

基于有限元法的柴油机曲轴强度分析

邱伟杰

(广州柴油机厂股份有限公司 广东 广州 510000)

摘要: 文章首先对强度分析需要用到的有限元分析软件 HyperMesh 和 ANSYS 进行简要介绍, 然后对曲轴运动进行分析并建立三维模型, 再利用 HyperMesh 建立曲轴的有限元仿真模型。最后采用结构分析软件 ANSYS 对曲轴的结构强度进行计算并得出曲轴在各工况下的强度计算结果及应力集中点, 对计算出来的结果进行校核分析, 并提出优化建议。

关键词: HyperMesh; ANSYS; 曲轴; 柴油机; 强度分析; 有限元法

0 引言

随着航运技术的发展, 大型船舶运输已经成为了当代重要的交通运输方式, 船用柴油机是安装在船上的主发动机, 既可以驱动船舶, 又可以用作发电, 相当于船舶的心脏。而曲轴作为柴油机上的重要组成部件, 承受着连杆传递的力, 并将其转变为转矩通过曲轴输出并驱动发动机其他附件工作。曲轴受到旋转质量的离心力、周期变化的气体惯性力和往复惯性力的共同作用, 使其承受弯曲扭转载荷, 如果曲轴发生断裂, 柴油机将无法正常工作, 同时还对运输安全造成严重的伤害。因此, 曲轴必须保证有足够的强度和刚度。

本文以对曲轴强度的分析为主线展开介绍。用到的曲轴模型是根据广州柴油机厂股份有限公司某机型采用的曲轴为设计基础, 进行三维建模并对模型进行计算分析。论文首先对有限元软件 HyperMesh 和 ANSYS 的分析原理进行简要介绍, 然后对曲轴的运动进行分析并建立三维模型, 利用 HyperMesh 建立曲轴的有限元仿真模型。最后, 用有限元结构分析软件 ANSYS 对柴油机曲轴的结构强度进行计算及分析, 得出柴油机曲轴在各个工况下的强度计算结果均小于材料的许用应力。

1 基本原理概述

有限元法是目前针对模型分析的最主要方法, 广泛应用于交通、造船、航天航空、石油化工和轻工业领域等。

有限元模型实际上是一种抽象的数学模型, 通过将几何模型划分为若干个小的单元来进行分析计算, 这些小的单元组合体形状大小各异, 这些组合体可以根据接点之间的变形协调和一些力的平衡条件进一步组合在一起, 就可以模拟出不同形状的小的求解区域, 即可建立一些线性方程, 通过力学的分析, 最后再整体分析,

求解这组方程的节点位移, 进而求解出每个结构单元的内力和应力。再根据实际的情况进行比较, 从而得出整个系统的性能评估结果。这种集零为整, 又化整为零的方法就是有限元法的基本思想。由于复杂结构零散后的简单结构单元为有限个, 故又称为有限元法。

2 主要计算分析过程及相关软件

将某个复杂的工程结构离散为各种合适的、简单的单元结构, 将想要分析的复杂结构的物体假想地分成有限分区或者模块的几何体。离散后将各个单元之间利用节点相互连接, 这样就可以将各个单元之间联合起来的物体代替原来复杂的结构, 并通过矩阵方程的建立来确定单元的性质, 最终体现位移和应力之间的非线性关系。

通过前面的介绍, 我们计算的都是简单结构单元之间节点上的应变和应力, 这些节点都是存在于物体的表面, 静止不动的, 但是在实际的计算过程中, 力往往是动态的。而作用在单元体上的应变和应力是无法通过位移模式确定的插值函数来求解的, 所以在计算的过程中, 我们常常需要对力进行转移计算, 将一些作用在缝上或者边缘上的力进行转移, 将其移动到节点上, 这样就可通过插值函数列写相应的刚度方程。当把单元上的应变和应力移置到节点上的时候, 就会形成等效的节点载荷矩阵, 这样就可以表示单元结构上的任何一点的受力。利用有限元模型软件 HyperMesh 软件可以很好地达到效果。而有限元方程的求解计算过程, 首先是节点位移的求取, 需要引入强制边界条件, 来简化总刚度方程, 消除其中的奇异性。这样就可以根据节点位移来计算单元结构上任一点的应力, 画出各种受力的等值图。由于方程的数量巨大, 需要借助一些有限元模型中的软件来进行计算, 如 ANSYS, 会使计算大为简化。然后根据实际情况, 进行一些辅助计

算和误差消除。在采用有限元模型求解问题最常用的组合就是 HyperMesh 软件和求解器 ANSYS 之间的完美集成。拥有多种求解器的专用定制界面,还可以自定义求解器的模板,可谓完美集成。HyperMesh 是目前有限元分析中最强大的网格划分软件。能够对任意平面的网格进行参数调节,如单元密度和梯度等。能够实现对于二维或者三维的网格划分,用以构建高质量的多面体,功能可谓非常强大。

HyperMesh 的可视化工具也非常强大,它能够显示等高线、等深线、瞬时结果和切割轮廓线等。HyperMesh 能够提供多种方式的浏览模式,同时还能够迅速找到或者发现问题所在的区域,极大地缩短网格划分的时间,同时还能够保障网格划分的质量。此外,HyperMesh 还能够对可视化材料进行建模,解决一般软件所无法解决的问题,对于模型的建立具有非常重要的意义。

3 柴油机曲轴有限元模型的建立

柴油机曲轴能够承载连杆传动力,承受着巨大的载荷和转矩。因此,选择对曲轴进行强度分析具有非常重要的意义。同时,利用有限元的分析方法可以找出曲轴设计的不足,提出合理的设计构想,这对于曲轴的优化设计具有非常重要的意义。本章主要对四缸发动机用曲轴进行有限元模型的建立。

3.1 建立实体模型并导入

曲轴实体模型(见图)的导入关系到有限元分析计算的整体结果和精度,是保障网格划分质量的重要基础操作,利用 HyperMesh 能够非常简单地实现几何模型的导入。

3.2 模型前期处理

将一个三维模型导入,需进行网格划分,划分成若干个小单元,才能顺利地导入计算软件计算受应力。

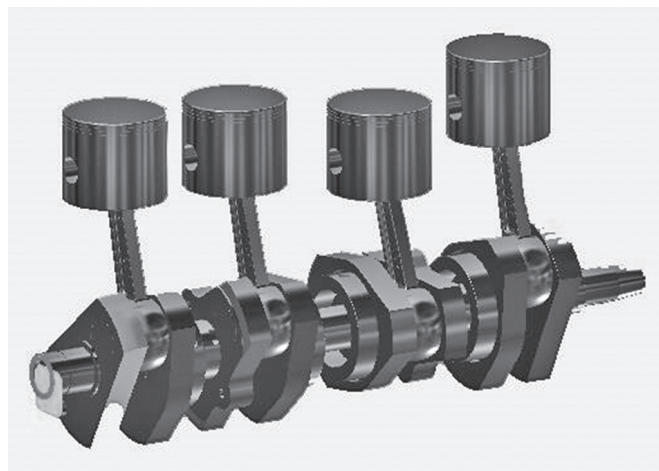


图 曲轴的实体模型

依次进行模型的中性面抽取,几何关系的清理简化,网格划分完成模型的前处理工作。

几何清理的目的就是把与工程分析无关的结构特性进行清理,以及对工程分析结果没有什么影响的几何特征进行简化,从而更容易划分有限元网格,或者更加容易处理仿真数据。利用 HyperMesh 界面中的 Geom 界面,进行几何模型的清理和简化。首先,在 Geom 页面中点击 auto-cleanup,进行页面的自动清理;然后,再观察图上的红、绿、黄色线,分别代表自由边和重合边;最后,再点击 defeature 进行细节的简化。

有限元模型网格划分的原则就是将一个整体的几何模型划分为若干个形态各异、大小不同的模块,每一个模块之间通过节点进行连接。因为有限元模型接近实际,所以一定要以实际的模型为基础来进行网格的划分,划分的网格应该为等边三角形或者等边四边形,对于一些不规则的网格要及时地调整和修复。首先点击 Tools 工具,然后就会弹出 check elems 功能选项,选择 2D,就可以对 2D 网格进行检查了。对于一些存在较大误差的网格,我们需要进行修复,单击 2D 的按键,就会弹出 qualityindex 菜单,选择 optimize 来对质量不合格的网格进行划分,然后保存。如果修复后仍然存在一些不合格的网格,这时就需要采用手动的方式来进行修复了。单击 2D 界面的 edit elements 工具栏来进行网格的手动修复。

在网格划分完成后,必须再次对网格进行质量调整,观察一些在网格清理过程中出现的不规则节点,曲面的是否平滑等问题,如果出现了不合格的网格还需要进行继续的调节与修复,直到合格为止。最后通过快捷键 F10 来检查 autolito、length 等是否满足要求。

3.3 结构的属性赋值及主要技术参数

材料属性赋值里,E 表示弹性模量,NU 为泊松比,Rho 表示密度值,分别对材料进行属性赋值,曲轴主要技术参数如表所示。

曲轴结构采用 42CrMoA,其密度、弹性模量、泊松比和屈服极限分别为 7.85×10^{-9} 、202000MPa、0.3 和 835MPa。

4 曲轴的强度计算和分析

4.1 设置的工况

共设置如下 3 种工况:

工况 1: 转速 600r/min, 1300kW(50%) 功率, 转矩 20700Nm;

工况 2: 转速 600r/min, 2600kW(100%) 功率, 转矩 42000Nm;

工况 3: 转速 600r/min, 2900kW(110%) 功率, 转矩 46000Nm。

表 曲轴结构材料性能参数

序号	材质或牌号	结构名称	密度 /(t/mm ³)	弹性模量 /MPa	泊松比	屈服极限 /MPa	抗拉强度 /MPa
1	42CrMoA	曲轴	7.85E-9	202000	0.3	835	980

4.2 强度计算

4.2.1 计算步骤

HyperMesh 与 ANSYS 具有良好的接口，能够轻易地实现模型的导入，首先，在 HyperMesh 中定义单元的类型，将模型导入到 ANSYS 中进行具体计算，该模型的分析类型为静强度；然后设置警告数进行求解；最后，读取结果并标注截图。

4.2.2 计算结果

对曲轴 3 种工况分别进行计算，应力云图显示，最大应力点主要集中在中间曲柄和两端输出轴。最大应力集中产生于构件截面尺寸的突然变化，像一些沟槽和台阶应力最为集中，经计算，3 个工况下该曲轴的最大应力值分别为 151MPa、171.8MPa、254.3MPa。

4.3 分析校核及优化建议

根据设计要求，该曲轴的材料采用 42CrMoA，材料屈服极限为 835MPa，安全系数查表取值为 1.4，最大许用应力约等于 600MPa，经过对比，该曲轴 3 个工况下的最大应力值均小于最大许用应力 600MPa，故曲轴满足强度要求。但经过计算分析发现曲轴的应力集中主要出现在截面的突变处，如曲柄轴颈中间圆的台阶，曲柄楔位台阶这些截面尺寸突变较大，容易产生应力集中。在设计中，可将曲轴曲柄改良为圆弧度较大的设计，来避免太多台阶的形成，从而尽可能避免产生较大的应力集中。

5 结语

本文利用有限元分析法对曲轴进行有限元模型的建立并进行计算，根据计算结果对曲轴进行强度分析，并校核其结构强度是否满足工程的实际要求，而提出优化

建议。文章对曲轴的 3 个转矩工况的分析是借助于有限元模型来完成的，并没有得到实测数据值的验证。但是由于曲轴在实际的转动环境中，转动的环境非常复杂，常常会因为突发的情况而导致意外事故的发生，所以实验数据对于本课题研究来说是非常重要的。本文所做的仿真工作主要是建立在正常环境下的有限元仿真模型，并使用了试验数据对其进行了对比校正，因此对于一些复杂的运行环境，还需要进行更深层次地研究。

参考文献：

[1] 王助成，邵敏．有限单元法基本原理和数值方法 [M]．北京：清华大学出版社，1997.

[2] 王元丰．有限元法的方法论初探 [J]．科学技术与辩证法，1990(6):16-20.

[3] 王助成，邵敏．有限单元法基本原理和数值方法 [M]．北京：清华大学出版社，1997.

[4] 于亚婷，杜平安，工振伟．有限元法的应用现状研究 [J]．机械设计，2005,22(3):6-8.

[5] 韩西，钟厉，李博．有限元分析在结构分析和计算机仿真中的应用 [J]．重庆交通学院学报，2001(20):124-126.

[6] 于开平，周传月，谭惠丰．HyperMesh 从入门到精通 [M]．北京：科学出版社，2005:178-205.

[7] 王磊，吴新跃．基于 HyperMesh 和 ANSYS 的轮胎式联轴器的强度分析 [J]．机械工程师，2011(12):47-50.

[8] 王川．客货共线铁路桥梁列车脱轨后与防护墙碰撞过程研究 [D]．长沙：中南大学，2011.

作者简介：邱伟杰（1993.2-），男，汉族，广东高州人，本科，助理工程师，研究方向：机械设计及开发。