

文章编号:1000-582X(2003)02-0107-03

汽车发电机-压缩机支架断裂发生机理及控制措施

熊伟, 邓兆祥, 褚志刚, 刘剑

(重庆大学机械传动国家重点实验室, 重庆 400044)

摘要:针对某微型汽车在道路试验和实际使用中出现的发电机-压缩机支架断裂并导致发电机-压缩机-曲轴皮带断裂而严重影响其使用寿命的现象,对其发电机-压缩机支架系统进行了发动机台架振动测量和实验分析研究,利用频谱分析技术得到了该系统典型部位的振动信号特征,识别了有害振源。同时结合有限元分析技术,研究振动的发生、形成、传播和破坏机理。在此基础上,提出了行之有效的改进措施和控制方案,达到改善系统动态特性,降低振动强度,避免了支架系统和皮带的破坏或失效。

关键词:有限元分析; 断裂; 实验研究; 共振

中图分类号:U467.4+92

文献标识码:A

某型号微型汽车在实际使用和发动机台架性能试验中,均发现其发电机-压缩机支架系统特别容易断裂。断裂的部位主要集中在压缩机支架的中部和发电机支架的根部,且通常伴随着曲轴-发电机-压缩机皮带的断裂。在进一步的对该车型多个随机样车进行现场检测时,发现所有样机在发动机转速为3 800~4 200 rpm之间时,发电机和压缩机支架系统存在强烈的横向振动,即出现了横向共振。针对此现象,笔者借助频谱分析技术和有限元分析方法进行了深入的探讨。认为造成这种振动的主要原因来源于两个方面:一是存在异常的激励源,二是存在不良的结构或系统动态特性,且二者同时存在^[1-4]。

1 支架系统台架实验分析

本文首先在发动机台架上测量了原支架系统典型位置处的振动加速度信号。具体的测量工况为:发动机转速从2 000~4 600 rpm,每隔200 rpm为一测量转速,发动机全负荷,压缩机无负荷,发电机50%负荷。根据实际支架系统的破坏情况,选择的典型测点位置如图1所示。

利用频谱分析技术对上述实验数据进行详细的分析和处理后,各测点的位移和速度的均方根值随转速的变化关系分别如图2、3所示。从图中可以发现,在对应于发动机转速为3 800~4 400 rpm时支架系统出现明显的共振现象,共振峰出现在4 200 rpm左右,而在3 600 rpm以下转速时振动相对很小,在4 600 rpm以上振动的强度也有明显下降。此外,各测点的振动

强度的大小以3点最大,2点次之,1、4测点较小。

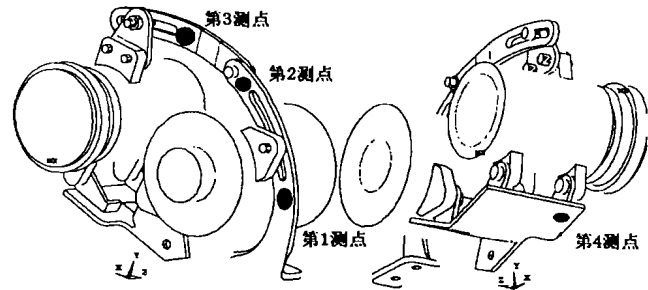


图1 振动测量测点布置示意图

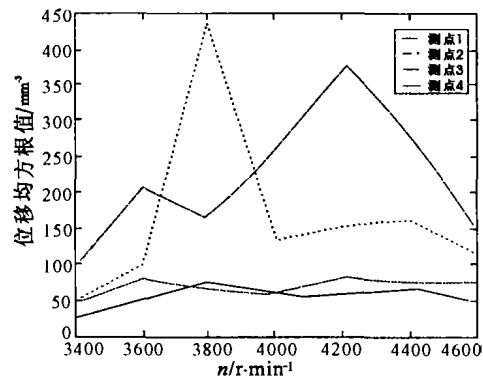


图2 改进前各测点位移均方根值随转速的变化关系

从各测点对应的每个转速的加速度频谱图还可发现,各频谱图的第一峰值频率随着转速的上升而成比例的上升。其频率值与发动机的工作转频、压缩机的工作转频、发电机的0.5倍工作转频基本吻合。由此可见,发动机的扭矩波动、发电机的轴向窜动以及压缩

收稿日期:2002-11-15

作者简介:熊伟(1978-),男,重庆人,重庆大学硕士生,主要研究方向为车辆系统动力学。

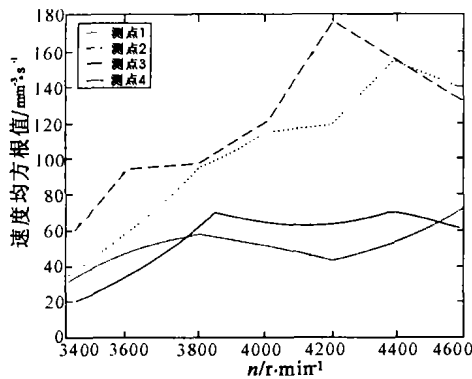


图3 改进前各测点速度均方根值
随转速的变化关系

机的轴向窜动是引起系统共振的可能来源。

以上三个振源可能单独存在,也可能共同作用。为了确定三个振源的贡献大小,本文设计了进一步的分离实验:1)首先去除压缩机皮带,使压缩机不工作,且基本不影响系统的结构动态特性。2)在上述基础上,换装曲轴水泵皮带,使发电机不工作,而水泵正常工作,在不影响发动机冷却的前提下,使系统结构动态特性基本保持不变。

在去除了压缩机皮带后,系统的振动特性基本未变,从而证明压缩机不是该系统振动的主要激励源。而换装曲轴水泵皮带,由于需要专门的皮带,这在样件和工装上都不现实,故该分离实验未能进行。但对于曲轴的扭矩波动,可能的传递途径有两个,一是直接通过曲轴皮带轮经由皮带传递到发电机压缩机系统,但考虑到橡胶皮带本身的吸振作用,该途径的传递效率很低;二是通过曲柄连杆机构的支承点传递到发动机机体上,最后再传递到系统上,激励系统的振动。因此,发动机本身的扭矩波动可能是该系统振动的一个激励源。对于发电机,由于存在明显的横向窜动,经测量,窜动量一般在0.15~0.30 mm(而国外相应发电机的窜动量小于0.10 mm)^[5],且该窜动量引起的激励直接作用于系统本身。因此,可以断定该窜动引起的激励是该系统最主要的激励源。

综上所述,发电机是该系统振动主要的激励源,此外,发动机的扭矩波动也是该系统振动的另一激励源。

2 支架系统解析分析

为了了解支架系统的动态特性,本文对支架系统进行了各种解析计算,并且对其中难以确定的参数的影响进行了量化分析。首先对发电机支架和压缩机支架组成的系统进行了自由模态分析和约束模态分析;其次对发电机支架、压缩机支架和发电机压缩机支座构成的系统进行了约束模态分析,对其中发电机和压缩机的转动惯量和质心位置的影响大小做了评估;最后对整个发电机支架、压缩机支架、发电机、压缩机、发电机和压缩机支座完整系统进行了约束模态分析^[6]。

在上述分析结论的基础上,建立了与实际情况最相吻合的系统模型,该系统中建立了实际的发电机和压缩机模型,并考虑了各零部件之间的实际螺栓连接关系。最终的有限元模型如图4所示。

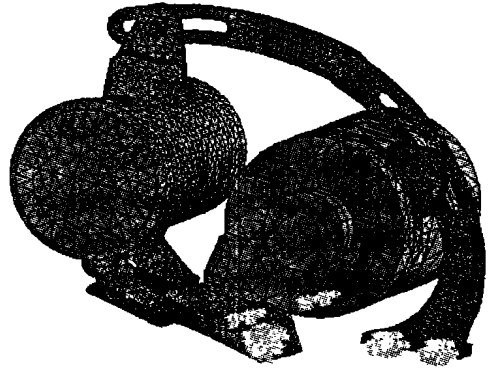


图4 原完整系统有限元模型

该模型共有39 425个节点,37 569个单元,236 550个自由度。其中在发电机支架与发动机机体的两个螺栓连接面,托架与发电机机体的两个螺栓连接面以及托架与发动机机体的螺栓连接面上施加固定约束。其前12阶模态计算结果如表1所示。

表1 原完整系统模态频率(Hz)

模态阶次	模态频率	模态阶次	模态频率
1	145.5	7	964.3
2	380.5	8	1 103.1
3	433.2	9	1 289.0
4	567.7	10	1 559.7
5	659.3	11	1 766.7
6	742.7	12	1 952.2

其中第3阶和第4阶固有频率分别为433.2 Hz和567.7 Hz,而这两个频率正对应于发动机转速为4 200 rpm左右时的发电机转动频率的3倍频和4倍频。从其各阶模态对应的振型来看,主要以支架系统的横向振动为主,与实际的振动相当吻合。从振型判断得到的对应各振型的可能破坏部位与实际破坏情况也完全一致。

需要说明的是,一方面由于解析计算对实际情况作了大量的简化,解析计算的结果与实际结果必然存在着一定的偏差。另一方面,由于实际的实验是测量系统的振动强度随发动机转速的变化规律,而非进行系统的实验模态分析,得到的实验结论也不是准确的模态结果。但这并不影响分析结论的正确性。在本文的分析中,影响解析分析结果的主要因素有以下几个方面:

- (1) 实际压缩机和发电机的简化;
- (2) 实际螺栓连接的简化;
- (3) 实际皮带预紧力的忽略;
- (4) 理论装配位置与实际装配位置的误差;
- (5) 发电机支架和托架与发动机机体固定连接的简化。

3 支架系统的改进设计

根据以上分析的结果,为实现以最小的改动,最低的控制成本,达到最有效的控制效果,本文提出如下控制策略:一是对发电机本身激励源的控制,以达到治本的目的;二是对改变现有系统的动态特性,以达到治标的效果。前者需要对发电机的生产质量进行严格的控制,而国内的生产水平决定了现有的产品水平,产品质量的提高必然造成产品成本的大幅提高,因此,决定通过对现有系统作适当的改进设计,来改变系统的动态特性,以达到控制振动强度、解决支架断裂的目的。

对原发电机压缩机支座进行了改进设计,对压缩机支架进行了改进设计,用改进后的压缩机支架代替

原有支架,得到的系统模型如图 5 所示。

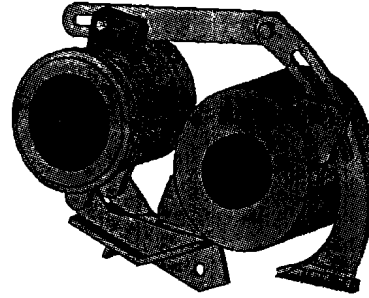


图 5 改进方案的系统三维模型

改进后的前 12 阶模态频率如表 2 所示,其模态振型与改进前也基本一致。但频率有明显上升。

表 2 各模型的模态频率结果(Hz)

模态阶次	原系统频率	改进方案频率	模态阶次	原系统频率	改进方案频率
1	145.50	209.73	7	964.33	1 155.7
2	380.45	450.03	8	1 103.1	1 199.6
3	433.19	501.15	9	1 289.0	1 453.1
4	567.74	656.47	10	1 559.7	1 641.9
5	659.26	736.40	11	1 766.7	1 863.3
6	742.74	896.62	12	1 952.2	2 131.2

从对应的各测点的位移和速度的均方根值随转速的变化关系图 6,7 中,也可以看出,改进后的系统振动位移和速度在发动机转速为 4 600 rpm 时都有明显降

低。虽然在 5 000 rpm 以上的高转速工况振动位移和速度较大,但由于其不是发动机的常用转速范围,对整个支架系统的强度和寿命影响不大。

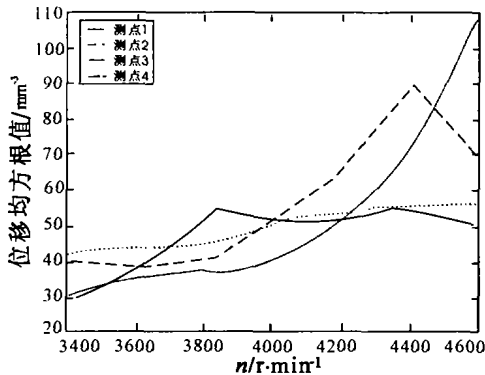


图 6 改进后各测点位移均方根值随转速的变化关系

在对改进系统进行发动机台架实验后,发现各测点的振动位移和速度在发动机转速低于 4 600 rpm 时都远小于原来状态。在经过 500 h 的发动机台架疲劳寿命实验和海南 3.5 万 km 的道路可靠性、耐久性实验后,未发现该处皮带异常磨损和支架断裂的现象。从而证明改进方案有效合理的。

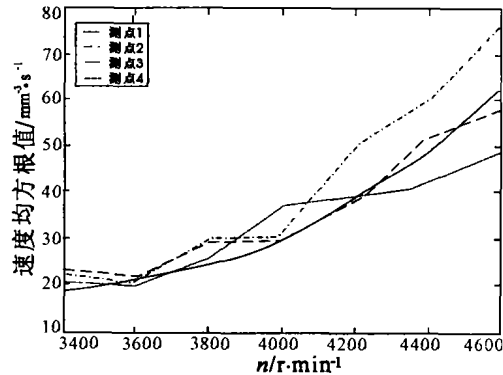


图 7 改进后各测点速度均方根值随转速的变化关系

目性,提高了改进的可行性和有效性,从而缩短了改进周期,降低了改进成本,因而具有广泛的适应性。

4 结论

本文提出的改进方法,有效地解决了实际汽车使用过程中出现的发电机压缩机支架系统的破坏失效,提高了汽车的使用性能。通过实验分析和解析分析相结合的现代分析方法,准确的识别出了造成系统破坏的振源,并寻找出了传播途径,得到了破坏的发生机理。通过有限元方法实现了样机的虚拟改进,避免了改进的盲

参考文献:

- [1] 何渝生,魏克严,洪宗林,等.汽车振动学[M].北京:人民交通出版社,1990.83-87.
- [2] 陈家瑞.汽车构造(上册)[M].北京:人民交通出版社,1995.62-65.
- [3] 梁价,霍拳忠.内燃机的振动问题[M].天津:天津大学出版社,1989.33-35.
- [4] 陈安宁,董卫平.振动模态分析技术[M].北京:国防工业出版社,1993.79-81.
- [5] 严济宽.机械振动隔离技术[M].上海:上海科学文献出版社,1986.291-295.
- [6] 朱位秋.随机振动[M].北京:科学出版社.1998.152-155.

(下转第 131 页)

Influence of Hydrogen on Impact strength and Microstructure of the Titanium Alloy Ti—Al—V

LI Yuan-ruì, HUANG Ben-duo, HE Qing-bing

(College of Materials Science and Engineering in Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: After analyzed and tested the composition, microstructure and the mechanical property for the forging timber of the titanium alloy Ti—Al—V, Processed it into lash test samples, and made the samples having different hydrogen-content by the way of artificial hydrogen-absorption. Next, measured the impact strength values (a_k) of the titanium alloy in different hydrogen-content, and drawn the relation curve between the impact strength and the hydrogen-content.

Afterwards, four samples and themselves impact fractographies whose hydrogen-contents are 48ppm, 137ppm, 361ppm and 666ppm have been used for phases and the sweep electron microscopes, Known microstructures and shapes of the hydrogenate of the different hydrogen-content titanium alloy and that the hydrogenate is sheet and its distribution in the titanium alloy.

Key words: hydrogen; titanium alloy; impact strength; microstructure

(责任编辑 陈移峰)

~~~~~  
(上接第 109 页)

## Fracture Occurrence Mechanism and Control Measure Research of Generator and Compressor Bracket

XIONG Wei, DENG Zhao-xiang, CHU Zhi-gang, LIU Jian

(State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** During a minibus's practical road driving and engine test rig test for vehicle and engine reliability, the phenomenon of generator-compressor bracket fracture appears and leads the generator-compressor-crankshaft belt rupture. It seriously affects the vehicle's operation performance. The article carries through engine test rig test and analysis, using frequency and spectrum technology to identify the bad vibration source combining FEA. It also researches vibration's occurrence, formation, propagation and fracture mechanism. Based on this, the authors put forward countermeasure, which improves the dynamic characteristic of the system, decreases the vibration intensity and avoids the fracture of bracket and belt.

**Key words:** FEA; fracture; test analysis; resonance

(责任编辑 张小强)