

老旧电梯故障诊断、风险评估与智能防控关键技术研究

李 科

浙江省特种设备科学研究院 浙江杭州 310000

摘 要：在我国城市化进程不断加快，高层建筑快速发展的今天，电梯这一重要垂直交通工具已经成为城市生活必不可少的组成部分。但随着大批电梯步入使用寿命中后期，老旧电梯故障频繁发生，安全隐患加大，极大影响公共安全与居民生活质量。所以对于老旧电梯故障诊断，风险评估及智能防控等关键技术进行研究具有现实意义及社会价值。本文旨在通过讨论如何应用先进的智能技术，提升老旧电梯的安全性及稳定性，以推动城市智能化管理水平的进一步提高。

关键词：老旧电梯；故障诊断；风险评估；智能防控

引言

近年来，我国电梯总量不断增加，同时电梯设备也在大量使用。据相关统计，到现在为止，我国的电梯数量已经突破700万台大关，其中许多电梯的使用寿命已经超出了15年。这些老旧电梯因运行时间较长，易发生磨损、老化和控制系统失效，造成故障率上升和事故风险加大。尤其是电梯突然停运、困人、坠落等意外情况，对居民出行造成很大不便，安全隐患大。传统电梯维护模式多依靠定期人工检修与被动维护相结合，但该模式效率低，不能及时发现潜在故障且易导致安全隐患累积。伴随着物联网、人工智能以及大数据的不断发展，智能化手段被引入到电梯故障诊断以及风险评估中得以实现，借助实时监控以及预警系统能够显著提高电梯运行的安全性以及可靠性。

一、老旧电梯故障诊断技术

1. 基于传感器的电梯故障监测技术

以传感器为核心的电梯故障监测技术作为当前管理老旧电梯的一种重要方法，它通过对电梯运行时关键部件物理参数进行实时获取，可对电梯运行状态进行有效监控，对潜在故障进行预先检测。常见的传感器种类包括但不限于加速度传感器、温度传感器、压力传感器以及位移传感器等。这些传感器可安装于电梯各关键部分，例如曳引机，导轨和门系统。加速度传感器可对电梯振动情况进行实时监测，振动频率或者幅值大于预设阈值可能表示曳引机或者导轨有异常现象。温度传感器的主要功能是监测电梯关键组件，尤其是电机和曳引机的温

度波动。当温度过高时，可能会导致润滑问题或机械摩擦的增加。在液压电梯液压系统中经常使用压力传感器对其进行监测，并通过测试油压变化情况判断该系统是泄漏还是压力不足。另外位移传感器还能准确地测量出电梯在工作时的位移、速度等参数，保证电梯按照预定的轨迹行驶，以免出现冲顶、蹲底的危险故障。通过对这些传感器进行数据采集及分析，该电梯监控系统可以做到实时监控及报警，在降低突发故障发生率及维护成本的前提下提高电梯运行安全性及可靠性。

2. 基于信号处理的故障诊断方法

以信号处理为基础的故障诊断方法对于检测老旧电梯故障起着至关重要的作用，尤其是对电梯运行中所出现的机械振动，噪声等异常信号进行识别与分析。信号处理技术可以通过分析电梯关键部件（例如曳引机、导轨和限速器）在正常与异常状态下的信号差异，识别潜在故障。通常采用的傅里叶变换等频域分析方法可以实现时间信号到频率信号的变换，有助于探测特定频率振动异常并揭示齿轮和轴承磨损故障特性。时频分析方法，例如短时傅里叶变换（STFT）和小波变换（WT），是通过在时间和频率两个方面同时观察信号，从而捕捉电梯运行过程中非平稳信号中的突发故障。由于小波变换具有多分辨率分析的特点，它可以从不同尺度上对信号进行局部特征提取，适合于突发故障或者短时异常的探测。参数例如频率，幅值，信噪比和能量分布都是信号处理时用来量化故障特征的，它们是通过阈值的设置判断器件是否异常。另外，经验模态分解（EMD）和其他自适应信号分解技术能够将复杂的电梯运行信号拆分为多个

本征模态函数，并从中提取出在不同故障模式下的关键信号，从而提高诊断的准确率和灵敏度。综合运用上述方法，信号处理技术可为电梯故障早期诊断提供有力技术支持。

3. 基于大数据与人工智能的故障诊断

基于大数据及人工智能的故障诊断对于老旧电梯的故障预测表现出了巨大的优越性，尤其适用于复杂、多维、大量数据的处理。通过采集电梯运行时产生的海量传感器数据，维护记录以及历史故障数据，并将其存储与分析，可建立电梯运行状态综合数据库。像支持向量机（SVM）、决策树和随机森林这样的机器学习算法，可以从大量的大数据中自动抽取关键特征，并构建电梯故障与其运行状况之间的关联模型，从而实现故障模式的准确识别和诊断。深度学习模型，尤其是卷积神经网络（CNN）和长短期记忆网络（LSTM），可以更好地利用数据的时序特性，辨识复杂非线性关系以更加准确地预报故障。如通过对电梯振动，加速度及温度时序数据进行分析，LSTM能有效地捕捉到长时间运行过程中状态的变化情况，提前预测出故障情况。另外，K-means等聚类算法可应用于对电梯状态数据分类、确定潜在故障模式、评价风险等级等。大数据平台利用云计算的强大处理能力，能够实现实时的数据分析和远程监控，从而为电梯的智能化运维提供了保障。将人工智能算法和大数据技术相结合，故障诊断既能实现故障前预测又能实现维护策略优化，有利于电梯安全运行。

二、老旧电梯风险评估技术

1. 基于模糊理论与层次分析的风险评估方法

基于模糊理论与层次分析的风险评估方法在老旧电梯的风险管理中发挥了重要作用，特别适合处理复杂、不确定的评估环境。层次分析法（AHP）通过构建多层次的评估指标体系，将电梯的风险评估过程分解为不同的准则层、子准则层和指标层，常见指标包括电梯使用年限、运行状态、故障频率、维保记录和载荷状况等。在这一过程中，AHP通过成对比较为各指标分配权重，这些权重依据专家经验和历史数据进行量化，反映各指标对整体风险评估的重要性。由于电梯系统中很多因素难以精确量化，模糊理论被引入来处理评估中的不确定性。模糊综合评判方法将定性数据模糊化，如电梯老化程度可以以“高、中、低”等模糊语言变量表达，并通过隶属度函数进行量化，形成模糊评估矩阵。矩阵中的每个元素代表电梯系统在某个风险指标下的模糊隶属度。

通过模糊加权 and 运算，可以得出电梯系统的综合风险评估，从而判断电梯的风险等级。该方法能够在不确定条件下提供更为精确的风险评估结果，为电梯的维护决策提供有效参考，特别是在面对数据模糊性或主观性的情况下，该方法显著提升了评估的合理性和可靠性。

2. 基于贝叶斯网络的风险评估

基于贝叶斯网络风险评估方法对于管理老旧电梯风险更具优越性，特别是对存在不确定性且因果关系复杂系统。贝叶斯网络利用节点和边来描述电梯系统中的各种风险元素以及它们之间的相互联系，其中节点代表了电梯的核心风险要素，例如电梯的故障频率、维护的品质和使用寿命、运行环境等，而边则表示这些因素之间的因果关联。通过设置先验概率与条件概率，贝叶斯网络可以定量地描述各风险因素对于风险总体的影响程度。各节点先验概率可基于历史数据、专家经验或者统计数据设置，例如电梯使用年限和故障概率之间的关系以及维保质量和故障发生率之间的关系。

贝叶斯网络之所以有力量，是因为它可以利用后验概率推理来从已知条件中推断出某些数据丢失或者不完备时未知节点风险概率。比如已知某电梯故障频率高、维保记录差等情况下，贝叶斯网络就能计算出将来会出现大故障的概率。同时该网络可以动态更新并通过新监测数据的输入来实时调节各个节点发生概率以反映电梯系统最新情况。这样，贝叶斯网络既有助于对电梯当前风险水平进行评估，又能够提供可靠预测与预警，从而对电梯预防性维护与更新决策提供科学依据。

3. 风险评估结果与电梯全生命周期管理

风险评估结果对电梯全生命周期管理起着关键作用，为电梯设计、运行、维修、淘汰等各环节提供数据支持与决策依据。电梯初始设计阶段进行风险评估可以通过分析关键部件失效概率来优化设计方案，提高安全性和可靠性。在运行期间，风险评估结果可以对电梯健康状况进行连续监控，并综合故障率，运行时长和维护质量来判断其是否在安全运行区间内，并且对可能存在的高风险部件或者系统进行辨识，以保证电梯的安全、高效地运行。对老旧电梯而言，风险评估结果尤为重要，它能够通过对电梯运行成本，事故发生概率等指标的评价，为确定是大修、改造还是淘汰电梯提供依据、停机时间等来测算全生命周期经济效益及安全风险以保证最优管理策略。

所评价的风险等级有助于识别不同的维修策略，风

险较低的电梯可适用于常规维修，风险较大的电梯既需预防性维修也可马上更换。同时风险评估也可应用于电梯更新计划的制定中，通过对每台电梯风险状况的分析，优先选择风险较大的电梯予以更新或者更新，以免造成资源浪费及意外。以风险评估为基础的电梯全生命周期管理可以有效地延长电梯使用寿命、降低运营成本、提高电梯系统整体安全性与可靠性。

三、智能防控技术

1. 物联网与电梯远程监控技术

物联网技术为老旧电梯的智能防控领域注入了新的活力，它通过高度集成的硬件设备与先进的网络通信技术，为电梯的安全运行提供了全面而细致的保障。在电梯内部，部署了包括高精度传感器、智能控制器以及高效通信模块在内的物联网设备。这些设备各司其职，传感器负责实时监测电梯的运行状态，如速度、加速度、振动频率以及关键部件的温度等，确保数据的准确性和实时性；智能控制器则根据传感器的反馈，对电梯的运行进行精确调控，同时，它还承担着数据处理与初步分析的任务，为后续的故障诊断提供基础。

其次，通信模块是物联网的技术核心，保证电梯和监控中心数据平稳、高速传输。监控中心在互联网上，能实时收到从电梯传来的各种运行数据，并通过专业软件平台对其进行深入剖析，能及时发现电梯运行过程中出现的异常，例如部件磨损和振动超标，由此引发预警机制给电梯维护保养带来了宝贵时间窗。

另外，物联网技术远程维护及故障诊断功能大大提高电梯维护效率及效果。维护人员不需要亲自到现场就可以在远程平台上诊断电梯故障，甚至可以调整和优化一些参数，这样既可以减少维修周期又可以减少维护成本。

值得一提的是物联网技术也已经显示出很强的系统集成能力。该系统能够与楼宇管理系统、消防系统等先进的智能系统实现无缝集成，从而达到数据共享和联动的目的，进一步构筑一个更为完善和智能化的安全防护体系。在这样的体系中，电梯不仅是垂直运输的工具，更是智能楼宇安全网络中的重要一环。

2. 基于人工智能的故障预测与预防性维护

基于人工智能的故障预测与预防性维护技术，为老旧电梯的智能管理开辟了新路径。这一技术深度融合了机器学习、深度学习等先进算法，以及电梯运行的海量历史数据，旨在实现对电梯故障的精准预测和提前干预。

具体来说，通过收集电梯在长时间运行过程中积累的各类数据，如运行时间、负载情况、故障记录、维修历史等，构建出电梯运行的庞大数据库。这些数据经过清洗、整理后，被输入到人工智能模型中，模型通过复杂的算法学习电梯故障的规律与特征，如特定部件的磨损速率、故障发生的频率与条件等。

在模型训练成熟后，它便能够根据实时传入的电梯运行数据，预测出电梯各部件的剩余寿命、故障发生的概率以及可能的故障类型。例如，通过分析电梯电机的电流、电压、温度等参数的变化趋势，模型可以预测电机何时可能达到临界状态，需要维护或更换。

基于这些预测结果，维护人员可以制定出更为科学合理的预防性维护计划，避免传统维护方式中的盲目性和滞后性。他们可以在故障发生前，对电梯进行必要的检查、维修或更换部件，从而有效延长电梯的使用寿命，减少因故障导致的停机时间和维修成本。

此外，人工智能模型还能够根据电梯的实际运行情况和维护效果，不断优化预测算法，提高预测的准确性和可靠性。这种基于人工智能的故障预测与预防性维护技术，不仅提升了电梯的安全性和可靠性，还为电梯的智能化管理提供了有力的技术支持。

结束语

综上所述，老旧电梯故障诊断、风险评估与智能防控关键技术的研究，不仅对于提升电梯的安全性与可靠性具有重要意义，更为电梯行业的智能化发展奠定了坚实基础。未来，随着技术的不断进步与创新，我们有理由相信，老旧电梯的安全管理将迎来更加美好的明天。

参考文献

- [1] 林捷晖. 老旧电梯更新工程的问题分析及对策研究[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(26): 148-151.
- [2] 谢建雄, 陈奕波. 老旧电梯安全评估方法及主要部件风险分析[J]. 中国电梯, 2024(002): 035.
- [3] 曾建丽, 宋齐, 王小芳, 等. 中国城市老旧社区加装电梯政策的经验及启示[C]// 工程管理2022. 2023.
- [4] 曾永光, 靳娟, 董爱. 老旧小区加装电梯涉及法律问题研究[J]. 上海城市管理, 2023, 32(6): 91-96.
- [5] 包放. 大连市老旧社区加装电梯协同治理研究[D]. 大连海事大学, 2023.