# 目　录

## 第 1 篇　总　论


1　前言 …… 3
2　设计综合 …… 4
2.1　参数化工程设计——功能领域和物理领域 …… 4
2.2　设计的规模大小及复杂程度 …… 5
2.3　元模型 …… 6
2.4　稳健概念探索法 …… 6
2.5　反向映射法 …… 7
2.6　假设推理法 …… 8
3　概念设计 …… 9
3.1　设计主意的生成 …… 9
3.2　概念设计的自动生成——基于神经网络的模糊推理法 …… 10
3.3　基于多自主体的概念设计法 …… 11
3.4　约束管理集成的概念设计法 …… 12
3.5　生产过程规划的概念设计 …… 13
3.6　装配的概念设计 …… 14
4　反向工程 …… 14
4.1　自由曲面成像 …… 15
4.2　CAD 模型重建 …… 16
5　虚拟设计 …… 16
5.1　概述 …… 16
5.2　基于特征的复杂产品的 VR …… 17
5.3　VR-CAD …… 17
5.4　VR 的应用 …… 18
6　虚拟装配 …… 19
6.1　概述 …… 19
6.2　虚拟装配设计环境 VADE …… 20
6.3　评价产品可装配性及可维修性的交互式模拟环境(IPSEAM) …… 20
6.4　开放式装配设计环境(OpenADE) …… 21
7　虚拟企业 …… 21
7.1　虚拟企业的数据集成 …… 21
7.2　虚拟企业多数据库冲突的解决途径 …… 22
7.3　开展虚拟企业工作的“瓶颈”问题 …… 22
8　分布式的设计和制造 …… 23
8.1　概述 …… 23
8.2　分布式的设计 …… 23
8.3　分布式的协同设计 …… 25
8.4　分布式的敏捷生产 …… 26
9　后记 …… 27
参考文献 …… 29


## 第 2 篇　创 新 设 计


第 1 章　引言 …… 39
1　创新是社会发展的需要 …… 39
2　创新设计 …… 39
2.1　设计阶段 …… 39
2.2　创新设计类型 …… 39
3　创造性思维的特点 …… 40
3.1　独创性 …… 40
3.2　连动性 …… 40
3.3　多向性 …… 41
3.4　综合性 …… 41
3.5　洞察力 …… 41
第 2 章　常用创造技法 …… 42
1　群体集智法（智力激励法、集思广益法） …… 42
1.1　智力激励法(智暴法小组会) …… 42
1.2　书面集智法 …… 43
1.3　德尔菲法（Delphi 法） …… 43
2　系统分析法 …… 43
2.1　检核表法 …… 43
2.2　列举分析法 …… 44

2.3 形态分析法…… 45
2.4 定量分析法…… 46
3 联想类比法…… 48
3.1 联想法…… 48
3.2 类比推理及其应用…… 49
3.3 仿生法…… 49
3.4 联想类比法的应用步骤…… 50
4 转向探求法…… 50
4.1 逆向法…… 50
4.2 换向探求法…… 52
5 组合创新法…… 53
5.1 实体要素组合…… 53
5.2 概念性要素组合…… 54
5.3 重组组合…… 55
5.4 综合摄取法(Synectics)…… 56
**第 3 章 系统化设计法** …… 58
1 总功能分析…… 58
2 功能分析…… 59
3 功能求解…… 59
3.1 功能元解…… 59
3.2 系统原理解…… 59
4 设计目录…… 61
4.1 设计目录的内容…… 61
4.2 设计目录的建立…… 65
5 评价系统…… 70
5.1 评价目标…… 70
5.2 评分法…… 71
5.3 模糊评价法…… 72
**第 4 章 变异设计** …… 75
1 变异设计基本程序…… 75
1.1 提出对产品的变异要求…… 75
1.2 确定产品变异点…… 75
1.3 搜索与选择…… 75
2 依据工作原理进行方案变异…… 75
2.1 工作原理变异…… 75
2.2 机构方案变异设计…… 85
3 结构方案变异设计…… 90
3.1 结构元及其变异…… 90
3.2 材料变异…… 95
3.3 结构方案变异…… 98
**第 5 章 变型产品设计** …… 105
1 概述 …… 105
1.1 变型产品的系列类型 …… 105
1.2 优先数和标准公比 …… 105
2 相似系列产品设计 …… 106
2.1 基型设计 …… 106
2.2 级差公比的选定 …… 106
2.3 系列产品参数尺寸计算 …… 107
3 模块化系列产品设计 …… 110
3.1 模块化系列产品的特点 …… 110
3.2 模块化系列产品的设计要点 …… 112
**参考文献** …… 120

## 第 3 篇 生命周期设计

**第 1 章 概述**…… 123
1 环境意识的觉醒和可持续发展战略 … 123
1.1 环境立法背景 …… 123
1.2 可持续发展战略的涵义 …… 123
2 绿色化：环保的根基和未来 …… 123
3 产品生命周期设计：产品绿色化的重要手段 …… 124
3.1 产品的整体环保问题 …… 124
3.2 产品的生态设计 …… 124
4 在我国进行产品生命周期设计的意义 …… 125
**第 2 章 生命周期设计的基本概念** … 126
1 概述 …… 126
2 产品生命周期设计及其组成 …… 126
3 产品生命周期设计和 DFX …… 127
4 生命周期设计的系统观、并行观和集成观 …… 129
4.1 系统观 …… 129
4.2 并行观 …… 130
4.3 集成观 …… 130
5 价值系统 …… 131
**第 3 章 面向维修/回收的设计** …… 138
1 产品的生命周期与回收策略 …… 138
2 面向维修的设计 …… 138
2.1 面向维修的设计与可靠性设计的关系 …… 138
2.2 维修度和维修度函数 …… 138
2.3 面向维修的设计准则 …… 140

2.4 面向维修的设计方法 …… 141
2.5 DFS 的应用实例 …… 142
3 面向回收的设计 …… 146
3.1 DFR 的理论体系 …… 146
3.2 产品回收的经济性分析 …… 148
3.3 BD-148 型冰柜应用实例 …… 150
**第 4 章 材料选择设计** …… 155
1 零件的失效分析 …… 155
1.1 失效的定义 …… 155
1.2 失效的直接原因 …… 155
2 零件材料的选择原则 …… 155
2.1 满足功能要求原则 …… 155
2.2 可获得性原则 …… 156
2.3 经济性原则 …… 156
2.4 环境友好性原则 …… 157
3 材料选择方法 …… 157
3.1 几何选择方法 …… 157
3.2 数学选择方法 …… 158
3.3 面向生命周期的选择方法 …… 159
4 材料选择实例 …… 161
4.1 电动链锯 …… 161
4.2 大功率栅极管 …… 162
**第 5 章 产品生命周期评估** …… 165
1 LCA 的概念 …… 165
2 产品生命周期分析实施框架 …… 165
2.1 目标及范畴定义 …… 165
2.2 清单分析 …… 166
2.3 影响评估 …… 167
2.4 改进分析 …… 168
3 实例 …… 168
3.1 汽油车和电动车的能源消耗、污染物排放的 LCA 分析 …… 168
3.2 塑料 LCA 分析 …… 170
**第 6 章 LCED 的工具软件** …… 172
1 LASeR 1.0 …… 172
2 DFA/Pro 7.1 和 DFS Version 1.0 …… 176
2.1 DFA/Pro 7.1 …… 176
2.2 DFS Version 1.0 …… 176
2.3 应用实例 …… 176
**参考文献** …… 180

## 第 4 篇 有限元设计

**第 1 章 有限元方法在工程设计中的应用** …… 185
**第 2 章 有限元的基本理论和方法** … 187
1 弹性力学的基本方程和基本原理 …… 187
1.1 弹性力学基本方程 …… 187
1.2 弹性力学基本原理 …… 188
2 位移模式有限元的一般方法 …… 189
2.1 连续体的离散化 …… 189
2.2 单元位移模式和形函数 …… 189
2.3 单元特性分析 …… 190
2.4 坐标变换 …… 191
2.5 建立整个结构的平衡方程 …… 192
2.6 边界条件的处理 …… 193
2.7 求解未知节点位移和计算单元应力 …… 193
3 常用单元的基本列式 …… 194
3.1 空间桁架单元 …… 194
3.2 空间梁单元 …… 195
3.3 平面问题三节点三角形单元 …… 196
3.4 轴对称问题环单元 …… 200
3.5 平面矩形单元 …… 201
3.6 空间四面体单元 …… 203
4 等参数单元 …… 205
4.1 平面等参数单元 …… 205
4.2 空间等参数单元 …… 207
4.3 高斯积分法的应用 …… 209
**第 3 章 动力学分析有限元法** …… 211
1 动力有限元分析的基本方程 …… 211
1.1 控制方程 …… 211
1.2 质量矩阵 …… 211
1.3 阻尼矩阵 …… 212
2 动力特征值问题 …… 212
2.1 特征值问题的基本特点 …… 212
2.2 特征值问题的求解方法 …… 212
3 求解动力响应问题 …… 215
3.1 求解振动响应的振型叠加法 …… 215
3.2 求解振动响应的时域积分方法 …… 216
4 减缩动力系统自由度的方法 …… 219
**第 4 章 热传导有限元方法** …… 221

1 热传导微分方程 …… 221
2 线性热传导方程的有限元方法 …… 221
3 单元分析 …… 222
3.1 一维单元 …… 222
3.2 二维单元 …… 223
3.3 八节点等参块体元 …… 225
4 稳态热传导的有限元分析 …… 226
5 非稳态热传导的有限元分析 …… 226
6 非线性热传导的有限元方法 …… 227
7 场问题的有限元分析方法 …… 227
**第 5 章 非线性有限元分析** …… 229
1 非线性方程组的解法 …… 229
1.1 直接迭代法 …… 229
1.2 Newton-Raphson(N-R)方法 …… 229
1.3 修正的 Newton-Raphson 方法 …… 230
1.4 增量法 …… 230
1.5 加速收敛方法 …… 231
2 材料非线性有限元分析 …… 232
2.1 塑性力学基本法则 …… 232
2.2 弹塑性应力应变关系 …… 232
2.3 弹塑性增量有限元分析 …… 233
2.4 与时间相关的材料非线性问题分析 …… 234
3 几何非线性问题的有限元分析 …… 235
3.1 应变与应力度量 …… 235
3.2 几何非线性问题的表达方式 …… 236
3.3 有限元求解方程及解法 …… 237
3.4 结构稳定性分析 …… 238
4 接触问题有限元分析 …… 238
**第 6 章 有限元设计分析软件中的若干问题** …… 241
1 有限元离散模型的有效性确认 …… 242
1.1 有限元分析结果的误差 …… 242
1.2 有限元模型的性能指标 …… 242
2 有限元计算模型的建立 …… 243
2.1 问题性质的判断 …… 243
2.2 建模准则 …… 243
2.3 几何近似、曲面与曲线的逼近 …… 243
2.4 结构模型的合理简化 …… 244
2.5 网格划分 …… 245
2.6 边界条件的处理 …… 246
2.7 连接条件的处理 …… 246
3 缩小解题规模的常用措施 …… 247
3.1 对称性和反对称性 …… 247
3.2 周期性条件 …… 248
3.3 降维处理和几何简化 …… 248
3.4 子结构技术 …… 248
3.5 线性近似化 …… 249
3.6 多工况载荷的合并处理 …… 249
3.7 节点编号优化 …… 249
4 计算结果的后置处理 …… 249
**第 7 章 有限元分析软件** …… 250
1 国外主要有限元分析软件 …… 250
1.1 ANSYS 有限元分析软件 …… 250
1.2 MSC/NASTRAN 有限元分析软件 …… 252
1.3 MARC 有限元分析软件 …… 253
1.4 ABAQUS 有限元分析软件 …… 254
1.5 ADAMS 动力学仿真分析软件 …… 255
1.6 DADS 多体动力学仿真分析软件 …… 255
1.7 MSC/FATIGUE 疲劳分析软件 …… 256
1.8 I-DEAS 中的有限元分析模块 …… 256
1.9 Pro/ENGINEER 中的有限元分析模块 …… 257
1.10 UNIGRAPHICS 中的有限元分析模块 …… 257
1.11 SYSNOISE 软件 …… 257
2 结构有限元分析与优化设计软件 JIFEX …… 258
2.1 前置处理子系统 …… 258
2.2 后置处理子系统 …… 258
2.3 有限元分析子系统 …… 258
2.4 结构优化设计子系统 …… 259
**参考文献** …… 259

## 第 5 篇 虚 拟 设 计

**第 1 章 概述** …… 263
1 虚拟现实 …… 263

1.1 虚拟现实 …… 263
1.2 虚拟环境 …… 263
1.3 虚拟环境的分类 …… 263
1.4 虚拟现实与 CAD/CAM …… 265
**第 2 章 虚拟设计** …… 266
1 概述 …… 266
2 需要传送数据的虚拟设计系统 …… 266
2.1 典型系统的构成 VEDAM …… 266
2.2 数据集成器 …… 267
2.3 主界面 …… 267
2.4 数据表达及传送 …… 267
2.5 在虚拟环境中面向对象的建模方法 …… 268
2.6 需要传送数据的虚拟设计系统的组成和结构 …… 270
2.7 采用的硬件设备及工具软件 …… 270
2.8 测试结果 …… 271
3 不需要传送数据的虚拟设计系统(VR-CAD) …… 271
3.1 VR-CAD 的特点及建造方法 …… 271
3.2 COVIRDS™ …… 271
3.3 基于约束的许用运动法的 VR-CAD …… 273
3.4 基于约束的 VR-CAD …… 274
4 虚拟菜单的建造 …… 274
4.1 概述 …… 274
4.2 虚拟菜单的种类 …… 274
4.3 虚拟菜单的特性 …… 274
4.4 用户的素质和虚拟菜单支持系统所应完成任务的分析 …… 275
4.5 虚拟菜单支持系统的模型 …… 275
5 智能虚拟现实系统 …… 277
**第 3 章 虚拟原型及虚拟原型生成** …… 278
1 概述 …… 278
1.1 虚拟原型 …… 278
1.2 虚拟原型系统应具备的功能 …… 278
1.3 虚拟原型系统的应用实例 …… 278
1.4 虚拟原型的种类 …… 279
1.5 虚拟原型生成 …… 279
2 综合性的虚拟原型生成 …… 279
2.1 VEDAM 的虚拟原型生成 …… 279
2.2 DFADS 的虚拟原型生成 …… 281
3 产品设计的虚拟原型生成 …… 281
3.1 产品设计的虚拟原型生成 …… 281
3.2 生成虚拟原型的硬件及软件组成 …… 282
4 设计过程的虚拟原型生成 …… 283
4.1 COVIRDS™的虚拟原型生成 …… 283
4.2 基于约束的 VR-CAD …… 284
4.3 产品数据管理中的产品结构的虚拟原型生成 …… 284
**第 4 章 虚拟环境的输入设备** …… 288
1 位置和方向跟踪传感器 …… 288
1.1 鸟标，鸟标族（The Bird™，Flock of Birds™） …… 288
1.2 pc 鸟标（pcBIRD™） …… 289
1.3 微型鸟标（MiniBIRD™） …… 289
1.4 快速跟踪器(FASTRAK™) …… 289
1.5 ISOTRAK Ⅱ™ …… 290
1.6 球标 2003(SpaceBall 2003™) …… 291
1.7 球标 3003(SpaceBall 3003™) …… 292
1.8 球标 4000(SpaceBall 4000™) …… 292
1.9 TrackBalls™ …… 293
1.10 生物鼠标（BioMuse™） …… 293
1.11 游杆（Joystick™） …… 294
2 信息输入手套 …… 294
2.1 信息手套（CyberGlove™） …… 294
2.2 GesturePlus™ …… 295
2.3 PinchGloves™ …… 295
3 触觉输入 …… 295
3.1 CyberGrasp™ …… 295
3.2 CyberTouch™ …… 295
3.3 SpacePen™ …… 296
3.4 6DOF™ …… 296
3.5 FingerFore™ …… 296
3.6 Dismount™ …… 296
4 视觉输入(EyeTracker™) …… 296
**第 5 章 虚拟环境的输出设备** …… 297
1 视觉输出 …… 297
1.1 V8™型头盔 …… 297
1.2 V4™型头盔 …… 297
1.3 V8 双目镜(V8 Binoculars™) …… 298
1.4 Glasstron™型头盔 …… 298
1.5 大型屏幕（WorkWall™） …… 298

1.6 微型工作台(MiniWorkBench™) …… 298
1.7 工作台 (WorkBench™) …… 298
1.8 VersaBench™ …… 298
1.9 BOOM 3C™ …… 299
1.10 BOOM HF™ …… 299
1.11 PUSH 1280™ …… 299
1.12 PUSH 640™ …… 299
1.13 CAVE™ …… 299
1.14 ImmersaDesk™ …… 301
1.15 立体眼镜(CrystalEyes™) …… 301
1.16 CrystalEyes™ Wired …… 302
1.17 Z Screen™显示器 …… 302
1.18 Z Screen™投影屏幕 …… 302
**第 6 章 虚拟环境的软件** …… 303
1 概述 …… 303
2 WorldToolKit™ (WTK™) …… 303
2.1 应用范围 …… 303
2.2 界面 …… 303
2.3 功能 …… 303
2.4 工作环境 …… 305
3 WorldUP™ …… 305
3.1 组成 …… 305
3.2 特性及功能 …… 305
3.3 工作环境 …… 305
3.4 工作过程 …… 305
4 World2World™ …… 306
5 MockUP™ …… 306
6 ProductView™ …… 306
7 SafeWork™ …… 306
8 CAD/PDM Integrations™ …… 307
9 VRT™ …… 307
10 SDK™ …… 307
11 3DWebMaster™ …… 307
12 XVS-LINK™ …… 307
13 XVS-LIZA™ …… 308
14 Jack …… 308
**第 7 章 虚拟环境中的硬件和软件选择及其搭配** …… 310
1 选择及搭配原则 …… 310
1.1 选择图形显示装置 …… 310
1.2 选择信息输入设备及跟踪器 …… 310
2 选择及搭配示例 …… 310
**第 8 章 虚拟设计的应用举例** …… 312
1 基于力控制策略的信息传输 …… 312
1.1 工具操作力 …… 312
1.2 虚拟思想空间 …… 312
2 厨房布局设计 …… 313
2.1 厨房布局设计概况 …… 313
2.2 硬件组成 …… 313
2.3 软件组成 …… 314
3 数字实物代替实际实物的技术 …… 314
3.1 数字实物的内容 …… 314
3.2 数字实物的组成 …… 314
3.3 硬件及软件组成 …… 315
4 表面变形法生成自由曲面 …… 315
4.1 硬件及软件组成 …… 315
4.2 操作方法 …… 315
5 信息技术的应用和虚拟制造系统的集成 …… 316
5.1 虚拟模型企业 …… 316
5.2 信息技术的应用和虚拟制造系统的集成 …… 316
5.3 硬件及软件组成 …… 316
6 有限元分析的虚拟原型系统 …… 317
6.1 有限元分析的虚拟原型系统的构成 …… 317
6.2 边界条件及载荷的交互方法 …… 317
7 基于敏度分析的结构形状设计 …… 317
7.1 系统的构成及功能 …… 318
7.2 硬件及软件组成 …… 318
8 双手操作进行装配设计 …… 318
9 球面机构综合 …… 319
10 残疾人的康复辅助装置 …… 320
11 生命周期的虚拟原型设计 …… 321
**第 9 章 基于 Internet 及 Web 的设计、制造和控制** …… 323
1 概述 …… 323
1.1 特点 …… 323
1.2 对网上系统的要求 …… 323
1.3 网上所用术语 …… 323
2 一般用途的网络结构 …… 325
2.1 基于小程序 (Applet) 的网络结构 …… 325
2.2 基于 CGI 的网络结构 …… 325
2.3 通用类型的网络结构 …… 326

2.4 信息切削（Cybercut） …… 328
2.5 信息显示 …… 330
3 中小型企业的网络结构 …… 332
3.1 概述 …… 332
3.2 中小型企业的优势及劣势 …… 332
3.3 网上协作需要解决的基本问题 …… 332
3.4 垂直伙伴关系 …… 332
3.5 供求链 …… 333
3.6 中小型企业的通用网络结构 …… 334
4 大型企业的网络结构 …… 335
4.1 大型企业所面临的问题及对策 …… 335
4.2 设计网上系统需要考虑的问题 …… 335
4.3 大型虚拟企业的网络结构 …… 336
5 生产远程控制 …… 338
5.1 概述 …… 338
5.2 对控制器的要求 …… 338
5.3 基于 Web 的控制方法 …… 339
**参考文献** …… 339

## 第6篇 优 化 设 计

**第1章 基本概念** …… 345
1 优化设计数学模型 …… 347
1.1 数学模型三要素 …… 347
1.2 数学模型的标准格式 …… 347
2 优化设计常用算法 …… 348
2.1 非线性规划数值算法的基本思想 …… 348
2.2 一维搜索计算方法 …… 348
2.3 无约束极值问题的算法 …… 348
2.4 约束极值问题算法的基本思想 …… 348
3 OPB-2 优化设计程序库 …… 349
3.1 总体结构 …… 349
3.2 主要程序算法 …… 349
**第2章 连续变量的优化设计方法** …… 353
1 连续变量约束非线性优化设计的主要方法及特点 …… 353
2 广义简约梯度法 …… 354
2.1 基本原理 …… 354
2.2 算法步骤 …… 355
2.3 算法评价 …… 355
3 序列二次规划算法 …… 356
3.1 约束变尺度法 …… 356
3.2 单调性分析的序列二次规划法 …… 357
4 复合形法 …… 359
4.1 基本原理 …… 359
4.2 算法步骤 …… 360
4.3 算法评价 …… 360
5 应用实例 …… 360
**第3章 混合离散变量的优化设计方法** …… 362
1 基本理论 …… 362
1.1 概念和定义 …… 362
1.2 数学模型 …… 363
2 主要方法及特点 …… 363
3 典型的混合离散变量优化方法 …… 364
3.1 拟离散序列二次规划法 …… 364
3.2 人工智能技术的离散二次规划法 …… 365
3.3 次梯度直接搜索法 …… 367
4 应用实例 …… 367
5 混合离散变量优化的基因遗传算法 …… 368
5.1 基本思路 …… 368
5.2 算法步骤 …… 368
5.3 应用实例 …… 372
**第4章 非光滑优化方法** …… 374
1 引言 …… 374
2 基本特点与最优性条件 …… 375
2.1 基本特点 …… 375
2.2 最优性条件 …… 375
3 非光滑优化算法 …… 376
3.1 极大熵方法 …… 376
3.2 一般非光滑问题的算法 …… 377
4 计算例题 …… 380
**第5章 多目标问题的优化设计方法** …… 385

1 基本概念 …… 385
1.1 数学模型 …… 385
1.2 基本定义 …… 385
2 主要方法及其特点 …… 386
3 宽容分层序列法 …… 387
3.1 基本原理 …… 387
3.2 算法步骤 …… 387
4 权函数法 …… 387
4.1 基本原理 …… 387
4.2 常用权函数 …… 387
4.3 权系数的选取方法 …… 388
4.4 权函数法步骤 …… 388
5 功效函数法 …… 389
5.1 基本原理 …… 389
5.2 确定方法 …… 389
5.3 算法步骤 …… 389
6 交互式协调割平面法 …… 389
6.1 基本思想 …… 389
6.2 算法原理 …… 390
6.3 算法步骤 …… 390
7 混合离散多目标优化问题的处理方法 …… 391
7.1 多目标评价函数混合离散优化算法 …… 391
7.2 混合离散多目标优化序列圆整算法 …… 391
8 计算实例 …… 392
**第 6 章 结构优化设计方法** …… 395
1 数学模型 …… 395
1.1 尺寸优化设计数学模型 …… 395
1.2 拓扑优化设计数学模型 …… 395
2 结构优化常用算法 …… 395
2.1 结构优化准则法 …… 395
2.2 齿行法 …… 396
2.3 结构优化基因遗传算法 …… 397
2.4 多级结构优化设计的模型及算法 …… 400
3 结构优化常用技术 …… 401
3.1 敏度分析 …… 401
3.2 约束近似技术 …… 402
3.3 约束和设计变量减少技术 …… 402
3.4 结构近似分析技术 …… 403
4 结构优化设计的集成 …… 403
5 应用实例 …… 403
5.1 大型工业剪切机组合结构优化设计 …… 403
5.2 大型工业打包机组合结构优化设计 …… 404
5.3 起重机端梁优化设计 …… 405
**第 7 章 形状优化设计方法** …… 406
1 模型建立的方法 …… 406
1.1 数学模型 …… 406
1.2 几何建模 …… 406
2 敏度分析 …… 407
2.1 有限元离散模型形状解析敏度 …… 407
2.2 单位虚拟载荷法 …… 408
2.3 半解析法 …… 408
2.4 物质导数法 …… 409
3 自适应形状优化方法 …… 409
3.1 网格自动生成 …… 409
3.2 自适应有限元分析 …… 412
3.3 形状优化算法 …… 413
4 应用实例 …… 414
**第 8 章 人工神经网络优化设计方法** …… 417
1 人工神经网络 …… 417
1.1 基本人工神经元模型 …… 417
1.2 神经网络的分类 …… 419
1.3 神经网络的学习规则 …… 419
2 前向网络及算法 …… 420
3 神经网络优化方法 …… 421
3.1 动力系统与稳定性分析 …… 421
3.2 无约束优化问题的神经网络方法 …… 422
3.3 二次规划问题的神经网络方法 …… 423
3.4 非线性约束优化问题的神经网络方法 …… 423
3.5 组合优化问题的神经网络方法 … 424
3.6 结构优化的神经网络方法 …… 426
**第 9 章 随机变量优化设计方法** …… 430
1 基本原理 …… 430
1.1 概念和定义 …… 430
1.2 数学建模 …… 431

1.3 随机模型的约束极值和求解 …… 432
2 随机模型的概率分析和优化方法 …… 433
2.1 概率分析 …… 433
2.2 优化方法 …… 433
3 一次二阶矩法 …… 434
4 模拟搜索法 …… 434
5 拟次梯度法 …… 435
5.1 算法步骤 …… 435
5.2 概率约束等价转换逐次逼近计算方法 …… 435
6 应用实例 …… 436
**第 10 章 模糊优化设计方法** …… 440
1 隶属函数 …… 440
2 基本理论 …… 441
2.1 数学模型 …… 441
2.2 若干定义 …… 442
2.3 求解思想 …… 442
3 对称型模糊优化设计方法 …… 442
3.1 对称模糊优化模型的直接解法 …… 442
3.2 对称模糊优化模型的迭代解法 …… 442
3.3 模糊约束清晰目标函数极值问题的求解 …… 443
4 非对称型模糊优化设计 …… 443
4.1 模糊约束下函数的条件极值 …… 443
4.2 非对称模糊优化设计的数学模型 …… 444
4.3 非对称模糊优化模型的水平截集法 …… 444
5 多目标模糊优化设计 …… 446
5.1 常规的模糊解法 …… 446
5.2 多目标模糊优化设计 …… 446
6 应用实例 …… 448
**第 11 章 全性能优化设计** …… 456
1 建模方法 …… 456
1.1 建模策略 …… 456
1.2 产品建模 …… 456
1.3 求解过程规划 …… 457
2 并行寻优方法 …… 459
2.1 任务分配 …… 459
2.2 模型特征识别 …… 459
2.3 协同寻优方法 …… 459
3 后置处理 …… 461
3.1 系统隐函数的灵敏度分析 …… 461
3.2 学科直接输出和泰勒展开 …… 462
4 应用实例 …… 462
**参考文献** …… 465

## 第 7 篇 稳 健 设 计

**第 1 章 稳健设计的概念** …… 469
1 基本术语 …… 469
2 产品质量的稳健性 …… 469
2.1 质量特性值 …… 469
2.2 产品质量的稳健性与稳健性产品 …… 470
3 质量特性的分类及评价指标 …… 471
3.1 分类 …… 471
3.2 评价指标 …… 472
4 产品质量设计模型 …… 473
4.1 产品的功能因素 …… 473
4.2 模型的基本要素 …… 474
4.3 稳健性特征量 …… 474
4.4 稳健设计 …… 475
**第 2 章 因子试验与分析** …… 477
1 试验设计的作用与种类 …… 477
1.1 试验设计的作用 …… 477
1.2 试验设计的种类 …… 477
1.3 试验设计的一般程序 …… 478
2 因子设计与正交表 …… 478
2.1 $2^k$ 和 $3^k$ 因子设计 …… 478
2.2 正交表 …… 479
3 试验数据的分析基础 …… 484
3.1 无交互作用的方差分析 …… 485
3.2 有交互作用的方差分析 …… 491
**第 3 章 损失模型法** …… 492
1 信噪比设计 …… 492
1.1 静态特性信噪比的计算 …… 492
1.2 动态特性信噪比的计算 …… 493
2 正交试验设计 …… 494
2.1 试验步骤与安排方法 …… 494
2.2 正交试验结果的直观分析和

方差分析 …… 495
3 Taguchi 稳健设计 …… 496
3.1 一般的设计步骤 …… 496
3.2 实例 …… 497
3.3 动态特性的参数设计 …… 500
4 约束多目标的 Taguchi 稳健设计 …… 503
4.1 基本思想和步骤 …… 503
4.2 矛盾目标的处理方法 …… 504
**第 4 章 响应面模型法** …… 507
1 响应面模型的回归和分析 …… 507
1.1 一阶响应面模型的回归 …… 507
1.2 二阶响应面模型的回归 …… 507
1.3 正交多项式回归 …… 508
1.4 二阶响应面模型分析 …… 511
2 响应面的试验设计 …… 512
2.1 编码变换和设计矩阵 …… 512
2.2 因子设计 …… 513
2.3 响应面模型的基本性质 …… 514
3 响应面法在稳健设计中的应用 …… 515
3.1 最速上升法 …… 515
3.2 稳健优化设计准则 …… 515
3.3 响应面法的一般程序 …… 516
3.4 应用实例 …… 516
**第 5 章 容差模型法** …… 520
1 容差分析 …… 520
1.1 容差带 …… 520
1.2 容差的计算 …… 520
1.3 方差的计算 …… 521
1.4 因子设计求积法 …… 521
2 容差模型 …… 522
2.1 稳健设计准则 …… 522
2.2 可行稳健性 …… 522
2.3 稳健设计模型 …… 523
3 容差模型稳健设计的二步解法 …… 523
3.1 基本步骤 …… 523
3.2 应用实例 …… 523
4 容差模型稳健设计的优化法 …… 525
**第 6 章 随机模型法** …… 526
1 基本要素 …… 526
1.1 可控因素的随机性 …… 526
1.2 不可控因素的随机性 …… 526
1.3 设计函数的随机性及约束 …… 526
2 稳健设计的随机模型 …… 526
2.1 产品质量设计准则 …… 526
2.2 稳健优化设计建模 …… 527
3 随机模型的计算 …… 527
3.1 计算方法 …… 527
3.2 优化算法 …… 527
3.3 应用实例 …… 528
4 成本-质量模型的混合稳健设计 …… 531
4.1 产品成本分析与估算 …… 531
4.2 混合稳健设计方法 …… 532
4.3 应用实例 …… 533
**参考文献** …… 534

## 第 8 篇 并 行 设 计

**第 1 章 概述** …… 539
1 目的和意义 …… 539
2 并行设计的关键技术 …… 539
2.1 并行设计的建模与仿真 …… 539
2.2 多功能团队的协同工作 …… 543
2.3 集成化产品模型 …… 545
2.4 产品数据管理及其与各种 CAX 工具的集成 …… 548
2.5 面向应用领域的设计评价技术 (DFX 技术) …… 551
**第 2 章 并行化产品设计过程的建模** …… 555
1 复杂系统的分析和建模方法 …… 555
1.1 欧共体提出的 CIM-OSA 建模方法 …… 555
1.2 美国军方提出的 IDEF 建模方法 …… 555
1.3 美国 OMG 组织提出的面向对象的 UML 建模方法 …… 556
1.4 德国提出的 ARIS 建模方法 …… 567
1.5 中国提出的 PPORF/P－PROCE 建模方法 …… 568
1.6 BANN 提出的动态企业建模方法 …… 575
2 过程建模和运行控制工具 …… 576
2.1 FileNet 的 Visual Workflo

系统 …… 576
2.2 Eastman Software Inc 的 Open /Workflow 系统 …… 577
2.3 JetForm 的 Intempo 系统 …… 578
2.4 Staffware Ltd 的 Staffware 2000 系统 …… 578
2.5 KBSI 的 Prosim (IDEF3) 系统 …… 578
2.6 Action Technology, Inc 的 Metro 系统 …… 579
**第 3 章 多功能团队的协同工作** …… 581
1 团队组织 …… 581
2 团队协同工作模式 …… 582
3 分布协同工作中的关键技术 …… 582
3.1 分布对象计算技术概念 …… 582
3.2 CORBA 技术 …… 582
3.3 微软的方案 (OLE、ODBC and DLL) …… 584
3.4 WEB 技术 …… 587
3.5 CSCW …… 587
3.6 面向并行工程的集成框架系统 (CEIF) …… 590
**第 4 章 集成化产品模型** …… 594
1 集成化产品数据交换标准(STEP) …… 594
1.1 STEP 的集成策略 …… 596
1.2 STEP 标准的描述方法 …… 596
2 支持产品级数据交换的零部件库标准 (Part Library (PLIB)) …… 596
2.1 ISO 13584 概要 …… 597
2.2 零件库参考模型 …… 598
2.3 零件库信息 …… 600
2.4 ISO 13584 和 STEP 标准的互操作性 …… 601
2.5 ISO 13584 的实施步骤 …… 602
2.6 ISO 13584 应用举例 …… 603
**第 5 章 面向应用领域的设计评价技术 (DFX 技术)** …… 610
1 DFX 概念与原则 …… 610
1.1 面向 Life-cycle 的 DFX 技术 …… 610
1.2 面向制造的设计概念与基本原则 …… 610
1.3 面向装配的设计概念与基本原则 …… 612
1.4 面向成本的设计概念与基本方法 …… 616
1.5 面向环保的设计概念与基本原则 …… 617
2 DFX 系统结构与工具 …… 620
2.1 DFX 应用的途径 …… 620
2.2 DFX 系统的体系结构 …… 620
2.3 DFX 工具与 CAD 工具的集成 … 621
2.4 实现新一代 DFX 工具的有关技术 …… 622
**参考文献** …… 625

## 第 9 篇 智 能 设 计

**第 1 章 智能设计系统的基本构成** … 629
1 CAD 与智能设计 …… 629
1.1 机械设计的流程与特点 …… 629
1.2 CAD 中的智能行为 …… 630
1.3 人工智能与智能设计 …… 634
1.4 智能设计系统的基本功能构成 … 635
**第 2 章 知识表达方式及其实现** …… 637
1 知识的产生式规则表达 …… 637
1.1 产生式规则的表达形式 …… 637
1.2 产生式规则的存储结构 …… 638
2 知识的谓词逻辑表达 …… 641
2.1 一阶谓词逻辑的基本概念 …… 641
2.2 知识的一阶谓词逻辑表达 …… 642
2.3 基于一阶谓词逻辑的推理 …… 642
3 知识的语义网络表达 …… 643
3.1 语义网络的基本表达形式 …… 643
3.2 语义网络的特点 …… 644
4 知识的框架表达 …… 644
4.1 框架的逻辑结构 …… 644
4.2 框架系统的构成及框架描述语言 …… 645
4.3 框架系统的存储结构及计算机实现 …… 646
4.4 框架表示的特点 …… 647
5 面向对象的知识表达 …… 647
5.1 面向对象的方法学 …… 648

5.2 面向对象的知识表达方法 …… 649
5.3 OOKR 的特点 …… 655
**第 3 章 基于知识的推理** …… 656
1 推理方法与控制策略概述 …… 656
1.1 推理机的基本要求 …… 656
1.2 推理方法与控制策略 …… 656
1.3 推理方法 …… 656
1.4 推理中的搜索策略 …… 657
1.5 推理费用与控制费用的关系 …… 660
2 推理控制策略 …… 661
2.1 正向推理 …… 661
2.2 反向推理 …… 667
2.3 混合推理 …… 670
2.4 不精确推理 …… 671
**第 4 章 其他知识处理技术** …… 676
1 基于神经网络的知识处理技术 …… 676
1.1 概述 …… 676
1.2 人工神经网络基本原理 …… 677
1.3 知识处理的神经网络方法 …… 678
1.4 神经网络知识库的构造 …… 678
1.5 神经网络产生式系统 …… 679
1.6 神经网络产生式系统的构造 …… 681
2 基于实例的推理 …… 682
2.1 概述 …… 682
2.2 基于实例推理的基本思想 …… 682
2.3 设计实例的表达与组织 …… 683
2.4 设计实例的检索 …… 684
2.5 基于实例推理简例 …… 684
3 基于遗传算法的知识处理技术 …… 685
3.1 遗传算法的工作原理 …… 685
3.2 染色体复制、交叉和实变的方法 …… 686
3.3 实例分析 …… 686
**第 5 章 智能设计系统的建造** …… 692
1 智能设计系统的建造方法 …… 692
1.1 智能设计系统的复杂性分析 …… 692
1.2 智能设计系统建造过程 …… 693
2 面向对象的智能设计系统开发工具 OODEST …… 698
2.1 系统结构 …… 698
2.2 设计对象模型及对象管理器设计 …… 700
2.3 面向对象的知识系统 …… 705
2.4 应用举例 …… 716

## 第 10 篇 机电一体化设计

**第 1 章 概论** …… 727
1 机电一体化的基本原理 …… 727
1.1 功能和结构 …… 727
1.2 分类 …… 728
2 机电一体化的关键技术 …… 728
2.1 传感器与自动检测技术 …… 729
2.2 信息处理技术 …… 729
2.3 微机自动控制技术 …… 729
2.4 伺服驱动技术 …… 729
3 机电一体化系统的设计开发原则 …… 729
3.1 设计要求 …… 729
3.2 设计类型 …… 730
3.3 设计开发原则 …… 730
4 机电一体化系统设计的评价和工程路线 …… 731
4.1 系统设计的评价 …… 731
4.2 工程路线 …… 731
**第 2 章 传感器与自动检测技术** …… 735
1 位移传感器 …… 736
1.1 位移传感器的主要性能 …… 736
1.2 电阻式位移传感器 …… 738
1.3 电感式位移传感器 …… 739
1.4 电容式位移传感器 …… 741
1.5 编码式位移传感器 …… 743
1.6 感应同步器式位移传感器 …… 744
2 角度、角位移传感器 …… 746
2.1 角度、角位移传感器主要性能 …… 746
2.2 电容式角位移传感器 …… 747
2.3 感应同步式角位移传感器 …… 747
2.4 光栅式角位移传感器 …… 748
2.5 编码盘式角位移传感器 …… 749
3 速度传感器 …… 750
3.1 速度传感器的主要性能 …… 750
3.2 磁电式速度传感器 …… 752
3.3 光电式速度传感器 …… 755

4 压力传感器 …… 756
4.1 压磁传感器 …… 756
4.2 压电传感器 …… 757
5 其他传感器 …… 758
5.1 行程开关/接近开关 …… 758
5.2 温度传感器 …… 758
6 仪表与选用 …… 759
6.1 显示仪表 …… 759
6.2 显示仪表的选用 …… 763
6.3 调节仪表与选用 …… 763
**第3章 微机控制** …… 764
1 常用控制算法 …… 764
1.1 直接数字控制算法 …… 764
1.2 数字程序控制算法 …… 768
2 微机接口技术 …… 770
2.1 D/A、A/D转换器及接口 …… 770
2.2 并行接口 …… 775
2.3 串行数据通信接口 …… 777
3 可编程序控制器（PLC） …… 781
3.1 基本结构 …… 782
3.2 工作原理 …… 783
3.3 SIMATIC S7 系列可编程序控制器 …… 783
3.4 日本 OMRON 公司 C 系列可编程序控制器 …… 794
3.5 美国 A-B 公司 SLC-500 系列可编程序控制器 …… 795
3.6 可编程序控制器应用系统设计 …… 801
4 工业控制机 …… 803
4.1 工业控制机的特点和类型 …… 803
4.2 PC-Based 模块化工业控制机 …… 804
5 单片机 …… 806
5.1 单片机的内部结构 …… 806
5.2 MCS-51 单片机引脚功能 …… 809
5.3 8089 单片机的组成与性能特点 …… 812
5.4 单片机总线及接口 …… 814
5.5 应用举例 …… 820
**第4章 控制电机及系统** …… 823
1 步进电动机 …… 823
1.1 工作原理 …… 823
1.2 分类与型号命名 …… 824
1.3 基本结构与特点 …… 824
1.4 主要参数及性能指标 …… 825
1.5 步进电动机产品及技术数据 …… 826
2 交流伺服电动机 …… 830
2.1 分类及产品名称代号 …… 830
2.2 结构与特点 …… 831
2.3 工作原理 …… 831
2.4 性能与运行特点 …… 832
2.5 运行特征 …… 833
2.6 交流伺服电动机的选择 …… 834
2.7 交流伺服电动机 …… 835
2.8 三菱交流伺服电动机及放大器 …… 839
**第5章 机电一体化系统典型设计** …… 846
1 PLC 控制钻扩铰组合机床 …… 846
1.1 机床结构 …… 846
1.2 机床液压系统与传统电控系统 …… 847
1.3 PLC 控制系统 …… 850
2 PLC 控制行李自动输送机 …… 854
2.1 构成 …… 855
2.2 控制要求 …… 855
2.3 PLC 控制系统 …… 855
3 单片机控制全自动洗衣机 …… 857
3.1 全自动洗衣机单片机控制系统逻辑结构 …… 857
3.2 全自动洗衣机的模糊推理 …… 859
3.3 洗衣机物理量检测 …… 860
3.4 控制软件 …… 861
4 打印机 …… 861
4.1 LQ-1600K 打印机的系统构成和功能 …… 861
4.2 工作原理 …… 862
4.3 控制软件 …… 865
5 多用途数控五轴联动激光加工机 …… 866
5.1 系统构成 …… 866
5.2 系统工作原理 …… 866
5.3 系统设计 …… 867
5.4 五轴联动计算机数控（CNC）系统 …… 868

5.5 激光切割加工焦点位置的检测系统设计 …… 868
5.6 三维激光加工示教录返装置的设计 …… 871

## 第 11 篇 计算机辅助设计

**第 1 章 CAD 基础** …… 877
1 基本概念 …… 877
2 CAD 中的信息处理 …… 878
2.1 数据结构 …… 878
2.2 设计资料处理 …… 878
3 图形几何变换 …… 879
3.1 坐标系 …… 879
3.2 二维变换 …… 879
3.3 三维变换 …… 880
4 参数化技术 …… 881
5 流行 CAD 软件 …… 882
5.1 AutoCAD2000 …… 882
5.2 Unigraphics …… 882
5.3 Pro/Engineer …… 882
5.4 CADDS 5 …… 883
5.5 SolidWorks …… 883
5.6 开目 CAD …… 884
6 CAD 二次开发 …… 884
**第 2 章 图形与工程信息交换标准** …… 885
1 DXF 标准 …… 885
1.1 DXF 的总体结构 …… 885
1.2 DXF 的实体段结构 …… 885
2 IGES 标准 …… 886
2.1 概述 …… 886
2.2 IGES 文件的数据记录格式 …… 887
3 STEP 标准 …… 888
3.1 描述语言 …… 889
3.2 中性文件实现方式 …… 889
4 信息交换标准的应用 …… 889
**第 3 章 几何造型** …… 893
1 曲线 …… 893
2 参数曲面 …… 894
2.1 参数曲面的定义 …… 894
2.2 Bezier 曲面 …… 894
2.3 线性 Coons 曲面和张量积曲面 …… 894
2.4 B 样条曲面 …… 895
2.5 非均匀有理 B 样条 (NURBS) 曲面 …… 895
2.6 扫描面 …… 896
3 造型方法 …… 898
4 真实感图形绘制技术 …… 898
4.1 光照模型 …… 899
4.2 纹理映射 …… 900
4.3 粒子系统 …… 901
4.4 物理的建模和衣物的模拟 …… 901
4.5 图形的实时绘制 …… 902
**第 4 章 特征造型** …… 903
1 特征概念与分类 …… 903
1.1 特征的概念 …… 903
1.2 特征的分类 …… 903
1.3 特征联系 …… 904
1.4 特征的表达模式 …… 904
2 特征造型技术 …… 905
2.1 特征集与特征空间 …… 905
2.2 特征造型和特征造型系统 …… 905
2.3 特征造型方法综述 …… 905
3 基于特征的产品设计系统环境 …… 906
3.1 特征库的建立 …… 906
3.2 用户界面的设计 …… 907
4 特征造型实例 …… 907
4.1 回转类零件的特征造型 …… 907
4.2 箱体类零件的特征造型 …… 910
4.3 支架类零件的特征造型 …… 911
**第 5 章 产品概念设计** …… 913
1 产品概念设计 …… 913
2 定性形状建模 …… 913
2.1 定性空间关系 …… 913
2.2 定性立体操作 …… 914
2.3 定性立体实例 …… 915
3 几何推理 …… 916
3.1 ASVP 法的一般原理 …… 916
3.2 ASVP 几何推理法的关键点 …… 917
3.3 ASVP 几何推理法的特点 …… 917
3.4 ASVP 几何推理实例 …… 917

4 计算机辅助概念设计的实现方法 …… 917
4.1 面向概念设计特点的 CACD 系统 …… 918
4.2 面向应用领域的专家系统 …… 918
4.3 运用特征管理的 CAD 系统 …… 918
**第 6 章 模块化设计** …… 919
1 模块化设计的概念 …… 919
1.1 模块 …… 919
1.2 模块化设计 …… 920
2 模块的信息分析与特征分类 …… 920
2.1 模块的信息分析 …… 920
2.2 模块特征分类 …… 921
3 产品的模块划分 …… 923
3.1 模块划分的基本原则 …… 923
3.2 模块的分级 …… 923
4 模块的创建与再设计 …… 923
4.1 模块创建过程 …… 923
4.2 设计的知识模型 …… 924
4.3 模块创建支持系统 …… 924
4.4 模块设计的一般步骤 …… 925
5 模块化设计实例 …… 926
5.1 减速器模块化设计 …… 926
5.2 塑料门窗挤出模具模块化设计 …… 929
**第 7 章 几何尺寸与公差分析** …… 931
1 产品的几何尺寸与工程信息 …… 931
1.1 产品的工程信息 …… 931
1.2 产品的几何尺寸/公差 …… 931
2 公差模型与分析 …… 931
2.1 公差模型 …… 931
2.2 公差综合 …… 932
3 CAD 中的尺寸与公差表达 …… 933
3.1 尺寸公差的表达 …… 934
3.2 形状公差的表达 …… 934
3.3 位置公差的表达 …… 935
3.4 尺寸/尺寸链的表达 …… 935
3.5 尺寸/公差链的自动生成 …… 936
**第 8 章 产品的表面设计** …… 939
1 表面工程 …… 939
2 色彩设计 …… 940
2.1 色彩的描述模型 …… 940
2.2 色彩的工程特性 …… 940
2.3 色彩的设计策略 …… 941
3 纹理技术 …… 942
3.1 纹理概念 …… 942
3.2 数字纹理生成 …… 943
4 图案设计 …… 946
4.1 图案的基本要素 …… 946
4.2 综合图案设计 …… 946
5 产品表面设计 …… 946
5.1 基于性能的产品表面设计 …… 947
5.2 基于美学装饰的产品表面设计 …… 948
5.3 表面性能动态仿真 …… 950
**第 9 章 面向对象设计** …… 951
1 面向对象、对象及类 …… 951
2 机械零件设计类库及 CAD 图形软件开发 …… 953
2.1 机械零件设计类库结构 …… 953
2.2 CAD 图形软件开发 …… 954
3 设计自动化 …… 954
4 面向 Agent 的分析与建模 …… 955
4.1 什么是 Agent …… 955
4.2 面向 Agent 的分析与建模 …… 956
5 面向对象应用的新进展 …… 957
5.1 自治对象 …… 957
5.2 网上对象(Object on Web) …… 957
5.3 W3 Objects …… 957
5.4 面向对象操作系统 …… 957
5.5 CORBA 标准 …… 958
5.6 DCOM 标准 …… 958
6 应用实例 …… 958
6.1 建立一个图形基本类 …… 958
6.2 通过继承建立直线类 …… 959
6.3 建立图形参数类 …… 959
**第 10 章 机械仿真设计** …… 961
1 仿真技术 …… 961
1.1 系统、模型、仿真 …… 961
1.2 仿真的分类 …… 961
1.3 仿真的基本步骤 …… 961
1.4 仿真的关键技术 …… 962
2 曲柄连杆机构 CAD 仿真 …… 964
2.1 机构 CAD 仿真的基本要求 …… 964
2.2 四连杆机构中的数据处理 …… 964
2.3 机构 CAD 仿真的实现 …… 965
3 齿轮加工仿真系统 …… 967

3.1 范成法加工齿轮的仿真系统功能 …… 967
3.2 用范成法加工齿轮的工艺特点 …… 967
3.3 齿条刀具分度线的运动轨迹 …… 967
3.4 用范成法加工齿轮仿真系统流程图 …… 967
3.5 齿廓的包络生成 …… 968
3.6 齿轮加工仿真系统软件界面 …… 968
4 集装箱装卸桥计算机辅助设计与仿真系统 …… 968
4.1 差动式小车原理仿真 …… 968
4.2 原型快速生成及虚拟浏览 …… 969
4.3 虚拟布局 …… 969
4.4 工作过程仿真 …… 969
5 机械加工仿真实例 …… 970
5.1 系统功能 …… 970
5.2 加工工艺处理的可视化 …… 970
5.3 数控加工指令生成 …… 973
5.4 数控加工模拟 …… 973
**第 11 章 产品数据管理** …… 975
1 PDM 的概述 …… 975
1.1 PDM 的定义 …… 975
1.2 PDM 的体系结构 …… 975
1.3 PDM 的类型 …… 976
1.4 PDM 的功能 …… 978
1.5 PDM 技术在企业中的发展需求 …… 978
1.6 PDM 的应用范畴和实现目标 …… 980
1.7 PDM 的发展趋势 …… 980
2 PDM 的管理功能 …… 981
2.1 文档管理功能 …… 981
2.2 版本管理 …… 983
2.3 产品配置管理 …… 986
2.4 工作流程管理 …… 987
3 PDM 系统的集成及其实施 …… 988
3.1 PDM 系统的集成 …… 988
3.2 PDM 系统的实施 …… 991
4 系统的建立和维护 …… 995
**参考文献** …… 996