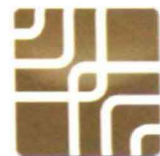


CST工作室套装™ 丛书 **14**



CST 多物理场工作室™

仿真流程 & 求解器概述



热场及结构应力专用仿真软件

P311/16

B0050145

CST China

目录

第一章 — 引言.....	3
欢迎.....	3
如何快速起步.....	3
CST 多物理场工作室™是什么?.....	3
谁需要使用 CST 多物理场工作室™?.....	3
CST 多物理场工作室™的主要功能.....	3
概要.....	4
结构建模.....	4
力学求解器.....	4
稳态热求解器.....	4
瞬态热求解器.....	4
结果显示及导出结果的二次计算.....	5
导出结果.....	5
自动操作.....	5
关于本书.....	5
版式约定.....	5
您的反馈.....	5
第二章 — 仿真流程.....	6
结构力学求解器.....	6
模型结构.....	6
启动 CST 多物理场工作室™.....	6
打开仿真向导.....	7
定义单位.....	7
结构建模.....	8
拉伸和位移边界.....	12
启动仿真.....	13
分析计算结果.....	14
总结.....	16
第三章 — 求解器总览.....	18
求解器和激励源.....	18
结构应力求解器.....	18
热求解器.....	18
背景材料.....	18
材料属性.....	19
边界条件.....	20
温度源.....	21
热源.....	22
热损耗分布.....	22
热表面特性.....	23
血液热交换源源.....	23
稳态热求解器参数.....	23
激励信号设置.....	24
时域监视器.....	25
瞬态热求解器设置.....	26
结果类型.....	27
第四章 — 协同仿真 workflow.....	29
单个文件中的协同仿真.....	29
EM - 热协同.....	29
多个文件间的协同仿真.....	30
电磁 (EM) - 热协同.....	32
热 - 力学协同.....	33
力学 - 高频协同.....	34

第五章 — 寻求更多信息.....	37
仿真向导.....	37
在线帮助文档.....	37
例子.....	38
技术支持.....	38
版本更新记录.....	38

目录

第一章 — 引言.....	3
欢迎.....	3
如何快速起步.....	3
CST 多物理场工作室™是什么?.....	3
谁需要使用 CST 多物理场工作室™?.....	3
CST 多物理场工作室™的主要功能.....	3
概要.....	4
结构建模.....	4
力学求解器.....	4
稳态热求解器.....	4
瞬态热求解器.....	4
结果显示及导出结果的二次计算.....	5
导出结果.....	5
自动操作.....	5
关于本书.....	5
版式约定.....	5
您的反馈.....	5
第二章 — 仿真流程.....	6
结构力学求解器.....	6
模型结构.....	6
启动 CST 多物理场工作室™.....	6
打开仿真向导.....	7
定义单位.....	7
结构建模.....	8
拉伸和位移边界.....	12
启动仿真.....	13
分析计算结果.....	14
总结.....	16
第三章 — 求解器总览.....	18
求解器和激励源.....	18
结构应力求解器.....	18
热求解器.....	18
背景材料.....	18
材料属性.....	19
边界条件.....	20
温度源.....	21
热源.....	22
热损耗分布.....	22
热表面特性.....	23
血液热交换源源.....	23
稳态热求解器参数.....	23
激励信号设置.....	24
时域监视器.....	25
瞬态热求解器设置.....	26
结果类型.....	27
第四章 — 协同仿真 workflow.....	29
单个文件中的协同仿真.....	29
EM – 热协同.....	29
多个文件间的协同仿真.....	30
电磁 (EM) – 热协同.....	32
热 – 力学协同.....	33
力学 – 高频协同.....	34

第五章 — 寻求更多信息.....	37
仿真向导.....	37
在线帮助文档.....	37
例子.....	38
技术支持.....	38
版本更新记录.....	38

第一章 — 引言

欢迎

欢迎使用 CST 多物理场工作室™，这一功能强大又易于使用的力学和温度分析工具，CST 多物理场工作室™的用户界面非常友好，求解功能亦非常卓越。

CST 多物理场工作室™集成在 CST 设计环境™中。本书中我们假设您已经在本机安装好 CST 多物理场工作室™，并且熟悉用户界面的基本操作。

如何快速起步

我们建议您按照以下步骤进行：

1. 仔细阅读完本书。这里包含了有助于您理解高级概念所需要的所有基本信息。
2. 请浏览一下安装目录下的 **examples** 子目录。各种不同的算例将会给您提供一个相关软件应用范围的整体印象。请注意，设计这些例子的目的只是为了让您对某个特定的应用领域有个基本的认识。实际应用时往往复杂得多，需要加强对基本概念的理解和认识。
3. 以您自己的第一个例子起步，并尽量选择一个简单的例子，让您可以很快地熟悉本软件。
4. 在您将第一个例子完成以后，请联系我们的技术支持人员，他们会给您一些有用的建议，以帮助您更加有效地使用 CST 多物理场工作室™。

CST 多物理场工作室™是什么？

CST 多物理场工作室™从 2010 版开始集成到 CST 设计环境™中，用于温度和结构力学分析。CST 多物理场工作室™自带功能强大的基于 ACIS 建模内核的实体建模模块，大大简化了建模的工作量。CST 多物理场工作室™自带网格生成器，可以对模型进行自动网格剖分，自带功能强大的求解器，网格剖分后可以快速高效地进行仿真分析。

CST 多物理场工作室™集成在 CST 设计环境™这一大平台上，与其他的子软件紧密结合，可以非常方便地进行电磁-多物理场的协同分析，不需要数据的导入和导出，只需切换页面即可。

CST 多物理场工作室™的另一强大功能是可以对需要分析的结构进行全参量化建模，可以对模型的任意部位设置参数，所有设置的参数都可以用于后续的参数扫描和优化。软件自带参数扫描器和优化器，可以利用定义的参数对设备的热特性和结构力学特性进行分析和优化设计。

谁需要使用 CST 多物理场工作室™？

所有需要分析由于电磁效应所产生的热和结构应力变化的工程师都会用到 CST 多物理场工作室™。CST 多物理场工作室™独立存在，具有非常完善完整的结构和热特性分析功能。如果同其他子软件如 CST 微波工作室®结合使用，则其功能更加完备。

CST 多物理场工作室™的主要功能

下面将概述 CST 多物理场工作室™的主要功能。请注意，由于口令的限制，这些功能您并不一定全部都能使用到。请与我们联系以获取进一步的信息。

概要

- 基于 Windows XP, Windows Vista 和 Windows7 的图形用户界面
- 含有多个独立求解器（基于四面体网格和六面体网格）可以对各种多物理场应用进行高效高精度的分析
- 针对特定的求解器，软件中会提供高性能的数值求解技术，如：基于六面体网格的理想边界拟合®（PBA）技术，基于四面体网格的高阶元网格

结构建模

- 基于 ACIS¹内核的参量化实体建模前端，并带有优异的结构可视化功能
- 内置多种建模技术，可快速进行结构变换
- 可通过 SAT (如 AutoCAD®), ACIS SAB, Autodesk Inventor®, IGES, VDA-FS, STEP, ProE®, CATIA 4®, CATIA 5®, CoventorWare®, Mecadtron®, Nastran, STL 或者 OBJ 格式文件，导入 3D CAD 数据
- 通过 DXF, GDSII 和 Gerber RS274X, RS274D 格式的文件导入 2D CAD 数据
- 从布线工具 Cadence Allegro® / APD® / SiP®, Mentor Graphics Expedition®, Mentor Graphics PADS®, Zuken CR-5000® 以及 ODB++® (如 Mentor Graphics Boardstation®, CADSTAR®, Visula®)中导入 EDA 数据
- 可以导入 Simlab PCBMod® 或者 CST PCBStudio™中的 PCB 设计
- 可导入 2D 和 3D 子模型
- 可导入 Agilent ADS® 的布线
- 可导入 Sonnet® EM 模型
- 可导入可视化人体模型数据集或其他 voxel 数据集
- 通过 ACIS SAT, ACIS SAB, IGES, STEP, NASTRAN, STL, DXF, Gerber, DRC 或者 POV 格式文件导出 CAD 数据
- 对导入的 CAD 结构进行事后参量化
- 材料数据库
- 各种仿真应用模板

力学求解器

- 各向同性材料
- 位移边界条件
- 拉伸边界条件
- 热形变
- 各种应力显示：等效应力，静压应力和 张量应力
- 体应力显示
- 变形结构的可视化
- 将形变后的结构导出到 CST 微波工作室®

稳态热求解器

- 支持各向同性和各向异性材料
- 新陈代谢及血液热交换材料属性
- 人体生物组织的热交换
- 结构热传导
- 对流和表面辐射热交换
- 热源：固定和浮动温度、加热源、涡流源和稳态欧姆损耗场、从 CST 微波工作室®或者 CST 电磁工作室®中导入介质极化损耗场和涡流损耗场，从 CST 粒子工作室®导入粒子轰击损耗场
- 支持切向热通量（绝热）/法向热通量（固定或者浮动温度）边界条件
- 内置参数扫描器，可以自动进行参数扫描
- 内置优化器，可以对任意的优化目标进行全自动的结构优化
- 优化、参数扫描都支持分布式计算，可以远程登录计算

瞬态热求解器

¹ Portions of this software are owned by Spatial Corp. © 1986 – 2010. All Rights Reserved.

- 支持各向同性和各向异性材料
- 新陈代谢及血液热交换材料属性
- 人体生物组织的热交换
- 结构热传导
- 对流和表面辐射热交换
- 热源：固定和浮动温度、加热源、涡流源和稳态欧姆损耗场、从 CST 微波工作室®或者 CST 电磁工作室®中导入介质极化损耗场和涡流损耗场，从 CST 粒子工作室®导入粒子轰击损耗场
- 支持切向热通量（绝热）/法向热通量（固定或者浮动温度）边界条件
- 温度变化的瞬态过程及时变热源
- 优化、参数扫描都支持分布式计算，可以远程登录计算

结果显示及导出结果的二次计算

- 多曲线显示
- 仿真过程中可显示中间结果
- 导入外部曲线
- 可视化数据可导出文本文件
- 曲线拷贝/粘贴
- 通过交互式的调谐杆快速查看参数化结果
- 各种 2D 和 3D 场显示方式（温度场、热流密度、形变量、结构应力等）
- 动画显示场分布
- 沿任意空间曲线对 2D 和 3D 场求解线积分并显示结果
- 沿任意曲面对 3D 场求解面积分
- 仿真得到的原始结果，通过模板导出用户指定的各类分级结果。此结果可用于优化目标的定义

导出结果

- ASCII 格式导出场、曲线等结果数据
- 导出结果场图的屏幕拷贝

自动操作

- 包含编辑器和调试器，功能强大并兼容 VBA (Visual Basic for Applications) 的宏语言。
- 通过 OLE 的自动操作可与 Windows 环境(Microsoft Office®, MATLAB®, AutoCAD®, MathCAD®, Windows Scripting Host 等) 无缝集成

关于本书

本书主要用于 CST 多物理场工作室™的快速入门。它只是让您对关键性概念有个总体的印象，而不是包含所有概念的完整手册。理解这些概念有助于您在在线文档的帮助下有效地使用该软件。

下一章（第二章）*仿真流程*解释了 CST 多物理场工作室™的重要功能和核心概念，强烈建议您仔细阅读这一章。

版式约定

- 可在主菜单中选取的命令以如下方式显示：主菜单项 ⇨ 子菜单项。这表明您需要先选择“主菜单项”（如：“File”），再选择相应的“子菜单”（如：“Open”）
- 对话框中需要点击的按钮均以斜体显示，如：OK
- 组合框通常用一个加号（+）来连接。Ctrl+S 表示您需要在按住 Ctrl 键的同时，按下 S。

您的反馈

我们一直在提高本书的质量。无论您对本书有任何建议，均请将它们发送到 info@cst-china.cn，谢谢！

第二章 — 仿真流程

如下的例子演示了如何使用力学求解器的一些基本功能。认真学习这些例子可以帮助您熟悉多物理场工作室™的很多标准操作，要用 CST 多物理场工作室™进行仿真分析，掌握这些操作都是非常重要的。

在随后的很多小节中，您都会发现求解器的很多扩展功能，这些功能在本书的概述中可能并未提及。

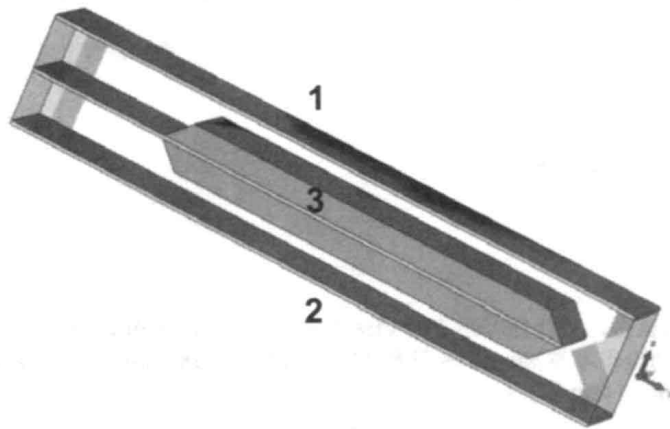
下面的章节中有些特定的对话框或者进行特定的操作的打开路径会比较深。只要有需要，我们都会在文字描述的旁边显示相应的工具栏菜单项。但是由于本书页数限制，有些可以非常方便激活的命令（快捷键或者右键菜单）的激活方式将被省略。您总是可以通过右键菜单来查看当前可用的命令。

结构力学求解器

本例中，您将建模一个简单的加速计。首先，我们需要定义模型的空间结构和材料属性。然后，定义边界条件并设置求解器启动计算。最后，分析所得的计算结果。

模型结构

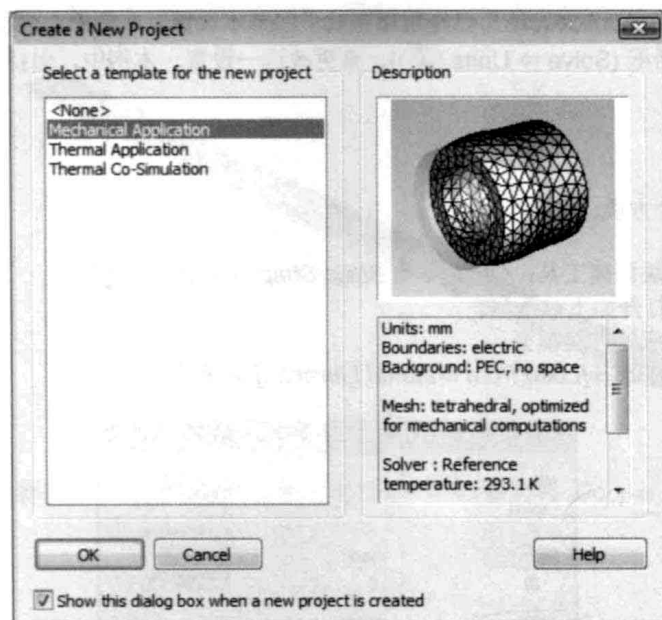
下图给出了该简单加速计的空间结构图。包含 2 个带有不同电压的平板导体分布在模型的两边（成为导体 1 和导体 2，如下图所示），中间有一不带电的同样大小的平板导体（导体 3）。



如果设备带着加速计移动，则惯性将推动导体 3 向导体 1 或者导体 2 移动。导体 2 和导体 3 之间的电压差等也会相应地跟着变化。

启动 CST 多物理场工作室™

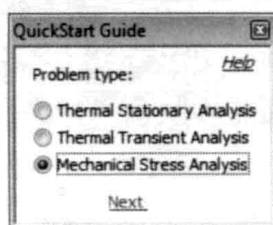
启动 CST 设计环境™后，选择创建一个新的 CST 多物理场项目，软件会提示您是否选择一个合适的模板，以简化仿真流程。对于结构力学分析，我们选择模板“Mechanical Application”并点击 OK 按钮。



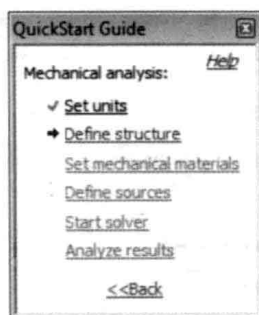
打开仿真向导

在线帮助系统有个有用的功能——仿真向导。它是一个电子助手，可以协助您完成仿真。如果它没有自动启动，您可以通过选择 **Help**⇒**Quick Start Guide** 将其打开。

仿真向导打开后，主窗口的右上角会显示如下对话框：



如果您的对话框和上面所示的不同，请点击 **Back** 按钮回到上述对话框。在此对话框中，请选择问题类型为“Mechanical Stress Analysis”并点击 **Next** 按钮。将弹出如下对话框：



红色箭头指示您下一步要定义的步骤。您也可以不遵循这个顺序，但我们建议您在刚开始使用此软件时依照此向导所示进行，以免有所遗漏。

您在将这个例子一步步完成时，请随时观察此窗口。您可以在任何时候关闭这个窗口，但在您再次打开时，它依然会告诉您下一步需要做什么。

如果您不确定该如何进行某个操作，请点击该窗口中的相应行。仿真向导会动态显示相应的操作菜单，或是帮您打开相应的帮助文档。

定义单位

模板“Mechanical Application”已经帮您完成了些基本设置。本例中，模板将结构单位设置为 mm。您可以通过单位设置对话框 (Solve ⇒ Units (☰)), 来更改这一设置。本例中，保持模板的缺省设置不变即可。

结构建模

首先，您需要创建一个方块。

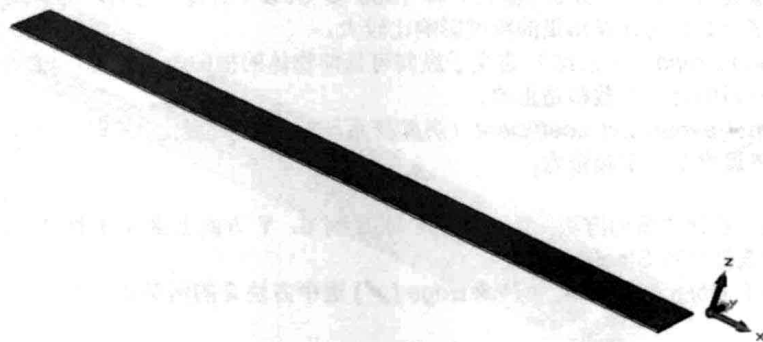
1. 从主菜单中选择方块创建工具：Objects ⇒ Basic Shapes ⇒ Brick (🧱)。
2. 按下 **Escape** 键，打开如下对话框。
3. 按照下图来创建相应的方块模型。
4. 从材料栏的下拉框中选择 [Load from Material Library...] 菜单项。



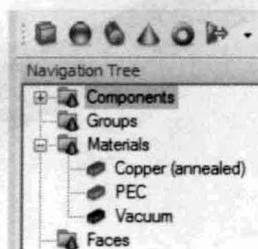
5. 在对话框 *Load from Material Library* 中，从材料列表中选择 *Copper (annealed)*，并点击 *Load* 按钮。



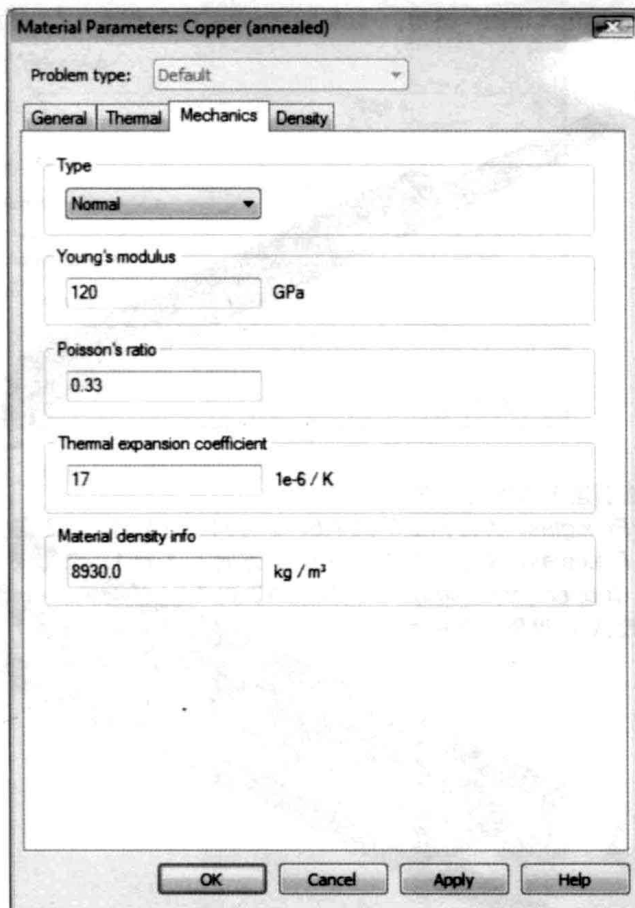
6. 最后，点击对话框中的 **OK** 按钮。完成方块的创建：



7. 查看新建物体的材料属性。打开导航树中的材料文件夹，双击材料 *Copper (annealed)*，打开材料属性对话框。

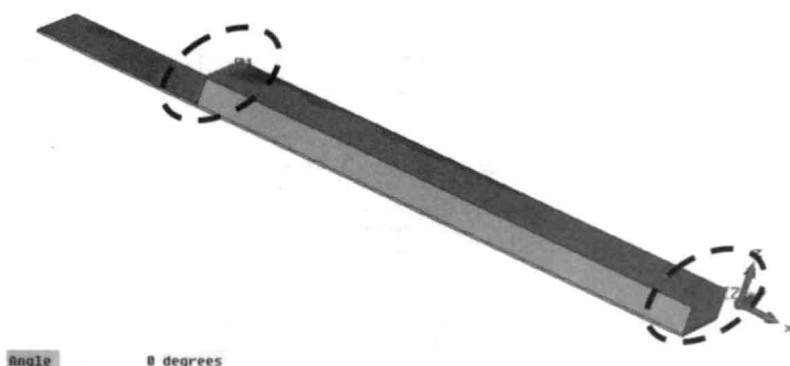


材料属性对话框 *Material Properties: Copper (annealed)* 如下所示，您可以在该对话框中修改铜的各种属性，选中材料属性对话框中的 *Mechanics* 页面。

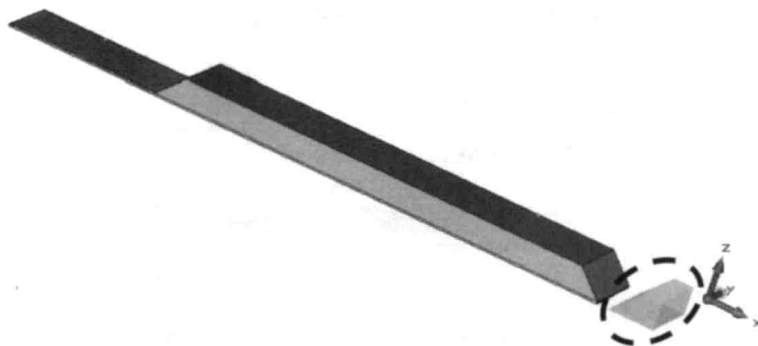


在该对话框中，您可以修改材料的力学属性，主要有三种非常重要的力学特性：

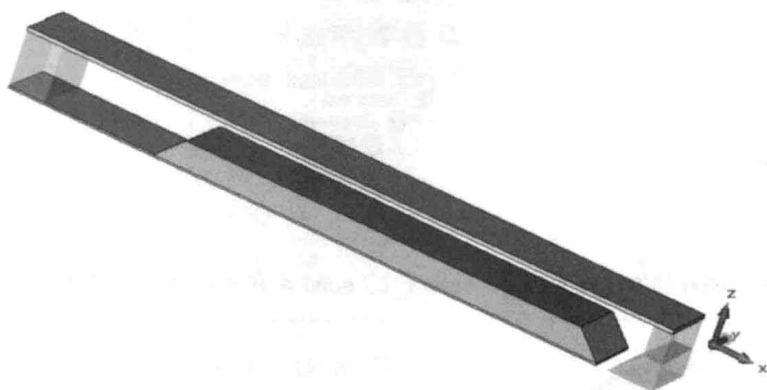
- *Young's modulus* (杨氏模量) 定义了各向同性弹性材料的刚度, 通常以 GPa 或者 kN/mm^2 为单位。这个值通常在 0.01 GPa (橡胶) 和 1000 多 GPa (钻石) 之间。准确知道材料的这一参数非常重要, 因为这个参数对计算结果的精度影响比较大。
 - *Poisson's ratio* (泊松比) 定义了纵向可延伸物体的横向收缩范围, 这个参数通常在 -1 和 0.5 之间, 大部分材料的这一参数都是正的。
 - *Thermal expansion coefficient* (热膨胀系数) 是温度变化 1K 时, 物体的张力大小。这一参数用于计算外界温度变化引起张力。
8. 重复上述步骤建模新的方块, X 方向上坐标 -6 到 6, Y 方向上坐标 -1 到 1, Z 方向上坐标 0.05 到 0.7, 从材料库中选择材料 **Steel-1010**。
 9. 通过主菜单 **Objects** ⇒ **Pick** ⇒ **Pick Edge** (↗) 选中方块 2 的两条边, 如下图所示:




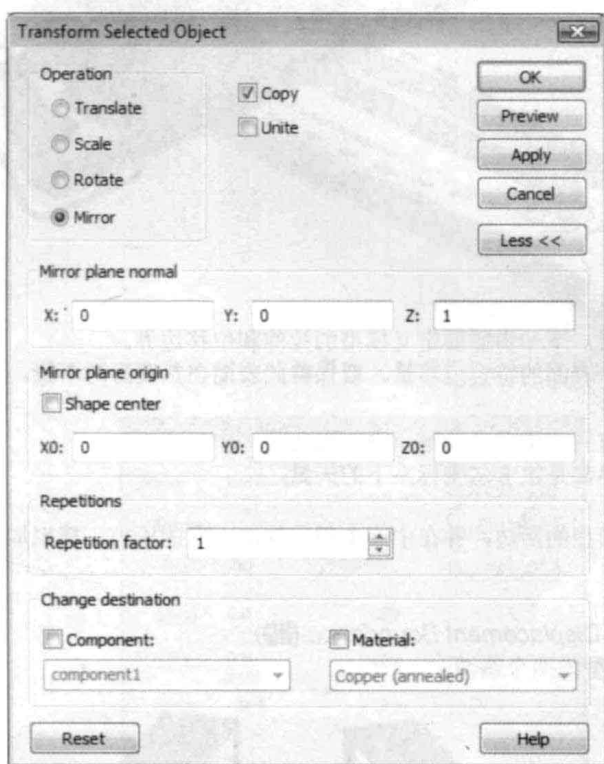
10. 通过主菜单选择 **Objects** ⇒ **Chamfer Edges...** (Ⓜ) 对选中的边倒角, 在弹出的对话框中输入倒角参数 0.65, 点击 **OK** 按钮关闭对话框。
11. 同样的方法创建第三个方块, X 方向上 6.3 到 7.5, Y 方向上 -1 到 1, Z 方向上 0 到 0.7。从材料库中选择材料 **Plexiglas**。选中其中的一条边, 对其进行倒角, 倒角参数 0.7, 完成上述操作后所得模型如下所示:



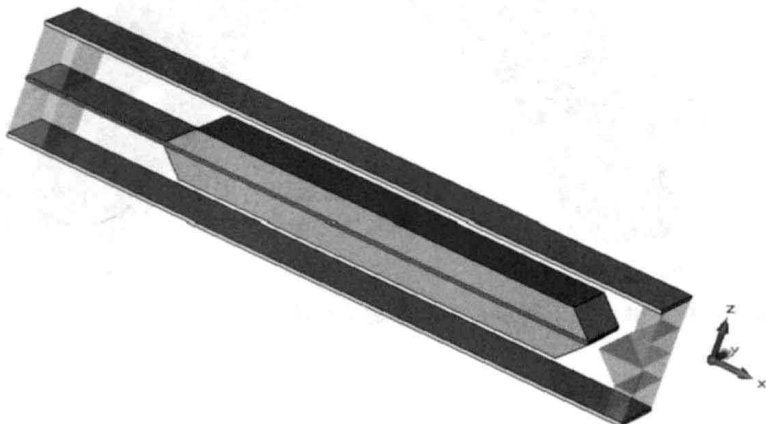
12. 按照相同的方法创建下面的几个方块:
 - 材料属性: **Plexiglas**, X 方向上 7 到 7.5, Y 方向上 -1 到 1, Z 方向上 0.7 到 1.5;
 - 材料属性: **Plexiglas**, X 方向上 -10 到 -9, Y 方向上 -1 到 1, Z 方向上 0.05 到 1.5;
 - 材料属性: **Copper (annealed)**, X 方向上 -10 到 7.5, Y 方向上 -1 到 1, Z 方向上 1.5 到 1.6。完成上述方块的创建后, 模型如下所示:



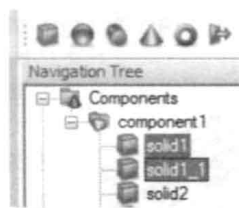
13. 在主视图左边的导航树中打开 *Components* 项，选择 *Component1*。然后选择主菜单栏 *Objects* ⇒ *Transform* ()。
14. 在下图所示 *Transform Selected Object* 对话框中选择 *Mirror* (镜像)，打钩 *Copy* 选项，并设置镜像平面的法向为 0, 0, 1, 如下图所示：



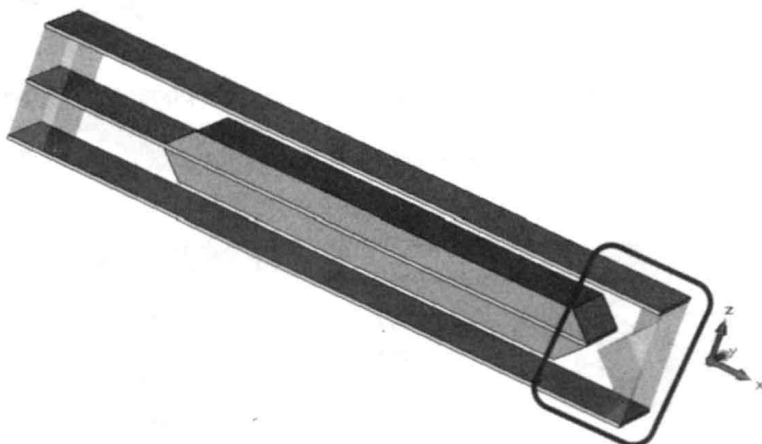
15. 点击 *OK* 按钮关闭对话框。创建的模型如下所示：



16. 按下 *Shift* 键，选择导航树 *Components* ⇒ *Component1* 中的 *solid1* 和 *solid1_1*，然后选择主菜单栏 *Objects* ⇒ *Boolean* ⇒ *Add* ()。将两个 0.05mm 厚的平板合并为一个 0.1mm 厚的平板，提高网格剖分质量。



17. 您完全可以按照同样的方法将 solid3、solid3_1、solid 4 和 solid4_1 合并为一个 Plexiglas，如下图红框所示：



拉伸和位移边界

完成空间结构建模后，下一步需要定义模型的拉伸和位移边界。

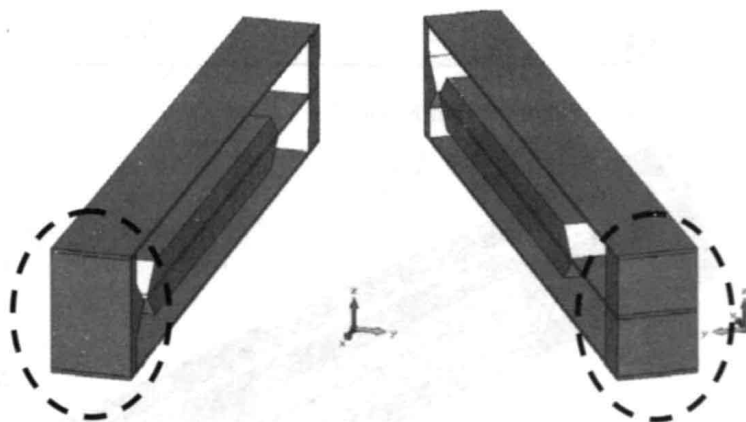
位移边界是指定某个表面的特定位移量。要保持此表面在热变形时不变，则将该值设为 0，一般用来固定端口（波导模式端口）。

拉伸边界是在某个方向上指定了特定压力的面。

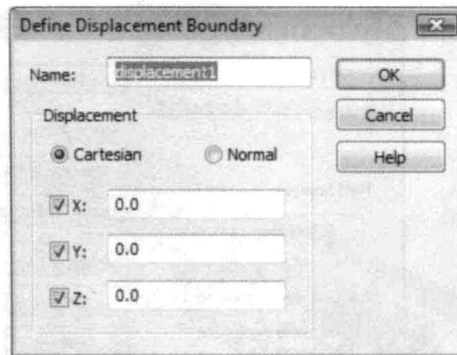
拉伸边界和位移边界都是笛卡尔坐标系下的矢量。

本例中，我们固定模型的两边，并在中间电极上施加一定的压力，模拟加速过程惯性力的影响。请按照以下步骤进行模型设置：

1. 选择主菜单 *Solve* ⇨ *Displacement Boundary...* (图标)。
2. 按照下图所示选择模型的两个端面：

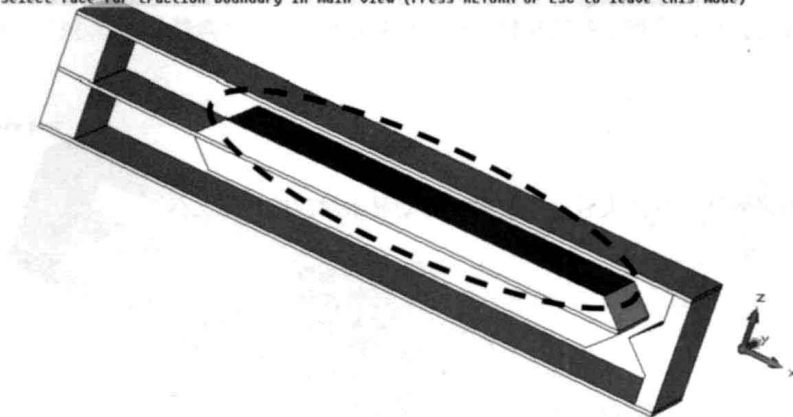


按下 *Return* (确认) 键，弹出如下所示位移边界定义对话框：

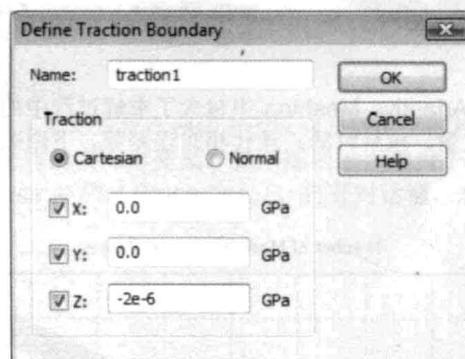


3. 保持所有的参数不变，点击 OK 按钮，这样模型的两个端面即被固定。
4. 选择主菜单 *Solve* ⇒ *Traction Boundary...* (F11)。
5. 双击选中第三个电极的上表面：

Select face for traction boundary in main view (Press RETURN or ESC to leave this mode)



按下 Return (确认) 键，弹出如下所示拉伸边界定义对话框：



6. 设置 Z 方向上的牵引力为 $-2e-6$ GPa。这表明，我们在 Z 的负方向上施加了 2kPa 的压力。这一压力与正 Z 方向上大约 17 倍重力加速度或者 170 m/s^2 的加速度相当。

启动仿真

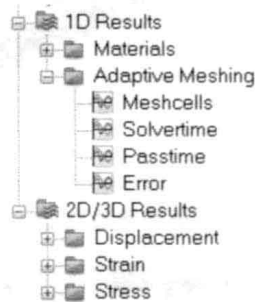
现在，您已经完成了所有的设置，可以启动求解器进行仿真分析。选择主菜单 *Solve* ⇒ *Structural Mechanics Solver...* (F12)，打开结构应力求解器对话框。



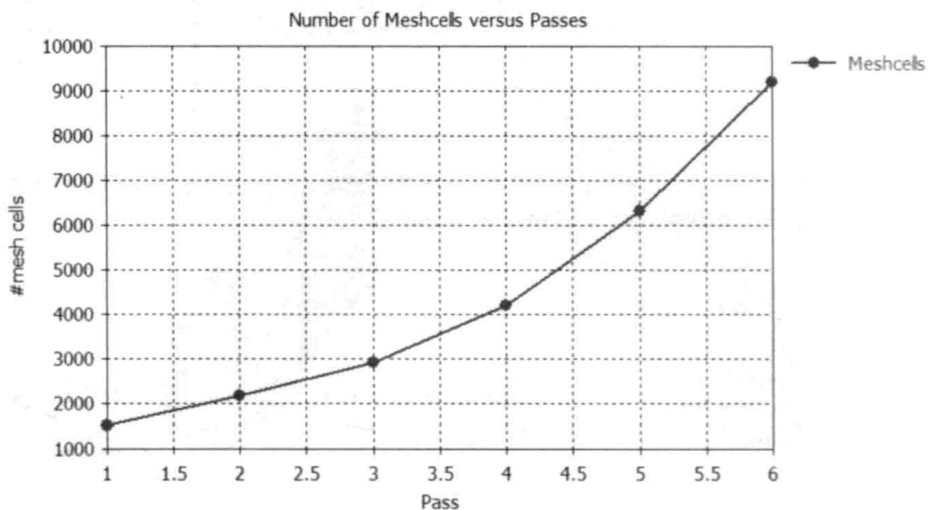
您可以点击 **Help** 按钮来查看更多有关该对话框的信息。本例中，请保持缺省设置，点击 **Start** 按钮，启动仿真。仿真开始后，您可以在消息框中查看计算信息。

分析计算结果

结构应力求解器计算结束后，导航树将自动显示对应的计算结果。



文件夹 **1D Results** ⇒ **Adaptive Meshing** 中包含了求解过程中的网格自适应信息。这里，您可以查看求解器迭代求解时所用的网格数量，求解时间，迭代相对误差等。下图给出求解器每次迭代求解（网格加密）时所用四面体网格数量。



文件夹 **2D/3D Results** 中含有形变分布，结构应力，静压应力等结果。如果从热求解中导入了温度分布，则其基于四面体网格的插值结果也将在该文件夹中显示。

选择导航树中的 **2D/3D Results** ⇒ **Displacement** 会显示物体形变的矢量图，如下图所示：