

海浪原理

文 圣 常著

山东人民出版社

1.38422
-2
2:

海 浪 原 理

文 圣 常 著

山 东 人 民 出 版 社

一 九 六 二 年 · 济 南

海 浪 原 理

文 圣 常 著

*

山东人民出版社出版（济南经9路纬利大街）

山东省书刊出版业营业许可证出001号

山东新华印刷厂印刷 山东省新华书店发行

*

书号：3750

开本 850×1168 毫米 1/32·印张 12 5/8·字数 235,000

1962年9月第1版 1962年9月第1次印刷

印数：1—700

统一书号： 13099·55

定 价： (10)2.00 元

序

海浪的研究，在过去不到二十年的时间内，已取得显著的进展，海浪理论的应用范围也日益扩大。但虽已发表了广泛的有关海浪的文献，迄今尚无较全面地阐明其原理的专著。本书的目的即在于较系统地讨论海浪理论的发展。全书分为九章：前三章说明研究海浪所需的液体波动理论的基础知识；其次三章分别讨论海浪要素的分布规律、海浪谱及海浪的能量来源与消耗；最后三章叙述风浪的成长、涌的传播及近岸波的变化。对这些问题的理论很多，处理的方法各异；本书中在取材与说明的方式等方面，可能过多地反映了作者个人的看法。

本书系依作者过去几年中先后在山东大学及山东海洋学院讲授“波浪学”和“海浪原理及预报”时的讲义改写的，内容仅限于海浪理论的本身，不涉及有关的应用问题。书中的文字说明与数学推导，均考虑到更多的读者的需要。

在本书的编写过程中，得到山东海洋学院海洋水文气象系党政领导的极大关怀和该系同志们的各种协助，特此谨表谢意。

作者

1962年3月于青岛

目 录

序 論	1
-----------	---

第一編 液体表面波理論基础

第 一 章 简单的波动——正弦波	10
§1.1 分析简单波动的方法	10
§1.2 深水中的进行波	14
§1.3 有限深度的液体中的波动	22
§1.4 简单波动的能量	26
§1.5 两层流体中的进行波	32
§1.6 毛細——重力波	37
§1.7 以定常运动的方法分析进行波	41
第 二 章 合成的波动	45
§2.1 概說	45
§2.2 液体表面上局部扰动产生的波动	46
§2.3 稳定相的方法	59
§2.4 群速与波长、周期及频率的传播	63
§2.5 群速与波群的传播	69
§2.6 群速与能量的传播	71
§2.7 合成波动中能量相对于频率的分布	77

第三章 有限振幅的进行波	80
§3.1 概說	80
§3.2 斯托克斯波的剖面 and 波速	81
§3.3 斯托克斯波中質点的軌迹与波流	87
§3.4 斯托克斯波中的能量	90
§3.5 极限的斯托克斯波	94
§3.6 摆綫波	104
§3.7 孤立波的波速、剖面 and 能量	112
§3.8 孤立波中的質点位移 and 軌迹	122
§3.9 极限的孤立波	132

第二編 海 浪

第四章 海浪的要素	138
§4.1 概說	138
§4.2 于固定点的波高分布	139
§4.3 各种波高間的关系	148
§4.4 三維海浪的波高	154
§4.5 波长、周期、波速 and 波陡的分布	157
第五章 海浪的譜	167
§5.1 作为正态过程的海浪	167
§5.2 海浪的譜	172
§5.3 充分发展了的風浪的譜	174
§5.4 达布歇尔譜	181
§5.5 由相关函数求譜的方法	185
§5.6 三維海浪的情形	191
§5.7 海浪的譜与海浪的要素	195
第六章 海浪的能量来源与消耗	204

§6.1 概說	204
§6.2 法向作用力传递的能量	205
§6.3 切向作用力传递的能量	211
§6.4 波面阻力的概念与能量的传递	214
§6.5 分子粘滞性消耗的能量	218
§6.6 涡动粘滞性消耗的能量	220
§6.7 海底引起的能量消耗	227
第七章 风浪的成长	235
§7.1 分析风浪的方法	235
§7.2 风浪的发生	239
§7.3 风浪随风区及风时成长的概念	243
§7.4 有效波风浪成长理論	247
§7.5 三維风浪成长理論	259
§7.6 皮尔生—劳曼波譜风浪成长理論	270
§7.7 普遍风浪譜理論	276
§7.8 浅水中的风浪成长	291
第八章 涌的传播	301
§8.1 概說	301
§8.2 波动向静止水域的传播	302
§8.3 有效波涌浪理論	310
§8.4 基于劳曼譜的涌浪理論	317
§8.5 基于繞射与涡动消耗的涌浪譜理論	324
第九章 传入浅水与近岸的海浪	339
§9.1 传入浅水后的波速、波长及波向的变化	339
§9.2 波向綫的解析求法	344
§9.3 海浪折射图的作法	352
§9.4 波高的变化	361

§9·5 波面的变形与破碎·····	368
§9·6 近岸的浪与流·····	374
§9·7 海浪的绕射·····	382

緒 論

海浪^①是种久被习知的現象^②，它密切地关系着許多海上的活动。这首先表现在波浪对船只的影响。由于波浪的顛簸，船身各部結構可引起种种变形和应力，有些在第二次世界大战期間建造的船只，因对海浪情况估計不足而遭到损坏〔7〕；顛簸对乘客的舒适和貨品的儲放是不利的；顛簸可引起船只的共振，如从前有只俄国船經過中国东海的时候，由于船身的共振，船长被仓壁碰破头而死〔3〕；海浪还影响船只航行的方向和速度〔8〕。

海浪与海港的设计和建筑有着密切的关系。这不仅是因为海浪能推动二、三千吨重的石块和激起六、七十米高的水柱〔5〕，而且还可于港內引起破坏性的副振动。例如，美国加利福尼亚州的长滩港曾几次因南太平洋传来的低长波透过防波堤的石縫，在港內造成水面的激蕩，使停泊的船只遭到严重的损坏〔7〕。

波浪对岸的侵蝕作用也是惊人的：美国俄亥俄州的湖岸每年約后退6米；荷兰国家开支的很大一部分用来保护海岸；英国設有专门机构研究并防止海岸的侵蝕〔7〕。海岸的变化問題，

① 海水的周期性运动很多，本書中討論的海浪系指风浪、涌及此二者形成的近岸波。

② 西方古代关于海浪的記載与研究見〔1〕。

在苏联得到广泛的注意，仅苏联科学院海洋研究所一个机构，近年来就出版了几次专集^①。

过去十多年中，有关海浪预报的研究已取得进展，这不仅有助于航运和渔业生产的活动，而且在国防上也有着重要的意义。因为船舰的活动、登陆地点的选择、雷达于海面的使用、水上飞机的起落等等，都受海浪情况的影响。事实上，海浪的研究在西方于很大程度上是由于第二次世界大战中军事上的需要而受到注意的。海浪预报工作于诺曼第、菲律宾等战役中得到应用，在前者的登陆过程中，由于一次不大的风暴就损失了七百艘登陆艇〔4〕。

另外，海浪内蕴蓄着巨大的动力，如能加以利用，意义是很大的〔10〕。

液体波动的理论研究始于牛顿(1643—1727)，其后的一些数学家和力学家如拉格蓝日、拉勃拉斯、柯西和波桑等，对此也进行了不少的探讨。其中拉格蓝日得到的波速公式 $c = \sqrt{gh}$ (c 表波速， h 表深度， g 为重力加速度)，现今仍被采用；柯西和波桑于1815年在巴黎科学院所设奖金应征的论文中所分析的波动问题，因柯、波二氏而命名，并一直成为被广泛讨论的数学与力学问题之一。

但最先对液体波动中质点的轨迹、波剖面的形状、波动传播速度进行系统分析的为捷克数学家格尔斯蒂纳(F. Gerstner)，他于1802年从深水波动中质点轨迹为圆的假定出发，写出运动

^① 例如：Труды Института океанологии, АН СССР, Том X(1954), XXI(1957), 及XXVI(1958)。

方程式，并証明此等方程式滿足流体力学中的連續、动力平衡及边界等条件，从而奠定了摆綫波理論的基础。但格氏的工作，当时未被注意，直至六十年后，由于造船等方面的需要，英人兰金(W. J. M. Rankine)及佛罗得(W. Froude)才分別以不同方法得到与格氏相同的結果。

艾利(G. B. Airy)于1842年假想一有限深度的长渠研究水中的波动現象。他以質点的位移为变量分析波动的性質，証明質点的軌迹为橢圓，波速除决定于波长外，与深度也有关系。当深度为无限时，他的結果与格尔斯蒂納的一致；当深度很小时，則与拉格藍日的一致。艾氏还将波动理論应用于潮汐現象。

液体波动理論的另一重要发展为斯托克斯(G. G. Stokes)于1847年就无旋运动提出的有限振幅的周期波(称为斯托克斯波)，在有限深度的情形中，这种波动的传播速度除波长与深度外，尚与波高有关。如准确至波高的二次方，斯托克斯波的波剖面接近摆綫波的，但質点軌迹不是封閉的，故沿波动传播方向有一淨的微弱水流。瑞內(Lord Rayleigh)自1876年起多次討論和发展了斯托克斯波的理论，并企图利用高次的逐步近似和数值計算，証明这种波动是可能的。这是一个引起爭論的問題，直到尼可拉索夫(A. И. Непрасов)与列維——西維他(T. Levi-Civita)分別于1921年及1925年从数学上严格地証明了斯托克斯波的存在。戴維斯(T. V. Davies)于1951年发展了列維——西維他的方法，使其适用于由小振幅直至瀕于破碎的波动①。

① 有关液体波动理論的文献是很多的，本世紀三十年代以前的主要研究成果，可从藍姆〔6〕及斯利德斯克〔2〕的著作中得到，一部分較新的工作，特别是第二次世界大战以后的，則見斯托克爾的新著〔9〕，其中对傾斜水底上的波动、浅水理論及所謂数学水力学等方面的問題討論甚詳。

在实验工作方面，韦伯兄弟 (Ernst & Wilhelm Weber) 于 1825 年利用透明的槽观测液体波动的特性，发现波面为摆线，水质点的轨迹为椭圆，椭圆的长半轴为水平，质点的铅直运动随深度的增加而减小，于水底附近，质点轨迹几为水平的直线，这些结果和所谓浅水摆线波理论是符合的。其后 (1837—1844) 斯各特·罗素 (J. Scott Russell) 于尺寸更大的槽中采用更精巧的测量技术研究液体的波动，他的重要发现之一是：一个孤立的波峰可以长距离传播而不变形，当波峰接近一质点时，后者向上倾斜的运动，速度逐渐增加，于波峰经过的时刻，质点的位置最高，速度最大，随着波峰的远离，质点向下倾斜地回复其原来的高度。这种首先于实验中发现的所谓“孤立波”，直到现在仍被广泛地讨论着，在理论上已有很大的发展，并成为研究近岸海浪的有用工具之一。

以上所述的理论与实验，系以液体的波动为研究的对象。由于航运、筑港等方面的需要，对于海浪也进行了大量的观测，特别是由十九世纪末至二十世纪初在巴黎 (A. Paris)、加森玛尔 (O. Gassenmayr)、克利麦尔 (O. Krümmel)、茨麦曼 (E. Zimmerman)、柯力西 (V. Cornish) 等人的观测中，大洋上海浪要素如波高、波速、周期与风的要素 (主要为风速) 间的关系，已有较系统的记录，并提出一些经验规则或公式。工程师斯蒂文生 (T. Stevenson) 于十九世纪中叶就港内的波浪绕射现象、浅水中的海浪破碎深度、波浪对水工建筑物的作用力、波高与风区长度间的关系等与海港设计有关的问题，进行了长时期的观测，他使用的方法与得到的结果，直到现今仍不失其参考意义。

尽管液体波动理論有很大的发展，海浪的經驗知識也相当丰富，但二者长时期未能結合起来，此为海浪研究的停滯不前的主要原因之一。这是容易理解的。在液体波动理論中，通常假定流体是理想的，重力为唯一作用的外力，自由表面上的压力为常值，波动对外对内都不涉及能量的摄取与消耗。这些假定，显然不适用于海浪，故液体波动理論給出的結果，很少能直接用来滿意地解释自然界中的海浪現象。另一方面，海浪是十分复杂的，影响海浪变化的因素极多，早期的观测不够准确和系統，故只凭經驗手段不能得到深入的了解。

海浪的研究直到过去十五至二十年中始取得显著的进展，且象前面已指出的，在西方这种进展于早期在很大程度上是基于国防上的需要。到二十世紀四十年代中期，斯費尔得罗普(H. U. Sverdrup)与蒙克(W. H. Munk)等人，利用早期的观测資料与液体波动理論的一部分結果，通过半理論半經驗的方式，才得到有关风浪的成长、涌的传播及近岸波的变化規律。斯、蒙二氏的理論，現在看来是有不少缺陷的，但他們对分析海浪提出了一些重要的概念和方法，特别是将液体波动理論与观测結合起来，实为研究海浪的一重要手段。

于海浪中，风浪得到最广泛的研究。已提出的风浪理論很多，就其分析的方法，可大致分为两类：能量方法与波譜方法。前者可以斯、蒙二氏(1947)、劳曼(G. Neumann, 1952)及克雷洛夫(Ю. М. Крылов, 1956—1958)的理論为主要代表，其中斯、蒙二氏自复杂的海面抽象出一种所謂有效波进行分析，劳曼認為风浪成长通过三种所謂特性波的阶段，克氏則考虑实际上同时出現的高低长短不等的波。能量方法的主要困难有二：

一为能量变化的計算难于精确，一为其中所需的波陡与波齡关系不易得到。能量方法虽已由簡及繁，逐步細致，但仍止于风浪对外表現出来的要素而不涉及风浪的内部結構。皮尔生 (W. J. Pierson, Jr., 1952) 参照无线电通訊中有关杂乱噪音的理論，以一波譜將海浪作为一个过程表示出来，这不仅能描述海浪的内部結構，而且由波譜可得到海浪对外表現出来的要素的分布規律，故此理論开辟了海浪研究的另一重要途径，并大有构成現今主要方向之势。

波譜理論的關鍵为寻求一譜。迄今采用最广者为劳曼于1953年提出的，此譜系就风浪的充分成长状态导出，且具較多的經驗性質。为了弥补此等缺陷，作者于1960年自譜中組成波的能量变化导出一普遍性的譜，給出风浪成长的过程。这是一种將能量方法与波譜方法結合起来的尝试。依此可用較簡單的解析形式將风浪要素的变化表示出来，而不必借助于一般风浪理論中采用的数值計算与图解。

涌的研究大致循沿和风浪相同的途径。斯、蒙二氏(1947)及皮尔生、劳曼等(1953)曾分別就能量变化与波譜的概念討論涌的传播，作者于1960年提出的涌浪譜系根据繞射与涡动作用所致的能量变化而得到的。

研究近岸波尙无系統的方法，对于近岸海浪的折射、繞射及反射，通常应用光学、声学或电磁学中分析有关問題的方法，并取得不少結果。

海浪研究取得的进展，使得能够根据气象及地形的資料对海浪状态进行預报，此种預报已日益成为水文气象工作的重要內容之一。对于筑港、护岸、造船、航运，海浪理論提供基础

知識的范围日益扩大。作为动力海洋学的一个組成部分，海浪研究对大气与海面間的机械能的传递和海水混合等过程的了解，从而对海水运动的分析是重要的。但迄今海浪理論尚不够严密，給出的結果不够准确。由于問題的复杂性，分析海浪时每須作出不易实现的假定，或过多地依靠經驗系数；在相同的情况下，由不同理論得到的結果可相差50%以上，在个别的情形中，計算与观测間的差别可超过100%。进一步的海浪研究自然首先在于求其本身理論的完善，但也有賴于关于风的相应的探索。因本書所討論的海浪，其来源为风，就海浪研究的需要言之，目前对风的了解（包括紧貼水面的风速结构）是不够的，因此，难于孤立地期望由海浪理論給出准确的結果。

参 考 文 献

- [1] Березкин, В. А. 1947. Динамика моря. Гидрометеорологическое издательство. Свердловск-Ленинград.
- [2] Сретенский, Л. Н. 1936. Теория волновых движений жидкости. ОНТИ НКТП СССР. Москва-Ленинград.
- [3] Шулейкин, В. В. 1949. Очерки по физике моря. Издательство АН СССР.
- [4] Bates, C. C. 1949. Utilization of wave forecasting in the invasions of Normandy, Burma, and Japan. *Ann. New York Acad. Sci.*, 51(3), 545-572.
- [5] Gaillard, D. D. 1935. *Wave Action in Relation to Engineering Structures.*
- [6] Lamb, H. 1932. *Hydrodynamics*, 6th ed., Cambridge

- University Press.
- [7] Mason, M.A. 1949. Ocean wave research and its engineering applications. *Ann. New York Acad. Sci.*, 51(3), 523—532.
- [8] Rossell, H.E., and Chapman, L.B. 1942. *Principles of Naval Architecture*.
- [9] Stoker, J.J. 1957. *Water Waves*. Interscience Publishers.
- [10] 文圣常 1953. 利用海洋动力的一个建议. *机械工程学报* 1(2), 146—152.

第一編

液体表面波理論基础