

第五届国际船舶结构会议 论文集

(二)

第二、三委员会

-53

8

六七 机部院 第七〇二研究所

第三委员会报告

波浪载荷，统计方法

委员会成员：

N. 诺登斯特罗姆 (Nordenström), 主席

E. G. U. 班德 (Band)

V. 费迪南德 (Ferdinande)

M. 乔戴恩 (Jourdain)

E. V. 刘易斯 (Lewis)

F. 梅雷盖 (Merega)

F. X. P. 塞加迪 (Soejadi)

高 桥

K. V. 泰勒 (Taylor)

目 录

第 I 章	序 言	3— 1
第 II 章	长期实船数据	3— 1
第 III 章	长期预报	3— 9
第 IV 章	相 关	3—19
第 V 章	统计载荷数据和结构设计方法	3—26
第 VI 章	初步的设计资料	3—36
第 VII 章	特殊类型的水面结构物	3—40
第 VIII 章	船体梁的波激振动和冲荡	3—45
第 IX 章	仪表和实船测量的新发展	3—56
第 X 章	结论和建议	3—61
	参考文献	3—63
	讨 论	3—68

第 I 章 序 言

国际船舶结构会议委员会的报告有时是一个人即委员会的主席起草的。本报告并不属于这种类型。在奥斯陆(Oslo)和热那亚(Genova)的两次临时会议上,委员会的每个成员不仅讨论和交流了情况,而且起草了本报告的各章节。

第 II 章评述了纵向应力最新实船测量的结果。为了便于比较,以相同的形式给出了船舶的主尺度和记录的数据。

第 III 章讨论了从理论和模型实验进行的长期预报方法,以及从实船实验数据进行的外插法。

为了说明现有的预报方法的可靠性,第 IV 章着重研究了预报和测量之间的相关。

第 V 章处理了有关统计载荷数据在设计方法中的应用问题。应当指出,虽然这些方法包含了其它委员会的许多基本观点,但第三委员会仍然要做这个工作,这是因为它包含了使用概率方法的预报技术并且也是校对和检验海上测量的实船数据的不可缺少的组成部分。目的是使结构设计者能够应用统计载荷数据有效的改进他们的设计方法。

基于第 V 章讨论的原理,第 VI 章给出某些“初步的设计资料”。委员会成员经过酝酿和研究,确定把这章写入报告。大家一致认为这些数据是必要的、有用的,但对于给出的数据的有效性还有怀疑。也许还不是合理的使用这些数据的时候。必须强调,已知的资料还没有给出最终的结果。

第 VII 章概述了不同于一般船舶的水面结构物的波浪载荷的研究情况。这是一个很大的题目,事实上至少需要一个完整的委员会报告。但是,为了使船舶设计者能够从使用方法和获得结果的角度去发现这个领域中有用的资料,所以将这章写入本报告。

第 VIII 章概述了关于船体梁的波激振动和冲荡的研究工作。显然这章中包含了因振动所引起的主船体的动力响应,这个学科也可以归并到第七委员会和涉及到砰击和冲击学科的第八委员会。但不要认为本章包含了这些重要问题的所有方面,而只是对属于第三委员会任务的那些问题做了评论,并且对第七和第八委员会也适用。

第 IX 章介绍了测试仪表和现代的实船测量的最新发展情况。由于本委员会并不了解目前进行的全部测量情况,所以在这里只是简单地谈谈这方面的发展情况。

第 X 章列出简单的结论和今后工作的建议。

第 II 章 长期实船数据

II.1. 序 言

本章概述了最新实船测量的结果以及被测量船舶的主尺度。尽可能用相同的表达式和简洁的语言来表达其结果。

II.2. 定 义

实船应力测量分三类:

1. 短期测量 是用适当的方法将海情或者风级的观测值长期外插到任一给定的海情或者风

级的长期分布中。

2. 长期测量 对于实际遭遇的不定期地记录的气象条件, 想要直接的得出应力的长期分布。得出的应力的长期分布不能外插到不同的气象条件。

3. 特殊测量 诸如极值的记录。

在 I. 4. 节中给出结果的表达式仅实用于第 1 种情况。第 2 种情况允许画出所观测应力的频率曲线。第 3 种情况给出了能够与相似船舶的实船测量结果相比较的分布曲线图。

I. 3. 测量结果的概述

美国船舶——在长时期内进行了短期应力测量。

——“WOLVERINE STATE”号船和“HOOSIER STATE”号船

参考文献[1]: C4-S-B5 货船, 北大西洋, 船舯弯曲应力(左舷和右舷测量值的平均值), 在每个航程中自始至终的每隔 4 小时自动记录半小时(特莱戴恩(Teledyne)材料研究公司), 滤掉了高频冲击诱导应力: 44 个航程 $\approx$ 4 年, 记录了应力的最大值。

——“WOLVERINE STATE”号船, “CALIFORNIA BEAR”号船, “MORMACSCAN”号船

参考文献[2]: “CALIFORNIA BEAR”号是一艘 C4-S-1A 标准的“航海者号”干货船, “MORMACSCAN”号是 1624 吨机干货船, “WOLVERINE STATE”号是艏机干货船: 北大西洋, 南大西洋, 太平洋: 船舯弯曲应力, 每 4 小时自动记录半小时。对于浦氏(Beaufort)风级用点线画出了均方根平均应力和最大的峰-谷应力。

——“BOSTON”号船

参考文献[3,4]: 将 C4-5-A1 改成 C4-X2 集装箱船; 北大西洋; 垂直纵向弯曲应力, 水平纵向弯曲应力, 扭转应力; 每 4 小时取样 15 分钟, 当遇到高海情时, 则连续进行记录。两个季度, 883 个数据区间, 对浦氏风级用点线画出了最大的峰-谷应力。

——“IDEMITSU MARU”号, “ESSO MALAYSIA”号, “UNIVERSE IRELAND”号船和“R. G. FOLLIS”号船(油船), “FOTINI L”号船(散装货船)

参考文献[5]: 对应于浦氏风级相对的静水应力变化, 累积应力直方图的点, 每隔 4 小时记录半小时, 船舯垂直弯曲应力, 舱壁附近和舱壁之间的剪应力; 均方根或最大的峰值, 平均值和标准差。

——“EDWARD L. RYERSON”号船

参考文献[6,7]: Great Lakes”号矿砂船; 波浪诱导应力数据, 尤其是船舯应力每 4 小时自动记录 20 分钟, 1965~1968; 在 1966 年 11 月风暴中记录了均方根值和最大的应力; 用波浪浮子记录了波浪谱和静水弯矩。

比利时船舶——短期应力测量, 同时记录了波浪。

——“LUKUGA”号船, “JORDAENS”号船(干货船), “MINERAL SERAING”号船(矿砂船)

参考文献[8]: 对于同时测量的有义波高(塔克[Tucker]牌随船波浪记录器)顶浪和随浪记录了波浪诱导舯应力数据的均方根的平均值。

——“ROI BAUDOUIN”号船(车辆渡船)

参考文献[9]: 北海; 对于同时测量的有义波高(塔克牌随船波浪记录器)记录了船舯波浪诱导应力的数据, 顶浪和随浪记录了均方根的平均值。

——“DART EUROPE”号船(集装箱船)

参考文献[10]: 北大西洋; 对于同时测量的有义波高(塔克牌随船波浪记录器)记录了船舫波浪诱导应力的数据。

英国船舶——为了确定“载荷谱”进行了长期测量。

——“ENCOUNTER BAY”级的船(“ENCOUNTER BAY”号, “DISCOVERY BAY”号, “MORETON BAY”号, “FLINDERS”号, “BOTANY BAY”号)

参考文献[11]: 这是一些集装箱船, 航于欧洲—澳大利亚; 统计应变仪(英国船舶研究协会, 劳氏船级社)。

——“ENCOUNTER BAY”号船, “MORETON BAY”号船, “FLINDERS”号船, “BOTANY BAY”号船: 统计应变仪纵向固定在船舫(106号肋骨)最上面船壳板的中央。

——“DISCOVERY BAY”号: 两台统计应变仪最初纵向固定在 101 号肋骨左、右舷最上面船壳板上, 但是后来左舷的应变仪移到了舫部 99 号肋骨上甲板右舷的一边。这可以发现纵向应力是否在舱口末端并对应于中央舱口, 中央甲板条的位置由于水平弯曲和横向甲板弯曲约束力的影响而显著地变化。“DISCOVERY BAY”号在第五个航程中证明了在 99 号肋骨处的应力仅比 101 号肋骨处低了 4%。

所有的统计应变仪正确的记录了上甲板的垂向应力, 基于 14,000 小时的总记录, 得出了由

表 I.1 船舶主尺度 (美国、比利时和英国)

	L_{pp} (米)	B (米)	剖面模数 (米 ³)
油 船			
“UNIVERSE IRELAND”	328.0	53.30	111.43
“IDEMITSU MARU”	325.9	49.76	82.03
“ESSO MALAYSIA”	304.8	47.17	79.43
“R. G. FOLLIS”	230.0	31.84	33.60
矿砂船			
“MINERAL SERAING”	218.0	32.00	25.84
“EDWARD L. RYERSON”(Gr.L.)	217.0	22.86	8.44
散装货船			
“FOTINI L”	243.8	32.31	31.17
干货船			
“CALIFORNIA BEAR”	161.1	23.16	8.64
“WOLVERINE STATE”,	}	21.80	8.96
“HOOSIER STATE”			
“JORDEAENS”	146.1	20.10	7.53
“MORMACSCAN”	139.6	20.73	5.99
“LUKUGA”	136.0	18.70	6.02
集装箱船			
“BOTON”	151.2	21.79	7.74
“DART EUROPE”	218.0	30.48	16.40
“ENCOUNTER BAY”级	227.3	30.48	14.90
车辆渡船			
“ROI BAUDOUIN”	110.6	15.20	2.60

表 I.2 船舶主尺度 (法国)

	L_{pp} (米)	B (米)	剖面模数 (米) ³
油 船			
01	231.65	33.53	25.98
03	237.74	34.80	35.60
04	201.56	28.80	21.12
05	214.25	31.00	27.20
10	217.21	30.30	26.70
11	220.40	30.60	30.62
27	310.00	47.20	66.18
28	260.25	40.85	40.35
29	268.10	38.93	41.45
36	262.17	42.05	44.15
37	262.80	40.80	40.37
38	214.20	30.50	22.75
39	268.10	38.93	41.45
46	316.00	48.20	66.63
石油、散货、矿砂船			
47	239.00	36.60	28.63
矿砂船			
09	250.00	36.00	39.60
17	186.07	22.86	10.01
19	246.00	31.63	28.52
32	203.28	27.46	20.40
干货船			
07	145.97	21.80	8.36
08	144.50	20.90	6.73
12	146.00	19.70	6.53
15	140.00	18.60	4.74
20	133.00	18.00	5.37
22	102.30	16.00	2.59
23	144.75	19.88	6.31
26	139.57	18.78	6.67
35	140.50	20.00	4.17
滚装船			
45	197.00	28.00	14.42
48	197.00	28.00	14.42
杂货船			
18	102.25	16.00	2.58
液化天然气船			
02	188.25	24.70	11.83
客 船			
06	290.00	33.70	39.76

这些应变仪所测得的纵向平均应力谱，可以看出个别应力有几次超过了在一船年即 7,200 小时的运行时间内的平均应力值。英国造舰研究所最大记录器固定在“DISCOVERY BAY”号(与英国船舶研究协会的统计应变仪的位置相同)上，用于获得应力的中拱、中垂分量。

表 II .1. 给出了上述船舶的主尺度。

法国船舶 在各种类型的 33 艘船的每一次航程中记录了应力的极值。

14 艘油船：大西洋—波斯湾—地中海

1 艘石油散货矿砂船：大西洋—波斯湾—地中海—北海

4 艘矿砂船：北大西洋—北海—太平洋—地中海

9 艘货船：大西洋—地中海—太平洋—印度洋—北海

2 艘滚装船：北大西洋

1 艘杂货船：北大西洋—太平洋—地中海—印度洋

1 艘液化天然气船：大西洋—地中海

1 艘客船：北大西洋—西印度群岛

在每一艘船上装一台法国船级社的引伸仪记录了在静水中船舫弯曲应力和在每一航程中中拱、中垂弯曲应力的最大值，在每一次航程中人工记录了最大风力；观察时间是 6 到 53 个月。

在表 II .2. 中示出了船舶的主尺度。

II .4. 结果的表达(国际单位制)

在不同的文章中以各种单位给出的船舫应力被整理成波浪弯矩系数

$$\frac{M}{\rho g L^3 B}$$

其中 $M = X \times \frac{I}{Y} = \text{波浪弯矩(峯-谷变化)},$

$X = \text{峯-谷波浪弯曲应力};$

$I/Y = \text{舫剖面模数};$

$L = L_{pp}.$

有时可用下面的表达式

$$\frac{\sqrt{E_M}}{\rho g L^3 B} = \text{波浪弯矩系数的均方根平均值}$$

(波浪弯矩系数的均方根的平均值；均方根系指在记录中峯-谷的变化，以致 $E_M = 8\sigma^2$ ，其中 σ^2 是“记录”弯矩的方差。)或者，如果给出 $M_m = \text{平均最大弯矩(船舫，纵向)}:$

$$\frac{M_m}{\rho g L^3 B} = \text{平均最大弯矩系数}$$

波高的表达式: $H_{1/3} = \text{有义波高}.$

国际单位制的转换: 公制—英制

长度: 1 呎 = 0.3048 米

剖面模数: 1 吋²呎 = 0.1966×10^{-3} 米³

应力: 1 公斤(或公斤力)/毫米² = 9.807×10^6 牛顿/米²(每平方米一百万牛顿)

1 千磅/吋² = 0.7031 公斤/毫米² = 6.895×10^6 牛顿/米²

1 吨/吋² = 1.575 公斤/毫米² = 15.45×10^6 牛顿/米²

I.5. 结果的评述

下面的图给出了(从不同来源得到的)实船测量的结果,但在这里转载的是从上面结果的表达中选取的。看起来以后纵向弯矩长期预报按着参考文献[5]表达结果比较方便,参考文献[5]给出了船舫垂直弯曲应力均方根的平均值和标准偏差。将参考文献[2]、[5]的结果以及从比利时船舶[8]获得的某些结果一起绘入图 I.1.: 波浪弯矩系数的均方根平均值与浦氏风级的关系。在表 I.3. 中给出了相对应的 $\sqrt{E_M}$ 的标准偏差。

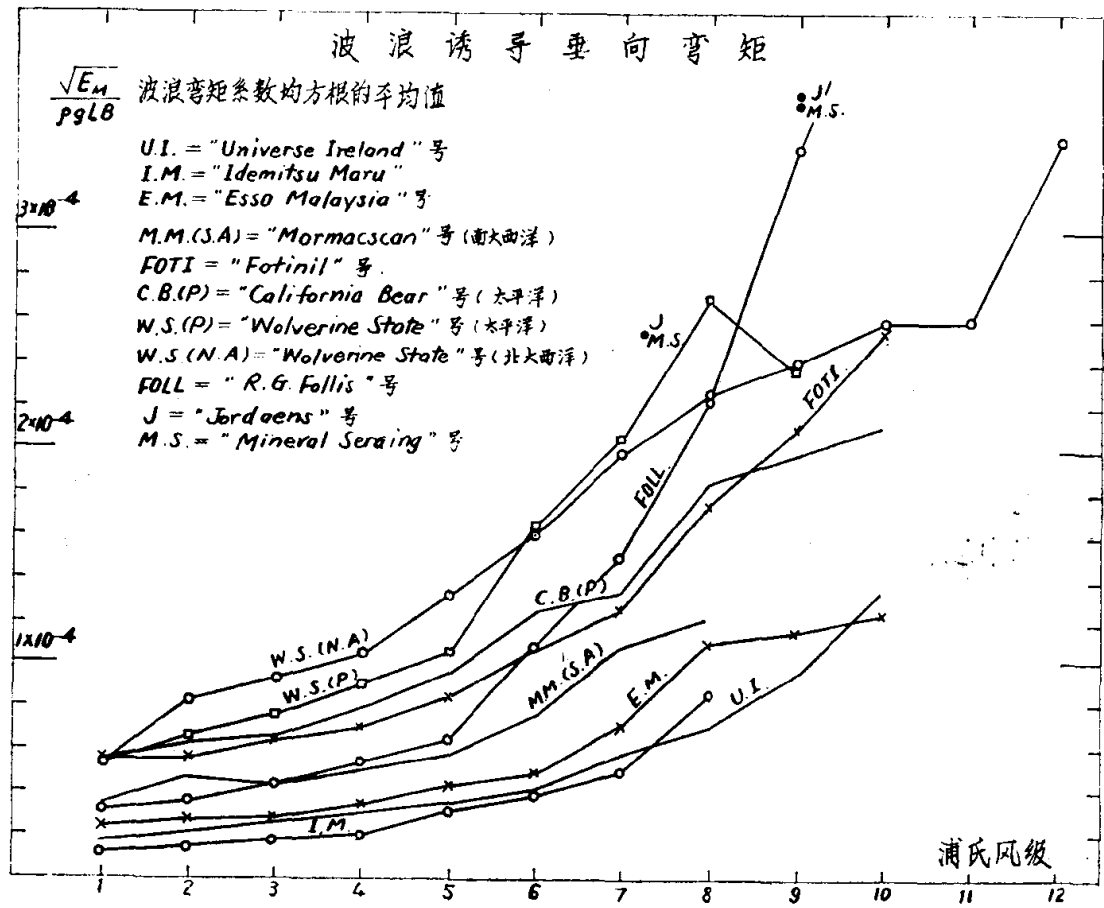


图 I.1

表 I.3 $\sqrt{E_M} / \rho g L^3 B \times 10^4$ 的标准偏差 (取自参考文献[5])

浦 氏 风 级	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	(B1)	(B2)	(B3)	(B4)	(B5)	(B6)	(B7)	(B8)	(B9)	(B10)
“ESSO MALAYSIA”	0.154	0.160	0.177	0.207	0.248	0.290	0.350	0.479	0.195	
“UNIVERSE IRELAND”	0.153	0.159	0.159	0.177	0.200	0.200	0.248	0.395	0.242	0.206
“IDEMITSU MARU”	0.099	0.109	0.128	0.156	0.213	0.218	0.370	0.365		
“R. G. FOLLIS”	0.241	0.222	0.279	0.363	0.506	0.700	0.850	1.105	1.923	
“FOTINI L”	0.276	0.276	0.293	0.326	0.371	0.401	0.487	0.898	0.823	0.753

图 I.1. 中 “JORDAENS” 号和 “MINERAL SERAING” 号的均方根平均值的点的位置很高,这是由于这些应力仅是从顶浪和随浪的情况中测得的。

图 I .2. 针对比利时的船[8,9]给出了波浪弯矩系数均方根的相同的平均值, 而对应的有义波高是从同时进行的波浪记录求出的。这个图是用顶浪和随浪的数据绘制的。为了便于比较, 把“Great Lakes”号散装矿砂船“EDWARD L. RYERSON”号在强烈风暴中的结果[6,7]也绘入图 I .2. 中。

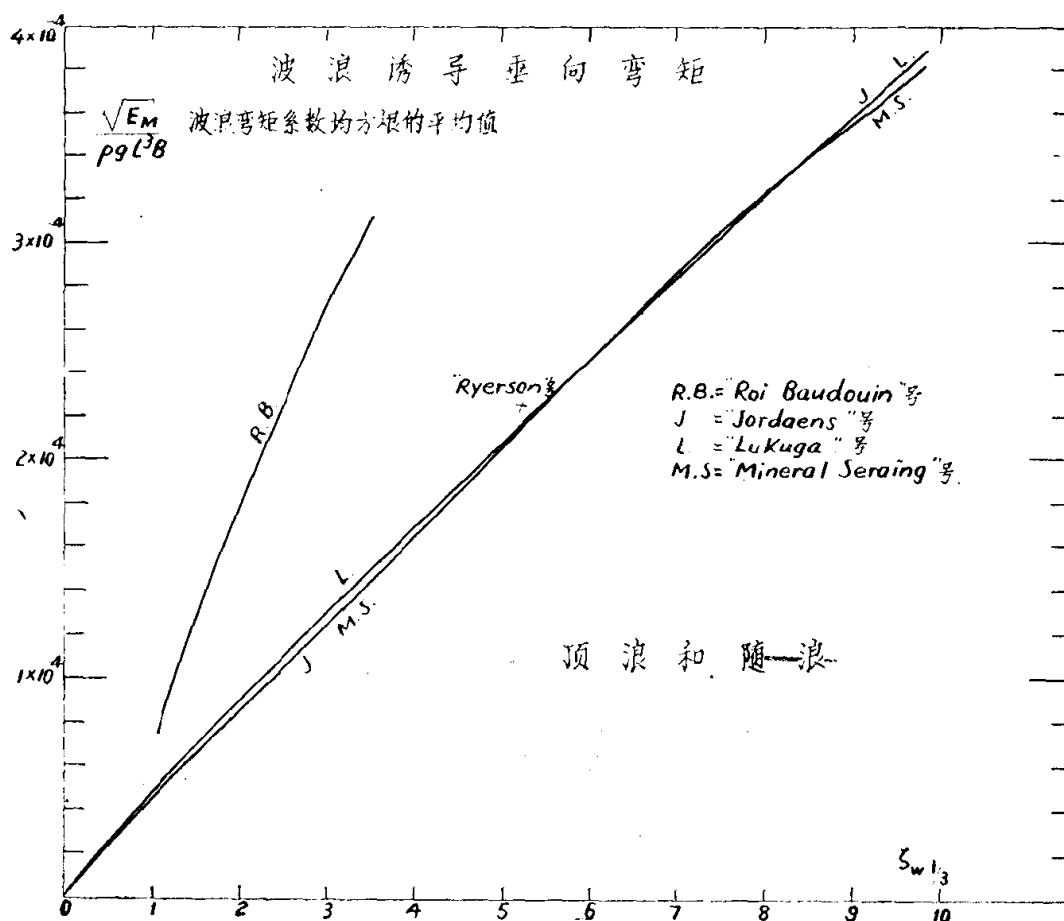


图 I .2.

图 I .3. 示出了由参考文献[2,3,4]的数据求得的平均最大波浪诱导垂直弯矩系数与浦氏风级的关系。

图 I .4. 给出了在不同的参考文献中讨论的几艘船的超越概率或者期望超越 1 的周数 (应力循环次数)。这些曲线是根据实船在所有的实际气象中运行时测量的数据点作出的, 由于它们不是对应相同的气象分布, 所以不能直接地进行比较。

在粗略的估算了应力循环次数以后, 对于不同的船舶可以画出某些最大值。

图 I .4. 中的水平线段是参照两条长度相似的集装箱船“DART EUROPE”号和“DISCOVERY BAY”号的数据画出的。当“DART EUROPE”号顶浪航行在有义波高 $H_{1/3} = 15$ 米的海况中实验员测得了船艏主甲板应力的最大幅值 (不包括冲荡应力) 是 205×10^6 牛顿/米² (21 公斤力/毫米²) [10]; 根据压载核准后, 这个应力最大幅值相当于 $M_{max} / \rho g L^3 B = 9 \times 10^{-4}$ 。“DISCOVERY BAY”号在旋风附近测得应力最大幅值是 256×10^6 牛顿/米² (16.6 吨/吋²), 相应的 $M_{max} / \rho g L^3 B = 10.6 \times 10^{-4}$ [11]; 然而这里包含了冲荡。这两条船的这些极大地高应力幅值发生在第一个航程中的某个时刻。

将图 I .4. 的曲线转换成“标准”气象分布所对应的曲线是应用长期预报技术的第一步。下面给出测得图 I .4. 中所画出的实船数据的实际航线。

I.M. “IDEMITSU MARU”号: 日本和波斯湾之间 (14 个航程)。

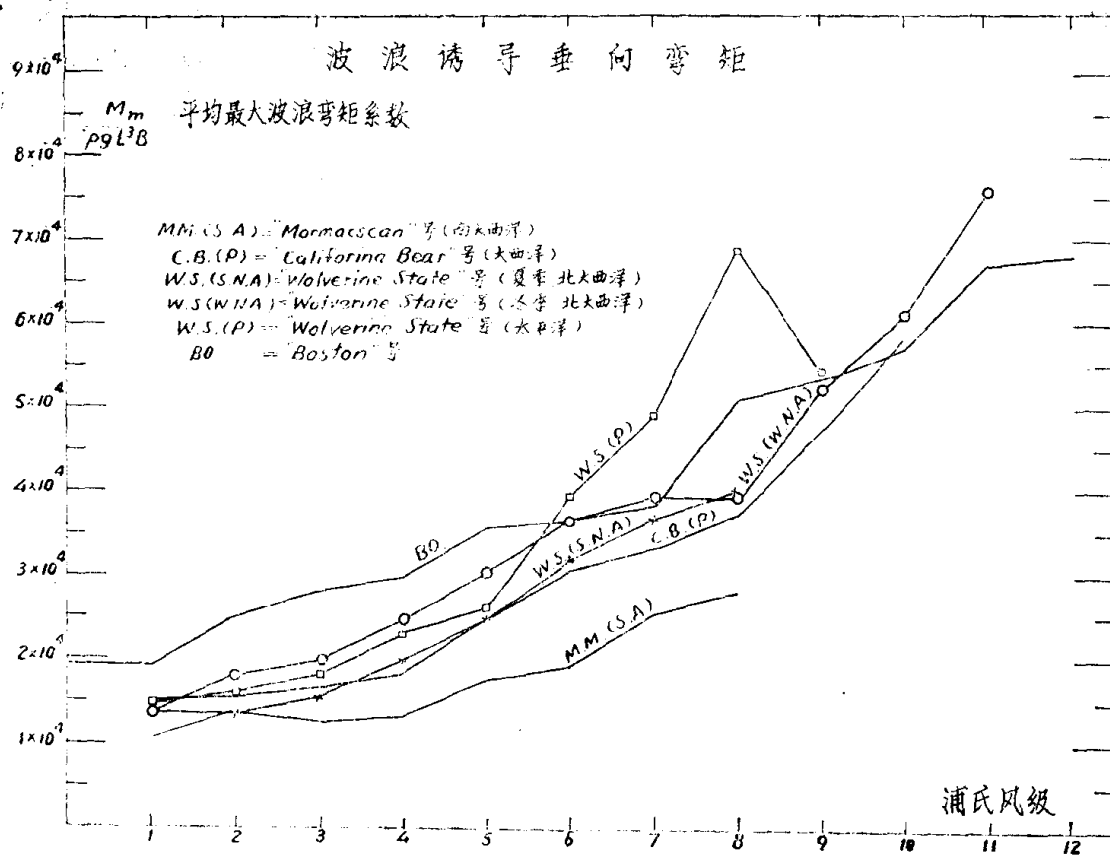


图 I.3

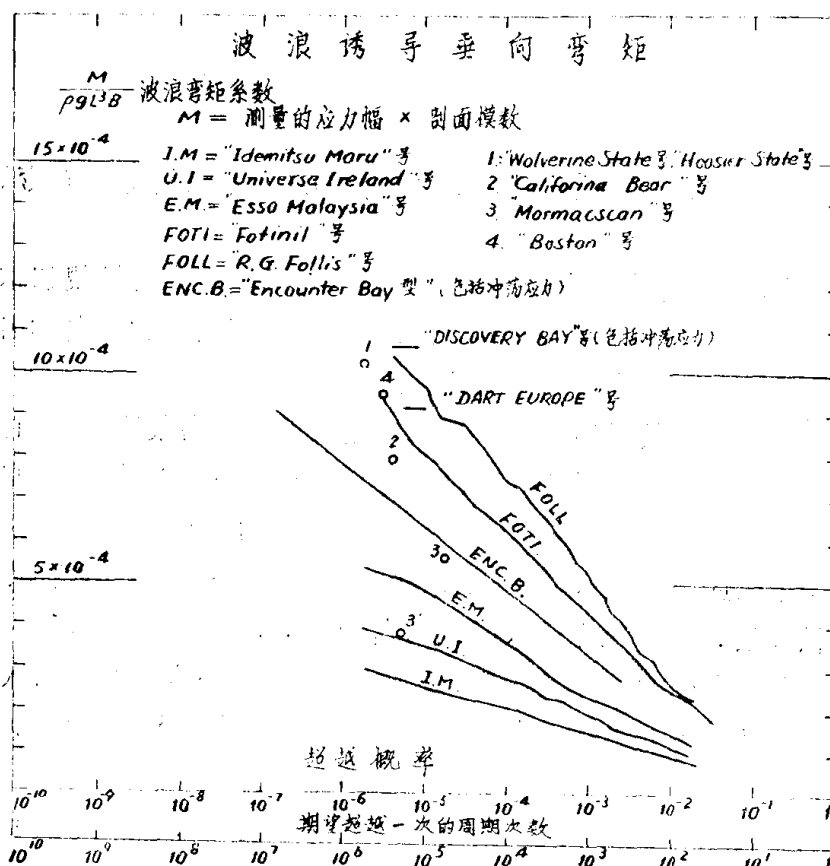


图 I.4

U.I.: “UNIVERSE IRELAND”号: 西欧和波斯湾之间(经过好望角)(11个航程)。

E.M.: “ESSO MALAYSIA”号: 欧洲和波斯湾之间(13个航程)。

FOLL: “R.G.FOLLIS”号: 欧洲—波斯湾(经过好望角)(4个航程); 印度尼西亚—美国(太平洋)(2个航程); 南朝鲜—波斯湾(4个航程); 夏威夷—波斯湾(1个航程); 欧洲—地中海(2个航程); 美国—地中海(1个航程); 南非—波斯湾(6个航程); 美国(太平洋)—波斯湾(1个航程)。

FOTI: “FOTINI L”号: 日本和秘鲁之间(航行了16个来回,太平洋); 日本—澳大利亚—(印度洋,大西洋)欧洲(1个航程); 欧洲—美国(1个航程)。

ENC.B.: “ENCOUNTER BAY”级的船: 欧洲—澳大利亚(好望角)(航行14,000小时)。

1. “WOLVERINE STATE”号, “HOOSIER STATE”号: 北大西洋(4年)。

2. “CALIFORNIA BEAR”号: 太平洋(1195个记录区间)。

3. “MORMACSCAN”号: 北大西洋(230个记录区间)。

3'. “MORMACSCAN”号: 南大西洋(765个记录区间)。

4. “BOSTON”号: 北大西洋(两个季度, 883个数据区间)。

参考文献[3,4]除了给出垂直弯曲应力外, 还给出了在每个短期记录中水平弯曲应力和扭转剪应力的最大幅值。表 I .4. 给出了对于每一级浦氏风这些最大值的平均值和所记录的最大应力幅值。

列入第四届国际船舶结构会议录(1970年)的英国船舶研究协会的应力数据[12]也可以作为参考。从这些船上测得的数据没有表示为这里给出的曲线图, 一个原因是缺少剖面模数的数据, 无法转换成弯矩系数。另一个原因是不能从波浪诱导应力中分离出冲荡应力。

表 I .4 在“BOSTON”号上测量最大应力幅值的平均值 [3, 4]

浦 氏 风 级	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
水 平 弯 曲 应 力 10 ⁶ 牛頓/米 ²	8.8	8.8	9.2	10.0	10.5	10.1	10.1	11.6	12.8	12.1	13.3	12.8
	最大值=19.1×10 ⁶ 牛頓/米 ² (在9級浦氏风中)											
扭 轉 剪 应 力 10 ⁶ 牛頓/米 ²	3.03	3.17	3.31	3.93	4.55	4.83	5.30	5.52	6.34	8.48	9.31	10.2
	最大值=12.27×10 ⁶ 牛頓/米 ² (在10級浦氏风中)											

表 I .5. 给出了从法国船上测量的结果。这个表的总幅值栏里给出了最大的峯-谷幅值(不管峯和谷之间所经过的时间)。于是在这个最大的峯-谷幅值里包括了在所经过的时间里静水弯矩的变化; 相反的在“最大波浪幅值”栏里给出了在一次航程中获得的最大峯-谷幅值(由静水弯矩的变化所引起的偏差很小, 可以忽略)。将其分开成中拱、中垂分量还是做不到的。在“风”这栏里指出了记录最大幅值时的风力。当有两个数字时, 表示在每一级风中至少两次测得相同的幅值。

第 III 章 长 期 预 报

III.1. 模型和理论预报

序 言

不管实船实验、模型试验还是理论计算, 研究波浪载荷和波浪应力的最终目的是为航行在世

表 I.5 法国船舶的应力幅值

船	观测的时间 (月)	总 幅 值		最大的波浪幅值		风 力 (浦氏风级)	附 註
		应 力	弯矩系数	应 力	弯矩系数		
		10 ⁶ 牛頓/米 ²	10 ⁻⁴	10 ⁶ 牛頓/米 ²	10 ⁻⁴		
油 船							
01	34	275	17.0	177	11.0	6	HT鋼
03	50	224	17.4	147	11.4	9	
04	37	255	22.7	216	19.2	9/6	
05	31	226	20.2	226	20.2	6	
10	53	251	21.5	186	15.9	7	
11	49	221	20.4	177	16.4	10	
27	9	196	9.2	196	9.2	5	HT鋼
28	13	216	11.5	167	9.3	9	HT鋼
29	21	285	15.6	275	15.1	10	HT鋼
36	16	147	8.5	142	8.2	6	HT鋼
37	23	255	13.8	235	12.7	8	HT鋼
38	24	221	16.7	216	16.3	7	
39	33	294	16.1	216	11.9	11	HT鋼
46	6	226	9.8	226	9.8	8	HT鋼
石油、散貨、矿砂船							
47	8	216	12.4	147	8.4	11	HT鋼
矿砂船							
09	43	226	15.8	226	15.8	8	
17	10	250	16.9	191	12.9	8	
19	33	218	13.1	196	11.8	9	HT鋼
32	22	247	21.7	142	12.5	10	
干貨船							
07	51	132	16.2	93	11.4		
08	15	181	19.2	179	19.0	6	
12	24	128	14.3	98	10.9	8	
15	10	91	8.4	69	6.4	6	
20	35	162	20.4	97	12.2	10	HT鋼
22	9	147	23.1	147	23.1		
23	7	136	14.1	93	9.7	5	
26	16	186	24.2	137	17.8	5	
35	19	83	6.2	78	5.8	10	HT鋼
滾装船							
45	10	146	9.8	137	9.2	10 順风	HT鋼
48	13	245	16.4	245	16.4	10 頂风	HT鋼
杂貨船							
18	30	275	41.2	206	31.0	8	
液化天然气船							
02	49	183	13.1	157	11.2	10	
客 船							
06	31	156	7.5	156	7.5	5	外 插 到 上 甲 板

界各海域的新船的设计提供一个有效的切实可行的预报计算载荷的方法。而且现在认为这样的载荷只能用概率的术语来定义，这就是通常所指的累积长期分布。在设计中使用的以这种方法定义的载荷包括垂直弯矩和剪力，水平弯矩和剪力，扭矩，加速度和波浪压力。然而因为垂直和水平弯曲的合成影响比它们每一个单独地影响更加重要，并且因为它们之间的相位关系是十分重要的，所以要很好的讨论怎样获得垂直和水平弯曲的合成长期分布而代之以单独地水平弯曲。几个船级社努力将扭转载荷以及纵向和横向弯曲的合成影响纳入船舶主要强度的分析中。合成弯矩的一种表示法是采用有效弯矩的概念。例如，当仅仅考虑垂直弯矩 M_V 和水平弯矩 M_H 时，我们可以定义有效弯矩 M_e 为

$$M_e = \sigma_e Z_V \tag{II.1}$$

其中 σ_e 是合成甲板边缘应力幅值， Z_V 是垂直剖面模数。于是有

$$M_e^2 = M_V^2 + M_H^2 K^2 + 2 M_V M_H K \cos \delta \tag{II.2}$$

其中 K 是垂直与水平剖面模数的比率， δ 是相位角。

然而，正如第 V 章所示，不同种类的载荷组合在一起的综合问题很复杂，一般不可能简单的求解。第 V 章将给出一般理论，而在第 VII 章中仅对几种特殊情况给出了简化的解。

长期预报的基本要素是

1. 响应算子(传递函数);
2. 波浪数据;
3. 用于描述并结合波浪和响应特性的预报方法;

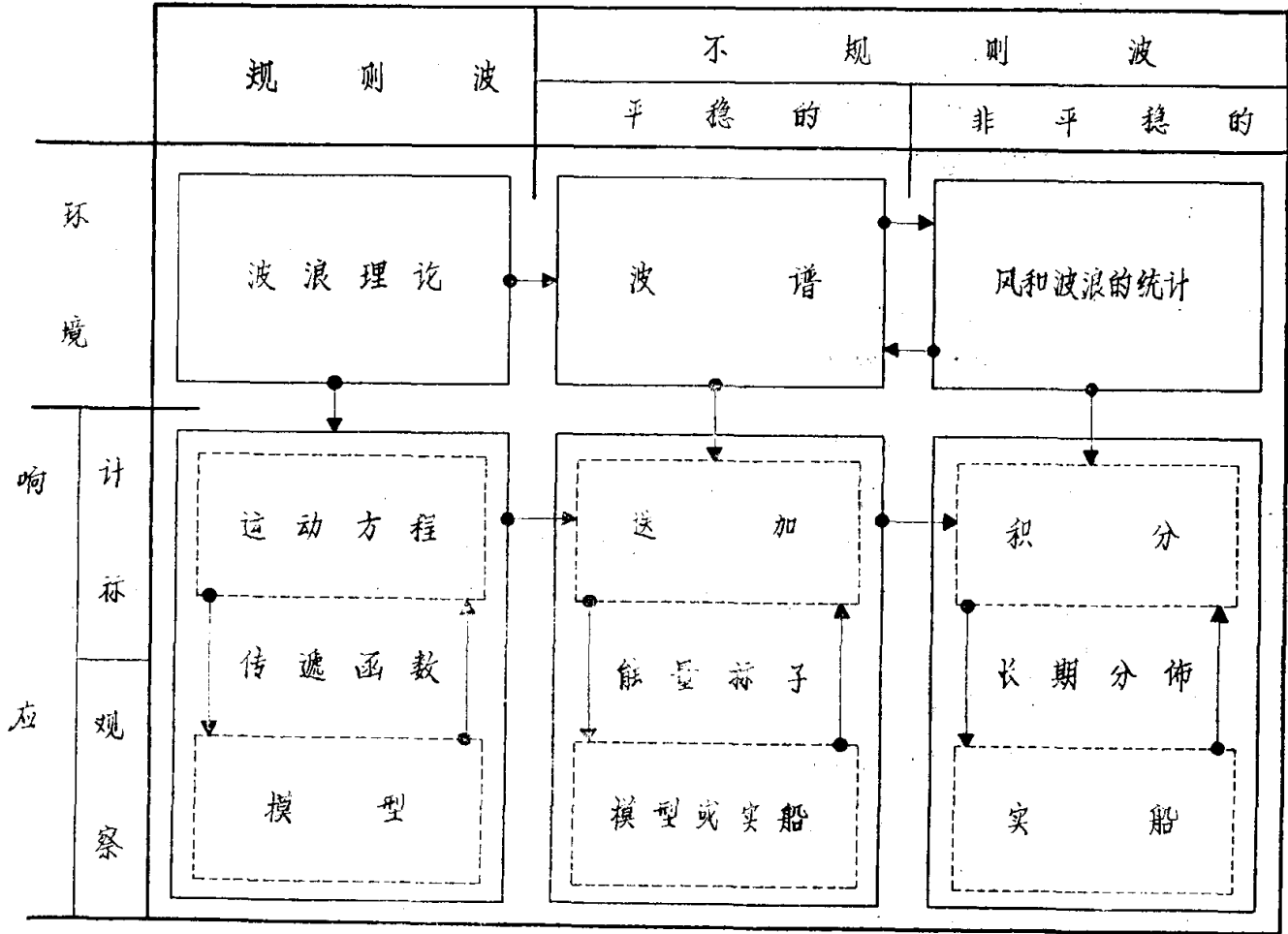


图 II.1

4. 模型和实船数据的关系。

图Ⅲ.1. (见参考文献[20])图解说明了这些要素之间的逻辑关系。前三个要素在本章中讨论,而第四个要素将在第Ⅳ章讨论。

响应算子

长期分布既可以根据在各种波长的规则波中进行各种航向的模型试验来计算也可以用片流理论(strip-theory)来计算。模型试验既可以在具有各种比例和丰满度的模型上做一系列的试验[14],也可以用回归分析的方法随机的试验[15,16]。对于所考虑的每一次新设计既可以系统地进行片流理论计算,也可以根据需要进行适当地进行片流理论计算。一个重要的结果是将片流理论推广到包括水平弯曲和扭转以及垂直弯曲的情况,以及推广到规则波所有的航向中[17]。将理论和实验进行了比较。一般的说,二者的结果相当吻合[18]。这就促进了理论方法的使用。

波浪数据

可靠长期预报的另一个基本要素是完整的精确的波浪数据。这个问题越来越受到国际船舶结构会议第一委员会的注意,并且第一委员会观测和报导的有用数据日益增加。最令人满意的珍贵的资料通常是从气象船观察到的实际波浪记录算出来的谱。这类数据的绝大多数实用于北大西洋,而对于其它地区(诸如南非[19])的结果是不多的。并且对于北太平洋的记录是在分析的情况下得到的。不过,从加拿大国家研究委员会(NRC)和美国韦布(Webb)船舶工程学院执行的“造船师和轮机工程师学会”(SNAME)的计划将可得到对北大西洋气象船的数据的新的分析。

由世界上广泛采用的观察波浪周期和有义波高的形式可以得到丰富的海浪资料。对于不同的海区这类数据通常用表格形式来表示,给出了波浪周期和波高的不同组合发生的频率。为了应用这些数据预报波浪载荷,需对每一周期和波高的组合,选择相适应的谱。见图Ⅲ.2.。

不管采用什么形式的波浪数据,为了长期预报必须具有下面两方面的资料:

- (1) 各种典型海情条件的谱的特性。
- (2) 这些海情条件的长期变化。

各种预报方法

1970年第四届国际船舶结构力学会议第三委员会的报告概述了获得载荷长期分布的三种主要方法。当然这些方法仍然是有效的,为了参考,例举如下:

1. 两个参数的波浪数据。根据 H_v 和 T_v 列表值,应力或者弯矩的累积长期分布是:

$$P(x) = 1 - \sum_i \sum_j P_{ij} \exp(-x^2/E_{ij}) \quad (\text{Ⅲ.3})$$

2. 波谱族(修正形式)。刘易斯采用了10个随机选择的谱,对若干个波高区间的每一个求得 $\sqrt{E}$ 的平均值和标准差,假设在每个区间中 $\sqrt{E}$ 是正态分布的。然后根据适当的波高分布用雷利分布求和法获得长期预报。为了与按浦氏风级分类的实船数据进行比较,将依赖于波高的预报趋势转换到依赖于浦氏风级[1]。

3. 韦布尔(Weibull)方程式。

为说明在周期 T_v 的区间中 H_v 的长期分布,诺登斯特罗姆[20,30]使用韦布尔分布函数

$$P(H_v) = 1 - \exp(-[(H_v - H_0)/(H_c - H_0)]^\gamma) \quad (\text{Ⅲ.4})$$

其中 H_0 , $H_c - H_0$ 和 γ 是位置,缩尺和剖面形状的参数。目测波高 H_v 和目测周期 T_v 与方程(Ⅲ.11)中的谱参数——有义波高 $H_{1/3}$ 和平均零交点周期 $\bar{T}$ 之间的关系由下面公式(其中常数依赖于数据的类型)

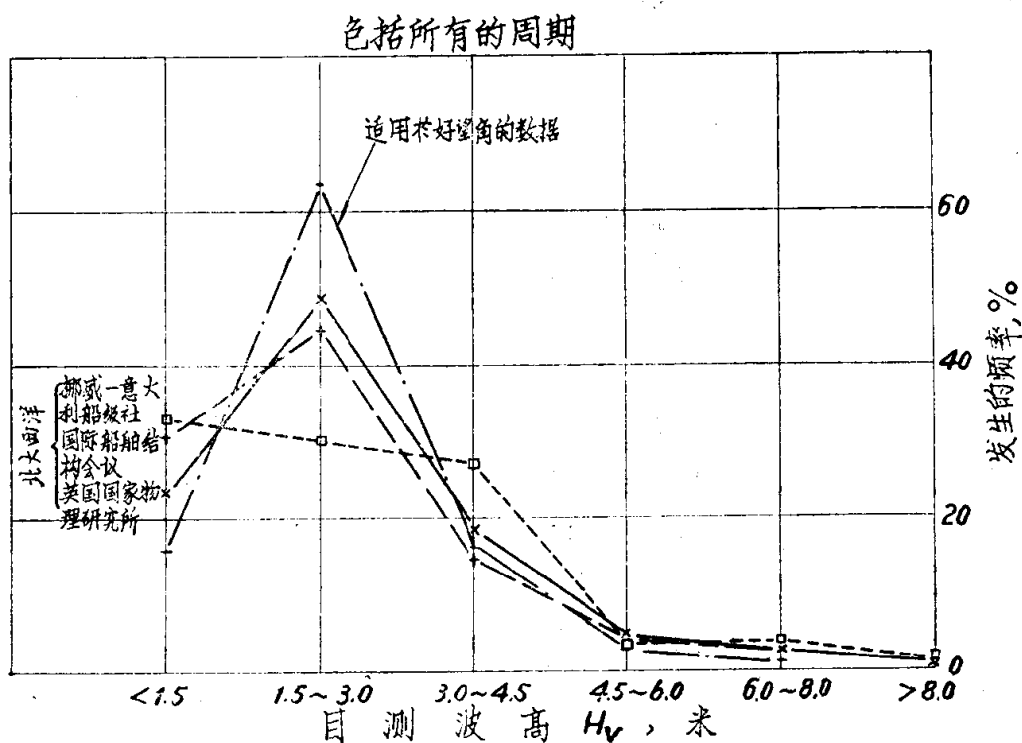
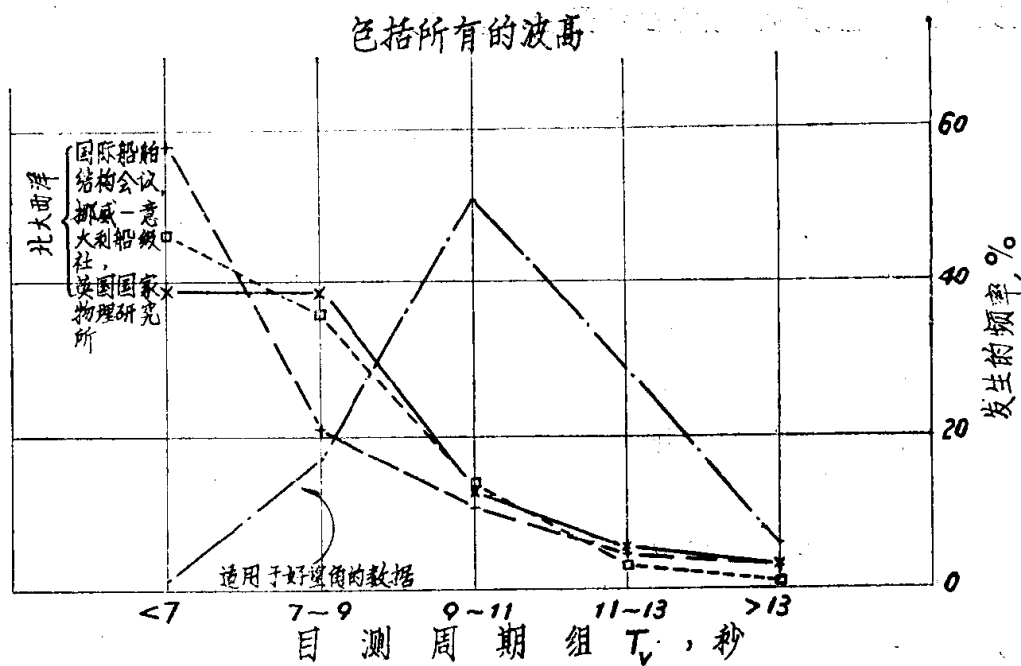


图 Ⅱ.2 波浪统计的比较

$$\begin{aligned} H_{1/3} &= 0.5 H_v^{1.33} \\ \bar{T} &= 2.83 \bar{T}_v^{0.44} \end{aligned} \quad (\text{Ⅱ.5})$$

给出。把这种海浪表达与短期响应特性 ($\sqrt{E}/H_{1/3}$ 做为 $\bar{T}$ 的函数) 结合起来就得到了 $\sqrt{E}$ 的韦布尔长期分布

$$P(\sqrt{E}) = 1 - \exp[-(\sqrt{E}/a)^m] \quad (\text{Ⅱ.6})$$

其中 a 和 m 是缩尺和剖面参数, 并且可直接地给出变量 x 的长期分布

$$P(x) \simeq 1 - \exp[-(x/(a\sqrt{b}))^{2k}] \quad (\text{Ⅱ.7})$$

其中 b 和 k 是 m 的已知函数。

下面将依次讨论上述每种预报方法的最新发展情况。

使用两个参数的波浪数据

这种方法应用很广，对观察波浪周期和波高的列表值，用两个参数谱的公式拟合海浪谱。这个方法好在考虑了具有一定波高的波谱形状(面积)的某些变化。然而这种变化体现为移动波谱曲线的光滑的峰(此后称为平均周期)，并使波谱曲线理想化，而没有考虑由详细分析波浪记录所发现的波谱形状的其他变化。最近用这种方法研究了运行在北大西洋中的货船“California Bear”号[21]。对运行在北大西洋中的货船，将两个参数法和波谱族法进行比较，可以发现[21]：当以波高为横坐标画出曲线的时候，列表法给出了较低的 $\sqrt{E}$ 的平均值和较高的标准偏差。最终，长期预报在 $N=10^8$ 时大约高了13%(见第Ⅳ章)。

使用谱族方法

这种方法包括以某些方便的形式诸如根据面积(有义波高)对随机谱分类[22]。对若干个波高范围内(5个或5个以上)的每一范围，在随机的选择了10种或者更多的谱之后，对于每一种谱计算出了在所有航向下的响应，包括在所有的情况中考虑了与短峰相适应的传播因素。然后对每一类波高求得 $\sqrt{E}$ 的平均值和标准偏差。再假设相对于每个 $\sqrt{E}$ 值载荷服从雷利分布，这样就能够确定累积载荷的分布。最后根据已知波高的分布可以获得所有气象组合的累积长期分布。

韦布尔方程

亚伯拉罕森(Abrahamsen)[23]简单地叙述了这种方法。事实上，其特点是对两种类型的海浪应用了韦布尔分布并且最后的长期载荷允许解析处理。林德曼(Lindemann)[24]，诺登斯特罗姆[30]和诺登斯特罗姆，佩德森(Pedersen)，法尔廷森(Faltinsen)[31]给出了这个课题的最新的报告。

常用的方法

大多数船级社和某些设计机构按着上面讨论的一种或者多种预报方法研制了长期预报程序。在许多情况下这些程序可用于比较广泛或者确定船舶尺度的趋势，但是可以预料到不久人们将更加普遍的应用这些方法。随着结构分析工作的进展以及其它静载荷和动载荷的明确化，一定会得到相当合理的设计方法(这是第10委员会的工作，也可以看第Ⅴ章)。

认为有必要对各个机构所用的长期载荷预报方法的一些问题进行比较。使这些方法标准化还为时过早，但是通过各种方法的比较和详细讨论这差别影响结果，可以得到不少有益的启示。

附表Ⅲ.1.的目的是对几个主要船级社的预报方法进行比较。表Ⅲ.1.是根据已发表的资料做出的，而且通过直接交流情况进行了补充。应注意，一般来说，所使用的波谱公式不是“国际船舶结构会议”的就是“挪威船级社”的。因为各个机构采用了不同的符号，所以下面定义表达式并加以比较：

在1964年国际船舶结构会议录中，第一委员会的报告(Vol. 1)给出了国际船舶结构会议的基本公式：

$$E(f) = 0.11 H_v^2 T_v (T_v f)^{-5} \exp[-0.44 (T_v f)^{-4}] \quad (\text{Ⅲ.8})$$

其中 $E(f)$ 是能量密度谱，米²-秒；

f 是频率，周/秒；

H_v 是目测波高，米；

T_v 是目测波浪周期，秒。