

机械设计基础

〔美〕 安东尼 埃斯波西托 著



机械工业出版社

机械设计基础

〔美〕 安东尼 埃斯波西托 著

何元庚 编译



机械工业出版社

《机械设计基础》是我国编译出版的英美机械设计基础教科书。全书包括十三章和相应附表。本书从基本原理到设计方法，从设计构思到零件材料的选择，分别叙述了轴承、轴、键、齿轮、带、链、螺纹、弹簧以及凸轮机构、联轴器、离合器和制动器等零件和机构的设计。

本书采用我国的标准和法定计量单位，备有机械设计资料，只在必要时选摘了一些美国标准和资料作为参考。

本书适用于高等专科学校，职工大学的学生，也适用于从事机械设计工作的技术人员。

机 械 设 计 基 础

〔美〕 安东尼 埃斯波西托 著

何元康 编译

余长康 校

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $22 \frac{1}{2}$ · 字数 551 千字

1986年10月北京第一版·1986年10月北京第一次印刷

印数 0,001—8,700 · 定价 5.60 元

统一书号: 15033·6407

编译者的话

本书根据 Charles E. Merrill Publishing Company 1975 年版 Anthony Esposito 的 Machine Design 编译。编译原则是：

- (1) 保持原书风格；
- (2) 采用我国标准和资料；
- (3) 按我国国情和教学要求作适当增删。

本书是按上述要求编译的，由于编译者水平所限，还不能完满地达到这些要求。

原书在前言中对该书的要求，可概括为：鼓励学生的创造能力，加强学生的分析能力和培养学生解决实际问题的能力。这些要求和我国教育改革的精神是一致的。

该书的要求和相应的风格表现为：

- (1) 注重说理，少用艰深的数学，使同学紧紧掌握基本概念和基本原理；
- (2) 采用原理示意图，突出主要构思，不为具体结构图束缚，留出同学自己发挥创造性和想象力的余地；
- (3) 涉及范围广，内容比较丰富、新颖，有利于开拓学生的思路；
- (4) 概念题着重归纳、对比和加深认识，设计题着重学生构思和形成原始设计，不拘于实际尺寸大小和细节的完整，常常只要求学生徒手作草图；
- (5) 设计课题广泛、多样，几乎每个章节所讲零件，都可作为设计课题中心，使每个学生都可选取自己有兴趣的课题，发挥自己的特长，设计课题还可以是参观工厂的一篇调查分析报告；
- (6) 语言生动，从实际生活中常见的事例出发，如玩具、草坪椅，再引出原理和观点。

我国现行教材也有很多特色：如体例严谨，内容和资料完备，说理透澈，便于教课和自学。对于原书不能满足这些要求的章节，根据高等专科学校和职工大学这一层次的学生水平，作了增补。由于我国设有专门的液压课程，所以液压传动这一章完全删去。

本书采用我国颁布的标准、法定单位和我国资料，只在必要时选录一些美国标准和资料作为参考。

这是在我国编译出版的英美机械设计基础教科书，希望能起到媒介作用。

本书由南京工学院余长庚副教授审阅，他指出本书不足和不当之处，还提出了建设性的意见。本书在编译过程中，得到刘天一、黄文灿、郑宜、何文忠各位老师的帮助和指正。编译者在此一并致以深深的谢意。

由于编译者水平限制，不免有很多不足和不当之处，希望读者指正。

何元庚
一九八五年六月

目 录

编译者的话

第一章 机械设计概论 1

- § 1-1 什么是机械设计 1
- § 1-2 机械设计的基础知识 1
- § 1-3 机械设计的哲学 2
- § 1-4 机械设计的过程和磋商 3
- § 1-5 往复式发动机与旋转式发动机的比较 4
- § 1-6 机械设计的主要方面 7
- § 1-7 构思和原始设计 7
- § 1-8 强度分析 8
- § 1-9 材料的选择 8
- § 1-10 外观 9
- § 1-11 工艺性 10
- § 1-12 经济性 10
- § 1-13 安全性 12
- § 1-14 环境污染 12
- § 1-15 可靠性与寿命 12
- § 1-16 法律事务 13
- 习题 14

第二章 零件失效分析和尺寸的确定 16

- § 2-1 概述 16
- § 2-2 静拉伸试验和材料的机械特性 17
- § 2-3 弯曲疲劳试验和材料的疲劳极限 19
- § 2-4 应力集中及缓解措施 20
- § 2-5 表面疲劳—磨损 23
- § 2-6 许用应力和安全系数 24
- § 2-7 温度对材料机械性质的影响 25
- § 2-8 零件设计的方法和步骤 26
- 习题 27

第三章 滑动摩擦、润滑和滑动轴承 29

- § 3-1 概述 29
- § 3-2 摩擦理论 29
- § 3-3 滑动轴承的结构和材料 31
- § 3-4 润滑剂及其特性 33
- § 3-5 滑动轴承的压强计算 36
- § 3-6 动压轴承原理 38

§ 3-7 滑动轴承的发热计算 41

- § 3-8 推力滑动轴承 44
- § 3-9 含油轴承 45
- § 3-10 自位滑动轴承 45
- § 3-11 静压轴承 45
- 习题 46

第四章 滚动摩擦滚动轴承 49

- § 4-1 概述 49
- § 4-2 滚动摩擦 49
- § 4-3 滚动轴承分类及其特性 51
- § 4-4 球轴承 54
- § 4-5 滚子轴承 55
- § 4-6 滚针轴承 56
- § 4-7 推力轴承 56
- § 4-8 滚动轴承代号 58
- § 4-9 滚动轴承寿命及静载计算 59
- § 4-10 滚动轴承的润滑 67
- § 4-11 滚动轴承组合设计 68
- § 4-12 预装滚动轴承 72
- § 4-13 滑动轴承与滚动轴承比较 72
- 习题 73

第五章 轴、键和联轴器 75

- § 5-1 概述 75
- § 5-2 轴的材料 75
- § 5-3 轴的结构设计 76
- § 5-4 轴的强度计算 78
- § 5-5 轴的刚度计算 80
- § 5-6 轴的临界转速 86
- § 5-7 挠性轴 87
- § 5-8 键 89
- § 5-9 联轴器的类型和选择 92
- § 5-10 固定式联轴器 92
- § 5-11 可移式联轴器 94
- § 5-12 极限转矩联轴器 97
- 习题 98

第六章 凸轮机构的分析和应用 101

- § 6-1 概述 101

§ 6-2 反转法与凸轮术语	105	§ 9-8 变速三角带传动	225
§ 6-3 从动件的常用运动规律	105	§ 9-9 其它类型的带传动	226
§ 6-4 凸轮轮廓绘制	116	§ 9-10 链及链轮	227
§ 6-5 凸轮压力角	120	§ 9-11 链传动的运动特性	229
§ 6-6 凸轮的加工和沉割问题	123	§ 9-12 链传动的设计计算	230
习题	125	§ 9-13 链传动的布置	236
第七章 直齿圆柱齿轮传动	128	习题	237
§ 7-1 概述	128	第十章 离合器与制动器	240
§ 7-2 齿廓啮合的基本定律	128	§ 10-1 概述	240
§ 7-3 渐开线齿廓及其特性	130	§ 10-2 牙嵌式离合器	240
§ 7-4 齿轮的术语和尺寸	132	§ 10-3 圆盘摩擦离合器	241
§ 7-5 齿轮啮合过程	134	§ 10-4 圆锥摩擦离合器	243
§ 7-6 齿轮啮合的几种形式	136	§ 10-5 弹簧离合器	245
§ 7-7 轮齿加工	139	§ 10-6 超越离合器	246
§ 7-8 轮齿的顶切与根切	141	§ 10-7 离心式离合器	246
§ 7-9 齿轮标准	143	§ 10-8 液力离合器	247
§ 7-10 作一对相啮合的齿轮图	146	§ 10-9 固态流体离合器	248
§ 7-11 齿轮受力分析	147	§ 10-10 闸块制动器	249
§ 7-12 轮齿抗弯强度	148	§ 10-11 带式制动器	251
§ 7-13 轮齿抗磨损强度	153	习题	253
§ 7-14 齿轮动载计算	157	第十一章 机械联接	255
§ 7-15 齿轮传动精度及其选择	159	§ 11-1 概述	255
习题	162	§ 11-2 螺纹主要参数和公差配合	255
第八章 斜齿轮、圆锥齿轮、蜗杆传动及轮系	165	§ 11-3 螺纹联接	259
§ 8-1 概述	165	§ 11-4 螺母和垫圈	261
§ 8-2 斜齿轮和螺旋齿轮	166	§ 11-5 螺栓组联接的设计	264
§ 8-3 圆锥齿轮	177	§ 11-6 单个螺栓的强度计算	269
§ 8-4 蜗杆传动	185	§ 11-7 丝杠传动	273
习题(一)	194	§ 11-8 销联接	279
§ 8-5 定轴轮系	196	§ 11-9 铆钉联接	280
§ 8-6 周转轮系	199	§ 11-10 焊接	281
§ 8-7 混合轮系	204	习题	283
习题(二)	207	第十二章 弹簧	286
第九章 带传动和链传动	209	§ 12-1 概述	286
§ 9-1 概述	209	§ 12-2 圆柱螺旋压缩与拉伸弹簧	286
§ 9-2 带传动中的几何关系	210	§ 12-3 圆柱螺旋弹簧强度	289
§ 9-3 带传动受力分析与不打滑条件	211	§ 12-4 圆柱螺旋弹簧刚度	294
§ 9-4 带传动应力分析与疲劳强度	212	§ 12-5 圆柱螺旋弹簧的设计	297
§ 9-5 带传动中的弹性滑动与速度损失	213	§ 12-6 弹簧的动载和共振	300
§ 9-6 平型带传动及其设计	214	§ 12-7 圆柱螺旋扭转变形	303
§ 9-7 三角带传动及其设计	216	§ 12-8 板形弹簧	305
		§ 12-9 碟形弹簧	306

§ 12-10 圆锥形与蜗形弹簧	307	附表4-5 单列无保持架滚针轴承	323
§ 12-11 常力弹簧和动力弹簧	307	附表4-6 螺旋滚子轴承	323
§ 12-12 环形弹簧	308	附表4-7 a 单列向心推力球轴承(一)	324
习题	308	附表4-7 b 单列向心推力球轴承(二)	325
第十三章 设计课题选编	311	附表4-8 单列圆锥滚子轴承	326
§ 13-1 液压千斤顶	311	附表4-9 单、双向推力球轴承	328
§ 13-2 刚性联轴器	311	附表4-10 推力向心球面滚子轴承	330
§ 13-3 汽车里程表的传动系统	312	附表5-1 平键	330
§ 13-4 焊接结构	312	附表5-2 刚性凸缘联轴器	332
§ 13-5 车库自动开启器	312	附表5-3 齿轮联轴器	333
§ 13-6 参观生产工厂现场	312	附表5-4 弹性圈柱销联轴器	334
§ 13-7 径向滑动轴承	313	附表11-1 普通螺纹基本尺寸	335
§ 13-8 动力传动轴	313	附表11-2 梯形螺纹基本尺寸	339
§ 13-9 带轮—轴承总成	313	附表11-3 六角头螺栓	340
§ 13-10 扭矩限制器	313	附表11-4 小六角头铰制孔用螺栓	341
§ 13-11 齿轮减速箱	314	附表11-5 等长双头螺柱	342
§ 13-12 卷筒—链传动系统	314	附表11-6 吊环螺钉	343
§ 13-13 离心鼓风机—带传动系统	314	附表11-7 锥端、平端、圆柱端紧定螺钉	344
§ 13-14 旋转广告牌	314	附表11-8 六角螺母	345
§ 13-15 电梯消振器	314	附表11-9 小六角螺母	346
§ 13-16 手动绞车	314	附表11-10 圆垫圈	346
§ 13-17 离心式离合器	315	附表11-11 轻型弹性垫圈、弹性垫圈	347
§ 13-18 汽车风扇用的离合器	315	附表11-12 小圆螺母、圆螺母	348
§ 13-19 汽车电瓶贮水器	315	附表11-13 圆螺母用止动垫圈	349
§ 13-20 龙门式螺旋压力机	315	附表11-14 内、外齿弹性垫圈	350
§ 13-21 铁水浇注机构	316	附表11-15 盖形螺母	351
附表	317	附表11-16 扣紧螺母	351
附表4-1 单列向心球轴承	317	附表11-17 六角尼龙圈锁紧螺母	352
附表4-2 双列向心球面球轴承	319	附表11-18 圆柱销	353
附表4-3 单列向心短圆柱滚子轴承	321	附表11-19 圆锥销	353
附表4-4 双列向心球面滚子轴承	322		

第一章 机械设计概论

§ 1-1 什么是机械设计

机械设计是一门应用技术科学，是设计新产品，改革老产品以满足社会需要的科学。机械设计涉及工程技术的各个领域，它主要研究用图纸表达产品尺寸、形状和结构的基本构思，也要研究产品在制造、销售和使用等方面的问题。

产品可以是机械、结构、工具和仪表中的任何一个生产项目。图 1-1 是一种常见的草坪椅，局部放大的部分是盖形锁紧螺母紧固管状底架和管状扶手的结构。图 1-2 为儿童玩具“机灵的小鸟”，它有一双能灵活转动的眼睛，这是依靠体内的挠性轴控制的。这些都是一项社会需要的产品。

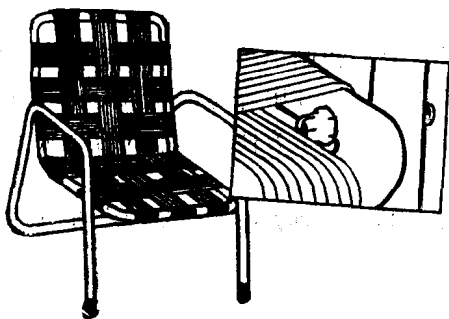


图1-1 草坪椅

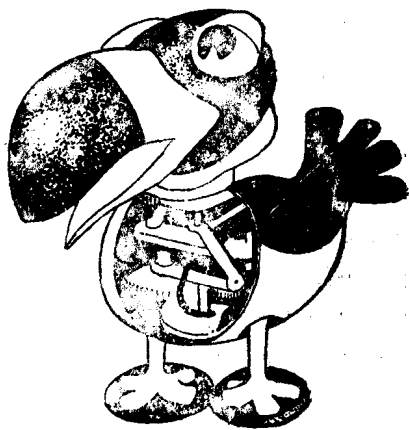


图1-2 玩具小鸟

执行机械设计任务的人员称为设计人员。机械设计是一项创造性的，而设计人员应该是一个创新的工作者。他除了具有饱满的创造热情外，还必须在机械设计方面具有深厚的基础知识。

§ 1-2 机械设计的基础知识

机械设计的基础知识包括：机械制图、机构学、理论力学、工程材料、材料力学和机械工艺学等各门课程。

以下逐一说明这些课程和机械设计的关系。

(1) 机械制图 我们用实物的立体图形可以直观地显示产品的形象，就象图 1-1 的草坪椅和图 1-2 的玩具小鸟，它虽然直观地显示了这些产品的外观以至内部的结构，但无法用这种图去车间加工产品。要加工产品必须备有标明各个零件准确形状、尺寸、材料以及技术要求的零件图和备有把各个零件装配成成品的装配图。零件图和装配图都是机械制图的内容。

(2) 机构学 设计人员不仅要会分析小鸟内部现有机构的运动,还要会综合出这种使小鸟眼睛转动的机构。分析现有机构的运动,综合出满足运动要求和轨迹要求的机构,是机构学的内容,也是机械设计一开始便要解决的问题。

(3) 理论力学 人平稳地坐在草坪椅上和鲁莽地跳到椅子上,椅子所受载荷的大小和性质是不同的。前一种情况,椅子受的是静载荷,后一种情况,椅子受的是动载荷。理论力学的知识帮助我们分析和计算产品承受的各种载荷,作为产品设计的依据。

(4) 工程材料 草坪椅通常在室外使用,长期受阳光曝晒和雨露浸蚀,所以我们用铝管做扶手和底架,采用塑料编织坐垫,这就避免了锈蚀的影响,并且很轻便。根据产品的使用条件和功能,选择合适的材料是机械设计的一个十分重要的方面。工程材料就是对产品所用材料的性质,主要是对金属材料的机械性质提供系统的知识。

(5) 材料力学 草坪椅的铝管该用多粗,截面形状怎样最合理,这要根据铝管承受载荷后产生的应力和变形是否超过许可范围,会不会失效来决定。材料力学便是专门研究构件受载后产生的应力和变形的课程。

(6) 机制工艺学 玩具小鸟是结构上比较复杂的产品。玩具的每个零件怎样加工,整个玩具怎样装配,这些知识都要在机制工艺学中学习。严格说来,设计人员要熟悉金属工艺学或工艺学,但这样要求就更广泛了。

这里顺便提一下,产品的结构、加工和成本的关系。控制小鸟眼睛转动的零件为什么采用挠性轴而不用刚性轴,原因就是挠性轴比刚性轴在小鸟腹腔中容易布置和安装,采用的零件少,也没有刚性轴存在的对中问题。这样,结构简单,加工方便,成本低的产品在市场上也就有了竞争能力。

除了上述的基础知识外,设计人员还要对产品的其它重要方面:包括安全性、环境污染、外观和经济性等进行研究,这些将在以后各节讨论。

§ 1-3 机械设计的哲学

(一) 机械设计首先要保证的是产品的功能,而且要使产品的功能最优。关于这点每个设计人员都是十分重视的。

(二) 机械设计也要保证产品的工艺性,但常被设计人员忽视,他们认为:“加工是工艺人员的事”,这种观点是片面的。产品的工艺性是指产品的加工和装配是否可行、合理和经济。要知道再好的产品如不能加工,就只能是“纸上谈兵”,所以设计人员必须全面关心产品的加工、装配,以至包装、运输的整个过程。

(三) 一般说,发明和创造并不能直接显示出社会效益,只有把它用在产品上,而产品又能在市场上畅销,才显示出社会效益,才真正为社会所公认。因此设计人员在设计新的产品之前,必须进行市场调查;产品投入市场之后,必须进行用户访问,从中获得社会认可的信息。总之,社会的需要就是产品的生命。

(四) 应把产品设计看成是设计人员运用创造性的才能去开发新产品的良机。新颖的设计要求有新的构思和某种程度的冒险。因为一个全新的设计,要求摒弃许多陈旧的已过时的观点和结构,这会受到很多墨守成规的人的抵制和反对。对此设计人员一方面应大胆地采用新观点和新结构,一方面也要认真选择原有的成功的观点和结构。

另外,新设计的产品本身也会有许多缺陷和许多未能预料到的问题发生。对这些缺陷和问题应逐个分析并提出预防措施,只有这些缺陷和问题在生产中真正获得解决,才能体现出新产品的优越性和生命力。

(五)掌握设计的基本准则远比熟记一些实例和计算公式重要,因为不可能仅仅模仿实例和硬套公式就会搞出正确的具有创造性的设计方案。当然,实例的借鉴作用和必要的运算也不可缺少。有时即使运算中一个小数点位数点错,也会使正确的设计成为错误的设计。

(六)设计的过程是一个探索的过程。在设计起始阶段,应该允许充分发挥创造性而不受各种约束。即使发生许多不切实际的设想,也没关系,这可以在设计的早期,在绘制生产图纸以前加以纠正。只有这样,才不致堵塞创新的思路。通常都要有几套设计方案,要在各方面对这些方案对比,从中选择最佳的方案。最后选定的方案可能是各套方案中最好部分的组合,也可能是未被接受方案中的某个构思。

(七)产品要便于使用和确实减轻人的劳动。心理学家经常谈到要使人适应他所操作的机器;相反,努力使机器适应人,却是设计人员的基本责任。这项任务并不简单,因为没有一个人操作尺寸和操作过程能适应所有的人。但是设计人员必须考虑人的操作特征,其中包括:

- (1) 工作区域的空间分配;
- (2) 通风条件;
- (3) 色彩和照明;
- (4) 手柄、开关及踏脚的位置和尺寸;
- (5) 操作者的体力;
- (6) 安全保护;
- (7) 操作者的心理和习惯。

§ 1-4 机械设计的过程和磋商

机械设计的过程和相互间的磋商是反复交叉进行的。我们可以用图 1-3 表示。

设计过程的初步阶段可概括为:对社会需要的调查;对问题的全面综合;构思和原始设计。然后把原始设计告知管理人员,和他们磋商。磋商方式可以通过口头讨论和书面来往,这阶段要解决以下问题:

- (1) 本产品是否真正为社会所需要?
- (2) 本产品对现有同类产品有无竞争能力?
- (3) 生产这种产品是否经济?
- (4) 本产品是否便于维修?
- (5) 本产品有无销路?有多少盈利?

只有时间才能对上述问题作出准确的回答。但在设计、制造和销售产品之前,必须有初步的预测。

然后以通过的装配图(总图)和零件图将最终方案与制造部门磋商。

问题经常发生在制造阶段,这时对零件作某些更改,例如对某个尺寸或公差作一些更改,就能使加工简便得多。但更改必须经原设计人员批准,以保证这些更改不致有损产品的功

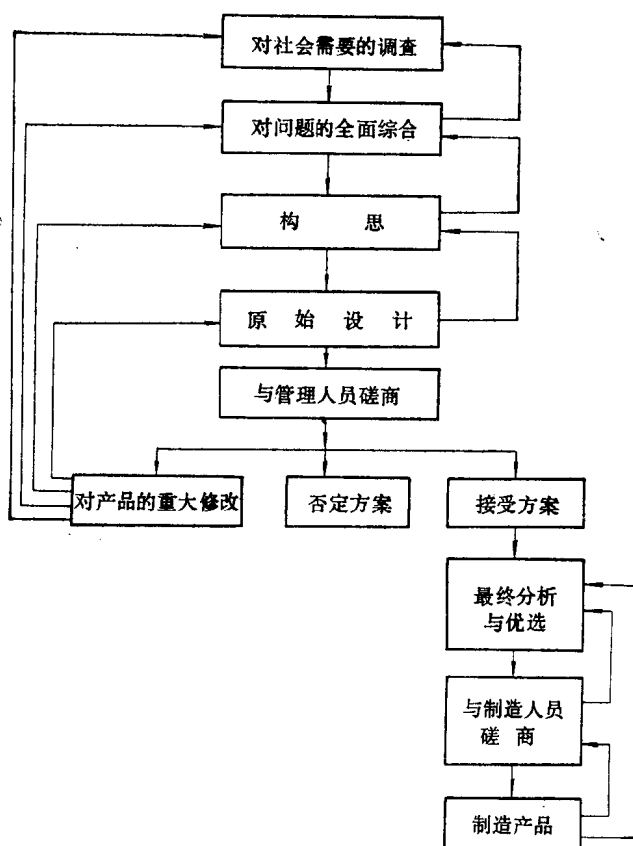


图1-3 机械设计的过程和磋商

能。有时在产品装箱之前的装配和试验中才发现设计中的某些缺陷。这些事实说明设计是一个动态过程。不论产品在哪个方面和哪个阶段发现有缺陷或者有人提出更好的建议，设计人员就该努力克服缺陷，采纳和寻求更好的办法，保证所设计的产品在各个方面获得综合性的最佳的实际效果。

§ 1-5 往复式发动机与旋转式发动机的比较

为了便于叙述和理解，我们以一项典型产品为背景来讨论产品设计的各方面问题。这里我们以汽车（主要以汽车发动机）为背景。

在二十世纪，汽车无疑是对人们生活有着深刻影响的一项产品。在二十世纪前七十年，往复式发动机作为传动的动力设备，占有绝对优势，它所装备的汽车业是世界上最大的企业。可是汽车越多，它排放在大气中的有害人体的化学污染物也越多；另外原油短缺也是一个严重问题。为此，人们迫切要求设计出一种污染轻、效率高的新型发动机。各种新型发动机中，有一种 Wankel 旋转式发动机，比较成熟。

下面我们以对比的方式来观察往复式发动机和旋转式发动机的运行过程和设计特点。

（一）往复式发动机

图 1-4 所示的往复式发动机是一种传统的四冲程活塞发动机简图。1 是活塞，2 是连接活塞和曲轴的连杆，3 是曲轴，4 是汽缸体。在机构学中，它是我们很熟悉的曲柄滑块机构。当活塞作往复运动时，经连杆推动曲轴作旋转运动；或者当曲轴作旋转运动时，经过连杆推动活塞作往复运动。

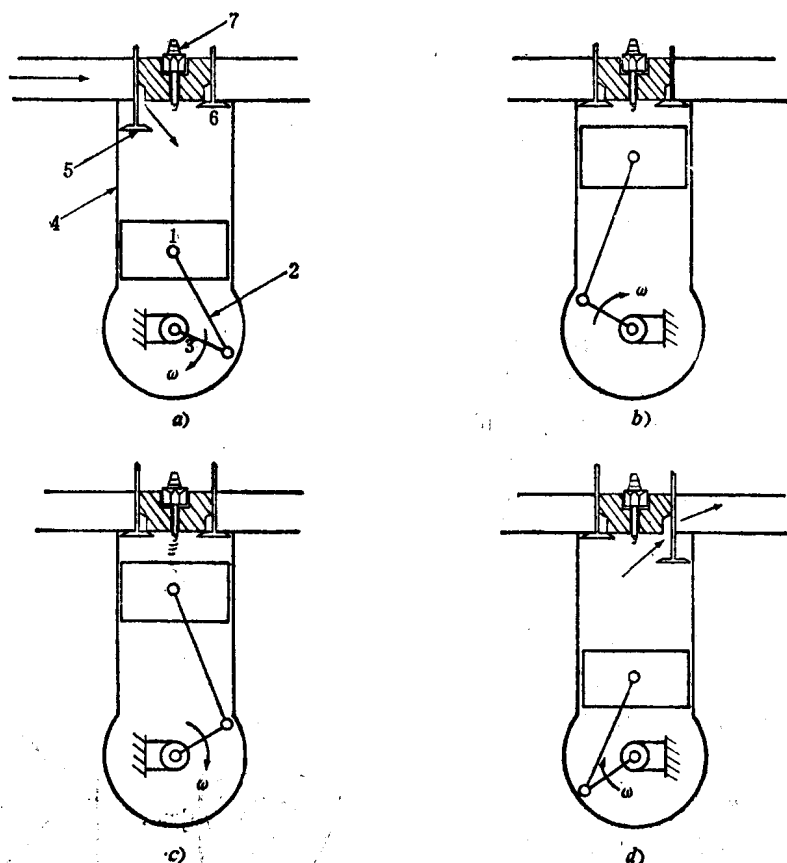


图1-4 往复式发动机的四个冲程

a) 吸气 b) 压缩 c) 动力 d) 排气

现在我们对活塞式发动机四个冲程进行说明：

(1) 吸气冲程 (图 1-4 a)

吸气阀 5 打开，排气阀 6 大部分时间关闭，曲轴转过 180° ，经连杆将活塞由上死点推到下死点，缸体内形成真空，于是将燃料和空气的混合气体吸入缸内。

(2) 压缩冲程 (图 1-4 b)

两气阀同时关闭，曲轴继续转过 180° ，经连杆将活塞由下死点推回上死点，对缸内混合气体进行压缩。

(3) 动力冲程 (图 1-4 c)

开始时两阀同时关闭，火花塞 7 点燃混合气体，温度骤然上升，气体膨胀，同时驱动活塞由上死点到下死点，经连杆推动曲轴转过 180° ，输出转矩和运动，即输出功。冲程快结束时，排气阀打开。

(4) 排气冲程 (图 1-4d)

排气阀完全打开, 曲轴转过 180° , 经连杆将活塞由下死点推到上死点, 将燃烧后的废气由缸内排出。

这样就完成了一个循环过程。

对往复式发动机经历的四个冲程的完整运行周期的观察, 可得下述结论:

(1) 一个完整的运行周期, 共有四个冲程, 其中只有动力冲程输出转矩, 对外做功。活塞四个冲程要求曲轴转两圈。

(2) 吸气阀和排气阀在四个不同冲程中, 都要按要求开启和关闭, 这都由专门的凸轮机构控制。

(二) 旋转式发动机

图 1-5 所示的旋转式发动机是 Wankel 转子发动机, 从机构学观点看, 是个内啮合行星轮系。三角形转子 2, 同时也是内齿行星轮, 它一方面绕自身转线自转; 一方面绕固定的外齿中心轮 1, 在 8 字形缸体内公转。转子还迫使相连的曲轴 H 转动; 相反, 曲轴 H 转动, 也迫使转子作自转和公转。内齿轮 2 与外齿轮 1 的齿数比为 $1.5:1$, 这样的齿数比, 可保证转子转 1 圈, 曲轴转 3 圈的运动关系。

以转子表面 I 与缸体形成的内腔为观察对象, 分析转子发动机运行过程:

(1) 吸气过程

曲轴推动转子表面 I 由图 1-5 位置转到图 1-6a 位置, 吸气口 4 对该内腔敞开, 内腔容积由小变大, 形成真空, 将燃料与空气的混合气体吸入腔内。

(2) 压缩过程

曲轴继续推动转子表面 I 由图 1-6a 位置转到图 1-6b 位置, 吸气口被盖住, 内腔由大变小, 燃料与空气的混合气体被压缩到最小体积。

(3) 膨胀过程

火花塞 6 点燃燃料与空气的混合气体迅速膨胀, 产生的压力驱动转子, 使转子表面 I 由图 1-6b 位置转到图 1-6c 位置, 转子并推动曲轴转动, 输出运动和转矩, 对外做功, 相当于动力冲程。

(4) 排气过程

曲轴继续推动转子表面 I 由图 1-6c 转到图 1-6d 位置, 内腔容积由大变小, 排气口 5 对该内腔敞开, 转子表面将燃烧过的废气排出。

将旋转式发动机与往复式发动机对比, 转子的一个表面与缸体相当于往复式的一个活塞与汽缸, 转子表面还兼起开闭进排气阀门的作用。三个表面就相当于顺序排列的三个活塞,

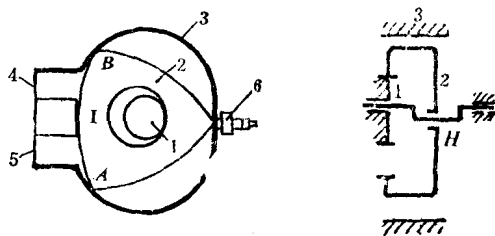


图 1-5 Wankel 转子发动机简图

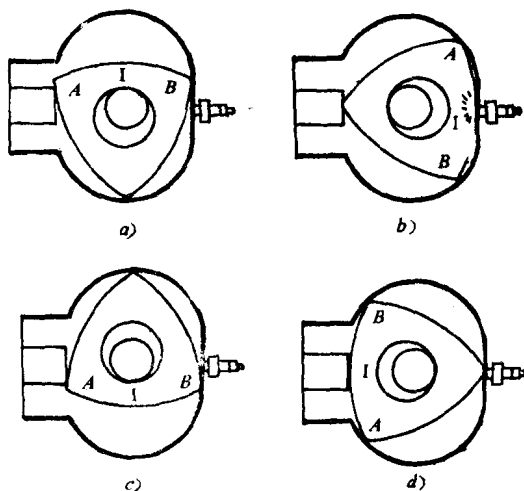


图 1-6 Wankel 转子发动机运行过程

它们顺序平稳连续地工作着。转子每转一圈，产生三个动力冲程，曲轴转三圈。即曲轴每转一圈产生一个动力冲程。

§ 1-6 机械设计的主要方面

如前所述，机械设计涉及工程技术的各个领域，以下是这些领域中所涉及到的主要方面：

- (1) 构思和原始设计；
- (2) 强度分析（包括失效分析）；
- (3) 材料选择；
- (4) 外观；
- (5) 工艺性；
- (6) 经济性；
- (7) 安全性；
- (8) 环境污染；
- (9) 可靠性与寿命；
- (10) 法律事务。

随后几节，将以汽车发动机为背景，逐点讨论这些方面的基本内容。

§ 1-7 构思和原始设计

设计产品时的主要设想就是构思，原始设计就是构思在产品结构（包括机构）上的最初体现。产品的优劣，是由产品能实现的性能指标高低来评判的。

从机构学观点看，Wankel 转子发动机只有两个运动构件，即转子和曲轴，动力直接通过曲轴输出；往复式发动机，动力要经过连杆，再由曲轴输出。Wankel 转子发动机能顺序、均衡、平稳地输出能量；往复式发动机间断地以冲击方式输出能量。Wankel 转子发动机利用转子表面自动开闭进排气阀门；往复式发动机要有专门的凸轮机构控制进排气阀门。可见 Wankel 转子发动机构件少，动力性能好。

从发动机的主要性能指标——功率容量比，即单位体积所产生的功率——来看，Wankel 转子发动机曲轴每转一圈，产生一个动力冲程；四冲程往复式发动机曲轴每转两圈，产生一个动力冲程。可见 Wankel 转子发动机功率容量比是四冲程往复式发动机的两倍，即 Wankel 转子发动机体积小而功率大。

从这些分析可知 Wankel 转子发动机的构思和原始设计方案比往复式发动机优越。

往复式发动机的主体机构（曲柄滑块机构）是低副机构，圆柱形的活塞和汽缸容易加工。Wankel 转子发动机的三角形转子，8 字形缸体内壁以及内、外齿轮加工却很复杂。另外转子的密封材料也比活塞的密封材料要求高。这些也许就是为什么先有往复式发动机的历史原因。

经过以上评述，可知每个产品的构思和设计都有它自身的特点，并有个历史发展的过程和相应的生产水平。应该说转子发动机是今天的工艺水平和材料水平的产物。

§ 1-8 强 度 分 析

强度是零件材料没有损坏前的承载能力的一种度量。零件所承受的载荷,可根据加载的方式分为:

- (1) 逐渐加的;
- (2) 突然加的;
- (3) 在冲击条件下加的;
- (4) 连续交变地加的;
- (5) 在高温或低温条件下加的。

假如机器的重要零件损坏了,那末整部机器都必须停下来修理。因此在设计机器时,主要零件的强度必须足够,以防损坏。设计人员应当尽可能精确地确定作用在零件上力的性质、大小、方向和作用点。但是机械设计不是一门严密的科学,因为一方面很难确定作用力的全部要素;另一方面,即使同一种材料做成的不同试件对载荷、温度、环境等条件所显示的抵抗能力也会不同。这样,计算的结果就不能准确地表示实际的承载能力。

尽管如此,在机械设计中,我们仍须作出合理的假设,以便对产品进行力学计算和强度分析。所谓合理的假设是指假设既要反映实际情况,又要便于计算。一般说,这种假设都偏保守,但也有考虑不周而失败的,所以对于重要产品,必须通过试验和试用,证明该产品的的设计是成功的。

例如图 1-7 的活塞发动机,在动力冲程中,由于混合气体燃烧,使活塞顶部承受压力,并接受该压力所作的功。要确定作用在连杆、曲轴、活塞以及主轴承 1、曲轴销 2、活塞销 3 等零件上的载荷,就必须知道活塞顶部的压力分布状况。这种压力分布是很复杂的,为了便于运算,就必须作出合理的假设。这里我们假设压力均匀分布,如图 1-7 a 所示。这样,活塞上承受的力 F ,可由压力 P 乘以活塞面积 A 求出,如图 1-7 b 所示,通过机构受力分析,便可计算出作用在各个零件上的力和作用在曲轴上的转矩 T 。进而可以对各个零件作强度分析。

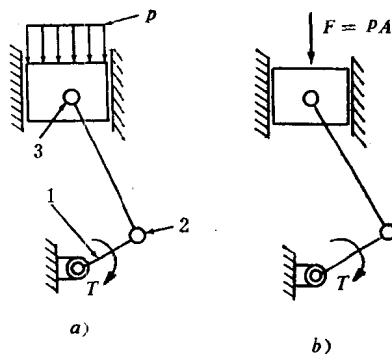


图 1-7 活塞发动机的燃烧压力
a) 活塞上的压力分布 b) 活塞上的合力

对图 1-6 Wankel 转子发动机,也需作类似的假设,即对动力冲程作用在转子上的压力分布情况作出假设。然后再计算曲轴所受转矩和对各零件进行强度分析。

§ 1-9 材 料 的 选 择

一方面各种材料具有各种不同的抵抗外载、防止腐蚀和抵抗磨损的能力,这种能力表现为材料的屈服极限、持久极限、弹性、韧性、硬度和抗腐蚀性等各种特性;另一方面各种零件在各种不同的工作条件下要求具有某些特性,这些特性有些是必不可缺的,有些是希望具有的。零件材料的选择就是使这两方面一致起来。就是根据零件要求的特性选择具有这种特

性的材料。

例如三角形转子的三条边的交接处镶着的三条密封片1(见图1-8),该密封片要求在运行时不断裂和在振动时不截入缸体内壁,还要能耐高温和经受住紧贴缸体时的高速滑动摩擦。具有这种特性的材料只有陶瓷和浸渍金属的碳精。

表1-1为常用零件材料特性和应用实例,可供选择零件材料时参考。

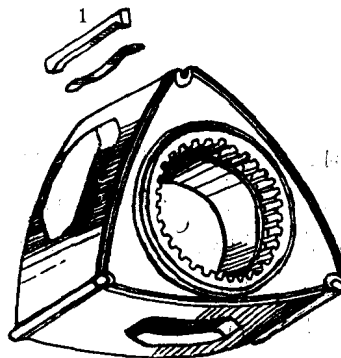


图1-8 密封片

表1-1 常用零件材料特性及应用实例

材 料		特 性	应 用 实 例
普通碳 钢	(a) 软钢(含碳0.3%)	韧性好	活塞销、铆钉、链条
	(b) 中碳钢(含碳0.3~0.6%)	韧性好、强度高	轴、汽车连杆
	(c) 硬钢(含碳0.6~1.7%)	硬度高	钻头、剪切刀片、锯
合 金 钢	镍钢	韧性好、硬度高	曲轴、岩石钻
	铬钒钢	硬度高、强度极高	汽车齿轮、螺旋桨轴
	硅锰钢	弹性好	汽车弹簧
	不锈钢	抗腐蚀性好	外科器械、餐具
	镍铜合金	强度高、抗腐蚀性好、韧性好	流量表、螺旋桨、泵
铸 铁		减振性好	机床床身、箱体
有 色 金 属	铜	导电性好、延性好、可锻性好	电线、汽车管道
	黄铜	延性好、抗腐蚀好	波导管、弹壳、轴承
	铝	抗腐蚀好、轻巧、延性好	活塞、餐具、风雪窗架、飞机机身
塑 料		轻巧、价廉、自润滑	齿轮、凸轮、轴瓦、轴

§ 1-10 外 观

外观往往可能是影响用户选择和购买产品的重大因素。例如小轿车、摩托车等机械产品的外观,电视机、收录机等家用电器的外观都直接影响产品的竞争能力。又如孩子们的玩具的外观和造型,几乎是孩子们喜爱与否的决定因素。就是大型的机械设备,也必须外形美观大方。

一般说,产品外观应具备下述特征:

- (1) 对称性;
- (2) 轻便;
- (3) 可靠性;
- (4) 轮廓清晰,色调明快;
- (5) 舒适;
- (6) 独特和富丽;
- (7) 现代化造型。

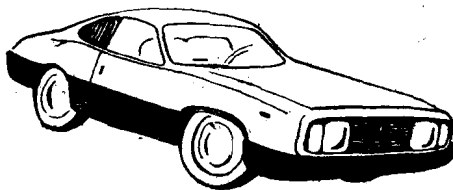


图1-9 现代小轿车外观

图1-9为现代小轿车外观,它综合地体现了上述特征。

§ 1-11 工 艺 性

对已设计好的产品应选择哪种工艺过程,虽不是设计人员的主要职责,但每个零件图所标注的尺寸、公差、粗糙度和技术条件都直接影响工艺过程的优劣和生产周期的长短。

根据零件图和零件材料的特性,可选择下述一种或多种工艺。

- (1) 切削加工;
- (2) 铸造;
- (3) 锻造;
- (4) 板金;
- (5) 冲压;
- (6) 挤压;
- (7) 注模法(指塑料制品的注模法)。

以上每种工艺都有其造价最合理的经济精度,所以当零件图纸和材料确定后,也就在一定程度上确定了采用哪种工艺。

工艺的另一个重要方面是装配,即将各个零件装配成一个整体。装配要根据产品的结构特点,选择合适的联接方式:

- (1) 螺栓、键、销钉联接(能方便地拆开);
- (2) 铆钉联接(可拆,但不方便);
- (3) 焊接(形成永久性联接,不可拆)。

同样的孔,采用车、镗还是磨削作为最后的工序,要根据加工精度和表面粗糙度决定。

表面采用油漆、抛光、电镀还是塑料涂层,要根据外观和抗腐蚀的要求决定。

这都说明加工工艺和所设计产品的要求有着密切的关系。

§ 1-12 经 济 性

经济性是一个综合性的指标,通俗地说,就是物美价廉。物美价廉是产品获得市场的决定性条件。设计人员不仅有责任使产品具有良好的功能和优越的质量,同时也有责任使产品的价格便宜合理。对生产者而言,价格主要包含劳动力和材料的消耗;对用户而言,价格不仅包含购买费用,还应包含日常的耗费,即所耗电费和维修费用。质量粗劣、效率低下的产品,要不断维修和耗能过大。这样的产品没有市场。同样,产品质量虽好,但价格昂贵,也不会有竞争能力。

为此,设计人员应反复研究产品的下述问题:

- (1) 产品的基本功能是什么?
- (2) 怎样能使它获得最佳的功能?
- (3) 是否绝对需要抗腐蚀的材料?
- (4) 尽量采用标准件了吗?
- (5) 装拆方便吗?
- (6) 产品能满足互换性要求吗?