

振 动 病

王 林 编著

人 民 卫 生 出 版 社

目 录

第一章 生产性振动及其测量	1
第一节 振动的物理概念	1
一、振动的定义和分类	1
二、振动的物理参量和振动频谱	3
第二节 生产性振动的来源和振动工具的卫生学评价	10
一、生产性振动的来源和分类	10
二、振动工具的卫生学评价	12
第三节 振动的测量	15
一、振动测量的意义和内容	15
二、振动测量的仪器	16
三、振动测量的方法	20
参考文献	28
第二章 生产性振动对机体的影响	30
第一节 振动在人体组织的传播及主观感觉	30
一、振动在人体组织的传播	30
二、人体对振动的主观感觉	35
第二节 局部振动对人体健康的影响	39
一、对神经系统的影响	40
二、对循环系统的影响	55
三、对骨-关节系统的影响	66
四、对生化和免疫系统的影响	74
第三节 全身振动对人体健康的影响	78
参考文献	80

第三章 振动病的流行病学	84
第一节 振动病的简史和命名	84
第二节 振动病的患病率	87
一、不同工种的患病情况	87
二、振动病患病的地区差异	93
第三节 关于素质性白指	94
一、素质性白指的概念和原因	94
二、素质性白指的发生水平	95
第四节 影响振动病发生和流行的因素	96
一、振动工具的振动参数	96
二、接触振动的时间	99
三、环境温度和噪声	107
四、工作体位和静力紧张	109
五、机械功率和加工物的影响	103
六、机体反应性	110
第五节 振动病的流行病学调查	112
一、调查目的和方法	112
二、调查的内容和项目	114
三、调查表格	114
参考文献	118
第四章 振动病的临床表现和发病机理	120
第一节 振动病的临床表现	120
一、自觉症状	120
二、临床检查所见	132
三、振动病的临床分型	155
第二节 振动病的病理变化和发病机理	156
一、病理变化	156
二、发病机理	161

参考文献	165
第五章 振动病的诊断和检查方法	169
第一节 振动病的诊断	169
一、诊断原则	169
二、诊断标准	170
三、分期意见	174
四、鉴别诊断	178
第二节 振动病的检查方法	181
一、振动性白指诱发试验	181
二、末梢循环机能检查方法	185
三、指端感觉机能检查方法	194
四、神经系统其它检查	200
五、骨关节和运动机能检查方法	205
六、其它检查	208
参考文献	209
第六章 振动病的治疗和预防	212
第一节 振动病的治疗	212
一、就业限制与治疗方针	212
二、物理疗法和运动疗法	214
三、药物疗法	216
四、中医疗法	219
五、外科疗法	220
六、日常生活注意事项	221
七、住院患者的治疗日程	222
附 振动病临床病例	223
第二节 振动病的预防措施	228
一、减少或消除振动源	228
二、接触振动的容许标准	230
三、限制接触振动的时间	253

四、注意环境和工具保温·····	253
五、加强个人防护·····	254
六、健康管理·····	255
参考文献·····	257

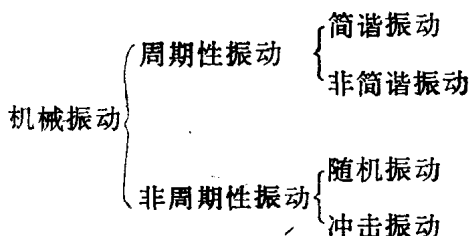
第一章 生产性振动及其测量

第一节 振动的物理概念

一、振动的定义和分类

(一) 振动的定义 振动是物质运动的一种形式,它表示一个质点或物体沿直线或弧线相对于基准位置(平衡位置)作来回往复的运动。更确切地说,叫做机械振动。例如,摆的运动、气缸中活塞的运动、一切发声体的运动、机器开动时各部分的微小运动、心脏的跳动等,都是机械振动。振动是自然界中很普遍的运动形式,广泛存在于人们的生产和生活之中,与人体健康有很密切的关系。

(二) 振动的分类 根据振动的物理性质,可把振动的分类表示为:



周期性振动是每隔一个固定的时间运动就完全重复一次,如钟摆的摆动、音叉的振动等。非周期性振动是来回振动一次所需的时间前后不同,或者各次振动的幅度有变化,以致每一次振动都不能与上一次振动完全重复。如拖拉机座

椅的振动就是不确定的无规则的振动，属随机振动；爆破和锻锤所引起的振动则属于非周期性冲击振动。

最简单的和最基本的周期性振动是简谐振动。所谓简谐振动是指运动的瞬时值按正弦或余弦三角函数的规律作周期性变化的振动，也叫正弦波振动。可以证明，任何复杂的振动都是由几个或很多个简谐振动合成的。

在生产中，单纯的简谐振动是较少见的，大量的振动是非简谐的周期性振动和非周期性振动以及它们的组合。例如，7655型风动凿岩机的振动，总的看，其振动曲线有一个较稳定的周期，它包含有较强的非简谐的周期性振动，但每个周期的振动状态又不是完全的重复而有一定的随机性，此即为周期性复合振动。

生产中几种手持振动工具的振动加速度波形见图1-1。

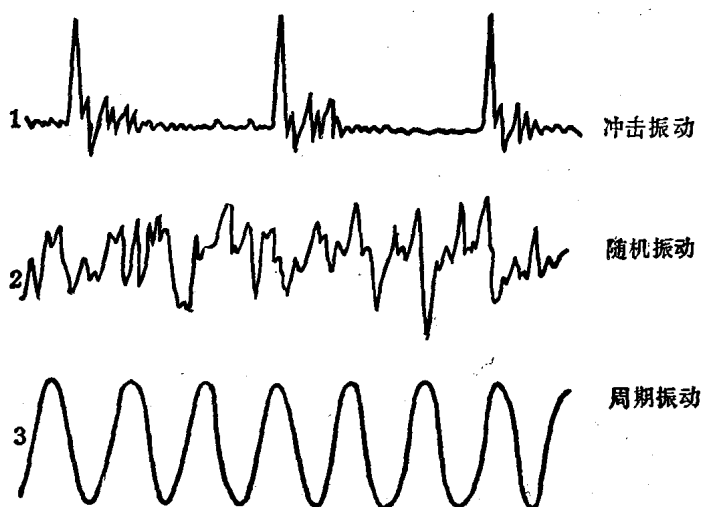


图 1-1 手持振动工具的振动加速度波形

二、振动的物理参量和振动频谱

(一) 振动的物理参量 把简谐振动作为时间函数绘成曲线时，可用图 1-2 的正弦曲线来表示。

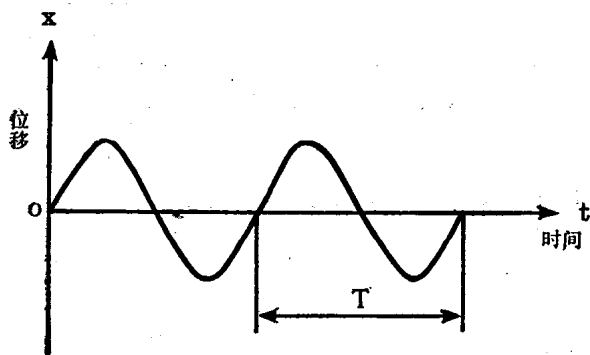


图 1-2 简谐振动

可以看出，振动质点（或物体）离开平衡位置的距离是随时间按正弦规律变化的，也就是说，作简谐振动的物体的 x 坐标是时间 t 的正弦函数。我们知道，正弦函数是一个周期函数。因此，简谐振动是一种周期运动。完成一次全振动所用的时间称为作简谐振动物体的周期，简称周期，用 T 来表示（单位是秒）。周期的倒数叫做频率，用 f 表示。

$$f = \frac{1}{T} \dots\dots\dots (1)$$

频率的意义是指物体在一秒钟内完成全振动的次数。很易理解，频率和周期之间存在着倒数的关系。举例说，若周期 $T = 0.2$ 秒，即完成一次全振动需要 0.2 秒，那末，在 1 秒钟内完成全振动的次数，就是 $\frac{1}{0.2 \text{ 秒}} = 5 \text{ 秒}^{-1}$ 。也就是说，

1 秒钟振动 5 次。可见频率的单位为秒⁻¹，1 秒钟振动一次作为频率的单位，称为赫兹 (Hz)。 ω 称为角频率，它与周期的关系为：

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \dots\dots\dots(2)$$

由于 ω 是一个与频率 f 成正比的量，等于频率 f 的 2π 倍，因此称为角频率（或圆频率），它是振动物体在 2π 秒内所完成的振动次数。在运算时， ω 比 f 使用方便。

正弦波振动的一般数学式是：

$$x = A \cdot \sin \omega T \dots\dots\dots(3)$$

式中： x —— 振动位移的瞬时值。

A —— 作简谐振动的质点（或物体）离开平衡位置的最大距离，称为振幅。亦即位移的峰值。

ω —— 角频率

由式(2)和式(3)可得：

$$x = A \cdot \sin 2\pi f t \dots\dots\dots(4)$$

对位移 x 的一次微分是速度，速度用 V 表示。

$$\begin{aligned} V = x' &= A\omega \cos \omega t \\ &= A\omega \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

速度是振动物体在单位时间内的位移变化量，即位移对时间的变化率，单位为毫米/秒、厘米/秒等。速度最大值为：

$$V_{\text{最大}} = \omega \cdot A = 2\pi f A \dots\dots\dots(6)$$

对位移的二次微分便得到加速度，加速度用 a 表示。

$$a = x'' = -A\omega^2 \sin \omega t$$

$$= A\omega^2 \sin(\omega t + \pi) \dots\dots\dots (7)$$

加速度是振动物体在单位时间内的速度变化量，即速度对时间的变化率，单位为毫米/秒²、厘米/秒²、米/秒²等。加速度最大值为：

$$a_{\text{最大}} = \omega^2 A = 4\pi^2 f^2 A \dots\dots\dots (8)$$

综上所述，振动的基本物理参量是位移（或振幅）、频率（或角频率）、速度和加速度。这四个物理参量的实际意义，可以概括为：①位移在研究强度和变形时重要，因为它直接与机械变形有关。对人体的影响，振幅常常看作是作用强度的指标。②加速度与作用力成正比，在研究机械疲劳、冲击等问题上很重要。对人体也是一个重要的冲击量。③速度决定了噪声大小及人体对机械振动的敏感程度。④频率则是寻找振源，分析振动的主要依据。人体各部对不同频率有其不同的敏感性。可以说，频率和加速度是评价振动对人体健康影响的基本参量。

关于振动的物理参量对人体健康的影响，在第二章和第三章中还要提到。

根据式(6)和式(8)，振幅、频率、速度和加速度可以进行峰值换算，已知其中两个量，可以求出第三个量。详见表 1-1。

峰值是直接出现在振动方程中的，如果被测物体是简谐振动，只要测出它的峰值 A 和频率 f ，物体的振动规律也就定下来了。所以在振动测量中峰值是十分有用的指示值。如果振动不是简谐振动， A 峰值只能说明周期振动的最大幅值，也就是振幅。在实际应用中，常常采用有效值 (Root

表 1-1 振幅、频率、速度、加速度的峰值换算

给定量	频率 f (赫兹)	振幅 A (毫米)	速度 V (毫米/秒)	加速度 a (毫米/秒 ²)
f, A			$2\pi f A$	$4\pi^2 f^2 A$
f, V		$\frac{V}{2\pi f}$		$2\pi f V$
f, a		$\frac{a}{4\pi^2 f^2}$	$\frac{a}{2\pi f}$	
A, V	$\frac{V}{2\pi A}$			$\frac{V^2}{A}$
A, a	$\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{a}{A}}$		$\sqrt{a \cdot A}$	
V, a	$\frac{a}{2\pi V}$	$\frac{V^2}{a}$		

表注：① 表中 A 、 V 、 a 所示皆为峰值

② 当加速度采用重力加速度 g 为单位时，应按照 $g = 9.81$ 米/秒² = 9810 毫米/秒² 进行换算。

mean square, 即 RMS)。

$$\text{有效值} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \text{峰值} = 0.707 \times \text{峰值} \dots\dots\dots (9)$$

振幅、加速度、频率三者间的关系还可图 1-3 表示^{〔1〕}。

已知其中两个量，可由图中直接查出第三个量，应用相当方便。

近来，许多国家用振动加速度级 (VAL) 来表示振动的强度，其表示式为：

$$\text{VAL} = 20 \log \frac{a_{\text{有效}}}{a_0} \text{ (分贝)} \dots\dots\dots (10)$$

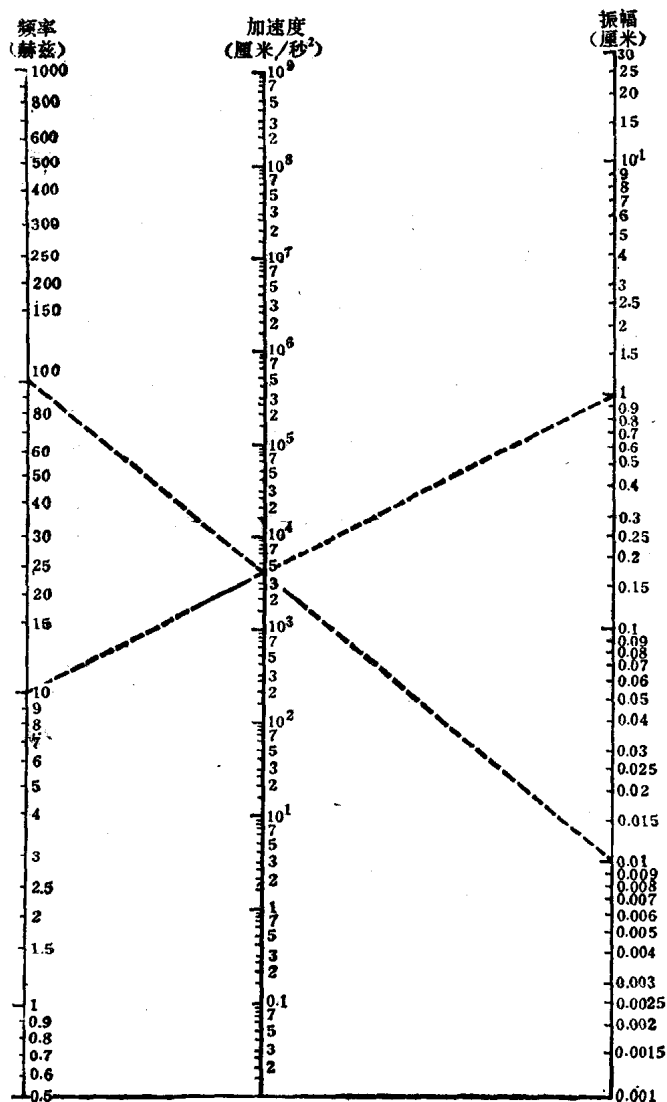


图 1-3 振动频率、加速度、振幅间关系

式中 $a_{\text{有效}}$ ——振动加速度的有效值 (米/秒²)

a_0 ——振动加速度的基准值 (5 赫兹, 10^{-5} 米/秒²)

采用这个基准值, 无论振动或噪声, 使人感到不快的振级或声级大体在 60~70 分贝, 对人体有害的振级或声级大体在 80~90 分贝以上。

(二) 振动的频谱 频谱是指振动不同频率的组成和分布情况。为了对振动的频率成分进行研究, 找出对人体危害大的频率, 了解振动源的特性, 需要进行振动的频谱分析。常用的有 1/1 倍频程 (简称倍频程) 和 1/3 倍频程。

1/1 倍频程的每个频带的上限频率与下限频率之比为 2:1, 也就是说上限频率为下限频率的 2 倍, 故称倍频程。倍频程的中心频率是上下限频率的几何平均值。即:

$$f_{\text{中}} = \sqrt{f_{\text{上}} f_{\text{下}}} = \frac{\sqrt{2}}{2} f_{\text{上}} = \sqrt{2} f_{\text{下}}$$

通用的倍频程的分法, 如表 1-2 所示, 包括 8~1000 赫兹的倍频程段, 大大简化了测量。

表 1-2 倍频程中心频率及其频带范围 (赫兹)

中心频率	8	16	31.5	63	125	250	500	1000
频带范围 上限/下限	5.7/11	11/22	22/45	45/90	90/180	180/355	355/710	710/1420

1/3 倍频程可以对频谱进行更细致的分析。1/3 倍频程的公式为:

$$\frac{f_{\text{上}}}{f_{\text{下}}} = 2^{\frac{1}{3}}$$

$$f_{上} = \sqrt[3]{2} f_{中} = 1.123f_{中}$$

$$f_{下} = \frac{1}{\sqrt[3]{2}} f_{中} = 0.89f_{中}$$

其中心频率及其频率范围见表 1-3。

表 1-3 $\frac{1}{3}$ 倍频程中心频率及其频带范围(赫兹)

中心频率	频率范围	中心频率	频率范围
6.4	5.76~7.2	100	90~112
8	7.2~9	125	112~140
10	9~11	160	140~180
12.5	11~14	200	180~224
16	14~18	250	224~280
20	18~22	315	280~355
25	22~28	400	355~450
31.5	28~35	500	450~560
40	35~45	630	560~710
50	45~56	800	710~900
63	56~71	1000	900~1120
80	71~90		

在实际工作中，可以各频带的中心频率为横座标，把各频段所测得的加速度有效值点在座标图相应的位置上，各点连成线，就形成振动的频谱图，与有关标准比较，便可对振

动工具进行卫生学评价。

第二节 生产性振动的来源和 振动工具的卫生学评价

一、生产性振动的来源和分类

(一) 振动产生的原因 生产性振动是指在生产过程中产生的振动。生产中产生振动的原因很多，主要有：

1. 不平衡物体的转动。
2. 旋转物体的扭动和弯曲。
3. 活塞运动。
4. 物体的冲击。
5. 物体的摩擦。
6. 空气冲击波。

锻造机、冲床、切断机、压缩机、振动铣床、振动筛、送风机、振动传送带、印刷机、织机等是典型的产生振动的机械。运输工具如内燃机车、拖拉机、飞机、船舶等；农业机械如收割机、脱粒机等，也是常见的振动源。

当前，接触较多、危害更大的生产性振动来自振动工具。

(二) 振动工具的种类 主要的振动工具有：

1. 活塞式锤打工具 多以压缩空气为动力，如凿岩机、选煤机、混凝土搅拌机、倾卸机、气锤、筛选机、风铲机、捣固机、铆钉机、铆打机等。

2. 手持转动工具 以空气、电动机或引擎为动力。如手持研磨机、手摇钻、风钻、电钻、振动破碎机、金刚砂磨轮、喷砂机、链锯、清洁机、钻孔机等。

3. 固定轮转工具 固定装置，被研磨的物体受振动。如砂轮机、抛光机、钢丝抛光研磨机、电锯等。

生产中长时间密切接触上述振动源的工作，称为振动作业。

(三) 生产性振动的分类 按振动的物理特性分类已如前述。根据振动作用于人体的部位和传导方式的不同，生产性振动又可相对地分为局部振动和全身振动。这在医学上有更大的意义。因为两者对人体的危害及其在发病过程、临床特征以及医疗预防措施方面，有明显的不同。

1. 局部振动 主要是使用振动工具，手部直接接触冲击性、转动性或冲击-转动性工具，振动由手、手腕、肘关节和肩关节传导至全身。例如，铆工、钻孔工、凿岩工、采矿工、混凝土搅拌工、捣固工、研磨工、清理工、抛光工以及油锯、电锯使用者等所接触的振动，基本上属于这一类。

2. 全身振动 是指工作地点或坐椅的振动，足部或臀部直接接触振动，通过下肢或躯干直接对全身起作用。如连续传送装置和联合机械装置、混凝土搅拌台、振动台以及交通和运输工具所产生的振动等。

有些生产性振动既可引起剧烈的全身振动，又经过把手引起手的局部振动，因而难以严格区分全身振动和局部振动。机体可同时遭受局部振动和全身振动的影响。如摩托车驾驶员等。

当前，生产性振动对人体健康的危害，主要是指局部振动，或以局部振动为主同时伴有全身振动的作业。生产性全身振动的影响目前研究还较少。

二、振动工具的卫生学评价

(一) **评价目的** 如前所述, 振动工具多种多样, 相当复杂, 而且工艺上不断改进, 新型的振动工具不断出现。为了了解各种振动工具振动的物理参量, 研究使用振动工具对人体健康的影响, 并为改进振动工具, 减少以至清除振动危害提供依据, 必需对振动工具作出卫生学评价。

(二) **评价方法** 对振动工具的种类、型号、出厂日期、功率、转速、重量等进行全面了解; 对振动工具的使用、维修情况深入调查; 对振动工具的使用者进行访问, 查体和动态观察; 对振动工具的振动参数进行现场或模拟测试。根据实测结果绘制振动频谱图, 与有关卫生标准进行比较, 综合分析, 做出卫生学评价。上述调查、测试的具体内容和方法后详。

(三) **常用振动工具初步卫生学评价** 我国关于振动的测试仪器和方法尚不一致, 统一的测试规范尚未制定, 当前对振动工具的卫生学评价还存在不少问题。近年来正在着手研究解决。现将国内几家测试条件较好的单位对常用振动工具初步卫生学评价结果, 介绍如下, 以作参考。

陈力、周德林报道了国产常用十一种手持振动工具的振动测量结果^[2], 其振动总强度与倍频程各频段分量如表 1-4。可见, 振动总强度较大的工具有 XM₀ 型风铣, 051 型油锯和 04-6 型风铲。从分频的结果看, 频谱中强度最大的频段(主频段) 04-6 型风铲和 5KM 型铆钉机为 1000 赫兹, ZIQ₂₂ 型电锤、台式砂轮加工的钢件(重 3.6 公斤)、XM₀ 型风铲和 XM 型手砂轮振动频谱的主频段为 500 赫兹; MQ₀