

齿 轮 噪 声 的 研 究

冯 瑀 正

(中国科学院声学研究所)

齿轮噪声是工业噪声的主要来源之一。齿轮广泛用于各类机组内,直径可大到数米,小到以毫米计。虽然其工作状态与条件有很大的不同,但工作时所产生的噪声的特性却很相近。本文就齿轮噪声的频谱特性进行了实验测量与分析,并就齿轮噪声的产生和它的控制途径进行了讨论。

一、测量方法

实验研究的对象是纺织机上的—种齿轮。这种齿轮形体与大小均属中小型,直径与厚度均在5厘米左右,分为A、B两种类型。测量时为了改变齿轮的转数和排除其它噪声的干扰,将齿轮装在专用的实验台上,使马达、皮带轮及其它环境噪声的干扰小于所测量的噪声10分贝以上,以保证测量误差小于1分贝。要求在实验齿轮2米以内无反射壁面,在较远的地方也要适当加以吸声处理以减小反射声的干扰。传声器放在距齿轮约20厘米处以增加直声声,减少反射声的影响。最好在消声室内进行测量。测量的内容可以是声功率级^[1,2]或固定点的声压级。在这里为了比较各种转速下的噪声频谱,只作了近场的声压级测量。

测量用仪器有电容传声器、声频放大器 and 频谱分析仪。转速的改变是由一系列皮带轮实现的,这种传动系统产生的高频噪声较小。

二、齿轮噪声的频谱特性

齿轮噪声的频谱包括连续频谱及有调成

分两部分^[3,4]。几个有调成分为:

1. 转动频率 $f_R = \frac{n}{60}$, n 为齿轮每分钟转数。

2. 接触频率 $f_c = \frac{nT}{60}$, T 为齿轮的齿数。

3. 固有频率 f_m , 齿轮有一系列固有频率,它与材料、直径大小、厚薄、形状等以及固定方式有关。

4. 具有齿轮箱的系统,还会产生箱内空气共振及箱体共振频率的成分。

齿轮噪声产生于齿轮驱动时,由于齿间的不断撞击与磨擦所引起。因为一般齿轮的接触频率较高,噪声的强度是接近稳态的。齿轮噪声的主要成分集中在500—5000赫频率范围,对人有较大的干扰,有的A声级可达100分贝以上,长期作用可导致噪声性耳聋。

首先对齿轮噪声与齿轮磨损的关系进行了研究。在所实验的两种齿轮中各选择三类各15组分别代表未磨损、略有磨损和严重磨损三类。测量在距齿轮20厘米处的A声级结果列于表1。从测量结果中可以看出,噪声最低的是稍有磨损的一类,而其它两类由于齿间撞击与摩擦较大而有较高的噪声。两者可相差10分贝之多。从动齿轮A型是套

表1 齿轮噪声与磨损情况的关系

磨损情况	未磨损	稍有磨损	严重磨损
A声级(A型)差值	9.5 db	0*	1.5 db
A声级(B型)差值	0.5 db	0*	7.5 db

* 作为比较的相对值

在一个轴上用键槽卡住可沿轴滑动,而B型齿轮是固定在轴上,不能与轴作相对运动,因此当主动与从动齿轮啮合时,对于新的齿轮组齿隙过小,齿间一般较紧,转动时啮合过紧,A型就会沿轴向跳动,产生较高的噪声;对于磨损较大的齿轮,齿隙较大因此A型可用沿轴向运动而适当弥补,噪声相对较小。B型齿轮则与A型相反,当新齿轮齿隙小时应力变形加大而噪声增加不多;磨损较大的情况齿隙过大使撞击力增加噪声增高。一般齿轮以B型为多,因此磨损大的齿轮噪声也大。

测量的齿数,主动齿轮50齿,从动齿轮22齿,A、B两类齿数比相同仅形状略有不同。我们用从动齿轮计算频率 f_R 及 f_C ,并将测得的A声级差值列于表2以作比较。可以

表2 不同转速时齿轮噪声的变化

转速(转/分)	1000	1500	2000	2500
f_R (赫)	16.7	25	33.4	41.7
f_C (赫)	367	550	735	915
A声级(A型)差值(分贝)	0*	4	7	11
A声级(B型)差值(分贝)	0*	6	10	11

* 作为比较的相对值

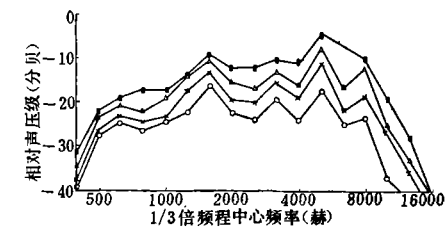
看出转数每增加一倍齿轮噪声约增加8—9分贝。从能量角度看,当转数增加时,线速度增加,因此供给的声能也增加。设改变前后齿轮速度为 u_1 、 u_2 (指齿轮外缘的线速度),而相应的转轴的转速分别为 R_1 及 R_2 ,所产生的声压级分别为 L_1 及 L_2 ,差值 ΔL 为:

$$\begin{aligned}\Delta L &= L_2 - L_1 = 20 \log_{10} \frac{u_2}{u_1} \\ &= 20 \log_{10} \frac{R_2}{R_1} \text{ (分贝)}\end{aligned}$$

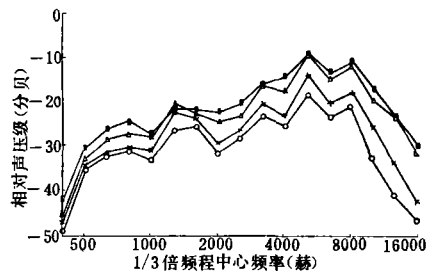
从式中可以看出转速越高,齿轮噪声的声压级(一般指总声压级)越大。但由于齿轮噪声以中、高频为主,所以总声压级与A声级是相近的。A声级是评价噪声危害大小的标准量。从式中也可以看到转速加倍齿轮噪声增加6分贝,而实测为8—9分贝。这可能是由

于高转速时阻力也加大的原因。

测量的齿轮噪声频谱见图1和图2。在测量中,由于齿轮噪声是以中、高频噪声为主,低频又受到马达与皮带轮等环境噪声的干扰,所以测试频率从400赫开始。从图1中可明显看到齿轮噪声的频谱有一系列的峰值,这是由于激发了齿轮的固有频率,当转速加高时各峰值趋向于平坦,频谱的强的部分向高频移动,即高转速时噪声的高频成分增加,8千赫以上的高频噪声很快下降。频谱的大致形状是相似的。图2是用窄带分析仪的测量结果,我们可以看到,齿轮噪声的频谱有非常明显的峰值,三个主要的峰值在1500、3200、5500赫,这些峰值不随激发的频率(f_R 或 f_C)改变,所以它们是齿轮体所固有的。这些固有频率计算起来比较困难,可以用敲击齿轮体测量出来。显然这些峰值不是一个齿轮的固有频率而是一对齿轮(主动与从动齿轮)共同发出的声音,这二者是不能区别开来的。作为定性的估计,齿轮最低的固有频率与齿轮的直径的平方成反比,与齿轮体的厚度成正比,因此齿轮越大越薄,则具有越低的



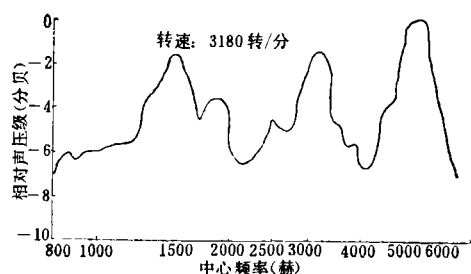
a. 齿轮组A



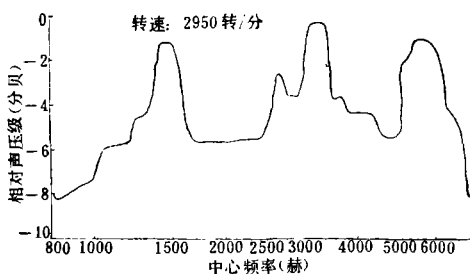
b. 齿轮组B

图1 齿轮噪声的1/3倍频程频谱

○转速1000转/分 △转速2000转/分
×转速1500转/分 ■转速2500转/分



a. 齿轮组 A



b. 齿轮组 B

图2 齿轮噪声的频谱成分(用窄带分析仪)

固有频率。每一个共振峰的高低与宽窄主要是由齿轮体的阻尼大小决定,这些阻尼的值应当包括齿轮体本身材料的内部阻尼(用复数弹性模量的虚部表示,通常写为 $E^* = E(1 + j\eta)$, η 称损耗因数)和固定部分的边界夹持阻尼来决定。

三、控制齿轮噪声的途径

控制齿轮噪声可以从以下三方面入手:

1. 机械与材料方面

提高齿轮的加工精度,改善装配以减少齿轮之间的摩擦与撞击力。用螺旋齿轮或斜齿轮代替直齿轮,前者噪声要小许多。改变齿轮的材料如用尼龙代替钢铁,可改变啮合

中的一个齿轮,因为尼龙等高分子材料内耗(阻尼)较大,产生的噪声要低。

2. 使用条件方面

选择工作频率(转数)使固有频率远离 f_R 及 f_c 。采用较低的圆周线速度的齿轮的工作状态。

3. 用声学方法降低齿轮噪声

采取对齿轮体加阻尼和隔振处理,如在齿轮的缘上加阻尼圈,或在齿轮体内加阻尼材料。有条件时将齿轮系统装在特别的隔声罩或齿轮箱内,可有效地降低齿轮噪声,可减小噪声 10—20 分贝。加置隔声罩时要注意罩与齿轮体和机器本身的隔振。有关各种材料的隔声与隔振性能^[5]和隔声罩的作法可参看有关的文献。

在这里介绍两个实际降低齿轮噪声的例子。

纺织厂中的粗纱机,旧型的是用直齿轮(筒管与锭子的转动齿轮)而新型的改为斜齿轮。对某一纺织厂相类似的两个粗纱车间(分别由这两类型粗纱机组成),测量结果列于表 3。用斜齿轮,噪声 A 声级下降达 7 分贝之多。

对某一个齿轮系统,外加一个 3 毫米钢板的罩,钢板上涂有 5 毫米厚的沥青减振胶,上边再贴上一层 5 毫米厚的棉毯,这种简单的处理是带有实验性质的,它的面密度为 30 公斤/米²。它的理论隔声量 R 可用公式

$$R = 18 \log_{10} m + 12 \log_{10} f - 25 \text{ 分贝}$$

计算,式中 m 为结构的面密度公斤/米², f 为频率(赫)。实际应用为减噪声(罩内外的声压级差),与罩内外的声吸收有关。上述的

(下转第 3 页)

表 3 两类齿轮噪声的对比

单位: 分贝

类 型	倍 频 程 中 心 频 率 (赫)								A 声级
	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	
(1) 新型粗纱机(斜齿轮)	77	77	84	87	86	83	79	72	90
(2) 旧型粗纱机(直齿轮)	79	85	91	89	90	91	90	84	97
(2)-(1) 差值	2	8	7	2	4	8	11	12	7

果、敌敌畏或二嗪农混合中毒的人体染色体畸变增高,不过从他们的结果尚难分析乐果的单独效应。本实验结果看出 0.1—2.0 毫克/只乐果口注剂量能使受药个体骨髓细胞染色体畸变有明显增加,说明乐果能引起小白鼠细胞遗传结构损伤。

另外,本实验观察到受药动物出现明显高于对照的染色体着丝点纵裂、染色单体分离的中期频度。造成此种现象有二种可能:一是秋水仙素处理的浓度过高或处理的时间过长,一是农药乐果使受药个体的细胞染色体着丝点“脆性”增高。在相同的实验操作之下,给药组与对照组都给以相同浓度的秋水仙素处理,处理的时间也相同,给药组却出现统计上显著高于对照组的着丝点纵裂,这不能排除是乐果效应的可能。

再者,小白鼠的正常核型是 $2n = 40$,所有染色体都端着丝点的(图 1)。本实验的 0.6 毫克/只乐果给药组的一号小白鼠中却观察到 2/50 中期含有一个中着丝点染色体,形成 $2n = 39$ 的异常核型。E. Capanna 等^[6]也发现小鼠中存在有由于罗伯逊易位形成中着丝点染色体的现象。本实验尚难肯定我们所见的中着丝点染色体是罗伯逊易位,尚需作进一步分析,如进一步工作证实是罗伯逊易位中着丝点染色体,这仍是一种值得注意的现象,因为已有资料表明, C^{+} -白血病小鼠也存在有类似的核型^[7]。同时,证实农药所

产生罗伯逊易位,对分析异常核型的形成,研究物种演化也有一定的帮助^[6]。

结 语

0.1—2.0 毫克/只有机磷杀虫剂乐果口注剂量给药后一周,引起小白鼠骨髓细胞染色体畸变明显增加。染色体畸变类型主要是染色单体断裂。同时还见到给药组染色体着丝点纵裂、染色单体分离的中期频度明显高于对照。在 0.6 毫克/只给药组一号小白鼠骨髓细胞染色体标本中观察到 2/50 中期含有一个中着丝点染色体、 $2n = 39$ 的异常核型。这些均表明,在此给药剂量和给药方式下,有机磷杀虫剂乐果能产生小白鼠骨髓细胞遗传的损伤。

参 考 文 献

- [1] 王菊凝, 环境科学, 1, 6 (1978).
- [2] Nichols, W. W., *Drug-Induced Diseases*, 4, 72 (1972).
- [3] Durham, W. F., and Williams, C. H., *Annual Review of Entomology*, 17, 123 (1972).
- [4] Buckton, K. E., Evans, H. J., *Methods for the Analysis of Human Chromosome Aberrations*, WHO, Geneva (1973).
- [5] Dieter Wild, *Mutation Research*, 32(2), 133 (1975).
- [6] Capanna, E., et al., *Chromosoma (Berl.)*, 58 (4), 341 (1976).
- [7] Koller, P. C., *The Role of Chromosomes in Cancer Biology*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1972).

(上接第 24 页)

这种隔声罩,用扬声器放在罩内作声源,罩的减噪量在 500 赫为 23 分贝,在 2 千赫达 30 分贝。但实际开车时的减噪量在 500 赫为 10 分贝,在 2 千赫为 17 分贝。实际开车时减噪量的减少是由于振动的传递所引起。标准的隔声罩应有隔振措施和较大的声吸收的结构。

本文只对齿轮噪声的产生和频谱特性作了初步分析,并对降低齿轮噪声的途径作了

简短的讨论,许多问题还有待于今后进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] Beranek, L. L., *Noise and Vibration Control*, p. 150 (1971).
- [2] Moly, J., Stevens, W. R., *Appl. Acoustics*, 1, 15 (1974).
- [3] 斯拉文, N. N., 生产噪声及其防止方法(胡澄东译), p. 325.
- [4] Moeller, Kurt G. F., *Noise Control*, 1, (1955).
- [5] 冯瑞正, 声学学报, 3, 161 (1966).