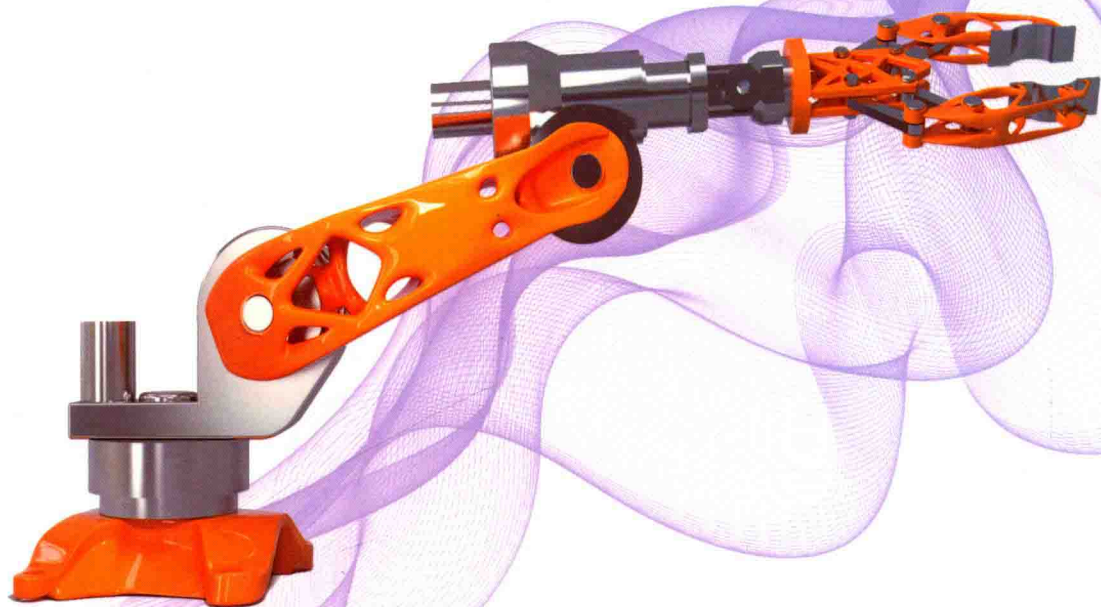


solidThinking 进阶学习教程 > >>> >



solidThinking Inspire

优化设计基础 与工程应用

徐成斌 路明村 张卫明 编著

关注机械工业出版社计算机分社官方微信订阅号“IT 有得聊”，即可获得本书配套资源，包含全部案例素材文件和操作教学视频

 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS



solidThinking 进阶学习教程

solidThinking Inspire 优化设计 基础与工程应用

徐成斌 路明村 张卫明 编著



机械工业出版社

本书详细介绍了 solidThinking 的拓扑优化软件 Inspire 的功能、使用方法，并介绍了使用该软件解决工程问题的案例。通过具体的软件操作过程帮助读者掌握软件功能以及在一些特殊工程情况下的使用技巧。

本书针对读者包括希望学习 solidThinking 软件的工程技术人员、高校学生和相关专业的教师。

图书在版编目 (CIP) 数据

solidThinking Inspire 优化设计基础与工程应用 / 徐成斌, 路明村, 张卫明编著. —北京: 机械工业出版社, 2016.12

solidThinking 进阶学习教程

ISBN 978-7-111-55592-6

I. ①s… II. ①徐… ②路… ③张… III. ①工业设计—计算机辅助设计—应用软件—教材 IV. ①TB47-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 294844 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 张淑谦 责任编辑: 张淑谦

责任校对: 张艳霞 责任印制: 李 洋

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2017 年 1 月 · 第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm×260mm · 16.5 印张 · 398 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-55592-6

定价: 49.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: (010) 88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: (010) 68322694

机工官博: weibo.com/cmp1952

(010) 88379203

教育服务网: www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金 书 网: www.golden-book.com

序

Altair 公司成立于 1985 年，以工程咨询服务起家。历经三十余载的不断探索，解决方案已全方位覆盖建模与可视化、线性与非线性分析、结构优化、CFD 及多体动力学仿真、电磁分析，以及云仿真和高性能计算，帮助大量客户实现了以仿真驱动的产品创新。

长期以来，我们一直倡导“仿真驱动设计”的理念。仿真的价值并非仅限于虚拟验证，更应该在产品研发早期以优化来指导设计，加速企业研发周期，提升产品性能。由此，Altair 致力于打造一个专门面向设计人员的仿真平台——solidThinking。

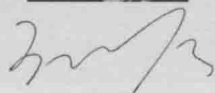
solidThinking 是源自意大利的老牌工业设计软件，曾在概念建模方面有着不俗的表现。自 2008 年成为 Altair 旗下产品后，solidThinking 逐渐发展成为集拓扑优化 (Inspire)、创意造型 (Evolve)、铸造仿真 (Click2Cast)、钣金冲压仿真 (Click2Form)、挤压成型仿真 (Click2Extrude)、多学科系统建模仿真与优化 (Activate)、基于模型的嵌入式系统开发 (Embed)、科学和工程设计数值计算环境 (Compose)、数据可视化分析 (Envision) 等于一体的仿真工具体系。

由 solidThinking 提供的设计流程中，拓扑优化工具 Inspire 帮助设计人员快速获得满足性能且轻量化的结构，大大缩短了研发中所耗费的时间和成本。极具颠覆精神的 Inspire 软件一经推出就获得了众多颇具分量的软件大奖。Evolve 则将设计人员从以工程为主导的 CAD 工具中解放出来，完成工程设计与工业设计的融合，这些都足以革新传统设计流程，让整个研发周期提速。

同时，随着 3D 打印（增材制造）技术的迅速发展，越来越多的企业尝试以这种技术来提升研发能力与制造效率。3D 打印技术特别适用于结构复杂且高性能的产品，这正好是拓扑优化的特点所在。可以说，拓扑优化与 3D 打印相得益彰。而 Altair 也很早就看到了二者结合所迸发的重要价值，基于 solidThinking 推出了适于增材制造的设计软件解决方案，并已在全球范围内的航空航天、汽车、建筑等领域得到应用及验证。

在这样的背景下，我们组织编写了 solidThinking 进阶学习教程系列丛书，本书正是该系列中专注于 Inspire 的一部。本书充分结合了拓扑优化理论基础和工程应用经验，读者可快速将要点应用于自身的设计项目中，可以说是一部设计人员必备的手边书。相信本书能给读者带来耳目一新的拓扑优化知识学习体验，切实提升工作效率。

我们鼓励广大读者借助 solidThinking 平台在各领域深入探索，同时也衷心期待大家的宝贵建议，以利于我们不断完善和提升软件功能，与大家一同进步。



刘源博士

Altair 大中国区总经理

前 言

近年来，随着计算机计算性能的提升和商业软件的普及，结构优化设计工作已不再需要大型计算机夜以继日的运算，而且有越来越多的设计工程师可以在设计前期就使用这一技术进行结构骨架搭建，这极大地提高了产品性能及设计迭代的效率。Altair 公司的 solidThinking Inspire 软件就是这类软件中的佼佼者，而国内市场上还没有关于这一软件的教学用书。编写本书就是为配套 solidThinking Inspire 软件教学，使学习者可以系统地掌握软件功能，将优化技术应用于日常设计工作中。

本书以操作步骤为主，由模型实例引入操作方法和技巧，帮助读者切实地理解优化理念和软件。每个章节还包含对应知识点的扩展阅读，这些内容来自工程实践的经验，或是横向功能的使用技巧说明，或是在前面练习中没有用到的一些分支选项的说明。

本书成书时使用的软件版本是 solidThinking Inspire 2016，随着软件版本的更新，在操作界面和默认设置方面也必然会有一些变化，请读者朋友在使用本书学习时，注意版本的差异。

由于编者水平所限，书中错误、疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

序
前言

第 1 章 快速入门..... 1

1.1 认识界面.....	2	1.6 探索优化结果.....	10
1.2 用户偏好设置.....	3	1.7 以文件格式保存优化后的形状.....	10
1.3 打开支架模型.....	5	1.8 优化步骤流程图.....	11
1.4 施加力和位移并进行运行分析.....	5	1.9 扩展阅读.....	12
1.5 设定设计空间, 添加形状控制并运行优化.....	7		

第 2 章 基本操作..... 14

2.1 探索功能区.....	15	2.4 显示和隐藏零件.....	18
2.2 打开“双托架”.....	16	2.5 施加力和拔模方向.....	20
2.3 使用视图控制.....	17	2.6 编辑力和拔模方向.....	22

第 3 章 移动和捕捉..... 25

3.1 导入模型.....	26	3.4 复制并对齐螺母及螺栓.....	32
3.2 利用捕捉到点工具对齐托架.....	28	3.5 复制、平移和旋转托架.....	34
3.3 对齐铰链.....	30	3.6 组织模型.....	38

第 4 章 草绘和优化..... 42

4.1 草绘一个长方形, 并拉伸出一个实体.....	43	4.3 使用开放曲线剪切实体.....	49
4.2 使用封闭曲线创建一个孔.....	46	4.4 创建一个长方形的桥基座.....	53
		4.5 施加固定约束.....	57

4.6	定义设计空间	61
4.7	施加一个压力	64
4.8	施加形状控制	66

4.9	运行优化, 生成形状	67
4.10	探索优化结果	69
4.11	扩展阅读	71

第 5 章 探索多种载荷工况 77

5.1	打开 Y-bracket 模型	78
5.2	定义设计空间	78
5.3	创建一个中心孔约束和第一个载荷 工况	79
5.4	施加力到 Boss 材料	80
5.5	利用右键菜单创建第二个载荷 工况	82
5.6	通过单击并拖动创建第三个载荷 工况	85

5.7	施加对称平面	89
5.8	施加单向拔模方向	90
5.9	运行优化	91
5.10	探索优化后的形状	94
5.11	改变设计空间, 重新运行 优化	96
5.12	扩展阅读	99

第 6 章 准备 CAD 几何模型 102

6.1	导入 CAD 模型	103
6.2	复制参考几何	103
6.3	拉伸草绘曲线使其成为一个 实体	105
6.4	使用相交工具创建踏板	106
6.5	复制独立曲线	108

6.6	使用相交工具创建主缸	110
6.7	使用草图工具追踪曲线	111
6.8	使用相交工具创建联结	112
6.9	定义设计空间	114
6.10	扩展阅读	116

第 7 章 质量最小化 120

7.1	导入后置式托架模型	121
7.2	施加挤出形状控制	122
7.3	检查载荷工况	122
7.4	使用应力约束运行优化, 以达到 质量最小化	125
7.5	更改应力约束	128

7.6	对比优化结果	130
7.7	查看设计违规	131
7.8	施加位移约束	132
7.9	施加位移约束后重新运行 优化	134
7.10	扩展阅读	136

第 8 章 运行基线分析..... 142

8.1	打开基线分析模型.....	143	8.5	查看米塞斯等效应力结果	148
8.2	运行基线静态分析.....	143	8.6	查看拉伸与压缩的结果	149
8.3	查看安全系数结果.....	145	8.7	扩展阅读	150
8.4	查看位移结果.....	147			

第 9 章 简化几何体

152

9.1	打开几何体简化模型.....	153	9.4	删除圆角和倒角.....	156
9.2	删除孔和凹处.....	153	9.5	推/拉内表面.....	159
9.3	查找圆角和倒角	154	9.6	扩展阅读	160

第 10 章 分析生成的形状..... 162

10.1	打开“生成设计概念模型” ..	163	10.7	查看拉伸与压缩的结果	169
10.2	查看优化结果.....	164	10.8	打开质量计算	169
10.3	分析生成的形状	164	10.9	使面适应生成的形状	170
10.4	查看安全系数结果.....	165	10.10	修改生成的形状并再次对面 进行自适应操作.....	171
10.5	查看位移结果.....	167	10.11	扩展阅读.....	172
10.6	查看米塞斯等效应力结果	168			

第 11 章 创建连接..... 174

11.1	打开四轴飞行器模型	175	11.6	自动创建螺栓连接	180
11.2	查看接触	175	11.7	创建接地螺栓	182
11.3	寻找对齐的孔	176	11.8	重新定义接触	184
11.4	创建螺母和螺栓	176	11.9	扩展阅读	187
11.5	添加螺栓连接.....	178			

第 12 章 分析具有接触的模型

189

12.1	打开活动连接杆模型	190	12.2	在对齐的孔中创建螺母和螺栓.....	190
------	-----------------	-----	------	--------------------	-----

12.3	单个孔中创建螺母和螺栓	191
12.4	运行分析并查看结果	192
12.5	重新定义接触	195
12.6	使用“滑动接触”选项重新 运行分析并查看结果	196

12.7	单独显示托架并观察位移	198
12.8	使用“可分离的滑动接触”选项 重新运行分析并查看结果	200
12.9	单独显示托架并观察位移	202
12.10	扩展阅读	204

第 13 章 保存和导出文件

206

13.1	打开桥体模型	207
13.2	以文件格式保存优化后的 形状	207

13.3	将优化后的形状导出至 Evolve	208
13.4	扩展阅读	209

第 14 章 曲面建模

211

14.1	分析曲面模型	212
14.2	导入 CAD 并分配厚度	214
14.3	使用“中面”工具创建曲面 ..	215

14.4	使用“补块”工具创建曲面 ..	219
14.5	优化 2D 曲面模型	221
14.6	扩展阅读	224

第 15 章 PolyNURBS 建模

227

15.1	打开桥体模型	228
15.2	创建剖切	228
15.3	包覆优化后的形状	229
15.4	编辑 PolyNURBS	231
15.5	包覆桥体顶部	234
15.6	关闭剖切并对齐箱体的面	237

15.7	镜像 PolyNURBS	238
15.8	为镜像后的零件应用桥接	241
15.9	对最终的 PolyNURBS 对象 执行布尔运算	241
15.10	扩展阅读	243

第 16 章 对比结果

246

16.1	打开模型并查看分析结果	247
16.2	对比分析结果	248
16.3	为模型添加数据明细	249

16.4	对比优化结果	250
16.5	对比重新分析的结果	252
16.6	扩展阅读	253

第 1 章

快速入门



本章以三角托架的设计优化为案例，帮助读者快速了解 solidThinking Inspire 软件的优化全流程。读者在本章中应注意整体流程概况，而不必纠结于具体的操作细节，更多的细节及灵活使用方法将在之后的章节逐一介绍。

本章要点如下：

- 认识界面。
- 用户偏好设置。
- 零件的分析与优化。
- 查看结果。

1.1 认识界面

solidThinking Inspire 软件的工作区被划分为多个部分，主要包括菜单、工具栏、模型视窗、模型浏览器和属性浏览器。模型浏览器和属性编辑器默认隐藏，若要打开，则可按〈F2〉键和〈F3〉键。

用户可以通过编辑菜单中的首选项窗口对工作区进行自定义设置，如图 1-1 所示。

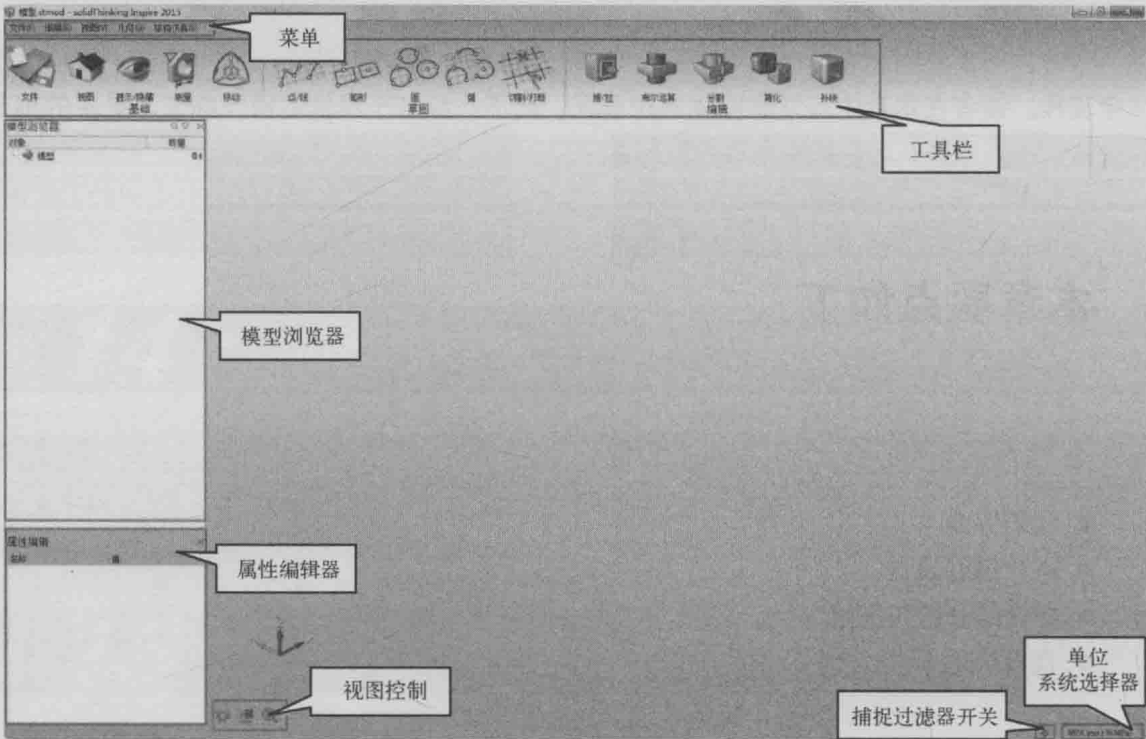


图 1-1

1. 菜单

“文件”“编辑”“视图”和“帮助”下拉菜单提供了一些基本功能，如“新建”“打开”和“保存”，“撤销”和“恢复”，以及“剪切”“复制”和“粘贴”。通过下拉菜单也可打开系统首选项、命令窗口、帮助和教程以及许可证向导。

2. 工具栏

工具栏包括各种分组排列的建模、分析和优化工具。单击图标，可打开相关工具。将光标悬停在图标组上可显示其他卫星图标。如果屏幕分辨率小于 1440×900px，则一些工具将显示在工作区左侧。

3. 模型视窗

模型视窗用于显示模型和视图控制。

4. 模型浏览器

模型浏览器采用树形结构显示模型中所有的对象。按〈F2〉键或使用视图菜单即可打开模型浏览器。

5. 属性编辑器

属性编辑器用于显示和编辑所选对象的所有属性。按〈F3〉键或使用视图菜单即可打开属性编辑器。

6. 捕捉过滤器

捕捉过滤器用于启用和禁用各种类型的捕捉，其位于工作区底部的状态栏中。

7. 单位系统选择器

单位系统选择器用于更改默认的单位系统，其位于工作区底部的状态栏中。

1.2 用户偏好设置

solidThinking Inspire 允许用户根据自己的操作习惯调整偏好设置，如鼠标习惯、默认材质、视图习惯等默认选项，以提高使用效率，如图 1-2 所示。下面介绍将软件默认设置修改为适用于绝大多数国内用户习惯的操作方法。

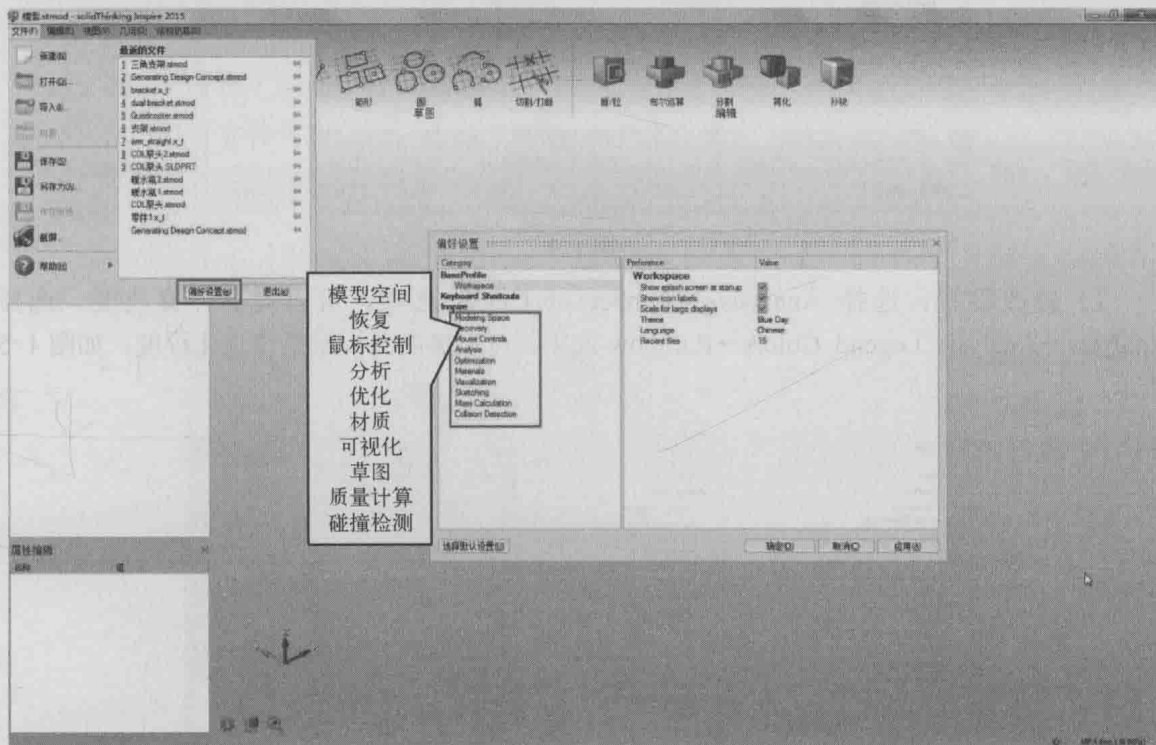


图 1-2

1) 修改设置：选择 Modeling Space→Move or Box select→Move 选项，如图 1-3 所示。

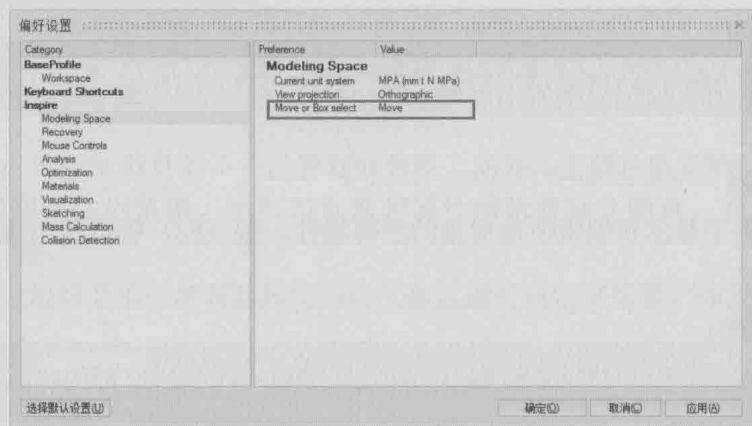


图 1-3

2) 修改设置：选择 Mouse Controls→Same as 选项，如图 1-4 所示。

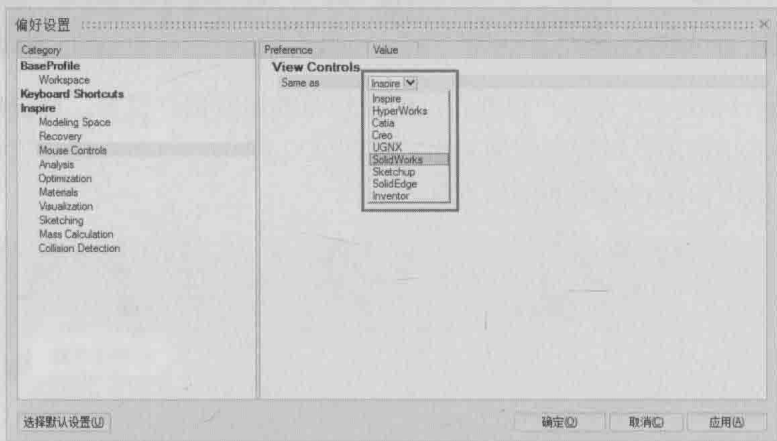


图 1-4

3) 修改设置：选择 Analysis→Number of CPUs 选项，可以提高计算速度。选择 Analysis→Analysis Legend Colors→Rainbow 选项，可以提高分析结果可视化程度，如图 1-5 所示。

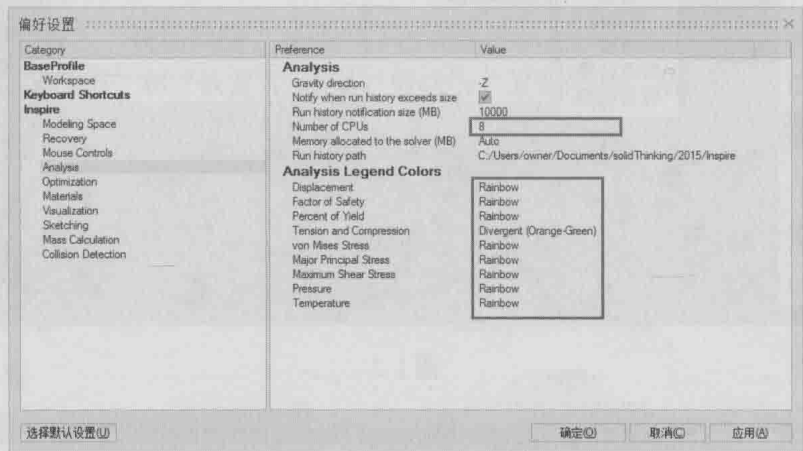


图 1-5

4) 修改设置: 选择 Optimization→Number of CPUS 选项, 可以提高计算速度, 如图 1-6 所示。

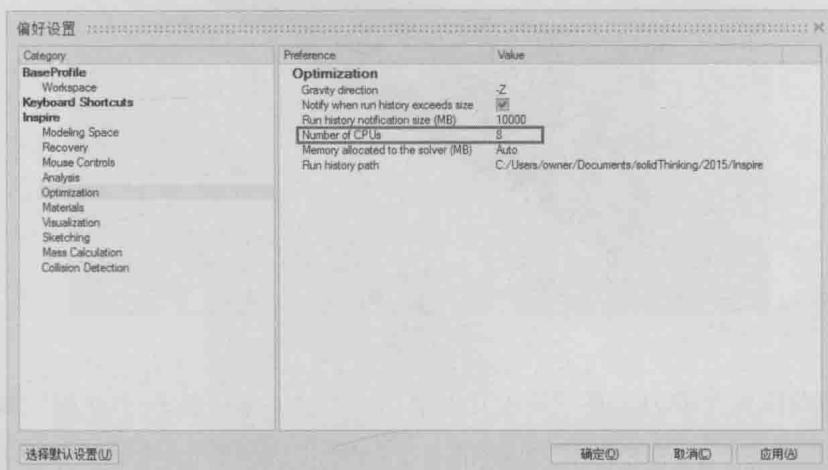


图 1-6

1.3 打开支架模型

- 1) 打开 solidThinking Inspire 软件。
- 2) 单击“文件”中的“打开模型”。
- 3) 在“打开文件”窗口中, 选择“Tutorials”文件夹。
- 4) 选择文件“三角支架.stmod”并打开, 打开的零件材料已定义为 AISI 304 (304 不锈钢), 如图 1-7 所示。

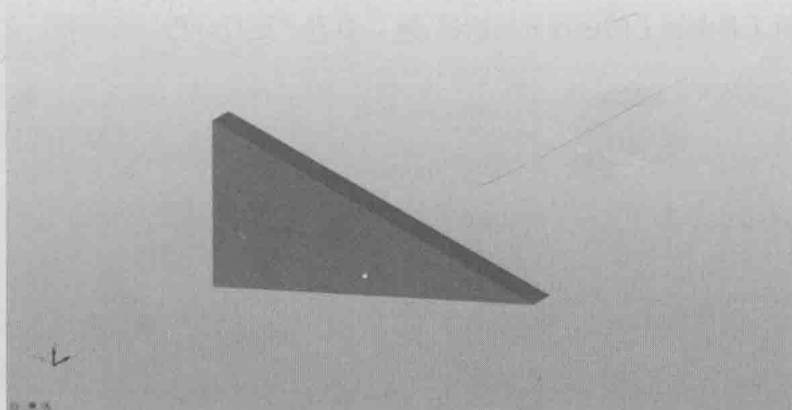


图 1-7

1.4 施加力和位移并进行运行分析

- 1) 要固定三角支架, 请选择载荷图标上的约束工具 .

2) 单击三角支架较短的直角边以固定三角支架，如图 1-8 所示。

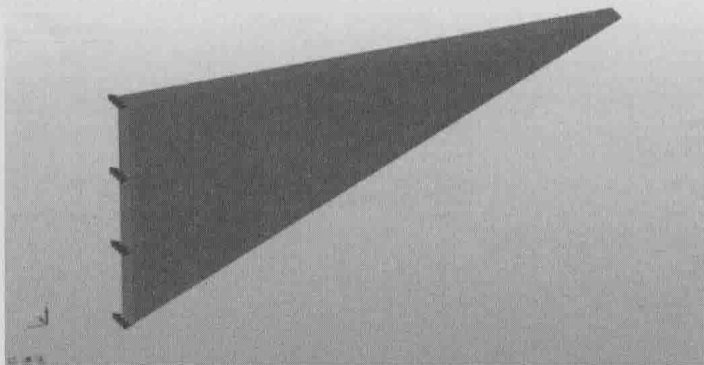


图 1-8

3) 选择载荷图标上的力工具，单击支架上部，在文本框中输入 1000N，方向为 Z-，如图 1-9 所示。

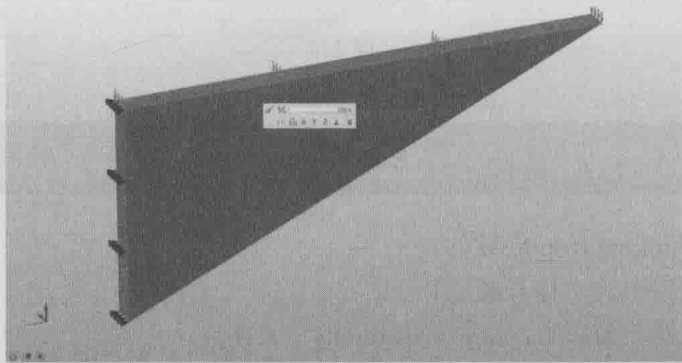


图 1-9

4) 单击鼠标右键，完成力定义。
5) 单击分析工具图标上的运行分析按钮 ，打开“运行分析”对话框，如图 1-10 所示。

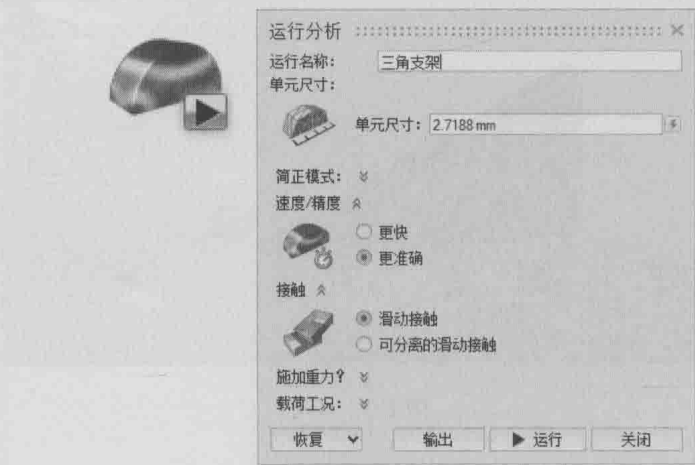


图 1-10 “运行分析”对话框

6) 单击“运行”按钮，弹出“运行状态”对话框，分析完成后会出现一个绿色勾选标记（这可能需要几分钟），如图 1-11 所示。



图 1-11

7) 双击运行的名称查看结果。分析结果显示在分析探索器中，如图 1-12 所示。

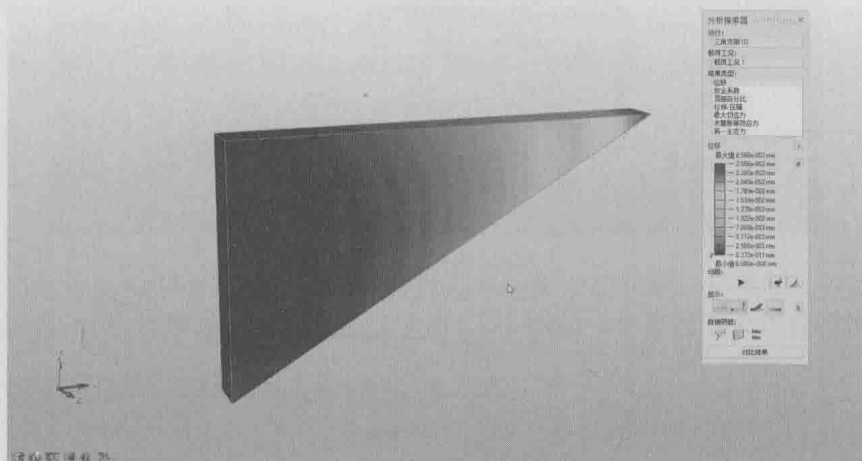


图 1-12

以上结果表示该设计有大量的设计冗余，结构可以优化。

1.5 设定设计空间，添加形状控制并运行优化

下面添加一些优化条件并运行优化。

- 1) 在结构仿真功能区中的形状控制图标上选择对称工具 .
- 2) 从二级功能区中选择对称的工具 .
- 3) 此时选择三角支架，并激活如图 1-13 所示方向，表示产生的形状的轮廓会保留一个与拔模方向同向的等截面。

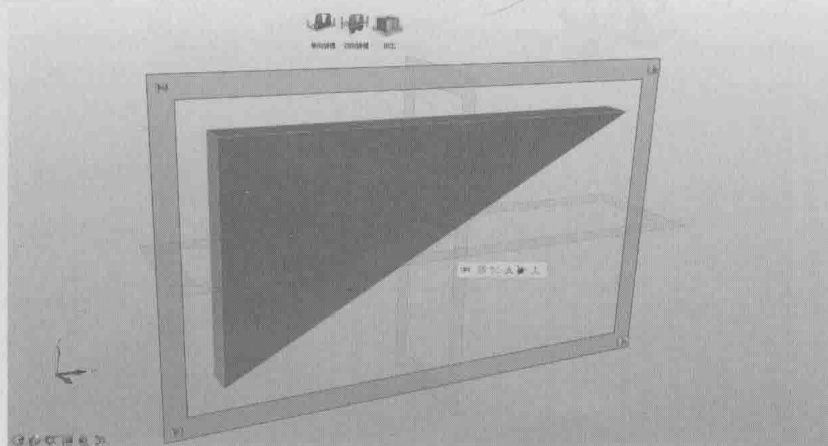
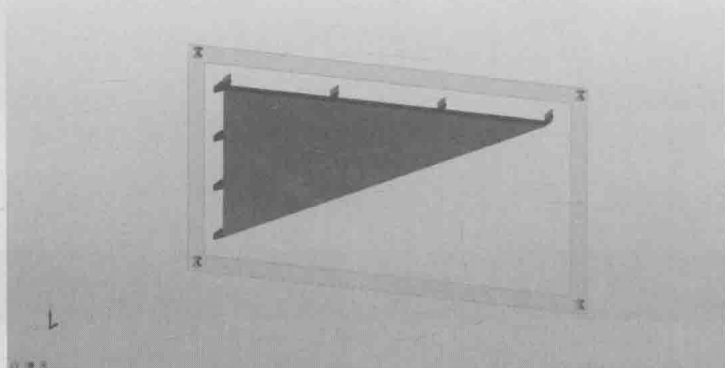


图 1-13

设计空间将会以深红色显示，如图 1-15 所示。



5) 单击结构仿真功能区上优化图标中的运行优化按钮 ，弹出“运行优化”对话框，如图 1-16 所示。

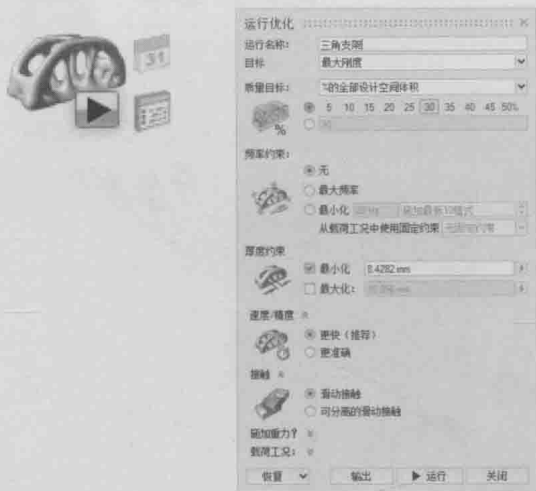


图 1-16