

团体标准

T/CAMET XXXXX—XXXX

城市轨道交通 地铁车辆延寿工作导则 第3部分：寿命评估

Urban rail transit—Directives for metro vehicle life extension—
Part 3: Life assessment

（征求意见稿）

（本稿完成时间：2026年06月）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国城市轨道交通协会 发布

目 次

前 言 I

引 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体原则 2

5 评估任务和流程 2

6 评估内容及要求 3

 6.1 方案制定 3

 6.2 寿命评估 4

 6.3 延寿策略制定 5

7 评审及决策 6

参考文献 7

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 T/CAMET XXXX《城市轨道交通 地铁车辆延寿工作导则》的第3部分。T/CAMET XXXX 已发布以下部分：

- 第1部分：总体原则与要求；
- 第2部分：预评估；
- 第3部分：寿命评估；
- 第4部分：更新改造；
- 第5部分：试验与检验；
- 第6部分：退运处置。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国城市轨道交通协会标准化技术委员会提出并归口。

本文件起草单位：中车唐山机车车辆有限公司、上海申通地铁集团有限公司、北京市地铁运营有限公司、广州地铁集团有限公司、中车长春轨道客车股份有限公司、中车株洲电力机车有限公司、深圳地铁运营集团有限公司、天津轨道交通集团有限公司、南京地铁运营有限责任公司、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、中车南京浦镇车辆有限公司、株洲中车时代电气股份有限公司、中车制动系统有限公司、南京中车浦镇海泰制动设备有限公司、中铁检验认证中心有限公司、上海申通轨道交通检测认证有限公司、上海轨道交通检测认证（集团）有限公司、中车青岛四方车辆研究所有限公司、北京交通大学、同济大学、西南交通大学、铁科院（北京）工程咨询有限公司、北京鉴衡认证中心有限公司。

本文件主要起草人：崔任永、白彦超、徐世木、张佳宇、李欣伟、周媛、王宗明、王金阳、宗志祥、吴正晨、邬春晖、高利华、王子敬、左亮、申天亮、万铁军、朱明亮、赵小军、王超、耿星洁、万鑫、钱广民、王宏伟、胡方阳、管昌海、师小龙、张成功、韦海菊、王文平、魏周艳、张章、牛玉国、庄国明、王萌、曹雪铭、万勇兵、褚天舒、穆广友、刘国永、龚晓波、李家宝、杨广雪、侯宇、周劲松、周凯、吴兴文、梁树林、邓文豪、徐丽东、王雷、王振凯。

引 言

随着我国城市轨道交通早期线路配属车辆陆续接近或超过设计寿命，车辆老龄化带来的安全性、可靠性及运维经济性问题日益凸显。为科学应对这一趋势，规范并指导地铁车辆延寿工作，实现资产价值的最大化利用，特制定《城市轨道交通 地铁车辆延寿工作导则》。

本文件为城市轨道交通地铁车辆的延寿工作提供一套系统、规范的技术与管理依据，明确延寿全过程的基本原则、通用要求和工作流程，确保延寿决策与实践有章可循、有据可依，最终达到在保障运营安全的前提下，有效延长车辆服役寿命的目标。

地铁车辆延寿是一项涵盖状态筛查、寿命量化、技术改造、安全验证及资产处置等多个环节的复杂系统工程。为清晰地界定各阶段的技术内容与管理要求，便于不同专业的使用与实施，并适应技术发展对标准修订和维护的需要，T/CAMET XXXX 采用分部分编写的结构。

T/CAMET XXXX 由以下六个部分构成。

第 1 部分：总体原则与要求。旨在确立车辆延寿的总体框架、基本要求和全过程流程，是整套标准的纲领性文件。

第 2 部分：预评估。规定初步筛查车辆延寿可行性的方法与要求。

第 3 部分：寿命评估。规定对车辆及关键部件进行剩余寿命定量评估的技术方法。

第 4 部分：更新改造。规定为实现延寿目标而进行的技术改造要求。

第 5 部分：试验与检验。规定更新改造后车辆投入运营前的验证要求。

第 6 部分：退运处置。规定不具备延寿条件车辆的报废或其他处置方式。

车辆及关键部件的剩余寿命是决定其能否延寿的核心技术依据。为统一和规范寿命评估的技术路径、方法选择和结果判定，确保评估结论的科学性、准确性与可靠性，制定本文件。

由于寿命评估是延寿决策的技术核心，涉及复杂的专业理论、模型和试验，内容体量庞大且专业性强，故独立成册。本文件在技术上支撑 T/CAMET XXXX. 1《城市轨道交通 地铁车辆延寿工作导则 第 1 部分：总体原则与要求》确立的寿命评估任务，其评估结果是编制 T/CAMET XXXX. 4《城市轨道交通 地铁车辆延寿工作导则 第 4 部分：更新改造》技术方案的基础。

本文件是 T/CAMET XXXX 的第 3 部分，需与第 1 部分协同使用。

城市轨道交通 地铁车辆延寿工作导则 第3部分：寿命评估

1 范围

本文件规定了城市轨道交通地铁车辆寿命评估阶段的总体原则、评估任务和流程、工作内容及要求。

本文件适用于设计寿命后半期的城市轨道交通地铁车辆延寿寿命评估的实施与管理，其他制式车辆可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

TB/T 3548-2019_机车车辆强度设计及试验鉴定规范总则

TB/T 3549.1-2019 机车车辆强度设计及试验鉴定规范转向架 第1部分：转向架构架

TB/T 3550.1-2019_机车车辆强度设计及试验鉴定规范车体 第1部分：客车车体

3 术语和定义

T/CAMET XXXX 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

车队 fleet

服役于同一线路的同型号同采购批次的车辆集合。

3.2

寿命评估 life assessment

是指通过数据分析、状态检查、试验检测等手段，基于成熟的寿命预测模型或专家经验，对车辆或部件在特定工况下的剩余使用寿命或全寿命周期耐久性进行预测与判定的过程。

3.3

评估范围 scope of assessment

指目标车队通过预评估后确定的寿命评估部件集合。

3.4

核心关键部件 core and key components

指对运营安全影响程度大、价值占比高、更换工作量大的车辆子系统及部件，是车辆寿命评估的主要对象。一般指车体、转向架构架、电线电缆，其中车体是核心部件，转向架构架及电线电缆为关键部件。

3.5

寿命限制因素 life-limiting factors

指影响部件实际使用寿命的多维度内外部条件，这些因素共同决定了部件的性能退化速度、失效模式及剩余寿命。

3.6

安全使用寿命 safe service life

经充分评估论证，服役车辆、核心关键部件正常维护下能够安全运行的寿命。

3.7

目标寿命 target service life

服役车辆、核心关键部件经过技术改造后能够安全运行的寿命。

3.8

修程优化 maintenance process optimization

修程优化是指通过科学分析设备运行数据、故障模式及维护成本，对设备检修周期、维修策略和作业内容进行系统性调整，以提升维护效率并降低成本的系统性改进方法。

3.9

车辆残值 vehicle residual value

可循环利用的部件价值减去车辆报废处置成本。

4 总体原则

4.1 车辆寿命评估时机按以下原则确定：

- a) 车辆达到或超过设计使用寿命或使用里程的 1/2 时；
- b) 预评估显示车辆满足延寿基本条件时；

4.2 车辆出现以下情况，也可开展寿命评估：

- a) 车辆整体出现可靠性指标不达标或状态趋势劣化，且无法或不能及时消除缺陷；
- b) 特定系统或部件出现可靠性指标不达标或状态趋势劣化，且无法或不能及时消缺；
- c) 车辆关键系统进行重大升级改造或需批量替代前；
- d) 车体或转向架构架出现批量或严重裂纹时；
- e) 架大修实施全寿命统筹整改时。

4.3 寿命评估一般针对车队开展，同线路、同型号的不同车队，寿命评估结果可互为参照。

4.4 同型号、同批次服役于不同线路的车队，寿命评估选取其中线路条件、载客量等综合运行工况较恶劣的车队开展评估。

4.5 寿命评估宜结合车辆架修或大修开展。

5 评估任务和流程

5.1 车辆寿命评估由 3 个任务内容组成，包括方案制定、寿命评估、延寿策略制定，流程见图 1。

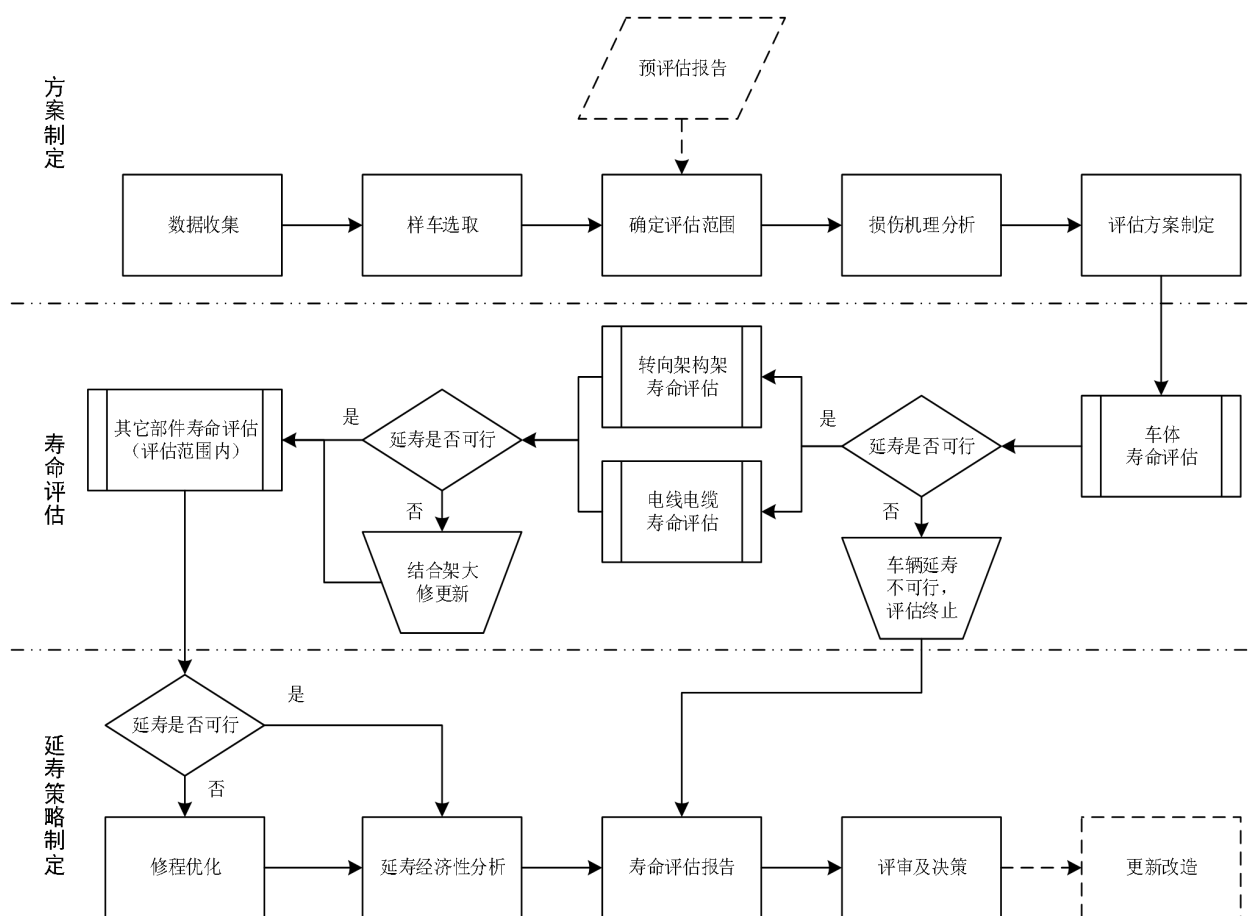


图1 车辆寿命评估流程

5.2 方案制定。对目标车队的资料及数据进行收集，选择具有代表性的样车，针对预评估确定的评估范围进行损伤机理分析，确定部件的寿命限制因素，制定针对性的评估方案。

5.3 寿命评估。按照车体、转向架构架、电线电缆、其它部件的顺序及评估结果判断逻辑，对评估范围内的部件开展寿命评估并制定核心关键部件的延寿改造初步方案。

5.4 延寿策略制定。根据寿命评估结果，分析其他部件按既有修程修制延寿至车辆目标寿命是否可行，如不可行则进行修程优化。开展技术经济性分析，延寿可行时对车辆延寿和报废成本进行对比分析，延寿不可行时估算车辆残值，为车辆处置决策提供依据。

6 评估内容及要求

6.1 方案制定

6.1.1 应收集新造、运营、检修阶段的全面资料及数据，包括但不限于：

- 该批次车辆的设计图纸及明细、模型、计算报告、试验及检测报告等；
- 该批次车辆运营和故障数据，包括车辆运行环境、运用频率和运营里程、故障及维修记录、事故及事件记录、部件更换记录、载客量、可靠性数据、车轮镟修、轨道维护等；

——检修规程、检修数据及改造记录。

6.1.2 寿命评估样车应至少选取目标车队中具有代表性的1列车进行，也可根据实际情况，选择目标车队中其他列车对部分核心关键部件进行评估。代表性列车选取原则如下：

——行驶里程及服役时间相对较长；

——有完整的履历表（包括架大修履历、运行数据、故障情况等）；

——未发生过重大事故；

——车轮处于镟修中期。

6.1.3 根据预评估报告结果确定寿命评估范围，至少包括核心关键部件。

6.1.4 对评估范围内的部件进行损伤机理分析，分析其损伤因素、损伤形式，确定寿命限制因素。

6.1.5 根据部件的损伤形式及寿命限制因素确定合理的评估方法，制定部件及整车的评估方案。

6.2 寿命评估

6.2.1 车体及转向架构架

6.2.1.1 依据车辆技术规格书、TB/T 3548、TB/T 3549.1、TB/T 3550.1，同时考虑实际运用工况计算载荷工况，对车体及转向架构架进行强度有限元仿真分析，校核其结构强度并识别高应力区域。

6.2.1.2 对裂纹、腐蚀等损伤进行全面的目视检查。

6.2.1.3 对关键尺寸进行检测，重点测试项点：

——车体：挠度、车体横断面、侧门门洞对角尺寸、端墙门洞对角尺寸等；

——转向架构架：两侧梁中心距、弹簧座单侧尺寸、构架对角线差、垂向尺寸等。

6.2.1.4 对高应力区域和既往缺陷等关键部位焊缝接头进行无损检测。

6.2.1.5 对损伤严重部位或其他关键部位（如车体牵枕缓等），视条件进行材料性能检测。

6.2.1.6 至少选取1列车进行测试，车体至少选取动拖车各1节，转向架构架至少选取1个构架。

6.2.1.7 测试应包括车辆运行速度、载客重量、关键位置应力、三向振动加速度。

6.2.1.8 测试工况应能反映全线、全年的载客量特征，测试样本数应足够充分。

6.2.1.9 应采用有限元分析方法和线路动应力试验方法进行寿命评估。

6.2.1.10 采用有限元分析方法评估寿命时，应考虑结构的腐蚀和裂纹，采用线路测试载荷作为输入条件。

6.2.1.11 疲劳寿命计算一般选择名义应力法，根据结构材料采用 EN 1999-1-3、FKM、IIW-2259-15 或其他同等标准。如存在影响安全使用寿命的严重裂纹，可采用基于断裂力学法的 BS 7910 或其他同等标准计算裂纹的临界安全尺寸、快速扩展尺寸和裂纹扩展寿命。

6.2.1.12 寿命评估时，应考虑一定的安全系数，避免有限次数测试引起的偏差。

6.2.1.13 通过强度仿真分析、状态检查、疲劳寿命计算等多个维度分析，综合得出安全使用寿命。

6.2.2 电线电缆

6.2.2.1 电线电缆可按以下流程开展寿命评估：

——收集资料，包括设计资料、制造资料、试验资料、维修资料、运用环境条件、安装散热情况；

——对车辆电缆进行拆解检查，拆解检查要结合运营工况对其老化的影响；

- 选取样品，优先选取不易更换的高压母线¹⁾、中压电缆²⁾，优先选择工作温度高、电流大、运营工况恶劣的电线电缆开展寿命评估；
- 对样品进行寿命试验及评估。

6.2.2.2 电线电缆寿命限制因素为绝缘层的老化和损伤，应根据具体运营工况考虑以下老化因子：

- 电：高电压、大场强、大电流；
- 热：高环境温度、长期高负荷、温度冲击；
- 机械：外力挤压、摩擦、振动和冲击；
- 环境：水、酸雨、燃料油、臭氧等。

6.2.2.3 寿命试验应进行电气性能检测试验、机械性能检测试验、寿命试验。

6.2.2.4 延寿使用的电线电缆，应制定延寿期内的检查与测试方案。

6.2.3 其他部件

6.2.3.1 寿命评估流程包括：

- 确定影响系统及部件的寿命限制因素或子部件；
- 收集状态分析和寿命评估所需要的资料；
- 根据寿命限制因素的分析，进行系统及部件运用环境条件的排摸调查，并开展系统及部件当前运行状态的检查和必要的测试。

6.2.3.2 进行寿命评估，可根据系统/部件特性选用以下方法：

- 基于状态检查、数据分析进行寿命分析；
- 基于成熟的系统及部件的寿命预测模型；
- 基于专家评估审查。

6.3 延寿策略制定

6.3.1 修程优化

6.3.1.1 根据其他部件评估结果，判断按既有修程修制延寿至车辆目标寿命是否可行：

- 如可行，该部件判定为直接延寿使用，并维持既有修程修制；
- 如不可行，应对其进行修程优化。

6.3.1.2 通过增加更新子部件、增加检修内容、整体更新等措施，保障部件安全可靠服役至车辆目标寿命。

6.3.2 延寿经济性分析

6.3.2.1 延寿经济性分析宜按照 IEC 60300-3-3 指导进行。

6.3.2.2 根据车辆延寿技术可行性结论，开展经济性分析评估：

- 可行时，应对车辆延寿和报废成本进行对比分析，车辆报废应考虑车辆残值，对比分析结果作为车辆处置决策的依据；

1) 在轨道交通车辆系统中，用于将电网电压等级直接输入相同电压等级关键设备（如高压受流器、牵引设备及辅助逆变器等）的电缆。

2) 在轨道交通车辆系统中，用于将辅助逆变器的输出输入至交流负载（如辅助逆变器、空调及空压机等）的电缆。

——不可行时，应对车辆残值予以估算。

6.3.2.3 车辆延寿和报废两种模式的主要成本项如下：

a) 车辆延寿：

——评估成本：预评估与寿命评估成本之和；

——核心关键部件补强修复成本：车体、转向架构架及电缆补强、更新改造成本；

——其他系统及部件更新改造成本：除车体、转向架构架及电缆外其他系统及部件更新改造成本；

——延寿改造后超出常规维修外的维修成本：延寿期内针对延寿的系统及部件，制定的超出常规维修之外的维护或更新成本；

——延寿改造后的运行节能成本：车队延寿改造后相比延寿改造前的运行能源节约成本；

——其他成本。

b) 车辆报废：

——新车购置成本：包括新车购置成本以及提前购置车辆产生的资金成本；

——车辆残值：可循环利用的部件价值减去车辆报废处置成本；

——其他成本。

6.3.3 寿命评估报告

寿命评估报告的主要内容应包括：

——车队概况：车辆总体、核心关键部件的设计、制造、出厂试验、运用和维护信息和数据；

——评估范围及方案：需要开展寿命评估的部件清单及其评估方案；

——评估数据及结论：评估范围内的材料性能、运用工况、寿命计算采用的标准及方法，仿真计算、正线试验及寿命计算评估的过程及结论；

——延寿经济分析：车辆采取不同处置措施的经济性计算和分析对比；

——延寿策略及结论：部件延寿策略及车辆延寿或到期报废的结论，延寿车辆的服役跟踪措施等。

7 评审及决策

7.1 由车辆业主组织对车辆寿命评估报告进行评审，论证评估结论是否合理，提出评审意见。

7.2 车辆业主根据车辆寿命评估报告、专家评审意见，综合相关法规、运营目标、技术发展、经营战略等因素，完成车辆延寿改造决策。

参考文献

- [1] IEC 60300-3-3 可靠性管理 第3-3部分 应用导则—寿命周期费用 (Dependability management—Part 3-3: Application guide—Life cycle costing)
- [2] EN 1999-1-3 欧洲规范 9: 铝结构设计—第1-3部分: 疲劳敏感结构 (Eurocode 9 - Design of aluminium structures - Part 1-3: Structures susceptible to fatigue)
- [3] BS 7910 金属结构中缺陷验收评定方法导则 (Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures)
- [4] FKM 机械工程中构件的强度分析评价 (Analytical strength assessment of components in mechanical engineering)
- [5] IIW-2259-15 焊接接头和零部件的疲劳设计建议 (Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components)