

目 录

热设计 <http://www.resheji.com>

1.1 什么是 Icepak?	1
1.2 程序结构.....	1
1.3 软件功能.....	2
练习 1 翅片散热器.....	6
练习 2 辐射的块和板.....	41
练习 3 瞬态分析.....	56
练习 4 笔记本电脑.....	75
练习 5 修改的笔记本电脑.....	104
练习 6 非连续网格.....	114
练习 7 Zoom-in 建模.....	125
练习 8 带有离心风机的机柜.....	146
练习 9 网格和模型强化练习.....	150
练习 10 过滤网的损失系数.....	159
练习 11 顺排或差排散热器.....	174
练习 12 减小热阻.....	189
练习 13 非均匀功率分布.....	198
练习 14 ICEPAK 的 CAD Object 模型.....	204
练习 15 PCB 板布线层接口模块.....	224

1.1 什么是 Icepak?

Icepak 是强大的 CAE 仿真软件工具，它能够对电子产品的传热，流动进行模拟，从而提高产品的质量，大量缩短产品的上市时间。**Icepak** 能够计算部件级，板级和系统级的问题。它能够帮助工程师完成用实验不可能实现的情况，能够监控到无法测量的位置的数据。

Icepak 采用的是 **FLUENT** 计算流体力学 (CFD) 求解器。该求解器能够完成灵活的网格划分，能够利用非结构化网格求解复杂几何问题。多点离散求解算法能够加速求解时间。

Icepak 提供了其它商用热分析软件不具备的特点，这些特点包括：

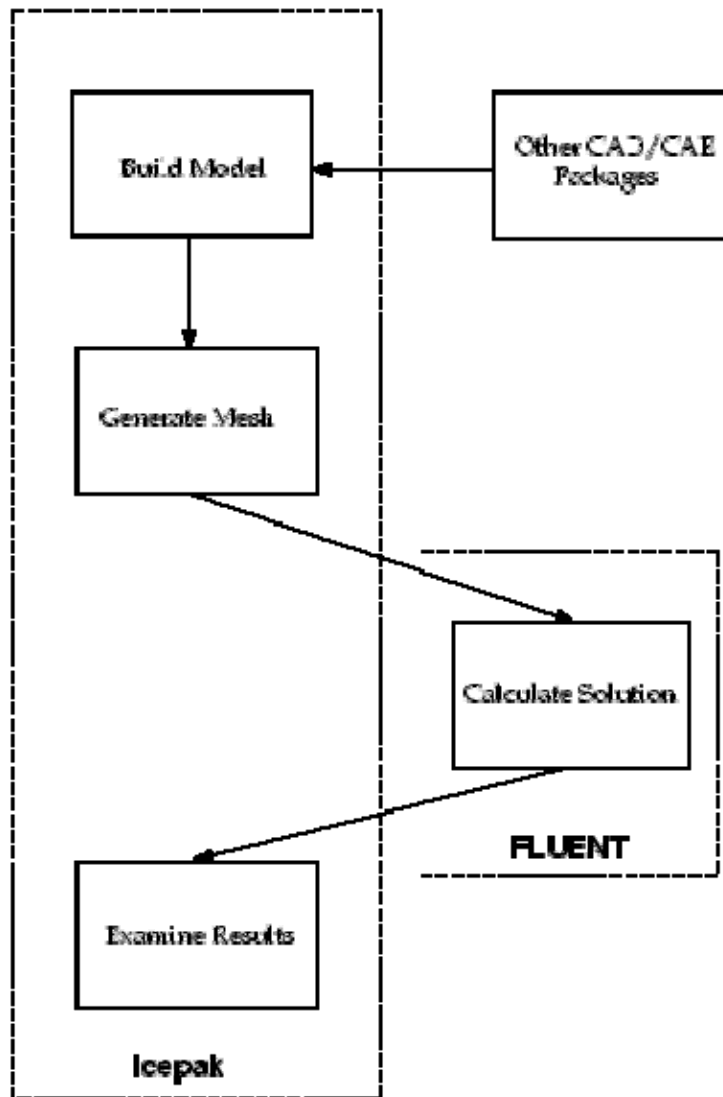


图 1.2.1: 软件架构

- 非矩形设备的精确模拟

- 接触热阻模拟
- 各向异性导热率
- 非线性风扇曲线
- 集中参数散热器
- 外部热交换器
- 辐射角系数的自动计算

1.2 程序结构

Icepak 软件包包含如下内容：

- Icepak, 建模, 网格和后处理工具
- FLUENT, 求解器

Icepak 本身拥有强大的建模功能。你也可以从其它 CAD 和 CAE 软件包输入模型。Icepak 然后为你的模型做网格，网格通过后就是进行CFD求解。计算结果可以在Icepak中显示，如图 1.2.1 所示。

1.3 软件功能

所有的功能均在 Icepak 界面下完成。

1.3.1 总述

- 鼠标控制的用户界面
 - 鼠标就能控制模型的位置，移动及改变大小
 - 误差检查
- 灵活的量纲定义
- 几何输入 IGES, STEP, IDF, 和 DXF 格式
- 库功能
- 在线帮助和文档
 - 完全的超文本在线帮助（包括理论和练习册）
- 支持平台
 - UNIX 工作站
 - Windows NT 4.0/2000/XP 的 PC 机

1.3.2 建模

- 基于对象的建模
 - cabinets 机柜
 - networks 网络模型

- heat exchangers 热交换器
- wires 线
- openings 开孔
- grilles 过滤网
- sources 热源
- printed circuit boards (PCBs) PCB 板
- enclosures 腔体
- plates 板
- walls 壁
- blocks 块
- fans (with hubs) 风扇
- blowers 离心风机
- resistances 阻尼
- heat sinks 散热器
- packages 封装
- macros 宏
 - JEDEC test chambers JEDEC 试验室
 - printed circuit board (PCB)
 - ducts 管道
 - compact models for heat sinks 简化的散热器
- 2D object shapes 2D 模型
 - rectangular 矩形
 - circular 圆形
 - inclined 斜板
 - polygon 多边形板
- complex 3D object shapes 3D 模型
 - prisms 四面体
 - cylinders 圆柱
 - ellipsoids 椭圆柱
 - elliptical and concentric cylinders 椭圆柱
 - prisms of polygonal and varying cross-section 多面体
 - ducts of arbitrary cross-section 任意形状的管道

1.3.3 网格

- 自动非结构化网格生成
 - 六面体，四面体，五面体及混合网格
- 网格控制
 - 粗网格生成
 - 细网格生成
 - 网格检查
 - 非连续网格

1.3.4 材料

- 综合的材料物性数据库
- 各向异性材料
- 属性随温度变化的材料

1.3.5 物理模型

- 层流/湍流模型
- 稳态/瞬态分析
- 强迫对流/自然对流/混合对流
- 传导
- 流固耦合
- 辐射
- 体积阻力
- 湍流模型：混合长度方程 (0-方程)，双方程 (标准 $k-\epsilon$ 方程), RNG $k-\epsilon$ ，增强双方程 (标准 $k-\epsilon$ 带有增强壁面处理)，或 Spalart-Allmaras 湍流模型
- 接触阻尼
- 体积阻力模型
- 非线性风扇曲线
- 集中参数的 Fans, Resistances, and Grilles

1.3.6 边界条件

- 壁和表面边界条件：热流密度，温度，传热系数，辐射，和对称边界条件
- 开孔和过滤网
- 风扇
- 热交换器
- 时间相关和温度相关的热源
- 随时间变化的环境温度

1.3.7 求解引擎

FLUENT 求解器采用有限体积算。有如下特点：

- 使用多重网格算法来缩短求解时间
- 选择一阶迎风格式做初始计算，再使用高阶格式来提高精度

1.3.8 可视化后处理

- 3D 建模和后处理
- 可视化速度向量，云图，粒子，网格，切面和等值面
- 点示踪和 XY 图表
- 速度，温度，压力，热流密度，传热系数，热流，湍流参数等云图
- 速度，温度，压力最大值
- 迹线动画
- 瞬态动画
- 切面动画
- 输出为 AVI, MPEG, FLI, 及 GIF 动画 格式

1.3.9 报告

- 写出用户定义的 ASCII 文件（如热流密度，质量流量，传热系数等）
- 任何点的时间历程
- 求解过程中点的监控
- 报告风扇工作点
- 直接输出到打印机，格式如下：
 - color, gray-scale, or monochrome PostScript
 - PPM
 - TIFF
 - GIF
 - JPEG
 - VRML
 - MPEG movies
 - AVI movies
 - FLI movies
 - animated GIF movies

1.3.10 应用

Icepak 有着广泛的工程应用，如：

- 计算机机箱
- 通信设备
- 芯片，封装和 PCB 板
- 系统模拟
- 散热器
- 数字风洞
- 热管模拟

练习 1 翅片散热器

介绍

本练习显示了如何用 Icepak 做一个翅片散热器。
通过这个练习你可以了解到：

- 打开一个新的 project
- 建立 blocks, openings, fans, sources, plates, walls
- 包括 gravity 的效应, 湍流模拟
- 改变缺省材料
- 定义网格参数
- 求解
- 显示计算结果云图, 向量和切面

问题描述

机柜包含 5 个高功率的设备（密封在一个腔体内），一块背板 plate, 10 个翅片 fins, 三个 fans, 和一个自由开孔, 如图 1.1 所示。Fins 和 plate 用 extruded aluminum. 每个 fan 质量流量为 0.01kg/s, 每个 source 为 33W. 根据设计目标, 当环境温度为 20C 时设备的基座不能超过 65C。

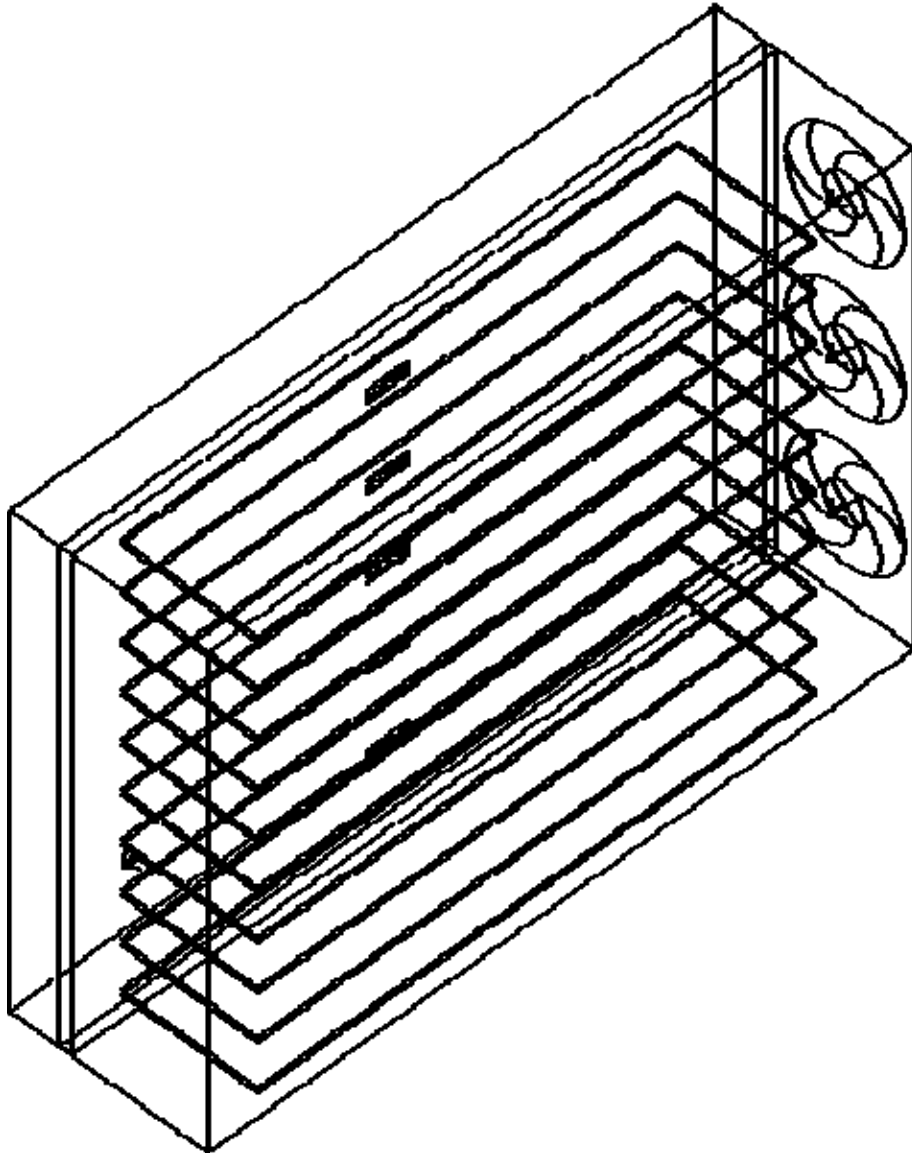
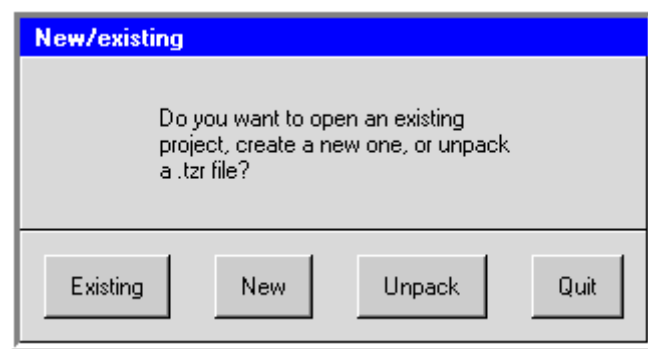


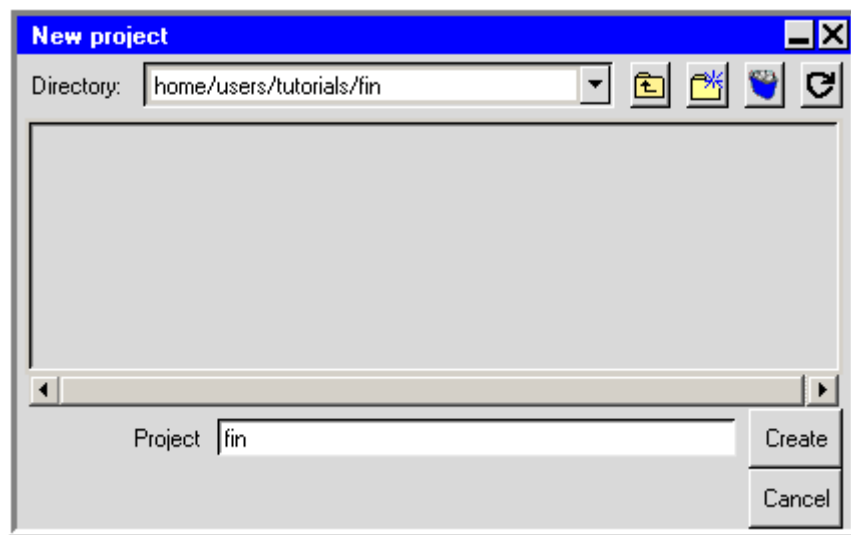
图 1.1: 问题描述

步骤 1: 创建一个新的项目

1. 启动 Icepak, 出现下面窗口。



2. 点击 **New** 打开一个新的 Icepak project.
就会出现下面的窗口:



3. 给定一个项目的名称并点击 **Create**.

(a) 本项目取名为 fin,

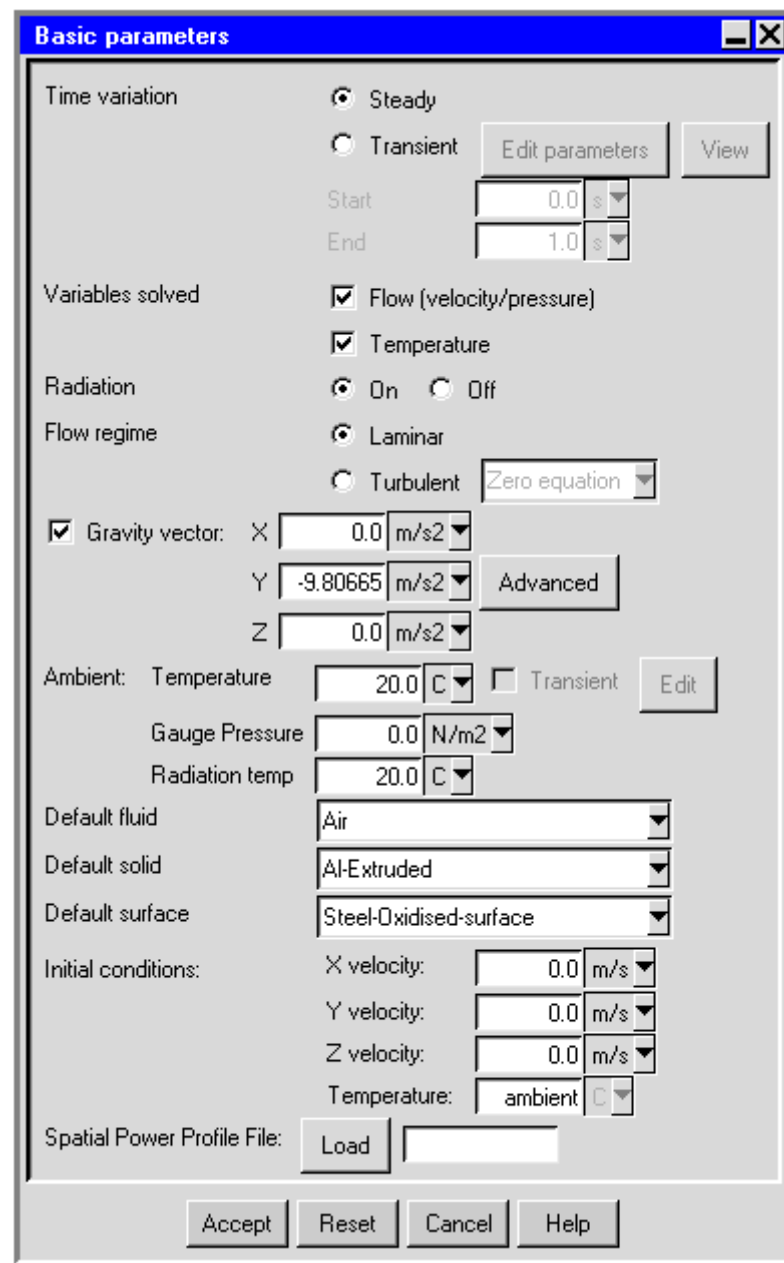
(b) 点击 **Create**.

Icepak 就会生成一个缺省的机柜, 尺寸为 $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 。

你可以用鼠标左键旋转机柜, 或用中键平移, 右键放大/缩小。还可以用 *Home position* 回来原始状态。

4. 修改 problem 定义, 包括重力选项。

 **Problem setup** →  **Basic parameters**



(a) 打开 **Gravity vector** 选项，保持缺省值。

(b) 保持其它缺省设置。

(c) 点击 **Accept** 保存设置。

步骤 2: 建立模型

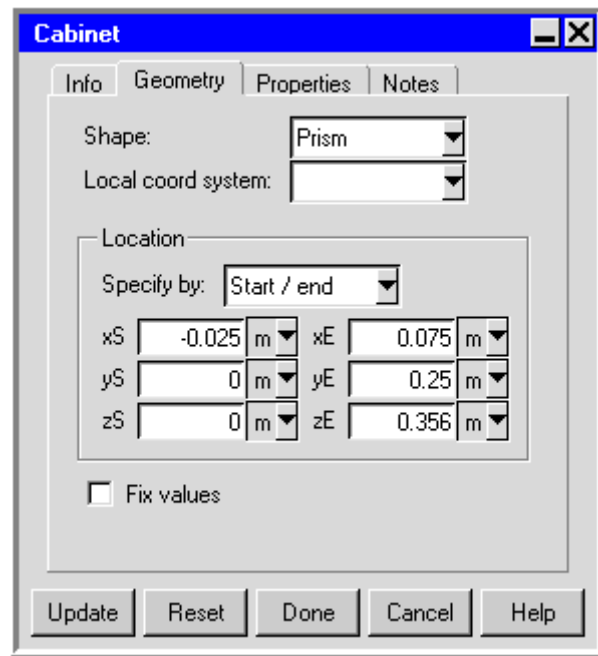
建模之前，你首先要改变机柜的大小。然后建立一块背板和开孔，接下来就是建立风扇，翅片和发热设备。

1. 改变机柜大小，在 **Cabinet** 窗口下。



另外:

你也可以打开 *Cabinet* 面板, 通过点击 *Edit* 窗口.



(a) 在 **Cabinet** 面板下, 点击 **Geometry**.


(b) 在 **Location** 下, 输入下面的坐标:

xS	-0.025		xE	0.075
yS	0		yE	0.25
zS	0		zE	0.356

(c) 点击 **Done**.

(d) 点击 **Scale to fit** 来看整个绘图窗口.


另外:

你也可以点击  button.

2. 建立背板

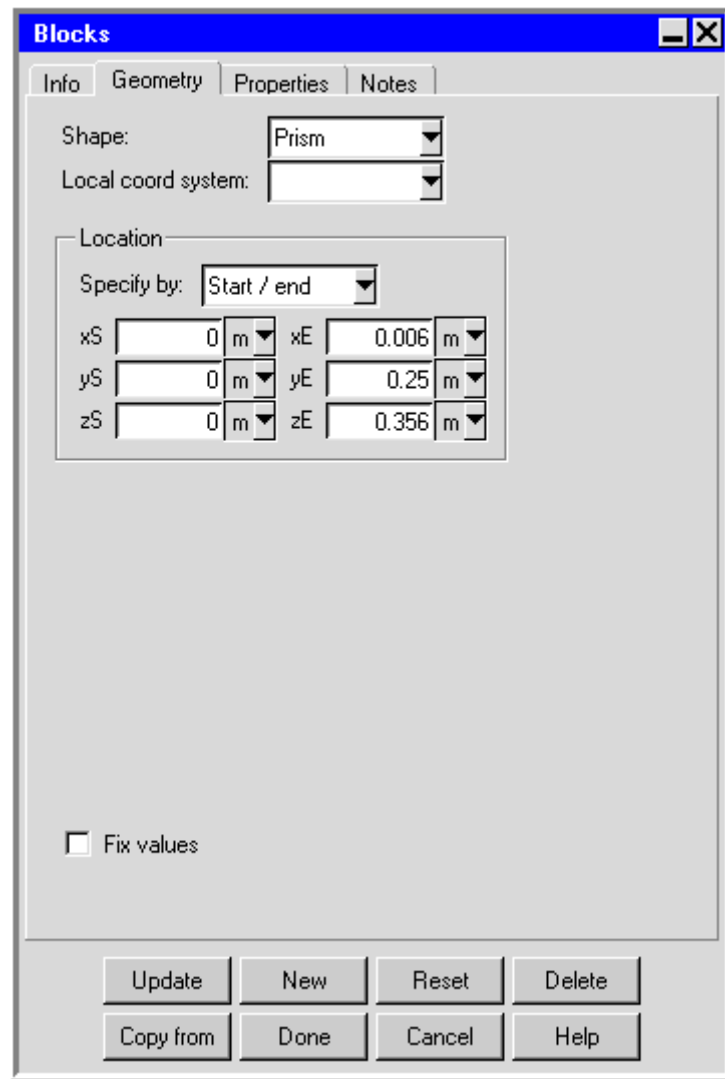
该 *plate* 是 0.006 m 厚并将 *Cabinet* 分成两个区域: 设备一面 (*high-power devices* 在这一面的腔体内) 和 翅片一面 (*fins* 的那一面). 背板在这里是用 *block* 来描述.

(a)

点击  button 生成一个 *block*.

Icepak 将生成一个新的 *block* 并放在 *cabinet* 的中央. 你需要改变 *block* 的大小.

(b) 点击  button 来打开 **Blocks** 面板.



(c) 点击 **Geometry**.

(d) 输入下面坐标:


xS	0		xE	0.006
yS	0		yE	0.25
zS	0		zE	0.356

(e) 点击 **Done**.

3. 建立自由开孔

(a) 点击  button 生成一个 opening.

Icepak 将创建一个矩形的自由开孔并在 $x-y$ 平面. 你只需要改变 *opening* 的大小即可.

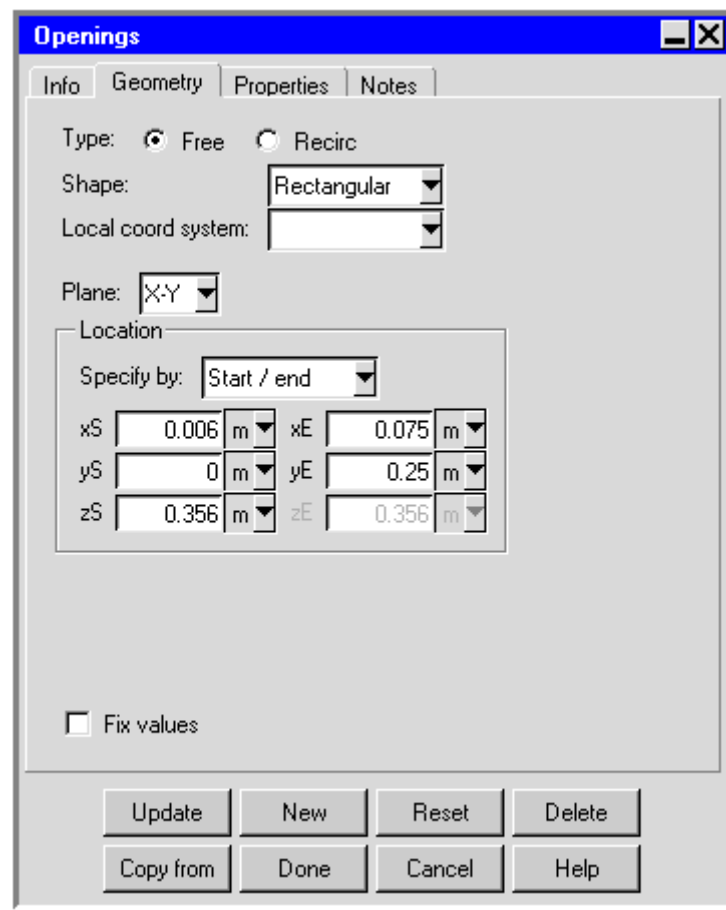
(b) 点击  button 打开 **Openings** 面板.

(c) 点击 **Geometry**.

(d) 输入如下坐标:

xS	0.006		xE	0.075
yS	0		yE	0.25
zS	0.356		zE	--

(e) 点击 Done.



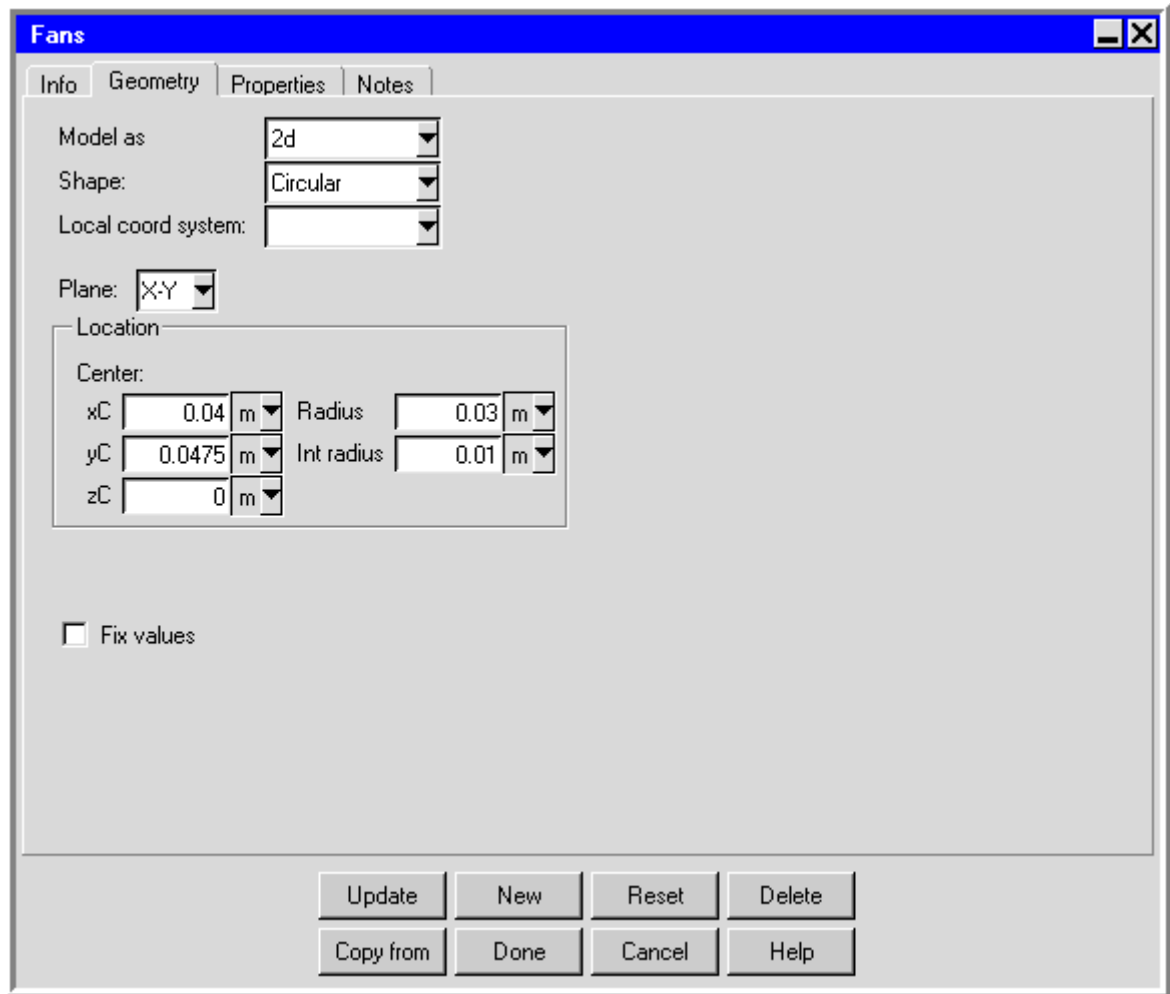
4. 建立第一个风扇:

每一个风扇在位置上是相关的, 你只需要建立一个, 并 copy 出其它两个即可。位置是在 Y 方向有一个给定的 offset。

(a) 点击  button 来创建一个新的 fan.

Icepak 将生成一个在 X-Y 平面上的圆形风扇。你需要改变其大小并指定其质量流量。

(b) 点击  button 来打开 Fans 面板。



(c) 点击 **Geometry**.

(d) 输入如下坐标:

xC	0.04
yC	0.0475
zC	0

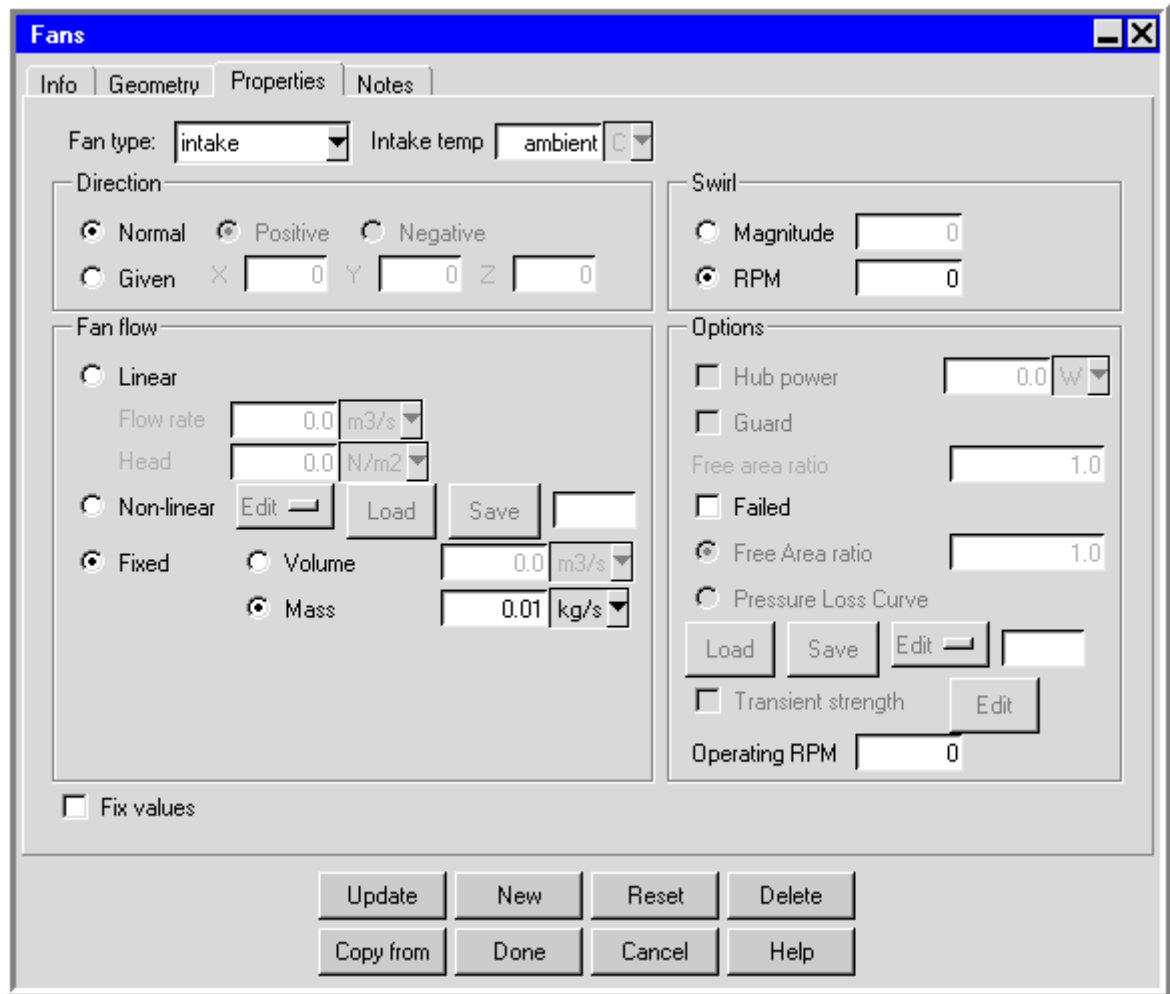
(e) 输入外径为 0.03 (**Radius**), 内径 0.01 (**Int Radius**).


(f) 点击 **Properties**.

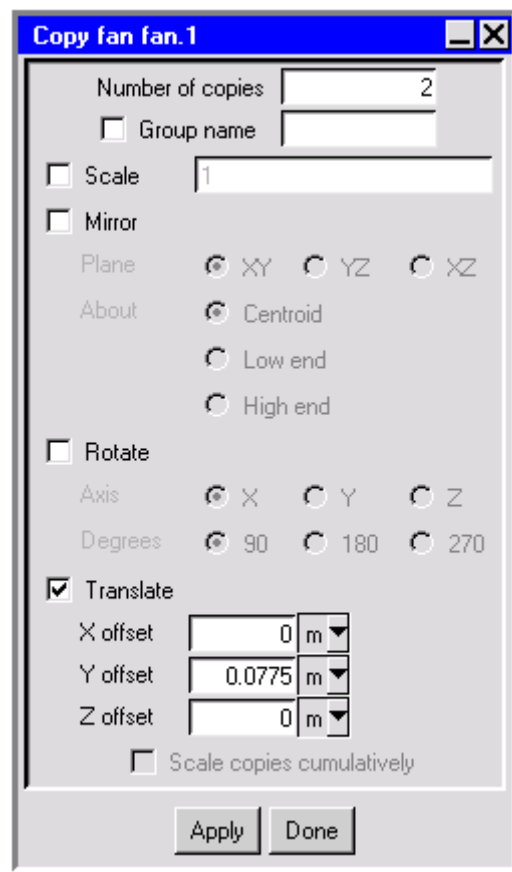
(g) 保持风扇类型为 **intake**.

(h) 在 **Fan flow** 下, 选择 **Fixed** 及 **Mass**. 输入质量流量为 0.01 kg/s.

(i) 点击 **Done**.



5. 拷贝第一个风扇 (fan. 1) 来创建第二个和第三个风扇 (fan. 1. 1 and fan. 1. 2).
- 在 **Model manager** 窗口下, 选择 fan. 1.
 - 点击  button.
- Copy* 窗口打开。 .



(c) 输入 2 作为需要拷贝的数目 **Number of copies**.

(d) 打开 **Translate** 选项并输入 **Y offset** 为 0.0775.

(e) 点击 **Apply**.


Icepak 将创建两个同样的风扇，其间距为 *Y* 方向 0.0775 m.

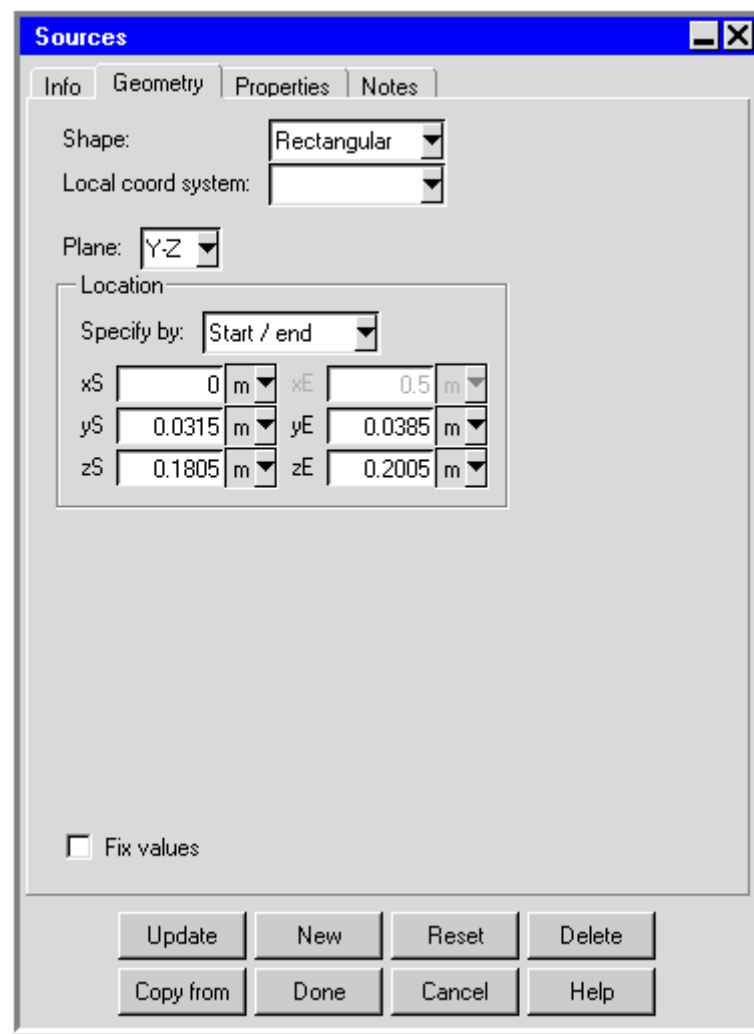
6. 创建第一个 high-power device.

就象风扇一样，每个 *device* 也是位置上相关的，要生成 5 个 *devices*，你需要先建立一个，并在 *Y* 方向拷贝即可。

(a) 点击  button 生成一个热源.

Icepak 将在 *cabinet* 中心生成一个矩形的 *source*. 你需要改变其几何尺寸并给定功耗.

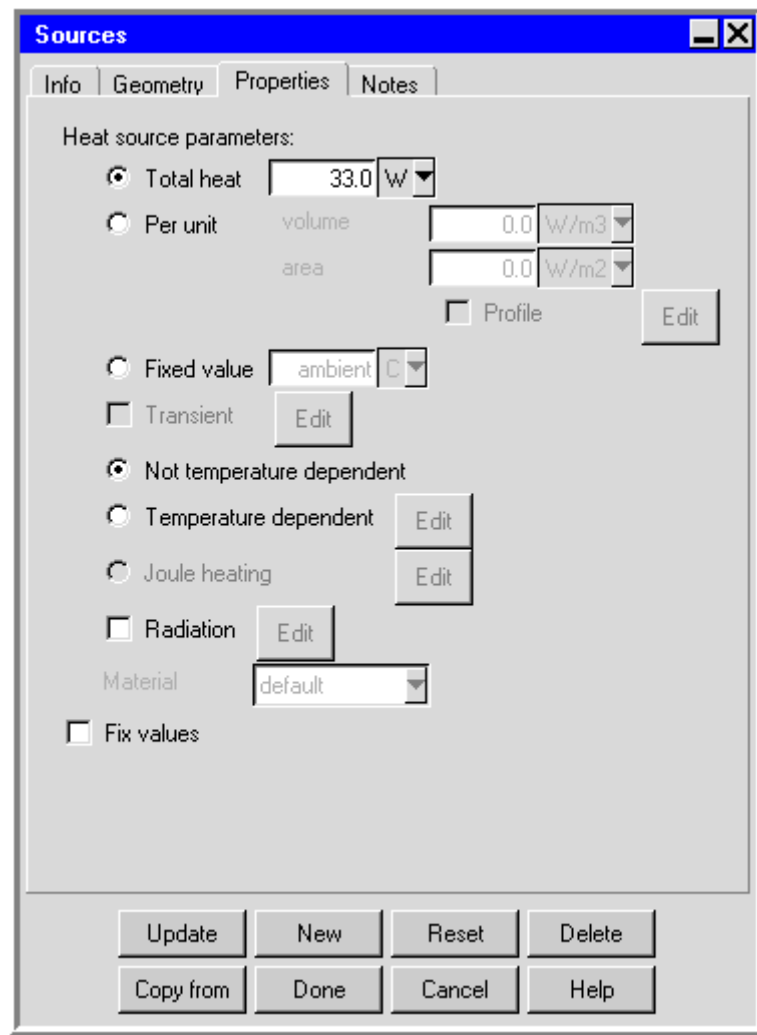
(b) 点击  button 打开 **Sources** 面板.



- (c) 点击 **Geometry**.
- (d) 保持缺省设置为矩形
- (e) 在 **Plane** 下拉菜单, 选择 **Y-Z**.
- (f) 输入如下坐标


xS	0		xE	--
yS	0.0315		yE	0.0385
zS	0.1805		zE	0.2005

- (g) 点击 **Properties**.
- (h) 在 **Heat source parameters** 下, 设置 **Total heat** 为 33 W.
- (i) 点击 **Done**.



7. 拷贝第一个 device (source. 1) 来生成其它四个 (source. 1. 1, source. 1. 2, source. 1. 3, and source. 1. 4).

(a) 在 **Model manager** 窗口下, 选定 **source. 1**.

(b) 点击  button.


(c) 和前面复制风扇同样的步骤, 在 Y 方向输入 **offset 0.045 m**.

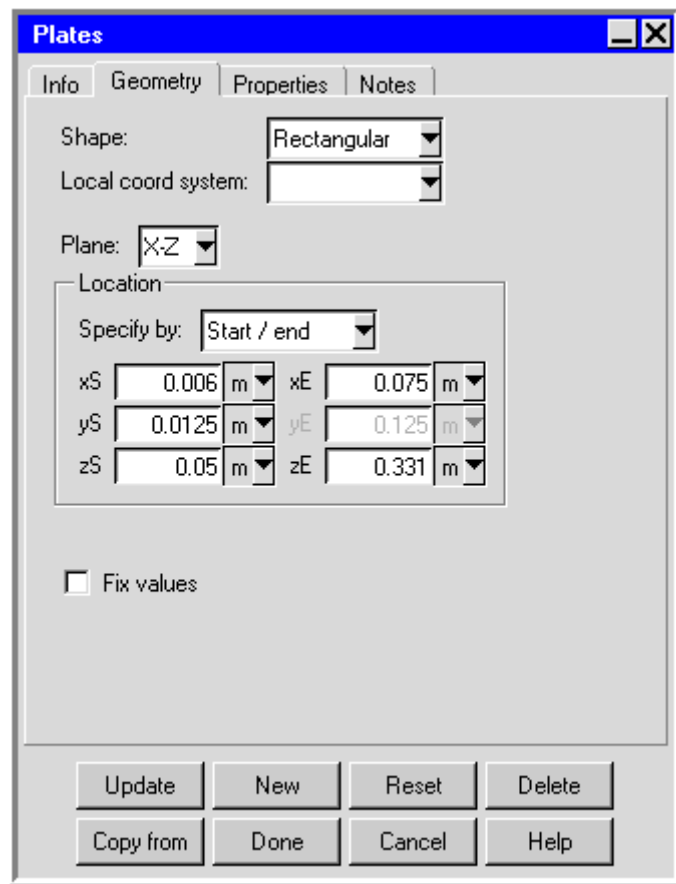
8. 建立第一个 fin

如风扇和设备一个, 每一个翅片也是在位置上相关的, 要建立这 10 个翅片, 你需要先建立一个并在 Y 方向拷贝出其它 9 个。

(a) 点击  button 生成一个 plate.

Icepak 将生成一个 X-Y 平面的矩形 plate. 你需要改变它的方向, 大小和物性参数。

(b) 点击  button 打开 **Plates** 面板.

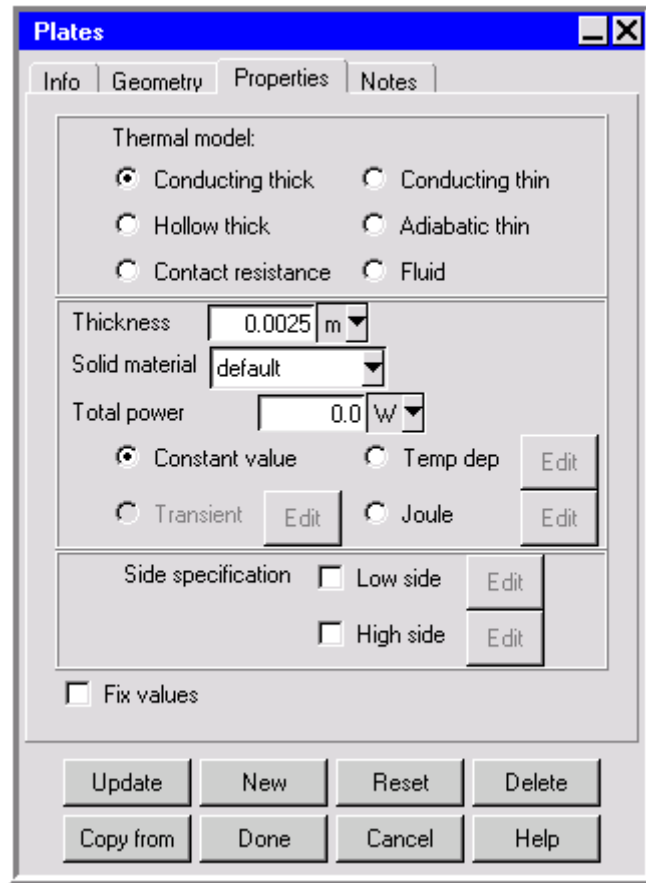


- (c) 点击 **Geometry**.
- (d) 在 **Plane** 下拉菜单, 选择 X-Z
- (e) 输入如下坐标:

xS	0.006		xE	0.075
yS	0.0125		yE	--
zS	0.05		zE	0.331


- (f) 点击 **Properties**.
 - (g) 在 **Thermal model** 下, 选择 **Conducting thick**.
 - (h) 设置 **Thickness** 为 0.0025 m.
 - (i) 保持 **default** 设置为 **Solid material**.
- 由于缺省材料为铝挤型材, 你不需要改变它的材料.

- (j) 点击 **Done**.



9. 拷贝第一个 fin(**plate.1**) 来生成其它 9 个 fins (**plate.1.1**, **plate.1.2**, ..., **plate.1.9**).

(a) 在 **Model manager** 窗口下, 选择 **plate.1**.

(b) 点击  button.


(c) 参照上述拷贝风扇的步骤, 给 **Y offset** 输入 0.025 m 来生成 9 个 fins.

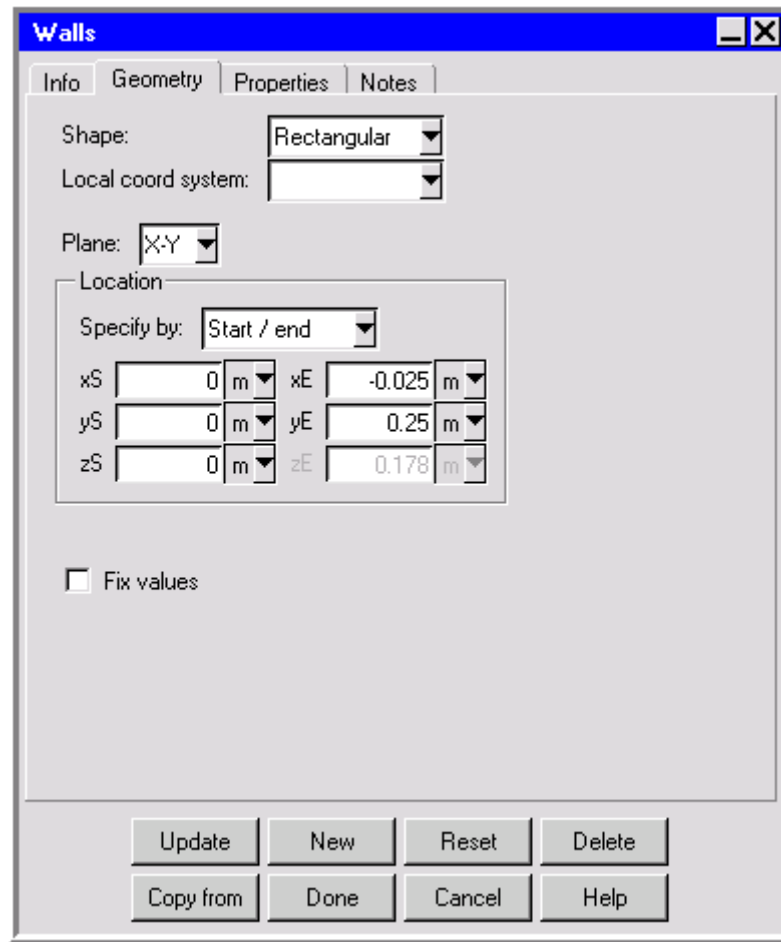
10. 建立设备的腔体

该腔体是由 5 个矩形的 *walls* 组成。

(a) 点击  button 来生成 wall.

Icepak 将在 *X-Y* 平面生成矩形 *wall*. 需要改变它的位置, 大小及物性参数.

(b) 点击  button 来打开 **Walls** 面板.



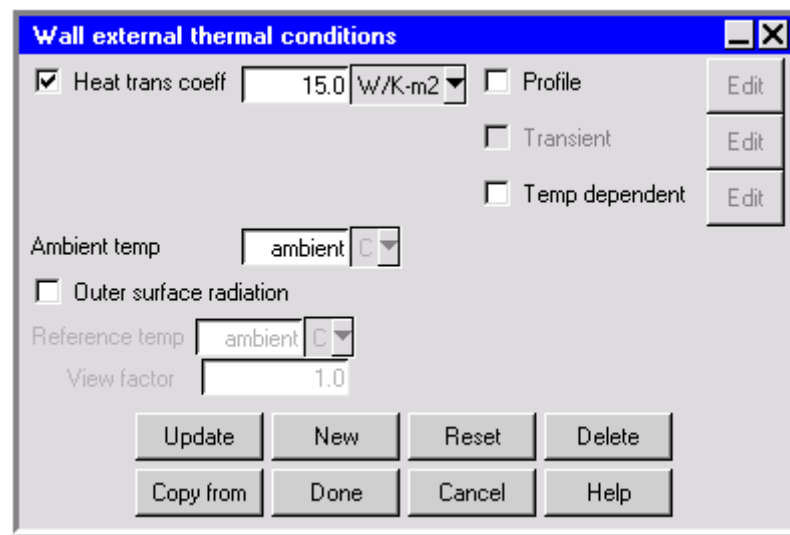
(c) 点击 **Geometry**.

(d) 输入如下坐标:

xS	0	xE	-0.025
yS	0	yE	0.25
zS	0	zE	--

(e) 点击 **Properties**.

(f) 在 **Thermal data** 下, 选择 **External conditions** 并点击 **Edit button**.
 这时 *Wall external thermal conditions* 面板将打开.



- i. 打开 Heat trans coeff 选项, 指定 heat transfer coeff 为 15 W/K-m².
- ii. 点击 Done.
- (g) 点击 Update.
- (h) 在 Walls 面板下点击 New, 并生成第二个 wall (wall.2):

- Plane: X-Y
- Start/end:

xS	0	xE	-0.025
yS	0	yE	0.25
zS	0.356	zE	--

- Thermal data: External conditions, Heat trans coeff = 15



- (i) 重复上述步骤建立 wall.3, wall.4, and wall.5, 用下面的参数:

- wall.3:
 - Plane: X-Z
 - Start/end:

xS	0		xE	-0.025
yS	0		yE	--
zS	0		zE	0.356

- Thermal data: External conditions, Heat trans coeff = 15
- wall.4:
 - Plane: X-Z
 - Start/end:

xS	0		xE	-0.025
yS	0.25		yE	--
zS	0		zE	0.356

- Thermal data: External conditions, Heat trans coeff = 15
- wall.5:
 - Plane: Y-Z
 - Start/end:

xS	-0.025		xE	--
yS	0		yE	0.25
zS	0		zE	0.356

- Thermal data: External conditions, Heat trans coeff = 15

(j) 定义完 5 块 wall 之后, 点击 Done.

如图 [1.2](#), 如示。 *Isometric view* (也可点击  button 来看该示图)。

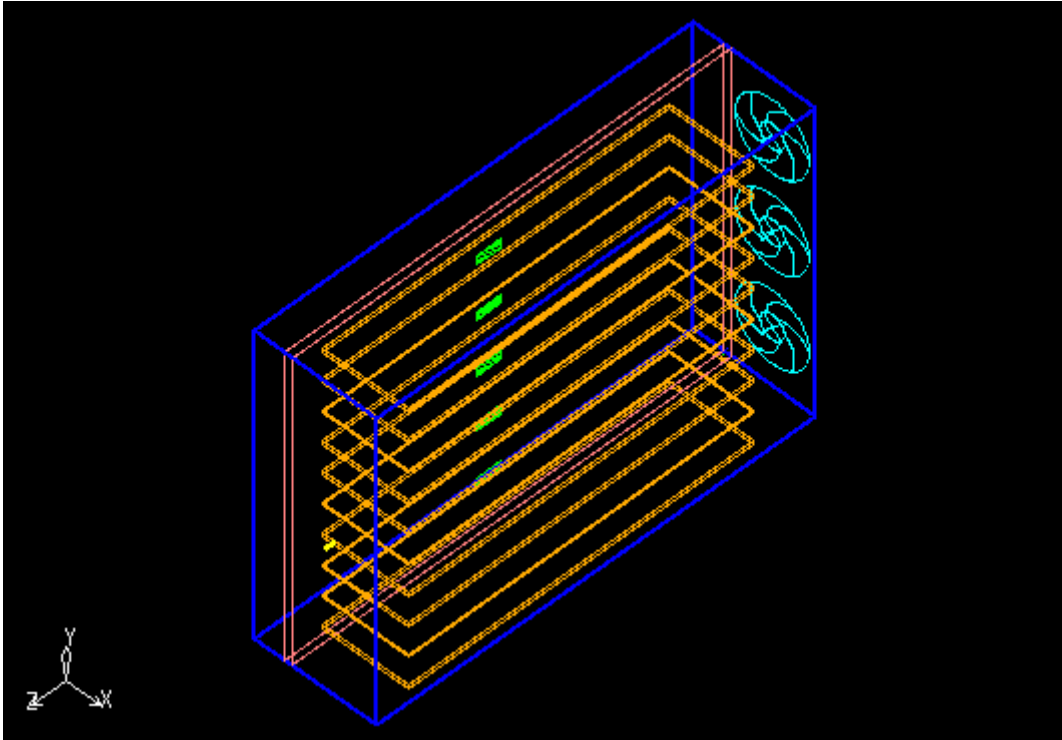


图 1.2: 翅片散热器的完整模型

11. 检查模型确认没有问题（如，物体间距太近会影响网格网格）。

Model → **Check model**

你也可以点击 button 来检查模型。

如果所有的偏差都满足要求, *Icepak* 会在 *Message* 窗口下给出 *0 problems*。

12. 检查物体定义

Edit → **Summary**

Icepak 将列出所有物体的参数。你可以检查并点击 *Done* 来确认。如果你发现问题你也可以在这里改变。

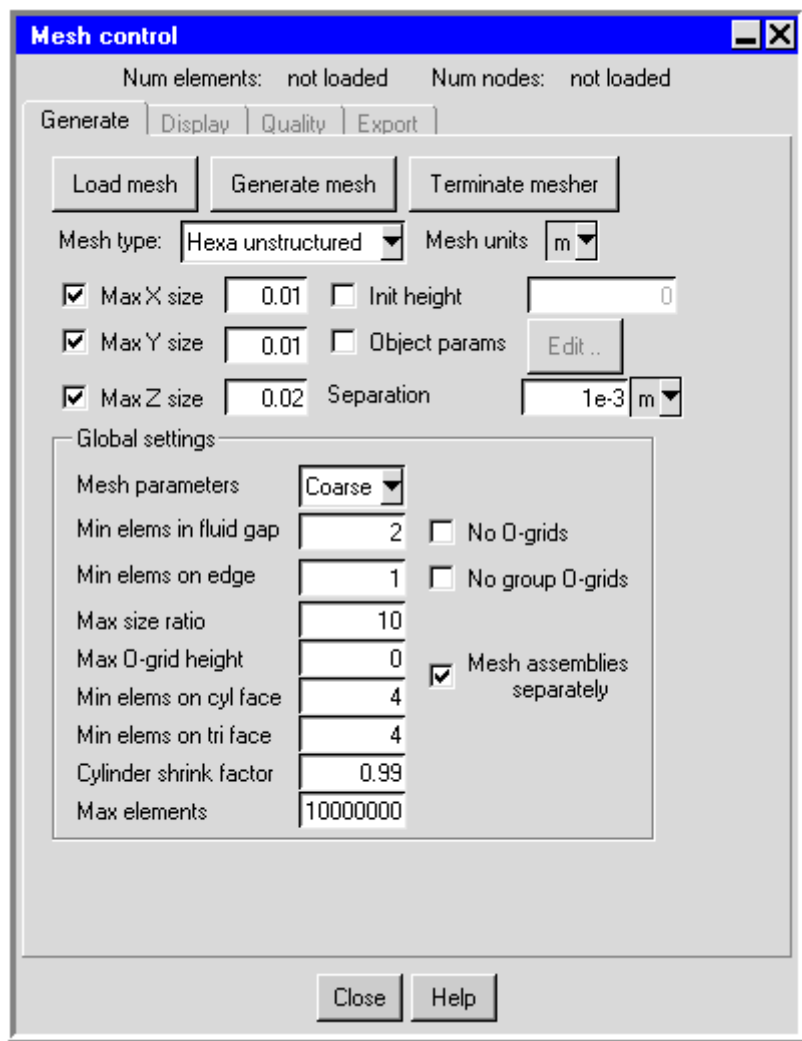
步骤 3: 网格生成

你将通过 2 步来生成网格。首先你会生成粗网格 *coarse mesh* 并检查网格来确认什么地方网格需要加密。然后加密网格并再次显示网格。

Model → **Generate Mesh**

另外:

你可以点击  button, 打开 *Mesh control* 面板。



1. 生成粗网格（最小数目的网格）

(a) 在 **Mesh control** 面板里，选择 **Coarse**。 *Icepak* 就会将网格设置改变为粗网格的设置，在上面的面板里有显示。

(b) 设置 **Max X size** to 0.01, the **Max Y size** to 0.01, and the **Max Z size** to 0.02.

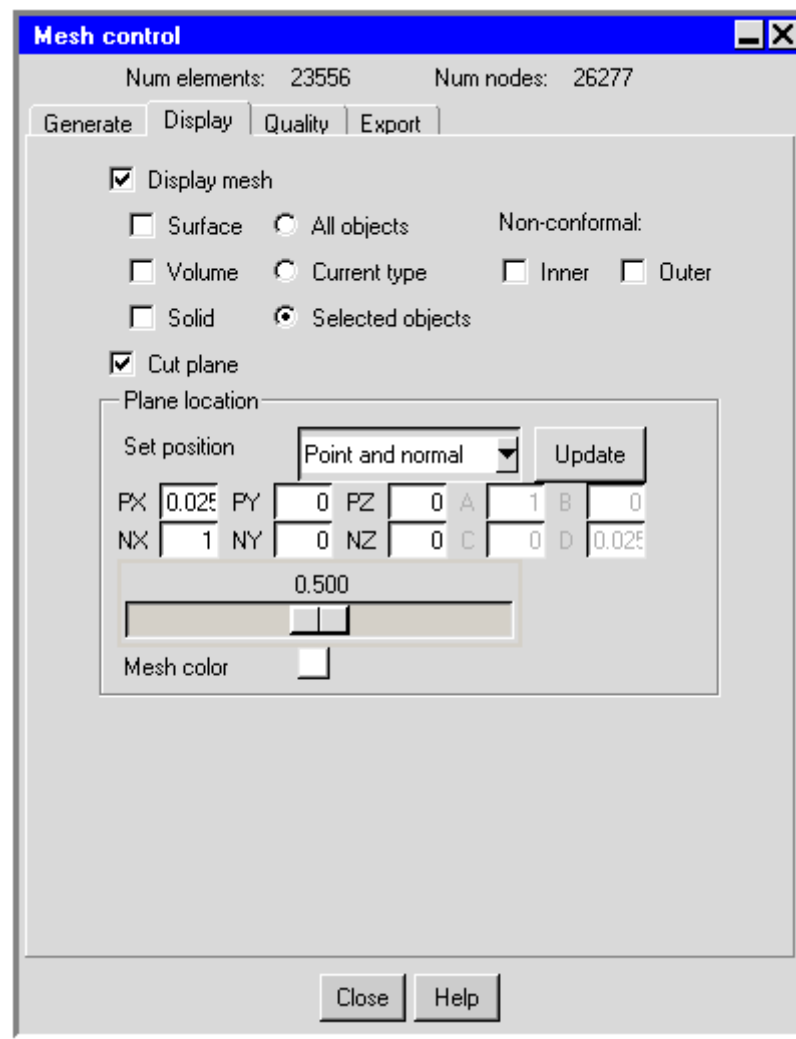
(c) 点击 **Generate mesh** 按钮来生成粗网格。

Icepak 将会报告模型中物体间最小间距小于最小物体尺寸的 10%。你可以中止网格划分，忽略提示或改变值。

(d) 点击 **Change value and mesh** 继续生成网格。

2. 检查网格

(a) 点击 **Display**。



(b) 打开 **Cut plane** 选项.

(c) 在 **Set position** 选项中, 选择 **Point and normal**.

(d) 设置 (**PX**, **PY**, **PZ**) 为 (0.025, 0, 0) 及 (**NX**, **NY**, **NZ**) 为 (1, 0, 0). 该设置会使网格在 $Y-Z$ 平面通过点 (0.025, 0, 0) 来显示网格.

(e) 打开 **Display mesh** 选项.

网格显示垂直翅片, 与 *devices* 方向一致, 如图 [1.3](#) 所示.

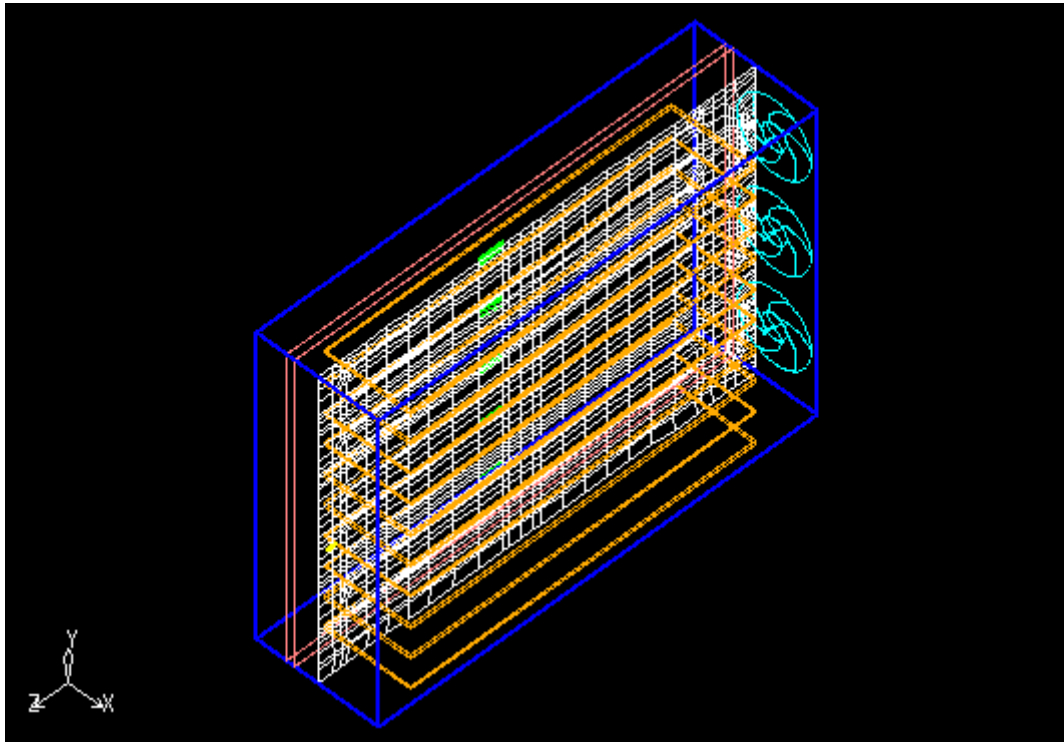


图 1.3:Y-Z 平面的粗网格

(f) 用滑动钮来改变切面的位置。

可以发现翅片中的网格太大，不足以解决该问题。下一步即是要细化网格。

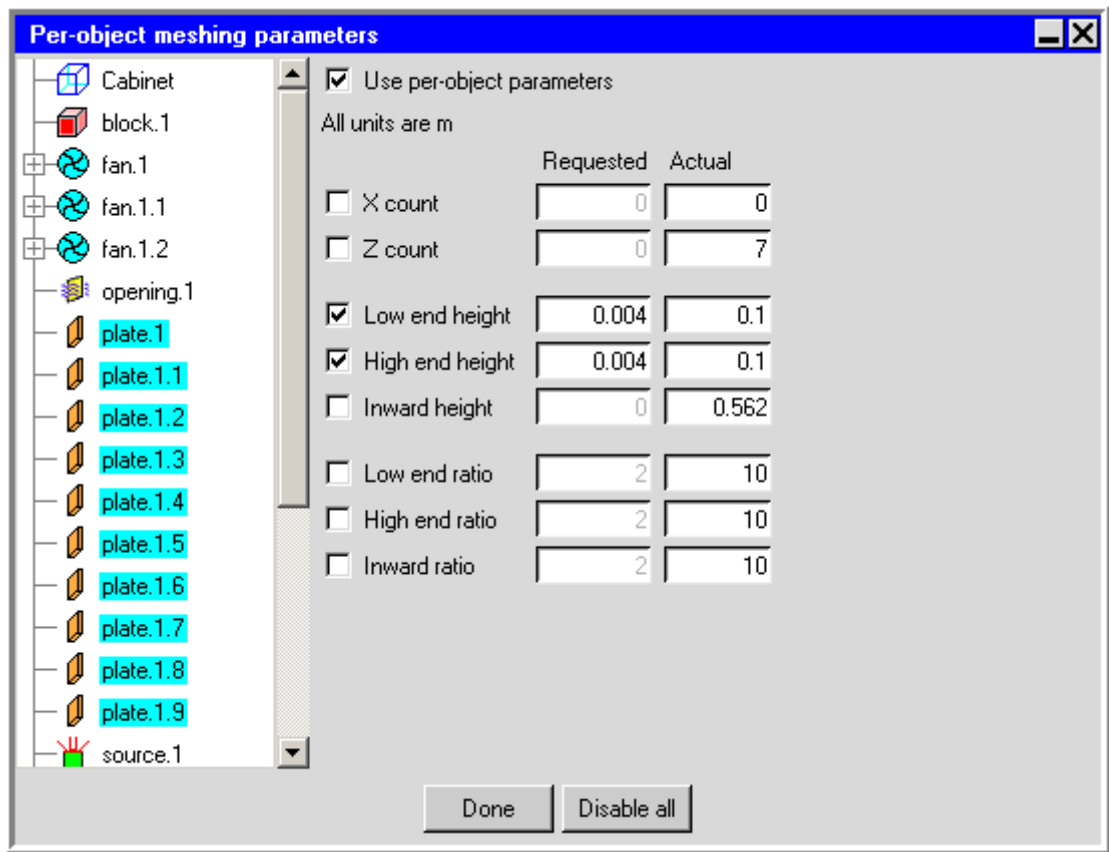
3. 生成细网格

(a) 点击 **Generate** .

(b) 在 **Global settings** 下，**Mesh parameters** 选项中选择 **Normal Icepak** 将自动更新网格划分的设置。

(c) 打开 **Object params** 选项并点击 **Edit**.

Icepak 将打开 *Per-object meshing parameters* 面板，这里你可以改变每个物体的网格设置。。



(d) 设定所有 plates 的网格

i. 在 **Per-object meshing parameters** 面板, 点击 **plate.1**, 按住 <Shift> key, 并点击 **plate.1.9** 来选择所有的 plates.

Icepak 将显示所有 *plate* 的网格信息。

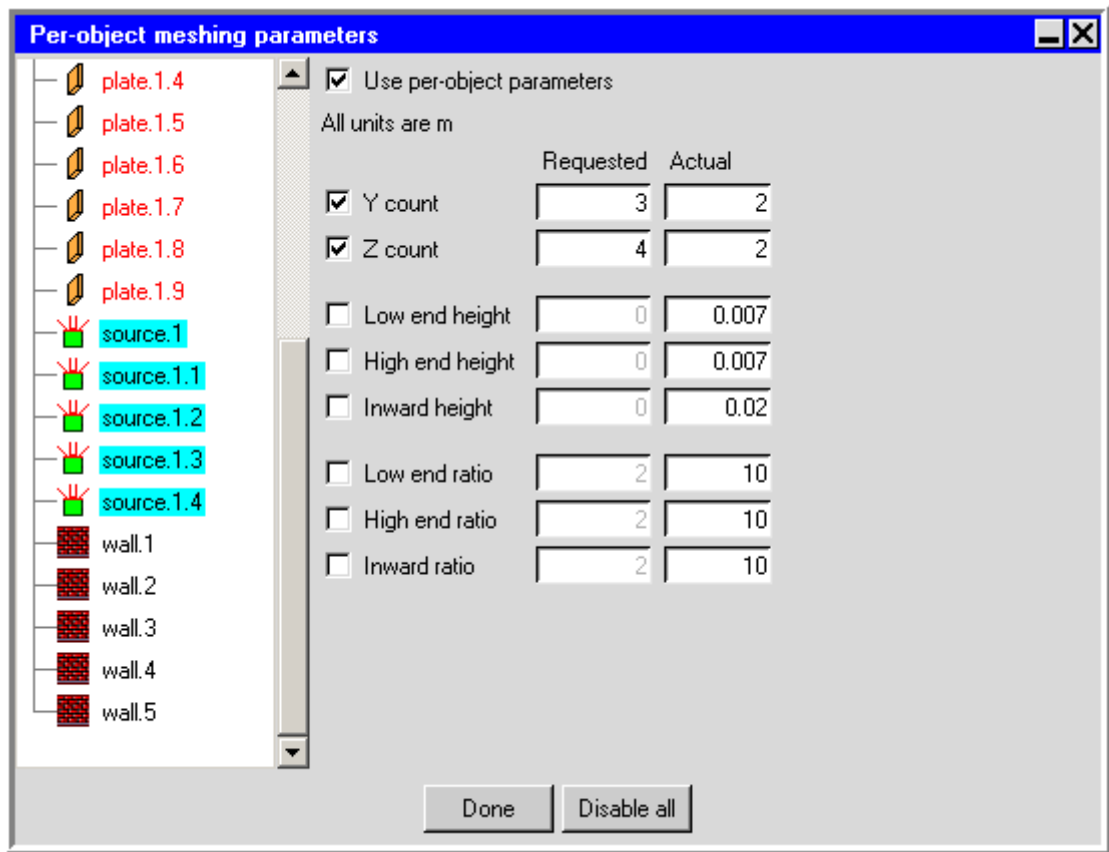
ii. 打开 **Use per-object parameters** 选项.

iii. 打开 **Low end height** 及 **High end height**, 将 **Requested** 一栏都设定为 0.004. 该设定使得所有 *plate* 外围的每一层网格的高度为 0.004 m。

(e) 设定所有 sources 的网格

i. 如上选择所有 plates 一样, 选择所有 sources.

ii. 打开 **Use per-object parameters** 选项.



iii. 打开 Y count 及 Z count, 将 Requested 一栏分别设定为 3 和 4。
该设定确定了 source 在每一个方向的网格数

(f) 在 Per-object meshing parameters 面板下, 点击 Done 来保存设置。

(g) 点击 Generate mesh button 来生成细网格。

4. 检查新网格

绘图区域将自动显示新网格, 如图 1.4 所示。点击 Display 并应用滑动钮来显示细网格。

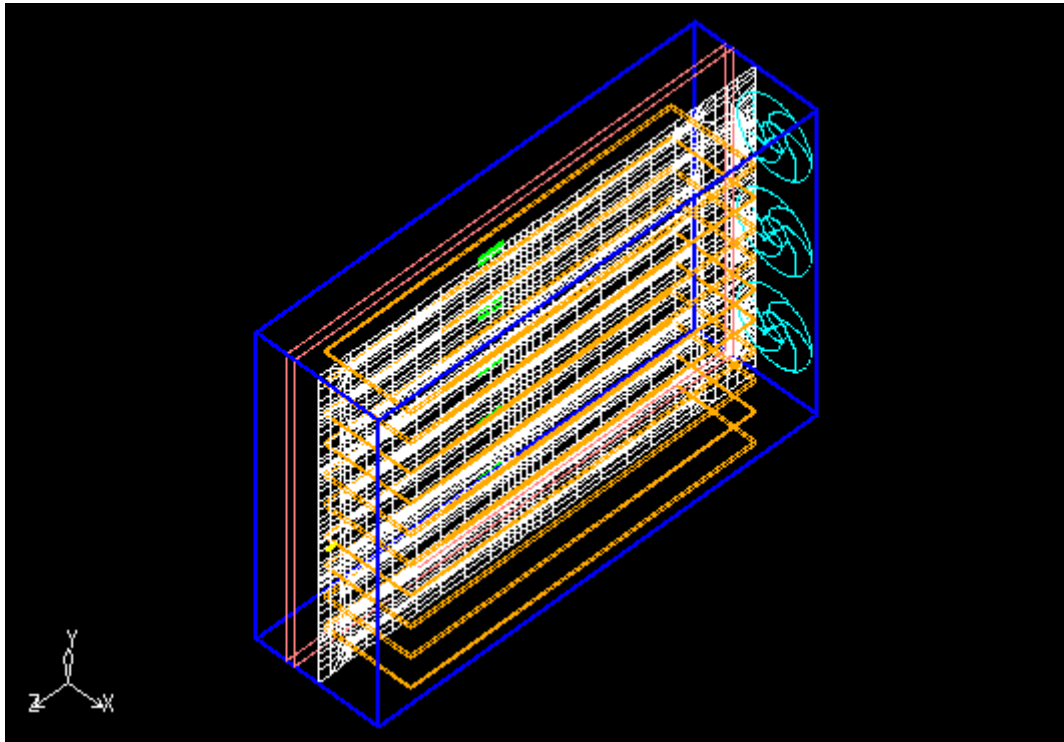


图 1.4: $y-z$ 平面的细网格



5. 关闭网格显示。

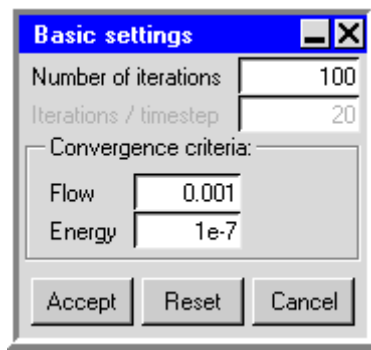
- (a) 点击 Display.
- (b) 关闭 Display mesh 选项.
- (c) 点击 Close 来关闭 Mesh control 面板.

步骤 4: 检查气流

在求解之前, 你应该首先估算 *Reynolds* 和 *Peclet* 数来确定是采用哪种流动方程。

1. 检查 Reynolds 和 Peclet 数.

 Solution settings →  Basic settings



(a) 点击 **Reset** 按钮.

(b) 检查 **Message** 窗口里的信息.

得到的 *Reynolds* 和 *Peclet* 数分别是 13,000 和 9,000, 所以应该是 *turbulent*.
Icepak 将建议选择 *turbulent*.

(c) 点击 **Accept**.

2. 激活 turbulence modeling (湍流模型).

 **Problem setup** →  **Basic parameters**

(a) 在 **Basic parameters** 面板里, 在 **Flow regime** 一栏选择 **Turbulent**.

(b) 保持缺省 **Zero equation turbulence model**.

(c) 点击 **Accept** 保存设置.

3. 返回 **Basic settings** 面板并点击 **Reset** 及 **Accept**.

步骤 5: 保存文件


Icepak 将在你求解之前自动保存模型, 但是建议你自己也保存一次. 如果你在求解前退出 *Icepak*, 你可以在下一次再打开你的项目再求解. (如果你求解了, *Icepak* 将简单地覆盖你保存的模型。)

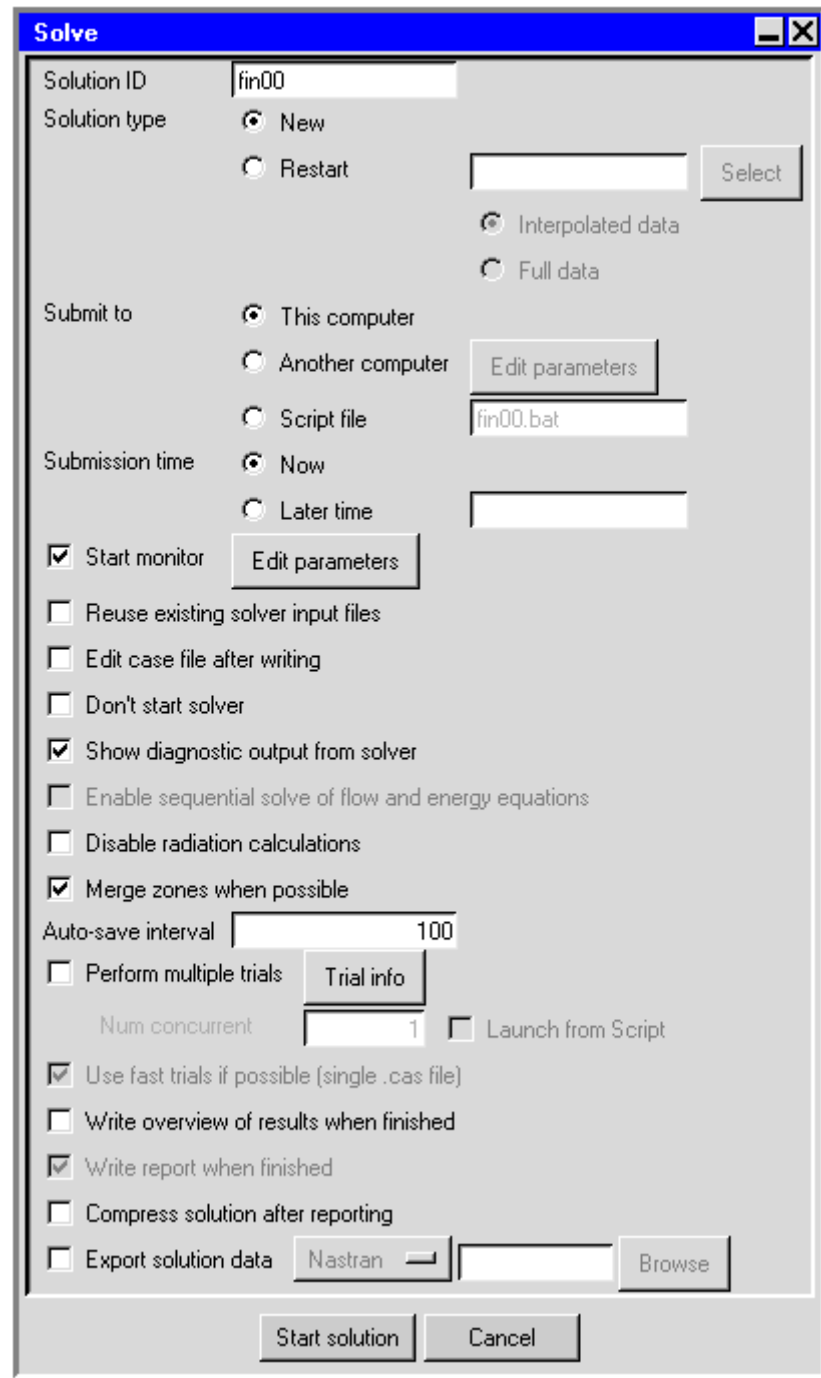
File → **Save project**

步骤 6: 求解计算

1. 开始求解

Solve → **Run solution**

注意点击  button.



2. 保持缺省设置不变。

3. 点击 **Start solution** 来启动求解器。

Icepak 将开始求解，一个新的窗口将会出现。它显示了计算的残差。*Icepak* 也会打开 *Monitor* 窗口，来显示收敛过程。

求解完成后，你的残差曲线会象图 [1.5](#) 所示。*Continuity* 残差没有完全收敛，但是因为它已非常接近 10^{-3} 而且其它都低于该值，你可以认为收敛了。

注意到在不同的计算机该曲线会略有不同，所以你的曲线不会同图 [1.5](#) 完全一样。

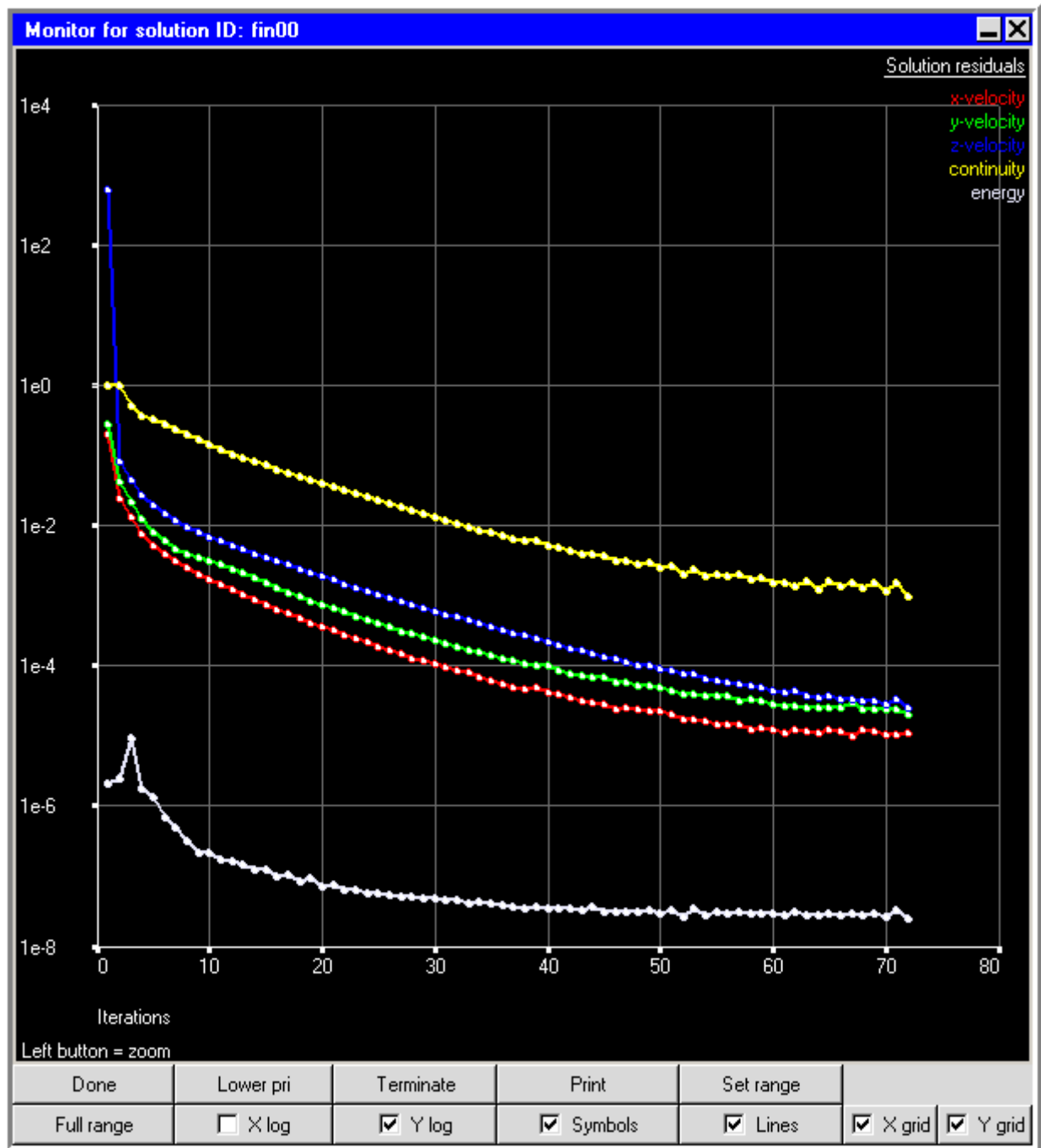


图 1.5: 残差曲线

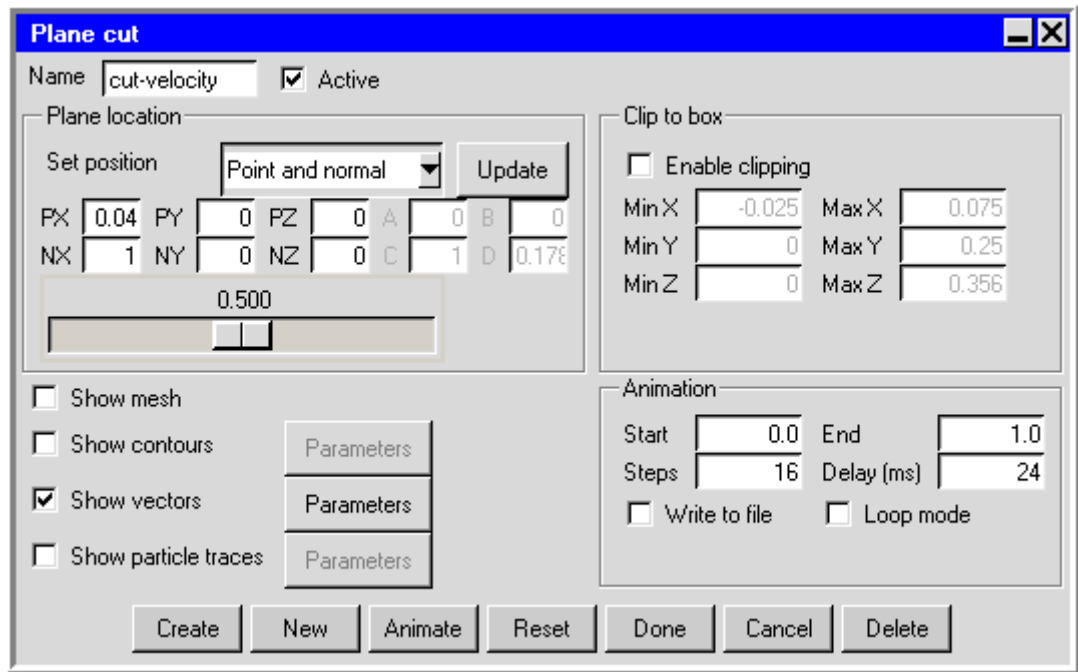
4. 点击 Done 来关闭 Monitor 窗口.

步骤 7: 检查结果

本练习的目标是确定和散热器气流, 传热相关的 (*fans*, *fins*) 是不是足够保证设备的最高温度不高于 65 C. 你可以通过检查结果来完成这一目标。

1. 显示速度向量切面

Post → Plane cut



另外:

你也可以通过点击  button 来打开 *Plane cut* 面板.

(a) 在 **Name** 栏, 输入切面的名称.

(b) 在 **Set position** 栏, 选择 **Point and normal**.

(c) 设定 (PX, PY, PZ) 为 (0.04, 0, 0), 及 (NX, NY, NZ) 为 (1, 0, 0). 该定义是在 Y-Z 平面做了一个通过点 (0.04, 0, 0) 的切面.


(d) 打开 **Show vectors** 选项.

(e) 点击 **Create**.

(f) 在 **Orient** 菜单下, 选择 **Orient positive X**.

这样得到的示图如图 1.6 所示. 你可以看出是大的气流速度出现在风扇叶片的位置. 最低速度出现在翅片与壁面之间.

另外:

你也可以通过点击  button 选择方向.

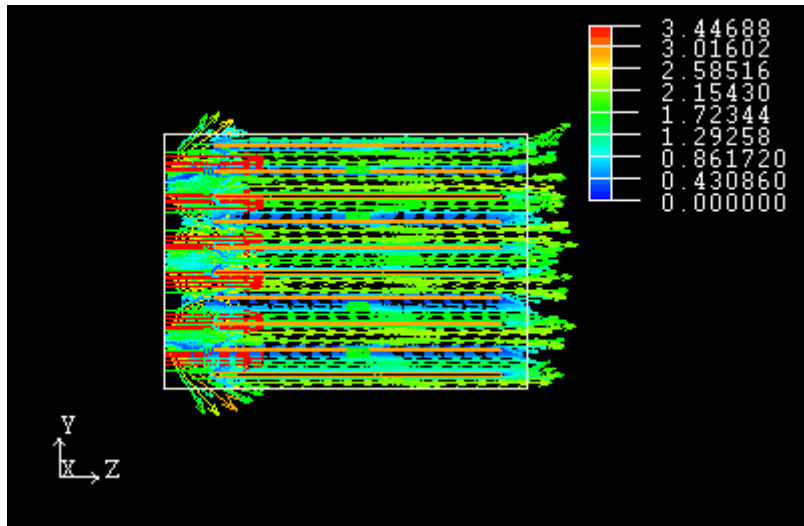


图 1.6: Y-Z 切面的速度矢量

(g) 在 **Plane cut** 面板里, 点击 **Active** 选择来关闭显示。
 这将暂时地关闭显示, 这样你可以很方便地做另一个后处理显示。

2. 显示温度云图

(a) 在 **Plane cut** 面板下, 点击 **New**.

(b) 在 **Name** 栏输入, 名称.

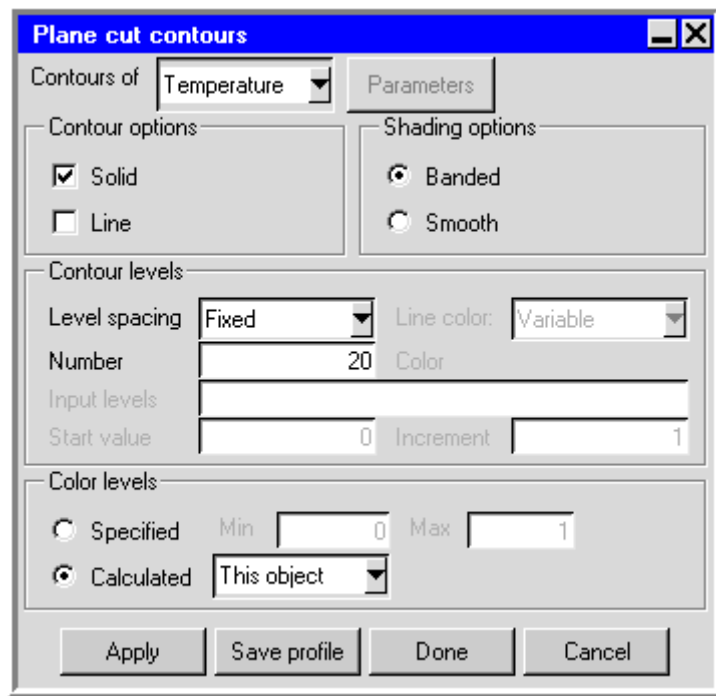
(c) 用刚才同样的切面位置

(d) 打开 **Show contours** 选项并点击 **Parameters**.
 这样 **Plane cut contours** 面板将被打开。

(e) 保持缺省设置 **Temperature** 选项

(f) 对于 **Shading options**, 保持 **Banded** 选项.

(g) 对于 **Color levels**, 选择 **Calculated** 及 **This object** 选项。
Icepak 将给出该切面的云图温度范围。



(h) 点击 **Done**.

图上将显示温度云图。如图 1.7 所示。

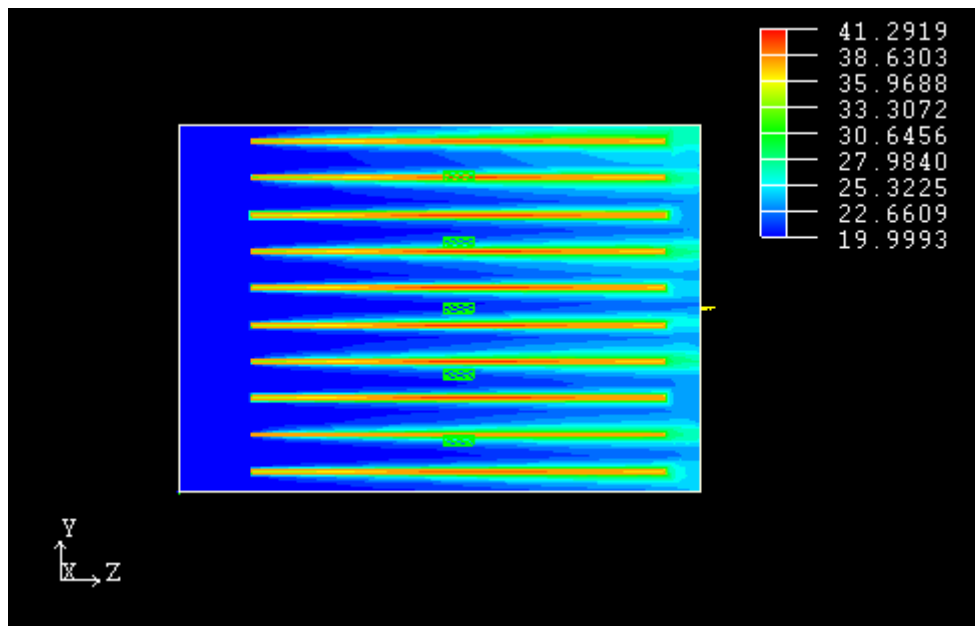


图 1.7: Y-Z 切面的温度云图

(i) 在 **Plane cut** 面板里, 点击 **Active** 选项关闭显示。

3. 显示速度向量及压力云图

(a) 在 **Plane cut** 面板下点击 **New**。

- (b) 在 Name 栏, 输入名称.
 - (c) 取与上面同样的平面位置.
 - (d) 打开 Show vectors.
 - (e) 显示压力云图
 - i. 打开 Show contours 选项并点击 Parameters.
Plane cut contours 面板打开.
 - ii. 在 Plane cut contours 面板下, 在 Contours 一栏选择 Pressure.
- 提示:**
 点击三角键打开 *Contours* 的下拉菜单.
- iii. 对于 Shading options, 保持缺省 Banded.
 - iv. 对于 Color levels, 选择 Calculated 及 This object.
 - v. 点击 Done.

该示图将显示出压力云图及速度向量图。

图 1.8 显示出高压力区在风扇的下游, 局部最大值出现在翅片上游的顶部。

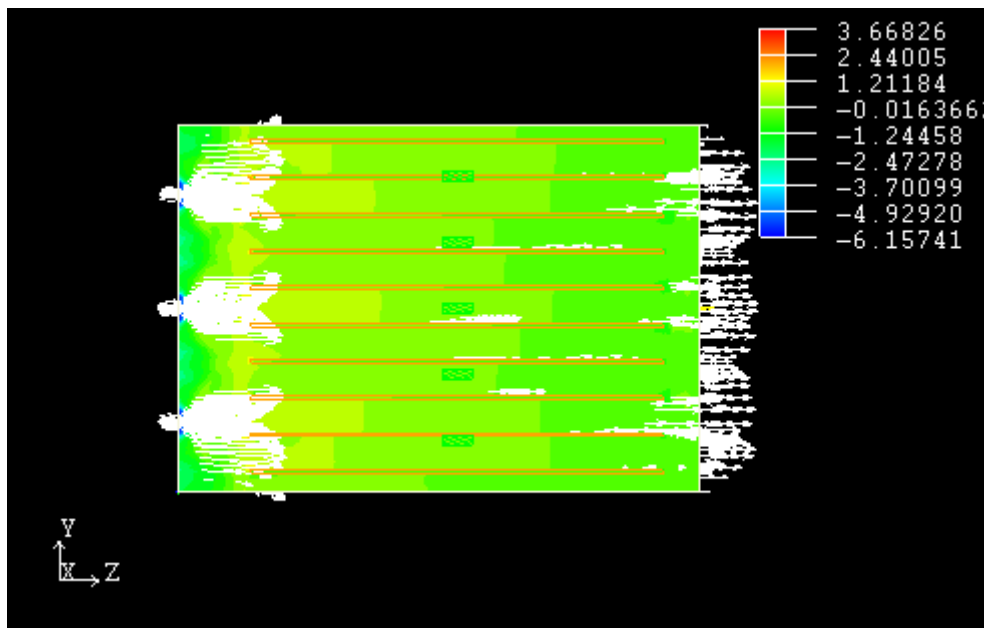
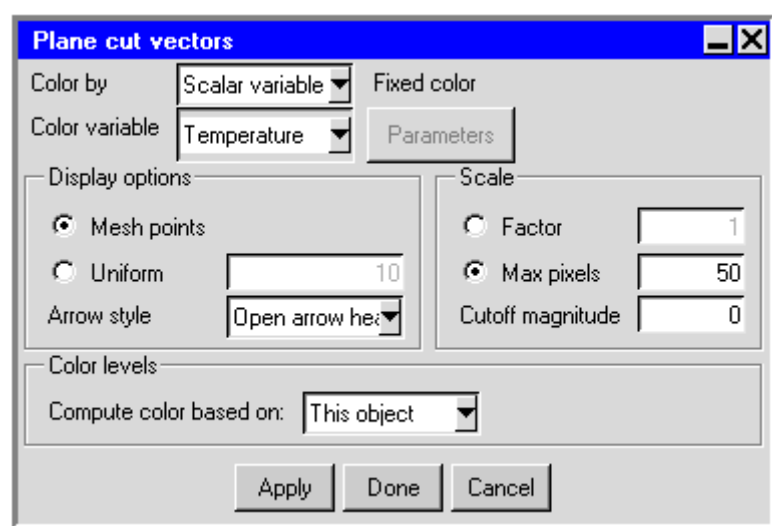


图 1.8: 压力云图和速度矢量图

- (f) 在 Plane cut 面板下, 点击 Active 来关闭显示.
4. 用温度的颜色来显示腔体区域的速度向量
- (a) 在 Plane cut 面板下点击 New.
 - (b) 给出名称 Name.
 - (c) 在 Set position 下选择 Point and normal.
 - (d) 给出 (PX, PY, PZ) 为 (-0.01, 0, 0), 及 (NX, NY, NZ) 为 (1, 0, 0).
 - (e) 打开 Show vectors 选项并点击 Parameters.
Plane cut vectors 面板打开.



(f) 在 Color by 下拉菜单，选择 Scalar variable，保持 Color variable 里的 Temperature。

(g) 对于 Compute color based on，选择 This object。

(h) 点击 Done。

图 1.9 显示了在热源腔体内有一个大的对流。空气在风扇一侧下降，在热源位置上升。最高温度出现在最上面的热源。

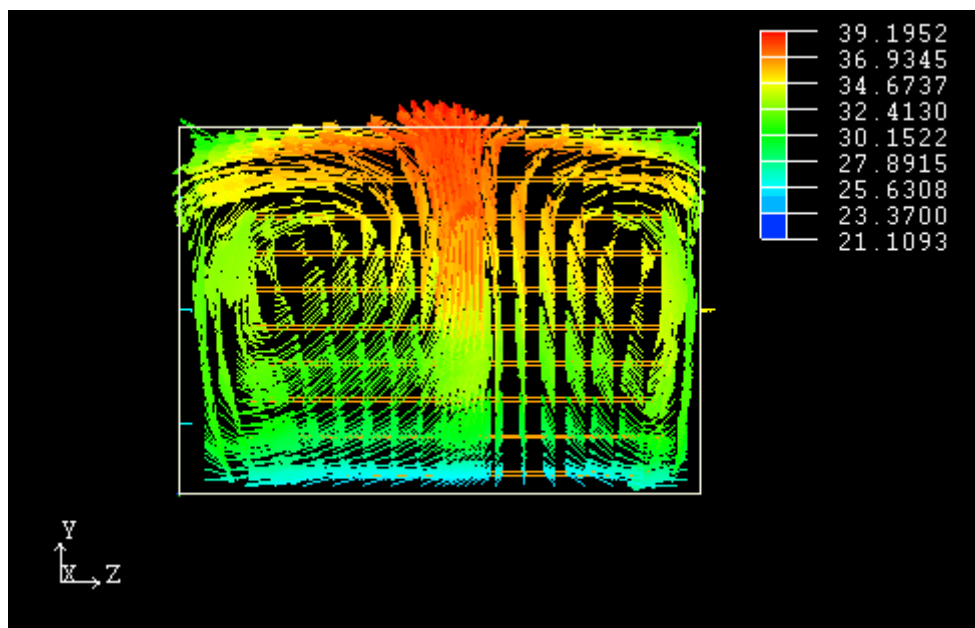
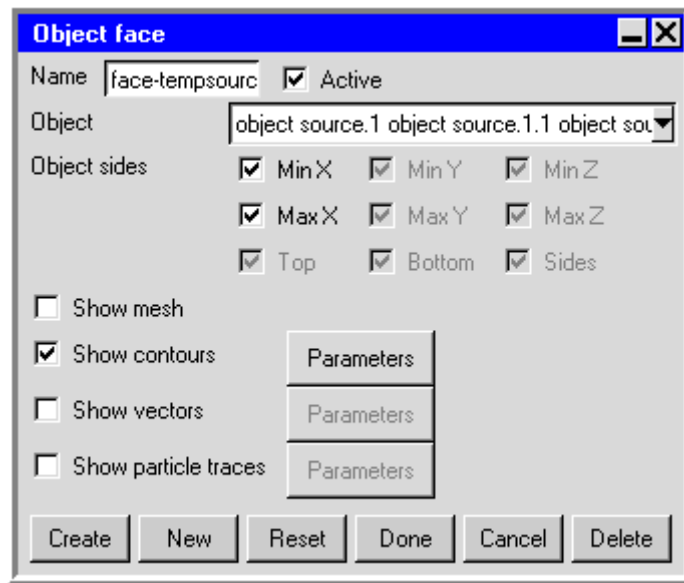


图 1.9: 以温度标识颜色的速度矢量图


(i) 在 Plane cut 面板下，点击 Active 选项，然后点击 Done。

5. 显示 5 个热源的温度云图

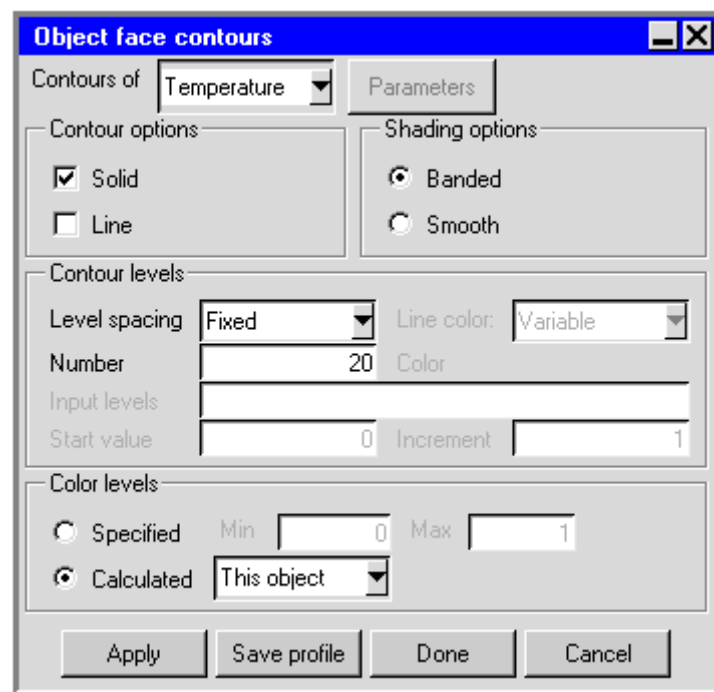
Post → Object face



另外:

你可以点击  button 打开 *Object face* 面板.

- (a) 输入 Name.
 - (b) 在 *Object type* 中, 点击 source.1, 按住 <Shift> key, 点击 source.1.4 来选择所有的 sources, 点击 **Accept** button.
 - (c) 打开 **Show contours** 选项及 **Parameters**.
- 这样 *Object face contours* 面板打开.



- (d) 在 *Object face contours* 面板里, 保持 **Contours of** 下拉菜单里的 **Temperature**.
- (e) 对于 **Shading options**, 保持 **Banded**.
- (f) 对于 **Color levels**, 选择 **Calculated** 及 **This object**.

(g) 点击 **Done**.

示图将更新为 *sources* 的温度云图.

(h) 用你的鼠标右键放大/缩小来看示图

图 1.10 显示了 5 个热源的温度分布云图。几个热源的温度分布比较相似：中心温度高，四周温度低。中间的那个热源温度比较高。顶部和底部的热源温度分布接近，另外两个也是。

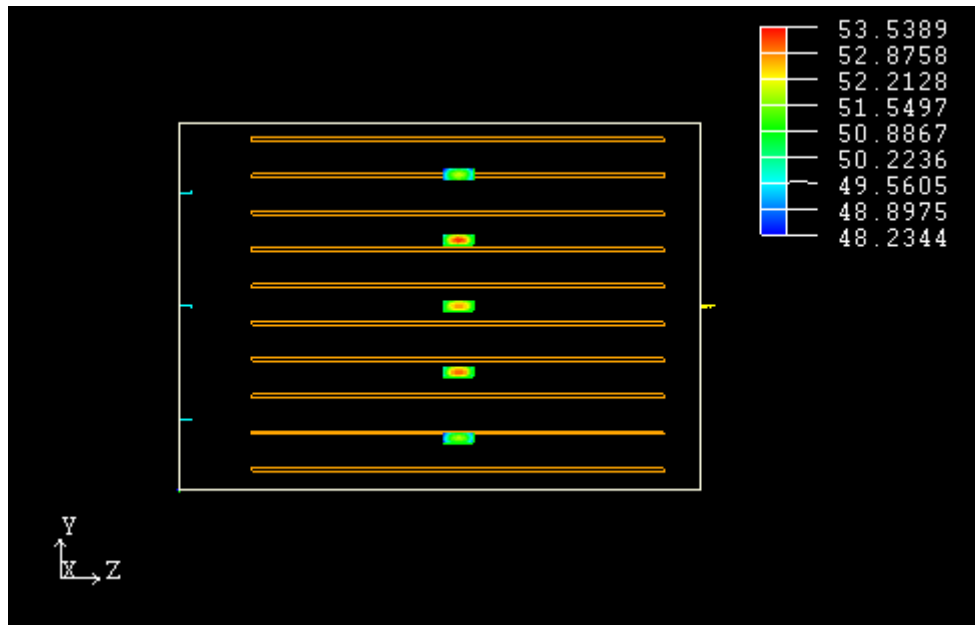


图 1.10: 五个热源上的温度云图

(i) 在 **Object face** 面析下，关闭 **Active** 选项.

6. 显示背板的温度云图

(a) 在 **Object face** 面板下点击 **New**.

(b) 给出名称 **face-tempblock**.

(c) 在 **Object** 下拉菜单，选择 **block.1** 并点击 **Accept**.

(d) 打开 **Show contours** 选项并点击 **Parameters**.

Object face contours 面板打开.

(e) 在 **Object face contours** 面板下，保持 **Contours of** 下拉菜单里的 **Temperature**.

(f) 对于 **Contour options**，不选 **Solid** 而选 **Line**.

(g) 对于 **Level spacing**，选择 **Fixed** 并设置 **Number** 为 200.

(h) 对于 **Color levels**，选择 **Calculated** 及 **This object**.

(i) 点击 **Done**.

图中显示出 **block** 的温度云图。图 1.11 可以看出温度热点在热源的附件。最高温度出现在三个中间的热源周围。

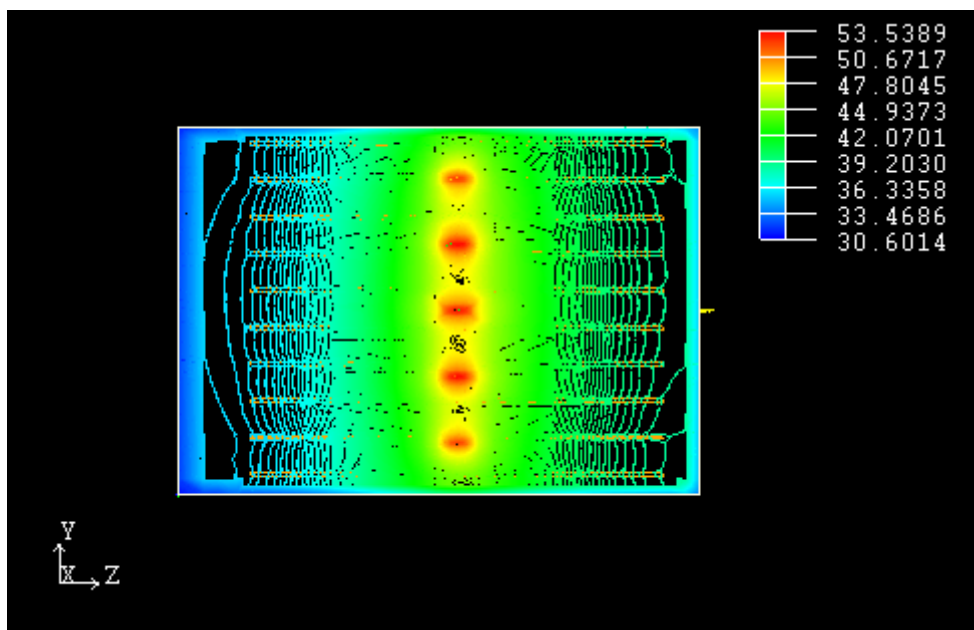


图 1.11: 背板上的温度云图

总结

在该练习中，你建立并求解了一个模型。为了确定给定的散热器保持热源 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 情况的能力。后处理结果显示最高温度为 $53\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，显示了该散热器足以冷却这些热源。

附加练习

为了确定中间一个风扇失效情况下，散热器的效果，不激活 (deactive) 中间的风扇，即 **fan. 1. 1**，重新做网格，用不同的 ID 再求解一次并检查结果。

练习 2 辐射的块和板

简介

介绍：本练习演示了如何模拟辐射传热。首先你求解一个没有考虑辐射的问题，然后再求解一个考虑辐射的问题。目的是比较辐射的效果。

在这个练习中你能够学到：

- 建立新的实体材料
- 模拟辐射效果
- 改变求解的迭代次数
- 建立组
- 完成多工况的后处理

问题描述

本问题(如 [2.1](#)所示) 包含一块板和一个导热的实体块，自然散热。块是方的，厚度为 0.005 m，功耗 5 W。它放置在一个 0.002 m × 0.2 m × 0.3 m 的板上。机柜内部物体的辐射率为 1。

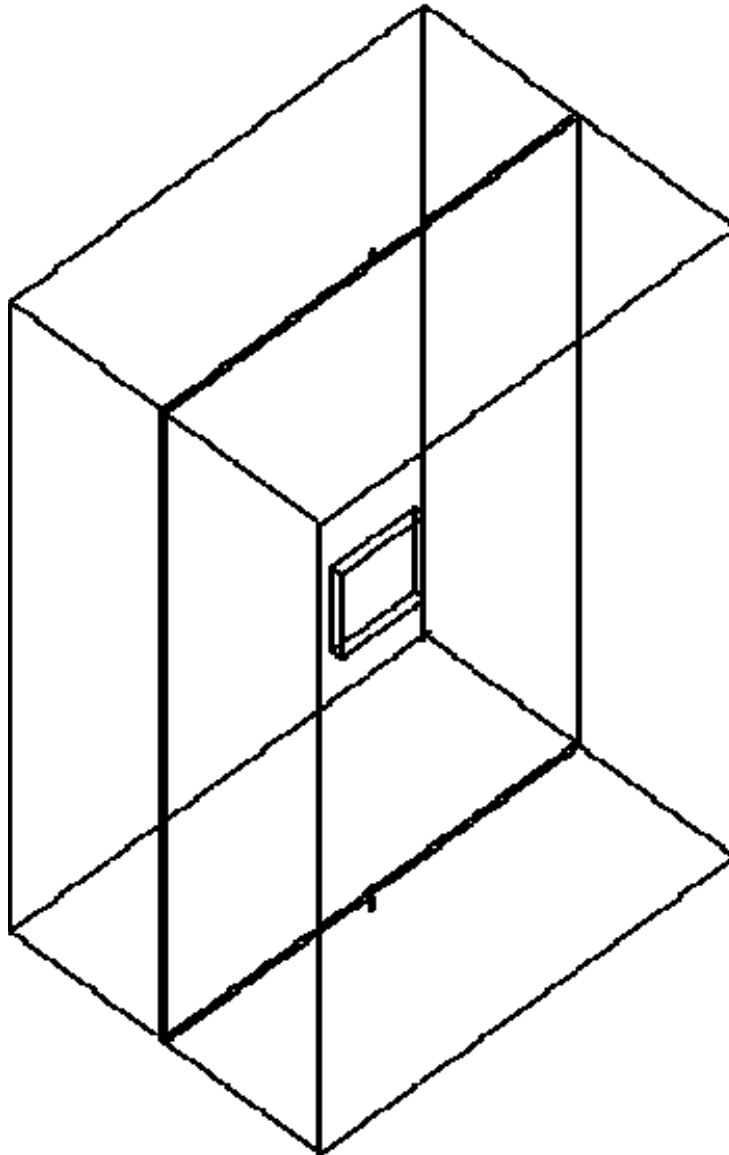


图 2.1: 问题描述

步骤 1: 打开和定义一个新的项目

1. 启动 Icepak,
当 Icepak 启动后, the *New/existing* 面板自动出现.
2. 点击 **New**.
New project 面板出现.
3. 给定一个项目名称
 - (a) 给出名称为 radiation.
 - (b) 点击 **Create**.*Icepak* 就会生成一个 $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的机柜。

你可以用鼠标左键旋转机柜, 或用中键平移, 右键放大/缩小。还可以用 *Home position* 回来原始状态。

4. 改变问题设置

 Problem setup →  Basic parameters


- (a) 打开重力开关 **Gravity vector** 并保持缺省设置。
- (b) 点击 **Accept** 保存新设置。

步骤 2: 建立模型

建模之前, 你需要首先改变机柜的大小。然后你建立导热实体 *block*, *the plate*, *two openings*, and *two walls*.

1. 改变机柜大小

 Model →  Cabinet



双击 **Cabinet** 显示出 **Cabinet** 面板。你也可以通过点击  button 实现。

- (a) 在 **Cabinet** 面板里, 点击 **Geometry**.
- (b) 输入如下坐标:

xS	0		xE	0.15
yS	0		yE	0.3
zS	0		zE	0.2

- (c) 点击 **Update** 及 **Done** 来关闭窗口。
- (d) 在 **Orient** 菜单里, 选择 **Scale to fit**.

2. 建立导热 block.

- (a) 点击  button 建立一个新的 block, 点击  button 打开 **Blocks** 面板.

Icepak 将在机柜的中心生成一个新的 *block*. 你需要改变 *block* 的尺寸及物性.

- (b) 点击 **Geometry**.
- (c) 输入如下坐标:

xS	0.075		xE	0.08
yS	0.13		yE	0.17
zS	0.08		zE	0.12

- (d) 点击 **Properties**.
- (e) 对于 **Block type**, 保持 **Solid**.

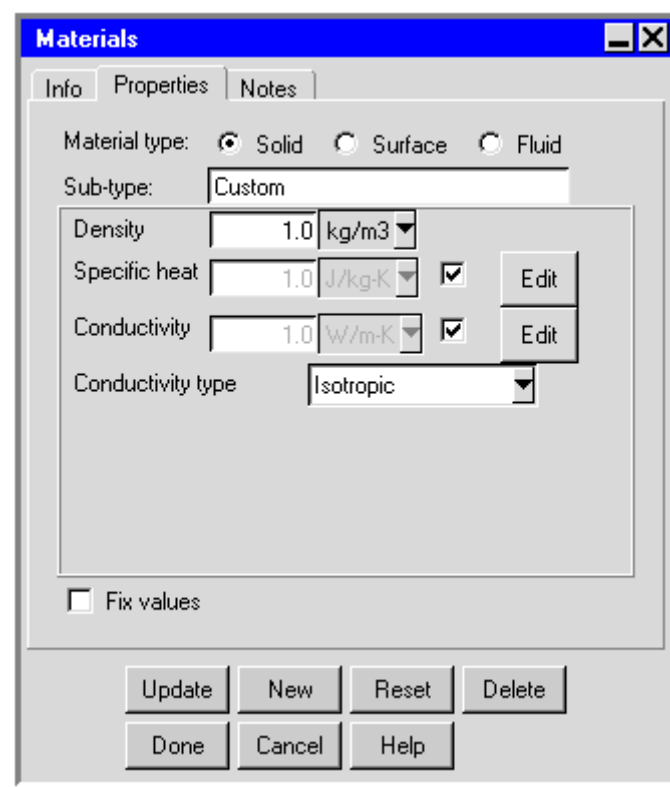
(f) 给定材料

i. 在 Thermal specification 下, 在 Solid material 下拉菜单里选择 Create material.

提示:

点击在 Solid material 旁边的 ▾ button, 打开下拉菜单.

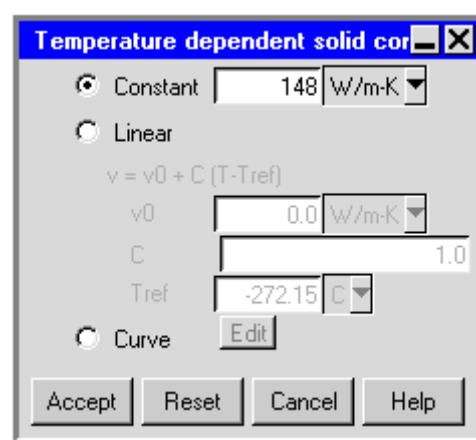
The Materials 面板打开.



ii. 点击 Properties.

iii. 点击在 Conductivity 旁边的 Edit 按钮.

Temperature dependent solid conductivity 面板将打开.



iv. 输入一个定值 Constant 为 148 W/m-K 并点击 Accept.

v. 点击 Done


密度 (*density*) 和热容 (*specific heat*) 在计算中用不到, 所以用缺省值就可以了。但是这两个值在计算瞬态 (*transient*) 问题时需要。

这样 *Blocks* 面板里就将 *Solid material* 改为 *block.1 solid_material*.

(g) 设定 Total power 为 5 W.

(h) 点击 Done 来保存设置.

3. 建立 plate

(a) 点击  button 建立一个新的 plate, 点击  button 打开 Plates 面板.

你需要改变 *plate* 的方向, 尺寸及物性.

(b) 点击 Geometry .

(c) 点击 Plane 下拉菜单, 选择 Y-Z.

(d) 输入如下坐标:

xS	0.073		xE	--
yS	0		yE	0.3
zS	0		zE	0.2

(e) 点击 Properties .

(f) 在 Thermal model 菜单下, 选择 Conducting thick.

(g) 输入 Thickness 为 0.002 m.

(h) 设定一个新的材料给 plate

i. 在 Solid material 下拉菜单中, 选择 Create material.

ii. 在 Materials 面板中, 选择 Properties .

iii. 点击 Conductivity 边上的 Edit button.

The Temperature dependent solid conductivity 面板出现.

iv. 输入一个定值 0.3 W/m-K 并 Accept.

v. 点击 Materials 面板里的 Done.

Plates 面板将会显示 Solid material 为 plate.1 sol_material.

(i) 保持 Total power 为 0 W.

(j) 点击 Done 保存 Plates 设置.

4. 建立第一个 opening.

因为两个 openings 位置相关, 你可以生成一个并拷贝生成另一个.

(a) 点击 , 及  button 来打开 Openings 面板.

你可以在此面板下改变 opening 的方向及尺寸.

(b) 点击 Geometry .

(c) 在 Plane 下拉菜单中, 选择 X-Z.


(d) 输入如下坐标:

xS	0		xE	0.15
yS	0		yE	--
zS	0		zE	0.2

(e) 点击 Done 保存 Openings 设置.

5. copy 第一个 opening (opening.1) 来生成第二个(opening.1.1).

(a) 选择 opening.1

(b) 点击  button.

(c) 保持 Number of copies 为 1

(d) 打开 Translate 选项并设定 Y offset 为 0.3.

(e) 点击 Apply.

Icepak 就生成了第二个 opening.1.1.

6. 建立第一个 wall.

(a) 点击  button, 及  button 来打开 Walls 面板.

Icepak 将在 X-Y 平面建立一个矩形的 wall. 你需要改变 wall 的方向, 尺寸及物性.

(b) 点击 Geometry .

(c) 在 Plane 的下拉菜单中, 选择 Y-Z.

(d) 输入如下坐标:

xS	0		xE	--
yS	0		yE	0.3
zS	0		zE	0.2

(e) 点击 Properties .

(f) 在 Thermal data 中, 选择 External conditions 及 Edit.

Wall external thermal conditions 面板出现.

i. 打开 Heat trans coeff 选择, 指定传热系数为 10 W/K-m^2 .

ii. 点击 Done.

(g) 点击 Update 保存 Walls 的设置.

7. 建立第二个 wall.

(a) 点击 New 来生成第二个 wall(wall.2):

- Plane: Y-Z
- Location:

xS	0.15		xE	--
yS	0		yE	0.3
zS	0		zE	0.2

- Thermal data: External conditions, Heat trans coeff = 10 W/K-m ²

(b) 点击 Done 保存 Walls 的设置.

最后的模型如图 2.2 所示,

另外:

物体名称也显示出来. 可以点击  button 来隐藏.

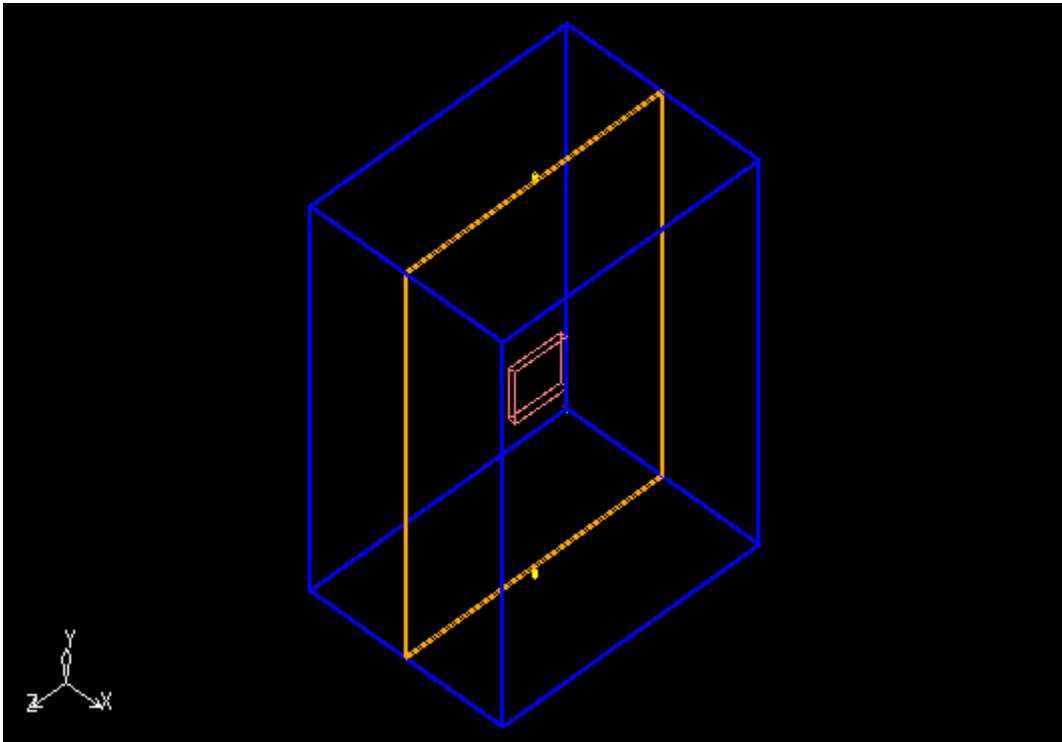



图 2.2: 辐射块和板的完整模型

8. 检查模型

Model → Check model

你也可以点击  button 来检查模型。

如果所有的偏差都满足要求, Icepak 会在 Message 窗口下给出 0 problems.

9. 检查物体定义

Edit → **Summary**

Icepak 将列出所有物体的参数。你可以检查并点击 *Done* 来确认。如果你发现问题你也可以在这里改变。

步骤 3: 网格生成

对这个模型，你只需要一步来生成网格。你需要指定单个物体的网格设置以生成好的网格来满足求解。

Model → **Generate Mesh**

1. 生成网格

(a) 在 **Mesh control** 面板下，设定 **Max X size**, **Max Y size**, and **Max Z size** 为 0.02.

(b) 打开 **Object params** 选项并点击 **Edit**.

Icepak 将打开 *Per-object meshing parameters* 面板，你可以指定 *block*, 第一个 *opening*, 和 *plate* 的网格。

(c) 指定 *block* 的网格

i. 在 **Per-object meshing parameters** 面板下，选择 **block.1**.

ii. 打开 **Use per-object parameters** 选项。

iii. 打开 **Low Y height** 和 **High Y height**, 将 **Requested** 设置为 0.002 .
这个设定是保证 *block* 在上下两个表面的第一层网格的高度为 0.002 m.

(d) 设定第一个 *opening* 的网格

i. 在 **Per-object meshing parameters** 面板下，选择 **opening.1**.

ii. 打开 **Use per-object parameters** 选项。

iii. 打开 **Inward height** 并设为 0.002.

这个设置是 *opening* 向内的第一层网格的高度为 0.002 m.

(e) 设定 *plate* 的网格

i. 在 **Per-object meshing parameters** 面板中，选择 **plate.1**.

ii. 打开 **Use per-object parameters** 选项。

iii. 打开 **Low end height** 和 **High end height**, 设为 0.002

这个设定是 *plate* 的外边的第一层网格为 0.002 m.

(f) 在 **Per-object meshing parameters** 面板下，点击 **Done** 保存所有设置。

(g) 点击 **Generate mesh** 来生成网格。

Icepak 会通知你有一些小的间隙。如果 *Minimum separation* 出现，点击 *Change value and mesh*，允许 *Icepak* 对你的模型做一点小小的改动并继续作网格。

2. 检查物体表面网格

- (a) 点击 **Display**.
- (b) 选择 **Surface** 及 **All objects**.
- (c) 打开 **Display mesh** 选项.

网格显示如图 2.3 所示。

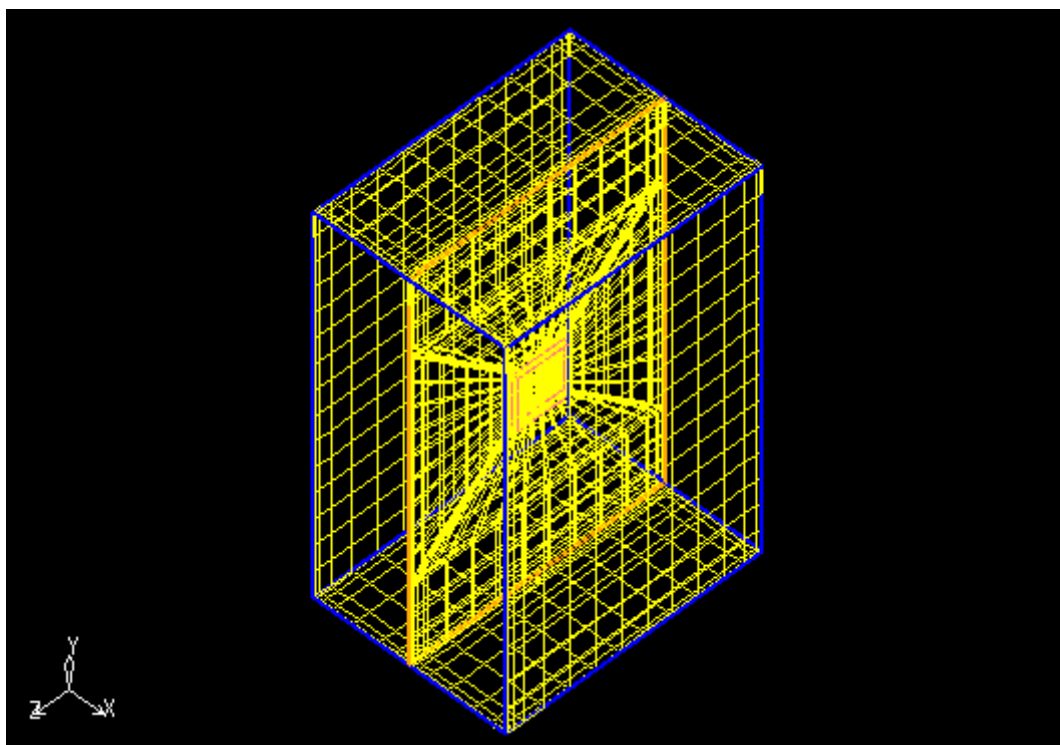


图 2.3: 所有对象表面的网格

3. 检查切面网格

- (a) 关闭 **Display mesh** 和 **Surface** 选项.
- (b) 打开 **Cut plane** 选项.
- (c) 在 **Set position** 下拉菜单中选择 **Point and normal**.
- (d) 显示 X-Y 平面的网格

i. 对于 (PX, PY, PZ) 保持缺省设置 $(0, 0, 0.1)$ ，及 (NX, NY, NZ) 为 $(0, 0, 1)$

ii. 打开 **Display mesh** 选项.

网格显示平面与 *plate* 垂直.

iii. 用滑杆改变切面的位置.

(e) 显示 Y-Z 和 X-Z 平面的网格

i. 关闭 **Display mesh** 选项.

ii. 设置 (PX, PY, PZ) 为 $(0, 0, 0.1)$ 及 (NX, NY, NZ) 为 $(1, 0, 0)$ 或 $(0, 1, 0)$.

这些设置将显示 Y-Z 和 X-Z 平面的网格。

打开 **Display mesh** 选项.

4. 关闭网格显示

- (a) 不选 **Display mesh** 选项.
- (b) 点击 **Close**.

步骤 4: 检查气流

在求解之前, 你应该首先估算 *Reynolds* 和 *Peclet* 数来确定是采用哪种流动方程。

1. 检查 Reynolds 和 Peclet 数.

 **Solution settings** →  **Basic settings**

- (a) 点击 **Reset** button.
- (b) 检查 **Message** 窗口里的信息.

得到的 *Reynolds* 和 *Peclet* 数分别是 1.5×10^7 和 **0.7**, 所以应该是 *laminar*. 由于缺省是 *laminar* 所以不需要改变.

- (c) 点击 **Accept**.

步骤 5: 保存没有辐射的模型

Icepak 将在你求解之前自动保存模型, 但是建议你自己也保存一次. 如果你在求解前退出 *Icepak*, 你可以在下一次再打开你的项目再求解。(如果你求解了, *Icepak* 将简单地覆盖你保存的模型。)

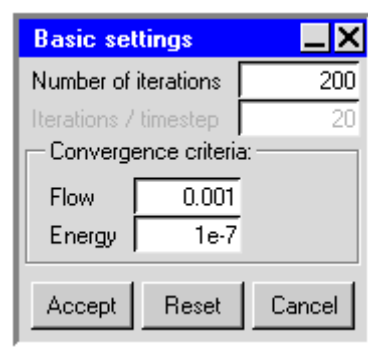
File → **Save project**

步骤 6: 计算没有辐射的模型

1. 设置迭代次数为 200.

 **Solution settings** →  **Basic settings**


- (a) 输入 200.



- (b) 点击 **Accept**.

2. 开始计算

Solve → **Run solution**

注意你也可以点击  button.

(a) 在 **Solve** 面板下, 输入 no-rad00 作为 **Solution ID**.

(b) 点击 **Start solution**.

计算将在大约 100 iterations 结束. 注意, 计算步数在不同的计算机上略有区别。

步骤 7: 检查没有辐射的结果

本练习目的是比较 *block* 和 *plate* 的温度在考虑与不考虑不辐射情况下的区别。这一步, 你将看到没有辐射情况下的温度分布。下一步, 你将计算并可以看到考虑辐射后的结果。

1. 显示 *block* 和 *plate* 的温度。

Post → **Object face**

(a) 在 **Object** 下拉菜单中, 选择 *block.1* 和 *plate.1* 并点击 **Accept**.

(b) 打开 **Show contours** 选项并点击 **Parameters**.

(c) 在 **Object face contours** 面板里, 保持 **Contours of** 下拉菜单里的 **Temperature** .

(d) 对于 **Shading options**, 保持 **Banded**.

(e) 对于 **Color levels**, 选择 **Calculated** 及 **This object**.

(f) 点击 **Done**.

图 [2.4](#) 显示 *block* 和 *plate* 上的温度分布. *Block* 上面板的温度显示了自然对流的效果。.

(g) 在 **Object face** 面板里, 关闭 **Active** 并点击 **Done**.

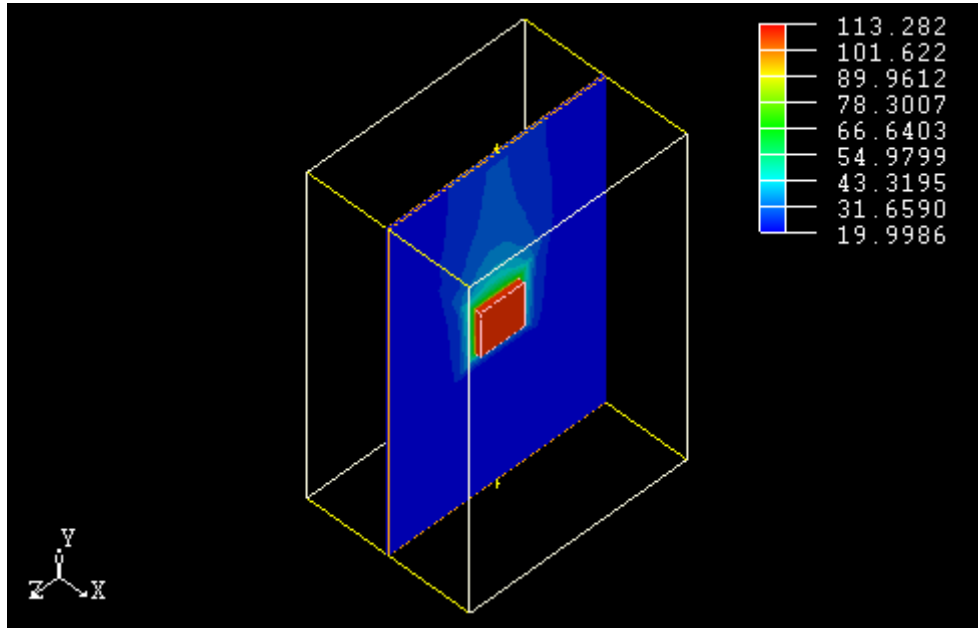


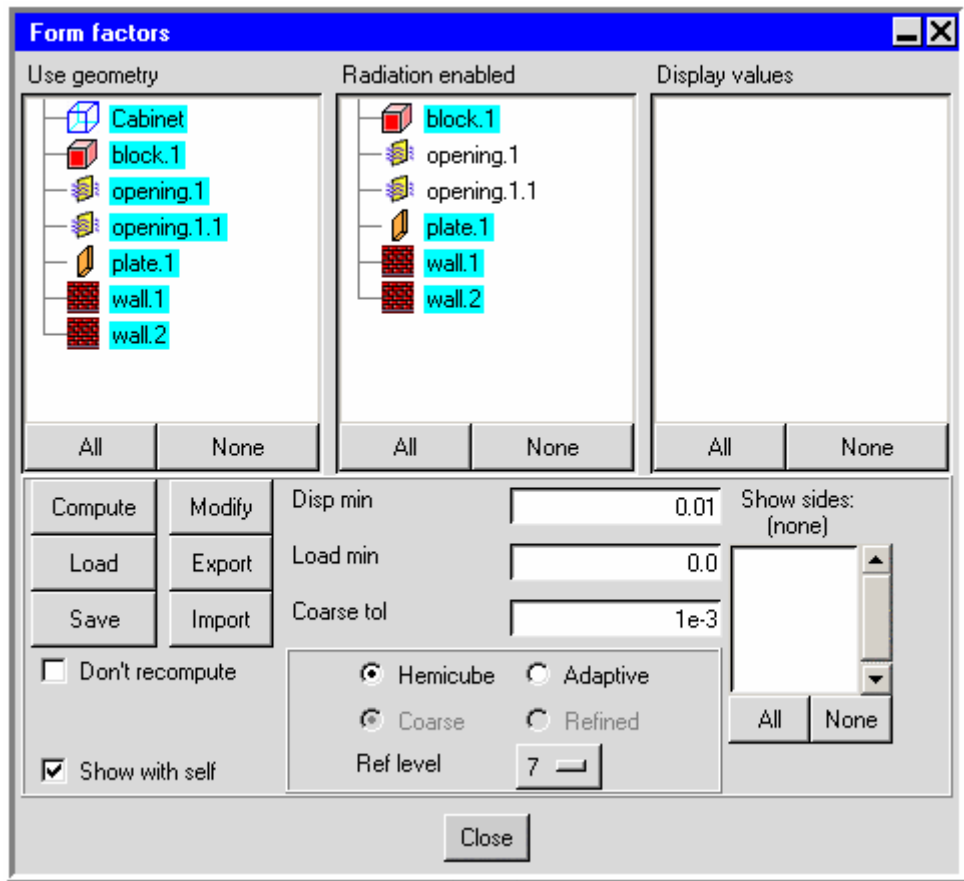
图 2.4: Block 和 Plate 的温度云图(没有辐射)

步骤 8: 增加辐射

在这一步你将增加辐射。

1. 打开辐射开关。

Model → Radiation



(a) 在 **Radiation enabled** 这一列下，选择 **block.1**，**plate.1**，**wall.1**，和 **wall.2**。

这时可能会跳出一个窗口，问到要改变当前模型，而后处理还是前面模型的结果。只需要点击 *Ok button*。

(b) 在 **Form factors** 面板中，点击 **Compute**。

Icepak 将计算角系数，参照用户手册中 [25](#) 关于辐射的详细描述。

(c) 点击 **Close**。

2. 指定辐射率

由于辐射率对所有面都是一样的 1，你只需要改变缺省设置中的值。

Problem setup → **Basic parameters**

(a) 在 **Default surface** 下拉菜单中，选择 **View definition**。

Icepak 将报告一个信息窗口，辐射率是 *Steel-Oxidised-surface 0.8*。你可以创建一种新材料指定辐射率为 1。

(b) 在 **Default surface** 下拉菜单中，选择 **Create material**。

这时可能会跳出一个窗口，问到要改变当前模型，而后处理还是前面模型的结果。只需要点击 *Ok button*.

Materials 面板出现.

(c) 在 *Materials* 面板中，点击 *Properties* .

(d) 设置 *Emissivity* 为 1.

(e) 点击 *Done*.

这样 *Basic parameters* 面板中 *Default surface* 材料将是 *default_surface_material*.

(f) 点击 *Accept*.

3. 保存新模型

File → *Save project*

步骤 9: 计算有辐射的模型

Solve → *Run solution*

1. 指定一个新的 *Solution ID* 为 *rad00*.

2. 点击 *Start solution*.

计算将在大约 *100 iterations* 结束。注意，计算步数在不同的计算机上略有区别。

步骤 10: 检查有辐射的结果

1. 调用最新的计算结果

Post → *Load solution ID*

在 *Version selection* 面板中你可以选择最新的工况 (*rad00*).

2. 显示温度云图

Post → *Object face*

(a) 在 *Object* 下拉菜单中，选择 *block.1* 和 *plate.1*.

(b) 打开 *Show contours* 选项并点击 *Parameters*.

(c) 在 *Object face contours* 面板里，保持 *Contours of* 下拉菜单里的 *Temperature* .

(d) 对于 *Shading options*，保持 *Banded*.

(e) 对于 *Color levels*，选择 *Calculated* 及 *This object*.

(f) 点击 *Done*.

图 [2.5](#) 显示有辐射的温度分布。

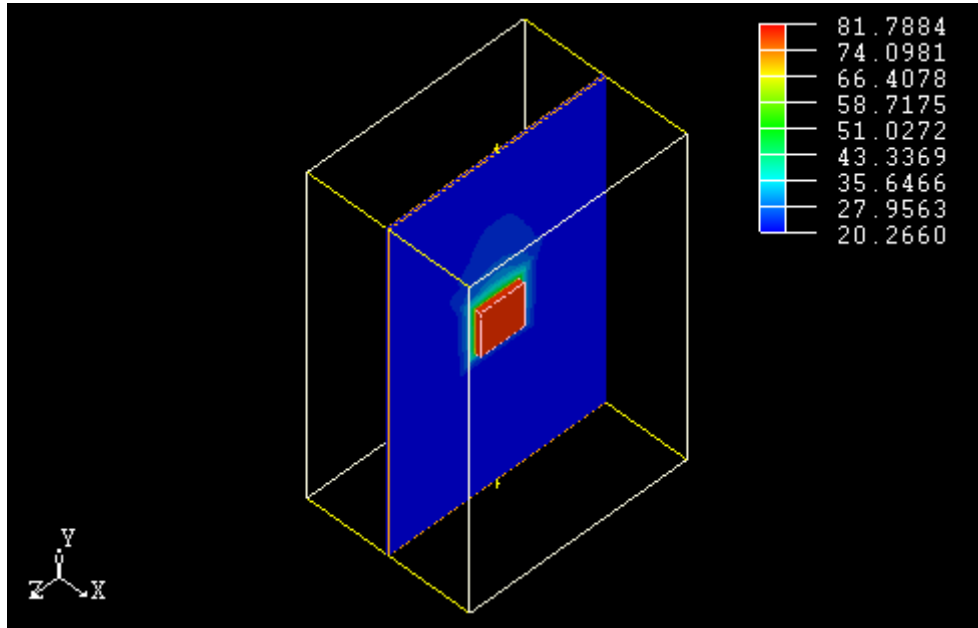


图 2.5: Block 和 Plate 温度云图(考虑辐射)

比较有/没有辐射的计算结果(图 [2.4](#) 和 [2.5](#)) 可以看出辐射使最高温度下降了约 31 C.

总结

本练习中,你建立并求解了一个没有/有辐射的问题. 计算结果显示出考虑辐射后最高温度下降了约 31 C, 因此对该模型来讲辐射是很重要的。

练习 3 瞬态分析

预备知识

这个例子假定你熟悉 Icepak 的菜单并且读过例 1，因此一些设置和求解的步骤不会详细说明。

问题描述

模型如图 3.1 所示，由一块底板，四个热源和 9 个锥形翅片组成，通过自然对流散热。热源贴在底板的背面，每个热源轮流工作 10 秒。

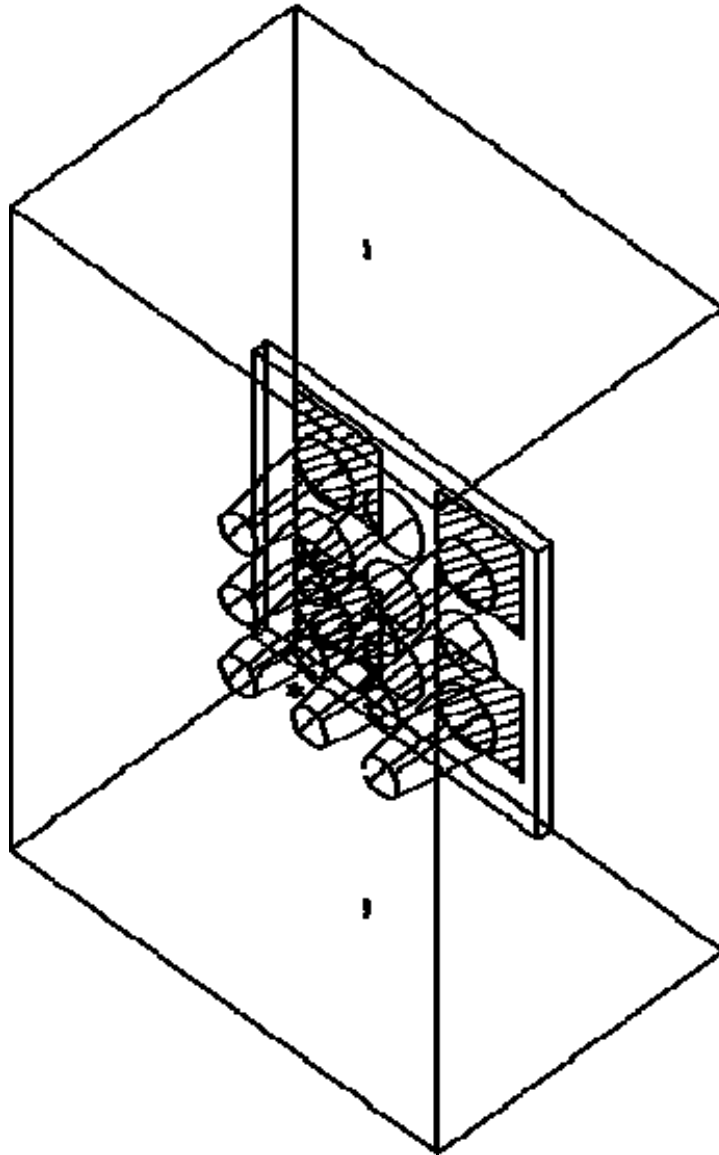
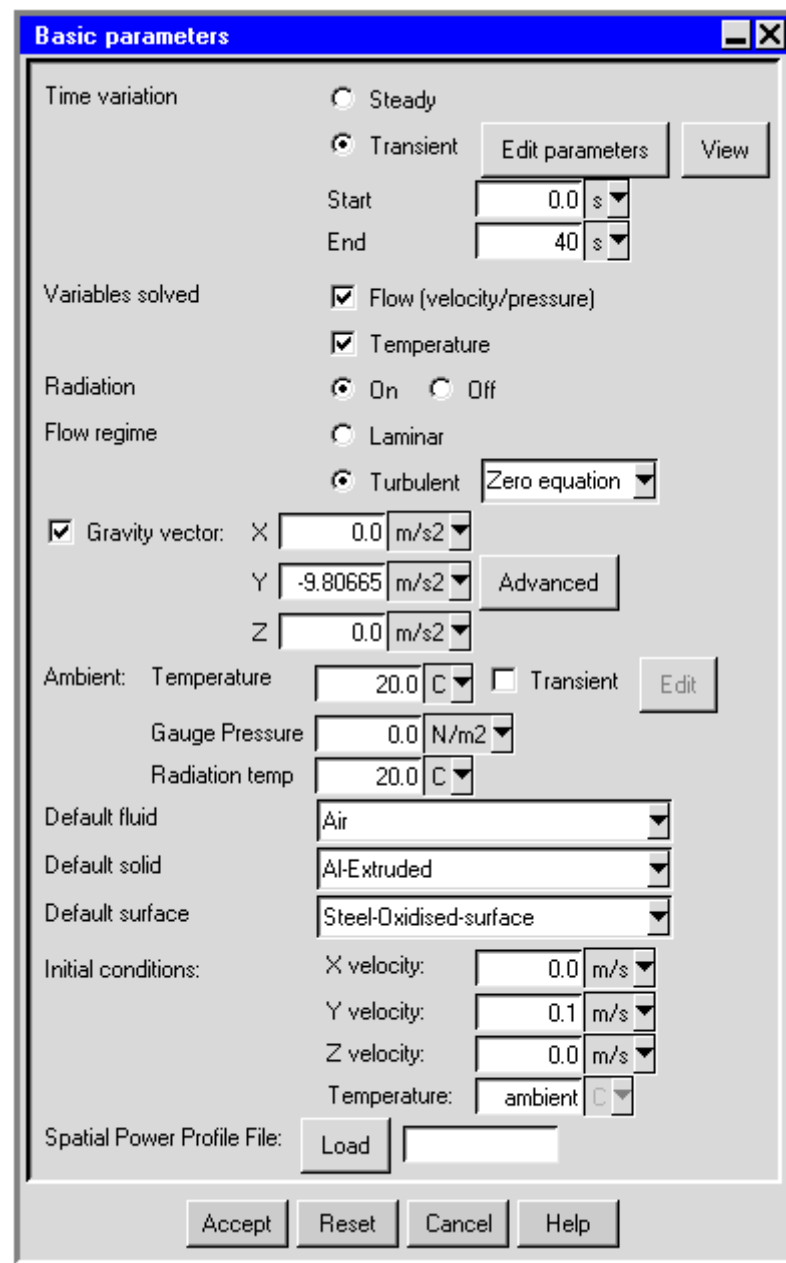


图 3.1: 模型描述

步骤 1: 新建一个项目

1. 打开 Icepak, 如用户指南 1.5 节所示。
Icepak 打开后, *New/existing* 面板会自动弹出。
2. 在 *New/existing* 面板中单击 **New** 按钮以开始一个新的 Icepak 项目
New project 面板弹出。
3. 指定项目名.
 - (a) 在 **Project** 文本框中输入项目名 transient.
 - (b) 单击 **Create** 按钮
Icepak 会创建一个缺省尺寸为 $1m \times 1m \times 1m$ 的 *Cabinet* 并显示在图形窗口中。
你可以用鼠标左键旋转或用鼠标中键平移 Cabinet, 或者用鼠标右键放大和缩小 Cabinet。要恢复 Cabinet 到缺省的主视图, 选择 Orient 菜单中的 Home position
4. 考虑重力和湍流影响的瞬态模拟。

 **Problem setup** →  **Basic parameters**



(a)

在 **Time variation** 栏，选择 **Transient** 并分别设置 **Start** 和 **End** 时间为 0 和 40 秒。

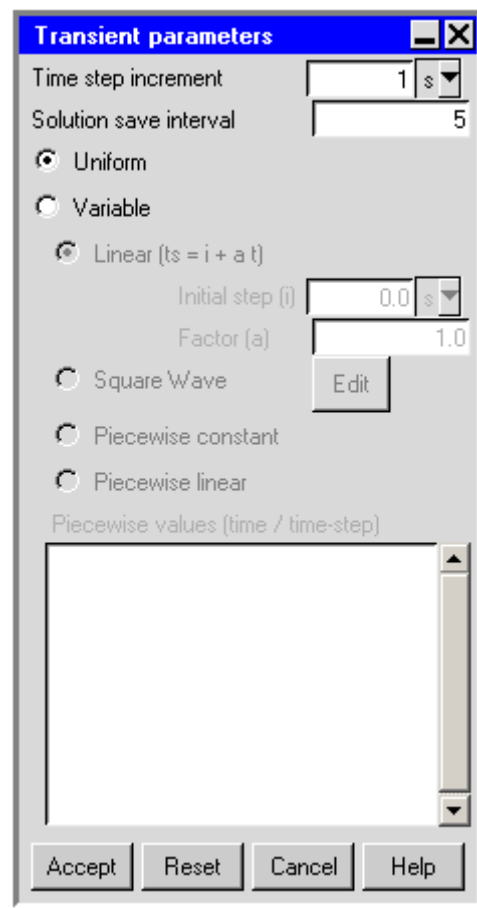
(b)

指定时间步长和保存中间数据的频率。

i.

单击紧靠 **Transient** 选项的 **Edit parameters** 按钮。

Icepak 会打开 *Transient parameters* 面板。



ii.

设置 **Time step increment** (迭代计算的时间步长) 为 1.

iii.

设置 **Solution save interval** (保存结果的时间步长) 为 5.

iv.

单击 **Accept** 保存设置的时间参数。

(c)

在 **Basic parameters** 面板中的 **Flow regime** 选项中，选择 **Turbulent** (湍流) 并保持缺省的 **Zero equation** 湍流模型不变。

(d)

选中 **Gravity vector** 选项并保持缺省设置不变。

(e)

在 **Initial conditions** (初始条件) 选项下, 设置 **Y velocity** 为 0.1 m/s.

(f)

单击 **Accept** 按钮保存新的设置。

步骤 2: 建模

要建立模型, 首先改变 *cabinet* 到合适尺寸。然后创建 *cabinet* 中的对象: 底板, 热源和翅片。

1.

改变 *cabinet* 的尺寸。



(a)
在弹出的 **Cabinet** 面板中, 单击 **Geometry** 标签.

(b)
输入如下坐标值:

xS	0.05		xE	0.35
yS	0.1		yE	0.55
zS	0.05		zE	0.25

(c)
单击 **Update** 按钮改变 cabinet 的尺寸, 然后单击 **Done** 按钮关闭 cabinet 面板。

(d)
在 **Orient** 菜单中, 选择 **Scale to fit** 以使 cabinet 的视图适合图形窗口的大小。

2.

创建底板。

(a)

单击 按钮创建一个新的 plate, 单击 按钮打开 **Plates** 编辑面板。

对于底板, 需要改变尺寸和设置热物性。

(b)

在 **Name** 栏中输入 baseplate.

(c)

单击 **Geometry** 标签.

(d)

输入如下的坐标值:

xS	0.1		xE	0.3
yS	0.2		yE	0.4
zS	0.12		zE	--

(e)

单击 **Properties** 标签.

(f)

在 **Thermal model** 下, 选择 **Conducting thick**.


(g)

设置 **Thickness** 为 0.01 m.

(h)

在 **Solid material** 下拉栏中选择 **Al-Duralumin** 。

提示:

单击紧靠 *Solid material* 的  按钮打开下拉栏。 *Al-Duralumin* 位于 *Metals/Alloys* 类中, 因此需要向下滚动下拉栏才能找到。

(i)

单击 **Done** 按钮确认 plate 的设置, 然后关闭 **Plates** 面板。

3.

创建第一个翅片。

各翅片除了坐标, 其他属性都一样。为了创建这一组 9 个翅片, 可以先创建一个做为模板, 复制两个, 在 *x* 方向间距相同, 然后将这三个翅片归到一组 (*group*), 再复制两个组, *y* 方向间距相同。

(a)

单击  按钮创建一个新的 block, 然后单击  按钮打开 **Blocks** 面板。

Icepak 会在 *cabinet* 的中间创建一实体棱柱 *block*, 需要改变其尺寸和形状。

(b)

在 **Name** 框中输入对象名称 *fin*, 按 <Enter> 键确定。

(c)

单击 **Geometry** 标签。

(d)

在 **Shape** 下拉栏中, 选择 **Cylinder**。

(e)

在 **Plane** 下拉栏中, 选择 **X-Y**。

(f)

选中 **Nonuniform radius** 选项。

(g)

为 *fin* 的中心点输入如下坐标值:

xC	0.15
yC	0.25
zC	0.13

(h)

设置 **Height** 值为 0.06。

(i)

将第一个 (*bottom*) 外圆半径 (**Radius**) 设为 0.02, 第一个 (*bottom*) 内圆半径 (**Int Radius**) 设为 0。

(j)

将第二个 (*top*) 外圆半径 (**Radius 2**) 设为 0.012, 第二个 (*top*) 内圆半径 (**Int Radius 2**) 设为 0。

(k)

单击 **Properties** 标签。

(l)

对于 Block type, 保持缺省设置为 Solid.

(m)

对于 Thermal specification, 在 Solid material 下拉栏中选择 Al-Duralumi 。

(n)

单击 Done 按钮确认修改并关闭 Blocks 面板.

4.

拷贝第一个 block (fin) 创建第二个和第三个翅片 (fin.1 and fin.2), 每个在 X 方向平移 0.05 m 。

(a)

Model manager 窗口中, 在 Model 节点下选择 fin 对象.

(b)

单击  按钮.

弹出 Copy block fin 面板。

(c)

在 Number of copies (拷贝的份数) 中输入 2.

(d)

选中 Translate(平移) 选项, 设定 X offset (X 方向位移) 为 0.05.

(e)

单击 Apply 按钮.

Icepak 会创建 fin 的两个拷贝, 每个与前一个在 X 方向的位移是 0.05 m.

5.

创建余下的 6 个翅片.

(a)

将建好的三个 blocks 创建为一个 group (组) .

Edit → Current group → Create

i.

保持缺省的 group name (组名称) .

ii.

单击 Done 按钮.

group.1 对象会添加在 Model manager 的 Groups 节点下.

iii.

在 Model manager 窗口中, 单击 Groups 旁边的十号.

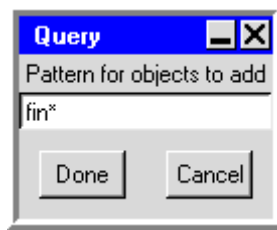
iv.

鼠标右键单击 group.1 对象, 在弹出的下拉菜单中选择 Add → Name/pattern.

Icepak 会打开一个 Query 对话框, 要求输入文本模式

v.

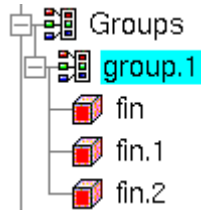
在 Query 对话框的 Pattern for objects to add 文本框中输入 fin*.



vi.

单击 **Done** 按钮。

fin, *fin.1*, and *fin.2* 将添加到这个组中。



(b)

创建这个组的两份拷贝。

i.

在 **Model manager** 窗口的 **Groups** 节点下选择 **group.1** 组对象。

ii.

鼠标右键单击 **group.1**，在弹出的下拉菜单中选择 **Copy group**。
弹出 **Copy group group.1** 面板。

iii.

在 **Number of copies** 栏输入 2。

iv.

选中 **Translate**（平移）选项。

v.

在 **Y offset**（Y 方向位移）栏输入 0.05 m。

vi.

单击 **Apply** 按钮。



全部 9 个翅片会显示在图形窗口中。

6.

创建第一个热源。

4 个热源其他属性一致，但是开关的时刻不同，因此每个热源单独创建。

(a)

单击  按钮创建一个热源，单击  按钮打开 **Sources** 面板。

Icepak 会在 *cabinet* 中心创建一个方形热源，需要设置热源的几何形状，方位，尺寸以及其他参数。

(b)

单击 **Geometry** 标签。

(c)

输入如下坐标值：

xS	0.12		xE	0.18
yS	0.22		yE	0.28
zS	0.12		zE	--

(d)

指定热功率为时间的指数函数：

$$Q = Q_0 + 100e^{0.025t} \quad (3.5-1)$$

这里, Q_0 是 $t=0$ 时刻的热功耗, 若等于 0 则说明热源在仿真的初始时刻不发热。100 和 0.025 分别是系数 b 和指数 a 的值。 b 的单位和 Sources 面板中的 Total heat 一致。

i.

单击 Properties 标签。

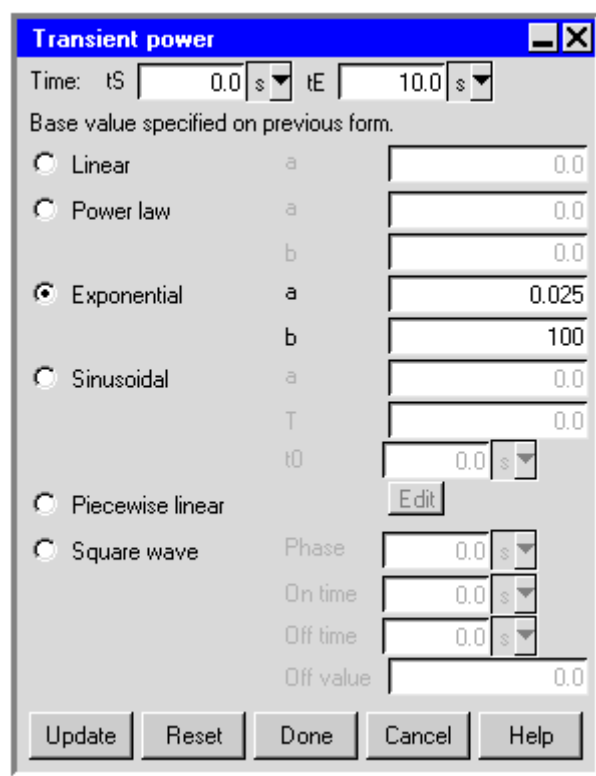
ii.

在 Heat source parameters 栏中, 保持 Total heat 的缺省值 0 W。

iii.

选中 Transient 选项并单击 Edit 按钮。

弹出 Transient power 面板。



iv.

在 **Time** 栏, **tS** 输入 0, **tE** 输入 10

这表示热源会在仿真开始的前十秒钟工作, 十秒后则不再发热。

v.

选择 **Exponential** 并设置 **a** 为 0.025 , 设置 **b** 为 100.

vi.

单击 **Done** 按钮确认修改并关闭 **Transient power** 面板.

(e)

在 **Sources** 面板中单击 **Update** 按钮更新热源属性.

7.

创建第二个热源.

(a)

在 **Sources** 面板中单击 **New** 按钮创建第二个热源 (**source.2**) 并进行如下设置:

- **Location:**

xS	0.22		xE	0.28
yS	0.22		yE	0.28
zS	0.12		zE	--

- **Heat source parameters:** Total heat = 0 W, Transient
- **Transient power parameters:** tS= 10, tE= 20, Exponential, a= 0.025, b= 100

!

记住在 **Transient power** 面板中单击 **Done** 按钮, 然后在 **Sources** 面板中单击 **Update** 按钮完成设置.

8.

按如下设置创建第二个和第三个热源 (**source.3** and **source.4**):

- **source.3:**
 - **Location:**

xS	0.12		xE	0.18
yS	0.32		yE	0.38
zS	0.12		zE	--

- Heat source parameters: Total heat = 0 W, Transient
- Transient power parameters: $t_S=20$, $t_E=30$, Exponential, $a=0.025$, $b=100$
- source. 4:
 - Location:

xS	0.22		xE	0.28
yS	0.32		yE	0.38
zS	0.12		zE	--

- Heat source parameters: Total heat = 0 W, Transient
- Transient power parameters: $t_S=30$, $t_E=40$, Exponential, $a=0.025$, $b=100$

9.

在 cabinet 中创建第一个 opening.

(a)

单击  按钮创建一个新的 opening, 然后单击  按钮打开 Openings 面板.

Opening 的尺寸和方位需要重新设置.

(b)

单击 **Geometry** 标签.

(c)

在 **Plane** 下拉栏中, 选择 X-Z.

(d)

输入如下坐标值:

xS	0.05		xE	0.35
yS	0.1		yE	--
zS	0.05		zE	0.25

(e)

单击 **Update** 按钮确认修改 opening 的属性.

10.

创建第二个 opening.

(a)

单击 **New** 按钮在 **Openings** 面板中，并如下修改第二个 opening 的属性：

- Plane: X-Z
- Location:


xS	0.05		xE	0.35
yS	0.55		yE	--
zS	0.05		zE	0.25

(b)

单击 **Done** 按钮确认修改并关闭 **Openings** 面板。

完整的模型如图 3.2 所示，改图是模型的 *Isometric*（等轴侧）视图（可在 *Orient* 菜单中选择）。

另外：

Icepak 的缺省设置是显示对象名的。要隐藏对象名可单击  按钮。

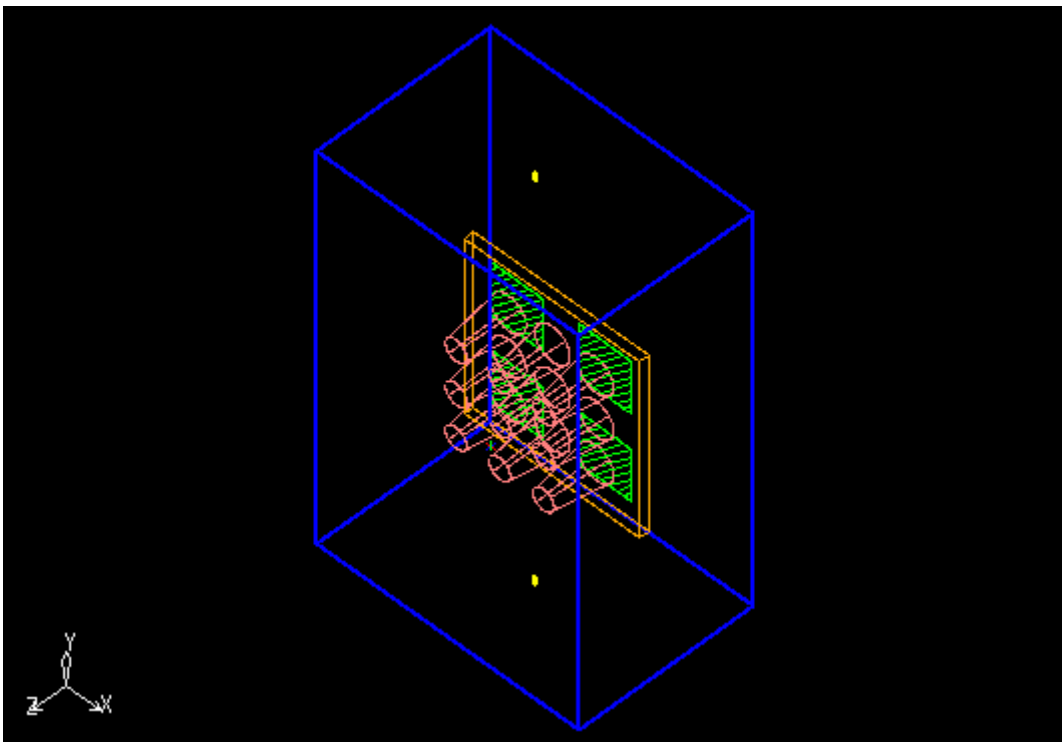


图 3.2：瞬态模拟的完整模型

11.

检查模型以确认没有问题（如 对象离得太近会导致无法正确生成网格）。

Model → **Check model**

也可以单击  按钮来检查模型。

Icepak 会在 *Message* 窗口中报告说未发现任何问题。

12.

检查模型中对象的定义以确认设置正确。

Edit → **Summary**

Icepak 会在 *Parameter summary* 面板中列出模型中各对象的详细信息。你可以检查，若无问题单击 *Done* 按钮关闭面板。若发现有不正确的设置，你可以在 *Parameter summary* 面板中直接修改：在想要修改的属性上单击，并输入正确值即可。你也可返回到模型对象面板，按最初设置的方式一样输入新的值。

步骤 3：生成网格

对于这个模型，只需一步就可生成网格，而且对象壁面附近的网格质量足够好，可以正确求解流场特性。

1.

生成模型的网格

Model → **Generate mesh**

(a)

在 *Mesh control* 面板中，设置 *Max X size* 为 0.02，*Max Y size* 为 0.02，*Max Z size* 为 0.02。

(b)

选中 *Init height* 选项，并设为 0.005。

(c)

将 *Min elems in fluid gap* 由 3 改为 2。

(d)

单击 *Generate mesh* 按钮。

2.

检查模型中所有对象的网格质量。

(a)

在 *Mesh control* 面板中单击 *Display* 标签。面板会更新为网格显示工具。

(b)

选中 *Surface* 再选择 *All objects*。

(c)

选中 *Display mesh* 选项。

所有对象表面的网格显示如图 [3.3](#)。

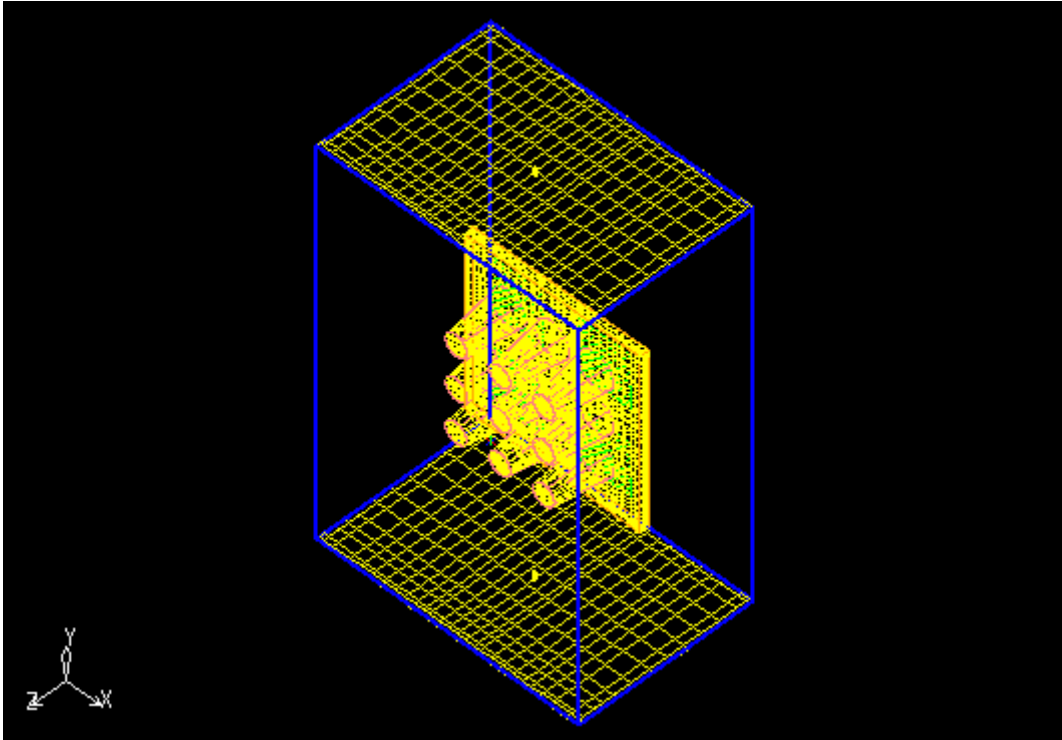


图 3.3: 所有对象表面的网格

3.

检查模型截面上的网格.

(a)

取消 **Display mesh** 和 **Surface** 选项.

(b)

选中 **Cut plane** 选项.

(c)

在 **Set position** 下拉栏中选择 **Point and normal** (一点和法线方向).

(d)

显示 $x-y$ 平面上的网格.

i.

保持 (PX, PY, PZ) 的缺省设置为 (0, 0, 0.15), (NX, NY, NZ) 的缺省设置为 (0, 0, 1).

这样的设置会显示通过 (0, 0, 0.15) 点的 $x-y$ 平面上的网格。

ii.

选中 **Display mesh** 选项.

显示网格的平面是通过模型中心点的平面.

iii.

滑动 **Plane location** 下的滑杆来移动平面的位置。

(e)

显示 $y-z$ 和 $x-z$ 平面的网格.

i.

取消 Display mesh 选项.

ii.

将 (NX, NY, NZ) 改为 (1, 0, 0) 或 (0, 1, 0).

这样设置会分别显示通过 (0, 0, 0.15) 点的 $y-z$ 平面和 $x-z$ 平面。

iii.

选中 Display mesh 选项, 滑动 Plane location 下的滑杆以改变平面的位置。

4.

取消网格显示.

(a)

取消 Display mesh 选项.

(b)

单击 Close 按钮关闭 Mesh control 面板.

步骤 4: 检查流动状态

开始求解之前, 有必要估算一下模型的 Rayleigh 数和 Prandtl 数, 看是否模拟了正确的流态。

1.

检查模型的 Rayleigh 数和 Prandtl 数.

 Solution settings →  Basic settings

(a)

在 Basic settings 面板中单击 Reset 按钮.

(b)

检查 Message 窗口输出的值.

Rayleigh 数和 Prandtl 数大约分别是 3.6×10^7 和 0.7, 因此流态是湍流. 既然已经设定为湍流了, 则不需要做任何更改.

(c)

单击 Accept 按钮确认新的求解器设置.

步骤 5: 保存模型到项目文件

Icepak 在开始求解之前会自动保存模型, 但是自己保存模型 (包括网格) 仍然是一个好的习惯. 如果你在求解之前退出 *Icepak*, 你可以重新打开已保存的项目继续分析. (如果你在当前的 *Icepak* 任务中开始计算, *Icepak* 会直接覆盖以前保存的项目文件.)

File → Save project

步骤 6: 求解

1.

增大每个时间步的迭代次数.

 Solution settings →  Basic settings

- (a)
设置 Iterations/timestep 为 50.
- (b)
单击 Accept 按钮。

2.

开始计算.

Solve → Run solution

- (a)
保持 Solve 面板中的缺省设置.
- (b)
单击 Start solution 按钮开始求解。
求解将在 640 步迭代后收敛。但是，收敛所需的迭代步数随电脑的不同而略有差别。

步骤 7: 检查结果

由于是瞬态模拟，因此可以做出动画以反映流场和温度场随时间的变化情况。

1.

显示四个热源表面上随时间变化的温度云图.

Post → Object face

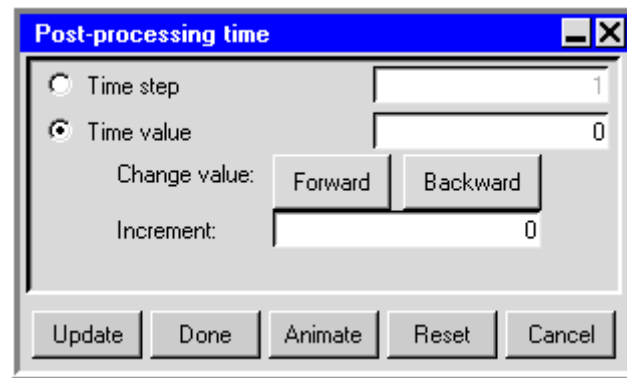
- (a)
在 Object 下拉栏中，选择所有的热源。
提示：
为了选择树状列表中的所有热源，按下 <Shift> 键并选择每个热源对象：source. 1, source. 2, source. 3, 和 source. 4.
- (b)
选中 Show contours 选项，单击 Parameters 按钮。
弹出 Object face contours 面板。
- (c)
在 Object face contours 面板中，Contours of 下拉栏中保持缺省的设置 Temperature .
- (d)
保持缺省设置，单击 Done 按钮保存设定并关闭面板，同时更新图形显示区域。
- (e)
改变模型的视图到主视图。

Orient → Home position

(f)
做温度云图动画 Animate the temperature contours over time.

Post → Transient settings

弹出 *Post-processing time* 面板。

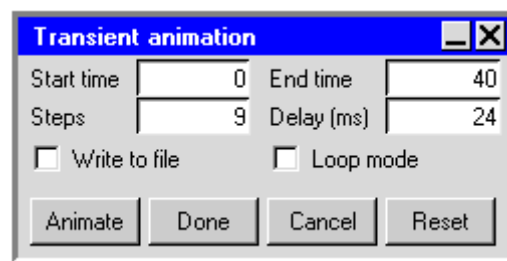


i.
在 *Post-processing time* 面板中，选择 *Time value* .

ii.
单击 *Animate* 按钮。

弹出 *Transient animation* 面板。

iii.
在 *Transient animation* 面板中，保持所有缺省设置并单击 *Animate* 按钮。



动画开始，图形窗口显示每一时刻热源上的温度云图。你会看到当热源工作时它的温度升高。图 3.4 显示了 $t = 20$ 时刻热源上的温度云图。

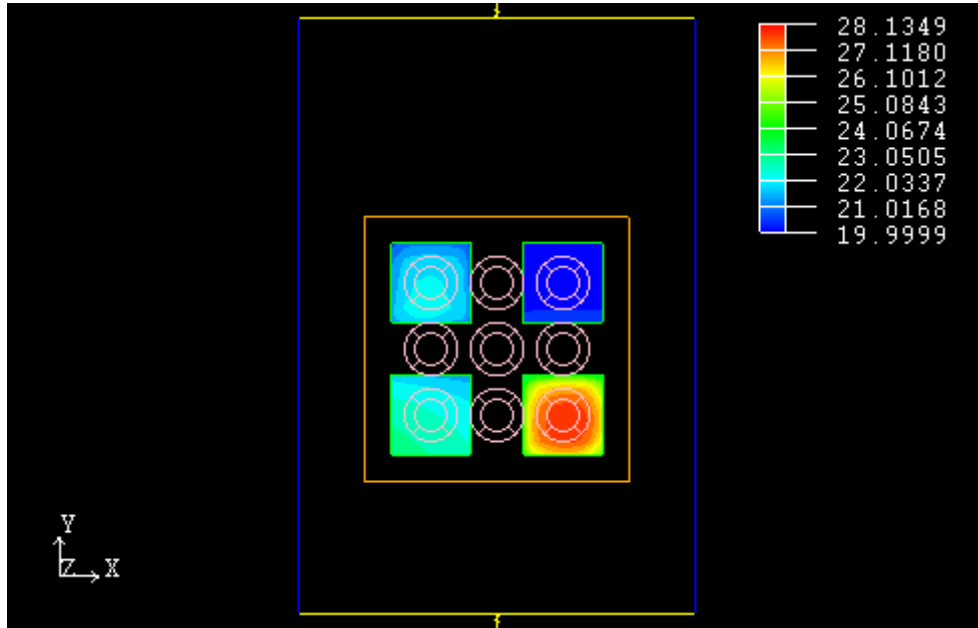


图 3.4: $t = 20$ 时刻热源表面温度云图

要停止动画显示, 单击 *Icepak* 界面右上角的红色 *Interrupt* 按钮。

(g)

单击 *Done* 按钮关闭 *Transient animation* 面板。

(h)

单击 *Done* 按钮关闭 *Post-processing time* 面板。

(i)

在 *Object face* 面板中, 取消 *Active* 选项并单击 *Done* 按钮。

2.

在截过 cabinet 中心的平面上显示速度矢量。

Post → **Plane cut**

(a)

在 *Set position* 下拉栏中选择 *Point and normal*, 并输入如下点坐标及法方向向量:

PX	0	PY	0	PZ	0.15		
NX	0	NY	0	NZ	1		

(b)

选中 *Show vectors*.

(c)

单击 *Create* 按钮。

(d)

随时间变化的速度矢量动画。

Post → Transient settings

i.

在 Post-processing time 面板中选择 Time value .

ii.

单击 Animate 按钮弹出 Transient animation 面板.

iii.

保持 Transient animation 面板中的缺省设置, 单击 Animate 按钮显示动画.

动画显示每一时刻截面上的速度矢量. 气流从一个 opening 流向另一个 opening (流过 heatsink 的翅片); 你还能看到气流速度分布随时间从初始状态发展到由系统几何形状及其他参数所决定的流场。

图 3.5 显示了 $t = 20$ 时刻的速度矢量分布.

要停止动画显示, 单击 Icepak 界面右上角的红色 Interrupt 按钮.

(e)

单击 Done 按钮关闭 Transient animation 面板.

(f)

单击 Done 按钮关闭 Post-processing time 面板.

(g)

在 Plane cut 面板中, 取消 Active 选项并单击 Done 按钮.

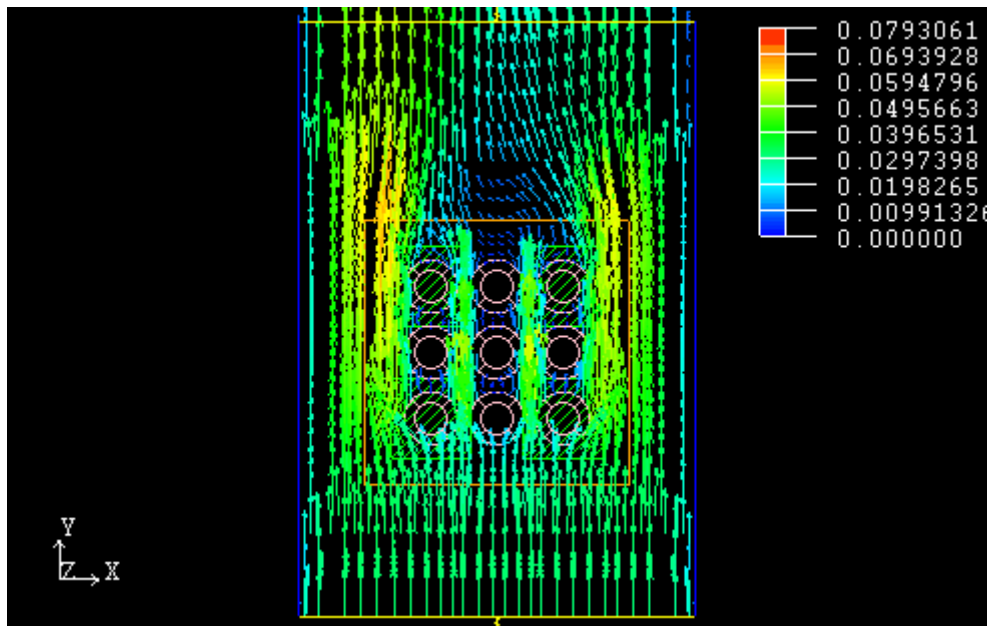


图 3.5: $t = 20$ 时刻的速度矢量分布

总结

在这个练习中, 你创建并求解了一个瞬态模型, 运用动画技术观察求解结果。

练习 4 笔记本电脑

介绍

本练习讲解如何创建一个包含各种部件的笔记本电脑模型。练习的目的是检验风扇及通风口提供的风量能否满足冷却 CPU 芯片、电源、硬盘和 PCB 板的需要。

通过这个练习你会了解如何：

- 创建新的固体材料
- 为风扇指定特性曲线
- 改变求解器迭代的步数
- 修改求解器的 under-relaxation factors（松弛系数）

本练习假设你熟悉 Icepak 的菜单结构并了解练习 1 的内容，因此设置和求解过程中的一些步骤不会详细列出。

问题描述

计算域包括一个硬盘、一个软驱、一个 CPU 芯片、一块 PCMCIA 卡，四块 PCB 板和一个电源模块，如图 4.1 所示。整个系统由两个风扇和四个通风口冷却。系流动属于湍流。

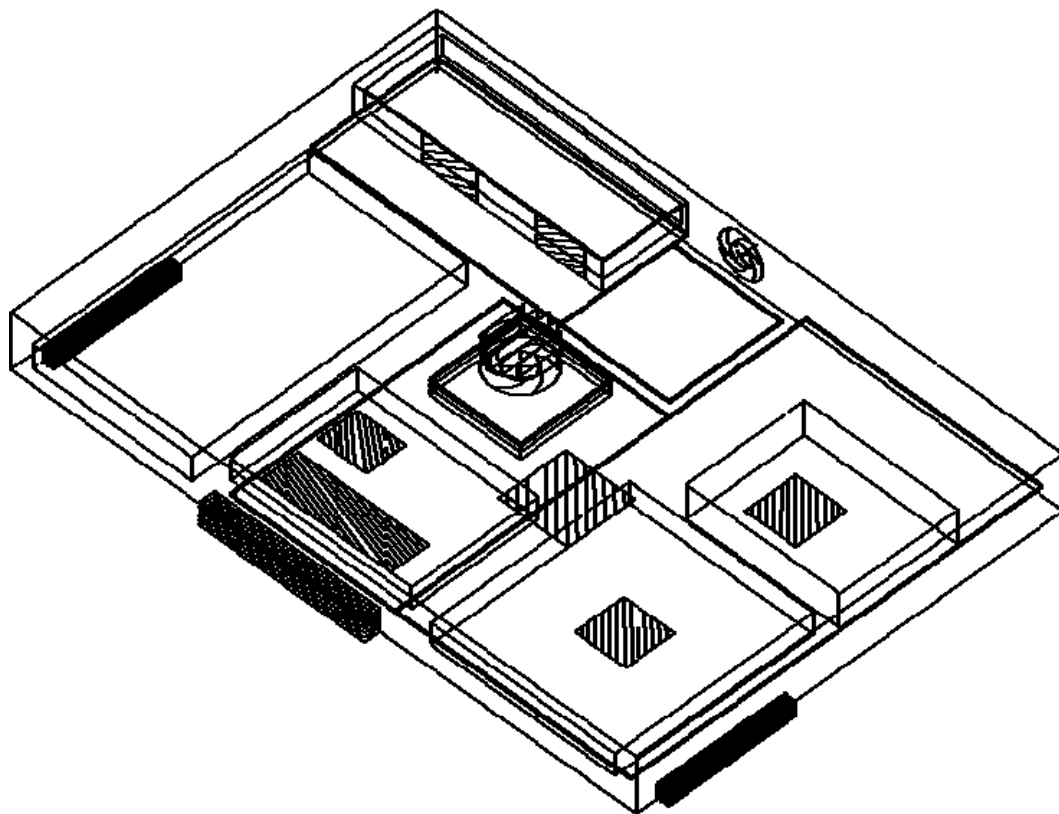


图 4.1: 问题描述

步骤 1: 打开并创建一个新项目

1. 打开Icepak, 可参考用户指南 (User Guide) [1.5](#) 节。
Icepak 打开后, 自动弹出 *New/existing* 面板。
2. 在 *New/existing* 面板中单击 **New** 按钮。
弹出 *New project* 面板。
3. 为项目指定名称。
 - (a) 在 **Project** 文本框中, 输入项目名 notebk1.
 - (b) 单击 **Create** 按钮。
Icepak 会创建一个缺省尺寸为 $1m \times 1m \times 1m$ 的 *Cabinet* 并显示在图形窗口中。

你可以用鼠标左键旋转或用鼠标中键平移 Cabinet, 或者用鼠标右键放大和缩小 Cabinet。要恢复 Cabinet 到缺省的视图, 选择 Orient 菜单中的 Home position
4. 修改问题定义以应用湍流模型

 **Problem setup** →  **Basic parameters**

- (a) 在 **Flow regime** 栏选择 **Turbulent**.
- (b) 选择缺省的 **Zero equation** 湍流模型。
- (c) 单击 **Accept** 按钮保存设置。

步骤 2: 建模

要建立模型, 首先改变 *cabinet* 到合适尺寸。然后创建 CPU 芯片、CPU 底板和 PCB 板的材料。最后创建硬盘、软驱、PCMCIA、CPU 芯片、PCB 板、电源、风扇和通风口的模型。

1. 改变 cabinet 的尺寸。

 **Model** →  **Cabinet**

- (a) 在弹出的 **Cabinet** 面板中, 单击 **Geometry** 标签。
- (b)

输入如下坐标值：

xS	0		xE	0.3454
yS	0		yE	0.0313
zS	0		zE	0.2355

(c)

单击 **Update** 按钮改变 cabinet 的尺寸，然后单击 **Done** 按钮关闭 cabinet 面板。

(d)

在 **Orient** 菜单中，选择 **Scale to fit** 以使 cabinet 的视图适合图形窗口的大小。

2.

创建 CPU 芯片、CPU 底板和 PCB 板的固体材料

提示：

也可以在定义对象时创建材料，其步骤参考练习 [2](#)。

(a)

单击  按钮创建一种新的材料。

(b)

在 **Model manager** 窗口中，双击 **material.1** 对象。

Icepak 会打开 **Materials** 面板。

(c)

定义 CPU 芯片的材料。

i.

在 **Name** 框中输入材料名称 **solid-cpuchip**。

ii.

单击 **Properties** 标签。

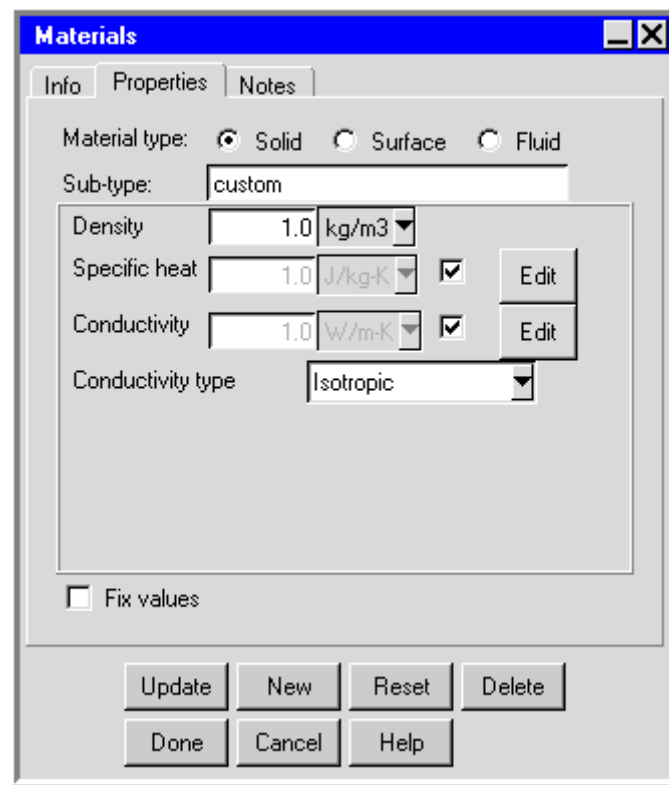
iii.

Material type 保持缺省设置 **Solid** 不变。

iv.

在 **Sub-type** 框中输入 **custom**。

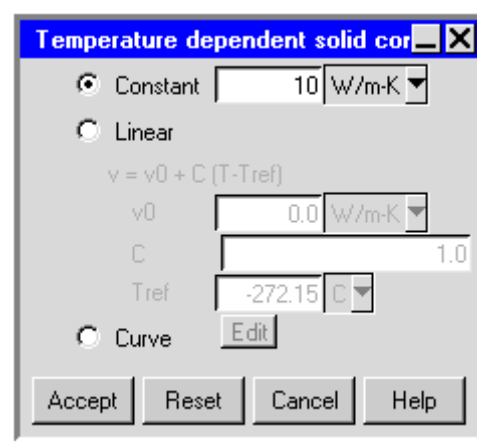
这会将新建的材料归入 *custom* 类中。你可将所有新建的材料归入这一类。



v.

单击 **Conductivity** 后面的 **Edit** 按钮。

弹出 *Temperature dependent solid conductivity* 面板。



vi.

选中 **Constant** ，输入值 10 W/m-K ，单击 **Accept** 按钮保存定义。

密度 (*density*) 和比热 (*specific heat*) 在计算中不会用到，所以你可以保持缺省值。固体材料的密度和比热只在瞬态模拟中使用。

vii.

单击 **Update** 按钮创建 CPU 芯片的材料。

(d)

定义 CPU 底板的材料。

i.

在 **Materials** 面板中单击 **New** 按钮。

ii.

单击 **Info** 标签.

iii.

在 **Name** 栏中输入材料名称 solid-cpubase.

iv.

单击 **Properties** 标签.

v.

在 **Sub-type** 栏中输入 custom.

vi.

单击 **Update** 按钮创建 CPU 底板的材料.

(e)

定义 PCB 板的材料.

i.

按同样的步骤创建名为 solid-pcb 的新材料, conductivity (导热系数) 设为 15 W/m-K.

(f)



单击 **Done** 按钮关闭面板.

3.

创建硬盘模型.

在模型中硬盘由中空的长方体 (*hollow block*) 表示.

(a)

单击  按钮创建一个新的 block, 单击  按钮打开 **Blocks** 面板.

Icepak 会在 *cabinet* 的中间创建一实体棱柱 *block*, 需要改变其尺寸和形状.

(b)

单击 **Info** 标签.

(c)

在 **Name** 框中输入对象名称 block-harddisk, 按 <Enter> 键确定.

(d)

单击 **Geometry** 标签.

(e)

输入如下坐标值:

xS	0.1127		xE	0.2127
yS	0.0127		yE	0.0247
zS	0.1568		zE	0.2268

(f)

单击 **Properties** 标签.

(g)

在 **Block type** 栏选择 **Hollow**.

(h)

单击 **Update** 按钮确认修改.

4.

创建软驱.

在模型中软驱也由中空的长方体 (*hollow block*) 表示。

(a)

在 **Blocks** 面板中单击 **New** 按钮.

(b)

单击 **Info** 标签.

(c)

在 **Name** 框中输入对象名称 `block-floppy`, 按<Enter> 键确定。

(d)

单击 **Geometry** 标签.

(e)

输入如下坐标值:

xS	0.2319		xE	0.3335
yS	0.0127		yE	0.0247
zS	0.1258		zE	0.2355

(f)

单击 **Properties** 标签.

(g)

在 **Block type** 栏选择 **Hollow**.

(h)

单击 **Update** 按钮确认修改.

5.

创建 CPU 芯片.

CPU 芯片由实心长方体表示。

(a)

在 **Blocks** 面板中单击 **New** 按钮.

对于 *CPU* 芯片, 你需要改片其尺寸, 设置为实心体并设置热属性。

(b)

单击 **Info** 标签.

(c)

在 **Name** 框中输入对象名称 `block-cpuchip`, 按<Enter> 键确定。

(d)

单击 **Geometry** 标签.

(e)

输入如下坐标值:

xS	0.1297		xE	0.1797
yS	0.0097		yE	0.0127
zS	0.0838		zE	0.1338

- (f) 单击 **Properties** 标签.
- (g) 在 **Block type** 栏选择缺省的 **Solid**.
- (h) 在 **Solid material** 下拉栏中选择 **solid-cpuchip**.
- (i) **Total power** 设为 10 W.
- (j) 单击 **Update** 按钮确认修改.

6.

创建 CPU 底板

CPU 底板由实心长方体表示。

- (a) 在 **Blocks** 面板中单击 **New** 按钮。
对于 CPU 底板，你需要改片其尺寸，设置为实心体并设置热属性。
- (b) 单击 **Info** 标签.
- (c) 在 **Name** 框中输入对象名称 **block- cpubase**，按<Enter> 键确定.
- (d) 单击 **Geometry** 标签.
- (e) 输入如下坐标值：

xS	0.1297		xE	0.1797
yS	0.0057		yE	0.0097
zS	0.0838		zE	0.1338

- (f) 单击 **Properties** 标签.
- (g) 在 **Block type** 栏选择缺省的 **Solid**.
- (h) 在 **Solid material** 下拉栏中选择 **solid- cpubase**.
- (i) **Total power** 设为缺省值 0 W.
- (j) 单击 **Update** 按钮确认修改.

7.

创建 CPU 风扇底板.

CPU 风扇底板由实心长方体表示。

(a)

在 **Blocks** 面板中单击 **New** 按钮并设置如下属性：

- **Name:** block-cpufanbase
- **Start/end:**

xS	0.1297		xE	0.1797
yS	0.0127		yE	0.0147
zS	0.0838		zE	0.1338

- **Block type:** Solid
- **Thermal specification:** Solid material = Al-Die Cast, Total power = 0.465 W

!

完成设置后记住单击 **Update** 按钮以确认修改。

8.

创建 PCMCIA 卡。

PCMCIA 卡由空心长方体表示。

(a)

在 **Blocks** 面板中单击 **New** 按钮并设置如下属性：

- **Name:** block-pcmcia
- **Start/end:**

xS	0.2487		xE	0.3335
yS	0.0057		yE	0.0247
zS	0.0461		zE	0.1113

- **Block type:** Hollow

9.

创建电源模块。

电源模块由外部的实心长方体和内部的空心长方体组成。

(a)

对于实心长方体，在 **Blocks** 面板中单击 **New** 按钮并设置如下属性：

- **Name:** block-ps1
- **Start/end:**

xS	0		xE	0.1377
yS	0.0057		yE	0.0227
zS	0		zE	0.0461

- **Block type:** Solid
- **Thermal specification:** Solid material = Al-Extruded, Total power = 0 W

(b)

对于空心长方体，在 **Blocks** 面板中单击 **New** 按钮并设置如下属性：

- **Name:** block-ps2
- **Start/end:**

xS	0.003		xE	0.1347
yS	0.0087		yE	0.0197
zS	0		zE	0.0431

- **Block type:** Hollow

10.

创建一个空心长方体代表一组不发热的器件。

(a)

在 **Blocks** 面板中单击 **New** 按钮并设置如下属性：

- **Name:** block-space
- **Start/end:**

xS	0.0127		xE	0.1003
yS	0.0097		yE	0.0227
zS	0.0838		zE	0.2355

- Block type: Hollow

(b)

单击 **Done** 按钮确认修改并关闭 **Blocks** 面板。

11.

将 block 器件归入一组。

(a)

创建组。

Edit → **Current group** → **Create**

i.

在 **Query** 对话框中保持缺省名称 group.1 不变。

ii.

在 **Query** 对话框中单击 **Done** 按钮。

(b)

将所有 block 对象添加到 group.1 组。

i.

在 **Model manager** 窗口中，单击 **Groups** 前面的十号。

ii.

右键单击 group.1，选择 **Add** → **Name/pattern**

弹出 **Query** 对话框。

iii.

在 **Pattern for objects to add** 文本框中输入 block*，单击 **Done** 按钮确定。

另外，你也可以选择 **Add** → **Screen select entry**，

然后按照图形窗口中的提示选择全部的 9 个 block。

提示：

如果你不小心选中了其他对象，可以右键单击 **Model manager** 窗口中 group.1 下的对象，在弹出的菜单中选择 **Remove from group** 移走对象。

12.

创建第一块 PCB 板。

模型中的 PCB 板采用 plate 对象表示而不是 PCB 对象。你将指定这些 plate 为有厚度可导热板。

(a)

单击  按钮创建一个新的 plate, 然后单击  按钮打开 **Plates** 面板.

对于第一个 PCB, 你需要改变它的方位, 尺寸和热物性。

(b)

在 **Name** 框中输入对象名称 pcb1, 按<Enter> 键确定。

(c)

单击 **Geometry** 标签.

(d)

在 **Plane** 下拉栏中选择 **X-Z**.

(e)

输入如下坐标值:

xS	0. 2037		xE	0. 3335
yS	0. 0042		yE	--
zS	0		zE	0. 2268

(f)

单击 **Properties** 标签.

(g)

在 **Thermal model** 栏选择 **Conducting thick**.

(h)

设置 **Thickness** (厚度) 为 0. 0015 m.

(i)

在 **Solid material** 下拉栏中选择 **solid-pcb**.

(j)

保持 **Total power** 为缺省值 0 W.

(k)

单击 **Update** 按钮确认修改.

13.

创建第二块 PCB 板.

(a)

在 **Plates** 面板中单击 **New** 按钮, 并设置如下属性:

- **Name:** pcb2
- **Plane:** X-Z
- **Start/end:**

xS	0. 1127		xE	0. 2037
yS	0. 0042		yE	--
zS	0. 2268		zE	0. 0758

- Thermal model: Conducting thick
- Thickness: 0.0015 m
- Solid material: solid-pcb
- Total power: 0 W

!

完成设置后记住单击 Update 按钮以确认修改。

14.

创建第一块电源板.

(a)

在 Plates 面板中单击 New 按钮，并设置如下属性：

- Name: ps-plat1
- Plane: X-Z
- Start/end:

xS	0		xE	0.1377
yS	0.0042		yE	--
zS	0		zE	0.0698

- Thermal model: Conducting thick
- Thickness: 0.0015 m
- Solid material: solid-pcb
- Total power: 2 W

15.

创建第二块电源板.

(a)

在 Plates 面板中单击 New 按钮，并设置如下属性：

- Name: ps-plate2
- Plane: X-Z
- Start/end:

xS	0.1377		xE	0.1977
yS	0.0042		yE	--
zS	0.0078		zE	0.0698

- Thermal model: Conducting thick
- Thickness: 0.0015 m
- Solid material: solid-pcb
- Total power: 0.4 W

16.

创建一个接触热阻.

(a)

在 **Plates** 面板中单击 **New** 按钮，并设置如下属性：

- Name: cont-resist
- Plane: X-Z
- Start/end:

xS	0.1297		xE	0.1797
yS	0.0127		yE	--
zS	0.0838		zE	0.1338

- Thermal model: Contact resistance, Specify resistance = 0.0025 C/W, Total power = 0 W

(b)

单击 **Done** 按钮确认修改并关闭 **Plates** 面板.

17.

创建 7 个热源以模拟芯片的功耗及 PCB 板上的功耗器件。

(a)

单击  按钮创建一个新的 source，然后单击  按钮打开 **Sources** 面板。

(b)

创建第一个 source (**source.1**).

i.

单击 **Geometry** 标签.

ii.

对于 Shape 选择缺省的 Rectangular.

iii.

将 Plane 改为 X-Z.

iv.

输入如下坐标值:

xS	0.1157		xE	0.1427
yS	0.0057		yE	--
zS	0.1598		zE	0.1818

v.

单击 Properties 标签.

vi.

在 Heat source parameters 栏中设置 Total heat 为 1 W.

vii.

单击 Update 按钮确认修改。

(c)

创建第二个 source (source.2).

i.

在 Sources 面板中单击 New 按钮并设置如下参数:

- Shape: Rectangular
- Plane: X-Z
- Start/end:

xS	0.1157		xE	0.1877
yS	0.0057		yE	--
zS	0.1922		zE	0.21355

- Heat source parameters, Total heat = 0.594 W

!

完成设置后记住单击 Update 按钮以确认修改。

(d)

重复以上步骤创建 source.3 到 source.7, 参数设置如下:

- source. 3:
 - Shape: Rectangular
 - Plane: X-Z
 - Start/end:

xS	0.2887		xE	0.2607
yS	0.0042		yE	--
zS	0.0628		zE	0.0908

- Heat source parameters, Total heat = 0.55 W

- source. 4:
 - Shape: Rectangular
 - Plane: X-Z
 - Start/end:

xS	0.2887		xE	0.2607
yS	0.0042		yE	--
zS	0.1578		zE	0.1848

- Heat source parameters, Total heat = 1.15 W

- source. 5:
 - Shape: Rectangular
 - Plane: X-Z
 - Start/end:

xS	0.2257		xE	0.1877
yS	0.0042		yE	--
zS	0.1168		zE	0.1538

- Heat source parameters, Total heat = 0.594 W
- source. 6:
 - Shape: Rectangular
 - Plane: X-Y
 - Start/end:

xS	0.1003		xE	0.1277
yS	0.0057		yE	0.0227
zS	0.0461		zE	--

- Heat source parameters, Total heat = 1.5 W
- source. 7:
 - Shape: Rectangular
 - Plane: X-Y
 - Start/end:

xS	0.0377		xE	0.0677
yS	0.0057		yE	0.0227
zS	0.0461		zE	--

- Heat source parameters, Total heat = 1.2 W

(e)

单击 Done 按钮关闭 Sources 面板.

18.



创建 CPU 风扇.

CPU 风扇是圆形风扇, 其特性曲线定义了体积流量与压降的关系:

Volumetric Flow Rate	Pressure Drop
0	25.2
1.33e-4	20.8
2.33e-4	15.6

2.99e-4	10.4
4.05e-4	0

(a)

单击  按钮创建一个新的风扇，然后单击  按钮打开 **Fans** 面板。

(b)

单击 **Info** 标签。

(c)

在 **Name** 框中输入对象名称 `cpu-fan`，按 <Enter> 键确定。

(d)

单击 **Geometry** 标签。

(e)

对于 **Model as** 保持缺省选项 **2d**。

(f)

对于 **Shape** 保持缺省选项 **Circular**。

(g)

在 **Plane** 下拉栏中选择 **X-Z**。

(h)

在 **Location** 栏中输入 **Center**（中心点）坐标如下：

xC	0.1547
yC	0.0217
zC	0.1088

(i)

设置外圆半径 (**Radius**) 为 0.016 m，内圆半径 (**Int radius**) 为 0.008 m。

(j)

单击 **Properties** 标签。

(k)

在 **Fan type** 下拉栏中选择 **Internal**。

(l)

在 **Direction** 栏保持缺省设置为 **Normal and Positive**。

(m)

在 **Fan flow** 栏选择 **Non-linear**。

(n)

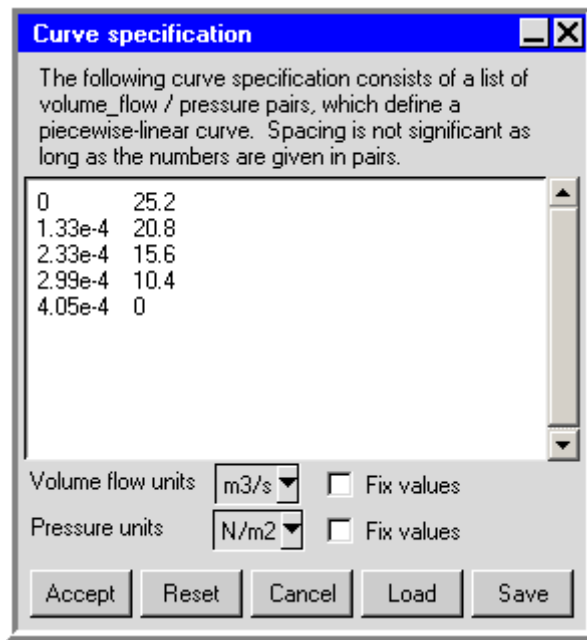
定义流量曲线。

i.

单击 **Non-linear** 旁边的 **Edit** 按钮选择 **Text editor**。

ii.

在 **Curve specification** 面板中输入上述表中的数据。



iii.

在 **Curve specification** 面板中单击 **Accept** 按钮

(o)

在 **Fans** 面板中单击 **Update** 按钮.

提示:

如果你想看特性曲线图, 单击 **Curve** 旁边的 **Edit** 按钮, 然后选择 **Graph editor**.

19.

创建系统排风风扇.

排风风扇是圆形风扇, 其特性曲线定义了体积流量与压降的关系:

Volumetric Flow Rate	Pressure Drop
0	11.76
2.49e-4	7.448
4.99e-4	4.41
7.48e-4	3.136
9.47e-4	0

(a)

在 **Fans** 面板中单击 **New** 按钮并给定如下参数:

- Name: exh-fan
- Model as: 2d
- Shape: Circular
- Plane: X-Y
- Center point:

xC	0.1677
yC	0.0148
zC	0

- **Radius:** 0.012 m
- **Int radius:** 0.006 m
- **Fan type:** exhaust
- **Fan flow:** Non-linear (数据在上表中给定, 输入步骤与 CPU 风扇同)

(b)
单击 **Done** 确认修改并关闭 **Fans** 面板。

20.

创建 CPU 风扇的通风口。

单击  按钮创建一个新的 grille, 单击  按钮打开 **Grille** 面板。

(a)
在 **Name** 框中输入对象名称 grille-fan, 按<Enter> 键确定。

(b)
单击 **Geometry** 标签。

(c)
在 **Shape** 下拉栏中选择 **Circular**。

(d)
在 **Plane** 下拉栏中选择 **X-Z**。

(e)
在 **Location** 栏中输入 **Center** (中心点) 坐标如下:

xC	0.1547
yC	0.0313
zC	0.1088

(f)
设置 **Radius** (半径) 为 0.016 m。

(g)
单击 **Properties** 标签。

(h)
对于 **Velocity loss coefficient** (速度损失系数), 选择 **Approach** 并设置 **Quadratic coeff.** 为 30。

(i)
Flow direction (流动方向) 保持为缺省的 of **Normal out**。

(j)

单击 **Update** 按钮确认修改.

21.

在 cabinet 底部创建两个 grille, 在 cabinet 背部创建一个 grille.

(a)

在 **Grille** 面板中单击 **New** 按钮创建第一个底部 grille, 并设置如下参数:

- **Name:** grille-btml
- **Shape:** Rectangular
- **Plane:** X-Z
- **Start/end:**

xS	0.3394		xE	0.3454
yS	0		yE	--
zS	0.1478		zE	0.2178

- **Velocity loss coefficient:** Approach, Quadratic coeff. = 3
- **Flow:** Normal out

!

在定义结束后, 务必点击 **Update** 按钮.

(b)

创建第二个底部 grille 和背部 grille, 并设置如下参数:

- 第二个底部 grille:
 - **Name:** grille-btm2
 - **Shape:** Rectangular
 - **Plane:** X-Z
 - **Start/end:**

xS	0		xE	0.006
yS	0		yE	--
zS	0.1478		zE	0.2178

- **Velocity loss coefficient:** Approach, Quadratic coeff. = 3
- **Flow:** Normal out
- 背部 grille:
 - **Name:** grille-back
 - **Shape:** Rectangular

- Plane: X-Y
- Start/end:

xS	0.1127	xE	0.2037
yS	0	yE	0.0127
zS	0.2355	zE	--

- Velocity loss coefficient: Approach, Quadratic coeff. = 3
- Flow: Normal out

(c)

创建所有的 grille 后, 单击 Done 按钮关闭 Grille 按钮.

完整的模型如图 4.2 所示, 图中显示的是等轴侧图 (该视图可在 Orient 菜单中选择).

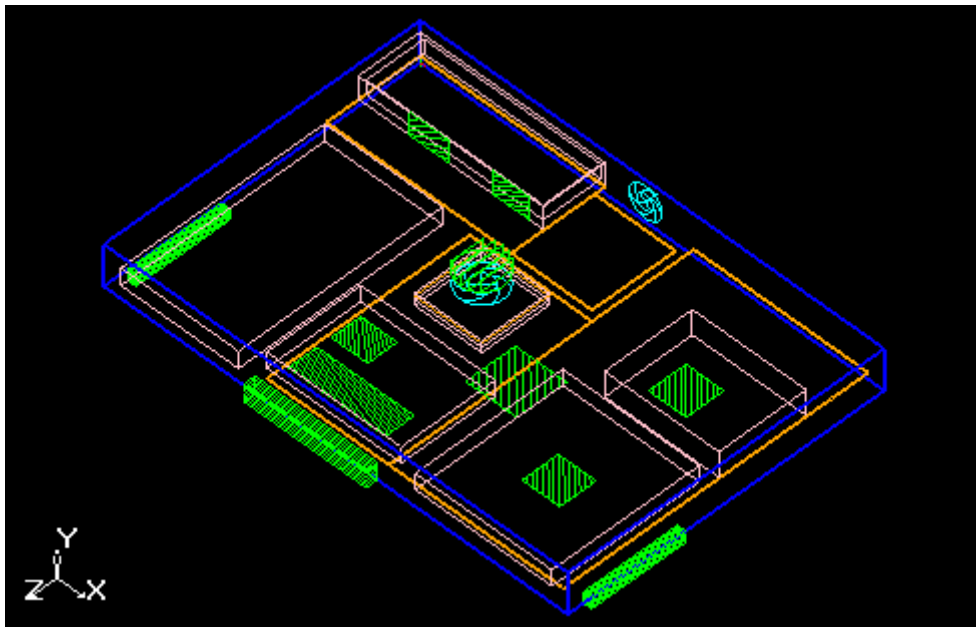


图 4.2: 笔记本电脑的完整模型

22.

检查模型以确认没有问题 (如 对象离得太近会导致无法正确生成网格).

Model → Check model

Icepak 会在 Message 窗口中报告说未发现任何问题。

23.

检查模型中对象的定义以确认设置正确。

Edit → Summary

Icepak 会在 Parameter summary 面板中列出模型中各对象的详细信息。你可以检查, 若无问题单击 Done 按钮关闭面板。若发现有不正确的设置, 你可以在 Parameter

summary 面板中直接修改：在想要修改的属性上单击，并输入正确值即可。你也可返回到模型对象面板，按最初设置的方式一样输入新的值。

步骤 3：生成网格

对于这个模型，只需一步就可生成网格，而且对象壁面附近的网格质量足够好，可以正确求解流场特性。

Model → Generate mesh

1. 生成模型的网格。

(a)

在 **Mesh control** 面板中，设置 **Max X size** 为 0.02，**Max Y size** 为 0.004，**Max Z size** 为 0.02。

(b)

选中 **Init height** 选项，并设为 0.002。

(c)

在 **Mesh parameters** 下拉栏中选择 **Coarse**。

(d)

设置 **Max size ratio** 为 3。

虽然生成的是粗 (*coarse*) 网格，减小 **Max size ratio** 的值会保证对象边界附近的网格不至于太大。

(e)

单击 **Generate mesh** 按钮。

Icepak 会提示说模型对象之间的最小间距小于模型中对象最小尺寸的 10%。有三种选择：停止生成网格、忽略警告、和允许 **Icepak** 自动修正尺寸。

(f)

在 **Minimum separation** 面板中单击 **Change value and mesh** 按钮接受 **Icepak** 自动修正尺寸，继续生成网格。

网格生成后，**Mesh control** 面板中 **Display**、**Quality** 和 **Export** 标签变得有效。

2.

检查模型中所有对象的网格质量。

(a)

在 **Mesh control** 面板中单击 **Display** 标签。

(b)

选中 **Surface** 再选择 **All objects**。

(c)

选中 **Display mesh** 选项。

所有对象表面的网格显示如图 [4.3](#)。

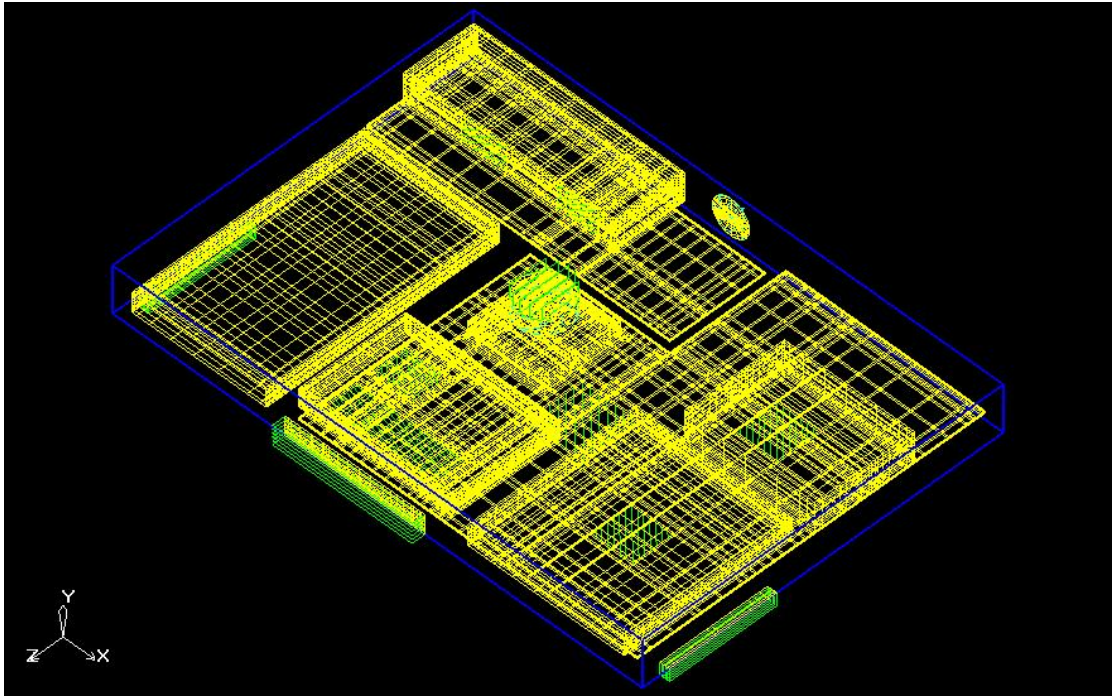


图 4.3: 所有对象 Mesh on All Object Faces

3.

检查模型截面上的网格.

(a)

取消 **Display mesh** 和 **Surface** 选项.

(b)

选中 **Cut plane** 选项.

(c)

在 **Set position** 下拉栏中选择 **Point and normal** (一点和法线方向).

(d)

显示 $x-y$ 平面上的网格.

i.

保持 (PX, PY, PZ) 的缺省设置为 (0, 0, 0.117), (NX, NY, NZ) 的缺省设置为 (0, 0, 1).

这样的设置会显示通过 (0, 0, 0.117) 点的 $x-y$ 平面上的网格。

ii.

选中 **Display mesh** 选项.

iii.

滑动 **Plane location** 下的滑杆来移动平面的位置。

(e)

显示 $y-z$ 和 $x-z$ 平面的网格.

i.

取消 **Display mesh** 选项.

ii.

将 (PX, PY, PZ) 改为 (0, 0, 0)，将 (NX, NY, NZ) 改为 (1, 0, 0) 或 (0, 1, 0)。

这样设置会分别显示通过 (0, 0, 0) 点的 $y-z$ 平面和 $x-z$ 平面。

iii.

Turn on the **Display mesh** option.

4.

取消网格显示。

(a)

取消 **Display mesh** 选项。

(b)

单击 **Close** 按钮关闭 **Mesh control** 面板。

步骤 4：检查流动状态

开始求解之前，有必要估算一下模型的 *Reynolds* 数和 *Peclet* 数，看是否模拟了正确的流态。

1.

检查模型的 *Reynolds* 数和 *Peclet* 数。

 **Solution settings** →  **Basic settings**

(a)

在 **Basic settings** 面板中单击 **Reset** 按钮。

(b)

检查 **Message** 窗口输出的值。

Reynolds 数和 *Peclet* 数大约分别是 4200 和 3000，因此流态是湍流。既然已经设定为湍流了，则不需要做任何更改。

(c)

单击 **Accept** 按钮确认新的求解器设置。

步骤 5：保存模型到项目文件

Icepak 在开始求解之前会自动保存模型，但是自己保存模型（包括网格）仍然是一个好的习惯。如果你在求解之前退出 *Icepak*，你可以重新打开已保存的项目继续分析。（如果你在当前的 *Icepak* 任务中开始计算，*Icepak* 会直接覆盖以前保存的项目文件。）

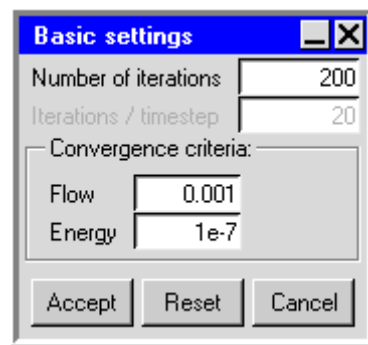
File → **Save project**

步骤 6：求解

1.

将 Number of iterations (迭代步数) 增大为 200.

 Solution settings →  Basic settings



(a)

在 Basic settings 面板中单击 Accept 按钮.

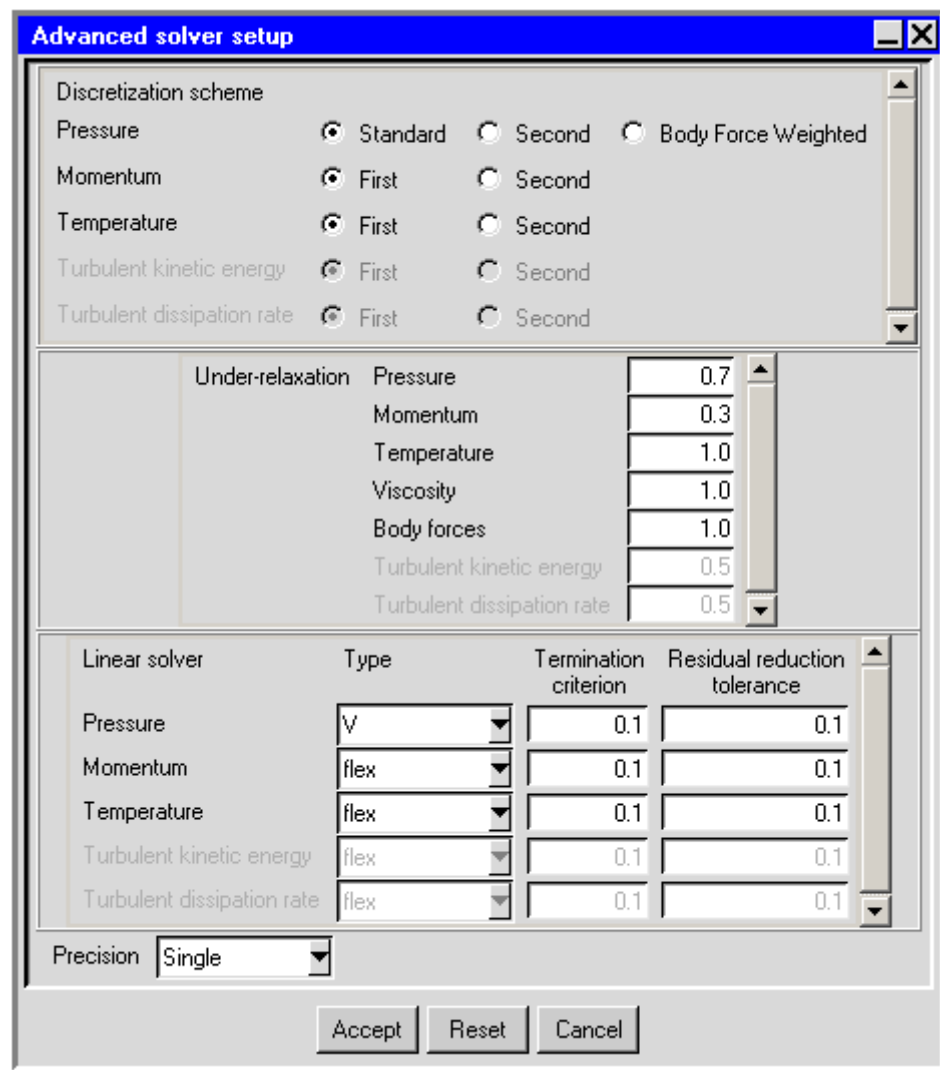
2.

修改松弛系数 (under-relaxation factors).

由于模型相对较为复杂, 你需要改变松弛系数 (under-relaxation factors) 的缺省设置.

 Solution settings →  Advanced settings

弹出 *Advanced solver setup* 面板.



(a)

设置 Pressure 的松弛系数 (Under-relaxation factor) 为 0.7, Momentum 为 0.3.

(b)

在 Advanced solver setup 面板中单击 Accept 按钮.

3.

设置 z 方向速度的初始条件.

 Problem setup \rightarrow  Basic parameters

(a)

在 Initial conditions 栏中, 设置 Z velocity 的初始值为 -1 m/s.

指定负 z 方向的初始速度是为了确保排风风扇的气流方向在计算的开始就是正确的。

由于 Icepak 传递信息给求解器的方式, 可能导致排风风扇的气流方向与排风方向相反, 给定正确初始速度方向可以避免这个问题。在定常问题的模拟中 (如本练习), 初始速度对最后的求解结果没有影响。

(b)

单击 Accept 按钮保存设置。

4.

开始计算.

Solve → **Run solution**

(a)

保持 **Solve** 面板中的缺省设置.

(b)

单击 **Start solution** 按钮开始求解。

求解将在 100 步迭代后收敛。但是，收敛所需的迭代步数随电脑的不同而略有差别。

步骤 7：检查结果

本练习的目的是检验风扇及通风口提供的风量能否满足冷却 CPU 芯片、电源、硬盘和 PCB 板的需要。你可以运用 *Icepak* 的图形化后处理工具检查模拟的结果。

1.

显示硬盘、软驱、CPU 芯片、PCMCIA 卡和电源表面的温度云图。

这些对象是用 *block* 模拟的，因此你将要显示所有 *block* 上的温度云图。

Post → **Object face**

(a)

在 **Name** 栏中输入名称 `face-tempblocks`。

(b)

在 **Object** 下拉栏中选择 `block` 组 `group. 1`。

提示：

你需要向下滚动下拉栏并打开 *Groups* 节点以显示 `group. 1`。

(c)

选中 **Show contours** 选项，单击 **Parameters** 按钮。

弹出 *Object face contours* 面板。

(d)

对于 **Color levels** 选择 **Calculated**，并在右边的下拉栏中选择 **This object**。

(e)

单击 **Done** 按钮确认设置，更新图形显示窗口并关闭 *Object face contours* 面板。

图 4.4 显示了所有 `block` 表面的温度云图。注意 CPU 芯片是计算域中最热的器件，最高温度达 91 度。

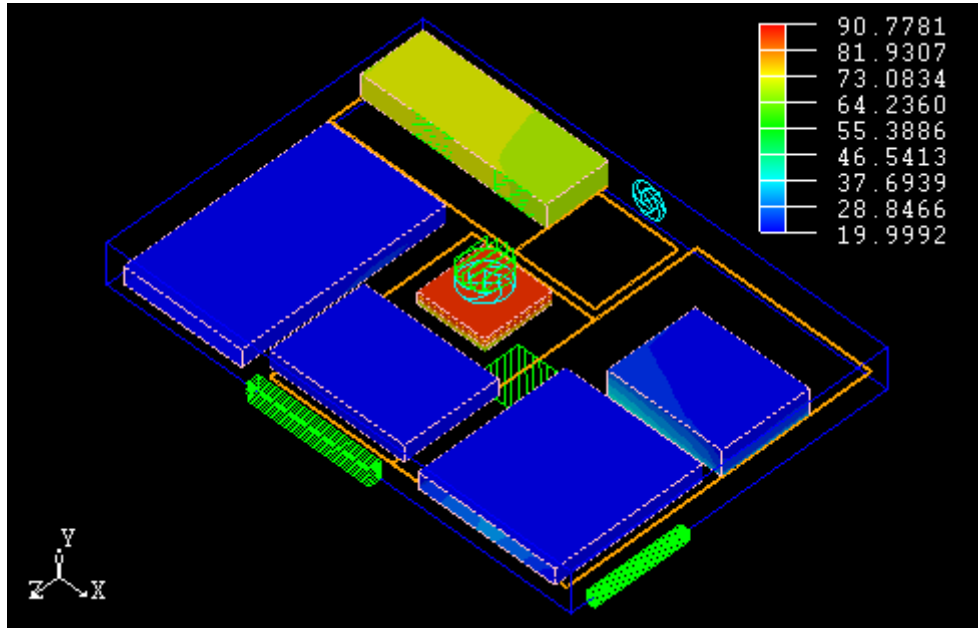


图 4.4: 硬盘、软驱、CPU 芯片、PCMCIA 卡和电源表面的温度云图

(f)

在 **Object face** 面板中, 取消 **Active** 选项并单击 **Done** 按钮.

2.

显示模型 $x-z$ 截面的速度矢量.

Post \rightarrow **Plane cut**

(a)

在 **Name** 栏中输入名称 **cut-vectors**.

(b)

选中 **Show vectors**.

(c)

单击 **Create** 按钮.

(d)

改变图形窗口的视图为正 z 方向视图.

Orient \rightarrow **Orient positive Z**

(e)

在 **Plane cut** 面板的 **Set position** 下拉栏中选择 **Horizontal-screen select**.

(f)

在图形窗口的 **cabinet** 中心处单击鼠标左键.

(g)

在 **Plane cut** 面板中单击 **Update** 按钮.

Icepak 会创建一个通过所选点的垂直图形窗口的水平截面. 在这个例子中, 创建的就是 $x-z$ 平面, 该平面通过 **cabinet** 的中心点. 图 4.5 是等轴侧视图 (*Isometric view*).

(h)

滑动 Plane cut 面板中 Plane location 下的滑杆来移动平面的位置。

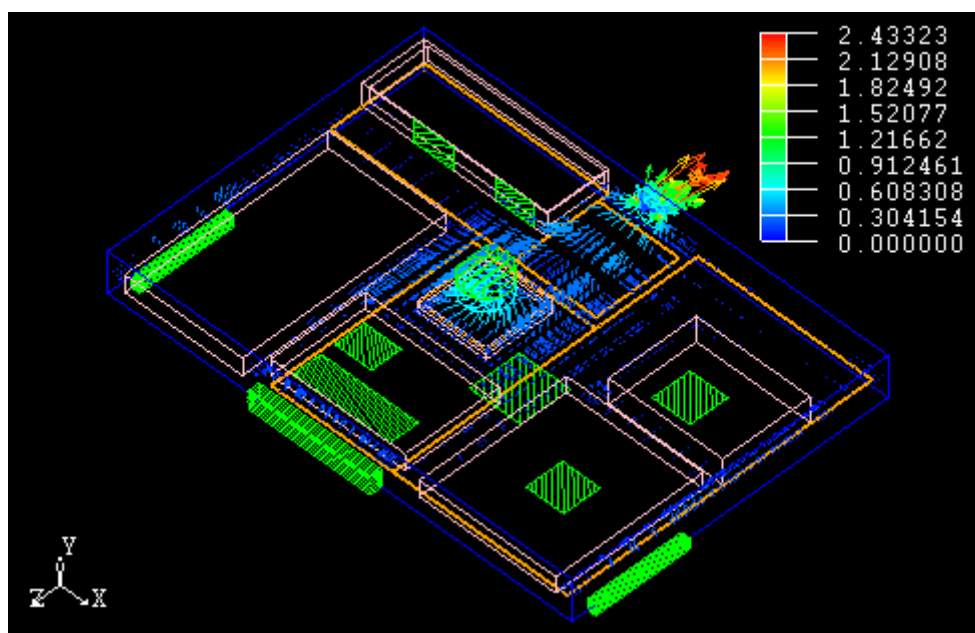


图 4.5: x - z 截面的速度矢量

3.

保存后处理对象到文件.

如果你继续学习练习 5, 你可以读取后处理对象而不需要重新创建.

Post → Save post objects to file

弹出 *File selection* 对话框.

(a)

保持缺省的文件名 (post_objects), 单击 Save 按钮.

总结

在这个练习中, 你创建并求解了一个通过两个风扇和四个通风口冷却的笔记本电脑模型以确定其内部的温度分布. 发现 CPU 芯片是系统中最热的器件, 最高温度达 91°C . 正常情况下 CPU 芯片的最高温度应在 95°C 以下. 由于设计需要留一定的安全系数, 最高温度应该更低.

在下一个练习中, 你会更深入的研究这个问题并致力于将低芯片的最高温度到可接受的范围之内.

练习 5 修改的笔记本电脑

介绍

本练习是练习 [4](#) 的后续. 目的是改进练习 [4](#) 中笔记本电脑的设计, 使CPU芯片的最高温度降到可接受的范围之内。改进的方法是在排风风扇附近放置一散热器, 并通过热管连接到CPU芯片。

通过这个练习你会了解如何:

- 如何在以前保存的项目基础上开始新的工作
- 在已有的模型中增加一个散热器 (heatsink) 和一个热管 (heat pipe)
- 重新应用前一个项目的后处理对象

预备知识

本练习假设你熟悉**Icepak** 的菜单结构并了解练习 [4](#) 的内容, 因此设置和求解过程中的一些步骤不会详细列出。

练习 [4](#) 中保存的项目文件将是本练习的工作起点。

问题描述

和练习 [4](#) 一样, 计算域包括一个硬盘、一个软驱, 一个 CPU 芯片, 一块 PCMCIA 卡, 四块PCB 板和一个电源模块. 整个系统由两个风扇和四个通风口冷却. 系统内的流动属于湍流. 在本练习中, 你会增加一个散热器 (heatsink), 并通过热管连接到CPU芯片. 模型如图 [5.1](#) 所示.

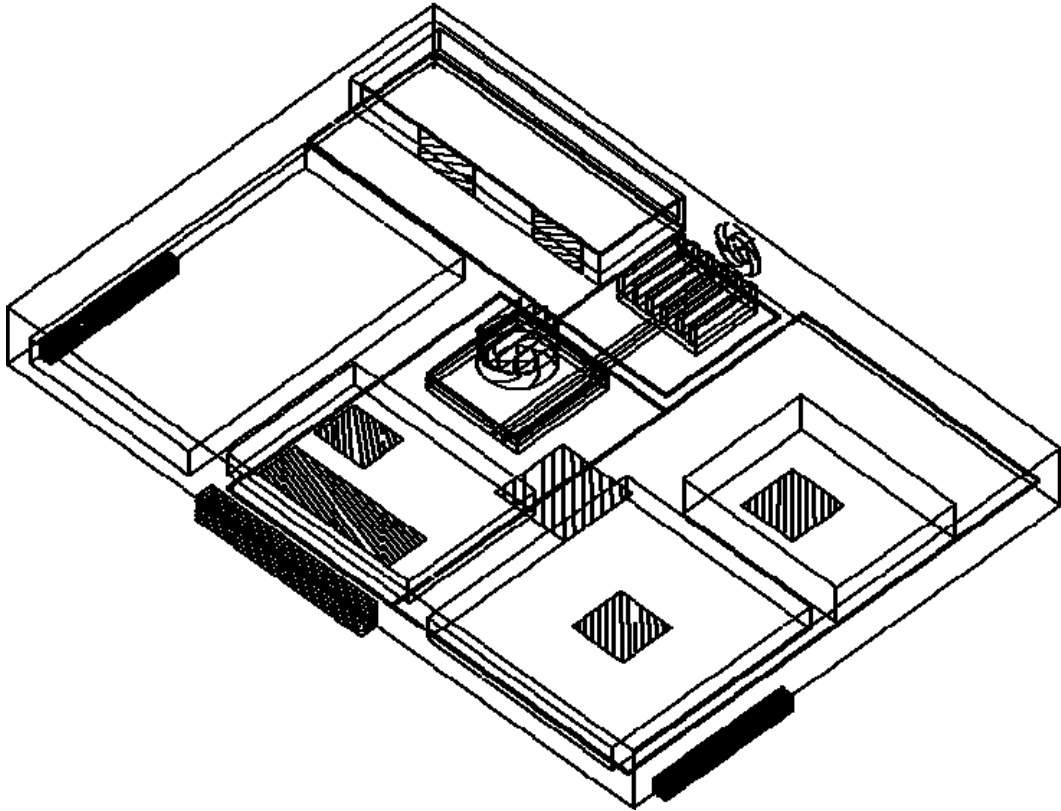


图 5.1: 问题描述

步骤 1: 打开一个现存的项目

1. 打开Icepak, 可参考用户指南 (User Guide) [1.5](#) 节.
Icepak 打开后, 自动弹出 *New/existing* 面板.
2. 在 *New/existing* 面板中单击 **Existing** 按钮.
弹出 *Open project* 面板.
3. 在 *Open project* 面板中, 选择 **Directories** 列表中的 *notbk1*, 然后单击 **Open** 按钮.
4. 载入后处理对象.
练习 [4](#) 结束前保存了一个后处理文件, 你可以在本联系中载入。

Post → Load post objects from file

- (a) 在 **File selection** 对话框中, 选择 *post_objects* 文件。
- (b) 单击 **Open** 按钮。

Icepak 会载入练习 [4](#) 保存的后处理对象。载入过程可能会需要几分钟的时间。如果在练习 [4](#) 结束时速度矢量图处于活动状态, 则会自动显示在图形窗口中。你可以在 *Model manager* 窗口的 *Postprocessing* 下鼠标右键单击 *cut-vectors*, 然后关闭

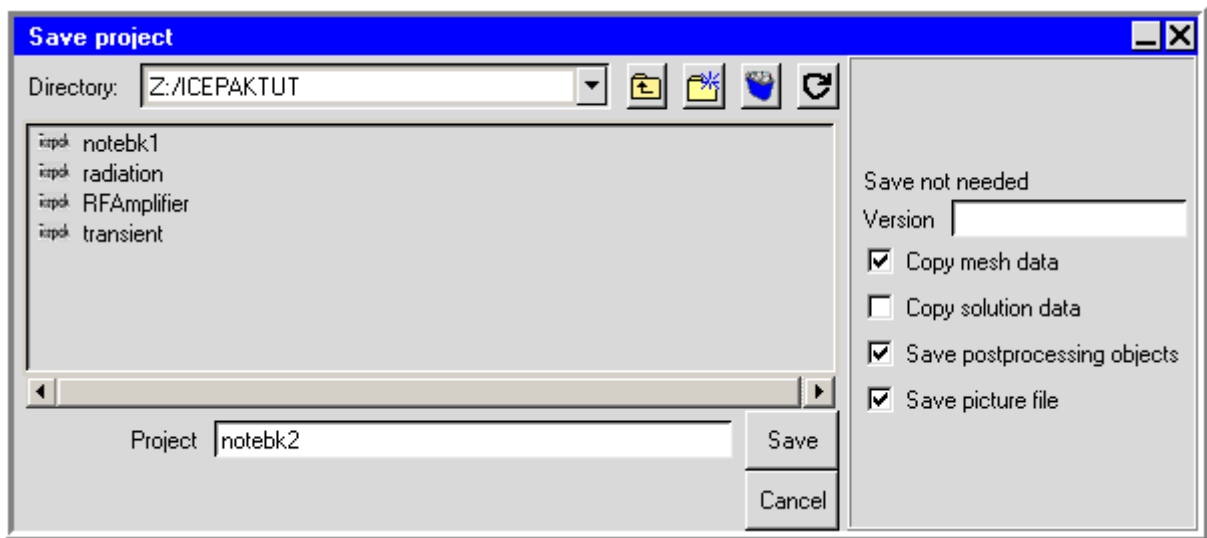
Active 选项。这会将*cut-vectors* 后处理对象移动到*Model manager* 窗口的*Inactive* 节点下。

5.

保存到新的项目文件。

这样你对模型的任何修改不会影响原来的项目文件。

File → Save project as



(a)

在 **Project** 文本框中，将 **notebk1** 改为 **notebk2**。

(b)

如果在 **Version** 文本框有内容，则删掉它。

(c)

单击 **Save** 按钮。

步骤 2：增加散热器和热管


你将在原有模型基础上增加一个散热器和一个热管。散热器由底板和六个翅片组成，底板贴在电源板 (*ps-plate2*) 上。

1.


创建散热器。

散热器模型由几块*block*拼接而成。当然你也可以用*Icepak* 提供的*heatsink*对象或者详细的*heatsink*宏建立散热器的模型。详细内容参考用户指南 (*User's Guide*) [22](#) 章。

(a)

单击  按钮创建一个新的 **block**。

(b)

单击  按钮打开 **Blocks** 面板。

(c)

给这个 **block** 指定如下参数：

- **Name**: hs-base

- Start/end:

xS	0.1477		xE	0.1907
yS	0.0057		yE	0.0097
zS	0.0128		zE	0.0461

- Block type: Solid

(d)

单击 **Update** 按钮确定。

(e)

在 **Blocks** 面板中单击 **New** 按钮创建第一个翅片，并指定如下参数：

- Name: fin
- Start/end:

xS	0.1477		xE	0.1507
yS	0.0097		yE	0.0197
zS	0.0128		zE	0.0461

- Block type: Solid

(f)

单击 **Done** 按钮确认，并关闭 **Blocks** 面板。

(g)

拷贝生成 5 个翅片，在 **z** 方向间距 0.008 m。

i.

单击  按钮打开 **Copy block fin** 面板。

ii.

输入 **Number of copies** 值为 5。

iii.

选中 **Translate** 选项并指定 **X offset** 为 0.008。

iv.

单击 **Apply** 按钮。

Icepak 生成第一个翅片的 5 个拷贝，在 **x** 方向间距为 0.008 m。

2.

创建热管。



在本练习中热管通过等效热传导系数来模拟。这是一种近似，热管几何模型与真实热管一样，但由于真实热管具有非常大的换热能力，你需要指定热管模型在主流量具有很

大的导热系数。等效热传导系数 (k_{eff}) 可以由下式近似求出：

$$k_{\text{eff}} = \frac{L_p}{AR_{\text{th}}} \quad (5.5-1)$$

式中 L_p ， A ，和 R_{th} 分别是长度，截面面积及热管的热阻。对于本练习，假设 $R_{\text{th}} = 0.2$ ，则求得 $k_{\text{eff}} \approx 30000$ 。材料另外两个方向的导热系数假定为 150。在 **Materials** 面板中的 *orthotropic conductivity* 选项下可以改变这些值。

(a)

单击  按钮创建一个新的 block，然后单击  按钮打开 **Blocks** 面板。

(b)

给热管指定如下参数：

- **Name:** heatpipe
- **Start/end:**

xS	0.1667		xE	0.1717
yS	0.0057		yE	0.0097
zS	0.0128		zE	0.1338

- **Block type:** Solid

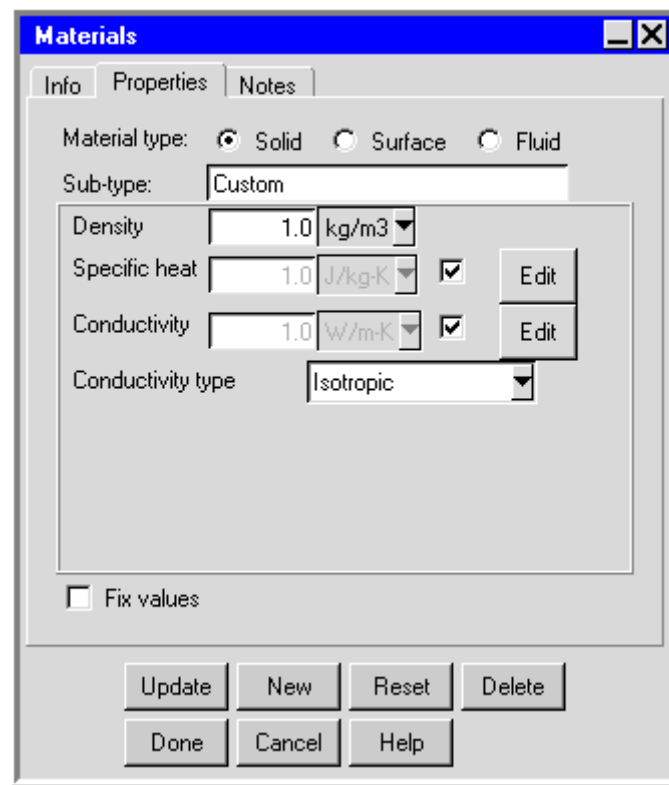
(c)

给热管指定一种新的材料。

i.

在 **Thermal specification** 的 **Solid material** 下拉栏中，选择 **Create material**。

弹出 **Materials** 面板。



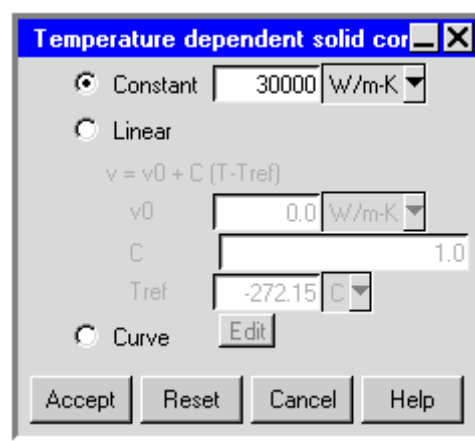
ii.

单击 **Properties** 标签.

iii.

单击 **Conductivity** 后面的 **Edit** 按钮.

打开 *Temperature dependent solid conductivity* 面板.



iv.

在 **Constant** 栏中输入 30000 W/m-K, 单击 **Accept** 按钮.

密度 (*density*) 和比热 (*specific heat*) 在计算中不会用到, 所以你可以保持缺省值. 固体材料的密度和比热只在瞬态模拟中使用.

v.

在 **Materials** 面板的 **Conductivity type** 下拉栏中选择 **Orthotropic**, 为指定各方向的导热系数输入如下数值:

- X: 0.005

- Y: 0.005
- Z: 1

vi.

在 **Materials** 面板单击 **Done** 按钮。

Blocks 面板中会显示 *Solid material* 是 *heatpipe solid_material*。

(d)

在 **Blocks** 面板中单击 **Done** 按钮。

完整的模型如图 5.2 所示, 图中显示的是等轴侧图 (该视图可在 **Orient** 菜单中选择)。

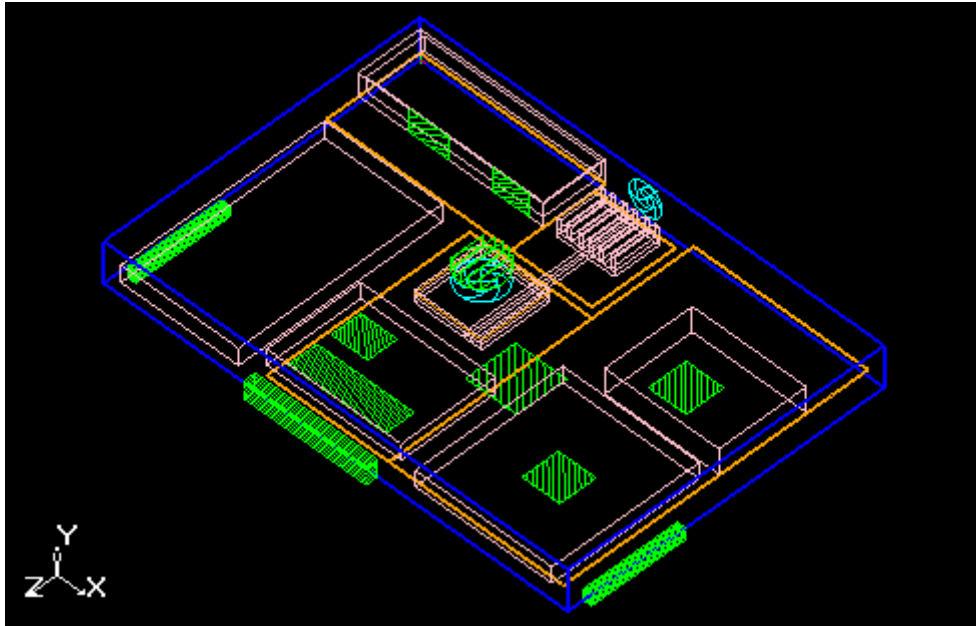


图 5.2: 修改后笔记本电脑的完整模型

3.

检查模型以确认没有问题 (如对象离得太近会导致无法正确生成网格)。

Model → **Check model**

4.

检查模型中对象的定义以确认设置正确。

Edit → **Summary**

Icepak 会在 **Parameter summary** 面板中列出模型中各对象的详细信息。你可以检查, 若无问题单击 **Done** 按钮关闭面板。若发现有不正确的设置, 你可以在 **Parameter summary** 面板中直接修改: 在想要修改的属性上单击, 并输入正确值即可。你也可返回到模型对象面板, 按最初设置的方式一样输入新的值。

步骤 3: 生成网格

对于这个模型, 只需一步就可生成网格, 而且对象壁面附近的网格质量足够好, 可以正确求解流场特性。

Model → Generate mesh

1. 生成模型的网格。
 - (a) 保持在练习Tutorial4中设定的网格参数。
 - (b) 单击 **Generate mesh** 按钮。
2. 以练习 4 同样的方法检查网格质量。

步骤 4：检查流动状态

开始求解之前，有必要估算一下模型的 *Reynolds* 数和 *Peclet* 数，看是否模拟了正确的流态。

1. 检查模型的 *Reynolds* 数和 *Peclet* 数。

 **Solution settings** →  **Basic settings**

- (a) 在 **Basic settings** 面板中单击 **Reset** 按钮。
- (b) 检查 **Message** 窗口输出的值。

Reynolds 数和 *Peclet* 数大约分别是 4200 和 3000，因此流态是湍流。既然已经设定为湍流了，则不需要做任何更改。
- (c) 单击 **Accept** 按钮确认。

步骤 5：保存模型到项目文件

Icepak 在开始求解之前会自动保存模型，但是自己保存模型（包括网格）仍然是一个好的习惯。如果你在求解之前退出 *Icepak*，你可以重新打开已保存的项目继续分析。（如果你在当前的 *Icepak* 任务中开始计算，*Icepak* 会直接覆盖以前保存的项目文件。）

File → Save project

步骤 6：求解

1. 将 **Number of iterations**（迭代步数）增大为 200。

 **Solution settings** →  **Basic settings**

- (a) 在 **Basic settings** 面板中单击 **Accept** 按钮。

2.

修改松弛系数 (under-relaxation factors) .

 Solution settings →  Advanced settings

弹出 *Advanced solver setup* 面板.

(a)

设置 **Pressure** 的松弛系数 (**Under-relaxation factor**) 为 0.7, **Momentum** 为 0.3.

(b)

在 **Advanced solver setup** 面板中单击 **Accept** 按钮.

3.

开始计算.

Solve → **Run solution**

(a)

保持 **Solve** 面板中的缺省设置.

(b)

单击 **Start solution** 按钮开始求解.

求解将在 140 步迭代后收敛. 但是, 收敛所需的迭代步数随电脑的不同而略有差别.

步骤 7: 检查结果

为了检验增加散热器是否改善了系统热性能, 你可以使用练习 4 创建的后处理对象来检查求解结果.

1.

载入后处理对象.

练习 4 结束前保存了一个后处理文件, 你可以在本联系中载入.

Post → **Load post objects from file**

(a)

在 **File selection** 对话框中, 选择 **post_objects** 文件.

(b)

单击 **Open** 按钮.

Icepak 会载入练习 4 保存的后处理对象. 载入过程可能会需要几分钟的时间.

如果在练习 4 结束时速度矢量图处于活动状态, 则会自动显示在图形窗口中. 你可以在 *Model manager* 窗口的 *Postprocessing* 下鼠标右键单击 *cut-vectors*, 然后关闭 *Active* 选项. 这会将 *cut-vectors* 后处理对象移动到 *Model manager* 窗口的 *Inactive* 节点下.

2.

显示硬盘、软驱、CPU 芯片、散热器、热管、PCMCIA 卡和电源上的温度云图, 因为这些器件的模型都是 block, 因此你只要使用后处理对象 *face-tempblocks* 显示所有 block 表面的温度云图即可.

(a)

如果后处理对象不在 **Model manager** 窗口的 **Inactive** 节点下, 则单击 **Model manager** 窗口中的 **Post-processing** 节点, 然后在弹出的对话框中单击 **Yes** 按钮重新载入它们.

(b)

在 **Model manager** 窗口中, 右键单击 **Inactive** 节点下的 **face-tempblocks** 对象, 在弹出的菜单中选择 **Active**.

*Block*对象 (硬盘、软驱、CPU芯片、散热器、热管、PCMCIA卡和电源)表面的温度云图显示在**Icepak** 的图形窗口中, 如图 5.3 所示. 注意到CPU芯片仍然是系统中温度最高的器件, 但是温度降到大约 71 度.

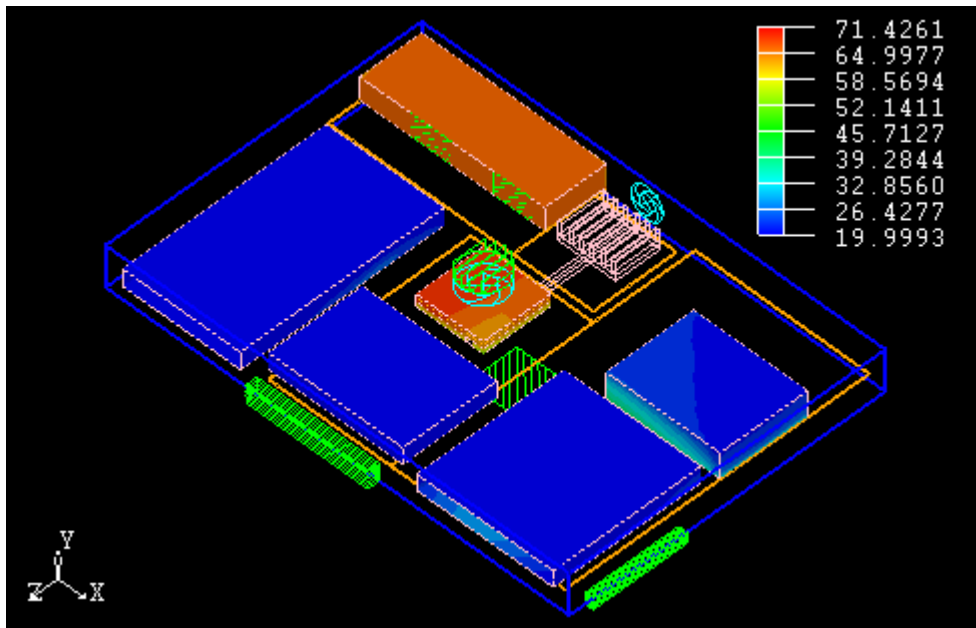


图 5.3: 硬盘、软驱、CPU 芯片、散热器、热管、PCMCIA 卡和电源上的温度云图

总结

在本练习中, 你修改了练习 4 中创建的模型, 试图降低 CPU 芯片的温度到可接受的范围之内. 增加一个散热器和一个热管使 CPU 芯片的温度降低了约 20 °C, 从 91 °C 降到 71 °C, 完全符合大多数 CPU 芯片最高温度 95 °C 的限制.

练习 6 非连续网格

介绍

这个教程比较了在一个简单的针状散热器问题的连续网格和非连续网格的区别。

在这个教程里，你将会学到：

- 打开一个已经存在的 **Icepak** 项目。
- 生成一个非连续网格（non-conformal mesh）。
- 生成并比较总结报告。

预备知识

这个教程认为你已经熟悉了 **Icepak** 中的菜单结构并且你已经求解并计算了教程 1。一些建模和求解的步骤将进行简单的描述。

问题描述

模型包括一个由铝材料制成的针状散热器，该散热器与一个发热量为 10W 的热源相连，见图 7.1。这个热源和散热器部件位于一个风道的中央，风道的风速大约为 1.0m/s。环境温度为 20℃，气流流态为湍流。

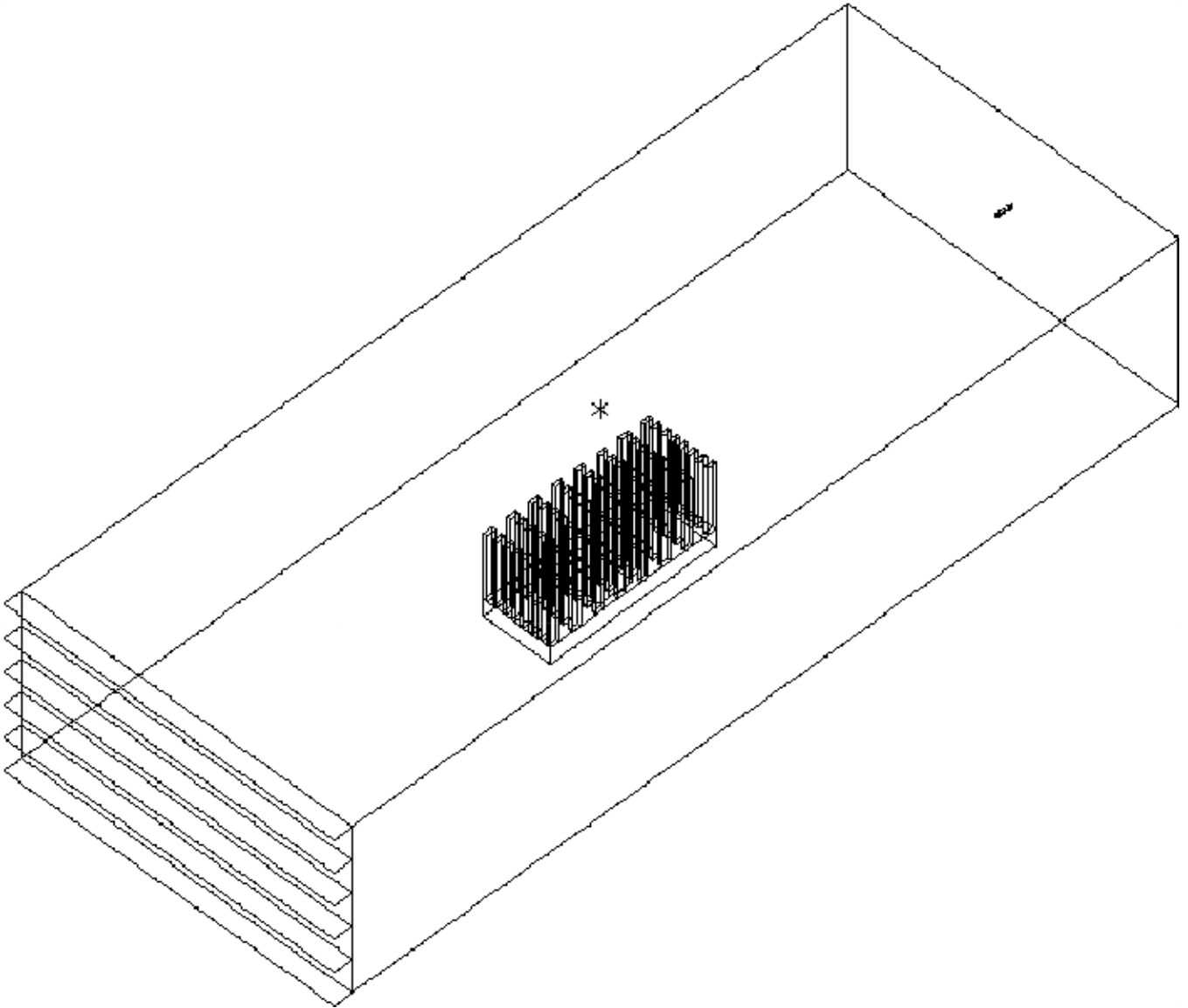


图 7.1： 问题描述

步骤 1： 打开一个已经存在的项目

1.

复制文件

`ICEPAK_ROOT /tutorials/non_conformal/non_conformal.tzr`

到你的工作目录。`ICEPAK_ROOT` 是你的 Icepak 安装路径

2.

启动 **Icepak**，参见用户手册的 § 1.5。

当 **Icepak** 启动后，*New/existing* 面板将会自动开启。

3.

单击 **New/existing** 面板中的 **Unpack**。

File Selection 面板将会出现。

4.

在 **File Selection** 面板，选择压缩的项目文件 `non_conformal.tzr` 并且单击 **Open**。

Location for the unpacked project File Selection 对话框将会出现。

5.

在 **Location for the unpacked project File Selection** 对话框中，选择你放置压缩项目文件所在的目录，在 **New project** 文本域内输入一个项目名称然后单击 **Unpack**。

Icepak 将会在图形窗口中显示一个针状散热器的模型。

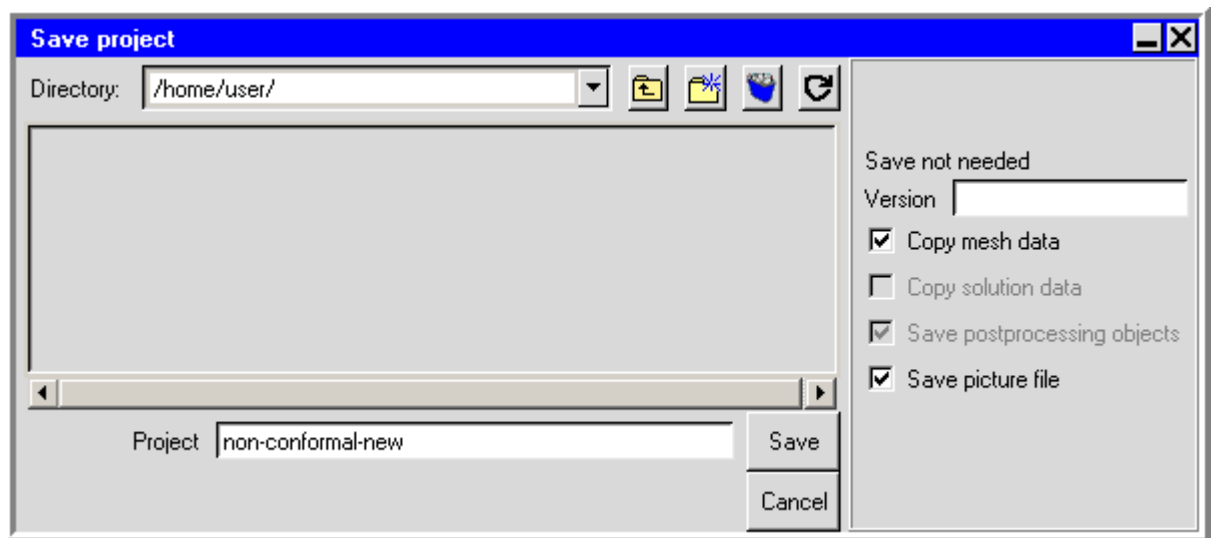
你可以使用鼠标左键来使 *Cabinet* 绕着屏幕的中心旋转，或者使用鼠标中键改变视图的位置。你还可以使用鼠标右键来放缩 *Cabinet* 的大小。需要恢复为默认的视图，选择 **Orient** 菜单中的 **Home position**。

6.

保存这个题目到新的文件。

这将会允许你在不破坏原始文件的情况下继续分析问题。

File → **Save project as**



(a)

在 **Project** 文本框中，输入名称 `non-conformal-new`。

(b)

单击 **Save**。

步骤 2： 创建一个结构化的网格

对于这个模型而言，你将首先建立一个结构化的网格。

1.

给模型创建一个结构化的网格。

Model → **Generate mesh**

(a)

在 **Mesh control** 面板上，设置 **Max X size** 参数为 0.02，**Max Y size** 参数为 0.02，**Max Z size** 参数为 0.05。

(b) 在 **Global settings** 中，确认 **Mesh assemblies separately** 选项处于关闭状态。

(c)

单击 **Generate mesh**。

记录下单元的数量，最小的面扭曲率，和最差的长宽比。

2.

检查网格。

(a)

单击 **Display** 表单。

(b)

打开 **Cut plane** 选项。

(c)

在 **Set position** 下拉式列表中，选择 **Y plane through center**。

(d)

打开 **Display mesh** 选项。

网格显示为通过 *cabinet* 中心的 $x-z$ 截面，见图 7.2。注意在 x 方向和 z 方向上，散热器所导致的一系列密网格扩展到整个计算区域中。全部的网格单元数目大约为 35000。

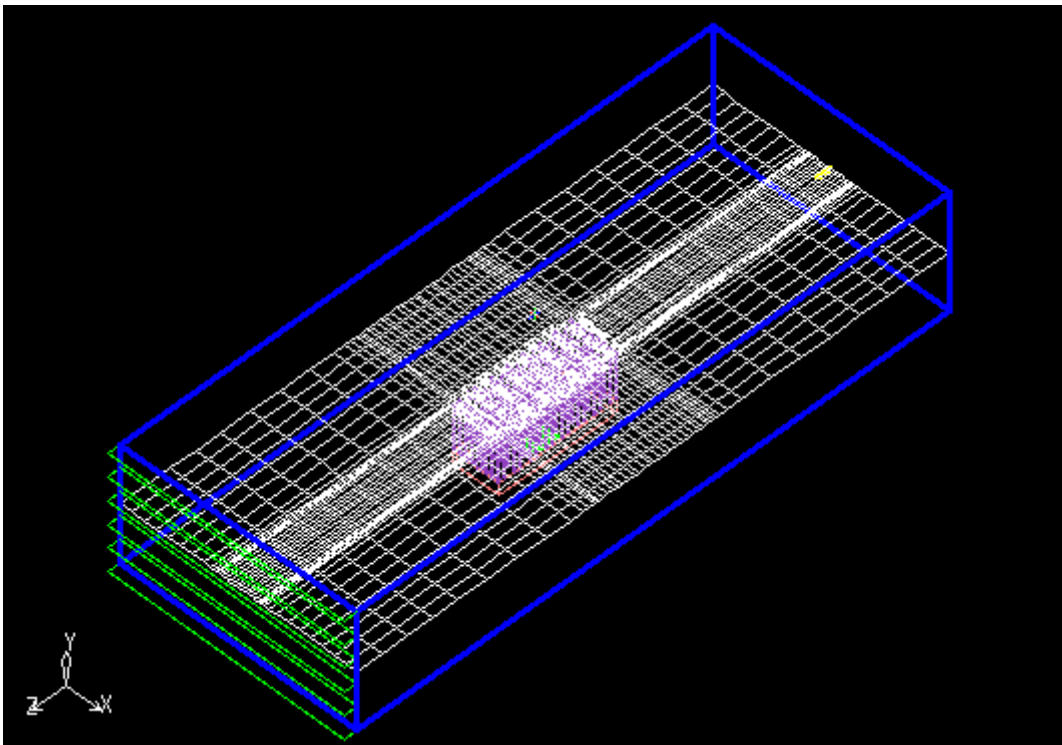


图 7.2：连续网格

3.

关闭网格显示。

(a)

取消选择 **Display mesh** 选项。

(b)

单击 **Close** 可以关闭 **Mesh control** 面板。

步骤 3: 检查流动状态

在开始运算之前, 你必须先估计 *Reynolds* 和 *Peclet* 数的值来确定模型中流体的流动状态。

1.

检查 *Reynolds* and *Peclet* 数的数值。

 **Solution settings** →  **Basic settings**

(a)

单击 **Reset** 按钮。

(b)

检查在 **Message** 窗口中显示的值。

显示为: *The Reynolds and Peclet numbers are approximately 12600 and 8900, respectively, so the flow is turbulent.*

(c)

单击 **Accept** 来保存求解器的设置。

步骤 4: 保存模型到一个项目文件

Icepak 将会在求解问题之前自动保存模型, 但是还是建议你在求解之前自己手动保存模型 (包括网格)。如果你在计算之前退出 **Icepak**, 你可以打开曾经保存的项目文件并在将来用 **Icepak** 继续分析。(如果你用当前的 **Icepak** 进程进行计算, **Icepak** 在你手动存盘时将会覆盖你的项目文件。)

File → **Save project**

步骤 5: 计算

1.

定义叠代步数。

 **Solution settings** →  **Basic settings**

(a)

增加 **Number of iterations** 为 200。

(b)

单击 **Accept**。

2.

开始计算。

Solve → **Run solution**

(a)

定义 **Solution ID** 为 conformal。

(b)

单击 **Start solution** 开始进行计算。

计算将在 70 步左右达到收敛。注意，在不同的计算机上进行求解会出现不同的收敛步数。

步骤 6： 检查结果

在这一步中，你将运用 **Icepak** 的总结报告工具得到散热器和热源模型的最高、最低温度的值。

Report → Summary report

1.

定义一个显示散热器和热源温度的报告。

(a)

在 **Define summary report** 面板中，单击 **New**。

(b)

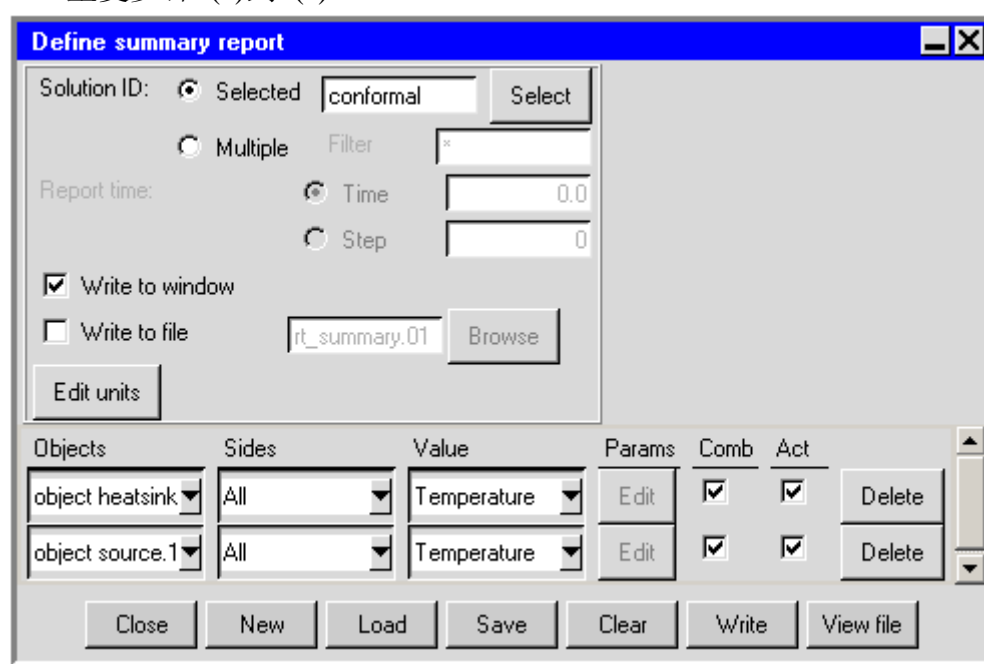
在 **Objects** 的下拉式列表中，选择 **heatsink.1** 并单击 **Accept**。

(c)

在 **Value** 的下拉式列表中，选择 **Temperature**。

(d)

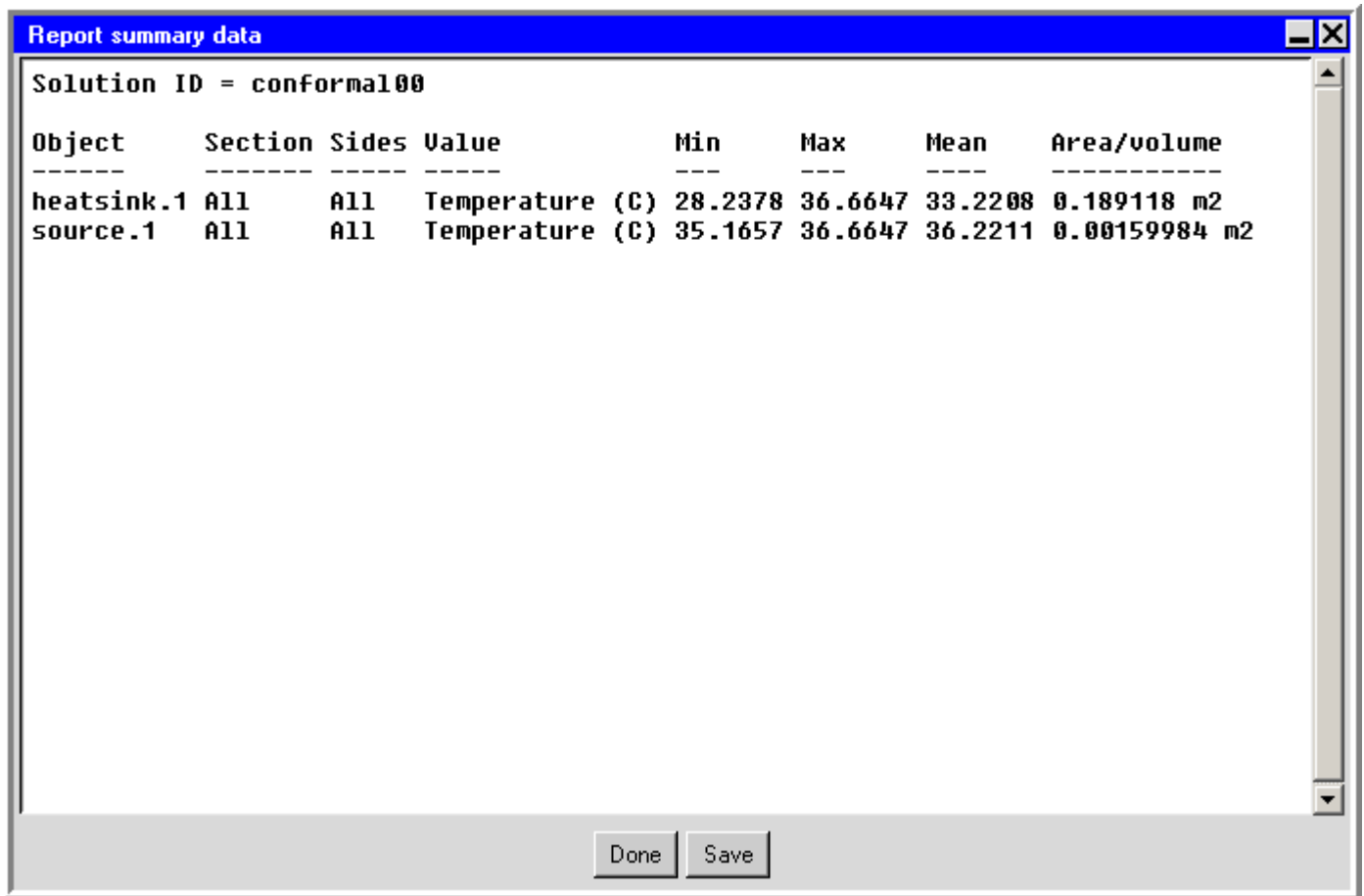
对 **source.1** 重复步骤 (a)到 (c)。



(e)

单击 **Write** 就可以创建一个总结报表。

Icepak 将会打开一个 **Report summary data** 面板，在这里，散热器和热源的最高、最低和平均温度将显示出来。记录下最高温度大约为 36.7°C



2. 单击 **Done** 可以关闭 **Report summary data** 面板。
3. 单击 **Close** 可以关闭 **Define summary report** 面板。

步骤 7: 对模型增加一个 Assembly

你现在需要在散热器和热源的外部创建一个 Assembly。这个 assembly 将会与其它模型分开独立创建网格。

1. 创建一个包括散热器和热源的 Assembly。
 - (a)

单击  按钮可以创建一个新的 assembly。

这将在 **Model manager** 窗口的 **Model** 节点中创建一个 **assembly** 节点。

一个 **Message** 窗口将会弹出，因为你将要改动目前的模型，在前一步得到的后处理数据将会无效。通过单击 **Ok** 按钮来关闭这个窗口。


- (b) 在 **Model manager** 窗口中的 **Model** 节点下选择 **source.1**，按住 <Control>键，然后选择 **heatsink.1**。
- (c) 按住鼠标左键，拖拽树状结构中的两个高亮显示的元件到 **assembly.1** 节点，然后松开

鼠标左键。

2.

编辑 assembly 并且定义出边界。

(a)

在 **Model manager** 窗口选择 **assembly.1** 节点，然后单击  按钮可以打开 **Assemblies** 面板。

(b)

单击 **Properties** 表单。

(c)

开启 **Mesh separately** 选项然后按照下表输入参数：

Min X	0.05	Max X	0.05
Min Y	0	Max Y	0.05
Min Z	0.05	Max Z	0.05

这将会创建有边界的方形区域，这个区域在 5 个方向上要增大 0.05 m 而在 **MinY** 由于位于 *cabinet* 的边界上所以没有扩大。这个区域用来将你的 *Assembly* 和 其它的模型分别划分不连续网格。新的模型见图 [7.3](#)。

(d)

单击 **Done** 可以设置 assembly 的参数并且关闭面板。

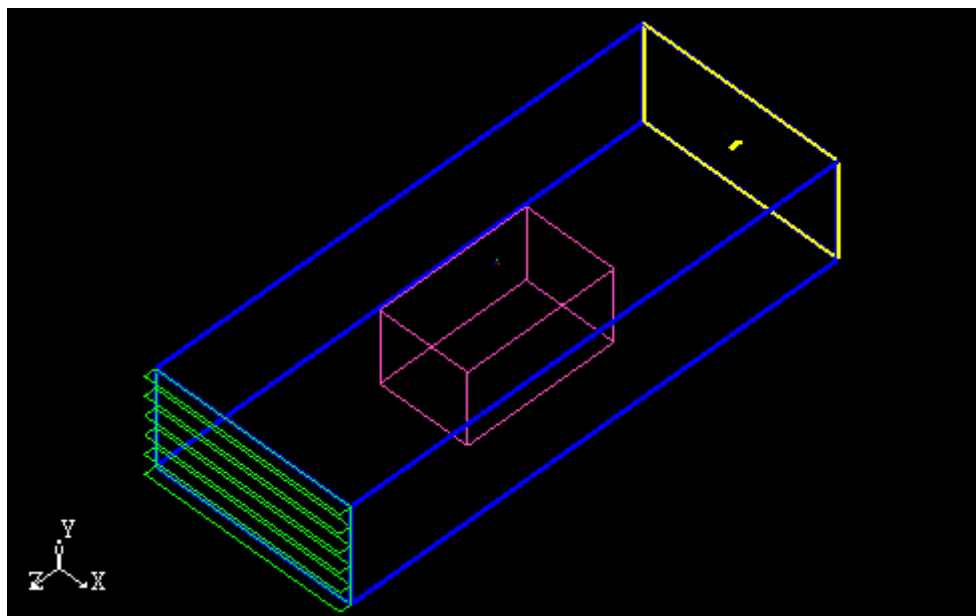


图 7.3： 将散热器和热源做成 Assembly 的模型

步骤 8： 创建一个不连续网格

你将会在散热器和热源组成的部件上创建一个不连续网格。这些不连续网格在 *Assembly* 的边界面上将会外部网格大于内部的情况。

1.

对模型创建不连续网格。

Model → Generate mesh

(a)

在 **Mesh control** 面板中，设置参数 **Max X size** 为 0.02，**Max Y size** 为 0.02，**Max Z size** 为 0.05。

(b)

在 **Global settings** 中，开启 **Mesh assemblies separately** 选项。

(c)

单击 **Generate mesh**。

记录下单元的数量，最小的面扭曲率，和最差的长宽比。

2.

检查网格。

(a)

单击 **Display** 表单。

(b)

打开 **Cut plane** 选项。

(c)

在 **Set position** 下拉式列表中，选择 **Y plane through center**。

(d)

打开 **Display mesh** 选项。

网格显示为通过 *cabinet* 中心的 *x-z* 截面，见图 7.4。注意在 *x* 方向和 *z* 方向上，散热器所导致的一系列密网格扩展到整个计算区域中。全部的网格单元数目大约为 25400，大约是连续网格数目的 3/4。

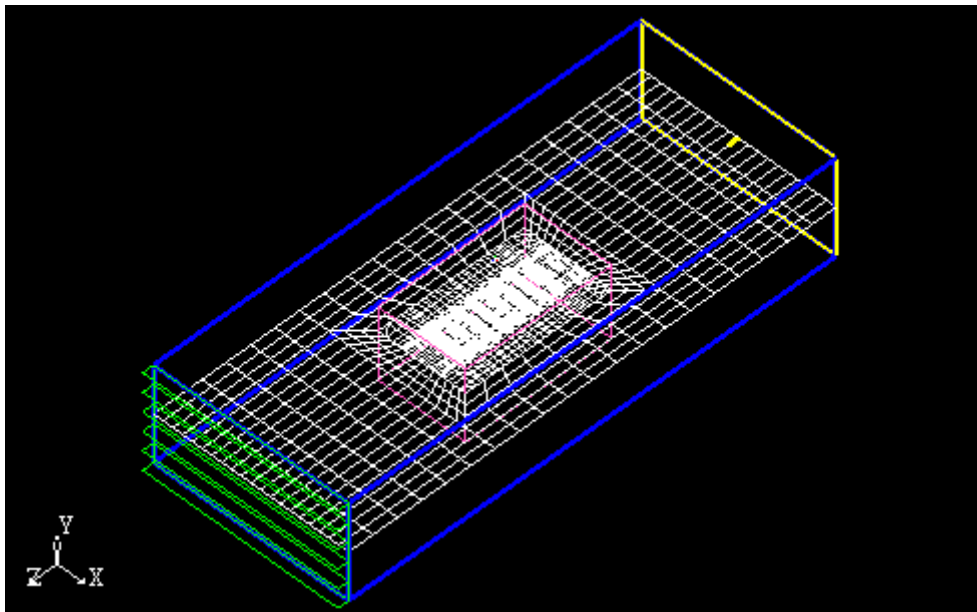


图 7.4: Non-conformal Mesh

3.

关闭网格显示。

(a)

取消选择 **Display mesh** 选项。

(b)

单击 **Close** 可以关闭 **Mesh control** 面板。

步骤 9： 保存模型到一个项目文件

Icepak 将会在求解问题之前自动保存模型，但是还是建议你在求解之前自己手动保存模型（包括网格）。如果你在计算之前退出 **Icepak**，你可以打开曾经保存的项目文件并在将来用 **Icepak** 继续分析。（如果你用当前的 **Icepak** 进程进行计算，**Icepak** 在你手动存盘时将会覆盖你的项目文件。）

File → Save project

步骤 10： 计算

1.

定义迭代步数。

 Solution settings →  Basic settings

(a)

增加 **Number of iterations** 为 200。

(b)

单击 **Accept**。

2.

开始计算。

Solve → Run solution

(a)

定义 **Solution ID** 为 non-conformal。

(b)

单击 **Start solution** 开始进行计算。

计算将在 50 步左右达到收敛。注意，在不同的计算机上进行求解会出现不同的收敛步数。

步骤 11： 检查结果

在这一步中，你将运用 **Icepak** 的总结报告工具得到散热器和热源模型的最高、最低温度的值。

Report → Summary report

1.

定义一个显示散热器和热源温度的报告。

(a)

在 **Define summary report** 面板中，单击 **New**。

(b)

在 **Objects** 的下拉式列表中，选择 **heatsink.1** 并单击 **Accept**。

(c)

在 **Value** 的下拉式列表中，选择 **Temperature**。

(d)

对 **source.1** 重复步骤 (a)到 (c)。

(e)

单击 **Write** 就可以创建一个总结报表。

*Icepak 将会打开一个 **Report summary data** 面板，在这里，散热器和热源的最高、最低和平均温度将显示出来。记录下最高温度大约为 $36.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对于 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境温度提高了 $16.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。计算结果与连续网格的结果相同*

2.

单击 **Done** 可以关闭 **Report summary data** 面板。

3.

单击 **Close** 可以关闭 **Define summary report** 面板。

总结

在这个教程中，你对一个简单的散热器和热源组成的模型，创建了连续网格和非连续网格，并且比较了两种网格的数目和计算结果。虽然非连续网格比连续网格的单元数目减少了25%，但是在求解结果的温度值仍然保持相同。

练习 7 Zoom-in 建模

介绍

这个教程检查了远程通信架模型的温度分布和流动特征，并且比较了局部化的 zoomed-in 的模型结果。

在这个教程中，你将会学到：

- 打开一个已经存在的 **Icepak** 项目
- 定义收敛标准和收敛因子
- 创建一个 zoom-in 模型
- 对模型物体进行编组和复制操作
- 创建一个粒子迹线的动画

预备知识

这个教程假定你已经熟悉了 **Icepak** 的菜单结构并且你已经阅读并实践了教程 [1](#)。一些建模和求解的步骤将进行简单的描述。

问题描述

这个远程通信架模型包括了六个风扇，十个印制电路板 (PCBs)，和一些阻尼和开孔。所有的 PCB 板上布置了相同的元件和发热功率，每个 PCB 的发热功率为 30W。这个模型在 **Icepak** 中将每一块 PCB 板进行简化为 2 个平板模型- 一个平板表示主板，另一个表示主板上安装的元件。每个元件平板的厚度都等于安装在 PCB 板上的所有元件的平均高度，并且每个元件平板的发热量均为 30 W。

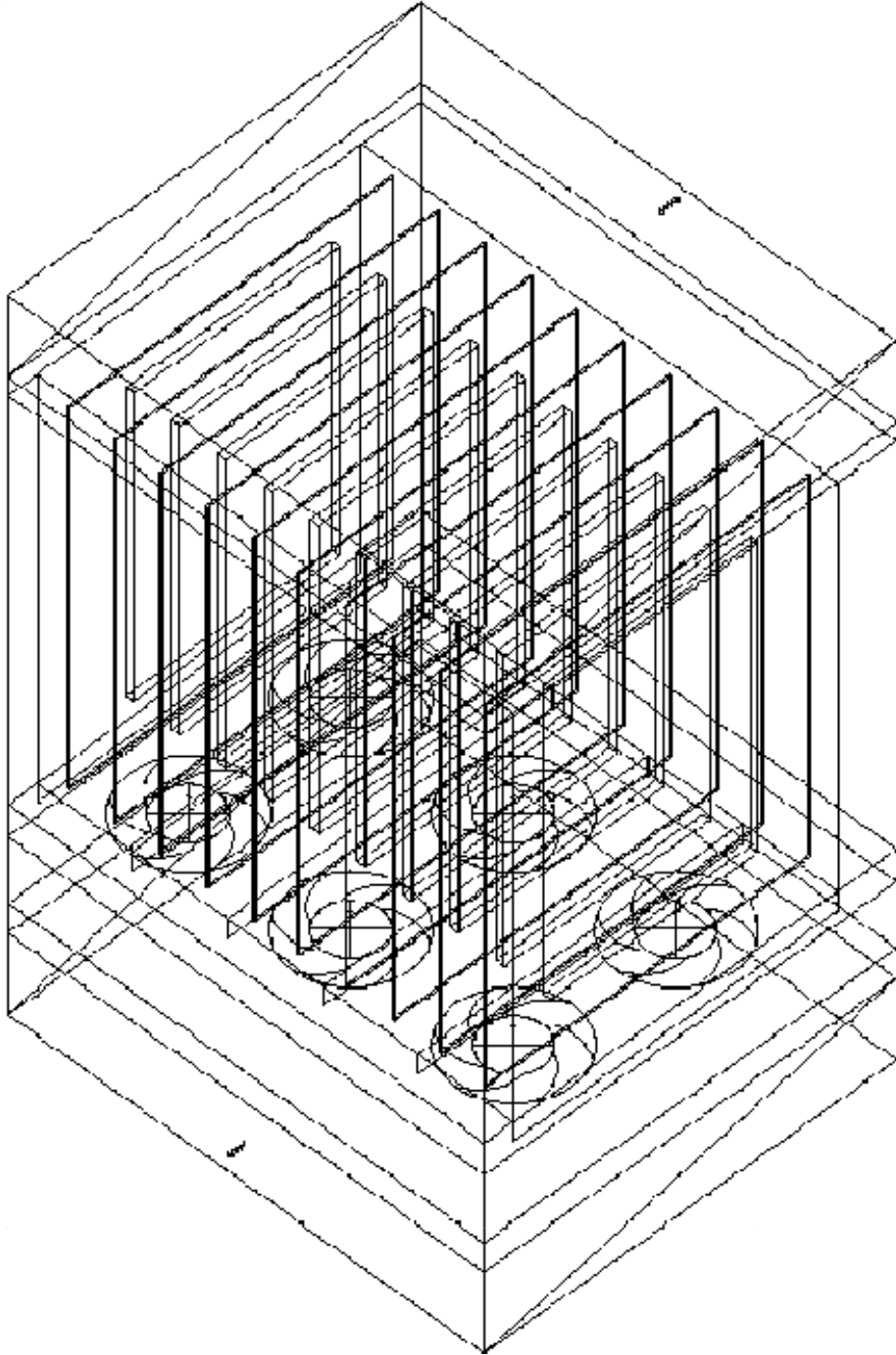


图 8.1: 问题描述

步骤 1: 打开一个存在的项目

1.

复制文件

`ICEPAK_ROOT /tutorials/rack/rack.tzr`

到你的工作目录。 `ICEPAK_ROOT` 是你的 Icepak 安装路径

2. 启动**Icepak**， 参见用户手册的 § 1.5。
当**Icepak** 启动， *New/existing* 对话框将自动出现
3. 单击 **New/existing** 面板中的 **Unpack**。
File Selection 面板将会出现。
4. 在 **File Selection** 面板， 选择压缩的项目文件 `rack.tzr` 并且单击 **Open**。
Location for the unpacked project File Selection 对话框将会出现。
5. 在 **Location for the unpacked project File Selection** 对话框中， 选择你放置压缩项目文件所在的目录， 在 **New project** 文本域内输入一个项目名称然后单击 **Unpack**。
Icepak 将会在图形窗口中显示一个远程通信架的模型。
你可以使用鼠标左键来使 *Cabinet* 绕着屏幕的中心旋转， 或者使用鼠标中键改变视图的位置。你还可以使用鼠标右键来放缩 *Cabinet* 的大小。需要恢复为默认的视图， 选择 **Orient** 菜单中的 **Home position**。
6. 保存这个题目到新的文件。
这将会允许你在不破坏原始文件的情况下继续分析问题。

文件 → **Save project as**

- (a) 在 **Project** 文本框中， 输入名称 `rack`。
- (b) 单击 **Save**。

步骤 2： 创建网格

对于这个模型， 你只需要一个步骤就可以完成创建网格， 因为默认的网络参数已经很好的解决了近距物体面之间的流动物理问题。

Model → **Generate mesh**

1. 对模型创建网格。
 - (a) 在 **Mesh control** 面板中， 设置参数 **Max X size**， **Max Y size**， **Max Z size** 为 0.03。
 - (b) 在 **Mesh parameters** 下拉式列表中， 选择 **Coarse**。
 - (c) 改变 **Max size ratio** 的数值为 3。
 - (d) 改变 **Max O-grid height** 的数值为 0.01。
 - (e)

打开 **Object params** 选项并且单击 编辑。

Icepak 将会打开 **Per-object meshing parameters** 面板, 在这里你需要定义 *Object-specific meshing parameters* 参数到一个 **block**, 两个 **openings**, 和所有的 **plates**。

(f)

对 **openings** 设置 *Object-specific meshing parameters*。

i.

在 **Per-Object meshing parameters** 面板中, 选择 **opening.1**。

ii.

按住 <Control>键并选择 **opening.2**。

Per-Object meshing parameters 面板将会自动打开, 你可以在这里设置 *Object-specific meshing parameters* 参数。

iii.

打开 **Use per-Object parameters** 选项。

iv.

打开 **Y count** 并在 **Requested** 中输入 10。

(g)

对平板设置 *Object-specific meshing parameters*。

i.

在 **Per-Object meshing parameters** 面板中, 选择 **plate.1**。

ii.

按住 <Shift>键并选择 **plate.2.9**。

iii.

打开 **Use per-object parameters** 选项。

iv.

打开 **Low end height** 并在 **Requested** 中输入 0.003。

v.

打开 **High end height** 并在 **Requested** 中输入 0.003。

(h)

对块设置 *Object-specific meshing parameters*。

i.

在 **Per-Object meshing parameters** 面板中, 选择 **block.3**。

ii.

打开 **Use per-object parameters** 选项。

iii.

打开 **Y count** 并在 **Requested** 中输入 4。

(i)

在 **Per-Object meshing parameters** 面板中, 单击 **Done** 保存所有的 *Object-specific meshing parameters* 同时关闭面板。

(j)

在 **Mesh control** 面板中, 单击 **Generate mesh**。

2.

检查模型的截面网格。

(a)

在 **Mesh control** 面板上单击 **Display** 表单。

面板将会更新为显示网格的工具。

(b)

打开 **Cut plane** 选项。

(c)

在 **Set position** 下拉式列表中，选择 **Point and normal**。

(d)

显示 x-y 截面的网格。

i.

保持默认的参数 (**PX**, **PY**, **PZ**) 为(0, 0, 0.177), (**NX**, **NY**, **NZ**)为 (0, 0, 1)。

这个设置将会显示通过点 (0, 0, 0.177)的 x-y 截面的网格。

ii.

打开 **Display mesh** 选项。

垂直于平板的网格截面, 见图 8.2。

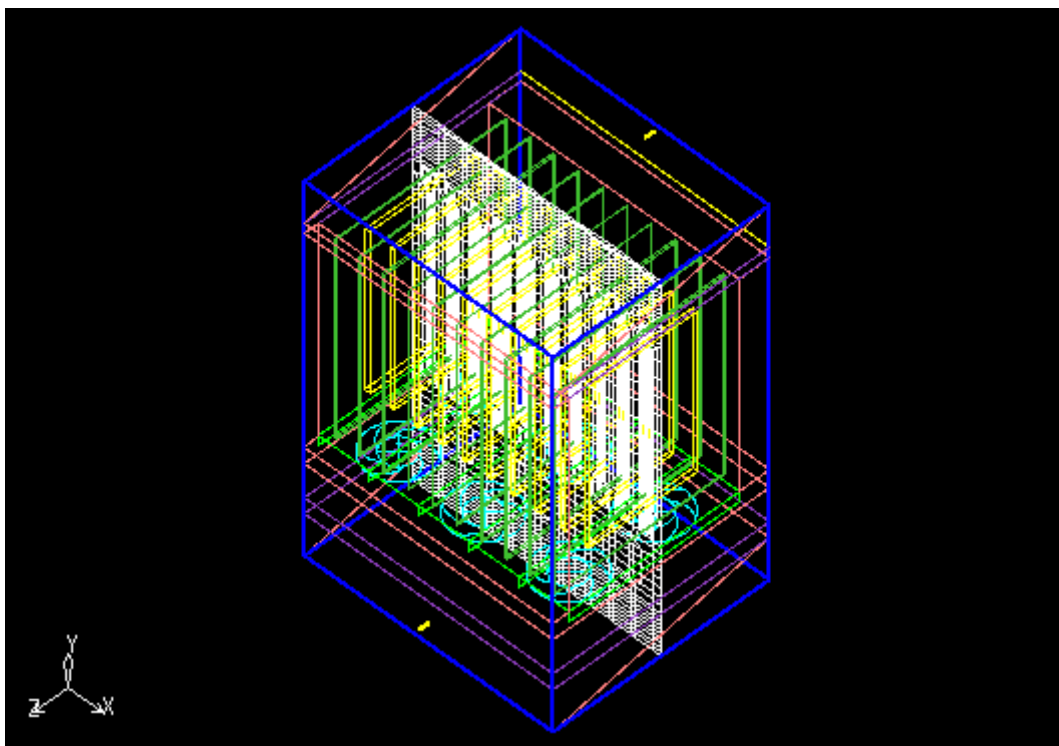


图 8.2: 垂直于平板的网格截面

iii.

使用 **Plane location** 下的滑杆去移动模型的截面。

3.

关闭网格显示。

(a)

取消选择 **Display mesh** 选项。

(b)

单击 **Close** 可以关闭 **Mesh control** 面板。

步骤 3: 检查流动状态

在开始运算之前, 你必须先估计 *Reynolds* 和 *Peclet* 数的值来确定模型中流体的流动

状态。

1.

检查 Reynolds and Peclet 数的数值。

 **Solution settings** →  **Basic settings**

(a)

单击 **Reset** 按钮。

(b)

检查在 **Message** 窗口中显示的值。

显示为: *The Reynolds and Peclet numbers are approximately 75000 and 53000, respectively, so the flow is turbulent.*

(c)

单击 **Accept** 来保存求解器的设置。

2.

设置为湍流模型。

 **Problem setup** →  **Basic parameters**

(a)

在 **Problem setup** 面板，在 **Flow regime** 中选择 **Turbulent**。

(b)

保持默认的 **Zero equation** 湍流模型。

(c)

单击 **Accept** 来保存设置。

3.

返回到 **Basic settings** 面板，并单击 **Reset**，然后单击 **Accept**。

步骤 4: 保存模型到一个项目文件

Icepak 将会在求解问题之前自动保存模型，但是还是建议你在求解之前自己手动保存模型 (包括网格)。如果你在计算之前退出 **Icepak**，你可以打开曾经保存的项目文件并在将来用 **Icepak** 继续分析。(如果你用当前的 **Icepak** 进程进行计算，**Icepak** 在你手动存盘时将会覆盖你的项目文件。)

File → **Save project**

步骤 5: 计算

1.

定义叠代步数。

 **Solution settings** →  **Basic settings**

(a)



增加 **Number of iterations** 为 200。

(b)
在 **Convergence criteria** 中，设定 **Energy** 的值为 $1e-7$ 。

(c)
单击 **Accept**。

2.

定义求解器的参数。

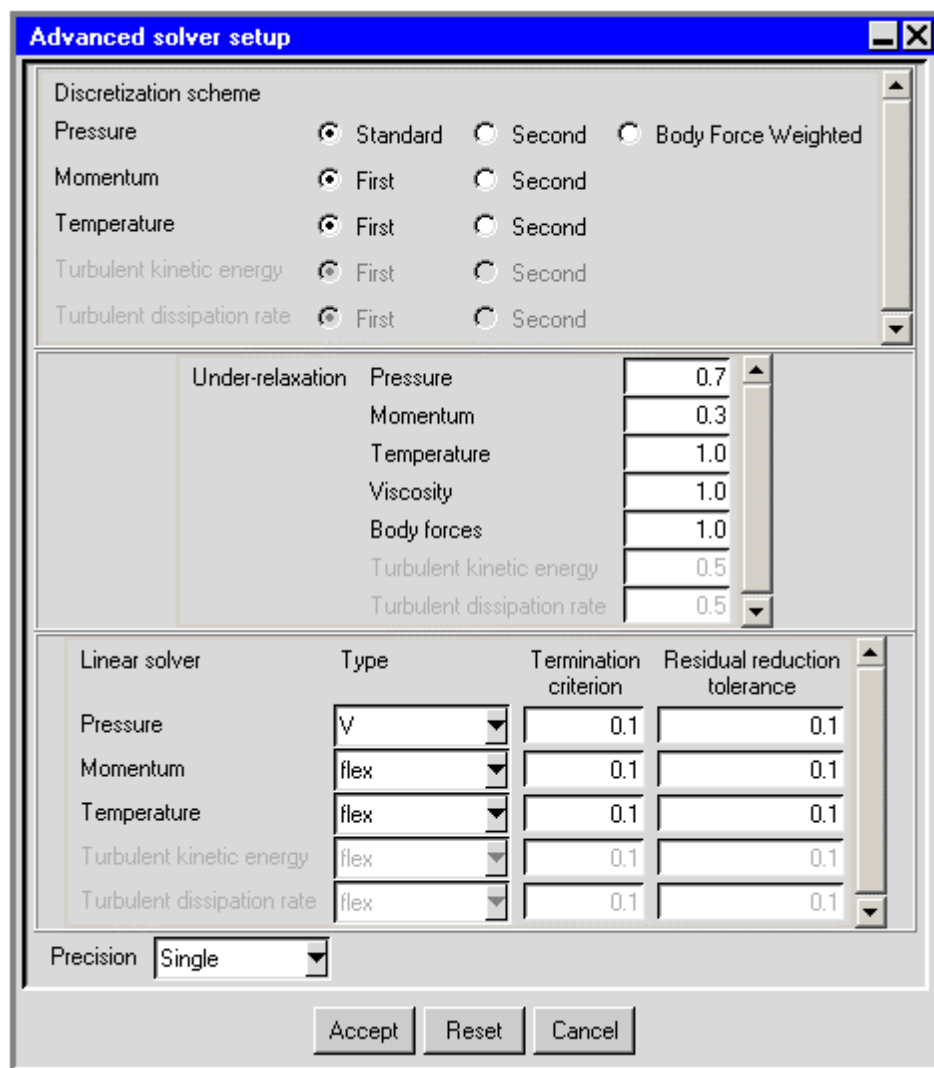
 **Solution settings** →  **Advanced settings**

(a)
按照如下数值输入收敛因子：

- **Pressure:** 0.7
- **Momentum:** 0.3
- 对 **Temperature**, **Viscosity** 和 **Body forces** 保持原来的数值。

(b)
单击 **Accept** 来保存对求解器参数的设置。

偶尔，需要将关于 **Pressure** 和 **Momentum** 的收敛因子分别设置为 0.7 和 0.3，这样可以使计算更容易达到收敛。



3.

开始计算。

Solve → Run solution

(a)

定义 **Solution ID** 为 rack。

(b)

单击 **Start solution** 开始进行计算。

计算将在 90 步左右达到收敛。注意，在不同的计算机上进行求解会出现不同的收敛步数。

步骤 6: 检查结果

在这一步，你将会使用 **Icepak** 的图形后处理工具，去检查远程通信架模型的温度及流场分布。

1.

显示一组 plates 的温度云图。

Post → Object face

- (a)
在 Object 下拉式列表中，滚动列表并选择 **plate.2.2** 然后单击 **Accept**。
- (b)
打开 **Show contours** 选项并单击 **Parameters**。
Object face contours 面板将会打开。
- (c)
在 **Object face contours** 面板中，在 **Contours of** 下拉式列表中保持默认的选择为 **Temperature**。
- (d)
对于 **Shading options**，保持默认的选择为 **Banded**。
- (e)
在 **Level spacing** 下拉式列表中，保持默认的选择为 **Fixed**。
- (f)
在 **Number** 域中，输入 20。
- (g)
对于 **Color levels**，保持默认的选择为 **Calculated** 然后在下拉式列表中选择 **This Object**。
- (h)
单击 **Done** 来保存新的设置，关闭面板，并且更新图新显示。
图 8.3 显示在平板上的温度云图。在平板上温度分布的定义域大约为 25 °C 到 32 °C。

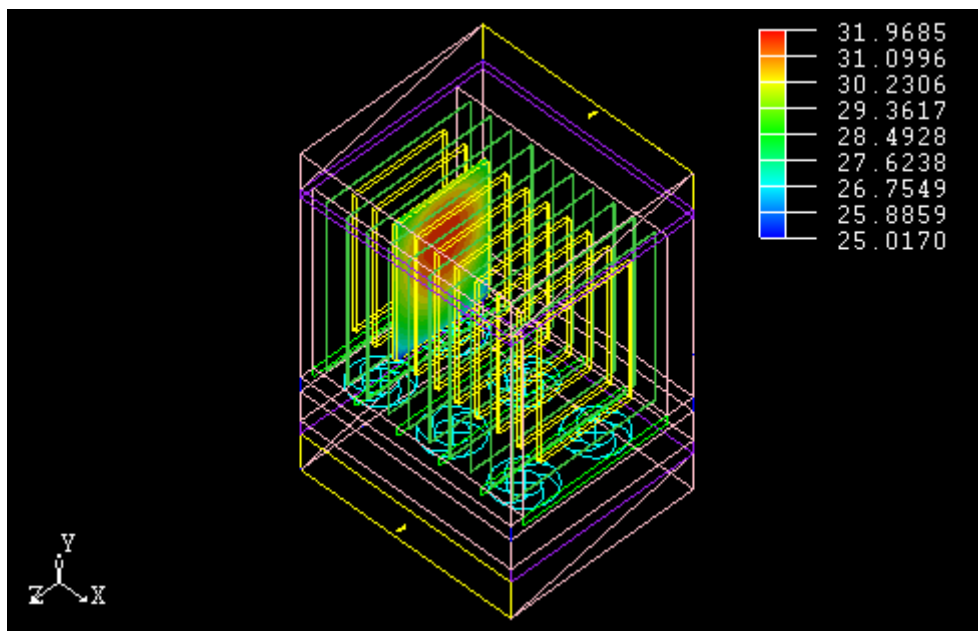


图 8.3: 模型中平板上的温度分布云图

- (i)
关闭 **Show contours** 选项并单击 **Update**。
这将暂时的在图形窗口中去掉刚才生成的云图，这样你可以更容易看清下一个需要作后处理的物体。

2.

显示远程通讯架模型的粒子轨迹图。

- (a)
在 **Object face** 面板中单击 **New** 可以**创建**一个新的后处理图形。
- (b)
在 **Object** 下拉式列表中，滚动列表中的物体，选择 **Fan.1**，按住<Shift> 键，选择最后一个风扇 (**Fan.2.2**)，然后单击 **Accept**。
- (c)
开启 **Show particle traces** 选项并单击 **Create**。
- (d)
单击 **Parameters** 按钮 在 **Show particle traces** 选项的后面。
Object face particles 面板将会打开。
- (e)
打开在 **Display options** 中的 **Uniform** 选项。
- (f)
在 **Object face particles** 面板中，打开 **Display options** 下的 **Uniform** 选项，并且在文本框中输入 50。
- (g)
在 **Animation** 下，打开 **Loop mode** 选项。
- (h)
在 **Color levels** 中，保持默认的选择为 **Calculated** 然后选择 **This Object** 在下拉式列表中。
- (i)
单击 **Animate** 可以开始显示粒子流
- (j)
在 **Icepak** 窗口的右上角，单击红色的 **Interrupt** 按钮可以停止目前的动画。
- (k)
单击 **Done** 可以关闭面板。
- (l)
关闭 **Show particle traces** 选项并单击 **Update**。
这将暂时的在图形窗口中去掉刚才生成的云图，这样你可以更容易看清下一个需要作后处理的物体。
- (m)
单击 **Done** 可以关闭面板。

3。

显示在 Z 中点截面上的速度矢量。

Post → **Plane cut**

- (a)
保持默认的 **Z plane through center**。
- (b)
打开 **Show vectors** 选项并单击创建。
- (c)
单击 **Animate** 看动画。
- (d)

在 **Icepak** 窗口的右上角，单击红色的 **Interrupt** 按钮可以停止目前的动画。

(e)

关闭 **Show vectors** 选项并单击 **Update**。

4.

显示在 X 中点截面上的速度矢量。

(a)

在 **Plane cut** 面板单击 **New** 可以创建一个新的后处理图形。

(b)

选择 **X plane through center**。

(c)

打开 **Show vectors** 选项并单击创建。

(d)

单击 **Animate** 看动画。

(e)

在 **Icepak** 窗口的右上角，单击红色的 **Interrupt** 按钮可以停止目前的动画。

(f)

关闭 **Show vectors** 选项并单击 **Update**。。

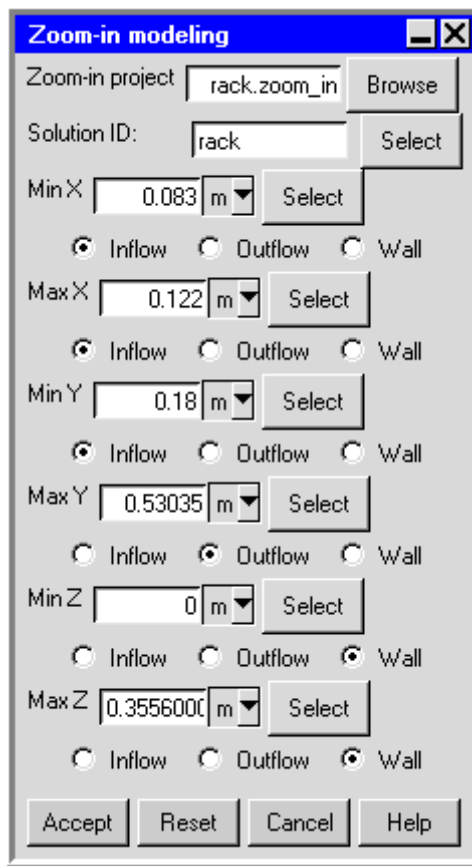
(g)

单击 **Done** 可以关闭面板。

步骤 7： 创建一个 **Zoom-In** 模型

一个 *zoom-in* 模型允许你关注一个大模型中的局部情况。这种聚焦允许你增加更为详细的模型和获取更为准确的结果，但却没有增加整个系统的题目规模。在这一步中，一将会创建一个 *Zoom-in* 模型，去关注远程通信架模型中的一对平板。**Icepak** 将会将你的 *Zoom-in* 模型单独保存到新的项目文件中，以便于今后的进一步分析。

Post → [Create zoom-in Model](#)



注意在图形窗口中所出现的 zoom-in 对话框。这个对话框定义了 zoom-in 模型的边界。你可以将包围了 *plate.1.2* 和 *plate.2.2* 的区域作为 zoom-in 的边界。

1.

在 **Zoom-in Modeling** 面板中，保持默认的 **Zoom-in project** 名称为 **rack.zoom_in** 并且保持默认的 **Solution ID** 名称为 **rack**。

2.

按照下表输入新的模型边界值：

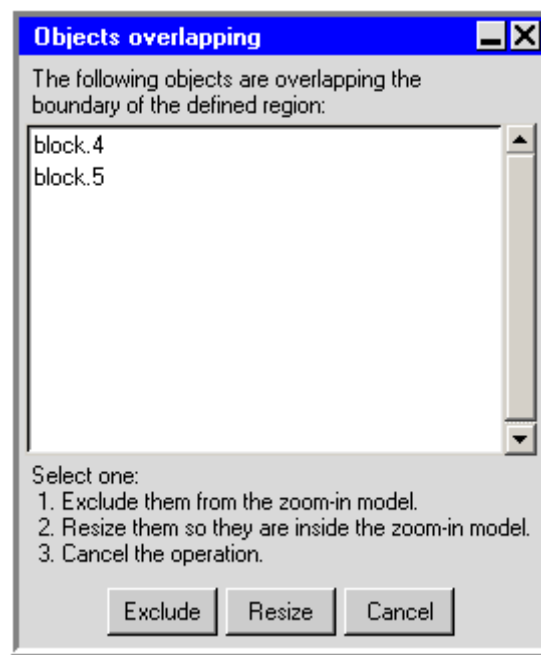
Min X	0.083
Max X	0.122
Min Y	0.18
Max Y	0.53035
Min Z	0.0
Max Z	0.3556

zoom-in 模型的一个重要特点就在于，Zoom-in 的模型边界可以定义为进口、出口或者墙体。这样允许 Zoom-in 模型可以利用在上一级模型中的求解结果来作为新模型的外部边界条件。

3.

保持默认的 **Inflow** 边界类型为 **Min X**，**Max X**，和 **Min Y**。

4. 选择 **Outflow** 作为 **Max Y** 的边界类型。
5. 选择 **Wall** 作为 **Min Z** 的边界类型。
6. 选择 **Wall** 作为 **Max Z** 的边界类型。
7. 单击 **Accept** 可以设置 zoom-in 模型的值并关闭面板。
Icepak 将会开始创建一个 zoom-in 模型并在 *Message window* 中显示处相应的消息。



步骤 8: 打开 Zoom-in 模型的项目文件

1. 在 *Icepak* 中打开 Zoom-in 的项目文件。
File → **Open project**
2. 在 **Open project** 面板中，选择项目文件 **rack.zoom_in** 并且单击 **Open**。
Icepak 将会在图形窗口中显示 zoom-in 模型。图 8.4 显示了 zoom-in 模型的正等测视图。

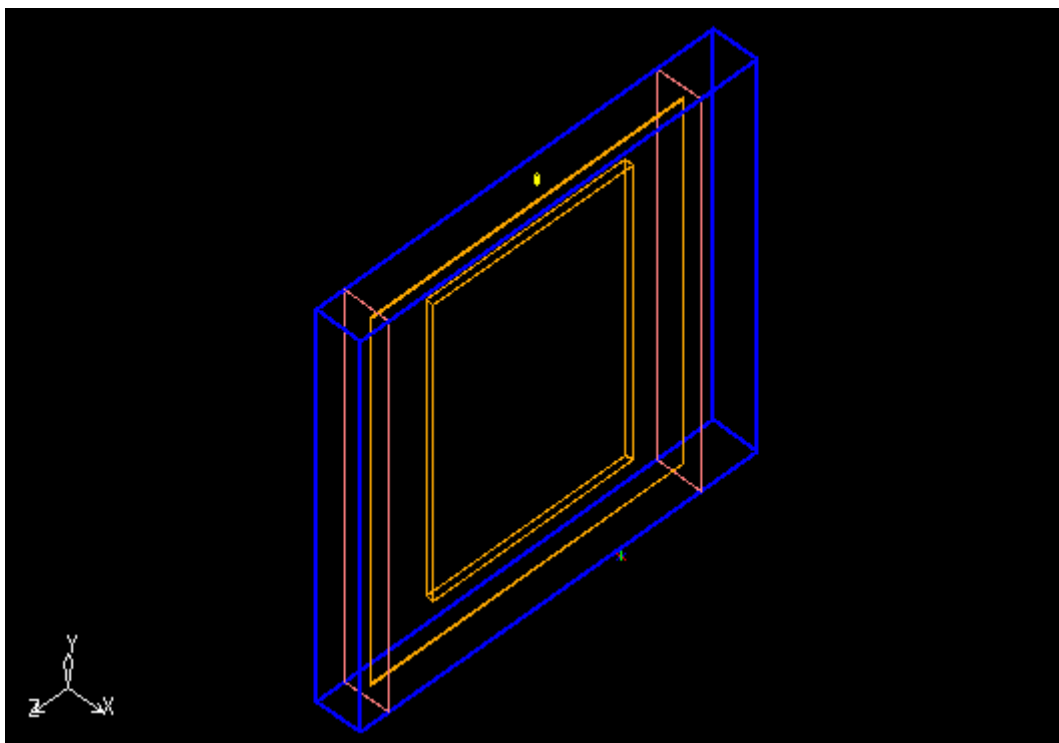


图 8.4: 远程通信架的 Zoom-In 模型

3.

保存 zoom-in 模型为一个新的项目文件。

文件 → Save project as

(a)

在 **Project** 文本框中，输入名称 rack.zoom_in_chips。

(b)

单击 **Save**。


步骤 9: 编辑 Zoom-in 模型

原始的远程通信架的模型将 PCB 上的元件简化为一个导热厚板 (conducting thick plate)，其发热量为 30W。在这一步中，Zoom-in 模型将会建立更为详细的模型并由此得到更为精确的结果。你将用 10 个小的导热厚板来代替原来的一个导热厚板，其中每个小导热板均代表 PCB 上的计算机芯片，每个发热量为 3.0W。

1.

用芯片来替换原来的发热平板。

(a)

在 **Model manager** window 中单击 **plate.2.2** 物体，然后单击  按钮去开启 **Plates** 面板。

(b)

将平板物体的名称从 **plate.2.2** 改为 **chip**。

(c)

单击 **Geometry** 表单。

- (d) 在 **Specify by** 下拉式列表中，选择 **Start/length**。
- (e) 输入 **yL** 值为 0.05 m。
- (f) 输入 **zL** 值为 -0.05 m。
- (g) 单击 **Properties** 表单。
- (h) 将 **Total power** 从 30.0 W 改为 3.0 W。
- (i) 单击 **Done** 改变设置并关闭 **Plates** 面板。
注意你只建立了一个小的芯片，你还需要作一个复制工作来创建所有的芯片。

2.

- 对 chip 作两个额外的复制。
- (a) 在 **Model manager** window 中，选择 **chip**。
 - (b) 单击  按钮。
Copy plate chip 面板将会打开。
 - (c) 在 **Number of copies** 中输入 2。
 - (d) 打开 **Transform** 选项并定义 **Z offset** 为 -0.065 m。
 - (e) 单击 **Apply**。

3.

- 创建剩余的芯片。
- (a) **创建**包括三个芯片的一个组。
Edit → **Current group** → **Create**

Query 对话框将会打开。

- i. 在 **Query** 对话框中，输入 chips 作为组的名称。
- ii. 单击 **Done**。
- iii. 在 **Model manager** window 中，单击 **Groups** 下方的加号。
- iv. 右键单击 **chips** 并且选择
Add → **Name/pattern** 在下拉式菜单中。

Query 对话框将会打开。

v.

在 **Query** 对话框中，在 **Pattern for Objects to add** 文本框中输入 chip*。

vi.

单击 **Done**。

chip, *chip.1*, 和 *chip.2* 增加一个组。

(b)

对这个组作三个复制。

i.

在 **Model manager** window 中，选择 **Group** 中的 **chips**。

ii.

右键单击 **chips** 并且选择 **Copy group**。

Copy group chips 面板将会打开。

iii.

在 **Number of copies** 中输入 **3**。

iv.

打开 **Transform** 选项并设置 **Y offset** 为 0.07 m。

v.

单击 **Apply**。

将会显示出完成的十二个芯片。

模型中实际因该为 10 个芯片，所以应当删除掉多余的两个芯片


(c)

删除其中的两个芯片。

i.

在 **Model manager** window 中，选择 **chip.2.2** 物体，按住 <Control>键并选择 **chip.1.3**。

ii.

在 **Object modification** 工具条中，单击  按钮。

(d)

创建一个包括所有芯片的组。

i.

在 **Model manager** window 中，单击 **Groups** 中的加号。

ii.

右键单击 **chips** 并且选择

Add → **Name/pattern** 在下拉式菜单中。

Query 对话框将会打开。

iii.

在 **Query** 对话框中，在 **Pattern for Objects to add** 文本框中输入 chip*。

iv.

单击 **Done**。

所有的芯片都位于该组中，图 [8.5](#) 为正等测视图。

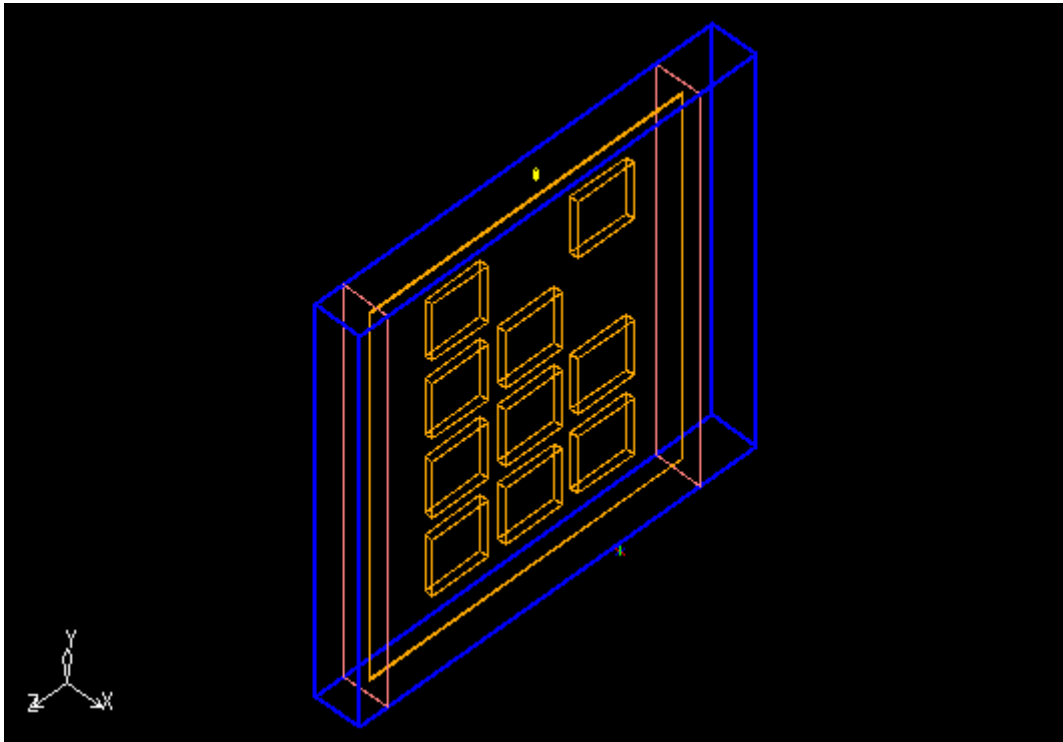


图 8.5: 改进的 Zoom-In 模型

步骤 10: 对 Zoom-In 模型创建网格

对于 zoom-in 模型，你只需要一个步骤就可以完成创建网格，因为默认的网络参数已经很好的解决了近距物体面之间的流动物理问题。

Model → Generate mesh

1.

对 zoom-in 模型创建网格。

(a)

在 **Mesh control** 面板中，设置参数 **Max X size** 为 0.002，并且设置 **Max Y size** 和 **Max Z size** 为 0.02。

(b)

确定 **Max size ratio** 值为 3。

(c)

改变 **Max O-grid height** 的值为 0.002。

(d)

关闭 **Object params** 选项。

(e)

在 **Mesh control** 面板中单击 **Generate mesh** 按钮。

2.

检查 zoom-in 模型所有物体上的网格。

(a)

在 **Mesh control** 面板中单击 **Display** 表单。

面板将会更新为显示网格工具。

- (b)
选择 **Surface** 并且选择 **All Objects**。
- (c)
开启 **Display mesh** 选项。
所有物体上的网格见图 8.6。

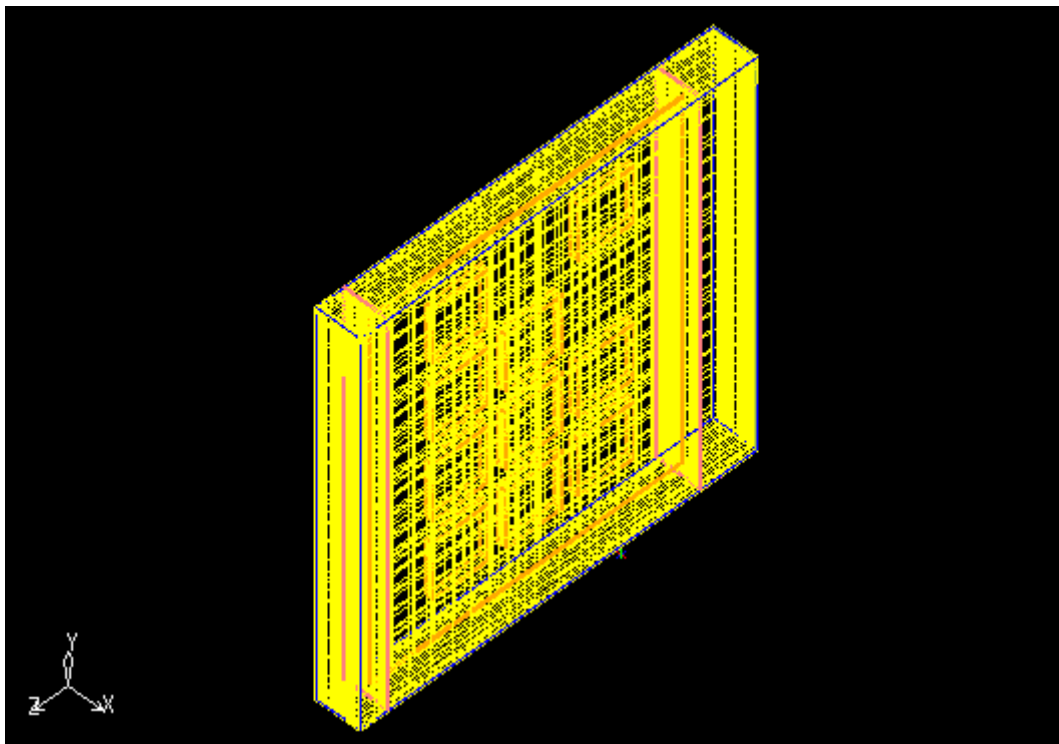


图 8.6: Zoom-in 模型所有物体上的网格

- 3.
- 关闭网格显示。
- (a)
取消选择 **Display mesh** 选项。
- (b)
单击 **Close** 可以关闭 **Mesh control** 面板。

步骤 11: 保存 Zoom-in 模型到一个项目文件

Icepak 将会在求解问题之前自动保存模型，但是还是建议你在求解之前自己手动保存模型 (包括网格)。如果你在计算之前退出 *Icepak*，你可以打开曾经保存的项目文件并在将来用 *Icepak* 继续分析。(如果你用当前的 *Icepak* 进程进行计算，*Icepak* 在你手动存盘时将会覆盖你的项目文件。)

File → Save project

步骤 12: 计算 Zoom-In 模型的结果

zoom-in 模型是基于系统级模型的求解结果。所有的结果和问题都已经定义好。

- 1.

开始计算。

Solve → **Run solution**

(a)

单击 **Start solution** 开始进行计算。

计算将在 150 步左右达到收敛。注意，在不同的计算机上进行求解会出现不同的收敛步数。

步骤 13: 检查 Zoom-in 模型的结果

在这一步，你将检查 zoom-in 模型的温度和流场分布。

1.

显示芯片的温度云图。

Post → **Object face**

(a)

在 Object 下拉式列表中，滚动列表并选择 **Chips Group** 然后单击 **Accept**。

注意:

*你需要滚动列表并且打开 **Groups** 的节点才能看到 **chips** 组。*

(b)

打开 **Show contours** 选项并单击 **Parameters**。

Object face contours 面板将会打开。

(c)

在 **Object face contours** 面板中，在 **Contours of** 下拉式列表中保持默认的选择为 **Temperature**。

(d)

对于 **Shading options**，保持默认的选择为 **Banded**。

(e)

在 **Level spacing** 下拉式列表中，保持默认的选择为 **Fixed**。

(f)

在 **Number** 域中，输入 25。

(g)

对于 **Color levels**，保持默认的选择为 **Calculated** 然后在下拉式列表中选择 **This Object**。

(h)

单击 **Done** 来保存新的设置，关闭面板，并且更新图新显示。

图 8.7 显示在平板上的温度云图。在平板上温度分布的定义域大约为 28 °C 到 36 °C。比较系统级的计算结果，zoom-in 模型的结果对于单独的 PCB 而言要更为准确。

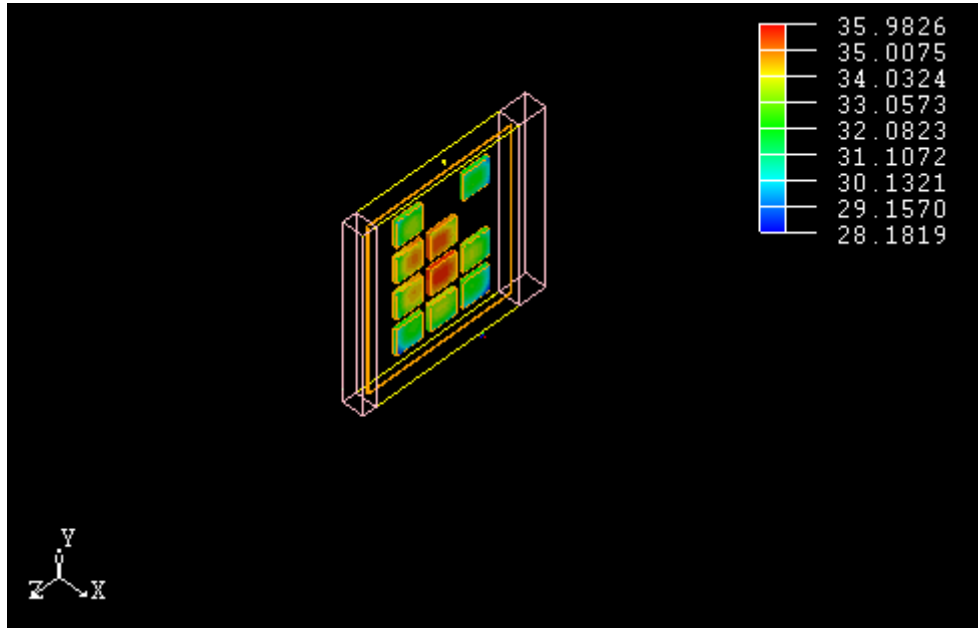


图 8.7: 芯片元件上的温度分布云图

- (i) 关闭 **Show contours** 选项并单击 **Update**。
2. 显示 zoom-in 模型的粒子轨迹图。。
 - (a) 在 **Object face** 面板中单击 **New** 可以**创建**一个新的后处理图形。
 - (b) 在 **Object** 下拉式列表中，滚动列表中的物体，选择 **side_opening. miny**，然后单击 **Accept**。
 - (c) 开启 **Show particle traces** 选项并单击 **Create**。
 - (d) 单击 **Parameters** 按钮 在 **Show particle traces** 选项的后面。
Object face particles 面板将会打开。
 - (e) 在 **Object face particles** 面板中，打开 **Display options** 下的 **Uniform** 选项，并且在文本框中输入 100。
 - (f) 在 **Animation** 下，打开 **Loop mode** 选项。
 - (g) 在 **Color levels** 中，保持默认的选择为 **Calculated** 然后选择 **This Object** 在下拉式列表中。
 - (h) 单击 **Animate** 可以开始显示粒子流
 - (i) 在 **Icepak** 窗口的右上角，单击红色的 **Interrupt** 按钮可以停止目前的动画。
 - (j)

单击 **Done** 可以关闭面板。

(k)

单击 **Done** 可以关闭 **Object Face** 面板。

总结

在这个教程中，你研究了一个相同模型在不同的形式下的温度分布和流场特征。首先，你研究了远程通信架模型的系统级分析，这个模型包括了十个单独的 PCB 板。然后你研究了 zoom-in 模型，这个模型聚焦到其中的一个 PCB 板并将这块 PCB 板进一步详细化为若干个芯片。虽然在温度分布两者相差无几，但 zoom-in 的模型可以得到更为详细的温度云图分布。因此，zoom-in 模型在允许你研究大系统中的小局部的同时，没有增加整个系统的网格数目，从而大大节省了分析所花费的时间。

练习 8 带有离心风机的机柜

介绍

该练习的目标是使用户熟悉离心风扇（Blower）模型，用了一个带有离心风扇的电信机柜做例子。随着热功率的增加和机柜空间的限制，离心风扇也用得越来越多，从而提高机柜的气流流量。该练习是用 4 个离心风扇来冷却一组 PCB 板的例子。

步骤 1: 载入模型

- 解压（Unpack）模型：“blower-tutorial.tzr”
- 根据您的爱好选择项目名

步骤 2: 创建离心风扇架

该模型包括一个机柜和一组 PCB 板及一块背板。模型中有 12 个 assemblies 表示机柜。如果你看到模型中有装配“Slot-x”和 plate “Card-x”表示 PCB，而 blocks 表示上下两块连接 PCB 和背板的块。实际上，每块 PCB 上有许多的部件。我们将其简化为一块简单的 plate。所有的 PCB 有完全一样。总功耗是每块 PCB 为 100 W，所以“Card-x”有 100 W 功耗。底盘有两块卡，一块在上面，一块在下面。

模型还包括进口和出口，在底盘（chassis）的边上。我们将建立一个离心风扇架。点击 Click blower 图标，输入如下参数：

对象类型	Plane	xC	yC	zC	Radius	IRadius	Case	Other properties
Blower	X-Z	0.1093	.454	0.175	0.06	0.045	0.046	Blower Type: Type 1 Single Inlet

打开 **Edit** 菜单输入详细信息：

Tab	Settings
Geometry	Hub Radius: 0.02 m Case Location From Blower: High side
Properties	Swirl Fan Blade Angle: 60 deg. RPM: 1600

其流量为如下非线性曲线：

Volume Flow m ³ /s	Pressure N/m ²
0.0	149.4
0.018	132.3
0.04	89.36
0.052	40.62
0.0566	0.0

针对每一个离心风扇我们将生成一个非连续 assembly。所以在 copy 之前先建立 assembly 并给定 slack 值。定义 **Slack** 参数如下：

Min X	0.01	Max X	0.01
Min Y	0.005	Max Y	0.0
Min Z	0.01	Max Z	0.01

现在，我们复制 blower assembly。先做一个 copy，定义 Z-offset 为 0.145 m。然后选择两个 blower 再做 copy，此时定义 X-offset 为 0.2185 m。

最终的模型如图 8.1。

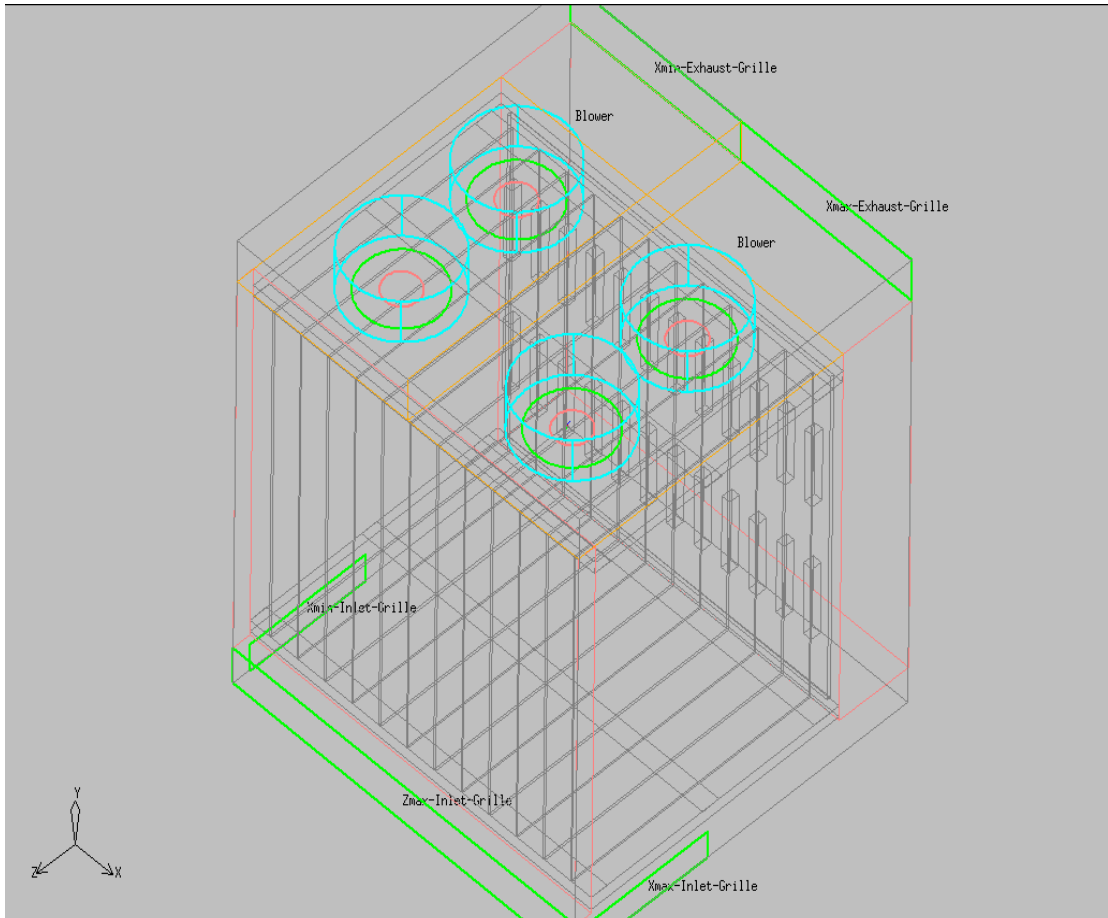


图 8.1: 带有离心风扇的 ICEPAK 模型

步骤 3: 生成网格

打开网格菜单，保持缺省设置，注意“Mesh assemblies separately”是选中的。然后点击 Generate mesh。通过做切面，看表面网格来检查网格。也检查 Face alignment 和 Aspect ratio。

步骤 4: 求解

选择 **Solve/Settings/Basic**，设置迭代次数为 400。并把 flow equations 收敛准则改为 $1e-6$ 。点击 Accept。求解离心风扇模型通常需要的计算时间会长一些，而且质量守恒需要更严格的收敛准则。如上所做的设置。

求解之前，打开“Enable Sequential solve of Flow and Energy equations”选项。我们将先计算流动方程再计算能量方程。这种方法对于离心风扇模型会更适合。它能减少求解时间。选中“Write Overview of Results When Finished”按钮，然后再点击“Start solution”。

步骤 5: 后处理

结果收敛后，我们可以生成一个 **Solution overview report**。通过点击 **Report/Solution Overview/ Create** 按钮，选择 **solution ID**。可以报告出基于对象的质量/体积流量，热流，最高温度等。

现在做 **blowers** 的速度矢量，板卡的温度云图。

练习 9 网格和模型强化练习

介绍

该练习的目标是训练如何改进模型。练习之后，对今后再做热模型及改进模型会有一些帮助。

预备知识

应该熟悉如下内容：

- Icepak 的建模
- 基本的网格划分
- 非连续网格

技能要求

- 会选择薄/厚物体
- 基本的网格技能
- 非连续网格
- 会使用单个物体加密设置

培训的方法

本练习采用了一种发现并修改问题的方法，提供了一个有改进潜力的模型。将给你限制 15 分钟来改进模型（注意：在这么短的时间内你不需要改进所有的问题）。这将帮助你了解自己对模型的熟悉程度。然后，将一步一步的给你提示改进模型的方法。请放松自己，你可以熟悉软件界面，或与其它人员合作或询问指导老师。

步骤 1: 载入模型

- 解压 (Unpack) 模型: “meshing-tutorial-start.tzr”
- 根据您的爱好选择项目名

步骤 2: 15 分钟发现问题

不做改动的话, 该模型约 500, 000 个网格。有可能减少到小于 250, 000 而不降低计算精度。允许你改动、删除或增加物体, 只要你不改变模型的物性。你可以求助于功耗/材料物性来改变模型。非连续网格是帮助你完成任务的技巧之一。

做这项工作, 你只要做 15 分钟然后停止。接着进行下面的步骤即可。

提示: 先不改动模型做网格, 用切面来看网格, 找出那些不需要的多余网格的位置。改变模型也是对你发现的问题来进行。

步骤 3: 逐步提高训练

- 将你的模型另存一个文件名
- 重新调入你刚才解压 (unpack) 的模型 (“meshing-tutorial-start”)
- 另存文件
- 不改动模型, 生成网格。你会看见一个警告信息。这是一个很重要的信息。但你以后再改动。现在, 点击 `accept` 它建议的值。你会发现你的网格数约为 500, 000
- 再做另一个方向的切面来判断导致网格数多的原因。图 9.1 是其中的一个切面
- 图 9.1 显示了网格数多是由于散热器和器件网格扩散导致的
- *Icepak 里有什么办法能够避免这种现象呢?*

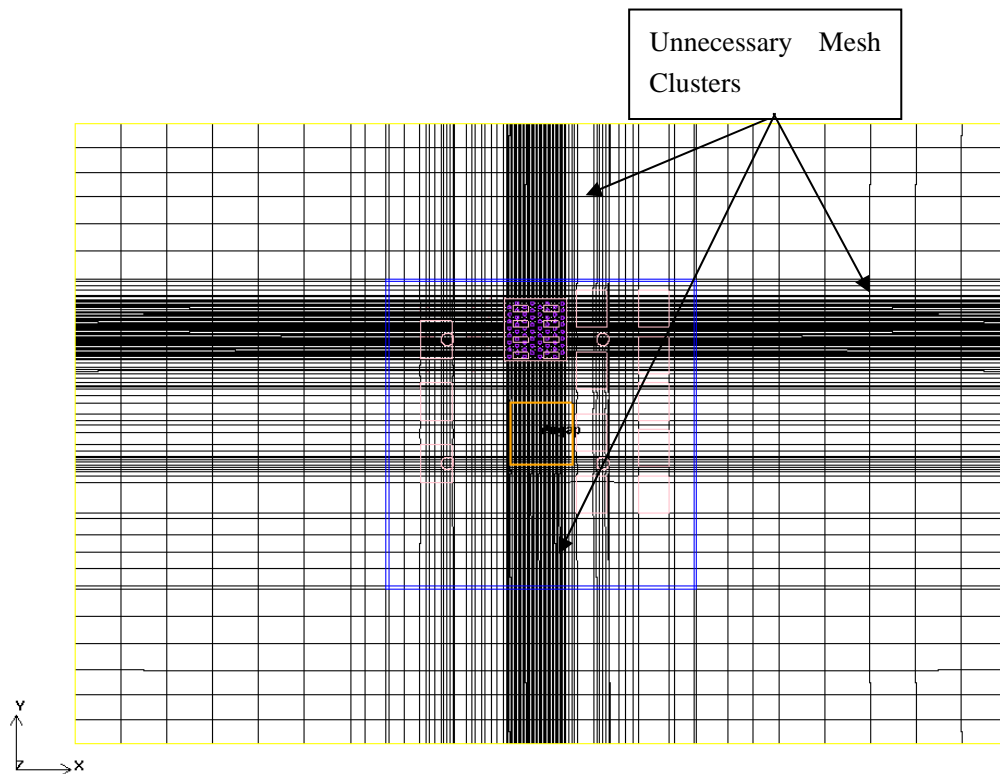


图 9.1: 不改动模型的情况下的切面网格

改进方法一：对散热器和器件做非连续网格

- 对散热器和器件做一个 assembly
 - 提示 *Shift + 左键*来选择你要做 assembly 的模型
- 对这个 assembly，激活“Mesh Separately”，并指定 slack 值。当你指定 slack 值时，要保证是不违反非连续网格规则的
- 再次生成网格
- 你会看见一个警告信息，说是 thin plate 和 non-conformal 的边界相交了。注意这个提示实际上产告诉你，你违反了规则，如图 9.2 所示
- 点击 OK 等待网格做完
- 观察到网格数在你改动的地方大量减少



图 9.2: 薄板与非连续网格相交

改进方法二： 解决薄板和非连续网格相交的问题

- 问题：上面警告中提到的薄板（mask）的选择：
 - 薄板（mask）的厚度是多少？
 - 给该 plate 指定材料。Conductivity 是多少？
 - 确定该 PCB 的厚度和导热率。
 - 基于上述信息，你认为这块板与 PCB 相比是不是很好的热扩散器。
 - 这个 mask 不是很好的热扩散器，但它阻止它周围的热流。所以我们不能忽略它。
 - 实际上，这个模型中有两块 mask plates 被做成了薄板模型，（两块 PCB 上各一块）。
 - 改变板的类型为“Contact Resistance”。这样可以保留法向的热流而忽略板面内热的扩散。
- 重新生成网格或调用已有的网格。（网格和刚才的是一样的）。
- 再做切面来检查网格是否还有多余的。图 9.3 显示了这个切面。
- 这次不需要的网格是在器件周围，被称做“hi-flux-comp”（红色物体）。

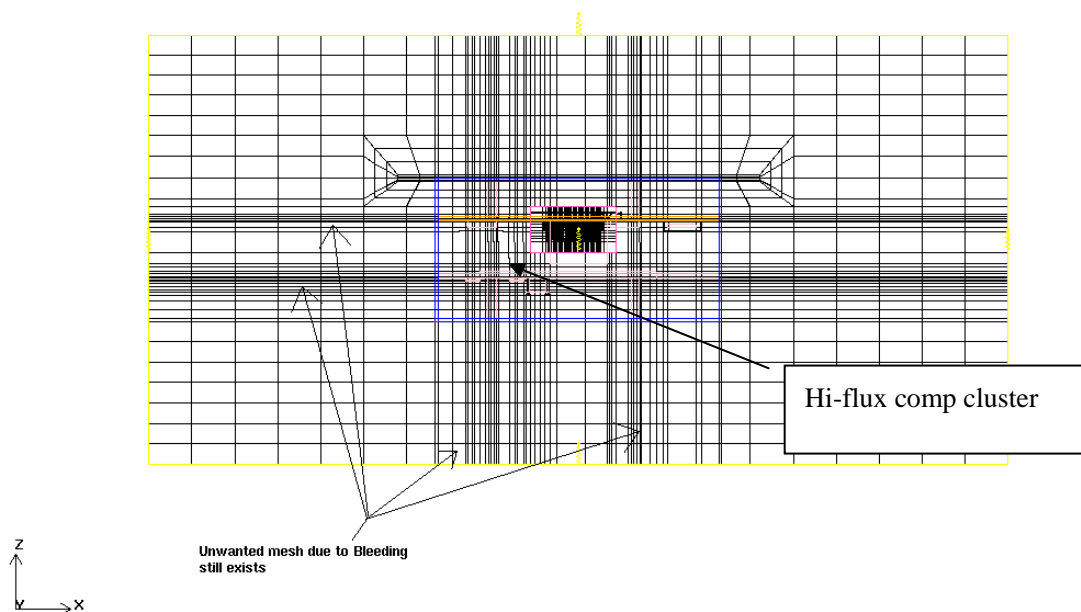


图 9.3: 通过第一次使用 non-conformal 后网格

改进方法三：对“hi-flux-comps”采用非连续网格

- 在“hi-flux-comps”周围生成非连续网格
 - 即使你仅对“hi-flux-comps”感兴趣，还是有两个圆柱离得很近。非连续网格的界面不允许与圆柱相交，你有两个选择：
 - 选择一个小的 slack 以避开圆柱。这样将在小的间隙内做很多不想要的网格。
 - 将圆柱也包括在这个 assembly 里。这是建议的做法。
- 再生成网格。
- 再做切面。
- 图 9.4 显示了切面网格。

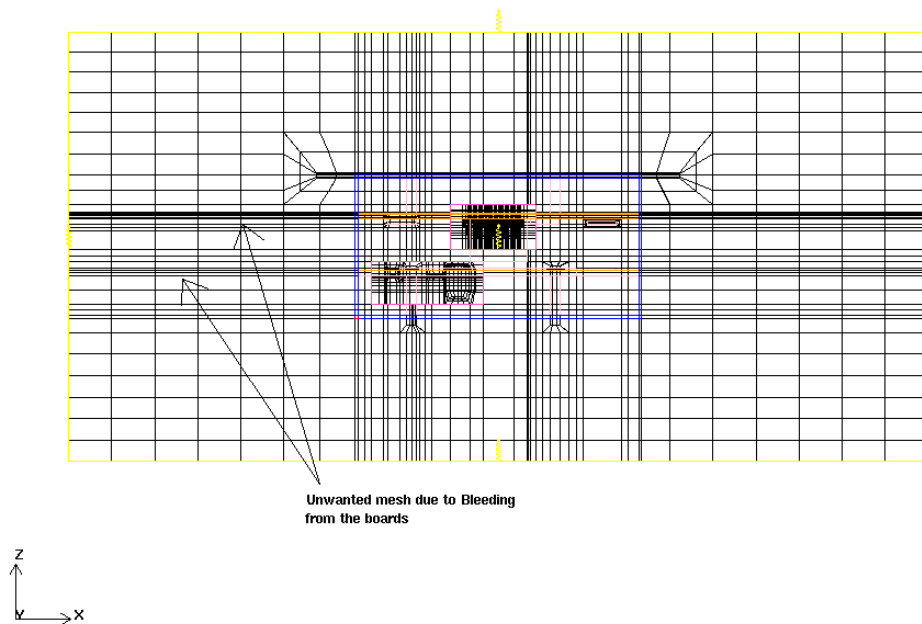


图 9.4：板周围的网格扩散

改进方法四：超级装配（Assembly）

- 图 9.4 看到的网格扩散可以通过创建一个整个箱体的装配（蓝盒子）。
- 图 9.5 是切面网格。
- 这个超级装配包含了子装配，被称做“嵌入式非连续网格”

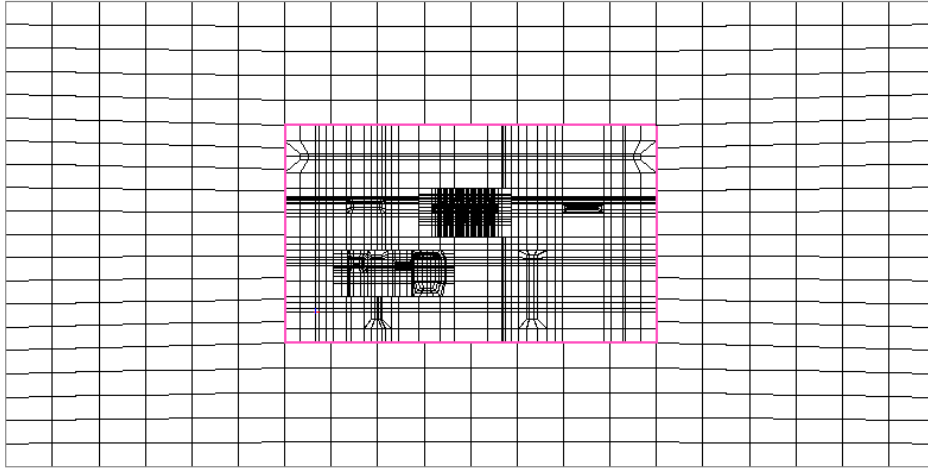


图 9.5: 嵌入式网格切面

再检查间距设置

一开始你接受了 icepak 间隙修改的建议。我们再来检查一下，现在重新做决定。缺省情况，网格间距控制设置为 0.001 m.

- 将间距设置仍调整为缺省值 0.001 m
- 生成网格.
- 图 9.6 所示的对话框又出现了。
- 这次不选择“接受”。仔细阅读一下。

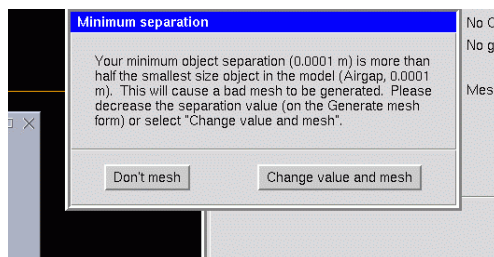


图 9.6: 间距警告

- 这个警告的出现是因为间距（Separation，认为是网格的容差）大于物体最小长度的 10%。
- 当有物体比网格容差还小时，这些物体将不会得到正确的网格。
- 但是，注意到这个间距设置对消除不需要的网格是很有用的。
- 找到警告中提到的物体名称。
- 为什么我们要建立厚度为 0.1 mm 物体？可能是为了提高精度？
- 不接受建议值，而是改动间距设置。

改进方法五： 根据阻力量级做简化

- 根据物体名称，发现警告是指某个器件（模型中是一块有厚度的板）下的空气间隙。
- 下面是不用接触热阻描述空气间隙的原因：
 - 一块薄板不能重叠。如果空气间隙用接触热阻建模的话，下面的 mask 就会不能做到网格。
 - mask 的厚度和导热率？
 - 空气间隙的厚度和导热率？
 - 这两个物体分别建是为了考虑到它们两个的效果。
 - Mask 和空气间隙的阻尼相比如何？
 - 是不是 mask 对两个阻尼的贡献都很大呢？
 - 你能不能合理地排除 mask，通过将空气间隙做为接触热阻？Can you justify suppressing the mask under the air gap by making the “airgap” a contact resistance plate?
 - 如果你将空气间隙做为接触热阻，必须确认它的优先级比”mask”高。你可以通过修改优先级还实现，（同一类型的对象，优先级数字大的优先级高。在模型树中优先级高的在最后）。
- 再次生成网格
- 这次你会得到另一个物体间距的警告是 AI-spreader.

改进方法六： 一个薄板模型一流的案例

- 由于接触热阻板不能实现面内的传热，我们不能用在这儿。

薄板导热模型可以在法向和面内传热。同时薄板模型不会产生细小的网格。在厚度方向的传热将被忽略。

- 将“AI-spreader”由厚板改为薄板。

注意：如果模型做了这样的改动，必须考虑到非连续网格。这样会不会造成薄板与装配的界面相交？如果发生了则再次调整 slack. (图 9.7)。

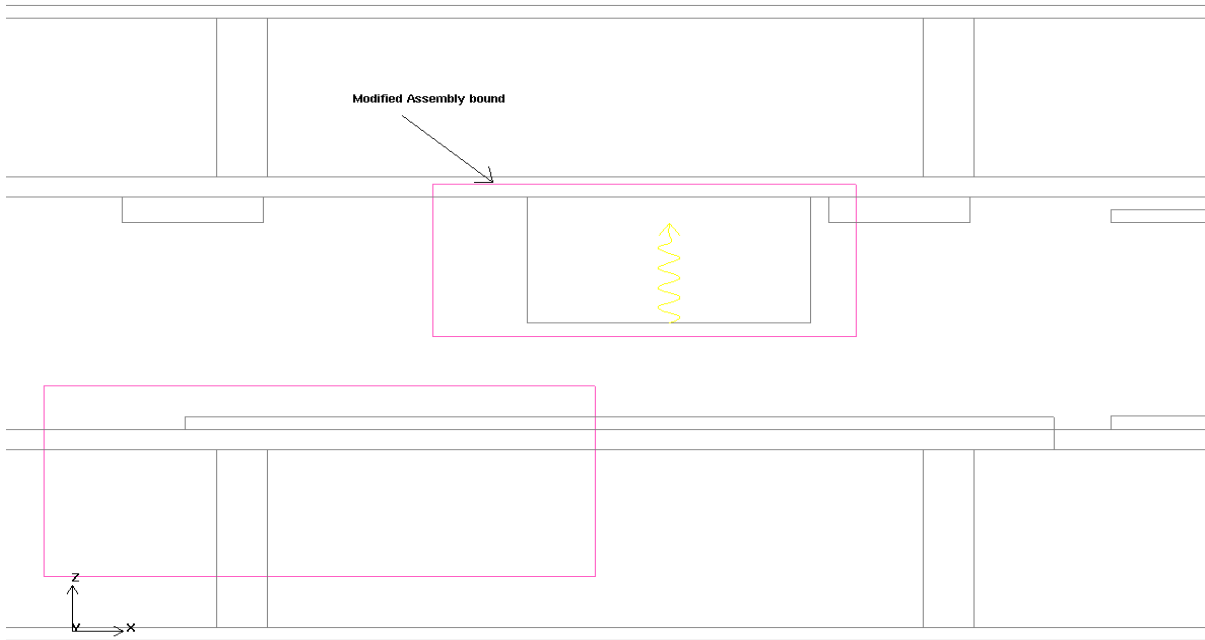


图 9.7: 避免与薄板相交.

- 再次生成网格
- 警告再次出现—这次是 die，因为它的尺寸是 0.0004 mm.
- 这个物体是热源，它已经是薄板模型了。这个警告是指封装的宽度。
- die 的表面积直接影响到器件的温度。这个不能改。

因此这会选择“接受”它建议的网格间隙。这回网格数比一开始少了很多。

- 注意到实际上可能用比 10%大的间距。用 50% 做为最小间距的判据是最极限的。

步骤 4: 对预测网格质量的一些建议

在第一次分析时关键散热器件表面的第一层网格应该小于 1 mm。

检查 walls, PCB 和关键散热器件的网格。

采用“Object params”来控制上述提到的关键器件。

再生成网格来确认你的要求是否实现了。

步骤 5: 最后，比较…

为了用于比较，可以不激活“mesh separately”选项再做网格。

两者的区别就在于是否做非连续网格。

步骤 6: 结束

求解和后处理超出了本练习的范围。

现在请将这些方式与你一开始 15 分钟的考虑进行比较。

总结

本练习提供了一个有改进空间的模型。

采用适当的建模和网格划分技巧，模型和网格都得到了改善。

这些改进可以大量地减少求解时间，而实际上对物理模型和精度没有影响。

练习 10 过滤网的损失系数

介绍

本练习将展示怎样设置试验工况、进行参数化计算、及后处理。一般来说，我们会经常碰到计算某种图案的隔栅的损失系数。这个练习的目的就是如何确定孔形为六边形的隔栅的最小损失系数。

在这个练习中，你将学到：

- 定义优化参数
- 定义试验工况
- 定义用于报告的基本和组合函数
- 进行参数化求解
- 写参数化计算结果报告和绘制计算结果曲线图

问题描述

在该模型中有一个长度为 200mm 的箱体，其两端分别为进出口，箱体的横截面为 7.363 mm x 12.7001 mm，另外四个面的类型为对称壁面。在模型中还有一个六边形孔的隔栅，被放置在沿流动方向的中间位置，如图 9.1 所示。在隔栅的中间是一个完整的六边形孔，在其周围是四个四分之一六边形孔。选择这种形状的隔栅是因为它形成了一个完整的周期单元，可以用来计算得到损失系数。这样的计算结果可以通过镜像复制来得到整个计算空间的计算结果。

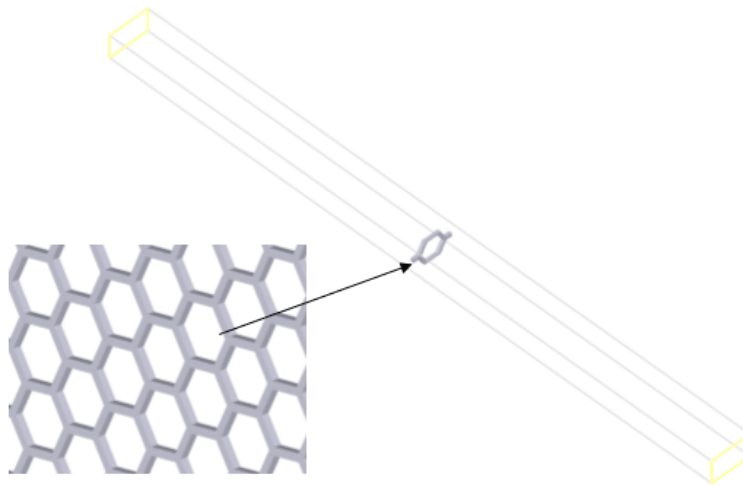


图 9.1: 问题描述

步骤 1: 打开一个已有项目

1. 拷贝文件

ICEPAK_ROOT /tutorials/loss-coefficient/loss-coefficient.tzr

到你的工作目录。将 ICEPAK_ROOT 替换成你机器上的 **Icepak** 安装目录。

2. 启动 **Icepak**，参考用户指南 1.5 节。

当 **Icepak** 启动后，自动弹出 **New/existing** 窗口。

3. 点击 **New/existing** 窗口中的 **Unpack** 按钮。

File selection 窗口将会弹出。

4. 在 **File selection** 窗口中，选择被压缩的项目文件 **loss-coefficient.tzr**，点击按钮 **Open**。

Location for the unpacked project 文件选择对话框将会出现。

5. 在 **Location for the unpacked project** 文件选择对话框中选择一个你希望将压缩的项目文件放置的目录，在 **New project** 文本栏中输入项目名称，然后点击 **Unpack** 按钮。

Icepak 将会把模型显示在图形窗口中，如图 9.2 所示

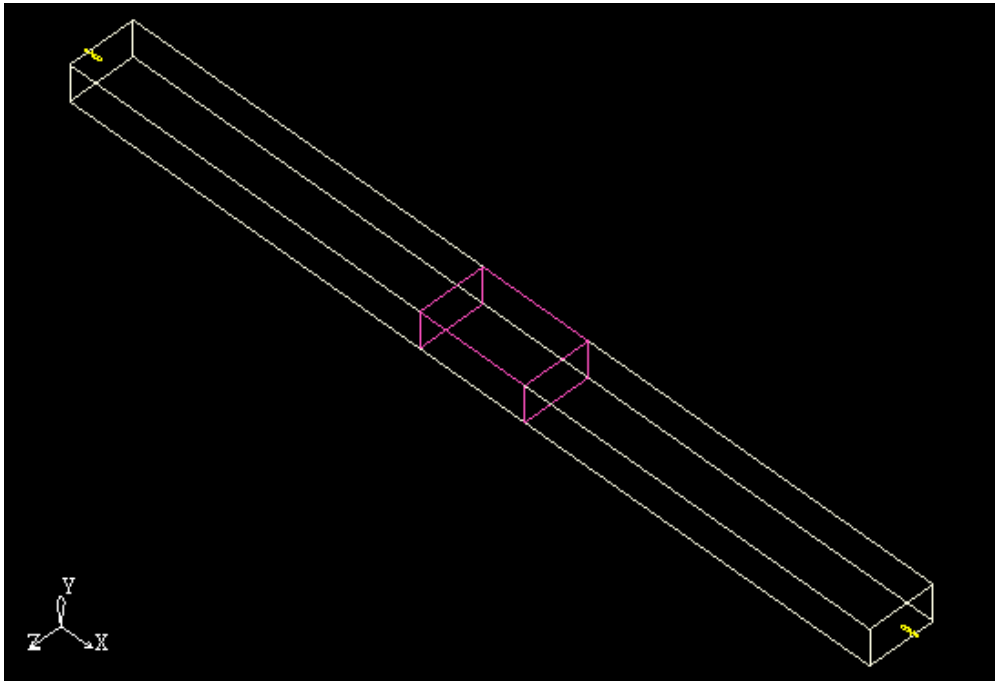


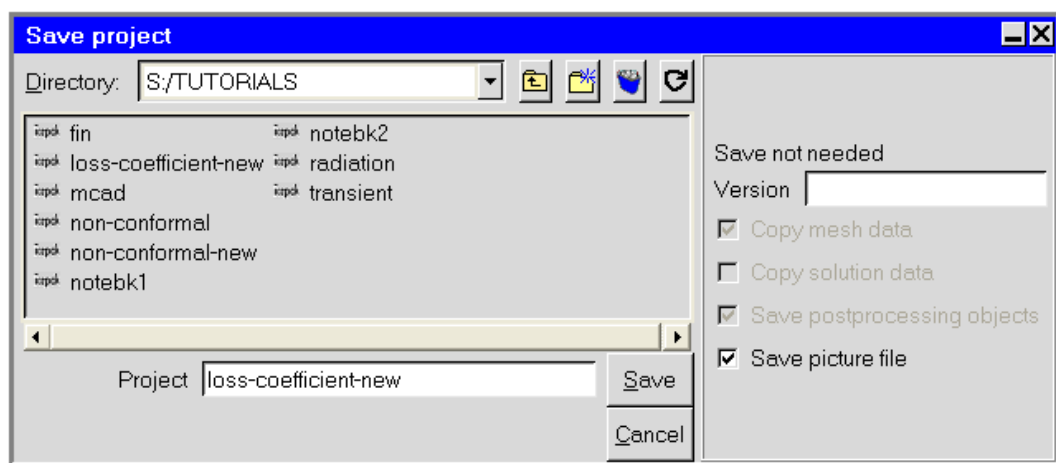
图 9.2: 导入模型

你可以用鼠标左键旋转机柜，或用中键平移，右键放大/缩小。还可以用**Home position**回来原始状态。

6. 将模型保存成一个新的项目文件。
这使得你可以在原来的模型上进行扩充而不影响原来的文件。

File → **Save project as**

- (a) 在 **Project** 文本栏中输入名字 **loss-coefficient-new**。
- (b) 点击 **Save**。



7. 确认只有流动需要求解，流型设置为层流。

 Problem setup →  Basic parameters

- (a) 在 Variables solved 中保留缺省选择 **Flow(velocity/pressure)**。
- (b) 在 Flow regime 中保留缺省设置为 Laminar。
- (c) 点击 **Accept** 按钮，关闭对话框。

步骤 2：定义参数和试验工况


你首先需要定义一个参数，以及同参数相关的试验工况。接下来定义一个总结报告，然后设定需要报告的基本函数和组合函数

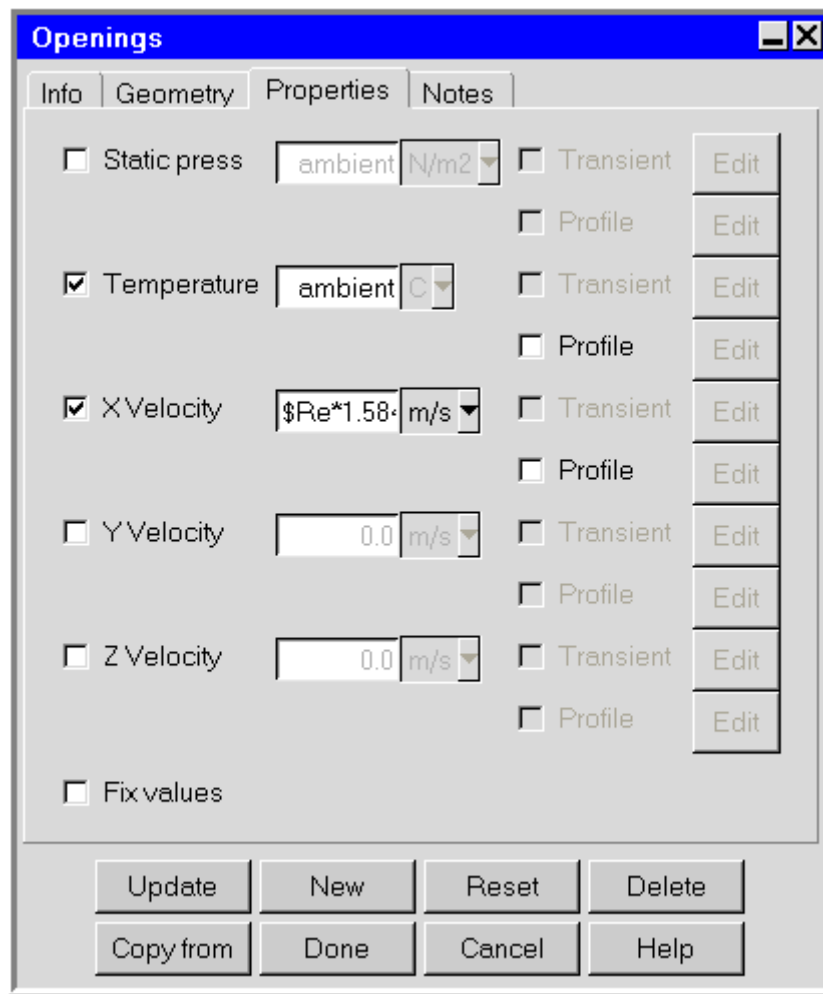
1. 在入口根据雷诺数 (Re) 定义一个速度。

在定义损失系数时，通常用雷诺数 (Re) 来代替速度。入口的速度可以这样来计算

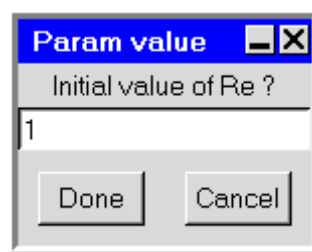
$$U = Re * \nu / D_h$$

，其中运动粘度为 $\nu = 1.5843e - 5 \text{ Kg/m} - \text{s}$ ，六边形孔的水力直径为 $D_h = 6.3737e - 3 \text{ m}$ 。

- (a) 在 Model manager 窗口选择入口 cabinet_default_side_minx，点击  按钮打开 Openings 面板。
- (b) 点击 **Properties** 选项卡。
- (c) 选择 **X Velocity**，将其值设定为 $\$Re*1.5843e-5/6.3737e-3$ 。



(d) 点击 **Done** 按钮确认设置成功。这时 Param value 面板会打开。



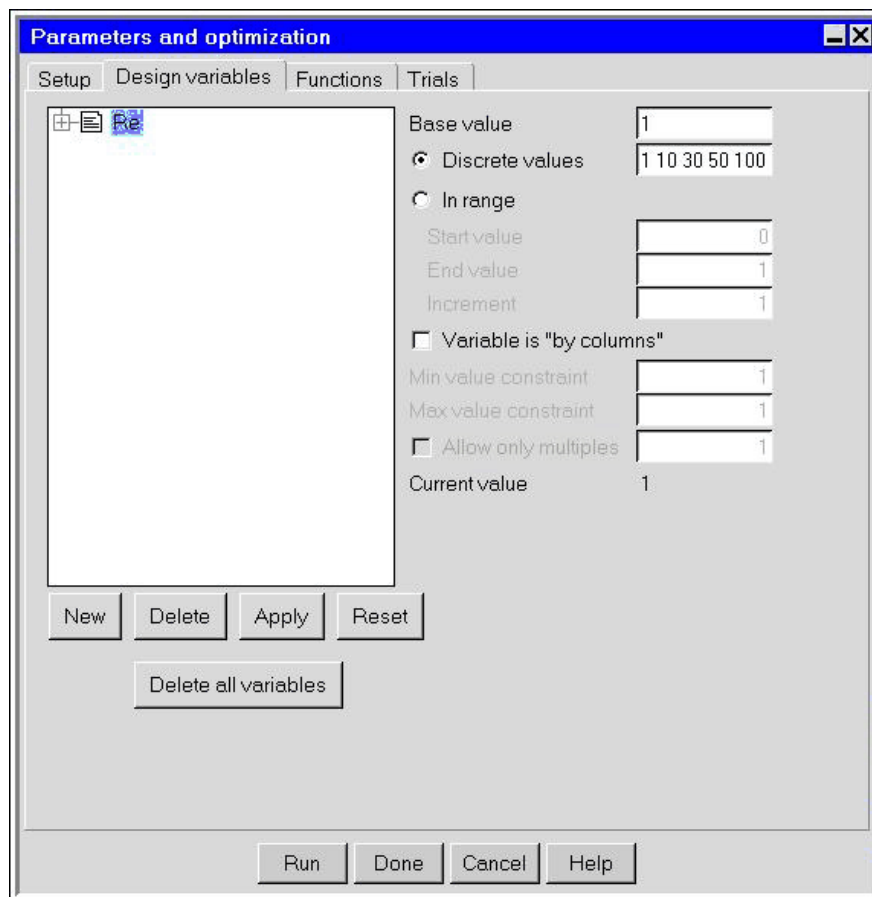
(e) 将 Initial value of Re 的值设置为 1，点击 **Done** 按钮，同时关闭 Param value 和 Openings 面板

2. 根据不同的雷诺数来定义七个试验工况。

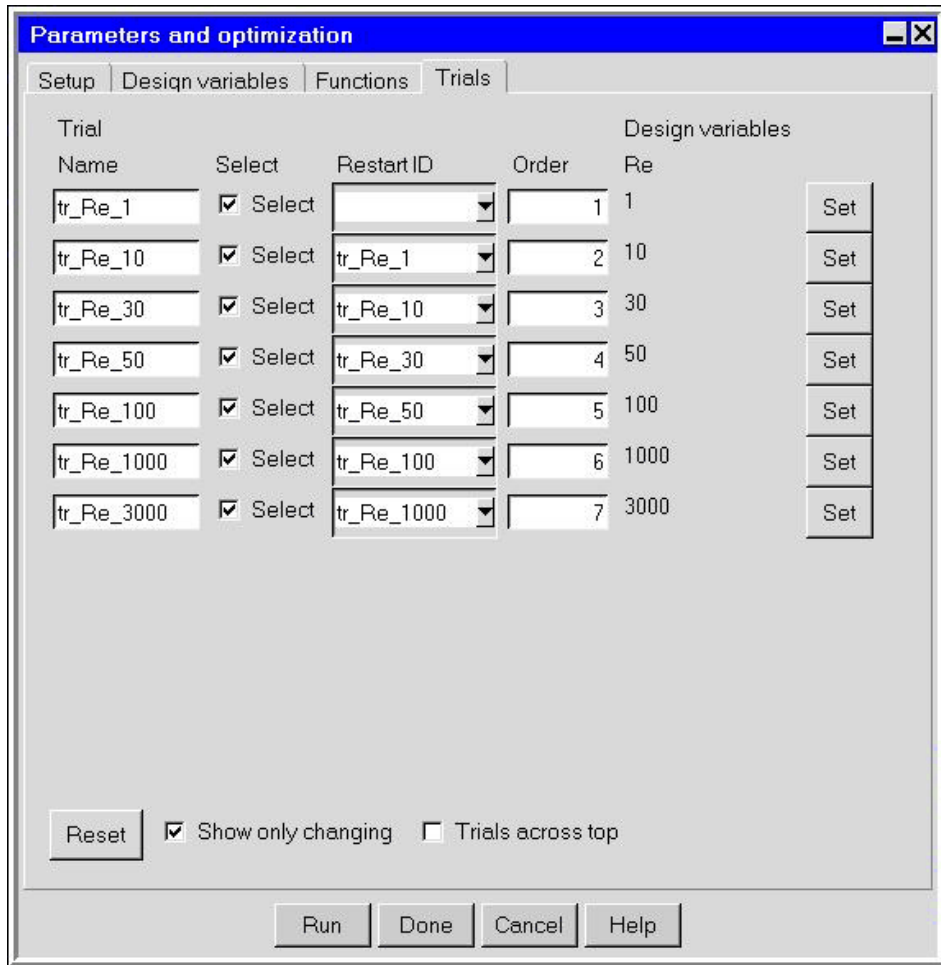
Solve → **Define trials**

(a) 在 Parameters and optimization 面板中，在 Setup 选项卡中选中 **Parametric trials** 选项，选择 **All combinations**。

(b) 点击 Design variables 选项卡，在 Discrete values 旁边输入以下雷诺数的值，然后点击 **Apply** 按钮接受输入：1 10 30 50 100 1000 3000。



(c) 点击 **Trials** 选项卡来查看试验工况。关闭选项卡底部的 **Trials across top** 选项，选择 **Values** 而不是 **Numbered**，根据 **Values** 来定义试验工况的名字。



(d) 点击 **Done** 来关闭面板

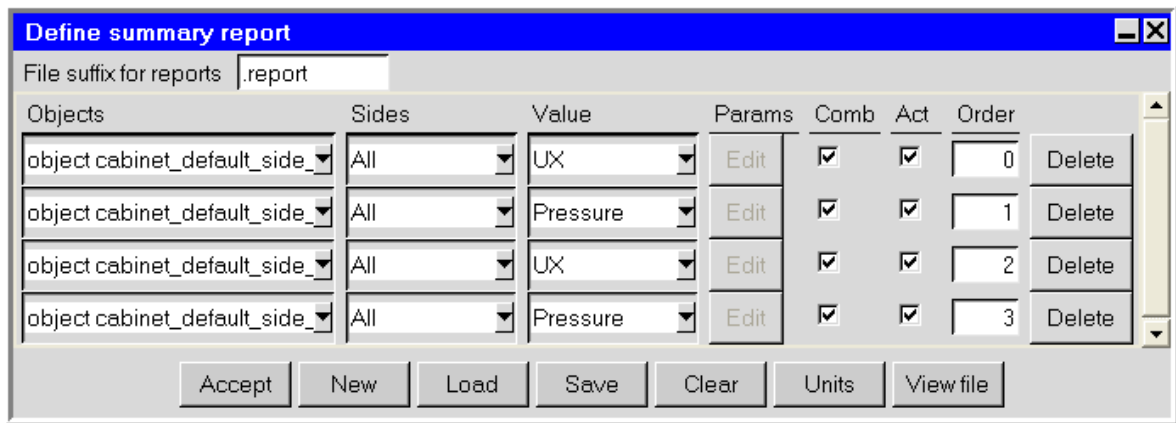
3. 定义一个报告来显示进出口的平均速度和压力。

Solve → **Define report**

损失系数等于整个计算区域的总压差除以平均动压头。

$$K = (P_{tot-in} - P_{tot-out}) / 0.5\rho u^2$$

- 在 Define summary report 面板中，点击 New 按钮。
- 在 Objects 下拉列表中，选择 cabinet_default_side_maxx，点击 Accept。
- 在 Value 下拉列表中，选择 UX。
- 重复 (a) 到 (b)，然后在 Value 下拉列表中选择 Pressure。
- 对于 cabinet_default_side_minx 重复从 (a) 到 (d) 同样的操作。
- 点击 Accept 按钮接受设置，关闭面板。



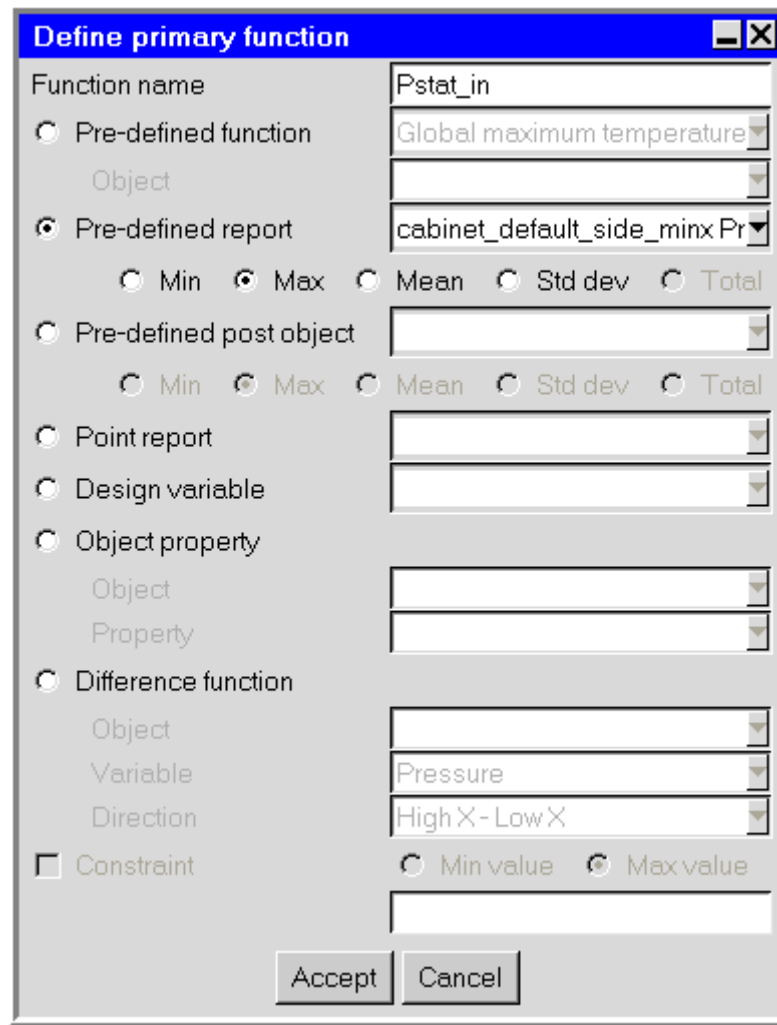
4. 设置参数化试验工况，定义基本和组合函数。

Solve → **Run optimization**

- (a) 在 **Parameters and optimization** 面板中，点击 **Setup** 选项卡。
- (b) 确认 **Parametric trials** 和 **All combinations** 被选中。
- (c) 点击 **Functions** 选项卡。
- (d) 定义四个基本函数（**Pstat_in**, **Pstat_out**, **Uave_in**, and **Uave_out**）。

这些函数分别代表了进出口的静压力和速度。

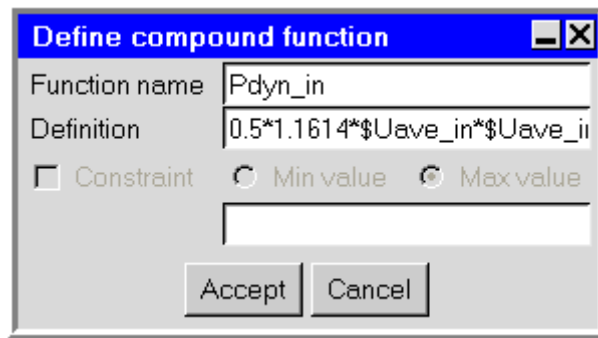
- i、在 **Primary functions** 中，点击 **New** 按钮，打开 **Define primary function** 面板。



- ii、在 Define primary function 面板中，在 Function name 中输入 Pstat_in。
- iii、选择 **Pre-defined report**，然后在下拉列表中选择 cabinet_default_side_minx Pressure。
- iv、 点击 **Accept** 按钮接受所有的修改，关闭面板。
- v、 重复从(i)到(iv)，创建以下三个函数。

Function name	Pre-defined report
Pstat_out	cabinet_default_side_maxx Pressure
Uave_in	cabinet_default_side_minx UX
Uave_out	cabinet_default_side_maxx UX

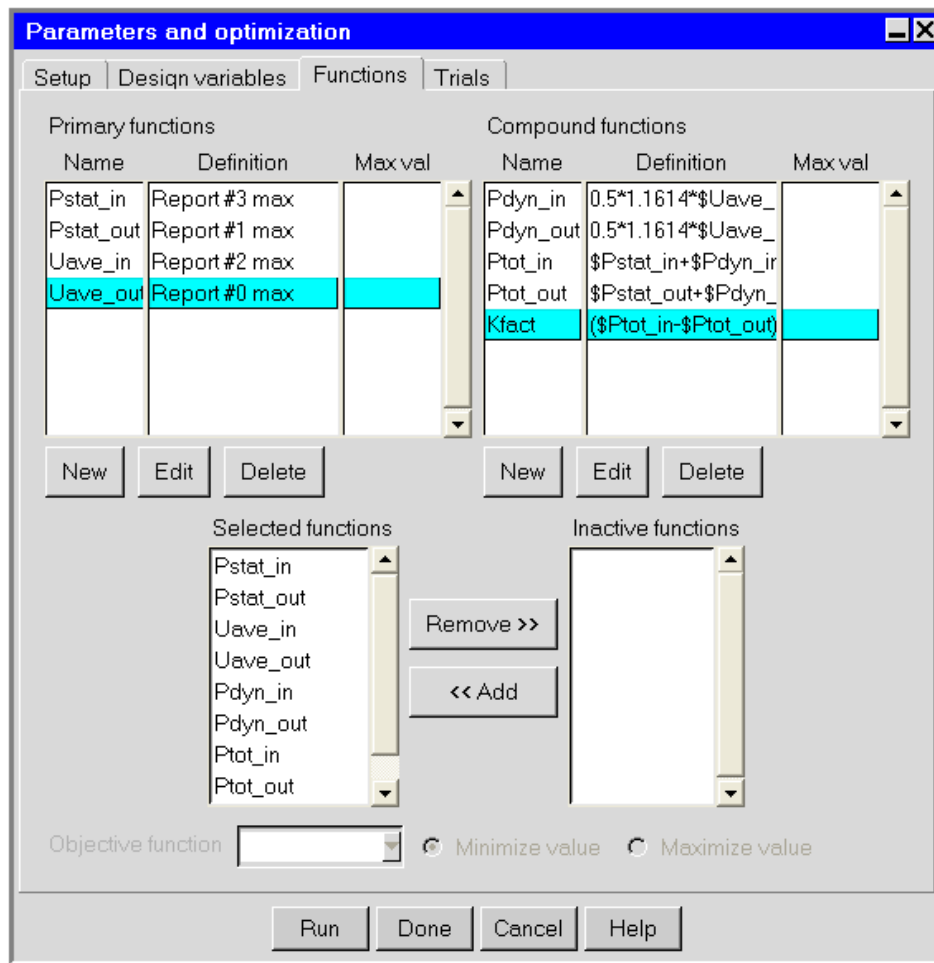
- (e) 定义五个组合函数(Pdyn_in, Pdyn_out, Ptot_in, Ptot_out, and Kfact)。
 - i、在 Compound functions 中，点击 **New** 按钮，打开 Define compound function 面板。



- ii、在 Define compound function 面板中，在 Function name 中输入 Pdyn_in。
- iii、在 Definition 这一栏输入 $0.5*1.1614*\$Uave_in*\$Uave_in$ 。
- iv、点击 **Accept** 按钮接受所有的修改，关闭面板。
- v、重复从(i)到(iv)，创建以下四个函数。

Function name	Definition
Pdyn_out	$0.5*1.1614*\$Uave_out*\$Uave_out$
Ptot_in	$\$Pstat_in+\$Pdyn_in$
Ptot_out	$\$Pstat_out+\$Pdyn_out$
Kfact	$(\$Ptot_in-\$Ptot_out)/\$Pdyn_out$

(f) 点击 Done 按钮，关闭 Parameters and optimization 面板。



步骤 3: 生成网格

对于这个模型来说，你只需要一步就可以生成网格。所生成的网格在物体表面附近充分密，足以解析流场特性。

Model → **Generate Mesh**

1. 生成网格。

- (a) 保留 Mesh control 面板中所有的缺省设置。
- (b) 在 Global settings 中，确认 Mesh assemblies separately 选项被关闭。
- (c) 点击 Mesh control 面板中的 **Generate mesh** 按钮生成网格。

Icepak 会提示你在你的模型中有一些小的缝隙。如果 Minimum separation in y for assembly "Grille-assembly" 面板弹出，点击 **Change value and mesh**，允许 **Icepak** 对你的模型进行一些必要的调整，然后划分网格。

2. 检查网格。

- (a) 点击 **Display** 选项卡。
- (b) 打开 **Cut plane** 选项。
- (c) 在 Set position 下拉列表中, 选择 **Y plane through center**。
- (d) 打开 **Display mesh option** 选项。

显示通过箱体中心 x-y 平面上的网格, 如图 9.3 所示。

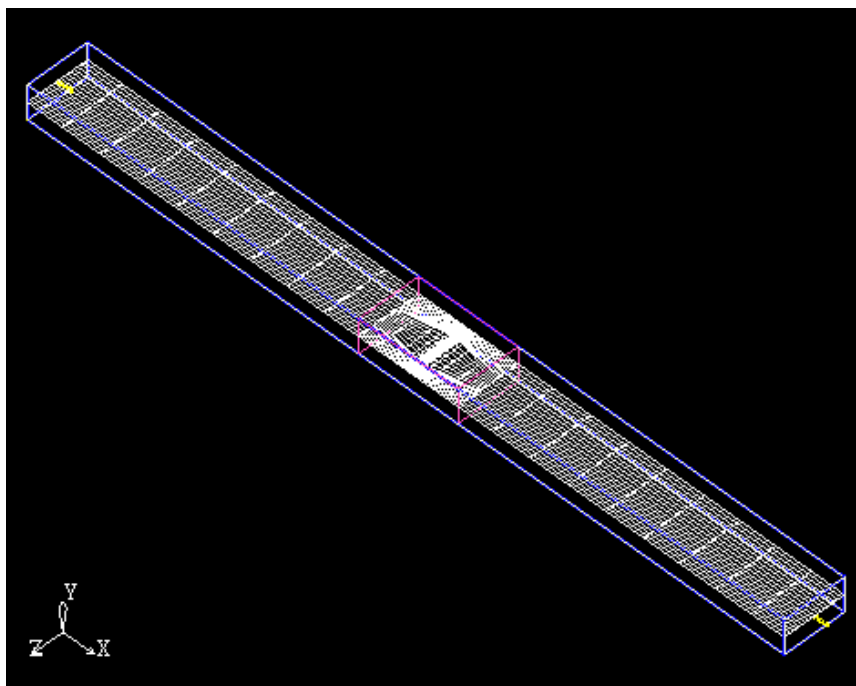



Figure 9.3: Mesh on the  Plane

3. 关闭网格显示。

- (a) 关闭 Display mesh 选项。
- (b) 点击 Close 按钮, 关闭 Mesh control 面板。

步骤 4: 保存项目文件

Icepak 将在你求解之前自动保存模型,但是建议你自己也保存一次. 如果你在求解前退出**Icepak**, 你可以在下一次再打开你的项目再求解。(如果你求解了,**Icepak** 将简单地覆盖你保存的模型。)

File → Save project



步骤 5: 求解

- 1. 将 Number of iterations 增加到 500。

 Solution settings →  Basic settings

- (a) 在 Number of iterations 栏输入 500。
- (b) 点击 Basic settings 面板中的 **Accept** 按钮。

2. 修改松弛因子。

 Solution settings →  Advanced settings

打开 Advanced solver setup 面板。

- (a) 将 Pressure 的松弛因子设置为 0.7，Momentum 的松弛因子设置为 0.3。
- (b) 点击 Advanced solver setup 面板上的 **Accept** 按钮。

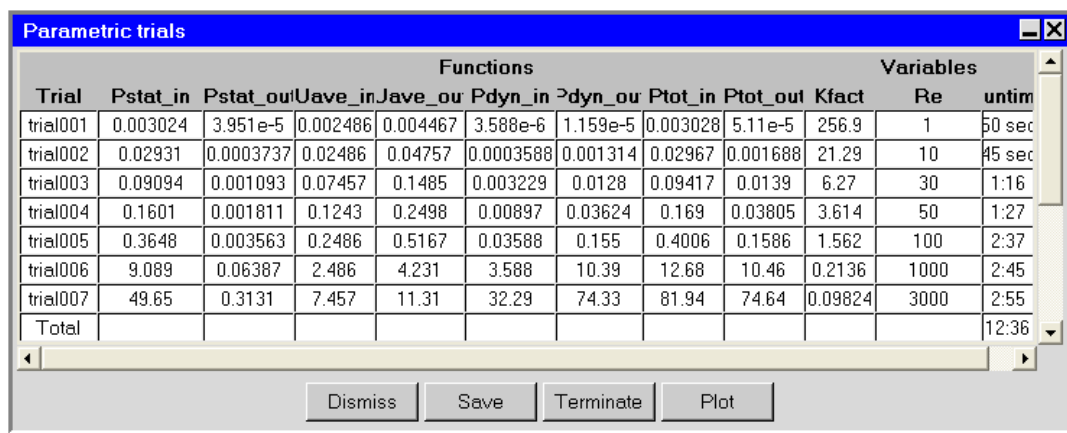
3. 开始计算。

注意：你可以点击 Model and solve 工具栏中的  按钮。

- (a) 关闭 Setup 选项卡中的 **Allow fast trials (single .cas file)** 选项。
- (b) 点击 Parameters and optimization 面板中的 **Run** 按钮。

步骤 6: 检查结果

当 **Icepak** 在进行试验工况的计算时, Parametric trials 面板将会显示优化参数和计算时间, 同时还会显示所有在前面定义的函数值。也可以通过选择 Report 菜单下的 Show optimization/param results 来打开 Parametric trials 面板。

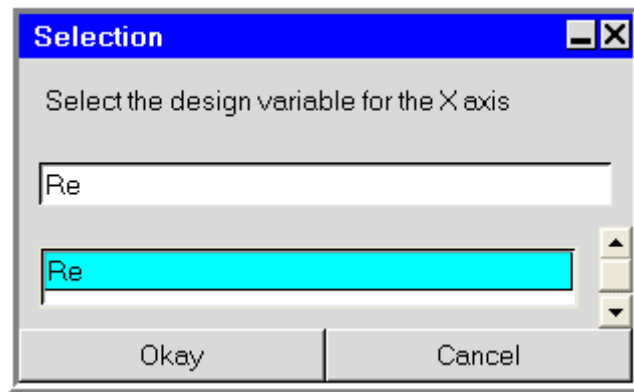


Trial	Functions								Variables		
	Pstat_in	Pstat_out	Uave_in	Uave_out	Pdyn_in	Pdyn_out	Ptot_in	Ptot_out	Kfact	Re	untime
trial001	0.003024	3.951e-5	0.002486	0.004467	3.588e-6	1.159e-5	0.003028	5.11e-5	256.9	1	50 sec
trial002	0.02931	0.0003737	0.02486	0.04757	0.0003588	0.001314	0.02967	0.001688	21.29	10	45 sec
trial003	0.09094	0.001093	0.07457	0.1485	0.003229	0.0128	0.09417	0.0139	6.27	30	1:16
trial004	0.1601	0.001811	0.1243	0.2498	0.00897	0.03624	0.169	0.03805	3.614	50	1:27
trial005	0.3648	0.003563	0.2486	0.5167	0.03588	0.155	0.4006	0.1586	1.562	100	2:37
trial006	9.089	0.06387	2.486	4.231	3.588	10.39	12.68	10.46	0.2136	1000	2:45
trial007	49.65	0.3131	7.457	11.31	32.29	74.33	81.94	74.64	0.09824	3000	2:55
Total											12:36

1. 绘制损失系数 Kfact 随雷诺数 Re 变化的曲线图。

(a) 在 Parametric trials 面板中，点击 **Plot** 按钮打开 Selection 面板。

(b) 在 Selection 面板中，选择 Re 作为 x 轴，点击 **Okay**。



(c) 另外一个 Selection 面板会自动打开，选择 Kfact 作为 y 轴，点击 **Accept**。

Kfact vs Re 的曲线图会显示出来，如图 9.4 所示。

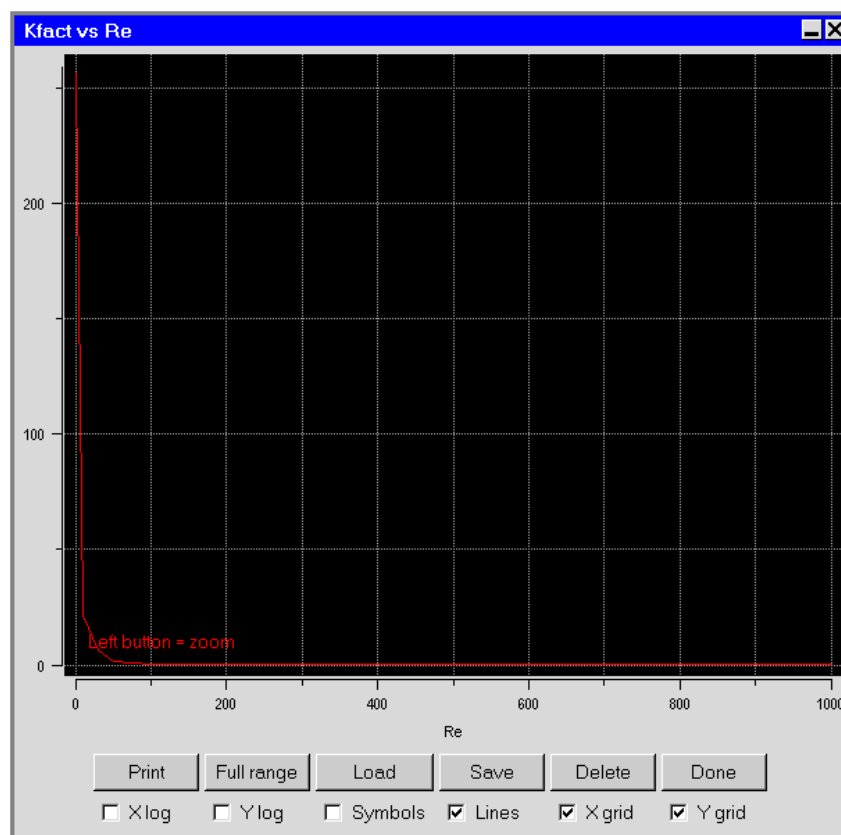


Figure 9.4: Kfact vs Re Plot

总结

在这个练习中，学习了使用参数化工具来计算七种不同雷诺数 Re 下隔栅的阻力系数。还定义了其它函数（例如：进出口的静压力和速度），并报告出随不同雷诺数的变化。计算结果表明，当 Re 增加时，损失系数减小。

练习 11 顺排或差排散热器

介绍

本练习将展示如何在设计变量中使用复选框参数控制，如何设计基本函数，以确定顺排和差排针状散热器哪种效果更好。将会对比封装中的最高温度。为了减少网格数量、内存以及计算时间，采用了非连续网格。此外，在后处理中还将展示示踪粒子穿过一个非连续网格的 Assembly。

在这个练习中，你将学到：

- 定义复选参数（设计变量）
- 为设计变量定义不同的值
- 计算和报告参数化工况
- 创建一个同散热器 Assembly 对齐的切面
- 在正向和反向上显示示踪粒子

问题描叙

这个模型包括一个 Package Assembly，它由一个 BGA 封装对象（紧凑型导热模型）组成，还包括 Incline 或者 Staggered Assembly，分别由各自的散热器对象组成，PCB 对象，Spreader 板，在出口有一个风扇，以及风道入口的 Opening。

模型的几何如图 10.1 所示。

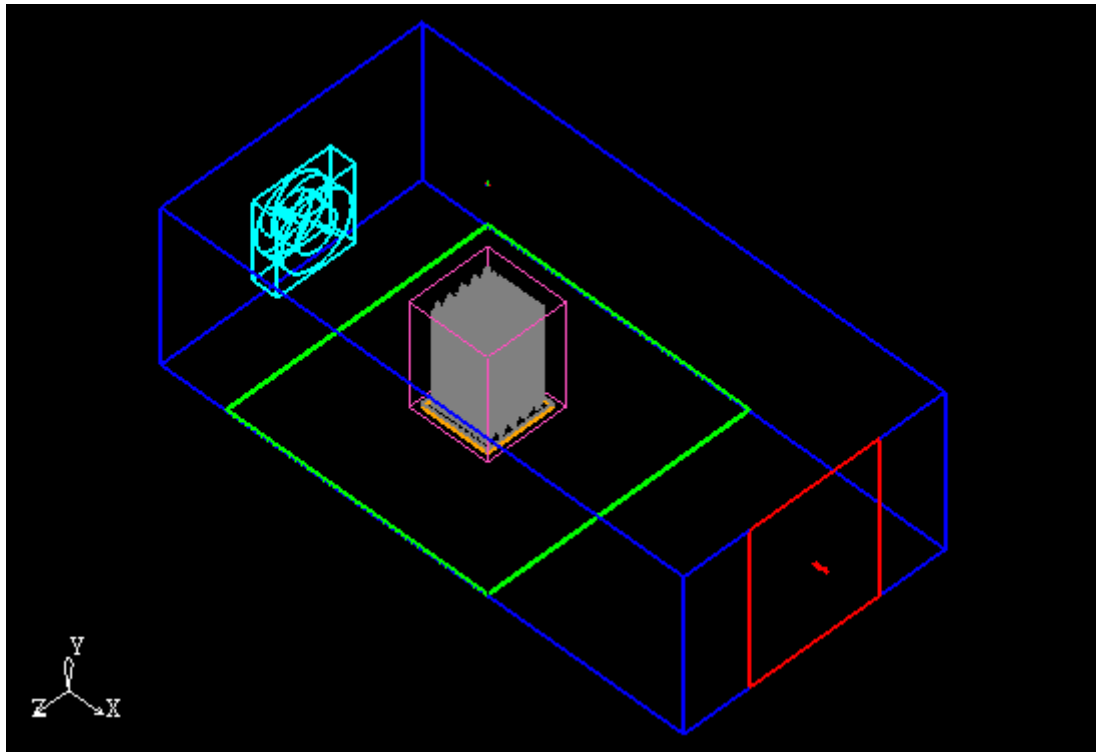


Figure 10.1: Problem Specification

步骤 1：打开一个已有项目

1. 拷贝文件

ICEPAK_ROOT /tutorials/heat_sink/heat_sink.tzr

到你的工作目录。将 ICEPAK_ROOT 替换成你机器上的 **Icepak** 安装目录。

2. 启动 **Icepak**，参考用户指南 1.5 节。

当 **Icepak** 启动后，自动弹出 New/existing 窗口。

3. 点击 New/existing 窗口中的 **Unpack** 按钮。

File selection 窗口将会弹出。

4. 在 File selection 窗口中，选择被压缩的项目文件 loss-coefficient.tzr，点击按钮 **Open**。

Location for the unpacked project 文件选择对话框将会出现。

5. 在 Location for the unpacked project 文件选择对话框中选择一个你希望将压缩的项目文件放置的目录，在 New project 文本栏中输入项目名称，然后点击 **Unpack** 按钮。

Icepak 将会把散热器模型显示在图形窗口中。为了显示所有的组件，在 Model manager 窗口中展开模型中所有的 Assembly。

你可以用鼠标左键旋转机柜，或用中键平移，右键放大/缩小。还可以用 **Home position**

回来原始状态。

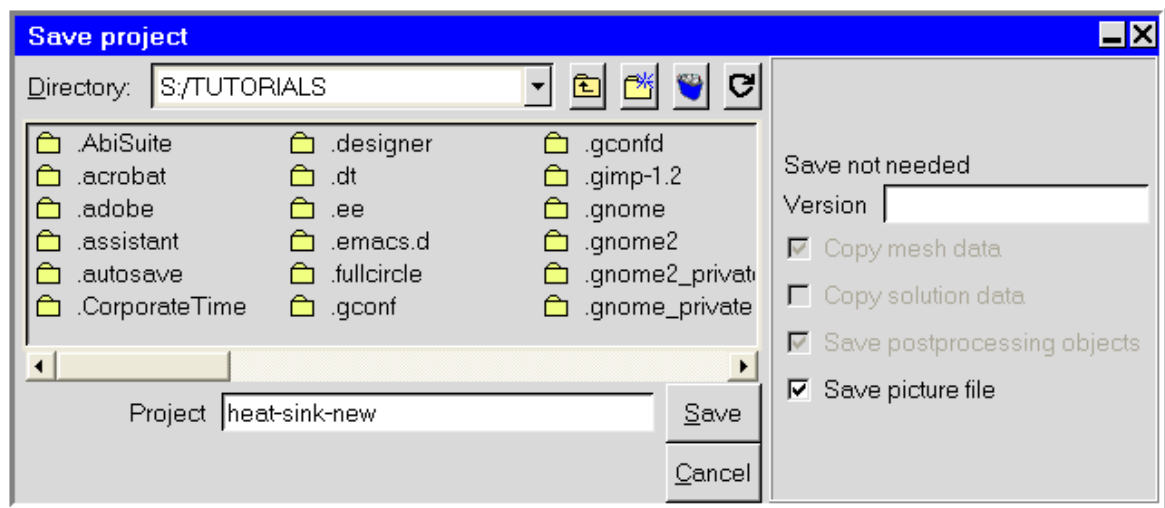
6. 将模型保存成一个新的项目文件。

这使得你可以在原来的模型上进行扩充而不影响原来的文件。

File → Save project as

在 Project 文本栏中输入名字 heat-sink-new。

点击 **Save**。



步骤 2: 定义基本参数和网格参数

1. 定义基本参数

Problem setup → Basic parameters

(a) 保留 Basic parameters 面板中的所有缺省设置。

(b) 点击 **Accept** 按钮接受所有设置，关闭面板。

2. 定义网格参数

在这个模型中，不需要事先生成网格。每一个设计工况的网格将会在计算中自动生成。

Model → Generate Mesh

(a) 保留 Mesh control 面板中的所有缺省设置。

(b) 在 Global settings 中，确认 Mesh assemblies separately 选项被选中。

(c) 点击 Mesh contro 面板中的 **Close** 按钮，关闭面板。


步骤 3: 定义监测点

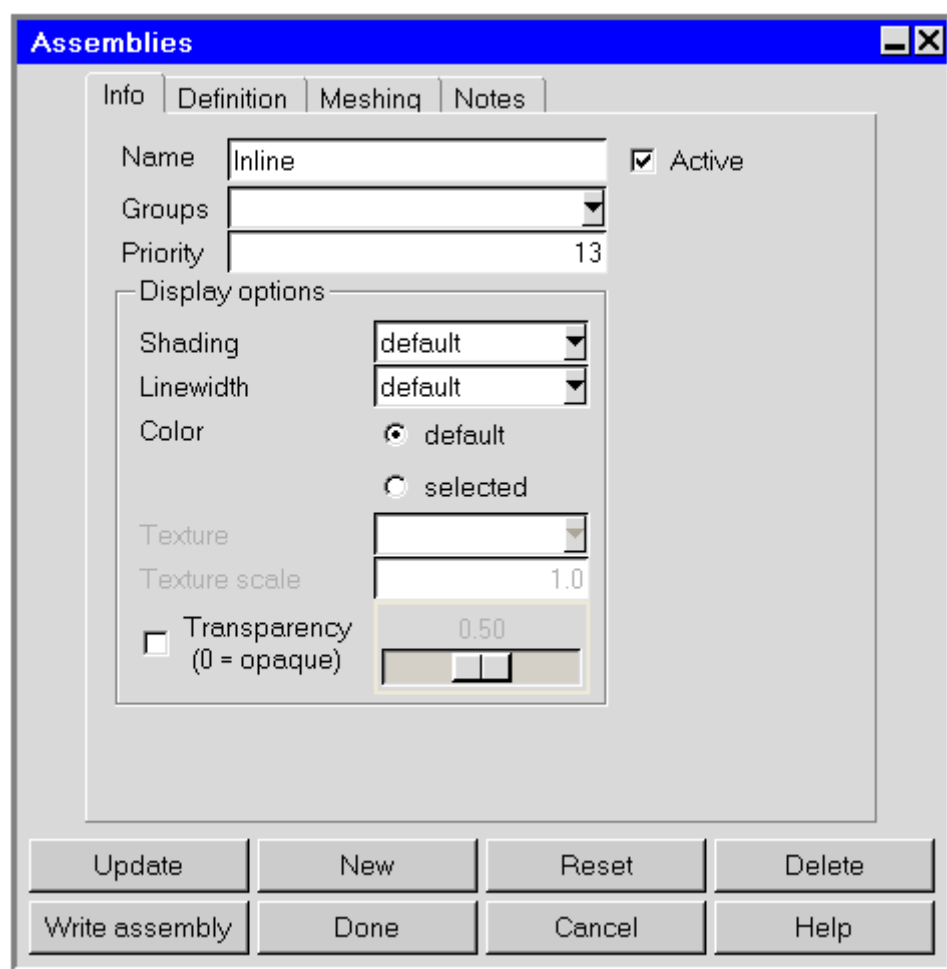
在计算开始之前定义一些监测点是很好的手段。在这个模型中，已经通过将 BGA 封装对象拖入 Model manager 窗口中的 Points 节点下而创建了一个监测点。除了残差曲线外，在计算过程中还会显示 BGA 封装对象中心点的温度，它可以用来判断是否收敛。

步骤 4: 定义设计变量

对于两种形式的散热器，都需要定义。将会通过参数控制哪个散热器激活或者关闭。

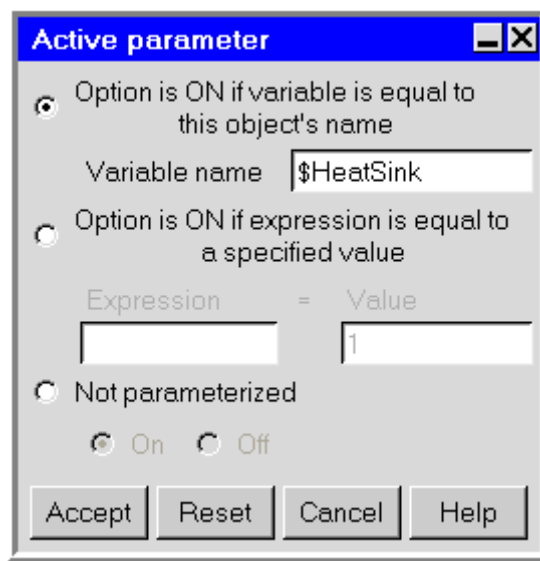
1. 定义 Inline 形式的散热器参数

- (a) 在 Model manager 窗口中选择 **Inline Assembly**，然后点击  按钮打开 Assemblies 面板。
- (b) 点击 Info 选项卡。

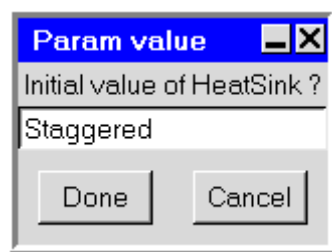


- (c) 右键点击 **Active** 复选框打开 Active parameter 面板。

- (d) 选择 Option is ON if variable is equal to this object's name。
- (e) 在 Variable name 文本栏中输入\$HeatSink。



- (f) 点击 Active parameter 面板中的 **Accept** 按钮接受所有修改并关闭面板。
- (g) 点击 Assemblies 面板中的 **Update** 按钮，打开 Param value 面板。
- (h) 在 Param value 面板中，Initial value of HeatSink 的初值输入为 Staggered，点击 **Done** 按钮关闭面板。



注意，此时 Assemblies 面板中的 Active 单词变成了绿色。而且，在 Model manager 窗口中的 Inline assembly 也被转移到 Inactive 节点下了。

2. 定义 Staggered 散热器的参数。

- (a) 重复以上所有步骤。


注意，不需要再设置初值了。

步骤 5：定义参数化计算工况和基本函数

首先需要定义设计变量的值。接下来，浏览参数化计算工况，定义用于计算和报告的基

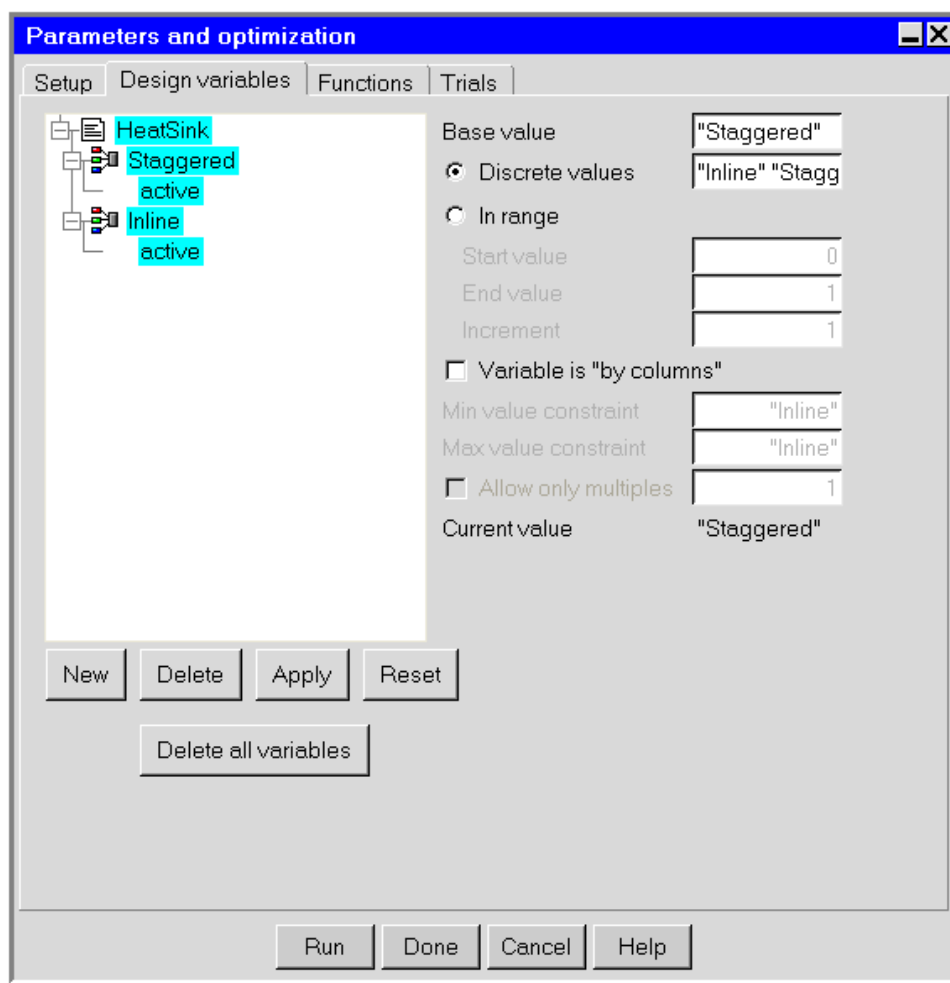
本函数。

Solve → Run optimization

提示：或者，点击  按钮。

1. 定义参数值。

- (a) 在 Parameters and optimization 面板中，点击 **Design variables** 选项卡。
- (b) 在列表中展开 HeatSink 的参数，检查定义的变量。
- (c) 在 Discrete values 中，在"Staggered"前输入"Inline"和一个空格。
- (d) 点击 **Apply** 按钮接受修改。

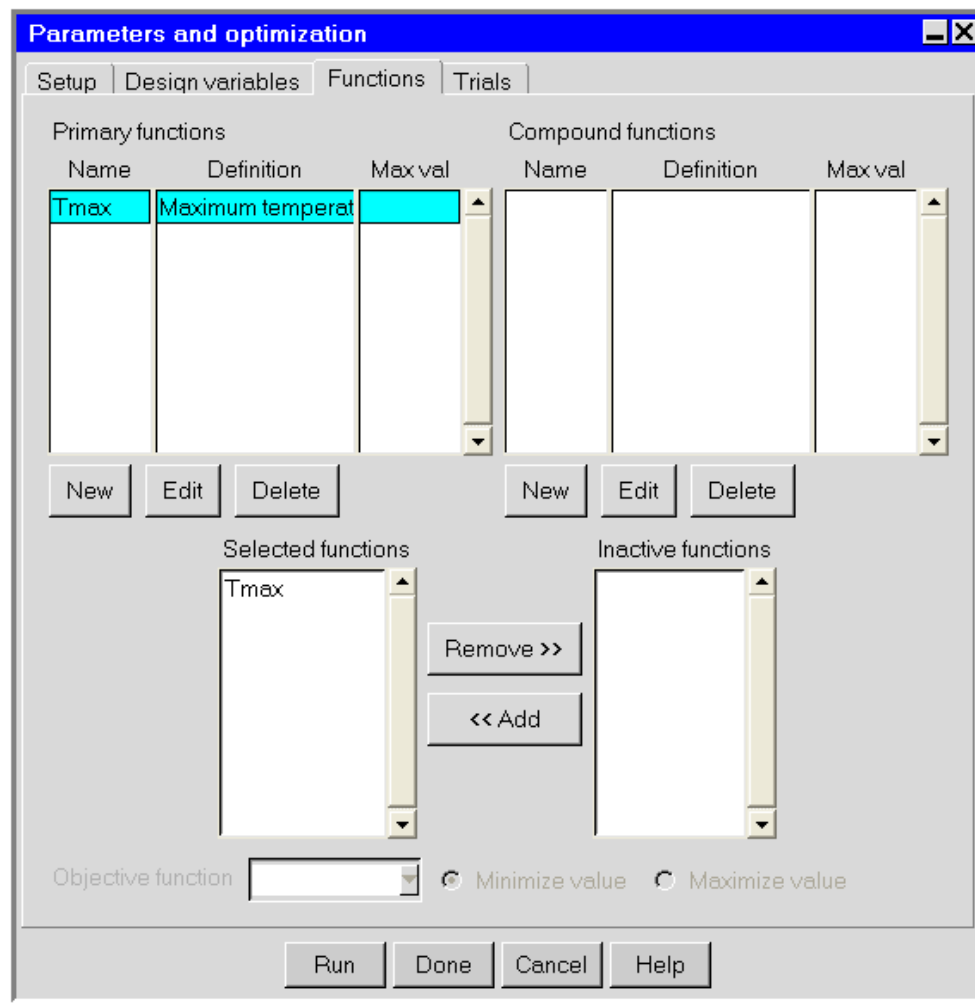


2. 浏览计算工况。

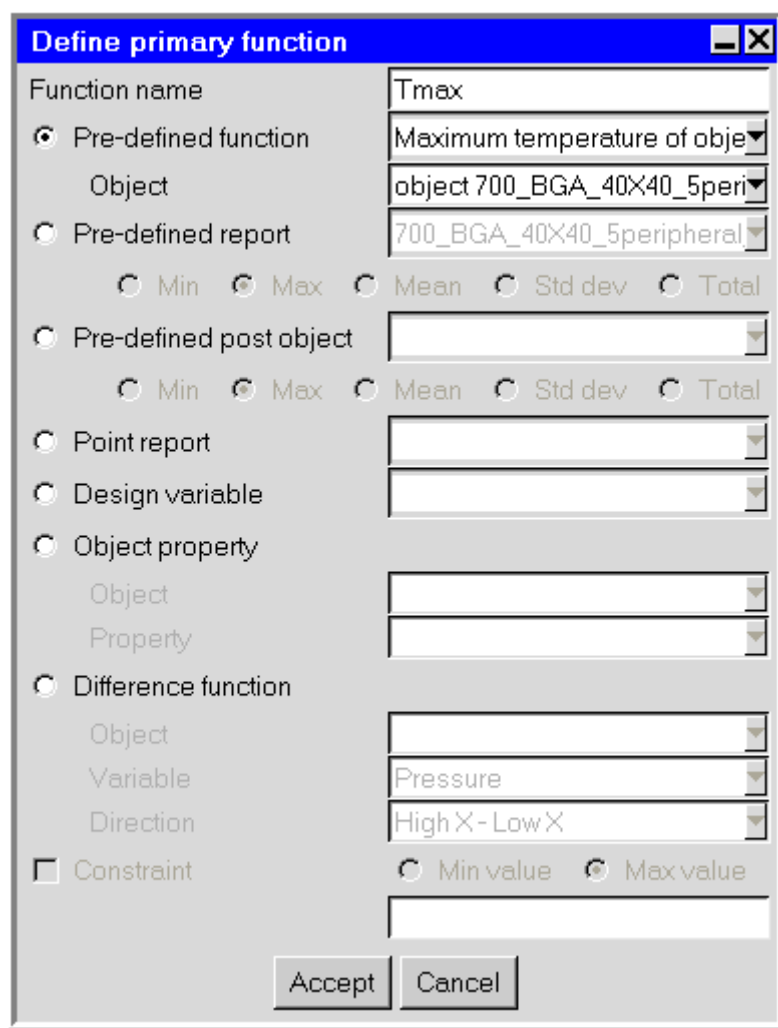
- (a) 点击 **Trials** 选项卡。
- (b) 确认 Inline 的 Order 值为 1，Staggered 的 Order 值为 2。



3. 定义基本函数。



- (a) 点击 **Functions** 选项卡。
- (b) 在 Primary functions 下点击 **New** 按钮。
- (c) 在 Define primary function 面板中，在靠近 Function name 的文本栏中输入 Tmax。
- (d) 在 Pre-defined functions 的下拉列表中，选择 Maximum temperature of object。
- (e) 在 Pre-defined functions 下的 Object 下拉列表中，选择 Package 下的 BGA 对象，点击 **Accept**。
- (f) 在 Define primary function 面板中，点击 **Accept** 保存设置，关闭面板。



步骤 6: 保存项目文件


Icepak 将在你求解之前自动保存模型,但是建议你自己也保存一次. 如果你在求解前退出 **Icepak**, 你可以在下一次再打开你的项目再求解。(如果你求解了,**Icepak** 将简单地覆盖你保存的模型。)

File → Save project

步骤 7: 运行参数化计算工况

1. 如果 Parameters and optimization 面板没有打开, 请打开该面板

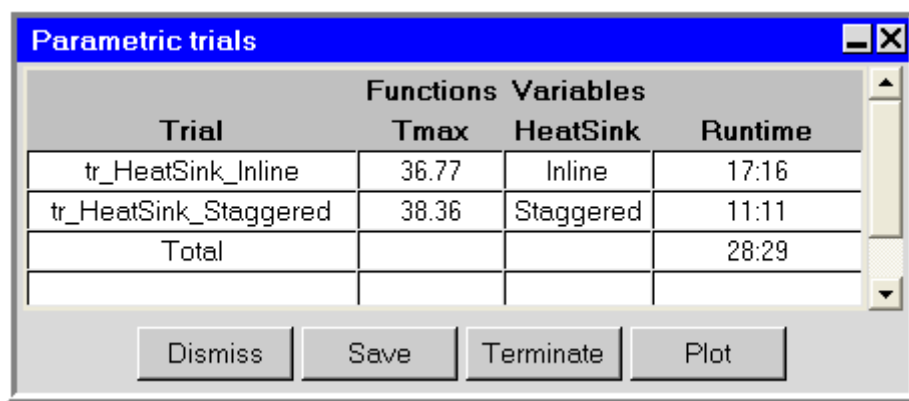
Solve → Run optimization

注意: 你也可以在 Model and solve 工具条中点击  按钮。

2. 点击 **Setup** 选项卡, 确认 Parametric trials 和 All combinations 被选中。

3. 点击 Parameters and optimization 面板中的 **Run** 按钮, 开始计算。

当 **Icepak** 开始计算时，显示收敛曲线的 **Solution residuals** 窗口和 **Temperature Point monitors** 窗口将会被显示。与此同时，在 **Parametric trials** 窗口中还会显示两个计算工况的参数和计算时间，并同时显示函数值，如图 10.1 所示。**Parametric trials** 窗口还可以通过选择 **Report** 菜单下的 **Show optimization/param results** 打开。



Parametric trials			
Functions		Variables	
Trial	Tmax	HeatSink	Runtime
tr_HeatSink_Inline	36.77	Inline	17:16
tr_HeatSink_Staggered	38.36	Staggered	11:11
Total			28:29

Dismiss Save Terminate Plot

Figure 10.1: The Parametric trials Panel

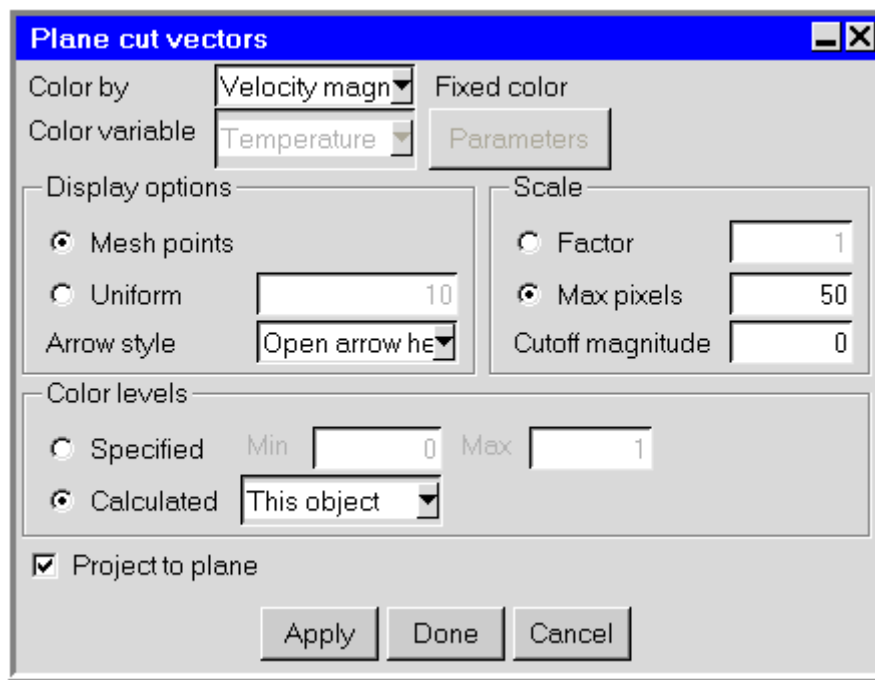
步骤 8: 检查 Staggered 散热器的计算结果

1. 显示散热器出口切平面上的速度矢量。

Post → Plane cut

提示：也可以点击  按钮打开 Plane cut 面板。

- 在 **Orient** 菜单中，选择 **Orient negative Z**。
- 在 **Name** 栏中，输入名字 **cut-velocity**。
- 在 **Set position** 下拉列表中，选择 **Vertical-screen select**。
- 在图形窗口中的风扇和散热器 **assembly** 之间选中一点。
- 选中 **Show vectors** 选项，并点击 **Parameters** 打开 **Plane cut vectors** 面板。



- (f) 在 Plane cut vectors 面板中的 Color levels 下，选择 **Calculated**，然后从下拉列表中选择 **This object**。
- (g) 选择 Project to plane。
- (h) 点击 Plane cut vectors 面板中的 **Apply**，接受修改。
- (i) 点击 **Create** 按钮，然后点击 Done 关闭面板。
- (j) 在 Orient 菜单中，选择 **Isometric view**。

图形窗口将会被更新，如图 10.1 所示。

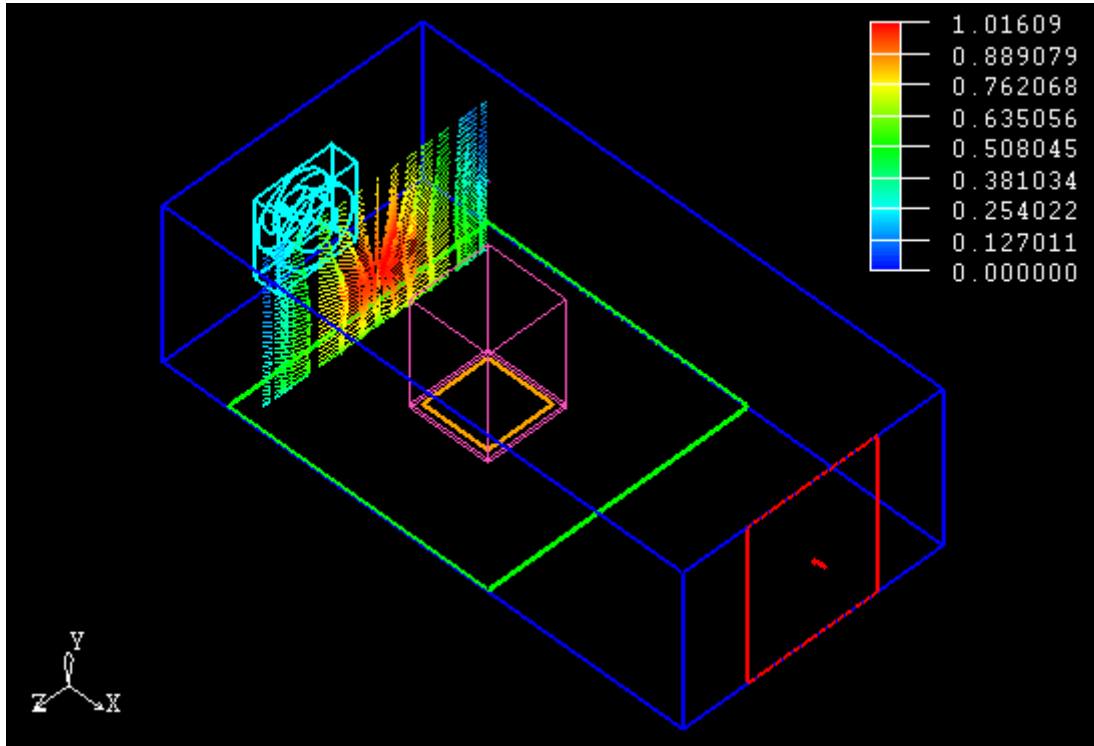


Figure 10.1: Velocity Vectors at the Exit Region of the Heat Sink

2. 改变切平面大小，使得其与散热器 assembly 的边相对齐。

- (a) 在 Orient 菜单中，首先选择 **Orient positive X**，然后选择 **Scale to fit**。
- (b) 如果 Model manager 窗口中的 Staggered assembly 节点是展开的，将其关闭起来，这样可以在图形窗口中看见 assembly 的边框。
- (c) 在 Plane cut 面板中（已经打开），选择 **Enable clipping**，然后点击 Clip to box 下黄色区域中的 **Max Y**。
- (d) 在图形窗口中点击 assembly 的红色上边框。
- (e) 在 Plane cut 面板中，点击 Clip to box 下黄色区域中的 **Min Z**。
- (f) 在图形窗口中点击 assembly 的红色左边框。
- (g) 在 Plane cut 面板中，点击 Clip to box 下黄色区域中的 **Max Z**。
- (h) 在图形窗口中点击 assembly 的红色右边框。
- (i) 点击 **Update** 按钮。

图形窗口将会被更新，如图 10.2 所示。

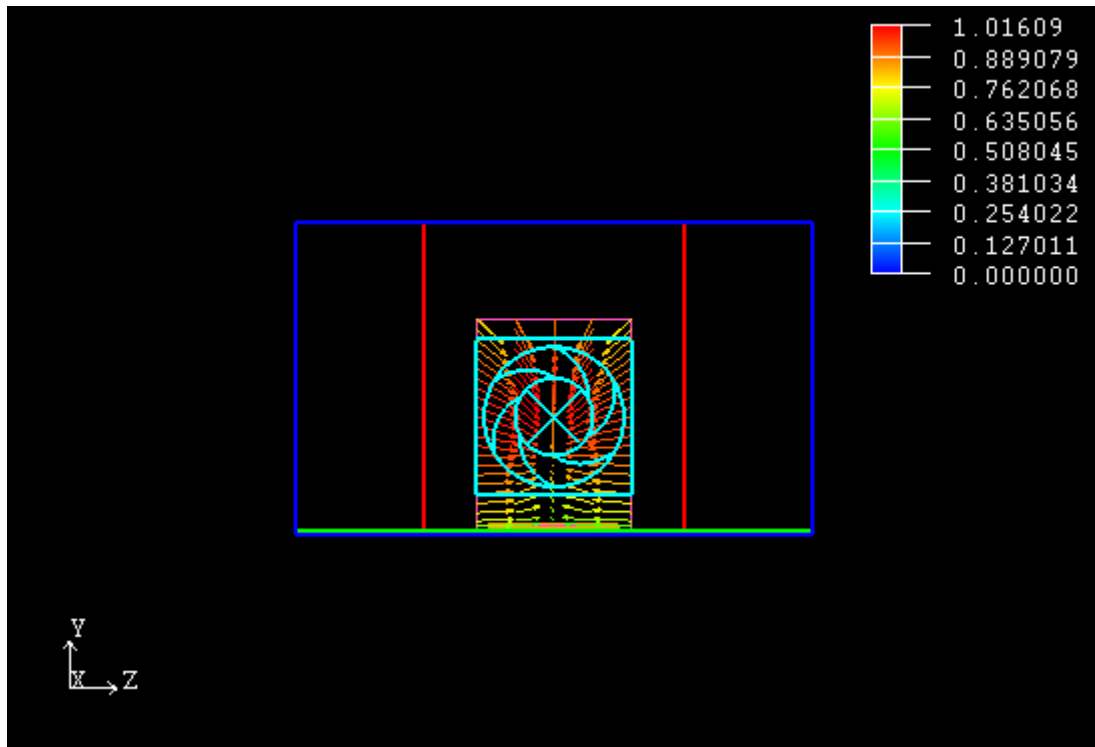


Figure 10.2: Clipped Plane Cut

3、显示正反两个方向的粒子轨迹。

- (a) 在 Orient 菜单中，选择 **Isometric view**。
- (b) 在 Plane cut 面板中，不选择 Show vectors，而选择 **Show particle traces**。
- (c) 点击 Show particle traces 旁边的 **Parameters**，打开 Plane cut particles 面板。
- (d) 在 Variable 下拉列表中选择 **Speed**。
- (e) 在 Display options 下，选择 **Uniform**，输入 50。
- (f) 在 Style 中，保留 Dye trace 的缺省设置，选择 **Particles**，Radius 的值为 2。
- (g) 在 Color levels 中，选择 **Calculated**，然后在下拉列表中选择 **This object**。
- (h) 点击 **Apply** 更新图形窗口。

图形窗口中将会显示正方向的颗粒轨迹图，如图 10.3 所示。

- (i) 在 Plane cut particles 面板中，将 Particle options 选择成 Reverse 方向，然后点击 **Apply**。

图形窗口中将会显示反方向的颗粒轨迹图，如图 10.4 所示。

- (j) 点击 Plane cut particles 面板中的 **Done**，关闭面板。
- (k) 点击 Plane cut 面板中的 **Done**，关闭面板。

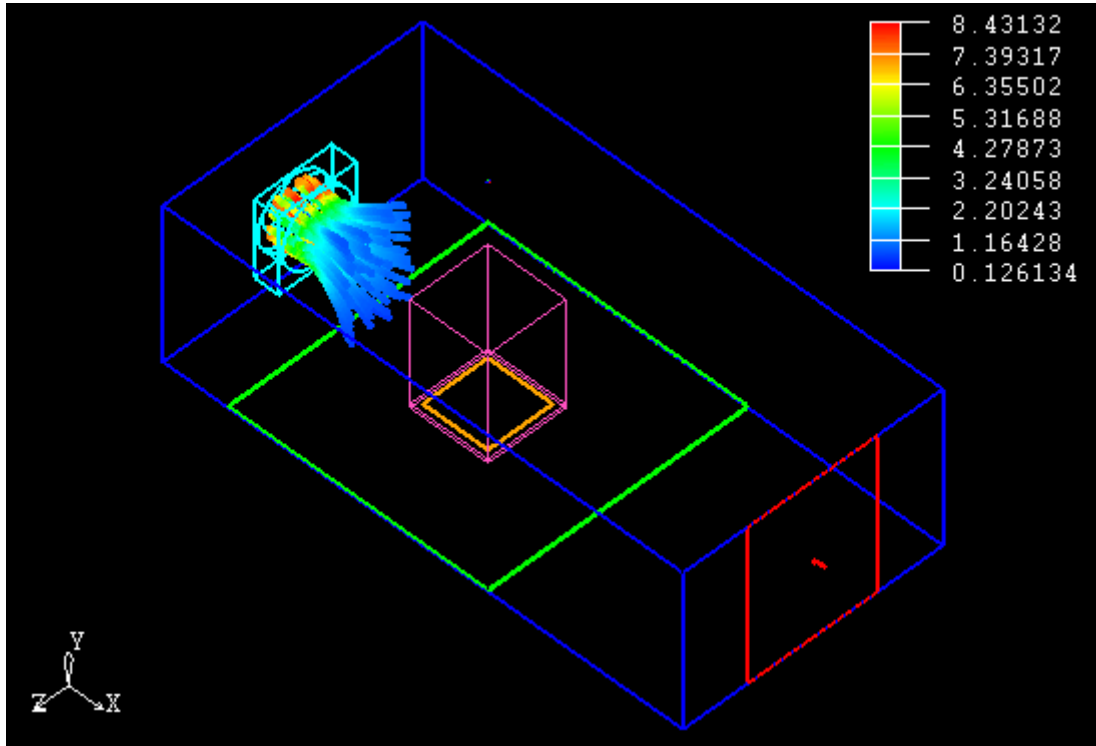


Figure 10.3: Forward Particle Traces

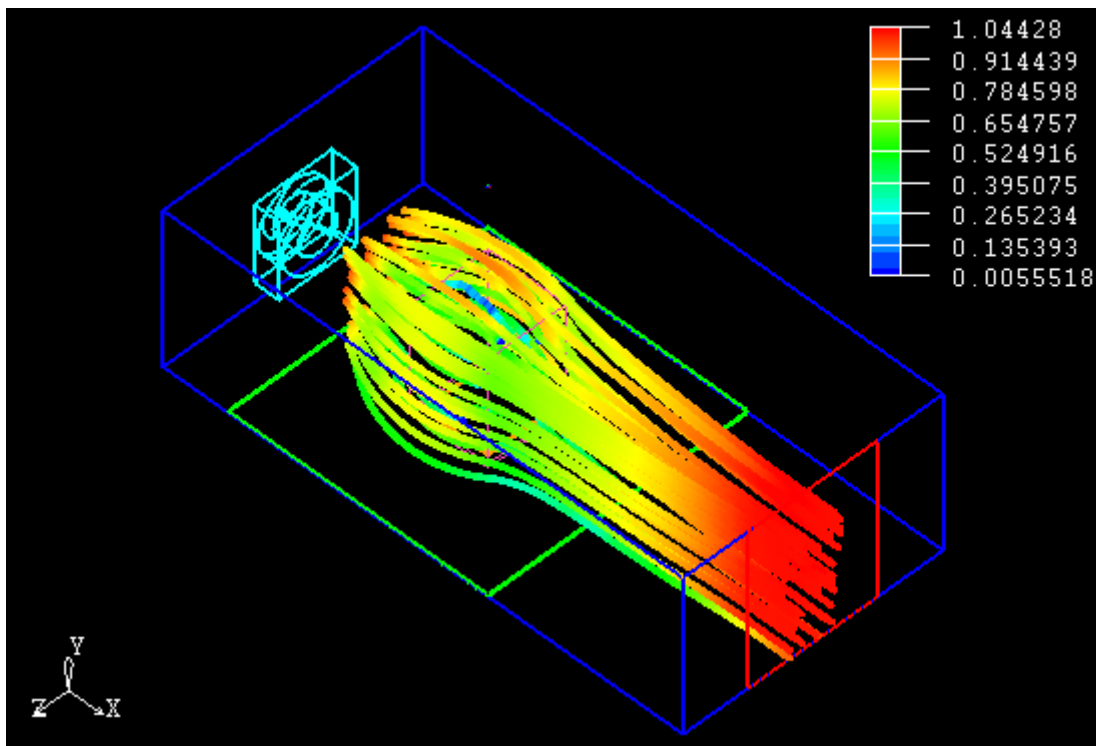


Figure 10.4: Reversed Particle Traces

总结

在这个练习中，学习了使用优化工具来确定顺排或者差排针状散热器，哪种更好。计算结果表明，使用差排散热器时封装上的最高温度高。

练习 12 减小热阻

介绍

在很多工业应用中，散热器的优化是一件非常重要的工作。一般来说，优化的目标是获得最小热阻（或者最大换热量），以及最少的加工用料。本次联系的目标是在保证整个系统的最高温度不超过 70 °C，并且散热器总重量不超过 0.326 kg 时，散热器的热阻最小。

问题描述

这个模型包括一个 FR-4 板子(FR-4.1)，大小为 20.32 × cm 30.48 cm，1.59 mm 厚，在板子上还有几个部件(图 11.1)。两个隔栅分别放置在板子的上下游，它们的流通面积分别为 60% 和 50%。还有两个器件(block.1.3 和 block.1.3.1)，每个发热量为 5W。

CPU 的发热量为 50W，上面安装一个散热器(heatsink_small)。在散热器和 CPU 之间，有一层热界面材料(TIM_1)，导热系数为 3W/mK。这些器件和两个小发热柱(power_cap_1 和 power_cap_2)，共同组成一个非连续网格的 assembly(hs_assembly_1)。

在板子的另外一端，有 8 个芯片，每个发热量为 20W，在芯片的上部安放一个平行平板的散热器(heatsink_big)。同小散热器一样，在大散热器和芯片之间也有一层相同导热系数的热界面材料(TIM_2.1 and TIM_2.1.1)，这些组件共同形成了一个非连续网格的 assembly(hs_assembly_2)。

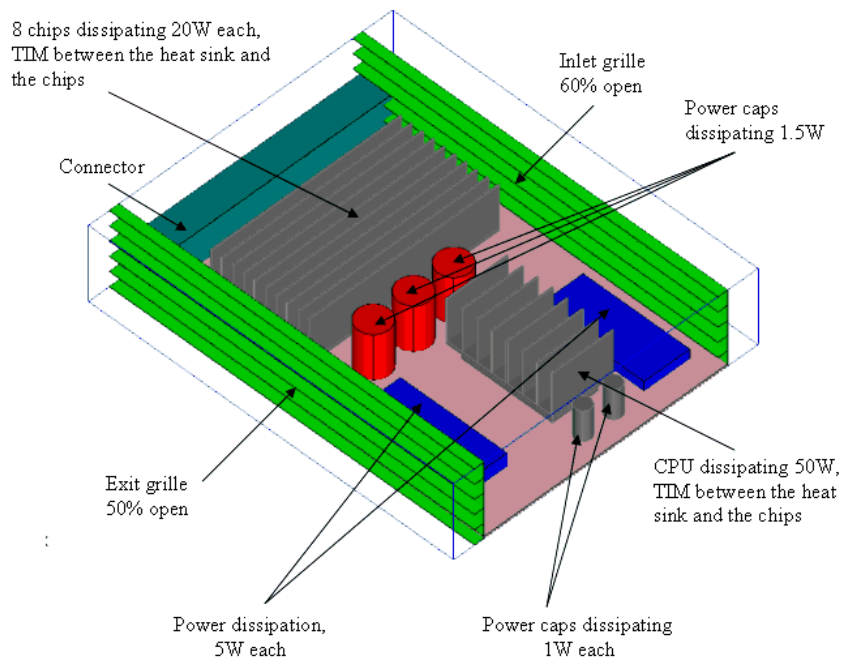


Figure 11.1: Problem Specification

步骤 1: 打开一个已有项目

1. 拷贝文件

ICEPAK_ROOT /tutorials/optimization/optimization.tzr

到你的工作目录。将 ICEPAK_ROOT 替换成你机器上的 **Icepak** 安装目录。

2. 启动 **Icepak**，参考用户指南 1.5 节。

当 **Icepak** 启动后，自动弹出 New/existing 窗口。

3. 点击 New/existing 窗口中的 **Unpack** 按钮。

File selection 窗口将会弹出。

4. 在 File selection 窗口中，选择被压缩的项目文件 loss-coefficient.tzr，点击按钮 **Open**。

Location for the unpacked project 文件选择对话框将会出现。

5. 在 Location for the unpacked project 文件选择对话框中选择一个你希望将压缩的项目文件放置的目录，在 New project 文本栏中输入项目名称，然后点击 **Unpack** 按钮。

Icepak 将会把模型显示在图形窗口中。为了显示所有的组件，在 Model manager 窗口中展开模型中所有的 Assembly。

你可以用鼠标左键旋转机柜，或用中键平移，右键放大/缩小。还可以用 **Home position** 回来原始状态。

6. 将模型保存成一个新的项目文件。

这使得你可以在原来的模型上进行扩充而不影响原来的文件。

File → Save project as

在 Project 文本栏中输入名字 heat-sink-new。

点击 **Save**。

步骤 2: 定义设计变量

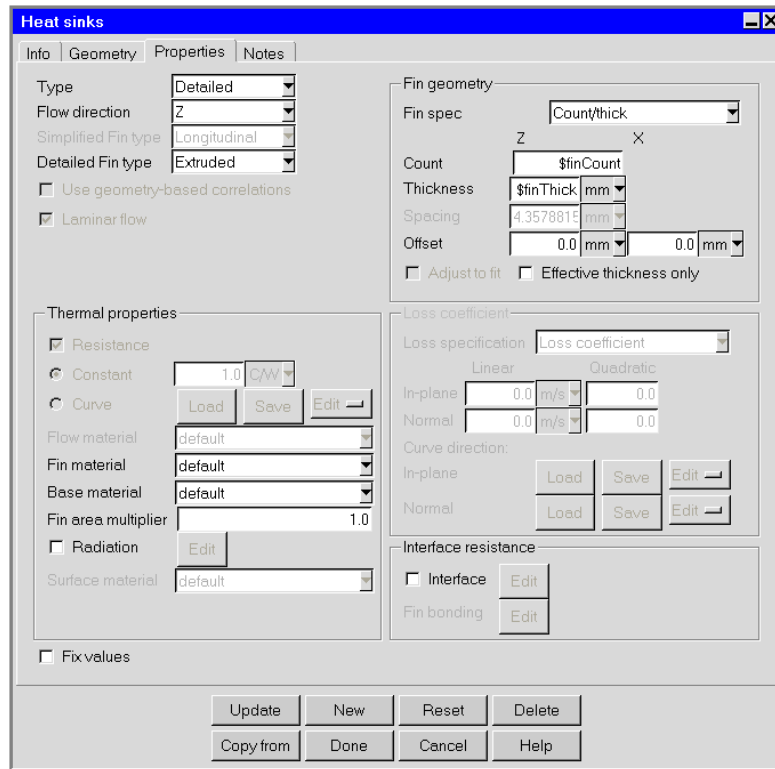
大的散热器需要对它的翅片数量和翅片厚度进行优化。因此，需要对大的散热器定义以下的设计变量：翅片数量（从 2 到 18），和翅片厚度（从 0.254mm 到 2.032mm）。

1. 为大散热器 heatsink_big 定义设计变量 finCount 和 finThick，并给定初值。

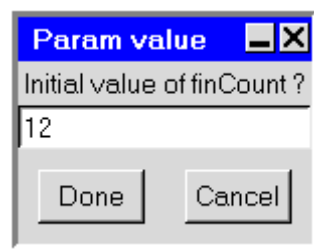
(a) 在 Model manager 窗口中展开 hs_assembly_2 节点。

(b) 在 Model manager 窗口中，选择 heatsink_big，点击  按钮打开 Heat sinks 面板。

(c) 点击 Properties 选项卡。




- (d) 在 Fin geometry 下，在 Count 中输入 \$finCount，点击回车打开 Param value 面板。
 (e) 在 Param value 面板中，输入 12，点击 Done 关闭面板。



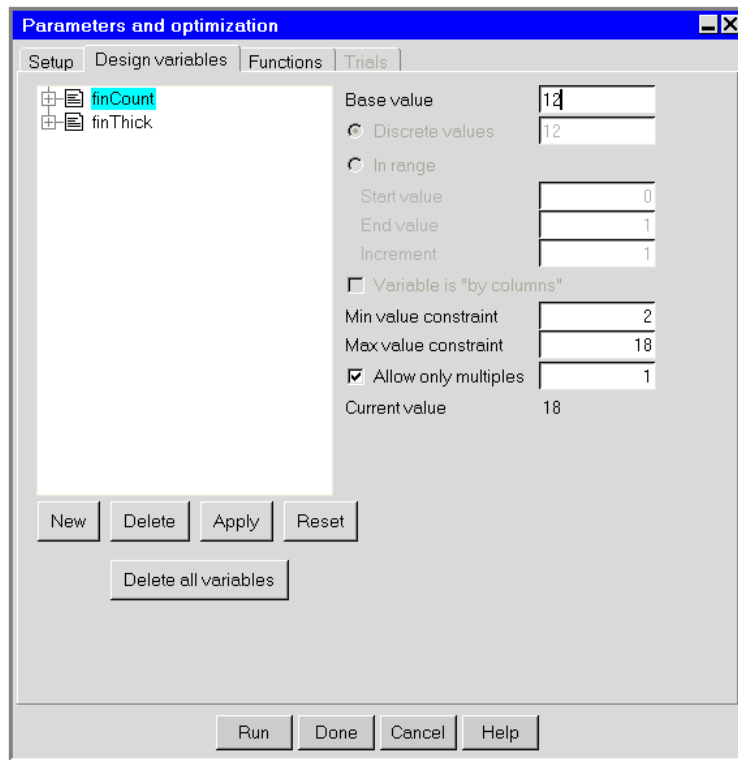
- (f) 在 Heat sinks 面板的 Fin geometry 下，在 Thickness 中输入 \$finThick，点击回车打开 Param value 面板。
 (g) 在 Param value 面板中，输入 0.762，点击 Done 关闭面板。
 (h) 在 Heat sinks 面板中，点击 Done 关闭面板。

2. 设定设计变量的上下限。

Solve → Run optimization

提示：你也可以点击  按钮。

- (a) 在 Setup 选项卡中选中 Optimization 选项。然后点击 Design variables 选项卡。



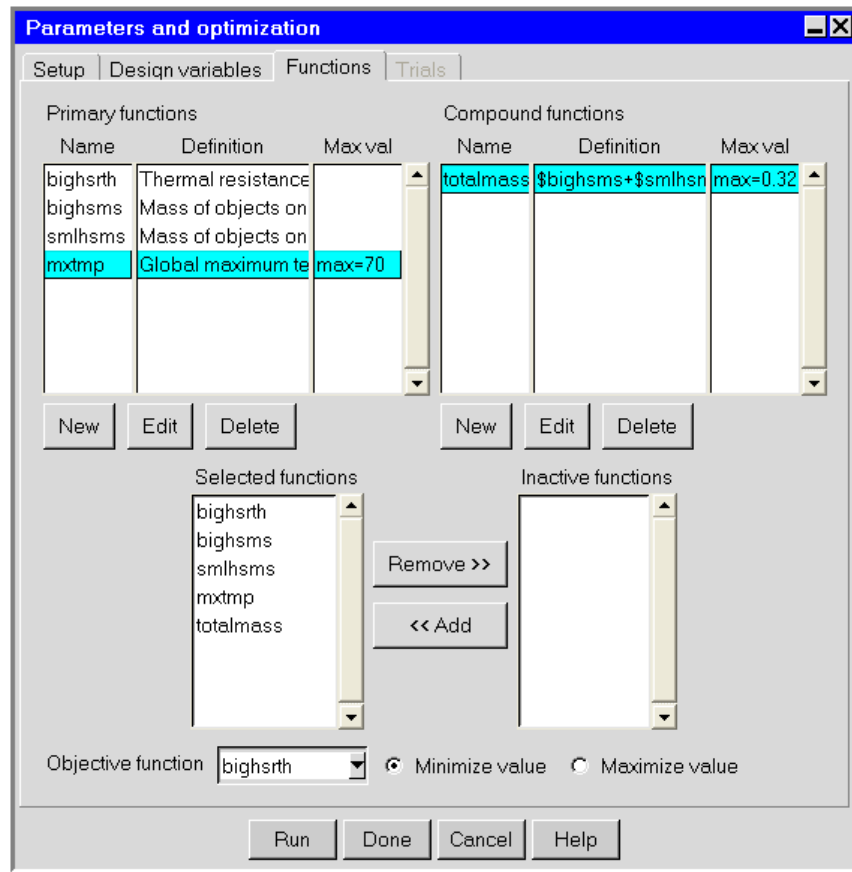
你所定义的设计变量将会显示在面板中，它们的初始值显示在 **Base value** 文本框中。

- (b) 在列表选中 **finCount**，然后在 **Min value constraint** 中输入 2，在 **Max value constraint** 中输入 18，选择 **Allow only multiples**，其值为 1，点击 **Apply**。
- (c) 在列表选中 **finThick**，然后在 **Min value constraint** 中输入 0.254，在 **Max value constraint** 中输入 2.032，点击 **Apply**。

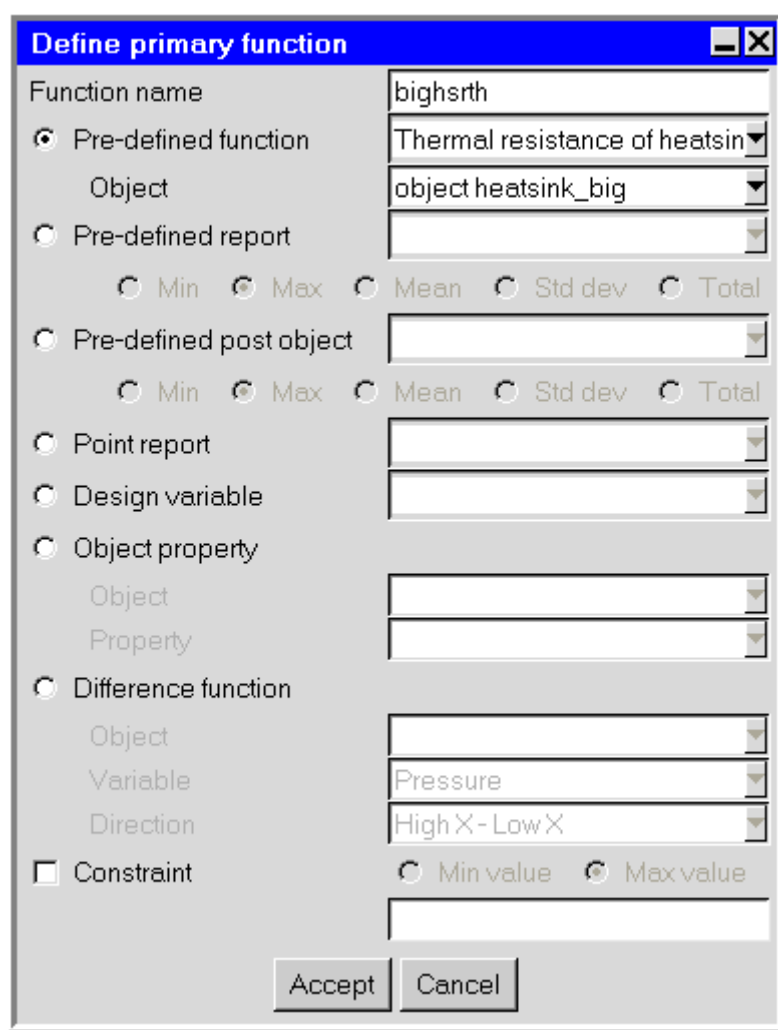
步骤 3：定义基本、组合和目标函数

本次联系的目标是在保证整个系统的最高温度不超过 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，并且散热器总重量不超过 0.326 kg 时，散热器的热阻最小。因此，需要定义以下基本函数：大散热器的热阻(**bighsrth**)，大散热器的质量(**bighsms**)。小散热器的质量(**smlhsms**)，以及系统内的最高温度 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (**mxtmp**)。还需要定义一个组合函数：散热器的总重量 0.326 kg (**totalmass**)。目标函数就是大散热器的最小热阻(**bighsrth**)。

1. 在 **Parameters and optimization** 面板中，点击 **Functions** 选项卡。



2. 定义四个基本函数。
 - (a) 定义大散热器的热阻函数(bighsrth)。
 - i. 在 **Primary functions** 下点击 **New** 按钮。



- ii. 在 Define primary function 面板中，在 Function name 旁输入 bighsrth。
- iii. 在 Pre-defined functions 下拉列表中，选择 Thermal resistance of heatsink。
- iv. 在 Pre-defined functions 下的 Object 下拉列表中，选择 hs_assembly_2 下的 heatsink_big 对象，点击 **Accept**。
- v. 在 Define primary function 面板中，点击 Accept 保存所有的修改，关闭面板。

(b) 定义大散热器的质量函数(bighsms)。

- i. 重复步骤(a)，将 Function name 设为 bighsms，Pre-defined function 设为 Mass of objects，Object 设为 heatsink_big。

(c) 定义小散热器的质量函数(smlhsms)。

- i. 重复步骤(a)，将 Function name 设为 smlhsms，Pre-defined function 设为 Mass of objects，Object 设为 heatsink_small。

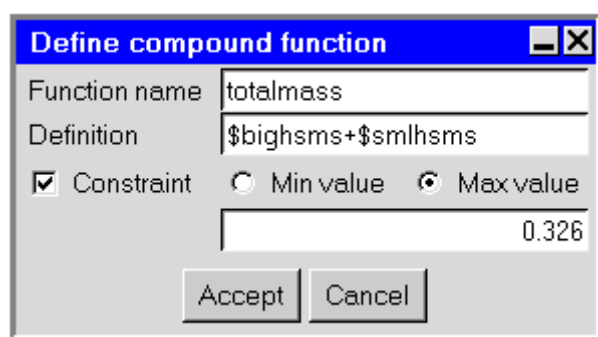
(d) 定义系统最高温度 70 °C (mxtmp)的约束函数。

- i. 在 Primary functions 下点击 **New** 按钮。
- ii. 在 Define primary function 面板中，在 Function name 旁输入 mxtmp。
- iii. 在 Pre-defined functions 下拉列表中，选择 Global maximum temperature。

- iv. 选择 **Constraint**，在文本输入栏输入 70。
- v. 在 **Define primary function** 面板中，点击 **Accept** 保存所有修改并关闭窗口。

3. 定义一个组合函数。

- (a) 在 **Compound functions** 下，点击 **New** 按钮打开 **Define compound function** 面板。




- (b) 在 **Define compound function** 面板中，在 **Function name** 栏输入 **totalmass**。
- (c) 在 **Definition** 旁输入 **\$bighsms+\$smlhsms**。
- (d) 选择 **Constraint**，在文本输入框中输入 **0.326**。
- (e) 点击 **Accept** 接受所有修改并关闭窗口。

4. 定义一个目标函数。

- (a) 在 **Parameters and optimization** 面板中，从 **Objective function** 下拉列表中选择 **bighsrth**。
- (b) 保留缺省选择 **Minimize value**。

步骤 4：运行参数化计算工况

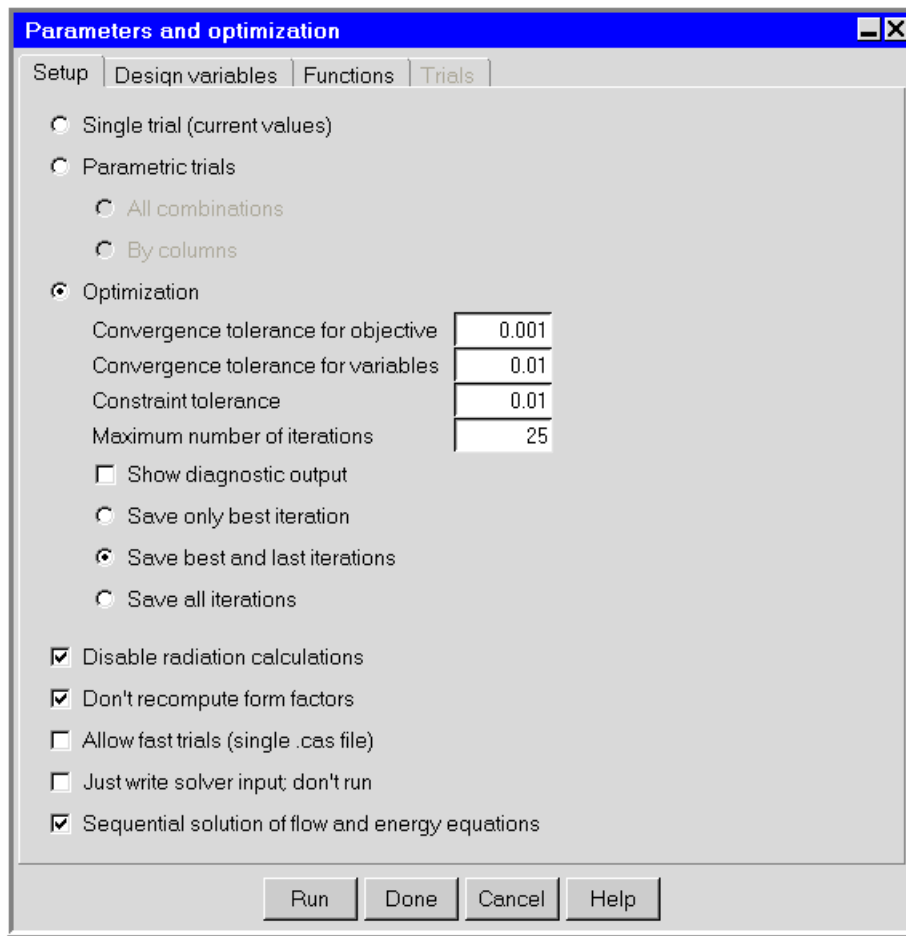
1. 如果 **Parameters and optimization** 面板没有打开，请打开该面板
Solve → Run optimization

注意：你也可以在 **Model and solve** 工具条中点击  按钮。

2. 设置优化进程。

注意：由于几何将随着翅片厚度和翅片数目改变，因此在这个模型中不能选择 **fast trials** 选项。

- (a) 在 **Parameters and optimization** 面板中，点击 **Setup** 选项卡。



- (b) 确认 **Optimization** 选项被选中，保留所有缺省设置。
- (c) 不选中 **Allow fast trials (single .cas file)**。
- (d) 选中 **Sequential solution of flow and energy equations**。

3. 点击 **Parameters and optimization** 面板中开始计算 **Run**。

步骤 5：检查结果

在 Icepak 开始计算时，**Optimization run** 窗口将会打开，同时显示函数值、设计变量、以及每个优化迭代所需要的时间。另外，还会画出函数值和设计变量同迭代步数的曲线图，如图 11.1 所示。

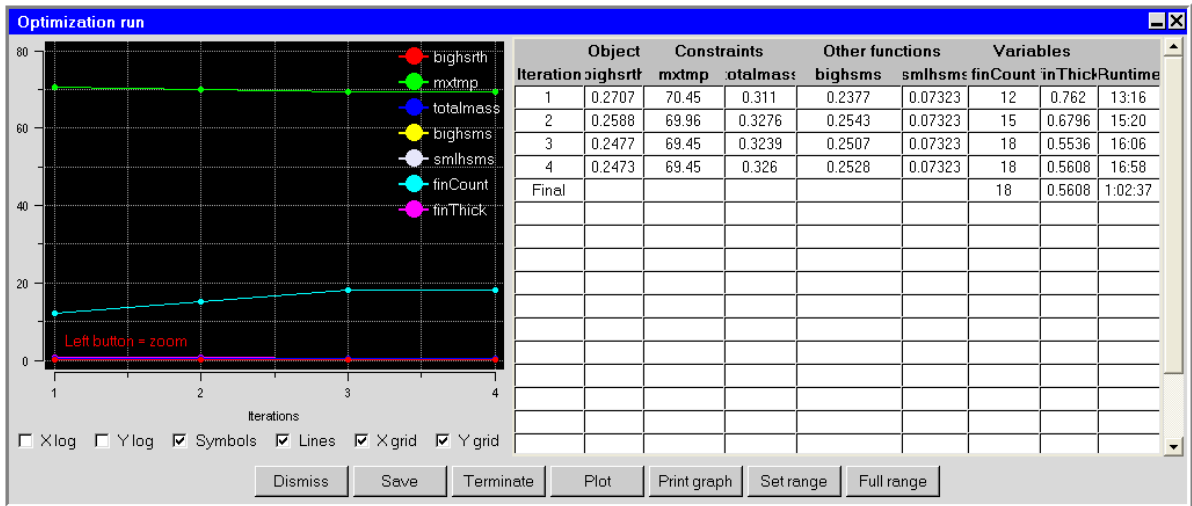


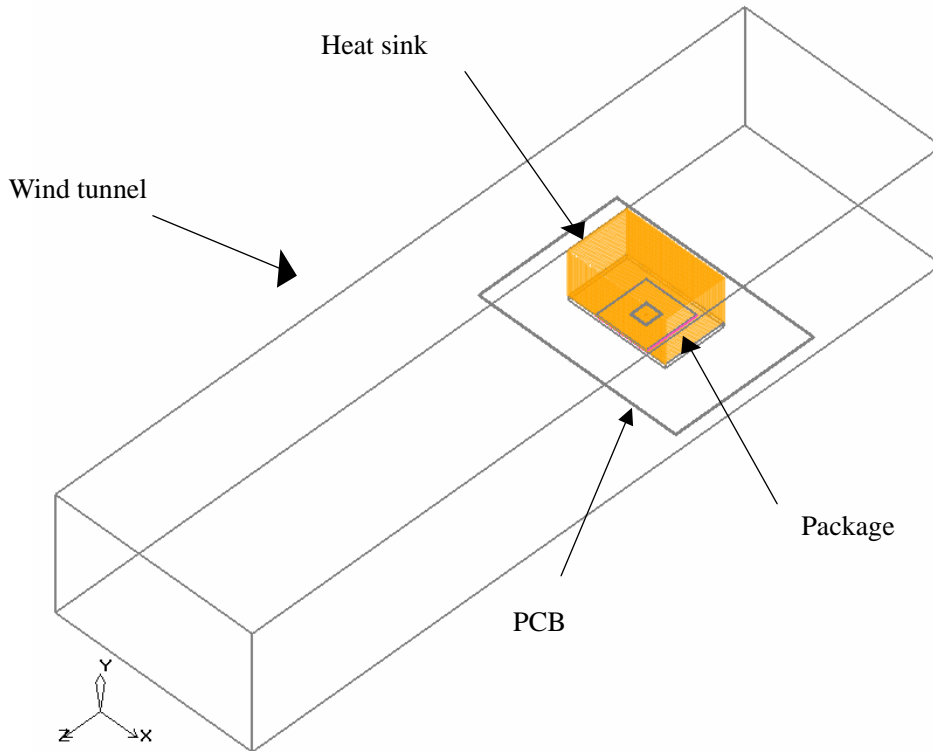
Figure 11.1: The Optimization run Panel

总结

在这个练习中，学习了使用优化工具来得到大散热器的热阻。结果表明，Icepak 预测到了最优工况，翅片的数目为 18 片，翅片的厚度为 0.56mm。此时，系统最高温度为 69.45 °C（不超过设定的 70 °C），散热器的总质量为（不超过设定的 0.326kg）。目标函数（热阻）为 0.2473 °C/W。4 次迭代总的运行时间约为一小时。

练习 13 非均匀功率分布

这个练习的目的是展示两种不同的方法向 **Icepak** 导入非均匀的功率分布---CSV 格式和通用格式。**Die** 上的温度分布将同均匀的功率分布计算结果进行比较。为了减少网格数量、计算内存、和计算时间，将采用非连续网格。此外，由于无需考虑自然对流，流动和能量方程将分别计算以加快计算速度。



1.1 打开一个模型

启动 **Icepak**。在 **File** 菜单下选择 **Unpack** 选项打开 **power-map-1.tzr** 模型。如上图所示。**File>Save project as** 创建自己的模型备份，将其命名为 **power-map-final**。点击 **Shift+i** 可以显示三维模型。在 **Tree** 菜单下，选择 **Open all model nodes**，将会展开所有的 **Assembly**，检查模型中的所有器件对象。察看每个器件的定义、材料物性、以及边界条件。主要的器件包括：

- **Component-and-HS Assembly**: 包含两个 **Assembly**，**Package-NC** 和 **Fins-NC**。
- **Package-NC Assembly**: 由 **Sources** 和 **Balls Assembly** 组成（详细的硬质多层基板 BGA 封装）。
- **Fins-NC Assembly**: 由散热器的翅片部分组成。
- **PCB 和 Opening**: 在风道的前后分别有一个 **Opening**，给定速度。

在这个模型中包含有一个详细的硬质多层基板 BGA 封装模型，可以通过 **MACROS** 菜单下的 **IC Packages Macro** 创建。如果展开 **Sources** 和 **Balls Assembly**，就可以看见封装的细节。在这个模型中使用了 **IC package Macro** 功能，封装的类型可以从 **Main Library** 下的 **Packages Library** 中选择。


在这个模型中，还可以来检验非连续网格的功能。有些时候，可以根据物理知识或者经验对基本流型进行了解，这样可以极大提高网格划分的效率。例如，在翅片的下游，散热器会产生一个尾涡区。基于这一点，我们在定义 **Fins-NC Assembly** 非连续网格的大小时，可以在流动方向上取非对称的值。**FPBGA** 的定义策略是，首先为所有的 **Ball** 创建一个 **Assembly**，将 **Die** 和用于定义功耗分布的热源创建另外一个 **Assembly**，然后创建第三个 **Assembly** 将所有的 **Package** 包含到其中。

这种方法可以在模型中包括一个复杂的封装，但不会显著增加网格数量。注意，**Fins-NC Assembly** 的底部和 **Package-NC Assembly** 的顶部都嵌入到散热器的基板中了。如果从对象中创建散热器，这种情况是不允许的，因为翅片和基板的几何决定了散热器的大小。可以将翅片和基板分开创建，这样翅片和封装就可以单独划分网格，既可以保证精度，同时总的网格数量也会比较少。

1.2 功耗均匀分布的热源

如果还没有将模型完全展开，请将它完全展开。然后到 **Source Assembly** 中找到名为 **Single-Source** 的对象。将这个对象的总功耗设定为 **64.77W**。点击 **Update** 更新设置，点击 **Done** 按钮。这个基本模型将会同功耗非均匀布置的计算结果进行比较。

1.3 生成网格

网格参数和各对象控制参数已经在模型中定义好了。因此，点击网格生成图标，或者通过菜单 **Model/Generate Mesh** 打开网格控制窗口，查看网格参数。确保 **Max X=0.01m**，**Max Y=0.006m**，**Max Z=0.035m**。注意，在 **Mesh parameters** 下选择 **Coarse**，**Max size ratio** 设定为 **5**。此外，选中 **Object params**。点击 **Edit** 按钮查看下列对象的网格控制参数（或者，可以选择模型树下相应的对象，点击右键选择 **Edit mesh parameters** 选项，就可以设置每个对象的网格控制参数）：

对象类型	Assembly	对象名称	参数	值
Block	Main Model	Base	Z count	9
Plates	Fins-NC	Fins (All)	Z count	9
Block	Sources	Die	X & Z count	93
Plate	Sources	Tim	X & Z count	93
Plate	Sources	Underfil	X & Z count	93

同前面所描述的那样，我们将会采用非连续网格来减少总的网格数量。如果你还没有设置相关参数，请在模型树下展开所有的 **Assembly**。然后设置每一个 **Assembly** 非连续网格区域的大小。

回到 Mesh Control 窗口，确保 Mesh assemblies separately 按钮选中。然后生成网格，并检查网格质量。通过显示切面和对象表面上的网格检查网格质量。

1.4 定义监测点和计算

定义监测点

在计算之前最好先定义一些监测点。这个模型中已经定义了一些监测点，将 Die（在 Sources Assembly 中）和 PCB 拖入到 Points 下（紧靠 Trash bin 上）。在计算过程中，这两个监测点将会显示 Die 和 PCB 中心点的温度，可以从中判断是否收敛。

计算

在模型树中选择 Problem Setup>Basic parameters, 在 General setup 选项卡中确认 Flow regime 选择的是 Laminar, 接受所有缺省设置。接下来，在模型树中选择 Solution settings, 检查 Basic 和 Advanced Settings 的设置：

Basic settings	
迭代步数	100
能量方程	1e-7
Advanced settings	
松弛因子	
压力方程	0.3
动量方程	0.7

现在，点击图形按钮条中的计算器按钮，或者选择菜单 Solve>Run Solution。在 Option 选项卡中将新的计算 ID 命名为 power-map-single-source。接下来，在 Advanced 选项卡中，选择 Enable sequential solution of flow and energy equations。确认 Merge NC interfaces when possible 选项关闭。然后，选择 Start solution 开始计算。

在计算过程中，除了残差曲线外，Die 和 PCB 中心点的温度也将显示。在计算结束后，可以选择 Report 菜单下的 Solution Overview/Create 显示总计算报表。你可以查看报表，点击 OK 关闭窗口。

1.5 后处理

在计算收敛后，创建下列后处理对象：

后处理对象	定义	显示属性	说明
Object face: Face.1	Object type: Block Object name: DIE 只选择 MIN Y 面	Contours of: Temperature Contour options: Solid Shading options: banded Contour levels: Level spacing: Fixed/Number = 20 Calculated: This object	注意最高和最低温度，以及温度分布。
Plane cut: Cut.1	Y-plane through Center	Show vectors: Accept all default settings	查看流型，尤其要注意散热器通道之间。

我们将用刚才为 Die 创建的后处理对象来查看将要运行的其它工况。在 Post 菜单中选择 Save Post Objects to a file 将这些后处理对象保存起来，使用缺省的名称 post_objects。这个文件将会在后来的工况中导入，这样不需要重新创建这些后处理对象就可以将结果进行比较。

1.6 调入功耗空间分布函数并计算

在这里，我们将利用 Icepak 的空间分布函数功能将功耗的空间分布调入到 Single-Source 中。将所有 Assembly 展开，在 Sources Assembly 中找到 Single-Source，打开编辑窗口。在 Properties 选项卡中点击 Per Unit，然后选中 Profiles，点击 Edit 按钮，Curve specification 窗口将会弹出。在这个面板中将长度的单位设为微米，然后点击 Load 按钮。此时曲线调入窗口将会弹出。找到名为 31*31-spatialprofile.csv 的文件，调入。然后依次点击 Accept、Update 和 Done 按钮。

注意，由于几何没有改变，所以不需要重新划分网格。在 Run Solution 窗口中，将新的计算 ID 号取名为 Power-map-final-spatial-profile，并确认在 Advanced 选项卡中选中 Enable sequential solve of flow and energy equations。最后，点击 Start solution 开始计算。

在计算收敛后，创建同前面同样的后处理对象，或者通过 Post>Load post object file 调入 Post_objects 文件。

将功耗随空间变化的计算结果温度分布同前面功耗均匀分布的计算结果进行对比。

1.7 导入非均匀分布的热源并计算

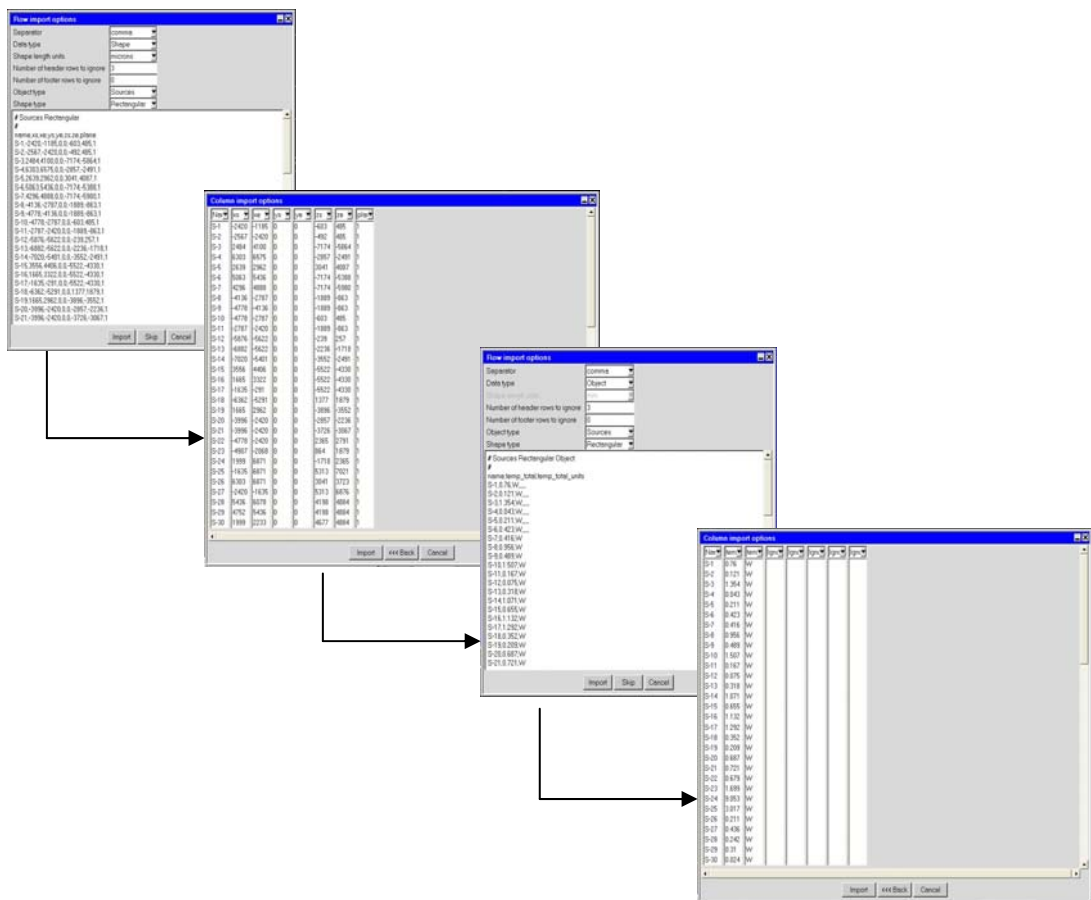
现在，我们将利用 Icepak 的 CSV 导入功能将非均匀分布的热源文件导入到模型中。首先，在模型树中展开所有的 Assembly。然后找到 Single-Source，将其设为无效。接下来，按照下图所示的步骤（下页），在 File 菜单中选择 Import>CSV/Excel，导入文件 nonuniform.csv。注意，长度的单位要设置为微米。在每一个窗口中点击 Import 按钮进入下一个操作，结束导入进程。由于需要导入的对象比较多，这个过程将需要一些时间。

在导入非均匀分布的热源后，用 Ctrl+鼠标左键和 Shift+鼠标右键将他们高亮度显示，然后

点击鼠标右键创建名为 Non-uniform 的 Assembly。将这个 Assembly 托放到 Sources Assembly 中。

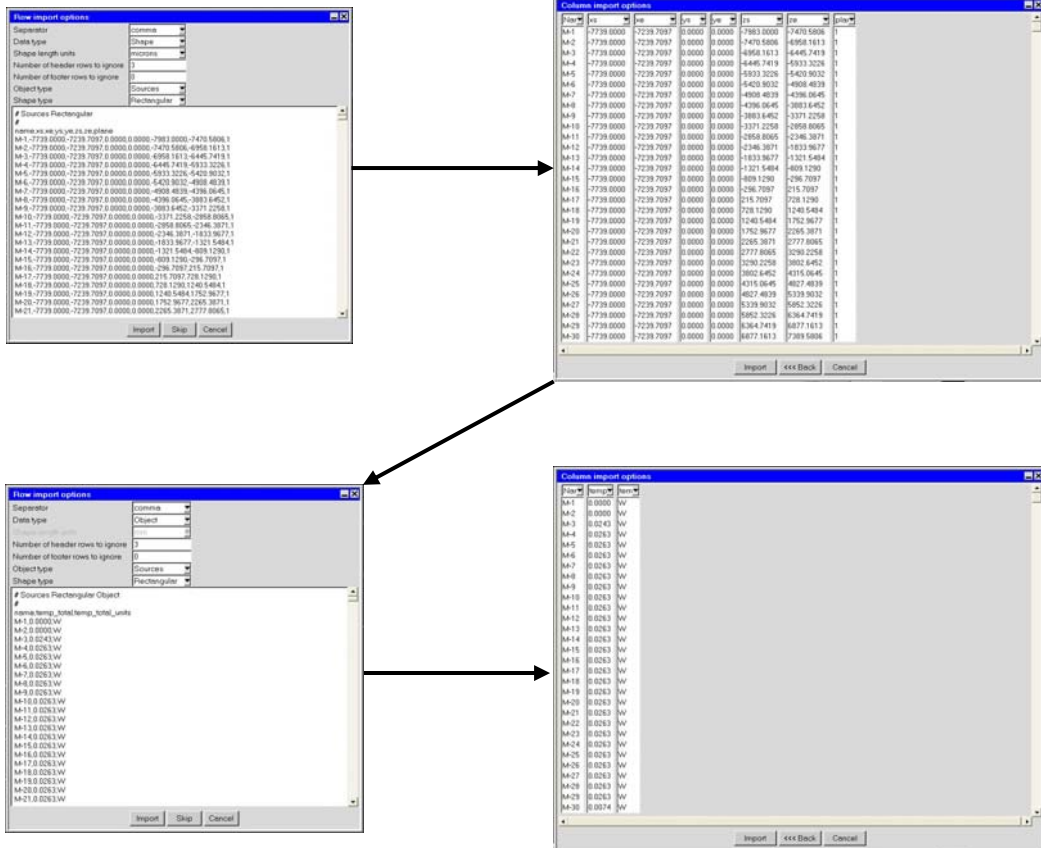
打开生成网格的窗口。由于模型中的几何发生了改变（将单一热源改成了非均匀分布的热源），所以网格必须重新划分，但不需要改变网格控制参数。然后，打开计算窗口，将新的计算 ID 取名为 power-map-final-non-uniform，同时确认 Advanced 选项卡中的 Enable sequential solve of flow and energy equations 选中。最后，开始计算。

在计算收敛后，创建同前面同样的后处理对象，或者通过 Post>Load post object file 调入 Post_objects 文件。比较三种计算工况的温度分布：非均匀分布的热源、单个热源上功耗随空间变化、以及最开始功耗均匀分布的计算结果。



1.8 导入平均分布的热源并计算

在这一步，我们将利用 Icepak 的 Import 功能导入平均分布的热源。首先，展开所有的 Assembly。然后找到名为 Non-uniform 的 Assembly，并将其设为无效。在 File 菜单中选择 Import>CSV/Excel，按照下图展示的步骤导入名为 9*9-uniform.csv 的文件（也可以导入名为 31*31-uniform.csv 的文件，可以提高计算精度）。点击每一个窗口中的 Import 按钮，完成导入进程。由于需要导入的热源对象比较多（81 个），这个过程将需要一些时间。



在导入热源后，用 **Ctrl+鼠标左键** 和 **Shft+鼠标右键** 将他们高亮度显示，然后点击鼠标右键创建名为 **Uniform** 的 **Assembly**。将这个 **Assembly** 托放到 **Sources Assembly** 中。

打开生成网格的窗口。由于模型中的几何发生了改变（增加了 81 个热源），所以网格必须重新划分，但不需要改变网格控制参数。然后，打开计算窗口，将新的计算 ID 取名为 **power-map-non-uniform**，同时确认 **Advanced** 选项卡中的 **Enable sequential solve of flow and energy equations** 选中。最后，开始计算。

在计算收敛后，创建同前面同样的后处理对象，或者通过 **Post>Load post object file** 调入 **Post_objects** 文件。比较三种计算工况的温度分布：平均分布的热源、非均匀分布的热源、单个热源上功耗随空间变化、以及最开始功耗均匀分布的计算结果。

1.9 总结报表

你可以创建一个包含所有计算结果的总结报表。打开菜单 **Report>Summary Report**。在 **Define Summary Report** 面板中，将 **Solution ID** 选择为 **Multiple**。缺省的 **Filter** 为 **""**，选择所有的计算结果。总结报告中只包含 **Die** 的 **Min Y** 面上的结果。检查每个计算工况的结果，热源描述越细致，计算的温度越高。

练习 14 ICEPAK 的 CAD Object 模型

介绍

目前在电子冷却领域复杂几何模型应用的越来越普遍。如复杂的机箱外形，散热器齿片，通风孔，等等。正确的描述这些几何的形状对流动和传热计算的精确度至关重要。在 ICEPAK 中模拟这些复杂的几何将可以直接使用 CAD 模型。使用六面体核心网格可以对复杂的几何创建非结构化网格。

本例指导用户在 icepak 中如何使用六面体核心网格对复杂的几何创建非结构化网格。

在这个例题中您将学会如何：

使用 CAD 模型以及使用六面体核心网格创建非结构化网格

对模型的流动和传热进行模拟

检查物体表面和横截面的等值线和矢量

- 使用 CAD 模型以及使用六面体核心网格创建非结构化网格
- 对模型的流动和传热进行模拟
- 检查物体表面和横截面的等值线和矢量

预备知识

这个例子假设您没有很多 icepak 的使用经验，但比较熟悉这个软件的界面。如果你不熟悉 icepak 的界面，请复习本用户指南第一章的 1.7sample session 一节内容。

问题描述

机箱内包含了一个挤压型散热器，这个散热器的齿片的横断面是翼面形（aerofoil），散热器和下面的块之间有一个热源。这些物体位于一个风洞内，如图 14.1 所示。

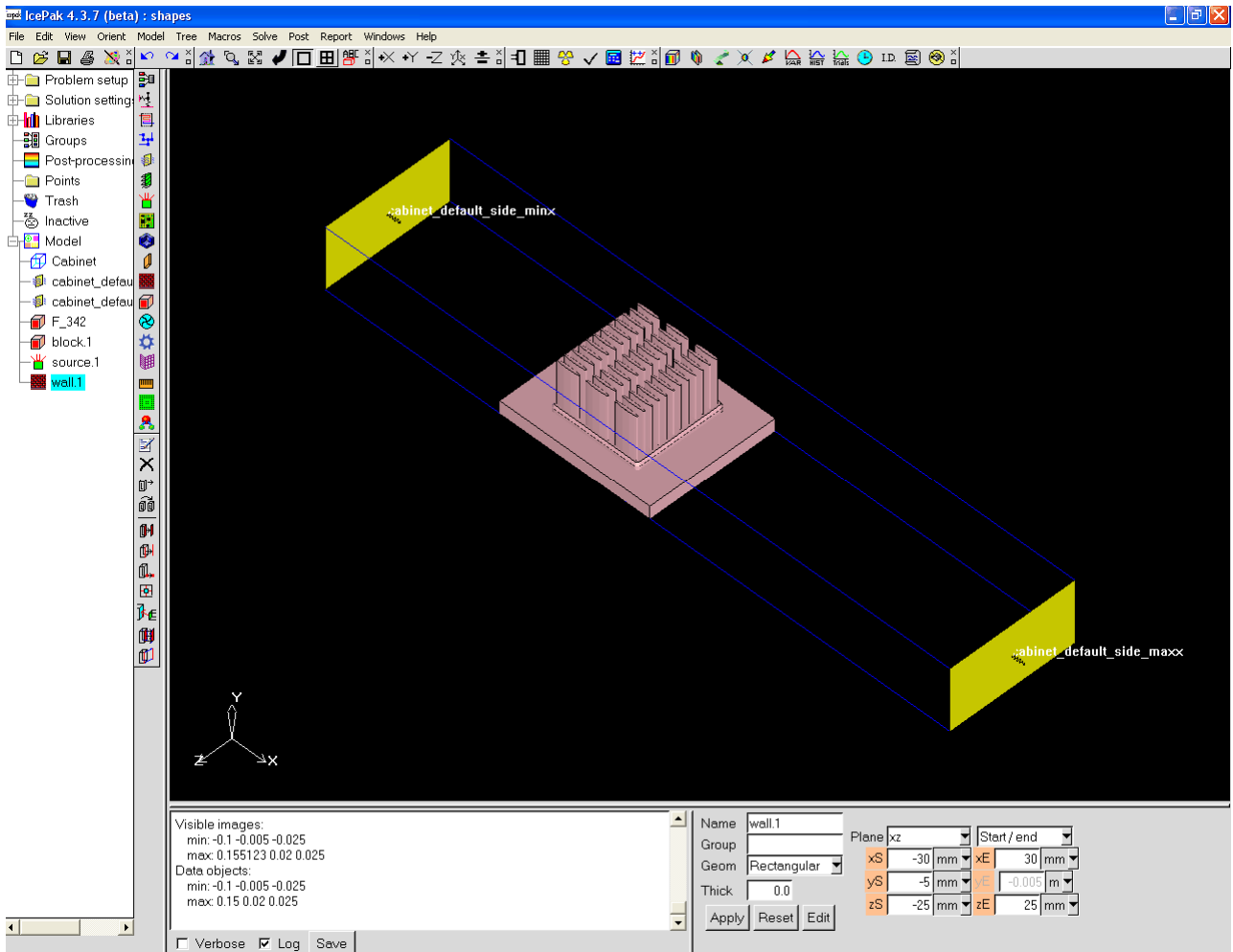
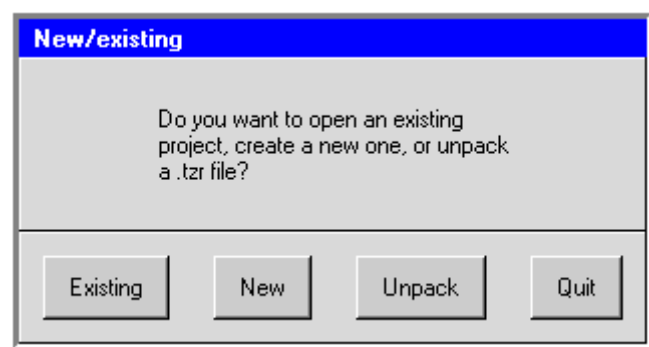


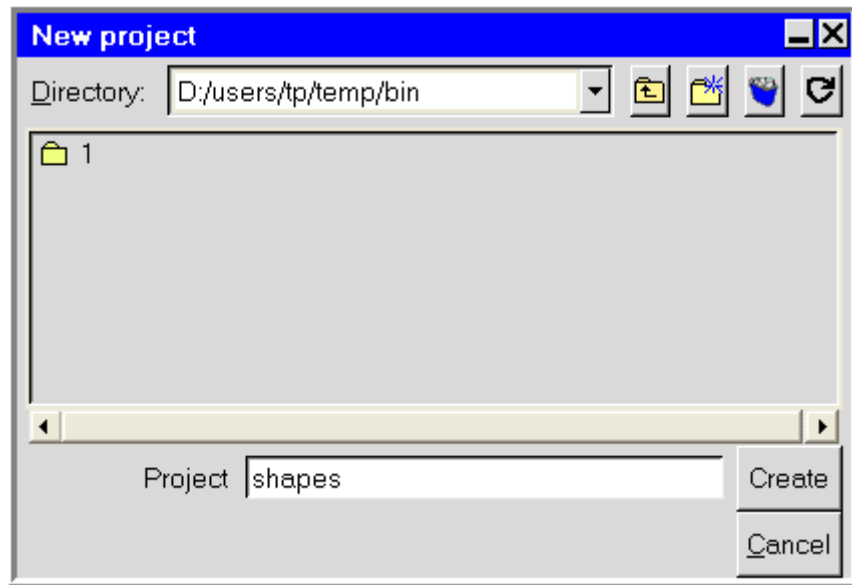
图 14.1: 模型示意图

步骤 1: 创建新的项目:

1. 按照用户指南 1.5 的内容运行 Icepak
当 Icepak 运行以后, *New/existing* 面板将自动打开。



2. 在 *New/existing* 面板里点 *New*, 创建一个新的 Icepak project
新的 *project* 面板显示如下: .



3. 指定新的 project 名字，点 **Create**。

- (a) 在 **Project** 文本框里，输入新的 project 名—shapes。
- (b) 点 **Create**。

Icepak 将创建一个缺省的大小为 1m×1m×1m 的 cabinet，并在图形窗口显示出来。

您可以使用鼠标的左键以一个点为中心转动 cabinet，或使用鼠标的中键平移 cabinet。您也可以使用鼠标的右键放大或者缩小 cabinet 的视图。选择 Orient 菜单的 Home position，可以把 cabinet 恢复到初始位置。

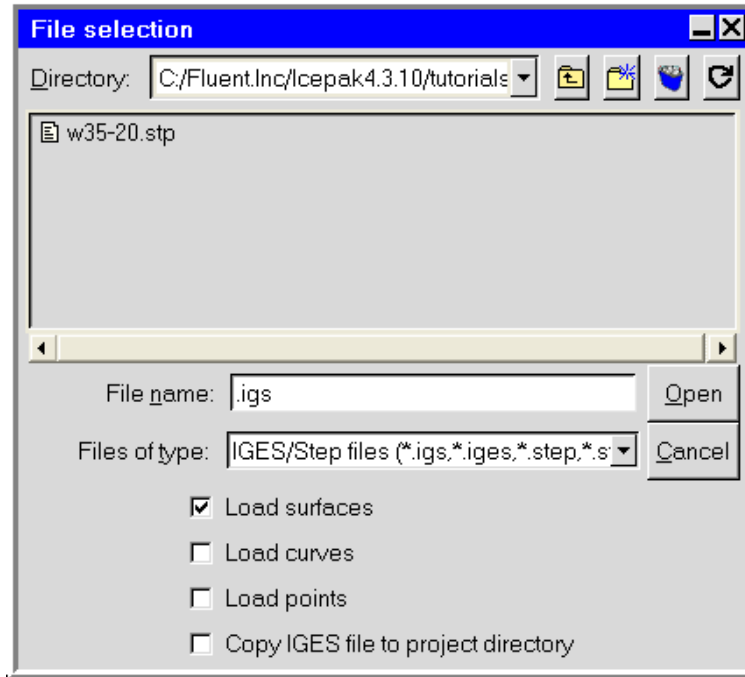
步骤 2：创建模型

为了创建这个模型，您将首先需要创建 Icepak CAD block 来代表这个散热器，您将需要导入必需的 CAD 文件（IGES/Step）到 icepak。

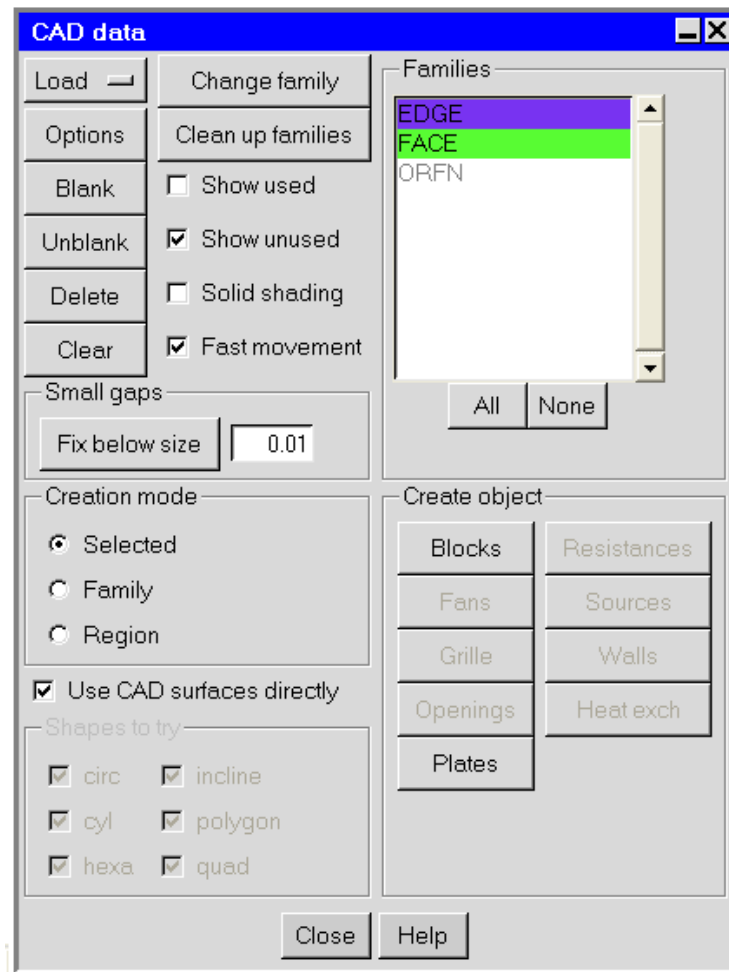
1. 导入 IGES/Step 文件到 icepak

Model → **CAD data** → **Load**

- 选择主菜单里面的 **MODEL** 菜单，点击 **CAD data**。
- 在 **CAD data** 面板里面选择 **Load**，点击 **IGES/Step file**。
- 在 **file selection** 面板里面选择 w35-20.stp 文件。
- 这个 CAD 模型将在图形窗口内现实。



2. 在 CAD data 面板里面，选择通过 surfaces 来创建 CAD block



- 在 Creation mode 面板里点击 Selected
- 选择 Use CAD surfaces directly
- 在 Creat object 部分，选择 Blocks
- 使用鼠标拖拽的方法选择那些创建 CAD block 的面，点击鼠标中键将在 icepak model 里产生一个名字为 F_342 的 block。

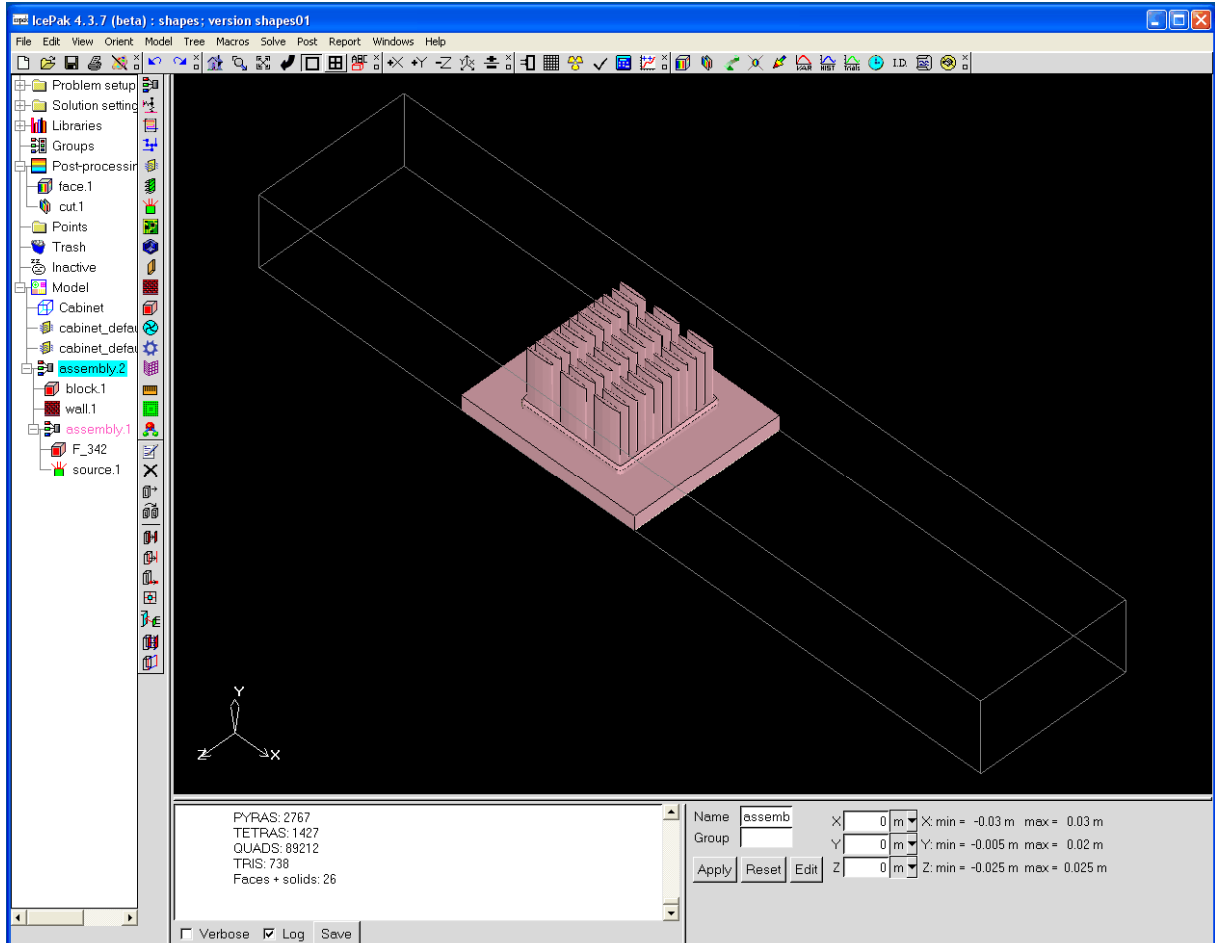


Figure 14.2: 从 CAD 文件创建散热器的 CAD block

接下来您将需要改变 *cabinet* 的尺寸

3. 在 Cabinet 面板里面调整 cabinet 的尺寸。



- (a) 在 Cabinet object 面板里面，选择 Geometry 键。
- (b) 在 Location 下，输入如下 Start/end 坐标值：


i 注意坐标的单位是 mm.

表 14.1: Cabinet 的坐标值

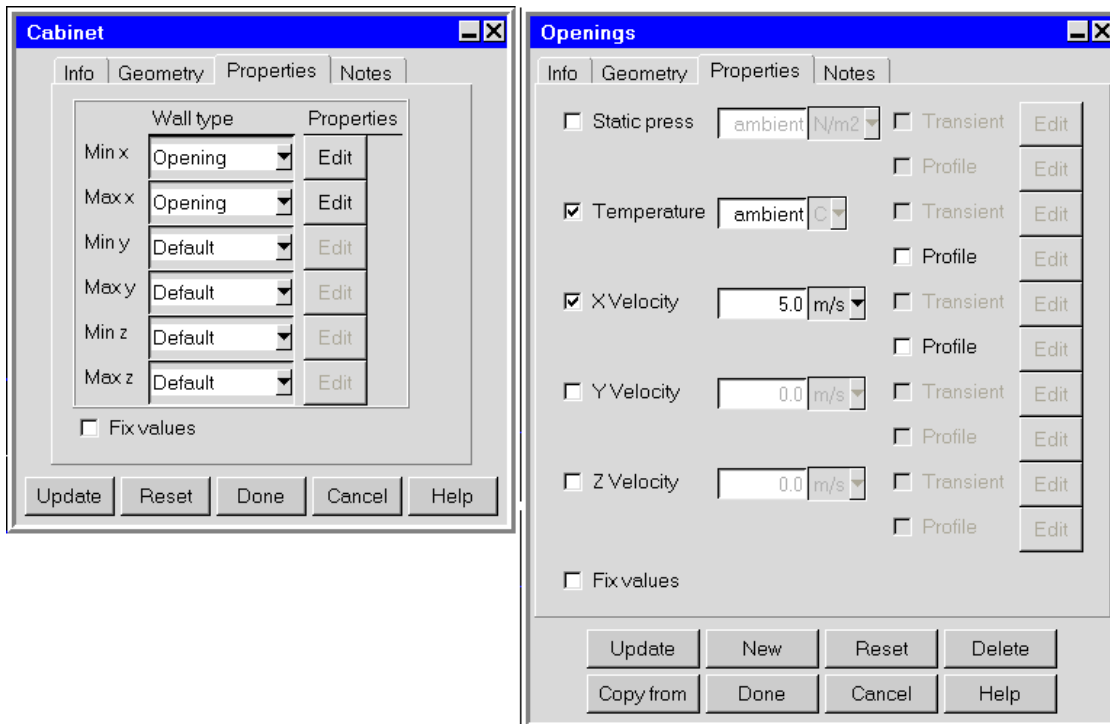
xS	-100 mm		xE	150 mm
yS	-5 mm		yE	20 mm
zS	-25 mm		zE	25 mm

(c) 点 **Update** 调整 cabinet 的尺寸。

(d) 在 **Orient** 菜单, 选择 **Scale to fit** 调整视图大小, 使 cabinet 适合图形窗口。

另外: 您也可以通过快捷键  调整视图大小。

4. 编辑 cabinet 的属性, 指定 **Min x** 和 **Max x** 面为 opening。选择 **Opening** 从 **Min x** 和 **Max x** 面 **Wall type** 选择 **Opening**。对 **Min x** 的对象面板中选择 **Edit**, 指定 x 速度为 5m/s。




接下来您将创建一个金属 *block*、*source* 和 *wall*

5. 在创建一个位于散热器基座的 *block*

(a) 点击  键创建一个新的 *block*。

ICEPAK 创建一个位于 *cabinet* 中心的 *block*, 您需要改变这个 *block* 的尺寸。

(b) 点  键打开 **Blocks** 面板。

(c) 点 **Geometry** 键。

(d) 对这个 **Prism** *block* 输入如下 **Start/end** 坐标值:


xS	-30 mm		xE	30 mm
yS	-5 mm		yE	0 mm
zS	-25 mm		zE	25 mm

这个 block 和 cabinet 的 Min y 接触，和散热器的 Max y 接触。Block 的 Min z 和 Max z 和 cabinet 接触

在 *Properties* 窗口，对 *Block type* 选择 *Solid*，在 *Thermal specification* 选项保持 *default* 的 *Solid material*，由于 *default solid material* 是 *extruded aluminum*，在这里不需要做特殊的定义。

(e) 点击 **Done** 改变 block 属性并关闭这个窗口

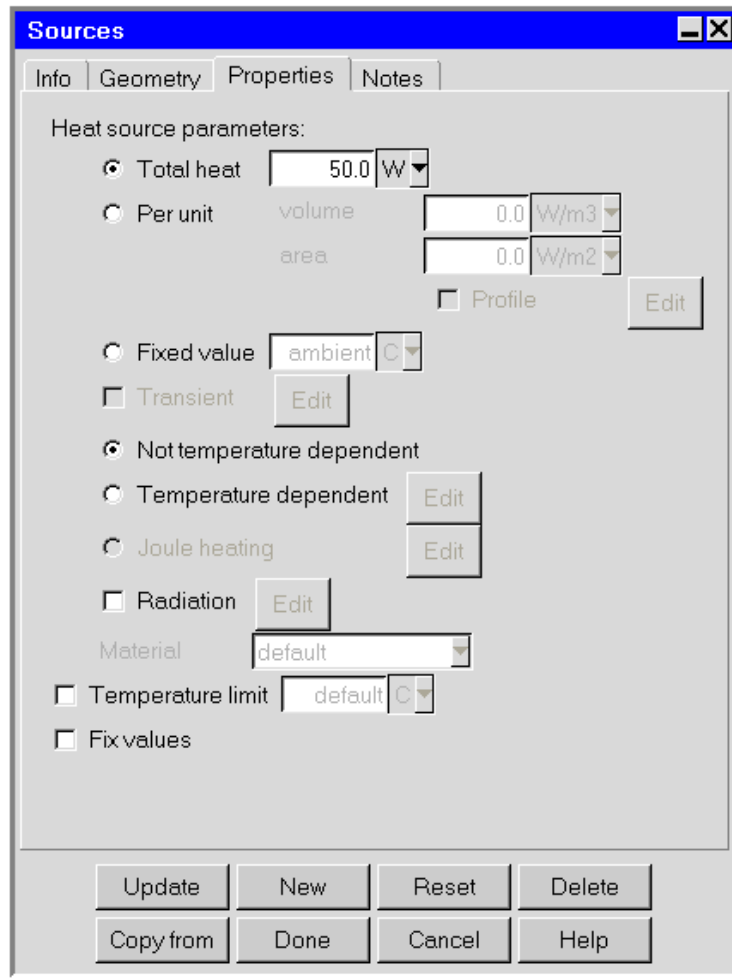
6. 在 block 和散热器之间创建一个热源

(a) 点击  键创建一个热源；

(b) 输入表 14.3 中 xz 面上的数值编辑热源的 **Start/end 坐标值**；

xS	-10 mm		xE	10 mm
yS	0		yE	--
zS	10 mm		zE	-10 mm

(c) 编辑热源的属性，指定功率为 50w；



(d) 点击 **Done** 修改热源的属性并关闭这个面板。

热量将从这个金属 *block* 的底座传出，因此在 *cabinet* 的 *Min y* 面上创建一个 *wall.1*。

7. 在金属 *block* 的底面上创建一个 *wall*

(a) 输入表 14.4 中 *xz* 面上的数值编辑 **Rectangular wall** 的 **Start/end** 坐标值。

表 14.4: Wall 的坐标值

xS	-30 mm	xE	30 mm
yS	-5 mm	yE	--
zS	-25 mm	zE	25 mm

编辑 *wall* 的属性定义 *wall* 的边界条件，点击 *external conditions*，激活 *heat transfer coefficient*，指定数值为 10 W/km^2 ，

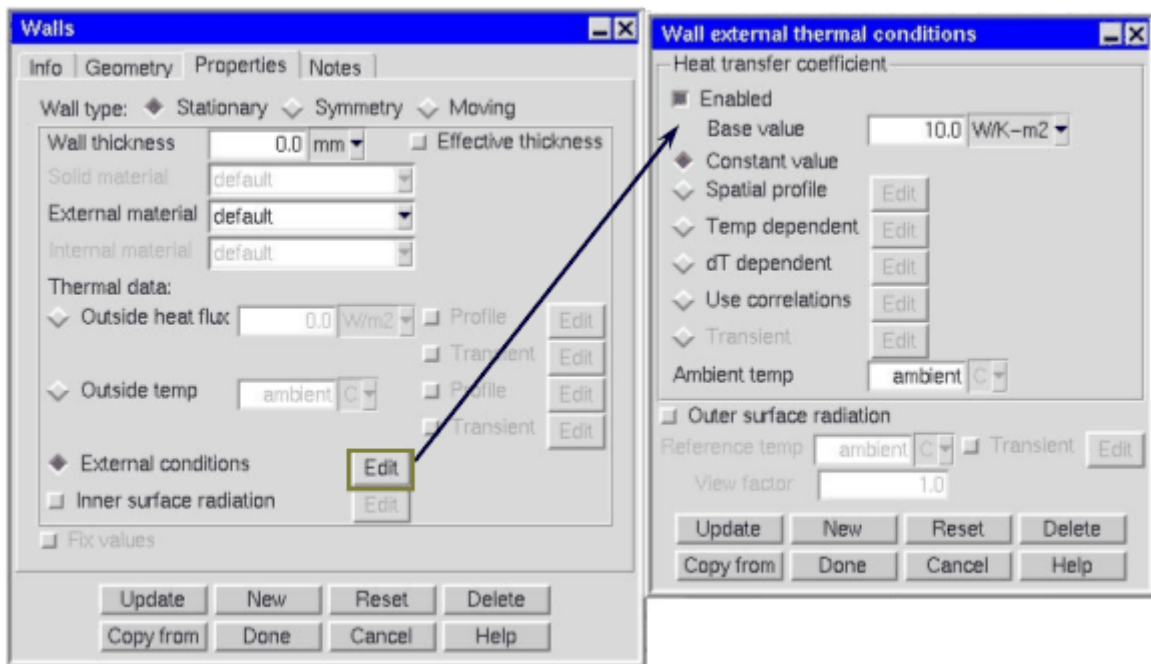


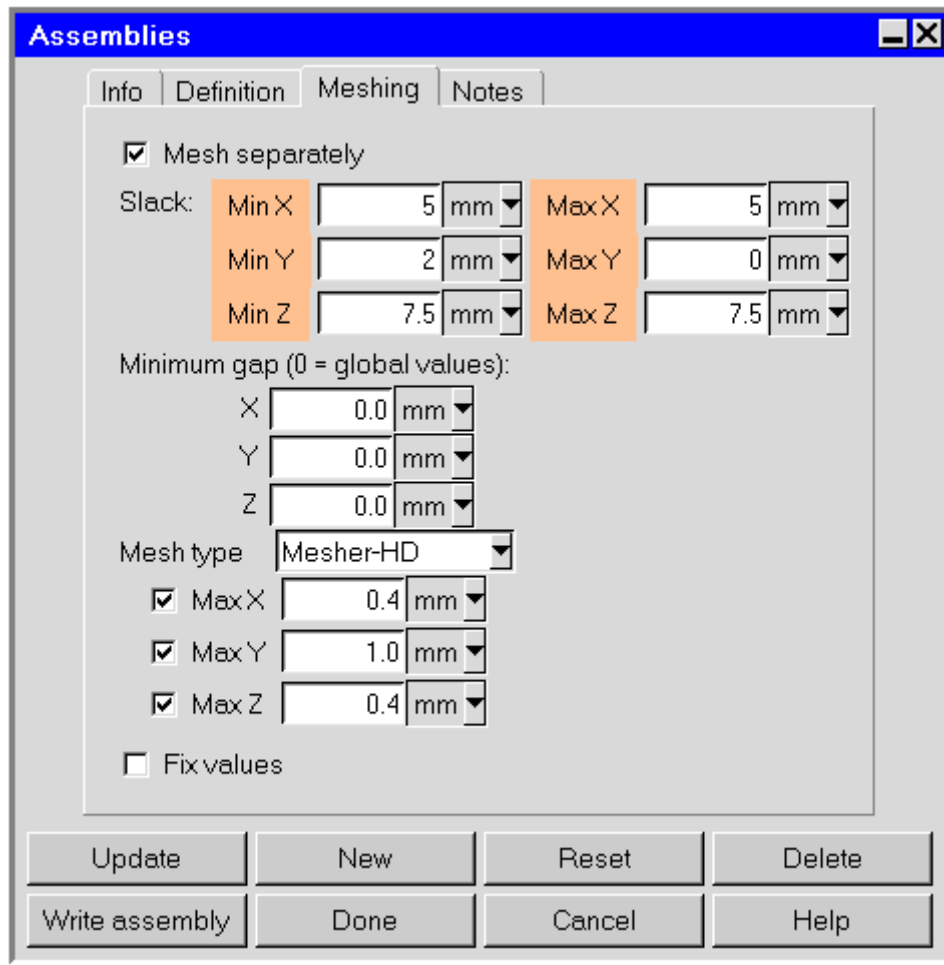
图 14.2: 定义 Wall 的边界条件

最后模型应该和图 14.1. 所示的一致

步骤 3: 创建网格

为了对散热器划分适合的网格，必须对散热器区域进行网格细化，但又不能增加整体的网格数目，因此，有必要对这个细化的区域使用非连续网格。

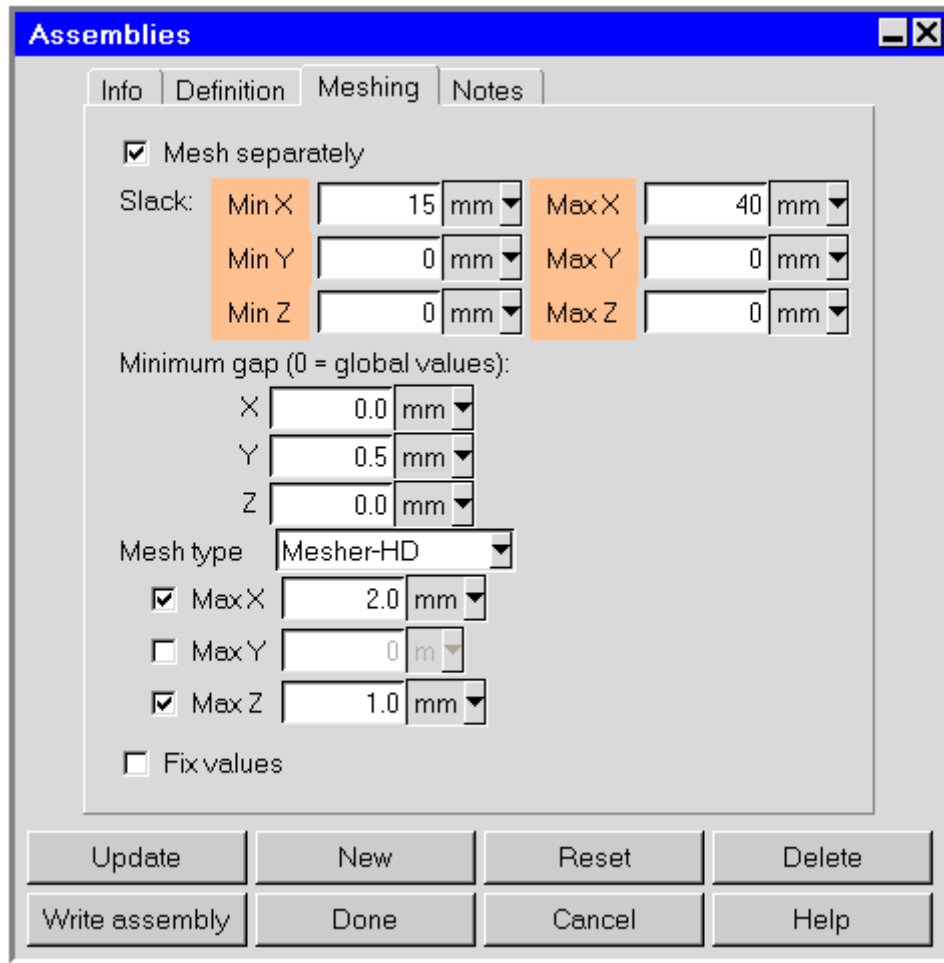
1. 选择散热器“F_342”和 source.1 创建一个 assembly，“assembly.1”。对这个 assembly 的网格控制参数如下图所示。



Min z 和 *Max z* 的 *slack* 值通过分别直接对齐 *cabinet* 边界获得。注意使用 *Max* 网格尺寸细化 *assembly* 每个方向网格。

通过创建另外一个非连续网格区域，您可以创建两级网格。通过建立包含 *assembly.1* 的 *assembly.2* 可以让网格从比较精细的 *assembly.1* 区域平滑过渡到比较粗的外部区域。

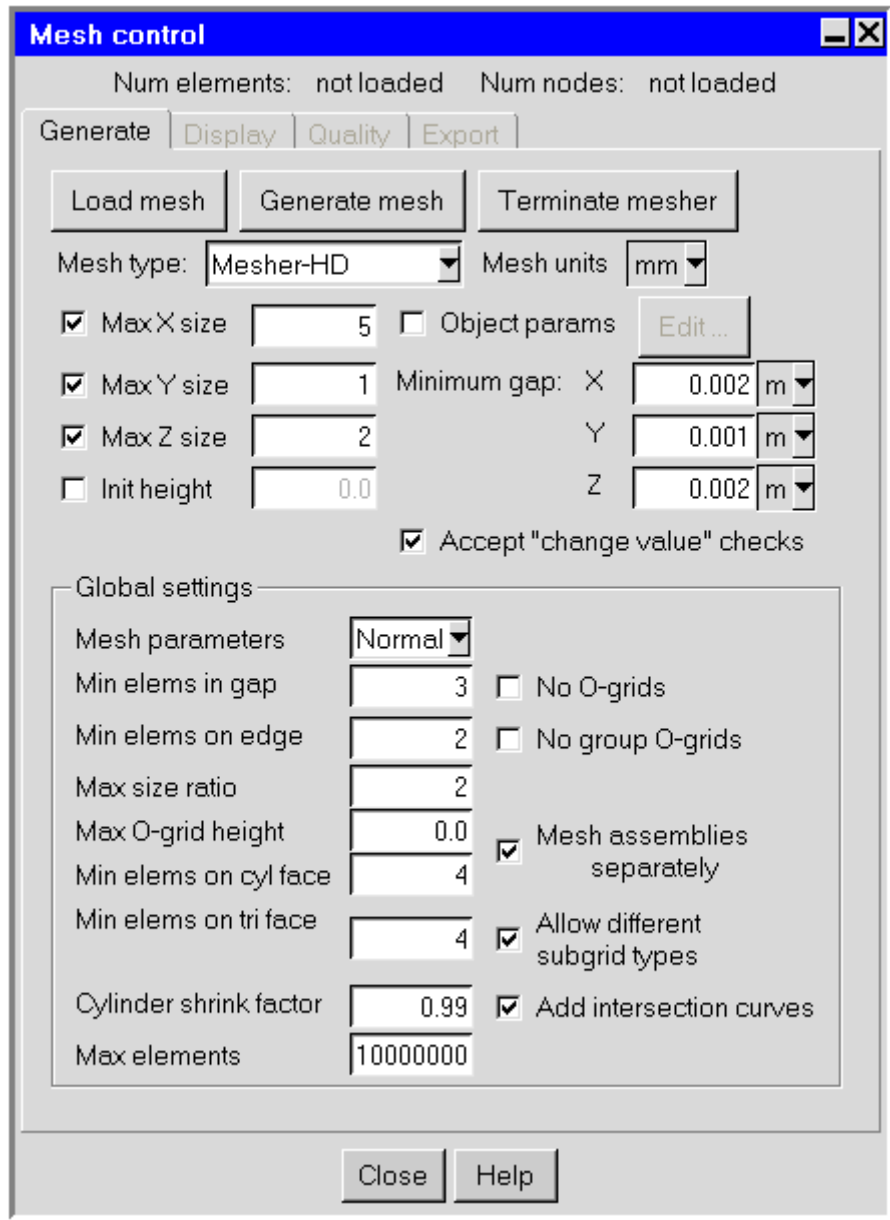
2. 选择 *assembly.1*, *block.1* 和 *wall.1* 创建 *assembly.2*，网格 *slack* 值和最大网格尺寸定义如下图所示。



注意参考 *assembly.1* 的最大网格尺寸来对这个 *assembly* 进行指定。

3. 在 **Mesh control** 面板里指定整体网格控制参数，参看下图，

Model → **Generate mesh**



i 网格的单位是 mm

注意在 *global settings* 里面必须选择六面体核心网格 (*hex-dominant mesher*)，另外一种方法也可以对整体区域定义六面体非结构化 (*Hexa unstructured*) 或六面体笛卡儿 (*Hexa cartesian*) 网格，而对包含了 *CAD object* 的 *assembly.1* 使用里面体核心网格。因为只有六面体核心网格才能对 *CAD object* 进行网格划分。

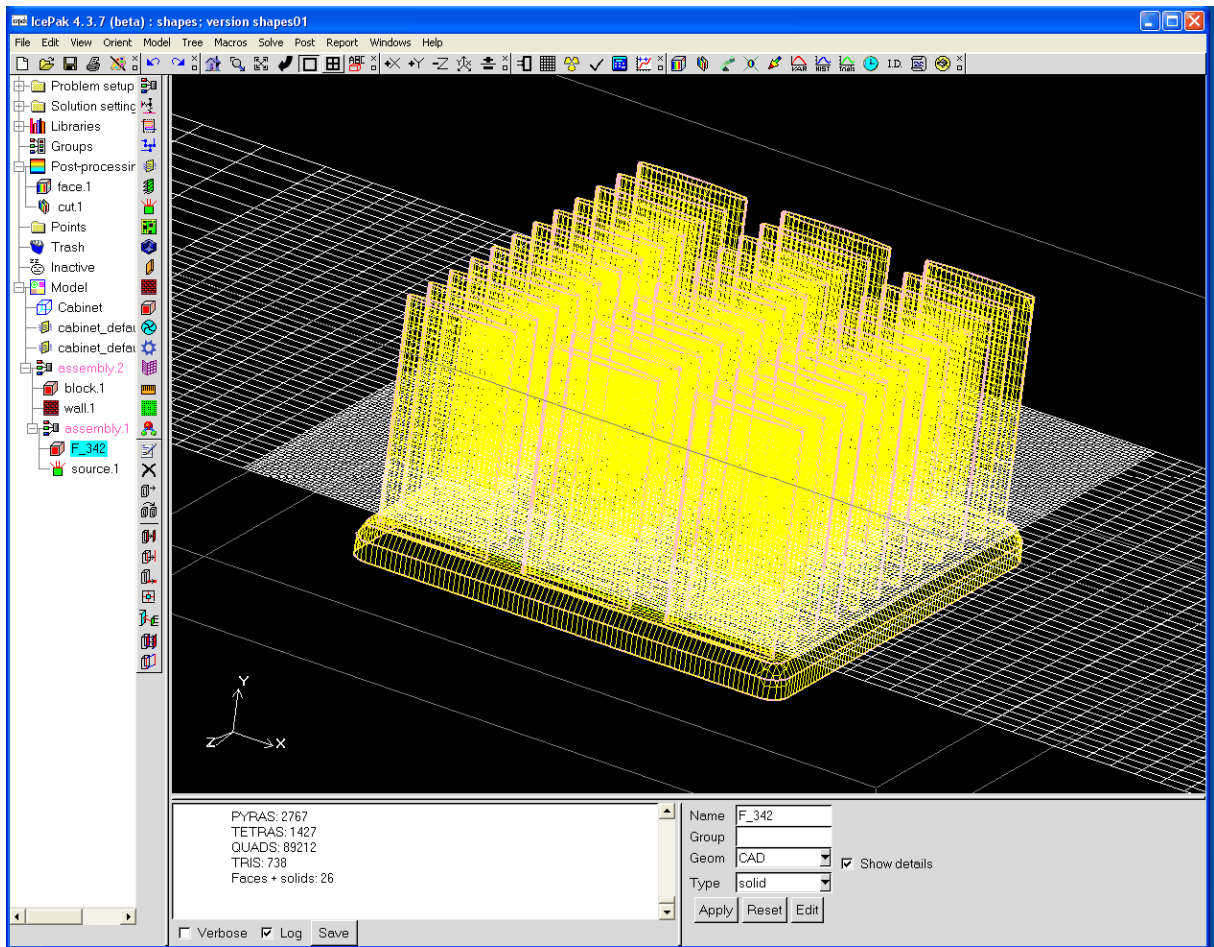


图 14.3: 靠近散热器的网格

散热器表面和通过 y 方向的中心截面网格显示如图 14.3。通过 y 方向中心截面的模型外部区域的粗网格，中间 *assembly.2* 的过渡网格和 *assembly.1* 的细网格如图 14.4 显示。

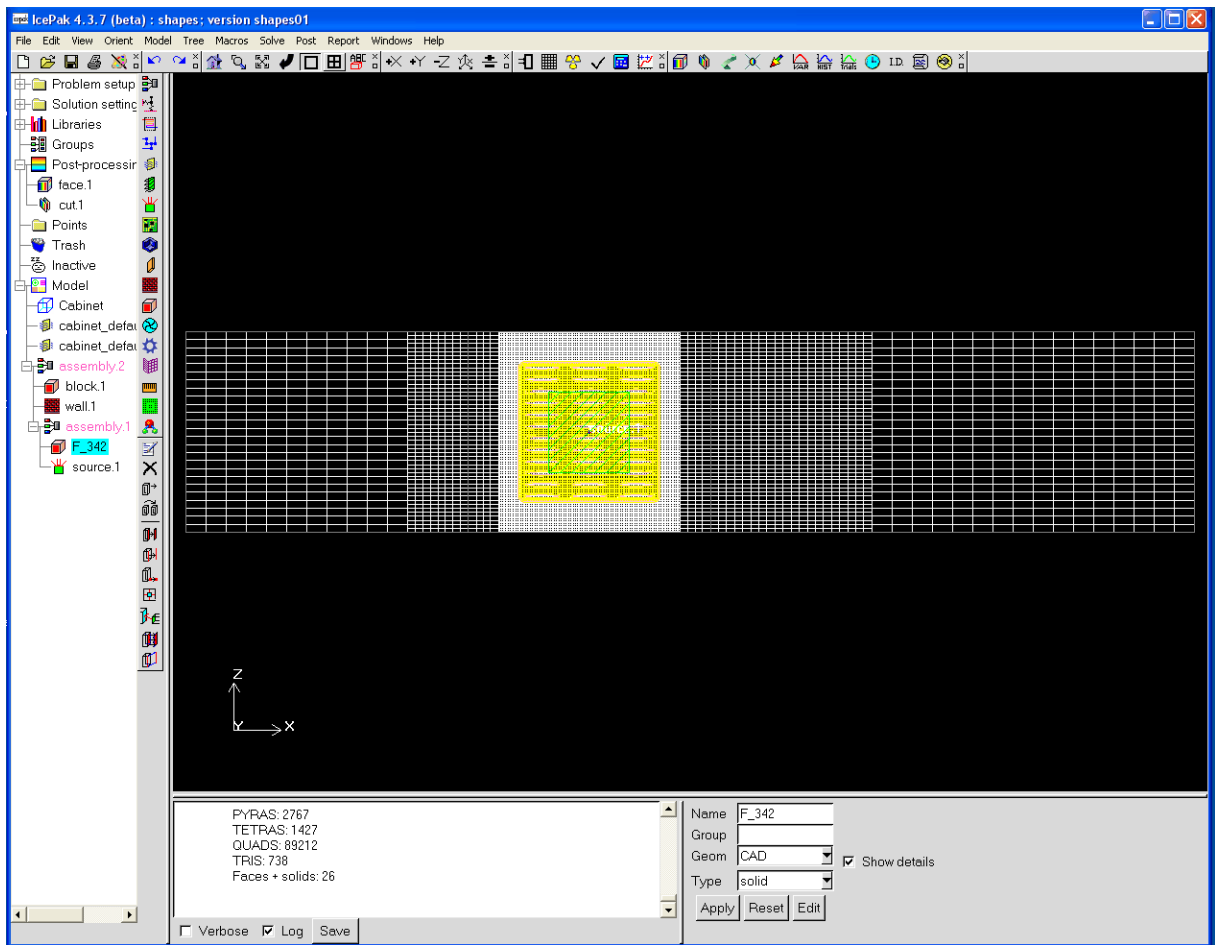
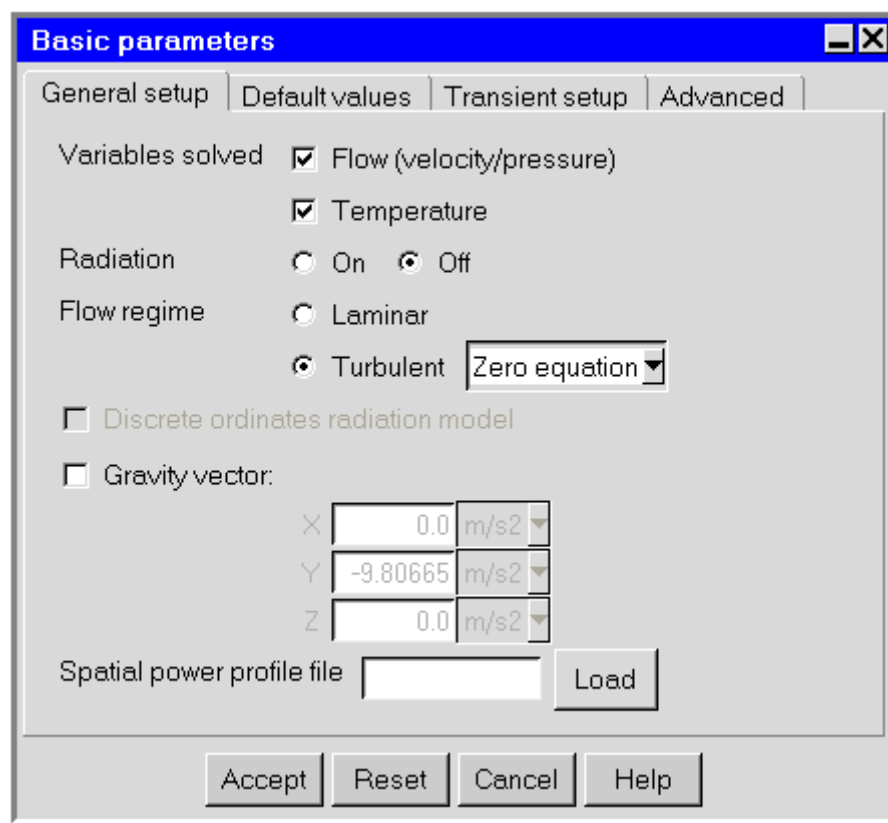


Figure 14.4: Y 方向截面的网格示意图

步骤 4: 问题设置

在模型树的 **Problem Setup** 中点 **Basic parameters**，在 **General Setup** 确定 flow 和 temperature 场都被打开。这个问题属于强迫对流问题，因此辐射和自然对流都可以忽略。关闭辐射 (radiation) 和重力 (gravity)。选择 0 方程湍流模型。



步骤 5: 保存模型

Icepak 在您开始求解时可以自动保存模型，但是最好能够保存一下模型（包括网格），这样如果在计算以前退出 Icepak，下次打开这个项目可以在您保存的任务上继续计算（如果在当前的状态下开始计算，Icepak 将在自动保存模型的时候只简单的写一下 job 文件。）

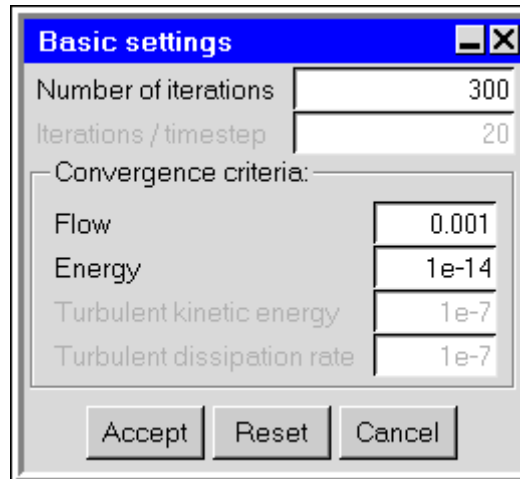
File → Save project

注意您可以在 *File commands* 点  键来保存模型

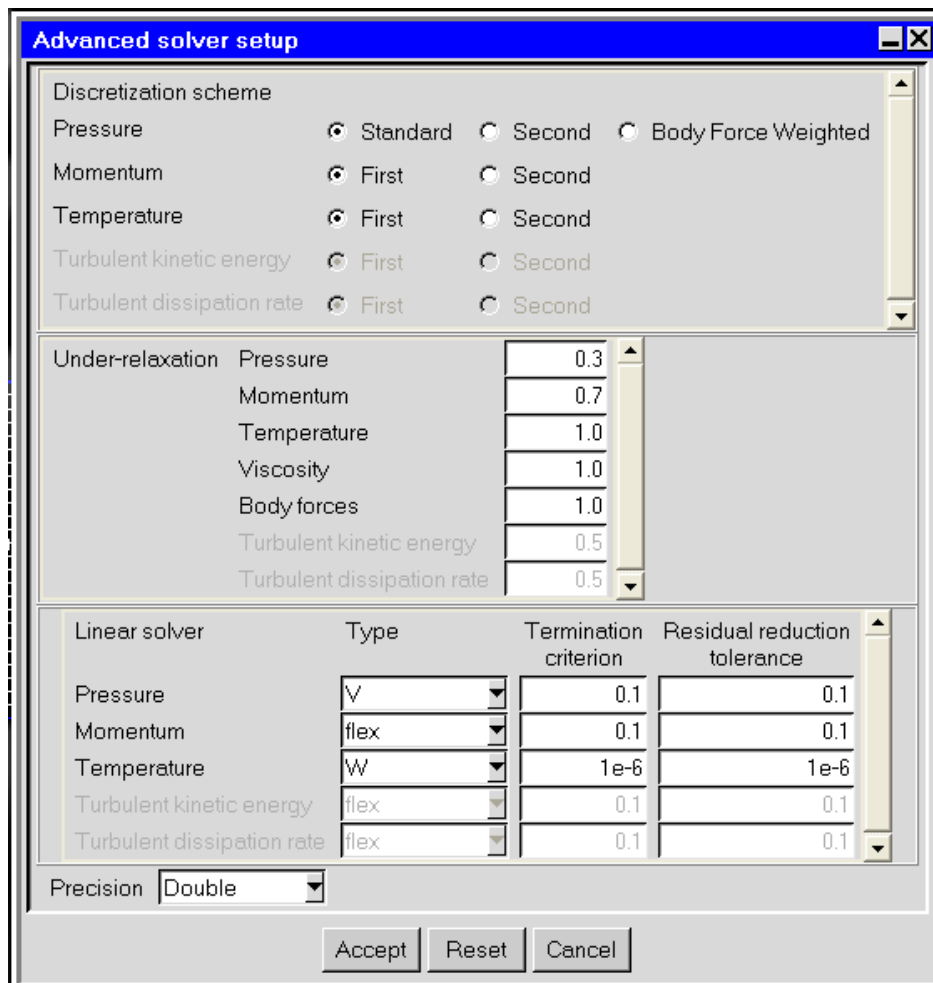
步骤 6: 求解

由于这个问题属于强迫对流，因此允许顺序求解流动和能量方程。

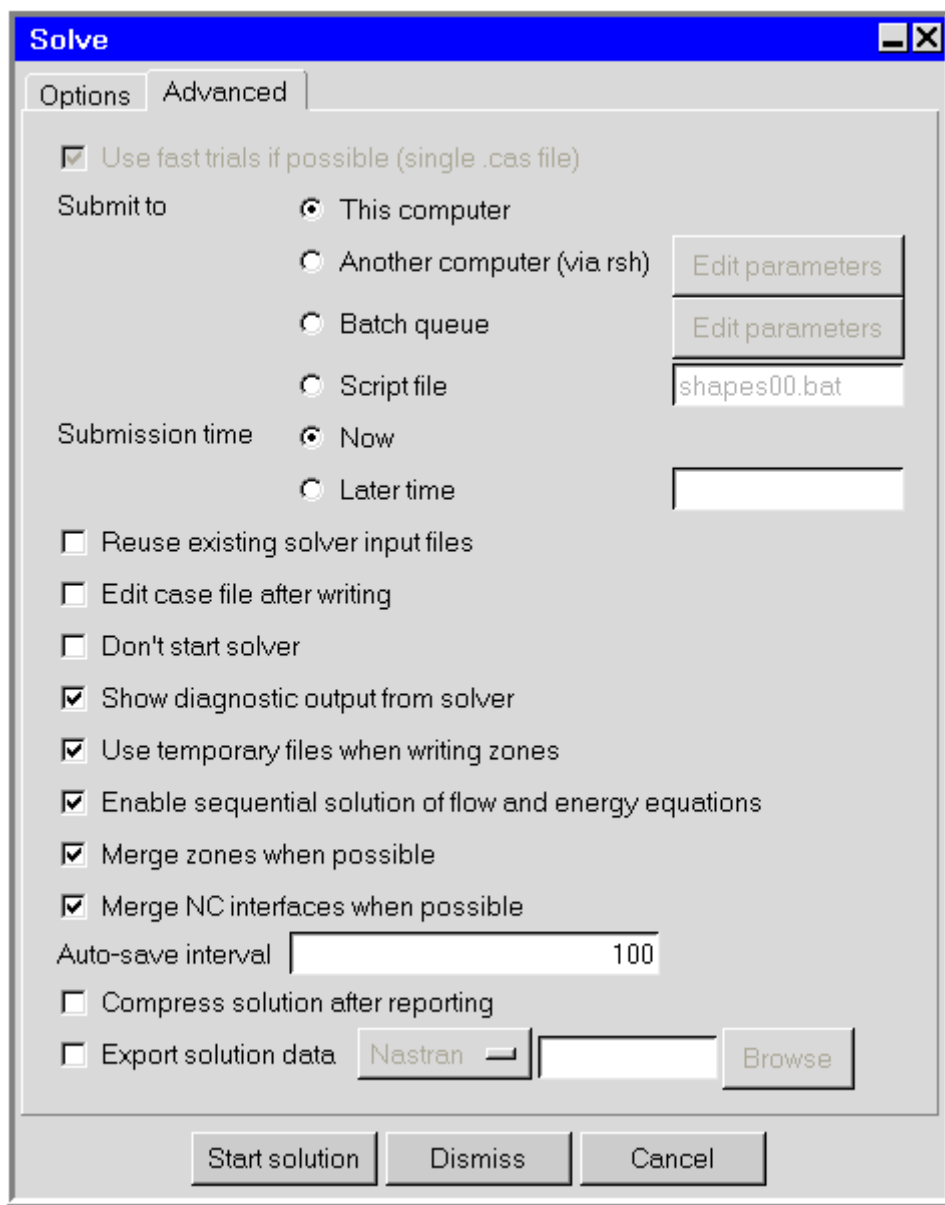
在 **Solution settings** → **Basic settings** 面板，指定最大迭代次数为 300，流动方程收敛判据为 0.01，能量方程收敛判据为 $1e-14$ 。



当能量方程被分离求解的时候，严格的能量方程收敛判据是必须的。在 **Solution settings** → **Advanced settings** 面板，指定压力和动量方程松弛因子分别为 0.3 和 0.7。对温度应该选择 W 型线性求解器，相应的 termination criterion 和 residual reduction tolerance 都设成 1e-6。改变 Precision 为 Double。对于能量方程的分离求解应该做以上的设定。



选择 Solve 菜单, 点 Run Solution 将会显示 Solve 面板。在求解前点 Advanced 键选择 enable sequential solution of flow and energy equations。



1. 在 Solve 面板保持缺省的设定。
2. 点 Start solution 开始运行求解器。

Icepak 对模型开始求解后, *Solution residuals* 图形窗口将自动弹出, 这个窗口显示迭代过程中的残差数值和收敛的过程。

注意这个残差曲线在不同机器上可能有细微的差别, 所以你看到的曲线也许和图 14.5 并不严格吻合。

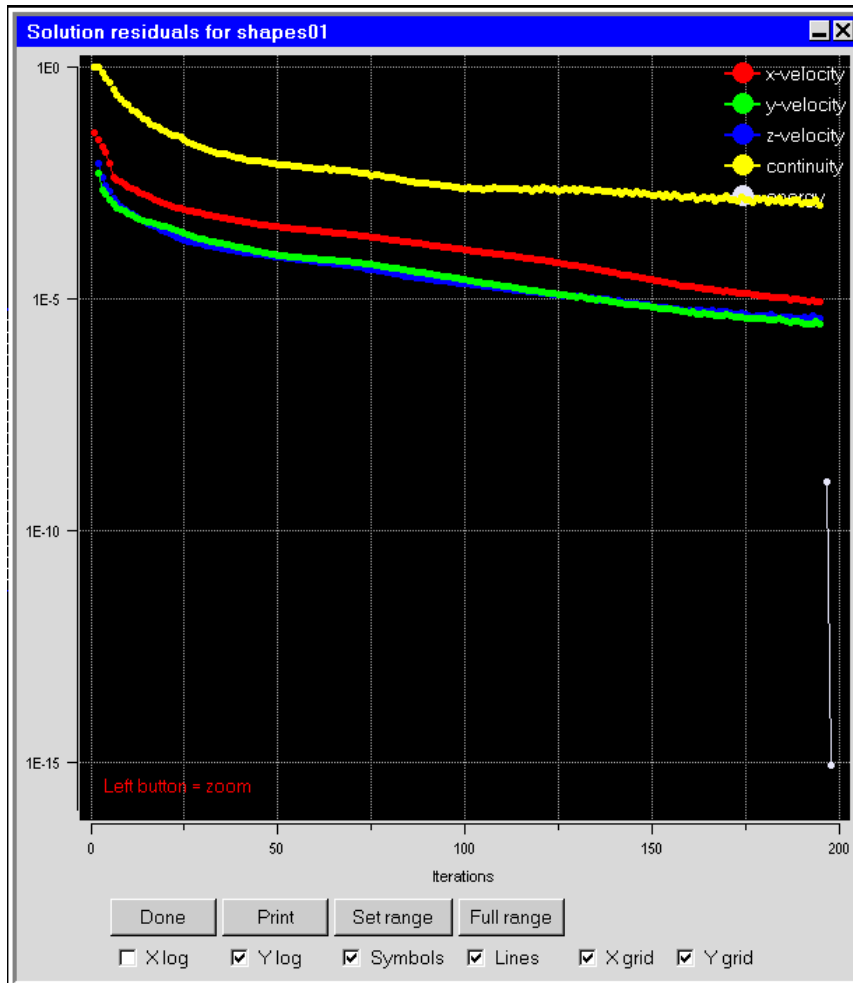



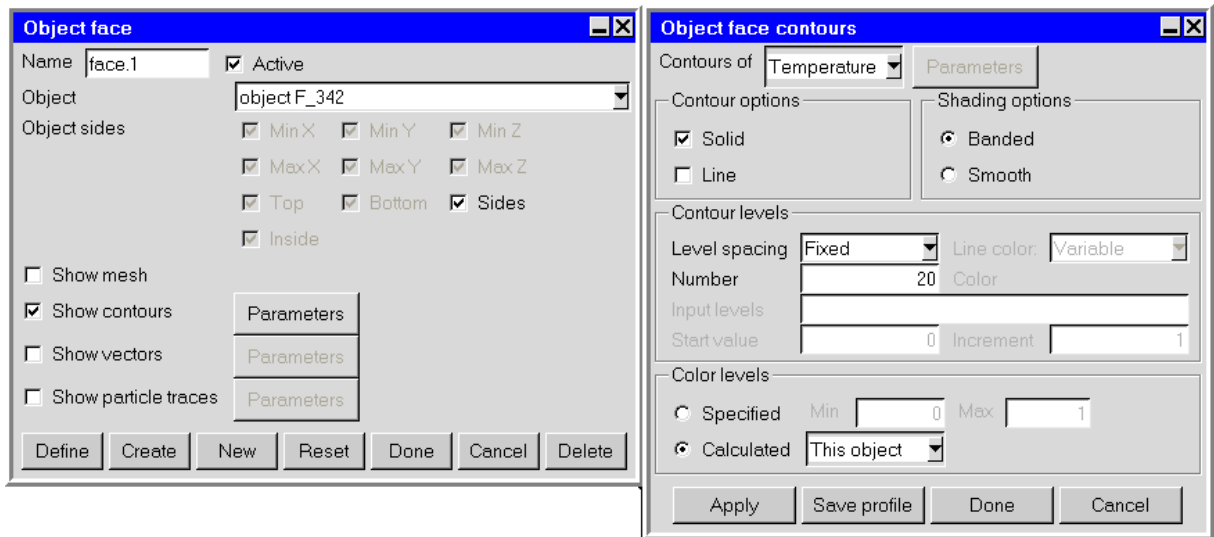
Figure 14.5: 残差

3. 在 Solution residuals 窗口点 Done 关闭这它。

步骤 7: 检查结果

使用 *object face* 将能显示散热器上的结果分布，也可以显示其他 Icepak *object* 的分布。

1. 在后处理部分的快捷工具栏里点 ，选择 CAD block，然后点 **show contours**，点 **parameters** 在下面 **calculated** 中选择 **this object**



这样将获得散热器上的温度分布，可以通过探针工具 (probe) 来显示图上具体某个点的温度数值。

图 14.6 显示散热器上的温度分布

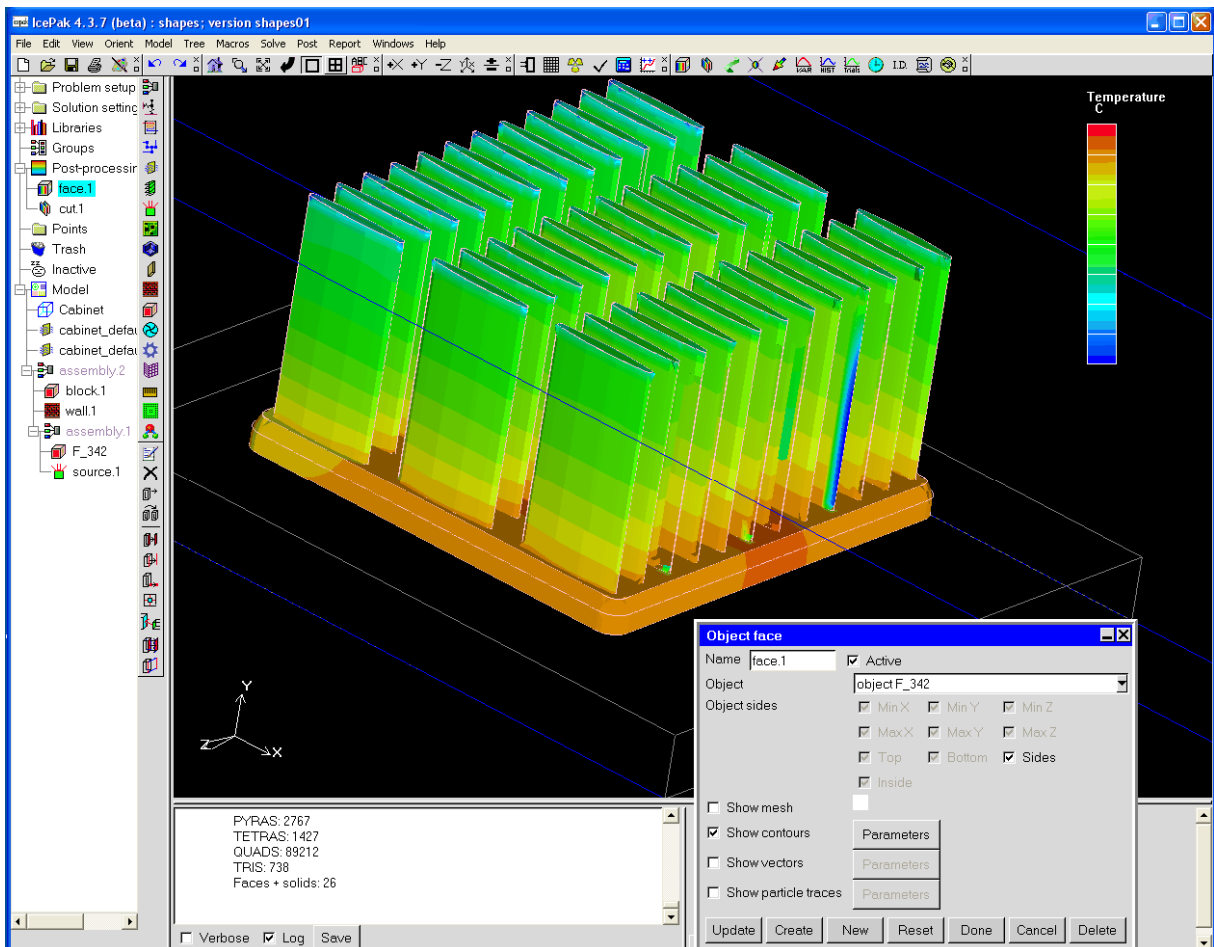


图 14.6: 散热器上的温度分布


2. 在后处理部分的快捷工具栏里点，在 Set position 选择 Y plane through center，选择 Show Vectors 点击 Parameters，在 Plane cut vectors 面板中保持缺省的设定，点 Apply 和 Done。放大视图可以看到更多细节

图 14.7 表示穿过散热器齿片的 y 方向平面的速度场

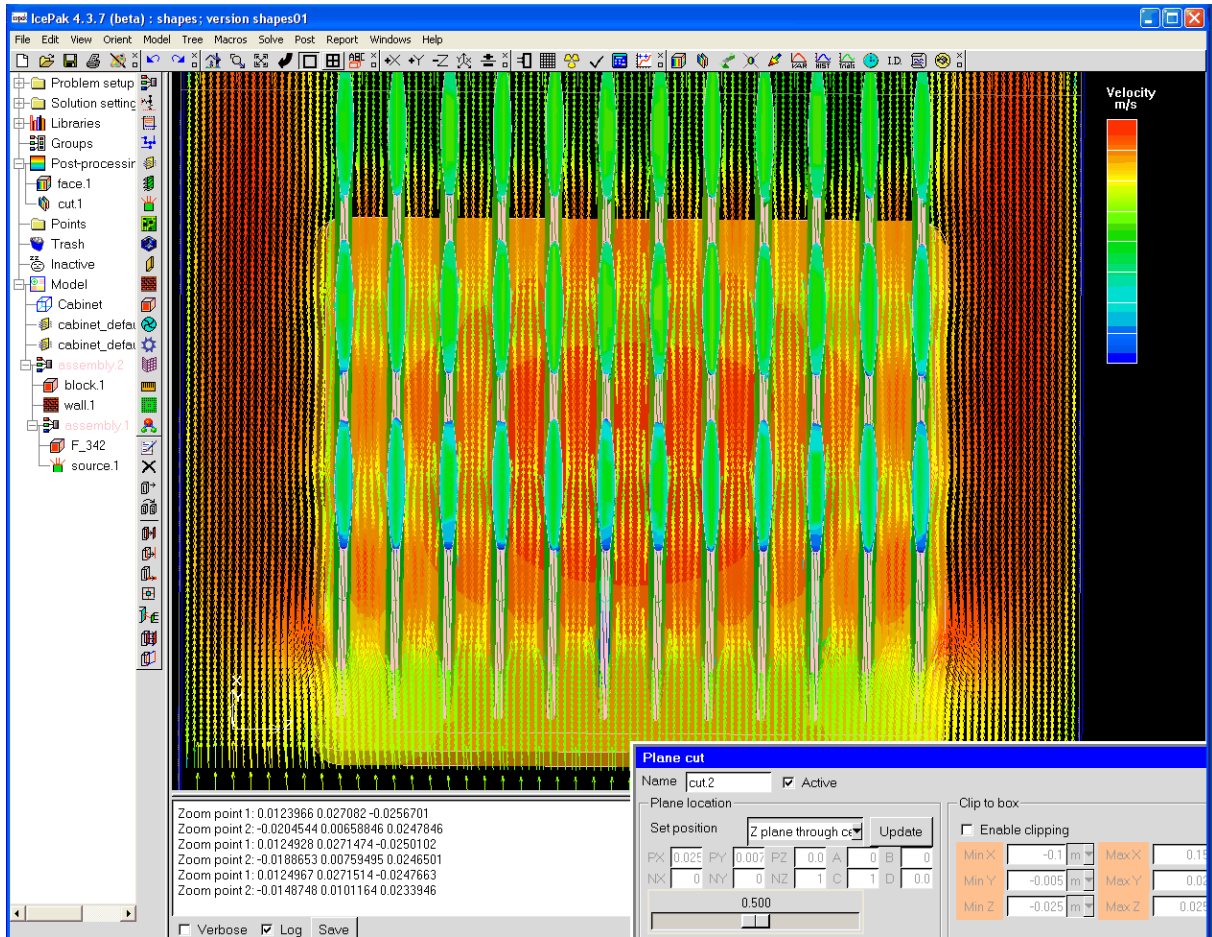


图 14.7: 散热器齿片附近的的速度场

总结

这个例子介绍了通过导入一个 CAD 模型建立一个模型，然后使用六面体核心网格创建非结构化网格。求解强迫对流和换热问题，并检查物体表面和切面的计算结果

练习 15 PCB 板布线层接口模块

介绍

由于 PCB 板的结构越来越复杂，其布线层（trace layers）越来越不均匀，因此，对板子必须使用局部变化的导热系数。在 Icepak 4.3.10 中，能够通过布线层接口获得 pcb 上分布的各向异性导热系数（ k_x , k_y , k_z ）。由于使用了包括非均匀的布线层特性的背景网格来进行计算的，因此并没有增加整体网格数目。通过本例题您可以学会：

- 导入一个典型的 PCB 板布线层。
- 求解两个基于布线层的算例。

预备知识

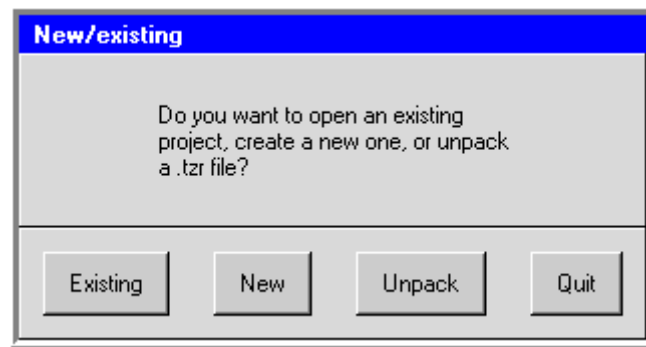
本例假设您已经熟悉 ICEPAK 的菜单接口，并且已经阅读或练习 Tutorial 1。因此本例中建模和求解的步骤将不再详细叙述。

问题描述

通过接口创建一个 PCB 板，包括其 library 文件以及布线层信息的模型。首先求解不包括任何元件的 PCB 板导热模型，然后求解包括详细元件的强迫对流散热模型。

步骤 1：创建新项目

1. 按照用户指南 1.5 的内容运行 Icepak。
当 Icepak 运行以后，*New/existing* 面板将自动打开。



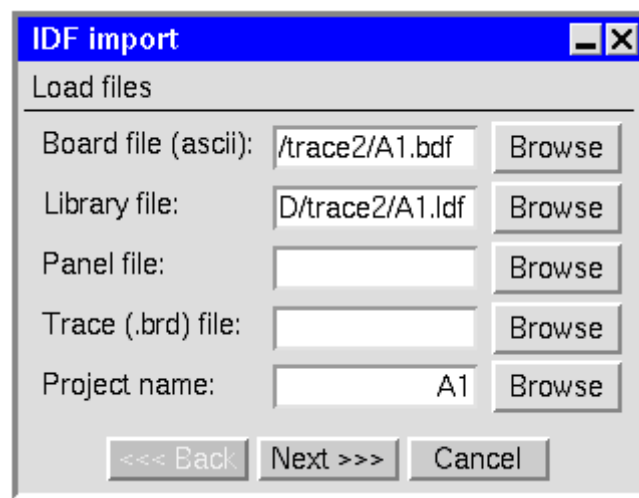
2. 在 *New/existing* 面板里点 **New**，创建一个新的 Icepak project。
新的 *project* 面板显示如下：
3. 指定新的 project 名字，点 **Create**。
 - (a) 在 **Project** 文本框里，输入新的 project 名：shapes。
 - (b) 点 **Create**。

步骤 2：创建模型

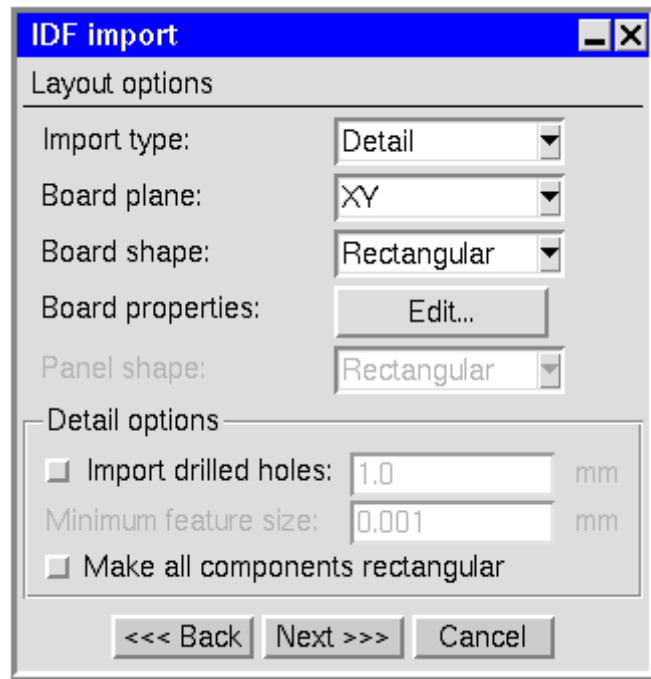
为了创建这个模型，你首先必须导入 PCB 板设计图。

File → **Import** → **IDF file**

1. 在 **IDF import** 面板中，选择 the board (A1.bdf)。
相关联的 *library* 文件将被自动导入。

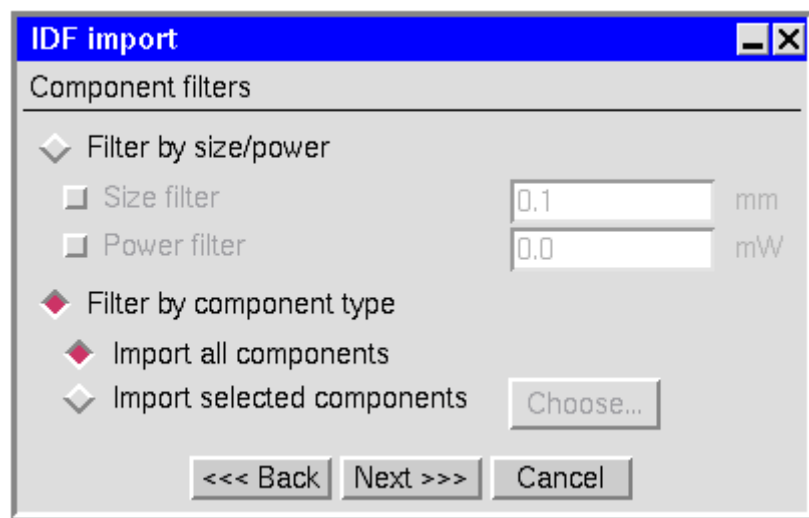


2. 选择 NEXT。然后在 **Import type** 选择 Detail，对 **Board plane** 选择 xy，对 **Board sharp** 选择 Rectangular。



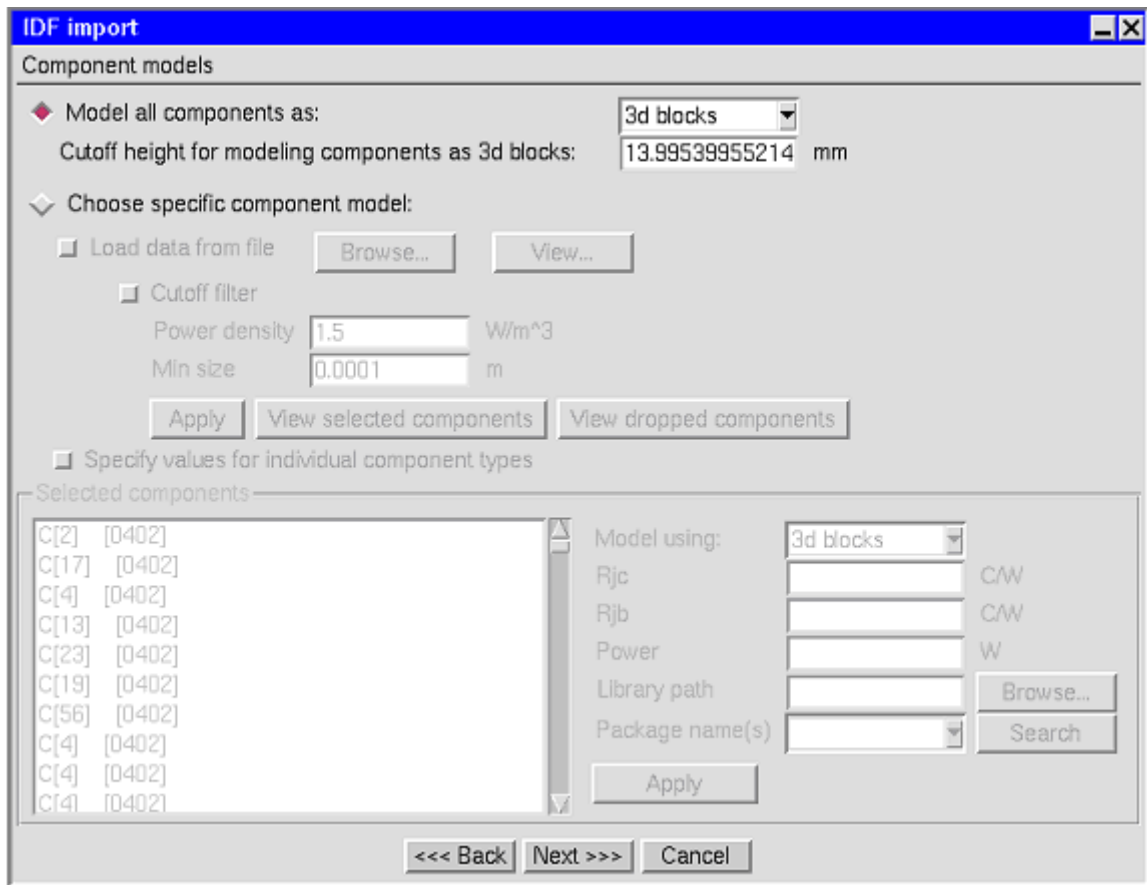
因为将在后面导入布线层的信息，所以不需要在这一步编辑板的属性。

3. 点 Next 能看到 filtering 选项面板，选择 **Import all components**。



这一步您可以通过元件的尺寸和功率等特性来进行过滤，可以忽略小的元件或者低功率元件。

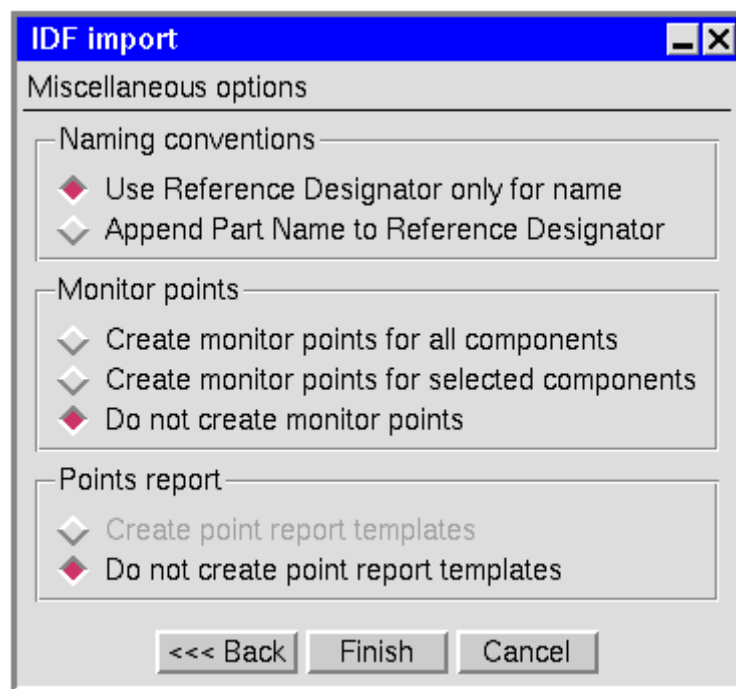
4. 点 NEXT 能看到 **Component models** 面板。



如果含有薄 (*thin*) 的器件, 在模型中它们将被转换成 *2D source*。在这个例题中, 我们希望所有的元件都转化成矩形 *block*。

5. 在菜单中选择 **Model all components as** 并选择 **3d blocks**

如果点 **NEXT**, 将进入 *Miscellaneous options* 面板, 这里可以指定名称和监控点信息。保持缺省设置并且点 **Finish** 将开始导入文件。转换过程的长短由您的计算机速度决定。



我们已经学会了如何导入 *board* 和 *library* 文件，一般情况下您可以通过上述步骤导入任何 *IDF* 文件。

下一步将在上述模型的中导入布线层 (*trace*) 文件。如图 15.1 所示，模型 “A11” 已经被预备好，将提供给您来完成导入布线层文件。这个预备好的模型是通过前面的 *board* 文件 (*A11.brd*) 中获得的，一些小的元件已经被忽略，并且已设定非连续网格的 *assembly*。

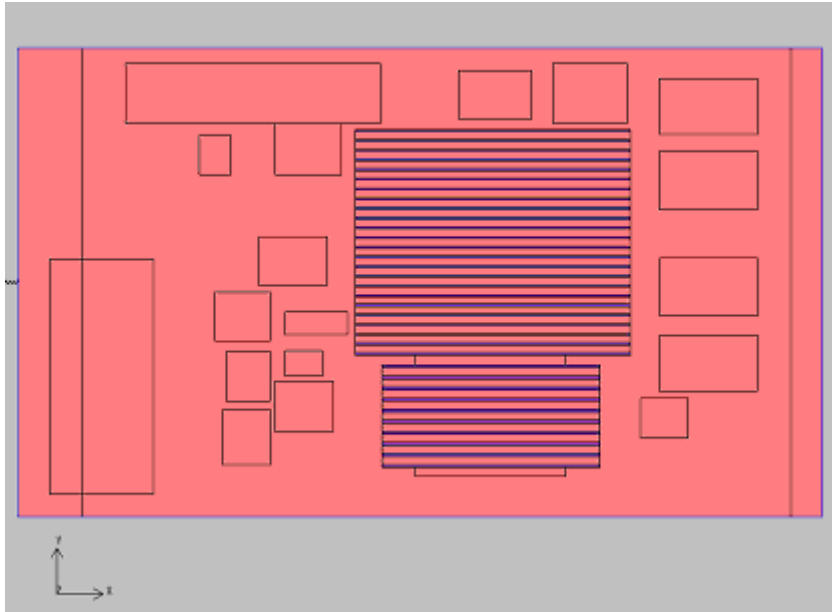


图 15.1: 板的布局图

6. Unpack *A11.tzr* 文件，将获得模型 “A11”。

如前所述，布线层文件 (*.brd* 或 *.mcm*) 能够在导入 *IDF* 文件的时候导入模型，也可以在导入 *IDF* 文件以后对板赋予布线层信息。

7. 在 **Model manager** 窗口右键点击 *BOARD_OUTLINE.1*，选择 **Edit Object** 能够显示板的编辑面板。根据如下步骤导入布线层信息。

(a) 在 **Properties** 面板中点 **Traces**。

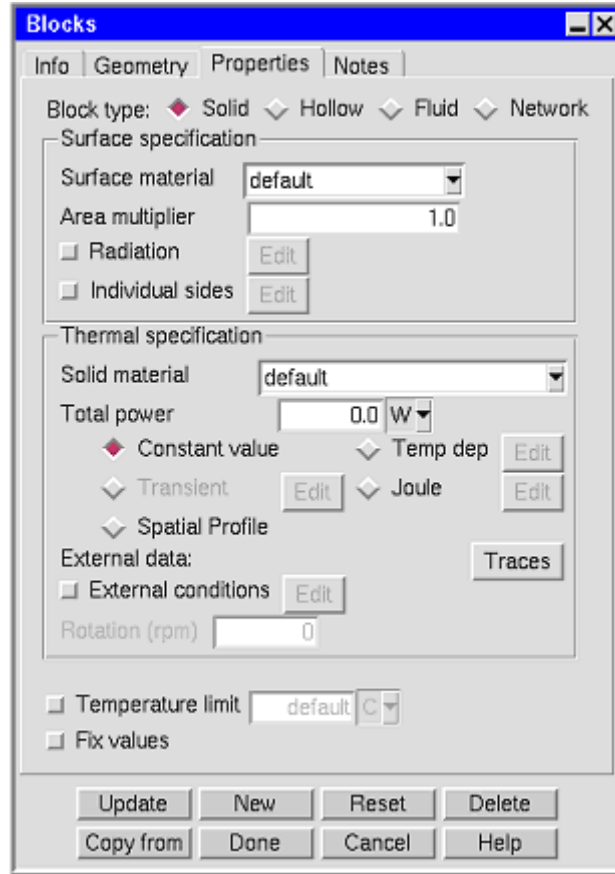


图 15.2: Traces 键

(b) 选择 **Import .BRD file**, 在 **Trace file** 面板选择 **A1.brd**。这个过程可能需要一些时间。

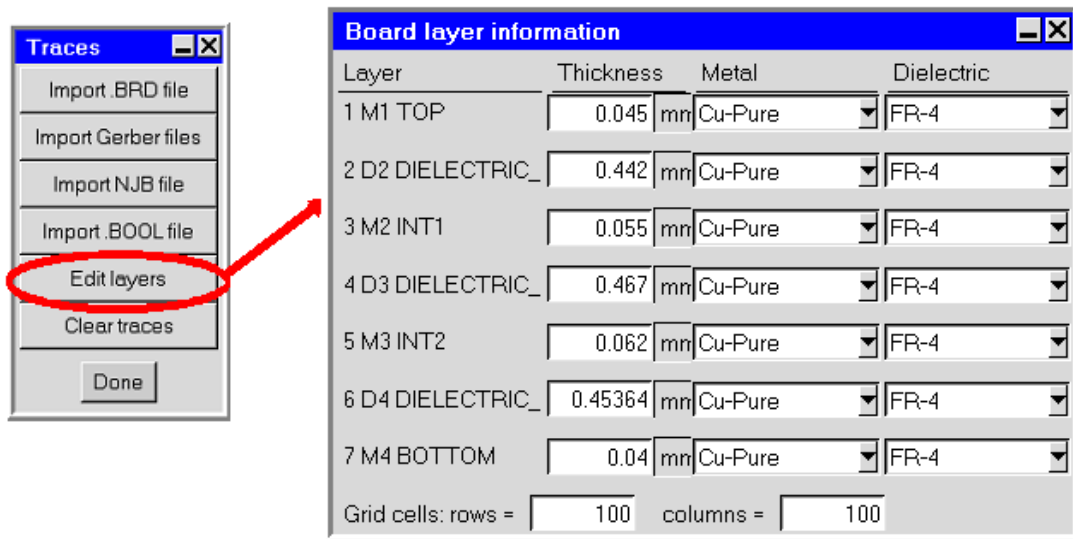


图 15.3: 导入 Trace Layout 并编辑其信息

(c) 当导入过程完成后, 您可以编辑布线层信息。在 **Traces** 面板中选择 **Edit layers** (如图 15.3 所示), 输入板的布线层信息。

板上的布线层数自动导入 ICEPAK, 你需要输入每一层的厚度和金属类型。在本例中, 金属是纯铜 (pure Cu), 绝缘层是 FR-4。

(d) 输入表 13.1 中给出的每层厚度，并把排和列 (rows and columns) 数值设为 100。

背景网格矩阵 (rows and columns) 被用来计算板上各向异性导热系数。通过局部的金属含量和布线层走向来决定每个网格上的 k_x , k_y 和 k_z 。Icepak 在物理模型中不包括布线层的几何，但是局部变化的各向异性导热系数从背景网格向整体物理网格映射。当 trace 文件被导入并且赋给板时，布线层就同板关联上，并能随着板移动 (平移或者转动)。

表 15.1: 板上布线层的厚度 (Layer 1: Top, Layer 7: Bottom layers)

	Thickness (mm)		Thickness (mm)		Thickness (mm)
Layer 1	0.04	Layer 4	0.467	Layer 6	0.442
Layer 2	0.45364	Layer 5	0.055	Layer 7	0.045
Layer 3	0.062				

(e) 在物体 BOARD_OUTLINE.1 点右键，在菜单里选择 Traces。

可以通过三种不同方式显示 trace。single color, color by layer, 或 color by trace (图 15.4)。

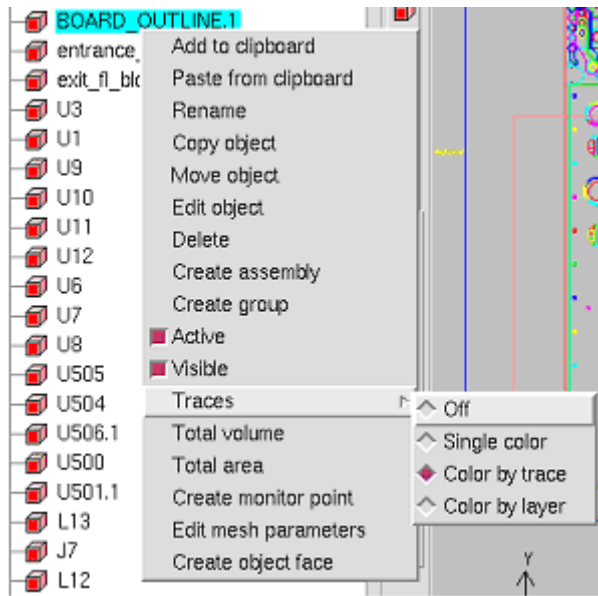


图 15.4: 在板上显示布线层

(f) 选择 color by layer 将能看见板上的布线层，如图 15.5 所示。

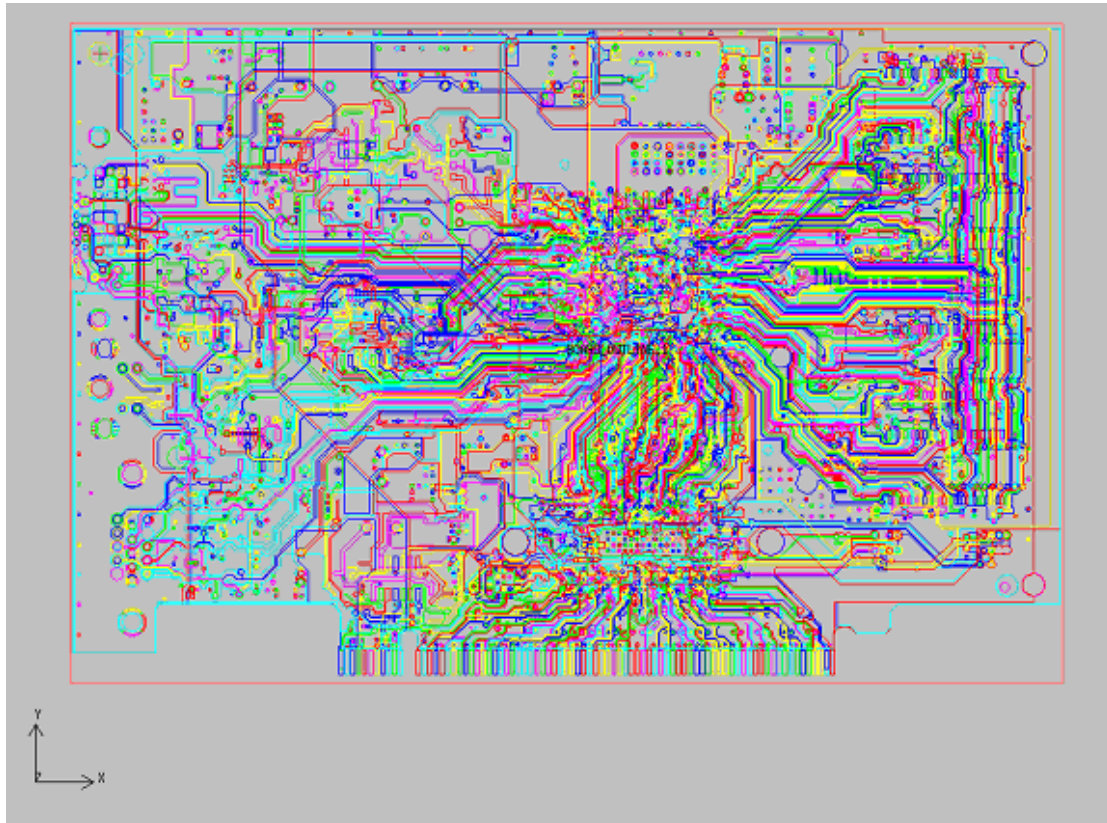


图 15.5: 通过 Color by trace 方式显示板上的布线层

步骤 3: 创建网格, 纯导热模型

对每个模型创建网格, 首先我们考虑一个没有元件的 PCB 板模型。

1. 除了 BOARD_OUTLINE.1, 把其他所有元件 inactive 掉。
2. 选择 cabinet 并且 autoscale 之, 这样 board 和 cabinet 的尺寸将一样。
3. 在 cabinet 的 **Min z** 和 **Max z** 面创建 wall。
4. 对 **Max z** 面使用固定热流率为 50000W/m² 的边界条件, 对 **Min z** 面使用环境温度作为固定温度边界条件 (20°C)。

剩余的面是绝热的, 这样只模拟 board 的热传导过程。

5. 打开 Mesh control 面板, 对 max X, Y, Z 分别设定为 5, 3, 0.05mm。
6. 钩上 Accept "change value" checks 项, 点 Generate mesh。

步骤 4: 求解纯导热模型

1. 由于这个模型是纯导热模型, 在 General setup 面板中关闭 Flow 项。 **Problem Setup** → **Basic parameters** → **General Setup**.
2. 关闭辐射项, 其它选项使用缺省设置。

3. 选择 **Solution settings** → **Basic settings** 保持缺省的 number of iterations, 设定温度 convergence criteria 为 $1e-20$, 点 **Accept** 关闭这个面板。
4. 在 **Solution settings** → **Advanced settings**, 对温度选择 **W** 型。
5. 把 **Termination criterion** 和 **Residual reduction tolerance** 都设为 $1e-6$ 。
6. 对 solver precision 选择 **Double** 型。
7. 点 **Solve** → **Run Solution** 开始求解。

步骤 5: 纯导热模型的后处理

1. 当计算收敛后, 选择 **Post** → **Plane cut**.
2. 对 set position 选择 **Z plane through center**, 将获得在这个模型中心截面的温度分布。(图 15.6).

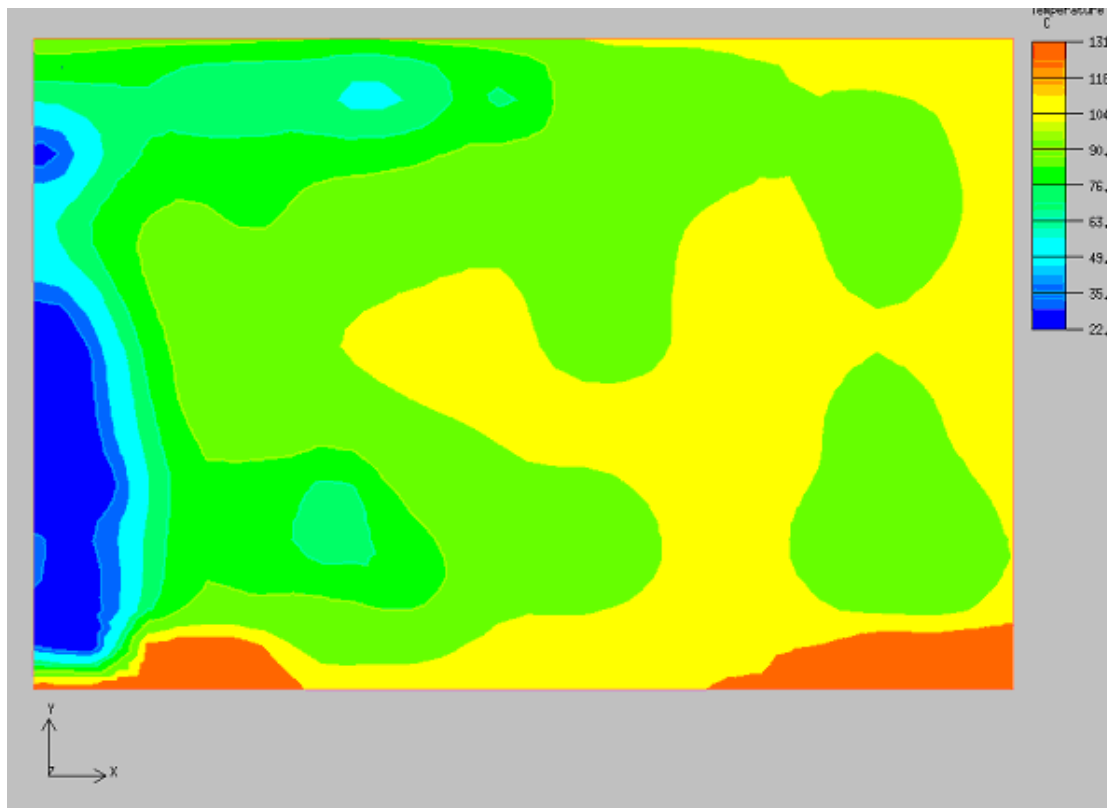


图 15.6: PCB 板上温度分布 (mid-plane)

mid-plane 的温度分布表明没有 *trace* 的区域是高温区, 低温区则相反, 也就是说 *trace* 大量集中的区域将降低温度, 这就是说铜的含量和 *trace* 的密度成正比。值得注意的是, 如果在 *traced PCB* 中使用 *compact* 或 *detailed PCB* 的话, 在 *mid-plane* 中将获得一个恒定的温度, 而这个恒定的温度有别于同一平面中 *traced PCB* 模型的温度。

步骤 6：创建网格，强迫对流

1. 为了激活模型的所有元件，在 **Inactive** 目录下把其它所有元件拖到 **Model** 目录下。注意把在纯导热模型中创建的两个 wall 拖到 **Inactive** 目录。
2. 点 **Cabinet**，然后 autoscale 之。
3. 把 Cabinet 的 Max X 面设定为速度为 -1.5m/s 的 opening（负号表示流向为 x 轴负向）。
这里我们不再说明 trace 接口特性在网格方面的优势，应该记住 detailed PCB 模型不能被非连续网格的 assembly 穿过；但是，这对于 block objects 没有这些限制，非连续网格的 assembly 能够穿过它。由于板内存在内部层和厚度，detailed PCB 物体将产生巨大的网格数目，这是因为在板的法向可能生成很多细小的网格单元（大纵横比），这将导致网格质量的下降。
4. 打开 **Mesh control** 面板，对 max X, Y, Z 分别设定为 9.5, 7, 0.7mm。
5. 选中 **Accept "change value" checks** 项，点 **Generate mesh**。

步骤 7：求解强迫对流模型

1. 由于是强迫对流问题，选中 **Flow** 键，在 **General Setup** 面板中对 flow regime 选择 **turbulent**。

 **Problem Setup** →  **Basic parameters** → **General Setup**

2. 选择 **Solve** → **Settings** → **Basic**
3. 设定 number of iterations 为 100，点 **Accept** 关闭这个面板。对 advanced settings 同前一个 case 保持一致。
4. 在 **Advanced** 下点 **Solve** → **Run Solution**，选中 **Enable sequential solution of flow and energy equations** 选项，开始计算。

步骤 8：强迫对流模型的后处理

对板显示其温度等值线的步骤如下。

1. 当模型计算收敛后，选择 **Post** → **Object Face**，选择 BOARD_OUTLINE.1 的 **Max z** 面。
2. 打开 **show contours**，点击 **Parameters** 键。
3. 保持温度为缺省的选项。
4. 对 **Color levels** 项，从下拉菜单列表中选择 **Calculated** 和 **This object**。
板的顶部表面温度分布如图 15.7 所示。两个比较热的点位于大功率元件下。

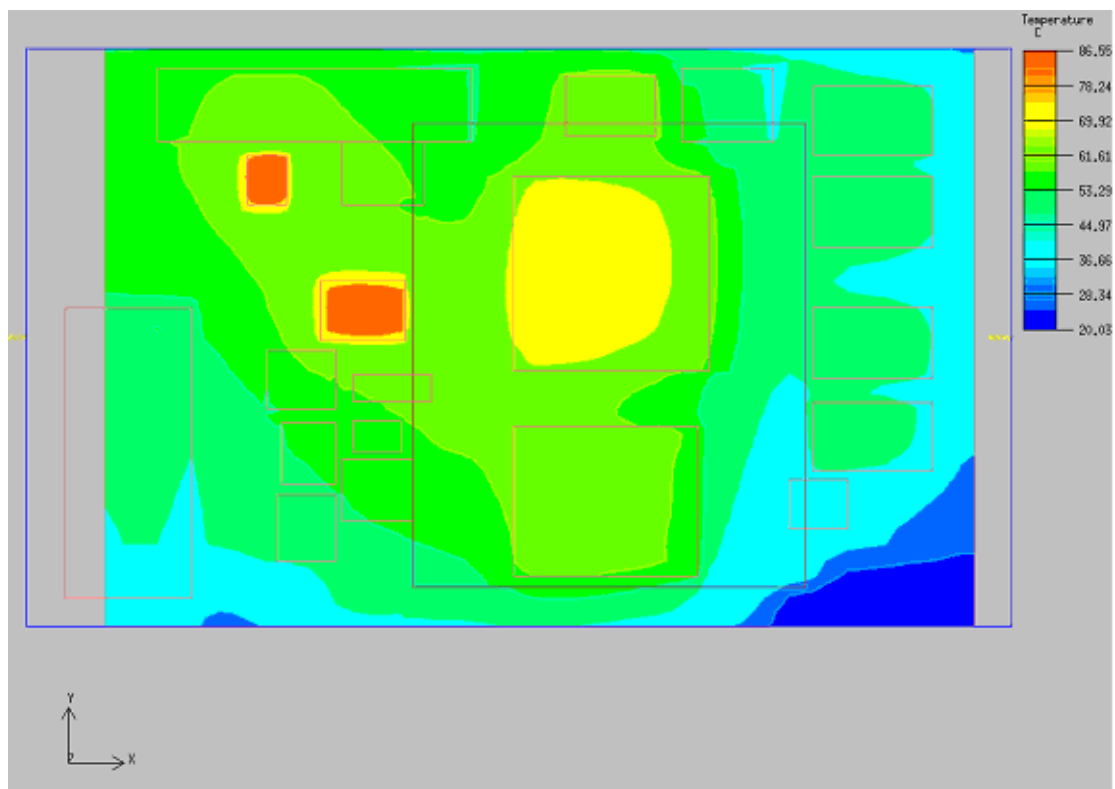


图 15.7: 顶面的温度分布: 强迫对流下通过 Traces (100 x 100) 导入的 PCB

总结

在这个例子, 通过导入 board layout 和 trace files 创建模型, 首先对 pcb 板模拟了纯导热模型, 并对计算结果做了后处理, 计算结果表明高温区位于 no-trace 区域, 低温区则相反。接着, 模拟了包括元件的强迫对流模型。

附加练习

改变背景网格纵向和横向数目, 分别为 7 x 7, 30 x 30 和 500 x 500, 重新运行。在后面两种情况下, 计算结果几乎一样。另一个练习, 使用相同尺寸的 detailed PCB 代替 BOARD_OUTLINE.1, 比较计算结果。