

轨道拉索材料转运技术在山地光伏施工中的创新应用

罗小龙 郑新愿 秦彪 赵强 牛犇
中建八局西南建设工程有限公司 四川 成都 610066

摘要：在当前能源需求增长和可再生能源发展的背景下，光伏发电已成为重要的绿色能源来源。尤其是在山地环境中，光伏项目具有良好的日照条件，但也面临地形复杂、施工难度大、运输效率低、易造成水土流失等挑战。本文以四川省凉山州某大型山地光伏电站项目为例，针对山地光伏项目中的材料转运难题，提出并探讨了轨道拉索材料转运技术的创新应用。研究表明，轨道拉索技术不仅优化了运输流程，提升了材料转运效率，且在降低材料损耗、减少对地表破坏、降低安全隐患方面具有明显的优势。

关键词：轨道拉索；材料转运；山地光伏；施工效率；安全性；绿色施工

引言

随着光伏发电在全球能源结构中的地位不断提升，光伏装机容量逐年增长，光照充足、地势平坦且建设条件好的土地资源日趋减少，光伏电站的建设选址逐渐向山地、高海拔地区转移^[1]。山地光伏项目通常地形起伏较大，地质条件不稳定，且气候条件变化多端，材料转运面临着施工难度大、转运效率低、存在较高的安全风险以及易造成水土流失^[2-4]等一系列挑战。尤其在雨季，泥泞的道路容易造成机械滑坡，进一步增加运输难度。传统的吊装和地面转运方式无法有效应对这种地形的复杂性，大多数光伏阵列区内部只能通过人工散料甚至是无人机吊运的方式进行材料转运（如图1所示）。这两种转运方式效率低，成本高，增加了材料损耗风险，还存在较大的安全隐患。



图1 无人机吊运

为解决山地光伏施工过程中的材料转运困难问题，提升材料转运的效率、经济性和安全性，本文结合山地实际地形条件，提出了采用轨道拉索技术对光伏组件进行材料转运，该技术结合机械滑轮、拉索和钢缆系统，通过在山地坡面架设轨道，实现高效、稳定、安全且绿色环保的材料运输，减少了对人工搬运的依赖，减少了材料损耗，具有良好的应用前景。本文通过对具体的光伏发电项目的实际应用案例分析，评估了该技术在提高

施工效率、降低成本、减少安全风险以及防止水土流失等方面的显著优势^[2]。

1 工程概况

项目位于四川省西南部凉山彝族自治州西昌市西侧牦牛山山区，场址西侧为雅砻江流域，东侧为安宁河，属于构造侵蚀、剥蚀中山~高中山地貌，区内谷岭高差在500~1100m，场址地形整体较陡，场区地块分散。光伏场区整体位于亚热带季风气候区，区域多年平均降雨量1025.1mm，光伏场区附近无地表水系通过，但存在短时间强降雨造成的地表径流对场地冲刷的影响。为典型的山地光伏发电项目，如图2图3所示



图2 光伏场区地理位置示意图



图3 光伏场区地质条件

光伏场区整体占地面积约2700亩，共分为8个地块，79个光伏阵列，610Wp组串数约18100组，光伏板共计约509400块，整体光伏组件材料转运量极大，采用轨道拉索技术可有效解决本项目施工过程中的材料转运问题。

2 轨道拉索材料转运技术概述

2.1 技术原理

轨道拉索材料转运技术是一种结合机械滑轮、拉索和钢缆的材料运输方案。通过在山体坡面架设轨道，并利用滑轮和钢缆系统将材料从基点运输至指定作业区，达到了快速、安全的运输效果。此外，拉索系统可依据陡坡地形调节不同的运输角度、距离和方向，确保材料运输的灵活性和精准性^[3]。

2.2 适用范围

该技术克服了传统车辆运输和人工运输的局限，比无人机运输更为稳定可靠，能够有效应对山地环境中的坡度和不规则地形。适用于工期紧、作业面积大、工程量大、地势陡峭且对环保和绿色施工要求较高的光伏组件材料转运及散料作业，特别是在地质条件不良和不易修路或开设临时便道的情况下。

3 轨道拉索技术在山地光伏中的应用

3.1 实施过程

在陡坡地形中，本项目将轨道拉索装置设置在光伏阵列区方阵的中部，通过一条轨道的运输能力，能够有效覆盖整个方阵区域，确保所有施工材料能够顺利运送到每个角落，如图4所示。

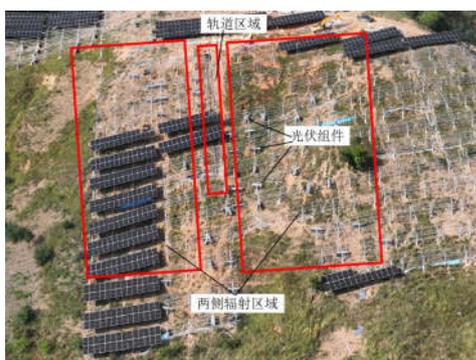


图4 轨道拉索装置使用效果

整套轨道拉索装置主要由固定卷扬机系统和轨道平板车系统两大部分组成，如图5图6所示。在实际施工时，先在方阵顶部平整出一块坚实地面，通过在地面上打四根入固定锚桩将承托刚架固定，再将卷扬机设置在承托刚架上，实现有效固定，卷扬机拉索末端与平板车尾部万向环连接。在轨道中部设置固定滑轮，主要作用是保证拉索居中，同时将其隔离地面，减少磨损。轨道平板车系统主要由轨道横梁、轨道、轮式平板车组成。

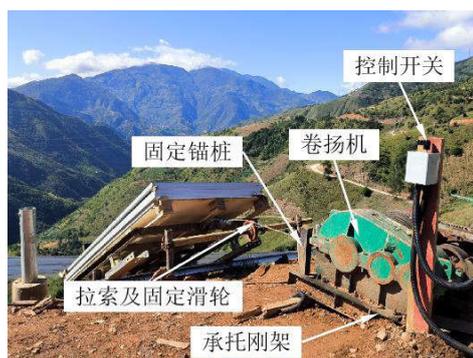


图5 固定卷扬机系统



图6 轨道平板车系统

轨道一般设置在方阵中部。设置时，先在坡面打入固定间距的垂直锚桩，固定横梁的同时可以减少地面起伏带来的不利影响。设置完垂直锚桩后，将轨道横梁固定在锚桩上，最后将轨道设置于横梁之上。轨道一般采用C型导轨，平板车的滑轮可直接固定于导轨内，滑轮轴承两端卡于C型导轨翼缘内侧，可有效防止平板车翘头和脱轨。平板车主体为钢制结构焊接，在其上部设置有木质承托板，防止组件在转运过程中磕碰损坏。在组件装车完毕后，其两端用绑带固定，防止组件在转运过程中滑落。整套轨道拉索系统采用柴油发电机对卷扬机及其控制系统进行临时供电。

设置完整套系统后，组件散料作业一般由6~10人组成，在轨道顶部配置3人，两人负责组件搬运装车，1人负责安全监视和控制卷扬机升降系统；在轨道中下部配置1名安全观察员，实时监控机械运行状态，同时通过对讲机传递信号，与轨道顶部操作人员配合控制平板车的行进；在轨道两侧可各配置2人，负责组件的搬运卸车以及横向散料转运。

3.2 成效评估

本项目的轨道拉索转运技术充分适应了山地陡坡地形，同时提高了材料转运的效率和安全性。该配置不仅优化了运输流程，还降低了因地形复杂性带来的操作风险，满足了施工过程中对效率和安全的双重要求。此

外,通过这种方式,我们能够在保证工程进度的同时,降低对环境的影响,充分体现绿色施工理念。

在运输效率方面,采用轨道拉索转运技术可显著提高运输效率。相比传统运输方式,轨道拉索系统可轻松实现对材料的纵向运输,不受地形限制,大幅度缩短了运输时间^[4]。同时,通过合理设计拉索路径,可以减少运输路线中的障碍和绕行,提高材料到位效率。在材料到达预定纵向位置后,可通过人工进行简单的横向运输,覆盖更为广阔的区域。通过该技术转运同等重量的材料所需工人数量仅为全人工转运所需工人数量的1/3。相比于无人机空中运输方式,轨道拉索系统单次转运量大,可随停随取,能效比得到极大提升。在相同时间内,采用该系统转运的光伏组件数量是采用无人机转运数量的1.5倍。

在经济性方面,轨道拉索转运技术的经济性远高于人工转运和无人机转运。以转运一个方阵的光伏组件为例,共需6160块光伏板,全人工转运需24人正常作业5天完成,人工成本约为200人/天,费用合计约为 $24 \times 200 \times 5 = 24000$ 元;若以轨道拉索装置配合转运,需8人正常作业5天完成,机械供电费用约为100元/天,费用合计约为 $(8 \times 200 + 100) \times 5 = 8500$ 元;若采用无人机转运,吊装单块板至指定位置需12元/块,同时需配置4人正常作业7.5天完成,费用合计约为 $4 \times 200 \times 7.5 + 12 \times 6160 = 79920$ 元。综上所述,相比于人工转运,轨道拉索转运技术可节约费用64.6%;相比于无人机转运,轨道拉索转运技术可节约费用89.4%。

在安全性方面,该技术可降低作业安全风险。山地作业环境复杂且常伴有降雨,传统运输方式易产生滑坡或设备倾覆风险,采用人工转运时,会伴随有落石、工人滑倒摔伤等风险。轨道拉索运输作业面具有一定的离地高度,减少了与地表的接触和潜在的坍塌、落石等风险,显著提升了施工的安全性,尤其是雨季或地质较松软区域。相比于无人机转运作业,轨道拉索运输作业稳

定可靠,基本不受风速、雷电天气影响,可有效降低无人机作业带来的高空坠落、物体打击等风险。

在环境保护方面,该技术可减少对环境的影响。山地光伏施工常涉及大面积材料搬运,而传统车辆运输或者人工搬运容易破坏植被和土壤稳定性,导致水土流失。一方面,轨道拉索系统避免了机械和人员对地表的多次碾压,降低了对地表植被的破坏;另一方面,该系统可通过调节轨道垂直锚桩和横梁的高度,减少地势起伏造成的不利影响,减少修路开台或挖填方的面积,降低了对自然环境的破坏,有助于实现项目的生态友好性。

3 发展前景

随着光伏发电的普及和山地光伏项目的增多,轨道拉索材料转运技术具有广阔的发展前景。未来可进一步结合智能传感器和自动控制系统,提升运输的智能化水平,实现远程监控、自动刹车等功能,确保安全的同时进一步提高效率。同时,随着技术的发展,轨道拉索系统还可在风电等其他山地项目中推广应用。

4 结论

轨道拉索材料转运技术为山地光伏项目带来了全新的运输方式,能够有效提高运输效率、降低施工风险,并且减少对环境的影响。在光伏施工中的应用证明了它的可行性和优越性。未来,通过不断创新和完善,该技术将为我国的山地光伏建设提供更坚实的技术支撑,为清洁能源的推广和普及贡献力量。

参考文献

- [1]李明鑫,李超,曹冬梅,等.山地光伏电站建设管理难点及措施[J].中国电力企业管理,2024,(27):46-47.
- [2]周锐.浅谈山地光伏EPC项目设计与施工的现场管理[J].水电站设计,2024(1): 20-22
- [3]李震.基于风险评估的山地光伏工程安全管理策略[J].工程技术研究,2023(24): 154-156.
- [4]李正雄,胡振华,潘旭峰.不同地形条件山地光伏用地适用性分析[J].云南水力发电,2024,40(10):185-187.