

水运工程技术资料

12

海港水文专辑

人民交通出版社

水运工程技术资料

12

海港水文专辑

交通部第一航务工程局设计院 编

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

为了有助于对《海港水文》规范的理解和使用,本辑汇编了有关技术报告 15 篇。主要内容:海港工程中校核水位、设计波浪的确定;波浪绕射、反射;远、近破波波浪力;涌浪计算方法的补充、斜坡堤顶胸墙上波浪压力计算方法验证;高基床顶墙上波压力、几种人工块体糙渗系数的试验报告;沙质海岸沿岸输沙率的计算;等等。供有关专业的设计、施工、科研人员及大专院校师生参考。

水运工程技术资料 12

海港水文专辑

交通部第一航务工程局设计院 编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092₁₆ 印张: 10.75 插页: 1 字数: 272 千

1980年9月 第1版

1980年9月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—1,400册 定价: 1.70元

目 录

关于海港工程中校核水位的确定问题	1
设计波浪的确定	9
关于浅水波高分布的讨论	21
一个计算风浪要素的经验关系	27
涌浪计算方法的补充验证	30
新绘图器在绘制浮山湾内海浪折射图中的应用	34
波浪绕射	37
远破波波浪力	55
近破波波浪力	68
波浪反射	88
关于几种人工块体糙渗系数的试验报告	100
斜坡堤顶胸墙上波压力计算方法的验证	106
高基床顶墙上波压力的试验报告	112
作用在孤立桩柱上的波浪力	124
沙质海岸沿岸输沙率的计算	143

关于海港工程中校核水位的确定问题

交通部第一航务工程局设计院

一、概 述

潮位是海港工程设计中一个重要的水文条件，它不仅直接影响港口水域深度和建筑物高程的确定，而且也影响建筑物类型的选择以及结构计算等。海港工程的设计潮位通常包括设计高水位、设计低水位、校核高水位和校核低水位四种。

设计水位是指港口或建筑物在正常使用条件下的高、低水位。对于海岸港的设计高、低水位，在欧美和日本常采用大潮平均高、低潮位；在苏联通常采用潮位历时累积频率（一般称为保证率）1%和98%的水位；在我国新编制的港口工程技术规范《海港水文》一篇中，则采用高潮（即潮峰）累积频率10%和低潮（即潮谷）累积频率90%的水位。以高潮10%（或低潮90%）来看，在总潮次中将有10%潮次的水位比它更高（或更低）。对码头来说，在设计高、低水位的范围内，应能保证设计中考虑的最大船舶在各种装载情况下，均可以安全地靠泊并进行装卸作业，而且还要能够保证在各种设计荷载（如堆货荷载、机械和车辆荷载、船舶荷载、土压力等）的作用下，满足码头结构及地基强度和稳定性的要求。

校核水位是指港口或建筑物在非正常工作条件下的高、低水位。这种水位通常不是由单纯的天文因素所造成的，而是由于如寒潮或台风造成的增减水（气象潮）与天文潮组合而成的。校核高、低水位的出现周期是以几十年计的，因此在这种水位条件下，并不要求港口或建筑物能够正常使用。仍以码头为例，在出现校核高、低水位时，可以不再靠船和作业，但对于大部分的客货码头而言，都要求码头面在高水位时不被淹没。此外，还要求在码头非靠船作业的各种荷载作用下，各部分结构及地基仍保有必要的较低的安全度。

关于校核水位的确定，直到最近为止尚没有统一的标准和计算方法。以下主要介绍我们在参加编制《海港水文》规范有关部分时所做的工作及看法。

从我国沿海各港和有关设计单位的调查情况来看，对于校核高水位，一般都是参照1964年交通部水运规划设计院编制的《港口总体设计规范》征求意见稿中的有关规定来采用的。该规范中规定：码头前沿高程复核标准（即校核标准）采用历年最高潮位；如资料观测年份较少时，历年最高潮位可根据调查及论证确定。又规定：由于台风等产生的特大高潮位，经过论证，可以不做为校核水位。与此相对应的，对于校核低水位则一般都采用历年最低潮位。显然，用所谓历年最高（低）潮位作为一种标准是不确切的。从全国各港的验潮资料来看，随着观测年数的增长，历年最高（低）潮位的数值往往要增高（减低），也就是说历年最高（低）潮位的数值随着资料年限的长短可有较大的差异。由调查得来的历年最高（低）潮位同样存在着这个问题，而且数值更不可靠。此外，对特高（低）潮位的取舍更没有一定的标准。

为了克服上述缺点，根据对我国南北港口大量潮位资料的分析比较，我们建议采用年频率统计的方法来确定校核水位。这种方法在河流水文方面早已普遍应用，在风压、波浪等统计

方面也已陆续被采用。在潮位方面，近年来国内外已有人开始用频率统计的方法来解决高潮出现机率或重现期的问题。应用频率统计的方法来解决校核水位，既可以把不同观测年数的资料统一到一个相同的标准，而且也有明确的统计含义，对于特殊水位也可以在确定其重现期的基础上来定其取舍。

二、理论频率曲线线型的选择

目前，在水文资料的频率分析中，极为普遍地采用皮尔逊Ⅲ型（P-Ⅲ）曲线和根据第一型极值分布律得出的所谓耿贝尔曲线。

我们对我国沿海有较长期验潮资料的十几个港口，按上述两种线型进行了年频率统计，发现P-Ⅲ型曲线无论在理论上还是在经验频率点与理论曲线的配合上都是有缺点的：（1）在应用P-Ⅲ型曲线的计算中，要用到离差系数 C_v 和偏差系数 C_s ， C_v 和 C_s 均与各年极值的平均值有关，而此平均值又取决于验潮零点的选取，因此，在潮位频率分析中，采用 C_v 和 C_s 就无实际意义了。随着潮位起算零点不同，计算结果也将有所差异。尽管通过一系列的换算，可将不同起算零点所求得的结果订正到一个起算零点上，但到底以那一个起算零点为正确，仍是难以证实的。特

别对于最低潮位，因经常出现负值，所以用P-Ⅲ型曲线时，必须调整零点，这也必将造成计算结果的一定任意性。（2）从计算结果来看，P-Ⅲ型曲线对经验频率点的适线不如耿贝尔曲线好（见图1）。另外由于潮位的 C_v 值较小（有的可低至0.02），所以在应用一般频率计算图表时往往会有较大的误差。根据以上理由，所以我们认为潮位的频率分析可以采用耿贝尔曲线。

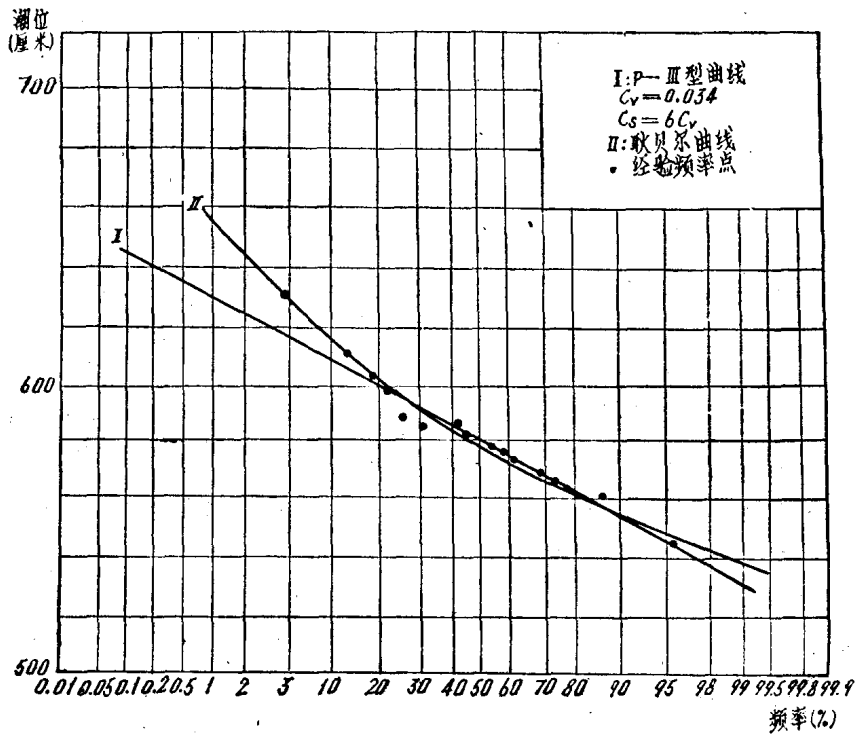


图1 甲港高潮位线型比较

三、频率分析的计算方法

以下介绍用第一型极值分布律，即耿贝尔曲线进行年频率分析的计算方法。

设有 n 年最高潮位值 X_i ，则大于和等于某一 X 值的频率为：

$$P = 1 - \exp(-e^{-y}) \quad (1)$$

变量

$$y = \alpha(X - u) \quad (2)$$

式中 α 、 u 为曲线中的两个参数。耿贝尔用最小二乘法解得：

$$\alpha = \frac{\sigma_n}{S_x} \quad (3)$$

$$u = \bar{X} - \frac{\bar{y}_n}{\alpha} \quad (4)$$

其中：

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \right)^2} \quad (5)$$

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \right)^2} \quad (6)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (7)$$

$$\bar{y}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (8)$$

由于 σ_n 、 $\bar{y}_n$ 仅与频率 P 有关，即为项数 n 的函数，所以当 n 确定后， σ_n 、 $\bar{y}_n$ 即为定值。按递减次序排列的变量 X_i 中，第 m 项的经验频率 $P = \frac{m}{n+1} \times 100\%$ ，而重现期 T (年) 为： $T = \frac{100}{P}$ ，其中 P 以 % 计。

由式 (1)、(2) 得重现期为 T 年一遇的潮位值 X_P 为

$$X_P = u - \frac{1}{\alpha} \ln[-\ln(1-P)] \quad (9)$$

将式 (3)、(4) 代入式 (9) 得

$$X_P = \bar{X} + \frac{1}{\sigma_n} \left\{ -\ln[-\ln(1-P)] - \bar{y}_n \right\} S_x \quad (10)$$

令

$$\lambda_{pn} = \frac{1}{\sigma_n} \left\{ -\ln[-\ln(1-P)] - \bar{y}_n \right\} \quad (11)$$

则

$$X_P = \bar{X} + \lambda_{pn} \cdot S_x \quad (12)$$

式 (12) 中的 λ_{pn} 仅与 T 及 n 有关。天津大学水利系海港水文规范组和数学教研室数理统计组在《极值分布理论及其在计算波高多年分布中的应用》一文中算出了 λ_{pn} 的表格，计算比较方便，我们将其附在本文的后面。

同样我们可导出最低潮位的计算公式，它与式 (12) 形式相同，但需将 λ_{pn} 的符号改变，即

$$X_P = \bar{X} - \lambda_{pn} \cdot S_x \quad (13)$$

此外在计算低潮的经验频率 P 时， X_i 应按递增次序排列。

为了检验理论计算结果,可用包伟尔机率格纸作经验频率点与理论线的适线检验。在包伟尔机率格纸上耿贝尔频率曲线为一直线,此格纸的纵座标是均匀分格,横座标为 $-\ln \ln \frac{1}{1-P}$,但仍用 P 来刻划(见图2)。

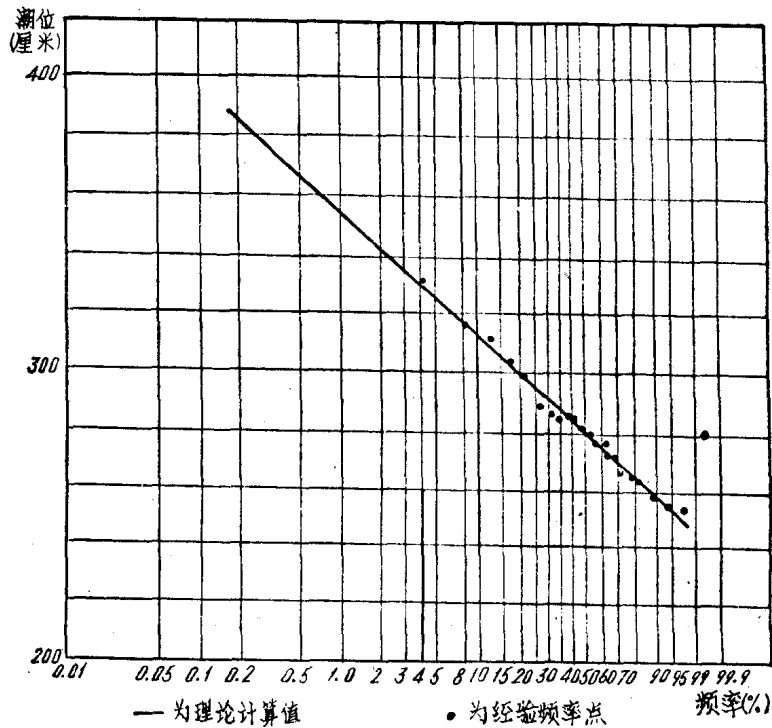


图2 乙港高潮位计算

以下给出算例:

设乙港有二十二年的最高潮位资料,需推算百年一遇及五十年一遇的潮位值。

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{1}{22} \times 6173 = 280.59$$

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \right)^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{22} \times 1740763 - (280.59)^2} = 19.87$$

查附表可知:当 $n=22$, $T=100$ 时, $\lambda_{pn}=3.788$ 。重现期为百年一遇的高潮位为

$$X = 280.59 + 19.87 \times 3.788 = 356(\text{厘米})$$

而当 $n=22$, $T=50$ 时, $\lambda_{pn}=3.139$, 重现期为五十年一遇的高潮位为

$$X = 280.59 + 19.87 \times 3.139 = 343(\text{厘米})$$

适线检验见图2。

n	年最高潮位 X_i (厘米)	经验频率 $P = \frac{m}{n+1} (\%)$	X_i^2
1	330	4.35	108900
2	315	8.70	99225
3	310	13.04	96100
4	303	17.39	91809
5	297	21.74	88209
6	286	26.09	81796
7	285	30.44	81225
8	284	34.78	80656
9	284	39.13	80656
10	282	43.48	79524
11	280	47.83	78400
12	278	52.17	77284
13	275	56.52	75625
14	274	60.87	75076
15	270	65.22	72900
16	268	69.57	71824
17	264	73.91	69696
18	263	78.26	69169
19	261	82.61	68121
20	256	86.96	65536
21	254	91.30	64516
22	254	95.65	64516
Σ	6173	—	1740763

四、校核水位的标准

根据全国二十几个港口的潮位频率计算结果来看, 重现期为五十年一遇的高(低)潮位值大致与有较长期潮位资料的港口过去所采用的“历年最高(低)潮位”相接近, 而重现期为五十年一遇的高、低潮位与百年一遇的高、低潮位的差数不大, 一般约差20厘米左右。在此必须说明一点, 重现期只是一个平均概念, 采用重现期为五十年一遇的潮位, 并不能保证建筑物在使用的五十年内不出现大于(对低潮为小于)它的水位。根据概率论可得出重现期为 T (年)的潮位, 在 n 年内出现的机率为

$$E = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (14)$$

设某工程使用年数为五十年, 则根据式(14), 在此期间内出现大于和等于(低潮为小于和等

于) 重现期为五十年一遇潮位的可能性将达63.6%, 而不出现的可能性仅为36.4%。所以采用重现期为五十年一遇的高潮位来校核码头面高程, 也并不是说绝对保证码头不被淹没, 而只是说将机率控制到相当小的数值。对于建筑物结构计算来说, 在出现校核水位时, 仍保有一定的安全度。所以也不是说一超过这样的水位, 建筑物就要破坏。我们认为当采用某一重现期潮位作为校核水位时, 这些基本概念是必须加以说明的。鉴于上述理由, 我们建议: 海港工程建筑物设计中的校核水位, 可采用重现期为五十年一遇的高、低潮位。

五、最少资料年数的确定

在潮位的年频率分析中, 必须确定实测资料的最少年数, 以使“样本”的情况接近于“总体”, 否则由于资料年数太少, 将给计算带来较大的误差。为了确定这个最少资料年数, 我们选取了全国有五十年以上验潮资料的大连、秦皇岛、吴淞、上海、马尾、厦门等几个港口, 分别取十五年、二十年、三十年的资料进行分组计算对比。从计算结果来看, 用三十年资料计算的结果与用全部年数计算的结果极为接近, 对重现期为五十年一遇的潮位值相差一般为10厘米左右; 用二十年资料计算的结果尚可表证实际潮位的多年分布情况, 对重现期为五十年一遇的潮位值相差一般在20厘米范围以内; 用十五年资料计算结果, 对重现期为五十年一遇的潮位, 相差可达30厘米以上。鉴于我国沿海大多数验潮站都是解放以后建立的, 有三十年潮位资料的港口很少, 所以建议用不少于二十年的资料作为频率计算的最少年数。

六、关于特大(或特小)值的处理

我国沿海由于受台风和寒潮的影响, 往往出现特高或特低水位。如将每年最高(或最低)潮位按系列的大小顺序来看, 此潮位值与其它潮位值有显著的脱节现象, 这种现象说明该潮位值的重现期是比现有观测年数(即系列的项数)还要长。我们称这种潮位为特殊水位。

特殊水位对频率计算结果有极为重要的影响。我们选择了几个典型港口, 分别按考虑与不考虑这个特殊值来计算, 重现期为五十年一遇的潮位值相差最大可达1米左右。从适线情况来看, 前者的经验频率点远偏离于理论线。为了解决这一问题, 我们按金光炎《水文统计原理与方法》一书中介绍的特大值处理方法进行了试算。

设有 n 年的最高(低)潮位值 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_1, \dots, X_n$, 此外通过调查得知在 N 年内出现过特殊高(低)水位 X_N , 则 $\bar{X}$ 与 S_x 改用下式进行计算:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \left(X_N + \frac{N-1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \right) \quad (15)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{N} \left(X_N^2 + \frac{N-1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^2 \right) - \bar{X}^2} \quad (16)$$

$$\text{而} \quad X_P = \bar{X} \pm \lambda_{PN} \cdot S_x \quad (17)$$

λ_{PN} 为以年数等于 N 时在附表中查出的系数。特殊高(低)水位的经验频率 $P = \frac{1}{N+1}$, 其它

附表： 欧贝耳极值分布 (I 型) $\lambda_{P,n}$ 数值表

n	率																71
	(%)																
	0.1	0.2	0.5	1	2	4	5	10	25	50	75	90	95	97	99	99.9	
8	7.103	6.336	5.321	4.551	3.779	3.001	2.749	1.953	0.842	-0.130	-0.897	-1.458	-1.749	-1.923	-2.224	-2.673	8
9	6.909	6.162	5.174	4.425	3.673	2.916	2.670	1.895	0.814	-0.133	-0.879	-1.426	-1.709	-1.879	-2.172	-2.609	9
10	6.752	6.021	5.055	4.322	3.587	2.847	2.606	1.848	0.790	-0.136	-0.865	-1.400	-1.677	-1.843	-2.129	-2.556	10
11	6.622	5.905	4.957	4.238	3.516	2.789	2.553	1.809	0.771	-0.138	-0.854	-1.378	-1.650	-1.813	-2.095	-2.514	11
12	6.513	5.807	4.874	4.166	3.456	2.741	2.509	1.777	0.755	-0.139	-0.844	-1.360	-1.628	-1.788	-2.065	-2.478	12
13	6.418	5.723	4.802	4.105	3.405	2.699	2.470	1.748	0.741	-0.141	-0.836	-1.345	-1.609	-1.769	-2.040	-2.447	13
14	6.337	5.650	4.741	4.052	3.360	2.663	2.437	1.724	0.729	-0.142	-0.829	-1.331	-1.592	-1.748	-2.018	-2.420	14
15	6.265	5.586	4.687	4.005	3.321	2.632	2.408	1.703	0.718	-0.143	-0.823	-1.320	-1.578	-1.732	-1.999	-2.396	15
16	6.196	5.523	4.634	3.959	3.283	2.601	2.379	1.682	0.708	-0.145	-0.817	-1.308	-1.564	-1.716	-1.980	-2.373	16
17	6.137	5.471	4.589	3.921	3.250	2.575	2.355	1.664	0.699	-0.146	-0.811	-1.299	-1.552	-1.703	-1.965	-2.354	17
18	6.087	5.426	4.551	3.888	3.223	2.552	2.335	1.649	0.692	-0.146	-0.807	-1.291	-1.541	-1.691	-1.951	-2.338	18
19	6.043	5.387	4.518	3.860	3.199	2.533	2.317	1.636	0.685	-0.147	-0.803	-1.283	-1.532	-1.681	-1.939	-2.323	19
20	6.006	5.354	4.490	3.836	3.179	2.517	2.302	1.625	0.680	-0.148	-0.800	-1.277	-1.525	-1.673	-1.930	-2.311	20
22	5.933	5.288	4.435	3.788	3.139	2.484	2.272	1.603	0.669	-0.149	-0.794	-1.265	-1.510	-1.657	-1.910	-2.287	22
24	5.870	5.232	4.387	3.747	3.104	2.457	2.246	1.584	0.659	-0.150	-0.788	-1.255	-1.497	-1.642	-1.893	-2.266	24
26	5.816	5.183	4.346	3.711	3.074	2.433	2.224	1.568	0.651	-0.151	-0.783	-1.246	-1.486	-1.630	-1.879	-2.249	26
28	5.769	5.141	4.310	3.680	3.048	2.412	2.205	1.553	0.644	-0.152	-0.779	-1.239	-1.477	-1.619	-1.866	-2.233	28
30	5.727	5.104	4.279	3.653	3.026	2.393	2.188	1.541	0.638	-0.153	-0.776	-1.232	-1.468	-1.610	-1.855	-2.219	30
35	5.642	5.027	4.214	3.598	2.979	2.356	2.153	1.515	0.625	-0.154	-0.768	-1.218	-1.451	-1.591	-1.832	-2.191	35
40	5.576	4.968	4.164	3.554	2.942	2.326	2.126	1.495	0.615	-0.155	-0.762	-1.208	-1.438	-1.576	-1.814	-2.170	40
45	5.522	4.920	4.123	3.519	2.913	2.303	2.104	1.479	0.607	-0.156	-0.758	-1.198	-1.427	-1.564	-1.800	-2.152	45
50	5.479	4.881	4.090	3.491	2.889	2.283	2.087	1.466	0.601	-0.157	-0.754	-1.191	-1.418	-1.553	-1.788	-2.138	50
60	5.410	4.820	4.038	3.446	2.852	2.253	2.059	1.446	0.591	-0.158	-0.748	-1.180	-1.404	-1.538	-1.770	-2.115	60
70	5.359	4.774	4.000	3.413	2.824	2.230	2.038	1.430	0.583	-0.159	-0.744	-1.172	-1.394	-1.526	-1.756	-2.098	70
80	5.319	4.738	3.970	3.387	2.802	2.213	2.022	1.419	0.577	-0.159	-0.740	-1.165	-1.386	-1.517	-1.746	-2.085	80
90	5.287	4.710	3.945	3.366	2.784	2.199	2.008	1.409	0.572	-0.160	-0.737	-1.160	-1.379	-1.510	-1.737	-2.075	90
100	5.261	4.686	3.925	3.349	2.770	2.187	1.998	1.401	0.568	-0.160	-0.735	-1.155	-1.374	-1.504	-1.730	-2.066	100
200	5.130	4.568	3.826	3.263	2.698	2.129	1.944	1.362	0.549	-0.162	-0.723	-1.134	-1.347	-1.474	-1.694	-2.023	200
500	5.032	4.481	3.752	3.200	2.645	2.086	1.905	1.333	0.535	-0.164	-0.714	-1.117	-1.326	-1.451	-1.668	-1.990	500
1000	4.992	4.445	3.722	3.174	2.623	2.069	1.889	1.321	0.529	-0.164	-0.710	-1.110	-1.318	-1.442	-1.657	-1.976	1000
∞	4.936	4.395	3.679	3.137	2.592	2.044	1.866	1.305	0.520	-0.164	-0.705	-1.110	-1.306	-1.428	-1.641	-1.957	∞

经验点的频率仍用 $P = \frac{m}{n+1}$ 计算。

以丙港为例，有五十三年验潮资料，最高潮位值为777厘米。我们选取二十年资料，并将777厘米作为 $N=53$ 的特殊水位，按式(15)、(16)、(17)三式计算得重现期为百年一遇的高潮位为786厘米。而与用五十三年资料计算所得的重现期为百年一遇的高潮位788厘米极为接近。此外，经验频率点与理论线的配合也良好。按上述的方法我们计算了其它几个港口的资料，得到同样满意的结果。因此，我们认为用此方法处理特殊水位是行之有效的。当然在这里必须强调关于调查 N 值的可靠性。

通过调查，我们可以得知历史上出现过的特高（低）潮位，对于这样的潮位也可反求其重现期来。如对潮位频率计算的算例，调查得知 $19 \times \times$ 年发生过海啸，出现了 +450 厘米的高潮位，将此值代入式(10)，得出 $P \cong 0.0002$ ，重现期 $T = \frac{1}{0.0002} = 5000$ （年）。因此，设计中对此潮位可以不予考虑。

七、短期资料的近似计算方法

如果拟建工程地区（以下称副港），潮位实测资料年限不足，则可通过与邻近有二十年以上验潮资料的港口或验潮站（以下称主港）进行相关分析，用极值差比近似地求出校核水位。

设主港重现期为 T 年一遇的高（低）潮位为 h_x ， R_x 、 R_y 分别为主、副港同步的年最高（低）潮位平均值（均从年平均海面起算）； A_x 、 A_y 分别为主、副港年平均海面高度。则副港重现期为 T 年一遇的高（低）潮位 h_y 可按下式计算：

$$h_y = A_y + \frac{R_y}{R_x} (h_x - A_x) \quad (18)$$

使用公式(18)时，必须满足条件：（1）主、副港地理位置相近，且潮汐性质相似；（2）受河流径流（包括汛期）及增减水影响相似；（3）同步观测的年极值不得少于5个。

设计波浪的确定

交通部第一航务工程局设计院

一、概 述

(一)定义

设计波浪这一名称泛指港口和海岸工程各部分设计时所用的波浪要素。由于设计内容的不同，所用的设计波浪也不一样，或者说，应该采用不同的设计波浪标准。

设计波浪的标准包括两个方面：(1)设计波浪的重现期；(2)设计波浪的波列累积频率。后者指的是设计波浪要素在实际海面上不规则波列中的出现机率，它代表波浪要素的短期（以几十分钟计）统计分布规律。在该统计期间内，可认为海面处于定常状态，或者说波浪要素的平均状态不随时间而变化。而设计波浪的重现期是指某一特定波列累积率的波浪平均多少年出现一次，它代表波浪要素的长期（以几十年计）统计分布规律。

本报告主要讨论设计波浪的标准以及波浪要素的长期分布规律，对于波浪要素的短期分布规律已有较成熟和一致的看法，本报告中仅作扼要引述。

(二)波浪要素的短期统计分布规律

对于不规则的海浪，通常都用它的统计特征值来表示。对波高而言，常用的特征值有平均波高 $\bar{H}$ ， $\frac{1}{p}$ 大波的平均波高 $H_{\frac{1}{p}}$ （如所谓“有效波”的波高 $H_{\frac{1}{3}}$ ，即为三分之一大波的平均波高），以及累积频率为 $F\%$ 的波高 H_F （如 $H_{1\%}$ 即为 $F=1\%$ 的波高）。

在深水中，波高分布的理论结果如下表（更详细的可参看有关手册^[1]）：

$\frac{1}{p}$	$\frac{H_{\frac{1}{p}}}{\bar{H}}$	$F(\%)$	$\frac{H_F}{\bar{H}}$
$\frac{1}{100}$	2.66	0.1	2.96
$\frac{1}{10}$	2.03	1	2.42
$\frac{1}{3}$	1.60	5	1.95
		10	1.71
		13	1.61

可见 $H_{\frac{1}{3}}$ 约相当于 $H_{13\%}$ ，而 $H_{\frac{1}{100}}$ 和 $H_{\frac{1}{10}}$ 则约相当于 $H_{0.4\%}$ 和 $H_{4\%}$ 。

在浅水中以 $\frac{\bar{H}}{d}$ （ d 为水深）为参数的各累积频率 F 的波高值如下表（根据文献^[35]）。

波浪周期本身也有其分布规律，但是对于单个波浪而言，波高和周期间并无固定的关系。一般而言，累积频率均较小的波高与周期同时出现的机遇将更少。

$F(\%) \backslash \frac{H}{d}$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.1	2.96	2.71	2.47	2.23	2.01	1.81
1	2.42	2.26	2.09	1.93	1.78	1.63
5	1.95	1.86	1.76	1.66	1.56	1.46
10	1.71	1.65	1.59	1.52	1.44	1.37
13	1.61	1.55	1.50	1.45	1.39	1.32

常用的周期特征值有平均周期 $\bar{T}$ ，有效波的周期 $T_{\frac{1}{3}}$ ，以及与波谱中能量密度最高值相应的周期 T_m 等。 $T_{\frac{1}{3}}$ 约为 $1.15\bar{T}$ ， T_m 约为 $(1.2\sim 1.3)\bar{T}$ 。

二、设计波浪的标准

(一)海上建筑物强度和稳定性计算时的设计波浪

1. 国内外概况

根据我们收集到的资料，各国对海上建筑物设计波浪的标准大致有以下规定。

(1) 苏联《确定波浪对海、河建筑物与岸坡作用的技术规范(CH92-60)》^[13]中对设计波浪重现期(以风速间接确定)的标准规定如下表：

建筑物型式	建筑物等级	重现期
不 分	I、II级	五十年一遇
	III、IV级	二十五年一遇
	V级	十年一遇

而对于设计波高的累积频率不分建筑物型式均采用为 $H_{1\%}$ 。

以后在《受波浪作用的水工建筑物设计规范(CH288-64)》^[14]中对护面块石的稳定性计算规定改用 $H_{2\%}$ ；对墩柱或桩基建筑物又按建筑物等级为I、II、III、IV级分别定为采用 $H_{1\%}$ 、 $H_{5\%}$ 、 $H_{10\%}$ 和 $H_{15\%}$ 。

(2) 美国在十八届国际航运会议的报告^[12]中提出斜坡式防波堤的设计波浪重现期为二十五年一遇。对于外海采油平台(桩基式建筑物)则通常采用百年一遇。

至于设计波高的累积频率(以大波平均值的形式表示)，美国在二十一届国际航运会议的报告^[16]和《海岸防护的规划与设计》^[17]中提出象薄壁墙等对于波浪作用反应较灵敏的结构采用 $H_{\frac{1}{100}}$ ；对沉箱等惯性较大的结构可采用 $H_{\frac{1}{10}}$ 或在 $H_{\frac{1}{10}}$ 至 $H_{\frac{1}{100}}$ 间选用；对抛石堤可采用

用 $H_{\frac{1}{3}}$ 或在 $H_{\frac{1}{3}}$ 至 $H_{\frac{1}{10}}$ 间选用。此外在^[17]中对直墙式建筑物的基床块石也推荐采用

$H_{\frac{1}{10}}$ 至 $H_{\frac{1}{100}}$ 。

(3) 法国在二十二届国际航运会议的报告中提出的标准比较高, 对斜坡式建筑物为百年一遇, 对直墙式和桩基式建筑物为千年一遇^[18]。

国内对直墙式建筑物一般采用五十年一遇 $H_{1\%}$; 对斜坡式建筑物则通常采用二十五年一遇至五十年一遇, $H_{5\%}$ 或 $H_{13\%}$ ^[1]。

2. 确定设计标准的因素

我们认为设计波浪标准的两个方面具有不同的含意, 所以应考虑不同的因素分别予以规定。设计波浪的重现期标准主要反映建筑物的使用年数和重要性; 而设计波浪的累积频率标准则主要反映波浪对不同类型建筑物的不同作用性质。在 1 中, 国外对这两方面的有些规定还是不明确甚至有所混淆的, 如其中的 (1), 对于墩柱或桩基建筑物, 按建筑物等级规定了不同的波高累积率标准; 而其中的 (3), 则又对不同类型的建筑物采取相差很大的重现期标准。

如何确定重现期的标准? 若建筑物使用年限为五十年, 而设计波浪也取五十年一遇, 乍一看来, 两者是一致的, 实际上因为重现期是一个平均的概念, 所以并不能保证在使用期间不出现超过五十年一遇的波浪。

根据概率论可以求出对于重现期为 T (年) 的波浪, 在 n 年内出现的机率为^[19]

$$E = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (1)$$

由此可以得出当使用年限 $n = 50$, 而重现期也取 $T = 50$ 时, 出现大于或等于设计波浪的可能性达到 63.6%。反过来, 若 $n = 50$, 要求 $E = 5\%$, 或者 $n = 100$, 要求 $E = 10\%$, 则 T 均接近于 1000, 估计这就是 1(3) 中对直墙式和桩基式建筑物采用千年一遇的理论根据。

但是这种理论是否完全适用? 我们认为主要还应从实践方面来加以检验。首先, 我们计算了我国沿海八个主要港口不同重现期的波高值 ($H_{\frac{1}{10}}$), 整理结果如表 1:

表 1

重 现 期	$\frac{T_{50}}{T_{25}}$	$\frac{T_{100}}{T_{50}}$	$\frac{T_{1000}}{T_{100}}$
波 高 比 值	~ 1.1	~ 1.1	~ 1.3

千年一遇的波高, 在浅水地区常常超过波浪发生破碎的极限值 (当海底坡度小于 $\frac{1}{50}$ 时, $H_{\text{极}} \cong 0.78d$), 这说明不能离开物理因素单纯进行统计计算。

其次, 更为重要的是用推算的波浪对现有的建筑物进行核算, 看其是否符合实际情况。对于直墙式建筑物, 我们曾选择我国南、北方海港中建造年份较早的几座防坡堤, 用推算的五十年一遇波浪进行核算, 核算结果与防坡堤实际稳定的情况是相符的 (核算结果见 3)。这就证明过去通常采用的重现期标准, 还是基本可行的。

当然, 公式 (1) 对于澄清重现期的概念是有用的, 它说明若采用五十年一遇的波浪, 并不意味着确保五十年内不会有更大的波浪出现。因为一般建筑物在设计情况下都具有一定的安全度, 例如说重力式结构、抗滑安全系数 $K \geq 1.3$, 抗倾安全系数 $K \geq 1.6$, 所以波浪稍有超过, 并不会造成重大损害。另一方面, 如果真出现相当千年一遇甚至更大的波浪, 则对建

筑物的破坏可以认为是合理的。归根到底，对于海上建筑物，要求“绝对安全”，常常是不经济，甚至是做不到的。

下面再谈一下确定设计波浪累积频率的因素。1.(2)中已说明了不同类型的建筑物对于波浪的反应是不同的。总的来说，直墙式和墩柱式（包括桩基式）建筑物对波浪的反应较灵敏，波列中个别的高波即可影响建筑物的安全，所以应该采用较小的波高累积频率值。而对于斜坡式建筑物，经验表明破坏是逐步造成的，个别的高波并不起决定性的作用，而且局部的损坏修复也比较容易，所以可采用较大的波高累积频率值。近年来国外用不规则波对斜坡堤进行模型试验的结果〔20〕〔21〕，进一步证实了过去采用有效波 $H_{13\%}$ 作为护面块石或人工块体的设计波高是正确的。

3. 建议的标准和说明

对于直墙式、墩柱式和斜坡式建筑物，在进行强度和稳定性计算时，设计波浪的重现期标准建议按表2采用：

表 2

建筑物型式	建筑物等级	重现期
直立式	I、II、III级	五十年一遇
墩柱式	I、II、III级	五十年一遇
斜坡式	I、II级	五十年一遇
	III级	二十五年一遇

但对于特殊重要的建筑物（如海上灯塔等），当实测波高大于同一波列累积率的五十年一遇波高时，可适当提高标准，必要时可考虑以实测波高进行校核计算。

设计波高的波列累积频率标准建议如表3：

表 3

建筑物型式	部位	计算内容	波高累积频率 $F(\%)$
直墙式和墩柱式	上部结构、墙身、桩基	强度和稳定性	1
	基床、护底石块	稳定性	5
斜坡式	胸墙、堤顶方块	强度和稳定性	1
	护面块石、护面块体	稳定性	13
	护底块石	稳定性	13

当推算的波高大于浅水极限波高时，均按极限波高采用。

波浪周期一般采用平均周期 $\bar{T}$ ，波长 L 由 $\bar{T}$ 按下式计算：

$$L = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (2)$$

式中： L 、 d 以米计； T 以秒计；重力加速度 g 以米/秒²计。

直墙式、墩柱式建筑物的设计波浪重现期不分建筑物等级均采用五十年一遇，不同等级建筑物安全度的差别将体现在强度和稳定性计算的安全系数中。而斜坡式护面块石或人工块体的稳定标准通常不因建筑物的等级而异，故对I、II级建筑物和III级建筑物，分别采用五十

年一遇和二十五年一遇的设计波浪来体现其安全度的差别。

所建议的设计波浪标准除根据 2 中的原则以及参考 1 中的资料以外, 并用国内的外海工程实例进行了验证。

(1) 对于下列直立堤, 用推算的五十年一遇的 $H_{1\%}$ 及相应的 T 换算的波长 L , 进行核算的结果如表 4:

表 4

堤 名	结 构 型 式	建造年份	波 浪 形 态	抗滑安全系数 K
大连港北堤	正砌方块	1918	破碎波 (近破波)	1.39
大连港西北堤	正砌方块	1918	立波	1.25
八所港西堤	沉 箱	1942	立波	1.24
八所港北堤	沉 箱	1942	破碎波 (远破波)	1.46

核算结果与实际防波堤处于稳定状态是相符的。

(2) 石岛黄海造船厂直立堤在 1972 年 9 号台风期间受波浪袭击, 上层方块发生位移。经用 $H_{1\%}$ 及波长 L 核算结果, 上层抗滑安全系数在 0.9 左右, 与实际情况比较符合^[7]。

(3) 大连渔港东防波堤在 1972 年 3 号台风侵袭时遭到破坏, 用此次台风波浪对该斜坡堤的堤顶方块及护面四脚锥体进行核算的结果如表 5^[8]:

表 5

部 位	波 高	核 算 结 果	实 际 情 况
堤顶方块	$H_{1\%} = 5$ 米	抗滑 $K < 1.0$	滑 动
斜坡护面块体	$H_{13\%} = 3.65$ 米	(与原设计波高相同)	基本 稳定

可见对堤顶方块及护面块体分别采用 $H_{1\%}$ 及 $H_{13\%}$, 与实际情况是比较符合的。

(4) 秦皇岛港 8、9 号泊位前的斜坡堤, 设计波高为 3.5 米, 1972 年 3 号台风推算 $H_{13\%} = 3.2$ 米、 $H_{1\%} = 3.8$ 米, 实际护面四脚锥体稳定, 说明对斜坡堤护面采用 $H_{13\%}$ 是可以的。

(5) 直墙式和墩柱式建筑物基床的护面块石或人工块体的设计波高采用 $H_{5\%}$, 主要是考虑它的损坏将影响整个建筑物的安全。另外, 个别实例也初步说明对基床护面块体用 $H_{13\%}$ 可能稍为偏低。如 1972 年 3 号台风, 旅大地区某工程墩柱建筑物基床护坡 5 吨四脚锥体被打动, 核算结果如表 6:

表 6

采 用 波 高	四脚锥体稳定重量
$H_{5\%} = 6.5$ 米	17.3 吨
$H_{13\%} = 5.4$ 米	5 吨

关于设计周期及设计波长的问题: 与不同累积频率波高相对应的周期是不同的, 但是目前这种关系还未完全确定。为简化起见, 故均采用平均周期。对于由周期换算波长存在着两种公式, 其一为公式 (2)——经典流体力学得出的规则波的公式; 其二为由波谱理论得出的