

复杂地形中光伏设备运输路径规划与优化方法

陈彬 路江昆 唐杨 王涛 秦志
中建八局西南建设工程有限公司 四川 成都 610000

摘要: 随着全球对清洁能源需求的不断增长,光伏发电作为重要的可再生能源形式,其建设规模日益扩大。然而,在复杂地形条件下,光伏设备的运输面临着诸多挑战,如地形起伏、道路狭窄、交通不便等。合理的运输路径规划与优化对于降低运输成本、提高运输效率、保障设备安全具有重要意义。本文深入探讨了复杂地形中光伏设备运输路径规划的影响因素,分析了现有的路径规划方法及其优缺点,并提出了一系列针对性的优化策略,旨在为复杂地形下光伏设备的高效运输提供理论支持和实践指导。

关键词: 复杂地形; 光伏设备; 运输路径规划; 优化方法

1 引言

在全球能源转型的大背景下,太阳能作为一种丰富、清洁、可再生的能源,受到了世界各国的广泛关注。光伏发电作为太阳能利用的主要方式之一,近年来发展迅猛。大规模的光伏电站建设不断涌现,不仅在平坦开阔的地区,而且在山地、丘陵、沙漠等复杂地形区域也有大量的光伏项目规划与实施。

光伏设备的运输是光伏电站建设过程中的关键环节。复杂地形给设备运输带来了极大的困难,增加了运输成本和风险。例如,在山区,陡峭的山坡、狭窄的盘山公路以及频繁的弯道,使得大型运输车辆难以通行;在沙漠地区,松软的沙地、流动的沙丘可能导致车辆陷入,影响运输进度。因此,开展复杂地形中光伏设备运输路径规划与优化方法的研究,对于提高光伏电站建设的经济效益和社会效益,推动光伏产业的可持续发展具有重要的现实意义。

2 复杂地形中光伏设备运输路径规划的影响因素

2.1 地形地貌因素

地形地貌对光伏设备运输路径规划影响重大。山区地形起伏大、坡度陡峭,道路狭窄且弯道多,运输车辆需动力足、爬坡能力强。规划时应选坡度小、弯道少的道路,确保安全。丘陵地区相对平缓,但仍有起伏,道路条件稍好,不过要考虑坡度、弯道,还要避免破坏农田、果园等。沙漠地区以沙丘为主,沙地松软、流动性大,车辆易陷入,规划路径要选地势平坦、沙质硬的区域,并配备救援设备和物资。

2.2 道路条件因素

道路条件直接影响运输车辆行驶速度与安全。复杂地形中道路常存在路面不平整、宽度不足、承载能力有限等问题。路面不平整会使车辆颠簸,损坏光伏设备,

规划时应优先选柏油马路、水泥路等路面好的道路,对土路或砂石路提前勘察评估并加固整修。道路宽度方面,大型光伏设备运输车辆尺寸大,规划要确保道路宽度能满足通行需求。道路承载能力也不容忽视,光伏设备重,若道路承载不足会损坏道路,影响安全,规划时要了解道路承载能力信息,选符合要求的道路。

2.3 设备特性因素

光伏设备尺寸大、重量重、形状不规则,影响运输路径规划。大型光伏组件长且宽,运输要考虑车辆装载空间和稳定性,若路径有限高、限宽条件,设备可能无法正常运输,规划前要了解沿途限高、限宽信息。设备重量大,对运输车辆载重能力要求高,重量分布影响车辆行驶稳定性和制动性能,规划应选坡度小、弯道缓的道路,减少车辆负荷和制动距离^[1]。设备形状不规则,运输需特殊固定和防护,规划要考虑运输车辆装卸方便性,选便于设备装卸的地点中转和停靠。

2.4 环境因素

复杂地形气候多变,影响光伏设备运输。暴雨天气可能导致道路积水、泥石流,影响通行安全,运输前要关注天气预报,合理安排时间,若必须暴雨运输,应选地势高、排水好的道路,并采取防雨措施。大雪天气会使道路积雪、结冰,增加行驶阻力,降低制动性能,易引发事故,运输时要配备防滑链、铲雪设备,控制车速,保持安全车距。高温天气会使设备和车辆温度升高,影响性能和动力系统,运输要采取防晒、降温措施。低温天气可能导致设备冻结、车辆启动困难,运输前要对设备和车辆预热,采取防冻措施,保障运输顺利进行。

3 现有运输路径规划方法分析

3.1 传统路径规划方法

3.1.1 Dijkstra算法

Dijkstra算法是一种用于求解单源最短路径问题的经典算法。该算法的基本思想是从起点开始,逐步向外扩展,每次选择距离起点最近的节点进行松弛操作,直到找到到达终点的最短路径。Dijkstra算法的优点是能够保证找到全局最优解,适用于无负权边的图。然而,该算法的时间复杂度较高,为 $O(n^2)$,其中 n 为节点的数量。在复杂地形的大规模路网中,使用Dijkstra算法进行路径规划时,计算量较大,效率较低。

3.1.2 A*算法

A算法是一种启发式搜索算法,它在Dijkstra算法的基础上引入了启发式函数,通过估计当前节点到目标节点的距离,引导搜索方向,从而提高搜索效率。A算法的启发式函数通常采用曼哈顿距离、欧几里得距离等^[2]。与Dijkstra算法相比,A*算法能够在更短的时间内找到较优的路径,但在某些情况下,启发式函数的选择不当可能会导致无法找到全局最优解。

3.2 智能优化算法

3.2.1 遗传算法

遗传算法是一种模拟自然选择和遗传机制的优化算法。该算法通过模拟生物的进化过程,将问题的解表示为染色体,通过选择、交叉、变异等操作,不断优化染色体群体,最终得到最优解。遗传算法具有全局搜索能力强、适用于复杂问题求解等优点,在运输路径规划中得到了广泛应用。然而,遗传算法也存在一些缺点,如收敛速度较慢、容易陷入局部最优解等。

3.2.2 蚁群算法

蚁群算法是一种模拟蚂蚁觅食行为的优化算法。蚂蚁在寻找食物的过程中,会在经过的路径上释放信息素,信息素的浓度会随着时间的推移逐渐挥发。其他蚂蚁会根据路径上信息素的浓度选择行走路径,信息素浓度越高的路径,被选择的概率越大。通过这种正反馈机制,蚁群能够找到从蚁巢到食物源的最短路径。蚁群算法具有分布式计算、鲁棒性强等优点,但也存在搜索初期信息素匮乏、收敛速度慢等问题。

3.3 基于GIS的路径规划方法

地理信息系统(GIS)是一种能够采集、存储、管理、分析和展示地理空间数据的计算机技术系统。基于GIS的路径规划方法利用GIS的空间分析功能,结合地形、道路等地理信息,为运输路径规划提供准确的基础数据和强大的分析工具。通过GIS技术,可以构建复杂地形的三维模型,直观地展示地形地貌特征;可以对道路网络进行拓扑分析,计算道路的长度、坡度、弯道半径等参数;还可以结合路径规划算法,实现运输路径的

可视化规划和优化。基于GIS的路径规划方法具有数据准确、可视化程度高、能够综合考虑多种因素等优点,但也需要具备一定的GIS专业知识和技术,数据获取和处理成本较高。

3.4 现有方法的优缺点总结

传统路径规划方法如Dijkstra算法和A*算法,原理简单,易于实现,但在处理复杂地形的大规模路网时,存在计算量大、效率低的问题。智能优化算法如遗传算法和蚁群算法,具有较强的全局搜索能力,能够找到较优的路径,但也存在收敛速度慢、容易陷入局部最优解等缺点。基于GIS的路径规划方法能够综合考虑多种因素,提供准确的路径规划结果,但数据获取和处理成本较高,对技术人员的专业要求也较高。因此,在实际应用中,需要根据具体的问题和需求,选择合适的方法或对现有方法进行改进和组合,以提高路径规划的效率和准确性。

4 复杂地形中光伏设备运输路径规划与优化策略

4.1 多源数据融合与地形建模

为了准确规划复杂地形中的光伏设备运输路径,需要获取全面、准确的地形和道路信息。多源数据融合技术可以将不同来源、不同类型的数据进行整合,提高数据的完整性和准确性。例如,结合卫星遥感影像、航空摄影测量数据、地面测量数据等,构建高精度的三维地形模型。通过三维地形模型,可以直观地了解地形的起伏、坡度、高程等信息,为路径规划提供详细的基础数据^[3]。同时,还需要收集道路的相关信息,如道路的位置、长度、宽度、坡度、弯道半径、路面材质、承载能力等。可以利用GIS技术对道路信息进行管理和分析,建立道路属性数据库。通过将地形模型和道路属性数据库相结合,可以更准确地评估不同路径的可行性和运输成本,为路径规划提供科学依据。

4.2 改进的路径规划算法

针对传统路径规划算法和智能优化算法在复杂地形路径规划中存在的不足,可以对现有算法进行改进和优化。对于Dijkstra算法和A*算法,可以采用分层搜索、启发式函数改进等方法提高算法的效率。例如,将路网按照道路等级或地形特征进行分层,先在高层路网中进行粗略搜索,确定大致路径方向,然后在低层路网中进行精细搜索,找到最优路径。同时,根据复杂地形的特点,设计更加合理的启发式函数,提高搜索的准确性和效率。对于遗传算法和蚁群算法,可以采用混合算法、自适应参数调整等方法克服算法的缺点。例如,将遗传算法和蚁群算法相结合,利用遗传算法的全局搜索能力

进行初步优化,然后利用蚁群算法的正反馈机制进行局部精细搜索,提高算法的收敛速度和求解质量。此外,还可以根据算法的运行状态,自适应地调整算法的参数,如遗传算法的交叉概率、变异概率,蚁群算法的信息素挥发系数等,使算法在不同的阶段都能保持良好的性能。

4.3 考虑多目标的路径优化

在复杂地形中规划光伏设备运输路径时,不仅需要考虑到运输距离最短,还需要综合考虑运输时间、运输成本、运输安全性等多个目标。因此,需要建立多目标优化模型,采用多目标优化算法进行路径优化。

多目标优化模型可以表示为:

$$\begin{aligned} \min f_1(x) &= \text{运输距离} \\ \min f_2(x) &= \text{运输时间} \\ \min f_3(x) &= \text{运输成本} \\ \min f_4(x) &= \text{运输安全性} \\ \text{s.t. } g_i(x) &\leq 0, i=1,2,\dots,m \\ h_j(x) &\leq 0, j=1,2,\dots,n \end{aligned}$$

常用的多目标优化算法有非支配排序遗传算法(NSGA-II)、多目标粒子群优化算法(MOPSO)等。这些算法能够在多个目标之间进行权衡和协调,找到一组帕累托最优解,为决策者提供多种选择方案。决策者可以根据实际需求和偏好,从帕累托最优解集中选择最合适的路径方案。

4.4 动态路径规划与实时调整

在光伏设备运输过程中,可能会遇到各种突发情况,如道路施工、交通事故、恶劣天气等,导致原规划的路径无法正常通行。因此,需要建立动态路径规划与实时调整机制,根据实时获取的道路信息和运输状态,及时调整运输路径。可以利用物联网技术、传感器技术等,实时监测道路的交通状况、天气变化等信息,并将这些信息传输到运输调度中心^[4]。运输调度中心根据实时信息,结合路径规划算法,重新规划运输路径,并及时将调整后的路径信息发送给运输车辆。运输车辆上的导航设备根据接收到的路径信息,引导驾驶员按照新的路径行驶,确保运输任务的顺利完成。

4.5 运输方案的综合评估与决策

在完成路径规划后,需要对不同的运输方案进行综合评估和决策。综合评估需要考虑多个方面的因素,如运输成本、运输时间、运输安全性、对环境的影响等。可以采用层次分析法(AHP)、模糊综合评价法等方法建立综合评估指标体系,对不同的运输方案进行量化评估。层次分析法是一种将复杂问题分解为多个层次,通过两两比较确定各层次元素相对重要性的方法。首先,构建层次结构模型,将评估目标分解为目标层、准则层和方案层;然后,通过专家打分等方式,构造判断矩阵,计算各元素的相对权重;最后,根据权重计算各方案的综合得分,选择综合得分最高的方案作为最优方案。模糊综合评价法是一种基于模糊数学理论的综合评价方法,能够处理评价过程中的模糊性和不确定性。该方法首先确定评价指标集和评语集,然后通过专家调查等方式确定各评价指标的隶属度函数,构建模糊评价矩阵;最后,根据模糊评价矩阵和各评价指标的权重,计算各方案的综合评价结果,选择综合评价结果最优的方案。

结语

本文深入探讨复杂地形中光伏设备运输路径规划与优化方法,提出针对性策略。研究发现,路径规划需综合考量多方面因素,传统方法和智能算法有局限,应多目标优化并建立动态调整机制,综合评估决策最优方案。然而研究仍有不足,未来需进一步优化算法,引入新兴技术;加强多源数据实时更新与融合;深入研究与其他环节协同优化;针对不同设备制定个性化方案;开展国际合作交流,借鉴国外先进经验技术,推动我国光伏设备运输领域发展,提升全球竞争力。

参考文献

- [1]赵志旋,覃柏钧,王凯,等.陡坡山地光伏电站物料运输研究与应用[J].红水河,2024,43(04):81-85+89.
- [2]本刊讯.中远海运集运推出隆基光伏组件运输试点项目[J].中国航务周刊,2022,(43):18.
- [3]刘文祥,王壕,张正宇.山地光伏发电工程主变压器运输卸车就位一体化施工技术探讨[J].电子元器件与信息技术,2024,8(10):176-178.
- [4]郑晶.西北地区光伏电站施工管理要点探析[J].中国设备工程,2025,(12):256-258.