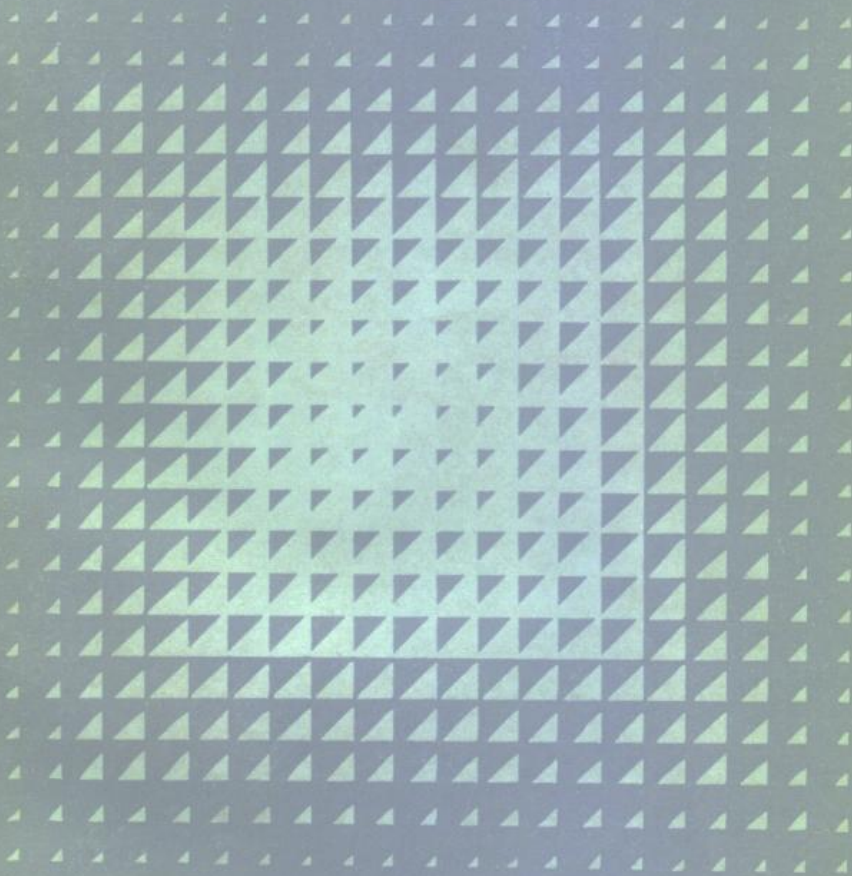


海洋能源

日 本 间琢也 黒木敏郎 梶川武信 著



海洋出版社

海洋能源

〔日〕本间琢也 黑木敏郎 梶川武信 著
唐传宝 李春明 译
耿文学 校

海洋出版社

1985年·北京

内 容 简 介

本书论述了波浪能、海流能、海水温差能、盐浓度差能、生物能、海水中的铀等方面的内容。并着重讨论了以上诸能源的力学能、热能、物理化学能的量与质、开发利用技术、现状与前景等问题。

全书语言流畅、通俗易懂，并有图表100余幅，可谓是一本系统介绍海洋能源的普及读物。

本书可供海洋工作者、能源研究人员及与能源有关的大专院校师生阅读、参考。

海 洋 能 源

〔日〕本间琢也 黑木敏郎 梶川武信 著

唐传宝 李春明 译

耿文学 校

海洋出版社出版

(北京复兴门外大街)

海洋出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1985年5月第1版 1985年5月第1次印刷

开本：787×1092 1/32 印张：7³/₄

字数：110千字 印数：1—140⁰

统一书号：13193·9355 定价：1.50元

译 者 的 话

能源是人类社会发展的物质基础。为了满足人类对能源的需求。在大量消费煤炭、石油、天然气等不可再生能源的同时，积极研究开发可再生能源已是人类一项十分重要的任务。

海洋中所拥有的丰富生物资源、波力、海流、潮汐、海水温差、海水与淡水的盐类浓度差、海水中的铀等都是我们取之不尽、用之不竭的可再生能源。

我国是一个海域辽阔的国家，在渤海、黄海、东海、南海等海域都拥有丰富的海洋能源资源，等待我们去开发。

在举世瞩目能源问题的今天，我们翻译了《海洋能源》一书。这是一本图文并茂的科普读物。它有助于我们认识海洋、研究开发利用海洋。愿这本书能为储量极大的海洋能源在二十一世纪人类的发展中作出贡献。

在翻译本书的过程中，在不影响读者了解全书内容的前提下，删除了其中部分图表，以利于本书的普及。

由于水平有限，译文中难免有缺点、错误，欢迎批评指正。

译 者

一九八三年十月

目 录

第一章 海洋、能源与人类	(1)
第一节 海洋和人类的关系.....	(1)
第二节 海洋.....	(4)
第三节 太阳能.....	(6)
第四节 海洋能.....	(13)
第五节 软能源途径.....	(17)
第六节 海洋能源利用中的问题.....	(21)
第二章 资源的量与质	(29)
第一节 资源的量与质的评价.....	(29)
第二节 海洋的力学能.....	(29)
第三节 海洋的热能.....	(38)
第四节 海洋的物理化学能.....	(45)
第五节 海洋的生物能.....	(46)
第六节 海水溶存资源.....	(49)
第三章 利用技术	(54)
第一节 波浪能的利用.....	(54)
第二节 海流能的利用.....	(69)
第三节 潮汐能的利用.....	(85)
第四节 温差能的利用.....	(92)
第五节 盐浓度差能的利用.....	(107)
第六节 生物能的利用.....	(123)
第七节 海水提铀.....	(128)

第四章 实际开发	(136)
第一节 波浪能.....	(136)
第二节 海流能利用技术的研究.....	(148)
第三节 潮汐能.....	(154)
第四节 温差能.....	(163)
第五节 浓差能.....	(186)
第六节 生物能.....	(194)
第七节 从海水中提取铀.....	(204)
第五章 海洋能源的研究课题与展望	(212)
第一节 检测技术.....	(212)
第二节 海洋结构体与材料.....	(220)
第三节 环境评价.....	(226)
第四节 对解决能源问题的贡献.....	(231)
第五节 对未来的展望.....	(237)

第一章 海洋、能源与人类

第一节 海洋和人类的关系

人类和海洋有着不可分割的密切关系。人类利用海洋建立了自己文明的社会。在古代，海洋就肩负着交通、运输的任务。许多国家在沿海一些地方建设了城市和通商口岸。从而使这一地区不断繁荣昌盛起来。沿岸林立的工厂从海洋取得生产所需的海水，并将生产所需的材料和产品通过海洋进行运输。

海洋还是人类食物资源的宝库。生活在海中的鱼类多达1万余种，其中有1500多种供我们食用。全世界每年从海洋捕获的鱼已超过6000万吨，但这和海中生存的鱼量相比可说是微乎其微的。由此我们可以了解到海洋的蛋白质生产能力是非常之大的。人类为了充分利用海洋资源，渔业已经摆脱狩猎时代，向着海洋养殖、栽培和水产工业时代方向发展。

海洋的作用还不只于此，沿海地区与内陆地区相比气候温和、雨量充足，这主要是海洋蓄积了太阳辐射到地球上的大部分能量的缘故。我们在寒风刺骨的冬天多么渴望太阳的温暖，在烈日当头挥汗如雨的夏季又何尝不想躲过这强烈的能量作用，如果能把夏季过剩的太阳能储存在什么地方，而到了冬季再把它取出来，那么，我们的生活环境就会舒适得多。其实海洋就能起到这样的作用。由于海洋本身具有巨大的热容量和流动性的特点，所以海洋比陆地的气候温和而且能为人类提供充足的雨水。

上面讲的是海洋给人类带来的恩惠。但是海洋对我们可不是常年笑容可掬的。由于台风引起的巨浪、海底地震引起的海啸不知吞掉了多少巨轮、损坏了多少建筑物、夺去了多少人的宝贵生命。滚滚的巨浪拍打在岩石上，它的冲击力是非常巨大的，据有关测试记载，10米高海浪对海岸每平方米的冲击力竟达1000吨。

海的可怕还不只是巨浪和海啸，当波浪互相碰撞时会产生犹如金字塔状的三角浪，这种浪的浪峰非常可怕，如果小船遇上它，顷刻间便会翻船，甚至它能将巨大的钢铁结构船打坏。另外，由波浪推上海滩的海水在退回海中时，会产生被称作尖潮流的强流，这种强流还会将在海滨游泳的人卷入大海。

上述现象不外乎是海中能量的变换过程，这些能量都是由太阳光提供的。海洋使大气之间产生复杂的相互作用，同时消耗、蓄积、扩散这些能量。这些能量的变换过程赋予人类的不仅是恩惠和灾害，它还时常装扮海面，使人们感到海洋是神秘莫测的，海洋的面目是时常变化的。我们将在潮汐能一节中介绍海洋的典型姿色。

风从海面上吹过，海面上泛起一片小波浪。从复原力来看，是表面张力波，其波长从几毫米到几厘米，频率在10赫到100赫的范围内。这种细波不过是由几毫米波高的微细波集合而成。风继续吹动时，波一边吸收风的能量一边迅速成长，从微细的表面张力波向频率低的重力波过渡。当波成长到波高接近波长的七分之一左右时，就会急速显示出不稳定状态，这时人们可以看到狂卷的波浪。但是，实际上海浪不是由单一波长和周期（频率）的波所组成，而是由不同波高、波长（或频率）及不同前进方向的许多波组成的。在具

有这样宽的波谱分布的不规则波动的场合下，碎波和能量的扩散是从短波长（高频率）的波成分开始逐渐产生。所以只有波长长的低频波继续成长，使能量的频谱向低频一侧迁移的同时，即使离开了风区，起伏的波浪也能传播到很远的地方。上面叙述的波的产生、成长及衰退的过程，经常被用来比喻人生，甚至被人们作为小说的题材。

一般说来，把包括海洋在内的整个地球表面上的能量变换机理作出模型是很困难的。其原因是，和它有关的参数太多，而且，它们之间的因果关系还不能从物理的角度讲清楚。尽管如此，人类却在日益扩大对海洋蓄积的巨大能量进行利用。其原因并不只是为了防备石油资源的枯竭，而是在研究人类的能源消费对地球环境带来的影响时，认识到了应该实现一个以太阳能、风能、海洋能为能源主流的无污染能源社会的必要性。

包括海洋在内的自然能源变换过程的模型化，将随着海洋能源利用技术的开发而不断发展。尽管实现了大量开发海洋能源的技术，但在实施过程中扰乱了地球的环境，给气象和海象方面带来障碍而不能达到原来设想的目的。因此，有必要开发环境评价的技术。为了完成这一计划必需早日建成能源机理的模型，并且，为了验证它的正确性，期待着所必要的海洋观测计量技术及其系统的早日问世。

本书是从能源构造上来观察海洋的自然现象的，并且对波浪、海流、潮汐、温差、浓度差及生物等等海洋能源的可利用性加以论述，以开发这些能源技术的展望为目标发表见解。

第二节 海 洋

海洋为了防止人类的入侵，可以说有四件武器。其一，波浪和海流具有强大的力和能；其二，纵深度每增加10米，将增加一个大气压的压力，按此比例筑成牢固的城垒；其三，海水具有特殊的腐蚀能力，而且，生物的繁殖能力也很强，当开发能源的机器潜入海中时，由于海水的腐蚀作用和生物的不断附着会使机器丧失原来的性能；其四，海水对于光和电波来说是非透过性物质，因此可以说海洋中是漆黑的世界。而地球上的巨大空间却被这漆黑的世界所占领。所以，当我们进入海洋时，连基准点都难以找到。

由于海洋极力掩盖着它的真面目，因此，迄今人们对海洋知识的了解非常贫乏。人们对海洋的认识是近几个世纪来才开始的，确切地说，也就是进入十九世纪才刚刚开始。1872年英国探险船“挑战”号开始进行海洋科学考查工作；1925年德国探险船“流星”号开始了南大西洋的考查。

如果说海洋科学考查的萌芽期是在十九世纪中，那么，第二阶段的工作可说是从二十世纪六十年代开始的。1966年在联合国“进一步开发海洋资源”的倡议中确认了海洋是资源的源泉，要用发展大陆和宇宙空间的科学技术开发海洋，从而表明了人类欲从海洋中求得“文明进步”的宿愿。

世界人口的急剧增长和经济、文化的飞速发展势必导致将来资源的枯乏，这样的恐惧前景深深地刻在每个人的心中。人们开始意识到，有限的土地所生产的食物难以满足人类急速增长的需要，而矿产资源需求量的增加也迫使我们仅有的土地进行开发。综上所述，海洋就是至今还未开发的

宝库。

在讨论海洋能源之前，先简单介绍一下海洋的大致轮廓。海洋占地球表面积的70.8%，面积为 361.057×10^6 平方公里。平均水深约3800米，拥有海水 1.37032×10^9 立方公里。从地球上海陆分布状况来看，北半球陆地占39.3%，海洋占60.7%；而南半球陆地仅占19.1%，海洋占80.9%，显示出南北两半球是非对称的。世界上最深的海是太平洋的马里亚纳海沟，其深度达11034米。陆地的平均高度为840米，世界最高的珠穆朗玛峰为海拔8848米。通过海洋和陆地的对比我们可以知道海洋的容积是相当大的。通过计算可知，如果把山和陆地都填入海中，只能充填2440米的深度（表1.1）。

海水的储量是非常巨大的。海水占地球表层存水量的97.4%，而淡水仅占地球表面存水量的2.6%，它包括大气层中的水蒸汽、江河湖泊、地下水以及家庭和工厂中的用水。

水是人们最常见的物质，从物理特性看，又是一种极为特殊的物质。首先，它的比热、溶解热、汽化热非常大；而压缩率、热膨胀率及蒸汽压又非常小，水与大气的温度相近是非常好的蓄热材料。另外，海水的热传导率比较小，是铁的1%，是一般水的三分之一左右。

海水中含有以氯化钠（NaCl）为主的各种盐类，1升海水中溶有盐类30—35克，这是它和淡水的根本区别。海水盐类浓度的平均值可用30—35‰（千分率或千分比）来表示。水温相同的条件下，不同海区或不同深度的部位，盐类的浓度值也不一样。例如，地中海东部、红海、苏伊士湾、波斯湾等处盐类的浓度为38—40‰，死海的盐类浓度高达200‰。

溶有各种盐类的海水由于离子化，使海水成为无机电解

液具有导电性能。但是导电性能也根据水温及盐的浓度而变化。例如，水温20℃、盐类浓度30‰的海水，具有4.2 西门子/米的电导率。但是，同一盐类浓度的0℃海水的电导率则只有2.54西门子/米。冯·阿克斯电磁流量计就是利用海水的导电性制成的。利用海水是电解液这一特性可以制作浓差电池，这已经引起人们的广泛重视。把电极分别插入由离子交换膜分隔开的海水和淡水内，就能在电极之间产生与浓差相应的电位差。另外，利用渗透压的原理也可以得到浓差能。关于这些内容在第2章、第3章里详细论述。

第三节 太 阳 能

除潮汐外，太阳能是波力、海流、温差、生物等海洋能的源泉。因此，本节着重介绍太阳能。

表 1.1 海深、面积、容积

	面 积 [10 ⁶ 公里 ²]	容 积 [10 ⁶ 公里 ³]	平均水深 [米]
日本海	1.008	1.361	1350
白令海	2.268	3.259	1470
鄂霍次克海	1.528	1.279	838
东海	1.249	0.235	188
太平洋(包括缘海)	179.679	723.699	4028
大西洋(包括缘海)	106.463	354.679	3332
印度洋(包括缘海)	74.917	291.945	3897

〔注〕1. 海洋(占地球总面积510.1百万平方公里的71%)，361

百万平方公里。

2. 平均水深：3795米。
3. 深海底（水深4000—5000米）：整个海底的36.6%。
4. 海洋的总容积：1370百万立方公里。
5. 大洋水的平均盐度：35‰（1升水含35克盐类）。
6. 大陆架（包括地中海和附属海0—200米深）：26百万平方公里 = 全海底7%。
7. 大陆坡（200—2440米深）：39百万平方公里 = 全海底的11%。
8. 大洋盆地（2440—5750米深）：284百万平方公里 = 全海底的79%。
9. 海沟（5750米深）：11百万平方公里 = 全海底的3%。
10. 太平洋马里亚纳海沟最深处：11034米。

表 1.2 溶解在海水中的盐类、元素（与河水对比）

(a) 水中溶解盐类的成分			
氯化钠（食盐）		27.21克/升	77.74%
氯化镁（盐卤）		3.81	10.89
硫酸镁		1.66	4.74
硫酸钙		1.26	3.60
硫酸钾		0.86	2.46
碳酸钙		0.12	0.34
溴化镁		0.10*	0.28**
合 计		35.00	100.00
Na钠	30.52%	Cl氯	55.17%
Mg镁	3.73	SO ₄ 硫酸根	7.70
Ca钙	1.19	CO ₃ 碳酸根	0.30
Sr锶	0.04	Br溴	0.19
K钾	0.08	B(OH) ₃ 硼酸	0.08

• 原文误为1.10； •• 原文误为0.23。——译者注

(b) 除上述以外的微量元素 (4毫克原子/升以下) 的名称

硅、氟、氮、铅、铷、锂、磷、钼、碘、砷、铁、锰、
铜、锌、硒、铯、铀、钼、钽、银、钒、镧、钇、
镍、钨、汞、金、镉、镉、铬、钴、锡 (其他略)

(c)

	河水中含有的盐类	海水中含有的盐类
碳酸盐类	60.1%	0.3%
氯化盐类	5.2	88.7
硫酸盐类	9.9	10.8
其他	24.8	0.2

表 1.3 海水的最大密度和水温

[%]	密 度	温 度 [°C]
0	1.0000	4.0
8	1.0071	2.2
17	1.0139	-0.4
20	1.0158	-0.8
25	1.0204	-1.2
33	1.0262	-3.7
36	1.0293	-4.2
42	1.0333	-4.6
47	1.0381	-5.5

地球的大气外层与太阳光垂直的面上的辐射能有 1.395 千瓦/米²。用它乘以地球的截面积即可求出到达地球大气外层的太阳能总量为 173×10^{12} 千瓦。这样巨大的太阳能在地球上怎样发挥它的作用，又经过怎样的转换过程扩散它的能量，这是一个非常有趣的问题。

表 1.4 海水的电导率 ($k \times 10^4$)

盐类 S [%]	10	20	30	40
温度 t [°C]				
0	92	176	254	331
5	107	203	292	378
10	122	231	332	430
15	138	261	375	486
20	154	292	420	543
25	171	323	464	601
30	187	354	510	660

表 1.5 海水的表面张力 (温度 0°C)

盐度 S [%]	0	5	10	15	20	25	30	35
表面张力 [达因/厘米]	77.09	77.20	77.31	77.42	77.53	77.64	77.75	77.86

许多教科书中，都介绍了太阳能的扩散过程。辐射向地球的太阳能在进入大气层之前就有 30% (52×10^{12} 千瓦) 由于反射作用而损失了，这些能量以短波长光辐射的形式返回

宇宙空间。剩余的70%的能量(121×10^{12} 千瓦)进入大气层,这些能量的67%(81×10^{12} 千瓦)被大气、地表面、海面所吸收转换成热能,剩余的33%以蒸发、对流、降雨、流水形成的流体循环能形式而消耗掉了。可推算转换成海流、波浪的能量为 370×10^9 千瓦,供给光合作用的能量为 40×10^9 千瓦。

下面观察一下太阳能在地表面的分布情况。通过计算得出,到达地表面的平均日辐射量为165瓦/米²(包括散射光)。与前面数字进行比较,如果地球的表面积为 510×10^6 公里²的话,那么,可求出地球表面积的平均日照量为 84×10^{12} 千瓦,此值与进入大气层的太阳能中,被大气、地表面、海面吸收而转换成热能的分量基本相等。

如果把165瓦/米²换算为年的辐射量,为5200兆焦/米²,如果换算成石油量,相当于124升/米²。按全地球表面积进行计算的话,可得出相当于 6.34×10^{18} 千升,是1976年全世界的能量消费量(换算成石油为 58.2×10^8 千升)的一万倍。也就是说,到达地表面、海面的太阳能相当于目前全人类消费能量的一万倍。

那么,日本的情况怎样呢?日本是缺乏石油、煤、铀等能源资源的贫国,而且,日本从太阳能中得到的恩惠也不能说是很多的。盛产石油的中东国家的地理位置距离赤道很近,日照量比日本多达50%以上。通过计算得知日本的日照量比世界平均值略低,能量为141瓦/米²。按以上方法计算求出到达日本全国国土面积(3.72×10^5 公里²)的年日照量,然后再换算为石油量,那么,每年相当于 394×10^9 千升,另外,据报告得知1977年日本的总能量消费量换算成石油为 3.8×10^9 千升,因此可以判断出所消费的能量只是太阳能的1%。

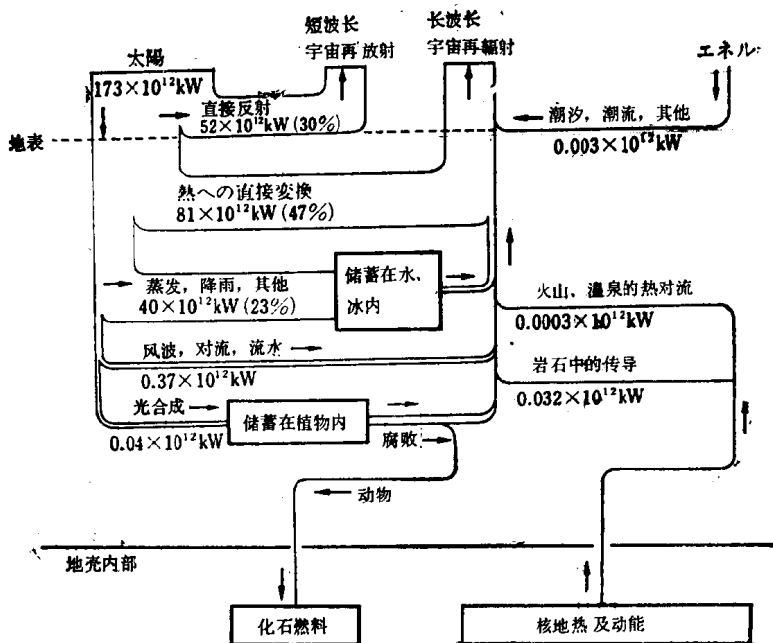


图1 地球能量平衡图

横线宽度按比例表示各种转换的相对量。主要输入的是太阳辐射能、潮汐能、核能、地热能、动力能。但是太阳辐射以外的能源，追根寻源还是由太阳能产生的

可是，到达地表面的太阳能并不是被原样蓄积在地球上，而是地球把接收到的能量辐射掉了。下面我们介绍地表能量收支的情况。上面讲述的 165 瓦/米^2 的日照量是由太阳直接或经过大气中的水蒸汽及灰尘的散射后带到地面的能量。除此之外，地表面、海面还和大气之间进行能量交换，据押田的解释，这一能量的密度为 357 瓦/米^2 ，它是由大气层下的长波长散射变换的能量。因此，地表面从大气层中得