

风电运维人员行为安全预警指标体系构建与分析

时准

(水发能源集团有限公司, 山东 济南 250109)

【摘要】本文以提升风电运维人员的安全行为能力为目标, 从人因-机械-作业环境-监督管理-信息交流5个维度出发, 采用问卷调查的方法获得行为安全预警信息, 采用果蝇优化算法(FOA)对BP神经网络进行优化, 构建“15-10-1”结构的行为安全预警模型, 并对量表进行训练。研究结果显示, 所建立的行为安全预警指数系统具有科学性、合理性, 且基于FOA-BP神经网络模型对风电运维人员的安全行为具有很强的预警作用。经试验验证, 该模型能够达到良好的预警效果。

【关键词】风电运维人员; 行为安全预警; 指标体系; 果蝇优化算法

引言:

随着我国“双碳”战略的不断推进, 我国风力发电装机规模大幅增长, 对风电运营管理的要求也在不断提高, 而在运行过程中, 由于风电运维人员的不安全行为, 导致了风机在运行过程中伤亡事故时有发生。因此, 对风电运维人员的安全行为进行研究, 是十分必要的。

行为安全预警作为行为安全管理中的一项重要内容, 可以帮助企业及早采取防范措施, 提升员工的行为安全水平。石娟et al. 建立了建筑施工人员非安全员反向传播(Back Propagation, Back Propagation, BP)神经网络模型, 发现其具有更好的性能, 可以对风电运维人员的不安全行为进行有效的预测。杨涛等从个人、群体、组织管理、物质环境、领导五个维度对员工不安全行为进行了分析, 提出了员工不安全行为的预警与管控体系; 于用庆等以建筑物信息建模与定位技术为基础, 建立了地铁工程安全风险预警体系, 实现了对建设者的安全行为的智能控制。兰国辉et al. 运用结构方程模型探索不安全行为各要素间的内在联系, 构建员工不安全行为的动态预警机制。谢逸等通过对视频频率的监测数据进行处理, 建立了基于视频频率的行为安全监测与预警体系; 贾广社等从跨层面的角度建立了交通事故预警系统, 并对其进行了实证分析, 证明了其合理性; 邓逢光等对大数据技术支持下的学生行为安全预警系统进行了研究, 并给出了系统的整体架构与技术架构; NIU et al. 提出了一种基于综合判别的卡车驾驶员不安全行为综合辨识方法, 并对其进行分类框架构建。因此, 当前对行为安全预警的研究主要侧重于框架构建、预警体系和预警算法等方面, 对于预警指标的选择和构建还很

欠缺, 并且研究对象也很少涉及风电操作人员, 预警精度有待提升。

为此, 本文拟在前期工作基础上, 建立风机操作人员行为安全预警指标体系, 并采用果蝇优化算法(FOA)对BP神经网络进行优化, 并在此基础上, 通过实验验证, 达到对风电运维人员行为安全的预警作用, 从而达到提高风机操作安全水平的目的。

一、行为安全预警

从广义上讲, 行为安全预警就是将行为安全管理作为一个重要的研究内容。运用预先制订的防范机制, 亦可视为一种紧急措施, 提升员工作业安全品质与作业安全水准。目前, 国内外的风力发电企业已经对其进行了大量的研究, 并认为基于神经网络的预警模型效果最优, 而人为的安全稳定性则有待于进一步的研究。为此, 应从个体、群体、组织、管理和后勤等多个角度, 设计一套安全、稳定、可控的预警与控制体系。对其进行深入的研究将为风电运维人员行为安全预警指标体系的构建提供有力的支持。此外, 在对员工安全行为进行动态预警的基础上, 将信息技术与其融合, 通过对视频监测的数据进行处理与分析, 建立起一套完整的行为安全数据系统框架。最终, 通过大数据分析, 建立一套切实可行的风电运维人员安全预警管理系统。通过研究, 将自动化预警技术、预警框架、信息化处理技术与处理手段有机结合, 提升风电运维人员安全行为预警的精准性和稳定性, 采用果蝇优化和神经网络等方法, 对风电运维人员的安全行为进行仿真分析, 从而为我国风电企业提供更加科学、合理、准确的管理系统。

二、预警指标体系构建

(一) 构建原则

行为安全预警指标的建立要从系统的视角出发, 兼顾行为安全的内涵和预警的目的。

1. 独立性原则。在同一层次上, 各个指标应当分别反映出行为安全的特定特性, 具有代表性、适配性和定向性, 不能出现概念含糊混乱、互相夹持、交叉等现象。

2. 完备性原则。在各指标相互独立的情况下, 也需要充分地涵盖行为的特征。影响行为安全的因素很多, 而且它们之间的关系也很复杂, 需要对这一系统内部和外部的许多因素以及它们之间的互动关系进行全面的考虑, 从个人、群体、设备、环境、管理、法律等多个方面, 来构建一个完整的预警指标体系。

3. 梯度性原则。梯度性原则是指指标要有层次性, 要有等级, 要有从属性, 这样才能更好地符合指标的内容。行为安全预警指标从一级指标到二级指标, 再到三级指标, 它们之间有一个合理的逻辑关系, 形成了一个完整的指标体系。

4. 可行性原则。可行性原则是使所构造的指标体系具有科学性、准确性和真实性, 并具有简明、清晰、灵活和易于理解的特点。同时, 要使各项指标所体现的数据等信息能够方便地获得、测量和处理, 以便对评估指标进行有效的比较和分析。

(二) 指标体系构建

行为安全理论是一种融合了管理、心理学和统计等多个领域的研究成果, 其目的是通过对人的不安全行为进行观察、监测、奖惩、统计分析等手段对人的不安全行为进行矫正, 提升人的安全素质和意识, 降低不安全行为的发生率。风电运维人员的不安全行为主要表现在机械设备使用不当、安全带使用不规范以及在工作场所嬉戏打闹等。通常, 风电运维人员往往工作在偏远、环境比较恶劣的风电场中, 在作业过程中, 他们要面对高空坠落、机械伤害、触电等危险, 再加上风机设备零部件多, 因此, 不安全行为的概率很大, 这极大地提高了行为安全管理的难度。

本文通过相关文献, 对其进行筛选、分类和整理, 构建出一套行为安全影响因素体系。其次, 通过对10位风电运维人员的访谈, 获取风电运行环境中的风险因子, 并对访谈内容进行分析, 对行为安全的影响因素进行补充。最后, 根据安全管理专家, 请他们根据自己的知识、经验, 对影响因素进行评分, 并在5轮专家评分后, 得出最重要的影响因素。然后, 将这些影响因素转换为预警指数, 构建了一个由5个主要指标、15个次要指标构成的系统。

三、方法介绍

(一) 果蝇优化算法

FOA是由潘文超等针对果蝇的捕食行为所设计的一类群智能优化算法, 在实际应用中得到了广泛应用。果蝇是一种群居的寻食动物, 它的嗅觉器官可以很好地收集空中飘荡的各种味道, 当有一只果蝇发现了食物, 其他的果蝇就会立刻飞过去, 然后果蝇继续依靠嗅觉和视觉寻觅食物, 以此迭代搜索, 直到果蝇群体找到食物。

(二) FOA-BP神经网络算法

为了改进BP神经网络存在的不足, 拟将模糊聚类算法与BP神经网络进行融合, 利用模糊聚类算法中的基本参数少、运算速度快、全局搜索能力强等优点, 将BP网络的权重和门限看作是一个果蝇子个体, 平均方差作为滋味判断函数, 并对其进行迭代搜索, 获得最优的初始权值和阈值, 从而实现对BP神经网络的训练和试验。

(三) FOA-BP神经网络模型结构设计

基于FOA-BP神经网络对风电运维人员行为安全性进行预警, 实质上是将行为安全预警指标与行为安全风险之间的非线性映射。因此, 将BP神经网络的网络权值设置为15个, 即把15个2级的预警指数作为网络的输入。将输出层的结点数目用1来表示行为的安全性。由于单隐层BP神经网络有很强的非线性映射能力和快速的收敛性, 故将隐含层数设为1。

四、实例分析

在查阅相关资料的基础上, 通过对各大学、企业中的风电产业专家进行了调研, 自编了一份关于风电运营商行为安全预警的调查表, 在该调查表中, 15个二级预警指标都被设定为4个维度, 每个维度都是相互独立的, 而输出层的行为安全风险则有9个维度, 得分越高, 说明行为安全风险就越大。所有题目均按李克特5级量表法进行评分, 严重不符为1分, 非常符合5分。

本研究以某公司的风电运维人员为研究对象, 发放320份调查问卷, 其中285份是有效的, 并对其信度进行了分析, 结果表明该量表的信度是令人满意的。共收集285个样本, 共收集到260个训练样本及25个测验样本。将事故的危险程度分为4个级别, 其中I类(分值37-45分)为危险巨大; 危险等级II(28-36分)为风险较大; 危险等级III(18-27)为中度风险; IV级(9分-7分), 危险性低。

采用Matlab软件对采样数据进行标准化, 剔除离群点, 加快收敛。由公式(1)和训练测量可知, 在隐层结点个数为10的情况下, 网络的学习效率更高, 所以将隐层结点数目取10个, 最后得到的网络

结构是“15-10-1”。

$$n=m+L+q(1)$$

在遗传算法中，果蝇的群体大小是20个，优化次数是100个，BP神经网络的目标误差是0.001，训练次数是1500，学习率是0.1，训练函数是trainlm，性能函数是mse。利用遗传算法优选出的最优初值和最优门限，对BP神经网络进行了模拟训练。

从图3中可以看出，在迭代次数接近14的情况下，训练集、验证集和测试集的均方误差都在0.01以下，表明该模型具有良好的学习性能。

通过对25个样本的训练，建立了神经网络模型，并对其进行了检验。采用非最优BP神经网络对实验数据进行了比较，得到了原始BP神经网络和FOA-BP神经网络在有关参数设定上的一致性，两种方法的检测结果见图4。

从图1可以看出：与未经优化的BP神经网络相比，该方法的预测结果更符合实际情况，且检验结果较好，具有较高的预测准确性。此外，本研究亦证实，该模型可在一定程度上对个体的安全风险进行预警。比如25号样品，它的预测风险值是10-15，可以对该员工的行为安全风险级别进行初步的判断，可以对其进行相应的预防和控制。

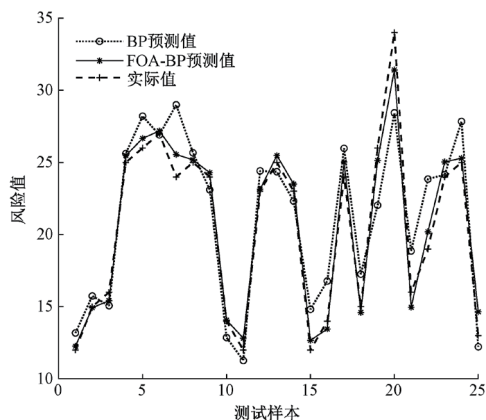


图1 FOA-BP与BP的测试结果对比

五、结果讨论

近年来，各种类型的新能源层出不穷，风力发电也在迅速增加。在国内外，风力发电处于一个持续的革新发展阶段，在风力发电的多年里，风力发电装备的更新频率很高，但在安全管理与维修方面的经验不足其十分之一。要使这种新的能量得到有效利用，必须确保风电运维人员的身体健康。特别是在“双碳”背景下，对风机运行维护的需求日益增加，对风电运维人员的安全管理提出了更高的要求。

风电运维人员不安全是引发安全事故的主要原因，通过对不安全行为进行预警，能够在不安全行为

出现前对其进行预判，使得管理者能够对不安全行为进行有效预防。对于易于引起重大安全事故的问题，必须采取主动预防。因此，以前期研发的风电运维人员行为-安全预警指标体系为研究对象，遵循独立性、完备性和梯度性等原则，以实践为依据，采用文献调研、访谈等研究方法，辅以专家评分法，构建风电运维人员行为安全预警指标体系。接着，按照各指标的权值，确定各要素的优劣度，再利用熵权法对各要素进行客观加权，最终与主观赋权法相融合，获得一个合成的权值。针对BP网络存在的收敛速度慢、易陷入局部极小等问题，项目拟利用BP神经网络对网络进行优化，选取最优权重及阈值，以加快收敛速度，避免陷入局部极小的问题。通过问卷调查，对交通事故进行定量的预警。以FOA-BP神经网络为基础，构建以FOA-BP神经网络为基础的行为安全预警量表，并采用问卷法对其进行检验，从而构建出一套科学、合理的风险评估指标。在此基础上，建立了5项一级指标和15个项二级指标的指标体系。根据“人因”原理，通过合理的工作分配，可以降低员工的工作压力；对于机械设备，应加强设备的日常维护工作，确保设备的正常运转。

结论：

1. 从人因因素、设备因素、工作环境因素、监督管理因素、信息沟通五个方面，建立了风电操作人员行为安全预警指标系统。在此基础上，建立了一种基于BP神经网络的风电运维人员行为安全预警指标体系。

2. 模糊-BP神经网络模型可以很好地进行作业安全预警，构建出的行为安全预警指数具有科学性和合理性。

参考文献：

- [1] 杜吉梁，张克功.基于大数据的风电场风能资源评价方法[J].兰州石化职业技术学院学报，2017，17(1)：24-26.
- [2] 吴声声，王祥尧.基于多级可拓的风电场运营脆弱性评价[J].中国安全科学学报，2021，31(S01)：170-175.
- [3] 冯峰，倪广恒，何宏谋.基于逆向扩散和分层赋权的黄河堤防工程安全评价[J].水利学报，2014，45(9)：1048-1056.
- [4] 孔梓豪，胥勤力.陆上风电运维安全管理[J].电力安全技术，2020，22(7)：73-75.
- [5] 宋冬然，梁梓昂，夏鄂，杨建，刘俊波，李庆安.风电全生命周期成本建模与经济分析综述[J].热力发电，2023，52(3)：1-12.