

手套掌部振动传递率测量影响因素的实验研究与分析

洪雪花

吉林省安全科学技术研究院

DOI:10.12238/pe.v1i2.6486

[摘要] 通过实验室方法测量手套掌部振动传递率,即采取在1/3倍频程处、振动中心频率范围25Hz~1250Hz的振动,对防振手套从手柄到手掌部位的传递率的实验室测量方法,以确定其是否符合防振手套标准,同时得出数据分析及报告,即当手套中防振材料的厚度 $\leq 8\text{mm}$ 时,且在振动谱H频段(200Hz~1250Hz) $T_{(H)} \leq 0.60$ 且在振动谱M频段(25Hz~200Hz) $T_{(M)} \leq 0.90$ 且,则可判定为该手套为防振手套。通过大量的测量数据总结分析影响装置测量结果的因素并进行规避,使装置在实际进行防振手套性能测试应用中偏差最低。

[关键词] 防振手套; 振动传递率; 减振性能

中图分类号: TU591 文献标识码: A

Experimental Study and Analysis on the Influencing Factors for Measuring Vibration Transmissibility of Glove at the Palm

Xuehua Hong

Jilin Province Research Institute of Safety Science and Technology

[Abstract] The vibration transmissibility of glove at the palm was measured by laboratory methodology, which measured the transmissibility of the anti-vibration glove from a handle through a glove to the palm of the hand in one-third-octave frequency bands with centre frequencies of 25Hz to 1250Hz, to determine its compliance with the standard for anti-vibration gloves. Meanwhile, data analysis and report were obtained, showing that a glove should be an anti-vibration glove when the thickness of vibration-reducing material is not more than 8mm, the transmissibility not more than 0.60 at H frequency band of vibration spectrum (200Hz~1250Hz), and the transmissibility not more than 0.90 at M frequency band of vibration spectrum(25Hz~200Hz). Through large amounts of measurement data, the influencing factors for the measurement results were summarized and evaded to minimize the deviation of installation in the actual application of anti-vibration glove performance tests.

[Key words] anti-vibration glove; vibration transmissibility; vibration reduction

引言

近年来,随着我国产业结构优化升级和经济发展模式的转变,人们的生活生产场景发生了很大变化,安全生产、职业病防护也愈来愈引起国家重视,而手臂振动病的预防却一直是一大难点。伴随现代机械向高速、精密、轻型和低噪声等方向发展,在提高机械产品的动态性能、工作品质,以及系统运行的稳定性和可靠性的同时,必须十分重视对有害动态响应消减的研究,特别是手臂振动综合征(HAVS)的预防,其主要途径是通过操作者佩戴防振手套来减轻振动对手部和手臂的影响。

防振手套,是用于接触、操作振动装置或手柄、预防因振动引起手臂振动综合症(HAVS)的个体防护用具。在结构上,主要是在手掌侧添加一定厚度的减振材料,从而降低振动到人手掌部的传递。不同的减振材料,减振效果也有所不同,但试验证明同

种减振材料,厚度越厚,减振性能越好。但是掌部、指部过厚,又容易影响操作的灵活性。如何标准化指导设计和改进防振手套产品,就需要检测数据来支持。目前在国际、国内均有生产防振手套的企业,但由于2020年之前国内尚无防振手套测量装置,有些防振手套生产厂家不得不把自己的产品拿到国外去认定,既无法保证和验证所生产的防振手套防振性能的可靠性,也大大延长了所设计的手套进行技术改进和推广使用的时间周期,而在我国为数众多的工矿企业生产一线又有很大一部分人群急需符合国家标准的防振手套。

2021年由我院修订的国家标准《机械振动与冲击手传振动手套掌部振动传递率的测量与评价》(GB/T18703-2021)颁布实施。该标准为防振手套的判定提供了科学的方法和有效的依据。而在标准修订的同时,我院自主研发出一套可以测量防振手套掌部防

表1 测量手套信息明细表

手套信息		2#-6.5	3A-6.0	3B-6.5	3C-6.0	3D-6.5	4B-6.5	4D-6.5	5A-4.0
减振材料或手套纤维	手掌部位	XERO-EP	硅胶减振	超纤减振	超纤硅胶	超纤硅胶	XERO-EPR	XERO-EPR	减振材料
	手指	XERO-EP	硅胶减振	超纤减振	超纤硅胶	超纤硅胶	XERO-EPR		减振材料
	拇指	XERO-EP	硅胶减振	超纤减振	超纤硅胶	超纤硅胶	XERO-EPR		减振材料
	手背区域	针织布	黑色楼梯	桔色楼梯	灰色楼梯	楼梯布	桔色楼梯		皮
手套中的减振材料	减振材料	MAC423	超纤硅胶	超纤硅胶	超纤硅胶	超纤硅胶	菱形PU革	菱形PU革	4.0厚度
	品牌名称	赛立特	XERO-EPR	XERO-EPR	XERO-EPR	XERO-EPR	XERO	XERO	VISBR
手套减振材料的厚度(mm)	手掌	6.5	6	6.5	6	6.5	6.5	6.5	4
	手指	6.5	6	6.5	6	6.5	6.5	0	4
	拇指	6.5	6	6.5	6	6.5	6.5	0	4
手套中使用的其他材料或纤维的特性	材料	针织布+	棉毛布	棉毛布、	棉毛布、	棉毛布	桔色楼梯	楼梯布-	皮革
	品牌名称	—	—	—	—	—	—	—	—

表2 用于测量的手套基础数据及测量的环境条件

手套特性	2#-6.5	3A-6.0	3B-6.5	3C-6.0	3D-6.5	4B-6.5	4D-6.5	5A-4.0
手套的长度(不含袖口)(mm)	190	190	190	190	190	180	200	180
手套的总长度(mm)	230	245	240	245	240	200	25	200
手套颜色	黑-红	黑	黑-桔	灰-黑	红-黑	桔-黑	红黑	黑
手套的情况(新/使用过)	全新	全新	全新	全新	全新	全新	全新	全新
左/右	左右均有	左右均有	右	右	左右均	左右均	左右均	左右均有
环境温度(°C)	22	22	22	22	25	21	22	22
环境相对湿度(%)	45	45	45	45	45	45	45	45
手套反面图片(手背)								
手套反面图片(手掌)								

表3 5位受试者的情况汇总表

受试者编号	体重	身高	手的长度	手的宽度	手部号型	手套尺寸
	(kg)	(m)	(mm)	(mm)		
1	79.5	1.79	185	85	180/85	—
2	70	1.65	175	80	175/80	—
3	60	1.68	175	75	175/75	—
4	74	1.78	190	90	190/90	—
5	53	1.68	180	75	180/75	—

表4 在振动谱M及振动谱H处测得的手掌适配器及手柄处频率计权加速度以及裸适配器振动传递率统计表

裸适配器	振动谱	2#-6.5	3A-6.0	3B-6.5	3C-6.0	3D-6.5	4B-6.5	4D-6.5	5A-4.0
手柄处 加速度值	M	4.117	4.181	4.127	4.127	4.181	4.151	4.121	4.151
	H	2.989	3.083	3.109	3.109	3.083	3.047	3.217	3.047
手掌适配器处 加速度值 (ms ⁻² r.m.s.)	M	4.026	4.092	4.038	4.038	4.092	4.063	4.033	4.063
	H	2.946	3.038	3.064	3.064	3.038	2.994	3.177	2.994
裸适配器振动传递率	M	0.9778	0.9788	0.9785	0.9785	0.9788	0.9788	0.9786	0.9788
	H	0.9855	0.9854	0.9854	0.9854	0.9854	0.9827	0.9875	0.9827

表5 型号3B-6.5手套通过五位受试者在振动谱M频段(频率范围25~200Hz)

测得的手套频率计权振动传递率、标准偏差、变异系数及其平均值

测量 次数	受试者1			受试者2			受试者3			受试者4			受试者5			平均值
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
T _(M)	0.9619	0.9034	0.9072	0.9599	0.962	0.9543	0.9548	0.9597	0.8206	0.8252	0.7841	0.8213	0.8693	0.884	0.8556	0.8949
S _{T(M)}	0.0327			0.003988			0.07897			0.02271			0.01423			0.06276
C _{V,T(M)}	0.03538			0.00416			0.08661			0.02802			0.01636			0.07012

表6 型号3B-6.5手套通过五位受试者在振动谱H频段(频率范围200~1250Hz)

测得的手套频率计权振动传递率、标准偏差、变异系数及其平均值

测量 次数	受试者1			受试者2			受试者3			受试者4			受试者5			平均值
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
T _(H)	0.7663	0.7141	0.6926	0.4941	0.5076	0.5199	0.5256	0.5306	0.6520	0.5741	0.5769	0.5907	0.6296	0.5854	0.6603	0.6013
S _{T(H)}	0.0379			0.01287			0.07159			0.008864			0.03765			0.08214
C _{V,T(H)}	0.05232			0.02538			0.1257			0.01526			0.06023			0.1365

表7 8种手套振动传递率测量结果汇总表

手套型号	2#-6.5		3A-6.0		3B-6.5		3C-6.0		3D-6.5		4B-6.5		4D-6.5		5A-4.0	
频段振动	T _(M)	T _(H)														
手套振动	0.8613	0.6453	0.9182	0.6642	0.8949	0.6013	0.9394	0.6905	0.8903	0.6905	0.9175	0.7141	0.8661	0.6757	0.9357	0.7855
减振性能分	Y	N	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N	N
减振性能总	N		N		N		N		N		N		N		N	

振性能,也可通过对振动手柄进行防振覆盖确定材料的防振性能的测量装置——《手套掌部振动传递率测量与评价装置》,其中,为了统一确定减振材料的厚度,同时研发一套可确定材料的有效厚度的厚度测量装置;并整套装置已于2021年取得国家知识产权局授予的国家发明专利(专利号ZL2021104790377),测量手柄及其软件部分获得实用新型专利(专利号ZL202120923246.1)。通过该套装置对手套或减振材料进行掌部振动传递率的测量,从而对测量过程中可能对测量结果产生影响的因素进行总结,以便在以后的实际测量应用中使测量结果误差最小化。

1 测量用装置及测量方法

1.1 装置主要构成

实验测量使用了手套掌部振动传递率测量装置,该装置的主要构成为振动激励系统、测量手柄、手掌适配器以及测量过程的控制软件,装置的主要构成为:

(1)振动发生器ET10-240(正弦推力:10kN;随机推力:10kN;最大正弦加速度:1000m/s²)。(2)功率放大器DA-100(频率响应:DC-5000Hz)。(3)振动控制仪VibStar(4通道输入,24位A/D;正弦、随机、经典冲击,谐波搜索与驻留)&数采分析仪(8通道,分析带宽DC~50kHz,频率分辨率:0.01%)。(4)冷却风机。(5)手掌适配器(6)振动手柄。(7)配套的软件系统(主要用于控制振动激励系统、捕捉测量信号、实施测量并对测得的数据进行详细的计算分析并形成测量报告。



图1 手掌适配器



图2 振动手柄

加速度的测量分别针对握在手柄外部带有手掌适配器(见图1)的戴手套的手和振动手柄(见图2)内部的加速度计同时进行测量。加速度计为三轴压电型加速度计,每只重1g。两只加速度计测得的加速度经数采分析仪采集,并通过软件系统的计算,

最后得出测量所需要的振动传递率,标准偏差和变异系数。每位受试者每次的有效测量时间至少为30s。

1.2 测量手部尺寸

手部尺寸的测量依据《成年人手部号型》(GB/T16252-1996),手的长度是指腕部至中指之间的距离,手的宽度为手掌部沿指根处横向测量的宽度。

1.3 频率计权振动传递率

在GB/T18703/ISO 10819:2013中,当手套的频率计权振动传递率平均值满足下列条件时,受测手套为“防振手套”:

对于振动谱M(25~200Hz),修正后的频率计权手套振动传递率平均值 $\tau_{(M)} \leq 0.90$;且对于振动谱H(200~1250Hz),修正后的频率计权手套振动传递率平均值 $\tau_{(H)} \leq 0.60$ 未修正的手套振动传递率是置于手套内侧的手掌适配器测得的加速度与手柄处测得的加速度的比值。修正后的手套频率计权振动传递率则是未修正的手套振动传递率与裸适配器振动传递率的比值。

1.4 装置的测量与评价方法,包括以下步骤:

1.4.1操作者站在升降平台上,通过计算机向振动控制仪发送振动命令,使其通过输出通道向功率放大器输出控制信号,功率放大器将控制信号转换为驱动台体动圈运动的电流,手柄即产生振动。

1.4.2安装在适配器内的三轴加速度传感器接收振动台产生的振动激励信号,向振动控制仪的输入通道输出振动信号,振动控制仪采集振动信号,并与内部参考值进行比较后调整振动控制信号回传给振动台形成闭环控制。

1.4.3振动信号达到测量要求后,开始测量,每个完整的测量包括一次有效的裸适配器测量(测量时握力为 $80N \pm 10N$,手柄-裸适配器振动传递率应在0.95~1.05幅值范围之间时,方为有效测量。)和15次戴手套(或者减振材料)的测量。

1.4.4计算机实时显示手柄握力($30N \pm 5N$)和进给力($50N \pm 8N$),握力和进给力范围是通过软件系统进行预设的,一旦其中任何一个值超出预设范围值,测试即失败。对采集到的数据根据需要显示并按要求进行数据分析和处理,得到最终的修正的手套/减振材料振动传递率(τ)、标准偏差(s_r)和变异系数($C_{v\tau}$),并形成振动传递率的测量与评价报告。

1.5 用于测量的手套

本次测量中共采用8种不同减振材料、减振材料厚度不同的手套。本次测量中使用的手套均由同一防护用品公司提供(见表1)。

2 测量过程

2.1 用于测量的手套特性

用于测量中使用了五只同类型的手套(每个受试者佩戴一只)。手套尺寸非指定的。用于测量的手套的基础数据及测量时的环境条件(见表2)。

2.2 参与测量受试者

本次测量实验参与测量的5位受试者情况(见表3)。

3 检测结果与分析

3.1 裸适配器振动传递率

将手掌适配器以 $80\text{N} \pm 10\text{N}$ 的力固定在手柄处,在振动谱M及振动谱H处测得的手掌适配器及手柄处频率计权加速度,以及手掌适配器频率计权加速度与手柄处频率计权加速度的比值得到的裸适配器振动传递率(见表4)。

3.2 戴手套的手

对于振动谱M(25Hz~200Hz)及振动谱H(200Hz~1250Hz)处测得的每位受试者每一次测量得到的修正后的手套频率计权振动传递率 $T_{(S)}$,标准偏差 $S_{T(S)}$ 和变异系数 $C_{v,T(S)}$ 及其总平均值,以8种手套中的3B-6.5的测试结果(见表5、表6)。

3.3 手套减振性能评价

根据国家标准GB/T18703/ISO10819:2013,当对5位受试者,每人测量3次后,所得到的修正后的频率计权手套振动传递率平均值符合下列条件,方能判定为“防振手套”:

对于振动谱M,修正后的频率计权手套振动传递率平均值 $T_{(M)} \leq 0.90$;且对于振动谱H,修正后的频率计权手套振动传递率平均值 $T_{(H)} \leq 0.60$ 在本次测量中,对于振动谱M,修正后的频率计权手套振动传递率平均值分别是0.8613、0.9182、0.8949、0.9394、0.8903、0.9175、0.8661、0.9357(见表7),因此,在振动谱M区,8种手套中其中4种手套达到减振效果,其余未通过振动谱M区的减振性能测试;

对于振动谱H,修正后的频率计权手套振动传递率平均值分别是0.6453、0.6642、0.6013、0.6905、0.6905、0.7141、0.6757、0.7855(见表7),因此,在振动谱H区,8种手套虽都有一定的减振效果,但均未通过振动谱H区的减振性能测试;

综上,8种手套均不符合国家标准GB/T18703/ISO 10819:2013对防振手套防振性能的判定要求,不能判定其为“防振手套”。

3.4 测量验证结果

3.5 振动传递率

通过对5名受试者分别佩戴带有手掌适配器的每种手套试样(共8组)所进行的15次测量所得到的手套频率计权振动传递率测量以及15次测量的平均振动传递率,8种手套测量中,其中型号3B-6.5手套,虽然不符合国家标准GB/T18703/ISO 10819:2013对防振手套防振性能的判定标准,但已经非常接近防振手套。其频率-手套掌部振动传递率曲线(见图3)。

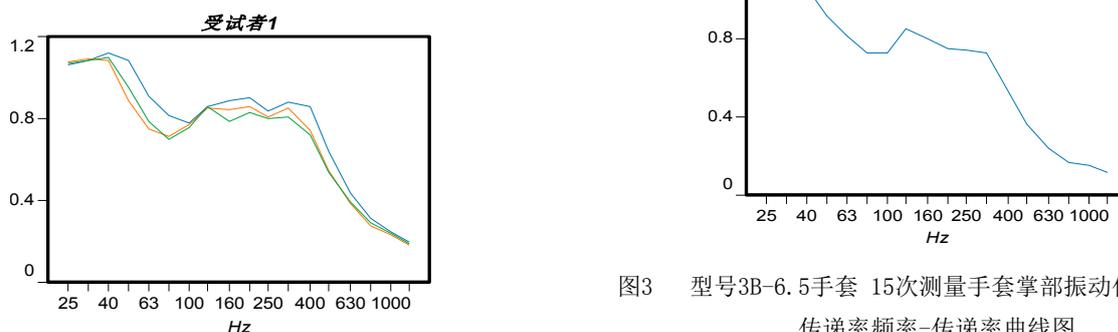


图3 型号3B-6.5手套 15次测量手套掌部振动传递率及平均传递率频率-传递率曲线图

4 结论

(1)通过5位受试者分别对8种手套在振动谱M和振动谱H区域的15次测量结果,本次实验测量的手套,没有在M频段和H频段均符合标准要求的手套,因此均不符合国家标准GB/T18703/ISO 10819:2013,均不能判定为防振手套。

(2)通过数据对比,对于同种减振材料,随着材料厚度的增加,减振性能呈正相关,即随着减振材料厚度增加,其减振性能越来越好。其中的3B-6.5由于实验室条件下测试时,对握力和进给力的严格要求,在H频段的测试结果为0.6013,已经非常接近标准中对H频段振动传递率的判定标准值,而在实际对振动仪器或手柄的操作中,不会同时对操作手柄施加试验中要求的握力和进给力,因此,在没有更好的防振手套研发之前,使用该款手套用作相关振动设备的操作能够起到一定的防振效果,对手臂振动病的预防起到一定作用。

(3)通过实际测量实验研究,手套掌部振动传递率的测量结果也受下列因素影响:

①测量结果与受试者手部自然形态有关,当一个人手掌厚度越高,肌肉弹性越好,测量得出的振动传递率数值也越理想。

②测量结果与受试者熟练程度正相关,当一个经过几次测量训练的人,其后期的测量数值偏小。

③测量结果与受试者的力量稳定性正相关,当一个人可以使用均匀的力对测量手柄施加握力和进给力时,即使其发出的握力和进给力接近测量要求上限,测量结果依然会优于力量不稳定的受试者。

④受试者手部号型对测量结果也会有影响,当一个人的手掌过于宽大或过于窄小,都会使测量结果数值偏高。

⑤当受试者过于疲劳时,对测量结果也会造成一定的影响,例如,当我们同时对一款手套进行测试时,如果同一天进行了3次完整测试,第一次测试和第二次测试的结果,往往优于第三次的测试结果。

⑥当受试者所佩戴的手套码数过大,也会对测量结果造成一定的影响。合适的尺码测量的结果优于过大的尺码。

⑦受试者用习惯用手测得的振动传递率比非习惯用手测得的振动传递率数值偏低。

基于以上测量研究,为了使装置测量结果更可靠,当对手套的防振性能进行测量时,受试者应经过专门训练,同时5名受试者不应有重复人员,受试者手掌宽度应适中,所提供的实验测试用手套应尽可能与受试者手部号型相符,测量时应采用习惯用手,且每天最多不能多于两组完整的测试。同时,如何保证测量时对适配器施加的握力和进给力均匀稳定,也是下一步研究重点。

[参考文献]

[1]南京伯克利新材料科技有限公司.一种用于光谱识别与测量的装置及其方法:CN202211662962.4[P].2023-03-24.

[2]GB/T18703-2021,机械振动与冲击手传振动手套掌部振动传递率的测量与评价[S].

[3]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.手套掌部振动传递率的测量与评价:GB/T18703-2002[S].2002.