



水工建筑技术研究论丛

软粘土地基港口工程 新结构研究

NEW STRUCTURES OF
HARBOUR ENGINEERING ON
SOFT CLAY FOUNDATION

张华庆 孙熙平 王元战◎著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.



水工建

软粘土地基港口工程 新结构研究

NEW STRUCTURES OF
HARBOUR ENGINEERING ON
SOFT CLAY FOUNDATION

张华庆 孙熙平 王元战◎著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书提出深水全直桩码头、倒 T 形导管墙桩基防波堤及板格形导管架桩基码头三种新型港口工程结构,并对其承载特性与破坏模式进行数值分析,在此基础上提出简化设计计算方法。本书的研究成果为我国港口工程建设提供一种新的思路与选择,对丰富港口学科的发展、推动理论的进步具有重要的参考意义。

图书在版编目(CIP)数据

软粘土地基港口工程新结构研究 / 张华庆, 孙熙平, 王元战著. —北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2017.4

ISBN 978-7-114-13499-9

I. ①软… II. ①张… ②孙… ③王… III. ①港口工程—软粘土—软土地基—设计—研究 IV. ①U653

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 284566 号

水工建筑技术研究论丛

书 名:软粘土地基港口工程新结构研究

著 作 者:张华庆 孙熙平 王元战

责任编辑:崔 建 朱明周

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

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)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:720×960 1/16

印 张:15.75

字 数:282 千

版 次:2017 年 4 月 第 1 版

印 次:2017 年 4 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-13499-9

定 价:35.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

近十几年来,中国港口工程建设高速发展,建港技术已处于世界领先水平。目前,沿海近岸自然条件优越的港址大部分已被开发利用,离岸深水甚至远海岛礁大型港口建设是今后我国港口工程发展的方向,国务院颁布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要》(2006—2020年)将离岸深水港与跨海湾通道、大型桥梁和隧道、大型海洋工程技术与装备等交通基础设施建设关键技术及装备列为优先发展的主题项目。在离岸深水、远海岛礁建设码头,会面临比建设沿海码头更恶劣的海洋环境、更复杂的海洋地质条件等,而人们对这些难题的认知和研究还比较缺乏。深水港口工程理论包括海洋工程学、材料力学、结构力学、岩土力学、流体力学、水动力学、结构动力学、数理统计学、工程可靠度理论等多个学科分支,它既是多学科的交叉与融合,又是具有独立特色的创新研究,是亟需研究的前沿科学领域。

传统的港工结构形式有高桩码头、重力式码头、板桩码头、斜坡式防波堤、直立式防波堤等。近些年我国港口科研人员研发出半圆堤、箱筒形防波堤等新型结构,并成功应用于实际工程,解决了工程难题,取得了良好的工程效果,也推动与深化了港口学科的发展。随着港工技术的进步及人们认知水平的提高,为满足复杂工程的建设需求,本着解决工程难题与节省工程造价等目的,新型港口结构被不断提出,并获得了优化和创新性发展。本书提出了深水全直桩码头、倒T形导管墙桩基防波堤及板格形导管架桩基码头三种新型港工结构,并对其承载特性与破坏模式进行数值分析,在此基础上提出简化设计计算方法。本书的研究成果

可为我国港口工程建设提供一种新的思路与选择,对丰富港口学科的发展、推动理论的进步具有重要意义。

书中部分成果得到了交通运输部科技项目“风暴潮浪与离岸深水结构相互作用研究”(2011-329-224-180)、国家自然科学基金“深厚软土地基条件下格形钢板桩结构承载机理与计算方法研究”(51279128)的资助与支持,在此表示衷心感谢!同时,本书的部分研究成果获得2014年度中国航海学会科学技术进步一等奖、2015年度天津市科学技术进步二等奖,并得到了科研同行的认可与支持,在此一并表示衷心感谢!

本书研究的内容主要由交通运输部天津水运工程科学研究所与天津大学王元战教授科研团队在交通运输部科技项目“风暴潮浪与离岸深水结构相互作用研究”(2011-329-224-180)等课题研究基础上合作研究完成。作者诚挚感谢所有为本书作出贡献的老师与学者们:感谢天津大学博士生张连丽,天津大学硕士生王朝阳、陈杰,哈尔滨工程大学硕士生张桂平等为本书研究作出了卓有成效的贡献;感谢哈尔滨工程大学硕士生王广原对本书有关研究工作和资料的整理。

科学技术是不断发展的,人们对科学问题的认知也是不断深入并完善的。本书涉及的范围较广、较新,其中一些观点、方法仅为作者当前对于这些问题的认识,某些观点与方法会随着研究工作的不断深入而得到改进。鉴于作者的水平及经验所限,书中存在的缺点和不足之处,敬请读者批评指正。

作 者

2016年9月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 近年来新型港口工程结构	2
1.3 本书提出的新型港口工程结构	10
1.4 本书的主要工作	15

第1篇 全直桩码头

第2章 极端波浪荷载与全直桩码头相互作用基本理论	19
2.1 风暴潮概述	19
2.2 流固耦合基本理论	27
2.3 土与结构相互作用基本理论	33
第3章 离岸全直桩码头静力数值分析及简化计算方法	44
3.1 离岸深水全直桩码头静力稳定性分析	44
3.2 离岸深水全直桩码头静力简化计算方法	61
3.3 小结	83
第4章 波浪作用下全直桩码头动力响应及简化计算方法	84
4.1 波浪作用下全直桩码头动力特性分析	84
4.2 考虑流固耦合影响的全直桩码头基桩上波浪力分析方法	90
4.3 波浪荷载作用下全直桩码头动力响应	113
4.4 波浪荷载作用下全直桩码头动力简化计算方法	119
4.5 小结	122
第5章 风暴潮浪对平板及码头上部结构冲击作用研究	124
5.1 三维波浪数值水槽模型	124

5.2	波浪对平板的冲击作用	127
5.3	波浪对高桩梁板码头上部结构的冲击作用	138
5.4	小结	149

第2篇 倒T形离岸深水防波堤结构

第6章	倒T形导管墙桩基防波堤稳定性有限元分析	153
6.1	有限元分析模型	153
6.2	稳定性分析方法	157
6.3	稳定性有限元分析算例	158
6.4	小结	175
第7章	倒T形导管墙桩基防波堤稳定性简化分析方法	177
7.1	土体达到承载极限的稳定性简化分析	177
7.2	桩基达到强度极限的稳定性简化分析	184
7.3	算例	188
7.4	小结	190
第8章	倒T形导管墙桩基防波堤结构尺度优化	191
8.1	构件尺寸对结构稳定性的影响	191
8.2	结构尺度确定原则	192
8.3	桩径、桩距尺寸确定	192
8.4	桩基入土深度的确定	195
8.5	小结	196

第3篇 板格形导管架桩基码头

第9章	板格形导管架桩基码头稳定性有限元分析	199
9.1	有限元分析模型	199
9.2	稳定性分析方法	202
9.3	稳定性有限元分析算例	204
9.4	小结	218
第10章	板格形导管架桩基码头稳定性简化分析方法	219
10.1	竖向承载力计算	219

10.2	抗倾稳定性简化分析	222
10.3	算例	227
10.4	小结	227
第 11 章	结论与展望	229
11.1	结论	229
11.2	展望	231
参考文献		233

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景及意义

近十几年来,中国港口与海岸工程建设高速发展,全国港口货物吞吐量从 2001 年的 24 亿 t 增加至 2014 年的 124.52 亿 t,集装箱吞吐量从 2001 年的 2748 万标准箱增加至 2014 年的超 20200 万标准箱,货物总吞吐量和集装箱吞吐量均位居世界第一位。根据《全国沿海港口布局规划》,2020 年以前,我国将继续推进大规模的沿海水运基础设施建设,沿海港口建设将重点推进环渤海、长江三角洲、东南沿海、珠江三角洲和西南沿海 5 个港口群体及 43 个主枢纽港的建设,将建设一批靠泊 30 万吨级的散货码头、30 万吨级的油码头、1 万标准箱以上的集装箱码头等。除港口工程建设外,跨海工程也将大规模展开,如即将建成的连接香港—珠海—澳门的港珠澳桥隧工程、已经启动的连接海南和广东两省的琼州海峡跨海工程、已完成可行性研究的连接大连和烟台的渤海湾跨海通道工程等。预计在今后相当长的一段时间内,中国港口与海岸工程建设仍将保持快速发展的趋势。

经过近十几年大规模的港口与海岸工程建设,我国自然条件优越的海岸带大部分已被开发利用,离岸深水甚至远海岛礁大型港口建设是今后港口工程发展的方向。譬如,已有建造在天然水深超过 30m、设计波高达 12m 的深水防波堤;设计流速达 2.5m/s 的集装箱码头;曹妃甸港码头工程、天津港码头与防波堤工程、上海洋山港码头工程、长江口深水航道治理工程、港珠澳大桥人工岛工程等,均建造在十几米至几十米厚的软土地基上。根据国务院颁布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要》(2006—2020 年),离岸深水港与跨海湾通道、大型桥梁和隧道、大型海洋工程技术与装备等交通基础设施建设关键技术及装备将被列为优先发展的主题项目。

在离岸深水、远海岛礁进行海岸工程建设,面临着比近海工程更恶劣的海洋环境、更复杂的海洋地质条件等。水深、浪高、流急和软土地基,是经常遇到的水文地质条件,给港口与海岸建筑物的安全带来巨大危害。港口与海岸建筑物在建造和

运行期的破坏事故时有发生。例如:2002年7月,长江口深水航道治理二期工程北导堤沉入式大圆筒结构,在台风期波浪作用下51m试验段全部倾覆破坏;2002年12月,长江口深水航道治理二期工程北导堤16个半圆形沉箱结构在寒潮期大浪作用下发生1~3m的突然沉降和滑移,个别半圆形沉箱滑移距离达60m;2007年,建设中的天津港南疆矿石码头发生整体滑动破坏,破裂面长150m,进深70m;2009年,上海洋山深水港码头建筑物在运行期发生滑坡破坏。这些破坏事例表明,软土地基条件下港口与海岸建筑物的设计理论和计算方法仍存在着亟待解决的问题。

桩基结构、重力式结构、板桩结构等是传统的港口工程结构形式。桩基结构虽然适用于软土地基,但是其阻挡泥沙、防流导流的功能较差;重力式结构如沉箱、方块结构,出于地基承载力和沉降的要求,必须要求挖除软弱土层和中等强度土层,直接落底于基岩面,或者采取复杂的措施,对中等强度的土层进行地基处理,使工程造价极其昂贵,施工速度也难以保证。板桩码头主要靠打入地基中的板桩墙体挡土,板桩墙是薄弱构件,承受较大的土压力作用,而且该结构形式的强度和稳定性受水深影响很大,不适用于深水情况。近些年,我国港口科研人员研发出半圆堤、箱筒形防波堤等新型结构,并成功应用于实际工程,解决了工程难题,取得了良好的工程效果,也推动与深化了港口学科的发展。但是,这些新型结构在实际应用中也有各自的局限性,如半圆形防波堤属于轻型重力式结构,其自身重量较轻,不适用于深水大浪海洋环境。

因此,针对现有结构在应用上的不足,本着适应软土地基条件、解决工程难题与节省工程造价等目的,本书提出了深水全直桩码头、倒T形导管墙桩基防波堤及板格形导管架桩基码头三种新型港口工程结构形式,并对其承载特性与破坏模式进行数值分析,在此基础上提出三种结构的简化设计计算方法。本书的研究成果可为我国港口工程建设提供一种新的思路与选择,对丰富港口学科的发展、推动理论的进步也具有重要意义。

1.2 近年来新型港口工程结构

为了适应软土地基条件,近年来我国研究开发了一些新型的结构形式,主要包括沉入式大圆筒结构^[1]、半圆形防波堤结构^[2]、箱筒形基础结构^[3]、深水全直桩码头结构^[4]和倒T形导管墙桩基结构^[5]等,有些已经成功应用于软土地基条件,也有一些出现了破坏情况。通过对已经应用或者正在试验阶段的新型港口工程结构类型的研究现状作出介绍,能够为本书提出的深水全直桩码头、倒T形导管墙桩基防波堤及板格形导管架桩基码头的研究提供依据,并为本书的研究内容提供参考。

1.2.1 沉入式大直径圆筒结构

沉入式大直径圆筒防波堤结构是无底、无盖的薄壁圆柱壳结构^[1],其断面如图1-1所示,适用于深水软弱土地基,具有结构形式简单、施工方便快捷、材料用量省、工程造价低等优点。我国于20世纪80年代开始对大圆筒结构进行开发研究^[6],并围绕其模型实验、数值分析、理论计算方法等开展了一系列研究工作。

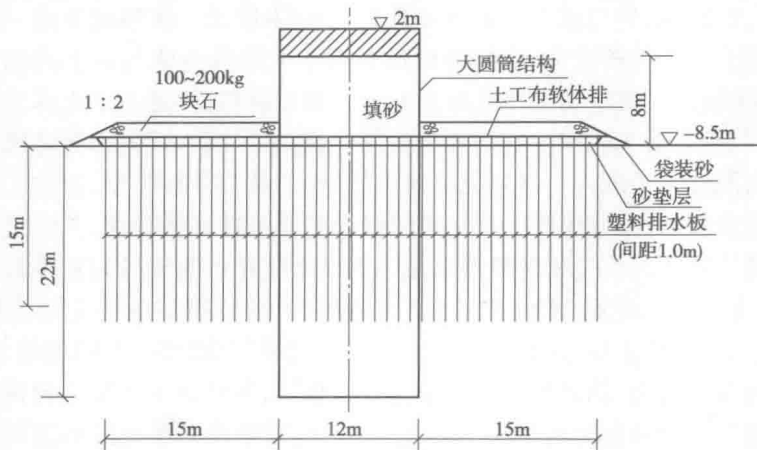


图 1-1 沉入式大直径圆筒防波堤结构断面图

在模型试验方面,20世纪60~70年代苏联与法国就已对大直径圆筒结构(以下简称大圆筒结构)进行了原型观测和模型试验。秦崇仁等^[7]对波浪荷载作用下沉入式大直径圆筒结构施工期稳定性进行了实验研究,实验表明在波浪荷载逐级施加的过程中,大圆筒结构变位主要经历了四个阶段,即初始静止阶段、弹性变形阶段、塑性变形阶段和倾覆破坏阶段。刘海笑等^[8]对结构—波浪—海床耦合系统中大圆筒结构的波压力响应进行了分析,试验分别测取了单筒与连续筒结构形式在不同沉入深度和不同波谱输入下结构表面的波压力分布及历程,并得出连续筒结构沿环向和沿高程的波压力响应明显不同于单筒结构以及波压力传递函数无论在幅值上还是总体趋势上都发生了很大的变化的结论。周锡初^[9]、王广德等^[10]对大直径薄壁圆筒结构与土的相互作用进行模型试验,分析了大圆筒结构在下沉、内部回填、施加水平荷载、筒后回填超载等过程中筒体变位、侧壁摩阻力及筒内外土压力的分布规律,并对结构滑动和倾覆稳定性分析方法、位移计算方法展开研究。刘建起等^[11]采用模型试验对沉入式大圆筒结构进行了内力分析,分析了不同荷载作用下结构的纵向弯矩和环向弯矩,以及弯矩最大值位置的变化规律。

在数值分析方面,黄燕等^[12]将边界元法引入大圆筒结构与土体相互作用的分析中,并建立了有限元—边界元线弹性耦合数值分析模型。潘厚志^[13]、张建辉^[14]等基于弹性地基理论分析方法,采用三维弹簧单元模拟大圆筒周围地基土体的作用,对大圆筒结构进行了静力分析。祝振宇^[15]等建立了沉入式大圆筒结构数值模型,将大圆筒视为刚体,将土体模拟为非线性弹簧—阻尼系统,从而分析波浪荷载作用下大圆筒结构的动力特性。孟庆文^[16,17]、王玉红^[18]、孙克俐^[19]等基于模型试验,建立了大圆筒结构与软土地基相互作用的壳体单元—接触面单元—非线性土体单元的耦合数值分析模型,将接触面单元用于大圆筒壳体与软土的相互作用分析中,合理地模拟了筒壁与土体接触面上的张裂和滑移,并考虑了土体的非线性特性。肖忠^[20]等运用 ABAQUS 有限元分析软件,建立了沉入式大圆筒防波堤结构三维弹塑性有限元—无限元—接触元非线性静、动力耦合分析模型,建立了结构与土体之间的主从接触,精确模拟土与结构接触面的非线性接触特性,并研究了波浪循环荷载作用下结构的失稳机制以及软粘土的软化特性对动力稳定性的影响。陈福全等^[21]通过模型试验,分析了软粘土地基中大圆筒码头内外土压力的分布情况,并给出了筒内外土压力的计算方法,针对不同圆筒高径比、不同地基土体,研究了大圆筒内外土压力、筒底反力的大小及分布规律,并建立了土压力分析的三维有限元—无限元耦合数值分析程序^[22]。许英^[23]利用弹性力学有限元法对大圆筒码头结构墙后土压力分布情况进行了分析。瞿小莉^[24]应用 ANSYS 软件的三维刚—柔性接触单元模拟筒与土之间的相互作用,将圆筒—地基—回填土作为整体系统考虑,分析大圆筒结构上的土压力性状,并将结果与现有理论公式及试验结果进行了对比验证。

在理论分析方面,王元战等^[25-26]根据沉入式大直径圆筒结构的工作机理,提出了稳定性分析的四种方法,即基于重力式结构的稳定性验算方法、基于无锚板桩的稳定性验算方法、基于吸力式桶形基础水平承载力的方法和摩阻力方法,并结合工程实例,对各种方法进行了比较分析。文献[27]中假设,背离转动方向一侧土体对筒壁的摩阻力方向竖直向下,且该侧地基土体对筒底无土反力作用,结构倾覆时圆筒绕筒轴线上一点发生转动。文献[28]对文献[27]加以修正,考虑了筒壁上竖向摩阻力的方向随着作用于结构竖向力大小的不同而发生变化,提出了结构倾覆时绕筒轴线上一点与绕筒母线上一点发生转动的两种失稳模式。除了静力稳定性计算方法研究,钟晓红等^[29-30]等建立了波浪荷载作用下,沉入式大圆筒防波堤结构动力稳定性分析的简化模型。王元战等^[31]根据码头工作原理,提出了大直径圆筒桩墙式码头的概念,合理考虑了筒内外土压力对稳定性的影响,采用重力式码头的计算思路,对大直径圆筒桩墙式码头的稳定性进行了验算。王刚等^[32]采用弹塑性有限元法对施工过程中

大圆筒护岸结构稳定性进行分析,通过荷载位移关系曲线,确定结构的极限承载力,并将极限承载力与设计荷载的比值定义为结构稳定性安全系数。

综上所述,国内外对大圆筒防波堤结构的研究方法多样,研究内容也趋于完善。但是大圆筒结构自身也存在一定缺点:如结构尺寸较大,需要具备大型起重、运输、安装等设备以及一定的施工条件;结构下沉方法及施工工艺有待提高;大圆筒结构与土相互作用机理十分复杂,目前尚无规范可循,特别是该结构由于没有很好地解决上述问题而出现倾覆破坏、位移过大等工程问题^[33]。

1.2.2 半圆形防波堤

半圆形防波堤是由半圆形拱圈和底板组成的新型防波堤结构^[2],结构断面如图1-2所示。与传统重力式防波堤相比,半圆形防波堤具有明显的消浪作用,作用方向均通过圆心,对堤身不产生倾覆力矩,而且在稳定性条件相同的情况下,该结构重量比传统重力式防波堤结构要轻,因而适用于软弱土地基。

目前,对半圆形防波堤结构的研究主要集中于对其波浪力的研究。计算水位不同,波浪力计算公式也不尽相同。当计算水位低于堤顶高程0.7倍设计波高时,波浪力可采用水堤公式^[34]进行计算;当计算水位高于堤顶高程时,波浪力计算采用潜堤公式^[35];当计算水位介于二者之间时,可采用袁陶经验公式^[36]。郭科^[37]等通过大量物理模型试验,分析了波浪作用下半圆形防波堤的反射、透射系数和受力情况。李建平^[38]对淹没情况下半圆形防波堤进行了数值模拟,基于VOF法数值求解N-S方程,对防波堤上的波浪荷载进行计算,结果与试验较为吻合,基于数值计算和模型试验给出了防波堤反射/透射系数与波浪要素、防波堤结构尺寸等影响因素之间的关系。

除了波浪力的相关研究外,刘明等^[39]采用物理模型试验对半圆形防波堤抗滑稳定性进行研究,分析了不同水深情况下影响防波堤抗滑稳定性的主要因素,找出堤身滑移失稳破坏及不同水深堤身滑移方向不同的原因。周宝勇^[40]通过数值分析方法研究了复合荷载作用下半圆形防波堤地基承载力的变化规律,分析了基础宽度、土体重度、土体抗剪强度指标等参数对荷载破坏包络线的影响,并在此基础上,给出了半圆形防波堤地基承载力的简化计算方法。

虽然半圆形防波堤在天津港等防波堤工程建设中得到了广泛应用,但也存在尚未解决的问题,如某海岸工程采用的半圆形导流堤在一次寒潮波浪作用下发生了过量沉降与滑移^[41],而且该结构需要设置抛石基床,当水深较大时,造价较高,故不适用于深水情况。

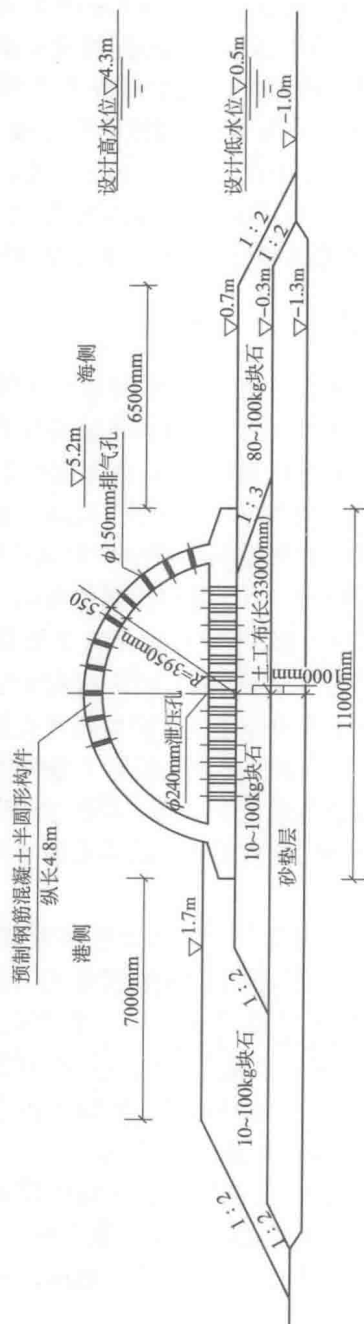


图 1-2 天津港半圆形防波堤结构断面图

1.2.3 箱筒形基础防波堤

箱筒形基础防波堤是近几年才出现的新型结构,断面如图 1-3 所示。该结构由多组钢圆筒经拼装焊接而形成整体,采用水中浮运方式拖运到施工现场,通过抽取真空负压下沉方式沉入海底形成结构基础^[3]。

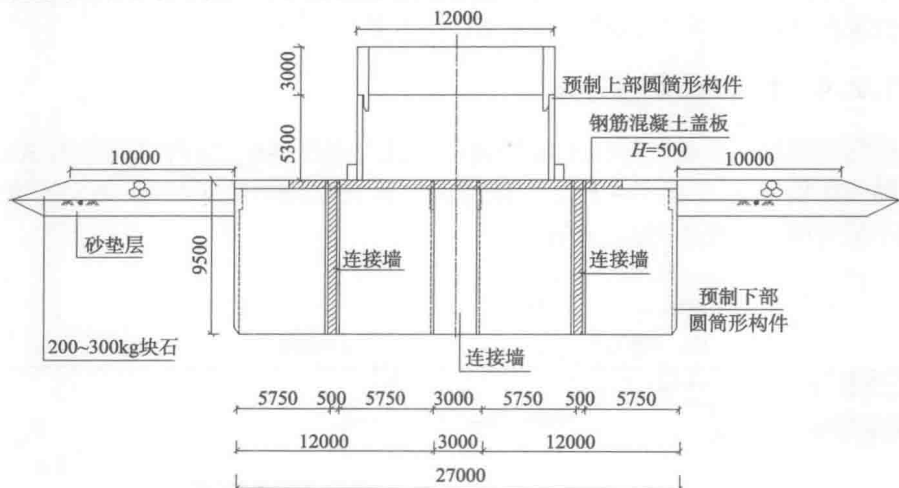


图 1-3 箱筒形基础防波堤结构断面图(尺寸单位:mm)

箱筒形基础防波堤稳定性分析主要包括施工期气浮稳定性计算和使用期稳定性计算。彭增亮^[42]等针对典型试验工程,建立了箱筒形基础结构气浮拖航稳定性计算方法,结果表明:无论是对基础箱筒气浮拖运,还是安装上部结构后的整体气浮拖运,所建立的稳定性计算方法均是合理的。任会生等^[43]对箱筒形基础拖航稳定性及其自沉深度进行了分析,得出了箱筒在气浮拖航过程中的稳定性条件、自沉可达到的深度以及达到设计高程处所需的负压值等。关于箱筒形基础结构在使用期的稳定性分析,目前尚无规范可循。刘欣等^[44-45]借鉴重力式结构稳定性分析方法,将箱筒形结构及其内部土体看作整体,在波浪作用下箱筒形基础防波堤的抗倾稳定性分析中,假定结构绕筒底后趾角点处发生转动。肖忠^[46]等考虑软粘土地基承载力较差,在极限抗倾状态下箱筒形基础防波堤的转动点是随结构形式、地基强度不同而发生变化的,通过有限元方法得出该新型结构的失稳模式,并建立了箱筒形基础防波堤稳定性计算的极限平衡法及简化计算模型。

除此之外,文靖斐^[47]采用 Hardening-Soil 模型对箱筒形基础软土地基承载力进行研究,针对单层土与多层土探讨了极限承载力随着结构尺寸、土体参数等变化的规律。吴凤亮^[48]等采用 PLAXIS 程序及软土蠕变本构模型,分析了箱筒形基础

的沉降变形,结果与实测沉降较为符合。王元战等^[49]基于粘性流模型对箱筒形基础防波堤上的波浪力进行数值分析,建议波浪力可按《海港水文规范》^[50]平坦直立墙波浪力计算方法进行计算,但波峰时应考虑 0.9 左右的折减系数,波谷时的折减系数为 0.95 左右。

箱筒形基础防波堤虽在天津港防波堤建设中进行了试验段工程,但其结构形式十分复杂,施工难度大,设计计算理论还不成熟。

1.2.4 格形钢板桩结构

格形钢板桩码头是一种将平板形钢板桩打成闭合格形,格内填充砂石从而形成整体的结构形式,如图 1-4 所示。该结构对垂直荷载的适应性强,施工速度快,适用于恶劣的海洋环境和地质条件。

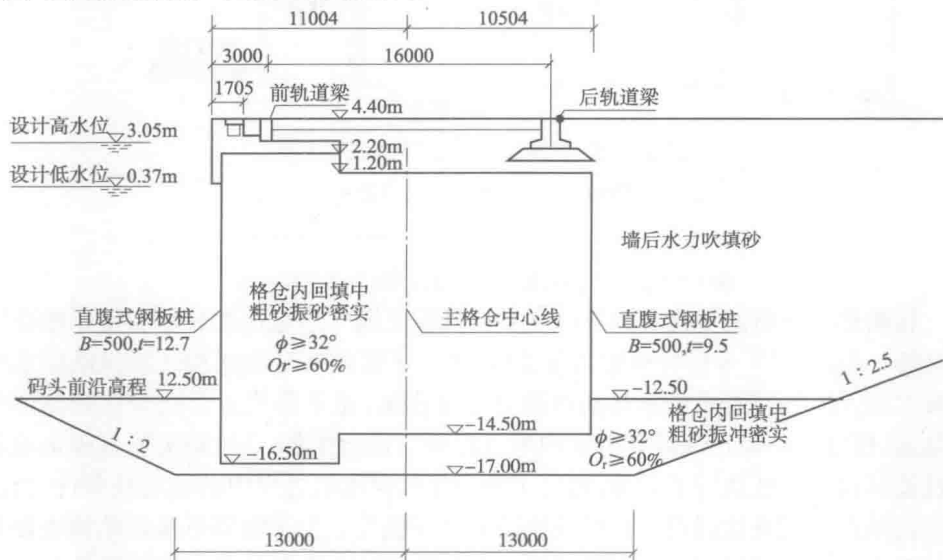


图 1-4 格形钢板桩码头结构断面图(尺寸单位:mm)

毛恺主编的《格形钢板桩结构设计施工手册》^[51]陈述了格形钢板桩结构的特点及破坏模式,总结了国际上对该结构的设计、计算和施工方法,并结合工程实践对各种方法进行了对比分析。

饶锡保等分别采用离心模型试验^[52]及有限元数值分析方法^[53]对格形钢板桩结构的侧向变形进行了研究,建立了计算该结构侧向变形的影响系数法。在有限元分析中引入“格体单元”,研究了格形结构侧向变形的影响因素及它们之间的定量关系,并在此基础上建立了格形钢板桩结构的简化分析方法。

刘祚秋等^[54]对格形钢板桩结构进行受力及变形分析,研究了不同水平荷载作用下土压力的分布,并将计算得到的土压力大小与静止土压力、朗肯主/被动土压力进行比较,在此基础上,提出了格内填料土压力的简化计算方法。

伍晓峰^[55]针对格形钢板桩结构抗倾覆稳定性分析提出了修正分离法,假定结构内部填料自身重量不直接参与抗倾,而是通过对格壁产生侧向土压力和摩擦力来体现抗倾作用,并对传统的 TVA 分离法进行了修正,与其他方法进行了比较,验证了修正分离法的合理性。

1.2.5 遮帘式板桩码头

遮帘式板桩码头(图 1-5)通过传统板桩码头地连墙和锚碇墙之间增设一排或几排钢筋混凝土灌注桩(遮帘桩)而成。遮帘桩的作用是承担一部分土压力,从而减小前墙受力,增强码头结构稳定性。遮帘桩的存在,使整个码头结构的工作机理变得十分复杂。

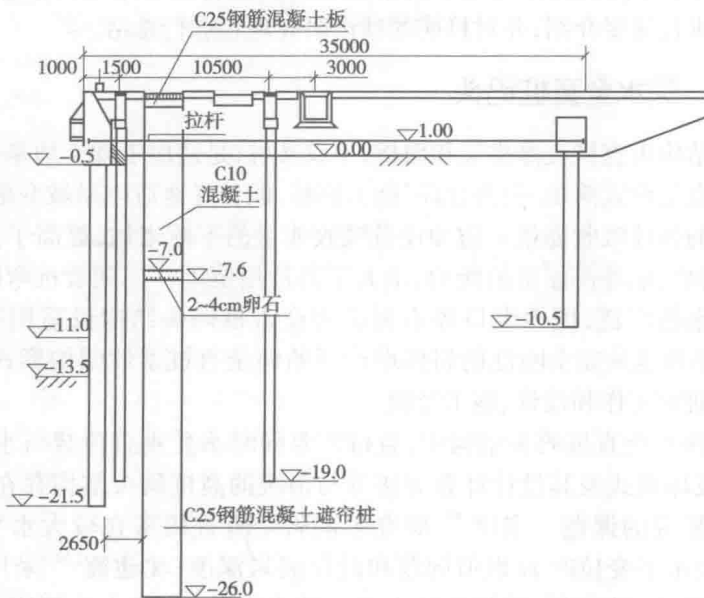


图 1-5 遮帘式板桩码头结构断面图(尺寸单位:mm)

崔冠辰等^[56]以数值模拟为手段,研究了遮帘桩与前墙的距离及遮帘桩刚度对码头稳定性的影响。结果表明:前墙内力受墙桩距离影响很大,墙桩距离增大会削弱遮帘桩的挡土作用,而遮帘桩刚度越大,越能有效阻止土体变形,挡土效果越好。