

基于灰色关联模型的输电线路舞动预警方法

胡 钊¹,徐则诚¹,金 哲²,王 可¹,程 绳²,尹 洪²

(1. 武汉大学 电气工程学院,湖北 武汉 430072;2. 国网湖北省电力公司检修公司,湖北 武汉 430050)

摘要:中国是世界上架空输电线路覆冰舞动最严重的国家之一。近年来输电线路舞动跳闸呈现出频率高、影响范围大的特点。提出了一种基于灰色关联模型的输电线路舞动预警方法,根据舞动故障发生的主要原因,建立指标体系,并根据各指标的影响程度采用层次分析法对各个指标分别赋以权重。据此再利用灰色关联理论将当前数据与参考数据进行关联度分析,从而计算当前线路发生舞动故障的危险指数,对故障发生的可能性进行预测。检修人员可以基于预测结果选择相应的巡检策略,从而做到有针对性地预防舞动故障,提高巡检效率,进一步减小输电线路舞动带来的危害。

关键词:输电线;舞动;预警;灰色关联理论;层次分析法

中图分类号:TM 726

文献标识码:A

DOI:10.16081/j.issn.1006-6047.2018.02.015

0 引言

自20世纪30年代起,国内外学者对输电导线舞动激发机理进行了多方面的研究,取得了很多重要成果。目前具有代表性的起舞机理主要有4种,分别是Hartog提出的横向起舞机理^[1]、Nigol等提出的扭转振动起舞机理^[2]、Yu等提出的偏心惯性耦合起舞机理^[3-4]及尤传永提出的动力失稳起舞机理^[5]。然而,上述起舞机理均不具有普适性^[6],并且输电线路舞动问题在工程实际中十分复杂,所以已有的起舞机理仍需进一步完善。

现行的防舞措施主要分为三大类^[7]。

a. 避舞措施:在导线布线过程中,尽量避开易发生舞动的地形地貌,选择合适的走向以避免舞动的发生。

b. 抗舞措施:在舞动条件不发生改变的前提下,通过提高线路自身的机械强度和电气强度的方法来避免发生舞动时造成线路损坏,影响正常供电。

c. 抑舞措施:以破坏舞动形成条件为目的,在导线上安装防舞装置来抑制舞动。

但值得注意的是:其一,考虑到线路走廊的经济性设计要求以及施工便宜性等因素,部分输电线路是无法完全避开舞动区的;其二,在实际应用中,加强输电线路质量的技术及相关的抗舞设计还不够详实和规范,经济性以及可操作性较差;其三,防舞器是基于不同舞动机理开发的,这导致目前应用较多的几种防舞装置都具有其明显的设计特点和应用局限性。因此,对舞动进行预警可以提高防舞工作的主动性,对减少输电线路舞动故障具有很大意义,而

目前的舞动预警方法有六因子法^[8]和Adaboost法^[9]。六因子法是通过判断舞动发生的6个条件是否均满足,从而对舞动进行预测;Adaboost法是通过机器学习算法,根据统计数据构建一个弱分类器,找到发生舞动时的数据规律,从而对舞动进行预测。然而,前者对舞动预测结果没有分级,预警结果不够精确,后者对所需数据的数量和准确度都有较高的要求,两者在实用性上都有所欠缺。

为了弥补现有预警方法的不足,本文利用输电线路舞动理论与实际历史数据,综合考虑气象条件、线路参数和防舞措施三方面的因素,提出了一种基于灰色关联模型^[15-16]的输电线路舞动预警方法,预警结果将舞动危险指数分为0、1、2、3这4个等级,可以有效地为运维人员提供决策支撑。最后,利用江城线2015年1月28日的数据,计算了当日江城线全线的舞动指数,计算结果与实际舞动情况一致,表明本文提出的舞动预警算法是有效的。

1 线路舞动指标体系建立与指标权重配置

1.1 指标体系建立

导线舞动是一种复杂的流固耦合振动^[10-11],其成因很多,结合国内外学者对舞动成因的研究成果,并考虑到空气动力学模型和舞动的机理,本文归纳出引起舞动的3个重要因素^[11-13]如下。

a. 导线覆冰:覆冰形成必须具备相对湿度较大、温度合适和可使空气中水滴运动的合适风速这3个条件。

b. 风的激励:除覆冰外,形成舞动还需要稳定的层流风激励,其与风速、风向和线路轴向有关。

c. 线路结构参数:主要包括输电线路的类型、导

线横截面积、线路档距等。

综上所述,输电线路舞动取决于自然条件、线路基本参数以及防舞措施。考虑到指标的重要程度以及指标值获取的难易程度等,本文选取 10 个指标作为参考指标构建的指标体系如图 1 所示。

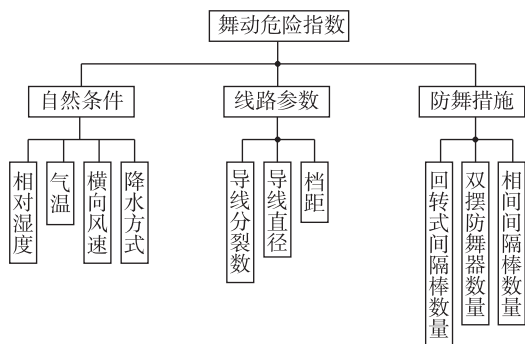


图 1 指标体系

Fig.1 Index system

1.2 层次分析法求指标权重

1.2.1 层次分析法

层次分析法 AHP (Analytic Hierarchy Process) [14-15] 作为一种定性分析和定量分析相结合的多目标决策分析方法,其每一层的权重设置最后都会直接或间接地影响结果,而且在每个层次中的每个因素对结果的影响程度都是量化的。

1.2.2 权重的确定

(1) 结构层次模型的建立。

对于相关的各个因素,可以按照属性的不同建立一个各层次之间存在相互影响的多层次递阶结构。由 10 个参考指标构建而成的结构层次模型如图 1 所示。

(2) 构造两两比较判别矩阵。

对于所建立的多层次递阶结构,假定上一层准则 C 支配的下一层的各元素分别为 $u_1, u_2, \dots, u_n$ 。

为了描述准则 C 下层的 2 个元素 u_i 和 u_j 的相对重要程度,需要一个衡量的标度,标度赋值如表 1 所示。则总数为 n 的比较元素对于准则 C 构成的两两比较判别矩阵如下:

$$J = (u_{ij})_{n \times n} \quad (1)$$

其中, u_{ij} 为元素 u_i 和 u_j 相对准则 C 的重要性的比例标度,其含义如表 1 所示。

对于作为总目标层的舞动危险指数(A)而言,准则层 B 的各项指标分别是自然条件(B_1)、线路参数(B_2)和防舞措施(B_3),可构造判别矩阵 A 为:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 8 & 8 \\ 1/8 & 1 & 1/2 \\ 1/8 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

表 1 层次分析法比例标度

Table 1 Scale of AHP

标度	含义
1	两元素相比,具有同样重要性
3	两元素相比,前者比后者稍重要
5	两元素相比,前者比后者明显重要
7	两元素相比,前者比后者强烈重要
9	两元素相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	上述相邻判断的中间值
倒数	两元素的重要性具有倒数关系

对于自然条件(B_1)而言,准则层 C 的各项指标分别是相对湿度(C_1)、气温(C_2)、横向风速(C_3)和降水方式(C_4),同理可得判断矩阵 B_1 为:

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 & 1/3 \\ 3 & 1 & 1 & 3 \\ 5 & 1 & 1/3 & 3 \\ 3 & 1/3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

对于线路参数(B_2)而言,准则层 C 的各项指标分别是导线分裂数(C_5)、导线直径(C_6)和档距(C_7),同理可得判断矩阵 B_2 为:

$$B_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

对于防舞措施(B_3)而言,准则层 C 的各项指标分别是回转式间隔棒数量(C_8)、双摆防舞器数量(C_9)和相间间隔棒数量(C_{10}),同理可得判断矩阵 B_3 为:

$$B_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 2 \\ 2 & 1 & 3 \\ 1/2 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

(3) 计算指标权重及一致性检验。

采用特征根法求解判断矩阵 A 的特征根,即:

$$A\omega = \lambda_{\max}\omega \quad (2)$$

其中, $\lambda_{\max}$ 为 A 的最大特征根; ω 为相应的特征向量,将所得的 ω 进行归一化处理后可以得到单准则下的权重。

至此,还有必要进行一致性检验。当判断矩阵的阶数大于 2 时,通常难以构造满足一致性的矩阵。但判断矩阵偏离一致性条件又应有一个度,为此,必须对判断矩阵的一致性是否可接受进行鉴别。

一致性检验步骤如下。

a. 计算一致性指标(CI)。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

b. 随机一致性指标(RI)和判断矩阵的阶数有

关,一般情况下,矩阵阶数越大,则出现一致性随机偏离的可能性也越大,相应的 RI 与 n 的对应关系如表 2 所示。

表 2 随机一致性指标和矩阵阶数的关系

Table 2 Relationship between random consistency indexes and matrix dimension

n	RI	n	RI
1	0	5	1.12
2	0	6	1.24
3	0.58	7	1.32
4	0.90	8	1.41
5	1.12	9	1.45

计算一致性比例 CR:

$$CR = CI/RI \quad (4)$$

若 $CR < 0.1$, 则认为判断矩阵的一致性是可以接受的;若 $CR \geq 0.1$, 则应适当修正判断矩阵。

通过以上计算步骤可得到层次单排序的结果,再根据 $W^{(k)} = (w_{1k}^{(k)}, \dots, w_{nk}^{(k)})^T = P^{(k)} W^{(k-1)}$ 求出每个指标总排序结果如表 3 所示,其中 $W^{(k)}$ 为第 k 层元素对目标的总排序; $P^{(k)}$ 为第 k 层元素对第 $k-1$ 层各元素的排序。

表 3 指标权重

Table 3 Weight of indexes

指标	指标权重	指标	指标权重
相对湿度	0.063 4	导线直径	0.033 8
气温	0.284 4	档距	0.011 3
横向风速	0.323 2	回转式间隔棒数量	0.020 5
降水方式	0.124 8	双摆防舞器数量	0.037 2
导线分裂数	0.033 8	相间间隔棒数量	0.067 6

2 基于灰色关联模型的舞动预警算法

2.1 灰色关联分析法

灰色关联分析方法^[16]的基本思路是通过线性插值的方法将系统因素的离散行为观测值转化为分段连续的折线,进而根据折线的几何特征构造测度关联程度的模型。设系统行为序列为:

$$\begin{aligned} D_0 &= (d_0(1), d_0(2), \dots, d_0(n)) \\ D_1 &= (d_1(1), d_1(2), \dots, d_1(n)) \\ &\vdots \\ D_m &= (d_m(1), d_m(2), \dots, d_m(n)) \end{aligned} \quad (5)$$

对于 $\rho \in (0, 1)$, 令:

$$\begin{aligned} \varepsilon(d_0(k), d_i(k)) &= (\min_i \min_k |d_0(k) - d_i(k)| + \\ &\rho \max_i \max_k |d_i(k) - d_0(k)|) \div (|d_0(k) - d_i(k)| + \\ &\rho \max_i \max_k |d_i(k) - d_0(k)|) \end{aligned} \quad (6)$$

则 $\varepsilon(d_0, d_i)$ 满足灰色关联公理,其中, ρ 为分辨系数; $\varepsilon(d_0, d_i)$ 为 d_0 与 d_i 的灰色关联度。

灰色关联度 $\varepsilon(d_0, d_i)$ 常简记为 ε_{0i} , k 点关联系数 $\varepsilon(d_0(k), d_i(k))$ 简记为 $\varepsilon_{0i}(k)$ 。

灰色关联度 R_i 即为灰色关联系数的加权平均值,由式(7)求出。

$$R_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n w_k \varepsilon_{0i}(k) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

其中, w_k 为指标 k 的权重。

2.2 舞动预警算法

本文基于灰色关联理论所提出的舞动预警算法的计算流程如图 2 所示。

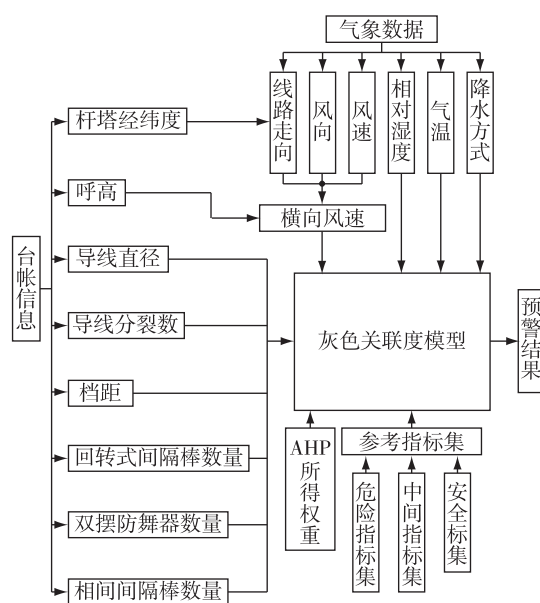


图 2 舞动预警流程

Fig.2 Flowchart of early warning of galloping

本文对历史数据进行分析,得出了具有代表性的用以对比的 3 个参考指标集:危险指标集、中间指标集和安全指标集。计算时,首先通过气象数据和台账信息得出预警所需要的 11 个指标值构成待测指标集;然后结合层次分析法所得到的权重,分别计算待测指标集与 3 个参考指标集之间的灰色关联度;最后根据关联度大小的排列顺序,得到舞动预警结果。

2.2.1 参考指标值的确定

基于荆林二三回的线路参数和舞动历史数据,结合舞动的发生机理,分析得出 3 个指标集作为参考指标集时,安全指标集的指标是舞动可能性最小状态的取值,危险指标集的每个指标是舞动可能性最大状态的取值,中间指标集的指标以可以发生舞动的临界值作参考得出,如表 4 所示。由于线路不覆冰的情况下不可能发生舞动,在计算过程中需要

对相对湿度和气温进行预处理,如果相对湿度小于60%则按60%计算;如果气温高于10℃则按10℃计算。

表4 参考指标集

Table 4 Reference index set

参考指标集	相对湿度/%	气温/℃	横向风速/(m·s ⁻¹)	降水方式	导线分裂数
安全指标集	60	10	0	0	1
中间指标集	70	5	4	0.5	4
危险指标集	90	2	15	1	6

参考指标集	导线直径/mm	档距/m	双摆防舞器数量	回转式间隔棒数量	相间间隔棒数量
安全指标集	23.76	120	1	1	1
中间指标集	30.00	400	0	0	0
危险指标集	39.9	600	-1	-1	-1

注:对于双摆防舞器、回转式间隔棒和相间间隔棒的取值,“1”表示已安装,“0”表示未安装,“-1”仅作为参考数据,无实际意义。

降水方式与计算时对应的指标取值如表5所示。

表5 降水方式指标取值

Table 5 Values of precipitation mode indexes

降水方式	指标取值	降水方式	指标取值
雨淞、冻雨	1.0	白霜	0.4
混合淞	0.8	雪	0.2
软雾淞	0.6	雾	0.1

2.2.2 横向风速的计算

除横向风速外,其他所需指标数据均可直接从台账信息或气象数据读取,所以在此仅对横向风速的计算进行介绍。

横向风速与风速、风向、线路高度及线路走向有关,根据通常的计算方法,平均风速沿高度变化的规律可用式(8)描述:

$$U' = \left(\frac{Z}{Z_s} \right)^\alpha U_s \quad (8)$$

其中, U' 、 Z 分别为任意点的平均风速和离地高度; Z_s 、 U_s 分别为标准高度(一般定为10 m)和标准高度处的平均风速; α 为地面的粗糙系数,地面越粗糙,其值越大,如表6所示。

表6 粗糙系数

Table 6 Roughness coefficients

地理位置	α	1/ α
海面	0.100~0.125	8~10
开阔平原	0.125~0.167	6~8
森林街道	0.250	4
城市中心	0.333	3

考虑到冬季风一般为北风,且所收集到的数据中,所有舞动时的风向均为北风,所以只考虑线路走向和南北方向之间的夹角 θ , θ 按式(8)计算:

$$\theta = \arcsin \left\{ \sin(90^\circ - W_y) \sin(J_y - J_x) \div \left\{ 1 - [\cos(90^\circ - W_y) \cos(90^\circ - W_x) + \sin(90^\circ - W_y) \sin(90^\circ - W_x) \cos(J_y - J_x)]^2 \right\}^{1/2} \right\} \quad (9)$$

其中, W_x 为杆塔x的纬度; W_y 为杆塔y的纬度; J_x 为杆塔x的经度; J_y 为杆塔y的经度。

北风的横向风速 U 的计算公式为:

$$U = U' \sin \theta \quad (10)$$

2.2.3 指标值的规范化处理

待测指标集为:

$$D_0 = [d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8, d_9, d_{10}]$$

安全指标集为:

$$D_1 = [60, 10, 0, 0, 1, 23.76, 120, 1, 1, 1]$$

中间指标集为:

$$D_2 = [70, 5, 4, 0.5, 4, 30.00, 400, 0, 0, 0]$$

危险指标集为:

$$D_3 = [90, -2, 15, 1, 6, 39.90, 600, -1, -1, -1]$$

$$D = [D_0 \ D_1 \ D_2 \ D_3]^T$$

评价指标往往具有不同的量纲和数量级,因此不能直接比较,需要对矩阵 D 进行规范化处理,本文采用极值处理法。

对于气温(C_2)、双摆防舞器数量(C_8)、回转式间隔棒数量(C_9)和相间间隔棒数量(C_{10})这4个指标而言,其值越小,危险指数越大,故采用极小值处理法:

$$d_{ij}^* = \frac{M_j - d_{ij}}{M_j - m_j} \quad (11)$$

对于相对湿度(C_1)、横向风速(C_3)、降水方式(C_4)、导线分裂数(C_5)、导线直径(C_6)、档距(C_7)这6个指标,其值越大,危险指数越大,故采用极大值处理法:

$$d_{ij}^* = \frac{d_{ij} - m_j}{M_j - m_j} \quad (12)$$

其中, M_j 为指标 j 所取数据的最大值; m_j 为指标 j 所取数据的最小值。由此得到规范化矩阵为:

$$H = \begin{bmatrix} D_0^* \\ D_1^* \\ D_2^* \\ D_3^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{01}^* & d_{02}^* & \cdots & d_{010}^* \\ d_{11}^* & d_{12}^* & \cdots & d_{110}^* \\ d_{21}^* & d_{22}^* & \cdots & d_{210}^* \\ d_{31}^* & d_{32}^* & \cdots & d_{310}^* \end{bmatrix} \quad (13)$$

2.2.4 关联系数矩阵的计算

令 $\rho=0.5$,根据灰色关联分析法,由式(6)可以

求得待测指标集中的第 j 个指标与第 i 个典型指标集的关联系数 $\varepsilon_{0i}(j)$, 由此可得关联系数的关联矩阵为:

$$E = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{01}(1) & \varepsilon_{01}(2) & \cdots & \varepsilon_{01}(10) \\ \varepsilon_{02}(1) & \varepsilon_{02}(2) & \cdots & \varepsilon_{02}(10) \\ \varepsilon_{03}(1) & \varepsilon_{03}(2) & \cdots & \varepsilon_{03}(10) \end{bmatrix} \quad (14)$$

2.2.5 灰色关联度及舞动危险指数的计算

根据关联系数行向量 E_i 和指标权重向量 W_i , 可求得待测数据与 3 个典型指标集的关联度 $R_i (i = 1, 2, 3)$ 为:

$$R_i = E_i W_i^* = [\varepsilon_{0i}(1), \varepsilon_{0i}(2), \cdots, \varepsilon_{0i}(10)] \begin{bmatrix} w_1^* \\ w_2^* \\ \vdots \\ w_{10}^* \end{bmatrix} \quad (15)$$

关联度越大, 说明待测指标序列 D_0 与参考序列 D_i 越接近, 因此可根据关联度的大小排列顺序得出待测指标序列的舞动危险指数及发生舞动的可能性大小。

关联度降序排列结果与对应预警结果情况如表 7 所示。

表 7 预警结果

Table 7 Early warning results

关联度大小顺序	舞动危险指数	舞动可能性
$R_1 > R_2 > R_3$	0	不可能
$R_2 > R_1 > R_3$	1	几乎不可能
$R_2 > R_3 > R_1$	2	有一定可能
$R_3 > R_2 > R_1$	3	极有可能

3 算例研究

应用本文的灰色关联度模型, 通过江城线的台账信息以及当地 2015 年 1 月 28 日的气象数据, 对其进行输电线路舞动预警分析, 计算得出其中舞动危险指数为 3 (极有可能发生舞动) 的区域为 18—46 号, 170、171 号, 175、176 号和 181、182 号, 如图 3 所示。

荆门运维分部当日观测到的输电线路舞动情况如下: 江城线 18—45 号观测到舞动, 幅值为 4 m, 观测结果与通过灰色关联度模型分析得出的舞动危险指数为 3 (极有可能发生舞动) 的区域基本重合, 预警结果与实际情况一致, 验证了本文所提方法的可行性。

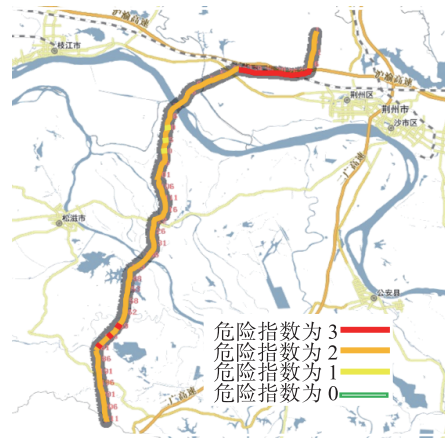


图 3 江城线 2015 年 1 月 28 日预警结果

Fig.3 Early warning results of Jiangcheng line at 28th January, 2015

4 结语

本文根据线路舞动的成因构建了一套合理的指标体系, 并采用层次分析法对指标赋权, 在此基础上根据历史数据构建灰色关联模型, 从而提出了一种输电线路舞动的预警方法。该方法预警结果分为 4 个等级, 可精准地指导运维人员制定巡检策略, 且对数据的数量和精度没有过高要求, 符合当前的监测水平, 因此本文方法实用性较强。算例对江城线 2015 年 1 月 28 日的舞动情况进行了预警, 所得结果与实际情况吻合, 表明了本文方法的准确性。

参考文献:

- [1] DEN HARTOG J P. Transmission line vibration due to sleet[J]. AIEE Transmission, 1932, 51(4): 1074-1076.
- [2] NIGOL O. Conductor galloping part I: Den Hartog mechanism[J]. IEEE Transactions on Power Apparatus & Systems, 1981, PAS-100(2): 699-707.
- [3] 蔡廷湘. 输电线路舞动新机理研究[J]. 中国电力, 1998, 31(10): 62-66.
CAI Tingxiang. A new mechanism of transmission line galloping [J]. China Electric Power, 1998, 31(10): 62-66.
- [4] YU P, DESAIY M, SHAH A H, et al. Three-degree-of-freedom model for galloping[J]. Journal of Engineering Mechanics, 1993, 119(12): 2404-2448.
- [5] 尤传永. 导线舞动稳定性机理及其在输电线路上的应用[J]. 电力设备, 2004, 5(6): 13-17.
YOU Chuanyong. Stability mechanism of conductor galloping and its application on transmission line[J]. Electrical Equipment, 2004, 5(6): 13-17.
- [6] 胡景, 严波, 张宏雁, 等. 覆冰导线舞动数值仿真分析[J]. 重庆大学学报, 2010, 33(3): 76-81.

- HU Jing, YAN Bo, ZHANG Hongyan, et al. Numerical simulation on galloping of iced conductors[J]. Journal of Chongqing University, 2010, 33(3): 76-81.
- [7] 石吉汉, 吴继云. 导线舞动的防治[J]. 电力建设, 2005, 26(12): 39-42.
- SHI Jihan, WU Jiyun. Prevention of conductor galloping[J]. Electric Power Construction, 2005, 26(12): 39-42.
- [8] 刘毓, 陆佳政, 张红先, 等. 湖南省输电线路覆冰舞动预测技术研究[J]. 湖南电力, 2015, 35(3): 23-26.
- LIU Yu, LU Jiazheng, ZHANG Hongxian, et al. Study on forecasting techniques of transmission lines galloping caused by ice coating in Hunan province[J]. Hunan Electric Power, 2015, 35(3): 23-26.
- [9] 李哲, 王建, 梁允, 等. 基于 Adaboost 算法的输电线路舞动预警方法[J]. 重庆大学学报, 2016, 39(1): 32-38.
- LI Zhe, WANG Jian, LIANG Yun, et al. An early warning method of transmission line galloping based on Adaboost algorithm[J]. Journal of Chongqing University, 2016, 39(1): 32-38.
- [10] 郭应龙, 李国兴, 尤传永. 输电线路舞动[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003: 25-26.
- [11] 王少华. 架空输电线路导线舞动及防治技术分析[J]. 高压电器, 2010, 46(12): 63-67.
- WANG Shaohua. Analysis of conductor galloping phenomena on overhead transmission lines and anti-galloping techniques[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(12): 63-67.
- [12] 刘连睿. 我国高压架空线路舞动情况及分析[J]. 华北电力技术, 1989(9): 40-43.
- [13] 郭应龙. 输电导线舞动[M]. 武汉: 武汉水利水电大学出版社, 1998: 22-27.
- [14] 孙宏才, 田平, 王莲芬. 网络层次分析法与决策科学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011: 63-84.
- [15] 王先甲, 张熠. 基于 AHP 和 DEA 的非均一化灰色关联方法[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(7): 1222-1229.
- WANG Xianjia, ZHANG Yi. Non-uniform grey relational method based on AHP and DEA[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2011, 31(7): 1222-1229.
- [16] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002: 158-171.

作者简介:



胡 钊

胡 钊(1965—),男,湖北武汉人,教授,博士研究生导师,研究方向为电力系统保护与控制(E-mail:phu@whu.edu.cn);

徐则诚(1994—),男,湖北武汉人,硕士研究生,研究方向为电力系统保护与控制(E-mail:317861130@qq.com);

金 哲(1986—),男,湖北荆门人,工程师,研究方向为输电线路运检(E-mail:269897830@qq.com);

王 可(1994—),男,山东菏泽人,硕士研究生,研究方向为电力系统保护与控制(E-mail:240807431@qq.com);

程 绳(1988—),男,湖北仙桃人,工程师,硕士研究生,研究方向为输电线路运检(E-mail:csqj2014@163.com);

尹 洪(1974—),男,高级工程师,研究方向为输电线路运检(E-mail:327377570@qq.com)。

Early warning method of transmission line galloping based on grey relational model

HU Po¹, XU Zecheng¹, JIN Zhe², WANG Ke¹, CHENG Sheng², YIN Hong²

(1. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. State Grid Hubei Electric Power Company Maintenance Company, Wuhan 430050, China)

Abstract: China is one of the countries which have serious ice-coating galloping of overhead transmission lines in the world. In recent years, the galloping trip of transmission lines presents the characteristics of high frequency and wide influence. An early warning method of transmission line galloping based on grey relational model is proposed, which establishes the index system according to the main causes of galloping fault and then assigns weight to each index according to its influence degree. Based on this, the grey relational theory is adopted to analyze the relational degree between the current data and the reference data, then the occurring risk index of galloping fault in the current line is calculated and used to predict the possibility of the galloping fault. Based on the predicting results, maintainers are able to choose the corresponding inspection strategy targetedly to prevent the galloping fault, so the inspection efficiency is improved and the harm of the transmission line galloping is reduced.

Key words: transmission line; galloping; early warning; gray correlation theory; analytic hierarchy process