

高桩码头结构 分段设计理论和方法

陈 达 沈才华 ○ 著



科学出版社

高桩码头结构分段 设计理论和方法

陈 达 沈才华 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以当前港口码头工程中常用的高桩码头结构为对象,对其结构分段长度及结构缝设计进行了系统的论述。全书共分六章,内容包括码头结构形式的发展历程及各自的特点;高桩码头结构分段长度和悬臂式结构缝的影响因素有限元分析;基于结构力学原理的高桩码头结构分段长度简化计算方法;一种新型高桩码头结构缝形式。

本书可供港航、土木、交通专业及其相关领域的科学研究人员、工程设计与技术人员参考,也可供相关专业的高等院校教师、博士、硕士研究生以及大学本科高年级学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

高桩码头结构分段设计理论和方法 / 陈达,沈才华著. —北京:科学出版社,2012.12

ISBN 978-7-03-036234-6

I. ①高… II. ①陈… ②沈… III. ①高桩码头-港口工程-结构设计 IV. ①U656.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 303635 号

责任编辑:余 江 张丽花 / 责任校对:李 影

责任印制:闫 磊 / 封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年12月第 一 版 开本:720×1000 B5

2012年12月第一次印刷 印张:10 1/4 插页:4

字数:200 000

定价:52.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

码头作为船舶在海岸和河岸的靠岸结构,经过从古至今的发展与进步,其结构形式可谓多种多样。当前,在港口工程建设中,主要采用重力式码头、板桩码头、高桩码头、浮码头等形式。随着水运和海运事业的迅猛发展,对沿海及沿江码头的需求日益加大。在“十一五”期间,国家对基础设施的建设给予充分重视和资金投入,更加促进了港口码头工程的蓬勃发展。

在沿海地区,地质条件比较复杂,软土地基居多。高桩码头不仅受力明确,自重轻,而且能够很好地适应软土地质条件,在港口工程中得到了广泛的应用。高桩码头一般沿海岸(河岸)有一定的长度,需要进行结构分段以阻止温度变形、不均匀沉降等引起的结构内力。《高桩码头设计与施工规范》对码头结构分段长度和结构缝形式作了相关规定。但是,作者对沿海和内河码头的调研发现,尽管一些码头分段长度和结构缝形式符合规范要求,但仍出现由于温度变形和不均匀沉降引起的相邻结构段相互挤压而造成的混凝土破损现象,影响了结构的耐久性和码头的正常运行。随着码头的大型化,结构的纵向尺度越来越大,若按规范规定的分段长度,则分段数太多,影响上部结构的整体性和工程效益。当前,在一些实际工程中已有采用分段长度超过规范要求的案例,而且经过多年的运行未出现问题。也就是说,规范规定仅是针对码头普遍情况而言,对于具体工程应开展针对性的设计计算。高桩码头结构研究是个大课题,有着很多值得深入研究的内容,本书主要针对码头结构分段设计方面,其出发点就是提供一种码头结构合理分段长度和结构缝形式的设计方法,以便于设计人员、研究院所和高校的科研人员进行码头结构分段设计及研究。

本书立足于码头结构分段设计,首先回顾了码头结构形式的发展历程及各自的特点,并对高桩码头的结构计算和分段设计进行系统总结,然后对当前高桩码头结构和结构缝处混凝土的受力和变形进行多因素分析,最后提出了一种高桩码头结构分段计算方法和新型结构缝形式。内容主要包括四部分:①以具体高桩码头工程为案例,通过有限元分析,得到了各因素对结构分段长度的影响规律,确定了码头结构分段长度的主控因素;②立足于码头结构分段的主控因素,基于结构力学原理提出了高桩码头结构分段简化计算方法;③通过有限元分析,研究了当前工程中常用的悬臂式结构缝在不同因素下的受力状态,得到了一些优化措施;④针对当前码头结构缝形式的不足,提出了一种新型高桩码头结构缝形式及其设计方法。

河海大学欧阳峰、侯利军、廖迎娣、郑桂兰、杨华东、袁巍、王娜、巫飞、杜辰等参

加了本书的研究和编写工作,本书在编写过程中得到了浙江省交通规划设计研究院曹云、应永良、陈晓峰、李浙江、何晓宇等同志的热情帮助,作者对他们表示诚致的谢意。科学出版社的同志们对本书的出版给予了很大的支持和帮助,作者在此一并对他们表示衷心的感谢。

作 者

目 录

前言

1 概述	1
1.1 研究背景	1
1.2 码头结构形式	2
1.3 高桩码头研究现状	6
1.4 本书主要研究内容	9
2 高桩码头结构分段长度研究	10
2.1 ANSYS 软件	10
2.2 有限单元法及基本理论	11
2.3 SURFER 软件及数学模型	13
2.4 典型工程介绍	15
2.5 三维有限元建模	27
2.6 分段长度影响因素	30
2.7 均匀地层条件下分段长度的变化规律	48
2.8 小结	77
3 高桩码头结构分段长度简化计算	79
3.1 计算方法及简化	79
3.2 两跨对称结构温度变形计算	80
3.3 偶数跨对称结构温度变形计算	83
3.4 奇数跨对称结构温度变形计算	89
3.5 算例分析	95
3.6 小结	97
4 高桩码头分段缝结构研究	98
4.1 常见分段缝形式及设计要求	98
4.2 接触力学有限元方法及理论	99
4.3 三维有限元建模及分析	108
4.4 凹凸缝结构优化	118
4.5 小结	129

5 新型分段缝结构	131
5.1 设计与构造	132
5.2 优势及应用前景	150
6 结论	151
6.1 均匀地层条件下高桩码头分段长度优化	151
6.2 非均匀地层条件下高桩码头分段长度优化	152
6.3 高桩码头结构分段长度简化计算	153
6.4 高桩码头分段缝结构优化	153
6.5 新型分段缝结构	154
参考文献	155

1 概 述

1.1 研究背景

港口最基本的功能是作为水陆联运的枢纽,而码头是港口的主要组成部分,它是船舶停靠、货物装卸和上下旅客的水陆交接平台。

新中国成立初期,我国沿海仅有 6 个主要港口,泊位 233 个,其中万吨级深水泊位只有 61 个,年吞吐量 1000 多万吨。近年来,随着国际、区域经济互补合作的升级,港口作为货物集疏运的重要枢纽发挥了越来越重要的作用,同时港口建设也取得了巨大成就。“十一五”是中国港口大建设大发展的时期,随着船舶大型化的进程,掀起了深水码头、深水航道的建设高潮,我国 20 万吨及以上吨级码头和航道都是在“十一五”期间诞生的。到 2010 年底,全国拥有生产用码头泊位 31643 个,其中万吨级及以上泊位 1661 个,仅 2010 年就新增万吨级以上深水泊位 107 个。

凭借规模如此庞大的港口体系,2010 年,全国港口完成货物吞吐量 89.32 亿吨,与“十五”期末相比,货物吞吐量增长了 89.3%,“十一五”期间平均每年增长 8.2 亿吨,平均增速为 13.0%;其中,沿海港口完成吞吐量 63.78 亿吨,比“十五”期末增长了 111.89%,平均每年增长 6.7 亿吨,平均增速为 16.2%;港口外贸货物吞吐量完成 25.01 亿吨,比“十五”期末增长了 82.7%,平均每年增长 2.3 亿吨,平均增速为 12.8%;全国港口集装箱吞吐量完成 1.46 亿 TEU,与“十五”期末相比增长了 93%,平均每年增长 1400 多万 TEU,平均增速为 14.1%。水运的发展,为沿线地区承接产业转移提供了重要支撑,港口已成为带动地区产业发展和区域经济发展的强大引擎。目前,仅长江沿线地区就集中了全国 1/2 的汽车产量、35% 的钢产量、28% 的原油加工量及 1/3 以上的高新技术产业产值。

尽管港口吞吐能力增速很快,但是仍然满足不了货运量增长的需求。船舶大型化、专业化,货物散装化和集装箱化是适应海运量持续增长和航运市场激烈竞争的必然结果,成为新一轮航运产业的发展方向。同时,深水港口和专业化泊位的建设是航运业竞争的必然要求。拥有港口发展条件的各地政府都把港口建设作为重要的工作来抓,特别是 2008 年下半年以来,交通运输业落实中央应对国际金融危机、促进经济增长的一揽子计划,包括码头在内的基础设施建设明显加快。“十一五”期间,沿海港口建设投资超过 3500 亿元,在长江干线、西江航运干线和京杭运河等沿线相继建成了一批规模化、专业化港区;内河水运建设总投资预计为 1000 亿元,超过新中国成立以来至“十五”期末的投资总额。

然而,随着大型化和深水化码头工程的发展,相应的工程地质条件更为复杂,码头结构形式也有了很大的发展,从起初的短桩小跨、实体重型逐渐转变为采用长桩大跨、空心轻型和预制安装结构。重力式码头引进了大直径薄壁圆筒、格型钢板桩、开孔消浪沉箱结构;开发了抛石基床水下夯实和爆炸密实方法;引进开发了水下深层搅拌法,从而在软基上也能采用重力式结构。板桩码头向大型化发展,除普通的拉杆式锚锭板桩外,采用了斜拉桩式板桩和遮帘式板桩码头。高桩码头结构在深水情况下成功采用了全直桩结构,以及依靠自身变形吸收船舶撞击能量的柔性靠船结构。

在高桩码头结构中,不均匀沉降和温度变形对码头结构的影响很大,是码头结构设计需要考虑的重要方面。为了合理地解决这一问题,现行的港口工程规范采取结构分段的方法,即每隔一定的结构长度设置分段缝,包括伸缩缝和沉降缝。但是,随着码头工程的发展,当前普遍采用的分段长度和分段缝形式逐渐显现出一些弊端,不但给设计单位带来困扰,有时甚至影响码头正常使用、后期维护及耐久性。因此,有必要开展高桩梁板式码头分段长度和分段缝形式研究,为码头分段设计提供理论依据和可行的方法。

1.2 码头结构形式

目前国内码头的结构形式主要有重力式码头、板桩码头和高桩码头,而国外的码头结构形式相对多样,还有导管架结构和复合结构形式。

1.2.1 重力式码头

重力式码头是我国分布较广、使用较多的码头主要结构形式之一。它以结构本身及填料的重量来抵抗外力并维持自身稳定。结构自重、填料重量和各种荷载对地基产生较大应力,要求地基具有一定的承载能力。重力式码头结构坚固耐久,抗冻性能好,能承受较大的地面荷载和船舶荷载,对集中荷载以及码头底面超载和装卸工艺变化适应性强,而且施工简单,维修费用少,是比较经济适用的码头形式。

重力式码头的结构形式主要取决于墙身结构形式。按墙身的施工方法可分为干地现场浇筑结构和水下安装的预制结构。后者应用较为普遍,其施工工序一般包括:预制墙身构件,开挖基床,抛填块石基床,基床夯实整平,安装墙身预制件,浇筑胸墙,抛填墙后块石棱体和铺设倒滤层,码头后回填,安装码头设备和铺设路面。根据墙身结构的不同,通常又可分为:方块码头、沉箱码头、圆筒码头、格形钢板桩码头、干地施工的现浇混凝土和浆砌石码头等。方块码头和沉箱码头是经常采用的结构形式。扶壁码头在东南沿海采用较多,大圆筒码头和格形钢板桩码头是近年来采用的。

1.2.2 板桩码头

板桩码头主要依靠板桩沉入地基以承受上部结构传递的侧向力。其构造简单,传力明确,施工方便,材料用量少,施工速度快,对复杂的地质条件适应性强,主要构件可在预制厂预制,但结构耐久性低于重力式码头,施工过程中不能承受较大的水平力。

板桩码头按所用材料的不同可以分为木板桩码头、钢筋混凝土板桩码头和钢板桩码头 3 类。木板桩的强度低,耐久性差,木材耗量大,现已很少采用。钢筋混凝土板桩耐久性好,用钢量少,造价低,在板桩码头中应用较为广泛,但其强度有限,一般仅适用于水深不大的中小型码头,若采用干地施工的地下连续墙结构,也可用于万吨级码头。钢板桩重量轻,强度高,锁口紧密,止水性好,沉桩方便,适用于水深较大的海港码头,但其造价高,易锈蚀,需采取良好的腐蚀防护措施。

板桩码头按锚碇系统不同可以分为无锚板桩码头和有锚板桩码头,有锚板桩又分为单锚板桩、多锚板桩和斜拉板桩 3 类。图 1-1 为工程中常用的单锚板桩码头结构形式。此外,按板桩墙结构分类,可以分为普通板桩墙、长短板桩结合、主桩挡板和地下墙式等形式。

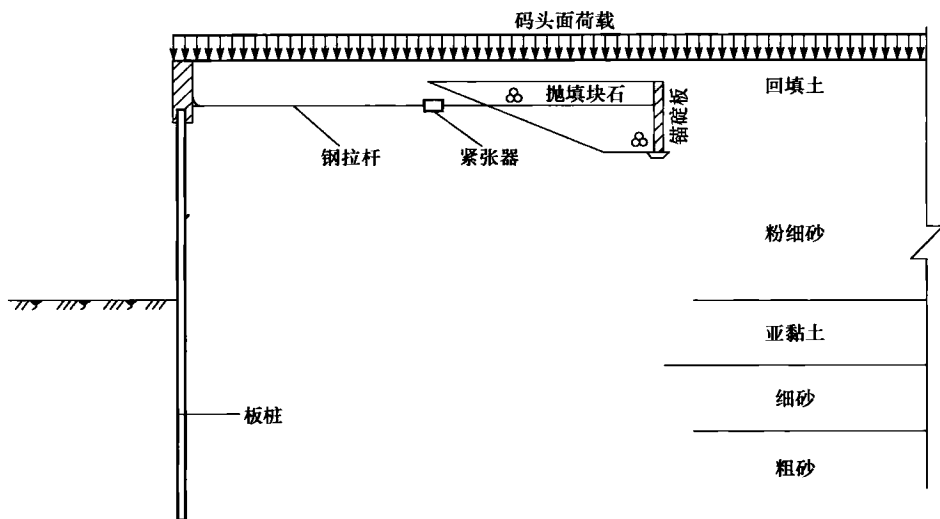


图 1-1 单锚板桩码头结构形式

1.2.3 高桩码头

高桩码头是应用广泛的码头结构形式。高桩码头适宜做成透空结构,其结构轻,消浪效果好,砂石料用量省,能够应用于挖泥超深的工况。高桩码头适用于可以沉桩的各种地基,特别适用于软土地基。在岩基上有适当厚度的覆盖层,也可采用桩基础;覆盖层较薄时,可采用嵌岩桩。高桩码头的缺点是结构承载能力有限,对地面超载和装卸工艺变化的适应性差,接岸结构处理不当时,易发生侧向位移、变形、开裂等现象;耐久性比重力式码头和板桩码头差,构件易损坏且难于修复。近年来,随着船舶大型化和泊位深水化的发展,在大型高桩码头中采取了相应措施,从而此结构形式得到了进一步发展和应用。

高桩码头可按平面布置形式、桩基布置形式和上部结构形式等进行分类。按平面布置形式可以分为满堂式和引桥式两种(图 1-2),前者设有较高的挡土结构,后者无挡土结构或设有较矮的挡土墙。

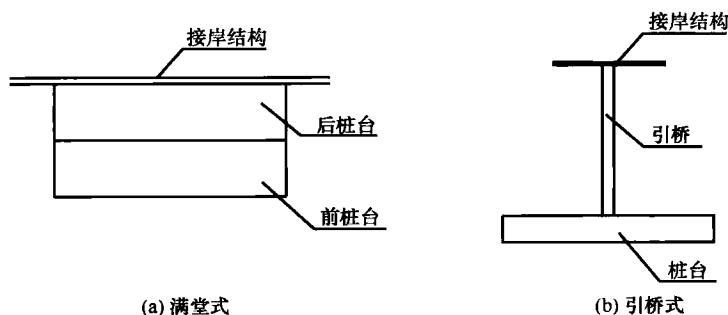


图 1-2 高桩码头平面布置形式

根据桩基布置形式,可分为全直桩码头和直桩与斜桩混合的斜桩式码头,桩基类型一般采用钢管桩、PHC 桩、大管桩等。斜桩式码头结构是国内外应用最广泛、最成熟的结构之一,如图 1-3(a)所示。目前,国内预应力混凝土大管桩斜度主要受施工时期受力的限制,一般陡于 $4.5:1$,钢管桩斜度主要受打桩船性能的限制,一般陡于 $3.5:1$ 。国外斜桩式码头结构桩斜度一般较缓,可做到 $2:1$,对抵抗水平力非常有利。在离岸深水岩基浅埋条件下,一般斜桩式码头结构施工期稳桩困难,难以施工,使用期受力不合理,基本不能直接采用。

全直桩码头结构(图 1-3(b))在国内应用较少,在 20 万吨级以上码头中仅有个别案例。但这种形式码头在欧美、中东及日本应用较为广泛,并发展出柔性和半柔性两种结构形式。柔性结构桩群上部采用特殊连接,保证各桩均匀承受水平力而桩顶不受弯矩作用,此种结构的典型代表为柔性靠船墩结构。半柔性结构桩群上部采用刚性连接,桩顶部承受弯矩。

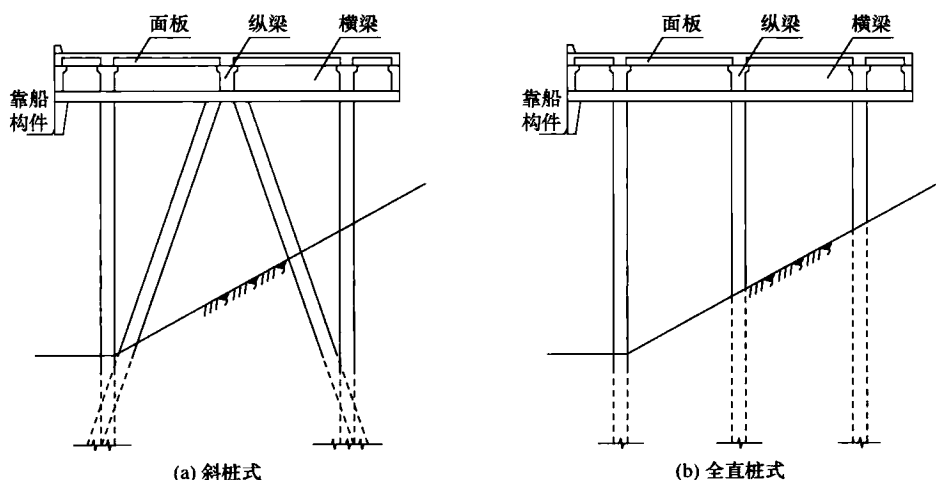


图 1-3 高桩码头桩基布置形式

根据上部结构形式的不同,高桩码头可以分为承台式、桁架式、无梁板式和梁板式 4 种结构形式。

承台式高桩码头结构是一种较古老的结构形式,主要由水平承台、胸墙和靠船构件组成,承台上面用砂石料回填。码头桩台一般为现浇混凝土或钢筋混凝土结构,这种结构具有良好的整体性和耐久性,但桩多而密,桩基施工麻烦,造价较高。一般只在岸坡地质条件好、水位差较大、地面荷载较集中的情况下才采用这种结构形式。

桁架式高桩码头上部结构主要由面板、纵梁、桁架和水平撑组成。这种结构形式整体性好、刚度大,但由于上部结构高度过大,当水位差较大时需要设置多层系缆,目前主要适用于水位差较大的内河港口。

无梁板式高桩码头上部结构主要由面板、桩帽和靠船构件组成,面板直接支承在桩帽上,其结构简单,施工迅速,造价低。但由于面板为双向受力构件,靠船构件的设计较为困难,仅适用于水位差不大,集中荷载较小的中小型码头。

梁板式高桩码头结构(图 1-4)是当前海港码头主要采用的上部结构形式,主要由面板、纵梁、横梁、桩帽和靠船构件组成。这种结构形式受力明确合理,能够采用预应力构件,可以显著提高构件的抗裂性能;横向排架间距大,能有效利用桩的承载能力。此外,这种结构形式能够节省材料用量,装配程度高,结构高度比桁架式小,施工速度快,横梁位置低,靠船构件的悬臂长度比无梁板式短。梁板式结构的这些优势,使其得到了迅速发展。但由于上部结构一般采用预制安装,构件种类和数量多,施工比较复杂,上部结构底部轮廓形状复杂,死角多,水气不易排出,构件中钢筋易锈蚀。

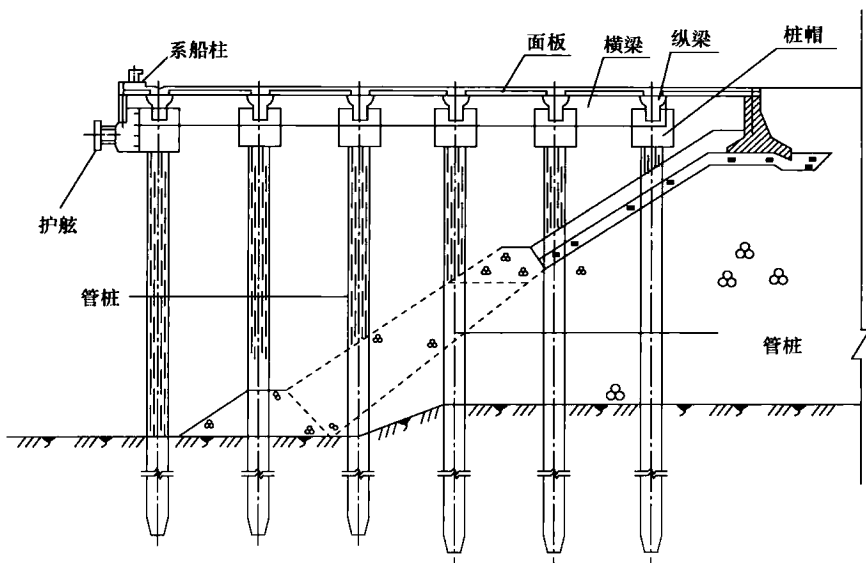


图 1-4 全直桩梁板式码头

1.3 高桩码头研究现状

1.3.1 结构分析

国内外开敞海域大型码头结构计算理论基本一致,具体差别主要体现在计算手段、设计及施工经验等方面。有些方法是从简化计算出发,有的则是立足于精确计算,不同的方法有其各自适用的范围。

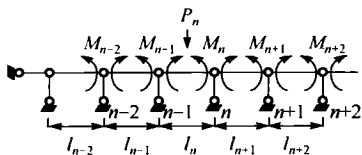


图 1-5 弹性支承连续梁法计算简图

实际工程中横梁常为等跨、等截面的,一般作如下计算假设:①桩两端为铰接;②作用在横向排架上的水平力完全由叉桩承受;③作用在横梁上的垂直力和力矩由横梁承受。横梁一般采用五弯矩方程求解。该方法忽略了桩、承台及土的共同作用,没有考虑直桩抵抗水平荷载的能力。

斯拉托夫和沙帕什尼科夫提出了柔性桩台法,该方法视弹性梁的桩基结构为一般弹性支承多跨框架,桩与桩台为固结,桩与地基为弹性嵌固,节点转动时,组成节点各构件的相对转角不变,即节点处各构件端转角都相同,各节点有与其他节点无关的垂直位移和转角,忽略梁的轴向变形,所有节点的水平变位相同。对于 n 个

为了简化计算,规范建议用弹性支承连续梁法计算上部结构内力,计算简图见图 1-5。实际工程中横梁常为等跨、等截面的,一般作如下计算假设:①桩两端为铰接;②作用在横向排架上的水平力完全由叉桩承受;③作用在横梁上的垂直力和力矩由横梁承受。横梁一般采用五

节点建立 $2n+1$ 个平衡方程,从而求得桩基础的内力。

朱秀峰采用不同方法计算高桩码头内力并与模型试验结果相比较,建议采用弹性支座弯剪梁法求解排架分配的水平力。此外,还进一步探讨了高桩码头的跨数、跨度、排架抗侧移刚度等参数对内力分配值的影响,并依据弹性支座弯剪梁法提供了确定典型排架力分配系数的图表。基于码头的空间受力性质,朱秀峰以武汉红钢城码头整体模型试验资料为依据,在平面简化算法及空间有限元法等计算的基础上,通过调整支座弹性系数和梁板受力按刚度分配,提出一种既考虑码头上部结构空间受力性质,又能沿用弹性支座连续梁计算方法——刚度比率法。

姚辉等采用 microstran 杆件程序及一般的平面计算方法对几种不同结构形式的高桩码头在系缆力、门机荷载及撞击力作用下的结构内力进行计算分析。结果表明,高桩码头空间计算方法以正确、快速、方便及适用于各种结构形式而优于平面计算方法。进一步对平面计算方法提出一些改进措施,如考虑系缆力的垂直分力对所在纵梁的内力影响,门机荷载的水平分力也应该在排架之间进行分配等。此外,在高桩码头桩基布置时,应尽量避免两根桩靠得很近,以便减小横梁的内力。

随着结构设计和分析技术的逐渐成熟、大型有限元软件(如 ANSYS、ADINA、ABAQUS、MSC/NASTRAN 等)的广泛应用,日本、欧洲等已经可以应用软件设计整个重力式码头和开敞海域大型桩基码头,包括整体稳定性、强度计算和结构图、配筋图、桩径和桩数选择、桩位优化等,软件已具有智能化。此外,应用这些有限元软件系统分析多种因素对高桩码头结构受力的影响,如桩土相互作用、桩体强度、桩径和入土深度、荷载作用点及作用时间等。这种结构分析则更加趋向于真实情况,计算更加精确。

码头在不同动力荷载作用下的响应同样得到了广泛的研究。张颖研究了码头结构遭受船舶水平撞击力的动力响应,分析了不同结构刚度、船舶吨位、撞击速度、撞击角度以及橡胶护舷特性等因素对最大撞击力及历时曲线的影响,得到了船舶撞击力的主要影响因素。龙炳煌采用有限元对高桩码头的叉桩节点的抗震性能进行了分析,并提出了一种适用于叉桩的节点构造。陶桂兰等通过有限元分析叉桩布置形式对高桩结构动力响应的影响,结果表明采用双轴对称布桩方式对抗震最为有利。此外,许多学者对高桩码头结构在地震作用下的动力响应进行有限元分析,全面了解土层液化、桩-土作用、码头几何形状等因素对高桩码头抗震性能的影响规律,对高桩码头结构的抗震设计与验算提供依据。

1.3.2 分段长度及分段缝

为了避免码头结构产生过大的变形应力,常常将码头上部结构沿长度方向进行分段,设置分段缝。分段缝包括两类:一类为避免温度变化引起结构过大应力的伸缩缝,另一类为避免相对沉降引起结构过大应力的沉降缝。沉降缝的位置据荷载、结构形式和地质条件而定,通常与伸缩缝合并设置,提高结构的整体性。

分段缝作为高桩码头的重要部位,常用的构造形式包括简支式和悬臂式,如图 1-6(a)和(b)所示。为防止相邻两段水平位移不一致而对门机等有轨设施的正常工作造成影响,分段处常常设计为凹凸缝形状,如图 1-6(c)所示。在实际工程中,可能会由于设计不当导致上部结构开裂甚至分段缝部位结构挤碎,极大地影响了码头上部结构的耐久性,增大了日常维护费用。阮学明对天津港高桩码头的分段缝运行状况进行了详细的调查,发现在一些码头分段缝处产生了不同程度的挤碎开裂,甚至发生门机轨挤弯的情况,有些严重影响了码头的正常使用。随着码头建设规模的扩大,连续布设岸线的加长,常规地设计分段缝所能吸收的变形量已无法满足连续岸线加长后的变形,设计、科研人员建议加大分段缝的宽度至 50mm,并采用一些新的弹塑性材料进行填缝。

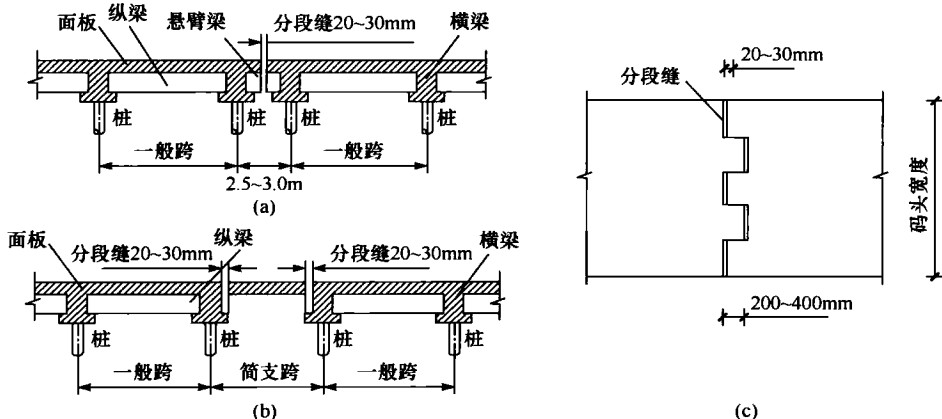


图 1-6 分段缝结构形式

针对分段缝部位易于损伤的现状,2010 年交通运输部发布的新的《高桩码头设计与施工规范》(JTS167—1—2010)对码头上部结构分段缝的构造作了相应的规定。规范第 3.1.13.1 条提出:“码头沉降缝的位置应根据荷载情况、结构形式和地质条件确定。沉降缝与伸缩缝可结合设置。”第 3.1.13.2 条提出:“码头伸缩缝的间距,应根据本地区的温度差、平面布置形式、上部结构的特性、桩的自由长度和

刚度等因素综合确定,上部结构为装配整体式结构时,宜取 60~70m;上部结构为现场整体浇筑混凝土时,不大于 35m。当有实践经验或可靠论证时,伸缩缝间距可适当增减。”第 3.1.13.3 条提出:“码头上部结构在伸缩缝和沉降缝分段处,可采用悬臂式结构或简支结构。分段处的缝宽可取 20~30mm。当有抗震要求时或可能产生较大温差时缝宽应根据计算或当地经验确定。伸缩缝内应采用柔性材料填充。”第 3.1.13.4 条提出:“当码头采用有轨装卸设备时,应防止码头相邻两段水平位移差异影响有轨装卸机械行驶,分段处可采用悬臂结构。悬臂分缝处宜做成凹凸缝。”

新规范关于分段缝(包括沉降缝和伸缩缝,以下同)的规定与旧规范大体相同,仅在文字上作了部分调整。规范对高桩码头结构分段长度及分段缝形式均提出了原则性的确定方法和经验数据,但是由于高桩码头由桩侧摩阻力和桩端支承载力提供结构支撑,随着桩基技术的发展,结构的不均匀沉降往往可以控制在较低水平,因此对结构分段设计起控制作用的可能是温度变形等因素,目前国内尚缺乏这方面的系统研究。

近年来,工程实践中陆续出现一些分段长度超过 70m 的高桩码头,有些单个平台的长度甚至超过 80m,使用结果表明这些采用超长结构分段的码头并未出现明显的不良反应。相反,一些码头的分段长度在规范规定范围内,而且也采用了规范建议的分段缝形式,但是在使用几年后却出现了分段缝凹凸缝处混凝土破损严重的情况。

1.4 本书主要研究内容

目前,国内外关于高桩码头分段长度和分段缝形式的研究及相关成果较少,特别是关于当前技术条件下码头分段长度的控制因素及凹凸缝破坏机理的研究尚不多见,无法为码头结构分段设计方案的改进和优化提供理论支撑。基于此,本书依照现行高桩码头设计规范,结合当前典型的工程实践,对现有码头结构的分段长度、分段缝形式和使用情况开展一定范围的调查,掌握其使用现状及存在的问题,再通过理论的分析及计算,提出码头合理分段长度和分段缝宽度的确定方法,以及新型分段缝形式。主要研究内容如下:

- (1) 高桩码头结构分段长度的影响因素和控制因素研究;
- (2) 高桩码头结构分段长度简化计算方法研究;
- (3) 高桩码头分段缝结构受力、凹凸缝破坏机理及优化研究;
- (4) 新型高桩码头分段伸缩缝结构。

本书计算分析采用的工程实例为某发电厂卸煤码头工程,相关计算分析参数来源于工程资料。

2 高桩码头结构分段长度研究

《高桩码头设计与施工规范》(JTS167—1—2010)第 3.1.13.2 条提出:“码头伸缩缝的间距,应根据本地区的温度差、平面布置形式、上部结构的特性、桩的自由长度和刚度等因素综合确定。”但是,由于码头结构、地质条件及其相互作用的复杂性,以及温度的影响,目前还没有可用于指导结构设计的科学方法,给高桩码头结构分段优化设计带来较大困难。

基于桩-土结构三维有限元模拟技术开展数值计算,可以分析结构在不均匀地质条件下的沉降以及荷载温度变化对结构变形和内力的影响。因此,本章将结合沿海典型高桩码头结构,采用三维有限元建模方法,分别考虑流动机械荷载位置、桩基布置形式、不均匀沉降、温度变化等因素的影响,对各种工况下码头结构的变形和内力进行研究,从而确定影响码头结构分段的控制性因素,为高桩码头结构分段设计提供依据。

2.1 ANSYS 软件

当前,超高层建筑、大跨度结构、超长桥梁和大型码头等工程越来越多。这些大型结构对设计和计算提出了更高的要求,传统的手工计算已无法满足设计需要。近年来,在计算机技术和数值分析技术支持下发展起来的有限元方法为解决复杂工程分析计算问题提供了有效的途径。依赖于有限元方法的计算机辅助工程分析软件成为重要的计算工具,常见的软件有 ANSYS、ADINA 和 ABAQUS 等。

ANSYS 软件是融结构、流体、电场、磁场及声场分析于一体的大型通用有限元分析软件,被广泛应用于交通、水利、土木、核工业、铁道、石油化工、航空航天、机械制造、能源、国防军工、电子、造船、生物医学、轻工、地矿和日用家电等多种行业及科学研究。ANSYS 软件主要包括 3 部分:前处理模块、分析计算模块和后处理模块。前处理模块提供了一个强大的实体建模及网格划分工具,方便用户构造有限元模型;分析计算模块包括结构分析(线性分析、非线性分析和高度非线性分析)、流体动力学分析、电磁场分析、声场分析、压电分析以及多物理场的耦合分析,可模拟多种物理介质的相互作用,具有灵敏度分析及优化分析能力;后处理模块可将计算结果以彩色等值线、梯度、矢量、粒子流迹、立体切片、透明及