



中华人民共和国国家标准

GB/T 19740—2005/ISO 10068:1998

机械振动与冲击 人体手臂系统驱动 点的自由机械阻抗

Mechanical vibration and shock—Free, Mechanical impedance of the human
hand-arm system at the driving point

(ISO 10068:1998, IDT)

2005-05-13 发布

2005-10-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

前 言

本标准等同采用 ISO 10068:1998(E)《机械振动与冲击 人体手臂系统驱动点的自由机械阻抗》(英文版)。

为了便于使用,对于 ISO 10068:1998(E)本标准做了如下编辑性修改:

- a) 用“本标准”代替“本国际标准”;
- b) 用小数点符号“.”代替小数点符号“,”;
- c) 删除了 ISO 10068:1998(E)的前言;
- d) “ISO ××××”改为“GB/T ××××”;
- e) 表题与图题格式按 GB/T 1.1 进行修改。

本标准的附录 A 为规范性附录,附录 B、附录 C、附录 D 和附录 E 为资料性附录。

本标准由国家安全生产监督管理总局提出。

本标准由全国机械振动与冲击标准化技术委员会归口。

本标准负责起草单位:吉林省安全科学技术研究院。

本标准参加起草单位:长春工业大学。

本标准主要起草人:肖建民、郑凡颖、韩莲英、曲生、郭伟、王大鹏。

引 言

人体手臂系统的机械阻抗描述对施加于人手的振动力引起的手臂系统的运动响应。例如,这种振动力在操作振动的手持式动力工具时产生。在进行以下设计及开发时要求给出手臂系统的机械阻抗:

- a) 减振和防振装置;
- b) 用来测量动力工具手柄振动的试验环。

对机械阻抗的了解可以对传向人手的机械力进行评价,并有助于对手臂系统的生物动力学特性进行描述,人体手臂系统机械阻抗标准化值的确定,将有助于有效的减振装置和防振装置及有意义的试验方法的开发。

当手握住振动物体时,手臂系统的响应取决于多种因素。最重要的因素如下:

- 按手臂系统考虑的振动方向;
- 被握物体的几何形状;
- 由手施加到物体上的力;
- 姿势;
- 肌肉状态;
- 人体测量学特性。

由手施加的力通常用握力和推进力描述,后者通常称为“推力”、“推进力”或“压力”。

本标准中,驱动点的自由机械阻抗用来描述人体手臂系统对手的强迫运动的动态响应,用频率的函数表示。

自由阻抗值根据不同的调查者对活体男性受试人群的阻抗测量结果导出。目前还缺乏来自独立资料的有效数据描述女性手臂系统阻抗。

在正常同等条件下独立进行的研究中报告的阻抗的平均值间的未说明的差异,已按标准化的男性手臂阻抗的形式给出。测量值的综合也已完成(见附录 F)。作为频率函数的阻抗的模和相位的最可能的值借助上下包络进行限定,它包含了每一频率的全部可接受数据的平均值。包络线根据局部立方样条函数建立,并规定了每一频率的男性手臂阻抗的可接受的值的范围。可接受数据的计权的均值和均值的标准差规定为频率的函数,并对本标准全部应用给出了目标值。

本标准给出的作为频率函数的阻抗的模或相位与涉及受试人员的单一调查中测量的均值在全部频率上没有精确的对应关系。

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 手臂系统驱动点的自由机械阻抗 1

5 阻抗值的适用性 8

6 应用 8

6.1 手臂系统为负载时弹性材料传递率的评价 8

6.2 手臂系统模型 8

6.3 手臂系统吸收能量评估 8

附录 A(规范性附录) 手臂系统驱动点的自由机械阻抗的 x_h 和 z_h 分量参考值 10

附录 B(资料性附录) 1/3 倍频程中心频率手臂阻抗值 11

附录 C(资料性附录) 模型 1 13

附录 D(资料性附录) 模型 2 18

附录 E(资料性附录) 模型 3 23

参考文献 28

机械振动与冲击 人体手臂系统驱动点的自由机械阻抗

1 范围

本标准描述了男性人体手臂系统驱动点的自由机械阻抗。用模和相位表示的自由阻抗的值,按三个正交平移激励的方向给出,激励方向与 GB/T 14790 和 ISO 8727 规定的手的基本中心坐标系的 x_h 、 y_h 和 z_h 轴一致。自由阻抗的 x_h 、 y_h 和 z_h 分量作为频率的函数按频率范围从 10 Hz 至 500 Hz,对应于特定的手臂姿势、握力和推进力、手柄的直径和激励的强度分别给出。在三个方向上的自由阻抗分量被视为独立存在(见附录 F)。

本标准可用来确定手臂系统在驱动点的自由机械阻抗的典型值,这些数据适用于特定条件下的男性。对每个阻抗分量,自由阻抗在每一频率用三个值确定,以反映对男性手臂的测量值的范围。上限和下限值规定了最可能的阻抗值的范围,中间值表示人体数据的总体平均值,从而规定了对于全部应用的目标值。本标准暂可适用于女性。

作为频率的函数,相对于规定的握力和推进力的驱动点的自由机械阻抗的参考值在附录 A 中给出。这些阻抗值用于确定手臂系统为负载时弹性材料的振动传递率。

用来对自由阻抗值建模的手臂系统的数学表达式也在附录 C 至 E 中给出。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准。然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 14790 人体手传振动的测量与评价方法(GB/T 14790—1993,eqv ISO 5349:1986)

ISO 8727:1997 机械振动与冲击 人体暴露 生物动力学坐标系

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

自由阻抗 free impedance

在频率 f 施加的周期性激励力 $F(f)$,与在同一频率引起的振动速度 $v(f)$ 的复数比,对所有其他联结点而言,系统是自由的,即施加的外力为零(见 ISO 2041)。

$$Z(f) = F(f)/v(f)$$

注 1: 自由阻抗一般为复数,即具有实部和虚部,也可用模和相位来表示。

注 2: 本标准根据在同一点,即振动传向手臂系统的点,测量的力和速度为基础制定。

注 3: 手和臂被视为一个系统,其在相互垂直的三个轴向的平移振动是独立的。

注 4: 对人体手臂系统的动态响应的其他的描述方法(例如,视在质量)已在科技文献中应用。

4 手臂系统驱动点的自由机械阻抗

手臂系统的驱动点的自由机械阻抗的模和相位,在表 1 至表 3 及在图 1 至图 3(作为说明)中在三个正交的激励方向上作为频率的函数给出。激励的方向根据 GB/T 14790 和 ISO 8727 规定的基本中心坐标系中的 x_h 、 y_h 和 z_h 轴确定。每个表和图都包含了相对于每个运动方向的每一频率的模和相位

三个值。这些数值用三位有效数字给出是为了计算方便,并不反映对手臂阻抗研究的精度。对表 1 至表 3 中未列出的频率,允许使用线性插值法获得需要的阻抗值,对应于 1/3 倍频程的中心频率的阻抗值在附录 B 中给出。

每一频率的上下限值包含了选用的全部数据的平均值,并在图 1 至图 3 用连续实线表示。每一频率的中间值,在图 1 至图 3 中用虚线表示,给出了全部选定数据的计权平均估算值,从而形成了全部应用的目标值。平均(目标)值的标准差也在表 1 至表 3 中给出。

应用本标准在每一频率的上下限之间产生/使用的阻抗值,符合本标准的要求,并代表了在某一频率或某些频率上男性的手臂机械阻抗。

如果应用仅在某些频率符合本标准要求,则在这种应用的所有描述中都应表明这些频率。

表 1 在 x_h 方向手臂系统驱动点的自由机械阻抗值

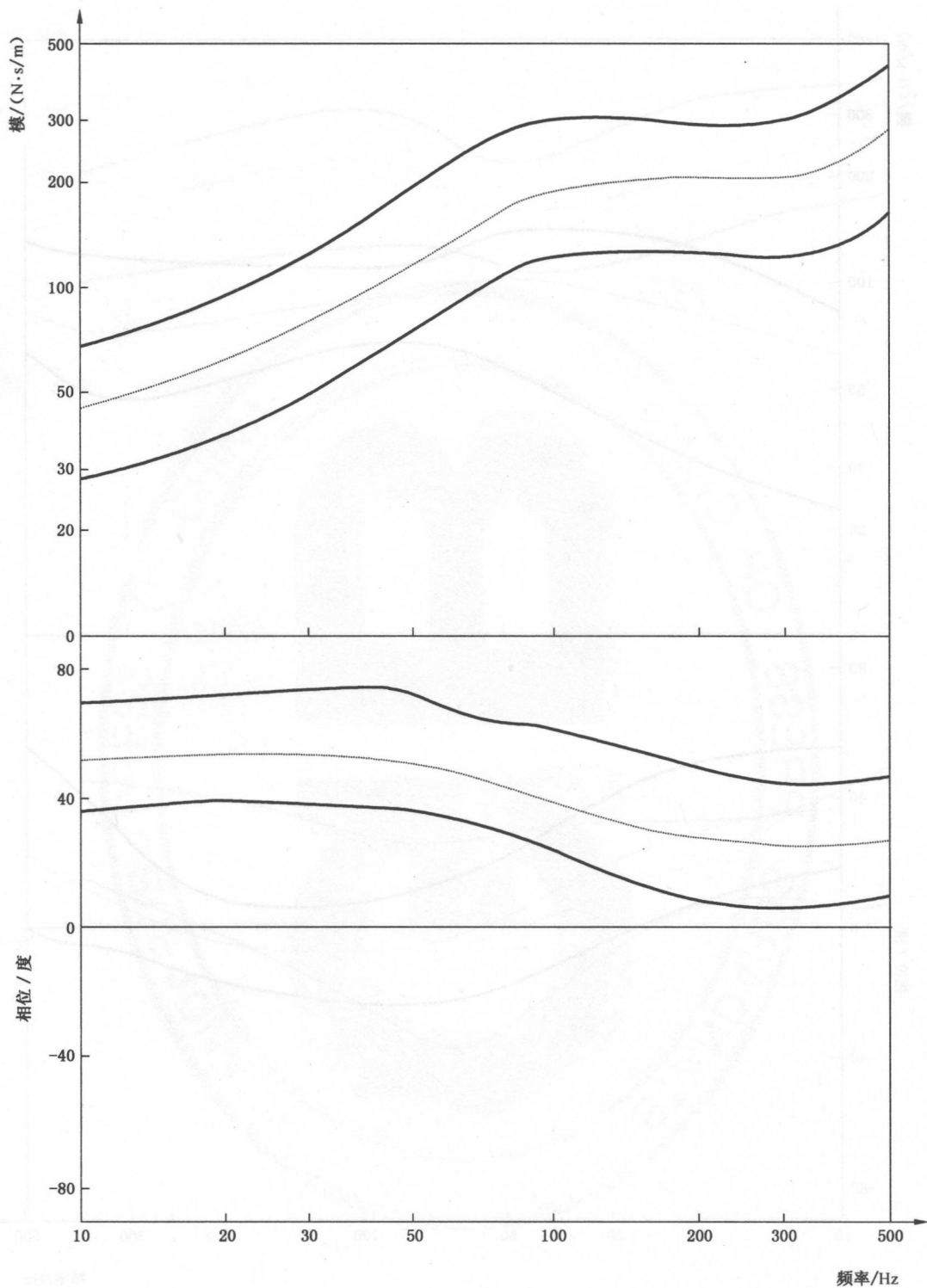
频率/Hz	模/(N·s/m)				相位/度			
	下限	平均值	标准差	上限	下限	平均值	标准差	上限
10	24	38	13	59	36	53	14	68
15	33	50	12	69	38	53	8	70
20	36	64	14	84	38	54	8	71
25	43	72	19	104	38	57	12	72
30	49	81	22	120	38	55	12	73
35	55	88	25	137	37	53	12	73
40	62	95	28	154	37	53	10	73
45	68	104	29	171	37	52	10	72
50	74	112	31	189	36	51	10	70
60	86	132	38	223	34	50	10	67
70	93	153	46	255	32	46	10	64
80	109	172	54	280	29	43	11	63
90	115	186	54	291	26	40	11	62
100	120	199	56	300	23	37	11	60
125	124	211	58	302	18	31	10	57
150	124	219	61	297	13	27	11	54
175	122	217	59	291	10	25	14	50
200	120	208	50	287	7	23	14	48
250	119	189	44	287	6	24	13	45
300	119	187	54	297	6	25	13	44
350	124	203	51	321	6	25	13	44
400	134	224	55	360	8	26	12	45
450	150	265	90	405	9	27	12	46
500	168	292	111	442	10	29	12	47

表 2 在 y_h 方向手臂系统驱动点的自由机械阻抗值

频率/Hz	模/(N·s/m)				相位/度			
	下限	平均值	标准差	上限	下限	平均值	标准差	上限
10	21	55	28	80	20	39	12	55
15	26	62	23	105	11	32	17	52
20	30	86	27	119	6	31	15	49
25	35	96	34	128	1	23	15	44
30	39	101	36	132	−3	15	15	39
35	43	103	33	134	−7	11	15	35
40	48	102	29	135	−12	7	15	30
45	51	102	26	133	−15	3	13	26
50	55	101	23	130	−18	−1	12	22
60	60	93	16	119	−21	−4	11	17
70	63	89	14	110	−22	−5	10	13
80	64	86	12	106	−23	−5	10	10
90	64	86	13	106	−24	−7	11	9
100	63	86	15	106	−23	−9	11	7
125	60	80	16	106	−22	−11	10	6
150	55	76	17	107	−20	−10	7	6
175	51	73	18	107	−17	−8	7	7
200	49	71	20	108	−16	−6	7	9
250	45	67	23	110	−11	0	7	17
300	44	66	24	113	−8	7	12	27
350	46	69	22	115	−5	12	14	37
400	51	71	19	118	−4	16	15	45
450	58	75	19	125	−2	20	18	52
500	66	79	20	134	1	22	20	56

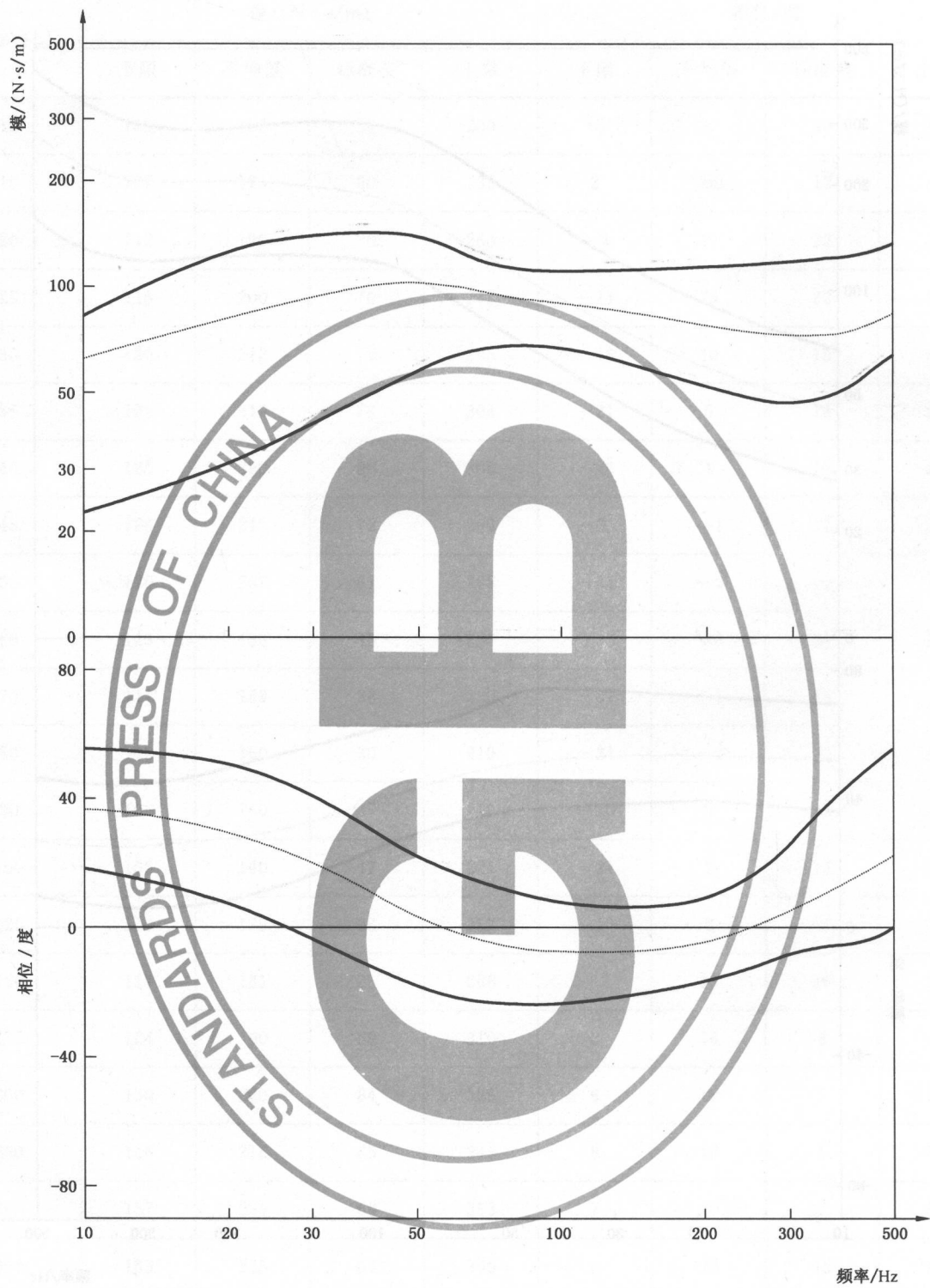
表 3 在 z_h 方向手臂系统驱动点的自由机械阻抗值

频率/Hz	模/(N·s/m)				相位/度			
	下限	平均值	标准差	上限	下限	平均值	标准差	上限
10	100	153	34	200	15	30	10	44
15	107	175	60	235	2	25	12	41
20	112	190	70	260	−4	19	22	38
25	116	200	70	275	−11	15	22	34
30	120	212	75	295	−16	10	18	31
35	122	219	79	304	−21	5	16	28
40	125	220	80	305	−26	1	16	27
45	126	215	72	299	−30	−1	17	25
50	126	207	61	288	−33	−4	18	25
60	123	186	40	257	−38	−6	23	25
70	117	169	28	230	−37	−5	24	26
80	109	160	30	219	−31	−3	22	28
90	106	160	37	219	−26	0	19	29
100	105	160	47	227	−21	2	15	30
125	110	175	65	257	−10	8	11	31
150	117	181	85	288	−2	13	10	31
175	124	190	89	310	2	16	8	31
200	130	200	84	325	6	18	7	32
250	146	216	65	345	8	19	5	33
300	157	229	68	353	7	20	7	35
350	163	238	67	359	6	20	12	39
400	169	246	63	365	5	20	14	43
450	175	255	63	370	6	21	13	47
500	183	265	64	377	7	23	13	49



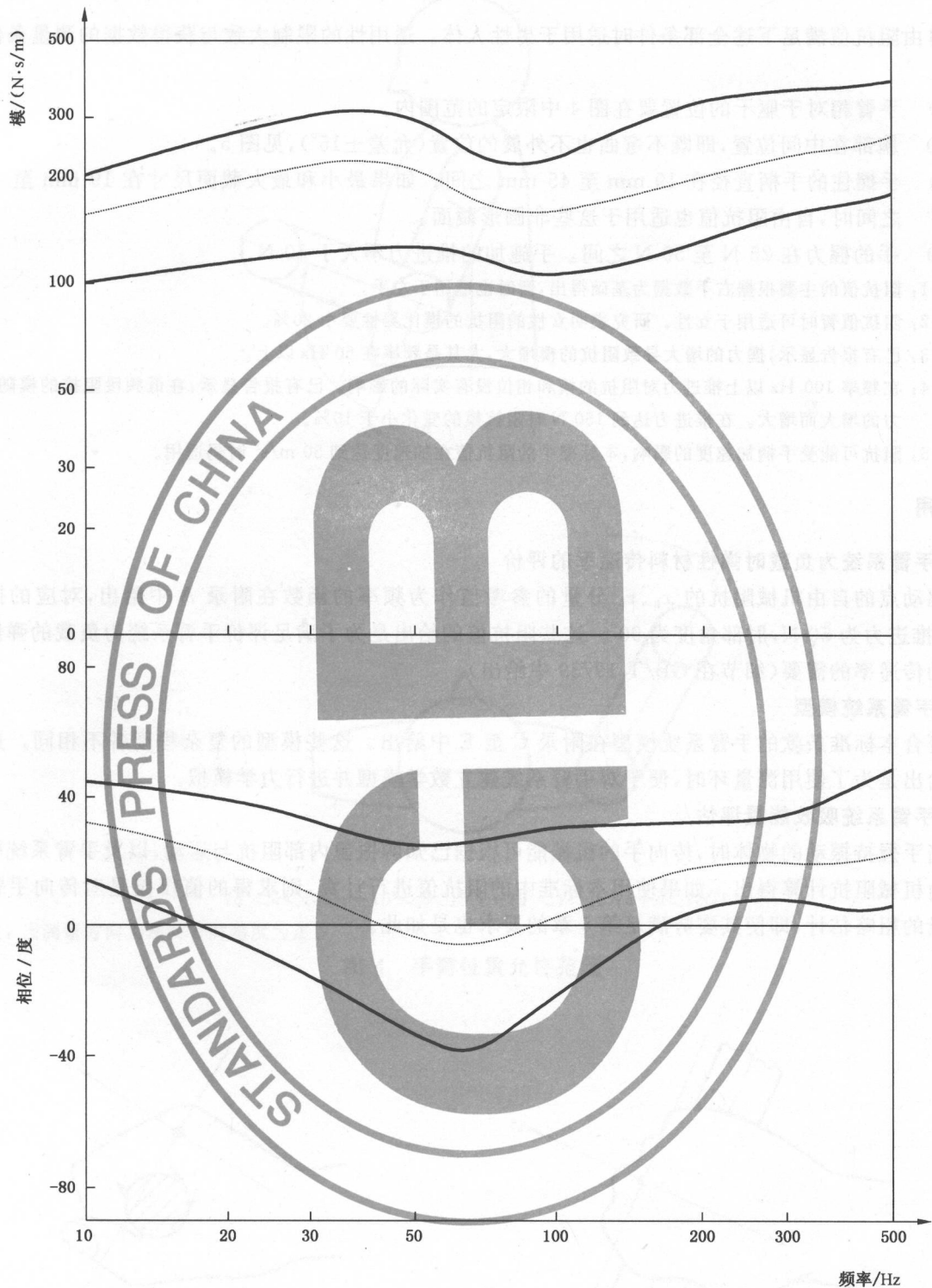
注：曲线的含义见第4章。

图 1 x_h 方向手臂系统驱动点的自由机械阻抗值



注：曲线的含义见第4章。

图2 y_h 方向手臂系统驱动点的自由机械阻抗值



注：曲线的含义见第4章。

图3 z_h 方向手臂系统驱动点的自由机械阻抗值

5 阻抗值的适用性

自由阻抗值满足下述全部条件时适用于男性人体。适用性的限制大致与获得数据的测量条件范围一致。

- a) 手臂相对于躯干的位置要在图 4 中限定的范围内。
- b) 腕部在中间位置,即既不弯曲也不外展的位置(允差 $\pm 15^\circ$),见图 5。
- c) 手握住的手柄直径在 19 mm 至 45 mm 之间。如果最小和最大截面尺寸在 19 mm 至 45 mm 之间时,自由阻抗值也适用于这些非圆形截面。
- d) 手的握力在 25 N 至 50 N 之间。手施加的推进力不大于 50 N。

注 1: 阻抗值的主要根据右手数据为基础得出,暂时也适用于左手。

注 2: 阻抗值暂时可适用于女性。研究表明女性的阻抗的模比男性要小 20%。

注 3: 已有报告显示,握力的增大导致阻抗的模增大,尤其是频率在 50 Hz 以上。

注 4: 在频率 100 Hz 以上推进力对阻抗的模和相位没有实际的影响。已有报告显示,在低频段阻抗的模随着推进力的增大而增大。在推进力达到 150 N 时阻抗模的变化小于 10%。

注 5: 阻抗可能受手柄加速度的影响,本标准中的阻抗值在加速度达到 50 m/s^2 时仍适用。

6 应用

6.1 手臂系统为负载时弹性材料传递率的评价

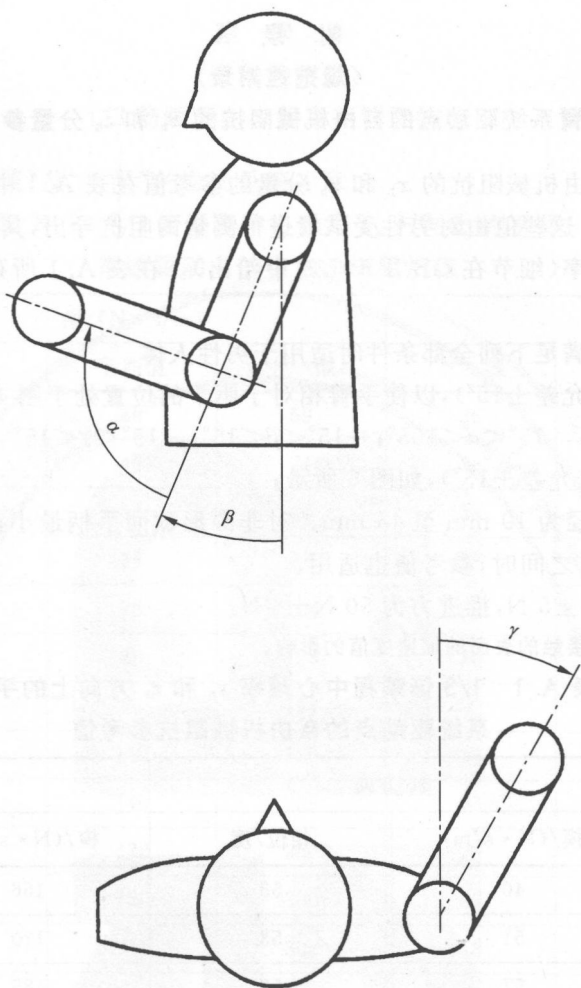
驱动点的自由机械阻抗的 x_h 、 z_h 分量的参考值作为频率的函数在附录 A 中给出,对应的握力为 30 N,推进力为 50 N,肘部角度为 90° 。这些阻抗值的给出是为了满足评价手臂系统为负载的弹性材料的振动传递率的需要(细节在 GB/T 19739 中给出)。

6.2 手臂系统模型

符合本标准条款的手臂系统模型在附录 C 至 E 中给出。这些模型的复杂程度各不相同。这些附录的给出是为了使用测量环时,便于对手臂系统建立数学模型并进行力学模拟。

6.3 手臂系统吸收能量评估

当手握持振动的物体时,传向手的机械能可根据已知的振源内部阻抗与运动,以及手臂系统驱动点的自由机械阻抗计算得出。如果使用本标准中的阻抗值进行计算,则求得的价值仅仅是对传向手臂系统的能量的粗略估计,即使其姿势满足第 5 章的要求也是如此。



$75^{\circ} < \alpha < 105^{\circ}; -15^{\circ} < \beta < 15^{\circ}; -15^{\circ} < \gamma < 15^{\circ}; \alpha + \beta < 120^{\circ}$

注：当测量方向为顺时针时角度为正。

图 4 手臂位置允许范围

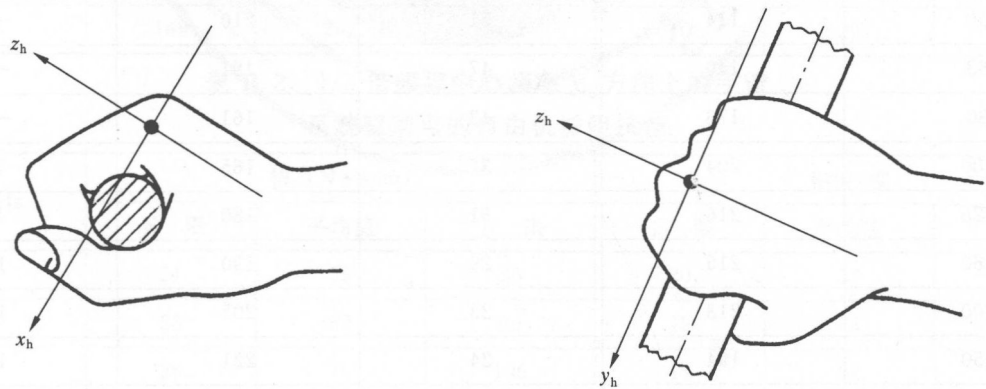


图 5 腕部位置

附录 A
(规范性附录)

手臂系统驱动点的自由机械阻抗的 x_h 和 z_h 分量参考值

手臂系统驱动点的自由机械阻抗的 x_h 和 z_h 分量的参考值在表 A.1 中作为频率的函数给出,频率范围从 10 Hz 至 500 Hz。这些值由对男性受试者进行测量的阻抗导出,其目的在于评价手臂系统为阻抗时弹性材料的振动传递率(细节在 GB/T 19739 中给出)。在表 A.1 所列频率之外的阻抗值允许用线性插值法求出。

自由阻抗的参考值在满足下列全部条件时适用于男性人体。

- a) 肘部角度为 90° (允差 $\pm 15^\circ$),以使手臂相对于躯干的位置处于图 4 限定的范围内,即 $75^\circ < \alpha < 105^\circ; -15^\circ < \beta < 15^\circ; -15^\circ < \gamma < 15^\circ$
- b) 腕部在中间位置(允差 $\pm 15^\circ$),如图 5 所示;
- c) 手握持手柄的直径为 19 mm 至 45 mm。对非圆形截面手柄最小截面尺寸和最大截面尺寸在 19 mm 至 45 mm 之间时,参考值也适用。
- d) 手的握力为 $30\text{ N} \pm 5\text{ N}$,推进力为 $50\text{ N} \pm 8\text{ N}$ 。

注:手臂阻抗可能受与手接触的表面的加速度值的影响。

表 A.1 1/3 倍频程中心频率 x_h 和 z_h 方向上的手臂系统驱动点的自由机械阻抗参考值

频率/Hz	x_h 方向		z_h 方向	
	模/(N·s/m)	相位/度	模/(N·s/m)	相位/度
10	40	53	156	30
12.5	51	53	170	28
16	57	53	185	24
20	67	54	198	19
25	76	57	210	15
31.5	87	53	225	8
40	98	53	228	1
50	114	51	210	-4
63	140	47	181	-6
80	173	43	161	-3
100	204	37	165	2
125	216	31	180	8
160	215	29	190	14
200	213	23	205	18
250	214	24	221	19
315	208	25	236	20
400	229	26	251	20
500	297	29	270	23

附录 B
(资料性附录)

1/3 倍频程中心频率手臂阻抗值

关于术语“下限”、“平均值”及“上限”的含义见第 4 章。

表 B.1 1/3 倍频程中心频率 x_h 方向上的手臂
系统驱动点的自由机械阻抗值

频率/Hz	模/(N·s/m)			相位/度		
	下 限	平均值	上 限	下 限	平均值	上 限
10	24	38	59	36	53	68
12.5	30	49	71	38	53	69
16	33	54	80	38	53	70
20	36	64	84	38	54	71
25	43	72	104	38	57	72
31.5	51	80	125	38	53	73
40	62	95	154	37	53	73
50	74	112	189	36	51	70
63	90	140	233	33	47	66
80	109	172	280	29	43	63
100	120	199	300	23	37	60
125	124	211	302	18	31	57
160	123	210	294	11	29	52
200	120	208	287	7	23	48
250	119	189	287	6	24	45
315	120	207	302	6	25	44
400	134	224	360	8	26	45
500	168	292	442	10	29	47

表 B.2 1/3 倍频程中心频率 y_h 方向上的手臂
系统驱动点的自由机械阻抗值

频率/Hz	模/(N·s/m)			相位/度		
	下 限	平均值	上 限	下 限	平均值	上 限
10	21	55	80	20	39	55
12.5	23	62	90	15	35	54
16	26	70	106	11	32	52
20	30	86	119	6	31	49
25	35	96	128	1	23	44
31.5	40	88	132	-6	18	39

表 B. 2(续)

频率/Hz	模/(N·s/m)			相位/度		
	下 限	平均值	上 限	下 限	平均值	上 限
40	48	102	135	−12	7	30
50	55	101	130	−18	−1	22
63	61	93	117	−22	−2	16
80	64	86	106	−23	−5	10
100	63	86	106	−23	−9	7
125	60	80	106	−22	−11	6
160	54	77	107	−19	−7	7
200	49	71	108	−16	−6	9
250	45	67	110	−11	0	17
315	45	69	113	−7	8	30
400	51	71	118	−4	16	45
500	66	79	134	1	22	56

表 B. 3 1/3 倍频程中心频率 z_h 方向上的手臂
系统驱动点的自由机械阻抗值

频率/Hz	模/(N·s/m)			相位/度		
	下 限	平均值	上 限	下 限	平均值	上 限
10	100	153	200	15	30	44
12.5	104	165	220	10	28	42
16	108	180	241	2	24	40
20	112	190	260	−4	19	38
25	116	200	275	−11	15	34
31.5	121	215	297	−18	8	30
40	125	220	305	−26	1	27
50	126	207	288	−3	−4	25
63	122	181	247	−38	−6	25
80	109	160	219	−31	−3	28
100	105	160	227	−21	2	30
125	110	175	257	−10	8	31
160	120	185	298	0	14	31
200	130	200	325	6	18	32
250	146	216	345	8	19	33
315	160	231	355	7	20	36
400	169	246	365	5	20	43
500	183	265	377	7	23	49

附录 C
(资料性附录)
模型 1

本模型对三个方向均采用相同的一般结构(图 C.1)。列在表 C.1 中模型参数的不同值用于在每个方向获得图 C.2 至 C.4 中所示的阻抗值。

在这个三自由度的模型中,质量、弹簧和阻尼与手臂系统中的生理结构没有对应的关系。更小的模型质量在更靠近运动传入模型的点(见图 C.1 中的 F),这一点在手上选取。

表 C.1 模型参数值

参数	单位	振动方向		
		x_h	y_h	z_h
m_1	kg	0.026 7	0.008 6	0.029 9
m_2	kg	0.486	0.356 5	0.662 3
m_3	kg	3.095 2	3.246 2	2.902 3
k_1	N/m	4 368	2.709×10^4	533 5
k_2	N/m	132.0	300.0	2.994×10^5
k_3	N/m	1 565	6 415	2 495
c_1	N · s/m	207.5	68.00	227.5
c_2	N · s/m	18.93	51.75	380.6
c_3	N · s/m	9.10	30.78	30.30