

# Basic theory and critical path optimization of progress management in wind power engineering construction projects

Shiyi Deng

Anshun Hydropower Plant of Guizhou Jinyuan Co., Ltd. of State Power Investment Corporation, Anshun, Guizhou, 561000, China

## Abstract

Wind power engineering construction projects are characterized by large investment scales, high technical requirements, and complex construction environments. As a core module of project management, schedule management directly affects project investment benefits, delivery quality, and safety and stability. Based on the fundamental theory of project schedule management, this paper systematically sorts out the full life cycle stages of wind power engineering and the core objectives of schedule management. It focuses on analyzing the application logic and implementation process of the critical path method in engineering schedule management, covering key aspects such as project work breakdown, determination of activity logical relationships, and identification of critical paths. In response to factors affecting progress such as climate interference, insufficient technical collaboration, and supply chain fluctuations, optimization strategies such as resource balanced allocation, dynamic schedule control, and risk warning mechanism construction are proposed. These provide theoretical support and practical references for improving the level of wind power engineering schedule management and ensuring efficient project advancement.

## Keywords

wind power engineering; schedule management; basic theory; critical path; optimization strategy

## 风电工程建设项目进度管理的基础理论与关键路径优化

邓石焱

国家电投集团贵州金元股份有限公司安顺水力发电总厂, 中国·贵州安顺 561000

## 摘要

风电工程建设项目具有投资规模大、技术要求高、施工环境复杂等特点, 进度管理作为项目管理核心模块, 直接影响项目投资效益、交付质量及安全稳定。本文基于项目进度管理基础理论, 系统梳理风电工程全生命周期阶段及进度管理核心目标, 重点分析关键路径法在工程进度管理中的应用逻辑与实施流程, 涵盖项目工作分解、活动逻辑关系确定、关键路径识别等关键环节。针对气候干扰、技术协同不足、供应链波动等进度影响因素, 提出资源均衡配置、动态进度管控、风险预警机制构建等优化策略, 为提升风电工程进度管理水平、保障项目高效推进提供理论支撑与实践参考。

## 关键词

风电工程; 进度管理; 基础理论; 关键路径; 优化策略

## 1 引言

“双碳”目标引领下, 我国能源结构转型加快, 风电工程建设规模持续扩大。此类项目涵盖多环节、跨专业, 且多处于复杂环境中, 施工不确定因素多, 易致进度延误、成本增加。进度管理是项目顺利推进的核心手段, 但当前部分项目存在计划粗放、管控不足等问题。因此, 基于项目管理基础理论研究关键路径优化在风电工程进度管理中的应用, 具有重要理论与实践意义。

【作者简介】邓石焱(1986-), 中国贵州贵阳人, 本科, 工程师, 从事工程管理研究。

## 2 风电工程建设项目进度管理基础理论

### 2.1 项目进度管理核心理论

项目进度管理理论是项目管理学科重要分支, 核心是通过对项目活动的规划、组织、协调与控制, 确保项目按期完成目标, 涵盖进度计划编制、控制、优化三大核心环节。计划编制以工作分解结构(WBS)、活动排序理论为基础, 实现任务全覆盖与执行顺序明确; 进度控制依托动态控制理论构建闭环机制, 结合资源均衡理论合理配置资源; 进度优化则以关键路径法(CPM)、计划评审技术(PERT)等为核心工具, 前者明确关键控制点, 后者适配不确定工期项目, 为计划制定与优化提供支撑。

### 2.2 风电工程建设项目进度管理的特殊性

风电工程建设项目的特殊性决定其进度管理无法直接

套用传统工程项目模式，需结合项目特征开展针对性优化：其一，环境复杂性显著，项目多选址于偏远区域，地形与气候条件多变，自然因素易干扰施工进度，提升进度管控难度；其二，技术协同要求严苛，涉及风资源评估、设备制造、施工调试等多技术环节，需多专业团队协同作业，任一环节衔接不畅均可能导致进度延误；其三，供应链体系冗长，风机设备体积大、制造与运输周期长且受外部条件限制较多，供应链进度直接制约项目整体推进；其四，政策合规约束严格，审批流程繁琐，审批进度波动对项目整体推进节奏影响显著。

### 2.3 风电工程建设项目进度管理目标与原则

风电工程建设项目进度管理的核心目标包括：一是保障项目按期完成全生命周期建设，顺利并网发电；二是确保质量与施工安全前提下，压缩工期、降低投资成本；三是人力、物力、财力等优化合理配置资源，提升利用效率，规避浪费；四是构建进度风险预警机制，应对不确定性因素对项目进度的冲击。

为实现上述目标，需遵循以下原则：一是系统性原则，将进度管理纳入项目整体体系，统筹质量、安全、成本等因素，实现多目标协同优化；二是动态性原则，结合项目实施中的各类变化，及时调整进度计划，保障灵活性与适应性；三是协同性原则，加强各参建单位沟通协作，明确进度责任；四是科学性原则，采用关键路径法等科学工具，提高进度计划编制与控制精准性。

## 3 关键路径法在风电工程建设项目进度管理中的应用

### 3.1 关键路径法的核心逻辑

关键路径法（CPM）是项目进度管理的核心工具之一，其核心逻辑是通过分析项目活动之间的逻辑关系，计算各活动的最早开始时间、最早完成时间、最迟开始时间、最迟完成时间，识别出项目的关键路径。关键路径是项目中总持续时间最长的路径，其持续时间直接决定了项目的总工期；关键路径上的活动称为关键活动，关键活动的延误将直接导致项目总工期的延误，而非关键活动则存在一定的自由时差，在不影响总工期的前提下可适当调整执行时间。

对于风电工程建设项目而言，由于其活动环节多、逻辑关系复杂，关键路径法的应用可帮助项目管理团队明确进度管理的核心重点，集中资源保障关键活动的顺利推进，同时合理利用非关键活动的自由时差，优化资源配置，提高进度管理效率。

### 3.2 关键路径法在风电工程中的实施流程

#### 3.2.1 项目工作分解（WBS）

项目工作分解是关键路径法应用的基础，需结合风电工程全生命周期流程，将整体目标分解为层级化子任务。全生命周期分为前期准备、设计、施工、调试并网四大阶段，

各阶段细化为具体任务：前期准备含风资源评估、选址规划等；设计阶段含初步设计、施工图设计等；施工阶段含基础施工、设备运输等；调试并网含单机调试、系统联调等。通过分解形成全流程任务清单，明确各任务范围、责任人与交付成果。

#### 3.2.2 确定活动逻辑关系与持续时间估算

工作分解完成后，需明确各活动逻辑关系，风电工程主要包括紧前紧后、平行、搭接三类：风资源评估完成后开展选址规划为紧前紧后关系；风机基础与升压站基础施工可同步进行为平行关系；设备运输与基础施工后期搭接推进以缩短工期。

活动持续时间估算是关键路径计算的核心，需结合施工条件、技术要求等要素科学测算。确定性较强的活动采用定额估算法确定时长；受自然环境等不确定因素影响大的活动，采用三点估算法计算期望值并预留缓冲时间，提升估算精度。

#### 3.2.3 绘制项目进度网络图

项目进度网络图是可视化呈现活动逻辑关系与关键路径的核心工具，常用的绘制方法包括双代号网络图与单代号网络图。对于风电工程建设项目，由于活动数量多、逻辑关系复杂，建议采用双代号网络图，以箭线表示活动，以节点表示活动的开始与完成，清晰呈现各活动之间的紧前紧后关系。在绘制过程中，需确保网络图的逻辑性与完整性，避免出现循环回路、逻辑断裂等问题。

#### 3.2.4 关键路径识别与计算

基于项目进度网络图，通过计算各活动的最早开始时间（ES）、最早完成时间（EF）、最迟开始时间（LS）、最迟完成时间（LF），识别项目的关键路径。计算规则如下：最早开始时间（ES）= 紧前活动的最早完成时间最大值；最早完成时间（EF）= 最早开始时间（ES）+ 活动持续时间；最迟完成时间（LF）= 紧后活动的最迟开始时间最小值；最迟开始时间（LS）= 最迟完成时间（LF）- 活动持续时间。通过计算，若某活动的最早开始时间（ES）= 最迟开始时间（LS）且最早完成时间（EF）= 最迟完成时间（LF），则该活动为关键活动；由关键活动组成的路径即为关键路径。例如，在风电工程建设项目中，“风资源评估-选址规划-立项审批-施工图设计-风机基础施工-风机安装-单机调试-系统联调-并网测试”往往构成项目的关键路径，其持续时间直接决定了项目的总工期。

## 4 风电工程建设项目关键路径影响因素分析

### 4.1 自然环境因素

自然环境是影响关键路径的首要因素。风电项目多选址于山地、草原、海上等区域，暴雨、大风、台风等极端天气会直接中断施工，如暴雨致基础施工停滞、台风延误海上设备安装。同时，陡坡、沟壑等复杂地形会增加设备运输难度

度, 延误安装进度。

#### 4.2 技术与设计因素

技术与设计衔接问题显著影响关键路径。设计方案缺陷需中途变更, 会导致施工暂停或返工; 设计与施工单位技术交底不足, 易引发施工偏差; 风机安装操作不规范, 不仅延误进度, 还可能诱发安全事故。

#### 4.3 供应链因素

风电工程供应链冗长, 设备采购与运输是关键环节。风机制造周期长, 供应商产能问题易致交付延迟; 设备运输受交通、调度影响大, 路线不合理会耗时增加; 建材短缺也会阻碍基础施工, 波及关键路径。

#### 4.4 管理与协同因素

管理与协同不足间接拖累进度。项目计划编制粗放、纠偏不及时, 会扩大进度偏差; 参建单位信息不畅、责任不清, 加之监理监督缺位, 易导致问题积压或质量返工, 延误关键路径。

#### 4.5 政策与审批因素

政策审批流程直接影响前期关键路径。环评、立项等审批繁琐耗时, 会延误前期准备; 建设中环保、土地等政策变动, 需重新办理手续, 导致施工暂停, 直接拖累后续设计、施工等关键活动。

### 5 风电工程建设项目关键路径优化策略

#### 5.1 基于自然环境适应的关键路径优化

针对自然环境因素影响, 从计划编制与施工组织两方面优化: 计划阶段充分调研自然条件, 结合气候数据规划工期避开极端天气, 为高影响活动预留缓冲时间; 施工阶段采用适配技术设备降低环境干扰, 制定极端天气应急预案, 及时抢工弥补延误。

#### 5.2 基于技术协同的关键路径优化

强化技术与设计协同保障关键活动推进: 优化设计流程, 引入先进设计理念, 组织参建方提前参与评审减少设计变更, 建立变更快速审批机制; 加强技术交底与团队培训, 明确标准、提升技能; 引入 BIM 等先进技术设备, 提高施工效率与质量, 缩短关键活动工期。

#### 5.3 基于供应链协同的关键路径优化

构建供应链协同体系保障物资供应: 优化供应商选择与管理, 签订规范供货合同并建立评价机制确保履约; 搭建信息共享平台实现进度实时同步, 提前规划运输路线并制定备选方案提升运输效率; 建立关键设备与常用建材储备机制, 应对供应链波动。

#### 5.4 基于精细化管理的关键路径优化

提升管理水平实现关键路径精细化管控: 结合 WBS 与关键路径法编制层级化进度计划, 分解至周期计划保障可操作性; 建立动态控制机制, 运用专业软件跟踪进度、分析偏差并及时纠偏, 重点管控关键活动; 明确参建方责任, 建立进度考核机制提升积极性。

#### 5.5 基于政策适应的关键路径优化

加强政策研究与沟通保障审批顺畅: 前期深入研判政策法规, 规划审批节点并编制进度计划, 专人负责提前筹备材料提升效率; 加强与政府部门沟通, 及时掌握政策变动并主动解决审批问题; 充分利用产业扶持政策加快审批进度, 保障前期关键路径推进。

### 6 结论

本文基于项目进度管理基础理论, 研究关键路径法在风电工程进度管理中的应用, 分析关键路径影响因素并提出优化策略。研究表明: 风电工程进度管理具有环境复杂、技术协同、供应链冗长等特殊特性, 需适配科学管理方法; 关键路径法可有效识别关键活动与路径, 为进度管理指明方向; 自然环境、技术设计等多因素影响关键路径, 需多维优化; 实施适配优化策略可提升管控效率, 保障项目按期交付。

#### 参考文献

- [1] 王祖和. 项目进度管理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2020. 该书系统阐述了项目进度管理的核心理论与方法, 包括工作分解结构、关键路径法、计划评审技术等, 为风电工程建设项目进度管理提供了基础理论支撑。
- [2] 李建光, 张宏. 风电工程建设项目进度管理难点与对策[J]. 电力建设, 2021, 42(5): 68-75. 该文结合风电工程建设实际, 分析了进度管理中的难点问题, 提出了针对性的解决对策, 为本文关键路径影响因素分析提供了实践参考。
- [3] 张伟, 刘军. 关键路径法在风电项目进度优化中的应用研究[J]. 可再生能源, 2022, 40(3): 389-394. 该文探讨了关键路径法在风电项目中的应用流程, 通过案例分析验证了关键路径优化的有效性, 为本文关键路径法应用部分提供了技术参考。
- [4] 陈勇, 王明. 风电项目供应链协同进度管理研究[J]. 物流技术, 2021, 40(8): 123-127. 该文聚焦风电项目供应链管理, 提出了供应链协同进度管理策略, 为本文供应链因素分析与优化策略制定提供了参考。
- [5] 国家能源局. 风电工程建设项目管理规范(DL/T 5400-2023)[S]. 北京: 中国电力出版社, 2023. 该规范明确了风电工程建设项目管理要求与技术标准, 为本文进度管理目标与原则的制定提供了政策与规范依据。