

JI XIE SHE JI JI CHU

葛中民 主编

# 机械设计基础



中央广播电视大学出版社

(京)新登字 163 号

**机械设计基础**

葛中民 主编

\*

中央广播电视大学出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

北京顺义北方印刷厂印装

\*

开本 787×1092 1/16 印张 25.25 千字 580

1992 年 2 月第 1 版 1992 年 2 月第 1 次印刷

印数 1—9000

定价 9.55 元

ISBN 7-304-00672-2/TH·23

## 前 言

本书是根据中央广播电视大学 1990 年 9 月主持制定的《机械设计基础》教学大纲编写的,适用于机电工程类各专业,课内学时为 81 学时。

根据本课程的特点和编者多年的教学实践经验,为了加强课程内容的系统性与综合性,在课程体系方面,我们从机械系统设计的观点出发,将课程分为三大篇,即(1)机械运动方案的分析与设计;(2)机械零部件的工作能力分析与设计;(3)机械零部件的结构分析与设计。它们既包含了机械设计的核心部分,又概括了课程的主要内容,目标明确,重点突出。

在内容取舍上,以培养学生具有一定的机械设计能力为出发点,以机械设计所需要的基本内容为基础,既有重点又保证了一定的知识面,既着重实用性,又进行了适当的理论分析。书中通过几种典型机构和零部件的分析与设计,来阐明机械设计的基本知识、基本理论和基本方法,以便收到举一反三之效果。

为了适应电视教学的特点,并便于读者自学,书中对问题的阐述力求概念清楚,通俗易懂。为了使读者较好地掌握所学内容,并学以致用,大多数章节都有应用实例的分析与设计。

本教材除适用于机电工程类各专业外,也可作为有类似要求的其他有关专业的教材使用,并可供工程技术人员参考。

参加本书编写的有:葛中民(绪论、第一、二、三、四和六章),杨晓延(第五章),黄纯颖(第七、八、九章及第十一章滚动轴承部分),于德潜(第十章、第十一章滑动轴承部分、第十二章螺纹联接和轴毂联接部分、第十三章),沈乐年(第十二章联轴器与离合器部分、第十四章)。全书由葛中民主编。

本书承蒙清华大学吴宗泽、北京科技大学罗圣国、北京理工大学彭荣济和北方工业大学张世民等四位教授的仔细审阅和指导。他们对本书的编写提出了很多宝贵的意见,为提高本书的质量给予了很大的帮助,在此谨致以衷心的感谢!

中央广播电视大学冼健生和蒋克中两位老师在本书编写过程中给予了大力协助,在此也深表谢意!

由于编者水平有限,编写时仓促,并且按新的课程体系编写教材是首次尝试,书中难免有遗漏、不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

1991 年 10 月

# 目 录

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 绪论                   | (1) |
| § 0-1 机器的组成          | (1) |
| § 0-2 机械设计的基本要求与一般过程 | (4) |
| § 0-3 本课程的内容和学习方法    | (6) |

## 第一篇 机械运动方案的分析与设计

|                           |      |
|---------------------------|------|
| 第一章 平面机构的运动简图与自由度         | (9)  |
| § 1-1 运动副 作用与分类           | (9)  |
| § 1-2 平面机构的运动简图           | (11) |
| § 1-3 平面机构的自由度            | (14) |
| 第二章 平面连杆机构                | (23) |
| § 2-1 铰链四杆机构的基本型式与特性      | (23) |
| § 2-2 铰链四杆机构中整转副和曲柄存在的条件  | (31) |
| § 2-3 铰链四杆机构的演化型式         | (33) |
| § 2-4 平面四杆机构的运动设计         | (39) |
| 第三章 凸轮机构                  | (50) |
| § 3-1 凸轮机构的应用与基本类型        | (50) |
| § 3-2 从动件常用的运动规律          | (52) |
| § 3-3 图解法设计凸轮轮廓           | (58) |
| § 3-4 凸轮机构运动设计的几个问题       | (61) |
| 第四章 齿轮机构                  | (66) |
| § 4-1 齿轮机构的特点与基本类型        | (66) |
| § 4-2 渐开线齿廓及其啮合特性         | (67) |
| § 4-3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和尺寸 | (69) |
| § 4-4 渐开线直齿圆柱齿轮正确啮合的条件    | (73) |
| § 4-5 渐开线齿轮轮齿的加工与根切现象     | (75) |
| § 4-6 齿轮传动的精度             | (79) |
| § 4-7 平行轴斜齿圆柱齿轮机构         | (80) |
| § 4-8 直齿锥齿轮机构             | (85) |

|                             |              |
|-----------------------------|--------------|
| § 4-9 轮系及其传动比·····          | (89)         |
| <b>第五章 其他传动机构·····</b>      | <b>(96)</b>  |
| § 5-1 螺旋传动机构·····           | (96)         |
| § 5-2 蜗杆传动机构·····           | (107)        |
| § 5-3 链传动机构·····            | (114)        |
| § 5-4 带传动机构·····            | (121)        |
| § 5-5 间歇运动机构·····           | (126)        |
| § 5-6 无级变速器简介·····          | (134)        |
| <b>第六章 机械传动总论·····</b>      | <b>(139)</b> |
| § 6-1 机械传动的功能·····          | (139)        |
| § 6-2 各种常用机构的比较与应用选择·····   | (144)        |
| § 6-3 机械传动的效率、功率和转矩的计算····· | (149)        |
| § 6-4 机械传动方案设计举例·····       | (151)        |

## 第二篇 机械零部件的工作能力分析与设计

|                                  |              |
|----------------------------------|--------------|
| <b>第七章 机械零部件的设计概述·····</b>       | <b>(157)</b> |
| § 7-1 机械零部件的工作能力分析·····          | (157)        |
| § 7-2 机械零部件的失效分析·····            | (164)        |
| § 7-3 机械零件的常用材料及其选择·····         | (167)        |
| § 7-4 机械零件的设计·····               | (170)        |
| <b>第八章 带传动设计·····</b>            | <b>(175)</b> |
| § 8-1 带传动的工作情况分析·····            | (175)        |
| § 8-2 带传动的失效形式与设计准则·····         | (180)        |
| § 8-3 V带轮设计·····                 | (186)        |
| § 8-4 带的张紧装置·····                | (186)        |
| § 8-5 V带传动的设计·····               | (190)        |
| <b>第九章 齿轮传动设计·····</b>           | <b>(195)</b> |
| § 9-1 齿轮的失效形式与设计准则·····          | (195)        |
| § 9-2 齿轮材料·····                  | (197)        |
| § 9-3 齿轮受力分析·····                | (199)        |
| § 9-4 直齿圆柱齿轮强度计算·····            | (201)        |
| § 9-5 直齿圆柱齿轮传动设计·····            | (207)        |
| § 9-6 平行轴斜齿圆柱齿轮传动与锥齿轮传动设计特点····· | (213)        |
| § 9-7 齿轮的结构与润滑·····              | (220)        |

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| § 9-8 蜗杆传动设计·····               | (226) |
| <b>第十章 轴</b> ·····              | (238) |
| § 10-1 轴的分类、失效分析与设计准则·····      | (238) |
| § 10-2 轴的材料·····                | (240) |
| § 10-3 轴的强度计算·····              | (240) |
| § 10-4 轴的挠度、偏转角和扭转角·····        | (244) |
| § 10-5 轴的振动与平衡简介·····           | (247) |
| <b>第十一章 轴承</b> ·····            | (252) |
| § 11-1 滚动轴承的类型、代号及选用·····       | (252) |
| § 11-2 滚动轴承的失效形式与设计准则·····      | (258) |
| § 11-3 滚动轴承的寿命计算·····           | (259) |
| § 11-4 滚动轴承的静负荷计算·····          | (265) |
| § 11-5 滑动轴承的类型与结构·····          | (266) |
| § 11-6 滑动轴承的摩擦状态、失效分析与设计准则····· | (271) |
| § 11-7 滑动轴承的材料·····             | (274) |
| § 11-8 非液体摩擦轴承的计算·····          | (277) |
| § 11-9 液体摩擦轴承简介·····            | (279) |
| § 11-10 润滑与密封·····              | (281) |
| <b>第十二章 联接零部件</b> ·····         | (295) |
| § 12-1 螺纹联接的类型与强度计算·····        | (295) |
| § 12-2 轴毂联接·····                | (308) |
| § 12-3 联轴器与离合器·····             | (314) |
| <b>第十三章 弹簧</b> ·····            | (336) |
| § 13-1 弹簧的功用与种类·····            | (336) |
| § 13-2 弹簧的材料与许用应力·····          | (337) |
| § 13-3 圆柱螺旋弹簧的强度与刚度计算·····      | (340) |
| § 13-4 圆柱螺旋弹簧的端部结构与几何尺寸计算·····  | (343) |

### 第三篇 机械零部件的结构分析与设计

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| <b>第十四章 机械零件及其组合的结构设计</b> ····· | (348) |
| § 14-1 概述·····                  | (348) |
| § 14-2 轴系的结构设计·····             | (349) |
| § 14-3 螺纹联接的组合设计·····           | (372) |
| § 14-4 结构设计与工艺性·····            | (378) |
| § 14-5 机械零件组合结构设计实例·····        | (386) |
| <b>主要参考文献</b> ·····             | (397) |



## 绪 论

在现代的日常生活和生产活动中,日益广泛地使用着机器,以代替或减轻体力劳动,提高生产率和产品质量。在那些人类难以生存或接近的场合,更是非借助于机器代替人工不可。而大规模地使用现代机器进行生产,是一个国家生产高度发展的重要标志。

### § 0-1 机器的组成

机器的种类繁多,它们的构造、用途和功能也各不相同。为了认识机器组成的基本规律,可以从机器的功能和结构等角度来剖析机器。

#### 一、按功能分析机器的组成

就功能来说,一般机器主要由四个基本部分组成,如图 0-1 所示。

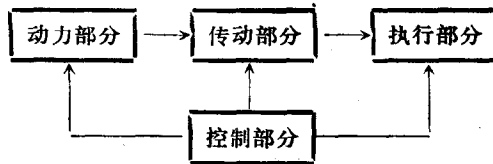


图 0-1 机器的组成(按功能)

#### 1. 动力部分

动力部分是机器工作的动力源。动力源可以采用人力、畜力、风力、水力、热力、磁力和电力等。通常,一部机器只用一个原动机,复杂的机器也有采用几个原动机的。现代机器中使用的原动机大多以电动机和热力机(内燃机、汽轮机、燃气轮机)为主,而电动机的使用较为广泛。

#### 2. 执行部分

执行部分或称工作部分,是直接完成机器预定功能的部分。一部机器根据其总功能要求的不同,可以只有一个执行部分,也可以有几个执行部分。例如简单的固定式吊车,其卷筒、钢丝绳和吊钩部分执行升降重物的功能,而移动式旋臂起重机(如建筑起重机)还具有实现重物移动和旋转功能的执行部分。

#### 3. 传动部分

传动部分是为解决动力部分与执行部分之间的各种矛盾所需要的中间部分。机器的功能各异,要求的运动参数和运动形式各不相同,同时要克服的工作阻力也随工作情况而异。但是原动机的运动参数、运动形式和动力参数范围都是有限的,并且是确定的,往往不能满足机器执行部分的要求。为了解决两者之间的矛盾,就需要通过传动部分把原动机的运动参数、运动形式和动

力参数变换为机器执行部分所需要的运动参数、运动形式和动力参数。例如,把高转速变为低转速、小转矩变为大转矩、回转运动变为直线运动等。

例如吊车升降重物时要求卷筒较慢地匀速回转,并获得大转矩,以便有能力起吊重物。而电动机则具有较高的转速和较小的转矩,在它们之间加入减速齿轮传动就可以解决这一矛盾。

又如图 0-2 所示的热处理炉的送料机,装有工件的盒  $Q$  放在固定的滚道 12 上,借助与移动件 10 相联接的推送爪 11 向前推进,送入炉内,到达一定位置后,推送爪退回。这里,移动件 10 和推送爪 11(或再包括滚道 12)是该机的执行部分。原动机是电动机 1,它通过联轴器 2 与传动部分相联接。传动部分包括蜗杆蜗轮传动 3—4(蜗杆蜗轮减速器,作为部件)、齿轮传动 5—6 和铰链联接的多个杆件 7—8—9 等。杆 9 以铰链  $F$  与移动件 10 相联接,从而带动移动件和推送爪移动。整个传动部分起减速和把回转运动变为直线运动的功能作用。

机器的传动部分大多使用机械传动系统,有的还包括或单独使用液压、气压和电力传动系统。机械传动是大多数机器必不可少的组成部分。关于机械传动的主要功能作用,将在第六章中详加论述。

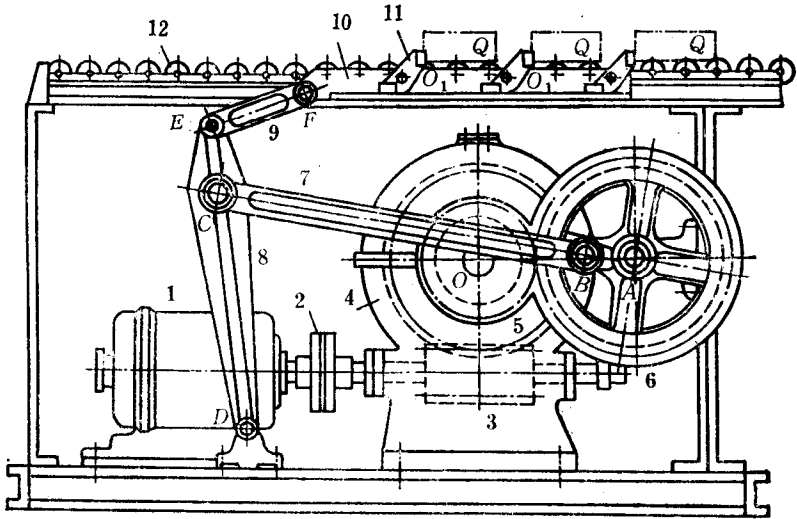


图 0-2 热处理炉送料机

4. 控制部分

控制部分(或称操纵部分)的作用是控制机器的其他基本部分,使操作者能随时实现或终止各种预定的功能。例如,机器的开动和停止,改变运动的速度和方向,输出或切断动力等等。例如,汽车的方向盘和转向系统、排挡杆、刹车及其踏板,离合器踏板及油门等就组成了汽车的控制系统。有的仅采用电子控制系统,如电风扇的控制。

简单的机器主要由前三个基本部分组成,其控制部分很简单。随着科学技术和生产的发展,对机器的功能、精度和高度自动化提出了日益增长的要求,对控制系统的要求也越来越高。现代机器的控制部分,一般来说,既包括机械控制系统又包括电子控制系统。



## 二、按结构分析机器的组成

就结构来说,一般情况下,机器的各个部分都是由各种机构组合而成,例如执行部分、传动部分和控制部分,都是由机构组成的。机构则由若干个构件通过动联接(允许构件间有一定相对运动)组合而成。而构件又由若干个零件通过静联接(固联在一起,无相对运动)组装而成。组成机器的最基本单元是零件。参见图 0-3。

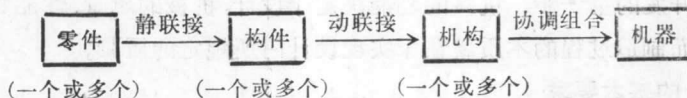


图 0-3 机器的组成(按结构)

例如图 0-2 所示送料机,主要是由蜗杆蜗轮机构、齿轮机构和铰链多杆机构等组成。从机构学角度看,电动机 1 也是一个机构。

又如图 0-4 所示单缸四冲程内燃机,它是由气缸体 1、活塞 2、进气阀 3、排气阀 4、连杆 5、曲柄 6、凸轮 7、顶杆 8、齿轮 9 和 10 等零件或构件组成的。燃气由进气管通过进气阀 3 被吸入气缸后,进气阀关闭,点火,使燃气在气缸内燃烧产生压力,推动活塞 2 作上下往复运动,经连杆 5 变为曲柄 6 的连续回转。凸轮 7 和顶杆 8 (共两套)是用来启闭进气阀 3 和排气阀 4 的。为保证曲柄每转两周时进气阀和排气阀各启闭一次,在曲柄和凸轮轴之间安装了齿轮,齿数比为 1:2。这样,当燃气推动活塞运动时,进、排气阀有规律地启闭,就把燃气的热能转换为曲柄回转的机械能,对外做功。该机主要包括由气缸体(机架)1、活塞 2 (视作滑块)、连杆 5 和曲柄 6 组成的曲柄滑块机构,由凸轮、顶杆和机架组成的凸轮机构以及由齿轮和机架组成的齿轮机构。

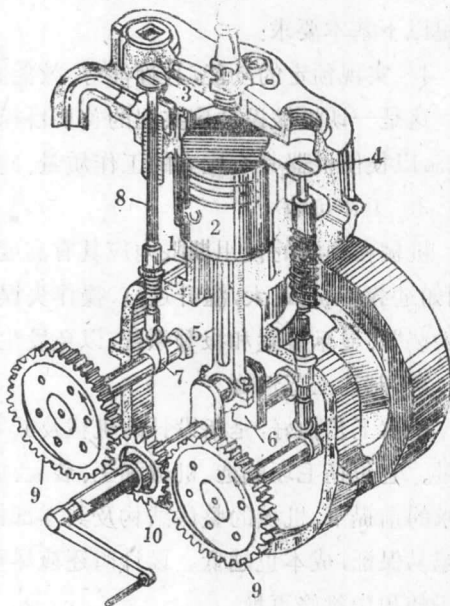


图 0-4 单缸四冲程内燃机

组成机构的各相对运动实体称为构件。机构运动时构件作为一个整体参与运动。构件可以是一个零件,但由于制造、装配和材料等方面原因,构件常常是由若干个分别加工制造的零件,通过静联接组装而成。例如图 0-4 所示内燃机中,凸轮轴 7 与齿轮 9 以及曲轴 6 与齿轮 10 都是作为一个整体作回转运动,各构成一个构件。连杆 5 也是由许多零件组成的(参见第一章图 1-2)。因此,构件与零件的区别在于:构件是运动的单元,而零件是制造的单元。

机器与机构的区别在于:机器能实现能量的转换(如内燃机、发电机和电动机)或代替人的劳动去作有用的机械功(如起重机、机床),而机构则没有这种功能。仅从结构和运动的观点看,机器与机构并无区别,它们都是构件的组合,各构件之间具有确定的相对运动。因此,通常我们把机器与机构统称为机械。

## § 0-2 机械设计的基本要求与一般过程

机械设计的任务是从社会需求出发,创造性地设计出具有特定功能的新机械或改进原有机械的性能,以满足人们日益增长的生活和生产需要。机械设计是机械产品开发和技术改造的关键环节,是机械产品开发的第一步。机械的功能决定于设计,机械的质量、性能和成本,也主要是在设计阶段决定的,而制造过程的本质就在于实现设计时所规定的质量。

### 一、对机械设计的基本要求

为使所设计的机械满足社会需要,为用户所接受,并在市场上具有竞争能力,设计机械时应满足以下基本要求:

#### 1. 实现预定的功能,且性能好、效能高

这是一切机械设计应实现的首要目标。在满足预定功能的前提下,应力求使机器性能好、效能高,以便使机器具有应有的工作质量、高效率和高生产率,从而获得大的技术经济效益。

#### 2. 工作可靠

机械在预定的使用期限内应具有高度的可靠性,自始至终地正常工作。为了防止偶发事件(例如过载,振动过大,温升过高,操作失误等),特别是对于大型或重要机械设备,还应设置安全保护装置、显示装置和报警系统,以免发生人身事故和机械的严重损坏。

#### 3. 制造工艺性好

所谓工艺性好,是指设计的机械及其零部件在制造过程中能省工、省料和省事地达到要求的质量。它包括毛坯制造、机械加工、装配、调整和维修等各方面的工艺性。总的来说,在满足使用要求的前提下,机械的整体结构及其零部件越少、越简单、越实用,则其质量、性能和工作可靠性就越易保证,成本也越低。设计时还应尽可能地采用标准件,这既能降低设计和制造的费用,又便于使用中维修更换。

#### 4. 操作与维护要安全、简便

设计时应注意人与机械间的各个联系环节,保证工人操作安全。必要时还应设置各种安全保护装置。操作要简便省力。操作手柄和按钮等应放在便于操作的部位。操作方式应符合人的心理和习惯(例如汽车方向盘左打,汽车左转弯。自行车手闸比脚闸更安全等)。此外,环境污染(噪声、废气、废液等)以及防爆、防火等,都应符合劳动保护法规的要求。

维护管理应力求简便,这既可降低维护费用,又受用户欢迎。

#### 5. 成本低廉

这是一项必须考虑的经济指标,它体现在设计、制造和使用的全过程中。在满足前述各项基本技术要求的前提下,设计时应力求降低成本。对各种可行方案进行技术与经济的综合比较,全面考虑各方面因素,选择符合技术经济合理性的最佳方案。

#### 6. 外形美观

此外,根据具体设计对象,还可能有一些其他要求。例如,大型机械和零部件的起吊和搬运

要求;食品、纺织和造纸机械防止产品被污染的要索;对于交通工具和携带式机械装置来说,体积小、重量轻特别重要。

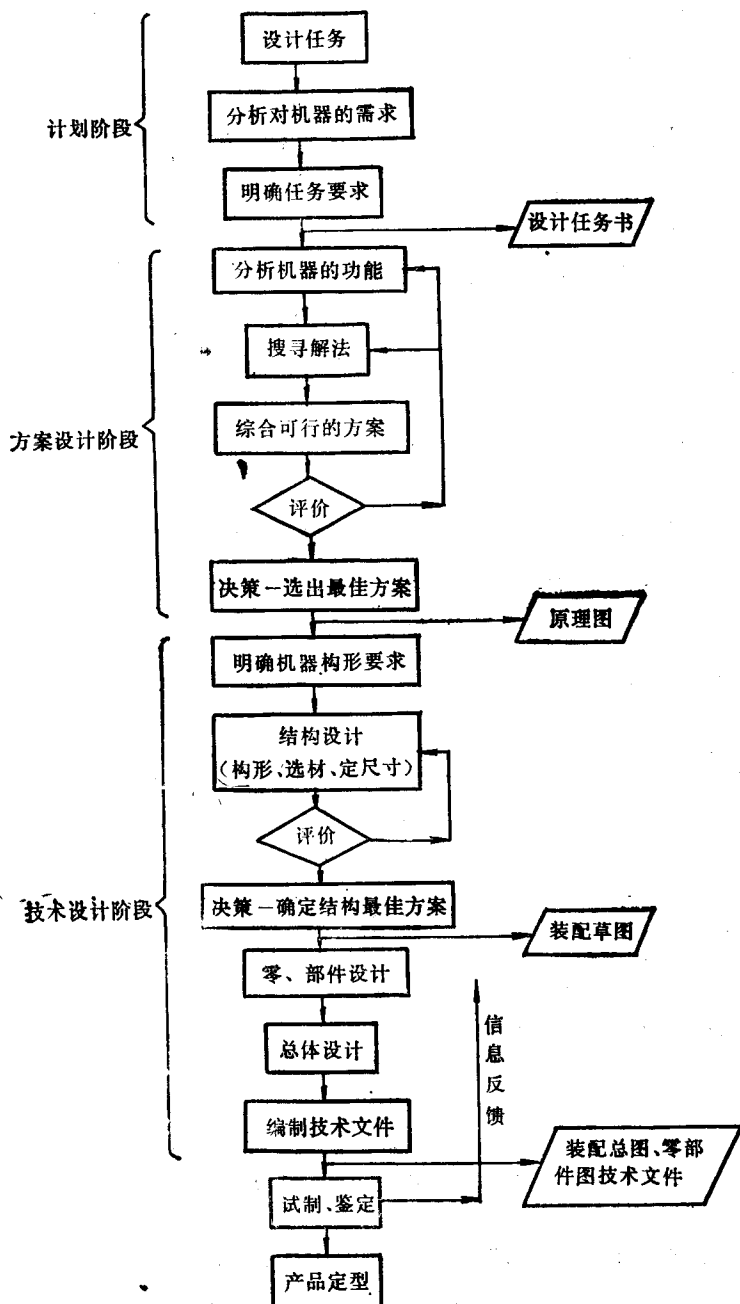


图 0-5 机械设计的一般过程

## 二、机械设计的一般过程

机械设计的主要内容包括:①明确任务要求,即确定设计对象的预定功能、有关指标和限制条件;②按功能要求确定机械的工作原理,然后根据工作原理,选择合适的机构或机构组合,拟定最优设计方案;③进行运动和动力分析计算以及零部件的工作能力计算;④技术设计——总体结构设计、零部件结构设计等。

一部机器的诞生,从发现某种社会需要,萌发设计念头,明确设计任务开始,经过具体的设计、制造、鉴定直到产品定型,是一个复杂细致的反复过程。机械设计一般包括三个阶段:计划、方案设计与技术设计,其过程如图 0-5 所示。在每一阶段都应对机械设计的基本要求进行综合的技术经济评价,做出决策,然后转入下一步。

计划阶段很重要。在计划阶段,应进行充分的需求分析和市场调查与预测,明确机器应具有的功能。同时要通过调研、分析或试验给出合理的原始设计参数以及由环境、经济、加工和期限等各方面提出的限制条件,作为设计评价和决策的依据。在此基础上,制定出设计任务书,明确设计任务的全面要求与细节。

方案设计属原理方案设计。该阶段对设计的成败起关键作用。首先应对机械的功能进行分析,然后确定机械的工作原理,搜寻解法。机械的工作原理及其解法都可能有多种可行方案,必须进行方案综合,经评价、决策选出最佳方案,绘出机械原理图或运动简图。在搜寻解法时,可分别对原动部分、传动部分和执行部分等进行分析求解。

技术设计是将原理方案结构化、具体化。在该阶段要考虑机械的总布局 and 外形,进行总体结构设计。首先绘制总装配草图及部件装配草图,通过草图确定出各零部件的外形及基本尺寸与材料。为此,在该阶段应进行机械的运动参数和动力参数计算和零部件工作能力计算。有些零部件工作能力的计算或校核常需在结构草图完成以后进行,即计算与结构设计交叉进行。为了制造,最后应绘制出零件工作图、部件装配图和装配总图,并编写技术文件,包括设计计算说明书、使用说明书等必要文件。

设计的机械经过样机试制和鉴定,以及在使用中都可能出现一些问题。对这些问题加以分析,必要时对原设计中的一部分或几部分进行修改。这样反复不断地改进设计,会使机械的质量不断地提高,更好地满足社会需要。

设计是一项创造性工作。设计者应富有创造精神,深入实际,调查研究,创造性地提出设计方案和设计出新的结构。

### § 0-3 本课程的内容和学习方法

本课程是一门介绍机械设计基本知识、基本理论和基本方法,并培养一定设计能力的技术基础课。从机械系统设计的观点出发,把课程主要内容分为三大部分,即①机械运动方案的分析与设计;②机械零部件的工作能力分析与设计;③机械零部件的结构分析与设计。

在机械运动方案的分析与设计篇,作为原理方案设计的基础,介绍各种常用机构的工作原

理、基本类型、性能特点、几何参数、标准以及运动设计。常用机构包括平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、蜗杆机构、螺旋机构、间歇运动机构以及带传动与链传动机构等。

学习本篇时,既要注意各种机构的特性,又应注意它们之间的共性,而且应着重于各种机构的设计应用,例如各种机构的功能和特性的应用以及机构的组合。学习重点放在机械传动系统的设计部分。

在机械零部件的工作能力分析与设计篇,介绍各种通用零件与部件的功能、特点、结构、材料、标准、失效分析与对策以及工作能力的计算等。所谓通用零部件是指在绝大多数机械中经常具备的零部件,如螺钉、齿轮、带、链条、轴、轴承、联轴器与离合器以及弹簧等。由于机械的零部件种类繁多,不可能一一介绍。本篇只能选取几类典型零部件进行详细的讲述,介绍其设计理论和设计方法。

学习本篇时,应注意对比各类功能相同的零部件的性能特点,以利应用。还应特别注意失效形式、失效分析方法及各种对策,以提高自己对其他零部件进行失效分析与采用适当对策的能力,收到举一反三的效果。

在结构设计篇,介绍机械零部件结构设计的基本原则,并以典型零件和零件组合的结构设计为例,讲述结构设计的主要内容和设计方法。结构设计是人们设计构思的具体实现。没有结构设计就不能进行生产。原理方案是否合理、能否实现,取决于结构设计。因此,结构设计在机械设计中处于很重要的地位,也是培养机械设计能力的重要环节。

学习本篇时,要注意分析各种零部件及其组合的结构,掌握结构设计要点及基本规律。

“机械设计基础”是一门实践性很强的工程课程。要学好本课程还必须多看、多练、多总结。经常观察分析日常生活和生产中遇到的各种机械装置,见多识广,有助于加深对课程内容的理解。多练习或多实践有助于提高自己的设计应用能力。多总结可使所学知识系统化,有助于很好地掌握课程内容。为了加强实践环节,配合讲课还有习题、实验和课程设计。

机械设计是多学科知识的综合应用。“机械设计基础”的先修课程主要是工程力学、机械制图、机械制造基础等。为了适应近代机械的发展,设计人员还应了解诸如液压、气压和电力传动以及电子技术与其他新技术的有关知识。

## 习 题

0-1 按机器的功能,分析自行车由哪些部分组成,并说明各由什么机构组成。同时列举一二个构件,说明其主要是由哪几个零件组装而成的。

0-2 按对机械设计的基本要求,针对自行车分析回答以下问题:(1)自行车要轻便省力,取决于哪些部分?(2)有哪些安全装置?(3)链条磨损伸长后,会产生什么问题?能否调整?如何调整?调整方便吗?(4)前后车轮若不处于同一个平面内,怎样调整?(5)前、中、后轴轴承和链传动如何维护?(6)更换零件方便吗?为什么?(7)你认为现有的自行车还有什么值得改进的地方?

0-3 了解公共汽车车门的启闭是如何实现的?(1)用示意图画出一一种启闭机构(俯视图);(2)动力源是什么?(车门启闭机构放在车门上部长方箱内)。

0-4 观察建筑用起重机,说明它能实现哪些运动和具有几个执行部分。

## 第一篇 机械运动方案的分析与设计

运动方案设计是机械设计极为重要的内容之一,它关系到机械的全局和设计的成败。一般来说,运动方案设计包含以下两方面的内容:

1. 根据机械的生产任务和功能要求,拟定机械执行构件的运动方案,亦即为了实现机械的工作要求,确定需要几个执行构件,各执行构件应完成什么运动,以及各运动之间是否需要配合和如何配合等。

例如牛头刨床,为了完成刨削平面的任务,需要两个运动,即纵向的直线往复刨削运动和横向的间歇送进运动。从工作原理上来看,这两个运动可以由一个执行构件,即刨头单独来实现;也可以由两个执行构件来实现,即刨头执行纵向的直线往复刨削运动,工作台执行横向的间歇送进运动。前者实现起来复杂而困难,因此实际中采用后者。为了获得不同的切削速度,刨头每分钟的往复运动次数应是可变的,根据工艺需要,送进量(即刨头每往返一次,工作台移动的距离)也应在一定范围内可调整。此外,工作台的送进运动还必须和刨头的切削运动协调配合,即刨刀每往返一次,工件应移动一定距离,而且送进运动必须在非切削时间内进行。

又如利用车床切制螺纹,根据螺纹形成的原理,需要两个运动,实用上采用了两个执行构件,即机床主轴带动工件作匀速回转运动,丝杠带动车刀作匀速直线运动。而且主轴的转速和刀架的走刀速度必须保持某一恒定的速比关系,否则就不能达到预期的加工目的。

2. 根据机械执行构件的运动要求,拟定机械的传动系统方案。在机械执行构件的运动方案和运动参数(如牛头刨床中刨头的行程大小和每分钟的往复次数等)以及工作阻力(如刨削加工时的切削阻力)和原动机(如电动机)的类型、转速和功率确定以后,大多由于各执行构件之间以及它们与原动机之间的运动形式和运动参数不相符合,需要采用机械传动系统来变换或协调。这一任务用单独一个机构往往难以实现,而要采用若干种机构组合起来,构成一个机械传动系统才能完成这一任务。

机械运动方案设计的步骤大致如下:

- (1) 根据机械的生产任务和功能要求,拟定执行构件的运动方案;
- (2) 确定各执行构件的运动参数,选定原动机的类型、转速和功率;
- (3) 合理选择机构类型,拟定机构的组合方案,绘制机械传动系统的机构运动简图;
- (4) 根据执行构件和原动机的运动参数以及各执行构件之间的运动协调要求,确定各个机构的运动参数(例如各轴的转速),进而进行机构的运动设计。

由于机械是多种多样的,所以机械的工作原理和其执行构件的运动方案也是多种多样的,本课不作广泛的讨论。本篇仅限于机械传动系统的分析与设计,讨论各种常用机构的工作原理、运

动特性和与运动有关的重要尺寸参数以及机构的运动设计,以便能够合理选择机构和组合各种机构,以构成一台满足预期功能要求和限定条件的机械,学习这部分的目的,不仅是对机构的认识,而且应着重于应用。最后在第六章机械传动总论中将举实例说明机械传动系统方案的设计。

## 第一章 平面机构的运动简图与自由度

组成机构的目的是为了使机构按照预定的要求进行有规律的运动而不能乱动,也就是说机构要有确定的运动。为此,要分析机构的自由度和具有确定运动的条件。这个问题对设计新机械、拟定运动方案或认识和分析现有机械都是非常重要的。

实际机械的外形和结构往往比较复杂,为便于分析研究,常常需要用简单线条和符号绘制出机构的运动简图,作为机械设计的一种工程语言。

所谓平面机构是指组成机构的所有构件均在同一平面或相互平行的平面内运动的机构。否则就称为空间机构。迄今工程中常用的机构大多属于平面机构。本章只讨论平面机构。

### § 1-1 运动副 作用与分类

构件组成机构是通过运动副把诸构件联接起来而实现的。机构中每一构件都以一定的方式与其他构件相互接触,并形成一种可动的联接,从而使这两个构件之间的相对运动受到约束。两构件之间的这种直接接触的可动联接称为运动副。

如图 1-1 所示,在坐标系  $xoy$  平面内,若构件 1 是作平面运动的自由构件(即与其他构件没有任何联接),则它可随其上任一点  $A$  沿  $x$  轴和  $y$  轴方向移动以及绕  $A$  点转动。其瞬时位置由坐标  $x_A$ 、 $y_A$  和转角  $\varphi$  值来确定。确定构件位置的独立运动参数的数目称为构件的自由度。一个作平面运动的自由构件具有

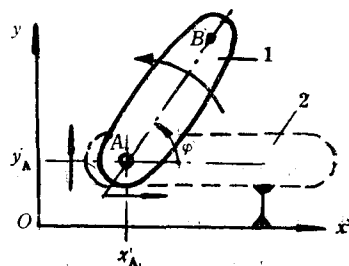


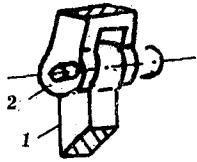
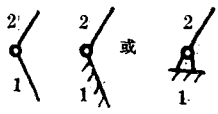
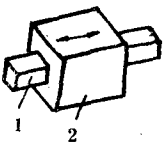
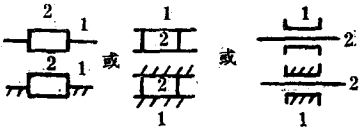
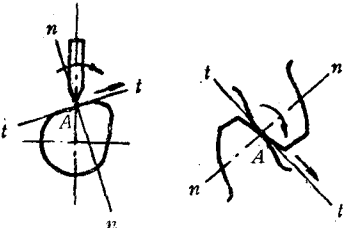
图 1-1 平面运动构件的自由度

三个自由度(即  $x$ 、 $y$  和  $\varphi$ )。若它以某种方式与构件 2(这里,构件 2 与坐标系固联在一起)形成运动副,例如两者在  $A$  点用铰链联接起来,则构件 1 上点  $A$  的移动参数  $x_A$  和  $y_A$  就不再变化,即这两个自由度被约束了,只剩下一个转角  $\varphi$  可自由变化,亦即构件 1 只剩下一个绕  $A$  点相对于构件 2 回转的自由度。由此可见,运动副的作用是限制或约束两个构件之间的相对运动,减小其相对运动的自由度数目。

运动副对自由度产生的约束数目和被约束的运动参数取决于运动副的类型。两个构件形成运动副不外乎通过点、线或面接触来实现。按接触性质,运动副可分为低副和高副两类,参见表 1-1,以下做简要说明。



表 1-1 平面运动副的类型、特性和表示符号

| 运动副的类型 | 实 例                                                                                      | 运动简图中的表示符号 <sup>①</sup>                                                            | 自由度 | 约束数 |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
| 低副     | 回转副<br> |   | 1   | 2   |
|        | 移动副<br> |  | 1   | 2   |
| 高副     |        |   | 2   | 1   |

① 小圆圈表示回转副，画斜线的构件表示该构件为固定件。当明确是齿轮机构或凸轮机构时，可直接按这些机构的简图画。

## 一、低副

两个构件通过面接触形成的运动副称为低副。平面机构低副有回转副与移动副两类：

回转副——形成运动副的两个构件只能在一个平面内相对转动，约束掉两个移动自由度。例如铰链联接、轴与轴承联接。

移动副——形成运动副的两个构件只能沿某一直线作相对移动，约束掉一个移动和一个转动自由度。例如滑动件与导轨、活塞与气缸的联接。

## 二、高副

两个构件通过点或线接触形成的运动副称为高副。参见表 1-1 中的附图，这类运动副允许两构件在接触点  $A$  绕垂直于平面的轴线作相对转动和沿接触点公切线  $t-t$  方向的相对移动，而只约束掉沿接触点公法线  $n-n$  方向的相对移动（因为必须始终保持接触）。例如两轮齿接触，凸轮与其从动件接触，车轮与导轨接触等。

此外，还有空间运动副，例如球面铰链和螺旋副等。形成这类运动副的两构件的相对运动是空间运动。不属本章讨论范围。

## § 1-2 平面机构的运动简图

如前所述,机械由机构组成,而机构又由许多构件通过运动副联接而成。虽然实际机械及其构件的外形和结构比较复杂,但其中有些尺寸(例如截面尺寸)和外形仅与强度、刚度、工艺和机械的布局等有关,而与运动性质无关。因此,在拟定新机械的传动方案或对机械进行运动分析时,可以不考虑那些与运动无关的构件外形和运动副的具体结构,仅用简单线条和符号表示构件和运动副,并按比例定出各运动副的相对位置,把机构的组成和相对运动关系表示出来。必要时还需标出那些与机构运动有关的尺寸参数。这种表示机构组成和各构件间相对运动关系的简明图形就是机构运动简图。

### 一、运动副和构件的表示法

各类平面运动副在机构运动简图中的表示符号见表 1-1。

构件的表示法说明如下:

图 1-2 *a* 与 *b* 示出参与形成两个回转副的杆状构件。图 *a* 为内燃机连杆,下端大孔与曲轴形成回转副,而上端小孔与活塞销形成回转副。从制造观点看,它是由分别加工的连杆体 1、连杆头 2、轴承套 3、轴瓦 4、螺栓 5 和螺母 6 等许多零件固联在一起组成的。但从运动观点看,它是一个构件。图 *b* 是为了避免该活动构件在运动过程中与其他构件相碰,而把构件做成弯曲形状的。这两个构件尽管外形和结构大不相同,但因为与运动有关的仅是构件上两回转副中心连线的长度和运动副类型,故都可用两回转副符号及其几何中心所连直线来表示。如图 1-2 *c* 所示。

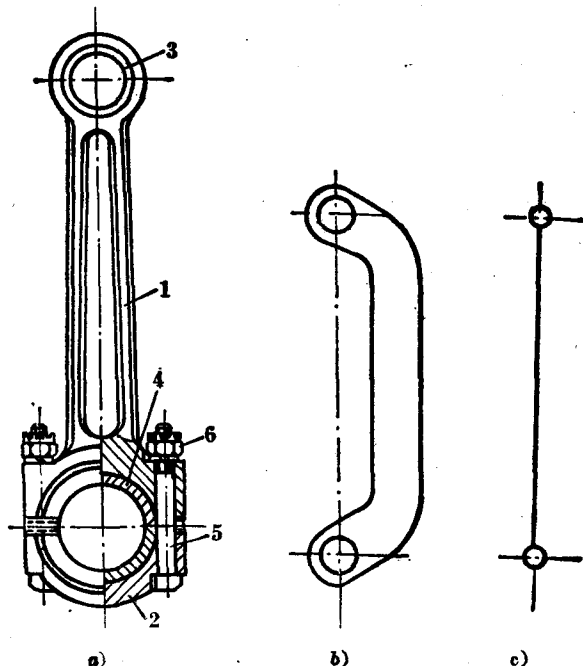


图 1-2 构件结构与简图