

# 基于车辆与步行轨迹数据挖掘的输电线路 巡视路径规划研究

秦威南,徐飞明,陈安,赵俊杰,何小平,马阳晓  
(国网浙江省电力有限公司金华供电公司,浙江 金华 321000)

**摘要:**为解决近年来输电线路规模日益扩大,巡视人员扩充不足导致的人均线路维护量过高、巡视质量下降、巡视路径规划欠佳、出行车辆安排不够合理等问题,确保电网安全稳定运行。本文基于PMS2.0系统中的杆塔台账数据、国网统一车辆管理平台中的车行轨迹数据、PDA移动手持终端记录的巡视人员步行轨迹数据等,结合导航电子地图(离线版),挖掘出各数据之间存在的关联性、耦合性,深入分析人员的巡视习惯,建立了最优规划路径计算模型,实现了对目标杆塔自动导航寻路功能,并通过现场验证,提高了线路巡视效率;在此基础上,将班组所辖线路进行网格划分,优化了周期巡视计划和特殊区域巡视计划。研究结果可为提高线路巡视计划灵活性、规划合理巡视路径、安排出行车辆提供强有力决策依据。

**关键词:**输电线路;线路巡视;轨迹;最优路径规划;巡视质量

文章编号:2096-4633(2019)11-0000-08 中图分类号:TN75 文献标志码:B

输电线路纵横交错,分布范围广,所处地形环境复杂,为保证电力系统的安全可靠运行,必须对输电线路进行巡视,及时掌握各设备运行情况及线路周边情况。

随着近年电网规模日益增大,输电线路公里数快速增加。同时,随着线路运行年限逐年增长,老旧线路老化严重,交通网络的迅速扩大和早期线路规划等主客观因素也导致大量“三跨”隐患。另外,线路周边环境日益复杂,外破、山火、漂浮物等隐患不容忽视。以上现象给运维巡视带来了巨大的挑战,一旦把控不力将引起线路发生故障跳闸事故<sup>[1]</sup>。

另一方面，巡视工作以人工巡视为主，巡视质量、效率主要取决于巡视计划和巡视人员的数量、工作经验、习惯等因素。线路巡视计划的制定主要依靠老员工对线路杆塔、通道及其周边交通地形条件的熟悉程度进行经验判定，主观性强，随着电网地理

环境日趋复杂、巡视区域日趋扩大,已经很难保证人员、车辆派遣的合理性以及巡视任务实施的高效性<sup>[2-3]</sup>。

本文针对上述问题,结合人、车巡视轨迹、离线地图等数据,充分挖掘其间的耦合性,提出线路巡视路径规划的解决办法。

## 1 模型及算法

本文主要以日常巡视工作方式为背景,挖掘杆塔对应的轨迹数据关键信息,从车行轨迹分析出巡视人员上下车点,从巡视人员步行轨迹和杆塔定位分析出步行路线、步行时间、巡视检查时间、巡视习惯等信息,在上述杆塔数据之上,建立以离线地图为载体,建立杆塔对应的轨迹体系,进而评价巡视质量,优化巡视路线,制定巡视路径规划方案,如图1所示。

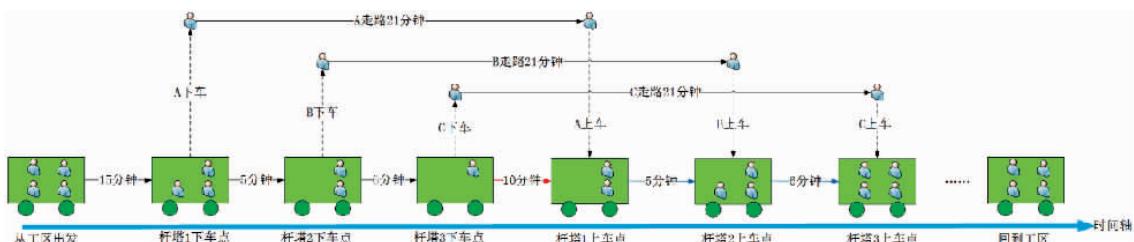


图 1 巡视工作示意图

Fig. 1 Schematic diagram of inspection work

## 1.1 杆塔对应的车行轨迹下车点和上车点

通过分析车行轨迹、步行轨迹,确定某基杆塔所对应巡视路线中巡视人员的上车点和下车点。车辆的经纬度信息在车辆统一管理平台中可以在线获得,以时间为维度,以速度、信号字段研判,确认巡视车辆的停车驻留点;巡视人员的步行轨迹点信息在PDA移动手持终端中可获得(如图2所示),筛选出与车辆轨迹同步的步行信息,确认上车点和下车点。

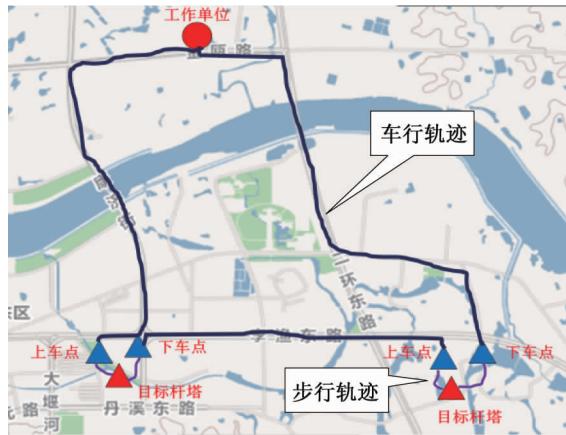


图 2 某一次完整巡视中的车行轨迹和步行轨迹

Fig. 2 Vehicle and walking trajectories in a complete inspection

巡视人员开展巡视作业时,车辆一般停靠路边等候,从车辆信号角度分析,比对采样间隔和位置信息变动情况,确认车辆处于熄火还是信号丢失状态;从车辆行驶速度角度分析,比对车速和位置信息变动情况,确认车辆是否处于停车未熄火状态。车辆驻留点的位置信息,可作为部分杆塔对应的巡视人员上下车点。

每日的线路巡视工作,一般为多人乘坐一辆车前往特定的杆塔,部分巡视人员中途上下车,通过车行轨迹信息和人员步行轨迹信息的分析,比对速度大幅降低/升高的轨迹点作为上下车点。

## 1.2 杆塔对应的巡视人员步行轨迹分析

通过对人员步行轨迹以及杆塔定位信息的比对分析,确定与人员步行轨迹相对应的目标杆塔、人员步行时间、目标杆塔巡视时间。人员步行轨迹可通过PDA移动手持终端进行记录和获取,杆塔GPS可以从PMS2.0系统数据库中导出。以时间为维度,以速度、信号字段研判,确定人员步行轨迹的目标杆塔;通过累积求和步行轨迹的起始点和结束点的间隔时间,筛选与目标杆塔经纬度接近的轨迹区段,确定目标杆塔的巡视时间、人员步行时间;根据记录步行轨迹点,分析人员对目标杆塔的巡视习惯;根据杆

塔地形地貌来确定杆塔的权值,为后续的划分网格、编制巡视计划、确定杆塔的巡视优先级提供依据。

巡视人员下车后,开展巡视作业,通过对巡视人员轨迹点的经纬度与杆塔经纬度的比对,差值在某一范围内可以判断人员开展了某基杆塔的巡视工作。

巡视杆塔确认后,筛选巡视人员轨迹点的经纬度与杆塔经纬度的差值在某一范围内轨迹点,在这一范围内的第一个轨迹点作为杆塔巡视开始点,最后一个轨迹点作为杆塔巡视结束点,通过这两个点来确认视角一分析的下车点到杆塔的路径、杆塔到视角一分析出的上车点的路径、杆塔巡视所需时间。

巡视人员对某基杆塔开展巡视工作,多次巡视后,记录人员步行轨迹,确定该杆塔的常规巡视路线。对目标杆塔进行检查时,需停留一段时间,需多角度、多点位全面检查杆塔、通道情况,在目标杆塔的常规巡视路线上选择合适个数的巡点,以巡点通过次数为基础,统计分析获得巡线通过次数,来判断巡视习惯。

## 1.3 杆塔对应的轨迹体系分析建立

本视角基于杆塔经纬度和步行轨迹起点在导航电子地图上的落点位置,判断杆塔导航到达情况,完成路径描绘和导航电子地图路径补充。最终,获得数据库中的所列杆塔的具体导航路径以及路径所需时间,并按照杆塔路径导航的情况,对杆塔类型完成分类,明确到达各杆塔的时间。同时作为多视角联合分析时的组成部分。

步骤一:将所有杆塔的x值记为0。

步骤二:判断杆塔经纬度在导航电子地图中是否落于地图中的公路轨迹上,如果是,记该杆塔的 $x=1$ ;如果不是,进入步骤三。

步骤三:判断该杆塔对应的步行轨迹起点是否落于地图中的公路轨迹上,如果是,记该杆塔的 $x=2$ ;如果不是,进入步骤四。

步骤四:时间上从后往前依次读取该杆塔对应的车行轨迹点,判断是否落于地图中的公路轨迹上,如果有,记该车行轨迹点为CG,记该杆塔 $x=3$ ,进入步骤五;如果没有,记 $x=4$ 。

步骤五:将车行轨迹从CG开始到车行轨迹下车点记录完整,倒入导航电子地图,补充导航电子地图的公路完整性。

步骤六:检查各杆塔的x值,对于 $x=1,2,3$ 的杆塔,计算对应杆塔的车行时间 $t_c$ 与步行时间 $t_b$ ,计算总行进时间 $t_z$ 。

结合上述步骤,数据库中所列的杆塔,经处理后  $x$  最大值为 4,最小值为 1,同时得到了杆塔( $x=1, 2, 3$ )的车行时间  $t_c$  与步行时间  $t_b$ 。



图 3 杆塔分类示意图

Fig. 3 Classification sketch of poles and towers

按照前述的算法描述,对四类杆塔在地图上进行表示,如图 3 所示。其中, I 类杆塔可直接车行到杆塔, II 类杆塔可通过车行加步行导航到达杆塔, III

$$z_{njk} = \begin{cases} 1, & \text{车辆 } k \text{ 经过杆塔 } n \text{ 点后从杆塔 } i \text{ 行驶到杆塔 } j \\ 0, & \text{否} \end{cases}$$

$$T_{nk} = \begin{cases} 0, t_n \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N z_{nijk} t_{ij} < 0 \\ t_n - \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N z_{nijk} t_{ij}, & \text{否} \end{cases}, \forall n \in V, \forall k \in R \quad (5)$$

$$2 \cdot \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N X_{ijk} \cdot t_{ij} + \sum_{i=0}^N T_{ik} \leq T; \forall k \in R \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^M 1 y_{ik} = 1; \forall i \in V \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^M X_{ijk} \geq 1; j = 1, 2, \dots, N, \forall j \in V' \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^M X_{iqk} - \sum_{j=1}^M X_{qjk} = 0; \forall q \in V'; k \in R \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^M X_{0jk} = 1 \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^M X_{ikk} = 1 \quad (11)$$

步骤一:根据给定的巡视杆塔坐标,分析杆塔 I、II、III、IV 四类的所属类别;

步骤二:将 IV 类杆塔排除路径规划计算中,并进行系统提醒;

步骤三:将 I 类杆塔的经纬度作为车行巡视目标, II、III 类杆塔对应的车行下车点和上车点作为车行巡视目标;

类杆塔对导航电子地图完成数据补充后可通过车行加步行导航到达杆塔, IV 类杆塔在目前数据条件下无法确定导航路径,需后期补充路径数据。

#### 1.4 最优巡视路径规划

线路巡视前需要合理调配巡视人员、巡视车辆以及规划巡视路线,以期达到最高效率即在最短路径或最短时间内完成巡视任务。通过前述视角分析,杆塔分为 I、II、III、IV 四类,排除数据不足的 IV 类,剩余的 I、II、III 类分别在导航电子地图上标记出了下车点和上车点,最佳巡视路径规划问题就简化为杆塔车行最终点为到达目的的车辆路径问题<sup>[4-8]</sup>(简称 VRP,如图 4 所示)。通过蚁群算法完成 VRP 的求解,就得到了最优巡视路径规划。

VRP 目标函数:

$$\min F = H \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=0}^N x_{ijk} t_{ij} + \sum_{i=0}^N \sum_{k=0}^N x_{0jk} \quad (1)$$

约束条件:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{车辆 } k \text{ 从杆塔 } i \text{ 行驶到杆塔 } j \\ 0, & \text{否} \end{cases} \quad (2)$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{杆塔 } i \text{ 的巡视任务由车辆 } k \text{ 来完成} \\ 0, & \text{否} \end{cases} \quad (3)$$

$$z_{njk} = \begin{cases} 1, & \text{车辆 } k \text{ 经过杆塔 } n \text{ 点后从杆塔 } i \text{ 行驶到杆塔 } j \\ 0, & \text{否} \end{cases} \quad (4)$$

步骤四:利用蚁群算法或贝叶斯算法完成 VRP 的前行路径计算<sup>[9-13]</sup>;

步骤五:根据 VRP 计算结果,以前行路径的最终点为起点,排除 I 类杆塔,反向计算返回路径计算,得到完整的车行路径;

步骤六:叠加 II、III 类杆塔从下车点后的步行轨迹及时间,完成最优巡视路径规划。

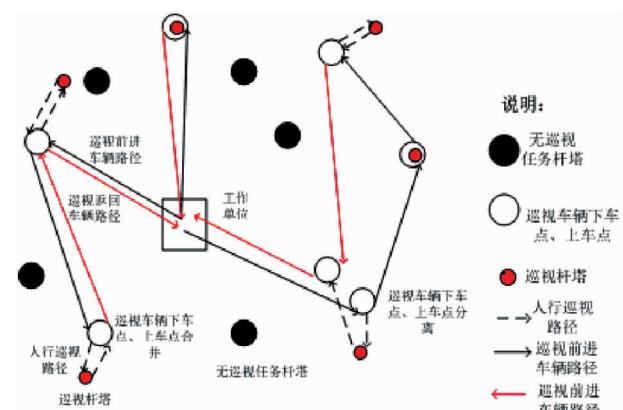


图 4 每车多人线路巡视 VRP 概念图

Fig. 4 VRP concept map for multi-person line inspection per vehicle

## 1.5 制定周期巡视计划

通过 1.1–1.3, 获得了杆塔所对应的线路名称、杆号、经纬度、车行时间、巡视人员上下车点、步行路线、步行时间、杆塔权值等信息。优化周期巡视计划,主要是将同一区域内的杆塔/线路归集在某一次的巡视计划内,节省以往以一条线路巡视模式下重复往返工作量。将某一班组所辖线路空间进行网格划分及排序,按优先级开展巡视工作;在某一网格内,按照人均巡视工作量确定线路巡视工作量,同时调整已完成巡视杆塔的权值,对全部网格再次排序以此来确定下一日的巡视任务,实现动态更新巡视计划<sup>[14]</sup>。

步骤一:对某一班组所辖线路的空间进行网格划分;

步骤二:将某一网格内所有杆塔的权值求和计算得到该网格的权值,并从高到低进行排序,优先开展高权值网格内杆塔的巡视工作;

步骤三:确认网格内巡视杆塔的数量,以经纬度做小值为第一目标杆塔,计算扣除车辆来回平均时间后的有效工作时间来确定杆塔数量;

步骤四:重新计算已完成巡视杆塔的权值,按步骤二确认下一日的巡视计划;

步骤五:通过每日工作量的详细规划,确认某一班组所辖线路的周期巡视计划;

步骤六:针对某基杆塔或某条线路开展的特殊巡检、故障巡检,巡检作业结束后,按步骤四规划下一阶段的巡视计划。

## 2 价值及成效

### 2.1 巡视质量评价

对人员步行轨迹和杆塔 GPS 定位信息进行拟合、比对分析,可以得到目标杆塔巡视时间、人员步行时间、目标杆塔常规巡视点等,通过这些信息,可以分析得到人员的巡视习惯,进而对人员巡视质量和效率进行评价。

为全面评价巡视人员的巡视质量,设定三个主要评价指标:巡视轨迹拟合程度、巡点合格率、巡视人员杆塔驻留时间<sup>[15–17]</sup>。当三个评价指标符合判定阀值时,即可认定针对目标杆塔的巡视工作质量合格。以某基杆塔巡视为例:

指标一:通过记录的历史步行轨迹数据,确定该杆塔的常规巡视路线,将当下巡视的步行轨迹与常规巡视路线进行比对分析,得到此次巡视轨迹的拟

合程度,如图 5 所示。

通过比对得出此次步行轨迹拟合程度达到 90%,大于阀值 80%;

指标二:在目标杆塔的常规巡视路线上选择合适个数的巡点,以巡点通过次数为基础,统计分析巡线通过次数。实际通过次数与巡视要求次数之比,确定巡点合格率,计算此次巡视轨迹巡点合格率,大于 90% 判定为合格,图 5 为合格的巡视,图 6 为不合格的巡视。



(a) 目标杆塔常规巡视路线



(b) 此次巡视步行轨迹

图 5 常规巡视以及步行轨迹

Fig. 5 Routine patrols and walking trajectories



(a) 拟合程度 75% 的巡视轨迹



(b) 拟合程度 50% 的巡视轨迹

图 6 两种拟合巡视轨迹

Fig. 6 Twokinds of fitting patrol trajectories

指标三:筛选巡视人员轨迹点的经纬度与目标杆塔经纬度的差值在某一范围内轨迹点,在这一范围内的第一个轨迹点作为杆塔巡视开始点,最后一个轨迹

点作为杆塔巡视结束点,通过这两个点来确定杆塔巡视所需时间,巡视时间大于阀值 10 分钟为巡视合格。

依据三个指标综合评价此次巡视质量是否合格。

## 2.2 巡视路径规划

线路巡视的工作效率关系到供电的稳定与安全,根据线路巡视的业务特点建立 VRP 模型,合理分配巡检资源,并利用蚁群算法求解 VRP,得出最佳的巡检路径,为线路巡视路径的科学规划提供了有效的参考路径。

取一次 6 基杆塔巡视任务的历史轨迹,如图 7 所示的绿色轨迹,按照 1 号–6 号的先后次序完成巡视,巡视总耗时 1 小时 42 分钟。通过最优路径规划算法,利用蚁群算法对 VRP 模型进行求解验证,规划出的最优路径,如图 8 所示,车辆行前进路线(黑色轨迹)、车行返回路线(红色轨迹)和步行轨迹(绿色部分),预计耗时 1 小时 19 分钟,后期验证实际耗时为 1 小时 16 分钟。



图 7 某次巡视任务杆塔分布图

Fig. 7 Tower distribution map of an inspection mission

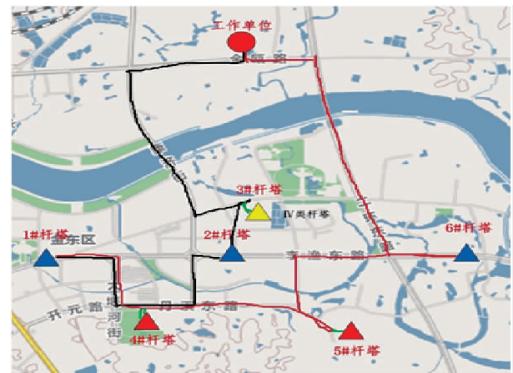


图 8 路径规划轨迹图

Fig. 8 Path planning trajectory map

从巡视时间上看,规划后的巡视时间缩短了约 30%,究其原因,是合理规划了车行路线,节省了车行时间;同时在 4 号杆塔处让巡视人员自行前往杆塔,后期车辆再前来接巡视人员,节省了车辆等待巡视人员的时间;两者相结合,达到了缩短巡视时间的目的。

## 2.3 优化周期巡视计划

基于不同地域的巡视周期要求,将班组管辖线路网格划分,以一个网格内的所有杆塔进行巡视规划,改变以往以线路为单位的巡视计划,从而减少人员重复登山、车辆重复前往同一片区域,提高人员的工作效率,提升车辆利用率,减少车辆的排班数。取某一班组所辖 40 条线路 1966 基杆塔,通过网格划分得到权值最大的网格,按照 4 人 1 辆车的规模开展网格内线路巡视,制定相应人员的巡视计划。

(1) 划分网格。获取最边界的杆塔,形成长约为 103 公里,宽约为 50 公里的空间,按 5 公里  $\times$  5 公里网格化后,得到 210 个网格,如图 9 所示。

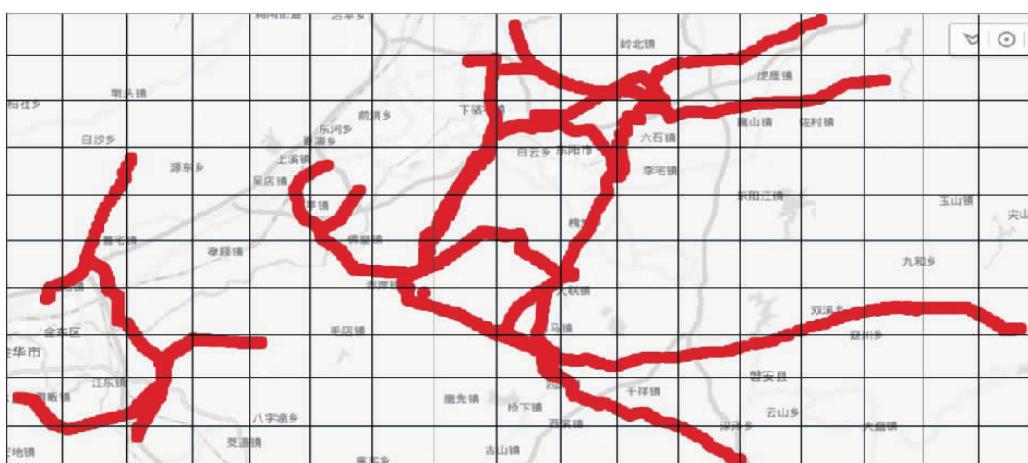


图 9 某班组线路网格划分示意图

Fig. 9 Schematic diagram of line mesh generation for a team

(2) 网格权值计算,按照权值和进行排序,并制定每日巡视计划。计算得到每日权值最大的网格,如图 10 所示,按照地形、时间等因素计算得到 4 名巡视人员每日巡视的目标杆塔,分别为 A\B\C\D 区域,如图 11 所示。依此类推,重新计算已完成巡视杆塔的权值,对全部网格进行排序,得到下一日需要巡视的杆塔,从而得到一个滚动的巡视计划。

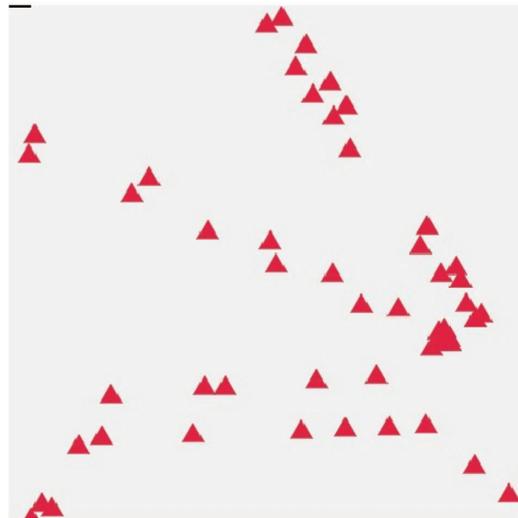


图 10 某日权值最大网格

Fig. 10 Maximum grid with a daily weight

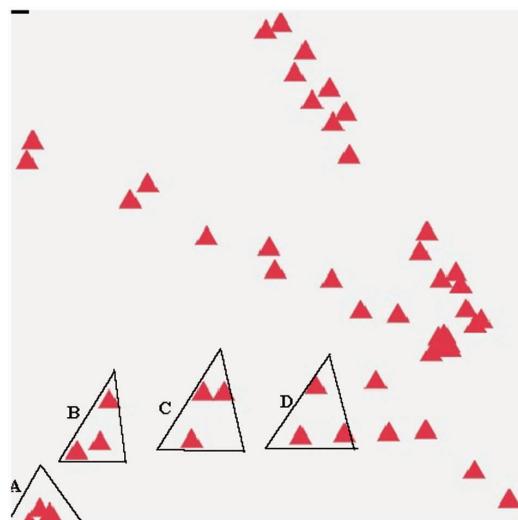


图 11 每人巡视的杆塔

Fig. 11 Towers for each person's inspection

### 3 结论

#### 3.1 合理规划巡视路径

提高线路巡视效率,建立了最优规划路径计算模型,取代了以往依靠工作经验制定巡视路径的主观做法,在规划巡视路径时做到了定量化,确保合理

调配车辆、人员资源;自动导航寻找目标杆塔,实现了对目标杆塔自动导航寻路的功能,降低了对杆塔带路人的需求,实现事故抢修和安监人员赴现场检查监督时的导航需求;制定特定杆塔巡视、检修任务,进行特殊巡视时,可自动编排巡视规划轨迹。同时,根据塔上检修时间,可调整在杆塔附近的逗留时间,制定高效的检修计划;实现应急车辆调控,如遇意外突发危险点急需巡视时,可实时定位危险点周边的作业人员、车辆位置,选定人员、车辆,完成路径规划,确保在最短时间内,有作业人员到达危险点现场进行把控。

#### 3.2 优化周期巡视计划

优化周期巡视计划,将班组所辖线路网格划分,以一个网格内的所有杆塔进行巡视规划,改变以往以线路为单位的巡视计划,从而减少人员重复登山、车辆重复前往同一片区域;优化特殊区域巡视计划,在周期巡视基础上,针对苗木种植区、吊机常驻点、施工危险区等线路外破防范点,建立特殊区域巡视计划,重点提高临近危险点的巡视次数,通减少外破事故发生。

#### 3.3 多层级辅助决策

辅助巡视质量评价,基于对以往人员巡视杆塔步行轨迹的历史记录,分析人员的巡视到位率、巡视检查时间,完成巡视效率、巡视质量的评价。及时纠正巡视人员的不合格巡视工作,提高整体巡视质量,大修项目成本管控,通过巡视人员步行轨迹的记录,完成对杆塔巡线道公里数进行统计,这样既能减少巡线道大修项目统计的工作量,也有效避免人为因素带来的误差;深化车辆管理,合理编制周期巡视计划提升车辆利用率,规划某次任务的最优巡视路径减少行车里程,从而减少车辆的排班数,提高车辆管理效率、用车周转率、车辆利用率,显著减少车辆费用支出。

#### 3.4 助力未来工作布局

可实现今后的无人驾驶汽车路径规划、无人机起飞路线规划、无人机巡视杆塔规划等功能,解决了无人驾驶技术结合电力企业工作的最后一步,抢占了无人驾驶汽车技术在工业生产应用中的先机,保证电力企业竞争力。

#### 参考文献:

- [1] 陈良琴,唐海域,肖新华. 基于深度学习的输电线路风险预警识别研究[J]. 电力大数据,2018,21(12):1-5.

- CHENGLingqin, Tang Haicheng, Xiao Xinhua. Research on risk warning and recognition of transmission line based on deep learning [J]. Power Systems and Big Data, 2018, 21(12):1 – 5.
- [2] 欧郁强,闻建中,王利国,等. 基于小世界纵横交叉算法在输电线路巡视路径中的应用[J]. 电网能源与清洁, 2016, 32 (06):46 – 52.
- OU Yuqiang, WEN Jianzhong, WANG Liguo. et al. Application of small world based crisscross optimization algorithm in power transmission lines inspection[J]. Power System and Clean Energy, 2016, 32(06):46 – 52.
- [3] 苏海锋,杨阔,梁志瑞. 基于改进蚁群算法的输电线路路径自动选择[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(01):88 – 92.
- SU Haifeng, YANG Kuo, LIANG Zhirui. Automatic route planning of transmission lines based on improved ant colony algorithm [J]. Electric Power Automation Equipment, 2018, 38(01):88 – 92.
- [4] 胡毅,刘凯,吴田,等. 输电线路运行安全影响因素分析及防治措施[J]. 高电压技术, 2014, 40(11):3491 – 3499.
- HU Yi, LIU Kai, WU Tian, et al. Analysis of influential factors on operation safety of transmission line and countermeasures[J]. High Voltage Engineering, 2014, 40(11):3491 – 3499.
- [5] 徐毅,李章维. 蚁群算法在电力巡检路线规划中的应用[J]. 计算机系统应用, 2015, 23(05):135 – 139.
- XU Yi, LI Zhangwei. Application of ant colony algorithm to power cable patrol route planning[J]. Computer Systems & Applications S, 2015, 23(05):135 – 139.
- [6] NENGCHENG CHEN, CHANGJIANG XIAO, ANGLING PUF, et al. Cyber-physical geographical information service-enable control of diverse in-situ sensors [ J ]. Sensors, 2015, 15 ( 02 ) : 2565 – 2592.
- [7] HEMING DENG, ZHENGHAO HE, JUN MA, et al. "Initiation and propagation of discharge in liquid droplets: effect of droplet sizes [ J ]. IEEE Transactions on Plasma Science, 2010, 38 ( 12 ) : 3282 – 3288.
- [8] 应林志,刘天琪,王建全,等. 基于改进蚁群优化限制短路电流的网架调整措施[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(01):144 – 150.
- YING Linzhi, LIU Tianqi, WANG Jianquan, et al. . Adjustment for power grid configuration to limit short-circuit current based on improved ant colony optimization[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(01):144 – 150.
- [9] 于海璁,陆峰. 一种基于遗传算法的多模式多标准路径规划方法[J]. 测绘学报, 2014, 43(01):89 – 96.
- YU Haicong, LU Feng. A multi-modal multi-criteria route planning method based on genetic algoithm [ J ] . Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2014, 43(01):89 – 96.
- [10] 侯雨伸,王秀丽,段杰,等. 考虑系统风险的输电网线路除冰优化调度 [ J ]. 中国电机工程学报, 2014, 34 ( 34 ) : 6101 – 6108.
- HOU Yushen, WANG Xiuli, DUAN Jie, et al. Transmission lines de-icing optimal scheduling considering system risk [ J ]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(34) :6101 – 6108.
- [11] 文志强,舒乃,彭辉,等. 输电线路差异化运维计划优化 [ J ]. 电网技术, 2015, 39(04):1101 – 1108.
- WEN Zhiqiang, SHU Naiqiu, PENG Hui, et al. Differentiated operation and maintenance scheduling optimization of transmission lines [ J ] . Power System Technology, 2015, 39 ( 04 ) : 1101 – 1108.
- [12] YUJIAO ZHANG, WEINAN QIN, JIANGJUN RUAN. Analysis of cumulative damage failure for driving coil in coilgun [ J ]. IEEE Transactions on Plasma Science, 2015, 43(05):1254 – 1260.
- [13] 黄宵宁,许家浩,杨成顺,等. 基于数据驱动算法和 LS-SVM 的输电线路覆冰预测 [ J ]. 电力系统自动化, 2014, 38 ( 15 ) : 81 – 86.
- HUANG Xiaoning, XU Jiahao, YANG Chengshun, et al. Transmission line icing prediction based on data driven algorithm and LS-SVM [ J ]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38 ( 15 ) : 81 – 86.
- [14] 彭晓平,段琳,程旭明,等. 基于电力大数据的实时流数据处理技术研究 [ J ]. 电力大数据, 2017, 20(08):58 – 60 + 35.
- PENG Xiaoping, DUAN Lin, CHENG Xuming, et al. Research on real time flow data processing technology based on large power data[ J ]. Power Systems and Big Data, 2017, 20 ( 08 ) : 58 – 60 + 35.
- [15] YUJIAO ZHANG, WEINAN QIN, JIANGJUN RUAN. Variable mapping method with nonmatching meshes in 3-D finite element analysis of coupled electromagnetic-structural fields [ J ]. IEEE Transactions on Plasma Science, 2015, 43 ( 05 ) : 1288 – 1292.
- [16] 李铭钧,甘团杰,赖奎. 考虑杆塔风险概率的输电线路巡检路径优化方法 [ J ]. 电网与清洁能源, 2016, 32(10):61 – 67 + 78.
- LI Mingjun, GAN Tuanjie, LAI Kui, et al. Power Transmission line inspection planning optimization considering risk probabilities of steel towers [ J ]. Power System and Clean Energy, 2016, 32 ( 10 ) :61 – 67 + 78.
- [17] 王庆斌,石亮缘,黄辉,等. 基于改进粒子群算法的输电线路路径规划研究 [ J ]. 广东电力, 2018, 31(09):135 – 141.
- WANG Qingbin, SHI Liangyuan, HUANG Hui, et al. Research on power transmission line path planning based on improved particle swarm optimization algorithm [ J ] . Guangdong Electric Power, 2018, 31(09):135 – 141.

收稿日期:2019-09-14

作者简介:



秦威南(1987),男,硕士,工程师,主要从事输电线路运检及带电作业工作。

(本文责任编辑:范斌)

## Research on patrol path planning of transmission line inspection based on data mining of vehicle and walking trajectory

QIN Weinan, XU Feiming, CHEN An, ZHAO Junjie, HE Xiaoping, MA Yangxiao

(Jinhua Power Supply Bureau of State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Jinhua 321000, Zhejiang, China)

**Abstract:** In order to solve the problems caused by the increasing scale of transmission lines and the insufficient expansion of inspectors in recent years, such as the excessive per capita line maintenance, the deterioration of inspection quality, the inadequate planning of inspection paths and the unreasonable arrangement of travel vehicles, etc., to ensure the safe and stable operation of the power grid. This article is based on the data of the pole tower account in the PMS 2.0 system, the track data of the vehicle in the unified vehicle management platform of the National Network, and the walking track data of the patrol personnel recorded by the PDA mobile handheld terminal, etc., combined with the navigation electronic map (offline version). The correlation and coupling between the various data are excavated, the patrol habits of the personnel are analyzed in depth, the optimal planning path calculation model is established, the navigation and route finding function of the target pole tower is realized, and the circuit inspection efficiency is improved through field verification. On this basis, the lines under the jurisdiction of the team are divided into grids, and the periodic inspection plan and special area inspection plan are optimized. The research results can provide a strong basis for improving the flexibility of the route inspection plan, planning the reasonable route of inspection, and arranging the travel vehicles.

**Key words:** transmission line; line inspection; track; optimal path planning; inspection quality