

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2017.06.013

考虑参量有效性的输电线路状态评估方法研究及应用

常 安¹, 宋云海¹, 张 晗¹, 刘亚东², 邓红雷³

(1. 南方电网超高压输电公司检修试验中心, 广州 510663; 2. 上海交通大学电子信息与电气工程学院, 上海 200240;
3. 华南理工大学, 广州 510641)

摘要: 为了进一步提高架空输电线路状态评估结果的准确性, 文中首先研究了输电线路各监测参量在反应设备状态中的灵敏度, 构建了基于主成分分析法的输电线路状态评估指标体系, 明确了状态评估的数据需求; 然后建立了输电线路状态评估的贝叶斯数学模型, 并进行了实例验证; 最后基于多源数据平台, 设计开发了输电线路状态评估专家系统, 将研究成果予以实现。结果表明, 文中提出的输电线路状态评估指标体系更具有针对性, 状态评估方法有效可行。

关键词: 架空输电线路; 评估指标体系; 状态评估; 专家系统

State Assessment Method of Transmission Lines Considering Validity of Parameters

CHANG An¹, SONG Yunhai¹, ZHANG Han¹, LIU Yadong², DENG Honglei³

(1. M & T Center, EHV Power Transmission Company, China Southern Power Grid, Guangzhou 510663, China;
2. School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;
3. South China University, Guangzhou 510641, China)

Abstract: In To improve the accuracy of the state assessment of overhead transmission lines, the sensitivity of the parameters which can reveal transmission line state is analyzed, and a state assessment index system of transmission line is constructed based on principal component analysis. Then a new state assessment method based on the Bayesian network is proposed, and a mathematical model of the Bayesian network is established. Examples verify the feasibility of this new state assessment method. Based on the multiple source data platform, an expert system of transmission line state assessment is designed to implement the assessment. The results show that the assessment index system is more objective, and the state assessment method is effective and feasible.

Key words: overhead transmission line; assessment index system; state assessment; expert system

0 引言

架空输电线路是电力系统的大动脉, 肩负着输送电能的重任, 是电力系统的重要组成部分。高压输电线路的运行呈现分布广阔、所处地理环境恶劣和气象环境复杂的特点, 因此开展全面有效的输电线路状态监测与状态评估符合线路智能化运维的发展趋势^[1]。

目前, 国内各个网省公司现已建成雷电、覆冰、

污秽、气象、微风振动等线路运行状态监测相关系统^[2-5], 但主要功能多集中于在线监测, 通过少数在线监测参量得到线路覆冰、污秽、放电等状态。对线路整体评估主要集中在状态评价导则, 而在智能算法研究方面还不够深入, 相关文献甚少。文[6]综合输电线路历史状态、当前状态和预测状态建立了评估算法模型, 然而未考虑评估参量的有效性和冗余度; 文[7]针对输电线路某时刻的状态开展状态评估, 未考虑线路历史状态信息。因此目前输电线路状态评估方面存在如下问题: ①多集中在某一状态(如覆冰、

收稿日期: 2017-01-22; 修回日期: 2017-03-26

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2012AA050209)。

Project Supported by National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)(2012AA050209).

污秽)的评估,缺乏整体评估;②评价模型单一,多为评估导则,智能算法研究较少;③评估参量不统一,未考虑评估参量的有效性和冗余度。

文中研究了评估参量的有效性问题,建立了状态评估指标体系,采用贝叶斯算法构建了输电线路状态评估数学模型,设计开发了状态评估专家系统,将研究成果予以实现。

1 状态评估指标体系构建

输电线路分布点多面广,评价参量种类数量繁多。文中在综合各类状态信息的基础上,运用主成分分析法的数学模型,选取具有代表性且能够灵敏反映输电线路工况的参量,以解决输电线路状态信息间的不确定性和模糊性问题。

1.1 主成分分析法基本原理

假定有 p 个样本,每个样本共有 n 个变量,构成一个 $n \times p$ 阶数据矩阵

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \quad (1)$$

记原变量指标为 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 设其降维处理后的综合指标为 $z_1, z_2, z_3, \dots, z_m (m \leq n)$, 则

$$\begin{cases} z_1 = l_{11}x_1 + l_{12}x_2 + \cdots + l_{1p}x_p \\ z_2 = l_{21}x_1 + l_{22}x_2 + \cdots + l_{2p}x_p \\ \vdots \\ z_m = l_{m1}x_1 + l_{m2}x_2 + \cdots + l_{mp}x_p \end{cases} \quad (2)$$

新变量指标 $z_1, z_2, \dots, z_m$ 分别称为原变量指标 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 的第 1, 第 2, $\dots$, 第 m 主成分。

从以上分析可看出,主成分分析的实质就是确定原变量 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ 在诸主成分 $z_i (i=1, 2, \dots, m)$ 上的荷载 $l_{ij} (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$ 。从数学上可以证明,它们分别是相关矩阵 m 个较大的特征值所对应的特征向量。

1.2 状态评估指标体系

根据历年故障统计、历年紧急/重大缺陷统计、历年一般缺陷统计、典型缺陷库这 4 大依据,将输电线路每一个参量进行量化,构建一个可用于主成分分析的多维矩阵。

1) 每个参量量化为一个 4 维数组,即参量 $= (A_1, A_2, A_3, A_4)$ 。其中: A_1 表示故障统计中对应该参量的个数; A_2 表示紧急/重大缺陷统计中对应该参量的个数; A_3 表示一般缺陷中对应该参量的百分比; A_4 表示典型缺陷库中各类缺陷对应该参量的个数。

2) 将每个分部件参量分布量化成 $N \times 4$ 维的矩阵

X , 其中 N 表示该分部件中状态量个数。

3) 按照主成分分析法的定义,得到一个 $p \times n$ 阶的数据矩阵 $X = (X_1, X_2, \dots, X_p)^T$, 其中 n 表示样本个数, p 表示所有参量个数, $X_1, X_2, \dots, X_p$ 表示 p 个参量对应的样本

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{p1} & x_{p2} & \cdots & x_{pn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

4) 对该矩阵进行标准化、正交化,得到相关系数矩阵 R

$$R = XX^T = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

5) 对相关矩阵进行奇异值分解,得到 R 的特征值和特征向量,其中 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \geq \lambda_p \geq 0$ 表示按大小顺序排列的 p 个特征值, $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$ 为特征值对应的特征向量。

6) 确定主成分个数

贡献率

$$\frac{\lambda_i}{\sum_{k=1}^p \lambda_k} \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

累计贡献率

$$\frac{\sum_{k=1}^i \lambda_k}{\sum_{k=1}^p \lambda_k} \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ 的累计贡献率属于 85%~95% 的置信区间,则确定有 m 个主成分能够用来表征原始的 p 个基础参量信息 ($m \leq p$), 记为 $F = (F_1, F_2, \dots, F_m)^T$ 。

7) 计算主成分综合得分。对 m 个主成分进行加权,计算出主成分的综合得分 $\hat{F}$, 以利用综合得分对各参量进行排名和评价

$$\hat{F} = \omega_1 F_1 + \omega_2 F_2 + \cdots + \omega_m F_m = c_1 X_1 + c_2 X_2 + \cdots + c_p X_p \quad (7)$$

8) 推导综合得分的权重。 $\hat{F}$ 的方差应与 m 个主成分的方差贡献之和一致,即 $\text{Var}(\hat{F}) = \sum_{i=1}^m S_i = \sum_{i=1}^m \lambda_i$ 。

根据因子分析中的 Thomson 方法,可以推导出因子载荷矩阵 A 可以近似用 AR^{-1} 来表示,因此推导出 $\hat{F}$ 的方差为

$$\begin{aligned} \text{Var}(\hat{F}) &= \text{Var}(\omega F) = \text{Var}(\omega AR^{-1}X) = \\ &= \omega C \text{Cov}(AR^{-1}X, X^T R^{-1}A^T) \omega^T = \end{aligned}$$

$$\omega \mathbf{A} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{C} \mathbf{0} \nu (\mathbf{X}, \mathbf{X}^T) \mathbf{R}^{-1} \mathbf{A}^T \omega^T. \quad (8)$$

根据相关矩阵 $\mathbf{R}$ 的定义,有

$$\mathbf{C} \mathbf{0} \nu (\mathbf{X}, \mathbf{X}^T) = \mathbf{R}, \mathbf{R}^{-1} = \sum_{i=1}^p \frac{1}{\lambda_i} \alpha_i \alpha_i^T. \quad (9)$$

从而

$$\begin{aligned} \text{Var}(\hat{\mathbf{F}}) &= \omega (\sqrt{\lambda_1} \alpha_1, \sqrt{\lambda_2} \alpha_2, \dots, \sqrt{\lambda_m} \alpha_m)^T \times \\ &\sum_{i=1}^p \frac{1}{\lambda_i} \alpha_i \alpha_i^T (\sqrt{\lambda_1} \alpha_1, \sqrt{\lambda_2} \alpha_2, \dots, \sqrt{\lambda_m} \alpha_m) \omega^T = \\ &\omega_1^2 + \omega_2^2 + \dots + \omega_m^2. \end{aligned} \quad (10)$$

因此,权重 ω_i 的取值为 $\sqrt{\lambda_i}$ 。

9) 将参量的权重向量 $\mathbf{C}$ 归一化至 $[0, 1]$, 权重越大表明相关性越强, 该基础参量越具有代表性, 依据专家经验及模拟演练, 将权重在 0.5 以上的基础参量选为关键参量^[8-10]。

按照上述方法, 得到的评估参量体系见表 1 (仅以绝缘子部件为例)。

表 1 绝缘子状态评估参量表

Table 1 Assessment index system of insulators

序号	具体参量
1	瓷或玻璃绝缘子外观破损、裂纹、闪络烧伤
2	复合绝缘子外观破损、粉化、龟裂
3	绝缘子串爬电
4	瓷绝缘子零值和玻璃绝缘子自爆情况
5	绝缘子串倾斜情况
6	锁紧销缺失、锈蚀、松动
7	防污涂层龟裂、粉化和脱落
8	绝缘子盐密和灰密

2 基于贝叶斯网络的状态评估方法

基于贝叶斯网络的输电线路状态评估思路为: 首先构建输电线路的贝叶斯网络模型; 其次计算每个部件各指标参量的状态属性概率; 然后经网络参数学习构造 CPT 表(条件概率表), 包括基本指标参量对部件、部件对线路的条件概率表; 最后结合历史信息、CPT 表和网络结构进行状态推理, 得出各部件及整条线路的运行状态概率, 从而判断运行状态(正常、注意、异常和严重)。

2.1 贝叶斯网络基本原理

$\mathbf{B}_p = \{(\mathbf{P}_{x_i} | \pi_{x_i}) : x_i \in \mathbf{X}\}$ 是贝叶斯网络模型的一组条件概率分布的集合。在各结点取离散值的情况下, $\mathbf{B}_p$ 为一组条件概率表的集合。 π_{x_i} 是在 $\mathbf{B}_p$ 中 x_i 所有父结点的集合, $(\mathbf{P}_{x_i} | \pi_{x_i})$ 表示结点 x_i 在其父结点某一取值组合状态下的条件概率分布, 这说明在贝叶斯网络模型中, 结点的取值依赖于其父结点的取值状

态。对于适当顺序的结点集 $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 其贝叶斯网络模型的网络结构决定于如下一组条件独立性假设

$$\mathbf{P}(x_i | x_1, x_2, \dots, x_{i-1}) = \mathbf{P}(x_i | \pi_{x_i}) \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (11)$$

按照一个条件概率链来表达一个联合概率, 其一般形式为

$$\mathbf{p}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n \mathbf{p}(x_i | x_1, \dots, x_{i-1}). \quad (12)$$

式(12)通常称为链规则。

因为有了节点及其相互关系、条件概率表, 故贝叶斯网络可以表达网络中所有节点(变量)的联合概率, 即 $\mathbf{X}$ 的联合概率分布为

$$\mathbf{P}(\mathbf{X}) = \mathbf{p}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n \mathbf{p}(x_i | \pi_{x_i}). \quad (13)$$

式(13)表明联合概率分布可由各个局部相互作用模型积的因式形式来表示, 贝叶斯结构稀疏时, 对应的联合概率分布是简洁的。贝叶斯网络使变量的联合概率求解大大简化。

2.2 状态评估的数学模型

2.2.1 网络模型构建

构建的输电线路贝叶斯网络见图 1。其包括基础及防护设施、杆塔、导地线、绝缘子串、金具、防雷设施及接地装置、线路防护区等 7 个部件。

2.2.2 各子部件状态概率统计

根据各部件的设计值、规定值或运行经验值设定各个参量的状态属性区间或者状态属性值。

各参量的评价标准主要依照南方电网规定的评估导则^[11]、线路运规^[12]及预试规程^[13]等标准规程。将各子部件作为整体, 根据历史观测数据, 统计一段时间(如以年为时间段统计)内该部件处于某种状态的次数与总监测次数的比值即状态出现频率作为状态概率的估值^[14-15]。某部件的基本指标参量的先验概率估值形式如下:

$$\mathbf{P}(C_i=1) = \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \frac{n_i}{m_i}; \quad (14)$$

$$\mathbf{P}(C_i=2) = \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \frac{\nu_i}{m_i}; \quad (15)$$

$$\mathbf{P}(C_i=3) = \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \frac{y_i}{m_i}; \quad (16)$$

$$\mathbf{P}(C_i=4) = \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \frac{s_i}{m_i}. \quad (17)$$

式(14)-(17)中, $i=1, 2, \dots, Q$, 是第 i 统计的时间段; C_i 为该部件的某一指标参量; n_i, ν_i, y_i 和 s_i 分别代表 C_i 在运行中监测到位于不同状态属性值的监测次数或统计数量; m_i 是总监测次数或统计总数,

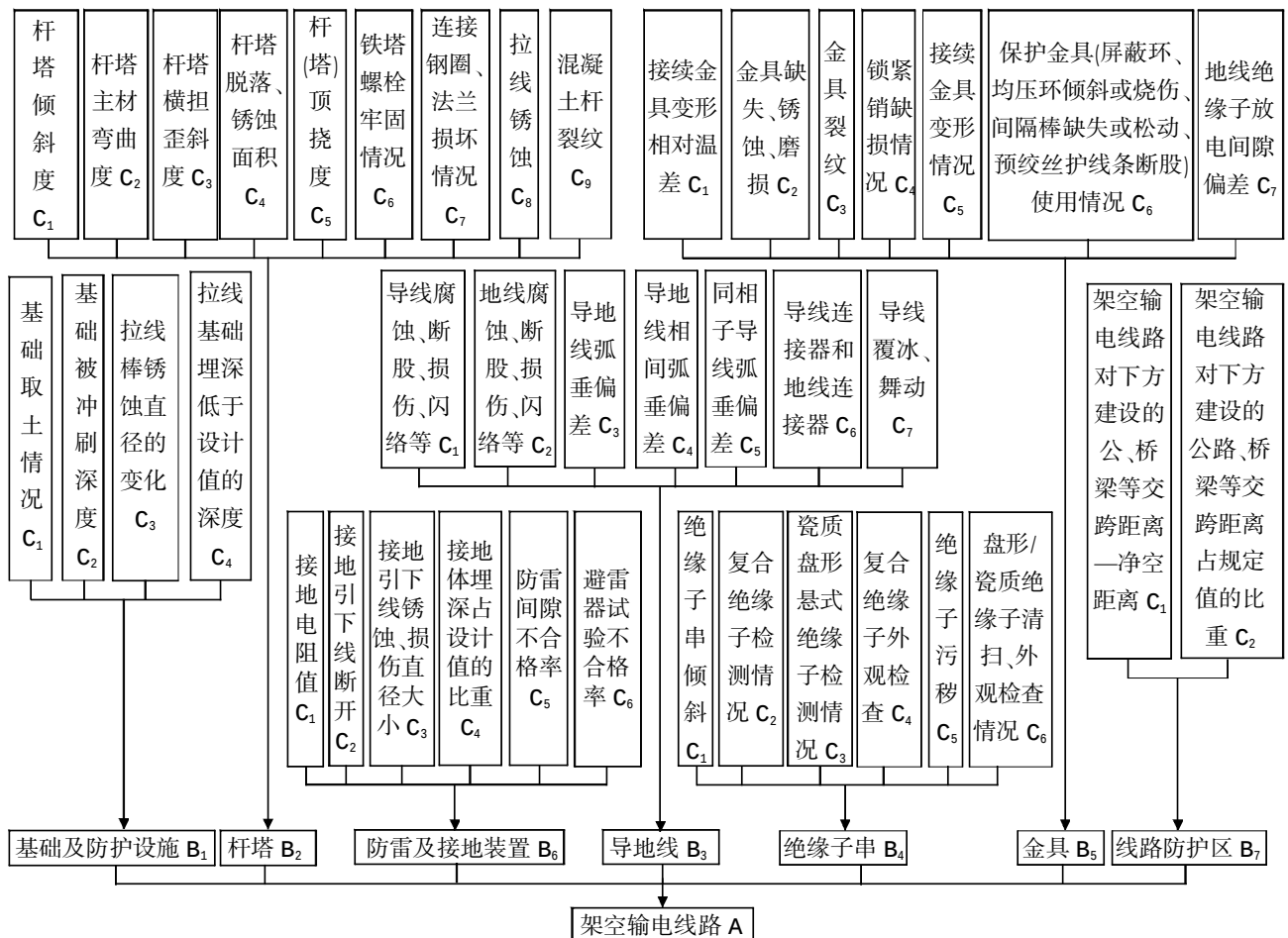


图 1 架空输电线路运行状态评估的贝叶斯网络结构图

Fig. 1 The Bayesian network structure of state assessment of overhead transmission line

$$n_i + v_i + y_i + s_i = m_i.$$

2.2.3 条件概率表构建

条件概率表表达了节点同父节点的相关关系, 没有任何父节点的条件概率为其先验概率。根据专家经验或参数学习确定贝叶斯网络的条件概率表。

参数学习方法可以采用基于经典统计学(最大似然估计)的学习和基于贝叶斯统计学的学习, 并在数据不完备时采用 EM 算法作为辅助, 再结合相关资料和专家经验作为补充。该项目采用基于最大似然估计与相关资料和专家经验相结合的参数学习的方法, 在参数学习中, 样本数据分为两部分: 一部分是训练样本, 用于估计参数; 另一部分是检验样本, 用于结果的验证。

每个部件的条件概率表都具有的格式见表 2、3。

2.2.4 各部件及线路整体状态概率计算

当某部件 B_j 的各参量 $C_i (i=1, 2, \dots, Q)$ 的运行状态分别为 $t_i \in 1, 2, 3, 4$ 时, 确定某部件 B_j 运行的 4 种状态概率

$$P(B_j=k) = \sum_{i=1}^Q P(B_j=k|C_i=t_i)P(C_i=t_i) \quad (18)$$

$$t_i \in \{1, 2, 3, 4\}.$$

表 2 部件 B_j 的 CPT

(Q_j 为 B_j 的指标参量个数, $i=1, 2, \dots, Q_j, j=1, 2, \dots, 7$)

Table 2 CPT of units B_j (Q_j is the number of index parameters of $B_j, i=1, 2, \dots, Q_j, j=1, 2, \dots, 7$)

父级	状态概率			
	正常 $k=1$	注意 $k=2$	异常 $k=3$	严重 $k=4$
$P(B_j=1 C_i=k)$	$P(B_j=1 C_i=1)$	$P(B_j=1 C_i=2)$	$P(B_j=1 C_i=3)$	$P(B_j=1 C_i=4)$
$P(B_j=2 C_i=k)$	$P(B_j=2 C_i=1)$	$P(B_j=2 C_i=2)$	$P(B_j=2 C_i=3)$	$P(B_j=2 C_i=4)$
$P(B_j=3 C_i=k)$	$P(B_j=3 C_i=1)$	$P(B_j=3 C_i=2)$	$P(B_j=3 C_i=3)$	$P(B_j=3 C_i=4)$
$P(B_j=4 C_i=k)$	$P(B_j=4 C_i=1)$	$P(B_j=4 C_i=2)$	$P(B_j=4 C_i=3)$	$P(B_j=4 C_i=4)$

表 3 线路 A 的 CPT(线路由 7 个部件 B_j 构成 $j=1, 2, \dots, 7$)

Table 3 CPT of line A

(the line is consisted by seven units $B_j, j=1, 2, \dots, 7$)

父级	状态概率			
	正常 $k=1$	注意 $k=2$	异常 $k=3$	严重 $k=4$
$P(A=1 B_j=k)$	$P(A=1 B_j=1)$	$P(A=1 B_j=2)$	$P(A=1 B_j=3)$	$P(A=1 B_j=4)$
$P(A=2 B_j=k)$	$P(A=2 B_j=1)$	$P(A=2 B_j=2)$	$P(A=2 B_j=3)$	$P(A=2 B_j=4)$
$P(A=3 B_j=k)$	$P(A=3 B_j=1)$	$P(A=3 B_j=2)$	$P(A=3 B_j=3)$	$P(A=3 B_j=4)$
$P(A=4 B_j=k)$	$P(A=4 B_j=1)$	$P(A=4 B_j=2)$	$P(A=4 B_j=3)$	$P(A=4 B_j=4)$

式(18)中, $k=1, 2, 3, 4$ 。

根据计算得到的状态概率值的大小判断该部件的运行状态。

当线路 A 的各部件 $B_j(j=1,2,\dots,N)$ 的运行状态分别为 $t_i \in \{1,2,3,4\}$ 时,线路整体的运行状态概率为

$$P(A=k) = \sum_{j=1}^7 P(A=k|B_j=t_j)P(B_j=t_j) \quad (19)$$

$t_i \in \{1,2,3,4\}$ 。

式(19)中, $k=1,2,3,4$ 。

推理公式表明,任一部件 B_j 运行的状态概率均由其各参量当前的运行状态概率 $P(C_i=t_i)$ 推理得到,而线路 A 整体的运行状态概率则由其各部件当前的运行状态概率 $P(B_j=t_j)$ 推理得到。根据计算结果筛选出概率最大的那一项作为评估结果^[16-18]。

2.3 算法实例

某 500 kV 线路,铁塔基数为 387;绝缘子串数为 2 322,其中合成绝缘子 124 串,玻璃绝缘子 636 串,瓷质绝缘子 1 562 串;金具 8 817 个;基础与接地装置数均为 387;导地线 386 档,其中导线总数为 1 158,地线总数为 772;线路避雷器数为 6,防雷设施数为 42。

以杆塔部件为例,根据测量数据,计算其状态概率。由历史测量数据得到杆塔倾斜度的先验概率分别为: $P(C_1=1)=0.960, P(C_1=2)=0.031, P(C_1=3)=0.008, P(C_1=4)=0.001$;杆(塔)顶挠度 C_2 先验概率分别为:0.990, 0.008, 0.002, 0;铁塔主材弯曲度 C_3 先验概率分别为:0.962, 0.030, 0.006, 0.002..., 具体见表 4、5。

表 4 各指标参量对杆塔的先验概率

Table 4 The prior probability tables of the index parameters to tower

杆塔	正常	注意	异常	严重
杆塔倾斜度 C_1	0.960	0.031	0.008	0.001
杆(塔)顶挠度 C_2	0.990	0.008	0.002	0.000
铁塔、钢管塔主材弯曲度 C_3	0.962	0.030	0.006	0.002
杆塔横担歪斜度 C_4	0.972	0.012	0.005	0.001
铁塔螺栓牢固情况 C_5	0.965	0.025	0.010	0.000
...				

表 5 指标参量对杆塔的条件概率表

Table 5 The conditional probability tables of the index parameters to tower

父级	状态概率			
	正常 $j=1$	注意 $j=2$	异常 $j=3$	严重 $j=4$
$P(B_2=1 C_i=j)$	0.565 0	0.205 6	0.001 0	0.001 1
$P(B_2=2 C_i=j)$	0.262 2	0.634 3	0.004 9	0.001 3
$P(B_2=3 C_i=j)$	0.117 5	0.105 2	0.881 5	0.113 4
$P(B_2=4 C_i=j)$	0.055 3	0.055 0	0.112 6	0.884 2

在评估时间段内,实测的杆塔倾斜度 C_1 、杆(塔)顶挠度 C_2 等参量均为正常状态;钢管塔主材弯曲度

的状态 C_3 、塔螺栓牢固情况 C_5 、铁塔表面脱落、锈蚀情况 C_6 为注意状态。由式(18)计算,并进行归一化处理后得杆塔处于各状态的概率,见表 6。

表 6 杆塔状态概率情况表

Table 6 The assessment probability table of tower

杆塔状态	正常	注意	异常	严重
概率值	0.432	0.400	0.113	0.055

比较各概率值大小,表明杆塔处于正常状态。与南方电网公司 35~500 kV 架空线路状态评价导则(试行)结果相符合(导则中杆塔扣 12 分,为正常状态)。

同理,可得线路其他 6 个部件的状态的概率,见表 7。

表 7 各部件先验概率表

Table 7 The prior probability of units

部件	正常	注意	异常	严重
基础及防护设施	0.645	0.225	0.097	0.033
杆塔	0.432	0.400	0.113	0.055
导地线	0.783	0.175	0.027	0.015
绝缘子串	0.544	0.286	0.127	0.043
金具	0.675	0.238	0.065	0.022
防雷设施及接地装置	0.597	0.300	0.082	0.021
线路防护区	0.507	0.367	0.081	0.045

由式(19)和表 7 可以计算得到线路处于正常、注意、异常、严重状态的概率为 0.6524, 0.2214, 0.049, 0.0617, 表明线路处于正常状态, 和南方电网公司 35~500 kV 架空线路状态评价导则(试行)评估结果进行对照,证明了算法的可行性。

3 系统建设

输电线路状态评估专家系统以状态评估为主要功能,借助状态评估参数体系、状态评估算法等研究成果,实现对输电线路运行状态感知、状态评估计算及风险预警,为生产运行提供设备检修策略、应急抢险指挥等决策支持。

从总体结构上看,输电线路状态评估专家系统及其相关的部分可以划分为 3 个层面,从下到上依次为:外部数据接入层、基础平台数据层、业务功能应用层,见图 2。

外部数据接入层包含覆冰预警系统、气象监测、PMIS、EMS、输变电评价系统、试验监测以及巡视记录等。系统接口遵循南方电网公司数据交换标准,满足系统间接口规范要求。

基础平台数据层包含存储电网设备信息的属性数据库和存储电网图形信息的 GIS 数据库,以及在线监测、试验检测、巡视记录等数据的存储库。基础

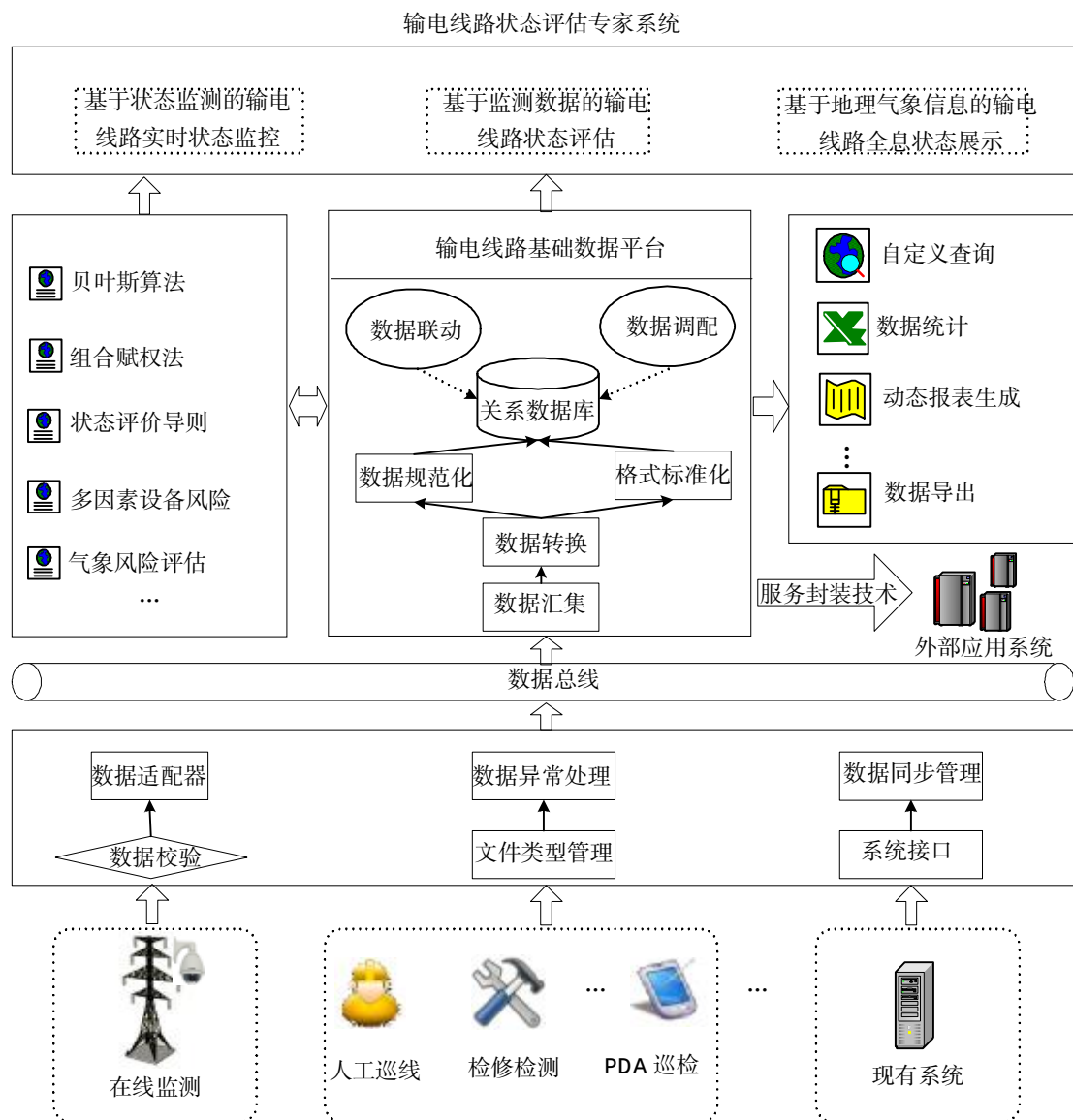


图2 系统功能架构图

Fig. 2 The structure diagram of system function

平台数据层为电网公司上层业务应用系统提供统一数据来源。

业务功能应用层是在基础数据平台层提供数据的基础上进行的业务应用,其主要功能包括数据在线监测、线路状态评估、风险评估等。

系统状态评估界面见图3。

4 结论

1)构建了输电线路状态评估指标体系,建立了基于主成分分析法的各单元部件评估参量的数学模型,提高了评估指标的获取效率。

2)提出了基于贝叶斯网络的状态评估算法,利用极大似然训练获得了线路各个指标参量的条件概率,通过因果推理判断线路和各部件的运行状态,并通过实例进行了验证。



图3 系统界面图

Fig. 3 The system interface

3)设计开发输电线路状态评估专家系统。基于多源数据融合后的综合数据平台,将输电线路状态评估研究成果进行开发实现。

参考文献:

- [1] 黄新波,程荣贵,王孝敬,等.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 Xinbo, CHENG Ronggui, WANG Xiaojing, et al. On-line monitoring and fault diagnosis of transmission line [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2008.
- [2] 王凯,蔡炜,邓雨荣,等.输电线路在线监测系统应用和管理平台[J].高电压技术,2012,38(5):1274-1280.
WANG Kai, CAI Wei, DENG Yurong, et al. Application and management information platform for transmission line monitoring system[J]. High Voltage Engineering, 2012, 38(5): 1274-1280.
- [3] 阳林,郝艳捧,李立涅,等.采用多变量模糊控制的输电线路覆冰状态评估[J].高电压技术,2010,36(12):2996-3001.
YANG Lin, HAO Yanpeng, LI Licheng, et al. Assessment of overhead transmission line icing using multivariable fuzzy logic control[J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(12): 2996-3001.
- [4] 李海宇.高压输电线路运行状态评估系统后台开发[D].北京:华北电力大学,2008.
LI Haiyu. Development of background on operating states monitoring system of HV transmission lines[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2008.
- [5] 盛戈皞,江秀臣,曾奕,等.架空输电线路运行和故障综合监测评估系统[J].高电压技术,2007,33(8):183-186.
SHENG Gehao, JIANG Xiuchen, ZENG Yi, et al. Integrated monitoring system for evaluating overhead transmission lines operation and fault state[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(8): 183-186.
- [6] 纪航,刘新平,朱炜.基于贝叶斯网络和Genie软件的超高压输电线路综合状态评估新方法[J].上海电力,2011,24(1):14-20.
JI Hang, LIU Xinping, ZHU Wei. New comprehensive evaluation method for extra-high voltage transmission line based on Bayesian network and Genie software[J]. Shanghai Electric Power, 2011, 24(1): 14-20.
- [7] 韩富春,董邦洲,贾雷亮,等.基于贝叶斯网络的架空输电线路运行状态评估[J].电力系统及其自动化学报,2008,20(1):101-104.
HAN Fuchun, DONG Bangzhou, JIA Leiliang, et al. Operation state evaluation of overhead transmission lines based on bayesian network[J]. Proceedings of the CSU-EPSS, 2008, 20(1):101-104.
- [8] Q/CSG—2010 35-500 kV 架空线路状态评价导则(试行)[S]. 2014.
Q/CSG—2010 Guide for condition evaluation of overhead transmission line[S]. 2014.
- [9] DL/T 741—2010 架空输电线路运行规程[S]. 2010.
DL/T 741—2010 Operating code for overhead transmission line[S]. 2010.
- [10] Q/CSG 114002—2011 电力设备预防性试验规程[S]. 2011.
Q/CSG 114002—2011 Preventive test code for electric power equipment[S]. 2011.
- [11] 韩富春,周林伟,贾雷亮,等.基于灰色关联度的架空线路运行状态的评价[J].高电压技术,2009,35(2):399-402.
HAN Fuchun, ZHOU Linwei, JIA Leiliang, et al. Evaluation of overhead transmission lines operation based on grey relation correlation[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(2): 399-402.
- [12] 李慧姣.基于主成分分析法的遗传神经网络短期负荷预测的研究[D].长沙:湖南大学,2012.
LI Huijiao. The research of power system short term load forecasting based on principal component analysis's genetic neural network[D]. Changsha: Hunan University, 2012.
- [13] 王志征,余岳峰,姚国平.基于主成分分析法和自适应神经模糊推理系统的电力负荷预测[J].电力自动化设备,2003,23(9):39-41.
WANG Zhizheng, YU Yuefeng, YAO Guoping. Power load forecast based on principal component analysis and adaptive neuro-fuzzy inference system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(9): 39-41.
- [14] 郑传材,管霖,梁英杰.基于影响因素识别的架空输电线路可靠性管理系统和评估模型[J].电网技术,2009,33(20):158-163.
ZHENG Chuancai, GUAN Lin, LIANG Yingjie. Impacting factor recognition based reliability management system for overhead transmission lines and its evaluation model[J]. Power System Technology, 2009, 33(20): 158-163.
- [15] 文习山,蓝磊,蒋日坤.采用Markov模型的输电线路及绝缘子运行风险评估[J].高电压技术,2011,37(8):1952-1959.
WEN Xishan, LAN Lei, JIANG Rikun. Operating risk assessment for transmission and line insulators using Markov model[J]. High Voltage Engineering, 2011, 37(8): 1952-1959.
- [16] HURDLE E E, BARTLETT L M, ANDREWS J D. Fault diagnostics of dynamic system operation using a fault tree based method[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2009, 94(9): 1371-1380.
- [17] 帅海燕,龚庆武,陈道君.计及污闪概率的输电线路运行风险评估理论与指标体系[J].中国电机工程学报,2011,31(16):48-54.
SHUAI Haiyan, GONG Qingwu, CHEN Daojun. Operation risk assessment theory and index system of transmission line taking the probability of pollution flashover into account[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(16): 48-54.
- [18] KALYANI S, SWARUP K S. Particle swarm optimization based K-means clustering approach for security assessment in power systems[J]. Expert Systems with Applications, 2011(38):10839-10846.

常安(1984—),男,工程师,主要从事输电线路状态监测、防雷接地方面工作。