

上海海事大学2010—2012年三年规划教材

基础工程

JICHU GONGCHENG

史旦达 刘文白 蒋建平 邓益兵 编著



上海浦江教育出版社

上海海事大学 2010—2012 年三年规划教材

基 础 工 程

史旦达 刘文白 蒋建平 邓益兵 编著

上海浦江教育出版社

©史旦达,刘文白,蒋建平,邓益兵 2013

内 容 简 介

本书依据中华人民共和国交通运输部最新颁布的《港口工程地基规范》(JTS 147—1—2010)、《港口岩土工程勘察规范》(JTS 133—1—2010)等行业规范,针对港口航道与海岸工程本科专业的特点,除了系统讲授基础工程的基本知识外,重点介绍了港口、近海与海洋基础工程的相关理论知识与设计方法,主要内容包括绪论、地基勘察、软土地基设计、软弱地基处理技术、天然地基上浅基础的设计、桩基础与深基础、港口与海洋工程基础、基坑工程、特殊土地基上的基础工程、地基基础抗震。

本书系高等院校港口航道与海岸工程、船舶与海洋工程等本科专业的教学用书,也可供水利、土木、交通等相关专业从事教学、科研、设计和施工方面的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基础工程 / 史旦达等编著. — 上海: 上海浦江教育出版社有限公司, 2013. 1
ISBN 978-7-81121-250-1

I. ①基… II. ①史… III. ①地基—基础(工程) IV. ①TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 304120 号

上海浦江教育出版社出版

社址:上海海港大道 1550 号上海海事大学校内 邮政编码:201306
电话:(021)38284910(12)(发行) 38284923(总编室) 38284916(传真)
E-mail: cbs@shmtu. edu. cn URL: <http://www.pujiangpress.cn>

上海图宇印刷有限公司印装 上海浦江教育出版社发行
幅面尺寸:185 mm×260 mm 印张:15.75 字数:380 千字
2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷
责任编辑:谢 尘 封面设计:赵宏义
定价:45.00 元

前 言

对于不同的工程行业,基础工程研究的对象有所不同。针对港口航道与海岸工程专业,除了讲授基础工程的基本理论知识外,应该着重突出港口、近海与海洋基础工程的特点。人民交通出版社曾于2001年出版过一本专门针对港口航道与海岸工程专业的《基础工程》教材(天津大学杨进良主编),但由于发行量等原因,最近几年已不再发行。

2010年9月1日,交通运输部最新的《港口工程地基规范》(JTS 147—1—2010)和《港口岩土工程勘察规范》(JTS 133—1—2010)正式颁布实施,新规范汲取了我国在港口工程地基设计与施工方面的最新成果,介绍了一些新技术与新方法。在码头设计与施工方面,重力式码头、板桩码头和高桩码头均颁布实施了新的设计与施工规范。同时,由于港航专业近几年的学生就业率一直较好,国内高校中开设港口航道与海岸工程专业的学校也越来越多,仅2012年,就有浙江工业大学、扬州大学、鲁东大学等高校新增了港口航道与海岸工程本科专业。

鉴于上述情况,编写一本能够体现新规范精神、满足新教学需求、反映港口航道与海岸工程行业特色的《基础工程》新教材已十分必要。在上海海事大学2010—2012年三年规划教材项目专项经费的资助下,上海海事大学海洋环境与工程学院港口航道与海岸工程教研室组织专业教师编写了本教材,以满足本校及其他兄弟院校港航专业基础工程教学的需求。

本教材共分十章,主要内容有:绪论、地基勘察、软土地基设计、软弱地基处理技术、天然地基上浅基础的设计、桩基础与深基础、港口与海洋工程基础、基坑工程、特殊土地基上的基础工程、地基基础抗震。本教材在基本概念的讲解上尽量做到简要明晰,对设计方法的讲解力求体现新规范要求,并且配有必要的例题和习题,供教师课堂讲授和学生课后练习使用。

本书的出版得到了上海市第四期本科教育高地建设项目(B210008G),上海市级教学团队“土力学课程”教学团队(2009),上海海事大学三年规划教材项目(2010—2012),上海海事大学港口、海岸及近海工程重点学科(第二期)建设项目(A2120016001X)的资助。书中还引用了许多科研、高校、工程单位及其他研究人员的研究成果,在此一并表示感谢。硕士研究生赵玉同、刘春林、吕晖、贾海青等为本教材绘制了部分插图,感谢他们的辛勤劳动。

由于编者水平有限,书中难免会有疏漏和错误之处,敬请广大读者不吝批评指正。

编著者

2013年1月于上海海事大学

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 港口与海洋基础工程的环境荷载	3
第三节 港口与海洋基础工程的特点	7
第四节 本课程的学习要求	8
习题一	8
第二章 地基勘察	9
第一节 概述	9
第二节 地基勘察的任务和勘探点布置	9
第三节 地基勘察方法	11
第四节 地基岩土分类	14
第五节 土工试验	16
第六节 地基勘察报告的编写	23
习题二	28
第三章 软土地基设计	29
第一节 概述	29
第二节 软土的工程性质	29
第三节 软土地基上修建建筑物的工程问题	47
第四节 软土地基上修建建筑物的工程措施	49
第五节 软土地基观测设计	50
习题三	51
第四章 软弱地基处理技术	52
第一节 概述	52
第二节 垫层法	55
第三节 排水固结法	58
第四节 强夯法	61
第五节 振冲法	63
第六节 水泥土搅拌法	65
第七节 土工合成材料	67
习题四	69
第五章 天然地基上浅基础的设计	70
第一节 概述	70
第二节 基础的分类与浅基础的结构类型	71
第三节 基础的埋置深度	74
第四节 地基计算	76
第五节 刚性基础的设计计算	81
第六节 扩展基础的设计计算	82
第七节 减轻建筑物不均匀沉降危害的措施	86
习题五	89

第六章 桩基础与深基础	90
第一节 概述	90
第二节 桩的类型及特点	92
第三节 竖向承压桩的荷载传递	94
第四节 单桩竖向极限承载力的确定	97
第五节 水平荷载作用下单桩的承载性能	101
第六节 群桩基础与群桩效应	109
第七节 桩的负摩阻力	114
第八节 沉井基础	118
第九节 地下连续墙	122
习题六	125
第七章 港口与海洋工程基础	127
第一节 概述	127
第二节 抛石基床	127
第三节 大直径圆筒结构	131
第四节 沉箱	135
第五节 海洋工程新型基础	138
第六节 海底管道(海底管线)	145
习题七	150
第八章 基坑工程	151
第一节 概述	151
第二节 基坑支护设计原则及内容	158
第三节 基坑工程计算	159
第四节 基坑工程设计	179
习题八	188
第九章 特殊土地基上的基础工程	190
第一节 概述	190
第二节 黄土地基基础	191
第三节 红黏土地基基础	197
第四节 膨胀土地基基础	201
第五节 盐渍土地基基础	207
第六节 冻土地基基础	210
第七节 填土地基基础	217
习题九	220
第十章 地基基础抗震	221
第一节 概述	221
第二节 地基基础的震害现象	223
第三节 地基基础抗震设计	228
第四节 液化判别与抗震措施	235
习题十	240
参考文献	241

第一章 绪论

第一节 概述

一、地基、基础与基础工程

与陆上的工业和民用建筑物一样,港口与海洋工程建筑物无一不是支撑于承受该建筑物压力的地基之上的。因此,港口与海洋工程建筑物的设计与施工过程中,在分析港口与海洋工程建筑物的沉降和稳定性时,必然也会遇到各种各样的地基与基础问题。

图 1-1 绘出了港口工程中常用的重力式码头和高桩码头的地基与基础示意图。在码头的设计与施工过程中,地基的沉降、桩基的承载力、码头岸坡的稳定性等,这些都是需要考虑的地基基础问题。

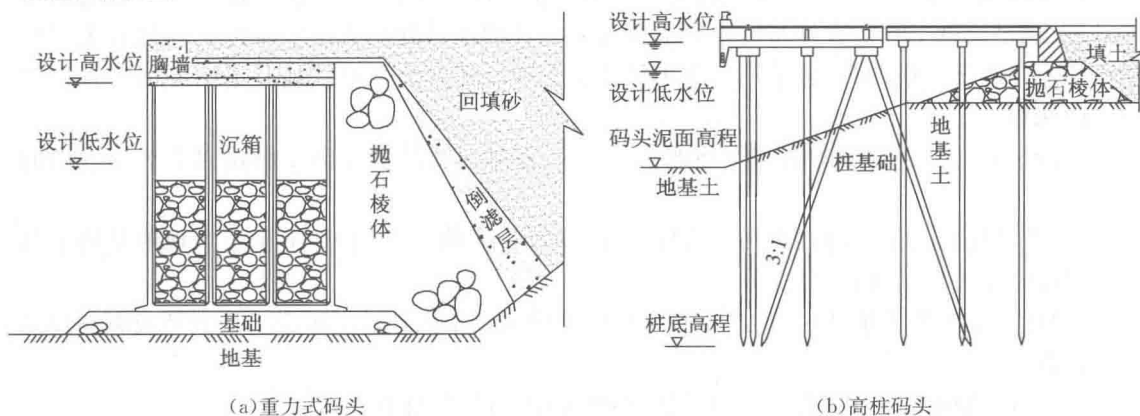


图 1-1 重力式码头和高桩码头的地基与基础示意图

在进行地基与基础设计时,首先需要分清什么是地基? 什么是基础? 地基与基础有何区别与联系? 下面就来回答这些问题。

如图 1-2 所示,基础是指建筑物最底部的构件或部分结构,其功能是将上部结构所承担的荷载传递到支承它们的地基上。地基是指承受上部结构的全部荷载并受其影响的地层,在工程实用意义上,通常指的是基础周围数倍于基础宽度、一定深度范围内,直接承受上部结构荷载并相应产生大部分变形的地层。当地基由不同土性的分层土组成时,一般把直接与基础底面接触的那一层土层称为持力层,持力层以下的土层称为下卧层。

在平原地区,由于岩石埋藏较深,地表覆盖土层较厚,建筑物经常建造在由土层所构成的地基上,这种地基称为土质地基。在山区和丘陵地区,基岩埋藏浅,甚至裸露于地表,因此建筑物直接建造于基岩上,这种地基称为岩石地基。按照是否经过人工处理或加固,地基又可分为天然地基和人工地基,当上部结构的荷载不是很大或地基承载能力很强时,建筑物的地基一般可直接设置于天然地层上,这种地基称为天然地基。如果天然地层性质差,必须经过人工方法处理和加固后才能在其上修筑基础,这种地基称为人工地基。

基础工程的研究内容是各类建(构)筑物(如房屋建筑、桥梁结构、水工结构、近海工程、地

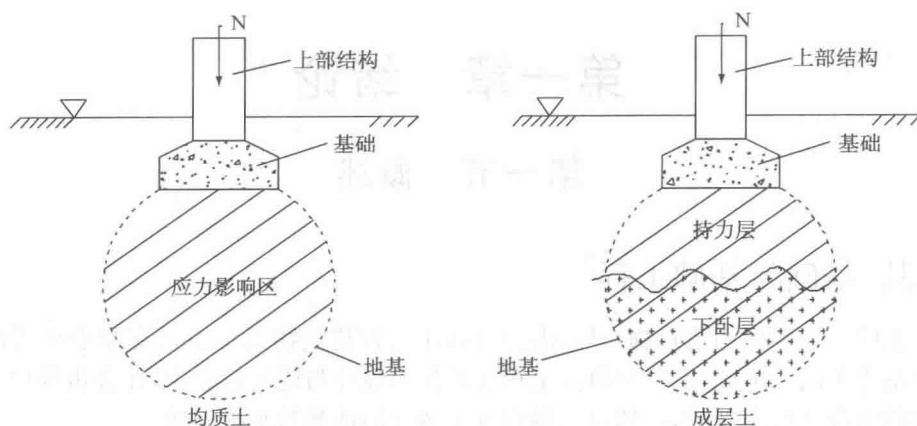


图 1-2 地基与基础

下工程、支挡结构等)的基础与岩土地基相互作用而共同承担上部结构荷载所引起的变形、强度和稳定问题。基础工程不但包括地基和基础的相关设计理论,还包括基础的施工方法和技术,以及满足基础工程的设计与施工要求所采用的各种地基处理方法。基础工程是岩土工程学科的一个重要组成部分,它是用岩土工程的基本理论和方法去解决地基基础方面工程问题的一门课程。

基础工程的研究对象为地基与基础 2 个方面,基础工程的设计需要满足以下 3 个方面的要求:

- (1)地基应具有足够的强度和稳定性,保证建筑物在荷载作用下,不至于出现地基的承载力不足或产生失稳破坏;
- (2)地基的沉降不能超过其变形允许值,保证建筑物不因地基变形过大而毁坏或影响建筑物的正常使用;
- (3)基础结构本身应具有足够的强度、刚度和耐久性,保证其能正常工作。

二、地基、基础与上部结构共同作用

地基、基础与上部结构是一个共同工作的整体。从建筑结构本身看,上部结构通过墙、柱与基础相连接,基础底面直接与地基相接触,三者相互衔接、相互依存,保持建筑物的完整性。从力(或应力)的传递看,建筑物及其上部荷载通过基础传给地基,引起地基变形;反之,如果地基受到外部荷载(如地震荷载)作用,造成地基变形,也会反过来传力给基础和上部结构,导致上部结构破坏。三者之间既相互传递荷载,又相互约束和相互作用。所以,地基、基础与上部结构是一个共同工作的结构体系和受力体系。

然而,由于问题的复杂性,三者共同作用的问题在原则上都可以求解,但在实用上则尚没有一种完善的方法能够对地基、基础与上部结构相互作用问题给出精确解答。在满足实用设计的条件下,目前仍是把地基、基础与上部结构分离开来独立进行设计计算。在进行上部结构内力计算时,把上部结构与基础分开,求支座反力后计算上部结构内力;当进行基础受力计算时,把上部结构的压力作为作用于基础上的荷载,求基底反力;而计算地基的承载力和沉降时,又把基底压力作为作用于地基表面上的荷载进行承载力验算和地基沉降计算。

第二节 港口与海洋基础工程的环境荷载

港口与海洋工程建筑物由于处于复杂海洋环境之中,导致其与陆上工业和民用建筑有着显著不同的环境荷载。环境荷载系指由自然环境引起的荷载,在海洋环境下,主要包括风荷载、波浪荷载、水流力、冰荷载、地震荷载等。下面简要分析各种海洋环境荷载的性质及其作用特点。

一、风荷载

风力对海上建筑物的影响较为突出。风导致建筑物毁坏和带来巨大灾难的例子屡见不鲜。例如,1975年10月5日,台风经过日本时,风速达到了 67.8 m/s ,致使东京市43%的电线杆倾倒或折损,八丈岛60%的房屋被毁坏,设计风速为 69 m/s 的铁塔也因此倒塌。1965年11月1日在英国约克郡费尔桥,有3个高达百米的冷却塔在大风中倒塌,经分析,倒塌的原因是设计风压的取值较英国风荷载规范规定低24%。风荷载还会引起桥梁的共振破坏,1940年11月7日,位于美国华盛顿州的塔科马(Tacoma)大桥在 $60\sim 70\text{ km/h}$ 的风速下突然倒塌(见图1-3),引起了人们对风荷载和建筑物风致灾害研究的重视。

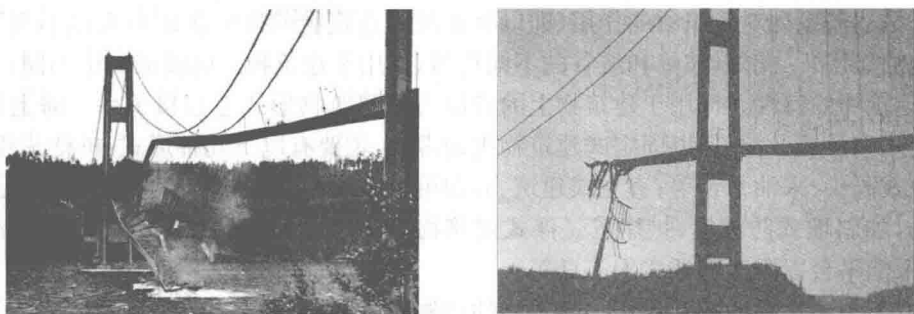


图 1-3 风荷载引起塔科马(Tacoma)大桥共振破坏

作用于建筑物上的风荷载,对建筑物产生一定的风压,基础设计时必须考虑风压在内的水平推移力和对建筑物固端产生的倾覆力矩。建于海面上的油罐,力矩虽小,但受风面积较大,必须考虑水平推移力;而对于高耸的钻井平台,则水平推移力和倾覆力矩都不容忽视。因此,设计风压的大小将直接影响工程的经济、适用和安全性。

风压是港口与海洋基础工程设计中需要考虑的环境荷载之一,风压的大小与设计风速有关,我国交通运输部《港口工程荷载规范》(JTS 144—1—2010)推荐采用港口附近空旷地面处,离地 10 m 高,重现期50年 10 min 平均最大风速作为基本风压的计算标准。

根据荷载性质,风压又可分为稳定风压和脉动风压。稳定风压是指在一定时间间隔内,将风的速度和方向都看作不随时间而改变时作用于建筑物上的压力,它的大小与风速、建筑物的体型、尺度、距海面的高度等因素有关。脉动风压又称风振,它由风的脉动产生,且具有强烈的紊动性和随机性。有关稳定风压和脉动风压的计算可参见《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)。

二、波浪荷载

任何形式的港口与海洋工程建筑物,均无一例外地、长期地受到波浪荷载的巨大影响。据有关资料称,在大风暴中,巨浪曾将质量为 1 370 t 的混凝土块推移十几米,将万吨油船掀上岸折成两段。作用于水深数十米处的固定平台上的风压力和波压力有时可达一万多吨,而作用在相同条件下钢筋混凝土平台上的波压力竟达三万多吨。因此,为了保证建筑物的安全,必须了解海浪的形成、发展规律,研究其推算方法,为港口与海洋工程建筑物的规划、设计、施工和管理提供合理可靠的依据。

正确确定作用于建筑物上的波浪力,对于海岸及海上建筑物设计至关重要。实质上,建筑物所承受的波浪力是建筑物与波浪力之间相互作用的结果。所以,就波浪力的计算而言,必须考虑 3 个因素,即来波的特性、建筑物的特性及波浪与建筑物的相互作用。

(1)来波的特性。从来波的特性看,波浪可以是涌浪,也可以是在建筑物所在海域形成的风浪。一般讲,涌浪周期很长,可达 13~14 s 以上,对建筑物的破坏作用更大,而风浪的周期则较短。从波浪破碎的情况来看,可以是不破碎波,也可以是远破波或近破波。从对波浪的描述方法来分析,可以是规则波或不规则波。事实上,自然界的波浪往往是不规则波,该波具有随机性质,可以用海浪谱(也称频率谱、能量谱)来描述,但在工程计算中常以某一累积频率的特征波来描述波系列对建筑物的作用(即以特征波对建筑物的持续作用来表达不规则波系列对建筑物的作用)。此外,波峰和波谷的不同传播,作用于建筑物上的波浪力也不同。

(2)建筑物的特性。作用于建筑物上的波浪力与建筑物形式有直接关系。海上建筑物可分为固定式和浮式 2 类,但以固定式建筑物更为常见,主要有以下几种形式:桩柱式建筑物,如高桩及墩式码头、采油平台等;直立式建筑物,如重力式码头、板桩码头、直立式防波堤等;斜坡式建筑物,如斜坡式防波堤、护岸等。浮式建筑物分为刚性和弹性 2 类,如浮码头、浮式防波堤、浮式采油平台以及大型浮式人工岛等。

(3)波浪与建筑物的相互作用。建筑物的结构形式、几何形状、尺度及材料性能等都对波浪与建筑物的相互作用产生影响。例如,对于直立式防波堤,堤前有足够的水深,且入射波与堤轴线有较大夹角时,则形成立波;如果堤前水深足够,但基床上的水深不足时,则波浪会在墙前破碎,并以冲击力和破碎波浪压力直接作用在直立式防波堤上。

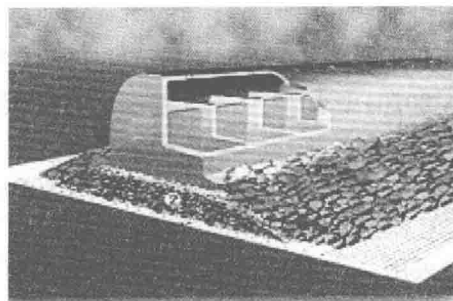
波浪荷载作用造成港口水工建筑物的破坏主要有 2 种情况:①波浪力作为直接的环境荷载作用在建筑物上,造成建筑物自身毁损或失稳破坏(水平滑动、倾覆破坏等);②长期的波浪荷载作用于建筑物的地基上,在地基土体中引起超静孔隙水压力的累积,引发软土地基的刚度和强度弱化或者砂土地基的液化现象,造成地基变形或者失稳破坏,从而进一步导致其上部建筑物的沉陷、水平位移或倾覆破坏。例如,2002 年 12 月,长江口深水航道治理工程二期北岛堤已安装的 16 个半圆形沉箱在寒潮大浪作用下,发生了严重沉陷和滑移,沉箱沉入土中 1~5 m,或者偏移初始位置 20 m,如图 1-4 所示。事后的调查结果表明,沉箱结构的破坏与强风暴引起的波浪荷载作用下软黏土地基的强度弱化有关。

三、水流量

流系指由于潮的作用、风的拖曳等原因引起的比较稳定的水流运动。水流同风和波浪要素一样,也直接作用于建筑物上,并影响建筑物的强度和稳定。



(a) 岛堤破坏照片



(b) 半圆形沉箱结构示意图

图 1-4 波浪荷载作用下软土地基弱化引发上部结构破坏

水动力是内河墩式码头及其他透空式码头需要考虑的设计荷载,一些外海建筑物当水流速度较大时,也需要考虑水流力的作用。水流力的大小与水流的流速、构件的形状、淹没深度、遮流作用等有关,《港口工程荷载规范》(JTS 144—1—2010)推荐采用以下公式计算作用于港口工程结构物上的水流力大小:

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

式中: F_w 为水流力标准值, kN; V 为设计流速, m/s; C_w 为水流阻力系数, 按《港口工程荷载规范》(JTS 144—1—2010)表 13.0.3-1 选用; ρ 为水密度, t/m³, 淡水取 1.0, 海水取 1.025; A 为计算构件在与流向垂直平面上的投影面积, m²。

四、冰荷载

对于寒冷地区冰情严重的内河及外海透空式高桩码头或支墩式码头,冰荷载是一项重要的设计荷载。作用于港口工程结构物上的冰荷载包括下列内容:①冰排运动中被结构物连续挤碎或滞留在结构前产生的挤压力;②孤立流冰块产生的撞击力;③冰排在斜面结构物和锥体上因弯曲破坏和碎冰块堆积所产生的冰力;④与结构冻结在一起的冰因水位升降产生的竖向力;⑤冻结在结构内、外的冰因温度变化对结构产生的温度膨胀力。冰荷载应根据当地冰凌实际情况及港口工程的结构型式确定,对重要工程或难以计算确定的冰荷载应通过冰力物理模型试验确定。图 1-5 为我国渤海湾沿海冰灾照片。

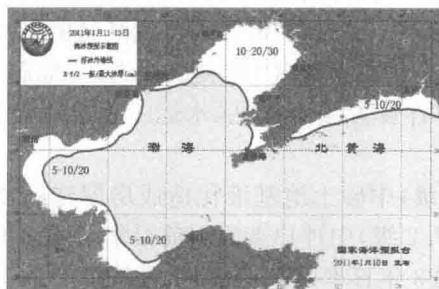


图 1-5 我国渤海湾沿海大面积冰灾

《港口工程荷载规范》(JTS 144—1—2010)推荐,冰排在直立桩、直立墩前连续挤碎时,产生的极限挤压冰力标准值宜按下式计算:

$$F_1 = ImkBH\sigma_c \quad (1-2)$$

式中: F_1 为极限挤压冰力标准值, kN; I 为冰的局部挤压系数, 可按《港口工程荷载规范》(JTS 144—1—2010)中表 12.0.4 选用; m 为桩、墩迎冰面形状系数, 按《港口工程荷载规范》(JTS 144—1—2010)中表 12.0.3 选用; k 为冰和桩、墩之间的接触条件系数, 可取 0.32; B 为桩、墩迎冰面投影宽度, m; H 为单层平整冰计算厚度, m, 宜根据当地多年统计实测资料按不同重现期取值, 无当地实测资料时, 对海冰可按《港口工程荷载规范》(JTS 144—1—2010)附录 K 中表 K.0.1 采用; σ_c 为冰的单轴抗压强度标准值, kPa。

五、地震荷载

地震是地球上的一种自然现象, 当地下某处岩层发生某种变动而产生振动并传播到地面, 引起颠簸和摇摆, 就称为发生了地震。据统计, 地球每年要发生以百万次计的地震, 其中绝大多数是轻微的振动, 只有仪器才能观测到。若人们能感觉到的, 称为有感地震, 每年约有数万次。其中对人们生命财产和工程建筑造成巨大损害的, 则称为破坏型地震, 它同洪水、干旱、台风一样, 是一种自然灾害。

关于地震的原理、地震荷载的性质、地基基础的抗震设计等问题, 将在本教材第十章中进行详细的介绍。下面简单介绍一下地震给港口水工建筑物带来的危害。

地震造成的破坏主要来自 3 个方面, 即地表破坏、工程建筑的破坏和地震引发的次生灾害。地表破坏主要是指地震引起的地裂缝、喷砂冒水和滑坡塌方等现象。工程建筑的破坏是由于建筑物结构构件的强度不足或者地基失效等原因导致建筑物破坏或倾倒。地震引发的次生灾害包括山体滑坡、泥石流、火灾、水灾、爆炸、毒气泄漏、海啸、放射性物质扩散等, 这种地震间接引起的次生灾害, 有时比地震直接造成的损失更大。

关于地震造成港口水工建筑物的震害, 除因结构本身抗震能力不足造成的以外, 还包括由于地基失效、岸坡失稳造成的建筑物破坏。码头建筑物处于海上和海、河岸坡地段, 其受力情况是比较复杂的, 地震时除遭受由结构自重产生的地震惯性力外, 还会受到地震土压力、地震动水压力的作用。我国现有港口大都处于原地震区划的基本烈度 6 度以下地区, 过去的设计中均未考虑地震设防, 1976 年唐山大地震时, 天津地区港口码头水工建筑物都遭到了不同程度的破坏, 从而引起了对港口水工建筑物抗震设计的重视。2012 年, 新的《水运工程抗震设计规范》(JTS 146—2012)颁布实施, 为水运工程建筑物的抗震设计提供了统一标准。

地震作用属于偶然作用, 是指在设计基准期内不一定出现, 但一旦出现其量值很大且持续时间很短的作用。施加在港口水工结构上的地震作用主要有: ①地震惯性力; ②地震土压力; ③地震动水压力。关于这 3 种地震作用力的具体计算方法可详见《水运工程抗震设计规范》(JTS 146—2012)。

图 1-6(a)为 1964 年日本新潟地震(震级 7.5 级)中砂土地基液化造成房屋建筑物破坏的照片, 图 1-6(b)为 1995 年日本阪神大地震(震级 7.2 级)中神户港码头前沿集卡路面坍塌的照片。地震造成港口码头破坏的实例还有很多。1923 年日本关东地震时, 横滨港 2 000 m 的方块码头岸壁中, 有 1 570 m 长的岸壁整个倒塌, 在码头下部只留下 2~3 层的方块, 余下的 420 m 墙身发生严重变形, 全部岸壁由于码头断面的抗倾稳定性不足或分层抗滑稳定性不足而发生向港池方向整体转动破坏或部分砌体滑移破坏。日本新潟港多数属于板桩码头, 在 1969 年的新潟大地震中, 凡未按抗震要求进行设计的大多数岸壁码头均发生了由于锚碇结构

位移过大或拉杆拉断引发的码头板桩墙显著前倾的破坏。1968 年日本十胜冲大地震中,八户港小中野 1 号板桩码头也因锚碇结构位移使墙身前倾最大达 60 cm,函馆港北滨的斜拉桩码头因板桩与斜拉桩的固定点破断而墙身前倾最大达 59 cm。1989 年美国加利福尼亚 Loma-Prieta 地震造成沿旧金山湾的奥克兰第七街的集装箱码头遭受严重破坏,其原因是因水力冲填形成的填方发生液化,并伴随着喷砂现象,液化引发的地面沉降和侧向位移使高桩码头的叉桩顶部严重损坏,并损坏了路面,吊车无法行驶,许多设施在一段时间内不能运行。



(a) 1964 年日本新潟地震中建筑物的破坏



(b) 1995 年日本阪神地震中神戸港的破坏

图 1-6 地震引起陆上建筑物和港口码头的破坏

关于港口水工建筑物的抗震设计,除需对结构的薄弱环节进行抗震验算并采取有效抗震措施外,还应特别重视地震力引起的地基失效和倾斜岸坡的失稳问题,对于液化地基应该采取相应的抗液化加固措施。

第三节 港口与海洋基础工程的特点

港口与海洋基础工程由于所处的地理位置特殊,建筑物所处环境条件复杂。与陆上建筑的基础工程相比,港口与海洋基础工程的设计与施工具有以下特点:

(1) 环境条件复杂多变。风、波浪、潮汐、水流、冰荷载等都具有一定的周期性,与静态的荷载不同,周期荷载的往复作用会使港口与海洋工程建筑物的基础受力更为复杂,且周期荷载会引起地基土体超静孔压和塑性变形的循环累积,造成软黏土地基的强度弱化和砂土地基的液化现象。

(2) 港口与海洋工程建筑物多受到较大水平力的作用(波浪力、水流力、船舶力等),应特别注意水平力作用下基础的稳定性和受力性状分析。

(3) 港口与海洋工程建筑物所在地区地基多数属于软土地基。软土具有含水量高、压缩性大、抗剪强度低、渗透性差等不良性质,一般情况下,天然地基很难满足建筑物的承载和变形要求,必须采取相适应的基础形式并对软土地基进行加固处理。

(4) 港口与海洋工程建筑物长期处于海洋环境之中,海水氯离子腐蚀等不良效应长期存在,应特别重视结构构件的耐久性设计。

(5) 除桩基础外,重力式建筑物基础多具有较大的断面(如沉箱、大直径混凝土圆筒结构),因此,自身的重力大,给施工带来了不便。

(6) 港口与海洋基础工程的施工属于水下隐蔽工程,施工难度大,施工一旦出现问题,很难补救。

第四节 本课程的学习要求

基础工程涉及的学科很广,有工程地质、土力学、结构设计和施工等知识。由于地基土的成分、成因和构造不同,其性质比较复杂,加之土的性质随含水量及外力的变化而变化,使得不同建筑场地的地基性质相差很大,这就要求设计者以土力学基本理论为基础,以工程勘察结果为依据,灵活采用合适的基础型式和选用最佳的处理方案去解决基础工程问题。同样,在本课程的学习中,也应善于从基础设计和地基处理的方法中找出有关材料力学、结构力学和土力学的理论依据,加强计算能力的训练,学好这门实践性很强的课程。

学习基础工程课程时,要求应用已学习过的基本知识,结合有关结构知识及施工技术知识合理分析和解决地基基础问题,注重理论联系实际,培养分析和解决地基基础工程问题的能力。学习时要注意基础工程课程具有不同性及经验性。不同性体现在本学科中因为没有完全相同的地基,所以几乎找不到完全相同的工程实例。在处理基础工程问题时,注意有一定程度的经验性。因此,本课程有较多的经验公式,而且有关地基及基础方面的规范多为理论与经验的总结。学习时,除了学习全国性地基基础设计规范外,还要了解地区性的规范和规程,并注意世界各国的规范各有不同。讲究学习方法,要仔细分析各种理论及公式的基本假定及使用条件,对于公式的推导可只作了解,要把注意力放在理解、应用公式上,并结合当地的基础工程实践经验加以应用,避免千篇一律地不分地区而机械套用理论公式和规范。

习题一

1. 什么是“地基”? 什么是“基础”? 两者之间有哪些区别与联系?
2. 地基、基础与上部结构共同作用的概念是什么?
3. 地基、基础、上部结构独立设计时,分别采用怎么样的设计思路和方法?
4. 基础工程设计需要满足哪几方面的要求?
5. 港口与海洋基础工程需要考虑哪些环境荷载? 这些环境荷载都有哪些特点?
6. 港口水工建筑物设计时,如何考虑波浪荷载对建筑物的影响?
7. 港口与海洋基础工程的特点有哪些?

第二章 地基勘察

第一节 概述

岩土工程勘察在工程地质课中称为“工程地质与水文地质勘察”。港口工程建设在设计和施工之前,必须按基本建设程序进行岩土工程勘察。岩土工程勘察的主要任务是查明建筑物场地及其附近的工程地质与水文地质条件,为建筑物场地选择、建筑平面布置、地基与基础的设计和施工提供必要的资料。场地是指工程建筑所处的和直接使用的土地,而地基则是指场地范围内直接承托建筑物基础的岩土体。

港口岩土工程勘察宜按收集资料、现场踏勘、编写勘察大纲、工程地质调查和测绘、勘探和原位测试、室内试验、资料分析整理和岩土工程勘察报告编制等程序进行。岩土工程勘察通常分阶段进行,港口岩土工程勘察阶段宜分为可行性研究阶段勘察、初步设计阶段勘察和施工图设计阶段勘察(也称详细阶段勘察)。对于岩土工程条件复杂或有特殊要求的工程,尚应进行施工期勘察。反之,对于场地较小且无特殊要求的工程,可以合并勘察阶段。当工程方案已确定,且场地已有岩土工程勘察资料时,可根据实际情况直接进行施工图设计阶段勘察。

第二节 地基勘察的任务和勘探点布置

一、可行性研究阶段勘察

该勘察阶段的主要任务是对场地的稳定性和建筑的适宜性作出基本评价,满足主体工程的初步设计需要。其目的在于从总体上判定该拟建场地的工程地质和水文地质条件是否适宜进行该工程的建设。

可行性研究阶段勘察应包括下列内容:①初步划分地貌单元;②调查研究地质构造、地震活动和不良地质作用的成因、分布、发育等;③调查研究岩土分布、成因、时代和主要岩土层的物理力学性质;④调查地下水类型、含水层性质、地下水与地表水位的动态变化,分析对岸坡与边坡稳定的影响;⑤分析评价场地稳定性和建筑的适宜性;⑥根据需要对陆域形成、地基处理的适宜性进行岩土工程评价。

可行性研究阶段时,勘探点的布置应符合下列规定:①河港宜垂直于岸向布置勘探线,线距不宜大于200 m,线上勘探点间距不宜大于150 m;②海港可按网格状布置勘探测试点,点的间距宜为200~500 m,取样间距宜为1.5~2.0 m;③勘探测试点的深度应进入持力层内适当深度;④对地貌单元较多的场地和基岩埋藏较浅而岩性、构造复杂,岩面起伏较大的场地,勘探测试点宜局部加深加密。

二、初步设计阶段勘察

该勘察阶段的主要任务是初步查明建筑场地工程地质条件,提供地基基础初步设计所需的岩土工程参数,对建筑地基作出岩土工程评价,满足确定总平面布置、建筑物结构和基础型

式、施工方法和场地不良地质作用防治的需要。

初步设计阶段勘察工作应根据工程建设的技术要求,并结合场地地质条件完成下列工作内容:①划分地貌单元;②初步查明岩土层的性质、分布规律、形成时代、成因类型、基岩的风化程度及埋藏条件;③查明与工程建设有关的地质构造,收集地震资料;④查明不良地质作用的分布范围、发育程度和形成原因;⑤初步查明地下水类型、含水层性质、调查水位变化幅度、补给与排泄条件;⑥分析场地各区段工程地质条件,分析评价岸坡与边坡稳定性和地基稳定性,推荐适宜建设地段,提出基础型式、地基持力层、陆域形成和地基处理的建议;⑦对抗震设防烈度大于等于 6 度的场地进行场地和地基的地震效应勘察。

勘探线和勘探点宜布置在比例尺 1 : 1 000 或 1 : 2 000 的地形图上;勘探线宜垂直岸线或平行于水工建筑物长轴方向布置;勘探线和勘探点的间距,应根据工程要求、地貌特征、岩土分布、不良地质作用发育情况等确定;在岸坡地段和岩石与土层组合地段宜适当加密。勘探点中控制性勘探点数量不得少于勘探点总数的 1/4,原状土取土孔数不得少于勘探点总数的 1/3,其余勘探点为原位测试孔。

初步设计阶段勘察的勘探线、勘探点的布置可按表 2-1 确定。勘探点的深度应根据工程

表 2-1 初步设计阶段勘察的勘探线、勘探点布置表

工程类别		地质条件	勘探线间距	勘探点间距/m
河港	水工建筑物区	山区	70~100 m	≤30
	陆域建筑物区			50~70
	水工建筑物区	丘陵	70~150 m	≤50
	陆域建筑物区			50~100
	水工建筑物区	平原	100~200 m	≤70
	陆域建筑物区			70~150
海港	水工建筑物区	岩基	≤50 m	≤50
		岩土基	50~75 m	50~100
		土基	50~100 m	75~200
	港池及锚地区	岩基	50~100 m	50~100
		土基	200~500 m	200~500
	航道区	岩基	50~100 m	50~100
		土基	1~3 条	200~500
	防波堤区	各类地基	1~3 条	100~300
	陆域建筑区、 陆域形成区	岩土基	50~150 m	75~150
		土基	100~200 m	100~200

注:①应根据具体勘探要求、场地微地貌、地层岩土性质和层面起伏变化、有无不良地质作用及对场地工程条件的研究程度等参照本表综合确定间距数值。②岩基——在工程影响深度内基岩上覆盖层薄或无覆盖层;岩土基——在工程影响深度内基岩上覆盖有一定厚度的土层;土基——在工程影响深度内全为土层。

规模设计要求和岩土条件综合确定,勘探点的具体深度可参照《港口岩土工程勘察规范》(JTS 133—1—2010)执行。

三、施工图设计阶段勘察

该勘察阶段的主要任务是查明建筑场地岩土工程条件,提供相应阶段地基基础设计、施工所需的岩土参数,对建筑地基作出岩土工程评价,并提出地基类型、基础型式、陆域形成、地基处理、基坑支护、工程降水和不良地质作用的防治等设计、施工中应注意的问题和建议。

施工图设计阶段勘察应包括下列内容:①收集附有坐标和地形的建筑总平面图,场区的地面整平标高,建筑物类型、规模、荷载、结构特点、基础型式、埋置深度和地基容许变形等资料;②查明影响场地的不良地质作用的类型、成因、分布范围、发展趋势和危害程度,提出整治方案的建议;③查明各个建筑物影响范围内的岩土分布及其物理力学性质;④分析和评价地基的稳定性、均匀性和承载力;⑤评价岩土疏浚的难易程度及土的特性;⑥当需进行沉降计算时,提供地基变形计算参数;⑦查明地下水的类型、埋藏条件,提供地下水位及其变化幅度;⑧判定水和土对建筑材料的腐蚀性;⑨在季节性冻土地区,提供场地的标准冻结深度。

勘探线和勘探点宜布置在比例尺不小于 1:1 000 的地形图上,勘探点的位置、数量和深度应根据工程类型、建筑物特点、基础类型、荷载情况和岩土性质,结合所需查明的问题综合确定。原状土取土孔的数量应占勘探点总数的 $1/3 \sim 1/2$,控制性勘探点的数量应为勘探点总数的 $1/6 \sim 1/3$ 。

施工图设计阶段勘察的勘探线、勘探点的布置和勘探点的深度具体可参考《港口岩土工程勘察规范》(JTS 133—1—2010)。

第三节 地基勘察方法

地基勘察多是通过勘探手段来实现的,地基勘探一般可以分为掘探、钻探、触探、物探(地球物理勘探)等几种方法。

一、掘探

掘探是一种通过开挖来直接探明地质情况的方法,这种勘探方法可以取出高质量的原状土进行试验分析,但一般仅用于需要了解的土层埋藏不深,且地下水位较低的情况。掘探按开挖的形式不同又可分为槽探、井探和坑探。

槽探一般用锹镐挖掘,挖掘深度一般较浅,多在覆盖层小于 3 m 时使用。槽探的长度应根据所了解的地质条件和需要而定,宽度和深度则取决于覆盖层的性质和厚度。当覆盖层厚度较大且土质较软时,挖掘宽度应适当加大;反之,宽度可适当减小。

井探能直接观察地质情况,可取出接近实际的原状结构土样。井探的开口形状可为圆形、椭圆形、方形和长方形等。探井的平面面积不宜太大,规格一般采用 $1.0 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ 的矩形或直径为 $1.0 \sim 1.5 \text{ m}$ 的圆形,以便于操作取样。为保证井壁不至于坍塌,应考虑设井壁支护。

坑探中探坑深度一般不超过 4 m,但当地下水位较深、土质较好时,有时探坑也可挖 4 m 以上。

图 2-1 为槽探、井探和坑探示意图。