

基于最近邻法的电力电缆巡线路径的优化

金武杰, 陈麟红

(国网舟山供电公司, 浙江 舟山 316000)

摘 要: 电缆线路的分布主要在地下、管道甚至海底, 在检修与维护方面会面临巡视周期较长的问题。为了缩短电力电缆巡线路径的距离, 压缩无效时长, 提高供电服务效率, 本文先分析电力电缆巡线路径的当前现状, 再针对电缆中间接头巡线车辆的路径问题, 采取启发式算法中的最近邻法对其进行研究, 该方法简单实用有效。与现行的逐条线路巡视路径相比, 最近邻算法可以缩短车辆路径的距离, 减少巡线路程间无效时间。本文以舟山市供电有限公司客服中心的电力电缆巡线路径为研究平台, 验证了最近邻法在不给作业人员增加额外负担的前提下实现路径优化的有效性, 提高了工作效率, 进而提高了业务承载力、压缩了业扩时长。

关键词: 电力电缆; 巡线路径; 启发式算法; 最近邻法

文章编号: 2096 - 4633(2019)03 - 0039 - 05 **中图分类号:** TM757 **文献标志码:** B

舟山 2018 年截止目前的作业工单量增长 85.6%, 其中巡视工单量增长 51.3%, 且根据 2018 年省公司要求, 要进一步缩短接电时间。内外部形势要求我们在业务量不断增长的背景下, 实现更短的业扩时长。面对这一形势, 针对电力电缆巡视这一问题, 常规的思路往往是增加巡视人员的配备。由于历史原因, 全省特别是舟山存在总体冗员与结构性缺员并存的现状, 一线人员充实存在客观难度。因此, 通过技术手段, 将快响工单数据、管理和处理的数据集合^[1], 进而优化流程, 提高生产效率, 便成为了切实之选。

通过对舟山供电公司电力电缆巡视人员耗费在巡视途中的时间和电缆维修的工作时间等进行分析, 电力电缆巡视作业的出发和回来的总耗时占据 35%, 此时间为无效时长。因此, 通过压缩无效时长, 即消耗在路途中的时间, 可在完全不影响工作质量、不给作业人员增加额外负担的前提下可提高工作效率, 实现业务承载力的提高、业扩时长的压缩。

电力电缆线路巡视检查是为了掌握电缆线路运行的状况, 及时发现和消除设备缺陷和隐患, 以保证线路的安全运行。虽然目前已经出现了无人机巡线等新技术手段, 但由于成本和适用性的问题, 人工巡视仍是主流, 特别是对于配电线路而言, 由于数据量大、地理位置分散等原因, 基本均采用人工巡视方式。人工巡视是由巡视人员利用各种设备, 通过乘

车、步行等方式抵达到电缆故障位置, 然后进行相应的管理, 确保电力线路运行的安全性与合理性。电缆巡线路径的优化作为电缆的运行与维护管理中的重要组成部分, 不仅关系公司的服务效率、资源的合理利用, 还能更好的满足客户要求, 提升企业形象, 因而对其研究具有重要意义。

电力电缆巡线路径优化是一个典型的车辆路径问题^[2-3]。车辆路径问题的求解方法中, 启发式解法有节约法虽然求解速度快, 但优化结果与网络的初始结构有关; 人工智能算法^[4-6]和模拟退火算法^[7-8]虽然能解决局部最优这个问题, 但其参数难以准确设定; 启发式算法^[9-10]具有局部最优算法。

通过设备 GIS 坐标信息, 移动导航模块可以快速导航定位电缆设备或缺陷点, 使维修人员能以最快的速度感到故障或缺陷所在。文献[11]根据配电网络负荷预测和网络负荷变化情况, 提出一种结合变异运算的最优邻域禁忌算法, 降低了运行网损, 提高了电压质量。文献[12]解决了经典蚁群算法不能直接用于求解多配送中心选址问题(MDLP), 将 MDLP 映射为扩展 K-TSP 过程并设计了改进的蚁群算法, 增强了蚂蚁间的信息交流, 促进它们的分工与协作, 使蚂蚁无遗漏无重复地遍历各配送点并找出问题的最优解。文献[13]在传统粒子群算法(PSO)的基础上, 动态调节惯性权重并引入禁忌搜索算法(TS)的禁忌表, 设置灵

活存储结构和禁忌准则,保证有效搜索多样化,弥补了全局寻优能力不足、易陷入局部最优的缺点。文献[14]针对带时间窗的多中心车辆路径优化问题,提出一个两阶段的启发式算法,即分别通过基于聚集度的启发式分类算法和蚁群算法对该问题进行解决,结果证明这种方法是解决带时间窗的有力工具。文献[15]将动态城市交通路网与车辆路径问题相结合,初始路径安排通过采用遗传算法求解常发性交通拥堵情形对应的时变网络车辆调度问题得到。

电力电缆维护中的车辆路径问题与其他物流车辆路径问题存在一些区别。首先,维护车辆路径问题只要求车辆经过 X 个出现问题的电缆接头,而其他的路径问题要求车辆必须走遍图上所有结点,因为在电缆维护过程中并不是所有的电缆接头同时出现问题;其次,电力电缆维护过程中只有一个配送中心,多个需要的电力服务客户,多台配送服务车辆,任务开始前车辆都停放在配送中心,电力客户任意分布在服务网络,且车辆的型号相同,不存在车辆超载的问题;再次,电力电缆巡线效率以半日内巡视的故障点数目为基准,即半日内巡视的故障点越多,则效率越高,电力电缆巡视在半日内的车辆路径只需满足局部最优。电力电缆车辆路径具有以上特点,本文采用启发式算法中的最近邻法^[16-18]。

1 最近邻法

最邻近法的运算思路如下:首先,从配送中心 o 附近开始搜索,若存在这样一个节点 i ,且满足 i 与 o 最近,成本 C_{oi} 最小,则将点 i 首先列入路径中。接着搜索另一点 j ,若 j 满足特定条件,也列入路径中,直到车辆路径达到巡线班组半日内最大巡线距离。

1.1 电力电缆维护车辆路径的一些基本假设

- (1) 该点未被列入路径;
- (2) C_{ij} 最小的节点,即为到 i 的成本最小的节点;
- (3) 满足规定的时间要求。

若没有满足要求的点,则重新另设线路,直到所有的点都列入路径为止。

最邻近点的确定:若 j 与 i 为的最邻近点,要分析 ij 间的距离 d_{ij} ; ij 间的运输时间 T_{ij} ;以及该配送服务的成本 C_{ij} 。

最邻近点总成本 C_{ij} 的确定:最邻近点距离和服务成本呈正比,具体公式描述为如下:

A 为弧线集; n 为节点总数; N 为节点 - 弧线关联矩阵; V 为节点集; T 为路线; C_{ij} 为从客户点 i 到客户点 j 的运输成本,采用弧线 (i, j) 表示, $((i, j) \in A)$; $c(i, T)$ 为节点 i 到线路 T 的费用; b 为所求向量。

决策变量有: x_{ij} 为弧线 (i, j) 上的流量; y_{ij} 如果有车辆从 i 点驶向 j 点,则取值为 1。

建立了如下以行驶路径最短作为目标函数的数学模型,即:

$$\min D = \sum_{(i,j) \in A} C_{ij} y_{ij} \quad (1)$$

其中约束条件为:

$$\min D = \sum_{(i,j) \in A} C_{ij} y_{ij} \quad (2)$$

$$\sum_{1 \leq j \leq n} y_{ij} = 1 \quad j = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$Nx = b \quad (4)$$

$$X_{ij} \leq (n-1) y_{ij} \quad (i, j) \in A \quad (5)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad (i, j) \in A \quad (6)$$

$$y_{ij} \in \{0, 1\} \quad (i, j) \in A \quad (7)$$

根据上述定义,从 V 中给定一条随机线路 T 和一个节点 $i \in V \setminus T$ 。我们选择距离客服中心最近的节点 s^* ,即令:

$$S^* = \arg \min_{i \in V} (d(i, 0)) \quad (8)$$

令:

$$C(i, T) = \min_{j \in V} C_{ij} \quad (9)$$

$$i^* = \arg(\min \{c(i, T); i \in V \setminus T\}) \quad (10)$$

得到 i^* 是距 T 最近的节点。再将 i^* 连入 T 中构造一条连接线 $T \cup \{i^*\}$ 。这条线路即为费用最小的车辆行驶线路。

2 最近邻法在电力电缆巡线路径中的应用

以 2017 年至今浙江省舟山市供电公司为例,电力电缆线路故障有 97% 左右为电缆中间接头故障。由此可知,电缆本体无接头段的故障概率非常小,巡视周期相对于中间接头和终端可以设置较长间隔。本文的电力电缆巡线路径中以电缆中间接头作为巡视点。实际中按照电缆中间接头的故障数来决定维护数量及车辆路线,由此可以看出,每个阶段的车辆路径方案在不断变化,最优维护路径随之变化,客户中心需要根据电缆故障井的变化及时制定最优方案,提高维护

效率。对车辆而言,在单位时间内,检查电缆中间接头的故障点数目越多,车辆的行程距离越少,车辆的效率相应的就越高。

2.1 维护车辆路径的基本条件假设:

实际的电力电缆巡线车辆调度情况比较复杂,需要考虑很多因素,影响目标优化因素变化也很大。为了方便建模和求解,需要对现实情况各种因素进行简化和抽象,在一定的条件下对电力电缆巡线路径进行研究。由实际工作流程研究可知,对电缆维护车辆路径进行如下的定义及说明。

(1)从客户服务中心向多个电缆故障点派送车辆进行维护,客服中心和各电缆故障点的位置一定。

(2)每台车辆都是从客户服务中心出发,向故障点配送服务后,最终返回客户服务中心,车辆的配送工作必须在尽短的时间里进行。

(3)每辆车辆的行驶距离不超过该车辆预定的最大行驶距离。

根据以上的定义,电力电缆巡线车辆路径调度问题为单一配送中心、单一配送车辆、路段行驶时间不固定,不用考虑车辆满载的封闭型车辆路径问题。

2.2 最近邻法算法的应用

标准电缆中间接头间距为 0.5 km,目前舟山 10 kV 电力电缆长度不超过 4 km,以最简单的同一开关站引出两条线路为例,理想状态下两条电缆的中间接头应该分布于以 0.5 km、1.0 km、1.5 km 及 2.0 km 为半径的同心圆中。但事实上,由于电缆中间接头间地表状况的不同,如电缆穿过花园、河道、交通主干道等情况,电缆中间接头间的相对位置呈不规则状态。从不同变电站铺设的电缆也会因交叉也会产生交叉。图 1 为任意五条交叉电缆线路中的一部分,根据最近邻法得出一次巡线的车辆路径(箭头指示部分):车辆从中心出发,作业人员维护完六个电缆中间接头后,车辆又回到客服中心。图 2 为传统维护路径,其路径为:客服中心—线路 1—客服中心—线路 2—客服中心。

如图所示,若一条线路上的两个电缆中间接头的距离为 d ($d=0.5$), d 大于等于不同电缆之间中间接头上的距离。由图 1 和图 2 可知,图 2 传统维护车辆路径的距离为 $12d$;图 1 的最近邻法车辆路径的距离小于等于 $7d$ 。由比较可知,采用最近邻法

可以大大缩短车辆距离,减少运输成本,证明了该方法的有效性和优越性。

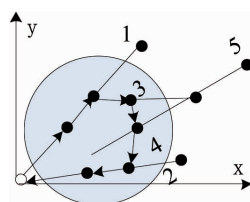


图 1 最近邻算法路径

Fig. 1 Path of nearest neighbor algorithm

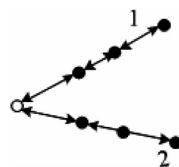


图 2 传统维护路径

Fig. 2 Path of traditional maintenance

3 结论

通过对算法的论证和范例的分析,我们可以看到,通过对电缆中间接头的定位获取位置信息,并根据实际交通情况编制位置图后,利用启发式算法中的最近邻法可以规划出比逐条巡视电缆线路更加优化的路径,这对于节约巡视路途耗时,提高巡视工作效率具有较强的现实意义,体现该方法的有效性和优越性。

参考文献:

- [1] 陈珏伊. 大数据在电力物资需求预测管理中的应用研究[J]. 电力大数据, 2018, 21(03): 83-87.
CHEN Jueyi, Application research on big data in the demand forecast management of power material[J]. Power Systems and Big Data, 2018, 21(03): 83-87.
- [2] 吴天羿, 许继恒, 刘建永, 等. 求解有硬时间窗车辆路径问题的改进遗传算法[J]. 系统工程与电子技术, 2014, 36(04): 708-713.
WU Tianyi, XU Jiheng, LIU Jianyong, et al. Improved genetic algorithm for vehicle routing problem with hard time windows [J]. Systems Engineering and Electronics, 2014, 36(04): 708-713.
- [3] 王文蕊, 吴耀华. 带实际约束的大规模车辆路径问题建模及求解[J]. 控制与决策, 2013, 28(12): 1799-1804.
WANG Wenruia, WU Yaohua. Modeling and solving large-scale vehicle routing problem with practical constraints[J]. Control and Decision, 2013, 28(12): 1799-1804.
- [4] LIAO E, LIU C. A hierarchical algorithm based on density peaks clustering and ant colony optimization for traveling salesman problem[J]. IEEE Access, 2018, 6(07): 38921-38933.

- [5] 王旭坪,詹红鑫,孙自来,等. 基于蚁群禁忌混合算法的成品油多舱配送路径优化研究[J]. 系统工程理论与实践,2017,37(12):3215-3226.
- WANG Xuping, ZHAN Hongxin, SUN Zilai, et al. Route optimization for the refined oil multi-compartment distribution based on ant colony and tabu search hybrid algorithm[J]. Systems Engineering-Theory & Practice,2017,37(12):3215-3226.
- [6] 殷亚,张惠珍. 求解带硬时间窗的多目标车辆路径问题的多种混合蝙蝠算法[J]. 计算机应用研究,2017,34(12):3632-3636.
- YIN Ya, ZHANG Huizhen. Multi-hybrid bat algorithm for solving multi-objectives vehicle routing problem with hard time-window[J]. Application Research of Computers, 2017, 34(12):3632-3636.
- [7] 程博,杨育,刘爱军,等. 基于遗传模拟退火算法的大件公路运输路径选择优化[J]. 计算机集成制造系统,2013,19(04):879-887.
- CHENG Bo, YANG Yu, LIU Aijun. Highway transportation route selection optimization based on improved genetic annealing algorithm[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2013, 19(04):879-887.
- [8] ZENG W, CHEN B, ZHONG Q, et al. An enhanced differential evolution based algorithm with simulated annealing for solving multiobjective optimization problems[J]. Journal of Applied Mathematics, 2014, 2014(02):1565-1578.
- [9] 马华伟,靳鹏,杨善林. 时变车辆路径问题的启发式算法[J]. 系统工程学报,2012,27(02):256-262.
- MA HUAWEI, JIN PENG, YANG SHANLIN. Heuristic methods for time-dependent vehicle routing problem[J]. Journal of Systems Engineering, 2012, 27(02):256-262.
- [10] LORENZO B, GLISIC S. Optimal routing and traffic scheduling for multihop cellular networks using genetic algorithm[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2013, 12(11):2274-2288.
- [11] 张栋,张刘春,傅正财. 基于改进禁忌算法的配电网重构[J]. 电工技术学报,2005,20(11):60-64.
- ZHANG Dong, ZHANG Liuchun, FU Zhengcai. Network reconfiguration in distribution systems using a modified TS algorithm[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2005, 20(11):60-64.
- [12] 李艳冰,徐克林,朱伟. 多物流配送中心选址及求解[J]. 同济大学学报(自然科学版),2012,40(05):789-792+799.
- LI Yanbing, XU Kelin, ZHU Wei. Multi-distribution center location problem and its resolution[J]. Journal of Tongji University(Natural Science), 2012, 40(05):789-792+799.
- [13] SANDRO LORINI, JEAN-YVES POTVIN, NICOLAS ZUFFEREY. Online vehicle routing and scheduling with dynamic travel times[J]. 2011, 7(07):1086-1090.
- [14] 于滨,靳鹏欢,杨忠振. 两阶段启发式算法求解带时间窗的多中心车辆路径问题[J]. 系统工程理论与实践,2012,32(08):1793-1800.
- YU Bin, JIN Penghuan, YANG Zhongzhen. Two-stage heuristic algorithm for multi-depot vehicle routing problem with time windows[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2012, 32(08):1793-1800.
- [15] 李妍峰,高自友,李军. 基于实时交通信息的城市动态网络车辆路径优化问题[J]. 系统工程理论与实践,2013,33(07):1813-1819.
- LI Yanfeng, GAO Ziyu, LI Jun. Vehicle routing problem in dynamic urban network with real-time traffic information[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2013, 33(07):1813-1819.
- [16] 赖奎,姚军艳,马承志,等. 输电线路智能巡检系统的设计研究[J]. 广东电力,2016,29(07):105-110.
- LAI Kui, YAO Junyan, MA Chengzhi, et al. Design research on intelligent inspection system for power transmission lines[J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(07):105-110.
- [17] 易琳,秦晓科,王刚,等. 基于改进蚁群算法的电力巡检路径规划[J]. 广东电力,2018,31(03):115-120.
- YI Lin, QIN Xiaoke, WANG Gang, et al. Path planning for electric power patrol based on improved ant colony algorithms[J]. Guangdong Electric Power, 2018, 31(03):115-120.
- [18] 徐展. 一种激光雷达导航的全自主智能无人机巡线系统[J]. 浙江电力,2017,36(06):44-47.
- XU Zhan. An Autonomous intelligent UAV line inspection system with LIDAR navigation[J]. Zhejiang Electric Power, 2017, 36(06):44-47.

收稿日期:2018-11-22

作者简介:



金武杰(1986),男,本科,助理工程师。主要从事舟山市供电公司项目管理工作。

(本文责任编辑:范斌)

**Optimization of circuit path of electric cable inspection based
on recent neighborhood method**

JIN Wujie, CHEN Linhong

(State Grid Zhoushan Power Supply Company, Zhoushan 31600 Zhejiang, China)

Abstract: Cable lines are mainly distributed in the underground, pipelines and even the seabed, which will face the problem of long inspection cycle in the maintenance and maintenance. In order to shorten the distance of power cable patrol path, shorten the time of invalid compression and improve the efficiency of power supply service, this paper first analyzes the current status of power cable patrol path, and then aiming at the problem of the route of patrol vehicle in cable intermediate connector, adopts the nearest neighbor method of heuristic algorithm to study it. This method is simple, practical and effective. Compared with the current line-by-line patrol path, the nearest neighbor algorithm can shorten the distance between vehicle paths and reduce the invalid time between patrol routes. This paper takes the power cable patrol route of the customer service center of Zhoushan City Power Supply Co. ,Ltd. as the research platform, and verifies the effectiveness of the recent neighborhood method to realize the route optimization without adding additional burden to the operators, and improves the working efficiency. In turn, it improves the business carrying capacity and reduces the length of business expansion.

Key words: power cable; route inspection; heuristic algorithm; nearest neighbor method