

# Nuclear power operation and maintenance risk assessment and control method based on big data

Zhe Xiao

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518124, China

## Abstract

The rapid development of the nuclear power industry has heightened concerns regarding the safety and reliability of nuclear power plant operations. The emergence of big data technology has provided innovative approaches for risk assessment and management in nuclear power maintenance. This study focuses on big data-driven risk evaluation methodologies and control strategies for nuclear power operations. Based on the collection and preprocessing of operational risk data, we developed a big data-based risk identification model. We further established an indicator system and quantitative evaluation framework for risk quantification and classification, followed by proposing corresponding control strategies. This research aims to provide theoretical support and practical references for enhancing risk management in nuclear power operations, ensuring safe and stable plant operations.

## Keywords

big data; nuclear power operation; risk assessment; risk management; data collection

## 基于大数据的核电运维风险评估与管控方法

肖喆

大亚湾核电运营管理有限责任公司, 中国 · 广东 深圳 518124

## 摘 要

核电行业的快速发展, 使得核电运维的安全性与可靠性愈发受到重视。而大数据技术的兴起则为核电运维风险评估与管控提供了新的思路和方法。本文就聚焦基于大数据的核电运维风险评估方法及管控策略, 在核电运维风险数据的采集与预处理的基础上, 构建了基于大数据的风险识别模型, 同时研究了风险量化与等级评估的指标体系及模型, 然后才提出了相关管控策略。此次研究旨在为提升核电运维风险管控水平提供理论支持与实践参考, 确保其安全稳定地运行。

## 关键词

大数据; 核电运维; 风险评估; 风险管控; 数据采集

## 1 引言

现阶段核电作为一种清洁、高效的能源, 在全球能源结构当中占据着重要的地位, 它为经济社会发展提供了强大的动力。然而核电行业具有高技术、高风险的特点, 导致其运维过程涉及了复杂的系统、设备和流程, 任何微小的失误都可能引发严重的安全事故。一旦事故发生, 不仅会造成巨大的经济损失, 还会对环境和公众健康构成极大的威胁。因此对核电运维风险进行有效的评估与管控, 成为了确保核电安全稳定运行的关键环节。

传统的核电运维风险评估方法比较依赖于经验判断和小样本数据分析, 当中存在着评估不够精准、时效性差等问题, 已然难以满足复杂多变的核电运维环境需求。跟随着信息技术的飞速发展, 大数据技术以其海量数据处理、深度挖

掘分析等优势, 为核电运维风险评估与管控带来了革命性的变革。经由采集、处理、分析和应用核电运维过程中产生的海量多源数据, 则可以更加全面、准确地识别潜在风险, 风险将得以实时地监控与预警, 为制定科学合理的管控策略提供了基础, 有助于提高核电运维的安全性和可靠性。

在此背景之下, 本文将深入地研究基于大数据的核电运维风险评估方法与管控策略, 希望能够充分地发挥大数据技术的优势, 构建起一套完善的核电运维风险评估与管控体系, 为核电企业提供切实可行的解决方案, 为核电行业的健康可持续发展提供助力。

## 2 基于大数据的核电运维风险评估方法

### 2.1 核电运维风险数据采集与预处理

基于大数据的核电运维风险评估当中, 数据的采集与预处理是基础且关键的环节, 只有高质量的数据才能确保后续风险评估的准确有效。

【作者简介】肖喆 (1981-), 男, 中国吉林吉林人, 本科, 工程师, 从事核电站运营研究。

## 2.2 多源数据采集范围与方式

核电运维风险数据的来源广泛且类型多样,其中涵盖了设备运行、人员操作、环境参数等多个方面,基于此,采集的范围主要包括了设备相关数据、人员操作数据、环境数据以及管理数据。具体来说:设备相关数据涉及了核电各类设备的运行参数,比如反应堆压力容器、蒸汽发生器、汽轮机关键设备的温度、压力、振动、流量等实时运行数据,与设备的维修记录、故障历史、使用寿命等信息;人员操作数据则包括了运维人员的操作记录、培训情况、资质证书、工作时长、违章操作记录等等,只有这些数据才能够反映人员操作对于运维风险的影响;环境数据涵盖了核电站周边的气象数据(温度、湿度、风速、降水等)、地质数据(地震、地形等)和放射性物质浓度等环境参数;管理数据即运维计划、规章制度执行情况、应急演练记录等管理层面的数据。

为了全面、高效地采集上述这些多源数据,还需要采用多样化的采集方式。就设备运行的实时参数而言,建议通过部署传感器、智能仪表等物联网设备进行自动采集,再利用工业总线、无线网络等传输方式实时地上传至数据中心;而人员操作数据可通过操作日志系统、人脸识别、指纹打卡等方式进行记录和采集;环境数据可借助气象站、环境监测传感器等设备进行自动采集;管理数据则可通过企业资源计划(ERP)系统、办公自动化(OA)系统等进行提取和汇总。此外还可以经由数据接口与外部相关系统进行数据交互,以获取更多有价值的信息<sup>[1]</sup>。

## 2.3 数据预处理关键技术

由于采集到的原始数据通常具有不完整、不一致、含有噪声等问题,因此还需要对其进行预处理以提高数据的质量。结合实际阐述数据预处理的关键技术如下:第一是数据清洗,该环节旨在去除数据中的噪声、异常值和重复数据。一方面可以通过统计分析、聚类分析等方法识别出异常数据,并根据实际的情况进行修正或删除;另一方面是对于重复数据,应当保留唯一有效的记录,避免数据冗余的情况出现。第二是数据集成,此时需要将来自不同数据源、不同格式的数据进行整合,使其形成统一的数据格式和数据模型。但在集成的过程中,一定要解决数据语义冲突问题,如此才能确保数据的一致性和准确性。第三是数据转换,也就是对数据进行标准化、归一化等处理,即将不同量级、不同单位的数据转换为适合后续分析的形式。例如将设备运行参数按照一定的标准进行缩放,以便于进行数据挖掘和模型训练。第四是数据降维,原因是数据维度较高时,就会增加后续分析的复杂度和计算量。一般需要通过主成分分析、因子分析等降维技术,在保留数据主要信息的前提下,达到减少数据维度的效果,进而提高分析的效率。

## 2.4 基于大数据的风险识别模型构建

在核电运维风险评估当中,风险识别是核心环节之一。该环节需要通过构建基于大数据的风险识别模型,从海量数据之中准确地识别出潜在的风险因素。

## 3 风险特征提取方法

风险特征提取是从预处理后的数据中提取出能够反映风险本质的特征信息,以此为风险识别模型提供输入。目前常用的风险特征提取方法包括了统计分析方法、时间序列分析方法和机器学习特征提取方法。其中统计分析方法是通过计算数据的均值、方差、标准差、相关性等统计量,从中提取数据的统计特征,而这些特征就能够在一定程度上反映数据的分布和变化规律;时间序列分析方法适用于设备运行参数等具有时间序列特性的数据,比如自回归移动平均模型(ARMA)、差分整合移动平均自回归模型(ARIMA)等,核心在于提取数据的趋势、周期、突变等时间特征;机器学习特征提取方法则利用了主成分分析、独立成分分析、深度学习等机器学习算法,该方法可以自动地从数据中提取高阶特征。但深度学习中的卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)等模型,还能够有效地捕捉数据中的复杂特征和非线性关系,有助于提高特征提取的准确性。

### 3.1 风险识别模型构建与训练

在提取风险特征的基础之上,还需要构建风险识别模型。从实际情况来看,使用频率最高的模型有基于机器学习的模型和基于深度学习的模型。以基于机器学习的模型入手,此类模型即支持向量机(SVM)、决策树、随机森林、神经网络等,上述这些模型通过对历史风险数据和对应的风险标签进行训练,得以学习风险特征与风险事件之间的映射关系,从而能够实现对新数据的风险识别。而基于深度学习的模型具有强大的特征学习和拟合能力,更为适用于处理海量、复杂的核电运维数据。例如利用深度信念网络(DBN)、卷积神经网络(CNN)等模型进行风险识别,进而提高识别的精度和泛化能力。另外模型训练的过程中,需要合理地划分训练集、验证集和测试集,再采用交叉验证等方法优化模型参数,如此才能避免模型过拟合或欠拟合的情况出现<sup>[2]</sup>。同时还要不断地引入新的风险数据对模型进行更新和迭代,为模型的适应性和准确性提供保证。

### 3.2 风险量化与等级评估

在识别出潜在的风险之后的步骤是对风险进行量化和等级评估,以便更好地掌握风险的严重程度和影响范围。

### 3.3 风险量化指标体系构建

风险量化的基础为科学合理的风险量化指标体系,而该指标体系应涵盖风险发生的可能性、后果的严重程度等多个方面。对于具体的指标阐述如下:首先是风险发生概率,经由分析历史数据中类似风险事件发生的频率,再结合当前的运行状态和环境因素,估算出风险发生的可能性;其次是后果严重程度,即从人员伤亡、设备损坏、环境影响、经济损失等多个维度评估风险事件发生后造成的后果。例如设备损坏可量化为维修费用、停机时间等,环境影响可量化则为放射性物质泄漏量、污染范围等等;再者为风险暴露度,该指标需要综合地考虑到风险发生的概率和后果的严重程度,

能够反映出风险的整体水平。实际在构建指标体系时，一定要遵循科学性、系统性、可操作性等原则，务必确保指标能够准确地反映出风险的本质特征。

### 3.4 风险等级评估模型

基于构建的风险量化指标体系，即可建立风险等级评估模型。在现阶段，常用的模型包括了模糊综合评价法、层次分析法（AHP）与基于大数据的机器学习模型。以模糊综合评价法为切入点，由于核电运维风险具有一定的模糊性和不确定性，而模糊综合评价法通过引入模糊数学理论，能对风险指标进行模糊处理和综合评价，确定出风险的等级。层次分析法（AHP）则会将复杂的风险评估问题分解为多个层次，再通过两两比较确定各指标的权重，然后进行综合计算，就能得到风险等级。最后为基于大数据的机器学习模型，此方式主要利用了机器学习算法，对历史风险等级数据和对应的量化指标进行训练，以此构建起风险等级评估模型。

## 4 基于大数据的核电运维风险管控策略

### 4.1 实时风险监控与预警机制

基于大数据技术构建实时风险监控平台，便能将采集到的实时数据与预处理后的数据进行融合分析，再通过风险识别模型和风险等级评估模型，对于当前的运维风险进行实时地评估。同时，监控平台也会实时地展示各风险点的风险等级、变化趋势等信息，当风险等级超过了预设阈值时，就会自动地发出预警信号（如声光报警、短信通知、系统弹窗等），并且还会将预警信息推送至相关管理人员和运维人员。

实践当中，为了能够提高预警的准确性和及时性，还需要建立完善的预警阈值动态调整机制。即根据历史风险数据、设备运行状态变化、环境因素改变等情况，定期地对预警阈值进行优化和调整，以确保预警既不遗漏重要风险，又不过度预警。随后还要结合专家经验和实际运维情况，对于预警信息进行分级处理，其中不同等级的预警对应着不同的响应措施和处理流程，能够提高风险处置的效率<sup>[1]</sup>。

### 4.2 风险处置与优化策略

当收到了风险预警之后，便要及时地采取有效的风险

处置措施，以降低风险的等级，避免风险事件的发生。然后要基于大数据分析结果，制定出具备针对性的风险处置策略：设备故障风险要根据设备的运行数据、故障历史和维修记录，制定出最优的维修方案；人员操作风险则需要通过分析人员操作数据，识别出操作不规范的环节和人员，在对其开展针对性的培训和指导，确保其错误操作行为得到纠正；环境风险应当根据环境监测数据，及时地采取防护措施，如调整核电站的运行参数、加强周边环境的防护等等。

不仅如此，还需与利用大数据技术对风险处置的过程进行跟踪和分析，从而评估处置措施的有效性。接着根据处置的效果，再对风险处置策略进行优化和完善，使其形成闭环管理。举个例子，通过分析不同维修方案的实施效果，从中选择性价比最高的维修方案。

### 4.3 风险管控效果反馈与迭代

实际上，风险管控是一个持续改进的过程，该过程需要对风险管控效果进行及时地反馈和迭代优化。即通过大数据技术对核电运维风险管控的各项指标进行监测和分析，如风险事件发生率、预警准确率、风险处置及时率等等，以此为基础来评估风险管控策略的实施效果。但还要建立风险管控效果反馈机制，及时地将评估结果反馈给相关部门和人员，为后续风险管控策略的调整提供依据。

## 5 结语

尽管本文构建了基于大数据的风险识别模型和风险量化与等级评估体系，且提出了相应的风险管控策略。然而，实践当中基于大数据的核电运维风险评估与管控仍面临着一些挑战，如数据安全性与隐私保护、多源数据融合的难度、模型的可解释性等等。因此未来的研究可以进一步地探索数据安全技术和加强多源数据融合算法的研究以及提高模型的可解释性和鲁棒性。

### 参考文献

- [1] 贺腾飞.S核电公司网络安全风险管理研究[D].山东大学,2023.
- [2] 薛棋铭.基于设备健康状态的核电厂风险预测研究[D].哈尔滨工程大学,2023.
- [3] 春增军.核电企业信息安全管理与保障研究[D].武汉大学,2013.