



中华人民共和国国家标准

GB/T 35982—2018/ISO 15230:2007

机械振动与冲击 手传振动人机界面的耦合力

Mechanical vibration and shock—Coupling forces
at the man-machine interface for hand-transmitted vibration

(ISO 15230:2007, IDT)

2018-02-06 发布

2018-09-01 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 符号和缩略语	1
2.1 符号	1
2.2 下角脚标	1
3 人机界面参数	2
3.1 皮肤暴露表面压力	2
3.2 推/拉力	3
3.3 导向力	3
3.4 提升力	4
3.5 握力	4
3.6 进给力	5
3.7 接触力	6
3.8 耦合力	6
3.9 扭力和摩擦力	6
附录 A (资料性附录) 生物动力学效应对机器接触力的影响	8
附录 B (资料性附录) 基于压力测量计算握力和推/拉力	9
附录 C (资料性附录) 测量过程和测量结果的处理	12
附录 D (资料性附录) 测量仪器的推荐参数	15
附录 E (资料性附录) 校准与参考方法	18
参考文献	20

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用翻译法等同采用 ISO 15230:2007《机械振动与冲击 手传振动人机界面的耦合力》(英文版)。

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

本标准负责起草单位:吉林省安全科学技术研究院。

本标准主要起草人:张春慧、肖建民、王永胜、高秀丽。

引 言

手臂系统与所使用的手持或带有导向装置的手握机器之间的耦合力是非常重要的因素。尽管这种力在振动和非振动机器中都存在,本标准主要是针对在人机界面中,手臂系统直接与振动机器表面接触一系列力的描述。

操作振动机器所涉及的耦合力通常由两部分组成。第一部分是由手臂系统施加的力,也就是用于提供必需的控制和导向以获得期望的生产效率,本标准即是针对这种准静态力(频率低于 5 Hz);第二部分是生物动力学力,即手臂系统对振动的生物动力学反应所产生的力。

手对振动表面不同的耦合对人体的影响有以下两个方面:

可能测量的手柄振动和传递至手臂系统的振动之间的关系会改变。这种改变会影响手臂系统的振动效应。

耦合能导致暴露于振动下的解剖结构的血管系统、神经系统、关节和肌腱等产生一系列的反应。

通常,基于大量的振动对人体基础生理学影响的研究来模拟机器振动工况,即用推力和握力来描述手和机器手柄之间的耦合力。

本标准有助于流行病学或实验室研究中的耦合数据报告。

未来,在工作现场进行测定或评价机械振动对人的影响的测量时,可考虑手臂系统接触振动表面造成的影响。

对耦合力和振动加速度的测量需要同时考虑其潜在的相互影响。

机械振动与冲击

手传振动人机界面的耦合力

1 范围

本标准描述了机器操作者的手与振动机器表面之间的耦合参数。

手和振动表面之间的耦合能用不同的参数和这些参数的组合来加以描述：

——力：如推力、拉力、握力；

——施加于皮肤的压力。

另外，附录 A～附录 E 中提供了标准的测量方法：测量步骤指导，参数耦合力和压力的测量，以及要求的测量工具。

本标准不适用于与手无关的力。

2 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件。

2.1 符号

F	力
i	自然数
n	求和的元素总数
P_i	表面单元 i 的局部压力
S	表面
t	时间
T	操作周期
α	手与截面所成的角
β	机器与截面所成的角
δ	握力比例系数
γ	推力比例系数

2.2 下角脚标

BD	生物动力学力
c	接触
coup	耦合
f	进给
g	导向
gr	握
l	举

GB/T 35982—2018/ISO 15230:2007

- m 平均值
- max 最大值
- n 法向
- pu 推或拉
- x, y, z 直角坐标

3 人机界面参数

3.1 皮肤暴露表面压力

3.1.1 表面面单元

表面面单元 S_i 由式(1)给出:

$$\vec{S}_i = S_i \cdot \vec{S}_{n,i} \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$\vec{S}_{n,i}$ ——面单元的法向单位矢量,参见图 1。

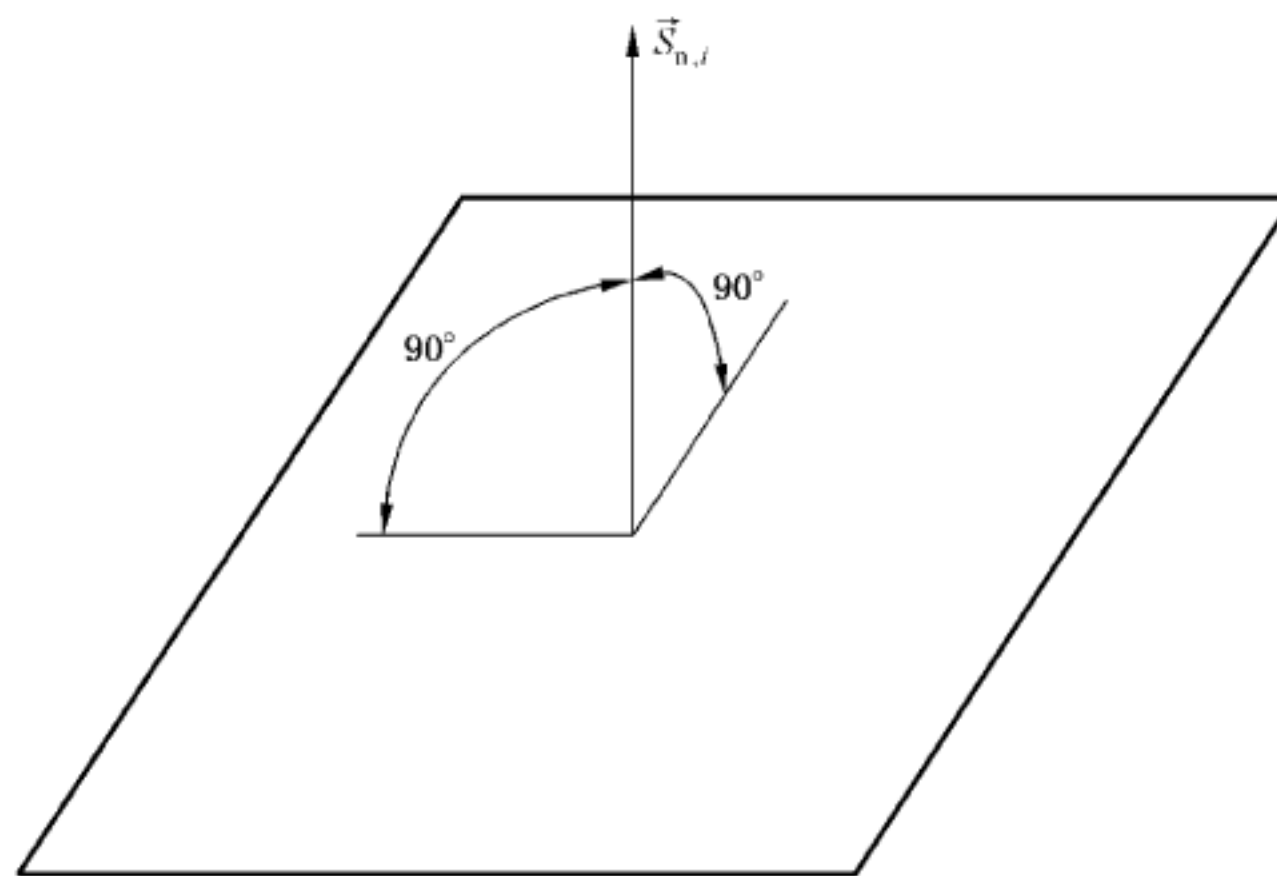


图 1 面单元 S_i 的方向

3.1.2 局部压力

局部压力 P_i 是指垂直作用于表面面单元的中心力 $F_{c,i}$ (见 3.1.5) 与手和手柄接触面积 S_i 的比, 见式(2)。

$$P_i = \frac{F_{c,i}}{S_i} \quad \dots\dots\dots(2)$$

当给出局部压力值时, 应同时给出表面面单元的面积。

注: 对于不同的操作者, 由于手的位置、使用的工具和任务的不同, 局部压力的范围通常在 $0 \text{ N/mm}^2 \sim 0.8 \text{ N/mm}^2$, 超出该压力范围会有痛感。

3.1.3 平均压力

机器或机器部件与手接触的表面平均压力按式(3)计算得出。

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \dots\dots\dots(3)$$

3.1.4 最大局部压力

最大局部压力 P_{max} ，是指测得的接触机器的手表面所受的最高压力值，按式(4)计算：

$$P_{max} = \max\{P_i\} \dots\dots\dots(4)$$

3.1.5 单元接触力

单元接触力由式(5)给出：

$$F_{c,i} = P_i \cdot S_i \dots\dots\dots(5)$$

式中：

P_i ——单元 i 的表面压力；

S_i ——单元 i 的面积(操作时手部皮肤与机器的接触面积)。

$F_{c,i}$ 的方向垂直于振动表面。

3.2 推/拉力

推力 F_{pu} 为指操作者的手远离肩部方向，作用于振动表面而又未被手表面耦合抵消的力。拉力 F_{pu} 为操作者手部向接近肩部方向作用于振动表面的力。(见图 2)

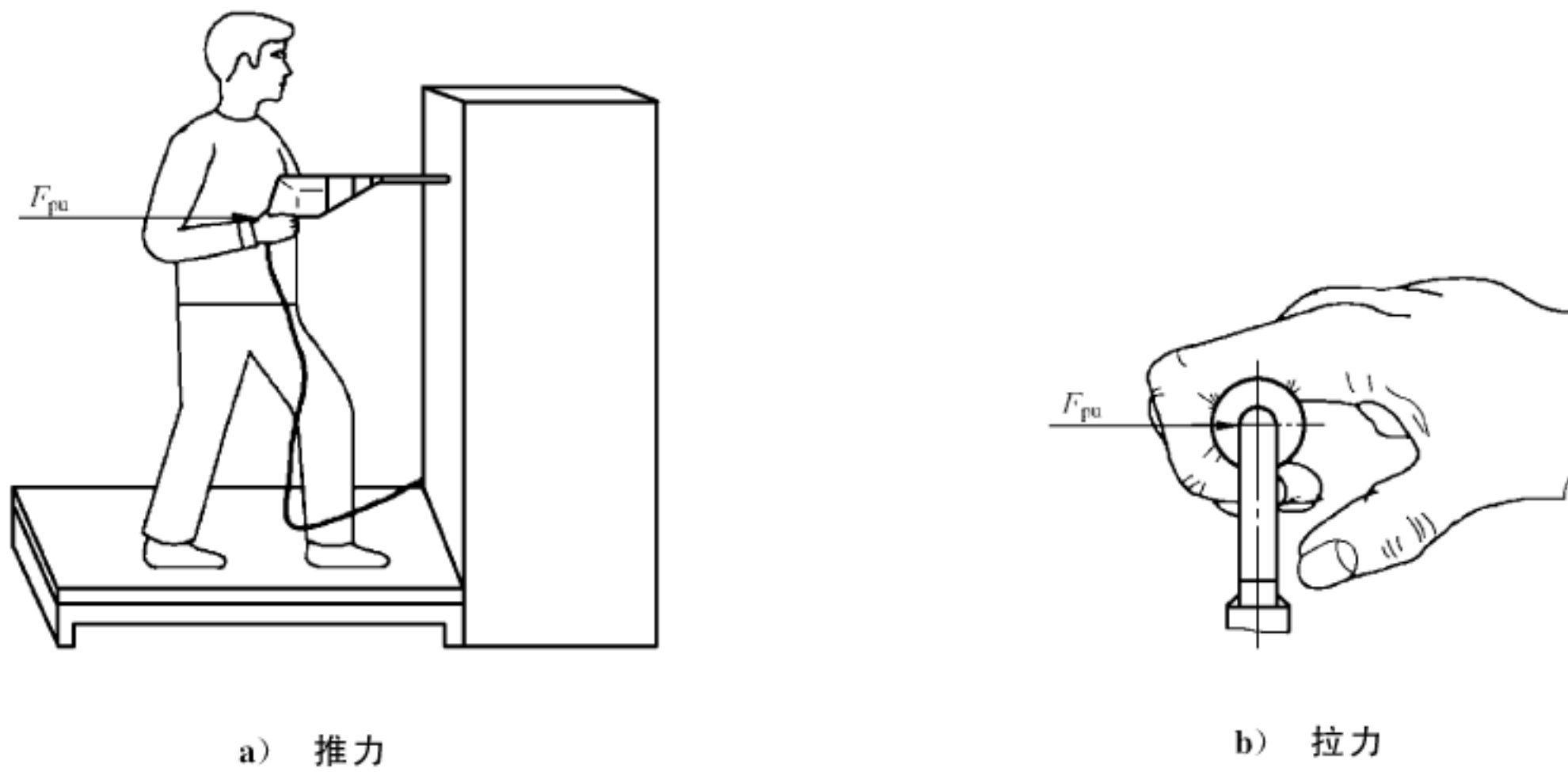


图 2 推力 F_{pu} 和拉力 F_{pu} 图示

注 1：在某些工况下，操作同时包含推力和拉力。推力和拉力作用于手不同部位，因此这两种力均用 F_{pu} 表示。

注 2：推力 F_{pu} 是非常重要的力，例如钻孔时的推力。

3.3 导向力

导向力 F_g 是指操作者用手沿着操作面板水平方向或者接近水平方向施加的与推力或拉力无关且不能被手表面耦合抵消的力。该力主要用于手握或移动机器、工件或操作杆(见图 3)。

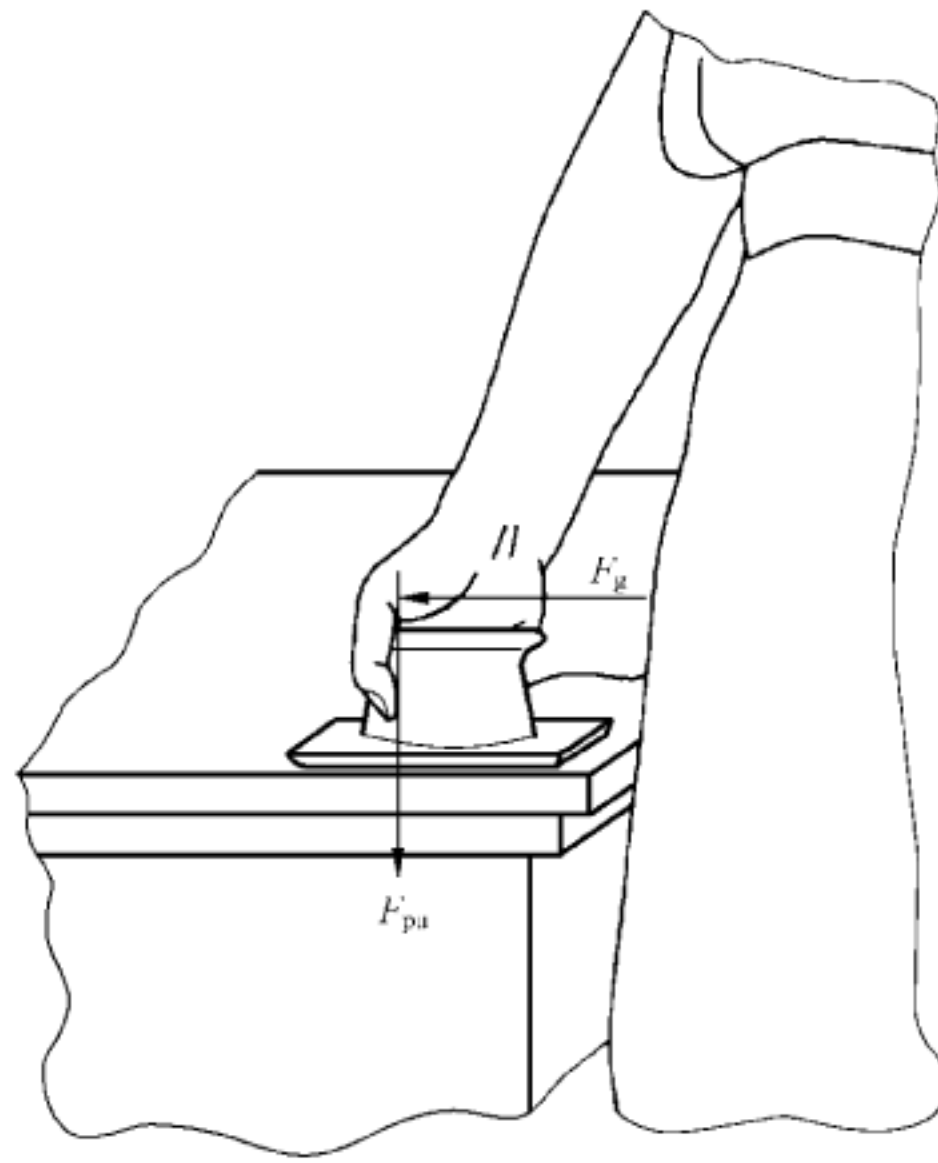


图 3 伴随推力 F_{pu} 的导向力 F_g 示例

注：当表面为水平面时，导向力 F_g 可能很小。

3.4 提升力

提升力 F_l 是指用于克服机器重量的力(见图 4)。

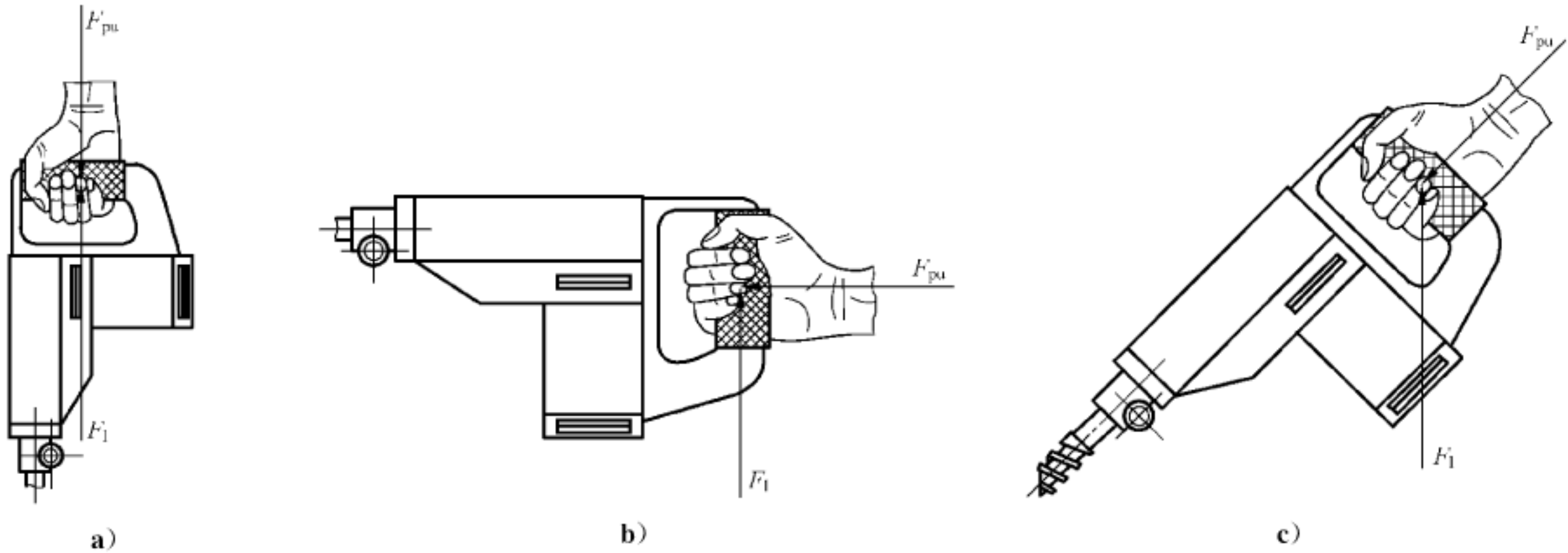
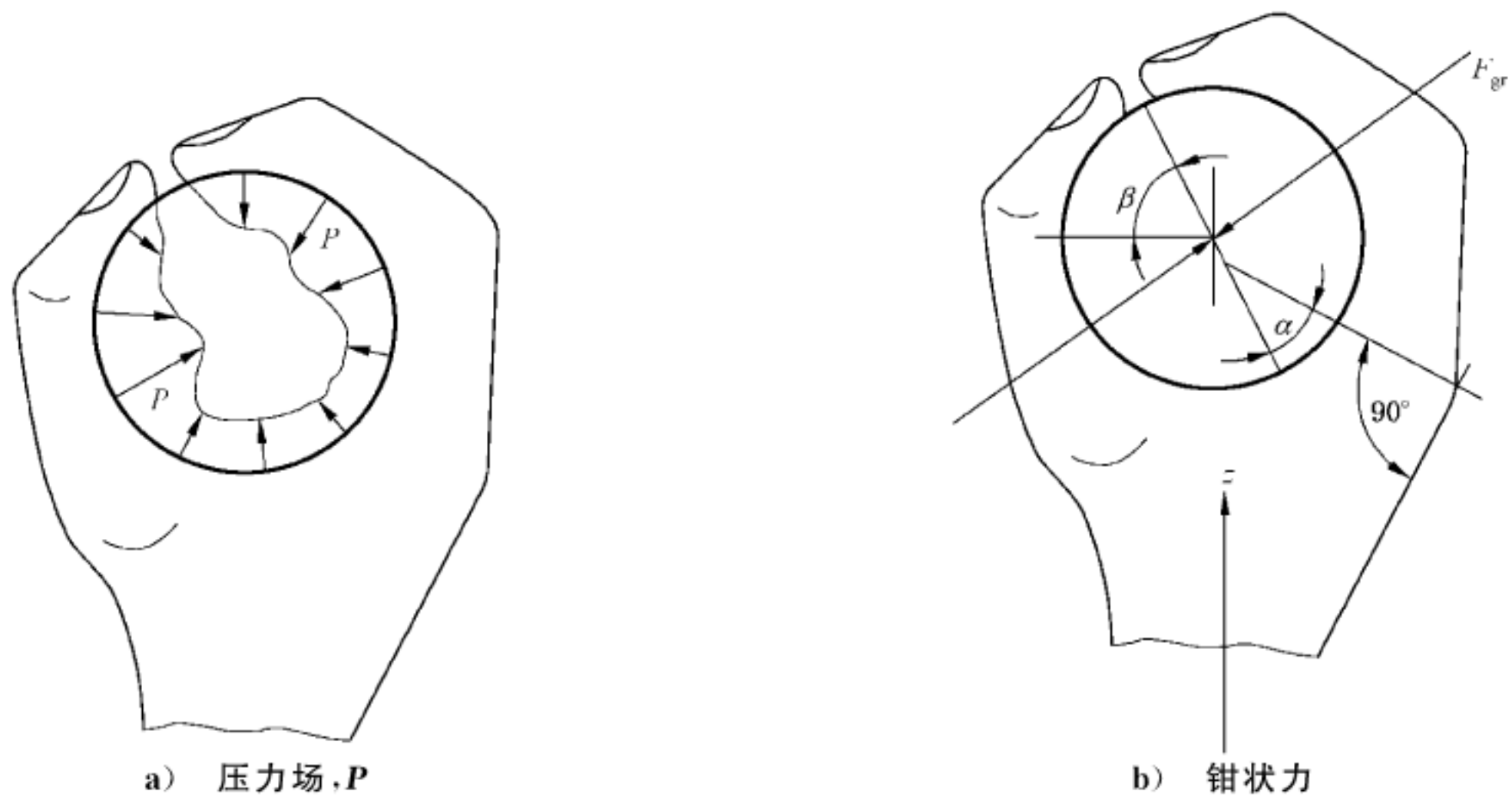


图 4 伴随推力 F_{pu} 的提升力 F_l 图例

注：在某些情况下，提升力 F_l 可能等于推力/拉力，如图 4a)所示。

3.5 握力

握力 F_{gr} 是指作用于手柄内部轴心方向的分力和的一半，不含推力/拉力或提升力。简单地说，握力也就是操作者的手握手柄时所施加的钳状力。作用于划分面的相对方向的握力，在手的内部相互抵消(见图 5)。



说明:

α ——手与划分面成的角;

β ——机器与划分面成的角。

注: z 轴,沿着小臂的方向。

图 5 以钳状力呈现的握力 F_{gr} 示例

注 1: 当操作者抓握圆形手柄时主要握力的方向如 ISO 8727 中所定义的,平行于 z 轴。

注 2: 因为抓握接触压力通常并不是均匀地分布在手柄周围,因此,重要的握力通常是所引用的轴或划分面的函数。最大或最小握力的方向通常取决于手柄的尺寸、手的尺寸和抓握姿势。为简单起见,在实验室研究中,按照惯例,通常测量或控制如图 5 b)中以 z 轴(小臂)方向上的握力。

3.6 进给力

进给力 F_f 为作用于机器外部的力(见图 6)。

注: 在图 6 中,进给力 F_f 等于推力 F_{pu1} 和 F_{pu2} 之和。而在图 2 a)中进给力 F_f 等于推力 F_{pu} 。

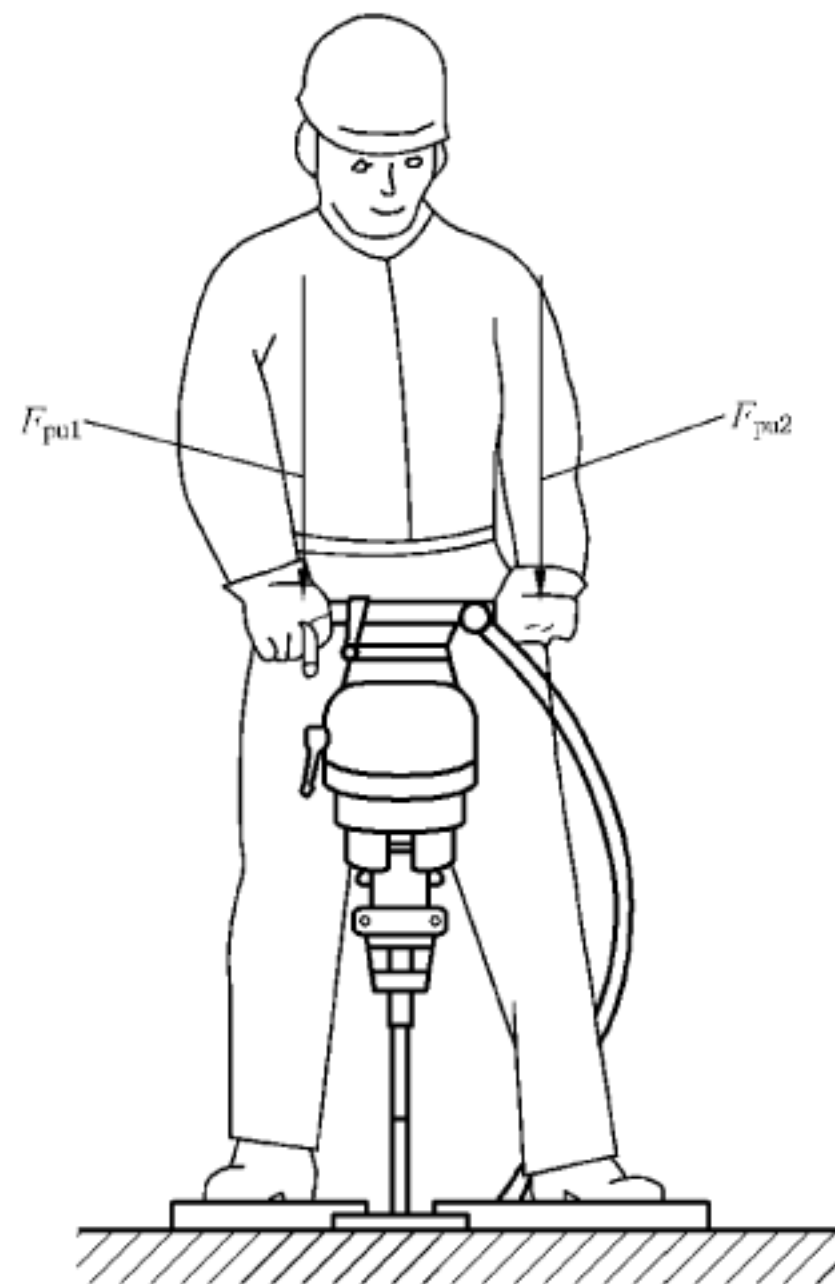


图 6 进给力 F_f 示例

3.7 接触力

通常,接触力 F_c 是指作用于手和振动表面之间的力。是通过接触面积接触力的合力单元(见 3.1.5)。接触力是既垂直于又相切于振动表面的矢量。由于测量困难,暂不考虑切向力。接触力表示的是压力的平均值而不包含平衡外部力矩的分布,力矩由环绕特定轴的扭力来表示(见 3.9)。当压力分布已知时,可以计算得出力矩和扭力。

本标准主要集中于这些接触力 F_c 的垂直分量,对于许多振动表面而言,主要是指那些影响振动向手传递的力(见图 7)。

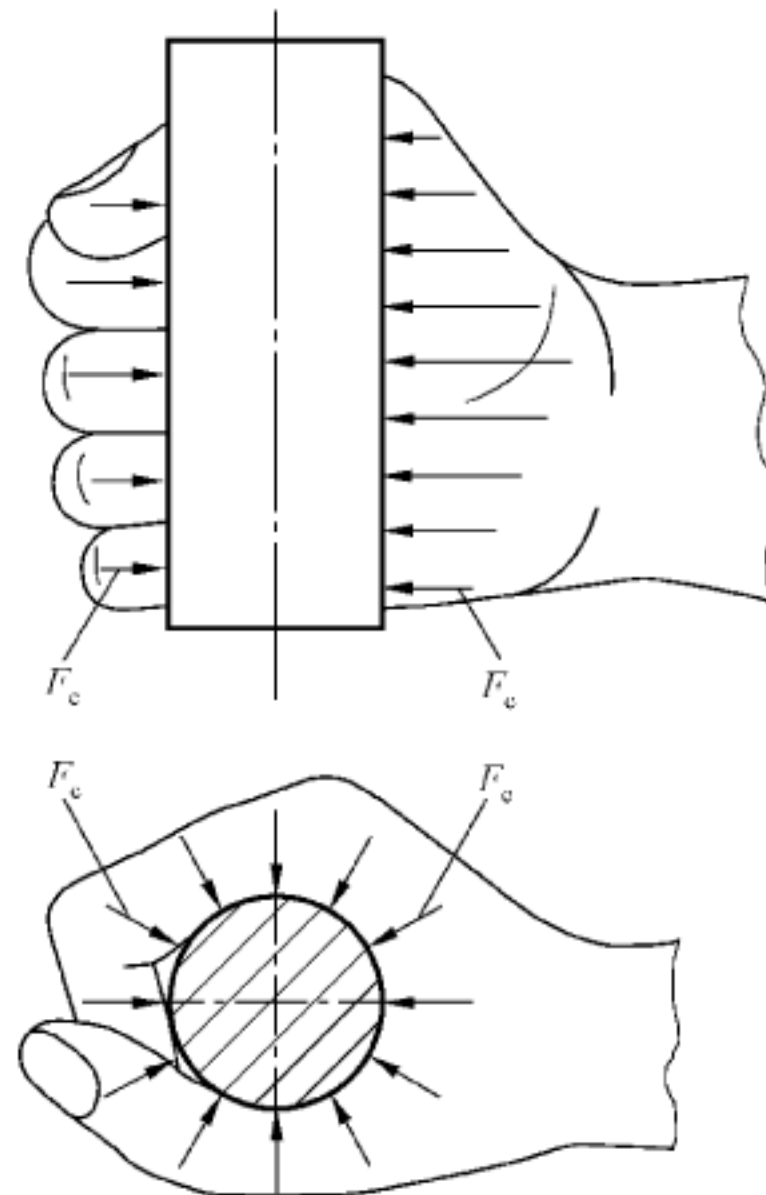


图 7 接触力 F_c 图示

接触力可以通过积分所测得的分布于手和手柄之间的压力确定。研究表明,总静接触力 F_c 与握力 F_{gr} 和推拉力 F_{pu} 呈线性关系,见式(6):

$$F_c = \delta F_{gr} + \gamma F_{pu} \dots\dots\dots (6)$$

式中的 δ 和 γ 是比例系数, F_{gr} 是指如图 5 所示的基于前臂 z 轴的握力。

注 1: 对于直径在 30 mm~50 mm 之间的圆柱形手柄,比例系数 δ 近似为 3,比例系数 γ 近似为 1。对于直径越小的手柄,其握力系数越大。

注 2: 对于不同几何形状和大小的手柄,以及当手指在大拇指上重叠时,上述关系会不同。

3.8 耦合力

耦合力是握力和推/拉力之和,按式(7)计算:

$$F_{coup} = F_{gr} + F_{pu} \dots\dots\dots (7)$$

注 1: 在本标准中,手臂系统对于机器或杠杆的耦合力只是简单地根据握力和推/拉力来计算。但理论上,耦合力也包含附录 A 中所描述的生物动力学力。

注 2: 一些研究发现不区分暴露于振动下的握力与推/拉力的影响的激烈程度,因此,这两个分量对于耦合力的权重是相同的。

注 3: 接触力要比耦合力复杂得多。

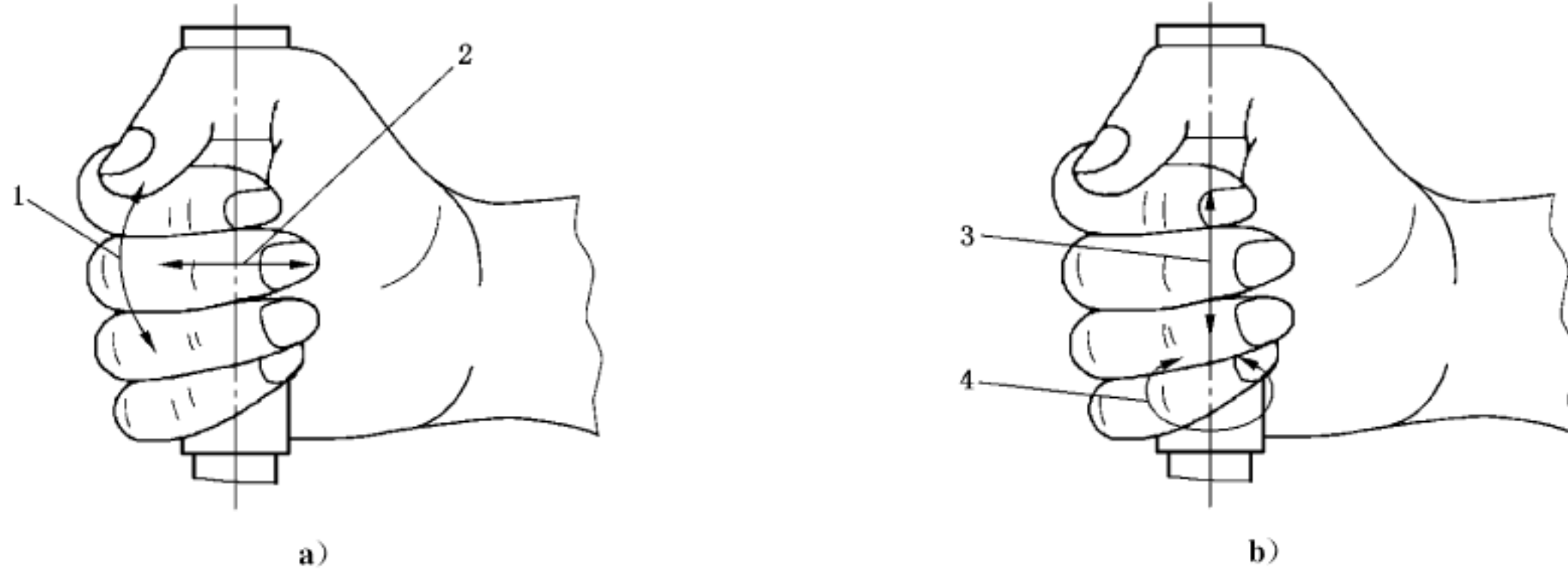
3.9 扭力和摩擦力

本标准不针对切线方向作用到手上的力。例如由于摩擦力而产生的扭矩形成的表面力。下面给出

的两个例子可解释这些力。

如图 8a)和图 8b)所示的力矩和扭矩,如果没有握力、推/拉力或提升力,就不可能产生力矩和扭力。

如图 8b)所示的摩擦力,如果没有握力、推/拉力或提升力,也不可能产生摩擦力。



说明:

- 1——力矩;
- 2——推/拉力;
- 3——摩擦;
- 4——扭力。

图 8 相对于手的扭力和摩擦力示例

附录 A

(资料性附录)

生物动力学效应对机器接触力的影响

A.1 生物动力学力

生物动力学力 F_{BD} , 是作用于人手臂系统和振动机器或工件界面, 对振动系统的动态反应。因此, 其大小主要取决于系统的表观质量和机器或工件的振动幅度。

A.2 测量和评价方法

技术上讲, 作用于手的生物动力学力 F_{BD} 可通过三个相互垂直的方向: (x_h, y_h, z_h) 计算得到的; 可以直接通过仪器对手柄或手套进行测量, 也可以通过机器手柄或手接触表面的传感器测量; 也可以测量所施加力的总和再通过高通滤波器 (>5 Hz) 分离得到。另一种替代方法是生物动力学力在每个方向上的分量可以通过使用系统相应方向上的表观质量或机械阻抗和机器加速度来确定。视情况不同, 可以分别由下列式 (A.1) 或式 (A.2) 来估算生物动力学力的近似值:

$$F_{BD}(\omega_i)_J \approx |M(\omega_i)|_J \cdot a(\omega_i)_J \dots\dots\dots (A.1)$$

$$F_{BD}(\omega_i)_J \approx |Z(\omega_i)|_J \cdot a(\omega_i)_J / \omega_i \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- a —— 机器加速度的均方根值;
- J —— 手协调度;
- M —— 表观质量;
- Z —— 机械阻抗分值;
- ω_i —— 第 i 个频谱成分的角频率。

生物动力学力每一个方向上的均方根值可由每个谱成分的角频率通过式 (A.3) 估算:

$$F_{BD,J} = \sqrt{\sum_i F_{BD}^2(\omega_i)_J} \dots\dots\dots (A.3)$$

A.3 生物动力学的基本特性

由于表观质量通常随着频率的增加而降低, 因此, 对于低频振动 (≤ 40 Hz) 的机器要比高频振动 (≥ 100 Hz) 的机器产生更大的生物动力学力。低频生物动力学力与一些施加在机器上的力相当。因为通常在 z_h 轴方向 (沿着前臂方向) 上的表观质量是三个正交轴上最高的一个, 因此在此方向的生物动力学力也最大。生物动力学力通常在机器振动主频段达到峰值。手臂系统的基础响应频率通常在 10 Hz~63 Hz 之间。如果一台机器的主频在此范围内, 生物动力学力就变得相当有意义。当频率小于 100 Hz 时, 抓握、正反握和推力所产生的生物动力学力主要分布在手掌中。这体现在 z_h 轴方向上的生物动力学力特别真实。然而, 在更高的频率, 生物动力学力分量在手这两个部分的分布是相当的。

附录 B

(资料性附录)

基于压力测量计算握力和推/拉力

B.1 一般规定

推/拉力、握力和耦合力可以通过抓握区域的几何形状以及局部压力的分布来计算。需要确定的是每一个传感器表面与握力轴之间的相关角。目前最佳的压力分布测试不需要插值。

当传感器的数量不足以覆盖手与抓握区接触的整个表面时,需要在传感器间增加插值。

B.2 推/拉力

推/拉力可由式(B.1)计算得到:

$$F_{pu} = \sum_i F_{pu,i} = \sum_i F_{c,i} \cos\alpha_i = \sum_i P_i S_i \cos\alpha_i \dots\dots\dots (B.1)$$

当进给力不在推/拉力方向上时应该计算推拉力方向上的合力。这种情况,一般用下式来定义实际推力 \vec{F}_{RP} :

$$\vec{F}_{RP} = \sum_i P_i S_i (\hat{i} \cos\alpha_i + \hat{j} \sin\alpha_i)$$

式中 \hat{i} 和 \hat{j} 均为坐标轴上定义的单位矢量。

注: \vec{F}_{RP} 是一个矢量,可以在垂直于手柄轴的平面上测量,并提供测试中操作者的姿态信息,该矢量方向随时间变化。

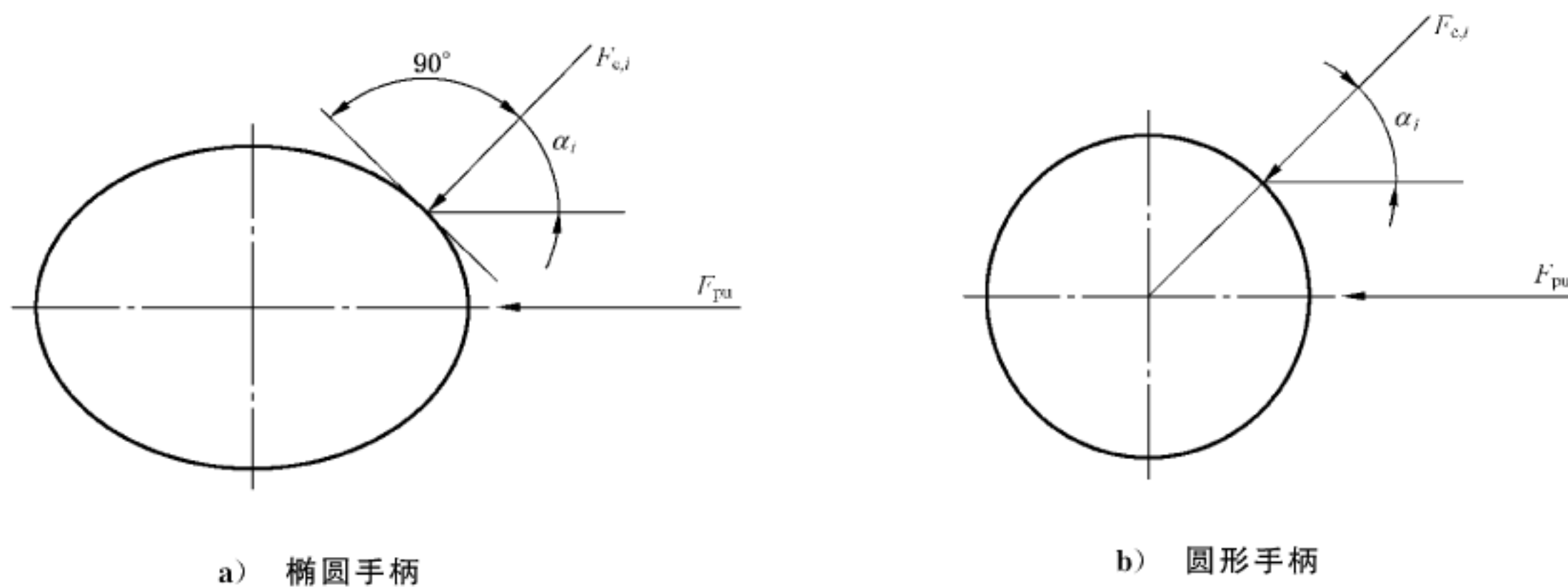


图 B.1 局部法向力与推/拉力轴之间的夹角

B.3 握力

含计算信息的握力方向见图 B.2。

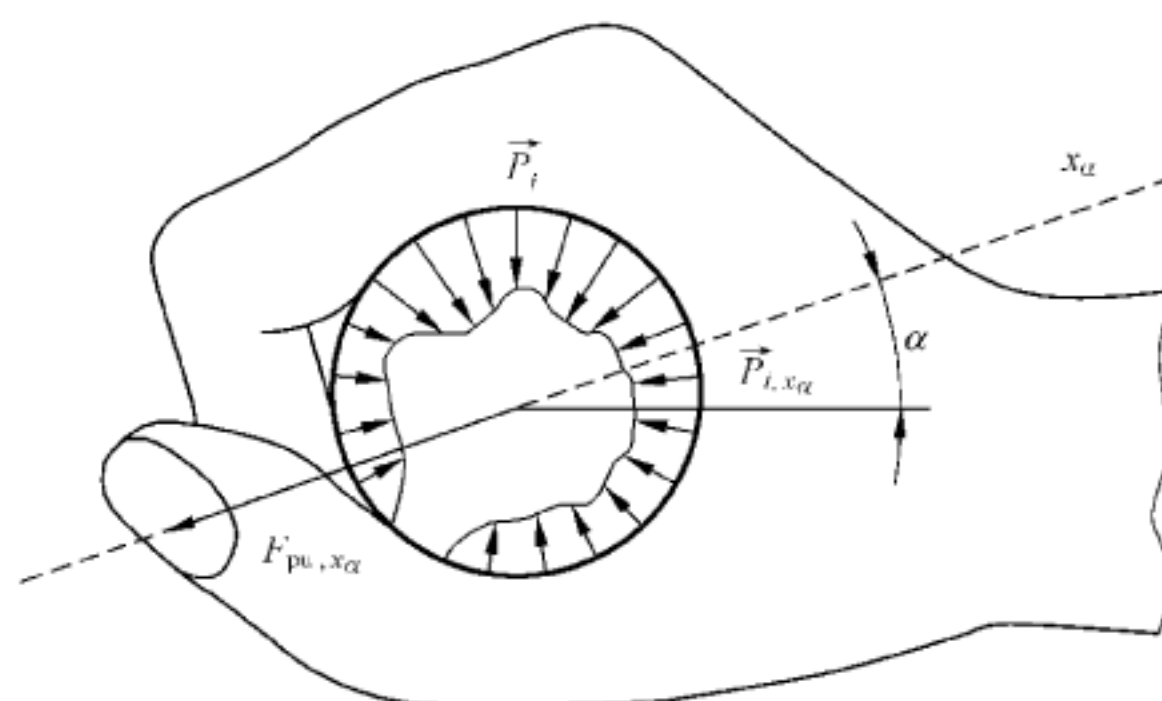


图 B.2 握力方向包含的计算信息

握力 F_{gr} 的计算过程如下,先计算 $F_{gr\alpha}$ 抓握动作所产生的握力沿着手柄周围所有可能的方向 x_α 产生的投影,按式(B.2)计算:

$$F_{gr\alpha} = \frac{1}{2} (\sum_i |\vec{P}_{i,x_\alpha}| - F_{pu,x_\alpha}) \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

x_α ——投影方向;

\vec{P}_{i,x_α} ——应用于第 i 个传感器上的力,沿着 x_α 轴上的投影;

F_{pu,x_α} ——推力沿 x_α 轴上的投影。

在此基础上:

- a) 这里,基于推力的握力 $F_{gr,pu}$ 被定义为握力 F_{gr} ,其方向是沿着推力矢量 \vec{F}_{RP} 的方向,在测试时推力矢量的方向是变化的,取决于操作者的姿势(见 B.2)。基于推力的握力 $F_{gr,pu}$,按式(B.3)计算:

$$F_{gr,pu} = \frac{1}{2} (\sum_i |\vec{P}_{i,x_{\alpha,pu}}| - F_{pu,x_{\alpha,pu}}) \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

式中, $x_{\alpha,pu}$ 是推力矢量 \vec{F}_{RP} 的方向。

- b) 最大握力由式(B.4)给出:

$$F_{gr} = \max_{0 \leq \alpha \leq 2\pi} (F_{gr,\alpha}) \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

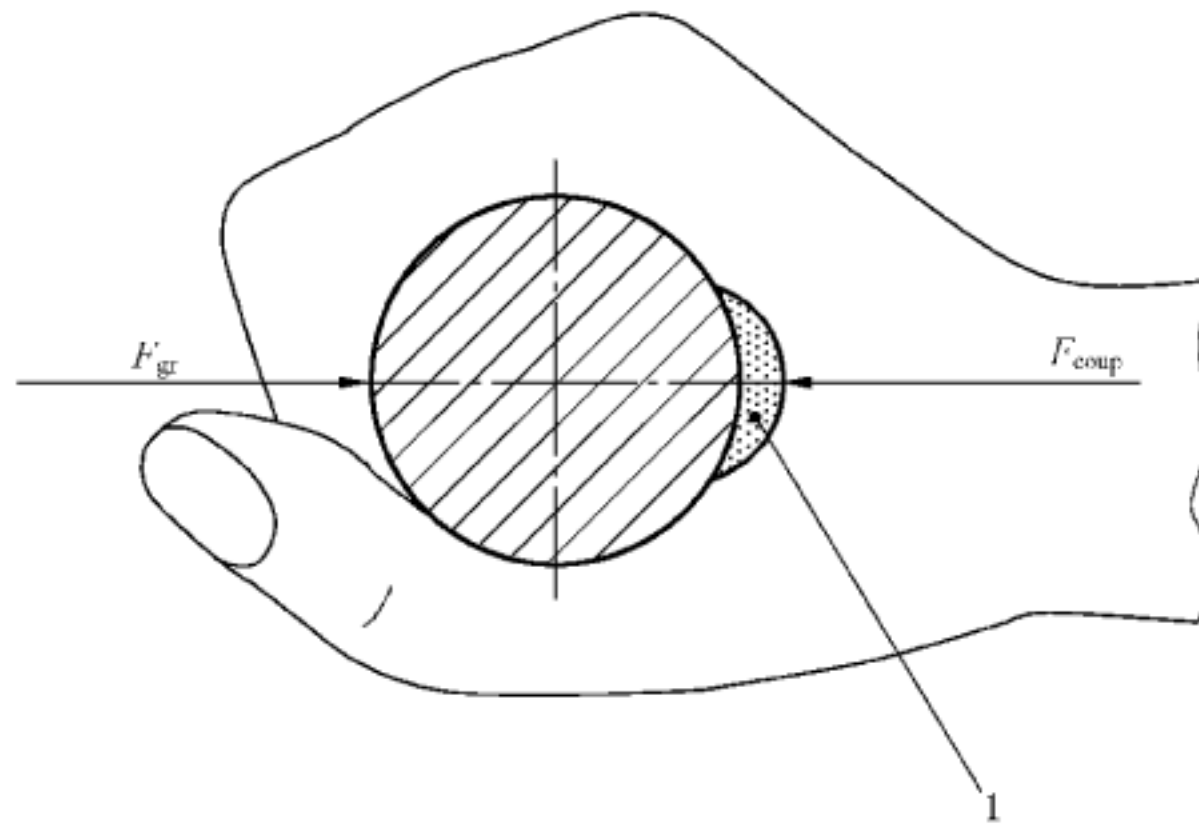
注: F_{pu,x_α} 和 $F_{pu,x_{\alpha,pu}}$ 是正数。

B.4 耦合力

耦合力 F_{coup} 按式(B.5)计算(见图 B.3):

$$F_{coup} = F_{pu} + F_{gr} = \frac{1}{2} (F_{c,pu} + F_{pu}) = \frac{1}{2} \sum_i P_i S_i (|\cos\alpha_i| + \cos\alpha_i) \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

测量耦合力一种可能的方案如图 B.3。



说明：

1——传感器。

图 B.3 测试耦合力 F_{coup} 的示例

附录 C

(资料性附录)

测量过程和测量结果的处理

C.1 一般规定

在实际测量中,接触力无法完全测量到。由于测量的局限性,有必要确定最重要的矢量,例如推/拉力、握力和压力。

测量用仪器应保证对人体损害最小而又不会改变机器的动态响应。

当评价所暴露的振动时,最好同时测定振动和耦合参数。由于这些参数测定的复杂性,建议在相同条件下不同时间段多次测量。

测量系统应该校正(参见附录 E)。

测量系统在执行测量前、后均应做检查。

在测量期间,身体姿势、工作条件和操作条件应尽可能记录下来。

C.2 测量推/拉力

对于许多机器来说,推/拉力的主方向是沿着前臂轴心的方向如图 2、图 4 所示。

有两种基本的测量技术:

——直接方法,将传感器安装在手和振动表面之间,如图 B.3 所示。

——间接方法,测量操作者或机器的合力,例如使用受力平台,如图 2 a)所示。

间接的方法仅适用于操作者是静止的,或仅用一只手,或两只手用力均衡的情况。

C.3 握力测量

握力的测量有两种基本的测试技术:

——直接方法将传感器安装在手指和振动表面之间;

——间接方法,第一种是通过测量手掌和振动表面之间的耦合力来计算握力;第二种是通过测量推/拉力,通过计算的结果来得到握力。

C.4 皮肤表面压力测量

压力传感器既可以使用双面粘合剂直接安装在抓握区域,也可以安装在手套的外部,当安装在手套外部时,应尽可能将传感器固定在期望出现压力峰值的部位。

C.5 测量结果处理——时间关系曲线图

推荐记录频率低于 5 Hz 的力或压力的时间历程。其中的力或压力是指操作者所承受的那部分。

对于动态的力或压力,应提供至少三倍于振动主频的频率范围内的力或压力幅值大小。

C.6 测量结果处理——平均法

当需要用单一参数描述随时间变化的力或压力时，宜用测量力的绝对值的压力的平均值。在机器运行的任何阶段都可以对暴露于手传振动中的操作人员进行测量。一般情况下，测量的持续时间宜尽可能长，一般不小于 8 s。应按式(C.1)和式(C.2)分别计算力和压力的平均值：

$$\bar{F} = \frac{1}{T} \int_0^T |F(t)| dt \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

$$\bar{P} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

T ——测量持续时间。

注：计算握力时， $F(t)$ 始终为正数。

C.7 报告中应包含的内容

可能的话，报告中应至少包含下列内容：

- a) 一般性信息：
 - 公司和客户；
 - 测量目的；
 - 评价日期；
 - 个人暴露评价；
 - 执行测量和评估的人员；
- b) 工作场所的环境条件：
 - 测量的位置；
 - 温度(例如：环境，振动表面，测量表面)；
 - 湿度；
- c) 任务描述：
 - 工作过程详尽的分步描述；
 - 测量方向；
 - 手柄、振动表面和手的运动方向；
 - 抓握条件；
 - 操作者的姿势(例如：相关影像资料)；
- d) 人体测量：
 - 操作的手；
 - 手的尺寸(长度、宽度、中指长度)；
- e) 振源：
 - 机器和插入工具；
 - 机器的技术描述；
 - 类型和型号代码；
 - 机龄和维护条件；
 - 手持机器、手握工件或控制杠杆的重量；
 - 手的抓握类型；

- 机器动力源；
- 动力工具的主频；
- 插入工具类别和型号；
- 使用的材料或工件；
- f) 仪器：
 - 仪器详情；
 - 溯源性校准；
 - 最近校准测试时间；
 - 功能测试的结果；
- g) 力或压力测试条件：
 - 测试方法描述；
 - 测量方向；
 - 固定传感器的方法；
 - 操作条件；
- h) 测量结果：
 - 测量得的力或压力；
 - 测量持续时间(duration)；
 - 测得的力或压力时间历程；
 - 测量不确定度。

附 录 D
(资料性附录)
测量仪器的推荐参数

D.1 测力仪器

下面给出了用于检测推/拉力 F_{pu} 的测量仪器的推荐参数:

- 适用于测量所要求力的方向;
- 最小的测力范围 200 N,并带有可调节校准;
- 最小分辨率不大于测量范围最大值的 2%;
- 工作频率范围不大于 5 Hz;
- 传感器厚度小于 10 mm;
- 符合人体工程学,对人体损害最小;
- 其他测量不确定度不大于测量范围最大值的 10%;
- 指示装置能够显示力绝对值的平均值或压力的平均值。

下面给出用于检测握力 F_{gr} 的测量仪器的推荐参数:

- 最小测量范围不大于 100 N;
- 最小分辨率不大于测量范围最大值的 2%;
- 工作频率范围不大于 5 Hz;
- 传感器厚度小于 10 mm;
- 符合人体工程学,对人体损害最小;
- 其他测量不确定度不大于测量范围最大值的 10%;
- 指示装置能够显示力绝对值的平均值或压力的平均值。

注:在某些情况下,需要考虑温度对传感器会有影响。

D.2 局部压力测量仪器

用于评价局部压力 P_i 的测量系统的推荐参数如下:

- 符合人体工程学,对人体损害最小;
- 传感器的表面尺寸不大于 11 mm×11 mm;
- 传感器厚度小于 2 mm;
- 测量范围不大于 0.3 N/mm²;
- 最小分辨率不大于测量范围最大值的 2%;
- 不确定度(随机偏差):小于测量范围最大值的 10%;
- 经历一个完整的周期,从零至最大量程再回到零,迟滞小于满量程的 15%;
- 施加核定载荷 5 min 后,其漂移小于 10%;
- 最小工作频率范围大于 5 Hz;
- 相当于法向力的 30%的切向力载荷时,载荷横向灵敏度的绝对偏差应小于 10%;
- 当对传感器 25%表面施加力时,部分加载于传感器的偏载灵敏度的绝对偏差小于 30%。

D.3 不同测量仪器间的比较

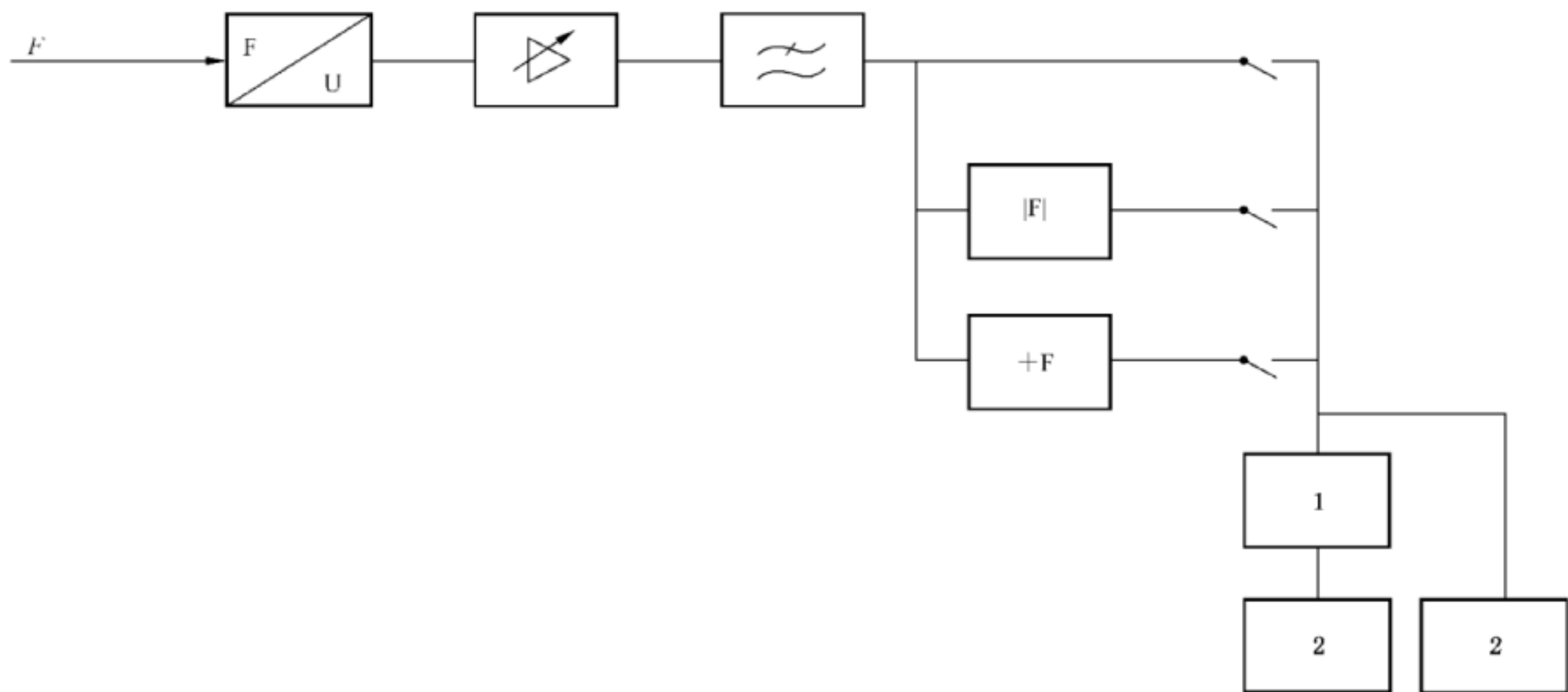
不同工具的比较见表 D.1。

表 D.1 测量仪器的推荐参数对比表

	测量力的仪器(见 D.1)		测量压力的仪器(见 D.2)		
	推/拉力	握力	推/拉力	握力	压力
最小测量范围	≤200 N	≤100 N	≤200 N	≤100 N	≤0.3 N/mm ²
测量最大值的最小分辨率/%	2	2	2	2	2
工作频率范围/Hz	≤5	≤5	≤5	≤5	≤5
测量不确定因素(读数的%)	±10	±10	±20	±20	±10
传感器最大厚度/mm	10	10	2	2	2
最小受限尺寸/mm	—	—	—	—	11×11
最大迟滞/%	—	—	—	—	15

D.4 测试案例

使用力或压力传感器进行测量的方框图如图 D.1 所示。



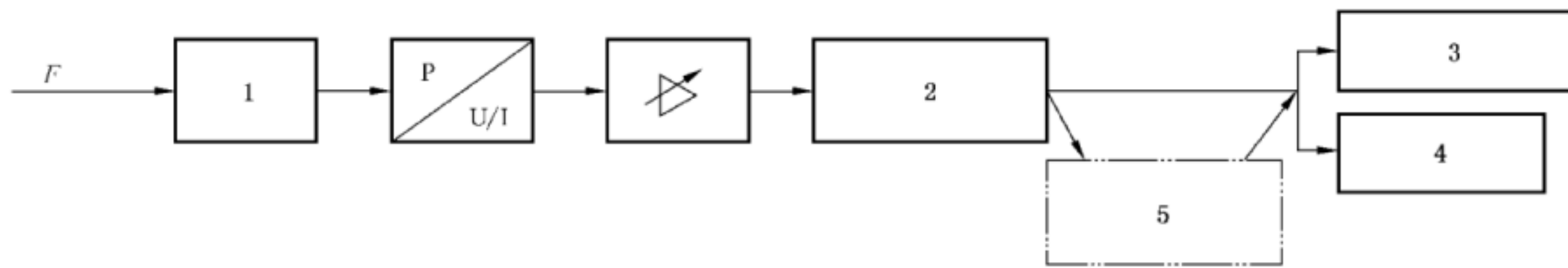
说明:

- 1——平均记录(average recorder);
- 2——(屏幕)显示。

图 D.1 使用力或压力传感器测量推/拉力或握力的方框图

注 1: 可以通过使用力传感器(如:基于应变计的变形)或压力传感器(如:基于电容或电阻系统)测量力。

采用液压系统进行测试的框图如图 D.2 所示:



说明：

- 1——ALP(作动液压垫)；
- 2——均值探测器,均方根探测器；
- 3——显示器；
- 4——记录仪；
- 5——微处理器。

图 D.2 使用电子液压测力仪测量推/拉力或握力的方框图

注 2：耦合力测定原理如下：操作者通过手施加到振动工具表面的耦合力，改变了填充有不可压缩介质的活性液压垫的压力。然后，液压变化传送至压力传感器的振动膜。传感器即传出与作动液压垫产生的压力成比例的瞬时电压或电流信号。直流电压或电流信号经过放大，测试并显示出来。测量的结果可以存储下来。作动液压垫和压力传感器共同构成一个二级力的传感器。

D.5 传感器的校准

研究显示在测量中一些压力传感器的灵敏度会发生改变，因此在使用前和使用后均宜对传感器进行校准。

附 录 E
(资料性附录)
校准与参考方法

E.1 力传感器校准

实践证明校准时以 100 N 的静态力作为负载是最佳的。由于使用中用到许多不同类型的传感器,通常也使用传感器最大测量值的 80%~90%作为负载以建立传感器最佳线性。对于握力,需额外增加 50 N 的负载。测量点在传感器的中心。

注:某些情况下,有必要考虑校准和测量之间的温度偏差。

E.2 压力传感器校准

将传感器放置在橡胶膜和平滑固体表面之间校准压力传感器。馈入压缩空气以便通过橡胶膜将压力均匀地分布在传感器上。可以将压力传感器校准到 1 N/mm^2 。空气压力可以通过一个精度为 0.01 N/mm^2 的压力计测得。通过将研究范围内不同压力值施加到传感器画出传感器电压-压力校准曲线图。

E.3 比较不同测力仪器的参考方法

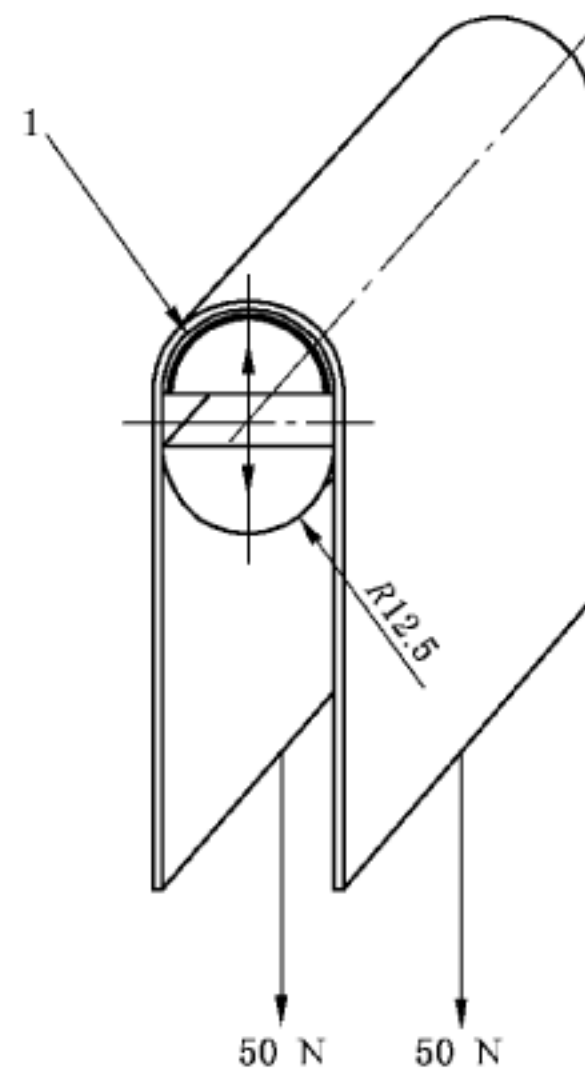
图 E.1 给出了安装在手柄的力传感器。不同的测量仪器(如应变原件、压力传感器等)被固定在手柄的一侧。覆盖在待校准仪器上的材料一段固定在手柄边缘上,并在材料的两端(on the one end)施加 50 N 的力。材料的宽度应与待校准的传感器的宽度相适应。

E.4 比较不同测力仪器的其他方法

负载的主要施力位置可能会产生不均匀的响应,如果采用特殊设计的话,推荐检查三个不同的受力点。使用负载作用于测量的中心点和测量两侧之间的中心点可以提供较好的测试灵敏度。

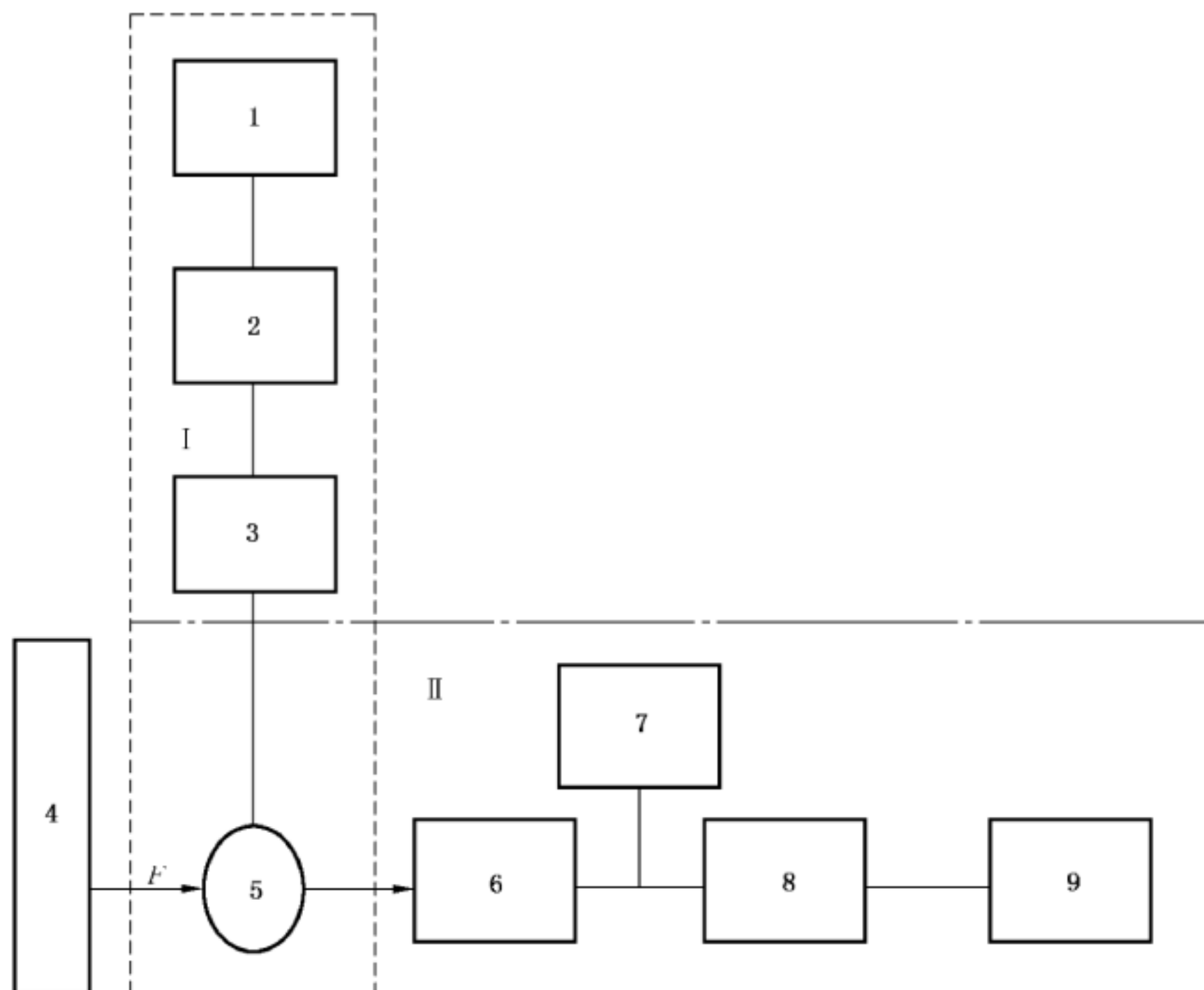
E.5 电子液压测力仪校准

电子液压测力仪可以使用如图 E.2 由力源、张力负载单元和数字重量指示器的校准系统进行校准。将作动液压垫放置在负载的平直固体表面与张力负载单元之间。所施加的负载形成的压力会引起电动液压测力仪的作动液压垫压力变化。其通过测力仪的数字压力计显示的压力值可以与由张力负载单元测得的、并通过数字重量指示器中显示的负载值相比较。分别施加 0 N~300 N 之间的负载,并画出相应的负载-压力校准曲线图。校准需建立两级力传感器线性函数。



说明：
1——传感器。

图 E.1 用于比较施加于手柄的不同测力系统示例



说明：
I —— 电子液压测力仪；
II —— 校准系统；
1 —— 压力, P , 显示器；
2 —— 数字压力计；
3 —— 压力传感器；
4 —— 力源；
5 —— ALP(作动液压垫)；
6 —— 张力负载单元；
7 —— 电源适配器；
8 —— 数字重量指示器；
9 —— 力, F 显示器。

图 E.2 电子液压测力仪校准系统示例

参 考 文 献

- [1] GB/T 14790(所有部分) 机械振动 人体暴露于手传振动的测量与评价
- [2] GB/T 30575 机械振动与冲击 人体暴露 生物动力学坐标系
- [3] DIN 45679, Mechanische Schwingungen—Messung und Bewertung der Greif-und Andruckkräfte zur Beurteilung der Schwingungsbelastung des Hand-Arm-Systems
- [4] CRONJÄGER, L., et al. Auswirkung der Ankopplungsintensität zwischen Hand und Handgriff vibrierender Arbeitsgeräte auf die Schwingungsbelastung und-beanspruchung des Hand-Arm-Systems. Endbericht zum Forschungsvorhaben BMFT/AuT 01 HK 595 8, 1990
- [5] DANTIGNY, F. Caractérisation de capteurs de pression pour la mesure des forces de poussée et de préhension exercées sur une poignée d'outil. INRS Document de Travail MAV-DT-374/FD, 1998
- [6] DANTIGNY, F. Mesures des forces de poussée et de préhension exercées sur une poignée d'outil. INRS Document de Travail MAV—DT-375/FD, 1998
- [7] DONG, R. G., WELCOME, D. W., and WU, J. Z. Estimation of the biodynamic force acting at the interface between hand and vibrating surface. *Ind. Health* 43:516-526
- [8] DONG, R. G., WU, J. Z., MCDOWELL, T. W., WELCOME, D. E., SCHOPPER, A. W. Distribution of mechanical impedance at the fingers and the palm of human hand. *Journal of Biomechanics* 38 (5):1165-1175.
- [9] DUPUIS, H., SCHEFFER, M. Wirkung von Greif-und Andruckkraft unter Schwingungsbelastung—Teilprojekt II. Forschungsbericht Hand-Arm-Schwingungen III, Schriftenreihe des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin, 1992
- [10] EDGREN, C. S., REDWIN, R. G., IRWIN, C. B. (2004). Gripping force vectors for varying handle diameters and hand sizes. *HUM FACTORS* 46 (2):244-251
- [11] HARAZIN, B., SZLAPA, P. Measurement of coupling forces applied to vibration tools in industry. Proceeding of the 34th Meeting of the UK Group of Human Response to Vibration, Dunton, Essex, England, 1999, pp.111-117
- [12] KAULBARS, U. Measurement and evaluation of coupling forces when using hand-held power tools. *Central European Journal of Public Health*, No.1, vol.4 (JHEMI vol.40), 1996, pp.57-58
- [13] MARCOTTE, P., ALDIEN, Y., BOILEAU, P.-É., RAKHEJA, S., BOUTIN, J. Effect of handle size and hand-handle contact force on the biodynamic response of the hand-arm system under zh-axis vibration. *Journal of Sound and Vibration*, 283(3), 2005, pp.1071-1092
- [14] RIEDEL, S. Consideration of grip and push forces for the assessment of vibration exposure. *Central European Journal of Public Health*, vol.3 (JHEMI vol.39), 1995, pp.139-141
- [15] WASSERMAN, J., LOGSTON, D. and WASSERMAN, D. The use of a resistive pressure sensor to assess glove effects on tool transmitted vibration. Proceeding of the 10th International Conference on Hand-Arm Vibration, Las Vegas, USA
- [16] WELCOME, D. E., RAKHEJA, S., DONG, R. G., WU, J. Z., SCHOPPER, A. W. Relationship between the grip, push and contact forces between the hand and a tool handle. *International Journal of Industrial Ergonomics* 34(6), 2004, pp.507-518

