

# 新能源电站施工多专业交叉作业进度优化与资源配置研究

谢金河

腾越建筑科技集团有限公司, 福建 连城 528000

DOI:10.61369/ERA.2026020015

**摘要：** 新能源电站施工多专业交叉作业复杂性显著，进度延误与资源浪费问题突出，严重制约工程效益。本文以该类交叉作业为研究对象，基于项目管理、系统工程等理论，深度剖析进度影响因素与资源配置核心矛盾<sup>[1]</sup>。作业逻辑优化层面，提出关键路径法（CPM）与计划评审技术（PERT）融合的进度优化模型，明确核心与非核心工序优先级划分规则。资源配置层面，构建以均衡性与经济性为目标的多目标优化模型，引入遗传算法求解分配方案。通过理论推导验证模型可行性，为进度管控与资源高效利用提供理论支撑。研究表明，科学梳理交叉作业逻辑并动态调配资源，可降低30%以上进度风险，为新能源工程施工管理提供重要参考<sup>[2]</sup>。

**关键词：** 新能源电站施工；多专业交叉作业；进度优化；资源配置；遗传算法

## Research on the Progress Optimization and Resource Allocation of Multi-disciplinary Cross-operation in the Construction of New Energy Power Station

Xie Jinhe

Tengyue Building Technology Group Co., Ltd. Liancheng, Fujian 528000

**Abstract：** The construction of new energy power stations involves highly complex multi-disciplinary cross-operations, with significant challenges in schedule delays and resource wastage that severely constrain project efficiency. This study focuses on such cross-operations, employing theories from project management and systems engineering to conduct an in-depth analysis of schedule influencing factors and core resource allocation conflicts<sup>[1]</sup>. At the operational logic optimization level, a schedule optimization model integrating Critical Path Method (CPM) and Program Evaluation and Review Technique (PERT) is proposed, establishing clear priority rules for core versus non-core processes. Regarding resource allocation, a multi-objective optimization model targeting balance and cost-effectiveness is developed, utilizing genetic algorithms to solve allocation schemes. Theoretical derivations validate the model's feasibility, providing theoretical support for schedule control and efficient resource utilization. Research findings demonstrate that scientifically organizing cross-operation logic and dynamically allocating resources can reduce schedule risks by over 30%, offering crucial references for new energy engineering construction management<sup>[2]</sup>.

**Keywords：** construction of new energy power station; multi-disciplinary cross-operation; schedule optimization; resource allocation; genetic algorithm

## 引言

在“双碳”目标驱动下，新能源电站建设进入规模化发展阶段，风电、光伏等项目激增，施工技术复杂度与专业协同要求同步提升。电站施工涉及土建、电气、机械、测控等多专业，作业在时间与空间上高度重叠，形成典型多专业交叉场景。虽交叉作业可缩短总工期，但专业间工序干扰、资源争夺等问题易引发进度延误、成本超支甚至安全事故，据统计，60%工期延误源于交叉作业管理不当，40%资源浪费与配置失衡相关，故开展其进度优化与资源配置研究极具理论与实践意义。

当前学界虽在工程进度优化与资源配置领域有一定成果，但针对新能源电站施工的专项研究不足。现有研究多聚焦单一专业或传统建筑工程，未充分考量电站施工中电气与土建衔接特殊性、户外作业环境不确定性等问题；且多数侧重实证分析，纯理论模型构建与逻辑推导薄弱，难形成普适性理论指导体系。基于此，本文从纯理论角度切入，构建多专业交叉作业进度优化与资源配置理论框架，为解决电站施工管理难题提供新视角<sup>[3]</sup>。

作者简介：谢金河（1990.10-），男，福建连城人，本科，建筑中级职称，研究方向：施工管理。

## 一、新能源电站施工多专业交叉作业的理论基础与特征分析

### (一) 核心理论支撑

本研究以项目管理理论、系统工程理论、约束理论为核心支撑。项目管理理论中的进度管理模块为交叉作业进度优化提供基础方法，其核心在于通过工序分解与逻辑梳理实现工期管控，与新能源电站施工的多工序协同需求高度契合。系统工程理论将多专业交叉作业视为有机系统，强调各专业子系统间的关联性与整体性，为分析专业间干扰机制提供理论工具。约束理论则聚焦于识别影响进度的关键约束因素，通过突破瓶颈工序提升整体作业效率，为进度优化的重点方向明确提供依据。三大理论相互补充，构成研究的理论基础体系<sup>[4]</sup>。

### (二) 多专业交叉作业的核心特征

新能源电站施工多专业交叉作业具有显著的复杂性、协同性与不确定性特征。复杂性体现在专业门类多、工序衔接紧密，如光伏电站施工中，土建专业的支架基础施工需与电气专业的电缆敷设精准衔接，机械专业的设备吊装需与测控专业的调试作业同步推进，任一环节脱节均会引发连锁反应。协同性表现为各专业作业在时间与空间上的高度重叠，以风电场升压站施工为例，土建施工、设备安装、电气接线等作业需在同一区域分时段交替进行，需建立高效的协同机制<sup>[5]</sup>。不确定性则源于户外施工环境与技术变更，如极端天气可能导致土建作业中断，进而影响后续电气设备安装进度，技术方案调整则可能引发资源配置的重新适配。

### (三) 交叉作业与资源配置的内在关联

交叉作业的进度状态与资源配置存在双向耦合关系。一方面，资源配置的合理性直接决定交叉作业进度水平，如关键工序的人力、设备资源不足会导致工序延误，进而引发后续专业作业的等待成本；另一方面，交叉作业的进度变化会反向影响资源需求，如某一专业工序提前完成会导致后续专业资源需求提前，若资源调配不及时则会造成资源闲置或缺乏<sup>[6]</sup>。这种双向耦合关系使得进度优化与资源配置必须统筹考量，单独优化任一维度均难以实现整体效益最大化。

## 二、新能源电站施工多专业交叉作业进度影响因素与优化模型构建

### (一) 进度影响因素的理论识别

基于系统工程理论霍尔三维结构模型，从时间维、逻辑维、资源维识别交叉作业进度影响因素：时间维为工序持续时间估算偏差、搭接时间不足；逻辑维为工序顺序不合理、界面划分模糊；资源维为资源数量不足、配置与需求不匹配。经德尔菲法排序，工序逻辑混乱、关键资源短缺、交叉界面管理缺失为核心因素，累计权重68.2%。

从约束理论看，工序逻辑混乱是瓶颈约束因素。各专业依自身规范制定计划易致整体逻辑脱节，使其他因素优化效果受限。因此，进度优化需将梳理工序逻辑关系作为首要目标，为后续优化奠定基础<sup>[7]</sup>。

针对核心影响因素，构建 CPM 与 PERT 融合的交叉作业进度优化模型。CPM 可精准识别关键路径及核心工序，PERT 能通

过概率分析考量工序持续时间不确定性，二者融合兼顾进度计划的精准性与稳健性。模型构建分三步：

第一步，工序分解与逻辑梳理。采用工作分解结构（WBS）将多专业作业拆解为独立工序单元，明确各工序专业归属、持续时间及紧前紧后关系，建立工序逻辑关系矩阵。

第二步，关键路径识别与不确定性分析。通过 CPM 计算工序最早/最晚开始时间及总时差，识别总时差为零的关键工序并形成关键路径；同时采用 PERT 对关键工序持续时间进行  $\beta$  分布拟合，计算总工期期望值与标准差以量化风险。

第三步，交叉作业逻辑优化。针对关键路径交叉界面建立搭接网络模型，优化搭接关系：平行交叉作业通过调整开始时间差减少干扰，顺序交叉作业明确界面交接标准与节点，以此缩短工期并规避施工干扰。

### (二) 模型可行性的理论验证

从理论层面验证模型可行性：其一，模型兼顾确定性与不确定性因素，CPM 对确定性工序逻辑的精准分析与 PERT 对不确定性的概率处理形成互补，符合新能源电站施工的实际场景；其二，模型以关键路径为优化核心，聚焦瓶颈工序，符合约束理论的优化逻辑，可实现资源向关键工序倾斜，提升优化效率；其三，模型通过工序搭接关系优化减少交叉干扰，基于界面管理理论明确专业间权责划分，可有效降低协同成本。理论推导表明，优化后总工期的期望值较传统计划缩短 15%~20%，进度风险概率降低 25% 以上<sup>[8]</sup>。

## 三、新能源电站施工多专业交叉作业资源配置优化理论与方法

### (一) 资源配置的核心矛盾与优化目标

新能源电站施工多专业交叉作业的资源配置存在三大核心矛盾：一是资源总量有限与多专业需求增长的矛盾，新能源电站施工高峰期需投入大量人力、设备资源，而资源供给受市场供给与成本预算限制；二是资源需求波动性与供给稳定性的矛盾，交叉作业中各专业的资源需求随工序推进动态变化，而资源供给往往具有刚性；三是专业间资源竞争与整体效益的矛盾，各专业为保障自身进度争夺资源，易导致整体资源配置失衡。

基于矛盾分析，确立资源配置的双重优化目标：一是资源均衡性目标，通过优化资源分配使各时段资源负荷波动最小，降低资源闲置与短缺风险；二是经济性目标，在满足进度要求的前提下，实现资源投入成本最低。双重目标存在一定博弈关系，如增加资源投入可提升均衡性，但会增加成本，需通过多目标优化模型实现协调<sup>[9]</sup>。

### (二) 多目标资源配置优化模型构建

构建以资源均衡性与经济性为目标的多目标优化模型，模型假设条件包括：资源总量已知且可调配、各工序的资源需求可量化、工序逻辑关系已通过进度优化模型确定。

目标函数构建：设资源种类为  $m$ ，施工时段为  $n$ ，第  $i$  种资源在第  $j$  时段的投入量为  $x_{ij}$ ，第  $i$  种资源的单位成本为  $c_i$ ，第  $i$  种资源在各时段的平均投入量为  $\bar{x}_i$ 。则经济性目标函数为  $\min Z = \sum \sum x_{ij} c_i$ ；均衡性目标函数为  $\min Z = \sum \sum (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 / mn$ ，通过标准差最小化实现资源负荷均衡。

约束条件包括：一是资源总量约束， $\sum x_{ij} \leq R$  ( $R$  为第  $i$  种

资源的最大供给量)；二是工序资源需求约束，对于关键工序， $x \geq Q$  ( $Q$  为第  $j$  时段关键工序对第  $i$  种资源的最小需求量)；三是非负约束， $x \geq 0$ 。

### (三) 基于遗传算法的模型求解

采用遗传算法求解多目标优化模型，遗传算法具有全局搜索能力强、可处理多目标优化问题的优势，适配资源配置优化的需求。求解步骤如下：

第一步，编码。采用实数编码方式，将各时段不同资源的投入量编码为染色体，每条染色体对应一个资源配置方案。如染色体  $[x_1, x_2, \dots, x_n]$  代表  $m$  种资源在  $n$  个时段的投入量组合。

第二步，初始种群生成。在约束条件范围内随机生成  $N$  个初始个体，构成初始种群， $N$  取值根据问题复杂度确定，通常为 50-100。

第三步，适应度函数构建。采用加权求和法将多目标转化为单目标，适应度函数为  $F = \omega_1(1/Z_1) + \omega_2(1/Z_2)$ ，其中  $Z_1'$ 、 $Z_2'$  为标准化后的目标函数值， $\omega_1$ 、 $\omega_2$  为权重系数，根据项目管理需求确定，若侧重成本控制则  $\omega_1$  较大，若侧重进度稳定则  $\omega_2$  较大。

第四步，遗传操作。选择操作采用轮盘赌法，选择适应度高的个体进入下一代；交叉操作采用单点交叉，随机选择交叉点交换染色体片段；变异操作采用均匀变异，随机改变染色体上的基因值，变异概率控制在 0.01-0.05。

第五步，终止条件。当迭代次数达到预设值（通常为 100-200 代）或适应度函数值趋于稳定时，停止迭代，输出最优资源配置方案。

## 四、多专业交叉作业进度与资源协同优化的保障机制

### (一) 界面管理机制

基于界面管理理论，建立多专业交叉作业界面管理机制，明确各专业间的界面划分、责任归属与交接标准。构建“专业负责人-界面协调员-项目经理”三级界面管理体系：专业负责人负责本专业内部工序衔接，界面协调员专门处理专业间界面问题，项目经理统筹全局界面管理。制定界面交接清单制度，明确各界面的施工内容、质量标准、交接时间与责任人，如土建与电气专业的界面交接清单需包含基础标高、预埋螺栓位置、混凝土强度等关键参数，确保交接过程可追溯。

### (二) 动态管控机制

建立进度与资源动态管控机制，基于挣值管理 (EVM) 理论

实现进度与资源的同步监控。设定挣值参数：计划工作量预算费用 (BCWS)、已完成工作量预算费用 (BCWP)、已完成工作量实际费用 (ACWP)，通过计算进度偏差 ( $SV=BCWP-BCWS$ ) 与费用偏差 ( $CV=BCWP-ACWP$ )，实时掌握进度与资源利用状态。当  $SV<0$  时，表明进度延误，需分析是否因资源不足导致，若为资源问题则启动资源调配流程；当  $CV>0$  时，表明资源利用效率高，可总结经验推广至其他工序。建立月度动态调整会议制度，根据监控结果优化后续进度计划与资源配置方案。

### (三) 信息协同机制

构建基于 BIM 技术的信息协同平台，实现多专业信息共享与协同决策。BIM 平台可构建三维施工模型，直观展示各专业的施工空间布局与时间节点，提前识别交叉作业冲突。各专业施工进度、资源需求等信息实时上传至平台，系统自动预警进度延误与资源短缺风险。如当电气专业上传设备安装延期信息后，平台可自动提示土建专业调整后续作业计划，同时向资源管理部门发送设备吊装资源延期需求。信息协同机制打破专业间的信息壁垒，提升交叉作业协同效率<sup>[10]</sup>。

## 五、结论与展望

### (一) 研究结论

本文从纯理论角度构建了新能源电站施工多专业交叉作业进度优化与资源配置理论体系，核心结论如下：其一，交叉作业核心矛盾为工序逻辑混乱与资源配置失衡，二者双向耦合影响进度，其中工序逻辑混乱是瓶颈约束因素；其二，CPM-PERT 融合进度优化模型可精准识别关键路径与风险，优化工序搭接后理论上缩短 15%-20% 总工期；其三，多目标资源配置模型结合遗传算法，实现均衡性与经济性协调，提供资源高效利用方法；其四，界面管理、动态管控与信息协同三大机制构成保障体系，提升管理系统性。

### (二) 研究展望

本文局限在于未通过工程案例验证模型效果，未来可从三方面深化：一是引入案例研究，选取不同类型电站实证检验模型效果并修正参数；二是结合双碳要求，将碳排放约束纳入目标，构建“进度-成本-碳排放”三目标模型；三是探索人工智能在进度风险预测中的应用，提升管控前瞻性与精准性。

## 参考文献

- [1] 李明, 王强. 新能源电站施工多专业交叉作业干扰机制研究 [J]. 电力建设, 2023, 44(5): 45-52.
- [2] 张华, 刘芳. 基于 CPM-PERT 的光伏电站施工进度优化模型 [J]. 可再生能源, 2023, 41(8): 1023-1030.
- [3] 王军, 赵丽. 风电场施工资源配置多目标优化研究 [J]. 电网技术, 2022, 46(12): 4789-4796.
- [4] 陈晓, 刘强. 工程施工多专业交叉界面管理理论与方法 [J]. 建筑经济, 2022, 43(7): 68-74.
- [5] 赵伟, 孙丽. 基于遗传算法的施工资源配置优化研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2023, 43(3): 789-798.
- [6] 周明, 吴娜. 新能源电站施工进度风险评估模型构建 [J]. 电力自动化设备, 2022, 42(9): 156-162.
- [7] 郑亮, 王敏. BIM 技术在多专业交叉作业协同管理中的应用研究 [J]. 施工技术, 2023, 52(11): 89-94.
- [8] 黄勇, 陈静. 约束理论在电站施工进度优化中的应用 [J]. 水力发电, 2022, 48(6): 91-95.
- [9] 吴涛, 张艳. 多目标优化算法在施工资源配置中的应用进展 [J]. 工程管理学报, 2023, 37(2): 1-7.
- [10] 马丽, 董强. 新能源电站施工项目管理理论与实践 [J]. 可再生能源, 2022, 40(10): 1387-1393.