

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.S1.033

海上风电环境与勘测

马海毅, 曾亮, 丁金伟, 王海龙

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 综述了海上风电发展现状及趋势。海上风电场海域的水文气象条件、地质与岩土条件与陆地差异大, 调查及勘测方法亦随之差异大。阐述了若干种调查及勘探方式并提出了 5 点建议。

关键词: 海上风电; 创新; 勘测

中图分类号: TM614

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)S1-0151-03

Environments and Investigations of Offshore Wind Farm

MA Haiyi, ZENG Liang, DING Jinwei, WANG Hailong

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute, Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: The paper set forth developments of present situation and tendency in the offshore wind farm. The survey and investigation on marine hydrometeorology and meteorological information, geology and soil data are quite different between land and offshore, due to the conditions are difference. The paper expounds certain maners in survey and investigation and five points of proposal are put forward.

Key words: offshore wind farm; creatives; investigations

2015 年全球海上风电实现了快速发展, 产能刷新纪录新增达 3.4 GW, 全球海上风电总装机容量达到 12 GW。英国占全球海上风电总装机容量份额已达 40% 以上, 目前仍然是全球海上风电市场的领跑者。其次是德国 27%、丹麦 10.5%、比利时 6%、荷兰 3.5%、瑞典 1.6%, 其他主要欧洲市场包括芬兰、爱尔兰、挪威、西班牙和葡萄牙共占市场份额 0.5%。我国作为全球第四大海上风电国目前已占据全球海上风电市场份额的 8.4%。美国也于 2015 年开始建设境内第一个海上风电场(布洛克岛风电场, 距罗得岛州布洛克岛海岸约 4.8 km, 6 MW×5)并有望在 2016 年年底竣工。未来 5 年内, 全球海上风电新增装机容量将有望进一步上升, 到 2020 年新增装机容量有望达到接近 800 GW^[1]。

截至 2015 年底, 我国已建成的海上风电项目装机容量共计 1.014 68 GW。其中潮间带累计风电装机容量达到 611.98 MW, 占海上装机容量的 60.31%, 近海风电装机容量 402.7 MW 占 36.69%。2015 年我国海上风电新增装机达到 100 台, 总容量达到 360.5 MW, 同比增长 58.4%。其中潮间带装机 58 台, 容量达 181.5 MW, 占海上风电新增装机容量的 50.35%; 近海项目装机 42 台, 容量达 179 MW, 占其新增装机容量的 49.65%。目前我国海上风机容量主要是以(3~4) MW 风电机组为主, 已有多家整机厂推出 5 MW 及以上级别海上风电机组^[2]。

相比于陆上风电, 海上风电成本较高、安装更为复杂, 风机机身本体及其基础对勘测专业的要求更高。海上风电场的布置及风机间距与海洋环境和生态系统的关系更为密切。

1 发展趋势分析及展望^[3]

风力发电属可再生清洁能源, 2020 年我国海上

收稿日期: 2016-06-13

作者简介: 马海毅(1962), 男, 广东潮州人, 教授级高工, 硕士, 主要从事电力工程勘测工作(e-mail) mahaiyi@gedi.com.cn。

风电开发规模将达到 30 GW, 可替代 30 GW 的火电机组建设, 可使电力系统每年节约燃煤 7.5×10^7 t, 减少排放有限气体, 每年可减少一氧化碳约 1.9×10^4 t、碳氢化合物约 6.3×10^3 t、氮氧化物约 6.81×10^5 t、二氧化硫约 1.2×10^6 t, 有着巨大的生态环境效益。

海上风电作为一个新兴产业、清洁能源项目, 与陆上风电场相比, 具有风能资源更稳定、占用有限的陆域资源少、拆迁少、综合开发海洋能等优点。据估算, 我国海上风能资源可开发量约 750 GW。根据我国《可再生能源发展“十二五”规划》, 到 2020 年海上风电装机达到 30 GW, 海上风电将成为电力系统的重要电源之一, 海上风电将迎来“黄金十年”。截至 2013 年 3 月, 上海、江苏、山东、河北、浙江、广东海上风电规划已经完成; 辽宁大连、福建、广西、海南等省的海上风电规划正在完善和制定, 确定了 43 GW 的海上风能资源开发潜力。江苏、上海等省市海域也已有多项建设运行的海上风电试验样机或示范工程。以平均每台风机 4 MW 计算, 预计到 2020 年将有 7 500 台海上风机。海上风电场已进入规模化快速发展阶段。

风电场区域分布广、涉及海域环境与地质情况复杂多变; 而陆地和海上风电场的气象及地质环境、作业环境和调查勘测手段差异大, 设计计算方法差异所对应的气象及地质参数体系也不同。海床不良地质作用或地质灾害显著, 风、浪、潮、流及震动等循环往复作用对工程的影响甚大, 海域气象、场地工程地质等相关条件对场址选择和工程安全具有决定性的影响, 对基础选型、基础结构和施工方法的影响显著, 决定了工程安全、造价、工期和社会及经济效益。

我国 2010 年以来, 先后建成上海东海大桥示范风电场一期(位于近海区域)、江苏如东潮间带 30 MW 试验风电场及 50 MW 扩建项目、江苏如东潮间带 150 MW 示范风电场及 50 MW 增容项目(位于潮间带、潮下带)、江苏响水近海和潮间带试验风电场等海上风电项目, 江苏、浙江、福建、广东等海域的一大批海上风电场工程正在或即将开展施工图阶段的勘测设计工作。海上风电场现场静载测试工程也已取得实质性进展, 目前已在上海、江苏如东、广东桂山等海域开展多项大型现场静载测试, 并已将试桩成果指导勘测设计工作^[4-6]。

海上风电场规划选址、设计与施工均需以水文、气象、工程地质的勘测成果为基础。海上风电场选址规划需海洋水文、区域构造、海床地层结构及其状态、海域地质灾害等方面的成果为基础; 海上风机及升压站基础设计需要工程地质和岩土工程参数, 风、波浪、潮流、冲刷参数等; 海底电缆路由选择依赖于海洋地质、地球物理勘探、海域测绘和海洋水文测量提供的参数; 基础施工和风机吊装常以工程测量和海洋水文气象条件为前提。

海上水文气象条件调查与观测、工程勘探、地层测试、海底地形地貌测绘等方面的要求很高, 作业环境条件恶劣, 海上调查与勘测作业安全的影响因素多, 海上勘测设备、方法、手段和分析方法也与陆上显著不同。这些客观条件对海上风电场设计方案和施工方法影响重大, 对工期、成本和安全性亦影响重大。

2 创新发展机制分析与建议

目前, 海洋工程调查与勘测的技术手段主要有: 利用人造卫星导航和全球定位系统(GPS), 以及无线电导航系统来确定调查船或观测点及测线在海上的位置; 利用回声测深仪、多波束回声测深仪及侧扫声纳测量水深和探测海底地形地貌以及海底障碍物和管线情况; 用拖网、抓斗、箱式采样器、自返式抓斗、柱状采样器和钻探等手段采取海底沉积物样品; 用浅地层剖面仪测海底未固结浅地层的分布、厚度和结构特征。用地震、重力、磁力及地热等地球物理方法探测海底各种地球物理场特征和地质构造等。通过载人深潜艇、水下电视、装有多种观测装置的深拖系统和海底照相等方法直接探测海底沉积物和地形地貌状况。

海上调查与勘测与陆域勘测区别甚大, 对专业划分不明显, 海洋测绘和地球物理调查不再是单纯为地质勘查服务, 三方面的勘测相互统一, 目的是为设计提出综合的水文气象、地质及岩土资料。海洋测绘利用单(多)波束、侧扫声纳等对海底地形测量、海底面状况进行探测; 海洋地球物理勘查利用浅、中剖面仪及地震仪对海底的地层、构造等进行判断分析; 海洋工程地质勘测采用钻探、原位测试、取样及室内试验等对海底地层的分布、岩土层的特性进行分析。

浅海物探手段是研究海底地质环境特征和探测

及监测海缆路由情况的有效手段, 浅地层剖面仪、中地层剖面仪、海洋磁力仪、管线仪等是常用的浅海岩土物探方法。岩土工程地质调查以浅地层或中地层剖面仪为主要物探手段, 海底存在物如管线主要采用管线仪为其勘测手段, 海底含磁性的物质则以海洋磁力仪为主要探测手段。只有多种方法综合应用才能成功解决浅海岩土工程物探问题。

海底岩土工程勘测是指利用水上钻探、取样、原位测试、工程物探等综合手段查明水下沉积物的成分、结构、物理力学性质等, 为拟建场地的选择和拟建建筑物的结构设计提供可靠的地质及岩土资料, 以确保海洋工程的安全。海洋结构物所承受的荷载形式与陆上结构物不同, 主要表现为波浪、风、流、地震及其它震动荷载与静力荷载的共同作用, 各种荷载不同的组合, 将会导致结构物不同的工作状态, 浅海岩土工程必须考虑这些复杂荷载条件下的液(水)—土—结构耦合作用。解决这些问题的方法、获取相关设计参数的途径就依赖于浅海岩土工程勘测。

海洋岩土工程勘测经过近几十年的发展, 海上岩土工程勘测装备、技术方法都有了长足进步。在勘测方法上, 除了常规的钻探、标准贯入试验、十字板剪切试验、静力触探试验以及室内土工试验外, 侧扫声纳、浅层剖面、中等深度剖面及管线仪等海洋物探方法已被广泛运用, 多种勘探技术相结合才能取得良好效果^[7-11]。

适合海底电缆状态监测的 ROV 类型为半工作型、工作型。ROVs 可以根据工作需要配备相应辅助设备, 是通过连接脐带将电力输送到水下机器人, 工作人员在水面上进行操纵或控制。ROVs 集功能强大、作业水深、作业时间长、安全度高等优势于一身, 长期以来在海洋水下工程中得到了广泛应用。但是由于 ROV 价格昂贵, 该方法的经济可行性有待研究。在管线探测方面, TSS350 属于有源探测, 利用电磁感应方法, 结合高度计等原理, 能对海底电缆路由进行搜寻、追踪和埋深探测。采用 ROV 与 TSS350 相结合的方法对管线进行探测是一种能较好探测到电缆埋深情况的方法^[12-14]。

海上勘测需要的设备昂贵、技术复杂、专业跨度大, 合理规划和提升海上勘测技术能力, 需要多专业的知识背景和宏观的视野。电力系统的勘测行业专业划分明确, 技术人员的专业知识囿于自己的

专业背景, 看问题会受专业限制而缺乏宏观的视角, 而且海上勘测所采用的专业设备昂贵, 难以一蹴而就全部购置。专业建设应统筹发展、合理取舍, 达到兼顾勘测效率和成本的平衡。

海域工程勘测最大的特点就是由于海水介质的存在, 增加了海上岩土工程勘测难度, 同时海上风力发电工程特殊的结构形式和运行方式使其所承受荷载的组合与计算更为复杂, 致使对海上岩土工程勘测要求更高。建议对以下五个方面进行深入研究:

1) 提高浅地层剖面勘探成果的分辨率和解释精度。

2) 研究海上原状土样采取方法, 提升室内试验结果真实性。

3) 加强海上静力触探理论和实际应用研究, 通过提升技术设备、专业知识和工程经验, 推导海上静力触探经验关系式, 提高工程力学参数判定准确性。

4) 研究多参数多指标海底土腐蚀性评价体系。

5) 研究微型贯入试验和微型十字板现场试验。

3 结论

作为“十三五”及未来主要的清洁能源形式之一, 海上风电势必迎来国家和地方更多支持, 一段时期内将处于高速发展态势。

海上风力发电机组高耸结构和吸收风能产生电能的运行方式, 使得对海上地质和岩土工程参数要求更为苛刻; 海上风电场微观选址、场内集电线路和送出海缆路由等需要更加精确的了解海底地形、地貌、障碍物、管线、浅中地层结构, 并结合岩土力学参数综合判断。

地质和岩土工程、物探、测绘、水文和气象条件等勘测成果是影响海上风电场安全性和经济性的重要因素, 必须多专业互相配合、多种技术手段交叉验证、为工程建设提供可靠精确的综合解释成果。

电力系统的勘测行业具有明确的专业划分, 工程技术人员囿于本专业背景, 看问题会受专业限制而缺乏宏观视角。海上勘测需采用的专业设备多且昂贵, 难以一蹴而就全部购置配全。专业建设应统筹发展、合理取舍, 达到兼顾勘测效率与成本的平衡。

(下转第 157 页 Continued on Page 157)

区域的基础地理信息数据, 辅助山洪灾害调查获取居民区、企事业单位的基本情况和位置分布, 测量重要城(集)镇、沿河村落的河道的断面。

3) 利用倾斜摄影测量手段, 可以辅助调查重点防治区内受威胁的居民区人口, 住房位置、高程和数量等信息, 获取重要地形区域 1:2 000 比例尺影像地形图, 测量宅基高程等数据。

4) 该技术生成的模型点云密度高, 由此也产生了数据量惊人的三角面, 这对于模型编辑和后续的数据管理及展现都提出了难度不小的要求。

参考文献:

- [1] 全国山洪灾害防治项目. 组山洪灾害调查技术要求[OL]. [2014-08-01]. <http://www.doc88.com/p-9532629910292.html>.
The National Team of Mountain Torrent Disaster Prevention and Control. Technical issues and requirements of mountain torrent disaster survey [OL]. [2014-08-01]. <http://www.doc88.com/p-9532629910292.html>.

- [2] SHUFELT J A. Exploiting photogrammetric methods for building extraction in aerial images [J]. International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing, 1996, 31(6): 74-79.
- [3] BIGNONE F. Street factory: Photogrammetric 3D urban models [C]. Map Asia Conference Proceedings. [S. l.]: [s. n.], 2012.
- [4] JACOBSEN K. Geometry of vertical and oblique image combinations [OL]. Hannover, Germany: Leibniz University. [2012-3-10]. http://www.ipi.uni-hannover.de/uploads/tx_tkpublikation/KJ_oblique_01.pdf.
- [5] FRITSCH D, KREMER J, GRIMM A. Towards all-in-one photogrammetry [J]. GIM International, 2012, 26(4): 18-23.
- [6] 孙宏伟. 基于倾斜摄影测量技术的三维数字城市建模 [J]. 现代测绘, 2014, 37(1): 18-21.
- SUN H W. Three dimensions modeling of digital city based on oblique photogrammetry method [J], Modern Surveying and Mapping, 2014, 37(1): 18-21.

(责任编辑 郑文棠)

(上接第 153 页 Continued from Page 153)

为降低工程勘测成本、提高勘测成果的精度及其适用性, 应积极采用新技术、新设备、新方法, 特别是这些技术和方法的集成应用。

参考文献:

- [1] 全球风能理事会. 2015 全球风电发展报告 [OL]. [2016-04-20]. <http://www.gwec.net/>.
- [2] 中国可再生能源学会风能委员会. 2015 年中国风电装机容量统计简报 [OL]. [2016-04-05]. http://www.cnenergy.org/xny_183/fd/2016_04/t20160405_276532.html.
- [3] 广东省电力设计研究院. 海上风力发电场设计规范调研报告 [R]. 广州: 广东省电力设计研究院, 2016.
- [4] 郑磊夫. 海上风电工程生态环境影响及对策 [J]. 上海电力, 2007(2): 136-139.
- [5] 张玮, 王斌, 夏海峰. 近海风电场风机桩群布局对海域水动力条件的影响 [J]. 中国港湾建设, 2007(2): 1-4.
- [6] 方宁. 东海大桥海上风电场对海域沉积物的环境影响 [J]. 青岛理工大学学报, 2015, 36(2): 79-82.
- [7] 王艳, 马海毅. 浅谈岩土勘测技术在海底输电工程中的应用

[C]. 电力土建专业委员会岩土专业学组. 2014 年电力土建专业委员会岩土专业学组会议集. 云南: 电力土建专业委员会岩土专业学组, 2015.

- [8] 王裕霜. 国内外海底电缆输电工程综述 [J]. 南方电网技术, 2012, 6(2): 26-30.
- [9] 王艳. 海缆路由探测中浅地层剖面仪的应用及现状 [J]. 物探装备, 2011, 21(3): 145-149.
- [10] 陈仁兰. 近岸海上钻探施工方法的探讨 [J]. 西部探矿工程, 2008(9): 134-136.
- [11] 陆风慈, 曲延大, 廖明辉. 海上静力触探(CPT)测试技术的发展现状和应用 [J]. 海洋技术, 2004, 23(4): 32-36.
- [12] 陶林, 刘小刚, 张培莘. 水下机器人在渤海海底光缆调查中的应用 [J]. 石油钻采工艺, 2009, 31(2): 118-120.
- [13] 单宇翥, 陈洋. 水下机器人在三峡水利枢纽导流底孔封堵检修门水下清理工程中的应用 [J]. 大坝与安全, 2005(3): 51-53.
- [14] ANDREW B. ROVs [OL]. [Http://www.imca-int.com/careers](http://www.imca-int.com/careers).

(责任编辑 高春萌)