

输电线路工程铝合金抱杆 跨越架施工技术探讨

黄思旗

(中国水利水电第七工程局有限公司机电安装分局, 四川 眉山 620860)

摘 要 为了适应输电线路工程建设复杂山地环境, 本文重点探讨了铝合金抱杆跨越架施工技术, 以某 220 kV 输电线路组塔施工为例, 从布置、组立、提升等环节出发, 系统探讨了铝合金抱杆跨越架的应用实践, 以期今后高难度输电线路建设提供可行性技术方案与应用参考。研究表明, 铝合金抱杆在减轻运输重量、提高施工效率的同时, 通过创新内拉线锚固设计, 保障了组塔作业的安全性与稳定性。

关键词 输电线路工程; 铝合金抱杆; 跨越架施工; 组塔施工

中图分类号: TM752

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.018

0 引言

传统跨越架多采用木质、钢质材料, 存在搭建效率低、重复使用性差、运输不便等问题。随着工程对效率、环保及安全要求的提升, 铝合金抱杆跨越架应运而生。铝合金材质具有重量轻、强度高、耐腐蚀等优势, 能有效提高跨越架搭建速度, 降低劳动强度, 且可重复利用, 符合绿色施工理念。然而, 目前铝合金抱杆跨越架在施工应用中存在技术要点不明确、安全措施不完善等情况。因此, 深入探讨铝合金抱杆跨越架施工技术具有重要的现实意义。

1 项目概况

某 220 kV 输电线路工程需组立 30 基自立式铁塔, 线路穿越丘陵地带, 其中山地陡坡区域占比达 30%。针对复杂地形条件, 项目创新采用 500 mm×21 m 规格铝合金内悬浮内拉线抱杆进行分解组塔施工。该抱杆选用高强度铝合金材质, 较传统钢制抱杆减重 40%, 显著提升人工搬运效率, 同时保持优异结构强度满足高空组装需求。针对山地塔位狭窄场地限制, 内拉线系统采用塔身主材直接锚固方案, 突破外拉线布置空间制约, 通过悬浮抱杆与内拉线协同作用, 有效保障组塔过程的安全稳定性^[1]。

2 铝合金抱杆跨越架施工流程

2.1 现场布置施工

施工现场布置严格遵循力学性能参数和设计要求, 各环节均有明确的技术指标和实际数据支撑。抱杆选择基于铁塔分段吊装最大长度 12 m 及根开尺寸 8.5 m, 采

用 500 mm×21 m 铝合金抱杆, 理论轴压承载力 280 kN, 自重 6.8 t, 提高搬运效率 45%。布置时按 7:3 比例分配露出和插入长度, 确保连接刚性, 垂直度偏差≤36 mm。内拉线系统包括四组破断拉力≥350 kN 的 $\phi 22$ 钢丝绳, 安全系数 5.0, 通过可调鸡心环连接抱杆帽拉环, 利用花篮螺栓调节初始张力为 15 kN, 张力差控制在 5% 以内; 山地塔位采用可调角度锚座优化夹角至 $45^\circ \pm 5^\circ$ 。承托系统配置 2 根 $\phi 28$ 钢丝绳、4 组 50 kN 平衡滑车, 滑车间距为抱杆直径的 3 倍, 平衡绳误差 ± 20 mm 内, 动态调整保证根部中心偏差≤50 mm, 预紧力设定为 30 kN, 加载速率为 0.5 kN/s。起吊系统使用 $\phi 32$ 钢丝绳, 破断拉力≥520 kN, 安全系数 6.0, 牵引绳直径 $\phi 24$, 起吊绳与塔身夹角控制在 $60^\circ \sim 75^\circ$, 实际工作长度 15 m, 实时监测张力预警值为额定荷载 80%。牵引设备采用 30 kN 级机动绞磨(速度 8 m/min), 依据地质条件选用螺纹钢锚桩或钢筋混凝土锚块锚固, 绞磨位置通过全站仪定位, 牵引绳地面夹角≤ 15° ^[2], 必要时增设转向滑车优化路径, 各项参数精准到位, 保证施工安全与效率。

2.2 塔腿组立技术

塔腿组立是铁塔安装的关键环节, 其施工质量直接影响整个铁塔的稳定性和长期使用性能。在地脚螺栓式基础的铁塔安装中, 采用分件组立和半边塔腿整体组立两种方法, 根据铁塔的重量、尺寸以及现场地形条件选择合适的施工方式。

分件组立方法适合塔腿较重、根开较大的铁塔结构, 尤其是大尺度构件的分段施工。在施工初始阶段,

应先将塔座底板安装于混凝土基础上,适度旋紧地脚螺帽,为后续塔腿就位提供微调空间。塔腿主材的下端通过单颗螺栓(M)与底座立板连接,构成其起立时的旋转支点。若塔腿主材长度不超过 8 m,且单段重量小于 300 kg,可使用木质叉杆辅助立塔,通过人工逐步调节塔腿角度至设计位置后,再进行螺栓锁紧固定。对于长度大于 8 m 且重量超过 300 kg 的塔腿主材,则需使用尺寸为 100 mm×5 m 的人字木抱杆,或选用钢管制抱杆执行起立操作,确保施工稳定、安全、可控^[3]。在具体操作中,需分段连接主材并安装联板,以保证起立后整体结构的刚性和稳定性。每次起立时,通过拉线 18 mm 白棕绳固定塔腿主材,确保其稳定后再逐步安装三个侧面的斜材与水平材。在安装过程中,施工人员需要仔细检查螺栓连接质量,利用力矩扳手按照设计力矩拧紧螺栓,以确保塔腿组立的强度和整体性。最后,为避免起立时各部分构件受力不均,一侧斜材可以暂缓安装,待抱杆竖立后补装。

半边塔腿整体组塔方式主要适用于塔腿重量较轻、根开距离较短且施工地势较为平坦的塔位。在平整的施工场地上,先分别对称组装两侧塔腿,每节组件拼接后应拧紧连接螺栓,但需保留适度余量,以便后期校正。地面铺设的垫木高度要略高于基础地脚螺栓露出基础面的高度,同时建议在塔座底板处设置塔脚铰接装置,便于后续的起立操作。搭设内拉线抱杆于塔位中心位置,并将其牵引绳和吊点绳按作业图纸进行绑扎。抱杆拉线通过专用挂件固定于地脚螺栓,确保整个结构受力合理。为提高起吊时的安全性,在塔腿底部加绑两条制动绳控制转动节奏,同时在每根主材顶部系上两根 11 mm 钢丝绳作为临时支撑拉线。吊点绳的布置位置选在塔腿上端 1/4 至 1/3 处,使其重心之上形成稳定的起吊支点。在起塔操作中,使用绞磨缓慢牵引塔腿,通过拉紧制动绳引导塔腿围绕铰接点转动。当塔体逐步竖立至约 30° 时,松开侧拉线的下端支点,继续提升塔体直至其达到设计的垂直状态。此时,暂停牵引操作,校正地脚螺栓与塔座底孔的对位情况,安装垫板并锁紧螺帽。随后调整各处临时拉线,确保塔腿垂直稳固。另一侧塔腿按相同流程完成组立,待两边塔腿全部起立就位后,安装剩余的辅铁构件并拧紧所有连接螺栓,最终撤除全部临时支撑装置。

2.3 抱杆竖立与提升技术

竖立抱杆之前,首先应将各段抱杆运至现场后按顺序进行拼接,并确保接头螺栓拧紧,形成一个完整、笔直的整体。朝天滑车应牢固连接于抱杆顶部,通过

滑车引入起吊钢绳,并与抱杆临时拉线一起固定于抱杆帽,确保在竖立过程中抱杆处于稳定状态。根据工程特点,可以采用两种竖立方法:利用塔腿单扳整立抱杆或利用塔腿整体吊装抱杆。对于塔腿单扳整立方式,抱杆通常放置在未装辅材的一侧地面上,逐步提升至接近垂直约 80°,然后收紧拉线使抱杆立正。拉线位置一般固定于塔腿的主材节点,以增强稳定性^[4]。

如果抱杆较重或起吊路径复杂,可以采用回头滑车布置方法来提升抱杆。在具体操作中,通过攀根绳控制抱杆根部运动,逐步向塔身内移动。抱杆竖立到位后,利用腰环和腰绳进行精确调整,确保垂直度在设计允许范围内,最后将拉线固定于塔腿规定的节点位置。同时,针对不同工况的抱杆重量和长度,选择合适的滑车、攀根绳和牵引工具。例如:较轻的抱杆可采用单吊布置,重型抱杆则通过回头滑车进行二次牵引,进一步降低施工风险。

提升抱杆的过程有三种方法,即利用腰环提升、利用塔腿内拉线控制提升和利用塔体上的内拉线控制提升。利用腰环提升时,抱杆的起吊钢绳经过地滑车、起吊滑车和朝地滑车传递牵引力。施工人员在抱杆顶端和中部绑扎腰环,将抱杆固定在铁塔结构中心的位置。开始提升时,四条拉线从原绑扎点松开并重新固定到指定节点,保持抱杆稳定。在提升过程中,施工人员通过收紧钢绳,使抱杆逐步升高并达到设计高度。承托绳的调整在此阶段尤为关键,它们必须受力均匀,最终将两条承托绳固定于上方主材节点,确保抱杆在垂直和水平方向均保持稳定。

当抱杆高度超过 15 m 时,考虑采用内拉线控制的方法。利用塔腿内侧的拉线控制器和塔段顶端的转向滑车,通过同步调整内拉线的松紧,确保抱杆始终处于垂直状态。

2.4 构件绑扎与吊装技术

吊点绳的布置需满足施工设计对构件起吊稳定性的要求,使用两根等长钢丝绳分别固定在塔片主材对称节点处,形成立体对称的倒“V”形结构。在该 V 形结构的顶部,通过穿插一只卸扣与起吊绳相连,完成与主吊索的连接。为实现起吊时的平衡状态,吊点的绑扎高度需位于构件重心以上 1.0~2.0 m 之间,使得合力方向与构件中心轴线一致,从而有效提升构件在吊装过程中的稳定性。此外,为了减少应力集中和防止塔材磨损,绑扎点通常垫以方木并缠麻带,或者直接采用尼龙吊带代替钢丝绳。吊点绳应保持等腰三角形状态,夹角 α 不得大于 120°,以确保在吊装过

程中钢丝绳承受均匀的拉力。根据吊点绳受力的计算,若构件重力为 10 kN,吊点绳夹角为 60° 时,每条绳的受力可达 8.66 kN;当夹角增大至 120° 时,单条绳的受力则增至 10 kN。因此,在实际施工过程中,施工团队需根据构件重量和吊点绳夹角精确计算受力值,调整绑扎方式,以保证吊装过程的安全性。此外,对于构件薄弱部位,还需进行必要的补强。若吊点处的结构薄弱,可在吊点间加装直径 100 mm 以上的钢管或圆木补强,补强构件长度通常根据实际构件尺寸确定。此外,在横担吊装中,尤其是针对长度超过 10 m 的 110 ~ 220 kV 线路直线塔横担,常采用四点绑扎方案,将吊点分布于横担两端和两侧,形成稳固的支撑结构。对于 500 kV 线路的酒杯型横担或猫头型横担,由于其长度和重量较大,更需要精确的补强设计和分段吊装方案,以保证吊装过程的安全稳定。

构件吊装的操作包括吊装前的准备、吊装过程的监控及吊装后的固定和调整。吊装前,需要确认已组立塔段的水平材安装到位,所有辅材螺栓拧紧。如果牵引绳与塔材可能发生摩擦,可在水平材处绑扎一根补强小圆木进行隔离。若大斜材下端无法直接与主材连接,通过在主材下端绑扎圆木或圆管接长,使构件在吊起前避免下端着地受弯。在吊装过程中,攀根绳需要保持适当的拉紧状态,以防构件因晃动碰撞已组塔段。调整绳则在构件接近设计位置时提供微调功能,通过收紧或松开调整绳,施工人员可以对构件姿态进行精确控制,确保构件顺利对接。以 500 kV 线路的酒杯型横担吊装为例,其横担长度可达 24 ~ 30 m,吊装时往往需要将抱杆接长至 24 m 以上,或者采用两根 11 m 抱杆分别固定于上曲臂处。在吊装中段横担后,再逐步吊装两侧边段,最终将整个横担组合成整体。

在干字型铁塔的横担吊装中,先分片吊装地线支架,再利用已安装好的地线支架分片吊装导线横担。地线支架安装时采用水平吊装法,将其分为前后片吊装,安装时应严格按照设计要求进行对齐、固定。在横担吊装时,调整绳的绑扎和使用尤为关键,施工人员通过调整绳的松紧,确保横担主材对准塔身的连接孔位,连接螺栓安装后,再组装横担的辅材,确保整个横担结构达到设计要求。

2.5 抱杆拆除技术

抱杆的拆除作为铁塔施工的最终环节,其安全与否直接关系到工程收尾的质量与后续风险的规避。为确保作业顺利进行,必须在拆除前做好充分的技术准备和施工布置。起吊滑车的悬挂点需根据塔型区别选

择:酒杯塔与猫头塔应以横担中部作为悬挂位置,而上字型塔及干字型塔则应选择塔头顶部,并确保此处为主材节点,所有连接螺栓必须已紧固到位,以满足结构承载与抗拔需求。在施工过程中,在横担中央节点处应设一只额定载荷为 30 kN 的单轮滑车。起吊绳的固定应选在抱杆自顶部向下 $1/4$ 至 $1/5$ 的位置,确保起吊力合理分布。同时,为控制拆除方向,在抱杆底部绑扎一根直径 18 mm 的棕绳,作为导向绳使用。牵引力通过滑车合理传导至塔身节点,有效保障整个抱杆拆卸过程的可控性与稳定性^[5]。

拆除抱杆的操作顺序是关键。一般先收紧起吊绳,拆除抱杆拉线后,启动绞磨将抱杆向上提升约 0.5 m,松弛承托绳的张力,便于安全拆除承托绳。接下来,缓慢松出牵引绳,利用地面人员对根部棕绳的引导力,确保抱杆在下降过程中保持平稳。抱杆头部降至横担以下后,及时拆除顶部拉线,并用棕绳套或卸扣将抱杆头部与牵引绳牢固连接,防止因惯性或外力导致抱杆翻转。随后继续松出牵引绳,逐步使抱杆落地。此过程中抱杆根部的棕绳应始终保持适度拉紧,避免抱杆与塔身发生碰撞或摩擦。

3 结束语

铝合金抱杆凭借重量轻、地形适应性强、经济性良好等优势,在输电线路工程建设中发挥了重要作用。通过科学合理的现场布置、塔腿组立、抱杆竖立与提升、构件绑扎与吊装以及抱杆拆除等技术,有效提升了施工效率与安全性。未来,随着输电线路工程建设标准的不断提升,应进一步优化铝合金抱杆施工技术,加强施工过程中的质量管控与安全防护,推动输电线路施工技术迈向新高度。

参考文献:

- [1] 张毅军,冯玉功,康文辉.轻型智能跨越架结构研究与计算[J].机械研究与应用,2023,36(03):27-30.
- [2] 汤小兵,万华翔,钟文,等. ± 800 kV 白浙线重要跨越施工关键技术[J].河南科技,2023,42(10):15-20.
- [3] 刘洋,王民,翟光林,等.220kV 输电线路不停电跨越施工技术研究[J].电子元器件与信息技术,2024,08(08):195-197.
- [4] 蓝敏雪.高压输电线路带电跨越施工技术分析[J].中国高新科技,2024(24):93-94,149.
- [5] 王民,刘洋,翟光林,等.高压输电线路带电跨越施工技术要点探究[J].大众标准化,2024(24):39-41.