

# 大气电场仪场地因子修订及 EMD 分解分析

陈晓东 孙金华

(张家港市华云科技服务有限公司 张家港 215600)

**摘要:** 由于地面电场仪安装的位置周围或多或少存在一定的建筑物,而建筑物会对大气电场形成一定的畸变效应,从而造成了电场仪测量值不准确。本文利用深圳地区坪地基地大气电场仪实测电场强度资料,采用了有限差分、经验模态分解(EMD)等方法,对深圳地区地面大气电场仪安装位置环境进行了场地修订,以及研究了深圳地区大气电场变化特征。研究表明,在远离建筑的位置大气电场电势为水平的等势线分布,而在靠近建筑物的位置处,对大气电场形成了一定的畸变,因此坪地基地大地电场仪测量值是不准确的,计算出的大气电场仪顶端的大气电场畸变系数为 0.364 1;采用经验模态分解(EMD)方法,对大气电场强度日变化信号进行分解得出,大气电场强度能够分解成 9 个 IMF 分量和 1 个趋势项,表明了深圳地区地面大气电场强度具有多个时间尺度的振荡周期变化。根据趋势项分量可以看出,一天内电场强度幅度整体呈现出逐渐增强的变化趋势。

**关键词:** 大气电场;畸变效应;EMD;周期;电场仪

**中图分类号:** TN248 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 170.1510

## Atmospheric electric field meter space factor Amendment and EMD decomposition analysis

Chen Xiaodong Sun Jinhua

(Zhangjiagang HuaYun Technology Service Co., Ltd., Zhangjiagang 215600, China)

**Abstract:** Due to the location of the ground surrounding the installation of the electric field instrument more or less there are some buildings, but buildings have a certain atmospheric electric field distortion effect, resulting in inaccurate measurement values of the electric field. In this paper, Shenzhen, Ping and base atmospheric electric field instrument measured field strength data, using the finite difference, empirical mode decomposition (EMD) and other methods, the Shenzhen area ground atmospheric electric field instrument installation location environment of the site revised and studied Shenzhen atmosphere variation of the electric field. Studies have shown that (1) the potential away from the building location atmospheric electric field is horizontal equipotential line distribution, while at a location near the building of the atmospheric electric field formed a certain distortion, so the floor to base geodetic field measured value is inaccurate, atmospheric electric field distortion factor calculated atmospheric electric field instrument to the top is 0.364 1; (2) the use of empirical mode decomposition (EMD) method, the diurnal variation of atmospheric electric field strength signal decomposition concluded that the atmospheric electric field strength can be decomposed into 9 IMF component and a trend item, indicating that the Shenzhen area ground atmospheric electric field intensity oscillation cycle having a plurality of time scale changes. According to the trend-term component it can be seen that the magnitude of the overall strength of the electric field day showing a gradual increase trends.

**Keywords:** atmospheric electric field; distortion effect; EMD; cycle; field instrument

## 1 引言

雷暴是小尺度的对流系统中的一种天气现象,雷暴往往伴随着大风、闪电活动以及暴雨等气象灾害天气。这些气象灾害天气对人类活动、经济、建筑物均造成了一定的危

害。当雷暴云之间或者云与地之间存在相反极性电荷时,会产生一个电位差,当电位差达到一定阈值时,击穿大气,从而形成放电。闪电类型的不同导致了放电路径也不相同,通常闪电类型分为:云内闪电、云地闪电和云际闪电。当闪电放电的时候会在地面以及云间形成一个大气电场,

因此可以看出,地面大气电场与闪电活动存在一定的关联<sup>[1]</sup>。区域内大气电场活动情况能够直接反映出区域内闪电活动的变化特征,所以对地面大气电场的变化研究是很有意义的。

国内外有很多学者对区域内地面大气电场的变化进行了研究。吴亭等人<sup>[2]</sup>利用北京地区 1 年内实测的地面大气电场数据,研究了在不同天气条件情况下,地面大气电场的变化情况。研究得出,在晴天条件下,地面大气电场具有显著的日变化特征,呈双峰值变化类型,且得出气溶胶含量较大时,大气电场强度较大。丁德平等人<sup>[3]</sup>利用北京 4 个测站地面大气电场仪实测的数据,研究了北京地区大气电场各个季节下日变化之间的差异性。研究表明,大气电场具有显著的日变化差异性,呈双峰值变化类型。徐栋璞等人<sup>[4]</sup>利用经验模态分解的方法,研究了夏季地面大气电场有无雷暴云情况下变化情况。结果得出,经验模态分解方法,能够很好的分析出地面大气电场具有不同时间尺度的变化特征。Daniel 等人<sup>[5]</sup>利用西班牙地区夏季单测站地面大气电场仪数据,研究了大气电场变化趋势对雷暴的预报效果。研究得出,大气电场数据首次极性反转对雷暴的预

测效果较好。Montanya 等人<sup>[6]</sup>利用实测地面大气电场数据以及电场仪周围气温、湿度等气候因子,主要采用了主成分分析多元统计算法,建立了雷暴预测模型。Israelsson 等人<sup>[7]</sup>利用了瑞典大气电场仪实测的晴天大气电场数据,研究了瑞典地区晴天大气电场变化规律。研究表明,冬季大气电场强度与卡内基线之间具有较高的相关性关系。

由于地面电场仪安装的位置周围或多或少存在一定的建筑物,而建筑物会对大气电场形成一定的畸变效应,从而造成了电场仪测量值不准确。因此本文主要利用深圳地区地面大气电场仪实际观测数据,采用有限差分以及 EMD 分解的方法,对大气电场仪安装位置进行了场地修订,从而使得大气电场仪观测数据更加准确,并研究了地面大气电场变化特征。

## 2 资料来源

深圳地区共计有 12 个地面大气电场仪测站,测站分布如图 1 所示。这 12 个地面大气电场仪中,装置在建筑物顶上的有 4 个,装置在地面上的有 6 个,在水库旁边的有 2 个。表 2 为深圳地区地面大气电场仪经纬度以及海拔高度。



图 1 深圳地区地面大气电场仪测站分布情况

## 3 大气电场仪场地因子修订

由于地面大气电场仪安装位置周围或多或少存在一定的建筑物,而建筑物会对地面大气电场具有畸变效应<sup>[8-9]</sup>,而且距离较近的建筑物会对大气电场仪具有一定的屏蔽作用,从而降低了地面大气电场仪监测的准确性。因此,需要对地面大气电场场地因子进行修订。

### 3.1 有限差分算法简介

二维地面大气电场满足的泊松方程表达式为<sup>[10-12]</sup>:

$$\nabla^2 \varphi = -\rho/\epsilon \quad (1)$$

本文在对地面大气电场仪场地修订的研究中,假设大气中没有其它自由电荷,因此上述的泊松方程等效为拉普拉斯方程:

$$\nabla^2 \varphi = 0 \quad (2)$$

然后将等效的拉普拉斯方程在二维坐标系下进行分解,分解表达式为:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{y^2} = 0 \quad (3)$$

如图 2 所示,将所研究的模拟域进行离散划分,然后采用采用五点差分方法,设定在  $x$  和  $y$  方向上的步长均为  $h$ ,则场域内得到的差分格式为:

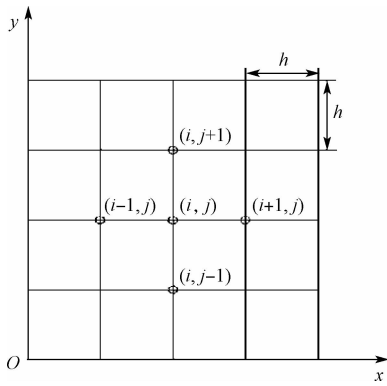


图 2 差分点的离散化场域

$$(\partial^2 \varphi / x^2)_{i,j} = \frac{\varphi_{i,j+1} - 2\varphi_{i,j} + \varphi_{i,j-1}}{h^2} \quad (4)$$

$$(\partial^2 \varphi / y^2)_{i,j} = \frac{\varphi_{i+1,j} - 2\varphi_{i,j} + \varphi_{i-1,j}}{h^2} \quad (5)$$

求出二维坐标系下的拉普拉斯方程为:

$$\varphi_{i-1,j} + \varphi_{i,j-1} + \varphi_{i,j+1} + \varphi_{i+1,j} - 4\varphi_{i,j} = 0 \quad (6)$$

运用二维坐标系的拉普拉斯方程,求出整个模拟内每个格点位置上的电势,每个格点上的电场强度  $E$  等于电势  $\varphi$  的负梯度:

$$E = -\nabla\varphi \quad (7)$$

### 3.2 大气电场畸变效应数值计算

坪地测站经纬度为(E114°18'16" N22°46'39"),测站海拔 55 m,地面大气电场仪位于高 20 m 小建筑物顶上。建筑物的尺寸是 5 m×5 m×20 m。距其 440 m 处有栋高 60 m 的商业楼(忽略),如图 3 所示。

通过有限差分算法,模拟出了建筑物对大气畸变效应的结果,如图 4 所示。总体看出,在远离建筑的位置大气



图 3 坪地基地大气电场仪周围环境

电场电势为水平的等势线分布,而在靠近建筑物的位置处,电势线发生了弯曲现象,对大气电场形成了一定的畸变,因此安装在建筑物顶端的大地电场仪测量值是不准确的,忽略的建筑物对大气电场畸变效应的影响。计算出的大气电场仪顶端的大气电场畸变系数为 0.364 1。可以看出,大气电场仪测量值与实际值之间存在 0.364 1 倍的关系。因此大气电场仪由于周围环境的影响,使得测量值不够准确,需要将大气电场仪实际测量值除以 0.364 1 后的大气电场资料为较为准确的数据。

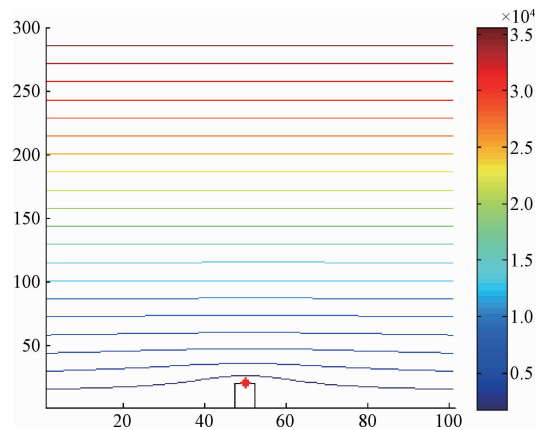


图 4 坪地基地大气电场仪周围电位分布

## 4 大气电场日变化 EMD 分解

苗晟等人<sup>[13]</sup>对 EMD 方法近 10 年的发展历程进行了总结。李利品等人<sup>[14]</sup>采用改进的 EEMD 方法,对多相流进行研究。

本文以 2012-04-16 日坪地测站 00:00~24:00 一天

内,地面大气电场仪实测数据为例,采用 EMD 经验模态分解方法,研究地面大气电场强度日变化具有不同时间尺度的振荡周期,从而更加深入的了解到在不同天气条件下,大气电场强度内在的振荡特征,能够为雷电监测预警提供借鉴。

4.1 EMD 分解原理

研究地面大气电场强度信号多时间尺度下的振荡周期变化,通常使用经验模态分解(EMD)的方法<sup>[15]</sup>,该算法主要是将大气电场强度信号分解成多个固有模态(IMF)以及一个趋势项,然后将分解后得到的各个分量(IMF)进行 Hilber 变换处理,计算出瞬时频率和振幅<sup>[16-17]</sup>。

对于地面大气电场强度信号序列  $y(t)$  数据,进行经验模态分解步骤如下:

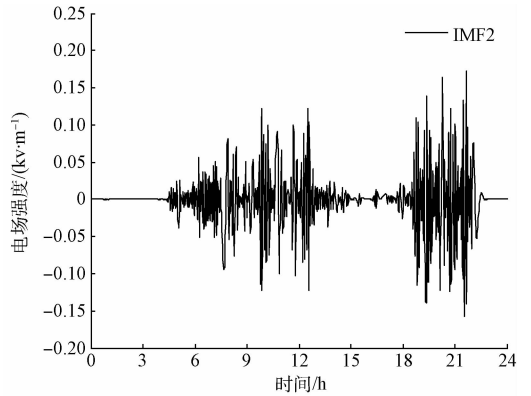
- 1) 找出  $x(t)$  的所有极值点
  - 2) 用插值法对极小值点形成下包络  $emint(t)$ ,对极大值形成上包络  $emax(t)$
  - 3) 计算均值  

$$m(t) = (emint(t) + emax(t))/2$$
  - 4) 抽离细节  $d(t) = x(t) - m(t)$
- 对残余的  $m(t)$  重复上述步骤。

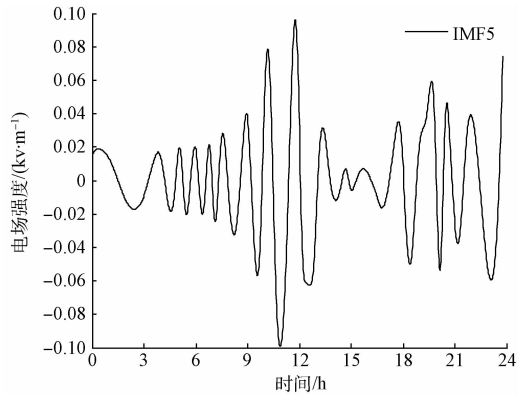
4.2 大气电场 EMD 分析

本文利用 2012-04-16 日坪地测站 00:00~24:00 1 d 内地面电场强度资料(定义雷暴云中电荷为正时,地面大气电场强度为负值),采用经验模态(EMD)分解方法,对大气电场强度资料进行分解处理,图 5 为 1 d 内大气电场强度日变化 EMD 分解结果,从图中可以看出,大气电场强度能够分解成 9 个 IMF 分量(为了方便研究,本文只保留了 IMF2、IMF5、IMF7、IMF8、IMF9 这 5 个分量)和 1 个趋势项。因此,表明了深圳地区地面大气电场强度具有多个时间尺度的振荡周期变化。

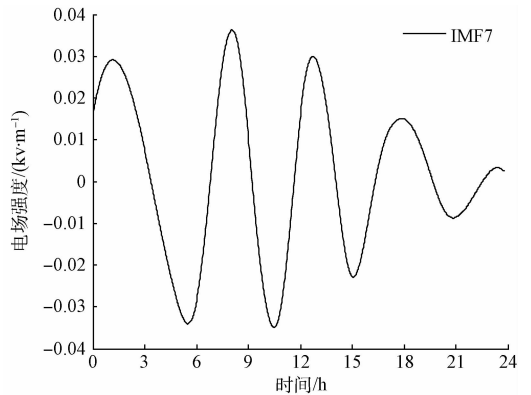
从图 5(b)IMF2 分量可以看出,地面大气电场强度振幅较大,振动幅度略小于原始信号振动强度,振幅主要集中在 4:00~12:00 和 18:00~22:00 这两个时间段内,其余时刻振动幅度较小,但从 IMF2 分量结果,不能够清晰地看出地面大气电场强度振动的周期。



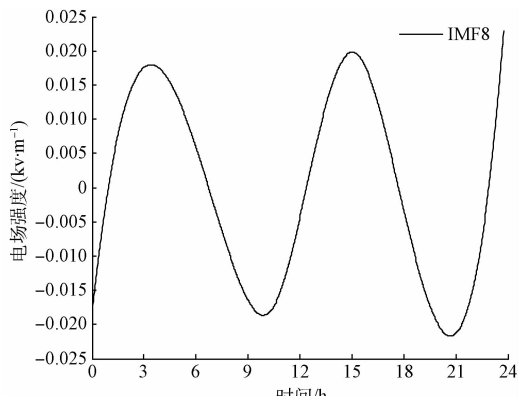
(b) IMF2分量



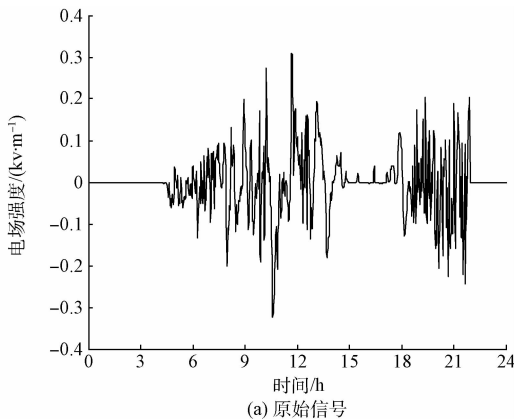
(c) IMF5分量



(d) IMF7分量



(e) IMF8分量



(a) 原始信号

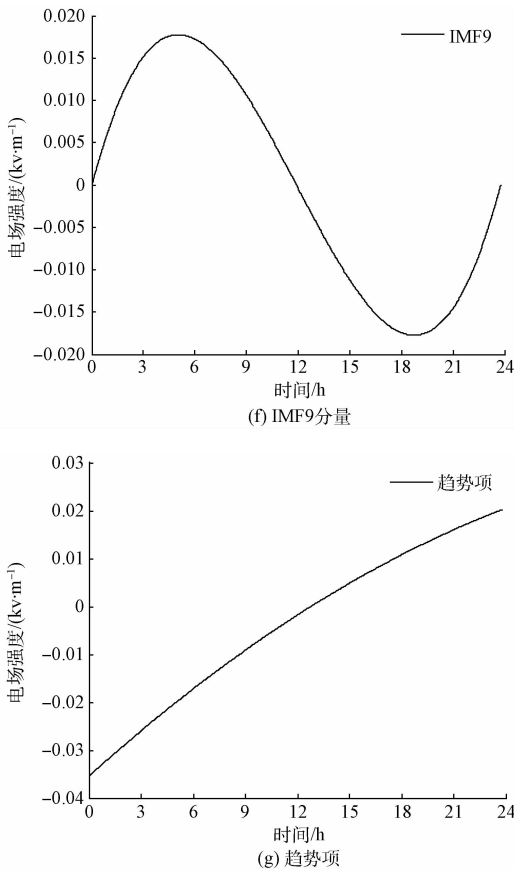


图 5 大气电场强度日变化 EMD 分解结果

从图(c)IMF5分量可以看出,地面大气电场强度振幅要小于 IMF2分量的强度,在 9:00~13:00 和 18:00~24:00这两个时间段内,震动幅度较大,其余时间段电场强度震动幅度相对较小。大气电场强度信号整体呈现出 1 h 左右的振动周期。

从图(d)IMF7分量可以看出,地面大气电场强度振幅要小于 IMF2、IMF5分量的强度,在 00:00~15:00 和 18:00~24:00时间段内,震动幅度较大,其余时间段电场强度震动幅度相对较小。分解出的信号波形趋于平滑状态,且大气电场强度信号整体呈现出 4 h 左右的振动周期。

从图(e)IMF8分量可以看出,地面大气电场强度振幅要小于 IMF2、IMF5、IMF7分量的强度,在整个研究时间域内,震动幅度较为均匀。分解出的信号波形呈平滑状态,且大气电场强度信号整体呈现出 10 h 左右的振动周期。

从图(f)IMF9分量可以看出,地面大气电场强度振幅最弱,在整个研究时间域内,震动幅度较为均匀。分解出的信号波形呈平滑状态,且大气电场强度信号整体呈现出 30 个小时左右的振动周期。

从图(g)趋势项分量可以看出,在整个研究时间域内,大气电场强度趋势项信号呈递增的变化趋势。这说明了

一天内,电场强度幅度整体呈现出逐渐增强的变化趋势。

综合上述分析可以看出,随着 IMF 分解阶数的增加,大气电场强度信号振动幅度逐渐减小,但波长逐渐变长,信号波形越来越平滑,振荡周期尺度越来越长。

## 5 结论

本文针对地面电场仪安装的位置周围或多或少存在一定的建筑物,而建筑物会对大气电场形成一定的畸变效应,从而造成了电场仪测量值不准确。因此,本文采用了有限差分等方法,对电场仪的安装环境进行了场地修订,并且对大气电场的周期变化规律进行了分析研究。

## 参考文献

- [1] 崔海华. 地面大气电场的特征及雷电预警预报技术的初探[C]. 中国气象学会年会, 2012.
- [2] 吴亭, 吕伟涛, 刘晓阳, 等. 北京地区不同天气条件下近地面大气电场特征[J]. 应用气象学报, 2009, 20(4): 394-401.
- [3] 丁德平, 李迅, 邓长菊, 等. 北京地区大气电场的特征及雷电预警中的订正分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2012, 6(4): 68-73.
- [4] 徐栋璞, 王振会, 曾庆锋, 等. 近地面大气电场数据 EMD 方法分析[J]. 气象科技, 2013, 41(1): 170-176.
- [5] ARANGUREN D, MONTANYA J, SOLA G, et al. On the lightning hazard warning using electrostatic field: Analysis of summer thunderstorms in Spain [J]. Journal of Electrostatics, 2009, 67(3): 507-512.
- [6] MONTANYA J, BERGAS J, HERMOSO B. Electric field measurements at ground level as a basis for lightning hazard warning [J]. Journal of Electrostatics, 2004, 60(3): 241-246.
- [7] ISRAELSSON S, TAMMET H. Variation of fair weather atmospheric electricity at Marsta Observatory, Sweden, 1993-1998 [J]. Journal of atmospheric and Solar-terrestrial Physics, 2001, 63(2): 1693-1703.
- [8] 郭秀峰, 谭涌波, 郭凤霞, 等. 建筑物尖端对大气电场畸变影响的数值计算[J]. 应用气象学报, 2013, 24(2): 189-196.
- [9] 张冬冬, 谭涌波. 建筑物形状对大气电场畸变影响的数值模拟[C]. 中国气象学会年会, 2014.
- [10] 吴坚铃, 刘丁齐, 王银. 建筑物对大气电场畸变效应的数值模拟[J]. 广东气象, 2014, 36(4): 61-64.
- [11] 周俊驰, 王振会, 郭凤霞, 等. 大气电场仪观测结果的修订[J]. 南京信息工程大学学报, 2011, 3(3): 244-249.

(下转第 108 页)