

物理因素危害防治进修班讲义

—有关基础知识—

(上册)

山西医学院预防医学系

劳动卫生职业病教研室

1988, 8, 1. 太原

编写说明

按照卫生部计划，我院预防医学系职防培训中心已于1985年举办了全国第一期物理因素防治进修班。当时，初编了物理因素参考资料上下册作为教材。时隔三年，虽然科学研究和实际工作都有了突飞猛进的发展。但是，仍然缺乏一套具有培训提高特色的系统教材。

为适应物理因素防治进修班的要求，根据该学科进展，在教研室、相关学科教研室和实际工作单位专家、教授和工程技术人员的共同努力下，确定试编适应培训提高的讲义。该讲义暂且由三部分组成：有关基础知识；物理因素专业理论和实习；相关学科进展。鉴于学员都有一定实践经验，所以把编写和讲授的重点放在了促使学员把实际工作建立在相应理论的基础上，帮助学员将理论知识系统化。同时要着眼于及时掌握相关学科的进展。

遵照上述指导思想，本讲义分上中下三册，四十四章，约27万字。用于260学时的授课。字数与学时不尽适应的原因，主要是由于限制了打印的字数。另外，在讲授方式上将更多的采用讲座，以至讨论的方式。目的在于通过短期进修不仅能从上述三个方面获得提高，而且同行相聚，取长补短，也可使得实践经验得以交流和升华。因此，讲义各章繁简不一。有的章节，表面看来象是详细提纲，实际上是一篇综述材料的概括。这样，在不影响学员受益的前提下，对授课者和编印者却给了很大方便。从而，可以抽出更多的时间和精力用于备课和安排好教学。

参加这次讲义编写工作的除了本教研室、基础医学系和临床医学一系相关科室外，尚邀请了西安医科大学李安伯教授、北京医科大学王生副主任、山西省劳动卫生职业病防治研究所药宝祥主任医和建筑科学研究所符宏道高工等。本院教材科和印刷厂负责了全部打印和装订工作。

还需说明，虽然本次已是举办第二期全国物理因素防治进修班。毕竟是在教学和科研正常运转的情况下进行，培训基地缺乏专门编制，加之时间仓促，该讲义一定会有不少疏漏和欠周密之处，恳请卫生部领导和各位专家、教授指正。

劳动卫生学教研室 刘书乾

1988. 8. 1

目 录

- 第一章 噪声和振动测量技术.....刘书乾(1)
- 第二章 高频电磁场和微波测量技术.....刘书乾(13)
- 第三章 建筑中噪声和振动控制.....符宏道(19)
- 第四章 吸声消声隔声设计.....符宏道(31)
- 第五章 隔振设计.....符宏道(45)
- 第六章 电磁辐射.....刘书乾(59)
- 第七章 电离辐射的生物学效应及卫生防护.....范光灿(65)
- 第八章 细胞膜的基本结构和物质.....乔健天(85)
- 第九章 细胞间的相互影响和信息传递.....乔健天(111)
- 第十章 微循环进展.....赵荣端(127)
- 第十一章 免疫学.....王言贵(137)
- 第十二章 几种常用的卫生统计方法.....任汉英(150)
- 第十三章 电子计算器(EL-5812)的介绍和使用.....刘桂芬(150)

第一章 噪声和振动测量技术

在物理因素职业危害研究中，噪声和振动占有重要位置。主要是因为职业接触人群较多，所致危害难以康复。目前，对某些噪声和振动在治理上尚存在一定困难。因此，掌握测量技术，对识别、评价和控制物理因素危害十分必要。

第一节 噪声测量技术

一、声级测量的一般考虑与步骤：

噪声的物理测量最简单的就是确定噪声总的声压级。而这种测量结果既不能给出噪声按频率分析的指示，也不能给出人耳对噪声感觉的信息。因此，这种测量在实际上无多大意义。

使用国际标准化了的，包括A、B、C、D计权的声级计测量出来的噪声级，叫做声级。声级在一定程度上代表了人耳听觉特性，是有意义的测量。本节主要讲声级测量，而且更多的是介绍A声级。A声级是噪声评价的基础。

在噪声测量时，根据需要，首先确定是测量声压级，噪声级，还是频谱分析。这是噪声测量时最一般的考虑。同时，在测量前需要草拟一个测量步骤。做为噪声测量人员应该记住和注意的主要步骤如下：

1. 用听的方法初步确定一下被测噪声的主要性质。记下观察到的主要特点。

2. 选择适宜的测量仪器。（如声级计、自动记录和频谱分析

仪、示波器和磁带记录仪等)。

3. 检查仪器性能(电池电压、校正数据、传声器修正值等)。

4. 绘出所有使用仪器系统的测量草图。

5. 绘出测量地点草图(包括噪声源和传声器的相对位置、方向、周围有无反射物、房间容积等)。

6. 记录测量结果:声压级、声级(A、B、C)、频谱分析声压级。同时记下所使用的“快”、“慢”特性。

7. 如果在室外测量,需记录测量时的气象条件。

二、声级计的选择

由于噪声和其存在的场所各异,所以,对声级计需要合理选择并应熟练地掌握其测量技术。只有这样,才能得到正确的测量结果。

1. 声级计的种类

按声级计的精度和用途来说,大体分成三类。(1)符合 IEC/123(1961) 推荐规定的声级计叫做普通声级计;(2)符合 IEC/179(1965) 称为精密声级计;(3)符合 IEC/179(A)(1973) 系脉冲精密声级计。国际电工委员会最新颁布的 IEC/651(1979) 推荐标准取代了上述三个标准。在新的推荐中把声级计分成四个等级,即 0、1、2、3 型声级计。0 型声级计用在实验室研究。1 型声级计系在技术上改进后的 IEC/179 推荐标准,供实验室或在可控的声学环境中应用。2 型声级计适用于一般场合测量。3 型声级计的技术规范是采用作了某些修改的 IEC/123 推荐标准,主要用于现场测量,以确定是否超过相应标准。我国现行声级

计标准与 IEC/651(1979) 推荐标准基本一致。

为了对各种类型的声级计有较为明确的认识，现将各类声级计的主要性能列于表1。

表1 各类声级计性能比较

类型名称	普 通	精 密	脉冲精密
整机误差	$\pm 2 \text{ dB}$ $+1 \text{ dB}$	$\pm 1 \text{ dB}$	$\leq 1 \text{ dB}$
衰减器误差	$\pm 1 \text{ dB}$	$\leq 0.5 \text{ dB}$	$\leq 0.5 \text{ dB}$
频率范围 误 差	31.5Hz—8kHz $\pm 1 \text{ dB}$ 无线性档	20Hz—12.5kHz $\pm 0.5 \text{ dB}$ 有线 性档	20Hz—12.5 kHz $\pm 0.5 \text{ dB}$ 有线性档
计权网络误差	100Hz—2kHz $\pm 2 \text{ dB}$	100Hz—2kHz $\pm 1 \text{ dB}$	100Hz—2kHz $\pm 1 \text{ dB}$
检波器误差	$\pm 1.5 \text{ dB}$ 峰值因数 ≤ 3	$\pm 0.5 \text{ dB}$ 峰值因数 ≤ 4	峰值因数 \leq $5 \pm 0.5 \text{ dB}$ 峰值因数 ≤ 10 $\pm 1 \text{ dB}$
刻度误差	$-5-0 \text{ dB} \pm 1 \text{ dB}$ $0-10 \text{ dB} \pm 0.5 \text{ dB}$	$-10-10 \text{ dB} \pm 0.5$ dB $0-10 \text{ dB} \pm 0.2 \text{ dB}$	$-10-0 \text{ dB} \pm 0.5$ dB $0-10 \text{ dB} \pm 0.2 \text{ dB}$
可测噪声 类 型	连续声(稳态声)	连续声(稳态声)	连续声, 1秒~ 100毫秒短周 期脉冲声
传声器要求	传声器要求低, 可 用压电陶瓷, 驻极体 或电容传声器	全方向性电容传声 器	全方向性电容 传声器
计权网络	有 A、B、C 中任意 一条	A、B、C	A、B、C、D
频率分析	不能和外接滤波器配 合	可与外接滤波器 配合或自带倍频 程滤波器	可与外接滤波 器配合

2. 声级计的选择

选择什么类型的声级计，首先应根据所测噪声的性质，其次要看对测量结果精度的要求。比较简单的选择办法是参照表1。选好大的类型后，还必须根据环境选择具^体型号的声级计。这是因为即使各家生产的型号大致相同，所允许的环境条件，如静电、声场、磁场、温度、湿度也大不相同。如果不能满足要求，需对测量结果适当修正。

三、声级计的指向性

理想的声级计应该是全方向性的，这在实际上是不可能的。因此，当测量的噪声高频占主要成分时，就必须^从以下几方面改善其指向性。

1. 使用延伸杆或延伸电缆分离传声器和声级计，在传声器上加无规入射校正器。

2. 在延伸杆或电缆上加鼻锥。加鼻锥的效果不如加无规入射校正器好。

3. 对高频来说，小外径尺寸的传声器的全方向性要比大外径尺寸的传声器优越得多。

上述作法不仅可以改善指向性，而且可以避免声反射作用的影响。

四、背景噪声影响

在机器噪声和背景噪声都属稳定的前提下，消除背景噪声影响的步骤如下：

1. 研究声场，选择正确的测量位置。
2. 在同一位置测量机器和背景噪声的总声级及背景声级。
3. 直接使用分贝减法获得单纯机器的声级。
4. 总声级和背景声级差值大于10分贝时，背景噪声的影响可以忽略；相差小于3分贝时，对其影响应予重视；如果背景声级和总声级相差很小时，应该努力降低背景声级。降低背景噪声的通常方法是：

1. 直接降低背景噪声源的噪声。
2. 在背景噪声源和测量点之间采取措施：背景噪声源在室外的话，靠关闭门窗；如在室内，可以打开门窗；测量中背景噪声不能关闭时，设置临时障板。

没有经验的测量者往往忽视背景噪声对测量结果的影响。因此要求测量者，当测毕噪声产生的声级后，关闭声源，再测量背景噪声。

五、室内和室外声级测量

(一) 室内声级测量

如果室内声源所产生的声场接近消声室自由声场时，应将声级计置于指向声源的方向。当所产生的声场接近扩散场时，该室属于混响房间。在混响房间测量时，应注意下列几点：

1. 使传声器的轴线和声源连线间成70°角。
2. 防止无阻尼的薄金属板共振对声场的影响。

3. 传声器放置的位置取决于声场特性。如果噪声具有高度指向性，要得到方向因数就需大量布点。

4. 为了防止反射物体的影响，传声器距任何反射物表面宜在0.6 m以上。

(二) 室外声级测量

室外测量时要注意气象条件的影响。为了避免温度和湿度的影响，应选择适当的声级计和传声器来测量。在低风速时，可使用防风罩。对固定方向的高风速可使用鼻锥来消除影响。大气压力的影响是通过活塞发生器引起的。当知道大气压后，可以根据活塞发生器的修正表进行修正。

由于测量目的不同，在技术要求上存在很大差别，因而测量者应熟练地掌握测量技术。

第二节 振动测量技术

一、振动测量的一般考虑和步骤：

噪声和振动这两个物理现象之间有着非常密切的关系。以广义上说，声学现象本身是在媒质（气体、液体或固体）中产生的一系列振动过程的表现。因此要消除噪声，首先要消除引起噪声的振动。要对研究噪声特性，必须同时研究振动的特性。

振动测量时一般应考虑到下列几点：

(1) 生产环境有哪些振动，是以局部振动还是以全身振动作用于人体。

(2) 选择什么参数最能够反应振动能量，进而确切地估测对接触者的影响。

(3) 如何精确计算反应剂量的接触时间。

(4) 对接触者来讲，除了振动外，同时或相继接触的职业危害有哪些，要不要测。

二、测振仪器的选择

当前国内采用的有以下三类：

(一) 机械式测振仪

机械式测振仪是通过机械系统直接记录振动的波形和位移。振动频率是通过振动次数与在记录纸边缘上画出的时标标记对比测得的。由记录的振幅值除以放大倍数即可得到被测振幅的实际值。在接近正弦波的振动中，其加速度最大值如下式：

$$a_{\text{最大}} = \omega^2 A = 4\pi^2 f^2 A$$

~7~

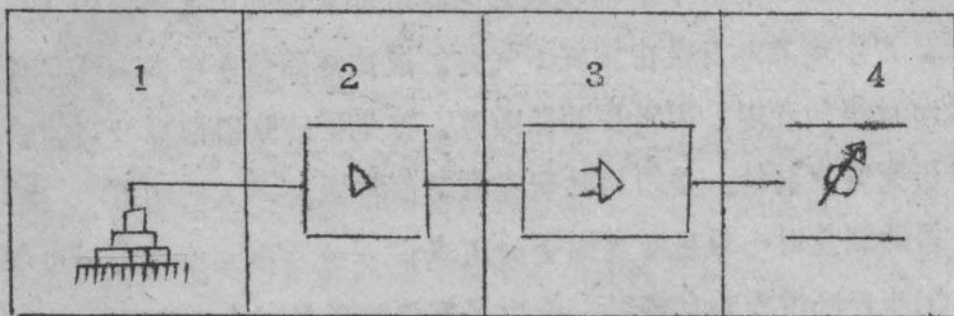
ω —— 角频率

A —— 位移峰值

f —— 频率

(二) 压电式测振系统

该系统可用下图概括其结构与连接。



振动测量系统

1. 拾振器 2. 前置放大器 3. 放大器/分析器

4. 读出器/记录器

1. 拾振器 也叫压电式加速度计。是一种将机械能变成电能的机电式换能器。在它的输出端可以给出一个与它所受到的加速度成比例的电压。理想的拾振器具有准确性高，频率相应好，相位畸变小，温度特性稳定等优点。

2. 前置放大器 其作用是拾振器的高输出阻抗转换为较低的阻抗，以便使一般的放大器能与拾振器连接。并且用以放大较弱的信号。

3. 放大器、分析器。 放大器将前置放大器放大的信号再次放大。并往往兼作频率和功率谱分析。分析器有两种：恒定带宽分析器和恒百分比带宽滤波器。前者适合对高频范围进行分析，后者用于对不稳定的噪声、振动分析。

4. 读出器、记录器 读出器的作用是把分析后的信号，即所测参数直接读出。一般是在振动仪或声级计的表头上读出数字。

记录仪是用来记录噪声、振动的高质量的专业性录音机，它的作用是将现场测得的结果记录下来，长期保存，以备精细分析。

机械式测振仪由于不能分析振动的频谱，现场测定精确性较差，已很少使用。压电式测振系统价格昂贵难于推广。比较实用的是以ND₆型精密脉冲声级计配用1/3倍频程频谱分析仪进行测量。

三、确定振动参数

振动的基本参数包括频率、速度、加速度、振幅和周期，其中频率、振幅有重要的卫生学意义，尤以加速度更为重要。

1. 频率 在振动的致病过程中，振动频率有重要作用。
2. 振幅 也即位移。直接与机械变形有关，是作用于人体的强度指标。

3. 加速度 振动加速度的大小和振动病症状的发生频率有密切关系。现 多直读频率计数加速度均方根值。

近来，许多国家用振动加速度级(VAL)来表示振动的强度。

四、对测量精度的几种影响

为了避免测量带来的影响，应注意以下几个方面：

1. 注意加速度质量要小，而且要防止与设备在频率上共振。
2. 加速度计的安装固定应该是刚性的。
3. 为了获得准确的测定数据，按实际使用时的情况安装测定仪器。

4. 在有背景振动（包括仪器本身）存在时，应尽量消除其影响。

5. 均方根值是在能量的基础上求和的。不管对什么波形都适用。所以在振动测量中一般记录均方根值。

6. 要注意防止压电加速计电缆机械运动，对振动测量结果的影响。

7. 为了避免接地点电动势对测量结果的影响，最好的方法就是一点接地，且接地点在放大器一边。

8. 由于加速度计长期稳定性好，所以不需要经常校正。但是为了保证测量精度，最好每年将加速度计和所配套的测量系统送国家计量部门校正一次。

五. 振动测量

以实用和普及考虑，可以采用 ND_2 配上专门的积分器并和加速度计连接起来的振动测量系统。这样既可避免昂贵的开支，又可达测量振动的目的。如果用 ND_2 型精密脉冲声级计和 1/3 倍频程频谱分析仪测量振动，对振动频率的复盖面会更宽些。（详见 1985 年版劳动卫生学，271 页）。

上述两种测量系统虽谈不上是测量振动的理想仪器，但是，由于配有专门的积分器并设计了“振动测量换算尺”均可以根据加速度计的灵敏度和声级读数，以“振动测量换算尺”上直接查出加速度、速度和位移的数值。

进行机械脉冲和冲击测量时，对测量设备和分析设备的选择需要特别注意。在一般情况下，可选择 ND_2 型脉冲精密声级计。如果

要充分描述冲击运动的话，则需评价加速度的时间积分（整个速度变化）和振动脉冲的频率成分。冲击的基本测量系统是加速度计、电荷放大器和示波器。作频率分析时将示波器换成磁带记录仪。分析时将记录重放。

在不具备测量系统的单位，在认真记录接触振动工具型号和振动时间的基础上，可以借鉴权威部门对相同号型振动测量的数值，作为剂量——反应关系研究的参考。

（劳动卫生学教研室 刘书乾）

第二章 高频电磁场和微波测量技术

检测的共性是交待与掌握遵循的原理和实施办法。为了使测量准确无误，还需要了解注意事项。因此，在具体测量前，有必要复习一下高频电磁场和微波的一般物理属性。

第一节 高频电磁场与微波

高频电磁场与微波统称射频辐射或无线电波。是电磁辐射中能量最小，波长最长的波段。波长范围为 $1\text{ mm} \sim 3\text{ km}$ 。

电磁辐射是物质的一种运动形式，它广泛存在于宇宙中，在现代科学技术、国防、工农业生产、人民生活和医疗卫生事业中都有着广泛的应用。高频电磁场与微波既然属于电磁辐射的一个类型，讨论一下电磁辐射的产生和传播，它的量子化以及整个电磁波谱的情况是很有必要的。

一、电磁振荡

电场和磁场是互相联系的，两者都具有能量。这种联系使得电场和磁场能量不断转变的现象称为电磁振荡。由于电路中有电阻，电场和磁场的总能量在振荡过程中将不断地转变为导线中热运动的能量，振幅逐渐衰减而最终消失，形成阻尼振动。经过反馈电路补充而不会消失

二、偶极子的电磁辐射

如电磁振荡所述，电场主要局限于电容器的极板之间，磁场主要局限于自感线圈中，电场和磁场的能量转换去要是通过电荷的运动（电容器的充、放电）来实现的。为了实现电场和磁场能量的直接相互转换，以及由此产生的新现象——电磁辐射，一方面要提高振荡频率，使电磁场变化得很快，它们之间的相互作用非常显著，另一方面要使电磁场尽量分散在周围空间中，以利于向外传

$100\text{ kHz} / 30 \sim 35$