

DB11

北京市地方标准

DB11/T 1735—2020

地铁正线周边建设敏感建筑物项目环境振动控制规范

Code for environmental vibration control of sensitive building projects
near the metro main line

2020-06-30 发布

2020-10-01 实施

北京市市场监督管理局 发布

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。

本文件由北京市生态环境局提出并归口。

本文件由北京市生态环境局组织实施。

本文件起草单位：北京市劳动保护科学研究所。

本文件主要起草人：宋瑞祥、何蕾、邬玉斌、刘必灯、吴丹、张婧、吴琼、刘强、杨洁、赵娜、户文成、张丽娟、吴雅南。

地铁正线周边建设敏感建筑物项目环境振动控制规范

1 范围

本文件规定了地铁正线周边建设敏感建筑物项目环境振动控制的原则、方法和要求。

本文件适用于指导地下线和地面线线路中心线两侧50m、高架线线路中心线两侧10m范围内建设敏感建筑物项目振动环境影响评价、振动控制方案制定等环境保护工作。

采用钢轮钢轨系统的其他城市轨道交通线路周边建设敏感建筑物可参照执行。

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 10070 城市区域环境振动标准

GB 50007 建筑地基基础设计规范

GB 50011 建筑抗震设计规范

GB 50157 地铁设计规范

GB 50463 工程隔振设计标准

HJ 453 环境影响评价技术导则 城市轨道交通

HJ 2055 城市轨道交通环境振动与噪声控制工程技术规范

JGJ/T 170 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

DB11/T 838 地铁噪声与振动控制规范

DB11/995 城市轨道交通工程设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

敏感建筑物 sensitive buildings

医院、学校、机关、科研单位、住宅等对声与振动环境有较高保护要求的建筑物。

3.2

正线 main line

载客列车运营的贯穿全程的线路。

[来源：GB 50157-2013，2.0.11]

3.3

最大Z振级 $VL_{Z_{max}}$ maximum Z weighted vibration acceleration level

单次列车通过时段内按GB 10070规定的全身振动Z轴计权因子（1Hz~80Hz）修正后得到的振动加速度级的最大值，记为 $VL_{Z_{max}}$ ，单位为分贝，dB。

3.4

结构噪声 structure-borne noise

地铁运行产生的经过大地和（或）建筑结构传播而来的振动引起的建筑物室内的噪声，亦称二次辐射噪声，评价指标为等效连续A声级 L_{Aeq} 。

3.5

隔振屏障 vibration isolation barriers

在地面以下设置于线路振源和敏感建筑物之间的用来减小振动传递的隔离层，如隔振沟（墙）、隔振排孔（桩）、波阻板等。

3.6

建筑物振动控制 building vibration control

为减小敏感建筑物受地铁振动和结构噪声影响而对建筑物本体采取的防护措施，包括但不限于建筑基础隔振、层间隔振、房中房、浮筑楼板等措施。

3.7

隔振系统 vibration isolating system

由需要进行振动隔离的建筑物（构件）和隔振单元（如弹性垫层、隔振支座等）组成的系统。

3.8

传递率 transmissibility

振动系统在受迫振动时，响应幅值与外加激励幅值的比值，记为 TR ；
对于隔振系统，为隔振单元上部响应幅值与隔振单元下部激励幅值之比。

3.9

隔振效率 vibration isolation efficiency

振动系统采用隔振后的振动响应幅值相对于隔振前振动响应幅值的差值与隔振前的振动响应幅值之比。

[来源：GB/T 51306-2018，8.2.3]

4 基本规定

4.1 地铁正线周边建设敏感建筑物项目的环境振动污染防治，应全面考虑环境效益、社会效益、经济效益，正确处理近期与远期的关系，做到安全可靠、技术先进、经济合理、节能降耗。优先从建筑物与地

铁的规划距离、建筑布局、有利于抑振的建筑设计等工作入手，以降低地铁环境振动和结构噪声影响。

4.2 地铁正线周边建设敏感建筑物的振动控制，应本着安全、适用、经济的原则，从振源控制、传播途径振动控制和建筑物振动控制等措施中优选一种或几种措施进行科学的技术方案论证，并严格遵守相关规范及设计要求实施环境振动控制工程。

4.3 地铁正线周边建设敏感建筑物项目时，应在掌握地铁正线线路设计标准、运营情况、轨道振动控制措施以及现场实测结果等基础上开展振动环境影响评价。

4.4 地铁正线周边敏感建筑物项目振动环境影响评价结果超标时，应综合考虑振源特性、场地振动传播特性及建筑结构动力特性等制定振动控制方案，同时应对振动控制方案效果进行系统评价。

4.5 振动控制措施宜与建设敏感建筑物项目同步设计、施工，在建设过程中实施全过程监督管理，并按照相关规定开展验收工作。

5 限值及测量方法

5.1 地铁正线周边建设敏感建筑物的室内环境振动应符合 GB 10070 中限值的要求，测量方法见附录 A。

5.2 结构噪声限值及测量方法应符合 JGJ/T 170 的相关要求。

6 振动预测

6.1 一般规定

6.1.1 环境振动预测量应为列车通过时段的最大 Z 振级 $V_{L_{Zmax}}(1\text{ Hz}\sim 80\text{ Hz})$ ，结构噪声预测量应为列车通过时段内等效连续 A 声级 $L_{Aeq}(16\text{ Hz}\sim 200\text{ Hz})$ 。

6.1.2 振动预测点应位于建筑物室内。

6.1.3 宜按照使用功能对声与振动环境有较高保护要求的房间进行振动及结构噪声预测以获取最不利预测值，并基于最不利预测值制定振动控制方案。

6.1.4 环境振动和结构噪声影响可采用类比测试法、经验公式法或数值仿真法进行预测，必要时可采用两种或两种以上的方法对预测结果进行校验，并最终确定评价结果。所选取的振动源强应能表征地铁线路和车辆处于正常保养状态时运行的最大振动影响。

6.2 类比测试法

6.2.1 采用类比测试法进行振动预测时，应具备与拟建敏感建筑物项目相似的类比条件：

- a) 采用类比测试获得源强时，类比条件至少包括线路敷设方式、线形、轨道结构类型、车辆类型、运行条件、工程减振措施等，类比条件应按照 HJ 453 提出的类比要求执行；
- b) 采用类比测试获得建筑物室内环境振动影响情况时，除满足 a) 类比的条件外，还宜包括线路与建筑物水平及垂直距离、地质条件、建筑物基础及结构类型、房间尺寸、二次结构构件类型等；
- c) 采用类比测试获得建筑物室内结构噪声影响情况时，除满足 a)、b) 类比的条件外，还宜包括门窗材质、室内装饰条件等。

6.2.2 类比对象与预测对象在源强条件、线路与建筑物距离等个别因素存在差异的,可通过相关测试或经验公式对存在差异的影响因素进行修正后获得最终预测结果。

6.3 经验公式法

6.3.1 地下线环境振动预测经验公式应按照 DB11/T 838 相关要求执行,地面线和高架线环境振动预测经验公式应按照 HJ 453 相关要求执行。

6.3.2 对于已运营地铁线路,源强数据宜来自于现场实测;对于未运营地铁线路,源强宜通过类比测试获得。振动源强的测量应采用环境振动预测经验公式对应的测量方法。

6.3.3 结构噪声预测的经验公式应按照 HJ 453 相关要求执行。

6.3.4 当经验公式的使用条件与实际情况存在差异时,应对其进行修正,必要时进行验证。

6.4 数值仿真法

6.4.1 采用数值仿真法进行环境振动及结构噪声预测分析时,应根据实际的振源特性、场地振动传播特性及建筑结构动力特性建立数值仿真模型,具体包括:

- a) 振源特性参数:地铁线路及轨道结构参数、隧道埋深与几何参数、车辆特征参数及列车速度等;
- b) 场地振动传播特性参数:地铁线路与建筑物位置关系、土层条件及岩土物理力学参数等;
- c) 建筑结构动力特性参数:建筑基础类型、结构类型、建筑平(立)面布置、结构构件几何参数及材料物理力学参数等。

6.4.2 对已运营的地铁线路,振动源数据宜来自于现场实测,为数值仿真预测提供激励源基础数据;对未运营的地铁线路,应采用类比条件相同或尽量相似的地铁振动源测试数据作为数值仿真预测的激励源。

6.4.3 数值仿真模型计算结果应满足地铁环境振动及结构噪声评价的频率范围要求,进行环境振动数值仿真预测时,需满足 1 Hz~80 Hz 的频率计算范围要求;进行结构噪声数值仿真预测时,需满足 16 Hz~200 Hz 的频率计算范围要求。

6.4.4 数值仿真模型应至少包含完整的敏感建筑物预测目标,并沿预测目标四周适当外延,数值仿真模型边界应考虑人工边界条件,消除模型边界应力波反射产生的计算误差。

6.4.5 为保证数值仿真预测结果的准确性,可利用已有数据对数值仿真模型进行校核,再进行敏感建筑物振动及结构噪声影响预测或控制措施效果分析。

7 振动控制

7.1 总体要求

7.1.1 敏感建筑物环境振动控制方案制定应保证其室内环境振动、结构噪声均满足标准要求,并按照附录 B 的工作流程进行技术方案论证,综合考虑经济成本后确定最终方案。

7.1.2 敏感建筑物目标减振量应在振动预测超标量的基础上留有裕量。

7.1.3 应对振动控制措施的室内环境振动和结构噪声控制效果分别进行评价。

7.1.4 采用两种以上振动控制措施时,应考虑多种控制措施共同使用的综合效果。

7.1.5 环境振动控制工程应保证其在使用周期内的安全性及时效性,必要时应进行跟踪监测。

7.2 振源控制

- 7.2.1 振源控制包括轨道减振措施、轨道不平顺管理和车辆走行部状态管理等综合措施。
- 7.2.2 未建成地铁线路周边建设敏感建筑物应根据轨道减振措施适用条件进行轨道减振设计和敷设；已建成线路周边建设敏感建筑物可根据实际情况进行轨道减振改造。
- 7.2.3 轨道减振措施应符合 GB 50157、HJ 2055、DB11/995 等规范的要求。
- 7.2.4 轨道减振措施的分级与选择应按照 DB11/T 838 中的相关要求执行。

7.3 传播途径振动控制

- 7.3.1 传播途径振动控制的主要形式是隔振屏障。隔振屏障一般适用于地上线，类型包括隔振沟（墙）、隔振排孔（桩）和波阻板等。
- 7.3.2 隔振屏障的设计和实施应综合考虑有效性、工程可实施性、经济性、维护保养便利性及环境友好等因素。
- 7.3.3 隔振屏障的类型、尺寸、所用材料及空间布置应根据目标减振量、振源特性、岩土体密度和波速、线路和敏感建筑物位置、既有和规划的市政管网布置等综合因素进行设计。
- 7.3.4 隔振沟（墙）、隔振排孔（桩）、波阻板的隔振设计应符合 GB 50463 相关要求。

7.4 建筑物振动控制

- 7.4.1 建筑物振动控制应优先考虑建筑物空间布局、功能布局、构件布置调整及采取有利于抑振的建筑结构形式等规划及设计措施。
- 7.4.2 建筑物振动控制工程措施包括建筑基础隔振、层间隔振和房中房等，其方案制定应综合考虑目标减振量、建筑基础的振动激励特性和建筑结构动力特性。
- 7.4.3 建筑基础隔振为通过在建筑基础底部设置弹性垫层等隔振单元对其上部结构进行整体隔振，建筑层间隔振为通过在竖向承力构件间设置弹性支座等隔振单元对其上部楼层进行隔振，隔振效率的计算方法可参考附录 C。
- 7.4.4 建筑物隔振单元应满足如下要求：
- a) 隔振单元的静荷载极限不应小于上部建筑的结构设计荷载的准永久组合的效应设计值，取值宜为准永久组合效应设计值的 1~1.25 倍；
 - b) 目标隔振频率 f_1 与隔振系统固有频率 f_0 的频率比 f_1/f_0 宜为 2.5~5。
- 7.4.5 建筑基础隔振应满足如下要求：
- a) 建筑基础底部弹性垫层宜采用满铺布置，特殊情况可根据隔振位置处的结构特点采用条铺或点铺布置；
 - b) 建筑地下部分的外侧壁（边）宜铺设弹性垫层，其铺设范围应与基础底部弹性垫层铺设位置相对应，且应满足侧向土压力的设计要求；
 - c) 建筑基础底部弹性垫层变形量应计入地基变形中，隔振系统地基变形应按照 GB 50007 规定的地基变形允许值执行；
 - d) 用于地下水位以下的弹性垫层材料应具有耐水稳定性。

7.4.6 层间隔振应满足如下要求：

- a) 采用弹性支座隔振系统的结构高宽比宜小于 4，应委托专业机构进行结构安全性研究，并符合 GB 50011 的相关要求；
- b) 振动隔离区与非隔离区结构应脱开，水平方向应设置变形缝，宜采用柔性材料填充；
- c) 应预留弹性支座安装和维修空间。

7.4.7 房中房为通过内、外房间结构在空间六面中均无刚性连接的方式进行振动隔离，适用于对振动与结构噪声有特殊要求的房间，应满足如下要求：

- a) 墙身、天花板应避免采用声辐射效率高、易于激发结构噪声的轻质板材；
- b) 进入房中房的管线应进行柔性连接处理。

7.5 振动控制产品的要求

7.5.1 轨道减振措施采用的产品及材料应符合相关的标准规范技术要求。

7.5.2 隔振屏障填充材料应满足其强度、弹性模量、密度、阻尼等物理力学性能及耐久性指标的要求。

7.5.3 建筑物振动控制产品及材料的性能应满足其垂向刚度、阻尼、压缩永久变形等力学性能及耐久性指标的要求，产品进场检验时宜进行垂向刚度、压缩永久变形性能的测量，以满足设计要求或相应国家标准的要求；建筑基础振动控制产品及材料设计使用寿命应符合相关国家标准及设计文件的规定；建筑层间隔振产品及材料应满足易更换或维修的要求。

7.5.4 振动控制产品及材料的力学稳定性、化学稳定性、耐热稳定性、耐化学腐蚀及耐候性等应满足相关标准规范要求，并应避免产生二次污染。

8 施工与验收

8.1 施工

8.1.1 施工单位应具有相关工程经验和相应资质等级，应根据施工要求制定完善的施工组织方案和质量保证措施。

8.1.2 振动控制措施应严格按照设计图纸、技术文件进行施工。减振设计单位应对安装预留条件、基础处理、环境振动控制工程施工提供技术指导。

8.1.3 环境振动控制工程相关产品的现场存储应符合相关规范提出的产品存储要求，且在产品安装前应按照相关规范以抽检方式对产品外观及性能指标进行检测。

8.1.4 轨道减振措施的施工应按照 HJ 2055 等规范的要求执行。

8.1.5 隔振屏障的施工应注意开挖场地土的边坡支护，填充材料应受力均衡。

8.1.6 建筑基础弹性垫层的施工应保证面层的平整度，注意垫层拼缝的处理，注意防水和表层防护，尤其应注意避免异物贯穿弹性垫层形成刚性连接。

8.1.7 建筑层间弹性支座的施工应注意各支座的找平校准及受力均衡，支座严禁出现偏压或产生过大的初始剪切变形，与上下部结构不得出现脱空现象。

8.2 验收

- 8.2.1 振动控制措施验收包括工程验收和振动控制效果验收。
- 8.2.2 工程验收应按照相应专业验收规范和有关规定进行。建筑基础弹性垫层施工完成后应检查垫层搭接处及边缘的密封性，建筑层间弹性支座施工完成后应检查其水平及变形。
- 8.2.3 振动控制效果验收应由具有环境振动检验检测资质的第三方专业测试机构对环境振动控制工程竣工后的敏感建筑物室内环境振动及结构噪声进行实测，测量方法及限值应符合 5.1、5.2 的要求。

附录 A
(规范性)

地铁正线列车运行引起的敏感建筑物室内环境振动测量方法

A.1 测量仪器

A.1.1 振动测量系统性能应符合相关标准的要求。

A.1.2 测量仪器应经国家认可的计量部门检定或校准，并在其有效期内使用。

A.2 测量要求

A.2.1 测量应分别在昼间、夜间进行，测量时间应为昼间高峰时段及夜间运行时段。

A.2.2 振动测点选择和拾振器安装应符合下列规定：

a) 对面积不大于 20 m² 的房间，应至少选取 1 个测点；对面积大于 20 m² 的房间，应至少选取 3 个测点；

b) 测点应选在人员主要活动区域的楼板振动敏感位置，当振动敏感位置无法确定时，测点宜选在室内楼板中央；

注：敏感位置应依次选择卧室或医院病房的床头处、书房的写字台处、学校教室的书桌处、起居室（厅）的沙发处、办公室和会议室的桌子处等。

c) 拾振器应安装在平坦、坚实的楼板上，且应安装牢固；

d) 拾振器不得置于地毯、地胶等松软或弹性地面上；

e) 拾振器灵敏度主轴方向应为铅垂向。

A.2.3 各测点应连续测量至少 20 列车（测量对测点影响较大一侧轨道线路通过的列车）运行通过时的振动数据，夜间测量时间内通过列车数不足 20 列车时，应以夜间运行时段内实际通过列车数为准。

A.2.4 在测量期间，当轨道交通之外的其他振源对振动测量结果产生干扰时，本次测量应视为无效。

A.3 数据记录及处理

A.3.1 振动测量量应采用最大 Z 振级（VLZ_{max}）。

A.3.2 当被测房间内仅选取 1 个测点时，在同一测点测得的多次振动测量结果应在剔除异常值后计算算术平均值作为评价量。

A.3.3 当被测房间内选有多个测点时，应对每个测点测得的多次振动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评价量。

A.3.4 测量记录应包括下列内容：

a) 日期、时间、地点及测量单位、人员；

b) 仪器型号、编号及其校准记录；

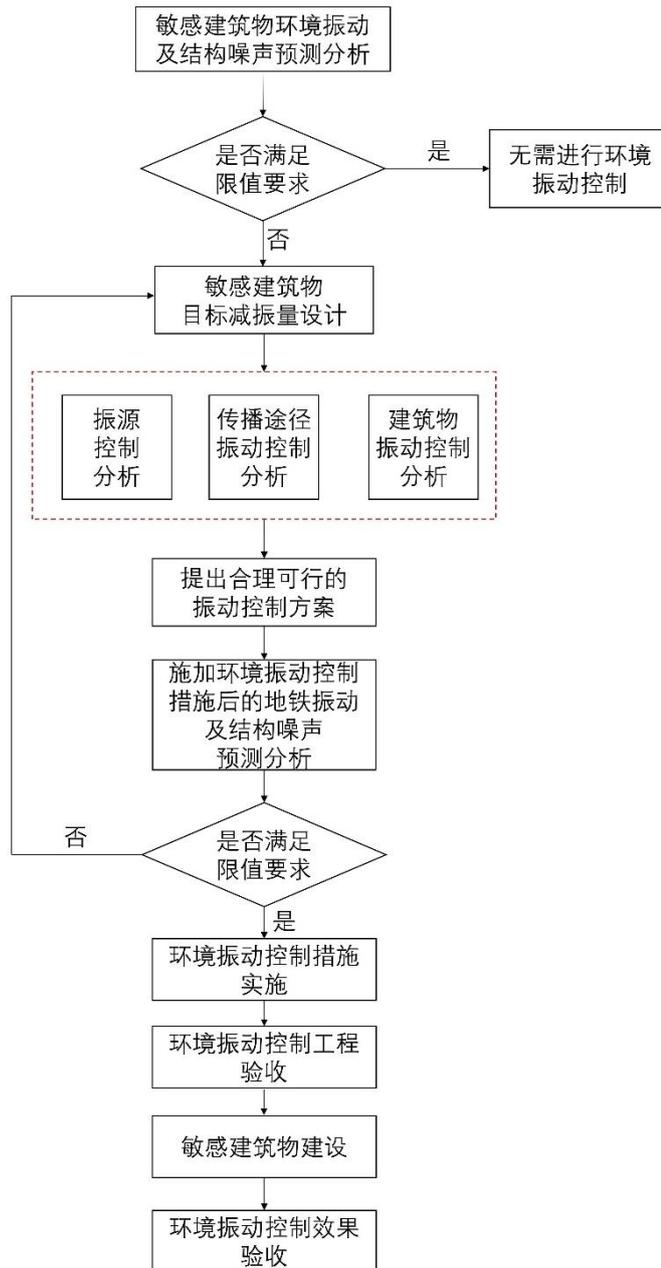
- c) 振源类型及运行工况说明，如轨道结构型式、车型、编组、车速、会车情况等；
- d) 建筑与列车行驶轨道之间的几何位置关系、测点位置图；
- e) 测量项目及测定结果；
- f) 其他应记录事项。

附录 B

(资料性)

地铁正线周边建设敏感建筑物项目环境振动控制工作流程

B.1 地铁正线周边建设敏感建筑物项目环境振动控制工作流程如下图B.1所示。



图B.1 地铁正线周边建设敏感建筑物项目环境振动控制工作流程

附 录 C
(资料性)
隔振系统的隔振效率计算

C.1 固有频率

隔振系统竖向振动可简化为单自由度体系来考虑，其固有频率 f_0 可按式 (C.1) 计算。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

K ——隔振系统的刚度，约等于隔振单元的竖向刚度，N/m；

m ——隔振系统的质量，约等于上部建筑的结构荷载的等效质量，kg。

C.2 传递率

简谐激励下，传递率 TR 可按式 (C.2) 计算。

$$TR = \sqrt{\frac{1 + (2\zeta f_1/f_0)^2}{[1 - (f_1/f_0)^2]^2 + (2\zeta f_1/f_0)^2}} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

ζ ——阻尼比， $\zeta = \frac{c}{c_c}$ ，其中 c 为阻尼系数， c_c 为临界阻尼系数；

f_1 ——目标隔振频率，Hz。目标隔振频率为激励频率，应基于场地土实测或建筑基础处振动响应预测结果的卓越频率来确定。

C.3 隔振效率

简谐激励下，隔振效率 η 可按式 (C.3) 计算。

$$\eta = \left(1 - \frac{TR_2}{TR_1}\right) \times 100\% \dots\dots\dots (C.3)$$

式中：

TR_1 ——隔振前振动系统的传递率；

TR_2 ——隔振后隔振系统的传递率。