

ICS 45.060.01

CCS S 30

T

团体标准

T/CEATEC XXX—2026

高速列车运行姿态动态测量与安全控制指南

Guidelines for dynamic measurement of running attitude and safety control
of high-speed trains

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 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 测量系统要求 1

 4.1 系统总体构成 2

 4.2 传感采集单元要求 2

 4.3 数据传输与处理单元要求 2

 4.4 系统稳定性要求 2

5 测量参数与精度 2

 5.1 核心测量参数 2

 5.2 测量精度分级 2

6 动态测量方法 2

 6.1 测量前准备 2

 6.2 实时动态测量流程 3

 6.3 数据预处理规范 3

7 姿态安全控制阈值与分级 3

8 动态安全控制策略 3

 8.1 正常状态控制 3

 8.2 预警状态控制 3

 8.3 限速状态控制 4

 8.4 紧急制动控制 4

 8.5 特殊工况适配控制 4

9 系统检验与维护 4

 9.1 定期检验要求 4

 9.2 日常维护规范 4

 9.3 故障处置要求 4

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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

高速列车运行姿态动态测量与安全控制指南

1 范围

本文件规定了高速列车运行姿态动态测量与安全控制的测量系统要求、测量参数与精度、动态测量方法、安全控制阈值与分级、动态安全控制策略及系统检验与维护。

本文件适用于运营速度200km/h~350km/h的轮轨式高速列车常态化运行过程中,车体姿态动态参数的实时采集、分析、监测及安全闭环控制,高速列车试验、维保阶段的姿态检测与安全评估可参照执行。

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 34141 高速列车网络控制系统

TB/T 3482 铁路车站计算机联锁安全原则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高速列车运行姿态 high-speed train running attitude

高速列车在轨道运行过程中,车体相对基准水平面、轨道中心线产生的三维空间位置与角度状态,核心包含横滚、俯仰、侧偏三类姿态角及垂向、横向、纵向位移参数,是评判列车运行平稳性与安全性的核心指标。

3.2

动态姿态测量 dynamic attitude measurement

列车运行状态下,通过高精度传感设备实时采集车体姿态瞬时参数,经数据解码、滤波、校正后获取连续姿态变化曲线的检测过程,区别于静态静置测量。

3.3

姿态安全阈值 attitude safety threshold

保障高速列车不发生脱轨、倾覆、车体共振、设备失效的姿态参数极限值,分为正常运行阈值、预警阈值、限速阈值、紧急制动阈值四个等级。

3.4

姿态闭环控制 attitude closed-loop control

基于实时姿态测量数据,联动列车牵引、制动、悬挂系统,自动完成速度调整、阻尼调节、姿态校正的动态安全控制流程。

4 测量系统要求

4.1 系统总体构成

高速列车运行姿态动态测量系统由传感采集单元、数据传输单元、数据处理单元、监测显示单元、联动控制单元五部分组成，系统整体性能应满足高速运行工况下的抗振动、抗干扰、高实时性要求。

4.2 传感采集单元要求

传感采集单元主要包含惯性测量单元、高精度倾角传感器、位移传感器，核心设备参数见表1。

表1 传感采集单元要求

设备类型	测量量程	测量精度	采样频率	工作温度
惯性测量单元	角度±15°、角速度±200°/s	角度误差≤0.01°、角速度误差≤0.05°/s	≥200Hz	-40℃～+70℃
高精度倾角传感器	±10°	静态精度≤0.005°，动态精度≤0.02°	≥100Hz	-40℃～+70℃
横向/垂向位移传感器	0～50mm	误差≤0.1mm	≥150Hz	-35℃～+65℃

4.3 数据传输与处理单元要求

4.3.1 数据传输应采用车载专用总线传输方式，传输延迟≤10ms，数据丢包率≤0.01%，满足GB/T 34141的要求。

4.3.2 数据处理单元应具备实时滤波、异常数据剔除、姿态参数解算功能，可同步输出三维姿态角、振动幅值、位移偏差等参数，支持1s、5s、10s均值数据统计。

4.4 系统稳定性要求

测量系统连续无故障运行时间≥1000h，高低温循环工况下数据精度漂移量≤3%，列车全速运行状态下无数据失真、卡顿现象。

5 测量参数与精度

5.1 核心测量参数

高速列车运行姿态动态测量核心参数包含三维姿态角、三维振动加速度、车体相对位移三类，具体参数如下：

- a) 横滚角；
- b) 俯仰角；
- c) 侧偏角；
- d) 横向加速度、垂向加速度、纵向加速度；
- e) 车体横向偏移量、垂向跳动量。

5.2 测量精度分级

根据列车运行速度等级，将测量精度分为200～250km/h、250～300km/h、300～350km/h三个等级，各等级参数精度限值见表2。

表2 测量精度分级及要求

运行速度等级	横滚角精度	俯仰角精度	侧偏角精度	加速度精度	位移测量精度
200～250km/h	≤0.03°	≤0.03°	≤0.05°	≤0.02m/s²	≤0.2mm
250～300km/h	≤0.02°	≤0.02°	≤0.04°	≤0.015m/s²	≤0.15mm
300～350km/h	≤0.01°	≤0.01°	≤0.03°	≤0.01m/s²	≤0.1mm

6 动态测量方法

6.1 测量前准备

测量前应完成系统校准与设备检查，具体步骤如下：

- a) 将列车静置在平直轨道上，启动测量系统归零校准，连续采集3min静态数据，所有参数波动值不超过测量精度限值的50%，判定系统状态正常。
- b) 检查传感器固定状态、总线连接状态、供电系统稳定性，确保设备无故障、无干扰。

6.2 实时动态测量流程

列车启动运行后，测量系统自动进入动态采集模式，全程不间断采集姿态参数，具体流程如下：

- a) 加速阶段：列车从0加速至额定运行速度过程中，持续采集姿态参数，重点监测加速过程中俯仰角、纵向振动变化规律，采样数据全程留存；
- b) 匀速运行阶段：列车稳定匀速运行时，以200Hz频率连续采集数据，每1s生成一组姿态统计数据，包含最大值、最小值、平均值、波动幅值；
- c) 减速制动阶段：列车减速、制动、停车过程中，加密数据采集频次至300Hz，重点监测制动冲击引发的姿态突变参数；
- d) 特殊工况测量：列车通过曲线、道岔、坡道、隧道等特殊路段时，自动触发工况识别，针对性记录姿态动态变化特征数据。

6.3 数据预处理规范

采集的原始数据应按照以下步骤进行预处理：

- a) 剔除脉冲干扰、电磁干扰导致的异常数据；
- b) 采用一阶低通滤波算法完成数据平滑处理，滤波截止频率设置为50Hz，保留有效姿态波动信号，去除高频噪声干扰；
- c) 预处理后数据应完整保留原始采集时间、运行速度、线路工况等关联信息。

7 姿态安全控制阈值与分级

将姿态参数划分为四级安全阈值，对应不同控制策略，各级阈值数值及判定标准见表3。

表3 姿态安全控制阈值与分级

参数名称	正常阈值（安全运行）	预警阈值（轻微异常）	限速阈值（中度风险）	紧急制动阈值（高危风险）
横滚角	$\leq 1.0^{\circ}$	$1.0^{\circ} \sim 1.5^{\circ}$	$1.5^{\circ} \sim 2.0^{\circ}$	$> 2.0^{\circ}$
俯仰角	$\leq 1.2^{\circ}$	$1.2^{\circ} \sim 1.8^{\circ}$	$1.8^{\circ} \sim 2.5^{\circ}$	$> 2.5^{\circ}$
侧偏角	$\leq 0.8^{\circ}$	$0.8^{\circ} \sim 1.2^{\circ}$	$1.2^{\circ} \sim 1.8^{\circ}$	$> 1.8^{\circ}$
横向加速度	$\leq 0.8\text{m/s}^2$	$0.8 \sim 1.0\text{m/s}^2$	$1.0 \sim 1.2\text{m/s}^2$	$> 1.2\text{m/s}^2$
垂向加速度	$\leq 1.0\text{m/s}^2$	$1.0 \sim 1.3\text{m/s}^2$	$1.3 \sim 1.6\text{m/s}^2$	$> 1.6\text{m/s}^2$
车体横向偏移量	$\leq 8\text{mm}$	$8 \sim 12\text{mm}$	$12 \sim 15\text{mm}$	$> 15\text{mm}$

注：阈值判定应采用持续采样判定原则：单一参数瞬时超标不判定为异常，持续1s以上超标触发对应等级控制指令，多参数同时超标时，按最高风险等级执行控制策略。

8 动态安全控制策略

8.1 正常状态控制

当所有姿态参数处于正常阈值范围内时，列车应维持当前运行速度、悬挂阻尼参数稳定，测量系统持续实时监测、留存数据，无干预控制操作，保障列车平稳高效运行。

8.2 预警状态控制

控制措施如下：

- a) 参数触发预警阈值时，系统应立即触发车载声光预警提示，同步将异常数据上传至地面运维监控平台，记录异常工况、异常参数、运行速度等信息；

b) 列车维持当前速度运行，车载系统持续监测参数变化，若30s内参数恢复正常，自动解除预警；若持续异常，升级为限速控制。

8.3 限速状态控制

控制措施如下：

a) 参数触发限速阈值时，系统应执行自动限速调控：300～350km/h列车限速至250km/h以下，250～300km/h列车限速至200km/h以下，200～250km/h列车限速至160km/h以下；

b) 自动调整空气弹簧悬挂阻尼，抑制车体姿态波动，持续监测参数变化；

c) 限速运行期间，若参数持续5min恢复正常，可恢复额定运行速度；若参数无改善或持续恶化，触发紧急制动指令。

8.4 紧急制动控制

控制措施如下：

a) 参数触发紧急制动阈值时，系统应立即发出最高优先级控制指令，列车执行平稳紧急制动，制动过程应符合TB/T 3482的规定，最大限度降低车体冲击，避免脱轨、倾覆风险；

b) 列车停车后，锁定故障状态，禁止再次启动，待运维人员现场检测排查、复位后方可恢复运行。

8.5 特殊工况适配控制

控制措施如下：

a) 列车通过曲线、大坡道、道岔路段时，系统应自动适配工况阈值，曲线半径 $\geq 7000\text{m}$ 路段，阈值保持标准值；曲线半径5000～7000m路段，姿态阈值可上浮10%；

b) 曲线半径 $< 5000\text{m}$ 路段，姿态阈值可上浮15%，避免频繁误触发控制指令，保障特殊工况运行合理性。

9 系统检验与维护

9.1 定期检验要求

9.1.1 测量系统每3个月开展一次常规检验，常规检验包含设备外观、数据传输、实时采样精度、振动环境适应性检测。

9.1.2 每年开展一次全面校准检验，全面校准应借助专业姿态校准设备、振动试验设备，完成姿态角度、位移、加速度全参数精度校准，校准后精度应完全符合本文件5.2节精度分级要求。

9.2 日常维护规范

9.2.1 每日列车出库前，车载系统应自动完成自检，自检无故障方可出库运行。

9.2.2 每日收车后，运维人员应查看当日监测数据，排查异常记录。

9.2.3 每6个月对传感器安装部位、线路连接、总线接口进行紧固保养，清除设备灰尘、污渍，排查电磁干扰隐患，保障设备长期稳定运行。

9.3 故障处置要求

9.3.1 当出现数据异常、设备故障、传输中断等问题时，系统应自动记录故障代码与故障时间，触发故障预警。

9.3.2 轻微故障可在列车维保窗口期完成修复校准；重大故障导致测量功能失效时，列车应禁止上线运行，修复并校准合格后方可投入使用。