

往复式活塞式空压机连杆有限元分析与结构优化研究

刘晓叙,肖迪,蒲虎

(四川理工学院机械工程学院,四川 自贡 643000)

摘要:基于 SolidWorks 软件和产品图纸,对某型两级压缩、双缸双作用空压机的曲柄连杆机构进行了 3D 造型和装配。在此基础上,完成了动力学仿真,得到了连杆的工作载荷;完成了连杆在拉、压两种载荷下的有限元分析;根据有限元计算结果,在保证连杆应力不超过材料许用应力的基础上,对连杆的几何结构尺寸进行了优化设计。优化设计后,连杆的质量减轻 12.5%,分析计算的结果为企业的产品改进设计提供了依据。

关键词:空压机;连杆;有限元分析;结构优化

中图分类号:TH4

文献标志码:A

引言

活塞式空压机是一种通用机械设备,在化工和一般机械制造行业都有广泛的用途。活塞式空气压缩机的连杆是空压机的关键零件,其使用的安全性和可靠性,直接关系到空压机的性能和寿命。

本文以某型双作用,双缸、两级压缩空气压缩机的连杆为研究对象,运用计算机辅助设计与分析软件 SolidWorks,对曲柄连杆机构进行三维实体建模与装配,并进行运动学与动力学的仿真,在此基础上,对连杆工作应力进行了有限元分析,并根据分析的情况,对其结构设计参数进行了优化设计,在确保连杆安全性的基础上,减轻了连杆质量,降低了生产成本。

1 虚拟装配模型的建立与动力学仿真

研究的连杆是使用在 L-10/7 型双作用、L 型双缸、两级压缩、十字头活塞式空气压缩机上的,空压机额定转速 980 r/min,排气压力 0.7 MPa。连杆在往复式压缩机工作时的受力,主要是受活塞在工作时的气体压力,以及活塞和十字头滑块作往复直线运动产生的往复惯

性力。为了较精确地得到连杆上的受力,按照空压机的设计图纸,运用 SolidWorks 软件,对空压机的曲柄连杆机构零件进行了三维建模和虚拟装配,对模型组成零件按设计图纸赋予相应的材料属性,并根据空压机热力计算的示功图,对活塞施加空气压缩压力的载荷后,对装配模型进行了运动学与动力学仿真,得到了空压机连杆在工作状态下的受力情况。连杆模型和空压机曲柄连杆机构虚拟装配模型如图 1 与图 2 所示。

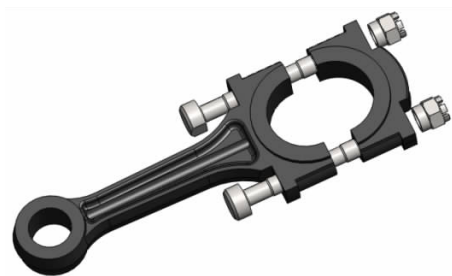


图 1 连杆模型

对曲柄连杆机构采用 3D 建模和基于多体动力学的动力学仿真,与传统的将连杆简化为一个双质量系统进行动力学计算相比,其结果更为符合实际的工作情况^[1-2]。

收稿日期:2015-02-12

基金项目:过程装备与控制工程四川省高校重点实验室(GK201307)

作者简介:刘晓叙(1957-),男,四川叙永人,教授,主要从事机械设计方面的研究,(E-mail) xiaoxu_liu@163.com

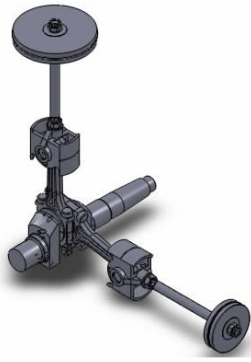


图 2 空压机曲柄连杆机构装配模型

2 连杆计算载荷的确定

完成曲柄连杆机构的动力学仿真后,分别查询与连杆装配、并形成运动副关系的十字头销和曲轴连杆轴颈处的作用力,就可以确定连杆大、小头的受力。动力学仿真结果显示:一级压缩气缸连杆的受力略大于二级压缩的连杆。所以,计算按照一级压缩连杆的载荷来进行,一级压缩连杆小头端的受力如图 3 所示。

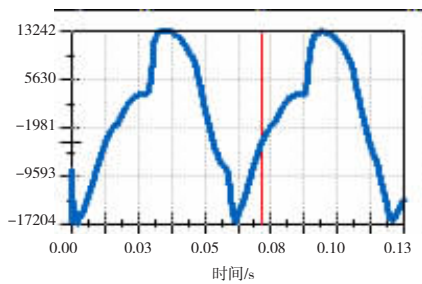


图 3 一级压缩连杆小头沿气缸方向的受力

3 连杆的有限元分析

3.1 连杆网格划分

为了更好地研究外部载荷对连杆整体应力的影响,在有限元分析前需要对连杆的结构稍作修整,略去了对分析结果影响很小的圆角、油孔和定位槽等结构,去除了螺栓连接,将连杆当作一个整体来分析^[3]。网格的划分由系统自动进行,网格类型为四面体,单元数为 10 513。连杆网格图如图 4 所示,连杆材料为 45 钢。

3.2 约束与载荷

给连杆的小头两侧面施加防止其沿小头孔轴向移动的约束;拉伸工况时在连杆大头内径圆柱面偏向连杆大头盖一端 120°范围内施加约束,压缩工况时在连杆大头内径圆柱面指向小头端 120°的范围施加约束^[4-5]。

在施加载荷时,考虑了连杆小头衬套过盈配合对小头孔的过盈力。由于计算连杆是采用贯穿式连杆螺栓,

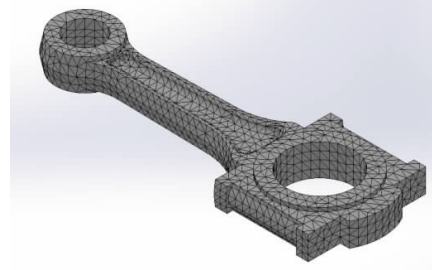


图 4 连杆网格图

装配时,在连杆螺栓拧紧后,连杆螺栓的预紧力可以看成是对连杆大头杆身安装位置的壓力,并作用在螺栓的安装支承面上^[6];连杆在拉、压状态下小头孔的载荷按照动力学仿真值,以轴承载荷的方式加到连杆的小头孔上,这里没有考虑油膜的接触效应^[7]。经计算,连杆小头衬套的过盈力为 5.72 MPa,连杆螺栓拧紧对其安装位置产生的压力为 16 032 N。

3.3 计算结果与分析

通过求解运算,得到连杆拉伸工况和压缩工况的应力如图 5 所示。

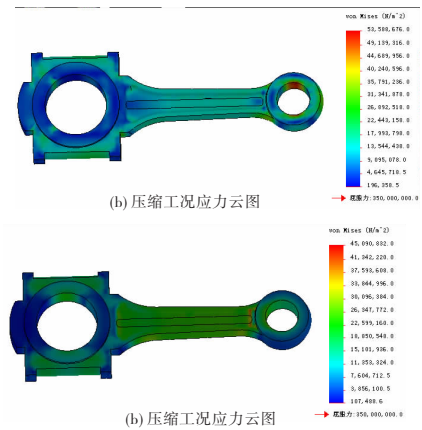


图 5 连杆的应力云图

由应力云图 5 可以看出:在最大拉伸工况下,最大应力约为 53.59 MPa,该应力出现在连杆小头内径上;最大压缩工况下最大应力约为 45.09 MPa,其出现在连杆小头与杆身的连接处。45 号优质碳素钢的屈服力为 350 MPa,从分析结果来看该连杆结构上还有较大的富余。

SolidWorks Simulation 提供了“设计洞察”的分析工具^[8],设计洞察可以显示零件能有效承担载荷的区域,反映载荷在零件本体上分布的情况,运用设计洞察,可以为被分析零件的结构尺寸优化和改进设计提供具体的指导和方向,连杆的设计洞察如图 6 所示。

从连杆应力分析的设计洞察分析:在拉伸工况和压缩工况时,连杆盖中间部分载荷都分布较少;在拉伸工况时,载荷从杆身传递下来,分为两部分,与螺栓压紧力

载荷叠加后,最后传递到连杆盖;在压缩工况,载荷主要分布在杆身部分,连杆小头的上半部分基本不受力,而连杆螺栓孔部分的载荷完全是由连杆螺栓压紧力产生的。

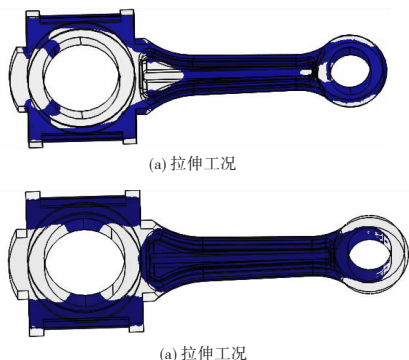


图6 设计洞察

4 连杆的结构优化设计

在应力计算中,由于拉伸工况应力大于压缩工况,所以,按拉伸工况的条件进行结构的优化。在结构优化设计中为了不影响连杆与其他零件的配合,大、小头孔的内径和大、小头的厚度不做优化。优化的重点对象在杆身过渡部分的半径、杆身厚度和大小头凸台的外径^[9-10],优化的结构参数所在位置如图7所示。

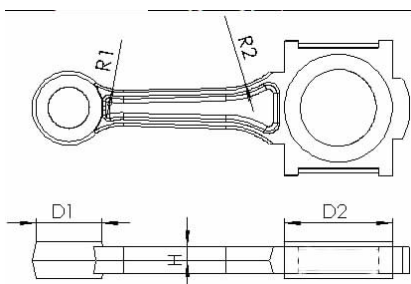


图7 连杆结构尺寸优化示意图

结构尺寸优化的约束条件为连杆的最大应力应不大于其材料许用应力 350 MPa,优化的目标是在满足静强度的条件下,其质量最小。优化结构参数的优化范围和优化后的结果见表1,大头外径 D2 的优化过程如图8所示。

表1 连杆结构参数优化设计变量和优化结果(单位:mm)

变量	当前值	最大值	最小值	优化结果
R1	55	65	40	60
R2	80	100	60	80
D1	82	82	68	75
D2	120	120	100	110
H	15	15	12	12

连杆的质量优化前为 5.96 kg,优化后约为 5.20 kg,质量减小了 12.75%。

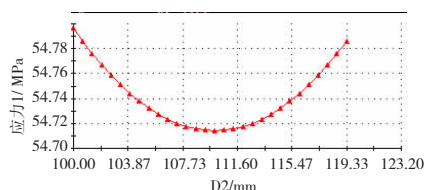


图8 大头外径 D2 的优化过程

按照优化后的尺寸对连杆模型进行修改后,以连杆受拉伸载荷的工况,对连杆再次进行了有限元分析(图9)。从图9所示的应力云图上可以看出,优化后连杆最大应力水平与优化前相当,但应力分布更加均匀,连杆的受力情况得到了明显改善。

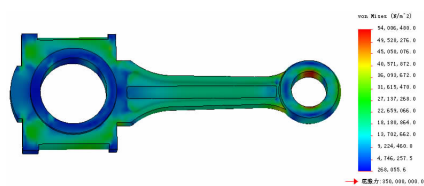


图9 连杆优化设计后的应力云图

6 结束语

采用计算机辅助设计软件,在对产品三维建模与虚拟装配的基础上,进行运动学与动力学仿真,然后,根据仿真的结果确定被分析零件的最大载荷,可以为零件的有限元分析提供较准确的信息,从而提高零件有限元分析结果的准确度。

分析结果表明:该型空压机连杆的安全性是足够的,但安全裕度较大,存在进行结构尺寸优化设计的空间,通过优化设计,使连杆的应力分布更为均匀,减轻了连杆质量,节约材料,可以提高企业的经济效益。

运用计算机辅助分析软件提供的优化设计计算功能,能快速地进行多方案的优化设计计算,是现代企业提高产品设计效率的有力助手。

参考文献:

- [1] 陈敏,刘晓叙.基于 SolidWorks 的曲柄连杆机构动力学仿真研究[J].内燃机,2011(1):36-39.
- [2] 蒋华云,叶剑,肖宇.基于动力学仿真和有限元分析的柴油机连杆寿命研究[J].柴油机,2013(2):22-25.
- [3] 刘虎.活塞压缩机压缩连杆有限元分析[J].压缩机技术,2009(1):12-15.
- [4] 喻菲菲,胡圣荣,杜灿谊.几种不同载荷边界处理方法的内燃机连杆有限元分析对比[J].制造业自动化,2014(10):83-86.

(下转 25 页)