

海岸工程及水运经济

薛鸿起

教授文集

宋志尧 王义刚 徐福敏
潘少华 夏云峰 孔俊 编



海洋出版社

追踪国家建设 追随严老调研 追求科技创新

海岸工程及水运经济

薛鸿超教授文集

宋志尧 王义刚 徐福敏 编
潘少华 夏云峰 孔俊

海洋出版社

2008年·北京

图书在版编目(CIP)数据

海岸工程及水运经济:薛鸿超教授文集/宋志尧等编. —北京:
海洋出版社,2008. 12

ISBN 978 - 7 - 5027 - 7193 - 5

I. 海… II. 宋… III. ①海岸工程—文集 ②水路运输—
交通运输经济—文集 IV. P753 - 53 F55 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 189960 号

**HAIAN GONGCHENG JI SHUIYUN JINGJI
XUE HONGCHAO JIAOSHOU WENJI**

责任编辑:高朝君 杨传霞

责任印制:刘志恒

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 新华书店发行所经销

2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月北京第 1 次印刷

开本:787mm × 1092mm 1/16 印张:71

字数:1600 千字 定价:280.00 元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

序

薛鸿超教授是我的老师,著名的海岸工程学家,1951年上海交通大学水利系毕业后就随严恺参加华东水利学院(现河海大学)的建校和教学工作,是学校的创建人之一。他言传身教、桃李满天下,成果丰硕、所涉领域广。今年喜逢薛老八十华诞,我非常高兴地看到《薛鸿超教授文集》的出版。

《薛鸿超教授文集》收集了薛鸿超教授在海岸工程和水文、河口演变与整治、港口布局及航运经济等领域主要学术论文、科研报告以及讲座手稿近百篇,是不可多得的且具有很高学术价值的研究成果,可供广大海岸工程学者、专家及爱好者参考和应用。

薛鸿超教授投身祖国海岸工程及航运事业近六十载,他甘于清贫、淡泊名利、谦逊好思、严谨治学、勤勉精进、实事求是的生活态度和工作作风时刻鞭策着我们。《薛鸿超教授文集》的出版,不仅是对其几十年学术工作的总结和回顾,而且给我们广大的水利工作者特别是海岸工程及航运经济工作者留下了一笔宝贵的财富,对进一步推动我校的教育事业和学科发展具有重要的意义。

河海大学校长



2008年11月

目次

第一部分 海港水文与海岸带调查

强制波对突基床直墙式防护建筑物作用的性质	(3)
突基床对混成堤直墙上波压力的影响	(18)
波浪作用下斜坡堤护面块体的稳定问题	(33)
海岸动力学研究中的几个特点	(46)
关于丹东大东港建设的发言	(54)
关于福建深水港保护暨湄洲湾开发问题的发言	(56)
椭圆余弦波理论应用问题	(60)
Non - Linear Analysis of Wave Force on Horizontal Cylinder	(78)
波浪与泥床相互作用的研究综述	(90)
Wave Runup - Rundown Amplitude on Slopes	(103)
波浪与斜坡堤相互作用问题研究	(113)
混成堤直墙上破波作用	(122)
海平面上升与港口建设	(134)
Experimental Study of Wave Energy Spectrum in Shallow Water	(140)
Transformation of Wave Energy Spectrum in Shallow Water	(150)
多学科协作、多目标统一管理的海洋工程	(162)
浅水波长计算问题	(168)
粒径谱在珠江口泥沙颗粒分析中的应用	(176)

第二部分 长江口与杭州湾

关于长江口选槽问题的一些看法	(189)
长江口江心沙北泓河段淤积模型试验报告	(194)
长江口南支石洞口河段的河床演变分析	(208)
论河口分类的模式	(219)
A Review of Hydrological and Sedimentary Processes in Hangzhou Bay, China ...	(230)
长江口南港河床演变及其有关问题研究的综述	(260)
Classification Mode of River Mouth	(264)

我国十大河口的开发、治理与管理	(271)
南汇沿江、沿海浅滩演变分析	(278)
芦潮港促淤造地工程可行性研究	(284)
长江口百年沉积特征	(294)
Artificial Peninsula and New Port in Shanghai	(305)
关于盐城市东川滩涂匡围险工段防护措施	(315)
积极改善黄河三角洲水环境 保障促进高效生态农业开发	(320)
综合治理与开发是黄河三角洲可持续发展的关键	(322)
上海市杭州湾北岸护岸保滩工程初探	(327)
关于杭州湾流场研究的想法	(361)
关于南汇嘴工程和没冒沙水库的意见	(363)
上海人工半岛的影响与前景	(366)
钱塘江口治理与杭州湾	(370)
中国河口的分类、开发与治理	(378)
长江口演变趋势与南水北调影响	(383)
用河口分类特征探讨黄河河口演变与治理问题	(390)
“南汇嘴控制工程”和“没冒沙生态水库”初步研究	(393)
除害兴利,改善长江口淡水资源环境北支淡水湖是及时方案	(419)
长江口南、北港分汉口演变与治理	(424)
长江大通站径流概率分析与预估探讨	(432)
长江口深水航道在澄通河段的延伸响应	(439)
长江深水航道 W_3 转弯段回淤增长特征的启示	(443)
北槽-12.5 m 疏浚维护仍需优化整治布置和突破疏浚技术	(448)

第三部分 港口布局与经济发展

发展海洋工程为开发海洋资源服务	(457)
开拓灌河海运 加快发展苏北	(463)
新技术革命和江苏省沿海港口发展对策	(467)
发挥优势 开发海洋 振兴江苏——兼论海洋开发战略	(473)
港口布局的若干问题	(478)
海南迫切需要发展海运	(484)
关于开发西江和珠江三角洲航运的若干问题	(487)
江苏沿海港口布局规划研究	(492)
论江苏的五个海港群	(526)
论南黄海辐射沙洲潮汐通道建港	(534)
江苏沿海建港投资决策考察报告	(542)
纪念九十周年南通枢纽港腾飞	(547)

上海港口布局设想	(552)
江苏沿海港口建设投资决策咨询方案	(559)
打通出海口 充分发挥西江航运优势	(594)
江苏要靠海、江优势发展港口	(599)
进一步发挥河口港功能——论南京港口发展战略与对策	(604)
建设上海国际航运中心是中国跨世纪重大工程	(608)
南京走向跨江海港城市	(612)
以上海为核心的长江三角洲应成为我国对外交流的重要基地	(617)
尽早开发南京滨江新区的建议	(623)
长江三角洲海港体系和陆上交通网发展战略	(627)
发挥综合优势建设海上苏东新经济带	(637)
长江三角洲港口布局与经济发展	(641)
持续推广集装箱 促海运加速发展	(649)
发挥江海优势 南通海岸带须综合规划开发	(653)
长江口航运与 WTO	(656)
加快发挥商港综合功能——论连云港发展战略与对策	(661)
跨海峡大桥与两岸集装箱运输	(668)
探寻物流规律 促进港口可持续发展	(673)
开辟洋口港及海江联运 促进江苏加快发展	(679)
长江口沿江大开发与长江三角洲繁荣	(684)
纪念郑和七下西洋 坚持沿江沿海开发 振兴江苏海运事业	(689)
加快沿海港口建设 促苏北起飞	(693)

第四部分 苏联留学与国际交流

俄文学位论文(摘要)	(699)
1986 年在美国佛罗里达大学讲学手稿	(721)
1997 年在丹麦阿尔堡大学讲学手稿	(895)

第五部分 编撰“百科”与出版专著

海洋工程技术	(1031)
海洋工程	(1044)
海岸工程	(1046)
防波堤	(1048)
海岸动力学	(1052)
港口护岸	(1053)
港口疏浚	(1055)
河口航道整治	(1056)

防波堤	(1058)
海岸工程技术	(1061)
海港工程	(1062)
防波堤	(1063)
爆炸挤淤	(1064)
单点系泊	(1065)
河口治理工程	(1066)
近海工程技术	(1067)
深海工程技术	(1068)
海工模型试验	(1069)
海工数值模拟	(1070)
江苏沿海港口布局规划	(1071)
大丰港建港起步	(1072)
上海芦潮港人工半岛	(1073)
杭州湾深水航道试挖	(1074)
长江三角洲海港体系	(1075)
温州—洞头半岛工程	(1076)

第六部分 追随严老与学习严老

严恺小传	(1079)
严恺传略	(1084)
跟随严老 50 年 我校海岸工程学科发展 50 年	(1090)
海岸工程的泰斗——怀念严恺院士	(1094)
附录 江阴教师之家	(1097)
后记	(1101)

第一部分

海港水文与海岸带调查

1960年,水港系早期的研究生论文就是以“斜坡堤波浪作用”为题的。1970年在周总理“三年改变我国港口面貌”号召下,交通部港口工程技术规范编制工作就成为系研究重要主题。并将研究生培养同规范专题研究紧密地结合在一起。经近10年积累的成果“斜坡堤波浪作用”取得重要进展,被正式纳入《海港水文》条文和《港口工程技术规范》(新版)增补条文。

国家十分重视海洋资源的保护与开发,1980年起步,国家海洋局负责“全国海岸带及海涂资源综合调查”,成立技术指导小组,严老和陈吉余院士任正副组长,在沿海10个省、市、自治区全面展开海岸带多专业、多学科联合的大规模现场调查,数万科技、专业队伍数年努力完成举世无双的综合调查。薛鸿超是指导小组成员兼水文气象专业组长。编写《中国海岸带水文》和担任《全国海岸带资源》总报告相关部分撰写的副主编。综合调查给沿海改革开放和10个省、市、自治区发展带来深远影响。

强制波对突基床直墙式防护建筑物作用的性质*

重译说明

这篇论文摘要于1960年春完成。由于时间紧,原稿是用俄文写的,文字中有一些错误,平均压强的表达式中还有原则性错误,都未及时校正。限于水平本文还是不够成熟的,原想进一步做些工作后,再写报告,但一直未能实现。1965年交通部第一航务工程勘测设计院的同志热心地把它译成中文介绍给读者,而我由于忙,尔后又又是文化大革命,未能对译文作修改和更正,深感不安,谨表歉意。目前正进行编制我国第一个“港工规范”,关于风波对港工建筑物作用的研究也将逐步地开展,本文可能还有参考价值,为了给读者提供较确切的资料,最近我重新修改了译文,更正了错误并写了这篇说明。

本文分六节。(1)研究任务。此课题由当时工程事故中提出,主要解决波浪对直墙式建筑物作用时,风波(强制波)和突基床对荷载的影响。(2)风速模型律。此准则根据漂流在模型中相似的条件导出,关键在室内确定风切向力比数值。(3)影响因素。考虑八个主要因素,根据因次理论、数学推导和波陡波龄关系推出最大总压力的函数形式。(4)试验结果。进行218个试验,整理时,用波周期公式,概率理论和经验关系得到最大总压力的关系式;用平均压强概念得到垂直分布图式。(5)成果分析。用总压力过程线分析风波和突基床影响的特点,用墙前立波运动规律分析强制波与自由波的差别,用现有计算公式的对比和热那亚港外堤破坏的特点分析成果的合理性。(6)主要结论。归纳成六条综合性结论和建议。

本文所得结论,从定性上去分析这些作用因素对荷载的影响性质还是有意义的,从定量上去运用这些因素和荷载的关系式只能作参考。文中没有考虑滩地因素(底坡、滩长);基床因素(床高、肩宽、边坡)考虑不够,着重在床高;考虑的波浪因素(波高、波长、波周期、波龄、水深)也未都解决好。主要问题有:引用的波陡波龄关系需再论证;引用的和室内求得的风切向力与波高关系需再确证,用概率理论处理小选择量试验数据需再探讨;压力分布图解决得不很好;总压力关系式较复杂等。文中错误欢迎批评指正。

我国沿海面临大洋,浙闽粤一带台风盛行,研究风波,特别是台风风波,对海岸工程(包括港口)建筑物的作用,这是一个方向性的问题,也是当前十分迫切需要解决的重要课题。殷切地希望有关部门重视这个问题并迅速组织关于风波和风波作用的综合研究,包括现场的、室内的和理论的研究工作,争取在较短时间内,赶上和超过世界先进水平。

* 选自华东水利学院水港系编《海岸工程研究资料》第二期,1972年11月,作者薛鸿超。俄文原文见第四部分。

1. 研究任务

长期以来,对海上防护建筑物波浪荷载的研究停留在自由波理论的基础上,主要是盖尔斯特涅尔和布辛涅斯克的余摆线波理论。现有的,从理论上或试验途径所获得的计算公式也都是按自由波来考虑波浪荷载的。但是,除自由波外,在自然界还有风直接作用下的强制波。近年来在海洋水文学和海洋物理学领域中获得了关于强制波的重要数据,它为研究强制波与海上建筑物的相互作用提供了宝贵资料。虽然现在还没有强制波的完整理论,但它和自由波的基本差别已经明确了。这个问题,B·B·舒列金在1956年《海浪理论》一书中作了详细论述。

风的作用使自由波和强制波之间产生下列基本差别。

第一,自由波的运动只在重力作用下实现,而强制波的运动,除重力外,还处于由风补给的,作为正压力和切向力的作用下。

第二,自由波的质点是按闭合的圆形或椭圆形轨迹运动的,而强制波的质点还具有漂流速度,它在水面的方向和风的方向一致。

在强制波的条件下出现漂流,底部有时出现反方向的补偿流。这种水流运动的性质是脉动式的。

第三,自由波的表面曲线和余摆线的形式很接近,而强制波的表面曲线和余摆线不同,它具有更陡的波峰,更坦的波谷并且没有对称性,此外,自由波的表面平滑,而强制波的表面经常覆盖着次级波的波纹。所以强制波高带有变异的性质。

从这些本质差别可以得出关于波浪荷载差别的结论,因此自由波的理论 and 计算公式不能适用于强制波。

现在所有的计算公式中都没有考虑突基床外型的影响。基床对波浪荷载影响的问题研究得很少。

到目前为止,对这两个问题,即强制波的作用问题和基床的影响问题,都认为没有重大意义。然而在不考虑上述因素时,建筑物的设计能导致事故。曾发生过这样的事故,例如,1955年2月19日在意大利热那亚港,弗兰防波堤在大风暴时就发生了巨大的破坏。

这次大风暴中波浪条件曾是很恶劣的:风速达到34米/秒,而波高超过7米。这个事故带有特殊性:防波堤的上部结构和第一层方块被抛到港内侧,而下面的方块层都仍旧是未破坏,这说明静水位区的压力强度特别大。按现有公式计算的结果都不符合这个事故的性质。这个近年来最大的事故引起了各国港口工作者的极大注意。

在分析这次事故的原因时,H·H·钟考夫斯基首先提出这样的看法,可能在这个事故中强制波起着很大的作用,今后应该在实验室内和现场条件下专门研究强制波对直墙式建筑物的作用。A·N·库兹涅卓夫提出了一个补充的推测,除风的因素影响外,突然升高的基床可能表现出显著的影响,弗兰防波堤就是这样的基床。

鉴于这些意见,在敖德萨建筑工程学院开始全面研究强制波对海上建筑物作用的综合问题,这一问题的解决将有很大的理论意义和实际意义。1957年在敖德萨建筑工程学院建成了一座新型的、带有鼓风装置的大波浪槽,并开始了研究强制波的工作。1958年

春库兹涅卓夫深入研究了强制波模型试验的方法,包括解决了风速的模型试验问题。此外,根据一些初步的试验和热那亚港防波堤的模型试验,我们得到了很有意义的结果:强制波对建筑物的压力总是比自由波的压力大,这在陡波的情况下特别明显(例如,在波陡为1/10时,压力约增大60%)。由此证明了研究强制波的重要性,作者学位论文的题目就是这一综合问题的一部分。

主要的任务是弄清强制波和突基床直墙式建筑物之间相互作用的基本性质以及影响波浪荷载的一些决定性的规律性。

2. 风速模型律

存在由风形成的漂流,是强制波与自由波的本质差别。通常自由波是按弗路德定律进行模型试验的,而在强制波模型试验时,必须在弗路德定律的基础上,增添漂流试验的准则。

按 A·B·卡拉乌谢夫的漂流速度分布公式(见《河流和水库水力学》一书),通过某些变换,得到表面漂流速度 u (米/秒)和风速 W 的(米/秒)间的关系:

$$u = \frac{\sqrt{x}}{\sqrt{773g}} \frac{16(C-4)}{F} W = K_{CKg} W \tag{1}$$

式中: g ——重力加速度(米/秒²);

x ——风的切向力比例系数,它只随波高 h (米)而变化。卡拉乌谢夫提出如下的公式确定 x 值:

$$x \approx 0.0011 + 0.0009h \tag{2}$$

范围是 0.5 米 $< h < 6.0$ 米。

C ——谢才系数,B·M·马卡维也夫建议按如下公式确定 C 值:

$$C = 34.5 \left(\frac{H}{d} \right)^{1/6} \tag{3}$$

此处 H (米)——海洋深度; d ——海底覆盖颗粒的平均直径(毫米)。

F ——系数,稳定流情况下,它只随 C 变化,其数据列入表 1,此表是卡拉乌谢夫给的。

表 1 C 和 F 间的关系

C	30	40	50	60	80	100	120	140
F	11.8	14.3	16.2	18.2	21.2	23.9	26.4	28.6

公式(1)表明,漂流速度只随风速而变化,而与吹程无关,因此运用联合型的装置,即生波机和鼓风装置的组合,能满足我们的要求。在这种情况下生波机将造成自由波,从而就在模型中反映了吹程,而鼓风装置将造成各种不同速度的风,从而也就形成所需要的漂流。这样,强制波的各种条件将互相组合起来。1957 年在敖德萨建筑工程学院建成了这样的装置,这个装置的基本资料如下:水槽长 16 米,宽 1 米,高 1.5 米。推板式生波机能形成波高 8~35 厘米的波浪。风量为每小时 11 000 米³ 的离心式鼓风机将保证获得

达 14 米/秒的气流速度(鼓风装置安设在宽为 0.5 米的一半水槽上,另一半水槽无风,中间有直立纵向隔墙)。

通过式(1)的 u 与 W 的关系,在弗路德定律的基础上,库兹涅卓夫推导出计算模型中风速 W_M 的公式

$$W_M = \frac{1}{\sqrt{M}} \left(\frac{\sqrt{x}}{\sqrt{x_M}} \frac{CF_M}{C_M F} \right) W = \frac{1}{\sqrt{M}} K K' W \quad (4)$$

式中: C_M ——模型中谢才系数(即水槽谢才系数),这系数可按著名的 H·H·巴甫洛夫公式计算。

$$C_M = \frac{1}{n} R^y \quad (5)$$

此处, n ——糙率; R ——水力半径;而 y ——因素 n 和 R 的函数。

F_M ——系数,只随 C_M 而变化,它们的关系与 C 与 F 关系相同。

M ——模型比尺。

实验室条件下波高介于 10~30 厘米的范围内,即超出了式(2)的适用范围。因此不能用这个公式去求模型条件下的 $x(x_M)$ 值。

我们实验室对 $h < 0.5$ 米情况下进行了确定 x 值的专门研究,研究结果使我们成功地得到波高 6~30 厘米范围内的 $x_M \sim h$ 曲线。这一曲线和式(2)所表示的直线联结得很好。 x_M 的数值列入表 2。

表 2 x_M 和 h 间的关系

h (厘米)	300	50	30	25	20	15	12	8.6	6.0
$x(10^{-3})$	3.80	1.55	1.35	1.25	1.08	0.79	0.60	0.37	0.21

为了检查原始状态的漂流,用圆珠指示剂的电影摄影法定出了强制波质点的轨迹。质点不仅有圆周运动,同时还有漂流和补偿流。舒列金在环形波浪水池中得到过同样的结果。经过整理,扣除了圆周运动后,我们得到漂流和补偿流速度的分布图。过渡到补偿流的转化点位于高程 $\bar{Z} = 0.400$ (此处 $\bar{Z} = \frac{Z}{H}$,而 Z 轴的正向是从水面向下)除补偿流速度的数值外,这些分布图和卡拉乌谢夫理论计算公式的结果是很一致的。这证实了我们的模型试验,包括 x_M 的数值的正确性。

3. 影响因素

强制波和突基床直墙式建筑物相互作用的现象是很复杂的。影响波浪荷载的因素是很多的。在我们研究中,采用了单位长度的总压力 R 为 8 个因素的函数。

$$R = f_1(\rho, t, h, \tau, \lambda, W, H, H_c) \quad (6)$$

式中: ρ ——水的密度; t ——时刻; h ——波高; τ ——波周期; λ ——波长; W ——风速; H ——水域水深; H_c ——墙前水深。

除 8 个基本因素外,还有些对荷载影响较小的次要因素。如基床的戗台宽度 b ,基床

边坡坡度 m 以及基床前底坡坡度 n 。我们试验中这些因素基本上取常数: $b = 2h, m = 1:2, n = 0$ (水平底)。

根据著名因次理论中的 π 定理得出结论:“由 K 个物理量相互联结成的任何方程,在这些物理量中有 n 个量具有独立因次,可以变换为一种方程式,它是从列举的 K 个物理量所组成的,由 $(K \sim n)$ 个独立的无因次综合项联结成的。”我们的 8 个因素中, ρ, h 和 τ 为独立因次,式(6)可变换成:

$$R = \rho h^3 \tau^{-2} f_2\left(\psi, \frac{1}{i}, \frac{1}{j}, \eta, \xi\right) \quad (7)$$

式中: $\psi = \frac{t}{\tau}$ ——表示对周期比值的时段;

$$\frac{1}{i} = \frac{\lambda}{h} \text{ ——波坦度;}$$

$$\frac{1}{j} = \frac{W}{C} = \frac{W}{(\lambda/\tau)} \text{ ——考虑到风速的波龄倒数;}$$

$$\eta = \frac{H}{h} \text{ ——相对水深;}$$

$$\xi = \frac{H_c}{H} \text{ ——墙前水深比。}$$

由周期性波浪运动所引起的总压力的变化,应该是周期性的,而 ψ 变化于 0 到 1 之间。实际上,我们更感兴趣的是最大总压力 $R_{\max}$,它在式(7)的导数等于 0 时可以求得,即 $\frac{dR}{d\psi} = 0, \psi = \varphi_3\left(\frac{1}{i}, \frac{1}{j}, \eta, \xi\right)$ 。即:

$$R_{\max} = \rho h^3 \tau^{-2} f_3\left(\frac{1}{i}, \frac{1}{j}, \eta, \xi\right) \quad (8)$$

为了确定强制波和自由波之间的相互关系,采用了波陡及其波龄之间的关系,斯维尔特鲁普·孟克的 $i \sim j$ 曲线作为基础,该曲线是以大量观察的结果为依据的,并且是针对有效波做成的,因而从工程观点看有更大的意义。曲线 $i \sim j$ 的数值见表 3。

表 3 i 和 j 间的关系

$i\left(\frac{h}{\lambda}\right)$	0.055	0.064	0.076	0.089	0.100	0.093	0.079	0.066	0.055	0.046	0.039	0.033
$j\left(\frac{C}{W}\right)$	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10
$\frac{1}{i}$	18.20	15.60	13.15	11.20	10.00	10.75	12.65	15.15	18.20	21.70	25.60	30.30
$\frac{1}{j}$	∞	10.00	5.00	3.33	2.50	2.00	1.67	1.43	1.25	1.11	1.00	0.91

从此表可以看出 $\frac{1}{j} = \varphi_2\left(\frac{1}{i}\right)$, 则:

$$R_{\max} = \rho h^3 \tau^{-2} f_4\left(\frac{1}{i}, \eta, \xi\right)(1 + S) \quad (9)$$

式中:

$$S = f_5\left(\frac{1}{j}, \eta, \xi\right) \quad (10)$$

S 表示强制波附加荷载对自由波荷载的比值, 当 $\frac{1}{j} = 0, S = 0$ 时, 式(9)即为自由波公式。

4. 试验结果

基本的实验研究是根据式(7)进行的, 其中采用模型试验的基本比尺 $M = 30$; 模型中固定波高 $h = 15$ 厘米; 相对水深 $\eta = 2 \sim 5$; 墙前水深比 $\xi = 1.0 \sim 0.0$; 波坦度 $\frac{1}{i} = 10 \sim 30$; 相应的 $\frac{1}{j} = 2.50 \sim 0.91$ (波浪衰减阶段) 和 $\frac{1}{j} = 2.50 \sim 4.00$ (波浪增长阶段)。此外, 借助于波浪传播速度 C 的理论公式。按指定的波高 h , 可以求得相应的风速 $W (= C \frac{1}{j})$ 。

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{i}{h}$$

$$C = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} \text{th} \frac{2\pi H}{\lambda}} = h^{\frac{1}{2}} \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} \frac{1}{i} \text{th}(2\pi\eta i)} \quad (11)$$

计算表明, $W = 21 \sim 11$ 米/秒和 $W_M = 8.6 \sim 4.4$ 米/秒 (衰减阶段); $W = 21 \sim 11$ 米/秒和 $W_M = 8.6 \sim 14$ 米/秒 (增长阶段), 研究中总共进行了 218 次试验。在示波图上, 用示波器的时间信号器的记录时间; 用波浪实验室常用的电测应变式压力盒和波高仪来记录压力和墙前的与原始波的水位高程。对第 IV 组试验 ($\eta = 4$) 进行了原始状态和墙前波浪质点轨迹的电影摄影。图 4 表示在 $\xi = 0.667$ 的情况下, IV_{10} 和 IV'_{10} ($\eta = 4, \frac{1}{i} = 10$) 两组试验的示波图记录。在记录里共有七条线: 第一条 (上面的) 是给时间信号器的, 第二条和最末的一条是给墙前和控制原始 h_M 波高仪的, 其余各条是给上部、静水面处、中间和下部压力盒的。

强制波时直墙的作用和自由波比较, 不仅在量上, 而且在质上有差别。这种差别表现在它们的压力过程线上。在示波图记录上 (见图 1) 很容易发现强制波压力强度过程线与自由波的差别, 后者具有几乎对称的形状。对强制波来说则失去对称, 特别在静水面区域内。出现大的尖峰, 这总是在墙前水位上升阶段。靠墙的水位变化幅度增加。

决定式(8)的函数 f_3 时, 可以应用波周期理论公式(12), 它反映了 τ 和 η 间的关系, 不论在示波图记录上, 还是在电影摄影胶卷上, 我们的数据都完全证明了这个公式的正确性。曾证明了这个公式对于强制波也是正确的。试验结果和公式之间的差值不大于 5%, 这属于测量精度的范围内。因此应用式(11)的理由是够充分的。

$$\tau = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g} \text{cth} \frac{2\pi H}{\lambda}} = h^{\frac{1}{2}} \sqrt{\frac{2\pi}{g} \frac{1}{i} \text{cth}(2\pi\eta i)} \quad (12)$$

式(8)中引入 τ 和 η 的关系式(12), 并用 $\frac{\gamma}{g}$ 的表达式代替 ρ , 可得到下列公式:

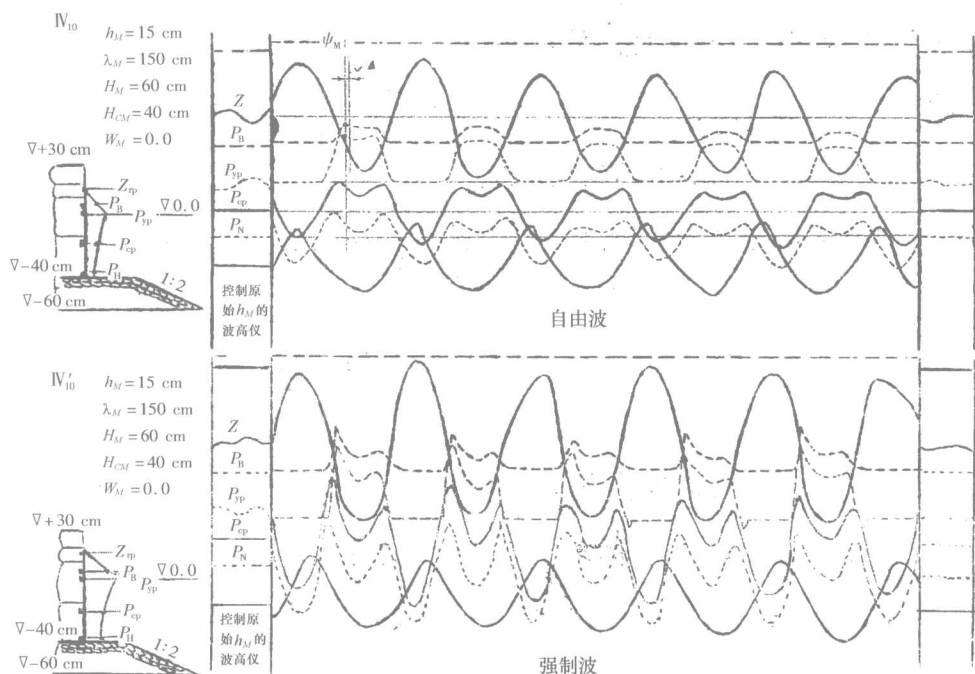


图 1 $\xi = 0.667$ 时第 IV₁₀ 和 IV_{10'} 组试验的示波图记录

$$R_{\max} = \frac{\gamma}{2\pi} h^2 i \operatorname{th}(2\pi\eta i) f_6\left(\frac{1}{i}, \frac{1}{j}, \xi\right) \quad (13)$$

就是说在一定的波浪条件下, $R_{\max} = f_2[\operatorname{th}(2\pi\eta i)]$ 。这样的结果曾得到过, 例如在部分场合 ($\xi > 0.333$) 下, 平均最大的总压力 R_M (从五个波得) 可用下式表示:

$$R_M = [\tan\theta(\xi + 0.270) + 220][\operatorname{th}(2\pi\eta i) - C_1] + C_2 \quad (14)$$

式中: $\tan\theta$ 、 C_1 、 C_2 为 $\frac{1}{i}$ 和 $\frac{1}{j}$ 的函数。对于强制波 R_M 也是遵循双曲线正切的规律。在

$2\pi\eta i > 3$ 或 $\eta i > \frac{3}{2\pi}$ 条件下, 即 $\eta i = \frac{H}{\lambda} > 0.478$ 时, $\operatorname{th}(2\pi\eta i) \approx 1$ 。这个结论表明: 因素 η 和

波浪陡度是紧密联系在一起的, 当 $\frac{H}{\lambda} < 0.478$ 时, 作用在墙上的波浪荷载将减小。

式(13)中函数 f_6 的决定可在试验资料的基础上通过经验方法进行。首先按平均最大总压力 R_M 推出函数 f_6 的所有关系, R_M 值都用式(14)的直线特性进行修正。由于波浪运动, 特别是强制波具有变异的性质, 最大总压力的个别值将比它们的“平均”值大得多(这在图 1 上可以看出)。根据概率理论, 可以求得在保证率系数 $\alpha = 99\%$ 时可能的最大总压力值。

$$R_{\max} = R_M + t_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (15)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\Delta R)^2}{n-1}} \quad (16)$$