝大部分向西北方向传播，引起黄、渤海的潮振动；另一支通过巴士海峡传入南海，形成南海的潮波。潮波在传播过程中由于受到地球偏转力以及海底地形和海岸轮廓的影响，变得因地制宜，所以中国沿岸各地的潮汐类型多样，潮差各异。

潮汐类型。渤海沿岸，辽东湾多为不正规半日潮，西岸的团山角至秦皇岛为正规日潮，秦皇岛至滦河口为不正规日潮，塘沽至歧口、龙口至蓬莱及渤海海峡为正规半日潮，大清河河口至塘沽、歧口至龙口为不正规日潮。黄、东海沿