

## 基于简约参数集的输电线路状态评价方法研究

宋云海, 李晋伟, 陈岳, 王奇, 常安

(南方电网超高压输电公司检修试验中心, 广州 510663)

**摘要:** 为提升对输电线路状态评价的准确、全面、可靠性,开展输电线路状态检修和智能化运行维护,提出了一种基于简约参数集的输电线路状态评价方法。该方法结合南方电网现有的输电线路评价导则、规程规范、缺陷库等,提取输电线路状态基础参数体系,在此基础上,构建了能够表征输电线路状态的简约参数集,以此作为输电线路状态评价的参量来源。通过对南方电网某500 kV输电线路进行实例验证,并将评价结果与现有导则进行对比,验证了该方法的有效性和准确性,大大提升了状态评价的效率。

**关键词:** 状态评价; 输电线路; 简约参数集

### Study on Transmission Lines' State Assessment Based on Skeleton Parameter Set

SONG Yunhai, LI Jinwei, CHEN Yue, WANG Qi, CHANG An

(Maintenance & Test Center, Extra High Voltage Transmission Company, CSG, Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** To promote the exact, overall, reliable assessment of transmission line state, and to carry out transmission line maintenance and intelligent operation and maintenance, the transmission lines' state assessment based on skeleton parameter set is present. The study combines the existing transmission lines' evaluation guideline, regulations and standard, defect bases specified by CSG, the fundamental parameter system of transmission lines' state is extracted. On the basis, this paper constructs the skeleton parameter set of transmission lines' state, which is as the parameter source of the state assessment of transmission lines, and combines a 500 kV transmission line in CSG to carry out example verification. This method verifies the effectiveness and accuracy, and promotes the efficiency of state assessment greatly.

**Key words:** state evaluation; transmission line; skeleton parameter set

### 0 引言

高压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,一旦发生故障会严重影响系统的安全稳定运行,如“8.14”美加大停电就是因为对架空输电线路的故障隐患缺乏有力的监测和控制手段引起的。因此,开展全面有效的输电线路状态监测、状态评估预警与辅助决策符合线路智能化运行维护的发展趋势,能够为交直流互联大电网智能运行提供评估决策支持<sup>[1-4]</sup>。目前输电设备的状

态监测技术和评价体系的研究相对滞后,存在评价参量不统一、评价结果不准确、状态监测装置利用率不高等问题<sup>[5-10]</sup>。由于输电线路分布点多面广、设备分散,导致评价参量的种类数量很多、评价参数体系也很复杂。现有的状态监测参数体系存在3个方面问题:①导则、行业标准中规定的评价参量不全面且存在差异,导致对同一条线路往往会出现不同的评价结果;②状态参量没有规范化的分类方式,现有导则中以部件作为参量的分类方式;国内外文献中以参量获取方式作为分类基础,将参数体系分为日常巡视、在线监测、预防性试验、带电检测这4个方面;③输电线路的参量大多数从巡视得来,过于复杂或存在冗余的参数体系不仅会降低巡

收稿日期:2016-11-10; 修回日期:2017-01-23

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)课题(2012A050209)。

Project Supported by the National High Technology Research and Development Program(Program 863)(2012A050209).

视效率,而且由于巡视方式的没有统一化、规范化会造成参量巡视结果的差异<sup>[11-14]</sup>。

## 1 基础参数体系构建

### 1.1 基础参数体系构建方法

输电线路状态基础参数体系规范旨在将不同信息获取方式获得的数据,采用统一的形式管理,分别研究每一个参量与输电线路状态的对应关系,研究其正常的取值范围、参数获取方式等,形成一个开放的数据平台,为后期状态评价、故障诊断、状

态检修等高级应用提供数据支撑<sup>[15-18]</sup>。

为了确保输电设备状态评估的全面性和可扩展性,结合输电线路部件多、距离长、检测参数针对性强等特点,参数体系采用了面向部件的多层信息架构,见图1。该信息模型划分为基础参量和交互参量2类,核心状态量划分为输电设备部件层、状态信息层、传感数据层3个层次,是线路状态评估和诊断的主要依据。交互参量为应用交互层参量,包括调度运行信息、GIS地理信息、雷电监测信息、气象信息等几类,是状态评估的参考信息。

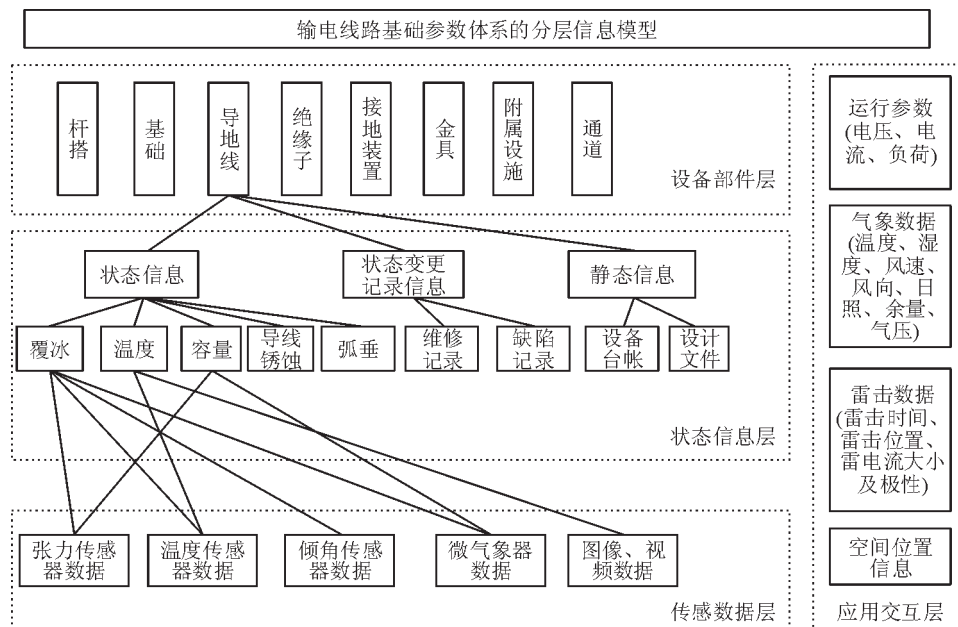


图1 基础参数体系总体架构图

Fig. 1 Overall architecture diagram of the basic parameters

输电设备部件层将输电设备分为8个部件;状态分析层列举出了各部件状态评估所对应的状态量,其种类固定不变的参数,是后期状态评价、故障诊断和风险评估的基础参数;传感数据层中列举了各类传感器的数据属性,传感数据是为获取状态信息参数所必须采集的一些原始量(导线覆冰所需微气候、张力等),传感数据级参数可根据监测方法和手段的不同而灵活选取。

在设备部件层中,结合目前输电设备状态评估的研究现状,将输电设备的状态评估参数体系分为基础、杆塔、导地线、绝缘子、金具、接地装置、附属设施、通道环境这8个部件。

在状态信息层中,每个部件的评价涉及到多个状态监测级参量,状态信息参量可分为实时变化的状态数据、静态数据和状态变更记录信息3大类。检测数据通过一定的数学方法和模型综合起来,用以表征该状态监测级参量的状态。

在传感数据层中,针对状态量的性质分为两大类,一类是在线监测、带电检测和试验数据,该类是有量纲的数据,包括历史记录数据和当前采集的数

据;另一类是日常巡视部分,该类是无量纲的数据,通过运维人员的日常巡视得来。

### 1.2 基础参数体系构建结果

结合基础参数体系构建方法,并参考国标/行标、规范指导文件、南方电网输电线路状态评价导则、南方电网缺陷库等文件,提取输电线路状态基础参数体系。以“导地线”部件为例,“导地线”部件状态基础参数体系中参量与各类选取依据的对应关系见表1。

根据此方法,对应于输电线路的8个分部件,初选出144个基础参量,构成输电线路状态监测基础参数体系。

## 2 简约参数体系构建

传统的输电线路状态评价方法是综合输电线路所有参量进行评分,得到整条线路的得分值,由于输电线路状态参量过多,往往导致评价结果与线路的实际状态有较大偏差。因此,根据经济性、实用性、智能化要求,需要对设备状态量加以整理,提取出重要的状态量,形成能够表征输电线路运行状态

表1 导地线状态基础参量提取表

Table 1 Transmission line state basic parameter extraction

| 序号 | 状态量                | 国标/<br>行标 | 规范指<br>导文件 | 南网<br>导则 | 南网缺<br>陷库 | 序号 | 状态量                      | 国标/<br>行标 | 规范指<br>导文件 | 南网<br>导则 | 南网缺<br>陷库 |
|----|--------------------|-----------|------------|----------|-----------|----|--------------------------|-----------|------------|----------|-----------|
| 1  | 导地线存在腐蚀、断股、损伤和闪络烧伤 | ✓         | —          | ✓        | ✓         | 13 | 预绞丝缺股或端头出现散股             | —         | ✓          | —        | —         |
| 2  | 导地线异常振动            | ✓         | ✓          | ✓        | ✓         | 14 | 导地线存在明显弯曲而无预绞丝护线条        | —         | ✓          | —        | —         |
| 3  | 导地线舞动              | ✓         | ✓          | ✓        | —         | 15 | 跳线断股、扭曲、变形、烧伤、损伤         | —         | ✓          | ✓        | —         |
| 4  | 导地线覆冰              | ✓         | —          | ✓        | —         | 16 | 分裂跳线间扭绞、存在摩擦点            | —         | ✓          | ✓        | —         |
| 5  | 导地线弧垂              | ✓         | —          | ✓        | ✓         | 17 | 经双挂点改造的跳线松弛或摇摆较大         | —         | —          | ✓        | ✓         |
| 6  | 分裂导线间距变化           | ✓         | —          | —        | —         | 18 | OPGW光缆线表面有金钩、磨损、断股、漏油等现象 | ✓         | —          | ✓        | ✓         |
| 7  | 分裂导线有鞭击、扭绞等现象      | —         | ✓          | —        | —         | 19 | OPGW或ADSS光缆的金具或夹具磨损或螺栓松动 | —         | ✓          | ✓        | ✓         |
| 8  | 导地线风偏              | —         | —          | ✓        | ✓         | 20 | OPGW光缆线接头引下线安全距离不满足要求    | —         | ✓          | —        | —         |
| 9  | 导地线异物悬挂            | —         | ✓          | ✓        | ✓         | 21 | OPGW光缆线接头箱锈蚀、损坏或固定不牢     | —         | ✓          | ✓        | ✓         |
| 10 | 导地线在线夹内滑移          | —         | ✓          | —        | —         | 22 | OPGW光缆线余缆脱离余缆架或散开        | —         | ✓          | ✓        | —         |
| 11 | 导地线脱冰跳跃            | —         | —          | —        | —         | 23 | 跳线风偏                     | —         | ✓          | ✓        | ✓         |
| 12 | 连接管、补修管有弯曲变形现象     | —         | ✓          | —        | —         | 24 | 重要交跨接头存在                 | ✓         | ✓          | —        | —         |

的简约参数体系。

对输电线路8个分部件提取相应的核心参量,利用主成分法提取输电线路状态简约参数集。以部件“导地线”为例,简述主成分分析法提取关键参量计算步骤,其它各部件关键参量的提取步骤与此相同。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、南网缺陷库这4大依据,在选取关键参数时将基础参数体系的每一个参量进行量化,从而构成一个可用作主成分分析的多维矩阵,见表2。

从表2可得,基础类参量的量化矩阵 $X$ 及标准化 $X$ 后的矩阵 $X'$ 为

$$X = \begin{bmatrix} 19 & 1 & 0.12 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 7 & 0 & 0 & 1 \\ 10 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0.17 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 0 & 2 \\ 12 & 0 & 0.28 & 1 \\ 3 & 2 & 0.17 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 7 & 0 & 0.28 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0.22 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; X' = \begin{bmatrix} 1.000 & 0 & 0.500 & 0 & 0.428 & 6 & 1.000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.250 & 0 & 0 & 0 \\ 0.368 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.526 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.052 & 6 & 0 & 0.607 & 1 & 0.750 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.500 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.263 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0.500 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.263 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0.500 & 0 & 0 \\ 0.631 & 6 & 0 & 1.000 & 0 & 0.250 & 0 & 0 \\ 0.157 & 9 & 1.000 & 0 & 0.607 & 1 & 0 & 0 \\ 0.105 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.500 & 0 & 0 & 0.500 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.368 & 4 & 0 & 1.000 & 0 & 0.250 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.250 & 0 & 0 \\ 0 & 0.500 & 0 & 0.785 & 7 & 0.500 & 0 & 0 \\ 0 & 0.500 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.052 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

表 2 导线参量的多维矩阵  
Table 2 The multi dimensional matrix of transmission line parameters

| 序号 | 导地线                       | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ |
|----|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | 导地线存在腐蚀、断股、损伤和闪络烧伤        | 19.00 | 1.00  | 0.12  | 4.00  |
| 2  | 导地线异常振动                   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 1.00  |
| 3  | 导地线舞动                     | 7.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 4  | 导地线覆冰                     | 10.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 5  | 导地线弧垂                     | 1.00  | 0.00  | 0.17  | 3.00  |
| 6  | 分裂导线间距发生变化                | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 2.00  |
| 7  | 分裂导线有鞭击、扭绞等现象             | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 8  | 导地线风偏                     | 5.00  | 0.00  | 0.00  | 2.00  |
| 9  | 导地线异物悬挂                   | 12.00 | 0.00  | 0.28  | 1.00  |
| 10 | 导地线在线夹内滑动                 | 3.00  | 2.00  | 0.17  | 0.00  |
| 11 | 导地线脱冰跳跃                   | 2.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 12 | 各类连接管、补修管有弯曲变形现象          | 0.00  | 1.00  | 0.00  | 2.00  |
| 13 | 各类预绞丝缺股或端头出现散股            | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 14 | 悬垂线夹出口处导地线存在明显弯曲而无预绞丝护线条  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 15 | 跳线断股、扭曲、变形、烧伤、损伤          | 7.00  | 0.00  | 0.28  | 1.00  |
| 16 | 分裂跳线间扭绞、存在摩擦点             | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 17 | 经双挂点改造的跳线松弛或摇摆较大          | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 1.00  |
| 18 | OPGW光缆线表面有金钩、磨损、断股、漏油等现象  | 0.00  | 1.00  | 0.22  | 2.00  |
| 19 | OPGW的金具或夹具磨损、损坏或螺栓松动      | 0.00  | 1.00  | 0.00  | 0.00  |
| 20 | OPGW光缆线接头引下线与带电部分的距离不满足要求 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 21 | OPGW光缆线接头箱锈蚀、损坏或固定不牢      | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 22 | OPGW光缆线余缆脱离余缆架或散开         | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 23 | 跳线风偏                      | 1.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 24 | 重要交跨接头存在                  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |

注: $A_1$ 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; $A_4$ 表示南网缺陷库中各类缺陷对应该参量的个数。

解特征方程  $|\lambda I - R| = 0$ , 用 Jacobi 方法求出矩阵  $R$  的特征值并使其按大小顺序排列, 结果如下:  
 $\lambda_1=8.176\ 8, \lambda_2=2.613\ 7, \lambda_3=1.209\ 5, \lambda_4=0.000\ 2, \lambda_5 \cdots \lambda_{24}=0$ 。

计算主成分的贡献率及累计贡献率, 可得第 1~4 个主成分的贡献率分别为 68.140%, 21.780%, 10.070%, 0.001%。进而计算可以得到第 1、2 个主成分的累计贡献率为 89.920%, 属于算法所要求的 85%~95% 的置信区间, 因此特征值  $\lambda_1, \lambda_2$  对应的特

征向量可以用来计算主成分的综合得分  $\alpha$ 。

特征值  $\lambda_1, \lambda_2$  对应的特征向量分别为

$$\alpha_1 = \begin{bmatrix} 0.288\ 8 \\ -0.178\ 5 \\ 0.309\ 5 \\ 0.309\ 5 \\ -0.085\ 6 \\ 0.309\ 5 \\ 0 \\ 0.251\ 0 \\ 0.303\ 3 \\ 0.264\ 7 \\ -0.178\ 5 \\ -0.225\ 3 \\ 0 \\ 0 \\ 0.297\ 6 \\ 0 \\ -0.178\ 5 \\ 0.309\ 5 \\ -0.074\ 5 \\ -0.000\ 2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0.245\ 3 \\ 0 \end{bmatrix}; \alpha_2 = \begin{bmatrix} 0.188\ 5 \\ 0.371\ 2 \\ 0.111\ 3 \\ 0.430\ 9 \\ 0.111\ 3 \\ 0 \\ 0.274\ 8 \\ 0.141\ 5 \\ -0.072\ 6 \\ 0.371\ 2 \\ 0.255\ 6 \\ 0 \\ 0 \\ 0.163\ 9 \\ 0 \\ 0.371\ 2 \\ 0.111\ 3 \\ -0.253\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.242\ 5 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

计算主成分综合得分  $\alpha$ , 矩阵  $\alpha$  表示每个基础参量对主成分的权重。

$$\alpha = \lambda_1 \cdot \alpha_1 + \lambda_2 \cdot \alpha_2 = \begin{bmatrix} 3.715\ 8 \\ -0.004\ 4 \\ 3.556\ 1 \\ 3.556\ 1 \\ 1.186\ 4 \\ 3.556\ 1 \\ 0 \\ 3.760\ 5 \\ 3.637\ 7 \\ 2.252\ 5 \\ -0.004\ 4 \\ -1.006\ 8 \\ 0 \\ 0 \\ 3.686\ 5 \\ 0 \\ -0.004\ 4 \\ 3.556\ 1 \\ -1.919\ 1 \\ 0 \\ -0.000\ 2 \\ 0 \\ -0.063\ 7 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

将主成分综合得分  $\alpha$  归一化至 [0, 1] 后, 画出各

个基础参量的权重图,见图2。

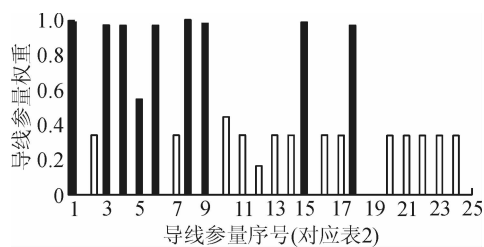


图2 导线的基础参量权重

Fig. 2 Basic parameter weight of transmission line

将图2中权重大于0.5的参量选为主成分,即导线的关键参量,结果见表3。

表3 导线的关键参量

Table 3 Key parameters of transmission line

| 序号 | 关键参量                     |
|----|--------------------------|
| 1  | 导地线存在腐蚀、断股、损伤和闪络烧伤       |
| 2  | 导地线舞动                    |
| 3  | 导地线覆冰                    |
| 4  | 导地线弧垂                    |
| 5  | 导地线温度                    |
| 6  | 导地线风偏                    |
| 7  | 导地线异物悬挂                  |
| 8  | 导地线在线夹内滑移                |
| 9  | 跳线断股、扭曲、变形、烧伤、损伤         |
| 10 | OPGW光缆线表面有金钩、磨损、断股、漏油等现象 |

### 3 实例分析

结合南方电网2013年某500 kV线路的巡视、预防性试验记录与该条线路的运行记录,将输电线路状态简约参数集根据累计扣分法的状态评价结果与线路实际运行情况对比,以验证文中提取的简约参数集的有效性。

以2013年12月为状态评价时段,该段输电线路的部分巡视记录见表4。

参照《国家电网状态评价导则》和南方电网《220 kV及以上架空输电线路设备状态评价导则》,使用累计扣分法作为输电线路的状态评价方法,设备运行状态满分为100分,0分表示设备需要立即检修,100分则表示设备运行正常,无需检修。针对线路的巡视及预试记录,按照国网评价导则、南网评价导则、关键参数体系对某500 kV线路进行状态评价,其扣分状态量及扣分结果见表5。

根据导则对线路总体评价的规定,可以得到线路整体得分 $P$ 的计算公式

$$P=100-\sum_{i=1}^8 w_i S_i \quad (4)$$

表4 巡视记录

Table 4 Patrol record

| 试验类记录         | 实测值                                                                                                      | 注意值 | 警示值 |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
| 覆冰厚度/mm       | 15                                                                                                       | 10  | 20  |
| 导线温度/℃        | 46                                                                                                       | 50  | 80  |
| 弧垂偏差/%        | 2.8                                                                                                      | 1.5 | 3.0 |
| 跳线风偏角度/(°)    | 10                                                                                                       | 11  | 66  |
| 复合绝缘子憎水性      | HC3                                                                                                      | HC3 | HC6 |
| 绝缘子盐密值于控制值的倍数 | 0.4                                                                                                      | 0.5 | 0.7 |
| 日常巡视类记录       | 导线存在轻微的断股现象<br>导线表面存在一定厚度覆冰<br>导线无异物悬挂<br>导线存在轻微舞动及风偏情况,环境风速大<br>A相绝缘子自爆2片<br>绝缘子存在轻微的积污现象<br>接续金具及跳线均正常 |     |     |

表5 状态量扣分值对比

Table 5 Comparison of the status of the state variables

| 状态量            | 国网   |      | 南网   |      | 关键参数体系 |
|----------------|------|------|------|------|--------|
|                | 基本扣分 | 应扣分值 | 基本扣分 | 应扣分值 | 应扣分值   |
| 导地线存在断股、烧伤     | 5    | 20   | 4    | 16   | 16     |
| 导地线弧垂          | 5    | 20   | 4    | 16   | 16     |
| 导线异常振动、舞动、覆冰情况 | 10   | 40   | 10   | 40   | 40     |
| 导线总扣分          | 80   |      | 72   |      | 72     |
| 复合绝缘子憎水性       | 2    | 6    | 4    | 12   | -      |
| 零值绝缘子自爆        | 5    | 20   | 4    | 16   | 16     |
| 绝缘子盐密、灰密       | 1    | 4    | 8    | 32   | 32     |
| 绝缘子总扣分         | 30   |      | 60   |      | 48     |

式(4)中: $w_i$ 为各分部件的权重; $S_i$ 为各分部件的扣分值。因此根据各部件的扣分值可以计算出线路得分,见表6。

该段输电线路的实际情况为:当时处于冬季的大雪天气,输电线路覆冰厚度已接近设计值,由于覆冰的影响导线的弧垂已偏离正常值,导线存在异常振动;维修记录显示该段导线之前已进行过有关接续金具和修复导线断股的维修。综合以上实际

表 6 评价结果对比

Table 6 Evaluation results contrast

| 评价标准   | 线路得分 | 线路评价 | 实际情况 |
|--------|------|------|------|
| 国网评价导则 | 83.5 | 异常   |      |
| 南网评价导则 | 81.2 | 异常   | 异常   |
| 简约参数集  | 80.1 | 异常   |      |

情况,可以判断该段输电线路运行状态正处于“异常”状态,整体工作性能欠佳,应密切注意其后续状态发展,尽快安排维修。

同理,根据该线路 2013-01—2013-12 的运维记录按月对线路做状态评价,得到结果见图 3。

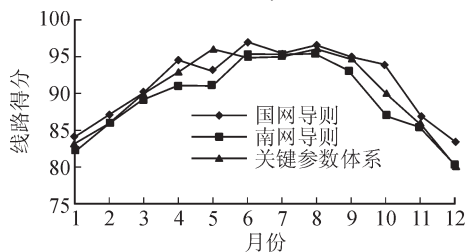


图 3 评价结果对比

Fig. 3 Evaluation results contrast

根据图 3 的评价结果和线路实际运行记录,可以看出关键参数体系和国网、南网导则的评价结果稍有差异,但基本符合线路实际运行情况。这说明基础参数体系中的参量综合了各类评价导则、技术规范,能够更全面、准确地对输电线路进行状态评价;关键参数体系从基础参数体系中提取,在确保状态评价结果准确的同时降低了参数体系的复杂性,更有利于状态监测的具体实施。

#### 4 结语

文中详细描述了输电线路关键参数体系的建立过程,首先综合各类评价导则、技术规范而得到基础参数体系,然后通过主成分分析法提取每个部件的关键参量,最后建立起关键参数体系并给出了所有关键参量的参量描述、来源和获取方式等。并通过南方电网某 500 kV 线路的数据验证了该简约参数集的有效性,研究成果既优化了状态评价参量的结构,提高了参量获取的效率,又能作为状态评价、风险评估的基础,能够提升运维工作人员的工作效率和评价结果的准确性。

#### 参考文献:

[1] 关根志,贺景亮. 电气设备的绝缘在线监测与状态检修[J]. 中国电力,2000,33(3):46-50.  
GUAN Genzhi, HE Jingliang. On-line insulation monitoring techniques and condition based maintenance [J]. Electric

Power, 2003, 33(3):46-50.

- [2] 王晓希. 特高压输电线路状态检测技术的应用[J]. 电网技术, 2007, 21(22):7-10.  
WANG Xiaoxi. Application of condition monitoring technologies for UHVAC transmission lines[J]. Power System Technology, 2007, 21(22):7-10.
- [3] 陈维荣,宋永华,孙锦鑫. 电力系统设备状态监测的概念及现状[J]. 电网技术,2000,24(11):12-17.  
CHEN Weirong, SONG Yonghua, SUN Jinxin. Concept and present situation of condition monitoring of power system equipment[J]. Power System Technology, 2000, 24(11):12-17.
- [4] 管相忠,章涛. 基于全生命周期相关信息的输电线路状态检修[J]. 上海电力学院学报,2008,24(1):1-4.  
GUAN Xiangzhong, ZHANG Tao. Condition based maintenance of transmission line based on related lifecycle information[J]. Journal of Shanghai University of Electric Power, 2008, 24(1):1-4.
- [5] 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(1):101-104.  
HAN Fuchun, DONG Bangzhou, JIA Leiliang. Operation state evaluation of overhead transmission lines based on bayesian network[J]. Proceedings of the CSU-EPSCA, 2008(1):101-104.
- [6] 韩富春,张宁,童国力,等. 架空输电线路运行状态评估的 FTA 法研究[J]. 太原理工大学学报,2007,38(1):45-47.  
HAN Fuchun, ZHANG Ning, TONG Guoli, et al. The state valuation of overhead transmission lines base on FTA[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2007, 38(1):45-47.
- [7] 黄新波. 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. On-line monitoring and fault diagnosis of transmission line[M]. Beijing:China Electric Power Press, 2008.
- [8] 周龙,文远芳. 电气设备故障诊断中的状态信号与模糊隶属函数[J]. 电网技术,1996,20(10):47-49.  
ZHOU Long, WEN Yuanfang. State signal and fuzzy membership functions of fault diagnosis in electrical equipment[J]. Power System Technology, 1996, 20(10):47-49.
- [9] 岳雪峰,孟军,程艳霞. 基于蒙特卡洛法的输电线路状态评价分析[J]. 电力学报,2013,28(1),13-16.  
YUE Xuefeng, MENG Jun, CHENG Yanxia. The evaluation of power transmission lines based on monte carlo method [J]. Power System Technology, 2013, 28(1), 13-16.
- [10] 盛戈峰,江秀臣,曾奕. 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,2007,31(8):183-185  
SHENG Gehao, JIANG Xiuchen, ZENG Yi. Integrated monitoring system for evaluating overhead transmission

- lines operation and faultstate[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(8): 183-185.
- [11] 南方电网公司. Q/CSG 10010—2004 输变电设备状态评价标准[S]. 北京:中国电力出版社, 2004.
- China Southern Grid. Q/CSG 10010—2004 Standard for conditionevaluation of power transmission equipment[S]. Beijing: Electric Power Press, 2004.
- [12] 国家电网公司. Q/GDW 173—2008 架空输电线路状态评价导则[S]. 北京:中国电力出版社, 2008.
- State Grid Corporation of China. Q/GDW 173—2008 Guide for conditionevaluation of overhead transmission line[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2008.
- [13] 纪航, 刘新平, 杨庆华. 基于模糊综合评价的超高压输电线路状态评估方法思考[J]. 华东电力, 2009, 37(7): 1123-1125.
- Ji Hang, Liu Xinping, Yang Qinghua. Status assessment of UHV transmission lines based on fuzzy overall evaluation method[J]. East China Electric Power, 2009, 37(7): 1123-1125.
- [14] 陈三运, 谭洪恩, 江志刚. 输变电设备的状态检修[M]. 中国电力出版社, 2004: 10-15.
- CHEN Sanyun, TAN Hong'en, JIANG Zhigang. The state overhaul of power transmission equipment[M]. Beijing: Electric Power Press, 2004: 10-15.
- [15] 韩富春, 周林伟, 贾雷亮. 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. Evaluation of overhead transmission lines operation based on grey relation correlation[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(2): 399-402.
- [16] 赵一婕, 刘涤尘, 吴军. 基于线性判别分析与主成分分析的骨干网架生存性评估方法[J]. 电网技术, 2014, 38(2): 388-394.
- ZHAO Yijie, LIU Dichen, WU Jun. Survivability evaluation of backbone network based on linear discriminant analysis and principal component analysis[J]. Power System Technology, 2014, 38(2): 388-394.
- [17] DUNHAM M H. 数据挖掘教程[M]. 郭崇慧, 田凤占, 靳晓明, 译. 北京:清华大学出版社, 2005: 141-145.
- DUNHAM M H. Data mining tutorial[M]. GUO Chonghui, TIAN Fengzhan, QI Xiaoming, Translated. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 141-145.
- [18] 刘晓伟, 涂洁, 张雪峰. 输电线路全状态评价模型与方法研究[J]. 电测与仪表, 2015, 52(12): 113-116.
- LIU Xiaowei, TU Jie, ZHANG Xuefeng. Research on evaluation model with full state and method of transmission line[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2015, 52(12): 113-116.
- 宋云海(1985—), 男, 工程师, 主要研究方向为输变电设备状态监测及故障诊断。

## 《高压电器》2017年第4期广告单位

### 彩色广告

封一: 宁波天安(集团)股份有限公司

封二: 莱茵技术(上海)有限公司

封三: 深圳市沃尔核材股份有限公司

封四: 上海乐研电气有限公司

前插1: 杭州高电科技有限公司

前插2: 珠海思创电气有限公司

前插3: 西安华伟电力电子技术有限责任公司

前插4: 北京京东方真空电器有限责任公司

前插5: 陕西迪吉康电气有限责任公司

前插6: 温岭市雅博输送设备有限公司

前插7: 陕西斯瑞工业有限责任公司

前插8: 常州帕斯菲克自动化技术股份有限公司

前插9: 成都凯赛尔电子有限公司

前插10: 常州市盈能电气有限公司

前插11: 攀时(上海)高性能材料有限公司

前插12: 库柏(宁波)电气有限公司