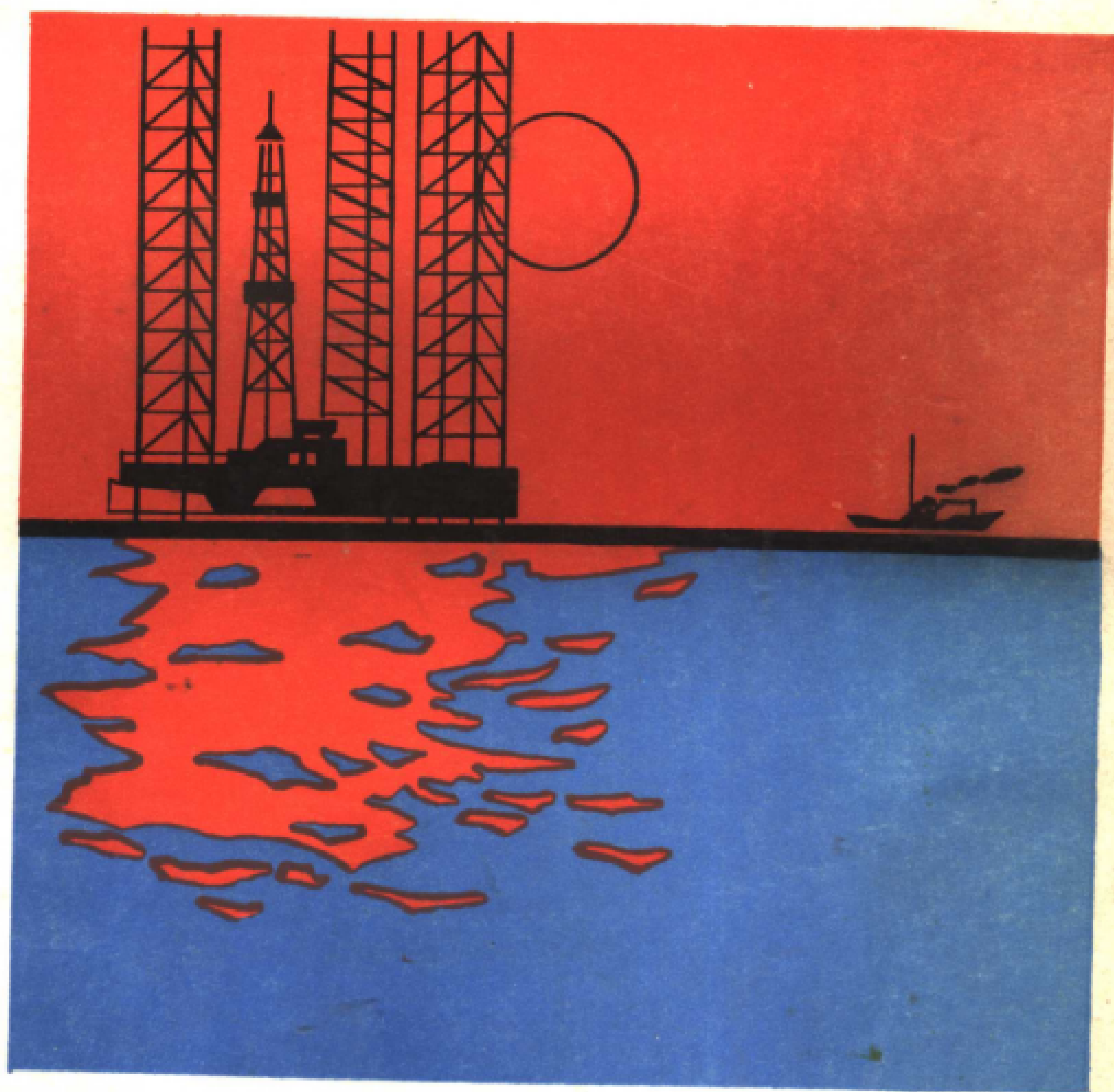


海洋工程设计基础

严似松 戚心源 编译



海洋出版社

海洋工程设计基础

严似松 戚心源 编译

海洋出版社

1988年·北京

序 言

继原子能、航天技术之后，海洋开发已成为当今世界上第三门大型新兴的科学，世界各国竞相开展这一领域的研究与开发工作。

我国海岸线绵长，海域辽阔，海洋资源丰富，海洋开发的前景十分广阔。为海洋开发服务的海洋工程的研究与发展工作，必须大力开展，以适应时代所赋予的重任。

海洋工程涉及的方面甚广，本书无法一一概括，而书中占大量篇幅的海洋环境条件，却是海洋工程各个方面所共同关心的问题。由于作为近期急需解决的工程问题是海洋石油平台的研制和建造，故本书也以海洋平台为重点，搜集了近年来世界各国在这方面的大量研究成果，较为系统地加以介绍。

首先本书对确定海洋平台的设计条件作了较为详尽的说明，并列举了大量的实例，以便帮助读者加深对这些方面的了解。本书不仅以较多的篇幅系统地介绍了各种环境条件，还给出了一系列工程估算方法。此外，对海洋平台的形状设计、结构设计、规范等方面作了必要的介绍，并较为系统地介绍了日本在海洋平台性能研究方面的一些重要成果。鉴于近代性能优异的新型海洋平台大都是通过水池试验来进行研究或优选的，为此，在第11章与第12章中，对近代海洋工程试验技术与某些海洋工程试验水池作了概括的介绍，以帮助设计人员与研究人员对这方面工作有进一步的了解。目前，就世界范围而言，海洋平台的研制工作正在逐步向深海发展，为引起人们对此的关注，最后曾编写了《张力腿平台的发展研究概况》一章。本书还附有大量的公式、图表和数例，供设计与研究人员使用与参考。

本书取材力求新颖，主要以1980年出版的John Gaythwaite所著的《海洋环境与结构设计》一书与日本造船学会志1980—1981年山内保文与竹沢诚二等人发表的连载文章为主要参考资料，同时还参阅了一些其他国内外文献，在编写过程中承蒙顾懋祥教授对本书的部分篇章进行了审校。在此特表感谢。

本书旨在为从事海洋工程的设计人员，研究人员，海洋工程检验规范制定者和大专院校有关专业的师生提供一本内容较为丰富的参考书。

由于本书内容甚广，又系新兴的综合学科，编者才疏学浅，力不从心，文中定有谬误和不足之处，尚希各界人士批评指正，不胜感谢。

编者

1983.7

目 录

第 1 章 海洋工程的设计与海况	(1)
1.1 怎样考虑海况与气象	(1)
1.1.1 设计波法与设计谱法	(1)
1.1.2 统计线性响应法	(4)
1.1.3 如何考虑风与潮流	(5)
1.2 海况估算法	(6)
1.2.1 必要的海况与气象统计资料	(6)
1.2.2 估算海况的流程图	(7)
1.2.3 估算方法的说明	(8)
1.3 对海洋工程的海况和气象设计条件的调研	(15)
1.4 确定海况与气象设计条件的具体实例	(15)
1.4.1 自升式钻探平台	(16)
1.4.2 半潜式石油钻探平台的设计条件	(16)
1.4.3 海洋石油存储基地	(18)
第 2 章 海洋工程规范的海况与设计外力	(21)
2.1 再论设计波	(21)
2.2 确定设计波	(23)
2.3 钢船建造规范中的海况与设计外力	(24)
2.3.1 纵向强度规范	(24)
2.3.2 船底外板规范	(27)
2.4 海洋工程规范中的海况与设计外力	(32)
附录 2.1 估算异常海况	(35)
第 3 章 气象与海况的统计和估算	(37)
3.1 气象与海况的统计	(37)
3.1.1 观测方法	(37)
3.1.2 观测资料	(42)
3.2 波浪估算法	(45)
3.2.1 海风估算法	(46)
3.2.2 风浪估算法	(48)
3.3 估算波浪的实例	(56)
3.3.1 估算实例 1	(56)
3.3.2 估算实例 2	(60)
3.3.3 估算实例 3	(61)
第 4 章 海浪的统计特性	(64)
4.0 符号表	(64)
4.1 海浪的时间系列与空间波形	(65)

4.2	波高与波浪周期的定义	(66)
4.3	短期波浪统计——极大值、波高的统计值	(66)
4.3.1	极大值 ξ 的统计量	(66)
4.3.2	波高 (H) 的概率分布	(71)
4.3.3	平均波高、有效波高、 $1/n$ 最大波高	(71)
4.3.4	最大波高 ($H_{\max}$) 的数学期望值与方差	(72)
4.3.5	波高的“连”与波浪状态的持续时间	(73)
4.4	波浪周期的统计值	(74)
4.4.1	平均值	(74)
4.4.2	周期的概率分布	(75)
4.5	波高与波浪周期联合的统计值	(75)
4.5.1	波高与波浪周期的联合概率	(75)
4.5.2	边际分布	(76)
4.5.3	双峰谱	(78)
4.6	分布形状参数	(78)
4.6.1	谱与谱矩的定义	(78)
4.6.2	谱宽度系数	(79)
4.6.3	表示概率密度分布函数形状的参数	(80)
4.7	波浪长期统计特性	(80)
4.7.1	设计波高与设计周期的联合频度分布	(80)
4.7.2	不同海区的波浪统计	(82)
4.7.3	波向资料	(82)
4.7.4	风速与波高和周期的关系	(82)
4.8	异常海况	(83)
4.9	除海浪外的其他不规则水位变化	(85)
4.9.1	异常潮位	(85)
4.9.2	长周期波	(86)
4.9.3	内波	(86)
第 5 章	海浪谱	(87)
5.1	海洋风浪谱	(87)
5.1.1	Neumann谱	(87)
5.1.2	Pierson-Moskowitz谱	(88)
5.1.3	越智-Hubble 6参数谱	(91)
5.2	有限风程风浪谱	(93)
5.2.1	Darbyshire谱	(93)
5.2.2	Bretschneider谱	(94)
5.2.3	光易谱	(95)
5.2.4	JONSWAP谱	(97)
5.3	方向谱	(97)
5.4	ISSC谱	(101)
5.5	ITTC谱	(103)

5.6	浅海区风浪谱	(105)
5.6.1	井岛-松尾谱	(105)
5.6.2	郭-掘川谱	(106)
5.6.3	郭氏谱	(108)
5.7	实测例	(109)
第 6 章	海浪的变形	(113)
6.1	概述	(113)
6.2	海浪的折射	(113)
6.2.1	规则波的折射	(113)
6.2.2	不规则波的折射	(114)
6.3	海浪的衍射	(118)
6.3.1	规则波的衍射	(118)
6.3.2	不规则波的衍射	(118)
6.4	流引起的波浪变形	(123)
6.4.1	流和波的叠加	(123)
6.4.2	流的折射	(124)
6.4.3	流中的风浪	(125)
6.5	海浪的浅水变形和碎浪	(129)
6.5.1	规则波的浅水变形与碎浪	(130)
6.5.2	不规则波的浅水变形	(133)
6.6	结语	(140)
第 7 章	环境条件的工程估算	(141)
7.1	风	(141)
7.1.1	阵风系数	(141)
7.1.2	垂向分布	(141)
7.1.3	风力	(142)
7.2	波浪的影响	(149)
7.2.1	浅水效应	(149)
7.2.2	浮动和潜水物体的影响	(151)
7.2.3	流的影响	(152)
7.2.4	波浪理论	(153)
7.2.5	波能	(156)
7.2.6	桩柱结构	(157)
7.3	流的影响	(168)
7.3.1	流的估算准则	(168)
7.3.2	流的作用力	(169)
7.4	冰的影响	(173)
7.5	地震的影响	(174)
第 8 章	浮动式海洋建筑物在波浪中运动的估算	(177)
8.1	概述	(177)
8.2	浮体在波浪中运动的估算	(177)

8.2.1	运动方程	(178)
8.2.2	浮体构件的流体动力	(179)
8.2.3	整个浮体的流体动力	(184)
8.2.4	系泊力与复原力	(184)
8.2.5	定常外力	(188)
8.2.6	不规则波中浮体运动的估算	(190)
8.3	浮体在波浪中运动估算方面的理论计算与实验	(191)
8.3.1	自由浮体在波浪中的运动	(192)
8.3.2	系泊浮体在波浪中的运动	(194)
8.3.3	浮体在浅海波浪中运动的理论	(197)
8.3.4	浮体在波浪中运动的计算系统程序	(198)
8.3.5	实体试验	(198)
8.3.6	今后的课题	(199)
第9章	确定半潜式平台形状的基础设计程序	(201)
9.1	概述	(201)
9.2	运动性能与形状设计	(201)
9.2.1	设计摇荡小的平台形状	(201)
9.2.2	摇荡小的平台形状(主尺度)的确定(第二次近似值)	(204)
9.2.3	程序的组成	(205)
9.3	流体动力的计算	(207)
9.3.1	三维奇点分布法	(207)
9.3.2	三维有限元法	(207)
9.4	综合设计法	(208)
9.5	程序适用实例	(209)
9.6	结论	(209)
第10章	半潜式平台波浪中结构响应的分析系统	(212)
10.1	概述	(212)
10.2	电算系统	(212)
10.2.1	数据传送,静载荷结构分析	(213)
10.2.2	波浪中的运动,波浪外力的分析	(214)
10.2.3	波浪载荷下立体骨架的分析	(214)
10.2.4	响应函数,统计处理方法	(214)
10.3	电算系统的计算示例	(215)
10.3.1	与模型试验的比较	(215)
10.3.2	大型模型的计算示例	(215)
10.4	结论	(220)
第11章	海洋工程水池试验中的造波问题	(221)
11.1	概述	(221)
11.2	海洋工程水池中波浪试验的目的与分类	(221)
11.2.1	频率响应试验	(221)
11.2.2	大浪中安全性的验证试验	(222)

11.2.3	海区地形的模拟试验	(223)
11.2.4	潮流、风与波浪并存的试验	(223)
11.3	水池波浪试验的相似定律与模型	(223)
11.3.1	动力相似定律	(223)
11.3.2	Froude相似定律和模型	(226)
11.3.3	“变态”模型	(228)
11.3.4	二维模型与构件模型	(229)
11.3.5	模型尺度比与波浪	(229)
11.4	水池造波与造波机	(230)
11.4.1	水池造波原理	(230)
11.4.2	水深的影响	(234)
11.4.3	驱动装置的特性	(235)
11.5	设计波和水池规则波	(236)
11.5.1	设计波	(236)
11.5.2	水池规则波	(237)
11.6	设计谱与水池不规则波	(241)
11.6.1	设计谱	(241)
11.6.2	水池不规则波制造方法	(249)
11.7	水池中不规则波的特性	(254)
11.7.1	水池中不规则波的统计特性	(254)
11.7.2	水池中的不规则波谱	(256)
11.7.3	和线性不规则波的差异	(256)
11.8	极限波与集中过渡波	(259)
11.8.1	异常极大波与极限波	(259)
11.8.2	集中过渡波	(259)
11.9	二维谱波与水池短峰不规则波	(262)
11.9.1	二维谱	(262)
11.9.2	水池短峰不规则波	(262)
11.10	结论	(265)
第12章	海洋工程试验水池概述	(268)
12.1	概论	(268)
12.2	日本船舶技术研究所海洋工程试验水池	(268)
12.2.1	概况介绍	(268)
12.2.2	海洋工程试验水池的主要设备与其特点	(278)
12.2.3	水池的设备概况与特点	(279)
12.2.4	海洋工程试验水池有代表性的试验实例	(280)
12.2.5	海洋工程试验水池正在进行的模型试验	(281)
12.3	挪威海洋工程水动力学技术研究所海洋工程试验水池	(281)
12.3.1	概况介绍	(281)
12.3.2	水池设备的结构与布置	(283)
12.3.3	可调整的钢池底	(283)

12.3.4	流的装置	(287)
12.3.5	水的过滤与循环装置	(287)
12.3.6	水平面的控制	(287)
12.3.7	造长峰波的液压 1 号造波机	(288)
12.3.8	造短峰波的多单元造波机——2 号造波机	(289)
12.3.9	控制室	(291)
12.3.10	清除油污试验的辅助设备	(291)
12.3.11	联锁装置系统	(292)
第13章	张力腿平台的发展研究概况	(293)
13.1	概述	(293)
13.2	近三十年的研究概况	(293)
13.2.1	1954—1966年系基本原理研究阶段	(293)
13.2.2	1967—1975年为TLP研究的第二阶段	(294)
13.2.3	1975年至今为第三阶段	(294)
13.3	TLP的船型与系泊方式简介	(294)
13.3.1	TLP的主要组成部分	(294)
13.3.2	TLP的系泊方式	(295)
13.4	TLP在波浪中运动的数学模型与固有周期	(295)
13.5	风、潮流对TLP性能的影响	(296)
13.6	TLP的非线性运动特性	(297)
13.7	单腿断裂时的安全性	(298)
13.8	TLP的设计准则	(299)
附 录		(301)
参考文献		(305)

第1章 海洋工程的设计与海况

海洋工程常设置或系泊在特定的海区，不能像船舶在大风浪到来前那样，可通过改变航向来保证自身的安全。为此，海况与气象等各种环境条件对海洋工程的作用至关重要，所以，海洋工程设计者在设计时必须把海况与气象列为最重要的考虑因素之一。

作为海洋工程的设计条件必须考虑的环境因素主要有下述几个方面：

①地形 ②水深 ③波浪 ④风 ⑤潮流 ⑥潮汐 ⑦水温、气温 ⑧水质 ⑨土质 ⑩冰的因素和⑪地震等。

本章将以波浪为中心，同时考虑风与潮流和海洋工程设计的关系。本章将阐述如下几个方面的问题；①研究海况与气象的必要性；②海况与气象数据以何种方式表示为妥；③估算海况的方法；④在设计海洋工程时应该怎样确定波高与风速等等……。为了帮助读者理解上述问题，在本章里还列举了一系列实例。

1.1 怎样考虑海况与气象

在设计海洋工程时，一般总要考虑下述两种状态：①生存条件(*Survival condition*)；②工作条件(*Operating condition*)。

生存条件系指保证海洋工程安全的，又具有某种现实概率的，最苛刻的外力条件。一般是根据长期波浪统计资料，取50年，100年一遇近来甚至开始考虑万年一遇的最危险海况，继而利用“设计波”(*Design Wave*)或“设计谱”(*Design Spectrum*)的方法来处理，求出海洋工程在这种大波浪中的响应。船舶设计时，其设计条件用下述方法来确定：即利用线性叠加原理与长期的概率统计方法，求出船体响应的极值，并以此响应极值来作为设计条件。但海洋工程的设计条件的考虑方法与上述有些不同。海洋工程在设计初期，为了得到波浪条件，就须相对给出最大波高，在一定范围内改变波浪周期，然后再求出非线性响应的极值。但近年来我国研究人员方钟圣在英国与Hogben的联合研究已发现波高的概率分布与周期的概率分布有一定的关系，与英国India等观测站的测量数据相符合(Z.S. Fang and N. Hogben “Analysis and prediction of Long Term Probability Distributions of Wave Heights and Periods” NMI R146 Oct. 1982)。

工作条件主要是研究出现概率多的波浪，所以它与生存条件不同，非线性并不严重，运用适当的假设，与研究船舶的情况相似，可以利用线性叠加原理和概率论进行预报。

1.1.1 设计波法与设计谱法⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾

1953年Denis与Pierson⁽⁵⁾发表利用线性叠加原理估算船舶在海浪中运动方法的论文，

经一系列实践表明：此方法是行之有效的。今天，这一方法在估算船舶耐波性方面与确定波浪外力的设计条件方面得到了广泛的应用。他们在预报船舶在不规则波浪中运动的统计特性方面作出了卓越的贡献。

但是对于海洋工程的设计（如后所述），存在着波浪的非线性问题与作用在海洋工程上流体动力的非线性问题，此外，还有系泊系统的非线性问题，所以一般不宜采用线性叠加原理进行长期预报，而是利用“确定性方法”（*Deterministic Method*）与随机过程法（*Stochastic Method*）。

这些方法可分成下述三类：设计波法（确定性方法）；设计谱法（概率过程处理法）；和非线性时域历程模拟法（*Non-Linear Time History Simulation Method*）。

为了进一步了解这些方法，将介绍这些方法的概要与其特点。

①波浪的非线性问题：在海洋工程的设计方面所采用的波浪理论有如下几种：

- （i）利用线性理论的微幅波；
- （ii）Stokes水波（三阶近似，五阶近似）；
- （iii）利用流函数理论表示的波^{〔6〕}；
- （iv）椭圆余弦（Cnoidal）波与双曲线（Hyperbolic）波^{〔7〕}；
- （v）孤立波^{〔7〕}。

海洋工程的建筑物常设置在浅海区，设计时就必须考虑海浪的大波高问题，所以研究波浪的非线性理论是十分重要的，（iv）与（v）两种情况适用于水深极浅的情况。由于利用流函数理论表示的波适用范围很广，所以近来受到人们的注意^{〔8〕}。一般用得较多的是（ii）中的Stokes波的五阶波。然而当水深较深时，水质点运动的速度与加速度用线性理论的微幅波和Stokes五阶波没有太大的差别^{〔1〕}。

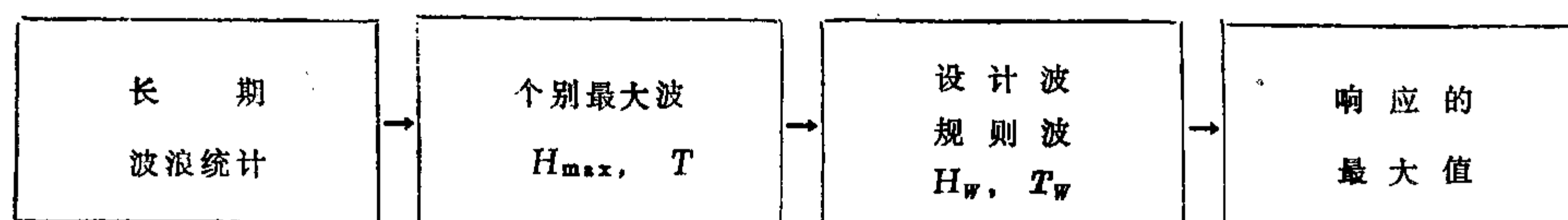
②流体动力的非线性问题：当海洋工程的部件采用直径较小的柱体时，可以用Morison公式^{〔8〕}估算作用在柱体上的流体动力。Morison公式可用下式表示：

$$F = \frac{1}{2} C_D \rho D U |U| + \frac{\pi}{4} C_M \rho D^2 \dot{U} \quad (1.1)$$

由此式可见：此流体动力是用与流体速度成比例的阻力和与加速度（ $\dot{U}$ ）成比例的惯性力表示的，并表明：此流体动力是非线性的，不宜采用能量谱的线性叠加理论。但当海洋工程的部件直径与波长相比较小时，有时也可以用线性势流理论求得流体动力，所以不一定都要用非线性理论，而是要根据实际情况，即根据部件的大小与波浪频率来决定流体动力的估算方法。

③系泊系统的非线性问题：浮动式海洋工程的系泊方法多种多样，但无论哪一种系泊方式都有非线性问题，在估算此类海洋工程的状态与系泊力时往往是相当复杂的。

（1）设计波法



设计波的观点是在1940年末作为石油钻探船的设计基础而提出来的，一直沿用至今。

设计波法首先是求知五十年甚至一百年间的最大波高，然后再用波高与波浪周期相同的规则波取代，该规则波即是设计波。

然而如何通过长期统计来求知个别最大波的问题，至今尚未完全明确。例如，如果已知根据长期波浪统计资料而取得的有效波高 (*significant wave height*) (或者可视为有效波高)，则取决于再现周期 (*Return period*) 的有效波高的最大值，在选定用某种分布如 Weibull 分布或 Gumbel 分布或其他分布规律后，便可以通过外插法来求得。如果再假设短期不规则海浪波高的概率分布 (例如是 Rayleigh 分布)，则可以估算出对应于最大有效波高的个别波高的最大数学期望值。此时，必须假设风暴高峰期的持续时间，通常采用相当于持续时间为 2—3 小时的 1/1000 最大数学期望值^{[9][10]}。

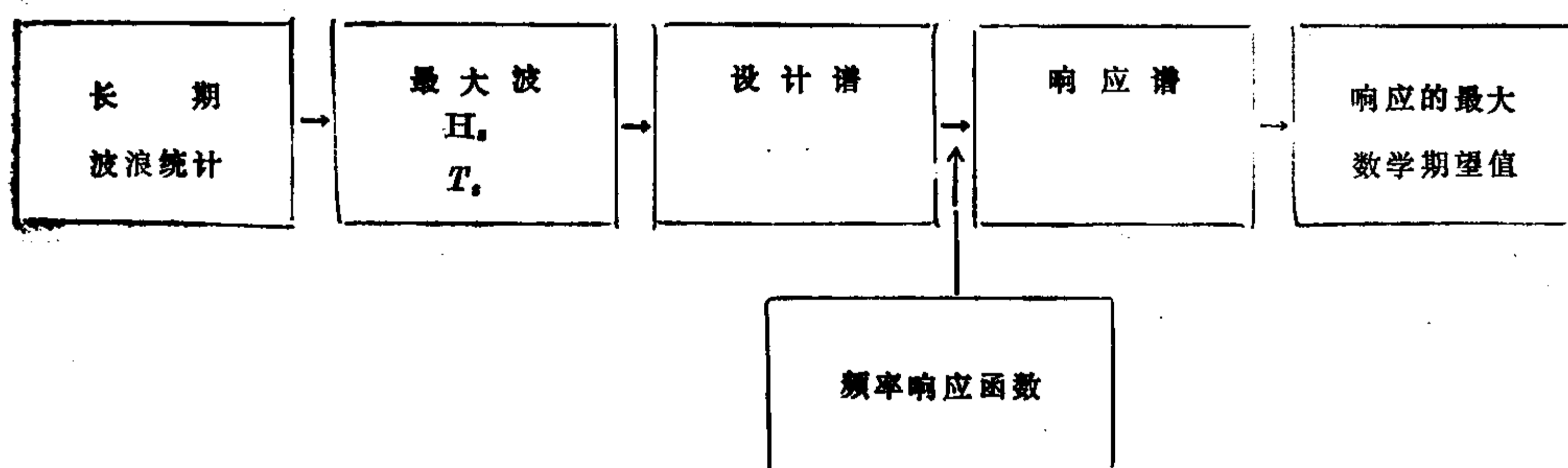
此外，也可以用下一节所述的长期预报法求出波高的最大数学期望值。即用短期海面波高的方差值，和波高、波浪周期等参数联合的波浪长期出现频率，可以求出波高的累积超越概率，进而求出数十年出现一次的最大波浪。

设计波法的优点如下^[1]：①在设计计算中应用简单；②便于采用高阶波理论；③在计算波浪载荷时容易考虑非线性影响；④容易考虑潮流的影响。

这个方法的缺点是：①它与实际海面的状态不同，没有考虑波浪的不规则性与波能分布的方向性；②波浪载荷容易受到波浪周期的影响，有时会给出过于苛刻的设计条件*。

当固定式海洋工程的部件直径与波长相比较小时，目前广泛地采用这种设计方法，然后再用下述的设计谱方法进行验证。这种趋势在最近召开的海洋工程会议 OTC (*Offshore Technology Conference*) 上的一些论文中也可以看到^{[9][10]}。

(2) 设计谱法



此方法是通过长期波浪统计资料求得最大波 (此时是有效波)，继而取具有此有效波高与波浪周期的波谱，将此波谱作为“设计谱”。然后再将频率响应函数线性叠加，求出响应的能量谱，最后由谱面积估算出响应的最大数学期望值，这个方法相当于估算船舶在不规则海浪中响应短期预报的方法。响应极值概率分布在一般情况下可用 Rayleigh 分布表示。

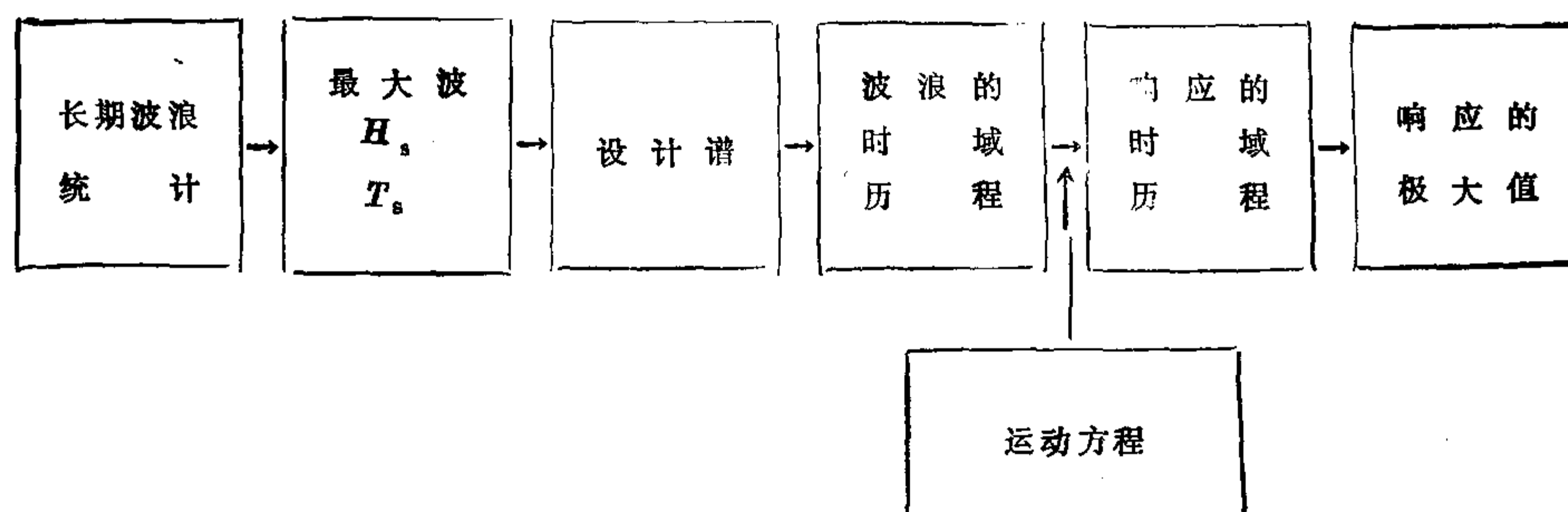
该方法的特点是与在线性范围内不规则波中响应的估算法一致。

存在的问题是难于直接处理非线性现象，因此，常利用一些近似方法作为线性问题来处理，或用较复杂的方法进行处理。

由于此方法与设计波法相比，可以得到在不规则波中的响应，所以，在海洋工程设计中已逐渐采用，目前，在浮动式海洋工程的设计中几乎都采用这种方法。

• 如果能运用相应的波浪周期预报如上述方钟型与 Hogben 的研究成果则结果较好。——编译者注

(3) 非线性时域历程模拟法



该方法的前半部分与设计谱法相似，即首先取相当于极限条件下有效波高与波浪周期的谱作为设计谱，然后，再在时域内进行响应的模拟计算，最后求出响应最大值。

该方法的优点是：①考虑了海浪的不规则特性；②适用于研究非线性现象；③可以明确地掌握输入波浪与输出响应之间的因果关系。

该方法的缺点是：①难以考虑海浪频率对流体动力的影响，而只能用平均频率下流体动力的数据；②得出的响应极值的统计意义还未必明确。例如：某海洋工程遭遇1000个波，此时用1000个波模拟计算得到的结果不一定是1/1000最大数学期望值，其结果求出的是某个特定短期概率分布下的最大数学期望值；③计算时间长，费用也高。

尽管如此，由于它不仅能够求得相对波浪的响应，而且还可以处理定常风、非定常风及潮流的影响。所以它在计算具有非线性系泊系统的浮动式海洋建筑物响应时是一种颇为有效的方法。

此外，近来又提出研究系泊系统的长周期或缓慢漂移运动的方法，也是一种有效的方法，它正在引起人们的注意。

在方法(1)、(2)、(3)中都在一定的范围内变动波浪周期，然后再求出海洋工程的最大响应，至于周期在什么范围内变动为佳？本文拟推荐经验公式如下：

如采用方法(1)，则建议 $\sqrt{6.5H_w} < T_w < \sqrt{15H_w}$ 。

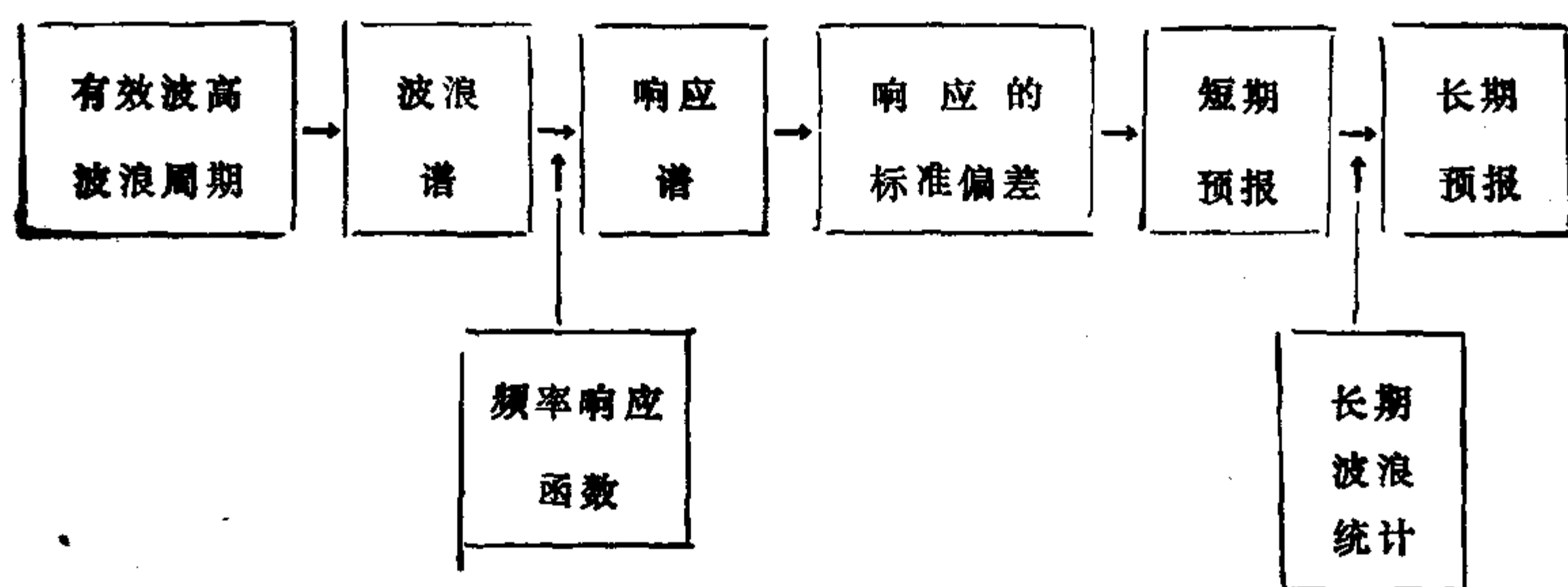
如采用方法(2)，则建议 $\sqrt{13H_s} < T_p < \sqrt{30H_s}$ 。

有关方法(1)一(3)的具体实例，将在1.4中详述。

1.1.2 统计线性响应法

该方法在船舶耐波性长期预报中得到广泛应用。其特点是：①以线性叠加理论为基础；②必须假设响应的短期分布形式（通常取Rayleigh分布），由于直接使用长期波浪统计，可以不去假设长期分布的形式（关于这一点，在上述的方法(1)一(3)中都假设波浪长期出现概率的分布形式）。

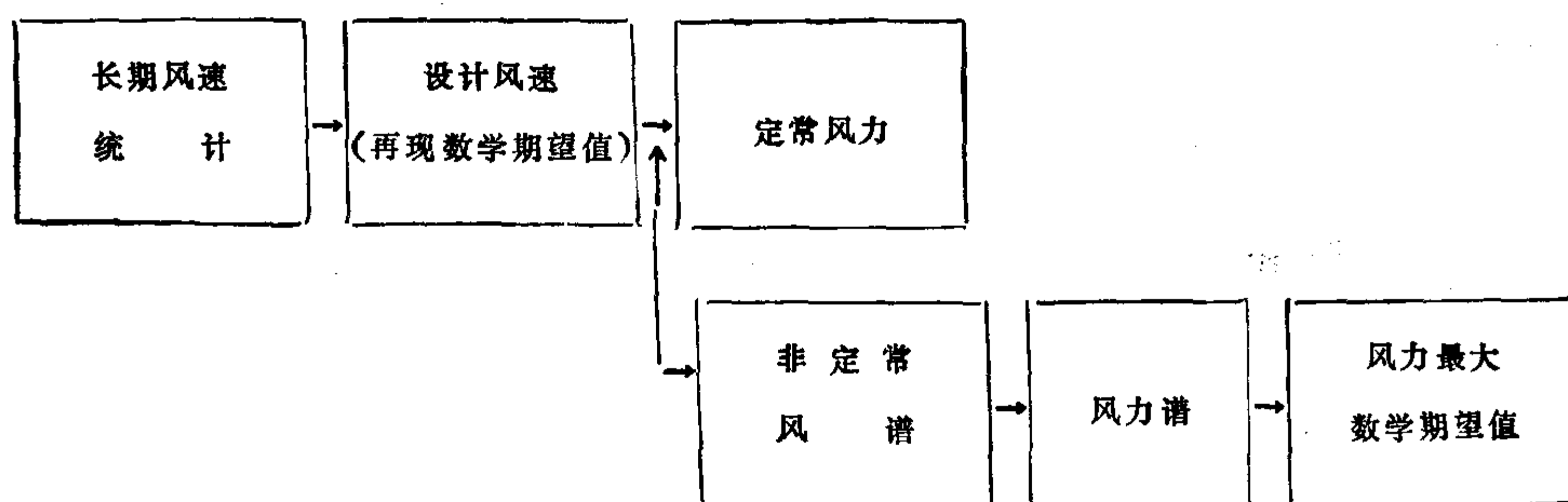
此方法的缺点是：①必须要有海浪长期统计资料。对于船舶此问题不大，因为现在世界上各主要航线都有一些这方面的资料。而在海洋工程设置的海区上却很难给出长期波浪统计资料，这就给海洋工程利用此种方法估算带来一定的困难；②对于海洋工程响应的计算，已



有了适合采用此种方法的实例^[11]。但对于生存条件，由于非线性问题严重，此方法未必适用，由于利用这种方法可以求出响应的累积出现概率，所以，此种方法适用于探讨工作条件的工作率与疲劳强度问题。对于比较严重的海况，如果能合理地采用一些线性化假设，近似地求出频率响应函数，此方法也是可以用的。

1.1.3 如何考虑风与潮流

(1) 定常风与非定常风



研究波浪时，主要考虑它的变化，而风则不同，其主体是定常部分，只是在这个定常值上有一些变化。

关于风随时间的变化，大多数情况下是要求出瞬时最大风速或阵风风速。

对于非定常的风谱，可以用Davenport给出的计算公式与日野的修正公式^[13]，该公式可以表示为下式：

$$f \cdot S_v(f) = 2KU_{10}^2 \frac{x^2}{(1+x^2)^{4/3}}, \quad x = 1200f/U_{10} \quad (\text{Davenport公式}) \quad (1.2)$$

$$S_v(f) = 1.428 \frac{K \cdot U_{10}^2}{\beta} \left[1 + \left(\frac{f}{\beta} \right)^2 \right]^{-5/6}, \quad (\text{日野公式}) \quad (1.3)$$

$$\beta = 1.169 \times 10^{-3} \frac{U_{10} \cdot \alpha}{\sqrt{K}} \left(\frac{Z}{10} \right)^{2m\alpha-1}$$

式中 U_{10} 为在标准高度10米处的平均风速, K 为地面摩擦系数, 在水面取 $K=0.003$, α 为风速垂直分布指数, Z 为距离水面的高度, f 为频率, m 为大气稳定度的修正系数, 对于强风, 取 $m=2$ 。图 1.1 给出非定常风风谱图, 如果用非定常风谱, 就可以求出相当于阵风的风速变化的最大数学期望值^[14]。

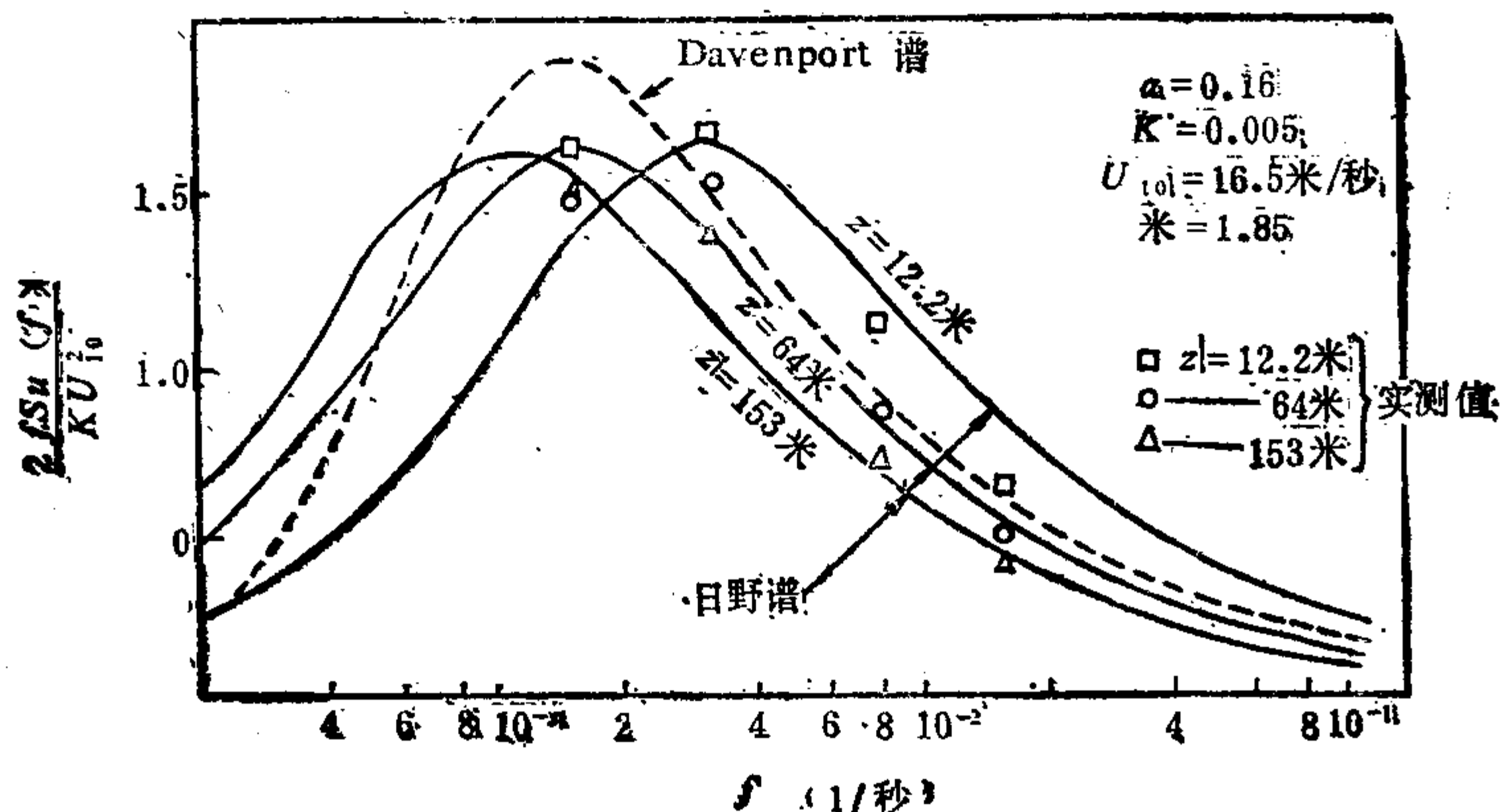


图 1.1 非定常风谱^[13]

(2) 潮流与风吹流^[15]

由于潮流的地区性非常强, 所以必须在海洋工程设置点进行实测, 将实测获得的资料用于设计。潮流还有一个特点是: 它的垂直分布随海底地形、海底摩擦、水温、含盐量等变化, 甚者在表面层与底层的流向竟会相反, 所以必须进行实测调查。

由风产生的流动, 与风速和持续时间等有关, 表面流与风速之比值称为风力系数, 根据实测, 在中纬度地区一般可取 0.02—0.05。

(3) 潮位

关于潮位必须考虑两种状态: ①要考虑由于大潮, 海啸造成的极大高潮位; ②要考虑由于海啸引起的极大低潮位。这两种状态在海洋工程设计时必须加以探讨。在确定极高与极低的潮位时, 既要根据再现周期的方法, 还要参照过去的最高潮位与潮位偏差, 或相对假想的台风与海啸潮位的估算值。

1.2 海况估算法

1.2.1 必要的海况与气象统计资料^{[16] [16]}

在设置海洋工程的海区内必须掌握的海况与气象的统计资料如表 1.1 所示。

在这里必须将 1 年间出现的概率统计与长期的极值统计加以区别。1 年间出现概率统计的对象是在设置海洋工程的海区里出现频率大的波浪与风, 主要用于探讨工作条件的工作率与疲劳强度。如果占有很长时间的观测资料, 而且是以出现概率的形式表示的, 当然可以用来进行长期预报。但若出现概率的统计资料年数较短, 则不能反映出气象的长周期变化的影

表 1.1 必要的海况与气象的统计资料

	一年间出现概率统计	长期极值统计
必要的统计年数	2—3年内平均值	30年以上
波 浪	(1)波高-波浪周期-波向参数的联合(出现)概率统计 (2)各波高持续时间的概率统计也可称为波候(Wave climate)统计 ⁽¹⁶⁾	(1)包括年最大波高的极大波的统计,即波高-波浪周期-波向参数联合(出现)概率统计 (2)极大波波谱实测示例
风	(1)风速-风向参数联合出现概率统计 (2)各风速持续时间出现概率统计	(1)包括年最大风速的极大风速统计 (2)极大风速谱或阵风率的实测示例
潮	(1)最大流速 (2)流向	
潮 位	最高潮位	最低潮位

响,所以不适宜用来作为50年—100年的长期预报数据⁽¹⁶⁾。在确定海洋工程的生存设计条件时,必须把作为确定再现数学期望值的基础的年最大波高或年最大风速区别开来。

在估算波浪时,也同样要注意这个问题,在求一年间出现概率时,可以用几年为统计区间来进行。而在求(生存条件的)再现数学期望值时,必须先规定对年最大波高的气象干扰循环周期,例如以数年或数十年为周期选出最大值,基于这种考虑的推算方法,才能得到较佳的结果。

自古以来,对于海况的统计资料,都是用目测法确定浪级(风浪级或涌级);而由浪高仪得到的数据,同时包括波高与周期,所以其可靠性更高。然而,有关波浪方向性的实测数据目前还很少,实际上,由于一些海洋工程的形状确定与海浪的方向有关,还有一些海洋工程设置在港湾中,尤需考虑波浪的方向性,所以今后有必要积累海浪方向性方面的资料。

此外,以波高为分界的持续时间的统计也颇为重要,这是因为计算工作率时需要这个数据,例如如果想知道装卸货物的那些天数中海况是否平稳,就需要知道各种波高的持续天数。

在设置海洋工程的海区中实测波谱与非定常风谱也是很有价值的资料。

1.2.2 估算海况的流程图

如果对于某一个设置海洋工程的预定海区,已经具有长期实测的海况与气象资料,便可以确定这一工程的海况与气象的设计条件。然而,在大多数情况下,完全具备表1.1所示的气象、海况资料是不大可能的,为此,为了弥补资料的不足,就必须利用一系列的估算方法。

例如在设计时经常会遇到下述情况:

- 1) 在海洋工程预定的设置海区,虽然有波浪资料,但是由于统计年数少,所以估算波高的再现数学期望值的可靠性不高。
- 2) 在设置海区,有风的资料,却没有海浪的资料。
- 3) 已有设置点四周或海面的波浪资料,需要根据这些资料来估算设置点的波浪。

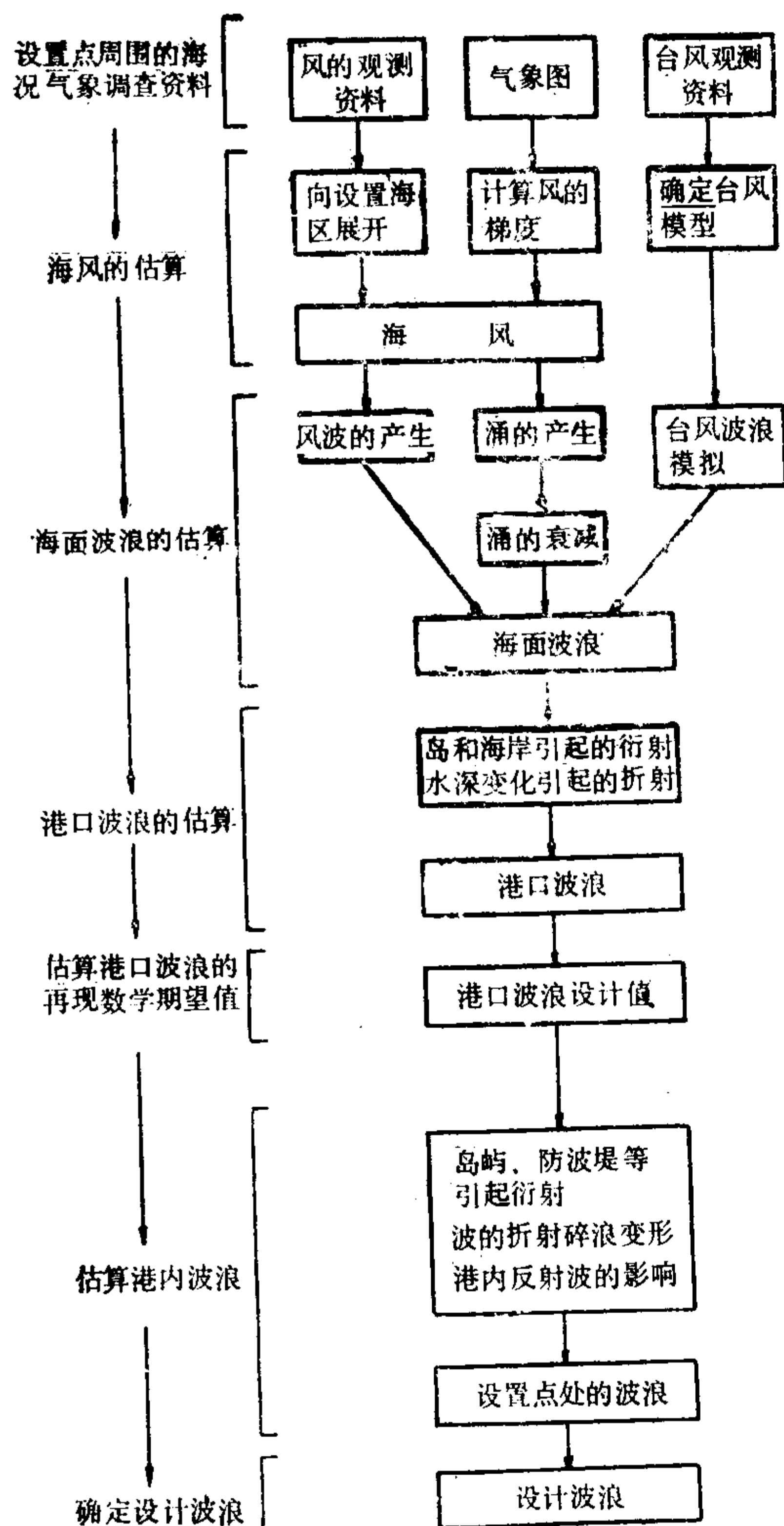


图 1.2 估算海况的流程图

提出了作图法和估算表法，或利用数理模型估算等方法，此外还提出用现场的三维模型来进行水工试验，以期正确地估算出港内波浪。

1.2.3 估算方法的说明

在用上述方法估算海况时，鉴于目前各个步骤的估算方法很多，所以必须弄清下述项目的估算方法和适用范围。

- 1) 首先要弄清海况与气象资料的地点；
- 2) 目测资料的利用法；
- 3) 陆风与海风的关系；
- 4) 从气象图求出风的梯度，估算海风；
- 5) 由海风估算波浪（用有效波法、波谱法等）；

4) 没有设置点的风和波浪资料，需要从周围风的资料中，把它们估算出来。

图 1.2 给出估算海况条件的流程图，当海洋工程不是设在公海，而是设在浅海的港湾内时，海况估算步骤最多，所以，在这里以此为例进行介绍。

估算海风是估算波浪的基础，所以，首先要根据设置点周围风的观测数据与气象图来估算海风。因为风的观测资料常是陆地风资料，必须用这些资料来估算设置点海区中的海风，如果是用气象图来估算，首先要求出风的梯度，然后再求出海面上的风。在估算波浪时，既要根据设置点海区海风产生的风浪，还要考虑到远方低气压产生的涌，最后再求出海面波浪。

波浪的再现数学期望值可以通过估算出来的极大波高来求出。但是为了正确估算还必须进行补充论证，这可以通过台风产生的波浪的模拟计算来实现。

在上述波浪估算过程中所用的修正系数，最好能利用气象与地理条件相似的附近地点的观测资料予以验证。

海上波浪进入浅海区后产生折射与碎浪，由于海岸和岛屿等的衍射与折射而引起波浪变形和衰减^[17]，有关浅海区波浪变形的各种现象可以给出估算方法，然而实际上即使使用了上述各种方法估算的波浪在内的港内波浪，其

可靠性仍然是不够的。为了解决这一问题，又