

# Electric Field Calculation of High Voltage Transmission Line Based on Surface Charge Density Method

Jingzhou Jiang<sup>1</sup>, Shizuo Li<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Baise Power Supply Bureau, Guangxi Power Grid Company, Baise Guangxi

<sup>2</sup>Institute of Electrical Engineering, Guangxi University, Nanning Guangxi

Email: [szli213@163.com](mailto:szli213@163.com)

Received: Mar. 8<sup>th</sup>, 2015; accepted: Mar. 20<sup>th</sup>, 2015; published: Mar. 26<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 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

In order to study the electric field around high voltage overhead transmission line, surface charges method is given in this paper. The surface of every splitting conductor is divided into many arc segments; surface charges density of every node acts as the variable and linear interpolation is used to express the charges density of every arc segment. Then, linear equations have been set up according to the electromagnetic theory, and the surface charge density of every splitting conductor can be calculated. An example of 500 kV compact transmission line is presented to illustrate the advantage and the precision of the new given method.

## Keywords

Transmission Line, Electric Field, Surface Charge Density, Potential, Electric Intensity

---

# 基于面电荷密度法的高压输电线路电场计算

江敬周<sup>1</sup>, 李世作<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>广西电网公司百色供电局, 广西 百色

<sup>2</sup>广西大学电气工程学院, 广西 南宁

Email: [szli213@163.com](mailto:szli213@163.com)

---

\*通讯作者。

收稿日期：2015年3月8日；录用日期：2015年3月20日；发布日期：2015年3月26日

## 摘要

为了研究高压输电线路周围的电场分布，本文提出了基于面电荷密度的计算方法。该方法将每个子导线的表面进行剖分，以各个节点的面电荷密度作为变量，并利用线性插值来表示弧段的电荷密度，然后根据电磁场理论建立线形方程组来求解各个节点的面电荷密度。最后，本文用500 kV紧凑型输电线路的算例来说明该方法的优点。

## 关键词

输电线路，电场，面电荷密度，电位，电场强度

## 1. 引言

随着电力系统的不断发展，输电线路的电压等级越来越高，高压输电线路对周围环境的电磁污染越来越大[1][2]。为了评估高压输电线路对环境的影响，需要对其周围的电场分布进行精确计算。

目前，输电线路周围电场的计算主要有两种方法：1) 有限元法[3]-[6]，该方法比较成熟，而且有比较通用的计算程序，使用方便，但是有限元法本身不适合计算无穷大的区域，其次，为了得到更为精确的计算结果，需要对导线的周围细分，以及扩大计算区域，这使得剖分单元数大增，影响计算时间，最后有限元法是以电位作为求解变量，而电场强度、导体表面电荷等物理量需要对电位进行梯度运算，这会降低这些物理量的计算精度；2) 基于线电荷的积分方程法[7]-[9]，该方法将电荷的分布集中在导线中心，这样也会导致较大的误差，同时无法得到导体表面的电荷分布。

本文基于电荷连续分布于导线的表面这个物理现象，将每个子导线及地线的表面进行剖分，以各个节点的面电荷密度作为求解变量，用线性插值来表示导线表面的面电荷密度，根据电磁场理论建立线性方程组来求解各个节点的面电荷密度，然后计算输电线路周围电位、电场强度的分布。

## 2. 面电荷密度法

为了计算，做如下简化：1) 地面为无穷大导电平面；2) 导线为无限长并与地面平行的圆柱面，表面电位相等；3) 忽略杆塔及周边物体的影响和端部效应。通过这样简化，将求解问题转变为平行平面场来看待，即凡是与导线垂直的平面的电场分布都是一样。

根据静电场理论，电荷只能存在于导体的表面上，并且是连续分布的。如果知道了导体表面电荷分布的密度，就可以计算各点的电位和电场强度等物理量。

将每个子导线的表面剖分成24段等长度的弧线，并按图1所示给每个节点编号，从0到23。设每个节点的电荷面密度为 $\sigma_i$ ， $i=0,1,2,\dots,23$ ，则子导线表面任意一点的电荷面密度为：

$$\sigma(\theta) = \frac{2\pi(i+1) - 24\theta}{2\pi} \sigma_i + \frac{24\theta - 2\pi i}{2\pi} \sigma_{i+1} \quad (1)$$

式中 $\theta$ 满足： $2\pi i/24 < \theta < 2\pi(i+1)/24$ 。

将子导线上无限长圆柱面电荷的分布看成由许多无限长线电荷沿着一个圆排列起来，线电荷的密度为 $r\sigma(\theta)d\theta$ ， $r$ 为子导线的半径，如图2所示。

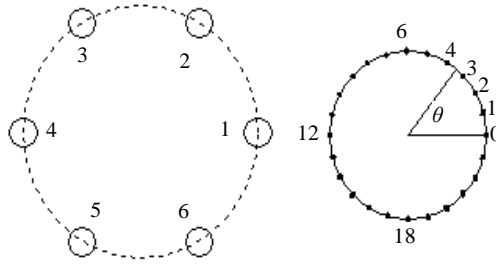


Figure 1. Arrangement and surface dissection of splitting conductor  
图 1. 子导线排列和表面剖分

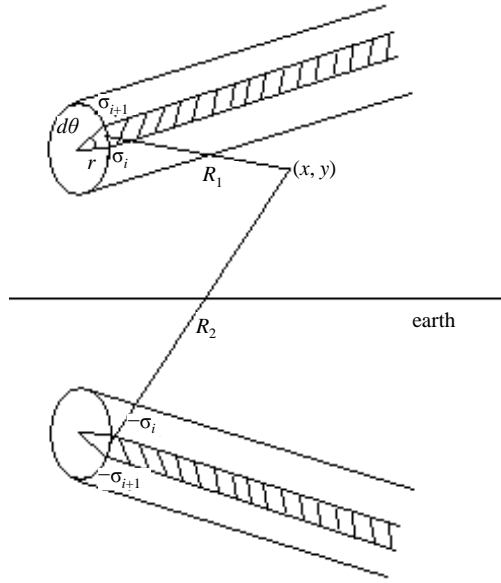


Figure 2. Infinite length line charges and its mirror  
图 2. 无限长线电荷及其镜像

考虑到大地的镜像作用，根据电轴法，一个弧段宽度的无限长电荷在空间上任意一点  $(x, y)$  产生的电位为：

$$d\varphi(x, y) = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \int_{\frac{2\pi}{24}i}^{\frac{2\pi}{24}(i+1)} r\sigma(\theta) \ln \frac{R_2}{R_1} d\theta = c_i\tau_i + c_{i+1}\tau_{i+1} \quad (2)$$

其中  $R_1 = \sqrt{(x_0 + r\cos(\theta) - x)^2 + (y_0 + r\sin(\theta) - y)^2}$ ， $R_2 = \sqrt{(x_0 + r\cos(\theta) - x)^2 + (y_0 + r\sin(\theta) + y)^2}$ ，这里， $(x_0, y_0)$  为子导线圆心坐标， $c_i$  和  $c_{i+1}$  为可以根据坐标计算出来的系数。

500 kV 紧凑型输电线路采用六分裂导线，三相有 18 根子导线，再加上两根地线，共  $N = 20 \times 24 = 480$  个节点和弧段。地线上各个节点的地位为零，即  $u_E = 0$ ，而导线上节点的电位根据导线所在相序取为：

$$\begin{cases} u_A = U\sqrt{2}\cos(\beta)/\sqrt{3}, \\ u_B = U\sqrt{2}\cos(\beta - 2\pi/3)/\sqrt{3}, \\ u_C = U\sqrt{2}\cos(\beta + 2\pi/3)/\sqrt{3}. \end{cases} \quad (3)$$

式中  $U$  为线电压， $\beta$  为初相角。

将每个弧段对每个节点的作用按式(2)计算，然后相加，就得到联立线性方程组：

$$U = A\tau \tag{4}$$

$U$  为节点电位组成的列向量， $\tau$  为节点电荷面密度组成的列向量， $A$  为  $N \times N$  的系数矩阵。

解上述线性方程组，就可以求得每个节点的面电荷密度，进而可以计算空间每个点的电位和电场强度。

每个子导线单位长度的电荷为：

$$dq = \sum_{i=0}^{23} \int_{\frac{2\pi}{24}i}^{\frac{2\pi}{24}(i+1)} r\sigma(\theta)d\theta \tag{5}$$

将六根子导线的电荷加起来，就得到每一相导线单位长度的电荷。

### 3. 算例

500 kV 紧凑型输电线路采用倒三角形布置，相中心间距 6.7 m，六分裂子导线的中心等间距地排列在直径为 0.6 m 的圆上，子导线 LGJ-240/300，直径为 0.0216 m。

当初相角  $\beta = 0$ ，各相电压如式(3)所表示时，A 相各个子导线上的面电荷密度如图 3 所示。A 相的 1 号和 6 号子导线的电荷密度最大，其次是 2 号和 5 号，3 号和 4 号子导线的电荷密度最小。A 相的电荷密度为正。

很明显，每一相中与其他两相距离越近的子导线的电荷密度越大。其次，对任意相的每一个子导线来说，靠近相中心的弧面的电荷密度最低。

由于导线表面上的电荷密度和电场强度之间是一个正比例的关系，电场强度等于电荷密度除以空气的介电常数，图 3 同时也显示了导线表面的电场强度。图 4 为初相角  $\beta = 0$  时线路周围的等位线分布。

本方法以面电荷密度为求解变量，而导线表面上的电场强度正比于电荷密度，因此直接得到导线表面上的电场强度，相比于有限元法通过电位的微分求到电场强度，计算精度要高；以弧线段作为单元，更能符合圆形导线的表面，而以三角形为单元的有限元法是用直线段划分导线的表面，因此拟合得更好；计算变量个数比有限元法要少很多，前面变量的求解计算较快，但在后处理阶段计算场域的电位和电场强度时，需要进行大量的积分运算，速度比有限元法要慢。

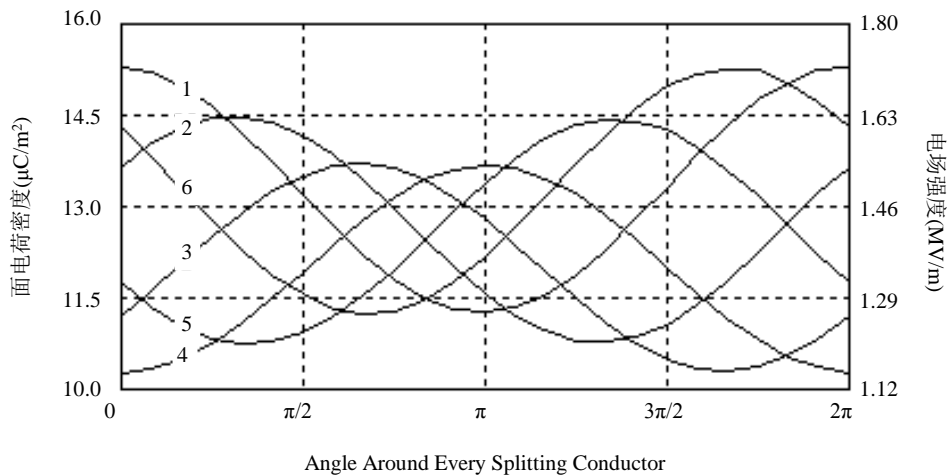


Figure 3. Surface charges density and electric intensity of splitting conductors

图 3. 分裂导线表面电荷和电场强度分布

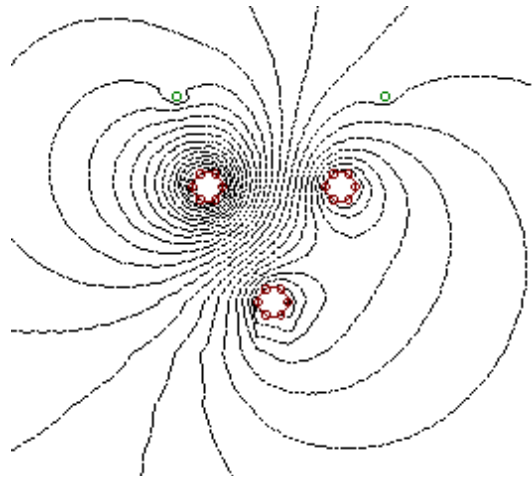


Figure 4. Equipotential lines distribution  
图 4. 等位线分布

#### 4. 结论

面电荷密度法将每个子导线及地线的表面进行剖分，以各个节点的面电荷密度作为求解变量，用线性插值来表示导线表面的面电荷密度，然后根据电磁场理论建立线性方程组来求解各个节点的面电荷密度，它可以有效地计算输电线路周围的电场，计算简单，对计算导体表面的电荷和电场强度精确度较高。

#### 参考文献 (References)

- [1] 吴敬儒, 徐永禧 (2005) 我国特高压交流输电发展前景. *电网技术*, **3**, 1-4.
- [2] 邵方殷 (2005) 我国特高压输电线路的相导线布置和工频电磁环境. *电网技术*, **8**, 1-7.
- [3] Barbara Florkowska, Andrzej Jaekowicz-Korczynski, Mieczyslaw Timler (2004) Analysis of electric field distribution around the high-voltage overhead transmission lines with an ADSS fiber-optic cable. *IEEE Transactions on Power Delivery*, **19**, 1183-1189.
- [4] 张宇, 郑伟, 文武 (2005) 架空线路分裂导线表面电位梯度的数值计算. *高电压技术*, **1**, 23-24.
- [5] 张启春, 阮江军, 喻建辉 (2000) 高压架空线下空间场强的数学模型. *高电压技术*, **1**, 19-21.
- [6] 黄道春, 阮江军, 张宇 (2006) 紧凑型输电线异型分裂导线周围工频电场研究. *高电压技术*, **4**, 55-57.
- [7] 许杨, 张小青, 杨大晟 (2007) 地面附近高压输电线的电场强度快速算法. *东北电力技术*, **3**, 44-47.
- [8] 宫俊芳, 潘绵英 (1995) 分裂导线周围最强电场算式形成. *电力系统及其自动化学报*, **2**, 38-42.
- [9] 强生泽 (2004) 220kV 同塔双回输电线空间工频电场理论计算. *高电压技术*, **5**, 45-46.