



xian dai ji xie she ji
fang fa xuan jiang

孙靖民 王新荣 等编著

现代机械设计方法选讲

哈尔滨工业大学出版社

T412.2
S935

哈尔滨工业大学研究生教材

现代机械设计方法选讲

孙靖民 王新荣 高圣英 编著
梁迎春 陈时锦 刘亚忠

哈尔滨工业大学出版社

(黑)新登字第4号

内 容 简 介

现代设计方法在国外已经广泛应用于机械、电子产品设计,我国现正在大力推广应用。本书结合机械产品介绍设计过程程序和工程设计中行之有效的诸种科学方法论,内容包括:系统分析设计法、创造性设计方法、价值分析、模糊评价与模糊决策、技术预测方法、动态分析设计法、相似理论及相似设计方法、有限元分析方法、优化设计方法、可靠性设计、计算机辅助设计等十二章。各章内容相互独立,读者阅读时可以不按章次顺序的限制,也可只阅读某些章的内容。本书内容深入浅出,易于阅读和自学。

本书于1991年10月经全国高等工业学校机械设计及制造专业教学指导委员会同意列为研究生教材,并可作为大学本科生的选修课教材和工程技术人员继续学习和培训的教材,也可供广大工程技术人员自学参考。

现代机械设计方法选讲

孙靖民 王新荣 等编著

哈尔滨工业大学出版社出版

新华书店首都发行所发行

哈尔滨新路印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 17.75 字数 408 千字

1992年12月第1版 1992年12月第1次印刷

印数 1—3 000

ISBN 7-5603-0398-6/TH·31 定价 4.90 元

前 言

设计是把各种先进技术成果转化成为生产力的一种手段和方法,是人类改造自然的基本活动之一。任何设计都具有开发和创造新的系统和结构的目的,因而设计过程本身就是一个创新和发明过程。

随着改革开放的进一步深化,我国工业产品将逐渐打入国际市场。在这种新形势下,唯有提高产品质量才能参与国际竞争。为此,就须大力推广目前在国外已经广泛采用的先进设计方法,使之既能缩短产品的设计周期,又可提高产品的质量,降低其成本。为了适应这一需要,我们自1987年始就为机械设计和工艺类专业的研究生开设了“现代机械设计方法”课程,经逐年对讲授内容进行充实和调整,形成现在的这个体系。它虽已有:系统分析法、创造性设计法、价值分析、模糊评价与决策、技术预测方法、动态分析方法、相似理论与相似设计法、有限元分析方法、优化设计方法、可靠性设计及计算机辅助设计等共十一个方面的内容,但仍未能包括现代设计方法的全部。所以,我们就取“选讲”的形式出版。其一,意在今后将不断补充新的方法和内容;其二,也由于各章内容是相互独立自成体系的,读者可以根据需要自行选择,而不受各章前后次序的限制。

需要说明一点,我们采用“现代设计”的名称,只是为了强调其中的一些设计方法是目前国际上新发展起来的,它们对我国设计工作者还较生疏,且不少设计方法又是以电子计算机为工具的;而决不是说我们所介绍的设计方法都是现代的设计方法。实际上有些方法是沿用已久的设计方法。既然用了“现代设计”就有与之对应的“传统设计”。这里我们就把我国过去常用的设计方法称为“传统设计方法”。应当指出,现代设计方法也是在传统设计方法基础上不断吸收现代理论、方法和技术以及相邻学科最新成就的基础上发展起来的,不应把两者相互对立,更不要予以割裂。

本书在1991年10月经全国高等工业学校机械设计及制造专业教学指导委员会同意,列为研究生教学用书。它也可以作为相应专业大学本科学生的选修教材和研究单位及企业中从事设计的工程技术人员继续进行学习和培训之用。

本《选讲》由下列同志编写:孙靖民——第一、三和第十一章;王新荣——第二、四、五、六和第八章;高圣英——第九章;梁迎春——第十章;刘亚忠——第七章;陈时锦——第十二章。全书由王新荣统稿。

全书承蒙哈尔滨船舶工程学院机械系教授米成秋同志精心而细致的审阅,并提出了许多宝贵修改意见。编者对他深表感谢。

由于现代设计方法涉及面广,因而难免内容不足,缺点也在所难免。敬请读者多提宝贵意见。

编 者

一九九二年三月于哈尔滨

目 录

前 言

第一章 概述	(1)
§ 1-1 传统设计与现代设计及其范畴	(1)
§ 1-2 设计过程和设计技术简述	(3)
第二章 系统分析设计法	(5)
§ 2-1 技术系统的组成和处理对象	(5)
§ 2-2 系统分析设计方法	(6)
第三章 创造性设计方法	(13)
§ 3-1 创造力和创造过程	(13)
§ 3-2 创造技法	(15)
第四章 价值分析	(19)
§ 4-1 价值优化	(19)
§ 4-2 成本估算方法简介	(24)
第五章 模糊评价和矩阵对策	(27)
§ 5-1 模糊数学中的隶属度和隶属函数	(27)
§ 5-2 模糊综合评价方法简介	(30)
§ 5-3 矩阵对策	(35)
第六章 技术预测方法	(45)
§ 6-1 技术预测法及其特点	(45)
§ 6-2 定性预测方法简介	(46)
§ 6-3 时间序列分析法	(48)
§ 6-4 马尔科夫预测方法	(52)
第七章 动态分析设计法	(58)
§ 7-1 传递函数分析法	(58)
§ 7-2 模态分析方法	(66)
§ 7-3 模态综合方法	(78)
第八章 相似理论及相似设计方法	(86)
§ 8-1 相似概念	(86)
§ 8-2 相似定理	(90)
§ 8-3 相似准则的确定	(92)
§ 8-4 模型试验	(99)
§ 8-5 相似性设计	(107)
§ 8-6 仿真的基本概念	(114)

第九章 有限元分析方法	(116)
§ 9-1 有限元分析方法的基本概念	(116)
§ 9-2 有限元法中单元特性的导出方法	(117)
§ 9-3 有限元法的解题步骤	(129)
§ 9-4 结构分析的有限元法	(139)
§ 9-5 结构动力学问题的有限元法	(147)
第十章 优化设计方法	(151)
§ 10-1 概述	(151)
§ 10-2 无约束优化问题的解法	(157)
§ 10-3 约束优化问题的解法	(170)
第十一章 机械可靠性设计	(181)
§ 11-1 关于机械可靠性设计的几个问题	(181)
§ 11-2 可靠性的概念和指标	(184)
§ 11-3 可靠性设计方法举例	(193)
§ 11-4 系统的可靠性设计	(198)
§ 11-5 系统的可靠性优化	(217)
§ 11-6 失效分析方法	(218)
§ 11-7 维修度和有效度	(220)
第十二章 计算机辅助设计	(226)
§ 12-1 概述	(226)
§ 12-2 CAD 系统的硬件和软件组成	(229)
§ 12-3 图表数据的程序化	(233)
§ 12-4 交互式设计及图形处理系统	(235)
§ 12-5 CAD 系统的数据结构简介	(264)
§ 12-6 数据库	(273)
参考文献	(277)

第一章 概 述

§ 1-1 传统设计与现代设计及其范畴

一、传统设计与现代设计

“设计”从来就是和人类的生产活动紧密相联的。用通俗的话说,设计是把各种先进技术成果转化成为生产力的一种手段和方法。它是从给定的合理的目标参数出发,通过各种方法和手段创造出一个所需的优化系统或结构的过程。所以,任何设计都是开发和创造新的系统和结构。但是,由于一个设计总是反映着当时的生产力和技术水平,因而不同时期设计的内容是不同的,人们对设计的理解也是不同的。

最早的设计是由经验丰富、技术熟练的手工艺人进行的。这种设计只存在于手工艺人的头脑中,产品也是比较简单的。

随着生产的发展,需要更多、更好、更复杂的产品。因而促使手工艺人必须联合起来,互相协作,从而出现了图纸,开始按图纸制造产品。通过图纸,既可满足许多人同时参加制造的需要,又使手工艺人的经验和知识被记录并流传下来,还可用图纸对产品进行分析和改进,推动设计工作向前发展,从而使设计工作具有了相对独立的性质。

到了 20 世纪后期,由于科学技术的发展,设计工作所需的理论基础有了进步,特别是电子计算机技术的进展,对设计工作产生了很大冲击,提出了设计现代化的要求。

此外,当前对产品的设计已不能仅考虑产品本身,并且还要考虑系统和环境的影响;不仅涉及到技术领域,还涉及到社会因素;不仅须顾及眼前,还须顾及今后。例如,汽车设计不仅要考虑其本身的有关技术问题,还须考虑使用者的安全、舒适、操作方便,以及燃料供应、车辆存放、道路发展等等问题,即已涉及到国家的能源政策、城市布局、交通规划等社会问题。

为了寻求保证设计质量、加快设计速度、避免和减少设计失误的方法和措施,并适应科学技术发展的要求,使设计工作现代化,引发了“现代设计方法”的研究。设计方法可理解为:设计中的一般过程及解决具体设计问题的方法、手段。前者可认为是战略问题,后者是战术问题。如果把设计方法的发展进行概括,大致可以划分成:

- 1) 17 世纪前的“直觉设计阶段”;
- 2) 17 世纪后的“经验设计阶段”及其后形成的“传统设计阶段”;
- 3) 目前的“现代设计阶段”。

传统设计方法的特点是:静态的、经验的、手工式的方法。现代设计方法的特点是:动态的、科学的、计算机化的方法。它已经将那些在科学领域内得到应用的所有科学方法论应用

于工程设计中来了。可以这样说:传统设计方法是被动地重复分析产品的性能,而现代设计方法则可能做到主动地设计产品的参数。

下面简单介绍一下近 30 年来,德、英、日、美等国在设计方法研究方面的情况。

德国在发现自己产品质量下降,竞争能力减弱之后,认为这是和设计工作不符合要求,缺乏有能力设计人员密切相关的。1963 至 1964 年间,举行了全国性“薄弱环节在于设计”的讨论会。制订了一批有关设计工作的指导性文件;举办了有关产品系统规划、创造性设计与发展、CAD 等许多专题的培训班和讨论会,并相应地在高等学校中开设了设计方法和 CAD 等专题课程。

英国自 1963 年开始提出工程设计思想后,广泛开展了设计竞赛,加强设计过程中的创造性开发、技术可行性、可靠性、价值分析等方面的研究,从而改变了其设计水平低的局面。

日本由于受到美国提出的 CAD 及实现设计自动化可能性的冲击,为补救设计师的短缺和有效地使用计算机及改进设计教育,同时也是为适应新产品日益增长的需要,自 60 年代以来,引进了名家的专著,开始自己有关 CAD 和设计方法的研究,以提高设计人员素质、发展 CAD 和改进工程技术教育。现在日本在产品开发中其更新速度受到全世界的关注,其产品的竞争能力已给许多国家造成巨大威胁。

美国是创造性设计的首倡者,在 CAD 方面做出了许多贡献。在日本等国的冲击下,1985 年 9 月由美国机械工程师协会(ASME)组织,美国国家科学基金会发起,召开了“设计理论和方法研究的目标和优先项目”研讨会。会后成立了“设计、制造和计算机一体化”工程分会,制订了一项设计理论和方法的研究计划,并成立了由化学、土木、电机、机械和工业工程以及计算机科学等领域的代表组成的指导委员会,来考虑为适应工程设计需要,应进行研究的领域和对这些领域提出资助的建议。

其它如原苏联、东欧及北欧等国,也都开展了设计理论和方法的研究工作。

现在,有关国家组织了一系列关于设计方法的国际会议,如工程设计国际会议(ICED)就是其中之一。

近年来,我国已经广泛开展了对现代设计方法的研究,成立了各种研究协会和组织。机械电子部在有关文件中指出:现代设计方法在国外已广泛应用于机械电子产品设计。我国自 1980 年以来,也进行了一些工作。“六五”期间,国家科技攻关项目中的优化设计、CAD、工业艺术造型设计、模块设计等已取得实用性成果,并在一部分科技人员中间进行了现代设计方法的培训。现在在更大的范围内推广应用,不仅有必要,而且已具备了条件。

二、现代设计方法的范畴

现代设计方法实质上是科学方法论在设计中的应用。冠以“现代”二字是为了强调以引起重视,其实有些方法也并非是现代的。经分析,可归纳为下列具有普遍意义的方法:

- 1) 信息论方法,如信息分析法,技术预测法等。它是现代设计方法的前提。
- 2) 系统论方法,如系统分析法,人机工程等。
- 3) 控制论方法,如动态分析法等。
- 4) 优化论方法,它是现代设计法的目标。

- 我们是搞机械设计的。本课程是试图把一些现代设计方法应用到机械设计中的一个尝试,所以称为《现代机械设计方法选讲》。

前面已经指出,设计方法的研究包括设计步骤和程式以及与之相联系的解决具体设计问题的方法和手段的研究。下面对设计过程和设计技术略加叙述,以便有个概念性的了解。

机器的设计总是要有一定的步骤和程式的。例如,机床设计过去就有三段设计的程式,现在大体分为四个步骤,即调查研究,方案拟定(技术设计),工作图设计,样机试制和鉴定。显然,在完成每一步骤、程式时,都要应用一些分析问题和解决问题的具体方法和工具。这就涉及到整个机床设计的具体技术问题。然而,如果不考虑方法,则可能做不出最佳的设计来。例如,过去在机床的三段设计过程中,就很少考虑市场需求(因为不是商品经济而是计划调拨),设计方法上也未引入“创造性”的方法。

```

graph LR
    A[问题] --> B[分析]
    B --> C[综合]
    C --> D[解答]
    D -- 评价 --> B
  
```

```

graph LR
    Req[要求: 如  
1.跑得快  
2.会吱吱叫  
3.会游泳] --> Inf1[信息检索]
    Inf1 --> Fun1{功能分析}
    Fun1 -- 是 --> Out1[狗(叫的声音不对)]
    Fun1 -- 否 --> Inf2[信息检索]
    Inf2 --> Mod1[模型化]
    Mod1 --> Fun2{功能分析}
    Fun2 -- 是 --> Out2[狗身鸟头的新“动物”  
(不会游泳)]
    Fun2 -- 否 --> Inf3[信息检索]
    Inf3 --> Mod2[模型化]
    Mod2 --> Fun3{功能分析}
    Fun3 -- 是 --> Out3[狗身鸟头青蛙脚的新“动物”]
    Fun3 -- 否 --> Ellipsis[...]
  
```

狗、象、鸟等

鸟头、羊头等

青蛙、鸭脚等

要求: 如
1.跑得快
2.会吱吱叫
3.会游泳

信息检索

功能分析

换头

否

信息检索

模型化

功能分析

是

否

信息检索

模型化

功能分析

是

否

狗(叫的声音不对)

狗身鸟头的新“动物”
(不会游泳)

狗身鸟头青蛙脚的新“动物”

3

为了说明方法,举一个例子。假设要设计一种既要跑得快,又会吱吱叫,又会游泳的新玩具。在图 1-2 中,给出了一个按功能来考虑的,以创造性思维为主线的,为解决该问题提出的设计方案的设计步骤和程式。从这个例子可以看出,在设计过程中引入创造性设计方法的意义。

二、设计技术

不管采用那种设计过程的程式,对每一个具体阶段或步骤都需要应用某种设计技术。目前经常采用的是上述十一种方法论中的以下一些现代设计方法:1)技术预测法;2)创造性设计法;3)系统设计法;4)信号分析法;5)相似设计法;6)模糊设计法;7)动态分析设计法;8)有限元和边界元分析设计法;9)优化设计法;10)可靠性设计法;11)计算机辅助设计(CAD)法;12)艺术造型设计法。

可以把设计时的一般程式(纵向过程)和具体设计技术(横向方法)的纵横交叉关系看成是一个三维结构模式,如图 1-3 所示,并可称为“系统工程设计方法”模式。它是一个考虑多因素、多层次的复杂的科学方法体系。

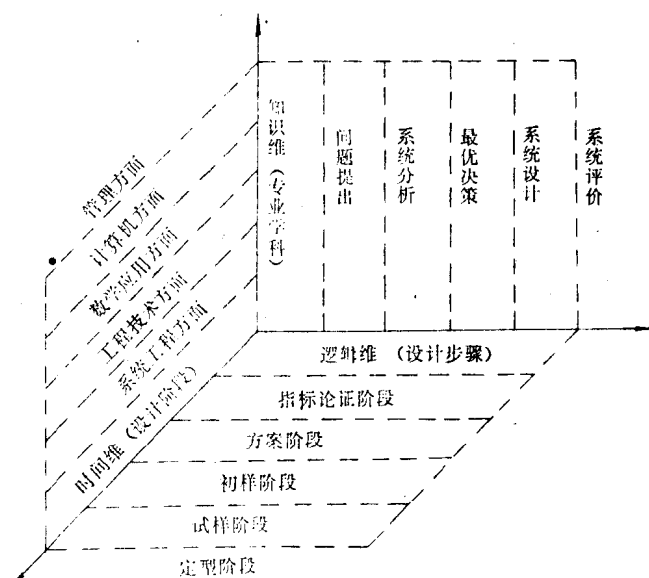


图 1-3 系统工程设计方法模式

第二章 系统分析设计法

传统的分析设计方法一般是把设计对象分解为许多独立的部分来分别进行研究。由于这是孤立地,且多是静止地分析问题,因此所得出的结论常带有片面性和局部性。

现代工程往往是一些大系统的巨大工程。例如,CIM 就是一个包括 NC 技术、成组技术、柔性系统、CAD、CAPP、CAM、机器人、物料运输和存储、生产管理、检测、信息通讯网络技术的大系统、大工程。它涉及到机械、电子、液压、管理、测量、控制、计算机技术、人工智能以及信息处理等科学技术领域,因而是一个多学科的综合技术系统。所以,在系统分析设计法中,就应该把设计对象看作是一个系统,用系统工程的概念进行分析和综合,并且按产品或系统开发的进程进行设计,以求获得最佳的设计方案。

§ 2-1 技术系统的组成和处理对象

我们所说的系统,一般包括以下四个组成部分:系统单元、系统结构、边界条件、输入和输出的要素。

系统单元是完成某种功能而无须进一步划分的单元,即系统相互联系和作用的基本组成要素。

系统结构反映着系统内部各个单元之间的关系,即相互联系和作用的联结形成。系统只有通过结构才能实现其总功能。然而,不同的结构既可完成不同的功能,也可完成相同的功能。

边界条件是系统与外部环境的作用界面,通过这种界面可以明确分析设计对象的范围。但是,界面又是相对的,可以因分析研究的具体要求不同而异。确定边界的主要依据是:在所研究的具体条件下,当该单元发生变化时,看是否对系统功能产生决定性影响,看是否应当把某个或某些单元包括在系统的内部。例如,在研究一项工作时,时间、地点、资源条件、人员的工作能力等是系统内部的组成单元;但若考核个人的工作能力时,学历、经验、技术水平等才是系统内部的组成单元,而上述的时间、地点、资源条件等因素则成为外部的环境要素。同时,根据与环境有无一定的联系,系统又可分为封闭的和开放的。封闭系统与环境无联系,开放系统受环境的影响。

系统的行为通常表现为它与其外部环境的相互联系和作用,可以用该系统的输入和输出来表征。

现在,用自行车为例,说明系统的组成,如图 2-1 所示。

自行车的系统单元是驱动、控制、支承、变速、转向、制动、转动等机构。这些单元组成自行车的结构,实现能量的转换、获得一定运动速度下的承载能力,完成运载的功能。自行车的边界条件是骑行环境,骑车人是它的外部环境要素。自行车的输入要素是骑车人的脚蹬力,

它是一种机械能量；输出要素是具有一定速度的承载力，也是一种机械能量。所以，自行车的输入和输出要素是能量，其内部结构实现能量的转换。

我们分析的都是工程技术系统。一般地说，它的处理对象是：能量、物料、信号等。所以，可以用图

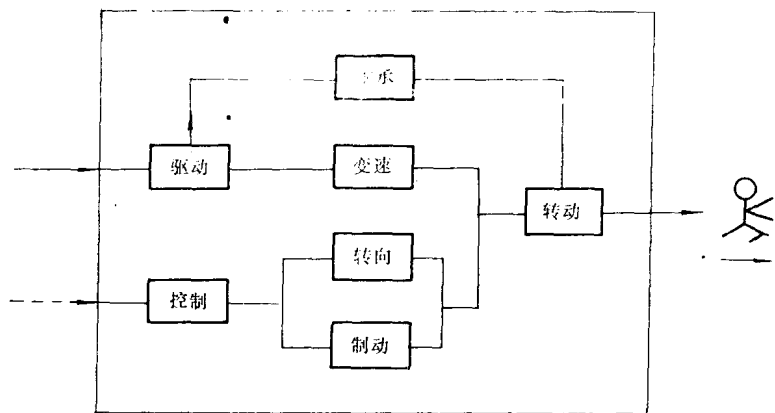


图 2-1 自行车系统的组成

2-2 来表达工程技术系统的示意图。图 2-2 中，工程技术系统的能量可以是机械能、热能、电能、光能、化学能、核能、生物能等；物料可以是材料、毛坯、试件、气体、液体等；信号可以是数据、控制脉冲、显示等。

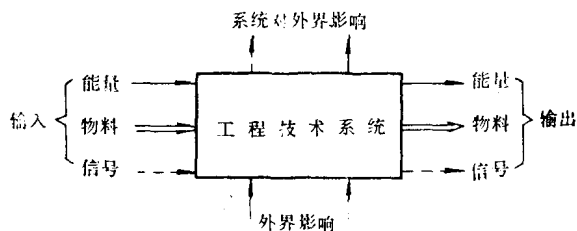


图 2-2 工程技术系统

§ 2-2 系统分析设计方法

在第一章 § 1-2 中，我们已经提到了，系统或产品的设计具有一定的程式或过程。这种程式或过程有多种模式，并给出一个表明设计过程和设计技术纵横交错关系和系统工程设计方法的三维结构模式。然而，如果从系统工程的观点出发，一个系统或产品的开发设计过程，不能仅限于系统或产品的设计，还需要有产品的制造和运行。即系统开发应包括：系统设计、系统制造和系统运行三个环节。只有这样才能验证其开发的效果。但是，我们这里讲述的是系统分析设计法，因此问题的讨论将仅限于系统或产品设计的范围之内。

一、设计过程剖析

一般地说，系统或产品的设计过程可概略地划分为：产品规划、方案设计、技术设计和施工设计等阶段。例如，机床设计就相应地划分为类似的四个阶段：1) 调查研究；2) 方案拟定（技术设计）；3) 工作图设计；4) 样机试制和鉴定。下面简要地介绍产品规划、方案设计和技术设计阶段的工作内容。

二、产品规划

设计的第一步是产品规划。这里首先需要明确所设计的系统或产品的目的和任务要求，并用设计任务书的形式表达出来，以作为后续的设计、评价和决策工作的依据。为此，需要进行市场需求分析、可行性分析和设计要求的拟定工作。

1. 市场需求分析

市场需求分析包括对销售市场和原料市场作如下几方面的分析：

- 1) 消费者对产品功能、性能、质量和数量等的具体要求；
- 2) 现有类似产品的销售情况和销售趋势；
- 3) 竞争对手在技术、经济方面的优缺点及发展趋向；
- 4) 主要原料、配件和半成品的现状、价格及变化趋势等。

2. 可行性分析

可行性分析从 30 年代起开始用于美国，现在已发展为一整套系统的科学方法，它包括：

- 1) 技术分析——技术方案中的创新点和难点以及解决它们的方法和技术路线等分析；
- 2) 经济分析——成本和性能价格比分析，即如何以最少的人力、物力获得最佳的功能和经济效果的价值优化分析；

3) 社会分析——随着生产的发展和工程项目的综合化、大型化，它们和社会的关系也日益密切。例如，美国在 1963 年作为国家计划曾决定开发速度为声速三倍的超音速客机。经分析，技术上可行，期望销售 500 架，按每架 400 万美元计算，其经济效益也很好。但问题是对社会和环境因素分析不足。因为这种超音速飞机高速飞行时，每小时消耗燃料 17~18 吨，燃烧产生的氢氧化合物会在地面上造成对人体有害的光化学烟雾，发热能够使局部小气候的温度升高 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ ，尤其是冲击波带来的噪声使人无法忍受。因此，纽约市议会决定超音速客机不得在距市中心 160 公里以内的地方起落。以速度为生命的客机不能接近城市便失去了高速的优越性。所以，1973 年 3 月美国政府不得不作出决定，停止开发此种超音速飞机。

经过技术、经济和社会各方面条件的详细分析和对开发可能性的综合研究，最后应提出产品开发的可行性报告。可行性报告的大致内容有：

- 1) 产品开发的必要性，市场调查和预测情况；
- 2) 有关产品的国内外水平、发展趋势；
- 3) 从技术上预期能达到的水平，经济效益、社会效益的分析；
- 4) 在设计、工艺等方面需要解决的关键问题；
- 5) 投资费用及时间进度计划；
- 6) 现有条件下开发的可能性及准备采取的措施。

3. 设计要求的拟定

设计要求的拟定工作包括：根据产品功能和性能提出设计参数和相关的指标，如可靠性、生产率、性能价格比等指标；列出制造、使用等方面的限制条件，如工艺方面（加工、装配、检验等）的限制条件和操作、安全、维修、外观造型等使用方面的具体要求等。

三、方案设计

1. 功能分析和原理方案拟定

方案设计阶段,第一步是原理方案拟定。

在系统分析设计中,原理方案拟定一般是从功能分析入手,利用创造性构思拟出多种方案,通过分析—综合—评价,求得最佳方案。

原理方案拟定的功能分析,首先是总功能分析。分析系统的总功能常采用“黑箱法”。

黑箱法是根据系统的输入和输出关系来研究实现系统功能的一种方法。即根据系统的某种输入,要求获得什么样的输出的功能要求,从中寻找出某种规律来实现输入—输出之间的转换,得到相应的解决办法,从而推求出“黑箱”的功能结构,使黑箱变成白箱的一种方法。也就是说,把待求的系统看作黑箱,分析比较系统的输入和输出的能量、物料和信号,其性质或状态上的变化、差别和关系就反映了系统的总功能。因此,可以从输入和输出的差别和关系的比较中找出实现功能的各种可能的原理方案来,从而把黑箱打开,确定系统的结构。

然而,一般工程系统都比较复杂,难以直接求得满足总功能的系统解。因此,应按系统分解的方法进行功能分解,即把总功能分解为一系列分功能,再针对各分功能用黑箱方法选择适合的功能元求得局部解答。最后通过各功能元求解分功能与总功能之间的关系建立功能结构系统,给出系统原理解。从这里可以看出,功能元求解方法是原理方案拟定中的一个重要方法。

2. 功能元类型

常用的功能元类型有:物理功能元,逻辑功能元和数学功能元三类,分别简单说明如下:

数学功能元是实现加、减、乘、除、开方、乘方以及微分、积分运算功能的机械、电子、电器等组件。如机械中的行星轮系就可以实现加、减和除法运算。

物理功能元主要是反映系统或设备中能量、物料、信号变化的基本物理作用的。常用的基本物理功能元有:

功能转换类——能量、运动型式、材料性质、物态和信号种类的变换;

功能缩放类——物理量的放大、缩小和物料性质的缩放(如压力和电压间的变化)等;

功能联结类——能量、物料、信号同质或不同质数量上的结合;

功能传导及离合类——反映能量、物料、信号的位置变化;

功能存贮类——它体现一定时间范围内保存的功能(如飞轮、仓库、弹簧、电池等)。

物理功能元是通过物理效应实现其功能而获得解答的。机械、仪器中常用的物理效应有:力学、液气、电力、磁力、光学、热力、核效应等。

同一物理效应可以完成不同的功能,同一功能可以用不同的物理效应实现。

逻辑功能元主要用于逻辑运算和控制,它通常是以“与”、“或”、“非”门,通过逻辑方法进行组合以实现相应的功能。可以采用机械(如开锁就是“与”,凸轮杠杆可实现“或”和“非”功能)、电子、电器、液压、气动等元件组成“与”、“或”、“非”等功能。

3. 功能元求解

1)参考有关资料、专利或产品求解;

2) 利用各种创造性方法以开阔思想来探寻解法;

3) 利用设计目录求解。设计目录是把能实现某种功能的各种原理和结构综合在一起的一种表格或分类资料。

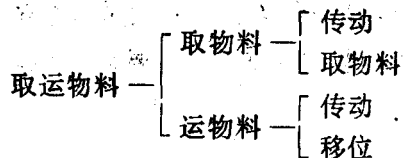
把各种功能元的局部解合理地予以组合, 就可以得到多个系统原理解。可以采用形态综合法或相关表和相关网法进行组合。

4. 求系统原理解的形态综合法

形态综合法是把系统功能元和局部解分别作为纵横坐标, 列出“形态学矩阵”, 从每个功能元取出一种局部解进行有机组合, 构成一个系统解的方法。

例 2-1 对于挖掘机的设计, 我们采用形态综合法来求解它的原理方案。

1) 功能分析——挖掘机的总功能是取运物料, 其总功能和分功能间的关系如下面的功能结构系统所示:



2) 列出各功能元及其局部解的形态学矩阵如表 2-1 所示。

表 2-1 挖掘机的形态学矩阵

功 能 元	局 部 解					
	1	2	3	4	5	6
A. 动力源	电动机	汽油机	柴油机	蒸汽透平	液动机	气动马达
B. 移位传动	齿轮传动	蜗轮传动	带传动	链传动	液力耦合器	
C. 移 位	轨道及车轮	轮 胎	履 带	气 垫		
D. 取物传动	拉 杆	绳 传 动	气缸传动	液压缸传动		
E. 取 物	挖 斗	抓 斗	钳 式 斗			

3) 系统解的可能方案数

$$N = 6 \times 5 \times 4 \times 4 \times 3 = 1440$$

如 A1+B4+C3+D2+E1→履带式挖掘机

A5+B5+C2+D4+E2→液压轮胎式挖掘机等。

5. 求系统原理解的相关表和相关网法

相关表和相关网法是为了系统地研究问题的要素之间的关系, 便于搞清要素的主次, 而把系统进行分解的一种求解方法。这种方法在设计过程中对认识问题、设计构思以及分析、综合和展开都是有用的。它也是一层一层“打开黑箱”使之逐步转变成白箱的一种系统分析设计的求解技术。下面举例说明之。

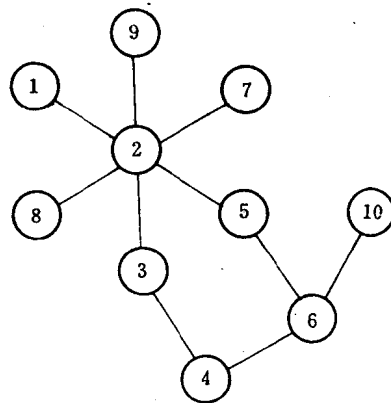
例 2-2 电子皮带秤的原理方案设计。

电子皮带秤的功能结构模型如图 2-3 所示。它给出了实现输入条件和输出要求的可能的功能结构模型。该结构模型的输入是物质流、能量流和信息流; 输出是物质流和信息流。图

•

示。

五



b) 相关网

1

设计

表 2-2

瓶盖整列装置的功能要求

功能	1. 不规则瓶盖整列为口朝上逐个输出	基本要求
	2. 整列速度 100 个/min	必达要求
	3. 整列误差小于 1/1000	必达要求
加工	4. 小批生产, 中小型厂加工	基本要求
成本	5. 成本不高于 2000 元/台	附加要求
	6. 结构简单	附加要求
使用	7. 操作方便	附加要求

第二步——功能分析。

1) 总功能——瓶盖整列, 其黑箱模型如图 2-6 所示。

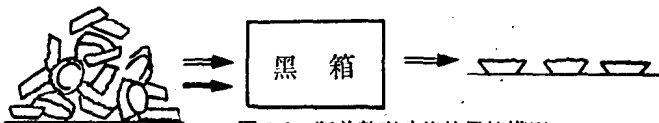
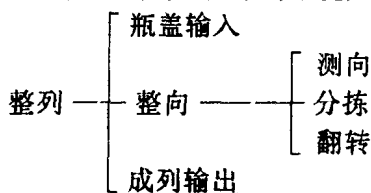


图 2-6 瓶盖整列功能的黑箱模型

2) 功能分解——总功能与分功能之间的功能结构系统如下:



第三步——功能元求解。采用形态学矩阵求解。相应的形态学矩阵如表 2-3 所示。

表 2-3

形态学矩阵

目标特征		局 部 解							
目标	标记	1	2	3	4	5	6	7	8
功能元	A 输入								
	B 测向								
	C 分拣								
	D 翻转								
	E 输出								
		重力	机械力	机械力	机械力	机械力	机械力	液、气力	