

基于可靠性分析的城市轨道交通设备 生命周期风险评估*

王俊哲¹ 朱琳² 刘志钢² 陶毅骏³ 黄远春²

(1. 中铁油料集团有限公司, 100073, 北京; 2. 上海工程技术大学城市轨道交通学院, 201620, 上海;
3. 上海申通地铁集团维保保障有限公司, 200030, 上海)

摘 要 [目的]城市轨道交通系统设备的高可靠性是其保持安全、平稳运营的基石与保证。由于近年来运营里程急剧上升、线网容量不断扩大,城市轨道交通的运营风险日益增大,可靠性对于安全风险的影响愈发受到行业关注。[方法]基于生命周期事件对可靠性的影响,对设备进行生命周期阶段(运维阶段)的划分;根据历史故障数据,建立机理模型辅助的数据统计模型,通过 Minitab 软件表征相关可靠性指标;基于风险矩阵法,表征可靠性与生命周期阶段映射关系,建立考虑生命周期阶段的设备风险评估模型。[结果及结论]以车辆转向架轮对轴箱装置为例,依据车辆专业检修内容与周期要求,将日常运营阶段划分为稳定期、早期失效期、晚期失效期、更换期;对故障间隔时间进行拟合检验,选定三参数威布尔分布表征其可靠性特征函数;将各阶段通过可靠性表征函数映射赋值,基于风险矩阵法,得到各阶段车辆转向架轮对轴箱装置的风险评估等级,进而输出各阶段风险评估结果。各阶段风险等级分别为 R5、R3、R1、R1。

关键词 城市轨道交通;全生命周期;可靠性;风险评估
中图分类号 U231.94

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.04.012

Life Cycle Risk Assessment of Urban Rail Equipment Based on Reliability Analysis

WANG Junzhe¹, ZHU Lin², LIU Zhigang², TAO Yijun³, HUANG Yuanchun²

(1. China Railway Oil Group Co., Ltd., 100073, Beijing, China; 2. School of Urban Railway Transportation, Shanghai University of Engineering Science, 201620, Shanghai, China; 3. Shanghai Rail Transit Maintenance Support Co., Ltd., 200030, Shanghai, China)

Abstract [Objective] The high reliability of urban rail transit system equipment is the cornerstone and guarantee for maintaining the safe and stable operation. Due to the rapid increase in operating mileage and the continuous expansion of network line capacity in recent years, the operational risks of urban rail

transit are increasing every day, and the impact of reliability on safety risks is receiving increasing attention from the industry.

[Method] Based on the impact of lifecycle events on reliability, urban rail transit equipment is divided into lifecycle stages (operation and maintenance phase). According to historical failure data, a data statistical model assisted by a mechanism model is established, and relevant reliability indicators are characterized through Minitab software. Based on the risk matrix method, the mapping relationship between reliability and lifecycle stages is characterized, and an equipment risk assessment model considering lifecycle stages is established. [Result & Conclusion] Taking the vehicle bogie wheelset axle box assembly as a case study, according to the vehicle specialized maintenance content and cycle requirements, the daily operation stages are categorized into four periods: stable operation, early failure, late failure, and replacement; the failure interval time is tested for fitting, and the three-parameter Weibull distribution is selected to represent its reliability characteristic function; each phase is mapped and assigned values through the reliability characteristic function. Based on the risk matrix method, the risk assessment levels of the vehicle bogie wheelset axle box assembly at each stage are obtained, and then the risk assessment results for each stage are output respectively. Risk levels for each stage are marked as R5, R3, R1, and R1.

Key words urban rail transit; entire lifecycle; reliability; risk assessment

随着城市轨道交通体系建设扩大,城市轨道交通网络变得越来越复杂,接入站点数和旅客运输量不断增加,城市轨道交通运维面临更大的挑战和压力。为满足日益增长的运维需求,城市轨道交通运维正在朝着智能化和智慧化的方向发展。当前城市轨道交通系统设施设备质量与风险管理仍受限于环境、机制、技术和人员素质水平,现阶段,国内

*上海市青年科技英才扬帆计划项目(21YF1415800)

外对于城市轨道交通设施设备状态的质量控制和风险管理还未形成一个成熟的研究体系。对此,本文将可靠性分析理论与生命周期阶段划分手段引入城市轨道交通风险评估工作,以期能够为城市轨道交通系统保持健康、稳定运行提供基础和保障,进一步提升维护管理和风险防控水平。

1 生命周期阶段划分与可靠性表征

1.1 设施设备生命周期阶段划分

LCP(生命周期剖面)代指设施设备从其制造成功到终止服务这段时间所要经历的各种事件和状态(包括环境条件、工作方式及其延续情况)的一种时序描述。根据应力的大小、变化速率及设备在使用过程中受到的外力影响,可科学、有效地评估设备可靠性,以确保其安全可靠。

国内外学者研究了不同阶段的技术要求和重点工作。文献[1]将设备系统建设一体化划分为准备、制造、安装和运营移交等4个阶段。文献[2]根据生命周期成本分析理论,提出了一种基于生命周期成本分析理论的数学模型,包括购买、运营、维修、回收和处置等4个过程。

为满足不同生命周期阶段对于质量管理的需求,本文基于生命周期剖面法,将城市轨道交通设施设备的生命周期阶段划分为待交付阶段、试运行阶段、试运营阶段和正式运营阶段。

在正式运营阶段,设备可靠性变化的关键影响因素为其维护活动,包括日常运维、小修、架大修等。以某企业车辆检修内容与周期为例,其修程如表1所示,各阶段可靠性变化趋势如图1所示。

表1 车辆检修内容与周期

Tab.1 Vehicle maintenance content and period

修程名称	主要检修内容	检修条件	停留时间
小修	卸下受流器、牵引电机、控制装置、转向架、制动装置、蓄电池等部件,对其技术和作用进行检查和修理,并进行必要的试验;对计量仪器、仪表进行校验;对其余主要部件的技术状态和作用进行相应的检查和修理;修竣车的静调和试车	10万 km ≤ 运营里程 < 50万 km, 或者 1年 ≤ 运营时间 < 5年	一般约为 10 d
架修	对车辆重要的、大型部件,特别是走行部件,进行全面监测和修理,卸下受流器、牵引电机、控制装置、各种电器装置、转向架、传动装置、轮对、轴承、制动装置、车钩缓冲装置、空调、车门、蓄电池等部件,对其进行分解、检查和修理,并进行必要的试验;对计量仪器仪表进行校验;对车体及其其余部分的技术状态和作用进行相应的检查和修理;车体油漆标记,修竣车的静调和试车	50万 km ≤ 运营里程 < 100万 km, 或 5年 ≤ 运营时间 < 10年	约为 25 d
大修	全面恢复性车辆修理,架车,车辆解体,对转向架构架和车体进行整形,对所有部件全部进行分解、检查和修理,完全恢复其性能;重新油漆标记,修竣车的静调和试车。大修后的车辆基本上要达到新车出厂水平	运营里程 ≥ 100万 km, 或运营时间 ≥ 10年	约为 40 d

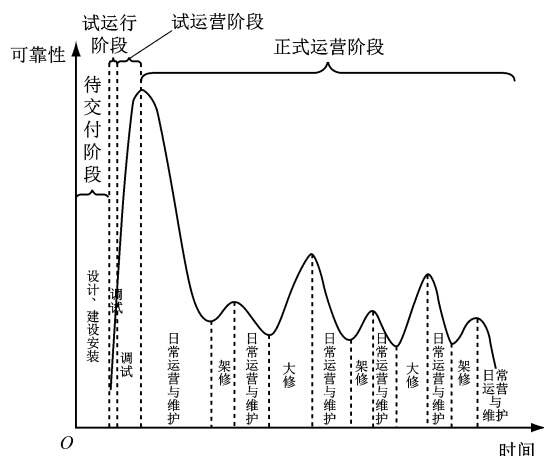


图1 全生命周期各阶段可靠性变化趋势图

Fig. 1 Whole lifecycle reliability variation trend chart for each stage

1.2 设施设备可靠性表征

1.2.1 可靠性表征指标

可靠性特征量是一种用来衡量设备可靠性的重要指标,反映设备的安全可靠水准。

寿命指设备所有生命周期阶段的时间长度。若以时刻 t 为自变量,则 t 时刻的失效率 $\lambda(t)$ 与失效分布概率密度 $f(t)$ 都可用来描述寿命 T 的统计规律。 $\lambda(t)$ 是衡量产品可靠性的重要指标之一。 $\lambda(t)$ 、 $f(t)$ 、 t 时刻失效累计分布函数 $F(t)$ 及 t 时刻可靠度 $R(t)$ 的关系为:

$$\lambda(t) = \frac{F(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1)$$

1.2.2 可靠性表征方法

文献[3]应用威布尔分布来拟合数据,建立了一个以可靠性为基础,并力求尽可能减少维修花费

的预防性维修决策模型,以进一步提高运营设施的可靠性。文献[4]在传统的故障树分析理论基础上,提出了动态逻辑门的概念,构建动态故障树模型,以马尔可夫状态转移模式为基础,对计算机联锁系统的可靠度和安全性展开了深入的研究和分析。文献[5]提出了一种多时间尺度下寿命分布随复杂任务剖面动态变化的电容器可靠性评估方法,从而通过威布尔分布估计不同控制方法的直流链路电容器组寿命瓶颈。

可靠性表征方法一般有机理模型方法和统计模型方法两种。

机理模型方法是可以证明某种失效分布符合其致因的物理背景,从而得出结构体系在静载荷和疲劳载荷相互作用下的可靠性分析方式。统计模型方法利用寿命统计数据的概率分布,并通过假设检验来评估结果的可靠性和准确性。

将机理模型方法和统计模型方法相结合,通过筛选现场数据失效分布,估算出最佳的失效分布参数,并根据拟合优度来评价其可信度,最终得出概率密度函数、累计分布函数、可信度函数和失效率函数。

1.3 设施设备风险评估

城市轨道交通运维企业施行安全风险管理的投入是有限的,风险防控手段的选取须考虑自身风险承担能力。因此,对风险施行分级管控是业界认可的最科学管理方法。

确定风险量是一个定性和定量的过程,其包括某种风险发生的概率和可能造成的损失。风险量是风险发生概率和可能造成损失赋值的乘积。

文献[6]通过识别影响城市轨道交通建筑项目总回购价格的各种风险因素,并对其进行分类分析,以确定其中最重要的影响因素。文献[7]运用层次分析法及聚类分析法等一系列定量方法对上海宝钢设备维修有限公司备件采购风险进行识别和评价并制定不同的风险控制方法。文献[8]通过层次分析法和模糊法,对物业企业的各种风险因素进行了精确评估,建立了一个完整的风险管理体系,以识别、评估、规避和转嫁风险。

以上研究均先对风险来源进行系统性分析,梳理其影响因素,量化各影响因素发生的概率及其可能带来的结果,从而构建风险辨识与评估模型。但在实际运维过程中,设施设备各系统在不同生命周期阶段的可靠性变化对整体系统风险产生的影响

不可忽略,尚缺乏以设施设备所处不同生命周期阶段为影响因素的风险评估模型。

本研究采用风险矩阵法,将设施设备所处生命周期阶段作为时间影响因素纳入风险评估模型之中,并构建设备生命周期阶段风险与时间(等效役龄)的映射关系,输出考虑各生命周期阶段的风险评估结果。

2 机理模型辅助的数据统计模型

本研究结合机理模型方法和数据统计模型方法,提出机理模型辅助的数据统计模型分析方法来统计分析现场数据,进而分析设备故障机理,并筛选出几种典型的故障分布模型作为基本假设统计模型。

机理模型辅助的数据统计模型分析流程如图2所示。首先,对失效数据进行预处理以确保其准确性;然后,经过A-D(Anderson-darling)拟合优度,检验标准的评估;最终,选择出最优的设施设备分布模型,并计算其可靠性特征量。

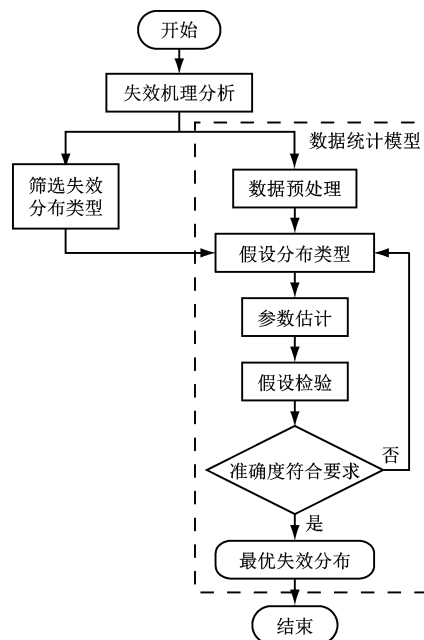


图2 机理模型辅助的数据统计模型分析流程

Fig. 2 Mechanism model-assisted data statistical model analysis workflow

2.1 筛选失效类型

根据常见的寿命分布应用范围,可以确定设施设备组件的寿命分布类型。突发事件导致的故障不会随着时间的累积而减少,反而通常呈指数分布。设备损坏或特性衰变通常遵循正态分布,而半

导体元件发生的疲劳可能呈对数正态分布或威布尔分布。如果某个部分出现故障(例如电缆老化),导致整个设施设备失效,失效概率通常呈威布尔分布。故本研究使用指数分布、对数正态分布和威布尔分布作为假设的失效分布类型。

2.2 数据预处理

鉴于目前城市轨道交通事故录入大多为人工录入,故有必要识别并剔除系统性故障,以确保数据的准确性和可靠性。对于可修复系统,寿命是指两次相邻故障之间的的工作时间,即无故障工作时间。因此,将故障记录中的故障时间点转换为故障间隔时间,得到寿命数据。

2.3 参数估计

极大似然估计是从模型中抽取该组样本观测值的概率最大,即概率分布函数或似然函数最大。最大似然原理比最小二乘原理更本质性地揭示了通过样本估计总体的内在机理。

2.4 失效类型分布检验

通过 A-D(Anderson-darling)检验,按从小到大的顺序排列收集的数据,并将其与理论累积分布进行比较,即可得出 A-D 统计量:

$$A^2 = -n - \sum_{i=1}^n \frac{2i-1}{n} \{ \ln F(t_i) + \ln[1 - F(t_{n+1-i})] \} = -n - \sum_{i=1}^n \frac{2i-1}{n} \cdot \left\{ \ln F(t_i) + \frac{2n+1-2i}{n} \ln[1 - F(t_i)] \right\} \quad (2)$$

式中:

A ——A-D 统计量;

t_i ——第 i 个时刻, $i=1, 2, \dots, n$ 。

A-D 统计量越小,表明分布类型越拟合。

2.5 可靠性表征

通过分析历史故障数据,确定拟合分布类型,并使用 Minitab 软件对其参数进行估计,从而得出可靠性指标——概率密度函数、累计分布函数、可靠度函数和失效率函数。

3 基于可靠性的设施设备风险评估

3.1 健康指数与失效率的映射关系

失效率为评价机械设备安全可靠的指标,其基于机械设备在使用过程中的衰老情况和性能分析,可以准确地预测出某个时刻故障的可能性,也被称为机械设备的不可靠度。不可靠度更多地反映了

机械设备在特定时期内故障的可能性。

$$\lambda(t) = Ke^{C I_h(t)} \quad (3)$$

式中:

$I_h(t)$ —— t 时刻的设备健康指数,反映设备的可靠性;

K ——比例系数;

C ——曲率系数。

3.2 失效率与生命周期分数赋值映射关系

根据可靠性特征量,即失效率,能够得到设备分别不同维护活动时所对应的失效率。

由式(3)可知, $\lambda(t)$ 与 $I_h(t)$ 呈指数关系,而在进行设备风险评估时,设备危害频率分值 L 、危害后果严重程度分数值 O 与风险量的赋值呈线性,故对失效率函数代入设备进入更换、大修、小修和稳定期阶段时刻所得结果取对数,以实现线性化处理,即对于 t 时刻,风险量赋值取设备生命周期分数 $p_i = \ln \lambda(t)$,计算 p_i ,从而评估风险。此时,设备生命周期分数赋值与进入各阶段时寿命的对应关系如表2所示。

表2 设备生命周期分数赋值

Tab.2 Equipment lifecycle score assignment

设备生命周期阶段说明	进入该阶段时的寿命	p_i
设备状态极不稳定,处于更换阶段	a	$\ln \lambda(a)$
设备状态不稳定,进入大修阶段	b	$\ln \lambda(b)$
设备基本稳定,进入小修阶段	c	$\ln \lambda(c)$
新设备,状态稳定期,尚未进入维修期	d	$\ln \lambda(d)$

运营单位一般每年度进行风险库的评估与迭代,本模型亦能够计算得到每年风险评审时间节点时的失效率,为每年度的风险评估提供理论依据。

3.3 考虑生命周期阶段的设备风险评估

考虑设备可靠性及生命周期阶段的新型设备风险评估量化为:

$$S = LOG \quad (4)$$

式中:

S ——风险分数值;

G ——生命周期分数值。

基于某城市轨道交通运营公司的实际风险评估标准进一步统计分析:结合实际运维企业管理架构并咨询专家意见,可得 S ,如表3所示;根据历史故障数据,统计各系统子设备单条线路每年失效次数,得出 L ,如表4所示;通过统计与分析历史运营

事件,并按设备影响和运营影响取严重者,得出 O , 设备在不同运营阶段的风险评估结果。如表 5 所示。结合式(4)及表 2—表 5 即可得到某

表 3 设备风险评估分数值

Tab.3 Equipment risk assessment score values

风险等级	风险说明	应采取的行动或控制措施	管控层级	上报层级	实施期限	S
R1 级	极其危险	在采取措施降低危害前,不能继续作业,对改进措施进行评估	集团级		立刻整改	$[320, \infty)$
R2 级	高度危险	采取紧急措施降低风险,建立运行控制程序,定期检查、测量及评估	公司级	集团级	立即或近期整改	$[160, 320)$
R3 级	显著危险	可考虑建立目标,建立操作规程,加强培训及沟通	分公司级或线路级	公司级	2 年内治理	$[70, 160)$
R4 级	轻度危险	可考虑建立操作规程及作业指导书,但需定期检查	班组级	分公司级或线路级	有条件、有经费时治理	$[20, 70)$
R5 级	稍有危险	无须采用控制措施,但需保存记录	员工级	班组级		$[0, 20)$

表 4 设备危害频率评估分数值

Tab.4 Equipment hazard frequency assessment score values

定义	单条线路发生频率/(次/年)	L
频繁出现,危害一直存在	$[30, \infty)$	10.0
发生多次,危害可以预期经常出现	$[10, 30)$	6.0
可能发生几次,危害预期有几次出现	$[1, 10)$	3.0
在系统某个生命周期可能发生,危害能合理地预期出现	$[\frac{1}{10}, 1)$	1.0
不太可能发生但存在,假定危害极少出现	$[\frac{1}{30}, \frac{1}{10})$	0.5
计划不可能发生,假定危害不会发生	$[0, \frac{1}{30})$	0.1

4 实例分析

为将所处生命周期阶段纳入风险等级评估体系,进一步提升风险评估精度,明确风险应对措施,

表 5 设备危害程度评估分数值

Tab.5 Equipment hazard severity assessment score values

对设备造成影响	运营中断时长/min	O
列车倾覆、冲突、脱轨、制动失效、隧道塌陷等	≥ 120	15
挤岔、信号冒进、弓网冲突、设备侵入限界、重大轮轨故障、断轨、触网断线等	$30 \sim < 120$	7
关键系统失效,须应急救援处理	$15 \sim < 30$	2
关键系统故障,须退出运营	$5 \sim < 15$	1

本文以某城市轨道交通运营公司某线路 01A03 车型转向架轮对轴箱装置(以下简称“装置 X”)作为

研究对象,对各阶段风险量进行评估计算。该车型的所有车辆于 2016 年 7 月 21 日结束原架大修,开启新的架大修周期并于 2021 年 3 月 7 日再次架大修。选取运行期间(2016 年 7 月 22 日—2021 年 3 月 6 日)共 217 条历史故障数据进行分析。

4.1 生命周期阶段划分

根据该运营单位车辆专业检修内容与周期相关要求,结合表 1,将装置 X 日常运营阶段划分为稳定期(自上次架大修后的运营期 t_{dx} 为 $0 \sim 1$ 年)、早期失效期(t_{dx} 为 $1 \sim 2$ 年)、晚期失效期(t_{dx} 为 $2 \sim 4$ 年)、更换期(t_{dx} 为 $4 \sim 5$ 年)。

4.2 可靠性表征

选择指数分布、对数正态分布、两参数威布尔分布和三参数威布尔分布等常用故障分布对故障间隔时间数据进行拟合,A-D 检验结果如表 6 所示。由表 6 最终选取三参数威布尔分布,拟合结果见图 3。

表 6 装置 X 的 A-D 检验值

Tab.6 A-D inspection values of device X

故障分布	A
指数分布	29.125
对数正态分布	6.208
两参数威布尔分布	0.934
三参数威布尔分布	0.590

三参数威布尔分布概率密度函数为:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (5)$$

累计分布函数为:

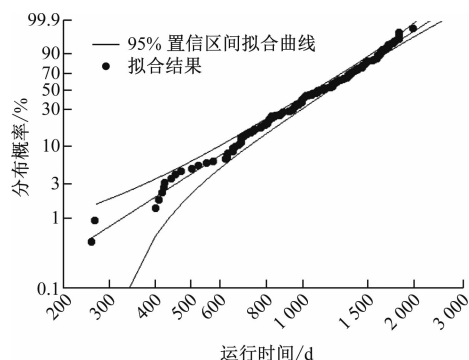


图3 装备X的无故障运行时间数据及威布尔分布95%置信区间拟合曲线

Fig.3 Fault free operation time data of device X and Weibull distribution 95% confidence interval fitting curves

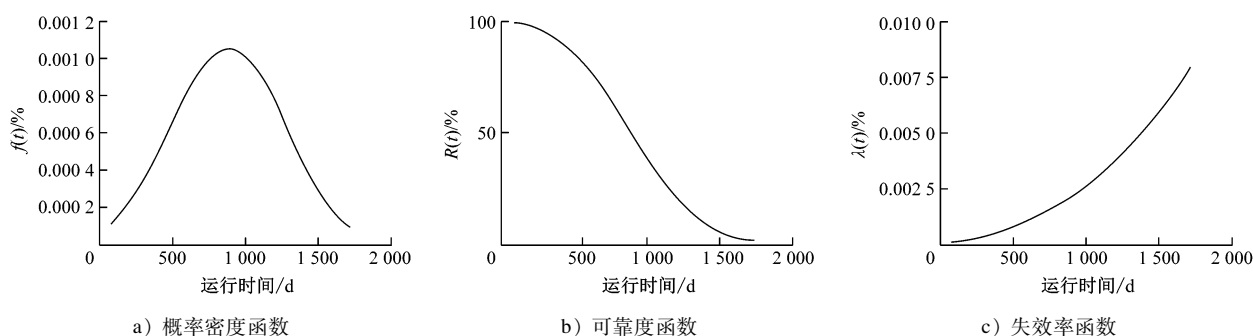


图4 装置X可靠性特征函数

Fig.4 Reliability characteristic functions of device X

通过 Minitab 软件估计参数可得, $\beta = 3.42$, $\eta = 1\,254.84$, $\gamma = -244.16$, 代入式(8), 则失效率函数为: $\lambda(t) = 2.73 \times 10^{-3} \left(\frac{t + 244.16}{1\,254.84} \right)^{2.42}$ 。

4.3 风险评估

各阶段的失效率及对应 G 见表7。

表7 装置X各阶段失效率及 G

Tab.7 Failure rate and G of device X at each stage

阶段	各阶段开始时失效率/ 10^{-5}	G
稳定期	5.2	1.65
早期失效期	47.5	3.86
晚期失效期	147.9	5.00
更换期	572.6	6.35

由式(4)进一步计算可得装置X风险评估值, 见表8。

由表8及表3可知, 稳定期、早期失效期、晚期失效期及更换期对应的风险等级分别为R5、R3、R1、R1。由实例结果可见, 考虑生命周期阶段的设

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}\right] \quad (6)$$

可靠度函数为:

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}\right] \quad (7)$$

失效率函数为:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (8)$$

式中:

β ——三参数威布尔分布的形状参数;

η ——三参数威布尔分布的尺度参数;

γ ——三参数威布尔分布的位置参数。

装置X可靠性特征函数如图4所示。

备风险评估结果符合客观规律。

表8 装置X风险评估值

Tab.8 Risk assessment values of device X

阶段	S	L	O	G
稳定期	10	6	1	1.65
早期失效期	77	10	2	3.86
晚期失效期	350	10	7	5.00
更换期	445	10	7	6.35

5 结语

本文从设备质量态势、管理特征、生命周期剖面划分等概念入手, 根据生命周期剖面划分生命周期阶段, 表征历史故障数据的相关可靠性指标, 建立机理模型辅助的数据统计模型, 建立考虑生命周期阶段的设备风险评估模型。

相较于只考虑风险频率和风险后果严重程度的传统风险评估方法, 考虑设备可靠性及生命周期阶段的新型风险评估方法能够反映每一阶段甚至每个时间节点的风险等级, 进一步满足运维企业与

轨道交通行业对于各风险的动态监督与管控需求,为行业可靠性与风险评估提供新的思路。

参考文献

- [1] 田茂. 城市轨道交通设备系统建设一体化关键技术研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2019.
TIAN Mao. Research on key technologies of urban rail transit equipment system construction integration [D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2019.
- [2] RONG Y P. International conference on measuring technology and mechatronics automation[C]//IEEE. 2016 International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM). Macau: IEEE, 2016: 375-378.
- [3] 姜源. 城市轨道交通运营设备稳健维护决策问题研究[D]. 长春: 吉林大学, 2020.
JIANG Yuan. Research on robust maintenance decision of urban rail transit operation equipment[D]. Changchun: Jilin University, 2020.
- [4] 曾爱然. 城市轨道交通计算机联锁系统寿命预测与维修策略优化研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2020.
ZENG Airan. Study on life prediction and maintenance strategy optimization of urban rail transit computer interlocking system [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2020.
- [5] YAO B, GE X, WANG H, et al. Multiscale reliability evaluation of DC-link capacitor banks in metro traction drive system [J]. IEEE Transactions on Transportation Electrification, 2020, 6 (1): 213.
- [6] Hou H T, Tian L. Architecture, building materials and engineering management [M]. Dürnten-Zürich, Switzerland: Trans Tech Publications Ltd, 2013: 357.
- [7] NING Z. IEEE international conference on automation and logistics [C]//IEEE. 2009 IEEE International Conference on Automation and Logistics (ICAL). Shenyang: IEEE, 2009: 1837-1842.
- [8] 李漫. AL 物业公司风险管理问题分析及应对策略研究[D]. 石家庄: 河北地质大学, 2017.
LI Man. Analysis on risk management problems of AL property company and research on countermeasures [D]. Shijiazhuang: Hebei GEO University, 2017.
- 收稿日期: 2023-02-27 修回日期: 2023-04-07 出版日期: 2025-04-10
Received: 2023-02-27 Revised: 2023-04-07 Published: 2025-04-10
• 第一作者: 王俊哲, 助理工程师, 1442990190@qq.com
通信作者: 朱琳, 副教授, zlgcd1014@163.com
• ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(Continued from Commentary)

the widespread adoption of internet and mobile payment technologies, transaction modalities for ticketing and fare verification have become increasingly diversified. However, the 2007 edition of the standard (GB/T 20907—2007) lacks unified technical requirements for critical content and parameters of virtual fare media and next-generation equipment systems, making it hard to adapt to the development demands of digitalization and intelligent. The 2024 edition new standard not only adapts to new trends in the proliferation of internet and mobile payment technologies but also proposes regulatory requirements for practical issues such as multi-modal fare media, update and iteration of fare collection devices, and cybersecurity.

Throughout the development of AFC systems, Shanghai Metro has consistently focused on continuous technological innovation and optimization. From the introduction of foreign magnetic ticket systems to the application of contactless IC card in domestic AFC systems, and from the realization of network-wide "one-ticket transfer" by the first domestic clearing system to the pioneering operation of QR code riding services, a series of technological innovations and upgrades have continuously driven the improvement of Shanghai Metro's operational efficiency and service level. At present, it has become the norm for Shanghai Metro's average daily passenger flow to be over 10 million. To further enhance traffic efficiency, the constant-open gate mode is gradually being piloted at various stations across the line network. With the rapid increase in the proportion of mobile payment methods, entry and exit services are no longer solely dependent on the stability of the AFC system itself. Based on the concept of "comprehensive security", Shanghai Metro improves the overall AFC system resilience through optimized design. In view of the large number and wide range of AFC system terminal equipment, Shanghai Metro has continuously optimized daily inspection and maintenance modes, and achieved data-driven precise operation and maintenance. Looking to the future, Shanghai Metro will drive continuous performance upgrade of AFC systems with the guide of 2024 version of the AFC system standard. Shanghai Metro will focus on strengthening the resilience of the AFC system and enhancing its emergency-responding ability; optimizing user experience and creating a more user-friendly service interface; strengthening data security management and effectively protecting the personal information security of passengers. In support to the integrated development of the Yangtze River Delta, Shanghai Metro will work with regional subway companies to conduct in-depth research on cross-regional and cross-modal rail transit ticket interoperability solutions.

Through continuous innovation and standardization construction, Shanghai Metro remains dedicated to delivering safer, more convenient, and comfortable travel services to citizens, while contributing to the high-quality development of urban rail transit industry in China.

(Translated by JIANG Na)