

苏联海运部教育司批准为
高等航海学校教材

海 港

(下 册)

科学技术博士

B.E. 里雅赫尼茨基教授 著

胡甲午 等 译

人民交通出版社

40644

苏联海运部教育司批准为
高等航海学校教材

海 港

(下册)

科学技术博士

B. B. 里雅赫尼茨基教授 著

~~里雅赫尼茨基~~

人民交通出版社

本書是关于海港的一般教程、是为進一步研究各有关的專門科目，如：港的建築物、貨物裝卸工作的組織和机械化、港的管理（都有相应的教材）而予备的基本的綜合教材。原書經苏联海运部教育司批准为高等航海学校和敖德薩海运工程学院教科書。

金書共分兩篇：第一篇講述海港的一般構造和設備；第二篇講述港口水工建築物及其修建工程。譯本分上下兩册出版。参加本書下冊翻譯工作的尚有鳳維、賈承天、王明忻等同志。

海 港

В. Е. ЛЯХНИЦКИЙ

МОРСКИЕ ПОРТЫ

ИЗДАТЕЛЬСТВО

“МОРСКОЙ ТРАНСПОРТ”

МОСКВА 1948 ЛЕНИНГРАД

本書根据苏联海运出版社1948年莫斯科-列宁格勒俄文本譯出

胡甲年等譯

人民交通出版社出版

（北京安定門外和平里）

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六号

新华書店发行

人民交通出版社印刷厂印刷

*

1959年1月 北京第一版 1959年1月 北京第一次印刷

开本：850×1168 1/32 印张：7 1/4

全書：242,000字 印数：1—850册

統一書号：15044-3041

定价（10）：2.00元

下 冊 目 录

第二篇 港口水工建筑物及其修建工程

第八章 港口水工建筑物的建造特点	3
§ 43 港口水工建筑物的主要分类	3
§ 44 作用在水工建筑物上的破坏力	4
§ 45 海水和生长在海水中的生物对建筑材料的侵蚀作用	14
第九章 外海防护建筑物	20
§ 46 防护建筑物的主要型式及其与波浪的相互作用	20
§ 47 斜坡式防护建筑物	24
§ 48 直牆式防护建筑物	29
§ 49 混合式和透空结构的防护建筑物。突堤和防波堤堤头的构造。	39
§ 50 外海防护建筑物的破坏和修理。静力计算的基本概念	46
第十章 碼頭建筑物	52
§ 51 碼頭建筑物的分类	52
§ 52 直牆式岸壁	55
§ 53 樁式岸壁	60
§ 54 棧桥式(空架式)岸壁	64
§ 55 浮碼頭	72
§ 56 各种型式碼頭建筑物的应用原则及其静力计算概念	75
§ 57 碼頭建筑物的损坏和修理	84
第十一章 护岸	86
§ 58 护岸的基本型式	86
§ 59 各种类型护岸建筑物的采用原则及其损坏和修理	94
第十二章 碼頭設備	97

§ 60 防冲设备	97
§ 61 碼頭上的系船设备	101
§ 62 港池中的系船设备	104
第十三章 船台、船塢和船閘	109
§ 63 造船台	109
§ 64 修船台	121
§ 65 干船塢	133
§ 66 船閘	144
§ 67 浮船塢	147
第十四章 海上航标	158
§ 68 晷标 (不发光标志)	158
§ 69 灯标 (发光标志和灯塔)	161
§ 70 音响信号, 电气和无綫电设备	170
第十五章 海上航道	174
§ 71 海上航道的分类	174
§ 72 現有航道的简单技术特点	175
§ 73 海上航道的基本要素	180
§ 74 航道的回淤	186
第十六章 港灣建筑工程的施工	191
§ 75 工程的内容和組織	191
§ 76 浚挖工程	194
§ 77 突堤, 防波堤, 順岸碼頭, 引桥和护岸等建筑工程	212
§ 78 滑道, 干船塢, 船閘, 海上灯塔等建筑工程	224
§ 79 潛水工作	230
第十七章 港埠設計的組成	233
§ 80 港埠設計的基本任务和工作程序	233
§ 81 計劃任务	234
§ 82 初步設計, 技术設計, 施工詳图	235

第二篇 港口水工建筑物 及其修建工程

第八章 港口水工建筑物的建造特点

§ 43 港口水工建筑物的主要分类

建筑在海岸和外海的港口水工建筑物有各种不同的用途，因此便有各种不同的结构特点。

这些建筑物根据用途的不同可分为下述各类：1)用以防风、防浪、以及防止港口水域和入港航道泥沙淤积的外海防护建筑物；2)供船舶进行装卸作业停靠用的码头建筑物；其中包括直接建筑在岸上的（岸壁）和靠近岸边顺岸修建的或与岸线成交角的（棧桥、直码头）以及建造在离岸较远的港口水域中的（锚泊区码头）码头建筑物；3)防止某一段海岸线被破坏的护岸建筑物；4)造船和修船基地的建筑物——供修造船用的船台和船坞；5)海上船闸，虽然在用途上与修造船基地的建筑物有所不同，但在结构计算方面却很相似；6)助航建筑物——海上灯塔和其他各种航行标志等。

以上列举各类中的外海防护建筑物、开敞海岸的护岸以及海上灯塔是具有特殊地位的，因为在开敞的海中，直接遭受海浪，以及一些研究得还很不够的自然力的作用，因此，进行工程建筑是很困难的。由于上述这些建筑物的特点，就要求很仔细地研究一切当地条件，选择类型及形状，使它不仅能适应所受到的自然力的作用，而且还能适应因自然力影响所引起的海岸变化。

研究岸边形状和沿岸一带海底地形的变化，不仅是正确设计上述三种海上水工建筑物所必需，而且也是正确设计其他各种海上水工建筑物所不可缺少的，这种研究应该包括对自然现象的詳細考察，在某些情况下，用模型（縮小比例的）进行实验室的研究。

在海岸一帶設計水工建築物時，应当特別注意到地基土壤的性質特性和將來修建建築物地區的水文特性；如前面 §10 中所指出，必須事先確定土壤的物理力學特性，甚至有時還需確定土壤的化學特性，例如：顆粒組成、容重、內摩擦角和天然安息角、摩擦係數、粘結力、塑限、液限、彈性沉陷係數、壓縮性、容許壓力和滲透係數等，這些數值是在實驗室里和直接在工地上確定的。

海上水工建築物所受的外力可分為兩種：豎向力和水平力。

豎向力有：建築物自身材料的重量、土重和臨時布置在港口陸區上的散貨和件貨的重量，此外還有起重機和特殊裝卸設備的壓力，以及專用建築物（港內倉庫）的荷重。

水平力和近似水平方向的力有：土壓力、波浪壓力（冲击力）、冰壓力、沿海地區的风力（有時是很強的）、以及當船舶停靠在岸邊和浮碼頭時所發生的系船力。

在後面第九章——第十四章中將按水工建築物的各種型式，分別敘述其一般的結構概念及靜力計算的一般原則。

§ 44 作用在水工建築物上的破壞力

為了正確地計算海上建築物的穩定性、強度和耐久性起見，必須知道作用在建築物上破壞力的大小，這些力包括有：波浪冲击力、冰壓力、船舶受風作用的冲撞力、海水和海水中有機物對建築材料的作用（力學作用和化學作用）。

波浪冲击力。海浪是沿海港口建築物所遭受的最大破壞力，無論是天然海岸或是人工建築物，常常遭受海浪的嚴重破壞，這種海浪能把重達百噸以上的大石塊拋到很遠的地方，並能侵蝕岩石，冲散巨塊石堆。

估算波浪冲击力可採用特殊的儀器（測力計）來直接測量，或根據理論的方法計算。

在某些海上曾進行波浪冲击力的直接觀測和測量，利用這種方法可以確定出沿岸一帶各觀測地點作用在建築物上的壓力數值。

在美国的大西洋沿岸一带测得的波浪冲击力为每平方公尺30吨，内海沿岸为每平方公尺15吨。美国军事工程师盖里雅尔德利用他所制造的测力计在大湖上测得波浪冲击力为每平方公尺2~8吨，根据在意大利的热那亚所观测的波浪冲击力为每平方公尺4~5吨；在苏联图亚普谢港根据自记测力计的记录，波浪冲击力达每平方公尺6吨以上。

以上，所列举的资料，无论在任何的情况下，都不能概括和应用到其他海岸上，因为波浪冲击力完全是取决于当地的条件——如波浪的大小、海底起伏的性质和沿岸地带的绝对深度。所以，在拟建重要建筑物的地点上必须测量波浪的冲击力，为此在苏联的各个港口都设有测力站，每个测力站都设有非常完善的仪器。

在观测波浪的冲击力时，发现在平均海面处产生的波浪作用力最大，而在该水位上下的波浪作用力就逐渐减小，根据测力计的测量，冲击力随深度的分布如图247所示。

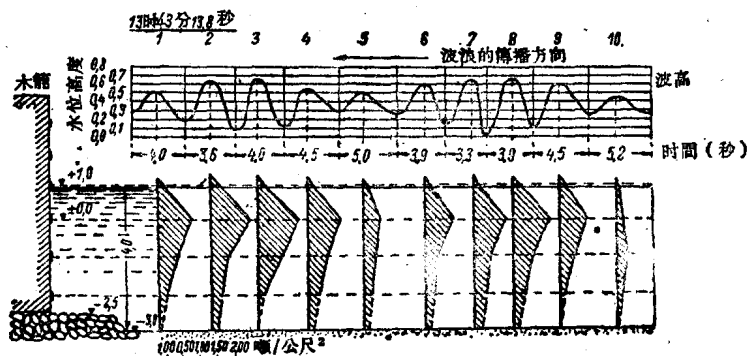


图247 直接测量波浪对建筑物冲击作用图

以前由于对测力计的研究不足，在苏联曾用另一种方法来估计波浪的冲击力，即根据海岸或人工港口建筑物被波浪破坏的情况来进行计算。

重达数千吨的方塊或局部的牆被波浪移动是不足为奇的，例如：在澤布魯格建築堤时，很多寬为7.5公尺、重达4500噸的方塊曾被波浪所颠覆；在阿尔及尔重达100噸的方塊曾被波浪抛出8公尺远。在苏联的港口里，虽然不象上面所列举的那样，但也有若干破坏的实例。在波帶曾將重达20噸的上層方塊打入港內；在敖德薩重达13噸的方塊曾被風暴所移动。1931年圖亞普謝的一道防波堤被風暴打坏的兩個缺口，在来修补以前，許多方塊曾被每平方公尺不小于7~8噸的冲击力所推移。

現在，采用測力計直接測量波浪壓力的方法還比較少，一般均採用理論的計算方法（根據波浪理論）來確定波浪對建築物的作用。

理論計算可分為二種情況，不破碎波的作用和破碎波的作用。

不破碎波 系水質點繞其中心位置進行擺動（按余擺綫理論），其作用在垂直牆上的波浪荷重已進行過許多研究，可用兩種方法進行計算：智利工程師李拉提出的動力和靜力學計算法及後來法國工程師別涅茲和森弗羅提出的靜力計算法。

這里不談李拉所提出的過時而又不正確的計算作用在垂直牆上的波浪荷重的方法，只談別涅茲和森弗羅所提出的靜力計算法（圖 249 和 250），當波浪以垂直於直牆的方向向前傳播而碰到直牆時，由於反射作用，則與正接近建築物的波浪相干涉，便形成了駐波（見上冊第 44 頁），其波高為原波的兩倍（圖 248），由於干涉的結果，所發生的這種波浪，森弗羅稱其為波襪，此種波浪與一般所謂的余波的擺動有所不同。

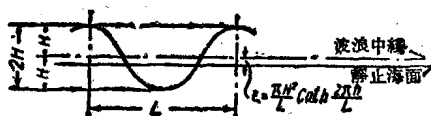


圖 248 立波的要素

別涅茲在他所作的結論中假定：在波峯頂點處和在與波長相等的深度處（ $h=L$ ），作用在直牆上的波壓力均等於 0，在二者中間的各點壓力可利用直綫插入法來確定，按照別涅茲提出的這些推論，根據波浪要素——波高 H 和波長 L （圖 249）可做出兩個三角形： $A'BO$ （牆前為波峯時的波壓力）及 $A''BO$ （牆前為波谷時的波壓力）；如果防護建築物左面的港域中沒有波浪，水位處於靜止海面，從三角形 $A'OB$ 減去靜止水壓力三角形 AOB 時，得出三角形 $A'AB$ （陰影部分），該三角形即是牆前為波峯時作用在牆上（方向為右向左）的波浪荷重圖。

三角形 ABA'' 是牆前（臨海）為波谷時作用在牆上（方向為左向右）的壓力圖。

根据别涅兹方法可按下面的公式較正确的绘制波压分布曲线图

$$P_z = Z + \frac{\pi H^2}{2L} \left(e^{-\frac{4\pi z}{L}} - \frac{1}{2} \right),$$

式中： P_z ——距表面水质点振动中心深度为 z 处的压力坐标；为了简化这些坐标的绘制，荐用特制计算表或图表^①。

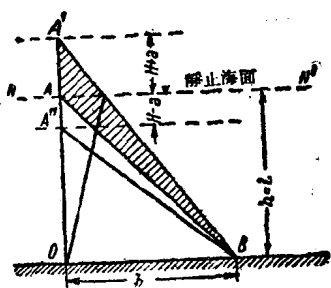


圖249 按別涅兹方法波浪对建筑物的压力圖示

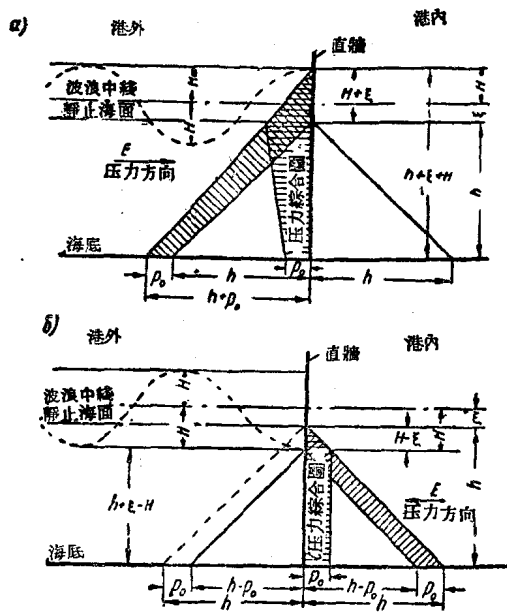


圖250 当在停泊区内水面平静时，不破碎波作用在建筑物上的压力圖
a)当波峯接近建筑物时；b)当波谷接近建筑物时。

可是别涅兹提出的确定波浪荷重的方法，只适用于无限水深的条件下，对于有限水深，只是在一些假定的条件下方可采用；

① 参照И.А.包戈列波夫著“确定波浪荷重的静力计算法”。苏联中央海运科学研究所1934年的科学研究資料彙集。

森弗罗的方法(图 250)也是以静力计算作为基础,但是对有限水深和无限水深都能给以比较正确的理论分析。

无论是森弗罗方法或是别涅兹方法都仅适用于反射波(干涉波)。

波浪中綫高出静止海面的数值如前面所述(上册44页)为;

$$\xi = \frac{\pi H^2}{L} \operatorname{ctgh} \frac{2\pi h}{L},$$

式中: H 及 L ——海中原始波的波高和波长;

h ——建筑物附近的水深;

ctgh ——双曲线余切。

反射波的波峰顶点位于 $(H + \xi)$ 的高程上,在直墙底部(深度 h) 的水压力,以森弗罗公式求得。

$$Ph = h + P_0 = h \pm \frac{H}{\cosh \frac{2\pi h}{L}},$$

式中: $\cosh$ ——双曲线余弦。在图21中, ξ 段以字母 a 代之。

公式中第一项(h)是在直墙底部(深度 h)的静水压力;很明显,这个静水压力是按直线规律变化的,而在静止海面处其值为0。第二项(P_0)是作用在水底处的水平动水压力,这个压力值在波峰水位处为0按平缓的曲线变化,它可以用直线来代替;当波峰接近建筑物时,在公式中取正号(+);而当波谷接近建筑物时,取负号(-)。

根据这些数据绘制作用在垂直墙上的波压力图如图250所示: a)图是当波峰接近垂直墙时的波压力图; b)图是当波谷接近垂直墙时的波压力图。在这二个波压图中,从港外作用于建筑物上的波压力减去从停泊区反向作用的静水压力(假定停泊区里没有波浪),则作用在建筑物上的剩余压力为图中阴影部分。

很多情况下,波浪能绕过突堤或防波堤的堤头进入到停泊区;因此离堤头相当一段距离内的建筑物必须考虑其里侧水面的升降,停泊区的波高可用公式 $H_p = \alpha H$ 计算,式中 $\alpha \leq 1$ (系

數)，其數值可根據經驗公式^①，或是根據模型實驗結果大致地確定，當計算建築物在兩個方向都受波浪作用時，必須考慮下面二種情況：1) 當波峯從外面接近建築物時，而從停泊區方面接近建築物的是波谷；2) 當波谷從外面接近建築物時，而從停泊區接近建築物的是波峯；在這二種情況下，來繪制兩側的總壓力圖。

當不破碎波接近建築物時，可採用上述的方法來確定波浪荷重。

倘若波浪在接近建築物以前已經破碎，即水質點由擺動變為推進，則波浪對建築物的作用可根據東京大學廣井教授所提出的方法來估算。這種計算方法是假定在破碎的情況下，冲向建築物的波浪水質點的速度是由二部分所組成的：破碎前軌道運動的速度和從破碎波的頂峯到靜止水位（0 點水位）的水質點的下降速度（圖 251）。

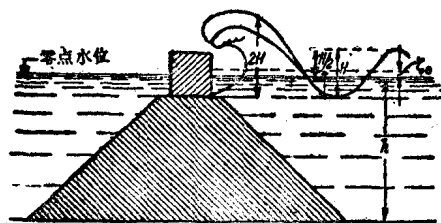


圖 251 破碎波對建築物衝擊的現象

廣井教授根據深水余擺綫的理論，採用波浪中綫對靜水面的超高值等於 $\frac{\pi H^2}{4L}$ ，式中： H ——不破碎波的波高； L ——不破碎波的波長。廣井教授假定破碎波的波峯高出不破碎波波谷的最大高度為 $2H$ ，得出水面對靜止水位的升高值，也就是破碎波的水質點自由落下的高度為：

$$2H - \left[\frac{H}{2} - \frac{\pi H^2}{4L} \right] = H \left[1.5 + \frac{\pi H}{4L} \right].$$

水質點從這個高度上落下的速度為：

$$v_n = \sqrt{2gH \left(1.5 + \frac{\pi H}{4L} \right)}.$$

表面水質點的軌道運動速度，按上述為：

$$v_s = H \sqrt{\frac{\pi g}{2L}},$$

靠近建築物水質點的這兩種速度的平方和為：

① 參看 B.E. 里雅赫尼茨基主編的“港口建築物”第一篇 344 頁（1939 年版）。

$$v_n^2 + v_s^2 = 2gH \left[1.5 + \frac{\pi H}{2L} \right].$$

建筑物每平方公尺的面积上所受的动压力为：

$$P = f\Delta \frac{v^2}{2g}, \text{ 式中: } \Delta = 1.025;$$

f —系数 (广井教授取系数为 2)。

$$\begin{aligned} \therefore P &= 2 \times 1.025 \times \frac{v^2}{2 \times 9.81} = 0.1v^2 = 0.2gH \left(1.5 + \frac{\pi H}{2L} \right) \\ &= 1.96H \left(1.5 + 1.57 \frac{H}{L} \right) \cong 3H \left(1 + \frac{H}{L} \right) \text{ 噸/公尺}^2 \end{aligned}$$

在該式中 H 值为原始波的波高。广井教授認為被破碎波浪 (如水流) 所滿布的一个直牆面積上都承受这个最大的波压力作用; 因为当深度較浅时, 落下水体沿整个深度的作用几乎没有减少。

如果建筑物附近的水深 h 小于不破碎波的波高 H 时, 广井教授建議公式中的波高 H 以深度 h 之值來代替, 当比例 $\frac{H}{L} = \frac{1}{20}$ 时 (对在大洋中波浪), 破碎波的冲击公式按广井的方法計算如下:

$$P = 3H (1 + 0.05) = 3.2H \text{ 噸/公尺}^2.$$

考慮到冲击力系傾斜地作用在建筑物上, 而这个冲击力又被假定作用在建筑物正面的整个面積上, 因此广井教授最后取 $P = 1.5H$, 式中 h 为波浪破碎前的波高; 而 P 則以噸/公尺²計。

另一种計算破碎波作用在建筑物上荷重的方法, 是 1926 年特別紐欣教授根据下述假定所提出的: 破碎波的水体以推进的速度接近建筑物, 这种推进的速度等于不破碎波的傳播速度 v 和波浪水质点的軌道速度 v_0 的总和。关于波浪傳播的表面速度变为实际速度所須作的假定, 并不比广井关于建筑物附近波高度所作的假定为少。

在前面 (上册第 44 頁) 已曾得出这二种速度之值。

$$\begin{aligned} \text{傳播速度 } v &= \frac{L}{T} = \sqrt{\frac{L}{\frac{2\pi L}{g} \operatorname{ctg} h \frac{2\pi h}{L}}} \\ &= \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \operatorname{tg} h \frac{2\pi h}{L}}; \end{aligned}$$

$$\text{軌道速度 } v_0 = \frac{2\pi h}{T},$$

式中: $r = \frac{H}{2} \operatorname{ctgh} \frac{2\pi h}{L}$ ——余摆波表面水质点椭圆轨道

运动的长半轴; 經变换得

$$v_0 = H \sqrt{\frac{\pi g}{2L} \operatorname{ctg} g \frac{2\pi h}{L}}$$

水体接近建筑物的总速度 $U = V + v_0$ 。特列紐欣教授取水体对建筑物作用的强度等于水舌的冲击力, 其值以 $P = f \cdot r \frac{v^2}{2g}$ 表示;

式中: f ——系数等于 2;

r ——水的比重;

g ——重力加速度。

这个压力强度沿建筑物的全部高度, 从水底到波峰 (高度 $\frac{H}{2} + \xi$) 是不变的 (图 252), 式中 ξ 仍表示超高, 当波高为

H 时 (对于立波仍取 H 而非 $2H$) 可按下列公式求得 ξ 值:

$$\xi = \frac{\pi H^2}{L} \operatorname{ctgh} \frac{2\pi h}{L}$$

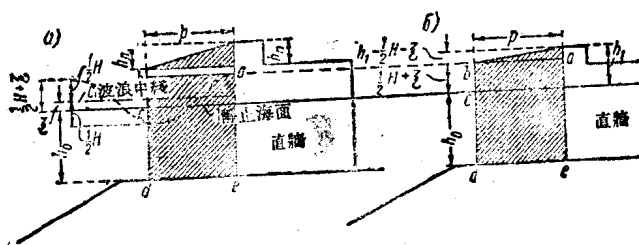


圖 252 按特列紐欣方法作出的, 破碎波压力圖

为了計算破波对胸牆的压力, 倘若胸牆高出波峰之上, 所承受的压力以三角形表示之; 三角形的底边 $= P$, 胸牆頂点压力 $= 0$ 。

鐘考夫斯基教授依据自己所作的实验对特列紐欣教授提出的公式加以修正——將破碎波的推进速度乘系数 (n), 当建筑物前面底的傾斜度为水平到 26° 之間时, 系数 $n = 0.75$, 倘若海底的傾斜度

超过 26° ，系数 n 即逐渐减少，当倾斜度达 33° 时，系数 $n=0$ 。

取公式为 $U=nV+v_0$ 。

鐘考夫斯基教授还提出了斜坡上破碎波的波压力计算方法（图253）。

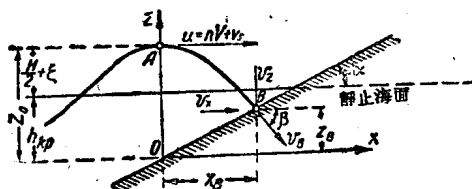


圖253 用鐘考夫斯基方法計算破碎波對斜坡壓力草圖

根据上述推进速度的公式 $U=nV+v_0$ 导出垂直于斜坡的速度公式：

$$v_B = \sqrt{u^2 + \left(\frac{g x_B}{u} \right)^2}$$

式中： g ——重力加速度；

x_B ——冲击点的横坐标。

冲击角 β 的公式：

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \alpha \pm \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{2g z_0}{u^2}}$$

式中： α ——斜坡倾斜度；

z_0 ——在波浪破碎地点的波峰纵坐标。

根据这些数值可按下式计算作用在斜坡 B 点的水流冲击力：

$$P = f \cdot \gamma \cdot \frac{v_B^2 \operatorname{Sin}^2(\alpha + \beta)}{2g}$$

式中： f ——系数，对斜坡取为 1.7；

γ ——水的比重。

根据鐘考夫斯基教授的实验指出；当 $\alpha > 45^\circ$ 时，波浪不破碎，而与垂直牆一样产生反射。

实验还得出，波浪在斜坡（图254）上的上捲高度为 $h_H =$

3. 即 $3.2 K H \operatorname{tg} \alpha$, 式中 $K=0.7 \sim 1.0$ 为粗糙系数 (图 254)。

当估算波浪对建筑物冲击力时, 必须考虑到由于这种现象的周期性, 增强了冲击力的作用。还应该考虑波浪是逐次地作用在建筑物(突堤)的各个不同点上, 因而所发生的集中冲击力应该由靠近建筑物的整个区段来承受, 而不是由建筑物个别的一小段来承受。关于在波浪冲击的作用下, 建筑物振动问题在理论上暂不研究, 但在设计建筑物中确定稳定系数时, 必须考虑到这种现象。

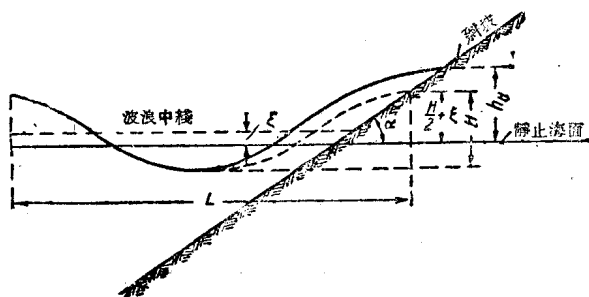


圖 254 确定波浪在斜坡上的上捲高度草圖

最后, 在这里略述近几年来在热那亚, 那不勒斯等地的专门测量站上, 对波浪所作的观测; 以及洛桑, 科延卡利教授在实验室所做的模型实验。这些研究的结果, 确定了计算作用在防护建筑物上波压力的实用法则, 按这些法则, 如果建筑物附近的海水深度小于波高的二倍时, 可认为波浪是破碎的, 如果基肩的深度小于波高的一倍半时, 可认为波浪在建筑物的基肩处破碎。

冰的作用。冰对水工建筑物的作用, 在某些情况下是建筑物所遭受的荷载中最严重的一种, 它对建筑物有下列几种作用: 与建筑物相毗连的冰层, 由于温度迅速变化造成冰的膨胀而引起的对建筑物的横向压力或是在风或水流作用下产生的挤压力; 此外, 某些单独的冰块在水流的作用下的冲撞力; 以及当水位发生变化当在建筑物或其构件上(樁、支柱)结有很厚的冰或建筑物被冰所复盖, 甚至在建筑物近处冰块堆积成堆等情况下, 作用在建筑物上的竖向压力。

由于温度的变化而引起的冰压力, 按罗叶恩公式计算 (适用

于淡水冰)，每公尺建筑物承受的冰压力以吨计。

$$P_{\text{лед}} = 0.9h(t_o + 1) \sqrt[3]{\frac{t_o}{S_o}(t_o + 1)^2}$$

式中： h ——冰的复盖层厚度（公尺）；

t_o ——摄氏温度差；

S_o ——温度变化 t_o 所经过的最小时间间隔（以小时计）。

倘若能估计出冰盖层的质量和在风及水流的作用下冰盖层移近建筑物的速度时，即可确定冰层的堆积压力。

下述公式①用以计算单个冰块的冲击力（吨）

$$P_{\text{лед}} = \frac{0.43vLh}{\sqrt{\frac{1}{n \cdot E} + 2\alpha h + \frac{1}{\sigma}}}$$

式中： v ——冰块移动的速度，不超过1公尺/秒；

L ——冰块的最大长度（公尺）；

h ——冰盖层厚度（公尺）；

n ——计算弹性变形的系数；大约 $n=1$

E ——冰的标准弹性模量，以吨/公尺²计之（海水冰约为15,000，淡水冰约为240,000）；

α ——在1吨荷重的作用下，建筑物的挠度；

σ ——冰的临时抗压强度，海水冰约为200吨/公尺²，淡水冰约300吨/公尺²。

冻结的冰在水位变动时所发生的垂直作用，对重力式建筑物来说可不必考虑，但对轻型的空架式建筑物最好采用破冰的措施以防冰的冻结。

§ 45 海水和生长在海水中的生物 对建筑材料的侵蚀作用

海水处于经常流动的状态，并具有一定的化学成分，因此，

① A. 庫茲涅佐夫著“冰对海港建筑物的作用及其防护”，列寧格勒1939年版。