

Dubbel

机械工程手册

(第一卷)

W. Beitz und K.-H. Küttner

张 维 张淑英等 译

清华大学出版社

施普林格出版社

F 工程设计基础

Fundamentals of engineering design

G. Pahl, Darmstadt

张淑英 译 李师廉 校

Bahmann, H.: Einführung in das methodische Konstruieren. Braunschweig: Vieweg 1977. — *Conrad, P.*; *Schiemann, H.*; *Vömel, P. G.*: Erfolg durch methodisches Konstruieren. Grafenau: Lexika 1977 (Bd. 1), 1978 (Bd. 2). — *DIN*: Verzeichnis der Normen und Norm-Entwürfe. Berlin: Beuth (jährlich). — *Ehrlenspiel, K.*: Kostengünstig Konstruieren. Konstruktionsbücher, Bd. 35. Berlin: Springer 1985. — *Hansen, F.*: Konstruktionssystematik, 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1965. *Hansen, F.*: Konstruktionswissenschaft — Grundlagen und Methoden. München: Hanser 1974. — *Holmann, K.*: Methodisches Konstruieren. Essen: Girardet 1977. — *Hubka, V.*: Theorie der Maschinensysteme. Berlin: Springer 1973. — *Hubka, V.*: Theorie technischer Systeme. Berlin: Springer 1984. — *Kesselring, F.*: Technische Kompositionslehre. Berlin: Springer 1954. — *Klein, M.*: Einführung in die DIN-Normen, 9. Aufl. Stuttgart: Teubner 1985. — *Koller, R.*: Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Grundlagen, Arbeitsschritte, Prinziplösungen. Berlin: Springer 1985. — *Konstruktion im Maschinen-, Apparate- und Gerätebau* (Zeitschrift). Berlin: Springer ab 1948. — *Leyer, A.*: Maschinenkonstruktionslehre. Hefte 1–7, technica-Reihe. Basel: Birkhäuser 1977. *Matousek, R.*: Konstruktionslehre des allgemeinen Maschinenbaues. Berlin: Springer 1957 (Reprint). *Niemann, G.*: Maschinenelemente, Bd. 1: Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen. Berlin: Springer 1975. — *Pahl, G.*; *Beitz, W.*: Konstruktionslehre Handbuch für Studium und Praxis (mit umfassender Literatur). 2. Aufl. Berlin: Springer 1986. — *Pahl, G.*; *Beitz, W.*: Für die Konstruktionspraxis. Aufsatzreihe in der Konstruktion 24 (1972), 25 (1973) und 26 (1974). — *RKW-Handbuch*: Forschung, Entwicklung, Konstruktion. Berlin: E. Schmidt 1976–78. — *Rodenacker, W. G.*: Methodisches Konstruieren. Konstruktionsbücher Bd. 27, 3. Aufl. Berlin: Springer 1984. — *Roth, K.*: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Berlin: Springer 1982. — *Schlottmann, D.*: Konstruktionslehre. Berlin: VEB Verlag Technik 1977. — *Tjalve, E.*: Systematische Formgebung für Industrieprodukte. Düsseldorf: VDI-Verlag 1978. — *Tochtermann, W.*; *Bodenstein, F.*: Konstruktionselemente des Maschinenbaues, Teil 1 u. 2, 9. Aufl. Berlin: Springer 1979. — *Tschochner, H.*: Konstruieren und Gestalten. Essen: Girardet 1954. — *VDI-Richtlinie 2221*: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag 1986. — *VDI-Richtlinie 2222*: Konzipieren technischer Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag 1977. — *VDI-Richtlinie 2225*: Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Düsseldorf: VDI-Verlag 1977. — *Wolf, J.*: Kreatives Konstruieren. Essen: Girardet 1976. — *Zwicky, F.*: Entdecken, Erfinden, Forschen im Morphologischen Weltbild. München: Droemer-Knaur 1971.

1 技术系统基础

Fundamentals of technical systems

1.1 能量转换、物料转换和信号转换

Energy, material and signal transformation

工程任务(设备、器具、机器、仪器、部件、机械零件)是人工的和具体的系统, 这种系统是由按一定次序排列并按特殊关系互相结合的元素组成的总体. 系统的特点是: 它受到周围环境的限制; 它与周围环境的联系(输入/输出量)发生在系统的分界面上; 一个系统还可以划分成若干个子系统. 系

统可按照不同的目的和不同的观点分成或多或少的子系统。

图1表示一台机器内部的一个“离合器”系统。这个系统本身又可以分成两个独立的部件子系统“弹性离合器”和“操纵离合器”。而子系统又继续分成系统元素，这里称之为“零件”。这种细分是按照构造的观点进行的，但同样可以按照功能进行细分：人们可以按功能把总系统看成“耦合”，然后一个子系统又可分成两个次级子系统，即“接通力转换成法向力”和“摩擦力的传递”等等。

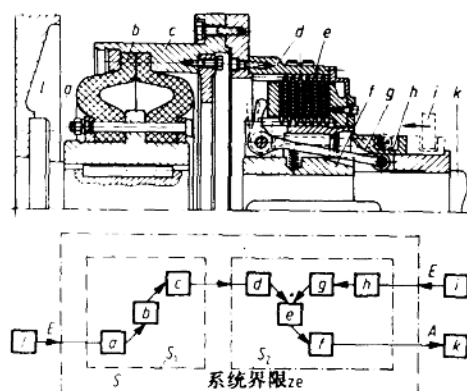


图1.“离合器”系统。a-h是系统元素(举例)；i-l是接通元素；S是总系统；S₁是子系统“弹性离合器”；S₂是子系统“操纵离合器”；E是输入量；A是输出量。

技术系统用于传递和/或改变能量、物料和信号的过程(图2)。在技术过程中要涉及到能量、物料和/或信号转换问题。从任务或者方案的类别来看，在技术过程中或是以能量流、物料流为主，或是以信号流为主。最好称它们为主要流，多数情况下总会有一种其它流伴随着主要流。这三种往往是全部出现。

为了更精确地拟定任务，明确地选择和评价某一方案，有必要在各个转换过程中考虑数量和质量的。

1.2 功能关系 Functional considerations

对于能量转换、物料转换和信号转换的技术

系统来说，总是要寻找出方案，为此在一个技术系统中，既要总系统的输入量和输出量之间、总系统和子系统之间、又要子系统本身之间的关系必须明确而且是可重复验证的(例如：力矩的传递、电能转换成机械能和物料流的截止、信号的存贮)为了实现提出的任务而要求建立的系统输入和输出之间这种关系称之为功能。功能是在抽象化的和与解决方案无关的高度上的对一项任务的描述。与总任务有关的功能称之为总功能。总功能通常可以细分成可辨认的分功能，各个分功能对应于总任务范围内的各项分任务(图2)。分功能联结成总功能的方式方法可形成多半为强制性的功能结构。常常只是通过配置变化才得到各种方案解。分功能联结成总功能时，必须具有合理性和相容性。

最好把分功能分为主功能和辅助功能。主功能是对总功能起直接作用的分功能，而辅助功能则是对总功能起间接作用的分功能。这两种功能相互支持或相互补充，这常常取决于解决方案的具体形式(具体例子如图3和图4)。物理过程是实现功能的前提，分功能到分功能的物理参量必须相互接应，否则就要在两功能之间加转换功能。

除上述情况外，还有确定和影响功能结构的逻辑关系。譬如只有实现了某些分功能之后，才能实现另外一些分功能(例如：在图4中分功能“计数”只有放置在“质量检验”之后才有意义)。就逻辑关系而言，也有必要找出与逻辑电路相对应的关系，这可以运用二进制逻辑运算的逻辑函数，如：真/假、是/非、开/关、完成/没完成，可以分为“与门”、“或门”和“非门”功能以及它们的组合。如：“非或”门(“或”门带有“非”门)，“与非”(“与”门带有“非”门)，或者用触发器实现的“存贮”功能(见A1.3)。

1.3 作用关系 Working interrelationship

1.3.1 物理关系 Physical considerations

通常分功能是由基于物理效应的物理现象来实现的。物理效应可以借助物理定律定量地描述。物理定律确定了各有关物理量的相互关系。如果这样一些物理效应在具体情况下对应着某一分功能，则由此得到这个分功能的物理作用原理(图5)。一个分功能可以由不同的物理效应来实现(见F2的表1)。

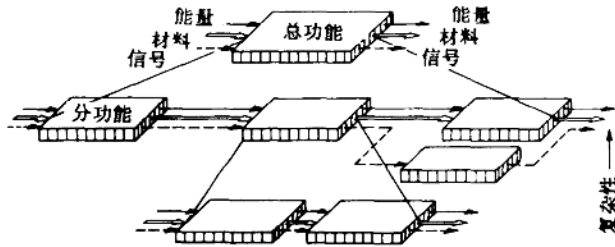


图2. 总功能细分成分功能的一个能量流、物流和信号流的功能结构形成

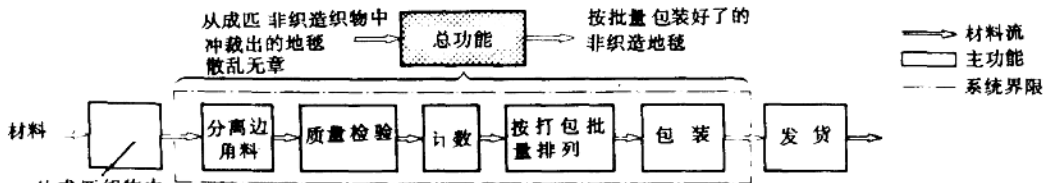


图3. 加工非织造地毯织物的功能链（功能结构）

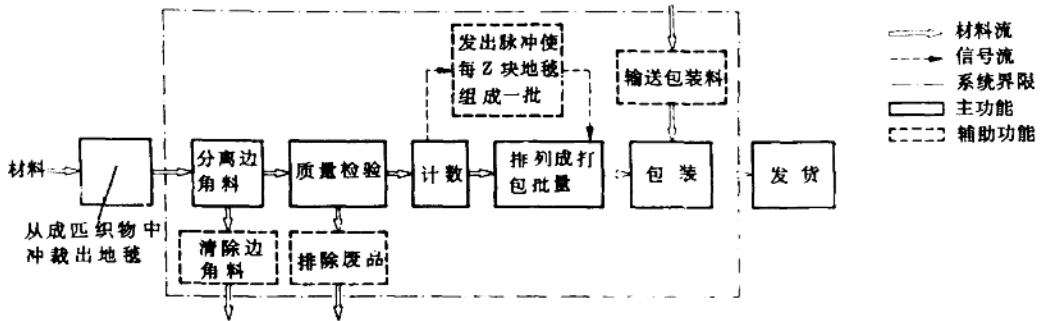


图4. 根据图3得出的加工非织造地毯织物的功能结构并附有辅助功能

1.3.2 几何特征和材料特性 Geometrical and material features

物理现象起作用的部位定义为作用部位。在运用物理作用原理时，功能是通过作用面和作用运动来强制实现的。作用面的结构一方面随作用面的种类、形状、位置、大小和数目而变化；另一面又是通过这些因素来确定。用类似的方法也可以确定所要求的作用运动（见F2的表2）。

此外，用什么样的材料构成作用面起码还要

有一个基本设想。只有综合考虑物理作用原理和基本的结构特性（作用面、作用运动和作用材料）才能清楚地表现出作用原理（图5）。

1.4 结构关系 Construction interrelationship

弄清作用结构中作用的关系是使结构进一步具体化的基础，这时必须考虑加工、装配等。在具体化的结构中，构件、组件及其在产品中的关系是确定的。（图6）

4 F 工程设计基础

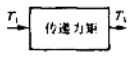
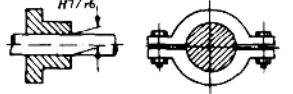
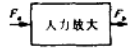
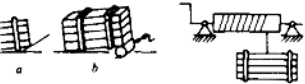
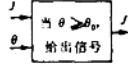
分 功 能	物理效应 (与方案无关)	分功能作用原理 (物理效应, 以及几何特征和材料特性)
	摩擦效应  $F_f = \mu F_y$	
	杠杆效应  $F_y a = F_x b$	
	热膨胀效应  $\Delta l = \alpha / \Delta \theta$	

图 5. 由物理效应和结构特征构成作用原理进而实现分功能

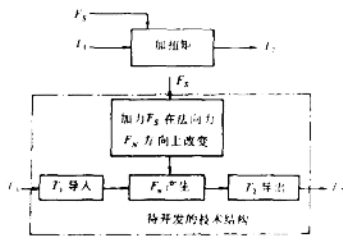
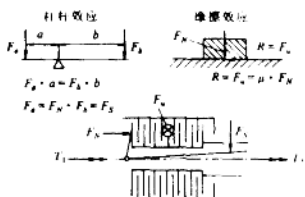
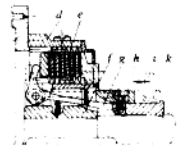
关 系	元 素	结 构	举 例
功能关系	功 能	功能结构	
作用关系	物理效应 几何特征 与 材料特征 ↓ 工作原理	作用结构	
结构关系	构 件 连接部件	结 构	
系统关系	技术结构 人 环 境	系统结构	

图 6. 技术系统关系

1.5 系统关系 System interrelationship

技术系统并不是孤立地存在的, 而是更高级系统的一个组成部分. 人在此系统中可起到各种各样的作用, 他可获得促使他继续处理问题的反馈信息. 人们还希望得到预期的系统目标功能, 但同时会伴随出现意外的输入干扰量以及不希望的输出副作用参量 (图7). 对这些的影响因素都必须给予注意.

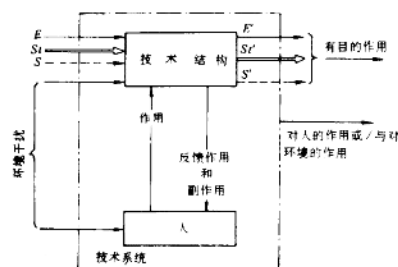


图7. 有人参加的技术系统的关系

1.6 总目标和条件

General objectives and constraints

技术任务的方案取决于所要达到的目标和约束条件. 这里总是把经济地实现技术功能和对人类以及环境的安全性作为总目标. 约束条件可以由具体的任务 (任务特有的条件)、技术水平、经济

的和一般形势 (一般条件) 给定.

根据下列的各项可以一目了然和全面地给定总目标和条件:

功能—作用原理—结构设计—安全与可靠性—人机学—加工—检验—装配—运输—使用—维修—排除—费用.

2 系统工作法 (即有系统有步骤地按一定方法进行的方式) 的基础

Fundamentals of systematic approach

2.1 一般的工作方法

General working method

解决任务的过程主要是进行分析和综合. 分析就其本质来讲是获得信息, 它是通过分解、细分和研究各个元素特性以及各个元素之间的关系而获得信息的. 这里要涉及到辨认、下定义、结构细分和编排分类. 综合其本质核心就是信息处理. 它包括联接的形成、共有九种作用的元素组合和系统全面的分类排序表示等方面的内容. 它是搜索和创新过程以及合成和组合的过程.

除上述外, 实行系统工作法时, 还必须满足下列前提: 准确地提出解决任务的论据; 清楚地列出边界条件和初始条件; 解除偏见; 寻找可行方案; 做出决策.

寻找方案时, 既要用直觉的思考方法 (突然想起、灵机一动、基本上是不自觉的、几乎不可再次表达出来), 又要用理性的思考方法 (自觉的、有步

骤的、可以介绍的) 作为辅助方法. 对于复杂的和范围广的任务, 要求细分成一目了然的分任务, 即对复杂的任务需要一步一步地解决, 其部分结果则可以或者应当只用直觉方法去寻找.

2.2 一般求解过程

General problem-solving

按工作步骤和决策步骤寻求方案过程一般是从定性开始, 然后逐渐具体到定量. 一般情况下, 任务的提出首先就意味着要着手解决一系列问题和寻找 (还) 不知道的实际可能性.

寻求方案过程的其它一般有效的阶段是寻找关于任务确定的信息、定义主要问题、创新思想、评价和检查任务确定以及决策下一步进程的目标^[1]. 在规范 VDI-2221^[2] 中给出了一种可适用于各种范围 (特别是生产和设计工作) 的工作过程 (图1).

2.3 为辨认问题把任务抽象化

Abstracting to identify the essential problems

把任务抽象化时, 不考虑个别的和偶然的问

题,而是力图通过分析任务辨认出一般有效的和主要的问题。像这样的一般化后,可以使任务的主要核心问题突出出来。假如把这主要核心问题准确地描述出来的话,则能清楚地找出总功能(见F1.2)和主要条件。

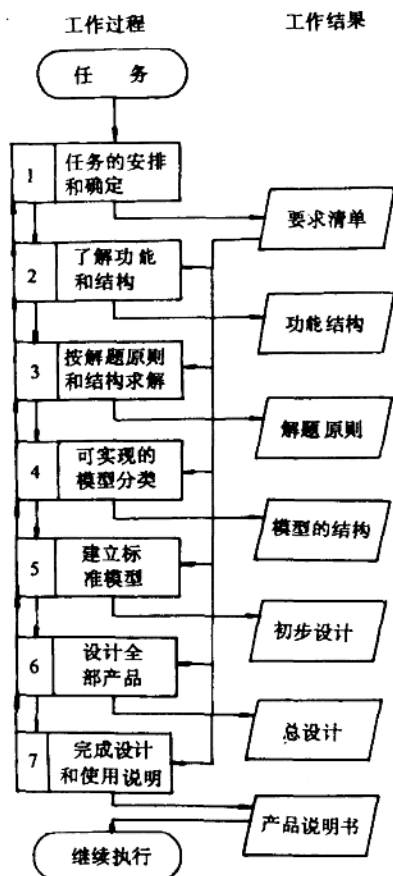


图1. 根据文献[2]给出的生产和设计的一般过程

2.4 寻找方案的原则

Search for solution principles

2.4.1 通用的方法

Generally applicable methods

在寻找方案时,借助分析和综合进行信息采集和信息处理是很重要的。对此,传统的辅助方法是查寻文献、搜索专利、分析自然的和众所周知

的技术系统、模拟观察、测量、模型试验。

要进行创新所用的手段是基于以下方法,这些方法可作为一般应用的基础:有针对性的提问、否定法和新方案拟定法、自觉向前推进法、后退法和系统化法。

2.4.2 直觉的方法 Intuitive methods

这些方法很大程度是立足于由于各参加者无拘束地表达看法而产生的联想、类比想象和小组动态效应,其中有些方法已在不同程度上格式化:集思广益会法,可称为“智力爆发”(Brainstorming)^[3]、比喻法,又称“类比联想法”(Synektik)^[4]、635法^[5]和得尔斐(Delphi)法^[6]等。最简单和花费力量少的是“集思广益会”。

2.4.3 逻辑推理的方法 Discursive methods

这些方法主张以自觉的有步骤的工作方式求得解决方案,但也并不排除直觉法。原则上,此方法是要一方面系统研究涉及到物理过程或想到的物理事件;另一方面从目前已知的功能、物理或者结构方面的关系中导出分类排序观点。这些分类排序观点写在一个方案寻求表(又称分类排序表)中,可能会启发出新的或者其它的解决方案。

系统研究物理现象 特别是系统研究那些涉及多个物理参量的物理现象,因而将会得到不同的方案解,即通过对各物理量之间关系进行分析,依次分析一个自变量与一个从变量之间的关系,把届时其余影响参量视为常数,从而获得各种不同的方案解。对于方程式 $y=f(u, v, w)$ 而言,将寻求: $y_1=f(u, \underline{v}, w)$; $y_2=f(\underline{u}, v, w)$; 和 $y_3=f(\underline{u}, \underline{v}, w)$ 情况下的可行方案,其中在变量下面加一横线表示该量应为常数。由此而得到的这些关系将通过各种不同的具体方案原理、作用面来实现,或者通过已经熟悉的构件以具体的形状实现^[7]。

借助分类排序表系统地进行方案寻求 一种系统地、分类地表示信息方法能够启发人们寻求到其它另外的方案,它使人们看出主要的方案特征,这又能够启发人们全面地思考,从而能够得到一个有关各种可行方案和组合的概貌。分类排序表在设计过程中,可以作为方案寻求表、相容性矩阵或者

设计目录使用^[8]。

一般常用的两维图表由行和列组成, 各行和各列对应着一些参数, 而这些参数是按照某一分类排序观点推导出来的, 各种方案填写在行列交叉的两维图表 (又称矩阵图) 中。图 2 所示的例子

中, 行的排列是根据地毯条幅运动种类, 而列的排列则是根据涂敷夹具的运动种类, 其运动种类的参数为: 静止、平移、振动和转动以及包括各种可能组合的运动。表 1 和表 2 可以帮助选择分类排序观点和各个参数。

涂敷 夹具 地毯条幅	A_1 静止	A_2 平移	A_3 振动式	A_4 转动	A_5 转动 + 平移	A_6 转动 + 振动式	A_7 振动式 + 平移
B_1 静止							
B_2 平移							
B_3 振动式							
B_4 转动							
B_5 转动 + 平移							
B_6 转动 + 振动式							
B_7 振动式 + 平移							

图 2. 通过地毯条幅和涂敷夹具的复合运动来涂敷地毯表层花纹的各种方案

表 1. 分类排序观点和在物理原理寻求阶段上用以产生变型的各种特征

分类排序观点 能量种类、物理效应和表现形式		分类排序观点 能量种类、物理效应和表现形式	
特征	举例	特征	举例
机械的	万有引力、惯性力、离心力	光学的	反射、折射、衍射、干涉、偏振、红外、可见光的、远紫外线的
液压的	液体静压的、液体动压的	热学的	膨胀、双金属效应、散热器、热传递、热传导、绝热
气压的	气体静压的、气体动压的	化学的	燃烧、氧化、还原、溶解、化合、转换、电解、放热效应、吸热反应
电动的	静电的、电动的、电感的、电容的、压电的、变压、整流	核能的	辐射、同位素、能源
磁性的	铁磁的、电磁的	生物的	发酵、腐烂、解体

表 2. 分类排序观点和在结构原理寻求阶段上用以产生变型的各种特征

分类排序观点	
作用面、作用运动和主要的材料特性	
作用面	
特征	举例
种类	点、线、面、体
形状	倒圆角、圆、椭圆、抛物线、双曲线、三角形、长方形、五角形、六角形、八角形、圆柱体、锥体、菱形体、立方体、球体、对称的、非对称的
位置	轴向的、径向的、垂直的、水平的、平行的、前后依次
大小	小、大、窄、宽、高、矮
数目	整体的、分开的、单个的、双倍的、多倍的
作用运动	
特征	举例
种类	静止的、平移的、转动的
形状	均匀的、非均匀的、振动式的、平面的、空间的
方向	在 x 、 y 、 z 方向和 / 或沿着 x 、 y 、 z 轴
数目	一个、多个、合成运动
主要材料特性	
特征	举例
状态	固体、液体、气体
性能	刚性的、弹性的、塑性的、韧性的
形态	固体、颗粒、粉末、尘埃

如果把分功能写入头一列中和把寻找方案特征写入头一行中, 则在交叉的方格中会求出单个分功能方案解, 它们可以具体地组合成满足总功能的原理合成(总)方案。假如分功能 F 有 m_1

个方案解, 分功能 F_2 有 m_2 个方案解等等。这样在构成一个完整的组合时, 从理论上可以得到可能的总方案数为: $N=m_1 m_2 \cdots m_n$ (图 3), 当然并不是所有的总方案都是有意义的和可以接受的。只有那些看起来尚有发展前途的方案才有必要继续探讨^[9]。

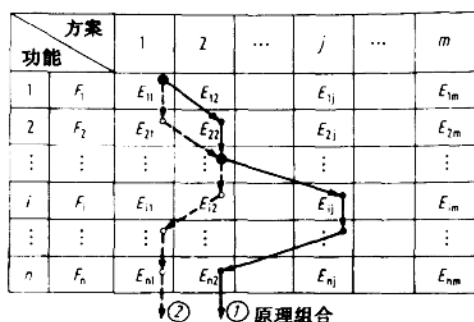


图 3. 由各个分功能的不同方案原理构成满足总功能的原理组合

借用目录系统地搜寻, 对那些多次重复出现的任务和具有一定通用性的任务, 使用设计目录是有很大的优越性^[17]。这方面的目录有方案汇集, 有的汇集还比较完整, 有的尚欠缺完整性。对应于具体任务的各个条件, 把方案特征系统地加编进去, 从其中有可能找到一个适宜的方案被直接采用, 或从其中至少会得到一些新的启发。

系统编制的清单, 除了具有高度的完整性外, 还有特性特征和用于作比较的方案特性, 这是非常优越的。这样容易理解的系统同时又是继续进行方案搜索的极佳基础。 R_0 th^[18] 除了编制了非常多的设计清单外, 还详细地说明了这类清单的构造和使用。一般情况, 设计清单由分类部分(分类排序观点、从此观点能明显看出清单的范围和完整性)、主要部分(以带有解释的公式和草图表示的内容)和提取部分(使选择可靠和简单的特性特征)所组成。

2.5 方案评价 Evaluation of solutions

2.5.1 选择方法 Selection procedure

选择方法是格式化了, 它通过筛选和优选使

选择变得简化容易, 特别是对于建议或组合方案的数目较多时更是如此。原则上讲, 在每一工作步骤出现许多方案之后, 都应进行这样的选择过程。往下只进行那些与任务要求有关的和/或相互相容的方案, 进行那些满足任务表要求的, 就其效率、大小结构来讲能实现的, 并且其费用还在允许范围内的方案。如果筛选后还剩下许多方案, 而这些方案还具有某些合理的前提, 那么才需要对这些容易实现的方案进行优选。比如: 具有直接的安全技术; 或者合乎人-机学的要求; 或者在基本方案范围内有成熟的专门技术; 材料或工作方法以及合适的专利等等。

2.5.2 评价方法 Evaluation procedure

为了准确地评价已经用一种选择方法选出来的方案, 就应求出与预先定好的目标有关的方案价值。此处必须注意技术的和经济的观点。作为方法有: 用价值分析^[10]和根据规范 VDI 2225 提出技术的和经济的价值。这种评价方法主要由 Kessel^[11, 12]首先提出。

评价方法的基本工作步骤:

识别评价标准 一般, 一个目标设想包含了许多目标, 从目标设想中可以直接导出各个评价标准。考虑到以后同价值设想的对应关系, 应对评价标准正面描述, 即要有统一的评价方向 (例如: “噪声小” 而不要描述成不“嘈杂”)。任务书中的最低要求和希望 (已经满足了的要求不再考虑, 见 2.5.1) 与一般技术特性 (见表 3) 给出了有关评价标准的指导。这些评价标准须相互独立, 以便避免重复评价。

对总价值的意义研究 如果允许, 只对重要性相同的事物 (等权物) 做出评价, 则可把不重要的评价标准筛选掉。对那些重要性不同的评价标准用加权系数评定。表 4 是评价两个方案的举例。

特征量汇总 如要列出价值设想时, 特征量之特征值最好用数值描述, 但是往往有时不可能做到, 此时就需要用语句定性描述 (表 4)。

按价值设想进行评价 用赋予价值 (即打分数) 的办法进行本身的评价。这些价值是从前面找到的特性量中, 配置以价值设想 (W_{ij} 和 W_{gij}) 而求得的。在价值分析中, 有的采用较大的数值范围 (0 分 = 方案不能用, 10 分 = 理想的), 而德国工

表 3. 用来评价主要特征的指导原则

功能	必须要求的辅助功能载体的特性, 是强制地从选定的方案原理或者从方案变型中求得
作用原理	简单而明确地实现功能所选定的一个原理或许多个原理的特性, 其作用要充分, 干扰量要小
结构设计	零件少、结构简单、体积小, 没有特殊材料和设计计算问题。
安全性	优先采用直接的 (自然形成的) 安全技术, 不需要额外的附加保护措施, 劳动安全和环境保护要有所保证
宜人学	正确解决人和机器的关系, 或者不要给人类带来负担和害处。造型要美观。
加工制造	采用少量而常用的加工方法, 不用昂贵复杂的夹具, 简单构件数目要少
检验	检查或检验必须少、简易可行又要说明问题
装配	容易、方便和快, 不需要特殊工具
运输	运输工具一般, 不出危险
使用	工作运行要简单、寿命长、磨损小、操作方便又一目了然
维修	维护和清洗简单而且工作量少, 容易检查、修理
费用	不需要特别的运行费用或其它辅助费用, 能按期完成没有进度上的风险

程师协会的 VDI 2225 规范采用较小的数值范围 (从 0 到 4)。在赋予价值时会受主观因素的影响, 因此最好由一组人员进行赋值, 并且对所有的方案要按评价标准顺序 (一行接一行) 往下评定, 绝对不要按着方案先评定完一个方案再评下一个方案。

确定总价值 用加法规则把未加权的和加权的分价值 (W_j 和 W_{gj}) 相加, 以求得总价值。

方案比较 此处最好把总价值 ($G W_i$) 除以最大总价值 (理想值)。在很多情况下, 建议分别算出技术价值性 W_t 和经济性 W_w , 特别是知道为确定经济价值性所需要的制造成本或价格时, 更有必要如此, 技术价值性根据下述公式求得:

表4. 填有评定值的评价表, 用数值举例(摘录)

评价标准			特性量		变型 V_1 (例子 M_1)			变型 V_2 (例子 M_2)		
N_r		权系数		单位	特性值 e_{i1}	价值(打分数) W_{i1}	权值 W_{gi1}	特性值 e_{i2}	价值(打分数) W_{i2}	权值 W_{gi2}
1	燃料消耗少	0.3	燃料消耗	$\frac{g}{kWh}$	240	8	2.4	300		1.5
2	结构种类容易	0.15	功率重	$\frac{kg}{kW}$	1.7	9	1.35	2.7	4	0.6
3	加工简单	0.1	铸件复杂程度	—	复杂	2	0.2	中等	5	0.5
4	寿命长	0.2	寿命	行程 km	80000	4	0.8	150000	7	1.4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
i		g_i			e_{i1}	W_{ij}	W_{gi1}	e_{i2}	W_{i2}	W_{gi2}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n		g_n			e_{n1}	W_{n1}	W_{gn1}	e_{n2}	W_{n2}	W_{gn2}
		$\sum_{i=1}^n g_i = 1$			GW_1 W_1	GW_{g1} W_{g1}			GW_2 W_2	GW_{g2} W_{g2}

$$W_j = \frac{\sum_{i=1}^n W_{ij}}{W_{max} \cdot n} \quad (\text{未加权的})$$

和

$$W_{gj} = \frac{\sum_{i=1}^n g_i W_{ij}}{W_{max} \sum_{i=1}^n g_i} \quad (\text{加权的})$$

两种价值性对应地标记于一价值坐标图中, 并且可检验两种价值性的相互均衡性^[10,11].

评价不可靠性的估计 在作出决策以前必须估计一下评价的可靠性,即估计一下由于信息不足和各个人的评价不同对评定价值造成多大影响. 必要情况下还要另外记下价值性范围或者趋向. 数值相差不大的各价值性还不能确定它们的等级高低次序.

寻找薄弱环节 当按单项评价标准得出的值低于平均值时, 就可以发现方案的弱点. 一般讲来, 尽管方案的某个部分价值稍低一点, 但各个部分价值大小都比较均匀, 这比那种某个分价值较高, 但具有明显的而又难以充分克服的薄弱环节

的方案要好.

2.5.3 确定制造费用
Estimating production costs

制造费用 HK 由材料费用 MK (自制材料和外购材料) 和加工费用 FK 两部分合成^[13]: $HK = MK + FK$. 有时还要附加上加工特殊费用.

在采用区分单项附加费用成本计算法情况下, 比如象制造技术产品那样, 通常材料费用 MK 由自制材料费用 FM (有时外加外购材料费用) 和材料一般费用 MGK 构成. 而生产费用 FK 由工人工资 FL 和一般加工费用 FGK 组成: $MK = FM + MGK$ 和 $FK = FL + FGK$. 材料一般费用是指材料经营管理费用. 在与生产有关费用中除了工人工资以外, 把其它费用分成为固定的一般费用 (例如: 生产设备的折旧费、厂房租费、职工工资) 和与生产直接有关的浮动 (成比例地增大) 的一般费用 (例如: 能耗费用、工具费用、维修费、辅助工资).

为了提高成本计划精度, 经常采用费用地点成本计算方法, 按照具体每个费用地点的一般费用和单项费用的比例可求得到一套专用的附加费用并

加以考虑。这样, 制造费用将由所有各费用地点的费用总额来算出 ($FM_1 + MGK_1 + FL_1 + FGK_1 + FM_2 + MGK_2 + FL_2 + FGK_2 + \dots = \sum FM_i \cdot (1 + g_{M_i}) + FL_1 (1 + g_{L_1})$), 工人工资是由基本时间、休息时间和分配时间的总和, 有时还加上设备调整时间乘以工资定额 (工资级别) 求得, 计算单位是马克/单位时间。

制定价格的一个重要因素是自制成本。自制成本是由制造费用 HK 、研制和设计费用 EKK 、一般管理费用 $V_w GK$ 和一般销售费用 $V_s GK$ 来计算的: $SK = HK + EKK + V_w GK + V_s GK$ 。具体的费用计算可参阅德国工程师协会规范 VDI 2225。

2.5.4 成本早期估算 Costing

如果能在各种方案的修订阶段就看出成本变化的趋势, 将对设计师是很有帮助的。通常在这种情况下只需分析可变成本并可有以下几种方法:

相对成本目录 在该目录中价钱或者说成本是以相对比较参数为基准的成本数据, 比绝对成本数据更为长久地有效。通常有用的是材料、半成品和标准件的相对成本目录。构形部份的相对成本目录已在 DIN 32991 中制定了基本规则。例如相对材料成本已归纳在 [16] 中。

关于材料成本部份的成本估算 如果在某一具体的应用领域中材料成本 MK 与制造成本 HK 的比值 m 是已知, 那么就可以由按文献 [16] 所求出的材料成本估算出制造成本。制造成本的公式: $HK = MK/m$ 。然而此种方法对于结构尺寸变化较大的情况是无效的。

回归计算方法辅助成本估算 运用成本核算数据统计求出成本与特征量 (例如: 功率、重量、直径、轴高) 的关系式, 以回归计算方法辅助 (见 A 9.5.3) 求出一个运用回归系数和指数以确定回归方程式。然后以此方程式在一定的离散区域内计算出成本大小。在建立方程式时, 工作量可能很大, 所以多数情况下没有计算机设备时其计算是不太可能实现的。基于现实状况不断变更的原因, 如计时工资这类不断变化的参量, 应在回归方程式中设有独自的系数或以相对成本的形式出现。通常是不允许从回归方程式的指数和系数推导出被选择的几何或工程特征量与成本核算的关系, 这

些特征量具有数学公式的特性。其余的计算过程和应用举例见文献 [18, 19]。

用相似定律辅助进行成本估算 当结构部件为一几何相似或半相似的系列产品 (见 F5) 或者作为已知的一个变量时, 运用相似定律确定成本增长较为适宜。成本的公比 φ_{HK} 是派生型成本 HK_q (目标成本) 与基型成本 HK_o (已知成本) 的比值并且相似。

$$\varphi_{HK} = \frac{HK_q}{HK_o} = \frac{MK_q + \sum FK_q}{MK_o + \sum FK_o}$$

材料成本以及单项加工成本或时间 (例如车、钻、磨) 与制造成本的比值是由基型结构件而计算出的:

$$a_m = MK_o / HK_o; a_{F,k} = Fk_{k,o} / HK_o$$

k 是加工工种。

从已知的单项成本增长定律中可用公式求出总的成本增长定律:

$$\varphi_{HK} = a_m \varphi_{MK} + \sum_k a_{F,k} \varphi_{FK,k}$$

在通用的公式中可以一个特征长度关系式来表示:

$$\varphi_{HK} = \sum_i a_i \varphi_L^{x_i}; \varphi_L = L_q / L_o \text{ (见 F 5.1)}$$

$$\text{令 } a_i = 1 \text{ 和 } a_i \geq 0$$

对于几何相似件来说, 求以相应尺寸 (特征长度) 关系式表示的指数是较为简单的。其指数可用整数:

$$\varphi_{HK} = a_3 \varphi_L^3 + a_2 \varphi_L^2 + a_1 \varphi_L^1 + (a_0 / \varphi_Z)$$

令 $\varphi_z = z_q / z_o$; z 为批量大小

对于材料成本一般运用 $\varphi_{MK} = \varphi_L^3$ 。对于加工工种用表 5。

a_i 项则从表格中 (例如表 6) 由所对应的标准设计逐项求出。此例的成本增长定律则为:

$$\varphi_{HK} = 0.49 \varphi_L^3 + 0.26 \varphi_L^2 + 0.20 \varphi_L + 0.05$$

一个 $\varphi_L = 2$ 的大小为此 2 倍几何相似的设计则其成本增长的公比 $\varphi_{HK} = 5.41$ 。

对于半相似变量只把那些具体变化的长度用相

表 5. 按 [22] 各种加工工种几何相似情况下每单元时间的指数

机器类型	加工方法	指数		命中率
		计算的	圆整的	
万能车床	车外圆与车内孔	2	2	++
	车螺纹	≈1	1	+
	切 断	≈1.5	1	+
	车 槽	≈1	1	+
立式车床	倒 角	≈1	1	+
	车外圆与车内孔	≈2	2	++
摇臂钻床	钻	≈1	1	0
	攻 丝	≈1	1	0
镗 床	镗 孔	≈1	1	0
	车 钻	≈1	1	0
铣槽机	铣键槽	≈1.2	1	+
万能外圆磨床	外圆磨	≈1.8	2	++
圆锯床	型材锯切	≈2	2	0
剪板机	铁板剪切	1.5—1.8	2	+
折边机	平板折边	≈1.25	1	+
压力机	型材校直	1.6—1.7	2	+
倒棱角机	钢板斜边	1	1	++
燃烧切割机	平板切割	1.25	1	++
MIG 和 E 手用焊接机	I 型坡口	2	2	++
	V, X,	2.5	2	++
退 火		3	3	++
喷砂(每按重量与表面的 计算)		2 或 3	2 或 3	++
装 配		1	1	++
焊接件固紧		1	1	++
用手去毛刺		1	1	++
油 漆		2	2	++

++ 命中率较高
+ 比++低
0 离散较大

对应的指数代入。常数项则作为方程式的末项。部件成本计算举例和求成本结构计算见文献 [20, 21]。

降低成本规则见文献 [19, 22]。

表 6. 用标准流程图和标准设计成本求成本增长定律的 a_i 项(举例)

工 种	成本按 ϕ_L^3 增长	成本按 ϕ_L^2 增长	成本按 ϕ_L 增长	固有 成本
材 料	800			
燃 烧			60	15
倒棱角			35	
定位焊接			105	
焊 接		500		
退 火	80			
喷 砂	40			
划 线			40	
镗 床			100	70
Raboma			30	15
摇臂钻				
1890 马克 = H_0 =	$\sum_3$ (=920)	$+\sum_2$ (=500)	$+\sum_1$ (370)	$+\sum_0$ (100)
	$\sum_3/H_0$ (=0.49)	$+\sum_2/H_0$ (=0.26)	$+\sum_1/H_0$ (=0.20)	$+\sum_0/H_0$ (=0.05)

2.5.5 价值分析 Value analysis

价值分析是一个在全面考虑各种影响因素情况下有计划地降低成本的方法(可参考德国工业标准 DIN 69910, [14—16]), 为实现所要求的总功能和必要的分功能而需要的成本, 可以通过单个构件成本计算来确定。这种“功能费用”是评价方案的有力依据, 并能以批判的眼光对方案进行明显的阐述, 这是由于它从同等重要的程度上汇总了销售观点(所有的功能都是必要的吗?), 设计观点(合理的功能结构、方案和必要的分功能的选择)和加工观点(单件的结构设计)等等, 而且给予了有批判的分析。从这个分析中, 能获得怎样寻找使成本明显降低的新方案的重要启示。价值分析是用于技术设计完毕后的校核工作, 价值分析采用了和方法学一样的方法和辅助工具。因此, 这两种方法是相辅相成的。

专门参考文献: [1] Pahl, G.; W. Beitz: Konstruktionslehre, 2. Aufl. Berlin: Springer 1986. — [2] VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag 1986. — [3] Holliger, H.: Morphologie — Idee und Grundlage einer interdisziplinären Methodenlehre. Kommunikation 1. Bd. Quickborn: Schnelle 1970. — [4] Osborn, A. F.: Applied imagination — principles and procedures of creative thinking. New York: Scribner 1957. — [5] Hellfritz, H.: Innovation via Galeriemethode. Königstein/Taunus: Eigenverlag 1978. — [6] Gordon, W. J. J.: Syntectics, the development of creative capacity. New York: Harper 1961. — [7] Rohrbach, B.: Kreativ nach Regeln — Methode 645, eine neue Technik zum Lösen von Problemen. Absatzwirtschaft 12 (1969) 7375. — [8] Dalkey, N. D.; Helmer, O.: An experimental application of the Delphi method to the use of experts. Management Sci. 9 (1963) 458 — 467. — [9] Rodenacker, W. G.: Methodisches Konstruieren, 2. Aufl. Konstruktionsbücher, Bd. 27. Berlin: Springer 1976. — [10] Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Berlin: Springer 1982. — [11] Zwicky, F.: Entdecken, Erfinden, Forschen im Morphologischen Weltbild. München: Droemer-Knaur 1966, 1971. — [12] VDI-Richtlinie 2222 Bl. 2: Konstruktionsmethodik, Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1982. — [13] Kiper, G.: Katalog einfachster Getriebebauformen. Berlin:

Springer 1982. — [14] Zangemeister, Ch.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. München: Wittmannsche Buchhandlung 1970. — [15] Kesselring, F.: Bewertung von Konstruktionen, ein Mittel zur Steuerung von Konstruktionsarbeit. Düsseldorf: VDI-Verlag 1951. — [16] VDI-Richtlinie 2225: Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Düsseldorf: VDI-Verlag 1977. — [17] REF A Bd. 3: Methodenlehre des Arbeitsstudiums, Kostenrechnung Arbeitsgestaltung. München: Hanser 1971. — [18] VDI-Berichte Nr. 457: Konstrukteure senken Herstellkosten — Methoden und Hilfsmittel. Düsseldorf: VDI-Verlag 1982. — [19] VDI-Richtlinie 2235: Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren, Methoden und Hilfen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1982. — [20] Pahl, G.; Rieg, F.: Kostenwachstumsgesetze für Baureihen. München: Hanser 1984. — [21] Pahl, G.; Beelich, K. H.: Kostenwachstumsgesetze nach Ähnlichkeitsbeziehungen für Schweissverbindungen. VDI-Berichte Nr. 457. Düsseldorf: VDI-Verlag 1982. — [22] Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U.: Kostenfrüherkennung im Konstruktionsprozeß B. VDI-Berichte Nr. 347. Düsseldorf: VDI-Verlag 1979. — [23] VDI-Richtlinien 2801 u. 2802: Wertanalyse. Düsseldorf: VDI-Verlag 1970 u. 1971. — [24] VDI: Wertanalyse. VDI-Taschenbuch T 35. Düsseldorf: VDI-Verlag 1972. — [25] VDI-Berichte Nr. 293: Wertanalyse 77. Düsseldorf: VDI-Verlag 1977 (mit umfangreichem Schrifttum).

3 设计过程 The design process

在 F 2.2 节中阐述的寻求解决方案的一般过程, 将在运用各种具体方法 (见 F 2.3 到 F 2.5) 和考虑结构设计基础 (见 F 4) 的情况下运用到各个不同的具体设计阶段中去。它分成几个主要阶段:

任务确定、方案设计、技术设计和施工设计。

3.1 任务确定说明 Defining the requirements

这个阶段主要是设法获得关于任务要求的信息, 即对方案的要求、所具备的条件及任务的意义

等,由此将制定出任务要求一览表,按习惯又称

表1. 运用主要特征确定任务要求一览表的指导原则

主要特征	举 例
几 何	大小、高度、宽度、长度、直径、数目
运动学	运动方向、速度、加速度
力	作用力方向、作用力大小、力作用次数、重量、载荷
能 量	功率、效率、压力、温度、加热、冷却、供应能量
材 料	材料流、输入和输出产品特性、辅助材料
信 号	输入和输出测量量、信号形式、指示、运行和监护仪器
安全性	直接安全技术、保护系统、劳动和环境安全
宜人学	人·机·关系:操作、操作高度、操作种类、照明、造形
加 工	可制造的最大尺寸、优先采用的加工方法、公差
检 验	测量方法和检验方法、特殊规范(TöV, ASME, DIN, ISO, AD 备忘录等规范)
装 配	特殊装配规则、装配、装入、工地式装配、打地基
运 输	受起重工具的限制、轨道轮廓、按大小和重量的运输路线、发货种类和条件
使 用	噪音小、磨损率、使用和销售领域、使用地点(例如:含硫的大气、热带地区)
维 护	免维护性以及维护的次数和所需时间、检查、维修、清洗
费 用	最大允许制造费用、工具费用、投资和折旧费
期 限	研制结束日期、各个中间步骤的网络计划、供货时间

为设计任务书,这些信息通常只包含使用者的要求,而不用设计师的语言来表达。

3.1.1 任务要求一览表 The design specification

任务要求一览表包括待解决的 task 的目标和条件,目标和条件是作为要求和希望的形式表示出来的:

——要求意味着在所有的情况下必须要能实现(必须拟订并给出最低要求,例如: $P > 20 \text{ kW}$, $L \leq 400 \text{ mm}$);

——希望(有不同程度的意义),应根据可能加以考虑,有时也允许增加点有限的费用。

在还没有确定出一定的具体方案时,就要给出定量(数目、件数、批量大小等等)和定性(允许偏差、耐热带气候等等)的技术数据,只有这样才可得到足够的信息,最好还给出产生这些要求和希望的根据或来源。

在研制过程中,由于又知道了一些较好的解决方案,或者由于时间的推移任务重点有所变化,都可能促使再次修改和补充,这些都必须随时随地填入任务要求一览表中。

3.1.2 拟定要求 Formulation of requirements

这里推荐使用一个主要特征表(表1),作为帮助识别各种要求的辅助工具,并且还能促进工作人员系统联想。工作人员把特征表中给出的概念应用到他面临的具体任务上,并提出各种有待他去求解的问题,把必要的功能和专门的条件都是按能量转换、物料转换和信号转换的观点(特征:几何、运动学、力、能量、材料、信号)加以汇总,还有其它一些特征用来考虑尚存在的一般条件和特殊条件,这种概念汇总表可以帮助提醒人们不至于忘掉了主要的东西。

3.2 方案设计 Conceptual design

在确定任务之后,通过抽象化,拟定功能结构,寻求适当的作用原理及其组合等,确定出基本求解途径以得出求解方案,这一部分设计工作叫方案制定或称方案设计(图1)。

为识别主要问题而进行的抽象化是为了突出任务的主要核心问题和摆脱僵化的设想和墨守成规的

方案，从而能找出新的和更合适的方案。然后以能量转换、物料转换和信号转换为基础，尽可能具体地通过参与的输入量和输出量来同方案无关地定义出总功能（见 1.2），并把总功能分成可识别的分功能（功能结构）。随后寻求能实现单个分功能的方案原理（见 1.3 和 1.4），然后把这些原理依照功能结构图加以组合，要使方案原理彼此相容，并能满足任务要求一览表的要求而且费用可以令人接受。组合的选择可以运用 2.5.1 中介绍过的选择方法。然后，只将那些看起来最适宜的组合方案加以具体化而得到各种可行方案，以对它们进行评判和评价（见 2.5.2）。这时它的主要技术和经济特性必须要显示出来。

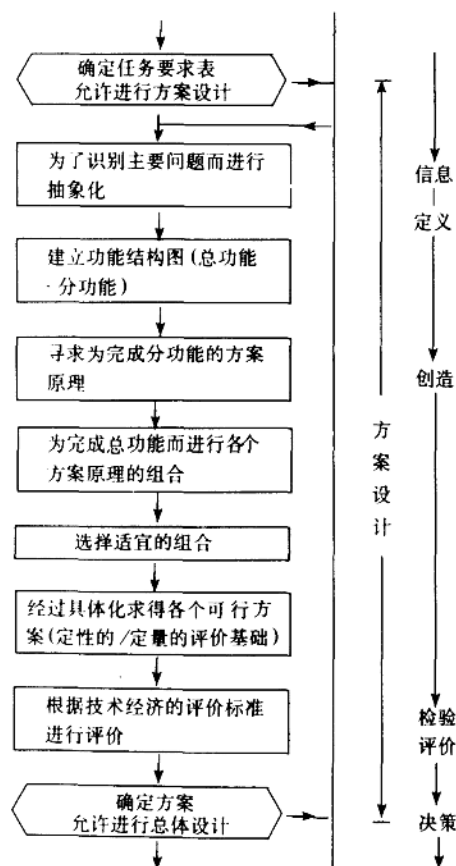


图1. 方案设计的工作步骤

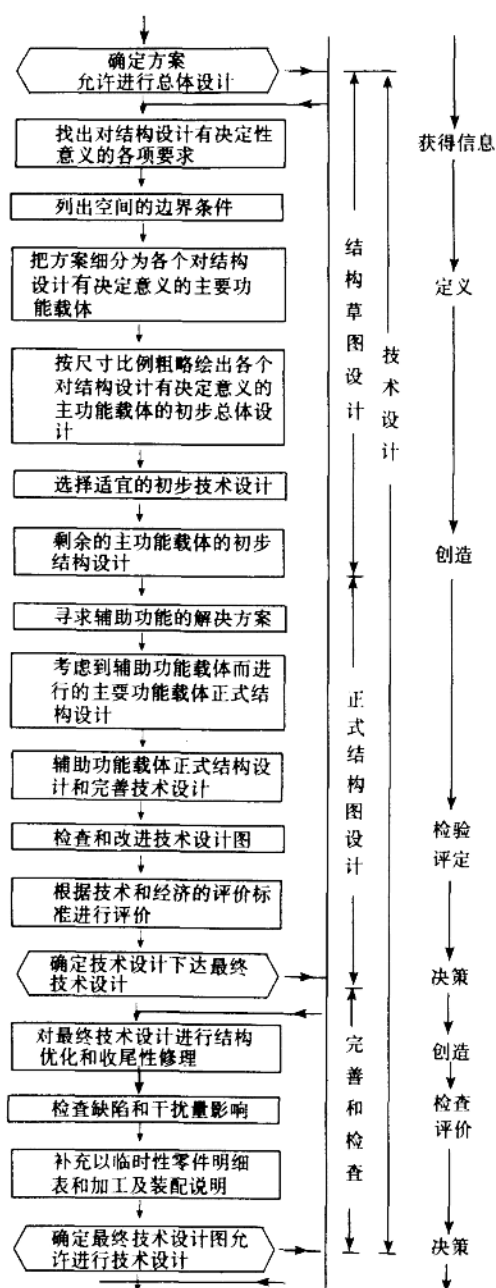


图2. 主要功能载体技术设计工作步骤：完成主要功能的构件和部件；
辅助功能载体：完成辅助功能的构件和部件

3.3 技术设计 Embodiment design

技术设计是设计的一个部分，它可理解为方案工程结构化，即根据技术和经济的观点从拟定的方案出发进行结构设计，并且还补充其它的技术说明，以便在此基础上明确地制定出适于生产制造阶段的零件工作图。

在技术设计阶段要求创造性的工作。除此外，还要求进行很多修正性的工作步骤。在这里分析和综合工序互相交叉进行，也要从定性的设计过渡到定量的设计，也就是从初步结构设计到详细结构设计。如图2所示，每个方案的复杂程度不同，经过的工作步骤也不同，有的多一些，有的少一些。

结构设计的特征在于它是一个考虑和审核过程，而指导性原则(表2)对它起着有效的辅助作用。通常，集中解决或审核一个主要特征之前，先应着手考虑前一个主要特征。这个顺序同各个特征的重要意义毫无关系，而只是为了节省工作量(工作过程)。

3.4 施工设计 Detail design

施工设计是设计工作的一个阶段，在这个阶段中将通过全部零件的排列、形状、尺寸和表面光洁度的最终有效规定，对技术结构的技术设计进行补充，并选定全部材料，审核所有制造方法和各项费用。还要拟定出从材料上实现结构设计所需要的图纸和其它参考资料^[1]。

重点是拟定工艺文件，特别是零件图以及部件图、总装配图和零件明细表。除此以外还可能要拟定制造、装配和使用规范。最后，要检查这些工艺文件的完整性和正确性以及标准化情况(图3)。技术设计和施工设计，也常常如同方案设计与技术设计阶段之间那样要搭接一段。

3.5 设计类型

Types of engineering design

对总的技术系统来讲并不总是需要经历所有的主要阶段的流程。多数情况下只是某些部件或成套设备部分才需要进行新设计，在其它情况下，不需要改变方案原理，而只是对其它工作条件进行

表2. 结构设计主要特征指导性原则

主要特征	举 例
功 能	满足了预先定好的功能吗？ 需要什么样的辅助功能？
作用原理	所选择的作用原理会带来所希望的效果吗？ 从原理方面会产生什么样的干扰？
计 算	所选择的形式和尺寸以及指定的材料，在规定的使用时间内和出现载荷情况下是否保险： 足够的耐久性； 允许的变形； 足够的稳定性； 足够的消除共振； 无障碍的膨胀； 允许的腐蚀和磨损特性。
安全可靠	是否考虑了影响构件可靠性、功能可靠性、劳动安全性和环境保护的因素？
宜人学	注意了人·机关系了吗？ 避免了对人的负担和有害影响吗？ 注意了设计造型的美观吗？
加 工	考虑了工艺性和经济性方面的加工观点吗？
检 验	必要的检查可能实现吗？
装 配	所采用的企业内部和企业外的装配过程是否简单和明确？
运 输	是否审核和考虑了厂内和厂外的运输条件和运输风险？
使 用	是否注意了在使用或者运行过程中所产生的现象和操作程序？
维 护	维护、检查和维修所要求的措施是否可行和可检验？
成 本	能否保持在原定的费用限额之内？ 还会产生附加的运行费用和辅助费用吗？
期 限	能否按期完成。 能否采用另一种结构设计来改善进度情况？