

文章编号: 2095-4980(2015)01-0090-04

## 输变电设备对无线电信号的影响

袁仕继<sup>1</sup>, 孙明峰<sup>1</sup>, 翟冰<sup>2</sup>

(1. 洛阳电子装备试验中心, 河南 济源 471003; 2. 武汉军械士官学校, 湖北 武汉 430075)

**摘要:** 高压输变电设备电磁辐射主要体现在工频电磁场辐射、电气噪声和电晕辐射干扰, 它可以改变其周围的电磁环境。本文利用输电设备的电磁性能推导了高压输电线路和变电站电磁环境的表达式, 引入散射功率比的概念分析了散射干扰。采用高精度定向天线扫描法测量输变电设备周围环境的反射、散射对通信信号造成的影响。实测数据结果表明, 高压输变电设备会造成散射干扰, 使得电波传播的多径效应更加明显, 从而影响远端接收场强的大小。

**关键词:** 变电站; 高压输电线路; 散射干扰; 无线电传播; 电磁辐射

**中图分类号:** TN011; TM83

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11805/TKYDA201501.0090

## Effect of power transmission and transformation equipment for radio signals

YUAN Shiji<sup>1</sup>, SUN Mingfeng<sup>1</sup>, ZHAI Bing<sup>2</sup>

(1. Luoyang Electronic Equipment Test Center, Jiyuan Henan 471003, China; 2. Wuhan Ordnance N.C.O Academy, Wuhan Hubei 430075, China)

**Abstract:** The electromagnetic radiation of high voltage power transmission equipment mainly includes the constant-frequency electromagnetic radiation, electrical noise and corona radiation interference, which can change the electromagnetic environment around. The analytical expressions of electromagnetic environment are derived for the high-voltage transmission lines and substation. And the scattering interference and shielding effect are analyzed. A test method is designed to measure the impact on wireless communication signals. The test results show that high-voltage power transmission equipment may cause interference scattering, which makes radio propagation multi-path effect more significant, thus affecting the strength of remote reception field.

**Key words:** transformer substation; high voltage transmission line; scattering interference; radio propagation; electromagnetic radiation

随着电力工业的迅速发展和农村城镇化的不断扩大, 输变电设备在城镇大量出现, 这种输变电设备存在的电磁污染已经引起了社会各方面的关注。除此之外, 输电线路走廊两侧、变电站周围的工频电场、磁场强度增高, 这些输变电设备将直接改变周围的电磁环境, 对在这一区域进行的通信和电子装备试验训练产生较大的影响<sup>[1-4]</sup>。

高压输变电线路产生的电磁辐射源主要是由高压输电线路和变电站产生的, 其电磁辐射主要体现在工频电磁场辐射、电气噪声和电晕辐射干扰<sup>[5]</sup>。一些文献中已经推导了计算输电线路磁场强度的方法<sup>[6-8]</sup>, 然而很少人使用测试方法来衡量高压输电线路和变电站引起的电磁环境的变化。本文主要利用输电设备的电磁性能, 引入散射功率比的概念, 采用高精度定向天线扫描法测量输变电设备周围电磁环境以及对无线信号传输的影响。

### 1 理论分析

输变电设备还将直接改变周围的电磁环境, 对在这一区域进行的通信和电子装备试验产生较大的影响。这种影响将主要体现在3个方面: 一是高压输变电设备周围产生工频电场、磁场, 影响场区的电磁环境; 其次是高频电磁干扰进入通信链路, 造成通信效果的降低; 最后是由输变电设备对电磁波的散射, 改变电磁波的传输衰减,

收稿日期: 2014-03-11; 修回日期: 2014-04-06

基金项目: 中国科学院国防科技创新基金资助项目(CXJJ-11-M07)

从而影响远场场强的分布。

采用国际大电网会议 36.01 工作组推荐的方法<sup>[6]</sup>,可以得到输电线的工频电磁场计算公式。输电线附近任意  $P$  点的电场强度可以用高斯定理和叠加原理计算:

$$\begin{cases} E_{py} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_{i=1} \tau_i \left( \frac{y-y_i}{d_i^2} - \frac{y+y_i}{d_i'^2} \right) \\ E_{px} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_{i=1} \tau_i \left( \frac{x-x_i}{d_i^2} - \frac{x-x_i}{d_i'^2} \right) \\ E_p = \sqrt{E_{px}^2 + E_{py}^2} \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $x, y$  为  $P$  点的平面坐标;  $\epsilon_0$  为空气的介电常数;  $d_i$  为各导线间的距离;  $d_i'$  为各导线与其镜像导线间的距离;  $\tau_i$  为各导线的电荷密度;  $x_i, y_i$  为第  $i$  条导线的位置。

磁场的精确计算需要考虑大地的不良导电反应。但在一般情况下,只考虑空间的导线。由叠加原理,三相对称电流  $I_A, I_B, I_C$  的三相导线在  $P$  点的磁感应强度的水平和垂直分量为:

$$\begin{cases} B_{px} = \sum_{i=1} B_{ix} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \sum_{i=1} \frac{y_i - y}{r_i^2} \cos \phi_i \\ B_{py} = \sum_{i=1} B_{iy} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \sum_{i=1} \frac{x - x_i}{r_i^2} \sin \phi_i \\ B_p = \sqrt{B_{px}^2 + B_{py}^2} \\ r_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $x, y$  为  $P$  点的横坐标和纵坐标;  $r$  为空间  $P$  点与导线的距离。

输电线路的高频电磁干扰主要包括电晕放电和间隙火花放电。在天气较好时,高频干扰的主要来源是间隙火花放电,而在潮湿天气下,雨水会限制输电线路火花放电而加强输电导线及绝缘子串上的电晕放电使其成为高频干扰的主要来源。相关测试结果表明,输电线路电晕放电的辐射频率超过 900 MHz,而由于接触不良引起的火花放电的高频干扰则达 8 GHz 以上。这种高频干扰一旦通过接收机进入通信接收设备,必然会影响通信质量<sup>[9-10]</sup>。但在试验中,通信的收发设备要尽可能地远离大规模的高压输电线路,因此这种干扰对通信的影响较小。本文主要分析输变电设备引起的散射干扰和屏蔽干扰。图 1 所示为输变电站设备引起的散射干扰和屏蔽干扰示意图。

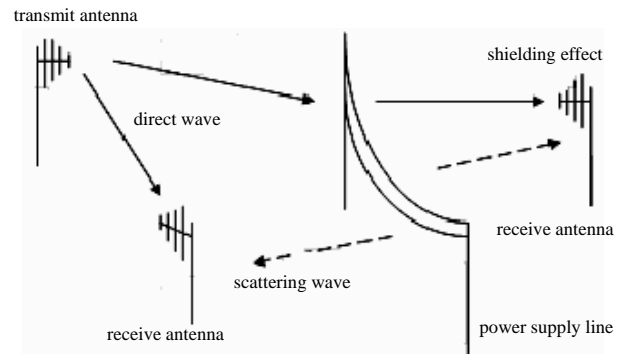


Fig.1 Interference to radio communication signals  
图 1 通信链路受到输电线路干扰示意图

表 1 两极化波的散射情况

Table 1 Scattering values of two kinds of polarized wave

incidence angle/(°)	normalized scattering power	
	horizontal polarized wave	vertically polarized wave
0	0.025 251	0.002 198 1
10	0.028 640	0.002 104 7
20	0.039 152	0.002 067 6
30	0.045 367	0.003 093 8
45	0.033 688	0.005 539 3
90	0.023 639	0.001 724 3

在理论分析这种高压线所引起的散射干扰时,时域有限差分(Finite-Difference Time-Domain, FDTD)法是一种有效的方法,这种方法是 Yee 在 1966 年提出来计算电磁场和电波问题的,后来经过 Mur, Taflove 等人加以完善和发展<sup>[11-12]</sup>,目前已成功地运用于计算和模拟电磁波的传播、散射和辐射问题。一些文献分别采用 FDTD 法分析了高压输电线路对 800 MHz 移动通信场强和电视信号的影响。利用 FDTD 法通过仿真得到输电线为一组分裂线(4 根)时的垂直极化波和水平极化波散射情况,如表 1、表 2 所示。

通过仿真可以看出,高压输电线路对电波传播的影响比较严重,而且水平极化波散射场场强远高于垂直极化波的场强,也就是说,高压输电线路对水平极化波的干扰更加严重。

## 2 测试分析

本文采用高精度定向天线扫描法测量输变电设备对通信的影响。定向天线扫描法的原理主要是利用高增

益、窄波束天线在 0~360° 范围内扫描，直接测试接收场强在空间角度上的分布。通过这种方法，可以定量得到周围环境的反射、散射对信号场强造成的影响。

测试场地为郊区，根据建筑物分布情况和植被状况对传播环境进行分类，所谓郊区是指楼房等建筑高度一般低于 2,3 层，但分布不密集，还可有小树林等，城市外围以及公路网可视为郊区。

实验时，发端为信号模拟设备连接弱方向性垂直极化天线，天线高度为 8.1 m。接收端为信号监测设备连接栅格状抛物面天线，天线高度为 5.8 m，半功率角为 9.7°；载波频率在 1.7 GHz~1.9 GHz 区间内选取。收发距离在 1 km~5 km 变化，传播路径处于典型的郊区环境下。

为了进行对比，测试环境选择 3 种典型情况：a) 接收端环境为麦田，附近无输变电设备及高大的障碍物；b) 接收端附近环境为建筑物；c) 接收端旁边有一个 220 kV 的变电所。接收端附近为建筑物的环境示意图如图 2 所示，图中阴影区域均为建筑物。

同时，引入散射功率比的概念：以垂直于收发方向的连线为界，所有背向发射方的功率和与所有正对发射方的功率和之比，具体定义如下：

$$P(\phi = 180^\circ) = \frac{\text{达到(或接收)角度大于}\phi\text{的所有路径的功率和}}{\text{达到(或接收)角度小于}\phi\text{的所有路径的功率和}} \quad (3)$$

图 3 为 3 种环境下接收端测得信号来波功率归一化值随角度和频率的三维变化关系(X 轴为频率，单位 GHz；Y 轴为角度，单位(°)；Z 轴为测量的来波功率归一化值)。

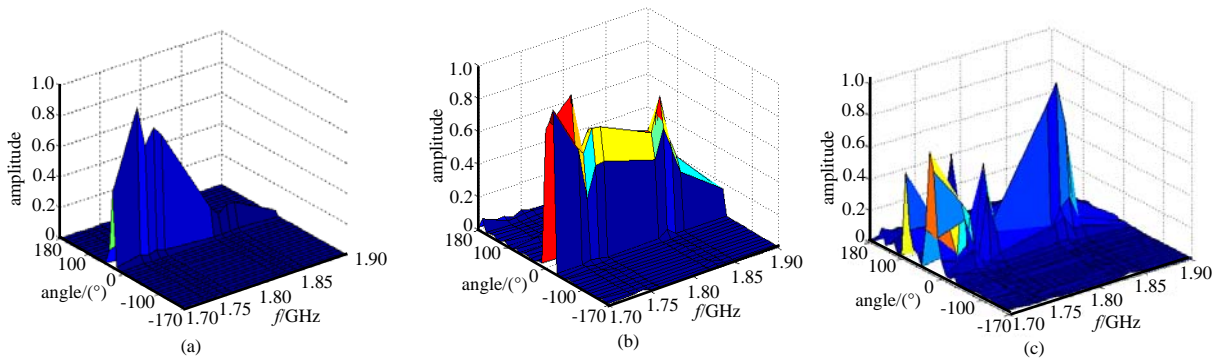


Fig.3 Signal power distribution under three different environments  
图 3 三种环境下的来波功率随频率和角度的分布示意图

由图 3 可知，在环境(a)情况下，由于接收端周边没有障碍物，接收信号能量比较集中；(b)环境中，由于障碍物引起的多径效应，信号能量较为分散，但基本不改变信号的主要来波方向；而环境(c)中，变电所的存在，使得信号能量更为分散，尤其是靠近变电所的一侧，有较大的散射信号存在。对比(b),(c) 2 种环境下的电波信号能量分布：当接收端附近有众多障碍物时，障碍物引起信号的反射、散射等情况使得接收信号场强多径效应明显；而高压变电所引起的多径效应要比障碍物大许多。通过计算散射功率比，同样可以得出相似结论：在环境(b)情况下，P 仅为 0.073 4，而环境(c)情况下，P=0.152 0。这说明，高压变电所改变了无线电波传播的路径。

测试时，电磁波为垂直极化波，测试值远大于相关文献<sup>[11-12]</sup>的仿真结果。这是因为变电所的输变电设备远比一组分裂线的散射严重，同时，测量环境周围树木、建筑、草地等也会增大这种作用。

### 3 结论

高压输电线、变电站对无线电信号的影响主要集中在 3 个方面：改变输变电设备周围的电磁环境，使得电磁

表 2 两极化波的最大散射场值  
Table2 Largest scattering field strength of two kinds of polarized wave

incidence angle/(°)	largest scattering field strength	
	horizontal polarized wave	vertically polarized wave
0	0.329 96	0.119 04
10	0.366 52	0.106 96
20	0.428 13	0.107 77
30	0.449 57	0.114 23
45	0.375 21	0.143 42
90	0.274 92	0.094 57



Fig.2 Environment with tall obstacles near the receiver  
图 2 测试时接收端环境为建筑物示意图

环境更为复杂;输变电设备发射的高频噪声可能会直接进入通信链路,影响通信效果;输变电设备会造成散射干扰,使得电波传播的多径效应更加明显,从而影响远端接收场强的大小。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 李晔. 高压输变电设施电磁辐射测试与环境影响分析[J]. 宁夏电力, 2006(5):1-4. (LI Ye. Analysis on electromagnetic radiation test of high-voltage transmission and transformation power facilities[J]. Ningxia Electric Power, 2006(5):1-4.)
- [ 2 ] 戚成栋,李博. 高压输变电工程的环境影响评价中若干问题的分析与探讨[J]. 机电信息, 2009,33:41-45. (QI Chengdong,LI Bo. High voltage power transmission project environmental impact assessment analysis and discussion on several issues[J]. Electrical and Information, 2009,33:41-45.)
- [ 3 ] 张靓. 对 110~220 kV 输变电设施电磁环境影响的探讨[J]. 电力设备, 2008,9(9):56-58. (ZHANG Liang. Study on the effect of 110~220 kV rlectromagnetic environment of transmission facilities[J]. Electrical Equipment, 2008,9(9):56-58.)
- [ 4 ] 梁保英,高升宇,尤一安,等. 高压输变电设备电磁辐射环境影响分析[J]. 电力环境保护, 2000,16(3):45-48. (LIANG Baoying,GAO Shengyu,YOU Yi'an,et al. High voltage power transmission equipment,environmental impact analysis of electromagnetic radiation[J]. Electric Power Environmental Protection, 2000,16(3):45-48.)
- [ 5 ] 朱林. 高压输变电工程的电磁辐射及环境影响评价[J]. 电力环境保护, 2000,16(1):57-59. (ZHU Lin. Electromagnetic radiation and environmental impact of high voltage engineering evaluation[J]. Electric Power Environmental Protection, 2000,16(1):57-59.)
- [ 6 ] CIGRE36.01 workgroup. Electric field and magnetic field generated by power transmission system[M]. Translated by SHAO Fangyi. Beijing:Water Conservancy and Electric Power Press, 1984.
- [ 7 ] ZHANG Chunqi. The power frequency magnetic field near the high-voltage overhead line[J]. Electric Power Environmental Protection, 2000,16(2):10-12.
- [ 8 ] LIU Hualin. High-voltage transmission lines,substation electromagnetic environment measurement method[D]. Chongqing, China:Chongqing University, 2005.
- [ 9 ] LIN Xiaoyu,CHEN Shixiu,ZHANG Xiaomin. Corona discharge electromagnetic radiation analysis of high voltage transmission line[J]. Electric Power Environmental Protection, 2004,20(3):60-62.
- [10] YEE K S. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell equations in isotropic media[J]. IEEE Trans. Antennas Propagate, May 1966,AP-14(3):302-307.
- [11] LIU Yu,LI Binhong,CAI Xuexiang. The influence to 800 MHz mobile communication field strength by high voltage transmission line[J]. Power System Communication, 1998(3):12-15.
- [12] LIU Qingsong,WANG Quandi. High-voltage power line interference on television signals[J]. Journal of Chongqing University, 2004,27(4):15-18.

#### 作者简介:



袁仕继(1981-),男,四川省通江县人,硕士,工程师,主要从事通信与通信对抗研究,获多项军内外科技进步奖.email:yuanke520@sohu.com.

孙明峰(1980-),男,山东省寿光市人,硕士,工程师,主要从事通信与通信对抗研究.

翟冰(1981-),男,湖北省广水市人,本科,工程师,主要从事通信与通信对抗研究.