

ICS 91.080.10

P 26

# DB1331

## 雄安新区地方标准

DB1331/T 110—2025

### 雄安新区建设工程振动舒适度标准

Standard for vibration comfort of construction project

in Xiong'an New Area

2025-03-14 发布

2025-05-14 实施

河北雄安新区建设和交通管理局 联合发布  
河北雄安新区综合执法局

雄安新区地方标准

雄安新区建设工程振动舒适度标准

Standard for vibration comfort of construction project  
in Xiong'an New Area

DB1331/T 110—2025

批准部门：河北雄安新区综合执法局  
施行日期：2025 年 05 月 14 日

2025 雄安

# 前 言

根据原河北雄安新区综合执法局《关于下达〈机关事务数字化工作规范〉等8项雄安新区地方标准制定项目计划的通知》的要求，标准（规程、导则）编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，结合雄安新区实际工程情况，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准的主要特点是：1. 全面性：本标准全面考虑了振动及二次辐射噪声两个方面，适用于建筑物、轨道交通、高速道路、铁路等既有工程与新建工程的振动舒适度问题，包含了轨道交通、高速公路、铁路等常见的振动源类型。2. 系统性：本标准系统地规定了振动与二次辐射噪声的测试方法与评估方法、评价指标与限值要求、减振与降噪措施，确保振动舒适度的要求。3. 先进性：本标准先进地做出减小振动限值、振震双控支座及综合减振降噪措施等指引性规定。

本标准共分8章，主要内容包括：总则、术语和符号、基本舒适度规定、动力激励、振动测试方法、二次辐射噪声测量方法、振动舒适度与二次辐射噪声评价、振动与噪声控制等。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由河北雄安新区建设和交通管理局负责管理，同济大学负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议，请寄送同济大学土木工程学院结构防灾减灾工程系（地址：上海市杨浦区四平路1239号，邮编：200092，邮箱：ddms@tongji.edu.cn）。

主 编 单 位： 同济大学

参 编 单 位： 中交一公局集团有限公司

中电建市政集团有限公司

中铁十六局集团有限公司

中电建市政集团有限公司

中铁一局集团有限公司

中铁城建集团有限公司

中铁建工集团有限公司

中铁四局集团有限公司

中冶建工集团有限公司

河北建工集团有限公司

中国二十二冶集团有限公司

主要起草人员：周 颖 施卫星 王梁坤 蒋欢军 李培振 杨申武  
张辰田 王 岚 经 杰 房轻舟 左 健 刘 章  
宋奕辰 卢泉岩 周海成 刘庆斌 徐兴华 韩彦波  
杨 飞 黄松竹 郑 帅 方 洁 杨 飞（中冶建工）  
李 琪 张晓杰 刘广浩 陈泽钊 段双飞 齐锁善  
王利宇

主要审查人员：吕西林 周建龙 陈彬磊 郝贵强 金云飞 王振海  
王海深 杨 璐 李文峰 王 载 黄丽红 吕 选  
周长东

# 目 次

<b>1 总 则 .....</b>	<b>1</b>
<b>2 术语和符号 .....</b>	<b>2</b>
2.1 术 语 .....	2
2.2 符 号 .....	3
<b>3 基本舒适度规定 .....</b>	<b>5</b>
3.1 一般规定 .....	5
3.2 振动测试要求 .....	5
3.3 振动舒适度预测 .....	6
<b>4 荷载与作用 .....</b>	<b>7</b>
4.1 一般规定 .....	7
4.2 车辆振动荷载 .....	7
<b>5 振动测试方法 .....</b>	<b>8</b>
5.1 一般规定 .....	8
5.2 测试仪器 .....	8
5.3 测试要求 .....	9
5.4 校准方法 .....	9
5.5 数据处理 .....	10
5.6 测试记录 .....	10
<b>6 二次辐射噪声测量方法 .....</b>	<b>11</b>
6.1 一般规定 .....	11
6.2 测量仪器 .....	11
6.3 测量要求 .....	11
6.4 测量方法 .....	12
6.5 数据处理 .....	13
<b>7 振动舒适度与二次辐射噪声评价 .....</b>	<b>14</b>
7.1 一般规定 .....	14
7.2 振动舒适度计算 .....	14

7.3 振动舒适度评价.....	15
7.4 结构二次辐射噪声计算.....	16
7.5 结构二次辐射噪声评价.....	16
<b>8 振动与噪声控制 .....</b>	<b>17</b>
8.1 一般规定 .....	17
8.2 振动控制 .....	17
8.3 二次辐射噪声控制.....	18
<b>附录 A .....</b>	<b>19</b>
<b>用 词 说 明 .....</b>	<b>21</b>
<b>引用标准名录 .....</b>	<b>22</b>
<b>条文说明 .....</b>	<b>23</b>

# Contents

<b>1</b>	<b>General provisions .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Terms and symbols .....</b>	<b>2</b>
2.1	Terms .....	2
2.2	Symbols .....	3
<b>3</b>	<b>Basic comfort requirements .....</b>	<b>5</b>
3.1	General requirments .....	5
3.2	Vibration test requirements .....	5
3.3	Prediction of vibration comfort.....	6
<b>4</b>	<b>Load and action.....</b>	<b>7</b>
4.1	General requirments.....	7
4.2	Vehicle vibration load .....	7
<b>5</b>	<b>Vibration test method .....</b>	<b>8</b>
5.1	General requirments .....	8
5.2	Testing instrument.....	8
5.3	Test requirement.....	9
5.4	Calibration method.....	9
5.5	Data processing .....	10
5.6	Test record.....	10
<b>6</b>	<b>Secondary noise measurement methods .....</b>	<b>11</b>
6.1	General requirments .....	11
6.2	Measuring instrument .....	11
6.3	Measurement requirement .....	11
6.4	Measurement method.....	12
6.5	Data processing .....	13
<b>7</b>	<b>Vibration comfort and secondary noise evaluation .....</b>	<b>14</b>
7.1	General requirments .....	14
7.2	Structural vibration calculation.....	14

7.3	Structural vibration evaluation.....	15
7.4	Structural secondary noise calculation.....	16
7.5	Structural secondary noise evaluation.....	16
<b>8</b>	<b>Vibration and noise control.....</b>	<b>17</b>
8.1	General requirments.....	17
8.2	Vibration control .....	17
8.3	Secondary noise control .....	18
<b>Appendix A .....</b>		<b>19</b>
<b>Explanation of wording .....</b>		<b>21</b>
<b>List of quoted standards.....</b>		<b>22</b>
<b>Explanation of Provisions.....</b>		<b>23</b>

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范雄安新区建设工程的车致振动与二次辐射噪声的测试方法与评估方法、评价指标与限值要求、减振与降噪措施，满足振动舒适度的要求，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于建筑物等既有工程与新建工程的建设工程振动舒适度规定，引起建设工程振动的振动源包括轨道交通、高速公路、铁路等。

**1.0.3** 建设工程振动舒适度除应执行本标准外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 建筑振动 building vibration

建筑由轨道交通、高速公路、铁路等振动源引起的振动。

#### 2.1.2 振动舒适度 vibration comfort

结构在受到外界动力激励作用下，振动对人体舒适性产生的影响程度。

#### 2.1.3 人体舒适性 human comfort

人体对所暴露的振动环境，主观感觉良好，在生理或心理上没有感到困扰和不安的程度。

#### 2.1.4 容许振动值 allowable vibration value

受振对象的最大振动限制值。

#### 2.1.5 容许振动加速度 allowable vibration acceleration value

受振对象的最大振动加速度限制值。

#### 2.1.6 峰值 peak value

给定时间区间内振动的最大值。

#### 2.1.7 均方根值 root-mean-square value (RMS value)

对一组数据的平方和进行平均后，取其平方根值。

#### 2.1.8 水平振动 horizontal vibration

与地面平行的振动。

#### 2.1.9 竖向振动 vertical vibration

与地面垂直的振动。

#### 2.1.10 暴露时间 exposure time

暴露于振动作用下的时间。

#### 2.1.11 稳态振动 steady-state vibration

观测时间内振级变化规律平稳的环境振动。

#### 2.1.12 冲击振动 shock vibration

具有突发性振级变化的环境振动。

#### 2.1.13 随机振动 random vibration

未来任何时刻不能预先确定振级的环境振动。

#### 2.1.14 舒适度评价 comfortability evaluation

由于轨道交通、高速公路、铁路等运行振动的影响，对处于此环境下人们的生理与心理方面所感受到的满意程度进行的综合评价。

#### 2.1.15 噪声敏感建筑物 noise sensitive buildings

指医院、学校、机关、科研单位、住宅等需要保持安静的建筑物。

#### 2.1.16 二次辐射噪声 secondary noise

被激励产生振动的建筑构件，其固体表面振动向周围空气介质辐射的声压波，亦称固体噪声，二次辐射噪声的评价指标为等效 A 声压级。

## 2.2 符 号

#### 2.2.1 舒适度评价：

$T$  ——昼间或夜间时间长度；

$VDV_z$  ——竖向四次方振动剂量值；

$VL_z$  ——竖向  $Z$  振级；

$VL_{zeq}$  —— $Z$  振级等效值；

$VL_{zmax}$  —— $Z$  振级最大值；

$W_i$  ——第  $i$  个 1/3 频段带的计权因数；

$a_i$  ——第  $i$  个 1/3 频段带的均方根加速度；

$a_w$  ——计权均方根加速度；

$a_{zw}(t)$  ——按基本频率计权  $W_k$  进行计权的瞬时竖向加速度；

$a_0$  ——基准加速度。

$f_1$  ——第一阶竖向荷载频率。

$f_{L1}$  ——第一阶横向荷载频率。

### 2.2.2 二次辐射噪声评价：

$L_A$ ——用 A 计权网络测得的声压级；

$L_d$ ——在昼间时段内测得的等效连续 A 声级称为昼间等效声级；

$L_{eq}$ ——规定测量时间内 A 声级的能量平均值；

$L_N$ ——用于评价测量时间段内噪声强度时间统计分布特征的指标，指占测量时间段 N% 的累积时间内 A 声级的最小值；

$L_n$ ——在夜间时段内测得的等效连续 A 声级称为夜间等效声级。

### 3 基本舒适度规定

#### 3.1 一般规定

**3.1.1** 本标准振动的评价适用频率范围为 1 Hz~200 Hz，二次辐射噪声的评价适用频率范围为 16 Hz~200 Hz。

**3.1.2** 建筑物、振动源及场地土环境等宜进行考虑振动舒适度的一体化设计，进行整体建模分析。

**3.1.3** 建筑物应根据功能进行区域分类，以规定振动舒适度与二次辐射噪声的限值要求。与城市区域环境噪声标准或振动标准适用的区域分类相同，将建筑区域分为下列五类：

1 0 类是指康复疗养区等特别需要安静的区域；

2 1 类是指以居民住宅、医疗卫生、文化教育、科研设计、行政办公为主要功能，需要保持安静的区域；

3 2 类是指以商业金融、集市贸易为主要功能，或者居住、商业、工业混杂，需要维护住宅安静的区域；

4 3 类是指以工业生产、仓储物流为主要功能，需要防止工业噪声对周围环境产生严重影响的区域。

5 4 类是指交通干线两侧一定距离之内，需要防止交通噪声对周围环境产生严重影响的区域。

**3.1.4** 本标准中昼间和夜间的时间划分应符合当地人民政府的有关规定，当无规定时，昼间宜取 6 时至 22 时，夜间宜取 22 时至次日 6 时。

#### 3.2 振动测试要求

**3.2.1** 振动测试仪器的性能技术指标应符合国家现行有关标准的规定。

**3.2.2** 振动测试系统应根据测试对象的振动类型和振动特性的要求选取，振动测试系统应符合国家现行有关标准的规定。

**3.2.3** 振动测试时，应根据测试对象的容许振动值采用的物理量及振动频率范围选择相应的传感器。在传感器的频率范围、振幅量程和灵敏度范围内时，宜采用加速度传感器。

**3.2.4** 振动测试点应设在振动控制点上，振动传感器的测试方向宜与测试对象所需测试

的振动方向一致，测试过程中不得产生倾斜和附加振动。

**3.2.5** 除本标准另有规定外，振动控制点应取基础或支承结构顶面振动最大点，振动控制方向宜包括竖向和水平向两个主轴方向。

**3.2.6** 振动测试时，宜选择多种具有代表性的工况进行测试。

**3.2.7** 周期振动、随机振动、瞬态振动等不同类型振动产生的信号，宜采用相应的数据分析和评估方法。

**3.2.8** 振动测试时，振动信号的采样频率应满足奈奎斯特采样定理的要求，采样频率与截止频率的比值宜取 2.5~6.0；振动数据采集时，在信号进行模拟转换前宜经过抗混滤波器处理。

**3.2.9** 冲击信号的幅值分析宜采用时域分析法，测试最大值分析次数不得少于 3 次。

**3.2.10** 稳态周期振动宜采用时域分析，并将测试信号中所有幅值在测试区间内进行平均；测试结果亦可采用幅值谱分析的数据。每个样本数据不宜少于 1024 个，并宜进行加窗函数处理，频域上的总体平均次数不宜少于 20 次。

**3.2.11** 随机信号分析时，应对随机信号的平稳性进行评估；对于平稳随机过程宜采用总体平滑的方法提高测试精度；当采用快速傅里叶变换分析或频谱分析时，每个样本数据不宜少于 1024 个，并应进行加窗函数处理，频域上的总体平均次数不宜少于 32 次。

**3.2.12** 每个测点记录有效振动数据的次数不得少于 3 次。当 3 次测试结果与算术平均值的相对误差在  $\pm 5\%$  以内时，测试结果可取算术平均值。

**3.2.13** 车辆引起的建筑物基底振动的现场测试，应在交通较为繁忙时段及车速较高时段分别进行。每个测点连续测量时间不宜少于 1000 s。铁路交通或城市轨道交通引起的建筑物基底振动的现场测量，应在列车通过时进行，每个测点连续测量不宜少于 20 趟列车。

### **3.3 振动舒适度预测**

**3.3.1** 在建设工程初期选址阶段宜根据车辆的线路规划等进行振动舒适度的预测与评估，并采取相应的减振降噪措施。

**3.3.2** 振动舒适度预测时宜进行考虑车辆类型、车道类型、车道结构、与建筑物间的振源距离、地基土性质、建筑结构类型、基础类型与埋深等的整体分析。

## 4 荷载与作用

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 振动测试与振动分析时应根据建筑结构和振动源的投入使用的实际情况，针对不同阶段和不同工况确定荷载取值及荷载组合。

### 4.2 车辆振动荷载

**4.2.1** 车致振动引起的建筑物基底振动，应选择与建筑物周围振源状况、主要振源距离、建筑体积、类型、基础深度、基础形式、地基土性质类似的既有建筑物实测确定。

**4.2.2** 车辆振动荷载宜采用现场类比实测与有限元模型动力计算相结合的方法确定。

**4.2.3** 有限元计算方法应符合下列规定：

1 有限元计算模型应根据结构实际受力情况建立并进行恰当简化，计算结果应符合实际情况；

2 有限元分析应采用时程分析法，荷载函数时长不宜小于 15 s。积分时间步长，对于竖向振动不宜大于  $1/72 f_1$ ，横向振动不宜大于  $1/72 f_{L1}$ 。

**4.2.4** 振动源沿线结构的车辆运行振动作用，宜选用实测振动时程曲线输入，振动输入宜进行现场实测；当线路尚未投入使用时，可按建筑场地类别、轨道类型和车速等实际情况模拟车辆振动加速度时程曲线输入，输入位置应为结构的柱底。对不同类型的振动源沿线结构加速度输入最大值，宜考虑柱轨距等因素进行调幅，幅值可按表 4.2.4 取值。当取 3 组加速度时程曲线输入时，计算结果宜取时程法的包络值；当取 7 组及以上加速度时程曲线时，计算结果可取时程法的算术平均值。

表 4.2.4 时程分析车辆运行振动加速度时程最大值

轨道基础类型	车速 (km/h)	柱轨距 $l^*$ (m)	加速度时程最大值 ( $\text{m/s}^2$ )
整体道床	<30	$l \leq 2$	1.0
		$2 < l \leq 5$	0.8
		$5 < l \leq 10$	0.6

注：\*柱轨距指轨道至结构柱的垂直距离。

## 5 振动测试方法

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 城市轨道交通、高速公路、铁路等振动源的沿线结构的振动测试应符合现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355 和《城市区域环境振动测量方法》GB 10071 的有关规定。

**5.1.2** 振动测量仪器和数据处理方法应满足 1 Hz~200 Hz 频率范围的振动测量，并应符合现行国家标准《城市区域环境振动测量方法》GB/T 10071 和《电声学 倍频程和分数倍频程滤波器》GB/T 3241 的有关规定。

**5.1.3** 测量仪器应经国家认定的计量部门进行核准，并应在有效期内使用。

**5.1.4** 测量环境的气候条件应符合现行国家标准《城市区域环境振动测量方法》GB/T 10071 对环境温度、湿度和风速的规定。

**5.1.5** 测点位置及传感器安装应符合下列规定：

1 在敏感点或敏感区布设测点时，应设在建筑物一楼室内；当室内布设条件不允许时，可设在建筑物的基础距外墙 0.5 m 范围内的振动敏感处。

2 在室内测量时，至少应布置 3 个测点；当需要在建筑物室外测量时，在建筑物靠近轨道一侧的基础上至少应布设 1 个测点。

3 测量竖向振动的拾振器应牢固安装在平坦、坚实的地面上，拾振器的灵敏度主轴方向应为竖向。

**5.1.6** 每个测点在同时进行测量的持续时间内应有不少于上下行各 5 列车按该区段设计的最高速度或实际的运营速度通过，测量应分昼间和夜间进行。

**5.1.7** 应记录每趟列车在正常运营条件下振动测点的动力响应时程，评价量应取测点各次记录的算术平均值。当布设多个测点时，应取各个测点评价量的平均值作为评价依据。

**5.1.8** 测量数据应记录时间、列车编组和测点与列车行驶轨道之间的几何距离关系图。

### 5.2 测试仪器

**5.2.1** 振动测量系统性能应符合现行国家标准《人体对振动的响应测量仪器》GB/T 23716 的有关规定。

**5.2.2** 振动及声学测量仪器均应具有频谱分析功能，仪器滤波器应符合现行国家标准

《电声学 倍频程和分数倍频程滤波器》GB/T 3241 中 1 级滤波器的规定，应能测量中心频率 1~200 Hz 的 1/3 倍频程振动加速度级、中心频率 31.5 Hz~250 Hz 的 1/1 倍频程声压级或中心频率 25 Hz~315 Hz 的 1/3 倍频程声压级。

**5.2.3** 振动校准器应符合现行国家标准《人体对振动的响应测量仪器》GB/T 23716 的规定。

**5.2.4** 振动测量仪器的动态范围应能适应频率最高和最低的信号，用于分析的信号可先通过具有 1.5 倍最高频率截止频率（-3 dB）的低通滤波器，以便使信噪比最大化，并且在评价适用的频率范围内相位特性应当呈线性。

**5.2.5** 采集仪应采用多通道，其动态范围不宜小于 80 dB，并应具有抗混叠滤波功能。数据采集与分析软件应具有多通道显示功能及频谱分析功能。

### **5.3 测试要求**

**5.3.1** 测量应分别在昼间、夜间进行，且应在受振动和结构噪声影响最大时段测量。

**5.3.2** 测量过程中，振源应保持正常工作状态，且其他环境因素不应对振动和结构噪声测量产生干扰。

**5.3.3** 测量时，测点所在房间内的所有门窗应全部紧闭。

**5.3.4** 振动测量测点的选择和传感器的安装应符合下列规定：

1 对面积不大于 20 m<sup>2</sup> 的房间，至少应选取 1 个测点，测点应选在人员主要活动区域地面振动敏感位置，当振动敏感位置无法确定时，测点宜选在室内地面中央。

2 对面积大于 20 m<sup>2</sup> 的房间，至少应选取 3 个测点，测点应选在人员主要活动区域地面振动敏感位置，当振动敏感位置无法确定时，测点应在室内地面均匀分布。

3 测量传感器应安装在平坦、坚实的地面上，且应安装牢固。

4 传感器灵敏度主轴方向应为竖向。

**5.3.5** 以振动最大值为评价量的车致振动测量应至少测量 5 次振动事件。

### **5.4 校准方法**

**5.4.1** 振动测量前应使用振动校准器对振动测量仪器校准，测量结束后再检查一次，两次示值相差不应大于 0.5 dB。

**5.4.2** 对 Z 振级等效值测量应按测量要求选择测点并布置传感器，且应将测振仪设置为

$W_k$  频率计权，直接读取  $Z$  振级等效值，测量总时长不应少于 1 min。

**5.4.3** 对  $Z$  振级最大值测量，应按测量要求选择测点并布置传感器，且应将测振仪设置为  $W_k$  频率计权，指数平均时间常数应设为 1 s。测量时长应覆盖一个完整振动周期，直接读取  $Z$  振级最大值。

## 5.5 数据处理

**5.5.1** 对以等效值为测量评价量的振动测量，可仅测量一次时长不小于 1 min 的等效值，或测量多个短时间等效值，按最不利原则确定；当以振动最大值作为测量评价量的振动测量时，应分别记录每个独立振动事件的振动最大值。

**5.5.2** 振动引起的结构噪声测量应与振动同步测量，可仅测量一次时长不小于 1 min 的等效值，或测量多个短时间的等效值，按最不利原则确定；当采用最大值进行振动评价时，振动引起的结构噪声测量应分别记录每个独立振动事件引起的结构噪声等效值。

**5.5.3** 当被测房间内仅选取 1 个测点时，在测点测得的多次振动或结构噪声测量结果应分别计算算术平均值作为测量评价量。

**5.5.4** 当被测房间内选有 2 个及以上测点时，应对每个测点测得的多次振动或结构噪声测量结果分别计算算术平均值，并应以各测点算术平均值中的最大值作为测量评价量。

## 5.6 测试记录

**5.6.1** 测量报告应包括下列内容：

1 振动源概况应包括沿线建筑物特征与现状，轨道交通环境影响评估文件的结论和要求，设计与建造时采取的减振降噪措施，以及其他需要说明的情况。

2 轨道沿线敏感点或敏感区建筑物进行振动和噪声测量的方案和结果应包括下列内容：

- 1) 采用测量仪器的名称、型号、精度等级、检定日期和测点位置，环境的描述；
  - 2) 建筑物与轨道线路之间的位置关系、测点布置；
  - 3) 测量数据或图表；
  - 4) 振动和二次辐射噪声限值；
  - 5) 测量数据分析与结论。
- 3 测量单位、人员和日期。

## 6 二次辐射噪声测量方法

### 6.1 一般规定

- 6.1.1** 二次辐射噪声测量应采用精密等级不低于1级的积分式声级计或其他相当的声学仪器，并应满足16 Hz~200 Hz噪声测量的要求，性能应符合国家现行有关标准的规定。
- 6.1.2** 测量仪器的灵敏度主轴方向应与噪声来源主方向一致。
- 6.1.3** 测量应避免足以影响环境振动测量值的其他环境因素。
- 6.1.4** 轨道交通沿线建筑物应采用等效连续A声压级作为室内二次辐射噪声测量的量。

### 6.2 测量仪器

- 6.2.1** 测量仪器为积分平均声级计或环境噪声自动检测仪，其性能应不低于《电声学 声级计 第2部分：型式评价试验》GB 3785和《积分平均声级计》GB/T 17181对1型仪器的要求。现场校准所用仪器应符合《电声学 声校准器》GB/T 15173对1级声校准器的要求。
- 6.2.2** 测量仪器和校准仪器应定期检定或校准，并在有效使用期内使用；每次测量前、后应在测量现场进行声学校准，前、后校准示值偏差不得大于0.5 dB，否则视为无效。
- 6.2.3** 测量时传声器应加防风罩。
- 6.2.4** 测量仪器时间计权特性应设为快挡，采样时间间隔不应大于1 s。
- 6.2.5** 测量结构噪声的声学测量仪器性能应符合现行国家标准《电声学 声级计 第1部分：规范》GB/T 3785.1中1级积分平均声级计的规定。

### 6.3 测量要求

- 6.3.1** 结构噪声测点的选择应符合下列规定：

- 1 对面积不大于20 m<sup>2</sup>的房间，至少应选取1个测点，测点应选在结构噪声敏感位置，当结构噪声敏感位置无法确定时，可选在室内地面中央。
- 2 对面积大于20 m<sup>2</sup>的房间，至少应选取3个测点，测点应选在结构噪声敏感位置，当结构噪声敏感位置无法确定时，测点应均匀分布。
- 3 测点距地面高度宜为1.2 m~1.6 m，距房间墙壁距离不应小于0.5 m。
- 4 测点周围0.5 m内不应有声反射物，各测点之间距离不应小于1.5 m。

**6.3.2** 测点布设应符合下列规定：

- 1 每个噪声敏感点所设的测点不应少于 1 个；
- 2 多个测点的布设方案，应根据建筑物的楼层、房间平面分布以及受城市轨道交通的影响程度确定；
- 3 敏感区的测点布设应选择邻近线路的建筑物或受轨道交通影响较大的建筑物；
- 4 同一建筑物内的各个测点应在规定时间内同步测量。

**6.3.3** 测量应在无雨雪、无雷电的天气，风速为 5 m/s 以下时进行。

**6.3.4** 测量应在城市轨道交通正常运行时间进行，并注明当时的工况。

**6.3.5** 测点应位于城市轨道交通沿线住宅建筑室内敏感处并布设 2 个及以上测点，距任一反射面至少为 0.5 m、距地面 1.2 m 高度、距外窗 1 m 以上，在门窗关闭状态下测量。被测房间内其他可能干扰测量的声源应关闭，测点所在房间的门窗应密闭。

**6.3.6** 测量应分昼间和夜间进行，每次测量应分别在各测点测量等效 A 声压级及室内背景噪声。

**6.3.7** 在测点受到外界其他噪声源的偶然干扰时，应在测量记录中说明干扰的声级、类型和持续时间。

**6.3.8** 对于具有较高噪声控制要求的区域，必要时可采用长时间的噪声监测。

**6.3.9** 对于 0、1、2、3 类声环境功能区，监测点应为户外长期稳定、距地面高度为声场空间垂直分布的可能最大值处，位置应能避开反射面和附近的固定噪声源；4 类声环境功能区监测点应设于 4 类区内第一排噪声敏感建筑物户外交通噪声空间垂直分布的可能最大值处。

**6.3.10** 测量时间应符合下列规定：

- 1 在昼间和夜间应各选一段时间进行测量，测量时段不应小于 1 h；
- 2 昼间测量时应选择行车高峰时段，夜间测量时间内通过的列车不应少于 5 列；
- 3 在行车密度较低的线路，可分段测量列车通过时的声级。

**6.3.11** 仪器的动态范围应满足测点噪声波动的要求，测量时应选择与二次辐射噪声幅值相应的动态范围。

## **6.4 测量方法**

**6.4.1** 测量仪器应校准，并应符合下列规定：

1 噪声测量前应使用声校准器对声学测量仪器 1k Hz 的灵敏度进行校准，测量结束后再检查一次，两次示值相差不应大于 0.5 dB。

2 噪声测量前应检查声学测量仪器的频率响应，用声校准器在 250 Hz 检查，示值与声校准器标称值相差不应大于 0.5 dB。

6.4.2 昼间、夜间时段的测量量分别为等效声级和最大声级。

6.4.3 昼间、夜间各测量城市轨道交通运行时段的等效声级，测量时间不小于 20 min，必要时应测量 1 h，并记录同时段的轨道交通流量；夜间时段还应测量城市轨道交通列车运行噪声最大声级值，测量不少于 5 列轨道交通列车，应测量对测点影响较大一侧的轨道线路通过的列车。

6.4.4 测量环境背景噪声时，无城市轨道交通列车通过时，其他声环境与测量被测声源时保持一致。

6.4.5 测量无城市轨道交通列车通过时不小于 20 min 的连续等效声级。

## 6.5 数据处理

6.5.1 噪声测量值与背景噪声值相差大于 10dB (A) 时，噪声测量值不应做修正。

6.5.2 噪声测量值与背景噪声值相差在 3dB (A) ~10dB (A) 时，噪声测量值与背景噪声值的差值取整后，应按本章中的规定进行修正。

6.5.3 噪声测量值与背景噪声值相差在 0.5dB (A) ~3dB (A) 时，应采取降低背景噪声措施后，视情况按本章中的规定进行修正。

6.5.4 等效声级评价量为经背景修正后的等效声级，最大声级评价量应为测量值的算术平均值。

6.5.5 当各频带结构噪声测量值与相应频带背景噪声的差值不小于 3 dB 时，应进行背景噪声修正，背景噪声修正值应符合表 6.5.5 的规定；当各频带结构噪声测量值与相应频带背景噪声的差值小于 3 dB 时，应按-3 dB 修正，并应在修正结果前加≤符号，且该频带不应做超标判定。

表 6.5.5 背景噪声修正值 (dB)

差值	3	1~5	6~9	10 及以上
修正值	-3	-2	1	0

## 7 振动舒适度与二次辐射噪声评价

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 振动源沿线结构振动噪声舒适度设计、检测和评估时，应取得下列资料：

- 1 振动源车辆悬挂参数、车轮类型和状态、轨面类型和状态、行车速度、昼间和夜间列车通过数量、遂道埋深和断面；
- 2 实测轮轨荷载及对工程场地和沿线结构的影响；
- 3 工程场地条件；
- 4 振动源沿线建筑物结构图、室内是否采用吸声材料等资料。

**7.1.2** 振动源沿线的建筑物在车辆运行振动作用下，结构竖向振动响应计算应采用时程分析法，计算结果可用于舒适度评价。计算测点的选择宜包含结构主导振型响应最大的位置。

**7.1.3** 振动源沿线建筑物的振动单值评价量应采用竖向 Z 振级评价，宜附加采用竖向四次方振动剂量值评价。

**7.1.4** 振动源沿线建筑物室内结构噪声的评价方法和限值，应符合现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355 的有关规定。

**7.1.5** 当振动源沿线建筑物内竖向 Z 振级或室内二次辐射噪声的评价不满足限值要求时，应开展专项研究，并采取相应措施进行控制。

**7.1.6** 按本标准规定测量的数据应与本标准规定的限值进行比较，评判振动源沿线建筑物振动和二次辐射噪声的达标情况。

**7.1.7** 振动源引起沿线建筑物室内二次辐射噪声超标的地段，宜采取减振降噪措施。

### 7.2 振动舒适度计算

**7.2.1** 竖向 Z 振级计算应按 1 Hz~200 Hz 基本频率进行计权，时间常数取 1 s，测量时长应覆盖一个完整振动周期，最后取振动周期内竖向 Z 振级最大值。竖向 Z 振级应按下列公式计算：

$$VL_z = 20\lg(a_w / a_0) \quad (7.2.1-1)$$

$$a_w = \left[ \sum (W_i a_i)^2 \right]^{1/2} \quad (7.2.1-2)$$

式中：  $VL_z$ ——竖向 Z 振级（dB）；

$a_w$ ——计权均方根加速度（ $\text{m/s}^2$ ）；

$a_0$ ——基准加速度，取  $1 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$ ；

$W_i$ ——第  $i$  个 1/3 频段带的计权因数；

$a_i$ ——第  $i$  个 1/3 频段带的均方根加速度（ $\text{m/s}^2$ ）。

**7.2.2** 竖向四次方振动剂量值应按式计算：

$$VDV_z = \left\{ \int_0^T a_{zw}^4(t) dt \right\}^{1/4} \quad (7.2.2)$$

式中：  $VDV_z$ ——竖向四次方振动剂量值（ $\text{m/s}^{1.75}$ ）；

$T$ ——昼间或夜间时间长度（s）；

$a_{zw}(t)$ ——按基本频率计权  $W_k$  计权的瞬时竖向加速度（ $\text{m/s}^2$ ）。

## 7.3 振动舒适度评价

**7.3.1** 车致振动对建设工程区域的竖向 Z 振级限值应按表 7.3.1 的规定取值。

**表 7.3.1 车致振动对建设工程区域的竖向 Z 振级限值（dB）**

区域分类	昼间	夜间
0 类	66	63
1 类	66	63
2 类	71	68
3 类	76	73
4 类	76	73

**7.3.2** 振动源沿线建设工程内容许竖向四次方振动剂量值，宜按表 7.3.2 的规定取值。

**表 7.3.2 振动源沿线建设工程内容许竖向四次方振动剂量值（ $\text{m/s}^{1.75}$ ）**

建筑物类型	昼间	夜间
居住建筑	0.2	0.1
商业和商务办公	0.4	0.4
车间办公区	0.8	0.8

## 7.4 结构二次辐射噪声计算

**7.4.1** 测量振动源沿线建筑物室内的二次辐射噪声,应分别计算昼间和夜间的等效 A 声压级。在测量时段内,昼间和夜间的等效 A 声压级应按式计算:

$$L_{Aeq} = 10 \lg \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_{AE,i}} \quad (7.4.1)$$

式中:  $L_{Aeq}$ ——昼间或夜间的等效 A 声压级;

$n$ ——昼间或夜间通过的列车数量;

$L_{AE,i}$ ——昼间或夜间第  $i$  列列车通过时测点的二次辐射噪声 A 声压级[dB (A)]。

**7.4.2** 二次辐射噪声测量值应大于室内背景噪声 3 dB (A) 以上,并应按表 7.4.2 的规定对二次辐射噪声测量值进行修正。

表 7.4.2 二次辐射噪声修正值[dB (A)]

差值	3	4~5	6~9
修正值	-3	-2	-1

## 7.5 结构二次辐射噪声评价

**7.5.1** 振动源沿线建筑物室内二次辐射噪声限值应符合表 7.5.1 的规定。

表 7.5.1 建筑物室内二次辐射噪声限值 [dB (A)]

区域	昼间	夜间
0 类	38	35
1 类	38	35
2 类	41	38
3 类	45	42
4 类	45	42

## 8 振动与噪声控制

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 振动源沿线结构振动噪声控制应遵循振动源-传播途径-结构的顺序实施。当轨道减振降噪措施不能达到本标准规定时，振动源沿线结构应根据实际条件采取隔振减噪等切断传播途径的措施，或采取振动源沿线结构减振降噪措施。

**8.1.2** 为提高沿线结构的振动舒适度，可采用提高刚度、增加阻尼、采取减隔振措施等方法。

**8.1.3** 沿线建设工程结构设计时，应根据车辆荷载作用下的振动舒适度要求，合理布置隔振装置。

### 8.2 振动控制

**8.2.1** 对于振动源与传播途径，可在一定范围的轨道采取浮置板隔振、轨道吸振器、增加隔振沟、隔声屏障等措施。

**8.2.2** 提高楼盖的刚度可采用增大构件截面、增设构件支点等方法。

**8.2.3** 增加楼盖的阻尼可采用下列方法：

- 1 增设隔墙、吊顶或面层等非结构构件；
- 2 设置减振阻尼器。

**8.2.4** 振动源沿线隔振结构的设计方案，应根据振动源车辆运行振动作用下的振动舒适度要求、场地条件、建筑结构方案和使用要求，综合考虑技术、经济和使用条件来确定，合理布置隔振装置。

**8.2.5** 振动源沿线隔振结构设计，当考虑振震双控设计时，可选用叠层天然厚橡胶支座、铅芯叠层厚橡胶支座、叠层橡胶与钢弹簧、碟簧组合的三维隔震振支座、以及摩擦摆与钢弹簧、碟簧组合的三维隔震振支座、摩擦摆与叠层厚橡胶支座组合的三维隔震振支座。

**8.2.6** 当采用时程分析法时，振动源沿线结构体系分析模型应符合下列规定：

- 1 对于振动源沿线隔振结构体系，应考虑车辆运行振动作用，分析模型应考虑竖向隔振刚度、隔振层竖向阻尼特性以及隔振层竖向荷载-位移关系特性。
- 2 当振动源沿线结构体系还需要考虑地震作用时，分析模型宜考虑结构杆件的空间分布、弹性楼板假定、隔震支座的位置、隔震结构的质量偏心、在水平方向平动和扭转、

隔震层的非线性阻尼特性以及荷载-位移关系。

**3** 当振动源沿线结构进行振震双控设计时，在车辆运行振动作用下，隔震层以上结构和隔震层以下结构均可采用线弹性模型，隔震层在水平向宜采用隔震产品提供的水平向性能滞回模型。

**8.2.7** 隔振基础上与结构连接的刚性管道均应在隔振基础与楼、地面之间设置柔性接头；当接头的柔度偏小时，应根据接头位置计入接头对隔振基础振动的不利影响。

**8.2.8** 当可能发生振动的管道穿越墙和楼板等结构构件时，应在管道周边预留不小于 50 mm 间隙且不应直接固定在结构构件上，管道安装完毕后应采用柔性材料嵌填缝隙。

**8.2.9** 连廊和室内天桥可采用增加刚度、增加非结构构件、设置调谐质量阻尼器等措施提高振动舒适度，对于有较高舒适度要求的结构可采用智能调谐质量阻尼器增强振动控制作用。

**8.2.10** 对于具有较高振动控制要求的区域，可采用主动控制、半主动控制或者不同组合的综合减隔振措施以增强控制效果。

**8.2.11** 当建筑物发生功能变更或出于市政规划更新需求增设轨道交通线路，且现有减振措施不能满足舒适度要求时，应基于实际情况进行可行的建筑结构型式及减振措施改造。

## **8.3 二次辐射噪声控制**

**8.3.1** 在轨道振动噪声控制方面，可采用超长无缝钢轨、减振型钢轨、钢轨吸振器、高弹性减振扣件、橡胶减隔振降噪元件、减振型轨下基础、轨道减振器扣件和钢轨打磨技术等方法降噪。

**8.3.2** 在道床结构声学优化设计方面，可采用承轨台式的整体道床、较小的扣件刚度和较小的减振垫面刚度等方法降低二次辐射噪声。

**8.3.3** 在二次辐射噪声传播途径控制方面，可采用设置全封闭声屏障和边缘抑制型声屏障等方法降低二次辐射噪声。

**8.3.4** 对于具有较高噪声控制要求的区域，可采用主动控制、半主动控制或者不同组合的综合降噪措施以增强降噪效果。

**8.3.5** 当建筑物发生功能变更或出于市政规划更新需求增设轨道交通线路、现有降噪措施不能满足舒适度要求时，应基于实际情况进行可行的建筑结构型式及降噪措施改造。

## 附录 A 测量记录

**A.0.1** 振动源沿线建筑物振动测量宜按表 A.0.1 的规定进行记录。

**表 A.0.1 振动源沿线建筑物振动测量记录表**

编号：

测量地点		测量日期			
测量仪器		测量人员			
线路条件		地质情况			
建筑物类型		车辆类型及编组			
列车运行速度		备注			
测点与线路的位置关系图示或描述					
数据记录					
序号	时间	编辑	近轨或者远轨	$vL_{\max}$ (dB)	备注
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
处理结果					

测量记录员：

**A.0.2** 振动源沿线建筑物室内二次辐射噪声测量宜按表 A.0.2 的规定进行记录。

**表 A.0.2 振动源沿线建筑物室内二次辐射噪声测量记录表**

编号：

测点位置		测量日期		测量时段		气象状况	
仪器名称型号		仪器编号		仪器精度等级		仪器检定日期	
钢轨类型		扣件类型		轨枕类型		道床类型	
线路半径		线路轨顶埋深		距线路中心线距离		隧道结构形式	
建筑物类型描述							
测量序号	上下行	列车运行引起室内噪声测量 dB (A)			非轨道交通噪声干扰状况		
测量时段内等效声压级 dB (A)							
背景噪声声压级 dB (A)							
测点简图							
备注							

测量记录员：

## 用 词 说 明

为便于在执行本标准条款时区别对待，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：

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：

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：

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，采用“可”。

## 引用标准名录

本标准引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用于本标准；不注的，其最新版适用于本标准。

《城市区域环境振动测量方法》GB 10071

《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》GB/T 1344.1/ISO2631-1

《电声学 倍频程和分数倍频程滤波器》GB/T 3241

《建筑结构荷载规范》GB 50009

《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355

《工程结构通用规范》GB 55001

《地铁设计规范》GB 50157

《人体对振动的响应 测量仪器》GB 23716

《电声学 声级计 第 1 部分：规范》GB/T 3785.1

《电声学 声校准器》GB 15173

《声级计的电、声性能及测试方法》GB 3785

《积分平均声级计》GB/T 17181

雄安新区地方标准

雄安新区建设工程振动舒适度标准

DB1331/T 110—2025

条 文 说 明

# 目 次

<b>1 总 则 .....</b>	<b>27</b>
<b>2 术语和符号 .....</b>	<b>28</b>
2.1 术 语 .....	28
2.2 符 号 .....	28
<b>3 基本舒适度规定 .....</b>	<b>29</b>
3.1 一般规定 .....	29
3.2 振动测试要求 .....	30
<b>4 荷载与作用 .....</b>	<b>33</b>
4.2 车辆振动荷载 .....	33
<b>5 振动测试方法 .....</b>	<b>8</b>
5.1 一般规定 .....	8
5.2 测试仪器 .....	39
5.3 测试要求 .....	39
5.4 校准方法 .....	40
5.5 数据处理 .....	41
5.6 测试记录 .....	41
<b>6 二次辐射噪声测量方法 .....</b>	<b>42</b>
6.1 一般规定 .....	42
6.2 测量仪器 .....	43
6.3 测量要求 .....	43
6.4 测量方法 .....	43
6.5 数据处理 .....	44
<b>7 振动舒适度与二次辐射噪声评价 .....</b>	<b>45</b>
7.1 一般规定 .....	45
7.2 振动舒适度计算 .....	46
7.3 振动舒适度评价 .....	46
7.4 结构二次辐射噪声计算 .....	47
7.5 结构二次辐射噪声评价 .....	48

<b>8 振动与噪声控制 .....</b>	<b>49</b>
8.1 一般规定 .....	49
8.2 振动控制 .....	49

## 1 总 则

**1.0.1** 本标准主要规定了雄安新区建设工程设计与后期运营中如何进行现场振动与二次辐射噪声测试及其评价方法与指标，以及对振动与噪声的测试和控制方法。本条是编写本标准的宗旨。轨道交通、高速公路、铁路等振动源引起的振动问题越来越引起人们的重视，如果振动过大，会危害建筑物的安全，影响机器设备的正常工作、仪器仪表的测量精度、工作人员的身体健康，还会对环境造成污染。本标准编写的目的是统一建设工程振动的容许振动标准，为工程设计提供可靠依据。本标准的实施对于减少振动影响、改善振动环境将起到积极的作用。

**1.0.2** 本条规定了标准的适用范围，适用于建设工程中有振动舒适度要求的工程设计，对于地震、风振作用等需按国家现行有关标准执行。同时，本条也规定了标准适用的振动源范围。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

**2.1.1~2.1.16** 振动可用多种参数进行描述，如振动的位移、振动的速度、振动的加速度等。振动加速度级是描述人体全身振动环境强度的基本量。

通过对我国城市环境振动普查结果的分析，表明竖向的环境振动是影响居民日常生活的主要因素。考虑到居民在住宅建筑室内的日常起居生活主要是在室内地面或楼面上，本标准规定住宅建筑室内振动采用以竖向作为振动的测量方向，这与我国环境振动标准也具有一致性。

振动级是根据人对不同频率成分的振动的感知程度，按照现行国家标准《机械振动与冲击人体暴露与全身振动的评价第 1 部分：一般要求》GB/T13441.1 中规定的计权曲线计权后，进行能量叠加，得到的单值评价量。

### 2.2 符 号

**2.2.1、2.2.2** 本节列出本标准采用的代号，并给出正文公式中出现的定义解释。

## 3 基本舒适度规定

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 本条规定了振动与室内二次辐射噪声的频率范围。在振动对人体的影响因素中，起主要作用的是振动的频率。人体能够感知的振动频率范围是 1 Hz~1000 Hz，其中对 1 Hz~80 Hz 的振动特别敏感，这主要是人的各种器官的共振频率集中在这个范围内，如图 1 所示。人对 4 Hz~8 Hz 竖向振动以及 1 Hz~2 Hz 的水平振动最为敏感。当身体各部分器官固有频率和外界传来的振动频率一致或接近时，就会引起器官的共振，此时对器官的影响和危害最大。

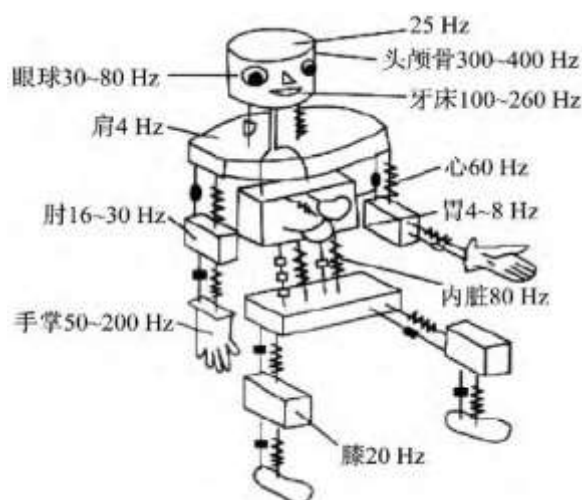


图 1 人体各部分固有频率<sup>[1]</sup>

[1] 张向东，高捷，闫维明. 环境振动对人体健康的影响[J]. 环境与健康杂志, 2008, 25(1): 74-76.

**3.1.3** 本条对建筑区域 0~4 类的分类参考现行国家标准《建筑环境通用规范》GB 55016，遵循以人为本以及轨道交通、高速公路、铁路等振动源沿线与区域环境协调匹配的原则，对建筑区域进行分类。对振动噪声要求很高的建筑有音乐厅、电影电视演播厅、录音室或歌剧院等文化场所，包括古建筑等历史文物，以及建筑物内有振动敏感的设备或仪器，如光学或电子高倍显微镜、纳米技术研发或芯片生产中心、地震台站等对振动要求严格的区域应执行本标准中最高等级的限值标准。针对环境振动噪声要求更高的情况，需要在建筑物基础、结构或房间地板和墙面采取减振隔声措施，但这种情况已经不应属于城市轨道交通沿线建筑物影响评价和测量的内容。

**3.1.4** 本条参考现行行业标准《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其

测量方法标准》JGJ/T 170，规定了昼夜时间适用的范围。

## 3.2 振动测试要求

**3.2.2** 振动测试系统需根据被测试对象的振动类型和振动特性来选取。振动类型包括周期振动、随机振动和瞬态振动等，振动特性是指频率范围、振幅大小、持续时间和振动方向等。对振动测试仪器设备的标定，在我国有较为系统的标准体系。测试仪器应按照国家现行相关标准的要求，定期进行标定或校准。为了确保测试结果的可靠，需确保振动测试系统在校准的有效期内。

**3.2.3** 本条参考现行国家标准《建筑工程容许振动标准》GB 50868。不同测试频段需采用不同的物理量指标。对于低频段信号，特别是 1 Hz 以下的振动，振动加速度信号较小，如果采用加速度测试，容易产生较大的测试误差，因此规定低频段微振动测试应当采用位移或速度参量；而对于高频振动，位移和速度信号较弱，需用加速度参量来描述。

**3.2.4** 本条参考现行国家标准《建筑工程容许振动标准》GB 50868。振动传感器安装时，其测试方向需与测试对象的振动方向一致。对于杆件振动，需是横杆件截面平面内两个相互垂直的方向；对于平板结构，需为板平面的法线方向。测试时，尚需根据具体要求考虑测试方向。传感器安装应当满足现行有关国家标准的规定。

**3.2.5** 本条参考现行国家标准《建筑工程容许振动标准》GB 50868，给出了振动控制点和控制方向的规定，当各章另有规定时，按各章规定执行。

**3.2.6** 本条参考现行国家标准《建筑工程容许振动标准》GB 50868。列车运行往往有多种工况，振动测试时需要选择能反映实际情况的典型工况测试，例如空载单向、满载单向，以及两辆及以上列车同向/相向运行等。

**3.2.7** 本条参考现行国家标准《建筑工程容许振动标准》GB 50868。在建筑工程振动中，常见的三种振动形式有周期振动，如旋转机械、往复机械等；随机振动，如汽车、拖拉机、火车等陆用车辆的行驶等；瞬态振动，如锻锤、压力机等操作等。不同的振动信号，在数据分析时采用的方法不尽相同，需要区别对待。对于不同的振动类型，可依据振源分类、系统响应的振动规律、频谱特性等进行区分。

周期振动是指按一定时间间隔重复运动规律的振动，周期振动能由有限个线性分布的频率的简谐振动合成。对于周期振动，确定峰值和周期以及有效值等可以获得许多有用的信息。最有效的分析方法之一是基于数学上傅里叶级数原理的频谱分析法。

随机振动也就是非确定性振动，不能用确定的数学解析式表达其变化历程，也就是说不可能预见其任一瞬时出现的数值，也无法用实验的方法重复再现。随机是概率的意思，而不是复杂的意思。对随机振动的分析应该着眼于大量的振动现象的分析，从总体来看，它们之间存在着一定的统计规律性，能用概率论和统计学的方法来描述。对随机振动的描述需要用统计的参数，主要有概率密度函数、均值、方差等数字特征量，相关函数以及功率谱密度函数等。

瞬态振动是指随时间变化没有周期重复过程的非周期振动。其特点是过程突然发生、持续时间短暂，有时候能量却很大。频谱分析法仍是瞬态振动分析的有效方法，与周期振动频谱分析法基本思想类似，不同的是周期振动的频谱分析法是基于傅里叶级数展开，而瞬态振动的频谱分析法则基于傅里叶积分法。该方法是把瞬态振动看成是一个周期趋向无穷大的周期振动，然后借用周期信号的傅里叶级数来分析瞬态振动信号的频谱特性。

**3.2.8** 本条参考现行国家标准《建筑工程容许振动标准》GB 50868。本条规定采样频率在信号进行模拟转换前需经过抗混滤波器处理，是为了提高测试信号的准确性，避免频率混淆现象发生，本标准中的许多指标与振动频率有关，如果出现频率混淆现象，则振动测试的结果就失去意义。

**3.2.9** 本条参考现行国家标准《建筑工程容许振动标准》GB 50868。冲击信号在频域表现为能量分布在较宽频带的振动特性；在时域内，具有较高的瞬时峰值，评判冲击作用的大小关键在于冲击最大值和持续的时间。信号的时域分析法包括滤波、放大、统计特征计算、相关性分析、传递函数和拉普拉斯变换等。脉冲冲击的持续时间通常为 0.5 ms~25 ms，振动加速度值一般为  $10 \text{ m/s}^2 \sim 250 \text{ m/s}^2$ 。就锻锤而言，锻打工作时，冲击作用时间非常短，多在 10 ms 以内，打击工件过程中，许多砧座下基础最大振动加速度值都在  $20 \text{ m/s}^2$  以上。

冲击振动测试时，无论是冲击激励本身，还是测试系统特性都可能会有一定的误差。如锻锤在锻打时，打击能量一定，锻打同一工件的情况下，锻打工件的形状和温度都会影响打击振动的响应。普通接触式加速度传感器在测试瞬时冲击时，往往会有一些误差，特别是对于矩形脉冲，有些传感器测试误差可达 20% 以上。

根据最大冲击作用数据分析要求，确保数据准确可靠，在自由振动测试中，要求铁锤自由下落冲击测试记录时段不应少于 3 次。

**3.2.10、3.2.11** 本条参考现行国家标准《建筑工程容许振动标准》GB 50868。每个样本

的记录长度是根据数据分析的要求决定的。对于采用快速傅里叶变换（FFT）分析的数据，每个数据帧应为  $2^n$  个。最常用的数据量为 512、1024 和 2048 等。为了确保分析精度，本标准建议取不少于 1024 个点。

测试误差通常是难免的。测试误差包括系统误差、随机误差和过失误差。系统误差主要依靠系统标定和测试仪器的内在质量来保证，同时也要验证振动测试方法的准确性和精确度。在测试过程中，测试人员对测试参数档位的设置要正确。对于过失误差，则需要加强测试人员的责任心和进行必要的校核检查工作。而这两条要求在频谱分析中的总体平均次数是为了减少信号的随机误差。在一些现行标准中规定了不同的随机数据样本总体平滑数量的要求，常用的平滑段数有 20、32、40、100。对于随机数据而言，不论取多少段平均，随机误差总是存在的，即使取了 100 段数据平均，也存在 10% 的随机误差可能性。随机误差与总体平滑数量的关系见表 1。

表 1 随机数据的统计误差

平滑段数	10	20	32	40	100
统计误差	0.316	0.224	0.177	0.158	0.100

随着总体平滑数量的增加，测试和分析工作量也急剧增加。考虑到测试的现实条件以及信号本身的特点，制订相应的数据平滑段数要求；同时，提出了进一步测试要求，以确保数据精度。

对于稳态周期振动，如果数据中的随机信号或噪声干扰部分的振功能量不超过总能量的 10%，采用 20 段数据平滑，其统计精度可达 95% 以上。对于周期或随机振动，在振动信号分析之前，应当先对数据进行周期性或稳态性检验，只有符合周期性或稳态性条件，才能运用相应的数据分析方法分析数据。此外，对于周期或随机振动，本标准绝大多数指标适用于波峰因数小于或等于 9 的情形。当波峰因数大于 9 时，应当按照特定的评价指标分析评估，或进行专项研究。

**3.2.12** 本条参考现行国家标准《建筑工程容许振动标准》GB 50868。本条的要求参照了国际和国内振动测试标准的规定。当 3 次测试结果与其算术平均值的相对误差小于 5% 时，通常可以避免人为的过失误差，也可以判断出较大的系统误差，同时也能够提高统计精度，减小随机误差。如果满足 3 次测试结果与其算术平均值的相对误差在 5% 以内，并以其算术平均值作为最终结果，则其测试精度可以达到 95% 以上。本标准规定了每个测点记录有效振动数据的次数不得少于 3 次，是为了确保振动测试数据的可靠和精确。

## 4 荷载与作用

### 4.2 车辆振动荷载

**4.2.3** 本条参考现行行业标准《建筑楼盖结构振动舒适度技术标准》JGJ/T 441，对有限元分析中车辆荷载取值及有限元计算方法进行了标准化的规定。

**4.2.4** 振动源沿线结构的车辆运行振动作用计算，若设计阶段无法获取实测数据，采用建筑场地类别、轨道类型和车速等相似情况的实测数据，作为时程分析输入。振动源沿线结构所承受的列车振动为高频振动，且以竖向振动为主。根据现场测试获得振动时程，采用 1:1:1 三向时程输入。进行时程分析时，鉴于不同时程输入下时程分析结果不同，本条规定一般可以根据小容量的计算结果来估计地铁振动作用效应，选用多组时程在统计意义上具有更高的保证率。

列车在轨道振动产生的激励主要由两方面造成：一是列车运行中自身对轨道的作用，包括车轮偏心、动力装置的振动、自身轴重对轨道作用等；二是轨道不平顺激励，包括：轨道型式变换、轨缝焊接接口、钢轨磨损、轨枕及扣件的离散支撑等。表 4.2.4 给出了整体道床的轨道基础类型，整体道床是指轨道下部没有接线柱，轨道直接铺设在混凝土地面上。经归一化处理后的某地区城市轨道交通上盖结构整体道床的实测 Z 向振动加速度时程曲线及其功率谱如图 2~图 9 所示。

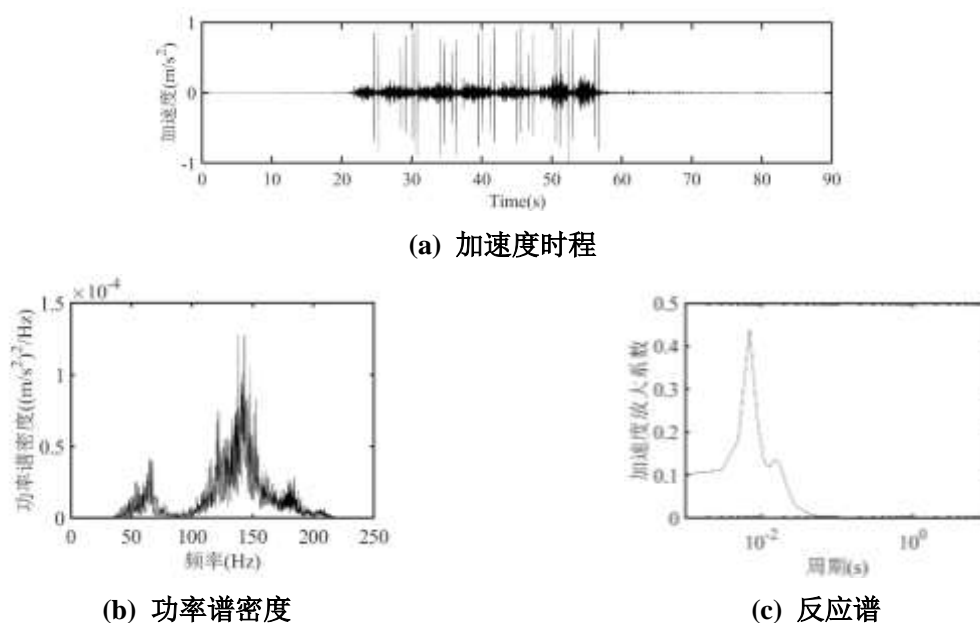
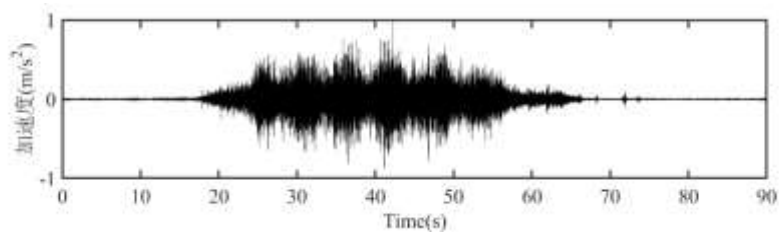
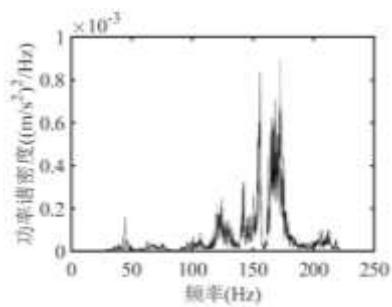


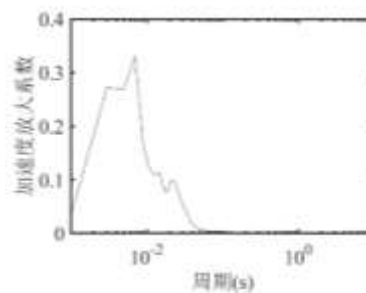
图 2 时程 1-Z 向



(a) 加速度时程

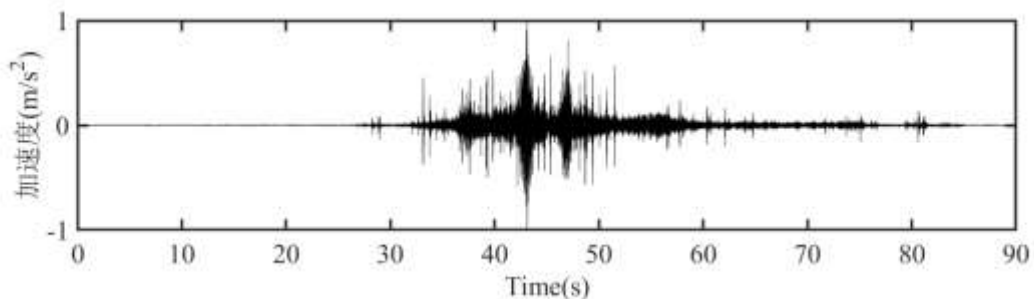


(b) 功率谱密度

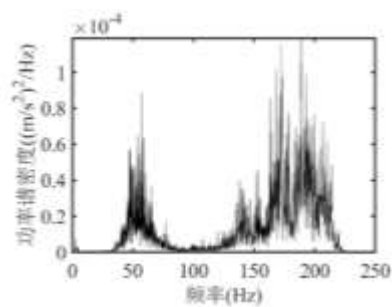


(c) 反应谱

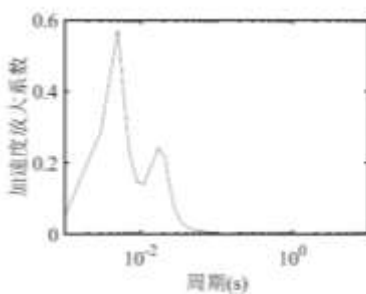
图 3 时程 2-Z 向



(a) 加速度时程

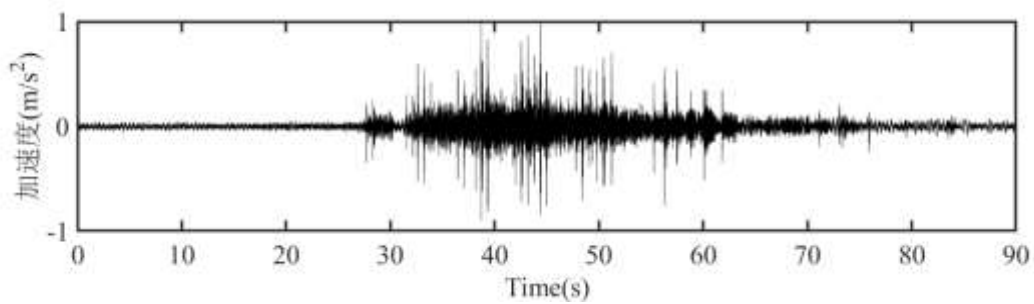


(b) 功率谱密度

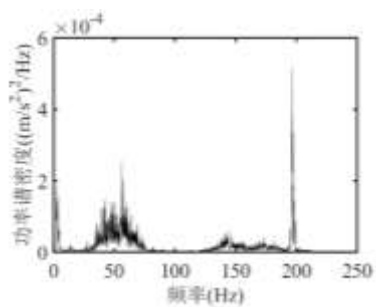


(c) 反应谱

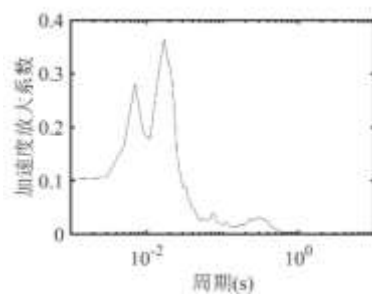
图 4 时程 3-Z 向



(a) 加速度时程

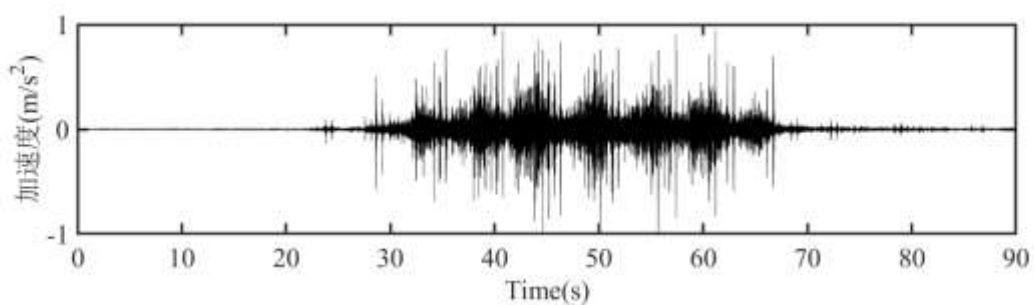


(b) 功率谱密度

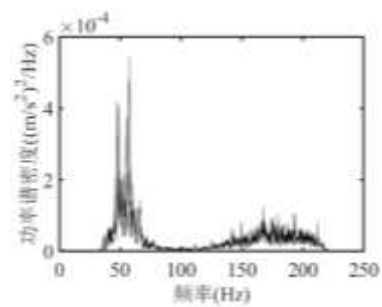


(c) 反应谱

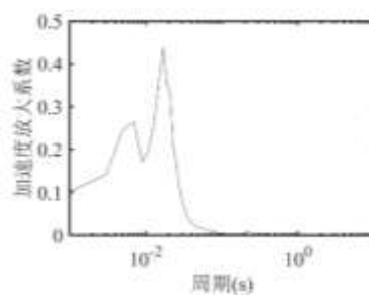
图 5 时程 4-Z 向



(a) 加速度时程

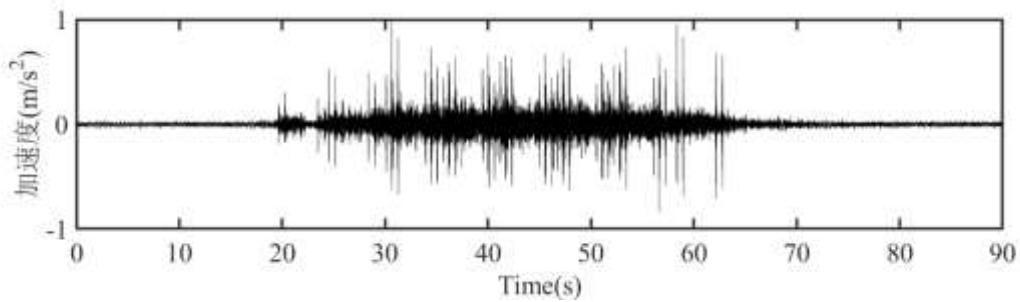


(b) 功率谱密度

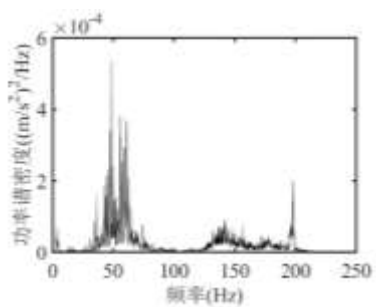


(c) 反应谱

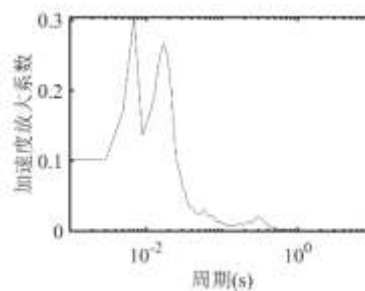
图 6 时程 5-Z 向



(a) 加速度时程

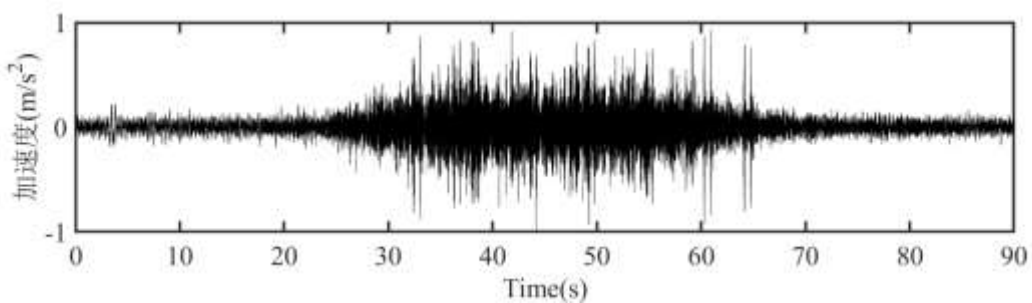


(b) 功率谱密度

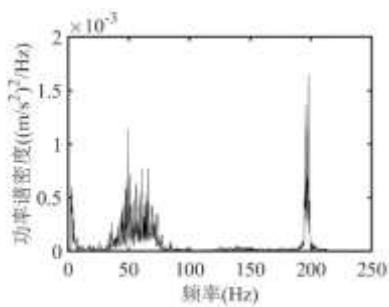


(c) 反应谱

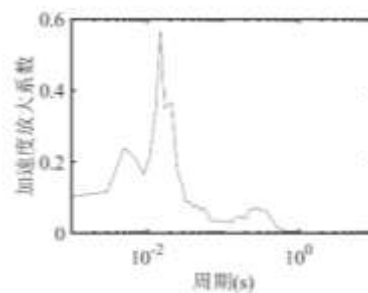
图 7 时程 6-Z 向



(a) 加速度时程

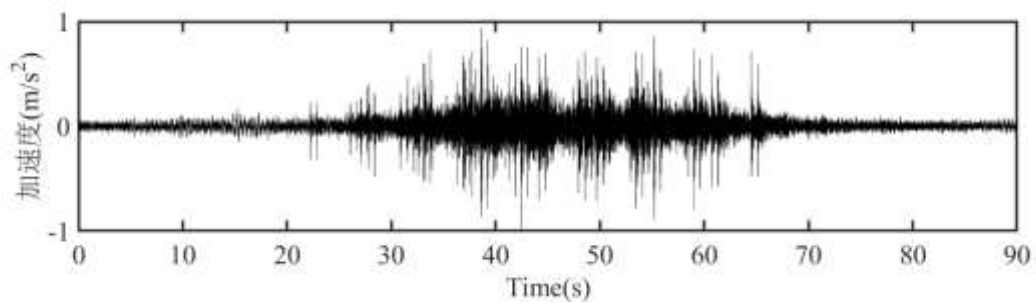


(b) 功率谱密度

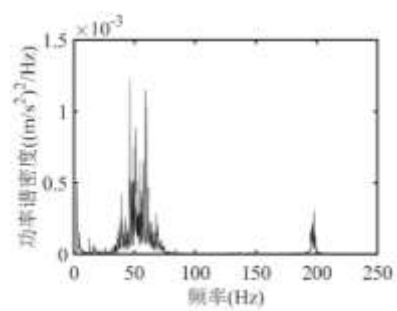


(c) 反应谱

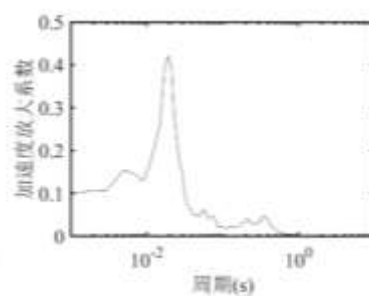
图 8 时程 7-Z 向



(a) 加速度时程



(b) 功率谱密度



(c) 反应谱

图9 时程 8-Z 向

## 5 振动测试方法

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 大运量、快捷、舒适的轨道交通、高速公路、铁路等是解决公共交通问题的根本出路。本标准制定的目的是为了规范雄安新区工程项目建设及运营过程对沿线建筑物振动评价和测量的要求。其中，铁路包括高速铁路、城际铁路和普通铁路等。

**5.1.2** 振动测量仪器系统应具备在 1 Hz~200 Hz 频率范围测量 1/3 倍频程振动加速度级的功能。其 1/3 倍频程带通滤波器性能需符合现行国家标准《倍频程和分数倍频程滤波器》GB/T 3241 的规定，测量仪器系统需符合现行国家标准《城市区域环境振动测量方法》GB/T 10071 有关测量仪器的规定。

**5.1.4** 振动测量环境的气候条件需满足室外测量对环境温度、湿度和风速的要求。

**5.1.5** 本条参考现行国家标准《城市区域环境振动标准》GB 10070 和《城市区域环境振动测量方法》GB 10071。与本标准振动限值对应的测点一般布置在建筑物一楼的室内，但由于室内环境或房主限制，测点不能布置在建筑物室内，此时可将测量传感器安装在建筑物结构的基础上。一般而言，距离轨道线路越远的地方，因列车运行引起的环境振动或噪声的影响越小，但由于压缩波、剪切波及地表面瑞利波等振动波在岩土体中波峰波谷的作用，在地面测量时有可能出现不一致的现象，但不妨碍限值标准的应用，需采取多次测量值的平均值。

**5.1.6** 本条参考现行行业标准《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量方法标准》。在建筑物振动测量时列车按测量所在区段设计的最高速度或该区段实际的运营速度运行。如果预测列车运行速度对沿线建筑物振动的影响较大，则应延长测量时间，其测量结果应反映列车运行速度的影响，以 $\pm 3$  km/h 的允许误差运行速度通过的列车数量不应少于 5 列。

**5.1.7** 本条参考现行行业标准《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量方法标准》。城市轨道交通列车通过测点的时间一般为 5 s~10 s，实践证明，针对地面线或高架线的测量，采样时间 0.2 s~1.0 s 获得的测量结果是可以接受的。每次列车通过时记录分频最大振级  $VL_{max}$  作为该次列车通过时的测量值，以每次列车通过时该测点  $VL_{max}$  的算术平均值为该测点的振动评价量。

布设多个测点时，由于振动波和测点位置的影响，不同测点的测量值会有差别，在

排除非轨道交通影响因素之后，各振动测点的算术平均值为振动评价量，并与振动限值进行比较。

## 5.2 测试仪器

**5.2.2** 本条参考现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355。本标准需要对随机振动、冲击振动等振动类型进行测量，需使用实时分析滤波器，这种仪器也称为实时频谱分析仪。振动测量仪器应能测量中心频率 1~200 Hz 的 1/3 倍频程振动加速度级，声学测量时可以选用 1/3 倍频程滤波器进行测量，再合成为 1/1 倍频程测量结果，此时 1/3 倍频程滤波器的中心频率应为 25 Hz~315 Hz。

**5.2.3** 本条参考现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355。现行国家标准《人体对振动的响应测量仪器》GB/T 23716 对振动现场校准器做了规定，所以振动校准器应符合现行国家标准《人体对振动的响应测量仪器》GB/T 23716 有关条款的规定。在声学测量中要求仪器要达到 1 级性能，所以只能用 1 级或 LS 级声校准器，考虑到 LS 级声校准器主要用于实验室，所以本标准要求使用 1 级声校准器。

## 5.3 测试要求

**5.3.1** 测量应选择在室内振动与结构噪声较为不利的时段进行。例如对可能受到轨道交通产生振动影响的建筑进行室内振动和结构噪声测量时，选择在轨道交通运行最为密集的时段进行。

**5.3.3** 测量房间内的振动和结构噪声时，应将房间内门窗关闭，并应将房间所在套型内和套型外的所有门窗关闭，避免被测房间受到如交通噪声、社会生活噪声等外界其他噪声的干扰。

**5.3.4** 本条参考现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355。住宅建筑普通房间如卧室通常面积不大于 20 m<sup>2</sup>，对于这类房间，可以在可察觉的振动敏感处选择一个测点，如果房间内有多个振动敏感位置，可增加测点。住宅建筑中，对于大于 20 m<sup>2</sup> 的房间，受梁柱等构造影响，房间地面可能非匀质，应增加测点数量。通常，楼板靠近梁、柱附近的位置，振动不易激发，选择测点时，需注意避免选择在梁、柱附近。拾振器的安装以能准确测得房间内的竖向振动值为好，以减少测量误差为目标，因此需将拾振器主轴方向与竖向一致。拾振器如果安装在松软或弹性地面上，松软或弹

性地面对振动产生较为明显的衰减，导致测量结果无法准确显示房间内的实际振动现状。

**5.3.5** 本标准规定测量时测量振动最大值，数据处理时要对最大值进行修正，以修正后的测量值作为室内振动是否超标的评价量。测量的振动最大值分别为 Z 振级最大值和竖向振动加速度级最大值。为了保证测量数据准确可靠，对于如轨道交通引起的频发振动和可控的冲击振动，要求测量至少 5 个完整的振动周期。

## 5.4 校准方法

**5.4.1** 本条参考现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355。现场校准和检查是为了保证仪器主要功能正常，测量结果可靠。测量前测量后两次校准的示值或传感器灵敏变化比较大说明仪器不稳定，测量结果不可靠。进行频谱分析时，对仪器的频率响应要求比较高，所以有必要在低频段增加一个频率的检查，以保证频谱分析结果的可靠性。有些仪器用的是传感器灵敏度，检查时应换算成灵敏度级。

**5.4.2** 本条参考现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355。Z 振级最大值与最小值相差在 3 dB 以内的振动可以认为是稳态振动，此时的积分测量时间可设为 1 min。如果振动的起伏比较大，应延长积分测量时间，直到 Z 振级等效值的变化小于 0.5 dB 为止，在整个积分测量时间里应保持振源处于正常工作状态。

对于单次振动事件持续时间很短的振动，要一次性测量 1 min 时长的等效值可能存在难度。这时，可以分成多个短时段进行测量，但是总测量时长不应小于 1 min。例如：单次振动事件持续时间为 10 s，这是我们至少要测试 6 个振动事件，以保证总时长不小于 1 min。

**5.4.3** 本条参考现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355。对于 Z 振级最大值测量，应对每个振动周期分别测量，每次完整振动周期均应记录测得的 Z 振级最大值，用 Z 振级最大值的算术平均值作为评价量。

通常具有积分和统计分析功能的测振仪在测量 Z 振级等效值同时，可测得 Z 振级最大值。对于振动最大值测量，指数平均时间常数对测量结果影响可能会比较大，一定要正确选择指数平均时间常数，为了测试结果的统一，并与相关标准协调一致，本标准规定的指数平均时间常数为 1 s。

## 5.5 数据处理

**5.5.1** 本条参考现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355。对以等效值为测量评价量的振动测量，对于长时间保持不变的稳态振动，可以用不小于 1 min 积分时长的单一等效值来评价；但是对于无规振动或其他类型的振动，用长时间积分可能会影响最终结果，这时候，也可以采用多个短时间等效值来评价。选用单一等效值还是多个等效值来评价，根据测试现场情况，依据最不利原则确定。

**5.5.3** 本条参考现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355。房间内若仅选取一个测点，对于诸如轨道交通产生的振动和结构噪声，需测量至少 5 个列车通过过程。每个完整的振动周期，均可以测得一个振动值和结构噪声值，为了保证测试数据与记录完整，每个完整振动周期均应记录测得的振动值和结构噪声值。在保证每次测得数据准确有效的前提下，以多次测得的振动或结构噪声值的算术平均值作为评价量，这样可以通过平均方法，去除测量误差，让测量值更接近真值。

**5.5.4** 本条参考现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355。若房间内选取多个测点，对于诸如轨道交通产生的振动和结构噪声，在每个测点需测量至少 5 个列车通过过程，对每个列车通过过程测得的数值，需采取算术平均法给出平均值。对不同测点的平均值，需选用其中最大值作为限值评价量。不同测点的平均值，不能再通过平均来评价。否则，当一个测点平均值远高于其他测点平均值时，且远超过限值评价量，不同测点平均值再平均的话，完全可能低于相应限值，导致评价错误。

## 5.6 测试记录

**5.6.1** 本条参考现行行业标准《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量方法标准》JGJ/T 170。本条规定了对住宅建筑室内的振动及结构噪声测量时，要对测量原始信息进行准确和详尽的记录。

## 6 二次辐射噪声测量方法

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 本标准规定的建筑物室内二次辐射噪声不是由建筑物内的振源或噪声源直接产生，而是从建筑物的外部通过建筑基础传入振动激励的结果。由于振动在岩土介质传递的衰减和建筑物基础的作用，较高频率的振动成分被过滤，因此，二次辐射噪声是一种低频噪声。从轨道碎石道床或整体道床向周围扩散的振动，除了振幅较大的低频之外，在 50 Hz~100 Hz 的频率范围还会出现重要的峰值。考虑轨道沿线岩土介质的振动传递特性，本标准规定的振动频率范围为 4 Hz~200 Hz，考虑人耳听到声音的最低频率和建筑结构固有频率，而将二次辐射噪声频率界定在 16 Hz~200 Hz。

**6.1.2** 人体敏感的振动是竖向的振动分量，现行国家标准《城市区域环境振动测量方法》GB/T 10071 以竖向 Z 振级 VL，来评价环境振动对人体的影响，借鉴《城市区域环境振动测量方法》GB/T 10071 关于铁路测量评价量的规定，读取每次列车通过过程中的最大示数即最大 Z 振级，本标准在 4 Hz~200 Hz 频率范围内采用 1/3 倍频程中心频率上按不同频率计权因子修正后的最大振动加速度级作为评价量，简称分频最大振级，记为  $VL_{max}$ 。加速度 Z 计权因子是竖向振动加速度在 1/3 倍频程中心频率上的修正系数，数值参考《Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole-body vibration-Part 1: General requirements》ISO 2631/1-1997 的规定。

**6.1.3** 可能对测量产生影响的环境因素包括剧烈的温度梯度变化、强电磁场、强风、地震或其他非振动污染源引起的干扰等。

**6.1.4** 本条参考现行行业标准《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量方法标准》JGJ/T 170。结构噪声一般为低频窄带噪声，人对这种噪声的主观感受更为敏感，而此类噪声经 A 计权处理后有较大的衰减，因此规定分频噪声限值更为合理，本标准结构噪声限值参考了国家标准《民用建筑隔声设计规范》GB 50118-2010 中规定的住宅建筑房间室内允许噪声级 A 声级限值和国家标准《社会生活环境噪声排放标准》GB 22337-2008 中 A 声级与倍频程声压级之间的关系得出的，给出了 31.5 Hz、63 Hz、125 Hz、250 Hz 四个倍频程的结构噪声声压级限值，该限值是未经 A 计权的等效声级。

## 6.2 测量仪器

**6.2.5** 本条参考现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355。国家标准《电声学 声级计 第1部分：规范》GB/T 3785.1-2010 是对国家标准《声级计的电、声性能及测试方法》GB/T 3785-83 和《积分平均声级计》GB/T 17181-1997 的修订。积分平均声级计通常也叫做积分声级计。

## 6.3 测量要求

**6.3.1** 本条参考现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355。对于住宅建筑，普通房间如卧室通常不大于 20 m<sup>2</sup>，可只选择 1 个测点。对于这类房间，如果存在明显可察觉的结构噪声敏感位置，测点应选择在該位置，如果无法确定噪声敏感位置，测点应选择在房间中央。住宅建筑中，对于大于 20 m<sup>2</sup> 的房间，房间内声场分布并不均匀，应增加测点数量。测点位置应首选存在明显可察觉的结构噪声敏感位置，如果无法确定噪声敏感位置，可以在房间内均匀分布。规定测点距地面、墙面、反射面之间的距离是为了保证测试结果不因反射声的影响而产生测量偏差。规定各个测点之间的距离为了保证测点选择尽量均匀，能充分反映整个房间内的噪声水平。

**6.3.2** 本条参考现行行业标准《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量方法标准》JGJ/T 170。测量时间内记录列车途经建筑物附近引起室内二次辐射噪声变化的整个过程。

**6.3.10** 本条参考现行行业标准《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量方法标准》JGJ/T 170。在建筑物室内进行二次辐射噪声测量时，列车按测量所在区段设计的最高速度或该区段实际的运营速度运行，测量时间不应小于 1h 且至少通过 5 列车。如果预测列车运行速度对沿线建筑物室内二次辐射噪声水平影响较大，则应延长测量时间，其测量结果需反映列车运行速度的影响，以同一运行速度（±3 km/h）通过的列车数量不要少于 5 列。

## 6.4 测量方法

**6.4.2** 住宅建筑内外的振动会引起建筑内的地板、墙体振动，并随建筑结构传播产生结构噪声。目前，由于住宅建筑内配套服务设备、住宅建筑外部地铁、铁路振动引起的室内结构噪声影响的投诉日益增加。为了居住者有一个良好而又必备的居住条件，在本次

修订中，规定了住宅建筑内由于振动引起的结构噪声测量方法。

## 6.5 数据处理

**6.5.1** 振动引起的结构噪声测量要与振动测量数据处理方法一致。但是对于以振动最大值为评价量的结构噪声测量，不能以噪声极大值作为测量评价量，还是要以噪声等效值作为测量评价量。

**6.5.2、6.5.3** 在排除其他噪声源的情况下，测量值与室内背景噪声的声级差小于 3 dB(A)，测量无效。此时，如果室内背景噪声小于限值，则可以认为途经的列车对沿线建筑物室内噪声没有影响；否则应分析室内背景噪声超标的原因。

**6.5.5** 本条参考现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355。背景噪声修正前应对结构噪声及背景噪声按四舍五入的原则修约到整数，再两个数相减后查表得到修正值。用修约到整数的结构噪声加上修正值就是最终的结果。背景噪声修正按不同中心频率分别进行，有一个频带声压级超标就可判为超标。

对于结构噪声测量值与背景噪声的差值小于 3 dB 的情况，如果测量值用背景噪声修正后的修正值均低于本标准规定的限值，可以判定结构噪声值符合本标准要求。如果任一频带测量值用背景噪声修正后的修正值超过本标准规定限值，首先应考虑更改测量时段，或者采取其他降低背景噪声的措施后，进行再次测量。如果更改时段或采取降低背景噪声的措施均不可行，应在检验报告中分别列出结构噪声测量值、背景噪声值和结构噪声修正结果，结构噪声修正值按-3 dB 修正，并要在修正结果前加“≤”符号，且该频带不做超标判定。

## 7 振动舒适度与二次辐射噪声评价

### 7.1 一般规定

**7.1.2** 轨道交通、高速公路、铁路等振动源沿线结构进行时程分析时，计算模型需考虑楼板构件，建立楼板薄壳单元，分析测点选取楼板中心输出振动结果。

振动作用计算测点选择，包括城市轨道交通结构基础顶部、大平台顶面、转换层以上结构首层或隔震层上下、转换层以上结构 1/3、1/2、2/3 楼层高度处及顶层位置。振动作用采用现场实测时，振动测量测点选择和拾振器安装的要点如下：

(1) 沿建筑高度的振动测点布置，包括城市轨道交通结构基础顶部、大平台顶面、转换层以上结构首层或隔震层上下、转换层以上结构 1/3、1/2、2/3 楼层高度处及顶层位置。

(2) 同一楼层内测点的布置，以到达城市轨道交通线路中心线的距离远近为控制尺度，由近及远均匀布置测点，兼顾被评估结构的刚度中心和几何边界端点，同一楼层内测点数量不少于 3 个；建筑物室内振动测点位置布置在靠近房间几何中心 1/3 跨度范围内地面上。

**7.1.4** 轨道交通会引起沿线建筑物内的地板、墙体振动，并产生结构噪声，也称城市轨道交通引起的二次辐射噪声。结构噪声一般为低频窄带噪声，空气路径传播噪声的降噪措施对于此类噪声基本无效，在振动源及振动传播路径上采取减振措施才有较好效果。为了沿线建筑的居住者和使用者有良好的居住和工作条件，沿线建筑开发设计时需考虑室内结构噪声的影响。

对于轨道交通引起的建筑物室内结构噪声，相关标准目前有现行行业标准《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量方法标准》JGJ/T 170，噪声评价的频率范围为 16 Hz~200 Hz，采用等效连续 A 声压级，2 类区昼间限值为 41 dB，2 类区夜间限值为 38 dB；3 类区限值各加 4 dB。上海市标准《城市轨道交通（地下段）列车运行引起的住宅建筑室内结构振动与结构噪声限值及测量方法》DB 31/T 470-2009 中规定，噪声评价的频率范围为 20 Hz~20000 Hz，采用列车昼夜运行时段等效 A 声级和夜间时段的最大 A 声级。对于 2 类~4 类区，昼间限值为 45 dB，夜间等效 A 声级限值为 35 dB、最大 A 声级限值为 45 dB。

人对低频噪声的主观感受更为敏感，A 计权对低频噪声有较大的衰减，已有越来越多的研究表明 A 计权低估了低频噪声对人的影响，因此现行国家标准《住宅建筑室内振

动限值及其测量方法标准》GB/T 50355 规定了分频噪声限值，采用了中心频率 31.5 Hz~250 Hz 的 1/1 倍频程等效声级，对于卧室的昼夜和起居室全天制定了适宜达到和不得超过两级限值。考虑到沿线建筑的建筑功能还可能有商业和商务办公、以及车间办公区，对于这两类功能类型可以参照起居室的噪声限值进行控制。

**7.1.5** 振动源沿线建筑的振动噪声舒适性受到车辆类型、编组、运行速度、轨道类型、轨道交通沿线结构基础、轨道与轨道交通沿线结构联结等多种因素的影响，不能确定沿线建筑振动噪声满足限值要求时，需开展专项研究。

**7.1.7** 对于室内二次辐射噪声超标的地段，可采取本标准第 8 章中的减振降噪措施，以确保沿线建筑物在使用年限内满足本标准的限值规定。

## **7.2 振动舒适度计算**

**7.2.2** 本条参考现行国家标准《建筑工程容许振动标准》GB 50868。振动评价采用竖向四次方振动剂量值时，昼间和夜间的时间需符合当地人民政府的有关规定。当无规定时，昼间取 6 时至 22 时，夜间取 22 时至次日 6 时。

## **7.3 振动舒适度评价**

**7.3.1** 本条参考现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355，城市轨道交通引起的振动若采用 Z 振级等效值会因振动事件之间的间隔计入积分时长，导致数值偏低，因此采用竖向 Z 振级作为评价量。

本标准振动评价对象是城市轨道交通沿线建筑物，振动是由沿线建筑物附近经过的轨道交通线路引起的，测量点位于沿线建筑物室内，测量值为竖向的振动加速度。

对大量振动实测数据进行统计分析表明：对于同一振动加速度数据，现行国家标准《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》GB/T 13441.1 规定的基本频率计权  $W_k$  计权得到的 Z 振级较 W 计权得到的提高 3 dB。因此，本标准采用  $W_k$  计权，相应的限值较国家标准《城市区域环境振动标准》GB 10070-88 所规定的限值提高 3 dB。

本标准将振动源沿线建筑物功能类型分为振动控制要求严格的工作区、居住、商业和商务办公、车间办公区 4 类，对应于国家标准《城市区域环境振动标准》GB 10070-88 的区域类型特殊住宅、居住和文教区、混合区和商业中心区、铁路干线两侧 4 类，因此

相应此 4 类区域的限值提高 3 dB。

上述计算方法即为现行标准的限值由来。根据文献调研与对雄安新区有关部门的调研结果，为了解决虽然限值达标但人体仍然存在不舒适感的问题，依据本标准高标准、高质量的编制准则，基于行业标准《建筑楼盖结构振动舒适度技术标准》JGJT 441 和《AIJES-V0001-2018 建築物の振動に関する居住性能評価規準-同解説-摘录》（日本标准），根据北京地区的地铁振动实测案例及其数据，通过不同评价指标的振动限值转化分析，发现若将竖向 Z 振级限值降低 2 dB，类比我国标准及日本标准，可将舒适度等级提高一级。因此，在现行标准的限值基础上，本标准将其降低 2 dB。

**7.3.2** 国际标准《Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole-body vibration-Part 1: General requirements》ISO 2631/1: 1997 和英国标准《Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings》BS 6472: 1984 指出在以下情况下需采用四次方振动剂量值等方法替代基本评价方法：波峰因数大于 9，或包含有间歇振动、偶然性冲击振动、瞬态振动。参考现行国家标准《建筑工程容许振动标准》GB 50868，交通振动对建筑物内人体舒适度影响的评价需附加竖向四次方振动剂量值。因此本标准规定，对于轨道沿线建筑物室内的评价，在竖向 Z 振级最大值的基础上，附加竖向四次方振动剂量值。

数据处理按基本频率计权对竖向加速度进行 1 Hz~80 Hz 频率范围内计权。根据建筑物功能类型，参考英国标准《Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings》BS 6472: 2008，给出不同类型的容许竖向四次方振动剂量值。

## 7.4 结构二次辐射噪声计算

**7.4.2** 本条参考现行行业标准《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量方法标准》JGJ/T 170。采用 Z 振级最大值进行振动评价，测量振动引起的结构噪声时，其等效声级积分时长的规定可参考图 10。在图 10 中，积分开始时间  $t_1$  为未达最大 A 声级前，低于最大 A 声级 10 dB 对应的时间。积分结束时间为  $t_3$ ，中间虽然下降到最大 A 声级以下 10 dB(A)，但整个冲击过程没有结束，积分不能停止，应该一直积分到  $t_3$ 。但是要注意区分，后续噪声是振动激发引起的还是背景噪声干扰引起的，如果是背景噪声干扰。积分终止时间应在  $t_2$  时刻。背景噪声对噪声事件积分时间的选择影响较大，应采用适当措施降低背景噪声。

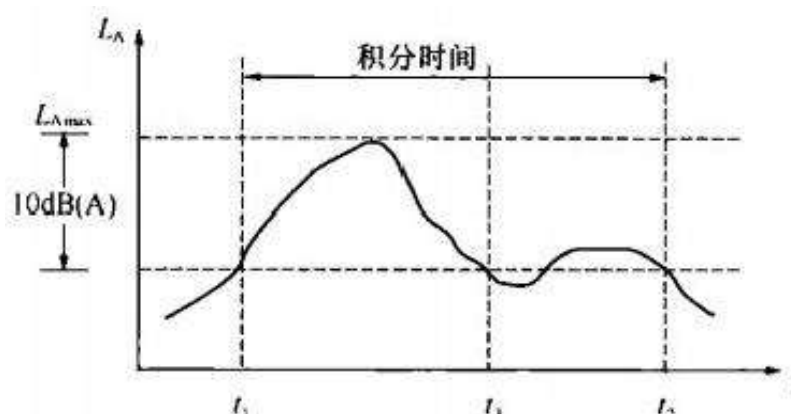


图 10 噪声事件积分时间选择示意

为了确定振动源停止运行时，房间内的背景噪声是否会影响振动引起的结构噪声测量，应该对振动源关闭或停止振动时进行背景噪声测量，背景噪声需在测量结构噪声时的同一位置进行。

## 7.5 结构二次辐射噪声评价

**7.5.1** 本条参考现行行业标准《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量方法标准》JGJ/T 170。建筑物室内二次辐射噪声是一种低频噪声。如果测量的等效声级达到 50 dB(A)，按现行的噪声限值标准则完全符合环境噪声要求，但在此环境下生活或工作的人是无法承受的。原因在于声级的 A 计权处理方法，在频率几十至几千赫兹的范围内加权处理可以得到一个与人听觉适应较好的综合声级，但对于噪声组成以低频（几百赫兹以下）为主的情况，经 A 计权处理的声级偏低，国内现行的噪声标准就不再适用。例如，1000 Hz 的声压级 10 dB 经 A 线加权处理后仍为 10 dB(A)，而 100 Hz 的声压级 10 dB 经 A 线加权处理后仅为 1 dB(A)，为此本标准提出建筑物室内二次辐射噪声的限值。与英国、美国、德国和日本等国家以及台湾地区的标准中有关低频噪声的大量试验和调查结果比较，表 7.5.1 的低频噪声限值是适中的，与国家标准《住宅设计规范》GB 50096 规定的夜间室内噪声限值 40 dB(A)也是相协调的。35 dB(A)以下的室内二次辐射噪声对居民的睡眠没有影响，但如果室内二次辐射噪声水平达到 45 dB(A)以上，则对居民的睡眠影响或主观反应都会很大。

## 8 振动与噪声控制

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 如果建筑物位置临近轨道线路，需采取减振降噪措施以满足建筑物振动和室内二次辐射噪声限值标准。当地下线路下穿建筑物时，建筑物与轨道中心线之间的水平距离为零，振动在土质中传递的直线距离为隧道埋深。地下线隧道结构与建筑基础的间距、土质、隧道埋深以及运营条件等因素直接影响其地面建筑物振动及其室内二次辐射噪声水平。例如隧道地质条件的影响，土质越软，列车振动由轨道道床经隧道向周边能够传递的距离越近；相反，当隧道周边为硬质岩石时列车运行引发振动的影响距离加大。

### 8.2 振动控制

**8.2.2** 本条参考现行行业标准《建筑楼盖结构振动舒适度技术标准》JGJ/T 441。当结构跨度较小时，可采用增加刚度的方法提高舒适度。增大结构刚度的方法如下：

（1）增大截面法，是指增大原构件截面，提高其刚度，改变其自振频率，适用于梁、板体系。增大截面法可加大截面高度或宽度、加厚翼缘板、变工字形截面为箱形截面等方式。

（2）增设支点法，指用增设构件支点或改变支座约束来改善结构受力体系，改变其自振频率。主要方法有增设柱、墙、支撑或辅助杆件来增加构件支点，将简支结构端部连接成连续结构，将构件端部支承由铰接改造成刚接，调整构件的支座位置等。

**8.2.5** 轨道交通沿线的隔震结构隔震装置的设计需考虑地震安全性要求和车辆运行振动舒适度的要求，三维隔震振装置的设计需综合考虑地震安全性和车辆运行振动舒适度的要求。考虑到三维隔震振装置需具有水平和竖向解耦功能，故具有水平隔震功能的支座和竖向隔振功能的支座需为串联组合。

**8.2.6** 目前，现行国家标准《橡胶支座 第3部分 建筑隔震橡胶支座》GB/T 20688.3给出橡胶支座“竖向压缩刚度”试验方法为水平变位为0，轴压应力 $(1 \pm 30\%) \sigma_0$ ， $\sigma_0$ 为产品的设计轴压应力，3次往复加载，取第3次加载的荷载最大值和最小值点连线的斜率。而本标准定义了“竖向隔振刚度”，推荐采用10%的加载幅值。基于编制组前期多次开展的城市轨道交通沿线结构振动测试，车辆运行振动作用幅值多数约 $10 \text{ cm/s}^2$ ，根据 $F=ma$ ，认为车辆运行时给结构施加的力约为0.1倍m，因此推荐采用10%的设计面压作为加载

幅值。

**8.2.7** 本条对管道隔振提出了具体做法的要求，这些要求是保证管道隔振成功必不可少的，否则达不到隔振效果。

**8.2.9** 由于连廊和室内天桥一般跨度较大、质量较轻、自振频率较小，容易出现舒适度问题。通过适当增加缆索等构件、将梁截面由矩形改为 I 形等措施，可以提高连廊和室内天桥的竖向刚度，通过将梁截面由矩形改为箱型、适当增加桥宽、设置横向拉索、桥面边缘增加约束构件等措施可以提高连廊和室内天桥的横向刚度，增加栏杆等非结构构件可以提高连廊和室内天桥的整体刚度及阻尼。当连廊和室内天桥的自振频率较小时，需优先考虑设置调谐质量阻尼器的减振措施。智能调谐质量阻尼器可通过半主动控制及主动控制实现，主要实现方法有变质量、变摆长、变刚度、变阻尼及其复合型式等。