

# Research on Health Assessment of Power Optical Cable Network Based on Uncertain Analytic Hierarchy Process

Tao Lu<sup>1</sup>, Sunli Lv<sup>1</sup>, Weiwei Miao<sup>2</sup>, Haiyang Wu<sup>2</sup>, Hao Wu<sup>3</sup>, Xinyuan Teng<sup>4</sup>

<sup>1</sup>NARI Group Corporation (State Grid Electric Power Research Institute), Nanjing Jiangsu

<sup>2</sup>State Grid Jiangsu Electric Power Co. Ltd., Nanjing Jiangsu

<sup>3</sup>State Grid Qinghai Electric Power Co. Ltd., Xining Qinghai

<sup>4</sup>Changsha University of Science & Technology, Changsha Hunan

Email: 5528061@qq.com

Received: Mar. 6<sup>th</sup>, 2019; accepted: Mar. 21<sup>st</sup>, 2019; published: Mar. 28<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

With the continuous expansion of power optical cable network scale, the network level is gradually increasing, and the network structure is becoming more and more complex, which poses new challenges to the operation and management of power communication system. As the intersection and integration point of energy and information communication technology, electric power information communication will play a greater role and assume greater responsibility. At present, the monitoring of the optical cable network still stays in response to the network problems to a large extent. The inspection management of the optical cable network is the lack of pertinence and inefficient, which affects the security and stability of the operation of communication services. Based on the uncertain analytic hierarchy process (AHP), this paper unifies the modeling of resource data, environment data and performance data indicators related to the power cable network, proposes a health evaluation model for the power cable network, and based on this model, realizes the condition-based maintenance of the optical cable network, improves the monitoring management and operation and maintenance mode of the power cable network, and provides the operation and maintenance management for the power communication. It provides better technical support.

## Keywords

Analytic Hierarchy Process, Health Degree, Optical Cable Network, Condition Based Maintenance

---

# 基于不确定层次分析法的电力光缆网健康度评估研究

陆涛<sup>1</sup>, 吕顺利<sup>1</sup>, 缪巍巍<sup>2</sup>, 吴海洋<sup>2</sup>, 吴昊<sup>3</sup>, 腾欣元<sup>4</sup>

<sup>1</sup>南瑞集团有限公司(国网电力科学研究院有限公司), 江苏 南京

<sup>2</sup>国网江苏省电力有限公司, 江苏 南京

<sup>3</sup>国网青海省电力有限公司, 青海 西宁

<sup>4</sup>长沙理工大学, 湖南 长沙

Email: 5528061@qq.com

收稿日期: 2019年3月6日; 录用日期: 2019年3月21日; 发布日期: 2019年3月28日

## 摘要

随着电力光缆网络规模的不断扩大, 网络的层次逐渐增多, 网络结构也日趋复杂, 对电力通信系统的运行管理提出了新的挑战。电力信息通信作为能源与信息通信技术的交叉与融合点, 也将发挥更大的作用, 承担更大的责任。目前对光缆网的监视较大程度上还停留在网络发生问题后的响应, 对光缆网的巡视管理缺乏针对性, 效率低下, 影响了通信业务运行的安全性和稳定性。本文基于不确定层次分析法, 对光缆网相关的资源数据、环境数据、性能数据指标进行统一建模, 提出对于电力光缆网的健康度评估模型, 并基于此模型, 实现了光缆网的状态检修, 改善了电力光缆网络运行状态监测管理和运维工作模式, 为电力通信的运维和管理提供了更好的技术支撑。

## 关键词

层次分析, 健康度, 光缆网, 状态检修

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

光缆网是电力通信中的骨干通道, 是电力通信网中最重要的组成部分, 承载着多类重要电力业务。随着电力光缆网络规模的不断扩大, 光缆网中需要控制和监测的数量信息量越来越大, 运行维护人员对光缆网运行状态的实时有效监控, 对光缆故障的快速准确判断越来越困难[1]。目前光缆线路多采用架空方式, 易受外界影响而造成故障, 因而光缆线路是电网的薄弱环节, 导致光缆故障率较高[2] [3] [4] [5]。如果能够将传统的性能监测数据、资源数据与外部环境数据相结合, 进行综合数据分析, 得出光缆的综合健康度, 就能够合理有效的制定光缆的巡视计划, 做到防止光缆失修而引起的事故, 同时又能预防光缆重复巡检而带来的人力损失或浪费, 保证了生产效率的最大化。

本文基于此理念, 提出了基于不确定层次分析法的光缆健康度评估算法, 从通信网历史缺陷记录入手, 结合传输设备网管、光切换器、光缆监测设备采集到的大量监测数据, 通信管理系统中的静态资源数据, 以及天气预报、地理信息、电网风险预警通知、通信巡检记录等外部数据, 提出光缆健康度分析模型, 对可能出现的缺陷进行及时预警, 指导通信运维人员进行有针对性的巡检, 提高了生产效率和运维效率, 提升了通信网的安全性和可靠性。

## 2. 电力光缆网健康评价指标分析

### 2.1. 指标特征分析

电力光缆网由光缆、配线系统和光传输设备组成, 其中光缆多位于室外, 所处环境复杂, 大风、暴

雨、严重污染、雷电、施工、震动、小动物都有可能对其造成影响，导致光缆性能劣化，乃至中断。光传输设备位于光缆的各个节点，通过对设备的监测，可以获得光端口的收发光功率、误码率、收发信电平性能参数，间接表征了光缆的运行情况。光缆的投运年限、生产厂家、历史检修数据等信息对光缆的健康状况也有一定影响。除此之外，光缆承载电力业务的重要程度、是否跨高铁、高速公路或河流、光缆的调度等级等信息决定着光缆发生故障的影响程度，也是光缆巡检任务的重要参考因素。

基于以上分析，我们列出了影响光缆健康状况及其重要程度的参数，如图 1 所示。

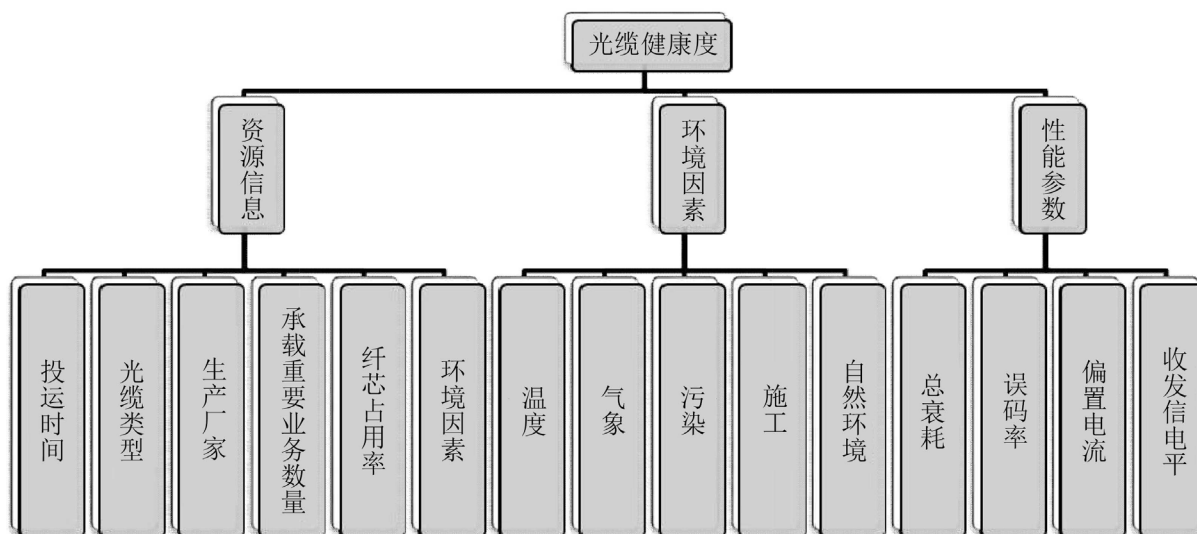


Figure 1. Evaluation index system of fiber cable health

图 1. 光缆健康度评价指标体系

## 2.2. 指标数据获取

对于光缆资源信息，可以与电力通信资源管理系统进行集成，采集相关资源数据；对于环境因素，可以从气象台获取气象数据，从 GIS 系统获取地理信息；对于性能参数，可以从光传输设备的网管北向接口采集相关端口的性能数据。数据获取的具体方式在此不作重点描述。

## 3. 基于不确定层次分析法的光缆健康度模型

### 3.1. 指标参数值的确定

影响通信网络正常运行的多个指标类型各不相同，有些指标(如光缆类型等)只是一个类型，没可直接量化的参数值；另外各指标的单位、取值范围、评判标准均不相同，无法直接对其进行计算，得出对通信网络的影响。必须对其进行标准化和归一化处理，使得数据的拥有者和使用者，对数据有着共同、一致和无歧义的理解[6]，从而屏蔽各参数取值、单位等条件的差异，得出更加准确的分析结果。

#### 3.1.1. 指标量化

对于光缆类型、设备厂家等指标，我们可以统计其历年来的故障数量，然后得出各类光缆、各厂家设备的故障比例，以此作为指标的参数。

对于环境信息如温度等，我们可以通过实验或查找相关资料，得出温度对光缆衰耗的影响程度。

#### 3.1.2. 指标标准化

分析指标中，如告警数量、缺陷故障数量、在网时间、光衰等指标，都是数值越小，指标越好，最

佳值为 0。但对于光功率、偏置电流等性能数据来说，有一个最佳取值范围，大于或小于这个取值范围都是不好的表现。为了使各指标的评判标准趋于一致，便于计算，我们对这些性能量取一个最佳值，用实际值减去最佳值的绝对值，作为指标的计算参数值。转化函数为：

$$X^* = |X - a|$$

其中  $a$  为参数的最佳值，或最优取值范围的平均值。

### 3.1.3. 指标归一化

各待分析指标的取值范围和单位均不相同，这样不便于对参数进行进一步计算，得出最终的健康状况。我们首先要对无参数值的指标进行量化，然后对各类指标进行归一化，使各个指标都有相同的取值范围，便于对参数进行统一比较和加权处理。

常用的两种归一化方法是 min-max 标准化和 Z-score 标准化。这里我们采用 min-max 标准化方法，也称为离差标准化，是对原始数据的线性变换，使结果值映射到[0~1]之间。转化函数为：

$$X^* = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

其中 max 为样本数据的最大值，min 为样本数据的最小值。而在指标标准化时，我们已经把所有指标的最小值标准化为 0，故函数可简化为

$$X^* = \frac{X}{X_{\max}}$$

## 3.2. 指标权重算法

影响光缆网络健康状况的因素很多，大部分因素都无法直接获取其定量数值，且不同因素的重要程度的关系通常也只能依靠专家经验来判断。为了便于评价，本文引入不确定层次分析法，将不同因素之间相对重要性程度用一个区间数来描述，建立起多层次关系结构模型。根据所建立的模型，由多位专家确定区间判断矩阵，然后结合集值统计与重心决策理论，来确定各项指标区间权重的最优值。

### 3.2.1. 不确定层次分析法

本文采用区间数判断矩阵的一致性逼近与误差理论计算权重[7]。不确定型判断矩阵中的元素为区间数，对于不确定型判断矩阵， $A_{ii} = [1, 1]$ ， $A_{ij} = [a_{ij}^-, b_{ij}^+]$ ， $A_{ji} = [1/b_{ij}^+, 1/a_{ij}^-]$ ， $a_{ij}$  与  $b_{ij}$  为评价结果的上下限值，其中  $1/9 \leq a_{ij} \leq b_{ij} \leq 9$ 。

以区间数为元素的向量或矩阵称为区间数向量或区间数矩阵。设  $A = (a_{ij})_{n \times n}$  为区间数矩阵，即  $a_{ij} = [a_{ij}^-, a_{ij}^+]$ ，记  $A^- = (a_{ij}^-)_{n \times n}$ ， $A^+ = (a_{ij}^+)_{n \times n}$ ，并记  $A = [A^-, A^+]$ 。

设一区间判断矩阵  $A = (a_{ij})_{n \times n}$ ， $a_{ij} = [a_{ij}^-, a_{ij}^+]$ ，取

$$m_{ij} = \left( \prod_{k=1}^n \frac{a_{ik}^- a_{jk}^+}{a_{jk}^- a_{ik}^+} \right)^{1/2n} \quad i, j = 1, 2, \dots, k, \dots, n$$

则称  $M = (m_{ij})_{n \times n}$  为满足互反性的一致性数字矩阵，令  $M$  的权重向量为  $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$ ，其中

$$w_j = \frac{\left( \prod_{k=1}^n a_{jk}^- a_{jk}^+ \right)^{\frac{1}{2n}}}{\sum_{j=1}^n \left( \prod_{k=1}^n a_{ik}^- a_{ik}^+ \right)^{\frac{1}{2n}}} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

然后采用判断矩阵中的一致性检验方法：

1) 求出一致性检验指标 CI

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

式中  $n$  为判断矩阵的维数， $\lambda_{\max}$  为判断矩阵的最大特征值。

2) 求出平均随机一致性指标 RI，多层次判断矩阵的平均随机一致性指标 RI 随矩阵的维数而变动，其取值可如表 1 所示。

**Table 1.** Average random consistency index value table

**表 1.** 平均随机一致性指标取值表

维数 $n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

3) 求出相对一致性指标  $CR = CI/RI$

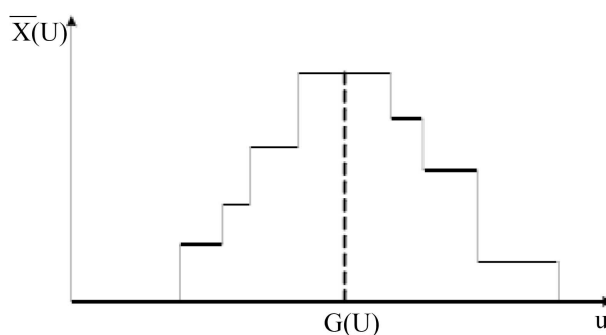
CR 越小，判断矩阵的一致性就越好，其极限值为 0。当  $CR \leq 0.1$  时，就可认为判断矩阵基本符合一致性条件，属于可接受的程度。如果  $CR > 0.1$ ，一般认为该判断矩阵不可接受，需要重新分析赋值，直到检验通过为止。

### 3.2.2. 权重修正算法

传统的评价方法是对各位专家的评价结果进行算术平均，作为最终的评价结果，这种方法忽略了不同专家的经验水平和差异。本文采用集值统计和重心决策的方法，来解决这一问题。

#### 1) 集值统计

集值统计法是经典统计和模糊统计的一种拓广，是量化定性属性的常用方法之一[8]。将每个专家对指标所作的评价看作一次试验，并将试验结果作为一个子集。这个子集相当于一个评价者对某一指标  $c$  的一个区间估计。集值统计试验是对随机集的实现，通过集值统计中的  $n$  个子集的叠加，在评价轴上形成的一种覆盖分布。如图 2 所示。



**Figure 2.** Value probability distribution graph

**图 2.** 集值概率分布图

其中， $\bar{X}(U)$  被称为样本落影函数，表示这  $n$  个评价包含某个数值  $u$  的概率；另设第  $k$  个专家的权重为  $\omega_k$ 。与模糊统计中的隶属度函数相类似，其表达式为：

$$\bar{X}(U) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \omega_k x_{[u_1^{(k)}, u_2^{(k)}]}(u) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \omega_k p_k, 0 \leq \bar{X}(U) \leq 1$$

其中  $p_k = x_{[u_1^{(k)}, u_2^{(k)}]}(u) = 1, u_1^{(k)} \leq u \leq u_2^{(k)}$

$p_k = x_{[u_1^{(k)}, u_2^{(k)}]}(u) = 0$

### 2) 重心决策

从样本落影函数，可以估计某个指标的值。随机集的重心定义为：如果域  $A$  为实数域中的有界可测集，则  $A$  上的某个集值统计序列  $U$  ( $n$  个区间值，其在评价轴上的分布如上所示) 的样本落影函数  $\bar{X}(U)$  的重心。亦即上述分布图形的重心定义为：

$$G(U) = \frac{\int_A \bar{X}(U) u du}{\int_A \bar{X}(U) du}, \text{其中} \int_A \bar{X}(U) du \neq 0$$

式中  $G(U)$  反映了随机集的样本落影函数的重心在评价轴上的值，即该指标的估计值。参考其曲线分布情形，其重心一般在凸函数取极大值点的附近。设  $u_{\max}$  和  $u_{\min}$  分别为指标取得的最高值和最低值，可以证明：

$$\int_{u_{\min}}^{u_{\max}} \bar{X}(U) du = \sum_{k=1}^n \omega_k [u_1^{(k)} - u_2^{(k)}]$$

$$\int_{u_{\min}}^{u_{\max}} \bar{X}(U) u du = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \omega_k [(u_1^{(k)})^2 - (u_2^{(k)})^2]$$

则有：

$$G(U) = \frac{\int_A \bar{X}(U) u du}{\int_A \bar{X}(U) du} = \frac{\int_{u_{\min}}^{u_{\max}} \bar{X}(U) u du}{\int_{u_{\min}}^{u_{\max}} \bar{X}(U) du} = \frac{1}{2} \frac{\sum_{k=1}^n \omega_k [(u_1^{(k)})^2 - (u_2^{(k)})^2]}{\sum_{k=1}^n \omega_k [u_1^{(k)} - u_2^{(k)}]}$$

当指标可以定量计算时，对所有的  $k$ ， $u_1^{(k)} = u_2^{(k)} = e$  (某一常数)，则有：

$$\bar{X}(U) = \begin{cases} 1 & u = e \\ 0 & u \neq e \end{cases}$$

指标的评估值为：

$$G(U) = e$$

当有多个专家对通信网络的指标进行评估时，可以得出不确定型判断矩阵，按照区间数权重计算理论，计算出这些专家对该底层指标的区间数权重，进而可以采用集值统计的方法求得该底层指标的确定权重。

## 4. 实例分析

选取某市电力公司干线光缆作为评价对象。该省四级以上光缆约 400 余条，总长度 2 万多公里，共有 3 个光缆巡视管理班组对光缆进行常态化巡检。由于缺乏科学的数据指导，一直以来都是定期对所有光缆进行轮流巡视，针对性不强，效率不高。

### 4.1. 权重计算

邀请多位公司专家对指标的重要程度区间进行评价，通过不确定层次分析法及权重修正计算，得出光缆健康度指标评价体系，如表 2 所示。

Table 2. Evaluation index of fiber cable health

表 2. 光缆健康度评价指标

一级指标	权重	二级指标	权重
资源信息	0.312	承载重要业务数量	0.285
		纤芯占用率	0.128
		投运时间	0.206
		光缆类型	0.228
		生产厂家	0.153
环境因素	0.286	温度	0.085
		气象因素	0.176
		三跨(跨铁路、公路、河流)	0.217
		污染情况	0.056
		施工情况	0.334
性能参数	0.402	自然环境	0.132
		总衰耗	0.476
		误码率	0.294
		偏置电流	0.113
		收发信电平	0.117

## 4.2. 状态检修

将光缆的相关参数进行量化和归一化处置，并通过上述评价指标，对所有光缆进行健康度评价，计算得出所有光缆的健康度。各光缆巡视小组按照光缆健康度排序，优先将健康度较低的光缆纳入巡视计划，对于健康度较高的光缆，可适当降低其巡视频率。

## 5. 结论

基于光缆健康度的状态检修运用不确定层次分析法计算光缆健康度，实现了对于影响电力通信网光网络运行状态数据的高效分析，解决了由于数据分析能力滞后、网络评价功能缺失造成的网络运维滞后、光缆巡视缺乏针对性的现状，实现了巡检计划的动态制定，为检修计划的科学制定提供支撑，优先对健康状况不佳的设备和光缆进行巡检，提高了检修的有效性，为进一步改善电力光缆网络运行状态监测管理和运维工作模式提供了有效地支撑，大大提升了企业生产运维的效率，为企业带来了更好管理模式和经营效益。

模型建立后还有许多值得进一步研究的问题：首先，模型采集到的信息数据可以通过智能方法进行知识挖掘，为运维工作提供智能影响性分析，做好运维故障预防[9]；其次，模型未考虑到光缆巡视的反馈信息，以及光缆巡视时间对健康度的影响；最后，可以结合电力物联网，解决光缆网更多环节重要运行参数的在线监测和实时信息掌控[10]。在光缆健康度模型的应用和推广过程中，我们将持续对其进行优化和改进，更好的适应电力企业的自身需求和实际情况。

## 参考文献

- [1] 施健, 缪巍巍, 吴海洋. 基于 LS-SVM 的电力通信网性能劣化评估与预测模型研究[J]. 计算机与数字工程, 2016, 44(4).
- [2] 聂勇. 变电站设备巡视的要因分析[J]. 科技资讯, 2014, 12(14): 115.
- [3] 陈珊珊. 变电站故障巡视检查管理的关键点[J]. 科技资讯, 2014, 12(6): 151.

- 
- [4] Basole, R.C. (2014) Visual Business Ecosystem Intelligence: Lessons from the Field. *IEEE Computer Graphics & Applications*, **34**, 26-34.
  - [5] 范李平, 姚迪. 基于智能化变电站的缺陷维护管理模式探讨[J]. 电气开关, 2015, 53(6): 68-72.
  - [6] 白丽锐, 杨友朋, 王春新. 数据标准化在电力物联网综合业务平台的应用[J]. 物联网技术, 2013(8): 49-53.
  - [7] 魏毅强. 不确定型 AHP 中判断矩阵的一致性概念及评分权重[J]. 系统工程理论与实践, 1994, 14(4): 16-22.
  - [8] 万明杰, 吕欣欣, 张汉锋. 集值统计法及其应用研究[J]. 火箭与制导学报, 2005, 25(3): 395-396.
  - [9] 彭泽武, 李伟清, 林强, 刘文彬. 电网企业信息系统运行方式模型研究[J]. 电力信息化, 2013, 11(6): 12-17.
  - [10] 陈晰, 李娜, 吴帆, 李祥珍. 电力物联网中的分层聚合技术研究[J]. 电力系统通信, 2011, 32(12): 73-77.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-8763, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [sg@hanspub.org](mailto:sg@hanspub.org)