

轨道交通信号系统集成电路可靠性测试指南
(征求意见稿)
编制说明

标准起草组

2025 年 6 月

目 录

目 录..... 1

一、任务来源、起草单位、协作单位、主要起草人..... 1

二、 制订标准的必要性和意义..... 1

三、主要工作过程..... 3

四、制订标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系..... 6

五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述..... 9

 5.1 总体原则..... 9

 5.2 检测项目..... 9

六、重大意见分歧的处理依据及结果..... 11

七、采用国际标准和国外先进标准的，说明采标程度，以及与国内外同类标准水平的对比情况..... 11

八、 贯彻标准的措施建议..... 11

九、其他应说明的事项..... 12

一、任务来源、起草单位、协作单位、主要起草人

（一）任务来源

2023年9月，北京全路通信信号研究设计院集团有限公司参加了中国交通运输协会2023年度第六批第四次团体标准立项会议，提出《轨道交通信号系统集成电路可靠性测试指南》立项申请并汇报，经质询、讨论，通过立项申请。会议纪要号：（〔2023〕第214期(立审)）。根据中国交通运输协会发布的“2023年度第六批团体标准项目立项的公告”（中交协秘字〔2023〕74号）要求进行后续标准编制工作。

（二）起草单位

本标准由中国交通运输协会牵头组织编制，北京全路通信信号研究设计院集团有限公司和苏试宜特（上海）芯片检测技术有限公司作为主要起草单位。邀请中国铁道科学研究院、卡斯柯信号有限公司、北京智芯微电子科技有限公司、龙芯中科技术股份有限公司、飞腾信息技术有限公司、中铁检验认证中心、北京邮电大学、通号（西安）轨道交通工业集团有限公司等单位参与编制工作。

（三）主要起草人

丁欢、林子明、巩京爽、葛金发、于健洁、王宏伟、曹帅、潘长清、罗汉青、叶翠、许政。

起草人员工作任务如下表：

表1 起草人员工作任务表

序号	工作内容	参与人员
1	总体策划，技术顾问	丁欢、葛金发、罗汉青
2	前期技术调研与资料整理	叶翠、许政
3	标准正文内容编制与验证（1-5章）	林子明、曹帅、潘长青
4	标准正文内容编制与验证（6-7章）	巩京爽、于健洁、王宏伟
5	标准化审查与项目协调	丁欢

二、制订标准的必要性和意义

（一）背景和意义

轨道交通作为一种重要的交通运输方式，在整个经济活动中发挥着重要作用，尤其在中国，轨道交通总体体量巨大，覆盖范围广泛，其设备运行时间长、运行环境复杂，需要长期稳定服役，对底层芯片可靠性要求高。

我国的硬件装备在自主化的过程中制定了行业检测标准和 CRCC 认证体系，目前轨道交通信号系统领域正处于全面国产替代阶段，底层芯片国产化，该领域缺乏集成电路检测标准和认证体系。

国外芯片经过多年市场检验，迭代多次，已经处于成熟阶段，而国产芯片大多处于新产品阶段，在可靠性方面市场检验不够充分，存在不确定性。

轨道交通领域缺乏集成电路可靠性的相关检测标准。当前轨道交通领域的选型、测试工作大多采用工业级 JEDEC JESD22、汽车级 AEC Q100，还有极少数采用 IEC 60749。选用标准、测试条件的不统一，导致不同产品芯片可靠性指标控制参差不齐，对芯片厂商也无法形成反向的约束，不利于轨道交通行业的整体技术发展。根据《国家标准化发展纲要》（2021 年）关于"加强核心基础零部件（元器件）、先进基础工艺、关键基础材料与产业技术基础标准建设，加大基础通用标准研制应用力度。"的要求，亟需建立自主可控的集成电路可靠性标准体系。

通过本标准的制定，填补行业标准空白，提升国产芯片质量、减少芯片厂商重复认证费用，优化成本，构建“芯片-模块-系统”三级可靠性指标，提升装备整体可靠性水平，保障铁路运输安全。

（二）必要性

1. 新颖性

1) 填补行业空白

本标准首次构建了轨道交通信号系统集成电路的可靠性测试指南，填补了国内该领域的空白，为行业提供了可落地的技术规范。

2) 创新测试方法

在遵循 AEC-Q100 等国际标准的基础上，结合轨道交通信号系统的实际工况，新增了盐雾试验、热冲击试验、低温工作寿命试验等项目，创新性地制定了适合轨道交通领域的集成电路可靠性测试方法。

2. 适用性

1) 覆盖广泛应用场景

本标准适用于轨道交通信号系统车载、轨旁、室内等多场景的集成电路可靠性检测，确保了不同应用场景下的适用性和有效性。

2) 全生命周期管理

通过提供全面的可靠性测试指南，支持集成电路从设计、生产到应用的全生命周期管理，提升了装备整体可靠性水平。

3) 灵活性与可操作性

标准中采用了“推荐 R”与“可选 O”的分级方式，允许厂商根据实际需求选择合适的检测项目，增强了标准的灵活性和可操作性。

3. 实用性

1) 提升国产芯片质量

本标准的制定有助于提升国产芯片在轨道交通信号系统中的应用质量，减少因可靠性问题导致的系统故障和安全风险。

2) 降低认证成本

通过统一测试方法和评价指标，避免了芯片厂商的重复认证，降低了认证成本，提高了市场效率。

3) 促进技术交流和进步

标准的实施将促进研发、应用、评估等各环节人员的技术交流和研讨，共同推进标准在行业内的实施开展，推动技术进步和创新。

4. 紧迫性

1) 轨道交通快速发展需求

随着轨道交通行业的快速发展，对信号系统集成电路的可靠性要求日益提高。本标准的制定是满足行业发展需求的紧迫任务。

2) 保障铁路运输安全

轨道交通信号系统的可靠性直接关系到铁路运输的安全和效率。本标准的实施有助于提升信号系统的整体可靠性水平，保障铁路运输的安全稳定。

3) 推动国产替代进程

在轨道交通信号系统领域全面国产替代的背景下，本标准的制定有助于加速国产芯片的应用和推广，推动国产替代进程的顺利进行。

三、主要工作过程

本标准编制起止时间为 2023 年 9 月~2025 年 12 月。

（一）起草组工作概述

根据要求，中国交通运输协会于 2023 年 6 月开始着手成立标准编制工作起草小组，

组织标准编制的相关工作。作为主要起草单位，北京全路通信信号研究设计院集团有限公司积极收集有关本标准的各类信息，并组织相关的调研和试验验证工作，联络参编单位，最终明确了标准起草工作组的成员单位，成立了标准起草工作组。制定项目章程，定期组织召开例会，按计划推进，完成了标准前期调研、大纲评审、征求意见稿草案评审等各项工作。

（二）历次审查会专家审查意见及结论

1. 立项阶段

标准起草工作组经过技术调研、咨询、收集并消化有关资料，充分总结国内外技术研究与应用情况，于 2023 年 8 月编写完成了团体标准《轨道交通信号系统集成电路可靠性测试指南》的立项申请资料。9 月 22 日，协会组织行业专家再北京召开立项审查会议（〔2023〕第 214 期(立审)），对标准立项报告进行审核，通过了标准项目的编制申请。

2. 大纲阶段

立项申请获批后，标准起草工作组按照立项审查会议内容，通过研究国内外相关标准、研究成果并结合轨道交通信号系统集成电路实际情况，确定标准编制主要内容，迅速开展标准工作大纲和征求意见稿的编制工作，于 2023 年 12 月完成了团体标准《轨道交通信号系统集成电路可靠性测试指南》的工作大纲与征求意见初稿。2024 年 1 月 8 日，协会组织行业专家在北京召开大纲审查会议（〔2024〕第 16 期(纲审)），形成以下审查意见：

- (1) 增加“总则”一章，优化章节；
- (2) 增加具有代表性的参编单位。

根据评审意见，标准起草工作组对工作大纲进行了调整，增加“总则”章节，邀请了卡斯柯信号有限公司、北京智芯微电子科技有限公司、通号（西安）轨道交通工业集团等具有代表性的参编单位。

3. 征求意见稿阶段

2024 年 11 月，根据项目分工，结合大纲评审意见，完成标准各章节条文的编写，汇总形成征求意见稿。

2024 年 12 月征求意见稿通过公司级评审，与会专家提出 7 条修改意见如下：

- (1) 规范性引用文件：MIL-STD-883 Department of Defense Test Method
Standard:Microcircuits，引用国军标；

- (2) 条款 6.1.5 功率温度循环试验，明确通断时间；
- (3) 条款 6.3.4 电磁兼容试验，按照整机指标提出判定准则；
- (4) 删除条款 6.3.5 短路特性；
- (5) 删除条款 6.3.6 软错误率；
- (6) 补充 HTOL、PTC、TS、LTOL 指标检测要求的基本要求；
- (7) 规范统一标准中使用的符号。

标准编制组除第（3）条未修改外，其他全部按照专家意见修改完毕。第（3）条未修改是因为，标准编制组就这个问题和 EMC 专家商议后认为 IC 使用整机要求不合理，且不同设备之间的要求也是不同的，即使是设备也无法给出统一的判定准则。所以第（3）条判定准则仍暂定为“由用户和供应商协商确定”。

标准起草工作组于 2025 年 1 月将征求意见草案提交中国交通运输协会审查。

2025 年 3 月 12 日，协会组织行业专家在北京召开征求意见草案评审会议（〔2025〕第 98 期(征审)），形成以下审查意见：

- (1) 建议标准名称修改为《轨道交通信号系统集成电路可靠性测试指南》。
- (2) 适用范围修改为：本文件提出了轨道交通信号系统集成电路可靠性检测的总体原则、检测要求和等级要求的建议。本文件适用于轨道交通信号系统集成电路的可靠性检测。
- (3) 规范性引用文件的 AEC 系列标准，列为参考文献。
- (4) 删除术语和定义 3.1，根据标准文本，可增加可靠性试验的定义。
- (5) 术语和定义，对于有来源的，进行来源的标注。
- (6) 术语和定义 3.5、3.6，直接使用中文。
- (7) 条款 5.1 修改为：本文件为轨道交通信号系统 IC 开展可靠性检测提供指导，通过对 IC 的可靠性检测提升装备整体可靠性水平。
- (8) 统一文件中“芯片”、“器件”的描述。
- (9) 表 1 名称修改为：IC 温度等级与工作温度的对应关系，并修改条文引导用语。
- (10) 条款 5.3，“R 表示推荐的，O 表示可选的”放入表注。
- (11) 删除条款 5.4。
- (12) 条款 5.5 修改为：IC 供应商宜提供符合本文件的声明，证明其产品已通过符合文件规定的测试和验证。
- (13) 考虑将条款 5.6 修改为：装备厂商可根据实际产品要求，确定 IC 可靠性检

测项目。

- (14) 第 6 章名称修改为：检测项目。
- (15) 将第 6 章的表，删除表名称中的“要求”。
- (16) 第 6 章标准内容的用语，使用指南类标准的用语。
- (17) 表 4、表 5、表 6 根据内容，按条或者列项明晰结构。第 6 章整体梳理。
- (18) 第 6.3 节名称修改为：电气特性测试。
- (19) 条款 6.2.2，删除产品成本的描述。
- (20) 第 6 章中“热冲击”等与汽车行业标准差异的条款，增加解释描述。
- (21) 修改表 15 的表头表格形式。
- (22) 表 24 的判定准则，查找是否有国标依据。
- (23) 删除 6.4.4 对认证评估的要求。
- (24) 第 7.1-7.20 条，对应调整入第 6 章。
- (25) 表 41-表 43，分条进行描述。
- (26) 表 44、45，直接用条款描述。
- (27) 增加“8 测试报告”。
- (28) 考虑高海拔、腐蚀性条件下的要求。
- (29) 标准技术指标的相关依据，在编制说明中体现。

第（2）条中，“适用范围修改为：本文件提出了轨道交通信号系统集成电路可靠性检测的总体原则、检测要求和等级要求的建议。”，根据修改后的标准章节，本条修改后为“本文件提出了轨道交通信号系统集成电路可靠性检测的总体原则、检测项目和测试报告中提供的信息的建议。”。将第（24）、（25）、（26）条全部对应调整入第 6 章。第（27）条增加“7 测试报告中提供的信息”。第（28）条增加盐雾试验。总共 29 条全部按照专家意见修改完毕。

2025 年 5 月，结合征求意见草案评审意见，完成征求意见稿修订。

（三）征求意见及意见处理情况

征求意见阶段尚未开展。

四、制订标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系

经自查，本标准中提出的技术要求（引用内容除外）与已有国家标准、行业标准、地方标准、团体标准一致度不超过 30%。

（一）标准编制原则

1. 统一性

统一轨道交通信号系统集成电路可靠性的测试方法、评价指标及术语定义，消除不同装备厂商、不同应用场景间的差异。术语定义（如 3.1 可靠性试验、3.2 静电放电）严格引用 GB/T 5080.1、GB/T 4365 等国家标准，确保概念一致性。

2. 协调性

与现行国家/行业标准深度衔接。规范性引用文件（第 2 章）明确采用 GB/T 4937.13（盐雾试验）、GJB 548（微电子器件试验方法和程序）等，试验方法参考 JEDEC JESD22 和 AEC-Q 标准，保持协调性。

3. 适用性

覆盖车载、轨旁、室内等多场景集成电路可靠性需求，包含信号系统各类集成电路。检测项目（第 6 章）充分考虑了轨道交通信号系统的运行环境 and 应用要求，确保标准在实际应用中的有效性和针对性。

4. 一致性

技术要素与 JEDEC JESD22（Reliability Test Methods for Packaged Devices）、IEC60749（Semiconductor devices-Mechanical and climatic test methods）等国际标准理念一致。检测项目的样品要求（如 HTOL 试验 77 颗/批，3 批）和判定准则（零失效原则），与 AEC-Q100（Failure Mechanism Based Stress Test Qualification for Integrated Circuits in Automotive Applications）等国际通用可靠性评价体系保持一致。

5. 规范性

严格遵循 GB/T1.1-2020《标准化工作导则》的起草规则。文件结构（前言、范围、术语等）完全按导则要求编排。

6. 目标性

以实现轨道交通信号系统集成电路“高可靠、长寿命、免维护”为核心目标。检测项目（第 6 章）温度循环试验（TC）、静电放电试验（ESD）聚焦轨道交通典型应力，高温工作寿命试验（HTOL）量化失效率（FIT）、平均无故障时间（MTTF）关键指标，直接支撑集成电路全生命周期可靠性管理需求。

（二）技术要素确定原则

1. 目的性原则

聚焦轨道交通信号系统集成电路的特殊可靠性需求，区别于通用电子元器件测试。

检测项目包含热冲击试验（TS）、盐雾试验（SA）等轨道交通专用测试项目，高温工作寿命试验（HTOL）检测条件与集成电路工作环境温度、产品 MTBF 要求相关，体现信号系统在严苛运行环境下的特殊要求。

2. 性能特性原则

第 6 章检测项目，全部测试均采用量化指标。各测试项目的样品要求、检测条件、判定准则均以数值形式明确规定。

3. 可证实性原则

第 7 章规定测试报告必须提供完整的样品信息、试验设备说明、试验环境条件以及原始测试数据，确保结果可复现、可审计。

（三）与现行法律、法规的关系

无

（四）与相关标准的差异性分析

1 与国际标准的对比

与国际标准的对比差异如下表。

表2 与国际标准的对比差异表

标准号	标准名称	差异
JEDEC JESD22	Reliability Test Methods for Packaged Devices	1、填补空白：专为轨道交通信号系统集成电路设计。 2、样品要求与判定准则：有明确样品要求与判定准则，比如温度循环试验（TC）要求77颗/批，3批，且0失效。 3、温度等级：强制分级（等级0-3）并匹配不同测试条件。
AEC-Q100	Failure Mechanism Based Stress Test Qualification for Integrated Circuits in Automotive Applications	1、填补空白：专为轨道交通信号系统集成电路设计。 2、技术升级：根据轨道交通运行环境，新增盐雾（SA）、热冲击（TS）等试验。 3、指标创新：根据产品MTBF、集成电路工作环境温度，新增推荐高温工作寿命试验（HTOL）检测条件。
IEC 60749	Semiconductor devices-Mechanical and climatic test methods	1、填补空白：专为轨道交通信号系统集成电路设计。 2、侧重不同：IEC 60749侧重机械与气候方面的可靠性，该标准侧重集成电路全生命周期可靠性验证。 3、样品要求与判定准则：有明确样品要求与判定准则，比如温度循环试验（TC）要求77颗/批，3批，且0失效。 4、温度等级：强制分级（等级0-3）并匹配不同测试条件。

2 与国家标准的对比

国家标准 GB/T 4937（半导体器件 机械和气候试验方法）翻译自标准 IEC 60749（Semiconductor devices-Mechanical and climatic test methods），该标准与 GB/T 4937 的差异与

IEC60749 相同。

五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述

5.1 总体原则

在编制轨道交通信号系统集成电路可靠性测试指南标准总体原则章节时，主要考虑以下因素：

- 技术适配性：通过 IC 应用环境与温度等级的对应关系（表 2），确保 IC 性能与不同工况相匹配。
- 灵活性设计：IC 温度等级采用“推荐 R”与“可选 O”分级，允许厂商根据实际需求选择合适的方案。
- 供应链协同：要求供应商提供合规说明，强化产业链责任追溯，确保检测结果可验证。
- 可操作性：明确装备厂商可自定义检测项目，体现标准对实际工程差异化的包容性。

这些因素共同保障了标准的科学性、实用性与适用性。

总体原则章节规定了本文件为轨道交通信号系统 IC 开展可靠性检测提供指导，通过对 IC 的可靠性检测提升装备整体可靠性水平。IC 温度等级与工作温度的对应关系、IC 应用环境与温度等级的对应关系。IC 供应商宜提供符合本文件的声明，证明其产品已通过符合本文件规定的测试和验证。装备厂商可根据实际产品要求，确定 IC 可靠性检测项目。

5.2 检测项目

本标准检测项目的试验条件、方法、判定遵循 AEC-Q100 标准，根据轨道交通信号系统领域的集成电路的实际使用情况，盐雾、高温工作寿命、功率温度循环、热冲击、低温工作寿命检测项目有如下改变：

名称	改变
盐雾	增加该项试验
高温工作寿命	增加测试时间
功率温度循环	增加适用范围

热冲击	增加该项试验
低温工作寿命	增加该项试验

盐雾试验

AEC-Q100 标准无该项试验。本标准添加该项试验，模拟沿海地区应用环境。盐雾试验参考 GB/T 4937.13 标准执行。

高温工作寿命试验

高温工作寿命试验测试时间依据：有使用时间 T_{USE} 、应力时间 T_{STRESS} 、使用电压 V_{USE} 、应力电压 V_{STRESS} ，使用阿伦尼乌斯方程计算加速因子 AF ，有样本数量和测试持续时间，使用卡方分布可以计算除平均失效前时间 $MTTF$ ，进一步计算出加速累积失效率 $F(t)=1-\exp(-\lambda t)$ 。根据信号系统产品 $MTBF$ 要求，按照 IC 达到产品的 $MTBF$ 时，其加速累积失效率为 1%反推 HTOL 的测试温度、测试时间。

工作环境温度	MTBF要求			
	1×10^5h	1.5×10^5h	2×10^5h	3×10^5h
15°C~30°C	Ta=85°C, Vin=Vccmax,t=1000h		Ta=85°C, Vin=Vccmax,t=1500h	Ta=85°C, Vin=Vccmax,t=2000h
	或Ta=105°C, Vin=Vccmax,t=1000h			
-5°C~45°C	Ta=105°C, Vin=Vccmax,t=1000h			Ta=105°C, Vin=Vccmax,t=1500h
	或Ta=125°C, Vin=Vccmax,t=1000h			
-35°C~55°C	Ta=125°C, Vin=Vccmax,t=1000h			Ta=125°C, Vin=Vccmax,t=1500h
-40°C~70°C	Ta=125°C, Vin=Vccmax,t=1000h	Ta=125°C, Vin=Vccmax,t=1500h	Ta=125°C, Vin=Vccmax,t=2000h	Ta=125°C, Vin=Vccmax,t=2500h
	或Ta=150°C, Vin=Vccmax,t=1000h			

功率温度循环试验

AEC-Q100 标准中适用于功耗 $\geq 1W$ 或结温变化 $\geq 40^\circ C$ ，经常开关的器件中。本标准增加该项试验的适用范围，适用于经常开关的器件中。模拟轨旁设备循环启动的场景。

热冲击试验

AEC-Q100 标准无该项试验。本标准添加该项试验。模拟车载设备温度瞬间变化的场景。热冲击试验参考 JEDEC JESD22-A106 标准执行。

低温工作寿命试验

AEC-Q100 标准无该项试验。本标准添加该项试验。模拟实际应用环境低于 $0^\circ C$ 的

场景。低温工作寿命试验参考 JEDEC JESD22-A108 标准执行。

六、重大意见分歧的处理依据及结果

本标准制订过程中尚未发生过重大意见分歧。

七、采用国际标准和国外先进标准的，说明采标程度，以及与国内外同类标准水平的对比情况

本标准未采用国际标准和国外先进标准。

八、贯彻标准的措施建议

（一）组织措施、技术措施、过渡办法

1. 组织措施

由中国交通运输协会标准化技术委员会牵头，联合芯片厂商、装备厂商、芯片检测机构成立标准贯彻领导小组，负责标准实施的统筹协调和监督指导。领导小组下设专家组，负责解读标准技术条款，解决实施争议。

2. 技术措施

建立标准实施技术支撑平台，集成第 6 章的检测项目和检测方法文档，为相关企业提供技术咨询、检测服务和技术培训。

3. 过渡办法

为减轻企业负担，确保平稳过渡，可设立 3 个月过渡期，允许企业在过渡期内逐步达到标准要求。在过渡期内，加强对企业的指导与支持，提供必要的技术支持，帮助企业尽快达到标准要求。

（二）标准培训工作的要求和建议

1. 培训要求

培训内容全面，应涵盖标准的背景、意义、主要内容、实施要点及注意事项等。培训对象广泛，应包括芯片厂商、装备厂商、检测机构等相关企业的人员。

2. 培训建议

针对不同层次的人员，开展分层次培训，确保培训内容的针对性和实效性。定期组织复训，巩固培训成果，及时传达标准实施过程中的新问题和解决方案。

（三）关于推广应用标准的手段和方式建议

1. 宣传推广

通过行业媒体、官方网站等渠道，广泛宣传标准的重要性和实施效果，提高行业内外对标准的认知度。树立典型示范企业，展示标准实施带来的实际成效，增强其他企业采用标准的信心和动力。

2. 技术交流与合作

定期组织技术研讨会，邀请行业专家、企业代表等共同探讨标准实施过程中的问题和解决方案。

（四）关于标准贯彻效果检查和评估的建议

1. 建立检查评估机制

定期对采用标准的企业进行检查，评估标准实施情况，发现问题及时督促整改。引入第三方评估机构，对标准实施效果进行客观公正的评估，提高评估结果的权威性和公信力。

2. 评估内容与指标

评估标准实施后对企业产品质量、生产效率、市场竞争力等方面的影响。总结标准实施过程中遇到的问题和困难，提出改进建议和措施，为标准的持续优化提供依据。

3. 评估结果应用

将评估结果及时反馈给相关企业和标准编制单位，作为标准修订和完善的重要依据。对在标准实施过程中表现突出的企业和个人给予表彰和激励，营造良好的标准实施氛围。

九、其他应说明的事项

暂无。