

海上风电机组地基基础 设计理论与工程应用

王伟 杨敏 编著



中国建筑工业出版社

014033824

TU47
58

海上风电机组地基基础设计 理论与工程应用

王伟杨敏 编著



中国建筑工业出版社



北航

C1721619

10403824

图书在版编目 (CIP) 数据

海上风电机组地基基础设计理论与工程应用/王伟, 杨敏编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 11
ISBN 978-7-112-15905-5

I. ①海… II. ①王…②杨… III. ①风力发电机-发电
机组-海上工程-地基-基础 (工程)-建筑设计 IV. ①TM315
②TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 229499 号

本书以海上风电场风电机组地基基础结构设计与研究为主题, 系统阐述了海上风电机组地基基础结构设计中涉及的主要内容、分析原理、设计体系和技术方法, 包括波浪理论、工程环境与荷载、设计工况与组合、桩基设计与结构布置、模态与动力分析、疲劳分析、冲刷与腐蚀等。详细介绍了我国最先研制开发的海上风电机组地基基础设计软件 FDOW 的架构、相关功能和使用方法。最后给出了大量海上风电机组地基基础设计的案例对比分析和工程实例。

本书可供从事海上风电领域以及地基基础工程、结构工程和近海工程等相关领域的技术人员、科研人员使用, 也可作为高等院校、科研院所相关专业本科高年级学生、研究生的参考书。

责任编辑: 咸大庆 王 梅 辛海丽
责任设计: 李志立
责任校对: 张 颖 刘 钰

海上风电机组地基基础设计理论与工程应用

王 伟 杨 敏 编著

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版
北京画中画印刷有限公司印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 46½ 字数: 1160 千字
2014 年 1 月第一版 2014 年 1 月第一次印刷

定价: 128.00 元

ISBN 978-7-112-15905-5
(24674)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

风能是一种重要的可再生能源,是碳减排的有效途径之一,是抵御气候变化的卫士,在减缓全球气候变化、确保能源安全等方面发挥着重要作用。根据我国可再生能源发展“十二五”规划,到2015年,累计并网风电装机达到1亿kW,年发电量超过1900亿kW·h,其中海上风电装机达到500万kW,基本形成完整的、具有国际竞争力的风电装备制造产业。到2020年,累计并网风电装机达到2亿kW,年发电量超过3900亿kW·h,其中海上风电装机达到3000万kW,风电成为电力系统的重要电源。

中国海岸线长约18000km,岛屿6000多个。近海风能资源主要集中在东南沿海及其附近岛屿,有效风能密度在 $300\text{W}/\text{m}^2$ 以上。5~25m水深、50m高度海上风电开发潜力约2亿kW;5~50m水深、70m高度海上风电开发潜力约5亿kW。截止到2011年底,上海、江苏、山东、河北、浙江、广东海上风电规划已经完成;辽宁、福建、广西、海南等省(自治区)的海上风电规划正在完善和制定。已完成的规划中,初步确定了43GW的海上风能资源开发潜力,目前已有38个、共16.5GW的项目在开展各项前期工作。

欧盟是海上风电技术领先的地区,占世界海上风电装机容量的90%,并已掌握较为成熟完善的海上风电设计、建设成套技术。目前我国已经建成上海东海大桥一期海上风电场(34台3MW机组)和江苏如东150MW海上风电场示范工程。我国海上风电发展虽有所进展,但与欧洲相比仍处于开发的初级阶段。

与我国海上风电发展的迫切需求相矛盾的是海上风电技术尚处于摸索阶段,其中包括尚无配套成熟的海上风电机组地基基础设计技术。虽然我国在2007年颁布了《风电机组地基基础设计规定》FD 003—2007工程技术标准,但该标准仅适用于陆上风电机组的基础设计。若在我国海上风电机组地基基础设计中盲目套用国外规范、标准或软件,但在海洋水文观测资料成果提交形式、岩土工程勘察报告提供的参数、工程材质标准方面与国外迥异,从而无法控制合理的工程可靠度,也不符合我国工程设计人员的习惯。因此,参照国际上海上风电机组基础设计经验,结合我国相关领域的设计方法与规定,形成我国特色的海上风机基础设计技术尤显重要。

同时应该看到,海上风电机组基础设计涉及由空气动力学和控制理论确定的风机载荷工况与荷载分布、海洋工程、港口工程、结构工程和地基基础工程等多个学科领域的交叉,在海上风电机组基础结构设计技术的形成中必须做到对各学科领域与分析体系的系统掌握,方能做到统筹兼顾,进而使计算分析方法合理。

本书共分为3篇。第一篇为设计体系和技术原理与方法,共包含14章,主要介绍海上风电机组地基基础设计所包含的各项内容和设计体系,同时给出对应的技术原理和实现方法;第二篇为海上风电机组地基基础设计软件,共包含7章,详细介绍与第一篇所述技术原理与方法配套的海上风电机组地基基础设计软件FDOW的界面布局、功能特性、使用方法与设计计算流程;第三篇为海上风电机组基础设计应用实例,共包含7章,以工程

实例的形式展现海上风电机组基础结构设计的各项主要内容，最后给出了我国东海和渤海代表性风电机组基础结构的全套设计过程示例。

在海上风电机组地基基础相关的课题研究中曾与中国水电顾问集团西北勘测设计研究院的胡永柱、刘蔚等教授级高工进行了有益的讨论与交流。在本书的编写过程中，王国粹、靳军伟、杨军、王其标、杨德韶、郭健、薛九天、李德宁、梅毕祥、黄炬、刘侃、刘瑶、彭才智、张志刚、刘澄赤等博士、硕士和研究生参加了本书部分整理工作。在此一并向他们表示衷心的感谢。

本书的主要内容是作者与同事多年科学研究、工程咨询、软件研发和工程实践经验与成果的总结，同时也参考了大量国内外学者的著作和国内外相关规范与标准。希望本书的出版对从事海上风电机组地基基础与结构研究和设计的高等院校师生、工程设计人员及其他相关从业人员有所裨益。

海上风电机组地基基础设计领域的相关技术尚处于探索阶段，加上作者水平有限，本书虽经多次修改和一再校阅，不妥和疏漏之处在所难免，祈请读者批评指正，已便再版时订正。

关于海上风电机组地基基础领域相关问题的讨论和交流可通过以下电子邮箱地址联系：tjqmx@163.com 或 waye_wang@163.com

目 录

第一篇 设计体系和技术原理与方法

第一章 海上风电机组基础设计总述	3
第一节 海上风电场与发展现状	3
第二节 设计等级与分类标准	12
第三节 海上风电机组基础设计主要内容	18
第四节 海上风电机组基础设计报告编制内容	25
第五节 国内海上风电机组基础设计存在的相关问题与讨论	35
参考文献	39
第二章 海上风电机组基础形式	41
第一节 重力式基础	42
第二节 单桩基础	44
第三节 三角架基础	48
第四节 导管架基础	50
第五节 桩基-混凝土承台基础	52
第六节 桩基-钢承台基础	54
第七节 吸力筒基础	55
第八节 悬浮式基础	57
参考文献	60
第三章 海洋工程环境与中国近海环境特点	62
第一节 海风	62
第二节 海水	69
第三节 潮汐	73
第四节 海浪	80
第五节 海流	90
第六节 海冰	94
第七节 泥沙	101
参考文献	103
第四章 波浪理论	105
第一节 微幅线性波 (Airy 波)	105
第二节 有限振幅波 (Stokes5 阶波)	109
第三节 非线性波 (流函数理论)	114
第四节 破碎波	120

第五节 波浪浅水变形·····	123
第六节 波浪在水流作用下的变形·····	126
第七节 波浪理论适用范围·····	129
参考文献·····	132
第五章 风机荷载与环境荷载·····	134
第一节 风电机组荷载·····	134
第二节 海流力·····	142
第三节 小直径柱体波浪力·····	145
第四节 小直径柱体破波力·····	154
第五节 大直径墩柱波浪力·····	157
第六节 冰荷载·····	169
第七节 基础风荷载·····	174
第八节 地震作用·····	179
第九节 检修船舶荷载·····	185
第十节 其他荷载·····	188
参考文献·····	192
第六章 设计工况与荷载效应组合·····	194
第一节 设计环境要素·····	194
第二节 设计工况·····	206
第三节 荷载组合·····	214
第四节 分项系数与组合系数·····	218
参考文献·····	224
第七章 桩基设计与分析·····	225
第一节 桩基设计原则与规定·····	225
第二节 桩基承载力·····	234
第三节 特殊条件下桩基竖向承载力验算·····	247
第四节 桩基沉降·····	250
第五节 水平受荷桩分析·····	263
第六节 斜桩承台·····	282
参考文献·····	285
第八章 基础结构布置与有限元分析·····	287
第一节 结构布置原则与计算规定·····	287
第二节 有限单元法原理与分析步骤·····	293
第三节 杆梁单元·····	298
第四节 厚薄板通用有限单元·····	309
第五节 平面应力单元·····	316
参考文献·····	320
第九章 基础结构极限状态分析与计算·····	322
第一节 极限状态分析·····	322

第二节 基础结构强度与稳定性计算	332
第三节 结构特殊节点的计算	342
第四节 桩身结构计算	349
第五节 承台结构计算	359
参考文献	364
第十章 风机结构模态分析与计算	366
第一节 结构共振与模态分析	366
第二节 模态计算分析原理	376
第三节 特征值问题的求解方法	381
参考文献	386
第十一章 结构动力计算与疲劳分析	388
第一节 有限元与动力响应计算	388
第二节 随机波浪与谱分析	400
第三节 随机波浪下线性系统分析	405
第四节 基础结构疲劳设计分析	412
第五节 风波组合下基础结构疲劳分析	430
参考文献	434
第十二章 灌浆连接节点设计与计算	436
第一节 灌浆连接设计	436
第二节 灌浆节点强度计算	444
第三节 灌浆节点疲劳分析	448
参考文献	452
第十三章 基础冲刷与防护	454
第一节 基础冲刷机理分析	455
第二节 基础冲刷效应计算	467
第三节 基础防冲刷措施与分析	481
参考文献	486
第十四章 结构腐蚀与防腐蚀设计	488
第一节 海洋腐蚀环境分析	488
第二节 海洋混凝土结构腐蚀与防护机理	495
第三节 海洋钢结构腐蚀与防护机理	501
第四节 钢筋混凝土结构防腐蚀设计	510
第五节 钢结构防腐蚀设计	517
参考文献	526

第二篇 海上风电机组地基基础设计软件

第十五章 FDOW 软件简介与操作界面	531
第一节 FDOW 软件简介	531

第二节 软件应用的总体说明	535
第三节 软件操作界面	539
参考文献	547
第十六章 风机与地质环境资料输入	549
第一节 风电机组资料输入	549
第二节 地质资料输入	553
第三节 环境资料输入	559
第十七章 基础结构三维建模与属性设置	565
第一节 通用输入项	565
第二节 单桩基础	568
第三节 三脚架(多脚架)基础	571
第四节 导管架基础	574
第五节 高桩承台基础	578
第六节 桩基承台基础	580
第十八章 参数配置和软件计算	583
第一节 计算参数与方法配置	583
第二节 计算项目与启动方法	589
第十九章 软件后处理与计算结果	594
第一节 后处理通用功能	594
第二节 承载力与位移结果	596
第三节 强度与稳定性验算	599
第四节 裂缝与剪切变形	604
第五节 模态与疲劳分析结果	606
第二十章 基础附属项目设计	609
第一节 灌浆连接设计	609
第二节 防冲刷设计	611
第三节 防腐蚀设计	613
第四节 靠船防撞设计	616
第五节 工程量统计	620
第二十一章 设计成果输出	623
第一节 生成设计方案图纸	623
第二节 生成设计计算书	625
第三篇 海上风电机组基础设计应用实例	
第二十二章 多风机荷载工况共同计算实例	631
第一节 风机荷载工况分析	631
第二节 多工况共同计算实例	632
第二十三章 波浪理论与基础布置对波浪荷载影响的实例分析	637

第一节 波浪理论对波浪荷载影响的实例分析·····	637
第二节 基础结构破波力实例对比分析·····	643
第三节 基础布置对波浪荷载影响实例分析·····	646
参考文献·····	648
第二十四章 关于荷载组合模式的实例对比分析·····	649
第一节 工程案例·····	649
第二节 波流荷载叠加模式分析·····	650
第三节 波浪荷载组合模式分析·····	653
第四节 海冰荷载组合模式分析·····	656
第二十五章 桩基承载力计算实例·····	659
第一节 工程地质与桩基设计参数·····	659
第二节 单桩水平承载力·····	661
第三节 单桩竖向承载力·····	663
第四节 单桩抗拔承载力·····	664
第二十六章 基础防撞防护结构设计实例·····	666
第一节 防撞防护结构设计方案·····	666
第二节 防撞防护结构计算参数·····	668
第三节 防撞防护结构计算·····	670
第二十七章 东海某 3MW 风机三脚架基础设计范例·····	674
第一节 工程概况·····	674
第二节 基础结构设计方案·····	677
第三节 设计参数的软件输入·····	678
第四节 基础结构设计计算·····	685
第五节 辅助项设计与计算·····	695
第六节 方案图纸与计算书·····	700
参考文献·····	703
第二十八章 渤海某 5MW 风机高桩承台基础设计范例·····	704
第一节 工程概况·····	704
第二节 基础结构设计方案·····	707
第三节 设计参数的软件输入·····	708
第四节 基础结构设计计算·····	715
第五节 辅助项设计与计算·····	725
第六节 方案图纸与计算书·····	731

第一篇

设计体系和技术原理与方法

第一章 海上风电机组基础设计总述

第一节 海上风电场与发展现状

风能是一种清洁能源,是可再生能源的重要组成部分。我国为实现 2015 年和 2020 年非化石能源分别占一次能源消费比重 11.4% 和 15% 的目标,加快能源结构调整,培育和打造战略性新兴产业,推进可再生能源产业持续健康发展,按照《可再生能源法》的要求,根据《国民经济和社会发展规划第十二个五年规划纲要》、《国家能源发展“十二五”规划》,制订了《可再生能源发展“十二五”规划》。《规划》预期到 2015 年,累计并网风电装机达到 1 亿 kW,年发电量超过 1900 亿 kW·h,其中海上风电装机达到 500 万 kW,基本形成完整的、具有国际竞争力的风电装备制造产业。到 2020 年,累计并网风电装机达到 2 亿 kW,年发电量超过 3900 亿 kW·h,其中海上风电装机达到 3000 万 kW,风电成为电力系统的重要电源。

根据《2012 年中国风电发展报告》^[1],2011 年中国大陆(不含港、澳、台)全年新增风电装机容量 17.63GW,中国大陆风电市场在历经多年的快速增长后正步入稳健发展期。全国累计装机容量 62.36GW,继续保持全球风电装机容量第一的地位。至 2011 年年底,中国有 30 个省、市、自治区(不含港、澳、台)有了自己的风电场,风电累计装机超过 1GW 的省份超过 10 个,其中超过 2GW 的省份 9 个。领跑中国风电发展的地区仍是内蒙古自治区,其累计装机 17.59GW,紧随其后的是河北、甘肃和辽宁,累计装机容量都超过 5GW。

当前阶段我国开发的风电场绝大部分为陆上风电场,海上风电场开发尚处于起步阶段。与陆上风能相比,海上风能具有诸多优势,比如同样轮毂高度下的风速更高、低风切变、低湍流、有效发电小时数更长、不占用陆地资源和对人类影响较小等优点。与此同时,海上风电场建设的难度也比陆上风电场更高,涉及的相关工程问题更多。相比陆上风电场而言,海上风电场工程投资中土建工程量所占的比重更高一些,统计资料表明土建工程造价占海上风电场总造价的 15%~25%。随着近几年国内风电机组单价的大幅下降,海上风电工程中土建工程造价所占比重进一步提高。

1. 海岸带与近海

海上风电场涉及电气、机械、自动控制、流体力学、海洋工程、结构工程和地基基础等多个领域的相关分支。不同于陆上风电场,海上风电场与海洋工程的某些分支领域密切相关。在讨论海上风电场之前,首先对海上风电场所处位置的两个海洋工程术语——海岸带和近海进行介绍。

(1) 海岸带

海岸带是连接陆地与海洋的过渡地带，该区域提供便利的海上交通，同时也是社会经济活动较为发达和活跃的地区。海岸带是陆地与海洋相互作用最活跃的地带，它将陆地与海洋分开，又将陆地与海洋连接起来，对它的理解和划分有许多不同的观点。一般将其定义为特大风暴潮增水等使海水作用能抵达的陆地最高处至海底波浪作用能到达的近海海域之间的带状地带，由海岸、海滩和水下岸坡等三部分组成，如图 1-1 所示^[2]。

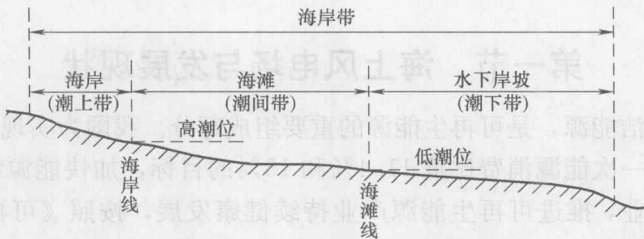


图 1-1 海岸带示意图^[2]

海岸又称潮上带，是指与海洋相邻接触的陆上岸带。海面与陆地接触的交界线就是海岸线。由于海洋动力的作用，海岸轮廓总是处在不断变化之中，海岸线不是固定不变的，它随水面高程、潮位升降、风引起的增减水等海水运动发生移动，垂直方向的海面升降幅度能达到 10m 以上，水平方向的进退有时能达到数十公里。为避免取平均海面时的水陆分界线作为海岸线时会造成海岸线有一半时间被海水淹没，为此，一般取多年平均高潮位的水陆交界线为海岸线。这样，位于平均高潮线以上的海岸在平时的大部分时间都露出海面，不会受到风浪和潮波的作用，只有偶尔遇上特大风暴和特大高潮时才会被淹没^[2]。

海滩又称潮间带，处于潮汐涨落的频繁作用之中，是平均低潮位到平均高潮位之间的地带。

水下岸坡又称潮下带，是波浪作用开始处到平均低潮位之间的海底地带。在工程上波浪作用的下限水深一般取为波浪波长的一半。

(2) 近海

近海通常指大陆架范围以内的区域。大陆架也称为大陆浅滩或陆棚，是大陆边缘浸没在海面下的浅水部分，地理意义上看是大陆在海洋中的自然延伸。从低潮线向海方向延伸直至海底坡度突然变大和水深变深的地方是大陆架的区域范围，也有以 200m 水深作为大陆架的下界，当前阶段尚无公认的界定标准。大陆架的位置如图 1-2 所示，同属于大陆边缘区域的还有大陆坡和大陆隆^[2]。

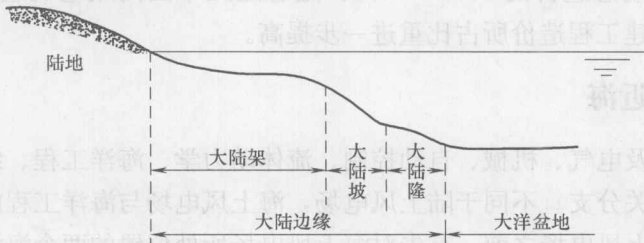


图 1-2 大陆架位置示意图^[2]

大陆架的特点是地势平坦,坡度较小,边缘深度在100~200m,平均深度值为133m。我国渤海、黄海都位于大陆架之上,东海具有最大640km宽度的大陆架,南海北侧大陆架的宽度为200~220km,最宽处在珠江口外,宽达278km。

2. 我国近海海区

根据地理位置和水文特征等自然环境的不同,中国近海自北向南可划分为渤海、黄海、东海与南海四个海区。其中渤海属于中国的内海,黄海、东海、南海属于太平洋的边缘海。我国海域辽阔,北起渤海之滨,南至南沙群岛,跨越温带、亚热带和热带三大气候带,海岸线绵延长达18000多km,岛屿6000多个。近海风能资源主要集中在东南沿海及其附近岛屿,有效风能密度在 $300\text{W}/\text{m}^2$ 以上。5~25m水深、50m高度海上风电开发潜力约2亿kW;5~50m水深、70m高度海上风电开发潜力约5亿kW^[3]。

综合文献[2]和文献[4]中关于这四个海区的特点分别列示如下。

(1) 渤海

渤海是深入中国大陆的内海,位于北纬 $37^{\circ}07'$ ~ $41^{\circ}0'$ 、东经 $117^{\circ}35'$ ~ $121^{\circ}10'$ 之间。周围环绕有辽宁、河北、山东三省和天津市,仅通过渤海海峡与黄海相通,其分界线为辽东半岛南端的老铁山和山东半岛北端蓬莱角之间的连线。

渤海在这四个近海海区中的面积最小,约为 $7.7\times 10^4\text{km}^2$,水深亦最浅,平均18m,最深处(83m)位于老铁山水道,属于浅海。渤海的沉积物是粒径较小的泥、沙等陆源物质,大部分为现代沉积,主要由黄河、滦河等河流径流携带而来。

渤海由沿海的三个海湾即辽东湾、渤海湾和莱州湾及中央盆地和渤海海峡五部分组成。渤海的海底地形由四周向渤海中央和渤海海峡倾斜,地势变化平缓,地形单调,整体位于大陆架上。

渤海的周围大部分被陆地环绕,水文状况受陆地影响大,冬季寒冷少雨风大,夏季炎热多雨风力较弱,水温年变化大,表层水温的年较差达 24.6°C 左右,每年冬季寒潮来袭,渤海沿岸大多出现冰冻现象。由于黄河、辽河、滦河和海河等大陆河川的大量淡水流入,使得渤海海水中的盐度比其他海区都低,年平均值约为30.0。渤海的石油、盐、水产资源丰富。

(2) 黄海

黄海西临山东半岛和苏北平原,东邻朝鲜半岛,北端是辽东半岛,属于太平洋的边缘海。西北方向与渤海相连,与东海分界处是长江口北角启东嘴至济州岛西南角间的连线,在东南通过济州海峡、朝鲜海峡与日本海相通。

黄海平均水深44m,最深在济州岛北面,为140m,属于浅海,海底地势比东海、南海平坦,地貌形态比渤海复杂。流入黄海的河流主要有鸭绿江、淮河、大同江、汉江等。

根据其地形特征,以山东半岛成山头角到朝鲜西岸的长山之最窄处的连线为分界线,黄海可分为南、北黄海两部分。北黄海是指山东半岛、辽东半岛和朝鲜半岛之间的半封闭海域,海底平缓,面积约 $7.13\times 10^4\text{km}^2$,平均水深38m。南黄海为长江口至济州岛连线以北的椭圆形半封闭海域,面积约 $30.9\times 10^4\text{km}^2$,平均水深46m。

黄海沉积物亦以来自河流径流携带的泥、沙等陆源物质为主,粒径较小,除近渤海海峡存在残留沉积外,北黄海几乎都为现代沉积,南黄海则大部为现代沉积。

黄海的水温年变化小于渤海,为 $15\sim 24^{\circ}\text{C}$ 。黄海海水的盐度也较低,平均值为32.0。高温高盐的黄海暖流流经黄海海域,寒暖流交汇,水产资源丰富。

(3) 东海

东海北连黄海,东到琉球群岛与太平洋相通,西接我国大陆,南面通过台湾海峡南端与南海相通,为闽粤交界处。

东海属于西太平洋的边缘海,西部有广阔的大陆架,约占东海面积的 $2/3$,北部陆架最大宽度为640km,外缘转折点水深约为 $100\sim 170\text{m}$,东部向太平洋过渡,地势自西北向东南倾斜,具有大陆斜坡和深海槽,冲绳海槽将东海大陆架与琉球群岛岛缘陆架自然分界。

东海海域比较开阔,面积约 $77\times 10^4\text{km}^2$,平均水深370m,最深处在冲绳海槽,为2719m,兼有浅海和深海的特征,但以浅海特征显著。东海的沉积物成分以砂质为主,软泥成分较少。大陆架部分主要是陆源沉积,大陆坡还分布有大量的自生沉积和生物沉积。

东海大陆海岸线曲折,潮差大,港湾众多,岛屿星罗棋布,我国一半以上的岛屿分布在这里。流入东海的江河多,径流流量大,长度超过百公里的河流有40多条,其中长江、钱塘江、甬江、闽江四大水系是注入东海的主要江河。

东海的水文特征受到亚热带气候及入海径流和流经黑潮及其分支的影响,与渤海和黄海相比,有较高的水温和较大的盐度,年温差 11.7°C 左右,平均盐度为33.0。东海海水透明度较大,能见到水下 $20\sim 30\text{m}$ 。

东海是我国近海营养盐比较丰富的水域,水产资源丰富。又因东海属于亚热带和温带气候,故利于浮游生物的繁殖和生长,是各种鱼虾繁殖和栖息的良好场所,也是我国海洋生产力最高的海域。

(4) 南海

南海的西边和北边为亚洲大陆,东边和南边是一系列岛弧,四周有众多海峡与太平洋及邻近海域相通。具体情况为北靠广东、广西、海南,东临菲律宾群岛与太平洋为邻,南临大巽他群岛,与印度洋为邻,西至中南半岛和马来半岛,最南边的曾母暗沙靠近加里曼丹岛。东北面通过台湾海峡与东海相接,东面通过巴士海峡、巴林塘海峡、巴拉巴克海峡与太平洋及苏禄海相通,南边的卡里马塔海峡与爪哇海相通,西南边有马六甲海峡与印度洋的安达曼海相通。

南海的总面积约 $35\times 10^5\text{km}^2$,相当于渤海、黄海、东海面积之和的2.8倍。平均水深1212m,最深5377m,位于马尼拉海沟南端。海底地势周围高中间低,形如一菱形深海盆。海底地貌形态齐全且复杂,有大陆架、大陆坡和深海盆地,在大陆坡和深海盆地分布有海槽、海沟,在深海盆地还分布有海山、海丘等,水文与渤海、黄海、东海有很大差异,受大陆影响较小。

南海地处低纬度地域,以热带海洋性气候为主要特征,受太阳辐射强,在我国海区中其气候最暖和,海水表层水温全年都高,年温差小,约为 5.6°C 。雨量充沛,终年高温高湿,被喻为常夏无冬。南海是典型的季风区,5月下旬至10月的夏半年受到西南季风作用,11月至次年4月的冬半年受到东北季风的作用,相应使南海产生东北方向和西南方向的季风洋流,洋流方向随季风而转换。盛行浪向亦分别为西南浪和东北浪。源自黑潮暖流的南海暖流经巴士海峡进入南海东北部,使其所经海域具有高温、高盐的水文特征。

注入南海的河流主要分布于北部,主要有珠江、韩江、红河、湄公河、湄南河等。由于这些河流的含沙量很小,所以海阔水深的南海总是呈现碧绿或深蓝色。南海平均盐度约为 34.0,局部最大为 35.0,潮差小,平均 2m 左右。

南海沉积不仅是陆源沉积,还分布有生物沉积、火山沉积等。前者主要分布在大陆架上,北部海区大陆架主要是沙、泥及部分砾石等沉积物,南部大陆架因海洋生物丰富,还含有较丰富的生物成因沉积物,如珊瑚、石枝藻等,后者主要分布在大陆坡和深海平原中。

3. 海上风电场

由一批风力发电机组或风力发电机组群组成的电站,通常称为风电场。与陆地风电场相对应,处于海洋环境条件下,受到海风、波浪、潮汐、水流、海冰等综合影响下,由一批风力发电机组或风力发电机组群组成的电站称为海上风电场。海上风电场是指在沿海多年平均大潮高潮线以下海域开发建设的风电场,包括在相应开发海域内无居民海岛上开发建设的风电场。

根据 2009 年我国颁布的《海上风电场工程前期工作管理办法》,海上风电场工程前期工作管理包括海上风电场工程规划、预可行性研究和可行性研究阶段工作的行政组织管理和技术监督。海上风电场工程建设项目坚持先规划、再前期、后建设的原则。

海上风电场工程前期工作实行行政分级管理和技术监督相结合的模式。国家能源局是国家海上风电场工程前期工作的行政主管部门,沿海各省(区、市)发展改革委是沿海各省(区、市)海上风电场工程前期工作的行政主管部门,水电水利规划设计总院为海上风电场工程前期工作的技术监督单位,并负责海上风电场工程前期工作报告的技术监督。国家海洋局负责海上风电场工程建设用海和环境保护的管理和监督。

海上风电场工程从规划到最终施工的大概流程如下:

(1) 海上风电场工程规划包括全国海上风电场工程规划和沿海各省(区、市)海上风电场工程规划。沿海各省(区、市)发展改革委组织有国家甲级设计资质的单位,按照国家有关法律法规和技术规程规范编制本省(区、市)管理海域内的海上风电场工程规划。全国海上风电场工程规划报告由水电水利规划设计总院负责编制。

(2) 经国家能源局许可,风电开发企业可以开展项目的预可行性研究工作,并编制项目预可行性研究报告,报告通过技术审查后,方可申请项目开发权或进行风电项目特许权招标。

(3) 项目开发权由国家能源局通过行政许可或招标方式确定,风电特许权项目的开发权通过招标方式确定。获得项目开发权的风电开发企业可开展项目的可行性研究工作,并编制项目可行性研究报告,可行性研究报告通过技术审查后,方可申请项目核准。承担海上风电场工程项目前期工作的设计单位,应具有国家甲级设计的资质,并按照国家有关法律法规和规程规范的要求,开展勘测、设计和科研工作。

(4) 项目建设单位在向国家能源局申请项目核准前,应向国家海洋局提出海域使用申请,初审通过后,项目建设单位应开展海域使用论证工作,海域使用论证通过评审后,国家海洋局出具项目用海预审意见,作为国家能源局项目核准的基本组成材料之一。

(5) 项目建设单位还应按照《海洋环境保护》、《防治海洋工程污染海洋环境管理条例》及相关技术标准要求,编制海上风电场工程环境影响报告书,报国家海洋局核准。