



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 14790.2—2014/ISO 5349-2:2001

---

## 机械振动 人体暴露于手传振动的测量与评价 第2部分:工作场所测量实用指南

Mechanical vibration—Measurement and evaluation of  
human exposure to hand-transmitted vibration—  
Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace

(ISO 5349-2:2001, IDT)

2014-05-06 发布

2014-12-01 实施

---

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

目次

前言 ..... Ⅲ

引言 ..... Ⅳ

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语、定义和符号..... 1

    3.1 术语和定义 ..... 1

    3.2 符号 ..... 2

4 评价的量 ..... 2

5 测量程序准备 ..... 3

    5.1 通则 ..... 3

    5.2 测量操作的选择 ..... 3

    5.3 测量的组织 ..... 3

    5.4 振动测量的时间长度 ..... 4

    5.5 日振动时间评估 ..... 5

6 振动幅值测量 ..... 5

    6.1 测量设备 ..... 5

    6.2 振动测量不确定度的原因 ..... 9

    6.3 测量通道的检验和检定 ..... 10

7 日振动暴露评价的不确定度..... 11

    7.1 加速度测量的不确定度 ..... 11

    7.2 暴露时间测量的不确定度 ..... 11

    7.3 不确定度的评估 ..... 11

8 日振动暴露计算..... 12

9 报告的信息..... 12

附录 A（资料性附录） 测量位置示例 ..... 14

附录 B（资料性附录） 一天以上时间振动暴露的评价 ..... 21

附录 C（资料性附录） 机械滤波器 ..... 22

附录 D（资料性附录） 加速度计安装指南 ..... 23

附录 E（资料性附录） 日振动暴露计算示例 ..... 26

参考文献 ..... 32

## 前 言

GB/T 14790《机械振动 人体暴露于手传振动的测量与评价》分为两个部分：

——第1部分：一般要求；

——第2部分：工作场所测量实用指南。

本部分为GB/T 14790的第2部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009和GB/T 20000.2—2009给出的规则起草。

本部分使用翻译法等同采用国际标准ISO 5349-2:2001《机械振动 人体暴露于手传振动的测量与评价 第2部分：工作场所测量实用指南》(英文版)。

与本部分中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

——GB/T 2298—2010 机械振动、冲击与状态监测 词汇(ISO 2041:2009, IDT)

——GB/T 15619—2005 机械振动与冲击 人体暴露 词汇(ISO 5805:1997, IDT)

——GB/T 23716—2009 人体对振动的响应 测量仪器(ISO 8041:2005, IDT)

——GB/T 8910(所有部分) 手持便携式动力工具手柄振动测量方法[ISO 8662(所有部分)]

本部分由全国机械振动、冲击与状态监测标准化技术委员会(SAC/TC 53)提出并归口。

本部分起草单位：吉林省安全科学技术研究院、北京市劳动保护科学研究所、中国铁道科学研究院节能环保劳卫研究所、杭州爱华仪器有限公司。

本部分主要起草人：肖建民、郑凡颖、邵斌、马筠、张绍栋、王永胜、张春慧。

## 引言

操作机械可使工人暴露于可能影响舒适、工作效率以及在一些情况下影响健康和安全的机械振动环境中。在 GB/T 14790.1 中规定了测量与评价手传振动的一般要求。为了能够按照 GB/T 14790.1 进行正确的测量,本部分提供了实用指南,并给出了在工作场所进行手传振动测量的有效策略。

本部分描述的策略应用将得到在工作场所操作者的日振动暴露和相关不确定度的实际情况。

振动暴露评价可分为几个不同的步骤:

- 识别构成操作者正常工作模式的一系列操作;
- 选择要测量的操作;
- 测量每个所选操作的加速度均方根(r.m.s.);
- 评价每个识别操作的典型日暴露时间;
- 计算 8 h 等能量振动总值(日振动暴露量)。

GB/T 14790.1 所描述的振动暴露评价只是基于在手握部位或手柄处的振动幅值测量和暴露时间。其他因素,如由操作者施加的握力和推进力、手臂的姿势、振动的方向和环境条件等,没有加以考虑。本部分作为 GB/T 14790.1 的应用,没有规定对这些其他因素的评价指南。然而一般认为,报告全部这些相关信息对于提出评价振动风险的改进方法是重要的。

# 机械振动

## 人体暴露于手传振动的测量与评价

### 第2部分:工作场所测量实用指南

#### 1 范围

本部分为按 GB/T 14790.1 规定在工作场所进行手传振动测量与评价提供了指南。

GB/T 14790 的本部分描述了为计算 8 h 等能量振动总值(日振动暴露量)进行的有代表性振动测量和确定每种操作的日暴露时间应采取的措施。本部分提供了在评价振动暴露时,应考虑确定相关操作的方法。

本部分适用于人体暴露于(承受)由手持式或手导式机械、振动工件、移动式或固定式机械的控制装置传向手臂系统振动的所有场合。

#### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 14790.1—2009 机械振动 人体暴露于手传振动的测量与评价 第1部分:一般要求 (ISO 5349-1:2001, IDT)

ISO 2041 机械振动、冲击与状态监测 词汇 (Mechanical vibration, shock and condition monitoring—Vocabulary)

ISO 5805 机械振动与冲击 人体暴露 词汇 (Mechanical vibration and shock—Human exposure—Vocabulary)

ISO 8041 人体对振动的响应 测量仪器 (Human response to vibration—Measuring instrumentation)

ISO 8662(所有部分) 手持便携式动力工具 手柄振动测量 (Hand-held portable power tools—Measurement of vibrations at handle)

#### 3 术语、定义和符号

##### 3.1 术语和定义

ISO 2041 和 ISO 5805 中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

###### 3.1.1

**手进料机械 hand-fed machine**

操作者将工件送到机械的工作部分,通过手持工件受到振动暴露的机械。

示例:带锯、固定式砂轮机。

###### 3.1.2

**手导式机械 hand-guided machine**

操作者用手引导,通过手柄、方向盘或方向舵受到振动暴露的机械。

示例:乘坐式草坪修剪机、动力码垛机、悬挂式砂轮机。

### 3.1.3

#### 手持工件 **hand-held workpiece**

由手握持的工件,仅通过手握持工件,而不是通过或同时也通过动力工具手柄受到振动暴露。

示例:对着固定式砂轮机握持的铸件、推向带锯的木料。

### 3.1.4

#### 手持式动力工具 **hand-held power tool**

由手握持的动力工具。

示例:电钻、气铲、链锯。

### 3.1.5

#### 嵌入工具 **inserted tool**

装入或装在动力工具或机器上的可互换或可替换的附件。

示例:钻头、铲头、锯链、锯片、砂轮。

### 3.1.6

#### 操作 **operation**

为进行有代表性的振动幅值测量的可识别的工作任务,其可以是采用单一动力工具或手持工件形式或单独的任务时段。

### 3.1.7

#### 操作者 **operator**

使用手进料机械、手导式机械或手持式机械或动力工具的人。

### 3.1.8

#### 工具操作 **tool operation**

任何动力工具运转且操作者暴露于手传振动的时间过程。

### 3.1.9

#### 工件 **workpiece**

借助动力工具对其加工的物品。

## 3.2 符号

本部分使用以下符号:

$a_{hwi}$  对于操作  $i$  的手传振动单轴向频率计权加速度均方根(r.m.s.)值,单位为米每二次方秒( $\text{m/s}^2$ )。

附加下标  $x$ 、 $y$  或  $z$  用来表示测量的方向,即  $a_{hwix}$ 、 $a_{hwiy}$  和  $a_{hwiz}$ ;

$a_{hvi}$  对于操作  $i$  (三个轴向振动分量  $a_{hwi}$  值平方和的方根)的振动总值(以前所称的矢量和或频率计权加速度和),单位为米每二次方秒( $\text{m/s}^2$ );

$A(8)$  日振动暴露量,单位为米每二次方秒( $\text{m/s}^2$ );

$A_i(8)$  操作  $i$  对日振动暴露量的贡献,单位为米每二次方秒( $\text{m/s}^2$ ),为方便起见,简称为“部分振动暴露”;

$T_0$  8 h(28 800 s)参考时间;

$T_i$  相对于操作  $i$  的振动暴露总时间(每天)。

## 4 评价的量

对于振动暴露期间的每个操作  $i$ ,应评价两个基本量:

——振动总值  $a_{hvi}$ ,用  $\text{m/s}^2$  表示;该值由三个独立轴向的频率计权手传振动  $a_{hwix}$ 、 $a_{hwiy}$  和  $a_{hwiz}$  的

均方根值计算得出；

——对于操作  $i$  的振动暴露时间(每天)  $T_i$ 。

应报告的参数为日振动暴露量  $A(8)$ 。该值通过对全部操作  $i$  的  $a_{hvi}$  值和  $T_i$  值的计算得出(见第 8 章)。

## 5 测量程序准备

### 5.1 通则

操作者在工作场所的工作由一系列操作组成,其中一些可能是重复的。由于使用不同的动力工具或机械,或对一种动力工具采用不同的操作方式,所以从一种操作到另一种操作的振动暴露可能变化很大。

为了评价日振动暴露,首先应识别那些可能对总的振动暴露有显著贡献的操作。然后对这些操作中的每一个,应确定测量振动暴露的程序。采用的方法取决于工作环境、工作模式和振源的特性。

### 5.2 测量操作的选择

对所有可能对日振动暴露量有显著贡献的动力工具或工件进行测量是很重要的。为了获得平均日振动暴露的可靠结果,应对以下所有因素进行识别:

- a) 振动暴露源(即使用的机械和工具)。
- b) 动力工具的操作模式,例如:
  - 链锯可能以急速运转、锯切树干时满负荷运转或锯切侧枝时的低负荷运转;
  - 动力钻以冲击模式或非冲击模式使用以及可能适用的调速范围。
- c) 可能影响振动暴露的操作条件的变化,例如:
  - 道路破碎机开始在坚硬混凝土表面使用,然后在其下面的松软土层使用;
  - 砂轮机开始用来去除大块金属,然后进行复杂的清理和成形操作。
- d) 可能影响振动暴露的嵌入工具,例如:
  - 磨光机可能使用一系列由粗到细不同粒度的砂纸;
  - 石工可能使用装有一系列镗头的气镗。

此外,获得以下信息可能有用:

- e) 由工人和管理者处得到他们认为产生最高振动幅值的信息。
- f) 利用制造商提供的振动排放值信息,参见附录 A,或利用已发布类似动力工具以前测量的结果,评估每一种操作的潜在振动危险。

### 5.3 测量的组织

测量的组织可按四种基本方式处理:

- a) 连续工具操作的长时间测量

操作时间长且连续,在此期间操作者与振动表面保持接触。在这种情况下,振动测量可在动力工具的正常使用期间内长时间测量。如果振动幅值变化是正常工作程序的一部分,则操作可以包括这种振动幅值的变化。

除了振动幅值信息,日振动暴露评价还要求评估每天的振动暴露时间。

- b) 间歇工具操作的长时间测量

操作时间长但包括无振动暴露的短暂间歇,然而在操作和间歇期间,操作者均保持与(振动)表面的接触。在这种情况下,如果任何操作中的间歇是正常工作程序的一部分,而且操作者未减少与动力工具或工件的接触,或未明显改变其手在动力工具或手持工件上的位置,则可在动力工具的正常使用期间进

行长时间的振动测量。

除了振动幅值信息,日振动暴露评价还要求评估每天的振动暴露时间。在这种情况下,暴露于操作的时间包括在振动暴露中的短暂间歇,因此大于暴露于振动的时间。

#### c) 间歇工具操作的短时间测量

在很多情况下,手经常放下动力工具或手持工件,例如将动力工具放下,让手移动到动力工具的不同部位,或握住另一个手持工件。在其他情况下,需要改变使用的动力工具,例如,不同的嵌装砂带或钻头或使用另一种动力工具。在这种情况下,只能在操作的每个阶段期间内进行短时间测量。

在有些情况下,由于暴露时间相对于测量而言太短,在正常工作过程中进行可靠的测量是困难或是不可能的。在这种情况下,可以在人为安排的与正常工作状态尽可能接近的较长时间无间歇暴露的模拟操作期间进行振动测量。

除了振动幅值信息,日振动暴露评价还要求评估与每个工作时段相关的暴露时间。

#### d) 猝发工具操作或者单次或多次冲击的固定时间测量

有些操作涉及暴露于短时间猝发振动,其可以是单次或多次冲击,例如铆钉机,打钉机等,或猝发暴露,例如动力冲击扳手。在这种情况下,尽管每天的振动猝发次数是可以估算的,但评估实际暴露时间是困难的。此时,可在包括一次或多次完整的工具操作的整个固定时间内进行测量。测量的时间应尽可能不包括猝发振动前、猝发之间及猝发后的时间。

除了振动幅值信息和每天猝发振动暴露的次数评估,日振动暴露评价还要求有关测量时间长度和测量期间猝发振动的次数的信息。

注 1: 在工人暴露于多次单一冲击或瞬间振动的情况下(例如紧固工具),GB/T 14790.1—2009 规定的方法可能不适当,并有可能低估冲击暴露的严重程度。然而在缺少更好的方法时,GB/T 14790.1—2009 仍可适用,但使用时应谨慎,并用报告的信息加以说明。

注 2: 在振动幅值的测量需要比较的场合(例如比较两种不同的动力工具或嵌入工具选择方案产生的振动),进行连续工具操作的测量,即在振动暴露中没有间歇是重要的。

## 5.4 振动测量的时间长度

### 5.4.1 正常工作期间的测量

测量应在动力工具、机械或过程典型作业的样本整个期间内进行平均。在可能的场合,测量时间应从工人手开始接触振动表面起,到脱离接触为止。该期间可能包括振动幅值的变化,甚至可包括无暴露时段。

在可能的场合,应在一天内的不同时间进行一系列样本测量,然后平均,以便能考虑一天内的振动变化。

注: 一系列  $N$  个振动幅值样本的平均振动幅值由下式给出:

$$a_{hw} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{j=1}^N a_{hwj}^2 t_j}$$

式中:

$a_{hwj}$  —— 对样本  $j$  测量的振动幅值;

$t_j$  —— 样本  $j$  的测量时间;

$$T = \sum_{j=1}^N t_j。$$

振动暴露通常是在工作日内重复多次的短持续时间暴露。尽管测量能够在整个操作期间(包括振源关断时间)进行平均,但通常可能仅在手与振动表面接触的整个短持续时间内进行平均。

可接受的最短测量持续时间取决于信号、仪器和操作特性。总的测量时间(即样本数量乘以每次测量持续时间)宜不小于 1 min。多次较短持续时间样本优于单次长持续时间样本。对于每种操作样本

数不宜少于三个。

很短持续时间(例如小于 8 s)的测量的样本未必是可靠的,尤其是在评价其低频分量时,应尽可能避免这种情况。在很短持续时间测量不可避免的场合(例如某些接触时间可能很短的固定砂轮机磨削),恰当的方法是取三个以上的样本以确保样本的总时间大于 1 min。

#### 5.4.2 模拟工作程序

当正常工具操作期间测量不可能进行或有困难时,模拟工作程序可用来简化振动测量过程。

模拟工作程序主要用来实现比正常生产工作更长的持续时间的测量。例如小铸件用固定砂轮机磨削时,每次铸件磨削可能仅持续几秒时间,但如果多次对每个小铸件进行磨削,则能用少量小块铸件进行模拟,而不必试图对大量铸件进行短时间测量。

拿起、放下或更换动力工具或手持工件可能干扰测量。借助设计成避免操作之间任何间歇的模拟工作程序期间的测量也可以避免此类干扰。

#### 5.5 日振动时间评估

应得到每个振源的日暴露时间。通常典型的日振动暴露时间基于以下因素:

- 正常使用期间实际暴露时间的测量(例如,一个完整的工作周期或典型的 30 min 期间内);
- 有关工作速率的信息(例如,每个班次的工作周期数量或该班次的时间长度)。

首要的是测量确定在规定的时间内操作者暴露于振动的时间长度及其振源的类型。可采用各种技术方法,例如:

- 使用秒表;
- 使用与动力工具使用率相关的专用数据记录仪;
- 影像记录分析;
- 活动采样。

关于典型工作速率信息的最可靠来源是工作记录。然而重要的是确保信息与日振动暴露评价要求相符。例如,工作记录可能给出关于每个工作日结束时完成的工作项目数量的非常精确的信息,但是,存在一个以上的操作者,或在下班时有未完成的项目,这种信息不可能直接用于振动暴露评价。

无论采用何种方法进行振动测量,均应得到每天的总暴露时间。在振动已经在整个工作周期平均的场合,日暴露时间就是工作周期时间与每个工作日内工作周期总数之积。如果在手与振动表面接触的持续时间内进行了测量,则应评估每天的总接触时间。

**警告!** 通常当要求操作者提供其典型的日动力工具使用率时,其通常过高估计,给出的使用动力工具时间长度评估包括工具操作中的间歇(例如当使用螺母扳机时,两个螺母之间的工具操作间歇或准备新工件的时间)。

注: GB/T 14790.1—2009 仅规定了一个工作日内评价日振动暴露的方法,不能假定 GB/T 14790.1—2009 提供的方法可以外推到其允许在大于一个工作日的暴露时间内进行平均。然而在某些情况下,以得到的大于一个工作日整个时间内暴露信息为基础进行暴露评价是符合要求的。例如,在某些类型工作中使用动力工具的总时间由一个工作日到下一个工作日显著变化(例如建筑业、造船和修理业),因此使用观察或工作记录获得典型的日暴露时间是困难或不可能的。附录 B 给出了用于一天以上时间振动暴露的评价方法示例。

## 6 振动幅值测量

### 6.1 测量设备

#### 6.1.1 通则

振动测量系统通常采用加速度计来测定振动表面的运动。来自加速度计的信号能够以一些不同的

方式处理以实现频率计权加速度的测量。

振动测量可以采用简单的单个振动计进行,其特点为内装频率计权和积分装置。这类系统主要是设计用来评价工作场所的振动暴露;其在本部分所涉及的大多数情况下通常可以满足要求。但是,简单的仪器不能显示振动测量的误差。

更复杂的测量系统通常基于某种形式的频率分析(例如 1/3 倍频程或窄带),它们可能采用数字或模拟数据记录仪存储时域信息,它们可能使用基于计算机的数据采样和分析技术。这类系统与单机式系统相比价格更高,操作更复杂。

在对加速度信号的质量有疑问时(例如直流漂移,见 6.4.2),由频率分析得到的信息更为有用。频率分析也能提供有关任何优势频率及谐波的信息,这可能有助于识别有效的振动控制措施。

在 GB/T 14790.1—2009 的应用受到限制时(例如,重复的单次冲击,优势的频率分量超过 1 250 Hz),任何可以得到的附加信息,例如来自更复杂测量系统的信息可能是有用的。

对合适的测量及分析仪器的最低性能要求(例如频率计权特性、允许误差、动态范围、灵敏度、线性和过载能力)在 ISO 8041 中给出。

## 6.1.2 加速度计

### 6.1.2.1 通则

通常情况下加速度计的选择根据预期的振动幅值、要求的频率范围、被测量表面的物理特性和要使用的环境来确定。

### 6.1.2.2 振动幅值

手持式机械能产生高振动幅值。例如气铲可产生  $20\,000\text{ m/s}^2 \sim 50\,000\text{ m/s}^2$  的最大加速度。然而这些能量大部分都远在本部分所采用的频率之外。因此为测量选择的加速度计应能在这些极高振动幅值下工作,并且在 6.3 Hz~1 250 Hz 频率范围(1/3 倍频程中心频率)内仍能响应更低的幅值。关于采用机械滤波器滤除极高频振动,参见附录 C。

### 6.1.2.3 频率范围

加速度计的选择还受加速度计的基本共振频率影响,这是加速度计的一个特性(该特性有时称为“安装共振频率”、“固有频率”或“共振频率”)。有关基本共振频率的信息可通过加速度计的制造厂得到。ISO 5348 建议,基本共振频率宜高于所关注最高频率的五倍(对于手传振动,该频率为 6 250 Hz)。对于压电加速度计,基本共振频率宜更高,最好高于 30 kHz),以使直流漂移失真的可能性减至最小(见 6.2.4)。

注:加速度计的基本共振频率不宜与安装在手持工件或动力工具上的加速度计的共振频率相混淆,后者是整个加速度计安装系统的特性。实际上,安装在手持工件或动力工具上的加速度计的共振频率显著低于基本共振频率(见 6.1.4)。

### 6.1.2.4 质量影响

当加速度计安装在振动表面时,该表面的振动特性也改变。加速度计质量越轻,引起的误差越小(见 6.1.5)。

### 6.1.2.5 环境条件

当选择加速度计,尤其是在恶劣环境下使用时,必须考虑加速度计与温度、湿度或其他环境因素相关的灵敏度(见 ISO 8041)。

### 6.1.3 加速度计的位置

按照 GB/T 14790.1—2009 要求振动测量应在振动传入人体的手(或双手)的表面或靠近该表面进行。加速度计的位置优选在手握区域的中心(例如当手握住动力工具手柄时,选在手的宽度二分之一处),正是在该位置能得到对传入手的振动的最有代表性的评价。然而通常不可能在该点安装传感器,因为传感器将会妨碍操作者施加正常的握力。

通常只有使用专门的安装适配器(参见附录 D)才有可能直接在手的下方进行测量。这类适配器安装在手的下方或手指之间,对于大多数实际测量,加速度计安装在手的一侧或靠近手的中部的工具手柄下方。借助安装在手指之间的适配器,传感器安装应尽可能接近工具手柄的表面,以使其对回转振动分量的放大减到最小。适配器不宜有影响所测量振动的任何结构共振。

获得在手的宽度上的振动测量差别是合理的,尤其是手持式动力工具带有侧向手柄时,例如角式砂轮机,特别是这些手柄柔性安装时。在这类场合,建议所用的两个加速度计的位置分别在手的两侧,两处测量进行平均后用来评价振动暴露。

对于许多手持式动力工具,ISO 8662 和其他国际标准针对振动排放测量已经规定了特定的测量位置和轴向;这些测量位置在附录 A 中作为测量位置示例汇总给出。ISO 8662 中规定的测量位置是为特定的型式试验测量(通常仅为单轴向)而设计的,对于振动暴露评价其未必合适。然而在有些情况下,确保在工作场所进行的振动测量与振动排放量测量所采用的位置和轴向一致可能是合适的。

### 6.1.4 加速度计的安装

#### 6.1.4.1 通则

加速度计应刚性固定在振动表面。附录 D 给出了一些安装方法的细节。应选择能在振动表面适当固定,且不妨碍动力工具的操作同时本身不影响振动表面的振动特性的方法。选择的安装方法取决于特定的测量情况,每种方法都有自己的优点和缺点。

安装系统要在要测量的整个频率范围内应有平直的频率响应,即在该频率范围内,不应衰减或放大信号,同时不应有任何共振。安装系统应可靠地固定在振动表面,在测量前及测量后应仔细检查所有固定件。

在动力工具或手持工件上安装加速度计必然干扰并对操作者的工作方式有一定影响。传感器的安装方式应尽可能使操作者正常工作。重要的是在测量之前,观察动力工具或手握工件的握持方式,以识别加速度计的最佳位置和方向。传感器的位置(或多个位置)和方向应予以报告。

最重要的是避免妨碍动力工具的控制或者动力工具或机械的安全运行。对于动力工具常见的情况,最佳的测量位置是开关所在的位置。应注意确保传感器、安装件或电缆不会(及不导致)妨碍动力工具的控制。

#### 6.1.4.2 安装在有弹性覆盖层的表面上

当动力工具手柄具有软的外覆盖层时,覆盖层的振动传递特性将取决于安装系统的连接力。在这种情况下应注意确保振动测量不受弹性材料影响。如果认为覆盖层不会减少振动暴露,则可采用以下方法处理:

- 除去传感器下方区域的弹性材料;
- 采用充分压紧弹性材料的力固定传感器。

在多数场合,这种方法是合适的。然而这种方法没有考虑弹性层的振动传递特性。

通常,动力工具手柄上的弹性材料并未试图提供振动衰减,而是提供良好的握持表面。任何弹性覆盖层通常不会影响频率计权振幅。

如果弹性覆盖层可能提供一些振动暴露衰减,例如,如果覆盖层是厚的弹性材料,则将传感器固定在适配器上(见 D.2.4),适配器由操作者以正常的手握力对着振动表面握住(可以用胶带在动力工具手柄和适配器周围轻缠以使其定位)。这种类型测量尽管困难,但可以得到实际振动暴露的更好数据。

注:弹性材料选择不当有可能在某些频率放大振动。

#### 6.1.4.3 安装在轻质、柔性材料制造的手柄或手握部位

对于装有轻质、柔性材料制造的手柄或手握部位的动力工具,例如在一些磨光机和砂轮机上的塑料侧面手柄,可采用粘合剂将轻质质量加速度计安装在材料的表面。

#### 6.1.5 加速度计的质量

加速度计安装到振动表面将会影响表面的振动方式。安装到表面的质量越大,影响越大。如果加速度计和安装系统的总质量与要连接的动力工具、动力工具手柄或手持工件的质量相比很小(小于5%),则这种影响可以忽略。

注:已有质量小于30 g的实用三轴向测量系统可供使用。

如果对传感器的影响程度有怀疑,则宜进行以下实验:

- 将加速度计安装在动力工具手柄或手持工件上,然后进行振动幅值测量;
- 用一个与加速度计质量相近的附加质量块,另外安装在动力工具或手持工件的靠近加速度计位置处重复进行测量;
- 若两次测量的振幅有明显差别,则宜采用更轻的加速度计或安装系统。

#### 6.1.6 三轴向测量

振动的三轴向测量宜采用 GB/T 14790.1—2009 中规定的基本中心坐标系。然而,有一些场合不可能或不必要进行三轴向测量。此时,GB/T 14790.1—2009 要求对单轴或两轴向测量结果选用适当的倍率因子,以给出所评价的振动总值。

采用的倍率因子的值由对强优势单轴向工具时的1.0至用所测量的轴向可代表所有三个轴向振动时的1.7(当两个非优势轴向的振动幅值均比优势的轴向振动幅值小30%时,该轴向为优势)。在采用单轴向测量的场合,所测轴向应为优势轴向。

示例 1:

当工件在操作者的手中频繁改变方向时(例如小工件在固定砂轮机上磨削),单一轴向的测量足以提供有代表性的振动暴露评价。振动总值由下式给出:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwz}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2}$$

在本示例中,评价的振动总值通过一个测量的加速度  $a_{hw, measured}$  计算,该测量值被假定为基本中心坐标系中所有三个轴向振动的代表,即

$$\begin{aligned} a_{hv} &= \sqrt{a_{hw, measured}^2 + a_{hw, measured}^2 + a_{hw, measured}^2} \\ &= \sqrt{3} a_{hw, measured} = 1.73 a_{hw, measured} \end{aligned}$$

因此应选用倍率因子1.73(圆整为1.7)来评价振动总值。则评价的振动总值为测量的单轴向振动幅值的1.7倍。

示例 2:

对道路破碎机的初始测量表明,垂直轴向的振动占优势,而其他轴向的振动总是比优势轴向的加速度  $a_{hw, dominant}$  小30%。在这种场合评价的振动总值由下式给出:

$$\begin{aligned} a_{hv} &= \sqrt{a_{hw, dominant}^2 + (0.3a_{hw, dominant})^2 + (0.3a_{hw, dominant})^2} \\ &= \sqrt{1 + 2 \times 0.3^2} a_{hw, dominant} = 1.086 a_{hw, dominant} \end{aligned}$$

因此倍率因子1.086(圆整为1.1)是恰当的。则评价的振动总值为优势轴向振动的1.1倍。

#### 6.1.7 同步测量和顺序测量

宜在三个轴向同步进行振动测量。然而,有些仪器只允许单轴向测量,以及对于很轻的被测对象,

由于需要确保加速度计和安装系统的总质量小于动力工具、动力工具手柄或手握工件的质量,每次只进行一个方向的测量(顺序测量)可能更为合适。

在进行顺序测量的场合,重要的是确保  $x$  轴、 $y$  轴及  $z$  轴向振动的三次测量中的全部操作条件保持不变。

### 6.1.8 频率计权

有关频率计权的细节在 GB/T 14790.1—2009 及 ISO 8041 中给出。

频率计权可通过以下方法实现:

- 模拟滤波器;
- 时域信号的数字滤波;
- 将频率计权因子用于  $1/3$  倍频程或窄带频率分析频谱。

重要的是,数字方法如数字滤波和快速傅里叶(Fourier)变换(FFT)分析完全能够在  $1/3$  倍频程  $6.3\text{ Hz} \sim 1\,250\text{ Hz}$  覆盖的整个频率范围内提供精确分析。这种分析应能提供良好的低频分辨率,并使用足够高的采样频率以获得高频精确数据。

FFT 分析采用合适的时间窗是重要的。对不间断操作的回转或回转冲击工具,汉宁(Hanning)窗函数通常是合适的。对于冲击式工具,当冲击频率(每秒冲击次数)小于窄带分析的频率增量  $1/10$  时,则应考虑其他窗函数。对于极低的冲击频率,例如在冲击频率等于或小于频率增量时,则宜采用指数窗的触发分析。

### 6.1.9 数据记录仪的使用

振动信号的数据记录通常是有用的,其可以对同一组数据用不同的方法进行分析。

数据记录仪可以采用模拟或数字记录技术来实现。在所有场合,数据记录应有足够的动态范围以确保在整个频率范围内振动信号能够可靠记录。通常由于加速度的低频信号在磁带噪声中损失,模拟数据记录仪动态范围为  $40\text{ dB} \sim 50\text{ dB}$ 。数字记录系统能提供更好的动态范围特性,尽管仍然需要注意保证可达到动态范围的更好应用。

一些模拟及数字记录系统采用数据压缩技术以使数据所占空间最小;宜避免使用这类技术,除非能够证明这种系统不会损失信号数据。

包括数据记录元件在内的测量仪器应符合 ISO 8041 的要求。

### 6.1.10 测量范围

大多数仪器允许使用者选择仪器能够测量的最大加速度幅值。这种设定确定了仪器的实际测量范围。在使用者必须选择仪器的输入范围时,可以通过进行试验性测量来确定合适的测量范围。为了得到最佳的信噪比特性,应选择未产生过载的、最低的可能测量范围。

### 6.1.11 平均时间

振动幅值宜在动力工具正常使用的整个时间内或与手持工件接触的整个时间内进行平均。在一个或多个完整的操作或工作周期内,采用线性平均进行均方根(r.m.s.)平均。

只有当振动测量仪器不允许线性平均且振动信号足够稳定允许进行平均振动值的可靠评价时才可采用指数平均。

## 6.2 振动测量不确定度的原因

### 6.2.1 电缆连接问题

手传振动测量中最常见的问题是确保加速度计和信号电缆之间保持可靠的连接。通常应注意,保

证全部电缆连接可靠及电缆不受任何方式破坏。尤其是与加速度计的连接,应特别注意保证电缆和接头不承受动力工具或手持工件操作产生的过大应力。

错误的信号连接可简单表现为信号丢失,在这种情况下可表现为没有振动。信号连接的间断损失可表现为直流偏移(DC-offset),偏移之间信号正常。

错误的电缆屏蔽连接可能引起电气干扰,造成电力频率高电平。对于电动工具,当优势频率通常等于相关的电力频率或其谐波频率时,难以发现此类错误。对于使用高阻抗输入信号调节放大器的压电加速度计,电缆接地屏蔽连接损耗可导致电力频率的严重干扰。

### 6.2.2 电磁干扰

防止电场、磁场或电磁场影响振动测量是重要的。在存在电容和电感耦合干扰信号时,可通过以下方式减少不可避免的电磁场影响:

- 屏蔽电缆;
- 使用绞合电缆;
- 信号屏蔽电缆仅在一端接地,通常在放大器端;
- 对地平衡的传感器连接方式(例如使用差动放大器);
- 避免信号电缆与电源线平行布置;
- 加速度计与振动表面之间电绝缘措施。

### 6.2.3 摩擦电影响

仪器电缆不宜暴露在高幅值振动应力下,尤其是在具有高内阻系统(例如压电加速度计)中,因为可导致失真的电信号。由于这种原因,信号电缆靠近加速度计处宜固定在振动表面(例如使用胶带)。对于气动手持式动力工具,沿着供气管线按一定间距固定电缆通常是有效的。

### 6.2.4 直流漂移

当压电加速计暴露于极高幅值的高频加速度时,例如在没有阻尼系统的冲击式工具上,可能导致直流漂移的产生,此时振动信号失真导致在振动信号中出现错误的附加低频分量。直流漂移失真出现在传感器中,是由于对传感器而言过大的瞬间激励,导致压电系统机械过载。避免直流漂移的装置可以是机械滤波器,参见附录 C。

在冲击频率以下的低频范围出现直流漂移是最明显的;因此直流漂移通常借助振动信号的频率分析可以发现。在频率分析时失真可表现为不实际的低频振动高幅值。用公式  $d = a / (40f^2)$  (式中  $f$  为频率分析频带的中心频率),将未计权的加速度均方根(r.m.s.)  $a$  转换为位移  $d$  通常提供直流漂移是否已经发生的指标。如果由加速度谱计算的位移明显大于所观察到的传感器的移动(例如大于观察到的移动的两倍),则很可能已发生了直流漂移。

如果直流漂移已经发生,则可以通过振动信号的低频分量检测来发现。然而直流漂移失真会影响整个振动谱。因此任何显示直流漂移迹象的测量结果均宜放弃;不宜通过对有显示直流漂移的频谱去除或修正低频谱带来确定频率计权振动值。

## 6.3 测量通道的检验和检定

### 6.3.1 性能常规检验

在测量程序之前及之后,整个测量通道环节均应采用在已知频率产生已知的正弦加速度的振动校准器(参考振源)进行检验。

注:实际上,在测量期间加速度计的灵敏度很少偏移,然而其可能产生机械故障。因此宜关注表观灵敏度变化,若

有必要可放弃测量。

### 6.3.2 测量系统的定期检定

测量系统的特性应定期(例如每两年)进行检定。这些检定应确保仪器在 ISO 8041(也可参见 DIN 45671-3)规定的允差内运行。

除了定期检定外,测量系统的任何重要部件简单维修后都要对系统进行检定。这些检定结果均应记录。

## 7 日振动暴露评价的不确定度

### 7.1 加速度测量的不确定度

当测量传递到工人的振动时,其不确定度受到与各个测量有关因素的影响,例如:

- 仪器的精度;
- 校准;
- 电气干扰;
- 加速度计安装;
- 加速度计的质量;
- 加速度计的位置;
- 由动力工具正常操作变化到手的姿势以及由测量过程(即加速度计安装和附加电缆)引起的施加力的变化;
- 为适应正在测量项目面引起的操作者工作方法的变化。

此外,振动暴露综合评价的不确定度受到任何工作日期间发生变化影响,如:

- 动力工具和嵌入工具状态的变化(例如砂轮机的砂轮变化可能显著改变传向操作者的振动);
- 姿势和施加力的变化;
- 被加工材料特性的变化。

注 1: 与仪器和校准、电气干扰及加速度计的质量和安装有关的不确定度通常比测量位置的选择和工作操作的变化引起的不确定度要小。

注 2: 当调查个人暴露史时,尽可能测量不同年代和不同维护状态的机械和嵌入工具。

注 3: 当测量的目的是与特定任务有关的暴露时,操作者之间的差异(经验、身高等)可能也是不确定度的原因(见 7.3)。

### 7.2 暴露时间测量的不确定度

暴露时间评估的不确定度受以下不确定度影响:

- 暴露时间的测量;
- 每天工作周期数量的评估;
- 由操作者提供的暴露时间评估(参见附录 B),这可能是由于对问题的误解(动力工具使用和实际振动暴露相混淆)以及发生振动暴露持续时间的不当评估(见 5.5)。

### 7.3 不确定度的评估

不确定度的原因取决于测量的操作。试验者应确定主要原因(例如,操作砂轮机时砂轮不平衡),并进行多次测量以确定不确定度程度及计算与不确定度主要原因相关的标准差(例如测量安装不同平衡状态砂轮的砂轮机可能有用)。

如果测量目的不是评价特定工人的振动暴露,而是评价特定任务的振动暴露,振动暴露的评价应尽可能基于对至少三个不同工人的测量。报告的结果应为测量的算术平均值,标准差也应报告。

## 8 日振动暴露计算

在许多场合,工人的日振动暴露来自若干个操作。对于每个操作*i*,其振动总值 $a_{hvi}$ ,及对于该振源的暴露时间 $T_i$ ,均应进行测量。日振动暴露量 $A(8)$ ,单位 $m/s^2$ ,应按下式计算:

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$T_0$ ——8 h(28 800 s)参考时间;

$n$  ——操作的数量。

为了便于在不同操作之间进行比较及评估特定操作对日振动暴露量 $A(8)$ 各自的贡献,对于独立的操作的部分振动暴露 $A_i(8)$ 计算,按下式计算:

$$A_i(8) = a_{hvi} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

则日振动暴露量按下式计算:

$$A(8) = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2(8)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

对于操作者的双手应分别评价 $A(8)$ 。

与 $A(8)$ 评价相关的不确定度通常较高(例如 20%~40%)。因此 $A(8)$ 值通常不用两位以上有效数字表示。

日振动暴露计算的实际应用附录 E 中给出。

## 9 报告的信息

评价报告应按本部分要求,并根据调查的情况给出以下信息:

- a) 一般信息:
  - 公司或客户名称;
  - 测量的目的(例如,特定工人、工人组的振动暴露评价,控制措施评价,流行病学研究);
  - 评价日期;
  - 项目或特定暴露评价的项目;
  - 进行测量和评价的人员。
- b) 工作场所的环境条件:
  - 测量地点(例如,室内、室外、厂区);
  - 温度;
  - 湿度;
  - 噪声。
- c) 用来选择测量操作的信息(见 5.2)。
- d) 每个评价的操作的日工作方式:
  - 测量的操作描述;
  - 使用的机械和嵌入工具;
  - 使用的材料或工件;
  - 暴露方式(例如,工作时间、间歇时间);
  - 用以确定日暴露时间的信息(例如,工作速率或每天的工作周期或工作分段数量,每个周

期或手持工件的暴露时间)。

e) 振源详情:

- 动力工具或机械的技术描述;
- 类别或型号;
- 动力工具或机械的使用年限和维护状态;
- 手持动力工具或手持工件的重量;
- 机械或动力工具的振动控制措施;
- 采用的手柄形式;
- 机械的自动控制系统(例如,螺母扳手的扭矩控制);
- 机械的动力源;
- 回转频率或冲击速度;
- 嵌入工具型号和类别;
- 任何附加信息(例如,嵌入工具的不平衡)。

f) 仪器:

- 仪器详情;
- 校准记录;
- 最近检定试验日期;
- 性能检测结果;
- 干扰试验结果。

g) 加速度测量条件:

- 加速度计的位置和方向(包括草图和尺寸);
- 传感器安装方法;
- 加速度计和安装架的质量;
- 操作条件;
- 臂的姿势和手的位置(包括操作者是左手还是右手习惯);
- 任何附加信息(例如有关推进力和握力的数据)。

h) 测量结果:

- 尽可能对应每个操作的  $x$  轴、 $y$  轴和  $z$  轴的频率计权手传振动均方根值( $a_{hwix}$ 、 $a_{hwiy}$  和  $a_{hwiz}$ );
- 测量时间长度;
- 若进行频率分析,则给出非计权频谱;
- 若进行单轴向或两轴向测量,则给出进行振动总值评估的倍率因子(包括采用单轴向或两轴测量的理由和使用倍率因子的理由)。

i) 日振动暴露评价结果:

- 每个操作的振动总值  $a_{hvi}$ ;
- 每个操作的振动暴露时间  $T_i$ ;
- 若可能,给出每个操作的部分振动暴露量  $A_i(8)$ ;
- 日振动暴露量  $A(8)$ ;
- 日振动暴露结果的不确定度评估。

附录 A  
(资料性附录)  
测量位置示例

A.1 引言

按照 6.1.3 描述的在手握区域中间,振动传入人体的手的表面进行测量并不总是可行的,例如,带有封闭或敞开的弓形手柄或枪式手柄,开关的位置使得不可能在手柄的中间进行测量。实际上,测量位置通常不得不在手的一侧。动力控制和手的防护位置也可影响安装加速度计的位置。图 A.1 给出了一些常见的动力工具的测量位置示例。

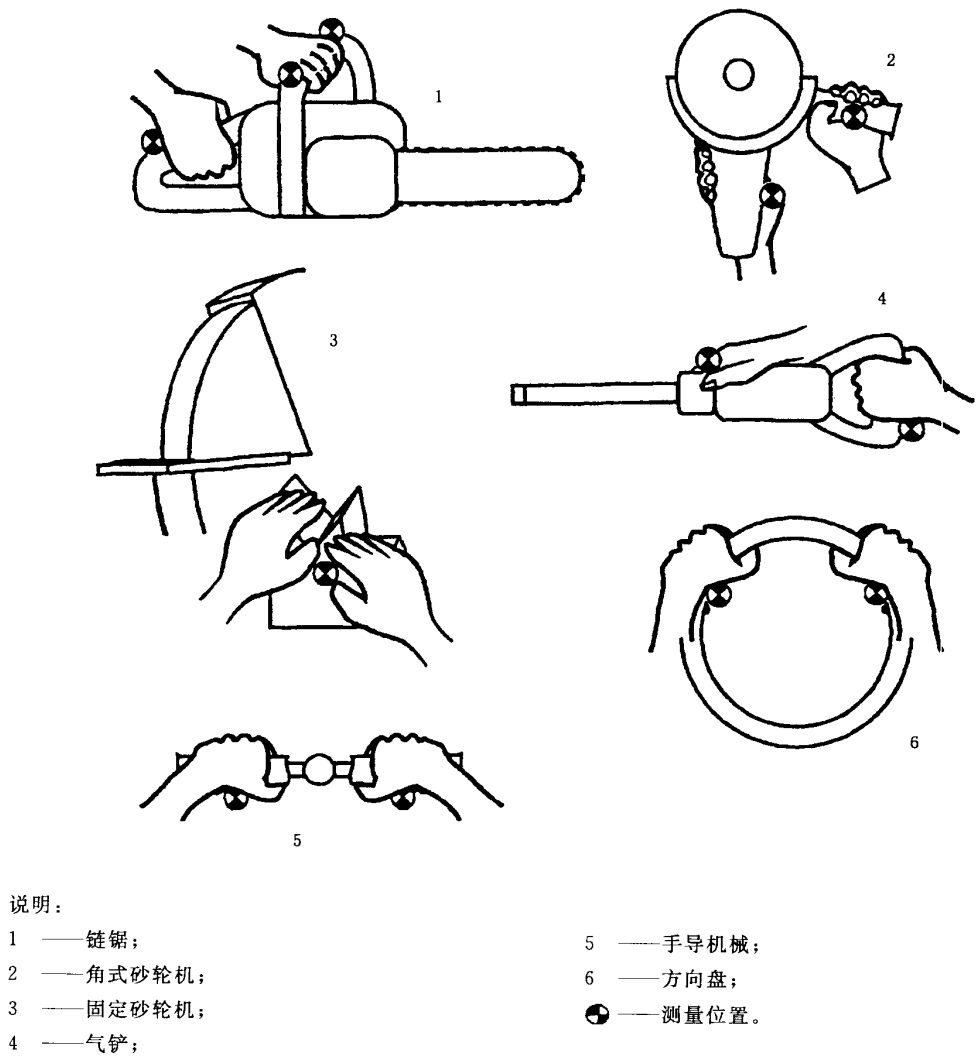


图 A.1 一些常见动力工具类型的实用测量位置示例

## A.2 振动型式试验标准中使用的测量位置

表 A.1 举例列出 ISO 8662-2~ISO 8662-14、ISO 7505 和 ISO 7916 规定的测量位置,上述标准规定了为确定振动排放值在不同手持式动力工具手柄测量振动的试验室方法。

表 A.1 中列出的位置是好的方案,但可能不适用于振动暴露的测量。振动暴露测量的目的与型式试验的目的有很大的不同。对于振动暴露评价,测量的位置应基于手实际握持动力工具的位置,而不是型式试验期间手握的位置。振动型式试验标准的基本要求是在操作者以标准方法握持动力工具及施加推进力时在主要握持区域进行测量。通常型式试验标准仅确定一个测量位置和轴向。

表 A.1 列出的示例适用于刚性手柄或手握区域(弹性安装手柄见 6.1.4)。

表 A.1 振动型式试验标准中加速度计在动力工具上的位置

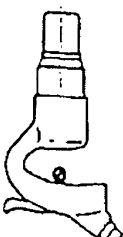
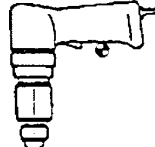
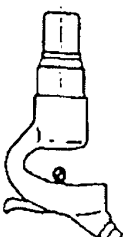
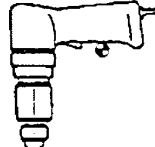
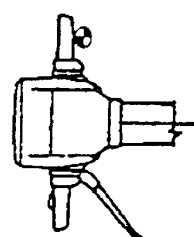
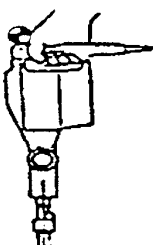
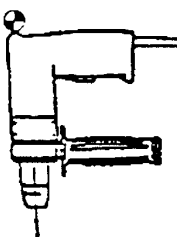
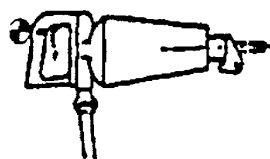
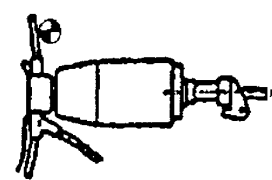
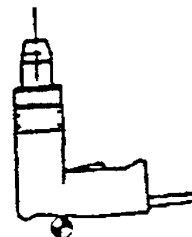
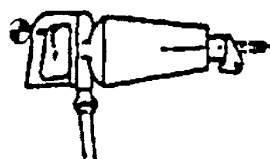
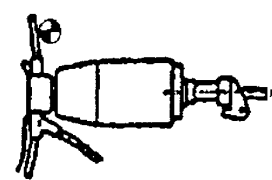
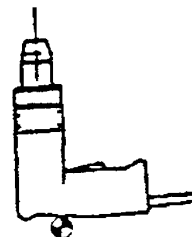
| 标准         | 动力工具类型        | 安装位置                                                                                 |                                                                                      |                                                                                    | 型式试验要求说明                                                                                                                                                                                                       |
|------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ISO 8662-2 | 气铲<br>铆钉机     |   |   |   | <p>传感器通常的位置应为施加推进力的主柄长度的 1/2 处。</p> <p>在具有环柄或弯柄或枪柄的动力工具上,开关的位置可使这种安装不可能实现。此时,传感器应尽可能靠近手,在拇指和食指之间,或尽可能靠近手柄长度的 1/2 位置。</p> <p>对于有对称手柄的动力工具,传感器应安装在没有开关的手柄上。</p> <p>若动力工具没有阻尼系统时,在与冲击方向或钎杆轴线平行方向进行振动测量足以满足要求。</p> |
|            | 采石工具<br>针束除锈器 |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                |
| ISO 8662-3 | 凿岩机<br>回转锤    |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                |
| ISO 8662-5 | 路面破碎机<br>气镐   |  |  |  |                                                                                                                                                                                                                |
| ISO 8663-6 | 冲击钻           |  |  |  |                                                                                                                                                                                                                |
| ISO 8662-9 | 捣固机           |  |                                                                                      |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                |

表 A.1 (续)

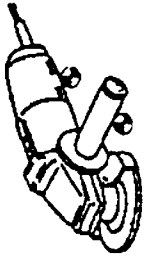
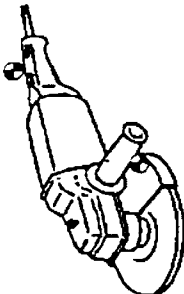
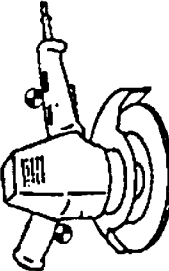
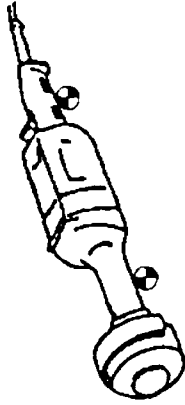
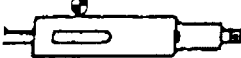
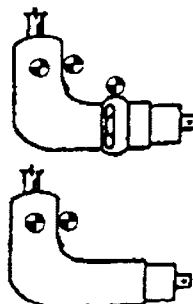
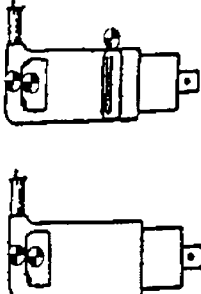
| 标准         | 动力工具类型             | 安装位置  |                                                                                       | 型式试验要求说明                                                                                                                                                |
|------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ISO 8662-4 | 砂轮机                | 小角式砂轮机                                                                                   |    | <p>测量应在两个手柄处进行,每个手柄使用一个传感器。传感器的位置应首选手柄的下方,并在操作者正常握持手柄位置(距手柄末端 60 mm)处对称安装。</p> <p>传感器应垂直于手柄表面安装。</p>                                                    |
|            |                    | 大角式砂轮机                                                                                   |     |                                                                                                                                                         |
|            |                    | 端面砂轮机                                                                                    |    |                                                                                                                                                         |
|            |                    | 直柄砂轮机                                                                                    |     |                                                                                                                                                         |
| ISO 8662-7 | 气扳机<br>气螺钉<br>螺母旋具 | 直柄动力工具                                                                                   |   | <p>测量应在操作者正常握持动力工具手柄的图示位置进行。传感器的正常位置应在手柄长度的 1/2 处。如果开关的位置使得不可能这样测量,则传感器应尽可能靠近该位置安装。</p> <p>对于直柄动力工具,传感器安装应使其能测量驱动轴切线方向动力工具表面的加速度。传感器安装应尽可能靠近动力工具表面。</p> |
|            |                    | 角式动力工具                                                                                   |    |                                                                                                                                                         |
|            |                    | 枪柄动力工具                                                                                   |  |                                                                                                                                                         |
|            |                    | 环柄动力工具                                                                                   |   |                                                                                                                                                         |

表 A.1 (续)

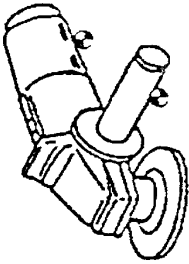
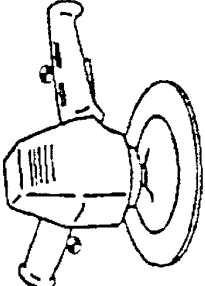
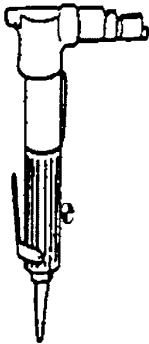
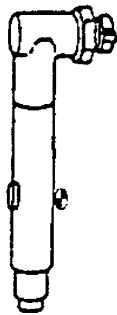
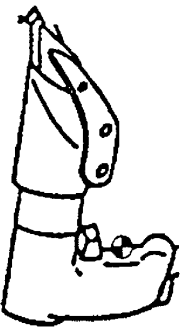
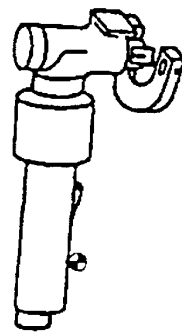
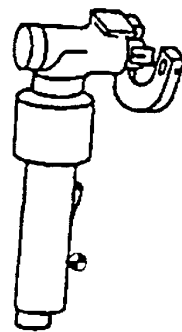
| 标准          | 动力工具类型     | 安装位置  |                                                                                      | 型式试验要求说明                                                                                                                                                                                         |
|-------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ISO 8662-8  | 抛光机<br>磨光机 | 无轨迹磨光机                                                                                   | 轨迹磨光机                                                                                | <p>测量应在操作者正常握持动力工具和施加推进力的壳体及手柄处同时进行(若可能)。然而如果机械设计成借助壳体上的球形柄握持而不是壳体本身握持,则测量应在球形柄处进行。</p> <p>对具有两个手柄的磨光机和抛光机,测量应在两个手柄上进行。然而,对于小回转角式磨光机和抛光机,当电机壳体用来握持时,壳体应视为手柄。手柄上的传感器应安装在其长度的1/2处(若可能),且最好在下方。</p> |
|             |            | 角式磨光机/抛光机                                                                                | 端面磨光机/抛光机                                                                            |                                                                                                                                                                                                  |
|             |            |       |    |                                                                                                                                                                                                  |
| ISO 8662-10 | 冲剪<br>剪    |      |   | <p>测量应在操作者正常握持动力工具和施加推进力的主手柄处进行。</p> <p>传感器的正常位置应在手柄长度1/2处的下方。如果开关的位置使其不能这样安装,则传感器应安装在食指和中指之间尽可能靠近手的位置。</p>                                                                                      |
|             |            |     | 圆形切割剪                                                                                |                                                                                                                                                                                                  |
|             |            |      |  |                                                                                                                                                                                                  |

表 A.1 (续)

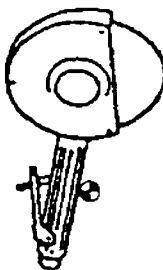
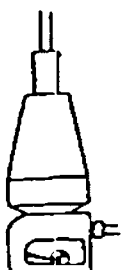
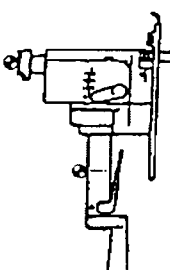
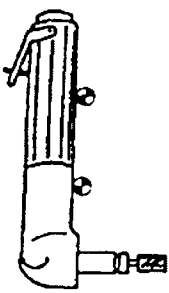
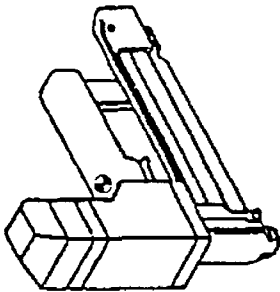
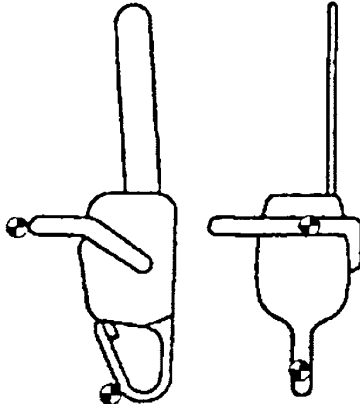
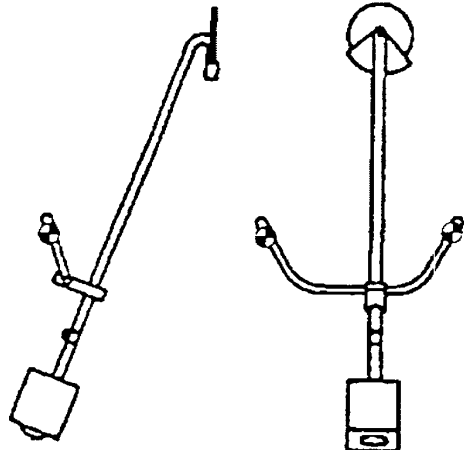
| 标准          | 动力工具类型            | 安装位置      |                                                                                      |         | 型式试验要求说明                                                                            |
|-------------|-------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| ISO 8662-12 | 锯<br>锉刀           | 摆式锯       |   | 圆片式锯    |  |
|             |                   | 往复式锯      |   | 环柄往复式锯  |  |
|             |                   | 往复式锯(细线锯) |     | 往复式锉刀   |    |
|             |                   |           |                                                                                      |         |                                                                                     |
| ISO 8662-13 | 模具砂轮机             | 直柄模具砂轮机   |  | 角式模具砂轮机 |  |
| ISO 8662-11 | 打钉机<br>钉合机<br>排钉枪 | 打钉机       |  |         |                                                                                     |

表 A.1 (续)

| 标准       | 动力工具类型 | 安装位置  | 型式试验要求说明                                             |
|----------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| ISO 7505 | 链锯     |        | 加速度计应尽可能靠近操作者的手安装,且不妨碍正常握持。加速度计重心与最靠近的手距离应不大于 20 mm。 |
|          |        | 链锯                                                                                       |                                                      |
| ISO 7916 | 割灌机    |       |                                                      |
|          |        | 割灌机                                                                                      |                                                      |

## 附录 B

## (资料性附录)

## 一天以上时间振动暴露的评价

## B.1 引言

GB/T 14790.1—2009 仅给出了一个工作日内评价日振动暴露的方法。GB/T 14790.1—2009 中规定的日振动暴露计算方法并未打算用于一天以上时间,而 GB/T 14790.1—2009 附录 C 中给出的指南是基于日振动暴露不变的工作场合。

对于某些工作场合,最好是根据一天以上时间获得的振动暴露信息得出暴露评价。在一些工作形式中,使用振动工具的时间长度从一天到另一天有显著变化(例如,建筑业或造船业或修理行业);采用单个工作日的观察或工作记录来获得典型日暴露时间是困难或不可能的。在另外一些场合,代表在延续时间期间的总的振动暴露值(例如一生的暴露)可能是有用的。

本附录给出用来评价一天以上时间振动暴露的方法示例。在评价一天以上时间的振动暴露的场合,其结果不应用于确定健康风险。在进行这种评价时,也宜进行实际的日振动暴露评价并予以报告。

## B.2 每天暴露不同时典型的日振动暴露评价

在工人暴露于以天为基础的振动,且振动暴露从一天到另一天变化时(例如,在一个工作任务耗时一天以上的建筑项目中),比较典型振动暴露,例如对制定振动控制计划,可能是有用的。在这种场合,典型的振动暴露评价  $A_{tp}(8)$  由式(B.1)给出:

$$A_{tp}(8) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{d=1}^N A_d^2(8)} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$A_{tp}(8)$ ——工作日  $d$  的日振动暴露量;

$N$ ——确定评价时间内的工作日天数。

若每个工作日中的振动幅值相同(即每天使用相同的动力工具),但每天使用动力工具的时间有变化,则公式变为:

$$A_{tp}(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{\bar{t}_d}{T_0}} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

$a_{hv}$ ——该操作的振动总值;

$T_0$ ——8 h (28 800 s)的参考时间;

$\bar{t}_d$ ——平均日振动暴露时间。

注:该评价假定  $A(8)$  计算的时间依赖性对于一天以上时间是有效的。

## B.3 振动暴露并非每天发生时的评价

振动暴露可能不规律的发生,例如一天进行有振动暴露的操作,而另一天无振动暴露(例如铸造厂化铁炉的清理)。在存在振动暴露那些天,日振动暴露量及每周、每月或每年发生振暴露工作天数应予报告。

**附 录 C**  
**(资料性附录)**  
**机械滤波器**

**C.1 通则**

压电加速度计的直流漂移失真(见 6.2.4)风险可通过加速度计的精心选择(见 6.1.2)来减小。然而在测量冲击式或回转冲击式动力工具时有疑问的情况下,建议在传感器和振动表面之间安装机械滤波器。该滤波器衰减瞬态的极高频率信号,并防止压电系统的机械过载。作为低通滤波器的机械滤波器会衰减引起直流漂移的频率,同时对所关注的频率范围的振动没有影响。

注:直流漂移是由压电加速度计的电荷耦合引起的失真。其他类型的加速度计,如压敏加速度计不受直流漂移影响。因此只有在使用压电加速度计时才有需要采用机械滤波器防止直流漂移。

机械滤波器在减少不必要的高频振动对加速度计的影响,防止由高频加速度信号引起的信号处理过载或允许使用比没有机械滤波器时灵敏度高的加速度计方面,可能也是有效的。

**C.2 选择**

机械滤波器应与加速度计相匹配。机械滤波器的截止频率受加速度计质量的影响。机械滤波器可通过一些传感器制造厂得到,或选用适当的弹性材料制作。对于小质量加速度计(2 g 左右),在传感器座下方放置一层简单的薄弹性材料可能是有效的。

机械滤波器在所关注的频率范围,应不改变测量系统的频响特性,即对频率 1 250 Hz 以下的振动信号既不放大也不衰减,机械滤波器的附加质量不应改变振动表面的振动特性。对不产生直流漂移的动力工具进行用和不用机械滤波器的对比测试可用来评估机械滤波器的频率响应。

由机械滤波器和传感器组成的系统应尽可能紧凑,以确保传感器的中心尽可能靠近振动表面。

在一个机械滤波器上安装三轴向传感器是不可行的。

**C.3 在与冲击轴垂直的轴向上使用**

通常仅在振动占优势的轴向即冲击或撞击式动力工具的冲击轴向测量加速度时才需要使用机械滤波器来避免直流漂移。

在直流漂移成为冲击式动力工具的非优势轴向问题的场合,机械滤波器宜谨慎使用;在这种场合,机械滤波器可能通过允许加速度计的过量回转运动而增加振动表观横向灵敏度。加速度宜按对准冲击轴向,横向灵敏度最小方向安装,以使由回转运动引起的影响最小。

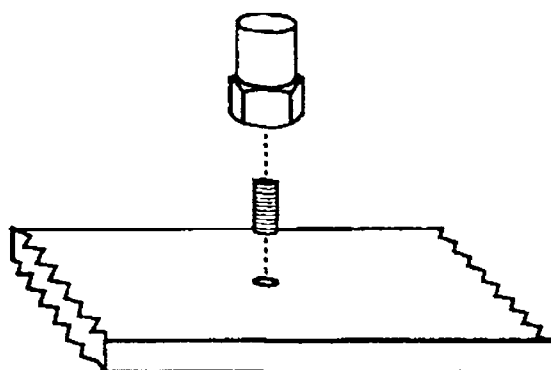
**附 录 D**  
(资料性附录)  
**加速度计安装指南**

**D.1 引言**

已研究出将加速度计安装在振动表面的不同方法。图 D.1~图 D.4 给出了一些安装方法及其可能适用的场合和与之相关的优缺点。选择这些示例是因为其在所关注的频率范围内有平直的频率响应。关于进一步的指南,参见 ISO 5348。

**D.2 安装方法****D.2.1 双头螺栓安装(旋紧)**

在振动表面钻孔并攻丝。加速度计(一个或多个)用标准双头螺栓与孔直接连接。也可再使用粘接剂以防止螺栓受振松动。

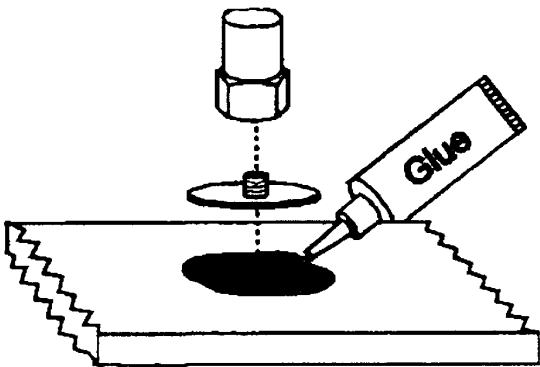


| 优点                | 缺 点                                   |
|-------------------|---------------------------------------|
| 频率响应好<br>不受表面温度影响 | 接触表面应为平面<br>在可能影响动力工具的电气或气动安全的情况下不能使用 |

**图 D.1 双头螺栓安装(旋紧)**

**D.2.2 用胶水或粘接剂安装**

胶水或环氧树脂粘接剂可用将加速度计固定在振动表面。通常用胶水(可清除的)粘接螺栓以避免将胶水直接涂到加速度计上。建议不使用软凝固胶水或蜂蜡,因为这种粘接使连接不牢固,导致频率响应不好。

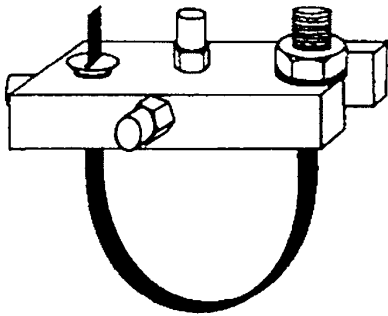


|          | 优点              | 缺点          |
|----------|-----------------|-------------|
| 胶水       | 频率响应好           | 接触表面须为平面且清洁 |
| 粘接剂/环氧树脂 | 频率响应好<br>适合不平表面 | 接触表面须清洁     |

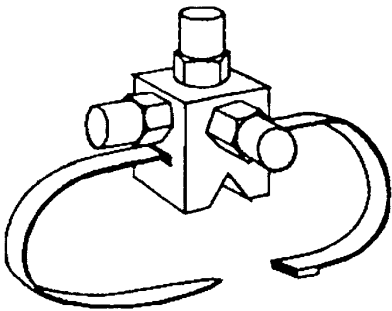
图 D.2 用胶水或粘接剂安装

D.2.3 卡具安装

加速度计安装到轻体安装架上。安装架借助柔性带固定到振动表面上。金属或尼龙带已成功得到应用。尼龙电缆固定带应为能紧固类型(可重复使用的棘齿式电缆固定带不适合使用)。应注意确保这种安装组件的共振频率远比测量频率范围上限要高。



a) 金属 U 型卡具(金属带固定)



b) 尼龙带或金属管箍固定

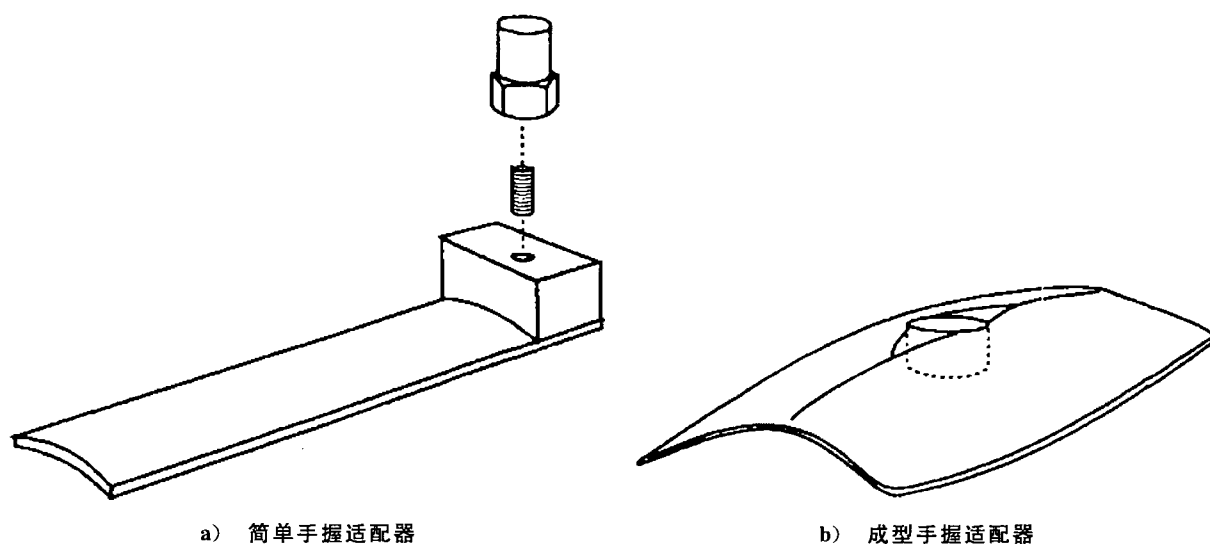
|                     | 优点                             | 缺点            |
|---------------------|--------------------------------|---------------|
| 金属 U 型卡具<br>(金属带固定) | 适合三轴向测量                        | 体积大、重量大       |
| 尼龙带或金属管箍固定          | 可快速安装<br>适合三轴向测量<br>重量轻<br>无锐边 | 主要限于动力工具手柄处测量 |

图 D.3 卡具安装

### D.2.4 手握适配器

固定的安装系统并不总是可行的,尤其在操作者手握表面有弹性材料覆盖的场合。尽管使用弹性胶粘带将适配器轻粘在振动表面通常是可行的,但手握安装系统是借助操作者的握力将安装系统固定到位。

对一些难以固定的表面,单独成型的适配器可能更为适用。这类适配器采用造型材料制作一个椭圆形盘,其下表面形状与工作表面外形相符,而上表面形状与手掌形状相符,并留有空间供安装加速度计。模型一经硬化后,加速度计便可装入适配器,适配器可舒适地置于手与工作表面之间。



|         | 优点                                                    | 缺点                                                                                    |
|---------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 简单手握适配器 | 可用于不适合固定安装的情况,例如软材料或弹性材料上                             | 仅适用于固定的手姿势及手柄始终被握住的情况<br>频率响应取决于表面材料<br>适配器的存在可改变动力工具的操作及振幅测量结果<br>对横向振动测量要求附加固定(如粘接) |
| 单独成型适配器 | 可用于不适合固定安装的情况,例如软材料或弹性材料<br>适配器对动力工具操作影响小<br>频率响应曲线平直 | 适配器的准备过程费力、费时<br>难以在三轴向测量中使用                                                          |

图 D.4 手握适配器

## 附录 E (资料性附录) 日振动暴露计算示例

### E.1 引言

本附录给出了一些根据第 8 章规定组织和计算 8 h 等能量振动总值(日振动暴露量)的示例。与示例相关的测量方法见 5.3 中的规定。

在本附录中给出的全部计算示例中:

- 加速度幅值假定为平均的振动总值;
- 只对一个振动暴露数据进行计算,通常需要分别对左右手进行评价;
- 振动幅值在暴露期间几乎不变,通常振动幅值有较大变化常见,可能需要对样本振动测量进行某种平均。

### E.2 使用单一动力工具示例

#### E.2.1 连续工具操作的长时间测量

这是最简单的测量情况。动力工具连续长时间操作,在使用期间手与动力工具或手握工件始终接触。这种类型操作的例子有使用振动盘式打夯机平整大块地面,地板抛光和乘坐式草坪修剪机。

在这种场合:

- 振动幅值测量可长时间进行,并给出好的有代表性数值;
- 暴露时间为动力工具操作时间。

##### a) 优点

振动幅值可方便地用于暴露时间可能不同的其他情况的振动暴露评价。

##### b) 缺点

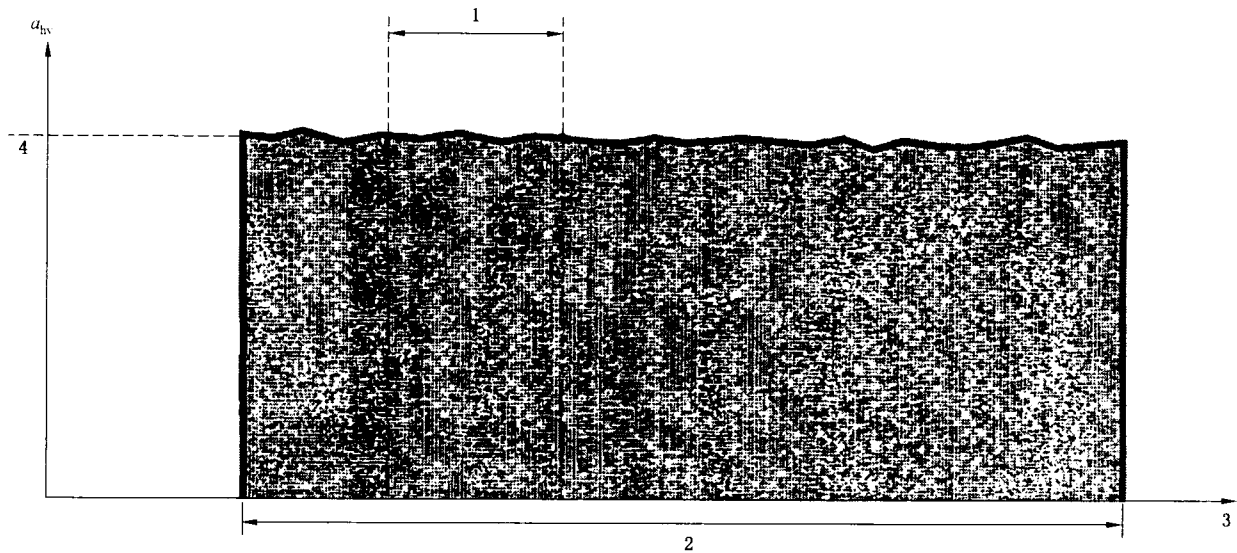
这种类型测量没有实质性缺点,但实际上在许多场合不可能这样作。

示例:

在一个工作日期间,使用振动盘式打夯机总时间为 2.5 h,未使用其他振动工具。振动暴露形式与图 E.1 所示相似。对动力工具手柄振动三次测试的算术平均值表明,振动总值  $a_{wv}$  为  $7.4 \text{ m/s}^2$ 。

日振动暴露量  $A(8)$  由对应单一暴露的式(2)给出:

$$\begin{aligned}
 A(8) &= a_{wv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \\
 &= 7.4 \sqrt{\frac{2.5}{8}} = 4.1 \text{ m/s}^2 \quad \dots\dots\dots (E.1)
 \end{aligned}$$



说明:

- 1——测量时间长度;
- 2——操作时间(=暴露时间);
- 3——时间;
- 4—— $a_{hv, measured}$ , 测量值。

图 E.1 连续暴露的长时间测量

### E.2.2 间歇工具操作的长时间测量

对于许多动力工具,在使用期间手始终与动力工具或手持工件接触,但动力工具并不连续操作,而是在使用时存在操作中的短暂间歇,这种类型的操作的例子包括使用砂轮机、链锯和除锈锤。

如果在大多数使用期间内,都对动力工具进行操作,则一种选择为:

- 在整个有代表性的使用期间,进行长时间的振动幅值测量,在这种情况下
- 暴露时间是该工作日中使用动力工具的时间。

#### a) 优点

振动幅值为实际作业的代表值,包括机械加速到工作速度及减速到怠速或关闭的时间(时间可不包括用其他方法操作)。

#### b) 缺点

用这种方法得到的振动幅值与动力工具在使用者手中的操作时间成正比。因此这种振动幅值信息不容易转换成使用相同动力工具其他的情况。

测量可能包含与振动暴露无关的冲击(例如将动力工具放在工作台引起的冲击)。

示例:

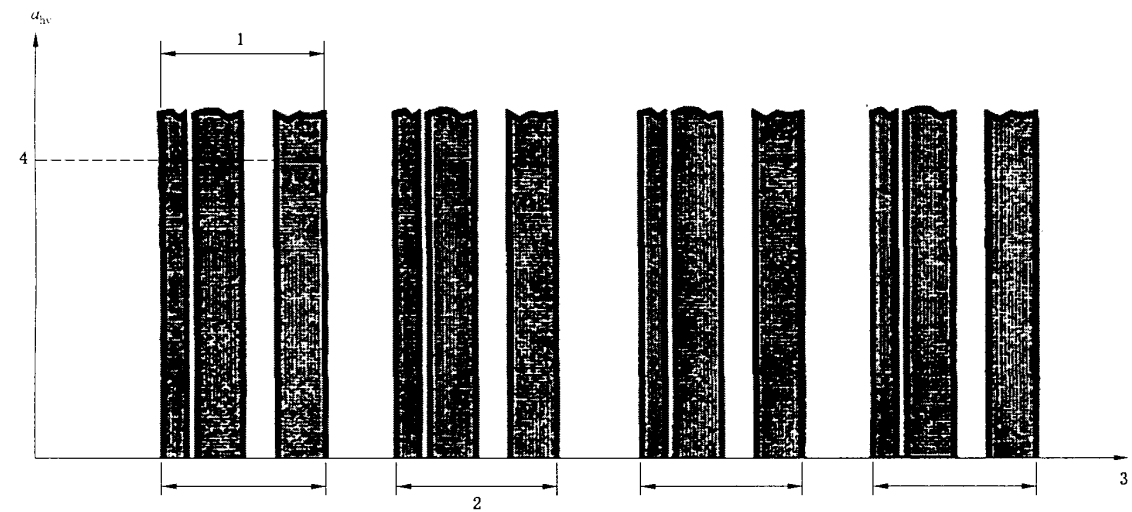
砂轮机用来磨削盘形铸件。工作记录显示每天平均加工 100 个铸件。对每个铸件操作者先磨削铸件周围,然后磨削上下表面。振动暴露形式与图 E.2 所示相似。一个工作周期时间内测量的平均振动为  $3.6 \text{ m/s}^2$ 。

每个工作周期需要 2 min 完成。按每天 100 个铸件的工作速率,则总的日暴露时间为 200 min,即 3 h 20 min(3.33 h)。日振动暴露量  $A(8)$  按对应单一暴露的式(2)给出:

$$\begin{aligned}
 A(8) &= a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \\
 &= 3.6 \sqrt{\frac{3.33}{8}} = 2.3 \text{ m/s}^2 \quad \dots\dots\dots (E.2)
 \end{aligned}$$

注 1: 对于诸如手持式砂轮机这类动力工具,在左手和右手位置的振动幅值可能会有差别,两只手的暴露时间也可能不同。在这种情况下,需要对每只手进行振动暴露评价。

注 2: E.2.3 给出了对相同工作过程的另一种分析方法。



说明:

1——测量时间长度;

2——暴露时间=总使用时间;

3——时间;

4—— $a_{hv, measured}$ , 测量值。

图 E.2 间歇暴露的长时间测量

E.2.3 间歇工具操作的短时间测量

对于许多动力工具,在使用期间手始终与动力工具接触。但动力工具并不连续操作(操作期间有长间歇),或者在使用期间手离开动力工具。这种类型的操作例子包括使用手持式砂轮机、固定式砂轮机、链锯、割灌机和除锅锈锤。

在这种情况下:

- 在整个连续操作期间进行短时间振动幅值测量。这可以是不间断的工作模拟(例如在固定式砂轮机上使用报废零件);
- 暴露时间是该工作日中使用动力工具的时间。

a) 优点

振动幅值可方便用于暴露时间可能不同的其他场合的振动暴露评价。

b) 缺点

振动评价不包括机械加速到操作速度及减速到怠速或停机的时间。如果加速或减速的时间与工作速度所占用时间相差不大,则这种方法不可能正确评价整个振动暴露。

示例:

砂轮机用来磨削盘形铸件。工作记录显示每个工作日平均加工 100 个铸件。对于每个铸件操作者先磨削铸件周围,然后磨削上、下表面。振动暴露形式与图 E.3 所示相似。

每个工作周期由三个使用时段组成:

- 20 s 磨削周围;
- 40 s 磨削上表面,然后翻转铸件;
- 40 s 磨削下表面。

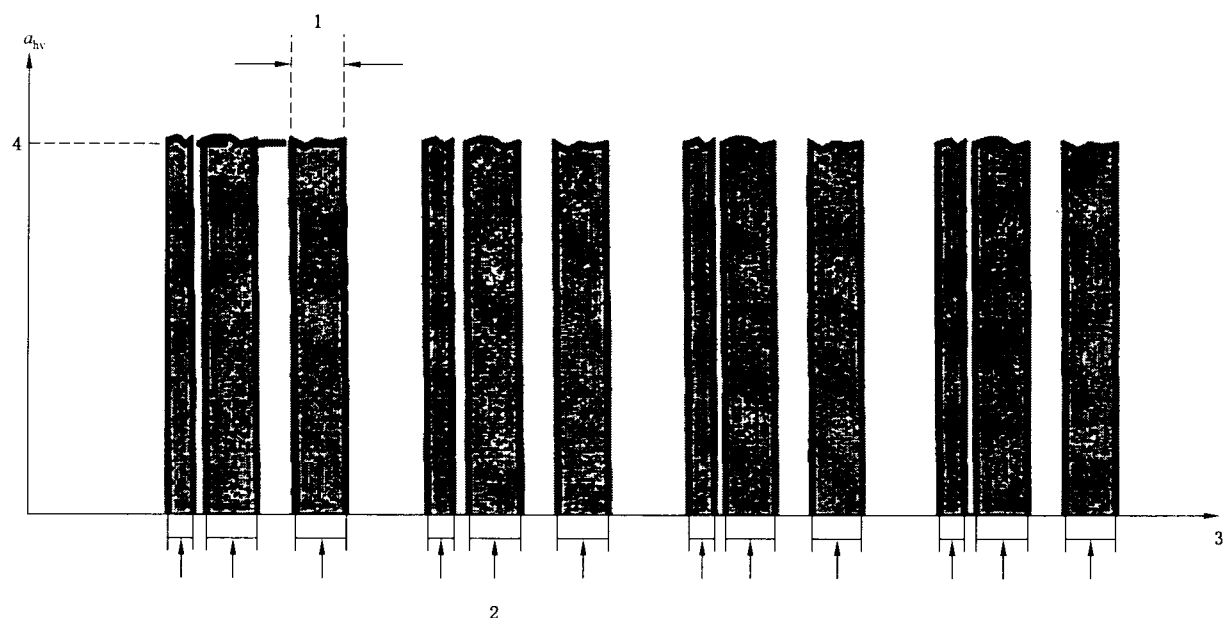
因此砂轮机在每个工作周期内操作时间为 100 s(即在 2 min 工作周期内,动力工具操作 1 min 40 s),按每天 100 个

铸件的工作速率总的日暴露时间为 167 min, 即 2 h 47 min (2.78 h)。

使用对报废铸件连续磨削模拟工作测量确定磨削期间振动幅值为  $3.9 \text{ m/s}^2$ 。日振动暴露量  $A(8)$  按对应单一暴露的式(2)给出:

$$\begin{aligned} A(8) &= a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \\ &= 3.9 \sqrt{\frac{2.78}{8}} = 2.3 \text{ m/s}^2 \quad \dots\dots\dots (E.3) \end{aligned}$$

注: E.2.2 给出对相同的工作过程的另一种分析方法。



说明:

- 1——测量时间长度;
- 2——暴露时间=总的操作时间;
- 3——时间;
- 4—— $a_{hv, \text{ measured}}$ , 测量值。

图 E.3 间歇暴露的短时间测量

## E.2.4 工具操作的单次冲击或振动猝发的固定时间测量

对于一些动力工具, 动力工具产生单次冲击或振动猝发, 冲击或猝发之间有长时间间歇, 无规律。这种类型的操作包括射钉枪和动力冲击扳手。

在这种场合:

- 在包括已知次数的冲击或振动猝发(可能一次或更多)固定时间内进行平均振动幅值的测量;
- 暴露时间为测量时间长度乘以每天冲击次数除以测量期间内冲击或振动猝发次数。

a) 优点

振动幅值可用于其他场合的振动暴露(只要测量时间长度有记录)。

b) 缺点

目前尚不能确定这种方法(基于 GB/T 14790.1—2009)是否适用于冲击振动的测量。

示例:

使用动力冲击扳手装配轮胎螺母。每辆车需要 40 个轮胎螺母。工具操作者正常使用冲击扳手安装 5 个轮胎螺母, 然后放下动力工具, 同时改变位置到下一个轮胎处。工作记录显示, 平均每天完成 50 辆车装配, 即 1 000 个轮胎螺母。

振动幅值测量可只在装配 5 个轮胎螺母所用的时间内进行。在这种场合操作者握持冲击扳手至少 20 s, 因此对于旋紧五个轮胎螺母, 采用 20 s 的固定时间测量, 见图 E.4。20 s 时间的平均振动幅值为  $14.6 \text{ m/s}^2$ 。为了确保总的平均时

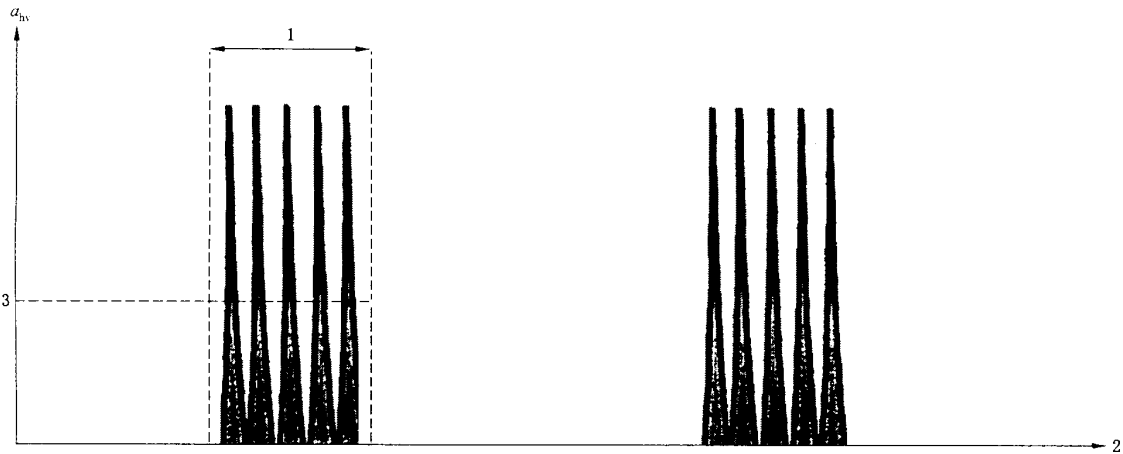
间大于 60 s,应进行至少四次测量。

总的日暴露时间为:

$$\begin{aligned} T &= \frac{\text{每天螺母数}}{\text{测量期间螺母数}} \times \text{测量时间} \\ &= \frac{1\,000}{5} \times 20\text{ s} = 4\,000\text{ s} \end{aligned} \quad \text{.....( E.4 )}$$

总的日暴露时间为 4 000 s 即 1 h 6.7 min(1.1 h), 振动幅值  $a_{hv}$  为 14.6  $\text{m/s}^2$ , 因此日振动暴露量  $A(8)$  为:

$$\begin{aligned} A(8) &= a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \\ &= 14.6 \sqrt{\frac{1.1}{8}} = 5.4\text{ m/s}^2 \end{aligned} \quad \text{.....( E.5 )}$$



暴露时间=测量时间乘以每天冲击次数除以测量期间内的冲击次数

说明:  
1——测量时间长度;  
2——时间;  
3—— $a_{hv, measured}$ , 测量值。

图 E.4 工具操作的单次冲击或振动猝发的固定时间测量

E.3 使用一种以上动力工具的振动评价示例

在一种以上动力工具或过程构成日振动暴露时,宜采用 E.2 中所给出的适当方法确定对应每种特定动力工具或过程的部分振动暴露。

通常在许多工作场合发现:

- 使用一种以上动力工具;或
- 对动力工具进行一种以上模式操作,每种操作使操作者暴露于不同幅值的振动。

在包含一种以上的动力工具、过程或操作模式的场合,通常使用 E.2 中给出的基本评价方法进行综合。

示例:

本示例中,日振动暴露可识别为源自三种独立的作业。在计算总的日振动暴露时,对三种作业分别进行分析,以计算部分的振动暴露。在这种情况下,对每种作业采用不同的评价方法是合理的。

一林业工人用一个工作日的第一部分时间使用割灌机在森林中作清理工作,操作者在此处连续工作 2 h。工作日的第二部分时间使用链锯,此处首先伐倒树木,然后打去树干的树枝;每个工作日伐倒并打枝 30 棵树。

振动暴露形式与图 E.5 所示相似。日振动暴露评价可通过将该工作日分为三种作业：割灌机操作、伐木和打枝来进行。

对于割灌机操作，连续工作时间 2 h。振动幅值的测量在若干工具使用样本期间内进行，得出平均值为  $4.6 \text{ m/s}^2$ 。部分振动暴露  $A_{\text{brushsaw}}(8)$ ，由式(2)计算：

$$A_i(8) = a_{\text{hvi}} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}}$$

$$A_{\text{brushsaw}}(8) = 4.6 \sqrt{\frac{2}{8}} = 2.3 \text{ m/s}^2 \quad \dots\dots\dots (\text{E.6})$$

使用链锯伐木，每棵树平均用时 2 min，即 30 棵树总计用时 1 h。在伐木期间测量的平均振动幅值为  $6 \text{ m/s}^2$ 。如割灌机操作一样，部分振动暴露  $A_{\text{felling}}(8)$ ，由式(2)计算：

$$A_{\text{felling}}(8) = 6.0 \sqrt{\frac{1}{8}} = 2.1 \text{ m/s}^2 \quad \dots\dots\dots (\text{E.7})$$

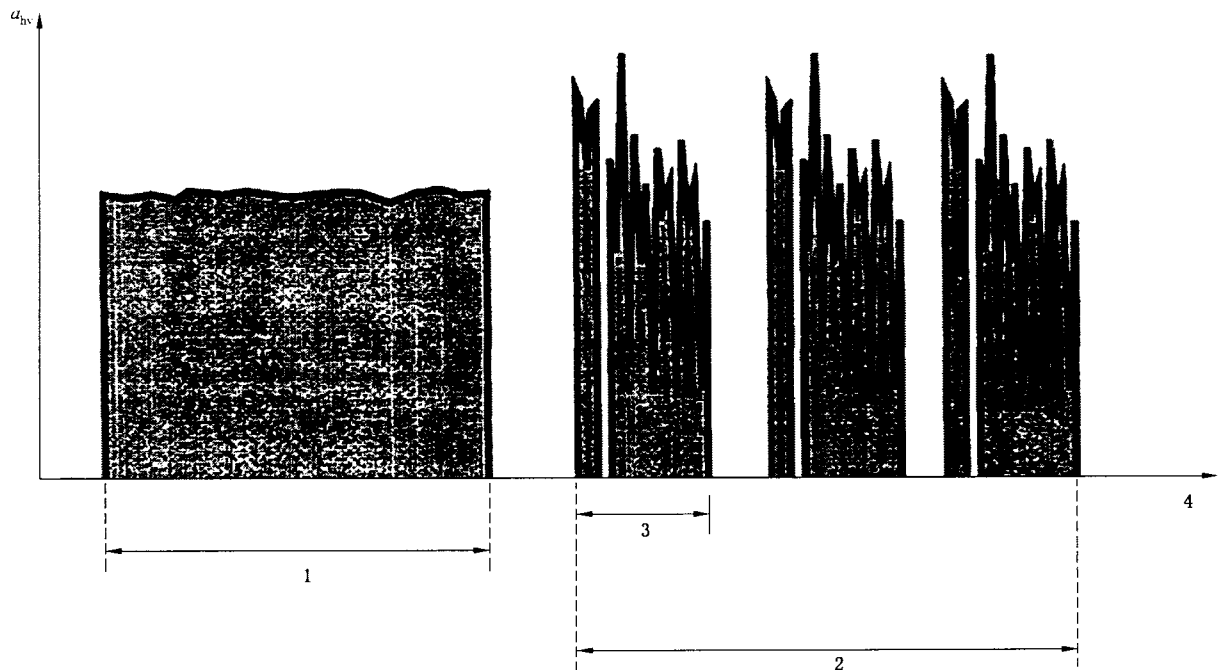
对每棵伐倒的树上打枝耗平均用时 4 min，即 30 棵树总计用时 2 h。由于振动幅值随链锯切割单个树枝过程增大和减小，因此采用长时间平均，以包含这种操作的有代表性时段。在打枝期间测量的平均振动幅值为  $3.6 \text{ m/s}^2$ 。部分振动暴露  $A_{\text{stripping}}(8)$ ，由式(2)计算：

$$A_{\text{stripping}}(8) = 3.6 \sqrt{\frac{2}{8}} = 1.8 \text{ m/s}^2 \quad \dots\dots\dots (\text{E.8})$$

由日振动暴露三种作业得出的部分振动暴露用公式(3)进行综合，得到 8 h 等能量振动总值(日振动暴露量)  $A(8)$ ：

$$A(8) = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2(8)} = \sqrt{A_{\text{brushsaw}}^2(8) + A_{\text{felling}}^2(8) + A_{\text{stripping}}^2(8)}$$

$$= \sqrt{2.3^2 + 2.1^2 + 1.8^2} = 3.6 \text{ m/s}^2 \quad \dots\dots\dots (\text{E.9})$$



说明：

- 1——工具 1；
- 2——工具 2；
- 3——工作周期；
- 4——时间。

图 E.5 使用一种以上动力工具的振动暴露测量

### 参 考 文 献

- [1] ISO 5348, Mechanical vibration and shock—Mechanical mounting of accelerometers
  - [2] ISO 7305, Forestry machinery—Chain saws—Measurement of hand-transmitted vibration
  - [3] ISO 7916, Forestry machinery—Portable brush-saws—Measurement of hand-transmitted vibration
  - [4] EN 1033, Hand-arm vibration—Laboratory measurement of vibration at the grip surface of hand-guided machinery—General
  - [5] DIN 45671-3, Messung mechanischer Schwingungen am Arbeitsplatz—Teil 3: Prüfung (Kalibrierung und Beurteilung) des Schwingungsmessers—Erstprüfung, Nachprüfung, Zwischenprüfung, Prüfung am Einsatzort. (Measurement of occupational vibration immissions—Part 3: Test (calibration and assessment) of the vibration meter—Primary test, verification, intermediate test, check in situ)
  - [6] Health and Safety Executive HS(G)88: Hand-Arm Vibration. Published: HSE Books, Sudbury, Suffolk, United Kingdom, 1994
  - [7] Kaulbars, U.: Vibration am Arbeitsplatz; Grundlagen, Messverfahren und Praktische für den Arbeitsschutz. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1994
-