

城市电力K最优抢修路径系统的研究与实现

城市电力系统发生故障后，调度人员需以最短的时间通过最优路径到达故障地点进行故障恢复。基于此，以改进的狄克斯特拉算法为基础，通过引入通行系数、路面等级、道路拥挤度和路面质量等阻碍因子，建立了K最优抢修路径的数学模型，同时以C#编程语言为基础，在.NET平台下利用ArcGIS Engine技术搭建了最优抢修路径系统，并实现了K最优路径的获取，结果更加合理和有效，为城市电力最优抢修路径的选择提供了科学的决策依据。

李园园¹ 李凤莲¹ 金 铨² 陈晓磊¹ / 1. 太原理工大学信息工程学院
2. 甘肃省张掖供电公司



李园园/硕士研究生

随着电力规模的不断扩大，人们对用电的需求和可靠性要求也随之提高。在电力系统发生故障后，为了保护人们的生命财产安全，调度员应以最短的时间到达故障位置进行故障抢修，使供电得以恢复。

电网故障最优抢修路径问题也属于城市交通网络最短路径问题。目前很多最优抢修路径的计算，如文献[1-2]，往往只计算了调度员位置到故障点间的路段长度，却较少考虑到达故障点的时间，所得出的路线根本不是最优路径，这就会严重影响故障的及时恢复，造成故障抢修效率低下，无法满足智能化、信息化电网对故障抢修的要求^[3]。因城市人口密集，道路复杂，考虑到未来的交通状况，为了防止交通出现一些变故，通常需要选择多条最优路径，也就是K最优路径问题。因此，通过求解K最优路径问题，可以很大程度上提高电力抢修的

效率，满足不同实际情况下对抢修路径的需求，使调度员能在最短时间通过最优路径到达现场，进行故障恢复，保证用户的正常用电。

本文根据目前抢修系统所存在的一些问题，通过引入城市道路的通行系数、路面等级、道路拥挤度和路面质量等阻碍因子，重新构建了最优路径的数学模型。采用改进狄克斯特拉(Dijkstra)算法实现了最优抢修路径系统的搭建，基于建立的K最优路径的数学模型，以C#语言为基础，在.NET平台下利用ArcGIS Engine技术实现了K最优电力故障抢修路径系统。以某城市道路为参考，通过实例分析验证，该系统给出的电力最优抢修路径更科学、更合理，其结果符合实际情况，具有很高的实用性。

K最优抢修路径原理

K最优路径问题不同于最短路径问题，它的目的是寻找起点和终点间的多个备选优化路径，形成最短路径组^[4]，以满足不同情况下电力抢修过程中对路径的选择需求。

目前，通常以Dijkstra算法为基础求解K最优路径问题，采用理论严密的去边方法，首先利用Dijkstra算法求出起始点和目标点间的最短路径，再依次把该路径一条边设为障碍，每条边的长度看作道路权值，然后分别用Dijkstra算法求出起点到目标点的最短距离，将所有路径按照道路权重值由小到大排序，得到最优路径组，而权值最小的则为最优路

关键词/Keywords

阻碍因子 ·
改进Dijkstra算法 ·
K最优抢修路径 ·
阻碍因子 ·

山西省自然科学基金(2012011014-1)，中国博士后基金(2013M530896)。

径。与单源最短路径问题相比，K最短路径问题在算法设计上更为复杂^[5]。

K最优抢修路径的建模研究

所谓电力抢修最优路径，是指电力系统在发生故障后，调度员能以最短时间到达故障位置，因此注重的是可达性和最短时间，而不是最短路程。也就是说，从起点到目标点的最短路径可能不止一条，要找到一条路径，且沿着该路径上的道路权值总和（或称为道路长度）最小。而道路权重和阻碍因子直接影响到选择最优路径的准确性和合理性，所以通过考虑与该模型相关的信息可以大大提高模型的准确度和实用性，所得的解更符合实际情况。

1. 基于改进Dijkstra算法的最优抢修路径数学模型的构建

Dijkstra算法是计算从一个起点到其余所有顶点的最短距离，所得路径长度按照递增次序而得出的最短路径算法。主要特点是以起点为中心向外层扩展，直至扩展到目标点结束。改进的Dijkstra算法所求解的最优抢修路径是指从调度站点到达具体故障点之间经过的权值最短路径^[7]，而道路综合权值一般由道路的实际长度决定，则最优抢修路径数学模型为

$$\begin{cases} d_s = 0 \\ d_j = \min_{i \in j(v_i, v_j) \in E} (d_i + R_{ij} w_j), j = 2, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

式中， v_i 和 v_j 为道路结点； d_s 为起点（或调度站点）； d_j 为道路结点 v_i 到结点 v_j 的最短路径； R_{ij} 为结点 v_i 到结点 v_j 的道路可通行系数； w_j 为第j段道路的道路综合权值。

2. 属性数据库的建立

由于城市道路复杂，不利于电力抢修的顺利进行。因此将城市道路网络实体抽象为网络图论理论中的网络图，然后在此模型基础上建立相应的属性数据库^[6]。通过属性数据库的建立，可以为最优路径模型的建立提供数据支持。本文根据道路实际情况共分为3层：调度站点图层、道路图层和结点图层，每个图层都有其对应的属性表结

构，因此，在其属性表结构文件中定义了调度站点、道路和结点信息，如表1、表2和表3所示。

表1 调度站点属性表

站点编号	站点名称	站点所在路段
ServiceNO	ServiceName	ServiceLocation

表2 路段结点属性表

结点编号	结点名称	结点行车方向
RoadNO	RoadName	RoadDir

表3 路段信息属性表

路段编号	路段名称	通行系数	路面等级	路拥挤度	路面质量	路段长度
PNO	PNa	PR	PD	PC	PZ	PL

3. 数学模型中的阻碍因子分析

(1) 通行系数

在很多实际情况中都会遇到由于各种原因引起的道路禁行，比如交通管制、修路等情况，严重影响了最优路径的选择。本文引入了路段通行系数R，当可以通行时 $R=1$ ，反之 $R=0$ 。

(2) 路面等级

城市道路可分为快速路、主干道、次干道和支路。路面等级不同（级别依次为1、2、3和4），其通过的时间也会不同，直接关系到通行效率。因此根据路面等级来划分通行效率，级别值越小表示通行效率越高。

(3) 道路拥挤度

当在某一时间段车流量加大而造成道路拥挤时，就会直接影响通行时间。本文将道路拥挤度分为通畅、一般和拥挤3个等级（级别依次为1、2和3），级别值越小，表示道路拥挤度越小，通行效率越高。

(4) 路面质量

不同的路面也影响着通行时间，本文将路面质量划分为优、中和差3个等级（级别依次为1、1.5和2），级别值越小，路面质量越好，通行效率越高。

(5) 道路综合权值计算

最优抢修路径选择的基本原则是要求通行全程路线的时间最短^[8]，但是最短路径往往不同于最优路径，因为它并不是所用时间最少的路线。根

据现有道路的复杂性，必须要考虑可能影响通行时间的阻碍因子，因此采用道路综合权值表示通过综合考虑阻碍因子和实际路段长度后获取的调和长度，可用于最优抢修路径的判断。

第*i*段道路综合权值 w_i 可表示为

$$w_i(t) = k_d k_y k_z l_{ti} + \sum_{j=1}^n l_{ji} \quad (2)$$

式中， k_d 、 k_y 和 k_z 分别为道路等级、道路在*t*时刻的拥挤度和路面质量等阻碍因子； l_{ti} 为第*i*段道路的实际长度； $\sum_{j=1}^n l_{ji}$ 为该路线中的局部权值之和。

K最优抢修路径求解

为了缩短到达故障现场的时间，适应不同的环境和交通道路状况，K最优路径的求解变得尤为重要。通过给出的多条最优路径，可满足不同情况下的需求，提高故障抢修效率。本文提出了一种K最优抢修路径的实现方法，具体实现方法如下。

1) 首先对矢量地图数据进行处理，使之成为由点和线构成的网络形式，建立属性数据库。

2) 构建城市道路网络模型 $G=(V,E,W)$ 。其中， V 是顶点集，将 V 分为 S 和 T 两个子集， S 存放标记结点， $T=V-S$ ； E 是边的集合； W 为路段上对应的道路综合权值。 $V=\{v_0, v_1, v_2, \dots, v_n\}$ ， $W=\{w_{0i}, w_{1i}, w_{2i}, \dots, w_{ji}, \dots, w_{ni}\}$ ($i=0, 1, 2, \dots, n$ 且 $i \neq j$)，若 $i=j$ ，则 $w_{ij}=0$ 。 $d[n]$ 为长度为 n 的一维数组，用来存放从起点到其他结点的最小道路综合权值。

3) 初始化，构建矩阵 $L=(l_{ij})$ ，并根据 L 初始化 $d[n]$ 。其中， $l_{ij}=R_{ij}w_{ij}$ ， $S=\{V_0\}$ ， $T=V$ 。

4) 从起点 S 到其他各结点间的最短路径长度初始值为 $d[i]=l_{si}$ ，则选取另一点 V_j ，使 $d[j]=\min\{d[i], V_i \in V-S\}$ ，即 V_j 为从起点 S 出发的最短路径终点^[9]。

5) 修改从 S 出发到集合 $V-S$ 上任一个结点 V_k 的最短路径长度。若 $d[j]+l_{jk}<d[k]$ ，则令 $d[k]=d[j]+l_{jk}$ 。

6) 重复步骤2、步骤3 $n-1$ 次，可求出起点 S 到其他各结点的最短路径长度。将所求得的路径按照路径长度递增排序，这样就可以找出K条最优

路径。

实例分析及系统实现

以某城市道路网为基础数据，部分参数如表4所示，同时通过式(2)可求出每条路段的综合权值。采用C#编程语言在ArcGIS Engine平台下实现了K最优抢修路径系统。通过道路网的属性数据库可求出道路综合权值，然后利用改进的Dijkstra算法求解。K最优抢修路径系统整个详细求解过程如图1所示。

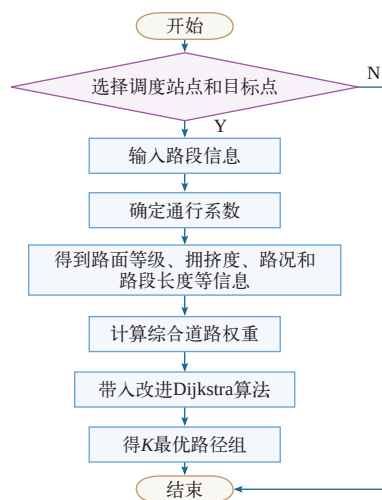


图1 系统求解流程图

表4 部分路段信息及对应路段综合权值

PNO	PR	PD	PC	PZ	PL	综合权值
205	1	2	2	1	50	200
525	1	1	1	1	45	45
615	1	1	2	1	48	96
621	1	1	1	1	70	70
629	1	2	1	2	34	136
630	1	1	1	1	85	85
632	1	1	2	1	66	132
999	1	2	1	1	23	46
1 832	1	2	1	1	54	108
1 881	0	1	1	1	57	0
1 882	1	2	1	2	55	220
1 883	1	2	1	1	47	94
2 320	1	1	1	1	58	58

随机选取城市中的两个结点，假设起点为调度站点，目标点为故障现场位置，进行K最优抢修路径的求解，求解过程如上所述。系统结果显示

如图2所示,系统给出了电力抢修最优路径的结果显示,红色粗线为当前情况下的最优路径。该系统有以下优点。

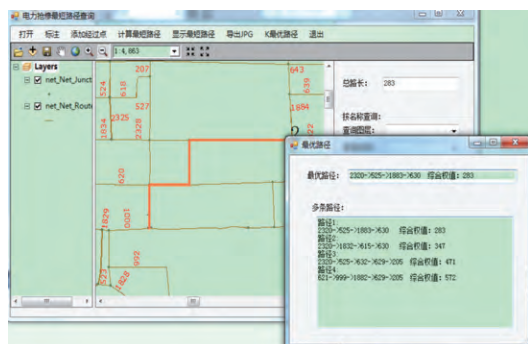


图2 最优路径界面显示

1) 利用改进的Dijkstra算法建立最优抢修路线的数学模型,通过界面显示可以很准确地得出在阻碍因子影响下的最优路径,并且高亮显示整个线路,得出总的道路长度、所经过的结点等信息。

2) 本系统可通过鼠标选择,也可通过输入结点名称确定起点和目标点,便于操作人员的使用,有利于最优抢修路径的快速生成。

3) 本系统得到任意两点的K最优路径组,当因交通事故、天气等造成某路段临时不能通行,可方便调度员根据实际情况选择合适的路线,尽快到达故障现场进行抢修。电力抢修最优路径组在系统网络图中的显示如图3所示,可以显示出最短时间内从调度站点到故障点的路线及多条最优路径,路线上括号内的数值为路段编号,此时最优路径为(621)→(999)→(1 881)→(205),当编号(1 881)路段因某种原因临时禁行时,维修人员可选择的最优路径为(2 320)→

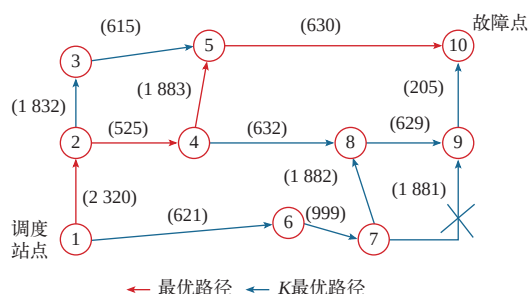


图3 K最优路径在网络图中的显示

(525)→(1 883)→(630)。

结束语

电力K最优抢修路径的研究满足在各种道路和天气情况下都能使调度员选择合适的路线,以最短的时间到达故障点进行故障恢复。本文结合实际情况考虑各种可能影响通行时间的阻碍因子,利用C#语言进行GIS二次开发,通过引入改进的Dijkstra算法实现了电力最优抢修路径系统的构建,通过输入调度站点和故障点可快速得出K最优抢修路径,满足不同情况下电力抢修过程中对路线的选择需求,使该系统具有很强的实用性和适应性。

参考文献

- [1] 吴强,滕欢,王凯富.基于GPRS/GPS/GIS的电力抢修实时调度系统构建[J].继电器,2005,33(17):70-73.
- [2] 叶品勇,都洪基,沈曦.Dijkstra算法在最佳抢修路径计算中的应用[J].继电器,2006,34(12):39-41,51.
- [3] 王鹏,苏华衍.基于地理空间信息多视图的电力故障全景抢修应用[J].电力系统保护与控制,2014,42(4):128-132.
- [4] 高松,陆峰.K则最短路径算法效率与精度评估[J].中国图像图形学报,2009,14(8):1677-1683.
- [5] 徐涛,丁晓璐,李建伏.K最短路径算法综述[J].计算机工程与设计,2013,34(11):3900-3906,3911.
- [6] 张渭军,王华.城市道路最短路径的Dijkstra算法优化[J].长安大学学报,2005,25(6):62-65.
- [7] 冯欣欣.Dijkstra算法在嵌入式GIS中的优化实现[J].北京理工大学学报,2009,29(10):873-876.
- [8] 李媛,高淑娟,洪玉玲.基于单源最短路径算法的井下避灾路线[J].煤矿安全,2013,44(8):191-193.
- [9] 陈树伟,李光远,王杰.一种基于Dijkstra的实用多路径求解算法[J].煤炭技术,2011,30(1):41-43.

(收稿日期:2014-05-21) EA