

Unigraphics NX 4.0

中文版机械设计

高级应用实例

三维书屋工作室

席俊杰 夏德伟 曹永刚 等编著



内含多媒体教学光盘

Unigraphics NX 4.0

COMPUTER AID DESIGN FOR MECHANISM

全面完整的知识体系
深入浅出的理论阐述
循序渐进的分析讲解
实用典型的实例引导



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

计算机辅助机械设计高级应用实例

系列

[计算机辅助机械设计高级应用实例系列]

Unigraphics NX 4.0 中文版

机械设计高级应用实例

三维书屋工作室

席俊杰 夏德伟 曹永刚 等编著



机械工业出版社

本书由浅入深,循序渐进,理论与实践相结合,从基础知识逐步延伸到高级分析功能介绍,内容全面完整。

全书按知识结构分为4篇,第1篇为功能介绍,主要介绍 Unigraphics NX4.0 基础功能与建模方法;第2篇为建模实例,主要讲述了几个综合性的建模实例;第3篇为有限元分析,主要讲述了有限元分析的方法和实例;第4篇为机构分析,主要讲述 Unigraphics 的机构分析功能和实例。

随书光盘包含本书实例操作和结果、源文件和实例操作演示动画文件,可以帮助读者形象直观地学习本书。

本书适用于高等院校机械设计专业本、专科学生和研究生课堂学习和自学,也可以作为机械设计专业人员的自学辅导书和参考工具书。

图书在版编目(CIP)数据

Unigraphics NX4.0 中文版机械设计高级应用实例/席俊杰等编著.

—2版—北京:机械工业出版社,2007.4

(计算机辅助机械设计高级应用实例系列)

ISBN 978-7-111-16739-6

I. U… II. 席… III. 机械设计. 计算机辅助设计-应用软件, UG NX4.0 IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第030361号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:曲彩云 责任印制:杨 曦

北京蓝海印刷有限公司印刷

2007年3月第2版第1次印刷

184mm×260mm·22 25印张·548千字

0001—5000册

标准书号:ISBN 978-7-111-16739-6

:ISBN 7-89492-513-6(光盘)

定价·42.00元(含1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 68351725

封面无防伪标均为盗版

出版说明

机械设计是一门古老而成熟的学科，自第一次工业革命以来，经过几百年的发展，现在已臻于完善。然而，传统的手工进行计算绘图的机械设计方法在日新月异的社会发展需求面前显得捉襟见肘，力不从心。以计算机为代表的信息技术推动整个社会各方面发展的同时，也为机械设计这门古老的学科带来了新的生机，这就是计算机辅助设计（CAD）。

借助计算机提供的信息化平台，机械设计得以摆脱传统手工绘图和计算设计的烦琐和落后，变得高度自动化和精确化。可以说，CAD 技术在继承成熟的机械设计理论的同时已经彻底颠覆了传统机械设计几百年的人工模式。

目前，我国的机械设计学科也正在进行这场深刻的计算机革命。世界和国产的各种优秀 CAD 软件正以前所未有的速度迅速进入机械设计和制造行业的各个领域。由于目前 CAD 技术在我国机械设计工程界正处于一个快速导入期，各种 CAD 软件由于其自身的性能优势拥有不同的应用人群。“计算机辅助机械设计高级应用实例系列”丛书针对机械设计行业不同应用对象，精选了目前国内应用最广泛的 12 种 CAD 软件，结集成书，力图全景式地介绍目前主流 CAD 软件的功能和特点，为不同需求人群设计一套完整的学习和应用指导工具书。

这套丛书具有以下特点：

◆ 版本前沿

本丛书所有讲解对象软件都是世界或国内对应软件的最新版本，编者力图将目前世界上最新的、功能最强大的 CAD 软件介绍给读者，使读者能够学习到最前沿的知识。

◆ 内容精深

编者力图跳出目前市面上低中端书籍的俗套，站在一个比较高的起点上，对每一种软件进行全貌式的讲解，从低端的基本功能介绍入手，循序渐进地逐步深入，直至对各种软件的高端分析与开发功能进行详细而具体的剖析。在此过程中，贯穿大量而又有机联系的实例，帮助读者在有限的篇幅内轻松而又深入地掌握本软件的知识精髓。

◆ 作者权威

本套丛书的作者都是相应软件使用方面的专家和技术权威，都有过相关软件的多年使用或教学经验，也是利用该软件进行 CAD 设计的高手，他们集中自己多年的心血，融化于字里行间，有很多地方都是他们经过反复研究得出的经验总结。

◆ 全面修订

“计算机辅助机械设计高级应用实例系列”丛书第一版自发行以来，深受海内外读者好评，为广大工程设计人员和 CAD 爱好者的学习提供了一片广阔的天地。在与读者的交流和调研过程中，我们在总结经验的同时，找出了已出版各书存在的不足和个别地方的错误，在此次出版的“计算机辅助机械设计高级应用实例系列”丛书的第二版中，我们进行了详细的订正，并对部分章节进行了优化调整，以更好地满足广大读者的学习需要。

借这套丛书的修订出版，希望能够对广大读者的能力提高有所裨益。

前 言

Unigraphics (简称为 UG) 是美国 EDS 公司开发的一套集 CAD/CAM/CAE 于一体的软件系统。它的功能覆盖了从概念设计到产品生产的整个过程, 并且广泛地运用在汽车行业、航天行业、模具加工及设计和医疗器材领域等方面。它提供了强大的实体建模技术, 提供了高效能的曲面建构能力, 能够完成最复杂的造型设计。除此之外, 装配功能、2D 出图功能、模具加工功能及与 PDM 之间的紧密结合, 使得 Unigraphics 在工业界成为一套无可匹敌的高级 CAD/CAM 系统。

Unigraphics 自从 1990 年进入我国以来, 以其强大的功能和工程背景, 已经在我国的航空、航天、汽车、模具和家电等领域得到广泛的应用。尤其 UG 软件 PC 版本的推出, 为 UG 在我国的普及起到了良好的推动作用。

Unigraphics NX 4.0 是 NX 系列的最新版本, 它在原版本的基础上进行了 300 多处的改进。例如, 在特征和自由建模方面提供了更加广阔的功能, 使得用户可以更快、更高效、更加高质量地设计产品。对制图方面也作了重要的改进, 使得制图更加直观、快速和精确, 并且更加贴近工业标准。Unigraphics 具有以下优势:

- ◆ 为机械设计、模具设计以及电器设计单位提供一套完整的设计、分析和制造方案。
- ◆ Unigraphics 是一个完全的参数化软件, 为零部件的系列化建模、装配和分析提供强大的基础支持。
- ◆ Unigraphics 可以管理 CAD 数据以及整个产品开发周期中所有相关数据, 实现逆向工程 (Reverse Design) 和并行工程 (Concurrent Engineer) 等先进设计方法。
- ◆ Unigraphics 可以完成包括自由曲面在内的复杂模型的创建, 同时在图形显示方面运用了区域化管理方式, 节约系统资源。
- ◆ Unigraphics 具有强大的装配功能, 并在装配模块中运用了引用集的设计思想, 为节省计算机资源提出了行之有效的解决方案, 可以极大地提高设计效率。

本书从内容的策划到实例的讲解完全是由专业人士根据他们多年的工作经验以及自己的心得来进行编写的。本书将理论与实践相结合, 全书讲解由浅入深, 循序渐进, 从基础知识逐步延伸到高级分析功能介绍, 内容全面完整, 具有很强的针对性。读者在学习本书之后, 可以很快地学以致用, 提高自己的机械设计和分析能力, 使自己在纷繁的求职世界中立于不败之地。随书光盘包含本书实例操作和结果源文件以及实例操作演示动画文件, 可以帮助读者形象直观地学习本书。

本书按知识结构分为 4 篇, 第 1 篇为功能介绍, 主要介绍 Unigraphics NX4.0 基础功能与建模方法; 第 2 篇为建模实例, 主要讲述了几个综合性的建模实例; 第 3 篇为有限元分析, 主要讲述了有限元分析的方法和实例; 第 4 篇为机构分析, 主要讲述 Unigraphics NX4.0 的机构分析功能和实例。

本书由三维书屋工作室总策划, 席俊杰、夏德伟、曹勇刚主要编写, 胡仁喜、王佩楷、袁涛、王兵学、王渊峰、周广芬、周冰、李瑞、李鹏、董伟、史青录、陈树勇、王敏、陈丽芹、李世强、王玮、赵黎、辛文彤、王克印、路纯红等参与了部分章节的编写。限于作者水平, 书中不足之处难免, 请广大读者批评指正。如有问题, 请与 hurenxi2000@163.com 联系。

作者

目 录

出版说明

前言

第1篇 功能介绍

第1章 Unigraphics 软件基础	2
1.1 Unigraphics 概述	2
1.1.1 Unigraphics 简介	2
1.1.2 Unigraphics 工作流程	3
1.2 Unigraphics 主要功能	3
1.2.1 建模的灵活性	4
1.2.2 协同化和高级装配建模技术	4
1.2.3 直观的二维绘图	4
1.2.4 强大的数控加工能力	5
1.2.5 领先的钣金件制造技术	5
1.2.6 集成的数字分析	5
1.2.7 先进的用户开发工具	5
1.2.8 内嵌的工程电子表格	5
1.2.9 可分阶段实施的数据管理	5
1.3 Unigraphics NX4.0 新功能	6
1.3.1 工业设计	6
1.3.2 数字化分析	9
1.3.3 工具制作 (NX Tooling)	9
1.3.4 加工	10
1.3.5 定制化与编程	11
1.3.6 受控开发环境	12
1.4 建立模型准备	12
1.4.1 文件操作	12
1.4.2 环境设置	16
1.4.3 基本工具	19
1.4.4 坐标系操作	28
1.4.5 层操作	29
1.4.6 视图布局	32
1.4.7 对象操作	33
1.4.8 几何计算与物理分析	38
1.4.9 信息功能	39
第2章 曲线与草绘	41
2.1 基本曲线	41
2.1.1 直线	42

2.1.2	弧	43
2.1.3	圆	44
2.1.4	圆角	44
2.2	点和点集	46
2.2.1	点	46
2.2.2	点集	47
2.3	多边形曲线	48
2.3.1	倒角	48
2.3.2	矩形	49
2.3.3	多边形	49
2.4	二次曲线	50
2.4.1	椭圆	50
2.4.2	抛物线	51
2.4.3	双曲线	51
2.4.4	一般二次曲线	51
2.5	样条曲线	52
2.5.1	样条曲线介绍	52
2.5.2	根据极点生成样条曲线	53
2.5.3	通过点生成样条曲线	53
2.5.4	适合窗口生成样条曲线	55
2.6	规律曲线	56
2.7	螺旋曲线	58
2.8	曲线操作	58
2.8.1	偏置曲线	58
2.8.2	桥接曲线	60
2.8.3	简化曲线	61
2.8.4	合并曲线	61
2.8.5	投影	62
2.8.6	组合投影	63
2.8.7	抽取曲线	64
2.8.8	相交曲线	65
2.8.9	截面曲线	66
2.8.10	在面上偏置	67
2.8.11	缠绕/展开	68
2.8.12	镜像曲线	68
2.9	草图	69
2.9.1	建立和激活草图	69
2.9.2	工具条简介	70
第3章	实体建模	72

3.1 建模基准.....	72
3.1.1 基准平面.....	72
3.1.2 基准轴.....	74
3.1.3 基准坐标系.....	76
3.2 基本体素特征.....	76
3.2.1 基本体素特征的生成.....	77
3.2.2 基本体素特征的修改.....	77
3.3 扫描特征.....	77
3.3.1 拉伸.....	77
3.3.2 回转.....	79
3.3.3 一般扫描特征.....	79
3.3.4 软管.....	80
3.4 成型特征.....	81
3.4.1 孔特征.....	81
3.4.2 圆台特征.....	83
3.4.3 腔体特征.....	83
3.4.4 凸垫特征.....	85
3.4.5 键槽.....	85
3.4.6 沟槽特征.....	87
3.4.7 三角形加强筋.....	89
3.4.8 定位.....	89
3.5 其他特征.....	92
3.5.1 片体加厚.....	92
3.5.2 片-实体辅助.....	92
3.6 特征操作.....	93
3.6.1 拔模.....	93
3.6.2 边倒圆.....	95
3.6.3 倒角.....	96
3.6.4 抽壳.....	97
3.6.5 螺纹.....	98
3.6.6 引用.....	99
3.6.7 偏置表面.....	102
3.6.8 比例.....	102
3.6.9 裁剪.....	103
3.6.10 分割.....	103
3.7 编辑特征.....	103
3.7.1 参数编辑.....	104
3.7.2 定位编辑.....	105
3.7.3 移动特征.....	105

3.7.4 特征重排序.....	105
3.7.5 抑制和释放.....	106
3.7.6 布尔运算.....	106
第4章 装配.....	107
4.1 装配的一般过程.....	107
4.2 装配文件打开方式.....	107
4.2.1 载入选项.....	107
4.2.2 载入组件.....	108
4.2.3 常用选项.....	108
4.3 建立装配结构.....	109
4.3.1 加入已存的组件.....	109
4.3.2 创建新的组件.....	110
4.3.3 生成组件阵列.....	110
4.3.4 替换组件.....	111
4.3.5 配对组件.....	112
4.3.6 组件重定位.....	114
4.3.7 镜像装配.....	115
4.4 爆炸图.....	116
4.4.1 创建爆炸.....	117
4.4.2 编辑爆炸视图.....	117
4.4.3 自动爆炸组件.....	117
4.5 引用集.....	118
4.5.1 自动引用集.....	118
4.5.2 用户自定义引用集.....	119
第5章 创建工程图.....	120
5.1 设置工程图环境.....	120
5.1.1 新建图纸.....	120
5.1.2 打开图纸.....	121
5.1.3 删除图纸.....	122
5.1.4 编辑图纸.....	122
5.1.5 显示图纸.....	122
5.2 建立工程视图.....	122
5.2.1 添加基本视图.....	122
5.2.2 添加投影视图.....	124
5.2.3 添加局部放大图.....	124
5.2.4 添加简单剖视图和阶梯剖视图.....	125
5.2.5 添加半剖视图.....	126
5.2.6 建立局部剖视图.....	127
5.3 修改工程视图.....	127

5.3.1 移动和复制视图.....	127
5.3.2 对齐视图.....	129
5.3.3 删除视图.....	130
5.4 尺寸标注.....	130
5.4.1 尺寸标注.....	130
5.4.2 尺寸型式和注释.....	133
第2篇 建模实例	
第6章 机械臂实例.....	136
6.1 设计思路.....	136
6.2 绘制基座.....	137
6.2.1 绘制基座主体.....	137
6.2.2 绘制转动关节.....	140
6.2.3 绘制底板安装孔.....	144
6.3 绘制大臂.....	145
6.3.1 绘制大臂基体.....	145
6.3.2 绘制转动关节.....	149
6.4 绘制小臂.....	150
6.4.1 绘制小臂基体.....	150
6.4.2 绘制转动关节.....	151
6.4.3 绘制抓持器.....	153
6.5 装配机械臂.....	155
6.5.1 创建装配图纸.....	155
6.5.2 装配机械臂.....	156
第7章 柱塞泵部件实例.....	162
7.1 设计思路.....	162
7.2 绘制泵体.....	163
7.2.1 绘制安装板.....	163
7.2.2 绘制腔体.....	170
7.2.3 绘制底座和肋板.....	173
7.2.4 绘制孔系.....	175
7.2.5 绘制螺纹.....	178
7.3 绘制填料压盖.....	179
7.4 绘制柱塞.....	183
7.5 绘制阀体.....	189
7.5.1 绘制阀体主体.....	189
7.5.2 绘制孔系.....	191
7.5.3 绘制螺纹.....	192
7.6 绘制阀盖.....	194
7.7 绘制上阀瓣.....	200

7.8 绘制下阀瓣.....	205
第8章 柱塞泵装配实例.....	208
8.1 设计思路.....	208
8.2 柱塞泵装配图.....	209
8.2.1 创建装配图纸.....	209
8.2.2 装配柱塞泵.....	210
8.2.3 设置装配图显示效果.....	223
8.3 柱塞泵爆炸图.....	225
8.3.1 配置绘图环境.....	225
8.3.2 创建爆炸图.....	226
8.3.3 编辑爆炸图.....	229
8.4 柱塞泵装配动画图.....	231
8.4.1 创建装配动画.....	231
8.4.2 查看装配动画.....	232
第3篇 有限元分析.....	
第9章 模型分析准备.....	236
9.1 分析模块的介绍.....	236
9.2 有限元模型.....	237
9.3 有限元模型和仿真模型的建立.....	237
9.4 求解器和分析类型.....	238
9.4.1 求解器.....	239
9.4.2 分析类型.....	239
9.5 模型准备.....	239
9.5.1 理想化几何体.....	240
9.5.2 移除几何特征.....	241
9.5.3 分割模型.....	241
9.5.4 网格匹配条件.....	243
9.5.5 中间面.....	244
9.5.6 缝合.....	246
9.5.7 硬点和软点.....	246
第10章 有限元和仿真模型的设置.....	248
10.1 材料属性.....	248
10.2 添加载荷.....	251
10.2.1 载荷类型.....	251
10.2.2 载荷添加矢量.....	251
10.2.3 载荷添加方案.....	252
10.3 边界条件的加载.....	253
10.3.1 边界条件类型.....	253
10.3.2 约束类型.....	253

10.4 划分网格.....	254
10.4.1 网格类型.....	254
10.4.2 零维网格.....	255
10.4.3 一维网格.....	255
10.4.4 一维单元截面.....	256
10.4.5 二维网格.....	257
10.4.6 三维四面体网格.....	258
10.4.7 三维扫描网格.....	259
10.4.8 接触网格.....	260
10.4.9 边-面连接.....	261
10.4.10 曲面接触网格.....	262
10.4.11 焊接网格.....	263
10.5 创建解法.....	263
10.5.1 解法.....	264
10.5.2 耐久解决方案.....	264
10.5.3 步骤-子工况.....	265
第 11 章 有限元模型的编辑.....	266
11.1 分析模型的编辑.....	266
11.1.1 抑制特征.....	266
11.1.2 取消抑制特征.....	267
11.1.3 编辑有限元特征参数.....	267
11.1.4 主模型尺寸编辑.....	267
11.2 二维网格编辑.....	268
11.2.1 分割四边形.....	268
11.2.2 合并三角形单元.....	269
11.2.3 移动节点.....	269
11.2.4 删除单元.....	269
11.2.5 创建单元.....	269
11.3 属性编辑器.....	270
11.3.1 曲线/边属性编辑.....	270
11.3.2 面属性编辑.....	271
11.3.3 体属性编辑.....	271
11.3.4 网格属性编辑.....	272
11.4 有限元模型的检查.....	273
11.4.1 综合模型的检查.....	273
11.4.2 单元形状检查.....	273
11.4.3 单元轮廓检查.....	274
11.4.4 节点检查.....	274
11.4.5 二维单元法向检查.....	274

11.5 识别	274
11.6 有限元模型信息总结	275
第12章 分析和查看结果	276
12.1 分析	276
12.1.1 解算	276
12.1.2 分析任务监视器	277
12.2 后处理控制	278
12.2.1 后处理视图	278
12.2.2 识别	280
12.2.3 显示标记开关	281
12.2.4 动画	282
12.3 柱塞泵分析实例	282
12.3.1 有限元模型的建立	282
12.3.2 解算	286
12.3.3 后处理	286
第4篇 机构分析	
第13章 机构分析基础	290
13.1 机构分析基本概念	290
13.1.1 机构的组成	290
13.1.2 机构自由度的计算	291
13.2 仿真模型	291
13.3 机构分析的一般步骤	293
13.4 运动分析首选项	293
第14章 创建运动分析对象	290
14.1 连杆及运动副	295
14.1.1 连杆	295
14.1.2 运动副	297
14.1.3 齿轮和齿条副	299
14.1.4 齿轮副	300
14.1.5 线缆副	300
14.1.6 点线接触副	301
14.1.7 线线接触副	301
14.1.8 点面副	301
14.2 载荷	302
14.2.1 弹簧	302
14.2.2 阻尼	303
14.2.3 标量力	303
14.2.4 矢量力	303
14.2.5 标量扭矩	304

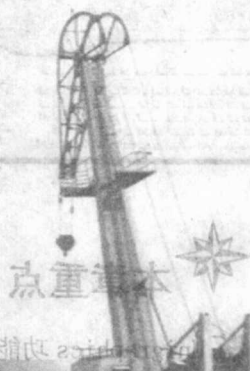
14.2.6 矢量扭矩.....	304
14.2.7 弹性衬套.....	305
14.2.8 3D 接触副.....	306
14.2.9 2D 接触.....	307
第 15 章 模型准备与运动分析.....	308
15.1 模型编辑.....	308
15.1.1 主模型尺寸编辑.....	308
15.1.2 编辑运动对象.....	309
15.2 标记和智能点.....	310
15.2.1 标记.....	310
15.2.2 智能点.....	310
15.3 封装.....	311
15.3.1 测量.....	311
15.3.2 跟踪.....	311
15.3.3 干涉.....	311
15.4 运动分析.....	312
15.4.1 动画.....	312
15.4.2 球铰.....	313
15.4.3 生成图表.....	314
15.4.4 运行电子表格.....	314
15.4.5 载荷传递.....	315
第 16 章 连杆运动实例.....	317
16.1 设计思路.....	317
16.2 绘制四连杆机构.....	318
16.2.1 绘制连杆和滑块.....	318
16.2.2 装配曲柄摇杆机构.....	322
16.2.3 装配曲柄滑块机构.....	323
16.3 创建运动分析方案.....	323
16.3.1 创建运动分析方案.....	323
16.3.2 设置运动分析模块.....	325
16.4 创建机构连杆.....	326
16.4.1 创建机构连杆.....	326
16.4.2 定义连杆特性.....	327
16.5 创建运动副.....	327
16.5.1 运动副简介.....	327
16.5.2 创建运动副.....	328
16.6 曲柄摇杆机构的关节仿真.....	330
16.7 曲柄滑块机构的运动仿真.....	331
第 17 章 机构分析和有限元分析实例.....	334

17.1	模型的建立.....	334
17.2	模型装配.....	335
17.3	运动分析.....	337
17.4	结构分析.....	338

第1篇

功能介绍

内容
要略



计算机辅助设计高级应用系列丛书
COMPUTER AID DESIGN

UGS 公司的产品主要有 Unigraphics 软件、基于 Windows 的设计与制图产品 Solid Edge、集团级产品数据管理系统 iMAN、产品可视化技术 ProductVision 以及实体建模核心 Parasolid 在内的全线产品。

Unigraphics 每次的新版本都代表了当时先进的制造发展前沿，很多现代设计方法和理念都能在版本中反映出来。例如，在并行工程中强调的几何关联设计、参数化设计等都是这些先进方法的体现。

本篇介绍以下主要知识点：



软件简介



曲线与草图



建模特征



装配



工程图和表达视图

第1章 Unigraphics 软件基础

内容 提要

计算机辅助设计 (CAD) 技术是现代信息技术领域中设计以及相关部门使用非常广泛的技术之一。Unigraphics Solutions 公司的 Unigraphics 作为中高端三维 CAD 软件, 具有功能强大、应用范围广等优点, 因此被认为是具有统一力的中高端设计解决方案。本章对 Unigraphics 软件作简要介绍。



本章重点

- Unigraphics 功能与简介
- Unigraphics NX4.0 的新特性
- Unigraphics 的工作流程
- 模型建立准备

1.1 Unigraphics 概述

Unigraphics Solutions 公司 (简称 UGS) 是全球著名的 MCAD 供应商, 主要为汽车与交通、航空航天、日用消费品、通用机械以及电子工业等领域通过其虚拟产品开发 (VPD) 的理念提供多级化的、集成的、企业级的完整 MCAD 解决方案。其主要的 CAD 产品是 Unigraphics。

1.1.1 Unigraphics 简介

Unigraphics 在航空航天、汽车、通用机械、工业设备、医疗器械以及其他高科技应用领域的机械设计和模具加工自动化的市场上得到了广泛的应用。多年来, UGS 一直在支持美国通用汽车公司实施目前全球最大的虚拟产品开发项目, 同时 Unigraphics 也是日本著名汽车零部件制造商 DENSO 公司的计算机应用标准, 并在全球汽车行业得到了很多的应用, 如 Navistar、底特律柴油机厂、Winnebago 和 Robert Bosch AG 等。

另外, UGS 公司在航空领域也有很好的表现: 在美国的航空业, 安装了超过 10000 套 Unigraphics 软件; 在俄罗斯航空业, Unigraphics 软件具有 90% 以上的市场; 在北美汽轮机市场, Unigraphics 软件占 80%。UGS 在喷气发动机行业也占有领先地位, 如拥有 Pratt & Whitney 和 GE 喷气发动机公司这样的知名客户。航空业的其他客户还有: B/E 航空公司、