

无人机在输电线路基建交叉跨越排查中的应用

蒋仁杰

云南送变电工程有限公司，云南昆明，650000；

摘要：在电力发展的驱动下，输电线路基建行业发展空间广阔，我国电力工程投资规模持续扩大；无人机在输电线路日常运维中，线路巡视、清障、运输等技术已经十分成熟；作为无人机在输电线路运维技术的拓展延伸，无人机在基建领域发挥的作用越来越大，也将带来一系列的技术变革。本文就无人机在输电线路基建领域交叉跨越的排查来作详细阐述。

关键词：无人机；输电线路；基建领域

DOI：10.69979/3060-8767.25.09.003

引言

在新建线路的放线过程中，展放线路与被跨越带电线路交叉跨越的具体情况是必须了解到位的，关乎施工方案的编制，被跨越带电线路停电计划的制定，不停电线路跨越架搭设点位的确定。在工期紧，人手紧的情况下，依靠人员去塔位现场排查交叉跨越是费时费力的，采用无人机排查交叉跨越，可以克服高山密林等自然环境带来的视野局限，用空中的视角将交叉跨点越无一遗漏的排查出来，相较于人员、车辆的地面排查，无人机的应用在时间成本、经济成本、结果准确可靠性上，都有明显的优势。下面，具体讲述无人机排查交叉跨越的操作及关键点。

1 地面准备阶段

在基础开挖工序开展前，新建线路的塔位是难以用肉眼直观确定的，需要借助奥维地图；根据新建线路对应的奥维地图坐标，飞手、无人机的起飞点同时部署在输电线路正下方；用手机校核新建线路大小号侧方向，以线路大号侧方向为飞行前进方向；起飞前通过目测的方式，选取大号侧方向地表有特征的景物作为首标记。

由于我们采取无人机作业，飞行距离较远，为保证飞行中不因为侧风干扰、飞手人为操作习惯等因素导致飞机飞偏；飞手还要在奥维地图上认真观察，在新建线路沿线观察地貌特征，选取线路下方的其他特征景物作为第二标记、第三标记。起到飞行过程中的修正航线，纠偏的作用。

随着地形变化，新建线路的排布不可能是一条直线，其中必然会有转角塔的存在，最为简捷的办法就是以耐

张段为起飞返回的飞行区段，即从小号侧耐张塔处起飞，到大号侧耐张塔处折返；下一个起飞降落区段又以先前的大号侧返回耐张塔作为新飞行区段的小号侧起飞点。此方法优点在于简单直接，也能消除无人机在转角塔上空，飞机转角与转角塔角度的不够吻合引发的航线偏离。

现实场景中，我们通过遥控器屏幕是看不见塔基位的，因此在飞行前，还需要先在奥维地图上，使用测绘功能，测量出当前的起飞点到大号侧耐张塔的直线距离并记录，以此距离作为飞行区段的长度，在实际无人机飞行中，实时观察遥控屏界面上无人机距离数据进行控制，飞行到相同距离了就可以掉头返回起飞点了。

2 飞行作业阶段

做好地面准备工作后，无人机就可以起飞了，待飞机垂直升空后，在遥控屏幕上，将屏幕中心导向标对准首标记飞行，即无人机飞行航线与新建线路的方向共线。飞行中记住上文提到的观察要点特征景物、地物，起飞返回距离的控制。我们飞行的目的是排查交叉跨越点，被交叉跨越的对象中高速铁路、高速公路（或一级及以上公路）、重要输电通道是必须排查收集的。就被跨越的架空输电线路来说，按电压等级来分，常见的有220V、0.4kV、10kV、35kV、110kV、220kV、500kV等级线路；就配网、主网线路的分布来说，电压等级越低，线路的分布条数越多，越密，与新建线路交叉跨越的点数越多，导线线径越细，线杆高度越低，不利于飞行观察；反之电压等级越高，线路的分布条数越少，与新建线路交叉跨越的点数越少，导线线径越粗，线杆高度越高，飞行观察很明显。220V、0.4kV线路电杆高度一般在6-10

米, 10kV 线路电杆高度通常在 15-25 米, 35kV 线路电杆高度通常在 18-30 米, 110kV 线路杆塔高度一般在 25-30 米, 220kV 线路杆塔高度一般在 30-45 米, 500kV 输电线路高度一般在 40-60 米。综上可知, 我们交叉跨越的飞行排查, 低电压等级的交叉跨越点是占绝大多数的, 也就决定了我们飞行高度的选择, 离地 25 米左右作为我们排查交跨的飞行高度比较合适, 保证被跨越低电压等级线路在照片中清晰可见。

作为痕迹化管理的飞行资料, 照片也是除了飞行过程以外, 排查交叉跨越点最直接的对象。在相邻的两基杆塔之间的通道内, 拍摄照片的数量既不能太少, 也不宜过多。太少, 容易拍漏掉交叉跨越点的关键信息; 太多, 占用的存储空间太大, 编辑照片的工作量太大。一般等距离拍摄 5-6 张照片, 足够反应区段内的交叉跨越情况; 拍照最好在无人机悬停状态进行, 以保证照片定位的准确性, 也有利于无人机存贮芯片读写功能的稳定运行; 在完成区段飞行返回起飞点的过程中, 在交叉跨越点, 可以将无人机镜头调整为竖直对地, 机身平移到被跨越输电线路的正上方拍照。并且可以沿着被跨越线路的顺线路方向, 往其大、小号侧先后飞行到距离交跨点最近的杆塔正上方拍照, 对杆塔上的线路名称、电压等级、杆塔号等信息拍照, 完成被跨越线路两处杆塔信息收集后, 再返回到交叉跨越点, 沿着新建线路从先前的区段返回点往起飞点方向返回。

对于被跨越的高铁、高速公路(或一级及以上公路), 不能直接飞越, 只能在高铁、高速公路(或一级及以上公路)两侧且法律、法规允许飞行的距离外, 进行记录和资料收集。

3 飞行技巧和方法

针对高山峻岭, 车辆无法到达线路正下方的情况。飞手可以选择飞行操作视野较好, 信号可以覆盖作业区域的地方。在奥维地图上, 测算自己的无人机起飞点到新建线路的垂直距离并记录; 无人机垂直升空后, 按垂直于新建线路的方向往新建线路飞行, 实时观察遥控屏幕的无人机距离, 在与奥维地图距离相等的地方, 停止前进并悬空飞行。观察无人机的航迹地图, 转动无人机机头, 使之与航迹垂直, 此时的无人机位置就与新建线路一致了。也就可以重复前文中的交叉跨越排查操作。

4 交叉跨越照片、数据的编辑和处理

在飞行完成后, 将无人机拍摄的新建线路通道照片、交叉跨越点、被跨越线路从无人机拷贝到电脑, 无人机的航拍照片是带有经纬度坐标和海拔高度信息的; 打开奥维地图, 直接将无人机航拍照片鼠标选中, 拉放到奥维地图的地图界面中, 奥维软件会根据照片的经纬度、海拔信息, 对应标记出拍摄照片在地图上的对应标记; 为确保编辑的照片信息不出现缺漏, 以相邻塔位为区段建立文件夹, 根据照片对应的奥维地图标记所在区段, 照片标记分布在同一个杆塔区段内, 就放入同一文件夹。方便以后做交叉跨越点放线施工方案、配合停电计划的参考依据; 对于被跨越线路的照片, 在编辑时注明相关的被跨越情况。

判断与观察, 因为我们采用的是起飞阶段地面目视观察、平稳飞行中屏幕观察, 虽然有奥维地图上的地物来纠偏航向, 但相较于 RTK 的定点自动飞行而言, 还是不够精准, 存在飞行偏离新建线路实际位置的可能。

对此, 我们在编辑飞行照片的过程中, 就可以通过观察奥维地图上, 多张照片对应的标签的沿线分布趋势, 来观察和判定飞行是否偏离了新建线路。如果新建线路区段较短, 拍摄照片较少; 可以测出飞行照片在奥维地图上生成的标签在同一水平面内到新建线路的垂直距离, 根据新建线路所属电压等级, 不同电压等级输电线路的通道保护区范围: 35kV-110kV: 边线外 10 米, 220kV: 边线外 15 米(一般地区)或 20 米(特殊情况), 500kV 及以上: 边线外 20 米。如果通道保护区范围再加上新建线路杆塔横担宽度的 1/2 的和值大于垂直距离, 那么视作我们的无人机航迹是沿新建线路飞行的; 反之, 垂直距离大于通道保护区范围再加上新建线路杆塔横担宽度的 1/2 的和值, 那么视作无人机飞行航迹偏离了新建线路; 照片上的交叉跨越信息参考性不高, 就需要重新飞行。

数据处理, 对于被跨越线路杆塔的照片, 也是投射到奥维地图上, 产生标签, 对这些标签进行设置, 还可以将照片导入到此标签进行保存。在被跨越线路杆塔的标签上, 再进行轨迹(线)绘制, 就可以直观的把交叉跨越点的情况表示出来。使用测绘功能, 可以从图上获取交叉跨越点距离新建线路大号侧/小号侧杆塔的直线距离、交叉跨越点夹角的信息。

5 基建适用性与功能拓展

不同于输电线路运维的工作，基建施工节奏快，在不同的施工阶段，新建输电线路的变化是巨大的，数据的收集和和处理要求是迅速，便捷。本文的无人机排查交叉跨越的方法操作简便，适用的无人机机型广泛，对硬件、软件要求极低，经济成本投入低的同时还具有普遍适用性。

而采用三维激光扫描交叉跨越的方法，对于无人机、机载激光雷达、具备三维数据处理能力的电脑、三维数据软件账号的开通，都有较高的门槛要求，经济成本投入过高。在新建线路开工初期是不适用的，因为新建线路的杆塔、线路都没有实物，无操作的对象。在新建线路导线展放后，附件安装完成后，才可以用三维激光扫描交叉跨越的方法，对于新建线路的通道、导线与杆塔安全距离等进行扫描建模处理。但数据的处理信息量极大、处理过程耗时。

因此，相较三维激光扫描交叉跨越而言，本文的方法在对无人机操作的灵活性、经济性、便捷性的角度更为侧重。

在功能拓展方面，新建线路动工的前期，除了用无人机排查交叉跨越之外，还可以收集新建线路正下方的树木林区、经济作物种植区域的大致范围，确定青苗赔偿的大致范围。比起以往协调员实地人工测量青苗赔偿面积的操作，无人机的使用，可以大幅提高测量效率，对于人力物力的节省更加有利。建立在本文介绍的方法基础之上，完成新建线路沿线照片收集后，观察可见光照片可以得出施工作业导致青苗赔偿的土地区域，及其分布所在的线路区段。统计出青苗赔偿的区段，然后再

带着无人机去青苗赔偿的区域，用无人机对青苗赔偿的不规则地形区域的边界关键点飞行拍照。将关键点照片一一投射到奥维地图上，绘制出青苗赔偿区域的不规则图形，打开奥维地图面积测绘功能，在奥维地图上就可以测量出此不规则图形的面积。对于林木种植间距分布均匀，林木粗细，高度近似的青苗区域，此法最为适用。

6 结语

就目前的计算机算力和三维激光扫描分析软件的应用情况来说，对于林木株数、树种类型的辨识，可见光是比点云数据要更直观和准确的，对于零星分布的林木，直接用无人机可见光拍照和清点，是最便捷的方法。在立塔阶段，也可以使用无人机对立塔过程中的缺陷进行巡视和收集，对于作业面广，立塔基数多的场景，无人机排查缺陷也是最佳的方法。总之，在输电线路基建领域，无人机提升输电线路施工质量的方面作用极大。随着新机型的开发，不同场景、使用方法的多元化，无人机有很发展空间会更加广阔。

参考文献

- [1] 马晓伟, 苑锦霞. 输电线路无人机巡检过程实时通信传输方法[J]. 无线互联科技, 2024, 21(24): 8-10.
- [2] 刘严, 刘吴欢. 人工智能下的输电线路无人机巡检技术[J]. 电工技术, 2024, (S2): 141-143.
- [3] 郝睿婧. 基于多旋翼无人机的输电线路巡检技术研究[J]. 电工技术, 2024, (S2): 556-558.
- [4] 冯伦. 无人机巡检技术在输电线路智能监控系统中的集成与应用[J]. 建设科技, 2024, (S1): 81-83.