

Research on the Design Principles and Practical Application of Mountainous Area Wind Farm Roads

Hui Zhao

China Energy Construction Group Liaoning Electric Power Survey and Design Institute Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110034, China

Abstract

Against the backdrop of accelerated progress toward the “dual carbon” goals, wind farms are increasingly being relocated to complex terrain areas, where road construction has become a critical factor constraining project timelines, safety standards, and cost control. Due to the distribution characteristics of wind energy resources, wind farms are typically built in mountainous and hilly regions, with turbines often installed on ridges or mountaintops. The complex terrain, significant elevation changes, and scattered turbine locations in mountainous areas make access roads essential supporting infrastructure. The rationality of access road design directly impacts project efficiency, operational safety, and ecological conservation outcomes. This paper systematically reviews the principles and applications of road design, aiming to provide theoretical references for the coordinated development of energy exploitation and ecological protection.

Keywords

mountain wind farm; road design; principle; practical application

山区风电场道路设计原则与实践应用研究

赵辉

中国能源建设集团辽宁电力勘测设计院有限公司, 中国·辽宁 沈阳 110034

摘要

在“双碳”目标加速推进背景下,风电场大规模向复杂地形区域迁移,道路建设已成为制约项目整体周期、安全水平与成本控制的关键环节。受风能资源分布特点的影响,风电场通常建在山区丘陵地带,风机多设在山脊或山顶,山区地形复杂、地势起伏大,风机点位分散的特征,促使进场道路成为风电场建设的重要配套设施,进场道路的设计是否合理,直接影响工程推进效率、运营安全和生态保护成效。本文系统梳理道路设计的原则和应用,希望为能源开发与生态保护的协同发展提供理论参考。

关键词

山区风电场; 道路设计; 原则; 实践应用

1 引言

风电行业作为新能源的重要组成部分,近年来发展迅速,在实现“双碳”目标中展现出较大潜力。为了充分利用风能,大多数风电场选址于山区、丘陵,风机多设置在山脊或山顶。由于分布较为分散,进场道路的施工难度显著增加,且易引发安全事故。山区风电场道路是风机设备运输、施工物料转运、后期运维的重要通道,道路质量直接影响工程建设成本、施工安全效率、区域生态环境。山区地形地貌条件特殊、地质条件变化大、气候环境差异大,对道路建设提出了更高要求。科学的设计原则以及精准的技术要点控制,是解决山区风电道路建设难题、实现工程和生态协调发

展的关键,对于风电产业高质量发展有着重要意义。

2 山区风电场道路设计原则

2.1 生态协同保护原则

山区生态脆弱,地形地貌及植被覆盖对区域生态平衡起着重要作用,道路设计要贯穿生态保护理念。设计时,工作人员必须调研当地生态环境特征,避免进入植被茂密的地方、野生动物的栖息地,以及生态保护的关键地区等,尽可能不要破坏地表植被。优化路线走向,利用已有的森林防火道路、林区道路或者乡村道路进行改扩建,可以减少新增占地对生态环境的破坏,并且不会改变原有道路性质。表土剥离与保存技术的应用,能为后期植被恢复打下良好基础,施工过程中,还要同步采取水土保持措施,设置排水沟、挡渣墙等,防止水土流失、山体滑坡。生态喷播、植被移栽等技术的合理使用,有利于保证道路建设与生态修复同步推进,

【作者简介】赵辉(1982-),男,中国辽宁鞍山人,硕士,高级工程师,从事电力工程研究。

将工程建设对生态环境的影响降到最低限度，达成生态协同保护的目标。

2.2 安全适配地形原则

山区地形起伏大，地质条件复杂，工作人员在设计道路时，以安全适应地形为原则，保证通行安全性和结构稳定性。根据山区坡度大的特点，合理控制道路纵坡，设置缓坡段、合理分布坡长，满足大件设备运输对坡度的要求，防止坡度过大造成运输车辆牵引力不足或者制动风险。转弯半径的设计要充分考虑到风电设备运输的需求，特别是超长叶片、重型塔筒等重型部件的运输特性，增大转弯半径、消除视线盲区，保证运输过程中的操作可靠性^[1]。路基设计要围绕地质勘察成果，针对疏松地质、岩土破碎地段，采取加固手段，改善路基承载能力及稳定性，避免施工和运营期间出现路基塌方、沉降等安全隐患。道路防护设施的布置也要符合地形特点，在降雨集中的区域，加强排水系统的规划设计，从多方面建立起安全可靠的通行道路系统。

2.3 高效适配需求原则

道路设计需全面满足风电场建设与运营各方面要求，实现建设效率、运输效率和运维效率的有机统一。设计前期，工作人员需要准确掌握风机设备参数、运输车辆性能和施工组织计划，保证道路技术指标满足大件设备运输要求，比如路面宽度、承载能力等，需要与运输车辆规格相匹配。路线规划应当保证风机点位、升压站、材料堆场等重要节点之间相互连接，减少运输距离、缩短施工时间、降低物流成本。道路设计要兼顾施工与运维两方面的需要，在保证施工期间大型设备通行的同时，也要为后期风机检修、维护提供方便的通道，避免重复建设、改造。改善道路网络布局，削减路线交叉和迂回，加强通行效能，保证施工期间物料供应及设备运送的通畅，这样才能为风电场创建和长久稳定运作提供保障。

2.4 资源集约利用原则

资源集约利用成为山区风电场道路设计的主要导向，重点在于统筹各种资源的消耗，将工程建设和资源节约有机结合。路基填料采用施工区内地形上的适性天然岩土，缩减外购材料运输距离和资源耗费，减小环境扰动；土石方开挖与回填要准确核算，推行填挖平衡理念，将开挖的土石方合理用于路基回填、边坡修整等，削减弃渣。临时施工道路、材料堆场等临时用地，需要提前规划，施工结束后，及时清理恢复植被，避免资源闲置浪费。这种多角度集约化原则，使资源得到高效利用，保证工程按时、按质地推进。

3 山区风电场道路设计实践应用

3.1 路线选址优化

路线选址是山区风电场道路工程设计的基本工作，决定工程造价、施工难易及生态影响。工作人员在选址前要实施全面的现场踏勘和地质勘察，联系地形地貌、地质情况，

生态环境以及风机布局展开综合分析。路线走向应顺应地形地势，沿山脊、山梁等平缓地段布设，避免大范围切坡、填沟，减小土石方开挖量，降低施工难度，减小生态破坏^[2]。充分利用已有道路资源，采用改扩建的方式达到线路衔接的目的，可以大幅减少新增占用的土地量，缩减建设周期，而且降低对周边环境造成的干扰。选址时，工作人员需要避开地质灾害易发区、断层破碎带、不稳定边坡等，对滑坡、泥石流等危险地段绕避，或者采取专项防护措施来保证道路的安全。饮用水源保护区、古树群等敏感区的道路线路，应该做专项设计，采用变线或者设置防护装置等方式，避免对敏感区产生影响，保证选址科学性、合理性。

3.2 平纵线形设计

平纵线形设计直接影响道路通行安全性与舒适性，工作人员需要结合山区地形特点和运输需求进行精确控制，平面线形设计中，直线段和曲线段的配合要自然流畅，避免长直线接小半径曲线的不合理组合。根据风电设备运输的特点，曲线段的设计要保证足够的转弯半径，在风机点位连接处，工作人员需要根据设备尺寸以及运输车辆的性能来优化曲线的参数，保证超长叶片可以顺利通行，同时消除曲线段的视线盲区。纵断面设计要合理控制纵坡坡度、坡长，根据地形起伏情况确定合适的最大纵坡，对连续陡坡路段进行拆分，插入缓坡段来减轻车辆行驶压力^[3]。竖曲线设计要有足够的半径和长度，保证行车视距良好，不能出现凸形竖曲线顶上视线被挡住，也不能出现凹形竖曲线底排水不畅的情况。平纵线形组合不得互相冲突，平面急弯不得与陡坡重合，应当根据线形指标优化组合，保证车辆行驶平稳安全，减少施工工程量和建设费用。

3.3 路基结构设计

路基是道路的承载部分，其要适应山区的地质状况，满足所承受的荷载条件，还要有足够大的强度、稳定性和耐久性^[4]。路基填料的选择要结合当地地质资源，以强度大、透水性好的天然岩土材料为主，不得使用易风化、易软化的填料。山区不同的地质条件区域，用不同的路基处理方式，在岩石破碎、承载力不高的地方用换填、夯实、注浆加固的方式提高路基承载能力；在潮湿或者地下水丰富的地区，布置排水垫层、隔水层来避免地下水对路基的侵蚀作用。路基横断面设计要合理确定填土高度、边坡坡度，根据地形条件采用半填半挖、填挖平衡等形式，减少土石方调运量，降低边坡防护压力。路基压实质量要严格控制，根据填料种类选择合适的压实机械和压实工艺，保证压实度符合设计要求，避免运营期间出现路基沉降、开裂等病害。对软土地基、岩溶地段等特殊地质路段要做专项勘察、设计，采取相应的处理措施来保证路基的长期稳定。

3.4 路面结构设计

路面结构设计要兼顾承载能力，耐久性以及适应性，满足风电设备运输和日常运维的通行需求。路面类型的选择

要结合山区气候、运输荷载和建设成本，常用的沥青路面和水泥混凝土路面各有优势，沥青路面平整度好，行车舒适，适合坡度大、曲线多的路段；水泥混凝土路面强度高，耐久性好，适合重载交通集中的区域。路面结构层的组合要科学合理，基层用强度高、稳定性好的半刚性材料，如水泥稳定碎石、石灰粉煤灰稳定土等，提高路面的整体承载能力；面层应具有良好的抗滑性、耐磨性、抗疲劳性，适应山区复杂多变的气候条件和交通荷载。大件设备运输具有重载的特性，路面结构应做相应的加强，适当加大面层厚度、提高基层强度，增强路面的抗变形能力、承载极限。路面排水系统要和路基排水相衔接，设置路肩排水沟、路面横坡等排出口及时排掉雨水，防止路面出现水毁、病害等问题，延长路面的使用寿命。

3.5 防护与排水设计

山区气候复杂多变，雨水量大且集中、地形条件不稳定，所以在设计时，防护和排水系统就成为保障道路安全的重要方面。边坡防护应根据边坡坡度、岩土性质、气候条件选择适宜的防护形式，缓坡路段可采用植被护坡、生态喷播等生态防护措施，达到防护与生态修复的双重效果；陡坡或者岩土破碎的路段采用工程防护加生态防护的方式，即浆砌石挡土墙、锚杆框架护坡等提高边坡稳定性。排水系统设计要达成地表排水与地下排水的协作，路面排水依靠横坡及路肩排水沟把雨水引导至路基外侧，路基排水依靠盲沟、渗沟等降低地下水位，防止地下水对路基的侵蚀^[5]。在沟谷穿越段设置过水涵洞或小桥，保证山洪顺利通过，防止冲毁道路，在挖方段顶部设截水沟，拦截坡面雨水，预防雨水冲刷边坡。防护、排水设施的布置要相互配合，形成完整的防护体系，抵御自然灾害对道路的破坏，保证道路长期稳定运营。

3.6 运输适配性设计

道路设计需全面满足风电设备运输的特殊要求，保证大件设备运输过程的安全高效。运输车辆通行参数的精准把控是设计的核心，工作人员按照叶片、塔筒、机舱等设备的

尺寸、重量，决定道路最小宽度、最大坡度、最小转弯半径等参数。超长叶片的运输要留足道路通行空隙，调整路线走向、加大曲线半径，防止叶片和山体植被相碰，还要设置临时避让场地。重型塔筒的运输需要路面有较强的承载力，需要经过路基、路面的加强设计，使局部路段的承载力得到提升，必要时设置临时加固措施，保证运输车辆的正常通过。道路沿线应设置合理的标志标识，标明限高、限宽、限速等要求，在重要路段设置警示标志、反光标识，保证夜间或者恶劣天气条件下运输的安全。运输路线的优化要联系设备运输顺序以及施工组织计划，达成各个风机点位的高效联通，缩减运输路线的重复和迂回，优化运输效率，削减物流成本。

4 结语

综上所述，山区风电场道路是风电产业在复杂地形区域落地的支撑，设计过程中，需要平衡能源开发、生态保护和安全通行三个方面。基于科学的设计思路和准确的技术控制，可以很好地解决山区地形、地质带来的建设难题，实现工程效益和生态价值的统一。风电场建设与运维的核心保障是道路设计，道路设计的科学性会影响风电产业的发展质量。以山区建设实际为依托，不断改进设计思路和技术途径，可以为新能源产业在复杂地区顺利发展打下坚实基础，有利于“双碳”目标下，能源转型的稳步推进。

参考文献

- [1] 宋彦龙.山区风电场道路设计要点及优化方法[J].石河子科技, 2024, (04): 58-59.
- [2] 李利飞.风电场道路设计方法研究[J].工程技术研究, 2023, 8 (24): 198-200.
- [3] 陈湘蓉.山地风电场道路工程设计问题研究[J].科技资讯, 2023, 21 (22): 164-167.
- [4] 杨奎滨,杜昊天,王其君,等.风电场道路优化设计算法及应用[J].分布式能源, 2022, 7 (05): 56-62.
- [5] 史东瑞.山地风电场道路设计、施工及运行风险要素分析[J].电力勘测设计, 2021, (11): 76-80.