

计及气象不确定性的海上风电场建设 多目标资源配置策略优化

潘国兵¹, 徐 源¹, 何蓉蓉², 楚文楷², 林子义², 祁廉臻¹

(1. 浙江工业大学分布式能源与微网研究所, 杭州 310014;

2. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 杭州 311122)

摘 要: 为改善海上风电传统资源配置的局限性,分析了基于气象不确定性的海上风电场建设资源配置策略优化的流程,提出涵盖最小工作时长、资源配置优化率、窗口期利用率、成本效益比值等的多目标的策略优化指标;建立基于离散数字仿真平台的海上风电资源配置优化模型,统计各项优化指标,评估海上风电建设配置资源优化效益。以老挝孟松风电项目为算例进行仿真,仿真结果表明所建立的资源配置策略优化模型可模拟海上风电场施工流程,显示气象、风电机组、人员等的实时状态,并较为准确地推算出最小工作时长、资源配置优化率、窗口期利用率及成本效益比值关键指标,有效优化了风电场安装时的资源配置,提高了海上风电场的施工效率,为海上风电场项目施工提供前期规划,实现降本增效的目的。

关键词: 海上风电; 资源配置; 策略优化; 气象不定性; 离散仿真

中图分类号: TK89

文献标志码: A

0 引 言

在全球范围内,减少温室气体排放与推动能源结构转型的诉求日益迫切,海上风电凭借其清洁低碳、可持续利用的特性,作为一类重要的可再生能源,正引发广泛关注。特别是在“碳达峰、碳中和”的目标下,海上风电因其资源丰富和利用前景广阔,被视为未来绿色能源的主力军^[1]。但与此同时海上风电建设成本也更高,对比同尺寸陆用风电机组安装成本,海上风电成本将超过陆地两倍之多^[2]。总体而言,海上风电场的建设成本占项目总成本的 20%~30%,且这一比例将随着水深的增加而增加^[3]。施工期是影响成本的主要变量^[4]。此同时,由于 2021 年底取消公共补贴,预计海上风电项目在“十四五”规划期间(2021—2025 年)将面临实现海上风电平价上网的巨大压力,由此可见,风电机组安装施工成本实行降本增效迫在眉睫^[5]。

海上风电安装的推进过程显著受气象条件与人员作业时间约束。为此,推进考虑气象不确定性的海上风电建设资源配置策略仿真优化研究,对缩短风电场建设周期、提升其经济效益具有关键价值,同时也符合国家碳中和战略以及“十四五”规划。针对海上风电建设资源配置策略优化是实现海上风电场降本增效的重要途径。因此,国内外众多学者

开展了大量研究。Typian 等^[6]尝试用基于蒙特卡罗算法的数值模拟来评估海上风电机组安装可作业窗口与怠机时长的方法;Tezcaner Öztürk 等^[7]开发了一个优化模型,确定了对天气不确定性具有稳健性的安装计划,该模型通过分配任务持续时间来确定安装计划,从而为项目持续时间提供最坏情况的上限。Morandeau 等^[8]提出一种旨在支持海洋能源站点的安装操作的工具。其汇总统计数据来模拟天气对安装的预期影响。Scholz-Reiter 等^[9]构建了面向船舶调度的数学模型,整合天气预报数据推算最优施工调度方案,以此优化码头风力机组件的运输供应时序;Ait-Alla 等^[10]聚焦海上风电场总体安装规划议题,依托数学模型编制中期规划评估表,借助该表实现项目总成本的降低;Gopalan Achary Venkitachalam^[11]则针对海底电缆施工安装环节开展规划模拟,为增强模拟的现实贴合度,在模型中引入不确定性变量并剖析其对安装流程的作用机制;吴梦宁等^[12]在考虑天气预报的不确定性,使用时域数值模型来评估海上风力涡轮机叶片安装情况。

以上研究为海上风电建设资源配置优化提供了重要参考。中国虽然大力推进海上风电场建设,但针对于该领域施工进程的系统化研究相对较少。在海上作业过程中,气象条件的不确定性会对天气窗口的预测产生显著影响,进而干扰

收稿日期: 2025-01-20

基金项目: 浙江省海洋产业科技项目深远海风电机组电能质量机/电机理研究与治理装置研制(2026HYC01012)

通信作者: 潘国兵(1978—),男,博士、教授,主要从事分布式新能源、电力系统自动化、电能质量检测与治理方面的研究。

guobpan@gmail.com

施工决策的制定。鉴于此,本文打算着重考量气象不确定性因素,对海上风电建设的资源配置流程展开剖析,构建海上风电施工规划模型。同时,建立包含最小工作时长、资源配置优化率、窗口期利用率、成本效益比值等多目标策略优化指标的评价体系,评估在天气状况和人力资源因素的作用下,各工序在不同施工内容与环节中,施工进度和完成度的模拟结果,最终达成海上风电场建设资源的优化配置。

1 基于气象不确定性策略优化流程

海上风电资源配置策略优化是指基于气象不确定性、人力物力资源等条件下对于海上风电场施工项目的前期规划。一般是由施工中心统筹物料、人员等资源配置,检查施工天

气以及天气持续时间窗口等气象条件以及人工持续作业时长是否满足工序的海上施工条件,通过条件判断挑选当前境况下适宜的工序。只有在天气满足施工条件,配置资源充足时选择当下最适宜的工序才能进行海上施工任务。

1.1 工序类型

海上风电场施工工序复杂,不同的工序所需配置的资源亦不同。以风电机组安装为例,其从进点抬船至降船拔腿共需 21 道工序。21 道工序从施工方式来看分为运输、吊装、倒运、其他四大类型,同时按平均施工时长、最小可中断时长、延误、紧前工序、所需人员数量、施工费用等维度将工序进行细化,工序分类以及分类描述如表 1 所示。

表 1 工序的分类以及分类描述

Table 1 Classification of processes and classification descriptions

事件	时长	紧前工序	是否可中断	最小可中断时长	延误发生概率/%	延误值/%	所需人员数	工序所需费用	属性
A1	T_{A1}	A0	是	1	10	18	4	15	倒运
A2	T_{A2}	A0, A1	否		0	0	6	20	吊装
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
Z1	T_{Z1}	Y1	是	2			4	15	其他

1.2 建设资源

施工设备的选择在一定程度上受制于气象条件,在类型为“运输”的工序中有塔筒、机舱、轮毂、叶片及其他施工物料的运输,只有船舶在抗风浪性满足当前气象条件的运输要求才允许出海。在类型为“吊装”工序中,吊机的选择与船舶也有类似的限制。

此外,施工人员的数量也将决定建设资源配置效率,不同工序配备相适宜数量的劳力,使资源配置效率和人员成本保持动态平衡。海上风电施工中,工人每日可作业时长对工程进度和资源使用效率有着重大影响。工人日可工作时长受天气、海浪、风力等因素影响。在适宜天气下,延长工作时长可加快进度,但需考虑工人疲劳与安全。施工策略优化需考虑人力利用。应根据条件和进度要求,灵活调整人力配置,适应变化环境。

1.3 气象不确定性

根据 Teotónio 等^[13]的研究,海上风力发电机组安装在很大程度上受气象因素的影响。当降雨量大于 10 mm/d 或风速大于 6 m/s 时,所有的高空作业,吊装都将停工^[14];气温过高也会影响施工,而海浪条件也往往会影响到船舶的工序^[15]。因此考虑到项目进度需求,所需的气象数据有 5 类,分别为降雨量、10 m 风速、100 m 风速、温度及浪高。

对于一项工序 t_0 时刻是否可进行,取决于在资源充足

时,该工序要求的最小工作时长 t_s 内是否同时满足其所需的 5 项气象条件 R_i 。表示工序是否可执行的函数 $I_{(t)}$ 如式(1)所示。

$$I_{(t)} = \begin{cases} 1, & R_{(t)} > R_{(s)} \\ 0, & R_{(t)} \leq R_{(s)} \end{cases}, t \in [t_0, t_s] \quad (1)$$

式中: R_s ——施工所需的必要气象条件; R_t ——当前 t 时刻的气象条件。

2 资源配置优化指标

2.1 最小工作时长

在海上风电项目中,最小工作时长 t_s 是一个关键的调度参数,它决定了每个工序在开始后可工作的最短时间。这个指标对于施工的可中断性和施工效率有直接影响。对于可灵活开始和停止的工序,如物料运输,通常将最小工作时长设的短一些。这意味着,如果遇到不利条件,这些工序可快速调整,而不会浪费太多资源。对于需连续作业的工序,如叶片吊装,需设置一个较长的最小工作时长,以确保施工质量和安全。通过这种方式,施工团队可有效管理施工时间,确保在满足施工要求的同时,最大化资源的使用效率。

2.2 窗口期利用率

施工窗口期是指在特定的气候和海洋条件下,适合进行施工的时间段。由于海上环境的复杂性和不确定性,施工窗

工期通常较短,有效利用这一时间段可提高窗口期利用率 U ,确保项目按时完成。

$$U = \frac{T_a}{T_t} \times 100\% \quad (2)$$

式中: T_a ——在施工窗口期内,实际用于施工的总时间, h ;
 T_t ——根据气候、海况等因素确定的适合施工的总时间, h 。

2.3 资源配置优化率

资源配置优化率 R 衡量通过优化资源配置所获得的效率提升。它反映了在资源有限的情况下,通过合理调配资源以提高施工效率的能力。海上风电施工通常面临复杂的环境条件和高风险,因此合理配置和调度资源尤为重要。

$$R = \frac{\eta_b - \eta_a}{\eta_a} \times 100\% \quad (3)$$

式中: η_a ——在实施资源优化配置后的资源利用效率; η_b ——未优化前的资源利用效率。

2.4 成本效益比值

成本效益比值(cost-benefit ration, CBR)是用于衡量项目的实际成本与预期成本之间的关系,其计算公式为:

$$R_{CBR} = \frac{C_a}{C_e} \quad (4)$$

式中: R_{CBR} ——成本效益比值; C_a ——项目的实际成本; C_e ——项目的预期成本。

该指标可直观表征项目实际成本管控的成效。当成本效益比小于 1 时,表明项目实际成本低于预期值,经济表现较优;若比值大于 1,则意味着实际成本超出预期阈值,经济效益欠佳。

3 基于离散仿真的资源配置优化模型

采用离散事件仿真方法,描述海上风电场施工状态,资源配置效率,建设资源数量等特征,以历史气象数据作为海上风电施工运行环境,以海上风电实际施工流程作为驱动规则,模拟海上风电施工过程,刻画风电机组、施工设备、人员的实时状态,统计海上风电的效率与经济指标。建立如图 1 所示的离散事件仿真系统,系统包含仿真工序设置,资源气象因素模拟,仿真规则设定。

其中系统仿真规则设定具体可分为:

1) 施工条件的判断。判断施工条件为策略优化规则的第一步。在已知工序基本信息后,通过设定一个布尔值变量“是否可施工”,其需同时满足工序的紧前关系,气象条件以及是否处于工人每日工作时段内 3 个条件,布尔值变量置“1”,意为该工序可施工。通过不断检索该布尔值,识别满足工序施工的时间段 T_z 内布尔值变量均为“1”,则该工序可进行施工,如若检索失败,则跳过该时刻,重新开始在新的 T_z 时间段内检索是否满足施工条件。

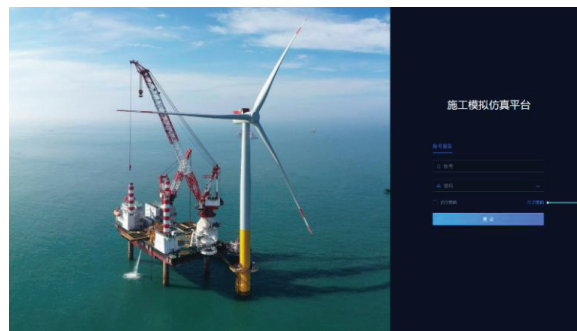


图 1 海上风电资源配置优化仿真系统

Fig. 1 Optimization simulation system for offshore wind power resource allocation

2) 工序状态的更新。将工序的施工状态归为 3 类:未完成、可执行和已完成。每次仿真执行完一个工序,对工序状态进行更新,若工序状态为已完成,则从工序池中挑选下一工序时应跳过,同时消除工序所对应的逻辑关系。

3) 工序选取方法。在海上风电建设等复杂工程场景下,当作业流程中同时存在多个可执行工序时,工序的科学选取便成为保障施工效率与资源合理调配的关键环节。优先选择不同的工序,不仅会改变后续施工的推进节奏,还会对设备调度、人员安排等资源配置产生连锁反应,对整体施工进度和成本控制造成不同程度的影响。由于每个工序的施工时长已根据工程标准和技术参数设定,在资源有限的条件下,为达到高效施工的目标,可运用贪心算法作为决策工具。该算法通过系统性地比较选取不同工序后对资源利用率的影响,权衡每一个选择所带来的即时收益,将能实现资源最大利用率的工序确定为下一执行工序。通过持续选取当前时刻的最优配置,动态调整施工顺序和资源分配方案,进而显著提升资源利用率,为海上风电项目等工程的顺利推进提供有力支撑。

3.1 效率与经济指标

已知老挝孟松海上风电施工场的经纬度坐标,获取该地近十年的天气数据作为仿真限制条件。由于海上风电场施工的复杂性,工序的最小工作时长可能会有很大的变化。吊装、倒运、以及类型为“其他”的工序施工时长可依照现场施工经验直接进行设定,运输工序的工作时长则根据不同施工场坐标之间的运输路线路程和运输车的设定时速计算以及相关规定得出。最小工作时长如表 2 所示。

由仿真系统可模拟每日实时工况,如图 2 所示,系统结合该地区气象历史数据以及工序最小工作时长对人工,设备等资源做出合理的配置,尽可能保证不停工,合理安排各工序施工时间,确保项目有序推进。由系统仿真数据得出,该项目的窗口期利用率 U 达到 91.6%。

表2 工序的最小工作时长

Table 2 Minimum working time for a process

工序	最小工作时长/h	备注
塔筒运输	2	假设平均航速和装卸时间
机舱运输	2	假设平均航速和装卸时间
轮毂运输	2	受海况和过驳设备影响
塔筒过驳	6	受海况、吊装设备、施工技术影响
塔筒吊装	4	受海况和过驳设备影响
机舱+轮毂	6	受海况、吊装设备、施工技术影响
机舱+轮毂	4	假设平均航速和装卸时间
叶片运输	2	受海况和过驳设备影响
叶片过驳	6	平均风速 8~10 m/s 条件下,单叶片吊装时间
叶片吊装	4	受施工技术,设备性能影响
叶片拉伸	2	受施工质量、验收标准影响
收尾	4	假设平均航速和装卸时间

表3 风电机组装仿真施工计划

Table 3 Wind turbine assembly simulation construction plan

施工工序	开始时间	结束时间	时长/d	施工工序	开始时间	结束时间	时长/d
安装 WA060 风电机组	2023-01-01	2023-01-23	23	运输三段塔筒车返回	2023-01-11	2023-01-11	1
运输一段塔筒	2023-01-01	2023-01-01	1	运输三段塔筒	2023-01-12	2023-01-12	1
吊机准备	2023-01-02	2023-01-02	0.5	倒运三段塔筒	2023-01-13	2023-01-13	1
倒运一段塔筒	2023-01-02	2023-01-02	0.5	吊装三段塔筒	2023-01-14	2023-01-14	1
吊装一段塔筒	2023-01-03	2023-01-03	0.25	运输三段塔筒车返回	2023-01-15	2023-01-15	1
运输一段塔筒车返回	2023-01-03	2023-01-03	0.25	运输三段塔筒	2023-01-16	2023-01-16	1
运输二段塔筒	2023-01-03	2023-01-03	0.5	倒运三段塔筒	2023-01-17	2023-01-17	1
倒运二段塔筒	2023-01-04	2023-01-04	1	吊装三段塔筒	2023-01-18	2023-01-18	1
吊装二段塔筒	2023-01-05	2023-01-05	1	运输三段塔筒车返回	2023-01-19	2023-01-19	1
运输二段塔筒车返回	2023-01-06	2023-01-07	2	机舱运输	2023-01-20	2023-01-20	1
运输三段塔筒	2023-01-08	2023-01-08	1	倒运机舱	2023-01-21	2023-01-21	1
倒运三段塔筒	2023-01-09	2023-01-09	1	机舱吊装	2023-01-22	2023-01-22	1
吊装三段塔筒	2023-01-10	2023-01-10	1	倒运轮毂	2023-01-23	2023-01-23	1

综合上述各项,海上风电项目单日成本约为 193 万元。综上,海上风电项目一天的成本大约为:193 万元。由此可得成本效益值 CBR 为 0.638,成本效益比值小于 1,说明项目的实

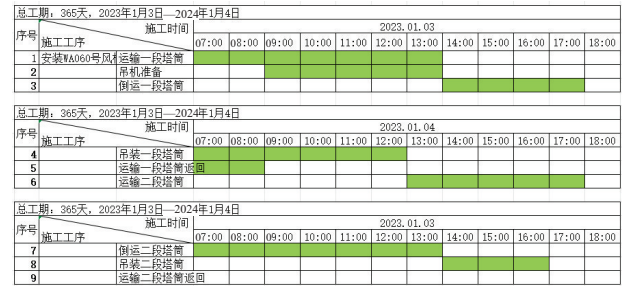


图2 每日工况横道图

Fig. 2 Daily operation schedule chart

结合表 4 所示海上风电施工项目 1—2 月份具体施工数据,安装一台风电机组计划为 36 d,通过资源配置策略优化仿真系统模拟,预计只需 23 d,较计划节省 13 d,大大节约了人工成本和设备租赁费用,资源配置优化效率 R 提升 36%。

海上风电项目的成本结构复杂,系统设定项目成本结构为人工成本、设备租赁运行成本以及其他费用。根据《海上风电建设成本构成(2022 年)》^[16]报告,建安费用约占总成本的 35%,而设备租赁运行费用约占建安工程成本的 50%,海上风电项目装机容量为 600 MW。一天的设备租赁运行成本为 140 万元。其余成本涵盖海域征用费、海上升压站建设费、高压海缆铺设费等,同时包含利息与保险支出,该部分成本占项目总成本的比例约为 10%。此外的其他费用计 49.6 万元。

际成本低于预期成本,项目经济效益较好。

3.2 仿真效果对比

为测试本文提出的海上风电建设约束条件模型的有效

性,现以中国电建集团承建的老挝孟松 600 MW 风电项目为模型进行系统仿真。该场景包含 4 个工作面,133 余台风电机组的施工组装,每台风电机组包含从进点抬船至降船拔腿的 21 道工序。根据施工流程将运输工序划分为开始前的多

段塔筒、机舱、轮毂运输,以及完成机舱轮毂施工以后的叶片运输,此外是对塔筒,机舱,轮毂,叶片开展的 8 段倒运吊装工序。表 5 所示为老挝地区近 4 年的实际风电机组装机数据。

表 4 不同气候情况下的风电机组实际施工效率

Table 4 Actual construction efficiency of wind turbines under different climatic conditions

年份	施工数量											
	雨季(15 d/台)					风季(12 d/台)			雨季(10 d/台)			
	5 月份	6 月份	7 月份	8 月份	9 月份	10 月份	11 月份	12 月份	1 月份	2 月份	3 月份	4 月份
2021	2	1	2	1	1	1	3	2	3	3	3	2
2022	2	2	2	2	1	1	2	2	3	3	3	2
2023	2	1	1	2	1	2	3	2	3	2	3	2
2024	2	2	2	2	2	1	2	2	3	2	2	3

根据施工场景建立对应的气象约束条件模型,资源约束条件模型,基于现场施工的经验设置的关键约束阈值参数,将建立好的约束条件应用在基于 Python 工具开发的海上风电施工离散仿真系统中,进行验证后得到仿真结果对比如图 3 所示。

图 3a 中展示了海上风电施工仿真系统在未引入约束条件模型时的仿真误差度,该仿真在气候适宜,资源丰富的情况下进行,环境因素的影响只在工序设定的时期基于现场人员的经验适度延长,由于缺少天气和资源的具体约束,工序施工在仿真中的安排十分紧凑,缺少施工窗口的考量,仿真中的施工进度比实际施工要快很多,且误差较大约为 14%。图 3b 为引入整体约束模型下的仿真结果,对 4 个施工期分别进行仿真,与实际施工数据的偏差分别为 5.32%、4.87%、5.13%、5.06%,综合偏差率为 5.09%,符合项目对仿真精确度的需求,结合未来气象预测数据可对将来的施工项目进行施工时长预测,根据工期需求对施工资源的投入量进行灵活调整,为项目的长期进展提供了有效参考。

4 结 论

海上风电场建安具有投资成本高,施工周期长,施工难度大,易受环境影响等特点,导致了海上风电项目施工难以提前规划施工流程,统筹资源配置。本文针对海上风电建设资源配置多目标优化策略进行深入研究,通过考虑气象不确定性等因素,精细化管理施工工序,建立基于离散数值仿真平台的海上风电资源配置策略模型。该模型解决了海上风电场施工前期难以建立精确长期施工计划的困难,为项目施工资源配置提出参考建议。可客观地对其所需人力物力、工作所需时间进行有效评估并输出预测结果,有效优化了风电场安装时的资源调度,提高了海上风电场的安装效率。以孟松 600 MW 风电项目为算例,数据结果表明,通过实施优化策略,可显著提高资源配置效率和经济效益,窗口期利用率达到 91.6%,资源配置优化率提升 36%,成本效益比值 0.638,项目实际成本低于预期成本,经济效益较好。通过与老挝地区历年的施工对比数据表明,相较于初始的海上风电施工离散仿真系统,引入约束条件模型的仿真结果更准确,与实际施

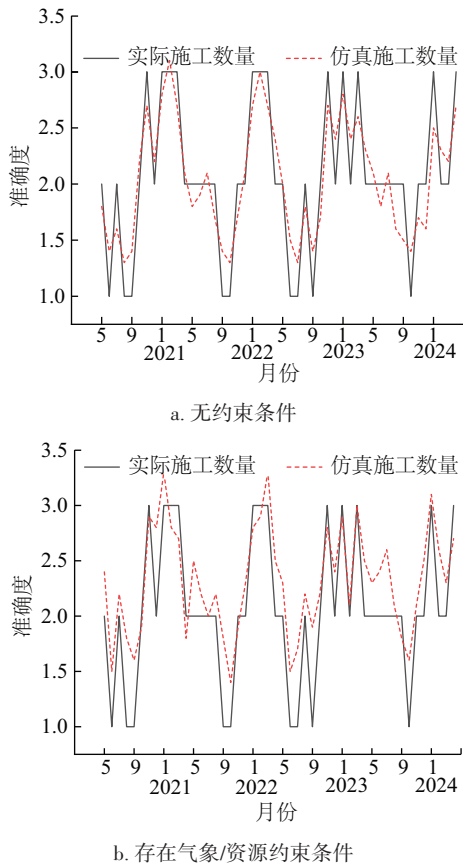


图 3 不同约束条件下的仿真方式的准确度对比

Fig. 3 Comparison of accuracy of simulation methods under different constraints

工数据的偏差约为 5.09%, 大大提升了仿真的精度和置信度, 为海上风电建设资源配置策略优化提供了科学有效的解决方案, 对加速风电场建设和提高经济效益具有重要的理论和实践意义。

[参考文献]

- [1] 刘展志, 王诗超, 郝为瀚, 等. 大规模海上风电集中送出建设模式研究[J]. 南方能源建设, 2023, 10(1): 13-20.
LIU Z Z, WANG S C, HAO W H, et al. Research on construction mode of large-scale offshore wind power centralized transmission[J]. Southern energy construction, 2023, 10(1): 13-20.
- [2] 马宇轩, 闵烨, 闫中杰, 等. 基于离散数值分析技术的海上风电机组安装施工规划模拟研究[J]. 太阳能学报, 2024, 45(6): 673-679.
MA Y X, MIN Y, YAN Z J, et al. Simulation research on aggregate installation planning for offshore wind turbines installation based on discrete numerical analysis[J]. Acta energiae solaris sinica, 2024, 45(6): 673-679.
- [3] WU Y N, HU Y, LIN X S, et al. Identifying and analyzing barriers to offshore wind power development in China using the grey decision-making trial and evaluation laboratory approach[J]. Journal of cleaner production, 2018, 189: 853-863.
- [4] URSAVAS E. A benders decomposition approach for solving the offshore wind farm installation planning at the North Sea[J]. European journal of operational research, 2017, 258(2): 703-714.
- [5] WEI Y Z, ZOU Q P, LIN X H. Evolution of price policy for offshore wind energy in China: trilemma of capacity, price and subsidy[J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2021, 136: 110366.
- [6] TYAPIN I, HOVLAND G, JORDE J. Comparison of Markov theory and Monte Carlo simulations for analysis of marine operations related to installation of an offshore wind turbine [C]//24th International Congress on Condition Monitoring (COMADEM). Stavanger, Norway, 2011.
- [7] TEZCANER ÖZTÜRK D, BARLOW E, AKARTUNALI K, et al. Robust rolling horizon optimisation model for offshore wind farm installation logistics [R]. Glasgow: University of Strathclyde, 2017.
- [8] MORANDEAU M, WALKER R T, ARGALL R, et al. Optimisation of marine energy installation operations[J]. International journal of marine energy, 2013, 3: 14-26.
- [9] SCHOLZ-REITER B, LÜTJEN M, HEGER J, et al. Planning and control of logistics for offshore wind farms [C]//Proceedings of the 12th WSEAS International Conference on Mathematical and Computational Methods in Science and Engineering. Faro, Portugal, 2010: 242-247.
- [10] AIT-ALLA A, QUANDT M, LÜTJEN M. Simulation-based aggregate installation planning of offshore wind farms [C]//Proceedings of the 12th WSEAS International Conference on Mathematical and Computational Methods in Science and Engineering (MACMESE'10). Faro: WSEAS Press, 2010: 242-247.
- [11] GOPALAN ACHARY VENKITACHALAM G. Modelling the installation of offshore wind farms: defining the installation of offshore wind submarine power cables using a discrete event simulation based logistics model [D]. Delft: Delft University of Technology, 2020.
- [12] WU M N, GAO Z, ZHAO Y N. Assessment of allowable sea states for offshore wind turbine blade installation using time-domain numerical models and considering weather forecast uncertainty[J]. Ocean engineering, 2022, 260: 111801.
- [13] TEOTÓNIO C, FORTES P, ROEBELING P, et al. Assessing the impacts of climate change on hydropower generation and the power sector in Portugal: a partial equilibrium approach[J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2017, 74: 788-799.
- [14] 林益楷, 邓双军, 杨昆鹏, 等. 中国海洋工程装备制造产业发展现状及建议[J]. 中国海上油气, 2024, 36(4): 190-198.
LIN Y K, DENG S J, YANG K P, et al. Development status and suggestions for China's offshore engineering equipment manufacturing industry [J]. China offshore oil and gas, 2024, 36(4): 190-198.
- [15] YANG Z H, LIN Y F, DONG S. Weather window and efficiency assessment of offshore wind power construction in China adjacent seas using the calibrated SWAN model [J]. Ocean engineering, 2022, 259: 111933.
- [16] 杜剑强, 李木盛, 付小军, 等. 海上风电建设成本趋势分析及石化行业投资建议[J]. 工程造价管理, 2022, 33(6): 85-91.
DU J Q, LI M S, FU X J, et al. Construction cost trend analysis of offshore wind power and investment suggestions of petrochemical industry[J]. Engineering cost management, 2022, 33(6): 85-91.

MULTI-OBJECTIVE RESOURCE CONFIGURATION STRATEGY OPTIMIZATION FOR OFFSHORE WIND FARM CONSTRUCTION CONSIDERING METEOROLOGICAL UNCERTAINTY

Pan Guobing¹, Xu Yuan¹, He Rongrong², Chu Wenkai², Lin Ziyi², Qi Lianzhen¹

(1. *Institute of Distributed Energy and Microgrid, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;*

2. *PowerChina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 311122, China*)

Abstract: To address the limitations of traditional resource allocation methods, this study analyzes the process of optimizing resource allocation strategies for offshore wind farm construction under meteorological uncertainty. A multi-objective optimization framework is proposed, incorporating four key performance indicators: minimum total working time, resource allocation optimization rate, window period utilization rate, and cost-benefit ratio. A discrete-event digital simulation-based optimization model is developed to support this framework, enabling systematic evaluation of the benefits of resource allocation strategies through statistical analysis of these indicators. The Laotian Monsoon Wind Power Project is selected as a case study for simulation. Results demonstrate that the established model can effectively simulate the entire construction process of offshore wind farms, providing real-time visualization of meteorological conditions, wind turbine unit statuses, and personnel dynamics. It also accurately quantifies critical metrics including minimum working time, resource allocation optimization rate, window period utilization rate, and cost-benefit ratio. The model also to significantly enhances resource allocation during wind farm installation, improves overall construction efficiency, and provides valuable pre-construction planning support. These outcomes collectively contribute to achieving the dual goals of cost reduction and efficiency improvement in offshore wind farm development.

Keywords: offshore wind power; resource allocation; strategy optimization; meteorological uncertainty; discrete simulation