

备案号:

DB

浙江省工程建设标准

DB33/T××××-202×

城市轨道交通引起建筑物振动测试技术规程

Technical Specification for Testing of Urban Rail Transit Induced Building

Vibration

(报批稿)

202×-××-×× 发布

202×-××-×× 实施

浙江省住房和城乡建设厅 发布

浙江省工程建设标准

城市轨道交通引起建筑物振动测试技术规程

Technical Specification for Testing of Urban Rail Transit Induced Building
Vibration

DB33/T××××-202×

主编单位：浙大城市学院

中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

浙江瑞诚检测有限公司

批准部门：浙江省住房和城乡建设厅

施行日期：202×年××月××日

前 言

根据浙江省住房和城乡建设厅关于印发《2017年度浙江省建筑节能与绿色建筑及相关工程建设标准制修订计划》的通知（建设发〔2018〕3号）的要求，规程编制组通过广泛调查研究，参考国内外的有关标准，并结合浙江省城市轨道交通引起建筑物振动测试技术的应用实践，制定了本规程。

本规程的主要技术内容是：1 总 则；2 术语和符号；3 基本规定；4 测点布置；5 振动响应测试；6 测试报告。

本规程由浙江省住房和城乡建设厅负责管理，由浙大城市学院负责技术内容的解释。执行过程中，请各有关单位结合实际，不断总结经验，并将发现的问题、意见和建议函告浙大城市学院[地址：浙江省杭州市拱墅区湖州街48号，邮编：310015]，以供修订时参考。

本规程主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主 编 单 位：浙大城市学院

中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

浙江瑞诚检测有限公司

参 编 单 位：浙江华东测绘与工程安全技术有限公司

杭州地铁集团有限责任公司

浙江省建设工程质量检验站有限公司

浙江大学建筑设计研究院有限公司

浙江中浩应用工程技术研究院有限公司

浙江大合检测有限公司

上海勘察设计研究院（集团）有限公司

浙江翰达工程检测有限公司

浙江众城检测技术有限公司

路歌交通建设集团有限公司

中铁二院工程集团有限责任公司

浙江科嘉工程技术研究有限公司

浙江崇德建设有限公司

浙江省机电设计研究院有限公司

杭州方汇建设工程检测有限公司

主要起草人：丁 智 孙苗苗 朱永茅 吴 勇 朱自强

关淑萍 黄 伟 李介生 赵良云 姜叶翔

曹凌坚 裘志坚 谢狄敏 陈 赟 申文明

曾涨雨 马 健 常骆新 郑雪成 李宗帅

邵剑文 马笑遇 周宗强 钱宏春 胡方剑

童文华 王 春 孙学志 衣方彬 王书文

余锦棠 许永富 李发勇 孙宏磊 陈 炜

黄江平 申艳阳 汪继葵 赵银飞 张 鹤

陈俊杰 胡 瑜 陈立新 周 鸿 叶挺庆
施旭峰 韩 萍 翁晓博 施 峰 王志刚
主要审查人：赵宇宏 陈 茜 夏唐代 李志飏 秦建设
陈小亮 于航波 黄 成 张治成

目 次

1	总 则.....	1
2	术语和符号.....	2
2.1	术语.....	2
2.2	符号.....	3
3	基本规定.....	4
4	测点布置.....	6
5	振动响应测试	7
5.1	一般规定	7
5.2	测试系统	7
5.3	测试方法	8
5.4	测试数据记录与处理	8
6	测试报告.....	10
	附录 A 振动测试记录.....	11
	本标准用词说明	12
	引用标准名录.....	13
	附：条文说明.....	15

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	4
4	Testing Point Layout.....	6
5	Testing of Vibration Response	7
5.1	General Requirements	7
5.2	Testing System	7
5.3	Testing Method	8
5.4	Record and Processing of Test Data	8
6	Test Report	10
	Appendix A Vibration Test Record	11
	Explanation of Wording in This Standard	12
	List of Quoted Standards	13
	Addition: Explanations of Provisions.....	15

1 总 则

1.0.1 为规范城市轨道交通引起的建筑物振动测试技术，做到技术先进，系统完整，数据准确，分析可靠，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于浙江省城市轨道交通运行引起的建筑物振动的测试。

1.0.3 城市轨道交通引起的建筑物振动的测试除应符合本规程外，尚应符合国家和浙江省现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 城市轨道交通 urban rail transit

采用专用轨道导向运行的城市公共客运交通系统。

2.1.2 建筑物振动 structure vibration in buildings

列车运行期间通过固体介质传播引起沿线建筑物结构及室内精密仪器的往复运动。

2.1.3 振动加速度级 vibration acceleration level

振动加速度有效值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), 基准加速度值为 10^{-6}m/s^2 。

2.1.4 铅垂向振动加速度级 vertical vibration acceleration level

垂直于水平面的振动加速度级, 记为 VAL_z 。

2.1.5 1/3 倍频程铅垂向振动加速度级 1/3 octave vertical vibration acceleration level

将测得的铅垂向振动加速度用 1/3 倍频程滤波器进行频谱分析, 得到的分频振动加速度级, 记为 $VAL_{Z\max, f_0}$ 。

2.1.6 振动级 weighted vibration level

按规定的频率计权曲线对振动加速度级计权修正后得到的单值评价量, 又称计权振动级, 记为 VL 。单位为分贝, dB。

2.1.7 Z 振动级 weighted vertical vibration level

垂直于水平面的振动级, 又称计权 Z 振动级, 记为 VL_z 。单位为分贝, dB。

2.1.8 Z 振动级最大值 maximum weighted vertical level

在规定的测试时间 T 内, Z 振动级最大值, 记为 $VL_{Z\max}$, 单位为分贝, dB。

2.1.9 振动响应 vibratory response

结构受外部动力激励 (输入) 作用而产生的作用效应 (输出)。

2.1.10 截止频率

测试系统的输出信号能量开始大幅下降 (在带阻滤波器中为大幅上升) 的边界频率, 一般指输出功率衰减为输入功率 1/2 时的频率。

2.1.11 测试评价量

用以评价城市轨道交通沿线建筑物室内振动或精密仪器振动的测试指标。

2.2 符 号

a ——加速度

f ——频率

f_s ——采样频率

v ——速度

VAL ——振动加速度级

VAL_z ——铅垂向振动加速度级

$VAL_{Zmax,f}$ ——中心频率为 f (Hz) 的 1/3 倍频程铅垂向振动加速度级最大值，即分频最大振动级

VL ——振动级

VL_z ——Z 振动级

VL_{Zmax} ——Z 振动级最大值

3 基本规定

3.0.1 测试单位应编制测试方案，测试方案应经委托单位同意后方可实施。

3.0.2 振动测试工作步骤应符合下列规定：

- 1 接受委托，明确测试对象、目的和要求；
- 2 现场踏勘，收集资料；
- 3 制定测试方案；
- 4 测点布设，仪器设备校验和标定；
- 5 实施现场测试；
- 6 测试数据的处理、分析及信息反馈；
- 7 编制测试报告。

3.0.3 测试方案编制前，委托方应提供下列资料：

- 1 测试建筑物的基本情况，包括地基基础、上部结构、平面布置和精密仪器设备的基本情况；
- 2 城市轨道交通的基本情况；
- 3 场地及其邻近的干扰振源资料；
- 4 其他所需资料。

3.0.4 测试单位在现场踏勘、资料收集阶段应包括下列主要工作：

- 1 了解委托方和相关单位对测试的要求；
- 2 收集并分析岩土工程勘察、轨道交通周边环境、设计、施工等资料；
- 3 通过现场踏勘，复核相关资料与现场状况的关系，确定拟测试项目现场实施的可行性。

3.0.5 测试方案应包括下列内容：

- 1 工程概况；
- 2 场地工程地质、地基基础、上部结构及轨道交通周边环境状况；
- 3 测试依据；
- 4 测试目的；
- 5 测试项目；
- 6 测试时间区段和频次；

- 7 测点布置；
 - 8 测试方法及精度；
 - 9 测试人员及主要仪器设备；
 - 10 测试数据的记录制度和处理方法。
- 3.0.6 测试期间，测试方应做好测试设备的保护。委托方应协助测试单位保护测试设备。
- 3.0.7 测试期间，应避免其他振动源的干扰。
- 3.0.8 当测试项目需要进行高频次或连续实时观测时，宜实施自动化测试。
- 3.0.9 测试结束时，测试单位应向委托方提供完整的资料，并按档案管理规定，组卷归档。

4 测点布置

4.0.1 建筑物室内振动测试时，测点布置应综合考虑委托要求、城市轨道交通和建筑物相对位置、建筑物特点等因素，并应符合下列规定：

1 测点应布置在建筑物的底层、顶层以及中间若干楼层，高于四层的建筑物，每隔四层应布置测点；

2 测试楼层每层选定测试的房间不应少于 3 个。测点应布置在人员主要活动区域的楼（地）面振动敏感位置，当振动敏感位置无法确定时，测点宜选在室内楼（地）面中央。每个房间内的测点数不应少于 1 个，当房间面积较大时，宜增加测点数；

3 当轨道交通位于建筑物外侧一定距离时，建筑物与振源间的测点数不应少 1 个。

4.0.2 当建筑物内不允许布置测点时，测点可布置在建筑物基础或与基础相连的结构上，测点数不应少于 3 个，且靠近轨道一侧不应少于 1 个。

4.0.3 当对精密仪器进行振动测试时，测点与精密仪器或与精密仪器支座和楼（地）面或墙面的接触点的距离不应大于 0.2m；当确有困难时，测点也可布置在精密仪器上，且沿精密仪器高度方向的测点不应少于 2 个。

5 振动响应测试

5.1 一般规定

- 5.1.1** 建筑物室内振动测试的基本测试参数宜为加速度。精密仪器振动测试的测试参数可为振动加速度、速度和位移。
- 5.1.2** 振动测试时，应根据测试要求和测试参数合理选择测试仪器和测试系统。
- 5.1.3** 测试仪器应定期送到具有资质的计量检定机构检定，检定合格并在计量有效期内方可使用，一般每年至少检定 1 次。
- 5.1.4** 数据采集时间长度应能保证合理的数据统计精度，并且能够保证所测振动结果具有典型性和代表性。
- 5.1.5** 建筑物室内振动测试时，采样频率应不小于 500Hz；精密仪器振动测试时，采样频率应不小于 1000Hz。
- 5.1.6** 测试过程中，应避免除运营列车外的其他环境因素和振源对振动测试值的干扰。
- 5.1.7** 振动测试宜分为昼间和夜间两个时段进行。昼间是指一天内 6:00 至 22:00 之间的时段，夜间是指当天 22:00 至次日 6:00 之间的时段。

5.2 测试系统

- 5.2.1** 振动测试宜采用由振动传感器、信号处理器（调理器）和数据采集分析系统等多台仪器组成的振动测试系统，也可采用由振动传感器、信号处理器和显示器组成的单台振动测试仪器。
- 5.2.2** 振动测试系统应具有采集、传输、储存和分析等功能，其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 的规定，并应具有 W_k 计权网络。
- 5.2.3** 建筑物室内振动测试时，振动传感器宜采用加速度传感器。精密仪器振动测试时，振动传感器应根据测试参数采用加速度传感器、速度传感器或位移传感器。
- 5.2.4** 建筑室内振动测试时，加速度传感器宜采用（高灵敏度、低频）压电式加速度计。其电压灵敏度宜为 400mV/g，频率范围宜为 0.1Hz~150Hz，横向灵敏度不宜大于 5%，幅值线性宜小于 5%。
- 5.2.5** 精密仪器振动时，振动传感器应具有较高的灵敏度和合适的量程。当将测点直接布置在仪器上时，振动传感器的质量应不大于所测精密仪器设备质量的 10%。

5.2.6 振动测试系统中滤波器应符合现行国家标准《倍频程和分数倍频程滤波器》GB/T 3241 中 1 级滤波器的规定，并能测试中心频率 1Hz~80Hz 的 1/3 倍频程振动加速度级。

5.2.7 数据采集分析系统应具有多通道储存和滤波、截取、时域幅值统计等数字信号处理功能，并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。

5.3 测试方法

5.3.1 振动测试时，振动传感器应设置在测试方案确定的测点位置。

5.3.2 建筑物室内振动测试时，传感器应平稳地放在平坦、坚实的室内楼（地）面上，且其灵敏度主轴方向应为铅垂向。

5.3.3 振动测试前应对振动测试系统进行检查和调试。

5.3.4 振动测试前应使用振动校准器对振动测试仪器校准，测试结束后再检查一次，两次示值相差不应大于 0.5dB，当示值相差大于 0.5dB 时测试应记为无效。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。

5.3.5 振动测试应在列车按区段设计的最高速度或实际的运营速度通过时进行，并应符合下列规定：

1 建筑物室内振动测试应测试 Z 振动级最大值 (VL_{Zmax}) 和 1/3 倍频程铅垂向振动加速度级最大值 (VAL_{Zmax}, f)。

2 精密仪器振动测试应在竖向和两个正交水平向同步实测时程曲线，并应考虑精密仪器运行和非运行状态。

5.3.6 振动测试时，应合理选择仪器量程；测试结果最大值不宜小于选定量程的 1/2，且不宜大于选定量程的 2/3。

5.3.7 Z 振动级最大值测试时，应将测试仪器设置为 W_k 频率计权，指数平均时间常数应设为 1s。测试时长应覆盖一次列车通过的时间，直接读取 Z 振动级最大值 (VL_{Zmax})。

5.3.8 1/3 倍频程铅垂向振动加速度级 (VAL_{Zmax}, f) 测试时，应将测试仪器置于频谱分析功能，指数平均时间常数应设为 1s，并应读取整个振动事件过程中心频率 1Hz~80Hz 所有频率的 1/3 倍频程铅垂向振动加速度级最大值 (VAL_{Zmax}, f)。测试时长应覆盖一次列车通过的时间。

5.4 测试数据记录与处理

5.4.1 各测点 Z 振动级最大值 (VL_{Zmax}) 和 1/3 倍频程铅垂向振动加速度级最大值 (VAL_{Zmax}, f) 的测试值，应按附录 A 的规定进行记录，并应绘制测点与列车行驶轨道之间的几何距离关系图。

5.4.2 测试数据应进行信号预处理，分析处理可采用频域分析法或时域分析法。

5.4.3 各测点 Z 振动级的评价值，可取测试持续时间内有不少于上下行各 5 趟列车按区段设计的最高速度或实际的运营速度通过情况下，测点的 Z 振动级最大值 (VL_{Zmax}) 的算术平均值。

5.4.4 各测点 1/3 倍频程铅垂向振动加速度级的评价值，可取测试持续时间内有不少于上下行各 5 趟列车按区段设计的最高速度或实际的运营速度通过情况下，测点的 1/3 倍频程铅垂向振动加速度级最大值 ($VAL_{Zmax, f}$) 的算术平均值。

5.4.5 当被测建筑物房间内或精密仪器上设有多个测点时，在按本节第 3 条和第 4 条规定分别计算各测点的算术平均值基础上，评价值可取各测点算术平均值中的最大值。

6 测试报告

6.0.1 测试分析人员应具备振动测试的能力。

6.0.2 现场测试人员应对测试数据的真实性负责，测试分析人员应对测试报告的可靠性负责，测试单位应对整个项目测试质量负责。测试记录、测试报告提供的数据、图表应客观、真实、准确、及时。

6.0.3 测试数据应直接记录于测试记录表或由测试设备自动导出。任何原始记录不得涂改、伪造和转抄，并应有测试、记录人员签字。

6.0.4 测试报告应包括下列内容：

1 工程概况或测试对象情况，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措施，以及其他需要说明的情况；

2 测试目的、测试方法、测试参数、数据处理方法；

3 测试条件；

4 仪器设备的型号、技术指标、生产厂家及出厂号、标定参数。仪器包括：传感器、采集仪及数据分析系统等主要仪器；

5 建筑物或精密仪器设备和轨道线路之间的位置关系、对应城市轨道交通列车型号和数量、传感器的布置位置说明及示意图、安装说明；

6 测试结果：文字、图表、记录数据、表示测试结果的图形；

7 测试结果和计算方法的说明、测试结果分析；

8 结论与建议；

9 测试单位、人员、日期及附加说明；

10 与测试有关规范。

附录 A 振动测试记录

表 A 城市轨道交通沿线建筑物振动测试记录表

测试地点		房间（仪器）名称		测点位置图示																							
测试日期		测试人员																									
测试评价量		线路及地质条件																									
测试仪器及编号		校准记录				测试前																					
建筑物（仪器）类型						测试后																					
列车速度及运行工况																											
序 号	测 试 时 间	1/3 倍频程中心频率铅垂向振动加速度级最大值($V_{ALZ_{max}, f}$)																									
		1H z	1.25H z	1.6H z	2H z	2.5H z	3.15H z	4H z	5H z	6.3H z	8H z	10H z	12.5H z	16H z	20H z	25H z	31.5H z	40H z	50H z	63H z	80H z	Z 振 动 级					
1																											
2																											
3																											
4																											
5																											
...																											
处 理 结 果																											
测试机构名称： _____		测试人员签字： _____																									

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用语说明如下：

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”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《人体对振动的响应 测量仪器》 GB/T 23716
- 2 《倍频程和分数倍频程滤波器》 GB/T 3241
- 3 《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》 GB/T 50355
- 4 《建筑工程容许振动标准》 GB50868

浙江省工程建设标准

城市轨道交通引起建筑物振动测试技术规程

DB33/T××××-202×

条文说明

目 次

1	总 则.....	16
2	术语和符号.....	17
2.1	术语.....	17
2.2	符号.....	17
3	基本规定.....	18
4	测点布置.....	19
5	振动响应测试	20
5.1	一般规定	20
5.2	测试系统	20
5.3	测试方法	21
5.4	测试数据记录与处理	22
6	测试报告.....	24

1 总则

1.0.1 本规程制订的目的是为了规范城市轨道交通项目运营过程对沿线建筑物、精密仪器振动测试的程序和方法，提高测试结果的可靠性，从而更好地促进测试技术的应用和推广。

1.0.2 由于精密和超精密仪器设备对使用环境的振动要求比较苛刻，有些特殊精密仪器设备甚至提出了小于 $1\mu\text{g}$ (10^{-6}m/s^2) 微振动控制量级的要求。近年来随着城市轨道交通网的兴建，地铁隧道不可避免地会穿（经）过各类精密仪器实验室区域，从而加剧了对实验室环境的影响，使高精密仪器出现信噪比低、数据不准、重复性变差、准确度下降、甚至不能正常工作问题，因此轨道交通振动已成为影响精密仪器测试和控制的关键因素之一。

本标准与现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355 协调一致，并互为补充。对于建筑物，以单一指标的铅垂向 Z 振动级为 80dB（夜间，住宅建筑室内 1 级振动限值）作为振动限值。对于精密仪器，依据《建筑工程容许振动标准》GB 50868，采用容许振动速度峰值、容许振动位移峰值、1/3 倍频程的容许振动值对精密仪器和设备振动进行测试，按照精密仪器设备类型规定振动限值。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 包括地铁、轻轨、单轨、磁浮、自动导向轨道、市域快速轨道系统。

2.1.2 由轨道路基扩散的振动在岩土体中以压缩波（pressure wave）和剪切波（shear wave）或地表面瑞利波（Rayleigh wave）的形式激励建筑物室内及精密仪器等结构物。

2.1.9 振动响应包括位移响应、速度响应、加速度响应等。

2.2 符号

本节所给出的符号可分为振动测试系统性能参数符号、计算参数符号、统计参数符号。

3 基本规定

3.0.6 规定了振动测试现场对被测物体、测试设备和测点等采取的安全保护措施要求，如：

- 1 测试仪器与连线应设专人看管，防止意外的拌动、拉断，过高的悬空线应进行加固处理；
- 2 测试仪器与连线均应良好接地，消除振动干扰；
- 3 测试仪器均应有防风、防雨雪、防晒和防振保护措施；
- 4 测试场地应避免外界干扰振源，测点应注意地下管道、电磁场、高压电弧、射线因素的影响；
- 5 测点部位应有安全保护措施，测试处应防止围观者干扰；
- 6 测试时应做好被测建筑物和精密仪器的保护措施，避免对其造成损害；
- 7 测试过程中的安全技术预案应与现场测试方案同时制定。

3.0.9 规定了测试单位应提交的测试资料，由以下几部分组成：

- 1 测试方案；
- 2 测点布置、验收记录；
- 3 测试数据分析、评定结果及测试总报告。

4 测点布置

4.0.1 普通房间如卧室通常不大于 20m^2 。对于这类房间，可以在可察觉的振动敏感处选择一个测点，如果房间内有多处振动敏感位置，可增加测点。对于大于 20m^2 的房间，受梁柱等构造影响，房间地面可能非匀质，应适当增加测点数量，且至少选取 3 个测点。通常，楼板靠近梁、柱附近的位置，振动不易激发，选择测点时，应注意避免选择在梁、柱附近。

当测点多于 2 个时，离振源近时测点间距小，离振源远时测点间距大。

4.0.3 在从事与精密仪器设备有关的测试中，测试应反映输入的振动及衰减情况，因此需在振源与仪器设备之间布置一些测点。

5 振动响应测试

5.1 一般规定

5.1.1 对居民建筑物等振动测试，宜测量振动加速度；对精密仪器及古建筑物等振动测试，宜测量振动速度。

5.1.3 振动测试系统在使用、运输和保管传感器及配套的过程中应注意防水、防潮、防磁、防暴晒和防剧烈振动。仪器不用时，应干燥保存。测试仪器应避免放置于高温、潮湿、有污水、灰尘的地方，避免阳光直射，经常保持仪器外部清洁。安装电池或外接电源应注意极性，切勿反接。仪器使用完毕，应取出电池。电池电压不足时，应及时更换电池。仪器长期不用时，每月通电 2h，潮湿天气应每周充电 2h。规定了振动测试系统在使用、运输和保管过程中的注意事项，是为了避免仪器损坏而给测试带来的误差。

振动测试系统中的某些元件的电气性能和机械性能会因使用程度和时间而有所变化，各类传感器、放大器和采集记录设备需配套使用，且需要定期进行校准/检定。振动测试仪器的校准主要是指振动传感器的校准，振动测试仪器每次使用前进行内部参考校准。校准/检定内容主要包括灵敏度、频率响应和线性度，根据需要有时需进行自振频率、阻尼系数、横向灵敏度项目的校准/检定。仪器的校准/检定方法有分部校准/检定和系统校准/检定两种，为保证各级仪器之间的耦合和匹配关系，并取得较高的精度，宜采用系统校准/检定法。

5.1.5 选择传感器应关注特定频率范围并具备特定的采样频率。

5.1.7 测试应选择不利时段。诸如：对可能受到轨道交通产生振动影响的建筑进行室内振动测试时，应选择在轨道交通运行最为密集的时段。测试过程中，轨道交通应保持正常工作状态，且其他环境因素不应对振动测试产生干扰，否则应视为无效。

5.2 测试系统

5.2.1 规定了振动测试系统的基本构成和基本要求。目前信号处理器（调理器）、数据采集分析系统多采用高度集成的模块化设计，集信号调理器、低通滤波器、放大器、抗混滤波器、A/D 转换器功能于一体。随着无线传输技术的发展，各种组合式测试系统还可采用无线传输的方式。

5.2.4 测试系统的频率范围宜在 0.1Hz~150Hz（各-3dB）之间，两端外各有每倍频程 12dB 的衰减。

5.3 测试方法

5.3.2 传感器应牢固安装在平坦、坚实的地面上，不应置于地毯、草地、沙地或雪地等松软的地面上，传感器的灵敏度主轴方向应为铅垂向。传感器的安装应以能准确测得房间内的振动值、减少测试误差为目标，因此应将传感器主轴方向与铅垂向一致。传感器如果安装在松软或弹性地面上，松软或弹性地面会对振动产生较为明显的衰减，导致测试结果无法准确显示房间内的实际振动现状。

传感器的安放应符合下列要求：

1 测试振动频率大于 100Hz 时，应采用螺栓连接；在 30Hz~100Hz 时可选用磁铁固定；测试振动频率低于 30Hz 时可用粘接剂或工业用双面胶粘结；

2 传感器与被测物的接触表面应清洁光滑，平面度应小于 0.01mm；

3 传感器的连接导线应牢固粘（压）在被测物上。

5.3.3 现场测试前的准备工作应符合下列要求：

1 检查电源是否符合测试要求；

2 按测试方式布点要求安装传感器，并调节到正常工作状态；

3 合理布置电源和测试导线，并进行通断抗噪声检查；

4 连通各仪器之间的接线；

5 设立测试总指挥，安排人员分工；

6 确定联络方式；

7 准备记录本和记录表格；

8 检查校核传感器测试参数档位情况并记录；

9 检查校核传感器与放大器的归一化情况并记录；

10 检查校核放大器放大参数档位与采集系统中放大参数的同一化情况；

11 将各部分仪器的衰减档级、参数选择置于合适位置，直至正常；

12 在允许情况下，可施加一微小振动，检查整套仪器系统状态是否正常。

5.3.5 城市轨道交通列车通过测点的时间一般为 5~10s，实践证明，针对地面线或高架线的测试，采样时间 0.2~1.0s 获得的测试结果是可以接受的。每次列车通过时记录 Z 振动级最大值 ($V_{Lz_{max}}$) 或 1/3 倍频程铅垂向振动加速度级最大值 ($VAL_{Z_{max}}, f$) 作为该次列车通过时的测试值，以每次列车通过时该测点 $V_{Lz_{max}}(VAL_{Z_{max}}, f)$ 的算术平均值为该测点的振动评价量。

测试的最低要求是以质点速度峰值和（或）加速度峰值的连续记录来表征振动响应。应记录时程并对该时程在三个正交轴上进行分析。为了确定振源和仪器设备之间的传递函数，了解振动的衰减情况，应在仪器设备与振源（包括室内或室外）间布置测点。三个正交轴时程的振

动量应包括速度变化量（包括最大值和给定时间段内的平均值）、持续时间测试。通过频谱分析获得速度和频率、功率谱密度的关系曲线。振动分析时还应确定特征频率及其峰值。

5.3.7 对于 Z 振动级最大值测试，指数平均时间常数对测试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 1s。

5.4 测试数据记录与处理

5.4.1 测试记录应包含下列内容：

- 1 项目名称、建筑物类型、测试参数等；
- 2 测试仪器的名称、型号、编号；
- 3 实测时程曲线；
- 4 场地条件、测点布置（附简图和照片）、测点与列车行驶轨道之间的几何距离关系图；
- 5 测试过程中工况说明（包括测试环境、测试条件、振源情况等）；
- 6 测试人员、校核人员、测试日期、测试单位。

测试采集的电子数据应保存完整，采用可靠的储存设备，按相关规定存档。

5.4.2 频域数据分析方法可采用单一均方根值（RMS）、有效峰值速度响应谱、恒带宽均方根谱、功率谱密度和 1/3 倍频程均方根谱。分析结果可用振动加速度、速度、位移表示。时域数据分析方法可采用峰值分析法、数据统计处理法。分析结果可用振动加速度、速度、位移的峰值表示。根据对象的不同以及相应评定标准的不同，可选择不同的参数进行评定：加速度、速度及频率。当测试结果为其中一种时，可通过相应的积分或者微分方法得到另外两种。积分方法可采用时域积分方法。

5.4.5 为了测试方便和测试结果的可复现性，本标准规定振源类为城市轨道交通振动时，室内振动用振动最大值作为测试评价量。但是通常振动最大值大于振动等效值，且振动最大值和振动等效值之间的关系和源振型相关。对于城市轨道交通振动，经大量数据统计分析，最大值与等效值之间差值约为 3dB~6dB。但由于在人即将进入睡眠的夜间时段（22 时~24 时）城市轨道交通运行时的频次仍较为频繁，其频繁产生的振动对人进入睡眠影响较大，因此夜间对测试最大值不做修正，宜直接用最大值评价。

当被测建筑物或精密仪器仅选取 1 个测点时，应测试至少 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，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。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试误差，让测试值更接近真值。

当被测建筑物或精密仪器选取多个测点时，应测试至少 5 个列车通过过程，对每个列车通过过程测得的数值，应采取算术平均法给出平均值。对不同测点的平均值，应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，致评价错误。

6 测试报告

6.0.1 测试分析人员应具有结构和振动测试的综合知识，具有设计、施工、测量等工程实践经验，具有较高的综合分析能力，做到正确判断、准确表达，及时提供高质量的综合分析报告。

6.0.2~6.0.4 城市轨道交通引起沿线建筑物或精密仪器振动源头是运行的列车，由其引发的振动通过周围介质传递。沿线砖混、框架或框剪结构的建筑物以及精密仪器等，其振动响应特性各不相同，且振动传递受岩土介质性能的影响，例如在软土基础上修建的多层建筑物容易被振动激发而发生晃动。通过测试轨道沿线建筑物或精密仪器的振动，并据此编写测试报告，从而使城市轨道交通对沿线建筑物或精密仪器振动的影响测试更专业、更规范、更科学。

规定了对测试报告的基本要求。报告编写前，资料应进行全面调查、梳理清楚，做到各种数据准确无误，以保证最终成果的质量。测试报告应该区别轨道交通工程类型、规模大小、繁简程度、专业特点、实施方案和条件情况，确定测试报告的繁简程度、书写格式。