

高等学校水利学科专业规范核心课程教材

Gangkou yu Hai'an Shuigong Jianzhuwu

# 港口与海岸水工建筑物

(港口航道与海岸工程专业)

主 编 王元战[天津大学]

主 审 卢永昌[中交第四航务工程勘察  
设计院有限公司]

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书为高等学校水利学科港口航道与海岸工程专业规范核心课程教材。全书共分为三篇十一章,主要内容包括码头及码头上的作用,重力式码头,板桩码头,高桩码头,斜坡码头和浮码头,码头设施,防波堤,海岸与近海建筑物,修造船水工建筑物概述,机械化滑道,干船坞等。

本书是高等院校港口航道与海岸工程专业本科生必修课教材,也可作为其他土建类、水利类和海洋工程类专业本科生选学港口工程方向的主选教材及从事港口建设的工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

港口与海岸水工建筑物 / 王元战主编. — 北京:  
人民交通出版社, 2013. 2

ISBN 978-7-114-10342-1

I. ①港… II. ①王… III. ①港口建筑物—水工建筑物—高等学校—教材②海岸工程—水工建筑物—高等学校—教材 IV. ①U656②P753

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 018226 号

高等学校水利学科专业规范核心课程教材

书 名: 港口与海岸水工建筑物

著 者: 王元战

责任编辑: 钱悦良

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.chinasybook.com>

销售电话: (010)64981400, 59757915

总 经 销: 北京交实文化发展有限公司

印 刷: 北京交通印务有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 28.25

字 数: 650 千

版 次: 2013年2月 第1版

印 次: 2020年10月 第4次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-10342-1

印 数: 8001-9000 册

定 价: 68.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

# 高等学校水利学科专业核心课程教材 编审委员会名单

## 主任委员

张长宽(河海大学)

## 副主任委员

陈 楚(水利部人才资源开发中心)	王国仪(中国水利水电出版社)
彭建民(中国水利教育协会)	余锡平(清华大学)
谈广鸣(武汉大学)	姜 峰(大连理工大学)
练继建(天津大学)	陈建康(四川大学)
周孝德(西安理工大学)	李建林(三峡大学)
刘 超(扬州大学)	刘汉东(华北水利水电学院)

## 秘 书 长

吴胜兴(河海大学)

## 委 员

刘建明(水利部黄河水利委员会)	董雅平(水利部长江水利委员会)
任立良(河海大学)	梅亚东(武汉大学)
袁 鹏(四川大学)	吴吉春(南京大学)
唐洪武(河海大学)	马震岳(大连理工大学)
胡志根(武汉大学)	郑金海(河海大学)
王元战(天津大学)	康海贵(大连理工大学)
黄介生(武汉大学)	张展羽(河海大学)
杨培岭(中国农业大学)	蔡焕杰(西北农林科技大学)
王志锋(南昌工程学院)	



# 港口航道与海岸工程专业教材 编审分委员会名单

## 主任委员

郑金海(河海大学)

## 副主任委员

王元战(天津大学)

康海贵(大连理工大学)

## 秘书长

冯卫兵(河海大学)

## 委员(排名不分先后)

许锡宾(重庆交通大学)

刘晓平(长沙理工大学)

张小峰(武汉大学)

刘月琴(华南理工大学)

陈一梅(东南大学)

张洪雨(哈尔滨工程大学)

李华军(中国海洋大学)

刘曙光(同济大学)

孙东坡(华北水利水电学院)

孙志林(浙江大学)

王志东(江苏科技大学)

喻国良(上海交通大学)

陈子燊(中山大学)

陈刚(西安理工大学)



# 序

随着我国水利事业与高等教育事业的快速发展以及教育教学改革的不断深入,水利高等教育也得到很大的发展与提高。与20世纪末相比,水利学科专业的办学点增加了将近1倍,每年的招生人数增加了将近2倍。通过专业目录调整与面向新世纪的教育教学改革,在水利学科专业的适应面有很大拓宽的同时,水利学科专业的建设也面临着新形势与新任务。

在教育部高教司的领导与组织下,从2003年到2005年,各学科教学指导委员会开展了本学科专业发展战略研究与制定专业规范的工作。在水利部人教司的支持下,水利学科教学指导委员会也组织课题组于2005年底完成了相关的研究工作,制定了水文与水资源工程,水利水电工程,港口航道与海岸工程以及农业水利工程四个专业规范。这些专业规范较好地总结与体现了近些年来水利学科专业教育教学改革的成果,并能较好地适应不同地区、不同类型高校举办水利学科专业的共性需求与个性特色。为了便于各类港口航道与海岸工程专业学校参照专业规范组织教学,考虑到港口航道与海岸工程专业的特殊性和历史延续性,经水利学科教学指导委员会研究决定,由港口航道与海岸工程专业分委会与人民交通出版社共同策划,组织编写出版港口航道与海岸工程专业“高等学校水利学科专业规范核心课程教材”。

核心课程是指该课程所包括的专业教育知识单元和知识点,是本专业的每个学生都必须学习、掌握的,或在一组课程中必须选择几门课程学习、掌握的,因而,核心课程教材质量对于保证水利学科各专业的教学质量具有重要的意义。为此,我们不仅提出了坚持“质量第一”的原则,还通过专业教学讨论、提出,专家咨询组审议、遴选,相关院、系认定等步骤,对核心课程教材选题及其主编、主审和教材编写大纲进行了严格把关。为了把本套教材组织好、编著好、出版好、使用好,我们还成立了高等学校水利学科专业规范核心课程教材编审委员会以及各专业教材编审分委员会,对教材编纂与使用的全过程进行组织、把关和监督。充分依靠各学科专家发挥咨询、评审、决策等作用。

本套教材第一批共规划港口航道与海岸工程专业11种,计划在2010年年底之前全部出齐。许多人为本套教材建设作出了许多努力,付出了许多心血,特别是上一届港口航道与海岸工程专业教学指导分委员会主任委员严以新教授和其他委员,一直关心教材编写和出版情况。但是,由于专业规范还在修订完善之中,参照专业规范组织教学还需要通过实践不断总结提高,加之,在新形势下如何组织好教材建设还缺乏经验,因此,这套教材一定会有各种不足与缺点,恳请使用这套教材的师生提出宝贵意见。本套教材还将出版配套的立体化教材,以利于教、便于学,更希望师生们对此提出建议。

高等学校水利学科教学指导委员会  
港口航道与海岸工程专业教学指导分委员会  
人民交通出版社  
2012年12月



# 前 言

本书是高等学校水利学科教学指导委员会港口航道与海岸工程专业教学指导分委员会组织编审的全国港口航道与海岸工程本科专业核心课程教材之一,书名为《港口与海岸水工建筑物》。

本书在现有港口水工建筑物教材的基础上,吸收了近十几年来我国港口与海岸工程建设取得的部分新成果,并根据交通运输部最新颁布的行业规范对部分内容进行较大修改。此外,根据高等学校水利学科教学指导委员会港口航道与海岸工程专业教学指导分委员会的建议,增加了海岸与近海工程结构的相关内容。本书共分为三篇十一章,第一篇 码头,包括六章:码头及码头上的作用(第一章)、重力式码头(第二章)、板桩码头(第三章)、高桩码头(第四章)、斜坡码头和浮码头(第五章)、码头设施(第六章);第二篇 防波堤与海岸建筑物,包括二章:防波堤(第七章)、海岸与近海建筑物(第八章);第三篇 修造船水工建筑物,包括三章:修造船建筑物概述(第九章)、机械化滑道(第十章)、干船坞(第十一章)。

本书由天津大学王元战教授担任主编并编写第一、第二(除第九节、第十节)和第七章;天津大学王元战教授和肖忠博士编写第三和第四章(除第七节);大连理工大学宋向群教授编写第二章第五节部分内容、第九节和第四章第七节;重庆交通大学王多银教授编写第五章;东南大学谢耀峰教授编写第六章和第二章第十节;大连理工大学张日向教授编写第八章;河海大学鲁子爱教授编写第九章和第十章(其中,翟秋协助编写第十章);长沙理工大学赵利平教授编写第十一章。

本书由中交第四航务工程勘察设计院有限公司卢永昌(教授级高工、设计大师)总工程师主审。卢永昌总工程师对本书进行了认真审查,提出了很多宝贵意见。

巴蕾、杨立红、龙俞辰、刘翰琪、杨攀博、刘旭菲等研究生协助完成本书部分插图的绘制、例题计算等工作。

在此,对参加本书编写工作、审查工作以及为本书编写提供各方面支持和帮助的所有人员,一并表示感谢。

作 者  
2013年1月



# 目 录

## 第一篇 码 头

<b>第一章 码头及码头上的作用</b> .....	3
第一节 码头分类与组成.....	3
第二节 作用与作用效应组合.....	7
第三节 码头地面使用荷载 .....	12
第四节 船舶荷载 .....	29
第五节 波浪力 .....	34
第六节 水流力、冰荷载和土压力.....	49
第七节 地震作用 .....	53
思考题 .....	63
<b>第二章 重力式码头</b> .....	65
第一节 重力式码头结构型式 .....	65
第二节 重力式码头的一般构造 .....	71
第三节 重力式码头的基本计算 .....	78
第四节 块体码头.....	103
第五节 沉箱码头.....	107
第六节 扶壁码头.....	117
第七节 大圆筒码头.....	119
第八节 格形钢板桩码头.....	124
第九节 重力墩式码头.....	135
第十节 浆砌石码头与现浇混凝土码头.....	140
思考题.....	142
<b>第三章 板桩码头</b> .....	143
第一节 板桩码头概述.....	143
第二节 板桩码头的构造.....	147
第三节 板桩墙计算.....	157
第四节 锚碇结构计算.....	166
第五节 板桩码头的构件设计.....	169
第六节 板桩码头整体稳定性验算.....	173

思考题	173
<b>第四章 高桩码头</b>	174
第一节 高桩码头概述	174
第二节 高桩码头的构造	182
第三节 高桩码头的结构布置	192
第四节 梁板式高桩码头上部结构的计算	196
第五节 高桩码头横向排架计算	202
第六节 无梁板式高桩码头的计算	213
第七节 高桩墩式码头设计与计算	216
第八节 高桩码头整体稳定性验算	220
思考题	222
<b>第五章 斜坡码头和浮码头</b>	223
第一节 概述	223
第二节 斜坡码头	226
第三节 浮码头	240
思考题	253
<b>第六章 码头设施</b>	254
第一节 防冲设备	254
第二节 系船设施	263
第三节 其他码头附属设施	266
思考题	270
参考文献	271

## 第二篇 防波堤与海岸建筑物

<b>第七章 防波堤</b>	275
第一节 防波堤概述	275
第二节 斜坡式防波堤	284
第三节 直立式防波堤	301
第四节 半圆型防波堤	310
思考题	315
<b>第八章 海岸与近海建筑物</b>	317
第一节 护岸与护坡	317
第二节 丁坝和潜堤	324
第三节 通(跨)海路桥	329
第四节 人工岛与围海水工建筑物	336

第五节 近海平台结构·····	345
第六节 单点系泊系统·····	354
思考题·····	360
参考文献·····	362

### 第三篇 修造船水工建筑物

第九章 修造船建筑物概述·····	367
第一节 船舶的建造与修理·····	367
第二节 修造船建筑物的型式·····	368
第三节 修造船厂的平面布置·····	372
思考题·····	374
第十章 机械化滑道·····	375
第一节 机械化滑道的型式·····	375
第二节 机械化滑道的主要尺度·····	383
第三节 轨道基础的结构型式·····	386
第四节 轨道梁计算·····	390
第五节 轨枕道碴基础计算·····	398
思考题·····	401
第十一章 干船坞·····	402
第一节 船坞的类型和布置·····	402
第二节 干船坞的结构型式与构造·····	408
第三节 干船坞坞门·····	416
第四节 干船坞灌排水系统·····	419
第五节 干船坞结构的计算·····	422
思考题·····	429
参考文献·····	430

### 附 表

附表 1 无限长梁和半无限长梁解中函数 $A_{ax}$ 、 $B_{ax}$ 、 $C_{ax}$ 、 $D_{ax}$ 的数值表·····	433
附表 2 基床系数 $k$ 的参考值表·····	436



第  
一  
篇



码 头



# 第一章 码头及码头上的作用

## 第一节 码头分类与组成

### 一、码头及其分类

码头是供船舶停靠、装卸货物和上下旅客的水工建筑物。根据目的不同,码头可以按不同方法进行分类。

#### 1. 按用途分类

根据用途不同,码头可分为货运码头、客运码头、客货(运)码头、渔码头、轮渡(滚装)码头、工作船码头、军用码头、修船码头和舾装码头等。货运码头又可分为件杂货码头、散杂货码头、多用途码头、集装箱码头和专业散货码头等。专业散货码头可分为干散货码头和液体散货码头,干散货码头包括煤码头、矿石码头、粮食码头等;液体散货码头包括原油码头、成品油码头、液体化工码头、液化石油气(LPG)码头、液化天然气(LNG)码头等。

#### 2. 按平面布置分类

按平面布置,码头可分为顺岸式、突堤式、墩式和岛式等,如图 1-1 所示。顺岸式码头前沿线顺码头岸线方向布置,根据码头与岸的连接方式,顺岸式码头又可分为满堂式和引桥式两种,如图 1-1a)所示。满堂式码头与陆域沿码头全长连成一片,其前沿与后方的联系方便。引桥式码头用引桥将顺岸码头与陆域连接起来。

突堤式码头的结构纵轴线与岸线成一定的角度,如图 1-1b)所示,分为窄突堤码头和宽突堤码头两种。窄突堤码头( $B-B$  断面)沿宽度方向是一个整体结构,宽突堤码头( $C-C$  断面)沿宽度方向的两侧为码头岸壁,中间通过填筑构成码头地面。

墩式码头为非连续结构,由靠船墩、系船墩、工作平台墩、引桥、人行桥组成,如图 1-1c)所示。墩台与岸用引桥连接,墩台之间用人行桥连接,船舶的系靠由系船墩和靠船墩承担,装卸作业在另设的工作平台墩上进行。也有墩式码头不设工作平台墩,墩子既是系靠船设施,又在其上设置装卸机械进行装卸作业。

岛式码头是离岸较远的孤立式建筑物,多用作石油码头,一般通过海底管线等与岸上联系。

#### 3. 按断面型式分类

按断面型式,码头可分为直立式、斜坡式、半直立式、半斜坡式和多级式等,如图 1-2 所示。直立式码头适用于水位变化不大的港口,海岸港和河口港多采用直立式断面。由于直立式码头装卸效率高,其应用范围正逐步扩大,在水位差较大的河港,采用多层系缆或浮式系靠船设施的直立式码头日益增多。斜坡式码头适用于水位变化大的情况,如天然河流的中、上游港口



多采用斜坡式断面。半斜坡式码头用于枯水期较长、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。在水位差大且洪水期不长的上游河港也可采用多级式直立码头,上级码头供洪水期使用,下级码头供枯水期或一般水位时使用。

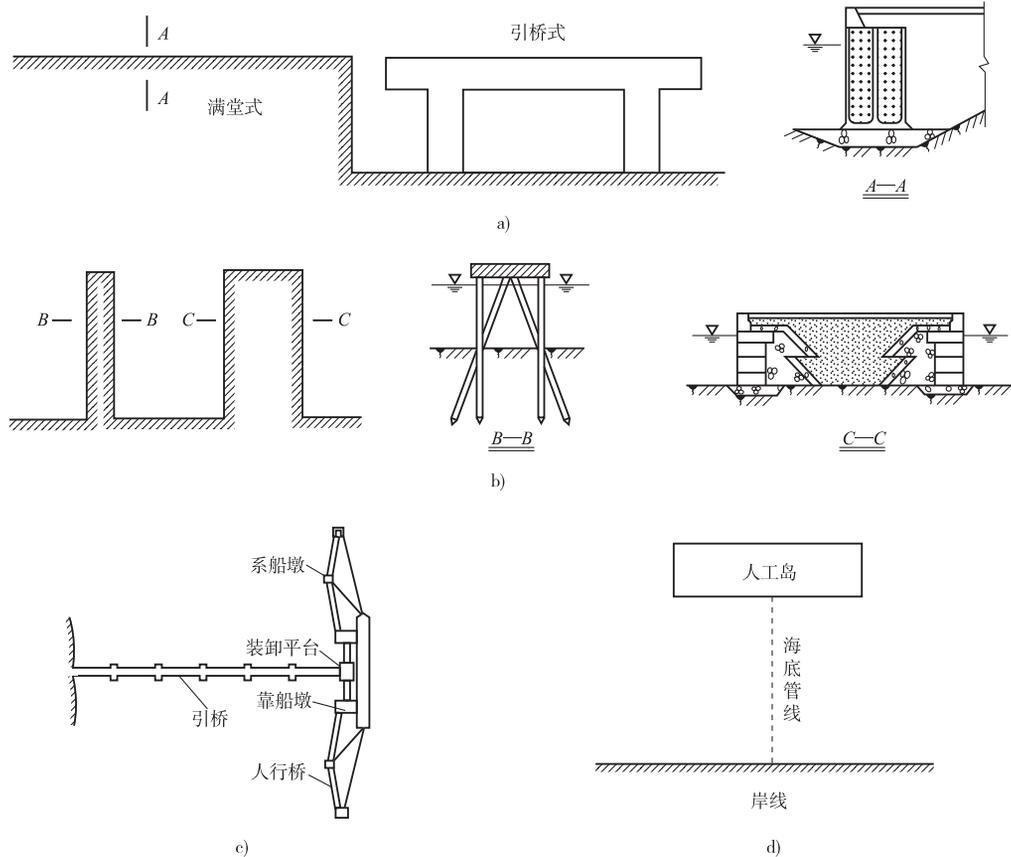


图 1-1 码头平面布置型式

a) 顺岸式码头; b) 突堤式码头; c) 墩式码头; d) 岛式码头

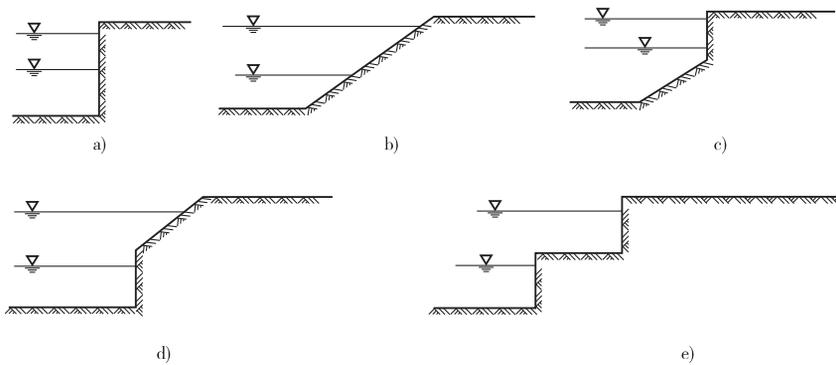


图 1-2 码头按断面型式分类

a) 直立式; b) 斜坡式; c) 半直立式; d) 半斜坡式; e) 多级式

4. 按结构型式分类

按结构型式,码头可分为重力式码头、板桩码头、高桩码头和其他码头型式(如沉入式大圆筒码头、导管架桩基码头、重力式复合码头等),如图 1-3 所示。

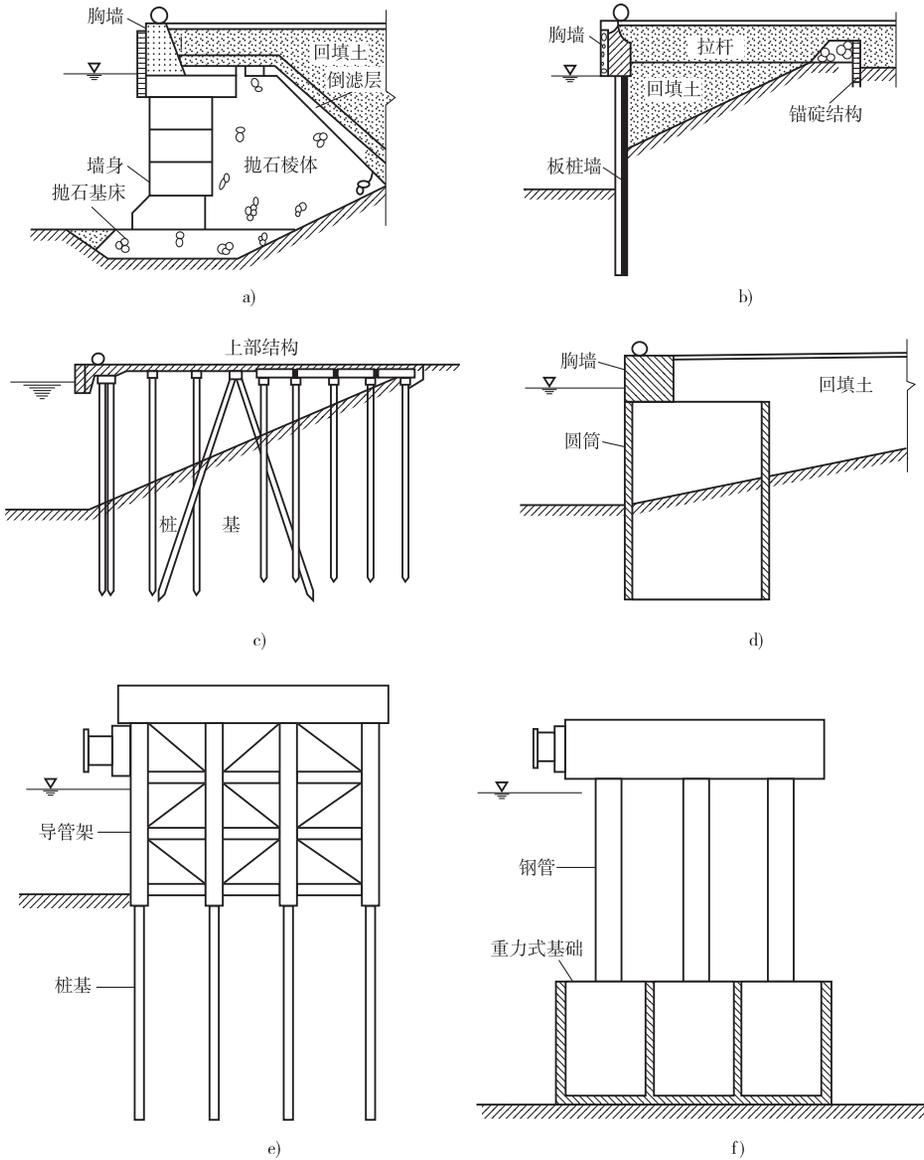


图 1-3 码头按结构型式分类

a) 重力式码头; b) 板桩码头; c) 高桩码头; d) 沉入式大圆筒码头; e) 导管架桩基码头; f) 重力式复合码头

重力式码头,如图 1-3a)所示,是使用较多的一种结构型式,其工作特点是依靠结构自重来保持抗滑移和抗倾覆稳定。重力式码头耐久性好,对超载和工艺变化适应能力强。但由于自重大,产生的地基应力大,故重力式码头一般适用于承载力较高的地基条件。

板桩码头,如图 1-3b)所示,其工作特点是依靠土对打入地基中的下部板的嵌固作用和上



部锚碇结构来保持结构的稳定性。板桩码头结构简单、施工方便,对复杂地基条件适应性强。但由于板桩墙是薄壁结构,且承受较大的土压力,一般适用于中、小型码头。近年来,开发了遮帘桩板桩码头、T型地连墙板桩码头、钢管板桩组合板桩码头等新型结构,板桩码头在深水港建设中也得到采用。

高桩码头,如图 1-3c)所示,其工作特点是通过打入地基中的桩基将码头荷载传给地基。高桩码头具有透空、波浪反射小等特点,适用于深水和软弱土地基条件。但高桩码头结构型式复杂,耐久性差,对超载和工艺变化适应能力弱。

此外,为适应复杂地基和深水条件,近年出现了一些其他码头结构型式,如沉入式大圆筒码头(图 1-3d)、导管架桩基码头(图 1-3e)和重力式复合码头(图 1-3f)等。

### 5. 按地理位置分类

按地理位置,码头可分为海港码头、河口港码头、河港码头和湖泊码头等。海港码头按有无掩护条件,又分为有掩护码头和开敞式码头(无掩护码头)。有掩护码头建造在有防波堤或有天然掩护条件的海域,开敞式码头建造在无掩护条件的海域。

## 二、码头的组成部分

码头由主体结构和码头附属设施组成,如图 1-4 所示。主体结构包括上部结构、下部结构和基础。不同结构型式码头,其上部结构、下部结构和基础的构成部分不尽相同,表 1-1 给出不同结构型式码头的组成部分。

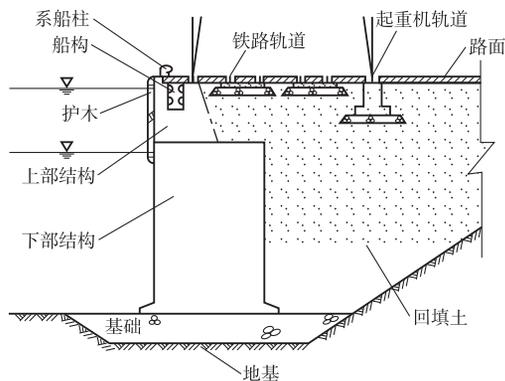


图 1-4 码头的组成部分

上部结构的作用是:将下部结构的构件连成整体;直接承受船舶荷载和地面使用荷载,并将其传给下部结构;供安装码头附属设施之用。

下部结构的作用是:形成满足船舶靠泊、作业和水深要求的直立墙身;支撑上部结构,并将作用在上部结构和自身上的荷载传递给基础。

基础的作用是:承受下部结构传下来的作用力,将其传递给地基。

码头附属设施用于船舶系靠、装卸作业、人员上下和安全保护等设施。

不同结构型式码头组成部分

表 1-1

结构型式		重力式码头	板桩码头	高桩码头
主体结构	上部结构	胸墙	帽梁或胸墙	梁板、靠船构件或承台
	下部结构	墙身	地基以上部分板桩	地基以上部分基桩
	基础	基床	地基以下部分板桩	地基以下部分基桩
码头附属设施		系船设施、防冲设备、工艺设备、爬梯、登船梯、系网环、栏杆和护轮坎等		

## 第二节 作用与作用效应组合

### 一、作用

目前,我国港口工程结构设计方法是以结构可靠度理论为基础,采用便于工程技术人员使用的、以分项系数表达的设计表达式。详细内容,请参见有关文献资料。

作用是指施加在结构上的外力以及引起结构外加变形和约束变形的原因。作用分为直接作用和间接作用两种,直接施加在结构上的外力,包括集中力和分布力,属直接作用,工程上习惯称之为荷载;引起结构外加变形和约束变形的原因为间接作用,如地基沉降、混凝土收缩变形和温度变形等。

作用效应是指结构对作用的反应,如在直接作用或间接作用下结构构件的轴力、剪力、弯矩、扭矩,以及结构的应力、变形、位移和裂缝等。

本节所述的作用均为直接作用。

### 二、作用的分类

码头上的作用可按时间变异、空间变异和结构反应进行分类。

#### 1. 按时间变异分类

按时间变异,作用可分为永久作用、可变作用和偶然作用。

永久作用:在设计使用年限内始终存在且量值随时间的变化与其平均值相比可忽略不计的作用,或其变化是单调的并趋于某个限值的作用,如结构自重力、固定机械设备自重力、预加应力、土重力以及土重力和永久作用产生的土压力等。

可变作用:在设计使用年限内其量值随时间变化,且其变化与其平均值相比不可忽略的作用称为可变作用,如堆货荷载、流动起重或运输机械荷载、船舶荷载、水流力、波浪力,以及可变作用产生的土压力等。

偶然作用:在设计使用年限内不一定出现,而一旦出现量值很大,且持续时间很短的事故荷载,如非正常撞击、火灾、爆炸等。

#### 2. 按空间变异分类

按空间变异,作用可分为固定作用和自由作用两种。在结构上具有固定分布的作用称为固定作用,如结构自重力和固定设备自重力等。在结构的一定范围内可以任意分布的作用称为自由作用,如堆货荷载、流动起重或运输机械荷载等。

#### 3. 按结构反应分类

按结构反应,作用可分为静态作用和动态作用两种。在加载过程中结构产生的加速度可以忽略不计的作用称为静态作用,如自重力、堆货荷载、土压力和预加应力等。在加载过程中使结构产生不可忽略的加速度的作用称为动态作用,如船舶撞击力和地震作用等。

地震作为一种特殊作用,《港口工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50158—2010)单独规定了承载能力极限状态设计的地震状况的地震组合。



### 三、设计极限状态

整个结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求,此特定状态称为该功能的极限状态。港口水工建筑物设计极限状态分为承载能力极限状态和正常使用极限状态两种。

承载能力极限状态是指结构或结构构件达到最大承载能力或达到不适于继续承载的变形的状态,如整个结构或结构的一部分作为刚体失去平衡(如滑移、倾覆等);结构构件或连接件因超过材料强度而破坏,或因过度的塑性变形而不适于继续承载;结构转变为机动体系;结构或结构构件丧失稳定(如压屈等);地基丧失承载能力而失效;结构构件的疲劳破坏等。

正常使用极限状态是指结构或结构构件达到正常使用或耐久性的各项规定限值时的状态。如影响正常使用或外观的变形;影响正常使用或耐久性能的局部损坏(包括裂缝);影响正常使用的振动;影响正常使用的其他特定状态。

### 四、设计状况与作用效应组合

#### 1. 设计状况

港口水工建筑物在施工、使用和维修时的环境条件和荷载条件不同,设计时应针对不同情况进行设计验算。根据各种情况持续时间的长短和出现概率的高低,分为以下四种设计状况:

(1)持久状况:持续时段与建筑物设计使用年限相当的设计状况,如码头面承受堆货荷载和流动与运输机械荷载的状况,防波堤承受波浪力的状况等。

(2)短暂状况:在结构施工和使用过程中一定出现,而与使用年限比持续时间较短的设计状况,如水工建筑物施工、维修和短期特殊使用承受荷载的状况等。

(3)地震状况:建筑物遭受地震作用时的设计状况。

(4)偶然状况:偶发的使结构产生异常状态的设计状况,包括非正常撞击、火灾、爆炸等。

持久状况是最基本的,一般是指贯穿建筑物整个使用期的设计状况,通常要考虑承载能力和正常使用两种极限状态。短暂状况是指施工期间或使用期间可能短暂出现的状况,一般仅考虑承载能力极限状态,必要时两种极限状态都要考虑。地震状况应进行承载能力极限状态设计,主体结构在出现设计的地震状况时不应丧失承载力。偶然状况是在有特殊要求时进行承载能力极限状态设计或进行防护设计。

#### 2. 作用效应组合

根据设计极限状态和设计状况,结构设计要进行以下作用效应组合验算:

(1)承载能力极限状态组合验算,包括:①持久状况的持久组合;②短暂状况的短暂组合;③地震状况的地震组合;④有特殊要求时采用偶然状况的偶然组合。

(2)正常使用极限状态组合验算,包括:①标准组合,用于当超越极限状态时将产生永久性不可逆损坏的情况;②频遇组合,用于短期效应是决定性因素时的情况;③准永久组合,用于长期效应是决定性因素时的情况。

### 五、作用的代表值

在进行港工建筑物设计时,作用的代表值有标准值、组合值、频遇值和准永久值。

1. 标准值

标准值是作用的主要代表值,是根据对结构的不利状态选取的在建筑物设计基准期内作用最大值或最小值概率分布的某一分位值。当作用增大对结构不利时,取较高的分位值;当作用增大对结构有利时,取较低的分位值。永久作用仅有标准值。

2. 组合值

组合值是建筑物在承载能力极限状态下作用效应持久组合中非主导可变作用的代表值。主要用于考虑在建筑物设计基准期内各可变作用最大值同时出现的概率很低的问题。组合值一般由标准值乘以组合值系数  $\psi_c$  得到,通常取  $\psi_c = 0.7$ 。

3. 频遇值

频遇值是在设计基准期内被超越的总时间占设计基准期的比率较小的作用值,或被超越的频率限制在规定频率内的作用值。是结构在正常使用极限状态下作用效应短期组合中可变作用的代表值。结构发生局部破坏(如超限值裂缝)或使用功能不良(如超限值变形)与出现作用的较大值有关,故频遇值取作用在结构上时而出出现的较大值。频遇值一般由标准值乘以频遇值系数  $\psi_f$  得到,通常取  $\psi_f = 0.7$ 。

4. 准永久值

准永久值在设计基准期内被超越的总时间占设计基准期的比率较大的作用值,是在结构正常使用极限状态分析中将可变作用“折合”成永久作用的值。一种方法是以平均值作为准永久值;另一种方法是在设计基准内出现该值的持续期等于或大于总持续期的 50% 的值作为准永久值。准永久值一般由标准值乘以准永久值系数  $\psi_q$  得到,通常取  $\psi_q = 0.6$ 。准永久值用于计算地基的最终沉降量和裂缝宽度等。

标准值是永久作用采用的唯一代表值,标准值、组合值、频遇值或准永久值是根据不同的极限状态与作用效应组合情况可变作用采用的代表值。表 1-2 给出不同作用效应组合对应的可变作用代表值的取值。

不同作用效应组合与可变作用代表值的取值

表 1-2

极限状态	组合情况		可变作用代表值
承载能力 极限状态	持久状况持久组合		主导可变作用取标准值,非主导可变作用取组合值:组合值 = $\psi_c \times$ 标准值( $\psi_c = 0.7$ )
	短暂状况短暂组合		取标准值,不考虑非主导可变作用组合系数
	地震状况地震组合		主导可变作用取标准值,非主导可变作用取组合值:组合值 = $\psi_{Qi} \times$ 标准值 地震组合系数 $\psi_{Qi}$ 按表 1-5 取值
正常使用 极限状态	持久 状况	标准组合	主导可变作用取标准值,非主导可变作用取组合值:组合值 = $\psi_c \times$ 标准值( $\psi_c = 0.7$ )
		频遇组合	主导可变作用取频遇值,频遇值 = $\psi_f \times$ 标准值( $\psi_f = 0.7$ );非主导可变作用取准永久值:准永久值 = $\psi_q \times$ 标准值( $\psi_q = 0.6$ )。
		准永久组合	可变作用取准永久值:准永久值 = $\psi_q \times$ 标准值( $\psi_q = 0.6$ )
	短暂状况		取标准值



## 六、极限状态设计表达式

结构对所受作用  $F$  的反应称为作用效应  $S_F$ , 它可以是结构构件的轴力、弯矩、剪力、扭矩, 也可以是结构的应力、变形、位移、裂缝等。

当施加在建筑物上作用  $F$  与作用效应  $S_F$  之间呈线性关系时, 作用效应可用下式来表达:

$$S_F = C_F F \quad (1-1)$$

式中:  $C_F$ ——作用效应系数。

当作用与作用效应之间为非线性关系时, 作用效应要采用作用的函数  $S(F)$  来表达。

在设计基准期内, 对实际有可能在结构上同时出现的作用, 应按承载能力极限状态、结合相应的设计状况进行作用效应组合; 当需要时, 还应对正常使用极限状态进行作用效应组合。对实际不可能同时出现的作用, 不应考虑其效应组合。

### 1. 承载能力极限状态设计表达式

结构承载能力极限状态应符合如下设计表达式:

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (1-2)$$

式中:  $\gamma_0$ ——结构重要性系数, 按表 1-3 选用;

$S_d$ ——作用效应设计值, 如应力、剪力和弯矩等的设计值;

$R_d$ ——结构抗力设计值, 如抗压、抗拉、抗剪和抗弯强度等的设计值。

结构重要性系数

表 1-3

结构安全等级	一 级	二 级	三 级
$\gamma_0$	1.1	1.0	0.9

(1) 持久状况的持久组合。当作用与作用效应为线性关系或假定为线性关系时, 持久组合的效应设计值按下式计算:

$$S_d = \sum_{i \geq 1} \gamma_{Gi} S_{Gik} + \gamma_P S_P + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{j > 1} \gamma_{Qj} \psi_{cj} S_{Qjk} \quad (1-3)$$

式中:  $\gamma_{Gi}$ ——第  $i$  个永久作用的分项系数, 按表 1-4 选用;

$S_{Gik}$ ——第  $i$  个永久作用标准值的效应;

$\gamma_P$ ——预应力的分项系数;

$S_P$ ——预应力作用有关代表值的效应;

$\gamma_{Q1}$ 、 $\gamma_{Qj}$ ——主导可变作用和第  $j$  个可变作用的分项系数, 按表 1-4 选用;

$S_{Q1k}$ 、 $S_{Qjk}$ ——主导可变作用和第  $j$  个可变作用标准值的效应;

$\psi_{cj}$ ——可变作用的组合系数, 可取 0.7, 对经常以界值出现的有界作用可取 1.0。

(2) 短暂状况的短暂组合。当作用与作用效应为线性关系或假定为线性关系时, 短暂组合的效应设计值按下式计算:

$$S_d = \sum_{i \geq 1} \gamma_{Gi} S_{Gik} + \gamma_P S_P + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Qj} S_{Qjk} \quad (1-4)$$

式中:  $\gamma_{Qj}$ ——第  $j$  个可变作用的分项系数, 在此短暂组合中, 可按表 1-4 中给出的相应的可变作用分项系数减去 0.1;

其他变量意义同前。

在短暂组合中, 不考虑非主导可变作用的组合系数。

作用分项系数

表 1-4

作用名称	分项系数	作用名称	分项系数
永久荷载(不包括土压力、静水压力)	1.2	汽车荷载	1.4
一般件杂货、集装箱荷载	1.4	缆车荷载	1.4
五金钢铁荷载	1.5	船舶系缆力	1.4
散货荷载	1.5	船舶挤靠力	1.4
液体管道荷载	1.4	船舶撞击力	1.5
人群荷载	1.4	风荷载	1.4
起重机械荷载	1.5	水流力	1.5
运输机械荷载	1.4	冰荷载	1.5
铁路荷载	1.4	土压力	1.35
波浪力(构件计算)	1.5	剩余水压力	1.05

注:①当永久作用效应对结构承载能力起有利作用时,永久作用分项系数取值不应大于1.0;②同一来源的作用,当总的作 用效应对结构承载能力不利时,分作用均应乘以不利作用的分项系数;③永久作用为主时,其分项系数不应小于 1.3;④当两个可变作用完全相关,其中一个为主导可变作用时,与其相关的可变作用的分项系数应取主导可变作用 的分项系数;⑤海港结构在极端高水位和极端低水位情况下,承载能力极限状态持久组合的可变作用分项系数应减 小0.1;⑥除构件计算外的波浪力分项系数应按国家现行有关标准选取。

(3)地震状况的地震组合。承载能力极限状态下地震组合的效应设计值按下式确定:

$$S_d = \gamma_G C_G G_k + \gamma_{PH} C_{PH} P_H + \left( \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} C_{Qi} \psi_{Qi} Q_{ik} \right) \quad (1-5)$$

式中: $P_H$ ——水平地震惯性力标准值;

$C_{PH}$ ——水平地震作用效应系数;

$\gamma_{PH}$ ——水平向地震惯性力分项系数,取  $\gamma_{PH} = 1.0$ ;

$\psi_{Qi}$ ——地震时各种作用的组合系数,见表 1-5;

其他符号的意义同前。

地震时各种作用的组合系数

表 1-5

序号	作用	组合系数 $\psi_{Qi}$	
1	结构自重力	1.00	
2	固定设备自重力	1.00	
3	起重机自重力	1.00	
4	起重机吊重	0	
5	引桥和栈桥式码头的流动机械荷载	顺桥向	0
		横桥向	0.5
6	堆货荷载	0.70	
7	管道、皮带机等固定设备中的液体和散体	1.00	
8	船舶系缆力	0.50	
9	船舶挤靠力	0.50	
10	船舶撞击力	0	



续上表

序号	作用	组合系数 $\psi_{Qi}$
11	内河高桩墩式和栈桥式码头的水流力	1.00
12	水压力和剩余水压力	1.00
13	扬压力	1.00
14	波浪力	0

## 2. 正常使用极限状态设计表达式

在正常使用极限状态下,港工建筑物设计应符合下式:

$$S_d \leq R \quad (1-6)$$

式中: $S_d$ ——作用组合的效应设计值,如变形、裂缝宽度、沉降量等的设计值;

$R$ ——限值,如规定的最大允许变形、裂缝宽度和沉降量等。

(1)持久状况。当作用与作用效应为线性关系或假定为线性关系时,持久状况分别采用作用的标准组合、频遇组合和准永久组合进行设计。

标准组合的效应设计值可按下式计算:

$$S_d = \sum_{i \geq 1} S_{Gik} + S_P + S_{Q1k} + \sum_{j > 1} \psi_{ej} S_{Qjk} \quad (1-7)$$

频遇组合的效应设计值可按下式计算:

$$S_d = \sum_{i \geq 1} S_{Gik} + S_P + \psi_f S_{Q1k} + \sum_{j > 1} \psi_{qj} S_{Qjk} \quad (1-8)$$

准永久组合的效应设计值可按下式计算:

$$S_d = \sum_{i \geq 1} S_{Gik} + S_P + \sum_{j > 1} \psi_{qj} S_{Qjk} \quad (1-9)$$

式中: $\psi_f$ ——可变作用的频遇值系数,取  $\psi_f = 0.7$ ;

$\psi_{qj}$ ——可变作用的准永久值系数,取  $\psi_{qj} = 0.6$ ;

其他符号意义同前。

对经常以限值出现的有界作用,组合系数和准永久值系数可取 1.0。

(2)短暂状况。当作用与作用效应为线性关系或假定为线性关系时,短暂状况正常使用极限状态作用组合的效应设计值可按下式计算:

$$S_d = \sum_{i \geq 1} S_{Gik} + S_P + \sum_{j \geq 1} S_{Qjk} \quad (1-10)$$

各变量意义同前。

### 第三节 码头地面使用荷载

码头地面使用荷载是指在码头上进行生产活动而产生的荷载,包括:堆货荷载、流动起重运输机械荷载、铁路荷载、汽车荷载和人群荷载等。

#### 一、堆货荷载

##### 1. 影响堆货荷载的因素

确定堆货荷载时要考虑下列影响因素:

(1)装卸工艺。装卸工艺不同,直接影响货物堆高,反映在荷载值上必然不同。例如,用



一般皮带机堆散货,一次堆高约 5.5m;如用门机配抓斗堆散货,则堆高可达 9~10m;用单斗装卸车堆散货只能堆 2.5m 高。

(2) 货种及包装方式。在相同堆存高度条件下,由于不同货种的重度不同,其荷载值也不同。此外,有些货种必须对堆高加以限制,如煤堆太高会引起自燃;袋装水泥堆得太高不仅会压坏纸袋,也会使水泥结块,造成浪费。

(3) 货物的批量与堆存期。货物的批量(即一票货物的数量)会影响堆高。从管理上要求,不准混票堆存,一般情况下,批量大的堆成大垛,堆货荷载较大;批量小的无法堆成大垛,荷载较小。

此外,对长期堆存的货物,通常都堆得较高,荷载较大;对临时堆存的货物,一般都不堆太高,相应的荷载也较小。

(4) 码头的结构型式。不同结构型式对堆货荷载的敏感程度不同。例如,重力式码头的稳定性及其构件内力对堆货荷载变化的反应不太敏感;对梁板式高桩码头,荷载值增大时,码头结构构件的内力也以相同的比例增加,对堆货荷载变化的反应敏感。

## 2. 堆货荷载的分区

根据码头的使用要求和经验,《港口工程荷载规范》(JTS 144-1—2010)将各类码头地面堆货荷载分区别用  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$ 、 $L_5$ 、 $L_6$  表示。

$L_1$  为专业机械化码头通道宽度,一般可取 3~4m;对专业化集装箱码头, $L_1$  为码头前沿线至集装箱装卸桥海侧轨中心线距离,可取 3~10m;对河港集装箱码头, $L_1$  可减小至 2.0~2.5m。

$L_2$  为装船机、卸船机或集装箱装卸桥轨距,按实际机型取值。

$L_3$  为流动机械通道宽度,一般为 7~15m。

$L_4$  为集装箱装卸桥陆侧轨中心线距堆场边缘距离,可取 25~50m。

$L_5$  为滚装码头、化工(油、液化气、液体)码头和一般装卸工艺条件下码头的前沿区。无门机时  $L_5$  可取 10m;有门机时, $L_5$  应按货物实际堆存情况确定,无资料时可取码头前沿线至门机陆侧轨中心线外 1.5m,一般为 14~15.5m,如图 1-5 所示。

$L_6$  为滚装码头、化工(油、液化气、液体)码头和一般装卸工艺条件下码头的前方堆场宽度。无门机时, $L_6$  应按货物实际可能堆存的范围确定;有门机时, $L_6$  可取自  $L_5$  陆侧边线至门机堆货所能到达的位置,一般为 18~38m,如图 1-5 所示。

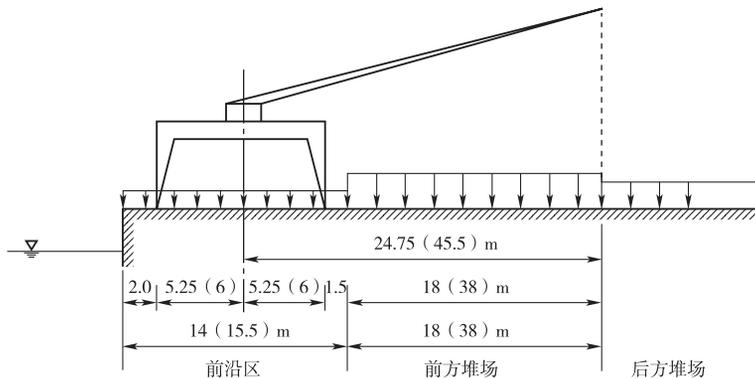


图 1-5 堆货荷载分区



除  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$ 、 $L_5$ 、 $L_6$  区域外的码头堆场为后方堆场。后方堆场通常位于港口码头建筑物边缘或以外的区域,其堆货荷载对码头结构设计一般影响很小,主要用于堆场地坪设计。

### 3. 堆货荷载的标准值

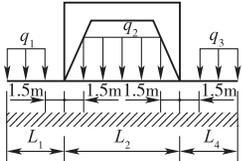
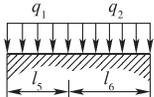
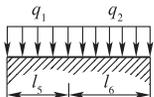
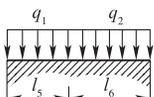
在对我国各主要港口堆货荷载资料进行统计分析的基础上,我国《港口工程荷载规范》(JTS 144-1—2010)给出了各区域堆货荷载标准值。海港或河港各类专业机械化码头的堆货荷载标准值可按表 1-6 选用,海港和河港各类码头在一般装卸工艺条件下的堆货荷载标准值可分别按表 1-7 和表 1-8 选用,后方堆场堆货荷载标准值可按表 1-9 选用。

专业机械化码头堆货荷载标准值

表 1-6

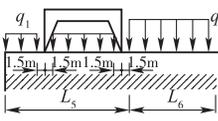
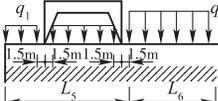
序号	码头类别	荷载图示	结构型式	堆货荷载标准值 (kPa)			说明
				前沿 $q_1$	前方堆场 $q_2$		
					构件计算	整体稳定计算	
1	煤码头		不限	20	20	20	<ol style="list-style-type: none"> <li><math>q_1</math> 按工艺要求确定,但不小于表列值;<math>L_1</math> 为通道宽;</li> <li><math>L_2</math> 系装、卸船机轨距,其间设置皮带机,设置皮带机范围内按皮带机荷载计,但不小于表列值</li> </ol>
	顺岸式布置		不限	20	20	20	<ol style="list-style-type: none"> <li><math>q_1</math> 按工艺要求确定,但不小于表列值;</li> <li><math>L_2</math> 系装、卸船机轨距,其间设置皮带机,设置皮带机范围内按皮带机荷载计,但不小于表列值;</li> <li><math>L_3</math> 系流动机械通道宽,按工艺要求确定,但不小于表列值</li> </ol>
2	矿石码头		不限	20	20	20	<ol style="list-style-type: none"> <li><math>q_1</math> 按工艺要求确定,但不小于表列值;<math>L_1</math> 为通道宽;</li> <li><math>L_2</math> 系装、卸船机轨距,其间设置皮带机,设置皮带机范围内按皮带机荷载计,但不小于表列值</li> </ol>
	顺岸式布置		不限	20	20	20	<ol style="list-style-type: none"> <li><math>q_1</math> 按工艺要求确定,但不小于表列值;</li> <li><math>L_2</math> 系装、卸船机轨距,其间设置皮带机,设置皮带机范围内按皮带机荷载计,但不小于表列值;</li> <li><math>L_3</math> 系流动机械通道宽,按工艺要求确定,但不小于表列值</li> </ol>

续上表

序号	码头类别	荷载图式	结构型式	堆货荷载标准值(kPa)			说明
				前沿 $q_1$	前方堆场 $q_2$		
					构件 计算	整体 稳定 计算	
3	集装箱 码头		不限	20 ~ 30	30 ~ 50	30	1. $L_1$ 布置为辅助通道时, $q_1$ 取大值; 2. $L_2$ 系装卸桥轨距, 当轨距内堆 3 层箱时, 构件计算 $q_2$ 取大值; 3. $L_4$ 系装卸桥陆侧轨中心线至堆场边缘距离, 构件计算 $q_3 = 30\text{kPa}$ , 整体稳定计算 $q_3 = 20\text{kPa}$
4	货物滚装 客货滚装 码头		不限	30	30	20	滚装包括 40ft 集装箱拖挂车或 40t 平板挂车时, 应根据实际情况对构件进行计算
5	汽车滚装 码头		不限	20 ~ 30	20 ~ 30	15 ~ 20	仅轿车滚装用下限值, 有重型汽车滚装用上限值
6	油、液化气 (LNG, LPG)、 液体化工码头		不限	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15	应以施工期荷载对构件进行计算

一般装卸工艺条件下海港码头堆货荷载标准值

表 1-7

序号	码头类别	荷载图式	结构型式	堆货荷载标准值(kPa)			说明
				前沿 $q_1$	前方堆场 $q_2$		
					构件 计算	整体 稳定 计算	
1	件杂货 码头		不限	20	40 (60)	30 (40)	前方堆场有少量的钢铁时用括号内数值。码头前沿有重件落地时, $q_1$ 用 30kPa; 门机下无铁路时 $q_1$ 用 25kPa
2	金属矿石 码头		透空式	20	100	80	$q_2$ 对应垛高 4m
			实体式	20	150	120	$q_2$ 对应垛高 6m



续上表

序号	码头类别	荷载图式	结构型式	堆货荷载标准值(kPa)			说明
				前沿 $q_1$	前方堆场 $q_2$		
					构件 计算	整体 稳定 计算	
3	煤码头		不限	20	100	70	$q_2$ 对应垛高10m
4	非金属矿石、砂石料码头		不限	20	80 (100)	60 (80)	前方堆场堆存量较大时用括号内数值。对砂石料码头,在整体稳定性计算时,应根据前方堆场实际堆存面积、堆存量大小,确定对堆货荷载的标准值是否进行折减
			不限	20 (30)	60	60	前沿经常堆货时用括号内数值
5	五金钢铁码头		不限	30	80	60	—
6	木材码头		不限	30	60	60	—
7	盐码头		不限	20	90	60	$q_2$ 对应垛高10m
		50			50	$q_2$ 对应垛高5.5m	
8	客货码头		不限	20	30	25	应以装卸、运输货物的起重机械荷载、流动机械荷载对构件进行计算
9	港作船码头		不限	10~15	10~15	10~15	采用油罐车供油时,应根据实际情况对构件进行计算