 DOI: https://doi.org/10.12349/ptc.v4i1.4736

Reliability and life assessment method of key components of railway truck bogie

Xiabang Gu

Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi, Xinjiang, 830023, China

Abstract

This paper focuses on the availability and durability of the core components of railway truck bogies (bearings, brakes, friction pins, etc.). Based on the actual operation data, it carries out reliability analysis and life assessment based on statistical analysis and life cycle model. Given the bogie reliability and maintenance, material, operating condition is closely linked, the paper for the key components available time evaluation derived method, such as bearing with distribution model, brake behavior chain model, to effectively evaluate the component reliability and life, power optimization maintenance strategy, authors efficiency, to improve bogparts reliability and safety has important reference value.

Keywords

railway truck bogie; reliability and life assessment; maintenance strategy foreword

铁路货车转向架关键部件的可靠性与寿命评估方法

顾遐邦

新疆工程学院，中国·新疆 乌鲁木齐 830023

摘　要

本论文聚焦铁路货车转向架核心元件(轴承、制动器、摩擦销等）的可用性与耐用性，以实际运行数据为基，借统计分析与生命周期模型开展可靠性分析和寿命评估。鉴于转向架可靠性与维修、材质、运行状况紧密相连，论文为关键元件可用时间评估推导出方法，如轴承用韦氏分布模型、制动器用行为链模型，以此有效评估部件可靠性和寿命，助力优化维护策略、降本增效，对提升转向架部件可靠性和安全性具有重要参考价值。

关键词

铁路货车转向架；可靠性与寿命评估；维护策略

1 引言

铁路货车的行驶稳定性和安全性，一直都是铁路运输系统无法忽视的核心问题。视转向架为其核心组件，它赋予货车行驶平顺以及确保运输过程的安全，而这些又与其主要部件的持久性及耐用程度息息相关，这些因素，共同决定了铁路货车的运行品质和安全状况。特别是轴承、制动器、摩擦销等部分，其稳健的性能，可能就直接涉及到车辆的运行状态与安全问题。对这些关键部件进行深度的可靠性调查及使用寿命评估，显然地，这对实际运营上的指导，改善维护策略，提高设备使用年限，降低运营花费有着极其重要的理论和实践价值。然而，严格的运行环境和变化多端的外部条件使得这些关键部件面临着复杂的抗衡问题。如何科学地评估关键部件的可靠性和寿命，并针对不同类型的关键部件制定出相应的评估方法呢？本文将基于实际运行数据，并运用统计分析和寿命模型，对此进行深入研究，期望能为相关主题提供新的研究思路和方法。

【作者简介】顾遐邦（2001–），男，中国河北唐山人，本科，从事机械设计制造及自动化研究。

2 铁路货车转向架关键部件概述

2.1 转向架的结构与工作原理

铁路货车的转向架，是车辆运作体系中的核心构件，负责支持并引领车辆稳健前行。它主要由框架、轴箱、弹簧悬浮系统、制动系统以及链接车体的装置等组织起来。在运作过程中，转向架这个组件承载整台车辆的重量，并利用弹簧悬浮系统缓解轨道不平带来的震动。至于轴承，则在车轮与轴箱之间提供了低摩擦的转动，有效地维护了车辆运动的稳定性。制动器负责提供必要的制动力量，以确保车辆得以安全地迅速停止。摩擦销的应用在于抑制不必要的结构移动。正确和科学的转向架设计以及其功能，对车辆运行的稳定性和安全性起到重大的作用，挑选合适的构造布局和材料，满足运行安全的同时，有助于增进系统的功能表现。如果关键部件出现故障，不仅会影响车辆的运行效率，还可能带来严重的安全隐患。深入研究转向架结构与工作原理，对

于铁路货运安全和经济效益至关重要。

2.2 关键部件轴承制动器摩擦销的作用与重要性

轴承、制动器和摩擦销是铁路货车转向架的关键部件，其性能直接影响车辆的安全性和运行稳定性。轴承，一项轮轨之间磨损减少与噪音降低的关键器件，负责支撑车辆荷载与转向架的涡旋运动。其次，制动器担当着车辆降速和停驻的职能，在紧急时刻，其强大的可依赖性对于避免灾难起了决策性的效用。此外，摩擦销在转向架的联动和旋动中发挥了主要作用，保障系统的活性和稳定性。这些关键部件是维护转向架整体功能可靠运行的基本要素，从而使其寿命和可靠性构成铁路安全运行的根基。

3 关键部件的可靠性评估

3.1 轴承的可靠性评估

轴承作为铁路货车转向架的核心部件，其可靠性直接关系到车辆的安全性与稳定性。进行轴承的可靠性评估时，需重点分析其在各种运行条件下的失效概率与性能退化趋势。通过收集大量实际运营数据，利用统计分析技术，可以有效识别影响轴承可靠性的主要因素。

假设收集到某型号轴承在不同运行里程下的失效数据，以运行里程为自变量，失效数量为因变量，进行统计分析。以下为部分统计数据示例（表 1）：

表 1 某型号轴承运行里程与失效数量统计

运行里程（万公里）	失效数量
10	5
20	8
30	12
40	18
50	25

基于这些数据，构建韦布尔分布模型：

韦布尔分布的概率密度函数为：

$$f(\chi) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{\chi}{\eta}\right)\beta - 1e^{-\left(\frac{\chi}{\eta}\right)\beta}$$

该模型能够评估轴承不同阶段的失效率，从而了解其在实际应用中的可靠性水平。这一过程有助于制定合理的维护和更换策略，确保轴承的长寿命和高效运行，为提升铁路货车整体性能提供科学依据。

3.2 制动器的可靠性评估

铁路货车转向架关键部件制动器的稳定性直接决定车辆的平稳运行。故而，要衡量制动器的稳定性，分析其中存在的故障类型和失效原因是必要的。利用统计手段，可以获得制动器在各类运行状态下的故障信息，这为稳定性的研究奠定了基础。

以某铁路货车运行数据为例，统计不同制动次数下制动器的故障情况（表 2）：

表 2 某铁路货车制动器制动次数与故障次数统计

制动次数	故障次数
100	2
200	5
300	8
400	12
500	18

利用与制动器特性匹配的 Markov 链模型，可以清晰地展示其状态的变更过程，详细包含运行环境和负载因素的复杂性和多元性。设 Markov 链有个状态 S_1，S_2 ,S_3,S_K, 状态转移概率矩阵为 $P=(pij)_{kxk}$，其中 pij 表示从状态 S_i 转移到状态 S_j 的概率。

通过对模型参数进行精确计算并做出适当调整，能够达到量化在使用过程中制动器的失效率和可靠度。仔细关注运行数据并进行长久的追踪与趋势分析，对于发现并识别隐藏的稳定性问题大有裨益，同时也能为设定理性的维护计划提供必要的支撑信息。提升系统的稳定性和安全性并不排除优化维护成本的可能，二者可以兼顾。

3.3 摩擦销的可靠性评估

评估摩擦销的可靠性，主要看它在使用中的疲劳和磨损情况。需要收集摩擦销在各种运行环境下的失败数据，用统计分析的手段，研究它的失败模式和分布特征。摩擦销材料的磨损抵抗力、工作的热度以及负担等因素，也要考虑在内，借助寿命数据模型进行评价。

假设收集到摩擦销在不同工作温度 T 和负载 F 下的磨损量 W 数据（表 3）：

表 3 摩擦销不同工作温度、负载下的磨损量统计

工作温度 T（℃）	负载 F（kN）	磨损量 W（mm）
50	10	0.1
60	15	0.15
70	20	0.2
80	25	0.25
90	30	0.3

借助像泊松过程这样的或者其他适合的概率模型，可以预测摩擦销长期使用的可靠性。泊松过程的概率质量函数为：$P(X=k)=\frac{(\lambda t)k_e}{k}$其中 X 表示在时间 t 内发生的事件数（如摩擦销失效次数），λ 为事件发生的速率。

这样的评价结果，可以帮助改良摩擦销的设计和优化维护策略，这对提高转向架整体的运行安全性有极大的帮助。

4 关键部件寿命模型与评估

4.1 轴承寿命评估及其韦布尔分布模型

对于轴承寿命的探讨，大部分研究者会使用韦布尔分布模型。这是一个有优点的统计工具，因为它能够很有效地表述轴承寿命相关的不确定因素。模型中的形状参数和尺度参数所扮演的角色是对轴承故障行为的具象表现，前者定义了故障出现的频率的变化趋势，后者则阐明了特定环境下轴承的平均寿命。为了精确创造这个模型，实际运行数据的收集就显得异常重要，这包括载荷大小、运转速度以及周边环境下轴承的失效时长。多采用最大似然估计法或最小二乘法等统计手段，就能够获取这个模型的参数，然后预测轴承的剩余寿命与故障出现的可能性。经过一定的模型校准和验证，可以使对轴承使用寿命的评估更加精确，为设定维修策略提供更科学的理据。

4.2 制动器寿命评估及其马尔科夫链模型

制动器作为铁路货车转向架的关键部件，其可靠性和寿命直接影响车辆的制动性能及运行安全。基于马尔科夫链模型的制动器寿命评估方法，通过转向架的实际运行数据，考虑到不同状态下制动器的可能转移情况，对各状态的转移概率进行建模分析，以此预测制动器从初始状态到失效状态的时间。在模型中，每个状态对应制动器的一个性能状态，从而可以量化地描述制动器的劣化过程。通过计算系统的稳态概率，可以估计出制动器的平均寿命及其可靠性指标。运用该模型，可为制定更加科学的维护策略提供依据，避免过早或过迟维修，进而在保持高安全水平的实现成本效益的最大化。该评估方法的应用有助于提升转向架维护的精准性和经济性。

4.3 摩擦销寿命评估及其相关模型

摩擦销作为转向架关键部件之一，其寿命评估主要依赖于复杂的机械应力和磨损过程。这一部分研究中，摩擦销的寿命模型采用应力 - 应变模型和磨损分析相结合的方法。通过评估其在不同工况下的磨损特性，结合疲劳应力数据，建立摩擦销的寿命预测模型。模型验证表明，该评估方法对摩擦销的寿命预测具有较好的精确度，为维护策略的制定提供了科学依据。

5 影响关键部件可靠性与寿命的主要因素

5.1 维护策略

对铁路货车转向架的关键部分而言，其寿命和可靠性受维护策略的影响。如何能稳定其性能表现？次要措施看来就是定期进行检查和适时更换已经磨损的部分。一个科技引领的维护计划有助于降低意外故障的可能性，推动设备的长期有效运作。关注到轴承、制动器和摩擦销这些部分，正需要将定期的润滑、检查加进维护计划中，同时，故障的预知和诊断也应时刻准备齐全，保证其以最佳状态完成工作。使用数据驱动的健康管理技术，可以实现预防性的维护，通过深入分析运行数据，找出潜藏的问题源头。最理想的维护策略不但可以延长部件的使用寿命，更能有效降低操作成本，确保运输安全无虞。实现这个策略，需要详尽评估出每一个部分的特征和使用环境，并根据独特要求，制定具有品质的维护方案，以达到最优结果。

5.2 材料特性

材料特性对铁路货车转向架关键部件的可靠性与寿命有深远影响。材料的强度、硬度及耐磨性能是决定部件承载能力和抗疲劳性能的关键指标。微观结构的不均匀性、材料中的杂质和缺陷可能导致应力集中，进而引发裂纹扩展，缩短部件寿命。材料的耐腐蚀性能也是影响可靠性的重要因素之一，尤其在恶劣环境中运行时，腐蚀会加速部件老化。材料的热处理工艺和制造加工精度也直接关系到部件的耐用性。选择合适的材料和优化加工工艺是提升关键部件性能的有效途径，有助于延长使用寿命和减少故障率。

5.3 运行条件

运行条件对铁路货车转向架关键部件的可靠性和寿命影响显著。高负载环境可能会加速轴承的疲劳损耗，频繁的制动操作可能导致制动器过热，从而减少其使用寿命。温度、湿度等环境条件也会对摩擦销的磨损程度产生影响，极端气候可能会加剧材料老化。轨道条件如曲率半径和轨道不平度等可影响转向架部件的应力分布及其疲劳寿命。通过优化运行条件与合理的轨道维护，可以有效延长关键部件的使用寿命并提高其可靠性。

6 优化设备维护策略提高关键部件的可靠性与寿命

6.1 针对轴承的优化维护策略

在轴承的维护中，优化策略的制定至关重要。应定期进行轴承的状态监测，以便及时识别潜在问题。振动分析和温度检测是关键手段，能够在早期发现故障迹象。采用高性能润滑剂可以降低摩擦和磨损，延长轴承使用寿命。重视润滑剂的质量和更换频次，确保润滑效果持久。根据轴承的实际运行条件，制定具体的维护计划，这包括精确的间隔时间和操作步骤，以最大限度地减少设备停机时间。必须根据运行数据持续优化这些计划，以适应不断变化的操作环境。准确的负载评估能够帮助选择合适的轴承类型和材料，提高可靠性。定期培训维修人员，提升其故障识别与处理能力，也是减少因轴承故障导致的非计划停机时间的有效措施。通过以上措施，可以有效提高轴承的可靠性与寿命，降低维护成本。

6.2 针对制动器的优化维护策略

在制动器的优化维护策略中，需重点考虑其可靠性与寿命的提升。采用定期检查与状态监测相结合的方法，可有效预防潜在故障。优化检查周期和方法，利用现代技术进行制动器状态实时监测，及时发现异常情况。根据马尔科夫链

模型的分析结果，识别和预测制动器的使用阶段和潜在故障模式，有针对性地实施维护。选用高性能材料以提高制动器耐磨性，减少损耗。应考虑运行环境对制动器性能的影响，采取隔热措施防止恶劣环境导致的性能下降，通过科学管理与持续优化，确保制动器的可靠运行与长寿命。

6.3 针对摩擦销的优化维护策略

摩擦销作为转向架关键部件，其可靠性至关重要。优化维护策略需关注定期检查摩擦销的磨损程度，采用先进材料以提高耐用性。定期润滑是保障摩擦销正常运作的有效手段。应使用振动监测技术识别早期损伤，及时更换存在潜在故障的摩擦销，防止意外停车。在不同运营条件下，调整维护周期和方法，以确保最佳使用寿命并降低运营成本。加强员工培训，确保维护工作精确到位。

7 结语

本研究对铁路货车转向架关键部件的可靠性和寿命进行了细致深入的研究。通过对实际运行数据的统计分析和寿命模型的应用，以及对不同部件采用不同的寿命评估方法，成功开阔了关于铁路货车转向架部件可靠性和寿命评估的研究思路。然而，本文仍存在局限性，如运行数据的获取和筛选，以及模型的适用性和准确性等方面还需要进一步改进和完善。同时，部件的可靠性和寿命受多种因素影响，材料特性、运行条件等对部件寿命的影响也值得更深入的研究和探讨。在未来的研究中，我们期望能够进一步集成和发展更精细的寿命评估方法，以进一步提高设备的可靠性和安全性。

参考文献

[1] 王洪昆,操琴,蒋增强.无失效转向架侧架贝叶斯可靠性评估方法[J].武汉理工大学学报：信息与管理工程版,2021,43(04):346-351.

[2] 余妍金戈,王俊勇,傅茂海.1067mm轨距货车转向架侧架可靠性分析[J].机械工程与自动化,2020,(04):72-73.

[3] 王世猛.铁路货车的转向架检修方法分析[J].内燃机与配件,2019,(14):198-199.