

文章编号:1000-582X(2009)01-0006-05

全地形车车体动态特性分析

徐中明^{1,2}, 郭师峰², 张志飞², 牟笑静², 汪先国³

(1. 重庆大学 机械传动国家重点实验室, 重庆 400030; 2. 重庆大学 机械工程学院, 重庆 400030;
3. 重庆建设摩托车股份有限公司, 重庆 400050)

摘要:运用仿真和实验相结合的方法分析了全地形车车体的振动特性。利用三维制图软件 UG4.0 根据设计图纸建立车体的几何模型, 然后用 Hypermesh 建立车体、车体挂发动机的有限元模型, 并导入到 Msc. Nastran 中进行了自由模态的计算。通过模态实验验证了车体有限元模型的准确性。模态分析结果表明, 挂上发动机后增加了车体的弯曲刚度, 导致一阶弯曲频率的升高, 而发动机的质量导致了车体一阶扭转频率的降低。最后分析了路面激励和发动机的激励对车体动态特性的影响, 并提出了修改的方案和建议。

关键词:车体振动; 全地形车; 模态分析; 动态特性

中图分类号:U483

文献标志码:A

Dynamic characteristic analysis of an all-terrain vehicle body

XU Zhong-ming^{1, 2}, GUO Shi-feng², ZHANG Zhi-fei², MU Xiao-jing², WANG Xian-guo³

(1. State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China;
2. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China;
3. Chongqing Jianshe Motorcycle Co., Ltd., Chongqing 400050, P. R. China)

Abstract: The body is a key part of all-terrain vehicles (ATV). Its dynamic characteristics greatly effect the vibration of the ATV assembly. Simulation and experimental methods are combined to analyze ATV body vibration characteristics. A computer aided design (CAD) model is built using UG4.0. A finite element method (FEM) model of an ATV body and a body with an engine are created using Hypermesh. The FEM model is imported to Msc. Nastran to calculate the free mode. The simulation model is verified by the experimental modal result. The results indicate that after the frame with engine, the first bending mode increases due to the engine increasing the body stiffness, while the first torsion mode decreases due to the engine mass. The effects on the dynamic response of the road and engine excitation are analyzed respectively. Vibration characteristic improvement methods and suggestions regarding the body are provided.

Key words: body vibration; all-terrain vehicle; modal analysis; dynamic characteristic

全地形车 (all terrain vehicle, ATV) 是一种全新概念的新车型, 在国内通常被称为沙滩车, 主要用于农业、军事、休闲娱乐等。由于 ATV 最近几年才

在国内兴起, 所以对其振动特性研究尚且不多, 但与 ATV 类似的摩托车已经有了深入的研究^[1-5]。

ATV 的车体是整车的骨架, 其振动特性影响整

收稿日期:2008-09-16

基金项目:重庆市科委攻关项目 (CSTC2007AC6017)

作者简介:徐中明 (1963-), 男, 重庆大学教授, 博士生导师, 主要从事车辆动力学及控制研究, (Tel)13883565917;
(E-mail)xuzm@cqu.edu.cn。

车的动态特性。因此改善车体的动态特性是提高 ATV 舒适性和安全性的关键。

ATV 在行驶过程中,如果激励频率与车体的固有频率接近时,将会发生共振,从而严重影响 ATV 的乘坐舒适性。所以,避免车体共振是提高 ATV 动态特性,减少振动问题的关键。笔者建立了某 ATV250 车体和车体挂发动机的有限元模型,进行了模态分析,并分析了发动机对结构动态特性的影响,探讨了车体与外界激励的匹配性,并对车体提出了修改方案和建议。

1 车体的模态分析

1.1 车体的有限元仿真分析

根据二维设计图纸,利用 UG4.0 建立了某 ATV250 车体的几何模型。由于考虑到车体上的小的部件对车体的动态特性影响很小,故对该车体进行了合理的简化。所建立的几何模型如图 1 所示。

该 ATV 车体是由各种截面的薄管焊接而成,其厚度与长度和截面尺寸相比很小,为了准确地表示其结构特性,采用 Msc. Nastran 中的壳单元对其进行有限元网格的划分^[6-8]。划分网格过程中,忽略了焊点对结构刚度的影响,直接采用单元连接。

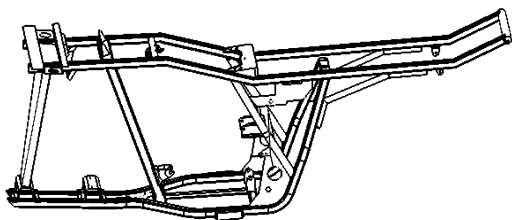


图 1 某 ATV250 车体

由于发动机的结构复杂,故在有限元模型中对其用集中质量点进行模拟^[9],然后利用梁单元将发动机质点与车体直接相连。最终建立的有限元模型如图 2 所示。

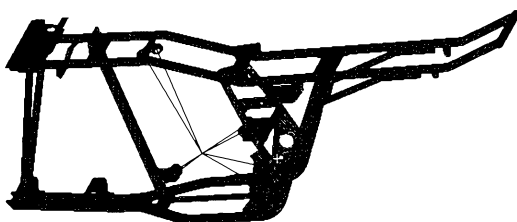


图 2 某 ATV250 的车体有限元模型

因为低阶的模态对车体振动的影响高于高阶的

模态,且由于该 ATV 主要用于休闲娱乐,路况比较恶劣,行驶的车速都不会太高,所以取其前六阶作为关心的模态。运用 Msc. Nastran 软件对车体进行自由模态分析,利用兰索士^[10-11](Lanczos method)法提取车体的前六阶模态。

1.2 车体的实验模态分析

实验模态分析即通过对系统施加某种激励,测出相应的响应,根据频响函数来识别结构的模态参数^[12]。试验模态分析可以用来验证计算模态分析的准确性。

该 ATV250 的车体采用钢管焊接结构,具有良好的线性特性,在模态实验时,采用力锤激励。为模拟自由状态,将车体用软橡皮绳悬挂起来。整个测试系统示意图如图 3 所示。

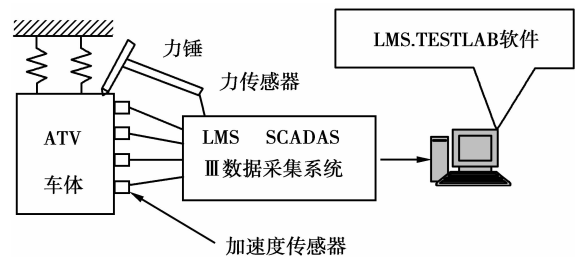


图 3 某 ATV250 车体的实验模态测试系统

车体和车体挂发动机的实验模态与计算模态的比较如表 1、2 所示。

表 1 车体实验模态和计算模态的比较

阶次	模态频率/Hz		相对差值 /%
	计算模态	实验模态	
1	82.89	82.59	0.40
2	86.26	86.57	-0.36
3	114.80	122.50	-6.30
4	133.74	130.27	2.70
5	140.73	142.70	-1.40
6	185.70	186.70	-0.50

表 2 车体挂发动机实验模态和计算模态的比较

阶次	模态频率/Hz		相对差值 /%
	计算模态	实验模态	
1	83.393	82.01	1.7
2	86.789	90.86	-4.5
3	98.383	104.88	-7.2
4	122.540	117.36	4.4
5	124.790	136.50	-8.6
6	143.230	144.90	-1.6

由表 1、2 可以看出,计算模态和实验模态吻合得较好,说明建立的模型是比较可靠的。为此,运用该模型进行动态特性的分析也是可行的。

1.3 发动机对车体结构模态的影响

由实验模态结果可知,车体挂上发动机以后,结构模态频率和振型都发生了改变,见表 3。以二阶模态为例,车体挂上发动机后,振型由扭转变为上下弯曲,如图 4、5 所示。

表 3 车体和车体挂发动机结构动态特性的比较

阶次	车体		车体挂发动机	
	模态频率 /Hz	振型	模态频率 /Hz	振型
1	82.59	一阶上下弯曲	82.00	一阶扭转
2	86.57	一阶扭转	90.86	一阶上下弯曲
3	122.50	一阶左右弯曲	104.88	一阶扭转
4	130.26	二阶扭转 尾部变形大	117.36	二阶扭转
5	142.70	二阶上下弯曲	136.50	二阶上下弯曲
6	186.70	二阶左右弯曲	144.90	一阶左右弯曲, 尾部扭转变形大

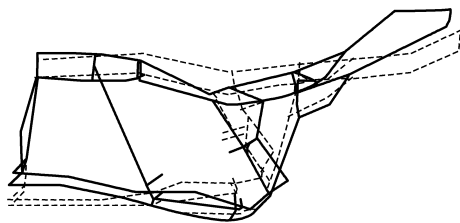


图 4 车体的二阶实验模态振型

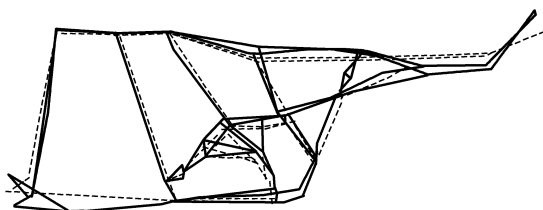


图 5 车体挂发动机的二阶实验模态振型

从表 3 可看出,车体挂发动机以后,一阶固有频率基本不变,这与一般发动机对摩托车车体动态特性的影响不同。文献[1]对某摩托车车体的分析表明,挂发动机后一阶结构模态频率显著降低。这两者的不同结果表明,由于 ATV 车体结构的特殊性,发动机对其结构频率的影响与对摩托车车体的不同。但是这两种车体在挂上发动机后也有着共性,从文献[1]和表 3 可以看出,挂发动机后,一阶上下弯曲频率都提高了,这是由于车体挂上发动机后,加强了车体的弯曲刚度。一阶左右弯曲的频率却降低了,这是因为发动机的质量对车体的影响比较大。

车体的固有频率和振型的变化是由于挂上发动机后,整车质量分布改变了,且车体与发动机的螺栓刚性链接也改变了车体的结构刚度,从而引起车体动态特性的改变。

2 车体的动态性能分析

ATV 在行驶过程中,激励来自路面不平度和发动机。因此,应当避免激励频率与车体频率的耦合,这样不仅会提高乘坐舒适性,同时也能提高车体的可靠性。

ATV 悬挂下的结构为车轮,固有频率一般在 20 Hz 以内。该 ATV250 采用单缸四冲程的发动机,怠速转速为 1 500 r/min,可得发动机怠速激励频率为 25 Hz。而车体的一阶固有频率为 82 Hz,远远高于悬挂下结构的固有频率,且避开了发动机怠速频率,所以怠速状态下,车子不会发生共振。

2.1 路面不平度对车体动态特性的影响

ATV 以一车速 v 行驶在不平度波长为 λ 的路面时,时间频率为

$$f = v / (3.6 \times \lambda)^{[13]}.$$

若 ATV 的车体的固有频率与时间频率一致时,将引起共振。

路面不平度的激励与行驶的车速有关,各种路面的不平度波长^[14]如表 4 所示。

表 4 各种路面的波长 m

路面	未铺装路面	碎石路	搓板路	平坦公路
路面波长	0.7~2.5	0.32~6.5	0.74~5.6	1~6.3

以该车的最高车速 75 km/h 为准,取路面不平度波长为最小值 0.32 m,求得路面可能产生的最激励频率为 $f = v / (3.6 \times \lambda) = 65.1$ Hz。低于车体的一

阶固有频率,所以路面不平度的激励不会引起车体的共振。

2.2 发动机激励对车体动态特性的影响

由于该 ATV 的发动机是由螺栓直接刚性连接到车体上的,发动机工作时,由曲轴、连杆和活塞等不平衡质量产生周期变化的惯性载荷,会将振动直接传递到车体上。

发动机的惯性力一般分为往复惯性力和旋转惯性力。发动机的旋转惯性力只要在曲柄的另一侧装上平衡块,使其产生的离心力与该惯性力相等,就可以使旋转惯性力得到平衡^[15]。所以主要考虑发动机的往复惯性力对车体振动的影响,由于往复惯性力随着阶数的增加而迅速地减少,且该发动机未装平衡轴,所以主要考虑发动机的一阶往复惯性力对车体振动的影响。

对于单缸四冲程发动机,往复惯性力的基频率为 $f_1 = n/60$,其中 n 为发动机转速。

发动机的常用工作转速为 3 000~8 000 r/min,所以发动机的一阶往复惯性力频率为 50~133 Hz。

发动机一阶往复惯性力频率和车体挂发动机模态频率耦合的转速和车速见表 5。

表 5 车体挂发动机的共振转速

阶次	频率 /Hz	转速 /(r·min ⁻¹)	车速 /(km·h ⁻¹)
1	82.00	4 920	43.00
2	90.86	5 451	47.85
3	104.88	6 292	55.00
4	117.36	7 041	62.00
5	136.50	8 190	72.00
6	144.90	8 694	76.30

从表 5 可以看出,发动机的激励频率覆盖了车体挂发动机的前四阶模态频率,因此有可能发生共振。且车体一阶弯曲模态频率对应的车速为 47.85 km/h,也在该 ATV 的常用车速范围内,因此正常行驶时,有可能发生共振。

3 改进措施与建议

从以上分析可以得出,为了改善 ATV 的车体动态特性,采用措施为:

1) 提高车体的固有频率,避开发动机的激励频率;

2) 改善结构的振型,降低振动的幅值。

3.1 改进方案

对车体振动剧烈的部位增加加强管和加强板。改进方案的有限元模型如图 6。

仿真结果表明,通过对车体前端设置加强管以及尾部增加加强板的改进措施对车体的固有频率的提高效果不是很显著,但是与原车相比,振型得到了改善,振动的幅值也得到明显的降低,从而能够改善该全地形车车体的动态特性。

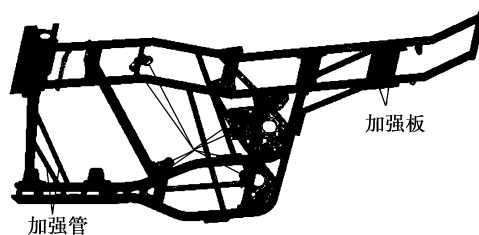


图 6 改进的某 ATV250 车体

3.2 建议

由于该全地形车车体的结构已经比较成熟,通过局部的改进并不能显著地提高其固有频率。为进一步改善其动态特性,应当改善车体发动机的悬挂刚度,或者在悬挂处布置合适的弹性悬置,因为发动机的连接刚度和连接方式对车体的动态特性影响很大。

4 结论

1) 建立了某全地形车体和车体挂发动机的有限元模型,并通过实验模态分析验证了模型的准确性。

2) 车体挂上发动机后,车体的一阶扭转频率降低,一阶弯曲频率得到了升高。

3) 通过对路面和发动机激励对车体动态特性的分析发现,在常用转速下发动机的往复惯性力的激励频率与车体的固有频率吻合,从而容易引起共振。

4) 改进后的车体结构仿真结果表明,在车体前端和尾部增加加强管的方式能够改善车体的振型并且降低幅值,从而能够改善车体的动态特性。

在全地形车车体设计过程中,必须综合考虑路面和发动机激励的影响,充分考虑车体的动态特性。

参考文献:

- [1] 徐中明,张志飞,周坤,等. 摩托车振动舒适性分析与改进[J]. 中国机械工程,2007,18(24):3009-3013.
XU ZHONG-MING,ZHANG ZHI-FEI,ZHOU KUN, et al . Analysis and improvement of motorcycle vibration comfort [J]. China Mechanical Engineering, 2007,18(24): 3009-3013.
- [2] 张志弘,何玉林,杜静,等. 摩托车整车振动性能匹配优化设计技术的研究[J]. 中国机械工程,2005, 16(23): 2134-2137.
ZHANG ZHI-HONG, HE YU-LIN, DU JING, et al. Research on optimal design technique for integrated matched performance of motorcycle[J]. China Mechanical Engineering, 2005,16(23):2134-2137.
- [3] DAI L, WU J. Stability and vibrations of an all-terrain vehicle subjected to nonlinear structural deformation and resisistance[J]. Communications In Nonlinear Science and Numerical Simulation,2007,12:72-82.
- [4] ZHANG X H. Geodesics non-linear normal modes of conservative vibratory systems and decomposition method[J]. Journal of Sound and Vibration, 2004,14: 65-69.
- [5] 杜子学,李芹英,文孝霞. 全地形车车架结构的静动态分析[J]. 机械工程师,2006(12):64-66.
DU ZI-XUE, LI QIN-YING, WEN XIAO-XIA. Static and dynamic characteristic analysis of ATV[J]. Mechanical Engineer,2006(12):64-66.
- [6] 徐中明,张志飞,汪先国,等. 摩托车车体模态特性分析[J]. 小型内燃机与摩托车,2006,35(3):29-31.
XU ZHONG-MING, ZHANG ZHI-FEI , WANG XIAN-GUO, et al. Analysis of modal characteristic of motorcycle frame[J]. Small Internal Combustion Engine and Motorcycle, 2006,35(3): 29-31.
- [7] COSSALTER V, DORIA A, GARBIN S. Frequency-domain method for evaluating the ride comfort of a motorcycle[J]. Vehicle System Dynamics,2006,44(4): 339-355.
- [8] IBRAHIM I M, CROLLA D A, BARTON D C. Effect of frame flexibility on the ride vibration of trucks[J]. Computer and Structures,2004,58:709-713.
- [9] MA Z D, PERKINS N C. A track-wheel-terrain interaction model for dynamic simulation of tracked vehicles[J]. Vehicle System Dynamics, 2003, 37: 401-421.
- [10] 张永昌. MSC. NASTRAN 有限元分析理论基础与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [11] CHE R, LU N. An equivalent finite element method to kinetics analysis of complex mechanism[J]. Journal of Harbin Institute of Technology,2005,3:197-200.
- [12] PEETERS B, ANTONNIO V, HERMAN V D A . PolyMAX modal parameter estimation from operational data[M]. Leuven: Katholieke University,2004.
- [13] 张志弘,何玉林,杜静. 摩托车车架动态性能优化设计技术的研究[J]. 工程图学学报,2006(3):12-17.
ZHANG ZHI-HONG, HE YU-LIN, DU JING. Study on dynamic performance optimization of motorcycle frame[J]. Journal of engineering graphics,2006(3):12-17.
- [14] 高国生,张祖翰. 摩托车车体动态特性性能的试验研究[J]. 振动与冲击,1994(3):66-69.
GAO GUO-SHENG, ZHANG ZU-HAN. Experient analysis of dynamic characteristics of motorcycle frame[J]. Vibration and Shock, 1994(3):66-69.
- [15] 陆际清,孟嗣宗. 汽车发动机设计[M]. 北京:清华大学出版社,1990.

(编辑 李胜春)