

基于WebGIS技术的电网灾害风险预警模型构建

吴文权

(国网洛浦县供电公司,新疆和田848200)

摘要: 电网灾害风险预警主要采用数据特征边缘分析得出风险预警结果,忽略了理论差值对预警准确度的影响,导致预警频次一致性低。为此,提出一种基于Web地理信息系统(geographic information system, GIS)技术的电网灾害风险预警模型构建方法。基于WebGIS技术建立风险预警指标体系,分析灾害点距离作为原始特征,构建电网灾害风险预警模型,计算理论差值损失优化模型参数,迭代输出模型结果,结合电网设备可靠度,定义风险预警等级,实现电网灾害风险预警。实验结果表明,所提模型方法表现出的预警频次一致性较高,预警结果准确度较高,满足了电网运维与灾害防护工作的现实需求。

关键词: 电网灾害; WebGIS技术; 风险预警; 电网灾害预警; 模型构建

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-7241(2025)09-0079-05

Construction of Power Grid Disaster Risk Warning Model Based on WebGIS Technology

WU Wenquan

(State Grid Luopu County Power Supply Company, Hotan 848200, China)

Abstract: The power grid disaster risk early warning results are mainly obtained by using data feature edge analysis, and the influence of theoretical difference on early warning accuracy is ignored, resulting in low consistency of early warning frequency. Therefore, the construction of power grid disaster risk early warning model based on Web geographic information system(WebGIS) technology is proposed. The risk early warning index system is established based on WebGIS technology, the distance of disaster points is analyzed as the original feature, the power grid disaster risk early warning model is constructed, the model parameters of theoretical difference loss are optimized, the model results are iterated, and the risk early warning levels are defined in combination with the reliability of power grid equipment to realize the power grid disaster risk early warning. The experimental results show that the proposed model shows high consistency of warning frequency and high accuracy of warning results, which meets the practical needs of power grid operation and maintenance and disaster protection.

Keywords: power grid disasters; Web geographic information system technology; risk warning; power grid disaster warning; model construction

0 引言

电网的运行对于日常生活中的各个环节都起着不可或缺的作用,一旦电网的运行出现故障,将会产生不可估量的经济损失以及其他损失^[1]。如暴风雪等灾害对电网设备造成的损害,将会导致电网的运行出现异常,引发停电等现象导致的供电质量下降的后果^[2]。基于此,对灾害的风险等级进行精准评估,并及时做出灾害风险预警处理十分关键。对此,很多研究人员提出了灾害风险预警方法。

文献[3]针对电网中输电线路的山火风险进行了评估,该方法基于山火发生的概率,结合影响因素,设计了风险指标体系,结合磨合层次分析法和熵权法,构建评估模型,通过对风险的评估实现预警。但是该方法准确性

较低。文献[4]为保证电网安全稳定运行,提高电网防灾减灾和弹性水平,研究了一种基于深度稀疏自编码网络和场景分类器的电网气象故障预警方法。该方法对传统的深度自编码网络增加稀疏性约束条件,并在深度自编码网络的最后一层增加场景分类器,结合支持向量机,构建预警模型,实现电网气象灾害故障预警。但是该方法可信度较差。文献[5]针对强台风天气给沿海及部分内陆地区配电网带来了愈发严重的损失问题,提出一种基于Transformer深度学习网络的主动配电网多元源荷灾损辨识方法。该方法充分利用深度学习网络去模型化的特点并发挥其在灾损预测精度方面的优势,结合弱通信条件下的台风灾害气象数据,利用Transformer深度学习方法构建配电网灾损辨识模型,实现电网灾害预警。但是该方法普适性较差。

考虑到上述文献所提出的灾害风险预警方法无法满足当前电网设施的安全运维需求,本研究采用WebGIS技

*基金项目:新疆国网电力科技项目(SGTYHT/17-JS-199)

收稿日期:2023-12-22

术,提出一种电网灾害风险预警模型的构建。该模型通过建立风险预警指标体系,构建电网灾害风险预警模型,得到较为精准的预警结果。

1 WebGIS技术的电网灾害风险预警模型

1.1 基于WebGIS技术建立风险预警指标体系

基于电网的实际运行环境^[6],本研究采用WebGIS技术处理采集数据,并基于该数据分析导致电网灾害的因素,由此建立电网灾害风险预警模型的评估指标体系。

在电网运行终端中引入WebGIS技术,获取实时电网数据。该技术的引入架构如图1所示。

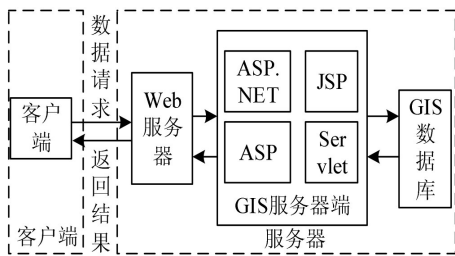


图1 WebGIS技术引入框架

如图1所示,由WebGIS引入的客户端发送电网数据的获取请求,再通过与GIS动态连接的Web服务器将处理后的电网GIS数据反馈至客户端中,获取到实时的电网数据信息。

基于获取到的电网数据,分析导致电网灾害的因素^[7-8]。采用零均值规范化方法将获取的电网数据归一化,如式(1)所示。

$$x = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

式中, x 表示归一化的电网数据, X 表示电网数据值, μ 表示数据集的平均值, σ 表示标准差。

利用归一化电网数据计算其与灾害因子之间的关联度,如式(2)所示。

$$r(x) = \frac{1}{k} \sum_{x=1}^k \varepsilon(x)^\rho \quad (2)$$

式中, $r(x)$ 表示电网数据的灾害关联度, k 表示归一化后的电网数据维度, $\varepsilon(x)$ 表示电网灾害因子, ρ 表示分辨系数。

通过上述分析得到电网灾害的影响因素^[9-10],如表1所示。

本研究将电网灾害的影响因素划分为4类(表1)。分析4个电网灾害因素的致灾因子,划分其灾害类型。本研究将其划分为自然致灾因子以及人为致灾因子。自然致灾因子包含的影响因素包括外部污染因素和气象因素导致的冰害、雷害等电网灾害,人为致灾因子则包括其余两种影响因素类别导致的电网线路断连等电网灾害。

表1 电网灾害影响因素

影响因素类别	因素内容
电网本体因素	电网架构
	电网设备投运年限
	电网设备布局
外部污染因素	电网电压等级
	灰尘堆积等污秽因素
气象因素	空气污染
	电网设备气压环境
	降雨等级指数
	电网设备风速环境
运维防护因素	电网设备湿度环境
	污闪天气概率
	定期运维水平
	设备清理状态
	防污措施水平

通过上述分析,完成基于WebGIS技术的风险预警指标体系的建立过程。

1.2 构建电网灾害风险预警模型

基于上述建立的电网灾害指标体系,构建电网灾害的风险预警模型。分析电网数据的原始特征^[11]。计算灾害点与电网线路的距离,如式(3)所示。

$$V_\beta = \frac{V_0}{1 - (1 - \frac{V_0}{V_{max}}) \cos \beta} \quad (3)$$

式中, V_β 表示灾害点距离, β 表示灾害点距离与致灾因子最大蔓延方向的夹角, V_0 表示致灾因子的蔓延速度, V_{max} 表示致灾因子的最大蔓延速度。

将计算获取的灾害点距离作为电网数据的原始特征,基于原始特征构建电网灾害风险预警模型。该模型的主要架构如图2所示。

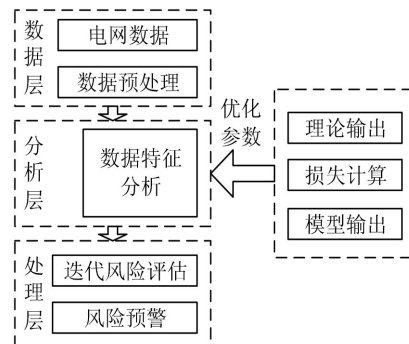


图2 电网灾害风险预警模型

如图2所示,设计的电网灾害风险预警模型共包含3层主体架构。其中,电网数据的获取与归一化步骤为该模型的数据层。并通过后续得到的电网数据原始特征,分析电网数据的灾害风险特征,并结合损失计算步骤补偿理论差值,多次迭代优化模型的参数,得到该模型输出的风险预警结果。

采用梯度下降法计算模型的理论差值损失,如式(4)所示。

$$\lambda = V_{\beta} - k \times r(x) \sum_{t=0}^T \delta_x \otimes E_t \quad (4)$$

式中, λ 表示模型的理论差值损失值, V_{β} 表示灾害点距离, k 表示归一化后的电网数据维度, $r(x)$ 表示电网数据的灾害关联度, t 表示电网运行的时刻值, T 表示数据原始特征长度, δ_x 表示电网数据的偏导数, E_t 表示在 t 时刻的理论损失值。

根据式(4)的结果,对构建的电网灾害风险预警模型进行参数优化,并迭代分析出电网的灾害风险预警结果,如式(5)所示。

$$K_t = \varphi \sum_{i=1}^T \frac{D}{H} H^2 \quad (5)$$

式中, K_t 表示电网在 t 时刻的风险值, φ 表示模型迭代次数, D 表示残差向量, H 表示电网灾害风险中值。

通过上述设计和优化,完成电网灾害风险预警模型的构建过程。

1.3 设定模型风险预警标准

对构建的电网灾害风险预警模型发出不同风险预警等级的阈值进行分析设定。

分析电网灾害风险预警的可靠度,如式(6)所示。

$$R_y = \frac{\gamma_{\max} - \gamma_t}{\sqrt{\sigma_{\max} K_t^2 + \sigma K_t^2}} \quad (6)$$

式中, R_y 表示相应电网设备的可靠度, γ_{\max} 表示电网风险下电网设备最大载荷, γ_t 表示电网设备的当前时刻综合载荷, $\sigma_{\max}(K_t)$ 表示电网风险下最大载荷的标准差, $\sigma(K_t)$ 表示电网风险综合载荷的标准差。

在该式中,电网设备载荷的计算方法如式(7)所示。

$$\gamma_t = \alpha \sqrt{gt^2 + (d_t + g)^2} \quad (7)$$

式中, α 表示不均匀系数, g 表示重力荷载, d_t 表示当前时刻电网设备受到的致灾因子影响系数。

将计算所得的电网灾害风险预警可靠度代入到构建的模型中,与模型分析的风险值进行结合,得到预警值^[12]。通过上述计算,将风险预警模型的预警等级划分为4个等级,如表2所示。

表2 模型风险预警等级

预警值	预警级别
0~<0.3	不发出预警
0.3~<0.5	一级预警
0.5~<0.8	二级预警
0.8~1.0	三级预警

根据如表2所示的等级,对电网灾害情况发出不同等级的预警信号。

通过上述步骤,完成基于WebGIS技术的电网灾害风险预警模型构建过程。

2 实验

2.1 实验准备

设计对比实验测试提出的基于WebGIS技术的电网灾害风险预警模型的实践应用可行性,并通过实验结果对比分析其应用的有效性。

本次实验采用模拟仿真的形式。搭建电网灾害的运载环境,如图3所示。

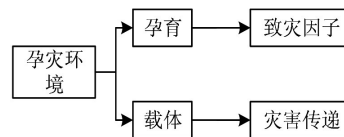


图3 电网灾害运载环境搭建

根据如图3所示的结构构建电网灾害的环境,该环境包括气象环境等多方面载体。模拟搭建电网设备。本次实验采用8分裂导线形式的电网架构,其模拟建设参数如表3所示。

表3 电网架构模拟参数

序号	设备参数项	模拟建设参数选取
1	导线间距	45 cm
2	导线圆直径	1.02 m
3	导线直流电阻	0.009 5 Ω /km
4	输电距离	500 km
5	输电线路材质	扩径型钢芯铝绞线
6	变压器三相容量	1 000 MVA
7	电导率	0.005 S/km
8	变电站接地电阻	0.2 Ω
9	变压器串联绕组直流电阻	0.238 Ω
10	变压器公共绕组直流电阻	0.097 Ω

按照如表3所示的内容,模拟搭建本次实验的电网架构。建设的电网架构为IEEE33节点类型,基于此,本次实验针对该电网中的33条电网线路的灾害情况开展风险预警实验测试。

本次实验所涉及的电网灾害主要类型,如表4所示。

表4 电网灾害类型

序号	电网灾害类型
1	风偏
2	冰害
3	雷害
4	绝缘子污闪
5	地磁暴
6	地震
7	其他

如表4所示,本次实验共设计7种类型的电网灾害类型。每种类型的发生频次数据均设定在0~100%之间随机波动。其中,其他类型的电网灾害主要包括物体撞击灾害等小概率事件。完成上述准备后,开展本次电网灾

害风险预警实验。

2.2 电网灾害风险预警

采用本研究所提出的模型进行电网灾害风险预警实验测试,根据实验结果分析本研究所构建模型的实践应用可行性。经过实验,得到电网线路样本点的风险指数值如表5所示。

表5 电网灾害风险预警

电网灾害类型	风险线路编号	是否发出预警或预警等级
风偏	3	一级
	31	三级
	12	二级
	32	三级
冰害	1	一级
	8	二级
	14	三级
	17	一级
雷害	5	二级
	10	二级
	16	三级
	23	二级
绝缘子污闪	6	一级
	15	三级
	18	一级
	21	二级
	33	三级
地磁暴	9	三级
	11	一级
	22	三级
	30	二级
地震	4	三级
	13	三级
	19	二级
	24	一级
其他	2	三级
	20	二级
	27	一级
	28	二级
无灾害	7	否
	26	否
	25	否
	29	否

由表5可知,利用本研究所设计模型得出的电网灾害风险预警结果中,不同的电网线路呈现出了不同的灾害类型,其中大部分线路均识别出灾害,并作出了不同等级的风险预警处理,仅有7、25、26以及29四条电网线路呈现无灾害状态,未发出预警信号。将这一风险预警结果与本次实验的灾害设定值对比可知,该结果对电网灾害类型的判别与风险等级预警的评定与实际灾害状态高度一致。从这一实验结果可以初步判断,本研究所提出的电网灾害风险预警模型具备实践应用可行性。

2.3 结果评价指标

为了更加直观地体现出本次电网灾害风险预警实验结果的有效性,设置定量指标评价实验结果。基于电网设施的安全运维需求,将本次实验的定量评价指标设定

为灾害风险预警频次。统计不同方法对电网灾害发出风险预警的频次,并将其与该轮次实验所设定的实际电网灾害状态对比,分析两种结果的一致性来评价相应方法的实践应用有效性。

计算预警频次一致性,如式(8)所示。

$$\phi = \sum_{\ell=1} O\left(\frac{n_2 - n_0}{1 - n_1}\right) \quad (8)$$

式中, ϕ 表示预警频次一致性, ℓ 表示电网电路编号, O 表示电网灾害类型, n_0 表示误预警频次统计量, n_1 表示漏预警频次统计量, n_2 表示正确预警频次统计量。

这一评价指标能够较为精准地评价电网灾害风险预警实验结果的有效性。计算所得的预警频次一致性数值越高,则表明相应风险预警方法具备更高的实践应用价值。

2.4 结果分析与讨论

为了保证本次实验结果的有效性,采用对比分析的方法对本次实验结果进行评价。分别采用文献[3-4]所提出的风险预警方法作为本次实验的对照组。基于设定的结果评价指标,分析并讨论不同方法的风险预警结果。

为了减少实验误差,本次实验开展多个轮次。经过实验,得到不同方法的电网灾害风险预警频次的统计结果如图4所示。

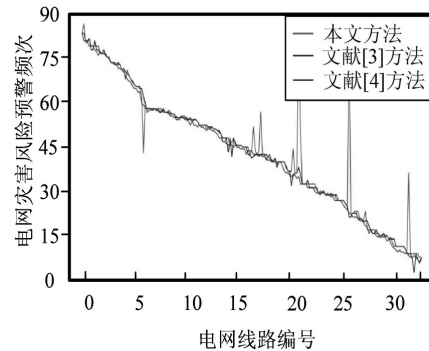


图4 电网灾害风险预警结果

由图4可知,在对灾害风险预警频次的统计结果中,文献[4]所提方法的频次统计数量与其他两种方法的统计结果相差较大。文献[3]所提方法与本研究所提方法的风险预警频次结果较为一致,但仍有一定的差值。基于这一结果,计算不同方法的电网灾害风险预警一致性,得到结果如表6所示。

表6 不同方法预警一致性结果

实验方法	预警一致性
本文	92.376
文献[3]	88.524
文献[4]	63.795

由表6可知,本研究所提方法的预警一致性计算结果数值最高,分别较其他两种方法高3.852和28.581。从这一结果可以得出,本研究所设计的电网灾害风险预警模

型能够有效提高预警准确度,应用性较高。

3 结束语

电网灾害对电网设备的损坏将会对经济与社会生活均造成较为严重的影响。为了能够及时对电网灾害风险作出预警,提出了一种基于WebGIS技术的电网灾害风险预警模型。经过实验可知,依据所提模型得出的风险预警结果,与电网实际的灾害类型及风险等级高度一致。该模型在电网设备运维的现实工作中的应用,能够有效对电网中存在的灾害风险预警,相关工作人员能够根据预警结果,及时做出应对措施,避免造成更大的经济损失。通过准确预警与有效的救灾措施,电网系统能够为当地居民提供更加高质量的电力服务,居民用电更加稳定,从而进一步推动电网领域技术水平的提升,助力电网服务的发展。

参考文献:

- [1] 陈栋. 多间歇能源消纳下主动电网调度数据动态生成方法[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(9): 176-179, 182.
- [2] 周义棋, 刘畅, 龙增, 等. 电网应急预案知识图谱构建方法与应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2023, 19(1): 5-13.
- [3] 周恩泽, 黄勇, 向璋, 等. 基于物元可拓的输电线路山火风险评估模型[J]. 南方电网技术, 2022, 16(1): 145-154.
- [4] 胡凉平, 丛伟, 徐安馨, 等. 基于深度稀疏自编码网络和场景分类器的电网气象故障预警方法[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(20): 68-78.
- [5] 纪鹏志, 李光肖, 王琳, 等. 基于Transformer深度当习网

络的主动配电网多元源荷灾损辨识方法[J]. 电力建设, 2023, 44(3): 56-65.

- [6] 侯慧, 陈希, 李敏, 等. 一种Stacking集成结构的台风灾害下停电空间预测方法[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(3): 76-84.
- [7] 张睿卓. 基于多源数据的林区电力走廊安全风险评估方法[J]. 测绘学报, 2022, 51(5): 784-784.
- [8] 陆军, 朱旺, 谢强, 等. 区域电网变电站震损风险快速评估方法[J]. 高压电器, 2022, 58(8): 57-64.
- [9] 周特军, 李波, 吴传平, 等. 大范围电网山火灾害“星地空”立体防控体系建设及应用[J]. 消防科学与技术, 2022, 41(2): 266-269.
- [10] 王则凯, 丁涛, 李立, 等. 美国加州地区提高山火灾害下电网弹性的公共安全停电政策和措施[J]. 电力自动化设备, 2022, 42(3): 36-44.
- [11] 杨祺铭, 李更丰, 别朝红, 等. 台风灾害下基于V2G的城市配电网弹性提升策略[J]. 电力系统自动化, 2022, 46(12): 130-139.
- [12] 王玮, 赵家悦, 郭创新, 等. 考虑故障连锁的多灾害输电网络弹性评估及关键弹性提升元件辨识[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(1): 127-139.

作者简介: 吴文权(1982—), 男, 本科, 中级工程师, 研究方向: 配电网工程。

(上接第63页)

- 位技术研究[J]. 自动化技术与应用, 2022, 41(5): 14-17.
- [3] 冯广, 江家懿, 罗时强, 等. 基于话语间时序多模态数据的情绪分析方法[J]. 计算机系统应用, 2022, 31(5): 195-202.
- [4] XU Y G, WANG L, HU A J, et al. Time-extracting S-transform algorithm and its application in rolling bearing fault diagnosis[J]. Science China Technological Sciences, 2022, 65(4): 932-942.
- [5] 耿苏杰, 王秀利. 基于模糊贝叶斯网络的电力设备故障诊断和状态评估[J]. 计算机集成制造系统, 2021, 27(1): 63-71.
- [6] 李腾飞, 郝玉杰, 袁方, 等. 基于多源特征信息融合的油浸式变压器故障智能诊断模型[J]. 电工电能新技术, 2023, 42(1): 48-57.
- [7] 陶希闻, 江文奇. 面向群体共识的三阶段犹豫模糊型信息融合方法研究[J]. 系统工程与电子技术, 2021, 43(12): 3603-3613.
- [8] 王鹏博, 刘自然, 刘玉明, 等. 基于交叉小波变换与改进变分模态分解的联合去噪方法[J]. 机电工程, 2023, 40(2): 292-298.
- [9] 罗卿. 基于多源信息融合的电力系统快速故障诊断方法研究[J]. 微型电脑应用, 2023, 39(10): 161-163, 180.
- [10] ZHAO H, MI J, LIANG M. A multi-granularity information fusion method based on logistic regression model and Dempster-Shafer evidence theory and its application[J]. International Journal of

Machine Learning and Cybernetics, 2022, 13(10): 3131-3142.

- [11] 赵岩, 孔祥伟, 马春斌, 等. 基于Darknet网络和YOLO4的实时电路板故障检测算法[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(6): 101-108.
- [12] 万安平, 杨洁, 王景霖, 等. 多传感器融合卷积神经网络航空发动机轴承故障诊断方法[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(13): 4933-4941.

作者简介: 曹子佳(1977—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 医院信息化建设与管理。

通信作者: 张鹏(1983—), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 医疗设备管理、维修、计量、质控、效益分析评价。