

本文引用格式: 李刚,林创鲁,欧阳徕.基于大数据驱动的电梯维保质量评价方法研究[J].自动化与信息工程,2022,43(5):30-34.

LI Gang, LIN Chuanglu, OUYANG Lai. Research on elevator maintenance quality evaluation method based on big data[J]. Automation & Information Engineering, 2022,43(5):30-34.

基于大数据驱动的电梯维保质量评价方法研究*

李刚 林创鲁 欧阳徕

(广州特种机电设备检测研究院, 广东 广州 510663)

摘要: 依托电梯物联网监测平台, 收集电梯物联网、维护保养、检验检测、应急处置和用户投诉等事件数据, 提取、计算电梯运行质量评价指标, 分别从电梯故障率控制、电梯故障/应急处置效率、维保质量管控情况、客户满意度水平等维度评价电梯维保质量。同时建立电梯维保质量评价指标体系, 构建电梯维保质量评价模型, 实现大数据驱动的电梯维保质量评价方法。实验结果表明, 本文提出的电梯维保质量评价模型, 能够动态输出符合实际情况的维保质量评级结果。

关键词: 大数据; 电梯; 维保质量; 评价模型; 异构消除

中图分类号: X943

文献标识码: A

文章编号: 1674-2605(2022)05-0006-05

DOI: 10.3969/j.issn.1674-2605.2022.05.006

Research on Elevator Maintenance Quality Evaluation Method Based on Big Data

LI Gang LIN Chuanglu OUYANG Lai

(Guangzhou Academy of Special Equipment Inspection & Testing, Guangzhou 510663, China)

Abstract: Relying on the elevator intelligent supervision platform, collect the event data and statistical data of the elevator internet of things, maintenance, inspection and detection, emergency response and user complaints within a certain period and range, extract and calculate the elevator operation quality evaluation indicators, and evaluate the elevator maintenance quality level from the elevator failure rate control, elevator failure/emergency response efficiency, maintenance quality control, customer satisfaction level and other dimensions. Establish the elevator maintenance quality evaluation index system, and establish the elevator maintenance quality evaluation model to achieve the big data driven elevator maintenance quality evaluation. The experimental results show that the elevator maintenance quality evaluation model proposed in this paper can dynamically output the maintenance quality rating results in line with the actual situation.

Keywords: big data; elevator; maintain quality; evaluation model; heterogeneous elimination

0 引言

目前, 我国电梯的维护保养依据《特种设备安全监察条例》规定: 至少每 15 日进行一次保养^[1]。为进一步提升电梯质量安全水平, 国家市场监督管理总局发布了《关于进一步做好改进电梯维护保养模式和调整检验检测方式试点工作的指导意见》, 全国各地开展“按需维保”试点^[2], 市场监管部门对该试点工作实施质量监督, 实行动态清单管理^[3]。

随着“按需维保”试点工作的推进, 电梯维保质量评价的相关研究成果开始涌现, 如邹学敏等^[4]提出从许可管理、人员资质、故障率等方面构建灰色综合评价模型; 张东平等^[5]开展基于虚拟技术的电梯维保质量评估研究。此类研究大都基于静态的数据模型输出定性或定量的评价结果, 难以满足“按需维保”动态清单管理的要求。基于此, 本文提出一种基于大数据驱动的电梯维保质量评价方法, 以期为更高效的维

保质量评价提供技术支持。

1 电梯维保质量评价大数据来源及指标

通过电梯物联网监测平台收集一定周期和范围内的电梯物联网、维护保养、检验检测、应急处置和用户投诉等 5 个方面大数据,提取、计算电梯运行质量评价指标,分别从电梯故障率控制、电梯故障/应急处置效率、维保质量管控情况、客户满意度水平 4 个维度评价电梯维保质量。其中,电梯故障率控制包含的特征数据为电梯故障率、平均故障间隔时间、困人

率等;电梯故障/应急处置效率包含的特征数据为故障停梯时间、困人救援响应及时率等;维保质量管控情况包含的特征数据为维保及时率、检验不合格率、物联网功能检测不合格率、监督检查不合格率等;客户满意度水平包含的特征数据为客户投诉率、满意度抽样调查数据等。

2 电梯维保质量评价特征数据定义

特征数据是构建电梯维保质量评价模型的特征量,电梯维保质量评价特征数据定义如表 1 所示。

表 1 电梯维保质量评价特征数据定义

序号	参数名称	公式/表示符号	序号	参数名称	公式/表示符号
1	事件发生时刻	T_{E0}	2	事件结束时刻	T_{Es}
3	事件持续时间	$T_{Eh} = T_{Es} - T_{E0}$			
4	第 <i>i</i> 次故障事件持续时间	$T_{Fhi} = T_{Fsi} - T_{F0i}$	5	第 <i>i</i> 次困人事件持续时间	$T_{Phi} = T_{Psi} - T_{P0i}$
6	第 <i>i</i> 次维保时间	T_{mi}	7	第 <i>i</i> 次维保间隔时间	$T_{Mi} = T_{mi} - T_{mi-1}$
8	允许的维保最长间隔时间	T_{Mmax}	9	第 <i>i</i> 次维保及时率	$P_{Mi} = T_{Mi}/T_{Mmax}$
10	电梯检验不合格项总数	N_{if}	11	电梯检验项目总数	N_t
12	第 <i>i</i> 次困人救援响应时间:救援人员到达现场时刻-接警时刻	$T_{Ri} = T_{Di} - T_{Ci}$			
13	困人救援允许最大响应时间	T_{Rmax}			
14	第 <i>i</i> 次困人救援响应及时率:困人救援响应时间/困人救援允许最大响应时间	$P_{Ri} = T_{Ri}/T_{Rmax}$			
15	投诉事件数:某一电梯在统计时间段内的投诉事件总数	N_{ts}			
16	总运行次数:统计时间段结束时的累计运行次数-统计时间段开始时的累计运行次数	$N_s = N_e - N_0$			

2.1 电梯故障率控制特征数据定义

根据电梯故障率控制特征数据内涵,定性描述相

关参数名称,并给出对应公式,电梯故障率控制特征数据定义如表 2 所示。

表 2 电梯故障率控制特征数据定义

序号	参数名称	公式/表示符号	序号	参数名称	公式/表示符号
1	故障率: <i>i</i> 维保单位所维保电梯的总故障次数/ <i>i</i> 维保单位所维保电梯总运行次数	$P_{fi} = N_{fi}/N_{Si}$	2	平均故障率:所有电梯故障总次数/所有电梯总运行次数	$\bar{P}_f = \sum_{i=1}^n N_{fi} / \sum_{i=1}^n N_{Si}$
3	平均故障间隔时间: <i>i</i> 维保单位 <i>N</i> 台电梯故障间隔时间的均值。其中, T_{Fi} 表示 <i>i</i> 维保单位单台电梯2次故障之间的间隔时间	$T_{FV} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{Fi}$	4	平均故障间隔时间均值:所有维保单位、所有电梯的故障间隔时间均值	$\bar{T}_{FV} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S T_{Fi}$
5	困人率:维保单位电梯困人事件发生数量/电梯运行总次数	$P_{Ki} = N_{Ki}/N_{Si}$	6	平均困人率:所有维保单位困人率的均值	$\bar{P}_K = \sum_{i=1}^n N_{Ki} / \sum_{i=1}^n N_{Si}$

2.2 电梯故障/应急处置效率特征数据定义

根据电梯故障/应急处置效率特征数据内涵,定性

描述相关参数名称,并给出对应公式,电梯故障/应急处置效率特征数据定义如表3所示。

表3 电梯故障/应急处置效率特征数据定义

序号	参数名称	公式/表示符号	序号	参数名称	公式/表示符号
1	故障停梯时间:统计时间段内 <i>i</i> 维保单位所有电梯故障停梯时间的均值	$T_{FUi} = \frac{1}{N_f} \sum_{j=1}^{N_f} T_{Fhj}$	2	平均故障停梯时间:所有维保单位故障停梯时间的均值	$\bar{T}_{FU} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S T_{Fi}$
3	困人救援响应及时率: <i>i</i> 维保单位在统计时间段内所有困人事件对应的困人救援响应及时率的均值,其中, <i>N</i> 表示困人次数	$P_{KRi} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N P_{Rj}$	4	平均困人救援响应及时率:所有维保单位统计时间段内困人救援响应及时率的均值,其中, <i>S</i> 表示所有维保单位困人事件的总困人次数	$\bar{P}_{KR} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S P_{Ri}$

2.3 电梯维保质量管控情况特征数据定义

根据电梯维保质量管控情况特征数据内涵,定性

描述相关参数名称,并给出对应公式,电梯维保质量管控情况特征数据定义如表4所示。

表4 电梯维保质量管控情况特征数据定义

序号	参数名称	公式/表示符号	序号	参数名称	公式/表示符号
1	维保及时率: <i>i</i> 维保单位单次维保及时率的均值,其中, <i>N</i> 表示 <i>i</i> 维保单位统计时间段内的维保次数	$P_{MVi} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N P_{Mj}$	2	平均维保及时率:所有维保单位在统计时间段内维保及时率的均值,其中, <i>S</i> 表示所有维保单位统计时间段内涉及的所有电梯的总维保次数	$\bar{P}_{MV} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S P_{Mi}$
3	检验不合格率: <i>i</i> 维保单位统计时间段内电梯检验不合格项数/所维保电梯总检验项数	$P_{fi} = N_{fi} / N_{ti}$	4	平均检验不合格率:所有维保单位统计时间段内电梯检验不合格项总数/所有电梯总检验项数	$\bar{P}_f = \sum_{i=1}^n N_{fi} / \sum_{i=1}^n N_{ti}$
5	物联网功能检测不合格率: <i>i</i> 维保单位统计时间段内物联网功能检测不合格项数/所维保电梯总检测项数	$P_{iotf} = \frac{N_{iotfi}}{N_{ioti}}$	6	平均物联网功能检测不合格率:所有维保单位统计时间段内物联网功能检测不合格项总数/所有电梯总检测项数	$\bar{P}_{iotf} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{iotfi}}{\sum_{i=1}^n N_{ioti}}$
7	监督抽查不合格率: <i>i</i> 维保单位统计时间段内监督抽查不合格项数/所维保电梯总抽查项数	$P_{ccf} = \frac{N_{ccfi}}{N_{cci}}$	8	平均监督抽查不合格率:所有维保单位统计时间段内监督抽查不合格项总数/所有电梯总检测项数	$\bar{P}_{ccf} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{ccfi}}{\sum_{i=1}^n N_{cci}}$

2.4 客户满意度水平特征数据定义

根据客户满意度水平特征数据内涵,定性描述相

关参数名称,并给出对应公式,客户满意度水平特征数据定义如表5所示。

表5 客户满意度水平特征数据定义

序号	参数名称	公式/表示符号	序号	参数名称	公式/表示符号
1	维保单位投诉率： i 维保单位在统计时间段内投诉事件的总数/所维保电梯总运行次数	$P_{tsf} = \frac{N_{tsi}}{N_{si}}$	2	平均维保单位投诉率：所有维保单位统计时间段内投诉率的均值	$\bar{P}_{tsf} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{tsi}}{\sum_{i=1}^n N_{si}}$
3	维保满意度调查分数指标： i 维保单位维保满意度调查分数	G_i	4	平均维保满意度调查分数指标：所有维保单位维保满意度调查分数均值	$\bar{G} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G_i$

3 电梯维保质量评价指标体系权重及大数据异构消除

3.1 指标权重的确定

采用专家法开展电梯维保质量评价4个维度的权重评判。取电梯故障率控制、电梯故障/应急处置效率、维保质量管控情况、客户满意度水平的权重向量为

$\mathbf{Q} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ ，其中 $\sum_{i=1}^4 a_i = 1$ 。

根据各维度指标设置，可得电梯故障率控制权重向量为 $\mathbf{Q}_1 = (a_{11}, a_{12}, a_{13})$ ；电梯故障/应急处置效率权重向量为 $\mathbf{Q}_2 = (a_{21}, a_{22})$ ；维保质量管控情况权重向量为 $\mathbf{Q}_3 = (a_{31}, a_{32}, a_{33}, a_{34})$ ；客户满意度水平的权重向量为 $\mathbf{Q}_4 = (a_{41}, a_{42})$ 。

3.2 大数据异构消除

由于电梯故障率、平均故障间隔时间、困人率等数据结构各不相同，故采用电梯故障率指数、平均故障间隔时间指数、困人率指数等消除数据异构。

电梯故障率指数为 i 维保单位电梯故障率/电梯平均故障率，记为

$$g_1 = P_{fi} / \bar{P}_f$$

平均故障间隔时间指数为 i 维保单位 i 平均故障间隔时间/所有维保单位平均故障间隔时间，记为

$$g_2 = T_{FVi} / \bar{T}_{FV}$$

困人率指数为 i 维保单位困人率/所有维保单位平均困人率，记为

$$g_3 = P_{Ki} / \bar{P}_K$$

故障停梯时间指数为

$$h_1 = T_{FUi} / \bar{T}_{FU}$$

困人救援响应及时率指数为

$$h_2 = P_{Kri} / \bar{P}_K$$

维保及时率指数为

$$k_1 = P_{MVi} / \bar{P}_{MV}$$

检验不合格率指数为

$$k_2 = P_{fi} / \bar{P}_{ff}$$

物联网功能检测不合格率指数为

$$k_3 = P_{iofi} / \bar{P}_{ioff}$$

监督抽查不合格率指数为

$$k_4 = P_{ccfi} / \bar{P}_{ccf}$$

客户投诉率指数为

$$m_1 = P_{tsfi} / \bar{P}_{tsf}$$

满意度抽样调查数据指数为

$$m_2 = G_i / \bar{G}$$

4 基于大数据驱动的电梯维保质量评价模型

上述特征数据转化后，各指数均值均会趋于1。将电梯维保质量评价4个维度对应的特征数据指数，转化为特征矩阵，可得到电梯故障率的特征矩阵为 $\mathbf{G} = [g_1, g_2, g_3]^T$ ；电梯故障/应急处置效率的特征矩阵为 $\mathbf{H} = [h_1, h_2]^T$ ；维保质量管控情况的特征矩阵为

$K=[k_1, k_2, k_3, k_4]^T$ ；客户投诉率的特征矩阵为 $M=[m_1, m_2]^T$ 。

据此，可得到维保质量各维度评价结果为

$$Q_1 \times G = a_{11}g_1 + a_{12}g_2 + a_{13}g_3$$

$$Q_2 \times H = a_{21}h_1 + a_{22}h_2$$

$$Q_3 \times K = a_{31}k_1 + a_{32}k_2 + a_{33}k_3 + a_{34}k_4$$

$$Q_4 \times M = a_{41}m_1 + a_{42}m_2$$

可得到列向量为

$$W = (a_{11}g_1 + a_{12}g_2 + a_{13}g_3, a_{21}h_1 + a_{22}h_2, a_{31}k_1 + a_{32}k_2 + a_{33}k_3 + a_{34}k_4, a_{41}m_1 + a_{42}m_2)^T$$

得到电梯维保质量评价模型为

$$S_y = Q \times W = a_1 \sum_{i=1}^3 a_{1i}g_i + a_2 \sum_{i=1}^2 a_{2i}h_i + a_3 \sum_{i=1}^4 a_{3i}k_i + a_4 \sum_{i=1}^2 a_{4i}m_i \quad (1)$$

根据评价结果分布及电梯安全监管要求，设置评级阈值 SL 、 SH 和风险告警机制。当电梯维保质量评价结果 $S_y \geq SH$ 时，电梯维保单位维保质量判定为 1 级；当 $SH > S_y \geq SL$ 时，电梯维保单位维保质量判定为 2 级；当 $S_y < SL$ 时，电梯维保单位维保质量判定为 3 级。根据电梯维保单位维保质量评级，实施相应管理措施。

5 实验

在电梯物联网监测平台应用公式(1)中的电梯维保质量评价模型，对平台内在保电梯超过 50 台的 152 家维保单位开展维保质量评级。选取电梯物联网监测平台 2021 年 10 月至 2022 年 9 月相关数据，并根据

作者简介：

李刚，男，1988 年生，硕士研究生，工程师，研究方向：电梯物联网智能监测与应急处置。E-mail: 616960080@qq.com
林创鲁，男，1983 年生，硕士研究生，高级工程师，研究方向：电梯物联网智能监测与应急处置。E-mail: linter0663@163.com
欧阳徕，男，1984 年生，硕士研究生，高级工程师，研究方向：电梯物联网智能监测与应急处置。E-mail: 274200952@qq.com

需要动态划定评级阈值 $SL = 0.95$ 、 $SH = 1.14$ 。评价结果： $S_y < 0.95$ 的维保单位，共 69 家，占比 45.4%，维保单位维保质量判定为 3 级； $0.95 \leq S_y < 1.14$ 的维保单位 67 家，占比 44.1%，维保质量判定为 2 级； $S_y \geq 1.14$ 的维保单位共 16 家，占比 10.5%，维保质量判定为 1 级。实验结果表明：本文提出的电梯维保质量评价模型，能够动态输出符合实际情况的维保质量评级结果，电梯维保单位维保质量判定为 1 级的比例约占 10%，可据此开展重点监管。当调整评级阈值时，相应评级比例也会随之改变。

6 结论

随着电梯监管改革与“按需维保”模式的推进，依托大数据分析、物联网技术的电梯安全管理模式应用场景越来越普遍。新形势下电梯维保质量的准确评价，对推动维保市场的进步、提高监管效能意义重大。本文基于电梯物联网监测平台，收集电梯物联网功能、维护保养、检验检测、应急处置和用户投诉等 5 方面的数据，经数据异构消除处理，输出电梯维保单位整体维保质量的动态评级，实现了电梯大数据的有效应用。

参考文献

- [1] 国家市场监督管理总局.市场监管总局关于 2021 年全国特种设备安全状况的通告[J].中国特种设备安全,2022,38(4): 1-4.
- [2] 国家市场监督管理总局.做好按需维保和检验检测方式调整的试点工作[J].中国电梯,2020,31(10):3.
- [3] 姚志勇.电梯按需维保模式改进研究[J].中国电梯,2020,31(5): 66-69.
- [4] 邹学敏,唐文斌.灰色综合评价法在电梯维保质量评价中的应用[J].中国特种设备安全,2020,36(4):55-58.
- [5] 张东平,徐培龙,葛立清.基于虚拟技术的电梯维保质量评估研究[J].自动化与仪器仪表,2019(1):36-38.