

MUJU MOKUAIHUA JI CHUANGXIN SHEJI

# 模具模块化 及创新设计

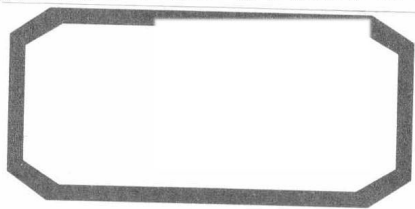
王昌 吕亮国 汪建新 编著



化学工业出版社



MUJU MOKUAIHUA JI CHUANGXIN SHEJI



# 模具模块化 及创新设计

王 昌 吕亮国 汪建新 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是在总结多年科研和教学实践的基础上编写的,系统介绍了模具模块化设计的技术原理和方法,重点介绍了典型模具如注塑模具和汽车覆盖件冲压模具的模块化及创新设计,力求反映现阶段模具模块化及创新设计的发展成果,使之有益于培养读者的创造性思维,提高对模具装备制造业的创新能力。

本书内容主要包括模块化及创新设计方法、模具广义模块化设计原理和方法(基于模块的模具产品族派生原理、基于产品平台的模具广义模块化设计原理、产品平台构建方法研究)、模具模块化设计技术(模具产品工艺流程、功能分解、模块划分技术)、基于产品平台的注塑模具广义模块结构及其定制技术(模具广义模块设计、模具广义模块参数化几何建模、基于产品平台的注塑模具产品定制技术、模块接口设计)、基于 CBR 技术的注塑模具模块划分(CBR 技术用于注塑模具模块划分的可行性分析、基于 CBR 模具范例检索自动匹配算法、基于 CBR 技术的注塑模具模块划分方法、基于 CBR 技术的注塑模具模块划分实体模型、基于 CBR 技术的注塑模具模块划分实例)、注塑模具柔性模块化编码技术(注塑成型原理与制造工艺、注塑模具模块化原理及功能模块创建、模块的编码、注塑模具模块化设计举例)、面向广义模块化设计的模具产品数据建模(基于产品平台的模具产品族信息构成、基于 UML 的模具产品数据模型创建)、TRIZ 智能支持若干方法研究及在注塑模具设计中的应用实例、基于 TRIZ 的汽车覆盖件模具模块化设计应用实例等。

本书可作为机械设计、模具的设计和研究的专业技术人员的参考书,也可供高等工科院校机械类专业(机械设计制造及其自动化、材料成型及控制工程、工业设计、模具设计等)本科生或硕士生的基本参考读物,也可作为对机械工程与模具模块化及创新设计知识内容有兴趣的读者的自学和参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

模具模块化及创新设计/王昌,吕亮国,汪建新编著.—北京:化学工业出版社,2019.2

ISBN 978-7-122-33444-2

I. ①模… II. ①王…②吕…③汪… III. ①模具-模块化-设计 IV. ①TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 273928 号

---

责任编辑:张兴辉

文字编辑:陈喆

责任校对:刘颖

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:高教社(天津)印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张18 $\frac{3}{4}$  字数424千字 2019年8月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888

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: 98.00 元

版权所有 违者必究

本书是为了响应国家的“中国制造 2025”战略之科技创新需求，在总结我们多年的研究生科研教学实践的基础上编写的，系统介绍了模具模块化设计的技术原理和方法，重点介绍了典型模具（如注塑模具和汽车覆盖件冲压模具）的模块化及创新设计，力求反映现阶段模具模块化及创新设计的发展成果，使之有益于培养读者的创造性思维，提高对模具装备制造业的创新能力。

本书有以下特点：

（1）充分考虑近几年典型模具模块化及创新设计的发展成果，使之有益于培养读者的创造性思维，提高他们对模具装备制造业的创新能力。

（2）在知识体系上力求首先给读者一个模块化设计和创新设计方法的总概念，然后再分述，有利于提高学习效果及掌握知识的系统性，且留有足够的内容供因缺少学时而又有学习兴趣的学生和读者选学参考。

（3）全书内容以模具模块化设计技术为重点，针对模具的某个功能模块如注塑模具浇注系统模块和温度调节系统模块等，应用 TRIZ 理论进行了某些功能结构方面的创新设计阐述。

（4）全书力求贯彻创新可持续发展的观点，运用系统工程理论方法进行内容的编排，有利于提高读者分析问题和解决问题的能力。

本书由内蒙古科技大学王昌、吕亮国、汪建新编写。其中，第 1 章和第 2 章由汪建新编写；第 3 章至第 6 章由吕亮国编写；第 7 章至第 9 章由王昌编写。

本书由 TRIZ 理论实践专家汪建新教授主审。在编写过程中得到大连理工大学模具研究所的赵丹阳教授、天津大学的黄银国与宫虎教授、江苏科技大学的张浩与刘川教授等兄弟院校有关专家教授和相关同志的热情鼓励、支持和帮助，研究生魏闯、王久旺、胡修鑫、多超参与部分内容的编辑整理

工作，在此对各位专家、老师、同志以及所有相关参考文献资料的作者表示深深的敬意和感谢。同时，本书得到了内蒙古自然科学基金项目（批准号2018LH05028）的资助。

由于编者的水平与经验所限，书中难免存在不足之处，殷切希望广大读者提出宝贵意见，以便我们在今后的再版中不断改进和完善。

编著者



- 1.1 模块化设计的概念、意义 / 1
  - 1.1.1 模块化设计概念、形成及发展 / 1
  - 1.1.2 模块化设计的技术、经济意义 / 2
- 1.2 模块化设计的研究与应用综述 / 4
  - 1.2.1 模块化设计的研究内容及其研究现状 / 5
  - 1.2.2 模块化设计技术的应用 / 9
  - 1.2.3 模块化设计的发展趋势 / 10
- 1.3 主要的创新设计方法 / 11
- 1.4 发明问题解决理论 (TRIZ) / 12
  - 1.4.1 TRIZ 的定义及发展 / 12
  - 1.4.2 TRIZ 的主要方法、工具与发展方向 / 15
  - 1.4.3 应用 TRIZ 解决问题的体系结构 / 18
  - 1.4.4 发明问题解决算法 (ARIZ) / 21
  - 1.4.5 技术冲突及解决原理 / 23
  - 1.4.6 物理冲突及其解决原理 / 34
  - 1.4.7 物-场分析及 76 种标准解 / 37
  
- 2.1 基于模块的模具产品族派生原理 / 59
  - 2.1.1 基于刚性模块的产品族派生 / 59
  - 2.1.2 基于广义模块的产品族派生 / 60
- 2.2 基于产品平台的模具广义模块化设计原理 / 60
  - 2.2.1 模具产品平台相关定义 / 60
  - 2.2.2 模具模块化产品平台的特点 / 61
  - 2.2.3 基于产品平台的模具广义模块化设计过程 / 62
  - 2.2.4 基于模块矩阵的模具产品平台规划 / 68
  - 2.2.5 基于产品平台的模块化产品方案设计 / 70
- 2.3 产品平台构建方法研究 / 75
  
- 3.1 模具成型概述 / 84
  - 3.1.1 注塑模具 / 84
  - 3.1.2 压铸模具 / 91
  - 3.1.3 冲压模具 / 96
  - 3.1.4 模具技术发展趋势 / 100
- 3.2 模具产品工艺流程 / 102
- 3.3 模具产品功能分解 / 104

# 第 1 章

## 模块化及创新设计概述

1 —————

# 第 2 章

## 模具广义模块化设计原理和方法

59 —————

# 第 3 章

## 模具模块化设计技术

83 —————

## 第4章

### 基于产品平台的 注塑模具广义模 块结构及其定制 技术研究

110

- 3.3.1 功能分解的基本原理 / 104
- 3.3.2 模具产品功能模块划分 / 105
- 3.4 模具产品模块划分技术 / 106
  - 3.4.1 功能模块划分方法 / 106
  - 3.4.2 模具产品功能模块划分 / 108
  - 3.4.3 功能模块与结构模块 / 108

#### 4.1 模具模块结构设计的类型 / 110

#### 4.2 模具广义模块设计 / 111

- 4.2.1 模具广义模块 / 111
- 4.2.2 基于相似特征聚类的广义模块创建原理 / 114
- 4.2.3 模具广义模块创建 / 116

#### 4.3 模具广义模块参数化几何建模 / 118

- 4.3.1 参数化造型概述 / 118
- 4.3.2 模具广义模块参数化几何建模 / 118
- 4.3.3 模具模块有限元建模 / 120

#### 4.4 基于产品平台的注塑模具产品定制技术 / 120

- 4.4.1 基于广义模块的模块定制 / 120
- 4.4.2 基于产品平台的注塑模具产品定制 / 121

#### 4.5 模块接口设计 / 122

- 4.5.1 模块接口的概念与性质 / 122
- 4.5.2 模块接口的设计过程及其系列化、标准化 / 123
- 4.5.3 注塑模具模块接口的类型及其标准化 / 124
- 4.5.4 注塑模具模架类型及其标准化 / 125
- 4.5.5 注塑模具流道生成标准化 / 141

#### 5.1 CBR 技术用于注塑模具模块划分的可行性分析 / 153

#### 5.2 基于 CBR 模具范例检索自动匹配算法 / 155

- 5.2.1 注塑模具范例匹配属性设计 / 155
- 5.2.2 相似度算法 / 156
- 5.2.3 基于时间权重的范例匹配 / 157
- 5.2.4 特征权重的调整 / 157
- 5.2.5 检索过滤机制 / 157
- 5.2.6 注塑模具库案例结构信息数据获取 / 158

#### 5.3 基于 CBR 技术的注塑模具模块划分方法 / 158

#### 5.4 基于 CBR 技术的注塑模具模块划分实体模型 / 161

#### 5.5 基于 CBR 技术的注塑模具模块划分实例 / 167

## 第5章

### 基于CBR技术的 注塑模具模块划分

153

## 第 6 章

### 注塑模具柔性 模块化编码技 术研究

172

## 第 7 章

### 面向广义模块化 设计的模具产品 数据建模

186

## 第 8 章

### TRIZ 智能支持 若干方法研究及 在注塑模具设计 中的应用

197

### 6.1 注塑成型原理与制造工艺 / 172

6.1.1 注塑模具的 CAD 工艺 / 172

6.1.2 注塑模具的 CAE 工艺 / 175

6.1.3 注塑模具的 CAM 工艺 / 176

### 6.2 注塑模具模块化原理及功能模块创建 / 177

### 6.3 模块的编码 / 181

6.3.1 编码的基本原则 / 181

6.3.2 模块编码规则 / 181

6.3.3 注塑模具功能模块编码 / 182

### 6.4 注塑模具模块化设计举例 / 183

6.4.1 分析塑件 / 184

6.4.2 对模具各系统进行编码 / 184

### 7.1 产品建模技术研究概况 / 186

7.1.1 产品数据建模 / 186

7.1.2 面向对象的产品建模方法 / 187

### 7.2 基于产品平台的模具产品族信息构成 / 188

### 7.3 基于 UML 的模具产品数据模型创建 / 190

7.3.1 UML 标准建模语言 / 190

7.3.2 基于 UML 的模具产品数据模型 / 190

7.3.3 模具广义模块设计知识信息建模 / 191

### 8.1 方案设计智能决策支持系统 / 197

8.1.1 智能决策支持系统概述 / 197

8.1.2 方案设计智能决策支持系统的特点 / 198

8.1.3 方案设计 IDSS 中亟待解决的问题和发展方向 / 198

### 8.2 基于 TRIZ 的方案设计智能决策支持系统 / 199

8.2.1 TRIZ 智能决策支持系统的研究内容 / 199

8.2.2 TRIZ 智能决策支持系统设计的总体原则和要求 / 202

### 8.3 TRIZ 智能决策支持系统的问题求解 / 203

8.3.1 TRIZ 智能决策支持系统方案生成的规则推理方法 / 203

8.3.2 TRIZ 智能决策支持系统设计方案生成的实例推理方法 / 205

8.3.3 TRIZ 智能决策支持系统的方案评价 / 208

8.3.4 TRIZ 智能决策支持系统的方案决策 / 210

8.3.5 以三通管件注塑模具为实例的改进方案设计应用举例 / 215



# 第 9 章

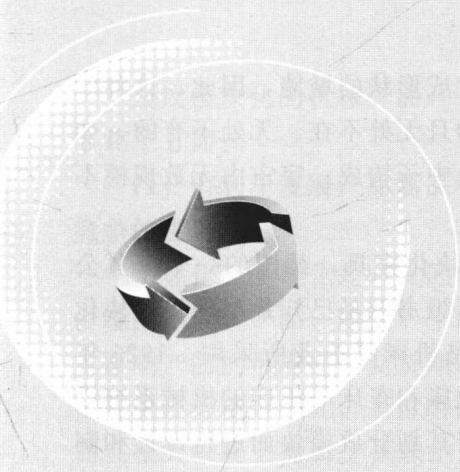
## 基于TRIZ的 汽车覆盖件模 具模块化设计

250

- 8.4 基于 TRIZ 物体分析的电器外壳注塑模具浇注系统  
创新设计举例 / 223
  - 8.4.1 电器外壳注塑模具浇注系统的特征要素 / 227
  - 8.4.2 电器外壳注塑模具浇注系统物-场模型的建立 / 227
  - 8.4.3 电器外壳注塑模具浇注系统物-场模型的变换 / 229
  - 8.4.4 电器外壳注塑模具浇注系统的创新方案 / 230
  - 8.4.5 电器外壳注塑模具浇注系统创新方案的模拟对比 / 231
- 8.5 基于可拓学-TRIZ 矛盾系统的注塑模具温度调节  
系统创新方案设计 / 234
  - 8.5.1 TRIZ 矛盾矩阵和 OTSM-TRIZ 矛盾系统的缺陷 / 235
  - 8.5.2 可拓学-TRIZ 矛盾系统的模型 / 237
  - 8.5.3 电器外壳注塑模具温度调节系统  
的矛盾解决思路 / 240
  - 8.5.4 基于转换桥方法的手机外壳注塑模具温度调节系统  
的矛盾解决 / 241
  - 8.5.5 基于资源应用方法的电器外壳注塑模具温度调节  
系统的矛盾解决 / 243
  - 8.5.6 电器外壳注塑模具温度调节系统创新设计方案 / 245
  - 8.5.7 电器外壳注塑模具温度调节系统创新设计方案的  
验证 / 248
- 9.1 汽车覆盖件模具设计技术 / 252
- 9.2 汽车覆盖件模具结构设计规则 / 253
- 9.3 汽车覆盖件模具零件设计规则 / 256
- 9.4 汽车覆盖件模具零件装配设计原则 / 258
- 9.5 汽车覆盖件模具模块化设计结构框架设计 / 259
  - 9.5.1 模块化结构设计知识表示 / 259
  - 9.5.2 汽车覆盖件模具模块化设计结构框架 / 260
- 9.6 汽车覆盖件模块结构参数化设计 / 261
  - 9.6.1 模块参数化建模设计的原理 / 261
  - 9.6.2 参数化建模设计的方法 / 262
  - 9.6.3 参数化模型的建立 / 264
  - 9.6.4 模具模块事例库的知识结构 / 266
- 9.7 汽车覆盖件模具模块化方法 / 266
  - 9.7.1 汽车覆盖件拉伸模的典型结构 / 267
  - 9.7.2 汽车覆盖件模具的模块化 / 267
- 9.8 汽车覆盖件模具模块化设计 / 269
  - 9.8.1 汽车覆盖件模块化设计单元开发环境 / 269

- 9.8.2 汽车覆盖件模块化设计单元的开发 / 271
- 9.8.3 汽车覆盖件模具三维实体模型管理功能 / 274
- 9.8.4 覆盖件模具各部件的自动化、智能化设计功能 / 275
- 9.8.5 覆盖件模具模块化设计单元的辅助功能 / 276
- 9.8.6 模块化设计单元工作流程 / 276
- 9.9 汽车覆盖件模具设计实例应用 / 277**
  - 9.9.1 某型号微型车翼子板拉延模具 / 277
  - 9.9.2 某型号汽车前隔板冲压件拉延模具设计 / 281

## 参考文献



# 第 1 章

## 模块化及创新设计概述

### 1.1 模块化设计的概念、意义

#### 1.1.1 模块化设计概念、形成及发展

模块化设计方法在很多国家已经被广泛采用，我国不少企业也进行了有效的尝试并取得了良好的成果。但到目前为止还没有为大家所公认的权威性的模块化设计的定义。人们对传统的模块化设计概念有一个基本的认识是：对一定范围内不同功能或相同功能不同性能、不同规格的产品在功能分析的基础上，划分并设计出一系列功能和结构模块，使这些模块系列化和通用化，并具有标准的模块接口；通过模块的选择、组合构成不同产品，以满足市场的不同需求的设计方法。

实施模块化设计的重要前提是“三化”：

① 产品系列化。产品品种系列化的目的在于用有限的品种和规格的产品来最大限度且较经济合理地满足市场对该类产品的需求。

② 模块的通用化。通用化是在新产品设计中，通过借用原有产品的成熟零部件来缩短设计周期、降低成本、提高产品的质量可靠性，在模块化设计中，同一种功能的单元不是一种单一的部件，而是若干可互换的模块，从而使所组成的产品在结构上和性能上更为协调。在模块化设计中，同一功能的模块可在基型、变型甚至跨系列、跨类的产品中使用，所以它具有在较大范围内通用化的特征。

③ 模块的标准化。标准化是更大范围内的通用化，可以是跨品种、跨厂家甚至是跨行业的通用化。这种高度的通用化，使得这种标准件可以由工厂的单独部门或专门的工厂去单独进行专业化制造，从而降低成本、节省材料。在模块化设计中，为了经济地适应多品种小批量的生产模式，尽量将功能单元设计成较小型的标准模块，并使其和与其相关的模块之间的连接形式及结构要素一致，或使其标准化，以便于装配和互换。

目前，注塑模具的模架部分就有专门模具工厂在生产，它已经逐步走向通用化和标准化。

模块化和模块化设计是现代设计中的一个热门术语，它的思想和概念自古就有，如 300



年前的欧洲城砖通过长、宽和高的不同组合可以构成各种尺寸或形状的城墙，因此，这种城砖就是一种构成城墙的基本模块。模块性在物质世界是客观的且无处不在、无处不有的，如分子由原子构成，原子由原子核及电子构成，原子核由质子及中子构成；宇宙由无数规模不同的星系构成；国家由省、市、县、乡镇及行政村构成等等。

产品的模块化设计始于20世纪初，首先在欧洲出现了模块化家具，德国的一个家具公司于1900年用模块化原理设计出所谓的“理想书架”，这种理想书架是已知最早的按模块化原理设计的产品之一。此后，这种原理逐渐为其他行业特别是机床制造业所采用。1920年左右，欧洲特别是德国的一些厂家首先把模块化原理应用于铣床和车床等机床的机械系统设计中，如德国的弗里公此尔纳公司设计的铣床，就是按功能将其划分成模块而进行设计和制造的，这些模块可供用户选择以便组合成所需的铣床。

20世纪50年代，欧美一些国家正式提出所谓“模块化设计”的概念，自此以后，模块化设计愈来愈受到重视。机械制造行业所使用的组合夹具是使用较早也较成熟的模块化系统，用已有的夹具模块可组成所需的夹具，而不必单独设计与制造，用后再拆开，以便另行组合。瑞士肖布林(SCHAUBLUN)公司在不断积累设计和制造经验的基础上，在20世纪50年代就已对仪表机床进行了模块化设计，从而使其产品具有精度高、功能多及互换性好等优点，具有很强的竞争能力。

由于在机床行业中的广泛应用和成功经验，模块化设计愈来愈多地扩展到其他行业，如电器、电子、计算机、家电及家具等，成为产品设计的一种趋势。

## 1.1.2 模块化设计的技术、经济意义

模块化设计的目的是提高产品设计效率，缩短产品开发周期，降低生产成本，并使设计经验能够得以传承，以利于进一步提高设计和生产水平，使企业在市场竞争中获得主动权。它强调以功能分析为基础，以市场预测为导向，把功能不同或者功能相同而性能不同的模块进行组合和互换，产生多元化的产品以满足客户个性化定制的需求。要保证模块化组合产品的柔性和多样性，就必须提高模块的通用性和互换性，达到使用尽可能少的模块组合出尽可能多的变型产品的目的。而采用系列化、标准化的模块接口是提高这一目标的重要途径。

模块就是系统中结构独立、彼此之间存在定义好的标准接口，且具有一些功能的零件、组件或部件。按照模块实现具体功能的特点，可分为基本模块（实现必不可少的功能的模块）、辅助模块（把各种基本模块连接起来使系统可以正常工作的模块）及可选模块（根据客户或功能的需要而特别增加的模块），各个模块包含能够行使相同功能不同性能的若干实例。模块化系列产品即是由一组特定的模块，在一定范围内组成多种不同功能或相同功能不同性能的产品。

模块化设计方法不同于传统设计方法，主要表现在：

- ① 模块化设计面向整个产品系列，而传统设计针对某一专项任务；
- ② 模块化设计是标准化设计，而传统设计是专用性的特定设计；
- ③ 模块化设计程序是由上而下，而传统设计程序是由下而上；
- ④ 模块化设计是组合化设计，而传统设计是整体化设计；
- ⑤ 模块化设计需要系统的新理论支撑，而传统设计主要依靠经验；
- ⑥ 模块化设计的产物既可是产品也可是模块，而传统设计的产物就是产品。



发展模块化的机械产品，在技术上和经济上都具有明显的优越性，其意义主要体现在如下几个方面：

### **(1) 有利于发展产品新品种和引进新技术，增加企业对市场的快速应变能力，取得市场竞争的主动权**

个性化、多样化是时代的趋势，产品向多品种小批量发展已成为市场竞争的重要环节。传统的整体式产品，改变一个局部环节，常导致整体结构的全面变动，不仅设计周期长，而且影响产品的可靠性、交货期和价格。模块化设计使其从传统的以零组件为基本单元过渡到由模块作为基本单元。当过时的产品被淘汰之后，其大部分模块单元还可以被继续使用，从而在很大程度上提高了模块的可重用性。模块化产品是组合式结构，以模块作为其构成单元。形成新品种的发展方式为：

- ① 现有通用模块的不同组合；
- ② 产品中某个（或几个）模块改型；
- ③ 增加具有新功能或新性能的模块；
- ④ 改变与产品外观有关模块的外观结构或附加装饰要素。

由这些品种发展方式可看出，各种新产品均以通用模块为基础，以客户订单需求为核心，只需改变少量模块及组合关系就可形成具有新功能的模块化新品种，因而可大大加快新产品开发进度，增强企业对市场变化的快速响应能力。

在动态多变的市场中，企业必须要不断推出新产品才能满足客户多元化和个性化的需求，产品的模块化使新产品的开发变成了模块的开发。模块化结构有利于在产品中及时引入新技术，以新技术来改造相应模块或设计出性能更加优越的模块，取代那些在技术上或结构上已陈旧的模块，在不变更其他模块的基础上，变成先进的新产品，使产品不断保持先进性，取得市场竞争的主导权。

### **(2) 缩短产品的设计和制造周期，从而显著缩短供货周期，有利于争取客户**

缩短产品的设计周期体现在两个方面：一是在模块化设计中，因为已有一个现成的模块体系，产品设计的主要任务是选用模块，进行组装设计，只有当现有模块的组合不能满足新产品需要时，才需对某些模块进行改型或设计一些新模块，尽可能利用已有的模块库，因此可极大地减少设计工作量；二是模块化设计有利于由若干人平行地开展协同设计，在总设计师的规划之下，各模块可由不同的设计师同时进行设计，从而缩短设计周期。

在满足客户个性化需求的同时，模块化设计技术有效地统一、简化和规范了零组件的类型和规格，达到了降低零组件多元化和增加产品多元化的目的。模块化生产企业以模块作为生产单元，按照模块来组织生产和管理，这有利于组织专业化生产和社会化协作。许多模块交由专业厂生产，在专业厂中，模块成为系列化的商品，有确定的工艺流程和工艺装备，生产效率高，制造周期短。不同的模块交给不同的专业厂平行作业生产，这样就大大缩短了产品的交货周期。可以适当储存一些制造周期长、技术难度高的模块以缩短生产准备时间和供货周期，如德国 Schiess 公司，其机床产品采用模块化设计后，从订货到供货一般只需 4 个月时间。企业通过应用模块化设计技术还可控制生产过程中的复杂性，避免设计和制造的冗余工作量，降低产品的成本。

### **(3) 有利于提高产品质量和可靠性**

模块是一种精心设计的技术比较先进、结构比较合理的相对独立的单元，对其重复组合使用便于总结经验、优化设计、提高质量。其在用作通用模块之前，一般均经过试用和考

核, 经过反复修改和优化, 并做过各种测试和试验, 是集体智慧的结晶。因而模块的质量和可靠性一般比较高。虽然产品的质量不是各模块质量的简单总和, 但优质的模块部件无疑是优质产品的基础。从可靠性角度出发, 由于整机可靠性是各单元可靠性的乘积, 因而可以认为, 模块化结构大大提高了整机的可靠性。对传统设计方法而言, 可靠性需要进行总体性能考核和稳定性测试; 而应用模块化设计方法, 产品采用的定型模块, 其可靠性已经得到全面验证, 一般只需验证改进或新型模块的可靠性。

#### (4) 便于实现标准化和通用化

传统设计的标准化概念是建立在零件级基础之上, 而模块化设计的标准化则是根据不同产品建立在模块级上, 是一种趋向于宏观的标准化。它具有两个特点: 一是面向功能的, 而不是具体的几何形状、结构或制造过程的标准化; 二是注重模块之间接口的标准化, 从而把标准化管理部分地从烦琐的细节中解脱出来。采用模块化设计可以有效地提高系列化产品的标准化、通用化程度, 因而能使模块化生产企业在小批量多品种的大规模定制过程中获得最佳的经济效益。

#### (5) 具备良好的可维修性

由于模块化产品是由功能相对独立的模块组成的, 模块的互换性很强, 便于拆卸、维修和搬运。在产品使用出现问题的时候可以很容易地找到有故障的模块, 从而显著减少故障诊断的时间。维修可以以模块为单位进行, 不受工具、测试设备、操作空间等限制, 大大改善维修条件, 简化维修工作, 加快维修进度, 提高维修质量, 并且降低对维修人员经验和技术水平要求。如果损坏的模块一时无法修复, 还可及时更换新的备用模块, 不致造成整体的失效, 以免影响正常使用。

#### (6) 具有良好的效费比

在价值工程中, 价值 ( $V$ )、功能 ( $F$ )、成本 ( $C$ ) 三者的关系, 可用一个简单公式表达:  $V=F/C$ 。所谓价值工程就是一个通过系统效果 (功能) 和使用经费 (成本) 的结果分析, 对系统价值进行评价的过程。模块化的价值是显而易见的。对同一功能的产品, 由于模块化设计可缩短设计制造周期、简化管理, 从而降低成本; 对于同一种新产品, 由于模块化可提高产品的质量、可靠性和可维修性, 延长产品的寿命周期, 即大大提高产品的使用性 (功能), 从而提高产品的价值。

#### (7) 有利于减少设计人员低水平的重复劳动, 推动科技进步和实现科技成果产业化

采用模块化设计, 产品以已有定型的模块组合为主, 设计师的主要精力可放在模块创新上。所以, 模块化设计对设计师来说是某种意义上的解放, 从而可将更多的聪明才智应用于创造性设计。

模块化还是科技成果转化为生产力的最佳途径。把科技成果按模块化原则进行改造, 使其转化为一种具有通用接口的独立单元 (模块), 可以为多个领域中的各种产品直接运用。

## 1.2 模块化设计的研究与应用综述

模块化设计不仅是一种先进的设计方法, 同时, 它也是其他一些面向生产、制造等先进设计技术的基础使能技术。

例如大规模定制, 所谓大规模定制是指企业采用技术和管理手段实现对每个顾客的个性化定制, 而时间和成本同大批量生产产品相一致的一种生产模式, 其面临的最大挑战是提高

速度和降低成本。而诸多文献都指出：大规模定制要通过扩大产品中标准零件、模块以及容易定制零件的比例来提高速度，并降低成本。

因此，对于机械产品而言，采用模块化设计，可以大批量生产的成本实现产品的多品种、小批量、个性化生产。此外，快速设计、虚拟设计等都是以模块化设计为基础和前提的。

随着模块化设计应用需求的增加和应用范围的不断扩展，人们主要在模块规划、划分及组合、计算机辅助模块化设计及广义模块化设计等方面进行了研究，并提出了许多观点、理论和方法。

## 1.2.1 模块化设计的研究内容及其研究现状

### (1) 基于功能分析的模块划分和组合

模块划分是模块化设计的前提与基础，模块划分的结果直接影响模块化设计系统的功能、性能和成本，一般的模块划分都是从产品的功能分析入手。

如 Ulrich 认为模块划分与设计中的两个特点紧密相关：

- ① 设计中功能域与物理结构域之间的对应程度影响模块划分的程度；
- ② 产品物理结构间相互影响程度的最小化。

这两点从设计学角度指出了影响模块划分的基本因素，首先是在系统分析规划时，采用适当的方法对设计过程中各个部分，尤其是产品的功能域、结构域以及二者之间映射关系的合理分析，是模块化设计技术的关键影响因素；其次，要保证模块的功能、结构的相对独立性，即将模块之间相互影响的因素尽量减小。

Pahl 和 Beitz 认为模块划分首先是完成从功能需求域到模块功能域的映射，然后在考虑模块属性（如尺寸、重量等）的基础上完成从模块功能域到模块结构域的映射，即模块的划分。

这三种域的映射关系如图 1-1 所示，将模块功能域的功能分为基本功能 BF、附加功能 AF、适应性功能 AdF、专用功能 CF、用户定制功能 SF 五类，相应地将模块结构定义为基本模块 BM、附加模块 AM、适应性模块 AdM、专用模块 CM、用户定制模块 SM。

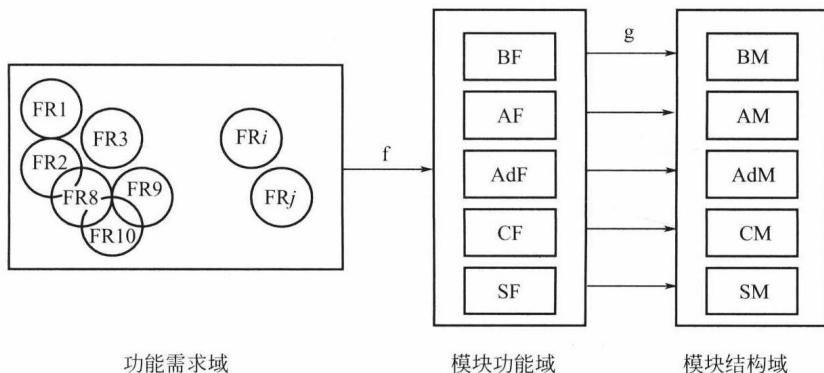


图 1-1 三个设计领域的映射图

Suh 从功能-设计参数映射的角度定义模块化设计：模块化设计是一种分析结果的产生，这种结果以产品、过程和系统的形式表现，并满足预定的需求，其方法是选择适当的设计参数（DPs）完成从功能需求域（FRs space）到设计参数域（DPs space）的映射，即 $[FR]=$



[A][DP], [A] 是设计矩阵。

Erixon G. 则是研究了面向产品全生命周期的模块划分：首先确定产品全生命周期中模块化的影响因素，建立模块识别矩阵（MIM），在该矩阵中，确定各功能载体对各因素的影响程度，据此对各功能载体进行聚类，从而实现产品的功能模块的划分。

Pimmler T. U. 和 Kusiak A. 等人研究了基于相关程度分析的模块划分方法：通过分析组成产品的各零部件（功能）在材料、能量、信息、空间等各方面的相互作用程度，确定模块的划分。

Kusiak 提出通过交互影响矩阵来完成模块划分任务，通过分析产品零件间某种交互作用的频率来确定模块的划分。这类方法着重研究影响模块划分的客观技术方面的因素。

Chun-Che Huang 和 Andrew Kusiak 开发了一种针对机械、电子及机电一体化产品进行模块划分的方法。该方法按照产品中模块之间的关系不同，把模块化分为共享模块化、交换模块化和总线模块化三种类型，并对这三种类型模块化的模块划分方法进行了分析，首先用矩阵的方法表达了不同的产品模块化问题，在此基础上用分解的方法对各产品进行模块划分。

Kusiak 等人研究了一种综合考虑产品成本和性能两项指标的模块划分方法。Gu 等提出了一种面向产品生命周期的多目标（易于回收性、可升级性、可复用性、重构性等）的模块划分方法。

模块化产品的多样化是通过模块组合来实现的。因此，模块组合是产品模块化设计研究的重要内容。

苏联学者证明在模块组合时，对所有可能组合的每个方案进行简单枚举是不可行的。他们使用有向图来表示机床的布局结构，用图的顶点表示模块，顶点之间的连接边表示模块之间的装配关系；把机床划分为动力部分和安装部分，分别用两个子图表示，通过对子图上始点与终点间路径的分析来确定可能的组合。

陈敏贤等提出了基于模块编码的计算机辅助模块组合方法。

He、David W. 研究了模块化产品的装配设计问题，也即模块化产品的组合，针对模块化产品的特点，提出了系统组合的方法。

O'Grady 研究了分布协同的网络设计环境下模块的组合方法，通过一个面向对象的模块化产品设计环境，可以将不同地区、不同模块制造商提供的模块快速组合成满足用户需求的模块化产品。

模块组合的依据是模块的接口，接口的设计与规划对模块化的实施有直接的影响。

P. Gu 和 M. Slevinsky 等人对产品族中产品平台及与其连接的其他专用模块之间的接口问题进行了研究。受到计算机总线技术的启发，其研究中提出了机械总线的概念，即机械产品的产品平台和专用模块之间的专用接口，如图 1-2 所示，并说明了机械总线的设计过程，开发了相应的软件执行这一过程。此外，还指出了进行结构设计时机械总线应该具备的关键特征。

当模块化产品及模块都设计完成之后，为了使各个模块不发生混乱，需要对设计完成的模块按功能、品种、规格以及层次等特性进行分类编码，同时对这些编好码的模块要建立适当的管理系统。

Y. Ito 和 Y. Saito 研究了机床模块化设计的编码，他们把机床的基型设计、结构内部的力流、成组技术等因素作为机床编码的依据。



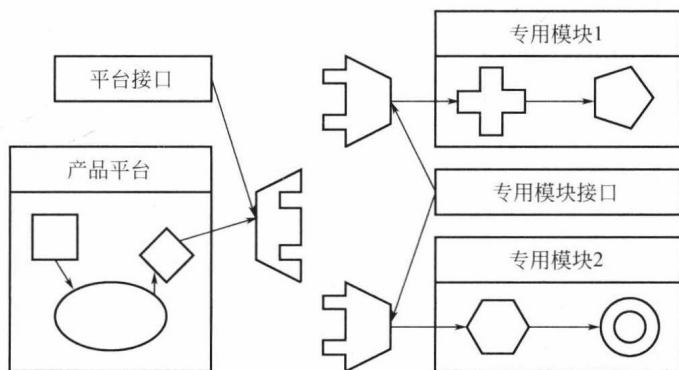


图 1-2 产品族中机械总线示意图

赵阳研究了模块的广义编码系统，利用成组技术进行分类编码，通过模块的设计编码进行模块的信息描述，实现计算机辅助模块化设计中各环节的信息传递。

### (2) 模块化设计技术的应用

随着计算机技术的发展，越来越多的人开始研究计算机辅助下的模块化设计。

姜慧提出了计算机辅助模块化设计的一般过程，并对辅助设计系统中相关问题进行了研究，开发了计算机辅助机床模块化设计原型系统。

P. Gu 和 M. Slevinsky 研究了面向产品族的计算机辅助接口设计，即机械总线设计的系统模型，如图 1-3 所示。在产品建模的过程中为了有效地组织产品模型中的各种设计信息可以建立一些独立的数据库，包括产品类、部件类、实体类和属性类，并设计统一的数据结构用于产品、部件及实体之间的通信。由于产品平台和机械总线设计中都涉及要在多个产品中寻找共用部分的问题，所以可使用一定的算法进行计算，计算结果为产品平台、拓展模块及机械总线提供设计依据。最后用专用的 CAD 软件完成机械总线的详细设计。

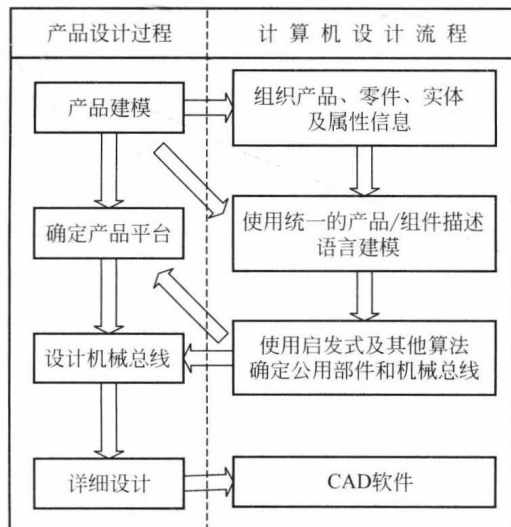


图 1-3 计算机辅助机械总线设计系统模型

Shan 应用面向对象技术提出了一个分布式模块化设计信息框架，已应用在企业中进行模块化产品成组的规划和变量配置工作；顾新建等从满足 MC 生产需求的角度出发，对包括模块化制造系统在内的几种制造系统进行了比较，并对模块化制造系统的特点、设计方法和在中国的应用前景进行了分析；徐燕申等开发了基于实例推理的数控加工中心模块概念设计系统，提出了按照模块实例类型和实例参数来描述模块实例的方法，论述了数控加工中心机床模块实例的分级描述、编码方案和评价方法。

### (3) 广义模块化设计

为了解决一般以单件、小批量方式设计、制造的大型机械产品，如液压机、水力发电机、汽车覆盖件模具等的模块化设计问题，徐燕申的课题组在分析产品特点、研究其设计过