

HXN3 内燃机车振动特性分析

樊慧 曲松 李云龙 张明超 宋华威

(中车大连机车车辆有限公司 辽宁 大连 116000)

摘要: 针对 HXN3 型内燃机车振动特性问题, 通过建立机车-轨道多体动力学模型, 研究了 HXN3 型内燃机车各部件的振动规律影响, 计算了各结构之间的振动传递函数, 为预测机车在不同条件下的振动情况提供参考。

关键词: 动力学; 振动特性; 传递函数

1 机车动力学模型

基于现代机车—轨道耦合动力学理论, 结合 HXN3 型机车的结构特点, 考虑各种非线性因素及运用时间、线路条件等因素, 通过多体系统动力学方法, 建立 HXN3 型内燃机车精细化的机车—轨道耦合动力学模型。

模型中将车辆视为由车体、构架及轮对组成的多刚体系统, 考虑轴箱、构架和车体的横向、垂向、侧滚、摇头、点头运动。

2 仿真分析

2.1 机车系统振动传递基本理论

机车—轨道系统中, 轮轨相互作用区域出现的激振向下传递至轨枕、道床、路基及其他周边环境区域, 向上则传递给轴箱、构架、车体、车上设备等。在振动传递的过程中, 探讨车辆系统部件之间的振动传递率、振动频率变化特征等问题将有助于系统地理解机车车辆系统的振动传递特性。

传递函数法是研究多自由度系统振动传递特性常用的方法, 它是通过输入和输出关系计算出的系统传递函数, 可以较为准确地描述系统部件之间的振动特性。对于机车—轨道这样的多自由度系统, 其运动微分方程表示为:

$$[M]\ddot{\{x\}} + [C]\dot{\{x\}} + [K]\{x\} = \{f(t)\} \quad (1)$$

式中: $[M]$ 、 $[C]$ 和 $[K]$ 分别为质量矩阵、阻尼矩阵和刚度矩阵; $\{f(t)\}$ 为激振力向量; $\ddot{\{x\}}$ 、 $\dot{\{x\}}$ 和 $\{x\}$ 分别为结构的加速度响应、速度响应和位移响应向量。对式 (3-1) 两边进行拉式变换得:

$$([M]s^2 + [C]s + [K])\{X(s)\} = \{F(s)\} \quad (2)$$

式中 $\{F(s)\}$ 和 $\{X(s)\}$ 分别为 $\{f(t)\}$ 和 $\{x\}$ 的拉式变换。

令, 其具有阻止系统振动的性质, 又称为系统的机械阻抗矩阵。其倒数称为机械导纳矩阵, 又称传递函数矩阵。由于输出 $\{x\}$ 为位移响应向量, 则位移传递函数矩阵为:

$$[H(s)] = \frac{\{X(s)\}}{\{F(s)\}} = \frac{1}{[M]s^2 + [C]s + [K]} \quad (3)$$

将传递函数写成有理真分式的形式:

$$[H(s)] = \frac{a_0 + a_1s + \dots + a_{2N-2}s^{2N-2}}{b_0 + b_1s + \dots + b_{2N}s^{2N}} \quad (4)$$

式中: N 为模态阶数, 其中 $(l=0, 1 \dots 2N-2)$ 和 $(k=0, 1, 2 \dots 2N)$ 为待定系数。对式 3-23 在 Matlab 中系统识别工具箱中进行参数辨识, 确定出各阶系数就可以得到系统的传递函数模型。

2.2 机车车辆系统振动传递特性

为了考察车体质心处、一位转向架构架质心处、一位轮对右侧轴箱位置处的垂向和横向加速度, 分析轴箱到构架、构架到车体振动的传递特性。

2.1 HXN3 机车振动传递函数

① 轴箱到构架

机车在运行的过程中, 振动从轮轨传递到轴箱再到构架, 将轴箱的振动作为机车轴箱和构架系统之间的输入, 而构架的振动作为输出, 通过 3.1 中提到的传递函数计算方法得到了机车垂向和横向的振动传递函数如公式 2-5 和 2-6 所示:

$$[H(s)] = \frac{-7.645 \times 10^8}{s^4 + 4.186 \times 10^3 s^3 + 6.292 \times 10^4 s^2 + 7.097 \times 10^7 s + 7.209 \times 10^9} \quad (5)$$

$$[H(s)] = \frac{-1.512 \times 10^4 s + 3.098 \times 10^5}{s^4 + 4.198 \times 10^3 s^3 + 2.642 \times 10^4 s^2 + 6.922 \times 10^5 s + 1.298 \times 10^8} \quad (6)$$

② 构架到车体

机车在运行的过程中, 振动从轮轨传递到轴箱再到构架然后通过二系悬挂传递到车体。因此, 在机车和构架系统之间构架为系统的输入的, 而车体的振动作为输出, 通过 3.1 中提到的传递函数计算方法得到了机车构架和车体之间垂向和横向的振动传递函数如公式 2-5 和 2-6 所示:

$$[H(s)] = \frac{1.796 \times 10^{11} s - 6.398 \times 10^8}{s^4 + 2.989 \times 10^4 s^3 + 5.893 \times 10^7 s^2 + 1.798 \times 10^5 s + 5.289 \times 10^8} \quad (7)$$

$$[H(s)] = \frac{-7735 s + 2.256 \times 10^5}{s^4 + 0.7374 \times 10^3 s^3 + 1.894 \times 10^4 s^2 + 1.207 \times 10^4 s + 4.103 \times 10^7} \quad (8)$$

3 结语

通过建立 HXN3 型机车—轨道的多体动力学模型, 研究分析了机车在分析了速度和一系垂向刚度对机车的垂向和横向的振动特性, 计算了轴箱和构架, 构架和车体界面的传递函数。其主要结论如下:

① 不同速度下机车垂向振动在轴箱和构架界面之间、构架和车体界面之间振动衰减较为明显, 主要由于一二系

悬挂的作用；但是机车的横向振动在轴箱和构架之间几乎不衰减，而构架和车体界面之间的横向振动衰减比较明显。

②通过研究一系垂向刚度对机车振动特性的影响发现，机车一系垂向刚度增大到原刚度的10倍的时候出现中低频段，轴箱到构架垂向振动加剧。

③通过频谱分析发现，机车轴箱和车体的垂向主频率分布在0~50Hz这个频带，车体垂向主频主要分布在0~10Hz这个频带；在机车的垂向振动上轴箱和构架之间在10~50Hz中低频带频率衰减较少，而构架和车体界

面之间在高于10Hz的频带衰减比较明显，在0~10Hz上机车的构架和车体之间振动衰减不明显；在机车的横向振动上，轴箱和构架之间频率几乎没有得到衰减。构架和车体之间的在高于10Hz的频带得到了有效的衰减。

参考文献：

- [1] 崔婉明. 车辆-轨道耦合动力学 (第四版) [M]. 北京：科学出版社, 2015.
- [2] 曹树谦, 张文德, 萧龙翔. 振动结构模态分析理论实验与应用 [M]. 天津：天津大学出版社, 2001.

(上接第88页)

防止空气的作用使焊接面出现氧化的现象，同时还能够科学地分离电弧与熔池，电弧燃烧时所产生的熔渣就无法影响焊接工作的开展，通过该技术进行焊接，最终所获得的零件焊缝具备较高的牢固性，其质量也能够达到相关的标准，而在焊接过程中夹渣、咬边这一类不良现象出现的概率就会大大降低。由于二氧化碳制取工艺相对较为简单，并且企业的投入成本也较低，因此二氧化碳成为应用较为广泛的保护介质，在焊接时通常选择二氧化碳充当焊接保护气，其保护效果较好。

2.4 加强温度控制

在机械零部件实际加工过程中，受热变形是广泛存在的一种影响加工精度的因素，如刀具、工件以及机械内部都可能会因为温度因素的影响而导致其出现变形。所以，在零件加工时，应该加强对加工过程中的温度控制，尽可能地降低热变形因素对工件精度的影响。通常来讲，刀具和工件的热变形能够通过增加降温措施来进行防控。例如，刀具长时间使用温度升高之后，可以采用冷水降温的方式来降低刀具温度。而对于机械内部温度升高的现象，通常都是由于机械内部摩擦所导致的热量无法及时散出引发的温度上升，可以选择使用涂抹润滑剂或停机恢复等操作来实现对其进行降温的目的。

2.5 减少外力影响

机械加工中将会产生一定作用力，通过上述分析后，可知外力将会对零件精度造成影响。而摩擦力作为其中的重要作用力，控制难度较高，一是可在设计零件加工工艺中将其纳入设计标准，以此实现力的抵消，以免摩擦造成精度误差；二是维护保养加工机械设备，以避免长时间应

用设备后导致表面粗糙，增加摩擦力。可通过打磨机械设备表面，更换新刀具的方式将摩擦力降低，提高精度；三是制定误差补偿措施。加工中误差不可避免，需制定补偿措施，可通过增加材料方式填补或补偿误差，如数字统计分析等，以此了解加工中误差产生环节，之后将机床丝杆间螺旋距离适当缩短，调整机床装配参数至标准值，从而补偿加工误差。

3 结语

随着我国综合国力的增强和工业发展水平的提升，机械加工工艺系统已经有了长足的进步，在各方面的问题都已经明显得到了改善，但是不得不说机械加工的缺漏还是没能彻底被填补，在零件加工精度方面的问题需要及时创新工艺方式，用先进的设备和高水平的加工工艺保障零件加工的精度。

参考文献：

- [1] 谢迎侠, 李建娜. 分析零件加工中汽车机械加工对精度的影响 [J]. 内燃机与配件, 2020, (20): 70-71.
- [2] 孙杨锋, 刘荣伟, 侯和龙, 朱乐, 刘雅聪, 李万东. 机械加工对零件加工精度的影响因素分析 [J]. 南方农机, 2020, 51 (10): 172.
- [3] 王丽君. 基于精度要求下的特殊孔机械加工工艺及夹具结构设计 [J]. 微型电脑应用, 2019, 35 (07): 108-110.
- [4] 赵成林, 马明海. 高温气冷堆炭堆内构件热气出口炭部件机械加工工艺探讨 [J]. 炭素技术, 2018, 37 (05): 61-63.
- [5] 黄建, 汪永超, 贾明刚. 基于模糊数学和神经网络BP算法的切削液选择 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2018, (08): 160-163.