

生态系统理念在海上风电项目管理中的应用研究

黄松苗^{1,2}

(1. 中设国际贸易有限责任公司, 北京 100055; 2. 复旦大学信息科学与工程学院, 上海 200433)

摘要: [目的] 中国海上风电行业已迈入快速发展期, 如何创新项目开发管理模式, 有效应对海上风电造价高、界面多、工期长等问题, 实现成本降低、效能提升, 是推动海上风电行业健康快速发展的重要保障。[方法] 通过将生态系统理念应用到海上风电场项目开发和建设和运营管理中, 探索构建海上风电场生态系统, 以搭建风电场神经网络为核心, 提高整体关联效能, 实现最优开发目标; 利用层次分析法对系统影响因子权重进行定量分析。[结果] 通过海上风电场生态系统的构建, 使海上风电场具备信息快速的收集、存储、共享、分析和反馈调节功能, 降本增效, 提升风电场稳定性。[结论] 生态系统的引入为海上风电项目的开发管理和提供了新的思路, 借助人工智能技术等前沿科技的发展, 海上风电场生态系统也将不断完善和广泛应用。

关键词: 生态系统; 海上风电; 风电场神经网络

中图分类号: TM614; F270

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)02-0143-06

Application Research of Ecosystem Theory in Offshore Wind Farm Project Management

HUANG Songmiao^{1,2}

(1. China Equipment International Trading Co., Ltd., Beijing 100055, China;

2. School of Information Science and Technology, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: [Introduction] China's offshore wind power industry has entered a period of rapid development. How to innovate project development and management models and effectively deal with issues such as high cost, multiple interfaces, and long construction schedules to achieve cost reduction and efficiency enhancement are important for promoting the healthy and rapid development of the offshore wind power industry. [Method] This paper applies the concept of ecosystem to offshore wind farm project development to construct an offshore wind power project ecosystem whose core is building a wind farm neural network, improve the overall associated efficiency, and achieve the goal of optimal development of offshore wind farms. Using the AHP to quantitatively analyze the weight of the system's impact factors. [Result] Through the construction of an offshore wind farm ecosystem, offshore wind farms have the ability to quickly collect, store, share, analyze information and perform feedback regulation, reduce costs and increase efficiency, and enhance the stability of wind farms. [Conclusion] The introduction of the ecosystem has provided new ideas for the development and management of offshore wind farm projects. With the help of cutting-edge technologies such as artificial intelligence, offshore wind farm ecosystems will be continuously improved and widely used.

Key words: ecosystem; offshore wind farm; wind farm neural network

生态系统, 即在自然界任何生物群落都不是孤立存在的, 它们总是通过能量和物质的交换与其生存的环境不可分割地相互联系相互作用着, 共同形

成一种统一的整体, 这样的整体就是生态系统(Ecosystem)^[1]。生态系统通过自身信息传递、反馈调节, 完成对物质循环和能量流动的有效控制, 使生态系统各元素之间, 元素与环境之间实现动态平衡和相对稳定。将“生态系统”理念与海上风电场有机结合, 在项目开发和建设和运营管理过程中充分发

挥生态系统的功能,有望实现海上风电场各环节之间的动态平衡,并具备在内外环境一定程度波动范围内保持自身稳定的能力,提高海上风电场项目抗风险能力,达到降本增效和最优开发的目的。

1 海上风电开发趋势与问题剖析

自2008年东海大桥海上风电场项目开工建设以来,我国海上风电场的开发建设在探索中前进,在前进中探索,因海上风电开发相对陆地风电具备领域新、投资大、界面多、技术难度高、项目差异大等特点,发展初期整体行业的发展速度较预期缓慢,截止到2015年底,全国海上风电累计并网装机容量1.014 68 GW,仅为2020年5 GW并网计划的1/5。但随着海上风电技术的发展及国家海上风电政策的持续扶持,2016年我国海上风电发展迈入了快速发展期,截止到2017年底全国海上风电累计并网装机容量达到了2.788 GW(如图1所示),较2015年翻了2.7倍,在建规模超过4.8 GW,核准容量超过8.0 GW,在建项目海域从江苏、福建辐射到辽宁、河北、浙江、广东等多个地区,到2020年在建规模将超过7.8 GW,市场潜力巨大。

如此庞大的海上风电市场也将带来数千亿的资金投入,如何降低成本、提质增效,提升抗风险能力,保证项目全生命周期的稳定运行,是保障开发商利益和推动海上风电行业健康快速发展的关键,特别是攻克海上风电开发过程中面对的诸多问题和挑战。

1) 高成本。全球海上风电的投资成本,特别是欧美地区成本持续稳步降低,约为1 600美元/kW

(约合1.0 24万元/kW)^[2],而我国的海上风电成本一般在1.5万元/kW~1.9万元/kW^[3],与欧美地区差距较大。欧洲先进的大容量海上风力发电机、施工船舶等技术应用,完整的海上风电上下游产业链的形成及丰富的海上风电开发经验的积累等,均为其成本的持续降低提供了保障。这也是我国海上风电行业需要借鉴和努力完善的地方。

2) 信息效率低。信息效率主要表现在信息的传递、分析和反馈三个方面,即信息的响应时间。随着信息技术水平的进步,设备本身的信号传递已经非常迅速,但是在获得信息后,由一线逐级向决策层传递,再由决策层经分析敲定后下达指令逐级传递到一线予以执行,整个过程非常缓慢,效率很低,且无法对新获得的信息进行及时的指令纠正,仍然需要走一次流程,特别是在信息传递过程中,任何一个环节或者某个人的一时疏忽均可能导致信息传递过程的中断或拖延,无法做到信息的及时反馈,如图2所示。

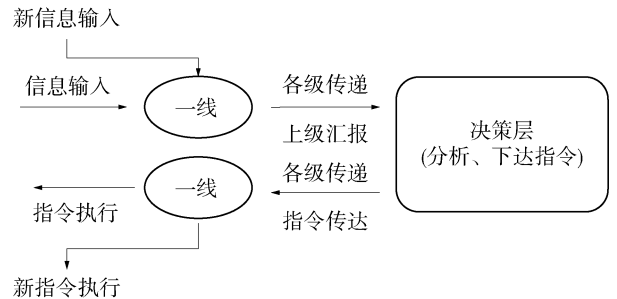


图2 传统信息传递示意图

Fig. 2 Traditional information delivery diagram

3) 风险点多。海上风电场的开发建设涉及到陆

中国历年海上风电装机情况(2008—2017)

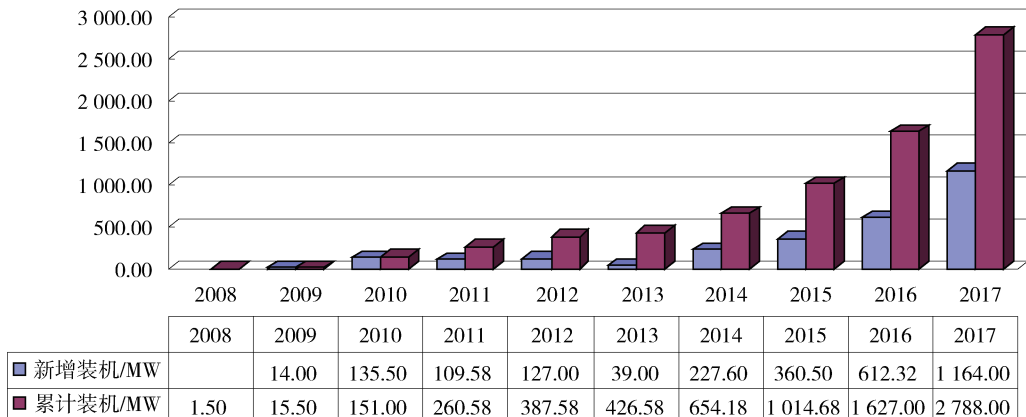


图1 中国历年海上风电装机容量图(数据来源 GWEC)

Fig. 1 China's annual installed capacity of offshore wind power(data from GWEC)

地、海底和海上作业，可谓囊括“海陆空”，且海上环境恶劣，无论是在施工阶段还是运营阶段，人身安全、设备安全、运营保障等风险均需时刻应对和防范。特别是我国海上运维经验缺乏，在运海上风电场时间较短，未来全生命周期内可能出现的潜在问题也很多，有关研究将海上风电场风险因子归纳为32个之多^[4]。如何有效保障海上风电场全生命周期内的稳定性，提高风险抵抗力至关重要。

2 构建海上风电场生态系统

2.1 生态系统

“生态系统”可以简单的理解为在一定的环境下，生态系统各元素(生产者、消费者、分解者及无机环境)通过物质循环、能量流动和信息传递等功能，使整个系统内部实现资源配置，达到相对平衡。通过生态系统结构图(如图3所示)不难发现，生态系统各元素之间均有单向或双向的直接信息传递渠道。

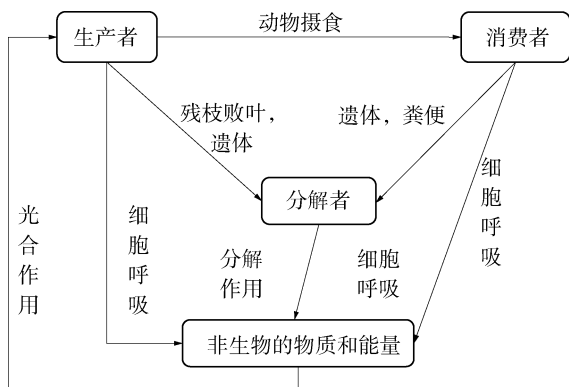


图3 生态系统结构图

Fig. 3 Ecosystem structure diagram

生态系统有大小之分，生物圈是地球最大的生态系统，而小到一个池塘也是一个生态系统。生态系统是开放的，外部环境很容易影响到它，在一定限度之内，生态系统本身能够进行自我调节，调整和修复外界干扰带来的损害，保持系统相对平衡状态；它也是一个反馈系统，能够维持系统的正常功能和结构，达到一个稳定状态，并不是完全被动接受环境的影响。

生态系统通过自身具备的各项功能，实现了自身系统的资源配置、动态平衡及相对稳定。

1) 基本功能。即物质循环、能量流动、信息传递，这是系统能够维持动态平衡的根本，是系统的

物质来源、能量来源和方向指引。

2) 反馈功能。生态系统自身构建了一个完整的信息传递网络，各个元素通过这一网络，对信息进行收集、分析和反馈，使自身与系统保持动态平衡，满足自身物质循环和能量传递需求。所有元素对所获信息的分析和反馈，即构成了生态系统的反馈功能，信息的传递和反馈是根据内外部环境变化持续进行的，也是生态系统实现自我调节的动态机理。

3) 稳定功能。生态系统稳定性的定义为，生态系统所具有的保持或恢复自身结构和功能相对稳定的能力^[5]。生态系统通过上述功能实现了自身的相对稳定，主要体现在两个方面：一是系统元素之间的关系、系统结构和功能的稳定性，内部元素之间达到一个动态和谐的状态，相互作用，互相制约；二是系统对外部环境的干扰在一定程度内保持稳定的状态，即具备一定的抗外界干扰能力。

生态系统本身就是一种管理模式，它使能量流动、生产者、消费者、分解者和生态环境之间达到平衡，实现相互之间的和谐发展。若能将生态系统的管理机理应用到项目开发中，可优化项目开发过程中的资源配置，使各环节和谐配合，在实现最优开发的同时，提升项目整体的抗风险能力。

2.2 海上风电场生态系统

海上风电产业已迈入快速发展期，而作为我国风电新的领域，为了避免开发经验欠缺，产业结构不完整等弊端，必须寻求新的高效的管理模式，实现项目的最优开发，提高未知风险的防范能力。将“生态系统”理念与海上风电项目开发进行有机结合，搭建以风电场神经网络平台为核心，具备信息传递与存储、分析与反馈和快速调节功能的“海上风电场生态系统”，为我们在探索更加高效化、智能化海上风电场开发思路，实现降本增效和最优开发提供了新的思路和方向。

2.2.1 海上风电场生态系统特点

海上风电场项目开发过程按时间可分为前期、施工和运营三个阶段。前期阶段，即项目前期选址到核准批复的阶段；施工阶段，即项目从办理施工相关准许手续、施工建设到项目竣工验收的阶段；运营阶段，即项目从并网发电至项目生命周期结束的阶段，是人为建设的项目从无到有的过程。我们所希望构建的海上风电场生态系统，将贯穿海上风

电场全生命周期中，其与自然界生态系统有所区别，有其独有特点。

1) 人为创建的系统。海上风电场生态系统不是自然形成的，是人为为了充分利用生态系统的功能，提高项目开发管理能力而创建的。

2) 无物质循环。与自然生态系统物质循环功能不同，海上风电场生态系统无需通过物质循环传递能量，仅存在物质流动，且大部分物质流动在施工阶段即完成和结束。

3) 记忆功能。即长期数据存储功能，这是海上风电场生态系统特有的功能，自然生态系统无此功能。

2.2.2 海上风电场生态系统构成

海上风电场生态系统由项目环境、项目生产者、项目消费者三部分构成，如表1所示。在不同开发阶段各部分的具体内容也将相应变化。

表1 不同阶段各部分内容构成

Tab. 1 The composition of each part of the different stages

系统要素	前期阶段	施工阶段	运营阶段
项目环境	风资源，政策，技术水平等	施工条件，价格水平，政策等	风资源，政策等
项目生产者	开发商	开发商	风电场
项目消费者	除开发商外其他参与者	除开发商外其他参与者	开发商

1) 项目环境：项目开发所需的内外部环境，包括项目所在气候条件，开发建设所需技术水平、施工条件、价格水平、相关政策等项目开发建设运营涉及的一切环境。

2) 项目生产者：项目建成前开发商；项目建成后的项目本身生产的电能及创造的效益等。

3) 项目消费者：项目建成前为除开发商外的参与者；建成后开发商转变为消费者。

2.2.3 海上风电场生态系统功能

构建海上风电场生态系统的目的，是将生态系统的功能充分发挥到海上风电场开发建设中，实现降本增效和最优开发，所有功能均需要人为参与来实现。具体功能及实现方法如下：

1) 物质流动，即在海上风电场开发建设运营过程中所需的设备、材料等物质的流入，从项目开始施工到项目并网发电是物质流动最主要的阶段，项目建成后物质流动则以满足日常运营维护所需物质提供为主。物质流动的实现通过原料采购、制造、

运输、施工等环节实现。

2) 能量流动，即项目建成前，完成项目前期核准及施工建设过程中所需的能量供给，如车辆、施工船所需一次能源、施工设备所需的电力供应等，主要通过使用燃料、电能等实现；项目建成后，海上风电场将风能→机械能→电能并通过输电线路送至负荷侧的能量流动，主要通过海上风电机组的电能制造和线路的电能传输来实现。除此之外，还包括维持正常运营维护所需的能量供给。

3) 信息处理，即对海上风电场内外部信息进行收集、存储、共享、分析与反馈调节。此功能为海上风电场生态系统核心功能，通过搭建风电场神经网络平台来实现，如图4所示。平台的搭建主要运用物联网、大数据、云计算等先进IT技术，使风电场内所有元素均可通过神经网络进行信息一站传递，跳过中间逐级传递环节，决策层可通过神经网络直接与一线进行信息反馈，下达指令。通过信息的高效处理，使得海上风电场各环节之间实现信息通畅和信息共享，也使得人们对整个风电场实现了全面的观测和控制，更加有效的进行各元素之间的资源配置，减少资源的重复和浪费。

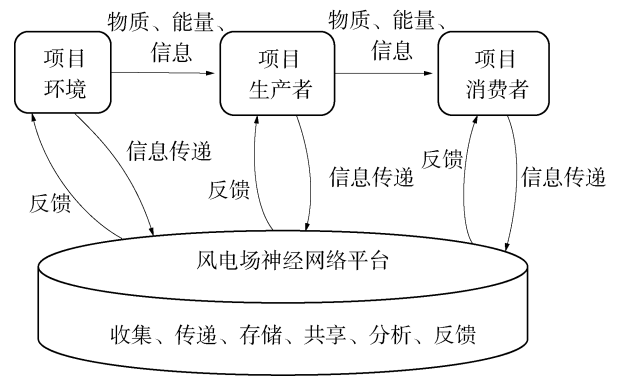


图4 海上风电场生态系统信息处理示意图

Fig. 4 Offshore wind farm ecosystem information processing diagram

同时神经网络平台对相关信息可进行长期存储和共享，重复的信息输入即可直接查询和反馈，具备不断的学习能力，这也是提升风电场抗风险能力的关键。

4) 稳定性，即能够抵抗一定程度的外部干扰或内部变动，使海上风电场趋于稳定的能力。此功能的实现，主要通过风电场神经网络平台的搭建，不断提升系统信息的收集、存储和分析能力，持续的进行自我学习，同时为人们提供大量的数据进行研

究，更深入和全面的掌握风电场实际情况，提高风险点挖掘能力，并对可预见的风险进行提前设置和防范，这是提升海上风电场抗风险能力的关键。

2.2.4 海上风电场生态系统影响因子

作为人为创建的系统，海上风电场生态系统功能的发挥需要人为的持续干预。我们将采用层次分析法(AHP)对海上风电场生态系统的影响因子进行梳理和权重分析，提供侧重维护建议，以保障系统的完整性和持续性。

1)前期阶段层次分析如图 5 所示。

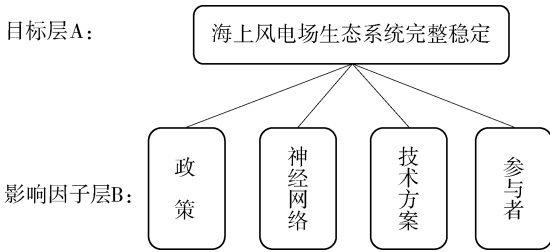


图 5 前期阶段层次结构图

Fig. 5 Hierarchy of the early stage

前期阶段主要完成项目可行性论证和支持性文件办理工作，因此将前期阶段分成政策(B1)、信息网络平台(B2)、技术方案(B3)、参与者(B4)四个影响因子。利用层次分析中的判断矩阵对影响因子的相对重要性进行比较，结果如表 2 所示。

表 2 前期阶段影响因子相对重要性比对表

Tab. 2 Pre-phase impact factors relative importance comparison

A	B1	B2	B3	B4
B1	1	1/5	2	1/5
B2	5	1	4	1
B3	1/2	1/4	1	1/5
B4	5	1	5	1

通过层次分析法矩阵计算(计算过程略)，得出最大特征根 $\lambda_1 = 4.088$ ，权向量 $w_1 = (0.104, 0.404, 0.077, 0.423)^T$ ，一致性指标 $CI_1 = 0.0295$ ，一致性比率 $CR_1 = 0.0328 < 0.1$ (满足一致性检验)，权重结果见表 3 所示。

表 3 前期阶段影响因子权重测算结果表

Tab. 3 Pre-phase impact factor weight calculation result table

指标 Index	B1	B2	B3	B4
权重 Weight	0.104	0.404	0.077	0.423
排序 Rank	3	2	4	1

从结果分析，在前期阶段保证参与者均能够正常参与，且保证神经网络平台的通畅，实现信息的收集、传递、共享和处理是保障前期阶段海上风电场生态系统能够发挥功能的关键。

2)施工阶段层次分析如图 6 所示。

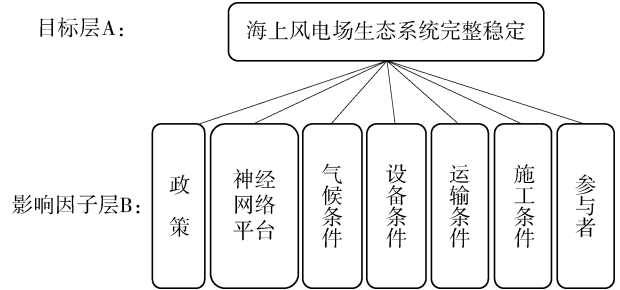


图 6 施工阶段层次结构图

Fig. 6 Hierarchy of the construction stage

施工阶段主要完成项目建设工作，因此将施工阶段分成政策(B1)、神经网络平台(B2)、气候条件(B3)、设备条件(B4)、运输条件(B5)、施工条件(B6)、参与者(B7)七个影响因子，同理可得施工阶段影响因子相对重要性比对表如下。

表 4 施工阶段影响因子相对重要性比对表

Tab. 4 Pre-phase impact factors relative importance comparison table

A	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
B1	1	1/6	1/5	1/5	3	1/5	1/7
B2	6	1	4	3	7	1/3	1/3
B3	5	1/4	1	1/3	3	1/4	1/5
B4	5	1/3	3	1	6	1	1/3
B5	1/3	1/7	1/3	1/6	1	1/5	1/7
B6	5	3	4	1	5	1	1/2
B7	7	3	5	3	7	2	1

同理得出施工阶段最大特征根 $\lambda_2 = 7.751$ ，权向量 $w_2 = (0.037, 0.197, 0.073, 0.143, 0.026, 0.220, 0.331)^T$ ，一致性指标 $CI_2 = 0.125$ ，一致性比率 $CR_2 = 0.0948 < 0.1$ (满足一致性检验)，权重结果如表 5 所示。

表 5 施工阶段影响因子权重测算结果表

Tab. 5 Impact factor weight calculation result in construction stage

指标	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
权重	0.037	0.197	0.073	0.143	0.026	0.220	0.331
排序	6	3	5	4	7	2	1

从结果分析,在施工阶段,要保证项目能够顺利建设,系统能够发挥功能,参与者的协调及之间的合同履行,施工条件的具备及神经网络平台的搭建是关键。

3)运营阶段层次分析如图7所示。

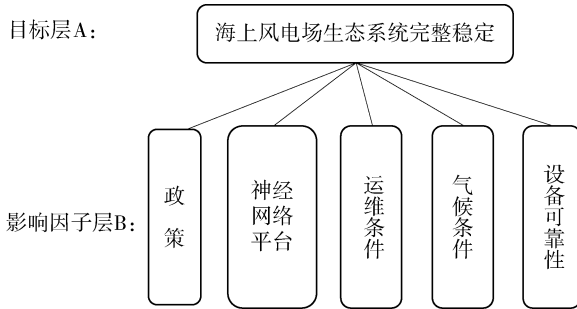


图7 运营阶段层次结构图

Fig. 7 Hierarchy of the operational stage

运营阶段主要任务是保障风电场的健康稳定运行,因此将运营阶段分成政策(B1)、神经网络平台(B2)、运维条件(B3)、气候条件(B4)、设备可靠性(B5)五个影响因子,同理可得运营阶段影响因子相对重要性比对如表6所示。

表6 运营阶段影响因子相对重要性比对表

Tab. 6 Impact factor weight calculation result in operational stage

A	B1	B2	B3	B4	B5
B1	1	1/6	1/3	1/5	1/7
B2	6	1	3	3	1/3
B3	3	1/3	1	1/3	1/7
B4	5	1/3	3	1	1/5
B5	7	3	7	5	1

同理得出运营阶段最大特征根 $\lambda_3 = 5.305$, 权向量 $w_3 = (0.039, 0.247, 0.075, 0.143, 0.520)^T$, 一致性指标 $CI_3 = 0.0763$, 一致性比率 $CR_3 = 0.0681 < 0.1$ (满足一致性检验), 权重结果如表5所示。

表5 施工阶段影响因子权重测算结果表

Tab. 5 Impact factor weight calculation result in construction stage

指标	B1	B2	B3	B4	B5
权重	0.039	0.247	0.075	0.143	0.520
排序	5	2	4	3	1

从结果分析,在运营阶段要保证项目正常运行,保证风电场项目设备可靠性和充分发挥神经网络平台是关键,特别是保障设备的可靠性尤为重要。

3 结论

面对一次能源枯竭及其大量消耗带来的环境问题,全世界均在寻求解决能源与发展之间矛盾的有效途径,能源科技发展是方向,能源结构改革是必经之路,新能源发展是必然趋势,海上风电产业作为新能源的主要构成,在国家能源战略改革和扶持政策的引导下,迎来了快速发展的春天。海上风电场生态系统的构建为海上风电项目的管理开发提供了新思路,力求在降低投资成本、减少开发风险、提升项目效益同时,提升海上风电场开发的抗风险能力,实现海上风电场各元素之间的最优平衡。

未来,随着海上风电技术的突破和人工智能技术的开发,海上风电场生态系统将更加数字化、智能化,对成本的控制和风险的防范能力也将不断提升。与此同时,通过对系统不同阶段各个环节的构成、权重的完善,海上风电场生态系统也将会更好地发挥功效并拓展到区域海上风电综合系统及其他领域中。

参考文献:

- [1] 刘茂松. 论洞庭湖生态经济区“绿色工业化”战略 [A]. 湖南省洞庭湖区域经济社会发展研究会. 2012 洞庭湖发展论坛文集 [C]//湖南省洞庭湖区域经济社会发展研究会, 2012: 2-19.
- [2] RAGHEB M. Economics of wind energy [OL]. (2017-03-16). <http://mragheb.com/NPRE%20475%20Wind%20Power%20Systems/Economics%20of%20Wind%20Energy.pdf>.
- [3] 贤集网. 简述海上风电项目的经济性及其成本控制 [OL]. (2018-03-13). https://www.xianjichina.com/news/details_65698.html.
- [4] 张雪娜. 海上风电项目风险管理信息系统研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2017.
- [5] 赵锦程. “生态系统的稳定性”相关概念解析 [J]. 中学生物学, 2015, 31(7): 5-6.

作者简介:



HUANG S M

黄松苗 (通信作者)

1986-, 男, 福建泉州人, 中设国际贸易有限责任公司技术部经理, 复旦大学项目管理工程硕士 (在读), 华北电力大学风能与动力工程学士, 主要从事风电、光伏等新能源项目设计与开发工作 (e-mail) huangsongmiao@163.com。

(责任编辑 郑文棠)