

团 体 标 准

T/CCTAS XXXX—202×

列控系统装备技术成熟度评估指南

Guide for technology readiness assessment of train control system
equipment

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2023 年 9 月 19 日）

202× - XX - XX 发布

202× - XX - XX 实施

中国交通运输协会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 2

5 总体原则 2

6 技术成熟度等级 2

7 技术成熟度评估实施 4

 7.1 评估组织 4

 7.2 评估流程 5

附录 A（资料性） 技术成熟度评估细则..... 6

附录 B（资料性） 技术成熟度评估相关表格..... 11

参考文献 14

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。

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。

本文件由中国交通运输协会新技术促进分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：北京全路通信信号研究设计院集团有限公司，北京交通大学，中铁检验认证中心有限公司。

本文件主要起草人：×。

列控系统装备技术成熟度评估指南

1 范围

本文件提供了列控系统装备技术成熟度评估的总体原则、技术成熟度等级、技术成熟度评估实施方面的指导。

本文件适用于开展轨道交通领域列控系统装备技术成熟度评估活动。

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。

- GB/T 19000 质量管理体系 基础和术语
- GB/T 21562 轨道交通 可靠性、可用性、可维修性和安全性规范及示例（GB/T 21562—2008，IEC 62278:2002，IDT）
- GB/T 28808 轨道交通 通信、信号和处理系统 控制和防护系统软件（GB/T 28808—2021，IEC 62279:2015，MOD）
- GB/T 28809 轨道交通 通信、信号和处理系统 信号用安全相关电子系统（GB/T 28809—2012，IEC 62425:2007，IDT）
- GB/T 41621-2022 科学技术研究项目评价实施指南 开发研究项目

3 术语和定义

GB/T 19000界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

列控系统装备 train control system equipment

应用于轨道交通领域保证列车安全和高效运行的信号设备。

3.2

技术成熟度 technology readiness

技术经过研究、开发、验证和应用所达到的成熟程度。

[来源：GB/T 40518-2021, 3.1]

3.3

技术成熟度等级 technology readiness levels

对一项技术从发现基本原理，经过技术攻关、试验验证和工程应用的成熟进程所进行的划分和度量，用以表明该技术所处的状态、被掌握的程度和工程应用水平。

[来源：GB/T 40518-2021, 3.2]

3.4

技术成熟度评估 technology readiness assessment

按照规定的技术成熟程度等级，对某一项技术从基本原理、方案制定、产品设计、样机研制、试验验证、工程应用等方面进行系统、规范、量化评估的技术管理活动。

3.5

实验室仿真环境 laboratory environment

根据技术验证的需要，通过模拟使用环境中一个或几个关键因素的试验环境，验证系统（或子系统、单元）的功能和性能。

3.6

例行环境 type test environment

根据技术标准或相关技术条件要求，通过第三方检测机构模拟实际环境中温度、湿度、振动、电磁等环境条件，验证在特定条件下的系统功能和性能。

3.7

使用环境 operational environment

技术及技术载体的最终实物在工程应用中的真实环境。

3.8

概念模型 prototype

用于原理功能验证的模型。

3.9

功能样品 brassboard

在实验室仿真环境下，用于软硬件开发、软硬件集成调试和测试的样品。

3.10

功能样机 testing model

在实验室仿真环境下，能够实现系统软硬件功能的样机。

3.11

工程样机 engineering model

工厂完成产业转化，试制生产的可实现小批量生产的样机。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

RAMS: 可靠性、可用性、可维护性、安全性(Reliability, Availability, Maintainability, Safety)

SIL: 安全完整性等级(Safety Integrity Level)

5 总体原则

5.1 开展列控系统装备技术成熟度评估旨在科学地评估技术的可用性和成熟度，有效识别和控制技术风险，支持对技术开发研究项目的量化管理。

5.2 按照应用场景的不同，列控系统装备分为安全至关(SIL3和SIL4)、一般安全(SIL1和SIL2)和非安全相关三类，宜按照实际系统对应的安全类别选取适宜的技术内容进行评估。

5.3 列控系统装备可根据实际系统的特点，对本文件中的技术成熟度各等级相关内容进行细化，以便于相关人员准确实施评估活动。

5.4 宜按照“客观、规范、公正”的原则开展技术成熟度评估，保证评估结论的科学性、准确性和客观性。

5.5 开展技术成熟度评估工作时，宜结合该技术的特点和要求，制定出技术成熟度评估计划，明确评估程序和方式、各相关方的职责分工、评估时机和时间安排以及评估工作的资源保障等，保证评估工作顺利实施。

5.6 技术成熟度评估组织方宜建立相应的评估管理流程，对评估过程形成完整的评估文档，保证技术成熟度评估结果的可追溯性。

5.7 如果需要对技术应用的商业化阶段进行评估，宜按照GB/T 41621-2022附录E要求开展相关延伸评估工作。

6 技术成熟度等级

6.1 列控系统装备技术成熟度等级分级定义及其说明见表1。

表1 列控系统装备技术成熟度等级分级定义及其说明

等级	定义	说明
一 (报告级)	发现新现象/新问题/新需求并提出报告(问题导向/技术推动/需求牵引+灵感创意)	发现技术的基本原理,并形成相关研究报告/论文/应用范例、可行性报告等
二 (方案级)	提出了满足需求或解决问题的技术方案	基于基本原理,提出系统定义或总体技术方案,开展系统研究和技术开发相关准备活动
三 (仿真级)	核心技术概念模型仿真验证成功	对关键功能开展技术分析、建模仿真,形成系统需求规范和测试规范
四 (功能级)	实验室内关键功能指标测试达到预期目标	完成系统概要设计和软、硬件设计并进行测试验证
五 (初样级)	功能样品、图纸+工艺设计、测试通过	完成功能样品试制,在实验室仿真环境下通过硬件测试、软件测试和集成测试
六 (正样级)	功能样机演示测试合格、工艺验证可行	完成功能样机试制,在实验室仿真环境下进行测试部门独立测试,产品功能经多轮次测试并通过验证
七 (环境级)	工程样机系统运行、例行环境试验合格	形成工程样机,通过例行环境试验测试和其他需要的测试
八 (产品级)	完成小批量试生产并形成实际产品,产品、系统定型,工艺成熟稳定,生产与服务条件完备,能够实际使用,形成技术标准、管理标准并被使用	形成实际产品,具备小批量试生产条件,产品通过安全认证(有安全需求的)
九 (系统级)	具备大批量产业化生产与服务条件(多次可重复),形成质量控制体系,质量检测合格,具备市场准入条件	产品通过使用环境中的试验验证,具备大批量产业化生产与服务条件,取得应用许可,得到工程应用。根据列控系统的实际情况,可将工程应用分为: ——9A(实现应用):产品通过了相关行业要求的试用/试验考核,达到了正式运营的要求; ——9B(稳定应用):产品通过一段时期(如3年或累计运行90万公里以上)的连续稳定运用,满足用户运营要求; ——9C(成熟应用):产品通过长期(如5年或累计运行150万公里以上)的连续稳定运用,满足用户运营要求。

6.2 列控系统装备技术成熟度各分级要素构成见表2。

表2 列控系统装备技术成熟度各分级要素构成

等级	要素构成		
	设计开发	测试检验	RAMS相关
一 (报告级)	● 研究报告/论文/应用范例、可行性报告等	—	—
二 (方案级)	● 系统定义或总体技术方案 ● 项目策划/项目开发计划	—	● 安全活动计划 ● RAM/产品生命周期成本(LCC)目标和策略

表2 列控系统装备技术成熟度各分级要素构成（续）

等级	要素构成		
	设计开发	测试检验	RAMS相关
三 (仿真级)	● 系统需求规范 ● 概念模型（如需要）	● 系统测试规范	● 安全风险分析 ● 危险源日志 ● 安全活动的回顾与更新
四 (功能级)	● 系统概要（结构）设计 ● 硬件和软件需求规范 ● 硬件和软件详细设计	● 测试环境确认	● RAM分析 ● 故障模式影响（FMEA）分析 ● 工具安全保障分析（仅 SIL3/4级需要） ● 操作系统安全保障分析（仅 SIL3/4级需要） ● 安全活动的回顾与更新
五 (初样级)	● 功能样品 ● 更新的产品设计	● 实验室仿真环境 ● 硬件和软件测试规范和报告 ● 软件缺陷记录及缺陷报告	● RAM分析验证 ● 安全活动的回顾与更新
六 (正样级)	● 功能样机 ● 更新的产品设计	● 实验室仿真环境 ● 测试案例和测试记录 ● 缺陷状态记录（NCR） ● 系统测试报告	● 系统RAM需求的测试确认 ● 安全活动的回顾与更新
七 (环境级)	● 工程样机 ● 更新的产品设计	● 例行环境 ● 例行环境试验测试及测试报告 ● 其他需要的试验测试及测试报告	● 系统RAM需求的测试确认 ● 安全活动的回顾与更新
八 (产品级)	● 实际产品 ● 产品发布单或产品版本信息（PVI） ● 配置项状态清单 ● 生产相关文件 ● 用户文件 ● 产品标准 ● 研究技术报告	—	● 安全管理报告 ● 技术安全报告 ● 质量管理报告 ● 系统确认报告 ● 通用产品/通用应用安全例证报告 ● 安全相关应用条件（SRAC） ● 安全认证证书
九 (系统级)	● 实际产品 ● 行业主管部门/用户单位技术评审相关文件 ● 行业主管部门/用户单位试验评审相关文件 ● 相关行政许可和生产许可 ● 相关运用报告	● 评审通过的试验方案/测试大纲 ● 现场试验报告	—
注：表中要素构成为安全至关/一般安全类产品建议包含的内容，对于非安全类产品可根据实际情况进行适当裁减。			

7 技术成熟度评估实施

7.1 评估组织

评估组织包括评估组织方、评估专家组和被评估方。

a) 评估组织方

评估组织方是组织评估的单位或其授权的单位。根据需要，评估组织方可以是：

——被评估方或其上级主管单位；

- 受被评估方委托的相关机构；
- 受行业主管、用户或其他相关单位委托的第三方评估机构。

b) 评估专家组

评估专家组是由评估组织方成立的，由相关行业专家组成的，支撑评估活动开展的技术组织。专家组成员宜独立于被评估技术的开发团队。

c) 被评估方

被评估方是指需要进行技术成熟度评估的单位或部门。

7.2 评估流程

7.2.1 评估准备

- 7.2.1.1 评估组织方组织确定被评估的技术，并通知被评估方，明确拟评估的技术和评估要求等事项。
- 7.2.1.2 评估组织方组织成立评估专家组并确定评估专家组长，评估专家组成员需保守被评估技术秘密。
- 7.2.1.3 评估组织方与评估专家组协商确定评估实施计划。
- 7.2.1.4 按照评估组织方下发的通知要求，被评估方初步提出拟评估技术及其相关备查技术文件清单（参见表 B.1）。
- 7.2.1.5 评估组织方召开评估准备会。会议主要包括：
 - a) 评估组织方明确本次评估的目的、原则、技术项目要求等，宣布评估专家组组成及其职责；
 - b) 评估专家组和被评估方进行沟通，对评估实施计划等达成一致意见；
 - c) 评估专家组对被评估技术及其备查技术文件清单进行确认；
 - d) 评估组织方宣布评估工作的具体实施计划；
- 7.2.1.6 被评估方按照评估准备会的要求，准备相关评估材料，做好现场评估准备工作。

7.2.2 现场评估

- 7.2.2.1 评估专家组长主持召开评估工作首次会议，宣布评估的技术、要求、评估专家组成员以及评估实施计划安排，被评估方介绍被评估的技术相关情况。
- 7.2.2.2 评估专家依据技术成熟度等级评估细则（参见附录 A），查阅相关资料，向被评估方技术人员询问和讨论（必要时，进行科研、生产等现场考察），对该被评估技术进行逐级、逐项的评估，对不能满足评估细则要求的情况如实记录。
- 7.2.2.3 评估专家组根据评估记录对被评估的技术进行讨论，给出技术成熟度等级，形成评估结论和建议（评估结论模板参见表 B.2）。
- 7.2.2.4 评估专家填写评估专家建议表（参见表 B.3）和评估专家签署表（参见表 B.4）。同时，评估专家组将个别评估专家对多数评估专家的集体意见所持的保留意见详细记录并上报评估组织方。
- 7.2.2.5 评估专家组长主持召开评估工作末次会，评估专家向被评估方通告评估情况，包括评估结论、评估发现等，评估专家组长总结并提出提升该技术成熟度等级的建议。

7.2.3 评估后工作

- 7.2.3.1 评估专家组编写技术成熟度评估报告（评估报告模板参见表 B.5）并向评估组织方汇报评估工作情况。
- 7.2.3.2 被评估方落实评估意见和建议，制定有针对性的提升成熟度的措施。必要时，评估组织方检查被评估方对评估意见和建议的落实情况。

附 录 A
(资料性)
技术成熟度评估细则

- A.1 技术成熟度评估细则见表 A.1。
- A.2 技术成熟度评估细则使用说明：
- a) 在评估情况一栏中，满足划√，不满足划×，不相关划○；
 - b) 在评估记录中对评估情况的判定进行说明。

表A.1 技术成熟度评估细则表

等级	等级评估说明	评估文件/内容	评估情况	评估记录
一 (报告级)	发现可以应用于列控系统装备的新原理、新方法、新技术，通过调研、分析研究，形成相关技术报告，通过专家论证、评审	1) 研究报告/论文/应用范例/可行性研究报告		
		2) 相关报告的评审和论证情况		
二 (方案级)	1) 形成总体技术方案/系统定义，明确实现的技术方法和所能达到的技术目标 2) 制定项目策划/项目开发计划，同时，制定测试计划、质量管理计划、配置管理计划等，确定各工作包所需的资源和实施进度安排，明确计划实现的关键绩效指标（KPI）以及里程碑节点 3) 确定系统危险源分析的范围、进行初步危险源识别、确定安全策略与目标，确定项目具体安全目标和风险容忍标准，制定软件质量保障计划（可以根据安全等级选择适宜的技术措施），制定RAM/LCC策略与指标，为后续的项目生命周期工作做准备	1) 总体技术方案/系统定义		
		2) 项目策划/项目开发计划		
		3) 测试计划		
		4) 质量管理计划		
		5) 配置管理计划		
		6) 初步危险源识别		
		7) 安全计划		
		8) 验证计划		
		9) 确认计划		
		10) 软件质量保障计划		
		11) RAM/产品生命周期成本（LCC）目标和策略		

表 A.1 技术成熟度评估细则表（续）

等级	等级评估说明	评估文件/内容	评估情况	评估记录
三 （仿真级）	1) 在前期调研分析的基础上，形成系统需求规范（包括安全需求和RAM需求规范）和测试规范，确定技术可以被整体证明和接收的条件 2) 根据需要，对关键原理和技术开展概念模型仿真验证，以证明技术实现的可行性 3) 开展安全风险分析，如初步危险源分析（PHA）、系统危险源分析（SHA）、子系统危险源分析（SSHA）、接口危险源分析（IHA）、运营安全危险源分析（O&SHA）、故障模式影响分析（FMEA）、危险与可操作性分析（HAZOP）分析、共因失效分析等，风险分析的方法可根据安全等级进行选择	1) 系统需求规范		
		2) 系统测试规范		
		3) 概念模型验证（如需要）		
		4) 安全风险分析		
		5) 危险源分析日志		
		6) 阶段安全活动的回顾与更新		
四 （功能级）	1) 开展概要设计并逐级分解成子系统或单元，制定软硬件设计规范，开展软硬件详细设计，形成产品硬件和源代码，同时，形成可供工厂生产的图纸、物料清单、工艺文件等 2) 根据层次结构划分，对产品RAM需求进行分配和分解设计，针对子系统或单元持续安全风险分析（如SHA、SSHA、IHA、O&SHA等） 3) 开展故障模式影响分析（FMEA） 4) 开展安全至关类产品操作系统和相关工具安全保障分析 5) 构建测试环境，进行测试环境的安全影响分析	1) 系统概要设计		
		2) 硬件结构设计		
		3) 硬件设计规范		
		4) 硬件详细设计（包括原理图）		
		5) 硬件生产文件（包括物料清单、制版图等）		
		6) 软件设计规范		
		7) 软件详细设计（包括源代码）		
		8) RAM分析		
		9) 故障模式影响分析（FMEA）		
		10) 操作系统安全保障分析		
		11) 工具安全保障分析		
		12) 测试环境确认		
		13) 阶段安全活动的回顾与更新		

表 A.1 技术成熟度评估细则表（续）

等级	等级评估说明	评估文件/内容	评估情况	评估记录
五 （初样级）	1) 在完成软硬件设计的基础上，形成功能样品 2) 编制软硬件测试规范，开展软硬件测试（包括模块测试） 3) 对于软件模块测试，需要确定软件编码规范，开展软件静态、单元测试和代码检查 4) 对测试中缺陷进行记录并验证关闭，形成软硬件测试报告 5) 根据测试情况对设计进行更新	1) 功能样品		
		2) 硬件测试规范（包括硬件模块测试）		
		3) 硬件测试报告		
		4) 软件测试规范（包括软件模块测试）		
		5) 软件测试报告		
		6) 测试缺陷报告（NCR）		
		7) 阶段安全活动的回顾与更新		
六 （正样级）	1) 在功能样品优化完善的基础上，形成功能样机 2) 开展软、硬件的系统集成测试，并将缺陷形成记录，通过多轮测试，对缺陷进行持续跟踪，直至缺陷被验证关闭，形成系统集成测试报告 3) 根据测试情况对设计进行更新	1) 功能样机		
		2) 测试案例及测试记录		
		3) 缺陷报告（NCR）		
		4) 系统集成测试报告		
		5) 阶段安全活动的回顾与更新		
七 （环境级）	1) 在功能样机优化完善的基础上，形成工程样机 2) 开展例行环境下的型式试验、电磁兼容试验、安规试验等的测试，验证产品对相关技术条件和要求的符合性，对于有特定需求的其他第三方测试，还需满足相应的测试要求 3) 根据测试情况对设计进行更新	1) 工程样机		
		2) 型式试验测试规范及测试报告		
		3) 电磁兼容试验测试规范及测试报告		
		4) 安规试验测试规范及测试报告		
		5) 其他需要的试验测试规范及测试报告		
		6) 阶段安全活动的回顾与更新		

表 A.1 技术成熟度评估细则表（续）

等级	等级评估说明		评估文件/内容	评估情况	评估记录
八 (产品级)	1) 在工程样机优化完善的基础上，形成可以应用的实际产品 2) 完成产品发布所需文件（如产品发布单、配置项状态清单、产品标准、用户文件等） 3) 形成满足小批量生产的生产文件 4) 对于安全至关和一般安全产品，取得需要达到的安全等级证书		1) 实际产品		
			2) 产品发布单或产品版本信息（PVI）		
			3) 配置项状态清单		
			4) 用户文件		
			5) 产品标准		
			6) 生产文件		
			7) 研究技术报告		
			8) 安全管理报告		
			9) 技术安全报告		
			10) 质量管理报告		
			11) 系统确认报告		
			12) 通用产品/通用应用安全例证报告		
			13) 安全相关应用条件（SRAC）		
			14) 安全认证证书		
九 (系统级)	9A	形成的实际产品通过使用环境中的试验、试用考核，取得应用许可和生产许可，满足大批量工程应用的条件	1) 试验方案/测试大纲		
			2) 现场试验报告		
			3) 行业主管部门/用户单位技术评审相关文件		
			4) 行业主管部门/用户单位试验评审相关文件		
			5) 相关应用许可和生产许可		
	9B	通过对现场应用情况的评估分析，确定是否达到稳定应用的等级要求	相关运用报告		

表 A.1 技术成熟度评估细则表（续）

等级	等级评估说明		评估文件/内容	评估情况	评估记录
九 （系统级）	9C	通过对现场应用情况的评估分析，确定是否达到成熟应用的等级要求	相关运用报告		
注1：表中评估内容为安全至关/一般安全类产品建议包含的内容，对于非安全类产品宜根据实际情况进行适当裁减。 注2：技术实现过程的安全工作按照GB/T 21562、GB/T 28808、GB/T 28809的要求开展。					

附 录 B
(资料性)
技术成熟度评估相关表格

表B. 1~表B. 5分别给出了开展技术成熟度评估活动相关参考表格模板。

表B.1 评估文件清单

[illegible]

表B.2 评估结论模板表

技术成熟度评估结论	
评估专家组按照技术成熟度等级定义和评价细则，对 <u>（被评估技术名称）</u> 技术成熟度进行逐级、逐项的分析和评估，（一致）认为 <u>（被评估技术名称）</u>（达到、未达到）技术成熟度 <u>（实际等级名称）</u>。	
其他建议：	
评估组长： 年 月 日	
不同意见：（简要阐述对上述评估结论的不同意见）	
专家： 年 月 日	

注：个别评估专家不同意评估专家组多数专家意见时，宜在评估结论中注明。

表B.3 评估专家建议表

序号	详细内容 (需进一步开展的技术工作、提升要求等)	提出专家	被评估方意见	备注

日期：

签字：

表B.4 评估专家签署表

	姓名	职称	单位	技术专长	签名	备注 (不同意评估专家组多数专家意见，相关专业组织中的任职等)
组长						
成员						

日期：

签字：

表B.5 技术成熟度评估报告模板

× × × 技术成熟度评估报告	
1 被评估装备技术介绍	
1.1 被评估装备技术的概述：	
	概述被评估装备技术的相关背景、作用、范围、承担单位或技术团队等。
1.2 被评估装备技术工作开展情况	
	被评估装备技术的范围、研究基础、研究活动、技术攻关、试验和样机制造、形成的技术文件、相关的技术评审结论等。
2 评估工作概述	
2.1 评估目的和作用	
	本次技术成熟度评估的背景、依据、目的、作用、对象等。
2.2 评估的组织	
	本次评估组织方、评估专家组组成、被评估方在评估工作中的职责。
3 评估活动	
3.1 评估准备	
	评估准备过程各相关方的工作。
3.2 现场评估	
	现场评估过程各相关方的工作。
3.3 评估总结和汇报	
	评估的总结和汇报过程各相关方的工作。
4 评估结论和相关建议	
4.1 评估结论	
	对被评估装备技术明确达到技术成熟度等级，并说明理由。
4.2 建议	
	针对评估中发现的问题和评估结论，提出对后续技术工作的建议或改为采用其它相对成熟技术的建议等。

参 考 文 献

- [1] GB/T 40518-2021 航天工程技术成熟度评价指南
 - [2] GB/T 22900-2022 科学技术研究项目评价通则
 - [3] GJB 7688-2012 装备技术成熟度等级划分及定义
 - [4] GJB 7689-2012 装备技术成熟度评价程序
 - [5] ISO 16290:2013 Space systems — Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment
-