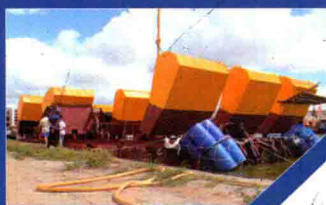


中国海洋能近海重点区

资源特性与评估分析

ZHONGGUO HAIYANGNENG JINHAI ZHONGDIANQU
ZIYUAN TEXING YU PINGGU FENXI

罗续业 夏登文 主编



中国海洋能近海重点区 资源特性与评估分析

罗续业 夏登文 主编

海洋出版社

2017年·北京

图书在版编目(CIP)数据

中国海洋能近海重点区资源特性与评估分析 / 罗续业, 夏登文主编. —北京: 海洋出版社, 2015.2

ISBN 978-7-5027-9048-6

I. ① 中… II. ① 罗… ② 夏… III. ① 近海-海洋动力资源-再生能源-研究-中国 IV. ① P7

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第301377号

责任编辑: 苏 勤 王 溪

责任印制: 赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编: 100081

北京画中画印刷有限公司印刷 新华书店经销

2017年11月第1版 2017年11月北京第1次印刷

开本: 889 mm × 1194 mm 1/16 印张: 18.25

字数: 420千字 定价: 160.00元

发行部: 010-62132549 邮购部: 010-68038093 总编室: 010-62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换



编写人员名单

主 编：罗续业 夏登文

副主编：汪小勇 武 贺

编写人员：武 贺 汪小勇 姜 波 徐辉奋 丁 杰
刘富铀 张 松 周庆伟 杜 敏 白 杨
孟 洁 张 榕 侯二虎 石 勇 孙墨寒
吴伦宇 于华明 侯 放 陈金瑞 江兴杰
杨永增 华 锋 叶 钦 杨忠良 施伟勇
张 军 贾 村

参编单位：国家海洋技术中心

国家海洋局第一海洋研究所

国家海洋局第二海洋研究所

国家海洋局第三海洋研究所

中国海洋大学

统 稿：白 杨 武 贺

校 对：张 榕 孟 洁

审 核：夏登文 汪小勇

序

海洋能是指利用海洋运动过程生产出来的能源，主要包括潮汐能、潮流能、波浪能、温差能和盐差能等，其大规模的开发可以有效地补充逐渐紧张的能源需求，还可为边远海岛提供重要的能源供给，是一种重要的战略资源和补充能源。

海洋能资源调查与评估是其有效开发利用的前提条件和基础，准确评估各类海洋能的资源总量，细致刻画其时空分布特征，为海洋能综合测试场、示范工程或试验电站建设提供科学合理的站址区或试验区以及必要的工程设计参数，对于有效保障各类海洋能转化技术的试验研究具有重要实践意义，特别是对于开发利用技术已十分成熟或接近商业化的潮汐能、潮流能和波浪能 3 种可再生能源更显得尤为重要。

鉴于此，本书在 908 专项海洋能调查研究的基础上，针对上述 3 种海洋能资源丰富的浙江省、福建省、山东省和广东省等近海海域，结合海洋能专项“潮汐能和潮流能重点开发利用区资源勘查与选划”和“波浪能重点开发利用区资源勘查与选划”（OE-W01、OE-W02、OE-W03）项目研究成果，总结归纳了当前国际上主流的潮汐能、潮流能、波浪能开发利用技术和资源评估方法，采用“调查分析+数值模拟”的评估形式完成了我国潮汐能、潮流能、波浪能重点区域资源分析研究。潮汐能方面，本书重点描述了我国近海潮差较大的浙江省、福建省沿海主要港湾的潮汐能资源状况；潮流能方面，本书重点分析了我国潮流能资源丰富的舟山群岛、渤海海峡、琼州海峡、山东部分海湾口的潮流能资源时空分布特征，通过借鉴国外海洋能资源参数较好地刻画了潮流能大潮、小潮和全年平均状态下的潮流能资源特征，其首次引入的“有效流时”的概念也对准确估算潮流能实际年发电量提供了依据，在此基础上统计计算了 75 道断面的潮流能资源量；波浪能方面，对我国 11 个沿海地区的近海波浪调查数据进行了对比分析，详细描述了上述重点海域的有效波高、平均周期、能流密度、有效波时等重要波浪能资源评估参数，并统计了我国近海离岸 20 km 海域一线上的波浪能蕴藏量。

最后，衷心希望此书能为我国的海洋能开发利用发挥出积极的作用。

前 言

全球气候变化和能源危机的不断加剧，使世界各国都在大力发展可再生能源，海洋能源作为一类重要的可再生能源，具有蕴藏量大、无污染、预测性强（主要指潮汐能和潮流能）等特点，是未来一种重要的补充能源和战略资源。开发利用海洋能也是解决我国沿海和海岛地区能源短缺的一个重要途径。

海洋能的时间和空间分布都很不均匀，在何时何地利用何种海洋能转换设备可以达到充分合理的开采量且不会对局部和大范围的海洋环境产生巨大经济、环境、社会等影响是一个十分复杂的科学问题，因此开展海洋能资源调查与评估、海洋能优先开发利用区的选划等工作具有十分重要的科学和实践意义。

我国较大规模的海洋能资源调查评估工作到目前大致可分为三个阶段。第一阶段，20世纪50年代、70年代和80年代开展了三次海洋能普查工作，由于资金短缺和观测技术水平的限制，评估数据多取自于历史数据，采用的估算方法多为经验公式，评估能源的类型较少，其中前两次的评估要素仅限于潮汐能，第三次包括了潮汐能、潮流能和波浪能等，为我国海洋能资源评估积累了宝贵的资料和研究经验。第二阶段，2003年9月，经国务院批准，我国近海海洋综合调查与评价专项（简称“908专项”）正式启动，该专项中包括了“我国近海海洋可再生能源调查与研究”“海洋可再生能源综合利用前景评价”等海洋能调查评估系列项目，这些项目首次利用实测调查数据评估了潮汐能、潮流能、波浪能、温差能、盐差能和海洋风能等六类可再生能源，初步摸清了我国海洋可再生能源的家底；然而，前期海洋能调查评估项目多为普查性质，调查资料的密度较低、综合考虑因素较少、评估形式和方法较为简单，仍无法满足海洋能规划和建设选址的需要，对海洋能的规模化开发利用形成了瓶颈。第三阶段，2010年，财政部设立了海洋可再生能源专项资金（简称“专项资金”），该专项资金于该年和次年分别支持了“潮汐能和潮流能重点开发利用区资源勘查与选划”“波浪能重点开发利用区资源勘查与选划”（OE-WO1、OE-WO2、OE-WO3）等多个海洋能勘查选划项目，旨在908专项海洋可再生能源调查研究的基础上，遴选数十个重点区域分别开展潮汐能、潮流能和波浪能的勘查和选划研究，摸清勘查区域的潮汐能、潮流能、波浪能资源储量及其时空分布状况，最终形成我国近海潮汐能、潮流能和波浪资源分布图集，并选划出海洋能优先开发利用区，为我国近海海洋能资源的开发利用规划提供决策依据。而且，为进一步整合集成潮汐能、潮流能和波浪能的研究成果，为海洋能专项资金示范工程建设及今后的海洋能开发利用提供更

好的服务,专项资金于2012年又支持了勘查选划的集成项目“海洋能资源勘查与选划成果整合与集成”,其目的则是在上述项目研究成果的基础上,结合历史资料,整合重点开发利用区海洋可再生能源数据集和图集,进一步分析研究重点区域海洋能时空分布特征和变化规律,开展开发利用综合评价专题研究,并搭建海洋能公共信息服务平台,形成我国海洋能资源重点开发利用区勘查与选划成果数据集、资源分布图集以及我国近海海洋能资源调查与评估的研究报告和专著,为建立海洋能资源开发利用基础信息服务平台提供重要基础资料,为海洋能发展规划及开发利用提供技术支撑。本书即是在总结上述项目的基础上,经过进一步分析和凝练编写而成的,是海洋能专项资金的研究成果之一。

本书主要包括海洋能概述、潮汐能、潮流能、波浪能和总结等主要部分,在潮汐能、潮流能和波浪能的章节中,分别介绍了上述海洋能源的研究区域、调查手段、评估方法并详述了我国海洋能重点开发利用区的资源分布特征,估算了浙闽近海13个海湾的潮汐能、10个重点区域(包括75个重点水道)的潮流能、13个重点区块的波浪能资源。本书共分为5章,第1章主要介绍了海洋能基本分类情况和目前开发利用技术现状,第2章介绍了浙江省和福建省近岸主要港湾的潮汐能资源状况,第3章主要介绍了渤海海峡、琼州海峡和舟山群岛等海域的潮流能资源状况,第4章介绍了我国近海波浪能资源分布情况,第5章介绍了对未来我国海洋能资源勘察工作和海洋能开发利用建议。其中,各章主要编写人员如下。

第1章:刘富铀、武贺、孟洁、白杨、周庆伟、张榕;

第2章:武贺、徐辉奋、丁杰;

第3章:武贺、张松、丁杰、吴伦宇、于华明、侯放、陈金瑞;

第4章:姜波、江兴杰、杨永增、华锋、叶钦、杨忠良、施伟勇、张军、贾村;

第5章:武贺、张松、姜波、徐辉奋;

绘图:丁杰

本书在编写过程中,得到了来自国家海洋局第一海洋研究所、国家海洋局第二海洋研究所、中国科学院海洋研究所、中国海洋大学、河海大学等多位专家的细心指导和帮助,在此一并表示感谢。

限于本书作者的水平有限,难免有错漏之处,敬请有关专家和读者批评指正。

编者

2017年2月于天津

目次

第 1 章 海洋能概述	1
1.1 海洋能的分类	1
1.2 海洋能开发技术现状	2
1.2.1 潮汐能	3
1.2.2 潮流能	6
1.2.3 波浪能	10
1.3 我国海洋能政策	14
1.4 我国近海海洋能资源综述	15
第 2 章 潮汐能资源	16
2.1 潮汐理论基础	16
2.1.1 潮汐名词	16
2.1.2 潮汐类型	18
2.1.3 不等现象	19
2.1.4 我国近海潮汐特征	19
2.2 潮汐能资源评估	23
2.2.1 潮汐能开发利用形式	23
2.2.2 评估方法	24
2.3 我国近海潮汐能资源评估历史	29
2.4 浙闽近海潮汐特征值分析	31
2.4.1 浙江沿海	31
2.4.2 福建沿海	35
2.5 浙闽主要港湾潮汐能资源分析	40
2.5.1 浙江省	40
2.5.2 福建省	56



2.6	小结	76
2.6.1	理论蕴藏量分析	76
2.6.2	技术可开发量分析	78
2.6.3	有效发电时间分析	79

第 3 章 潮流能资源 80

3.1	潮流理论基础	80
3.1.1	潮流运动形式	80
3.1.2	潮汐与潮流的关系	81
3.1.3	潮流类型	82
3.2	我国潮流能资源评估历史	83
3.2.1	我国第一次潮流能资源普查	83
3.2.2	我国第二次潮流能资源普查	83
3.2.3	我国特定海区的潮流能资源评估	84
3.3	潮流能资源勘查	85
3.3.1	调查范围	85
3.3.2	调查要素	86
3.3.3	调查仪器和观测方法	87
3.3.4	观测站设站要求	87
3.3.5	数据处理方法	88
3.4	调查数据分析	89
3.4.1	最大流速和涨落潮变化	89
3.4.2	流速垂向分布	91
3.4.3	流向分布特征	92
3.4.4	流速累计时间频率	95
3.4.5	潮汐和潮流关系	98
3.4.6	潮流调和分析	98
3.5	潮流能资源评估方法	99
3.5.1	评估源数据的获取形式	99
3.5.2	潮流能资源评估参数	99
3.6	数值模型配置与验证	103
3.6.1	基本配置	103
3.6.2	边界条件与初始条件	104
3.6.3	模型检验	104

3.7 重点区潮流能资源分析	105
3.7.1 渤海海峡	105
3.7.2 成山头海域	108
3.7.3 胶州湾口	110
3.7.4 斋堂岛海域	112
3.7.5 长江口	114
3.7.6 杭州湾	116
3.7.7 舟山群岛海域	118
3.7.8 三沙湾	135
3.7.9 金门水道	137
3.7.10 琼州海峡	139
3.8 小结	141
3.8.1 重点区潮流能资源总体情况	141
3.8.2 特色与创新	144

第 4 章 波浪能资源 145

4.1 波浪理论基础	145
4.1.1 波浪要素	145
4.1.2 波浪类型	146
4.2 我国波浪能资源评估历史	146
4.2.1 我国第一次波浪能资源普查	146
4.2.2 我国第二次波浪能资源普查	146
4.3 波浪能资源勘查	148
4.3.1 调查范围	148
4.3.2 调查要素	149
4.3.3 调查仪器和观测方法	149
4.3.4 观测站设站要求	151
4.3.5 数据处理方法	155
4.4 调查数据分析	157
4.4.1 渤海海峡调查数据分析	157
4.4.2 青岛海域调查数据分析	164
4.4.3 长江口海域调查数据分析	170
4.4.4 杭州湾及舟山群岛海域调查数据分析	177
4.4.5 浙江中部海域调查数据分析	183



4.4.6	浙江南部海域调查数据分析	190
4.4.7	闽浙交界海域调查数据分析	196
4.4.8	福建北部海域调查数据分析	203
4.4.9	福建中部海域调查数据分析	209
4.4.10	泉州、厦门海域调查数据分析	216
4.4.11	漳州海域调查数据分析	223
4.4.12	汕头海域调查数据分析	230
4.4.13	汕尾海域调查数据分析	236
4.4.14	小结	243
4.5	波浪能资源评估	247
4.5.1	国内外波浪能资源评估方法	247
4.5.2	数值模型配置与验证	249
4.5.3	各海区波浪能资源分布	256
4.6	小结	269

第 5 章 海洋能资源评估与开发利用建议 270

5.1	海洋能资源勘察与评估	270
5.1.1	海洋能电站（场）的环境勘察	270
5.1.2	海洋能电场资源评估标准与技术规范	271
5.1.3	大规模海洋能开发利用对近海环境的影响	271
5.2	海洋能开发利用建议	272
5.2.1	明确海洋可再生能源的战略地位，加强宣传力度	272
5.2.2	稳步发展潮汐发电，积极推进潮流发电	272
5.2.3	加速海洋能装备研发，提升核心技术竞争力	273
5.2.4	加强海洋能开发利用示范工程建设	273
5.2.5	合理集约利用海域空间资源，优化海洋能开发项目布局	274
5.2.6	加大投资力度，提供持续资金支持	274
5.2.7	制定开发利用海洋能的优惠政策和管理政策	274

参考文献	276
------	-----

第1章 海洋能概述

1.1 海洋能的分类

海洋能是指海洋中所蕴藏的可再生的自然能源,包括潮汐能、波浪能、潮流/海流能、温差能和盐差能,还包括海洋上空的风能以及海洋生物质能等。除了潮汐能和潮流能来源于太阳和月亮等天体对地球的引力作用以外,其他几种能源都来源于太阳辐射。在欧盟第六框架计划的能源环境与可持续发展主题的支持下,海洋能协调行动小组(Co-ordinated Action on Ocean Energy, CA-OE)与海洋能系统实施协议工作组(International Energy Agency, Implementing Agreement on Ocean Energy Systems, IEA-OES)合作,历时3年(2005年—2007年)起草了《海洋能术语》(Ocean Energy Glossary)。其中海洋能的定义为:以海水为能量载体,以潮汐、波浪、海流/潮流、温度差和盐度梯度等形式存在的潮汐能、波浪能、海流能/潮流能、温差能和盐差能。按存在形式,海洋能可分为机械能、热能和化学能。其中,潮汐能、海流能和波浪能为机械能,海水温差能为热能,海水盐差能为化学能。按所获取能量的稳定性,海洋能可分为:较稳定的海洋能,如温差能、盐差能和海流能;不稳定的海洋能,如潮汐能、潮流能和波浪能。其中,各类海洋能定义如下。

潮汐能:海水受月球和太阳对地球产生的引潮力的作用而周期性涨落所储存的势能。

潮流能:引潮力使海水产生周期性的往复水平运动时所具有的动能。其能量主要集中在狭窄的海峡或某些海湾口,潮流发电装置与海流发电装置类似,有时统称为海流发电。

波浪能:海洋表面波浪所具有的动能和势能。波浪的能量与波高的平方、波浪的运动周期以及迎波面的宽度成正比。波浪能是海洋能中能量最不稳定的一种能源。

温差能:亦称“海洋热能”。海洋表、深层海水间的温差储存的热能,其能量与表、深层温差和与深层海水具有足够温差的表层水量成正比。

盐差能:又称“浓度差能”。是两种浓度不同的溶液间以物理化学形态贮存的能量。这种能量有渗透压、稀释热、吸收热、浓淡电位差及机械化学能等多种表现形态,现在最受人们关注的是渗透压形态。

海洋能本身所具有的特别之处。①海洋能存在于海洋环境中,普遍开发难度大;②资源总量大,但能量密度小,即单位体积、单位面积或单位长度上所蕴藏的能量小;③由于波、潮、流等海洋物理现象的不稳定性,因而海洋能的稳定性较常规化石能源差;④海洋能的开发通常需要良好的海洋工程技术基础;⑤清洁无污染,其开发利用过程对环境影响很小。据



2011 年 9 月海洋能系统实施协议 (Ocean Energy System Implementing Agreement, IEA-OES) 发布的《国际海洋能发展愿景(2012)》(An International Vision for Ocean Energy: 2012) 提到, 海洋能资源量很大, 但分布很不均匀, 波浪能在高纬度地区潜在量很大, 海洋温差能在赤道地区分布最多, 盐差能和潮汐能的分布比较分散。

由于本书的主要内容基于 2010 年、2011 年和 2012 年实施的海洋可再生能源专项资金项目“潮汐能和潮流能重点开发利用区资源勘查与选划”“波浪能重点开发利用区资源勘查与选划”(OE-WO1、OE-WO2、OE-WO3) 和“海洋能资源勘查与选划成果整合与集成”项目研究成果, 因此, 本书中的海洋能仅指潮汐能、潮流能和波浪能三种。

1.2 海洋能开发技术现状

国际海洋能技术总体进入商业化前期。潮汐能技术已实现商业化, 加拿大、韩国、法国、英国等国的潮汐能技术较为领先, 世界最大的潮汐电站——韩国始华湖电站 (254 MW) 稳定运行 6 年, 英国塞文河新型潮汐潟湖电站 (320 MW) 于 2016 年立项启动, 潮汐能技术更加重视环境友好性; 潮流能技术趋于成熟, 英国、法国、荷兰等国的潮流能技术较为领先, 潮流能单机功率达兆瓦级并实现实海况示范运行, 英国 MeyGen 潮流能发电场 (398 MW) 一期 6 MW 工程并网发电已超过 200 万千瓦时, 潮流能技术高可靠、低成本发展趋势明显; 波浪能技术趋于成熟, 发电装置种类较多, 波浪能示范电站规模较小, 英国、美国、西班牙、芬兰等国波浪能技术较为领先, 部分百千瓦级波浪能发电装置正开展示范运行, 英美等国正加大对波浪能发电关键技术研发的投入, 波浪能技术向高生存、高效率、高稳定发展。法国海洋能源研究所预计, 2025 年前后, 国际潮流能、波浪能等技术将实现商业化。英国、美国、法国等国已将海洋能作为战略性资源储备相关技术, 并将海洋能产业作为新兴的战略性新兴产业加以培育和发展, 阿尔斯通、福伊特水电、通用电气、三菱重工、现代重工等一批国际知名公司通过并购、投资等多种方式开始进军海洋能发电、装备制造、运行维护等相关产业, 有力地推动了国际海洋能技术的产业化进程。

我国近年来开展了海洋能资源普查以及多种原理的海洋能发电技术研发与试验, 取得了积极进展。海洋能整体研究能力得到明显提升, 技术研发水平与国际差距逐步减小。潮汐能与国外基本同步, 江夏潮汐电站 (4.1 MW) 已经运行 30 余年, 万千瓦级潮汐电站和新型潮汐能技术研究也在积极跟进。潮流能技术取得重要突破, 单机最大功率达 300 kW, 总装机兆瓦级垂直轴式潮流能示范工程于 2016 年 8 月实现并网发电, 120 kW 水平轴式潮流能机组实现实海况稳定发电。波浪能技术开展了多种原理的样机研发及试验, 部分技术突破了长期海试发电的关键技术, 100 kW 鹰式波浪能装置实海况运行超过 2 年, 正部署开展兆瓦级波浪能示范工程建设。在国家政策引导下, 越来越多涉海院校、科研院所以及一批有实力的企业进入海洋能技术领域, 初步形成了从事海洋能理论研究、技术研发、装备制造、海上施工、运行维护的专业队伍。

1.2.1 潮汐能

作为最成熟的海洋能发电技术,传统拦坝式潮汐能技术早在数十年前就已实现商业化运行,韩国、法国、加拿大、中国等国拦坝式潮汐能电站装机在国际上领先。

1.2.1.1 国外潮汐能资源开发利用现状

拦坝式潮汐能开发利用方式主要包括单库双向、单库单向、双库单向及双库双向等,其中,单库单向和单库双向在实践中应用得较多。近年来,英国、荷兰等国研究机构还提出了潮汐潟湖(Tidal Lagoon)、动态潮汐能(DTP)等环境友好型潮汐能技术。

1961年1月朗斯潮汐电站在法国布列塔尼米岛正式开工建设,采用单库双向工作方式,装有24台机组。直到1966年11月首台 1×10^4 kW贯流式水轮发电机组正式发电,世界上第一座大型潮汐电站——朗斯潮汐电站投入商业运行。朗斯潮汐电站总装机容量 24×10^4 kW,年均发电量 5.44×10^8 kW·h(图1.1)。



图1.1 法国朗斯潮汐电站

1984年加拿大安纳波利斯潮汐电站投入运行(图1.2),电站平均潮差6.8 m,总装机容量 17.8×10^4 kW,采用单库单向发电方式。

韩国的始华湖潮汐电站于2003年开工建设,2011年完工(图1.3),采用单库单向工作方式,装有10台机组。电站最大潮差10 m,总装机 25.4×10^4 kW,单机容量 2.54×10^4 kW,年发电量 5.53×10^8 kW·h,成为目前世界上单机和总装机都是最大的潮汐电站。



图1.2 加拿大安纳波利斯潮汐电站



图1.3 世界上已建成的最大的潮汐电站——始华湖潮汐电站

2013 年，英国潮汐潟湖电力公司（Tidal Lagoon Power）开始在塞文河口附近的斯旺西海湾论证建设潮汐潟湖电站的可能性。潮汐潟湖发电原理是利用天然形成的半封闭或封闭式的潟湖，在潟湖围坝上建设潮汐电站，利用潟湖内外涨潮水落潮时形成的水位差推动低水头涡轮机发电，由于无需在河口拦坝施工，因而对当地的海域生态环境损害较小。

2014 年，TLP 公司向英国政府申请建造世界上首个潮汐潟湖电站（见图 1.4），规划为双向潮汐发电，总装机 320 MW。2014 年 7 月，英国能源及气候变化部（DECC）通过第三方评估认可了 TLP 公司提议的技术可行性，2016 年，能源及气候变化部决定通过差额合约电价（CFD）的方式给予该潮汐潟湖电站以运行政策支持。



图1.4 Swansea 潮汐潟湖电站规划

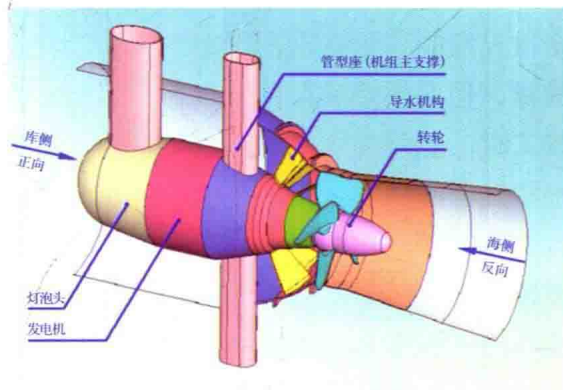
1.2.1.2 国内潮汐能资源开发利用现状

我国建国后曾建设了 100 多座小型潮汐电站，目前在运行的潮汐电站只有浙江江夏潮汐试验电站和浙江海山潮汐电站。2010 年以来，先后完成了健跳港、乳山口、八尺门、马銮湾、瓯飞等多个万千瓦级潮汐电站工程预可研。此外，还开展了利用海湾内外潮波相位差发电研究、动态潮汐能技术研究等环境友好型潮汐发电新技术研究。

位于浙江温岭的江夏潮汐试验电站是我国潮汐能开发利用的国家级试验电站（图 1.5），采用单库双向工作方式，首台机组于 1980 年并网发电，现总装机 4.1 MW。站址最大潮差 8.32 m，平均潮差 5.08 m，原设计为 6 台 500 kW 机组。1980 年 5 月第一台 500 kW 机组投入运行，第二台为 600 kW，其余 3 台为 700 kW，1985 年底 5 台机组全部投产，1986 年 5 台机组年发电量约 $600 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。2007 年，国家“863 计划”支持研发了 6 号机组，采用新型双向卧轴灯泡贯流式机组，增加了正反向水泵运行工况，电站总装机容量增加到 3 900 kW。2012 年，龙源电力集团股份有限公司通过海洋能专项资金支持，对 1 号机组进行增效扩容改造，2015 年 8 月完成改造，电站总装机增加到 4 100 kW。目前电站年发电接近 800 万千瓦时。



(a) 江夏潮汐试验电站外景



(b) 江夏6#机组模型

图1.5 江夏潮汐试验电站

1975 年建成的海山潮汐电站位于浙江玉环，是我国现存最早的海洋能电站（见图 1.6），装机容量 $2 \times 125 \text{ kW}$ ，采用双库单向发电的工作方式。2008 年，电站由浙江玉环县水务集团公司管理。由于该电站是我国现在仍运行的最早的潮汐电站，在潮汐发电、全潮蓄淡、蓄能发电和库区水产养殖综合开发等多方面优势，2011 年，电站入选浙江省重点文物保护单位。目前，该电站仅有一台机组在运行。为维护该潮汐电站的持续运行及发展，目前计划实施技术改造，对原老旧机组进行升级改造，研制两台各 250 kW 的双向发电机组，并对库区进行清淤，工程总投资约 1 000 万元，改造工程于 2016 年底通过地方政府审批，即将启动改造工程。

国家《可再生能源中长期发展规划》提出到 2020 年建成 10 万千瓦级的海洋潮汐电站，为了实现这一目标，近年来完成了健跳港（20 MW）、乳山口（40 MW）、八尺门（36 MW）、马銮湾（24 MW）、瓯飞（451 MW）等多个万千瓦潮汐电站建设预可研。



图1.6 海山潮汐电站、上水库及发电机组

在新型潮汐能利用技术方面,国家海洋局第二海洋研究所开展了利用海湾内外潮波相位差进行发电技术研究。华东勘测设计研究院和清华大学等单位开展了动态潮汐能技术研发等工作。

1.2.1.3 潮汐能开发利用技术小结

全世界潮能(潮差能和潮流能)的理论蕴藏量为 30×10^8 kW 左右,其中 10×10^8 kW 在较浅海域,但潮汐能蕴藏量中只有一小部分可资利用(IPCC, 2011)。2011 年底始华湖潮汐电站竣工时,全世界潮汐能发电能力也不足 60×10^4 kW。

潮汐发电所使用的水电技术相对成熟,但是还可以从一些方面进行改进。例如,如何降低潮汐变率的影响以及研究怎样减小对环境的影响,同时提升涡轮机的效率,以降低电力输出的整体成本等。未来潮汐利用主要朝着大规模和综合利用方向发展,可以预见的是,随着发电成本的不断降低,21 世纪将不断会有大型现代化潮汐电站建成使用。

经过数十年的实践,我国开发利用潮汐能的技术、设备和实践已经有较好的基础和丰富的经验积累。小型潮汐发电技术与设备已基本成熟并具备了开发万千瓦级中型潮汐电站的技术条件。我国自行设计制造的能够抵御恶劣海洋环境的单机容量为 2.6×10^4 kW 的低水头大功率潮汐发电机组达到了商业化程度,我国迫切需要开展万千瓦级潮汐能电站建设,以维持我国潮汐能技术优势,稳定潮汐能技术研发及运行管理队伍。同时,要加快环境友好型潮流能利用技术研发。

1.2.2 潮流能

潮流能发电装置按照获能结构的工作原理,可分为水平轴式、垂直轴式、振荡式和其他方式,按照支撑载体固定形式的不同,可分为固定式、悬浮式和漂浮式。IRENA 于 2015 年发布的研究报告指出,70% 以上的潮流能技术为水平轴式,12% 为垂直轴式;60% 的潮流能技术为固定式,36% 为漂浮式。目前,国际水平轴式潮流能技术基本成熟,并率先实现了潮流能发电阵列建设及运行,随着兆瓦级潮流能技术商业化进程加快,潮流能发电成本下降至有竞争力的水平有望早日实现。我国潮流能技术研发及示范在近几年取得了突破性进展,部分技术达到国际先进水平。