

国内外海上风电发展现状及 海域使用中的有关问题分析

周艳荣^{1,2}, 张巍³, 宋强⁴

(1. 国家海洋局海洋溢油鉴别与损害评估技术重点实验室 青岛 266033; 2. 国家海洋局北海环境监测中心 青岛 266033;
3. 青岛理工大学琴岛学院土木工程系 青岛 266106; 4. 青岛酒店管理职业技术学院 青岛 266100)

摘 要: 文章介绍了国内外海上风电发展现状, 探讨了海上风电场建设中应该注意的有关问题。提出了海上风电场选址应该从符合海洋功能区划、具备良好的外部依托条件和与水文动力等自然条件相适应等角度考虑, 给出了海上风电场风机平面布置的原则; 并指出了海上风电场运行后维护工作的难度和重要性。

关 键 词: 海上风电; 风电机组; 风电场平面布置

海上风电由于其资源丰富、风速稳定、对环境的负面影响较少; 风电机组距离海岸较远, 噪声、视觉干扰很小; 单机容量大, 年利用小时数高; 不占用土地资源等优势, 近几年发展迅速。截至2009年, 全世界建成的海上风电场有30余座, 装机容量达到了100万kW^[1]。海上风电技术正在完善, 海上风电场开始进入规模化发展阶段, 潜力巨大。笔者主要介绍国内外海上风电发展的现状, 探讨海上风电场建设中应该注意的有关问题。

1 国外海上风电发展现状

对于海上风电产业来说, 欧美发达国家已经相当成熟, 而我国对海上风电发展则刚刚起步, 各方面都还很很成熟, 正因为如此, 非常有必要了解和吸收国外海上风电产业发展的经验, 从中获得启示, 以加快我国海上风电产业发展的步伐。

1.1 欧洲海上风电发展现状

欧洲是全球海上风电发展最快的地区。目前, 全球海上风电场主要分布在丹麦、英国、荷兰、瑞典和爱尔兰等欧洲国家。根据2010年1月, 欧洲风能协会(EWEA)发布的《2009欧洲海上风电产业的主要趋势和统计资料》, 至2009年底, 欧洲水域中共安装、并网的风力涡轮机达到828台, 遍布9个欧洲国家的38个风电场, 总计安装容量为2 056 MW (表1)。

表1 至2009年底欧洲各国海上风机安装情况

国家	涡轮机 数量/台	容量 /MW	风电场 数量/个
英国	287	882.80	12
丹麦	305	639.15	9
瑞典	75	163.65	5
荷兰	130	246.80	4
德国	9	42.00	4
比利时	6	30.00	1
爱尔兰	7	25.20	1
芬兰	8	24.00	1
挪威	1	2.30	1
合计	828	2 056.00	38

丹麦的风能资源非常丰富, 也是世界上最早大规模开始风力发电的国家, 在风电技术上也位居世界领先地位。丹麦主要的风机装备制造制造商维斯塔斯早在20世纪90年代初就开始研究海上风电技术, 是最早掌握海上风电技术开发的公司。1990年, 丹麦安装了全球第一台示范近海风电机组, 单机容量220 kW。自此, 世界风电发展跨入了另一个时代。1997年, 丹麦政府制订了海上风电发展计划, 预计2010年, 丹麦的海上风电将达到100万kW。目前, 丹麦建成了9个海上风电

场,总装机容量60万kW余,占世界海上风电的1/3、欧盟海上风电的1/2。

英国海上风电项目稳步增长,由于英国海域内风力资源占欧洲总资源相当大的比例,因此发展前景比较乐观。相关研究报告估计,英国海上风能接近1 000 TW·h,相当于全国年总用电量的数倍。综合英国优越的海上风能资源,强大的海上政权以及2015年15%新能源比例的强制性政策建立,英国被认定是全球海上风电最佳市场。自2000年12月英国第一座海上风电场——诺森伯兰郡布莱斯海港风电场批准建立以来,已有13座海上风电场陆续建立起来,总装机容量超过1 155 MW。其中12座海上风电场已完成并网发电,总装机容量达到882.8 MW。

德国海上风力发电起步比较晚,国内首座海上风能电站——“阿尔法文图斯”始建于2008年7月,2010年4月27日在北海正式并网发电,这标志着德国海上风电进入大发展时期。阿尔法文图斯电站位于离德国北部岛屿波尔库姆以北45 km的北海海域,造价达2.5亿欧元,现装有12台风能装置(俗称“风车”),每台装置的装机容量均为5 000 kW,一年共发电至少2.2亿kW·h,从理论上可满足5万家庭的用电需求。这样级别的装机容量在世界海上风电站的建设史上还是首次,阿尔法文图斯被称为“示范项目”,主要是为今后的海上风电建设积累经验。

1.2 北美海上风电产业的发展现状

北美的风电产业近些年来发展非常迅速,尤其是美国和加拿大。随着近年来全球清洁能源和可再生能源发展势头的日益强劲,美国加快了风电发展步伐,尤其是2006年以后发展速度较快,到2009年,风电总装机容量达到35 159 MW,风力发电量占到总发电量的2.4%。但是,美国的海上风电发展较晚,作为美国首座海上风电场,美国东北部的鳕鱼岬海上风电场(cape wind)经过9年之久,于2010年4月获得美国政府的批准,该风电场总装机容量为454 MW。近年来,美国也开始重视海上风电的发展,美国海上风电的发展目标首先锁定浅滩,然后发展至深水;主要采用单机容量为5 MW或更大的风机。目前,

皇后区西北面的长岛电力局(long island power authority, LIPA)计划在长岛市南海岸开发140 MW的风电场。

加拿大的风能储蓄丰富,近年来风电产业迅猛发展。风力机组安装总量从1994年的19 MW发展至2006年1月的682 MW。目前,在British Columbia省的Queen Charlotte岛,正在兴建一个Nai Kum海上风电项目,该项目是北美海上风电项目中最大的一项,总容量达700 MW,与德国ABB New Ventures工程开发公司合作完成。先期阶段的10个风电机已经在2005年完成安装。将近680 MW的主体工程在2008年投入运行。

1.3 亚洲海上风电产业的发展现状

亚洲的风电产业近年发展强劲,尤其是印度、中国和日本,在全球风电市场上都占有重要的一席。但是亚洲拥有海上风电场的国家目前只有中国和日本。

日本风电产业的发展起步晚,发展相当缓慢。目前,日本国内仅在北海道濑棚町等地安装了14套海上风力发电设备,发电量1.1万kW左右,远远低于欧洲200万kW以上的海上风力发电规模。2010年6月日本政府综合海洋政策本部研究制订的有关发展海上风力发电的“海洋可再生能源战略”方案出台。该方案提出,到2020年前,日本将安装2 000套以上直径为120 m的大型海洋风力发电设备,其发电能力相当于10座1 000万kW以上的核电站。

2 国内海上风电发展现状

我国海上风电起步较晚,2006年开始海上测风,2008年投资236亿元建设了我国第一座大型海上风电项目——上海东海大桥海上风电项目,该项目安装了34台国产单机容量3 MW的离岸型风电机组,总装机容量102 MW,该项目拉开了中国海上风电开发的帷幕。

我国拥有十分丰富的近海风资源,有数据显示,我国近海10 m水深的风能资源约1亿kW,近海20 m水深的风能资源约3亿kW,近海30 m水深的风能资源约4.9亿kW^[2]。此外,由于我

国东部沿海地区经济发达,能源紧缺,开发丰富的海上风能资源将有效改善能源供应情况。开发海上风电已经成为我国能源战略的一个重要内容。

我国已建及正在规划建设中的海上风电场主要有上海东海大桥近海风电场、山东威海风电场、浙江岱山近海风电场、浙江杭州湾近海风电场、江苏如东和江苏东台风电场等(表2)。

表2 中国部分海上风电项目规划

项目名称	地理位置	装机容量 /万 kW
长岛近海风电场	山东省长岛县	150
中海油威海	山东威海	100
滨海风电场(滩涂)	山东潍坊	180
华能荣成海上风电项目	威海北部滩涂	10.2
东大桥海上风电项目	上海市东大桥	10
奉贤大型海上风电场	上海市奉贤区	30
南汇大型海上风电场	上海市南汇区	40
横沙大型海上风电场	上海市崇明区	20
普陀六横近海风电场项目	岱山县扈门海塘	20
慈溪海上风电场	杭州湾	4.95
赣榆海上风电场	江苏连云港	45
连云港海上风电场	江苏连云港	20
响水海上风电场	江苏盐城	20
滨海海上风电场	江苏盐城	20
射阳海上风电场	江苏盐城	20
大丰海上风电场	江苏盐城	20
东台海上风电场	江苏盐城	20
如东海上风电场	江苏南通	20
启东海上风电场	江苏南通	20
汉沽海上风电场	天津滨海新区	20

引自:中国风力发电网—中国证券报。

2010 年是我国海上风电事业发展的元年。国家能源局局长张国宝在《2010 年能源工作总体要求》中指出我国要继续推进大型风电基地建设,尤其是海上风电要开展起来。随后,国家能源局和国家海洋局联合出台了《海上风电开发建设管理暂行办法》,使得政府和企业开展海上风电规划和投资时开始有章可循。

3 海上风电场用海中应该注意的有关问题

3.1 海上风电场选址的可行性

3.1.1 海上风电场的选址应符合海洋功能区划的要求

由于海上风电行业在我国属于新兴行业,发展较晚。根据各省功能区划图,适于建设海上风电场的海域基本上都区划为浅海养殖区和捕捞区等。由于海上风机的单个基座面积较小,一般约占用海域面积 400 m²,海上风电场建设除了在建设和维修时对养殖或渔业活动产生影响外,其他时期与工程区域的养殖或渔业生产功能相兼容。因此,在海上风电场选址时,应本着与海洋功能区划相兼容的原则。

3.1.2 海上风电场选址区应有良好的外部依托条件

海上风电场选址区周边交通运输应该便利,能满足风机及其配套设施的运输要求;陆上配套设施要完善,为了降低能量损耗,要求风电场陆上升压站距离已建的陆上电网接入变电站距离较近。

此外,由于国内风机安装大部分采用整体吊装,要求风电场周边有靠近码头并有足够承载力和工作面的陆上拼装场地,为海上风电场施工提供良好的辅助作用。

3.1.3 选址区域的水文动力条件应该适宜风电场建设

海上风机比陆地风机运行荷载大很多。海上风机基础具有重心高、承受水平力和弯矩较大等受力特点,且与海床的地质结构情况、波浪、海流、泥沙及冰荷载等诸多因素有关,因此在海上风电场选址时应开展随机荷载模型和荷载相关性研究,确定风机的随机荷载组合方法,计算风机的受力,为风机安装后的稳定性做好技术支撑。

此外,应根据海上风电场区的水动力条件,预测分析风机建成后海底的泥沙冲淤情况,并采取必要的冲刷保护措施。如,英国的 Scroby Sands 风力发电场位于受大型潮汐影响而成的多沙地带,潮差有 3 m,潮汐速度可达 1.5 m/s。30 年来,海床深度改变了 8 m。巨大海床沉淀

和可达6~8 m深的冲刷坑使得冲刷保护显得非常必要,尤其是它对电缆的保护^[3]。

3.2 风机基础选择的合理性

由于海洋中情况复杂、风机基础选择要综合考虑离岸距离、水深条件、风浪等级、海流情况和海床地质结构等的影响。目前,海上风机基础结构主要有重力固定式、桩基固定式和筒式基础结构等^[4-5],不同的结构形式适合不同的自然条件。

3.2.1 重力式

重力式基础结构为钢筋混凝土结构,靠自身重量和压载物的重量稳定坐落在海床上。重力式基础结构简单,造价低,抗风暴和风浪袭击性能好,其稳定性和可靠性是所有基础中最好的。但是只适用不超过10 m的水域,因为所需基础重量随着水深的增加而增加,其经济性会下降,造价反而比其他类型基础要高。

3.2.2 桩基式

桩基式结构包括单立柱、单立柱三桩和四腿导管架结构等,一般适用于50 m以内水深。其中,单立柱基础在已建成的大部分海上风电场应用最为广泛。单立柱基础桩体可以与塔架直接相连,也可以根据需要加装过渡段。但是,这种结构对震动和不直度较为敏感,对设计和施工要求较高。单立柱三桩结构类似于海上油田常用的简易平台,三根桩通过一个三角形钢架与中心立柱连接,风电机组塔架连接到立柱上形成一个结构整体,增加了基础的稳定性。四角导管架基础采用的是海上油田常用的固定式平台结构,刚度更大,稳定性更好,但成本相对较高。

3.2.3 筒式

筒式基础结构由一个中心立柱与钢质圆筒组成,钢质筒由竖直的钢裙围成。立柱与圆筒通过带有加强筋的剪切板相连。圆筒基础通过负压安装,由于筒内泥沙的重力作用,其承载原理与重力式基础相似,中心立柱载荷通过剪切板分配到筒壁再传海床。这种结构的优点在于节约钢材用量和海上施工时间。一般适用于20 m以内水深。

3.2.4 浮置式

为了使海上风能利用克服海床底部安装基

础受水深限制的缺点,向几百米的深水域发展,国外出现了浮置式基础结构的设计。主要有两种方式:一种为漂浮式,由塔架、浮体和锚泊装置组成,承载风电机组的浮置结构飘浮在水面上;另一种为半潜式,浮体结构位于海面以下,由锚泊系统固定,其上可安装多台风电机组。目前这种基础结构仍处于研究阶段。

3.3 海上风电场风机平面布置的合理性

风电场通过每台风电机组把风能转化为电能,风经过风电机组转轮后速度下降并产生紊流,沿着下风向一定距离后才能消除前一台风电机组对风速的影响。在布置风电机组时,充分考虑到风电机组之间相互的尾流影响,确定各风电机组的间距,把尾流影响控制在合理范围内。风电机组间距的变大会使风电机组间的尾流影响降低,但同时也会降低对风能资源的利用率,增加机组间电缆的长度,增大电量损耗。海上风电场风电机组主要根据风电场内风能资源条件和海底地形地质条件进行布置,主要遵循如下原则。

(1) 首先应充分考虑风电场所在海域周边限制条件,如:航道、油气管道和保护区等,在规划允许的范围内布置风电机组。

(2) 根据场区内风资源分布特点,充分利用风电场盛行风向进行布置,合理选择风电机组间距。

(3) 布置时,既要尽量避免风电机组之间的尾流影响,又要减小风电机组之间的海缆长度,以降低配套工程投资和场内输变电损耗。

(4) 对不同布置方案,要按整个风电场发电量最大,兼顾各单机发电量的原则进行优化。

(5) 为了便于施工、维护和降低工程投资,同一风电场内的同期工程,尽量选用型号与单机容量相同的风电机组。

3.4 海上风电场运行与维护问题

海上风电场建成运行后需要进行维护工作,现有的海上风力机组运行与维护主要包括定期维护(检查、清洁等)、故障维修(某种程度的故障检修,如手动重启或更换主要部件)和备件管理3部分。

关于风电机组的维护,在一个规模适中的

陆上风电场通常拥有自己的运行与维护中心,对风电机组实施维护非常便利。据 GARRAD HASSAN 风能咨询公司统计,通常机组的长期可利用率可达 97% 左右。每年每台机组的平均运行和维护成本约为 3 万欧元^[6]。但对于海上风电场,尤其到达深水地区的机组进行维护工作就非常不易,运行风险也非常大。海上风电场的可进入性差,尤其是吊装船不够用,还缺乏训练有素的专业人员,缺乏现成的维护基础设施。相应的,机组的可利用率也低,电场的维护成本高于预期,相当于陆上风电场修缮费用的两倍多。在海上风电场开发早期的项目成本计划中,应该将风电场的运行与维护成本纳入其中的重要组成。

4 结束语

经过 10 多年的发展,国外海上风电技术日趋成熟,已经进入大规模开发阶段。而我国尚缺乏海上风电建设经验,海上风能资源测量与评估以及海上风电机组国产化刚刚起步。目前我国的海上风电建设的管理程序比较复杂,没有统一的管理部门和可执行的管理规范来协调各部门之间的关系,海上风电建设技术规范体

系也亟须建立。

海上风电的开发具有高投入和高风险的特点,海上风电的大规模发展不能急于求成,还需要一段摸索和示范的过程。随着海上风电规划的推动,我国海上风电的开发将迈入示范阶段,相关管理规范也将逐步建立。

参考文献

- [1] 刘琦,徐移庆. 世界海上风电投资分析[J]. 电器工业,2009(6):45-47.
- [2] 杨海霞. 海上风电规划拉开帷幕[J]. 中国投资,2009(3).
- [3] 张蓓文,陆斌. Scroby Sands 海上风电场:安装和运行[EB/OL](2007-12-06)[2010-08-19]. <http://wenku.baidu.com/view/1a14d31dfad6195f312ba6e1.html>.
- [4] 肖运启,贾淑娟. 我国海上风电发展现状与技术分析[J]. 华东电力,2010,38(2).
- [5] 仲颖,郑源,刘美琴,等. 我国东南沿海海上风电场建设的探究[J]. 可再生能源,2010,28(3):140-144.
- [6] 上海图书馆上海科技情报研究所. 海上风电场运行与维护成本探讨[J]. 第一情报·风力发电,2008(43).