

Accurate Positioning Method of Cable Fault Point Based on Curve Fitting

Lei Ning¹, Guangli Wang¹, Zean Zhu¹, Peng Wu²

¹Shanghai Songjiang Power Supply Company, Shanghai

²Department of Electrical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Email: 273929771@qq.com

Received: Nov. 27th, 2016; accepted: Dec. 12th, 2016; published: Dec. 15th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Cable fault is one of the common fault types in power system. Based on the data of detected fault distance, determination of the of the cable fault point coordinate is very important for the cable fault repair work. In this paper, a 3D coordinate location method for cable fault point based on curve fitting is proposed. In the proposed method, the XY coordinates of the cable in the ground plane are fitted to the quadratic curve. The XZ coordinates of the cable are fitted to the linear curve on the depth of the buried depth. Based on the proposed method, a set of software for fault location of cable is developed. The application of the software can improve the accuracy of fault position finding and speed up the fault processing.

Keywords

Cable Fault, Position Location, Curve Fitting, Least Square Method

基于曲线拟合的电缆故障点精确定位方法

宁磊¹, 王广利¹, 朱泽安¹, 武鹏²

¹国网上海松江供电公司, 上海

²上海工程技术大学电子电气工程学院, 上海

Email: 273929771@qq.com

收稿日期: 2016年11月27日; 录用日期: 2016年12月12日; 发布日期: 2016年12月15日

摘要

电缆故障是电网运行过程中常见的故障类型之一，如何根据仪器测得的故障距离确定电缆故障点的位置坐标是电缆故障测寻人员非常重要的工作。本文提出了基于曲线拟合的电缆故障点三维坐标定位方法。该方法通过二次函数拟合电缆在地平面上的 xy 坐标走向曲线，通过一次函数拟合电缆在埋深上的 xz 坐标走向曲线。基于本文方法开发了一套电缆故障点快速定位软件，软件的应用可提高故障点测寻精度，加快故障处理速度。

关键词

电缆故障，坐标定位，曲线拟合，最小二乘法

1. 引言

随着城市的建设和发展，电力电缆在城网供电中所占比例越来越大，由于大多数电缆线路敷设于地下，因此发生故障后一般不能通过巡视直接发现故障点，只能采用专用仪器测试才能判断故障性质和故障距离[1] [2] [3]。闪测法是常用的电缆故障测寻方法之一，该方法主要通过产生直流高压或冲击高压施加于故障电缆上，根据故障点放电产生的反射信号传递时间确定故障点距离的方法，通过该方法可测得故障点距离测试点的距离[4] [5]。

然而，实际电缆走线较为复杂，尤其当电缆路径所经过的地形较为复杂时，很难根据故障距离直接测得故障点的精确位置[6] [7]。传统的根据 PMS 地理信息系统坐标信息确定电缆位置的方法的缺点是仅给出了二维坐标信息，且故障距离需手工进行直线测量，由此得到的坐标数值可能具有较大误差。

基于上述背景，本项目研究了电力电缆故障点三维坐标的准确获取方法。相比传统的人工手工测量方法，本文方法可精确定位故障点的坐标信息，具有更高的测量精度。基于该方法，本项目开发了基于电缆走向曲线拟合的电力电缆故障点坐标定位软件。本软件根据故障距离和有限的线路走向坐标信息，基于曲线拟合的相关数学理论和方法实现电缆故障位置的精确定位。当发生电缆故障后，根据测量所得电缆故障点距离信息和线路走向信息，通过软件计算可求得故障点的精确地理位置信息，将信息反馈给电缆检修巡线人员，通知其至故障点位置附近探测确认，可缩短电缆故障抢修时间，提高故障点定位精度。

2. 电缆走向的曲线拟合方法

本文方法采用 xyz 三维坐标系，其中 x 坐标和 y 坐标组成了地平面， z 坐标为电缆埋地深度坐标。根据电缆走向的坐标信息将电缆走向拟合成分段曲线的形式，每个分段曲线均包含 3 个坐标信息，其中，电缆 y 坐标为 x 坐标的二次函数，电缆 z 坐标为 x 坐标的两分段线性函数。每段电缆的拟合曲线系数的通过如下方法确定为确保电缆走向三维拟合曲线的平滑性，本方法以电缆的 x 坐标作为因变量，根据有限个三维坐标的数值信息，将电缆的 y 坐标拟合成 x 坐标的二次函数，即 $y = a_2x^2 + a_1x + a_0$ ，考虑到电缆埋深一般变化不大，因此将电缆深度 z 坐标拟合成 x 坐标的一次函数，即 $z = b_1x + b_0$ 。

具体拟合方法如下：

设已知的三个三维坐标点分别为： $(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$ 、 (x_i, y_i, z_i) 和 $(x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1})$ 。

首先，拟合 x 坐标和 y 坐标间的二维方程，根据 $y = a_2x^2 + a_1x + a_0$ ，将三个三维坐标点的 x 坐标和 y 坐标数值带入，并令其偏差值之和最小：

$$\min \left[\left(a_2 x_{i-1}^2 + a_1 x_{i-1} + a_0 - y_{i-1} \right)^2 + \left(a_2 x_i^2 + a_1 x_i + a_0 - y_i \right)^2 + \left(a_2 x_{i+1}^2 + a_1 x_{i+1} + a_0 - y_{i+1} \right)^2 \right] \quad (1)$$

使用最小二乘法可求得上述最优化问题的解如下:

$$\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{i-1} & x_{i-1}^2 \\ 1 & x_i & x_i^2 \\ 1 & x_{i+1} & x_{i+1}^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} y_{i-1} \\ y_i \\ y_{i+1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

根据求得的拟合的二次函数系数 a_2, a_1, a_0 的数值, 该段电缆线路拟合的二次函数如下式所示:

$$y = a_2 x^2 + a_1 x + a_0 \quad x \in (x_{i-1}, x_{i+1}) \quad (3)$$

然后, 拟合 x 坐标和 z 坐标间的二维方程, 根据 $z = b_1 x + b_0$, 将三个三维坐标点的 x 坐标和 z 坐标数值带入, 得到分段直线拟合方程如下:

$$\frac{x - x_i}{x_i - x_{i-1}} = \frac{y - y_i}{y_i - y_{i-1}}, \quad x \in (x_{i-1}, x_i) \quad (4)$$

$$\frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i} = \frac{y - y_i}{y_{i+1} - y_i}, \quad x \in (x_i, x_{i+1}) \quad (5)$$

根据上述步骤, 即可得到电力电缆三维走向的曲线拟合方程。上述计算步骤可用图 1 所示流程图表示。

3. 电缆故障点坐标的定位方法

根据上节的曲线拟合函数, 可求得给定电缆长度下的电缆三维坐标数值, 具体步骤如下:

曲线拟合完毕后, 根据电缆分段函数, 确定每个分段的电缆长度, 第 t 个分段电缆的长度 l_t 的计算可由下面的公式计算:

$$l_t = \int dl = \int \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2 + (dz)^2} = \int \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 + \left(\frac{dz}{dx} \right)^2} dx \quad (6)$$

将拟合函数带入上式可得:

$$l_t = \int_{x_{i-1}}^{x_i} \sqrt{1 + (2a_2 x + a_1)^2 + \left(\frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \right)^2} dx + \int_{x_i}^{x_{i+1}} \sqrt{1 + (2a_2 x + a_1)^2 + \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \right)^2} dx \quad (7)$$

对于任意给定的 $x \in (x_{i-1}, x_{i+1})$, 可以得到已知 x 后的电缆长度如下:

$$l(x) = \begin{cases} \int_{x_{i-1}}^x \sqrt{1 + (2a_2 x + a_1)^2 + \left(\frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \right)^2} dx, & x \in (x_{i-1}, x_i) \\ \int_{x_{i-1}}^{x_i} \sqrt{1 + (2a_2 x + a_1)^2 + \left(\frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \right)^2} dx + \int_{x_i}^x \sqrt{1 + (2a_2 x + a_1)^2 + \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \right)^2} dx, & x \in (x_i, x_{i+1}) \end{cases} \quad (8)$$

最后, 根据跟定的电缆长度 L , 根据上式可求得坐标 x , 具体求解过程中, 可根据式(7)得到每个分段电缆的长度, 然后, 根据给定电缆长度 L 得到该长度电缆所处的电缆分段数, 最后, 根据电缆在该分段的长度, 带入式(8), 求解方程, 即可求得给定电缆长度下的横坐标 x 的数值, 再根据该段曲线的拟合函数(3)、(4)和(5), 求得该点纵坐标 y 的数值和电缆深度 z 的数值。实现给定电缆长度确定精确坐标信息的目标。上述计算步骤可用图 2 所示流程图表示。

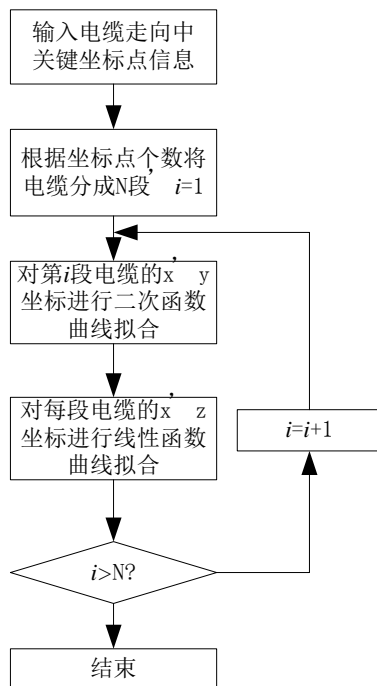


Figure 1. Flowchart of the 3D curve fitting procedure for cable route
图 1. 电缆走向三维曲线拟合流程图

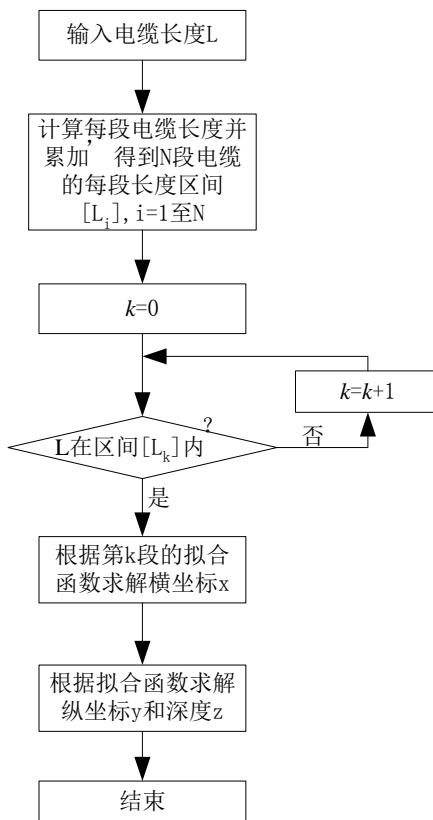


Figure 2. Flowchart of fault point coordinate of cable length
图 2. 电缆长度定位故障点坐标流程图

4. 电缆故障点定位软件

基于前面两节所述的故障点定位方法，开发了基于曲线拟合的电缆故障点定位软件。该软件主要由数据录入模块、故障点定位计算模块、图形优化显示模块三大模块组成。其中，数据录入模块主要负责电缆走向关键坐标点的定位，故障点定位模块主要根据本文算法进行电缆故障点的定位计算，图形优化显示模块主要提供计算结果的友好显示。软件的主要运行界面如图 3~5 所示。



Figure 3. Data entry module display interface
图 3. 数据录入模块显示界面

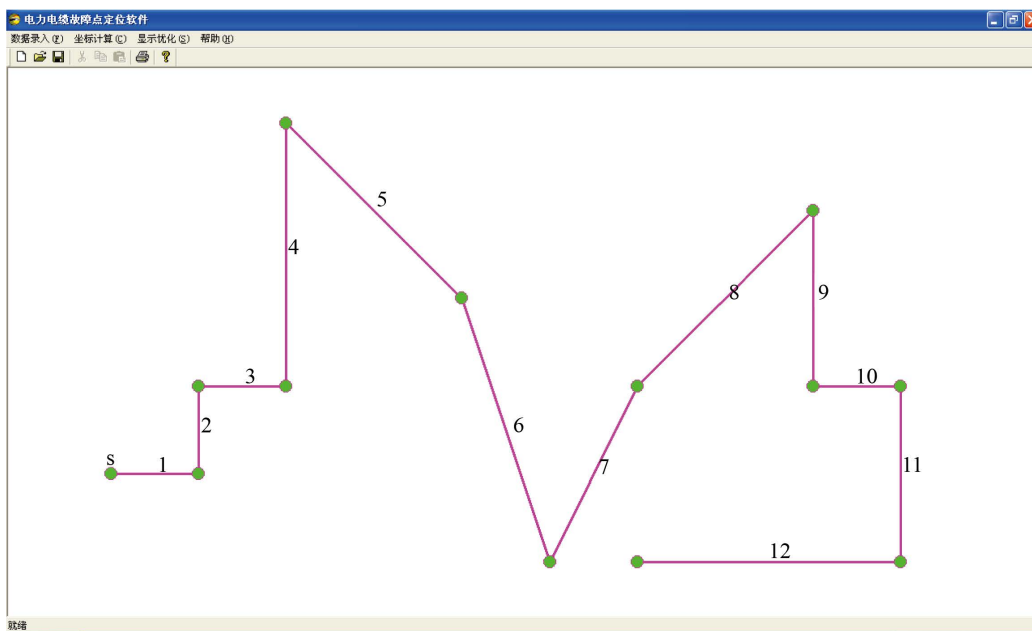


Figure 4. Cable fitting display interface
图 4. 电缆走向拟合显示界面

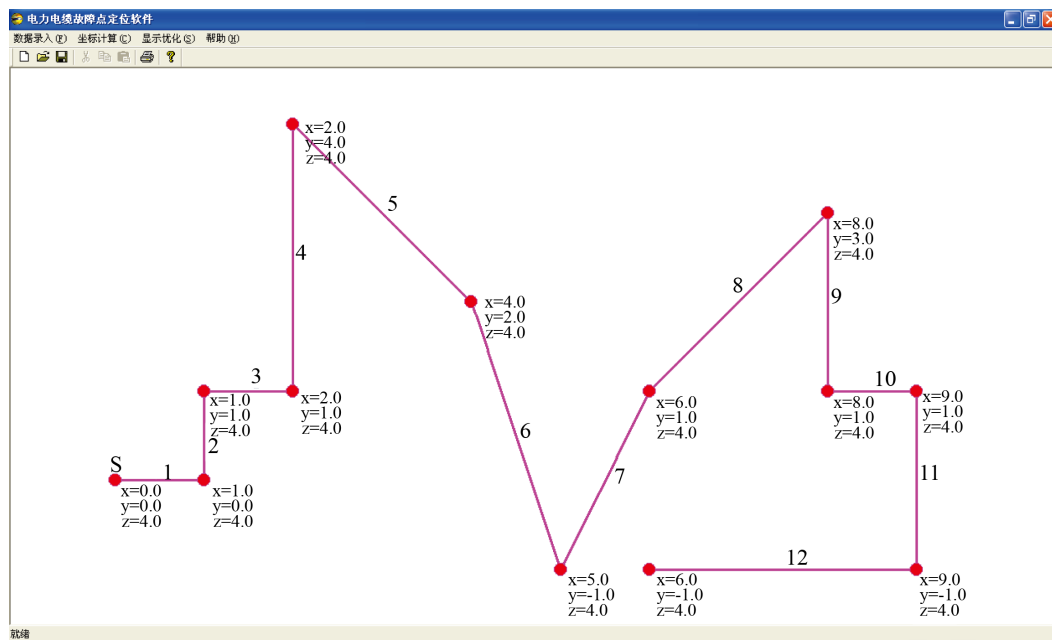


Figure 5. Cable coordinate positioning display interface

图 5. 电缆坐标定位显示界面

图 3 给出了数据录入模块的显示界面，该模块可实现已有电缆走向三维坐标的录入、修改、删除等数据维护工作，同时可将修改后的软件数据保存至文件中，供下次使用时直接通过文件打开相关数据。

图 4 给出了电缆走向拟合结果的显示界面。显示了基于已有电缆走向的三维坐标，通过本文提出的曲线拟合算法，实现电缆走向拟合函数结果的友好显示。

图 5 给出了电缆坐标定位的显示界面。显示了在给定电缆长度数值前提下，基于曲线拟合函数，精确计算得到故障点位置三维坐标信息并实现友好显示的功能。

通过本软件，基于录入的电缆走向关键坐标点数值信息，可实现根据电缆故障距离确定电缆故障点三维坐标的精确定位，该软件操作简单，显示友好，已在国网上海松江供电公司投入使用，现场反映效果良好。

5. 结论

本文研究了基于曲线拟合的电力电缆故障点三维坐标的精确定位方法，开发了基于电缆走向曲线拟合的电力电缆故障点坐标定位软件。该软件根据故障距离和有限的线路坐标信息，基于曲线拟合的相关数学理论和方法实现电缆故障位置的精确定位。当发生电缆故障后，根据测量得到的电缆故障点距离信息和线路走向信息，通过软件计算可求得故障点的精确地理位置信息，将该信息反馈给电缆检修巡线人员，通知其至故障点位置附近探测确认，可缩短电缆故障抢修时间，提高故障点定位精度。

参考文献 (References)

- [1] 张栋国. 电缆故障分析与测试[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] 周远翔, 赵健康, 刘睿, 等. 高压/超高压电力电缆关键技术分析及展望[J]. 高电压技术, 2014, 40(9): 2593-2612.
- [3] 吴锦秋. 10 千伏配网电缆故障分析及防范措施[J]. 科技与创新, 2015(17), 128-130.
- [4] 王少华, 叶自强, 梅冰笑, 等. 电力电缆故障原因及检测方法研究[J]. 电工电气, 2011(5), 48-51.
- [5] 张振鹏, 蒙绍新, 赵健康, 等. 典型敷设条件下电力电缆线路运行振动特征值的测量试验[J]. 高电压技术, 2015,

41(4): 1188-1193.

- [6] 解秦虎. 浅谈配网电缆故障及防范措施[J]. 宁夏电力, 2009(9), 53-56.
- [7] Orton, H. 电力电缆技术综述[J]. 高电压技术, 2015, 41(4): 1057-1067.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: tdet@hanspub.org