山地光伏输变电物资新型运输模式及施工现场管理策略研究

龚　良　曾绍全
（四川能投建工集团水利水电工程有限公司）
DOI：10.65285/GCJSYGL.V2I4.001

摘　要：山地光伏输变电工程建设中，物资运输与施工组织面临的现实困难较为突出。铁塔构件分批到货后塔位间相互混杂、成套组立难以保证，大截面电缆陡坡段牵引力控制难度较大且采购长度与实际路径之间常有偏差，大型设备进场道路与吊装场地条件往往准备不足。本文针对上述问题，梳理了当前“重载索道主干运输、轨道滑道末端补给、无人机辅助配送与巡查”的组合运输模式，进而从塔材成套清点与双向核对、电缆路径逐段实测与牵引力监控、进场条件联合确认与吊装预演、作业面每日交底与工序巡查等方面，探讨了若干可供参考的现场管理方法。
关键词：山地光伏；输变电物资；塔材运输；索道运输；施工现场管理

A Study on New Transport Models and Construction Site Management Strategies for Ground-Mounted Photovoltaic Power Transmission and Distribution Materials

Liang Gong, Shaoquan Zeng
Sichuan Energy Investment Construction Group Water Resources and Hydropower Engineering Co., Ltd.

Abstract: The construction of mountainous photovoltaic power transmission and transformation projects faces prominent practical difficulties in material transportation and construction organization. Tower components delivered in batches are easily mixed among tower positions, making standardized assembly of complete sets difficult. For large-cross-section cables, traction control on steep slopes is challenging, and inconsistencies often exist between purchased cable lengths and actual laying routes. Meanwhile, access roads for large equipment and hoisting site conditions are usually insufficiently prepared. Targeting the above problems, this paper summarizes the combined transportation mode of heavy-load cableway main transportation, track slide terminal replenishment, and drone-assisted distribution and inspection. It further explores practical site management strategies, including complete tower material inventory and two-way verification, section-by-section cable route measurement and traction monitoring, joint confirmation of access conditions and hoisting rehearsal, as well as daily on-site technical disclosure and working procedure inspection.
Keywords: mountainous photovoltaic; power transmission and distribution materials; tower material transportation; cableway transportation; construction site management

前言

山地光伏项目的输变电工程涵盖集电线路铁塔组立、电缆敷设和升压站设备安装等内容。与传统平地施工不同，山地条件下物资需要经过多次转运才能到达作业面，途中构件混杂、配套差错、长度偏差等问题时有发生，这些问题直接拉长了施工周期，有些项目因此错过了并网窗口[1]。现有文献多数聚焦于光伏区支架和组件的运输安装，对于输变电物资这一环节的专门研究相对不足。本文从输变电物资的物流特性出发，分析塔材、电缆、大型设备三类物资在运输和施工中的常见问题，结合当前工程中几种主要运输模式的实际运用情况，就现场物资管理和施工组织提出若干可供参考的做法。

一、山地输变电物资运输与施工中的若干实际问题

（一）塔材构件分批到货之后的配套难题

架空集电线路铁塔构件按单基成套生产，单基铁塔包含数百至上千件构件，只有全部构件到位才能开展组立作业。受山地道路、索道运力约束，塔材构件只能采取分批次运输的模式。若装车阶段未按塔位进行严格区分，转运过程批次标识模糊，不同塔位的构件极易发生混料。一旦构件混杂，现场常会出现单基铁塔构件缺失，无法凑齐成套物料，造成铁塔组立作业停工。该问题根源在于装车核对工作不严谨，批次信息传递不到位，现场接收缺少逐项登记流程。多重疏漏造成缺件问题反馈滞后，构件流转全流程缺少有效的追踪校验手段，进一步加剧物料错配、补发延迟现象。

（二）大截面电缆陡坡段敷设的作业困难

大截面电缆敷设的主要难点集中在陡坡地段的牵引作业管控。35kV 大截面电缆单盘自重较大，在 25° 以上陡坡展放作业时，电缆自身坡面分力叠加牵引拉力，容易造成侧压力超标，威胁电缆绝缘结构完整性。陡坡区域缺少机械作业平台，作业主要依靠卷扬机搭配人力完成，牵引速度把控不当、滑车布设不合理，会造成电缆外护套磨损破

坏。同时电缆采购长度控制难度高，设计图纸采用平面投影核算电缆长度，山地实际地表路径长度普遍存在较大增量。电缆采购长度与实际敷设路径不匹配，若电缆长度不足，需要增补物料并增设中间接头；若采购余量过大，多余电缆需要在山地盘绕堆放，不仅占用作业空间，还会增加接头数量，而电缆接头本身属于运行阶段潜在故障隐患，前期长度管控缺失会造成后期施工处理难度加大。

（三）大型设备到场之后的进场与就位限制

主变压器、GIS 这类大型输变电设备，对运输道路、吊装作业场地条件有着严苛要求，需要提前完成道路勘察和运输车辆选型。山地升压站场地狭小紧凑，吊车支腿展开空间、吊臂回转范围、设备与周边构筑物安全距离均需要满足规范要求。现场经常出现道路障碍物阻碍运输车辆通行、吊车作业地基承载力达不到标准等情况，迫使吊装设备调整作业位置，改变吊臂作业幅度，降低吊车额定起重性能，迫使吊装方案变更，拉长作业工期，提升现场施工安全风险。产生上述问题的核心是设备外形、重量、吊装技术参数等关键资料，未在设备进场前与现场实地条件开展逐项核对。大型设备管控不能仅关注物资运输过程，必须将管理工作前置，做好前期信息对接和现场条件核查。

二、山地输变电物资运输模式的实践做法

（一）重载索道作为主干运输方式

重载货运索道承担主干运输功能，索道架设于材料站或临时转运场至铁塔塔位附近、电缆路径起点，可实现塔材成捆、电缆盘整体吊运，完成物资山下至山上的转运。载重 3 ~ 5t 的货运索道单日可转运 2–3 基铁塔塔材，运输效率远高于人工搬运。索道线路选型需避开村庄、电力线路等障碍物，逐档核算承载能力，同时统筹两端装卸场地，保障山下堆场与塔位端卸料分拣空间，避免因卸料平台不足制约运输效率 [2]。索道支架占地少，完工后可拆除恢复植被，生态友好。运行中建立吊运发运台账，登记物资、塔位编号与构件批次，便于现场掌握物资动态。索道前期投入偏高，但当项目塔基达到 50 基以上或线路超 10km 时，综合成本优于修建盘山便道，适合大规模山地输变电项目。

（二）轨道滑道与单轨运输车作为末端补给手段

索道仅完成大宗物资上山转运，索道卸料点到铁塔作业面仍存在数十米至上百米陡坡，大型机具无法通行，轨道滑道与单轨运输车成为末端补给手段。该类设施适用于坡度不大于 45° 地段，单次可运载 300–500kg 构件，依靠卷扬机牵引或重力滑降实现构件短途输送。百余米滑道仅需 2–3 天即可架设完成，建设成本低。使用过程中需重点把控轨道连接牢固度以及刹车装置可靠性，雨季作业要及时清理轨面淤泥，使用前测试刹车性能，防范构件滑降失控事故。物资转运结束后可快速拆除，对山地环境扰动较小。

（三）无人机辅助应急配送与通道巡查

无人机主要承担应急配送与通道巡查的辅助工作，工业多旋翼无人机载重 5–20kg，航程 5km，无法承担大宗物资主体运输，但在特定场景效益突出。一方面用于小型构件应急补给，铁塔组立出现螺栓、垫片、接地线缺料时，无人机可快速将小件物资送达塔位，避免停工等待，保障作业连续性。另一方面用于运输通道安全巡检，大风、降雨天气过后，无人机沿索道巡检，高效核查绳索磨损、滑轮工况与支架稳固情况，2km 索道线路巡检仅需十余分钟，可采集人工难以观察到的高处部位影像。部分项目还利用无人机开展装卸作业区安全监控，实时掌握作业面状态。无人机虽属于辅助手段，但有效提升了物资运输体系的应急处置与安全管控能力。

三、施工现场管理的若干具体方法

（一）塔材装车成套清点与到场双向核对

运输模式解决的是“物资怎么上山”的问题，而物资上山之后如何精准到达指定塔位、如何避免配套差错，则需要依靠现场管理手段来保障。针对塔材分批到货之后配套困难的现实问题，一些项目在材料站和施工现场分别增设核对工序。材料站装车前，安排专人按照每基铁塔的构件清单逐项核对装车内容，确认该塔位的主材、斜材、连接板及各类螺栓齐全之后，在发货单上详细注明该批次包含的塔位编号和构件明细；构件按塔位分别捆扎并悬挂标识牌，不同塔位的构件分区存放、分批装运 [3]。

为便于操作，材料站制作每基铁塔的构件清单卡片，装车时逐项勾选，每车装完拍照留存，照片上可以清楚地看到每捆构件上的塔位标识牌。这些照片通过工作群发到现场，接收人员提前就知道这一车会到哪些构件。构件运抵之后，接收人员依据发货单逐件清点，如实记录实收数量，签字确认后将清点结果反馈至材料站；发现缺件时标注缺失构件的编号和数量，作为下一批次补发的依据。这套做法通过发运前核对、到场后清点、缺件及时补的闭环，有效降低了因信息不畅造成的配套延误。

（二）电缆路径逐段实测与敷设过程牵引力控制

电缆管理同样需要前置到采购环节。为解决采购长度与山地实际路径不符的问题，一些项目在电缆下单前安排技术人员沿设计路径实地走线，使用测距仪或手持 GPS 设备逐段测量地表实际长度，重点记录陡坡绕行段、冲沟跨越段和预留弯曲段的长度增量。实测数据与设计长度比对后，偏差超过合理范围（一般以 5% 为参照）的区段，及时与设计方沟通确认，据此调整采购长度。

采购长度确定之后，敷设过程也需要精细化管控。将电缆路径按地形条件划分为平地段、陡坡段和过路段，每段明确牵引方式、人员配置和安全注意事项。陡坡段敷设时采用卷扬机配合滑车组，控制牵引速度一般不超过 10m/min，并在电缆牵引头处安装测力装置实时监测牵引力。牵引力接近电缆允许值的 80% 时暂停展放，检查滑车是否卡阻、路径有无障碍，确认正常后再继续作业。某项目在陡坡段敷设时，测力计显示牵引力持续上升，检查后发现是滑车被卡在岩石缝隙中，清理之后牵引力恢复正常，避免了电缆损伤。敷设完成后及时进行路径回填和标志桩埋设，防止后续施工对电缆造成损伤。

（三）大型设备进场条件联合确认与吊装现场预演

大型设备的运输就位涉及更多参与方和更复杂的条件约束，因此需要更前置的协调机制。设备预计到场前一周左右，由施工单位牵头组织设备厂家、运输方、吊装单位和土建施工方，沿运输路线进行联合踏勘，逐项检查道路宽度、弯道半径、净空高度、地基承载力和边坡稳定性，确认是否满足设备运输车辆和吊车的通行要求；路面宽度不足或弯道半径偏小的区段，提前进行修整或制定替代方案，提前发现并处理现场问题，远比设备到场后再应对更为主动。

安装准备阶段还需对吊车站位、起吊路径和设备回转轨迹进行现场放样，在地面上用石灰线标出吊车支腿位置、设备基础轮廓和吊臂回转范围，据此核实吊车工作幅度是否满足要求、支腿能否完全展开、回转区域有无障碍物。涉及设备翻身或跨越构筑物的作业，可在电脑上使用简单建模软件进行空间干涉检查。安装过程中使用水准仪或激光测距仪监控设备就位水平度和位置偏差，发现偏差及时微调，有助于避免安装完成后因不合格而返工。

（四）作业面每日安全条件交底与重点工序巡查

上述各项管理措施的有效执行，最终都要落实到作业面的人员行为上。山地输变电施工班组作业面分散，各作业面的风险特征各不相同，索道运输、铁塔组立、电缆敷设和设备安装各有不同的安全要求。部分项目实行每日班前会制度，上工前各班组长向作业人员说明当天的工作内容、使用的设备机具、作业环境中的风险点和相应防护措施 [4]。索道重载运行和大件吊装等高风险作业，开工前还需对索道滑轮、钢丝绳、刹车装置、吊具卡环等逐一检查，确认正常后方可开始作业；风速超过 6 级或能见度较低时，应暂停索道运行和吊装作业。

在班前交底之外，过程巡查构成安全管理第二道防线。专职安全员按责任区域分别巡查各作业面，重点盯防索道下方人员通行、高处作业防护用品佩戴、电缆沟槽临边防护、吊装警戒区设置等关键事项，发现隐患当场提出整改要求，整改完成后方可恢复施工，巡查情况和整改结果形成简要记录，作为后续安全交底的参考。

结语：

山地光伏输变电工程的物资运输与施工管理，其难点集中于塔材成套供应、电缆长度与牵引控制、大型设备进场条件三个层面。本文梳理的各项应对做法——发运前成套清点与到场核对、电缆路径实地测量与牵引力监控、进场条件联合踏勘与吊装预演、作业面每日交底与巡查——均来自工程一线的实践积累，这些做法对于减少构件配套延误、控制电缆敷设质量、降低设备就位返工率具有一定作用。

参考文献：

[1] 李刚 , 袁强 , 吴穹 , 等 . 四川高海拔山地光伏电站建设总结 [J]. 科技资讯 ,2019,17(32):30-32.

[2] 黄国建 . 新能源电力项目施工过程中的质量控制与管理 [J]. 电力设备管理 ,2025,(23):199-201.

[3] 张勇 , 彭畅 , 冯泽彬 . 山地光伏电站项目施工阶段管理优化研究 [J]. 工程建设与设计 ,2024,(12):204-206.

[4] 李愿明 . 货运索道运输塔材组立铁塔的施工技术 [J]. 企业技术开发 ,2016,35(12):98-99.

作者简介：

龚良（1976 年 10 月 -）、男、汉族、四川省都江堰市、中级机电、本科、研究方向：输变电工程及新型能源建设。

曾绍全（1989 年 10 月 -）、男、汉族、四川南充、大专、研究方向：输变电工程。