

防波堤 设计手册

交通部第一航务工程局勘察设计院 编

人民交通出版社

防波堤设计手册

交通部第一航务工程局勘察设计院 编

人 民 交 通 出 版 社

防波堤设计手册

交通部第一航务工程局勘察设计院 编

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

河北省宣化印刷厂印

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张: 6.375 字数: 130千

1982年3月 第1版

1982年3月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—3,000册 定价: 1.05元

前 言

1979年交通部出版了防波堤规范。防波堤设计手册是根据在制定防波堤规范过程中所搜集到的国内、外资料编写而成，其基本原则和规范一致，但其内容比较广泛，不仅吸收了与防波堤设计有关的内容，如《海港水文》、《重力式码头》和《地基》规范等，同时还包括一些规范中暂时还没有，但设计中有时会碰到的内容和问题，如浅水坦波立波作用力问题、斜向波作用力问题及削角直立堤波压力计算等。这样，就使本手册基本上可自成系统，更加方便于使用。本手册可供港口与航道工程专业的设计、施工、科研人员及大专院校师生参考。

本手册由王美茹执笔、盘荣亨校核；由任福延、谢世楞、冯敏亮、孟兆华审阅。在其编写过程中还承王郑德、刘翼雄等同志支持与协助，在此表示感谢。

由于水平所限，不当之处，请批评指正。

交通部第一航务工程局勘察设计院

目 录

第一章 概述	1
第一节 防波堤的作用及类型	1
第二节 自然条件及其影响	3
第三节 防波堤结构型式的发展概况	7
第二章 防波堤结构型式的适用条件	14
第一节 斜坡堤的型式及适用条件	14
第二节 直立堤的型式及适用条件	21
第三章 防波堤的设计标准	26
第一节 设计水位标准	26
第二节 设计波浪的确定	27
第四章 斜坡堤设计	35
第一节 断面尺度的确定	35
第二节 设计计算	43
第三节 构造	94
第四节 斜坡堤算例	97
第五章 直立堤设计	107
第一节 断面尺度的确定	107
第二节 波浪对直立堤的作用	110
第三节 设计计算	138
第四节 构造	159
第五节 沉箱直立堤算例	165

第一章 概 述

防波堤是某些港口工程的重要组成部分。它的重要性表现在两个方面：其一是防波堤的建造费用十分昂贵，有时可占港口工程总投资的一半左右；其二是防波堤一旦遭到破坏，其后果甚为严重。另外，建造防波堤也是一项技术上比较复杂的工程。目前，国内外的有关研究成果均不太成熟，因此，进行防波堤设计时，往往还需要借助水工模型试验，对设计方案进行验证。

第一节 防波堤的作用及类型

一、作 用

防波堤的作用主要是防护港口水域不受风浪的影响，以保证船舶在港内安全地停泊和进行装卸作业。此外，还可以拦阻泥沙流入港内和防止冰凌侵入港池。有时，防波堤内侧还可以兼做码头或系靠船舶。

二、分 类

(一)按平面布置分

1.突堤

一端与岸连接，另一端伸向海中。

2.岛堤

防波堤的两端均不与岸相连，位于离岸有一定距离的水

域中。

(二)按结构型式分

1.斜坡式

系指防波堤坡面与水平面的交角不超过 45° 的斜坡堤,如图1-1。



图1-1 斜坡堤

斜坡堤和波浪相互作用的特点为波浪在坡面上爬升,然后破碎,其能量被吸收或消散。

2.直立式

防波堤堤身的内、外两侧均为直立墙,如图1-2。

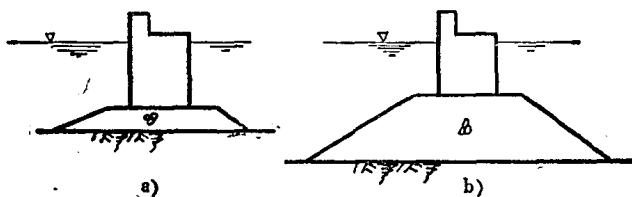


图1-2 直立堤

a)低基床直立堤; b)高基床直立堤

直立堤和波浪相互作用的特点为:当墙前有足够水深时,作用于直立墙上的波浪发生反射。

3.轻型防波堤

系指波浪的能量大部分集中在水面附近一定范围内的特点,而采用能遮挡或消散上层水体波浪运动的一些结构型式和设施,如透空式、喷气式、浮式防波堤等(图1-3)。

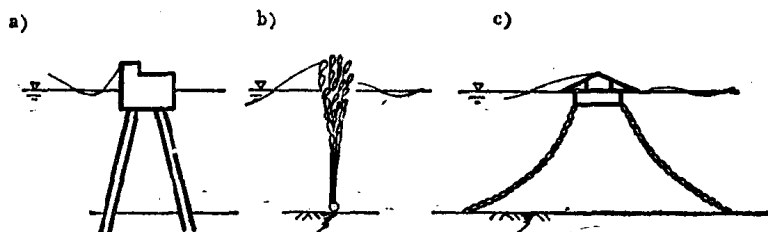


图1-3 轻型防波堤

a)透空式; b)喷气式; c)浮式

上述三种型式中，斜坡式和直立式在国内外海港工程中已被广泛采用；轻型防波堤在目前尚应用不多。但随着技术的不断进步，轻型防波堤将会得到发展和广泛应用。

第二节 自然条件及其影响

在进行港口平面布置时，为了正确地确定防波堤的轴线走向，以及选择恰当的防波堤结构型式，必须对建设工程地点的自然条件（如水文、气象、地质、地貌等）进行调查研究，收集有关资料，作为设计的依据。

一、海洋水文

（一）潮位

由于月球和太阳引力的作用，使海洋水面发生垂直方向周期性的升降变化，即潮位。对有潮海岸来说，潮位的变化特征是确定港口水工建筑物各部分高程的重要依据。目前，我国的港口工程设计，是根据潮位的统计分析，采用具有一定保证率的潮位作为设计水位。关于设计水位的具体确定方法，见第三章。

（二）波浪

波浪包括有：由于风的作用所引起的风成波（风浪和涌浪）、地震所引起的海浪（海啸）、船舶航行所引起的船行波、大气气压迅速变化所引起的长周期波等。

地震所引起的波浪，在某些情况下可能达到很大的高度，具有很大的破坏力；但在我国沿海，尚无这种记录和破坏的实例。除风成波外，由其它原因形成的波浪，对建筑物的影响不大。因此，以下所称的波浪，均指风成波。

波浪的资料是防波堤工程设计的主要依据，它直接关系

到防波堤的平面布置和确定的断面尺度是否经济合理。因此，在进行港口工程设计之前，必须对实测的波浪资料进行统计分析，还要根据有关气象、地形资料进行详细地推算以确定波高、波长、周期等波浪要素；不仅要了解外海波浪要素，而且还要通过绘制波浪折射图来分析近岸波浪要素的变化。另外对有防波堤掩护的水域，在产生波浪绕射现象后的港内波浪要素也需进行推算。

(三)海流

近岸海流，主要有潮流和风海流。在设计防波堤时，必须全面了解港址附近海域的海流流速、流向等情况，以分析建堤后因改变海流的运动情况，是否会引起港区附近冲淤等不良后果。

由于波浪破碎而产生的沿岸流，在波浪破碎带很显著，它对岸滩变形、港口淤积可能产生很大的影响。所以，在设计时对这一因素必须给予足够的重视。

(四)水质、冰冻及海生物的作用

水质对水工建筑物的影响很大，海水中的各种盐类对金属和混凝土都有侵蚀作用，因此，在防波堤工程中，必须选择适当的水泥品种和采用较高标号的混凝土。冰冻除对建筑物产生冰压力外，在建筑物的潮差段，还会由于冬季的冻融循环作用，而使混凝土破坏。所以，在冰冻地区修建防波堤，一般都要采取相应的防护措施。海生物对水下建筑物也有一定破坏作用。我国沿海各地，不但有蛀蚀木质的虫类，而且，还有蛀蚀石灰石的虫类，应认真调查研究，给予足够的重视。

二、气 象

对防波堤来说，气象因素主要是考虑风的作用。

强劲大风能使岸边水位壅高，并产生大风浪作用于水工建筑物上。风向中的常风向和强风向是布置防波堤口门必须考虑的重要因素。风的特征值，一般以风向、风速和风向的频率统计图（图1-4）来表示。风向和风速在气象台上用专门仪器测定。风力依风速而定，通常用国际十二级风级表示。

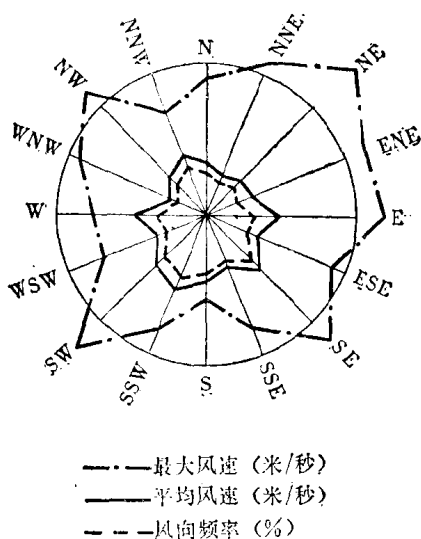


图1-4 风速、风向、频率玫瑰图

三、地质和地貌

海岸的地质和地貌，对建港有重要的意义。在淤泥质海岸上建港，地基的承载力低。由于易淤积，往往给施工带来困难，增加造价。港口投产后需要经常地疏浚和维护，营运费用高。在岩岸地带建港，地基承载力高，岸线稳定，冲刷与淤积也不严重，建港条件好。

在岩岸上建港，一般只需考虑选择最适宜的地形，以满足水深、泊稳条件及投资最省为前提。在沙质或淤泥质海岸

上建港，则应考虑沿岸地带的动力地貌因素对该地区的影响，尽量减少使用时期的淤积或冲刷的维护工程量。动力地貌因素主要表现为沿岸的泥沙搬运及对岸滩的塑造过程。

对沙质海岸，波浪是造成泥沙运动的主要动力。大部分泥沙运动发生在波浪破碎区以内。波浪破碎后所产生的沿岸流，将带动泥沙顺岸移动。修建防波堤后，泥沙运动受到阻挡，将在其根部淤积，人为地逐渐改变海岸走向。如果沿岸输沙量不大，新的海岸线不致延伸到港口口门，就可达到新的动力平衡。如果沿岸输沙量很大，则新海岸线不断向海外增长，到达口门，并在口门附近形成沙洲。对沙质海岸的狭长海湾及海峡等特定的地形条件，由于海流流速大，因此海流对泥沙运动可能起主导作用，而波浪退居次要地位；这里的海流不仅起输沙作用，往往还起掀沙作用。

对淤泥质海岸，潮流是输沙的主要动力。在波浪较弱的海岸区，潮流可能成为泥沙起动和运移的主要因素。

位于河口附近的港口，它的淤积还要受到河流下泄泥沙的影响。除部分下泄泥沙乘潮入港外，下泄的泥沙会加速港外浅滩泥沙向港内推移，给港口淤积提供了泥沙来源。

为了判断泥沙来源和输沙方向，可通过以下几种途径：

1. 搜集该海区及港区的新、老地形图和海图，从海岸线和沿岸地形演变情况来分析和判断泥沙运动方向。

2. 从现有海岸建筑物的拦沙和入港航道的淤积情况来判断沿岸输沙方向和输沙量大小。

3. 从河口的岸滩形态，如有无沙嘴、拦门沙以及口门外深槽的演变情况，来判断沿岸输沙方向。

4. 进行地质地貌调查，从海蚀情况、形态特征、组成物质的粒径变化和重矿物沿岸分布情况等，来判断泥沙来源和运动方向。

5.用海洋水文测量方法及投放示踪沙，确定沿岸输沙量和输沙方向。

6.对波浪情况进行观测，利用波能沿岸分量计算沿岸输沙量及输沙方向。

通过以上调查研究所提供的泥沙运移情况及海岸发展趋势，作为港址选择和防波堤布置的依据。

第三节 防波堤结构型式的发展概况

一、斜 坡 堤

在防波堤的建造中，斜坡堤是一种经常被采用的结构型式。目前各国在积极研究和采用各种新型防波堤的同时，主要的还是采用和改进旧式堤，特别是抛石斜坡堤。

斜坡堤的特点是：结构简单、施工方便、具有较高的整体稳定性、适用于不同的地基、可以就地取材、并且破坏后易于修复。过去，斜坡堤的堤身多用块石堆筑而成。因为块石本身的稳定性较差，重量大的块石在开采和运输等方面又都比较困难，因此，只适宜在水深较浅和波浪不大的地区修建。自从有了水泥之后，开始采用预制混凝土方块做护面；但由于方块本身个体稳定性较差，且要耗费大量的水泥，应用时有一定的局限性。1956年法国首先研制成功人工块体——四脚锥体，把它作为斜坡堤的护面构件。由于用四脚锥体护面具有孔隙率大、消浪效果好、稳定性高等特点，从而使设计断面比抛石堤大大减小，降低了工程量和造价。因此，四脚锥体很快在许多国家被推广和采用。目前，世界上已有50多个国家应用了四脚锥体。其中以法国、美国、摩洛哥、意大利、土耳其、日本等国应用最多。在阿尔及利亚曾用

40吨重的四脚锥体做护面，它是迄今世界上最大的人工块体。在四脚锥体出现以后的十余年间，出现了很多其它形式的人工块体。这些型式的块体虽然在空隙率大小、咬合情况的优劣、适用的最大倾斜度及施工方式（抛填或安放等）等方面，具有不同的特性，但在稳定性上并没有多大改进。在1966年第10届海岸工程会议上，曾提出两种新型块体：一种是南非的杜洛斯（Dolos，意为羊踝骨，以下称为工字型块体）；另一种是罗马尼亚提出的四脚稳定体（Stabilopode）。杜洛斯的形状呈扭转 90° 的工字形，它脱离了其它块体的枝干多为中心辐射的形状，因而使咬合程度得到改善，大大提高了稳定性，其稳定程度约为四脚锥体和四面体的三倍，而重量约为这些块体的 $\frac{1}{3}$ 。

至1968年，日本研制的人工块体就有近20种。其它国家也研制了许多新型人工块体，1969年第22届国际航运会议上选择了八种异型块体，表示不同形状和特征，其中有荷兰的铁砧体（Akmon）、英国的中空四角块体（Stabit）、美国的三方块体（Tripod）、法国的四脚锥体（Tetrapod）、美国的三柱体（Tribar）和南非的杜洛石块体（Dolos）等。

目前，还有很多国家仍采用混凝土方块作护面。日本1964年在名古屋建成的横越伊势湾的防波堤及1969年在鹿儿岛港修建的防波堤均采用混凝土方块作护面。为了在巨浪侵袭下消浪和防止底部冲刷，荷兰于1971年研制了一种斯托克方块（Stolk Cubes），其相对的两面间有孔道相通，三个孔道相交于方块中心，在荷兰的施文宁根的防波堤上，应用情况良好。在条件允许时，不少国家还是采用巨型块石做护面。但是人工块体已经显示了它的优越性。近些年来，国内不少单位结合工程需要，在研制新型人工块体方面也取得了

一定成果。

除使用人工块体做斜坡堤护面以外，荷兰于1963年至1967年在艾莫伊登港延伸的防波堤上应用了沥青块石；1960年，以色列的那哈列亚港应用了镀锌钢丝石笼来代替护面块石（图1-5），效果良好。

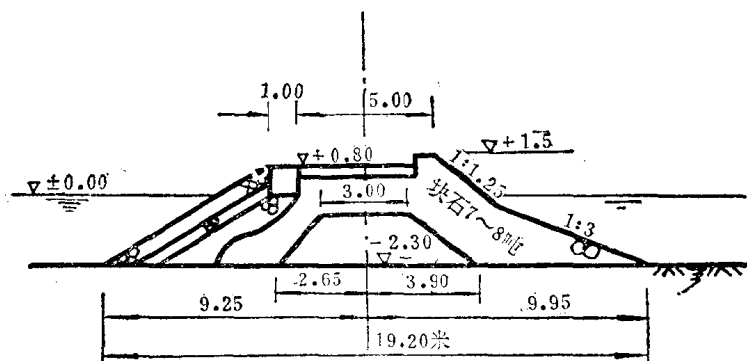


图1-5 以色列那哈列亚钢丝石笼防波堤

二、直立堤

直立堤也是防波堤常见的一种结构型式。

直立堤和直立式码头有所不同，直立堤外侧受有较大的动水压力，所以其外壁的强度要求较高，上部结构也要有良好的整体性。另外，为了防止堤前因波浪作用所产生底流的冲刷，堤前一定范围内的海底和明基床外坡及坡肩都要采取相应的保护措施。

直立堤的优点在于其内侧可以兼作码头，并在水深较大时，所需的建筑材料比斜坡堤省。它的缺点是消除波能的效果较差，另外当基肩或堤前水深小于临界水深时，堤身在巨大的近破波（破碎波）或远破波（击岸波）波压力作用下，须加大堤身宽度，而使造价增高；同时，直立堤的地基应力

较大，对不均匀沉降反应敏感。直立堤建成后，一旦发生破坏也比较难于修复。

直立堤一般用于水较深和波浪较大的地区。国内根据地形和经济情况，在水深不太大的地区有时也采用直立堤。日本的某些港口，在水深十几米的浅海中，广泛采用高基床直立堤。关于直立堤的选择，第十八届国际航运会议上曾提出：在水深大到足以使波浪不致破碎、海底不致遭到冲刷、地基不致发生不均匀沉降的地方，可以采用直立堤。如果上述条件不具备，但采取措施后仍可采用直立堤。

直立堤结构型式以重力式方块和沉箱应用最多。近年来不少国家在原来的基础上进一步研究和改进，并出现了一些新式直立堤，如：

1. 削角直立堤

削角直立堤于六十年代首先应用于丹麦的汉萨姆（图1-6），其结构特征是上部胸墙迎海面为与水平面成 30° 角的倾斜面，因而改善了直立堤的稳定性。在

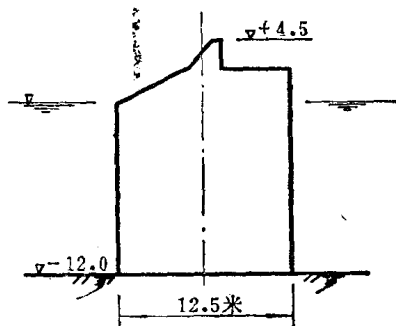


图1-6 丹麦汉萨姆圆柱式削角直立堤

第21届国际航运会议上曾发表该项研究成果。

以后，利比亚的马萨勃利加港、荷兰、瑞士、印度等国的某些港口及我国的青岛中港等均采用了削角直立堤。

2. 带孔沉箱直立堤

六十年代初，加拿大的贝科莫建成带孔的沉箱直立堤兼作码头（图1-7）。

带孔沉箱的特点是沉箱迎波面为从上到下的带孔直墙，其前仓为消能室。它的作用是降低墙前反射波。试验表明，

其消能效果主要取决于开孔面积的多少，同时也证明了在相同条件下，开水平条孔比开圆孔效果好。在1968年第11届海岸工程会议上，英、美两国均发表了有关带孔直立堤的模型试验成果。1974年我国在秦

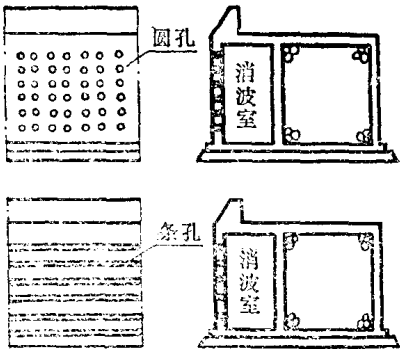


图1-7 带孔沉箱直立堤

皇岛港用带孔沉箱建造码头岸壁，用以改善港内泊稳条件，效果良好。但目前带孔的沉箱直立堤仍处于试验研究阶段。

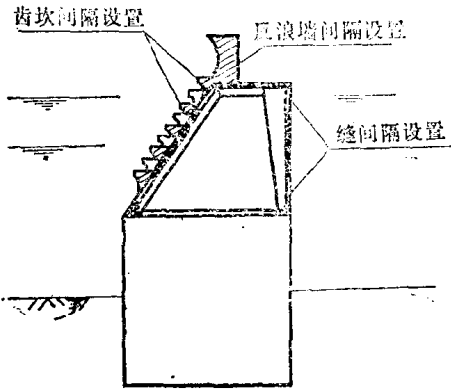


图1-8 瑞士A型框架防波堤

此外还有各种其它型式的直立堤，如近年瑞士在日内瓦建成一种A型框架直立堤（图1-8）。它的特点是，其上部结构由一系列预制的钢筋混凝土“A”型框架组成，框架的前边与后边分别构成防波堤的前墙与后墙，波浪

从框架形成墙面的缝隙中冲入两墙之间的“消能室”内，其中一部分水体流入港内，另一部分随波浪后退泄入堤外侧海中。另外，在框架的前边设置突块，交错布置借以消弱波浪能量。

日本在六十年代初，于神户港软土地基上，采用预应力

混凝土圆筒和钢管桩，创造了一种井筒式直立堤（图1-9）。圆筒直径15.5米，高11~17米，压至软土层下的砾石层。在相邻两圆筒间的1.5米孔隙中打入钢管桩；钢管桩外径1.2~1.5米，长28.5米。该堤堤前水深11~13米，波高3米。采用这种型式比高基床直立堤造价便宜，施工快，因为该地区软泥厚度达10米，因此，又可以节省修建高基床直立堤所需要的大量沙和块石。

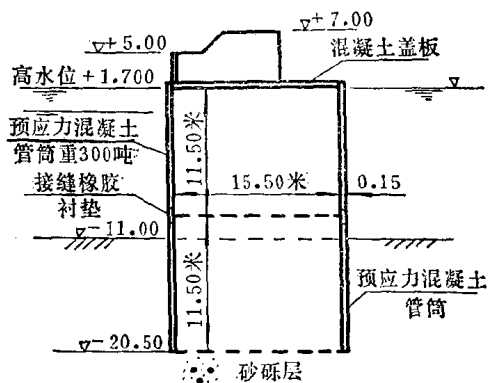


图1-9 日本神户港井筒式直立堤

三、轻型防波堤

波浪的研究结果表明，波动水体的大部分能量都集中在水体的上层，90%以上的波能集中在水面下两倍波高的范围内。为适应波浪作用的分布规律，国内、外正在开展对各种轻型防波堤的试验研究工作。

轻型防波堤，适用于水深大、波浪小的地区，它不受地基条件的限制，且兴建也比较方便。

目前，在研究轻型防波堤的各种方案中，认为喷气式、浮式和透空式比较可行。

喷气式防波堤的工作原理是利用气流消减波浪能量。