

西藏地区近地晴天大气电场气象效应 和时间变化研究*

徐斌[†] 贺华 杨晓艳 别业广 吕清花

(湖北工业大学理学院, 武汉 430068)

(2011年11月21日收到; 2012年2月17日收到修改稿)

基于西藏羊八井宇宙线观测站在2006年3月至2011年6月期间记录的近地大气电场数据, 分析研究了该地区近地晴天大气电场气象效应和时间变化特征. 气象效应分析结果显示, 该地区近地晴天大气电场与三个气象参量(大气压强、温度和相对湿度)的长时间变化趋势基本一致, 并有明显的季节效应. 冬春季, 大气电场强度整体水平相对较低, 约为0.14 kV/m; 夏秋季, 电场强度水平相对较高, 为0.18 kV/m左右. 近地晴天大气电场强度与大气温度间的线性相关性最强, 拟合相关系数达到0.89; 与大气压强和相对湿度间的线性相关性相对较弱, 拟合相关系数依次为0.43和0.53. 傅里叶分析结果表明: 晴天大气电场时间变化受太阳日周期、半太阳日周期及其三、四次谐波分量调制作用, 调制强度依次减弱. 西藏地区近地晴天大气电场日变化特征呈大陆简单型, 即双峰双谷. 主、次峰谷分别出现在白天和夜间, 主峰谷出现的早晚因季节不同略有差异, 次峰谷出现的早晚因季节不同差异相对较大.

关键词: 晴天大气电场, 气象效应, 太阳日周期调制

PACS: 52.80.Mg, 92.60.Pw

1 引言

自18世纪末期以来, 前人对大气电参量的特征和变化规律进行了持续研究. 19世纪20年代, 高导电电离层的发现开启了大气电学研究的高速发展时代, 为人们研究全球电路打开了便捷之门^[1], 对全球电路这一概念的演化起到了至关重要的作用. 大气电参量除了受宇宙线辐射、太阳紫外线辐射和全球雷暴活动等因素影响外, 还与当地气候、环境有密切关系^[2-4]. 晴天大气电场是重要的大气电参量之一, 它是大气电离层和全球电路系统共同作用的结果^[5]. 因此, 晴天大气电场气象效应和时间变化研究对于掌握全球雷电活动、局地气候、环境、空气污染等信息和大气电特征具有重要意义.

晴天条件下, 电离层与地表间的电势差大约为300 kV, 电场方向由电离层垂直指向地面. 从高往低, 电场强度依次增强, 在地表附近达到200 V/m左右^[6]. 在大气电场作用下, 带电大气粒子的定向移动不断地消耗电能. 全球雷暴活动积累的电能以放电形式流向电离层, 维持了稳定的大气电离层电位和晴天大气电场强度. 因此, 大气电离层电位是决定晴天大气电场时间变化的主要因素之一^[7]. 地表附近晴天大气电场还受地域性局地变化机理调制作用, 该作用主要是通过局地环境和气象等因素改变大气电导率和晴天柱体电阻, 间接地调制晴天大气电场强度. 前期研究表明, 地表附近晴天大气电场日变化特征主要表现为3种类型: 海洋极地型(单峰单谷)、大陆简单型(双峰双谷)和大陆复杂型(多峰多谷)^[7,8]. 这三种类型的晴天大气电场日变化特征受全球性普遍变化机理调制程度依次

* 湖北省教育厅优秀中青年项目(批准号: Q20111407)和湖北工业大学博士科研启动基金(批准号: BSQD0917)资助的课题.

[†] E-mail: xu_bin1218@126.com

减弱. 反之, 受地域性局地变化机理调制作用逐渐增强^[9].

在地表附近测量的大气电场不可避免地受当地环境因素(如大气气溶胶、地表辐射及其衍生物)“污染”, 空气对流和湍流是大气电场地表测量的另一“污染源”^[10]. 因此, 不便于在环境污染严重区域进行大气电场全球性普遍变化机理研究. 换言之, 海洋、极地是大气电场测量和研究的最佳场所. 但是, 在海洋极地进行大气电场测量存在诸多不利因素, 如仪器安置、维护和数据采集等. 青藏高原地区的主要地域特点是海拔高、太阳紫外线和宇宙线辐射强、日照时间长、人类活动相对较少和空气污染指数低. 这一得天独厚的地域条件便于测量和研究近地晴天大气电场. 该地区大气电场日变化呈大陆简单型, 其全球性普遍变化机理调制程度强于地方性局地变化机理.

目前, 国内关于晴天大气电场气象效应和时间变化研究相对较少. 张义军等^[11]于1998年对青藏高原东部地区大气电特征进行了相关研究, 给出了1996年8月31日和9月1日地表附近晴天大气电场日变化曲线, 对其变化趋势作了简单分析. 这种短时特定情形的观测结果并不能准确地反映该地区晴天大气电场日变化的普遍特征. 徐斌等^[9]于2009年采用统计折叠方法对西藏地区晴天大气电场日变化特征进行了统计研究, 简要地分析了长时间范围内大气相对湿度与大气电场强度间的关联性. 但是, 没有对它们之间存在的线性相关关系作详细讨论. 对晴天大气电场日变化的季节效应研究也不够深入.

本文基于西藏羊八井观测站于2006年3月至2011年6月期间记录的大气电场数据, 首先对大气电场数据进行“严格”筛选, 提取出晴天条件下的大气电场序列. 接着, 分析了该地区近地晴天大气电场的长时间变化, 讨论其季节效应. 随后, 对晴天大气电场强度与该地区同期记录的三个气象参量(大气压强、室外温度和大气相对湿度)间的相关性作简要分析, 重点讨论了它们之间的线性相关性, 给出线性拟合结果. 然后, 采用Lomb-Scargle傅里叶变换对该地区近地晴天大气电场时间序列进行频谱分析, 寻找周期调制信号. 此后, 应用统计周期折叠法对大气电场序列进行日周期折叠, 给出日变化曲线和分量正弦曲线拟合结果, 重点分析

讨论了晴天大气电场日变化特征. 最后, 讨论了晴天大气电场日变化特征的季节效应.

2 全球大气电路模型

Wilson于1920年提出了全球大气电路的物理模型, 如图1所示^[10]. 电离层和传导性大气是连接晴天区域和扰动天气区域大气电场的纽带, 带电粒子通过扰动天气(如雷暴活动)的驱动电流流向电离层, 然后经晴天大气电场返回大地, 形成全球大气电路系统.

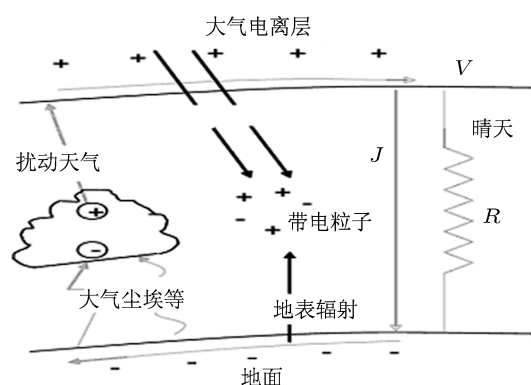


图1 全球大气电路模型

晴天大气电场是全球大气电路的重要组成部分, 其日变化过程可以近似地看成准静态过程, 其相对变化定义如下^[11]:

$$\frac{1}{E} \frac{dE}{dt} = \frac{1}{V} \frac{dV}{dt} - \frac{1}{\lambda} \frac{d\lambda}{dt} - \frac{1}{R} \frac{dR}{dt},$$

其中 λ , R , E 依次为晴天大气电导率, 柱体电阻和大气电场. 由上式可知, 晴天大气电场相对变化取决于电离层电位相对变化, 即全球性普遍变化. 全球雷暴活动、宇宙辐射和太阳活动(如太阳紫外线辐射)等是制约大气电离层电势的主要因素. 地表附近晴天大气电场强度相对变化还取决于晴天柱体电阻和大气总电导率相对变化, 即地域性局地变化. 季节、局地气象环境等是制约晴天柱体电阻和大气总电导率的主要因素. 因此, 近地晴天大气电场日变化是全球性普遍变化和地域性局地变化机理综合作用的结果^[11,12].

3 数据处理和分析方法

西藏羊八井国际宇宙线观测站始建于上个世纪80年代, 2000年中国和意大利在观测站内正

式合作建设 ARGO 实验. 为了监测该实验运行环境和状况, 在站内安装了环境监测系统, 记录实验大厅附近大气压强 P/mbar ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$)、室内外温度 $T/^\circ\text{C}$ 、大气相对湿度 $\text{RH}/\%$ 等气象参量. 2005 年底, 又安装了一台型号为 EFM-100 的大气电场探测仪, 大约每 15 s 记录一次附近的大气电场强度 E , 精度为 1 V/m , 测量范围为 $-10 \text{ kV/m} \sim 10 \text{ kV/m}$. 当大气电场强度大于 10 kV/m 时, 自动被记录为 $+10 \text{ kV/m}$ 或 -10 kV/m . 由于本文研究的晴天大气电场强度远小于该探测仪阈值, 因此这一局限性对本文研究没有影响. 在雷暴期间, 大气电场强度远超出晴天条件的数值, 或者符号为负^[13]. 风、云、雨和雪等气象因素也会严重地影响到大气电场测量结果^[14]. 鉴于上述原因, 在研究晴天大气电场气象效应和时间变化特征前, 需要对实验数据进行严格筛选, 从中挑选出“符合晴天条件”的大气电场数据, 主要从以下几个方面 (并按顺序) 对“不协和”条件的数据予以剔除:

1) 首先, 剔除强度远超出晴天条件 (大于 1.0 kV/m 或者小于 0 kV/m) 数值的大气电场数据^[14];

2) 接着, 以小时为单位, 对均值大于 0.3 kV/m 的整小时数据予以剔除^[14];

3) 随后, 以小时为单位, 对实验站区风速大于 6 m/s , 云量覆盖超过天空 10% 的整小时数据予以剔除^[15,16];

4) 然后, 以天为单位, 对雨、雪和冰暴等天气

的整天数据予以剔除^[14];

5) 最后, 以天为单位, 对已经有一半及以上数据被剔除的整天数据予以剔除.

采用上述标准和顺序对 2006 年 3 月至 2011 年 6 月记录的大气电场数据进行全面检查和筛选, 提取出“符合晴天条件”的大气电场数据. 统计计算, “符合晴天条件”的数据占总实验数据 (45480 h) 的 41.556%, 统计分布结果如图 2(b) 所示.

经过上述处理后的晴天大气电场序列在时间上分布不均匀, 采用 Lomb-Scargle 傅里叶变换对其进行频谱分析. 该方法不仅能有效地从时域序列中提取出弱周期信号, 还可以一定程度地减弱时域序列不均匀性产生的虚假信号. 此外, 该方法还能估计序列中存在各个频率信号虚警概率和显著性^[17]. 经过 Lomb-Scargle 傅里叶变换, 估计出各周期调制信号的频率后, 采用统计周期折叠法对该时间序列作周期折叠, 得到该频率信号在一个周期内的时间分布. 然后进行曲线拟合, 估计其幅度和相位.

4 结果与讨论

4.1 大气电场气象效应

为了了解和分析气象环境参量对晴天大气电场强度时间变化调制作用, 将实验站区同期记录的大气环境参量 (大气压强、室外温度和大气相对湿度) 与晴天大气电场强度的长时间变化进行对比分析, 结果如图 2 所示.

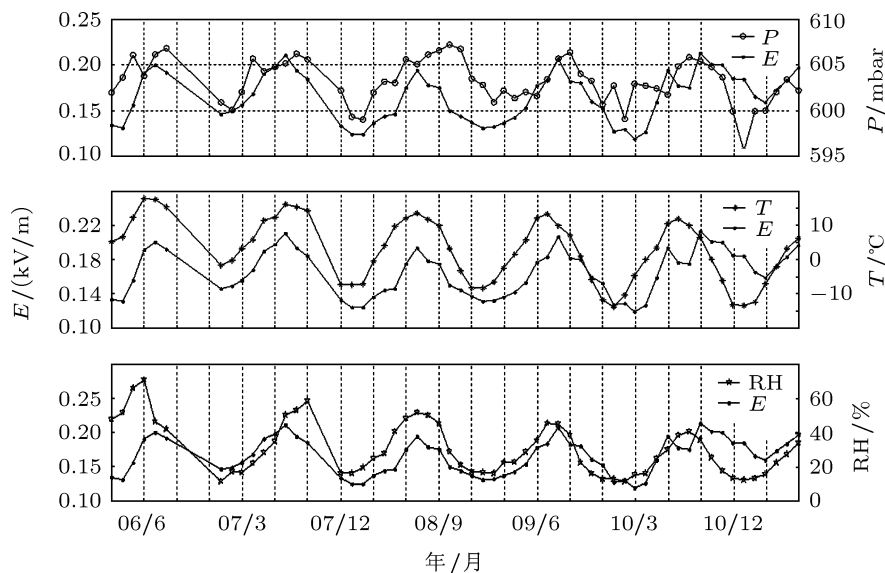


图 2 地表附近晴天大气电场强度与三个气象参量长时间变化曲线

大气电场强度与三个气象参量的长时间变化趋势基本一致,即大气温度、压强和湿度较高时,大气电场强度也相对较高,反之亦然.冬季,大气电场强度平均水平最低;夏季,晴天大气电场强度达到最大.为了更清楚地反映晴天大气电场与三个气象参量间的相关关系,图3给出了它们间的简单关联曲线和线性拟合结果.

近地晴天大气电场与三个气象参量呈正线性相关关系,即大气温度、大气相对湿度和大气压强增加时,大气电场强度也相应增强.其中大气温度与大气电场强度间的线性相关性最好,拟合度达到0.89.大气相对湿度和大气压强与大气电场强度间的线性相关性相对较弱,拟合系数分别为0.53和0.43.气象参量每单位变化对大气电场强度的改变量也不尽相同,大气温度、压强和大气相对湿度每单位变化引起的大气电场强度改变量依次

为0.0012 kV/m, 0.0064 kV/m 和 0.0004 kV/m.结合三个气象参量的变化范围,可以发现大气温度是影响大气电场强度地方性局地变化机理的主要气象因素.大气相对湿度和大气压强对大气电场强度变化也有一定影响,影响程度相对较小.

三个气象参量通过不同机理,不同程度地影响晴天大气电场强度.大气温度直接决定空间大气对流速度,附着有带电粒子的大气尘埃的流动改变大气传导电流 j ,间接地影响晴天大气电场强度.大气温度升高,空气对流加快,大气传导电流增强,晴天大气电场强度增加,即大气温度与晴天大气电场呈正线性关系.大气相对湿度和大气压强对晴天大气电场强度影响相对较弱.大气相对湿度越大,蒸发作用引起空间正电荷越多,大气电场强度越大^[7].大气压强可能是通过空间大气粒子浓度影响大气柱体电阻 R 间接影响晴天大气电场.

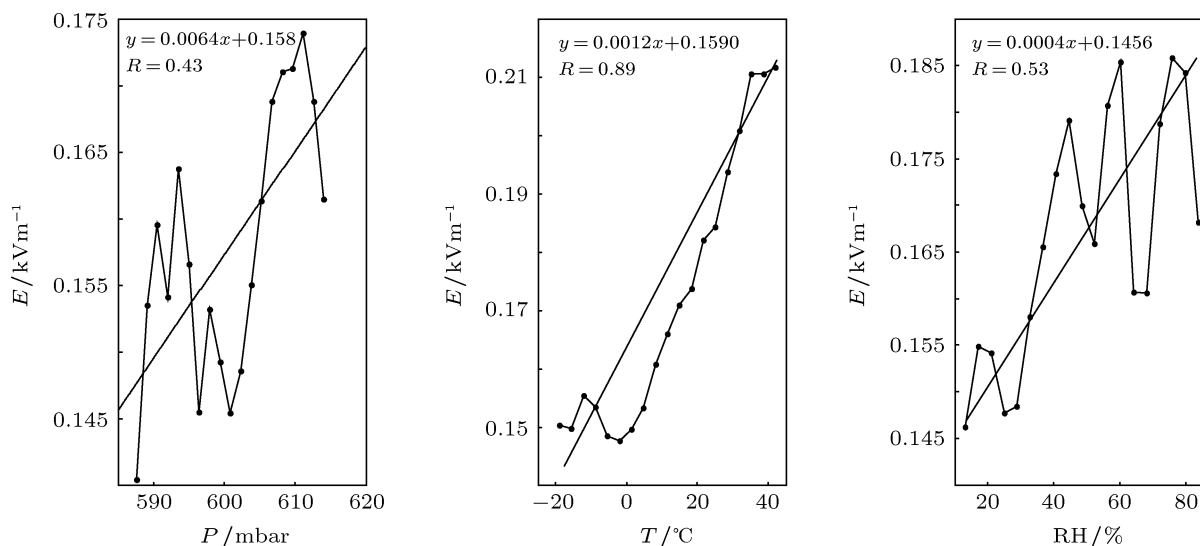


图3 晴天大气电场强度与三个气象参量间的简单关联图

4.2 晴天大气电场时间变化

图4(a)和(b)分别给出了2006年3月至2011年6月期间晴天大气电场强度长时间变化及其统计分布结果.图4(c)和(d)是两个特定太阳日期间的日变化曲线.

从图4(a)可以看到,晴天大气电场具有明显的季节效应.冬季,大气电场强度较低,均值大约为0.12 kV/m;夏季,电场强度最高,均值达到0.20 kV/m左右.这一结果与里斯本一观测站

的观测结果一致^[7].图4(b)显示的是经过筛选后的近地晴天大气电场统计分布结果,变化范围在0—0.3 kV/m之间,均值约为0.158 kV/m,该统计分布是一个较好的正态分布.图4(b)和(d)显示的是2009年10月16日和2006年3月26日两天的日变化曲线.除了平均水平有明显差异外,日变化趋势也略有不同.这种短时特定情形的晴天大气电场时间变化特征并不能很好地反映其全球性普遍变化.

晴天大气电场统计分布结果是一个较好的正

态分布,为 Lomb-Scargle 傅里叶变换应用于晴天大气电场序列频谱分析提供了必要的基础.图 5 给出了 2006 年 3 月至 2011 年 6 月期间,非均匀晴天大气电场时间序列的 Lomb-Scargle 傅里叶变换功率谱结果.

Lomb-Scargle 傅里叶变换功率谱中显著性最高的周期调制信号的信噪比约为 0.05.在周期大于年量级的低频处有很多信噪比较高的信号,这些低频信号到底是长周期调制信号还是

虚假信号,需要积累大量数据作深入分析.在频率 $f = 1.0, 2.0, 3.0, 4.0$ days/cycle 处都有显著性较高的调制信号,其信噪比依次减小.频率 $f = 1.0$ day/cycle 的频率信号对应晴天大气电场的太阳日周期调制,频率 $f = 2.0, 3.0, 4.0$ days/cycle 的调制信号是其二、三、四次谐波分量.更高次谐波分量非常微弱.初步确定,此晴天大气电场序列中存在频率 $f = 1.0, 2.0, 3.0, 4.0$ days/cycle 的四个周期调制信号.

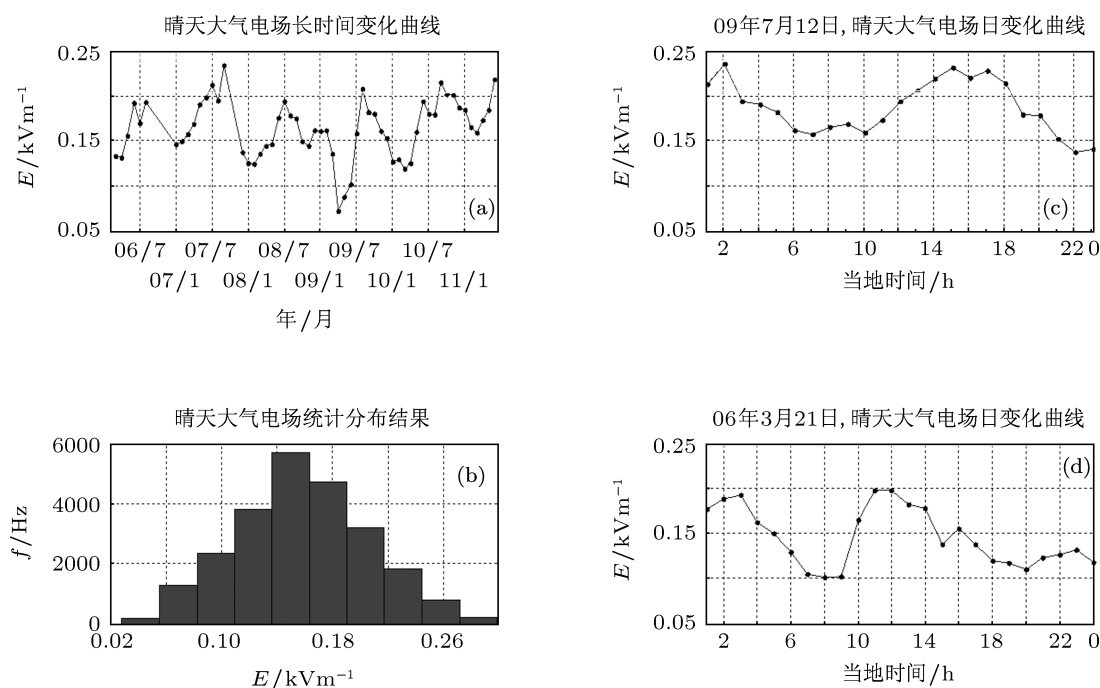


图 4 晴天大气电场时间变化和统计分布结果

图 4(c) 和 (d) 给出了西藏羊八井地区地表附近晴天大气电场强度在两个太阳日内的时间变化曲线,它们不能很好地反映该地区晴天大气电场的普遍变化机理.为了尽可能地消除局地环境和短时扰动影响,对晴天大气电场序列作日周期折叠,结果如图 6 所示.折叠中的平均过程大大减弱了短时偶然性扰动和其他非日周期信号的贡献.周期折叠是以周期 T 为单位对序列的时间进行折叠,频率 $f = 1.0, 2.0, 3.0, 4.0$ days/cycle 信号的周期 T 呈整数倍关系.因此,在折叠过程中,周期较小的信号对较长周期折叠结果有贡献(如 $f = 2.0, 3.0, 4.0$ days/cycle 周期信号对日折叠结果有贡献),即晴天大气电场日周期折叠结果中

含有其各次谐波分量.对晴天大气电场日变化曲线进行正弦曲线拟合时,增加了其二、三、四和五次谐波分量,拟合参数如表 1 所示.太阳日周期和二次谐波分量是调制晴天大气电场强度日变化特征的主要分量.太阳日周期调制主要是地球自转引起的结果,昼夜交替导致了太阳日周期的二次谐波分量调制,即半太阳日周期调制.三、四次谐波分量可能对应着局地气象环境引起的局地性变化机理和时域序列的非均匀性作用.更高次谐波分量非常微弱,如 5 次谐波分量调制幅度为 0.1 V/m 量级,比该实验大气电场仪探测精度 (1 V/m) 低一个量级.

图 6(a) 为晴天大气电场日变化特征及其正弦曲线拟合结果,拟合方程如图中所示,虚线为拟合

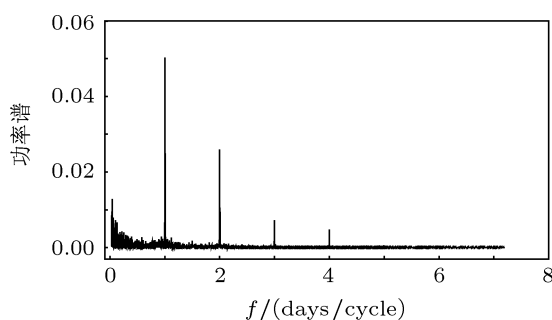


图5 晴天大气电场 Lomb-Scargle 傅里叶变换功率谱

表1 晴天大气电场日变化曲线的正弦曲线拟合结果

$f/(\text{days/cycle})$	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
$A/(\text{kV/m})$	-0.0096	0.0080	0.003	-0.0028	0.0006
φ/h	4.06	1.85	7.15	1.20	3.80

结果 95%的置信区间. 拟合结果显示: 所有晴天大气电场强度都落在 95%的置信区间内. 拟合系数 $R = 0.995$, 均方根误差为万分之一 V/m 量级. 除少许几个点外, 图 6(b) 显示的拟合残差强度小于该实验大气电场仪的探测精度 (1 V/m).

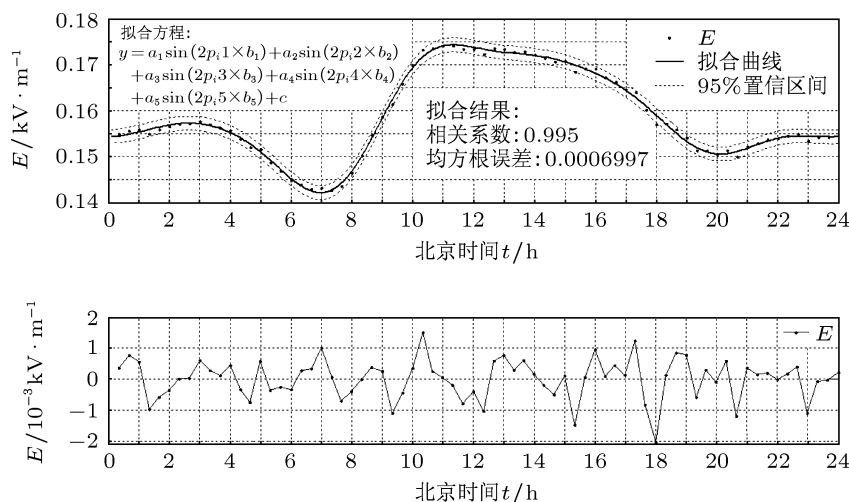


图6 晴天大气电场太阳日周期变化结果

从图 6 可以看到, 西藏羊八井地区近地晴天大气电场日变化呈大陆简单型, 即双峰双谷. 在当地时间早晨 7 时左右, 电场强度出现第一个波谷 (主谷), 强度约 0.145 kV/m. 然后, 在中午 11 时左右迅速达到最大值 (主峰), 强度约为 0.175 kV/m. 随后, 缓慢下降, 在夜间 20 时左右到达第二个波谷 (次波谷). 接着, 较平稳地变化, 于第二日凌晨 3 时达到第二个波峰 (次波峰). 最后, 在次日凌晨 7 点左右达到下一个主谷.

统计折叠中的平均过程将地方性局地变化机理大大减弱, 即晴天大气柱体电阻和大气电导率对晴天大气电场强度影响相对较弱. 因此, 图 6 显示的晴天大气电场日变化主要反映全球性普遍变化特征, 但也存在一定的地方性局地变化机理分量. 早晨太阳升起, 随着太阳紫外辐射强度增强, 大气电场强度从最低值迅速增大, 接近正午时达到峰值,

此过程中气温升高也加速了大气电场强度增大. 午后, 太阳紫外线辐射开始减弱, 大气电场减小; 同时大气温度持续上升 (在西藏地区, 室外温度大约在下午 16 时达到最大^[9]) 减缓了大气电场强度的下降速度. 因此, 此阶段大气电场强度下降过程不及前阶段上升迅速. 接着, 太阳紫外线辐射持续下降和大气温度的回落共同加速了大气电场下降, 在 20 时左右达到最低. 此后, 太阳紫外线辐射几乎为零, 一方面由于气温持续下降, 大气电场强度下降; 另一方面, 附着在空气尘埃上的带电粒子随着空气尘埃在夜间沉积, 大气柱体电阻和电导率减小, 大气电场强度缓慢回升, 在次日凌晨 3 时左右达到次波峰. 随后, 大气温度继续下降 (在西藏地区, 室外温度大约在凌晨 7 时到达最低^[9]), 晴天大气电场下降, 在次日凌晨 7 点左右达到下一个周期的主谷.

从图 2 和图 3 可知, 气象环境与大气电场有一

定的正线性相关,即大气压强、温度和湿度较高时,大气电场强度水平也相对较强.季节变化直接决定了各气象参量平均水平,因此,晴天大气电场强度日变化特征具有季节效应.为了分析季节性变化对近地晴天大气电场日变化影响,我们分季节对晴天大气电场序列进行日周期折叠.四个季节的日周期折叠及其多分量正弦曲线拟合结果如图7所示.

晴天大气电场强度日变化特征因季节而异.冬春季,晴天大气电场强度水平相对较低(0.14 kV/m);夏秋季,大气电场强度水平(0.18 kV/m)明显高于冬春两季.与冬春季相比,夏秋季的日变化特征相对复杂,这主要跟当地气候特征导致的人类活动规律有关.冬春季,西藏地区天气非常寒冷,“人类活动”较少,空气污染指数低;夏秋季,“人类活动”相对频繁,空气污染相对较重.不同季节,大气电场强度日变化的主峰和主谷因季节变化略有不同.主谷出现时间最早的是夏季,大约在早晨6时,出现最晚的是冬季,在早晨8时左右,这主要由季节性变化导致太阳升起早晚不同引起的;主峰出现早晚与主谷基本一致,次峰和次谷出现时间因季节不同差异较大.

图5给出的频谱显示:在频率 $f = 1.0, 2.0, 3.0, 4.0$ days/cycle 处存在显著性较高的频率信号.图8给出了四个频率附近的详细频谱结构.在频率 $f = 1.0$ day/cycle 主峰右边 ($f = 1.0027$ days/cycle 处) 存在显著性较高的次峰,该频率恰好等于恒星日周期调制信号频率.二次谐波

分量两侧 ($f = 2.0 \pm 0.0027$ days/cycle) 也存在两个显著性较小次峰,三、四次谐波分量两侧次峰的显著性非常微弱.

如果含噪的非均匀时域序列中存在频率为 f_0 的周期调制信号,主频信号与序列的取样频率间的相互作用可能会导致频率 f_0 附近 (f' 处) 出现次极大谱峰,这些次极大峰在一定窗口中可能会有较高的显著性^[18],因此不能仅仅通过功率大小和显著性来判断该时域序列中是否存在频率为 f' 的周期调制信号.为了辨别该次峰是虚假信号还是频率为 f' 的周期信号,从序列中除去频率为 f_0 的周期信号后,重新计算其功率谱.如果 f' 处还存在极大谱峰,就可以通过其显著性和虚警概率判断该序列中是否存在频率为 f' 的周期信号.如果 f' 处的次极大谱峰消失,那么该次峰可能是虚假信号,也可能是频率中存在该频率信号,但其信噪比太弱.对于含有多个周期调制信号的时域序列,可以重复使用上述方法.从晴天大气电场序列中依次扣除如表1所示的四个周期信号后,Lomb-Scargle 傅里叶变换功率谱如上图虚线所示.

扣除四个主频周期信号后,主频处的极大显著性谱峰不存在,其附近次极大峰也几乎消失.因此,仅能确定该序列中存在太阳日周期调制信号和二、三、四次谐波分量. $f = 1.0027$ days/cycle 的恒星日周期调制信号和 $f = 2.0 \pm 0.0027$ days/cycle 的周期调制信号存在与否,需要积累更大量数据作更深入研究.

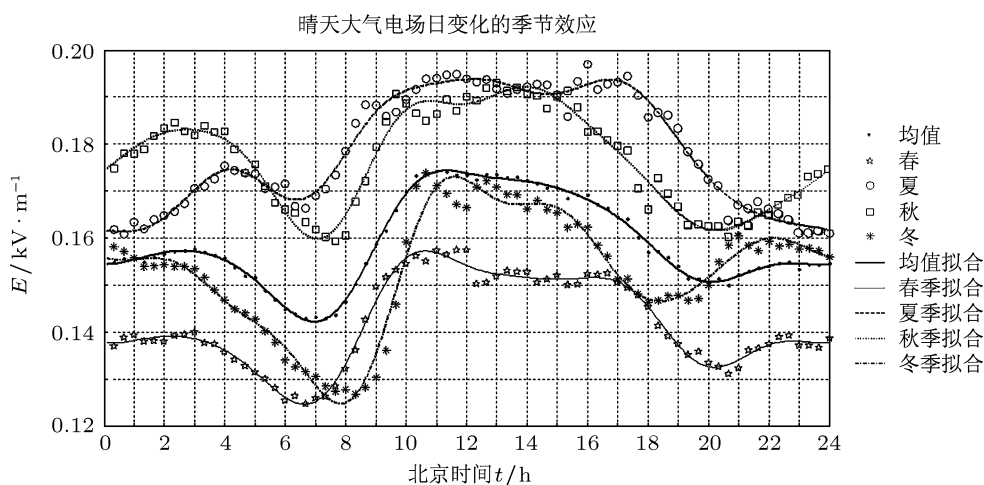


图7 晴天大气电场强度日变化特征的季节效应

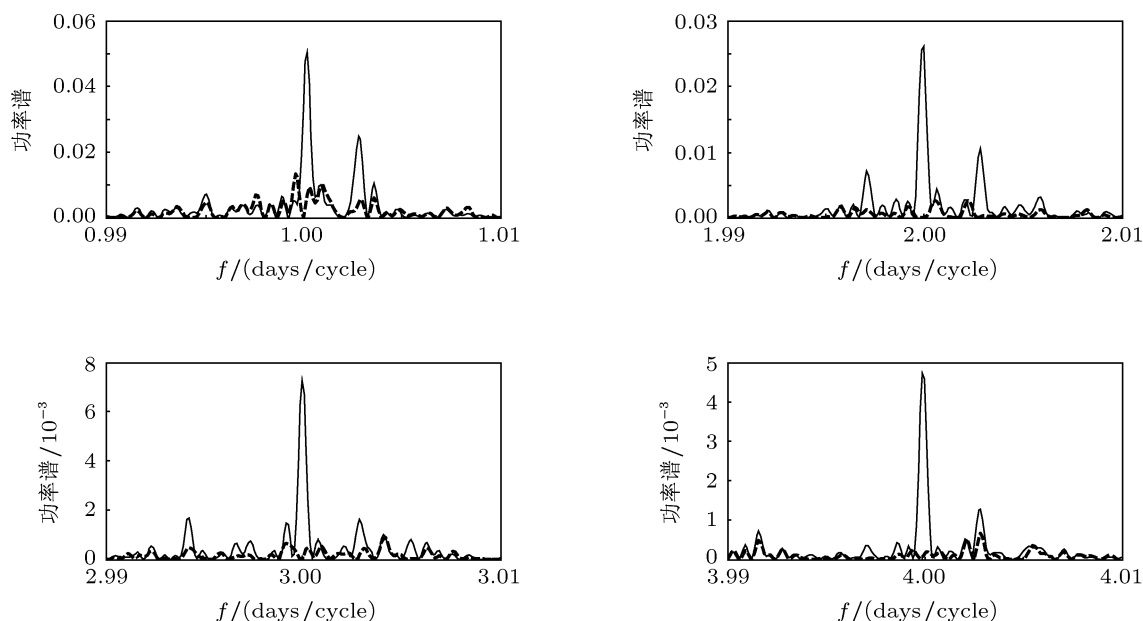


图8 太阳日、半太阳日和三、四次谐波分量频率附近,晴天大气电场强度 Lomb-Scargle 功率谱,虚线为扣除主频信号后的功率谱

5 结论

利用西藏羊八井宇宙线观测站记录的大气电场强度数据,研究了西藏地区近地晴天大气电场强度气象效应和时间变化,重点讨论了晴天大气电场日变化特征及其气象和季节效应,得到如下结论:

1. 近地晴天大气电场强度长时间变化有明显的季节效应. 冬春季,电场强度水平较低,约为 0.14 kV/m;夏秋季,电场强度水平明显较高,强度为 0.18 kV/m 左右.

2. 西藏地区近地晴天大气电场与三个气象参量呈正线性相关关系. 与大气温度间的线性相关性最好,拟合度达 0.89;与大气相对湿度和压强间的相关性相对较弱,拟合系数分别为 0.53 和 0.43.

3. 晴天大气电场受显著性较高的太阳日周期及其二、三、四次谐波分量调制作用,调制幅度依次减弱,更高次谐波分量显著性非常低.

4. 西藏地区近地晴天大气电场强度日变化呈大陆简单型,即双峰双谷. 主谷和主峰依次出现在

凌晨 7 点和中午 11 点左右;次峰和次谷出现在夜间 20 时和深夜 3 时左右. 峰、谷出现的具体时间因季节而异.

晴天大气电场强度的傅里叶分析结果显示:在频率 $f = 1.0\text{day/cycle}$ 的主峰右边 ($f = 1.0027\text{days/cycle}$) 存在显著性较高的次峰. 二次谐波分量两侧 ($f = 2.0 \pm 0.0027\text{days/cycle}$) 有两个显著性较高的二阶次峰. 主峰信号频率与次峰信号频率的差值恰好等于恒星日周期频率与太阳日周期频率间的差值. 这是巧合? 还是晴天大气电场强度序列中本来就存在该频率的微弱周期调制信号? 需要积累更大量数据作更深入研究.

由于实验数据统计量有限,本文没能分析年周期和太阳活动周期调制对晴天大气电场时间变化影响,这将是下一步工作重点.

作者感谢西藏羊八井宇宙线观测站所有合作成员的帮助.

[1] Marcz F, Harrison R G 2003 *Annales Geophysical* **21** 2193

[2] Zhao Y, Qie X Sh, Kong X Zh, Zhang T, Yang J, Feng G L, Zhang Q L, Wang D F 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 6616 (in Chinese) [赵阳, 郗秀书, 孔祥贞, 张广庶, 张彤, 杨静, 冯桂力, 张其林, 王东方

2009 物理学报 **58** 6616]

[3] Wu M L, Xu J Y, Ma R P 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 5006 (in Chinese) [吴明亮, 徐寄遥, 马瑞平 2006 物理学报 **55** 5006]

[4] Bering III E A, Arthur A F, Benbrook J R 2007 *Bull. Am. Meteor.*

- Soc. **88** 223
- [5] Bering E A, Few A A, Benbrook J R 1998 *Physics Today* **51** 24
- [6] Israelssona S, Tammetb H 2001 *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* **63** 1693
- [7] Latha R 2003 *Earth Planets Space* **55** 677
- [8] Chen W M 2006 *Lei Dian Xue Yuan Li* (2nd Ed.) (Beijing: Meteorology Press) p56–68 (in Chinese) [陈渭民 2006 雷电学原理, 第二版 (北京: 气象学出版社) 第 56—68 页]
- [9] Xu B, Zhang Y, Jia H Y, Chen T L, Yuan A F, Meng X R 2009 *Plateau Meteorology* **28** 314 (in Chinese) [徐斌, 张颖, 贾焕玉, 陈天禄, 袁爱芳, 孟宪茹 2009 高原气象 **28** 314]
- [10] Hoppel W A 1967 *J. Atm. Terrest. Phys.* **29** 709
- [11] Zhang Y J, Ge Zh M, Cheng ZH P, Meng Q 1998 *Plateau Meteorology* **17** 135 (in Chinese) [张义军, 葛正谟, 陈成品, 孟青 1998 高原气象 **17** 135]
- [12] Wilson C T R 1920 *Phil. Trans. A* **221** 73
- [13] Minamoto Y 2008 *Tech. Rep. Kakioka Magn. Observatory* **5** 11
- [14] Minamoto Y, Kadokura A 2011 *Polar Science* **5** 1
- [15] Kleimenova N G, Kozyreva O V, Kubicki M, Michnowski S 2010 *Geomagn. Aeron.* **50** 48
- [16] Guha A, De B K, Gurubaran S, De S S, Jeeva K 2010 *Journal of Earth System Science* **119** 221
- [17] Glynn E F, Chen J, Mushegian A R 2006 *Bioinformatics* **22** 310
- [18] Xu B, Yang T, Tan B H, Chen Y 2011 *Nuclear Electronics & Detection Technolog* **31** 702 (in Chinese) [徐斌, 杨涛, 谭保华, 陈益 2011 核电子学与探测技术 **31** 702]

The study of meteorological effects and time variations of the fair weather atmospheric electric field near ground in YBJ, Tibet*

Xu Bin[†] He Hua Yang Xiao-Yan Bie Ye-Guang Lü Qing-Hua

(College of Science, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

(Received 21 November 2011; revised manuscript received 17 February 2012)

Abstract

Based on the fair weather atmospheric electric field recorded by YBJ Cosmic Ray Station located at the YBJ High Altitude Cosmic Ray Laboratory (90° 31'50" E, 30° 06'38" N, 4300 m a.s.l., 606 g/cm²), Tibet, China, its meteorological effects and time variations are studied. The analysis in this paper is to look into how the factors like atmospheric pressure, temperature and relative humidity in the presence of the meteorological factors in four seasons govern the fair weather atmospheric electric field at the site of measurement. The results of meteorological effects show that there is a strong positive correlation between the fair weather atmospheric electric field and temperature, while a moderate positive correlation is seen between the fair weather atmospheric electric field and the atmospheric pressure, also the relative humidity. The long-term variations of the fair weather atmospheric electric field are affected by seasons. The mean value is higher in summer and fall, but lower in winter and spring. The daily variation of the fair weather atmospheric electric field is modulated by solar diurnal, semi-solar diurnal, and its third and fourth harmonic component. The higher the harmonic frequency, the lower the modulate amplitude is. The daily variation curves show bimodal variation with evening peak and sunrise peak. Two minima can also be seen in early morning and evening. Sunrise peak value is highest during summer and fall, but lowest in spring and winter morning. Sunrise peak occurs at around noon, and evening peak is modulated by the season effects.

Keywords: fair weather atmospheric electric field, meteorological effects, solar diurnal modulation

PACS: 52.80.Mg, 92.60.Pw

* Project supported by the Scientific Research Fund of Education Department, Hubei Province (Grant No. Q20111407), and the Scientific Research Fund of Hubei University of Technology for Doctors (Grant No. BSQD0917).

[†] E-mail: xu_bin1218@126.com