

弹性地面材料对撞击声的隔声

钟祥璋

(同济大学)

众所周知,一般建筑物的钢筋混凝土楼板,不管采用什么结构形式,其撞击声隔声的性能都是很差的。^{[1][2]}就住宅建筑的楼板来说,离我国隔声标准的规定^[3]相差很远,有的甚至连等外级的要求也不易达到。

目前我国正在大量兴建住宅,为了使建筑实现工业化和机械化,所用的建筑构件向日益轻薄的趋向发展,同时随着人民生活水平的提高,家庭器具如缝纫机、电视机、电风扇、洗衣机、电冰箱等噪声源也日益增多,于是隔声问题就愈突出,尤其是对楼板撞击声的隔绝。

提高楼板撞击声隔声性能的方法,一般有三种:即采用弹性地面面层,浮筑楼板和隔声吊顶。实践证明,隔声吊顶对隔绝空气声效果较好,但对撞击声的作用较小。浮筑楼板对撞击声的隔绝效果较好,但施工要求高,而且比较麻烦,例如楼板弹性垫层与四周墙壁或与基层楼板存在刚性连接的声桥时,其撞击声的隔绝作用就会大大降低。上述两种方法对于降低同层噪声干扰几乎没有作用。并且会增加楼板的结构厚度和重量,不仅增加造价,而且还会影响建筑的净空。弹性地面面层重量轻,厚度薄,施工方便。既能对撞击声起隔绝作用,又能减少水泥地面的灰尘,起到清洁房间和室内装饰的作用。它对同层楼板撞击声的降低也有较好的效果。

六十年代初,我室曾对提高混凝土楼板撞击声隔绝作用进行过研究。^[4]由于当时可供使用的弹性面层材料极为有限,并且价格昂贵,因此,着重于浮筑楼板弹性垫层方

面的研究。近年来,我国化学工业有了发展,适用于地面面层的新材料,不仅品种增加,质量提高,价格也在降低。三废的充分利用,如再生塑料,更为楼板弹性面层提供了价廉材料。

八一年以来,我们对常用的塑料地面材料,在实验室进行了撞击声性能测试,同时对化纤地毯、橡胶板、软木板和钙塑板等弹性材料亦进行了测试,并探索了提高弹性地面面层撞击声隔绝性能的方法。

一、楼板的撞击噪声级

对于无限大均匀的厚楼板,受撞击激发时,在该板下接收室内的撞击噪声级,可由下式进行估计^[4]

$$L_N = 20 \log \frac{f^{1/4}}{E^{3/8} \rho^{5/8} h^{1.75}} + \text{常数} \quad (1)$$

式中 E ——楼板的弹性模量。

ρ ——楼板的密度。

h ——楼板的厚度。

从式(1)可大致看到提高实心楼板对撞击声隔绝的一些途径和方法,当 E 不变时,主要是提高楼板材料的密度和厚度,若楼板的质量加倍,撞击声压级可降低3dB;若楼板的厚度加倍,则撞击声压级可降低10.5dB左右,因此,增加楼板厚度比增加楼板的质量对撞击声的隔绝更为有效。同时撞击噪声级还随频率的增加而按 $f^{1/4}$ 的对数而提高。

对于空心楼板由于截面形状复杂和不均匀性,撞击声压级的估计比较困难。根据实验结果,空心楼板的撞击声压级随频率的提

高比实心楼板要大，它基本上是按 $f^{3/4}$ 的对数而提高，^[4]这是因为空心楼板本身的薄壁空腔引起共振，大大降低空心楼板的隔声性能。

为了提高楼板的隔声性能，虽然可以通过采用增加质量和厚度的办法，但又会因此而增加建筑材料用料和结构荷载与造价，还会减小房间的净高。无论从经济或结构上考虑，采用这种办法提高楼板的撞击声隔绝性能是不足取的。

当前使用最多的是塑料地板，这类材料如果有一定的弹性和厚度将是提高楼板撞击声隔绝比较有效的措施。

弹性面层对撞击声的隔声作用，可将撞击锤的质量与柔性面层的弹性组成一个振动系统来考虑，从而得到在面层共振频率 f_R 以上声频范围的撞击声改善值 ΔL ^[5]

$$\Delta L = L_{N_0} - L_{NR} = 40 \log \frac{f}{f_R} \quad (f \gg f_R) \quad (2)$$

$$f_R = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{M}{D}}$$

L_{N_0} ——未铺弹性面层楼板的撞击声压级。

L_{NR} ——铺设弹性面层楼板的撞击声压级。

M ——撞击锤的质量。

D ——撞击过程中弹性面层单位压缩所需的力(劲度)。

从式(2)可以看出，撞击声压级的改善值随频率的增高而增大，频率增高一倍，改善值增大 12dB。目前在住宅建筑中大都采用予制钢筋混凝土空心楼板，中高频撞击噪声级比较高。由于弹性面层中高频的改善值很高，因此这类楼板铺设弹性面层大大提高其撞击声的隔声性能。

二、测试试件和方法

从对撞击声的隔声考虑，地面材料应该是柔软的，即受撞击后能有较大的变形，但从实际使用的要求考虑，又应该是坚硬耐磨，

变形不能太大，否则室内放置家具等物件后，在接触面上会出现较深的凹痕，此外，还要求清洁方便，防水、防火，胀缩小，不挥发气味、颜色美观。

这次实验研究主要选择了常用的各种塑料地面材料，厚度约在 1.5~3.0mm 左右，包括硬质、半硬质和软质塑料地板，其它弹性地面材料还选有 10mm 厚的化纤地毯，各种厚度的软木板以及实心 and 波纹橡胶板。同时还把常用的薄型塑料地板作为面层，下垫不同的弹性垫层组成复合的地面面层，垫层材料有钙塑板，聚氨脂泡沫塑料以及泡沫乳胶等。试件材料的规格和单价等列于表 1。复合弹性地面面层的垫层材料见表 2。

表1 弹性地面材料的试件

序号	材料名称	厚度 (mm)	价格* (元/m ²)
1	化纤地毯	10	40.00
2	半硬质塑料地板	1.6	6.00
3	PVC 软质地板	3.0	7.50
4	再生塑料地板	5.0	3.00
5	薄油地毡	1.6	1.50
6	厚油地毡	2.5	3.00
7	钙塑板	20.0	6.00
8	实心橡胶板	3.5	12.00
9	波形橡胶板	3.0	11.00
10	软木板	2.0	2.60
11	软木板	4.0	6.30
12	软木板	6.0	9.40

表2 复合弹性面层的垫层材料(面层为 1.6mm 半硬质塑料地板)

序号	材料名称	厚度 (mm)	价格* (元/m ²)
1	钙塑板	20	6.00
2	聚氨脂泡沫塑料	10	2.80
3	泡沫乳胶	2.0	8.60
4	软木板	4.0	6.30

* 表中所列价格大部分是81年定价，其中一些系按小样品推算的。

楼板撞击声隔声性能是用符合测量标准要求的打击机^[6]，在待测楼板上打击，然后测量该楼板下的撞击噪声级 L_T 来衡量的。接收的噪声级越高，则表明楼板的隔声效果越差；反之噪声级越低，表示其隔声性能越好。当然这个声压级还与接收室的吸声大小有

关。故通常用接收室的参考吸声量 $A_0=10m^2$ 作校正。使相互结果可以比较。于是用标准撞击声压级 L_N 表示。

$$L_N = L_T + 10 \log \frac{A_0}{A} \quad (3)$$

式中 A ——为接收室的吸声量。

如果采用单值表示楼板的撞击声隔声效果，一般是以撞击声指数 I_i 表示^[8]。

弹性地面面层的撞击声隔声性能，系用楼板未加弹性地面面层的和加弹性地面面层的撞击噪声级差来表示的。这个声压级差即为弹性面层的改善值，或用撞击声指数的降低值表示。撞击声改善值或撞击声指数的降低值越小，表示弹性面层的撞击声隔声作用越差，反之改善值或撞击声指数的降低值越大，则表示弹性面层的撞击声隔声作用越好。

整个测试是在隔声室内进行的，测试室的基层楼板是 $2.5 \times 2.5m^2$ ，厚为 9cm 的实心现浇钢筋混凝土板。为了便于调换试件，因此测试材料未作粘贴，而直接铺放在基层楼板上，这也符合大多数被测材料的实际使用情况。最小的测试面积，均满足 ISO 隔声测试规范中，对打击机锤的接触试件位置到测

试边缘之间的距离要大于 100mm 的要求^[6]。

三、弹性面层的撞击声隔声性能

1. 塑料面层：目前住宅建筑内使用的塑料地板，有硬质、半软质和软质三种，厚度一般在 1.5~3.0mm 左右，其中一种再生塑料地板厚约 5mm，这些材料的撞击声隔声效果见图 1 和表 3。500Hz 以下的低频部分，对

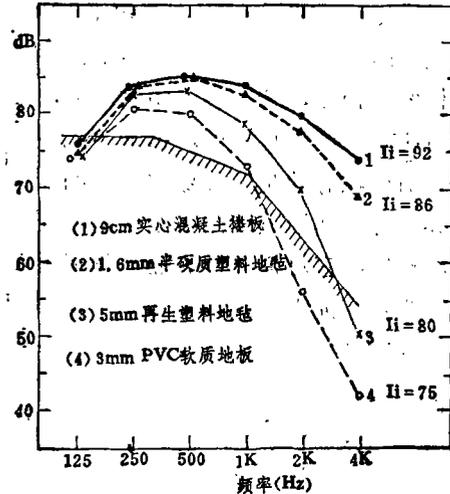


图1 塑料面层的撞击噪声级

表3 弹性面层的撞击声改善值 ΔL (dB)

序号	材 料 名 称	厚度 (mm)	125	250	500	1K	2K	4K	平均	ΔI_i
1	化纤地毯	10	7	14	28	40	45	50	30.7	27
2	半硬质塑料地板	1.6	1	0	0	1	2	5	1.5	4
3	PVC软质地板	3.0	2	-3	5	11	24	32	12.8	15
4	再生塑料地板	5.0	2	1	2	5	10	24	7.3	11
5	薄油地毯	1.6	1	2	1	2	4	8	3.0	6
6	厚油地毯	2.5	3	2	2	3	4	10	4.0	7
7	钙塑板	20	3	12	24	32	38	52	26.8	21
8	波形橡胶板	3.0	2	2	7	21	38	40	19.5	15
9	实心橡胶板	3.5	1	1	2	6	14	17	8.5	11
10	软木板	2.0	1	1	4	12	29	42	14.8	14
11	软木板	4.0	2	2	5	15	35	44	17.2	15
12	软木板	6.0	2	3	8	22	39	46	20.0	16

撞击声的改善作用不大,其改善值约1~2dB,但1000Hz以上的中高频部分作用比较明显,厚度越大,效果越好。软质的比硬度的要好。5mm厚的再生塑料地板,对于一般住宅的钢筋混凝土楼板的撞击声指数 I_i 可有10dB左右的降低,3mm软质塑料地板 I_i 降低15dB左右,而厚为1.6mm的半硬质塑料地板 I_i 只降低4dB。

2. 油地毯和橡皮地板,油地毯的厚度为1.5mm和2.5mm,橡皮地板有二种形式,单面波型橡皮地板厚3mm,实心厚3.5mm,测试结果见图2和表3,对撞击声的隔声作用与塑料面层相似,低频没有多大效果,中高频作用明显。油地毯质硬,撞击声隔绝作用较差。值得注意的是两种橡皮面层的作用,单面波型橡皮面层虽然比实心橡皮面层薄,但弹性较好,它对撞击声的隔声作用就比实心面层要好,撞击声指数 I_i 要低4dB。利用

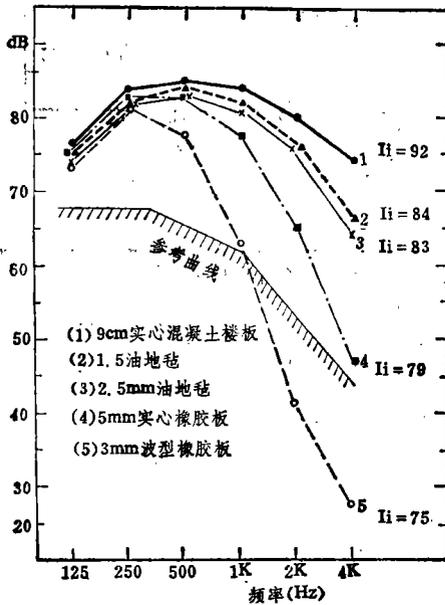


图2 油地毯和橡皮面层的撞击声隔声比较

这种面层能使钢筋混凝土楼板的隔声达到我国住宅隔声要求的二级标准^[2]。但由于橡皮面层是黑颜色,室内装饰效果较差。

3. 软木板地面层,软木板选用了三种规格,主要是厚度的不同,分别为2、4和6mm,

这类材料的撞击声隔声性能主要表现在中高频效果特别显著,测试结果见图3和表3,结果表明隔声效果与厚度关系不大,厚度每增加2mm,隔声指数 I_i 约下降1dB。总的说来,软木板对撞击声的隔声作用还是比较有效的。由于中高频噪声受到抑制,从而减少了噪声的干扰,能使钢筋混凝土楼板的隔声指数 I_i 降低到75dB左右,亦能达到住宅隔声要求的二级标准。它除了起隔声作用之外,还有隔热保温的优点,但其缺点是不耐磨,会吸水,在实际使用上存在一定困难,不宜作面层使用。

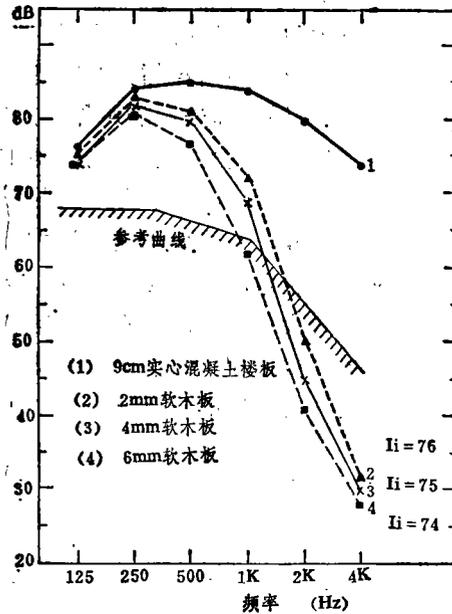


图3 软木板对撞击声的隔声作用

4. 复合弹性面层,这种弹性面层充分考虑到材料的性能和使用要求。面层可选光洁、坚硬耐磨,防水、美观的塑料地板,其下的弹性垫层选取柔软富有弹性的材料,如聚氨酯泡沫塑,钙塑板和泡沫乳胶等。由于这种面层的弹性大大提高,因此对撞击声的隔声效果不仅中高频作用显著,而且低频作用也大大提高,测试结果见图4和表4,如垫上10mm厚的聚氨酯泡沫塑料,它对钢筋混凝土楼板隔声指数 I_i 从90dB下降到49dB, I_i

表4 复合弹性面层的撞击声改善值(面层为1.6mm半硬质塑料地板)

序号	面层下垫材料	厚度(mm)	125	250	500	1K	2K	4K	平均	ΔI_i
1	软木板	4	1	2	5	16	35	44	17.2	15
2	钙塑板	20	4	9	19	30	42	50	25.7	22
3	泡沫乳胶	2	4	12	25	38	47	54	30.0	25
4	聚氨酯泡沫塑料	10	20	34	36	45	51	58	40.7	51

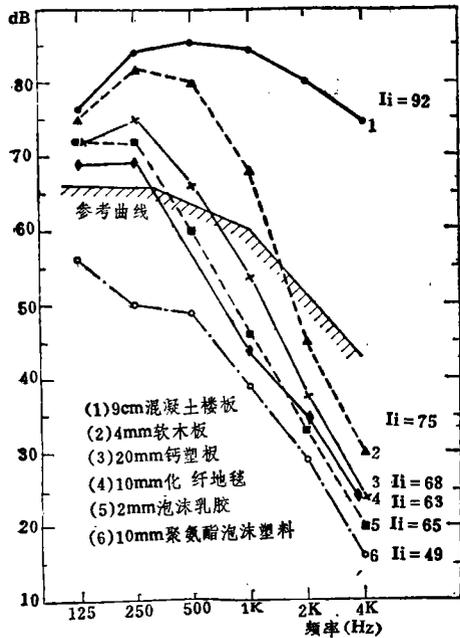


图4 复合弹性层对撞击声的隔声作用

改善值高达41dB,超过化纤地毯的隔声效果,但其总的价格却比化纤地毯便宜得多。

击机撞击光混凝土楼板以及其上铺以5mm再生塑料地板, 3mm PVC软质地板和10mm化纤地毯等弹性面层的撞击噪声级, 结果见图5。降噪作用与弹性面层的柔性关系密切, 5mm再生塑料地板比较硬, 约有2dBA降低, 3mm PVC软质地板降噪作用较好有5dBA, 而化纤地毯效果最佳, 降噪量达12dBA。

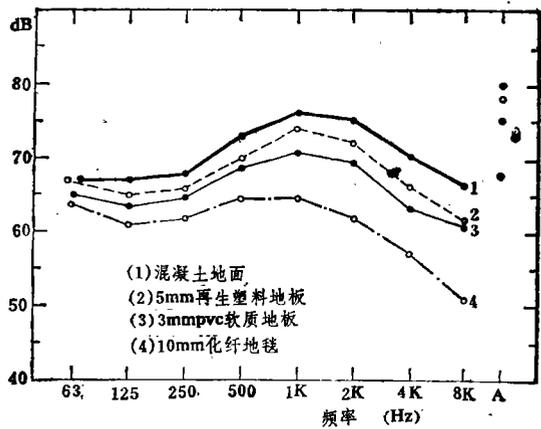


图5 弹性层对同层楼面的降噪作用

四、对同层撞击噪声的降低

楼板受撞击激发后, 会向板的上下两面辐射声能, 在激发一面楼板的声级常大于楼下的声级^[2], 而且声级很高, 这样楼面上撞击噪声又可能再以空气声的形式向楼板下透射, 同时还足以引起对同层房间的噪声干扰。弹性面层因为它比混凝土地板柔软, 对于撞击具有较大的粘滞摩擦作用, 使受撞击楼板辐射噪声降低。我们在一间 25m²左右的办公房间, 室内平顶有较强的吸声处理, 测定打

五、结 论

1. 在作为地面面层用的塑料地板中, 从对撞击声的隔声作用来说, 3mm PVC软质地板是目前比较理想的一种地面材料, 撞击声隔声效果好, I_i 的改善值为 15dB, 既有弹性又耐磨, 颜色美观, 用户可根据各种颜色, 拼成不同图案的地面, 具有较好的装饰效果。5mm厚的再生塑料地板, I_i 的改善值达10dB, 价格便宜, 但颜色比较杂乱, 耐磨较差, 如能在加工时, 按原料的颜色压制成板, 就可

以提高其美观程度。它们采用直接铺放,节省人工,施工非常方便。由于能正反两面使用,相对来说还是比较耐用的。其它硬质或半硬质塑料地板,既薄又硬,撞击声的隔绝作用较差,并且要用胶结方法粘贴在地面上,施工比较麻烦。

2. 要提高地面面层材料对撞击声的隔声效果,就必须提高材料的弹性,例如同样橡胶板,由于实心断面的面层比波型断面的面层不易变形,因此它对撞击声的隔声效果较差。面层的弹性和实用之间是存在矛盾的。钙塑板具有很好的弹性、对撞击隔声也具有良好的效果,除其不防火和不耐磨之外,终因变形太大而影响作为地面面层来使用。

3. 复合弹性面层对撞击声具有良好的隔声作用,这种材料的表面层是采用薄型的塑料地板与弹性材料复合,单层的这类地板的撞击声隔声作用是不大的,但下垫一层易于变形的弹性材料后,其撞击声的隔声效果就能显著提高,能达到甚至超过化纤地毯的作用,但它的价格要便宜得多。这种复合弹

性面层适用于撞击声隔声要求高的建筑中使用。例如,用1.6mm厚的半硬质塑料地板下垫20mm钙塑板或10mm聚氨酯泡沫塑料,均能使钢筋混凝土楼板的撞击声隔声等级提高到优于一级的水平。^[3]

本工作中的试件系由上海市建筑科学研究所提供,林桂祥和葛德三等同志参加了测试工作。王季卿先生对本文提出过宝贵意见,作者在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] 潘伟等:居住建筑中楼板隔绝撞击声性能分析,第二届建筑物理学术会议论文选集 P. 190,中国工业出版社
- [2] 王季卿等:混凝土楼板对撞击声隔绝的实验室研究,第二届建筑物理学术会议论文选集 P. 207,中国工业出版社
- [3] JGJ11-82住宅隔声标准国家建工总局标准
- [4] Gosele K.: Trittschall-Entstehung and Dämmung, Akust, Beih, No 1 (1956)
- [5] Cremer L.: Berechnung Von Körperschallvorgängen, Akust. Beih, No 1 (1956)
- [6] ISO140/V111 在标准楼板上楼板面层减弱传递的撞击声的实验室测量

(上接第25页)

三、实验及初步数据

在做动物活体测量前,为了检验探测器械的可行性,曾用其对有机玻璃,蒸馏水和新鲜猪肝进行了测量并和文献资料中的同类数据作了比较,如表一所示。

从表一数据,可以看出在对有机玻璃和蒸馏水的测线中,我们的测线数据稍偏低,相差约在6%到7%之间,而对猪肝的测线中,我们的数值约低3%到5%。其原因可能是测试条件的不同。

然后,对家兔和狗进行了活体测量。首先将实验动物缚于手术台上,用硫喷妥纳溶

液通过耳静脉或腹腔静脉进行麻醉。手术切口约在5—6公分之间。由于探测器轻小,它可随活体的呼吸节奏而同步移动。在测量过程中采用微电脑对声时值进行自动采集并与予先输入的厚度数据进行运算,打印。整个测量过程只需时约三分钟。表二为测得的活体数值与文献资料所载数值的对照比较。这些实验的活体动物在术后仍健壮地成活,直至被宰。

参 考 资 料

- [1] 蔡恒辉等:“窄脉冲超声探头”,无损检测,5(1983),No1
- [2] 日本超音波医学会编:超音波医学,(1973)
- [3] 日本学术振兴会制钢第19委员会编.超音波探伤法,(1974).