

[输电线路]

基于AI大数据的输电线路健康状态预测方法

文/储杰
国网绍兴供电公司

由于影响输电线路健康状态的因素较多，导致对其的预测结果往往难以准确反馈实际情况，为此，提出基于AI大数据的输电线路健康状态预测方法研究。从锈蚀老化、地质灾害、自然损害和动植物活动隐患角度，综合分析输电线路健康状态影响因素构成，并结合AI大数据对不同影响因素实际状态计算其与对应异常故障之间的关系，在引入使用年限的基础上，实现对输电线路健康状态的预测。在测试结果中，设计方法对于输电线路健康状态的预测结果与实际的故障发生分布表现出了稳定的线性相关关系，能够有效反馈线路的状态。

输电线路作为发电厂和终端用户之间的关键连接纽带，其健康状态直接影响着输电工程的整体效率和稳定性^[1]。健康状态的优劣不仅关系到电能稳定传输，还直接影响到电力系统的安全性和可靠性。一旦输电线路出现故障，将直接导致供电中断，影响工业生产和居民生活，甚至可能引发更严重的安全事故^[2]。在以最小二乘法为基础的输电线路状态预测方法中^[3]，通过对输电线路运行历史数据的分析，识别出影响输电线路状态的关键因素，并构建相应的预测模型。通过最小二乘法对模型参数进行优化，提高预测的准确性。该方法在输电线路风险评估和运行状态预测方面取得了一定的成果，能够为电力系统的稳定运行提供有力支持。但是该方法对数据的要求较高，需要测量数据满足正态分布，但在实际电网中，测量误差往往并不符合这一条件，导致预测结果的准确性受限。在以小波变换协同深度信念网络为基础的输电线路故障识别预测方法中^[4]，借助小波变换对时频局部化分析特点，有效地捕捉输电线路故障后产生的暂态行波信号中的奇异特征，并通过深度信念网络学习大量数据中

的深层次特征，提高故障识别的准确性和鲁棒性。将两者结合应用于输电线路故障识别预测中，显著提高故障检测的及时性和准确性，为电力系统的稳定运行提供了有力保障。但深度信念网络的训练需要大量的高质量数据，而在实际应用中，高质量的故障数据往往难以获取，限制了该方法的应用范围^[5]。

在上述基础上，本文提出基于AI大数据的输电线路健康状态预测方法研究，并开展对比测试，对其预测效果进行分析验证。

输电线路健康状态预测方法设计

1. 输电线路健康状态影响因素分析

对于输电线路而言，其异常健康状态主要可以归纳为锈蚀老化、地质灾害、自然损害和动植物活动隐患四类^[6]。为了能够更加客观地预测其健康状态，本文结合上述几个方面，开展对输电线路异常状态参量构成的综合分析，对应的分析结果见表1。

结合表1所示的信息，实现对输电线路健康状态影响因素的综合分析，为后续的输电线路健康状态

预测提供执行基础。

表1 输电线路健康状态影响因素构成

类别	异常状态参量	描述
锈蚀老化类	金属构件锈蚀情况	杆塔、导线、地线、金具等金属部件的锈蚀程度
	绝缘子老化情况	绝缘子表面是否出现裂纹、破损、老化变色等现象
	导线磨损情况	导线因长期运行产生的磨损程度，特别是与绝缘子接触部位的磨损
地质灾害类	滑坡影响	滑坡导致的地形变化对杆塔基础稳定性的影响
	崩塌影响	崩塌体对杆塔、导线的直接冲击或潜在威胁
	泥石流影响	泥石流冲刷对杆塔基础的侵蚀
自然损害类	雷电袭击次数	输电线路因雷电导致的故障次数
	风偏闪络情况	大风引起的导线风偏对杆塔塔头构件放电情况
	覆冰厚度	线路在寒冷季节覆冰的厚度
动植物活动隐患类	鸟巢搭建情况	鸟类在杆塔或导线上筑巢的情况
	树木生长情况	线路通道内树木的生长高度及其对导线安全距离

2. 基于AI大数据的输电线路健康状态预测

充分考虑不同因素对于输电线路健康状态的影响程度有所不同，且不同因素的具体状态存在差异，使得其影响程度难以直接利用统一的参数进行量化处理^[7]。利用AI大数据，对不同因素在健康状态中的具体影响程度进行细化分析。

对于单一类别异常健康状态而言，对应异常参量的影响程度计算方式表示为

$$B_i = \frac{1}{n_i} \frac{\ln x}{\ln x_0} k \tag{1}$$

式中， B_i 为输电线路中*i*类别异常健康状态对应异常参量对具体状态的影响程度； n_i 为*i*类别异常健康状态对应异常参量的数量； x_0 为*i*类别异常健康状态对应异常参量的理想参数； x 为*i*类别异常健康状态对应异常参量的实际参数； k 为修正系数。

在此基础上，输电线路整体健康状态的预测结果表示为

$$f(X) = 1 - \exp\left[-\frac{\sum B_i(t-t_0)}{\lambda}\right] \tag{2}$$

式中， $f(X)$ 为输电线路整体健康状态指数预测结果； t 为当前输电线路投入使用的年限； t_0 为输电线路设计使用年限； λ 为输电线路老化修正系数。

结合式（2）可以看出，设计初始状态下，输电线路整体健康状态指数为1。输电线路的整体健康状态指数随着各类别异常健康状态对应异常参量对

具体状态程度的增强逐渐降低，且投入使用年限越长，对应的健康状态预测结果越低。通过引入输电线路老化修正系数，实现对AI大数据的充分利用，避免由于偶然情况对于预测结果造成干扰。其中，该参数的具体计算方式为

$$\lambda = \frac{\max(n) + \min(n) + \text{avg}(n)}{3} \tag{3}$$

式中， $\max(n)$ 表示在AI大数据中，使用年限与设计使用年限关系为定值时，出现故障的最大次数； $\min(n)$ 表示在AI大数据中，使用年限与设计使用年限关系为定值时，出现故障的最小次数； $\text{avg}(n)$ 表示在AI大数据中，使用年限与设计使用年限关系为定值时，出现故障的平均次数。

按照上述所示的方式，结合使用年限和实际的状态信息，实现对输电线路健康状态的精准预测。

测试与分析

1. 测试环境概况

在测试过程中，以某500 kV输变电工程为基础开展了具体的应用研究。变电站包括新装主变压器2台，新增变电容量240万kV·A。在输电线路方面，新建了4回500 kV输电线路，总长约17.1 km。配合杆塔（直线塔、转角塔）实现电力传输。其中，导线均采用高强度、耐腐蚀的导线材料，并采用绝缘子支撑导线并防止电流直接流向杆塔。配置接地装置确保线路安全接地，防止雷击等灾害。

在长期的运行过程中，输电线路受客观因素影响面临着不同程度的健康状态挑战。

1) 绝缘子紫外线辐射度强度较高，基本在885.0~1 000 W/m²区间范围内，由于经过长时间的运行，绝缘子表面污秽积累较为严重，假设平均厚度为0.5 mm。

2) 地质土壤类型主要为粘土和砂土混合，部分区域存在岩石层，抗压强度在35.0~50.0 MPa区间范围内，抗剪强度在19.0~25 MPa范围内，内摩擦角最大值为30°，粘聚力在16.0~20 kPa范围内。基于地质勘察，地基承载力约为200 kPa，稳定性系数为1.5（表示安全系数）。

3) 测试输电线路区域年平均气温为20 ℃，极端最高气温为38 ℃，极端最低气温为-5 ℃。年降水量为1 500 mm，雨季（6月~8月）月平均降水量为300 mm。年雷暴日数为80天，雷电强度主要分布

在夏季，平均雷电强度为50 kA（电流强度）。

4) 线路沿线树木的平均最大高度为20 m，藤蔓的最大攀爬高度可达5 m。单位面积内植被覆盖度约为60%。最近植被到输电线路的最近距离为6.0 m，低于安全距离标准（要求至少10 m）。

2. 测试结果与分析

在开展具体的测试过程中，分别设置以最小二乘为基础的输电线路状态预测方法，以及以小波变换协同深度信念网络为基础的输电线路故障识别预测方法作为测试的对照组。对于具体预测性能的分析，将未来1年内故障发生的频率分布情况作为指标。其中，当健康状态预测结果的准确性高时，表现为健康状态指数越低，故障发生的频率分布越高。

按照上述所示的方式，结合实际输电线路发生故障的情况，对不同方法的预测结果进行统计，得到的数据结果如图1所示。

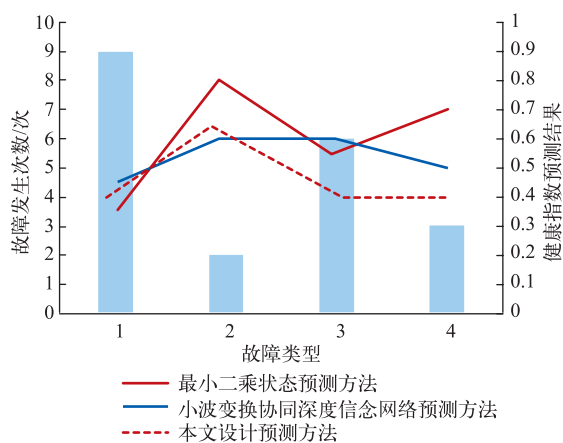


图1 不同方法测试结果对比图

图1中，故障类型编号的对应关系为：1为锈蚀老化类故障；2为地质灾害类故障；3为自然损害类故障；4为动植物活动类故障。结合图1所示的测试结果对三种不同预测方法的可靠性进行分析。其中，在以最小二乘为基础的输电线路状态预测方法，和以小波变换协同深度信念网络为基础的输电线路故障识别预测方法下，对于输电线路整体健康状态的预测相对稳定，但是存在部分故障类型预测误差较大的情况。相比之下，在本文设计方法的测试结果中，对于不同类型故障的预测结果均与实际情况表现出了稳定线性相关关系，即健康指数越高，发生故障的次数越少；健康指数越低，发生故

障的次数越多。通过输出的健康指数，能够准确判断输电线路的健康状态，为实际的维护管理工作提供可靠的指导，有针对性地开展预防性措施。

结束语

输电线路的健康状态与输电工程之间有着密不可分的联系，对输电线路的健康状态进行精准预测是极为必要的。本文提出基于AI大数据的输电线路健康状态预测方法研究，围绕锈蚀老化、地质灾害、自然损害和动植物活动隐患综合分析了输电线路健康状态影响因素，并利用AI大数据对不同因素的具体影响程度进行细化分析，结合各影响因素的实际状态量，实现对健康状态的精准预测。借助对于输电线路健康状态的研究与分析，满足电力系统日益复杂的运行环境和更高的安全稳定要求。EA

(收稿日期：2024-07-17)

参考文献

- [1] 于玉宗，刘玉鹏，汲倩倩．基于多源异构气象数据融合的线路状态识别算法[J]．电子设计工程，2024，32(12)：157-161．
- [2] 张乐，王维坤，崔雷，等．基于点云数据配准的输电线路异常检测方法[J]．自动化应用，2024，65(6)：152-154+157．
- [3] 时磊，严尔梅，刘博迪，等．基于最小二乘的输电线路运行风险评估及运行状态预测[J]．电力大数据，2023，26(3)：19-27．
- [4] 孙大军，张照辉，赵科，等．基于小波变换协同深度信念网络的输电线路故障识别与定位[J]．制造业自动化，2024，46(2)：13-18．
- [5] 李化龙，孙赞，李思琦，等．基于层次分析法（AHP）与模糊综合评价相结合的油区输电线路运行状态评价[J]．科技通报，2024，40(2)：25-29．
- [6] 杨晨，汪佳，陈阳，等．基于北斗定位和多传感器融合技术的输电线路动态增容系统研究[J]．现代工业经济和信息化，2023，13(12)：290-293．
- [7] 杨成顺，仲滩，黄宵宁．基于置信度分析和改进PCA的输电线路状态评价关键指标体系的构建[J]．电气自动化，2023，45(3)：89-91+94．