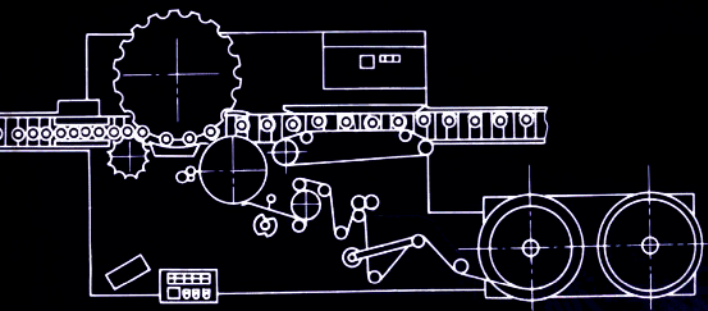




普通高等教育“九五”国家级重点教材

轻工机械设计学



主编 尚久浩 副主编 陈金元 杨君顺



中国轻工业出版社

普通高等教育“九五”国家级重点教材

轻工机械设计学

主 编 尚久浩

副主编 陈金元 杨君顺

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

轻工机械设计学/尚久浩主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2000.6
高等学校专业教材
ISBN 7-5019-2829-0

I. 轻… II. 尚… III. 轻工业-机械设计-高等学校-教材 IV. TS04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 17479 号

责任编辑: 孟寿萱

策划编辑: 孟寿萱 责任终审: 滕爽福 封面设计: 赵小云
版式设计: 赵益东 责任校对: 方敏 责任监印: 崔科

*

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

联系电话: 010-65241695

印 刷: 北京市卫顺印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 21

字 数: 485 千字 印数: 1—3000

书 号: ISBN 7-5019-2829-0/TS·1720 定价: 37.00 元

·如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换·

前 言

本书作为轻工高等学校机械专业《机械设计方法学》的试用教材,是根据普通高等学校轻工、食品类专业教学指导委员会1996年会议讨论审定,原国家教委批准立项的“九五”普通高校国家级重点教材要求编写的。

全书共十二章,包括机械设计学的一些基本内容及其在轻工机械中的应用,还简要地介绍了本课程的新发展。编写中我们在精选内容,讲述基本概念和方法,以及各章节关联方面作了一些努力。并力求简明易懂,结合具体机构或实例进行叙述。每章末附有一定数量的思考题供教学中选用。

由于轻工机械本身种类多、品种杂以及要求不同,因此本书除反映其通用性外,在内容取舍、例题、思考题选择上,力求体现轻工机械的特点。本书内容是按80学时的要求编写的,在使用时根据专业要求和教学时数进行取舍与调整,还可视教改要求作些补充。

1999年在西北轻工业学院召开了本教材的审稿会,参加审稿的有西北轻工业学院彭国勋教授、刘昌祺教授及中国轻工业出版社孟寿萱编审等。担任主审的天津轻工业学院孙武教授对全稿进行了认真、细致的审阅,并提出许多宝贵意见。根据审稿意见,主编又作了修改。编写中还得到许多院校和单位同志的有益指点,在此一并致谢。

参加本书编写的有尚久浩(第一章)、陈金元、杜康宁(第二至第六章)、张淳(第七至第九章)、董继先(第十章)、杨君顺、曹巨江(第十一、十二章),并由尚久浩主编。

由于编者水平所限,缺点错误之处在所难免,希望读者批评指正。

编 者

1999.12.

目 录

第一章 绪论	1
第一节 机械工程设计的作用.....	1
第二节 机械工程设计发展简史.....	1
第三节 本学科的内涵、性质、研究任务及学科体系.....	3
第四节 现代设计方法的主要研究内容.....	4
第五节 现代机械设计人才应具备的素质.....	5
思考题.....	5
第二章 设计的类型、形态、进程模式及原则	7
第一节 机械工程设计的类型.....	7
第二节 机械产品的种类与形态.....	11
第三节 产品设计的一般进程模式.....	15
第四节 产品设计的一般原则.....	20
思考题.....	22
第三章 产品规划与阐明设计任务	23
第一节 产品规划的一般程序.....	23
第二节 获得新品开发注意的方法.....	25
第三节 产品决策.....	29
第四节 阐明设计任务.....	31
思考题.....	36
第四章 原理方案设计	38
第一节 原理方案的作用与设计步骤.....	38
第二节 明确设计任务——建立黑箱模式.....	41
第三节 功能分解——建立主功能结构.....	42
第四节 功能的原理解及其特点.....	46
第五节 寻找原理解的思维与技法.....	50
第六节 原理方案的生成与择优.....	56
第七节 部分原理解简介.....	58
思考题.....	75
第五章 总体方案设计	76

第一节	总体方案的作用与设计步骤	76
第二节	影响总体布置的因素分析	77
第三节	总体布置	85
第四节	传动系统设计	90
第五节	辅助装置的设计布置	103
第六节	总体方案评定与择优	111
第七节	设计举例	114
思考题		120
第六章	参数设计	122
第一节	参数设计的含义、作用与类型	122
第二节	参数设计的方法	123
第三节	试验设计法	136
第四节	三次设计简介	148
思考题		157
第七章	零部件构形设计	158
第一节	构形设计的基本要求	158
第二节	构形的系统化分析	160
第三节	合理构形原理	165
思考题		175
第八章	系列产品、组合产品的开发	176
第一节	相似性设计及模块化设计概述	176
第二节	基本相似理论	178
第三节	模型试验和模化设计	187
第四节	系列产品设计	192
第五节	模块化设计要点	199
思考题		204
第九章	创造性思维与方法	205
第一节	创造和创造力	205
第二节	创造性思维的特点	207
第三节	创造性设计方法 (一) ——非技术性方法	209
第四节	创造性设计方法 (二) ——半技术性方法	215
第五节	创造性设计方法 (三) ——技术性方法	220
思考题		233
第十章	计算机辅助设计 (CAD)	234
第一节	概述	234
第二节	CAD 系统的组成及其分类	237

第三节	CAD 系统的硬件和软件	240
第四节	CAD 环境下的设计工作	247
思考题		252
第十一章	工业产品设计原理与方法	253
第一节	工业设计基本概念与现状	253
第二节	工业设计中的美学原理	255
第三节	色彩设计在工业设计中的应用	271
思考题		277
第十二章	人机工程设计原理与方法	278
第一节	人机工程学概念	278
第二节	工程人体测量与作业空间设计	282
第三节	显示与控制	294
第四节	环境因素	307
第五节	作业方法和手工具	313
第六节	人的可靠性	317
思考题		323
主要参考文献		324

第一章 绪 论

第一节 机械工程设计的作用

机械工程是指人们运用现有科技知识,在社会、经济、资源、时间等因素限制范围内,为满足某种客观需要而研制出机械技术装置或系统的人为过程。这涉及机械工程设计与机械制造技术两个基本环节。

机械工程设计是指根据客观需要,以现有科技知识为依据,通过设计人员创新思维,构思出在社会、经济、资源、使用要求、时间等各种限制条件下可实施的设想以便将提供的资源最适宜地转化为机械技术装置或系统,以满足客观需求的这种人为过程。

机械工程设计的作用有三个方面:

1. 从社会发展进步看

在某种意义上讲,人类物质文明,精神文明发展的历史也是工程发展的历史。而作为提供装备的机械工程,其作用是不容忽视的。

2. 从一个国家发展看

机械工业是一个国家的支柱产业,它的发展水平是衡量一个国家整个工业乃至整个国民经济发展水平的重要标志。机械工业水平又以机械工程设计与制造技术为基础,没有高水平的设计与制造技术,就谈不上有高水平的机械工业。作为机械产品生产过程中的第一道工序——机械工程设计,与制造技术相比,又起着主导作用。据统计,一般机械产品的成本,70%是由设计决定的,产品在使用中出现的种种事故隐患,40%是由设计不善造成的。由此,不难看出机械设计的重要性。

3. 从一个企业发展看

企业在市场经济面前,要求得生存与发展,一靠产品质量好,价廉,物美适用;二靠不断开发适销对路的新产品。这些都离不开设计。

因此,从以上三个方面分析,无可非议地说明机械工程设计在人类生产活动中起着重要的作用。

第二节 机械工程设计发展简史

机械工程设计的发展经历了以下几个阶段:

1. 直觉设计阶段
2. 经验设计阶段

在实践中,人类发明了数学。数学与机械结构结合,又形成了力学。尤其工业革命后,创造发明像雨后春笋一般涌现,19世纪成为人类科技发展的黄金时代。追溯这些伟大的创造发明,都是凭借几代先人的勤奋实践和经验设计而成。这种凭经验设计的机械产品,一般而言只能满足基本功能要求,在质量、性能、经济性方面存在很大的局限性。一项发明创造,从提出设想到实际使用,往往要经过几十年时间的演变,如蒸汽机用了80多年,电动机用了57年,汽车用了27年。

3. 半理论半经验设计阶段

20世纪以来,人们为了提高设计质量和效率,做了大量基础研究工作:①加强设计基础理论和各种专业机械设计原理的研究;②提出并加强关键零部件的设计研究;③加强零件标准化、部件通用化、产品系列化的研究。从而使机械设计水平和质量大大提高了。之所以仍称为半理论半经验设计,主要出于如下理由:

(1) 未见机械工程设计作为一门独立的学科来研究,而这学科是客观存在的。

(2) 目前仍广泛采用的三段设计法,即编写设计任务书,技术设计(也称方案设计),施工设计(也称详细设计)存在划分粗糙,每阶段设计任务不明,可操作性较差等方面的问题。因此,在产品设计方法上更多依赖于设计人员的设计经验。

(3) 对设计中的许多技术问题的处理也多依赖于设计人员的设计经验,许多宝贵的成功经验不易为他人共享利用,从而影响产品设计质量。再加上过去很长一段时间,我国专业人才培养模式不尽合理,从而影响了现代设计人才培养的质量。

4. 机械工程设计学的兴起

任何一门学科的兴起都来自实践的需要。近30年来,随着市场经济的发展,对机械工程技术提出了新的要求:

(1) 产品竞争日趋激化,只有“性能与质量”,“技术与经济”,“内在与外观”,“功能与使用”诸方面取得高度统一的产品,才具有市场竞争力,这就要求设计人员对产品的设计要精益求精,要有扎实的理论基础、宽广的知识。

(2) 要不失时机地开发适销对路的新产品,这要求设计人员不仅要有良好的设计能力,还要有创新设计的能力及市场经济、销售心理等方面的知识。

(3) 环保、节约资源方面的要求。

面对新形势下对机械设计人才培养提出的新要求,国外早在20世纪40年代就开始探讨新的设计原理如价值分析(VA),创新设计思维与方法,到50年代末60年代初,在国际上形成了研究高潮。经过近30年的研究总结,一门新兴的学科——机械工程设计学便应运而生了。具有代表性的成果有:德国帕尔、律茨两教授著的《设计方法学》;瑞士胡勃卡著的《设计的一般进程模式》;日本出版了《工程设计学》丛书共7本;美国多半以《工程设计学》形式出现;我国有“现代设计法”、“设计方法学”、“机械现代设计方法学”、“机械设计与机械系统设计”等等。

总之,机械工程设计学作为一门学科,在国内外已取得共识。但在学科命名上尚有差异。本课程采用“轻工机械设计学”这名称,相当于国外的“工程设计学”(Engineering Design)。它主要是针对我国轻工机械特点的工程设计方法学。

第三节 本学科的内涵、性质、 研究任务及学科体系

一、本学科的内涵

本学科涉及到由客观需求→设计任务→研制出轻工机械产品→满足客观需求全过程中各种科技知识与技能。成功的产品设计都是成功地综合各种科技知识、设计技能、市场经济、消费心理、美学知识及产品设计的结果。因此本学科涉及的知识面很广。

二、性质

机械工程设计是富有创造性的工作，涉及知识广。因此本学科属于综合性应用学科。

三、机械工程设计的特点

- (1) 具有明确的目的性。
- (2) 具有严格的科学性及知识综合性。
- (3) 具有鲜明的创造性。
- (4) 具有苛刻的约束条件。
- (5) 具有多方案性。
- (6) 具有设计工作的有序性及必要的反复性。

因此，轻工机械设计学是专门研究根据客观需求，如何优质、高效、经济地设计轻工机械技术产品或系统的一门新兴综合性应用学科。

四、本学科研究任务

- (1) 研究产品开发设计中的一般共性问题，如设计思想、观念，设计规律、原理原则、进程模式，设计步骤与方法，创新思维与技法等，以及设计方法学的形态分析与综合，功能原理设计等。
- (2) 研究优质、经济地设计机械产品的共性理论与原理，使产品获得质好、价廉、物美的效果。设计理论涉及成本设计，优化设计，可靠性设计，价值工程等。
- (3) 研究高效地设计机械产品的现代设计技术与手段。如计算机辅助设计（CAD）、成组技术（GT）、专家系统（ES）、现代设计（CD）、模块化设计等。

五、本学科的体系

系统论、信息论的基本原理是本学科的指导思想，形态分析与综合（包括功能原理设计）是本学科的核心，机电学科是基础，相关学科如市场学、技术经济分析、消费心理学、价值工程、计算机技术、机械制造工程技术、人机工程学、产品造型设计以及有关专用机械设计原理等为本学科的依托。整个学科体系以机械产品开发设计为主线，将

众多学科知识融汇贯穿于产品设计过程中，以便于设计人员知识的利用，拓宽与综合。

本学科具有两个鲜明特色：①多元交叉的应用型综合学科；②“软知识”与“硬知识”相结合。

第四节 现代设计方法的主要研究内容

现代设计就是用现代的、高科技的手段和技术来改造传统的产品设计方法，从而建立起一套适用于现代社会的产品设计方法，其核心内容大致可分以下几个方面。

一、现代设计的核心——数字化

20 世纪 90 年代以前，世界上各种重要的设计软件几乎都采用几何建模方式。近 30 年中，几何建模技术经历了从线框建模、曲面建模到实体建模三个阶段，进入 90 年代以后，美国 PTC 公司率先提出了特征造型的概念，并推出了第一个以特征造型为基础的商品化 CAD 设计软件 PRO/E，随即 CV、IBM 等公司也推出了各自具有特征造型能力的新版软件，从而引发了新品设计领域内的一场革命。因此建立一套能支持产品开发生产全过程的特征体系，并给出不同类型特征信息的相互映射关系非常重要。为使这套特征体系具有生命力，它应符合现有的国际标准 STEP。

STEP 是国际标准化组织 ISO 10303 从 1984 年开发的产品数据交换标准 (Standard for the Exchange of Product Model Data)，是一套关于产品整个生命周期内数据的表达与交换的国际标准，它的一些应用协议已相继开发完成并在工业中应用，其核心思想包括：层次结构概念（应用层、逻辑层、物理层）、Express 信息建模语言定义产品数据类型、多种信息交换途径等。

二、现代设计的大趋势——并行化

随着产品复杂性的不断提高，在产品开发周期早期做出的设计决策对制造质量、性能等都会产生重大影响。所以，在产品开发过程中，应当依照并行工程的思想对产品开发过程进行规划和管理，在产品设计的早期就全面考虑产品生命周期中的各种因素，尽可能减少修改和反复，使企业赢得时间，赢得市场。

另外，随着产品高科技含量的日益增大，一种好的作法是实行异地设计，即集中不同地点、不同行业的专家，在并行工程的支持下参与同一产品的设计开发，强强联合，从而产生巨大的效益。

三、产品设计的要求——智能化

现代设计系统除了应能支持共性知识的获取外，更重要的是必须能够有效地支持专业化知识的获取。一种合理的做法是采用 20 世纪 90 年代中期由 IBM 公司在其软件开发战略中所提出的“中间件”平台模式：每一个中间件，作为高级的标准软件平台，不需要用户从细节或最底层开始，而是一种以用户对产品的设计要求为驱动的高级设计平

台。

设立中间件平台的特点在于,非常适合于已有专业化知识的组织、整理、描述及使用,并最终清除了专家与企业设计工作者之间障碍,同时,中间件平台也极有利于新技术的产品融入。

四、现代设计的特色——集成化

现代设计中的集成化一般包括:①以信息集成为基础实现产品开发过程的集成;②复杂产品开发涉及领域之间的集成。可预计支持并行工程、多设计领域集成将成为企业产品设计自动化新的发展方向。

为使我国企业在 21 世纪具有竞争力,我们应逐步建立一套适合我国国情,支持产品开发与生产过程的数字化、并行化、智能化、集成化的现代设计方法与系统。为使这套设计方法与系统在将来具有较强的生命力,它应在内容上具有广泛的适用性,在技术上具备一定的超前性,而总体上则应具备标准性。有效地组织多学科的产品开发队伍,充分利用各种计算机辅助工具,并有效地考虑产品开发与生产的全过程,从而缩短产品开发周期,降低成本,提高质量,生产出满足用户需要的产品,使企业在市场竞争中立于不败之地。

第五节 现代机械设计人才应具备的素质

一、良好的精神素质

这包括工作责任心,坚韧不拔、不怕困难的精神,既要有解放思想、富于创新的开拓精神,又要有实事求是、脚踏实地的工作作风,在思想上要谦虚好学、不断进取、精益求精,又要有良好的团结协作精神。这些良好的精神素质和工作作风来自于良好的思想境界,崇高的理想和敬业精神。

二、知识结构素质

现代机械设计人才不仅要有扎实的机电学科知识及较宽的相关知识,还要不断积累工程设计的实践经验。只有具备这两方面知识才算是完整的知识。

三、能力方面的素质

这些能力包括:收集科技情报能力(中外文),工程计算能力,分析问题的能力,理论联系实际解决实际问题的能力,创新思维与创新设计的能力,交流表达的能力,组织能力等等。

思 考 题

1. 何谓机械工程设计?试举例说明其重要性。
2. 何谓轻工机械设计学?本学科的体系是什么?

3. 机械工程设计有哪些特征 (或特点)?
4. 本学科主要研究的任务有哪些方面?
5. 何谓现代设计? 其主要研究内容是什么?
6. 21 世纪对现代机械设计人才有哪些素质要求?

第二章 设计的类型、形态、 进程模式及原则

轻工机械属机械工程范畴，设计人员根据客观需求，要设计出满意的轻工机械产品，包括设备、机器、装置、仪器、部件或备件等等，首先应对机械工程设计类型、产品设计的形态、设计进程模式以及设计应遵循的基本原则有较清楚的了解。本章就这些基本问题进行讨论。

第一节 机械工程设计类型

设计任务不同，机械工程设计的类型是不同的，设计的特点也不相同。为了有助于了解掌握轻工机械产品设计，有必要对机械工程设计类型及属性有个整体了解。

一、机械工程设计类型

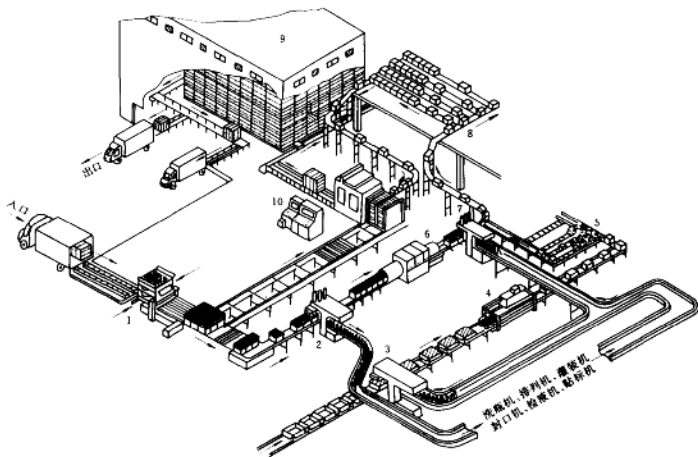


图 2-1 自动化工厂示意图
1—卸瓶机 2—干燥机 3、7—包装机 4—封箱机 5—贮存库 6—洗箱机
8—分类及贮存库 9—自动化仓库 10—计算机控制中心

图 2-1 的自动化工厂示意图, 虽涉及的是包装工程领域, 但就工程设计而言, 它具有代表性。图 2-1 生产形式可总结为如图 2-2 模式, 人一工作一环境组成了现代化生产完整的生产系统。机器形式不同, 生产系统的大小也不相同, 可为单机生产系统, 生产流水线, 自动化生产车间甚至自动化工厂。而在工程设计中, 机械工程设计又具代表性, 就图 2-2 模式而言, 机械工程设计可分为四种类型。

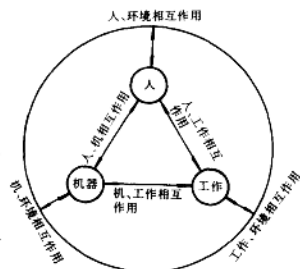


图 2-2 现代生产系统的模式

1. 环境设计

这是指为人们正常生产、工作、学习等活动提供必要空间及设施条件的这类设计。以车间为例, 涉及车间厂房设计, 生产设备的布置安装, 电、汽、水的供给, 吊运设备配置, 加工物料的流向与堆放, 通风采光, 废料废气废水排放, 消防安全设施配置以及其他一些工作、生活设施配置, 环境美化等问题。生产要求为环境设计提供了依据, 环境设计又为文明生产提供了必要条件。由于这类设计更多地涉及土木工程设计, 不属本书讨论内容。

2. 系统设计

所谓系统是指具有特定功能、特定输入输出, 由若干个相互间有着有机联系的要素(包括子系统、机器设备、装置等)组成的一个相对独立的整体。系统设计就是指这类整体的设计。由图 2-1 可见, 整个自动化工厂可看作一个系统, 它由许多子系统组成; 而子系统又由其相应的要素构成。

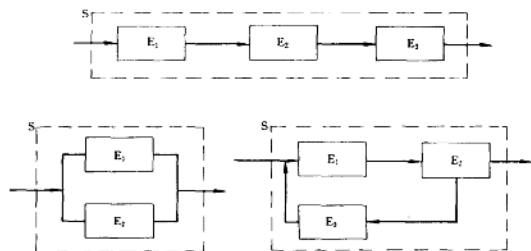


图 2-3 系统的基本形式

系统有串接、并接、反馈三种基本形式, 如图 2-3 所示。串接系统是指其构成要素呈串接形式, 如图 2-1 中卸瓶机、洗瓶机、排列机、灌装机等……贴标机即为串接系统。许多工艺方案, 生产流水线设计多属串接系统的设计, 这种设计的特点是必须遵循物料加工的客观规律, 系统内要素间的连接布置相对而言呈“柔性”形式。并接系统是指其

构成要素呈并接形式，如图 2-1 中箱子运送系统与瓶子灌装系统，它们汇合于装箱工位处。就灌装机而言，瓶子运送与液料供给也呈并接形式，它们汇合于灌装工序盘灌装工位上。并接系统的连接相对串接系统而言要严格得多，多半呈“刚性”连接，对要素结合界面的衔接、位置及运动精度、工作机构的运动协调等均提出了较高的要求。反馈系统是指其构成要素中有部分要素呈反馈连接形式，如图 2-1 中的周转箱，对工厂与销售市场而言就形成反馈形式。在自动控制中，热能供给、水资源利用、机器的润滑系统、汽车发动机的冷却系统中均存在这种反馈系统形式。这种系统设计的难易程度视具体对象而异。

3. 机械产品设计

机械产品在此泛指机械设备、机器、装置及部件等较为复杂的产品，它是由若干子系统或若干部件、组件、零件按产品总功能要求集装而成的独立整体。机械产品设计即指这种整体的设计。一般而言，机械产品属于串接、并接和反馈系统组成的较复杂的混合系统，这类设计的特点是设计要求高、工作量大、设计复杂且难度较大，如果原理方案选择不善，总体方案、材质选取不妥，装配关系、制造加工要求不尽合理，均对整机功能、性能、质量、经济指标产生很大影响，甚至导致设计失败。

在生产实际中，机械产品设计是最主要的设计，也是工作量最大的设计。

4. 零部件设计

零件设计是指在结构上不能再分解的单元机件的设计。一台机器由许多零件装配而成，从设计角度讲，这些众多零件可分三类，即标准件、通用件及专用件。前两类只是

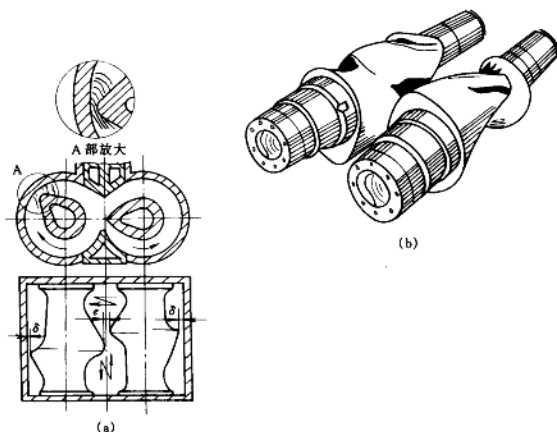


图 2-4 橡胶密炼机工作原理及转子零件

(a) 工作原理 (b) 一对转子

选用、外购，故又称外购件，只有专用件才要单独设计。一台机器中标准件和通用件数量占整机零件总数的百分比称为该机器的标准化系数。机器标准化系数愈高，需要单独设计的零件数愈少，设计周期愈短，企业对市场需求的响应也就愈快。因此，标准化系数是衡量机械产品设计的一个重要指标。

其次，从零件对整机功能、性能、质量、经济性影响程度看，零件又可分为关键零件、重要零件和一般零件。所谓关键零件是指直接影响到整机功能、性能质量、经济指标优劣，甚至关系到产品成败的那些零件。图 2-4 为橡胶密炼机工作原理及一对转子零件。橡胶密炼工艺要求对配料进行充分拌匀，不断搓切、挤压，在一定温度上炼出合格的橡胶，而这些工作由一对转子来完成。显然，转子工作得好坏不仅直接影响到炼胶的性能质量、生产效率，甚至关系到密炼机的成败，属于关键零件。一般零件是指对整机功能、性能质量经济指标影响不大的那些零件，而重要零件则是介于关键零件与一般零件之间的那些零件。一般而言，关键、重要零件需要精心设计，甚至需要重点攻关，而一般零件的设计难度不大。

二、机械工程设计属性

除上面提及的各类设计的特点外，就机械工程设计总体而言，尚具有如下鲜明的共同属性：

(1) 目的性 任何设计都来自客观需求，满足客观需求又是任一设计的归宿，因此，目的是任一设计的第一属性。

(2) 科学性 任一成功的设计必须以科学技术为依据，任何违背科学技术原理的设计是注定要失败的，永动机设计屡遭失败就是因为违背了能量守恒定理。因此，科学性是机械设计的第二个重要属性。

(3) 多约束性 客观需求总是对机械产品设计提出诸多要求，如功能、性能、质量、经济指标、使用维修方面要求等等，这便构成了对设计的约束条件，只有满足这些约束条件，设计才能被采纳。

(4) 多方案性 一般而言，要实现某客观需求总存在多个设计方案，其中必存在一个（或几个）方案最能满足客观需求，称之为最佳方案。为了寻找出最佳设计方案，首先应尽可能构思出各种可能的方案，前者是设计追求的目标，后者是实现目标的基础或依据。

(5) 创造性 在设计中存在种种矛盾和技术问题，设计人员的责任就是如何根据设计要求，辩证地去处理各种矛盾，巧妙地解决各种技术问题，以便将提供的资源最适宜地转化为机械技术装置以满足客观需求，这便需要设计人员进行创造性劳动。人们将工程设计形容为创造性行业，道理就在这里。没有产品设计的创新，就没有产品的进步与发展。

(6) 工作的有序性及必要的反复性 任一机械产品的设计都有自身的演变规律，设计必须遵循这种规律有序地进行才能取得预期的设计效果。为了获得最佳设计效果，往往需对先前不完善、不尽合理的设计进行必要的修改，使设计日臻完善、合理，这便是设计的反复性。即使设计出的产品在当时是很先进的，但随着时间的流逝，科学技术的