

高等机械设计

吴宗泽 主编

清华大学出版社



内 容 简 介

本书为高等工科院校机械类专业高年级本科生和研究生的教材。也可以供机械设计制造的研究人员和工程技术人员参考。

全书分为四部分；机械设计的方法；磨损和强度设计问题；常用机械零部件设计的深入分析和机械零件实验。每章之后列出有关参考文献。

高 等 机 械 设 计

吴宗泽 主编

*

清华大学出版社出版

北京 清华园

国防工业出版社印刷厂排版

中国科学院印刷厂印装

新华书店总店科技发行所发行

*

开本：787×1092 1/16 印张：27.5 字数：650千字

1991年1月第1版 1991年1月第1次印刷

印数：0001—8000

ISBN 7-302-00683-0/TH·29

定价：7.45元

前 言

为了使高等工科院校机械类专业本科生、研究生和教师在学习机械设计的基础上进一步提高,我们根据近年来为研究生、助教进修班和大学生讲课的经验编写了这本教材。

全书共九章,分为四个部分:第一部分介绍机械设计方法(第一、二章);第二部分加深与提高机械设计的两个重要基础理论(第三、四章);第三部分为常用机械零部件设计计算的深入内容(第五、六、七章);第四部分讲述机械零件实验(第八、九章),这些都是本学科领域内的重要内容。

因为机械设计涉及面很广,要在一本书中概括本学科的全部内容是很困难的,即使对本书所涉及到的内容,也不可能都详细论述,只能介绍各部分中比较重要的内容,为此在各章之后给出参考文献,供读者深入学习时参考。

参加本书编写的人员有:吴宗泽(第一、二、五、六章),黄纯颖(第一章部分内容),葛中民(第三章),俞海清(第四章),于德潜(第七章),卢颂峰(第八章),黄亭亭(第九章),由吴宗泽主编。

由于作者水平所限,书中很可能有错误或欠妥之处,编者殷切希望广大读者提出宝贵意见。

编 者

1989年6月

目 录

绪 论	1
第一章 机械的方案设计	5
§ 1-1 机械方案设计的意义及原则	5
§ 1-2 设计计划	6
§ 1-3 原理方案设计	12
§ 1-4 方案的评价与决策	17
参考文献	24
第二章 机械结构设计	25
§ 2-1 结构设计概念	25
§ 2-2 零部件结构工艺性	32
§ 2-3 提高强度、刚度和延长寿命的结构设计	36
§ 2-4 提高精度的结构设计	53
§ 2-5 减小噪声的结构设计	61
§ 2-6 减轻腐蚀的结构设计	63
参考文献	65
第三章 机械抗磨损设计	67
§ 3-1 概述	67
§ 3-2 固体表面的性质、接触与摩擦	68
§ 3-3 固体的磨损与影响因素	77
§ 3-4 磨损的预测与计算	94
§ 3-5 润滑与润滑设计	110
§ 3-6 材料的选择与表面强化	135
§ 3-7 抗磨损设计的系统分析方法	141
参考文献	153
第四章 机械强度计算	155
§ 4-1 概述	155
§ 4-2 疲劳强度的计算	156
§ 4-3 断裂力学在疲劳强度计算中的应用	176
§ 4-4 接触疲劳	181
§ 4-5 低周疲劳	184
§ 4-6 温度影响和热疲劳	187
参考文献	191
第五章 联接设计	192
§ 5-1 概述	192

§ 5-2	螺纹摩擦计算	192
§ 5-3	受偏心载荷螺钉强度计算	194
§ 5-4	受轴向外载荷紧螺栓的强度计算	198
§ 5-5	螺纹联接的力分布	203
§ 5-6	提高螺纹联接强度的措施	208
§ 5-7	螺钉许用应力 (用许用载荷表示)	213
§ 5-8	高强度螺栓	215
§ 5-9	轴毂联接	218
	参考文献	220
第六章	机械传动设计	222
§ 6-1	概述	222
§ 6-2	带传动设计原理	225
§ 6-3	渐开线圆柱齿轮传动强度计算	229
§ 6-4	齿轮胶合计算	237
	参考文献	246
第七章	支承零件设计	247
§ 7-1	滚动轴承	247
§ 7-2	液体动压轴承	282
§ 7-3	液体静压轴承	318
	参考文献	333
第八章	机械零件试验机的设计	334
§ 8-1	齿轮传动试验机	334
§ 8-2	带传动试验机	357
§ 8-3	滑动轴承试验机	366
§ 8-4	摩擦磨损试验机	376
	参考文献	390
第九章	机械设计实验数据处理	392
§ 9-1	概述	392
§ 9-2	误差分析、估计及其处理	392
§ 9-3	由实验数据求数学模型	399
§ 9-4	实验数据的回归分析法	404
§ 9-5	信号数据处理	411
	参考文献	432

绪 论

一、机械设计的任务

机械设计是从社会需要出发，设法拟定在一定条件下最优的机械技术系统，当此技术系统实现后，即可满足社会的需要，并取得最优效果。机械设计有以下特点：

1. 与社会密切联系 所设计的机械系统必须满足社会的某项需要，否则便得不到社会的承认而使设计失败。社会的需要是随着生活水平的提高而不断发展的，科学技术的新成就使得昨天无法满足的需要，今天有可能实现，如内燃机、电子计算机、光电元件的发明都使机械设计师利用这些新成就发展出多种新产品。社会的需要还会因各种因素的影响而变化（政治的原因、战争、自然灾害等）。

2. 必须具有创造性 设计必须是创造，这种创造尽管可能有大小和程度上的不同，但复制现有的产品不能认为是设计。设计过程是创造性思维的过程，这种创造可能表现为由机械系统的功能、工作原理到结构都是新的，也可能在局部进行创造性的改革（如在系统功能和原理不变的情况下改变零部件的结构以改善工艺性或降低成本等）。但应注意，评价设计水平不能孤立地根据创造性所占的比例多少或程度如何来决定，而应注意这些创造所带来的效果。如美国“阿波罗计划”的宇宙飞船，由700多万零件组成。在全部零件中没有一件是新研制的，利用这些零件组成的登月飞船创造了第一次把人送上月球，从月球再回到地面的机械系统。总之，用普通的手段，经设计者创造性的综合，达到总体性能最优的效果，表明设计者的巧妙构思和高超的设计水平，这正是研究设计方法所应注意的。

3. 设计必须结合生产实际 所有的设计必须经过生产过程才能成为能够使用的产品。因此在设计阶段必须细致地考虑到生产中实现设计的条件，以及用户的使用条件（环境、温度、场地、操作者文化水平等）。当然在有些情况下，由于设计者的特殊要求，发展了某项新工艺，或创造了某种新装备，这也是实际情况，但是设计者必须充分考虑生产条件，使其设计的产品在现有条件下具有尽可能好的工艺性。

4. 设计的产品必须有竞争力 设计的实践不只到设计成为产品为止，还要表现为产品占领国内外市场，受到用户的欢迎而久盛不衰。这就要求产品在性能、寿命、价格、外观、修理等各方面有明显的优点，而对用户产生强烈的吸引力。因此，设计者不但要有一定的社会学、心理学的知识，还要对设计进行技术经济分析，并应注意机械产品的艺术设计。此外应注意市场的信息反馈，改进和提高设计水平。

二、机械设计与其它学科的关系

目前，有许多重要的科学领域处于迅速发展的阶段，它们对以后科学的发展会产生重大的影响。例如：计算机技术、微电子技术、光纤通讯、激光、新能源、新材料、生物技术、机器人、海洋工程和航天工程等。为了发展这些新技术，要求机械工业提供大量的新设备，而这些新技术所取得的成果又促使机械工业向更高的水平发展。例如，由于电子计算机的发展，提出了对以磁盘为代表的电子计算机元件进行精密加工的要求，

为此研制了精密或超精密加工用的机床。而电子计算机的发展又推动了机床自动化、计算机辅助制造、工业机器人的发展。机械设计在这些技术的迅速发展，近几十年有很大的发展，设计人员必须了解、掌握和运用这些技术。

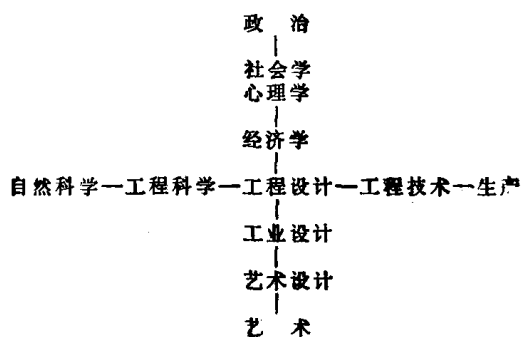


图1 工程设计与有关科学的关系

图1是J. R. Dixon在1966年发表的工程设计与有关学科的关系。以后二十多年中有关学科和机械设计科学有了很大的发展，如强度科学、弹性力学和有限元、可靠性设计、摩擦学、机器动力学、技术预测、CAD、优化设计、艺术造型基础及机械制造工艺等方面都有了很大的进展。机械设计领域内很多成功的经验和失败的教训说明对有关知识和理论的正确运用会取得很出色的成果，因而图1对启发设计者的思考是很有用的。国内外许多有关学者在他们的著作中引用了这个图表。

本书只包含上述有关内容的一部分，一是由于本书篇幅所限，二是很多学科都有专著或专设的课程，故不把它们列入本课程体系。

机械设计都是由根据要求实现的功能制定设计方案开始，然后进行结构设计，在开始进行详细的计算以前，必须对该机器的结构作初步的确定，例如先确定传动方案才能进行传动零件的尺寸计算。而计算所得的主要结果，又成为进一步进行结构设计的依据。机械设计的最后结果一般都是该机械的图纸，即全部详细结构，这一套机械应能满足预期的功能要求。由此可以说明机械的功能、计算、结构的密切联系。本书将方案和结构设计作为其第一部分（第一、二章）。

强度和耐磨性是机械零件计算经常考虑的两个主要问题，尤其是耐磨性设计涉及面广，在大学课程中讲的较少，本书在此两方面都作了补充，而以磨损设计为重点，作为本书的第二部分（第三、四章）。

机械设计（原机械零件）课通过学习典型通用机械零件设计，学习了机械设计的基本知识和方法，但不够深入、细致和全面。本书第三部分（第五、六、七章）按联接、传动、转动三部分对某些重要的典型零件进行进一步的探讨，以提高对机械零件的设计分析和研制新零件的能力。

实验技术是解决机械零件设计问题的重要手段，本书第四部分（第八、九章）力图对机械设计的实验方法作比较系统的介绍。但是近年来实验技术发展很快，实验设备不断更新，读者在学习本书的基础上，尚需通过学习其他资料 and 实际工作不断地扩充、发展和提高。

三、机械设计能力的培养

机械设计是一种综合性很强的工作，对设计人员素质的要求也是多方面的，下面提

出几个主要要求:

1. 宽广的理论基础 设计人员必须有宽广的理论基础才能充分考虑与理解设计中必须考虑和处理的各方面问题。知识广博的设计师常有比较多的机会和可能创造出新的设计方案。例如只有机械知识的钟表设计师,虽然有较大可能在机械式钟表方面作出创造性的设计,但要发明石英钟就有很大的困难。另外,现在对机械产品的要求不断提高,由确定设计任务到设计完成前,必须运用多方面的设计计算理论(如技术预测、价值分析、有限元、可靠性、最优化设计等)才能得到最佳的设计成果。理论和专业知识贫乏的人在机械领域获得很大创造性成果的机会已经很小了。

2. 丰富的实践经验 有人认为完成了图纸即算设计完成,这是一种狭义的概念。应该建立广义的设计概念,才能成为有主动权的,不断创新的完整的机械设计。广义设计概念可以由过去行之有效的七事一贯的设计方法为代表。即将试验、研究、设计、制造、安装、使用、维修七事,以设计为主综合权衡,然后完成设计图纸,其效果远超过狭义的设计。七事一贯实际上是把设计、制造、使用综合考虑进行设计。因此,设计者必须有丰富的实践经验。

由于设计人员所需知识很广泛,而时间和精力是有限的,所以要合理安排自己的知识结构。首先要确定本人专业的主攻方向和努力目标,由此决定应掌握的知識的主要内容。其次,要广泛地吸收与主攻方向有联系的知识,其范围也要适度而且注意逐步扩大。对上述两类(也可分为三类)知识,要分别确定应掌握的深度并根据工作情况随时调整。

3. 活跃的思维能力 图1中介绍了工程设计与有关学科的关系。这张图表不仅说明了影响设计成败的因素很多,而且还应注意到这些因素中很多是变化着的,例如用户的心理和消费水平,市场和原材料供应情况,新技术的不断出现,生产条件的不同等,再加上国内外的竞争,可看出设计问题的解决是个复杂的过程。必须有活跃的思维能力,才能在复杂的条件中做出成功的设计。

4. 具有设计者所需的素质 美国心理学家J·罗斯曼曾调查了710位发明家,问他们从事发明创造应具有的主要素质是什么,他们的回答是主要应要求10项素质。表1中给出了发明者各项素质的百分数。由此可知创造性的思维能力和坚持不懈的工作是创造者最重要的素质。

表1 发明家所需具备的主要素质(在710人中所占百分数)

品 质	想象力	坚持性	学识	经营能力	独创性	理智	分析能力	自信	观察能力	动手能力
发明者百分数%	85.5	70.8	25.8	22.8	21.3	18.9	15.9	13.5	8.5	5.8

除此以外,设计者还应该能虚心向别人学习,清楚地客观地分析和认识到别人提出的方案的优点和自己方案的缺点,这样就可以吸收别人的智慧,更容易取得成功。

设计者必须能不断培养和提高自己,才能作出高水平的设计。

第一章 机械的方案设计

§ 1-1 机械方案设计的意义及原则

图1-1列出了产品开发设计的一般程序。产品设计的水平直接影响产品的成本、质量、研制周期等。由过去的统计资料分析，产品的质量事故有50%是由于设计失误造成的，产品的成本60~70%以上取决于设计。

图1-2是一个统计结果，它统计分析了若干种新产品开发失败的原因。这进一步说明了图1-1中计划阶段和方案设计阶段的重要性。

由此还可以看出收集市场信息、技术信息、价值分析提供的资料和由此作出正确决策的重要性。

在新产品方案设计时应注意遵循以下原则：

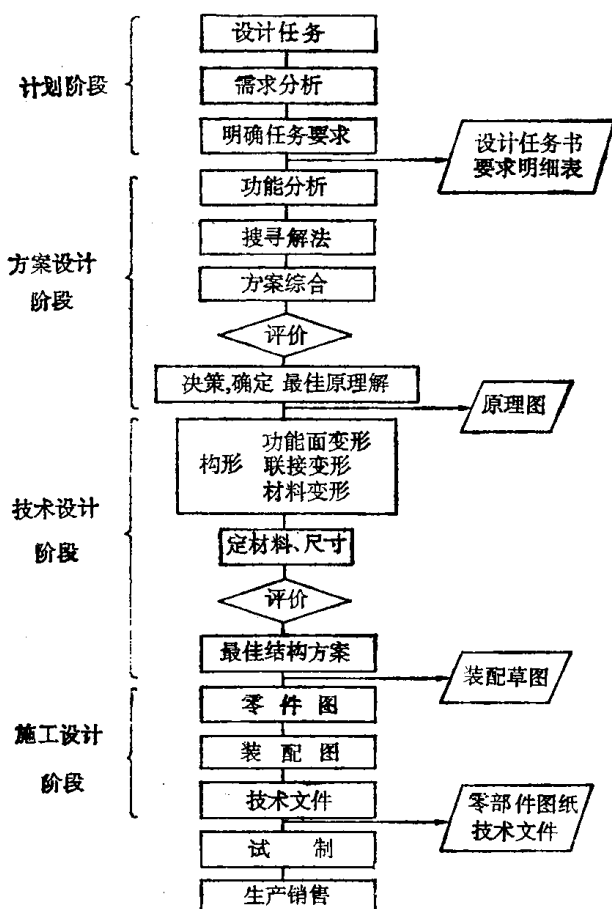


图1-1 产品开发的一般程序

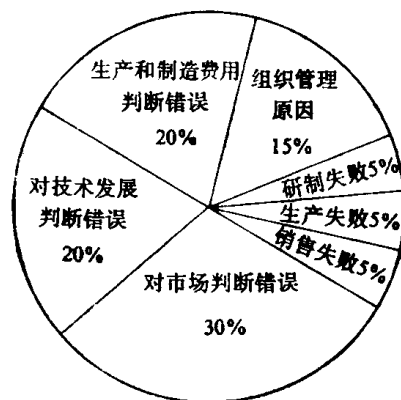


图1-2 新产品开发失效原因分析

一、创造性原则

创造性是机械设计最基本的特点。为什么要作设计？就是因为世界上还没有这样的产品，否则便不必设计。机械设计最本质的工作是从无到有地创造出一部机器以满足我们的要求，也就是把设计师头脑中概念性的东西变为具体的机械。要创造机械的方案和结构，必须依靠形象思维的能力，这是一种三度空间的思维，而且还要考虑到动态关系，要下功夫培养和锻炼这种能力。

二、优化原则

设计师初步判定的机械方案或模型常是很原始的，必须经过逻辑推理、分析和计算，使设计成果达到当代科学知识和该产品制造及使用条件的最佳水平。在技术、经济等方面要进行全面的分析和计算以达到最优结果。

三、可靠性原则

所设计的产品必须有足够的可靠性，这一点在产品方案设计中必须考虑。例如机械传动或机械控制的传动比电子控制传动不容易受外界电磁场的干扰，因而在一定条件下有较高的可靠性。此外在设计时应考虑到维修的可能性以保持机械的功能。

四、人机工程原则

人机工程学是运用生理学、心理学及其它科学知识，使机器和人互相适应，创造舒适和安全的环境从而提高工效的一门学科。在设计设备时必须使其适合人的各方面因素，以便在操作中付出最少劳动量而求得最高效率。

美国 Seireg 认为，设计由三个基本活动组成，即创造、分析和决策。下面介绍在计划阶段和方案设计阶段，怎样制定出最优的设计方案。

§ 1-2 设计计划

一、设计任务的提出

设计过程的开始是提出一种需求，这种需求可以由使用者或生产者提出，也可以由设计者提出。认识一种需求本身就是一个创造性的工作。设计者常常是在细致地观察社会，深入生活，了解竞争和市场的情况之后，才能发现社会的某项需求。高水平的设计师往往有超过某些同行的敏锐的感觉能力，常在社会本身还没有领悟到某种需求以前，就已经认识到了这种需要。有人把这种需求叫作隐需要。例如有人在能源危机发生以前就开始研制低能耗汽车。也有不少技术上的重大发明是在制造出来以后，使用者了解到它的优越性才提出需求的，如电灯、石英钟。甚至有些新技术一开始还受到一些人的反对，如火车。回顾这些新产品设计所经历的过程，有助于启发设计师大胆提出自己想到的设计任务。而有些设计任务，提出它并不比完成它容易，设计者应努力探求有价值的构思。

二、设计任务书的内容

设计计划阶段的最终目标是确定任务并写出详细的设计任务书。表 1-1 列出了它的主要内容。

表 1-2 是以要求明细表的形式给出对绞肉机的要求。

表1-1 设计任务书内容参考⁽¹⁾

题 目	设 计 任 务 名 称
功 能	运动参数：运动型式、方向、速度、加速度等 力参数：作用力大小、方向、载荷性质等 能量：能源、功率、效率、压力、温度等 物料：产品的物料特性、所用材料及供应情况等 讯号：自动化程度、控制要求、精度要求及测量方式等
经 济	尺寸（长、宽、高）、体积、重量的限制 生产率 最高允许成本、生产批量
制 造	加工：公差；粗糙度、特殊加工条件等 检验：测量和检验的特殊要求等 装配：装配要求、地基及安装现场要求等
使 用	使用对象 可靠度要求、安全技术等 人机学要求：操纵、控制、调整、修理、配换、照明等 环境要求：噪声、密封、特殊环境等 工艺美学：外观、色彩、造型等
期 限	设计完成日期、研制完成日期、供货日期等

表1-2 要求明细表示例

产品名称	家庭用绞肉机	设计单位		编号	
产品编号	××××	编制人	×××	年月	
序号	要求类型	要 求	数 值	备 注	
1.1	必须达到的要求	能把物料绞碎成末			
1.2		物料种类：猪、牛、羊肉、白菜、萝卜等			
1.3		用手驱动			
1.4		不能把物料中水份挤出			
1.5		物料加工后能顺利送出，不堵塞			
1.6		可以固定在桌上，不用时收起			
1.7		加工后成品中不得有油、异味、金属屑末等异物			
2.1	最低要求	物料最大直径	15mm	重要度 2	
2.2		肉末最大尺寸（指体积）	20mm ³	重要度 3	
2.3		肉末最大长度	3mm	重要度 2	
2.4		驱动力（作用在手柄上）	≤150N	重要度 3	
2.5		成本	≤20元	重要度 4	
2.6		重量	<8kg	重要度 1	
2.7		体积	<100×250×250mm ³	重要度 1	
3.1	附加要求	安全可靠、不伤手		重要度 4	
3.2		容易清洗		重要度 3	
3.3		不生锈		重要度 2	
3.4		堵塞后易排除故障		重要度 2	
3.5		外型美观		重要度 2	
3.6		零件损坏后易更换		重要度 2	

注：重要度“4”表示最重要，“1”表示最不重要。

三、市场调查及预测

目前世界各工业发达国家广泛采用技术预测，作为发展科学技术和新产品的依据，并已发展成为一门新的科学——未来学。预测研究耗费较少而收益却很大，通常每元预测费可以获得50元的经济效果。

预测也有它本身的特点：1. 预测一般是不能作到很准确的。十分严格、决定性的事物是不必预测的，而完全不确定的事物是难以预测的。在上述两种极端情况之间有大量的事物是可以预测的。2. 总体的预测比单项预测迭加的结果要准确些。因为总体预测时其各项误差有互相抵消的可能，而单项预测后相加时，其误差是相加的。3. 随着时间的延长预测精确度下降。预测区间（预测期限）随预测对象不同而有不同的划分方法，参见表1-3。

表1-3 不同预测对象的预测区间⁽¹¹⁾

预测对象	预测区间		
	短期预测	中期预测	长期预测
产品销售预测	1~6个月	6个月~1年	1年以上
经营预测	1~3年	3~8年	8年以上
技术预测	1~5年	5~15年	15~50年
国民经济预测	1~5年	5~15年	15年以上
环境预测	1~10年	10~20年	20年以上

表1-4 常用的预测方法和应用⁽¹¹⁾

方法分类	预测方法名称	应用
定性预测（直观预测）	头脑风暴法 德尔斐 (Delphi) 法 主观概率法 关连树法 先行指标法	社会预测 军事预测 科学技术预测 环境生态预测 新产品开发预测
约束外推预测（定量预测）	单绳外推法 趋势外推法 移动平均法 指数平滑法 累积预测法 迭代外推法 概率预测法	经济预测 环境生态预测 需求预测 科学技术预测
模拟模型预测（定量预测）	回归分析法 最小二乘法 联立方程法 弹性系数法 投入产出法	经济预测 环境生态预测 中、短期需要预测 模型模拟预测

预测方法很多，据美国斯坦福研究所统计，列举了150种预测方法⁽⁸⁾，其中常用的约12~15种^(3,6,9,11)。表1-4列举出一些常用的预测方法及其应用。下面介绍三种预测方法。

1. 用户需要直接调查法 是预测新产品社会需求的一种实用的定性预测方法。有些产品的生产处于开始阶段，产品概念尚未明确，市场难以确定，可利用的统计资料很少，定性预测便成为唯一可行的方法。这种方法用于工业品（如机床、电动机、发电机等）和贵重耐用消费品的需求预测是比较可靠的，实现的可能性较大。

产品用户数量很大，进行逐个调查对于某些用量很大的产品（如洗衣机、电视机）几乎是不可能的。可以采取分层抽样、随机抽样的调查方法，求得该产品的需求量。此外，还可以通过订货会议、产品展销会、用户座谈会等方式了解产品的需求情况。下面举一实例：

某洗衣机厂，在1979年对普通家用洗衣机的市场需求量进行了预测。初步确定调查对象375户，并将这些对象分为三组，其中工人150户，店员125户，知识分子100户。再从中抽1/5，即工人30户，店员25户，知识分子20户，共计75户进行调查。调查结果见表1-5。

表1-5 各类人员对洗衣机的需求量（单位：台）⁽²⁾

人员分类	户数	保有量	需 求 量						合 计	
			80年	81年	82年	83年	84年	85年	台数	%
工 人	30	0	0	1	2	2	3	5	13	25%
店 员	25	0	1	1	1	2	3	6	14	28%
知识分子	20	0	2	2	3	4	5	8	24	47%
总计	75	0	3	4	6	8	11	19	51	100%

根据上表可以求得1985年时洗衣机的普及率以一户一台计为： $\frac{51}{75} \times 100\% = 68\%$ ，得出这一数据以后，再根据该地区的具体情况，就可以估算出该地区的洗衣机销售量。另外，进行以上调查时，用户对洗衣机的优越性还不太了解，因此，随着洗衣机的广泛使用，实际销售量还可能超出上述估计的需求量。

对于大型机械产品如大型水轮机组，大型电站设备、万吨水压机等，因为产量不大，

表1-6 几种预测方法的优缺点

	优 点	缺 点
专家个人判断法	充分发挥专家个人智能结构效应和创造能力	受专家本身知识及能力的限制难免有片面性
专家会议法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 发挥一定数量专家的智能 2. 信息量大，考虑因素多 3. 提供的方案较全面、具体 4. 通过专家意见互相启发，内外信息反馈，可将创造性思维活动集中于战略目标，为重大战略决策提供预测依据 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 人数有限，代表性不充分 2. 权威在专家会议上影响较大，对其他专家思路有影响 3. 易受专家口才及表达能力的影响 4. 易受劝说的影响 5. 不愿轻易改变自己已经发表过的意见
德尔斐法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 匿名性：专家小组人员彼此不相知，不同观点可充分发表 2. 反复性：信息可以反馈沟通 3. 收敛性：预测结果用统计表示，既能表示代表的统一意见，又能表示出它们之间的偏差，经反馈后可逐步收敛 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 受主观因素的影响 2. 受方法论和专家知识局限性的限制 3. 缺乏深刻的理论论证 4. 可能妨碍重大问题的决策

用户比较明确，可对用户进行直接调查。

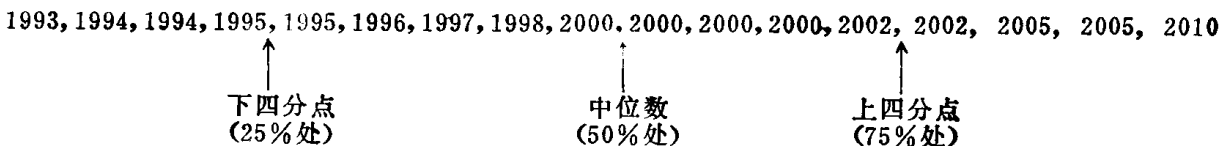
2. 德尔斐法 德尔斐法是在专家个人判断和专家会议基础上发展起来的直观预测方法。表1-6中对以上三种方法进行了比较。

德尔斐法虽然有某些缺点，但它与前两种方法相比有明显的优点，有些问题只能用直观法定性预测，因而德尔斐法在国内外得到广泛的运用并取得了很好的效果。

德尔斐法依靠专家小组的意见来进行预测，专家小组的成员通常不知道组内的其它成员。在小组内征询意见是反复进行的（典型过程要征求四轮意见），反馈给专家的意见只有小组意见的统计分析，而不说明每个专家的具体意见。德尔斐法的主要作法是：

第一轮：提出要求，把调查提纲发给各位专家，专家可以据此广泛地发表书面意见交组织者；组织整理出准备第二轮向专家小组提出的问题，写出预测事件表和资料；

第二轮：小组成员提出自己的预测意见，写在预测事件表中，组织者收到后进行统计。例如：对于“预计我国大型机械厂广泛使用计算机于机械设计”年代的预计，根据专家小组（共17人）每个人的意见作出如下的统计结果。



组织者取其中间值2000年作为小组的意向，取下四分点（25%）处1995，与上四分点（75%）处2002作为表示小组意见的集中程度的标志值。上下四分点愈接近中位数则小组意见愈集中。在实际预测工作中也有取10%和90%处的值来表示集中程度的。

组织者把整理过的统计资料，附上必要的说明交专家小组各位专家再次征求专家们的意见。

第三轮：专家小组成员得到了反映专家组的意见和论据的综合报告以后，对其进行评论、重新预测并陈述理由。有些组织者要求专家组成员的重新预测数据在第二轮得出的上、下四分点以外的专家陈述理由或提供有关资料，这些理由或资料可能是专家小组其他成员不了解的。组织对专家小组意见再次整理。

第四轮：专家小组根据组织者按第三轮预测整理出来的报告，进行重新预测和评价。

如果到第三轮专家的意见已基本一致则可不进行第四轮预测。

预测至第四轮结束后，再整理，其结果可能有各种不同情况，例如：

(1) 在几轮预测中，中位数保持不变，上下四分点之间的距离也一直在收缩，表示专家小组的意见趋向于一致；

(2) 中位数在几轮预测中有一些变化，上下四分点（两个或其中之一）在缓慢地向中位数靠近，但二者之间最后仍有较大的距离，这可能反映了专家小组不同的观点，也可能是由于组织对问题说明不够，使专家们未充分理解而造成的；

(3) 中位数不断变化，上下四分点在几轮预测中逐渐远移，说明专家小组的意见存在较大的分歧。

3. 趋势外推法

在表1-4中介绍了多种定量预测方法，其中很多是外推方法，这些方法都是根据已

表1-7 美国军用飞机的速度趋势⁽⁹⁾

首次达到年		1909	1916	1918	1921	1925	1927	1929
最大速度 (km/h)	实际值	67.6	129	177	227	262	254	290
	计算值	83.3	130	148	180	232	264	300
首次达到年		1933	1937	1939	1940	1942	1943	1946
最大速度 (km/h)	实际值	377	452	575	610	676	702	996
	计算值	387	500	569	607	690	735	890
首次达到年		1948	1950	1953	1956	1958	1965	1967
最大速度 (km/h)	实际值	1080	966	1384	2140	2260	2897	3058
	计算值	1012	1151	1395	1690	1920	3007	3418

知的数据，拟合出曲线或关系式，外推出所需数据。现在介绍其中的一种方法。

表1-7列出自1909到1967年美国空军战斗飞机达到的最高速度的实际值(km/h)。在历史数据比较全时，用直线或曲线拟合来进行预测，可求得所研究参数的预测值。可用指数曲线拟合表1-7的值。数学表达式可取

$$x = x_0 e^{at} \quad (1-1)$$

式中 t ——到达年代； a ， x_0 ——常数； x ——最大速度计算值。由此式可得

$$\ln x = \ln x_0 + at \quad (1-2)$$

通过一元线性回归方法得到

$$\ln x = -117.82985 + 0.06404 t \quad (1-3)$$

上式中，令 $t = 1909 \sim 1967$ ，可得表1-7中最大速度的计算值 x (km/h)，由此可知，式(1-3)与已知值在给定的范围内是比较相近的，可用此式在一定范围内预测美国军用飞机的最高速度。

除上面介绍的预测方法以外，还有很多预测方法^(9,11,15)，利用这些方法，可以为设计人员在设计的计划阶段制定设计任务书提供重要的依据。

四、合理确定设计参数

由表1-1和表1-2可以看出，设计任务书或要求明细表中必须对所设计的产品的性能和参数规定得十分详细和具体，才能为方案设计准备比较充分的条件。市场调查和预测的方法也可用于确定设计参数。例如，可以调查和预测将来某一时期内所需汽车的载重量、速度和数量，也可以预测所需机床的加工范围、精度和自动化程度等。但除此以外还应考虑其它问题，例如：

1. 根据工作要求进行初步计算 有很多新产品的的设计数据要通过计算才能确定，如人造卫星必须达到的速度。

2. 正确处理需要与可能的关系 设计者应根据使用要求确定产品的设计参数。但是按当时的技术条件，实现某些参数可能有一定的困难，如何正确处理需要与可能的矛盾是在制定设计任务书时必须考虑的。

§ 1-3 原理方案设计

由图1-1可知,在这一阶段要经过功能分析、搜寻解法、方案综合、评价、决策确定最佳解,最后得到原理方案图。这个阶段的要点是设计者的思路要多而活,能制定出多种方案,在评价时要能正确决策,从中选出真正的最佳解。许多设计方法学的著作都是从开扩设计者的思路和提高决策能力来帮助设计者提高水平的。

方案设计必须遵守的原则主要有:满足需要原则、最优化原则、经济合理性原则、可靠性原则、人机工程学原则、法律和规范原则等。这些原则不但在制定方案时必须充分考虑,而且在评价和决策时也是要考虑的主要原则。

一、用系统化方法求解原理方案

1. 明确系统的整体功能目标和约束条件

这在设计计划阶段已由设计任务书确定了,在方案设计阶段应对它进行深入的研究和分析。在这一阶段有些设计人员一看到设计任务书会立刻想到一些现成的解法,但这样作往往会扼杀设计人员创造性思维的发展。设计任务抽象化有助于激发设计人员在更广阔的领域中去寻找更多、更新颖、更先进的设计方案。例如有的设计师看到表 1-2 的要求明细表,可能立刻想到设计一个螺旋推进挤出式绞肉机。但是如果考虑到表中第 1.1 项要求即能把肉搅碎成肉末是最基本的,并把这一要求“抽象化”即与现有的加工方法和广泛流行的机械脱离开,归结为“把肉碎成肉末”这一物料分离的要求,则设计者可能想到还有用刀(旋转式、往复式)切制,冷冻后碾碎等许多方案。

因此方案设计可认为是确定技术系统原理的方案,该系统是一个执行特定功能而达到特定目标的互相制约的有关联的元素集。如果用 S 表示系统, V_1, V_2, \dots, V_n 表示各示素,则元素集合的表达式为:

$$S \subset V_1 \times V_2 \times V_3 \times \dots \times V_n \quad (1-4)$$

技术系统用元素、元素间的关系、输入及输出来描绘。图 1-3 为把自行车作为一个技术系统的示意图。

2. 功能分解

功能分解包括总功能分解和功能结构分析。

通过总功能分解,把总功能逐级分解为复杂程度较低的分功能(或子功能),一直分解到不能再分的最小的功能单位称为功能元。功能元的功能可以由物理效应、逻辑关系或数学关系直接实现。把总功能分解为由功能元、分功能组成的系统,即可得出功能树,树的末端是功能元。前级功能是后级功能的目的功能,而后级功能是解决前级功能的手段功能。

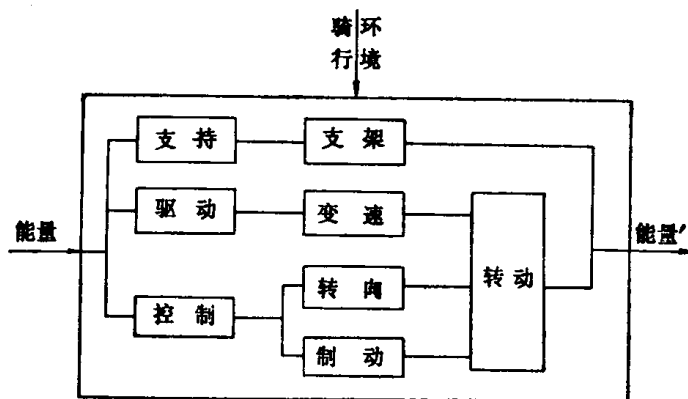


图1-3 自行车系统