

高等职业院校港口与航道工程专业规划教材



交通职业教育教学指导委员会 组织编写

港口水工建筑物

◎主编 徐炬平

◎主审 宋华清 [中交第二航务工程局有限公司]



人民交通出版社
China Communications Press

高等职业院校港口与航道工程专业规划教材

Gangkou Shuigong Jianzhuwu

港口水工建筑物

交通职业教育教学指导委员会 组织编写

徐炬平 主编

宋华清[中交第二航务工程局有限公司] 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为高等职业院校港口与航道工程专业规划教材之一。在编写过程中力求反映港口工程新规范的内容及新规范的应用,体现高职高专学生实践技能的培养。全书共分七章,内容包括:码头概述、重力式码头、板桩码头、高桩码头、斜坡码头和浮码头、码头附属设施、防波堤。每章前面有学习目的介绍,后面有小结和思考题。

本书适用于港口与航道工程及相关专业的教学,也可供港口工程相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

港口水工建筑物 / 徐炬平主编. —北京:人民交通出版社, 2011. 7
ISBN 978-7-114-09144-5

I. ①港… II. ①徐… III. ①港口建筑物:水工建筑物 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①U656

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 095021 号

高等职业院校港口与航道工程专业规划教材

书 名: 港口水工建筑物
著 者: 徐炬平
责任编辑: 杨 川
出版发行: 人民交通出版社
地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号
网 址: <http://www.ccpres.com.cn>
销售电话: (010) 59757969、59757973
总 经 销: 人民交通出版社发行部
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京牛山世兴印刷厂
开 本: 787×1092 1/16
印 张: 11.25
插 页: 5
字 数: 262 千
版 次: 2011 年 7 月 第 1 版
印 次: 2011 年 7 月 第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-114-09144-5
印 数: 0001~2000 册
定 价: 35.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

随着我国国民经济的飞速发展,国家进一步加大了对水运事业的投入,一大批港口、航道工程项目的投资建设,迫切需要一批懂专业的高技能建设人才。同时,教育事业也迎来了发展的春天,尤其是高职教育得到了前所未有的发展,一大批高职院校中水利类、交通类专业的开设,为国家输送了大批合格、有用的人才。

由于港口与航道工程专业最初仅开设了本科教育,因此,目前所有的教材、教学标准、教学文件等均是立足于本科教育制订的。随着交通类高等职业教育港口与航道工程专业的开办,再加上新技术、新规范、新材料的出现,急需制订和编写面向高等职业教育的专业教学文件和配套教材。

在交通职业教育教学指导委员会的关心支持和指导下,从2008年开始,高职港口与航道工程专业开展了本学科的专业标准和教学标准的研究工作,并与人民交通出版社共同策划,同步规划了该专业核心教材。

高等职业院校港口与航道工程专业规划教材第一批共规划编写出版6种,计划在2012年年底全部完成。本套教材针对高等教育的特点,本着“必须、够用、理论联系实际”的原则,经过广泛调研,征求用人单位意见而编写。每种教材的每一章前面有学习提示,后面有小结和思考题,重点章节还列选了工程实例,以方便学生的学习。

《港水水工建筑物》是高等职业院校港口与航道工程专业规划教材之一。在编写过程中力求反映港口工程新规范的内容及新规范的应用,体现高职高专学生实践技能的培养。全书共分七章,内容包括:码头概述、重力式码头、板桩码头、高桩码头、斜坡码头和浮码头、码头附属设施、防波堤。

本书适用于港口与航道工程及相关专业的教学,也可供港口工程相关专业工程技术人员参考。

本书具体编写分工如下:第一、二、三章由安徽交通职业技术学院徐炬平编写;第四、五、六章和码头案例由南通航运职业技术学院郑红娟老师编写;第七章由福建交通规划设计院高级工程师陈长泰编写。全书由徐炬平担任主编。

本书由中交第二航务工程局有限公司宋华清高级工程师担任主审。在本书编写过程中还得到安徽省港航建设投资集团有限公司李家俊总经理和安徽交通职业技术学院土木工程系王丰胜主任以及众多同行、网络的大力支持,在此一并表示感谢。

限于编者的水平,教材内容难免会有错误和不妥之处,敬请各教学单位和读者在使用和推广本系列教材时提出修改意见和建议,以便再版修订时改正。

交通工程机械专业委员会

2011年4月

目 录

第一章 码头概述	1
第一节 码头组成及分类	1
第二节 码头地面使用荷载	4
第三节 其他荷载	7
思考题	13
第二章 重力式码头	14
第一节 重力式码头组成与构造	14
第二节 方块码头	21
第三节 沉箱码头	28
第四节 其他型式重力式码头	35
第五节 抛石基床施工	38
思考题	46
第三章 板桩码头	47
第一节 板桩码头组成与结构型式	47
第二节 板桩码头的构造	53
第三节 板桩码头的施工	60
思考题	66
第四章 高桩码头	67
第一节 高桩码头组成与结构型式	67
第二节 高桩码头的构造与布置	77
第三节 高桩码头的施工	94
思考题	102
第五章 斜坡码头和浮码头	103
第一节 斜坡码头	103
第二节 浮码头	114
思考题	121
第六章 码头附属设施	122
第一节 防冲设备	122
第二节 系船设备	131
第三节 其他码头附属设施	135
思考题	143
第七章 防波堤	144

目 录

第一节	防波堤建筑物概述	144
第二节	直立式防波堤	147
第三节	斜坡式防波堤	153
第四节	斜坡式防波堤的施工	158
	思考题	162
附录一	部分码头荷载标准值	163
附录二	码头案例——高桩码头施工图	170
	参考文献	171

第一章 码头概述

本章学习提示:

通过学习掌握码头的组成、分类以及码头使用荷载及组合等内容,为后续各种类型码头结构、构造的学习打下基础。

第一节 码头组成及分类

一、码头建筑物的组成

码头建筑物是供船舶停靠、装卸货物或上下旅客的水工建筑物,是港口的主要建筑物之一。

码头建筑物由主体结构和码头设备两部分组成(图 1-1)。主体结构通常包括上部结构、下部结构和基础。

上部结构的功能是:直接承受船舶荷载和地面使用荷载,并将其传给下部结构;将下部结构的构件连成整体;此外,上部结构还是系船柱、轨道、防冲设施等码头设备的基础。

下部结构的功能是:使码头形成一个直立墙身,并将作用在上部结构和自身的作用力传递到基础。

基础是码头建筑物的底座,承受下部结构传下来的作用力,并将其扩散到较大范围的地基上。

码头设备是指供船舶系靠和装卸作业在码头上设置的设备,包括系船设备(如系船柱、系船环),缓冲设备(如橡胶护舷),安全设备(如系网环、护轮槛),工艺设备(如工艺管沟、起重机轨道与铁路轨道)和路面等。

二、码头分类

1. 按平面布置分类

码头可分为顺岸式、突堤式、岛式等。顺岸式码头(图 1-2)即为码头线与原岸线平行或基本平行的码头,应用较为普遍。突堤式码头(图 1-3)主要应用于海港,分为窄突堤码头和宽突

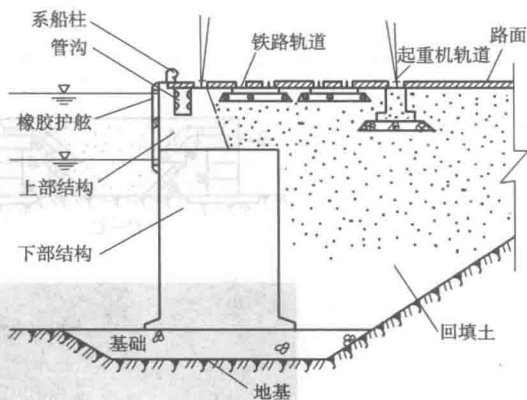


图 1-1 码头组成示意图



堤码头两种。前者沿宽度方向是一个整体结构,后者沿宽度方向的两侧为码头结构,码头结构中通过填筑构成码头地面。岛式码头(图 1-4)是修建在近岸深水海域中的码头,通过引桥或管道与岸相连,主要用来停靠巨型油船并进行装卸。

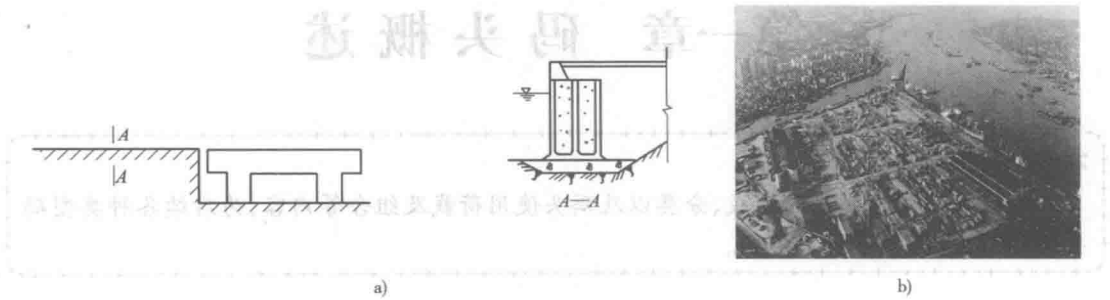


图 1-2 顺岸式码头

a) 顺岸式码头平面布置图; b) 某顺岸式码头实景

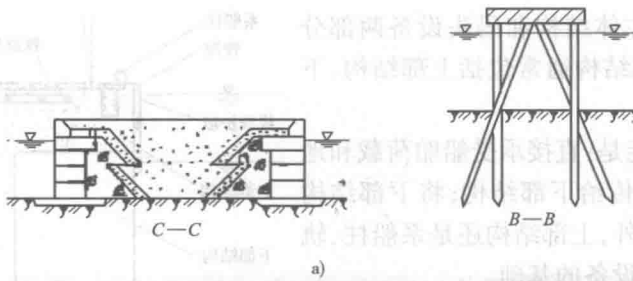
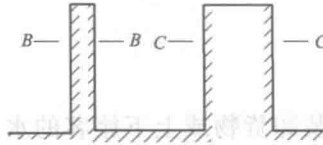


图 1-3 突堤式码头

a) 突堤式码头平面布置; b) 大连港突堤式码头实景

2. 按断面型式分类

码头可分为直立式、斜坡式、半直立式、半斜坡式和多级式(图 1-5)等类型。直立式码头



适用于水位变化不大的港口,如海岸港和河口港,对于水位差较小的河港及运河港也很适用。斜坡式码头适用于水位变化大的上、中游河港或水库港。由于直立式码头装卸效率高,其应用范围正逐步扩大。在水位差较大的中游河港,采用多层系缆或浮式系靠船设施的直立式码头也日益增多。半斜坡式码头用于枯水期较长而洪水期较短的山区河流。半直立式码头用于高水位时间较长,而低水位时间较短的水库港等,后两种型式的码头应用较少。



图 1-4 岛式码头实景

在河港中,对水位差 8m 以下的货运码头,宜建直立式;对水位差 8 ~ 17m 的件杂货码头,主要采用直立式;对散货码头主要采用斜坡式,对水位差 17m 以上,以建斜坡式为主,也可因地制宜建一些其他型式的码头。

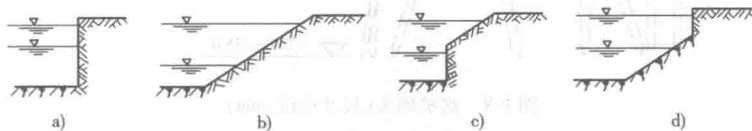


图 1-5 码头的断面型式

a) 直立式; b) 斜坡式; c) 半斜坡式; d) 半直立式

3. 码头建筑物的结构型式分类

码头常见的结构型式有:重力式、板桩式、高桩式及混合式等。

(1) 重力式(图 1-1、图 1-6)。依靠自重力(包括结构本身和填料的重力)来抵抗建筑物的滑移和倾覆。由于重力式码头自重较大,因此适用于土质较好的地基。又由于重力式码头墙体属实体结构,因此是耐久性和对工艺及超载变化适应性最强的一种结构。

(2) 板桩式(图 1-7)。靠打入地基中一系列连续板桩形成板的桩墙体来挡土。由于板桩码头系薄壁构件,且承受土压力较大,因此板桩码头主要适用于中、小型码头。



图 1-6 重力式码头

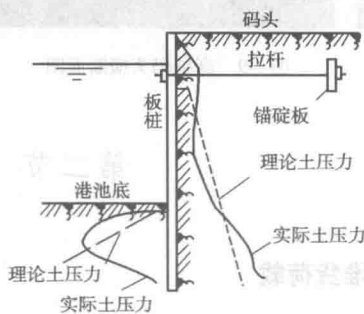


图 1-7 板桩码头及其受力

(3)高桩码头(图 1-8、图 1-9)。主要由桩基和上部结构组成,利用打入地基中的桩将作用在上部结构上的荷载传到地基深处,高桩码头主要适用于软土地基。

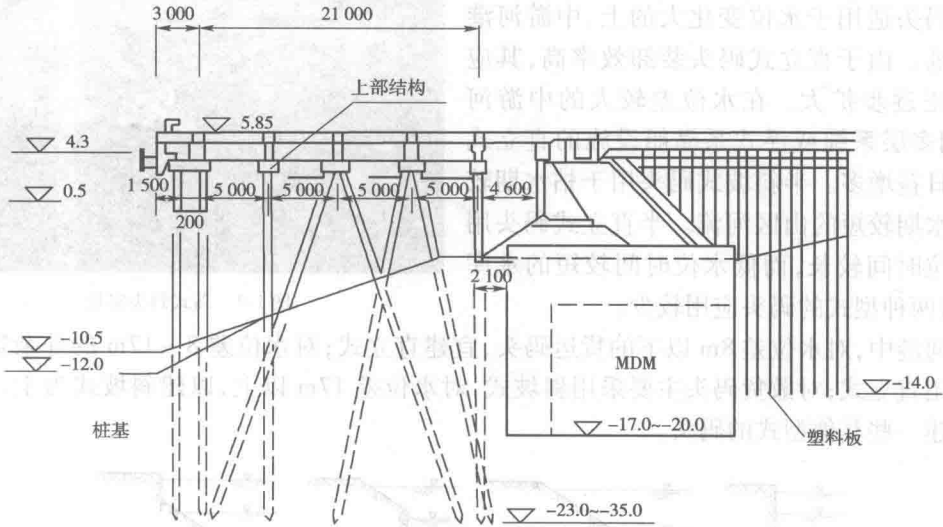


图 1-8 高桩码头(尺寸单位:mm)

(4)混合式。除了上述三种基本的结构型式外,根据当地的地基、水文、建筑材料、码头使用上的要求以及施工条件等情况,也可采用各种型式的混合结构。例如:下部为重力墩、上部为梁板式结构的重力墩式码头;后排为板桩挡土墙的后板桩高桩式码头(图 1-10)。



图 1-9 高桩码头横断面图

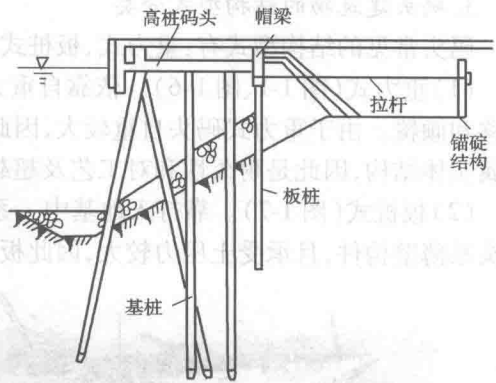


图 1-10 后板桩挡土墙混合式码头

第二节 码头地面使用荷载

一、堆货荷载

1. 堆货荷载分区

根据《港口工程荷载规范》(JTS 144—1—2010),将堆货荷载分成三个区域:前沿区、前方



堆场和后方堆场。

(1) 前沿区。它是从码头前沿线向后一定距离的地区。该区域通常作为装卸和运输机械的作业和通行地带,一般不堆货,只有少数情况下才临时堆存。根据港口使用上的规定,一般从门座起重机的陆侧轨中心以外 1.5m 开始堆货。考虑门座起重机的轨距 10.5m 和其前轨距码头前沿线为 2m,因此对于有门座起重机的码头前沿区一般取 14m;对于无门座起重机的海港码头前沿区宽度一般取 10m,河港前沿区宽度一般取 4~8m。

对于斜坡式码头,为与直立式码头概念统一,仍将其自坡顶线起向江的一段命名为前沿区。

(2) 前方堆场。前方堆场主要用来堆放装卸下来临时堆存的货物。对于有门机的码头,其宽度取决于门机吊臂的最大伸距。门机最大伸距一般为 25m 和 30m,所以前方堆场的宽度分别取 18m 和 23m,如图 1-11 所示。对于不设门机的码头,根据各港口使用管理等情况确定。对于前方设有仓库的码头,习惯采用仓库的宽度。

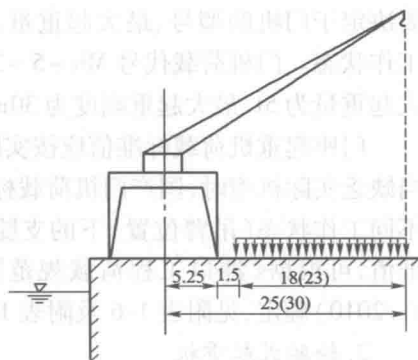


图 1-11 设有门机的码头前方堆场宽度
(尺寸单位:m)

(3) 后方堆场。是除上述区域以外的堆场。

2. 堆货荷载标准值

作用在港口工程结构物上的堆货荷载标准值,应根据堆存货种、装卸工艺确定的堆存情况、结合结构型式、地基条件和不同计算项以及对今后港口发展的考虑等进行综合分析后确定。

专业机械化码头的堆货荷载标准值按附表 1-1 选用。海港或河港各类码头在一般装卸工艺条件下的堆货荷载标准值,可分别按附表 1-2 和附表 1-3 选用。对有特殊使用要求的,应根据使用要求另行确定。后方堆场堆货荷载标准值,可按附表 1-4 采用;仓库的堆货荷载标准值可按附表 1-5 采用。装船机、卸船机和门机轨中心外 1.5m 范围内可不考虑堆货荷载。

二、人群荷载

客班轮码头及引桥因通行旅客,人行引桥或浮桥以及专用码头检修通道因通行港内工作人员而产生人群荷载。作用于港口工程结构物上的竖直人群荷载标准值 q 可按表 1-1 采用。

另外,设计人行引桥、浮桥时尚应以集中力 1.6kN 为标准值验算人行通道板的构件强度。作用于栏杆顶部的水平荷载标准值可采用 1.0kN/m。对安全要求高的栏杆应按实际情况确定,但不应低于 1.5kN/m。

人群荷载标准值表

表 1-1

建筑物类别	人群荷载标准值 q (kPa)	说 明
客班轮码头及引桥	4~5	—
人行引桥或浮桥	2~3	人行通道宽度大于等于 1.2m
	2	人行通道宽度小于 1.2m

注:①大中型客码头 q 值取表中上限值;

②设计钢引桥主桁时,人群荷载标准值不得折减。

三、起重运输机械荷载

港口起重运输机械包括轮胎式起重机、汽车式起重机、叉式装卸车、电瓶搬运车和牵引车等。港口选用哪种机械,取决于其相应的装卸工艺所选定的机械种类和型号。各种起重机械起重能力与跨幅有关,最大起重量与最小跨幅相对应,最大跨幅与最小起重量相对应,一般在两者之间工作。

1. 门座起重机

港口门座起重机(图 1-12)一般轨距为 10.5m。门机通过支腿对码头作用,支腿的压力主要决定于门机的型号、最大起重量、最大跨幅和工作状态。门机荷载代号 Mh-5-30,即表示最大起重量为 5t,最大起重幅度为 30m。

门座起重机荷载标准值应按实际机型确定。当缺乏实际机型时,国产门机荷载标准值以及在不同工作状态(吊臂位置)下的支腿竖向荷载标准值,可根据《港口工程荷载规范》(JTS 144—1—2010)确定,见附表 1-6 及附表 1-7。

2. 轮胎式起重机

轮胎式起重机一般有空载行驶、打支腿工作和不打支腿工作三种工作状态。空载行驶对码头建筑物设计不起控制作用,只作为港区道路桥梁的设计荷载。打支腿工作和不打支腿工作是港内装卸作业的常用状态,视具体作业条件确定吊重和跨幅,再确定相应作用于码头的荷载。由于轮胎式起重机类型很多,《港口工程荷载规范》(JTS 144—1—2010)附录 C 给出常用轮胎起重机的荷载值。

3. 铁路荷载

铁路列车由机车和车辆组成。影响码头铁路荷载的主要因素是实际使用的机车和车辆类型。由于港口铁路所用机车和车辆的型号甚多,其自重、载重量和轴距各不相同,设计时一般不采用实际机车和车辆的轴压力,而是采用标准的铁路荷载图式,即中华人民共和国铁路标准荷载(又称“中—活载”),其计算图式见图 1-13。普通活载一般对大跨度结构起控制作用,特种活载一般对小跨度(小于 3~5m)结构起控制作用。结构计算时分别按“普通活载”、“特殊荷载”图示加载,按计算结果的大值选取采用。



图 1-12 门座起重机

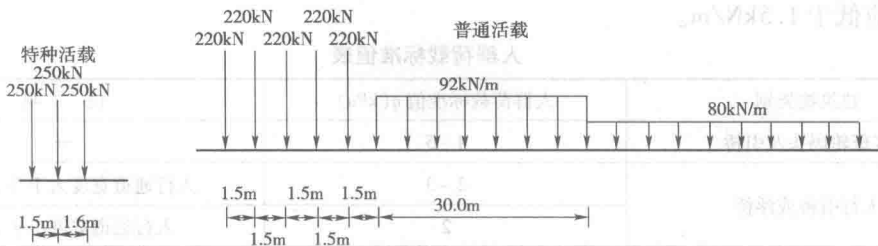


图 1-13 “中—活载”计算图式

由铁路荷载产生的土压力,为方便计算,以线荷载形式表示竖向计算活载。作用于两根钢轨上的竖向线荷载的标准值,根据港口通过的机车类型、运输重件的重量,按表 1-2 选取采用。

铁路竖向线荷载标准值 表 1-2

机车类型	竖向线荷载标准值 (kN/m)	重件重量 (t)	竖向线荷载标准值 (kN/m)
调车机车	125	60~90	125
干线机车	140	>90	140

4. 汽车荷载

作用在港口建筑物上的汽车荷载,包括各级汽车和平板挂车荷载。汽车荷载按单辆汽车总重量分为:10t、15t、20t、30t、55t 汽车五个等级。各级汽车的平面尺寸如图 1-14 所示,其荷载标准值可参考《港口工程荷载规范》(JTS 144—1—2010)有关规定。车辆在码头上的纵横排列,应按其出现最不利的荷载组合情况进行布置。

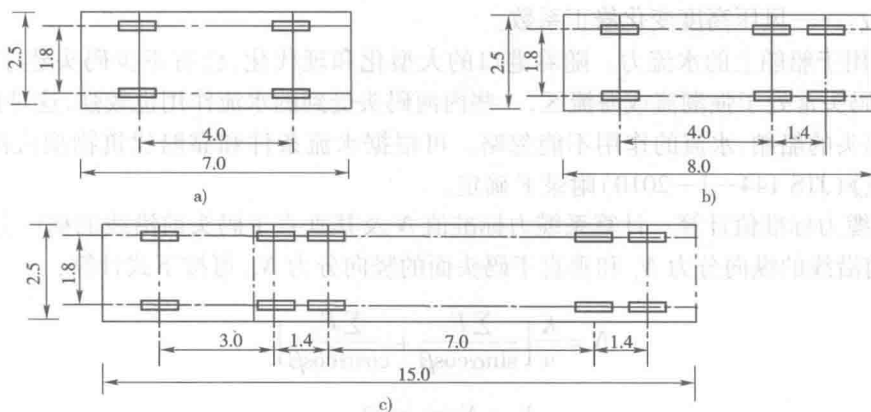


图 1-14 各级汽车的平面尺寸(尺寸单位:m)

a) 10t、15t、20t 汽车平面尺寸; b) 30t 汽车平面尺寸; c) 55t 汽车平面尺寸

对填料厚度小于 500mm 的一般的透空式结构,汽车荷载的冲击系数可取 1.1~1.3。对实体式结构或填料厚度大于 500mm 的透空式结构,可不计冲击系数。

第三节 其他荷载

一、船舶荷载

船舶荷载是作用于码头上的主要荷载之一,比较复杂,它与诸多因素有关,且具有随机性,其最终作用方式和设计中应考虑荷载,主要包括如下内容:

- (1) 由风和水流产生的系缆力。
- (2) 由风和水流产生的挤靠力。
- (3) 船舶靠岸时产生的撞击力。
- (4) 系泊船舶在波浪作用下产生的撞击力。

1. 系缆力

系缆力是由风、浪、水流和冰等引起的,使靠离码头的船舶对系船设施上的缆绳产生的拉伸作用。系缆力主要是由风与水流共同作用于船舶的结果,计算时应根据可能出现的风和流的情况,但不应用两者最大值叠加。一般可按最大计算吹开风和同时可能出现的流来叠加。

(1) 作用于船舶上的风荷载。作用在船舶上的风压力的计算,可分为垂直于码头前沿线的横向分力和平行于码头前沿线的纵向分力,并可按下列公式计算:

$$\left. \begin{aligned} F_{xw} &= 73.6 \times 10^{-5} A_{xw} V_x^2 \zeta_1 \zeta_2 \\ F_{yw} &= 49.0 \times 10^{-5} A_{yw} V_y^2 \zeta_1 \zeta_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式中: F_{xw}, F_{yw} ——分别为作用在船舶上的计算风压力的横向和纵向分力, kN;

A_{xw}, A_{yw} ——分别为船体水面以上横向和纵向受风面积, m^2 ;

V_x, V_y ——分别为设计风速的横向和纵向分量, m/s;

ζ_1 ——风压不均匀折减系数;

ζ_2 ——风压高度变化修正系数。

(2) 作用于船舶上的水流量。随着港口的大型化和现代化,已有不少码头建于无掩护的开敞海域,码头常处于强潮流或海流区,一些内河码头受到的水流作用也较强,这种情况下,系泊于上述码头的船舶,水流的作用不能忽略。可根据水流条件和靠船建筑物型式按《港口工程荷载规范》(JTS 144—1—2010)附录 F 确定。

(3) 系缆力标准值计算。计算系缆力标准值 N 及其垂直于码头前沿线的横向分力 N_x 、平行于码头前沿线的纵向分力 N_y 和垂直于码头面的竖向分力 N_z ,可按下式计算:

$$N = \frac{K}{n} \left[\frac{\sum F_x}{\sin \alpha \cos \beta} + \frac{\sum F_y}{\cos \alpha \cos \beta} \right] \quad (1-2)$$

$$\left. \begin{aligned} N_x &= N \sin \alpha \cos \beta \\ N_y &= N \cos \alpha \cos \beta \\ N_z &= N \sin \beta \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

式中: N, N_x, N_y, N_z ——分别为系缆力标准值及其横向、纵向和竖和分力, kN;

$\sum F_x, \sum F_y$ ——分别为可能同时出现的风和水流对船舶作用产生的横向分力总和与纵向分力总和, kN;

K ——系船柱受力分布不均匀系数,当实际受力的系船柱数目 $n = 2$ 时, K 取 1.2; $n > 2$ 时, K 取 1.3;

n ——计算船舶同时受力的系船柱数目;

α ——系船缆的水平投影与码头前沿线所成的夹角, $^\circ$;

β ——系船缆与水平面之间的夹角, $^\circ$ 。

(4) 计算系缆力标准值上限。计算系缆力标准值不应大于缆绳本身的破断力。缆绳破断力应按产品材质和规格确定。

(5) 计算系缆力标准值下限。作用于系船柱或系船环上的计算系缆力标准值不应小于表 1-3 和表 1-4 所列数值:

海船系缆力标准值(部分)

表 1-3

船舶载重量 $DW(t)$	1000	2000	5000	10000	20000	50000
系缆力标准值(kN)	150	200	300	400	500	650

内河货船驳船系缆力标准值

表 1-4

船舶载重量 $DW(t)$	系缆力标准值(kN)	船舶载重量 $DW(t)$	系缆力标准值(kN)
$DW \leq 100$	30	$1000 < DW \leq 2000$	150
$100 < DW \leq 500$	50	$2000 < DW \leq 3000$	200
$500 < DW \leq 1000$	100	$3000 < DW \leq 5000$	250

2. 挤靠力

船舶受到风、水流(流速较大时)的共同作用下,通过橡胶护舷对码头产生的力称之为挤靠力。对于有掩护的海港码头可以仅考虑风产生的挤靠力,但对存在强流和大浪的海港码头和内河码头,应考虑风和水流的共同作用。和系缆力一样,不应将两者的最大值叠加。一般可按最大值计算吹拢风和同时可能出现的流来叠加计算。

3. 撞击力

船舶撞击码头时产生的力称为撞击力。撞击力主要有:

(1) 船舶靠离岸时,船舶以靠岸速度碰撞建筑物引起的撞击力。

从理论讲,船舶撞击动能为:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1-4)$$

船舶靠岸碰撞码头时,其动能转化为橡胶护舷压缩变形、船壳弹性变形、码头结构的弹性变形能和船舶转动、横摇,以及船与码头之间水体的挤升、振动、摩擦、发热等能量的吸收耗散。其中橡胶护舷、船壳板、码头变形三者吸收的能力称为有效撞击能量 E_0 ,一般为船舶撞击动能的 70% ~ 80%。对于设置橡胶护舷的码头,有效动能基本全部由橡胶护舷吸收,码头结构物吸收的能量可以忽略不计。算出有效撞击能量 E_0 ,根据橡胶护舷的性能曲线,查出撞击力。

从公式(1-4)可以看出靠岸速度是决定船舶撞击力大小的关键,它与风、流等自然因素和操作因素有关。

(2) 系泊于系船、靠船结构上的船舶在波浪作用下船舶运动碰撞结构引起的撞击力。

这种撞击力主要由横向波浪引起,是外海开敞式大型船舶码头的重要船舶荷载之一,在某些情况下,可能大于靠船时的船舶撞击力。系泊船舶在波浪作用下对系船靠船结构产生的撞击力标准值应通过物理模型试验确定。

二、水动力

水动力是以径流为主的河港透空式建筑物(墩式码头、桩基码头及架空斜坡码头)的可变作用,当流速大于 3m/s 时,有时会成为主导可变作用;对以潮流为主的海港透空式建筑物,也应考虑水流作用的影响。作用于港口工程结构物上的水动力标准值应按下式计算:

$$F_w = C_w \frac{\rho}{2} V^2 A \quad (1-5)$$

式中： F_w ——水流力标准值，kN；

V ——水流设计流速，m/s；

C_w ——水流阻力系数；

ρ ——水的密度， t/m^3 ，淡水取 1.0，海水取 1.025；

A ——计算构件在与流向垂直平面上的投影面积， m^2 。

三、土压力

在土力学课程中我们知道，挡土结构都承受着土压力作用。因此港口工程中重力式码头、板桩码头等都承受土压力作用，土压力是港口结构的主要荷载之一。

1. 土压力基本公式

(1) 土压力种类。根据太沙基等一些学者研究，根据墙体相对位移 $\frac{\Delta}{H}$ ，即墙顶位移 Δ (Δ 远离填土方向为“+”，反之为“-”)与墙高 H 的比值，将土压力分为：

① 主动土压力：当 $\frac{\Delta}{H} = 0.001$ ，墙前土体处于主动极限平衡状态；

② 被动土压力： $\frac{\Delta}{H} = -0.01$ ，墙前土体处于被极限平衡状态；

③ 静止土压力： $\frac{\Delta}{H} = 0$ ，墙前土体处于静止状态；

(2) 计算公式：

① 朗肯公式。朗肯土压力公式假定挡土墙土体是刚性、墙背铅直、光滑，填土表面水平延伸。如图 1-15 所示，其任意深度土压力公式为：

$$\text{主动土压力：} \quad e_a = (q + \sum \gamma h) K_a - 2C \sqrt{K_a} \quad (1-6)$$

$$\text{被动土压力：} \quad e_p = (q + \sum \gamma h) K_p + 2C \sqrt{K_p} \quad (1-7)$$

$$\left. \begin{aligned} K_a &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \\ K_p &= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

式中： C ——土的黏滞力，kPa；

K_a 、 K_p ——主动土压力系数和被动土压力系数；

γ ——土的重度， kN/m^3 ；

φ ——土的内摩擦角，°；

q ——地面上均布荷载， kN/m^2 (单位斜面积上的荷载)。

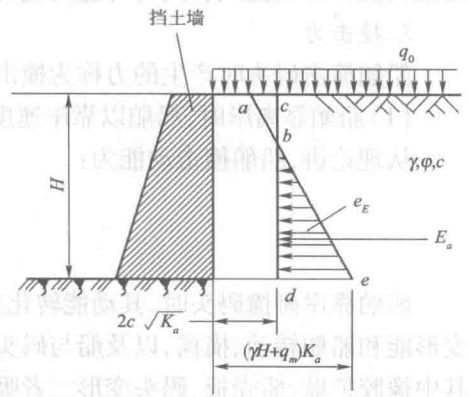


图 1-15 朗肯主动土压力计算图式

②库伦公式。每延米墙上总主动土压力 E_a (图 1-16) 和总被动土压力 E_p 分别为:

$$\left. \begin{aligned} E_a &= \left(qK_q + \frac{\gamma H}{2} \right) HK_a \\ E_p &= \left(qK_q + \frac{\gamma H}{2} \right) HK_p \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

$$\left. \begin{aligned} K_a &= \frac{\cos^2(\varphi - a)}{\cos^2\alpha \cos(\alpha + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \\ K_p &= \frac{\cos^2(\varphi + a)}{\cos^2\alpha \cos(\alpha - \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\alpha - \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \\ K_q &= \frac{1}{1 + \tan\alpha \tan\beta} = \frac{\cos\alpha}{\cos(\alpha - \beta)} \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

式中: K_a 、 K_p ——主动土压力系数和被动土压力系数;

K_q ——地面荷载系数;

γ ——土的重度, kN/m^3 ;

φ ——土的内摩擦角, $^\circ$;

q ——地面上均布荷载, kN/m^2 (单位斜面积上的荷载);

δ ——土与墙背面之间的摩擦角, 也称外摩擦角, $^\circ$ (K_a 式中的 δ , 当土对墙产生向下摩擦力时为正; K_p 式中的 δ , 当土对墙产生向上摩擦力时为正);

β ——地面与水平面的夹角, $^\circ$ (向上倾为正);

α ——墙背对垂直面的倾斜角, $^\circ$, 仰斜为正, 俯斜为负;

H ——墙高, m 。

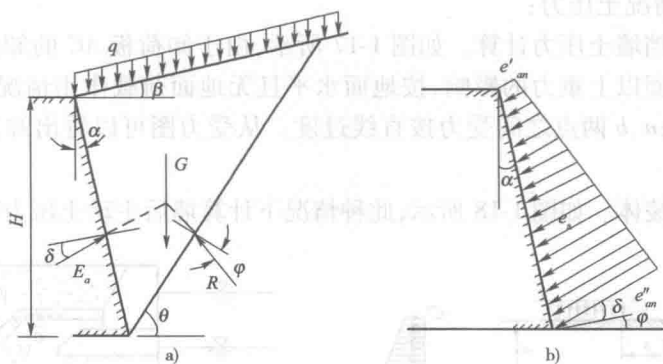


图 1-16 库伦主动土压力计算图式

a) 滑动土体的受力平衡; b) 墙后的土压力图形

由于库伦土压力公式是假定墙后填土是匀质的砂性土, 因此在黏性土土压力计算时, 通常采用经验内摩擦角 φ' 来代替实际内摩擦角 φ 和黏聚力 c 。一般水上黏土可取 $\varphi' = 30^\circ \sim 35^\circ$, 水下黏土 $\varphi' = 25^\circ \sim 30^\circ$; 或采用等效内摩擦角 φ' 的方法, 常按两种公式土压力强度等效的方法计算得到, 式(1-11)为确定主动土压力等效内摩擦角: