

[输电线路]

架空输电线路玻璃绝缘子自爆缺陷多维度预警分析

文/天津航天中为数据系统科技有限公司/天津市智能遥感信息处理技术企业重点实验室 徐 瑞 张 洁 燕正亮 张 娟

以南方电网10年人巡+机巡的输电线路巡检历史数据为数据源，提出了通过数据集成、数据建模，针对雷、冰、污和风等因素产生的玻璃绝缘子自爆缺陷，采用基于PCA-KMeans进行多维度分析的方法，实现了架空输电线路玻璃绝缘子自爆缺陷外部环境因素的预警和决策支持。

架空输电线路具有线长、点多、面广及长期暴露在野外等特点，线路正常运行易受多方面因素影响。玻璃绝缘子是架空输电线路的关键部件，极易受到风偏、鸟害、覆冰、雷击和山火等单一或多个综合外界环境因素的影响，从而发生自爆等问题，导致线路故障，进而造成大面积停电，严重影响线路运行。随着无人机输电线路巡视的应用和发展，巡视数据不断的积累，通过多维度分析等智能化处理手段，利用无人机巡视数据获取线路玻璃绝缘子等元部件的表象缺陷信息，对大空间范围和长时间序列的巡视数据中存在的规律性、潜在性、趋势性问题和隐患进行自动判断识别，对玻璃绝缘子自爆缺陷数据进行关联分析和综合应用，对易发自爆缺陷的玻璃绝缘子进行预警分析，可以深入地判断线路健康状态，并为线路运维部门提供更为准确的决策依据。

相关工作

在过去的几年中，出现了许多针对巡视数据多维数据可视化或多维数据探索的研究成果。斯坦福大学的Chris Stolte针对巡视数据的层次结构提出了建立在直角坐标系上的交互式的可视化探索工具，将坐标系建立在矩阵图上以快速构建展示多维数据的图形表格。西澳大利亚大学的学者针

对巡视多维数据的分析提出一种交互式的可视化探索技术，用户能够通过交互工具的组合以及一些数据导航函数如下钻、上卷和切片获得任何用户兴趣范围内多维度数据信息。国内目前对于输电线路巡视数据的研究多针对集中发生缺陷的具体线路进行分析，如白少锋等分析了500 kV江晋、江陵线长江大跨越玻璃绝缘子集中自爆缺陷情况，并得出了严重污秽和天气条件等是引起集中缺陷的原因；陈宇飞等针对 ± 800 kV天中直流线路玻璃绝缘子集中自爆情况进行分析，并指出提出璃绝缘子集中自爆是由于应力和环境等内外部因素共同作用的结果，并提出相关的线路运行建议。然而，目前针对长时间和大空间范围线路巡视台账进行多维度分析预警的研究还亟待进一步展开和深入。

原理

玻璃绝缘子自爆缺陷预警分析，以南方电网8个省级电力公司10年的输电线路巡检数据为数据源，通过确定输电线路玻璃绝缘子自爆缺陷因素范围，建立数据模型，提取相应因素的数据并集成数据，最后对集成的数据进行基于PCA-KMeans的多维度分析，并通过Tableau软件进行结果可视化，实现对易发生自爆缺陷的预警，如图1所示。

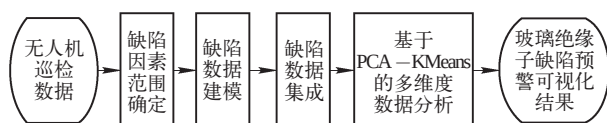


图1 输电线路玻璃绝缘子自爆缺陷预警分析技术路线

1. 玻璃绝缘子自爆缺陷因素范围确定

根据运维经验和人工初判，玻璃绝缘子的劣

化自爆缺陷主要的影响环境因素为雷电、大风、污秽和覆冰等。

2. 玻璃绝缘子自爆缺陷数据建模

根据确定的因素范围及玻璃绝缘子自爆缺陷预警分析这一目标，建立了如图2所示的玻璃绝缘子自爆缺陷预警分数据模型。

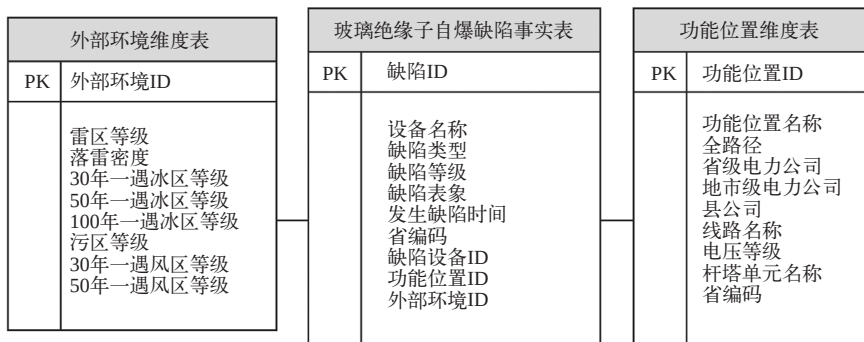


图2 输电线路玻璃绝缘子自爆缺陷预警分析数据模型

输电线路玻璃绝缘子自爆缺陷预警分析数据模型以玻璃绝缘子自爆缺陷分析为主题，创建了缺陷事实表、功能位置维度表和外部环境因素维度表。其中，缺陷事实表包含了元件设备的缺陷信息，如缺陷类型、缺陷等级、缺陷表象、缺陷原因和发生缺陷时间等字段；功能位置维度表包含了元件设备的功能位置省级电力公司、局级电力公司、线路、杆塔单元和电压等级等字段；外部环境维度表包括雷区、冰区、风区和污区等字段。

3. 玻璃绝缘子自爆缺陷数据集成

玻璃绝缘子自爆缺陷预警分析的数据源包括输电线路台账数据库、输电线路缺陷记录数据库以及输电线路冰区分布图、输电线路风区分布图、输电线路雷区分布图和输电线路污区分布图。根据输电线路状态分析数据模型分别提取相应字段写入数据库。

(1) 雷区等级划分

雷区等级基于地闪密度 (N_g) 值，可按照《雷区分级标准与雷区分布图绘制规则》，将雷电活动频度从弱到强分为4个等级，7个层级，对应A、B、C、D各等级分别量化为1~4。

处理后的南方电网雷区分布图如图3所示。



图3 南方电网雷区分布图

(2) 风区等级划分

对风速27 m/s、29 m/s、31 m/s、33 m/s、35 m/s、37 m/s、39 m/s、41 m/s和45 m/s进行分级量化为1~9，南方电网风区分布图（30年一遇）如图4所示。



图4 南方电网风区分布图

(3) 污区等级划分

依据DL/T 374—2010标准，污区等级分为a级（非常轻污秽）、b级（轻度污秽），c级（中度污秽）、d级（重度污秽）和e级（非常重污秽），分别量化为1~5，其分布图如图5所示。

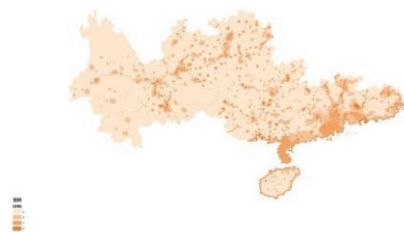


图5 南方电网污区分布图

(4) 冰区等级划分

依据《南方电网冰区分布图绘制方法》，根据南方电网地区30年（50年、100年）一遇冰区分布图提供的信息，对a~g级（0~30 mm）冰区分别量化为0~6，冰区分布图如图6所示。



图6 南方电网30年一遇冰区分布图

将南方电网雷、污、风和冰分布图与线路杆塔图进行叠加，可得到各杆塔所处综合等级。

4. 基于PCA-KMeans的多维度预警分析

基于PCA-KMeans的多维度数据分析，首先采用主成分分析的方法对冰、雷、污和风进行分析，获取影响玻璃绝缘子自爆的一个或多个主成分，再对主成分、经纬度进行聚类分析，通过计算各聚类中各数据到聚类质心的距离，获得缺陷易发生的预警半径，预警半径以内的区域为玻璃绝缘子自爆缺陷易发区域，对处于易发区域的玻璃绝缘子进行自爆缺陷的预警。

(1) 主成分分析法

采用主成分分析的方法降低分析维度。主成分分析法通过正交变换将一组可能存在相关性的变量转换为一组不相关的综合指标，以代替原多维向量。

对于样本集 $D = \{x_1, x_2, x_m\}$ ，低维空间维数 d' ，根据主成分分析算法，得到主成分矩阵 $\{\omega_1, \omega_2, \omega_d\}$ 。

(2) K-means聚类法

K-means聚类法是一种无监督分类方法。以步骤一得到的主成分和经度纬度为输入变量，进行聚类分析。

对于样本集 $D = \{x_1, x_2, x_m\}$ ，聚类簇数 k ，采用K-means聚类算法对样本集进行聚类，输出每个数据点的簇划分 $C = \{C_1, C_2, C_k\}$ ，通过设置自爆缺陷阈值得到易发生玻璃绝缘子自爆缺陷等级。

试验结果及分析

玻璃绝缘子自爆缺陷分析的数据源为10年南方电网各省级电力公司的台账记录和缺陷记录数据库、雷冰污风等环境数据，共计87个数据表、7个shp文件，总数据量达440 GB。提取全网自爆缺

陷的玻璃绝缘子，共计4 184片，去除包含空值的记录后，共计3 765片。采用PCA-KMeans法进行玻璃绝缘子自爆缺陷预警分析，并利用Tableau软件输出可视化结果。

首先采用主成分分析法对数据提取主成分，如图7所示，选取两个主成分，各成分的得分如下表所示。

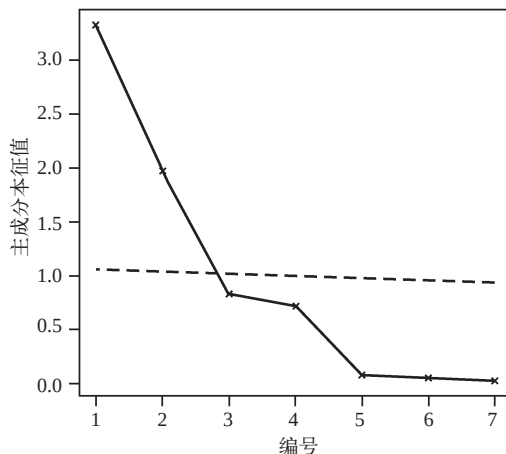


图7 主成分分析结果图

表 主成分分析结果

维度	主成分1 (PC1)	主成分2 (PC2)
雷区等级	-0.28	-0.30
30年一遇风区等级	-0.12	0.97
50年风区等级	-0.14	0.95
30年一遇覆冰等级	0.95	-0.10
50年一遇覆冰等级	0.98	-0.12
100年一遇覆冰等级	0.97	-0.12
污区等级	-0.24	0.27

对经度、纬度以及两个主成分采用K-Means算法对3 765条数据进行聚类，聚类数为100，利用Tableau软件进行数据可视化，得到质心的经纬度。其中，第26个聚类包含的缺陷玻璃绝缘子数最多，各聚类中数据点距质心的距离的平均值为13.48。采用聚类中缺陷数最多的四类的平均质心距离为易发自爆缺陷阈值，该阈值为3.08。

得到输电线路易发玻璃绝缘子自爆缺陷的杆塔信息，可通过省、电压等级筛选查看详细的杆塔及位置，对易发玻璃绝缘子自爆缺陷的杆塔位置进行预警提示，引起运维人员的重点关注，并为后续无人机巡检提供重点巡检区域的决策支持。文中的模型和方法可扩展于其他元部件的缺陷的预警。EA

(收稿日期：2020.04.02)

(编辑：朱金凤)