

电力企业安全风险控制能力评价模型构建与应用

周林¹,徐昌前¹,李富祥²,邓元实²,刘涛²,杨琳²

(1.国网四川省电力公司,四川成都 610041; 2.国网四川省电力公司
电力科学研究院,四川成都 610041)

摘要:电力企业的安全管理是一项极端复杂的系统工程,人身、设备、电网和信息安全等多方面因素都决定着电力企业安全稳定运行。各电力企业相继开展了安全风险管控工作,但主要针对单一风险进行识别、评估与控制,无法评价电力企业面临的综合安全风险。为此,提出以安全风险控制能力为聚焦点,采用模糊结果集方法构建电力企业综合安全风险管控评价模型,全面反映出电力企业在人身、电网、设备、信息等各方面安全风险综合控制能力,清晰指出了电力企业安全管理薄弱点。控制能力评价模型可为电力企业综合安全风险防控管理提供参考。

关键词:安全风险;控制能力;量化排序

中图分类号:TM 08 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-6954(2023)05-0081-05

DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20230513

Construction and Application of Assessment Model for Safety Risk Control Capability of Electric Power Enterprises

ZHOU Lin¹, XU Changqian¹, LI Fuxiang², DENG Yuanshi², LIU Tao², YANG Lin²

(1. State Grid Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610041, Sichuan, China;
2. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: The security management of electric power enterprises is an extremely complex system engineering, and many factors such as personal, equipment, power grid and information security all determine the safe and stable operation of electric power enterprises. All electric power enterprises have carried out safety risk management and control work, but, they just identify, evaluate and control the single risk, the combine safety risk can not be evaluated. Therefore, focusing on "control capability", a "inherent+control" and "whole process multi-objective" dynamic assessment model of safety risk is proposed, which accurately reflect the comprehensive control capability of electric power enterprises in terms of personal, power grid, equipment, information and other aspects of safety risk. It can provide a reference for safety risk prevention and control management of electric power enterprises.

Key words: safety risk; control capability; quantitative priorities

0 引言

安全管理的实质是风险管理。为科学合理评估各类行业面临的风险,安全风险专家已相继提出了基于层次分析、逻辑关系理论和概率统计理论的安全风险控制评价方法^[1-2],相关研究应用成果已在国家社会安全、公共信息安全、食品卫生安全、

石油气田安全、铁路安全、核电发电机组安全、危险化学品储存安全等领域进行了广泛应用。

2003年美加大停电、2012年印度大面积停电等事故充分说明,电网安全是确保国家安全的支点,事关国计民生和社会稳定大局,是电力企业必须牢牢守住的生命线。自然环境、人身安全、电网运行、设备安全、网络安全等各类复杂运行条件导致电力企业面对的不安全风险显著提升。现有电力企业风险

管控主要以风险清单和定性分析为主要方法,针对某一项风险点进行风险单链条、单业务识别。评估结果虽然可以反映单项风险评估和控制成效,但无法定量表征电力企业综合安全风险水平且不能对风险控制能力进行综合评价。

下面以电力企业综合安全风险“控制能力”为聚焦点,采用模糊结果集构建了电力企业风险指标体系和管控评价模型,实现了电力企业安全风险水平及风险控制能力量化表征。该评价模型清晰指出了电力企业安全风险薄弱环节及其控制能力,通过及时加强薄弱指标管控,补齐短板,可显著提升电力企业安全风险防范能力,避免不安全事故发生。

1 安全风险控制能力评价模型

1.1 评价思路

常用的风险控制评价方法有德尔菲法、风险矩阵法、Borda 排序法,上述方法通常是基于对失效事件发生的概率和后果严重程度的二维影响因子来确定。电力安全是国家安全的重要组成,任何一起安全事件都有可能产生连锁反应,影响经济社会发展大局。因此,电力企业安全风险控制不仅需要考量风险影响的大小和风险出现的可能性,还需依据风险类型和特征的差异识别其他主观需求下的管理因子,如图 1 所示。基于《国家电网有限公司安全事故调查规程》,构建的安全风险管控综合控制能力体系将安全生产事故分为人身、电网、设备和信息系统 4 类,重点考察这 4 类风险管控力度,同时聚焦长期以来反复出现、反复治理的重大风险,对频繁发生、后果严重的违章、电网设备事件(故)、网络安全事件加强评价力度。

1.2 评价指标

以量化电力企业安全风险控制能力为目的,构建了人身、电网、设备、信息 4 个方面的安全风险指标。指标计算内容及计算方法参照现有统计方法,指标的来源多采用信息系统采集数据,以减少人为主观因素的影响,实现客观公正的评价。

电力企业安全风险主要来源于受自然环境影响、管理权限制约但无法采取措施,或采取了措施但有效性极差的风险,将这类风险称为固有风险。固有风险指标共包含了 3 个指标类型、5 项一级指标和

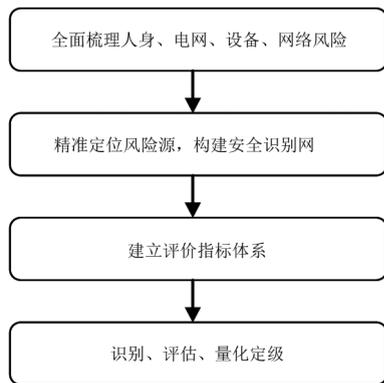


图 1 风险控制能力评价思路

12 项二级指标。对应的,将该固有风险的控制能力称为风险控制状态,设立控制状态风险指标,共包含了 3 个指标类型、9 项一级指标和 11 项二级指标。

1.2.1 固有风险指标体系

固有风险量化指标主要包括人身类、电网设备类和网络信息类,如表 1 所示。

人身类固有风险指标包含了电力企业电网运维建设风险、外部环境风险两类一级指标。电网运维建设风险反映了人员工作面临的风险强度指标;外部环境风险指标包含了车辆平均服役年限、道路交通行使风险等两类能反映人员出行面临的交通风险强度指标。

电网设备类固有风险指标包含了设备因素、环境因素两类一级指标。设备因素表征了电网设备隐患、故障出现率及其对电网运行的风险;环境因素表征了电力企业地理环境条件对电网安全运行带来的风险。

网络信息类指标包含了调度数据网外部接入数量等一类一级指标,主要表征了生产控制大区等网络边界扩大后的数据网络安全。

1.2.2 控制状态风险

控制状态风险量化指标对应固有风险分为 3 类。第一类是人身类指标,该指标依据海因里希事故概率法则构建了作业风险管控等人身安全风险因素;第二类是电网设备类和网络信息类指标,主要从电网运行风险、设备非正常运行率、停电户数、设备故障系数等方面,通过调度自动化、用电采集系统等直接获取数据,对主配电网设备非正常运行率、停电时户数、故障停运率等指标进行采集及评价,建立风险控制状态指标评价体系;第三类是网络信息指标,如表 2 所示。

表 1 固有风险量化指标

| 一级指标 | 二级指标 | 三级指标 |
|-------|------------|--|
| 人身类 | 电网运维建设风险 | 人均设备资产维护量、人均供电用户量、人均工程建设量 |
| | 外部环境风险 | 车辆平均服役年限、道路交通事故风险 |
| 电网设备类 | 设备因素 | 110 kV 以上主变压器、断路器、GIS 运行年限,110 kV 以上变电站二次设备运行年限、电缆线路运维风险 |
| | 环境因素 | 雷电强度、冰雪强度、山火强度、地质灾害隐患数量 |
| 网络信息类 | 调度数据外部接入数量 | — |

表 2 控制状态风险量化指标

| 一级指标 | 二级指标 | 三级指标 |
|-------|--------------|--|
| 人身类 | 违章管控 | 违章率、车辆违章扣分 |
| | 作业风险管控 | 风控平台视频终端使用率、作业风险管控成效 |
| | 消防风险管控 | 消防设备设施缺陷率 |
| 电网设备类 | 主网因素 | 110 kV 以上设备非正常运行率、110 kV 以上设备告警频次、110 kV 以上变电站失去远方监视数量、电运行风险管控成效 |
| | 配电网因素 | 配电网故障停运率 |
| | 营销因素 | 停电时户数 |
| | 电力监控系统风险控制率 | — |
| 网络信息类 | 信息安全风险控制率 | — |
| | 电力通信系统设备故障系数 | — |

$$\alpha = \begin{cases} 1, x < a \\ \frac{b-x}{b-a}, a \leq x \leq b \\ 0, x > b \end{cases} \quad (1)$$

式中: α 为隶属函数为阶梯型的量化指标计算值; a 、 b 分别为指标基础数据阈值。

2)二次抛物型隶属函数

提取作业风险管控、消防管控、违章管控、电网运行风险管控成效、输电线路防雷成效、电力设施森林草原防火工作成效等指标,该类指标满足二次抛物型隶属函数分布特征,运用偏小型计算指标量化值,如式(2)所示。

$$\alpha = \begin{cases} 1, x < a \\ \left(\frac{b-x}{b-a}\right)^2, a \leq x \leq b \\ 0, x > b \end{cases} \quad (2)$$

3)矩阵型隶属函数

提取电力监控系统风险控制率、信息安全风险控制率和电力通信系统设备故障系数指标,该类指标满足矩阵型隶属函数分布特征,运用偏小型计算指标量化值,如式(3)所示。

$$\alpha = \begin{cases} 1, x \leq a \\ 0, x > b \end{cases} \quad (3)$$

对隶属函数进行模糊变化,得到模糊评判矩阵中针对某一指标的模糊集合。以 110 kV 以上主变压器、断路器、GIS 运行年限指标为例,特定电力企业主设备运行年限指标可变更为 $R_k = [r_{11}r_{12}r_{13}r_{14}\cdots r_{1k}]$,其中 k 为主设备种类数。最终可得三级电力企业主设备运行年限模糊矩阵 \tilde{R} 。

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11}r_{12}r_{13}r_{14}\cdots r_{1k} \\ r_{21}r_{22}r_{23}r_{24}\cdots r_{2k} \\ r_{31}r_{32}r_{33}r_{34}\cdots r_{3k} \end{bmatrix} \quad (4)$$

1.3.2 指标权重

指标权重体现了各评价指标对最终综合评价指标的贡献程度。这里采用模糊综合评价法,分别计算了固有风险和控制状态风险中人身、电网、网络信息三大类指标权重。

建立确定模糊权重向量 $\tilde{\delta}, \tilde{\delta} = (\delta_1, \delta_2, \delta_3)$ 。其中 $\delta_i \geq 0$,且 $\sum_{i=1}^3 \delta_i = 1$ 。人身风险管控直接反映了不同基础条件下的电力企业安全风险管控成效。供电稳定性作为电力企业面临的最根本任务,比概率统计

1.3 评价模型

1.3.1 指标模糊关系矩阵

模糊数学的基本思想是隶属度的思想,根据各类指标社会属性,结合已经获取的各电力企业指标数据结构,应用模糊数学的方法建立了符合实际的指标隶属函数。

1)阶梯型隶属函数

提取电力企业 110 kV 以上主变压器、断路器、GIS、二次设备运行年限以及电缆线路运维风险等指标,该类指标主要表征了电网设备隐患、故障出现率等电网运行风险、冰雪强度、山火强度、地址灾害隐患点数据分布,满足阶梯型隶属函数分布特征,运用偏小型计算指标量化值,如式(1)所示。

中的状态概率更接近对故障风险的实际描述。网络信息安全表征了各电力企业数字化转型遇到的实际风险。依据专家评议法,结合电力企业监督管理专家数据评议意见统计分析,可得 3 种指标权重分别为 0.5、0.4 与 0.1。

1.3.3 模糊结果集

按照上面确定的模糊关系矩阵和指标权重,将权重向量与模糊关系矩阵通过施加合成算子可得到固有风险指标和控制状态风险指标的模糊结果集。

$$\tilde{B} = \tilde{\delta} \times \tilde{R} = [0.5, 0.4, 0.1] \cdot \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{bmatrix} = [b_1, b_2, b_3] \quad (5)$$

模糊结果集体现了电力企业电网运行风险对各等级模糊子集的隶属度,以向量形式方法评价分析电力企业固有安全风险高低和风险控制状态成效。为进一步明确各电力企业综合安全风险控制能力评价,还需对固有风险和控制状态风险模糊结果集进一步处理。

设 F_{Ri} 为综合体系模糊系统风险控制指标,有

$$F_{Ri} = \tilde{B}_{固有} - \tilde{B}_{控制} \quad (6)$$

由式(6)可知 F_{Ri} 为电力企业安全风险控制能力评价结果的定值结果,可用于量化评估各电力企业风险控制情况。当 F_{Ri} 数值越大时,表明电力企业安全风险控制能力较强;相反,则表明电力企业安全风险控制能力较弱。

1.4 评价修正

针对固有风险高和控制状态风险低的“两端企业”, F_{Ri} 评价结果尚不能完全真实反映电力企业对风险控制的努力程度和风险控制成效。为切实打破基础条件好即风险控制能力好的传统风险控制评价思想禁锢,对控制状态排序量化结果进行补偿。

采用四象限修正法则,将电力企业 F_{Ri} 安全风险控制分布分为 4 类,如图 2 所示。

F_{Ri} 指标排序位于第一象限的企业,固有风险指标值大,控制状态风险值大,说明该类企业面临的安全风险大,风险控制能力差。

F_{Ri} 指标排序位于第二象限的企业,固有风险指标值大,控制状态风险值小,说明该类企业面临的安全风险大,风险控制能力好。

F_{Ri} 指标排序位于第三象限的企业,固有风险指

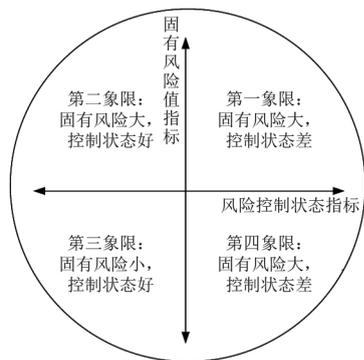
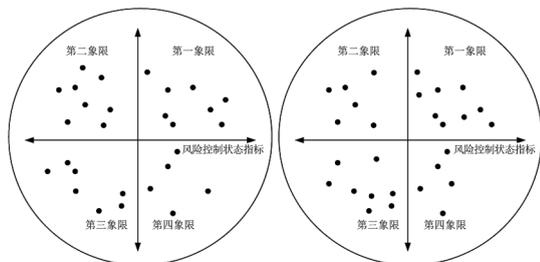


图 2 四象限修正法则

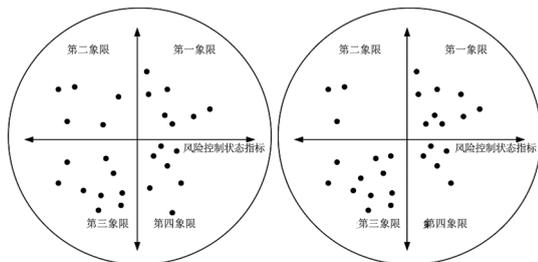
标值小,控制状态风险值小,说明该类企业面临的安全风险小,风险控制能力好。

F_{Ri} 指标排序位于第四象限的企业,固有风险指标值小,控制状态风险值大,说明该类企业面临的安全风险小,风险控制能力差。

可以看出,位于第一、第三象限的“两端企业”安全风险控制能力评价结果较为极端,不符合实际评价规律。由于固有风险指标 $\tilde{B}_{固有}$ 是电力企业面临的客观风险,无法改变,因此需对 $\tilde{B}_{控制}$ 进行线性插值修正,对“两端企业”的 F_{Ri} 值进行线性插值处理。对 $\tilde{B}_{控制}$ 分别为 $[-4, 4]$ 、 $[-3, 3]$ 、 $[-2, 2]$ 和 $[-1, 1]$ 的受控状态排序补偿,结果如图 3 所示。



(a) $[-4, 4]$ 修正后风控排序分布 (b) $[-3, 3]$ 修正后风控排序分布



(c) $[-2, 2]$ 修正后风控排序分布 (d) $[-1, 1]$ 修正后风控排序分布

图 3 综合安全风险量化排序分布

从图 3 得知,对各电力企业的固有风险和控制状态风险指标值分布象限按名次进行分组,对“两端企业” $\tilde{B}_{控制}$ 给予 $[-3, 3]$ 的受控状态排序补偿时,

满足隶属函数要求,能够体现电力企业安全风险控制能力真实性与公平性。

2 应用成效

安全风险控制能力评价结果向电力企业安全决策者提供了风险控制状态的量化结果反馈。该评价体系自 2021 年在某省级电力企业全面运行以来,所辖地市级电力企业近 2 年设备平均事故率下降 38.8%,人身不安全事件发生率平均下降 67.4%,网络不安全事件发生率平均下降 29.5%,地市级电力企业本质安全水平得以有效提升。

同时,辅以“对在连续两个评价周期内均排序最后一名电力企业实施警示约谈”等安全管理手段,促使了安全基础条件好的电力企业不能高枕无忧而条件薄弱的电力企业不再安于现状。各电力企业通过风险控制措施,最终实现安全风险全面在控、可控、能控。

3 结 论

针对电力企业面临的安全风险,以风险控制能力为聚焦点,构建了基于隶属函数和模糊结果集的综合安全风险控制能力模型并开展了评价应用,得到以下结论:

- 1) 建立的固有风险和控制状态风险指标体系综合全面地涵盖了电力企业在人身、电网、设备、信息等方面的安全风险水平;
- 2) 固有风险和控制状态风险指标体系数据均采自各专业数字化信息系统,排除了人工指标干预,确保了电力企业风险基础数据的真实性和客观性;
- 3) 安全风险控制能力评价指出了电力企业单个风险指标控制薄弱环节,激发了各电力企业安全

管控内生动力,扭转了以结果为导向的风险控制目标,降低了不安全事件发生概率。

参考文献

- [1] 安昊,谢萍,李成儒,等. 国家社会安全风险量化等级评估模型构建研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2019(15):35-39.
- [2] 赖显光. 直流通道检修的安全风险量化评价指标与算法研究[D]. 广州:华南理工大学,2014.
- [3] 陈钊,夏天,贺洲,等. 电力生产作业人身安全风险量化评价体系建设[J]. 电力设备管理,2022(43):35-37.
- [4] 叶刚进. 供电企业安全风险辨识与管控体系研究[D]. 北京:华北电力大学,2014.
- [5] 何艳丽. 对电力安全实行风险管理的探讨[J]. 电力安全技术,2013(1):48-49.
- [6] 贾树杰. 加强检修作业现场安全管理[J]. 电力安全技术,2008(3):58-59.
- [7] 鲍晓慧,侯慧. 电力系统可靠性评估述评[J]. 武汉大学学报(工学版),2008,41(4):96-101.
- [8] 谭忠富,李晓军,王成文,等. 电力企业风险管理理论与方法[M]. 北京:中国电力出版社,2006.
- [9] 文家朝,杨鸿章. 基于数值模拟的网络安全风险量化参数优化分析[J]. 科学技术与工程,2019(7):183-188.

作者简介:

- 周 林(1966),男,正高级工程师,主要从事安全生产管理工作;
- 徐昌前(1978),男,高级工程师,主要从事电网运维检修工作;
- 李富祥(1973),男,教授级高级工程师,主要从事安全生产管理工作;
- 邓元实(1985),男,高级工程师,主要从事安全监察管理工作;
- 刘 涛(1986),女,高级工程师,主要从事电网环保检测工作;
- 杨 琳(1982),男,正高级工程师,主要从事安全生产管理工作。

(收稿日期:2023-06-09)

欢迎投稿

欢迎订阅