

团 体 标 准

T/CCTAS 76—2023

轨道减振效果实验室评价方法

Laboratory evaluation method of track vibration reduction effect

2023-12-07 发布

2023-12-31 实施

中国交通运输协会 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 试验方法.....2

 4.1 分类.....2

 4.2 落轴冲击激振法.....2

 4.3 荷载谱激振法.....4

5 试验条件.....5

 5.1 场地.....5

 5.2 簧下质量块.....5

 5.3 车辆自重预载.....5

 5.4 钢轨.....5

 5.5 扣件.....6

 5.6 轨枕.....6

 5.7 道床.....6

 5.8 弹性元件高频动刚度测试装置.....6

 5.9 落轴冲击激振装置.....6

 5.10 荷载谱激振设备.....6

6 评价方法.....6

 6.1 分类.....6

 6.2 分频插入损失评价法.....6

 6.3 Z 振级插入损失评价法.....7

7 试验报告.....7

附录 A（规范性） 弹性元件高频动刚度测试方法.....8

 A.1 设备及工装.....8

 A.2 试验样品.....8

 A.3 试验准备.....8

 A.4 加载步骤.....10

附录 B（资料性） 落轴冲击激振装置.....13

附录 C（资料性） 荷载谱激振装置.....14

附录 D（规范性） 几何道砟板.....15

 D.1 几何道砟板的设计.....15

 D.2 几何道砟板的材料.....15

附录 E（规范性） 试验报告.....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。

本文件由中国交通运输协会新技术促进分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中国铁路设计集团有限公司、西南交通大学、北京交通大学、北京市科学技术研究院城市安全与环境科学研究所、上海材料研究所有限公司、中铁工程设计咨询集团有限公司、中铁第一勘察设计院集团有限公司、中铁上海设计院集团有限公司、中铁二院工程集团有限责任公司、中国铁道科学研究院集团有限公司、北京轨道交通建设管理有限公司、北京市轨道交通设计研究院有限公司、北交振安轨道科技（北京）有限公司、深圳大学、华东交通大学。

本文件主要起草人：杨宝峰、韦凯、姜博龙、马蒙、张厚贵、王少林、陈江雪、齐春雨、刘艳、孙井林、刘杰、宫寅、杨吉忠、谭大正、程保青、徐彩彩、韩朝霞、刘林芽、刘冀钊、陆云、胡文林、何宾、谭新宇、宋哲男、刘志雄、王平、吴琮、吴宗臻、李明航、石熠、崔日新、田琪、陈嘉梁、周锐、刘全民、宋立忠。

轨道减振效果实验室评价方法

1 范围

本文件规定了轨道减振效果实验室的试验方法、试验条件、评价方法等。
本文件适用于城市轨道交通工程。普速铁路、高速铁路可参照使用。

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 3280 不锈钢冷轧钢板和钢带
GB/T 9258.1 涂附模具用磨料 粒度分析 第1部分：粒度组成
GB 10071-1988 城市区域环境振动测量方法
GB/T 13441.1 机械振动与冲击人体暴露于全身振动的评价 第1部分：一般要求
CJJ/T 191-2012 浮置板轨道技术规范
HJ 453-2018 环境影响评价技术导则 城市轨道交通
TG/GW 102 普速铁路线路修理规则
ISO 3095 声学-铁路应用-车辆外部发射噪声测量 (Acoustics—Railway applications—Measurement of noise emitted by railbound vehicles)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 轨道弹性元件 track elastic element

轨道系统内可以降低振动的具有弹性的部件。

3.2 高频动刚度 high-frequency dynamic stiffness

在一定的预压荷载下，以设定的测试频率（10 Hz~160 Hz）引起周期性单位变形的作用力。

3.3 高频动模量 high-frequency dynamic bedding modulus

在一定的预压荷载下，以设定的测试频率（10 Hz~160 Hz）引起周期性单位变形的面压力。

3.4 损耗因子 loss factor

粘弹性材料在周期交变力场或位移场作用下应变与应力相位差角的正切，也等于该材料的损耗模量与储能模量之比。

3.5 粘性阻尼系数 viscous damping coefficient

粘性阻尼是与运动速度成正比且方向相反的阻力，粘性阻尼系数是反映粘性阻尼大小的一个参量。

3.6 簧下质量 unsprung mass

在车辆一系悬挂下方，支承于钢轨上的车辆每轴的车轮、轮轴、轴箱、制动盘、齿轮箱和轴挂电机等质量的总和。

[来源：HJ 453-2018，3.14，有修改]

3.7 振动加速度级 vibration acceleration level

加速度与基准加速度之比的以10为底的对数乘以20，记为VAL。单位为分贝，dB。

$$VAL = 20 \lg \frac{a}{a_0} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

a ——振动加速度有效值，单位为米每二次方秒（ m/s^2 ）；

a_0 ——基准加速度， $a_0=10^{-6}$ ，单位为米每二次方秒（ m/s^2 ）。

[来源：GB 10071-1988，2.1]

3.8 分频振级插入损失 frequency-depended insertion loss of vibration level

在相同边界条件下，采用减振轨道前后，道床旁固定参考点处1/3倍频程每个频带的振动加速度级之差。

3.9 Z 振级插入损失 Z-vibration level insertion loss

在相同边界条件下，采用减振轨道前后，道床旁固定参考点处Z振级之差。

3.10 空车载轨道固有频率 natural frequency of track under empty-load vehicle

弹性元件以上轨道自重和空车荷载共同作用下的轨道固有频率。

3.11 额定车载轨道固有频率 natural frequency of track under full-load vehicle

弹性元件以上轨道自重和车辆额定荷载共同作用下的轨道固有频率。

3.12 无车载轨道固有频率 natural frequency of track without vehicle

弹性元件以上轨道自重荷载作用下的轨道固有频率。

4 试验方法

4.1 分类

分为落轴冲击激振法和荷载谱激振法两类。

4.2 落轴冲击激振法

4.2.1 落轴高度

落轴高度 h 按公式（2）计算。

$$h = (v_0^2 / 2g) \times n \times 1000 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

h ——落轴高度，即车轮踏面至钢轨顶面的最小高度，单位为毫米（mm）；

- v_0 ——车轮的垂向振动速度最大值，单位为米每秒（m/s）；
- g ——重力加速度，单位为米每二次方秒（m/s²）；
- n ——实验室轨道长度范围内列车可同时作用的车轮数量。

其中，车轮垂向振动速度最大值 v_0 根据现场实测获得；如无现场实测数据，可通过车辆-轨道耦合动力学模型仿真计算获得。仿真计算参数包括轨道不平顺、轨道弹性元件高频动刚度（含粘性阻尼系数）、车辆参数，按如下规定选取。

- a) 轨道不平顺根据现场实测确定；如无现场实测数据，则计算输入的轨道不平顺中应包含长波不平顺谱（波长 1.5 m~42 m）和短波不平顺谱（波长 0.01 m~1.5 m）。轨道长波不平顺谱的轨道质量指数（TQI）宜满足 TG/GW 102 中不同速度下的 TQI 管理目标值，短波不平顺谱应采用 ISO 3095 短波不平顺谱。
- b) 轨道层间高聚物弹性元件的数值模拟应采用 Kelvin-Voigt 模型，扣件、轨枕、道床高聚物弹性元件动刚度（含粘性阻尼系数）应分别选取空车载轨道固有频率或额定车载轨道固有频率的高频动刚度（含粘性阻尼系数），比如常用的普通扣件弹性元件、减振扣件弹性元件、减振垫道床弹性元件、梯形轨枕弹性元件一般分别取 80 Hz、50 Hz、30 Hz、20 Hz 处的高频动刚度（含粘性阻尼系数），具体测试方法按照附录 A 执行。
- c) 车辆参数主要包括空车载和额定车载两种工况下的轴荷载、运行速度、簧下质量等。

4.2.2 试验流程

试验流程如图 1 所示。

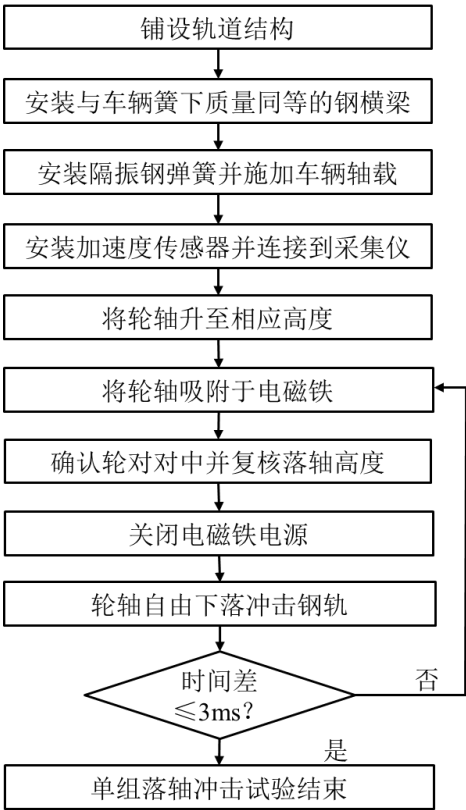


图 1 落轴冲击激振试验流程

4.2.3 试验准备

a) 铺设轨道结构：在试验场地上铺设有砟或无砟轨道，如果单独测试无砟轨道减振扣件的插入损失，轨道板与基础需固结。

b) 安装与车辆簧下质量同等的钢横梁：在钢轨上沿轨道纵向平行布置两个与车辆簧下质量同等的钢横梁，其纵向间距为车辆固定轴距。

c) 安装隔振钢弹簧并施加车辆轴载：将隔振钢弹簧放置于钢横梁中间，并通过静态加载设备在隔振钢弹簧上施加空车载或额定车载。

d) 安装加速度传感器并连接到采集仪：将一个加速度传感器布置在轨道总长中心断面固定参考点处(距道床边缘外基底 0.5 m)，将两个加速度传感器分别布置在左右钢轨总长中心断面激振点处(轨底)，最后将三个加速度传感器连接到数据采集仪进行加速度数据的采集。

落轴冲击激振装置见附录 B。

4.2.4 试验过程

a) 轮轴放置在轨道中部钢轨上，利用升降装置将轮轴升至相应高度，接通升降装置中电磁铁电源，并将轮轴吸附于电磁铁。

b) 待轮轴静止后，确认轮轴对中并复核落轴高度。

c) 关闭电磁铁电源，使轮轴自由下落，冲击钢轨。通过激振点处时域加速度，判断两轮接触钢轨的时间差是否控制在 3 ms 以内。如果时间差超过 3 ms，此次落轴冲击激振试验无效，需要重新利用升降装置将轮轴升至相应高度，重复冲击钢轨。

d) 采用减振轨道前后，在空车载和额定车载两种荷载条件下分别进行 10 组有效落轴冲击试验。

4.3 荷载谱激振法

4.3.1 幅值谱

钢轨垂向振动加速度的幅值谱 $X(k)$ 按公式 (3) 计算。

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \exp(-j2\pi kn/N) \quad (k = 0, 1, 2 \dots N-1) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$X(k)$ ——钢轨垂向振动加速度的幅值谱，单位为米每二次方秒 (m/s^2)；

$x(n)$ ——钢轨垂向振动加速度的时间序列，单位为米每二次方秒 (m/s^2)；

N ——谱线数。

4.3.2 荷载谱

荷载谱 $P(k)$ 按公式 (4) 计算。

$$P(k) = \frac{1}{N} |X(k)|^2 \quad (k = 0, 1, 2 \dots N-1) \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$P(k)$ ——荷载谱，单位为米每二次方秒的平方每赫兹 ($\text{m}^2/\text{s}^4/\text{Hz}$)；

$X(k)$ ——钢轨垂向振动加速度的幅值谱，单位为米每二次方秒 (m/s^2)；

N ——谱线数。

其中，钢轨垂向振动加速度的时间序列 x 根据现场实测获得；如无现场实测数据，通过车辆-轨道耦合动力学模型仿真计算获得。仿真计算参数包括轨道不平顺、轨道弹性元件高频动刚度(含粘性阻尼

系数)、车辆参数，其选取原则见 4.2.1。

4.3.3 试验流程

试验流程如图 2 所示。



图 2 荷载谱激振试验流程

4.3.4 试验准备

- a) 铺设轨道结构见 4.2.3 a)。
 - b) 安装加速度传感器并连接到采集仪见 4.2.3 d)。
- 荷载谱激振装置见附录 C。

4.3.5 试验过程

- a) 将激振设备移动至轨道中部钢轨上，锁定激振设备位置。
- b) 接通激振设备电源，将荷载谱输入激振设备，进行激振试验。
- c) 采用减振轨道前后，在空车载和额定车载两种荷载条件下分别进行 10 组有效荷载谱激振试验。

5 试验条件

5.1 场地

试验场地表面平整，地基强度不低于 1200 MPa，轨道周围无反射构筑物。
实验室环境温度 20 ℃~30 ℃。

5.2 簧下质量块

通过加工与车辆簧下质量同等的钢横梁来模拟减振轨道上的车辆参振质量，钢横梁间距为车辆固定轴距。

5.3 车辆自重预载

在落轴冲击激振法中，必须考虑车辆自重引起的预载影响。因此在钢横梁中间安置隔振钢弹簧，隔振钢弹簧刚度不大于车辆一系弹簧刚度的两倍，并在隔振钢弹簧上施加空车载或额定车载。

5.4 钢轨

钢轨试验长度大于等于 4.8 m。

5.5 扣件

按照设计布置扣件。

5.6 轨枕

按照设计要求，试验长度内铺设同一类型的混凝土轨枕，混凝土强度等级不应低于 C50，混凝土 28d 弹性模量不应低于 3.6×10^4 MPa。

5.7 道床

5.7.1 无砟道床

混凝土强度等级不低于 C40。如果无砟道床为纵连结构形式，则试验长度大于等于 4.8 m，如果无砟轨道为单元结构形式，则试验长度为单元板实际尺寸。

5.7.2 有砟道床

有砟道床按设计规定纵向长度大于等于 4.8 m。

5.8 弹性元件高频动刚度测试装置

5.8.1 高频动刚度测试设备

最大荷载大于等于 80 kN，最高输出频率不低于 200 Hz。位移/力传感器的采样频率不低于 5 kHz，位移精度控制在 $2 \mu\text{m}$ 以下，荷载误差不大于 1%。

5.8.2 几何道砟板

用于加载有砟轨道轨枕弹性元件或有砟道床弹性元件，详见附录 D。

5.9 落轴冲击激振装置

5.9.1 静态加载装置

静态加载装置可施加不低于 200 kN 的荷载，加载行程不小于 100 mm。

5.9.2 落轴冲击质量

落轴冲击质量不应超过设计线路车辆簧下质量 $\pm 5\%$ 。

5.10 荷载谱激振设备

激振设备宜为 4 点支撑，支撑点在钢轨上，支撑点纵向距离应与轴距相同。

6 评价方法

6.1 分类

分为分频插入损失评价法和 Z 振级插入损失评价法。

6.2 分频插入损失评价法

分别在空车载和额定车载条件下，计算采用减振轨道前后固定参考点 1/3 倍频程的分频振级平均值，并利用公式（5）计算空车载和额定车载条件下的分频振级插入损失值，取较小值作为减振轨道的分频振级插入损失，用于评价 4 Hz~200 Hz 轨道分频振级减振效果。

$$\Delta VL_i = VAL_q(i) - VAL_h(i) \dots\dots\dots (5)$$

式中：
 ΔVL_i ——1/3倍频程第*i*个中心频率的加速度振级插入损失（分频振级插入损失），单位为分贝（dB）；
 $VAL_q(i)$ ——在没有采用减振轨道工况下，固定参考点处10组试验铅垂向振动加速度级在中心频率*i*处的平均值，单位为分贝（dB）；
 $VAL_h(i)$ ——在采用减振轨道工况下，固定参考点处10组试验铅垂向振动加速度级在中心频率*i*处的平均值，单位为分贝（dB）。

6.3 Z 振级插入损失评价法

分别在空车载和额定车载条件下，计算采用减振轨道前后固定参考点的 Z 振级平均值，并利用公式(6)计算空车载和额定车载条件下的 Z 振级插入损失值，取较小值作为减振轨道的 Z 振级插入损失，用于评价 1 Hz~80 Hz 轨道 Z 振级减振效果。

$$\begin{aligned} \Delta VL_Z &= VL_{Zq} - VL_{Zh} \\ &= 10\lg(\sum 10^{\frac{VAL_q(i)+a_i}{10}}) - 10\lg(\sum 10^{\frac{VAL_h(i)+a_i}{10}}) \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

式中：
 ΔVL_Z ——Z振级插入损失，单位为分贝（dB）；
 VL_{Zq} ——在没有采用减振轨道的工况下，固定参考点处10组试验的Z振级平均值，单位为分贝(dB)；
 VL_{Zh} ——在采用减振轨道的工况下，固定参考点处10组试验的Z振级平均值，单位为分贝（dB）；
 a_i ——第*i*个中心频率的计权因子，计权因子可根据测试要求选取GB 10071或GB/T 13441.1中规定的计权因子。

[来源：CJJ/T 191-2012，A1.4，有修改]

7 试验报告

- 试验报告应包括以下内容：
- a) 本文件的编号、标题和发布日期；
 - b) 进行试验的实验室的名称和地址；
 - c) 试验日期；
 - d) 使用的试验方法；
 - e) 试验轨道类型、尺寸；
 - f) 传感器布置位置和型号；
 - g) 轨道各部件的来源；
 - h) 试验温度；
 - i) 地基强度；
 - j) 无车载轨道固有频率、空车载轨道固有频率和额定车载轨道固有频率；
 - k) 试验结果；
 - l) 试验人员。
- 试验报告格式可参见附录E

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/508141075005006063>