

基于灰关联分析微气象因素和导线温度 对输电线路导线覆冰的影响

欧阳丽莎, 黄新波

(西安工程大学电子信息学院, 西安 710048)

摘要: 输电线路导线覆冰不仅与微气象条件有关, 而且与导线温度有关。针对目前微气象因素与覆冰的相关性分析不全面、不系统, 且部分研究没有考虑导线温度对覆冰的影响, 无法确定输电线路导线覆冰的主要影响因素等问题, 笔者统计了贵州电网 220 kV 铜黎线路和 220 kV 鸡阳二回线路覆冰监测数据, 采用灰关联方法分析了输电线路导线覆冰与微气象条件(环境温度、环境湿度、环境风速)和导线温度等因素之间的关系, 确定了该两条输电线路导线覆冰和上述 4 个因素之间的关联度, 找出影响导线覆冰的主要因素。结果表明: 220 kV 铜黎线路和 220 kV 鸡阳二回线路导线覆冰与 4 个影响因素的关联分析结果一致。两条线路每个影响因素与覆冰的关联度相似, 且影响覆冰的重要程度依次为环境风速>环境温度>导线温度>相对湿度, 环境风速是影响覆冰的主要因素。

关键词: 输电线路导线覆冰; 监测数据; 环境温度; 相对湿度; 环境风速; 导线温度; 灰关联分析

中图分类号: TM712 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1609(2011)03-0031-06

Influences of Meteorological Conditions and Conductor Temperature on Icing of Transmission Line Based on Grey Relational Analysis

OUYANG Li-sha, HUANG Xin-bo

(College of Electronics and Information, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

Abstract: Icing on transmission line is relevant to weather condition and conductor temperature. At present, the correlation analysis of the weather parameters and wire icing is not comprehensive and systematic, and in some studies the impact of conductor temperature on transmission line has not been considered, therefore the main factors influencing wire icing have not yet been determined. This paper collects the monitoring data of icing from the 220 kV Tongli power lines and 220 kV Jiyangerhui power lines, analyzes the relation among transmission line icing, conductor temperature and local meteorological conditions, such as ambient temperature, relative humidity, wind speed, etc. by making use of grey relational analysis method, and achieves the correlation degrees between icing and these four factors respectively to determine the key factor influencing wire icing on the two transmission lines. Results show that the correlation analysis result of the 220 kV Tongli power lines is consistent with the one of 220 kV Jiyangerhui power lines, and the correlation degree between transmission line icing and each influencing factor is similar one another. The importance sequence of the four factors influencing transmission line icing is ambient windspeed > conductor temperature > ambient temperature > ambient relative

收稿日期: 2010-10-11; 修回日期: 2010-12-23

基金基金: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)子课题(2009CB724507-3); 中国博士后基金(20090460759); 陕西省重大科技专项(2009ZKC02-13); 西安工程大学研究生创新基金(chx100811)。

Project Supported by National Key Basic Research and Development Program (973 Project) Sub-project(2009CB724507-3), China Postdoctoral Sustentation Fund (No. 20090460759), Shaanxi Major R&D Projects (No.2009ZKC02-13), Xi'an Polytechnic University Graduate Student Innovation Fund(chx100811).

humidity, which indicates that the ambient windspeed is the key factor influencing transmission line icing.

Key words: transmission line icing; monitoring data; ambient temperature; relative humidity; ambient windspeed; conductor temperature; grey relational analysis

0 引言

影响输电线路导线覆冰的主要因素有气象因素(包括气温、风速、风向、相对湿度等)、地形因素(包括山脉走向、山体部位、海拔高度及江湖水体等)、导线特性因素(包括导线温度、挂高以及线径等)。其中,气象因素和导线温度是输电线路导线覆冰的主要影响因素^[1-3]。

目前国内外对输电线路导线覆冰影响因素进行了大量的研究:文[3]中利用观冰站进行覆冰观测,分析了有效覆冰时间、降雨量、有效平均风速、覆冰平均湿度、气温变化等对覆冰量的影响;文[4]研究了微气象、微地形对云南送电线路的影响;文[5]针对多起现场覆冰事故统计冻雾和冻雨结冰形成时环境条件,采用最小二乘法分析了覆冰与气象条件的相关性;文[6]中利用人工神经网络建立了基于微气象和覆冰之间关系的模型;文[7]中则基于覆冰与气象条件之间的关系来指导电流融冰过程,该方案已经在魁北克变电站应用;文[8-9]中利用覆冰在线监测装置开展了线路覆冰与局部气象因素之间关系的研究,利用线性拟合的方式分别得到覆冰厚度与环境温度、相对湿度和风速之间的关系式的研究。上述研究均涉及了气象因素对导线覆冰影响的研究,但没有考虑导线温度对输电线路导线覆冰的影响。而文[10]中在对导线覆冰的影响因素研究中,用灰色斜率关联度方法分析了覆冰与气象因素、导线温度对的关系,但分析方法较复杂,计算烦琐,不宜用于大量覆冰数据的分析。以上研究为笔者提供了有意义的参考。

笔者介绍了灰关联分析方法原理,统计了贵州电网 220 kV 铜黎线和 220 kV 鸡阳二回线 2008 年 12 月至 2009 年 2 月覆冰在线监测系统监测到的覆冰数据,并通过灰关联分析法计算了导线覆冰与气象因素(环境温度、相对湿度、环境风速)和导线温度之间的关联度,最后对关联度结果进行分析和排序,找出主要影响因素,为覆冰相关理论的研究提供影响因素分析依据。

1 灰关联分析方法原理

灰关联分析(又称关联度分析)是灰关联系理

论中的一种分析方法,是来分析和确定系统诸因素间的影响程度或各因素对系统主行为的贡献测度的一种方法,是对系统变化发展态势的定量描述和比较的方法。其基本原理是:根据对统计序列曲线几何形状的相似程度比较来区分系统中因素间的关联程度。序列曲线的几何形状越接近,它们间的关联程度越大。灰关联分析以所需样本少、分析计算量小以及便于掌握等特点已成功地应用于决策、预测、控制、模式识别、综合评估、建模精度检测及诊断等方面,它在灰色系统理论中应用较广。

依据空间理论的数学基础,按照规范性、对称性、整体性和接近性的原则,确定参考序列和若干比较序列之间的关联系数和关联度。利用关联度定量地比较和描述系统间或系统中各因素间在发展过程中随时间变化的情况。灰关联分析的目的就是寻求系统中各因素间的主要关系,以找出影响目标序列的主要因素。如果某种因素在发展变化中与目标序列相对变化基本一致,则认为两者关联度大,反之则小。表现在几何图形上就是几何曲线越接近,变化趋势越一致,关联度就越大。该方法的优点在于:①不追求大样本量;②不要求数据有特殊的分布;③计算量比回归分析小得多;④可以得到较多的信息^[11]。

2 灰关联分析方法计算步骤

灰系统关联分析的具体计算步骤如下。

1) 确定参考序列和比较序列。参考序列为各个时间点的覆冰厚度 $\{X_0(j)\}$,其中 $j = 1, 2, \dots, N$ 。N 为时间点的个数。比较序列是由覆冰的各有效影响因素构成的时间序列 $\{X_i(j)\}$,其中 $i = 1, 2, \dots, M$,即 M 个影响因素,将上参考序列和比较序列表示成矩阵形式,形成矩阵 X。

$$X = \begin{bmatrix} X_{01} & X_{02} & \cdots & X_{0N} \\ X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ X_{M1} & X_{M2} & \cdots & X_{MN} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)中: X_0 为参考序列即覆冰厚度序列; X_i 为比较序列即覆冰各影响因素构成的时间序列 ($i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N$)。

2) 数据变换。由于在实际应用中,常常会碰到数据的量纲和绝对值的大小不一样的情况,因此,需要对原始数据进行变换处理,使之化为数量级大体

相近的无量纲数据,常用的数据变换方法有初值化、均值化以及区间值化。文中采取的是区间值化处理数据,用式(2)表示为

$$X' = \frac{X_{ij} - \min_k (X_{ik})}{\max_k (X_{ik}) - \min_k (X_{ik})} \quad (2)$$

式(2)中: $i = 0, 1, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N$ 。由 X'_{ij} 形成的新矩阵 X' 。

3) 求出矩阵 X' 中比较序列与参考序列之间的时间序列差

$$\Delta_{ij} = |X_0 - X_{ij}| \quad (3)$$

式(3)中: $i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N$ 。

4) 求出两级最小差和最大差

$$\begin{cases} \Delta(\min) = \min_i (\min_j |X_0 - X_{ij}|) \\ \Delta(\max) = \max_i (\max_j |X_0 - X_{ij}|) \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中: $i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N$ 。

5) 计算出关联系数 L_{ij} 。

$$L_{ij} = \frac{\Delta(\min) - \rho \Delta(\max)}{|X_0 - X_{ij}| + \rho \Delta(\max)} \quad (5)$$

式(5)中, ρ 为分辨系数, 在 (0,1) 中取值, 它反映了系统各个因子对关联度的间接影响程度。有关文献对分辨系数进行了深入分析, 并得出了体现关联度整体性的分辨系数取值原则^[12]。笔者综合上述原

则取 $\rho = 0.5$ 。

6) 计算关联度 γ_i 。

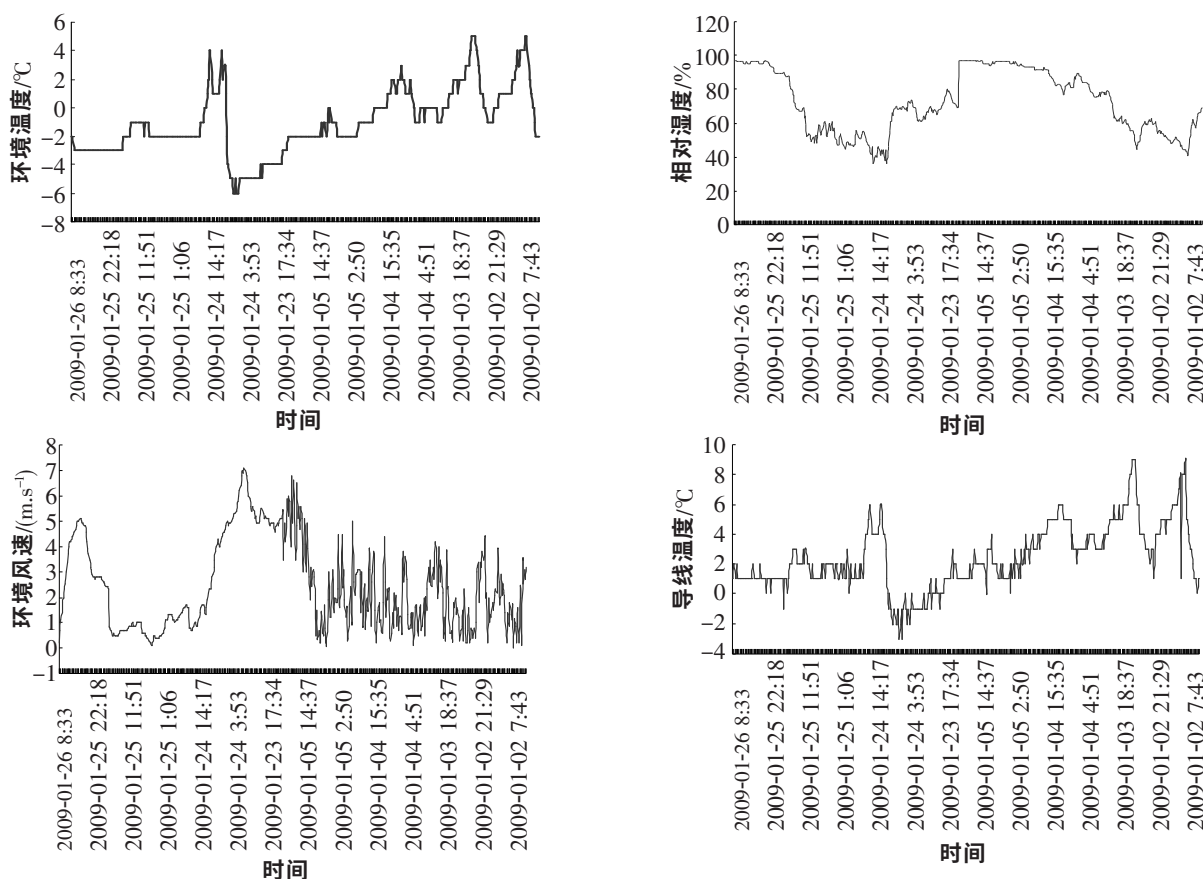
$$\gamma_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N L_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (6)$$

7) 关联度分析。即对计算所得关联度进行排序, 分析各比较序列与参考序列的关联度大小^[13]。

3 覆冰与微气象、导线温度关联分析

图 1 为贵州电网 220 kV 铜黎线路覆冰在线监测系统获取的微气象(环境温度、相对湿度、环境风速等)、导线温度以及覆冰厚度随时间变化的数据统计图。该线路设计承受覆冰厚度为 10 mm。覆冰监测时间范围为 2009 年 1 月 1 日到 2009 年 1 月 27 日, 数据为每 15 min 监测一次, 为便于分析将没有发生覆冰或微气象、导线温度缺失的数据去除, 得到并用来分析的覆冰有效数据为 521 组数据, 有其数据几乎包括了覆冰期内所有的情况, 因此具有代表性。

按照灰关联分析方法用 MATLAB 软件编程计算得出的覆冰与微气象因素和导线温度之间的关联系数和关联度见图 2。从图 2 中可知, 关联度最大的是环境风速, 而环境温度、导线温度与覆冰厚度的关联度值非常相近, 关联度最小的为相对湿度。其中环境风速是影响覆冰的主要因素。



(a) 微气象(环境温度、相对湿度及环境风速)和导线温度数据统计图

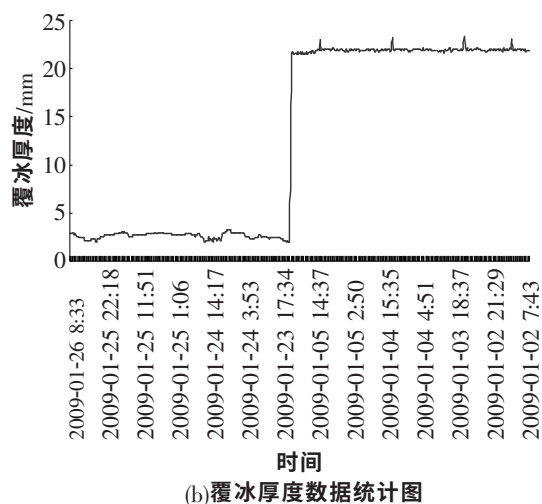
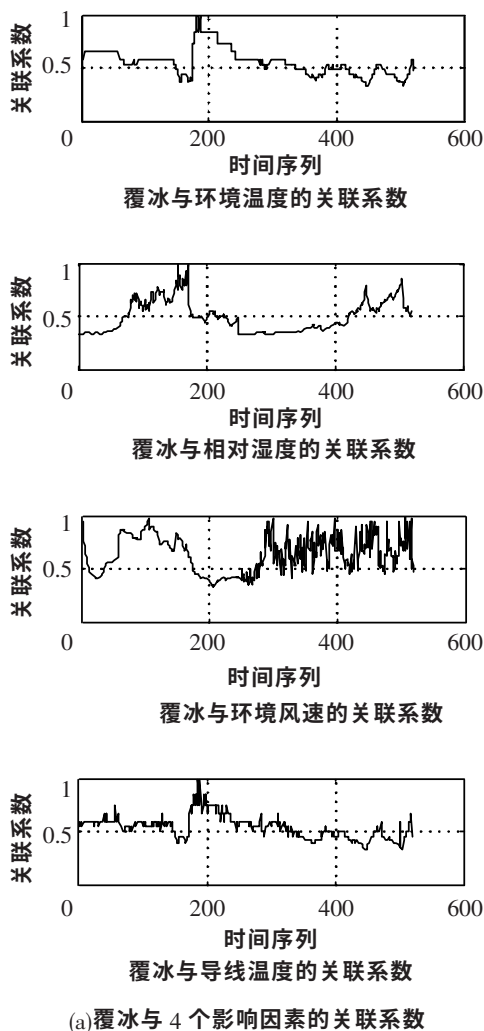


图 1 贵州电网 220 kV 铜黎线路覆冰监测数据统计图
Fig.1 The curve of icing on-line motoring data for 220 kV Tongli lines in Guizhou power grid

为了能验证贵州电网 220 kV 铜黎线路覆冰影响因素关联的准确性,笔者进一步以贵州电网 220 kV 鸡阳二回线路 2008 年 12 月 22 日至 2009 年 1 月 27 日的覆冰监测数据为分析对象,见图 3,用来分析的覆冰有效数据为 389 组数据。同样以灰关联分析



(a)覆冰与 4 个影响因素的关联系数

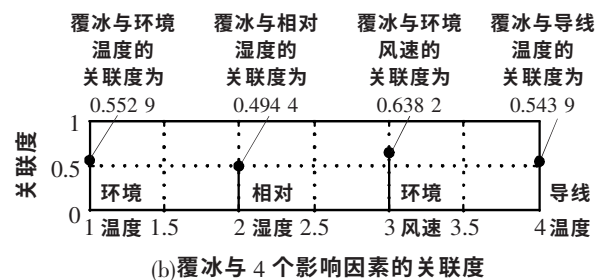
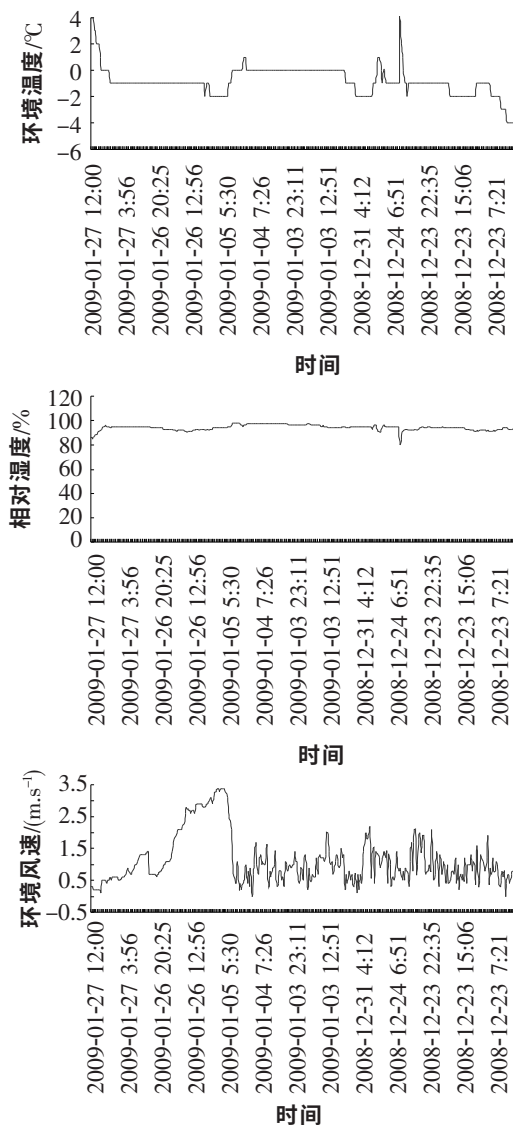


图 2 覆冰与微气象因素和导线温度之间的关联系数和关联度
Fig.2 The correlation and correlation coefficient among icing data, micro meteorological data and conductor temperature data

方法计算微气象、导线温度与覆冰的关联度,分析结果见图 4。

从图 4 可知,在 4 个因素中,环境风速与覆冰的关联度值仍是最大,环境温度、导线温度与覆冰的关联度值仍然相近,而相对湿度的关联度仍是最小。这与 220 kV 铜黎线的分析结果一致。结合贵州电网



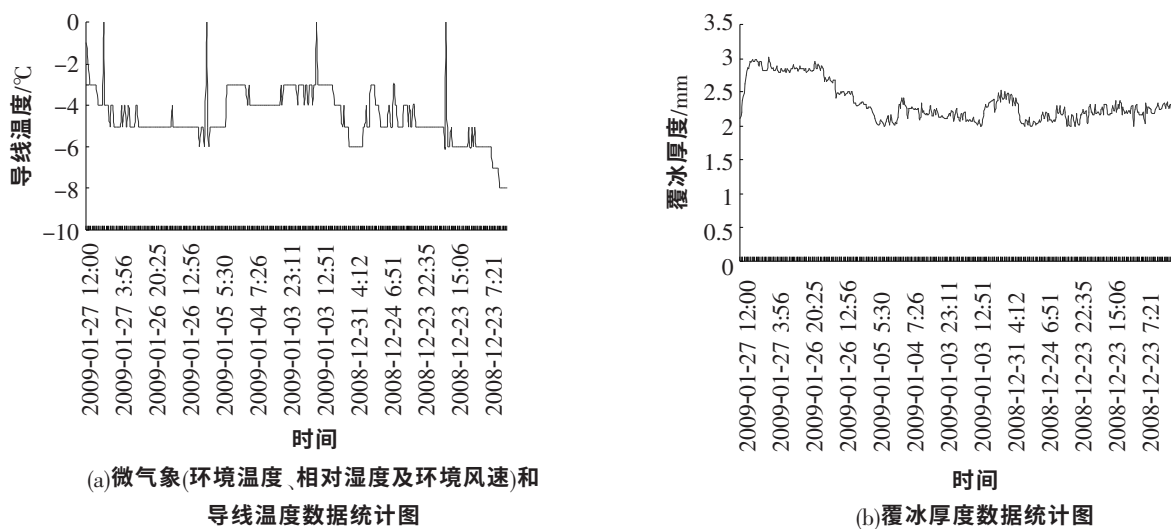


图 3 贵州电网 220 kV 鸡阳二回线路覆冰监测数据统计图

Fig.3 The curve of icing online motoring data for 220 kV Jiyangerhui lines in Guizhou power grid

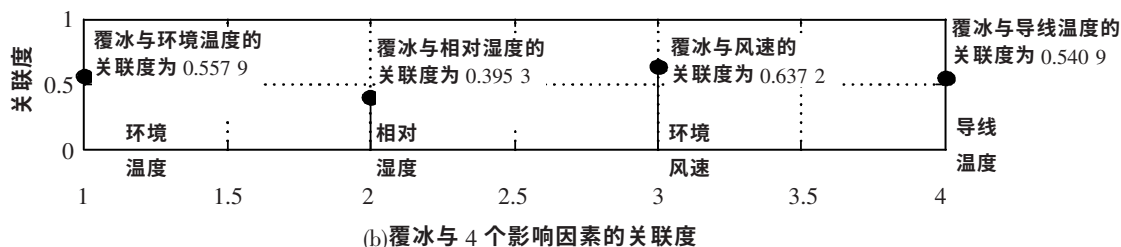
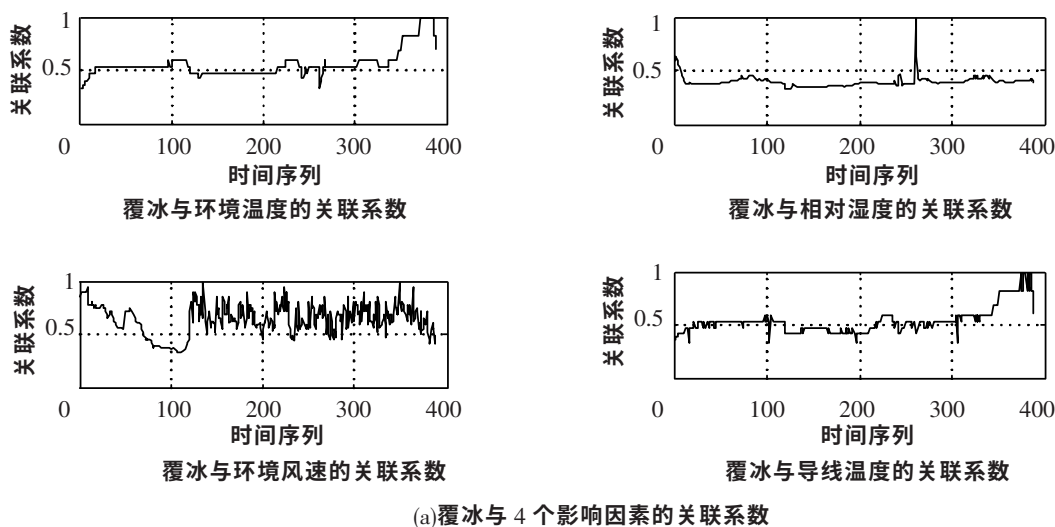


图 4 覆冰与微气象因素和导线温度之间的关联系数和关联度

Fig. 4 The correlation and correlation coefficient among icing data, micro meteorological data and conductor temperature data

220 kV 铜黎线和 220 kV 鸡阳二回线路微气象、导线温度与覆冰的关联分析, 可以大致对各因素与覆冰的相关程度进行排序, 得到影响覆冰的重要程度依次为: 环境风速>环境温度>导线温度>相对湿度。其中环境风速为影响覆冰的主要因素, 其次为环境温度、导线温度。

4 结论

1)覆冰影响因素分析需要大量覆冰和气象数据, 然而覆冰在线监测系统监测到的历史数据有限, 且由于传感器本身精度问题等不确定性原因导致覆冰数据也不够完整准确, 数据灰度较大, 因此文中采

用以小样本、贫信息下不确定性系统为研究对象的灰关联分析方法来计算覆冰与微气象条件、导线温度之间的关联度,以确定各影响因素与覆冰之间的关联性^[9]。

2)在进一步对贵州电网线路覆冰进行全面和系统的状态评估和处置决策等应用方面时,应着重考虑环境风速的影响,适当考虑温度的影响(环境温度与导线温度),并应根据各个因素的影响程度排序情况确定各自的影响权重。

3)利用覆冰在线监测系统所监测的覆冰气象数据,分析微气象条件(环境温度、环境湿度、环境风速)、导线温度与覆冰之间的关系,接下来的研究可进一步通过模糊理论建立覆冰与微气象条件的关系模型,通过关系模型以及简单预测模型的建立,可根据宏观气象实现广域和局域的冰情预测^[14-15]。

参考文献:

- [1] 黄新波,程荣贵. 输电线路在线监测与故障诊断[M]. 北京:中国电力出版社,2008.
HUANG Xin-bo, CHENG Rong-guan. Transmission line on-line monitoring and fault diagnosis[M]. Beijing: Electric Power Press, 2008.
- [2] 蒋兴良,易辉. 输电线路覆冰及防护[M]. 北京:中国电力出版社,2001.
JIANG Xing-liang, YI Hui. Transmission line icing and protection[M]. Beijing: Electric Power Press, 2001.
- [3] 谢运华. 三峡地区导线覆冰与气象要素的关系[J]. 中国电力,2005,38(3):35-39.
XIE Yun-hua. The relation between meteorological elements and ice accretion in Three Gorges region [J]. Electric Power, 2005, 38(3):35-39.
- [4] 王守礼. 影响电线覆冰因素的研究与分析[J]. 电网技术, 1994(4):18-24.
WANG Shou-li. Study and analysis of the factors affecting wire ice coating [J]. Power System Technology, 1994(4): 18-24.
- [5] SAVADJIEV K, FARZANEH M. Modeling of icing and ice shedding on overhead power lines based on statistical analysis of meteorological data [J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 2004, 19(2):715-721.
- [6] HU Jin-bao, LIU Ling, HUANG Zheng-ping. Ice breakup date forecast with hybrid artificial neural networks [C]// Fourth International Conference on Natural Computation, Jinan: IEEE, 2007:414-418.
- [7] MAURICE H, CHRISTIAN L, ROBERT S A, et al. A dynamic programming methodology to develop de-icing strategies during ice storms by channeling load currents in transmission networks [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 20(2):1604-1610.
- [8] 黄新波,孙钦东,张冠军,等. 线路覆冰与局部气象因素的关系[J]. 高压电器, 2008, 44(4): 289-294.
HUANG Xin-bo, SUN Qin-dong, ZHANG Guang-jun et al. Relation of transmission line icing and local meteorology [J]. High Voltage Apparatus, 2008, 44 (4): 289-294.
- [9] 黄新波,孙钦东,王小敬,等. 输电线路危险点远程图像监控系统[J]. 高电压技术, 2007, 33(8): 192-197.
HUANG Xin-bo, SUN Qin-dong, WANG Xiao-jing, et al. Image remote-monitoring system of transmission lines dangerous items [J]. High Voltage Engineering, 2007, 33 (8): 192-197.
- [10] 阳林,郝艳捧,黎卫国,等. 输电线路覆冰与导线温度和微气象参数关联分析[J]. 高电压技术, 2010, 36(3): 775-779.
YANG Lin, HAO Yan-peng, LI Wei-guo, et al. Relationships among transmission line icing, conductor temperature and local meteorology using grey relational analysis [J]. High Voltage Apparatus, 2010, 36(3):775-779.
- [11] 邓聚龙. 灰色理论基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社, 2002.
DENG Ju-long. The basis of grey theory [M]. Wuhan: Huazhong Technology University Press, 2002.
- [12] 孙才新,李俭,郑海平,等. 基于灰色面积关联度分析的电力变压器绝缘故障诊断方法[J]. 电网技术, 2002, 26(7):24-29.
SUN Cai-xin, LI Jian, ZHENG Hai-ping et al. A new method of faulty insulation diagnosis in power transformer based on degree of area incidence analysis [J]. Power System Technology, 2002, 26(7):24-29.
- [13] 刘思峰,谢乃明. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社, 2008.
LIU Si-feng, XIE Nai-ming. The theory and application of grey system[M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [14] 黄新波,孙钦东,程荣贵,等. 导线覆冰的力学分析与覆冰在线监测系统[J]. 电力系统自动化, 2007(14):98-101.
HUANG Xin-bo, SUN Qin-dong, CHENG Rong-gui, et al. Mechanical analysis on transmission line conductor icing and application of on-line monitoring system [J]. Automation of Electric Power Systems, 2007(14):98-101.
- [15] 邵瑰玮,胡毅,王力农,等. 输电线路覆冰监测系统应用现状及效果[J]. 电力设备, 2008(6):13-14.
SHAO Gui-wei, HU Yi, WANG Li-nong, et al. Application and effect of icing monitor for transmission line [J]. Electrical Equipment, 2008(6):13-14.

欧阳丽莎(1986—),女,硕士研究生,检测技术与自动化装置专业,主要从事电力系统在线监测技术、输电线路覆冰机理分析的研究。

黄新波(1975—),男,博士后,教授,硕导,主要从事电力系统在线监测理论与技术、无线网络传感器方向的研究。