

基于 Solidworks 的某机械爪片有限元分析及优化设计

王超, 魏世民

(北京邮电大学自动化学院, 北京 100876)

摘要: 机械爪片的结构经常采用经验进行设计, 其结构的合理性及可靠性有待研究。通过 Solidworks 对机械爪片进行了建模, 并应用 Solidworks Simulation 有限元分析分析插件对所建立的模型进行有限元分析, 用来发现设计的缺陷并确定需要优化的参数。最后通过 Solidworks Simulation 的优化设计模块对机械爪设计模型进行了优化设计, 得到了以屈服强度为约束条件的机械爪厚度和轴承座厚度的最优解。分析结果证明该方法可行、可靠, 为机械爪结构设计与分析优化提供了新的思路。

关键词: 机械爪片; 有限元分析; 优化设计; Solidworks Simulation

中图分类号: TB485.3;TB487

Finite Element Analysis and Optimum Design of Gripper Via Solidworks

Wang Chao¹, Wei Shimin²

(Automatization School, Beijing University of Posts and Telecommunications, Bei Jing 100876)

Abstract: Design of gripper always follows experience, the rationality and reliability need further consideration. Using Solidworks to carry out the model of gripper, and then using Solidworks Simulation to carry out the finite element analysis of the model. Used the analysis results to find design defect, and setting parameters needing next optimization. Finally using the optimization design modular of Solidworks Simulation to analysis the gripper model, and the best thickness of gripper and the bearing seat was obtained which meets yield strength conditions. The analysis results prove that this method is feasible and reliable. The purpose was to provide a method for the design and analysis of grippers.

Key words: gripper; finite element analysis; optimum design; Solidworks Simulation

0 引言

机械爪片是机械手结构中直接与目标接触并提供足够的抓取力的重要零部件, 根据工作对象的不同有不同的结构特点^[1]。本文所分析的机械爪基于某国家 863 计划关键机械手部件上的机械爪片。其任务是夹取 LC 光纤接头完成跳接动作。由于机械手夹取光纤接头需要经常越过狭窄的线缆密集处, 故对于本机械手的体积有很大的限定。机械爪片的结构设计通常采用经验设计方法, 其结构的合理性、安全性往往缺乏科学依据。故对其结构和受力需要进行科学的分析和优化。

研究机械爪片 CAD/CAE 仿真设计及优化, 可以减少设计成本, 缩短设计和分析的循环周期, 增加产品和工程的可靠性, 降低材料的消耗和成本, 可以在产品投入生产之前发现潜在问题, 模拟各种实验方案, 减少试验时间和经费。

Solidworks 是世界上第一个基于 Windows 开发的三维 CAD 系统, 并在 Solidworks2009

作者简介: 王超 (1989), 男, 硕士, 机器人机构学

通信联系人: 魏世民 (1965), 男, 教授, 机器人机构运动学分析与综合. E-mail: wsmly@bupt.edu.cn

40 版以后继承了 COSMOSWorks 有限元分析插件，更名为 Solidworks Simulation。Simulation 完全集成于 Solidworks 中，提供静力学分析、频率分析、热力学分析、撞击测试分析、疲劳分析、接触分析和优化设计等服务^[2-3]。由于其采用了 FFE(快速有限元法, Fast Finite Element) 算法，其运算速度、运算精度和磁盘占用控制方面有很大的优势^[3]。

1 模型的建立和有限元分析

45 1.1 机械爪片结构建模

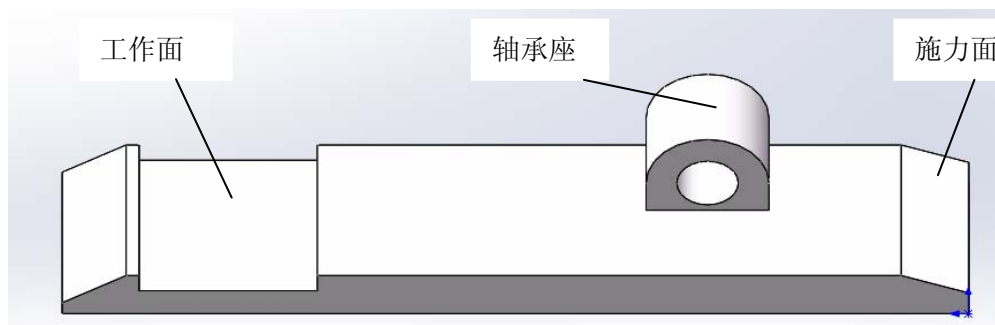


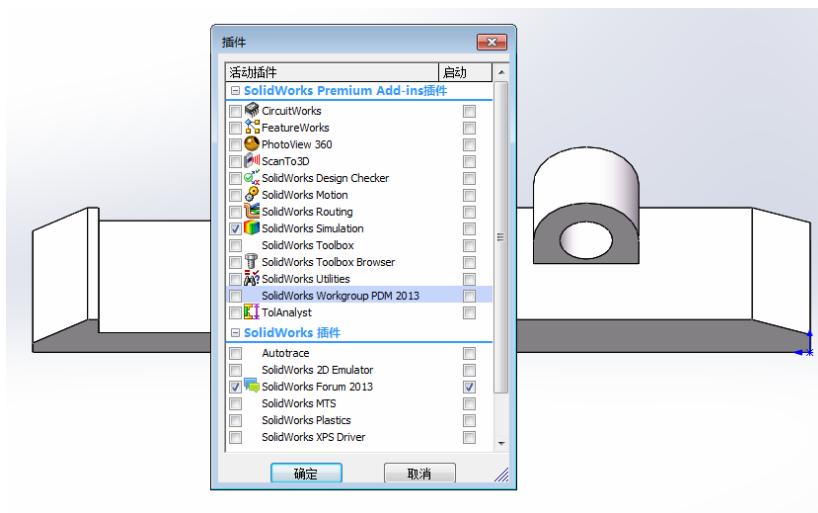
图 1 机械爪片结构模型

Fig.1 Structure model of gripper

该机械爪片结构主要由机械爪片主体、工作面、轴承座、和施力面组成，在工作过程中，
50 一根轴连接两片相对放置的机械爪片，通过一个楔形滑块作用在施力面上完成机械爪的抓取动作。

1.2 有限元仿真分析

在完成建模的条件后，启动 Solidworks 的有限元分析插件 Solidworks Simulation，
如下图所示：



55

图 2 启用 Solidworks Simulation 插件

Fig.2 enable Solidworks Simulation

新建算例并选择静应力分析，并对算例条件进行设置，在算例中首先设定机械爪片的材质，在此处选择 AISI 1045 钢^[4]，冷拔，即 45#钢。其弹性模量为 $2.05e^{+011} N/m^2$ 、泊松比

60 为 0.29 、抗剪模量为 $8e^{+010} N/m^2$ 、密度为 $7850 kg/m^3$ 、张力强度为 $6.25e^8 N/m^2$ 、屈服强度为 $5.3e^{+8} N/m^2$ ，夹具和外部载荷的设定如下图所示：

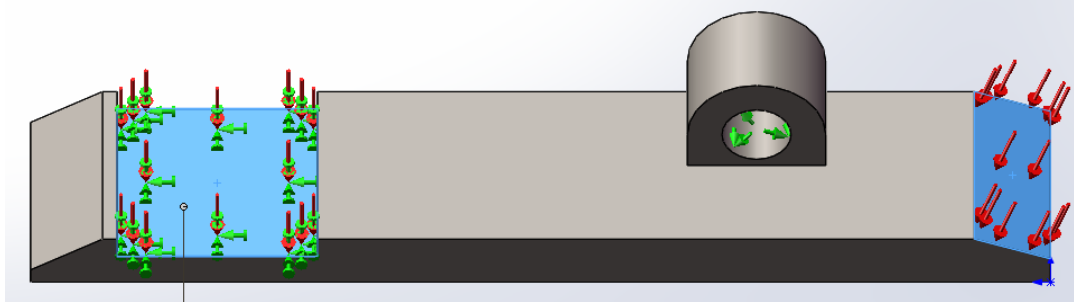


图 3 夹具和外部载荷的设定
Fig.3 Set up the fixture and the external load

65 对模型进行网格划分，如下图所示：

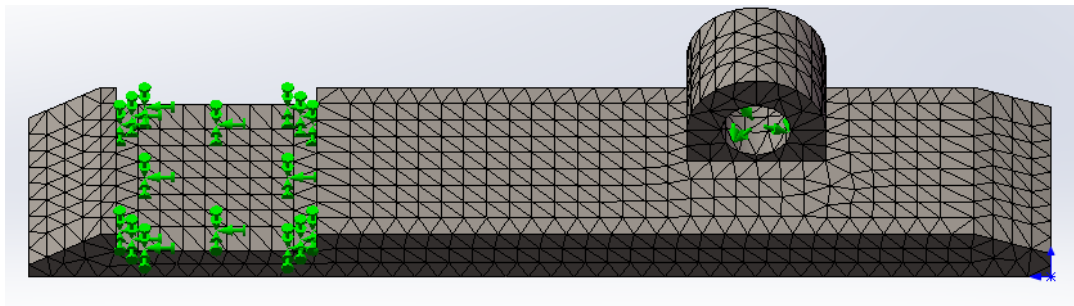


图 模型的网格划分
Fig.4 Gripper meshing

70 划分的网格性质为，雅克比点：4 点；单元大小：0.667326mm；公差：0.0333663mm；网格品质：高；节总数：12153；单元总数：7259，最大高宽比：3.6955；带高宽比例的单元百分比：99.6%。

确认网格无误的情况下，进行分析计算，得到了如下图所示的结果。

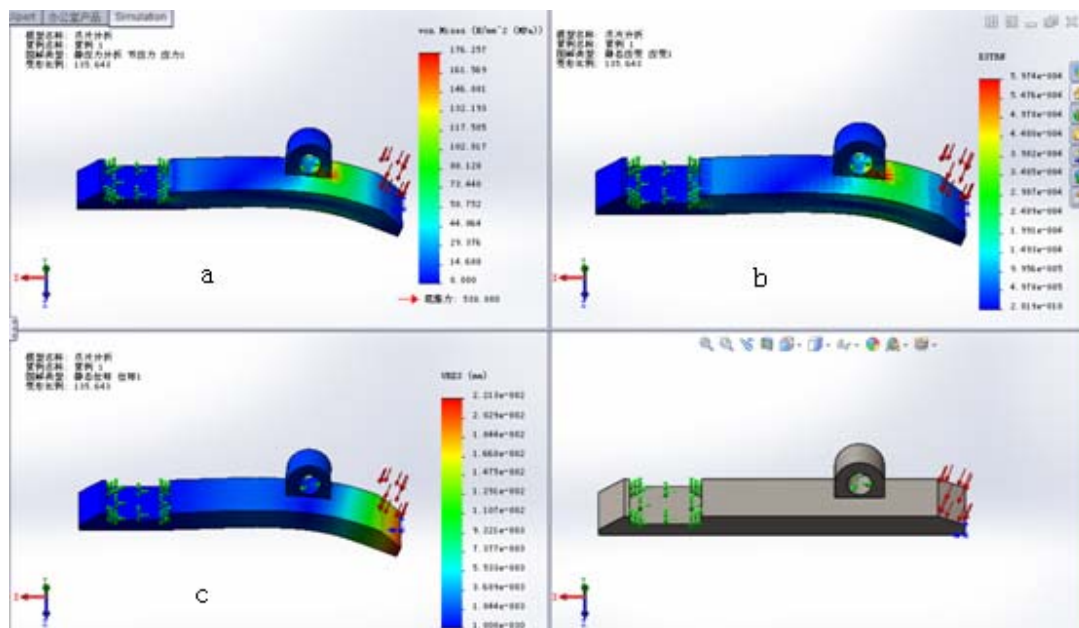


图 5 机械爪片分析结果
Fig.5 The analysis results of gripper

如图所示，图 a 为机械爪片的应力分布图；图 b 为机械爪片的静态位移图；图 c 为机械爪片的静态应变图。

1.3 有限元仿真分析结果

表 1 机械爪片分析结果
Tab.1 Analysis results of gripper

名称	类型	最小	最大
应力	VON: vonMises 应力	0 N/mm ² (MPa) 节: 352 X、Y、Z 坐标: (29.5, 0, 0)	176.257 N/mm ² 节: 11377 X、Y、Z 坐标: (6.83, 3.-2.09)
位移	合位移	1.00 e ⁻⁰³ mm 节: 895 X, Y, Z 坐标: (27.5, 33.-1.05)	2.213 e ⁻⁰⁰² mm 节: 397 X, Y, Z 坐标: (0, 0, 0)
应变	等量	2.019 e ⁻⁰¹⁰ 单元: 4765 X, Y, Z 坐标: (29.1, -1.41e ⁻¹⁰ , -571)	1.057 e ⁻⁰⁰² 单元: 1705 X, Y, Z 坐标: (-2, 3.18, 1.05)

80

由以上分析结果可知，在应力分布图上可以看出轴承座和机械爪主体的连接处应力值较大，最大应力为 $1.5 \leq s \leq 2$ ，其屈服强度^[4]为 $302.629\text{ N/mm}^2(\text{MPa})$ ，其强度满足实际应用条件，不会发生失效和断裂情况。但是其最大合位移最大为 $2.213\text{ e}^{-002}\text{ mm}$ ，位移变形很大，对机械手工作的精度由一定影响，因此机械爪模型还需要继续优化。

85 1.4 有限元仿真分析结果与传统数学计算结果对比

此构件受力模型可以模拟梁的弯曲变形，梁的挠曲轴计算公式^[5]为：

$$w = \iint \frac{M(h)}{EI} dh dh + Ch + D \tag{1-1}$$

式中：

w ——横截面的型心在垂直于梁轴方向上的位移，即为挠度； w

90

$M(h)$ ——不同点所受到的弯矩；

EI ——该截面的弯曲刚度；

$C、D$ ——为积分常数。

代入数据计算得到次机械爪片具有最大位移量的位置在远离轴承座的受力面上，最大位移量为 2.265 e^{-002} ，与仿真分析得出的结果基本一致。

95

可见，机械爪有限元分析结果精度与传统数学方法计算接近，验证了有限元分析的有效，但有限元分析大大提高了工作效率，加快设计周期，节约了成本。

2 机械爪片的优化设计

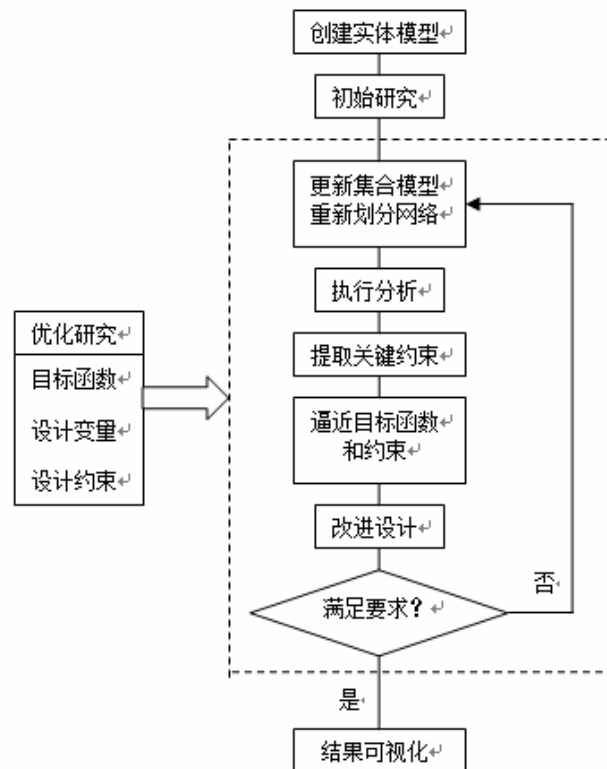


图 6 优化设计流程

Fig.6 Flowchart of optimum design

按照传统的优化设计方法^[6], 需要分别确定目标函数表达式、约束条件表达式和设计变量表达式, 计算困难且工作量大。而采用 Solidworks Simulation 进行仿真优化, 则只需要按照提示一步步的操作就可以完成优化过程。在对模型进行有限元分析之后, 点击“插入”“设计算例”“添加”即可进入优化设计界面, 软件主要采用多为约束最优化的方法进行优化分析。机械爪优化的目标函数为机械爪变形合位移最小化; 设计变量为轴承座的厚度和爪片厚度; 约束条件为其强度条件; 同时不改变机械爪的其他尺寸, 以防止机械爪整体结构出现较大变化。

在参数设置的时候, 需要设置变量轴承座的厚度 l 和机械爪厚度 s 的取值范围, 对于变量的设置要尽量不用系统默认的取值, 否则可能因为模型几何本身因为某部分尺寸的变更而导致参照失效而失败, 取 $3 \leq l \leq 5.9$ 为设计变量 l 的取值区间, 取 $1.5 \leq s \leq 2$ 为设计变量 s 的取值区间。取此次优化的强度条件为小于其屈服强度。经过 9 次迭代之后, 最终成功找到机械爪片优化的最优解。

表 2 优化前后相关数据对比

Tab.2 Contrast before and after optimization

	变量		约束	目标
	L/mm	S/mm	最大应力/ 公斤力/cm ²	最大位移 /mm
初始值	3	1.75	1797.3	2.2×10^{-5}
优化解	3	2	1488.8	1.6×10^{-5}

由表可知，与优化前相比，机械爪厚度有部分增大。厚度增加有利于增加机械爪的刚度，减小结构的变形，符合力学规律。

3 结论

(1) 笔者采用 Solidworks Simulation 插件对某型号机械手机械爪进行了有限元分析，发现某些位置应力较大，而且某些位置变形量较大，对机械爪工作精度有影响，需要继续优化以求得最佳值。

(2) 在 Simulation 仿真分析的基础上，对机械爪片进行优化设计，优化设计后的性能更加合理，大大降低了机械爪设计及实验成本，为产品方案制定提供了数据性支持。

(3) 在利用 Solidworks 进行产品设计过程中，需要很好的利用软件的有限元分析功能，这样可以在投入生产之前发现一些设计缺陷和失效形式，缩小了产品的设计周期，在以后的设计过程中具有很好的应用前景。

[参考文献] (References)

- [1] 杨文亮.苹果采摘机器人机械手结构分析与设计[D].江苏：江苏大学，2009.
- [2] 二代龙震工作室.SolidWorks 2011 高级设计[M].北京：清华大学出版社，2011
- [3] 张永庆.浅析 COSMOSWORKS 在有限元分析中的应用[J]，2008,32（增刊）：53-55
- [4] 机械设计手册编委会.机械设计手册[M].北京：机械工业出版社，2004.
- [5] 刘向峰.机械设计教程[M].北京：清华大学出版社,2008.
- [6] 卢险峰.优化设计导论[M].北京：化学工业出版社，2010