

团体标准

T/CAMET XXXXX—XXXX

导轨式胶轮系统 全自动运营系统 技术要求

Physical guidance rubber-tyred system —— Fully automatic operation system ——
Technical requirement

（征求意见稿）

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	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 总体要求	4
6 业务架构	4
7 系统架构	4
8 业务应用层	6
8.1 统一调度域	6
8.2 乘客服务域	7
8.3 综合运维域	8
9 应用支撑层	8
9.1 通信域	8
9.2 机电域	9
9.3 智能化域	10
10 基础设施层	12
10.1 IaaS 层	12
10.2 PaaS 层	13
10.3 平台管理域	14
11 外部接口	15
12 附属及配套设施	15
附录 A（资料性） 应用系统资源需求	16
参考文献	18

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。

本文件由中国城市轨道交通协会低运能系统分会提出。

本文件由中国城市轨道交通协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：比亚迪通信信号有限公司、北京城建设计发展集团股份有限公司、中车浦镇阿尔斯通运输系统有限公司、中国安全生产科学研究院、西安市轨道交通集团有限公司运营分公司、中铁二院工程集团有限责任公司、比亚迪汽车工业有限公司、深信服科技股份有限公司、华为技术有限公司。

本文件主要起草人：吴智利、李申、华龙、卓开阔、杨军、陈国芳、张义鑫、弓剑、张艳伟、顾野、袁江波、刘正、尹燕萍、石杰红、史聪灵、杨珂、李乐、青岚昊、王光前、郭锐、郭淑萍、刘世雄、马涛、胡佳乐、潘磊、卓玉樟。

导轨式胶轮系统 全自动运营系统 技术要求

1 范围

本文件规定了导轨式胶轮系统全自动运营系统（下简称系统）的总体要求、业务架构、系统架构、业务应用层、应用支撑层、基础设施层、外部接口、附属及配套的内容。

本文件适用于导轨式胶轮系统全自动运营的设计、开发、测试、使用和维护。

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 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- GB/T 22240 信息安全技术 网络安全等级保护定级指南
- GB/T 25070 信息安全技术 网络安全等级保护安全设计技术要求
- GB/T 36284 轨道交通 站台门电气系统
- GB/T 37988 信息安全技术 数据安全能力成熟度模型
- GB 50116 火灾自动报警系统设计规范
- GB 50157 地铁设计规范
- GB 50174 数据中心设计规范
- GB 50396 出入口控制系统工程设计规范
- GB 51151 城市轨道交通 公共安全防范系统工程技术规范
- T/CAMET 07010 导轨式胶轮系统技术规范
- T/CAMET 11001 智慧城市轨道交通 信息技术架构及网络安全规范
- T/CAMET 11002 城市轨道交通 云平台构建技术规范
- T/CAMET 11004 城市轨道交通 云平台网络架构技术规范
- T/CAMET 11005 城市轨道交通 云平台网络安全技术规范
- T/CAMET 11007 城市轨道交通 信息化工程设计规范
- T/CAMET 04005 城市轨道交通 车地综合通信系统（LTE-M）总体规范
- T/CAMET 04006.4 城市轨道交通 车地综合通信系统（LTE-M）接口规范 第4部分：承载CBTC业务及接口
- T/CAMET 04017.1 城市轨道交通 全自动运行系统规范 第1部分：需求
- T/CAMET 04018.3 城市轨道交通 CBTC信号系统规范 第3部分 ATC子系统
- T/CAMET 04030.1 城市轨道交通 5G公专网总体规范 第1部分：业务需求
- T/CAMET 04030.2 城市轨道交通 5G公专网总体规范 第2部分：总体架构及系统需求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

导轨式胶轮系统 physical guidance rubber-tyred system

以高架或地面敷设方式为主，通过导向轨道在专用线路上运行的城市轨道交通系统。

[来源：T/CAMET 07010-2023，3.1]

3.2

综合监控系统 integrated supervisory control system

对城市轨道交通线路中所有电力和机电设备进行监控的分层分布式计算机集成系统。

[来源：GB/T 50636-2018，2.0.1]

3.3

列车自动监控 automatic train supervision

自动实现行车指挥控制、列车运行监控和管理等技术的总称

[来源：GB/T 12758-2023，3.3]

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

ACC：自动售检票清分中心（Automatic Clearing Center）

ACS：门禁系统（Access Control System）

AFC：自动售检票（Auto Fare Collection）

ATC：列车自动控制（Automatic Train Control）

ATS：列车自动监控（Automatic Train Supervision）

BAS：环境与设备监控系统（Building Automation System）

FAS：火灾自动报警系统（Fire Alarm System）

FPS：每秒帧数（Frames Per Second）

GPU：图形处理器（Graphics Processing Unit）

HA：高可用（High Availability）

IaaS：基础设施即服务（Infrastructure as a Service）

IDS：入侵检测系统（intrusion detection system）

IMS：视频监视系统（Image Monitoring System）

IPS：入侵防御系统（Intrusion Prevention System）

ISCS：综合监控系统（Integrated Supervisory Control System）

K-V：键-值（Key-Value）

LTE-M：地铁长期演进系统（Long Term Evolution for Metro）

MOS：平均意见得分（Mean Opinion Score）

MQTT：消息队列遥测传输（Message Queuing Telemetry Transport）

MTBF：平均无故障工作时间（Mean Time Between Failure）

NOCC：网络运营控制中心（Network Operating Control Center）

NoSQL：非关系型的数据库（Not Only SQL）

PaaS：平台即服务（Platform as a Service）

PA：公共广播系统（Public Address System）

PIS: 乘客信息系统 (Passenger Information System)

PSCADA: 电力监控系统 (Power Supervisory Control And Data Acquisition)

PSD: 站台门 (Platform Screen Doors)

RPO: 数据恢复点目标 (Recovery Point Objective)

RTO: 恢复时间目标 (Recovery Time Objective)

SIL: 安全完整性等级 (Safety Integrity Level)

SPD: 电涌保护器 (Surge Protection Device)

TPS: 每秒交易数 (Transactions Per Second)

TPM: 每分钟交易数 (Transactions Per Minute)

TVM: 自动售票机 (Ticket Vending Machine)

UPS: 不间断电源 (Uninterrupted Power Supply)

VLAN: 虚拟局域网 (Virtual Local Area Network)

WAF: Web应用防火墙 (Web Application Firewall)

5 总体要求

- 5.1 系统应适应我国城市低运能轨道交通发展要求，以满足乘客便捷出行需求，提高运营效率，保障运行安全，提升企业运营效益及管理效率。
- 5.2 系统应按安全可靠、高集成、可扩展的原则进行设计，根据各城市的差异化建设需求，遵循统一规划、资源共享、互联互通的原则。
- 5.3 系统设计应采用标准化的接口形式及协议，实现与既有信息系统间的衔接融合以及与其他轨道交通系统间互联互通需求。
- 5.4 系统基础设施层设计应满足后期运营管理调整、扩展及新增需求，应采用私有云架构，中心集中部署，支持边缘计算。

6 业务架构

- 6.1 系统业务宜划分为行车调度与应急指挥、乘客服务以及设施设备运维管理三类。
- 6.2 行车调度与应急指挥业务应具备对日常行车组织与突发事件下应急响应的管理和协调能力，实现正常状态下列车按计划全自动运行。突发事件下系统应能够做到异常事件自动识别、运行图动态调整、执行应急预案，提高运营韧性。
- 6.3 乘客服务业务应面向乘客出行全过程，在保障乘客出行安全基础上，使用智能化手段提升乘客出行体验与服务质量。
- 6.4 设施设备运维管理业务应聚焦设施设备全生命周期管理，通过对设备状态、故障、能耗的实时监测与分析，实现预测性维护，保障系统稳定运行并降低运维成本。

7 系统架构

- 7.1 系统参考架构见图 1，应由业务应用层、基础设施层及配套设施构成。



图1 系统参考架构图

- 7.2 业务应用层应包含业务层与应用支撑层。业务层宜划分为统一调度域、乘客服务域和综合运维域，应用支撑层宜划分为通信域、机电域、智能化域。
- 7.3 统一调度域宜包含 ATS、ISCS、行车智能调度、能源调度管理子系统。
- 7.4 乘客服务域宜包含 AFC 子系统、PIS 子系统及 PA 子系统。
- 7.5 综合运维域宜包含专业运维子系统和资产管理子系统。
- 7.6 通信域宜包含 IMS、电话、无线通信子系统。
- 7.7 机电域宜包含 ACS、PSD、FAS、BAS 以及 PSCADA 子系统。
- 7.8 智能化域宜包含数据共享平台、物联平台、AI 算法库、可视化平台子系统。
- 7.9 基础设施层应包含 IaaS 层、PaaS 层及平台管理域，实现资源分配与统一管理。
- 7.10 IaaS 层宜包含计算资源池、存储资源池、通信网络、安全资源子系统。
- 7.11 PaaS 层宜包含容器集群管理、中间件服务、微服务治理子系统。
- 7.12 平台管理域应包含云资源池管理、设备管理、安全管理中心子系统。
- 7.13 配套设施宜包含机房、供电、消防系统。
- 7.14 系统宜建设同城异地灾备中心，具备关键业务应用级容灾能力，并纳入主中心统一管理。

8 业务应用层

8.1 统一调度域

8.1.1 业务功能

8.1.1.1 统一调度域应以日常行车与应急行车指挥为核心。

8.1.1.2 ATS 子系统应实现列车运行全过程自动化监控、列车远程控制功能。具体功能应符合 GB 50157、T/CAMET 04018.3、T/CAMET 04017.1、T/CAMET 04017.2 的规定。

8.1.1.3 ATS 子系统根据业务需要，可支持导轨式胶轮系统虚拟编组运营场景。

8.1.1.4 ISCS 子系统应实现多专业数据集中监控和共享功能，实现对信号、车辆、供电、通信、环控多专业子系统的智能化集成监控及联动控制，具备全景管控、设备协调互动、应急联动能力。

8.1.1.5 行车智能调度子系统应实现智能辅助决策、运行图动态调整、异常场景响应功能，能实现异常场景下对单线或多线的行车组织调整与多专业间的协同联动。具备预案的配置、测试、执行过程回溯能力。

8.1.1.6 行车智能调度子系统智能辅助决策功能应实现仿真推演功能，能快速评估不同处置方案在行车秩序、客流分布、资源占用方面表现，具备多维度可视化展示与关键指标分析能力。

8.1.1.7 行车智能调度子系统运行图动态调整功能应根据列车实际运行状态及实时客流数据，自动生成运行图，包括列车跳停、加开临客、缩短/延长停站时间等多种调整策略。运行图调整应支持人工干预，支持多条线路运行图同时调整。

8.1.1.8 行车智能调度子系统异常场景响应功能主要面向故障场景和应急场景，具备自动识别异常并触发应急处置预案能力，支持跨系统联动控制。故障场景和应急场景分类宜参考 T/CAMET 04017.1 的规则。

8.1.1.9 能源调度管理子系统应具备环境自适应功能，合理调整各设施设备运行等级，降低系统能耗。

8.1.2 系统部署

8.1.2.1 统一调度域宜采用中心、车载两级控制架构，车站和岔区保留安全执行装置。

8.1.2.2 统一调度域中心系统应使用云主机部署，安全功能应部署在具备 SIL2 安全认证云主机或裸金属上。应用服务器、数据库服务器、接口服务器、网关服务器应采用冗余高可用云主机配置。

8.1.2.3 统一调度域操作终端宜采用物理工作站形式，智能调度子系统宜与 ATS 工作站合设。

8.1.3 安全与容灾

8.1.3.1 统一调度域各子系统宜满足网络安全等级保护三级要求。

8.1.3.2 ATS 子系统的安全功能应满足 SIL2 要求。

8.1.3.3 统一调度域各子系统应采用数据级容灾方案，当部署灾备中心时，应配置应用级容灾方案。

8.1.3.4 数据级容灾的数据备份时长宜大于 12 个月。

8.1.3.5 应用级容灾的 RTO 应小于 30 分钟。

8.1.3.6 ATS 子系统与 ISCS 子系统的可用性应大于 99.99%。

8.1.3.7 智能调度子系统的可用性应大于 99.9%。

8.1.3.8 统一调度域设备的 MTBF 应大于 5×10^5 h

8.1.4 性能及资源要求

8.1.4.1 ATS 子系统中心至车载设备的控制指令传输延迟应小于 100 ms。

8.1.4.2 ATS 子系统列车位置信息刷新周期应小于 1 s。

- 8.1.4.3 ISCS 子系统设备故障告警上传延迟应小于 2 s。
- 8.1.4.4 ISCS 子系统联动指令下发延迟应小于 3 s。
- 8.1.4.5 智能调度子系统预警生成时间宜小于 60 s。
- 8.1.4.6 智能调度子系统应急策略推送延迟宜小于 10 s。
- 8.1.4.7 智能调度子系统仿真推演响应延迟宜小于 30 s。
- 8.1.4.8 统一调度域部署所需资源宜参考附录 A 中表 A.1 统一调度域资源需求表的规则。

8.2 乘客服务域

8.2.1 业务功能

- 8.2.1.1 AFC 子系统应采用自动检票方式，通过纸质票、二维码、人脸识别多种进站方式。系统应支持一票制、计程制、计时制多种计费模式。
- 8.2.1.2 PIS 子系统应具备远程音视频播放、实时信息推送、录音录像、报警招援功能，应支持控制中心与现场报警点之间的双向语音通信与视频对讲。
- 8.2.1.3 PA 子系统应具备自动广播、应急广播、分区广播能力，宜支持中文、英文等多语种广播内容。

8.2.2 系统部署

- 8.2.2.1 乘客服务域宜采用中心、设备两级控制架构。PA 系统应在车站保留广播控制器。
- 8.2.2.2 乘客服务域各子系统中心系统应使用云主机部署，应用服务器、媒体服务器、数据库服务器应采用冗余高可用云主机配置。媒体编解码器宜采用物理机方式部署，操作终端宜采用物理工作站形式。
- 8.2.2.3 PIS 子系统的视频对讲指挥终端宜与 ISCS 子系统操作台共置，实现一键联动。
- 8.2.2.4 PIS 子系统车站对讲终端应按区域划分，每区域独立接入。应部署在乘客活动区域的关键位置，应至少包括站台、站厅、出入口。
- 8.2.2.5 PIS 子系统车载对讲面板应位于每节车厢两端，支持无障碍设施接入。
- 8.2.2.6 PA 子系统在车站广播分区数应大于 6 个。

8.2.3 安全与容灾

- 8.2.3.1 AFC 子系统宜满足网络安全等级保护三级的要求。
- 8.2.3.2 PIS 以及 PA 子系统宜满足网络安全等级保护二级的要求。
- 8.2.3.3 乘客服务域各子系统应采用数据级容灾，当部署灾备中心时，AFC 子系统应配置应用级容灾方案。
- 8.2.3.4 AFC 子系统数据级容灾的交易数据备份时长宜大于 36 个月，其它数据备份时长宜大于 12 个月。
- 8.2.3.5 AFC 子系统应用级容灾的 RTO 应小于 30 分钟。
- 8.2.3.6 PIS 及 PA 子系统数据级容灾的数据备份时长宜大于 6 个月。
- 8.2.3.7 乘客服务域各子系统的可用性应大于 99.9%。
- 8.2.3.8 乘客服务域设备的 MTBF 应大于 1×10^5 h。

8.2.4 性能及资源要求

- 8.2.4.1 AFC 子系统清分对账数据完整率应为 100%。
- 8.2.4.2 AFC 子系统 TVM 处理能力应大于 30 TPM。
- 8.2.4.3 AFC 子系统中心系统处理能力应大于 300 TPS。

- 8.2.4.4 PIS 子系统信息更新屏幕显示延迟应小于 2 s。
- 8.2.4.5 PIS 子系统车载丢帧率应小于 5%。
- 8.2.4.6 PIS 子系统视频对讲分辨率应大于或等于 720P，帧率应大于 15fps。
- 8.2.4.7 PIS 子系统报警触发至中心响应延迟应小于 3 s，视频调取延迟应小于 2 s。
- 8.2.4.8 PIS 子系统音视频传输延迟，车站端应小于 300 ms，车载端应小于 1 s。
- 8.2.4.9 PA 子系统紧急广播触发延迟应小于 2 s。
- 8.2.4.10 乘客服务域部署所需资源宜参考附录 A 中表 A.2 乘客服务域资源需求表规则。

8.3 综合运维域

8.3.1 业务功能

- 8.3.1.1 专业运维子系统宜包含车辆、信号、通信、机电、乘客服务等专业，应实现设备状态实时监测、性能评估、故障诊断分析、智能检修、自动巡检功能，应具备对设备运行状态的可视化展示与故障预警的能力。
- 8.3.1.2 专业维护子系统应实现人工巡检计划的制定与执行记录功能，具备统一工单全过程管理能力。系统宜根据多因素分配维护任务并优化资源配置。
- 8.3.1.3 资产管理子系统应具备设备全生命周期管理能力，覆盖设备从采购、安装、使用、维护、检修到报废阶段的全过程。系统宜包含设备台账、备品备件库存、维修记录、设备报废审批流程等功能。

8.3.2 系统部署

- 8.3.2.1 综合运维域各子系统应采用中心部署架构。
- 8.3.2.2 综合运维域各系统应使用云主机部署，操作终端宜采用物理工作站形式。
- 8.3.2.3 专业运维系统接口服务器、应用服务器、数据库服务器应使用冗余高可用云主机配置。

8.3.3 安全与容灾

- 8.3.3.1 综合运维域各子系统宜满足网络安全等级保护二级要求。
- 8.3.3.2 综合运维域各子系统应采用数据级容灾方案。
- 8.3.3.3 数据级容灾的数据备份时长，业务数据宜大于 12 个月，设备状态数据宜大于 3 个月。
- 8.3.3.4 综合运维域各子系统可用性应大于 99.9%。
- 8.3.3.5 综合运维域设备的 MTBF 应大于 1×10^5 h。

8.3.4 性能及资源要求

- 8.3.4.1 专业运维子系统系统故障及告警平均响应时间应小于 5s
- 8.3.4.2 专业运维子系统普通查询响应时间应小于 3s，报表查询响应时间应小于 15s。
- 8.3.4.3 资产管理子系统可管理资产数量应大于 1×10^6 。
- 8.3.4.4 资产管理子系统报表查询响应时间应小于 5s。
- 8.3.4.5 综合运维域部署所需资源宜参考附录 A 中表 A.3 综合运维域资源需求表的规则。

9 应用支撑层

9.1 通信域

9.1.1 业务功能

9.1.1.1 IMS 子系统应实现视频采集、图像传输、视频控制、图像/视频存储、视频分析功能，在乘客活动区域范围内应具备全息感知能力，能识别乘客/客流异常行为并报警。详细功能宜参考 GB 50157、GB 51151、T/CAMET 11001.1 和 T/CAMET 11007 的规定。

9.1.1.2 电话子系统应为行车调度与应急指挥业务提供稳定可靠的语音通信服务，包含专业电话和公务电话。详细功能宜参考 T/CAMET 11001.1 的规定。

9.1.1.3 无线通信子系统应提供数据通信和集群通信所需的无线通道，宜采用 LTE-M/WiFi 融合方案或 5G 公专融合方案，支持多业务承载与统一接入。

9.1.1.4 LTE-M/WiFi 融合方案，列控相关业务的数据通信与集群通信应使用 LTE-M。乘客服务、车辆运维等业务宜使用 WiFi。系统的功能与接口要求宜参考 T/CAMET 11001.1、T/CAMET 04005、T/CAMET 04006 的规定。

9.1.1.5 5G 公专融合方案，5G 公专融合方案应基于 5G 切片技术，实现对行车调度、应急指挥、乘客服务、车辆运维等全业务的数据通信与集群通信支持。系统的功能与接口要求宜参考 T/CAMET 04030.1 的规定。

9.1.2 系统部署

9.1.2.1 IMS、电话、无线通信子系统应采用中心、站段两级部署架构。

9.1.2.2 中心系统应基于云主机部署，关键服务器应采用云主机主备高可用方案；操作终端宜采用物理工作站。

9.1.2.3 通信域各子系统在站段设备部署应符合 T/CAMET 11001.1、T/CAMET 11007 的规定。

9.1.3 安全与容灾

9.1.3.1 通信域各子系统宜满足网络安全等级保护二级的要求。

9.1.3.2 通信域各子系统应采用数据级容灾方案。

9.1.3.3 数据级容灾的数据备份时长，业务数据宜大于 12 个月，IMS 视频数据宜大于 3 个月。

9.1.3.4 通信域各子系统可用性应大于 99.9%。

9.1.3.5 通信域设备的 MTBF 应大于 1×10^5 h。

9.1.4 性能及资源要求

9.1.4.1 IMS 子系统摄像头分辨率应大于或等于 1080P，帧率应大于 25fps。

9.1.4.2 IMS 子系统视频调用延迟应小于 2 s。

9.1.4.3 无线通信语音调度类业务延时应小于 150 ms、列车控制类业务延时应小于 50ms。

9.1.4.4 电话系统语音 MOS 质量应大于 4.0。

9.1.4.5 电话系统呼叫支持的并发数应大于 100。

9.1.4.6 通信域部署所需资源宜参考附录 A 中表 A.4 通信域资源需求表的规则。

9.2 机电域

9.2.1 业务功能

9.2.1.1 ACS 子系统应具备车站敏感区域的分级权限管控能力。系统宜实现出入口状态实时监测、异常事件报警联动，多因素身份认证方式及临时授权机制等功能。详细功能宜参考 GB 50157、GB 50396、GB 51151。

9.2.1.2 PSD 子系统应与列车车门同步联动控制。系统宜实现障碍物检测、应急手动解锁、状态自诊断功能。详细功能宜参考 GB/T 36284 的规定。

9.2.1.3 FAS 子系统应具备对车站及区间范围内火灾实时监测与预警能力。系统宜实现火灾探测、报警上传、消防联动控制功能。详细功能宜参考 GB 50116、GB 50157、T/CAMET 04017.1 的规定。

9.2.1.4 BAS 子系统应具备对车站温湿度环境参数的监测能力，系统宜实现通风、照明、给排水设备进行集中控制与节能优化管理功能。

9.2.1.5 PSCADA 子系统应具备中低压配电系统运行状态实时监测、远程控制和调试能力，系统宜实现故障告警、能效分析与应急联动功能。

9.2.2 系统部署

9.2.2.1 ACS 与 PSD 门子系统应采用中心、设备两级部署架构。中心侧应部署应用服务器、数据库服务器及管理终端。站段侧应部署传感器、控制单元、机械驱动机构现场设备。

9.2.2.2 FAS、BAS 及 PSCADA 子系统应由 ISCS 系统在中心层集成；站段侧应部署现场采集与执行设备。

9.2.2.3 中心系统应基于云主机部署，应用服务器与数据库服务器应采用高可用配置方案；操作终端宜采用物理工作站。

9.2.2.4 站段部署设备中，关键传感器与控制器应采用冗余配置。

9.2.3 安全与容灾

9.2.3.1 机电域各子系统宜满足网络安全等级保护二级要求。

9.2.3.2 机电域各子系统应采用数据级容灾方案。

9.2.3.3 数据级容灾的数据备份时长，业务数据宜大于 12 个月，设备状态数据宜大于 3 个月。

9.2.3.4 PSD、FAS、BAS、PSCADA 子系统可用性应大于 99.99%。

9.2.3.5 ACS 子系统可用性应大于 99.9%。

9.2.3.6 控制单元 MTBF 应大于 1×10^6 h。

9.2.3.7 站段部署设备的传感器、控制单元、机械驱动机构防护能力应大于 IP54。

9.2.4 性能及资源要求

9.2.4.1 ACS 子系统系统处理能力应大于 1000 TPS。

9.2.4.2 PSD 子系统与信号系统指令交互时延应小于 100 ms，紧急指令触发后全部门体解锁时间应小于 5s。

9.2.4.3 FAS 子系统探测器误报率应小于 0.1 次/千小时，漏报率应小于 0.01%。

9.2.4.4 BAS 子系统环境参数采集周期应小于 5s。

9.2.4.5 PSCADA 子系统数据采集周期应小于 1s、故障报警延迟应小于 2s。

9.2.4.6 机电域部署所需资源宜参考附录 A 中表 A.5 机电域资源需求表的规则。

9.3 智能化域

9.3.1 业务功能

9.3.1.1 数据共享平台

数据共享平台应包含数据源管理、数据集成、数据存储、应用支撑、数据治理功能，各系统间的共享数据交换应通过数据共享平台进行。详细功能宜参考 T/CAMET 11003 的规定。

a) 数据源管理功能宜满足下列要求：

- 1) 支持多种类型的数据源接入方式，至少包括文件存储、数据库系统、API 接口服务、流媒体平台；

- 2) 支持多种鉴权协议、加密传输协议及权限控制，确保数据源的访问的合法性与安全性。
- b) 数据集成宜满足下列要求：
 - 1) 具备接口协议解析、ETL 处理、流式与批量数据处理、消息队列等功能；
 - 2) 支持预处理流程，能够对结构化、半结构化及非结构化数据进行统一集成与处理；
 - 3) 支持包括实时数据采集、文件导入、多媒体数据处理、数据库实时同步及批量采集在内的多种数据集成方式。
- c) 数据存储功能宜支持多种数据存储形式，应至少包括关系型数据库、NoSQL 数据库、数据仓库、分布式文件存储、对象存储。
- d) 应用支撑功能宜具备数据检索、多维分析与报表生成、数据可视化、数据挖掘模块，支撑多样化数据分析与决策支持需求。
- e) 数据治理宜包含主数据、元数据、数据资产与数据质量管理等功能，保障数据标准一致。

9.3.1.2 物联平台

物联平台应具备设备管理、组态、数据采集、边缘节点管理、设备状态监控与规则处理能力，宜满足下列要求：

- a) 设备管理：具备统一化、模型化的设备管理能力。支持设备模型定义、远程控制、日志管理、配置版本控制与设备绑定等功能；
- b) 组态软件：具备图形化编辑与实时监控能力，支持图形编辑、设备绑定与状态展示等功能；
- c) 数据采集：具备数据采集与传输能力。支持主流工业通信协议（应至少包括 Modbus、EtherCAT、OPC-UA）及私有协议转换，具备数据校验及预警功能；
- d) 边缘节点：具备在网络条件不佳时的数据传输优化能力，并采用边缘计算框架（如 k3s、KubeEdge），可被中心平台统一管控；
- e) 设备状态监控：具备设备运行状态感知与告警处理能力，支持状态可视化、异常识别、集中报警及设备性能分析等功能；
- f) 规则引擎：具备规则分层管理能力、支持逻辑表达式定义与多设备协同控制功能。

9.3.1.3 AI 算法库

AI算法库宜集成自然语言处理、计算机视觉、专家系统/知识库、生成式AI等模块。宜满足下列多样化智能应用需求：

- a) 自然语言处理：宜具备中英文文本与语音理解能力，支持上下文感知、意图识别、语义匹配与知识抽取等功能；
- b) 计算机视觉：宜具备图像识别、目标检测与定位、人脸识别、姿态识别、行为识别能力；
- c) 专家系统/知识库：宜支持多种知识表达与推理机制，具备知识获取更新与智能检索能力；
- d) 生成式 AI：宜具备多模态内容生成能力，支持自然语言与图像生成，并具备评估与审核机制。

9.3.1.4 可视化平台

可视化平台宜包括二维驾驶舱、三维引擎及资源管理等模块。宜满足下列要求：

- a) 二维驾驶舱模块宜支持多类型图表展示与交互分析功能，具备动态数据绑定与响应式布局能力；
- b) 三维引擎模块宜支持主流模型导入与高效渲染功能，具备实现设备与场景的三维可视化能力；
- c) 资源管理模块宜支持图表模板、模型素材等资源的分类、检索、资源统一调度功能。

9.3.2 系统部署

9.3.2.1 智能化域各子系统应采用中心部署部署架构。

9.3.2.2 数据共享平台、AI 算法库宜采用裸金属主机部署，也可使用云主机部署。

9.3.2.3 物联平台、可视化平台宜使用云主机部署，也可使用裸金属主机部署。

9.3.3 安全与容灾

9.3.3.1 智能化域各子系统宜满足网络安全等级保护二级要求。

9.3.3.2 智能化域各子系统可用性应大于 99.9%。

9.3.3.3 智能化域各子系统应采用数据级容灾，当部署灾备中心时，物联平台应配置应用级容灾方案。

9.3.3.4 数据级容灾的数据备份时长宜大于 12 个月。

9.3.3.5 物联平台应用级容灾的 RTO 应小于 30 分钟。

9.3.4 性能及资源要求

9.3.4.1 数据共享平台数据处理能力应大于 1×10^9 条记录。

9.3.4.2 数据共享平台实时采集峰值吞吐量应大于 5×10^5 条/s。

9.3.4.3 数据共享平台关键业务数据端到端传输延迟应小于 500 ms。

9.3.4.4 数据共享平台基于千万级数据量的检索响应时间应小于 500 ms。

9.3.4.5 物联平台设备接入数量应大于 1×10^5 个。

9.3.4.6 物联平台处理消息的速率应大于 2×10^3 个/s。

9.3.4.7 物联平台关键数据端到端响应时间应小于 1 s。

9.3.4.8 物联平台远程指令下发成功率应大于 99.5%。

9.3.4.9 可视化平台并发数应大于 10 路。

9.3.4.10 可视化平台实时渲染帧率应大于 25 fps。

9.3.4.11 可视化平台首次加载时间应小于 30 s，关键操作响应延迟应小于 1 s。

9.3.4.12 智能化域部署所需资源宜参考附录 A 中表 A.6 智能化域资源需求表的规则。

10 基础设施层

10.1 IaaS 层

10.1.1 业务功能

10.1.1.1 计算资源池应具备虚拟化资源管理能力，应满足下列要求：

- a) 具备虚拟机生命周期管理、资源动态调整、高级虚拟化（如存储精简配置、快照、热迁移）功能；
- b) 具备本地备份能力，应能实现对操作系统、数据库、文件系统、虚拟机等对象的备份。应支持定制化的备份与恢复策略，满足业务系统对 RTO 和 RPO 的要求。

10.1.1.2 存储资源池应满足存储高并发访问要求，应具备热插拔、故障隔离与自动恢复功能。能横向扩展，容量及性能应随存储节点增加呈线性增长。

10.1.1.3 通信网络应由中心网络、通信传输网、站段局域网、车地无线通信网、车载网络 5 部分构成，信号控制系统（ATC）网络应设置独立专网：

- a) 中心网络宜基于传统 VLAN 技术构建，由核心层、汇聚层、接入层三级组成；
- b) 中心网络宜划分为业务区、计算存储区、终端接入区、专网接入区。互联网出口应引入来自不同运营商的专线链路，并部署负载均衡设备；
- c) 通信传输网应至少提供双网冗余线路，确保链路高可用性；
- d) 站段局域网汇聚设备应配置冗余设备及链路，应支持组播，并设置带外管理接入交换机；

e) 车地无线通信网具体功能要求见本文件 8.1.1 章节；

f) 中心网络、通信传输网速率不应小于 10 Gbps。

注：本文件仅涉及与全自动运营业务相关的网络，车载网络要求不在本文件内。

10.1.1.4 网络安全应构建统一的网络安全技术体系，涵盖安全通信网络、安全区域边界、安全计算环境、数据安全及安全管理中心要素。应符合 GB/T 22239、GB/T 22240、GB/T 25070 规定。

- a) 安全通信网络：应实施通信网络安全策略控制，保障数据在传输过程中的机密性与完整性。宜配置通信安全策略规划、统一身份认证与权限管理、跨安全区域通信控制等措施。
- b) 安全区域边界：应在各业务安全域之间及对外接口处部署有效的边界安全防护机制。宜配置边界访问控制、互联网出口安全防护、运维操作审计等安全措施，防止非授权访问与恶意渗透。
- c) 安全计算环境：应构建覆盖主机、容器、应用及数据的全方位计算环境安全防护体系。宜配置基础平台安全加固、安全中间件或代理组件、容器运行时安全监控等防护措施，确保计算环境的可信与可控。
- d) 数据安全：应建立覆盖数据全生命周期（包括采集、传输、存储、处理、交换及销毁）的数据安全管理体系。宜配置数据分类分级保护策略、细粒度访问控制、数据加密、数据脱敏、个人信息保护等技术与管理措施，并宜达到 GB/T 37988-2019 规定的二级数据安全能力成熟度要求。
- e) 安全管理中心功能要求见本文件 10.3.1.3 章节。

10.1.2 系统部署

10.1.2.1 计算资源池部署符合下列要求：

- a) 统一调度域各子系统应使用专用资源池；
- b) 乘客服务域中 AFC 子系统应使用专用资源池，PIS、PA 子系统宜使用共用资源池；
- c) 通信域、机电域、综合运维域中各子系统宜使用共用资源池；
- d) 智能化域中的各子系统应使用专用资源池；
- e) 容器集群管理平台、中间件服务、微服务治理宜使用共用资源池。

10.1.2.2 计算资源池设置符合下列要求：

- a) 专用资源池宜按 1.5 倍 CPU 超分、内存不做超分设计；
- b) 共用资源池宜按 2.5 倍 CPU 超分、内存 1.25 倍超分设计；
- c) 高可用云主机，应部署在不同物理机上。

10.1.2.3 存储资源池设置符合下列要求：

- a) 应采用独立存储网络，存储网络应至少使用 10G 以上带宽；
- b) 存储节点宜采用独立部署模式，存储节点配置不应少于 3 台；
- c) IMS 系统的视频文件存储宜使用独立存储资源。

10.1.3 安全与容灾

10.1.3.1 IaaS 层各子系统宜满足网络安全等级保护三级要求。

10.1.3.2 IaaS 层各子系统系统可用性应大于 99.9%。

10.1.3.3 IaaS 层设备的 MTBF 应大于 1×10^5 h。

10.1.4 性能要求

10.1.4.1 计算资源池支持纳管物理服务器数量应大于 128 台。

10.1.4.2 存储资源池支持纳管存储节点数量应大于 128 个。

10.2 PaaS 层

10.2.1 业务功能

10.2.1.1 PaaS 层服务应为应用层提供软件运行环境与开发运维支持。宜包含容器集群管理、中间件服务、服务治理等子系统。

10.2.1.2 容器集群管理应满足容器集群资源统一调度管理要求，宜具备容器集群管理、容器全生命周期管理、镜像仓库管理等能力。

10.2.1.3 中间件服务应基于容器集群方式提供多种基础能力，宜包括分布式消息、MQTT 消息、K-V 数据库、关系型数据库、NoSQL 文档型数据库、NoSQL 时序数据库、对象存储等多种中间件服务。

10.2.1.4 服务治理应基于容器化和微服务架构，宜提供全面的服务生命周期管理与运行时支撑能力，包括微服务注册与发现、服务负载均衡、链路追踪与调用分析、服务监控与告警、日志采集与分析、熔断限流等多种治理服务。

10.2.2 系统部署

10.2.2.1 PaaS 层各子系统应采用集中式部署架构，并基于云主机构建容器集群。

10.2.2.2 中间件服务与服务治理组件应支持高可用部署，优先采用容器化集群方式部署（节点数应大于或等于 3 个），或采用双机主备模式。

10.2.3 安全与容灾

10.2.3.1 PaaS 层各子系统宜满足网络安全等级保护二级要求。

10.2.3.2 PaaS 层各子系统的系统可用性应大于 99.9%。

10.2.3.3 PaaS 层各子系统应采用数据级容灾，当部署灾备中心时，应配置应用级容灾方案。

10.2.3.4 数据级容灾的数据备份时长宜大于 12 个月。

10.2.3.5 应用级容灾的 RTO 应小于 30 min。

10.2.4 性能及资源要求

10.2.4.1 容器集群管理的容器实例纳管数量应大于 1×10^6 个。

10.2.4.2 PaaS 层各子系统服务响应时间应小于 200 ms。

10.2.4.3 PaaS 域部署所需资源宜参考附录 A 中表 A.7 PaaS 域资源需求表的规则。

10.3 平台管理域

10.3.1 业务功能

10.3.1.1 云资源池管理子系统应实现对计算资源池、存储资源池、通信网络资源的统一调度和集中管理；宜具备可视化管理，接口开放与集成等功能。

10.3.1.2 设备管理子系统应实现对各类 IT 设备的统一接入与集中管理；宜具备设备监控与告警、网络拓扑可视化、设备配置管理等功能。

10.3.1.3 安全管理中心子系统作为平台的安全中枢，应实现对全网安全态势的统一感知与集中管理；宜具备安全态势感知与监控、资产与漏洞管理、安全审计与合规管理、安全运维自动化等功能。

10.3.2 系统部署

10.3.2.1 云资源池管理、设备管理子系统应基于裸金属主机部署，安全管理中心子系统宜基于云主机部署。

10.3.2.2 设备管理子系统应配置独立的带外管理网络通道。

10.3.2.3 安全管理中心子系统宜配置独立的安全管控网络通道。

10.3.3 安全与容灾

10.3.3.1 平台管理域各子系统宜满足网络安全等级保护二级要求。

10.3.3.2 平台管理域各子系统可用性应大于 99.9%。

10.3.3.3 平台管理域各子系统应采用数据级容灾，当部署灾备中心时，云资源池管理子系统、安全管理中心子系统应配置应用级容灾方案。

10.3.3.4 平台管理域数据级容灾的数据备份时长宜大于 12 个月。

10.3.3.5 平台管理域应用级容灾的 RTO 应小于 30 min。

10.3.4 性能要求

10.3.4.1 云资源池管理子系统纳管的虚拟机实例数量应大于 1×10^4 台。

10.3.4.2 设备管理子系统纳管的网络设备数量应大于 1×10^5 台。

10.3.4.3 安全管理中心子系统纳管的设备规数量应大于 1×10^5 台。 ，

10.3.4.4 安全管理中心子系统的事件采集速率应大于 1×10^5 TPS，事件响应延时应小于 5 min。

11 外部接口

11.1 乘客服务域 AFC 子系统应与线网 ACC 系统间存在数据接口。接口边界宜设于全自动运营系统接入交换机或边界安全设备的外侧。

11.2 统一调度域 ATS 子系统、行车智能调度子系统宜与 NOCC 线网调度系统间存在数据接口。接口界面宜位于全自动运营系统接入交换机或边界安全设备外侧。

12 附属及配套设施

12.1 全自动运营系统应在主中心和灾备中心分别设置专用设备用房。

12.2 设备用房的设计与建设应符合 GB 50174 中的分级与性能规定；主中心和灾备中心的设备用房等级不应低于 B 级，抗震设防类别不应低于丙类。

12.3 设备用房内设备平面布置应符合 GB 50174 中关于通道宽度与设备间距的规定。

12.4 设备用房的用电负荷等级应为一级负荷，并由双重电源独立供电；供电电源质量应符合 GB 50174 附录 A 中关于电压波动、频率偏差、谐波失真指标的规定。

12.5 设备用房应配备 UPS 系统，UPS 主机应采用 N+1 冗余配置，

12.6 UPS 蓄电池组应保证至少 30 分钟后备供电时间，宜采用磷酸铁锂电池。

12.7 低压配电系统应采用 TN-S 接地系统，输入配电箱（柜）应配置 SPD，具备对雷电浪涌的多级防护能力。

12.8 设备用房应设置完整的等电位联结网格，并在网格四周设置等电位联结带。

12.9 设备用房应部署智能化机房监控系统，应具备对供配电、空调及温湿度、视频监控、门禁、照明、火灾自动报警、气体灭火系统状态的实时监测与管理能力。

附 录 A
(资料性)
应用系统资源需求

A.1 统一调度域资源需求宜参考表A.1 的规则。

表A.1 统一调度域资源需求表

序号	业务系统名称	vCPU / 核	内存 / G	存储 / G
1	ATS子系统	120	240	3000
2	ISCS子系统	120	240	3000
3	线网调度子系统	80	180	1000
4	能源调度	80	40	300
	小计	340	700	7300
注：所列应为1条线规模的资源需求				

A.2 乘客服务域资源需求宜参考表A.2 的规定。

表A.2 乘客服务域资源需求表

序号	业务系统名称	vCPU / 核	内存 / G	存储 / G
1	AFC子系统	160	320	5000
2	PIS子系统	60	120	1500
3	PA子系统	20	40	300
	小计	240	480	6800
注：所列应为1条线规模的资源需求				

A.3 综合运维域资源需求宜参考表A.3 的规定。

表A.3 综合运维域资源需求表

序号	业务系统名称	vCPU / 核	内存 / G	存储 / G
1	专业运维子系统	320	800	8000
2	资产管理系统	40	80	1000
	小计	360	880	9000
注：所列应为1条线规模的资源需求				

A.4 通信域资源需求宜参考表A.4 的规定。

表A.4 通信域资源需求表

序号	业务系统名称	vCPU / 核	内存 / G	存储 / G
1	IMS系统	100	240	1000
2	电话系统	40	120	500

序号	业务系统名称	vCPU / 核	内存 / G	存储 / G
3	无线通信系统	40	80	500
	小计	180	440	2000
注1: 所列应为1条线规模的资源需求				
注2: IMS系统视频文件存储资源需求应根据摄像头数量确定, 不包含在本表内				

A. 5 机电域资源需求宜参考表A. 5 的规定。

表A. 5 机电域资源需求表

序号	业务系统名称	vCPU / 核	内存 / G	存储 / G
1	ACS子系统	60	120	1500
2	PSD子系统	40	80	1000
	小计	100	200	2500
注: 所列应为1条线规模的资源需求				

A. 6 智能化域资源需求宜参考表A. 6 的规定。

表A. 6 智能化域资源需求表

序号	业务系统名称	vCPU / 核	内存 / G	存储 / G
1	数据共享平台	160	480	5000
2	物联平台	80	160	2000
3	AI算法库	80	160	2000
4	可视化平台	80	120	2000
	小计	400	800	11000
注1: 所列应为1条线规模的资源需求				
注2: AI算法库及建筑三维可视化所需的GPU资源不包含在本表内				

A. 7 PaaS域资源需求宜参考表A. 7 的规定。

表A. 7 PaaS域资源需求表

序号	业务系统名称	vCPU / 核	内存 / G	存储 / G
1	容器集群管理平台	40	80	1000
2	中间件服务	200	600	5000
3	微服务治理	80	160	1000
	小计	320	840	7000
注: 所列应为1条线规模的资源需求				

参 考 文 献

- [1] GB/T 38707 城市轨道交通运营技术规范
 - [2] GB/T 12758 城市轨道交通信号系统通用技术条件
 - [3] GB/T 20907 城市轨道交通自动售检票系统技术条件
 - [4] GB/T 22486 城市轨道交通客运服务规范
 - [5] GB/T 26718 城市轨道交通安全防范系统技术要求
 - [6] GB/T 50636 城市轨道交通综合监控系统工程技术标准
-