

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2014.01.001

一体化理念在国内海上风电开发建设上的应用探究

赵向前, 黄松苗, 赵梓杭

(中国大唐集团新能源股份有限公司 华东公司, 上海 200090)

摘要: 可再生能源作为日益严峻的能源问题和因此导致的环境问题的重要解决措施之一, 受到世界各国的重视, 海上风电作为可再生能源的新兴领域和重要组成部分得到了推广和发展。将多个领域中成功应用的一体化设计理念引入到海上风电场前期、风机选型、风机基础与风电机组设计、建设期、运营期的各个环节, 分析了国内海上风电场成本降低和突破效益瓶颈的可行性。研究表明: 一体化理念应用于海上风电项目前期核准、设计、施工建设、运营维护等全生命周期中, 大幅降低了风电场成本, 并提高了风电场的抗风险能力。

关键词: 一体化设计; 海上风电; 成本降低

中图分类号: TK89

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2014)01-0001-06

Application Study of Integration Concept in Domestic Offshore Wind Power Construction

ZHAO Xiangqian, HUANG Songmiao, ZHAO Zihang

(East China Company, China Datang Corporation Renewable Power Co., Ltd., Shanghai 200090, China)

Abstract: Renewable energy has become one of the most important solutions to tackle growing energy issues and subsequent environment problems and brings to the attention all over the world. Offshore wind power, as an emerging field and the important part of renewable energy, has been promoted and developed. This paper applies the integration design concept which has been successful in multiple fields for pre-project of offshore wind farm, wind turbine selection, design of foundation and wind turbine, construction and operation. Then the feasibility of the cost reduction and breakthrough the bottleneck of efficiency are analyzed. The results show that: the integration concept could be applied into the prophase approval, design, construction and operation of domestic offshore wind power projects, while the wind power costs are substantially reduced and the anti-risk capacity is well improved.

Key words: integration design; offshore wind power; cost reduction

“一体化”即将两个或两个以上的互不相同、互不协调的事项, 采取适当的方式、方法或措施, 将其有机地融合为一个整体, 形成协同效力, 以实现组织策划目标的一项措施^[1]。一体化理念通过不同模块的融合, 能够大大降低成本、提高效率, 在经济、政治、环境、城市建设、电力等多个领域得到了广泛应用。特别是世界能源危机及因此导致的环境问题日益严峻, 海上风电作为重要的解决方案之

一, 得到了全球范围内的大力推广, 中国政府 2014 年 6 月出台海上风电上网电价政策也表明了其大力推广的决心, 但由于海上风电发展涉及资源评估、基础设计、风机设计、海上作业等多个复杂模块, 建设成本居高不下, 严重阻碍其发展, “一体化设计”理念的引入有望大大降低海上风电建设成本, 加快推动海上风电健康发展。

1 一体化设计在国内外的应用

一体化设计在国外很早就得到了广泛的应用, “经济一体化”概念最早被用于 20 世纪 30 年代^[2]; 而早在 20 世纪 50 年代, 欧共体就开始尝试“政治一体化”, 即内部的沟通协调与共同行动以及共同体共同的对外政策的一体化^[3]。时至今日, 欧洲多

收稿日期: 2014-08-15

作者简介: 赵向前(1965), 男, 内蒙古赤峰人, 高级工程师, 硕士, 中国大唐集团新能源股份有限公司华东公司总经理, 上海东海风力发电有限公司董事长, 长期从事风力发电等清洁能源产业发展、风电场建设和管理(e-mail) dtxnyhd@163.com。

个国家组成欧盟共同体,在经济、政治、文化、安全等领域加强一体化建设,在强化欧洲各国之间的经济关系的同时增强了欧盟对外的经济竞争力,提高国际经济合作水平,并推动欧盟各国文化上相互交融。

一体化设计在中国也有广泛的应用,在经济方面,发展区域经济一体化建设,形成著名京津唐、长三角、珠三角等超大经济圈,通过合理的城市规划、产业布局和政策引导等方面的一体化设计思路,融合跨城市的区域市场、交通、信息、环境、文化、公民等,实现经济发展最大化;在城乡建设方面,走城乡一体化设计的道路,通过城乡间多种社会经济活动主体组成有序的联系互动系统,能够获得最优化的城乡空间组织效应,使得在一定区域内的城乡间网络设施更加完备,产业之间的内在联系更加密切,各种要素流动更加通畅,组织功能也更加完善^[4]。

从电力行业一体化应用来看,欧盟从1990年开始电力市场化改革,推动欧盟电力市场一体化进程,以消除各成员国之间的壁垒,建立跨成员国电力企业和实现跨国电力供应,建立欧盟统一的电力市场,降低成本、提高电力行业整体的效率;中国太阳能屋顶光伏电站建筑一体化设计,企业基于规划、基建、生产、财务等板块的一体化信息平台设计(根据板块逻辑和分析需要,把每个板块细分为若干主题,分析数据源并找出差异,形成逻辑层,解决统一数据重复填报、责任部门难以界定、数据勾稽关系不完整等问题,提升管理效率)及热电厂控制系统一体化设计均有所应用和研究。

2 风电发展存在问题分析

2.1 陆地风电

中国风力发电始于20世纪80年代,但直到2003年才开始真正进入快速发展时期^[5]。经过十余年的飞速发展,中国成为世界上风电装机最大的国家,截止2013年底,中国累计风电装机91.41 GW,占全球风电装机28.7%,位居世界第一。但在风电飞速发展的同时也浮现出了很多问题:弃风限电、测风选址不具代表性、风场的规划及选址与电网规划不协调、风场资源与风机选型不适应等。

2.1.1 弃风限电

弃风问题在蒙东、蒙西、吉林、黑龙江和甘肃

比较明显,上述地区一般风电场弃风在10%~20%之间,平均达到15%。根据国家能源局发布的2014年上半年风电并网运行情况显示,2014年上半年,风电弃风电量7.2 TW·h。弃风问题是风场选址规划与电网结构以及消纳能力不匹配造成的。

2.1.2 特殊地形测风选址不具代表性

在开发某些丘陵、山地等风电项目时,由于开发商只立了一个测风塔进行测风,而且测风时间一般仅为一年代表年份(通常情况下陆地平原地区三年为一个平均年,山地、丘陵地区五年为一个平均年份较为准确),风资源评估存在局限性,导致整个风场风资源情况评估并不精确。微观选址的准确度对开发这类风场非常重要,风机点位之间风功率密度差别可能很大,分散性明显,风机布置地点选择的正确与否对风场的发电量和经济效益有直接影响。由于测风不够整体化,代表点选择不全面,评估结果不准确等原因,此类场址建成后风电场可利用小时数往往低于最初设计数值。

2.1.3 风场资源与风机选型不适应

中国三十年的风电发展,尚无全面系统的风场资源与风机选型适应性的准确报告。无论风电发展初期还是当前,大多数人的误区都是将风速大小作为风电可否开发的唯一评判条件。但高风速未必较低风速的风场创造更大的效益,核心在于风场资源状况与风机选型的匹配程度。

以台风为例,我国位于台风高发区域,每年平均25%~35%的台风对我国产生较大影响,从台风的利用和对夏季气候影响角度,台风实际利大于弊,据不完全统计,我国南方沿海风电场受每年台风影响的发电利用小时数约为100~200 h。但风电选型与台风的不匹配,不仅未能充分利用台风资源,还造成了严重的经济损失。2006年,台风“桑美”登陆浙江省苍南县马站镇,穿过苍南鹤顶山风电场,现场测到的极大风速为81.1 m/s,因有些风力发电机组的设计安全等级没有达到“桑美”的强度,加之苍南鹤顶山地形复杂,使台风经过时各种风况更加复杂、剧烈,致使苍南鹤顶山风电场28台风力发电机组全部受损,造成了难以挽回的经济损失^[6]。据《南方周末》报道,2014年,超强台风“威马逊”登陆海南文昌,中心风力17级(60 m/s),造成周边风电场华能集团旗下的海南文昌风电场3台机组损毁,1台被整体吹倒,2台叶片飞掉;粤

电集团旗下的湛江徐闻勇士风电场13台风机被整体吹倒,5台出现叶片破裂、机舱被揭开、发电机掉落,损失惨重。

可见,风场资源与风机选型的匹配对风电场的效益起着至关重要的作用。

2.1.4 风场容量与升压站规模的不匹配

由于各省将大项目化整为零规避审批,从而导致地方与国家新能源开发整体规划存在一定冲突,与电网整体规划不协调。有些项目在开发时,考虑到了未来几期项目,先行建设了电压等级高、变电容量大的升压站,造成成本增加,但随着规划调整,后续项目未能及时跟上,造成许多风场发电成本升高,经济效益却未能达到预期效果。

2.1.5 送出线路建设与风场建设不一致

截至2013年底,中国风电机组装机容量91.41 GW,而并网容量77.16 GW,差异超过15%。由于送出线路审批难度大、建设周期长等问题,电网建设严重滞后,外送线路的数量和容量都无法跟上风电的装机速度,造成大量风电场建成却无法并网。

开发陆上风电项目遇到的问题主要由风场的规划及选址、与电网规划不协调导致,若能创新开发建设模式,统筹考虑各方资源,必将降低发电成本,提高风场经济效益。

2.2 海上风电

2.2.1 海上风电开发成本高、上网电价较低

尽管海上风电具有风速高、风向稳定、有效利用小时明显高于陆上风电场等优点,但是海上风电场由于建设、安装、入网以及维护难度的增加,投资成本远高于陆上风电场。就东海大桥风电示范项目而言,含税上网电价为0.978元/(kW·h),比陆上风电特许权招标电价相比高出近一倍。即使这样,业内专家认为该项目仍难以实现收支平衡。2014年6月17日,国家发改委公布的《关于海上风电上网电价政策的通知》,明确提出对非招标的海上风电项目,区分潮间带风电和近海风电两种类型确定上网电价。2017年以前投运的潮间带风电项目含税上网电价为0.75元/(kW·h),近海风电项目含税上网电价为0.85元/(kW·h)。这样的电价与欧洲成熟的海上风电电价相比较低,特别是在国内起步阶段,低电价会使开发商和产业链的所有参与者面临一定的风险。所以海上风电成本与电价的不

匹配是阻碍其大规模商业应用的主要因素之一。

2.2.2 海上风电场电价“一刀切”并不合理

虽然海上风电电价的出台会促进我国的海上风电建设,但电价“一刀切”的模式并不合理。我国拥有18000 km的海岸线,从南到北环境不尽相同,每个风电场的建设成本也随之不同。

以潮间带为例,在潮间带区域建设海上风电场,其施工及运营成本未必低于近海风电场。一是因为离岸距离远。江苏地区潮间带风电场,离岸距离基本都达到了十几公里,有些甚至达到了几十公里,而福建省规划的场址中比较多的是离岸比较近的海域,都只有几公里,没有严格按照国家2010年颁布的《海上风电开发建设管理暂行办法》中“双十”规定;二是施工及运营期成本大。潮间带风电场的建设有其自身的特点,陆上施工机械设备难以进场,海上船舶又难以满足作业水深的要求,这就要求开发商在施工期必须研制或借助专用设备,运营期内若风机有大部件需要更换,其维护成本也未必低于近海海上风电场;三是海上输出成本高。潮间带风电场离岸达到一定距离时,需要建设海上升压站,而有些地区的近海风电场虽水深较深,但离岸距离近,无需建设海上升压站,相比之下,潮间带输出和运维成本将更高。

2.2.3 海上风电场送出线路投资高、审批难

国内已建成的上海东海大桥海上风电场和如东潮间带海上风电场由于距离陆地不远,风场送出工程采用的均是35 kV海底光电复合缆,但目前国内待建的海上风电场大多离岸较远,35 kV送电电能损耗非常巨大,为了提高输电的电压等级,就需要在海上建一座海上升压站。目前我国还没有已建成的海上升压站,电网公司也没有海上电网的相关规划,若是开发商要投资一座海上升压站以及长距离、高电压等级的海底电缆,一是开发商的投资成本增加,使项目收益下降,可能会导致经济性不满足开发条件;二是建成后每个风电场都将会有海底电缆路由,这会导致海洋资源的浪费,海洋部门势必会加强送出线路的监管,这样审批困难也将增大。因此如果海上电网的规划不能优先于海上风电场的规划,势必会造成许多风场建成后并网难、空转等现象。

3 海上风电一体化设计设想

欧洲是海上风电发展最快的地区,2013年欧洲

海上风电新增装机容量 15.67 GW，同比增长 34%，累计装机容量为 6.562 GW，提供欧洲 0.7% 的电力消费。但海上风电的成本过高阻碍了海上风电的发展，为此 DNV GL 集团公司提出了“Project Force”理念，即通过一体化设计降低海上风电成本，针对海上风电基础及风电机组整体设计、优化叶片、放宽概率约束、增强控制策略四个方面突破成本瓶颈，实现成本的降低，为一体化设计应用于海上风电领域提供了重要指导和参考。

2007 年 11 月，我国第一个海上风力发电示范项目在渤海绥中 SZ 3621 油田建成发电，这标志着我国海上风力发电探索取得实质性突破^[7]。2010 年 10 月 1 日，中国第一个真正意义上的海上风电项目上海东海大桥 100 MW 海上风电场项目正式投入运营，但截至 2014 年 8 月，全国已投产的海上风电装机仅 400 多兆瓦，与国家“十二五”海上风电 5 GW 相差甚远，发展较预期缓慢。

针对海上风电场，一体化设计作为一个全新的理念，旨在通过对海上风电场几大板块的各个组成部分进行有机融合，协同合作，优化整体设计和方案，降低成本，实现效益最大化，推动海上风电行业健康、快速发展，不仅可以应用在风机基础与风电机组的一体化设计，还可以应用在海上风电项目前期核准的一体化应用设想、海上风电场自然条件与风机选型的一体化设计、海上风电项目施工期的一体化管理模式、海上风电场运营一体化信息平台设计等方面，达到降本增效的目的。同时可在海上风电发展初期，避免陆地风电大规模快速发展造成的诸多弊端和损失。

3.1 项目前期核准一体化应用设想

2010 年 3 月国家能源局组织了第一批海上风电场四个项目的特许权招标，分别位于江苏省盐城市的滨海（300 MW）、射阳（300 MW）、大丰（200 MW）和东台（200 MW），总装机容量达 1 GW。但由于前期核准涉及海域使用、通航安全、海缆路由、海洋环评、军事等十多个支持性文件，如图 1 所示。牵扯到国土、海洋、渔业、部队等多个部门，手续繁琐、程序复杂，特别是部门之间信息独立、各自为政，存在多次返工，大大增加了项目前期成本和拉长了项目审核时间。直到 2013 年 7 月，滨海、大丰、东台项目历时 3 年才取得了核准，结束了这场审核马拉松，而射阳项目由于规划与军事

冲突，导致场址较大变更，未能核准。

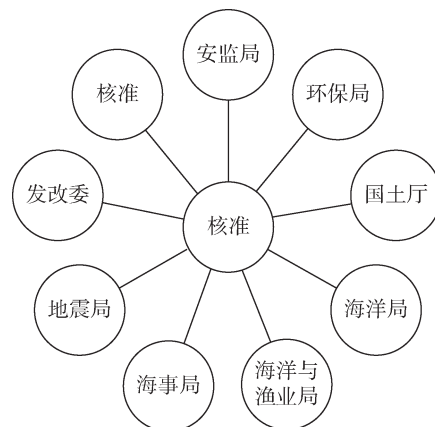


图 1 核准支持性文件涉及的政府部门

Fig. 1 Supporting Documents Related to the Approval of Government Departments

为此，引入项目前期核准一体化有望大幅降低项目前期成本，缩短核准时间。但这需要涉及核准的政府各部门做到一体化统筹考虑，即信息内部共享，互相协作，在保证项目本身规划合理性的前提下，避免重复劳动，优化审批流程，提高项目审批效率。

江苏省作为国家千万千瓦级风电基地之一，一直致力于推动国家风电事业的快速发展，截止至 2014 年上半年，江苏省累计并网容量 2.786 7 GW，特别是江苏省具有强大的电网结构、延伸百里的浅海大陆架，是国家最重要的海上风电发展基地，为了推动江苏省内海上风电的健康发展，政府在海上风电接网问题意识到了一体化的重要性，今年江苏省提出了建设海上电网的思路，即海上风电场升压路由一体化设计，指在某海域同时涉及多家开发商的海上风电场，容量达到了一定规模，则各开发商组成海上接网联盟，成立合资公司共同建设一个大型的海上升压站，供该区域各海上风电场接入使用。可以说这是海上风电电网规划和风场规划及开发商与一体化的有机结合，既可有效降低接入成本，又可节省海洋资源，优化了资源配置。

3.2 海上风电场自然条件与风电机组选型的一体化设计

海上风电场的效益除了造价外，风电场的电能产出（即发电量），也起着决定性的作用，而海上风电场的发电量有两个主要影响因素：场区风能资源和风电机组的选型。

风能指的是作水平方向流动的空气所具有的动能^[8], 而风机由风能转换后得到的发电功率的公式表达为:

$$W = 1/2 \times \rho \times A \times v^3 \times C_p \times \eta \quad (1)$$

式中: ρ 表示该区域空气密度; A 表示空气通过的面积(即风轮扫略面积); v 表示空气流过的速度(即风速); C_p 表示风能利用系数; η 为风电机组的转换效率。

由此可分析得到, 风电机组的产能跟 ρ 、 A 、 v 、 C_p 、 η 有着直接的关系, 其中 ρ 、 v 是由风场自然条件所决定, A 、 C_p 、 η 则是由风电机组自身的设计参数和控制策略决定的。自然条件与风电机组又是相互制约的, 例如, 风电机组扫略面积在尽量满足更大的捕获风能的同时, 还需要考虑抗极端风速的能力、自身载荷承受能力等, 特别是在海上这一恶劣的自然条件之下, 还需要考虑风电机组自身风浪冲击、盐雾腐蚀以及周边适合风电机组储存、运输的码头条件等。因此, 只有将风电机组发电效率、抗风、抗浪、运输要求等特性与风场风能资源、海洋水文、地理等自然条件统一考虑设计, 才能比选出效益最好的风电机组机型。

3.3 风机基础与风电机组一体化设计

由 DNV GL 集团公司提出的“Project Force”一体化设计降低海上风电成本的理念, 主要包括四个方面内容, 即整体设计、增强控制策略、优化叶片、放宽频率约束, 通过行业联合项目(JIP)方式的运作模式, 有望实现 10% 的成本降低。

(1) 整体设计。对从桩头到叶尖的整体系统进行全面耦合的数值建模, 侧重于在风机的制造和基础的支撑之间有一个更好的衔接, 包括同时作用的风载荷浪载、风切变对风机导管架架构型式不稳定情况的影响分析、阻尼效应分析等, 同时也能对其他三项内容所降低的成本进行确定和量化。

(2) 增强控制策略。改善的控制系统包括用于降低支撑结构扭转疲劳载荷的独自变桨控制, 更加轻型、便宜的导管架, 以及可减小推力、降低支撑结构成本的机舱激光雷达等。

(3) 优化叶片。在不考虑噪音影响的情况下, 通过改变叶片的外形或平面图造型, 可使能量输出最大化并降低载荷, 降低传动链额定扭矩, 减少重量及成本。

(4) 放宽频率约束。所有结构均有固有频率共

振频率, 与其他频率相比, 在这些频率下, 结构对激励响应更显著。风电机组结构的载荷交变主要与风轮叶片的转速相关, 传统限制共振振幅方法是一种达成共振振幅最小的简单有效方法, 但这种设计方法要求导管架结构设计偏向较低固有频率, 导致底部跨度小, 而组件管壁比较厚, 重量较高。如果放宽设计频率约束再次建模分析可使用更高刚度的导管架结构设计, 其具有更高固有频率(几乎接近风轮转动频率的整数倍), 可以大幅节省钢材用料, 利于整体成本的降低。

3.4 海上风电项目建设期一体化施工组织设计

海上风电场的施工包括风机基础制造、基础施工、风机安装、升压站设计与安装、电缆敷设等, 各个板块都需要较长的时间, 且相互制约, 涉及基础制造时间、运输距离及船型选择、海上作业环境、风机吊装方式选择及施工时间、电缆敷设时间、接入系统规划建设时间等, 任何一个环节出现问题, 都会影响到整个风场的建设时间和施工成本。以海上风电运输与安装为例, 由于海上风机安装具有重心高、部件多、机位多的特点, 成为海上风电场建设过程中风险最大的环节^[9], 海上风电场的离岸距离、风场地质水文条件、风机大小重量、大型船机设备的选择、安装方式的选择等因素直接影响到施工成本和进度, 除了此板块内各环节一体化合理组织设计外, 还需要与整体风场其他环节施工进度安排等进行全面的一体化耦合设计, 才能提高效率, 降低风险。

因此, 整个风场建设期一体化施工组织设计很有必要, 将各个环节融合起来, 一体化组织设计和管理, 做到无缝衔接, 设计出最优施工方案和最短施工时间, 并以此制定行之有效的应对方案和不可预见问题的应急措施。

3.5 海上风电场运营一体化信息平台设计

海上风电场一般生命周期设计为 30 年, 加之风场维护难度大成本高, 运营成本的降低对项目的收益至关重要。目前, 以陆地风场为例, 风场的全生命周期运营由开发商负责, 而风机等大部件的维护实行质保期模式, 即质保期内为设备厂家维护, 过了质保期则由开发商接管, 在实际运作过程中, 两者只是履行一个运营人员发现故障并提出维护指令、维护人员解决故障的过程, 相互关联却又互相独立, 待质保期过后, 设备专业维护团队撤出, 开

发商第一时间难以排查出故障,手足无措,既造成了设备更大的损坏又影响了发电量。

究其原因,各运营环节信息仅简单关联,互不渗透且响应缓慢。构建海上风电场运营一体化信息平台设计方案与大数据技术相结合,构建一体化大数据信息平台设计,有望很好地解决这一问题,降低整体运维成本。首先,构建一体化信息实时共享平台,使风电场对风机运行、基础、海缆、升压站等所有监测信息、风电场与电网指令信息、风电场内气象水文实时信息等做到各部门内信息共享,缩减信息传递时间,提高信息响应速度;其次,构建一体化信息分析平台,根据搜集到的准确数据进行统计分析,故障点的频率统计及与气象条件等因素的变化规律、风电场各风机发电效率分析、功率预测分析、维护成本统计等,由表面至深层地掌握风场运行情况,通过优化运维次数、规模等,在保障最低故障率的同时,最大程度降低运营维护成本;最后,构建一体化故障查询平台,从运营期开始每一个发生的故障情况,包括故障排查、故障确认、故障处理方法及步骤、故障设备厂家信息等详细的图文资料汇总成库,就好比风场的病历一样,只要是发生过的问题都可以快速做出正确响应,同时提高整个风场的运维人员水平,即使更换了维护队伍,也能够保证新的维护队伍在最短时间内了解风场运维情况,快速融入其中,缩短故障处理响应时间,保证设备可利用率和发电量。

海上风电场全生命周期所有环节的信息,构成一个完整的海上风电场一体化大数据库,在保证整个风场资料信息的全面性、安全性的同时,做到信息的最优利用。

4 结语

海上风电,作为新能源领域的重要组成部分,在宏观调控和市场推动之下,将会迎来快速发展的时期,科学合理地降低海上风电场建设、运营成本对其健康快速发展至关重要。海上风电场一体化设计思路,可以应用到项目前期核准、设计、施工建设、运营维护等生命周期的各个环节,有望将风电场各部分有机结合,在大幅降低风场成

本的同时,提高风场的抗风险能力,给政府和开发商更大的信心。可以预见,海上风电场一体化设计将成为海上风电场研究的一大主题,引起人们的关注和研究。

参考文献:

- [1] 王治卿. 集约型一体化管理体系创建与实践 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2010: 21-22.
- [2] 陈军亚. 西方区域经济一体化理论的起源及发展 [J]. 华中师范大学学报: 人文社会科学版, 2008, 47(6): 57-63.
CHENG Junya. The Origin and Development of Economic Integration Theory in the West [J]. Journal of Huazhong Normal University: Humanities and Social Sciences, 2008, 47(6): 57-63.
- [3] 窦艳浩. 欧洲政治一体化进程中的问题与前景探析 [D]. 吉林: 吉林大学, 2012.
- [4] 梁继祥. 城乡一体化空间规划与设计分析 [J]. 建材发展导向, 2013(9): 1-2.
LIANG Jixiang. Study on Spatial Planning and Design of Urban-Rural Integration [J]. Development Guide to Building Materials, 2013(9): 1-2.
- [5] 王茜, 杨文娟. 中国风电发展历程及相关建议 [J]. 产业, 2013(6): 42-48.
WANG Qian, YANG Wenjuan. Wind Power Development Process in China and Related Suggestions [J]. Wind Energy, 2013(6): 42-48.
- [6] 王力雨, 许移庆. 台风对风电场破坏及台风特性初探 [J]. 风能, 2012(5): 74-79.
WANG Liyu, XU Yiqing. Discuss on the Characteristics of Typhoon and Its Damage to Wind Power Plant [J]. Wind Energy, 2012(5): 74-79.
- [7] 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): 277-280.
XIAO Yunqi, JIA Shujuan. Development Status and Technology Analysis of Offshore Wind Power in China [J]. East China Electric Power, 2010, 38(2): 277-280.
- [8] 林宗虎. 风能及其利用 [J]. 自然杂志, 2009, 30(6): 309-314.
LIN Zonghu. Wind Energy and Its Utilization [J]. Chinese Journal of Nature, 2009, 30(6): 309-314.
- [9] 刘培林, 赵君龙, 孙丽萍, 等. 深水平台上层模块海上吊装多浮体响应分析 [J]. 中国造船, 2011, 52(1): 157-163.
LIU Peilin, ZHAO Junlong, SUN Liping, et al. Multi-body Response Analysis During Module Lifting in Deepwater Installation [J]. Shipbuilding of China, 2011, 52(1): 157-163.

(责任编辑 黄肇和)