

# 团体标准

T/SHJX 040--2021

## 城市轨道交通 TACS 技术规范

Urban rail transit—Technical specification for train  
autonomous circumambulation system

2022-06-08 发布

2022-06-28 实施

上海市交通运输行业协会

发布

# 目次

前言 .....	3
引言 .....	4
1. 总则 .....	5
2. 术语 .....	5
3. 缩略语 .....	6
4. TACS 基本规定 .....	7
5. TACS 功能要求 .....	8
5.1. 一般规定 .....	8
5.2. 中央设备功能要求 .....	11
5.2.1. 中央 ATS 功能 .....	11
5.3. 地面设备功能要求 .....	13
5.3.1. 地面 ATS 功能 .....	13
5.3.2. 地面 ATP 功能 .....	13
5.3.3. OC 功能 .....	15
5.3.4. DCS 功能 .....	15
5.4. 车载设备功能要求 .....	16
5.4.1. 车辆功能 .....	16
5.4.2. 车载 ATP 功能 .....	16
5.4.3. 车载 ATO 功能 .....	18
5.4.4. 车载 ATS 功能 .....	19
5.4.5. 车载无线接入单元功能 .....	20
5.4.6. 车辆和信号接口功能 .....	20

6. 性能要求 .....	21
6.1. RAMS 要求 .....	21
6.1.1. 安全完整度等级要求 .....	21
6.1.2. 可靠性要求 .....	22
6.1.3. 可用性要求 .....	22
6.1.4. 可维护性要求 .....	22
6.2. 主要技术指标要求 .....	23
7. 电磁兼容要求 .....	24
7.1. 一般规定 .....	24
7.2. 一般电磁干扰 .....	25
7.3. TACS 辐射和传导式发射 .....	25
7.4. 公共系统的兼容性 .....	26
附录 A 信号和车辆融合设计的基本要求 .....	27
附录 B 可靠性计算 .....	29
附录 C 可用性计算 .....	30
本规范用词说明 .....	31
引用标准名录 .....	32

## 前言

本部分按照 GB/T 1.1-2020 给出的规则起草。

请注意本部分的某些内容可能涉及专利，本部分的发布机构不承担识别这些专利的责任。

主编单位：上海市交通运输行业协会

青岛地铁集团有限公司

参编单位：上海富欣智能交通控制有限公司

中车青岛四方机车车辆股份有限公司

中车青岛四方车辆研究所有限公司

北京中兴高达通信技术有限公司

青岛富欣城轨科技有限公司

上海申通地铁维护保障有限公司

广州地铁集团有限公司

南京地铁建设有限责任公司

合肥市轨道交通集团有限公司

徐州地铁集团有限公司

中铁通信信号勘测设计院有限公司

主要起草人：周淮、罗情平、李广斌、邓小军、姚小强、占三毛、朱宏、兰慧峰、陈萍、左旭涛、孟彤、韩凤喜、陈丽君、迟宝全、刘长江、蒋欣、王立潮、祖健、李震、徐东超、李润华、李虎、卢昱昊

主要审查人：张君、王玉亮、朱翔、王生华、朱东飞、韦苏来、郑生全、郭建伟、张琼燕、张伟国、虞翊、印祯民、何晔、张郁、刘建、卢炜、雒春阳、朱文寅、孙林祥、杨利强、刘龙、戎志立

## 引言

为促进中国城市轨道交通自主化、智能化水平以及系统设备研发制造能力的提升，逐步形成列车自主运行系统及其配套设备的完整性产业链，实现并满足城市轨道交通列车自主运行系统的需求，达到技术先进及可持续发展的目标，特制定本规范。

国家示范工程青岛地铁 6 号线所采用的列车自主运行系统是以列车为核心，基于车车通信，采用资源管理的理念，以信号车辆深度融合为特征，实现列车运行方式由自动化向自主化转变的一种系统制式。

本规范基于青岛地铁 6 号线的研究和设计成果进行编制。

列车自主运行系统的信号系统与车辆的关系，分为两类：1) 保持既往的信号系统和车辆的关系；2) 从列车全系统的角度实现一体化设计，将信号系统与车辆进行融合设计。考虑到标准的兼容性（信号系统与车辆不融合和信号系统与车辆融合两种设计的兼容性），本规范以信号系统与车辆融合为基础编制，同时也适用于信号系统与车辆不融合的列车自主运行系统。

信号系统与车辆融合设计是一个新的领域，融合的方式、内容和程度还需要持续的优化和演进，为了避免限制具体的融合设计，本规范的正文不描述融合设计，只描述融合的基本的需求和要求，且对信号系统与车辆的融合不做强制要求，由建设方和设计方根据其建设需求选择；同时，在本规范的附录 A 中对青岛地铁 6 号线信号系统和车辆融合的设计进行了详细的描述，供建设方和设计方参考。

# 城市轨道交通 TACS 技术规范

## 1. 总则

- 1.1. 为指导城市轨道交通列车自主运行系统（以下简称为 TACS）的产品设计，制定本规范。TACS 工程在设备招标、测试验证、工程设计、工程验收时可参考使用。
- 1.2. 本规范规定了城市轨道交通 TACS 的总体技术要求，主要包括总则、基本规定、功能要求、性能要求、电磁兼容防护要求等内容。
- 1.3. 本规范适用于新建、改建及扩建的城市轨道交通线路建设。
- 1.4. 本规范以信号系统与车辆融合为基础编制，同时也适用于信号系统与车辆不融合的 TACS。
- 1.5. 城市轨道交通 TACS 产品设计，除应符合本规范要求外，还应符合国家现行有关强制性标准的规定。

## 2. 术语

下列术语适用于本文件。

### 2.1. 资源 resource

除列车位置外，线路上计算行车许可所需检查的实体和虚拟元素的总称。

### 2.2. 资源独占 resource monopoly

在同一时间，一处资源只被唯一的申请者持有，或一处资源的控制权只被唯一的申请者持有。

### 2.3. 资源共享 resource sharing

在同一时间，一处资源可被多个申请者使用。

### 2.4. 进路 route

列车由一个地点到另一个地点的运行径路。

### 2.5. 列车自主运行系统 train autonomous circumambulation system

以“车车（列车与列车之间）”通信为基础，以车载控制平台为核心，实现列车自主进路、自主防护、自主调整和自动驾驶的系统。

### 2.6.

列车自主防护 train autonomous protection

列车以车载控制平台为核心，自行完成进路防护、间隔防护、超速防护和乘客防护。

2. 7.

#### **列车自主进路 train autonomous route**

列车根据运营计划，自行办理进路。

2. 8.

#### **列车自主调整 train autonomous adjustment**

列车自行完成站停时间和区间运行时间的调整，以确保准点运行。

### **3. 缩略语**

下列缩略语适用于本文件。

AM: Automatic Train Operating Mode, 列车自动防护下的自动驾驶模式

ATO: Automatic Train Operation, 列车自动运行

ATP: Automatic Train Protection, 列车自动防护

ATS: Automatic Train Supervision, 列车自动监控

CAM: Creep Automatic mode, 蠕动模式

CM: Coded Train Operating Mode, 列车自动防护下的人工驾驶模式

DCS: Data Communication System, 数据通信系统

EMC: Electromagnetic Compatibility, 电磁兼容

ESB: 紧急关闭按钮 (Emergency Stop Button)

EUM: Emergency Unrestricted Train Operating Mode, 非限制人工驾驶模式

FAM: Full Automatic Train Operation Mode, 全自动运行驾驶模式

GoA: Grade of Automation, 自动化等级

HMI: Human Machine Interface, 人机接口

JOG: Jog, 自动对位调整

MTBF: Mean Time Between Failures, 平均故障间隔时间

MTTR: Mean Time to Repair, 平均修复时间

MSS: Maintenance Support System, 维护支持子系统

OBC: On Board Control Unit, 车载控制单元

OC: Object Controller, 目标控制器

PSD: Platform Screen Door, 站台门

QoS: Quality of Service, 服务质量

RAMS: Reliability、Availability、Maintainability、Safety, 可靠性、可用性、可维

修性和安全性

RM: Restricted Manual Mode, 限制人工驾驶模式

SNMP: Simple Network Management Protocol, 简单网络管理协议

TACS: Train Autonomous Circumambulation System, 列车自主运行系统

TAU: Train Access Unit, 列车接入单元

TCMS: Train Control and Monitoring System, 列车控制与监视系统

TCN: Train Communication Network, 列车通信网络

VLAN: Virtual Local Area Network, 虚拟局域网

## 4. TACS 基本规定

- 4.1. 系统及安全相关产品应符合本规范规定的安全完整性等级要求。
- 4.2. 系统中涉及行车安全的系统、设备及电路应符合故障-安全的原则。
- 4.3. 系统应采用可靠、统一的无线通信系统作为车地和车车信息传输的透明传输通道；应采用可靠、统一的有线通信系统作为地地信息传输的透明传输通道。
- 4.4. 系统的设备应使用不燃材料或无卤、低烟的阻燃材料, 烟、火、毒性能满足 EN 45545 相应等级的要求。
- 4.5. 系统的设备应符合城市轨道交通使用环境与运用条件。
- 4.6. 系统的车载设备严禁超出车辆限界, 系统的地面设备严禁侵入设备限界。
- 4.7. 系统应采用基于线路资源管理的安全防护算法, 通过车车和车地协作, 实现完整的闭塞安全防护功能, 可在任意位置为列车建立正向和反向(既可以建立正向的进路也可以建立反向的进路)的安全进路。
- 4.8. 系统应支持下列状况的列车双向运行:
  - a) 不同固定编组长度的列车;
  - b) 不同车辆性能的列车;
  - c) 不同固定编组长度和不同车辆性能的列车。
- 4.9. 系统应支持处于不同运行控制级别的列车混合运行。
- 4.10. 系统应支持对没有装备车载 ATP 的车列、转线列车的追踪与进路防护。
- 4.11. 因车载 ATP 故障、列车与地面丢失通信、列车丢失定位等情况造成列车无法保持 TACS 级别运行时, 转换为降级级别后, TACS 地面设备应能对降级列车实现位置追踪和行车防护。
- 4.12. TACS 列车在正向和反向运行时, 都应支持自动驾驶功能。

- 4.13. 系统宜支持全自动运行功能，包括但不限于：列车休眠、列车唤醒、自动发车、自动对位调整、站台清客、自动出入库等，相关全自动运行要求可参考 T/CAMET 04017。
- 4.14. 系统支持全自动运行时应具备障碍物检测功能，宜配置列车防撞系统和脱轨检测装置。
- 4.15. 系统的运营应在能够保证所有使用该系统的人员、乘客以及系统设施安全的前提下进行。
- 4.16. 系统由信号系统和车辆组成。信号系统与车辆宜采用融合设计，降低系统复杂度，提高系统实时性和列车控制性能。
- 4.17. 系统应满足列车最高运行速度、旅行速度、起动加速度、平均加速度、平均减速度、故障状态下的运行能力和坡道救援能力的要求。
- 4.18. 安装在列车上的系统设备耐冲击振动性能应满足 GB/T 21563 中相应等级的要求。
- 4.19. 安装在列车上的系统电气设备电磁兼容性应满足 GB/T 24338 标准的要求。
- 4.20. 安装在列车上的系统电气设备应符合 GB/T 21413 中相关要求。
- 4.21. 安装在列车上的系统电子设备应符合 GB/T 25119 中相关要求。
- 4.22. 安装在列车上的系统电气电子设备不得对车辆其他设备和地铁运营的其它机电系统设备产生电磁干扰，应满足 GB/T24338 标准的要求。
- 4.23. 系统应按照《信息安全等级保护管理办法》（公通字[2007]43号）、《中华人民共和国计算机信息系统安全保护条例》（国务院令第147号）、《信息系统安全保护等级保护实施指南》（GB/T 25058）和《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》（GB/T 22239）等实施等级保护工作，应符合国家安全部门对信号信息系统等级（3级）保护要求。

## 5. TACS 功能要求

### 5.1. 一般规定

- 5.1.1. 系统按照设备安装的位置分为：中央设备、地面设备和车载设备。
- 5.1.2. 系统典型组成示意图如下所示：

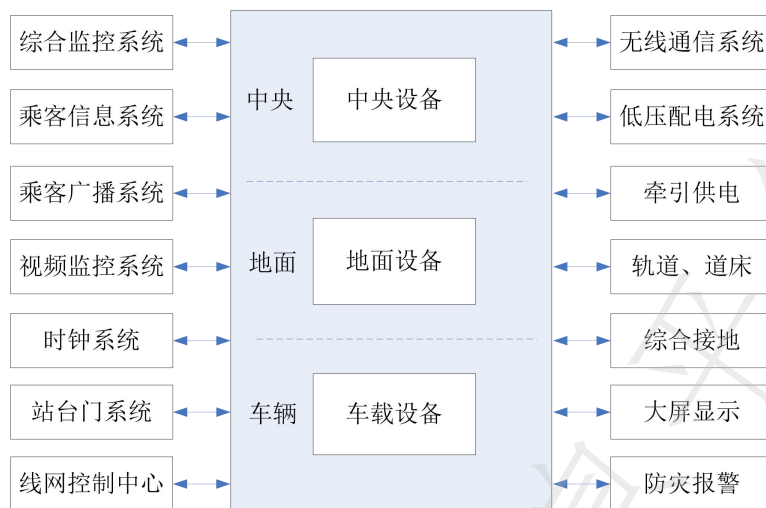


图 1 系统典型组成示意图

5.1.3. 中央设备主要包括中央 ATS 子系统，实现运营信息显示、计划管理、列车追踪、进路排列、运营调整等功能。

5.1.4. 中央 ATS 子系统中，用于保障列车运行的设备应采用冗余技术，主、备设备应实现无扰自动切换。

5.1.5. 中央 ATS 子系统数据传输通道应采用冗余的网络结构方式。

5.1.6. 地面设备主要包括 OC 设备、DCS 设备、地面 ATS 设备（包括车站 ATS 工作站和车辆基地 ATS 工作站）和地面 ATP 设备。

5.1.7. OC 设备的主要功能是采集轨旁设备的状态以及根据控制命令控制轨旁设备。

5.1.8. DCS 设备的主要功能是实现地面设备间、车地设备间信息交换的透明传输。

5.1.9. 地面 ATS 设备通过与中央 ATS 子系统交互信息实现车站级别的运营信息显示，控制权限切换为地面 ATS 控制后，通过中央 ATS 子系统实现车站级别的运营控制。

5.1.10. 地面 ATP 设备的主要功能是实现资源的管理和分配、追踪无定位列车、为降级级别列车计算行车许可、管理临时限速，地面 ATP 设备宜与 OC 设备合并设置。

5.1.11. 车载设备主要包括信号车载设备（可含车载 ATS 子系统、车载 ATP 子系统、车载 ATO 子系统等）、车载无线接入单元和车辆。

5.1.12. 宜设置车载 ATS 子系统，其主要功能是根据计划触发进路和运营调整。

5.1.13. 车载 ATS 子系统宜与车载 ATP 子系统或车载 ATO 子系统合并设置。

5.1.14. ATS 宜具有两种运营控制模式：列车自主控制（车载 ATS 控制）和轨旁 ATS 控制（包括中央 ATS 控制和现地 ATS 控制），具体要求如下：

- a) 正常情况下，宜以列车自主控制为主；
- b) 控制模式切换过程不应影响设备已经执行的功能及在线列车的运行；
- c) 系统可在轨旁 ATS 完全故障时，由列车按已下载的计划自主维持运营。

5.1.15. 轨旁 ATS 控制等级宜分为：中央 ATS 控制、现地 ATS 控制。

a) 正常情况下，以中央 ATS 控制为主。

b) ATS 系统控制应遵循的原则是：人工控制优先于自动控制，现地控制优先于中央控制。控制模式的转换可采用请求响应机制或直接转换机制，特殊情况下地面 ATS 可强制取得控制权。

5.1.16. TACS 的列车运行控制级别应分为 TACS 控制级别和降级控制级别，并符合下列要求：

a) TACS 控制级别为系统正常控制方式。基于移动闭塞原理，系统采用连续速度曲线控制方式控制列车运行；

b) 降级控制级别为系统降级控制方式。基于固定闭塞原理，司机根据行调指令和轨旁信号机显示行车。

5.1.17. 当列车处于 TACS 控制级别，发生无法保证列车安全间隔防护的设备、通信故障或人工转换时，如条件具备应能切换为降级控制级别。

5.1.18. 系统应提供无定位列车的位置防护，为故障列车（ATP 车载子系统故障或与地面失去通信）或非 TACS 装备列车提供进路防护功能。

5.1.19. 装备 TACS 的列车在运营中应支持以下驾驶模式：

a) 列车自动防护下的自动驾驶模式—AM；

b) 列车自动防护下的人工驾驶模式—CM；

c) 限制人工驾驶模式—RM；

d) 非限制人工驾驶模式—EUM。

5.1.20. 装备 TACS 的列车用于全自动运行项目时，应支持 FAM 模式，可支持 CAM 模式。

5.1.21. 在满足转换条件时，驾驶模式可实现人工或自动转换，车载设备应予以记录和显示。

5.1.22. 车载信号系统和车辆的人机界面宜采用融合设计，整合显示设备与显示界面。

5.1.23. 车载信号系统与车辆的非安全输入输出接口宜进行融合设计。

5.1.24. 车载信号系统与车辆制动系统宜共享速度信息、轮径校准信息。

5.1.25. 系统宜采用实时以太网构建覆盖全列车的车辆 TCMS 网络，车载信号设备宜纳入该网络统一管理。

5.1.26. ATO 功能宜与车辆进行融合设计。

5.1.27. ATO 功能宜充分考虑区间能耗、全线冲动率、牵引制动转换次数、停车精度等指标，并与牵引/制动系统进行充分的信息共享，通过利用列车载重信息、牵引/制动能力与状态以及指令反馈信息等，缩短 ATO 闭环控制及控制超调的周期，优化目标曲线生成与跟踪策略，提高 ATO 性能。

- 5.1.28. 除非特殊规定，TACS 所有车载设备和控制电路标称电压均采用 DC110V。
- 5.1.29. TACS 信号系统应具有统一的时钟，应向车辆提供信号系统的时钟信号，车辆时钟应与信号系统保持同步。
- 5.1.30. 部分或全部纳入ATC控制范围的车辆基地和停车场的信号系统配置宜与正线设备配置一致。
- 5.1.31. 可将试车线纳入车辆段的管辖范围，此时试车线信号设备应与车辆段合设。

## 5.2. 中央设备功能要求

### 5.2.1. 中央 ATS 功能

- 5.2.1.1. 列车进路的控制包括自动控制和人工控制两种方式。
- 5.2.1.2. 中央 ATS 子系统应能办理以列车或信号机为起点、以站台或信号机为终点的列车进路。
- 5.2.1.3. 中央 ATS 子系统应在信号系统监视范围内自动跟踪列车位置。
- 5.2.1.4. 列车占用检测设备故障时，中央 ATS 子系统可办理引导方式行车。
- 5.2.1.5. 中央 ATS 子系统应实现对车辆段/停车场站场情况的监控。若采用自动化场段设计，车辆段/停车场自动化区域可实现自动控制或人工控制，非自动化区域只可人工控制。
- 5.2.1.6. 中央 ATS 子系统应具备枢纽站/分歧线路的运行管理功能，满足“Y”型交叉线路的运营需求。
- 5.2.1.7. 中央 ATS 子系统应能检测列车计划冲突，并提示调度员采取列车计划冲突干预方案。
- 5.2.1.8. 设置车载 ATS 子系统时，中央 ATS 子系统应具有将列车计划数据（包含运行线数据和时刻表数据）发送给列车的功能，计划变更后，中央 ATS 子系统应将变更后的计划数据发送给列车。
- 5.2.1.9. 中央 ATS 子系统应具有全线或单站线路布局、信号设备状态、列车运行状态、移动授权状态、设备通讯状态等显示功能，线路布局的显示画面宜统一显示方向及方位。
- 5.2.1.10. 中央 ATS 子系统应具有列车运行信息的显示功能，显示的信息至少包含列车运行模式、列车识别号、早晚点信息等。
- 5.2.1.11. 中央 ATS 子系统应根据列车实际运行情况自动完成列车识别号的匹配、移除与跟踪；调度员可通过界面进行列车识别号的增加、删除、修改等。
- 5.2.1.12. 列车运行图应包含基本运行图、计划运行图和实际运行图。
- 5.2.1.13. 运行图应能显示列车在车站的到达、出发或通过时刻。
- 5.2.1.14. 列车运行图格式应符合下列要求：

a) 在列车运行图上有横线、竖线和斜线三种线条。采用以横坐标表示时间、纵坐标表示距离图解列车运行状态；

b) 横线代表车站的中心线；

c) 竖线将横轴按一定的时间单位进行等分，代表一昼夜的小时和分秒；

d) 斜线是列车运行的轨迹，代表列车运行线。列车运行线与车站中心线的交点就是列车在车站的到达、出发或通过时刻。在列车运行图上，下行列车的运行线由左上方向右下方倾斜，上行列车的运行线由左下方向右上方倾斜。

5.2.1.15. 计划运行图/时刻表应符合下列要求：

a) 根据当日运行计划和列车运用计划，中央 **ATS** 子系统自动选择当日的运行图/时刻表或调度员在运行图显示工作站上选择适当的基本运行图/时刻表，经修改和确认后即为当日的计划运行图/时刻表，中央 **ATS** 子系统据此组织和实施当日的列车运行；

b) 运营期间可对当日的计划运行图/时刻表进行在线修改。

5.2.1.16. 实际运行图/时刻表应符合下列要求：

a) 实际运行图/时刻表为中央 **ATS** 子系统根据列车运行的实际情况自动生成，并在运行图显示工作站上显示，可用外部记录设备如磁盘和光盘等存储，并在数据库内保留不少于 90 天；

b) 可按指定的时间段打印输出实际运行图/时刻表。

5.2.1.17. 计划运行图和实际运行图采用不同的底色和线条同时显示在运行图显示工作站显示器的同一画面上，以现时时刻刻为分界线，随着时间的推移，应实现运行图按当前时间的居中显示。

5.2.1.18. 中央 **ATS** 子系统应根据当天的计划运行图/时刻表，在人工的参与下形成当日车辆运用计划和配车计划。

5.2.1.19. 车辆段/停车场值班员根据当日车辆运用计划和配车计划组织车辆段/停车场的列车运行作业，自动或人工设置出入车辆段/停车场内的进路。

5.2.1.20. 车辆段/停车场的配车计划生成后，直接生成司机的派班计划并传至司机派班室。车辆段/停车场的派班计划由中央 **ATS** 子系统直接生成。

5.2.1.21. 中央 **ATS** 子系统应对车辆段/停车场值班员 **ATS** 终端进行出库列车自动预先通知，到达规定时间尚无列车在车辆段/停车场转换轨时应自动进行报警。

5.2.1.22. 中央 **ATS** 子系统应能自动或人工调整列车运行，应具备列车运行自动调整策略和多种人工调整手段。

5.2.1.23. 中央 **ATS** 子系统应能查询某列车的计划运行时刻表、某站的计划运行列车时刻表、在线列车的实际运行信息等。

- 5.2.1.24. 应具有运营记录和报表统计功能，需记录和统计列车运行信息、设备状态信息、司机出乘信息等。
- 5.2.1.25. 中央 ATS 子系统应具备与乘客信息系统、中心显示大屏、广播系统、时钟系统无线系统接口的功能，宜具备与综合监控系统、防灾报警、线网控制中心等系统接口的功能。
- 5.2.1.26. 模拟演示及培训系统应具有离线工作状态的模拟培训设施，培训系统的运行不得影响在线 ATS 系统的运行。
- 5.2.1.27. 中央 ATS 子系统应将报警信息（宜包括车载和轨旁设备的报警信息）传至控制中心维护工作站、车站维护工作站、综合维修中心的维护工作站。
- 5.2.1.28. 中央 ATS 子系统应对列车运营的高峰和非高峰时段实施不同的能源优化方案，非高峰运营时段在不降低服务质量的前提下，宜采用节能运行曲线控制列车运行。
- 5.2.1.29. 中央 ATS 子系统应实现功能及控制范围的职责授权，在工作站上输入职责授权分类的系统操作人员登录口令，实现操作人员登记进入确认和登记退出。
- 5.2.1.30. 中央 ATS 子系统应保证控制命令输出的正确性和唯一性，不应出现多个控制工作站在同一时间内对同一目标实施控制。
- 5.2.1.31. 中央 ATS 子系统应对各种操作信息、设备运行状态信息及运行数据进行记录和备份，并具有根据记录数据对任何时间、任何信息点进行过程回放的功能。
- 5.2.1.32. 中央 ATS 子系统应具备不同速率的在线回放功能，回放记录应保存不少于 30 天。
- 5.2.1.33. 中央 ATS 子系统人机操作显示界面要求：
- a) 人机操作界面站场图的显示应与实际站场相一致；
  - b) 显示的各种记录、故障及报警信息应意思明确，便于维修人员跟踪记录，查找故障。
- 5.2.1.34. 中央 ATS 子系统应具有完善的自诊断和设备运行状态监视及故障报警的功能。报警应根据其危害程度和对运营的影响进行分类，并应根据其严重性、确认和处理的状态显示为不同的颜色，并给出提示信息。

## 5.3. 地面设备功能要求

### 5.3.1. 地面 ATS 功能

- 5.3.1.1. 某一站级地面 ATS 设备发生故障，应不影响整个 ATS 子系统的工作。
- 5.3.1.2. 地面 ATS 工作站应符合 5.2.1 定义的显示要求。

### 5.3.2. 地面 ATP 功能

- 5.3.2.1. 地面 ATP 子系统应具备通过区段占用检测列车位置的能力，宜采用计轴设备作为列车占用检测设备。
- 5.3.2.2. 地面 ATP 子系统应连续、自动地对轨道占用/空闲状态及列车位置进行安全可靠处理。
- 5.3.2.3. 地面 ATP 子系统应实现故障列车（ATP 车载子系统故障或与地面失去通信）的位置管理。
- 5.3.2.4. 地面 ATP 子系统宜具备判断列车占用检测设备故障的功能。
- 5.3.2.5. 地面 ATP 子系统应能对资源实现登记申请、注销申请以及登记管理。
- 5.3.2.6. 地面 ATP 子系统应响应车载 ATP 设备和地面 ATP 设备的资源登记申请和资源注销申请。
- 5.3.2.7. 地面 ATP 子系统应具备管理资源独占控制权限的能力，应确保任一时刻同一资源不得被多于一个设备获取控制权，且仅执行获得控制权的设备下发的控制命令。
- 5.3.2.8. 地面 ATP 子系统应具备管理资源共享使用权限的能力。
- 5.3.2.9. 地面 ATP 子系统不应控制未获取独占控制权的资源。
- 5.3.2.10. 地面 ATP 子系统应能办理列车进路和调车进路，列车进路应根据需要设置相应的防护进路。
- 5.3.2.11. 地面 ATP 子系统应具备引导进路功能，可通过引导进路或在已有的列车进路上叠加引导信号的方式实现引导进路功能；采用在已有的列车进路上叠加引导信号的方式时，应在确保允许信号关闭后才能开放引导信号。
- 5.3.2.12. 地面 ATP 子系统在得到资源的独占控制权或共享使用权之前，不应判定资源可用条件满足。
- 5.3.2.13. 地面 ATP 子系统应根据列车位置、资源可用状态、道岔位置等条件按照固定闭塞原则计算行车许可，应仅在安全条件满足时才能开放信号。
- 5.3.2.14. 地面 ATP 子系统应能随着列车的正常运行分段自动解锁列车驶过区域的进路。
- 5.3.2.15. 地面 ATP 子系统应能根据单独操纵命令控制道岔转换。
- 5.3.2.16. 地面 ATP 子系统应能根据进路命令控制道岔转换。
- 5.3.2.17. 地面 ATP 子系统应能通过进路锁闭、占用锁闭或其它锁闭的方式对道岔进行锁闭。道岔一旦被锁闭，将不能操纵。
- 5.3.2.18. 地面 ATP 地面子系统应具备管理临时限速的功能，且应满足设备重启后临时限速区域范围内的速度不超过已设置的临时限速值的要求。
- 5.3.2.19. 地面 ATP 子系统应具备区段封锁功能。
- 5.3.2.20. 地面 ATP 子系统应具备道岔封锁和解除封锁功能。

- 5.3.2.21. 地面 ATP 子系统宜具备扣车、跳停、站停时间等站台状态管理功能。
- 5.3.2.22. 列车占用检测设备支持网络接口时，地面 ATP 设备可与列车占用检测设备通过网络接口。
- 5.3.2.23. 地面 ATP 子系统应具备故障报警、运行重要数据的记录功能。

### 5.3.3. OC 功能

- 5.3.3.1. OC 应与列车占用检测设备、道岔转辙机、信号机（含 LED 光源）、站台门、站台紧急关闭按钮、人员防护开关等通过安全继电接口、电子接口或网络接口，实现对区段、道岔、信号机、站台门、紧急关闭按钮、人员防护开关等设备的安全可靠的控制和状态采集。
- 5.3.3.2. 对轨旁设备的控制电路的设计应符合故障—安全原则。电路连接不能因线路发生短路、馈电失效或者外部电路接地，而影响系统的安全性。
- 5.3.3.3. OC 对继电器的采集与驱动应符合 TB/T 3027 的要求。
- 5.3.3.4. 当采用电子执行单元时，电子执行单元应冗余配置，电子执行单元与 OC 之间应采用安全冗余通信通道。
- 5.3.3.5. 与列车占用检测设备通过网络接口时，OC 与列车占用检测设备之间应采用安全冗余通信通道。
- 5.3.3.6. 信号应不出现乱显示即不符合规定的信号显示，在组合灯光开放和关闭时，应避免因灯丝故障导致信号显示升级。
- 5.3.3.7. OC 可实现与车辆段/停车场以及与其他轨道交通线路联络线的接口。
- 5.3.3.8. OC 具有自检、自诊断和对信号机、转辙机等基础信号设备的监测报警功能，并在车站的维护工作站上显示。

### 5.3.4. DCS 功能

- 5.3.4.1. DCS 是实现系统信息交换的传输通道，实现透明通道传输。
- 5.3.4.2. DCS 无线系统宜采用 LTE 技术，采用 A/B 双网冗余的网络结构，支持车车、车地之间的数据传输。
- 5.3.4.3. DCS 终端切换时不应干扰信号系统正常工作，不应导致任何通信中断或信息丢失。
- 5.3.4.4. DCS 应受 SNMP 标准协议管理，网络管理系统（NMS）支持网络设备层和无线电设备层的管理功能，包括：故障管理、性能管理、配置管理、安全管理、通信管理、拓扑管理、系统管理。

- 5.3.4.5. 车载无线单元与轨旁无线单元之间应在传递数据前建立授权，同时应提高无线网络的安全性，采用的方法包括：无线设备对传输的信息提供 128 位（或更高位）的加密，并且密钥是动态变化的；把不同类型的数据经由不同的物理或逻辑通道进行传输。
- 5.3.4.6. 车地无线系统宜部署轨旁分布式核心网，降低对中央核心网设备的依赖。
- 5.3.4.7. 车地无线系统宜提供以列车为监控对象的车载接入单元的在线状态和无线信号强度的监控。
- 5.3.4.8. DCS 有线网络应避免广播风暴。
- 5.3.4.9. DCS 应具有自诊断能力。

## 5.4. 车载设备功能要求

车载设备功能包括车辆功能、信号功能（ATP、ATO、车载 ATS）、信号和车辆的接口功能。

### 5.4.1. 车辆功能

- 5.4.1.1. 车辆性能应满足 GB 50157 和 GB/T 7928 等标准中对车辆的要求。
- 5.4.1.2. 信号首尾车载设备之间传输通道宜采用车辆 TCMS 网络通道。
- 5.4.1.3. 车辆 TCMS 网络应采用冗余结构设计，在单个交换机故障时能够保证干路网通信畅通。
- 5.4.1.4. 车辆宜支持“信号系统和车辆融合”设计。信号系统和车辆融合可参考附录 A。
- 5.4.1.5. 车辆可以适用于如下信号车载设备配置：
  - a) 列车两端各设置一套三取二安全计算机平台构成的信号车载设备；或
  - b) 列车两端各设置一套二乘二取二安全计算机平台构成的信号车载设备；或
  - c) 列车两端各设置一套二取二安全计算机平台构成两端热备冗余的信号车载设备。
- 5.4.1.6. 信号车载设备非安全输入输出信息宜采用 TCMS 驱采，信号车载设备安全输入输出信息应采用硬线接口。
- 5.4.1.7. 车载信号设备应与整车网络接口形式和通信协议统一，满足 TACS 通信需求。
- 5.4.1.8. 车辆牵引控制电路的设计应采用网络与硬线互为冗余的控制方式。
- 5.4.1.9. 司机室占有、牵引/制动控制、紧急制动、零速和门使能等车辆控制关键功能应采用冗余设计，但不得降低安全性。

### 5.4.2. 车载 ATP 功能

- 5.4.2.1. 车载 ATP 子系统应根据安全制动模型和限制速度（包括临时限速）计算速度-距离曲线，实现列车速度控制，防止列车超速，确保追踪列车之间的安全行车间隔。
- 5.4.2.2. 车载 ATP 子系统应能办理列车进路，应根据需要设置相应的防护进路。
- 5.4.2.3. 进路应采用基于列车的进路方式，即进路应覆盖车身位置，也可采用信号机至信号机的进路方式。
- 5.4.2.4. 车载 ATP 子系统在得到资源的独占控制权或共享使用权之前，不应判定资源可用条件满足。
- 5.4.2.5. 车载 ATP 子系统应根据列车位置、线路数据、资源可用状态、道岔位置等条件按照移动闭塞的原则计算移动授权，信号机设备故障（如灯丝断丝）不应影响移动授权。
- 5.4.2.6. 车载 ATP 子系统应根据资源可用状态、前车位置等信息，以列车或信号机为起点，沿进路方向由近及远连续延伸安全行车路径。
- 5.4.2.7. 车载 ATP 子系统对资源的使用应遵循使用前申请、使用后释放的原则。
- 5.4.2.8. 车载 ATP 子系统应仅能控制已获取控制权的设备，如道岔、信号机、站台门等。
- 5.4.2.9. 车载 ATP 子系统应根据进路命令请求地面 ATP 子系统控制道岔转换。
- 5.4.2.10. 车载 ATP 子系统应能通过进路锁闭、占用锁闭或其它锁闭的方式对道岔进行锁闭。道岔一旦被锁闭，将不能操纵。
- 5.4.2.11. 对于 TACS 级别列车，车载 ATP 子系统应具备临时限速防护功能。
- 5.4.2.12. 对于 TACS 级别列车，应根据列车的位置自动解锁列车驶过区域的资源；车载 ATP 子系统判断列车到达目的地并停稳后应解锁车身位置以外区域的资源。
- 5.4.2.13. 车载 ATP 子系统应仅在安全条件满足时才能开放信号。
- 5.4.2.14. 车载 ATP 子系统应对站台紧急关闭按钮状态、站台门状态进行监督和防护。检测到站台紧急关闭按钮按下或站台门未关闭并锁闭时，车载 ATP 子系统应禁止列车进入站台、在站台内移动和驶出站台，必要时应实施紧急制动。
- 5.4.2.15. 车载 ATP 子系统应具有列车位置检测功能。
- 5.4.2.16. 当正线运行列车故障时（ATP 车载子系统故障或与地面失去通信），救援列车的车载 ATP 子系统应允许列车以 RM 模式接近故障列车实施救援。
- 5.4.2.17. 车载 ATP 子系统应具有对侧向防护区域防护功能，防止列车发生侧向冲撞。
- 5.4.2.18. 车载 ATP 子系统应实现与车辆制动装置的可靠接口，保证安全和对列车实施连续有效的控制。
- 5.4.2.19. 车载 ATP 子系统应采用冗余的测速系统，保证测速功能的安全性与可用性。测速设备的测速精度参数应满足列车控制精度的要求。

- 5.4.2.20. 车载 ATP 子系统应具有列车空转、打滑检测功能。
- 5.4.2.21. 车载 ATP 子系统应能够判断列车是否发生溜车、退行，并进行安全防护。
- 5.4.2.22. 车载 ATP 子系统应支持人工或自动轮径磨损补偿。
- 5.4.2.23. 车载 ATP 子系统应具有列车零速检测及安全停稳检测功能。
- 5.4.2.24. 车载 ATP 子系统只有在输出门使能的条件下，才允许打开车门和站台门。
- 5.4.2.25. 车载 ATP 子系统应持续监督车门关闭且锁闭状态。
- 5.4.2.26. 车载 ATP 子系统应能实现车门与站台门的联动控制。
- 5.4.2.27. 车载 ATP 子系统应判定发车授权条件并发送给车载 ATO 子系统。
- 5.4.2.28. 车载 ATP 子系统开机后应具备完整的静态全功能自检功能。
- 5.4.2.29. 车载 ATP 子系统应监督列车完整性，当列车完整性丢失时立即施加紧急制动。
- 5.4.2.30. 车载 ATP 子系统在 AM 模式下应支持不发生列车降级的情况下，在定义的折返区域完成列车自动折返。
- 5.4.2.31. 车载 ATP 子系统在 AM 模式下应支持在任意区域完成列车的自动换端。
- 5.4.2.32. 车载 ATP 子系统在检测到非安全情况或人工施加的紧急制动命令时，立即施加紧急制动至列车停车。
- 5.4.2.33. 车载 ATP 子系统应具有根据紧急制动原因采取不同紧急制动缓解方式的功能，紧急制动缓解方式宜支持自动缓解和司机人工缓解。
- 5.4.2.34. 车载 ATP 子系统具备自诊断、故障报警及列车运行重要数据的记录功能，并可通过离线设备打印。记录的内容包括事件的时间和日期，车载设备的数据至少保存 7 天，保存的数据可实现上传，并宜实现自动转存。记录内容包括：设备运行状况、行车里程、控制情况、驾驶模式、速度、列车日检数据。
- 5.4.2.35. 列车自车辆段/停车场进入正线运行的列车出库之前应具备对 ATP 车载设备的测试检查功能（包括：车载软硬件、系统内部接口、所采用的车地通信设备），并能将测试检查的数据及结果上传。

### 5.4.3. 车载 ATO 功能

- 5.4.3.1. 车载 ATO 子系统应在车载 ATP 的保护下自动驾驶列车。根据 ATS 子系统的命令，实现列车在区间运行的自动调整，并可实现列车的节能运行控制。
- 5.4.3.2. 车载 ATO 子系统可控制列车按运行图规定的区间走行时分行车，自动完成对列车的启动、加速、巡航、惰行、减速和制动的合理控制。
- 5.4.3.3. 在 AM 模式下，车载 ATO 子系统可根据 ATS 的调整指令控制区间走行时分，达到列车运行自动调整的目的。

- 5.4.3.4. 车载 ATO 子系统应向中央 ATS 发送列车运行信息，以便中央 ATS 能对在线列车进行监控。
- 5.4.3.5. 车载 ATO 子系统应实现在车站站台定点停车的功能。
- 5.4.3.6. 列车停车后，如发车条件不满足，车载 ATO 子系统应输出制动，避免溜车。
- 5.4.3.7. 列车在车站规定位置停稳后，车载 ATO 子系统可向列车发送开车门命令，并由车载 ATP 子系统向 OC 发送开启与车门对应站台门的命令。
- 5.4.3.8. 在正常运行时，车载 ATO 子系统应保证列车在曲线上运行的未被平衡的离心加速度不超过  $0.4\text{m/s}^2$ 。
- 5.4.3.9. 在列车停车时，车载 ATO 子系统应采用一次性连续制动模式，且进站前不应有非线路限速要求的减速台阶。
- 5.4.3.10. AM 模式下，列车在区间停车后，满足发车条件时，车载 ATO 子系统可自动启动列车运行。
- 5.4.3.11. 车载 ATO 应具有自诊断功能，发生故障时，向司机报警，记录和分析故障报警信息，并将报警信息传至中央 ATS 和 MSS。
- 5.4.3.12. 因车载 ATO 故障，列车停车后，列车可转换为 CM 或 RM 模式运行。
- 5.4.3.13. 车载 ATO 子系统可向 TCMS 提供有关车载旅客信息的数据。
- 5.4.3.14. 车载 ATO 子系统记录和统计的内容包括事件的时间和日期。
- 5.4.3.15. 车载 ATO 子系统可具备雨雪模式，雨雪模式下应控制列车减速，并减小制动率。
- 5.4.3.16. 车载 ATO 功能宜与牵引/制动系统配合，优化目标曲线生成与跟踪策略，减少运行能耗、提高乘客舒适度和停车精度。
- 5.4.3.17. 列车在区间运行时，当车载 ATO 子系统收到车辆发送的车轮滑行信息，在不改变车载 ATP 防护及运营目标的前提下，宜不加大制动力的输出。
- 5.4.3.18. 车载 ATO 子系统宜充分利用车辆滑行信息，对列车定位误差进行补偿。

#### 5.4.4. 车载 ATS 功能

- 5.4.4.1. 车载 ATS 子系统应存储从中央 ATS 下载的计划数据。计划数据包含运行线数据和时刻表数据。
- 5.4.4.2. 车载 ATS 子系统存储新的计划数据时，不应影响到当前正在执行的计划。
- 5.4.4.3. 车载 ATS 子系统应根据中央 ATS 发送的人工或自动进路命令触发进路。
- 5.4.4.4. 车载 ATS 子系统应根据列车计划和列车位置自动触发进路，并正确选择进路的保护区段。

5.4.4.5. 车载 ATIS 子系统执行列车时刻表计划时，应能自动调整列车的停站时间和列车运营等级。

5.4.4.6. 车载 ATIS 子系统宜支持扣车、跳停、停站时间设置、运营等级调整和催发车等人工调整命令。

5.4.4.7. 车载 ATIS 子系统执行运行线计划或时刻表计划时，若收到人工进路命令，应优先执行人工进路命令。

5.4.4.8. 与中央 ATIS 通讯中断后，宜采用以下三种方式之一：

- a) 保持当前计划维持正常运营；
- b) 保持当前计划，正常运营，直到配置的可停车站台后取消任务，不继续触发进路；
- c) 运营到当前进路的目的地站台。

5.4.4.9. 车载 ATIS 子系统应具备自检、自诊断功能。

#### 5.4.5. 车载无线接入单元功能

5.4.5.1. 车载无线接入单元应支持远程在线管理，支持向控制中心车地无线设备网管实时上报场强信息。

5.4.5.2. 车载无线接入单元应支持本地存储转发的列控数据，存储时长不低于 30 天。

5.4.5.3. 车载无线接入单元应支持远程查询检索本地存储的日志信息。

5.4.5.4. 车载无线接入单元应具有断电保护功能，保护车载无线接入单元的文件系统免受下电操作损坏。

#### 5.4.6. 车辆和信号接口功能

5.4.6.1. 宜从行车控制与执行的角度，设计车辆、信号的功能分配与接口，提升行车的安全性、可靠性、可维护性、性能。

5.4.6.2. 车载信号系统应能执行“5.4.2 章节”描述的车载 ATP 功能，并实时向车辆执行机构发出安全命令，车辆执行机构应能在设计性能范围内正确执行相应安全命令并正确反馈状态，安全接口对应的整车电气设计应能确保以上安全命令及状态的实时性与一致性。以上设计应符合“故障-安全”设计原则。

5.4.6.3. 车辆、信号共同完成的行车安全功能应包含但不限于：

- a) 紧急制动；
- b) 车门使能；
- c) 车门状态监督；
- d) 牵引切除；

- e) 零速;
  - f) 车辆方向监督;
  - g) 驾驶室激活;
  - h) 车辆完整性监督;
  - i) 不同驾驶模式时的安全防护。
- 5.4.6.4. 宜根据车载设备的现地控制要求、外设传感器要求和机械环境要求,充分利用和节约空间,进行整车的机械及环境设计,并在车辆-信号接口中体现。
- 5.4.6.5. 宜从整车的角度设计高速、安全、可靠的车载网络,提供车载各设备间的冗余网络交互通道,完成车载各设备间非安全关键功能的控制及数据交互。
- 5.4.6.6. 车载设备间通过网络交互的数据应包含行车必要的信息,并在车辆-信号网络接口中体现;用于全自动运行项目时,应满足无人驾驶等级的需求,具体报文内容可参考标准 T/CAMET 04017.3。
- 5.4.6.7. 在确保信息完整和用户习惯的基础上(具体内容可以参考当地人机界面规范),宜从操作便利角度,优化车辆的人机接口界面,人机接口设备与相关控制设备接口应在车辆-信号接口中体现。
- 5.4.6.8. 根据行车功能的性能分配,应在设计最初确认相关参数作为各专业设计依据,并在车辆-信号网络接口中以明确参数形式体现,包括但不限于:
- a) 车辆尺寸、重量、编组信息;
  - b) 车辆牵引制动性能信息;
  - c) 驾驶室换端性能信息;
  - d) 车轮、空转打滑性能、车速信息。
- 5.4.6.9. 宜从整车的角度,对控制列车运行的各车载设备的功能进行优化和分配;宜通过冗余、高速的网络接口承载优化后的车载 ATP、ATO、牵引制动等执行设备之间的控车数据流,并在车辆-信号网络接口中体现。

## 6. 性能要求

### 6.1. RAMS 要求

#### 6.1.1. 安全完整度等级要求

- 6.1.1.1. ATS 子系统: SIL2。
- 6.1.1.2. ATP 子系统: SIL4。
- 6.1.1.3. ATO 子系统: SIL2。
- 6.1.1.4. OC 子系统: SIL4。

6.1.1.5. 车辆应满足如下要求:

- a) 牵引系统: 不低于 SIL2;
- b) 制动系统的典型安全功能应满足: 紧急制动 SIL4; 常用制动不低于 SIL2; 车轮防滑保护不低于 SIL2;
- c) TCMS: 不低于 SIL2。典型安全功能应满足: 方向控制不低于 SIL2; 牵引限速防护不低于 SIL2; 超速防护触发不低于 SIL2;
- d) 防撞系统: 不低于 SIL2;
- e) 车门控制功能: 不低于 SIL2。

#### 6.1.2. 可靠性要求

- 6.1.2.1. ATS 设备的平均故障间隔时间:  $MTBF \geq 5 \times 10^4 h$ 。
- 6.1.2.2. 计算机外围设备的平均故障间隔时间:  $MTBF \geq 5 \times 10^4 h$ 。
- 6.1.2.3. 电源设备的平均故障间隔时间:  $MTBF \geq 10^5 h$ 。
- 6.1.2.4. ATP 地面设备平均故障间隔时间:  $MTBF \geq 10^5 h$ 。
- 6.1.2.5. OC 设备的平均故障间隔时间:  $MTBF \geq 10^5 h$ 。
- 6.1.2.6. OBC 设备的平均故障间隔时间:  $MTBF \geq 1.5 \times 10^5 h$ 。
- 6.1.2.7. 地面有线网络设备平均故障间隔时间:  $MTBF \geq 10^5 h$ 。
- 6.1.2.8. DCS 无线设备的平均故障间隔时间:  $MTBF \geq 10^5 h$ 。
- 6.1.2.9. 计轴设备的可靠性要求应符合以下规定:
  - a) 平均无差错计轴数  $\geq 5 \times 10^7$  轴;
  - b) 平均无故障工作时间  $\geq 1.0 \times 10^5 h$ 。
- 6.1.2.10. 晚点故障: 每组车平均故障间隔时间  $MTBF \geq 3000 h$ 。
- 6.1.2.11. 车载信号通信链路的平均无故障间隔时间:  $MTBF \geq 10^6 h$ 。

#### 6.1.3. 可用性要求

- 6.1.3.1. TACS 信号系统的可用性指标  $\geq 99.994\%$ 。
- 6.1.3.2. DCS 无线设备的可用性指标  $\geq 99.9995\%$ 。

#### 6.1.4. 可维护性要求

- 6.1.4.1. 车载信号设备的平均故障修复时间:  $MTTR \leq 30 min$ 。
- 6.1.4.2. 控制中心信号设备的平均故障修复时间:  $MTTR \leq 45 min$ 。
- 6.1.4.3. 车站信号设备的平均故障修复时间:  $MTTR \leq 45 min$ 。
- 6.1.4.4. 轨旁信号设备的平均故障修复时间:  $MTTR \leq 4 h$ 。
- 6.1.4.5. DCS 无线设备的平均故障修复时间:  $MTTR \leq 30 min$ 。

## 6.2. 主要技术指标要求

- 6.2.1. 系统最大通过能力应根据客流规模、客流增长趋势分析和远期设计行车密度等综合研究确定,正线最大通过能力不应小于 36 对/h,宜具备 40 对/h 的正线最大通过能力。折返站的折返能力、大客流集散车站、线路条件较差的区段的通过能力、车辆基地出入线能力以及主线与支线的接轨站通过能力等,均应与正线最大通过能力相匹配。
- 6.2.2. 自动驾驶模式下,在保证乘客舒适度的要求,即列车纵向冲击率: $\leq 0.75\text{m/s}^3$ 的前提下,列车在车站站台的停车精度为 $\pm 0.3\text{m}$ 时,保证列车停在该停车精度范围内的概率应不小于 99.99%;停车精度为 $\pm 0.5\text{m}$ 时,保证列车停车在该停车精度范围内的概率应不小于 99.9998%。
- 6.2.3. 列车到折返站能可靠实现无人自动折返的正确率不低于 99.99%。
- 6.2.4. 信号车载设备测速分辨率 $\leq 1\text{km/h}$ ,测速误差 $\leq \pm 3\text{km/h}$ ,车站定点停车的最大测量误差 $\leq 0.5\text{m}$ ;折返停车列车位置最大测量误差 $\leq 1\text{m}$ 。
- 6.2.5. 统应满足 24h 不间断运营的要求。
- 6.2.6. 车辆保持制动应具有随车辆载重变化自动调整制动力的功能。
- 6.2.7. 车辆停放制动应能使超员列车在 35%坡道上和空载列车在 40%坡道上停住。应考虑最大风力影响。
- 6.2.8. 车辆牵引系统的牵引力—速度特性和电制动力—速度特性应能满足车辆技术条件规定的列车动力性能及电制动能力要求(如最高运行速度、加速度、电制动减速度、旅行速度、技术速度等)及故障运行、救援能力的要求。
- 6.2.9. 车辆以太网应支持至少百兆带宽。
- 6.2.10. 信号和车辆融合设计时,TCMS 网络通信误码率宜不高于  $10^{-6}$ 。
- 6.2.11. 信号和车辆融合设计时,在规定带宽下,车辆 TCMS 网络单网丢包率宜不大于  $10^{-6}$ 。
- 6.2.12. 信号和车辆融合设计时,车辆 TCMS 网络端到端延迟时间宜不大于延时 5ms。
- 6.2.13. 在 AW0、AW2 及 AW3 载重情况下,在平直干燥轨道上,车轮为半磨耗状态,列车从最高运行速度到停车,制动平均减速度应符合以下要求:
- a) 常用制动平均减速度 $\geq 1.0\text{m/s}^2$ ;
  - b) 紧急制动平均减速度 $\geq 1.2\text{m/s}^2$ 。
- 6.2.14. 在 AW3 载重状态下,车辆风源系统停止工作后,且储风缸处于最小正常工作压力时,储风缸的容积应满足列车至少 3 次紧急制动的用风量或 6 次最大常用制动的用风量。
- 6.2.15. 车辆制动系统除以上要求外,应符合 T/CAMET 04004.1 第 5.3 节中的性能要求。

## 7. 电磁兼容要求

### 7.1. 一般规定

- 7.1.1. 所有设备都可用于地下和高架线路的电磁环境。
- 7.1.2. 所有设备都可用于不同牵引类型的地铁线路。
- 7.1.3. 所有设备设计、研发、制造和安装及运用过程中，应通过技术措施抑制自身产生的电磁骚扰和来自外界的电磁骚扰。
- 7.1.4. 地面设备电磁兼容应满足标准 GB/T 24338.5 的要求。
- 7.1.5. 安装在车辆的设备电磁兼容应满足如下标准要求：
  - a) GB/T 25119;
  - b) GB/T 24338.1;
  - c) GB/T 24338.4;
  - d) GB/T 24338.5;
  - e) EN 50155;
  - f) IEC 60571;
  - g) IEC 62236。
- 7.1.6. 应考虑安装于列车上的系统不受电磁干扰，及各种干扰对人体和其他设备的影响。
- 7.1.7. 不应干扰沿线的通信、信号等设备的正常工作，而车载设备也不受外界设备干扰。
- 7.1.8. 安装在车辆的电气设备避免相互干扰。
- 7.1.9. 车辆在正常工作状态下，TACS 车载设备产生的任何电磁场不得干扰乘客物品或磁性介质的正常使用。考虑列车上可以使用手机和小型移动电台等。
- 7.1.10. 考虑静电和低频磁场对装有心脏起搏器乘客的影响。
- 7.1.11. 考虑避免对站台屏蔽门/安全门的门控系统、闭路电视及站台监视系统的影响，同时考虑避免站台屏蔽门/安全门对车载电子设备和电气设备的干扰。
- 7.1.12. 考虑对乘客信息显示系统的影响。
- 7.1.13. 列车在正常运行时，不得明显影响任何客室内乘客信息显示板、司机室显示器或闭路电视车载视频显示器等。
- 7.1.14. TACS 所有部件不受任何电磁干扰地发挥其功能；
- 7.1.15. TACS 与其线路内、外环境不受任何电磁干扰地协调工作；

- 7.1.16. 考虑 EMC 对车辆的所有部分的影响。
- 7.1.17. 电磁兼容性要求的范围涉及车载设备、信号设备、通信设备、供电设备、附近设备和邻区外部设备。
- 7.1.18. 必须执行电磁兼容性 EN 50121、IEC 61000 等相关标准，所有安装在车辆的电子设备及电气设备应能在地铁线路的电磁环境中可靠工作，其功能和性能不受影响，并且还不影响其他设备、系统的工作。同时特别注意环境内的平行电缆（信号和电讯）、第三方感应设备（如：医院、研究所）以及无线电源。
- 7.1.19. 应充分考虑地铁车辆电磁兼容性的特殊要求。

## 7.2. 一般电磁干扰

- 7.2.1. 所有车载电子和电气设备，包括车载信号系统、车门系统、空调系统、空气制动系统、牵引和制动、辅助电源、列车控制和诊断系统、乘客信息系统、无线通信系统等。
- 7.2.2. 供电系统 SCADA 设备。
- 7.2.3. 所有大众通信设备、轨旁和附近的通信系统，包括：
- a) 所有通信设备和电缆；
  - b) 线路所有车站及车辆段内的通信系统；
  - c) 手持便携无线系统；
  - d) 传呼系统；
  - e) 公共移动无线与电话系统；
  - f) 个人通信网络系统；
  - g) 公共无线电广播服务和通信服务包括 AM 收音机、FM 收音机和付费电话；
  - h) 直线电话、非共用自动分支交换电话(PABX)和隧道电话机。
- 7.2.4. 乘客的物品和器具包括：
- a) 个人卡式和 CD 随身听；
  - b) 个人（便携）计算机；
  - c) 所有磁性介质设备；
  - d) 助听器和心脏起搏器。
- 7.2.5. 站台屏蔽门的门控系统、闭路电视及站台监视系统。
- 7.2.6. 在站台监视亭和车站控制室内的灵敏设备（比如监视器、计算机）。

## 7.3. TACS 辐射和传导式发射

7.3.1. 作为最低要求，车载设备的辐射电磁干扰和传导式发射的限值不得超过在欧洲标准 EN 50121-3-2 中所规定的级别。

7.3.2. 所有安装在车辆的电气和电子设备应抵抗来自其它车载设备和外部干扰源产生的辐射电磁干扰。

7.3.3. 可能影响安装在车辆的设备的外部 and 内部发射源包括：

a) 线路的无线通信系统包含列车无线、手持便携无线、传呼、公共移动无线电话和个人通信网络；

b) 车辆牵引和辅助设备包括逆变器和照明变流器；

c) 车辆牵引电机和接触网产生的磁场；

d) 车辆乘客信息显示系统。

#### 7.4. 公共系统的兼容性

7.4.1. 在所有正常工作状态下，任何车载设备应确保产生的任何静态的或交变的磁场，不得干扰乘客物品或磁性介质的正确使用。

7.4.2. 遵守用户特殊的 EMC 的要求。

7.4.3. 遵守有关抗干扰性和干扰发射的法定规定。

7.4.4. 确保乘务人员和乘客的人身安全。

## 附录 A 信号和车辆融合设计的基本要求

信号系统与车辆融合设计为全新领域，本附录对青岛地铁 6 号线信号系统和车辆融合的设计进行了描述，供建设方和设计方参考。

A.1. 应从列车全系统的角度出发，以提高整车性能、可靠性、安全性、自动驾驶能力以及减少全寿命周期成本为目标，采用系统化方法和一体化设计思想，突破专业的界限，整合并优化车辆功能及信号接口，实现一体化平台下的列车控制、管理及维护。

A.2. 车辆设计时应充分发挥车辆已有控制、采集功能的资源优势，在满足安全功能要求下，进行深度融合，宜包括显示融合、硬线融合、网络融合以及控制功能融合等。

A.3. 显示融合：

A.3.1. 人机接口单元应采用融合显示屏，实现车辆、信号系统等系统信息的显示。

A.3.2. 融合显示的内容应至少包括列车网络状态、列车基本运行状态数据、信号系统控制状态数据等。

A.3.3. 融合显示应符合操作简单、直观，界面布局合理的要求。

A.4. 硬线融合：

A.4.1. 信号系统非安全输入输出信号采集宜由列车控制与管理系统统一管理，在满足功能安全的前提下，减少列车硬线电路。

A.4.2. 硬线融合应满足以下要求：

a) 为保证接口安全，可保留硬线接口。

b) 非安全信息宜采用网络接口，通过列车网络传输至车载信号设备。

A.4.3. TCMS 从采集到 IO 信息到网络传输至 OBC 的总延时不超过 100ms。

A.5. 网络融合：

A.5.1. 应采用实时以太网（IEC 61375）构建覆盖全车主要智能设备的控制网络，宜实现列车控制网与维护网的融合。

A.5.2. 列车控制的相关设备（如车载 ATP、ATO 信号设备等）可作为节点纳入 TCMS 统一管理，数据传输应采用以太网通信方式。

A.5.3. 列车网络应符合以下要求：

a) 满足 GB/T 28029.1、GB/T 28029.4、GB/T 28029.12 或等同国际标准要求；

b) 支持 UDP/TCP-IP/FTP 透明传输，以满足不同供应商不同系统设备的接入需求；

c) 网络架构应采用冗余架构的方式，单点故障不影响列车网络数据的传输；

d) 通过透明传输机制支持车载信号设备自行实现所需的符合 GB/T 24339 安全协议；

e) 支持 QoS, 可进行信息传输的优先级管理, 保证涉及到关键功能的重点信息处于高优先级, 提高系统可用性;

f) 支持 VLAN 划分;

g) 网络带宽不低于 100Mbps;

h) 满足信号业务对带宽及同步需求。

A.5.4. TACS 列车的各控制系统与 TCMS 之间的数据传输宜采用以太网通信方式。

A.6. 控制融合:

A.6.1. 信号系统宜与车辆共用多通道速度传感器, 通道间物理隔离, 独立供电。

A.6.2. 牵引/制动系统宜实时为信号系统提供车辆牵引/制动系统工作状态, 信号系统宜采用牵引/制动系统实时信息, 优化 ATO 控车。

A.6.3. 牵引系统宜具备电制动力再分配功能, ATO 宜根据牵引系统发送的电制动控制信息实现行车控制优化。

A.6.4. 制动系统的轮径修正宜通过车载信号设备发送的轮径校准起始应答器、轮径校准终止应答器及轮径校准距离信息进行自动的轮径校准, 保证列车在长时间未镟轮时的轮径值准确性。

## 附录 B 可靠性计算

系统元件的 MTBF 和 MTTR 分别与故障率 $\lambda$ 和修复率 $\mu$ 相关，其计算公式分别为：

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu}$$

对于串接的两个元件，其故障率和修复率值分别为 $\lambda_1$ 和 $\mu_1$ 、 $\lambda_2$ 和 $\mu_2$ ，则 MTBF 和 MTTR 的计算公式为：

$$MTBF_{串} = \frac{1}{(\lambda_1 + \lambda_2)}$$

$$MTTR_{串} = \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \lambda_2) \times \mu_1} + \frac{\lambda_2}{(\lambda_1 + \lambda_2) \times \mu_2}$$

通过对上述公式进行扩展，可适合于含任何元件数量的系统（其中，每一个元件  $i$  具有一个故障率 $\lambda_i$ 和修复时间  $MTTR_i$ ），计算公式如下：

$$MTBF_{串} = \frac{1}{\sum \lambda_i}$$

$$MTTR_{串} = \frac{\sum \lambda_i \times MTTR_i}{\sum \lambda_i}$$

然后累计系统内全部元件的值。

对于并接的两个相同的元件（一个工作，一个备用），它们都分别有 MTBF 和 MTTR 值，其并接组合后的 MTBF 和 MTTR 值计算如下：

$$\lambda_{并} = \sum \frac{2\lambda_i^2}{\mu_i}$$

$$MTBF_{并} = \frac{1}{\lambda_{并}}$$

$$MTTR_{并} = MTTR$$

MTBF 和 MTTR 标准单位为“小时”；故障率的标准单位为“故障次数/百万小时”；修复率的标准单位为“修复数目/小时”。

## 附录 C 可用性计算

系统可用性  $A$  用系统正确运行的时间分数来定义，计算公式如下：

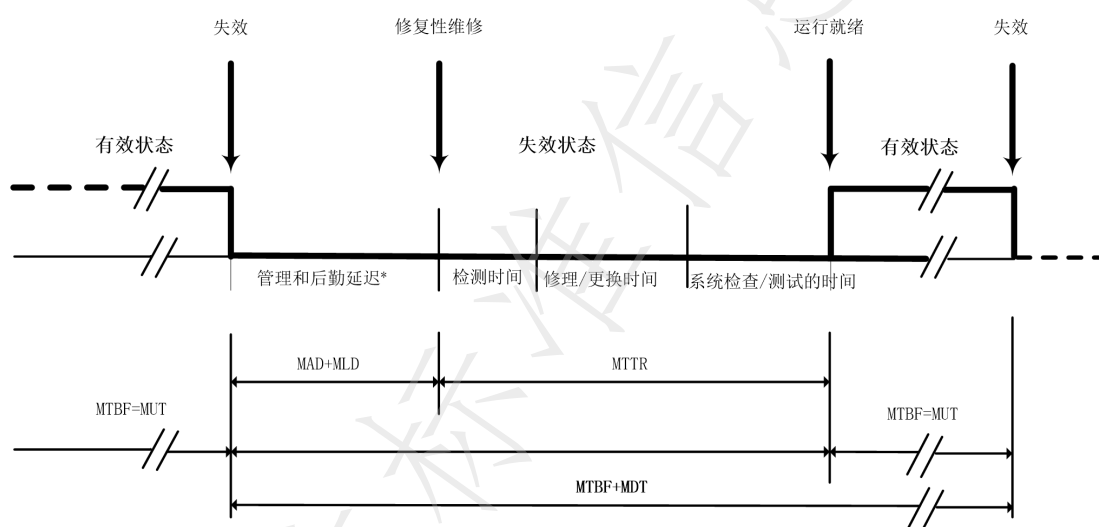
$$A = \frac{MUT}{MUT + MDT} = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} \leq 1$$

其值通常接近于 1。它的求补结果称为不可用性，计算公式如下：

$$1 - A = \frac{MDT}{MTBF + MDT} \geq 0$$

该值趋向于 0。

图 2 描述了可用性概念和相关术语的关系。



说明：

MTBF——平均故障间隔时间

MUT ——平均有效时间

MDT ——平均失效时间

MAD ——平均管理延迟

MLD ——平均后勤延迟

MTTR——平均修复时间（修复性维修）

注 1：这个时间段为有效的维修时间。

注 2：在预防性维修中没有检测时间。

\*表示 MDT 内所有相关部分。

图 2 可用性概念和相关术语

## 本规范用词说明

1. 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2. 条文中指明应按其他有关标准执行时的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”

## 引用标准名录

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 1.1 标准化工作导则

GB/T 7928-2003 地铁车辆通用技术条件

GB 50157-2013 地铁设计规范

GB/T 24338.1-2018 轨道交通 电磁兼容 第1部分:总则

GB/T 24338.2-2018 轨道交通 电磁兼容 第2部分:整个轨道系统对外界的发射

GB/T 24338.3-2018 轨道交通 电磁兼容 第3-1部分:机车车辆列车和整车

GB/T 24338.4-2018 轨道交通 电磁兼容 第3-2部分:机车车辆设备

GB/T 24338.5-2018 轨道交通 电磁兼容 第4部分:信号和通信设备的发射与抗扰度

GB/T 24338.6-2018 轨道交通 电磁兼容 第5部分:地面供电设备和系统的发射与抗扰度

GB/T 25119-2010 轨道交通 机车车辆电子装置

GB/T 21413 轨道交通 机车车辆电气设备

GB/T 21563-2018 轨道交通 机车车辆设备 冲击和振动试验

GB/T 17626.2-2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.3-2016 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验

GB/T 17626.4-2018 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

GB/T 17626.6-2017 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度

GB/T 28029.1-2020 轨道交通电子设备 列车通信网络(TCN) 第1部分:基本结构

GB/T 28029.4-2020 轨道交通电子设备 列车通信网络(TCN) 第2-3部分:TCN通信规约

GB/T 28029.12-2020 轨道交通电子设备 列车通信网络(TCN) 第3-4部分:以太网编组网(ECN)

GB/T 24339.1 轨道交通 通信、信号和处理系统 第1部分:封闭式传输系统中的安全相关通信(GB/T 24339.1-2009, IEC 62280-1:2002, IDT)

GB/T 24339.2 轨道交通 通信、信号和处理系统 第2部分:开放式传输系统中的安全相关通信(GB/T 24339.2-2009, IEC 62280-2:2002, IDT)

GB/T 21562.2-2015 轨道交通 可靠性、可用性、可维修性和安全性规范及示例 第2部分：安全性的应用指南

T/CAMET 04017-2019 城市轨道交通 全自动运行系统规范

T/CAMET 04004.1-2018 城市轨道交通车辆制动系统 第1部分：电空制动系统通用技术规范

TB/T 3027-2015 铁路车站计算机联锁技术条件

TB/T 2296-2019 铁路信号计轴设备

EN 50121-4 信号及通信设备的辐射及抗扰标准

EN 45545 欧盟铁路车辆应用

EN 13452 铁路设施 制动 公共运输制动系统 性能要求

IEC 61375-2-3 TCN通信规约

IEC 61375-3-4 以太网编组网（ECN）