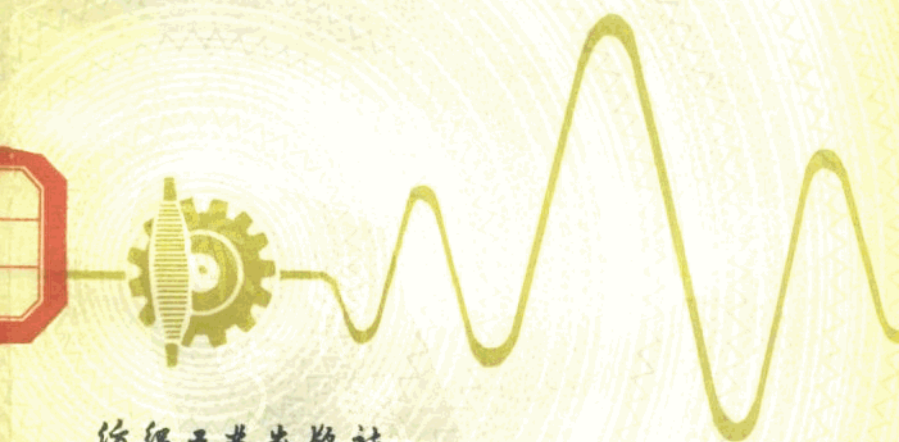


纺织和轻工生产中的 振动和噪声

[苏] Я·И·科里蒂斯斯基等 著
陈绎勤 高履泰 项端祈 译



纺织工业出版社

译 者 的 话

在纺织工业与轻工业工厂中，振动和噪声特别强烈。其控制技术，是国内外迄今公认的一项难题。在已发表的有关文献中，多属零散的论文和报道，而缺乏综述的专著。为此，我们翻译了苏联 Н. И. 科里蒂斯斯基等所著《纺织和轻工生产中的振动和噪声》一书（莫斯科轻工业出版社 1974 年出版），以供国内从事噪声与振动控制的科技工作者、纺织和轻工业的工程技术人员以及有关大专院校师生参考之用。

本书的翻译和校阅工作是集体进行的：前言和第一、第七两章由高履泰同志翻译；第二、第五、第六、第八各章由陈绎勤同志翻译；第三、第四两章由项端祈同志翻译，黄福祥同志校阅，全稿除第三、第四两章外，均由冯瑾正同志进行了复核。

译 者

一九八一年五月



4012572

目 录

前言.....	(1)
第一章 振动和噪声的一般知识.....	(4)
第一节 机械振动.....	(4)
第二节 振动理论基础.....	(6)
第三节 声学振动.....	(8)
第四节 噪声和振动参数测量原则.....	(20)
第二章 噪声和振动标准的制定.....	(25)
第一节 制定噪声标准的基本原则.....	(25)
第二节 制定振动标准的基本原则.....	(36)
第三章 振动和噪声的实验研究方法.....	(43)
第一节 测量振动参数用的仪器.....	(43)
第二节 振动参数的测量.....	(53)
第三节 声学测量用的仪器.....	(65)
第四节 机器噪声特性的测量方法.....	(81)
第五节 噪声特性测定结果的评价.....	(100)
第六节 研究噪声特性以查明噪声的主要发生 器和辐射体.....	(105)
第四章 机器噪声及其降低方法.....	(114)
第一节 机器噪声的形成和辐射.....	(115)
第二节 轻纺工业的机器噪声特性和主要噪声 源.....	(130)
一、纺织工业的机器和设备.....	(132)
二、轻工业的机器和设备.....	(144)
三、国外牌号机器的噪声.....	(152)

第三节 降低噪声的方法及其效果.....	(153)
一、结构的方法.....	(153)
二、工艺的方法.....	(169)
三、声学的方法.....	(179)
第四节 轻纺工业机器构件声学诊断的几个问题.....	(218)
第五节 降低轻纺工业机器噪声的建议.....	(220)
第六节 降低机器振动的方法.....	(222)
第五章 机器传给基座的动力载荷与采用隔振设施的效果.....	(224)
第一节 安装在弹性支座上的机器的振动研究.....	(225)
第二节 测定机器动态特性的实验方法.....	(235)
一、机器传给基座的动力载荷.....	(235)
二、对于测力器的基本要求和测力器上的织机振动方程式.....	(235)
三、有梭织机用的测力器类型与张线式传感器的变换.....	(238)
四、AT-120-6型有梭织机的载荷的实验测定结果.....	(257)
五、在实验测定无梭织机传给基座的载荷时动态误差的理论估计.....	(262)
六、无梭织机传给基座的动力载荷的实验研究.....	(270)
七、机器质量中心位置的测定.....	(277)
八、机器惯性矩的测定.....	(278)
第三节 隔振的基本原理.....	(282)
第四节 一般机器制造工业与纺织工业中采用	

的隔振装置.....	(287)
一、国内外隔振器的类型和构造.....	(287)
二、关于某些纺织机器使用苏联隔振装置的 建议.....	(300)
第五节 纺织机器振动的实验研究.....	(306)
第六章 吸声与隔声	(346)
第一节 吸声.....	(347)
一、采用吸声饰面效果的计算.....	(349)
二、空间吸声体.....	(364)
第二节 围护结构的隔声.....	(369)
一、围护结构所需隔绝空气噪声的计算.....	(371)
二、单层围护结构隔绝空气噪声的计算.....	(372)
三、双层围护结构隔绝空气噪声的计算.....	(375)
四、撞击噪声的隔绝.....	(377)
第七章 通风系统和空气压缩机站噪声的降低	(382)
第一节 通风系统.....	(382)
一、通风系统的声学计算.....	(382)
二、工作地点声压级的计算.....	(388)
三、噪声消声器的计算.....	(389)
四、通风机组的隔声与隔振.....	(392)
第二节 空气压缩机站.....	(395)
一、空气压缩机站的噪声消声器.....	(397)
二、空气压缩机站工作人员对噪声的防护.....	(406)
第八章 纺织工厂防止噪声与振动的经济效果 和经验	(408)
第一节 防止噪声问题的经济方面.....	(408)
第二节 采用技术措施以降低工厂中振动和噪	

	声的实际经验.....	(411)
第三节	个人防止噪声的用具.....	(415)
第四节	柳别尔崔地毯联合工厂降低噪声工作 的经验.....	(418)
文献目录		(422)

前 言

新工艺过程和机械的使用,现有工艺过程和机械的改进,必然带来机械的工作机构的速度提高。

现时在纺织工业中,广泛使用其主要工作机件的转速为30000转/分以上的新型气流纺纱机和转速为320~360转/分的喷气箭杆织机。现代纺锭的转速在12000~18000转/分的范围内,而假捻器的旋转频率则在300000~600000转/分的范围内。

主轴旋转频率达到1000~1200转/分及其以上的并条机和经编针织机的速度显著地增加起来。

机械的速度及所用卷装的增大,带来了一般生产噪声、机械本身及支承用建筑结构振动的增强。

在机械中发生很大的振动和噪声,是由于许多原因引起的,其中必须指出的有:不正确地选择了体系的结构和动力参数,以致构件不可避免地变形而发生了各种共振现象,在各种特别快速转动的机构中,存在着不平衡的质量;个别零件、动力副制造得不够精确及其在使用过程中有所磨损;在一些机械中产生了过程的冲击特性;使用了刚度不够的框架、支撑和护罩;在工艺过程中,愈益广泛地使用了气动设备等等。

在具有不平衡质量的机构运行时所产生的惯性力传到支承的房屋建筑结构上,特别是设备安装在层间楼板上时,就要引起它们发生振动。

振动可以导致机构解体,零件过早磨损,减少机械运行的安全,是破坏工艺过程的一项原因。

在许多情况下,承重结构的振动超过了卫生规范,而且

为害到工作人员。

所增加的振动，还可以导致房屋的动力强度的破坏，特别是由于工业建筑变为统一规格的装配式钢筋混凝土结构，而且在早已建成的企业中，用新的设备取代了陈旧的设备。此外，机械和房屋还会引起声频范围的振动，因而发生空气噪声和结构噪声^①。在许多纺织企业中，这些都大大超过了卫生规范的数值。噪声也和振动一样，会降低工作人员的工作能力和劳动生产率，而且归根到底会导致经济损失。

近年来，这一部门采用了动力载荷较大的机械，如高速经编机、新的高速织机，防止振动和噪声的问题就有了特殊的迫切性。除这些机械而外，振动特别是噪声的最大来源，乃是加捻机、粗纱机、有针排的并条机、缝纫机和制鞋机等。

防止振动和噪声的问题，特别是在轻工业中，一般是综合性的和十分复杂的。它包括解决许多要求深奥的理论和经验的研究课题。其中，首先可以指出的是有关振动和噪声的参数计量方法的问题（这些参数决定于设备的噪声和振动特性），在车间测量方面，还要研究在来源本身以及直接在企业中防止振动和噪声的积极方法。

在苏联，许多科学家、专家、科学研究所和学院、设计机构及工厂都在研究防止振动和噪声的问题。许多认真发表的著作有助于这个问题的解决，其中主要的已列入本书的参考文献索引中。鉴于所指出的问题的复杂性，特别是有关轻纺工业的许多问题还没有解决，在许多情况下，噪声和振动条

① 由于整个机械部件的振动而发生的噪声，通常称为空气噪声。沿着房屋结构传来的机械噪声，通常称为结构噪声。

例并没有贯彻执行，因此，要求进一步动员科学家、专家及轻纺工业的所有工作人员来解决面临的这个问题。

1969年举办的纺织工业企业降低噪声问题研究班和1973年6月在埃里温市举办的降低轻纺工业机械噪声和振动问题的全苏科技研究班，都在防止振动和噪声方面做出了一些总结。

必须指出，现在这一方面已完成的著作并没有汇总起来，而表现的形式则是个别的报告、论文或通报，也还没有轻纺工业中防止振动和噪声问题的专门书籍。这就使各部门中从事这些问题的专家们难于工作。

本书的著者是各科学研究所和学院中研究上述问题的专家和科学家。在本书中试图将轻纺工业中防止振动和噪声的现有资料综合起来。

由于这种缘故，其目的是向广大读者介绍振动和噪声参数的测量方法，现有的条例，主要类型的机械的噪声和振动特性，以及防止轻纺工业机械噪声和振动的方法。

书中阐述的资料的主要部分是由著者们编写的。此外，在编写时采用了这项问题的一般参考文献，上述研究班的资料，以及在工厂和联合工厂特别是柳别尔崔市地毯联合工厂所得的一些数据。

本书的主编由Я. И. 科里蒂斯斯基担任。他写了前言。第一章由И. В. 柯尔涅夫执笔。第二章由А. Ф. 拉古诺夫和И. В. 柯尔涅夫共同执笔。第三章由Р. И. 苏契阔夫和О. Н. 波伯尔共同执笔。第四章由О. Н. 波伯尔执笔。第五章由Р. И. 苏契阔夫和Я. И. 科里蒂斯斯基共同执笔。第六、七章由Л. Ф. 拉古诺夫执笔。第八章由М. И. 胡迪埃执笔。

第一章 振动和噪声的一般知识

有效地防止噪声和振动，只有在研究它们的发生和传播的物理性质的时候才是可能的。从物理的观点看来，没有振动和噪声之间的原则性的区别。人主观地由听觉感到噪声，而由触觉感到振动^[4,21,82]。

二者是由发生在固体、液体和气体介质中的波动过程引起的。特别是振动和噪声必然伴随着轻纺工业的任何机构和机械的运行，而机械零件的机械振动和声学（空气压力的变化）振动就是振动和噪声的原因。

第一节 机械振动

零件、机构环节、空气、液体的质点及其它实物的任何点的一定程度重复的运动，称做振动。

通常，将物体由其惯性和弹性决定的比较不大的振动理解为振动。例如，板、梁、机座等的振动就是这样。由下一类型的方程所描述的谐波就是最简单的机械振动（图1a）：

$$y = A \sin \omega t \quad (1)$$

式中： y ——介质或物体的观测点偏离中心位置（平衡位置）的距离；

A ——振动的振幅，即离中心位置的最大偏差（ $2A$ ——振动范围），

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ ——振动的圆（周期、角）频率（ ω 用半径量度）；

t ——时间（通常以秒表示）。

除了振动周期以外，在实践中常常应用每秒振动数的振动频率 $f = \frac{1}{T}$ 的概念。振动频率以赫表示（1赫等于每秒一次振动）。

简谐振动的特点之一，就是振动质点（点）的速度和加速度同样是简谐的：

$$\text{速度 } \dot{y} = A\omega \cos \omega t \quad (2)$$

$$\text{加速度 } \ddot{y} = -A\omega^2 \sin \omega t \quad (3)$$

这样，在简谐振动的情况下，振动速度和加速度的幅度就和振动位移的幅度成比例。

懂得机械环节的主要振动量的数值（频率、位移、速度和加速度的幅度），对于分析机械的动力学和评价它们工作的卫生条件是必要的。这样，位移的幅度就确定了部件、机架、基础的容许振动。振动速度的幅度说明了发生噪声量，确定了零件相互作用的特性、振动影响人的程度。加速度的幅度在一定程度上说明了正在作用着的动力。

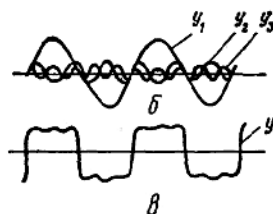
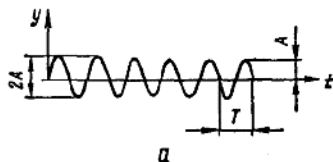


图1 简谐振动及其复合

a—基本正弦曲线振动（单数） b—基本正弦曲线振动（多数）
—复合正弦曲线振动

上面所说的是具有固定的振幅和频率的等幅简谐振动。在实践中，常常看到很多具有周期性而非简谐的振动（图1 a、b）。它们可以看做具有各种频率、振幅和初相位值的简谐振动的总和。

图1b表示所观察的复合振动 y 。它是由振幅和频率不同而相位移等于零的三条正弦曲线（ y_1 、 y_2 、 y_3 ）的总和组成的。

为了将周期振动分解为简谐分量，要应用在数学上著名的傅立叶级数。

第二节 振动理论基础

图2表明典型的单质点振动体系的示意图。它是由悬挂在弹簧上的质点 m 组成的。弹簧说明弹性力或回复力 Ky ，这里的 K 是刚性系数，而 y 是弹簧变形（质点 m 从平衡位置的位移值）。

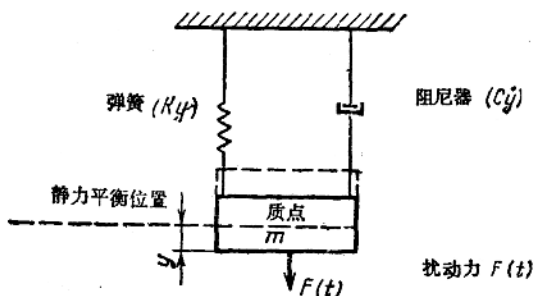


图2 典型的单质点振动体系示意图

我们认为，在振动的情况下与振动速度 C_y 成比例而且方

向始终与其相反的阻力（阻尼力）将起到作用。

这样，三个参数（质点 m 、刚性系数 K 和阻尼系数 C ）是最简单的振动体系的主要特性。在许多问题中，可以认为 m 、 K 和 C 都是常数。

时常是时间的周期函数的干扰力 $F(t)$ 作用在所观察的体系上。

在这种振动的情况下，体系由下列方程来表示：

$$y = e^{-\frac{C}{2m}t} (C_1 \sin \omega_c t + C_2 \cos \omega_c t) + A_B \sin (\omega_B t - \varphi) \quad (4)$$

式中： ω_c ——体系的阻尼振动的固有频率，

A_B ——强迫振动的振幅。

$$\begin{aligned} \omega_c &= \sqrt{(K/m) - (C/2m)^2} \\ A_B &= \frac{P_B}{K} / \sqrt{\left(1 - \frac{\omega_B^2}{\omega_c^2}\right)^2 - \left(2 \frac{C}{C_{Kp}} \cdot \frac{\omega_B}{\omega_c}\right)^2} \\ C_{Kp} &= 2m\omega_c \quad \operatorname{tg} \varphi = C\omega_B / (K - m\omega_B^2) \quad C/C_{Kp} = \mu \end{aligned}$$

式中： P_B ， ω_B ——相应的干扰力的振幅和频率，

φ ——在干扰力 $F(t)$ 和质点 m 的位移之间的相位位移。

由公式(4)的解得出，在振动的一般情况下，体系是由随时间而阻尼的频率为 ω_c 的固有振动和具有干扰力的频率的强迫振动所组成。经过一些时间间隔就成为强迫（规定）振动：

$$y_B = A_B \sin (\omega_B t - \varphi)$$

线性振动理论建议避免这样的情况：体系的频率接近于干扰力的频率。因为这会导致共振（图3），即大振幅的振动的出现[22,34,82]。

合理选择的阻尼器，大体上在接近于共振的范围内可以减少体系的振动。

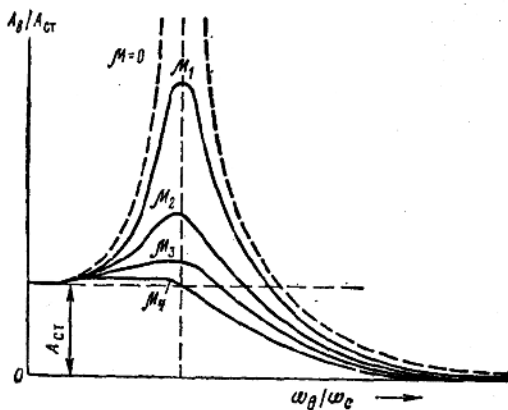


图3 共振曲线

第三节 声学振动

按照周期十分稠密地互相更替着的多余压力（和大气压相比），形成了声音。由于弹性介质（空气）振动的结果而发生的不同频率和强度的声音的混乱组合，称做噪声。

从生理学的观点来看，妨碍人的工作并对人发生有害作用的不愉快的声音，可以称做噪声。

在异向同性的介质中，声音可以球面波、平面波和圆柱形波的形式来传播。

在声源大小和波长相比较小的情况下，声音以球面（球状）波的形式，沿着一切方向在空间中传播。象通常一样，传播着低频声。

如果振动着的表面大小比它所辐射的声波波长要大几倍，那么声音就以平面波形式的射线束来传播。距任何大小

的噪声源有很大距离，以及在管子和管道中，也都会形成平面声波。

一、绕射

声波可以遇到各种障碍物而被挡住自己的道路。当障碍物或孔隙的尺寸小于波长时，声波便从旁边绕过。声波的这种传播的特性，称做绕射。如果障碍物大于波长，那么声波就不直接向障碍物的旁边透射，而形成了寂静区。因此，高频声的传播可以用不大的屏障限制起来。这种屏障在低频声传播的情况下，是不会有效果的〔4,12〕。

二、干涉

在空间中传播一些声波的情况下，声波便一个随着一个叠置起来。这时，如果在介质的这一点上的声波到达一个相位，声压就可以增加，而且如果声波将处于相反的相位，声压也就可以减少。这种声波的振动的合成现象(图4a、б)，称做干涉。在防止管道、泵站、内燃机等噪声和振动的技术中，有时要利用它。

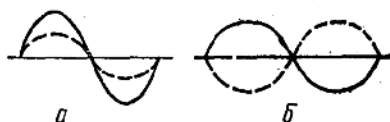


图4 声波的干涉

a—在一个相位中 б—在相反的相位中

三、声波的传播

机体噪声和空气噪声，根据声学上的声波传播的介质来区别。机体（结构）噪声，在机械内从振动着的零件发生。这些零件由直接与其连接的其他弹性环节传递自己的振动

(到机体)。从激励振动的源点开始，根据机械的型式、尺寸和环节连接方法，以纵波和横波的形式传播变形。振动着的环节表面、机座等等使与其邻近的空气质点运动起来，便形成了声波。

当激励的源点并不直接与机械环节联系，而且空气变为直接由它振动起来时，所形成的噪声就称做空气噪声。

在气体和液体中，声学上的波（声波）以纵波的形式传播起来，在那里空气（液体）质点的振动速度符合于声波的传播速度。这是以一个空气质点对另一个有切线位移时并不发生力求回到以前状态的弹力为条件的。因此，在气体和液体中便不可能用横向振动的方法来实现声波的运动。

在固体中，与液体和气体不同，看做横向振动或纵向振动均可。横向振动的特点，在于介质的质点的振动方向与声波的传播速度成直角〔4,12,22〕。

在固体介质（材料等）中，纵向声波的传播速度可用下列公式计算：

$$c_{\text{纵}} = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (5)$$

式中：E——弹性模量；

μ ——泊松系数；

ρ ——介质密度。

而横向声波（例如在薄板振动的情况下）的传播速度可用下列公式计算：

$$c_{\text{横}} = \sqrt{\omega} \cdot \sqrt{\frac{D}{m}} \quad (6)$$

式中： ω ——振动的角速度；

m——薄板表面的单位质量。

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \quad (7)$$

式中：h——薄板的厚度。

声波在气体中的传播速度用下列公式来确定：

$$c = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho}} \quad (7')$$

式中：p——静压力，

ρ ——气体密度，

γ ——绝热曲线指数，即在恒压力 C_p 和恒容积 C_v 的情况下气体的比热容量的关系（对于空气 $\gamma=1.4$ ）。

例如：对于空气，当 $p=1.013 \times 10^5$ 达因/厘米²， $\rho=0.0013$ 克/厘米³， $\gamma=1.4$ ，则声波的传播速度：

$$c = \sqrt{\frac{1.4 \times 1.013 \times 10^5}{0.0013}} \approx 332 \text{ 米/秒}$$

介质的弹性越小，那么声波的传播速度就越大。对于气态混合物来说，声波的传播速度取决于化学组成和温度，而不取决于激励振动的源点的压力大小（因为提高压力 p 就会增大空气密度）和频率。

在计算中，当温度为20℃时，空气中的声速采用340米/秒。提高温度，就会减少空气密度，因而导致每1℃增大声速0.6米/秒。

在水中声速采用1500米/秒，在钢中采用5000米/秒，在橡皮条中采用40~150米/秒，在人体组织中采用1500米/秒。

在内摩擦大的介质中，当振动能量激烈地转变为热时，声波速度要取决于振动频率。这种原理对于橡皮、木材、塑料及其他材料都是正确的。横向变形波（弯曲波）的传播速度，当在内摩擦小的材料（金属）中传播时，也是取决于振