



引用格式:韩斌慧. 纵轴式掘进机多工况下振动特性试验研究[J]. 轻工学报,2017,32(3): 85-95.

中图分类号:TB123 文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.2096-1553.2017.3.014

文章编号:2096-1553(2017)03-0085-11

纵轴式掘进机多工况下振动特性试验研究

Experiment study of vibration characteristics for the longitudinal axial roadheader under multi-working conditions

韩斌慧

HAN Bin-hui

西安航空职业技术学院 航空制造工程学院,陕西 西安 710089

School of Aeromautical Manufacturing Engineering, Xi'an Aeronautical Polytechnic Institute, Xi'an 710089, China

关键词:

纵轴式掘进机;多工况;振动特性

Key words:

longitudinal axial roadheader; multi-working conditions; vibration characteristics

摘要:为掌握纵轴式掘进机关键部件的振动特性,对 EBJ-120TP 型掘进机进行了空载、钻进、向右横扫、向下竖扫、向左横扫多工况下振动特性试验。结果表明,截割工况与空载工况相比,呈现出随机振动特征并伴随有瞬间冲击;掘进机在截割工况下的振动表现出非稳态、非线性的特性,且主振频在 10~1000 Hz 范围,主频带分布较宽;钻进工况下振动最激烈,该工况下截割减速器的振动烈度最大,等级为 D,电控箱振动烈度等级达到 C;向下竖扫和钻进工况下舒适性最差,严重影响操作人员身体状况。通过采用黏弹性阻尼材料减振措施,振动值较原型机下降了 30%。

收稿日期:2016-06-20

基金项目:国家青年科学基金项目(51305288);西安航空职业技术学院 2016—2017 年度自选综合科研项目(16XHXY-001)

作者简介:韩斌慧(1971—),男,山西省晋城市人,西安航空职业技术学院高级工程师,博士,主要研究方向为机械设计及理论。

Abstract: To master the vibration characteristics of the longitudinal-type roadheader, the in-situ vibration test over the EBJ-120TP under classic working conditions, i. e., free loading, drilling, right-and-left cutting and downward cutting was carried out. The results were as follows: the cutting condition exhibited a random vibration characteristic compared with free loading, and was accompanied by an instantaneous impact; the roadheader vibration displayed non-stable and nonlinear feature, and had an extensive frequency scale ranging from 10 Hz to 1000 Hz; drilling was the most serious working condition, in which the cutting gear box had greatest vibration with level D (not permissible), while electronic control with level C (just tolerable); the operator would feel worst in downward cutting and drilling. Through the using of viscoelastic damping material vibration reduction measures, the vibration value of the prototype machine decreased by 30%.

0 引言

纵轴式掘进机是煤矿综合机械化采煤技术的标志性设备. 随着开采条件日益苛刻, 以及受开采工艺、环境保护、职业健康等方面的限制, 大功率、低振动、重型化、自带除尘功能的掘进设备已成为掘进机行业市场的竞争热点. 目前, 掘进机整机功率超过400 kW, 被截割煤层硬度系数 $f=3\sim 10$, 并大量配备除尘风机. 整机功率的提高在为截割头提供更大截割力的同时, 也使得机器的振动加剧. 为了解决这一矛盾, 国内外诸多业内学者围绕影响纵轴式掘进机振动和稳定性的相关因素做了大量研究, 主要集中在以下方面.

1) 针对整机和关键元部件开展的振动特性及稳定性研究: O. Acaroglu 等^[1]通过简化纵轴式掘进机结构、引入稳定性指数来评价其在各种工况下的稳定性. 李晓豁等^[2-6]通过建立数学模型, 在整机模态分析、垂直截割、水平截割动力学模型建立、纵向随机振动分析、纵向和横向联合随机振动分析等方面循序渐进, 进行了大量研究. 陶晓^[7]对纵轴式掘进机电控箱从锥形减振器到 EA 型减振器的发展过程进行了论述, 并将具有刚度和阻尼非线性特性的钢丝绳减振器应用于 AM-50 型纵轴式掘进机电控箱.

2) 岩石切割机理研究: 截割头与岩石相互作用是纵轴式掘进机振动主要的激励源, 故对

岩石参数及其切割性能的研究对于解决振动控制问题具有重要意义. R. Jerzy 等^[8]通过建立 2D 和 3D 的岩石离散元模型, 研究了岩石在截齿作用下的破碎过程, 证明离散元模型在反应岩石真实破碎过程中有较好的精度. A. Michael^[9]研究了岩石的磨蚀性与岩石应力状态的关系, 并进一步讨论了纵轴式掘进机截齿损耗与磨蚀性指数(CAI)的关系.

3) 除尘理论与实践研究: 对于机载式除尘设备, 含尘气体在气流冲击和风机转子旋转力作用下产生的振动也是纵轴式掘进机的振动源, 因此对粉尘产生机理、分布规律和除尘设备的研究意义深远. H. T. Wang 等^[10]进行了井下新型泡沫除尘装置除尘试验, 结果表明, 泡沫除尘较传统的水雾除尘在除尘效果和工作面可见度改善方面有明显提高. H. T. Wang 等^[11]提出一种新型矿用泡沫除尘设备, 并在不同工作压力下进行了该设备的除尘性能试验. 除尘实践领域的研究有: 煤机制造企业通过研究截割头、截齿分布, 主动控制粉尘的产生量^[12]; 截割部位设计通过改进内喷雾结构、增加外喷雾装置提高除尘效率^[13]; 三一重配置了负压除尘风机^[14], 山西天地煤机装备有限公司引进了德国 CFT 湿式、干式除尘技术等, 在保证良好除尘效果的同时, 控制了整机振动水平^[15].

纵轴式掘进机振动是多因素共同作用的结果. 强烈的振动不仅会加速截齿的损耗, 造成关键零部件过度疲劳, 液压、电控系统失效, 降低

掘进效率,影响掘进过程安全、可靠地进行,而且会产生大量噪音,严重危害操作人员身心健康.本研究以 EBJ-120TP 纵轴式掘进机为研究对象,在煤矿采掘机械装备国家工程实验室开展整机多工况振动试验,研究掘进机截割减速器、操纵台、履带架和电控箱关键部位在空载工况和截割工况(钻进、向右横扫、向下竖扫和向左横扫)下的振动特性,以期为纵轴式掘进机关键零部件减振降噪设计提供参考.

1 试验研究

1.1 模拟截割试验环境

试验在位于山西太原的煤矿采掘机械装备国家工程实验室完成,试验场主要由模拟巷道和假岩壁构成.模拟巷道配备通风除尘系统,模拟掘进机截割工作过程中的巷道和底板条件;假岩壁实现煤岩不同硬度级别模拟.掘进机截割时,安装在机体各处的传感器将试验场各部分在不同工况下的工作状态参数实时传递给数据采集分析系统,用以分析研究掘进机振动、截齿消耗、失稳等现象.

1.2 试验设计

1) 试验标准

开切、截割试验按照《MT/T 238.3—2006 悬臂式掘进机 第3部分:通用技术条件》标准进行.测试截割减速器、操纵台、履带架和电控箱的振动情况,分析掘进机截割过程中的振动强度分布,掌握空载、钻进、向下竖扫、向左横扫工况下各部位的振动情况,通过对被测数据的处理分析,判断掘进机截割能力与整机稳定性.试验流程如图1所示.

2) 样机选择

EBJ-120TP 纵轴式掘进机是目前煤机市场上的主流机型之一,主要应用于煤巷和半煤岩巷的掘进.其经济截割硬度 f6,局部可达 f8,最大截割功率120 kW,总装机功率190 kW,截

割头额定转速 55 r/min.该机型设计思想成熟、理论完整,是一款经过长期实践检验的经典机型,作为试验对象,可以较好地用试验数据验证设计理论,并进一步完善测试系统结构.

3) 试验硬度

依照被测设备设计参数,试验岩壁硬度设置为 f6,并随机分布硬度 f8 的硬岩点以实现硬度不均匀性仿真.试验轨迹线如图2所示,并将其标记在人工岩壁上.

4) 仪器设备

测试所用的主要仪器见表1.

1.3 传感器布置与安装

被测部位如图3所示.将三向加速度传感

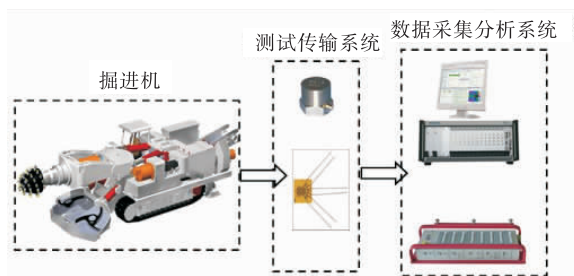


图1 试验流程图

Fig. 1 Test process chart

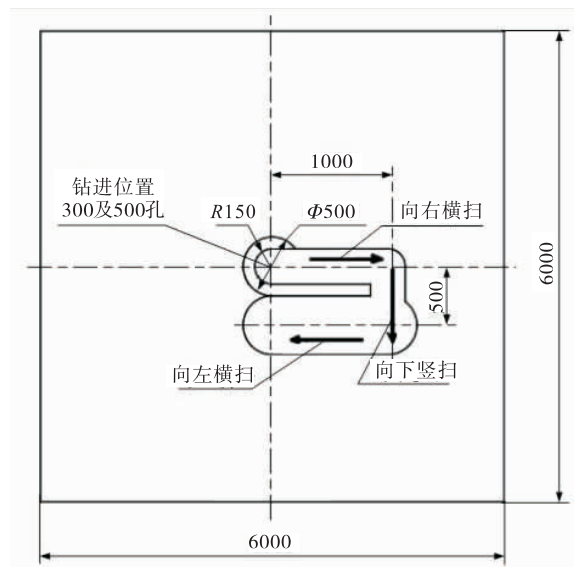


图2 截割岩壁及试验轨迹/mm

Fig. 2 Cutting rock and test track

器(INV9822A)安装在截割减速器、履带架、操纵台、电控箱上,布点以振动部位明显、安装牢固、不妨碍操作为标准.将机身广义坐标系和正方向设置为:掘进机前进为 x 方向,宽度为 y 方向,垂直于地面为 z 方向.

1.4 试验步骤

1.4.1 试验前准备工作 1)检测人工岩壁的硬度、岩石的其他相关参数,要求符合被测掘进机的截割硬度范围;

2)被测掘进机和除尘设备无故障,水、电(包括 1140 V,660 V 和 220 V 电压)供应满足试验技术要求,截齿全部更换新品;

3)调试、标定仪器量程,选择采样频率,确保试验设备具有较强的抗干扰能力,能够可靠、精确地采集数据.

1.4.2 试验工况和截割位置 1)空载状态:启动设备和除尘系统,额定转速运行 2 min.

2)钻进工况:从图 2 标记处开切钻进300 ~ 500 mm 孔,达到 500 mm 处时整机跳动剧烈,停止钻进.

3)向右横扫:从钻进结束位置起步,整机固定,仅截割臂向右切割 1000 mm.

4)向下竖扫:从向右横扫结束位置向下截割 500 mm.

5)向左横扫:竖扫结束的槽中,整机位置不动,截割臂向左截割 1000 mm.

6)记录上述过程 5 kHz 采样频率的振动加速度数据.

2 结果与讨论

2.1 振动时域分析

数据选择和处理说明:1)由于测试过程中存在各种噪声干扰,需对采样数据进行必要的预处理,截取各工况稳定运行时段的时域数据(空载为 60 ~ 70 s;钻进为 20 ~ 30 s;向下为 40 ~ 50 s;向左为 60 ~ 70 s)进行分析;2)由于向右横扫与向左横扫虽工况运行方向相反,但测得数据接近,故这两种工况按照向左横扫工况一并讨论.

对振动信号分析计算后,得出被测部件在 4 种工况下振动加速度的最大值(Max)和均方差(Std),数据见表 2.

综合历次试验数据、相关试验报道及本次试验结果,掘进机整机和部件在 z 方向的振动幅值较其余两个方向大得多,根据表 2 作出了上述部件 z 向(垂向)振动加速度时域图,如图 4 所示.

综合图 4 和表 2,对掘进机振动情况分析如下.

1)空载工况,整机振动波动较小,各部件振

表 1 测试使用的主要仪器

Table 1 The main instrument used in the test

设备或仪器名称	型号	参数范围和功能
加速度传感器	INV9822A	0.5 ~ 8 kHz, 100 mV/g, 量程 50 g, 质量 10 g, M5 安装螺纹
实时采集仪器	INV3020D	24 位 AD, 44 通道, 支持电压 DC, AC, ICP 输入方式, 通道可扩展
数据处理软件	DASP V10	采集、储存、分析功能

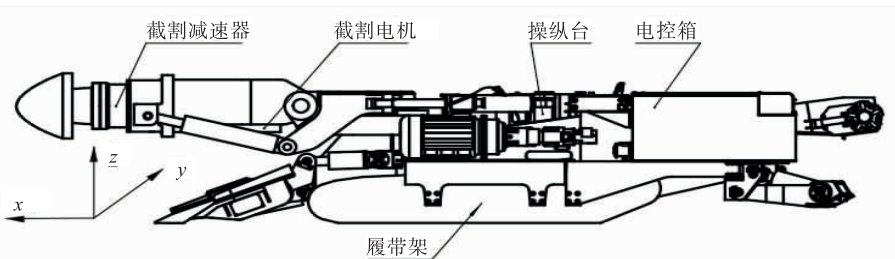


图 3 传感器布置

Fig. 3 Sensor location

表2 振动加速度时域数据
Table 2 Vibration data statistics

被测部件	方向和合成	空载工况		向左横扫		向下竖扫		钻进工况	
		Max	Std	Max	Std	Max	Std	Max	Std
截割减速器	<i>x</i>	7.361 5	1.454 3	97.416 7	6.874 1	69.069 6	3.487 2	96.844 3	5.672 7
	<i>y</i>	11.951 1	2.143 6	99.367 3	7.245 9	67.403 0	3.468 4	100.358 7	6.590 0
	<i>z</i>	7.120 4	1.325 2	74.347 1	6.886 7	54.370 5	3.429 8	97.727 6	6.423 9
	合成	12.656 6	1.304 5	59.670 4	6.793 1	55.630 0	5.494 7	150.688 8	7.947 3
履带架	<i>x</i>	3.362 9	0.793 0	60.945 3	1.354 6	20.597 2	0.965 9	52.468 6	1.366 6
	<i>y</i>	3.935 8	0.913 9	58.354 2	2.955 8	21.230 1	1.368 1	53.146 5	2.028 6
	<i>z</i>	3.271 1	0.904 8	47.268 8	1.728 7	14.430 7	1.164 2	28.081 8	1.609 9
	合成	4.129 1	0.610 8	20.631 5	2.121 5	26.525 4	1.639 0	51.987 1	2.309 4
操纵台	<i>x</i>	2.571 0	0.558 8	25.797 6	3.145 1	21.738 9	2.091 2	36.236 9	3.772 6
	<i>y</i>	2.468 7	0.553 5	26.344 4	2.451 3	23.059 4	1.643 8	34.077 3	3.003 0
	<i>z</i>	4.062 2	0.934 0	44.811 2	3.319 9	30.103 4	1.968 1	62.465 5	3.403 5
	合成	3.504 7	0.511 4	25.693 7	3.223 3	32.382 9	2.806 6	67.194 2	4.885 3
电控箱	<i>x</i>	1.771 0	0.475 5	11.788 0	1.226 6	8.829 8	0.701 7	80.209 9	1.889 4
	<i>y</i>	1.739 6	0.395 4	14.700 0	1.048 4	13.333 0	0.626 2	98.559 3	2.586 9
	<i>z</i>	3.686 3	0.747 4	30.626 3	3.001 5	19.755 3	1.172 0	91.195 8	3.105 9
	合成	3.206 9	0.401 3	20.232 0	2.341 5	15.886 9	1.294 9	104.221 4	5.678 8

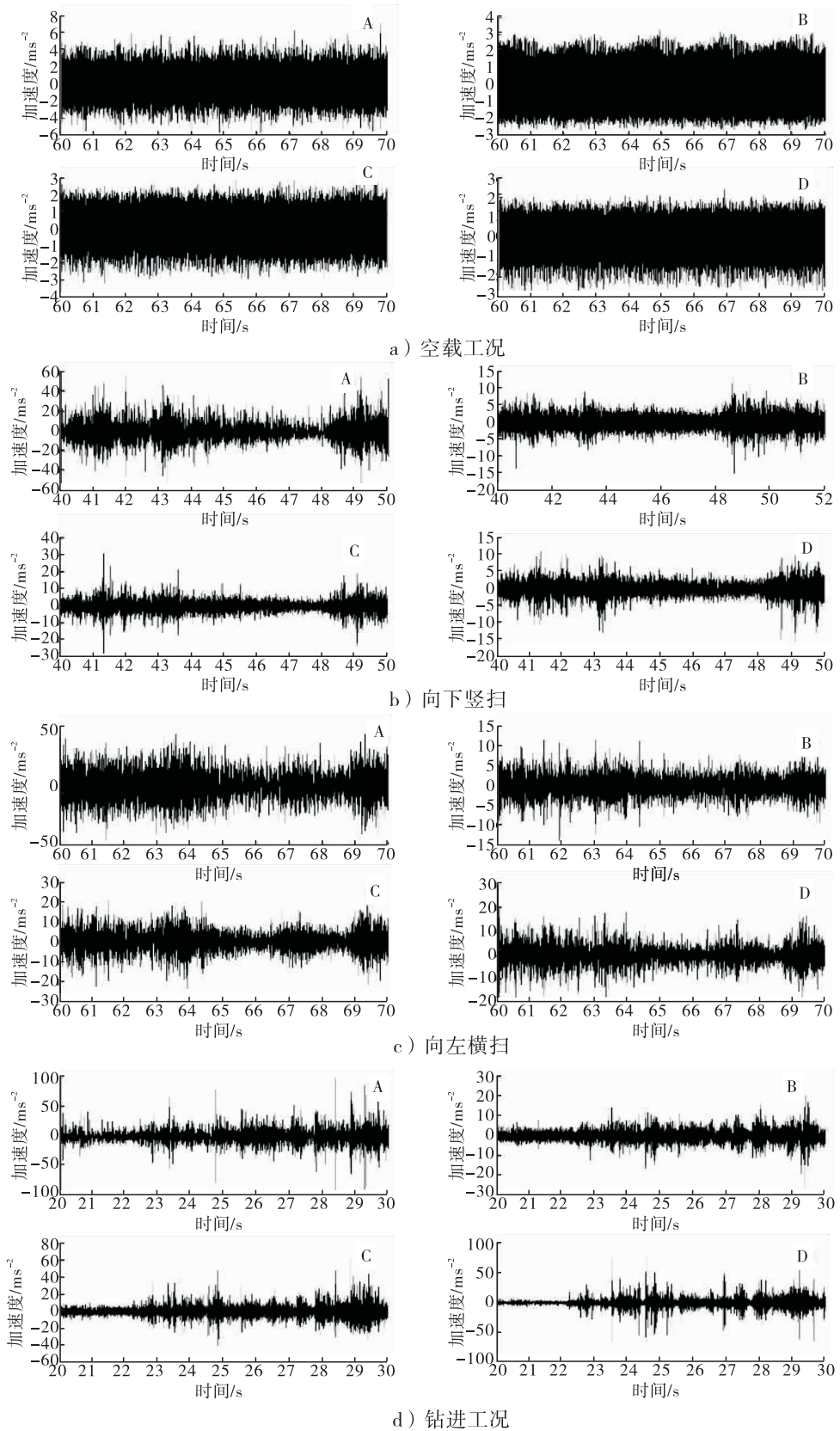
动稳定,为拟周期形态.其中,截割减速器的三向振动幅值均最大,电控箱在*x*、*y*向的振动幅值最小,履带架在*z*向的振动幅值最小;由均方差可知,操纵台、电控箱在*z*向振动波动大于其余两个方向,截割减速器、履带架在*y*向振动波动大于其余两个方向.

2) 截割工况,各部件具有非线性振动的典型特征,并伴随瞬间冲击,此工况为非平稳随机特性.其中,截割减速器各工况下的三向振动幅值仍为最大;向左横扫工况下,电控箱的各向振动幅值最小;向下竖扫工况下,电控箱在*x*、*y*向振动幅值最小,履带架在*z*向振动幅值最小;钻进工况下,操纵台在*x*、*y*向振动幅值最小,履带架在*z*向振动幅值最小.综合发现,所有部件在空载工况下振动幅值最小;截割工况下,向下竖扫时振动波动最小;截割减速器在向左横扫时的振动幅值比在其他工况下的振动幅值要大;操纵台、电控箱、履带架在钻进工况下的振动幅值明显高于其余工况下的振动幅值.

钻进工况下振动剧烈的原因:截割头各截齿尖运动轨迹都形成三维螺旋线^[16],如图5所

示,*s*为螺旋线节距.钻进工况下,截割头与煤岩间相对运动也是空间螺旋线,截割轨迹除了沿截割头轴向延伸外,还沿径向扩展,造成截齿与岩石之间相互作用投影面积最大,作用力也由此达到最大,导致激烈振动;随着钻进深度增加,同时参与切割的截齿数增加,更加剧了振动.相对其他截割工况下的振动幅值而言,向下竖扫工况下振动较小,这主要是因为截割头与被切割煤岩接触处和行走履带支撑点构成二力点,提高了整机支撑刚度;同时截割臂和部分机身重量参与向下竖扫,降低了实际截割功率,使得振幅降低.

电控箱为控制系统核心,内部包含精密电子元件,对振动比较敏感,由于在EBJ-120TP纵轴式掘进机设计时采取了较好的隔振措施,因此振动幅值较小.履带架由于质量大,且本身材料阻尼和连接部的接触阻尼较大,在后支撑油缸和铲板着地的情况下,履带链具有一定的离地间隙,所以履带架振动亦相对较小.截割减速器,既承受截割冲击、截割电机造成的外部激励,又承受内部齿轮传动过程中的啮合激励、液



A. 截割减速器 B. 履带架 C. 操纵台 D. 电控箱

图4 不同工况z向振动时域图

Fig. 4 The z direction vibration time domain figure in the different working conditions

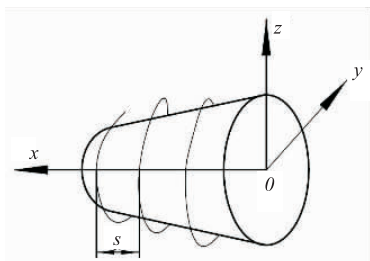


图5 截齿齿尖的三维螺旋线轨迹

Fig.5 The three-dimensional spiral track of the cutter tooth

压系统供油压力不稳造成的脉动作用. 由于截割减速器与截割头之间通过悬臂段连接,三者刚度均较大,阻尼较小,被测4个部件中,截割减速器距离截割头最近,截割头工作过程中承受复杂截割力,由此造成的剧烈振动直接传递给减速器,造成外部激励;其次,由于截割减速器采用二级行星齿轮传动结构,相互啮合的齿轮对数多,齿轮时变啮合刚度、齿侧间隙、啮合冲击、设计制造误差,都会造成内部激励. 如此内外综合作用,会导致截割减速器剧烈地振动. 因此在大功率硬岩掘进机开发中,设计具有优良减振降噪性能的截割减速器,可提高减速器在服役期间的可靠性和安全性.

3) 合成加速度是对振动强度的综合反映. 表2测得各部件单向加速度之后进行速度合成,计算所得合成振动加速度值也直观反映了上述结果.

4) 各振动时域图中观察到的瞬时冲击主要源于随机分布的硬岩点,截割碰到硬岩点时截齿与煤岩产生了复杂的动力学耦合并引起交变冲击载荷,从而造成各部件的急剧振动.

2.2 振动频域分析

通过谱分析,得到各部件不同工况下前10阶频域,如图6所示.

由图6发现,各工况下的主频带分布在10~1000 Hz. 由于系统中转动零件多、非线性周期作用和试验场所噪声大等原因,系统存在

多个峰值频率簇,频率成分复杂. 由于不同工况外部载荷和内部激励不同,各部位主振频分布亦不尽相同.

空载工况各阶频率要大于截割工况. 比如对于操纵台,空载工况下首阶频率为447.7 Hz;截割工况下,由于截割头与岩壁接触增加了整机刚度,从而降低了各阶主频率,使得向下竖扫、向左横扫和钻进工况首阶频率分别下降到11.2 Hz,36.72 Hz,36.72 Hz.

由于截割减速器啮合转动时存在自身激励,截割减速器在各工况下存在重合主振频:一级啮合频率在第7,8阶主振频之间,为385 Hz;二级啮合频率接近第二阶主振频,为62.37 Hz;一级行星轮转动频率接近第一阶主振频,为12.93 Hz,为一阶振型激振源;其他主振频率啮合的形成,主要是由截割臂的振动、齿轮啮合和转动相互耦合所致.

2.3 振动烈度与舒适性评价

2.3.1 振动烈度分析 振动烈度用来评价隔振后系统振动满足规定要求的能力^[17-18],表达式为^[19]

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \quad (1)$$

式中, v_{rms} 为振动速度的有效值/($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$), $v(t)$ 为振动速度函数, T 为振动周期/s.

对于离散型数据

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum v_i^2} \quad (2)$$

式中, v_i 为采样点处的振动速度, N 为采样点数.

根据ISO2372标准计算当量振动烈度

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{v_{x\text{rms}}^2 + v_{y\text{rms}}^2 + v_{z\text{rms}}^2} \quad (3)$$

式中, $v_{x\text{rms}}, v_{y\text{rms}}, v_{z\text{rms}}$ 分别为 x, y, z 方向速度有效值.

用分贝表示为

$$V_{\text{dB}} = 20 \lg \left(\frac{V_{\text{rms}}}{V_{\text{ref}}} \right) \quad (4)$$

式中, V_{dB} 表示当量振动烈度分贝; V_{ref} 为参考值, 取值为 10^{-5} mm/s .

根据式 ①—④ 及试验数据计算掘进机不同工况下振动烈度, 见表 3.

根据表 3, 空载工况下所有部件振动等级均为 A, 振动烈度最小; 钻进工况下振动烈度最大; 向下竖扫和向左横扫振动烈度相当, 与时域分析结果一致. 不同部件之间, 截割减速器振动烈度最大, 在向下竖扫和向左横扫工况下等级均为 C, 在钻进工况下振动加剧, 等级为 D, 已

经严重影响到减速器在服役期间的寿命和可靠性; 履带架和操纵台的振动烈度相当, 在截割工况下振动等级均为 B, 可以正常运行; 电控箱在钻进工况下振动烈度较大, 振动等级达到 C, 将会影响到内部电子设备安全、可靠运行.

2.3.2 舒适性 为了保护职工健康、改善作业环境、防止和消除振动危害, 近年来, 噪声与振动作业职业卫生日益得到重视. 研究工业活动(工矿、冶金、纺织等)中周期的、随机的和瞬态的机械振动对人们的舒适、活动和健康的影

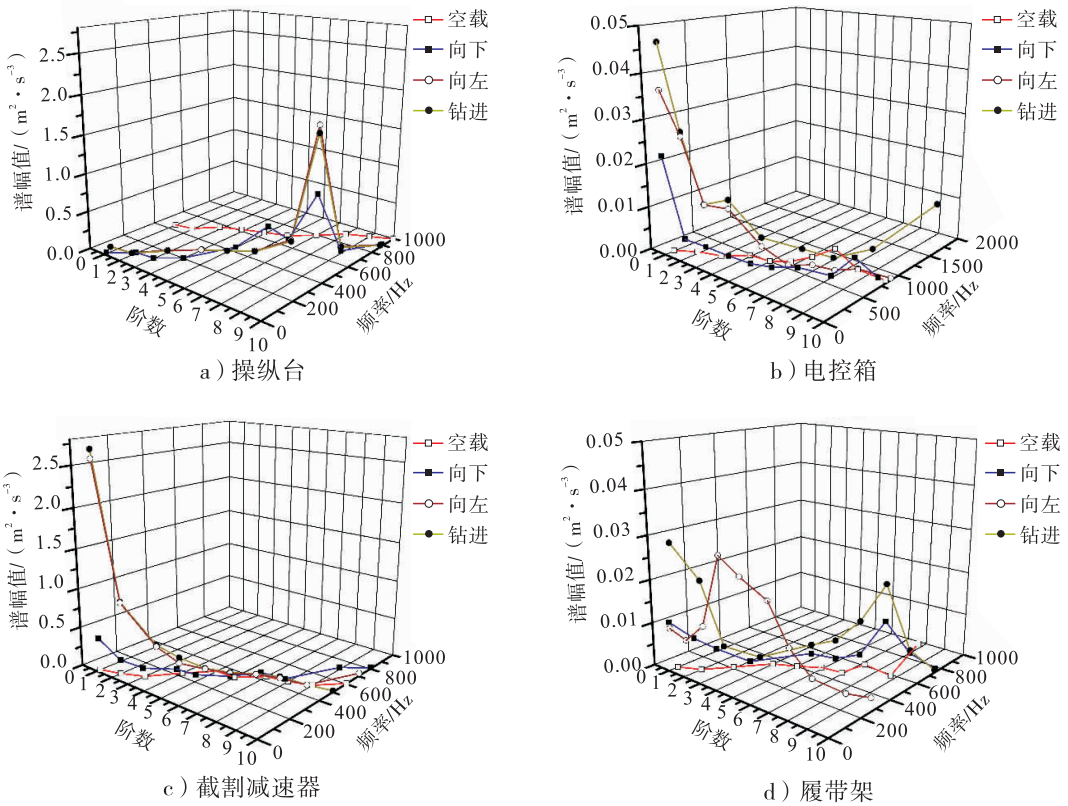


图 6 振动频域分析

Fig. 6 Frequency analysis

表 3 振动烈度和振动等级

Table 3 The vibration intensity and level

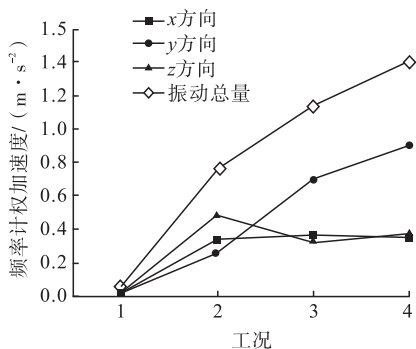
工况	截割减速器	履带架	操纵台	电控箱	dB
空载	100.096 2(A)	97.471 8(A)	97.377 5(A)	102.388 5(A)	
向下竖扫	119.610 1(C)	109.351 5(B)	110.167 2(B)	108.588 9(B)	
向左横扫	120.015 6(C)	109.016 9(B)	108.142 5(B)	106.840 7(B)	
钻进	121.038 1(D)	112.795 5(B)	110.409 3(B)	113.041 2(C)	

注: A 为良好; B 为容许; C 为可容忍; D 为不允许.

响,是改善产品设计,突破产品出口技术壁垒,实现产品升级的重要切入口之一。

由于操作员与操作台接触,以操作台为研究对象,且计算所得各向波峰因数小于9(根据ISO 2631 - 1 和 GB/T 13441《机械振动与冲击人体暴露于全身振动的评价 第一部分:一般要求》标准中规定的“基于实践经验,均方根值方法仍继续作为波峰因素小于9 的测量基础”),故采用文献[20] 的频率计权均方根加速度计算方法,得出操作台振动加速度的频率计权均方根加速度(见图7),研究掘进机振动在各工况下对操作员舒适性的影响;再根据ISO 2631 - 1 的评价标准(见表4),对掘进机振动舒适性进行评价。

由图7和表4可知,三方向在不同工况下对人体舒适性的影响不同.空载工况下,人体在三方向均感觉不到不舒适,操作员状况良好;向左



1. 空载 2. 向左横扫 3. 向下竖扫 4. 钻进

图7 各工况下频率计权均方根加速度

Fig.7 Frequency weighted acceleration RMS in different working conditions

表4 舒适性评价标准

Table 4 The comfortable evaluation criteria

计权均方根加速度值 $a_w/(m \cdot s^{-2})$	人体感觉
$a_w < 0.315$	感觉不到不舒适
$0.315 < a_w < 0.63$	有点不舒适
$0.5 < a_w < 1$	不舒适
$0.8 < a_w < 1.6$	很不舒适
$1.25 < a_w < 2.5$	非常不舒适
$2 < a_w$	极不舒适

横扫工况下,人体在 x, z 方向感觉到有点不舒适,在 y 方向感觉不到不舒适;向下竖扫工况下,人体在 x, z 方向感觉到有点不舒适,在 y 方向感觉到不舒适;钻进工况下,人体在 x, z 方向感觉到有点不舒适,在 y 方向感觉到很不舒适。

为了综合评价掘进机对舒适性的影响,以振动总量为指标

$$a_w = \sqrt{\sum k_i a_{wi}} \quad (5)$$

式中, a_w 为振动总量; k_i 为方向因数,取 1.4; a_{wi} 为方向频率计权加速度; i 代表 x, y, z 3 个方向。

由振动总量知,空载工况下人体感觉不到不舒适;向左横扫工况下,人体感觉到不舒适甚至很不舒适;向下竖扫工况下,人体感觉到很不舒适,接近非常不舒适的状态;钻进工况下,人体感觉到非常不舒适。

综上所述,掘进机操作员舒适性感知随着工况的不同而不同,其影响由小到大为:空载工况下、向左横扫工况下、向下竖扫工况下和钻进工况下.其中,向下竖扫和钻进工况下的舒适性最差,达到了不舒适的程度,会降低操作员的正常工作效率,严重影响到操作员身心健康。

3 减振措施

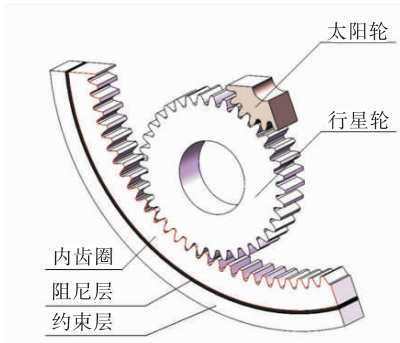
试验分析结果显示,截割减速器是整机振动最为剧烈的部件.因此,通过对截割减速器部件进行进一步的模态分析、动态特性试验分析,并且采取黏弹性阻尼材料减振方案进行减振处理,截割减速器减振结构原理如图8所示。

通过数值仿真对改进前后截割减速器的结构进行了静态、瞬态、谐响应下的应力、应变分析;增加阻尼结构以后的各项指标均较无阻尼结构有较大幅度的降低;同时使得结构的固有频率降低.有、无阻尼结构位移与激励频率之间的关系曲线见图9。

经整机工业性试验,使用阻尼结构减速产



a) 原始截割减速器结构



b) 经过黏弹性阻尼材料减振后的结构

图8 减振方案实施原理

Fig. 8 The principle of vibration reduction scheme

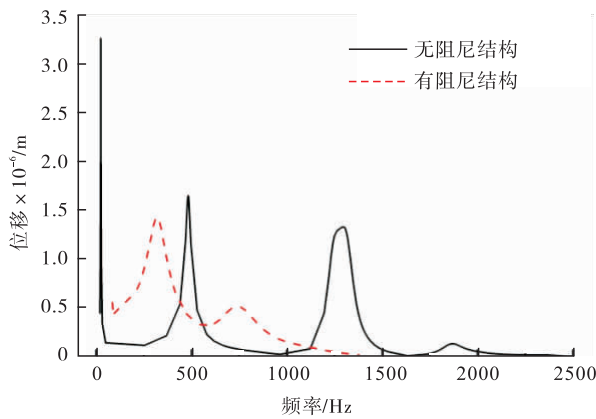


图9 位移与激励频率关系曲线

Fig. 9 The relation curve between displacement and excitation frequency

品,整体性能良好,振动值较原型机下降了30%,提高了装备的可靠性。

4 结论

在太原煤矿采掘机械国家工程实验室对EBJ-120TP纵轴式掘进机进行振动试验,研究

其截割减速器、履带架、操纵台和电控箱的时域振动、频域振动、振动烈度和舒适性,得到如下结论。

1)纵轴式掘进机振动呈现非线性特性和随机振动特性.按工况比较,钻进工况下振动最强烈;按被测部件比较,截割减速器的振动最强烈.纵轴式掘进机振动主频带分布较宽,前10阶位于10~1000 Hz内.存在多个峰值频率簇,频率成分复杂.设计时,需从系统设计出发,分析研究整机模态与局部模态耦合作用机理,避开不同工况下具有大振幅的主振频。

2)不同部件之间,截割减速器的振动烈度最大,在钻进工况下振动加剧,等级为D,已经严重影响到截割减速器在服役期间的寿命和可靠性;电控箱在钻进工况下振动烈度较大,振动等级达到C,将会影响到内部电子设备安全、可靠运行.为此要对截割减速器和电控箱实施有效的隔振减振措施。

3)不同工况下,纵轴式掘进机操作员舒适性感知由舒适到不舒适的顺序为:空载工况下、向左横扫工况下、向下竖扫工况下和钻进工况下.其中,向下竖扫和钻进工况下的舒适性最差,达到了不舒适的程度,会降低操作员的正常工作效率,严重影响到操作员身心健康.因此要对关键重要部件进行动态优化设计,降低工作现场的振动及噪声双重影响,改善作业环境,保护职工身体健康。

4)通过采用黏弹性阻尼材料减振措施,振动值较原型机下降了30%.黏弹性阻尼减振机理可以较好地解决重型装备振动问题。

参考文献:

[1] ACAROGLU O, ERGIN H. A new method to evaluate roadheader operational stability [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2006(21):172.

[2] 李晓谥,何洋,李婷,等.纵轴式掘进机横向和

- 纵向随机振动响应的分析[J]. 煤炭学报, 2014,39(3):580.
- [3] 李晓豁,何洋,李婷,等. 纵轴式掘进机截割机构纵向随机振动的仿真研究[J]. 工程设计学报,2013,20(6):495.
- [4] 李晓豁. 横轴式掘进机垂直截割的动力学模型[J]. 中国工程机械学报,2006,4(1):1.
- [5] 李晓豁. 横轴式掘进机水平截割的动力学建模[J]. 黑龙江科技学院学报,2006,16(6):335.
- [6] 李晓豁,何洋,曹艳丽,等. 基于 ADAMS 的纵轴式掘进机模态分析[J]. 广西大学学报(自然科学版),2010,35(2):254.
- [7] 陶晓. AM-50 型掘进机电控箱的振动与隔振研究[D]. 无锡:江南大学,2009.
- [8] JERZY R, EUGENIO O, CARLOS L, et al. Discrete element simulation of rock cutting [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2011, 48(6):996.
- [9] MICHAEL A. Stress dependency of the cerchar abrasivity index (CAI) and its effects on wear of selected rock cutting tools [J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2008, 23: 351.
- [10] WANG H T, WANG D M, REN W X, et al. Application of foam to suppress rock dust in a large cross-section rock roadway driven with roadheader [J]. Advanced Powder Technology, 2013, 24: 257.
- [11] WANG H T, WANG D M, LU X X, et al. Experimental investigations on the performance of a new design of foaming agent adding device used for dust control in underground coal mines [J]. J Loss Prev Process Ind, 2012, 25(6):1075.
- [12] 左前明. 大采高综采工作面煤尘扩散规律及防治技术研究[D]. 北京:中国矿业大学,2014.
- [13] 马威,刘勇,陈芳. 难湿润煤层快速综掘工作面粉尘防治技术[J]. 煤炭科学技术,2015, 43(1):70.
- [14] 王海龙. 全岩机掘巷道局部负压除尘技术的试验与应用[J]. 山东煤炭科技,2012(5):54.
- [15] 杨春海. 掘进机机载除尘系统的研制及应用[J]. 煤炭技术,2015,34(10):249.
- [16] 丛日永,李晓豁. 纵轴式掘进机钻进工况的运动学模型[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2006,25(6):245.
- [17] 程广利,朱石坚,黄映云,等. 齿轮箱振动测试与分析[J]. 海军工程大学学报,2004,16(6):83.
- [18] 张俊红,毕凤荣,倪广健. 动力总成悬置位置对车体振动能量输入的影响[J]. 农业机械学报,2009,40(7):25.
- [19] 樊新海,安钢,王凯,等. 机械状态振动烈度监测方法研究[J]. 装甲兵工程学院学报,2008(4):46.
- [20] 宗长富,陈双,冯刚,等. 基于频率加权滤波的汽车平顺性评价[J]. 吉林大学学报(工学版),2011,41(6):517.