

# 小型截面的双摇臂座地抱杆的设计重点

马博 黄悦 孙颖 刘华 居晓丽

北京电力工程有限公司 北京 102600

**摘要:** 在国际能源格局重塑与国内“油改电”持续推进的背景下,我国特高压电网建设不断向西北、山区等地形复杂区域延伸,数据中心与AI产业的电力需求进一步带动偏远地区输电铁塔组立施工需求。山区场地狭窄、道路崎岖、大型设备难以进场、施工人力逐步缩减等现状,对组塔装备的小型化、轻量化、自动化提出更高要求。座地抱杆作为输电铁塔组立的核心机具,传统大截面、大吨位机型难以适配山地施工。为此,本文围绕小型截面双摇臂座地抱杆展开设计研究,结合山区野外施工痛点,重点从装备转运性能、模块化自组装、结构折叠拆分、自备独立动力、远程遥控操作等方面梳理核心设计要点,对比分析现有履带式、车载式抱杆及无人机转运等技术的局限性,提出兼顾截面力学性能与整体轻量化的设计思路,并阐述基于液压与传动机构的自主组立、手持式遥控操控等关键技术方案,为偏远山区、复杂地形下输电铁塔高效安全施工提供装备设计参考。

**关键词:** 小型截面抱杆;双摇臂座地抱杆;输电铁塔组立

引言:自俄乌战争以来,世界格局进入了全面洗牌的新格局,受能源成本持续升高与传输途径存在截断风险等因素,我国在前几年开始推行电动车普及的进程继续大踏步向前推进。从在目前城市公共交通的大巴,运输快递的三蹦子,矿业运输的大型重卡,各行各业都出现了使用电能作为动力的运输工具,并且得益于电池存储技术的提升突破与西北方向风电及光电系统的传输效率极大提升,我国大陆居民的用电成本被进一步降低。目前,我国已基本实现各行各业都极大程度的实现了油改电,提高了能源利用率的与降低环境污染的同时也减少了我国工业生产与居民正常生活消耗中对石油的需求,大大降低了我国大陆地区受国际冲突及运输管制情况下的对需要进口的原油等物资的需求,降低了复杂国际形势对我国大陆地区的生产生活的卡脖子的程度。

1. 截至2026年,我国大陆地区以特高压输电工程为核心骨干网架,已形成“22交20直”共计42项特高压工程,跨区域跨省市的输电供电能力已达到了3.7亿千瓦。目前,东部与南部的城市已完全覆盖电力运输,民用电与工业用电在夏天都可以满足正常使用与居民保供。但在西北部与一些山区区域,仍然存在输电网络组建及铁塔假设的需求<sup>[1]</sup>。在确保了居民基本用电与工业企业的生产用电的需要之后,目前存在较大热点的AI与大数据分析等也需要非常恐怖的电力支撑,并且不同于一般的工业企业用电,即是通过生产机械与相关设备的电力消耗。而数据中心和AI培育需要24小时提供充足与稳定的电力,

远高于一般的工业企业的消耗。但数据中心与AI孵化中心也具有一般的工业企业没有的优势,他们不需要非常便捷的运输道路与物流等基建配合,换言之他们可以考虑去深山老林或者西北等区域,我们认为,最适合它们的区域是北方,目前地广人稀且天生自带低温的优势,降低了对基建的需求并且低温可提高计算机设备的运行功率。

2. 基于以上要求与条件,我国对不具备较高基础配套设施的区域的专项电力施工依然具有较大的需求,且为了应对接下来逐渐显现的适龄施工人口逐年减少的问题,对施工设备的机械化与自动化逐渐有较高的需求,这一诉求也符合我国对自动化及智能化的要求。目前,小型化自动化的专业组塔机具已具备相当大的市场,并且也具备相当高的需求。<sup>[2]</sup>

该类型组塔装备(核心为组塔抱杆)需具备以下核心技术要点,结合电力、通信等户外组塔作业的复杂场景需求,确保作业过程高效快捷、操作便捷灵活,同时适配野外、山地等多样化作业环境,保障作业安全与施工进度:具备一定的转运能力,需能够灵活实现自身主体结构及配套零部件的搬运与转移,适配山地、丘陵、野外等不同作业场地的移动需求,无需依赖额外大型转运设备,可独立完成短距离转运,降低场地运输难度,提升作业机动性。<sup>[3]</sup>

3. 具备完善的自组装功能,无需依赖外部大型辅助设备和过多人力投入,通过模块化设计和便捷连接结构,作业人员可快速完成自身的组装与调试,大幅缩短作业

准备时间,提高施工效率,适配野外无辅助设备的作业场景。

4. 外形体积需尽可能压缩,采用可折叠、可拆分结构设计,最大限度缩小运输和存储时的占用空间,便于通过车辆、人力等多种方式运输,同时能在狭小作业空间、复杂地形中灵活部署,有效降低场地条件对组塔作业的限制影响。<sup>[4]</sup>

5. 自备独立的动力机构,无需外接动力源即可正常开展组塔、转运、组装等各项作业,动力输出稳定可靠,能适配不同作业负荷需求,显著提升作业的独立性和灵活性,避免因外接动力不足或无法接入动力源导致的作业中断。

6. 具备成熟的遥控功能,配备稳定的遥控操作系统,可实现对组塔抱杆各项操作的远程精准控制,作业人员无需近距离接触作业区域,有效规避高空、重物作业带来的安全风险,同时提升操作的便捷性和精准度,保障作业质量;该类型组塔装备需具备以下核心技术要点,结合电力、通信等户外组塔作业的复杂场景需求,尤其是山区及野外施工的特殊工况,确保作业过程高效快捷、操作便捷灵活,同时适配野外、山地等多样化且复杂的作业环境,有效规避地形、场地等因素带来的施工阻碍,保障作业安全、施工质量与施工进度,为户外组塔作业提供可靠的装备支撑;具备一定的转运能力,需能够灵活实现自身主体结构及配套零部件的搬运与转移,重点适配山地、丘陵、野外等交通不便、地形复杂的作业场地移动需求,无需过度依赖额外大型转运设备,可独立完成短距离转运作业,有效降低复杂场地带来的运输难度,减少转运过程中的人力、物力投入,提升整体作业的机动性和灵活性,确保装备能够快速抵达指定施工点位,为后续组塔作业顺利开展奠定基础<sup>[6]</sup>。

目前的山区及野外施工作业呈现出诸多复杂且特殊的特点,给组塔施工带来了诸多挑战。首先,在交通与运输方面,很多山区及野外施工区域地处偏远,并未专门为施工铺设和建造适合运输用卡车、皮卡等车辆通行的专用道路,也缺乏配套的运输设施与条件,道路狭窄、崎岖不平甚至没有成型道路的情况十分普遍,这就对组塔抱杆的体积和重量提出了严格要求,必须具备较小的体积和较轻的重量,才能更好地配合山区野外的运输及现场组装需求,避免因装备过大过重而无法运输、无法进场的问题。同时,山区地势普遍陡峭,沟壑纵横、坡度较大,很多区域甚至无法通行常规的运输车辆和运输设备,常规的公路运输、机械转运等手段根本无法应用

于此类山区场景,导致整体施工呈现出难以运输、无法顺利安装的困境,严重影响施工进度。<sup>[5]</sup>

7. 针对上述运输难题,目前行业内主流的设计思路多采用减少结构件体积或对抱杆进行模块化拆分的方式,以此降低运输难度。其中,履带式底盘或车载底盘的抱杆具备一定的自身转运能力,能够在一定程度上实现自主移动,减少对外部转运设备的依赖,但这类底盘对路面条件依然有一定的要求,在过于陡峭、泥泞或崎岖的山区路面上,其通行能力依然会受到限制,无法完全适配极端复杂的山区地形。此外,无人机转运虽然具备灵活便捷的优势,但受载荷限制,只能运输小型零部件,无法承担抱杆主体结构和大型塔材的转运任务,难以满足规模化施工的需求。因此,对于成规模的施工队伍来说,通过将抱杆拆解为小型、轻便的组件,再依靠人力搬运、畜力托运等方式,将拆解后的部件以及塔材从山下或索道口等转运节点,一步步搬运到铁塔中心施工点位,依然是目前山区野外组塔施工中最为常用、最为可靠的施工手段,这种方式虽然耗时耗力,但能够有效克服复杂地形带来的运输阻碍,确保施工物料顺利进场。

8. 除了运输难题外,施工机具的合理选取也是山区野外组塔施工的关键环节。在施工前期,需根据所立铁塔的具体塔型、结构特点,科学合理地选取适配的施工机具,确保机具的性能与施工需求相匹配。其中,在明确了铁塔的高度、横担尺寸以及吊装载荷等核心参数后,必须精准明确抱杆的起重性能,而抱杆的起重性能与自身横截面尺寸、主材规格密切相关,这就要求抱杆的横截面与主材规格相匹配,才能充分发挥其起重效能。若选取的抱杆横截面尺寸过小,会导致截面性能不足,无法满足吊装载荷需求,此时就需要通过加大主材规格来补足截面性能,这种为了适配小截面而加大主材的设计方式,会导致抱杆整体重量大幅增加,其重量必然大于采用小一号钢材、同时选用大截面桁架结构的抱杆,即便两种设计方案的起重性能大致一致,前者在运输和组装过程中的难度也会显著提升,不利于山区野外的施工开展。

另外,受山区野外场地空间狭窄、地形复杂的限制,很多大型辅助施工机具无法顺利配置到位,且野外地区交通不便、基础设施薄弱,无法快速调集到能够在现场直接投入使用的辅助施工机具,一旦现有机具出现故障或无法满足施工需求,很难及时获得补充和支援,这给抱杆的现场组立带来了极大挑战。在此限制条件下,我们就需要一种能够快速在现场完成抱杆组立的技术手段,

目前行业内比较可行且成熟的方案,是通过在抱杆自身配置油缸、马达、滚轮、齿轮等核心动力组件和传动组件,借助这些组件的协同作用,实现抱杆的自主组立。具体而言,在铁塔中心的抱杆组立指定位置,作业人员可通过扳立、提升、摇动等操作方式,将散装的抱杆组件借助抱杆自身的动力和传动结构,完成自身结构件的拼接与组装,当抱杆组装达到可以进行吊装作业的独立高度状态后,再通过顶升加节的方式逐步提升抱杆高度,满足不同高度铁塔的吊装需求,以此确保后续组塔施工的顺利推进。

#### 结束语

最后,山区野外施工的特殊性,还要求施工机具必须具备自动化机构以及可遥控的控制方式。由于野外施工区域普遍缺乏充足的基建条件和基础设施,电力供应尤为紧张,一般不会具备稳定、充足的电力系统支持,施工过程中普遍采用柴油机发电或小型野外发电机供电,供电容量和稳定性有限。在此情况下,常规的作业控制台式操作面板并不适宜野外施工现场的使用,这类操作面板体积较大、对电力需求较高,且需要固定安装,无法适应野外崎岖的地形和不稳定的供电环境,因此应替换为更适合野外施工场景的遥控式手持式操作面板及操作

器。这种遥控式操作方式,能够有效减少野外恶劣作业环境、复杂地形对施工作业干扰,让负责被吊物件操作的人员与塔材组装人员能够近距离接触,便于双方实时沟通交流,及时反馈施工过程中的问题,确保施工指令传达准确、操作动作精准,有效避免因沟通不畅或操作失误导致的施工延误、安全隐患,保障施工班组的流畅作业,提升整体施工效率和施工安全性。

#### 参考文献:

- [1]李博,张磊,王强.山区输电铁塔组立施工技术与装备研究[J].电力建设,2023,44(05):89-96.
- [2]刘建军,陈明.座地式双摇臂抱杆结构优化设计及力学性能分析[J].钢结构,2022,37(08):45-50.
- [3]国家能源局.1000kV特高压交流输电工程施工及验收规范[S].北京:中国电力出版社,2021.
- [4]赵文浩,杨浩,杨明.山地轻量化组塔抱杆模块化设计与现场应用[J].电力工程技术,2022,41(03):112-117.
- [5]陈刚,吴志峰.输电线路施工装备自动化与智能化发展趋势[J].电网技术,2024,48(01):223-230.
- [6]王健,李海涛.复杂地形下输电铁塔组立施工难点及装备改进措施[J].施工技术,2023,52(12):98-101.