

住宅建筑楼板撞击声现场实测与对比

张存勳¹, 刘凤轩¹, 王文超², 朱啸寅³, 蔡阳生³

(1. 福建工程学院 土木工程学院, 福建 福州 350118; 2. 福建省建筑科学研究院, 福建 福州 350025;
3. 福建工程学院 建筑与城乡规划学院, 福建 福州 350118)

摘要: 调研了住宅建筑楼板构造, 选取不同构造类型楼板进行测试, 结合《民用建筑隔声设计规范》现行标准和征求意见稿分析对比。结果表明, 大部分常见的毛坯状态混凝土楼板构造仅能满足现行国家标准要求的低限值; 同种楼板构造住宅建筑中客厅的计权撞击声压级低于卧室; 瓷砖楼板仅能满足现行国家标准要求的低限值, 木地板可以满足修订后新标准的低限值要求, 采用浮筑楼板构造的木地板面层可以满足修订后新标准的高限值要求。

关键词: 撞击声隔声; 撞击声压级; 噪声; 混凝土楼板; 弹性垫层

中图分类号: TU112

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2022)06-0544-05

In-situ measurement and comparison of impact sound insulation of floor slabs in residential buildings

ZHANG Cunxu¹, LIU Fengxuan¹, WANG Wenchao², ZHU Xiaoyin³, CAI Yangsheng³

(1. School of Civil Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. Fujian Academy of Building Research Co. Ltd., Fuzhou 350025, China;

3. School of Architecture and Urban Planning, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: The floor slab structure of residential buildings was investigated, and different structural types of floor slabs were selected for testing, a comparative analysis was conducted in combination with the current standards and consultation draft of the “Code for Sound Insulation Design of Civil Buildings”. Results show that most of the common concrete floor structures can only reach the lowest limit required by the current standards. The weighted impact sound pressure level of the living room in the residential building with the same type of floor slabs is often lower than that of the bedroom. The tile floor can only meet the lowest limit of the current standard, the wood floor can meet the lowest limit of the revised standard, and the wooden floor surface layer constructed with floating floor can meet the higher limit of the revised standard.

Keywords: impact sound insulation; impact sound pressure level; noise; concrete floor slab; elastic layer

我国绿色建筑评价标准要求楼板撞击声隔声性能应满足现行国家标准 GB 50118—2010《民用建筑隔声设计规范》^[1]中的低限值要求。解决此类噪声是住宅设计需要高度重视的问题^[2]。目前我国正在修订《民用建筑隔声设计规范》, 征求

意见稿对住宅建筑分户楼板的撞击声隔声性的低限值与高限值要求均提高了 5 dB^[3]。由于南方地区对楼板的保温隔热性要求较低, 较少有地暖设备, 要达到征求意见稿的要求较为困难。为了了解民用建筑常见楼板撞击声隔声情况, 探究目

收稿日期: 2022-08-05

基金项目: 国家重点研发计划课题(2019YFD1100904); 福建省自然科学基金项目(2021J011071); 福建省高等学校新世纪优秀人才支持计划(E0600325)

第一作者简介: 张存勳(1997—), 男, 四川成都人, 硕士研究生, 研究方向: 建筑声学。

通信作者: 蔡阳生(1980—), 男, 福建泉州人, 副教授, 博士, 研究方向: 建筑声学。

前住宅建筑能否以及如何满足《民用建筑隔声设计规范(征求意见稿)》中的新要求,本文针对多层和高层建筑住宅内部不同类型楼板构造,以兼具夏热冬冷和夏热冬暖两个建筑热工分区的福建地区为例,对其常见楼板的撞击声隔声性能进行调研和讨论。

1 楼板构造测试评价方法

1.1 楼板构造调研

我国南方地区住宅建筑交付时大部分以毛坯房为主,住宅楼板通常采用普通现浇钢筋混凝土实心楼板,有一部分是以精装修交付的住宅,多直接采用铺设瓷砖或木地板面层,仅有少部分住宅建筑采用浮筑楼板构造进行撞击声隔声处理,再铺设面层。浮筑楼板构造是在以钢筋混凝土为基层的承重楼板上添加弹性材料层,再在弹性层上添加硬质面层而形成的楼板构造^[4]。为全面掌握现有住宅建筑分户楼板的隔声现状,本文对南方地区住宅建筑楼板构造进行了调研,共测量了107个房间的10种楼板构造,其楼板构造见表1。

表1 常见楼板构造

Tab.1 Common floor slab structures

编号	楼板构造	测量数量
LB1	120 mm 钢筋混凝土板	11
LB2	130 mm 钢筋混凝土板	8
LB3	140 mm 钢筋混凝土板	9
LB4	20 mm 水泥砂浆+120 mm 钢筋混凝土板	26
LB5	20 mm 水泥砂浆+70 mm 钢筋混凝土板+70 mm PC 预制板(叠合楼板)	13
LB6	30 mm 隔声砂浆+120 mm 钢筋混凝土板	4
LB7	10 mm 瓷砖+30 mm 水泥砂浆+120 mm 钢筋混凝土板	8
LB8	12 mm 木地板+30 mm 水泥砂浆+120 mm 钢筋混凝土板	26
LB9	10 mm 瓷砖+10 mm 瓷砖粘合层+20 mm 水泥砂浆+2 mm PE 薄膜+5 mm 隔声垫+120 mm 钢筋混凝土楼板	1
LB10	12 mm 木地板+3 mm 防潮垫+30 mm 水泥砂浆+2 mm PE 薄膜+5 mm 隔声垫+120 mm 钢筋混凝土楼板	1

1.2 测试与评价方法

依据 GB/T 19889.7-2005《声学 建筑和建筑构件隔声测量 第7部分:楼板撞击声隔声的现场测量》^[4],对上述常见楼板构造进行撞击声隔声测量。隔声测量标准化撞击声压级 L'_{nT} 的计算公式为:

$$L'_{nT} = L_i - 10 \lg \frac{T}{T_0} \quad (1)$$

式中, L_i 为接收室测量的声压级, dB; T 为接收室测量的混响时间, s; T_0 为基准混响时间,住宅取 0.5 s。

图1是传声器与撞击器的位置布置图,上、下房间之间为测试楼板,撞击器跟传声器位置上下——对应,测量的6个撞击器和传声器位置均满足 GB/T1988 9.6—2005^[4]的要求。

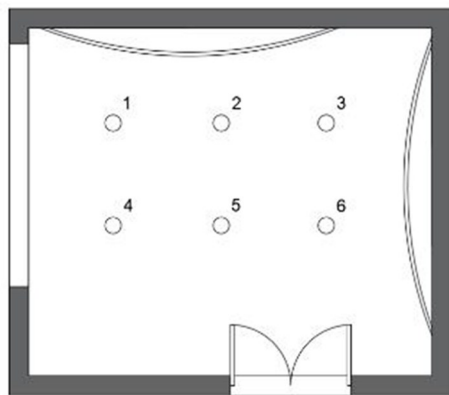


图1 撞击器和传声器位置布置图

Fig.1 Layout of impactor and microphone

现行国家标准《民用建筑隔声设计规范》及其征求意见稿对卧室、起居室(厅)分户楼板的计权标准化撞击声压级 $L'_{nT,w}$ 的要求如表2所示。

表2 分户楼板撞击声隔声标准

Tab.2 Standard of impact sound insulation of floor slabs

分类	撞击声隔声单值评价量/dB	
现行标准	低限要求	≤75
	高要求	≤65
征求意见稿	低限要求	≤70
	高要求	≤60

注:当确有困难时,可允许≤85dB,但楼板结构应预留改善的可能条件。

2 测量结果与分析

2.1 混凝土楼板标准化撞击声压级测量结果

混凝土楼板 LB1~LB6 的平均撞击声压级曲线各不相同,每条曲线对应的基准曲线位置也不同。以 $L'_{nT,w} = 73$ dB 为基准曲线,将 6 种楼板的平均撞击声压级曲线做上下平移,结果如图 2 所示。 $L'_{nT,w}$ 的大小受产生不利偏差的频率范围的隔声特性影响,可以看出 LB1~LB6 的 $L'_{nT,w}$ 主要由 1 250~3 150 Hz 的 L'_{nT} 决定,即高于基准曲线部分的若干频率段的撞击声压级大小^[5]。随着钢筋混凝土厚度的增加,LB1~LB3 三种构造的平均 $L'_{nT,w}$ 分别为 75、75、72 dB,因此楼板厚度的增加并不能明显改善撞击声隔声效果。

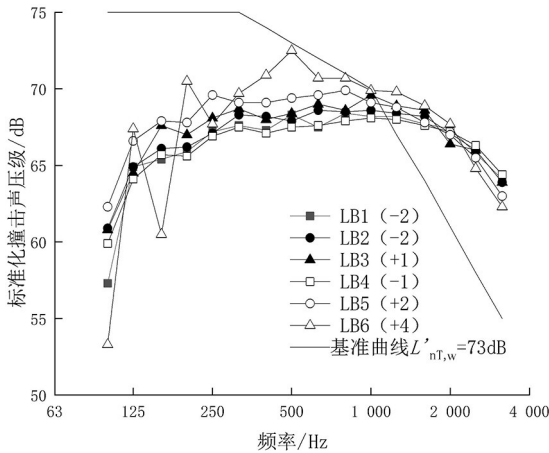


图 2 混凝土楼板平均标准化撞击声压级对比

Fig.2 Comparison of average standardized impact sound pressure level of concrete floors

相对 LB1 来说, LB4 多了 20 mm 厚的水泥砂浆,但两者的 $L'_{nT,w}$ 仅相差 1 dB,说明水泥砂浆对楼板撞击声的改善非常有限。叠合楼板的撞击隔声性能与 140 mm 钢筋混凝土板相比,仅提升 1 dB,这和 LB1 与 LB4 的差异一样,可能是水泥砂浆起的微小作用。上述构造仍然无法满足征求意见稿的低限要求,均不适用于未来的绿色建筑。但采用隔声砂浆后,楼板撞击隔声性能会有进一步的提升,达到 69 dB,介于征求意见稿的低限和高限要求之间。

2.2 精装修楼板标准化撞击声压级

依据 GB/T 50121—2005 中的数值计算法计算得到每种楼板对应的计权撞击声压级,其中不利偏差的计算取决于高于基准曲线的撞击声压

级。以 $L'_{nT,w} = 58$ dB 为基准,将精装修楼板构造 LB7~LB10 的 4 条平均 L'_{nT} 曲线相应地上下平移,得到对比图如图 3。可以看出,瓷砖楼板的计权标准化撞击声压级 $L'_{nT,w}$ 主要由 1 250~3 150 Hz 频率范围的标准化撞击声压级 L'_{nT} 决定,木地板楼板的计权标准化撞击声压级 $L'_{nT,w}$ 主要由 125~500 Hz 频率范围的标准化撞击声压级 L'_{nT} 决定。

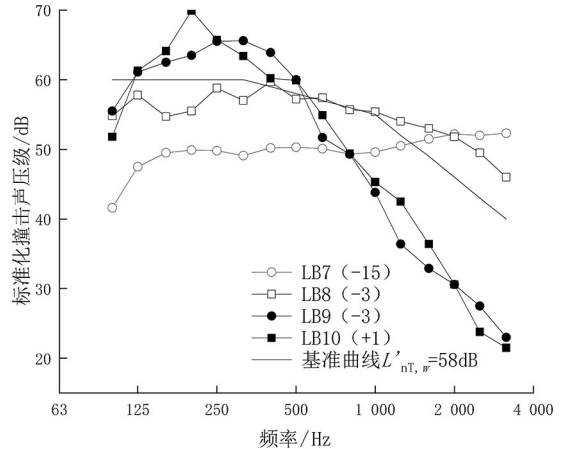


图 3 精装修楼板平均标准化撞击声压级对比

Fig.3 Comparison of average standardized impact sound pressure level of decoration floors

铺设瓷砖面层后,在 1 250~3 150 Hz 频率范围内的 L'_{nT} 反而呈上升趋势,使得最终 $L'_{nT,w}$ 改善量只有 1 dB,说明瓷砖面层不能改善撞击声隔声,这是由于在进行撞击声隔声测试时,对于瓷砖楼板,撞击器是直接敲打在地砖表面,受地砖铺装层面密度的影响^[5],瓷砖楼板的 L'_{nT} 在高频范围内有所上升。对比 LB7 与 LB9 可以看出,同样为瓷砖面层,采用在基层楼板上铺设 5 mm 隔声垫再浇筑水泥砂浆形成的浮筑楼板构造,可以有效提高撞击声改善量,这是由于弹性垫层具有隔振作用,可以明显降低中高频的撞击声压级,使得通过浮筑楼板辐射到楼下的撞击声仅有很少一部分。

铺设木地板面层可以明显降低 500~3 150 Hz 的 L'_{nT} ,这是由于木地板具有一定的弹性且内阻尼较大,能够降低中高频撞击声压级^[6~7]。木地板楼板的 $L'_{nT,w}$ 比混凝土楼板降低了 13 dB,比瓷砖楼板降低了 12 dB,因此相比于瓷砖,面层采用木地板可以更好地改善撞击声隔声性能。对比 LB8 与 LB10,铺设 5 mm 隔声垫后,各频段标准化撞击声压级都有所降低,且 $L'_{nT,w}$ 降低了 4 dB。无论采用木地板面层还是瓷砖面层,浮筑楼板构造

都可以明显改善楼板的撞击声隔声性能,撞击声隔声改善量可以达到 12 dB 以上。

2.3 体积对计权撞击声的影响

由于房间体积会影响 $L'_{nt,w}$ 的测量结果^[8],同一楼板构造在不同的房间所测得的结果会有不同,因此采用楼板构造为 20 mm 水泥砂浆+120 mm 钢筋混凝土板的 26 个建筑房间的现场测量结果进行具体分析。26 个建筑房间为 13 户住宅,每户住宅分别测量了客厅与卧室的两个功能房间,每户住宅客厅与卧室的体积不完全相等,13 户住宅建筑均是客厅体积大于卧室体积。不同住宅客厅与卧室的 $L'_{nt,w}$ 见图 4,不同住宅房间客厅与卧室的体积见图 5。其中客厅体积异常大的住宅 7~8 为复式户型。

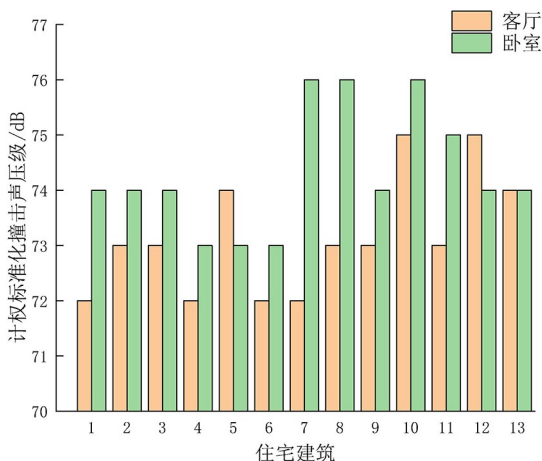


图 4 每户客厅与卧室的 $L'_{nt,w}$ 对比

Fig.4 Comparison of average standardized impact sound pressure level of each apartment's living room and bedroom

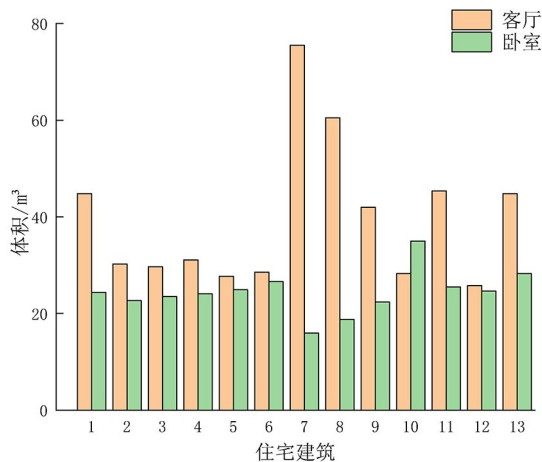


图 5 每户客厅与卧室的体积对比

Fig.5 Comparison of volume of each apartment's living room and bedroom

由图 4、图 5 可知:对于同一住宅,客厅与卧室的 $L'_{nt,w}$ 不完全相等,大部分住宅的卧室比客厅高 1~2 dB,少部分复式户型住宅的卧室比客厅高 3~4 dB;

2.4 计权标准化撞击声压级

图 6 给出了不同楼板构造 $L'_{nt,w}$ 的箱形图,可以看出,同种楼板构造的不同组测试项目 $L'_{nt,w}$ 不完全相等,在一定范围内浮动,这可能受施工质量影响以及现场测试条件有关。

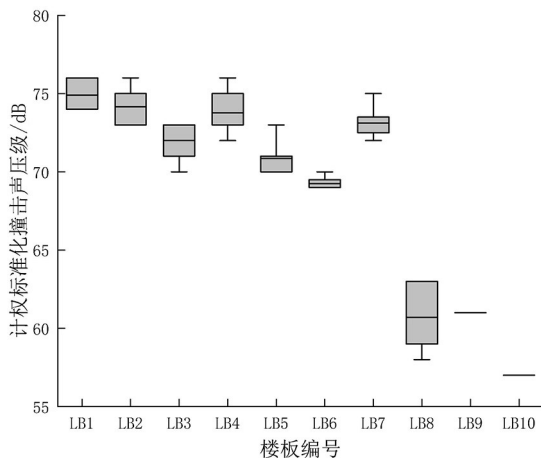


图 6 不同楼板构造的 $L'_{nt,w}$

Fig.6 Standardized impact sound pressure level of different floor structures

对比毛坯状态的混凝土楼板构造 LB1~LB6 可以发现,常见楼板构造的平均 $L'_{nt,w}$ 均可满足现行国家标准中对于分户楼板计权标准化撞击声压级要求的低限值 (≤ 75 dB),但如果考虑每一组测试项目的 $L'_{nt,w}$,则有个别项目 $L'_{nt,w}$ 超过低限值要求 (≤ 75 dB),仅满足标准中在楼板结构预留改善前提下的技术要求 (≤ 85 dB)。而如果对比征求意见稿中的最新要求,则只有采用隔声砂浆的 LB6 能够满足低限值 (≤ 70 dB) 要求。

对比精装修住宅的楼板构造 LB7~LB10 可以看出,采用瓷砖面层的普通楼板构造撞击声隔声效果不明显,仅满足现行国家标准低限值要求 (≤ 75 dB),同时发现,总厚度相近的楼板构造,未铺设瓷砖面层的 $L'_{nt,w}$ 反而更低,说明瓷砖面层不能改善撞击声隔声,反而可能使撞击声压级提高。采用木地板面层的普通楼板则可满足现行国家标准高要求 (≤ 65 dB),不论瓷砖面层还是木地板面层,采用浮筑楼板构造则都可以满足高要求 (\leq

65dB)。而如果对比征求意见稿中的最新要求,仅木地板浮筑楼板和一部分木地板普通楼板可以满足高要求(≤ 60 dB)。

3 浮筑楼板试验研究

选取不同弹性垫层材料,在声学实验室进行楼板撞击声试验。浮筑楼板构造为 120 mm 钢筋混凝土+隔声垫+50 mm 细石混凝土,垫层材料及所测得的计权规范化撞击声压级 $L'_{n,w}$ 以及计权撞击声改善量 ΔL_w 如表 3 所示。

表 3 不同垫层材料撞击声测试结果
Tab.3 Test results of impact sound of different cushion materials

编号	垫层材料	厚度/ mm	$L'_{n,w}$ / dB	ΔL_w / dB
CS1		3	60	14
CS2	聚氨酯橡胶 隔声垫	5	58	16
CS3		8	57	17
CS4		10	56	18
CS5	电子交联聚	3	55	19
CS6	乙烯隔声垫	5	52	22
CS7	橡胶减振隔声垫	5	54	20

由表 3 可以看出,虽然垫层材料的不同使得计权撞击声改善量有所差异,但所有垫层材料均可明显降低撞击声压级。垫层厚度的增加对撞击声改善量影响很小,厚度增加 7 mm 改善量仅增

大 4 dB。在实验室条件下,采用浮筑楼板构造可以满足现行国家标准高要求(≤ 65 dB),也可以满足征求意见稿中高要求(≤ 60 dB)。

4 结论

1)对于混凝土楼板与瓷砖楼板,其 $L'_{nT,w}$ 主要由高频(1 250~3 150 Hz)的 L'_{nT} 决定;对于木地板楼板,其 $L'_{nT,w}$ 则主要由低频(125~500 Hz)的 L'_{nT} 决定。

2)常见的混凝土楼板基本满足现行国家标准低限值(≤ 75 dB)的要求,较难达到征求意见稿中要求的低限值(≤ 70 dB);楼板厚度的增加对计权撞击声压级改善效果不明显;采用隔声砂浆可以在一定程度上改善撞击声隔声效果,能达到征求意见稿的低限值(≤ 70 dB)要求。相较于普通现浇钢筋混凝土楼板,混凝土叠合楼板的撞击声隔声效果更好,平均 $L'_{nT,w}$ 为 71 dB。

3)混凝土楼板采用瓷砖面层并不能明显改善撞击声压级,仅满足现行国家标准低限值(≤ 75 dB)的要求,无法满足征求意见稿低限值(≤ 70 dB)的要求;采用木地板面层可以明显降低中高频撞击声压级,隔声效果显著,可以满足现行标准高限值(≤ 65 dB)要求。

4)不论面层采用何种材料,浮筑楼板构造都可以明显降低撞击声压级,能满足现行标准高限值(≤ 65 dB)要求,能满足征求意见稿的低限值(≤ 70 dB)要求,建议住宅建筑楼板采用浮筑楼板。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50118-2010.民用建筑隔声设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [2] 王军强.住宅浮筑楼板撞击声改善量试验[J].声学技术,2020,39(3):329-333.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部.民用建筑隔声设计规范(征求意见稿)[S/OL].(2019-06-05)[2022-10-01].
https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/fdzdgknr/zqyj/201906/20190606_240784.html.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.声学 建筑和建筑构件隔声测量 第7部分:楼板撞击声隔声的现场测量:GB/T 19889.7-2005[S].北京:中国标准出版社,2005.
- [5] 王丽娟,陈秋杰,李采虹,等.10 mm厚高性能隔声砂浆楼板隔声新技术的研究[J].建筑科学,2020,36(10):153-157.
- [6] 王文超.民用建筑典型楼板构造隔声性能的实测研究[J].福建建设科技,2021(2):85-87.
- [7] HOMB A, GUIGOU-CARTER C, RABOLD A. Impact sound insulation of cross-laminated timber/massive wood floor constructions: collection of laboratory measurements and result evaluation[J]. Building Acoustics, 2017, 24(1): 35-52.
- [8] 孙海涛,刘培杰.绿色建筑评价中楼板撞击声隔声指标探讨[J].南方建筑,2022(1):94-97.