

基于遗传算法的通信电缆敷设优化方法研究

杨宝金¹, 赵子彦²

(1.江苏红峰电缆集团有限公司, 江苏 宜兴 214251; 2.战略支援部队, 江苏 南京 210000)

摘要: 常规通信电缆敷设优化方法主要依托于改进蚁群算法, 该方法易受到相关约束规则下单值性条件的影响, 导致电缆敷设方案对应的载流量较小。为此, 文章提出基于遗传算法的通信电缆敷设优化方法研究。利用有限元法和傅里叶变换原理计算电缆温度场, 通过分析导体热平衡原理求取相关约束规则下的单值性条件, 并结合温度场值建立电缆敷设模型, 引入遗传算法, 求解模型, 获得最优敷设方案。对比实验结果表明, 所提电缆敷设优化方法的载流量更大, 其最低值达到了 2605A, 具备了更高的应用价值。

关键词: 遗传算法; 通信电缆; 电缆敷设; 优化方法

中图分类号: TM621.7

文献标识码: A

文章编号: 2096-9759(2023)06-0078-03

0 引言

在通信电缆^[1]敷设工程中, 电缆的敷设方式对通信效率起到至关重要的作用, 电缆敷设经济合理性原则要求电缆的敷设路径要求最短、电缆载流量最大, 但是现阶段的电缆敷设效果较差, 导致电缆载流量较小。针对该问, 许多学者进行了研究。文献[2]通过利用基于三维数字化技术对电缆敷设起点到终点进行单源路径扩展, 以最短路径为优化目标, 采用临时标号的方式, 求得电缆敷设最优方案; 文献[3]利用 GIM 模块化方法进行电缆敷设优化方法的研究, 采用三维协同技术设计电缆模型, 在搜索敷设规划路径中形成连通格栅化的固定布线路径, 实现电缆管道敷设。但以上两种方法在敷设路径最小时电缆载流量较小。为了解决上述方法存在的问题, 本文主要针对通信电缆敷设优化方法进行设计, 并

使用遗传算法解决电缆敷设问题, 求解在相关规则约束下的最优敷设方案。

1 通信电缆敷设优化方法设计

1.1 通信电缆温度场的计算

研究电缆敷设方案进行优化方法时^[4], 首先需要确定地下通信电缆^[5]温度场值。在计算过程中, 采用有限元法计算通信电缆温度场。利用有限元法对电缆温度场进行求取时, 需要设立电缆导热微分方程和单值条件。依据傅里叶变换原理, 可得到电缆敷设区域中含有同性质热源的导热微分方程为:

$$r \frac{\partial t}{\partial r} = \nabla g (\lambda d_2) + d_3 \quad (1)$$

上式中, r 表示电缆直径; ∇g 表示导温系数; $\frac{\partial t}{\partial r}$ 表示微分偏

收稿日期: 2023-01-13

作者简介: 杨宝金 (1969-) 男, EMBA, 高级电气工程师, 副总兼技术总监, 研究方向: 电线电缆制造与研发领域; 赵子彦 (1991-), 男, 江西南昌人, 本科学历, 助理工程师, 研究方向: 有线通信 (光端、线路及应用管理)。

一致, 综合上述情况说明本文方法更加有效。

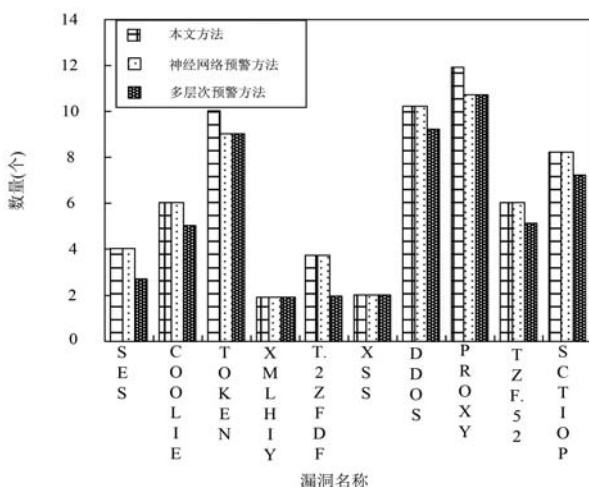


图 3 不同方法下安全漏洞识别结果

5 结语

本次设计方法根据无线通信网络的架构形式, 以漏洞形成的机制提出一种智能预警方法, 在改进支持向量机的作用下对漏洞进行简单防御, 并在实验论证的基础上证明其实用

性, 取得的成果对无线网络的安全运行具有重要参考价值。但由于此次研究时间有限, 在整个分析过程中仍存在少许不足之处, 如对不同的漏洞预警没有进行数据的完整性保护, 在产生攻击时可能会存在原始数据与攻击代码相融合的可能性, 后续研究中针对中间攻击代码进行进一步的研究, 为相关漏洞检查和预警提供相关依据。

参考文献:

- [1] 袁磊, 蒋刚, 郝兴安, 等. 基于 NARMAX 模型的阀控非对称缸神经网络预测控制[J]. 液压与气动, 2023, 47(01): 86-93.
- [2] 张成虎, 李鹏旭, 王琪. 网络金融犯罪预警系统研究——基于区块链和边缘计算[J]. 情报杂志, 2023, 42(01): 59-65.
- [3] 周杰, 周润云, 郭栋. 基于 CNN-PSO 的电力供应链安全风险预警系统[J]. 自动化与仪器仪表, 2022(12): 190-195.
- [4] 于烨, 吴佳静, 马国武, 等. 基于鲸鱼算法改进支持向量机的信息网络安全态势预测研究[J]. 微型电脑应用, 2022, 38(12): 107-110.
- [5] 陈庆超, 韩松, 毛钧毅. 采用多层次特征融合 SPP-net 的暂态稳定多任务预测[J]. 控制与决策, 2022, 37(05): 1279-1288.
- [6] 赵巍, 张智森, 肖佳康, 等. 基于人工智能的 5G 通信网络运维规划方法[J]. 长江信息通信, 2022, 35(03): 219-222.

导; λ 表示热平衡因子; d_2 表示电缆表面到土壤表面的垂直距离; d_3 表示电缆的埋设深度。

将电缆敷设模型视为二维模型,其热传导微分方程可表示为:

$$\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} + q_v = 0 \quad (2)$$

上式中, T 表示电缆点 (x,y) 处的温度; q_v 表示体积发热率。

热传导微分方程描述了通信电缆热传导问题的普遍性,然而,为了获得热传导问题的确定解,即温度场,需要给出单个问题的个体性,即单值条件^[6]。在该过程中,首先土壤边界处于绝热状态,符合第一类边界条件,具体计算公式如下:

$$g(x,y,t)r \frac{\partial t}{\partial \tau} = q_2 \quad (3)$$

上式中, $g(x,y,t)$ 表示已知热流密度函数; $r \frac{\partial t}{\partial \tau}$ 表示导热微分方程; q_2 表示已知热流密度,通常为常数。

土壤区域左右边界的大小可根据以下公式计算:

$$R = q_2 \sum \frac{\Delta T}{Q} \quad (4)$$

上式中, Q 表示敷设空间面积; R 表示电缆直流电阻; ΔT 表示温度变化率。

则变分后的导热微分方程可表示为:

$$r \frac{\partial t}{\partial \tau} = \iint (kq_v - W_i \omega R) dt dv \quad (5)$$

上式中, k 表示温度刚度矩阵; q_v 表示体积发热率; W_i 表示加权函数, ω 表示变换系数。

有限单元法计算的最终结果是要求出电缆区域温度场的分布,因此,需要求解离散到各节点上的温度并合成总体,表示为:

$$[k] = [\theta][P] \quad (6)$$

上式中, $[k]$ 表示电缆敷设区域的温度刚度矩阵; $[\theta]$ 表示旋转矩阵; $[P]$ 表示等效因子矩阵。

上式即为分散到各点的温度场的合并温度场,通过以上计算可以获得电缆区域内各点的温度值,该温度值为通信电缆敷设模型的建立奠定基础。

1.2 通信电缆敷设模型的建立

通过分析并求取地下通信电缆温度场后,结合无向图的遍历法对电缆的敷设路径方法进行研究,构建电缆敷设模型。在本文研究的电缆敷设问题中除了要使总敷设长度尽量短,还要充分考虑载流量和敷设限制条件,因此,本文以电缆敷设路径最短、载流量最大和敷设种类限制最少为总体目标,建立通信电缆敷设优化模型^[7]。

(1)敷设路径最短。若当前存在待敷设的通信电缆共有 n 条,其中第 i 条电缆起讫点距离为 L_i ,则敷设路径最短目标模型可表示为:

$$L_{\min} = \sum_{i=1}^n L_i \quad (7)$$

上式中, $[k]$ 表示温度刚度矩阵。

(2)载流量最大。当电缆处于稳定运行状态时,载流量越大,表明敷设方案越佳。通信电缆最优载流量敷设无向图如图1所示。

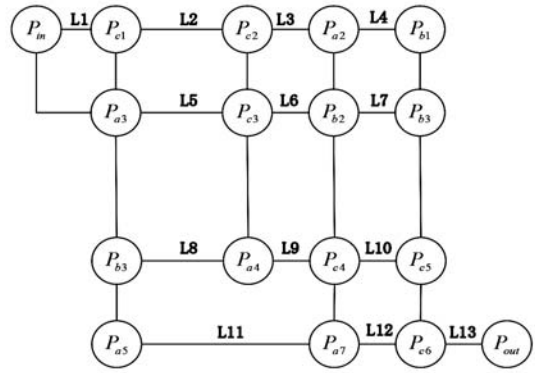


图1 通信电缆最优载流量敷设无向图

图1中, P_{ai} 表示普通分支点; P_{bi} 表示敷设方式变更点; P_{ci} 表示敷设方式变更分支点。

基于电缆温度场,利用二分值法即可求得最大载流量。则最大载流量的数学模型为:

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{\Delta\theta - W_d [n'(T_1 + T_2 + T_3 + T_4)]}{R + \lambda_1 n' + \lambda_2 [k]}} \quad (8)$$

上式中, $\Delta\theta$ 表示电缆导热变化率, (K) ; I 表示电缆横截面的额定电流, (A) ; R 表示电缆在标准温度下平稳运行时的平均直流电阻, (Ω/m) ; W_d 表示绝缘层的热辐射系数, (W/m) ; T_1 表示电缆内芯单位长度的平均热阻, (Km/W) ; T_2 表示由于损耗导致的导线温度差, (K) ; T_3 表示电缆运行负荷能力,无量纲; T_4 表示热对流因子,为常数,无量纲; n' 表示电导率, (S/M) ; λ_1 表示单位长度导体的交流电阻上限 (Ω) ; λ_2 表示煤质热阻。

(3)电缆敷设类型限制最少^[8]。将顶部的第一层支撑定义为最高级别,将底部的最后一层支撑定义最低级别,将沟槽第二段中通信电缆支架的最低层设置为 M_1 ,如果没有控制电缆,则值为0;第 i 段沟槽中控制电缆支架的最高层为 M_2 ,若不存在控制电缆,则 (i, M_2) 的值为无穷大 ∞ ,则二者需满足以下关系:

$$M_{\min} = \sum M_1 M_2 \ln \frac{d}{E \varphi_p} \quad (9)$$

上式中, d 表示护套与芯线的距离; E 表示金属导体散发的总热量; φ_p 表示惩罚因子。根据以上分析,建立电缆敷设总路线最短、载流量最大、敷设类型限制最少的多目标规划模型:

$$F = L_{\min} + I_{\max} + M_{\min} \quad (10)$$

通过分析不同电缆敷设方案的敷设路径、载流量及敷设类型,构建以上三个目标为总体目标的敷设模型,在完成敷设模型构建后,需要求解模型,在求解过程中,将多目标问题转化为度约束初始化布置问题,引入遗传算法,从而优化通信电缆敷设方案,进而得到最佳敷设方案。

1.3 基于遗传算法的电缆敷设模型求解

本文建立的电缆敷设优化模型为难以直接求出结果的多目标规划模型,因此,对于求得的最优解,为扩大解集的搜索空间范围及算法收敛速度,在完成通信电缆敷设模型构建后,引入遗传算法求解模型。运用遗传算法进行最优电缆敷设方案的求解过程如下。

步骤一:初始群体的构建是为了确定每根电缆的初始敷设顺序并对其进行编码,使用整数编码方法。将要敷设的电缆编号为 $(1, 2, \dots, n)$,则 $(1, 2, \dots, n)$ 的一个随机排列组合就是一条染色体。

步骤二:适合度计算。适应度函数表示染色体进化的质

量。适应度值越高,表明个体的适应能力越强。利用下式计算染色体的适应值:

$$Fit_i = \max(v_1, v_2, \dots, v_n) - v_i \quad (11)$$

其中, Fit_i 表示第 i 条染色体的适应度; v_i 表示选择第 i 条敷设路径后的敷设成本。

步骤三:设置约束条件。计算节点 j 上个体的适应度值是否小于适应度平均值,若是,则个体继续向下一个节点移动,并将该节点划分到路径矩阵中;若不是,则重新构建初始种群。

步骤四:选择与交叉操作。设定一个选择概率值,范围通常为 0.02~0.06,以该概率为参考在初始种群中选取符合条件的染色体构成新的种群。将染色体分为两组。每组染色体随机确定在起始位置交叉交叉后同一条染色体中会有重复的索号。因此,应使用交叉段的对应关系进行映射,交换染色体位置,计算染色体 m 的路径长度 $L_m(m=1, 2, \dots, m)$,若当前迭代结果满足约束条件,则将此路径与上一路径进行交换,判断是否能得到更小的路径。

步骤五:变异操作。本文中的变异操作方法是在同一染色体上随机选择两个点,并更新这两个点对应位置的数量。

步骤六:概率路径选择。将所有染色体均匀地放置在需要敷设的终端节点上,当每个终端节点的染色体离开时,将根据每条路径选择过程中的转移概率进行路径选择,并逐层进行路径选择直到到达电缆敷设的起点。在搜索过程中,染色体经过的节点将连续存储在路径矩阵中,最终存储在路径阵列中的点将构成铺设路径,如果该路径效果低于之前更好路径,则该路径不是最佳路径,开始下一次搜索,并在多次循环搜索后,最终获得优化的通信电缆敷设路径。

2 实验论证分析

2.1 实验准备

为验证本文设计方法的可靠性和应用性能,设置对比分析实验,测试本文方法的性能。实验选取实际住宅小区的通信电缆为研究背景,对电缆敷设方案进行优化。该住宅小区的主要干道上要进行电缆敷设,其主要敷设参数如下:电缆进出线的总回路为 12 回,电缆电压等级为 220 kV。要求在兼顾以上指标(可靠性、经济性、检测性)的基础上,拟定最佳敷设方案。电缆敷设截面模型如图 2 所示。

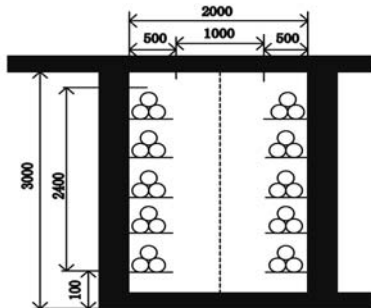


图 2 220kV 电缆敷设截面图

为了模拟电缆敷设的场景,将图 5 中虚线左侧的节点区域设置为电缆变电站的入口区域,将右侧设置为电缆敷设的终端区域。设定三条电缆线路允许通过的最大电流分别为 680A、530A 和 620A。实验中对遗传算法相关参数的初始化值的设定如下:初始种群中染色体总数量 $M=50$,利用整数制对其编码;能见度影响因子 $\alpha=0.1$;最大进化代数 $T=500$;常数 $Q=1$ 。

2.2 实验结果分析

本文采用文献[2]基于三维数字化技术的电缆敷设方法(方法 1)、文献[3]基于 GIM 模块化的电缆管道敷设路径优化(方

法 2)与本文设计的基于遗传算法的电缆敷设优化方法对该变电站进行电缆敷设方案寻优进行测试实验,对比不同方法对应敷设方案的电缆最大载流量,得出结果如图 3 所示。

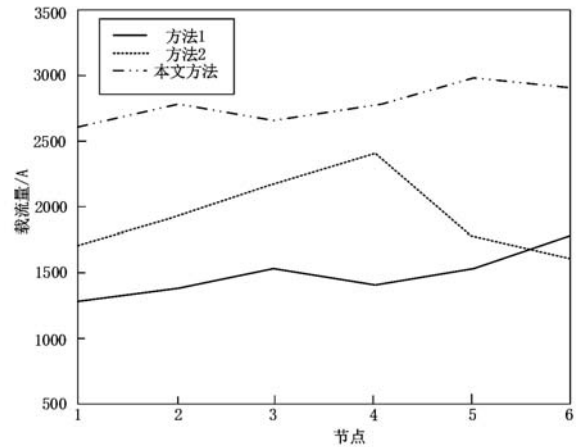


图 3 不同敷设方案载流量结果对比

通过图 3 可知,本文设计的基于遗传算法的电缆敷设优化方法在计算电缆敷设过程中会以载流量最大为目标构建优化模型,增大电缆敷设区段的复用率,由此提高电缆载流量,其载流量最低值达到了 2605A,最高值到达了 3086A。而方法 1 与方法 2 在建模过程中忽略了路径敷设效率,因此载流量还有待提高,这两个方法的最高载流量仅为 2457A 和 1698A。实验结果表明,本文电缆敷设方式在一定程度上优化敷设线路的载流能力,在保证电缆敷设路径前提下提高电缆载流容量。

3 结语

为了提高通信电缆敷设效果,即电缆敷设最小路径,载流量更大,本文提出了基于遗传算法的通信电缆敷设方法的优化思路。该方法在分计算电缆温度场的基础上,构建了通信电缆敷设模型,引入遗传算法和求解模型,优化电缆敷设方法,实现通信电缆敷设方法优化设计。结合实例测试所提优化方法的可行性,该方法相比于常规通信电缆敷设方法,设计的方法能够在敷设路径最优的条件下,提高电缆的载流量,最低载流量达到了 2605A,实现了载流量的提高。

参考文献:

- [1] 桑磊.通信工程中有线传输技术的运用[J].长江信息通信,2020(11):170-172.
- [2] 沙少川,温杰.基于三维数字化技术的光电缆敷设的方法探讨[J].电子测试,2021(20):119-121.
- [3] 俞辰颖,方瑜,蔡勇.基于GIM模块化变电站电缆管道敷设路径优化[J].粘接,2021,48(11):106-109.
- [4] 凌志勇,张翼,李圣清等.基于改进迪杰斯特拉算法的变电站二次电缆路径优化设计[J].湖南电力,2021,41(04):34-37.
- [5] 周子龙,李铁英,阎立军.基于计算机三维建模理论的户内变电站电缆敷设技术研究[J].微型电脑应用,2020,36(04):97-100.
- [6] 王衍.电力电缆在建筑中的敷设优化研究[J].内蒙古科技与经济,2021(16):91-92.
- [7] 曹云强,杜王毅.利用开关柜二次仪表室的新型二次电缆敷设方法[J].电工技术,2022(16):183-185.
- [8] 张建国.大型住宅小区供配电电缆的敷设设计优化[J].农村电工,2020,28(09):40-41.