

问题探讨

# 高压输变电工程电磁场强度衰减规律分析

赵吴鹏

(国网安庆供电公司,安徽 安庆 246000)

**摘要:**高压输变电工程电磁场效应会对周边环境产生影响,为使公众对高压输变电工程的电磁场环境影响有一个科学、正确的认识,针对高压输变电工程的结构特点,将其分为输电线路和变电站两个部分,分别开展电磁场强度的理论计算与实际监测,通过分析不同类型高压输变电工程的电磁场分布情况,总结电磁场强度的衰减规律,并提出改善措施及建议,为电磁环保纠纷问题的有效解决及输变电工程建设工作的公众支持提供理论基础。

**关键词:**输变电工程;电磁场强度;衰减;环境保护

中图分类号:TM154

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2016)04-0047-04

## ANALYSIS ON ELECTROMAGNETIC ATTENUATION LAW OF HIGH-VOLTAGE POWER TRANSMISSION AND TRANSFORMATION PROJECT

ZHAO Wu-peng

(Anqing Power Supply Company, Anqing 246000, Anhui, China)

**Abstract:** The strong electromagnetic fields that near High-voltage power transmission project may affect the environment. To make the public has a scientific understanding of the electromagnetic environment of high-voltage power project, the power project is divided into transmission project and transformation project, theoretical calculation and monitoring of the electromagnetic fields. Analysis on different types of high-voltage power project, sum up the electromagnetic attenuation law, and proposed measures and suggestions, which provide technical support to solve the problem of electromagnetic environment dispute and engineering construction.

**Key words:** transmission and transformation project; electromagnetic; attenuation; environmental protection

随着我国社会经济的快速发展,电力需求逐年增大,为调节区域电力平衡,大量高压输变电工程正在逐年竣工投产,其建设地点离公众居住区域越来越近,与之而来的就是关于电磁环境问题的争论。由于公众对高压输变电工程电磁环境影响缺乏深入、客观的了解,导致一些靠近生活区的高压输变电工程项目的建设受到极大阻力,给工

程项目及国家经济造成巨大损失。因此,通过分析常见高压输变电工程的电磁场分布情况,探讨电磁场强度的衰减规律,进而消除公众关于电磁环境影响的错误认识,这对于减少环保纠纷、保障高压输变电工程项目的顺利实施具有重要的现实意义。

### 1 高压输变电工程电磁环境标准

高压输变电工程在运行过程中,电磁环境问题不可避免,标准限值的确定是一项非常重要的

收稿日期:2015-10-26

作者简介:赵吴鹏(1984-),男,河北保定人,工程师,硕士研究生,毕业于华北电力大学,主要负责 220kV 及 110kV 输变电工程环境影响评价及项目前期等相关管理工作。

基础性工作。为加强电磁环境管理,《电磁环境控制限值》(GB 8702-2014)于2014年颁布,并于2015年1月1日正式实施,该标准规定了电磁环境中控制公众曝露的电磁场(1 Hz~300 GHz)的场量限值、评价方法和相关设施(设备)的豁免范围。依据《电磁环境控制限值》(GB 8702-2014)规定,并结合《500 kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》(HJ/T24-1998)、《110~500 kV 架空送电线路设计技术规程》(DL/T 5092-1999)等文件,公众居住区工频电磁场标准限值为:以离地面1.5米4 kV/m为工频电场强度的评价标准,以0.1 mT为工频磁场强度的评价标准<sup>[1]</sup>。该限值使用于500 kV超高压输变电工程电磁辐射环境影响评价,110 kV、220 kV、330 kV高压输变电工程参照执行<sup>[2]</sup>。

## 2 高压输变电工程电磁强度矢量叠加公式

目前,常用的高压输变电工程电磁场强度的计算方法主要有:限差分法、限元法、模拟电荷法等,其中,模拟电荷法应用最为广泛<sup>[5]</sup>。根据矢量叠加原理,可以得出任意一点的场强计算公式为:

工频电场强度的计算公式:

$$\vec{E}=(E_{x,R}+jE_{x,I})\vec{e}_x+(E_{y,R}+jE_{y,I})\vec{e}_y$$

其中, $E_{x,R}$ 即电场实部水平分量; $E_{x,I}$ 即电场虚部水平分量; $E_{y,R}$ 即电场实部垂直分量; $E_{y,I}$ 即电场虚部垂直分量; $\vec{e}_x$ 、 $\vec{e}_y$ 即单位矢量。

工频磁场强度的计算公式为:

$$\vec{B}=(B_{x,R}+jB_{x,I})\vec{e}_x+(B_{y,R}+jB_{y,I})\vec{e}_y$$

其中, $B_{x,R}$ 即磁场实部水平分量; $B_{x,I}$ 即磁场虚部水平分量; $B_{y,R}$ 即磁场实部垂直分量; $B_{y,I}$ 即磁场虚部垂直分量。

## 3 高压输变电工程电磁数值监测方案

高压输变电工程主要由输电线路和变电站两部分构成,由于两部分结构特点不同,因此,在遵循“监测点应选在地势开阔、远离林木、无其他电力线路、通信广播线路的空地上”等基本布点原则的基础上,依据各自特点,制定不同的电磁数值监测方案。

### 3.1 输电线路电磁数值监测方案

输电线路电磁数值的监测工作主要分为断面

监测和敏感点监测两个方面:断面监测点的起点应选择输电线路档距中央弧垂最低处的地面投影点,然后沿输电线路的垂直方向上,依次在输电线路两侧均匀布置监测点,相邻监测点间距为5米,监测设备距离地面1.5米;在输电线路两侧0~100米范围内,选取医院、居民区、学校等敏感点,以距离输电线路中心线最近的位置为监测点,开展监测工作并记录数据。

### 3.2 变电站电磁数值监测方案

变电站电磁数值的监测工作主要分为站址围墙四周监测、断面监测和敏感点监测三个方面:站址围墙四周监测点应选择在无进出线的位置,且距离站址围墙的垂直距离为5米;断面监测应选择在空旷、无进出线且无其他电磁干扰源的站址围墙外侧,在站址位置的垂直方向上,依次选择监测点,相邻监测点的间距为5米,监测设备距离地面1.5米;在站址围墙周边0~100米范围内,选取医院、居民区、学校等敏感点,以距离站址围墙最近的位置为监测点,开展监测工作并记录数据。

## 4 高压输变电工程电磁分布情况

高压输变电工程依据实际情况的不同,将有多种工程设计方案,与之对应的电磁场分布情况也呈现出各自的特点。依据电荷矢量叠加原理,通过理论计算,分析各设计方案下的电磁场强度分布情况。依据高压输变电工程电磁数值监测方案,合理布点,开展电磁环境实际测量、监测工作,并记录数据。

### 4.1 不同类型输电线路的电磁场分布情况

最为常见的输电线路架设方式包括单回路和同塔双回路,如图1所示,其中,I为单回路水平排列,II为单回路三角形排列,III为同塔双回路<sup>[6]</sup>。

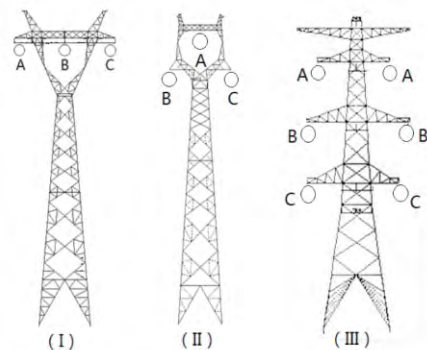


图1 线路架设方式分类

为简化计算,假设输电线路长度无限远且与地面平行,电荷位于输电线路几何中心,输电线路离地高度9米,监测取值点离地1.5米,水平监测范围为线路中心线两侧各35米,运用电场强度计算公式、磁场强度计算公式及矢量叠加原理,计算输电线路电磁场强度数值,并绘制图形,输电线路主要包括:单回线路、同塔双回线路、单回分裂线路、同塔双回分裂线路等类型,具体电磁场强度分布情况如图2~图8所示:

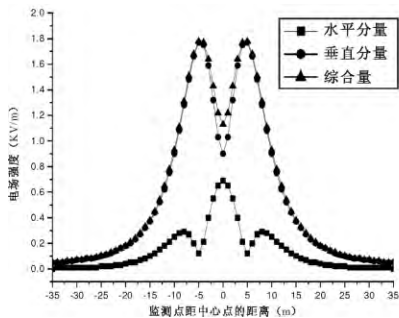


图2 单回线路电场分布情况

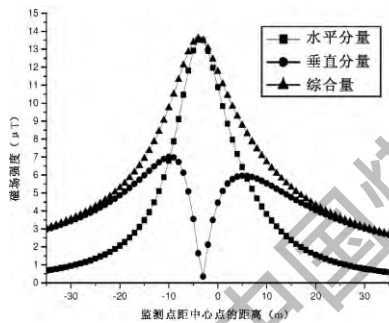


图3 单回线路磁场分布情况

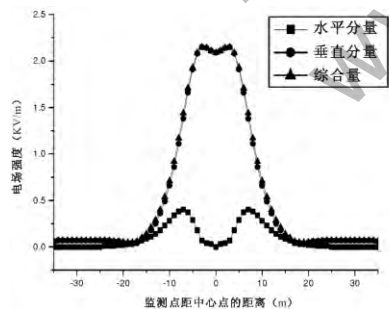


图4 双回线路电场分布情况

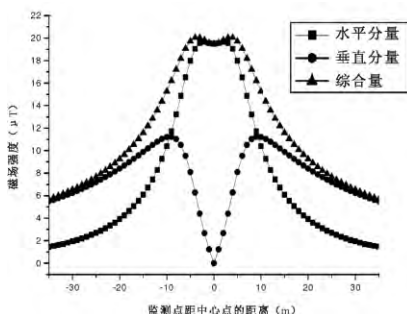


图5 双回线路磁场分布情况

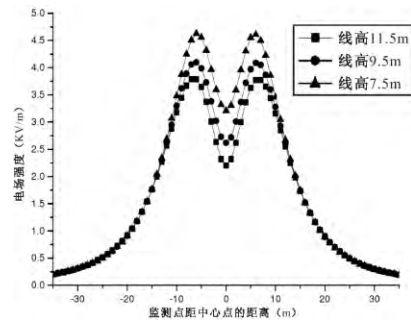


图6 不同对地高度导线电场分布情况

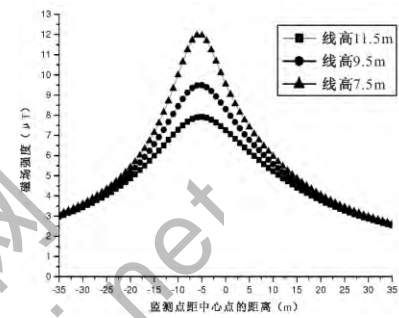


图7 不同对地高度导线磁场分布情况

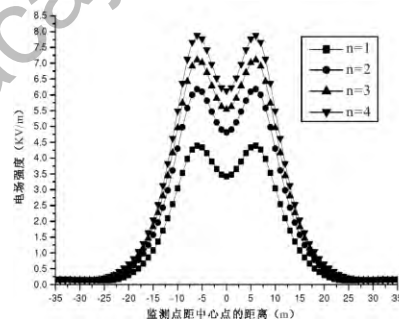


图8 不同分裂数导线电场分布情况

#### 4.2 不同类型变电站的电磁场分布情况

变电站按电气布置情况可分为户内变电站、半户内变电站及户外变电站三种类型。户内变电站指变压器及电气装置均在户内,具有占地面积小、美观等特点,多用于城市中心变电站。半户内变电站指变压器为户内布置、电气装置为户外布置,具有占地面积较小、美观、设备运行良好等特点,多用于城市近郊。户外变电站指变压器及电气装置均在户外,占地面积较大,多用于城市远郊及下辖县。变电站类型的不同,即变电站内电力设备布置的不同,决定了周围电磁场强度的不同,通过监测可得到变电站电磁场强度分布情况如图9~图10所示:

#### 5 高压输变电工程电磁场衰减规律

通过高压输变电工程的电磁强度分布情况曲

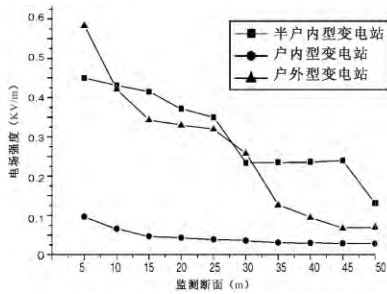


图9 不同类型变电站电场分布情况

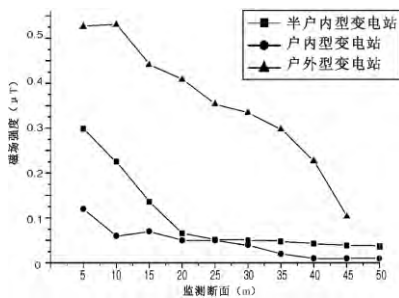


图10 不同类型变电站磁场分布情况

线图,可得到如下结论:

### 5.1 输电线路电磁场衰减规律

不同类型的输电线路,呈现出不同的电磁场分布情况,通过认真比对与分析电磁场曲线变化,可得到输电线路电磁场强度的衰减规律:电场强度,根据输电线路两侧的监测点数值描绘的图形,均成“马鞍形曲线”,电场强度最大值出现在距离输电线路中心线约5~7米的位置,且在5~20米范围内的电场强度的衰减率较快,20米之外的范围内,电场强度衰减率逐渐趋于平稳;磁场强度,单回线路磁场强度为“单峰曲线”,双回线路磁场强度为“马鞍形曲线”,但磁场最大值均出现在距离输电线路中心线约6~7米的位置,且在0~25米范围内的磁场强度的衰减率较快,25米之外的范围内,磁场强度衰减率逐渐趋于平稳;电磁场强度曲线随输电线路对地高度的增大而减小,而衰减规律不变;电场强度随输电线路导线分裂数的增加而增大,磁场强度数值不受导线分裂数的影响。

### 5.2 变电站电磁场衰减规律

在变电容量相同的情况下,不同类型变电站的电磁场分布情况有较大区别,通过分析监测数据,可得到变电站电磁场强度的衰减规律:电磁场强度,随监测点位距离变电站围墙越来越远,其数值逐渐减小;同一监测位置,户外变电站及半户内变电站电磁场强度大于户内变电站电磁场强度;变电站围墙的屏蔽作用对于磁场分布曲线影响较

大,即衰减效果较好。

## 6 高压输变电工程电磁防护建议

通过理论分析及实际监测可知,正常情况下,常见的高压输变电工程电磁场强度基本可以满足工频电场4 kV/m、工频磁场0.1 mT的限值要求,对周边电磁环境影响较小。为促进高压输变电工程与公众的和谐共处,可采取以下措施,进一步降低高压输变电工程电磁场对周边环境的影响:提高输电线路对地高度,可明显降低周边电磁场强度;优化输电线路相序排列,各相导线相互制约,可限制电场强度;在城市中心区域,输电线路采取电缆敷设方式,可明显降低线路周边民房、学校等敏感点的电磁场强度;不在输电线路下方及变电站周边较近范围内建设房屋,尽量避开高压输变电工程电磁场衰减范围;在敏感点周边种植绿色树木,通过植被对电磁场的吸收作用,有效加速电磁场衰减,保护敏感点不受影响<sup>[7]</sup>;推广建设户内变电站或半户内变电站;建设变电站时,选用较为先进的电气设备,并加设屏蔽墙,有效降低变电站对周边环境影响。

## 7 结论

高压输变电工程的大量建设,对周边环境产生了一定影响,针对高压输变电工程的两个重要组成部分,即输电线路工程和变电站工程,制定电磁数据监测方案,依据电磁场矢量叠加原理,讨论不同类型高压输变电工程的电磁场分布情况,从衰减幅值、衰减范围、衰减速率等几个方面总结高压输变电工程电磁场强度衰减规律,并提出合理的建议和措施,使公众对于高压输变电工程电磁场有一个宏观的、科学的认识,消除恐慌心理,为高压输变电工程建设创造一个良好的外部环境。

## 参考文献

[1] 国家环境保护局.HJ/T 24-1998 500 kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范[S].北京:中国电力出版社,1998.  
 [2] 叶鸿声,龚大卫.DL/T 5092-1999 110~500 kV 架空送电线路设计技术规程[S].北京:中国电力出版社,1999.  
 [3] 黄子璇.特高压输电线路电磁环境预测计算的研究[D].郑州:郑州大学,2013.  
 [4] 张淑琴,张彭.电磁辐射的危害与防护[J].工业安全与环保,2008,34(3):30~32.

在  $PM_{10}$  中比重很大,变化趋势基本一致。经分析可得,与回归方程离散较大的点主要集中在冬季,这与冬季气压低,污染物扩散差,污染情况复杂有关,而冬季春节放假期间,污染物的排放与平时也有所不同,也导致数据的偏离比较大。而比较特殊的 2014 年 5 月份的数据也偏离较大,这与春季有扬风天气有关。偏离情况也与前文分析的情况相符。

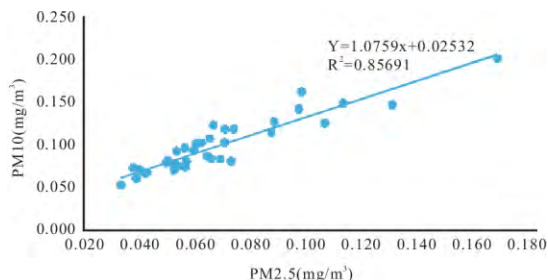


图 5  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  的浓度关系

### 2.5 $PM_{2.5}/PM_{10}$ (P) 值特征分析

P 值反映了  $PM_{10}$  中  $PM_{2.5}$  细颗粒的含量。根据 2013~2015 的 36 个月均浓度值的统计,P 值在 0.522~0.903 之间,其中 P 值处于 0.5~0.6 之间有 7 个,P 值处于 0.6~0.7 之间有 16 个,P 值处于 0.7~0.8 之间有 8 个,P 值处于 0.8~0.9 之间有 4 个,P 值大于 0.9 的有 1 个,可见 P 值主要集中在 0.5~0.8 之间。根据统计,P 值大于 0.8 的 5 个点均聚集在冬季,由此可知冬季大气颗粒物中  $PM_{2.5}$  的比重较高。下沙地区冬季空气扩散较差,在  $PM_{2.5}$  排放量一定的情况下,随着空气流通不畅,地区积累的值也越大,以此反应在浓度较高的情况下,P 值也越大,以此也反应出下沙地区的  $PM_{2.5}$  的冬季的积聚效应更大。

## 3 结论

从月度浓度均值分析可知,冬季  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  明显高于其他季节,夏季最低,下沙地处亚热带季风气候带,夏季温度高,空气扩散好,此时空气的

的质量都处于较好水平。而冬季则反之,污染物不易扩散,也导致每年的 12 月与 1 月出现月均最高值。因此,对下沙颗粒物污染影响最大的还是气候环境因素。

工业污染因子对  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  的浓度影响也有所区别,特别是下沙春节期间两者的浓度显示,工业地块产生的工业污染因子对  $PM_{10}$  中大颗粒物的贡献较大,相应的入春后北方扬尘南移也对下沙的可吸入颗粒物有较大影响。

$PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  的月均值之间均呈高度相关,二者之间的回归关系具有非常显著的线性关系,回归直线关系存在。下沙地区的 P 值较高,说明颗粒物中的可入肺颗粒的比例较高,特别是冬季 P 值最高,也表明冬季的空气颗粒物中  $PM_{2.5}$  的浓度更高, $PM_{2.5}$  的冬季的积聚效应更大,可吸入颗粒物中的可入肺颗粒比例更高,因此下沙冬季的空气污染应引起更大的关注,要充分认识到其危害性和治理控制的难度。

随着逐渐推进的 VOCs 整治以及黄标车淘汰等污染排放控制,2013~2015 年下沙地区空气中  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  的年均浓度呈下降趋势,近两年的浓度比 2013 年的浓度有较明显的下降。加强工业污染的管控和减少汽车尾气排放对下沙地块空气质量的改善有明显效果。

## 参考文献

- [1] WIESLAW J, ELZBIETA F, ELZBIETA M, et al. The adverse effect of low levels of ambient air pollutants on lung function growth in preadolescent children [J]. Environmental Health Perspectives, 1999, 107(8): 669-674.
- [2] 王文静. 上海市静安区  $PM_{2.5}$  浓度变化特征及其与  $PM_{10}$  的关系[J]. 北方环境, 2013, 29(2)
- [3] 宋宇, 唐孝炎, 张远航, 等. 夏季持续高温天气对北京市大气细粒子的影响[J]. 环境科学, 2002, 23(4): 332-336.
- [4] 金伟力, 阎野浩志, 等. 挥发性有机物(VOCs)污染空气防治技术[C]. 北京: 北京国际环境技术研讨会论文集, 2013: 72-73.

(上接第 50 页)

[5] 侯兴哲. 超高压输电设施电磁辐射仿真[D]. 重庆: 重庆大学, 2004.

[6] 王琪, 牟童, 何璐. 特高压电网电磁环境研究[J]. 东北电力技术, 2009, 30(11): 15-17.

[7] 胡白雪. 超高压及特高压输电线路的电磁环境研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.

[8] 宋晓红. 电网输电系统电磁环境影响初探[J]. 电力环境保护, 2007, 23(2): 54-56.