

基于 Inspire 软件的拓扑优化设计案例分析

罗勇^① 杜平^① 朱丽君^① 梁雄^② 王佐^① 李双寿^①

(^①清华大学基础工业训练中心,北京 100084;^②清华大学摩擦学国家重点实验室,北京 100084)

摘要:拓扑优化是一种根据给定的负载情况、约束条件和性能指标,在给定的区域内对材料分布进行优化的设计方法。Altair Inspire 是一个仿真驱动的设计平台,可适用于产品从概念到制造的整个开发周期。在设计过程中,Inspire 平台能够辅助设计出可供制造的设计,并帮助在单一开发环境中探索、开发和制造高性能产品。在使用 Inspire 软件进行拓扑优化设计的过程中,总结出拓扑优化设计软件在未来应重点关注的方向,以为自主软件开发与迭代提供参考。

关键词:拓扑优化;仿真驱动;增材制造

中图分类号:TH164 **文献标识码:**A

DOI:10.19287/j.cnki.1005-2402.2021.11.005

A case study of topology optimization design based on Inspire software

LUO Yong^①, DU Ping^①, ZHU Lijun^①, LIANG Xiong^②, WANG Zuo^①, LI Shuangshou^①

(^①Fundamental Industry Training Center, Tsinghua University, Beijing 100084, CHN;

^②State Key Laboratory of Tribology, Tsinghua University, Beijing 100084, CHN)

Abstract:Topology optimization is a design method that optimizes material distribution in a given area according to given loads, constraints and performance indicators. The Altair Inspire is a simulation-driven design platform that can apply to the product development cycle from concept to creation. Throughout the design process, Inspire platform-aided design model for the manufacture, and help to explore, develop, and manufacture high-performance products in a single development environment. In the process of using Inspire software for topology optimization design, summarize the directions that the topology optimization design software should focus on in the future, in order to provide a reference for subsequent software development.

Keywords: topology optimization; simulation driven; additive manufacturing

拓扑优化(topology optimization)是一种根据给定的负载情况、约束条件和性能指标,在给定的区域内对

材料分布进行优化的数学方法^[1],结构优化的一种。简言之,就是在给定的条件下生成最优的结构。拓扑

- 计及优化[J].热加工工艺,2020,49(11):60-63.
- [3]何若虚.铝硅合金减速器壳体砂型铸造工艺设计[J].铸造,2020,69(7):761-763.
- [4]郝亮亮,杜婷.半圆环板铸造工艺优化[J].铸造技术,2020,41(7):641-644.
- [5]邢小颖,汤彬,马运,等.AnyCasting虚拟仿真在砂型铸造中的应用及缺陷分析[J].铸造,2019,68(5):508-511.
- [6]游寿松,张吉祥,张科峰,等.铸造CAE模拟分析低压铸造泵轮疏松缺陷[J].铸造,2020,69(2):183-186.
- [7]刘晨,米国发,王有超,等.横梁铸钢件砂型铸造数值模拟及工艺优化[J].特种铸造及有色合金,2016,36(12):1266-1269.
- [8]沈家栋,张海亮.铝合金活塞铸造工艺数值模拟研究[J].机电工程,2013,30(3):322-324,328.
- [9]王明礼.环件铸造工艺数值模拟及试验[J].轴承,2014(12):15-17.

- [10]于智博,杨芳,初国凯.涨紧轮铸造工艺数值模拟[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2015,34(10):1167-1170.
- [11]姜月明,李屹,丁旭.砂型铸造铝合金盖子数值模拟及工艺优化[J].特种铸造及有色合金,2017,37(10):1061-1063.
- [12]李新亚.铸造手册:第5卷·铸造工艺[M].3版.北京:机械工业出版社,2014:113-119.
- [13]蔡曦.基于Magmasoft的汽车前翼压铸成型数值仿真[J].热加工工艺,2019,48(7):98-100.

第一作者:蒲生,男,1982年生,硕士,讲师,研究方向为再制造、机械设计制造科研和教学工作。

(编辑 谭弘颖)

(收稿日期:2021-01-29)

文章编号:20211106

如果您想发表对本文的看法,请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。

优化方法已广泛应用于航空航天、汽车制造、建筑设计等技术领域^[2]。图1为拓扑优化过程示意图。

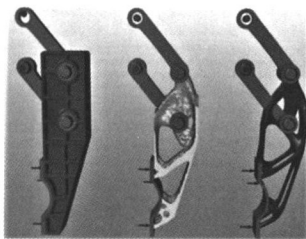


图1 拓扑优化过程

拓扑优化的理论研究开始较早,1988年 Bendsøe 和 Kikuchi 首次提出基于均匀化方法设计结构的拓扑构型^[3],自此拓扑优化方法的发展突飞猛进,研究的内容也越来越丰富。例如 Frustum 公司与 3D Systems 公司合作为通用电气公司设计并打印了航空发动机支架,如图2所示。拓扑优化后的支架在满足工况载荷要求的前提下,质量减轻了70%。



图2 航空发动机支架

根据优化对象的不同,拓扑优化可以分为两大类:一类是以桁架结构为代表的离散体结构拓扑优化,研究的主要内容是确定节点间单元的相互连接方式,同时包括节点的删除与增加^[4]。另一种是连续体结构拓扑优化,主要是确定结构内部有无孔洞,孔洞的位置、数量和形状等^[5]。

不论是离散结构拓扑优化和连续结构拓扑优化,都要依赖于有限元方法^[6]。连续结构拓扑优化是把优化空间的材料离散成有限个单元(壳单元或者体单元),离散结构拓扑优化是在设计空间内建立一个由有限个梁单元组成的基结构,然后根据算法确定设计空间内单元的去留,保留下来的单元即构成最终的拓扑方案,从而实现拓扑优化^[7]。

1 Inspire 软件拓扑优化设计的基本流程

在 Inspire 软件中,工程师可以非常直观地进行模型的3D建模以及运动学仿真,而通过拓扑优化来减轻模型质量,在给定负载和边界条件下找到设计空间中的最佳材料分布方式的工作流程则全部交给计算机自动完成,大大减轻了概念设计阶段的工作量以及缩

短了工作时间。工程师需要的工作被减轻为设置力、压力、扭矩和约束4种载荷,以及定义工况、材料类型和设计空间。图3为拓扑优化的工作流程。

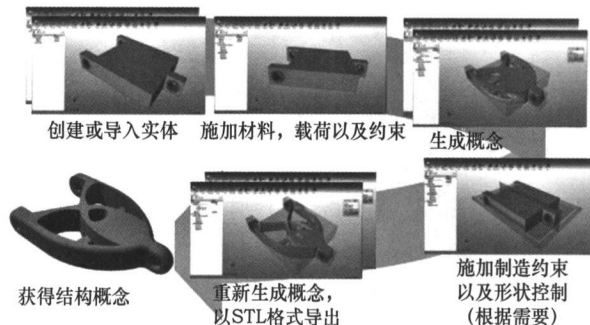


图3 Inspire拓扑优化工作流程

在进行完所有的设计环节之后,Inspire 也提供3D打印的设计功能。在这项功能的帮助下,设计师可以自由的旋转3D打印模型的角度,手动或自动添加以及修改支撑,并可以在打印前直观地、视觉化地仿真打印过程,以及模拟打印过程中的应力、温度等参数的变化,从而能够更好地修改3D打印模型,如图4所示。

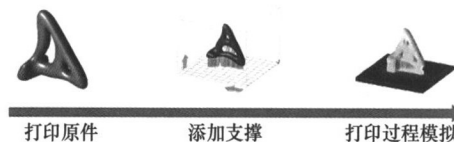


图4 Inspire提供的3D打印流程

2 基于 Inspire 软件的拓扑优化设计实例

本文中选择的机械产品中常见的Y型支架为对象进行拓扑优化设计,如图5所示。模型已经被分成了4个部分。其中主体部分用于设计优化,其余3个小圆柱用于施加约束和载荷。尺寸:长120 mm × 宽80 mm × 高20 mm。

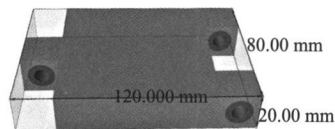


图5 Y型支架

(1) 定义设计空间

将主体定为设计空间,在给定的载荷条件下找到最优的材料分布,如图6所示。

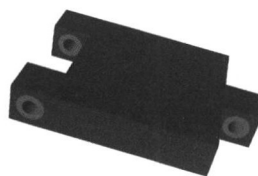


图6 定义设计空间

(2) 材料选择

将模型材料设置为 304 不锈钢, 设置后模型总重量为 1.191 9 kg, 如图 7 所示。

(3) 定义约束与载荷

如图 8 所示, 在圆孔 2 和圆孔 3 处施加固定约束, 在圆孔 1 处, 沿 Y 轴施加 500 N 的力。

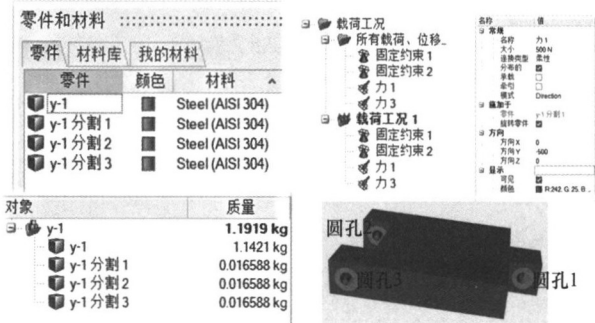


图7 形状控制

图8 定义约束

形状控制: 使用单项拔模方式, 在设计空间上采用对称形式进行优化。图 9 所示。

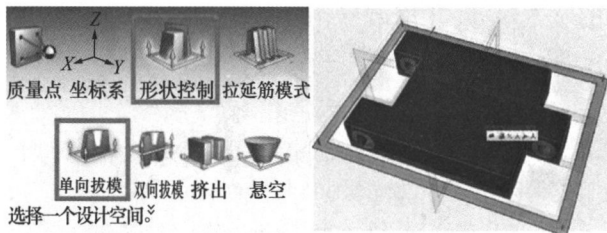


图9 形状控制

(4) 设置优化参数

优化目标选择“最大化刚度”, 质量目标为“30%的设计空间体积”, 最小厚度为 5 mm, 无频率约束, 并考虑“滑动接触”, 不考虑重力, 如图 10 所示。

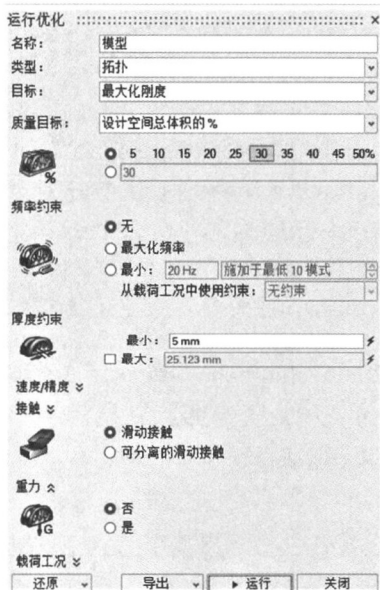


图10 设置优化参数

(5) 优化结果

执行优化的计算时间为 12 min, 模型前后各项参数对比如表 1 所示。

表 1 优化结果对比

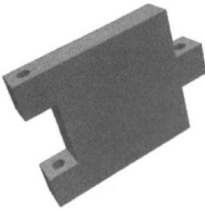
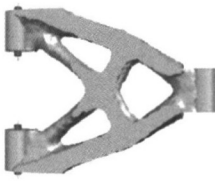
原始模型	优化后模型
	
原始文件大小(STL)	原始模型重量
34 kB	1.241 6 kg
优化后文件大小(STL)	优化完成后模型重量
7 311 kB	0.41 061 kg
文件大小: 增大 215 倍	优化后模型减重 0.830 99 kg, 减重率约为 67%

图10-1 优化结果对比

图10-2 优化结果对比

(6) 后续工作

优化后的模型还需要进行力学仿真分析, 例如位移、应力、安全系数等, 确保零件能够满足工况要求。如图 11 所示。

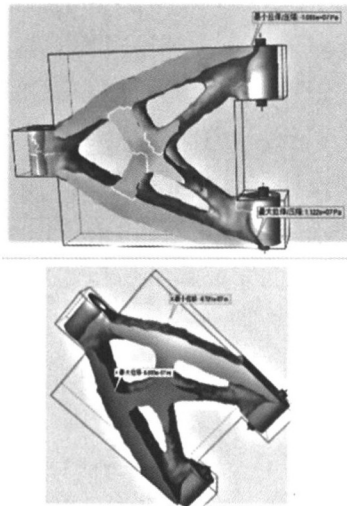


图11 仿真分析

3 基于 Inspire 软件的拓扑优化设计案例分析

在通过对目前专业领域内常用的几款具有拓扑优化设计功能的软件进行全面调研后, 最终利用 Inspire 软件进行实际案例的制作, 并引发出以下几点思考。

(1) 与 CAD 软件集成方面

目前的趋势是将 CAD 软件的建模功能融入其中,

例如达索 3DE 系统、PTC Creo 软件等。因此,在建模方面,此类软件有很大的优势,对于拓扑优化过程中需要对模型进行微调修改方面很友好,因此在软件迭代设计时,可以考虑在 CAD 软件中加入拓扑优化设计部分功能,充分发挥 CAD 软件的建模功能^[8]。当然对于专业的拓扑优化仿真软件如 Altair,建模功能也提供,但毕竟不是专业 CAD 软件,存在一定的局限性。因此在现有 CAD 软件中加入拓扑优化功能将会有很广泛的应用前景和发展空间。

(2) 关于材料库管理

材料管理对于仿真计算是必不可少的功能,大部分拓扑优化功能软件带有内置材料库,而有些则不带,如达索 3DE 系统。但这些软件都具备材料库管理功能,因此设计软件能够提供常见的内置材料库^[9],丰富的材料选择能够给用户带来极大的便利。

(3) 优化后续处理

拓扑优化后续处理工作一般是为满足对自动计算生成的模型进行按需修改的需求,比如表面光顺,曲面优化等,提供一定的自由设计功能^[10]。目前几款主流软件有些完全是自动化的后续处理,不需要人为干预,这种方式自动化程度很高,同时带来的问题是对于一些高级用户不能够按照自己需要的方式来进行模型后处理,因此,拓扑优化计算后的模型处理功能是很必要的,但是对于一些新用户来说,过于灵活的手动操作会导致模型不能完全按照自己设想的方案去修改,从而也造成一定的困难。

(4) 软件界面设计方面

软件界面设计方面主要有两类,一是向导式界面,二是页签管理式。向导式界面的好处是通过点击“下一步”或“Next”就能完成整个拓扑优化设计过程的操作,但是存在的问题是,如果在某一个参数设定或步骤遇到问题时,或误操作时,无法回到之前设定的界面,从而会给用户带来一定的不便。页签管理式界面的操作是按照拓扑优化设计的步骤或流程,在统一窗口界面,显示出各个流程,再在每个子页签中显示子流程的参数和选项,这种界面设计的好处是能够在同一页面显示所有相关的操作流程和相关参数,方便用户管理和修改参数设置,同时带来的不便,对于新手用户或对拓扑优化设计一般流程不熟悉的用户来说,不能很清楚的知道界面中的设计流程。

4 结语

Altair Inspire 软件是专业的仿真设计软件,提供了

较为丰富的制造和形状控制约束(拔模、对称、周期循环、周期循环对称)功能。同时算法更具有优势,提供了多种了优化参数。Altair 的后处理有一大特点是提供了灵活的手动调整模型的功能,并且优化后的模型可快速调整减重比例。表面光顺功能提供给用户灵活操作的空间,带来的缺点是自动化程度不够,对于新用户来说手动操作存一定难度和不便。

因此,建议拓扑优化软件在未来发展中注重与 CAD 软件的集成,让其更加普及化;增加更为丰富的材料库,为用户带来更多的便利;优化后处理操作流程,使其更加自动化、智能化;基于用户的软件界面设计,使其操作更为简洁,流程更加清晰。同时,可增加更多功能,如表面光顺、曲面优化等功能;可开发半自动化形式的优化功能,既能够满足高阶用户的手动设计模型,又能满足初级用户的自动化生成,同时又可以部分手动修改。本文选择 Y 型支架进行拓扑优化设计,完整体现了利用 Inspire 软件进行拓扑优化结构设计的基本步骤,并总结出拓扑优化设计软件的共性问题,以期后续软件开发与迭代提供参考。

参 考 文 献

- [1] 刘书田,李取浩,陈文炯,等.拓扑优化与增材制造结合:一种设计与制造一体化方法[J].航空制造技术,2017(10):26-31.
- [2] 范子杰,桂良进,苏瑞意.汽车轻量化技术的研究与进展[J].汽车安全与节能学报,2014,5(1):1-16.
- [3] 邓小雷,盛泽枫,张江林,等.数控机床主轴系统多体拓扑优化研究[J].制造技术与机床,2018(10):91-94.
- [4] 王林军,王锐,杜义贤,等.基于 ANSYS-Workbench 的液压机机架模态分析及拓扑优化[J].煤矿机械,2019,40(3):79-83.
- [5] 刘洋,申加伟,王超,等.基于 Inspire 软件的复合支架轻量化拓扑优化设计[J].内燃机与动力装置,2020,37(6):7-12.
- [6] 张永生.基于 ANSYS 软件对某汽车板簧吊耳支架拓扑优化设计[J].汽车实用技术,2019,13(13):114-116.
- [7] 占金青,彭怡平,刘敏,等.基于多性能约束的连续体结构拓扑优化设计[J/OL].计算机集成制造系统,2021,1(27):149-155.
- [8] 孔子成.拓扑优化减重设计中非设计空间尺寸寻优方法的研究[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2020.
- [9] 孙小冉.CAE 软件与 CAD 集成协作在水利工程有限元分析中的应用[J].治淮,2017,9(9):22-23.
- [10] 姜文英,邹梦瑶,肖海松,等.基于数据库和 3DE 软件的船舶大表面快速设计方法[J].中国舰船研究,2020,15(S1):50-54.

第一作者:罗勇,男,1992 年,工程师,研究方向为增材制造技术、机械设计。

(编辑 李 静)

(收稿日期:2021-03-29)

文章编号:20211107

如果您想发表对本文的看法,请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。