

风电工程建设供应链协同管理基础理论与优化机制

邓明法

国家电投集团贵州金元股份有限公司安顺水力发电总厂，贵州 安顺 561000

DOI:10.61369/EPTSM.2026010019

摘 要： 在全球能源转型与“双碳”目标驱动下，风电工程建设规模持续扩张，供应链协同管理成为提升工程效率、控制成本、保障安全的核心抓手。本文基于供应链管理、协同管理等基础理论，系统剖析风电工程建设供应链的构成特征与协同管理现存问题，包括信息不对称、利益分配失衡、物流协同不足及风险防控薄弱等。在此基础上，从信息共享机制、利益协调机制、物流整合机制和风险预警机制四个维度构建优化体系，并结合标识解析技术、收益共享合约等新型手段提出实施路径。研究可为风电工程建设供应链的高效协同运作提供理论支撑与实践指导，助力风电产业高质量发展。

关 键 词： 风电工程建设；供应链协同；基础理论；优化机制；风险防控

Basic Theory and Optimization Mechanism of Collaborative Management in Wind Power Engineering Construction Supply Chain

Deng Mingfa

State Power Investment Corporation Guizhou Jinyuan Co., Ltd. Anshun Hydroelectric Power Plant,
Anshun, Guizhou 561000

Abstract： Driven by the global energy transition and the "dual carbon" goal, the scale of wind power engineering construction continues to expand, and supply chain collaborative management has become the core lever to improve engineering efficiency, control costs, and ensure safety. This article is based on basic theories such as supply chain management and collaborative management, systematically analyzing the composition characteristics of the wind power engineering construction supply chain and the existing problems of collaborative management, including information asymmetry, imbalanced distribution of benefits, insufficient logistics collaboration, and weak risk prevention and control. On this basis, an optimization system is constructed from four dimensions: information sharing mechanism, interest coordination mechanism, logistics integration mechanism, and risk warning mechanism, and implementation paths are proposed by combining new methods such as identification analysis technology and revenue sharing contracts. Research can provide theoretical support and practical guidance for the efficient collaborative operation of the supply chain in wind power engineering construction, and help promote the high-quality development of the wind power industry.

Keywords： wind power engineering construction; supply chain collaboration; basic theory; optimization mechanism; risk prevention and control

引言

在全球能源转型与“双碳”目标驱动下，风电已成为能源结构优化的核心力量，我国相关规划明确提出提升风电产业链供应链韧性的要求。风电工程建设具有投资大、周期长、涉及主体多等特点，其供应链涵盖原材料供应、设备制造、工程建设等多环节，结构复杂。

当前我国风电工程建设供应链协同运作存在诸多瓶颈，信息壁垒导致需求预测偏差、利益冲突加剧风险、物流瓶颈制约交付、关键原材料进口依赖度高，严重影响工程效率与质量。

供应链协同管理是整合资源、提升效率的有效手段，将其引入风电工程领域，厘清基础理论并构建优化机制，对破解供应链困境、提升产业竞争力意义重大。本文以此为核心，梳理理论、分析问题并提出优化路径，为相关实践提供参考。

一、风电工程建设供应链协同管理基础理论

（一）供应链管理理论

供应链管理理论起源于20世纪80年代，核心思想是通过对接供应链各环节的计划、组织、协调与控制，实现供应链资源的最优配置，提升整体运作效率与效益。该理论强调以客户需求为导向，打破企业边界限制，实现上下游企业的一体化运作。风电工程建设供应链作为特殊的产业供应链，其管理核心在于统筹协调原材料采购、设备制造、物流运输、现场安装等全流程环节，实现“需求－生产－交付－使用”的精准对接。

与传统制造业供应链相比，风电工程建设供应链具有需求不确定性强、产品定制化程度高、物流复杂性高的项目型特征。供应链管理理论为其流程梳理与资源整合提供基础框架，是协同管理的理论前提。^[1-5]

（二）协同管理理论

协同管理理论源于系统科学中的协同论，核心观点是系统内各子系统通过相互协作、相互配合，产生“1+1>2”的协同效应。在供应链场景中，协同管理理论强调供应链各参与主体（供应商、制造商、物流商、开发商等）通过建立战略合作伙伴关系，实现信息共享、利益共担、风险共防，提升供应链整体竞争力。

风电工程建设供应链的协同管理需围绕“资源协同、流程协同、信息协同”三个核心维度展开：资源协同聚焦于原材料、设备、资金、人才等资源的优化配置，避免资源闲置与短缺并存的现象；流程协同强调各环节运作流程的无缝衔接，缩短建设周期，降低运作成本；信息协同则是实现资源协同与流程协同的基础，通过打破信息壁垒，确保需求信息、生产信息、物流信息等实时精准传递。协同管理理论为风电工程建设供应链各主体的协作模式设计提供了核心指导，是提升供应链韧性的关键理论支撑。

（三）利益相关者理论

利益相关者理论认为企业发展需兼顾各类利益相关者需求以实现利益均衡。风电工程建设供应链利益相关者涵盖上下游企业及物流、金融、政府等多个主体，各主体目标存在差异，这就需要通过科学机制协调利益关系。

利益相关者理论为风电工程建设供应链的利益协调提供了理论依据。在协同管理过程中，需构建科学的利益分配机制，兼顾各主体的合理诉求，避免因利益冲突导致协同破裂。例如，通过长期合作协议锁定原材料供应价格，降低供应商与制造商的成本波动风险；通过收益共享合约协调风电商与售电公司的利益分配，提升供应链整体收益水平。只有实现各利益相关者的利益均衡，才能构建稳定可持续的协同关系。

（四）风险管理理论

风险管理理论核心是通过风险识别、评估、应对与监控降低不确定性影响。风电工程建设供应链面临原材料价格波动、设备质量、物流中断、政策调整等多重风险，风险管理理论为其风险防控提供方法论支撑。

风险管理理论为风电工程建设供应链的风险防控提供了方法

论支撑。在协同管理过程中，需建立全链条风险预警体系，整合各主体的风险信息，实现风险的早期识别与精准评估；同时，构建风险共担机制，通过合同约定、保险合作等方式，分散单一主体的风险压力。例如，引入条件风险价值（CVaR）度量收益风险，构建基于风险规避的供应链决策模型，提升供应链的抗风险能力。^[6-10]

二、风电工程建设供应链协同管理现存问题

（一）信息不对称问题突出，协同决策效率低下

信息共享不足是当前风电工程建设供应链协同管理的核心痛点。一方面，供应链各主体存在信息壁垒，上游原材料供应商无法实时掌握下游工程建设进度与设备需求，导致生产计划与实际需求脱节；下游开发商也难以精准了解上游设备制造周期与原材料供应状况，易出现订单临时变更等问题。2023年行业调研显示，风电叶片制造企业的ERP、MES、SCM系统相互独立，数据无法实时共享，原材料库存数据更新延迟达24小时，导致生产计划频繁调整。

另一方面，信息传递失真现象严重。由于缺乏统一的信息传递标准，需求信息在多级传递中易出现偏差，导致供应商生产与实际需求脱节，不仅降低协同决策效率，还增加库存与订单变更成本，制约供应链整体运作效率。

（二）利益分配机制不合理，协同关系稳定性差

当前风电工程建设供应链的利益分配多以单次交易为导向，缺乏长期稳定的利益共享与风险共担机制，导致各主体过度关注自身短期利益，忽视供应链整体利益。上游原材料供应商与中游制造商之间，原材料价格波动风险主要由制造商承担，2023年玻纤价格波动幅度达30%，导致中型叶片企业利润下滑20%；中游制造商与下游开发商之间，开发商通过压价降低成本，制造商则通过缩减产能或降低质量标准应对，导致叶片行业平均利润率从12%降至7%，部分中小企业陷入“接单亏损、不接单断流”的困境。

此外，供应链各主体议价能力差异显著，头部原材料供应商凭借产能优势掌握定价权，中小制造商与开发商议价弱势明显，进一步加剧利益分配失衡，导致协同关系脆弱，难以形成长期稳定的战略合作伙伴关系。

（三）物流协同水平低下，交付效率难以保障

风电工程建设所需的叶片、塔筒等核心设备具有体积大、重量重、易损坏等特点，对物流运输与仓储条件要求严苛，物流协同不足成为制约交付效率的关键瓶颈。一是运输路线规划缺乏协同，叶片长度超100米，运输需占用3个车道，对桥梁承重、道路宽度要求极高，但目前行业内缺乏跨区域运输路线的统筹规划，部分地区因运输路线审批延迟，导致项目交付延期，违约金超1500万元。

二是仓储布局与需求不匹配，大件设备仓储成本高、周转率低，部分企业露天堆放导致设备损耗；三是应急物流能力不足，极端天气下运输中断风险高，缺乏完善应急预案，物流协同不足严重影响风电场并网进度。

（四）风险防控体系不完善，供应链韧性不足

风电工程建设供应链面临的风险类型多样，但当前行业内缺

乏统一的风险防控体系，各主体风险防控各自为战，难以形成协同防控合力。一是关键原材料供应风险突出，我国碳纤维进口依赖度达85%，主要来自日本、美国，2023年美国对华碳纤维加征25%关税，导致进口成本增加30%；环氧树脂进口依赖度40%，中东地缘冲突导致原料价格波动，2023年树脂价格涨幅达22%。

二是技术创新风险难管控，风电设备大型化趋势下，研发投入大、周期长，中小企业技术与资金实力不足，面临淘汰风险；三是政策与市场风险应对不足，碳关税等绿色壁垒增加出口成本，部分企业缺乏应对预案，供应链韧性不足难以适应复杂环境。

三、风电工程建设供应链协同管理优化机制构建

针对风电工程建设供应链协同管理现存问题，结合基础理论与行业实践，从信息共享、利益协调、物流整合、风险预警四个维度构建协同管理优化机制，实现供应链各环节的高效协同运作。

1. 信息共享机制优化：构建一体化数字协同平台

以数字化技术为支撑，构建覆盖供应链全主体、全流程的一体化信息协同平台，打破信息壁垒，实现信息实时精准共享。一是平台功能模块化设计，整合需求预测、生产进度、库存状况、物流轨迹、质量检测等核心功能模块，满足不同主体的信息需求；供应商可通过平台获取实时需求信息，调整生产计划；制造商可实时跟踪原材料供应进度，优化生产排程；开发商可掌握设备制造与物流交付进度，合理安排工程建设计划。

二是依托数字化技术保障信息协同效能，引入标识解析、物联网等技术实现物资追溯与数据实时采集，通过区块链技术构建信任机制；建立统一的信息共享标准，规范编码与数据格式，避免信息失真，提升协同效率。

2. 利益协调机制优化：建立利益共享与风险共担体系

以利益相关者理论为指导，构建利益共享与风险共担机制，稳定协同关系。一是建立基于资源投入、风险承担等因素的贡献度利益分配模型，通过利润返还、收益共享合约等方式平衡各主体利益；二是通过长期定价协议、质量保证金、物流保险等合同约定，明确各主体风险责任，分散价格波动、质量及运输风险；三是培育长期战略合作伙伴关系，推动从单次交易向长期共赢转变。

二是构建多元化风险共担机制，通过合同约定明确各主体的风险承担责任：原材料价格波动风险可通过签订长期定价协议、建立价格联动机制分担；设备制造质量风险可通过质量保证金、联合质量检测等方式防控；物流运输风险可通过购买物流保险、建立应急物流基金等方式分散。例如，针对碳纤维等进口依赖度

高的原材料，由供应商、制造商与开发商共同出资建立战略储备库，降低供应中断风险。三是培育长期战略合作伙伴关系，通过签订长期合作协议、共建研发平台等方式，增强各主体的协同意愿，实现从“单次交易”向“长期共赢”的转变。

3. 物流整合机制优化：打造一体化物流协同网络

针对风电工程建设物流协同不足的问题，整合物流资源，构建一体化物流协同网络，提升交付效率。一是统筹规划物流运输路线，结合风电工程建设布局与设备生产基地分布，建立跨区域物流运输通道，优化运输路线设计，降低运输成本与时间成本。例如，针对江苏、广东等海上风电集中区域，规划专用大件运输路线与港口装卸通道，提升叶片、塔筒等设备的运输效率。

二是优化仓储布局，采用“区域集中+现场临时”仓储模式，建设专业化大件仓储中心，减少设备损耗并提高周转率；三是建立应急物流协同机制，整合多方资源制定极端天气等突发情况预案，构建跨区域应急运输联动，保障设备及时交付。

4. 风险预警机制优化：构建全链条风险防控体系

以风险管理理论为指导，构建覆盖供应链全链条的风险预警与防控体系，提升供应链韧性。一是建立多维度风险识别与评估模型，全面识别原材料供应、设备制造、物流运输、政策市场等环节的潜在风险；采用定性与定量相结合的方法，如层次分析法、CVaR等，对风险等级进行评估，确定关键风险点。例如，通过CVaR度量售电公司的收益风险，构建基于风险规避的供应链决策模型，提升供应链的抗风险能力。

二是依托一体化信息平台构建实时风险预警体系，整合各主体风险信息，设置预警阈值并及时推送预警信号；三是制定差异化风险应对策略，通过产学研合作应对技术创新风险，建立政策跟踪机制应对绿色壁垒，培育多元化供应商网络降低供应中断风险。

四、结论

风电工程建设供应链协同管理是提升产业效率、保障产业安全的关键举措。本文研究表明，供应链管理、协同管理等四大基础理论为风电工程供应链协同提供了核心支撑；当前行业存在信息不对称、利益分配失衡、物流协同不足、风险防控薄弱四大核心问题。基于此，本文构建的“信息共享-利益协调-物流整合-风险预警”四维优化机制，提出的数字化平台构建、贡献度导向利益分配等实施路径，可有效破解供应链协同困境，为风电工程建设供应链高效协同运作提供理论支撑与实践指导，助力风电产业高质量发展。

参考文献

- [1] 池亚微, 余文博, 郑江珊, 等. 海上风电产业链自主可控能力研究与提升建议 [J]. 江苏科技信息, 2024, 41(7): 29-32.
- [2] 陈金路, 张翔宇, 郑向远, 等. 海上风电智能运维关键技术与发展建议 [J]. 海洋开发与管理, 2023, 40(6): 117-128.
- [3] 祁蓉, 周文明, 冯永国, 等. 风电叶片用大丝束碳纤维拉挤板的应用现状与挑战 [J]. 合成纤维工业, 2024, 47(1): 56-60.
- [4] 王辉, 王军杰, 王腾飞, 等. 出力不确定下基于 CVaR 的风电供应链优化决策 [J]. 电力科学与技术学报, 2023, 38(4): 134-142.
- [5] 张寿泉. 陆上风电设备安全性评估与故障诊断技术研究 [J]. 电力设备管理, 2024(24): 240-242.
- [6] 徐浩然. 海上风电产业链创新发展研究 [J]. 船舶工程, 2023, 45(S01): 421-425.
- [7] 周胡, 鲍超明, 曹林, 等. 海上风电产业发展趋势与 Power to X 模式应用 [J]. 船舶工程, 2023, 45(S01): 421-425.
- [8] 刘小燕, 韩旭亮, 秦梦飞. 漂浮式风电技术现状与中国深远海风电开发前景展望 [J]. 中国海上油气, 2024, 36(2): 233-242.
- [9] 程威威. 风电设备监造过程中的质量控制对策探析 [J]. 中国设备工程, 2024, (5): 215-217.
- [10] 辛鹏飞, 何旭东, 张静, 等. 风电设备防腐涂层质量控制与供应链协同管理 [J]. 清洗世界, 2024, 40(5): 90-92.