



董平先<sup>1</sup> 郭放<sup>1</sup> 陈晨<sup>1</sup> 宋晓帆<sup>1</sup> 王辉<sup>1</sup>  
白萍萍<sup>1</sup> 齐桓若<sup>1</sup> 钱翌明<sup>2</sup> 张浩杰<sup>2</sup> 韩云昊<sup>2</sup>

## 基于优化蚁群算法的电缆敷设路径规划

### 摘要

针对基于传统手工设计的电缆敷设存在误差大和效率低等问题,将蚁群算法优化的计算机辅助设计应用到电缆敷设路径规划中.利用蚁群算法在复杂线路中多端点的线路计算优势,解决电缆敷设的最短路径问题.同时,本文将电缆敷设路径平面化,进一步利用 Gompertz 函数从信息素限定和挥发因子自适应调整两方面进行优化,提高了蚁群算法的收敛速度和全局性.仿真实验表明,优化的蚁群算法在变电站数字化三维电缆敷设过程能够快速得出最短电缆敷设路径,节省人力物资成本,提高了设计精度.

### 关键词

蚁群算法; 电缆敷设; 信息素; 挥发因子; 收敛速度

中图分类号 TM757; TP18

文献标志码 A

收稿日期 2022-01-04

资助项目 国家自然科学基金(61873159)

### 作者简介

董平先,女,高级工程师,研究方向为电力系统及其自动化.1224231819@qq.com

韩云昊(通信作者),男,博士,副教授,研究方向为电力系统及其自动化.yunhaoh@126.com

1 国网河南省电力公司 经济技术研究院,郑州,450002

2 上海电力大学 电气工程学院,上海,200090

### 0 引言

为了适应我国经济的快速发展和人们对电力日益增长的需求,电力企业需要加大电网建设的规模和速度.其中电缆敷设是电厂工程建设的关键基础环节和最复杂部分之一<sup>[1]</sup>.以往传统人工设计方案是基于二维设计图纸或者 Auto CAD 等软件进行电缆敷设以及现场电缆长度计算,但由于人工统计电缆的用量和计算汇总电缆的长度会产生很大的误差和浪费,很难适应现代工程需要.随着电缆敷设数量逐年增多以及电缆敷设方式的多样化需求,如何实现节省成本和高效敷设的统一成为当下需要重点解决的问题<sup>[2]</sup>.

基于上述问题,考虑将计算机的三维数字化辅助设计技术应用于电缆敷设设计工作<sup>[3]</sup>.电缆敷设系统的核心是计算电缆路径的算法<sup>[4-6]</sup>,比较常用的有 Dijkstra 算法<sup>[7]</sup>、粒子群算法<sup>[8]</sup>和动态规划算法等.从传统算法到启发式智能算法在电缆敷设中的应用,有利于精确高效地规划电缆敷设路径.文献[9]提出通道容量限制、减少转弯数量等方面改进的 Dijkstra 算法,应用于抽水蓄能电站的电缆敷设中,降低了运算耗时.文献[10]将 A-Star 算法运用于电缆最短路径敷设中,在减轻设计人员工作量的同时提高了经济效益.文献[11]将分层序列法的思想运用于电缆敷设模型中,采用遗传算法和 Dijkstra 算法相结合求解了电缆敷设最短路径,但该算法只能求解两设备之间的路径,并且不能考虑多设备节点间的电缆敷设.文献[12]采用树状、网状搜索算法,精确地计算了电缆的路径和长度,但是该算法结构简单,不适用于较大规模的复杂电网.

本文针对传统蚁群算法应用于电缆敷设设计存在局部最优和收敛速度慢等问题,对算法进行优化,将其信息素限定在一定范围内,避免算法前期舍弃较差路径.同时将其挥发因子随着 Gompertz 增长函数自适应调整,提高算法收敛速度.优化后的蚁群算法应用在电缆敷设时,能够以更短的时间得到最短电缆敷设长度,并且提高算法迭代过程中的正确率,减缓算法运行过程中的停顿现象,提高电缆敷设效率和质量.

### 1 电缆敷设

为适应电网发展和传输容量的需求,越来越多的电缆和高电压电缆投入使用.在电缆敷设过程中,需要将大小不一的电缆按敷设规

则放置在支架上,如图 1 所示,圆圈代表直径不同、类型不同的电缆,支架各层所需的实际电缆情况有所不同。

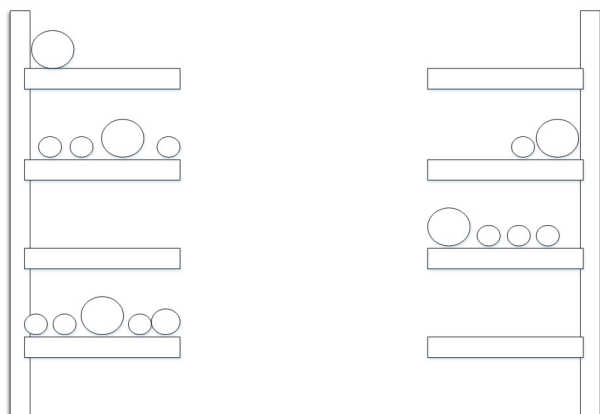


图 1 电缆支架图  
Fig. 1 Cable support diagram

电缆是信息与电流传输的载体,具有严格的内部结构.如图 2 所示,电缆由绝缘层、保护层和线芯等组成,线芯是电缆的导电部分,绝缘层将线芯与大地以及不同相的线芯间在电气上彼此隔离。

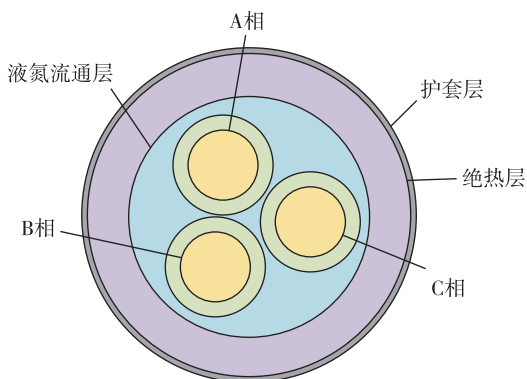


图 2 电缆截面图  
Fig. 2 Cable section diagram

电缆敷设有沿勘测线路布放、安装电缆以形成电缆线路的过程,事先需要安装好桥架、电缆沟等辅助配套设施,有排管敷设、直埋敷设、垂直敷设等多种敷设方式.电缆有多种类型,比如中压电缆、低压电缆和控制电缆.电气工程可能需要多种类型的电缆,但值得注意的是,在一个通道里只能敷设同一种类型的电缆,而且要考虑通道的容积率,保留足够范围的裕度,以便后续的检修工作<sup>[13]</sup>.电缆敷设的核心要求是电缆敷设路径符合工程设计需求且长度最短,为此需要引入电缆敷设的核心算法。

电缆敷设是一项复杂的工程(图 3),敷设开始

前需要进行绝缘电阻和耐压等多种试验,敷设过程中要考虑周围环境及电缆长度等因数,敷设完成以后要挂标识牌并完成其他检查验收任务。

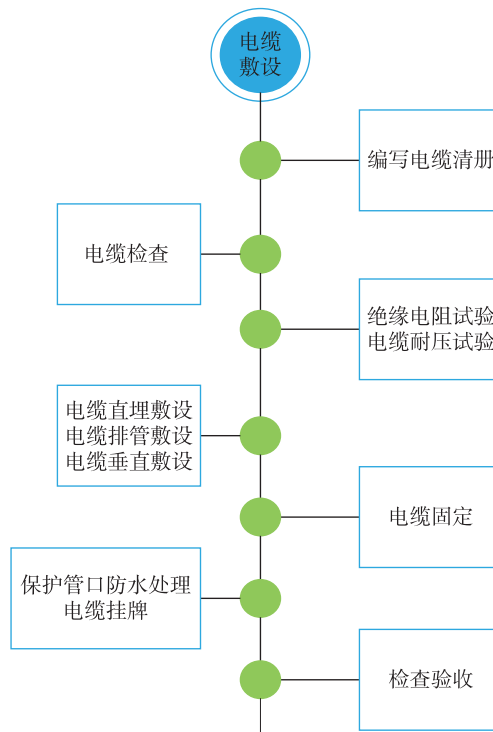


图 3 电缆敷设流程  
Fig. 3 Cable laying flow chart

## 2 蚁群算法

### 2.1 蚁群算法原理

蚁群算法(Ant Colony Algorithm, ACA)是一种仿生智能算法,具有分布式计算、信息正反馈和鲁棒性强等特征,并且能与其他算法相融合<sup>[14]</sup>.研究发现,蚂蚁在路径上会释放一种叫作信息素的生物荷尔蒙,而且会保留一段时间并不断挥发,蚂蚁能够感知到这种荷尔蒙,并且会有更高的概率选择信息素浓度较高的路径.路径较长的信息素挥发得相对较多,路径较短的挥发得相对较少.下一只蚂蚁有更高的概率选择信息素较浓的路径,如此反复,较短的路径上走过的蚂蚁越来越多,得到了最优路径<sup>[15-18]</sup>,如图 4 所示。

从  $N$  点到  $M$  点共有 4 条路径  $NBAM$ 、 $NBM$ 、 $NCBAM$ 、 $NCBM$ ,第 1 只蚂蚁随机选择了  $NBAM$  路径到达  $M$  点,随着外出觅食的蚂蚁的数量增多,4 条路径上均有蚂蚁经过并留下会随着时间挥发的信息素.随着信息素的挥发和增加,最短路径  $NBM$  上的信息素越来越多,同时越来越多的蚂蚁选择了这条路径,最终所有蚂蚁都找到了最短路径。

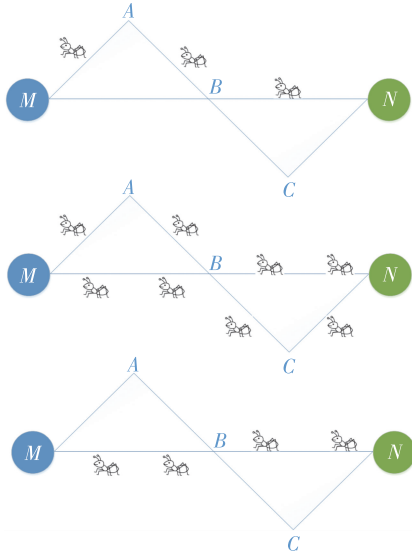


图4 蚁群算法的生物模型

Fig. 4 Biological model of ant colony algorithm

## 2.2 基本蚁群算法的数学模型

在蚁群算法的数学模型中,先有如下假设:1)所有蚂蚁的觅食速度一致;2)在觅食过程中,所有蚂蚁相同时间内释放的信息素一致<sup>[19]</sup>.

在蚁群系统中,一般用  $N$  表示觅食过程中蚂蚁从起点到终点过程中存在的所有节点  $C = \{1, 2, 3, \dots, n\}$  的个数,用  $M$  表示整个系统中蚂蚁的总个数.当一个蚂蚁处于节点  $i$  处,下一步移动到节点  $j$  的可能性用转移概率表示:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{s \in \text{allowed}_k} [\tau_{is}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{is}(t)]^\beta}, & j \in \text{allowed}_k, \\ 0, & j \notin \text{allowed}_k, \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $p_{ij}^k(t)$  表示在  $t$  时刻,蚂蚁从节点  $i$  转移到节点  $j$  的概率;  $\text{allowed}_k$  表示除了第  $k$  只蚂蚁已经走过的节点的其他所有节点的集合;  $\alpha$  表示信息素影响因子,反映蚂蚁运动过程中路径上积累的信息素的量在指导蚁群搜索中的相对重要程度;  $\beta$  表示能见度影响因子,反映启发式信息在指导蚂蚁搜索中的相对重要程度;  $\tau_{ij}(t)$  则表示节点  $i$  与节点  $j$  之间的信息素浓度,会随着时间挥发并更新;  $\eta_{ij}(t)$  是能见度值,指蚂蚁的可视范围,即处在节点  $i$  上的蚂蚁,对下一个节点  $j$  的可视程度:

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}, \quad (2)$$

其中,  $d_{ij}$  表示的是节点  $i$  和节点  $j$  之间的距离,  $d_{ij}$  越

小,能见度值  $\eta_{ij}$  就越大,所以转移概率  $p_{ij}^k(t)$  越大,即第  $k$  只蚂蚁在节点  $i$  处选择节点  $j$  的可能性越大.

蚂蚁会在路径上留下信息素并不断挥发,后行的蚂蚁路过同条路径时,也会留下信息素并不断挥发,所以  $\tau_{ij}(t)$  会随着时间改变,式(3)是其更新表达式:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \sum_{m=1}^N \Delta\tau_{ij}^m(t), \quad (3)$$

其中,  $\rho$  是信息素挥发因子,表示蚂蚁在节点  $i$  和  $j$  之间所遗留信息的衰减程度,其值越大,表示前行蚂蚁遗留信息对后行蚂蚁的影响越小,反之,则越大.  $\rho$  的取值一般为 0 与 1 之间的常数,  $1-\rho$  表示残留下信息素.  $\rho$  的引入主要为了避免在一些较差的路径信息素挥发不了,影响后行蚂蚁路径的寻优.  $\Delta\tau_{ij}^m(t)$  表示第  $m$  只蚂蚁迭代过程中在节点  $i$  和节点  $j$  之间留下的信息素,有 3 种更新方式,对应 3 种模型:蚁周模型 (Ant-Cycle)、蚁量模型 (Ant-Quantity) 和蚁密模型 (Ant-Density). 一般选用蚁周模型,其表达式为

$$\Delta\tau_{ij}^m(t) = \begin{cases} \frac{Q}{L_m}, & \text{第 } m \text{ 只蚂蚁从节点 } i \text{ 到节点 } j, \\ 0, & \text{其他,} \end{cases} \quad (4)$$

其中:  $Q$  是信息素增强系数,表示信息素对信息素更新的影响程度,是一个常数;  $L_m$  是指第  $m$  只蚂蚁在当前迭代过程中走过的所有路径的长度.

## 3 基于优化蚁群算法的电缆敷设

### 3.1 电缆敷设问题建模

为了将蚁群算法应用于电缆敷设中,需对变电站电缆通道抽象化处理.将屏柜、配电装置等电缆连接的设备以及缆道连接交叉处等效成一个节点,两节点间的边代表缆道,边权代表缆道的长度.两个节点的距离有两种:欧式距离和曼哈顿距离<sup>[5]</sup>.假设有  $P_1 = (x_1, y_1, z_1)$  和  $P_2 = (x_2, y_2, z_2)$ ,欧式距离是指两个节点的实际距离:

$$D_1 = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}. \quad (5)$$

电缆是沿着缆道敷设的,并不一定是两个点之间的实际距离,而是曼哈顿距离.曼哈顿距离是指两个节点在  $xyz$  轴上的绝对值距离之和:

$$D_2 = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| + |z_1 - z_2|. \quad (6)$$

### 3.2 优化蚁群算法

电缆敷设问题也是一种路径寻优问题<sup>[6]</sup>,将传统蚁群算法应用于电缆敷设中,会存在一定的缺陷:传统蚁群算法初始信息素相同,选择下一节点的概

率随机,需要长时间形成正反馈,导致收敛速度慢;如果初始信息素更新时,正反馈于次优解,容易出现早熟收敛的现象,陷入局部最优.为此本文对传统蚁群算法优化处理<sup>[15-16]</sup>.

### 3.2.1 信息素限定

蚂蚁在路径选择过程中,会优先选择几条较好的路径,如果剩下的路径长时间没有蚂蚁路过并且信息素已经挥发完,会导致算法陷入停滞现象.本文在算法中引入  $\tau_{max}$  和  $\tau_{min}$  两个信息素界限:

$$\tau_{min} \leq \tau \leq \tau_{max}, \quad (7)$$

将算法每次迭代过程中的信息素限定在该范围内,可以改善停滞现象,

### 3.2.2 挥发因子自适应调整

信息素是传统蚁群算法的核心,挥发因子  $\rho$  的大小对信息素起着关键作用.信息素挥发因子过小时,前期信息素浓度差别不大,蚂蚁对支路选择的可靠性降低,需要更长的时间选择出最优路径,算法收敛时间更长;当信息素挥发因子过大时,较复杂的路径上的信息素会逐渐挥发至 0,算法容易陷入局部最优.因此,引入 Gompertz 增长函数自适应调整挥发因子,如图 5 所示.

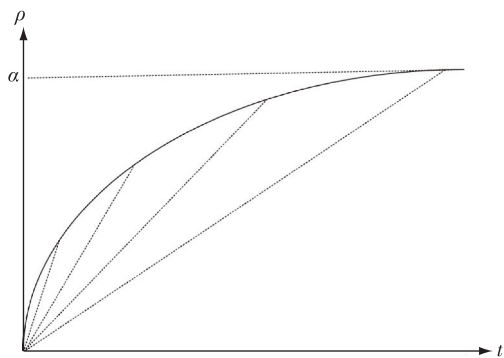


图 5 Gompertz 函数  
Fig. 5 Gompertz function

Gompertz 模型一般用于精算科学和细菌生长曲线建模,是一个递增函数,刚开始随着时间增加,  $\rho$  值增长速度快,到达某个时间点,增长速度就变慢,然后  $\rho$  值会逐渐趋近于某个极限值  $\alpha$ . Gompertz 函数:

$$\rho = \alpha e^{-e^{\beta-\gamma x}}, \quad (8)$$

该函数下限值是 0,上限值是  $\alpha$ .  $\beta$  是生长速度,  $\gamma$  是生长速率,两者都与函数因变量变化快慢有关.本文将 Gompertz 函数应用于挥发因子  $\rho$  自适应调整,将迭代次数  $t$  作为自变量.在算法前期,挥发因子小,对算法的引导能力弱,有利于全局搜索,提高算法准确性;随着迭代次数增加,挥发因子逐渐变大,算法的

收敛速度也随之增加.面对不同的环境,函数系数  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  可以自行设定,提高算法的灵活性.

### 3.2.3 优化蚁群算法实现

对电缆敷设问题,蚁群算法的求解<sup>[17-20]</sup>步骤如下:

- 1) 变电站设备、节点坐标等数据处理.
- 2) 参数初始化.对蚁群系统中蚂蚁个数  $M$ 、迭代总次数  $N$ 、信息素影响因子  $\alpha$ 、能见度影响因子  $\beta$  等参数设置具体值.
- 3) 将所有蚂蚁均匀放在路径寻优的初始设备上,并将初始节点记入路径表内.
- 4) 利用式(1)计算选择下一节点的概率,并用轮盘赌法选择下一节点,如果遇到死路,重新开始步骤 2),否则将下一节点记入路径表内.
- 5) 利用式(3)更新信息素,迭代次数  $N_c + 1$ .
- 6) 若迭代次数  $N_c < N$ ,跳转至步骤 2).
- 7) 输出最优路径解.

算法流程如图 6 所示.

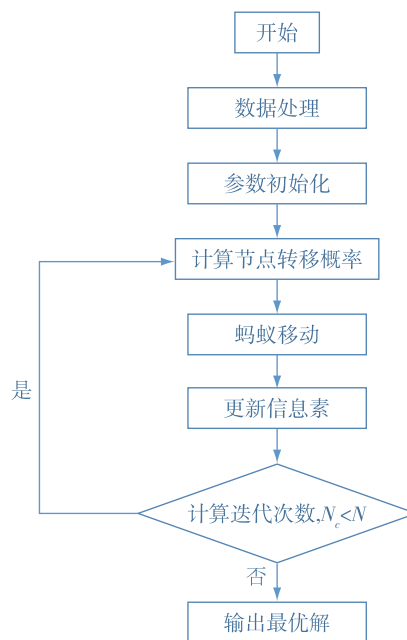


图 6 蚁群算法流程

Fig. 6 Flow chart of ant colony algorithm

## 4 算法仿真测试

为了验证优化后的蚁群算法在电缆敷设中的实效性,基于 Matlab 软件编写程序,将变电站的三维电缆路径图投影成二维图进行分析,再利用电缆缆道及节点坐标等数据,搭建如图 7 所示的电缆路径平面.其中,仿真参数设置如表 1 所示.



表 1 仿真参数

Table 1 Simulation parameters

算法参数	符号	值
信息素影响因子	$\alpha$	1
能见度影响因子	$\beta$	5
蚂蚁总数	$M$	50
迭代次数	$N$	100
信息素强度	$Q$	1
挥发系数最大值	$\rho_{max}$	0.6

考虑到电缆敷设路径选择的多样性和设备节点间的树状结构,借助优化蚁群算法在最优路径树选择方面的优势,进行设备间的路径择优.Floyd 算法

也可以用于电缆敷设路径寻优,求取最短路径,但它只能计算两个端点的路径长度,有其算法固有的局限性.相比于 Floyd 算法,优化蚁群算法更适合于复杂线路,不仅可以敷设两端点之间的电缆,还可以多端点敷设.

#### 4.1 路径寻优算例分析

在电缆路径平面图中,任意选择两个设备节点,比如设备 3 和设备 7.两个节点之间共有 3 条路径,优化蚁群算法得出的路线  $L_k = 117$ ,如图 8 所示.经验证,该路线符合最优路径原则,满足电缆敷设最初的要求.

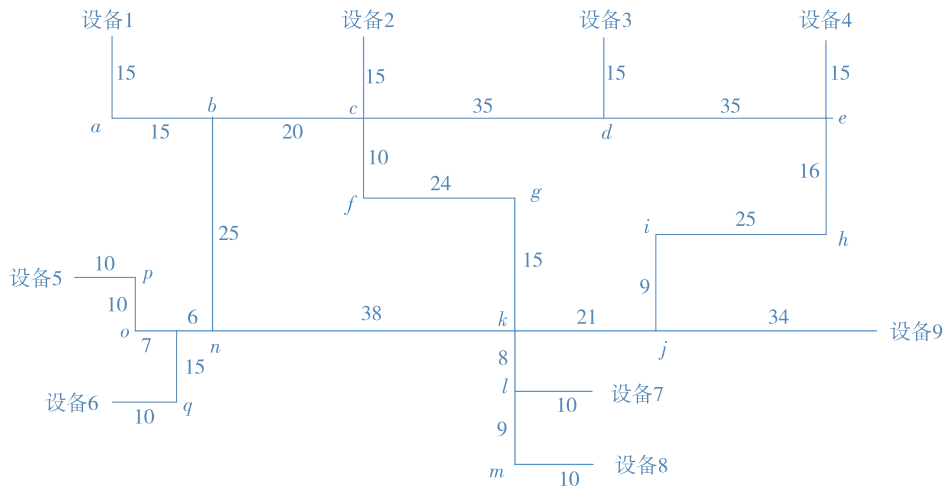


图 7 电缆路径平面

Fig. 7 Cable path planning

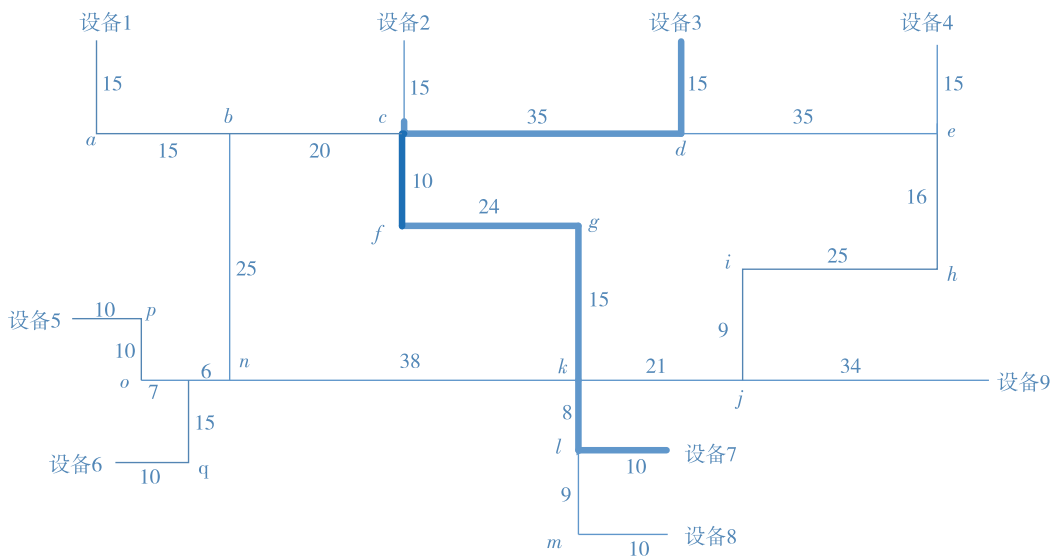


图 8 两设备电缆路径寻优平面

Fig. 8 Cable path optimization plan for two equipments

任意选择 3 个设备进行敷设,寻找其中的最短路径,如图 9 的设备 1、设备 3 和设备 7,一共有多种敷设路径,各条路径长短不一.优化蚁群算法得出的结果是  $L_k = 167$ ,经验证,符合最短路径需求.

任意选择 4 个设备进行敷设,寻找其中的最短路径,如图 10 的设备 1、设备 3、设备 7 和设备 9,一共有多种敷设路径,各条路径长短不一.优化蚁群算法得出的结果是  $L_k = 222$ ,经验证,符合最短路径需求.

### 4.2 算例对比分析

在电缆路径平面图的基础上,分别利用传统蚁

群算法和优化蚁群算法进行多次路径寻优程序运行.面对简单不复杂路径,传统蚁群算法可以得出实际情况下的最短路径,但运行在交叉线路较多等复杂情况下的路径时,会存在局部最优,甚至出现停滞现象.如表 2 所示,累计进行 30 次实验,传统蚁群算法的局部最优率为 16.67%,出现 4 次停滞现象;而优化后蚁群算法的局部最优率为 3.33%,只出现 1 次停滞现象.可见改进算法可以较大地优化程序运行,为电缆找出最短路径.

如图 11 所示,不考虑信息素浓度限制,分别利用优化前后蚁群算法运行 10、20、30、40 次,记录并

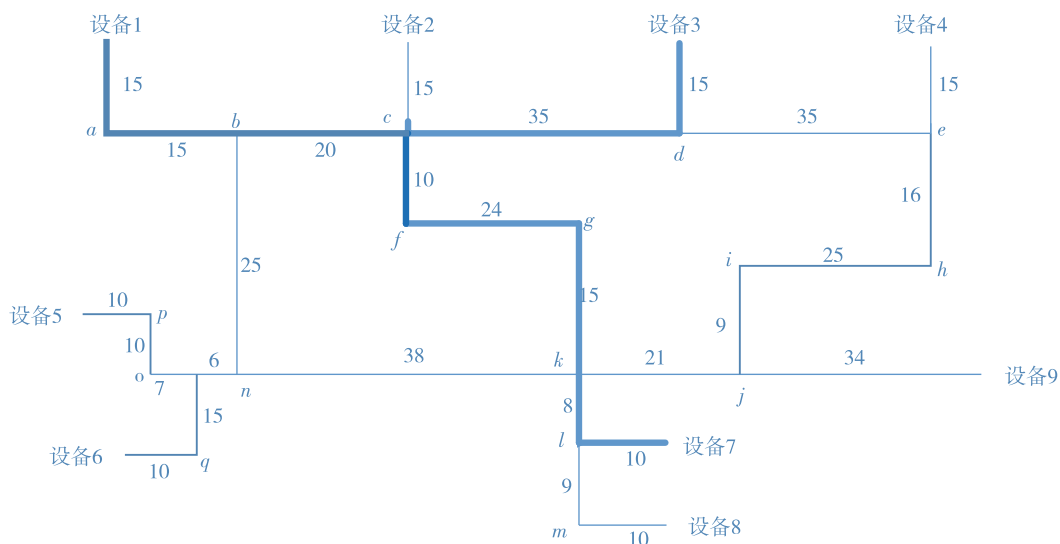


图 9 三设备电缆路径寻优平面

Fig. 9 Cable path optimization plan for three equipments

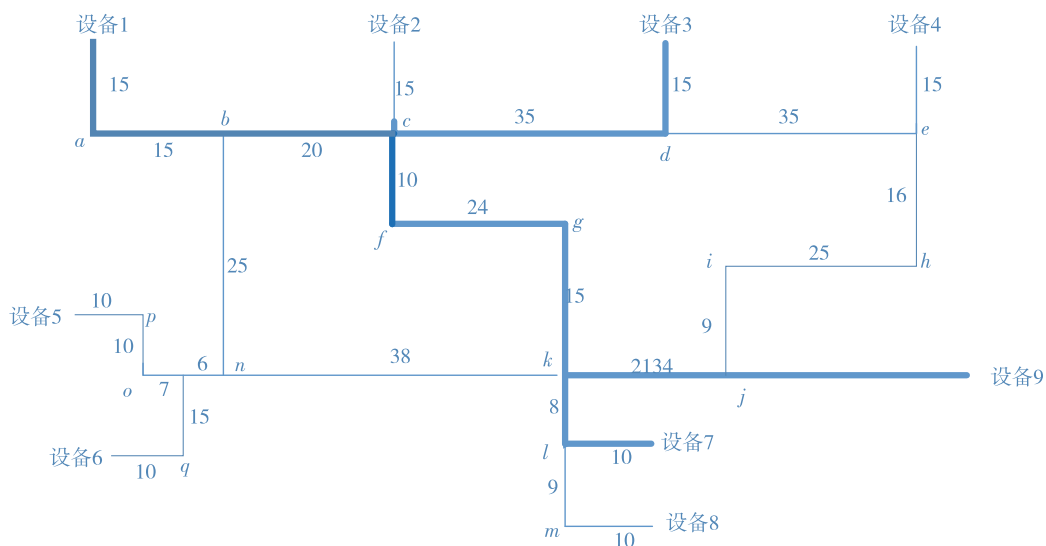


图 10 四设备电缆路径寻优平面

Fig. 10 Cable path optimization plan of four equipments

表 2 改进前后蚁群算法局部最优对比  
Table 2 Comparison of ACA's local optimization before and after improvement

实验次数	传统蚁群算法		改进蚁群算法	
	停滞次数	局部最优率/%	停滞次数	局部最优率/%
10	1	20	0	0
20	3	15	0	0
30	4	16.67	1	3.33
40	5	20	1	2.5

计算出多次运行总时间的平均值.传统蚁群算法运行 30 次所得时间平均值为 0.251 s,优化后的蚁群算法为 0.147 s.可以看出,相比于传统蚁群算法,加入 Gompertz 模型的优化蚁群算法迭代时间更短,收敛速度更快.

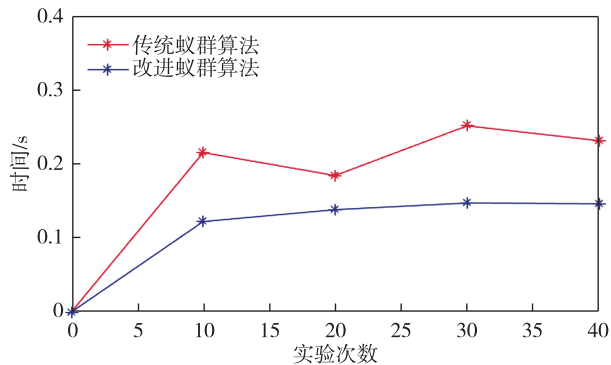


图 11 迭代时间对比

Fig. 11 Comparison of iteration time

## 5 结语

基于计算机的三维数字化辅助电缆敷设平台,将优化蚁群算法应用于电缆敷设设计中,精确地规划了电缆敷设路径.本文给出了电缆敷设的具体过程以及优化蚁群算法的数学模型,并且针对传统蚁群算法在电缆敷设应用中存在的问题,在信息素和挥发因子两方面对蚁群算法优化改进.实验表明优化后的蚁群算法可以实现全局最优,并且收敛速度更快,提高了电缆敷设的实效性.

## 参考文献

### References

[ 1 ] 胡秋野,杨世春,欧景茹.论环网柜在城市电网中的应用[J].高电压技术,2004,30(增刊1):8-9  
HU Qiuye, YANG Shichun, OU Jingru. Discussion on application of ring main in urban distribution system [J]. High Voltage Engineering, 2004, 30 (sup1) : 8-9  
[ 2 ] 徐俊.电力电缆施工、运行故障案例及分析[J].高电

压技术,2004,30(增刊1):89,93  
XU Jun. Analysis of cable fault in construction and operation [J]. High Voltage Engineering, 2004, 30 (sup1) : 89,93  
[ 3 ] 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  
SHA Shaochuan, WEN Jie. Discussion on the method of laying optical cable based on 3D digital technology [J]. Electronic Test, 2021 (20) : 119-121  
[ 4 ] 于洋,魏长江.优化蚁群算法在电缆敷设中的应用[J].青岛大学学报(自然科学版),2020,33(3):65-70,75  
YU Yang, WEI Changjiang. Application of ant colony optimization algorithm in cable laying [J]. Journal of Qingdao University (Natural Science Edition), 2020, 33 (3) : 65-70,75  
[ 5 ] 于洋.基于优化蚁群算法的PDMS电缆敷设设计路径方法研究[D].青岛:青岛大学,2020  
YU Yang. Research on PDMS cable laying design path method based on optimized ant colony algorithm [D]. Qingdao: Qingdao University, 2020  
[ 6 ] 鲍伟强.蚁群优化电缆敷设系统的研究[D].南宁:广西大学,2012  
BAO Weiqiang. Ant colony optimization for cable laying system [D]. Nanning: Guangxi University, 2012  
[ 7 ] 朱翰超,杜亚静,季节. Dijkstra 算法在电力电缆敷设优化研究中的应用[J].电气应用,2014,33(24):115-118  
ZHU Hanchao, DU Yajing, JI Jie. Application of Dijkstra algorithm in power cable laying optimization [J]. Electro-technical Application, 2014, 33 (24) : 115-118  
[ 8 ] 刘召朝,张丹,周琛,等.基于改进粒子群算法的多分支电缆自动布线技术[J].机械制造与自动化,2021,50(1):177-179  
LIU Zhaochao, ZHANG Dan, ZHOU Chen, et al. Automatic routing technology of multi-branch cable harness based on improved particle swarm optimization [J]. Machine Building & Automation, 2021, 50 (1) : 177-179  
[ 9 ] 黄祖光,朱安平,王凯,等.基于 Dijkstra 算法的电缆敷设系统设计与实现[J].电网与清洁能源,2020,36(6):105-110  
HUANG Zuguang, ZHU Anping, WANG Kai, et al. Design and implementation of cable laying system based on Dijkstra algorithm [J]. Advances of Power System & Hydroelectric Engineering, 2020, 36 (6) : 105-110  
[ 10 ] 李旭明.基于 A-Star 算法的三维电缆设计系统的设计与实现[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2018  
LI Xuming. The design and implementation of three-dimensional cable design system based on A-Star algorithm [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2018  
[ 11 ] 李治,韩丹,任兴龙,等.基于遗传算法和改进的 Dijkstra 算法的电缆敷设优化研究[J].数学的实践与认识,2016,46(17):160-167  
LI Zhi, HAN Dan, REN Xinglong, et al. Research of the optimization of cable laying with genetic algorithm and improved Dijkstra algorithm [J]. Mathematics in Practice and Theory, 2016, 46 (17) : 160-167

- [12] 罗建国,韦思亮.基于树状、网状搜索算法的电缆敷设设计与应用[J].热力发电,2013,42(3):103-105  
LUO Jianguo, WEI Siliang. Tree and mesh search algorithm based cable laying: design and application[J]. Thermal Power Generation, 2013, 42(3): 103-105
- [13] 何江涛,焦阳,叶笛,等.电缆不同敷设方式下温度场与载流量的仿真计算[J].电测与仪表,2016,53(3):99-104  
HE Jiangtao, JIAO Yang, YE Di, et al. Simulation and computation of temperature field and ampacity of conduit cable laying in different ways[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2016, 53(3): 99-104
- [14] 张徐亮,张晋斌.基于协同学习的蚁群电缆敷设系统[J].计算机工程与应用,2000,36(5):181-182  
ZHANG Xuliang, ZHANG Jinbin. Ant colony cable laying system based on cooperative learning[J]. Computer Engineering and Applications, 2000, 36(5): 181-182
- [15] 颜杰,秦飞舟,翟帅华.一种改进蚁群算法的移动机器人路径规划[J].软件导刊,2019,18(2):5-8  
YAN Jie, QIN Feizhou, ZHAI Shuaihua. An improved ant colony algorithm for mobile robot path planning[J]. Software Guide, 2019, 18(2): 5-8
- [16] 任红格,胡鸿长,史涛.基于改进蚁群算法的移动机器人动态路径规划[J].现代电子技术,2021,44(20):182-186  
REN Hongge, HU Hongchang, SHI Tao. Mobile robot dynamic path planning based on improved ant colony algorithm[J]. Modern Electronics Technique, 2021, 44(20): 182-186
- [17] Zhou J Z, Wang C, Li Y Z, et al. A multi-objective multi-population ant colony optimization for economic emission dispatch considering power system security[J]. Applied Mathematical Modelling, 2017, 45: 684-704
- [18] Birattari M, Pellegrini P, Dorigo M. On the invariance of ant colony optimization[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2007, 11(6): 732-742
- [19] Deneubourg J L, Aron S, Goss S, et al. The self-organizing exploratory pattern of the argentine ant[J]. Journal of Insect Behavior, 1990, 3(2): 159-168
- [20] 李奇才,舒远仲,洪宇轩.一种蚁群算法与自适应机制的路径规划算法优化[J].机械科学与技术,2022,41(7):1095-1101  
LI Qicai, SHU Yuanzhong, HONG Yuxuan. Optimization of path planning algorithm based on ant colony algorithm and adaptive mechanism[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2022, 41(7): 1095-1101

## Cable laying path planning based on optimized ant colony algorithm

DONG Pingxian<sup>1</sup> GUO Fang<sup>1</sup> CHEN Chen<sup>1</sup> SONG Xiaofan<sup>1</sup> WANG Hui<sup>1</sup>

BAI Pingping<sup>1</sup> QI Huanruo<sup>1</sup> QIAN Yiming<sup>2</sup> ZHANG Haojie<sup>2</sup> HAN Yunhao<sup>2</sup>

1 Economic and Technological Research Institute of State Grid Henan Electric Power Company, Zhengzhou 450002

2 School of Electric Power Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090

**Abstract** To address the large error and low efficiency of traditional manual design in cable laying task, the computer-aided design optimized by Ant Colony Algorithm (ACA) is applied to cable laying path planning. The shortest path for cable laying is solved via the ACA's multi terminal path calculation for complex path planning. Furthermore, the planarized cable laying path is optimized via Gompertz function in aspects of pheromone restriction and self-adaptive adjustment of volatilization factor, thus improves the ACA in both convergence speed and global performance. The simulation results show that the optimized ant colony algorithm can quickly obtain the shortest cable laying path in the task of substation digital 3D cable laying, which saves the cost of manpower and materials, and improves the design accuracy.

**Key words** ant colony algorithm (ACA); cable laying; pheromone; volatilization factor; convergence rate