

国内首本关于电子设备专业热仿真分析软件Icepak的图书

ANSYS Icepak 及 Workbench 结构热力学仿真分析

毛佳 程凯 雷阳 编著

附赠超值
DVD光盘



化学工业出版社





ANSYS Icepak 及 Workbench 结构热力学仿真分析

毛佳 程凯 雷阳 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书对目前工程实践中应用 ANSYS Icepak 以及 ANSYS Workbench 进行电子设备结构传热和结构力学仿真分析时面临的系列技术问题进行了初步的分析与探讨。根据业内 ANSYS 技术热点进行针对性论述, 主要内容涉及用于 Icepak 热力学仿真分析的非参 CAD 多体模型前处理技术, Icepak 网格划分技术, Icepak 参数化技术, Icepak 其他若干专题以及经典 ANSYS (MAPDL) 与 ANSYS Workbench 协同仿真技术等。

本书是国内第一本关于电子设备热仿真分析软件 Icepak 的专业著作, 重点针对 Icepak 14.0 版本进行论述, 最新的 Icepak 15.0 版本在本书中亦有介绍, 二者在模型创建、网格划分等核心功能方面基本相同。本书由行业内一线专家执笔撰写, 深入浅出、通俗易懂, 论述翔实、内容丰富, 讲解循序渐进, 结合大量实例, 既注重理论性更注重工程实践应用, 不仅适合初级读者入门和后续提高所使用, 也十分适合具有经验的中级、高级读者作参考、研究使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

ANSYS Icepak 及 Workbench 结构热力学仿真分析 / 毛佳, 程凯, 雷阳编著. —北京: 化学工业出版社, 2015.2

ISBN 978-7-122-22867-3

ISBN 978-7-89472-864-7 (光盘)

I. ①A… II. ①毛… ②程… ③雷… III. ①电子设备-结构-热力学-有限元分析-应用软件 IV. ①TN03

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 016525 号

责任编辑: 瞿 微

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 23¹/₂ 字数 595 千字 2015 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 70.00 元(含 1DVD-ROM)

版权所有 违者必究

在电子设备研发领域，以 ANSYS 为主要工具的工程仿真，依据数字化样机模型建立传热学和力学分析模型，能快速地模拟电子设备在各种载荷和环境条件下的响应，对难以开展实际试验的样机进行性能预测和校核，为电子设备通过苛刻的“环境适应性”试验提供虚拟试验技术支撑。由于结构仿真分析具有速度快、可靠性高、可改动性好、能模拟多种工况等优势，正在被频繁地引入当今电子设备的结构设计中。从对已设计产品性能的分析 and 校验，发展到对产品性能的准确仿真和预测，再到设计方案的比较选择，在工程实践中对 CAE 方法充满了期待和信赖，使电子设备结构设计领域进入了一个新的阶段。

然而在实践中，进行工程仿真仍然存在着各种阻碍和技术门槛。因此本书主要对在工程实际中应用 ANSYS Icepak 进行电子设备传热分析以及 ANSYS Workbench 进行电子设备结构力学仿真分析时面临的系列技术问题进行了探讨和分析，皆在为广大读者提供仿真问题的工程化解决方案。根据业内 ANSYS 技术热点进行了针对性论述，主要内容涉及用于 Icepak 热学仿真分析的非参多体 CAD 模型前处理，Icepak 网格划分技术，Icepak 参数化技术，Icepak 其他若干专题以及经典 ANSYS (MAPDL) 与 ANSYS Workbench 协同仿真技术等。重点针对 Icepak 14.0 版本进行论述，最新的 Icepak 15.0 版本在本书中亦有介绍，二者在模型创建、网格划分等核心功能方面基本相同，在求解方面，15.0 版本推出的 P-V 耦合经验公式求解器等是较大的改进。

在应用 Icepak 进行热分析的过程中，其核心主要有两个方面，一是复杂仿真模型创建，二是计算网格划分；其中复杂仿真模型的创建又主要涉及复杂几何和非参多体模型的处理技术。上述两个方面也是当前困扰广泛、深入应用 Icepak 软件的技术热点和难点。需要注意的是，良好的几何处理能免去繁杂网格控制并获得较佳网格划分、数值计算收敛性好，尽管这会花费一定时间，但是与对复杂模型进行网格控制、网格划分消耗的时间相比并不一定多，而且如果不作处理则网格数量会大大增加。然而幸运的是，我们已经可以花费极少的时间来对 CAD 模型进行简单处理。这是因为不仅可以应用专业 CAD 软件进行模型快速清理、应用 ANSYS Workbench DesignModeler 完成 CAD 模型向热分析模型的转换，而且 Icepak 软件还提供了多种适于复杂 CAD 几何的网格划分方案，可采用一系列控制来对几何进行贴体 HD (Hex-dominant) 网格解析，或者近似的正交化网格解析，以及有选择地建立 N/C ASM (Non-conformal Assembly) 并使用带一致网格参数控制和多级加密控制的贴体或正交化非连续 HD 网格进行可靠解析，可实现千万级 Icepak 网格的可靠、快速求解。

本书对上述问题进行了研究，给出了对来源任意的非参 CAD 模型应用 Catia 软件的先进混合设计技术、同步建模技术、后期参数化技术和 DesignModeler 电子设备热分析模型转换技术进行 Icepak 非参多体模型创建、编辑、修改与管理，以及使用 Icepak 对复杂模型进行高质量网格划分的完整方法和实用解决方案，可在短时间内完成包括系统级、整机级复杂设备在内的热仿真分析问题，其效率高、速度快且计算准确可靠。同时，对在 Icepak 中进行热仿真分析的若干专题如参数化、瞬态问题、优化问题、IDF 文件交互问题、辐射问题、热阻模型、CFD-Post 处理

Icepak 分析结果等进行了分类论述,旨在使读者通过学习,具备应用 Icepak 软件可靠、快速地解决包括板级、模块级、系统级和整机级设备在内的自然对流散热、强迫风冷散热、传导散热、辐射散热、液冷散热等传热问题仿真分析计算能力。

妨碍结构有限元技术在工程中应用的一个重要原因是,通常创建有限元分析模型需要花费不少时间,并且用户需要掌握结构有限元方面的专业知识和建模技巧以确保分析模型的可靠性、经济性,这已经给对于时间、进度要求苛刻的结构有限元分析工作带来了阻碍和困惑。ANSYS Workbench(下面简称 WB)则提供 CAD 风格的可视化建模环境并与 ANSYS 传统的参数化设计语言 APDL 很好结合,且将以往用户难以掌握的建模技巧、单元关键字控制、边界条件加载等做成了基于 APDL 脚本的图标式命令。对于广大熟悉 APDL 的读者而言,可以考虑将 WB 强大的模型前处理和 MAPDL(即 ANSYS Classic)个性化设置相结合,这样,就和以往的仅仅依靠 MAPDL 完成全部建模,或仅仅依靠 WB 完成全部建模的工作方式有所区别了。可以想象使用这种方式所带来的好处:不仅可以最大程度地方便模型前处理工作,还可以由以往熟悉的命令行进行各种控制,这在复杂模型的有限元分析中显得相当有用,能显著地加快模型创建进度。为此,本书对经典 ANSYS 与 ANSYS WB 的协同仿真工作模式进行了论述,给出了系列方法以快速完成结构有限元分析。

本书主要由西南电子技术研究所工程师毛佳撰写,参与编写工作的还有程凯、雷阳。在本书编写过程中得到了刘合院、王成前等领导和同事的大力支持,同时也得到了安世亚太驻成都办事处唐天户、袁坤等业内同行的帮助,在此致以衷心谢意。书中内容贴近实际,具有很强的参考性,不仅适合于对 ANSYS 相关产品具有一定经验的读者,也适合于初级读者作为入门和后续提高用。限于时间和水平,难免有不足之处,恳请业内广大同仁批评指正。

编者

2014.12

目 录

第 1 章 Icepak 软件概览	1
1.1 Icepak 软件简介	1
1.1.1 Icepak 热分析优势	3
1.1.2 Icepak 兼容性和扩展性	11
1.2 Icepak 工作界面	12
1.3 Icepak 常用工具按钮	14
1.4 Icepak 菜单栏	19
1.4.1 “File” 菜单	19
1.4.2 “Edit” 菜单	23
1.4.3 “View” 菜单	23
1.4.4 “Orient” 菜单	24
1.4.5 “Macros” 菜单	24
1.4.6 “Model” 菜单	25
1.4.7 “Solve” 菜单	26
1.4.8 “Post” 菜单	26
1.4.9 “Report” 菜单	27
1.4.10 “Windows” 菜单	28
1.4.11 “Help” 菜单	28
1.5 Icepak 文件类型	28
1.6 本书中的名称约定	30
第 2 章 应用 Icepak 求解热仿真问题	32
2.1 应用 Icepak 求解热传导问题	32
2.1.1 问题描述	32
2.1.2 热路分析	32
2.1.3 导热热阻	33
2.1.4 接触热导和节温计算	33
2.1.5 ANSYS Mechanical APDL 求解	34
2.1.6 ANSYS Icepak 求解	35
2.2 应用 Icepak 求解整机热分析问题	65
2.2.1 传导型强迫风冷整机 Icepak 热分析一	65
2.2.2 Icepak 项目合并	108
2.2.3 传导型强迫风冷整机 Icepak 热分析二	124

2.2.4	应用 Icepak 求解液冷问题	128
第 3 章	CAD 模型前期处理技术	133
3.1	概述	133
3.2	常用方法及其局限性	136
3.3	模型更改的必要性	137
3.4	应用非参模型的必要性	138
3.5	Catia 混合模式	138
3.6	同步建模技术	140
3.7	特征识别	140
3.7.1	概念及特征识别工具条	140
3.7.2	特征识别实例	142
3.8	将 CAD 模型转换成多体模型	146
3.8.1	Catia 多体模型及相关概念	146
3.8.2	自动特征识别	151
3.8.3	曲面工具修复	152
3.8.4	实体面工具局部调整	153
3.8.5	包络体切割	155
3.8.6	应避免的操作	155
3.9	模型更改的具体步骤	157
3.10	模型更改实例	158
3.10.1	盖板零件	158
3.10.2	壁板零件	163
3.11	多体模型快速修改	165
3.11.1	快速修改的必要性	165
3.11.2	具体步骤	165
3.12	导入 WB DM 中进行处理	167
第 4 章	Icepak 网格划分技术	177
4.1	网格简介	177
4.1.1	网格类型	177
4.1.2	网格适用场合	177
4.1.3	非连续网格与多级网格	178
4.1.4	网格示意	179
4.2	全局/局部网格控制与检查	179
4.2.1	全局网格控制	179
4.2.2	局部网格控制	194
4.2.3	网格划分优先级	200
4.2.4	网格显示及网格检查	201

4.2.5	全局网格划分注意事项	202
4.3	非连续网格与多级网格划分控制	203
4.3.1	非连续网格的概念和应用效果	203
4.3.2	N/C ASM 控制参数	205
4.3.3	多级网格划分控制	210
4.3.4	N/C ASM 注意事项和必须遵循的规则	213
4.4	复杂模型的网格划分技术总结	216
4.4.1	总体思路	216
4.4.2	Primitive 类型的 CHDM 划分	217
4.4.3	非连续网格划分	217
4.4.4	复杂整机级模型的网格划分	221
4.4.5	其他方面	222
第 5 章 Icepak 参数化技术		223
5.1	概述	223
5.2	定义参数的方法	224
5.2.1	在文本框中定义参数	224
5.2.2	通过复选框定义参数	225
5.2.3	通过单选钮定义参数	227
5.2.4	通过对话框定义参数	228
5.3	定义试验方案	229
5.4	选择试验方案	231
5.5	运行试验方案	231
5.6	函数报告和函数图像	234
5.7	比较不同散热器的效果	235
第 6 章 在 Icepak 中求解优化、瞬态和辐射换热问题		241
6.1	在 Icepak 中求解优化问题	241
6.1.1	求解设置	241
6.1.2	最小化散热器的热阻	243
6.2	在 Icepak 中求解瞬态问题	248
6.2.1	全局瞬态参数设置	248
6.2.2	瞬态功率函数设置	249
6.2.3	其他设置和结果后处理	250
6.3	在 Icepak 中求解辐射换热问题	251
6.3.1	概述	251
6.3.2	Surface to surface 理论原理	251
6.3.3	求解一般辐射问题	252
6.3.4	求解特殊辐射问题	255

第 7 章	IDF 文件在 Icepak 中的应用	259
7.1	导入 IDF 文件创建 PCB 板级模型	259
7.1.1	“IDF import”对话框 1 详解	259
7.1.2	“IDF import”对话框 2 详解	260
7.1.3	“IDF import”对话框 3~5 详解	261
7.1.4	“IDF import”对话框 6 详解	264
7.2	导入 brd 文件生成 PCB 板布线	265
7.2.1	导入 brd 文件	265
7.2.2	显示 PCB 导热系数	268
7.3	计算 PCB 板布线的焦耳热	270
7.3.1	创建模型并显示已导入的布线	270
7.3.2	“Trace heating”对话框	272
7.3.3	创建焦耳热生热对象并加载	273
7.3.4	划分网格并进行网格质量检查	275
7.3.5	求解全局设置及结果显示	277
第 8 章	Icepak 与 Static Structural/CFD Post 的协同	280
8.1	热分析及热应力分析	280
8.1.1	模型的创建	280
8.1.2	在 CFD Post 中处理 Icepak 计算结果	285
8.1.3	结构热应力分析	288
8.2	在 CFD-Post 中处理 Icepak 计算结果	292
8.2.1	建立 Icepak 至 CFD Post 的数据传递	292
8.2.2	在 CFD Post 中创建后处理区域	297
8.2.3	插入变量的云图后处理项	299
8.2.4	插入热流密度矢量后处理项	301
8.2.5	插入变量的 Chokepoint 后处理项	302
8.2.6	插入流线轨迹及其温度后处理项	303
8.2.7	插入流线轨迹动画演示后处理项	305
8.2.8	插入切面温度后处理项	306
8.2.9	插入切面温度动画演示后处理项	309
8.2.10	插入切面流速后处理项	309
8.2.11	插入温度和速度等值面后处理项	310
8.2.12	插入空间体积后处理项	310
8.2.13	插入温度变量沿直线变化的曲线后处理项	312
8.2.14	插入可用于后处理的自定义表达式和变量	314
8.2.15	创建新的 CFD Post 选项以比较不同模型计算结果	316
8.2.16	对比不同模型的后处理选项	317

第 9 章 应用 ANSYS Workbench 与 MAPDL 协同技术进行结构有限元分析	321
9.1 概述	321
9.1.1 WB 概述	321
9.1.2 WB 的命令流工作方式	325
9.1.3 实例演示	325
9.2 WB 与 MAPDL 的联系	328
9.2.1 WB 中的 MAPDL	328
9.2.2 在 WB 中插入 APDL 命令	331
9.2.3 插入选项与 MAPDL 对应关系与区别	334
9.2.4 在 MAPDL 中应用导入的 WB 模型	339
9.3 在 WB 中使用 APDL 高级控制	342
9.3.1 梁-壳/梁-实体面装配实例	342
9.3.2 壳/实体装配实例	345
9.3.3 面/面装配实例	347
9.4 实例分析	349
9.4.1 梁提升模拟	349
9.4.2 索提升模拟	353
9.4.3 支架结构倾覆分析	356
9.4.4 天线阵结构强度和刚度分析	359

1.1 Icepak 软件简介

Icepak 是专业的、面向工程师的电子产品热分析软件，其界面简洁、操作方便，特别适合求解电子产品自板级、模块级至整机级、环境级的热仿真问题，其界面如图 1-1~图 1-4。Icepak 软件内置有大量的电子产品模型、各种风扇库及材料库等，用户只需简单调用即可完成模型设计，其特点是“面向对象的建模”。另外，在 Workbench DesignModeler（简称 WB DM）中提供了复杂 CAD 几何模型向 Icepak 热分析模型转换的机制，用户只需要对导入的或在 DM 中创建的 CAD 模型进行简单操作就能形成 Icepak 模型。通过这种方法生成的模型对各种复杂热仿真问题的适应性及其求解稳定性都十分优良。

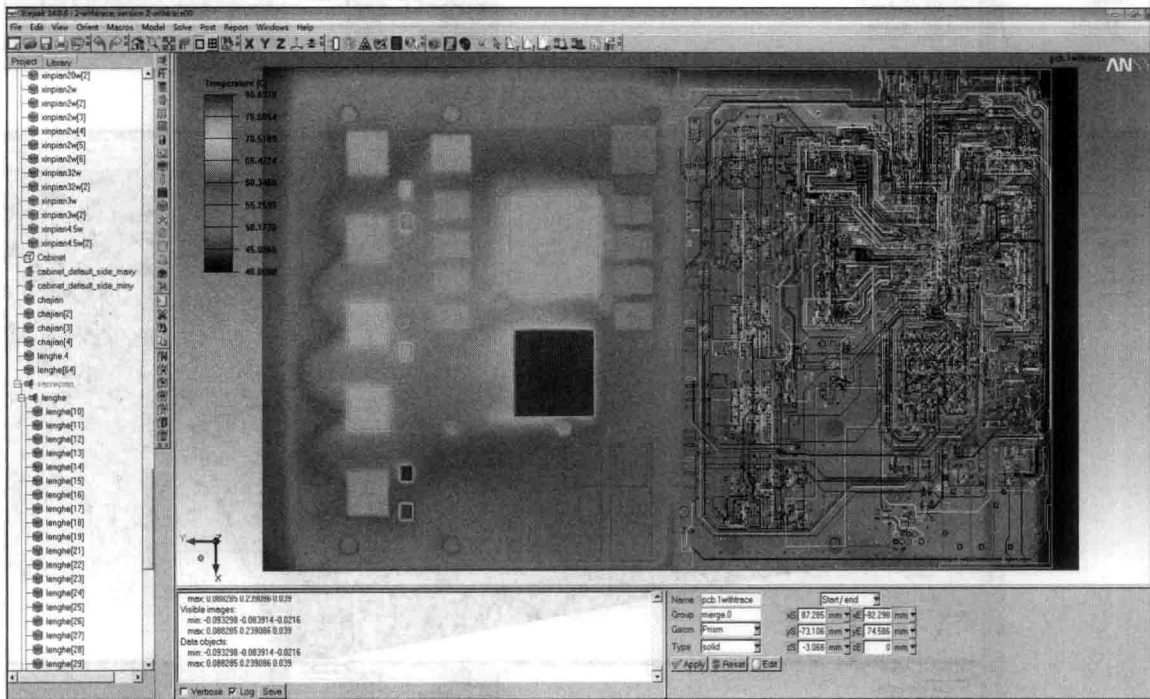


图 1-1 板级温度分布

丰富的物理模型可以模拟自然对流、强迫对流、混合对流、热传导、热辐射、层流/紊流、稳态/非稳态等流动现象。Icepak 还提供多种分析能力，如精确地模拟形状复杂的部件、各向异性导热系数、非线性风扇曲线以及在辐射传热中角系数的自动计算；完全工程化的边界条件和问题的设置；面向对象的默认网格参数设置；内置的 Fluent 求解器，可以监控求解过程的收敛情况和状态变量（如温度、压力等）的实时变化；可以完成参数化和优化分析计算；支持高效率并行计算；具有方便的图形化后处理功能；提供了扩展的 CAD 及 EDA 接口，易于与其他

试读结束 需要全本请在线购买: www.ertongbook.com

机械 CAD 设计软件和 EDA 设计软件集成。

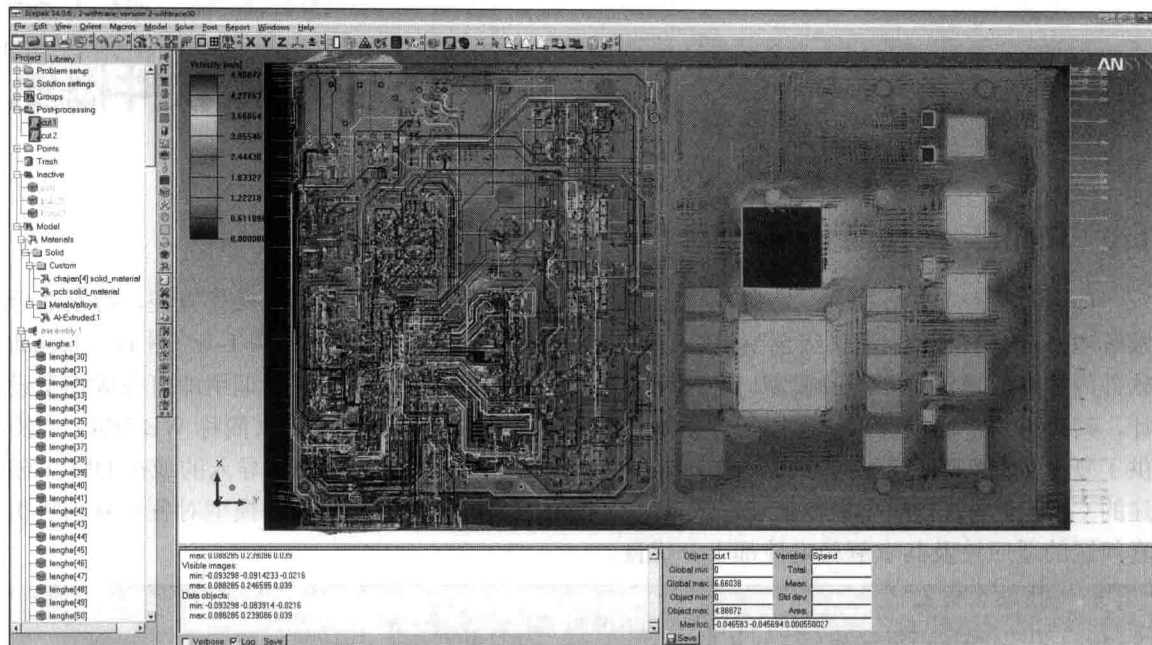


图 1-2 板级气流及温度分布

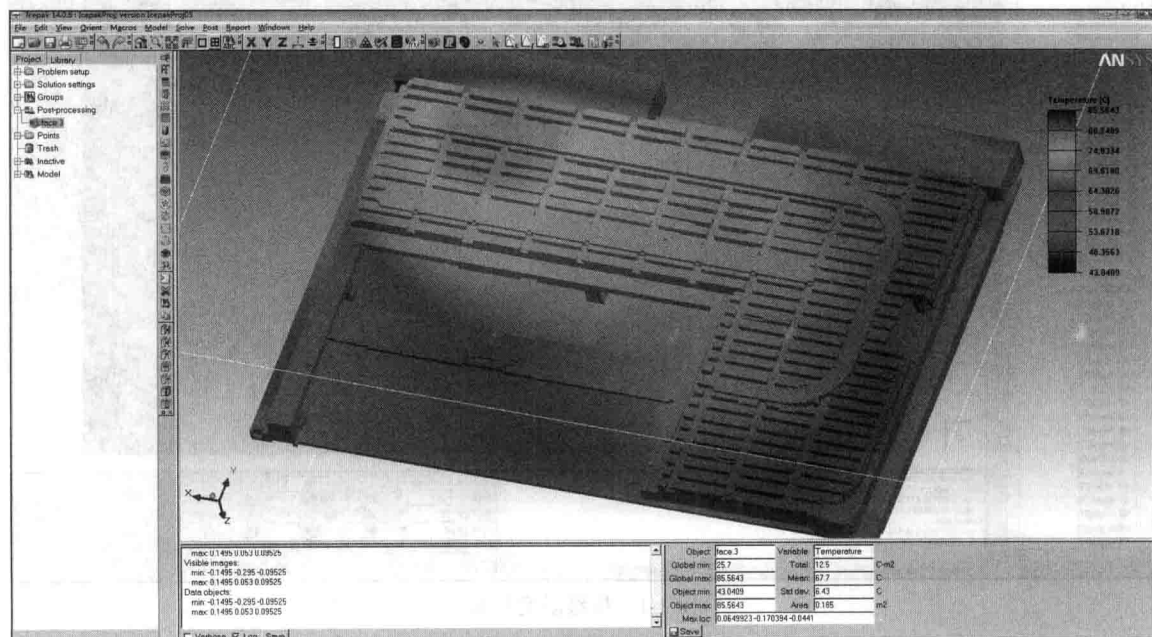


图 1-3 高温模块温度分布

Icepak 软件采用热设计、热分析专用的机柜、风扇、印制电路板、阻尼、通风口和集中参数（或称等效参数）的阻尼/过滤网等模型，建模过程快捷，网格生成和计算都是自动进行的。Icepak 软件采用统一的集成化界面，在产品设计和开发的各个阶段，可以帮助用户建立不同详细程度、不同计算精度、不同分析目的的仿真模型，并快速地对多种方案进

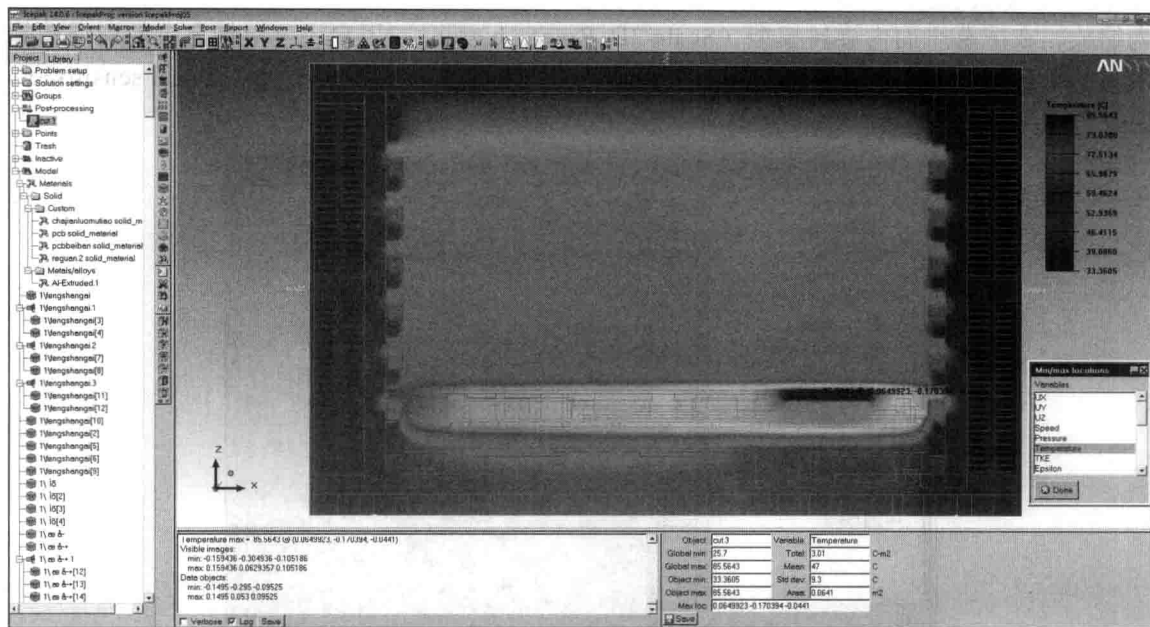


图 1-4 整机级高温剖面

行比较和选择, 优化设计方案, 提高产品开发一次通过率。Icepak 软件可解决以下几种类型的问题。

- (1) 环境级: 可进行机房、外太空等环境级的热分析。
- (2) 系统级: 对电子设备整机、机箱、机柜及方舱、吊舱等系统的热分析。利用 Icepak 软件可模拟气流在机柜、机箱中的流动, 通过调整风扇和通风口的不同尺寸、形状及其他设计参数, 进行数值模拟, 从而以最小的代价获知各种不同方案的优劣, 得到最优设计。
- (3) 模块级: 用于电子模块、散热器和 PCB 板级的热分析。通过有效地模拟一个或多个散热片或由数目巨大的散热片组成的散热器, 可以得到研究对象的温度分布、流场分布及传热情况。用户还可以根据自己的需求利用 Icepak 软件建立有特殊要求的散热模型。
- (4) 元器件级: 通过详细模拟元器件及相邻元器件间的传热情况, 发现设计中可能存在的风险和问题。

1.1.1 Icepak 热分析优势

1. 强大的建模能力

有关 Icepak 建模以及应用 Workbench DesignModeler (以下简称 WB DM) 高级电子建模功能创建用于 Icepak 热仿真分析的 CAD 模型的详细内容, 将在本书后续章节中做详细介绍。此处, 仅对 Icepak 建模做一总体概述。

(1) 在 Icepak 中直接建模

在讲解如何在 Icepak 中直接建模之前, 首先应该掌握如何使用鼠标来操作模型。选择 Icepak 工作界面菜单栏中的“Edit”→“Preferences”命令, 弹出如图 1-5 所示的“Preferences”对话框, 在左侧列表中选择“Mouse buttons”选项, 可以在右侧窗口中看到关于 Icepak 的鼠标操作: 左键为翻转模型 (3D Rotate button), 中键为平移模型 (Translate button), 右键

为缩放、在屏幕平面内旋转模型（Scale/2D Rotate button）。用户还可根据自己的习惯选择不同的单选钮来调整后两种操作。另外，还可对滚轮缩放模型的灵敏度（Wheel sensitivity）进行调整。

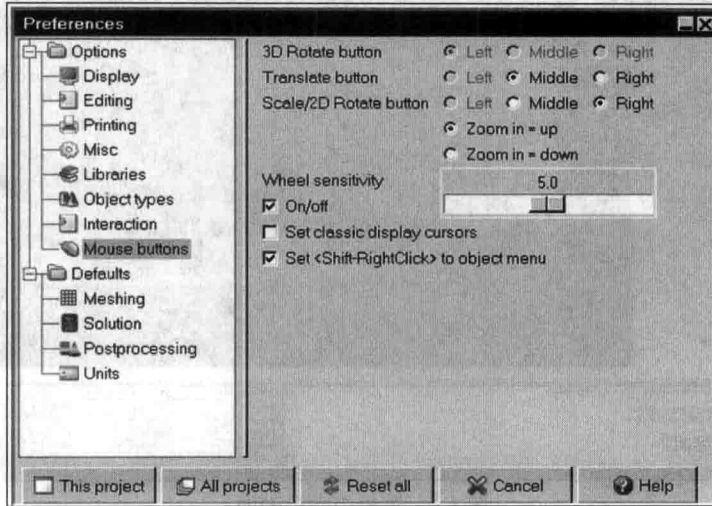


图 1-5 “Preferences”对话框

Icepak 采用面向对象的逻辑建模思路，其所处理的各种几何在其中都以“对象”（Icepak object）来称呼。这些对象的预定义型（Predefined，或称之为“Primitives”）共计约 16 种，它们的建模命令图标可参考后面的图 1-18。另一种在 Icepak 中直接建模的方法是基于宏（Macros）的建模，它们的菜单栏命令可参考后面的图 1-43。

预定义型主要包括在电子设备热仿真分析中常常用到的固体/流体块（Block）、开孔（Opening）、风扇（Fan）、壁面（Wall）、机柜（Enclosure）、PCB 板（PCB）、2D 薄板（Plate）、热源（Source）、鼓风机（Blower）、热交换器（Heat exchanger）、百叶窗（Grill）、流动阻尼（Resistance）、散热器（Heat sink）、封装（Package）、热网络（Network）和周期边界条件（Periodic boundaries）等。另外，在 Icepak 界面左侧的模型树中，软件还默认创建了一个计算域对象（Cabinet），代表在当前热分析中的空间区域。

可以通过在 Icepak 模型树上双击任意一个已建立的对象，在弹出的属性定义对话框的“Geometry”选项卡中定义对象的几何信息参数。在“Properties”选项卡中可以定义不同的热学属性，从而模拟不同类型的热学对象。对于不同的预定义型，其对应的“Properties”选项卡是不同的，4 种典型对象的属性定义对话框分别如图 1-6~图 1-9 所示。

导热块体有 Solid（导热固体）、Hollow（空心体，只计算表面温度而不计算内部温度，因为它只具有表面网格）、Fluid（流体块，用于模拟流体，如水）、Network（网络模型，通过指定 Board side、Rjc、Rjb 和 Junction power 来定义网络热传导模型）四种类型，如图 1-6 所示；风扇有 2D、3D 之分，其具体类型有 Intake（吸气）、Exhaust（排气）和 Internal（内部，可位于 Cabinet 之内）三种，如图 1-7 所示；2D 薄板的热模型有 Adiabatic thin（绝热薄层）、Conducting thin（导热厚度层，厚度方向上无温度梯度）、Conducting thick（导热厚度层，厚度方向上有温度梯度）、Hollow thick（空心厚板，只计算上下表面温度而不考虑内部温度）、Contact resistance（热阻）和 Fluid（流体层）六种，如图 1-8 所示；2D 热源则可分为 Total power

(总功耗)、Surface/volume flux (表面/体积热流密度) 和 Fixed temperature (固定温度) 三种, 如图 1-9 所示。

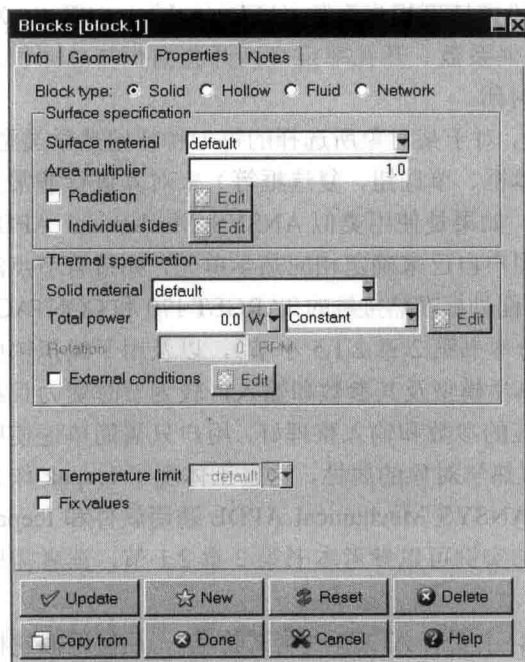


图 1-6 Blocks [block.1]对象属性
定义对话框的“Properties”选项卡

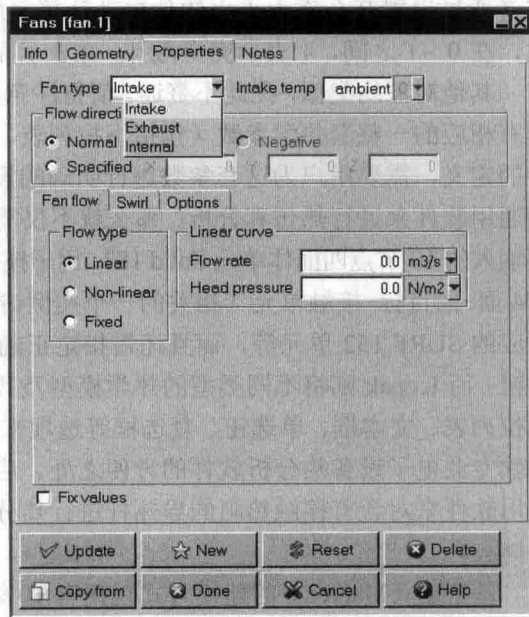


图 1-7 Fans [fan.1]对象属性
定义对话框的“Properties”选项卡

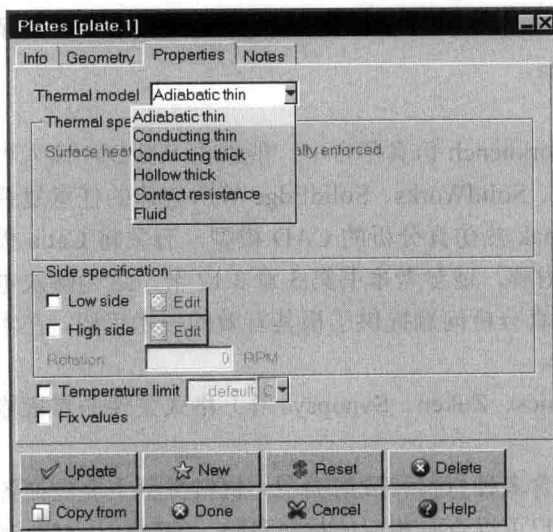


图 1-8 Plates [plate.1]对象属性
定义对话框的“Properties”选项卡

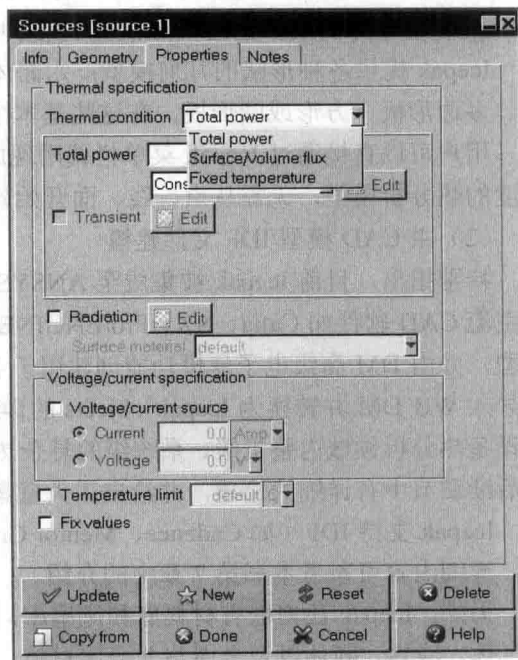


图 1-9 Sources [source.1]对象属性
定义对话框的“Properties”选项卡

Opening 和 Grill 都是用来创建通风口的。Opening 是完全敞开的通风口，但是如果要模拟具有流阻的通风口就要用到 Grill，如金属网、打孔板。因流体流过会有压力损失，这个参数主要是决定流速和压力损失之间的关系。Grill 可以设置速度损失系数（Velocity loss coefficient），或者通过设置开孔率大小由软件自动计算速度损失系数。开孔率定义为开孔面积与总面积之比，在 0~1 之间，1 表示完全敞开，0 表示完全封闭。

其他对象均类似，在此不赘述。值得注意的是，对于某对象所选择的每一种特定热学类型，都有相应的一整套热学参数（包括下拉列表、文本框、单选按钮、复选框等）来对其进行非常完善的定义，需要用户为这套参数进行明确的设置。如果是使用类似 ANSYS Mechanical APDL 等通用软件来进行热仿真分析，那么就不仅需要用户自己来确定相应热学单元，如带有节点温度输入的 10 节点四面体单元 Solid 187，用于模拟界面处标准热接触的 TARGET 170 和 CONTACT 174 面-面目标-接触单元（相关的一个实例请参考本书第 2 章 2.1.5 小节），以及用于模拟辐射效应的 SURF 152 单元等，而且还需指定正确的热学模型及其参数和输入，较为费时费力且易出错。而 Icepak 则将不同类型的热学模型及其对应的参数和输入整理好，用户只需简单地使用下拉列表、文本框、单选按钮、复选框等选项来设置热学对象的属性，这也正体现了 Icepak 作为一款专业电子设备热分析软件的方便之处。应用 ANSYS Mechanical APDL 通用软件和 Icepak 专用软件来对含有接触热阻的导热杆进行热分析的实例可以参考本书第 2 章 2.1 节，读者需用心体会。

基于宏（Macros）的建模方式包括有 10 余种，主要有 ATX（风洞试验室）、几何近似建模（Approximation）、数据中心元件（Data center components）、热管（Heat pipes）、散热器（Heat sink）、网络模型形式的等效换热器（Network heat exchanger）、PCB 板、芯片封装（Package）、热电制冷器（Thermo electric cooler）、梯形截面圆环散热（Arc fin）等。相应的建模命令，可在 Icepak 工作界面菜单栏的“Macros”菜单中选择。

Icepak 提供各种形状的几何模型：六面体、棱柱、圆柱、同心圆柱、椭圆柱、椭球体、斜板、多边形板、方形或圆形板，在这些基本模型基础上可以构造出各种复杂形状的几何模型。

用户可以直接通过 Icepak 菜单栏调用现成的模型，以直观的“搭积木”方式构造各种复杂程度的热分析模型，无需从点、线、面开始建模。

（2）由 CAD 模型/IDF 文件建模

特别指出，目前 Icepak 被集成至 ANSYS Workbench 仿真平台中，能够由 WB DM 读入当前主流 CAD 软件如 Catia、NX、Pro/ENGINEER、SolidWorks、SolidEdge 等所创建的任意复杂模型，并由 DM 高级电子建模功能创建用于 Icepak 热仿真分析的 CAD 模型，有关将 Catia 模型导入 WB DM 并转换为 Icepak objects 的详细内容，请参考本书第 3 章 3.12 节。这为解决电子设备热分析领域内整机级、系统级的复杂热仿真分析问题提供了极其有效的技术手段，在本书后续章节中有详细的论述，并给出了大量案例。

Icepak 支持 IDF（如 Cadence、Mentor Graphics、Zuken、Synopsys 等）格式文件的直接输入，详细内容可参考本书第 7 章中的介绍。

另外，Icepak 还内嵌有材料库和风扇库，内含多种材料和风扇类型。材料类型主要包括各种气体、液体、固体以及金属与非金属材料，用户可以查看相应的材料参数、编辑默认材料参数、创建新的自定义材料及选定材料，如图 1-10 所示，同时还可定义各向异性材料和温度相关的材料。风扇类型包括 Delta、Elina、NMB、Nidec、Papst、EBM、SanyoDenki 等厂家的风

扇，并可定义非线性风扇 P-Q 曲线。

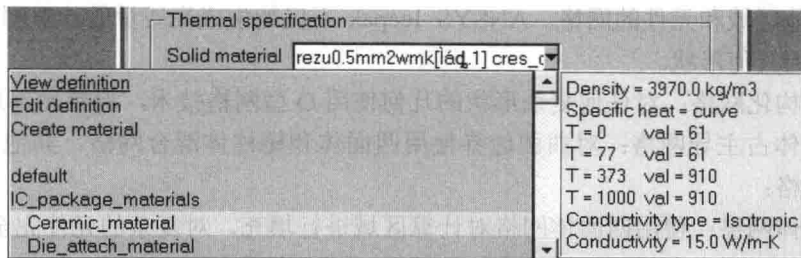


图 1-10 在 Icepak 中查看、编辑、创建或选定材料

封装库包括各种 PBGA、QFP、FPBGA、TBGA 封装模型，用户可以在 Icepak 中通过搜索方法查找并创建各种封装模型，如图 1-11 所示，还可随时通过网络在线更新自己的模型库。

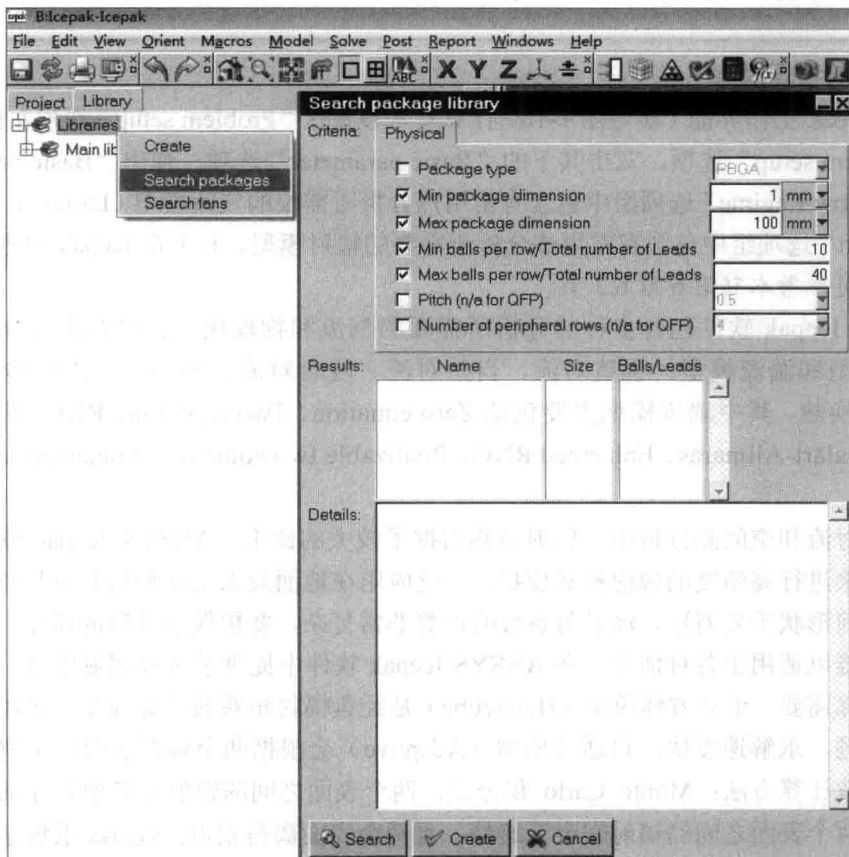


图 1-11 在 Icepak 中通过搜索方法创建封装

2. 先进的网格技术

有关 Icepak 网格技术的详细内容可参考本书第 4 章。ANSYS Icepak 具有自动非结构化网格生成能力，支持四面体、六面体以及混合网格，因而可以生成高质量的计算网格，并能混合应用六面体主导网格、四面体和棱柱体网格来十分逼真地保持几何边界形状。ANSYS Icepak 还提供了强大的网格检查功能，可以检查出质量较差（细长比、扭曲率、最小体积）的网格。