

重载柴油发动机前支撑有限元模拟分析

汪维娜, 曹 柯

(西安康明斯发动机有限公司, 陕西西安 710200)

摘 要: 以某型号重载发动机前支撑为例, 介绍了前支撑模型建立的方法, 采用 ANSYS 软件对前支撑的应力分布和疲劳寿命进行了有限元分析, 分析表明: 前支撑与发动机和整车连接处应力较大, 远离连接处应力逐渐越小; 当发动机向下颠簸加速度为 6g 时, 前支撑和整车与连接螺栓孔处的应力分布最为恶劣, 该结论可为前支撑的设计和优化设计提供理论依据。

关键词: 前支撑; 柴油机; 有限元

中图分类号: TK422.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2010)05-0027-04

FEA Simulation Analysis of Engine Front Support of Heavy Duty Diesel Engine

Wang Weina, Cao Ke

(Xi'an Cummins Engine Co., Ltd., Shanxi Xi'an 710200)

Abstract: The front support of a certain heavy duty diesel engine is taken as an example to introduce the modeling of engine front support. Software ANSYS was applied to carry out FEA analysis on stress distribution and fatigue life of engine front support. The analysis results show that the stress on the connecting position of engine front support with engine and with the vehicle is large, and the stress become smaller as it get further away from the connecting position. As the engine's acceleration reach 6g when it bumps down, the stress distribution in the connecting bolt hole turns to be the worst. The conclusion provides a theoretical basis and a reference for the improvement of engine front support design and its optimization.

Keywords: front support; diesel engine; FEA

1 引 言

发动机前支撑是支撑发动机的重要部件, 起到发动机自身运输和整车连接的作用, 整车在恶劣路况条件下, 上下颠簸, 使得发动机前支撑承受循环作用力, 其可靠性和疲劳寿命直接影响着发动机的安全连接和整机的安全使用, 本文结合实例, 对前支撑进行有限元受力分析, 对于前支撑的设计具有一定的指导意义。

2 模型建立

2.1 前支撑分类

按照支撑点个数, 前支撑可分三点式支撑和四

点式支撑。图 1 是一个常见的重载发动机支撑示意图, 前支撑可位于发动机前端或发动机两侧, 后支撑位于飞轮壳或者变速箱上, 一般有两个支撑点, 因此前支撑支撑点的个数决定了前支撑的分类。前支撑与整车连接时, 一般配有弹性材料做的减振垫, 起到减振作用。发动机前支撑为一个支撑点时, 即前端有一个减振垫时, 叫做三点式支撑; 若有两个支撑点, 即有两个减振垫时, 则叫做四点式支撑。有些有辅助的支撑以减小缸体后端支撑点载荷。三个点确定一个平面, 三点式支撑受车架变形的影响小, 运动顺从性好, 抗扭转振动效果好。四点式支撑的稳定性好, 能克服较大的扭转反作用力, 应用较为广泛。

收稿日期: 2010-01-05

作者简介: 汪维娜(1982-), 女, 工程师, 主要研究方向为发动机零部件设计, E-mail: vina.wang@cummins.com。

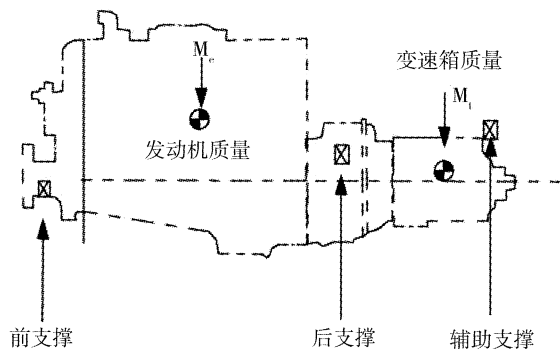


图1 重载发动机支撑示意图

按照材料,前支撑可分为铝质、铸铁和钢构前支撑。铝质前支撑具有重量轻的优点,当对重量要求较高时,能发挥其优势,但由于材料的硬度较低和疲劳寿命较差的原因,在重载发动机上应用较少。铸铁前支撑的材料一般为球墨铸铁 QT450-10, QT600-3 等,生产工艺容易控制,批量时具有较大的成本优势,且隔振效果好,是前支撑中应用最为广泛的一种。钢构前支撑一般采用 Q235A 等材料,钢构前支撑由多个钢板焊接而成,其结构可以根据需求而随意变化,且加工周期短,低产量时具有成本优势,因此多用于发动机试制阶段。

这些前支撑已经成功地在实际工作中应用,每种都能在一定的使用条件下发挥其优势。设计者可根据产量和发动机重量及其使用情况,选择合适的前支撑材料。

2.2 三维模型确认

在进行设计之前,应用工程师或者设计工程师与整车厂的沟通十分重要,要求充分地了解整车厂的需求,尽量减少因需求不明确而引起的返工。例如减振垫的外形、个数、位置;前支撑、发动机、整车的连接螺栓的个数和位置等;此外,还需了解整车厂对于前支撑有无特殊要求,例如上面是否需要增加其他的安装孔等,将这些要求作为设计的输入条件。

根据发动机前端系的空间大小及设计的输入条件进行前支撑设计,得到最初的 Pro/E 模型,之后必须在整车的模型上进行安装,确认其与其他零件无干涉,如果干涉的话,需要调整前支撑尺寸。本实例的前支撑位于发动机前端,是四点式支撑,无辅助支撑。结合实际情况,做出的前支撑三维模型如图 2 所示,并与整车厂确认,无干涉发生。

2.3 模型载荷

发动机、离合器、变速箱、前支撑组成的动力总成通过减振垫安装在整车车架上,在模拟计算过程中,不考虑打火产生的作用力,假设发动机打火产生的力可以被减振垫完全吸收。前支撑上除了连

接螺栓的预紧力和自重以外,其受力主要来自于由于路况不同而产生的颠簸,表现为发动机上、下、前、后、左、右六个方向上的振动,该激振力以大小不同的载荷加载在模型上,在 FEA 模拟计算中这个激振力用加速度来体现。即,在有限元模拟计算时,利用加速度来体现发动机所受载荷。

表 1 给出发动机在不同应用情况下,在进行模拟计算时,各方向上的加载情况。在进行计算之前,设计工程师需与主机厂沟通,明确发动机应用情况,用来确认 FEA 分析时,模型上所加载载荷的方向和大小。在进行本例模拟计算前,确定了整车为道路用车辆,即上下前后左右的载荷分别为: +6g、-4g、+4g、-4g、+2g、-2g。

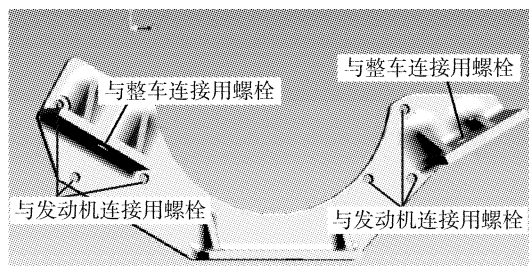


图2 发动机前支撑设计图

表 1 模型载荷

发动机应用情况	竖直方向		轴向		水平	
	上	下	前	后	左	右
公交车固定的机械	+4 g	-2 g	+2 g	-2 g	+2 g	-2 g
道路用车辆农业机械	+6 g	-4 g	+4 g	-4 g	+2 g	-2 g
铁路	+12 g	-10 g	+6 g	-6 g	+4 g	-4 g

注: 1)g 为重力加速度; 2)以上方向均以发动机和曲轴为参考。

2.4 判定条件

在完成 FEA 计算之后,用下面的条件来衡量这个模型是否通过 FEA 计算:

(1)模拟结果的零件应力需小于材料的许用应力;

(2)疲劳寿命大于 250 000 次。

如果以上条件不能满足,即零件内部应力大于材料许用应力,或者疲劳寿命较低,则在实际中这种前支撑易产生失效。此时,需要考虑更高强度的材料或更改局部结构,再次进行 FEA 计算,直到以上条件通过为止。

3 边界条件和网格

本实例采用的模拟软件为 ANSYS workbench,为了较为准确地模拟前支撑的应力情况,本文采用前支撑、发动机、飞轮壳、变速箱为一体的计算模型。在进行模拟计算时,绑定缸体、飞轮壳和变速箱,设定缸体和前支撑、前支撑和减振垫为摩擦接

触，螺栓的约束为预紧力绑定。

为了缩短计算时间，将缸体、变速箱、飞轮壳做模型简化。为了保证模拟精确，适当加密了前支撑、螺栓连接处、接触面的网格。指定缸体网格为 40 mm，接触面网格为 10 mm，前支撑网格为 6 mm。图 3 为有限元计算模型，网格数 102 220 个。

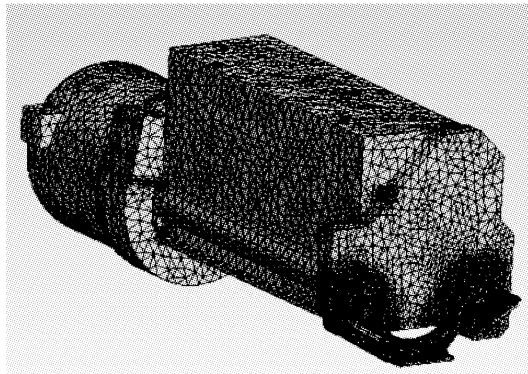


图 3 有限元计算模型

模拟计算时，选用的前支撑材料为 QT450 - 10，缸体、变速箱和飞轮壳的材料为 HT250，材料特性见表 2。

表 2 计算模型用材料特性

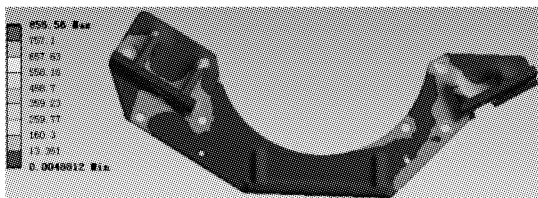
材料特性	前支撑	缸体变速箱 飞轮壳	螺栓
杨氏模量/MPa	1. 65 e + 005	1. 1 e + 005	2. 0 e + 005
泊松比	0. 28	0. 28	0. 3
密度/(kg/mm ³)	7. 5 e - 006	7. 06 e - 006	7. 85 e - 006
热膨胀系数/(1/°C)	1. 1 e - 005	1. 1 e - 005	1. 2 e - 005
抗弯拉强度/MPa	450	240	460
抗压强度/MPa	820	820	0
导热系数/(W/mm·°C)	5. 2 e - 002	5. 2 e - 002	6. 05 e - 002
比热/(J/kg·°C)	447	447	434
相对磁导率	10 000	10 000	10 000
电阻率/(Ω·mm)	9. 6 e - 005	9. 6 e - 005	1. 7 e - 004

图 4 给出了不同方向不同载荷下，前支撑的有效应力分布情况。从应力结果来看，前支撑整体应力小于材料的屈服强度，即满足 2. 5 中判定条件 1。在前支撑与发动机和整车车架连接的螺栓处应力较大，这是由于网格密度和预紧力约束等的影响，螺栓处的应力在分析前支撑模拟结果时可以忽略。如果是针对螺栓的设计，则在 FEA 模拟计算时，需要加密网格，考虑螺栓约束方式等。

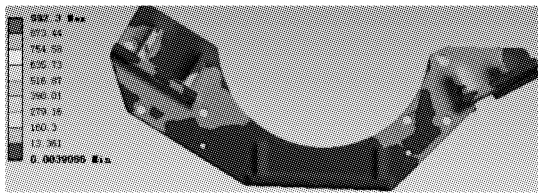
从应力结果中可以看出，前支撑与整车连接处应力较大，这是由于整车在运动过程中，由于颠簸振动，被悬置的发动机对前支撑施加作用力，造成前支撑和发动机连接处、前支撑和车架连接处应力较大，说明在整车行使过程中该处变形较大。远离

8 个连接螺栓，应力逐渐减小，说明在整车运动过程中变形逐渐减小。

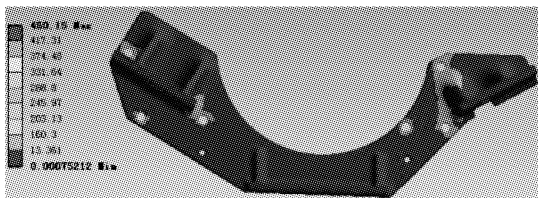
比较图 4(a) ~ 4(f) 可以看出，图 4(a)，即载荷方向向上大小为 6g 时，发动机前支撑的应力分布最为恶劣，这是由于此时整车的工况最为恶劣，因此造成应力比其它方向上的应力要大。



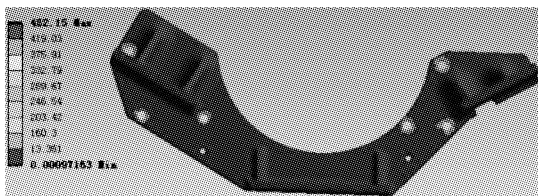
(a) 向上+6 g



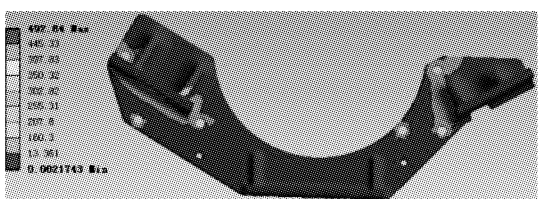
(b) 向下-4 g



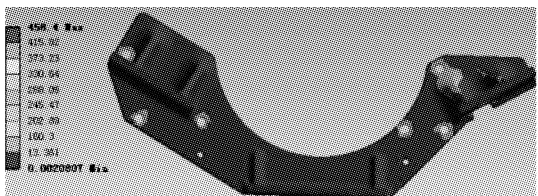
(c) 向前+4 g



(d) 向后-4 g



(e) 向左+2 g



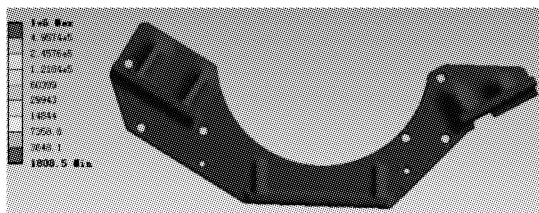
(f) 向下-2 g

图 4 不同方向不同载荷下前支撑有效应力分布

图 5 给出了不同方向不同载荷下，前支撑的疲劳寿命情况。忽略螺栓连接处的疲劳寿命，整个前支撑的寿命大于 250 000 次，满足 2. 5 中的判定条件 2，因此疲劳寿命满足要求。

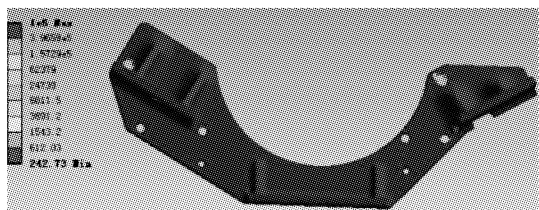


(a) 向上+6 g

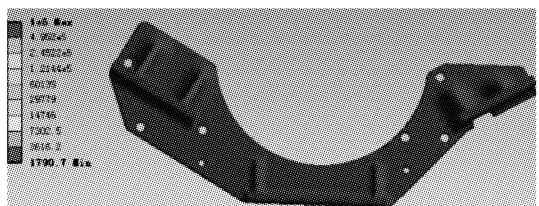


(f) 向下-2 g

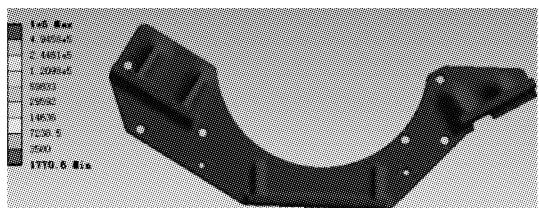
图 5 不同方向不同载荷下前支撑寿命分布



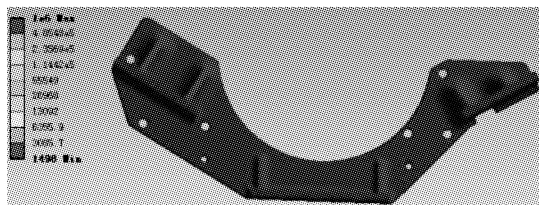
(b) 向下-4 g



(c) 向前+4 g



(d) 向后-4 g



(e) 向左+2 g

4 结 论

(1) 本文以某型号重载发动机前支撑为例, 给出了前支撑模型建立的方法, 为后续分析奠定了基础, 也为其它支撑的设计提供了参考。

(2) 采用 ANSYS 软件进行有限元计算, 得到了前支撑的应力分布和疲劳寿命情况, 前支撑与发动机和整车连接处应力较大, 远离连接处应力逐渐减小。当发动机向下颠簸加速度为 6g 时, 前支撑和整车与连接螺栓孔处的应力分布最为恶劣。

(3) 本文所选取的边界条件和研究方法, 包括边界条件和路况加载载荷具有较好的通用性, 有一定的实际指导意义。

参考文献

- [1] Pinelli, J. L., Komatsu. Report, Cummins technical report JEP1-90015[R]. 1990.
- [2] Spotts, M. F., Design of machine elements[C], 4th Ed., Prentice Hall Publishers, Englewood Cliffs, NJ, 1971.
- [3] 陈家瑞. 汽车构造[M]. 北京:机械工业出版社, 2001.

(上接第 12 页)

4 结 论

(1) 燃用低质混合油时, 由于黏度影响, 造成燃油喷射速率降低, 影响缸内燃烧, 导致原机动力性能下降。为了保持柴油机的动力性能, 需要调整喷油系统, 改变油嘴参数。

适当加大油嘴总流通面积, 一方面可以弥补黏度过大所造成的动力性能的损失, 另一方面, 增加油嘴总流通面积可降低高压油管压力, 提高柴油机喷油可靠性能。

(2) 燃油温度升高, 可以使重油黏度降低, 从而使雾化更加充分, 动力性能改善。然而当燃油温度过高时, 粘度进一步下降, 影响油气混合, 缸内爆发压力急剧降低, 动力性能恶化。所以燃油温度

应控制在合适的范围内。

通过本文研究可知, 燃油温度控制在 70℃ 左右可在提高低质混合油燃烧效率的同时避免缸内燃烧恶化。

参考文献

- [1] 岳丹婷, 段树林. 柴油机燃用低十六烷值柴油能力的探讨[J]. 大连海事大学学报, 1997, 23(04): 81-84.
- [2] 肖洪群, 李玉平. 浅谈船舶燃用劣质油的管理[J]. 航海技术, 2000(02): 52-54.
- [3] R. Payri, F. J. Salvador, J. Gimeno, J. de la Morena. Effects of nozzle geometry on direct injection diesel engine combustion process[J]. Applied Thermal Engineering, 29(2009): 2051-2060.
- [4] 何学良, 李疏松. 内燃机燃烧学[M]. 北京:机械工业出版社, 1990.