

海上大直径钻孔 灌注桩技术

◎ 顾元威 著



地质出版社

内 容 提 要

本书系统地阐述了海上大直径钻孔灌注桩施工技术及其配套设施的设计方法和施工方法,介绍了作者近年来在海上大直径钻孔灌注桩施工技术方面取得的部分研究成果。重点介绍海上钢平台的设计和施工、钢护筒的设计与施工、泥浆循环系统的布设、正反循环成孔工艺技术、水下砼灌注技术、海上施工安全管理等。

本书理论联系实际,所介绍的方法经过实践检验,技术成熟,可供从事海洋基础工程、桥梁基础工程、港口码头、陆地基础工程等方面的设计、施工和科研人员参考,亦可供大专院校有关专业师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

海上大直径钻孔灌注桩技术/顾元威著. —北京:地质出版社, 2004. 7

ISBN 7-116-04172-9

I. 海… II. 顾… III. 海上油气田—海上钻进—
钻孔灌注桩—施工技术 IV. TE52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 070205 号

责任编辑:陈 磊 李源明

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部); (010) 82324565 (编辑部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京长宁印刷有限公司

开 本:787mm × 1092mm¹/16

印 张:6

字 数:180 千字

印 数:1—600 册

版 次:2004 年 7 月北京第一版·第一次印刷

定 价:18.00 元

ISBN 7-116-04172-9/P·2500

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

前 言

本书根据笔者多年从事探矿工程、岩土钻掘工程、土木建筑工程生产技术和管理工作实践经验,紧密结合和适应国家经济建设、桥梁港口码头建设、海洋结构物基础工程和海洋开发等方面需要,针对海上基础工程施工中存在的现实问题,运用钻探工程学、道路桥梁工程、土木建筑工程、海洋地质学、土力学、海洋动力学、安全管理学和现代测试技术等学科的学科理论和基础知识,在以往获得省部级二等、三等科技进步奖的基础上,通过井壁砂层模拟试验和实际工程应用,分别对钢平台、泥浆工程、成孔成桩工程、安全管理工程等方面进行理论分析和研究,对海上大直径钻孔灌注桩技术及其配套设施等提供通用的设计、建造、施工方法,拓宽和发展地质工程领域的服务范围。本书也是作者博士论文的主要内容,其中有些成果已依国家级工法《海滨钻孔桩施工用钢平台建造工法》(YJGF08—96)在全国推广应用。

本书第一、二、三章分别介绍海上大直径钻孔灌注桩国内外现状与发展、施工海况分析和海床地基承载力分析等基本知识;第四章介绍海上大直径钻孔灌注桩施工特点;第五章重点介绍钻孔桩用钢平台的设计步骤与原则、建造方法;第六章分析了钢护筒失稳形态,从护筒的使用条件出发,并根据护筒的海况载荷和地基承载力的耦合作用,考虑抗渗稳定与管涌,优化设计钢护筒埋设最佳值,并介绍其施工方法;第七章介绍井壁砂层模拟试验和砂粒失稳形态分析方法,对失稳压差与地层地质性质、泥浆性能参数的关系进行了讨论;第八、九章重点介绍海上大直径钻孔灌注桩施工工艺技术和泥浆循环系统的设计方法和泥浆维护方法;第十章介绍施工中人身伤害事故的三条基本规律,为从事现场生产安全管理提供理论依据和方法。

本书在编写过程中,得到我的博士导师鄢泰宁教授悉心指导和帮助,在此表示感谢。

限于作者的水平,内容的取舍和论述还不一定合适。不妥之处,尚请有关专家和读者指教。

作 者

2004年3月8日

于浙江海洋学院

目 录

前 言

1 绪论	(1)
1.1 国内外研究现状及发展趋向	(2)
1.2 国内外本研究领域存在的问题	(4)
2 相关海洋环境分析	(6)
2.1 中国近海的地形	(6)
2.2 风	(7)
2.3 海流	(8)
2.4 潮汐	(10)
2.5 波浪	(11)
2.6 本章小结	(14)
3 海床地基承载力分析	(15)
3.1 桩的轴向载荷	(15)
3.2 桩的水平载荷	(16)
4 海上大直径钻孔灌注桩施工技术特点分析	(22)
4.1 海上钻孔灌注桩施工技术特点	(22)
4.2 现行大直径钻孔灌注桩施工方法对比分析	(23)
4.3 现行海上施工平台的对比分析	(25)
4.4 本章小结	(27)
5 钢平台设计与建造	(29)
5.1 滨海钻孔桩用钢平台设计	(29)
5.2 钢平台结构设计	(31)
5.3 平台荷载设计计算	(32)
5.4 钢平台建造	(35)
5.5 钢平台拆迁	(39)
5.6 工程实例和效益分析	(42)
6 钢护筒的优化设计与埋设工艺	(45)
6.1 概述	(45)
6.2 护筒总体结构设计	(46)
6.3 钢护筒受力分析	(47)
6.4 确定护筒长度流程	(49)
6.5 钢护筒埋设	(50)
6.6 应用实例与效益分析	(50)

7 井壁砂层模拟试验	(54)
7.1 试验目的与准备	(54)
7.2 抗渗体性能测试	(55)
7.3 人工海水配制	(56)
7.4 海水泥浆室内试验	(57)
7.5 孔内砂层模拟试验	(59)
7.6 本章小结	(62)
8 成孔工艺研究与实践	(64)
8.1 成孔设施的布置	(64)
8.2 海水泥浆配比设计与维护	(65)
8.3 钻进工艺设计	(66)
8.4 桩孔坍塌事故的处理	(71)
8.5 生产实践效果及分析	(72)
9 成桩工艺研究与实践	(75)
9.1 砼灌注设计	(75)
9.2 海上水下砼灌注技术	(78)
9.3 海上水下砼灌注质量保证措施与分析	(80)
9.4 工程实例	(81)
10 安全事故分析与管理	(85)
10.1 钻探伤害的日内分布	(85)
10.2 钻探伤害与本专业工龄关系	(85)
10.3 钻探伤害身体部位分布主次分析	(86)
10.4 钻探伤害形式主次分析	(86)
10.5 钻探伤害事故树	(86)
10.6 安全管理	(87)
参考文献	(89)

1 绪 论

海上大直径桩基础施工技术在开发海洋资源以及在当今世界高速发展的桥梁、港口、码头等建设中有着广阔的应用前景，受到工程界和学术界普遍关注，具有实际意义。

海上大直径桩基础施工，首先需要在施工位置设立施工用平台，以便在平台上安装成

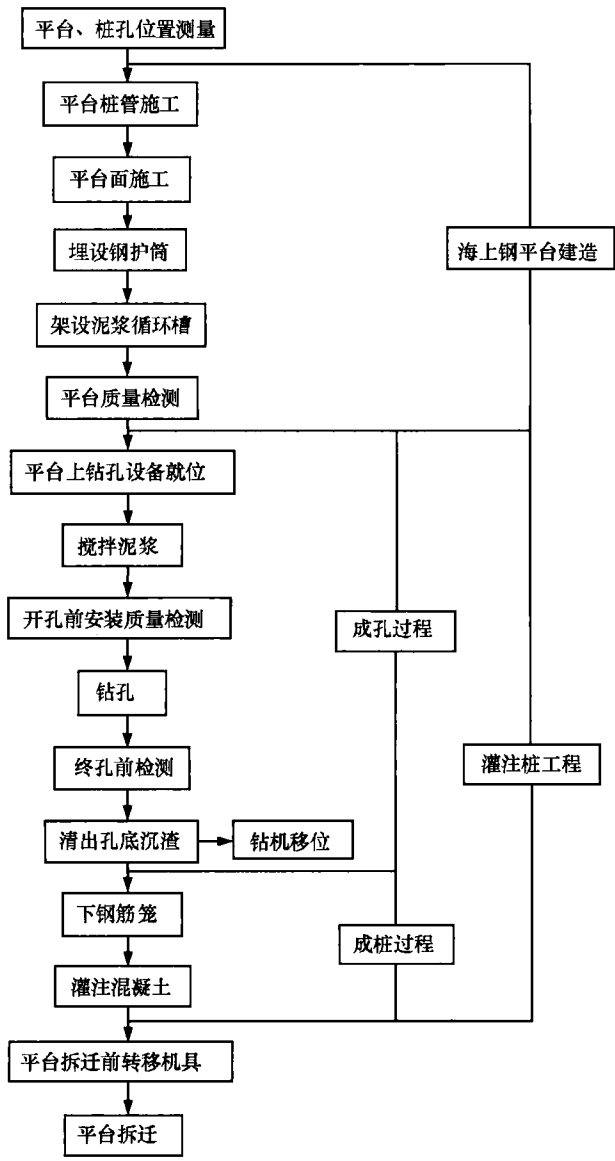


图 1-1 海上大直径钻孔灌注桩施工流程图

孔成桩设备,建立海面上的施工场地;其次在施工孔位处需埋设钢护筒,用以在海床与平台间建立人工井壁,隔离海水;第三为了即时排除钻渣,防止井壁坍塌保护井壁,冷却钻头,泥浆循环是离不开的,泥浆的配制与维护,泥浆循环系统的架设,通称泥浆工程;最后利用成孔机械,在预定位置向海底钻孔,钻孔按设计要求完成后,向孔内下钢筋笼灌注砼成桩,称灌注桩工程。海上大直径钻孔灌注桩施工流程见图 1-1。

1.1 国内外研究现状及发展趋向

1.1.1 国外研究现状和发展趋向

1.1.1.1 海上钢平台

世界上第一座固定式平台始建于 1887 年,它安装在美国加利福尼亚海岸近海的油田上,实际上是一座木结构的栈桥,这种木结构平台一直延续了 60 多年。1947 年世界上第一座钢管架型平台在美国诞生,目前海上固定式平台开始向大型化、多样化及深水区域发展。世界海上油田的开发愈来愈多地采用浮式生产储运系统(FPSO)装置。世界第一个顺应式平台,作业水深 500 m,该导管架为四桩腿结构,12 根裙桩($\phi 1.2$ m)打入海底 130 m,它被称为世界上最大的导管架结构,重量达 20200 t。用于开发 URSA 油田的张力腿平台,作业水深 1200 m,结构重 28600 t,甲板组块重达 22400 t,它是当今世界上作业水深最大的固定型钻井采油平台,也是最大的张力腿式平台。独柱式平台(SP)及超大型浮式海洋结构物(VLFS)的研究也都有突破。

1.1.1.2 泥浆工程

国外泥浆技术的发展大致经历了以下几个阶段:

20 世纪 20~60 年代,以分散型水基泥浆为主要类型的阶段。在这期间,经历了从细分散体系向粗分散体系的转变,同时也出现了早期使用的油基泥浆和气体型钻井流体。70 年代以后,以聚合物不分散泥浆为主要类型的阶段。聚合物泥浆是国外水基泥浆发展最迅速的一类,如部分水解聚丙烯酰胺体系、氯化钾聚合物泥浆体系、羟乙基纤维素体系、醋酸钾水解聚丙烯酰胺体系、磷酸钾盐非离子型聚合物体系、聚丙烯与聚乙二醇共聚物(COP/PPG)体系、阳离子聚合物体系。它们的出现标志着泥浆工艺技术进入了科学的发展阶段。90 年代以来,随着阳离子聚合物泥浆和正电胶钻井液的广泛应用,以及其他各种新型泥浆的出现,泥浆技术进入了一个更新的发展阶段。自 20 世纪 90 年代以来,随着对环保要求越来越高,油基泥浆的使用受到了很大限制。为了彻底解决油基泥浆对环境的污染问题而保留其优良特性,美国、英国、挪威等国石油公司进行合成基钻井液的研究开发工作并获得成功。

废泥浆是一种复杂多相分散体系,组成极其复杂,因此后续的治理工作比较困难。在废泥浆处理领域,美国及欧洲一些国家采用了化学固化技术。

1.1.1.3 灌注桩工程

目前反循环施工法、全套管施工法和钻斗施工法是大直径灌注桩的三种主要施工方法。

(1) 反循环法始于矿山施工竖井,20 世纪 50 年代末期用于基桩孔施工。其优点有利

于大直径灌注桩施工,效率高,井深可达 200 m。钻孔直径可达 1.5 ~ 3 m 以至 4 ~ 6 m,通过转盘或动力头进行回转钻进。用泵吸法、气举法或射流泵法实行反循环。

(2) 利用液压全套管钻机施工的钻孔灌注桩称为贝诺特桩,这种成桩工艺是目前世界上大直径钻孔灌注桩施工方法中先进的一种。贝诺特钻机于 50 年代初期出现于法国,日本于 50 年代中期引进该项技术,并于 60 年代初对其进行技术改造,到 80 年代才形成目前通用的 MT 型贝诺特钻机。

(3) 钻斗法也称为土钻,日本自 1960 年从美国引进卡尔威尔德 150A 型钻机,开始在国内进行钻斗法施工,现在成熟的钻机有 KH100-2ED、KH125-2ED 和 DH350ED 等,其钻孔直径 2 m,钻孔深度可达 43 m。

近年来,随着现代工程建设、交通、水电等事业的发展,工程钻探技术相应迅速发展。世界工业先进国家用于各项工程钻探的工作量日增,其重要性愈益引起工程界与有关科研设计部门的注意。

如果说早期工程钻技术是借鉴或沿用了岩心钻探、水井钻探或石油钻探的设备和工艺,那么现在包括地表、地下和水上施工的各项工程基础施工,所用设备和工艺愈益趋向于多样化与专用化,并且形成了钻探技术一大分支。

1.1.2 国内研究现状和发展趋向

1.1.2.1 海上钢平台

我国依靠自己的技术力量,曾于 1966 年在渤海成功地安装了第一个导管架式平台,与欧洲北海安装的第一个导管架平台相比,从时间上讲几乎是同时起步。1979 ~ 1999 年是我国海洋石油对外合作高速高效发展阶段,随后我国的海洋平台也进入高速发展阶段。在世界上第一次采用了低桩沉箱式新型平台、两腿三桩式简易平台、新型桶形基础的系泊平台和锥体结构导管架平台。我国在海上钢平台设计与建造方面已进入世界先进行列,其用途主要为海上石油、天然气勘探开发服务。

1.1.2.2 泥浆工程

我国泥浆工艺技术的发展规律与国际上该技术的发展规律基本相似。最初我国主要使用以钠基为基础的细分散泥浆。自 20 世纪 60 年代初开始,我国逐渐广泛应用了钙处理泥浆及盐水泥浆。70 年代初,我国成功的发展了低固相铁铬盐混油(或盐水)泥浆、褐煤氯化钙泥浆、褐煤石膏泥浆以及低固相弱酸性饱和盐水泥浆等,并且高分子有机处理剂也广泛用于泥浆中。从 70 年代中期至 80 年代中期,我国泥浆技术有了很大的发展。在此期间,低固相不分散聚合物泥浆技术在我国得到全面推广。研制成功了油包水乳化加重泥浆,泥浆处理剂、原材料品种迅速增加,质量不断提高。

自 90 年代以后,我国泥浆工艺技术取得了长足进步,从而大大缩短了我国与国际先进水平的差距。研制出两性离子聚合物泥浆和阳离子聚合物泥浆等新体系、发展了泡沫和充气泥浆技术、研制出聚磺泥浆体系。发展了混合金属层状氢氧化物泥浆技术,这类泥浆具有独特的流变特性以及强抑制性、防漏、减少油气层损害程度、有利于提高钻速等性能。总的看来,与国外相比,虽然我国泥浆技术起步相对较晚,但由于发展速度较快,特别是进入 80 年代以来,随着我国聚合物泥浆技术、深井泥浆技术和保护油气层技术等不断发展,以及泥浆处理剂不断系统化、标准化,使我国的泥浆工艺技术与国际先进水平的

差距不断缩小。

但与国外相比,我们的基础理论研究还比较薄弱,仪器设备与国际先进水平相比差距较大。环境保护方面的研究工作尚处初级阶段,应积极进行无毒原材料处理剂和泥浆、完井液的研究,加速解决废弃泥浆固液分离问题,并发展固化等新技术。

1.1.2.3 灌注桩工程

钻孔灌注桩首先在我国桥梁基础建设中发展起来的,1964年河南省在公路桥梁工程中成功地采用“人工推磨”实现了 $\phi 60 \sim \phi 100$ cm 钻孔灌注桩的施工。1966年起一些单位开始进行机械钻孔的研究,并进行了 $\phi 60 \sim \phi 100$ cm 冲击钻孔灌注桩和冲抓锥钻孔灌注桩的施工。1968年开始进行 $\phi 60 \sim \phi 150$ cm 回转钻进钻孔灌注桩和泵吸反循环钻进钻孔灌注桩的试验。1977年在大桥钢围堰中冲孔嵌岩桩直径达250 cm。1983年铁道部大桥局武汉桥机厂制造的BDM-4型气举反循环钻机,在黄河上完成了 $\phi 220$ cm、孔深70 m的摩擦桩,接着在广东肇庆大桥完成 $\phi 250$ cm的嵌岩桩施工。1986年广东九江大桥工程中使用BDM-4型钻机反循环楔齿滚刀钻头和球齿牙轮钻头及p. H. p不分散低固相泥浆完成 $\phi 300/\phi 250/\phi 200$ cm 嵌岩桩施工,桩长达72 m,基岩强度达140 MPa。1992年湘潭二桥采用分级扩孔的方法,完成了 $\phi 500/\phi 350$ cm 大直径钻孔灌注桩施工。

海上大口径钻孔灌注桩,是在陆地江河大桥基础桩施工的基础上发展起来的,我国20世纪80年代末90年代初才把大直径冲击钻和大直径反循环钻引用到近海桥梁基础施工中。

总体上说,我国的桩基工程已形成多种桩型系列,基础工程施工技术和装备向着多样化、系列化、大型化、小型化、液压化、注重环保等方面发展,施工技术工艺和机械装备在某些方面已达到国际先进水平,但某些环节仍然比较落后,如液压系统不够稳定,环境保护适应性、自动化、信息化在基础工程领域的应用刚刚起步等。

1.2 国内外本研究领域存在的问题

1.2.1 海上施工钢平台

海上工程施工,必须借助于特殊设施——海上平台来完成。在平台方面,我国自20世纪80年代开始就自行设计建造了各种的钢结构平台,如自升式平台、半潜式平台、座底式平台及步行式平台等。对海洋张力腿式平台(TLP)、独柱式平台(SP)、浮式生产储运系统(FPSO)及超大型浮式海洋结构物(VLFS)的研究也有进展,为海上施工创造了有利条件。但这些平台造价昂贵,作为钻孔桩的临时配套设施并不可用。

1.2.2 海上大口径灌注桩施工配套技术

我国不管是交通公路定额还是海工定额,在海上钻孔施工中,均采用大型泥浆船作为泥浆循环系统的一部分,从而使海上钻孔灌注桩费用成倍增加。研究简易可行的泥浆循环系统,是目前降低成本的主要内容。

1.2.3 泥浆工程

(1) 废泥浆对环境的影响：由于倾入大海中的废钻井液的有害影响波及范围广，几乎所有环保机构都禁止在海上排放废泥浆。废泥浆对环境影响的研究，目前还在不断继续和完善。

(2) 废泥浆化学固化处理：美国、欧洲等国家作了较多的工作。国内对废泥浆的化学固化处理基本上是在 20 世纪 80 年代以后才发展起来的，目前尚处于借鉴国外技术的阶段。

(3) 泥浆配制：进行无毒原材料配制泥浆的研究，加速解决废弃泥浆固液分离问题，发展固化等新技术的研究，一直是本领域的研究课题。

1.2.4 海上成孔成桩工艺

海上成孔成桩工艺也有待于完善和研究。

2 相关海洋环境分析

海上大直径钻孔灌注桩施工, 在施工期间可能遭遇的自然环境条件有: 水深、风、海浪、潮、海、流、冰、地震、海啸、雨、雪、雾、霜、温度、湿度以及海底地层、海水腐蚀、海生物附着等, 按施工设计要求, 环境条件可分为: 工作环境条件和极端环境条件。工作环境条件指施工期间经常出现的环境条件, 工作环境条件的选定应以保证正常施工和作业为标准。极端环境条件指在使用期限内极少出现的恶劣环境条件, 极端环境条件的选定应以保证施工期的安全为标准。

2.1 中国近海的地形

2.1.1 中国海域地形

我国是一个濒临海洋的国家, 有广阔的海区和漫长的海岸线。靠近我国大陆边缘的有渤海、黄海、东海和南海。中国近海海区海底地形参见图 2-1。

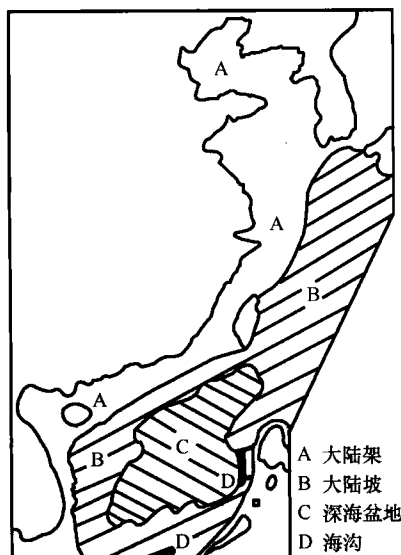


图 2-1 中国近海海区海底地形示意图

(1) 渤海: 渤海深度最浅, 四周的深度在 20 m 以内, 中央部分的深度为 20 ~ 30 m, 最深的地方在老铁山水道约 78 m。属大陆架区。

(2) 黄海: 黄海是深度小于 100 m 的浅海, 属于大陆架区, 东侧较深(50 ~ 80 m), 西侧较浅(20 ~ 50 m); 北黄海较浅(50 ~ 60 m), 南黄海较深。长江口以北的江苏海面, 近岸区沙滩很多, 水深大部分不到 20 m。

(3) 东海: 东海约有三分之二的海区属于大陆架区, 只有东部一小条狭窄地带为大陆坡区。东海的深度有一半左右是 100 m 以内的浅海, 东部水深较大, 最大深度为 2700 m 左右。

(4) 南海: 南海深度最大, 台湾、海南岛以及靠近大陆附近的深度在 200 m 以内, 属于大陆架区。在东海的东南侧为阶梯状大陆坡的海底平原上, 分布着一个呈北东-南西向的菱形深海盆地, 深海盆地的中央, 平均深度约 3000 m, 最大深度 5420 m。加里曼丹、马来

半岛一侧具有宽广的大陆架, 深度在 60 ~ 80 m 之间, 其余海区均超过 200 m。

2.1.2 中国近海沉积物分布特点

中国近海沉积物的分布特点, 是以陆源物质为主。这些陆源碎屑是河流搬运, 岛屿、

海岸、海底剥蚀等综合作用的结果,其中主要靠河流输入。

(1) 渤海:渤海沉积物大部分是粒度较细的软泥和沙质泥。它的分布特点是近岸地区粒度较细,海区中央粒度较粗。在辽东湾、渤海湾和莱州湾海区分布着粒度较细的粉沙质粘土软泥和粘土质软泥。渤海中央分布着细粉沙、粗粉沙和细沙等粒度较粗的沉积物。渤海的西北部,从辽东湾到渤海湾的岸边,分布着一条沙质沉积带。辽东半岛南端的外围,分布着沙质沉积物。渤海海峡北面,沉积物较粗,除了有细沙、粗沙外,还分布有砾和破碎的贝壳等,南面的沉积物则以粉沙为主。长兴岛周围海区的沉积物比较复杂,分布着各种粒度的砾石。

(2) 黄海:黄海沉积物的性质与渤海相似,大都是陆源物质。大陆径流输入的泥沙和悬浮物质,成为黄海海底沉积物的主要来源。黄海东部近岸海区,分布着广阔的细沙和粗粉沙。西部以细粒的沉积物占优势,多淤泥和粘土质沉积物,沉积物颗粒从岸向外海由粗逐渐变细。黄海中部为粘土质软泥。黄海东西两侧的沉积物分布类型不同,东侧粒度较粗,西侧较细。

(3) 东海:东海软泥沉积物很少,沙质沉积物占主要地位。如果以 50 m 等深线为界,分成东西两部分,则西部为粉沙,粘土软泥及粉沙质粘土软泥,东部为沙质沉积物。琉球群岛附近的沉积物为沙、石砾、珊瑚和石枝藻等。钱塘江和长江的交汇区主要为粉沙和粉沙质粘土软泥。舟山以南浙江沿海沉积物的分布,呈与海岸平行的窄长带状。近岸岛屿间为粉沙质粘土软泥;向外水深在 20 ~ 50 m 之间,沉积物为粘土质软泥;水深 50 ~ 60 m 处,为粉沙和细沙;台湾海峡西岸近福建沿岸为粉沙及粉沙质粘土;东岸至台湾岛的西岸广大海域,沉积物细沙占优势,并偶有粗沙出现。沿浙、闽的沿岸,分布着粘土质软泥,通过台湾海峡一直延伸到广东东部沿海到海南岛附近。东海外缘含有许多贝壳的沙质沉积物,也通过台湾海峡与南海北部的沙质带相连。

(4) 南海:南海北部大陆架内侧分布着带状的细粒沉积,外侧则为沙质沉积,在沙质带处,是大陆坡上的粉沙质粘土软泥。南海南部大陆架的沉积,为沙和泥质沙,并有砾石、贝壳、珊瑚和石枝藻等。南海东部岛屿附近的沉积物比较复杂,有沙、沙质软泥、岩石、贝壳、珊瑚、石枝藻和抱球虫软泥等。南海大陆坡上的沉积,主要为软泥及粘土质软泥。南海中央盆地的沉积物多为抱球虫软泥,并含有火山灰。

2.2 风

海面风场对海水的运动有至关重要的影响,特别与表面海流的变化、海浪的发展和传播以及风暴水位涨落的程度等,有密切关系。风力的计算,是海上钻探设计中必不可少的条件。此外,为利用良好的天气进行海上作业,以及钻井船的拖航等,也必须了解工作海区的大风规律及特点,并通过分析强风向、常风向,统计大风日数,绘制风玫瑰图等方法,进一步掌握风对作业区的影响。

2.2.1 风载荷

风是空气的流动,风的强弱以风速大小表示,具有一定速度的风受到结构物阻挡时,即对之产生作用力。下面介绍如何确定设计风速及由风速计算风载荷大小的方法。

(1) 风载荷 F 计算式:

$$F = KK_z P_0 A \quad (2-1)$$

式中: K ——风载荷形状系数, 对梁及建筑物侧壁取 1.5, 对圆柱体侧壁取 0.5, 对平台总投影面积取 1.0;

K_z ——海上风压高度变化系数, 见表 2-1, 表中 K_z 值可用内插法确定;

P_0 ——基本风压, Pa, 见 (2-2) 式;

A ——受风面积, 即垂直于风向的轮廓投影面积, m^2 。

表 2-1 海上风压高度变化系数表

海平面以上高度/m	≤2	5	10	15	20	30	60	80
K_z	0.64	0.84	1.00	1.10	1.18	1.29	1.49	1.58

(2) 基本风压:

$$P_0 = \alpha v_t^2 \quad (2-2)$$

式中: α ——风压系数, $\alpha = 0.613 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$;

v_t ——时距为 t 分钟的设计风速, m/s 。

(3) 设计风速 v_t :

a 设计风速的选取标准是: 平均海平面以上 10 m 处, 重现期为 50 年, 时距为 1 min 的平均最大风速或时距为 10 min 的平均最大风速。

b 时距为 1 min 的设计风速 v_1 (m/s) 用于局部构件基本风压的计算, 时距为 10 min 的设计风速 v_{10} (m/s) 用于结构总体基本风压的计算。

c 设计风速 v_1 、 v_{10} 应根据长期实测资料分析后确定。当实测资料不足时, 用陆上风速乘以风速增大系数代替海上风速, 其关系见表 2-2。

表 2-2 风速增大系数表

海面距海岸距离/km	2 以内	2 ~ 30	30 ~ 50	50 ~ 100
海上风速与沿海陆上风速比值	< 1.10	1.10 ~ 1.14	1.14 ~ 1.22	1.22 ~ 1.30

海面距海岸距离 100 km 以外, 根据实测或调查资料确定。

2.2.2 我国各海区风速建议值

以海面上 10 m 左右高程、50 年一遇, 10 min 平均最大风速值和 1 min 平均最大风速值, 分别作为一般条件下的设计风速建议值和极端条件下的设计风速建议值见图 2-2。

2.3 海流

海流泛指海水具有相对稳定速度的流动, 它是海水运动的形式之一。近年来, 在海流的研究方面, 虽已取得较大进展, 但就其计算方面而言, 却十分繁琐, 而且缺乏与实测数

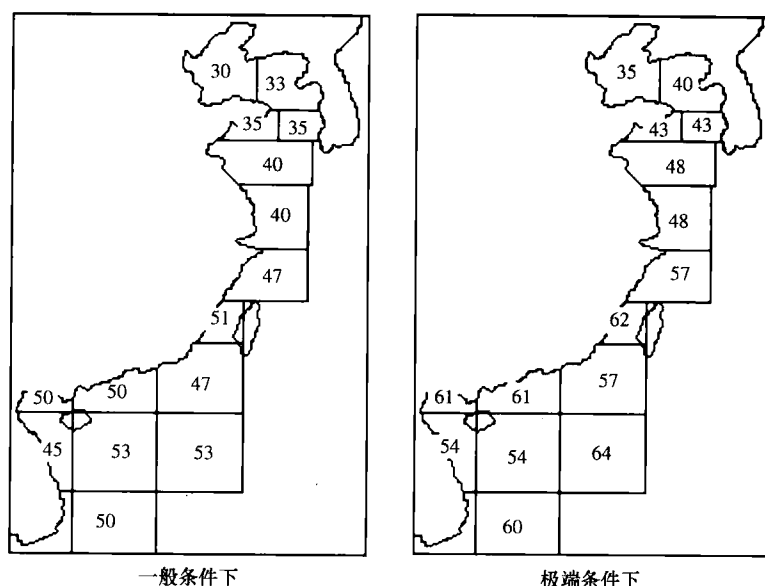


图 2-2 设计风速建议值 (m/s)

据足够的验证。

2.3.1 最大可能海流流速的计算

海流主要指潮流与余流，海流的最大可能流速为两者最大可能值之和。潮流的计算可参见《港口工程技术规范》海港水文篇和载荷篇；余流主要指由风引起的风海流，利用其与风速的近似关系，最大可能余流流速 U_v m/s 可由 (2-3) 式估算：

$$U_v = K_c v \quad (2-3)$$

式中： U_v ——最大可能余流流速，m/s；

v ——10 min 平均最大风速，m/s；

K_c ——系数，一般 $0.024 \leq K_c \leq 0.05$ ，渤海 K_c 采用 0.025；南海 K_c 采用 0.05。

近海余流的流向近似与风向一致。

2.3.2 大洋环流

世界大洋环流是由规律的环流系统所组成。大洋环流系统通常分成表层环流系统和深层环流系统。大洋表层以风生大洋环流为主，大洋深层则以热盐环流为主。在北半球与我国海域有关的大洋环流主要有：

(1) 北赤道流：在北纬 $10^\circ \sim 25^\circ$ 之间，由东向西流动，流速一般在 $0.15 \sim 0.5$ m/s，流幅宽度约 2000 km，厚度约 200 m。

(2) 黑潮：由北赤道流抵亚洲后向北的分支，是著名的暖潮，其表层的最大流速约为 $0.51 \sim 1.02$ m/s，最大流速达 $1.02 \sim 2.57$ m/s，宽约 200 km，厚度约 400 m，其特点为高温、高盐、水色深蓝。

由黑潮主干分出一支在济州岛南面北上进入黄海南部，称为黄海暖流，其流速约

0.10~0.15 m/s。在台湾东北海域分出另一支,沿闽浙外海北上,可达杭州湾外,称为台湾暖流,通常流速为0.26~0.51 m/s。在东海,黑潮流速为1.02~1.54 m/s。

2.3.3 海流流速梯度

海流流速随水深而变化,当实测资料不足时,可照(2-4)式计算:

$$u_{cx} = (u_s)_1 \left(\frac{x}{d} \right)^{1/7} + (u_s)_2 \frac{x}{d} \quad (2-4)$$

式中: u_{cx} ——设计海底泥面以上 x 高度处的海流速度, m/s;

$(u_s)_1$ ——水面的潮流速度, m/s;

$(u_s)_2$ ——风在水面引起的海流速度, m/s;

x ——设计海底泥面以上的垂直距离, m;

d ——水深, m。

2.4 潮汐

海洋潮汐是由天体的引潮力所产生的。潮汐的涨退现象是因时因地而异的,从涨退周期来说,分为四种类型:正规半日潮、全日潮、不正规半日潮和不正规日潮。由于潮差和潮流的作用,将直接影响钢平台的受力和结构尺寸。

2.4.1 我国沿海潮差

(1) 渤海:渤海潮差中部为2 m,近岸约3 m,辽东湾顶部及渤海湾顶部较大,在4 m以上。

(2) 黄海:黄海潮差中央及山东半岛北岸2~3 m,辽东南岸为3~8 m,山东南岸及江苏沿岸在4 m以上。

(3) 东海:东海浙江、福建沿岸为我国潮差最大的地方,大部分地区在7 m以上,其中特别是杭州湾澉浦,最大潮差为8~9 m。

(4) 南海:南海潮差一般比东海要小。南海北岸,从台湾海峡到珠江口一带以及广州湾附近,潮差较大,广州湾附近约3.5 m,而海南岛东岸只有1.8 m。整个南海以北部湾潮差最大,为3~5 m,其顶部潮差可达5~6 m。

2.4.2 我国近海潮流

我国近海潮流情况比较复杂,渤海大部分海区具有不正规半日潮流性质,渤海海峡却为不正规日潮流。黄海东部及朝鲜西岸,多为半日潮流。黄海西部及中国沿岸则以不正规半日潮流为主。山东半岛北端为不正规日潮流。东海及台湾海峡以半日潮流为主。南海潮流很复杂,但总的说来以日潮流为主。

黄海的潮流多为旋转式,流速中央小(约0.5 m/s),近岸大,而东岸又比西岸大。中国沿岸在1 m/s左右,朝鲜沿岸最大可超过1.25~1.5 m/s。东海潮流近岸多为往复式,外海多为旋转式,但长江口附近佘山地区也为旋转式,流速一般也以近岸为大,外海较小。佘山地区流速可达1.0~2.3 m/s,杭州湾北岸东部地区可达2.6~3.1 m/s,东海近

岸地区由于海湾岛屿较多,潮流情况极为复杂。台湾海峡潮流为南北向,北面流速不超过 1.0 m/s,澎湖列岛以南可大于 1.0~1.5 m/s。南海潮流一般不大,广州湾附近 0.75 m/s 左右,海南岛地区最强也不超过 0.5 m/s。

2.5 波浪

2.5.1 波浪参数

(1) 平均波高 ($\bar{H}$):

在一次观测或一系列波高中,所有波高的平均值。

$$\bar{H} = \frac{H_1 + H_2 + \cdots + H_n}{n} \quad (2-5)$$

式中: n ——为波的总个数;

$H_1, H_2, \cdots, H_n$ ——为实测波的波高。

(2) 均方根波高 (H_s): 在一次观测或一系列波高系列中,所有波高平方和的平均值再开方。

$$H_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n H_i^2}{n}} \quad (2-6)$$

(3) 部分大波波高 ($H_{\frac{1}{n}}$): 在一次观测或一系列波高系列中,按大小将所有波高依次排列起来,取出 $\frac{1}{n}$ 最大波高计算平均值,称为该 $\frac{1}{n}$ 部分大波的波高。如对于最高的 $\frac{1}{100} \cdot \frac{1}{10} \cdots \frac{1}{3}$ 等的波,其平均波高分别以符号 $H_{\frac{1}{100}} \cdot H_{\frac{1}{10}} \cdots H_{\frac{1}{3}}$ 等表示。例如 1000 个波高中,取出 $\frac{1}{10}$ 最大波高加以平均,即取 100 个最大波高加以平均,若平均波高得 3 m,记为 $H_{\frac{1}{10}} = 3 \text{ m}$ 。

(4) 各种保证率对应的波高 (H_F): 在一次观测或一系列波高系列中,统计出波高不小于某一波高值 (H) 的百分比 F ,这某一波高值 (H) 就称为保证率 F 对应的波高。例如,已知 100 个波的波高值,欲计算保证率 $F=5\%$ 对应的波高。则此时可把 100 个波按大小顺序排列起来,若发现前 5 个波的波高值等于或大于 2 m,于是保证率 5% 对应的波高为 2 m,并计为 $H_{5\%} = 2 \text{ m}$ 。

(5) 最大波高 $H_{\max}$: 某种条件下出现的最大波高。

(6) 重现期: 频率 P 是海洋水文统计和港工设计中重要指标,通常用重现期来表示。重现期 T 是指某一海洋水文特征数值在多少年内出现一次,即多少年可以一遇。重现期 T 与频率 P 之间的关系是:

$$T = \frac{100}{P} \quad (2-7)$$

(7) 波级表: 对于波浪根据 $\frac{1}{3}$ 或 $\frac{1}{10}$ 的大波波高,大小从 0 到 9 分 10 个等级,见表 2-3。

表 2-3 波级表

波 级	波高范围/m		波浪名称
0	0	0	无浪
1	$H_{\frac{1}{3}} < 0.1$	$H_{\frac{1}{10}} < 0.1$	微浪
2	$0.1 \leq H_{\frac{1}{3}} < 0.5$	$0.1 \leq H_{\frac{1}{10}} < 0.5$	小浪
3	$0.5 \leq H_{\frac{1}{3}} < 1.25$	$0.5 \leq H_{\frac{1}{10}} < 1.5$	轻浪
4	$1.25 \leq H_{\frac{1}{3}} < 2.5$	$1.5 \leq H_{\frac{1}{10}} < 3.0$	中浪
5	$2.5 \leq H_{\frac{1}{3}} < 4.0$	$3.0 \leq H_{\frac{1}{10}} < 5.0$	大浪
6	$4.0 \leq H_{\frac{1}{3}} < 6.0$	$5.0 \leq H_{\frac{1}{10}} < 7.5$	巨浪
7	$6.0 \leq H_{\frac{1}{3}} < 9.0$	$7.5 \leq H_{\frac{1}{10}} < 11.5$	狂浪
8	$9.0 \leq H_{\frac{1}{3}} < 14.0$	$11.5 \leq H_{\frac{1}{10}} < 18.0$	狂涛
9	$H_{\frac{1}{3}} \geq 14.0$	$H_{\frac{1}{10}} \geq 18.0$	怒涛

2.5.2 中国近海的风浪

我国沿岸平均波高 ($H_{\frac{1}{10}}$) 的分布, 一般是北部沿岸小, 南部沿岸大。渤海沿岸约为 0.3 m 至 0.6 m; 渤海海峡、山东半岛南部、苏北、长江口和浙江北部沿岸, 大致为 0.6 m 至 1.2 m; 广东沿岸为 1.0 m 左右; 海南岛和北部湾沿岸约为 0.6 m 至 0.8 m; 西沙群岛为 1.4 m 左右。

就最大波高而言, 冬季在寒潮大风的侵袭下, 一般北方沿岸大于南方沿岸。

冬季, 在寒潮的影响下, 我国沿岸以偏北浪为主, 偏东浪为次。在渤海海峡地区, 冷空气通行无阻, 北向浪很大, 最高波高达 8.0 m 之多; 山东半岛东部成山头一带最大波高达 6.4 m。山东半岛南部沿岸一般大浪较少; 苏北和浙闽沿岸的最大波高一般在 2.9 m 至 4.1 m; 台湾海峡最大波高达 9.5 m, 台湾省沿岸最大波高达 7.5 m 至 15.0 m; 广东沿岸最大波高在 3.3 m 以下; 西沙群岛附近最大波高为 4.4 m; 南沙群岛附近最大波高达 9.5 m。

夏季, 我国沿岸受偏南季风的影响, 尤其是东海和南海沿岸, 台风活动频繁, 波高很大, 南方大于北方。渤海沿岸偏南浪的最大波高一般都在 3.5 m 以下, 渤海海峡东北浪最大波高为 5.7 m; 山东半岛南部南向浪的最大波高有 4.4 m; 苏北沿岸和长江口东东北浪的最大波高为 1.7 m 至 3.2 m; 浙江北部沿岸南向浪最大波高为 3.5 m, 浙江南部至广东云澳一带偏南浪的最大波高一般在 5.9 m 至 8.5 m; 粤东和粤西沿岸最大波高达 15 m; 北部湾北部沿岸的涠洲岛南东南浪最大波高为 4.6 m; 海南岛北部沿岸的玉苞东北浪的最大波高为 7.0 m; 西沙群岛附近的南西南浪最大波高为 10.0 m; 南沙群岛附近的最大波高为 7.5 m。

2.5.3 莫里森 (Morison) 方程

在海上钢平台设计中, 平台桩腿承受强度相当大的波浪力。与波长相比尺度较小的细长柱体 ($D/L < 0.2$) 的波浪力计算, 在工程设计中仍广泛采用莫里森方程。它是以绕流