

基于大数据的电梯安全风险监测与识别方法研究*

林创鲁 李刚

(广州特种机电设备检测研究院, 广东 广州 510180)

摘要: 为提升电梯安全监管的科学性和针对性, 提出一种基于大数据的电梯安全风险监测与识别方法。依托电梯智慧监管平台, 选取、分析电梯物联网监测、维护保养、检验检测、应急处置和用户投诉等相关事件及监测时间段内电梯特征事件数据; 结合事件发生可能性与后果严重程度, 建立基于大数据的电梯安全风险监测模型; 获取所有被监测电梯的整体风险分布, 采用标准分法将其风险值标准化处理, 依据风险阈值, 形成风险告警机制, 动态识别高风险电梯。该方法实现了基于大数据分析的电梯安全风险动态评价及高风险电梯的实时预警, 为监管部门开展基于风险的电梯重点监管提供新的手段, 提高电梯安全监管的效率和精准度。

关键词: 大数据; 电梯; 风险监测; 风险识别; 精准监管

中图分类号: X943.TU857

文献标识码: A

文章编号: 1674-2605(2021)04-0003-04

DOI: 10.3969/j.issn.1674-2605.2021.04.003

0 引言

随着我国经济建设的迅猛发展, 人民物质文化生活水平的迅速提高, 电梯已经成为人们工作和生活中必不可少的交通工具^[1]。截止至 2020 年底, 我国电梯保有量已超过 780 万台, 占世界电梯保有量的 40%^[2]。目前, 电梯安全监管模式主要采用电梯检验检测及监督检查等, 都是对电梯当前状态的评判, 无法掌握电梯实时运行情况^[3-4]。随着人们对电梯安全要求的不断提高, 公众对电梯偶发事故愈加敏感, 使得传统的电梯安全监管模式面临的压力越来越大。为适应电梯保有量的快速增长, 运用物联网、大数据、云计算、人工智能等技术对电梯风险进行监测、智能化分析、演算、预测和管理是发展趋势^[5]。为此, 如何运用电梯物联网、大数据来提升电梯的风险监测和识别能力, 是提升电梯安全治理能力的重点。

目前, 电梯安全风险监测与识别的相关研究主要涉及电梯制造、安装、改造、检验检测、电梯部件及系统状态等指标, 通过模糊数学、层次分析、数据挖掘等对数据进行处理, 获取定性、定量的电梯风险值。陈国华等在统计分析大样本检验数据库的基础上, 构建以电梯制造、安装使用和检验因素为指标的管理指标体系, 建立电梯整机检验风险预评估模型, 研究电

梯整机检验风险等级划分准则^[6]; 杜自豪等提出一种运用组合赋权法和可变模糊集的电梯安全评价方法, 用于修正电梯安全状况^[7]; 陈志平等提取电梯检验数据中的电梯轿厢振动特征参数值, 通过数据挖掘与分析, 研究电梯机械系统故障与电梯运行时轿厢振动监测信号之间的内在关系^[8]; 潘鹏等为解决数据不均衡现状和差异性, 整合原始数据、引入惩罚因子、交叉验证、高阶拟线性等方法, 提出基于 logistic 回归方法的电梯健康评估方法^[9]; 黄德文等为提高传统电梯安全评估方法的计算效率, 利用层次分析法 AHP 和专家经验, 建立基于 AHP-YAAHP 的电梯安全风险评估模型^[10]。以上研究均能实现单台电梯的风险评价, 但无法实现大规模的电梯安全风险实时监测和动态风险评估, 也未能有效识别电梯的相对安全风险状况。随着电梯智慧监管平台建设及应用的推进, 综合运用电梯运行相关大数据监测与识别电梯运行风险显得十分紧迫。为此, 本文提出一种基于大数据分析的电梯安全风险监测与识别方法, 以期更高效、更精准的电梯安全监管提供技术支持。

1 电梯安全风险监测大数据来源

从电梯智慧监管平台提取电梯物联网监测、维护保养、检验检测、应急处置和用户投诉等 5 个环节的

12 * 基金项目: 广东省市场监督管理局科技项目(2020CT08); 广州市市场监督管理局科技项目(2020kj26)。

特征事件数据作为电梯安全风险监测大数据来源。其中, 电梯物联网监测特征事件数据包含电梯困人、电梯供电故障、安全回路断开、开门故障、关门故障、内呼指令异常、速度控制故障、门锁短接和无法再次启动等; 维护保养特征事件数据为维保电梯的具体情况, 包含维保及时率、电梯维保故障记录等; 检验检测特征事件数据为电梯法定检验检测相关的检测项; 应急处置特征事件数据包含困人率、应急救援到达现场及时率、现场应急救援处置时长、应急事件原因等; 用户投诉特征事件数据包含电梯异常运行投诉、电梯故障投诉、用户满意度评价数据等。

2 基于大数据的电梯特征事件发生概率

根据周期为 T 的时间段内电梯特征事件数据和统计数据, 计算电梯各环节事件统计概率 P_{ki} 、环节 i 中各特征事件的统计概率 P_{kij} 、所有监测电梯各环节事件平均发生概率 P_{vi} 、环节 i 中各特征事件的平均发生概率 P_{vij} 。

$$P_{ki} = \frac{S_{ki}}{N_k}$$

式中, N_k 为第 k 台电梯的总运行次数; S_{ki} 为第 k 台电梯 i 环节总特征事件数据。

$$P_{kij} = \frac{S_{kij}}{N_k}$$

式中, S_{kij} 为第 k 台电梯 i 环节 j 特征事件数据。

$$P_{vi} = \frac{\sum_{k=1}^n S_{ki}}{\sum_{k=1}^n N_k}, \quad P_{vij} = \frac{\sum_{k=1}^n S_{kij}}{\sum_{k=1}^n N_k}$$

环节 i 中各特征事件的统计概率 P_{kij} 与环节 i 中各特征事件的平均发生概率 P_{vij} 相比, 可得到环节 i 中 j 特征事件相对发生概率 f_{kij} :

$$f_{kij} = \frac{P_{kij}}{P_{vij}}$$

3 电梯特征事件后果严重程度分析

基于专家知识的非线性模糊计算方法, 对环节 i 中 j 个特征事件进行后果严重程度分析, 定性定量分析该事件对整机造成的后果。设环节 i 中 j 个特征事件后果严重程度为 B_{kij} 。

1) 将特征事件后果严重程度分为 3 个维度: b_1 表示对乘客人身可能造成的后果; b_2 表示对电梯设备或环境可能造成的后果; b_3 表示对监管或舆论可能造成的后果。

2) 将特征事件后果严重程度的 3 个维度进行严重程度分级, b_1 , b_2 , b_3 严重程度分级分别如表 1、表 2、表 3 所示。

表 1 乘客人身后果严重程度分级

严重程度等级	说明
1	人员死亡
2	人员严重损伤
3	人员轻微损伤
4	人员无损伤

表 2 电梯设备或环境后果严重程度分级

严重程度等级	说明
1	设备严重损坏
2	设备主要部件损坏
3	设备较轻损坏
4	设备无损坏

表 3 监管或舆论后果严重程度分级

严重程度等级	说明
1	可能引发严重舆情传播, 公众关注度较高, 对电梯监管造成严重负面影响
2	可能引发舆情传播, 公众关注度高, 对电梯监管有较大的负面影响
3	可能引发舆情传播, 公众关注度高, 可能引起一定程度的电梯监管负面影响
4	不会产生负面舆论影响, 对电梯监管无负面影响

3) 将特征事件后果严重程度的 3 个维度进行等

级赋值，如表 4 所示。

表 4 特征事件后果严重程度赋值

严重程度等级	维度		
	b_1	b_2	b_3
1	b_{11}	b_{21}	b_{31}
2	b_{12}	b_{22}	b_{32}
3	b_{13}	b_{23}	b_{33}
4	b_{14}	b_{24}	b_{34}

4) 每一个特征事件对应一个后果严重程度特征向量 $\mathbf{B}_{kij} = (b_1, b_2, b_3)^T$ 。

5) 任一特征事件 X_{ij} (环节 i 中第 j 个特征事件)，其相对于乘客、电梯设备或环境、监管或舆论的后果有所不同，根据各特征事件的属性特征，采用专家法及层次分析法建立特征事件的权重集。

设 $\mathbf{A}_{ij}$ 为任一影响特征事件 X_{ij} 的权重向量，则

$$\mathbf{A}_{ij} = (a_1, a_2, a_3)$$

式中， a_1 表示该特征事件相较于 b_1 维度的权重； a_2 表示该特征事件相较于 b_2 维度的权重； a_3 表示该特征事件相较于 b_3 维度的权重，且 $\sum_{i=1}^3 a_i = 1, a_i \geq 0$ 。

4 基于大数据分析的电梯安全风险监测模型

4.1 电梯安全风险监测数学模型

合理的模型设计与数据处理，是电梯安全风险监测实现的基础。在获取特征事件发生概率与特征事件后果严重程度的基础上，根据风险定义，建立电梯安全风险监测模型为

$$R_k = \sum_{j=1}^n f_{k1j} \mathbf{A}_{k1j} \mathbf{B}_{k1j} + \sum_{j=1}^m f_{k2j} \mathbf{A}_{k2j} \mathbf{B}_{k2j} + \sum_{j=1}^r f_{k3j} \mathbf{A}_{k3j} \mathbf{B}_{k3j} + \sum_{j=1}^x f_{k4j} \mathbf{A}_{k4j} \mathbf{B}_{k4j} + \sum_{j=1}^y f_{k5j} \mathbf{A}_{k5j} \mathbf{B}_{k5j} \quad (1)$$

式中， f_{kij} 为第 k 台电梯在环节 i 中，第 j 个特征事件发生的相对概率； $\mathbf{A}_{kij}$ 为在环节 i 中第 j 个特征事件的权重向量； $\mathbf{B}_{kij}$ 表示在环节 i 中第 j 个特征事件对应的后果严重程度特征向量。

根据获取的电梯物联网监测、维护保养、检验检测、应急处置和用户投诉等数据，计算各台电梯风险值 $R_k, k=1, 2, 3, \dots, N$ 。

4.2 电梯安全风险归一化处理模型

根据周期为 T 的时间段内电梯特征事件数据和统计数据，利用式(1)计算各台电梯整体风险分布。

根据各台电梯整体风险分布，利用式(2)对周期内电梯风险进行标准化处理。

$$Rz_k = m \left(R_k - \bar{R}_k \right) / R_\sigma + M \quad (2)$$

式中， Rz_k 为标准化处理后的电梯风险结果； R_k 为电梯风险评估模型得到的原始风险值； $\bar{R}_k$ 为电梯原始风险值的平均值； R_σ 为电梯原始风险值的标准差； m 为放大系数； M 为幅值，二者均为常数，具体数值根据实际需要灵活选择。

经过标准化处理后的电梯风险分布与原始风险值分布形状相同，不会改变各台电梯整体风险分布的排序，并能从风险值上看出单台电梯所处的风险位置。

5 电梯安全风险筛选机制

根据标准化处理后的电梯整体风险分布实际情况以及电梯安全监管要求，设置风险阈值和风险告警机制。

采用 3 类风险筛选机制，以保证高风险电梯能够被完全告警。

机制 1：通过系统设置，筛选整机风险值前 $a\%$ 作为高风险组；整机风险值前 $b\%$ 为中风险组；其余电梯为低风险组。

机制 2：通过系统设置，设定风险阈值 R_l, R_h 。当整机风险值 $\geq R_h$ 时，电梯判定为高风险组；当整机风险值 $< R_l$ 时，电梯判定为低风险组。

机制 3: 当出现后果严重程度为 1 级的特征事件时, 电梯判定为高风险组。

上述风险等级判定机制中, 优先级为机制 3 > 机制 2 > 机制 1。根据上述方法, 可筛选出高、中、低 3 类风险的电梯集合。

6 结语

电梯是一种使用寿命较长的特种机电设备。随着我国电梯保有量的急剧增加, 电梯安全监管面临的监管资源分配压力越来越大。基于现代物联网技术的智慧监管平台是当前增加电梯安全监管资源、提升监管效率的有效工具。围绕电梯智慧监管平台的数据开展大数据应用, 关键在于提高电梯物联网监测、维护保养、检验检测、应急处置和用户投诉 5 个环节的数据准确性, 这是电梯安全风险监测模型成立的基础。但由于区域、人文以及相关技术背景的差异, 上述 5 个环节中部分数据的准确性也会有所差异。在具体的应用中, 可根据实际情况调整各个环节的指标参数及其权重, 以减小上述差异对监测模型准确性的影响。

参考文献

- [1] 乌君科. 电梯安全监管模式创新研究[J]. 中国市场监管研究, 2020(1): 27-31.
- [2] 国家市场监督管理总局. 市场监管总局关于 2020 年全国特种设备安全状况的通告[EB/OL]. [2021.3.15]. http://gkml.samr.gov.cn/nsjg/tzsbj/202103/t20210315_326902.html.
- [3] 杨本超, 李晓帆. 浅谈构建基于大数据的电梯安全监管模式[J]. 中国电梯, 2017, 28(10): 33-35.
- [4] 许景顺. 基于大数据的电梯安全监管模式[J]. 中国特种设备安全, 2017, 33(11): 42-47.
- [5] 张锋. 特大型城市风险治理智能化研究[J]. 城市发展研究, 2019, 26(9): 15-19.
- [6] 陈国华, 蔡文杰, 王新华, 等. 基于大样本检验数据的电梯风险预评估方法[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(5): 56-60.
- [7] 杜自豪, 许卫荣, 王强, 等. 基于修正可变模糊集理论的电梯安全评价及应用[J]. 中国计量大学学报, 2020, 31(3): 386-392.
- [8] 陈志平, 汪赞, 张国安, 等. 基于大数据的电梯故障诊断与预测研究[J]. 机电工程, 2019, 36(1): 90-94.
- [9] 潘鹏, 王廷银, 潘健鸿, 等. 基于 Logistic 回归的电梯健康评估[J]. 计算机系统应用, 2018, 27(10): 255-260.
- [10] 黄德文. 基于 AHP-YAAHP 的电梯安全评估方法研究[J]. 中国电梯, 2019, 30(12): 33-35.

Research on Elevator Safety Risk Monitoring and Identification Method Based on Big Data

Lin Chuanglu Li Gang

(Guangzhou Academy of Special Equipment Inspection & Testing, Guangzhou 510180, China)

Abstract: In order to improve the elevator safety supervision ability, an elevator safety risk monitoring and identification method based on big data is proposed. Relying on the elevator intelligent supervision platform, statistics and analysis of elevator IoT monitoring, maintenance, inspection and detection, emergency disposal and user complaints and other related events and data, combined with the analysis of the possibility and severity of the event, the elevator safety risk monitoring model based on big data is established. According to the elevator characteristic event data in the monitoring period, the elevator risk big data analysis model is constructed to obtain the overall risk distribution of all elevators. The standard score method is innovatively used to standardize the risk value. Combined with the risk threshold, the risk warning mechanism is formed. This method can realize dynamic evaluation of elevator safety risk based on big data analysis and real-time warning of high-risk elevators, provide new means for regulatory authorities to carry out risk-based elevator key supervision, and greatly improve the efficiency and accuracy of elevator safety supervision.

Key words: big data; elevator; risk monitoring; risk identification; precise supervision

作者简介:

林创鲁, 男, 1983 年生, 硕士, 副研究员, 主要研究方向: 特种设备智能监测与预警。E-mail: linter0663@163.com