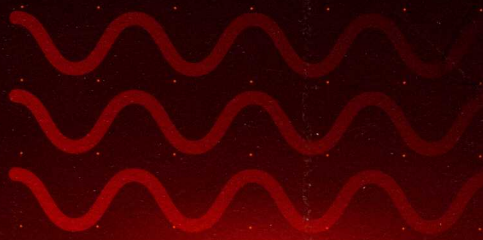


中国制造



波浪能发电装置 设计与制造

刘延俊 著



化学工业出版社



“中国制造2025”
出版工程

波浪能发电装置 设计与制造

刘延俊 著



化学工业出版社

·北京·

波浪能发电装置作为最有潜力的可再生能源装备以及海洋能源开发装置之一，具有广阔的发展前景。本书基于海洋能和波浪能的基础知识和相关理论，详细介绍了波浪能发电装置的分类和模型实验，我国波浪能分布及波浪能发电装置选址，波浪能发电装置的设计、制造和试验，涵盖了波浪能发电装置设计制造的方方面面，并给出了典型的设计实例，内容系统全面、技术新颖。本书可供海洋工程、能源开发等相关行业的工程技术人员、研究人员及师生阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

波浪能发电装置设计与制造/刘延俊著. —北京: 化学工业出版社, 2019. 3

“中国制造 2025” 出版工程

ISBN 978-7-122-33806-8

I. ①波… II. ①刘… III. ①波浪能-海浪发电-发电设备-设计
IV. ①TM612

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 015220 号

责任编辑: 曾 越 张兴辉
责任校对: 边 涛

文字编辑: 陈 喆
装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 234 千字 2019 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 89.00 元

版权所有 违者必究

序

制造业是国民经济的主体，是立国之本、兴国之器、强国之基。近十年来，我国制造业持续快速发展，综合实力不断增强，国际地位得到大幅提升，已成为世界制造业规模最大的国家。但我国仍处于工业化进程中，大而不强的问题突出，与先进国家相比还有较大差距。为解决制造业大而不强、自主创新能力弱、关键核心技术与高端装备对外依存度高等制约我国发展的问题，国务院于2015年5月8日发布了“中国制造2025”国家规划。随后，工信部发布了“中国制造2025”规划，提出了我国制造业“三步走”的强国发展战略及2025年的奋斗目标、指导方针和战略路线，制定了九大战略任务、十大重点发展领域。2016年8月19日，工信部、国家发展改革委、科技部、财政部四部委联合发布了“中国制造2025”制造业创新中心、工业强基、绿色制造、智能制造和高端装备创新五大工程实施指南。

为了响应党中央、国务院做出的建设制造强国的重大战略部署，各地政府、企业、科研部门都在进行积极的探索和部署。加快推动新一代信息技术与制造技术融合发展，推动我国制造模式从“中国制造”向“中国智造”转变，加快实现我国制造业由大变强，正成为我们新的历史使命。当前，信息革命进程持续快速演进，物联网、云计算、大数据、人工智能等技术广泛渗透于经济社会各个领域，信息经济繁荣程度成为国家实力的重要标志。增材制造（3D打印）、机器人与智能制造、控制和信息技术、人工智能等领域技术不断取得重大突破，推动传统工业体系分化变革，并将重塑制造业国际分工格局。制造技术与互联网等信息技术融合发展，成为新一轮科技革命和产业变革的重大趋势和主要特征。在这种中国制造业大发展、大变革背景之下，化学工业出版社主动顺应技术和产业发展趋势，组织出版《“中国制造2025”出版工程》丛书可谓勇于引领、恰逢其时。

《“中国制造2025”出版工程》丛书是紧紧围绕国务院发布的实施制造强国战略的第一个十年的行动纲领——“中国制造2025”的一套高水平、原创性强的学术专著。丛书立足智能制造及装备、控制及信息技术两大领域，涵盖了物联网、大数

据、3D 打印、机器人、智能装备、工业网络安全、知识自动化、人工智能等一系列核心技术。丛书的选题策划紧密结合“中国制造 2025”规划及 11 个配套实施指南、行动计划或专项规划，每个分册针对各个领域的一些核心技术组织内容，集中体现了国内制造业领域的技术发展成果，旨在加强先进技术的研发、推广和应用，为“中国制造 2025”行动纲领的落地生根提供了有针对性的方向引导和系统性的技术参考。

这套书集中体现以下几大特点：

首先，丛书内容都力求原创，以网络化、智能化技术为核心，汇集了许多前沿科技，反映了国内外最新的一些技术成果，尤其使国内的相关原创性科技成果得到了体现。这些图书中，包含了获得国家与省部级诸多科技奖励的许多新技术，因此，图书的出版对新技术的推广应用很有帮助！这些内容不仅为技术人员解决实际问题，也为研究提供新方向、拓展新思路。

其次，丛书各分册在介绍相应专业领域的新技术、新理论和新方法的同时，优先介绍有应用前景的新技术及其推广应用的范例，以促进优秀科研成果向产业的转化。

丛书由我国控制工程专家孙优贤院士牵头并担任编委会主任，吴澄、王天然、郑南宁等多位院士参与策划组织工作，众多长江学者、杰青、优青等中青年学者参与具体的编写工作，具有较高的学术水平与编写质量。

相信本套丛书的出版对推动“中国制造 2025”国家重要战略规划的实施具有积极的意义，可以有效促进我国智能制造技术的研发和创新，推动装备制造业的技术转型和升级，提高产品的设计能力和技术水平，从而多角度地提升中国制造业的核心竞争力。

中国工程院院士

潘重鎔

前言

能源和环境问题一直受到各国政府、国际组织和普通民众的高度关注，发展可再生能源已成为全球共识。波浪能作为可再生海洋能，具有巨大的开发潜力，是一种极具发展前景的清洁能源，已有二百多年的开发历史，近几年取得了许多突破性进展，不同形式的波浪能利用装置相继被制造出来。

我国自 20 世纪 70 年代开始波浪能的研究工作，80 年代后获得较快发展，主要研究机构有国家海洋技术中心、中国科学院广州能源研究所以及各大高校等，先后制造了摆式发电装置、航标式微型波能转换装置、多谐振荡水柱型沿岸固定式电站、岸式振荡浮子发电站、直驱式海试装置等不同类型的波浪能发电装置。波浪能利用技术经历了理论论证到样机海试的过程，从能够发电向稳定发电方向进展，正在逐步走向成熟。

目前，国内相关单位在波浪能发电装置的设计和制造方面积累了丰富经验，但实现大规模、商业化应用还有一定距离，一是因为效率和可靠性还有待提高，二是波浪能行业还没有现成标准和规范。著者近年来一直从事海洋可再生能源技术与装备、深海探测技术与装备的开发研究工作，带领团队承担并完成了“国家海洋局可再生能源专项资金项目‘120kW 漂浮式液压海浪发电站中试’”“横轴转子波浪能发电装置”“沉积物捕获器”“海底底质沉积物声学现场探测设备优化设计与研制”等海洋相关项目，在海洋装备与波浪能开发利用技术方面取得了丰硕成果并积累了宝贵经验。

为了进一步推动我国波浪能发电技术的发展，普及波浪能发电装置设计制造的相关知识和技术，促进波浪能的广泛应用，本书分析了当前波浪能及相关海洋能的发展现状，对波浪能理论进行了推导，列举了几种常见的波浪能转换系统，对液压转换系统和控制系统进行了详细的设计和分析，并以著者团队承担的漂浮式液压海浪发电装置为例完整地介绍了波浪能发电装置的实施海域水文资料、理论分析、机械结构与电气控制系统设计、装置制造、试验测试，以及陆地和实海况试验等过程。期望能够对从事波浪能技术研究的相关人员起到抛砖引玉的作用。

本书由山东大学机械工程学院、高效洁净机械制造教育部重点实验室、海洋研究院刘延俊结合多年从事波浪能发电装备开发研究的经验编写，在编写过程中，团队成员李世振、张伟、张健、薛钢、贺彤彤、杨晓玮、颜飞、孙景余、刘婧文、漆

焱、丁洪鹏、武爽、孟忠良、侯云星、薛海峰等在文献收集、文字录入等方面做了大量工作。

由于学识水平有限，书中不足之处在所难免，恳求广大读者和从事相关研究的专家及同行批评指正。

著者

1 第1章 绪论

- 1.1 海洋能分类 / 2
 - 1.1.1 潮汐能 / 2
 - 1.1.2 波浪能 / 4
 - 1.1.3 海流能 / 5
 - 1.1.4 温差能 / 5
 - 1.1.5 盐差能 / 6
- 1.2 我国海洋能开发利用现状 / 7
 - 1.2.1 潮汐能的开发利用现状 / 8
 - 1.2.2 波浪能的开发利用现状 / 8
 - 1.2.3 温差能的开发利用情况 / 9
 - 1.2.4 盐差能的开发利用情况 / 10
- 1.3 海洋能特点 / 11
- 1.4 波浪能发电技术现状 / 13
 - 1.4.1 波浪能的优势 / 13
 - 1.4.2 我国的波浪能资源 / 14
 - 1.4.3 典型波浪能发电装置 / 18
 - 1.4.4 波浪能发电面临的问题 / 20

23 第2章 波浪性质及相关理论

- 2.1 波浪能的特点及其性质 / 24
 - 2.1.1 概述 / 24
 - 2.1.2 突出特点 / 24
- 2.2 波浪能转换数学模型 / 25
- 2.3 波浪理论 / 29
 - 2.3.1 线性波理论 / 29
 - 2.3.2 非线性波理论 / 31
- 2.4 波浪力计算 / 33
 - 2.4.1 Morison 方程 / 33
 - 2.4.2 绕射理论 / 40
 - 2.4.3 Morison 方程与绕射理论的关系 / 46



第3章 波浪能发电装置概述

- 3.1 波浪能发电装置基本原理 / 49
- 3.2 波浪能转换方式 / 50
- 3.3 波浪能发电装置分类 / 53
 - 3.3.1 波浪能转化装置 / 53
 - 3.3.2 波浪能发电装置 / 55
- 3.4 典型波浪能发电装置特点 / 56
 - 3.4.1 点头鸭式波浪能发电装置 / 56
 - 3.4.2 振荡水柱式波浪能发电装置 / 57
 - 3.4.3 筏式波浪能发电装置 / 60
 - 3.4.4 振荡浮子式(点吸收装置)波浪能发电装置 / 61
 - 3.4.5 摆式波浪能发电装置 / 64
 - 3.4.6 聚波水库式装置 / 66
- 3.5 我国已研发的波浪能发电装置 / 68
 - 3.5.1 漂浮式液压波浪能发电站 / 68
 - 3.5.2 横轴转子水轮机波浪能发电装置 / 70

第4章 波浪能分布及发电装置选址

- 4.1 全球波浪能分布 / 77
 - 4.1.1 全球海洋的波浪特征 / 77
 - 4.1.2 全球海洋的波浪能资源储量 / 78
- 4.2 我国沿海波浪能分布 / 79
 - 4.2.1 我国沿海气候 / 79
 - 4.2.2 波浪能分布 / 80
- 4.3 波浪能发电装置选址 / 82
 - 4.3.1 选址特点 / 82
 - 4.3.2 选址实例 / 83
- 4.4 装置可靠性设计及防护 / 85
 - 4.4.1 可靠性设计 / 85
 - 4.4.2 防护方法 / 85

第5章 波浪能能量转换系统

- 5.1 波浪能能量转换系统分类 / 89
 - 5.1.1 振荡水柱技术 / 89
 - 5.1.2 振荡浮子技术 / 90
 - 5.1.3 越浪技术 / 91
- 5.2 波浪能发电装置液压能量转换系统 / 92
 - 5.2.1 液压系统的设计及零部件选型 / 92

- 5.2.2 发电机及储能系统的选型 / 97
- 5.3 波浪能发电装置控制系统 / 99
 - 5.3.1 发电控制系统设计 / 99
 - 5.3.2 输出电能处理 / 101
 - 5.3.3 发电远程监控系统设计 / 102
 - 5.3.4 发电远程控制软件 / 108

114 第6章 波浪能发电装置设计实例

- 6.1 波浪能发电装置的设计 / 115
- 6.2 技术内容 / 116
- 6.3 海域选择与确定 / 116
- 6.4 理论分析 / 117
- 6.5 数值模拟分析 / 122
 - 6.5.1 小浪情况下的流固耦合分析 / 122
 - 6.5.2 大浪情况下的流固耦合分析 / 125
 - 6.5.3 结构有限元分析 / 127
- 6.6 比例模型试验、发电量测试及参数修正 / 131
- 6.7 仿真模拟试验及参数修正 / 151
 - 6.7.1 测试设备与仪器 / 151
 - 6.7.2 结果与分析 / 153

155 第7章 波浪能发电装置试验

- 7.1 陆地试验 / 156
 - 7.1.1 陆地模拟实验平台 / 156
 - 7.1.2 小比例模型实验 / 164
 - 7.1.3 海试样机的陆地测试与实验 / 166
 - 7.1.4 整机的陆地联调 / 174
 - 7.1.5 数据分析 / 174
- 7.2 海试 / 176
 - 7.2.1 海试地点 / 176
 - 7.2.2 波浪能发电装置的投放 / 176

183 参考文献



第1章

绪论

当代社会经济发展对能源的需求无限增长，而传统能源的开发与利用是有限的，且对环境有一定破坏作用。以可再生能源为标志的新能源，具有开发与应用的巨大潜力，并对环境破坏很小，海洋能就是这样的新能源。人类对于海洋能源的研究、开发与应用，总体上还处于起步阶段。我国是一个能源消耗大国，对于新能源的开发是当前研究的热点。

在我们生活的这个星球，海洋面积占了总面积的 71%。海洋中蕴含着丰富的生物资源、矿物资源以及海洋能资源，在不久的将来，其必将成为世界经济社会发展的重要资源宝库。

所谓“海洋能”，目前学术界没有明确且统一的定义，大致可以分为广义和狭义两种。广义的海洋能，指海洋能源，即海洋中存在的能源，不论是海洋中蕴藏的，还是海洋产生的。中国工程院曾恒一院士、中国社会科学院工业经济研究所史丹研究员等学者认为海洋能包括海洋石油、海洋天然气、海洋天然气水化合物、海水能。狭义的海洋能，指海洋滋生、海水运动产生的能量，例如潮汐能、波浪能、海流能、温差能、盐差能等。目前学术界在研究海洋能时，更多时候指狭义的海洋能，而官方在发布政策制度时，多使用广义的海洋能。狭义的海洋能也称“海洋新能源”，这主要是相对于传统海洋能源而说的。还有人将海洋能源分为不可再生的海洋能源和可再生的海洋能源。不可再生的海洋能源就是指传统海洋能源，可再生的海洋能源则指海洋新能源，也就是本文所指的“海洋能”。

1.1 海洋能分类

海洋能通常是指海洋中所特有的，依附于海水的可再生自然能源，即潮汐能、潮流能、波浪能、海流能、温差能和盐差能。究其成因，除潮汐能和潮流能是由于月球和太阳引潮力作用产生以外，其他海洋能均来源于太阳辐射。

海洋能按能量的储存形式可分为机械能、热能和物理化学能。海洋机械能也称流体力学能，包括潮汐能、波浪能、海流能；海洋热能是指温差能，也称海洋温度梯度能；海洋物理化学能是指盐差能，也称海洋盐度梯度能、浓差能。

1.1.1 潮汐能

在地球与月球、太阳做相对运动中产生的作用于地球上海水的引潮

力（惯性离心力与月球或太阳引力的矢量和，见图 1-1），使地球上的海水形成周期性的涨落潮现象。这种涨落潮运动包含两种运动形式：涨潮时，随着海水向岸边流动，岸边的海水水位不断上升，海水流动的动能转化为势能；落潮时，随着海水的离岸流动，岸边的海水水位不断下降，海水的势能又转化为动能。通常称水位的垂直上升和下降为潮汐，海水的向岸和离岸流动为潮流。海水的涨、落潮运动所携带的能量也由两部分组成，海水的垂直升、降携带的能量为势能，即潮汐能；海水的流动携带的能量为动能，即潮流能。我们的祖先为了表示生潮的时刻，把发生在早晨的高潮叫潮，发生在晚上的高潮叫汐。

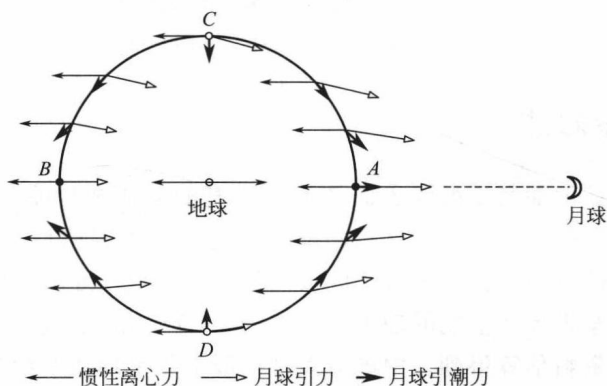


图 1-1 月球引潮力示意

潮汐根据周期又可分为以下三类：半日潮型、全日潮型、混合潮型。半日潮型是指一个太阳日内出现两次高潮和两次低潮，前一次高潮和低潮的潮差与后一次高潮和低潮的潮差大致相同，涨潮过程和落潮过程的时间也几乎相等，如我国渤海、东海、黄海的多数地点为半日潮型。全日潮型是指一个太阳日内只有一次高潮和一次低潮，如南海汕头、渤海秦皇岛等。混合潮型是指一月内有些日子出现两次高潮和两次低潮，但两次高潮和低潮的潮差相差较大，涨潮过程和落潮过程的时间也不等，而另一些日子则出现一次高潮和一次低潮，如我国南海多数地点属混合潮型。

潮汐的能量与涨、落潮的潮水量以及潮差（一个潮汐周期内最高潮水位与最低潮水位之差，见图 1-2）成正比，因为一个潮汐周期内涨潮和落潮的水量为水库平均面积与潮差的乘积，所以也可以说潮汐的能量与潮差的平方以及水库平均面积成正比。

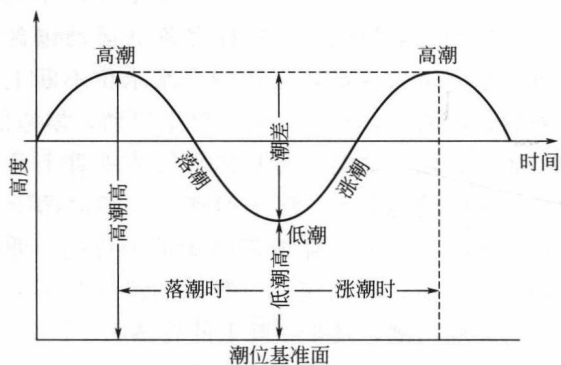


图 1-2 潮汐水位涨落示意

1.1.2 波浪能

波浪能是指海洋表面波浪所具有的动能和势能，是海面在风力作用下产生的波浪运动所具有的能量，它实质上是吸收了风能而形成的。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。

全世界波浪能的理论估算值为 10^9 kW 量级。利用中国沿海海洋观测台站资料估算得到，中国沿海理论波浪年平均功率约为 1.3×10^7 kW。但由于不少海洋台站的观测地点处于内湾或风浪较小位置，实际的沿海波浪功率要大于此值。波浪能量巨大，存在广泛，吸引着人们想尽各种办法利用海浪。

波浪能具有能量密度高、分布面广等优点。它是一种取之不竭的可再生清洁能源。尤其是在能源消耗较大的冬季，可以利用的波浪能能量也最大。小功率的波浪能发电，已在导航浮标、灯塔等方面获得推广应用。我国有广阔的海洋资源，沿海波浪能能流密度为 $2 \sim 7$ kW/m。在能流密度高的地方，每 1m 海岸线外波浪的能流就足以为 20 个家庭提供照明。

最早的波浪能利用机械发明专利是 1799 年法国人吉拉德父子获得的。1854~1973 年的百余年间，英国登记了波浪能发明专利 340 项，美国为 61 项。在法国，则可查到有关波浪能利用技术的 600 种说明书。

中国波浪能发电研究成绩也很显著。20 世纪 70 年代以来，上海、青岛、广州和北京等地的研究单位开展了此项研究。用于航标灯的波浪能发电装置也已投入批量生产。向海岛供电的岸式波浪能电站也在试验之中。

波浪能装置分为设置在岸上的和漂浮在海里的两种。按能量传递形式分类有直接机械传动、低压水力传动、高压液压传动、气压传动四种。具体有点头鸭式、波面筏式、波浪能发电船式、环礁式、整流器式、海蚌式、软袋式、振荡水柱式、多共振荡水柱式、波流式、摆式、结合防波堤的振荡水柱式、收缩水道式等十余种。

1.1.3 海流能

海流能是指海水流动的动能，主要是指海底水道和海峡中较为稳定的流动以及由于潮汐导致的有规律的海水流动所产生的能量，其中一种是海水环流，是指大量的海水从一个海域长距离地流向另一个海域。

海流和潮流的能量与流速的平方以及流量成正比，因为流量为流速与过流面积的乘积，所以也可以说海流和潮流的能量与流速的立方成正比。海流能的利用方式主要是发电，其原理和风力发电相似，几乎任何一个风力发电装置都可以改造成为海流发电装置。由于其放置于水下，海流发电存在着一系列的关键技术问题，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。海流发电装置主要有轮叶式、降落伞式和磁流式。海流发电的开发史还不长，发电装置还处在原理性研究和小型试验阶段。

1.1.4 温差能

温差能是指海洋表层海水和深层海水之间的温差储存的热能，利用这种热能可以实现热力循环发电，此外，系统发电的同时还可生产淡水、提供空调冷源等。

海洋受太阳照射，把太阳辐射能转化为海洋热能。在热带和亚热带地区，表层海水保持在 $25\sim 28^{\circ}\text{C}$ ，几百米以下的深层海水温度稳定在 $4\sim 7^{\circ}\text{C}$ ，用上下两层不同温度的海水作热源和冷源，就可以利用它们的温度差发电。由于太阳辐射到海洋的大部分热量被海洋表层海水吸收，以及大洋经向环流热量输送等原因，产生了世界大洋赤道两侧表层水温高，深层水温低的现象。这种在低纬度海洋中以表层、深层海水温度差的形式所储存的热能称为温差能。其能量与具有足够温差（通常要求不小于 18°C ）海区的暖水量以及温差成正比。

海洋温差能转化方式包括开式循环和闭式循环：开式循环系统包括真空泵、温水泵、冷水泵、闪蒸器、冷凝器、透平-发电机组等；闭式循环系统则不用海水而采用低沸点的物质（如氨、丙烷等）作为工作介质，

在闭合回路内反复进行蒸发、膨胀、冷凝。当前，全球海洋温差能闭式循环研发已经历了单工质朗肯循环到混合工质卡琳娜（Kalina）循环，再到上原循环的过程，海洋热能利用效率也从过去的3%左右提高到接近5%。

业内专家指出，温差能在全球海洋能中储量最大，全世界温差能的理论储量约为 $60 \times 10^{12} \text{ W}$ 。由于温差能具有可再生、清洁、能量输出波动小等优点，因此被视为极具开发利用价值与潜力的海洋能资源。

相比其他海洋能，我国温差能还有着得天独厚的地理条件。我国南海是典型的热带海洋，太阳辐射强烈。南海的表层水温常年维持在 25°C 以上，而 $500 \sim 800\text{m}$ 以下的深层水温则在 5°C 以下，两者间的水温差在 $20 \sim 24^\circ\text{C}$ 之间，温差能资源非常丰富。目前我国在温差能设备制造方面与国外先进水平相比差距仍较大。目前主要引进洛克希德·马丁公司的设备，归根结底在于我国此前在换热器、透平-发电机组等关键部件的研发上投入太少。当前国内关于温差能的基础与技术研究非常少，对防水腐蚀的摩擦焊换热器以及高效氨透平的研究也都不多。一旦今后温差能商业利用速度加快，推广方面将面临不小的困境。

1.1.5 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，如在沿岸河口地区流入海洋的江河淡水与海水之间的盐度差（溶液的浓度差）所蕴藏的物理化学能。同时，淡水丰富地区的盐湖和地下盐矿也可以利用盐差能。盐差能是海洋能中能量密度最大的一种可再生能源。

一般海水含盐度为3.5%时，其和河水之间的化学电位差相当于240m水头差的能量密度，从理论上讲，如果这个压力差能利用起来，从河流流入海中的每立方英尺（1立方英尺 $\approx 0.028\text{m}^3$ ）的淡水可发电 $0.65\text{kW} \cdot \text{h}$ 。利用大海与陆地河口交界水域的盐度差所潜藏的巨大能量一直是科学家的理想。实际上开发利用盐差能资源的难度很大，目前已研究出来的最好的盐差能实用开发系统非常昂贵，这种系统利用反电解工艺（事实上是盐电池）从咸水中提取能量。还有一种技术可行的方法是根据淡水和咸水具有不同蒸气压力的原理研究出来的：使水蒸发并在盐水中冷凝，利用蒸气气流使涡轮机转动。这个过程会使涡轮机的工作状态类似于开式海洋热能转换电站。这种方法所需要的机械装置的成本也与开式海洋热能转换电站几乎相等。盐差能的研究结果表明，其他形

式的海洋能比盐差能更值得研究开发。

盐差能有多种表现形态，最受关注的是以渗透压形态表现的势能。所谓渗透压是在两种浓度不同的溶液之间隔一层半透膜（只允许溶剂通过的膜）时，淡水会通过半透膜向海水一侧渗透，海水一侧因水量增加而液面不断升高，当两侧的水位差达到一定高度 h 时，淡水便会停止向海水一侧渗透，两侧的水位差 h 称为这两种溶液的渗透压，渗透压的大小由两种溶液的浓度差所决定，如图 1-3 所示。盐差能的能量与渗透压和淡水量（渗透水量）成正比。

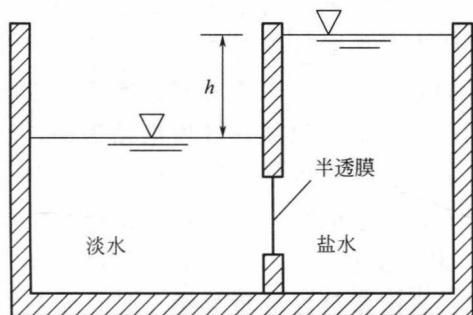


图 1-3 盐差能原理示意

据估计，世界各河口区的盐差能达 30TW，能利用的有 2.6TW。我国的盐差能估计为 1.1×10^8 kW，主要集中在各大江河的出海处，同时，我国青海省等地还有不少内陆盐湖可以利用。盐差能的研究以美国、以色列的研究为先，中国、瑞典和日本等也开展了一些研究。但总体上，对盐差能这种新能源的研究还处于实验室实验水平，离示范应用还有较长的距离。

1.2 我国海洋能开发利用现状

我国拥有漫长的海岸线和广阔的海域，蕴藏着丰富的海洋能源，潮汐能、波浪能、温差能、盐差能、海流能的可开发储量分别到达 1.9×10^8 kW、 0.23×10^8 kW、 1.5×10^8 kW、 1.1×10^8 kW、 0.3×10^8 kW，占世界总储量的百分比处于世界前列。虽然海洋能的储量巨大，但由于海洋能开发技术障碍，其开发利用大多还处于研究和实验阶段。