

# T/CITSA

团体标准

T/CITSA XXXX—XXXX

## 动车组车载走行部智能监测诊断系统 技术规范

Technical specification of vehicle-mounted intelligent monitoring and diagnosis  
system for running gears of multiple units

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	4
2 规范性引用文件 .....	4
3 术语、定义及缩略语 .....	4
3.1 术语和定义 .....	5
3.2 缩略语 .....	5
4 系统组成 .....	5
4.1 动车组车载走行部智能监测诊断系统架构 .....	5
4.2 状态感知单元 .....	6
4.3 走行部智能监测诊断模块 .....	6
4.4 车载呈现模块（选配） .....	6
5 使用条件 .....	6
5.1 温度条件 .....	6
5.2 海拔范围 .....	6
6 系统功能 .....	6
6.1 走行部运行状态感知 .....	6
6.2 数据处理与监测诊断 .....	6
6.3 监测数据车载存储 .....	7
6.4 车载数据接入与传输 .....	7
6.5 监测结果车载呈现 .....	7
7 技术要求 .....	7
7.1 基本要求 .....	7
7.2 安全完整性 .....	7
7.3 预期功能的安全性 .....	8
7.4 安装布线要求 .....	8
7.5 防护等级要求 .....	8
7.6 电磁兼容性要求 .....	8
7.7 绝缘性能要求 .....	8
7.8 耐压性能要求 .....	8
7.9 振动和冲击性能要求 .....	8
7.10 温度振动综合性能要求 .....	8
7.11 运行状态感知、数据处理要求 .....	8
7.12 故障诊断基本要求 .....	8
7.13 智能诊断算法及程序要求 .....	9
7.14 数据存储性能要求 .....	9
7.15 数据接入与传输性能要求 .....	10
7.16 信息安全性能要求 .....	10

附录 A (规范性) 检验方法	11
A.1 外观检查	11
A.2 系统工作环境要求测试	11
A.3 防尘防水试验	11
A.4 电磁兼容试验	11
A.5 绝缘试验	11
A.6 耐压试验	11
A.7 振动和冲击试验	11
A.8 温度振动综合试验	11
A.9 系统自检测试	11
A.10 运行状态感知、数据处理性能测试	12
A.11 故障诊断基本性能测试	12
A.12 智能监测诊断算法及程序测试	12
A.13 监测结果车载呈现性能测试	16
A.14 监测数据存储性能测试	16

## 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。

本文件由北京交通大学提出。

本文件由中国智能交通协会归口。

本文件起草单位：北京交通大学、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、中车长春轨道客车股份有限公司、株洲中车时代电气股份有限公司、中南大学、西南交通大学、石家庄铁道大学。

本文件主要起草人：秦勇，王彪，徐磊，陈大伟，沙淼，高阳，唐军，肖家博，吕宇，王田天，王志鹏，牛步钊，彭畅，关吉瑞，谢劲松，郭亮，刘永强，丁奥，任翔宇。

# 动车组车载走行部智能监测诊断系统 技术规范

## 1 范围

本文件规定了时速250km/h以上动车组车载走行部智能监测诊断系统的术语定义、系统组成、使用条件、系统功能和技术要求。

本文件适用于时速250km/h以上动车组车载走行部智能监测诊断系统的设计、测试和运用。

## 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 4208-2017 外壳防护等级（IP代码）

GB/T 20271-2006 信息安全技术 信息系统通用安全技术要求

GB/T 20438-2017 电气电子可编程电子安全相关系统的功能安全

GB/T 21563-2018 轨道交通 机车车辆设备 冲击和振动试验

GB/T 25068-2020 信息技术 安全技术 网络安全

GB/T 25119-2021 轨道交通 机车车辆电子装置

GB/T 28029-2020 牵引电气设备 列车总线

GB/T 28452-2012 信息安全技术 应用软件系统通用安全技术要求

TB/T 1484.1-2017 机车车辆电缆 第1部分：动力和控制电缆

TB/T 1759-2016 铁道客车配线布线规则

TB/T 3035-2002 列车通信网络

TB/T 3248-2010 机车车辆电子装置的安装

AIOSS-01-2018 人工智能 深度学习算法评估规范

ISO/IEC 9899:1990 C语言编程标准(Programming language-C)

ISO/IEC 14882:2015 C++语言编程标准(Programming language-C++)

IEC 61375-3-4:2014 电子铁路设备 列车通信网络 第3-4部分：以太网组成网络(Electronic railway equipment - Train communication network - Part 3-4: Ethernet Consist Network)

IEC 62439-2:2010 工业通信网络 高可用性自动化网络 第2部分：媒体冗余协议(Industrial communication networks - High availability automation networks - Part 2: Media Redundancy Protocol)

IEEE Std 1588-2008 网络测量和控制系统用精密时钟同步协议标准(Standard for a precision clock synchronization protocol for networked measurement and control systems)

EN 50126-2000 铁路应用 可靠性、有效性的规范和演示 维修性能和安全(Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety)

EN 50128-2001 铁路应用 通信、信号和处理系统 铁路控制和防护系统用软件(Railway applications - Communications, signalling and processing systems - Software for railway control and protection systems)

EN 50129-2003 铁路应用 通信、信号和处理系统 与电子信号系统有关的安全(Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling)

## 3 术语、定义及缩略语

### 3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1.1

**车载智能监测诊断系统 vehicle-mounted intelligent monitoring and diagnosis system**  
部署于动车组列车上,能够对列车运行状态执行智能化在途监测并对关键部件进行故障诊断的系统。

#### 3.1.2

**走行部智能监测诊断模块 intelligent monitoring and diagnosis module of running gears**  
车载智能监测诊断系统的主要组成单元,用于实现感知数据处理、在线智能监测诊断、显示呈现、故障报警和数据记录等。

#### 3.1.3

**状态感知单元 state perception unit**  
列车走行部监测对象运行状态感知的受感部件。

#### 3.1.4

**智能监测诊断算法 intelligent monitoring and diagnosis algorithm**  
对状态感知数据进行分析处理从而监测、诊断被测对象故障的智能算法。

#### 3.1.5

**诊断响应时间 diagnosis response time**  
智能诊断监测算法对给定的数据进行运算并获得结果所需要的时间。

### 3.2 缩略语

下列缩略词适用于本文件。

USB: 通用串行总线(Universal Serial Bus)

TCN: 列车通讯网络(Train Communication Networks)

NPU: 嵌入式神经网络处理器(Neural-network Processing Unit)

SIL: 安全完整性等级(Safety Integrity Level)

FEMA: 失效模式与影响分析(Failure Mode and Effects Analysis)

FTA: 故障树分析(Fault Tree Analysis)

STPA: 系统理论过程分析(Systems-Theoretic Process Analysis)

## 4 系统组成

### 4.1 动车组车载走行部智能监测诊断系统架构

动车组车载走行部智能监测诊断系统由状态感知单元、走行部智能监测诊断模块和车载呈现模块构成并通过车辆通讯总线连接形成系统,见图1。

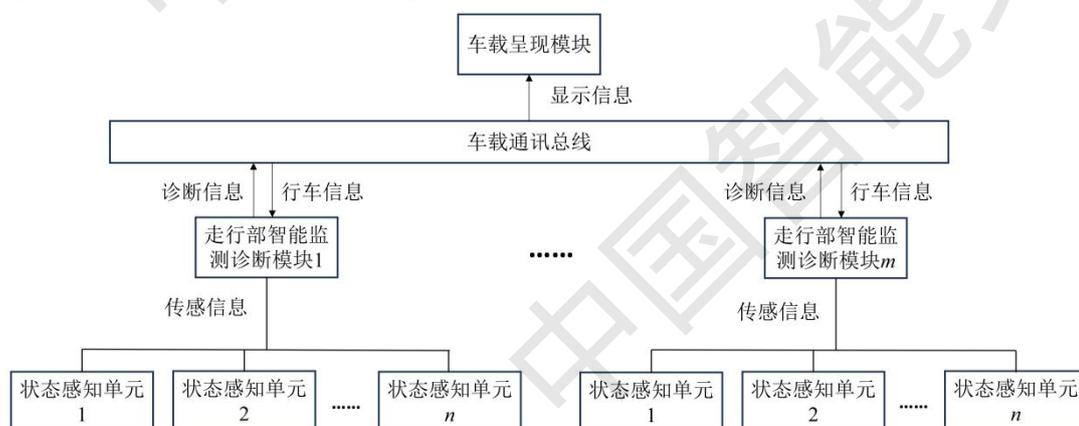


图1 动车组车载走行部智能监测诊断系统架构

## 4.2 状态感知单元

状态感知单元是对列车走行部监测对象运行状态进行感知的受感部件，常用的状态感知单元包括但不限于振动传感器、失稳传感器、温度传感器等。状态感知单元可通过有线或无线方式接入系统以传输感知数据。在无线传输情况下，应保证不对列车既有无线通讯网络产生干扰，宜具备200米范围内大于1Mbps带宽的数据传输能力。

### 4.2.1 振动传感器

振动传感器用于感知动车组走行部关键部件在列车运行中的振动加速度状态信息。振动传感器应安装在被测对象承载区，尽量避免机械故障信号在传递途径中损耗，宜采用螺纹方式安装。

### 4.2.2 失稳传感器

失稳传感器用于感知动车组转向架构架的横向加速度信息，一般安装在车轴中心线上方构架端部，宜采用螺纹方式安装。

### 4.2.3 温度传感器

温度传感器用于感知动车组走行部轴承、齿轮等关键部件在列车运行中的温度状态信息。温度传感器应安装在部件温升敏感处，必要时可在不影响被测对象安全性前提下打孔部署温度感应探头，宜采用螺纹方式安装。

## 4.3 走行部智能监测诊断模块

走行部智能监测诊断模块一般由数据处理单元、计算单元、存储单元、通讯单元、供电单元、散热装置等组成，是执行数据处理、智能监测诊断、数据存储、信息接入与输出功能的关键功能模块。走行部智能监测诊断模块既可独立设计为专用主机，也可以采用板卡等形式集成到列车综合监测诊断主机中。

## 4.4 车载呈现模块（选配）

车载呈现模块主要用于实时显示监测对象运行状态信息和故障报警信息等，可共用既有车载显示屏或配置独立显示屏作为车载呈现模块。

## 5 使用条件

### 5.1 温度条件

- a) 走行部智能监测诊断模块工作温度范围至少为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 状态感知单元工作温度范围至少为 $-55\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

### 5.2 海拔范围

系统适用海拔上限不低于2500 m。

## 6 系统功能

### 6.1 走行部运行状态感知

应能采集走行部运行状态信号，包括但不限于转向架横向加速度，轴箱、齿轮箱的振动、冲击和温度等。

### 6.2 数据处理与监测诊断

#### 6.2.1 数据处理

可将状态感知单元采集的模拟信号准确采样、量化、编码、处理为数字信号。

#### 6.2.2 监测诊断

监测诊断与异常识别功能：

- a) 走行部智能监测诊断模块处理能力应满足智能诊断算法的基本运行要求，宜配有算力大于5TOPS的NPU。
- b) 应具备在线或离线调整智能监测诊断算法参数的功能；
- c) 应能够实时监测转向架构架横向加速度，当横向加速度超出阈值时，及时准确地发出报警；
- d) 应在列车运行中自动监测各轴位的轴温变化，当轴温超出阈值时，及时准确地发出报警；
- e) 应对走行系统内各关键部件的运行状态进行故障诊断，包括但不限于：
  - 1) 牵引电机轴承的内圈、外圈、保持架、滚珠损伤等故障；
  - 2) 齿轮箱的齿轮磨损、裂纹、断齿、抱死、齿面损伤等故障；
  - 3) 轴箱的轴承内圈、外圈、保持架、滚珠的损伤等故障；
  - 4) 车轮的踏面损伤、轮不圆、偏心等故障；
- f) 对于走行系统内各关键部件的运行状态进行故障诊断，宜采用智能算法和传统信号处理算法或逻辑判断算法并行联合决策的方式。

### 6.3 监测数据车载存储

监测数据车载存储功能：

- a) 应存储感知与采集到的监测数据；
- b) 应存储诊断结果数据；
- c) 存储的数据可通过以太网接口和USB接口进行提取，宜通过无线传输方式提取。
- d) 宜将感知信息解码后以公制单位用带符号十进制形式保存。

### 6.4 车载数据接入与传输

车载数据接入与传输功能：

- a) 车载监测网传输速率应满足动车组车载走行部智能监测诊断系统中信息传输的基本需求；
- b) 车载监测网应具备手动或自动组网功能；
- c) 走行部智能监测诊断模块应具备网络冗余备份功能；
- d) 走行部智能监测诊断模块应具备精确时钟同步功能；

### 6.5 监测结果车载呈现

监测结果车载呈现功能：

- a) 应显示全部被监测对象的工作状态；
- b) 应支持按车辆、部件、故障类型、故障等级等维度进行列车运行状态呈现；
- c) 当被监测对象状态或监测系统自身工作状态变化时，应同步更新显示；
- d) 宜具备故障应急处理提示功能，支持故障信息与处理措施关联；
- e) 对于具有明确阈值范围的关键参数应能显示阈值界限以便观测。

## 7 技术要求

### 7.1 基本要求

动车组车载走行部智能监测诊断系统应符合下列基本要求：

- a) 系统应不影响车辆被监测对象的功能和性能；
- b) 监测系统应以高速铁路时钟系统的时间为统一的时间基准；
- c) 系统各部分应装配正确、可靠、无缺件；接插件应安装牢固，无松动现象；电子元器件应清洁、无腐蚀；接线装置应安装牢固；系统内各部件应易于更换和维护；系统应支持不同厂商部件的便捷互换；
- d) 系统所采用零部件等级均为工业级及以上；
- e) 系统宜具备自检功能，在每次初始化时验证系统是否正常工作，系统正常运行后定期开展自检。如果自检失败，尽可能提供系统故障信息。

### 7.2 安全完整性

推荐针对系统安全功能进行全寿命周期的功能安全管理,根据GB/T 20438-2017、EN50126、EN50128、EN50129等相关标准,在设计、开发、测试、运行、退役各个阶段,进行开发流程文档管理评估,硬件可靠性计算和评估、软件评估、环境试验、EMC电磁兼容性测试等。系统硬件宜通过SIL 2认证。

### 7.3 预期功能的安全性

推荐基于FEMA、FTA、STPA等方法,对系统进行预期安全功能分析,对预期功能不足、或由可合理预见的误用所导致的危害和风险进行识别,并将此类风险控制在可接受范围。

### 7.4 安装布线要求

线缆应符合TB/T 1484.1-2010的要求,系统设备安装和布线遵守TB/T 1759-2016和TB/T 3248-2010规定的内容。

### 7.5 防护等级要求

状态感知单元防护等级应不低于IP67,走行部智能监测诊断模块防护等级宜达到IP67。

### 7.6 电磁兼容性能要求

电磁兼容性能应符合GB/T 25119-2021中12.2.7、12.2.8、12.2.9的规定。

### 7.7 绝缘性能要求

绝缘性能应符合GB/T 25119-2021中12.2.10.1的规定。

### 7.8 耐压性能要求

耐压性能应符合GB/T 25119-2021中12.2.10.3的规定。

### 7.9 振动和冲击性能要求

振动和冲击性能应能通过GB/T 21563-2018规定的测试。

### 7.10 温度振动综合性能要求

系统应能通过附录A.8规定的温度振动综合测试。

### 7.11 运行状态感知、数据处理要求

走行部运行状态感知、采集与处理应符合下列性能要求:

- a) 温度采集循环周期不超过3s,测量误差不超过 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。
- b) 冲击采样,旋转部件转动一周采集不少400个冲击数据,分辨率为5SV。
- c) 振动加速度数据采样精度应不低于16bit,采样频率应根据监测对象配置,采样频率不低于4kHz,宜达到40kHz;

### 7.12 故障诊断基本要求

- a) 关键部件故障诊断查准率 $\geq 90\%$ ,故障诊断查准率由公式(1)计算得出

$$p = \frac{tp}{tp + fp} \quad (1)$$

式中:

$p$ ——故障诊断查准率,  
 $tp$ ——真阳性测试样本数,  
 $fp$ ——假阳性测试样本数;

- b) 关键部件故障诊断查全率 $\geq 90\%$ ,故障诊断查全率由公式(2)计算得出

$$r = \frac{tp}{tp + fn} \quad (2)$$

式中:

$r$ ——故障诊断查全率,

$tp$ ——真阳性测试样本数，

$fp$ ——假阴性测试样本数；

c) 关键部件故障诊断准确率 $\geq 90\%$ ，故障诊断准确率由公式（3）计算得出

$$c) \quad a = \frac{tp + tn}{tp + tn + fp + fn} \quad (3)$$

式中：

$a$ ——故障诊断准确率，

$tp$ ——真阳性测试样本数，

$tn$ ——真阴性测试样本数，

$fp$ ——假阳性测试样本数，

$fn$ ——假阴性测试样本数；

d) 单样本诊断平均诊断响应时间 $\leq 0.05s$ ；

### 7.13 智能诊断算法及程序要求

智能监测诊断算法及程序的可靠性应充分考虑内外部影响。参考AIOSS-01-2018，结合动车组车载走行部监测诊断场景，本标准推荐的评估指标体系如下：

#### 7.13.1 代码实现的正确性

代码规范性：代码的声明定义、代码书写、指针使用、分支控制、跳转控制、运算处理、函数调用、语句使用、循环控制、类型转换、初始化、比较判断和变量使用等应符合ISO/IEC 9899、ISO/IEC 14882等相关标准的要求；

代码漏洞：代码中不存在明显漏洞，包括但不限于堆栈溢出、整数溢出、数组越界、缓冲区溢出等。

#### 7.13.2 模型适配性

智能诊断模型对训练数据不应出现过拟合或欠拟合。具体地，过拟合通常由于模型过度地学习训练数据中的细节和噪声，从而导致模型在训练数据上表现良好，而在测试数据上表现欠佳，也即模型的泛化性能变差；欠拟合是指模型对训练数据不能很好地拟合，通常由于模型过于简单造成，需要调整算法使得模型表达能力更强。

#### 7.13.3 训练稳定性

a) 训练集均衡性：智能诊断模型宜对训练数据集中不同类别样本的不均匀具有鲁棒性，即数据集中各种类别的样本数量不一致时，诊断性能不出现明显退化；

b) 训练集规模：智能诊断模型在使用不同规模数据集进行训练时均应达到故障诊断的基本要求；

c) 训练集污染情况：智能诊断模型应对数据集污染具有抵抗性，即训练数据集被人为添加少量恶意数据后依旧可以达到故障诊断的基本要求。

#### 7.13.4 对抗性样本识别能力

智能诊断模型应能识别通过白盒方式或黑盒方式生成的对抗性样本，识别准确率不低于80%。

#### 7.13.5 野值样本诊断鲁棒性

对于极端观察值，智能诊断模型应能正确识别，识别准确率不低于80%。

#### 7.13.6 软硬件平台兼容性

a) 智能诊断算法应支持常用的编程语言；智能诊断算法应支持常用的操作系统；智能诊断算法应支持常用的硬件架构；

b) 诊断程序在不同的软硬件环境下，输出一致性不低于99%。

### 7.14 数据存储性能要求

数据车载存储应符合下列性能要求：

a) 应能存储不小于72h的监测、诊断数据；

- b) 存储容量应支持可拓展。

#### 7.15 数据接入与传输性能要求

数据接入与传输应符合下列性能要求：

- a) 网络冗余备份应符合IEC 62439-2:2010要求；
- b) 精确时钟同步应符合IEEE Std 1588-2008要求；
- c) TCN网关和接口应符合GB/T 28029-2011、IEC 61375-3-4:2014、TB/T 3035-2002等相关标准要求。

#### 7.16 信息安全性能要求

系统应符合下列信息安全要求：

- a) 应提供安全互联、接入控制、统一身份鉴别、授权管理、恶意代码防范、入侵检测。
- b) 系统应符合GB/T 20271-2006、GB/T 28452-2012和GB/T 25068的要求。

## 附录 A (规范性) 检验方法

### A.1 外观检查

外观检查应按 GB/T 25119-2021 中 12.2.2 的规定进行。

### A.2 系统工作环境要求测试

系统工作环境要求测试：

- a) 高温试验应按 GB/T 25119-2021 中 12.2.5 的规定进行。
- b) 低温试验应按 GB/T 25119-2021 中 12.2.4 的规定进行。
- c) 交变湿热试验应按 GB/T 25119-2021 中 12.2.6 的规定进行。
- d) 低温存放试验应按 GB/T 25119-2021 中 12.2.15 的规定进行。

### A.3 防尘防水试验

按照 GB 4208-2017 外壳防护等级(IP代码) 13.4和13.6防尘测试和14.1和14.2.6防水测试进行。

### A.4 电磁兼容试验

- a) 电源过电压试验应按 GB/T 25119-2021 中 12.2.7 的规定进行。
- b) 浪涌、静电放电和电快速瞬变脉冲群抗扰度试验应按 GB/T 25119-2021 中 12.2.8 的规定进行。
- c) 射频抗扰度试验应按 GB/T 25119-2021 中 12.2.9.1 的规定进行。
- d) 射频发射试验应按 GB/T 25119-2021 中 12.2.9.2 的规定进行。

### A.5 绝缘试验

绝缘试验应按 GB/T 25119-2021 中 12.2.10 的规定进行。

### A.6 耐压试验

耐压试验应按 GB/T 25119-2021 中 12.2.10.3 的规定进行，电源线与设备外壳之间施加规定的耐受电压（1000V 工频电压 1min），不应发生击穿或闪络。

### A.7 振动和冲击试验

按照 GB/T 21563-2018 标准执行，试验结束后，应能通过 A.1 外观检查、A.10 和 A.11 性能试验。

### A.8 温度振动综合试验

试验前进行外观检查，将设备牢固的固定在振动台上，进行随机振动，试验时功率频谱密度（PSD）规定如下表 A.1，试验的时间为每个轴向上 8h。

表 A.1 功率频谱密度规定

序号	频率断点	PSD(g <sup>2</sup> /hz)
1	10	0.030
2	35	0.050
3	120	0.020
4	250	0.010
5	400	0.005

振动试验期间，试验室应以 5°C/min 的变化速率在 -40°C~+80°C 固定的低温设定和高温设定之间循环。试验结束后，应能通过 A.1 外观检查、A.9 和 A.10 性能试验。

### A.9 系统自检测试

对系统内关键电子元件注入短路、开路等典型故障，检查系统自检是否准确检出故障并提供相应故障信息

## A. 10 运行状态感知、数据处理性能测试

状态感知与数据采集及处理测试：

- a) 将动车组车载走行部智能监测诊断系统按图1连接；
- b) 提取存储的数据，检查采集数据的完整性、正确性和同步性，检查采集数据的采样精度和采集速率是否满足要求。

## A. 11 故障诊断基本性能测试

- a) 输入包含故障与异常的数据，检查故障诊断结果正确性并记录诊断响应时间；
- b) 重复步骤 a) 100 次以上，统计故障诊断查准率、查全率、准确率、单样本平均诊断响应时间是否满足要求。

## A. 12 智能监测诊断算法及程序测试

## A. 12.1 代码实现正确性测试

根据 ISO/IEC 9899、ISO/IEC 14882 及行业惯例的编程要求，检查人工智能监测诊断算法及程序源代码的声明定义、代码书写、指针使用、分支控制、跳转控制、运算处理、函数调用、语句使用、循环控制、类型转换、初始化、比较判断和变量使用等是否规范；检查代码中是否有堆栈溢出、整数溢出、数组越界、缓冲区溢出等明显代码漏洞；诊断程序是否可正确实现预期功能且无报错。

## A. 12.2 模型适配性测试

输入包含故障与异常样本的训练数据集对诊断模型进行训练，记录训练集和测试集准确率，训练集准确率低于 95%则判定为欠拟合，训练集准确率高于 97%且测试集准确率低于 90%则判定为过拟合。

## A. 12.3 训练稳定性测试

a) 训练集均衡性：利用样本不均衡程度逐渐加重的训练集对智能诊断模型进行训练（推荐训练集不均衡比例见表A.2），然后输入包含正常和各种故障样本的均衡测试集对模型进行测试。重复上述过程10次，统计测试查准率、查全率和准确率均值并记录诊断性能退化趋势。测试过程中，查准率、查全率和准确率需满足7.12中指标，查准率、查全率和准确率退化需不超过5%，测试流程见图A.1。

表 A. 2 训练集不均衡比例规定

序号	类 1	类 2	类 3	类 4	...	类 $n$
1	2	1	1	1	...	1
2	1	2	1	1	...	1
...	...	...	...	...	...	...
$n$	1	1	1	1	...	2
$n+1$	3	1	1	1	...	1
$n+2$	1	3	1	1	...	1
...	...	...	...	...	...	...
$2n$	1	1	1	1	...	3
$2n+1$	4	1	1	1	...	1
$2n+2$	1	4	1	1	...	1
...	...	...	...	...	...	...
$3n$	1	1	1	1	...	4
$3n+1$	5	1	1	1	...	1
$3n+2$	1	5	1	1	...	1
...	...	...	...	...	...	...
$4n$	1	1	1	1	...	5

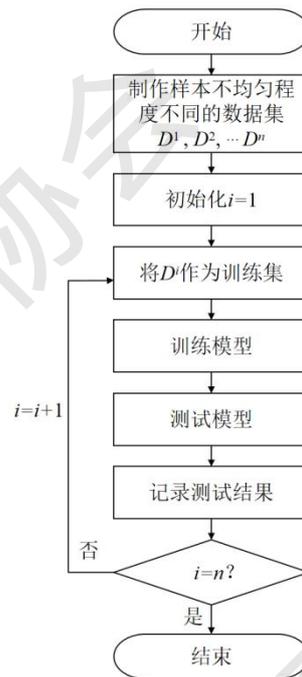


图 A.1 不平衡训练样本测试流程

b) 训练集规模：利用样本规模逐渐缩小的均衡数据集对智能诊断模型进行训练（推荐训练集不平衡比例见表A.3），然后输入包含正常和各种故障样本的均衡测试集对模型进行测试。重复上述过程10次，统计测试查准率、查全率和准确率均值并记录诊断性能退化趋势。测试过程中，查准率、查全率和准确率需满足7.12中指标，查准率、查全率和准确率退化需不超过5%，测试流程见图A.2。

表 A.3 训练集不平衡比例规定

序号	训练集中每类样本数量（个）
1	500
2	200
3	100
4	50

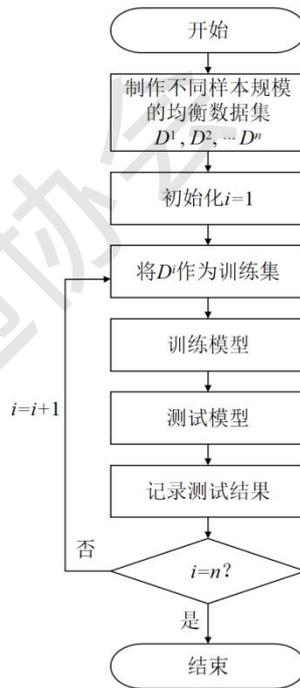


图 A.2 训练样本规模响应测试流程

c) 训练集污染：利用错误标记比例逐渐增加的均衡数据集对智能诊断模型进行训练（推荐训练集不均衡比例见表A.4），然后输入包含正常和各种故障样本的均衡测试集对模型进行测试。重复上述过程10次，统计测试查准率、查全率和准确率均值并记录诊断性能退化趋势。测试过程中，查准率、查全率和准确率需满足7.12中指标，查准率、查全率和准确率退化需不超过5%，测试流程见图A.3。

表 A.4 训练集不均衡比例规定

序号	训练集中错误标记样本比例
1	0%
2	1%
3	3%
4	5%
5	7%
6	10%

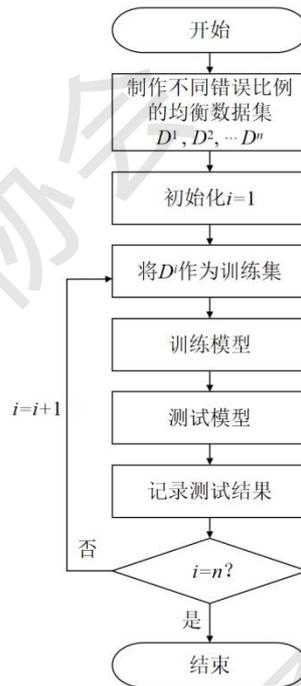


图 A.3 错误训练样本响应测试流程

#### A. 12.4 对抗性样本识别能力测试

对抗性样本是指在数据集中通过故意添加细微的干扰所形成输入样本，受干扰之后的输入可能导致模型以高置信度给出错误的输出。测试通过白盒方式或黑盒方式生成对抗性样本，样本数量不少于100，将对抗性样本输入智能诊断模型进行预测，统计对抗性样本的查准率、查全率和准确率等指标，具体流程见图A.4。

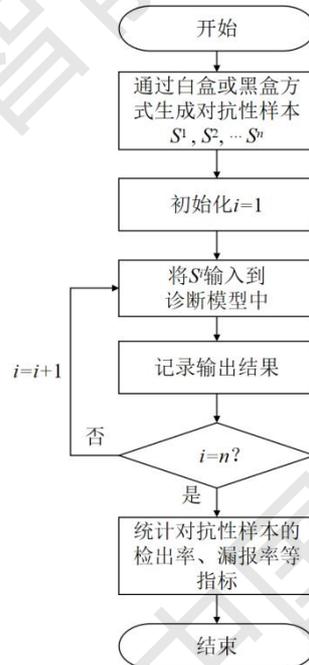


图 A.4 对抗性样本测试流程

#### A. 12.5 野值样本诊断鲁棒性测试

收集极端观察值样本，样本数量不少于 100，将极端观察值样本输入智能诊断模型进行预测，统计野值数据样本的查准率、查全率和准确率，具体流程见图 A.5。

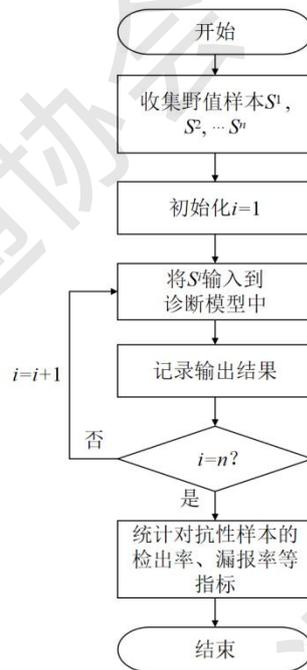


图 A.5 野值样本测试流程

#### A. 12.6 软硬件平台兼容性测试：

- 使用不同软硬件环境对模型执行A.11规定的测试，记录诊断输出；
- 计算智能诊断算法在不同的软硬件环境下诊断输出的均方根误差比。

#### A. 13 监测结果车载呈现性能测试

监测结果车载呈现测试：

- 在车载呈现单元界面上查看监测信息；
- 检查是否可按部件、故障类型、故障等级等维度查看监测信息；
- 检查阈值范围关键参数阈值界限是否清楚呈现；
- 检查显示信息的正确性、完整性。

#### A. 14 监测数据存储性能测试

监测数据车载存储测试：

- 用信号发生器替代状态感知单元向走行部智能监测诊断模块输入模拟生成数据，持续48小时以上；
- 通过以太网口、USB等接口或WiFi等无线方式提取存储的数据；
- 检查数据的完整性和正确性，判断车载数据存储容量是否符合要求。

中国智能交通协会团体标准  
《动车组车载走行部智能监测诊断系统技术规范》  
编制说明

标准编制组

2024年6月

## 目 录

一、工作简况 .....	1
二、编制原则 .....	5
三、标准内容的起草 .....	6
四、主要试验验证结果及分析 .....	10
五、标准水平分析 .....	10
六、采标情况 .....	11
七、与我国现行法律法规和有关强制性标准的关系 .....	11
八、重大分歧意见的处理过程和依据 .....	12
九、标准性质的建议 .....	12
十、贯彻标准的要求和建议 .....	13
十一、 废止、替代现行有关标准的建议 .....	13
十二、其他应予以说明的事项 .....	13

## 一、工作简况

### 1. 任务来源

《动车组车载走行部智能监测诊断系统技术规范》标准源自国家重点研发计划《自主化轨道交通系统安全保障技术与示范验证》开展研究。该标准由北京交通大学、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、中车长春轨道客车股份有限公司、株洲中车时代电气股份有限公司、中南大学、西南交通大学、石家庄铁道大学共同参与编制。

### 2. 起草单位情况

#### (1) 本标准起草单位

本标准起草单位包括北京交通大学、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、中车长春轨道客车股份有限公司、株洲中车时代电气股份有限公司、中南大学、西南交通大学、石家庄铁道大学。

#### (2) 标准起草单位工作情况

在本标准编制任务中，北京交通大学总体负责标准制定工作，组织形成标准征求意见稿、送审稿等各个版本的标准文本、编制说明，收集整理标准制定各阶段的意见建议。

北京交通大学、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、中车长春轨道客车股份有限公司、株洲中车时代电气股份有限公司、中南大学、西南交通大学、石家庄铁道大学具体参与标准征求意见稿、送审稿等各个版本的标准文本、编制说明、意见汇总处理表等材料的整理，并给出动车组车载走行部智能监测诊断系统系统组成、使用条件、系统

功能和技术要求相关的标准制定意见与建议。

### 3. 主要起草人及其所做的工作

本标准的主要起草人及其所做工作简要介绍如表1所示。

表1 主要起草人及其主要工作

主要起草人	工作单位	主要工作
秦勇	北京交通大学	标准总体架构设计与标准总体内容把控。
王彪	北京交通大学	前期调研分析，编制各个版本的标准文本、编制说明。
徐磊	中车青岛四方机车车辆股份有限公司	标准总体架构设计与标准总体内容把控。
陈大伟	中车青岛四方机车车辆股份有限公司	指导标准术语、逻辑、内容的界定与修改。
沙淼	中车长春轨道客车股份有限公司	标准总体架构设计与标准总体内容把控。
高阳	中车长春轨道客车股份有限公司	指导标准术语、逻辑、内容的界定与修改。
唐军	株洲中车时代电气股份有限公司	指导标准术语、逻辑、内容的界定与修改。
肖家博	株洲中车时代电气股份有限公司	标准总体架构设计与标准总体内容把控。
吕宇	株洲中车时代电气股份有限公司	给出标准内容准确性和专业性的具体建议。
王田天	中南大学	指导标准术语、逻辑、内容的界定与修改。
王志鹏	北京交通大学	标准起草和修改，各方面建议与意见的搜集、分析。
牛步钊	中车青岛四方机车车辆股份有限公司	给出标准内容准确性和专业性的具体建议。
彭畅	中车青岛四方机车车辆股份有限公司	标准起草和修改，各方面建议与意见的搜集、分析。
关吉瑞	中车长春轨道客车股份有限公司	给出标准内容准确性和专业性的具体建议。
谢劲松	中南大学	给出标准内容准确性和专业性的具体建议。
郭亮	西南交通大学	给出标准内容准确性和专业性的具体建议。
刘永强	石家庄铁道大学	给出标准内容准确性和专业性的具体建

		议。
丁奥	北京交通大学	标准起草和修改，各方面建议与意见的搜集、分析。
任翔宇	北京交通大学	标准起草和修改，各方面建议与意见的搜集、分析。

#### 4. 主要工作过程

标准修订项目组通过多次会议研讨、邮件交流、独立和集中修改等方式，共同编制了《动车组车载走行部智能监测诊断系统技术规范》。标准编制组开展的各个阶段主要工作如下：

**立项阶段：**2023年11月到2024年4月，编制准备阶段，通过对动车组车载走行部智能监测诊断系统应用现状、功能及性能需求等立项背景的调研分析，北京交通大学、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、中车长春轨道客车股份有限公司、株洲中车时代电气股份有限公司主要起草人之间多次研讨、征集意见，形成标准建议稿，经过协会专家函审并按照专家意见对标准建议稿进行了细致修改，通过立项。

**起草阶段：**2024年4月到2024年5月，草案讨论并修改完善阶段，形成征求意见稿。该阶段标准编制组进行了多次会议研讨，会议情况如下：

(1) 2024年4月2日，由北京交通大学主持召开现场研讨会，北京交通大学、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、中车长春轨道客车股份有限公司、株洲中车时代电气股份有限公司主要参编人员就动车组车载走行部智能监测诊断系统国内外发展现状、应用模式、使用场景等问题进行了深入探讨，明确了本标准的规范对象、适用范围和标准撰写计划等重要事项；

(2) 2024年4月15日，由北京交通大学主持召开线上会议，会议邀请行业相关专家对标准起草工作进行指导，与会专家指出本标准不适合作为产品标准，建议定性为技术规范。此外，专家还对标准应解决的现实问题和须体现的创新性给出了具体的意见和建议。

(3) 2024年4月25日，由北京交通大学主持召开现场研讨会，会议讨论并通过了中南大学、西南交通大学、石家庄铁道大学加入标准参编单位的议题。标准编写组成员还逐条讨论了标准内容，并就明确适用车辆速度等级、优化标准编制结构等事宜达成一致意见。

(4) 2024年5月9日，由北京交通大学主持召开线上会议，全体参编人员对标准征求意见稿初稿进行了讨论，并对标准内章条、图元的规范性进行了检查。

(5) 2024年5月14日，由北京交通大学主持召开线上会议，邀请中车青岛四方机车车辆股份有限公司、中车长春轨道客车股份有限公司、株洲中车时代电气股份有限公司工程技术人员，对标准规定内容在应用中的适用性给出了具体建议，经讨论适当提高了故障诊断指标要求并增加了解释公式，并强调了系统内部件的可替换性。

(6) 2024年5月17日，由北京交通大学主持召开现场研讨会，全体参编人员对标准征求意见稿整体内容再次进行确认，所有条款均达成一致结论，并对标准征求意见阶段的工作进行了规划安排。

**征求意见阶段：**本标准拟定在2024年5月30日到2024年11月30日上网公开征集意见，同步向重点单位发送定向征集意见函，编制组将针对所有反馈意见进行逐条讨论，并针对采纳意见进行认真修改。修改

过程中，编制组将通过邮件、网络会议、现场会议等多种方式研讨，对专家意见形成一致理解并完成标准送审稿。

## 二、编制原则

**规范性原则：**标准起草过程中严格遵循《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》要求，规范标准的文体格式，保证术语和表述的专业性、准确性和一致性，确保标准内各章条的科学严谨。

**协调性原则：**本标准充分考虑了与相关国家强制性标准、国家推荐性标准、行业标准和地方标准的协调性。具体体现在严格遵循所涉及的基本标准，如项目标准提及的电子设备严格遵循国家标准《轨道交通 机车车辆电子设备》（GB/T 25119-2010）等所规定的内容；标准撰写过程中，对现有标准已明确规定的内容进行了充分的引用，例如对于系统内电子设备的实车布线和安装等相关内容引用了行业标准《铁道客车配线布线规则》（TB/T 1759-2016）和《机车车辆电子装置的安装》（TB/T 3248-2010）。基于上述原则，本标准可与现有标准协调配套。

**先进性原则：**针对动车组车载走行部智能监测诊断系统的标准空白，本标准充分借鉴国内外对物联网、人工智能等领域的先进研究成果和实际应用经验，重点参考了国际标准《Information technology - Artificial intelligence - Assessment of machine learning classification performance》（ISO/IEC/TS 4213:2022）中关于人工智能方法在分类

任务中性能评价原则、指标等内容，结合动车组走行部监测诊断的具体场景，梳理出了智能监测诊断算法的性能要求和推荐测试方法。

合理性原则：本标准在面向前沿技术的同时，充分考虑动车组车载走行部监测诊断系统当前的设计、应用技术水平及未来的智能化发展趋势。针对动车组车载走行部智能监测诊断系统设计、测试和运用的共性问题，总结相关经验，在多领域交叉融合背景下，兼容现有标准，并进行了必要延申和补充，从而切实推动智能诊断新技术在高速列车安全保障和运营维护上的应用落地。

### 三、标准内容的起草

#### 1. 主要技术内容的确定和依据

##### (1) 动车组车载走行部智能监测诊断系统的系统组成

动车组车载走行部智能监测诊断系统系统组成借鉴了行业标准《城轨列车运行状态智能监测系统技术规范》（SJ/T 11659-2017）中对智能监测系统基本构成的相关描述，其中聚焦于城轨列车和动车组列车运行状态智能监测系统的共性特点，结合动车组列车相关系统的应用现状，明确了动车组车载走行部智能监测诊断系统的系统架构和关键功能模块。

##### (2) 动车组车载走行部智能监测诊断系统的使用条件

动车组车载走行部智能监测诊断系统使用条件参考了行业标准《铁道客车用集中轴温报警器》（TB/T 2226-2016）和《动车组转向

架横向稳定性监测装置》（TB/T 3408-2015）等标准中对走行部传感器和系统主机的使用条件要求。

### （3）动车组车载走行部智能监测诊断系统的系统功能

动车组车载走行部智能监测诊断系统的系统功能要求主要参考了行业标准《城轨列车运行状态智能监测系统技术规范》（SJ/T 11659-2017）中对智能监测诊断的基本功能描述，并结合动车组列车走行部监测诊断的现实需求和人工智能算法的新特点，细致梳理了系统功能要求的相关内容。

### （4）动车组车载走行部智能监测诊断系统的技术要求

在动车组车载走行部智能监测诊断系统系统的技术要求部分，参考的国际、国家、行业和团体标准情况见下表2。

**表2 车载走行部智能监测诊断系统技术要求参考标准**

标准名称	与本标准对应关系
GB/T 20438-2017 电气电子可编程电子安全相关系统的功能安全	车载走行部智能监测诊断系统安全完整性
EN 50126-2000 铁路应用 可靠性、有效性的规范和演示 维修性能和安全(Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety)	
EN 50128-2001 铁路应用 通信、信号和处理系统 铁路控制和防护系统用软件 (Railway applications - Communications, signalling and processing systems - Software for railway control and protection systems)	
EN 50129-2003 铁路应用 通信、信号和处理系统 与电子信号系统有关的安全 (Railway applications - Communication, signalling	

and processing systems - Safety related electronic systems for signalling)	
TB/T 1484.1-2010 机车车辆电缆 第1部分: 额定电压3kV及以下标准壁厚绝缘电缆 TB/T 1759-2016 铁道客车配线布线规则 TB/T 3248-2010 机车车辆电子装置的安装	车载走行部智能监测诊断系统硬件设备安装布线要求
GB/T 4208-2017 外壳防护等级(IP代码)	车载走行部智能监测诊断系统硬件设备防护等级要求
GB/T 25119-2021 轨道交通 机车车辆电子装置	车载走行部智能监测诊断系统硬件设备电磁兼容、绝缘和耐压性能要求
GB/T 21563-2018 轨道交通 机车车辆设备 冲击和振动试验	车载走行部智能监测诊断系统硬件振动、冲击性能
ISO/IEC 9899 C 语言编程标准 (Programming language-C) ISO/IEC 14882 C++ 语言编程标准 (Programming language-C++)	车载走行部智能监测诊断系统软件代码正确性要求
ISO/IEC/TS 4213:2022 Information technology - Artificial intelligence - Assessment of machine learning classification performance AIOSS-01-2018 人工智能 深度学习算法评估规范	车载走行部智能监测诊断系统智能诊断性能要求
IEC 62439-2:2010 工业通信网络 高可用性自动化网络 第2部分:媒体冗余协议 (Industrial communication networks - High availability automation networks - Part 2: Media Redundancy Protocol) IEEE Std 1588-2008 网络测量 和控制系统用精密 时钟同步协议标准 (Standard for a precision clock synchronization protocol for networked measurement and control GB/T 28029-2011 牵引电气设备 列车总线 IEC 61375-3-4:2014 电子铁路设备 列车通信网络 第3-4部分: 以太网组成网络 (Electronic railway equipment - Train communication network - Part 3-4: Ethernet Consist	车载走行部智能监测诊断系统数据接入与传输性能要求

Network) TB/T 3035-2002 列车通信网络	
GB/T 20271-2006 信息安全技术 信息系统通用安全技术要求 GB/T 25068-2020 信息技术 安全技术 网络安全 GB/T 28452-2012 信息安全技术 应用系统通用安全技术要求	车载走行部智能监测诊断系统信息安全要求

### (5) 动车组车载走行部智能监测诊断系统的检验方法

在动车组车载走行部智能监测诊断系统系统试验测试部分，参考国际、国家、行业和团体标准情况见下表3。

**表3 车载走行部智能监测诊断系统试验测试参考标准**

标准名称	与本标准对应关系
GB/T 4208-2017 外壳防护等级(IP代码)	车载走行部智能监测诊断系统硬件设备防护等级测试方法
GB/T 25119-2021 轨道交通 机车车辆电子装置	车载走行部智能监测诊断系统硬件设备外观检查、工作环境测试、电磁兼容测试、绝缘测试和耐压测试方法
GB/T 21563-2018 轨道交通 机车车辆设备 冲击和振动试验	车载走行部智能监测诊断系统硬件振动、冲击测试方法
ISO/IEC 9899 C 语言编程标准 (Programming language-C) ISO/IEC 14882 C++ 语言编程标准 (Programming language-C++)	车载走行部智能监测诊断系统软件代码正确性检查方法
ISO/IEC/TS 4213:2022 Information technology - Artificial intelligence - Assessment of machine learning classification performance AIOSS-01-2018 人工智能 深度学习算法评估规范	车载走行部智能监测诊断系统智能诊断性能要求

## 2. 标准中英文内容的汉译英情况

本标准中标题的英文由标准编制组翻译，经编制组讨论，标题的英文符合标题原义，术语的英文均参考了轨道交通领域通用的英文翻译。

#### 四、主要试验验证结果及分析

当前标准的主要内容以国家重点研发计划《自主化轨道交通系统安全保障技术与示范验证》研究为基础，对行业内相关主机厂、技术和设备供应商以及运营单位进行了充分调研，并结合了项目经验、领域内专家的指导意见和一线技术人员的建议。通过技术研究、系统开发和工程示范等验证，该标准技术要求具有科学性、前沿性和适用性。其中，该标准要求的系统组成、使用条件、系统功能和技术要求等均具备落地实施条件，不存在技术壁垒。

#### 五、标准水平分析

走行部智能监测诊断技术经过长时间的技术积累和迭代，已经具备推广应用的基本条件。经过充分调研，目前暂无对应的国际、国外标准。在分析了走行部智能监测诊断涌现出的新特性的基础上，本标准的起草过程中借鉴了人工智能领域国际标准的先进经验，消化吸收了国际标准《Information technology - Artificial intelligence - Assessment of machine learning classification performance》

（ISO/IEC/TS 4213:2022）中人工智能方法在分类任务中的性能评价原则、指标等。在此基础上，以动车组走行部监测诊断为具体场景，填补了相关标准对智能监测诊断算法的性能要求和测试方法的空白。

国内现有标准多集中于机车车辆电子装置的通用要求、车辆动力学性能评定、走行部轴承的台架测试、设备布线配线和安装规范等，缺乏面向动车组车载走行部智能监测诊断系统的指向性标准。较为相

关的标准目前仅有行业标准《城轨列车运行状态智能监测系统技术规范》（SJ/T 11659-2017），但该标准的适用对象为城轨列车而非动车组列车，此外该标准仅从宏观侧面规定了列车运行状态智能监测系统的基本构成、接口要求、功能性能和通用测试，没有充分考虑智能监测诊断算法的特点。因此，本项目采纳了该标准中适用的部分内容，并在铁路、信息、人工智能等领域基本标准指导下，梳理出了面向动车组走行部智能监测诊断系统设计、开发、测试的系统性规范。综上所述，本项目标准具有一定的先进性。

## 六、采标情况

本标准不涉及采用国际标准或国外先进标准制修订等情况。

## 七、与我国现行法律法规和有关强制性标准的关系

本标准对国家标准《电气电子可编程电子安全相关系统的功能安全》（GB/T 20438-2017）设备功能安全完整性要求，行业标准《机车车辆电缆 第1部分：额定电压3kV及以下标准壁厚绝缘电缆》（TB/T 1484.1-2010）、《铁道客车配线布线规则》（TB/T 1759-2016）和《机车车辆电子装置的安装》（TB/T 3248-2010）设备线缆、布线及现场安装要求，国家标准《外壳防护等级(IP代码)》（GB/T 4208-2017）防护等级定义，国家标准《牵引电气设备 列车总线》（GB/T 28029-2011）和行业标准《列车通信网络》（TB/T 3035-2002）TCN网关和接口要求，国家标准《信息安全技术 信息系统通用安全技术

要求》(GB/T 20271-2006)、《信息技术 安全技术 网络安全》(GB/T 25068-2020)、《信息安全技术 应用软件系统通用安全技术要求》(GB/T 28452-2012)中信息安全性能要求,国家标准《轨道交通 机车车辆电子装置》(GB/T 25119-2021)设备电磁兼容、绝缘、耐压性能要求与测试方法,国家标准《轨道交通 机车车辆设备 冲击和振动试验》(GB/T21563-2018)设备冲击和振动性能要求与测试方法进行了参考和引用。

## 八、重大分歧意见的处理过程和依据

无。

## 九、标准性质的建议

党中央、国务院发布的《交通强国建设纲要》国家战略将安全作为现代化交通系统建设的首要目标,并提出了安全保障完善可靠、反应快速以及提升本质安全水平的全新要求。未来一段时间,我国动车组技术创新的主题也将由结构功能设计与制造逐步转向运营安全保障与运营维护升级等领域。走行部是动车组列车的关键子系统,其服役性能直接关乎列车运营安全、运输效率和服务质量。在数智化浪潮下,以深度学习为代表的智能模型越来越多地应用于走行部状态监测和故障诊断领域,为科学维护数量庞大的运营车辆以及主动保障列车运行安全赋能。新标准明确了动车组走行部车载智能监测诊断系统的术语定义、系统组成、使用条件、系统功能、技术要求和推荐性检验

方法，进而为系统的设计、测试提供参考，最终加速相关新技术的落地推广。标准内容不属于《标准化法》中强制性标准的范围，建议为智能交通领域推荐性团体标准。

## 十、贯彻标准的要求和建议

本标准主要规定了规定了时速250km/h以上动车组车载走行部智能监测诊断系统的术语定义、系统组成、使用条件、系统功能和技术要求，适用于时速250km/h以上动车组车载走行部智能监测诊断系统的设计、测试和运用。建议相关单位能够积极主动的学习标准和相关资料、结合实际业务需求组织学习研究标准，贯彻实施标准。标准实施后，建议标准编制组组织标准宣贯,在行业内部甚至对外的有关信息上公开宣传标准及测评工作。

## 十一、废止、替代现行有关标准的建议

本标准为新立项制定的标准，不影响现行有关标准。

## 十二、其他应予以说明的事项

无。