

功能建模驱动的 产品设计方案求解方法

唐敦兵 康与云 著 ■



科学出版社

功能建模驱动的产品设计 方案求解方法

唐敦兵 康与云 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统、详细地介绍了产品概念设计阶段的功能建模及其驱动的几种产品设计方案求解方法。全书共8章,主要包括:产品的功能分析与功能建模,基于功能模型的产品设计方案求解过程,产品需求设计和方案求解协同演化方法,功能本体驱动的产品结构-功能映射,基于功能本体的产品消化吸收再创新设计方法,面向单功能链的产品设计方案求解方法,功能链聚合的产品设计方案求解方法,基于功能链的方案求解系统开发及实例应用。书中既有理论知识,也有案例介绍,能帮助读者理解、掌握和运用本书所提出的方法,扩大读者在计算机辅助产品概念设计领域的知识面。

本书可作为高等学校机械类本科生、研究生的辅助教材,也可作为企业产品设计人员的参考资料,还可供科学研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

功能建模驱动的产品设计方案求解方法/唐敦兵,康与云著. —北京:科学出版社, 2014. 11

ISBN 978-7-03-042368-9

I. ①功… II. ①唐… ②康… III. ①产品设计-设计方案-研究 IV. ①TB472

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 257078 号

责任编辑:李涪汁 周 丹/责任校对:傅秋红

责任印制:肖 兴/封面设计:许 瑞

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏志印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年11月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2014年11月第一次印刷 印张:14

字数:270 000

定价:78.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

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广泛的共识。产品设计者的设计意图的表现范围主要集中在产品概念设计阶段的功能设计、建模和分析上,然后通过功能-结构映射反映到产品的外在结构设计上。产品概念设计是设计过程中最重要、最复杂,同时又是最活跃、最富于创造性的阶段。概念设计的创造性主要体现在功能定义及分解、功能与结构匹配以及基于功能分解的结构重组等各个方面,其目的是进行设计方案的求解。产品设计研究领域的先驱 Pahl 和 Beitz 在其经典著作 *Engineering Design* 中指出,概念设计是“在明确设计需求,建立功能模型基础上,寻求适当的功能实现原理及其组合,确定出基本的求解路径,得到求解方案的设计工作”。综合而言,可以将概念设计的内涵表述为三个方面:①将设计需求的结果抽象化表达为功能要求;②根据功能要求寻找原理和求解路径;③根据原理和求解路径确定产品概念设计的方案。

产品概念设计及设计方案求解是一个复杂烦琐的过程,它包含设计者高度的智慧工作,充分体现设计者的创新能力,也更需要设计理论和方法以及相关计算机辅助工具的支持。因此,发展计算机辅助概念设计一直是当前设计领域的研究人员致力研究的一个方向。在国家自然科学基金等项目的支持下,作者在此领域进行了多年持续的研究。本书总结了作者在此领域的研究成果,介绍了几种产品设计方案求解方法及相关的计算机辅助概念设计工具,希望能起到抛砖引玉的作用,扩大读者在此领域的知识面和产品创新设计思路。本书的学术特色主要包括以下几点。

(1) 介绍了功能定义及功能建模的相关基础知识,包括元功能、功能本体、功能模型、功能链的定义以及功能分解的方法等内容,并通过实例对功能分解及功能建模的方法和步骤进行描述。

(2) 介绍了产品概念设计的内涵、基本特征以及过程模型,并分别对产品概念设计中的功能设计过程、原理设计过程以及概念方案设计过程进行比较详细的阐述。

(3) 由于功能是对需求的抽象化表述,结构又是功能的载体,所以伴随着需求的变化,产品的功能要求会发生相应的变化,进而影响产品的结构方案。针对这种情况提出一种产品需求设计和方案求解协同演化方法,本书通过一种形式化的表达方式阐述该方法的基本过程,解释这种协同演化设计方法的内在机制。

(4) 消化吸收再创新是一种见效较快的创新方式, 比较适合于当前我国国情。提出一种基于功能本体来实现消化吸收再创新设计的思路, 具体介绍如何通过功能本体驱动的结构-功能反向映射来获取原有产品的功能组织结构模型, 从而全面理解和消化吸收原设计者的设计意图, 在消化吸收原始产品功能模型的基础上, 基于功能本体实施再创新设计。

(5) 针对概念设计阶段缺乏程式化的辅助计算工具, 提出一种产品设计方案 of 矩阵式求解方法, 同时, 鉴于蚁群算法在解决组合优化问题上的优势, 提出将求解最优设计方案的问题转化为蚂蚁寻找最优路径的问题, 实现产品设计方案 of 智能化求解。

(6) 一个产品的功能模型可分解出多条功能链, 每条功能链的设计方案获取之后, 需要将多条功能链的设计方案聚合, 以获取产品的设计方案。用矩阵作为工具分析不同产品功能的相似性和元件的关联性, 提出一种功能链聚合的设计方案的求解方法。

(7) 介绍了所开发的基于功能链的机电产品方案设计原型系统, 具体包括产品设计知识库的内容、结构以及原型系统的功能、模块和应用实例等。

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

感谢国家自然科学基金(50505017、50775111、51175262)及江苏省杰出青年基金(BK201210111)对本书研究的支持, 感谢课题组研究生徐荣华、徐亮亮、王浩、朱仁森、康与云等同学的研究工作与学术贡献。

由于作者学术水平有限, 书中难免存在不足之处, 恳请同行和读者批评指正。

唐敦兵

2014年8月

目 录

前言

第 1 章 产品的功能分析与功能建模	1
1.1 引言	1
1.2 产品功能的定义	1
1.2.1 功能与总功能	1
1.2.2 产品功能定义的目的	2
1.2.3 产品功能定义的原则	3
1.2.4 产品功能的角色	4
1.3 产品功能分解	4
1.3.1 黑箱法	4
1.3.2 功能分解方法	5
1.3.3 元功能	6
1.4 元功能的表述语言——功能本体	7
1.4.1 本体理论概述	8
1.4.2 功能本体及功能语义表述	10
1.4.3 功能本体的体系结构	12
1.4.4 功能本体词汇	14
1.5 功能链	18
1.5.1 功能链的定义、结构类型及功能链聚合	18
1.5.2 功能模型的构建	19
1.5.3 主功能链的定义及获取方法	20
1.5.4 功能模型分解为功能链	21
1.6 功能链的矩阵式表达	23
1.6.1 功能、元件等相关矩阵的定义	23
1.6.2 功能链的矩阵式表达	25
1.7 实例分析	26
1.7.1 豆浆机的功能分析及主功能链的矩阵式表达	26
1.7.2 搅拌机的功能分析及主功能链的矩阵式表达	28
1.7.3 手持式吹吸机的功能分析及主功能链的矩阵式表达	28
1.8 本章小结	31

参考文献	31
第 2 章 基于功能模型的产品设计方案求解过程	33
2.1 引言	33
2.2 产品概念设计	33
2.2.1 产品概念设计基本特征	33
2.2.2 产品概念设计的过程模型	35
2.3 产品需求设计	37
2.3.1 需求的定义	37
2.3.2 需求的描述	38
2.4 产品需求设计过程	40
2.4.1 产品需求设计的过程模型	40
2.4.2 需求信息的获取	40
2.4.3 需求分类	42
2.4.4 需求评估	43
2.5 产品功能设计	43
2.6 产品功能实现原理设计	44
2.6.1 产品原理设计的目标	44
2.6.2 产品原理设计的基本方法	44
2.7 产品概念方案设计	45
2.7.1 产品概念方案设计任务	45
2.7.2 产品功能载体——产品结构	45
2.7.3 功能-结构映射	45
2.8 本章小结	46
参考文献	47
第 3 章 产品需求设计和方案求解协同演化方法	48
3.1 引言	48
3.2 产品需求设计和方案求解的协同演化模式	48
3.2.1 产品设计的一般模式	48
3.2.2 产品的往复设计	49
3.2.3 产品需求设计和方案求解的协同演化模式	49
3.3 产品需求设计和方案求解协同演化基本过程的形式化描述	50
3.3.1 产品需求设计和方案求解协同演化基本过程	50
3.3.2 产品需求设计的形式化表达	51
3.3.3 产品功能设计的形式化表达	53
3.3.4 产品功能实现原理的形式化表达	55

3.3.5 产品结构方案设计的形式化表达	55
3.3.6 产品结构方案的评估	57
3.4 产品需求设计和方案求解协同演化方法分析	57
3.4.1 产品需求设计和方案求解协同演化方法的推理过程	57
3.4.2 产品需求设计和方案求解协同演化方法的求解模型	58
3.5 产品需求设计与方案求解协同演化机理的说明	59
3.5.1 产品需求设计与方案求解协同演化的逻辑过程	59
3.5.2 产品需求设计与方案求解逐层协同演化模型	60
3.6 基于需求设计和方案求解协同演化的实例研究	61
3.6.1 自动化无轨电动伸缩门的需求设计	62
3.6.2 自动化无轨电动伸缩门的方案求解	62
3.6.3 自动化无轨电动伸缩门的需求设计和方案求解协同演化过程	65
3.6.4 需求设计与方案求解协同演化系统的设计及应用	69
3.7 本章小结	77
参考文献	77
第4章 功能本体驱动的产品结构-功能映射	79
4.1 引言	79
4.2 基于功能本体的产品知识表述模型	80
4.3 本体驱动的结构-功能映射	81
4.3.1 结构到功能映射框架	81
4.3.2 结构到功能映射方法及步骤	82
4.4 功能体辨识与匹配	82
4.4.1 功能体辨识过程	82
4.4.2 BS (行为-结构) 映射	83
4.4.3 BF (行为-功能) 映射	83
4.4.4 BSBF (行为-结构及行为-功能) 混合映射	84
4.5 宏功能分析与辨识	85
4.5.1 宏功能概念	85
4.5.2 宏功能类别	85
4.5.3 宏功能辨识过程研究	86
4.6 功能合并与逻辑推理	88
4.6.1 功能合并与逻辑框架	88
4.6.2 功能组合启发式逻辑推理规则	89
4.6.3 宏功能分析实现功能合并	90
4.6.4 功能实现方法分析实现功能合并	91

4.7 本章小结·····	92
参考文献·····	92
第5章 基于功能本体的产品消化吸收再创新设计方法 ·····	94
5.1 引言·····	94
5.2 基于功能本体的再创新设计框架·····	94
5.3 基于功能分析的创新设计方法概述·····	95
5.4 基于功能分析的创新设计方法流程·····	96
5.5 基于同义与反义功能语义分析方法·····	98
5.5.1 功能同义与反义语义分析方法·····	98
5.5.2 功能泛化与具体化·····	99
5.5.3 基于泛化与具体化的功能变更·····	101
5.6 功能变更效果评估·····	102
5.6.1 工程变更定义及原因·····	102
5.6.2 变更传播影响分析·····	103
5.6.3 价值分析·····	104
5.7 功能实现方法研究·····	104
5.7.1 机械分类及其组成·····	105
5.7.2 机械运动系统功能分析·····	105
5.7.3 机械运动系统结构分析·····	107
5.8 实例研究·····	108
5.8.1 设计问题描述·····	108
5.8.2 产品功能分析·····	109
5.8.3 功能变更与产品再创新设计·····	111
5.9 基于功能本体的产品再创新设计系统开发及应用·····	113
5.9.1 系统功能模块分析·····	113
5.9.2 系统结构设计·····	114
5.9.3 系统开发平台及编程语言·····	115
5.9.4 数据库设计·····	115
5.9.5 基于功能本体再创新设计系统实例·····	118
5.10 本章小结·····	126
参考文献·····	127
第6章 面向单功能链的产品设计方案求解方法 ·····	128
6.1 引言·····	128
6.2 形态学矩阵法求解功能链的设计方案·····	128
6.3 功能链设计方案的矩阵式求解方法·····	130

6.3.1	构建功能关联矩阵	130
6.3.2	构建功能-元件矩阵	130
6.3.3	求解满足功能需求的设计方案	131
6.3.4	构建设计结构矩阵	133
6.3.5	求解满足功能和结构要求的设计方案	133
6.4	实例分析：移栽平台传动机构设计方案的求解	135
6.4.1	移栽平台传动机构功能链的设计方案求解	135
6.4.2	传动机构设计方案的选择	139
6.5	蚁群算法及相似性理论	141
6.5.1	蚁群算法原理	141
6.5.2	蚁群算法在组合优化问题上的应用	142
6.5.3	相似性理论与广义距离	143
6.5.4	相似度矩阵	144
6.6	基于蚁群算法的单功能链设计方案优化方法	146
6.6.1	功能链设计方案评价模型	146
6.6.2	基于蚁群算法的功能链设计方案优化模型	147
6.6.3	信息素矩阵和概率矩阵	150
6.6.4	基于矩阵算式和蚁群算法的功能链设计方案优化步骤	151
6.7	实例分析：三坐标送料机设计方案的优化	154
6.7.1	功能建模和主功能链求解	154
6.7.2	搜索原理解和构造形态学矩阵	155
6.7.3	计算广义距离	155
6.7.4	确定评价权重和计算评价得分	158
6.7.5	求解最优方案	159
6.8	本章小结	161
	参考文献	161
第7章	功能链聚合的设计方案求解方法	163
7.1	引言	163
7.2	元功能相似性分析	164
7.2.1	元功能分类	164
7.2.2	功能链分解	165
7.2.3	确定元功能相似值	165
7.2.4	构建功能相似矩阵	166
7.2.5	功能相似总矩阵的计算与简化	167
7.3	元件的关联性分析	168

7.3.1	构建功能-元件矩阵	168
7.3.2	元件关联矩阵的计算与分析	169
7.4	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	170
7.4.1	功能模型分析	171
7.4.2	功能相似性分析	172
7.4.3	元件关联性分析	175
7.4.4	设计方案的聚合	176
7.5	本章小结	179
	参考文献	179
第8章	基于功能链的方案求解系统开发及实例应用	181
8.1	引言	181
8.2	原型系统简介	181
8.2.1	基于功能链的产品设计方案求解流程	181
8.2.2	系统总体结构	182
8.2.3	系统开发工具	183
8.3	数据库的构建	184
8.3.1	产品设计知识库的构建	184
8.3.2	矩阵信息数据库的构建	190
8.4	原型系统功能模块	193
8.4.1	功能分析模块	194
8.4.2	单功能链设计方案求解模块	194
8.4.3	功能链设计方案聚合模块	197
8.5	实例应用	197
8.5.1	移栽平台传动机构的方案设计	197
8.5.2	三坐标送料机的方案设计	203
8.6	本章小结	211
	参考文献	211

第 1 章 产品的功能分析与功能建模

1.1 引言

发展计算机辅助概念设计一直是设计人员致力研究的方向之一。由于功能是概念设计的一个重要因素，所以功能的合理表达对实现计算机辅助概念设计有着莫大的作用。理想的设计应首先满足产品功能的要求，因此功能分析是概念设计的首要任务。

产品是为实现功能而设计的，而功能是从技术实现的角度对设计系统的一种理解，是指某一系统所具有的能量、物料、信息或其他物理量转化的特性。功能的抽象是在更高层次上认识产品的效能和作用，有助于启发设计者的创新思路，产生原理解。基于此，本章论述了功能、总功能、元功能、功能本体、功能模型、功能链的定义和功能分解的方法等内容，并通过实例对功能分解及功能建模的方法和步骤进行阐述。

1.2 产品功能的定义

1.2.1 功能与总功能

1. 功能

19 世纪 40 年代，美国通用电气公司的工程师迈尔斯将“功能”作为价值工程研究的核心问题，他认为用户购买的不是产品本身，而是产品的功能^[1]。之后许多国家也开展设计学的研究，其中功能是这些研究中的一个基本概念，成为设计学研究的核心问题。迄今为止，越来越多的著作文献针对功能进行广泛而深入的研究，可见，功能已成为产品设计不可或缺的一部分。产品设计，实际上是针对依附于产品实体的功能而设计的，功能是产品的实质，决定着产品的意义。功能抽象描述产品的具体效用，反映产品的用途和特性，是评价产品价值的重要标准。

功能是对技术系统或产品所能完成任务的抽象描述，反映产品所具有的特定用途和各种特性，是系统或子系统输入、输出时参数或状态变化的一种抽象描述^[2]。它是从技术实现的角度对设计系统的一种理解，是指某一系统所具有的能量、物料、信息或其他物理量转化的特性，是其输入量和输出量之间的关系。

功能是产品与零件存在的依据,是从产品与零件中抽象出来的概念。功能应具有以下特性。

(1) 功能是行为的抽象,是对行为的描述。通过这种抽象有利于设计人员在工作原理方案的构思与设计过程中拓展思路,从而获取更多的解决方案。

(2) 功能是产品与工作对象及环境相互作用的过程中予以体现的,离开产品的动态过程,产品功能就无法实现。

(3) 功能具有可变性。由于外界输入的物质、运动形式、能量、信息有所变化,通过相互影响,会使产品的功能发生变化。

2. 功能表述

产品的功能是指待设计产品或系统总的输入、输出关系。功能建模需要用一种科学、准确、简洁的语言抽象化表述产品的需求信息或产品的效能^[3]。可用“动词+名词”构成的简明语句来描述,分别作为谓语和宾语,具体说是“操作+对象”。例如,豆浆机的功能是压榨豆浆,钢笔的功能是存送墨水。图 1.1 反映产品与功能之间的抽象表述,存送墨水就是钢笔用途的一种抽象表述。虽然功能与产品的用途、特性等概念有着不可分割的关系,但两者并不是等同的。例如,钢笔的用途是写字,反映它的功能是存送墨水;电机的用途是驱动机械结构的运转,反映电机的功能是“转换能量”;手表的用途是计时,它的功能则是“显示时间”。

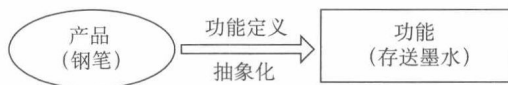


图 1.1 产品与功能之间的抽象描述

1.2.2 产品功能定义的目的

功能是一种抽象化的概念,功能定义有四个目的。

(1) 利于明确设计需求。通过功能定义可以抽象地表达出产品需求的实质,确定产品的设计需求,有利于设计者找出实现功能的物理结构和方法。

(2) 利于分析功能。产品概念设计中的功能定义有利于明确产品的功能构成,有利于划分各功能之间的关系,便于建立产品的功能模型。

(3) 利于开拓设计思路。由于功能定义仅抽象表达出产品设计需求的实质,与实现功能的具体物理结构和方法没有关系,所以设计者通过功能定义可以从概念上将功能与产品的具体物理结构和形式分离,有利于摆脱设计时的思想束缚,

便于实现产品的创新设计。

(4) 利于评价产品功能。根据功能的角色, 功能应该能定量或定性地评价设计目标, 功能定义的合理与否, 将会直接影响功能的评价结果。

1.2.3 产品功能定义的原则

在描述功能时, 多数人认为这是一项简单的事情, 例如, 存送墨水是钢笔的功能, 发光是电灯的功能等。但是, 在实际的产品概念设计中, 准确定义功能并不是简单的工作。功能正确定义与否会对整个设计过程产生影响, 应该研究功能定义的注意事项和方法, 功能定义常用的原则^[4-6]有如下几条。

1) “动词+名词”模式

通过功能的定义可以从产品实物特性中抽象出产品的功能, 明确产品各个组成部分的功能性。图 1.1 中, 将钢笔的实物特性抽象为存送墨水, 即用动词“存送”+名词“墨水”的方式将钢笔的功能定义为“存送墨水”。功能定义并没有某种固定的模式, 一般用动词+名词的这种形式抽象描述功能。例如, 手表的功能是显示时间; 联轴器的功能是传递扭矩; 水瓶的功能是保持温度。当动词+名词不能完全表达清楚功能的含义时, 可以通过增加修饰词的方法来明确功能的含义。例如, 对于电视的功能, 若用“提供信息”来描述, 其范围太广, 不能清楚地表明其含义。如果在名词“信息”之前再增加“视听”一词, 就可以十分清楚地表明电视的功能。准确的功能定义使人们明白设计对象的需求信息, 不致产生误解。

在进行功能定义时, 采用的动词和名词的词义要明确, 功能所表示的内涵和属性也必须准确。例如, 自行车尾灯的功能可以描述为“注意安全”、“提示注意”或“显示车尾”。这三种功能定义都是希望自行车在夜间行驶时, 能够使其后面的行驶对象注意到自行车的存在, 从而保证行驶时的安全。可以看出, 对于同一种需求, 不同的功能定义, 产生的效果也不尽相同。“注意安全”会让人想到使用安全装置, 如戴安全帽等; “提示注意”可能会使设计者产生使用声音、光线等方式来实现功能要求的想法; “显示车尾”突出行驶的安全性, 这样的定义比较贴切。通过照亮车尾的方法, 可以提示后面行驶的对象注意到自己的存在, 保证行驶的安全性。虽然“注意安全”和“提示注意”的定义方式都是为了保证行驶的安全性, 使设计思路开阔, 但是与关注的自行车车尾的局部功能相距较远, 不利于设计者集中精力解决实际问题。

2) 尽可能抽象化

抽象化是人们认识事物本质的最好途径, 并不需要涉及具体解决方案, 就能清晰明了地掌握产品的基本功能, 有利于将设计者的思路集中到问题的关键点。

在将产品的实物特性抽象为产品功能特性的过程中,要抓住实物的本质,突出重点,忽略一些次要条件,尽量将定量描述改为定性描述,只是描述功能特性,不涉及具体的解决方案。同一功能采用不同的功能定义,往往会得到不同的原理解或结构解。

3) 尽可能量化

定义功能时,应使功能定义中的名词尽可能具体,直至能够进行定量和度量为宜,这样有利于进行定量分析^[7,8]。由于设计人员对产品功能的理解以及设计意图一般以隐性知识存在于头脑中,所以不同的设计人员站在不同的角度对功能概念的认知是不同的,并且描述功能概念的术语分类方法也是不同的,所用的术语也是层出不穷的。应创建一种规范的功能语义表述,使功能表述独立于特定环境和应用领域,进而实现对功能领域中各种概念理解上的共享。

1.2.4 产品功能的角色

功能对于产品设计是一个非常重要的概念,因为理想设计都是在满足特定功能的基础上完成的。根据功能的定义,功能在设计过程中应该具有如下三个角色。

(1) 角色 A: 设计需求的说明。功能是在需求设计的基础上进行定义的,需求设计的结果为产品的设计需求。在功能设计阶段,设计者是用功能概念的形式说明设计需求的,功能应该能够表达产品的设计需求。

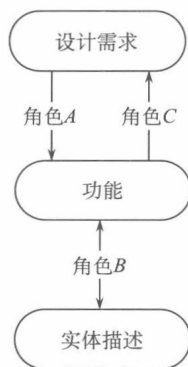


图 1.2 设计中功能的三个角色的相互关系

(2) 角色 B: 设计目标的表达。在功能概念的基础上,设计者得到相应的设计目标。以功能概念形式表述的设计目标应该能够满足设计需求,设计目标的实体描述应该和功能描述紧密联系在一起。

(3) 角色 C: 设计方案的评价。为了评价设计方案是否满足产品的设计需求,设计者应该从功能角度的观点来评价设计方案,即功能应该能定量或定性地评价设计方案,以检验设计方案是否满足产品的设计需求。

图 1.2 描述了这三个角色之间的相互关系。

1.3 产品功能分解

1.3.1 黑箱法

一些复杂的系统和问题,人们难以一下子认识、模拟和控制,犹如一个不透

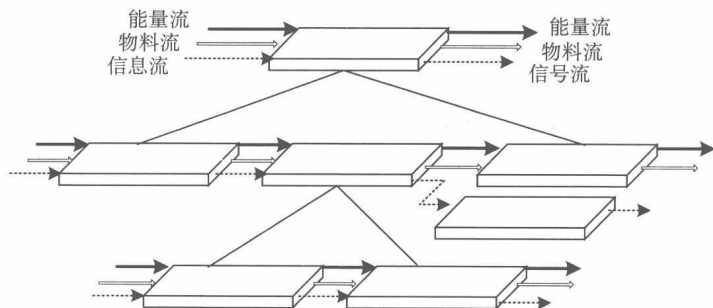
明的、不知其内部结构的“黑箱”。人们对系统的核心内容是未知的，只能通过外部观测，来分析黑箱与周围环境的信息联系，以了解其功能和特性，进一步寻求其内部机理和结构，这一方法称为黑箱法。功能反映了系统输入量和输出量之间的关系。而这些输入量和输出量称为流，分为能量流、物料流和信号流。设计者从设计的需求出发，通过对设计需求的分析与总结，采用黑箱法来抽象系统的功能。将待求系统看做黑箱，用粗实线表示能量流，用细实线表示物料流，用虚线表示信号流，分析比较系统的输入和输出的差别和关系，如图 1.3 所示。



图 1.3 功能的黑箱法

1.3.2 功能分解方法

产品功能具有不同的复杂程度，为分析产品功能，可以将复杂的功能分解为若干个子功能，从而使问题的复杂程度降低，利于产品功能的求解。功能分解开始于产品的总功能，然后向下细分为子功能，子功能分解到能够实现为止。功能分解的过程实际上是对产品不断加深认识的过程，通过功能分解建立功能模型有助于获得对产品更好的理解。系统化设计理论^[9]将功能定义为输入、输出之间以完成任务为目标的总的相互关系。功能分解在能量流、物料流和信息流的基础上进行，三种流形成的功能集合作为输入和输出。功能分解步骤为：首先确定系统的总功能，总功能分解子功能，子功能根据需要再分解；最终形成功能层次模型。这一过程可以用图 1.4 表示。

图 1.4 功能分解示意图^[10]

Allen 等^[11]将功能分解分为两类：层次分解和非层次分解。层次分解有两个特点：不同级的子系统间有相互作用，这种相互作用可能是单向的也可能是双向的；父一级系统相同或不同的同一个级别的子系统也有相互作用，这种相互作用可能是单向的也可能是双向的。图 1.5 是典型的层次系统，由于功能分解趋向于从最抽象到最具体，所以图 1.5 所示的这种类型的分解对很多功能设计都是可用的。

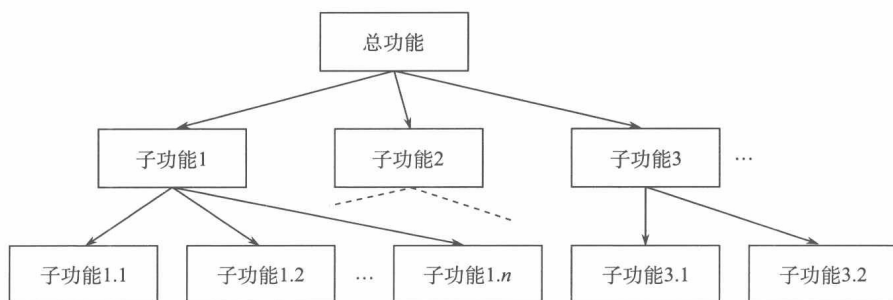


图 1.5 层次分解

应用层次分解方法可得到产品的功能分解树，具体步骤为：采用自顶向下的方法^[12]，先得到产品的总功能，然后通过询问“怎样实现总功能”来得到需要的二级功能，再逐层询问，将产品的功能逐层分解，最后得到合适的若干子功能，再对子功能进一步分解直到元功能，并把分解过程用树型结构表达出来，就是产品功能分解树。功能分解树始于总功能，分为子功能、二级子功能等，其末端是元功能。但是，对于有些系统是不可能分清层次的，可应用非层次分解法，如图 1.6 所示，非层次分解法很好地反映了不同构件之间的相互作用。

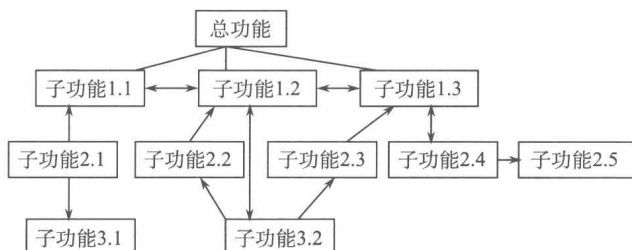


图 1.6 非层次分解

1.3.3 元功能

大部分机电产品的总功能是通过多个相异和（或）相同子功能的协同作用来