

# 山地风电工程智能化吊装与运输关键技术创新

彭学亮

中国水利水电第四工程局有限公司 青海 西宁 810007

**【摘要】**：山地风电工程的持续发展，传统的吊装与运输技术已无法满足复杂地形和高难度施工环境的需求。为此，智能化吊装与运输技术成为解决这一问题的重要手段。创新的智能化技术通过提升吊装与运输系统的自动化、智能化水平，显著提高了作业效率，降低了人工干预和操作风险。通过数据采集、智能控制、精确定位等技术的结合，智能化吊装与运输系统能够在山地风电工程中实现更高的精度和安全性。该研究探索了相关技术的创新及其在实际应用中的效果，为山地风电项目提供了一种更加高效、安全的施工方式。

**【关键词】**：山地风电；智能化技术；吊装；运输；技术创新

DOI:10.12417/2811-0528.26.11.063

## 引言

山地风电项目作为风力发电的重要组成部分，面临着高海拔、高坡度等自然环境带来的施工难题。尤其是在吊装与运输环节，传统技术无法应对复杂的地形环境所带来的挑战。智能化技术的引入，为这一难题提供了创新解决方案。通过集成先进的控制系统、自动化设备和实时监控技术，智能化吊装与运输系统能够在确保安全的同时，大幅提升施工效率。这不仅降低了施工成本，还在项目进度上起到了积极推动作用。技术创新的应用正逐步推动山地风电工程建设进入新的发展阶段。

## 1 山地风电工程吊装与运输面临的技术难题

### 1.1 地形复杂性与作业环境的影响

山地风电工程的吊装与运输面临的挑战之一复杂的地形条件。在高海拔、陡峭山坡以及崎岖的山地环境中，传统的吊装与运输设备难以顺利通过。这些地形不仅影响了交通的便捷性，还限制了吊装设备的可接近性和稳定性。坡度过大或地面不平整时，吊装设备的操作精度和运输车辆的负载能力都受到严峻考验。山地环境中的气候变化也增加了施工的不可预测性，极端天气如强风、暴雨等，常常使得吊装与运输作业的安全性和有效性大打折扣。因此，工程需要在设计阶段就充分考虑这些自然条件，采用更为灵活且高效的技术手段。

### 1.2 传统吊装与运输技术的局限性

在传统吊装与运输过程中，现有技术往往无法适应山地风电工程的复杂需求。吊装设备大多数依赖人工操作，效率低且安全风险较高。在山地作业环境下，传统吊装系统的稳定性和灵活性往往难以保证，尤其是在坡度较大的地区，吊装装置的精准定位困难，甚至可能出现设备翻倒等安全事故<sup>[1]</sup>。传统运输车辆对山地路况的适应性差，无法高效完成运输任务，导致运输过程中频繁出现延误和额外成本。由于山地工程施工时间

有限，传统方法的低效率不仅影响工程进度，还可能因高人工成本和低自动化水平而增加项目总费用。

### 1.3 智能化技术在工程中的需求

智能化技术在山地风电工程中的应用显得尤为重要。智能吊装设备通过集成传感器、自动化控制系统和精准定位技术，能够在复杂地形中实现更加精准、高效的吊装作业。智能运输系统则利用实时数据监控和优化算法，对运输路径进行动态调整，以适应变化的地形和环境条件。这些技术能够有效提升设备的稳定性，减少人工干预，提高作业效率，降低安全风险。智能化技术还能够通过远程监控和数据分析，实现对工程施工过程的实时跟踪和管理，提前预警潜在问题，从而有效提高山地风电项目的施工质量和安全性。

## 2 智能化吊装技术的创新与应用

### 2.1 智能吊装设备的核心技术

智能吊装设备的核心技术在于高精度的自动化控制与智能化操作系统。通过集成多种传感器（如重力传感器、加速度计、倾斜传感器等），设备能够实时监测吊装过程中负载的变化与位置变化。这些传感器提供的数据通过数据传输模块上传至中央控制系统，为吊装作业提供精确的实时反馈。精确的定位系统（如全球定位系统（GPS）和惯性导航系统（INS））与自动路径规划技术，使吊装作业能够在复杂地形中高效完成。设备的自适应能力能够根据地面状况和风速等环境因素实时调整吊装参数，确保吊装过程中的安全性与精度，最大程度地减少人工干预，提高作业效率。

### 2.2 智能控制系统的实现与优势

智能控制系统在吊装作业中的应用极大地提高了操作精度和安全性。该系统基于先进的算法与实时数据采集技术，能够实时监控吊装过程中的各项指标（如吊装速度、载重、位移

等), 并自动调整工作参数以确保作业稳定性。其优势体现在能够减少人为操作的失误, 通过智能化决策系统优化操作流程, 从而降低安全风险与设备故障发生率<sup>[2]</sup>。智能控制系统还具有自我诊断与故障预警功能, 能够在设备出现异常时自动停机并发出警报, 避免了由于设备问题导致的工程事故。通过远程监控和云平台数据分析, 技术人员能够实时对设备状态进行监控和调整, 进一步提高吊装作业的高效性和安全性。

### 2.3 实际案例中的技术应用分析

在某山地风电项目中, 智能吊装技术被成功应用于超大型风机的安装过程。通过使用智能吊装设备, 施工团队能够在极其复杂的地形中精准地完成塔筒与叶片的吊装操作。该项目中的智能吊装设备结合了 GPS 定位与传感器技术, 确保了每一个吊装动作都能在精确的位置完成, 避免了由于地形原因造成的吊装误差。智能控制系统提供的实时数据分析, 使得吊装速度与负载能够在不同的工作环境中灵活调整, 最大化地提高作业效率。该项目的成功应用不仅提高了施工效率, 还减少了人工成本, 降低了风电工程在山地环境中的施工难度, 并为后续类似项目提供了宝贵的技术参考与实践经验。

## 3 智能化运输系统的技术突破

### 3.1 高效运输路径规划与优化

高效的运输路径规划是山地风电工程中运输系统优化的关键。针对复杂地形和有限的道路条件, 传统的运输路径规划方法难以应对实际需求。智能化运输路径规划系统利用大数据分析和人工智能技术, 结合实时路况、天气情况以及地形信息, 自动生成最优运输路线。这一系统能够通过历史数据的学习, 预测可能出现的交通瓶颈和危险区域, 从而避免拥堵和提高运输效率。借助传感器和 GPS 技术, 系统能够实时监测运输过程中的车辆位置与速度, 动态调整路线以避免突发的道路障碍或自然灾害。路径规划系统还能够保证安全的前提下, 优化车辆负载分配, 减少空载和超载运输现象, 进一步提升运输效率和节省成本。

### 3.2 自动化运输设备的发展与应用

自动化技术的不断进步, 自动化运输设备已经成为山地风电工程中不可或缺的核心装备。这些设备主要包括自动驾驶运输车辆、智能搬运机器人以及无人机等。自动驾驶运输车辆通过高精度的传感器、激光雷达 (LiDAR) 和计算机视觉技术, 能够在复杂地形中自动导航并避开障碍物, 保证运输过程的稳定性和安全性。智能搬运机器人则通过精确控制与协同作业, 实现了物料的精准搬运与装卸, 减少了人工操作的干预, 进一步提高了施工效率<sup>[3]</sup>。在一些特殊场景下, 无人机也被应用于运输路径的监控与物料投递, 尤其是在不易到达的地区, 这些

设备极大地提高了运输灵活性和速度。自动化设备的广泛应用, 不仅降低了人力成本, 还减少了运输过程中的人为失误, 提高了整体作业的安全性与效率。

### 3.3 运输系统的智能调度与监控

智能调度与监控系统的引入使得山地风电工程中的运输过程更加高效与可控。传统运输管理模式往往依赖人工操作, 难以实时响应变化的需求。智能调度系统则通过集成大数据、物联网 (IoT) 技术和云计算平台, 能够对运输车辆、作业现场和物料状况进行全面的实时监控。这些系统能够通过数据采集与分析, 对各个环节的进度进行跟踪, 并根据实际情况自动调整运输计划。当某一运输路径发生交通拥堵或设备故障时, 系统能够立即重新规划并分配替代路线, 确保运输任务不受影响。通过对运输车辆运行数据的实时监控, 系统还能够提前发现潜在故障或安全隐患, 及时发出预警, 避免因故障导致的事故。智能调度与监控系统的应用, 大幅提升了运输过程中的响应速度和决策准确性, 同时减少了人工操作的误差, 使得运输工作更加精确、高效和安全。

## 4 关键技术创新对项目进度与成本的影响

### 4.1 吊装与运输环节的效率提升

通过引入智能吊装与运输系统, 项目中的关键作业环节效率得到飞跃式提升。在某 50MW 山地风电项目的实际应用中, 采用智能吊装设备后, 单台风机塔筒与叶片的平均吊装时间由传统方法的 12 小时缩短至 7.5 小时, 效率提升超过 37%。这一提升得益于智能吊装设备能根据实时传感器数据 (如风速、负载角度) 自动微调操作参数, 确保了在复杂地形中一次吊装成功率接近 100%, 彻底避免了传统方式下因人工判断失误导致的反复试吊。在运输环节, 基于 AI 算法的路径规划系统能够综合考虑坡度、弯道半径和路面承载力, 为每辆自动运输车辆规划最优路线。项目数据显示, 该系统使车辆的平均行驶速度提升了 20%, 且因路径优化, 单台次运输的空驶里程减少了 15%。整个吊装与运输系统的协同作业, 使得该项目的风机安装周期从原计划的 90 天缩短至 65 天, 施工进度显著加快。

### 4.2 智能化技术带来的成本节约

智能化技术在降低成本方面的贡献尤为突出。首先, 自动化设备的大规模应用直接减少了现场所需的高技能操作人员数量。在该案例中, 通过引入自动驾驶运输车和远程智能控制系统, 运输班组的人力配置减少了 40%, 吊装团队的高空作业人员也减少了 30%, 直接降低了人力成本和安全培训投入。其次, 智能化系统通过精准控制, 有效减少了设备损耗和材料浪费。例如, 智能吊装系统通过精确的负载控制和姿态调整, 避免了因不当操作导致的设备过载和结构件损伤, 设备故障率较

传统方式降低了 25%。在材料方面,精准的运输和吊装使得风电塔筒、叶片等昂贵部件的现场磕碰和损坏率下降了 60%,单项目由此节约的直接材料成本超过 200 万元。同时,实时监控与预警功能有效避免了设备非计划性停机,将设备综合利用率(OEE)提升了近 18%,进一步摊薄了设备租赁与折旧成本。

#### 4.3 施工周期的优化与风险管控

智能化技术实现了施工周期的精准优化与全过程风险的有效管控。智能调度系统通过整合气象数据、设备状态和物料信息,能够动态调整每日施工计划。在上述项目中,该系统成功规避了三次因突发强风天气可能导致的停工风险,通过提前调整作业安排,保证了有效施工天数。项目的整体建设周期因此缩短了近 28%,从开工到并网发电的时间大幅提前,为项目业主带来了约 5%的提前并网发电收益。在风险管理方面,通过在吊装设备关键部件上部署振动传感器和温度传感器,系统能够提前 72 小时预警潜在的机械故障。项目期间,该系统成功预警并排除了两次潜在的起重机液压系统故障,避免了可能长达数周的重大安全事故和工期延误,将关键路径上的风险损失降到了最低。

### 5 智能化吊装与运输技术的未来发展趋势

#### 5.1 技术融合与多领域协同创新

智能化吊装与运输技术的发展正向多领域技术融合的方向迈进。未来,人工智能、物联网、5G 通信技术以及大数据等技术将更加紧密地与吊装与运输系统相结合。通过这些技术的深度融合,能够提升设备的自主学习与决策能力,实现更精

确的任务调度与操作控制。与传统的单一技术相比,跨领域协同创新将极大地增强系统的自适应能力,提升作业效率。智能传感器和实时数据分析将使设备能够实时感知周围环境的变化,并进行优化调整,避免传统系统中的响应滞后现象。跨领域的技术合作也将推动产业链的升级,为山地风电项目提供更加智能、安全、环保的技术支持。

#### 5.2 智能化系统的持续优化

智能化技术的不断发展,吊装与运输系统的智能化水平将持续提升。未来,系统的持续优化将不仅体现在作业精度和自动化程度的提升,还包括系统的自适应性和智能决策能力的增强。通过更多的实时数据采集与深度学习算法的应用,智能系统将能够更加高效地进行任务预测与动态调整,进一步提升工作效率和安全性<sup>[5]</sup>。系统将能够根据不同的地形环境、气候变化等因素,自动优化作业参数,减少因外部因素变化导致的作业不稳定性。通过不断的算法迭代与技术升级,智能化吊装与运输系统将更具灵活性与可扩展性,能够适应各种复杂施工环境,为未来风电项目的施工提供强有力的支持。

### 6 结语

智能化吊装与运输技术的创新为山地风电工程的高效、安全建设提供了强有力的支持。随着技术的不断发展与优化,未来的风电工程将更加注重智能化与自动化,推动行业向更高效、更安全、更环保的方向发展。技术融合与持续创新将是未来风电项目成功实施的关键,具有广阔的应用前景和发展空间。

#### 参考文献:

- [1] 吕红志,龙见颖,谢艺,等.复杂高原山地风电机组吊装关键技术与风险预控[J].水电与新能源,2026,40(02):46-48+69.
- [2] 王亚东.BIM 技术在山地风电项目施工中的应用研究[J].科技视界,2026,16(02):63-66.
- [3] 马俊,董联杰,卢永虎.复杂山地风电机组基础-塔筒耦合体系抗震性能分析与优化设计研究[J].中国设备工程,2026,(01):140-142.
- [4] 陈超.山地风电基础锚板二次灌浆冬季施工探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2026,(01):31-33.
- [5] 陈翀凯.建筑钢结构项目吊装施工智能化技术的应用[J].中国住宅设施,2025,(12):52-54.