

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)02-0092-05

# 基于因子分析的供电企业多层次安全风险辨识研究

张忠豪<sup>1</sup>, 廖彬强<sup>1</sup>, 施炳亮<sup>1</sup>, 何思名<sup>2</sup>, 徐敏<sup>2</sup>

(1. 广东电网有限责任公司东莞供电局, 广东 东莞 523000; 2. 南方电网科学研究院有限责任公司, 广东 广州 510663)

**摘要:**为探讨供电企业的安全风险识别与管理中存在的多层次、多方面因素。使用因子分析方法处理调查问卷获得的风险识别结果,从而内源性构造指标分类和整合。研究表明,技术风险主要源自设备故障、智能化失效和网络安全问题,而管理层面风险则体现在内部管理漏洞和员工培训不足等方面。外部环境因素,如自然灾害和政策变化,也为安全运行带来了新的挑战。此外,合规性风险随着电力行业的数字化转型而愈加突出。结果表明,风险的有效识别和管理对于提升供电企业的抗风险能力及保障电力供应的安全具有重要意义。

**关键词:**因子分析; 供电企业; 多层次风险; 风险识别; 风险预测

中图分类号: TP391.4; TP181

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)02-0092-05

## Research on multi-level security risk identification of power supply enterprises based on factor analysis

ZHANG Zhonghao<sup>1</sup>, LIAO Binqiang<sup>1</sup>, SHI Bingliang<sup>1</sup>, HE Siming<sup>2</sup>, XU Min<sup>2</sup>

(1. Dongguan Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Dongguan 523000, Guangdong, China;

2. Electric Power Research Institute, CSG, Guangzhou 510663, Guangdong, China)

**Abstract:** This paper aims to discuss the multi-level and multifaceted factors in the identification and management of safety risks in power supply enterprises. In this paper, factor analysis method is used to process the risk identification results obtained from questionnaires, so as to construct endogenous index classification and integration. Research shows that technical risks are mainly from equipment failures, intelligent failures and network security issues, while management risks are reflected in internal management loopholes and inadequate staff training. External environmental factors, such as natural disasters and policy changes, also pose new challenges for safe operation. In addition, compliance risks are becoming more prominent with the digital transformation of the power industry. This result shows that the effective identification and management of risks is of great significance for improving the anti-risk ability of power supply enterprises and ensuring the safety of power supply.

**Keywords:** factor analysis; power supply enterprises; multiple levels of risk; risk identification; risk prediction

供电企业在现代社会中扮演着至关重要的角色,随着电力需求的不断增长和电力市场的逐步开放,供电企业面临的安全风险也日益复杂,其安全风险的有效识别和管理不仅关乎企业自身的可持续发展,更直接影响到整个社会的电力供应安全。一定规模的先行研究已就这一课题展开相关讨论,涉及数量较多的国内外研究成果。米文博等通过智能化风险防控方法降低工业物联网电力合同的风险,提高合同管理效率<sup>[1]</sup>。林璐分析数字化转型背景下,电力企业数据合规与内控体系,提升企业运营合规性<sup>[2]</sup>。李金超等改进突变理论评估区域电网安全风险,优化风险防控策略,确保电网安全运行<sup>[3]</sup>。曹坤茂等基于风险分析,提出电力企业新业务安全管理模式,保障业务安全与合规性<sup>[4]</sup>。孙志春等构建失效模式的事故分析系统,预测

电力企业事故风险,提升事故防控能力<sup>[5]</sup>。李大虎等设计电网安全风险闭环管控体系,有效管理电网运行中的安全风险,提升管控效率<sup>[6]</sup>。吴峰等提出了一种面向供电企业风险的在线预防控制方法,满足大型城市电网供电需求,提高供电可靠性<sup>[7]</sup>。李菲菲等构建数据资产管理模型,并提出评估方法,提高供电企业的数据管理效率<sup>[8]</sup>。郭阳等基于大数据挖掘,构建电力企业评价体系,提升电力企业决策支持能力<sup>[9]</sup>。杨充等构建电力企业预算精益管控体系,提高资金使用效率,优化财务管理<sup>[10]</sup>。王阳等提出电力企业违章行为风险管控模式,测试结果验证其得以有效预防违章行为发生,保障生产安全<sup>[11]</sup>。王鑫等基于风险管控,研究电力企业保密管理,提高信息安全管理水平<sup>[12]</sup>。徐庆等提出三维风险函数分级方法,有效识别电

收稿日期:2024-09-20;录用日期:2024-11-22

基金项目:南方电网公司科技项目(031900KK52200024;GDKJXM20201971)

作者简介:张忠豪(1994—),男,硕士,工程师,主要从事安全监管、电力安全风险防控等工作。

引用本文:张忠豪,廖彬强,施炳亮,等. 基于因子分析的供电企业多层次安全风险辨识研究[J]. 自动化技术与应用, 2026,45(2):92-96. (ZHANG Zhonghao, LIAO Binqiang, SHI Bingliang, et al. Research on multi-level security risk identification of power supply enterprises based on factor analysis[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026,45(2):92-96).

力生产事故隐患,提升安全防控<sup>[13]</sup>。陈霆等开发电力企业内部审计风险可视化模型,提升审计效率,强化风险控制<sup>[14]</sup>。何立军等通过审计诊断提升电力企业经营管理水平,优化企业运营与决策过程<sup>[15]</sup>。马丽云等基于云重心理论构建模型,评价供电企业安全,从而针对性提出安全管理优化方法,提高风险防控能力<sup>[16]</sup>。Pecina等分析欧洲电力企业风险管理系统,提出改进措施,优化风险防控与应对机制<sup>[17]</sup>。Zhang等研究电力企业关键信息基础设施的网络安全风险管控,保障信息安全与业务连续性<sup>[18]</sup>。Dongxiao等基于生命周期成本管理评估电网企业资产管理风险,优化资产配置与管理效率<sup>[19]</sup>。Liu等运用模糊层次分析法评估清洁能源发电与储能企业的风险,优化能源管理模式<sup>[20]</sup>。因此,深入研究供电企业的安全风险识别与管理,对于提高企业的抗风险能力、保障电力系统的稳定运行具有重要意义,本文就此展开分析<sup>[21]</sup>。

## 1 供电企业安全风险识别

供电企业的安全管理一直是电力行业的核心课题之一,随着技术的不断进步与环境的复杂化,企业面临的安全风险呈现出多层次、多方面的特点。从物联网技术的应用、数字化转型,到电力市场的开放和政策监管的变化,供电企业的安全风险逐渐多样化且复杂化,本文基于此探讨多层次的安全风险辨识问题。

从实践角度考虑,技术风险是供电企业面临的显著风险之一,也是供电行业中具有一定技术壁垒的一类风险。设备故障、智能化失效、自动化控制失误和网络安全风险又构成其主要威胁。设备故障往往源于设备老化、维护不当及系统交互故障,导致大规模停电。工业物联网的普及虽然提高了智能设备的互联性,却在极端环境下可能导致设备失效,增加供电安全风险。自动化控制系统的误操作也可能导致电力系统的调度错误。同时,随着信息技术的应用,网络攻击、黑客入侵和信息泄露等网络安全问题也愈发严峻。

管理层面的风险主要涉及组织、人员和业务管理,内部管理漏洞会影响电力供应的可靠性。员工培训不足、安全规章执行不力、责任不明确及信息泄密等是主要问题。员工的安全意识不足将增加操作失误风险,因此需要构建系统化的事故分析与应对体系。此外,企业如果未能明确安全责任或存在管理真空,可能导致风险管控不力。新业务的开展也可能带来未识别的安全风险。

外部环境的复杂性同样对供电企业的安全运行产生影响,包括自然灾害、环境污染、政策变化及市场竞争等。自然灾害如台风和地震直接破坏供电设备,导致大规模停电;而环境污染则加速设备老化。政策的变化,特别是行业监管力度的变化,要求企业快速适应新环境,否则将面临风险。同时,市场竞争加剧可能导致安全管理方面的投入削减,增加风险。

随着电力行业的数字化转型,合规性风险日益突出,

包括数据合规、操作合规、管控合规和审计合规。企业在数据处理时需遵循相关法律法规,否则可能面临合规性风险。缺乏有效的闭环管控体系将导致风险失控,而审计失效则会使内部管理问题难以被及时发现。

综合此类风险辨析,供电企业面对的多层次安全风险涵盖了技术、管理、外部环境和政策等多个方面,且这些风险相互交织,影响企业的安全稳定运行。通过对18项主要风险的识别,供电企业可以采取针对性的风险防控措施,提高企业应对复杂环境下的安全管理能力,从而保障供电的连续性和可靠性,本文基于此进行了案例分析并进行问卷调查。

## 2 供电企业安全风险检测方法

### 2.1 数据收集

本文以某供电企业为研究案例,收集了该企业过去五年内的安全事故数据,涵盖事故类型、发生频率、直接经济损失、事故发生的环境条件以及人员参与等信息。这些历史数据为构建安全风险预测模型提供了基础。与此同时,本文基于前期识别出的18项安全风险因素,设计了一份调查问卷,并在企业内部发放与回收。问卷使用纸质问卷形式,以李克特等距五级量表衡量员工对各类安全风险的辨别能力,旨在了解员工对于不同风险特征的认知情况。通过对员工认知的调查,进一步探索各个特征对安全风险辨别的影响程度,为后续的风险检测模型提供更为全面的数据支持。

### 2.2 因子分析

为了对收集到的问卷数据进行合理处理,采用因子分析方法进行处理,其通常用于简化高维数据,适用于供电企业的多层级复杂风险辨识。因子分析旨在将多个相关的变量归纳为少数几个潜在的因子,此方法的基本思想是通过分析变量之间的相关性,将大量变量归纳为少数因子,使得这些因子能够解释原始数据中大部分的信息。使用主成分分析法进行因子分析,其通过计算变量间的相关性而构建相关矩阵,对其进行特征值分解以获得特征值,从而选择主成分并考虑其累计解释方差水平。对于解释能力较强的公因子,此类提炼形成的可以解释原始变量中的大部分信息,从而简化数据结构并减少模型的复杂性。而通过计算因子负荷矩阵,其得以定量衡量原始数据与提炼获得公因子之间的联系,形成对于因子解释能力的定量评价,并进一步利用因子旋转等方式提高可解释性。由此,通过因子分析所得到的结果,能够帮助识别出对风险辨别能力影响较大的关键特征,为后续的风险检测算法提供输入变量的优化选择。通过将相关性较高的因素合并,简化了数据结构,使得后续分析更加直观和有效。

### 2.3 风险检测算法

风险监测过程中,采用三种主要的机器学习算法:决策树(Decision Tree)、随机森林(Random Forest)和极端随机树(Extra Trees),这些算法能够有效捕捉各类风险特征

之间的复杂关系,并为风险评估提供科学的预测支持。

决策树是一种基于树形结构的分类和回归模型,它通过递归地将数据集划分为若干子集,从而构建出一棵分类或回归树。其核心依据是基尼系数(Gini Index)或信息增益(Information Gain),来选择最优的分裂特征。

对于基尼系数,其指标有

$$\text{gini}(D) = 1 - \sum_{i=1}^k (p_i)^2 \quad (1)$$

式中,  $\text{gini}(\ )$  是基尼不纯度,  $D$  是数据集,  $k$  是类别的数量,  $p_i$  是数据集中属于类别  $i$  的样本比例。

信息增益的指标构建有

$$\text{IG}(D,A) = H(D) - \sum_{v \in V(A)} \frac{|D_v|}{|D|} H(D_v) \quad (2)$$

式中,  $D_v$  为父节点的样本特征,  $A$  为所需处理的特征,  $\text{IG}(D,A)$  为给定特征的信息增益,用于衡量分裂后数据集的不确定性下降程度。  $H(D)$  表示其熵,  $D_v$  表示特征  $A$  的每一个子集,  $V$  是特征  $A$  取值的子集划分范围。

随机森林是由多个决策树组成的集成模型。通过对多个随机样本训练不同的决策树,随机森林能够减少单棵树的过拟合问题。其输出结果是所有树预测的平均值或投票结果整理这一模式有

$$f(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i(x) \quad (3)$$

式中,  $f(x)$  为总体随机森林的预测结果,  $f_i(x)$  表示每棵决策树的预测结果,  $i$  为其序号,  $N$  为决策树的总数。

由此,随机森林在决策树的基础上通过对样本和特征的随机选择,提高了模型的泛化能力。这一基础上,极端随机树是一种改进的随机森林算法,其与随机森林的主要区别在于分裂点的选择上,极端随机树通过随机生成分裂阈值,而不是在每个节点计算最优分裂点。极端随机树的公式与随机森林相似,但其决策过程具有更大的随机性,因此模型训练更为高效。其数学表达式为

$$f(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g_i(x) \quad (4)$$

式中,  $f(x)$  为整体极端随机树的预测结果,  $g_i(x)$  表示每棵极端随机树的预测结果,  $i$  为其序号,  $N$  为极端随机树的总数。

### 3 性能测试

#### 3.1 信度与效度检验

信度和效度是确保问卷调查和数据分析可信度的重要指标。信度反映了测量工具在不同条件下的一致性,而效度则评估了测量工具是否能够准确测量其意图测量的内容。在本研究中,通过对收集到的问卷进行数据分析,本文对信度和效度进行了深入检验。

信度的检验结果(Cronbach  $\alpha$ ) 为 0.973,进一步验证了问卷的稳定性和一致性。如此高的信度表明,在多次重复测量中,该问卷能保持极高的结果一致性,员工对安全风险的辨别评价相对稳定,不因时间或其他外部因素的变

化而产生显著波动。信效度检验的结果为后续的因子分析和风险检测提供了有力的基础,使得后续的分析更加具有科学性和可操作性。效度的检验结果(KMO 值)达到了 0.942,说明问卷中的各项题目和变量能够较为准确地反映供电企业员工对安全风险的认知及辨别能力,具有较高的有效性。效度的高水平表明问卷设计合理,能有效捕捉员工对不同风险的认识差异。

#### 3.2 因子分析

本文通过因子分析将 18 项风险因素中的相关性较高的因素合并,整理提炼形成公因子。这一概念也依赖于上述理论框架,即大多数风险都来自有限层次结构下的风险分布,因此其评估结果必然有一定聚集性倾向,而这一趋势又依赖于未能被有效观测分析的隐变量。由此进行原始数据基础上的因子分析,考查风险特征分布趋势,从中得出更具代表性的公因子,并为后续的风险检测算法提供输入变量的优化选择。这一对样本数据进行因子分析的结果如图 1 所示。

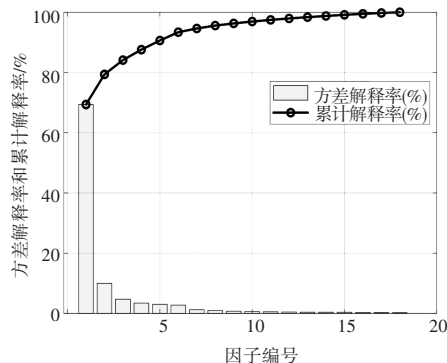


图 1 方差解释率

Fig. 1 Variance explanation rate

因子分析中处理了 18 个安全风险原始特征,并发现前两个主要因子具有良好的预测能力,尤其是第一个因子,能够解释大约 70% 的方差。前两个因子的累计解释率超过 80%,这意味着它们可以解释大部分风险变量之间的关系,从而有效简化了变量结构。通过这一分析过程,风险特征得以降维为少量因子,本文后续分析也主要使用两个主要公因子进行风险预测,而降低了广泛收集多样化数据来源的相关成本。

整理因子载荷系数和公因子方差如图 2 所示。

对因子载荷系数和公因子方差的分析结果显示,所有 18 个风险因子都能够被纳入模型。并形成两个主要的公因子,揭示出企业在面对不同类型风险时的共同特征。通过因子载荷系数的线性关系构造,其结果能够反映出两个公因子与不同特征相联系,两者较为均匀地影响了不同原始特征,而反映出良好的解释能力,无指标同时与两类公因子联系密切,提示公因子间趋势的差异性,但少量指标与两个公因子的关联都不显著。

本文还生成了各个变量顺序罗列的热图,进一步展示了 18 个风险因子之间的密切内在联系,其结果如图 3 所示。

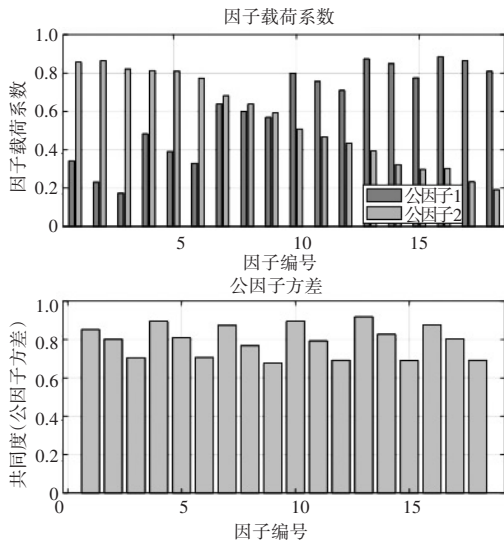


图 2 因子载荷系数与方差

Fig. 2 Factor loading coefficients and variance

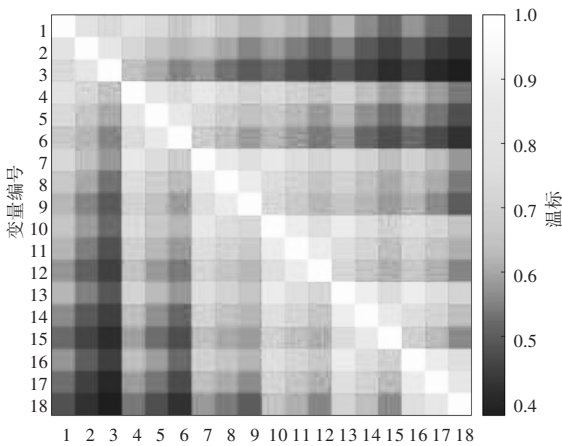


图 3 变量热图

Fig. 3 Variable heatmap

变量热图 (Heatmap) 进一步反映出这些风险因子之间的密切内在联系,表明某些风险因素在供电企业内具有较高的相关性,其形成内部密切联系的小规模聚集趋势,与本文收集整理 18 项原始特征时的分组大体相符合,这支持了相关分析结果,也为后续的风险监测和预测提供了数据支持。通过这些高相关性变量的聚集趋势,本文揭示了企业内部的风险结构,表明某些风险因素之间形成了密切的联系。这种联系可能是由于企业长期忽视某些关键问题,或者这些风险在实际操作中具有相似的触发条件。相关性高的风险因素在实际工作中可能会同时出现,因此在制定风险预防措施时,企业应针对这些高度相关的风险采取综合性的对策。例如,在设备老化和操作失误相关性较高的情况下,企业应加强对老化设备的检查和维护,并且提高对操作人员的规范化培训,以减少相关安全事故的发生。

### 3.3 预测准确性

基于决策树、随机森林和极端随机树三种机器学习算法,对供电企业的安全风险进行预测分析。该分析主要依

赖于前述公因子的构建与变量的解释能力,尤其是对公因子 1 和公因子 2 的深入探讨。这两类公因子的分析不仅揭示了企业在面对安全风险时的内在结构,还为风险管理提供了数据支持。

使用公因子 1 的数据预测风险,其结果如图 4 所示。

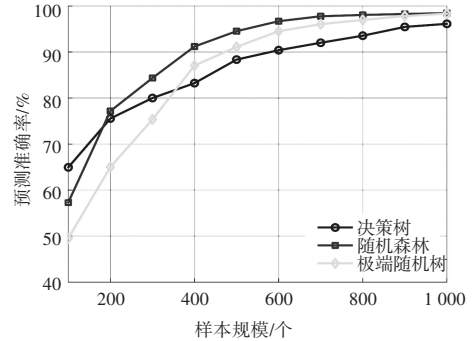


图 4 公因子 1 的风险预测结果

Fig. 4 Risk Prediction results based on common factor 1

该因子有效支持了对风险的总体预测,在小样本量的情况下,极端随机树的预测准确性相对不佳,决策树的表现则能够达到约 65% 的预测准确性。尽管如此,随着样本量的增加,这一现象显著改善。当样本量超过 200 时,随机森林的预测性能迅速提升,超越了决策树的表现。尤其在样本规模达到 400 时,极端随机树的准确性也显著提高,逐渐超越决策树。此时,随机森林的预测准确率更是突破了 90%。

随着样本量的进一步扩大,预测准确性持续上升,样本规模达到 1 000 次时,预测准确性已经达到了 96% 至 98% 之间。这表明,大规模数据集的引入不仅提升了模型的性能,还提高了预测的可信度和有效性。这种现象说明,充足的数据量为算法提供了更多的信息和变异性,进而改善了模型的学习能力和预测精度。

仅考虑公因子 2 数据,进行风险预测的结果如图 5 所示。

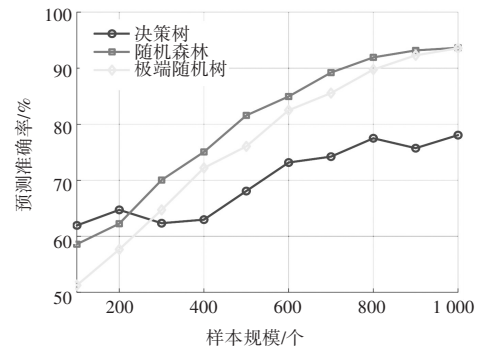


图 5 公因子 2 的风险预测结果

Fig. 5 Risk prediction results based on common factor 2

相较于公因子 1,对于解释能力较弱的公因子 2,模型的预测能力显著下降。在较小样本量的情况下,这一因子的表现不佳。然而,当样本规模上升至 1 000 时,随机森林和极端随机树的预测准确性能够达到约 94%。这仍然显著高于决策树的预测准确率,其准确性不足 80%。这反映出,即使是在较弱的解释能力下,借助于高质量的训

练数据,模型仍能够在一定程度上提供有效的预测。

这种预测能力的差异暗示了在风险预测过程中,选择合适的算法对于提高模型的准确性至关重要。在公因子2的情况下,尽管其解释能力较弱,但在数据量足够大的情况下,复杂的模型如随机森林和极端随机树能够通过多样的特征组合依然实现较高的预测准确率。

对全部特征纳入后的数据进行整理,用于风险预测的结果如图6所示。

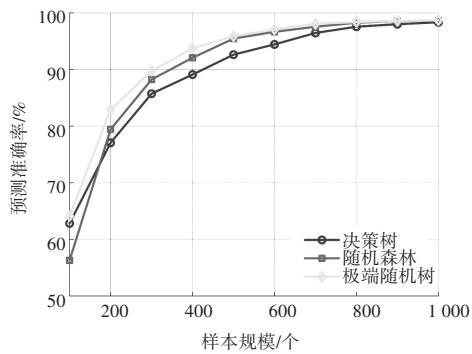


图6 总样本的风险预测结果

Fig. 6 Overall risk prediction results based on total samples

将两类因子的预测结果进行综合分析,发现模型的预测有效性与公因子1的基础上预测结果相似,这表明公因子1在风险预测中具备显著的解释能力。公因子1所涵盖的变量与企业日常运营、设备管理等直接相关,因而其预测结果对企业的安全管理具有重要的指导意义。

## 4 结论

本文通过多层级的风险分析和实证研究,揭示了影响供电企业安全运行的多种风险因素,并提出了针对性的管理策略。为确保电力供应的安全与稳定,企业必须密切关注安全风险的动态变化,并结合新技术持续优化其管理措施。

## 参考文献

[1] 米文博,王宏宇,吴军英. 工业物联网条件下的电力合同智能化风险防控[J]. 山西财经大学学报, 2023, 45(S2):213-215.  
[2] 林璐. 数字化转型背景下电力企业数据合规营销内控体系研究[J]. 价格理论与实践, 2023(1):194-198.

[3] 李金超,曾梦琦,高伟. 基于改进突变理论的区域电网安全风险评价[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(29):13135-13140.  
[4] 曹坤茂,高娜,王理金,等. 基于风险分析的电力企业新业务新业态安全管理模式研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2022, 18(1):201-206.  
[5] 孙志春,宫广正,张艳亮,等. 基于失效模式的电力企业事故分析系统构建[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(S1):1-7.  
[6] 李大虎,袁志军,黄文涛,等. 电网安全风险闭环管控体系构建方法设计[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(22):161-170.  
[7] 吴峰,鲍颜红,周华,等. 满足大型城市电网供电需求的在线预防控制方法[J]. 中国电力, 2021, 54(1):159-166.  
[8] 李菲菲,关杨,王胜文,等. 信息生态视角下供电企业数据资产管理模型及价值评估方法研究[J]. 情报科学, 2019, 37(10):46-52.  
[9] 郭阳,孔文佳,冯和宁,等. 大数据挖掘用于电力企业评价体系构建[J]. 数学的实践与认识, 2019, 49(8):117-123.  
[10] 杨充,张庆亮. 电力企业预算精益管控体系的构建[J]. 财务与会计, 2018, (22):41-43.  
[11] 王阳,罗云,裴晶晶,等. 电力企业违章行为的风险管控模式研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2018, 14(4):173-180.  
[12] 王鑫,林勇. 供电企业基于风险管控的保密管理[J]. 企业管理, 2017, (S2):338-339.  
[13] 徐庆,李彤,宋宇辉,等. 基于三维风险函数的电力生产事故隐患分级方法研究[J]. 工业安全与环保, 2017, 43(4):36-39,47.  
[14] 陈霆,刘剑,焦朋朋. 外部监管下电力企业内部审计风险可视化模型的研究[J]. 电网与清洁能源, 2017, 33(3):91-96.  
[15] 何立军,文科. 新常态下审计诊断提升电力企业经营管理水平的导向性作用及其实现路径[J]. 企业管理, 2016, (S1):240-241.  
[16] 马丽云,施泉生. 基于云重心理论的供电企业安全评价方法[J]. 华东电力, 2011, 39(8):1370-1373.  
[17] PECINA E, MILOŠPRČIĆ D, DVORSKI LACKOVIĆ I. Qualitative analysis of enterprise risk management systems in the largest European electric power companies[J]. Energies, 2022, 15(15):5328.  
[18] ZHANG G, XU Y, HOU Y, et al. Cyber-security risk management and control of electric power enterprise key information infrastructure [C]//ICETIS 2022; 7<sup>th</sup> International Conference on Electronic Technology and Information Science. VDE, 2022:1-6.  
[19] DONGXIAO N, BIN M. Research on risk assessment of powergrid enterprise asset management based on the life cycle cost management theory[J]. International Journal of Accounting, Finance and Risk Management, 2019, 3(4):13-41.  
[20] LIU J, YIN Y, YAN S. Research on clean energy power generation-energy storage-energy using virtual enterprise risk assessment based on fuzzy analytic hierarchy process in China [J]. Journal of Cleaner Production, 2019(236):117471.  
[21] 胡朝辉,陈善锋,杨逸岳. 电力工控网络 Oday 漏洞风险自动识别技术[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(1):97-100.