



临沂大学学术专著
LINYIDAXUE XUESHU ZHUANZHU

元功能链驱动的机电产品 矩阵式创新设计方法

康与云 著

YUANGONGNENGLIAN
QUDONGDEJIDIANCHANPIN
JUZHENSHICHUANGXIN
SHEJIFANGFA

山东人民出版社
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位



临沂大学学术专著

LINYIDAXUE XUESHU ZHUANZHU

元功能链驱动的机电产品 矩阵式创新设计方法

康与云 著

山东人民出版社

国家一级出版社 全国百佳图书出版单位

图书在版编目 (CIP) 数据

元功能链驱动的机电产品矩阵式创新设计方法 / 康与云著. — 济南: 山东人民出版社, 2015. 11
ISBN 978 - 7 - 209 - 09324 - 8

I. ①元… II. ①康… III. ①机电设备—产品设计
IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 280044 号

元功能链驱动的机电产品矩阵式创新设计方法
康与云 著

主管部门 山东出版传媒股份有限公司
出版发行 山东人民出版社
社 址 济南市胜利大街 39 号
邮 编 250001
电 话 总编室 (0531) 82098914
 市场部 (0531) 82098027
网 址 <http://www.sd-book.com.cn>
印 装 莱芜市华立印务有限公司
经 销 新华书店

规 格 16 开 (169mm × 239mm)
印 张 10.25
字 数 160 千字
版 次 2015 年 11 月第 1 版
印 次 2015 年 11 月第 1 次
ISBN 978 - 7 - 209 - 09324 - 8
定 价 30.00 元

如有质量问题, 请与出版社总编室调换。

前 言

概念设计是产品开发过程中最为重要的阶段,也是计算机辅助设计的薄弱环节。随着计算机及网络技术、协同概念设计技术及智能化概念设计技术等的发展与成熟,概念设计将朝着网络化、智能化、数字化的方向迈进。考虑到概念设计的重要性,作者在国家自然科学基金项目的支持下,研究了机电产品方案设计的程式化、智能化方法。书中以矩阵算式为工具,对机电产品的功能分析、功能模型的构建、功能链的分解、单功能链设计方案的求解、功能链设计方案的优化、功能链聚合的设计方案求解及辅助系统的开发诸多方面进行了研究,其目的在于:在概念设计阶段,对机电产品的设计方案自动化求解,为新产品的开发提供决策方案。

本书的学术特色主要包括以下几点:

(1)介绍了产品功能信息表达及元功能链的获取方法。功能信息表达是产品概念设计的基础。为分析产品功能,首先介绍了产品功能的定义、产品功能的分解方法、产品的底层功能——元功能以及元功能的表述语言——功能本体;又介绍了功能链的定义、结构类型、聚合方法、主功能链的定义及获取方法;然后介绍了功能链的矩阵式表达,给出了功能、元件等相关矩阵的定义;最后分析了豆浆机、吹吸机等几个案例的功能,给出了相关信息的表达矩阵。

(2)介绍了基于矩阵算式的单功能链设计方案的求解方法。矩阵可以清晰地表达功能、元件之间的各种关系,因此矩阵作为工具被用来表达、求解功能链的设计方案。首先介绍了功能模型分解为功能链的方法,然后介绍了功能—元件矩阵,功能关联矩阵、设计结构矩阵的构建方法及设计方案矩阵的求解方法,最后分析了某传动机构设计方案的求解过程。在方案求解的过程中,功能、元件间的各种关联、约束、冲突等信息都通过矩阵来表达、计算和

传递,最后设计方案矩阵中所蕴含的设计方案既能满足产品功能需求又能满足设计结构的要求。

(3)介绍了单功能链设计方案的优化方法。首先介绍了蚁群算法原理、相似性理论和广义距离的定义、相似度矩阵的构建方法;其次介绍了设计方案的评价模型和基于蚁群算法的设计方案优化模型,给出了评价参数、权重以及评价值的计算方法,定义了信息素矩阵和概率矩阵;然后,通过相似度矩阵和设计方案矩阵的计算获得包含相似度信息的设计方案矩阵,进而获得初始信息素矩阵和初始概率矩阵;最后,将产品设计方案的求解问题转化为蚁群算法中蚂蚁需找最优路径的问题,介绍了利用蚁群算法和设计方案矩阵获得最优化方案的方法。

(4)介绍了功能链聚合的设计方案求解方法。首先分析了两条功能链上元功能的输入流、输出流和元功能的相似性,给出了输入流相似矩阵、输出流相似矩阵、元功能相似矩阵及功能相似总矩阵的构建方法。然后介绍了元件关联矩阵的计算方法和元件的关联性分析方法,通过矩阵计算将功能的相似性映射为元件的关联性,通过分析元件关联性获得功能链的聚合方案。最后,通过求解剃须刀和吸尘器两个产品主功能链的聚合方案,详细地介绍了功能链聚合方案的求解过程。

(5)介绍了机电产品方案设计原型系统,并利用该系统获得了移栽平台传动机构和压力机三轴伺服传送系统的设计方案。首先在产品方案求解方法的基础上,开发了产品设计知识库和矩阵信息数据库;然后开发了机电产品方案设计原型系统,将研究的计算方法用软件实现,用以辅助产品设计方案的求解;最后利用研究的产品设计方案求解方法,在原型系统的辅助下获得了移栽平台传动机构和某大型压力机三轴伺服传送系统的设计方案。

希望本书的出版能对提升企业的产品设计创新能力有一定的参考价值,还希望对培养产品设计领域的本科生、研究生有所帮助。

由于作者学术水平有限,书中难免存在不足之处,恳请同行读者批评指正。

康与云
2015年5月

目 录

前 言	1
第一章 绪 论	1
1.1 引言	1
1.2 机电产品概念设计理论	4
1.2.1 机电产品的定义	4
1.2.2 方案设计、概念设计与创新设计的定义及关系	4
1.2.3 概念设计理论及研究现状	8
1.2.3.1 概念设计理论	8
1.2.3.2 国内外研究现状	9
1.2.4 概念设计中的关键问题	11
1.2.4.1 概念特征表示	11
1.2.4.2 设计过程表达	13
1.2.4.3 方案求解方法	14
1.2.4.4 方案评价	15
1.2.5 矩阵在概念设计中的应用	18
1.3 本书的目的及意义	19
1.4 本书的篇章结构	20
1.5 本章小结	22
第二章 功能分析与元功能链的矩阵式表达	23
2.1 引言	23

2.2	产品功能的定义	23
2.2.1	功能与总功能	23
2.2.2	产品功能定义的原则	24
2.2.3	产品功能定义的目的	26
2.2.4	产品功能的角色	27
2.3	产品功能分解	27
2.3.1	黑箱法	27
2.3.2	功能分解方法	28
2.3.3	元功能	29
2.4	元功能的表述语言——功能本体	30
2.4.1	本体论的基本概念	31
2.4.2	功能本体的定义	31
2.5	功能链	37
2.5.1	功能链的定义、结构类型及功能链聚合	37
2.5.2	功能模型的构建	38
2.5.3	主功能链的定义及获取方法	39
2.6	功能链的矩阵式表达	41
2.6.1	功能、元件等相关矩阵的定义	41
2.6.2	功能链的矩阵式表达	42
2.7	实例分析	43
2.7.1	豆浆机的功能分析及主功能链的矩阵式表达	43
2.7.2	搅拌机的功能分析及主功能链的矩阵式表达	46
2.7.3	手持式吹吸机的功能分析及主功能链的矩阵式表达	47
2.8	本章小结	49
第三章	单功能链设计方案的矩阵式求解方法	50
3.1	引言	50
3.2	功能模型分解为功能链	51
3.3	形态学矩阵法求解功能链的设计方案	52

3.4	元功能链设计方案的矩阵式求解方法	54
3.4.1	构建功能关联矩阵	54
3.4.2	构建功能—元件矩阵	55
3.4.3	求解满足功能需求的设计方案	55
3.4.4	构建设计结构矩阵	57
3.4.5	求解满足功能和结构要求的设计方案	57
3.5	实例分析	59
3.5.1	移载平台传动机构功能链的设计方案求解	59
3.5.2	传动机构设计方案的选择	63
3.6	本章小结	64
第四章	基于矩阵算式和蚁群算法的单功能链设计方案优化	65
4.1	引言	65
4.2	蚁群算法	65
4.2.1	蚁群算法原理	65
4.2.2	蚁群算法在组合优化问题上的应用	66
4.3	相似性理论及相似度矩阵	68
4.3.1	相似性理论与广义距离	68
4.3.2	相似度矩阵	69
4.4	基于矩阵算式和蚁群算法的功能链设计方案优化方法	71
4.4.1	功能链设计方案评价模型	71
4.4.2	基于蚁群算法的功能链设计方案优化模型	72
4.4.3	信息素矩阵和概率矩阵	76
4.4.4	基于矩阵算式和蚁群算法的功能链设计方案优化步骤	78
4.5	实例分析:压力机三轴伺服传送系统的设计方案优化	80
4.5.1	功能建模和主功能链求解	80
4.5.2	搜索原理解和构造形态矩阵	81
4.5.3	计算广义距离	82
4.5.4	确认评价权重和计算评价得数	84
4.5.5	求解最优方案	86

4.6	本章小结	88
第五章	元功能链聚合的设计方案矩阵式求解方法	89
5.1	引言	89
5.2	元功能相似性分析	90
5.2.1	元功能分类	91
5.2.2	功能链分解	91
5.2.3	确定元功能相似值	91
5.2.4	构建功能相似矩阵	92
5.2.5	功能相似总矩阵的计算与简化	94
5.3	元件的关联性分析	95
5.3.1	构建功能—元件矩阵	95
5.3.2	元件关联矩阵的计算与分析	95
5.4	实例分析:剃须刀和吸尘器的主功能链聚合的设计方案求解	97
5.4.1	功能模型分析	97
5.4.2	功能相似性分析	99
5.4.3	元件关联性分析	101
5.4.4	设计方案的聚合	103
5.5	本章小结	106
第六章	原型系统开发及实例应用	107
6.1	引言	107
6.2	原型系统简介	107
6.2.1	面向功能链的产品设计方案求解流程	108
6.2.2	系统总体结构	109
6.2.3	系统开发工具	109
6.3	数据库的构建	110
6.3.1	产品设计知识库的构建	110
6.3.1.1	功能体知识库的创建	111
6.3.1.2	流知识库的创建	112

6.3.1.3	宏功能知识库的创建	113
6.3.1.4	功能实现方法知识库的创建	113
6.3.1.5	结构知识库的创建	114
6.3.1.6	产品设计知识库的总体结构	116
6.3.2	矩阵信息数据库的构建	118
6.4	原型系统功能模块	122
6.4.1	功能分析模块	122
6.4.2	单功能链设计方案求解模块	122
6.4.2.1	功能元件匹配	122
6.4.2.2	设计方案求解	124
6.4.2.3	设计方案优化	125
6.4.3	功能链设计方案聚合模块	125
6.5	实例应用	126
6.5.1	移载平台传动机构的方案设计	126
6.5.1.1	移载平台工况分析及设计需求	126
6.5.1.2	传动机构的功能分析	127
6.5.1.3	传动机构的设计方案求解	128
6.5.1.4	传动机构的方案优化	130
6.5.2	压力机三轴伺服传送系统的方案设计	133
6.5.2.1	压力机三轴伺服传送系统工况分析	133
6.5.2.2	压力机三轴伺服传送系统功能分析	134
6.5.2.3	功能链方案求解	136
6.5.2.4	功能链方案优化	137
6.5.2.5	压力机三轴伺服传送系统最终方案求解	139
6.6	本章小结	141
参考文献	142

第一章 绪 论

1.1 引 言

2006年1月9日,胡锦涛主席在全国科学技术大会上提出了建设创新型国家的号召,强调部署实施《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020年)》。纲要提出新时期我国科研工作人员必须坚持“自主创新,重点跨越,支撑发展,引领未来”的指导方针,其核心是自主创新^[1]。美国国家自然科学基金会(NSF)在《提升人类技能的会聚技术》报告中指出:21世纪是创新时代,着重点将从“重复”转向“创造和创新”。当今时代,企业只有不断提高产品创新开发能力,才能在市场上占有一席之地。谁在科技和知识创新方面占有优势,谁就能够在发展上掌握主动。科技创新的内容包括工艺创新、技术创新、产品创新、知识创新,而产品创新是企业得以持续发展和生存的内在动力。不同企业间的竞争实质上就是企业在各自产品创新能力上的竞争,只有不断地创新才能稳步提高企业的市场竞争力,才能领先于对手。因此,对产品创新设计的内在规律、理论体系、方法、工具的研究就显得迫切和尤为重要。

产品的创新离不开产品设计,产品设计对产品的各项性能起着决定性作用,决定着产品的根本竞争力^[2]。产品设计是在一定的设计约束条件下、满足各种设计需求的一种创造性工作,它通过一系列设计活动实现其目的^[3]。产品设计过程是一个复杂的创造性过程,产品设计从根本上决定着产品的整体质量和生产总成本^[4]。邹慧君教授将产品的设计过程划分为四个阶段,分别为产品规划、方案设计、详细设计和改进设计^[5];德国学者 Pahl 和 Beitz 在专著 *Engineering Design* 中将产品设计过程定义为明确任务、概念设计、技术设计和施工设计四个阶段^[6]。

随着技术的迅速发展,机电产品的智能化、柔性化、个性化已成为机械产品的重要发展方向。面对国际市场对知识产权的高度重视及日益激烈的竞争,单纯靠仿制与吸收国外产品将使企业失去市场竞争力,只有通过产品创新设计才能从根本上解决企业的生存与发展问题。机电产品的创新设计理论方法和应用关系到我国能否以自主知识产权的产品跨入世界制造业先进行列。机电产品的创新设计过程中,概念设计阶段设计方案的创新是原创性程度较高的创新。现行的方案设计基本上依赖于设计者的经验和设计理念,并没有形成科学的设计方法。因此,创新设计如何从依赖设计者的经验变成遵循科学的设计理论和方法是产生创新方案的关键。

美国国家战略研究中心的研究表明,产品价值的70%~80%是由概念设计阶段决定的,这一观点在工程设计领域已得到了广泛的共识^[7]。如图1.1所示,产品概念设计阶段是产品设计过程中最富有创造性、最活跃的阶段,产品概念设计是产品设计的中中之重。概念设计本质上是一种创造性的设计过程,其

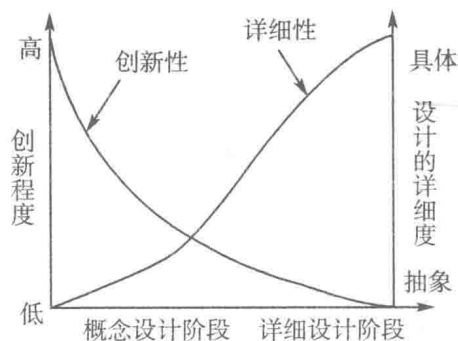


图 1.1 概念设计与详细设计的创新程度

创造性体现在寻求满足一定需求的功能及构建能够实现上述功能的具体结构方案^[8]。概念设计也是一个思维高度发散的过程,是一个寻找满足既定功能要求、满足各种技术和经济指标的可行性方案、综合考虑以确定最优方案的过程^[9]。产品概念设计是根据产品设计各阶段的要求,进行产品功能定义、功能分解及建立功能结构,寻找满足功能需求的实现原理,进而利用实现原理求解出功能的载体方案。产品概念设计集成了设计者的智慧、灵感,是设计者利用先进设计方法、自身相关专业知识和丰富的设计资料等实现产品创新的一个设计过程^[10]。

虽然国内外的学者对产品概念设计做了大量的卓有成效的研究,但随着人类市场需求的不断增加和竞争激烈程度的不断加剧,无论是所设计的产品还是设计的方式和手段,都在发生着深刻的变化。

(1) 产品复杂性增加

随着社会的发展、生活水平和生活质量的提高,人们对产品的需求也在发生着改变,产品的复杂性和产品的种类也在不断增加。产品结构更加复杂,产品的功能也变得多样,设计活动往往需要一个团队或多个部门之间的协作才能完成。以电子设计为例,其复杂性的增加遵循着摩尔定律:单位芯片集成的晶体管每18个月增加一倍。由于复杂的设计过程中产生了大量的数据,因而需要有效的工具对其进行管理,使这些数据在团队成员之间共享和重用。

(2) 开发成本与时间减少

在激烈的市场竞争下,企业不仅要能够生产出功能多样的产品,还必须以较低的成本快速响应市场的需求。时间和成本同质量一样成为决定产品的成败。概念设计处于产品生命周期的早期阶段,对后续的制造、使用等环节有着极大的影响。质量较差的设计方案不仅导致产品的成本增加,其返工还延长产品的开发周期。因此,如何在设计中考虑后续阶段的各种因素,有效降低产品成本并缩短开发周期,成为设计研究的主要内容之一。

(3) 设计活动呈现网络化、定制化、革新化的特征

信息技术的发展使异地快捷联系与通讯成为可能,从而极大地改变了人们的工作和生活方式。由于网络技术的普及,设计不再局限于本地,异地分布式协作设计成为可能。设计资源的异地化不仅使得复杂的设计任务可由更佳的设计团队来协作完成,也为制造、销售等生产部门有效参与到设计过程中提供了新的途径。同时,生活水平的飞速提高和物质的极大丰富导致了市场需求的个性化和多样化,功能单一的产品不再能够满足客户的要求,企业必须生产出多元个性化的产品。为了适应这一新的要求,产品设计必须面向多功能产品进行,通过设计变型满足市场需求。

新的设计需求促进产品设计方式、理念和手段不断发展,同时带来了极为严峻的挑战。所面临的诸多挑战,其本质和核心是如何在不限制创造性的同时,规范化、合理化和程式化地表达设计过程,并根据市场反应迅速地、自动地产生新的设计方案。针对这个问题,本文在自动化、程式化的机电产品设计方案求解方面做了研究,力图寻求一种新的产品设计方案求解方法。

1.2 机电产品概念设计理论

1.2.1 机电产品的定义

自1971年日本学者首次提出机电一体化(Mechatronics)这一概念以来,机电一体化技术经历了三十多年的发展,其内涵随科技的发展不断更新。20世纪70年代主要是指机械与电子的简单结合,机电产品也较简单,主要涉及高性能的伺服技术,如自动售货机、自动相机等。80年代,高性能微处理器的出现立即在机电产品中得到应用,大大提高了机电产品的自动化、智能化程度,改善了产品性能,数控机床等是那个时代的典型代表。90年代,通讯技术和计算机网络的迅速发展使机电一体化系统向着智能化和自动化方向发展,此时机电一体化已不只是机械装置和电子装置的简单组合,而是机械、电子、光学、控制、信息和计算机等技术的相互交叉和融合。机电产品也更加多样化,应用更加广泛。

目前对机电产品的内涵没有一个普遍认同的定义,由于机电产品的跨学科性及其自身的复杂性,各相关学科领域的学者分别从不同的角度研究机电一体化系统。李瑞琴^[11]从现代机械系统的角度出发,针对实现工作机功能的机电产品,认为机电产品设计的最终目的是实现要求的可控运动行为。机电产品最本质的特征是一个机械系统但又不同于一般的机械。它是在机构的主功能、控制功能与动力功能上引进了电子技术并与软件结合而成的一种特殊的机械系统。从功能上讲是用于完成包括机械力运动和能量流等多动力学任务的机械和/或机电部件相互联系的系统。机电产品综合运用了机械工程、电子技术、控制系统、电工技术和计算机技术等多种技术,是融合多种技术于机械的实现机械运动动力传递和变换并完成设定的机械运动功能的现代机械系统^[11]。本文从能量的角度,给出了机电产品的定义,认为机电产品是主要通过输入、转换和传递电能来实现某种执行功能的产品。

1.2.2 方案设计、概念设计与创新设计的定义及关系

(1) 产品设计

产品设计是一种建立在知识和经验基础上的解决问题的过程,其目的是要

缩小产品的初始状态与理想状态之间的差距,寻求一种满足用户需求的最佳方案^[12]。产品设计是包含需求分析、概念设计、技术设计及详细设计的复杂过程。这一过程中核心问题是功能问题,因为用户购买的不是产品本身,而是产品所具有的某种功能。产品功能的最大化开发,也将贯穿设计过程的始终。

(2) 概念设计

概念设计就是一种具有创造性的设计活动,概念设计追求的就是创新的可能。德国学者 Palh 和 Beitz 在 *Engineering Design* 一书中提出了概念设计的定义:在确定设计目标之后,经过抽象化表述,确定产品设计的功能结构模型,并根据适当的知识原理及其组合,得出产品概念设计的求解方案^[6]。英国教授 French 在 *Conceptual Design for Engineers* 一书中将概念设计定义为:概念设计首先需要确定设计目标,然后利用简图的形式表述广义解。概念设计阶段对设计者提出了较高的要求,需要将工程科学知识、专业知识、产品加工方法及商业运作知识融合在一起,以做出产品生命周期内最重要的决策^[13]。

产品概念设计的创新活动可以在设计阶段的多个层次上进行,具体表现为:功能层次创新、原理层次创新和结构层次创新三个方面。

功能层次创新:在功能设计阶段将需求设计的结果抽象地表述为功能要求,在确定产品功能的基础上,可以通过建立的产品功能结构描述产品功能分解的具体情况。所以功能层次上的创新通过不同的功能分解来实现。通过不同的功能分解形式,形成不同的产品功能结构,从而实现产品的创新设计。设计者所具有的设计经验、相关领域知识及创造性抽象思维能力决定了功能层次的创新设计。

原理层次创新:在功能设计的基础上,设计者通过变换功能结构中功能要求对应的原理解,实现产品的创新设计。例如:手表的功能为显示时间,利用机械传动原理设计的手表是机械式的,采用石英振荡原理则将是电子石英手表。在同一种功能设计结果下,利用不同的原理方案得到的设计结果会不同。

结构方案层次创新:设计者根据原理方案求解出满足功能要求的功能载体方案,结构方案层次上的创新设计是在功能载体结构方案上的创新。设计者通过替换功能载体、改变各个功能载体之间的相对位置、形状特征、尺寸等来实现

产品结构层次上的创新设计。

(3) 方案设计

概念设计的全过程可划分为前期的理念设计、后期的原理设计及具体的方案设计两个阶段。理念设计是概念设计的前期阶段,即根据市场需求和机器功用进行设计思想和设计理念的构想。这一阶段属于形象思维阶段,但是十分重要,创新的火花往往产生于这一阶段,是概念设计中创新层次最高的一个设计阶段。这一阶段的设计目前更多地是借助于设计人员的创新思维能力与经验的发挥,缺乏针对这一阶段的程式化的设计理论的研究。

原理设计及方案设计是概念设计的后期阶段,这一阶段属于逻辑思维阶段,其中,原理设计是方案设计的核心,方案设计是原理设计的具体化。方案设计是在设计师的理念、设计灵感、设计思想及设计经验充分发挥的前提下,实现具体组成和功能结果的。设计方案是概念设计结果的表现形式。

(4) 创新设计

企业只有不断地创新,才能确保自己的产品具有竞争力,在市场中立于不败之地。创新设计是一个企业提高自身产品竞争力的有效措施。一般认为创新设计可以分为如图 1.2 所示的改良型创新设计和原创型创新设计两种。原创型创新设计是指在工作原理、结构组成关系等内容完全未知的情况下,通过采用科学理论设计出新产品的过程。改良型创新设计是指产品的工作原理、功能结构等基本不变,而通过改变若干特性或者克服某些缺点,从而满足新的设计要求并获得改良后的产品的设计过程。无论是原创型创新设计还是改良型创新设计,都具有新颖性、实用性、复杂性和多学科性的特点。

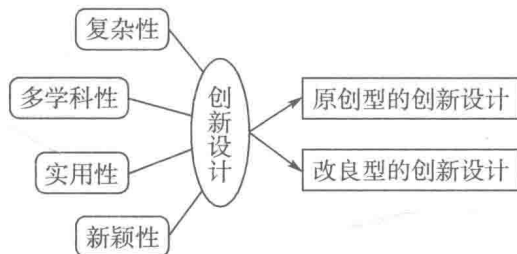


图 1.2 创新设计的特点

(5) 设计、概念设计与创新设计的关系

概念设计与设计的关系:设计包含概念设计,概念设计是设计的前提和基础。概念设计中产生的缺陷难以在后续的设计得到修正和弥补,因此概念设计在设计中占有重要的地位,是整个设计成功的前提保证。有研究表明,尽管概念设计的工作量只占整个设计的5%,却决定了产品价值的80%。由于概念设计产生的是相对模糊和抽象的设计方案,因此概念设计阶段拥有更多的想象力和创造力。概念设计是整个设计阶段中最具有创造力的阶段。

概念设计与创新设计既相互区别又相互联系。概念设计是设计中最具有创造性的阶段,而创新设计可以贯穿整个产品的设计过程,因而将概念设计与创新设计结合起来可以产生更好的设计结果。概念设计阶段的创新性主要体现在功能创新、布局创新、原理创新、结构创新和外形创新5个方面。其中,功能创新是指根据产品的设计要求对其功能进行变更或改良的过程。布局创新是指根据既定的功能和原理方案对产品布局和配置等要素进行变更或改良的过程。原理创新是指根据功能设计要求寻求较优或最优原理组合,或者变更原理解的过程。结构创新是指根据既定的功能、原理和布局等对产品结构要素进行变更或改良以达到创新的目的。外形创新是指根据既定的功能和原理方案对产品外观进行变更或改良的过程。

综上所述,设计、概念设计和创新设计的关系如图1.3所示。从图中可知,探讨机电产品的创新设计的重点是研究概念设计方案的求解方法,根据功能获取产品的最优设计方案,提升产品的市场竞争力。

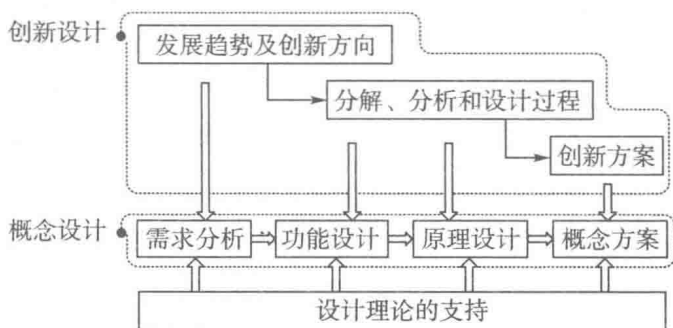


图 1.3 设计、概念设计与创新设计的关系