



T/CECS G:D83-0X—2025

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

公路护栏碰撞事故仿真再现技术规程

Technical Specifications for Simulation Reconstruction of Vehicle
Collision Accidents with Highway Barriers

（征求意见稿）

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

中国工程建设标准化协会标准

公路护栏碰撞事故仿真再现技术规程

Technical Specifications for Simulation Reconstruction of Vehicle
Collision Accidents with Highway Barriers

T/CECS G: D83-0X—2025

主编单位：山东高速股份有限公司

北京华路安交通科技有限公司

发布机构：中国工程建设标准化协会

实施日期：2025 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司
北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2023年第二批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2023〕50号）的要求，由山东高速股份有限公司、北京华路安交通科技有限公司承担《公路护栏碰撞事故仿真再现技术规程》（以下简称“本规程”）的制订工作。

本规程分为6章和4个附录，即：1 总则、2 术语、3 基本规定、4 事故数据采集、5 事故再现仿真分析、6 分析结论及报告要求、附录A：事故现场数据采集原始记录表、附录B：刹车痕迹速度计算公式、附录C：仿真建模与验证方法、附录D：公路护栏碰撞事故仿真再现分析报告格式。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本规程提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本规程相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会归口管理，由北京华路安交通科技有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议，请函告本规程日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路8号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或北京华路安交通科技有限公司（地址：北京市丰台区富丰路2号星火科技大厦，联系电话：010-83671882，电子邮箱：hla_biaozhun@163.com），以供修订时研用。

主 编 单 位： 山东高速股份有限公司
北京华路安交通科技有限公司

参 编 单 位： 北京陆路达交通设施有限公司
芜湖华路达道路工程有限公司

主 编： 王昊、闫书明

主要编写人员： ×××、×××、×××、×××、×××、×××

主 审：

参与审查人员： ×××、×××、×××、×××、×××、×××

目次

| | |
|--------------------------------|----|
| 前 言 | II |
| 1 总则 | 1 |
| 2 术语 | 2 |
| 3 基本规定 | 3 |
| 4 事故数据采集 | 4 |
| 4.1 一般规定 | 4 |
| 4.2 设备及工具 | 4 |
| 4.3 采集要求 | 4 |
| 4.4 数据处理 | 5 |
| 5 事故仿真再现分析 | 6 |
| 5.1 模型建立 | 6 |
| 5.2 模型验证 | 6 |
| 5.3 仿真再现分析 | 6 |
| 6 分析结论及报告要求 | 8 |
| 6.1 分析结论 | 8 |
| 6.2 报告要求 | 8 |
| 附录 A: 事故现场数据采集原始记录表 | 9 |
| 附录 B: 刹车痕迹速度计算公式 | 13 |
| 附录 C: 仿真建模与验证方法 | 14 |
| 附录 D: 公路护栏碰撞事故仿真再现分析报告格式 | 22 |
| 本规程用词用语说明 | 26 |

1 总则

1.0.1 为规范公路护栏碰撞事故仿真再现技术方法，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于车辆碰撞护栏事故后的仿真再现分析。

1.0.3 仿真再现分析应采用有限元方法，仿真模型须通过实车足尺碰撞试验验证，确保模型可靠性和结果科学性。

1.0.4 仿真再现结果可为事故原因分析、护栏优化改造提供辅助性技术参考。

1.0.5 公路护栏碰撞事故仿真再现技术除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 事故数据采集 accident data acquisition

获取碰撞事故中车辆参数、护栏状态及道路条件的技术活动。

2.0.2 EDR 数据 event data recorder

车载设备在车辆碰撞前后记录的动态参数，包括车速、加速度、制动状态、方向盘转角等关键信息。

2.0.3 碰撞护栏事故仿真再现 barrier collision accident simulation and reconstruction

基于事故现场数据，通过计算机仿真技术还原车辆与护栏碰撞动态过程的技术方法。

2.0.4 有限元仿真 finite element simulation

将护栏和车辆离散化为有限单元，通过数值计算模拟碰撞力学行为的分析方法。

2.0.5 模型验证 model validation

通过实车碰撞试验数据与仿真结果的对比分析，确认模型有效性的过程。

2.0.6 安全性能评价指标 safety performance evaluation criteria

衡量护栏在碰撞事故中对车辆及乘员的防护能力的关键量化参数，包括阻挡功能、缓冲功能及导向功能。

2.0.7 损伤一致性 damage correlation

仿真结果中车辆与护栏的变形、运动轨迹等与事故现场痕迹的吻合程度。

3 基本规定

3.0.1 公路护栏碰撞事故仿真再现分析应遵循科学性、客观性原则，以还原事故真实过程为目标，严禁主观推断或选择性使用数据。

3.0.2 公路护栏碰撞事故仿真再现分析应按照事故发生时的现场条件进行再现模拟。

3.0.3 公路护栏碰撞事故仿真再现分析应按图 3.0.3 的流程进行。

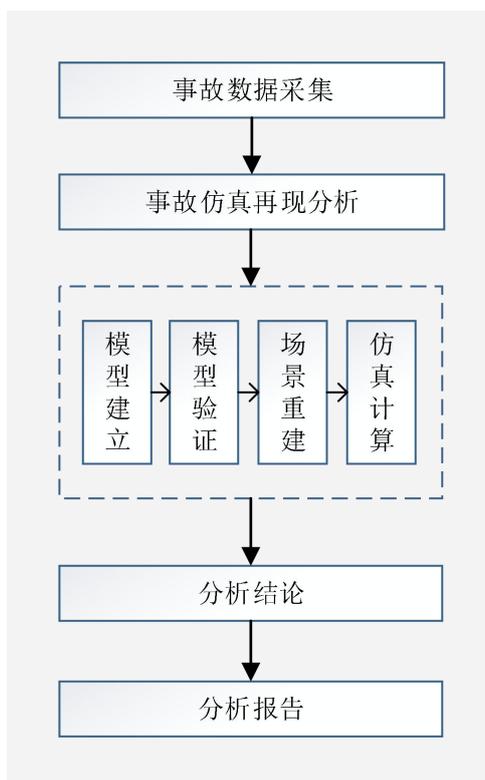


图 3.0.3 公路护栏碰撞事故仿真再现分析流程

3.0.4 仿真再现分析全过程应建立完整的技术档案，包括原始数据、模型参数、验证报告及分析结论，档案保存期限不得少于 10 年。

3.0.5 仿真结果仅作为事故原因分析的辅助技术参考，涉及司法争议时需配合实车足尺碰撞试验验证。

4 事故数据采集

4.1 一般规定

4.1.1 发生车辆碰撞护栏类事故，应迅速到现场进行及时、全面、准确和客观的事故数据采集，原则上应在事故发生后 2 小时内抵达现场，避免环境干扰导致数据失真。

4.1.2 事故数据采集应与交警、路政等部门协同作业，明确责任分工，避免重复采集或数据冲突。

4.1.3 采集人员需穿戴反光警示服，事故现场应设置警示标志及临时交通管制，避免二次事故。夜间或恶劣天气作业需配备应急照明及防滑设备。

4.2 设备及工具

4.2.1 事故数据采集宜使用以下设备和工具：

1 通用设备及工具，包括数码相机、摄像机、无人机、激光测距仪、千分尺、涂层厚度仪、照明设备、超声波探伤仪、护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪、混凝土回弹仪、试样钻芯和切割设备等。

2 零部件检测仪器设备，包括扭力扳手、扫描电镜、质谱仪、金相分析仪、硬度计、万能材料试验机等。

4.2.2 所有设备需定期检定校准，并在使用前验证其精度，校准记录需存档备查。

4.3 采集要求

4.3.1 事故数据采集应包括下列内容：

1 事故现场影像：覆盖碰撞点前后 50m 范围的全景照片、视频。

2 基础事故参数：事故车辆型号、载重、车辆速度、碰撞角度、护栏损坏情况、人员伤亡情况、车辆损坏情况、公路特征数据等。

3 护栏设施数据：结构尺寸、设置条件以及其施工图或竣工图，材料力学性能、化学成分、实车碰撞试验数据。

4.3.2 对于事故公路特征数据应重点采集公路线形、护栏的基础、路侧构造物等参数，见表 4.3.2。

表 4.3.2 事故公路特征数据采集

| 类别 | 考虑因素 | |
|-------|---|------------------------------------|
| 公路线形 | 平曲线、竖曲线、纵坡、超高、横坡等。 | |
| 基础 | 路基 | 基础形式、埋深、土基压实度、土路肩、边坡等。 |
| | 桥梁 | 翼缘板形式（混凝土梁、钢箱梁）、梁板厚度、配筋、预埋连接、伸缩缝等。 |
| 路侧构筑物 | 桥墩、隧道检修道、隧道洞门、标志立柱、照明灯柱、斜拉索、吊杆、监控设施、声屏障、防眩设施、防落网、边沟等。 | |

4.3.3 缺失数据应通过痕迹反演、车载 EDR 数据或视频分析补充。

4.4 数据处理

4.4.1 事故数据采集应及时填写附录 A 的原始记录表，记录内容应完整、客观且可溯源，禁止主观臆断或选择性记录。记录表内容可根据事故类型调整，但碰撞速度、角度、设施损坏形态等核心数据不得删减。

4.4.2 所有采集数据需在 24 小时内完成数字化存储，并备份至独立服务器，确保数据安全性与可追溯性。

4.4.3 碰撞速度优先采用 EDR 数据，缺失时按附录 B 中刹车痕迹公式计算。

4.4.4 数据验证应符合下列规定：

- 1 EDR 数据与视频分析的车辆速度偏差 $\leq 5\%$ 。
- 2 护栏材料强度实测值需提供拉伸试验报告。

5 事故仿真再现分析

5.1 模型建立

5.1.1 事故再现仿真分析应建立驾驶人员模型、事故车辆模型、事故路段条件模型、事故通护栏模型等。

5.1.2 事故车辆及乘员建模应符合下列规定：

- 1 车辆模型应包含车身系统、底盘系统和内外饰件等。
- 2 车辆模型的车身、车架、车轮及保险杠等碰撞接触区域应采用精细有限元建模，悬架系统、转向系统和发动机等可简化处理，可采用具有惯性特性或功能特性的质量点或刚体表示。
- 3 车辆模型应具有真实的运动性能。
- 4 乘员模型宜采用混合III型 50 百分位假人模型或具有相同功能的假人模型。

5.1.3 事故护栏及其设置场景的建模应符合下列规定：

- 1 应按照事故护栏结构与工况条件进行建模，且应包含重要部件、部件连接、边界条件。
- 2 模型使用的材料应与事故护栏样品的材料一致。

5.2 模型验证

5.2.1 事故再现仿真分析所建立的仿真模型应进行准确性与稳定性验证。验证方法见本规程附录 C 的有关规定。

5.2.2 仿真模型验证应编制《公路护栏碰撞事故仿真再现分析模型验证报告》，验证报告中应附有相应实车足尺碰撞试验的检测报告，验证报告格式应符合本规程附录 C 的有关规定。

5.3 仿真再现分析

5.3.1 仿真再现分析应符合下列规定：

- 1 仿真模拟软件应与模型验证时为同类型软件。
- 2 应根据事故数据采集得到碰撞条件、碰撞点位置进行计算分析。
- 3 车辆模型应与模型验证时一致，且车辆模型总质量、几何尺寸、重心位置等主要技术参数应与现场事故车辆相一致。
- 4 事故护栏的结构尺寸、材料性能指标、基础和设置条件等应与其实际工程一致，模型的结构长度应与现行公路护栏安全性能评价行业标准的要求一致。

5.3.2 仿真再现分析应输出下列结果：

- 1 车辆运动轨迹动画。
- 2 护栏塑性应变云图及失效模式分析。
- 3 乘员舱生存空间侵入量时程曲线。

4 小型客车乘员碰撞速度和乘员碰撞后加速度时程曲线。

6 分析结论及报告要求

6.1 分析结论

6.1.1 根据事故护栏的仿真分析结果，给出公路护栏碰撞事故仿真再现分析结论。

6.1.2 结论应包括以下内容：

- 1 损伤一致性评估：车辆与护栏的变形、运动轨迹与事故现场的吻合度。
- 2 事故原因推断：碰撞速度、角度、车辆失控原因及护栏结构缺陷（如材料强度不足、埋深不达标）的技术分析。
- 3 优化建议：针对护栏设计或维护的改进措施。

6.2 报告要求

6.2.1 报告内容应完整涵盖以下章节：

- 1 事故概况：时间、地点、车辆类型、伤亡情况及护栏类型。
- 2 数据采集：现场影像、EDR 数据、护栏尺寸及材料检测结果。
- 3 模型验证：验证方法（附录 C）、一致性判定结果（表 C.1.6）。
- 4 仿真分析：运动轨迹动画、应变云图、乘员舱侵入量等关键输出。
- 5 结论与建议：明确护栏安全性能评价及事故原因结论。

6.2.2 报告格式应符合附录 D 规定，包含封面、资信证书、著录页及签章要求：

- 1 结论页须加盖评价单位公章；
- 2 附件需附模型验证报告（附录 C）及原始数据存档编码；
- 3 签署人需具备相应资质，技术负责人审核签字。

6.2.3 技术档案保存期限不得少于 10 年，电子数据需加密存储并备份至独立服务器。

附录 A：事故现场数据采集原始记录表

A.0.1 混凝土护栏、波形梁护栏、缆索护栏和组合式护栏的事故现场数据采集原始记录表分别见表 A.1-1~表 A.1-4。对于其他公路护栏可根据相应设计文件，并参照表 A.1-1~表 A.1-4 进行记录。

表 A.1-1 混凝土护栏实测项目

| 实测项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方法 |
|--------------|----------|-----------|
| 护栏高度①(mm) | ±20 | 钢卷尺、直尺 |
| 坡面高度②(mm) | ±10 | |
| 变坡点高度③(mm) | | |
| 底面宽度④(mm) | | |
| 顶面宽度⑤(mm) | | |
| 变坡段顶部宽度⑥(mm) | | |
| 基础埋入深度⑦(mm) | | |
| 混凝土抗压强度(Mpa) | ≥设计值 | 回弹仪 |
| 钢筋数量(根) | =设计值 | 超声波钢筋探测仪 |
| 钢筋抗拉强度(Mpa) | ≥设计值 | 钻孔取样、拉力试验 |

注：表中部分实测项目含义如图 A.1-1 所示。

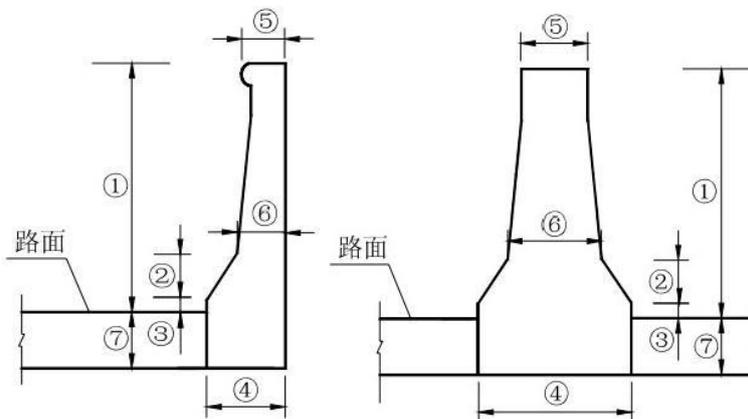


图 A.1-1 混凝土护栏部分实测项目示意

表 A.1-2 波形梁护栏实测项目

| 实测项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方法 |
|---------------|----------|---------|
| 立柱间距①(mm) | ±50 | 钢卷尺、直尺 |
| 波形梁板中心高度②(mm) | ±20 | 钢卷尺、直尺 |
| 波形梁板厚③(mm) | ±0.25 | 测厚仪、千分尺 |

| | | |
|-------------------|-------|---------|
| 立柱直径④(mm) | ±5 | 千分尺 |
| 立柱金属壁厚⑤(mm) | ±0.25 | 测厚仪、千分尺 |
| 立柱外边缘距路肩边线距离⑥(mm) | ±20 | 钢卷尺、直尺 |
| 立柱埋入深度⑦(mm) | ±50 | 超声波探测仪 |
| 拼接螺栓抗拉强度(Mpa) | ≥设计值 | 拉力试验 |

注：1、表中部分实测项目含义如图 A.1-2 所示。

2、波形梁板厚和立柱金属壁厚不包括测厚仪测得的镀锌层等防腐层厚度。

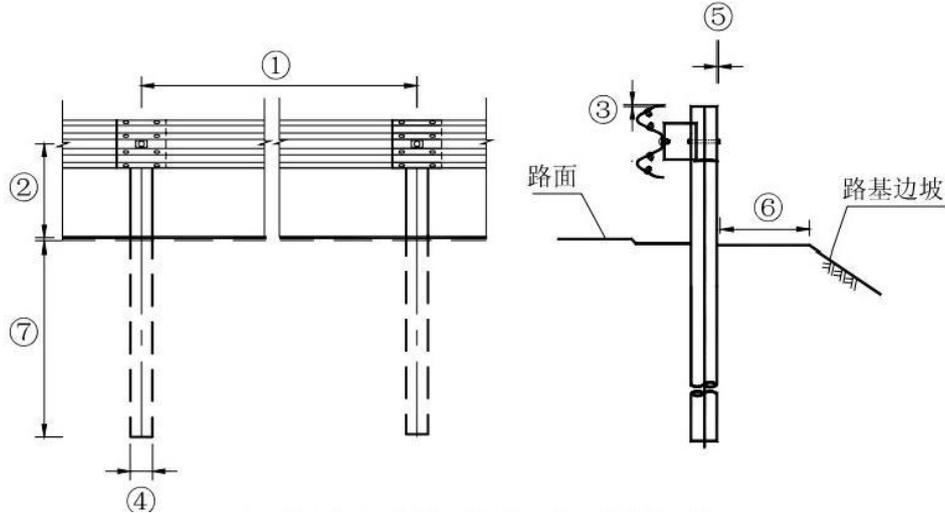


图 A.1-2 波形梁护栏部分实测项目示意

表 A.1-3 缆索护栏实测项目

| 实测项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方法 |
|----------------|----------|---------|
| 缆索直径①(mm) | ±1 | 卡尺 |
| 立柱直径②(mm) | ±5 | 千分尺 |
| 立柱金属壁厚③(mm) | ±0.25 | 测厚仪、千分尺 |
| 立柱埋入深度④(mm) | ±50 | 超声波探测仪 |
| 最下一根缆索的高度⑤(mm) | ±20 | 钢卷尺、直尺 |
| 缆索间距⑥(mm) | ±10 | 钢卷尺、直尺 |
| 端部立柱间距⑦(mm) | ±50 | 钢卷尺、直尺 |
| 中间立柱间距⑧(mm) | ±50 | 钢卷尺、直尺 |
| 缆索初张力 | ≥设计值 | 钢索张力测试仪 |

注：1、表中部分实测项目含义如图 A.1-3 所示。

2、立柱金属壁厚不包括测厚仪测得的镀锌层等防腐层厚度。

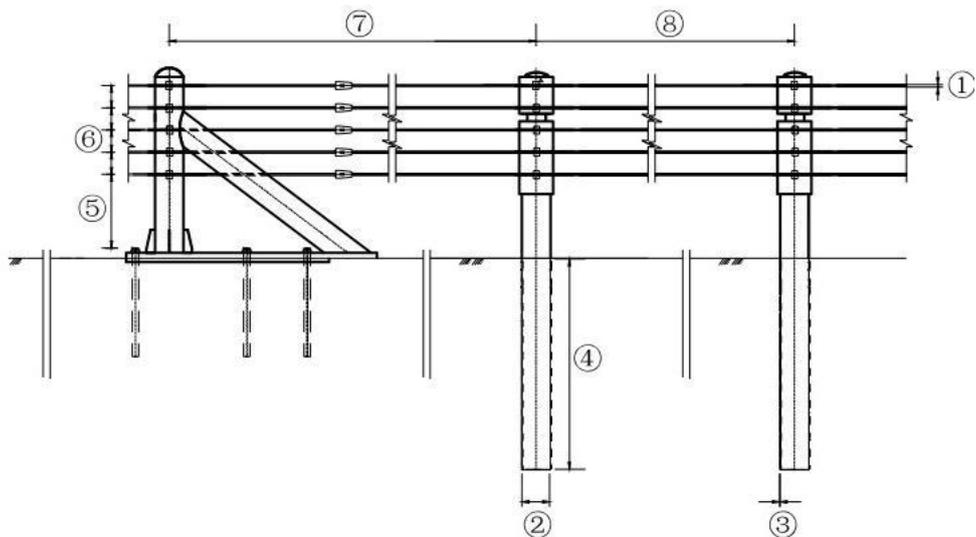


图 A.1-3 缆索护栏部分实测项目示意

表 A.1-4 组合式护栏实测项目

| 实测项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方法 |
|------------------|----------|-----------|
| 混凝土墙体高度①(mm) | ±20 | 钢卷尺、直尺 |
| 坡面高度②(mm) | ±10 | |
| 变坡点高度③(mm) | | |
| 基础埋入深度④(mm) | | |
| 底面宽度⑤(mm) | | |
| 顶面宽度⑥(mm) | | |
| 变坡段顶部宽度⑦(mm) | | |
| 混凝土抗压强度(Mpa) | ≥设计值 | 回弹仪 |
| 横梁直径⑧(mm) | ±5 | 千分尺 |
| 立柱高度⑨(mm) | ±10 | 钢卷尺、直尺 |
| 立柱金属壁厚⑩(mm) | ±0.25 | 测厚仪、千分尺 |
| 横梁金属壁厚⑪(mm) | ±0.25 | 测厚仪、千分尺 |
| 立柱间距⑫(mm) | ±50 | 钢卷尺、直尺 |
| 混凝土墙体钢筋数量(根) | =设计值 | 超声波钢筋探测仪 |
| 混凝土墙体钢筋抗拉强度(Mpa) | ≥设计值 | 钻孔取样、拉力试验 |

注：1、表中部分实测项目含义如图 A.1-4 所示。

2、横梁和立柱金属壁厚不包括测厚仪测得的镀锌层等防腐层厚度。

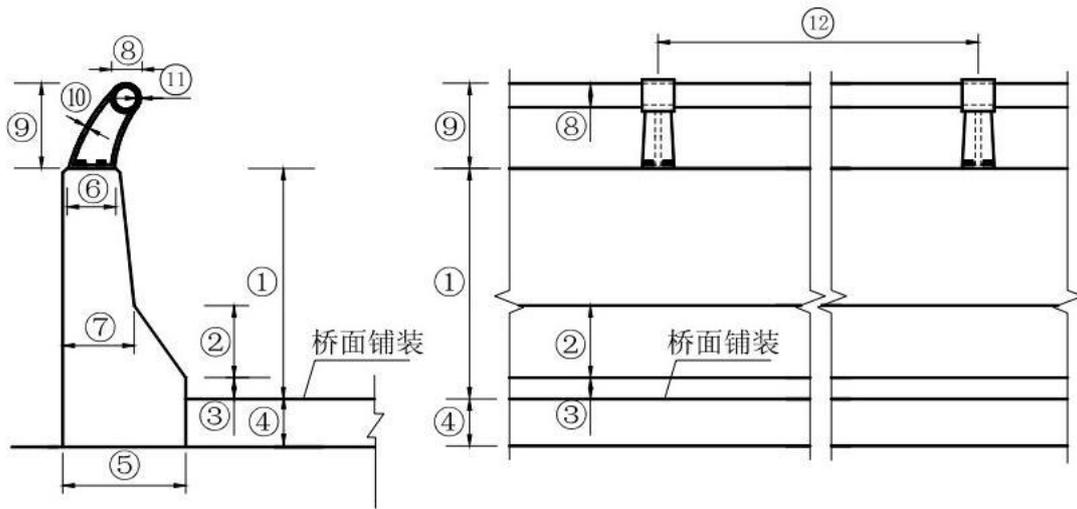


图 A.1-4 组合式护栏部分实测项目示意

附录 B: 刹车痕迹速度计算公式

B.0.1 刹车痕迹速度计算公式:

$$v = \sqrt{2 \mu g s} \quad (\text{B.0.1})$$

式中:

v : 车辆碰撞前速度 (单位: 米/秒, m/s);

μ : 轮胎与路面的滑动摩擦系数 (无量纲);

g : 重力加速度 (取 9.8 m/s^2);

s : 刹车痕迹长度 (单位: 米, m)。

若需将结果转换为公里/小时 (km/h), 可乘以 3.6, 即:

$$v_{\text{km/h}} = \sqrt{2 \mu g s} \times 3.6 \quad (\text{B.0.2})$$

附录 C：仿真建模与验证方法

C.1 基本要求

C.1.1 仿真模拟软件要求：

- 1 能够处理碰撞过程非线性问题。
- 2 能够模拟公路护栏和车辆结构的单元类型、材料类型和接触类型。
- 3 能够模拟车辆和护栏的绊阻过程。
- 4 能够输出车辆和护栏吸收的能量。
- 5 能够定义加速度传感器。
- 6 能够提取车辆运行轨迹。

C.1.2 仿真模型应与物理模型相一致。

C.1.3 仿真模型应统一坐标系，应以车辆模型长度方向为 X 轴，宽度方向为 Y 轴，高度方向为 Z 轴，X-Y-Z 坐标系应遵守右手定则。

C.1.4 车辆模型应通过必要的零部件测试和整车测试来验证模型的准确性与稳定性。零部件测试应包含悬架负载测试，整车测试应包含线形轨迹测试、环形轨迹测试、过减速带测试和整车碰撞刚性墙测试，所有测试应提供的结果见表 C.1.4，测试方法应符合本规程 C.2 的要求。

表 C.1.4 车辆模型测试及结果

| 序号 | 测试项目 | 测试方法 | 测试结果 |
|--------------|------------|---------------------------|---|
| 1 | 悬架运动特性 | 悬架负载测试：每个车轮单独施加载荷 | 显示悬架运动的过程图。 载荷传递至车轮的载荷-位移曲线。 车轮轮心位移随时间变化曲线。 |
| | | 悬架负载测试：前悬车轮和后悬车轮分别施加对称载荷 | |
| | | 悬架负载测试：前悬车轮和后悬车轮分别施加非对称载荷 | |
| 2 | 车辆稳定性 | 线形轨迹测试 | 加速度随时间变化曲线。 动能和总能量随时间变化曲线。 |
| | | 环形轨迹测试 | |
| 3 | 车辆对小冲击的响应 | 过减速带测试：前悬车轮 | 加速度随时间变化曲线。 动能和总能量随时间变化曲线。 |
| | | 过减速带测试：后悬车轮 | |
| | | 过减速带测试：右前悬车轮 | |
| | | 过减速带测试：左前悬车轮 | |
| | | 过减速带测试：右后悬车轮 | |
| 过减速带测试：左后悬车轮 | | | |
| 4 | 车辆对碰撞的整体响应 | 整车碰撞刚性墙测试 | 加速度随时间变化曲线。 动能和总能量随时间变化曲线。 |

C.1.5 护栏模型的验证符合下列要求:

- 1 护栏模型宜通过单元试验对其关键的零部件性能进行验证。
- 2 护栏模型应能够应用于不同的车辆模型碰撞分析，并要求在数值上稳定。
- 3 护栏模型应能够实现材料失效模式。

C.1.6 结构安全性能仿真评价前，应根据实车足尺碰撞试验条件进行车辆模型与两种及以上同类型或相似类型公路护栏的碰撞模拟，并将模拟结果与试验结果进行一致性判定，判定标准见表 C.1.6。表 C.1.6 中各项判定结果均为“是”时，方可用于进行公路护栏的安全性能仿真评价。

表 C.1.6 仿真模拟与实车足尺碰撞试验结果指标对比

| 序号 | 仿真与实车足尺碰撞试验结果对比 | | 对比结果：是/否 |
|----|-----------------------------|--|----------|
| 1 | 阻挡功能 | 是否与试验结果一致 | 是/否 |
| 2 | 导向功能 | 是否与试验结果一致 | 是/否 |
| 3 | 车轮脱落 | 是否与试验结果一致 | 是/否 |
| 4 | 护栏纵向连接构件失效 | 是否与试验结果一致 | 是/否 |
| 5 | 护栏最大横向动态位移外延值 (<i>W</i>) | 是否在允许误差范围 $\pm (0.05 \text{ m} + 0.1 \times (\text{试验值}))$ | 是/否 |
| | | 时差 $< 0.05 \text{ s}$ | 是/否 |
| 6 | 车辆最大动态外倾值 (<i>VI</i>) | 是否在允许误差范围 $\pm (0.05 \text{ m} + 0.1 \times (\text{试验值}))$ | 是/否 |
| | | 时差 $< 0.05 \text{ s}$ | 是/否 |
| 7 | 小型客车乘员碰撞速度 (<i>OIV</i>) | 是否在允许误差范围 $\pm (0.83 \text{ m/s} + 0.1 \times (\text{试验值}))$ | 是/否 |
| | | 时差 $< 0.05 \text{ s}$ | 是/否 |
| 8 | 小型客车乘员碰撞后加速度 (<i>ORC</i>) | 是否在允许误差范围 $\pm (10 \text{ m/s}^2 + 0.1 \times (\text{试验值}))$ | 是/否 |

注：若仿真模拟与实车足尺碰撞试验结果一致，则勾选“是”，表示符合标准。

条文说明

仿真模拟与实车足尺碰撞试验结果的对比项目中：

护栏最大横向动态位移外延值 (*W*) 是指车辆碰撞护栏过程中，护栏变形后最外边缘相对于护栏碰撞前最内边缘的最大横向水平距离，其仿真模拟结果与实车足尺碰撞试验结果之间的允许误差值为： $\pm (0.05 \text{ m} + 0.1 \times (\text{试验值}))$ 。

车辆最大动态外倾值 (*VI*) 是指大中型车辆碰撞护栏过程中外倾时，车辆最外边缘相对于护栏碰撞前最内边缘的最大横向水平距离，其仿真模拟结果与实车足尺碰撞试验结果的允许误差值为： $\pm (0.05 \text{ m} + 0.1 \times (\text{试验值}))$ 。

小型客车乘员碰撞速度 (*OIV*) 是指碰撞公路护栏过程中，假想的乘员头部与乘员舱内部碰撞的瞬时相对速度，其仿真模拟结果与实车足尺碰撞试验结果的允许误差范围为 $\pm (0.83 \text{ m/s} + 0.1 \times (\text{试验值}))$ ，乘员碰撞速度对应时刻的时间差须小于 0.05 s 。

小型客车乘员碰撞后加速度（ORC）是指碰撞公路护栏过程中，假想的乘员头部与乘员舱内部碰撞后，假想的乘员头部与车辆共同经受的车辆重心处加速度10 ms间隔平均值的最大值，其仿真模拟结果与实车足尺碰撞试验结果的允许误差范围为±（10 m/s² + 0.1×（试验值））。

C.1.7 应对模型验证的有效性进行判定，符合表 C.1.7 中各项有效性要求时，方可视为模型验证有效。

表 C.1.7 模型验证有效性判定准则

| 序号 | 判定准则 |
|----|------------------|
| 1 | 计算结果物理形态变化合理 |
| 2 | 碰撞模拟的总能量变化不超过 5% |
| 3 | 沙漏能量小于总能量的 5% |
| 4 | 增加质量小于总质量的 5% |
| 5 | 无节点飞出 |
| 6 | 无负体积单元 |

注：“节点飞出”是指因模型异常导致节点速度无穷大而呈现飞出现象。

C.1.8 模型验证应编制《公路护栏碰撞事故仿真再现分析模型验证报告》，验证报告应符合下列要求：

- 1 报告中应附有相应实车足尺碰撞试验的检测报告，且检测报告须获得委托单位授权。
- 2 报告的格式应符合本规程 C.3 的规定。

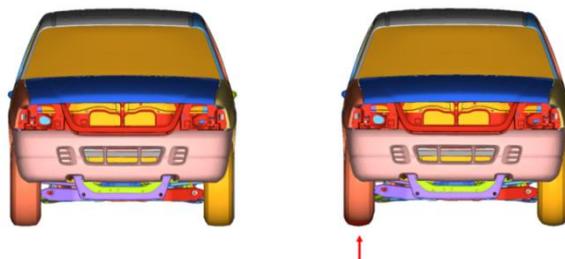
C.2 模型验证测试方法

C.2.1 车辆模型悬架负载测试应符合下列规定：

- 1 应在车辆模型悬空状态下对每个车轮进行单独加载。
- 2 所施加载荷应能够将车轮推至减振器底部，且车轮的运动应反映出受悬架影响的相应运动。
- 3 对于采用独立悬架的前悬测试，车轮运动应与悬架的振动不相干。

条文说明

图 C. 2. 1-1 与图 C. 2. 1-2 分别为小型客车单轮施加载荷实例和后悬车轮施加对称载荷实例，小型客车典型受力值约为 4000N。



C.3 模型验证报告

C.3.1 模型验证报告封面

| |
|------------------------------------|
| 编号： |
| <h1>公路护栏碰撞事故仿真再现分析 模型验证报告</h1> |
| 评价单位： _____（盖章）_____ |
| 日 期： _____ |

图 C. 3. 1 模型验证报告封面格式示例

C.3.2 验证报告扉页

注意事项

- 1.报告每页都应盖有评价单位检测专用章的骑缝章，否则视为无效；
- 2.报告无编制人、审核人、批准人签字无效；
- 3.报告涂改无效，复印件未加盖评价单位检测专用章无效。

图 C. 3. 2 模型验证报告扉页格式示例

C.3.3 模型验证报告应包含车辆模型、测试结果、验证结论及相关附件等内容，并应符合下列规定：

1 车辆模型应包括：

软件类型及版本，车辆总质量、整备质量、总质量重心位置（客车）、配载重心位置（货车）、车辆尺寸（前轮轮距、空载状态车轮半径、最远轴间轴距、车辆总长、车辆总宽等）、整车模型图片等。

2 测试结果应包括：

零部件测试的悬架运动过程图、载荷传递至车轮的载荷-位移曲线、车轮轮心位移随时间变化的曲线；整车测试的加速度随时间变化曲线、动能随时间变化曲线、总能量随时间变化曲线；仿真模拟与实车足尺碰撞试验对比的碰撞后公路护栏变形图、车辆模型运行轨迹图，以及仿真模拟与实车足尺碰撞试验结果指标一致性判定结果，见表 C. 3. 3-1。

3 验证结论应包括：

按照表 C. 3. 3-2 判定准则给出碰撞模型验证是否有效的结论；根据仿真验证结果，给出模型是否准确、可靠的结论。

4 作为附件的实车足尺碰撞试验检测报告应获得试验委托单位授权，且试验数据应当完整。

表 C.3.3-1 仿真模拟与实车足尺碰撞试验结果指标一致性判定

| 序号 | 判定项目 | 判定标准 | 判定结果（是/否） |
|----|-----------------------|--|-----------|
| 1 | 阻挡功能 | 是否与试验结果一致 | 是/否 |
| 2 | 导向功能 | 是否与试验结果一致 | 是/否 |
| 3 | 车轮脱落 | 是否与试验结果一致 | 是/否 |
| 4 | 护栏纵向连接构件失效 | 是否与试验结果一致 | 是/否 |
| 5 | 护栏最大横向动态位移外延值（ W ） | 是否在允许误差范围 $\pm (0.05 \text{ m} + 0.1 \times (\text{试验值}))$ | 是/否 |
| 6 | 大型车辆最大动态外倾值（ VI ） | 是否在允许误差范围 $\pm (0.05 \text{ m} + 0.1 \times (\text{试验值}))$ | 是/否 |
| 7 | 小型客车乘员碰撞速度（ OIV ） | 是否在允许误差范围 $\pm (0.83 \text{ m/s} + 0.1 \times (\text{试验值}))$ | 是/否 |
| | | 时差 $<0.05 \text{ s}$ | 是/否 |
| 8 | 小型客车乘员碰撞后加速度（ ORC ） | 是否在允许误差范围 $\pm (10 \text{ m/s}^2 + 0.1 \times (\text{试验值}))$ | 是/否 |

注：若仿真模拟与实车足尺碰撞试验结果一致，则勾选“是”。

表 C.3.3-2 碰撞模型验证的有效性判定准则

| 判定准则 | 比较结果：是/否 |
|---------------------|----------|
| 验证计算结果物理形态变化合理 | 是/否 |
| 总能量的变化不超过 10% | 是/否 |
| 沙漏能量不超过系统初始总能量的 10% | 是/否 |

| | |
|---------------|-----|
| 增加质量小于总质量的 5% | 是/否 |
| 无节点飞出 | 是/否 |
| 无负体积单元 | 是/否 |

注：“节点飞出”是指因模型异常导致节点速度无穷大而呈现飞出的现象。

附录 D：公路护栏碰撞事故仿真再现分析报告格式

D.1 报告格式说明

D.1.1 分析报告宜包括下列内容：

- 1 封面；
- 2 资信证书；
- 3 著录页；
- 4 目录；
- 5 正文。

D.1.2 分析报告应采用 A4 幅面，左侧装订。

D.1.3 分析报告封面宜应采用浅灰色。

D.1.4 分析报告封面宜包括下列内容：

- 1 分析项目名称；
- 2 标题，统一为“分析报告”；
- 3 承担单位名称；
- 4 分析报告完成日期。

封面式样如图 D.1.4 所示。

D.1.5 著录页宜包括下列内容：

- 1 分析项目名称；
- 2 标题，统一为“分析报告”；
- 3 分析单位负责人、技术负责人及主要参加人员姓名；
- 4 分析单位名称及公章；
- 5 分析单位资信证书名称及编号；
- 6 分析报告完成日期。

著录页式样如图 D.1.5 所示。

公路护栏碰撞事故仿真再现分析报告

单位名称

报告完成日期

D.1.4 封面式样

公路护栏碰撞事故仿真再现分析报告

单位负责人：

技术负责人：

主要参加人员：

单位名称及用章

单位资信证书名称及编号

报告完成日期

D.2 分析报告正文格式

D.2.1 分析报告正文应由下列部分组成：

- 1 事故概况。
- 2 数据采集。
- 3 模型验证。
- 4 仿真分析。
- 5 结论与建议。

本规程用词用语说明

1 本规程执行严格程度的用词，采用下列写法：

- 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 引用标准的用语采用下列写法：

1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”。

2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》（×××）的有关规定”。

3) 当引用本规程中的其他规定时，表述为“应符合本规程第×章的有关规定”、“应符合本规程第×.×节的有关规定”、“应符合本规程第×.×.×条的有关规定”或“应按本规程第×.×.×条的有关规定执行”。