

# 机械创新设计 理论与方法

邹慧君 颜鸿森 著

Theory and Method of Mechanical Innovative Design



高等教育出版社



# 机械创新设计理论与方法

## Theory and Method of Mechanical Innovative Design

邹慧君 颜鸿森 著



高等教育出版社

内容简介

机械创新设计的目的是设计出工作机理独特有效、结构新颖巧妙的机械产品。机械创新设计的关键是方案设计，它决定了产品的质量、性能、功效和性价比等。

为了系统地阐述机械创新设计理论与方法，本书共设 14 章，除第 0 章绪论外，其余 13 章分为三篇。第一篇创新设计基础，包括创新思维和创新原理、创新技法；第二篇机构创新设计，包括机构的拓扑结构、机构的表示和特征、闭链机构的创新设计、开链机构的创新设计、变链机构的创新设计；第三篇机械系统创新设计，包括机械产品的市场需求和工作机理、机械创新设计过程模型和功能求解模型、工艺动作过程构思和分解、机械运动系统方案的计算机辅助设计、机电一体化系统方案设计基本原理、机械运动方案的评价体系和评价方法。

本书适合从事机械系统和机电系统设计与研究的科研人员、教学工作人员、研究生等参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械创新设计理论与方法/邹慧君，颜鸿森著. —北京：  
高等教育出版社，2008. 12  
ISBN 978 - 7 - 04 - 023719 - 1

I. 机… II. ①邹…②颜… III. 机械设计 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 150793 号

|      |     |      |     |      |     |
|------|-----|------|-----|------|-----|
| 策划编辑 | 刘占伟 | 责任编辑 | 刘占伟 | 封面设计 | 刘晓翔 |
| 责任绘图 | 尹莉  | 版式设计 | 范晓红 | 责任校对 | 杨凤玲 |
| 责任印制 | 尤静  |      |     |      |     |

|      |                 |      |                                                                       |
|------|-----------------|------|-----------------------------------------------------------------------|
| 出版发行 | 高等教育出版社         | 购书热线 | 010 - 58581118                                                        |
| 社 址  | 北京市西城区德外大街 4 号  | 免费咨询 | 800 - 810 - 0598                                                      |
| 邮政编码 | 100120          | 网 址  | <a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>             |
| 总 机  | 010 - 58581000  |      | <a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>             |
| 经 销  | 蓝色畅想图书发行有限公司    | 网上订购 | <a href="http://www.landracom.com">http://www.landracom.com</a>       |
| 印 刷  | 北京铭成印刷有限公司      |      | <a href="http://www.landracom.com.cn">http://www.landracom.com.cn</a> |
|      |                 | 畅想教育 | <a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>             |
| 开 本  | 787 × 1092 1/16 | 版 次  | 2008 年 12 月第 1 版                                                      |
| 印 张  | 21              | 印 次  | 2008 年 12 月第 1 次印刷                                                    |
| 字 数  | 390 000         | 定 价  | 48.00 元                                                               |

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 23719 - 00

# 前言

21 世纪是世界全面进入知识经济的时代,人们更强烈地意识到一个国家的创新能力是决定其在国际竞争和世界总格局中地位的重要因素。

创新是一个民族进步的灵魂,是国家兴旺发达的不竭动力。当前,机械产品的国际竞争愈演愈烈,要使我国机械产品在世界市场中占有一席之地,特别是中高端市场,关键是增强我国机械产品的创新设计能力,迅速摆脱照搬照抄的传统设计模式,从而使我国制造业不但做大而且做强。

机械创新设计已经引起国内外机械工程界的普遍重视,机械创新设计的理论、方法、技术和应用已经被国内外从事机械设计的科技人员广泛研究。总的来说,机械创新设计的目的就是设计出独特有效的产品工作机理、新颖巧妙的产品结构,从而使新型机械产品具有较高的附加值和实用性。机械创新设计的内涵是比较广泛的,大致可分为机械产品方案创新、机械产品构形创新和机械产品工业设计创新等三个方面,它们大体对应于三项专利,即发明专利、实用新型专利和外观设计专利。

机械产品方案创新是机械产品设计中决定产品的质量、性能、功效、性价比等指标的关键,因此机械产品方案设计(又称为机械产品的概念设计)是机械创新设计中最关键的内容。作为一本阐述机械创新设计原理与方法的著作,其内容重点应放在机械产品的方案创新设计上。

机械产品不同于其他产品,它具有传递性、变换运动性、机械能的互换性等机械特征,因此应牢牢把握机械产品特征来研究机械创新设计的理论和方法。根据作者多年来对机械创新设计的研究,认为机械产品创新设计的过程应具有显著的创新性和可操作性,具体表现在:

- (1) 根据市场需求确定机械产品的功能;
- (2) 按机械产品的功能寻求产品工作机理;
- (3) 根据产品工作机理构思产品工艺动作过程;
- (4) 将产品工艺动作过程分解为若干可行的执行动作;
- (5) 选择或创新设计执行机构实现分解后的各种执行动作;
- (6) 将所得的执行机构按工艺动作过程程序进行关联组合,从而设计出机构

系统。

从上述六个步骤来看,第1步至第4步是机械产品运动方案设计的基础和前提,为创新思维的发挥和展示提供了舞台,对机械产品的创新设计具有很大的影响。由第5步和第6步则可以看出,进行机械创新设计必须着重做好机构创新设计和机构系统创新设计两方面的工作,这也是本书加强对机构创新设计和机构系统创新设计理论和方法阐述的原因。为了使机械产品设计体现更大的创造性,还必须掌握好创新思维、创新原理、创新技法等,因此本书还专门对这些创新基础知识加以阐述。

本书共14章,除第0章绪论以外,其余13章分成三篇。第一篇为创新设计基础,包括第1章创新思维和创新原理,第2章创新技法;第二篇为机构创新设计,包括第3章机构的拓扑结构,第4章机构的表示和特征,第5章闭链机构的创新设计,第6章开链机构的创新设计,第7章变链机构的创新设计;第三篇为机构系统创新设计,包括第8章机械产品的市场需求和工作机理,第9章机器创新设计过程模型和功能求解模型,第10章工艺动作过程构思和分解,第11章机械运动系统方案的计算机辅助设计,第12章机电一体化系统方案设计基本原理,第13章机械运动方案的评价体系和评价方法。

本书由上海交通大学邹慧君教授和台湾成功大学颜鸿森教授紧密合作完成。两人长期以来对机械创新设计理论和方法进行了潜心研究,颇有心得。因此本书对机械产品创新设计理念的阐释具有明显特色,希望广大读者喜欢。

本书第0章、第1章、第2章、第8章、第9章、第10章、第11章、第12章、第13章由邹慧君教授撰写,第3章、第4章、第5章、第6章、第7章由颜鸿森教授撰写。

由于作者水平有限,不当之处在所难免,敬请广大读者不吝指正。

邹慧君 颜鸿森

2007年6月7日

# 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第 0 章 绪论 .....           | 1  |
| 0.1 机械的基本概念 .....        | 1  |
| 0.2 机器的类型及其基本特征 .....    | 7  |
| 0.3 机械产品设计的一般程序和内容 ..... | 11 |
| 0.4 机械创新设计的内涵和方法 .....   | 13 |

## 第一篇 创新设计基础

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第 1 章 创新思维和创新原理 .....    | 23 |
| 1.1 概述 .....             | 23 |
| 1.2 创新思维方法 .....         | 25 |
| 1.3 创造性基本原理和思维活动方式 ..... | 30 |
| 1.4 创新法则 .....           | 31 |
| 第 2 章 创新技法 .....         | 35 |
| 2.1 创新技法的作用和分类 .....     | 35 |
| 2.2 智力激励法 .....          | 36 |
| 2.3 类比创新法 .....          | 40 |
| 2.4 列举创新法 .....          | 40 |
| 2.5 组合创新法 .....          | 42 |
| 2.6 移植创新法 .....          | 43 |
| 2.7 形态分析法 .....          | 44 |

## 第二篇 机构创新设计

|                     |    |
|---------------------|----|
| 第 3 章 机构的拓扑结构 ..... | 49 |
|---------------------|----|

|            |                   |            |
|------------|-------------------|------------|
| 3.1        | 机构的组成             | 49         |
| 3.2        | 自由度和约束运动          | 51         |
| 3.3        | 链、一般化链及运动链        | 55         |
| 3.4        | 机构的结构综合(类型综合、型综合) | 62         |
| <b>第4章</b> | <b>机构的表示和特征</b>   | <b>65</b>  |
| 4.1        | 矩阵表示              | 65         |
| 4.2        | 图画表示和特征           | 67         |
| 4.3        | 排列群               | 71         |
| 4.4        | 机构的一般化            | 75         |
| 4.5        | 机构的特殊化            | 78         |
| <b>第5章</b> | <b>闭链机构的创新设计</b>  | <b>83</b>  |
| 5.1        | 引言                | 83         |
| 5.2        | 设计方法              | 83         |
| 5.3        | 设计范例              | 88         |
| <b>第6章</b> | <b>开链机构的创新设计</b>  | <b>101</b> |
| 6.1        | 加工中心的自动换刀机构       | 101        |
| 6.2        | 设计方法              | 110        |
| 6.3        | 无换刀臂式加工中心机构的类型综合  | 112        |
| 6.4        | 具有换刀臂式加工中心机构的类型综合 | 122        |
| <b>第7章</b> | <b>变链机构的创新设计</b>  | <b>135</b> |
| 7.1        | 可变连接              | 135        |
| 7.2        | 拓扑结构表示            | 139        |
| 7.3        | 类型设计方法            | 144        |
| 7.4        | 设计范例              | 149        |

### 第三篇 机械系统创新设计

|            |                       |            |
|------------|-----------------------|------------|
| <b>第8章</b> | <b>机械产品的市场需求和工作机理</b> | <b>165</b> |
|------------|-----------------------|------------|

|               |                                                |            |
|---------------|------------------------------------------------|------------|
| 8.1           | 市场需求是产品开发的起点 .....                             | 165        |
| 8.2           | 基于需求的功能分析 .....                                | 171        |
| 8.3           | 功能细分和功能求解 .....                                | 176        |
| 8.4           | 机械产品的工作机理 .....                                | 181        |
| 8.5           | 机器工作机理的基本特征和分类 .....                           | 185        |
| 8.6           | 机器工作机理分析和求解方法 .....                            | 187        |
| 8.7           | 机器工作机理行为表述的应用 .....                            | 190        |
| 8.8           | 工作机理行为表述是机器功能原理求解的有效方法 .....                   | 191        |
| 8.9           | 结论 .....                                       | 192        |
| <b>第 9 章</b>  | <b>机器创新设计过程模型和功能求解模型 .....</b>                 | <b>193</b> |
| 9.1           | 机器的基本要素与系统特性 .....                             | 193        |
| 9.2           | 机器创新设计的构架和过程 .....                             | 194        |
| 9.3           | 设计方法学中常用的功能求解模型 .....                          | 198        |
| 9.4           | 功能—效应—工艺动作过程—执行动作—机构的求解模型<br>(F—E—P—A—M) ..... | 200        |
| 9.5           | 执行机构选型和机构知识建模 .....                            | 202        |
| <b>第 10 章</b> | <b>工艺动作过程构思和分解 .....</b>                       | <b>209</b> |
| 10.1          | 工艺动作过程的构思 .....                                | 209        |
| 10.2          | 工艺动作过程的分解 .....                                | 217        |
| 10.3          | 动作结构创新 .....                                   | 220        |
| 10.4          | 机械系统运动方案的运动协调设计 .....                          | 224        |
| <b>第 11 章</b> | <b>机械运动系统方案的计算机辅助设计 .....</b>                  | <b>233</b> |
| 11.1          | 引言 .....                                       | 233        |
| 11.2          | 基于 F—P—A—M 功能求解模型的机械运动系统方案计算机<br>辅助设计流程 .....  | 234        |
| 11.3          | 执行机构的信息模型 .....                                | 237        |
| 11.4          | 执行机构运动特性和机构知识库 .....                           | 239        |
| 11.5          | 机构自动化选型 .....                                  | 242        |
| 11.6          | 机构系统自动化组成理论及其实现 .....                          | 247        |

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 11.7 机械系统方案计算机辅助设计的展望·····             | 250 |
| <b>第 12 章 机电一体化系统方案设计基本原理</b> ·····    | 253 |
| 12.1 概述·····                           | 253 |
| 12.2 机电一体化系统应用和特点·····                 | 258 |
| 12.3 机电一体化系统方案设计过程模型及数学描述·····         | 260 |
| 12.4 广义执行机构子系统的类型和设计·····              | 263 |
| 12.5 检测传感子系统的类型和设计·····                | 271 |
| 12.6 信息处理及控制子系统的类型和设计·····             | 277 |
| 12.7 机电一体化系统设计举例·····                  | 285 |
| <b>第 13 章 机械运动方案设计的评价体系和评价方法</b> ····· | 289 |
| 13.1 评价指标体系的确定原则·····                  | 289 |
| 13.2 评价指标体系·····                       | 290 |
| 13.3 价值工程方法·····                       | 293 |
| 13.4 系统分析方法·····                       | 296 |
| 13.5 模糊综合评价法·····                      | 299 |
| 13.6 实例分析·····                         | 308 |
| <b>参考文献</b> ·····                      | 317 |

# Table of Contents

|                  |                                                              |    |
|------------------|--------------------------------------------------------------|----|
| <b>Chapter 0</b> | <b>Introduction</b>                                          | 1  |
| 0.1              | Basic Concepts of Machinery                                  | 1  |
| 0.2              | Types and Basic Features of Machines                         | 7  |
| 0.3              | General Procedure and Contents of Mechanical Products Design | 11 |
| 0.4              | Connotations and Methods of Creative Mechanical Design       | 13 |

## Part I Basis of Creative Design

|                  |                                                      |    |
|------------------|------------------------------------------------------|----|
| <b>Chapter 1</b> | <b>Creative Thinking and Innovation Principle</b>    | 23 |
| 1.1              | Overview                                             | 23 |
| 1.2              | Methods of Creative Thinking                         | 25 |
| 1.3              | Basic Principles and Thinking Activities of Creation | 30 |
| 1.4              | Creation Rules                                       | 31 |

|                  |                                             |    |
|------------------|---------------------------------------------|----|
| <b>Chapter 2</b> | <b>Creation Methods</b>                     | 35 |
| 2.1              | Role and Classification of Creation Methods | 35 |
| 2.2              | Brainstorming                               | 36 |
| 2.3              | Analogy Creation                            | 40 |
| 2.4              | Listing Creation                            | 40 |
| 2.5              | Combined Creation                           | 42 |
| 2.6              | Transplant Creation                         | 43 |
| 2.7              | Configuration Creation                      | 44 |

## Part II Creative Design of Mechanisms

|                  |                                            |    |
|------------------|--------------------------------------------|----|
| <b>Chapter 3</b> | <b>Topological Structure of Mechanisms</b> | 49 |
|------------------|--------------------------------------------|----|

|                                                                  |                                                                              |            |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.1                                                              | Formation of Mechanisms .....                                                | 49         |
| 3.2                                                              | Degrees of Freedom and Constrained Movements .....                           | 51         |
| 3.3                                                              | Chains, Generalized Chains and Kinematical Chains .....                      | 55         |
| 3.4                                                              | Structural Synthesis of Mechanisms .....                                     | 62         |
| <b>Chapter 4</b>                                                 | <b>Representations and Characteristics of Mechanisms .....</b>               | <b>65</b>  |
| 4.1                                                              | Matrix Representations .....                                                 | 65         |
| 4.2                                                              | Graph Representations and Characteristics .....                              | 67         |
| 4.3                                                              | Permutation Groups .....                                                     | 71         |
| 4.4                                                              | Generalization of Mechanisms .....                                           | 75         |
| 4.5                                                              | Specialization of Mechanisms .....                                           | 78         |
| <b>Chapter 5</b>                                                 | <b>Creative Design of Mechanisms with Closed Chains .....</b>                | <b>83</b>  |
| 5.1                                                              | Introduction .....                                                           | 83         |
| 5.2                                                              | The Design Methodology .....                                                 | 83         |
| 5.3                                                              | Design Examples .....                                                        | 88         |
| <b>Chapter 6</b>                                                 | <b>Creative Design of Mechanisms with Open Chains .....</b>                  | <b>101</b> |
| 6.1                                                              | Automatic Tool Changes of Machining Centers .....                            | 101        |
| 6.2                                                              | The Design Methodology .....                                                 | 110        |
| 6.3                                                              | Configuration Synthesis of Machining Centers without a Tool Change Arm ..... | 112        |
| 6.4                                                              | Configuration Synthesis of Machining Centers with a Tool Change Arm .....    | 122        |
| <b>Chapter 7</b>                                                 | <b>Creative Design of Mechanisms with Variable Chains .....</b>              | <b>135</b> |
| 7.1                                                              | Variable Joints .....                                                        | 135        |
| 7.2                                                              | Representations of Topological Structures .....                              | 139        |
| 7.3                                                              | The Design Methodology of Mechanical Type .....                              | 144        |
| 7.4                                                              | Design Examples .....                                                        | 149        |
| <br><b>Part III Creative Design of Mechanical System</b><br><br> |                                                                              |            |
| <b>Chapter 8</b>                                                 | <b>Market Demand and Working Principle of Mechanical Products ...</b>        | <b>165</b> |

|                                                                                    |                                                                                                                        |            |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 8.1                                                                                | Market Demands Initiating the Product Developments .....                                                               | 165        |
| 8.2                                                                                | Function Decomposition Based on Demands .....                                                                          | 171        |
| 8.3                                                                                | Function Subdivision and Solving .....                                                                                 | 176        |
| 8.4                                                                                | Working Principle of Mechanical Products .....                                                                         | 181        |
| 8.5                                                                                | Basic Characteristics and Classification of Machine Working Principles .....                                           | 185        |
| 8.6                                                                                | Analysis and Solving Methods of Machine Working Principles .....                                                       | 187        |
| 8.7                                                                                | Application of Behavior Expression of Machine Working Principles .....                                                 | 190        |
| 8.8                                                                                | Behavior Expression of Working Principles being the Effective Solving<br>Method for Machine Functional Principle ..... | 191        |
| 8.9                                                                                | Conclusion .....                                                                                                       | 192        |
| <br><b>Chapter 9 Process Model and Function Solving Mode of</b>                    |                                                                                                                        |            |
|                                                                                    | <b>Machine Creative Design .....</b>                                                                                   | <b>193</b> |
| 9.1                                                                                | Basic Elements and Systematic Characteristics of Machine .....                                                         | 193        |
| 9.2                                                                                | Framework and Process of Machine Creative Design .....                                                                 | 194        |
| 9.3                                                                                | Commonly Used Function Solving Mode in Design Methodology .....                                                        | 198        |
| 9.4                                                                                | Solving Model in the Form of Function—Effect—Technical Action<br>Process—Executive Action—Mechanism (F—E—P—A—M) .....  | 200        |
| 9.5                                                                                | Executive Mechanism Selection and Knowledge Modeling of Mechanisms .....                                               | 202        |
| <br><b>Chapter 10 Conceive and Decomposition of Technical Action Process .....</b> |                                                                                                                        |            |
|                                                                                    | <b>209</b>                                                                                                             |            |
| 10.1                                                                               | Conceive of Technical Action Process .....                                                                             | 209        |
| 10.2                                                                               | Decomposition of Technical Action Process .....                                                                        | 217        |
| 10.3                                                                               | Creation of Action Configuration .....                                                                                 | 220        |
| 10.4                                                                               | Movement Coordination Design of Mechanical System Movement Scheme .....                                                | 224        |
| <br><b>Chapter 11 Computer Aided Scheme Design of Mechanical</b>                   |                                                                                                                        |            |
|                                                                                    | <b>Movement System .....</b>                                                                                           | <b>233</b> |
| 11.1                                                                               | Overview .....                                                                                                         | 233        |
| 11.2                                                                               | Procedure of Computer Aided Mechanical Movement System Scheme<br>Design Based on F—P—A—M Function Solving Model .....  | 234        |
| 11.3                                                                               | Information Model of Executive Mechanism .....                                                                         | 237        |

|                   |                                                                                       |            |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 11.4              | Movement Characteristics of Executive Mechanism and Mechanism Knowledge Bases .....   | 239        |
| 11.5              | Automated Mechanism Selection .....                                                   | 242        |
| 11.6              | Automated Configuration Theory of Mechanical System and Its Realization .....         | 247        |
| 11.7              | Prospect on Computer Aided Mechanical System Scheme Design .....                      | 250        |
| <b>Chapter 12</b> | <b>Basic Principle of Mechatronic System Scheme Design .....</b>                      | <b>253</b> |
| 12.1              | Overview .....                                                                        | 253        |
| 12.2              | Application and Characteristics of Mechatronic System .....                           | 258        |
| 12.3              | Mathematic Representation and Process Model of Mechatronic System Scheme Design ..... | 260        |
| 12.4              | Types and Design of Subsystems in Generalized Executive Mechanism ...                 | 263        |
| 12.5              | Types and Design of Detection and Sensing Subsystem .....                             | 271        |
| 12.6              | Types and Design of Information Processing and Controlling Subsystem ...              | 277        |
| 12.7              | Examples of Mechatronic System Design .....                                           | 285        |
| <b>Chapter 13</b> | <b>Evaluation System and Method for Mechanical Movement Scheme Design .....</b>       | <b>289</b> |
| 13.1              | Principle of Evaluation Index System Determination .....                              | 289        |
| 13.2              | Evaluation Index System .....                                                         | 290        |
| 13.3              | Value Engineer Based Method .....                                                     | 293        |
| 13.4              | System Analysis Based Method .....                                                    | 296        |
| 13.5              | Fuzzy Comprehensive Evaluation .....                                                  | 299        |
| 13.6              | Examples .....                                                                        | 308        |
| <b>References</b> | <b>.....</b>                                                                          | <b>317</b> |

# 第 0 章 绪 论

## 0.1 机械的基本概念

### 0.1.1 机构、机器和机械

要研究机械创新设计，首先要真正理解机构、机器和机械的概念，掌握它们的内涵和基本特征。随着科学技术的发展，机构、机器和机械的概念也在发展，但它们的机械功能是不变的。

目前，机器种类繁多，遍及整个制造业，例如内燃机、蒸汽机、起重机、挖土机、纺织机、包装机、加工中心、电脑绣花机等。随着各个行业发展的需要，各种新颖形式的机器层出不穷，但无论是现有机器还是创新机器都具有机器的共同特征。机器实质上就是一种人工物体组成的具有确定机械运动的装置，用来完成一定的工作过程，以代替人类的劳动。现代化机器的组成比较复杂，通常由控制系统、信息测量和处理系统、动力系统及传动和执行机构系统等组成。现代化机器中的控制和信息处理是由计算机完成的。不管现代化机器如何先进，机械装置皆用于产生确定的机械运动，并通过机械运动来完成有用的工作过程。因此，实现机械运动的传递和执行的机构系统是机器设计的核心，机器中各个机构通过有序的运动和动力传递最终实现其设计功能。

那么什么是机构？从运动的角度来说，机器中的运动单元体称为机构。因此，机构是把一个或几个构件的运动变换成其他构件所需的具有确定运动的构件系统。从现代机器发展趋势来看，机构中的各构件可以都是刚性构件，也可以令某些构件是柔性构件、弹性构件、液体、气体或电磁体等。现代机器的产生和发展提出了广义机构的新概念，它将各种驱动元件与构件融合在一起。机构概念的提出有利于研究机器的组成，特别是作为机器核心的传动和执行机构系统的组成。研究机构的功用和特性将有利于进行机器的创新设计。

机械是机构和机器的总称。

此外，在实际生产过程中，还将多种机器组合起来，共同完成比较复杂的工作过程。这种机器系统称为生产线。

### 0.1.2 机械系统

从系统的概念来考虑问题，上述的构件系统、机构系统和机器系统均可称为机械系统，只是它们的组成要素各不相同。从完成单一的运动要求考虑，机构就是机械系统，它的组成要素是构件；从完成某一工艺动作过程的角度考虑，机器也是机械系统，它的组成要素是机构；从完成某一复杂的工艺动作和工作过程的角度考虑，生产线也是机械系统，它的组成要素是机器。如果从对某一机器进行加工制造的需要出发，可将其中的各个零件作为它的组成要素，因此零件组成的系统也可称为机械系统。由上述分析可见，机械系统是一个广义的概念，它的内涵要按分析研究的对象加以具体化。

广义的机械系统定义是：由各个机械基本要素组成的，能够完成所需的动作（或动作过程），实现机械能变化以及代替人类劳动的系统。机械系统的特点是必须完成动作传递和变化、机械能的利用，这是机械系统区别于其他系统的关键所在。

由于动作的实现方式和完成的具体功能的不同，机械系统的种类形形色色，例如液压系统、气动系统、物流输送系统、自动加工系统等均是机械系统。

机器的种类繁多，结构也愈来愈复杂，但从实现机器功能的角度来看，一般应该包括下列一些子系统：动力系统、传动－执行系统、操作系统及控制系统等。这些子系统分别实现各自的分功能，综合实现机器的总功能。从完成机器的工作过程需要来考虑，传动－执行系统是机器功能的核心。因此，一般情况下，机械系统研究的重点也是传动－执行系统。研究机械系统概念设计时将重点放在传递－执行机构系统上，其依据是显而易见的。

从系统设计的角度来看，把机械系统界定为机器是比较合理的，有利于开展机器的创新设计。目前，在许多文献上把机构也称为机械系统，从系统的观点来看这是正确的，但是对机构的结构、运动学和动力学的研究在机构学中已经有了深入和全面的阐述，是机构学的主要研究内容。因此如果把机构学的研究改称为机械系统的研究，反而易使人产生误解。本书将机器称为机械系统，有两方面的考虑：一是机器各部分作为组成要素可以按系统科学的方法来研究，有利于机器的创新并达到综合最优的目标；二是有利于将机器内部系统与外部环境系统综合在一起形成一个广义机械系统，使其成为人、机、环境的综合体，由此既能满足人机工程要求又

能适应环境变化。

### 0.1.3 人、机、环境的广义机械系统

任何一台机器要达到最有效能的运动均离不开人和环境所构成的外部条件。我们把机器本身称为内部系统，把人和环境称为外部系统。内部系统和外部系统组成了全系统，也可称为广义机械系统，如图0-1所示。

人与环境是机械系统存在的外部条件，人与环境对机械的效能起着一定的支配作用。机械系统的整体性是在内部系统与外部系统的相互联系中体现出来的。例如，一台精密加工机床的效能与操作者的生理、心理和技术水平有关，也与环境对机床的影响有关。

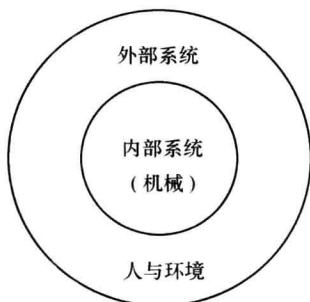


图0-1 广义机械系统

### 0.1.4 机械系统设计的重要性

机械系统是将机器看作具有特定功能的、相互间具有有机联系的组成部分所构成的一个整体。机械系统设计是从系统的观点来进行机器的设计，这将大大有利于机器设计的创新性、多样化和综合最优化。

机械系统设计的重要意义主要表现在如下几个方面：

#### 1. 设计的创新性

机械系统设计把实现机器功能和进行功能分解作为设计出发点。由于功能的抽象化和功能分解的多样化，将大大有利于机械设计的创新，而不拘泥于老套套。

将机器所要实现的功能加以抽象化，可以开阔设计者的思路，采用多种工作原理实现机器的功能，有利于机器的创新。

功能分解和功能结构的多样性，可使机器总功能的实现方案多种多样，设计者可以从中寻求适合某些要求的综合最优方案。

#### 2. 设计的全面性

机械系统设计需要考虑产品生命周期全过程各个阶段的要求，包括市场的显需求或隐需求；寻求设计方案的综合最优化；实现产品制造的经济性和先进性；满足用户要求和有利于维护保养；考虑回收利用等问题。机械系统设计中考虑的问题比较全面，从而可以大大提高设计水平和质量。

系统设计的全面性使所设计的产品更具市场竞争力，能满足人类可持续发展的需要。

### 3. 设计的系统性

机械系统设计强调了机器本身是由各部分组成的相互联系、相互作用的系统，各部分的要求离不开整体的需求，从而使机器的设计更具整体优良性能。一个系统中，部分的作用是通过总体来体现的，有了总体的概念，才能处理好各个部分的设计。

机械系统设计的系统性还表现在人、机、环境的广义系统的考虑方面，从而使机械系统更有利于发挥人-机的整体效率，使机器的效能得到充分的发挥。人-机系统把人看作系统的一个组成部分，同时按人的特性和能力来设计和改造系统。

环境可以作为人-机系统的干扰因素来理解，系统设计就是要排除环境的不利影响。

### 4. 设计的综合最优化

机械系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成的具有特定功能的有机整体。各部分的设计必须符合整体的需要，离开整体需要的部分设计是没有意义的。因此系统设计特别强调系统思想，追求目标系统综合最优化。

机械系统的各个组成部分不能离开整体来研究，各个组成部分的作用不能脱离整体的协调来考虑。在一个整体系统中，即使每个组成部分并不很完善，但通过一定方式加以协调、综合也可成为具有良好功能的系统；反之，即使各个组成部分都很好，若协调不好也可成为性能不佳的系统。

系统的综合最优化要求机械系统设计时追求整体最优、全局最优。为了达到这一目标，通常采用综合评价方法来寻求综合最优的机械系统方案。

#### 0.1.5 机械系统的能量流、物质流和信息流

机械系统与其他系统一样都存在着能量流、物质流和信息流的传递和交换。机械系统的能量流、物质流和信息流又有它们特殊的形态和变化规律。

##### 1. 能量流

能量流在机械系统中存在于能量变换和传递的整个过程，它是机械系统完成特定工作过程所需的能量形态变化和实现动作过程所需的动力。没有能量流也就不存在机械系统的工作过程。在机械系统中能量流又有其特定的变化规则，即机械系统中存在机械能转换成其他形态的能，或者其他形态的能转换成机械能的现象。机械能与其他形态能的互换是机械系统主要的能量流特征，没有这种转换也就不能成为机械系统。

能量的类型也是多种多样的，例如机械能、热能、电能、光能、化学能、太阳能、核能、生物能等。机械系统的动能和位能均属于机械能。