

# 基于智能传感视觉的电缆裸露风险模式识别 指标分析

周伟敏<sup>1,2</sup>, 杨东勇<sup>1</sup>

(1. 浙江工业大学 信息工程学院, 杭州 310023; 2. 台州职业技术学院, 浙江 台州 318000)

**摘要:** 为了避免电缆裸露造成的工程作业故障等问题, 提出基于智能传感视觉的电缆裸露风险模式识别指标分析; 通过了解致使电缆裸露因素, 分析电缆裸露风险识别指标和原理, 对电缆破损数据进行预处理; 采用SVD方法提取数据特征, 引入智能传感视觉技术实现电缆破损数据重构, 从而完成对电缆裸露风险模式识别指标的分析; 实验结果表明, 所提方法分析准确性高, 有效降低电缆裸露风险, 减少电力传输过程的损失。

**关键词:** 电缆裸露; 风险识别; 指标分析

## Index Analysis of Cable Exposed Risk Pattern Recognition Based on Intelligent Sensing Vision

Zhou Weimin<sup>1,2</sup>, Yang Dongyong<sup>1</sup>

(1. College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China;

2. School of Electrical Information, Taizhou Vocational & Technical College, Taizhou 318000, China)

**Abstract:** In order to avoid the problems of engineering operation caused by cable exposure, the index analysis of cable exposed risk pattern recognition based on intelligent sensing vision is proposed. The cable damage data is pretreated by analyzing the exposed factors of cable and analyzing the index and principle of cable exposed risk identification. SVD method is used to extract the data characteristics, and the intelligent sensing vision technology is introduced to reconstruct the cable damage data, so as to complete the analysis of cable exposed risk pattern recognition index. The experimental results show that the proposed method has high accuracy and can effectively reduce the risk of cable exposure and reduce the loss of power transmission process.

**Keywords:** cable exposure; risk identification; index analysis

## 0 引言

电缆是通信设备的硬件基础, 由于长期处于陆地、海底等自然环境, 且传输距离不断增长, 电缆损耗逐渐加剧, 导致电缆破损、裸露等问题频繁出现, 对电力传输造成严重影响<sup>[1]</sup>。因此对电缆裸露风险识别指标的分析, 是通信领域中的核心研究问题。智能传感技术是当前信息处理核心技术之一<sup>[2]</sup>。采用智能传感技术对电缆裸露信息进行处理, 使得电缆裸露风险识别分析更准确。对电缆裸露风险模式识别指标的分析, 其本质就是对电缆破损数据的重构。传统方法构建电缆破损数据重构模型, 根据采样和电缆轮廓跟踪得到电缆破损区域特征向量, 对原始电缆分割区域进行提取, 采用三重差值统一和三重逼近的融合细分方

法<sup>[3]</sup>, 对电缆区域的轮廓曲线进行分析, 合成电缆破损区域的纹理, 完成电缆破损数据的重构, 该方法包含大量的运算, 易造成误差, 重构效果较差<sup>[4]</sup>。为此, 提出一种电缆破损数据重构的新方法。选取待分析裸露电缆, 采集电缆破损数据进行去噪, 对电缆破损数据特征进行提取, 得出破损数据特征函数, 依据傅里叶算子算法对破损数据进行重构, 进而实现对电缆裸露风险模式识别指标的分析。实验结果表明, 所提方法分析准确性高, 能有降低电缆裸露造成的危害。

## 1 电缆裸露成因

电缆裸露风险识别指标即是造成电缆裸露的各项因素。充分掌握电缆裸露的成因, 即可对电缆裸露风险进行分析, 从而降低电缆裸露风险, 减少电力传输过程的损失。造成电缆裸露的因素主要有三大方面: 第三方破坏、自然环境影响和误操作<sup>[5]</sup>。前两者对电缆裸露损伤的影响超过70%。具体描述如下。

### 1.1 第三方破坏

50%以上的电缆裸露都是第三方破坏所致<sup>[6]</sup>。以用于海底电力传输的电缆为例, 其可能受损的成因有船锚破坏、

收稿日期: 2017-10-28; 修回日期: 2017-11-29。

基金项目: 台州市科技计划项目资助(1501KY56)。

作者简介: 周伟敏(1980-), 男, 浙江台州人, 博士在读, 讲师, 主要从事计算机图形学、计算机视觉等方向的研究。

杨东勇(1961-), 男, 浙江台州人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事计算机视觉、嵌入式系统等方向的研究。

捕鱼作业等等。在拖网捕鱼时,电缆需设在深达 30~40 m 的海床淤泥中,捕鱼所用的缆绳、锚链等设备均会对此深度的电缆造成一定的破坏,使电缆出现破损。一些船锚下落对电缆的撞击,也会对电缆造成很大程度的破坏。

### 1.2 自然环境影响

我国地形地貌复杂多变,给电缆的安装和运行带来极大的考验。不同地形具有多种不同特征参数,各参数都会对电缆管线造成一定的程度的破坏<sup>[7]</sup>。由电缆损坏的历史统计数据来看,自然环境因素造成的电缆裸露约占总数的三成。因此考虑自然环境的影响,要降低电缆裸露风险,对电缆制作材料的要求越来越高。

### 1.3 误操作

综上两个因素的考虑,电缆的选址、设计和施工等操作变得越发艰巨。而其重大且复杂的操作工程,难免出现错误。误操作主要包括设计不当、敷设安装粗糙、接头故障及人工操作失误等<sup>[8]</sup>。在设计电缆时,材料选取不当会减少电缆的使用寿命,短时间内便会出现裸露破损现象。在敷设安装过程中,安装精度也难免达到百分百操作。虽然与前两个因素相比,误操作因素所占比例较小,但其对电缆造成的损坏程度不容小觑。

## 2 电缆裸露风险识别指标及分析原理

### 2.1 电缆裸露风险识别指标

影响电缆裸露的识别指标主要有电缆本身的耐压性、外护层绝缘电阻、电缆局部裸露放电以及电缆外观损等。

电缆耐压性是鉴定电缆绝缘强度的最关键指标,是判定电缆能够直接投入运行具有重要意义。该指标可确保电缆的绝缘水平,权重等级最高,是避免绝缘事故的重要手段。

电缆表面有一种金属外护层,对电缆起到保护作用。但外护层与外部环境直接接触,容易出现腐蚀、老化及破损现象。金属护套的缺陷是易多点接地,使护套环流增加,而这种外护层破损现象长期存在,因此常对电缆的安全运行造成影响。

局部放电是指电缆非贯穿性放电。当发生局部放电时,高能电子和加速电子会猛烈冲击绝缘层,特别是绝缘外壁易被损坏。局部放电不仅是电缆绝缘老化的成因,也是电缆绝缘劣化的主要影响因素。对电缆裸露局部放电指标进行检测,是及时发现电缆裸露所产生的绝缘老化和树状老化的重要手段。

充分了解以上电缆裸露风险识别指标,为电缆裸露风险模式识别指标的分析奠定良好的基础。

### 2.2 电缆裸露风险分析原理

在对电缆裸露风险模式识别指标进行分析时,先要判定电缆裸露的成因,确定电缆裸露风险模式的识别指标。依据识别指标设计电缆破损数据重构方法。对电缆破损数据进行预处理,提取处理后的电缆破损数据特征,引用智能传感视觉技术对电缆破损数据进行重构,从而实现电缆裸露风险模式识别指标的分析。电缆裸露风险分析原理图如图 1 所示。

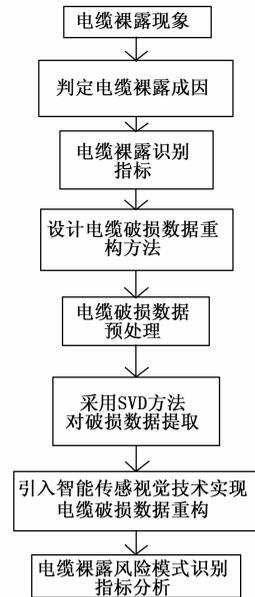


图 1 电缆裸露风险分析原理图

考虑以上种种电缆裸露风险识别指标,并依据电缆裸露风险分析原理,采用智能传感视觉技术对电缆破损数据进行重构,从而实现对电缆裸露风险模式识别指标的分析。

### 3 电缆破损数据预处理

对电缆裸露风险模式识别指标进行分析,可有效改善电缆损耗。通过对电缆破损数据的重构,完成电缆裸露风险模式识别指标的分析。在对电缆破损数据进行重构之前,先要对电缆破损数据进行预处理,以确保电缆破损数据重构的精度。具体描述如下。

将智能传感视觉的电缆破损数据向量转化为行向量,电缆破损数据的向量维数代表电缆破损数据个数,

对电缆破损数据进行去均值处理,即中心化处理<sup>[9]</sup>,将进行中心化处理后的电缆破损数据进行白化处理,使白化处理后的电缆破损数据变量协方差为单位矩阵,采用协方差特征值对电缆破损数据进行分解,即  $E(xx^T) = PEP^T$ ,式中  $E$  所代表矩阵  $E(xx^T)$  的特征值,  $P$  所代表电缆破损数据对应的特征向量。由此得到电缆破损数据的白化矩阵  $M = PE^{-1/2}P^T$  和白化后的数据  $x = Mx$ ,完成电缆破损数据的预处理,降低电缆破损数据中存在的噪声,提高电缆破损数据重构的信噪比。

综上所述,对电缆破损数据预处理可有效确保电缆破损数据的重构精度,进而保证电缆裸露风险模式识别指标分析的准确性。

### 4 电缆裸露风险模式识别指标分析

通过对电缆破损数据重构完成对电缆裸露风险模式的识别指标的准确分析。其重构精度是确保电缆裸露风险模式识别指标分析准确性的关键。在电缆破损数据重构的过程中,最困难的步骤是对电缆破损数据特征的提取,采用 SVD 方法提取数据特征,引入智能传感视觉技术实现对电

缆破损数据的重构。具体过程描述如下:

#### 4.1 电缆破损数据特征提取

采用 SVD 方法对电缆破损数据进行特征提取<sup>[10]</sup>, 在电缆破损数据的特征提取中, 将电缆破损数据矩阵的异值作为一种常用的特征识别方法。

设电缆破损数据矩阵  $A$  的秩为  $k$ , 采用 SVD 对矩阵  $A$  进行分解, 分解为:

$$\begin{cases} A = U \begin{bmatrix} \sigma^{1/2} & O \\ O & 0 \end{bmatrix} V^H \\ S = \begin{bmatrix} \sigma^{1/2} & O \\ O & 0 \end{bmatrix} = U^H A V \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $\sigma^{1/2}$  代表  $k \times k$  对角矩阵, 以  $\sqrt{\lambda_i}$  元素为主。 $\lambda_i$  代表矩阵  $A^H A$  非零的特征值。 $O$  代表电缆破损数据的一个零元素矩阵, 使电缆破损数据变换后的矩阵  $S$  为对角。

由公式 (1) 可以得到  $A = \sum_{i=1}^k \sqrt{\lambda_i} u_i v_i^H$ , 式中  $u_i$  代表的是  $U$  的前  $k$  列是  $AA^H$  的特征向量,  $v_i$  代表的是  $V$  的前  $k$  列是  $A^H A$  的特征向量。将电缆破损数据的特征值  $\lambda_i$  看为  $A$  的奇异值, 得到  $A$  的奇异值分解, 完成电缆破损数据的特征提取。

#### 4.2 基于智能传感视觉的重构方法实现

设  $x \in C^n$  为需要被重构的电缆破损数据,  $y \in C^m$  代表电缆破损数据中获得的  $k$  空间的测量数据,  $n$  所代表噪声,  $F_n$  代表  $k$  空间中的欠采样傅里叶算子, 采用智能传感视觉技术求出不完全测量值, 得到电缆破损数据采集模型的计算公式为  $y = F_n x + n$ 。

设  $x$  通过电缆破损数据算子  $\omega$  的表达式为  $x = \omega \alpha$ , 其中  $\omega$  代表是从电缆像素转换为稀疏表示的线性算子,  $k$  空间测量破损数据的计算公式为  $y = F_n \omega \alpha + n$ , 其中  $F_n \omega$  为电缆破损数据的感知矩阵。依据智能传感视觉技术的重构算法, 得到电缆破损数据的重构权值公式为。

$$\begin{cases} \min_{\alpha} \|\alpha\| \text{ s.t. } y = F_n \omega \alpha \\ \min_{\alpha} \|\alpha\|_1 \text{ s.t. } \|y - F_n \omega \alpha\|_2 < \epsilon \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $\epsilon > 0$  限制了电缆破损数据的保真度。阈值  $\epsilon$  代表了电缆破损数据中的噪声级别, 公式 (2) 中的函数被称为范数, 定义为  $\|x\|_1 = \sum_i |x_i|$ 。 $\|\alpha\|_1$  代表了电缆破损数据的稀疏性。 $\|y - F_n \omega \alpha\|_2 < \epsilon$  限制了  $k$  空间数据中电缆破损重构数据的保真度。公式 (2) 通过变化  $\omega$  得到了一个与采集电缆破损数据有关的可压缩的解。

$$\min_{\alpha} \frac{1}{2} \|y - F_n \omega \alpha\|_2^2 + \lambda \|\alpha\|_1 \quad (3)$$

公式 (3) 中的第二项代表的是惩罚项, 被添加到电缆破损数据的代价函数中, 并进行最小化的计算, 该过程称为正则化。正则项代表的是电缆破损数据原始信号中的稀疏先验信息。公式 (3) 中的第一项为电缆破损数据的保真项, 保真项测量的电缆破损数据与最优化问题保持一致。 $\lambda$  代表用来平衡电缆破损数据稀疏性惩罚项和保真项的正则化参数。

当电缆破损数据的有限算子作为稀疏变化来计算时, 公式 (2) 中的目标函数为全变分, 此时电缆破损数据的目标函数为  $TV(x)$ 。这种情况下公式 (2) 可变化为:

$$\begin{cases} \min_x \|\omega x\|_1 + \delta TV(x) \\ \text{s.t. } \|y - F_n x\|_2 < \epsilon \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $\delta$  代表电缆破损数据有限差分稀疏性与平衡  $\omega$  稀疏性。引入智能传感视觉技术对上述目标函数进行计算, 可推导出电缆破损数据重构的计算公式如下:

$$\min \frac{1}{2} \|y - F_n x\|_2^2 + \lambda \|\omega x\|_1 + \delta TV(x) \quad (5)$$

根据以上步骤, 完成电缆破损数据的重构, 进而实现对电缆裸露风险模式识别指标的分析。

### 5 实验结果分析

本次实验在 Matlab 条件下完成, 为了验证基于智能传感视觉的电缆裸露风险模式识别指标分析的准确性, 对电缆破损数据重构方法的重构精度进行测试。本次实验采集了 1 223 组数据, 每组电缆破损数据采集 10 000 个周期, 总共采集了  $1\,223 \times 10\,000$  个数据。本次实验的采样周期为  $0.43 \mu s$ , 全部电缆破损数据的有效采集时间为 9 s 左右。

#### 5.1 不同方法重构完整度对比分析

利用改进方法与文献 [8] 方法、文献 [9] 方法进行电缆破损数据重构完整度方面的对比分析, 对比结果如图 2 所示。

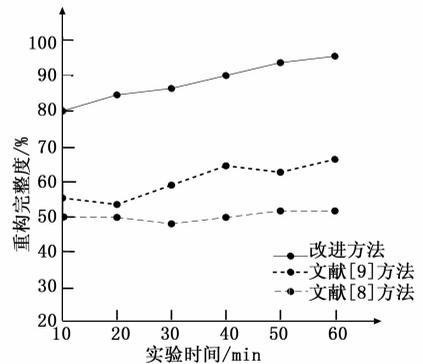


图 2 三种不同方法重构完整度对比结果

观察图 1 可知, 文献 [8] 方法重构完整度平均为 50%, 随着实验时间的增加, 重构完整度并没有提高, 显而易见文献 [8] 方法重构精度低, 电缆裸露风险较大。文献 [9] 方法重构完整度虽时间的增加而增加, 当试验时间为 60 min 时, 达到最高值 68%, 该方法重构相比文献 [8] 方法, 重构完整度较高, 虽整体呈上升趋势, 但也存在下降值, 因此得出文献 [9] 方法重构精度较高, 但重构效果不理想。改进方法与前两种方法对比可知, 重构完整度最高值达到 96%, 远远超过前两种方法的重构完整度, 且曲线呈稳步上升趋势。综上所述, 充分说明改进方法重构精度高, 有效降低了电缆裸露的风险, 对电缆裸露风险模式识别指标的分析十分准确。

### 5.2 不同方法电缆漏电率对比分析

通过对改进方法和文献 [8] 方法、文献 [9] 方法对电缆破损数据重构后的电缆漏电率进行对比分析, 验证电缆裸露风险模式识别指标分析的准确性。三种方法电缆漏电率对比结果如图 3 所示。

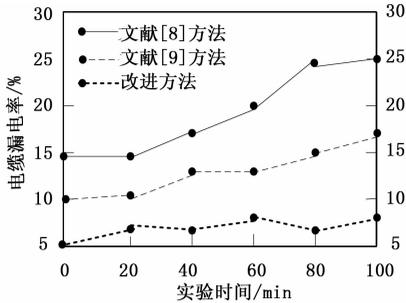


图 3 三种不同方法重构完整性对比结果

观察图 3 可知, 采用文献 [8] 方法对电缆破损数据进行重构, 重构后的电缆漏电率从最初的 15% 上升到了 25%, 且上升幅度大, 说明该方法重构精度低。文献 [9] 方法对电缆破损数据进行重构, 起始漏电率为 10%, 虽然随着实验时间的增加, 漏电率逐渐增加, 但最高漏电率为 17%, 相比文献 [8] 方法, 其电缆漏电率较低, 该方法重构精度较高。观察改进方法曲线, 电缆漏电率平均保持在 5%, 远远小于文献 [8] 方法和文献 [9] 方法的漏电率。随着时间的增长, 电缆漏电率并没有增加, 曲线变化稳定, 充分说明改进方法的重构精度高, 采用改进方法对电缆裸露风险模式识别指标的分析准确性高。

### 5.3 不同方法重构收敛性对比分析

为了验证基于智能传感是觉得电缆裸露风险模式识别指标分析的准确性, 分别采用改进方法、文献 [8] 方法和文献 [9] 方法对电缆破损数据重构的收敛性进行测试, 将所得测试结果进行对比, 对比结果如图 4 所示。

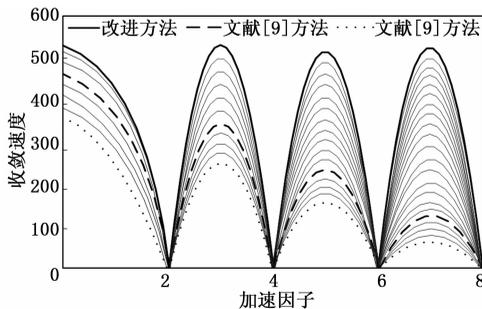


图 4 三种不同方法的收敛性对比

图 4 中加速因子和收敛速度均为常数, 三种曲线分别表示改进方法、文献 [8] 方法和文献 [9] 方法在不同加速因子条件下的收敛曲线, 分析图 4 可知, 当加速因子较小时, 文献 [8] 方法和文献 [9] 方法的收敛速度都较快, 但是随着加速因子的不断增大, 文献 [8] 方法和文献 [9] 方法的收敛速度与加速因子成反比, 收敛速度不断变小, 说明文献 [8] 方法和文献 [9] 方法整体重构收敛性

较低, 虽然文献 [9] 方法的重构收敛性相比文献 [8] 方法的重构收敛性较高, 但曲线仍呈下降趋势, 因此可得出, 文献 [8] 方法和文献 [9] 方法的重构精度低, 电缆裸露风险分析效果差。观察改进方法曲线, 改进方法的收敛速度基本保持不变, 且比文献 [8] 方法和文献 [9] 方法的收敛速度快, 重构收敛性高, 曲线变化较为稳定。综上所述表明, 所提方法重构精度高, 有效验证了电缆裸露风险模式识别指标分析的准确性。

通过以上对电缆破损数据重构方法的重构完整度、电缆漏电率及重构收敛性进行测试, 可得出所提重构方法精度高, 同时也充分验证了基于智能传感视觉的电缆裸露风险模式识别指标分析准确性高

## 6 结论

所提基于智能传感视觉的电缆裸露风险模式识别指标分析的创新点在电缆破损数据的重构。通过重构方法有效地对电缆裸露风险识别指标进行分析。实验结果证明, 对电缆裸露风险识别指标的分析准确性高。通过所提分析方法可有效降低电缆裸露风险, 在电缆制作与应用中具有较高的实用性和有效性。未来对电缆使用的技术要求更高, 电缆的设计与安装更加具有挑战性, 其中包含了电缆敷设的位置, 电缆操作准确度对电缆损耗的影响。针对这两方面问题, 将进行进一步的研究, 以满足电缆在时代发展中的技术要求。

### 参考文献:

- [1] 梅领亮, 陈德勇, 郝如茜, 等. 基于多路 FIFO 的宽幅 CIS 扫描仪实时重构技术 [J]. 电子设计工程, 2016, 24 (14): 168 - 171.
- [2] 王 丽, 冯 燕. 基于粒子群优化的稀疏分解算法研究 [J]. 计算机仿真, 2015, 32 (11): 363 - 367.
- [3] 赵志升, 张 晓, 梁俊花, 等. 融入背景差分连续重构的心脏医学重建 [J]. 科技通报, 2015, 31 (8): 207 - 209.
- [4] 程国建, 殷娟娟, 刘 焯, 等. 基于岩石铸体薄片的数字岩心三维重构 [J]. 科学技术与工程, 2015, 15 (18): 16 - 21.
- [5] 杨 萍, 张玉杰, 李秦君. 基于 LS-SVM 的 contourlet-HMT 变换的孔型测量边缘检测 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (10): 3281 - 3282.
- [6] 庄晓燕, 赵贻玖. 谱稀疏信号随机等效采样重构方法研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29 (10): 1507 - 1512.
- [7] 李 果, 张 茹, 徐晓炼, 等. 三轴压缩煤岩三维裂隙 CT 重构及体分形维研究 [J]. 岩土力学, 2015, 36 (6): 1633 - 1642.
- [8] 万金梁, 王 健. 基于融合细分的纹理重构模型 [J]. 计算机应用, 2015, 35 (11): 3194 - 3197.
- [9] 郎利影, 王 勇, 李思睿. 基于压缩感知 OMP 改进算法的重构 [J]. 电视技术, 2015, 39 (6): 8 - 12.
- [10] 詹 曙, 王 俊, 杨福猛, 等. 基于 Gabor 特征和字典学习的高斯混合稀疏表示识别 [J]. 电子学报, 2015, 43 (3): 523 - 528.