

高压线电磁场强度对大孔径闪烁仪观测的影响*

杨凡^{1,2} 张玉翠² 齐永青² 胡文清³ Bridget R. Scanlon⁴ 沈彦俊^{2**}

(1. 河北师范大学资源与环境科学学院 石家庄 050016; 2. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心 石家庄 050022; 3. 北京天诺基业科技有限公司 北京 100097; 4. 美国德克萨斯大学 德克萨斯 77377)

摘要 大孔径闪烁仪(Large Aperture Scintillometer, LAS)是测量水平距离上 250~4 500 m 地表能量平衡和水热通量的仪器。在其红外波传输的过程中会受到环境因素以及下垫面属性的影响。鉴于外界条件的复杂性,还会受到树木的阻挡以及高压线电磁场辐射等因素的影响。本文通过分析 2009 年 8 月~2010 年 3 月在中国科学院栾城农业生态系统试验站开展 LAS 观测过程中的影响因素,研究了高压输电线电磁场对 LAS 观测的影响。结果表明,当 LAS 红外光路径距高压线过近时对测定的感热通量 H_{LAS} 影响较大,导致计算结果与实际不符。通过计算提出了避免高压输电线电磁场干扰 LAS 观测信号的安全安装距离应是保证高压输电线电磁场强度小于 4.05 μT 的距离。结果可为开展同类观测试验提供参考。

关键词 大孔径闪烁仪(LAS) 地表通量 高压线 电磁场

中图分类号: TP206.1 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2011)02-0436-05

Effect of high voltage wire electromagnetic field intensity on Large Aperture Scintillometer (LAS) observation

YANG Fan^{1,2}, ZHANG Yu-Cui², QI Yong-Qing², HU Wen-Qing³, Bridget R. Scanlon⁴, SHEN Yan-Jun²

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016, China; 2. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050022, China; 3. Beijing Techno Solutions Limited, Beijing 100097, China; 4. University of Texas, Texas 77377, USA)

Abstract Large Aperture Scintillometer was widely used to measure horizontal distance (250~4 500 m) surface energy balance and fluxes of water and heat. In transmitting infrared waves, several environmental factors and land surface properties affect LAS signal. Further given the complexity of external conditions, high trees and electromagnetic fields of high voltage wires in the path of LAS light also blur receiver signal detection. Through experimentation at Luancheng Agro-Ecosystem Experimental Station of Chinese Academy of Sciences in August 2009 through March 2010, this paper, analyzed the effects of electromagnetic fields of high voltage wires on LAS observation. The result indicated when the space between the path of LAS infrared waves and high voltage wire was too narrow, measured sensitive heat flux (H_{LAS}) was greatly affected, causing the difference between the calculations and the practice. Following detailed analysis of the experimental data, the paper suggested safe distance, in which electromagnetic field intensity should be less than 4.05 μT , from high voltage wires during LAS installation in densely populated areas. The study would extremely benefit and improve future LAS observations.

Key words Large Aperture Scintillometer (LAS), Surface flux, High voltage wire, Electromagnetic field

(Received July 19, 2010; accepted Nov. 11, 2010)

大孔径闪烁仪(Large Aperture Scintillometer, LAS)是直接观测水平距离上 250~4 500 m 地表感热通量的仪器设备^[1]。在其发射端向接收端发射 880 nm

红外波的过程中会受到外界环境因素,如温度、相对湿度、风速、气压、下垫面属性等的影响,使接收端接收到的光强度发生偏差,这种偏差是由于光程中

* 国家自然科学基金项目(40871021)、中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-YW-08-03)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-448)资助

** 通讯作者: 沈彦俊(1971~), 博士, 研究员, 主要从事陆面水文过程方面研究。E-mail: yjshen@sjziam.ac.cn

杨凡(1986~), 硕士研究生, 主要从事地表水热过程与遥感和 GIS 应用方面的研究。E-mail: yangfan1182@126.com

收稿日期: 2010-07-19 接受日期: 2010-11-11

空气的“闪烁”引起的。LAS 就是利用接收信号的闪烁来测得引起空气折射系数波动的湍流强度^[1]。

LAS 广泛应用于农业、天气气候、水文和水资源管理等领域的地表湍流流量包括感热通量和潜热通量的准确测定。尤其是在大尺度地表能量平衡和水热通量研究中, 因其代表性观测尺度与卫星遥感影像可实现像素级匹配, 可作为验证卫星遥感像元尺度的直接观测手段, 从而倍受重视。近年来, 我国相关研究机构也逐步开展了基于 LAS 的地表能量平衡和水热通量监测工作^[2], 如黄河水利委员会等的海河 GEF 项目。

与其他通量监测设备相比, LAS 观测尺度较大, 更容易受到饱和度、风速等外界因子的影响导致观测结果出现偏差, 此类影响因素现已有明确技术方法予以解决。2009 年 6 月以来, 笔者所在研究团队于中国科学院栾城农业生态系统试验站安装一套荷兰 Kipp & Zonen 公司产 LAS, 在调试和监测过程中发现光路上的高压输电线路电磁场对 LAS 观测结果有明显影响, 而此前尚少有报道提及此类影响。本文对高压输电线路电磁场对 LAS 观测的影响进行分析, 提出在高压输电线路附近安装 LAS 系统并开展连续监测的解决方案。考虑到我国东部农业地区普遍存在村庄密集, 高压线路纵横交错的现状, 本研究可为类似地区开展 LAS 监测提供技术参考, 在提高安装调试效率, 保障监测结果的可靠度方面具有较大应用价值。

1 LAS 原理与工作概况

1.1 LAS 观测原理

由发射端发射 880 nm 波长的红外波至接收端, 当电磁波在扰动大气中沿直线传播时, 大气扰动会引起传播光束能量强度的波动, 这种现象称之为闪烁。接收端依据闪烁信号的强度大小获取空气折射系数波动的湍流强度计算得出温度结构参数 C_T^2 , 再根据莫宁-奥布霍夫近地层相似理论与气候数据相结合进行迭代运算, 由此求解出 LAS 测定的显热能量(H_{LAS})^[3-5]。计算 H_{LAS} 的主要公式如下:

$$C_T^2 = C_n^2 \left(\frac{T^2}{-0.78 \times 10^{-6} p} \right)^2 \left(1 + \frac{0.03}{\beta} \right)^{-2} \quad (1)$$

$$C_T^2 (z_{LAS} - d)^{\frac{2}{3}} / T_*^2 = f_T [(z_{LAS} - d)/L] \quad (2)$$

$$T_* = \frac{-H_{LAS}}{\rho C_p u_*} \quad (3)$$

$$u_* = ku / \{ \ln [(z_u - d)/z_0] - \psi_m [(z_u - d)/L] + \psi_m (z_0/L) \} \quad (4)$$

式中, z_{LAS} 为闪烁仪光径高度, z_u 为风速的观测高度, z_0 为动力学粗糙度, d 为零平面位移, ρ 为空气密度, β 为波文比, p 为大气压, C_p 为空气定压比热, H 为显热通量, L 为莫宁-奥布霍夫长度, k 为卡曼常数, T_* 为摩擦温度, u_* 为摩擦速度, ψ_m 为动量稳定度修正函数, f_T 为稳定度普适函数。

影响 LAS 观测精度的因素主要是风速、波文比、光径高度以及动力学粗糙长度^[6-7]。

1.2 LAS 安装与观测概况

LAS 装置安装于中国科学院栾城农业生态系统试验站(E114°41', N37°53'), 主要开展华北典型一年两熟区冬小麦-夏玉米作物生态系统能量平衡研究。

2009 年 8 月 LAS 装置架设在与 220 kv 高压线约成 30° 夹角的两端, 下垫面为玉米。光程 2 300 m, 有效高度 16.5 m, 西南发射端实际有效高度为 16 m, 东北接收端实际有效高度为 16.5 m。在距离接收端 40 m 的高塔上装有一套涡度相关仪, 安装高度为 3 m。同时该塔上配有风速、风向、空气温湿度、净辐射、地表辐射温度、降水量、土壤热通量、7 层土壤温度、6 层土壤湿度以及气压等气象要素的观测。在观测路径上距离接收端约 1 100 m 的地方有 220 kv 的高压线经过, 输电线架设高度约为 20 m, 相邻两个塔之间的弧垂为 5 m。

经过反复调试, 发现高压线电磁场对 LAS 信号具有极大的干扰作用, 2010 年 3 月将 LAS 安装位置进行了调整。将 LAS 装置架设在与 10 kv 高压输电线垂直方向的两端, 下垫面为小麦, 光程 1 330 m, 有效高度 8.5 m, 西南发射端的安装高度为 5 m, 东北接收端的安装高度为 8.5 m。在距离发射端 200 m 的高塔上装有一套涡度相关仪, 安装高度 3 m。在距发射端约 500 m 的地方有 10 kv 的高压线经过, 该输电线架设高度为 10 m, 弧垂忽略不计。

2 LAS 观测中存在的问题

在 LAS 的观测说明中, Kipp & Zonen 公司给出的数据以及实际观测经验得出电压 Uc_n^2 与 $Demod$ 的正常取值范围如图 1 所示。

依据 2009 年 8 月 LAS 的观测数据进行检测计算(图 2)。当发射端以额定功率发射红外波到接收端时, 接收端获得的信号为 10~15, 实际获得空气折射系数的电压线号 Uc_n^2 不稳定, 且 $Demod$ 信号偏弱; 当加大发射端发射功率时, 接收端信号会有所增加, 但效果不明显, 信号仍为 10~15, 将获取的数据代入到式(1)~式(4)计算得出的 H_{LAS} , 几乎不能检测到感热通量。而利用涡度相关系统(Eddy covariance, EC)检测到的感热通量(H_{EC})日间最大值达 100~150 $W \cdot m^{-2}$ 。综合分析影响 LAS 的相关因素, 如温度、

相对湿度、风速气压、下垫面属性等，其计算结果仍然存在问题。所以认为造成此现象的原因是 LAS

红外波路径中高压线电磁场的存在，导致 H_{LAS} 与 H_{EC} 间差异显著。

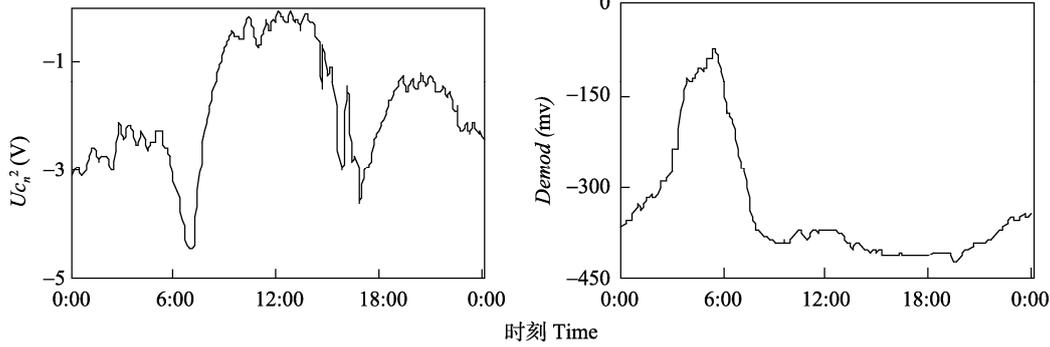


图 1 LAS 观测的 Uc_n^2 与 $Demod$ 的正常取值范围
Fig. 1 Normal range of Uc_n^2 and $Demod$ of LAS

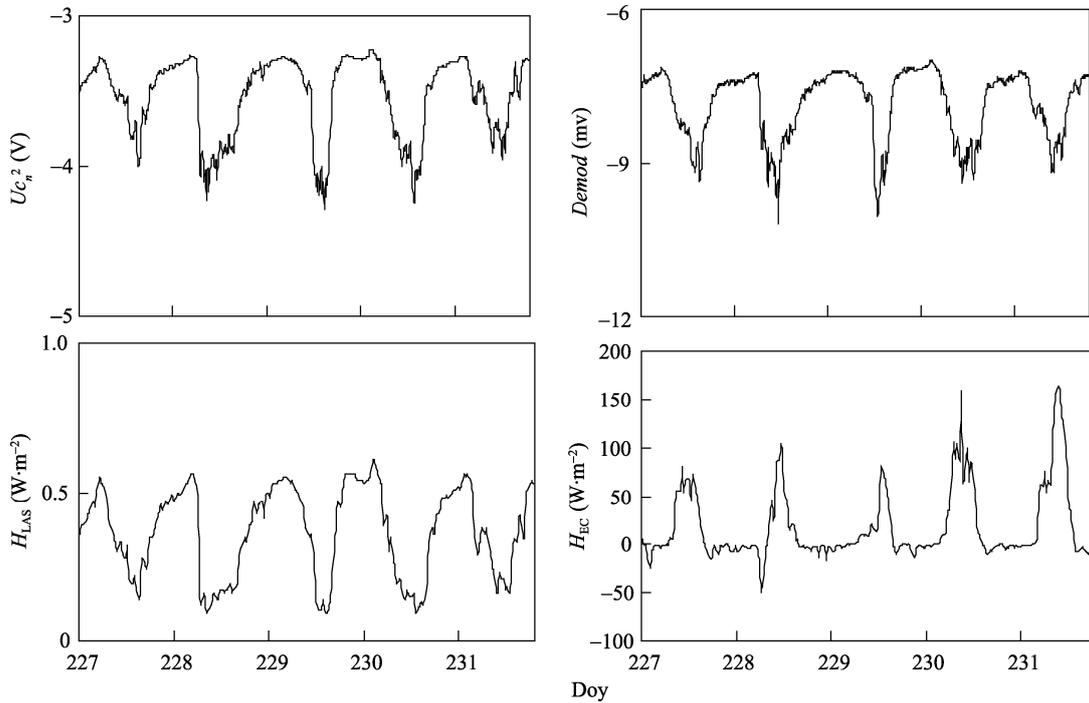


图 2 2009 年 8 月红外波路径中存在高压线电磁场的 LAS 测定的 Uc_n^2 、 $Demod$ 及涡度相关系统测定的 H_{LAS} 和 H_{EC}
Fig. 2 Uc_n^2 , $Demod$ measured by LAS with high voltage wire electromagnetic field in its infrared wave way and H_{LAS} , H_{EC} measured by Eddy Covariance System in Aug. 2009

3 高压线电磁场对 LAS 信号衰减的影响分析

3.1 高压线电磁场强度计算

高压线电磁场的大小与电流以及距导线的远近相关联^[8-9]，其公式如下所示：

$$T = \frac{\mu_0 \times I}{2\pi \times r} \quad (5)$$

式中， T 为磁场强度； I 为电流； r 为距离高压线的垂向距离； μ_0 是一个常量，为 $4\pi/10\ 000\ 000$ 。

变电站变压器容量大小以及输电线线径电阻的不同致使输电线路电流产生差异，进而导致导线周围在不同距离上电磁场强度的变化(图 3)。

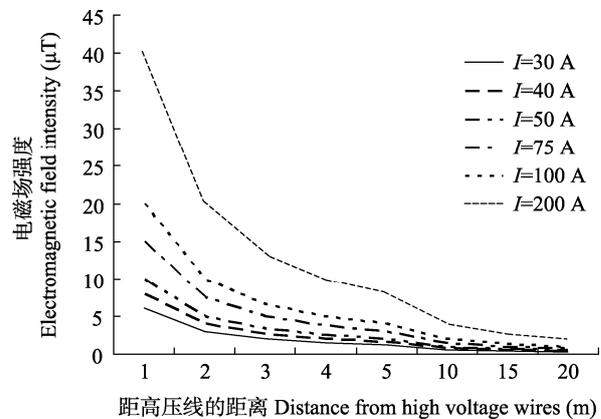


图 3 不同电流强度下距高压线不同距离的磁场强度
Fig. 3 Magnetic field strength at different distance from high voltage wires with different current intensities

3.2 高压线电磁场对 LAS 信号影响分析

为了减小 LAS 光程上高压输电线的影 响, 2010 年 3 月将 LAS 的安装进行了调整, 架设在与另一 10 kv 高压输电线垂直方向的两端进行试验观测。

图 4 所示为 LAS 两次安装过程中与高压线及其周围电磁场的空间位置关系。在改变安装前, LAS 发射端向接收端发射 880 nm 的红外波穿过高压线电磁场时受到传播路径中 220 kv 高压线电磁场强度的影响较大。220 kv 高压线电流为 200 A 时的电磁场强度和 10 kv 高压线电流为 75A 时的电磁场强度可以依据式(5)计算得到, 其分布规律如图 5 所示。从图 5 可以看出, 随距离高压线距离半径的增大场强逐渐减小。220 kv 高压线的挂点高度(H)为 20 m, 最大弧垂(S)为 5 m, LAS 的安装高度为 16.5 m, 其 LAS 的光径约从最大弧垂的上方 1.5 m 处穿过(图

4a)。受到高压线电磁场强度的影响约为 26.7 μ T。这个场强几乎完全破坏了 LAS 的信号, 从而造成图 2 中出现的情况。

2010 年 3 月将 LAS 安装调整, 降低发射端的安装高度, 增大发射端与接收端的夹角, 以增加光径与高压线间的距离, 从而减小高压线电磁场强度对 LAS 红外波传播的影响(图 4b)。LAS 发射端高度为 5 m, 接收端为 8.5 m, 两者地面水平距离为 1 330 m, 根据勾股定理和正弦定理计算得红外波的有效传播路径为 1 330.005 m, 发射端与地面的夹角为 0.15 $^\circ$ 。高压线与红外波传播路径的交点距发射端约 500 m, 红外波传播路径距高压线的距离约为 3.7 m。该地 10 kv 的高压线输电电流为 75 A, 此时电磁场强度为 4.05 μ T(图 5)。此时获得了较好的观测信号(图 6)。

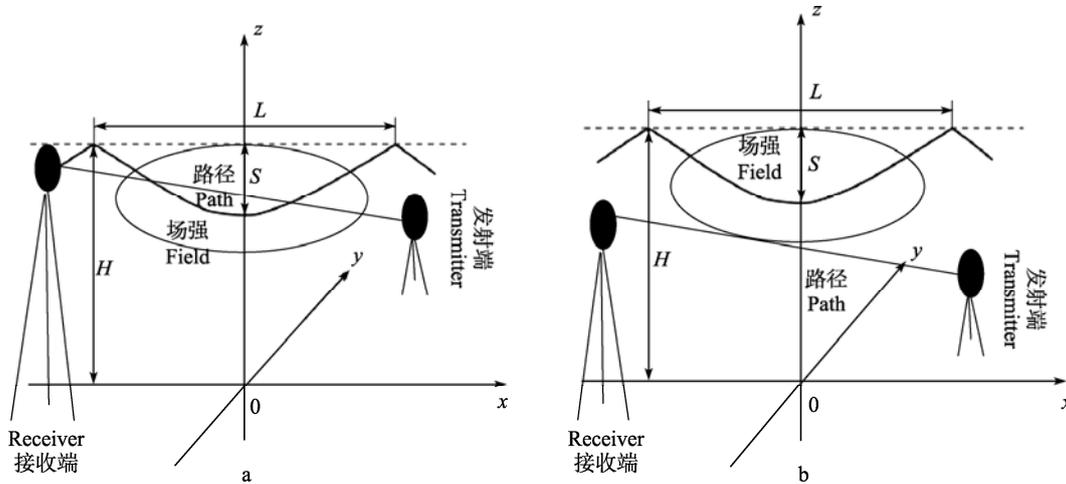


图 4 2009 年 8 月 LAS 与 220 kv (a) 高压线和 2010 年 3 月 LAS 与 10 kv (b) 高压线位置关系示意图

Fig. 4 Schematics of spatial relationship between LAS installed in August 2009 and 220 kv (a) high voltage wire and LAS installed in March 2010 and 10 kv (b) high voltage wire

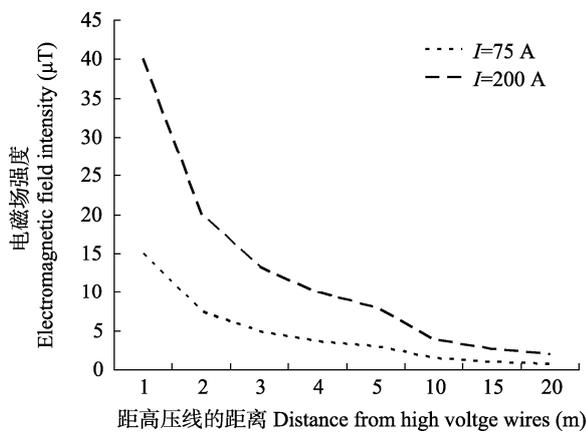


图 5 10 kv 与 220 kv 高压线周围磁场强度

Fig. 5 Magnetic field strength around 10 kv and 220 kv high voltage wires

依据获得的观测数据 Uc_n^2 和 $Demod$, 代入式 (1)~(4) 计算得出该时期的显热通量值 $H_{LAS}^{[10-11]}$ (图 6)。由图 6 可看出, 当 LAS 路径经过高压线低场强区域小于 4.05 μ T 时, 受高压线辐射的影响明显减弱, 经验证明该时期的显热通量值与实际相符。

4 结论与讨论

本文通过分析高压线电磁场强度对 LAS 红外波敏感性的结果表明, 当 LAS 光径距离高压线过近对 H_{LAS} 影响较大, 从而导致计算结果与实际不符。建议在 LAS 的安装过程中应当尽量避免光径路程通过高压线电磁场。但由于受当地安装环境的限制, 无法避免高压线时, 应当确保 LAS 光径通过的高压线电磁场区小于 4.05 μ T。

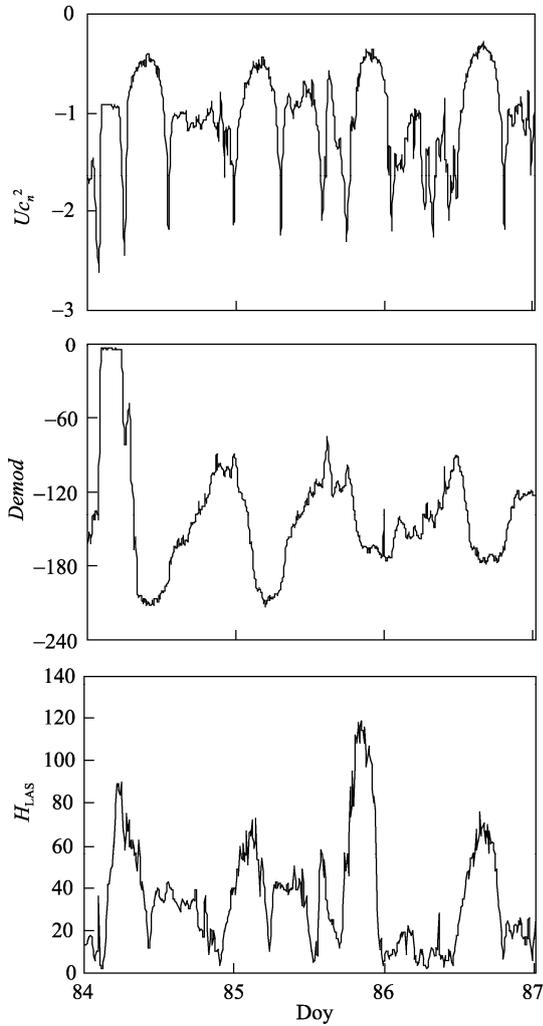


图 6 2010 年 3 月安装的 LAS 测定的 Uc_n^2 和 $Demod$ 及相应的 H_{LAS}

Fig. 6 Uc_n^2 and $Demod$ measured by LAS installed in March 2010 and the corresponding H_{LAS}

本试验结果表明, 在 LAS 安装路径与高压线保持一定的安全距离时, 可以得到较好的观测值。

参考文献

- [1] Kipp & Zonen. Instruction Manual.
- [2] 戴东, 邱淑会, 张诚, 等. 大口径闪烁仪监测系统在黄河流域的应用[J]. 水利水文自动化, 2008(4): 38-41
- [3] 杜得彦. LAS 原理及其在黄河河源区的应用[J]. 水文, 2007, 27(2): 71-73, 25
- [4] 卢俐, 刘绍民, 孙敏章, 等. 大口径闪烁仪研究区域地表通量的进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(9): 932-938
- [5] 彭谷亮, 刘绍民, 蔡旭晖, 等. 非均匀下垫面湍流通量观测的印痕分析[J]. 大气科学, 2008, 32(5): 1064-1070
- [6] 黄妙芬, 刘绍民, 朱启疆. LAS 测定显热通量的影响因子分析[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(4): 133-138
- [7] 卢俐, 刘绍民, 徐自为, 等. 不同下垫面大口径闪烁仪观测数据处理与分析[J]. 应用气象学报, 2009, 20(2): 171-178
- [8] 肖冬萍, 何为, 杨帆, 等. 不同气象条件下特高压输电线路工频电场计算与档距选择[J]. 高压电技术, 2009, 35(9): 2081-2086
- [9] 肖冬萍, 何为, 谢鹏举, 等. 高压输电线路电晕放电特性及其电磁辐射场计算[J]. 电网技术, 2007, 31(21): 52-55
- [10] 白洁, 刘绍民, 毛德发, 等. 基于大口径闪烁仪的海河流域蒸散量分析[J]. 水信息网, 2009
- [11] 双喜, 刘绍民, 徐自为, 等. 黑河流域观测通量的空间代表性研究[J]. 地球科学进展, 2009, 24(7): 724-733