

浮筑楼板的隔声

王季卿

(同济大学声学研究所)

建筑中楼板撞击声隔绝不佳问题是很普遍的。在大量住宅中,由于楼板结构日趋轻薄,问题更为突出。在一些高层建筑中,建筑设备有时要求设置在楼上,造成很大干扰。问题之难于解决虽有其经济方面原因,但主要还是隔声技术上缺乏成熟的经验。这里介绍一种浮筑楼板隔声设计,基本上可以解决大多数问题。必须指出:它的隔声效果往往与构造方式和施工密切相关,因此不能忽视。

一、楼板隔声要求

自从我国住宅隔声标准(国家建筑工程总局标准GJ11-82)在82年公布以来,隔声问题开始有了规定。此标准虽针对住宅而言,但对其它建筑也有参考意义。在该标准制订过程中,发现国内的常用楼板构造对于隔绝撞击声普遍较差。根据我们对几种常用楼板构造住宅的居民调查:对槽形板或钢丝网水泥大板的反应尤为强烈,80%~100%居民不满意;对9到18cm厚圆孔板、空心板也有50%居民不满意,表示满意者几乎没有。这些楼板之下加装吊平顶后,或之上铺设木地板后情况有所好转,但均未达到完全满意效果。详见表1。

表1 居民对楼板撞击声隔绝的反应

	居民反应百分率			隔声指数 L_i (分贝)
	满意	还可以	不满意	
槽形板, 钢丝网水泥大板			80~100%	≥ 85
9~18cm圆孔板, 空心板		50%	50%	80~85
有吊顶混凝土空心楼板		80%		≤ 75
混凝土空心楼板铺木地板	50%	50%		60~65

这些楼板的撞击声隔绝性能经过实际测定,用住宅隔声标准中规定的隔声指数 L_i 表

示时,其结果见表1中第三栏。测定工作是用一个标准打击器放在楼板上发出连续的撞击声,在楼下房间内用声级计记录中心频率从125至4000赫的六个倍频带声压级 L_i ,并对楼下房间内的声吸收条件加以校正而得出现场标准撞击声压级 L'_N (分贝),即

$$L'_N = \bar{L}_i + 10 \lg \frac{A}{10} \quad \text{分贝}$$

式中 L_i 为平均撞击声压级(分贝), $10 \lg A/10$ 为接收室内吸声修正项, A 为接收室内等效吸声面积(米²)。 L'_N 值越小表明楼板对撞击声隔绝性能越好。由于人们对不同频率的撞击声压级反应不同,因此住宅隔声标准采用了国际通用的标准曲线(见图1)来衡量。为了便于评价,住宅隔声标准还规定了一种单值评价方法,即所谓撞击声隔声指数 L_i 方法。这里要求将 L'_N 的频率曲线与标准参考曲线相比较。当采用1倍频程频谱时,要求不利偏差的总和不大于10分贝,任一频率的不利偏差不大于5分贝。满足上述两条件的极限位置时,参考曲线500赫所指向的撞击声压级读数,即为撞击声隔声指数 L_i 。

我国住宅隔声标准根据居民反应及国内的其它现实条件,规定了高要求(I级标准, $L_i \leq 65$ 分贝)和低要求(II级标准, $L_i \leq 75$ 分贝)两项指标。照顾到目前的经济水平,暂定

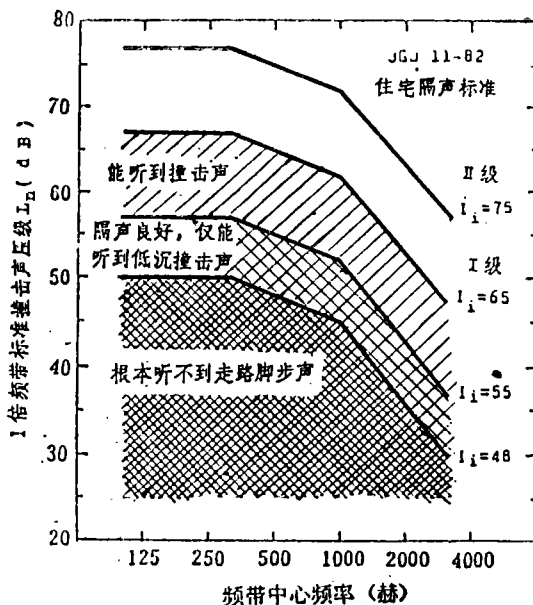


图1 我国住宅隔声标准(GJ11-82)规定的Ⅰ级和Ⅱ级标准参考曲线及相应的 L_i 值。图中还给出了人们对不同 L_i 值及标准参考曲线范围的主观反应情况。

L_i 不得超过85分贝作为等外级，这是很不得已的权宜之计。从图1所示可知即使Ⅰ级标准也不是听不到楼板上的撞击声，而是干扰程度在一定容忍范围。只有 L_i 低于48分贝时才根本听不到走路脚步声。所以在其它类型民用建筑中，可根据使用要求及主观反应，定出相应的撞击声隔绝要求。

二、常用楼板构造的撞击声隔绝性能

有一个时期住宅中采用的轻薄楼板其厚度仅有3~5厘米，例如小梁楼板、槽形楼板和钢丝网水泥大板等。它们的 L_i 值都高达95~100分贝，居民对此干扰反应甚为强烈，甚至有些居委会反映这是造成楼上楼下居民矛盾之主要原因。补救办法之一是在楼板下加装吊平顶，它可以使 L_i 值下降10~15分贝，

但仍达85分贝左右。图2所示为3厘米厚钢丝网水泥楼板及加装纤维板吊平顶后的实测结果，与Ⅱ级标准相比差距还是不小。主要原因是撞击声通过吊筋(木或钢筋)传至纤维板平顶，也还通过侧墙向楼下房间传声，而且木纤维板本身由于轻薄和密缝性差，起不了多少隔声作用(见图3)。因此吊平顶之所以不能很好解决楼板撞击声隔绝问题是很自然的。

空心板是目前最常用的楼板型式。建筑师也逐渐认识到“空心”对隔声不是什么优点，因为它无论对空气声和撞击声的隔绝都没有超越同等重量的实体混凝土楼板。反之，空心部份的壁体相当薄，受到撞击时还会发出象击鼓那样的空腔共鸣声，使中频(1000

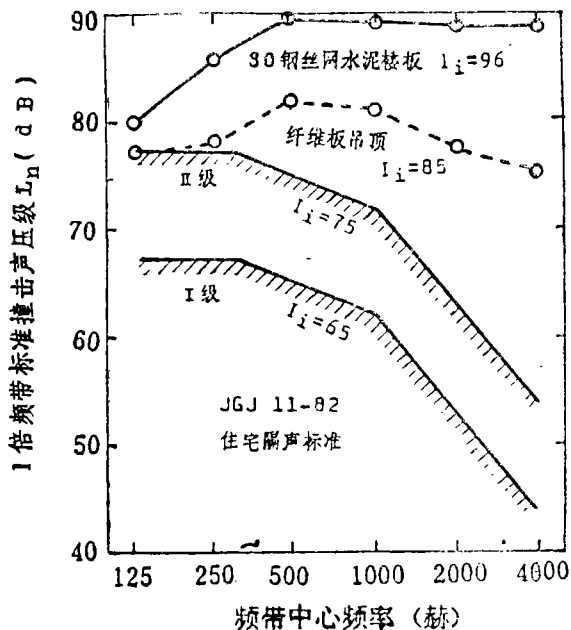


图2 30毫米厚钢丝网水泥楼板及加装纤维板吊平顶后的实测结果，并与隔声标准的比较。

赫附近)的撞击声特别高。图4所示为120毫米厚的圆孔空心板加上30毫米水泥整浇层后的实测结果， $L_i = 82$ 分贝。显然达不到住宅Ⅱ级标准 $L_i = 75$ 分贝的要求，主要在中高频不能满足。

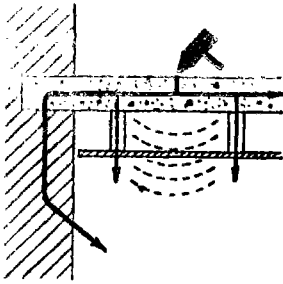


图3 有吊顶的浮筑楼板传声途径示意图

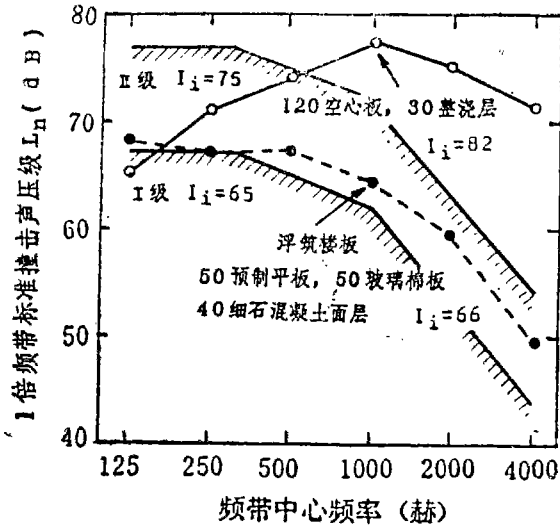


图4 空心楼板和浮筑楼板的标准撞击声压级
(现场实测)

三、浮筑楼板的撞击声隔绝

浮筑楼板是解决楼板撞击声隔绝的有效办法之一。关键在于保证垫层材料有足够的弹性和消除浮筑地面层与周围的所有声桥。

图4所示为50毫米厚预制平板上所做浮筑楼板的标准撞击声压级——频率曲线。中间用的是50毫米厚(压实后约20毫米厚)玻璃棉(保温)板,面层为40毫米厚细石混凝土。它的隔声指数 $I_i = 66$ 分贝,接近住宅隔声I级标准 $I_i = 65$ 分贝的要求。它比之光秃的一层薄平板大致可改善25~30分贝,效果明显。

为了防止声桥的出现,构造上必须采取

一些措施,如在玻璃棉板之上铺一层油毡或塑料薄膜(包装棉板用)防潮层和3.5毫米厚硬质纤维板,前者保证浇筑细石混凝土面层时水泥砂浆不致渗漏至基层楼板,后者防止施工时捅破防潮层。在浮筑地面与墙身四周接缝处均用软质纤维板预先嵌好,并使水泥踢脚板与地面脱开,见图5。另一在施工时容

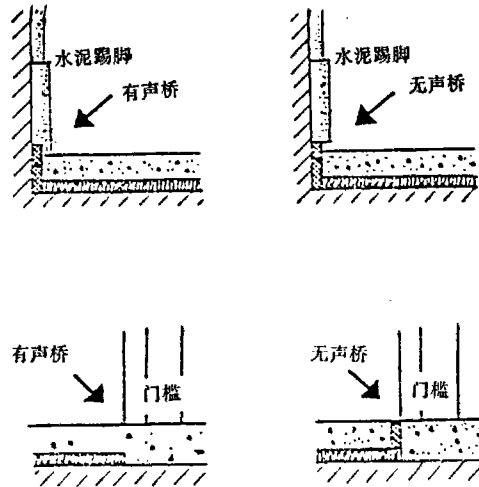


图5 浮筑地面与墙隔离的构造

易形成声桥的地方是门槛处。根据我们过去的经验,仅仅由于门槛处地面有90厘米长的声桥,就会产生可观的影响。例如在我校电声楼中,有-18厘米厚圆孔楼板上的浮筑地板,构造方式与上述相同,四周与墙隔离良好。仅仅由于门槛处水泥地面有90厘米长的连接,这一声桥使整个浮筑楼板的隔声指数 $I_i = 65$ 分贝;当这一段连接处被凿开后,隔声指数 I_i 下降到48分贝(见图6),使隔声效果达到非常良好的程度。

曾检查过图4所示结果的那些浮筑楼板,发现上述周边声桥或多或少地存在一些,这是施工不够仔细的后果。这次试点工程共做了20间浮筑地板,抽样测试了其中的4间,图3所示为其平均结果,也可说代表了目前一般施工条件所达到的水平。

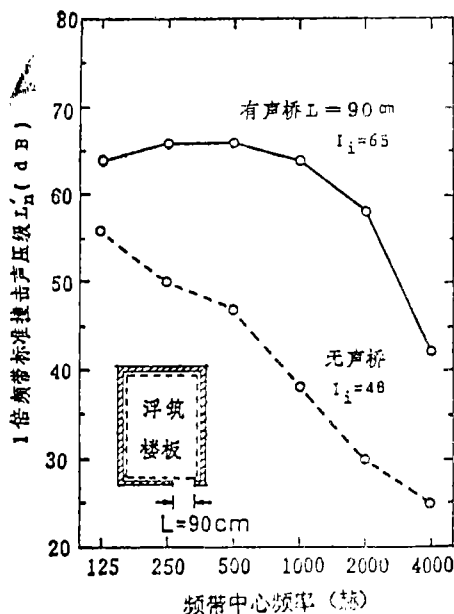


图6 浮筑地面在门槛处出现90cm长声桥时($L_i=65$ 分贝)和无桥时($L_i=48$ 分贝)的标准撞击声压级比较

四、浮筑楼板的撞击声隔绝的改善值

浮筑楼板的隔绝撞击声原理和隔振很相似, 楼板结构和浮筑面层之间的弹性垫层是关键。垫层的弹性(包括所围蔽的空气层)愈佳, 即每单位面积的动刚度 S' (N/m)越小, 则浮筑楼板(质量——弹簧——质量)的共振频率 f_0 就愈低:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{S'}{\rho_1}} \quad (\text{Hz})$$

式中 ρ_1 为浮筑面层的单位面积质量(kg/m^2)。于是可简单地估计出浮筑以后传输声级的降低, 或称撞击声隔绝的改善值 ΔL_n :

$$\Delta L_n \approx 40 \log \frac{f}{f_0} \quad (\text{dB})$$

式中 f 为所要考虑的撞击声频率(Hz)。这里可以看出 ΔL_n 是随频率升高而增大, 大致上按12dB/oct的斜率上升。图7所示为10cm厚的钢筋混凝土实心楼板上加铺浮筑层后所

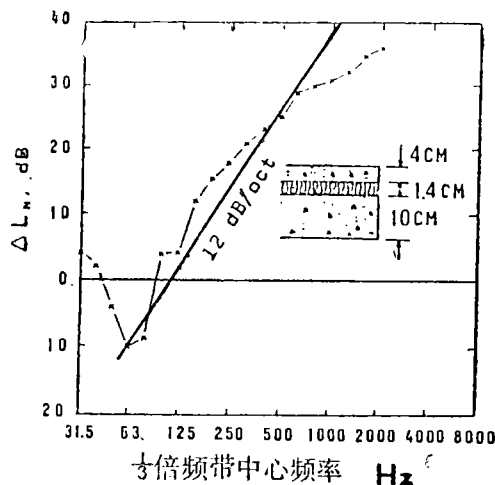


图7 浮筑楼板的撞击声隔绝改善值 $\Delta L'_{i,N}$ (分贝)与频率的关系

获得的撞击声隔绝改善值 ΔL_n 与频率的关系。可以看出在共振频率附近, ΔL_n 出现了负值。当然, 任何声桥的出现, 即使如图6所示那样仅有90cm长的门槛处联接, 也将严重地影响到撞击声的隔绝效果, 使中、高频的 ΔL_n 变得很小。

这样的构造方式也可用来解决楼板上设置风机等空调设备后对下层的干扰, 即使下面是录音室。这方面国内亦已有成功的经验。这里, 避免出现固体声桥(诸如由管线与建筑物的刚性连接而引起的等等)是隔声成败的关键。

五、浮筑楼板的空气声隔绝

浮筑楼板是一种准双层结构, 因此它的空气声隔绝不受质量定律限制。图8给出了它的空气声隔声量现场实测资料, 同时也列出了重量比它略重的常用空心楼板的空气声隔声量。从隔声指数来判断, 前者要比后者高出2分贝。因此浮筑楼板对空气声和撞击声的隔绝都非常良好。而在楼板上铺设弹性面层(例如塑料地板或地毯)时, 对空气声隔声的提高往往无补于事。

(下转第9页)

从信噪比的改善作粗略的估计,在较佳情况下采样的效率提高10倍上下是可能达到的。至于反应阈值可以判断得更准确,在有限的时间内可以获得可比性较好的系统资料,则更是质的提高。此技术显然对实验研究及临床检查都很有应用前景。目前所用方法在采样后的计算处理要费一定的时间(每组样品约需2分钟),在技术改进后这一时耗大有缩短的可能(如把部分软件改为硬件)。

本工作只是对时变滤波的效果作一初探,所以也还有改进的余地。滤波器库的参数选择就较值得注意。由于要考虑通带频率的总范围要复盖从快到慢的各种反应,实验中用的是倍频程滤波器库。若只对某一种反应感兴趣,则把各滤波器改成1/2或1/3倍频程,效果可能还要好一些。

参考文献

- [1] de weerd, J.P.C., "A posterior time-varying filtering of averaged evoked potentials". Biol. Cybern., (1981)41: 211-222.
- [2] de weerd, J.P.C., Kap, J.I., "A posterior time-varying filtering of averaging evoked potentials". Ibid, 223-234.
- [3] 史习智, 许周桦, 叶志华, "一类瞬态信号的时变滤波在诱发电位最优估计上的应用:
上海交通大学学报, (1987)21: 20-27.
- [4] Shao Dianhua and Lin Xi, "Frequency difference limen in guinea pig as measured by recording frequency

-modulation evoked slow cortical responses", Chin. J. of Physiol. Sciences, (1985)2: 173-145.

- [5] Shao Dianhua, Lin Huaying and Zhang Yiming, "Frequency and intensity DL-curves in animals", Proceedings of the III western Pacific Regional Acoustic Conference Shanghai Technical Papers(1988) vol 2, 1027-1030.

(上接第4页)

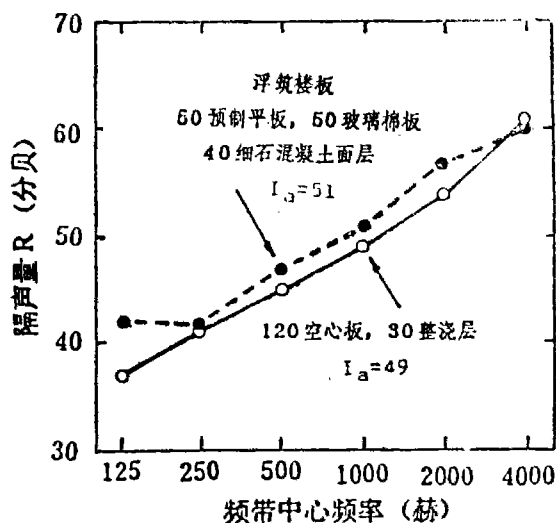


图8 浮筑楼板与空心楼板的空气声隔声量

附记: 本文中提到的浮筑楼板试点工程是由丁昌国教授负责设计的, 建造在同济大学的宿舍工程中。