

# 基于相关分析的电力微气象站选址研究

马琳<sup>1</sup> 邓帮飞<sup>2</sup> 李红云<sup>1</sup> 黄文娟<sup>1</sup> 万明阳<sup>3</sup>

(1 北京国网富达科技发展有限公司, 北京 100070; 2 国网重庆市电力公司电力科学研究院, 重庆 400000;  
3 象辑知源(武汉)科技有限公司, 北京 100084)

**摘要:** 基于湖北省气象站的观测资料, 分析了微气象数据的偏相关系数与站点水平距离的关系, 利用正则化的最小二乘法进行指数拟合, 得到对于微气象数据相关距离的最小估计, 并对微气象数据统计值与站点海拔高度进行了线性拟合, 结果对于电力微气象站选址距离的确定具有参考意义。

**关键词:** 电力微气象站, 微气象数据, 相关分析

**DOI:** 10.3969/j.issn.2095-1973.2017.02.003

## Study of Sitting a Micro-Station Based on Correlation Analysis

Ma Lin<sup>1</sup>, Deng Bangfei<sup>2</sup>, Li Hongyun<sup>1</sup>, Huang Wenjuan<sup>1</sup>, Wan Mingyang<sup>3</sup>

(1 Beijing State Grid Fuda Science & Technology Development Co., Ltd, Beijing 100070  
2 Electric Power Research Institute, State Grid Chongqing Electric Power Corporation, Chongqing 400000  
3 Xiangjizhiyuan (Wuhan) Technology Co. Ltd., Beijing 100084)

**Abstract:** This article analyzes correlations between micrometeorological data and horizontal distances at different sites in Hubei Province. Then an exponential regression is carried out by normalizing the least square method in order to obtain the minimum estimation of relative distances to select a site of micro-station. Additionally, the fitting statistics are also performed between meteorological data and altitudes. The result gives a reference to determine the appropriate distance of setting a micro-station.

**Keywords:** micro-station, micrometeorological data, site selection

### 0 引言

近年来, 国家电网规划建设交流1000 kV和直流±800 kV特高压输电系统, 以加快我国电力事业的发展, 保证经济稳定持续快速发展<sup>[1]</sup>。然而随着电网系统变电站、输电线路的覆盖面不断扩大, 大风、雷电、雾霾、冰冻等灾害性天气对输电通道及变电站安全运行产生的侵扰随之增大<sup>[2]</sup>, 尤其一些极端天气会直接导致线路故障停运, 例如2008年冬季的雨雪冰冻灾害, 对电网的运行、电力的供应和电网企业的经营效益造成了极为严重的影响<sup>[3]</sup>。电网安全生产需要从输电线路及变电站气象条件、环境条件、风险因素和地理位置开展动态评估, 从而指导运维检修计划的开展。

电力微气象站是安装在输电线路杆塔上的微型气象站, 通过无线网络将温度、湿度、气压、风速、雨

量、光辐射等微气象数据实时传输到监控系统, 有助于电力部门判断杆塔附近区域的气象状况<sup>[4-5]</sup>。由于我国自动气象站大多建立在城镇和郊区, 其观测记录可反映该城镇附近的气象条件, 但难以反映电网沿线峡谷、风口、高山等复杂地形的实际气象情况, 因此迫切需要在输电通道增设电力微气象站, 以掌握更详尽的电网微气象资料, 在这种情况下合理的电力微气象站选址规划变得尤为重要。

本文基于湖北省71个国家气象站的观测数据, 通过对各站点间气象数据关联性的统计分析, 拟合出微气象数据的相关系数与气象站距离的关系, 对电力微气象站的布局规划给出了初步的建议。

### 1 资料与方法

#### 1.1 资料说明

本文所用气象数据来自于湖北省71个国家基准站的逐小时观测记录, 站点分布如图1所示。气象数据种类包括气温、湿度、气压、降水量、风速、露点温度, 起止时间为2015年12月1日—2016年9月30日。高

收稿日期: 2016年11月9日; 修回日期: 2016年12月25日  
第一作者: 马琳(1984—), Email: mmlaaqi@163.com  
资助信息: 国家电网公司总部科技项目《电网气象监测网组网及应用关键技术研究》资助

程数据来自ASTER GDEM V2的30m精度TIF数据。



图1 所用资料站点分布

Fig.1 Geographical distribution of the weather stations

## 1.2 资料处理方法

### 1.2.1 关联性计算

两个气象站观测数据的关联性是随着水平距离增大而下降的,本研究的目的在于通过已有观测数据计算出气象要素的关联性随距离变化的衰减系数,从而确定两个相邻微气象站的合理距离。

一般情况下,两组时间序列 $X_1$ 和 $X_2$ 的关联性可由其相关系数来表示<sup>[6]</sup>:

$$r_{12} = \text{Corr}(X_1, X_2) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{2i} - \bar{x}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{x}_2)^2}}, \quad (1)$$

式中,  $x_{ki}$ 表示第 $k$ 个气象站在第 $i$ 个时刻的数据。对于降水等没有明显周期性变化的气象要素,如果两个气象站的相关系数较高,则能够反映出两地由于地理位置接近而具有相似的天气状况。

另一方面,气温等气象要素具有较高的自相关性,各地的气温通常呈现出相似的日变化和年变化趋势,即使两个站点相距较远,其观测数据也具有较高的相关系数。为了突出由于地理因素造成的气象要素相关性,弱化由相似的整体变化趋势带来的影响,本文中采用偏相关系数来表征两个气象站的关联性。具体来讲,以所有气象站的平均值序列 $X^M$ 来代表整个湖北省天气状况的整体变化趋势,则气象站数据对于该平均值序列的偏相关系数 $r_{12(M)}$ 可由公式(2)进行计算<sup>[7]</sup>:

$$\begin{cases} X^M = \sum_{k=1}^K X_k \\ r_{jM} = \text{Corr}(X_j, X^M), j=1, 2. \\ r_{12(M)} = \frac{(r_{12} - r_{1M}r_{2M})}{\sqrt{(1-r_{1M}^2)(1-r_{2M}^2)}} \end{cases} \quad (2)$$

以武汉站和宜昌站的数据为例,两个气象站的水平距离为260 km,由表1可以看出,其气温和气压相关系数均超过0.95,湿度相关系数超过0.7,这主要是由于较大地理范围内的温、湿、压要素具有相似的日变化规律造成的,并不能说明两地的气象状况具有高度相关性。相对地,表1中所有气象要素的偏相关系数均低于0.5,属于弱相关至中等相关的水平,以两地的水平距离来看,以偏相关系数代表其相关性显然更为合理。为简单起见,若无明确说明,下文中的相关系数均指代偏相关系数。

表1 武汉站和宜昌站气象要素的相关系数和偏相关系数对比  
Table 1 Comparison between correlation coefficient and partial correlation coefficient of meteorological elements in Wuhan and Yichang Stations

气象数据	气温	气压	湿度	风速	降水量
相关系数	0.971	0.991	0.773	0.169	0.097
偏相关系数	0.332	0.487	0.248	0.106	0.056

相比于水平距离的变化,气压等变量对于高程的变化更为敏感。由于文中采用的气象站间距离较大,难以比较同一区域内的相关系数随高程的变化趋势,所以本文采用对变量平均值和高程进行线性拟合的方式,这在一定程度上能够反映高程对气象要素的影响。

### 1.2.2 相关系数参数拟合

气象要素关联性随着站点水平距离增大呈递减趋势,本文以指数衰减函数对其进行拟合:

$$r = e^{(-d/D)}, \quad (3)$$

式中,  $r$ 为相关系数,  $d$ 为站点水平距离,  $D$ 为待拟合参数。以指数衰减函数拟合的好处是,拟合参数 $D$ 可以直接作为气象要素的相关半径。当两个气象站的水平间距大于 $D$ 时,其相关系数的期望值小于 $e^{-1}$ ,关联性较弱,因此气象站的观测数据仅在这个范围以内具有代表意义。对参数 $D$ 的拟合采用最小二乘法:

$$D = \arg \min_D \sum_{i=1}^N [r_i - e^{(-d_i/D)}]^2. \quad (4)$$

由于任意两个气象站点间的地形、地貌、土壤和植被状况相差悬殊,式(3)不可能完全反映出气象要素相关性随距离的变化关系。从 $r$ - $d$ 散点图(图2)上可以看出,相关系数与站点距离表现出明显的负相关关系,但相同距离下的相关系数在纵轴上仍具有较大分布,如果直接采用上述模型进行拟合,将有高估站点相关性的风险。

对于电力微气象站而言,由于电网杆塔通常架设在山区和丘陵地区,较为复杂的局部地形使得小范围内气象状况变化迅速,因此对于气象因子的强相关半

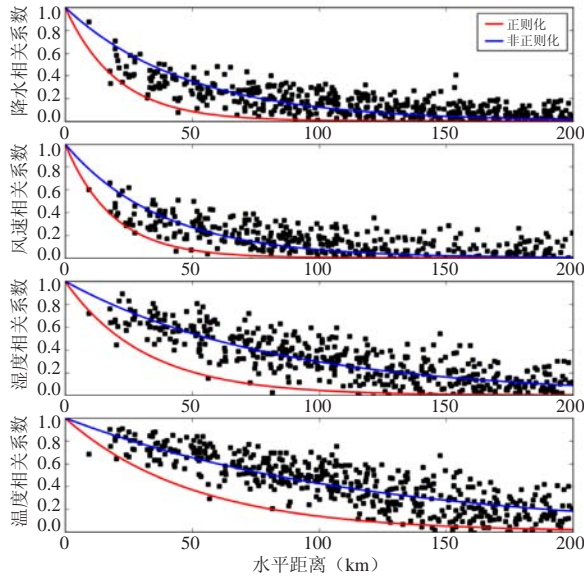


图2  $r-d$ 散点图与拟合曲线  
Fig. 2  $r-d$  scatter plot and fitted curve

径估计得越小越好。基于上述考虑，在最小二乘拟合中引入二次正则项作为相关半径 $D$ 的惩罚函数，即：

$$D = \arg \min_D \left\{ \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [r_i - e^{(-d_i/D)}]^2 + \alpha D^2 \right\}, \quad (5)$$

式中， $\alpha$ 为正则化参数，正则项的引入将使得 $D$ 的拟合值偏小。如果选择了恰当的正则化参数，式(2)的计算值将作为该距离下相关系数的下界而非平均值，因而得到的相关半径 $D$ 具有较高的置信度。另一方面，如果 $\alpha$ 取值过大将使得拟合结果失去参考价值。本文中选取 $\alpha=3.5 \times 10^{-5}$ ，既能使参与拟合的多数点位于拟合曲线上方，又不至于将 $D$ 拟合得太小，具体结果如表2所示。

表2 相关系数与水平距离参数拟合结果  
Table 2 The results of fitting between correlation coefficients and horizontal distance

	$D_0$ (km)	$D_R$ (km)	A
降水	49	22	98.7%
风速	45	20	97.9%
湿度	84	33	97.5%
温度	118	52	95.0%

## 2 气象站观测数据的相关分析

### 2.1 $r-d$ 参数拟合结果分析

选取所有气象站中海拔差距不超过50 m，水平距离不超过300 km的组合，计算其降水、风速和湿度的相关系数，并分别按公式(4)和(5)进行相关半径的拟合。表2中， $D_0$ 为按照原始的最小二乘法拟合出的相关半径， $D_R$ 为引入正则项后拟合出的相关半径，

参数A为位于正则化拟合曲线上的点所占比例。

由表2及图2可以看出，正则项的引入使得对相关半径的估计明显降低，并且有超过95%的点位于拟合曲线上方，拟合出的曲线可近似作为相关系数的下界线。表2的拟合结果表明，即使在采用偏相关系数表征关联性的情况下，温度和湿度数据仍具有较大的相关范围，而降水量和风速的相关半径相对较小且都接近于20 km。因此，降水量和风速可作为决定气象站水平相关距离的关键因素，即使考虑地形和土壤等因素，在 $D_R=20$  km范围内的常规气象要素也应当具有显著相关性。如果以相关系数大于0.8作为强相关判据，则可以定出气象要素的强相关半径为：

$$D = -\ln 0.8 \cdot D_R \approx 4.5 \text{ km}. \quad (6)$$

气象站的观测数据在这个范围以内具有较强的代表性，因此在地势起伏变化不大的平原或丘陵地区，每4~5 km设置一个微气象站即能够满足大部分的常规气象观测需求。

### 2.2 气象要素与高程的相关分析

相比于水平距离的变化，温度、气压等要素对高程的变化更为敏感，图3列出了各气象站的气象要素统计值与高程的分布散点图。由于湖北省中部和东部多为平原地区，大部分气象站所处海拔高度都小于200 m。在6个气象要素中，降水、风速和湿度均值与高程无明显相关关系，而气温、露点温度和气压平均值与高程具有明显的负相关关系。根据线性拟合结果，当海拔差距超过200 m时，平均温度的差异在1℃以上，此时气象站观测数据的相关范围主要受垂直高度的影响。由于气温和气压平均值与海拔高度具有较高的线性相关性，因此一个比较经济的气象站选址方案是在山谷和接近山顶处分别设立气象监测装置，利用线性插值来估计不同海拔位置的气温和气压值。

## 3 总结与讨论

本文基于湖北省71个国家级气象站的逐小时观测记录，分析了常规气象数据的关联性与气象站距离的关系，具体结论如下。

1) 由于各地的气温等气象因子具有相同的整体变化趋势，其相关系数普遍较高，而采用偏相关系数更能够突出由于邻近的地理位置造成的气象关联性。

2) 降水和风速是决定气象站观测数据相关距离的重要因子，本文利用正则化的最小二乘法拟合，估计出气象站常规要素的最小强相关距离为4.5 km。在平原和丘陵地区，每隔4~5 km设置一个电网微气象站较为合适。

3) 气压和气温与海拔高度具有明显的线性相关

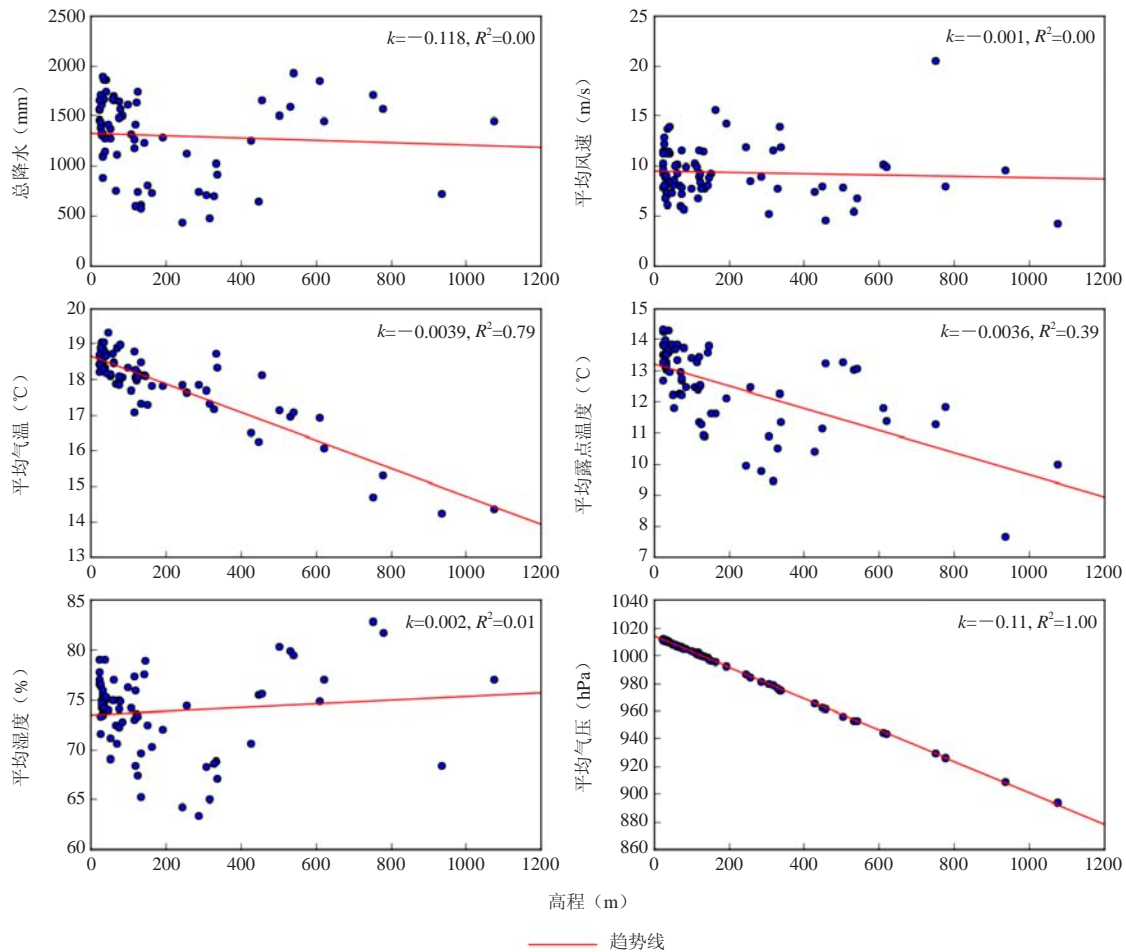


图3 气象数据均值—高程线性拟合图

Fig. 3 Linear fitting of mean values of meteorological data to the altitudes

性，当输电通道沿线地势起伏较大时，可在山顶和山谷分别设立气象监测装置，利用线性内插来估计中间区域的气象要素值。

本文选取的气象站为国家级气象站，由于气象站间距较大，文中只简单地考虑了高程差和水平距离的影响，没有将实际的复杂地形和植被数据纳入考虑，也没有考虑海拔对于风速的影响，因此结论的可靠性有待进一步验证。在实际电网微气象站选址工作中，往往还需要考虑历史气象灾害分布，将气象站建立在易发生覆冰、大风等灾害的地区，以方便对电网气象灾害的监测和预警。

#### 参考文献

- [1] 刘振亚. 中国特高压交流输电技术创新. 电网技术, 2013, 37(3): 566-574.
- [2] 李庆峰, 范峙, 吴穹, 等. 全国输电线路覆冰情况调研及事故分析. 电网技术, 2008, 32(9): 33-36.
- [3] 潘力强, 张文磊, 汤吉鸿, 等. 2008年湖南电网特大冰灾事故综述. 电网技术, 2008, 32(26): 20-25.
- [4] 邓春宇. 微气象实时监测技术在输电线路中的应用. 电力信息化, 2008, 10(6): 67-71.
- [5] 赵宏波, 朱朝阳, 于振, 等. 电力微气象监测与预警系统研究. 华东电力, 2014(5): 912-916.
- [6] 黄嘉佑. 气象统计分析方法与预报方法 (第三版). 北京: 气象出版社, 2007.
- [7] 王海燕, 杨方廷, 刘鲁. 标准化系数与偏相关系数的比较与应用. 数量经济技术经济研究, 2006, 23(9): 150-155.