

山地风电场设备运输方案研究探索

陈 赞 闻旭祥

华能云南滇东能源有限责任公司风电分公司 云南昆明 650000

摘 要：在山地风电场设备运输领域，深入剖析了运输道路建设方式和运输路线设计要点。旨在通过对这两部分的系统研究，为风电场建设项目在安全保障和设备运输等关键环节提供全面、深入且具实践指导意义的理论支撑与操作方案，助力风电产业的可持续、高质量发展。

关键词：某山地风电项目，设备运输方案研究

一、山地风电场设备运输车辆及道路研究

(一) 山地风电场设备运输道路建设方式

1. 运输道路的重要性与挑战

风电场运输道路在施工阶段和运维管理阶段承担着机械设备、施工材料的运输重任，大型风机部件是运输的主要物资。山地风电场道路建设质量对风场建设投资成本、施工时间、运营成本产生直接影响。然而，山地风电场地形条件复杂，道路选线受到林业发展、农业发展、社会文化发展等多方面因素的制约，给风电场运输道路设计工作带来极大挑战。尽管风电场运输道路的设计费用、施工费用仅占投资成本的10%，但却是风电场项目成本控制的关键部分。建设单位为增加项目的经济收益，对山地风电场运输道路设计方案的经济适用性要求较高，进一步加大了运输道路的建设难度。

2. 运输车辆的选择与配置

风电场运输道路施工单位需具备《道路运输经营许可证》。在运输小部件时，一般依照普通货物运输标准选取山地运输车辆；运输风机叶片时，则使用专用的叶片运输车辆。为提高山地运输的安全性和便利性，在山地风电场半挂车尾部位置安装回转装置，使叶片运输车辆能够实现风机叶片360度旋转，回转装置自身也能旋转。当遇到复杂路况时，可将叶片旋转到合适角度，保证运输车辆顺利通过。为解决回转时叶片过长导致运输车辆重心不稳定的问题，在叶片反向安装位置设计配重箱，增设压载物，并利用液压缸调节配重箱与回转平台的间隔距离，防止运输阶段车辆重心失衡翻车。

(二) 某山地风电场运输路线设计要点

1. 选线原则

山地自然环境复杂，地形多变，设计运输路线时受

到多种因素限制，需遵循低限值原则。选取风电场运输道路时，应选择最短路径解决山地区域的高差变动，综合考虑纵面线形、平面线形。鉴于山地风电场弯曲道路的特殊性，要尽可能避开深沟地形、河流地形、高崖地形。工作人员应依据风电场山区位置的地形特征，优先选取山脊线作为运输道路。若运输道路在山脚位置，应在已有运输路线基础上开展优化改造，尽量不占用农业耕地或经济林。可借助数字地形图开展初步设计工作，在完善路线现场勘察活动后，检验运输道路规划的合理性、可行性，排查影响山地风电场安全的各种因素。

2. 分析山地风电场的平面线形

设计山地风电场运输道路时，一般不会设计过高，而是依照山地排水要求设计单向排水坡度。当山地运输道路横向力系数较小时，汽车在平曲线位置驾驶的安全性较高，如当横向力系数为0.05时，运输汽车能够在山地运输道路结冰后实现安全驾驶。

在计算运输车辆处于不同车速下的横向力系数时，要充分考虑运输道路横坡倾斜方向对山地曲线产生的不利影响。在轮毂运输、机舱运输、塔筒运输过程中，由于山地运输设备重量较大，在山地平曲线位置驾驶运输车辆时，若行驶速度过快或驾驶人员操作不当，极易导致运输车辆出现横向倾覆问题。

为了避免山地风电场运输过程中出现这类情况，工作人员需要深入研究运输道路横向倾覆安全稳定性对运输车辆行驶速度、道路平曲线半径产生的不利影响。在山地运输车辆行车速度不同的情况下，要着重分析运输路面横坡倾斜方向对于平曲线产生的不利影响。

在运输风机叶片时使用专业的运输车辆，相较于普通用于山地运输的车辆，能够有效降低运输车辆的转弯半径，进而不断提升山地运输车辆的爬坡能力。这一举措带来了多方面的积极效果，使得山地道路整改次数、扩建次数、拆迁次数以及山地树木砍伐次数大幅度降低。

作者简介：陈赞(1982.3-)，男，云南曲靖人，汉族，中级工程师，研究方向：工程技术及电气。

工作人员还需要依据实际情况合理选用专业的山地运输车辆，以此减少运输车辆对山地道路坡度的要求，进一步降低山地运输道路规划设计的总里程数，从而实现减少运输道路的改造成本、投资建设成本的目标。山地风电场风机运输道路的平曲线半径往往会受到运输车辆驾驶轨迹、风机叶片运输车辆等多种因素的影响，应严格依照风机运输技术规范书的规定要求设计最小极限半径，以确保运输的安全性和可行性。

3. 设计山地运输道路的纵断面

对于山地风电场而言，山顶位置的风力资源相对较好，这就决定了在进行纵断面设计的时候，需要重点考虑从山脚位置将机舱设备、塔筒设备运送到山顶位置所需的车辆爬坡能力。具体来说，要精确计算运输车辆在坚硬路面位置通行时低速驾驶时需要克服的最大坡度。

在运输车辆处于等速驾驶速度时，汽车滚动阻力系数和运输道路类别、轮胎结构、车辆驾驶速度具有直接关系。相对比较平整、较为干燥的运输道路阻力系数一般取值为0.05，这个数值能够切实满足不同山地需要的爬坡水平。

风电场风机档位越高，需要的爬坡能力则越小，在山地运输道路中，一般不需要运用高档位进行爬坡处理。对于海拔高度为1千米左右的山地而言，在运输车辆处于满载、低速状态下，运输车辆的爬坡能力会达到0.2。根据行业规范要求，工作人员需要充分考虑各种汽车的爬坡能力以及风机厂家规范要求，在山地风电场道路建设过程中，综合分析运输道路地形情况、经济因素等多方面条件。

采用“前拉后推”的山地运输方式，可以在挂车车头位置增设牵引车，在挂车后增设推车，从而显著提高运输车辆的整体动力。这种方式能够有效应对山地复杂的地形条件，保障大件设备的顺利运输。

为了确保山地风电场车辆运输安全，工作人员应该尽量选择在天气处于晴朗状态、路面干燥的时机运输大件车辆。在运输车辆运用前，要认真、细致地检查运输车辆的使用情况，包括车辆的机械性能、制动系统、轮胎磨损等各个方面，减少运输车辆出现隐患问题的概率。

在山地运输风机上使用常规叶片的时候，可以将运输车辆驾驶速度控制在低于10km/h，这样能够保证运输车辆处于稳定状态，避免货物受到应力损伤。因此，工作人员需要在核算现场运行数据的时候重点考虑挂车尺寸、货物重量等因素，以便合理规划运输方案。

在山地运输道路路基不稳定的时候，工作人员可以通过适当减小横向力系数，来确保运输车辆、运输人员的安全性。与此同时，将运输道路路拱横坡设计为2%，

可以有效避免运输车辆出现异常侧滑问题。

由于山地路面维修起来、加固处理难度比较大，风力发电厂需要根据风电管理规则、山地道路维护经验，在山地运输之前对道路进行全面排查，清理掉障碍物。在车辆运输前设计一些临时措施，如设置警示标识、安排专人指挥等，保证运输车辆可以维持单向通行状态。如果运输设备比较长，工作人员需要增加对弯道位置车辆通行的指挥能力、监护管理能力，防止山地风电场设备出现碰撞问题、侧翻问题。

二、某山地风电项目安全文化建设与设备运输的协同效应

（一）安全文化建设对设备运输的保障作用

安全文化建设为某山地风电项目的设备运输提供了坚实的保障。在先进安全文化的熏陶下，全体参与设备运输的人员都将安全意识融入到每一个操作环节中。从运输车辆的日常管理到运输路线的规划选择，从驾驶员的操作规范到现场指挥人员的指令传达，都严格遵循安全制度和标准。

例如，在设备运输前，相关人员会依据安全文化所倡导的风险意识，对运输路线进行全面的风险评估，提前识别可能存在的安全隐患，并制定相应的应对措施。在运输过程中，驾驶员和现场工作人员会秉持“安全至上”的理念，严格遵守操作规程，不违规、不冒险，确保设备运输的每一个环节都处于安全可控状态。

同时，安全文化建设中的培训教育活动也为设备运输人员提供了丰富的安全知识和技能，使他们能够更好地应对运输过程中可能出现的突发情况，如恶劣天气、道路损坏等，进一步降低了设备运输的风险。

（二）设备运输优化对安全文化建设的促进作用

设备运输方案的不断优化，如风机吊装方案、大件运输方案等的改进，不仅降低了运输过程中的安全风险，也为安全文化建设提供了生动的实践案例。这些成功的优化案例在项目团队内部进行宣传和推广，使全体员工更加深刻地认识到安全工作的重要性以及通过科学合理的方法能够有效降低安全风险。

例如，风机吊装方案从传统整体吊装转变为单叶片吊装，这一创新举措不仅解决了实际操作中的安全难题，还向员工传递了勇于创新、积极探索以保障安全的理念。员工在看到这些实际成果后，会更加积极主动地参与到安全文化建设中来，为进一步完善安全制度、优化安全管理流程提出更多建设性的意见和建议，从而促进安全文化建设的不断深化和发展。

（三）两者协同促进项目整体发展

安全文化建设与设备运输优化相互促进、协同发展，

共同推动了某山地风电项目的整体发展。安全的设备运输保障了项目建设的顺利进行,确保了设备能够按时、完好地到达指定位置,为项目的如期完工奠定了基础;而良好的安全文化氛围则提高了全体员工的工作积极性和责任感,使他们在项目建设的各个环节都能够严格要求自己,注重安全与质量。

在这种协同效应的作用下,某山地风电项目实现了安全、质量、工期三位一体发展,在整个项目建设期间保持了安全可控在控的良好状态,同时也取得了显著的成绩。

三、案例对比与经验推广

(一) 与其他风电场项目的对比分析

选取周边地区具有代表性的几个风电场项目,与某山地风电项目在安全文化建设和设备运输方面进行对比。在安全文化建设方面,有些项目虽然也制定了相关的安全制度,但在文化活动开展丰富度和员工参与度上远不及某山地风电项目。这些项目可能仅仅停留在表面的安全宣传,缺乏像某山地风电项目那样多样化、深入化的安全文化活动,导致员工的安全意识未能得到有效提升。

在设备运输方面,部分风电场由于对山地地形的复杂性认识不足,没有充分优化运输方案,在运输过程中频繁出现设备损坏、道路堵塞等问题,严重影响了项目进度和成本控制。而某山地风电项目通过科学合理的运输方案设计,如塔筒分段运输、采用特殊运输车辆等措施,有效解决了运输难题,确保了设备运输的安全和高效。

通过对比分析可以发现,某山地风电项目在安全文化建设和设备运输方面的做法具有明显的优势,这些优势为项目的成功实施提供了有力保障。

(二) 经验推广的价值与可行性

某山地风电项目在安全文化建设和设备运输方面积累的丰富经验具有极高的推广价值。在安全文化建设方面,其全员参与的安全文化活动模式、融合标准理念的管理方式、完善的激励机制以及严格的监督体系等,都可以为其他风电场项目提供借鉴。这些做法能够有效提升员工的安全意识和安全管理水平,营造良好的安全文化氛围,减少安全事故的发生。

在设备运输方面,针对山地风电场的特殊地形条件所采取的一系列优化措施,如风机吊装方案的创新、大件运输方案的调整、运输车辆和道路的优化等,对于其他面临类似地形挑战的风电场项目具有直接的参考意义。这些经验的推广可以帮助其他项目避免在设备运输过程中出现的常见问题,降低运输风险,提高运输效率,进而提升整个项目的建设质量和经济效益。

从可行性角度来看,这些经验具有较强的可操作性。

安全文化建设方面的措施不需要大量的额外投入,主要依靠组织协调和理念传播;设备运输方面的优化方案也都是基于现有的技术和资源条件制定的,其他风电场项目可以根据自身实际情况进行适当调整和应用。

四、结论与展望

(一) 研究结论

本论文对某山地风电项目的安全文化建设与山地风电场设备运输进行了全面深入的研究。在安全文化建设方面,通过学习落实集团公司安全文化、推进现场特色安全文化建设、建立健全安全机制、加强安全教育培训、优化施工方案以及开展隐患排查专项整治等一系列举措,形成了一套完善且有效的安全管理体系,确保了项目建设过程中的安全可控。

在山地风电场设备运输领域,从运输道路建设方式到运输路线设计要点的详细探讨,为解决山地风电场设备运输难题提供了系统的解决方案。运输车辆的合理选型、运输道路的科学规划以及运输方案的不断优化,有效降低了运输风险,保障了设备运输的安全和高效。

同时,安全文化建设与设备运输之间存在着紧密的协同效应,两者相互促进,共同推动了某山地风电项目的顺利实施和高质量发展。

(二) 未来展望

随着风电产业的持续发展,风电场建设项目将面临更多新的挑战 and 机遇。在安全文化建设方面,未来可以进一步结合数字化等技术开展安全培训和应急演练,使员工更加身临其境地感受安全事故的危害,提高安全培训的效果。在山地风电场设备运输方面,随着科技的不断进步,可能会出现更加先进的运输车辆和运输技术。例如,研发具备更强爬坡能力、更高智能化水平的运输车辆,或者探索采用无人机辅助运输等新型运输方式。此外,在运输道路规划设计上,可以引入地理信息系统(GIS)、大数据分析等技术手段,更加精准地评估地形条件和运输风险,制定更加科学合理的运输方案。

总之,希望本研究能够为风电行业在安全文化建设和设备运输方面提供有益的参考,推动整个风电产业朝着更加安全、高效、可持续发展的方向发展。

参考文献

- [1] 杨凯,何睿,潘贞君,等.山地风电场风电设备运输道路通过性分析及提升[J].安装,2024(3):61-62. DOI: 10.3969/j.issn.1002-3607.2024.03.022.
- [2] 代朋.山地风电场的道路设计及风电机组大部件的运输车辆应用[J].运输经理世界,2023(14):38-40. DOI: 10.3969/j.issn.1673-3681.2023.14.013.