

# 单轨道运输机在山地光伏项目大坡度施工中的材料运输

王西平

(中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 陕西 西安 710100)

**摘要** 本文将以山地光伏发电项目在大坡度施工中的工程材料运输为研究对象, 采用山地单轨道运输机材料运输方案, 比卷扬机滑道小车运输原方案具有一定的灵活性、简便性以及节约运输成本的优点, 以此说明采用山地单轨道运输机在大坡度施工环境下工程材料运输具有一定的优点, 提出采用合理的材料运输方案, 可以有效地解决大坡度施工中材料运输困难的问题, 并可以节约运输成本, 旨在对促进山地光伏发电项目在工程建设中发挥进度效益具有积极作用。

**关键词** 大坡度山地光伏发电项目; 材料运输; 山地单轨道运输机

**中图分类号:** TH22

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2097-3365(2023)11-0052-03

山地光伏发电项目是指利用光伏发电系统, 将太阳能转换为电能的工程项目, 其特点在于装机容量大, 特别是大坡度山地施工项目在物料运输方面, 都难于常规光伏发电项目。因此, 针对大坡度山地光伏项目材料运输专项施工方案, 在无施工道路、地形陡峭、树木多、石头多等施工环境复杂的条件下, 应采取灵活性高、适合山地施工环境的材料运输方案, 以确保项目建设进度、质量、安全、费用的控制, 才能满足预期标准。故研究此项课题, 具有十分重要的意义。

## 1 工程概况

湖北能源宜城东湾 100MW 光伏发电项目属于山地光伏, 设计安装容量为 115MWp, 采用单晶硅双面组件与组串式逆变器, 光伏生产区共布设 32 个子阵, 每个子阵平均由 242 组光伏组串组成, 单个光伏组串则由 8 根微孔桩基础组成, 桩身砼采用 C25 混凝土, 钢筋锚桩埋件为 HRB400 钢筋, 桩身采用 Q235B 钢管, 镀锌厚度达到 85  $\mu\text{m}$ 。其中, 光伏区部分子阵自然坡度超过 25°, 属于大坡度山地光伏施工。

以 12# 光伏子阵为例, 原施工专项方案描述山体总体坡度在 28° 以上, 局部坡度 30°~38°, 子阵陡坡表层石头较多或基岩露头, 草木根系盘错, 地表凸凹不平; 光伏支架、组件等设备材料因地势陡峭, 无施工道路利用, 无法采用机械一次性运输到作业面, 需人工进行二次转运至工作面, 同时材料堆放需进行保护处理; 作业面材料垂直、水平运输难度大、损耗严重, 且作业人员陡坡行走需采取安全防护措施, 材料二次转运投入量大幅增加, 作业难度及危险系数加大; 材料设

备运输过程、安装过程中组件成品保护困难增加<sup>[1]</sup>。

## 2 原方案卷扬机滑道小车材料运输

原方案材料运输, 拟用额定拉力 3t 的卷扬机牵引小车运输, 滑道顶部场地设置平整, 并在卷扬机固定部位预先钻孔, 孔深 1 米, 将卷扬机组装就位后, 插入锚栓进行固定牢固; 运输滑道沿修整的滑道中心线两侧间距 1000 毫米铺设两根  $\phi 48$  钢管, 沿滑道方向焊接连接并固定牢固, 作为运输小车行走简易轨道, 轨道中间采用  $\phi 48$  钢管垂直支撑, 并与两边轨道焊接固定, 横向钢管顶面略低于两侧轨道, 间距 2 米一道, 防止轨道变形移位, 轨道下部修整平整, 并通过两侧锚入钢筋或安放预制混凝土块固定牢固, 轨道安装表面平整, 轨道高于地面 15 厘米以上; 运输小车底板采用 3 毫米厚钢板, 钢底板下面左右各焊接两根 2.3 米长间距与轨道同宽的  $\phi 48$  钢管, 两根钢管之间用来安装滚动轴承和防止运输小车发生侧翻, 侧边设置高度小于 1 米的防护挡板, 挡板材料可选用  $\phi 30$  的钢管制作成格栅式, 上、下各一道, 四角各加一道竖向立杆, 底部与底板焊接固定, 也可给格栅上安装木模板, 运输散料配件, 另外小车钢架两侧分别设置两根斜撑杆, 作为第二道防侧翻装置, 运输小车额定载荷质量 1000kg, 单次运输量 20~28 张光伏板, 运输量可根据班组配置人员数调整<sup>[2]</sup>。

## 3 山地单轨道运输机运输方案

经过多次对山地型单轨道运输机进行调研, 发现在大坡度山地光伏材料运输中可以采用山地型单轨道

运输机运输。方案简述：山地型单轨道运输机，单轨规格型号（单位：毫米）：50\*3000 不锈钢方钢（齿条型轨道， $\delta=2.5$ ），单节轨道长度可根据现场实际情况与厂家沟通直接在厂家加工，轨道接头之间采用连接件与螺栓连接平顺，轨道安装距地面高度 0.5 米左右，轨道支撑立杆采用  $\varnothing 25$  不锈钢钢管加工制作（长度根据现场安装高度可加工调整， $\delta=2.5$  毫米），立杆与轨道采用连接螺栓固定，支撑（立杆）一般每 1.5 米布设一个，一般情况下每 3 米（立杆）处增加一个斜撑杆，斜撑杆（材质规格型号与立杆相同，长度根据现场加工制作调整）与立杆采用紧固螺栓连接件固定，斜撑杆的设置方向可根据受力方向调整，以保证轨道运输机运行期间的稳定性和安全可靠，在轨道两端除设置立杆、斜撑杆（与轨道方向垂直）外，沿轨道运行反方向各增设一个斜撑杆，以缓冲运输机停止刹车的冲击力，山地型轨道运输机动力机头是悬挂在轨道上部依靠动力铁齿轮与轨道下部齿牙摩擦爬行行走的，轨道运输机动力铁齿轮底部距离地面有一定的净空即可正常行走，上、下行设置有限位器，下滑有自锁装置，额定运输载重一般 300kg，另外，单轨道运输机可以沿一定的曲率弧线行走。而卷扬机滑道小车运输是靠钢丝绳牵引力，只能沿滑道直线运行，不可以弧线运行，否则会造成出轨和侧翻风险，由此可见，山地单轨道运输机适应性更高<sup>[3]</sup>。

#### 4 山地单轨道运输机方案与卷扬机滑道小车运输方案对比

1. 轨道安装通道工作量对比。山地单轨道运输机单轨安装通道宽度约为 0.5 米（只考虑运输机通行宽度），而卷扬机滑道小车运输通道的宽度约为 1.5 米（考虑运输小车通行宽度），另外，山地单轨道运输机轨道距离地面高度 0.5 米左右，而卷扬机滑道小车运输双轨高度距离地面 0.15 米以上，也就是说滑道双轨必须将铺设通道的地面修理平整后，才能安装双轨，而单轨只需要处理立杆支撑位置和斜撑杆点位，只要安装支撑点稳固、轨道平顺相接，保证运输机底部通行空间即可，因此山地单轨道运输机相比卷扬机双轨滑道一条通道可以减少 3 倍以上的工作量。其次，轨道安装工作量对比，由于单轨相比双轨（滑道）只考虑轨道的平整度、直线度就可以了，单轨的轨道、立杆、斜撑杆之间的安装固定是标准件螺栓连接，简单便捷，而卷扬机滑道小车运输双轨安装高度距地面较低，行走动力靠卷扬机钢丝绳牵引，对双轨安装的平行度、两轨之间间距和平整度要求较高，必须将安装通道地

表平整后，才能进行轨道之间的安装连接焊接、横杆加固等，相比山地型单轨道运输机安装其焊接量大、焊缝质量要求高，费工费时<sup>[4]</sup>。

以 12# 子阵为例：（1）山地单轨道运输机一条通道轨道（长度 110 米）需配置安装工 6 名，其中 3 名配合负责通道放线，确定轨道线路、高度、支撑点位，对地面局部不符合要求的点位进行平整处理，另 3 名负责轨道及配件的运输、安装、螺栓固定加固，安装 110 米长的一条单轨道需要一天时间，投入工日  $1*6=6$  个工日。（2）卷扬机滑道运输小车通道安装需配置滑道安装工 7 名，其中 3 名配合负责通道放线，确定双轨滑道安装线路，对地面基本不符合要求的部位进行平整处理，保证滑道的铺设地表满足要求，另 4 名（含电焊工 1 名，卷扬机操作手 1 名）负责滑道及配件的运输、安装、焊接固定加固，安装 110 米长的一条双轨滑道需要两天半时间，包括卷扬机安装及小车运行调试，需要  $2.5*7=17.5$  个工日。

由上述计算可得，12# 子阵按 6 条通道计算，单轨道运输机安装共需要工期  $1*6=6$  天，共需投入工日  $6*6=36$  工日；卷扬机滑道小车安装共需工期  $2.5*6=15$  天，共需投入工日  $17.5*6=105$  工日。

2. 轨道拆除及二次转运工作量对比。由于山地单轨运输机采用标准件螺栓连接，使用专用工具拆卸比较简单，首先将山地运输机单轨道沿坡道由下向上逐段拆除，将拆除部件利用上部暂未拆除的轨道运送至顶部临时水平道路堆放，待上部最后一段拆除后，人工配合装载机转运至第二个安装通道顶部位置，由上向下进行逐段安装，随着轨道安装长度的逐渐加长，可利用轨道运输机自行运送轨道部件进行下部轨道安装，直至安装至下部施工作业面为止。而卷扬机滑道小车运输双轨拆除比较麻烦，相比单轨体积大、重量大（双轨之间有横撑杆），先将双轨道由下向上按规划长度进行逐段切割，拆除两侧钢筋锚固，然后利用卷扬机运输小车将切割段逐段运送至顶部临时道路堆放，待最后一段和卷扬机拆除后，人工配合装载机将拆除轨道转移至下一个安装通道位置，先安装锚固好卷扬机，再按由上向下顺序逐段进行安装焊接连接、加固，直至下部施工作业面为止。相比山地运输机单轨道拆除、转运、安装焊接工作量很大<sup>[5]</sup>。

以 12# 子阵为例：（1）山地单轨道运输机一条通道轨道（长度 110 米）需配置拆除工 4 名，其中 2 名配合拆除轨道及支撑件，2 名负责运输、卸车至堆放点，拆除 110 米长的一条单轨道需要半天时间，投入  $0.5*4=2$  个工日。（2）卷扬机滑道运输小车拆除需

配置拆除工6名,其中3名(含电焊工1名)配合负责切割滑道、锚固筋拆除、装车,另2名负责卸车至堆放点,1名卷扬机操作手,拆除110米长的一条双轨滑道需要1天半时间,投入 $1.5 \times 6 = 9$ 个工日。

由上述计算可得,12#子阵按6条通道拆除及转运计算,单轨道运输机拆除及转运共需工期 $0.5 \times 6 = 3$ 天,共需投入工日 $2 \times 6 = 12$ 工日;卷扬机滑道小车拆除及转运共需工期 $1.5 \times 6 = 9$ 天,共需投入工日 $9 \times 6 = 54$ 工日。

3. 光伏板运输安装投入工日机械台班费用及工期对比。以光伏组件运输安装为例,按一个班组对比两个方案的投入工日机械台班及效率费用,一个班组配置15~17人,按流水线作业,搬运装车-运输-卸车搬运-组件安装。

第一,山地单轨道运输机运输安装光伏板投入工日机械台班及工期计算,首先由堆放点搬运至运输机装车,装车搬运工6人,其中1人兼运输机操作手负责配合装车运输,装车后操作手将运输机运行到安装作业面;卸车工将组件卸车搬运至安装工作面支架上,卸车搬运工6人;组件安装工3人,其中2人进行组件主板安装,1人进行螺栓二次紧固、光伏板接线检查等。轨道运输机单次可以运输8块光伏板(32.6kg/块),操作手坐在运输机小车上操作上行、下行、停,装车平均2.5分钟,轨道运输机至安装作业面长度按50米计算,运输平均1.5分钟(36米/分钟),卸车平均2.5分钟,返回到装车点平均1.5分钟,一个来回平均8分钟,一个小时运输7.5趟,安装 $8 \times 7.5 = 60$ 块板子,约2.1个子串(一个子串28块),一个台班8小时可运输安装 $60 \times 8 \times 75\% = 360$ 块(工作效率按75%),平均一个工人日运输安装(360块/15人)=24块/人,由此计算12#子阵光伏板山地单轨道运输机安装运输需要工期 $=242 \times 28 / 360 = 19$ 天,即台班19个,投入工日 $15 \times 19 = 285$ 工日。

第二,卷扬机滑道小车运输安装投入工日机械台班费用及工期计算,卷扬机运输小车必须配置专业卷扬机操作手1名,光伏板由堆放点搬运至运输机小车装车,装车搬运工6人,其中1人负责配合装车检查,并通知卷扬机操作手运行操作,运输小车下行到安装作业面后,通知卷扬机操作手停止下行,待下部卸车负责人将小车防止下滑支撑杆支撑稳定后,开始卸车并搬运至安装工作面支架上,卸车搬运工6人,其中1人兼管与上部负责人联系;光伏板安装工4人,包括光伏板螺栓紧固、光伏板接线等工作。卷扬机小车单次运输20张光伏板,卷扬机专业操作手负责上行、下行、停,上下对讲机联络通话,滑道运输小车至安

装作业面长度按50米计算,装车平均6分钟,运输平均2分钟(25米/分钟),卸车平均8分钟,返回到装车点平均2分钟,一个来回18分钟,一个小时运输3.33趟,安装 $20 \times 3.33 = 66.6$ 块板子,约2.38个子串(一个子串28块),一个台班8小时可运输安装 $66.6 \times 8 \times 75\% = 399.6$ 块(工作效率按75%),平均一个工人日运输安装399.6块/17人=23.51块/人。由此计算12#子阵采用卷扬机滑道小车运输安装光伏板需要工期 $=242 \times 28 / 399.6 = 17$ 天,即台班17个,投入工日 $17 \times 17 = 289$ 个工日。卷扬机滑道小车运输与山地单轨道运输机相比,运输及安装多投入工日 $289 - 285 = 4$ 工日,节省工期 $19 - 17 = 2$ 天。

第三,由方案预算可知,12#子阵采用卷扬机滑道小车运输投入工日台班费用约5.95万元,采用山地单轨道运输机方案费用约2.95万元,方案的费用差额约3.0万元,即采用山地单轨道运输机方案可节省投入工日机械台班费用约3.0万元,节省费用占比为50.40%。

第四,由方案预算可知,12#子阵采用卷扬机滑道小车运输计算工期为41天,采用山地单轨道运输机方案计算工期为28天,方案的工期差额为13天,即采用山地单轨道运输机方案,可节省工期13天,节省工期占比为31.71%。

## 5 结论

综上所述,本文通过以山地光伏发电项目大坡度施工材料运输方案作为研究对象,阐述工程建设中施工材料运输方案采用的合理性,在一定程度上能够降低施工材料运输困难并提高工程施工进度效益,为山地大坡度光伏发电项目施工材料运输采用机动灵活的实用性方案提供参照基础,为光伏发电施工提供借鉴。

## 参考文献:

- [1] 孙迎鑫,徐松.山地光伏地质勘察现状与对策分析[J].上海建设科技,2023(04):61-63.
- [2] 纪华,文昌俊.一种田间轨道运输机质量调查的模糊综合判定方法[J].湖北工业大学学报,2022,37(04):5-8.
- [3] 吴建鹏,尹杰.山地光伏电站单立柱支架结构安装工艺分析——以广西某光伏项目为例[J].光源与照明,2022(04):84-86.
- [4] 邹诗洋,刘烁玲,李沐桐,等.山地果园轨道运输机研究应用进展[J].现代农业装备,2021,42(02):9-13.
- [5] 李艳,刘本勇,王峰,等.兴山县柑橘园轨道运输机推广应用现状及建议[J].南方农业,2020,14(19):76-78.