

机械设计基础

西安航空工业学校
成都航空工业学校
大庸航空工业学校
上海航空工业学校

合 编

一九八五年

机 械 设 计 基 础

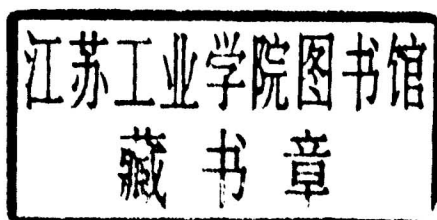
西安航空工业学校

成都航空工业学校

大庸航空工业学校

上海航空工业学校

合 编



一九 五 年 月

内 容 简 介

本书按常用机构和通用零件划分章节,把机械原理的内容,分散安排到相关章节中讲述,共分十七章。第一至四章阐述了机构的运动度、机构运动简图的绘制及常用机构的设计方法。第五、六章主要介绍键联接、花键联接及螺纹联接与螺旋传动的设计方法。第七、八、九章分析了带、齿轮、蜗杆传动的原理及设计方法。第十一、十二、十四章讲述了支承件(滑动轴承、滚动轴承、轴)的设计原理与方法。其余各章为轮系的计算,弹簧的设计、联轴器的选择及转动件平衡的计算。最后介绍了计算机技术在机械零件设计中的应用,并备有齿轮、蜗杆传动、轴及轴承的计算机设计BASIC源程序。

本书可作为工科机械类中等专业学校《机械原理与机械零件》课程的教材,也可供专科、职大师生及广大工程技术人员参考选用。

机 械 设 计 基 础

西安航校 大庸航校

成都航校 上海航校

合 编

发行 成都航校科技咨询部

印刷 四川郫县辉浦印刷厂

编辑、校对:杨学才、附祥栋

编 者 的 话

本教材是根据教育部八二年审定的中等专业学校工科机械类专业通用的《机械原理及机械零件教学大纲（试行草案）》，并参照航空工业部七九年审定的中等专业学校工科类机械专业《机械零件教学大纲》编写的。全书内容控制在120学时以内，其中基本内容约105学时，选讲内容（带●部分）约15学时。

全书以常用机构和通用零件划分章节，把与通用零件有关的机械原理部分，根据教学需要，分散安排到各相关章节。这样的体系符合中专学生的认识规律，有助于学生对概念的理解。全书的重点放在对通用零件设计方法的阐述及标准的选用上，并特别注重培养学生分析和解决问题的能力。对重点章节的基本原理、基本公式，编写时力求阐述清楚、详细推证。但对一些繁杂而实用性较强的近似公式，则采用说明性的推导。公式和参数的分析也力求简化明瞭。

本书力求文字叙述简炼，通俗易懂。为加强直观效果，根据近几年教学实践，精选并自行设计了直观、醒目、比例适当的插图。全部插图按八四年十月公布的《机械制图》最新国标绘制。书内有与正文密切相关的数据、图表和资料，可满足教与学的需要。为开发学生智力，还附有一定数量的思考题、基本运算题和与生产实际相连系的综合作业题。

本书采用国际单位制。书中物理量符号、脚标及名称术语均选用国家标准。通用零件按最新颁布的国标选编。

为反映现代科学技术成就，本书尝试性地编写了《计算机技术在机械零件设计中的应用》一章，供有条件的学校选讲使用。本篇对齿轮传动强度设计如何利用 BASIC 语言编制设计源程序进行了分析说明。并附有齿轮强度设计、轴的强度校核、轴承寿命计算的BASIC设计源程序。可供学生及教师进行课程设计（单级圆柱齿轮减速器）时上机使用，也可用于演算习题。

本教材由四校合编。其分工如下：

成都航校杨学才（绪论、第一、二、三、四章）；上海航校陈金宝（第五、十六章）、吴志瑜（第六、十五章）；成都航校隋祥栋（第七、九、十章）；西安航校丘季清（第八章）；大庸航校陆贵兴（第十一、十二、十三、十四章）；成都航校段钦华（第十七章）。全书由丘季清同志统稿。

本书承西北工业大学濮良贵教授担任主审。审稿期间濮教授提出了许多宝贵意见，在此编者表示衷心感谢。

上海航校虞同书同志，在本书编写过程中，给予了许多支持，在此也表示谢意。

限于编者水平，书中缺点错误，在所难免，诚请使用本书的教师及读者批评指正。

编 者

一九八五年四月

本书主要符号表

a	加速度、中心距	R	半径、锥距
A	面积	s	分度圆齿厚、齿厚、附加轴向力、系数
b	宽度、齿宽	t	温度、时间
c	顶隙	T	转矩、扭矩
C	额定载荷	v	线速度
d	直径、分度圆直径	W	公法线长度、剖面系数
D	直径	x	径向变位系数
e	偏心距、分度圆槽宽、系数	X	总变位量
E	弹性模量	Y	系数、中心距变动系数、变形量
f	摩擦系数、系数	z	齿数、皮带根数、蜗杆头数、数目
F	力、自由度数	α	压力角、分度圆压力角、齿形角、系数
G	重力、剪切弹性模量	β	螺旋角
h	升程、全齿高、高度	γ	传动角、导程角、蜗轮轮齿包角
H	高度	δ	锥角、转角、厚度
i	传动比	ε	重合度、系数
I_p	极惯性矩	η	效率
k	跨齿数	θ	锥齿角、极位夹角
K	数目、系数	μ	泊松比
L	长度	ν	运动粘度
m	模数、局部自由度数	ρ	摩擦角、曲率半径
M	弯矩	σ	正应力、齿顶高变动系数
n	转速、活动构件数	Σ	锥齿轮轴交角
N	构件总数	τ	剪切应力、运动系数
p	压强、比压、齿距、周节、分度圆齿距	φ	摆角、转角、长径比
P	功率、径节	χ	相对偏心距
P_z	导程	ψ	系数、摆角
q	单位长度质量、蜗杆直径系数	ω	角速度
r	半径、分度圆半径		

目 录

绪 论	(1)
一、引言	(1)
二、本课程研究的对象和内容	(2)
三、学习本课程的目的和方法	(5)
第 一 章 平面机构的运动简图及自由度	(7)
§ 1—1 运动副及其分类	(7)
§ 1—2 平面机构运动简图	(8)
§ 1—3 平面机构的自由度及平面机构具有确定运动的条件	(11)
§ 1—4 计算平面机构自由度时, 应注意下列几种特殊情况	(13)
习 题	(16)
第 二 章 平面连杆机构	(18)
§ 2—1 铰接四杆机构的类型及其应用	(18)
§ 2—2 铰接四杆机构中曲柄存在的条件	(21)
§ 2—3 四杆机构的演化及变换	(22)
§ 2—4 平面连杆机构的急回特性及传力分析	(25)
§ 2—5 平面四杆机构的设计	(29)
习 题	(37)
第 三 章 凸轮机构	(41)
§ 3—1 凸轮机构的组成、类型及其应用	(41)
§ 3—2 从动杆的常用运动规律	(45)
§ 3—3 凸轮轮廓曲线的设计	(50)
§ 3—4 凸轮机构设计中的几个问题	(57)
§ 3—5 凸轮机构的结构设计	(60)
§ 3—6 凸轮的材料及精度	(63)
习 题	(66)
第 四 章 间歇运动机构	(68)
§ 4—1 棘轮机构	(68)
§ 4—2 槽轮机构	(74)
习 题	(80)
第 五 章 键和花键联接	(82)
§ 5—1 键联接的功用和分类	(82)
§ 5—2 平键联接的标准、尺寸和公差	(85)
§ 5—3 平键强度计算	(88)

§ 5—4 花键联接	(90)
习 题	(95)
第 六 章 螺纹联接与螺旋传动	(97)
§ 6—1 螺纹	(97)
§ 6—2 螺纹联接的基本类型和螺纹联接件	(99)
§ 6—3 螺纹副的受力分析, 自锁和效率	(103)
§ 6—4 螺纹联接的强度计算	(105)
§ 6—5 设计螺纹联接时应注意的几个问题	(112)
§ 6—6 螺旋传动的计算	(115)
习 题	(118)
第 七 章 带传动	(120)
§ 7—1 三角带传动的工作原理及应用	(121)
§ 7—2 三角带的规格标准及带轮的结构、材料	(122)
§ 7—3 带传动设计的理论基础	(126)
§ 7—4 三角带传动的设计准则、强度条件及单根三角带所传递的功率	(132)
§ 7—5 三角带传动设计	(135)
§ 7—6 三角带传动的张紧装置	(139)
习 题	(140)
第 八 章 齿轮传动	(142)
§ 8—1 齿轮传动的特点和类型	(142)
§ 8—2 齿廓啮合的基本定律	(142)
§ 8—3 渐开线齿廓	(145)
§ 8—4 渐开线齿轮各部份名称、主要参数、标准直齿圆柱齿轮的主要几何尺寸计算	(151)
§ 8—5 一对渐开线齿轮的啮合传动	(156)
§ 8—6 渐开线齿轮切齿原理简介	(160)
§ 8—7 渐开线标准直齿圆柱齿轮的根切现象和最少齿数	(163)
§ 8—8 齿轮传动的精度	(165)
§ 8—9 渐开线圆柱齿轮的齿厚、公法线和固定弦齿厚的计算	(167)
§ 8—10 齿轮轮齿的失效形式	(172)
§ 8—11 齿轮的常用材料	(173)
§ 8—12 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	(175)
§ 8—13 变位直齿圆柱齿轮传动	(188)
§ 8—14 斜齿圆柱齿轮传动	(203)
§ 8—15 直齿圆锥齿轮传动	(214)
思考题、习题	(222)
第 九 章 蜗杆传动	(225)
§ 9—1 概述	(225)

§ 9—2	普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	(227)
§ 9—3	蜗杆传动的失效形式及材料选择	(230)
§ 9—4	蜗杆传动的受力分析	(232)
§ 9—5	蜗杆传动的强度计算	(234)
§ 9—6	蜗杆传动的效率及热平衡计算	(235)
§ 9—7	蜗杆、蜗轮的结构	(237)
习 题		(240)
第十章 轮系		(242)
§ 10—1	概述	(242)
§ 10—2	定轴轮系传动比的计算	(242)
§ 10—3	周转轮系传动比的计算	(246)
§ 10—4	轮系的应用	(253)
§ 10—5	渐开线少齿差行星传动简介	(256)
* § 10—6	谐波齿轮传动简介	(259)
习 题		(262)
第十一章 滑动轴承		(265)
§ 11—1	滑动轴承概述	(265)
§ 11—2	滑动轴承的类型和构造	(266)
§ 11—3	轴瓦的结构及常用材料	(268)
§ 11—4	非液体摩擦滑动轴承的设计与计算	(272)
§ 11—5	润滑剂和润滑装置	(274)
* § 11—6	液体摩擦滑动轴承(动压径向轴承)简介	(276)
* § 11—7	单油楔动压向心滑动轴承最小油膜厚度的计算	(281)
习 题		(286)
第十二章 滚动轴承		(287)
§ 12—1	概述	(287)
§ 12—2	滚动轴承的基本类型和代号	(288)
§ 12—3	滚动轴承类型的选择	(291)
§ 12—4	滚动轴承的尺寸选择	(291)
§ 12—5	滚动轴承的组合设计	(305)
§ 12—6	滚动轴承与滑动轴承的比较	(311)
习 题		(312)
第十三章 联轴器与离合器		(314)
§ 13—1	概述	(314)
§ 13—2	联轴器	(314)
§ 13—3	离合器	(324)
习 题		(328)
第十四章 轴		(329)

§ 14—1	概述	(329)
§ 14—2	轴的结构设计	(332)
§ 14—3	轴的强度计算	(335)
§ 14—4	轴的刚度校核	(338)
§ 14—5	轴的工作图和技术条件	(339)
§ 14—6	轴的设计举例	(340)
习 题		(344)
第十五章	弹 簧	(347)
§ 15—1	弹簧的功用和类型	(347)
§ 15—2	弹簧的材料和弹簧的制造	(349)
§ 15—3	圆柱形螺旋压缩、拉伸弹簧的结构、参数和尺寸	(351)
§ 15—4	圆柱形螺旋拉伸、压缩弹簧的计算	(353)
习 题		(361)
*第十六章	回转件的平衡	(362)
§ 16—1	回转件平衡的目的	(362)
§ 16—2	回转件平衡的计算法	(363)
§ 16—3	回转件平衡的实验法	(368)
§ 16—4	回转件平衡的平衡精度	(370)
习 题		(371)
*第十七章	电子计算机在机械零件设计中的应用简介	(373)
§ 17—1	概述	(373)
§ 17—2	典型的机械零件设计程序分析	(374)
§ 17—3	几个常用程序及其使用说明	(382)
主要参考书		(396)
主要参考手册、标准		(396)

绪 论

一、引 言

机械（和其它科学一样）是随着生产力的发展而不断发展的。早在古代，人类就知道利用杠杆、绞盘等简单的原始机械从事劳动。十八世纪中叶，蒸汽机的发明促进了欧洲的工业革命。从此，机械工业就以前所未有的速度迅猛发展，并推动着机械学向前发展。到十九世纪，机械学即形成了一门独立的学科。

我国劳动人民在机械方面有许多杰出的发明创造。远在原始社会后期就使用了简单的纺织机械——纺坠。夏朝的奚仲创造了有辐的车轮。春秋战国时期，杠杆的利用已司空见惯。近期在陕西临潼出土的秦代铜车马已具有完整的轮、轴、销结构（图1）。秦

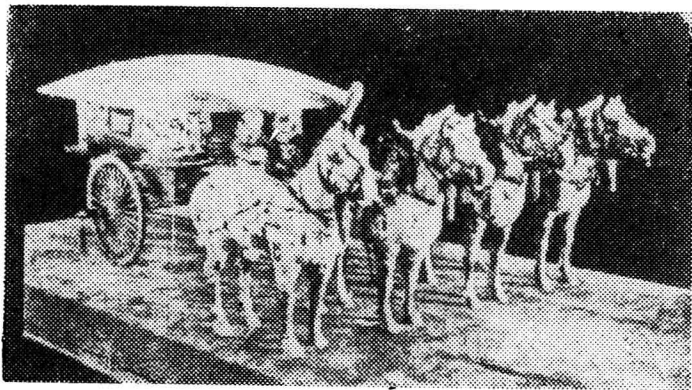
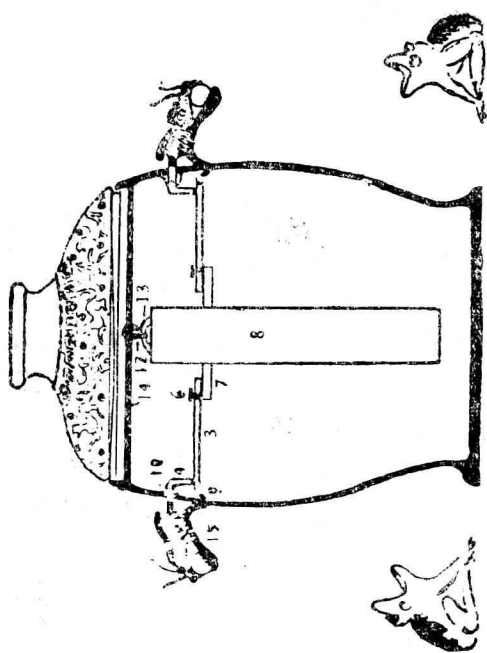


图1 铜车马

汉时期已有铜制和铁制的齿轮。汉代的提花机已发展到相当高的水平，并对欧洲的提花技术产生了深远的影响。西汉的指南车和记里鼓车均采用了轮系传动。西汉后期发明的起重辘轳就已利用了差动原理。东汉杜诗创造的水排，具有将转动变为往复直线运动的连杆机构。张衡创造了人类历史上第一台地震仪（图2）。曹魏时期，马钧发明（或改进）了水骨龙车。晋朝的连机碓已利用了凸轮原理。唐初李淳风创造的新型浑天黄道铜仪装有自动报时器。宋朝创造了具有类似现代圆锥齿轮传动的水转翻车机构（图3）。

随着机械不断的发明和创造，出现了机械方面的专著。如明朝王征所作的《诸器图说》，宋应星所著的《天工开物》等。这些著作总结了我国劳动人民制造及使用机械的丰富经验。

但是由于我国经历了漫长的封建社会，从帝国主义入侵到新中国成立，又长期处于半封建半殖民地社会，因而使机械工业和机械设计科学处于极其落后的状态。



a) 地震仪外形图

b) 地震仪内部结构图

图 2 地震仪

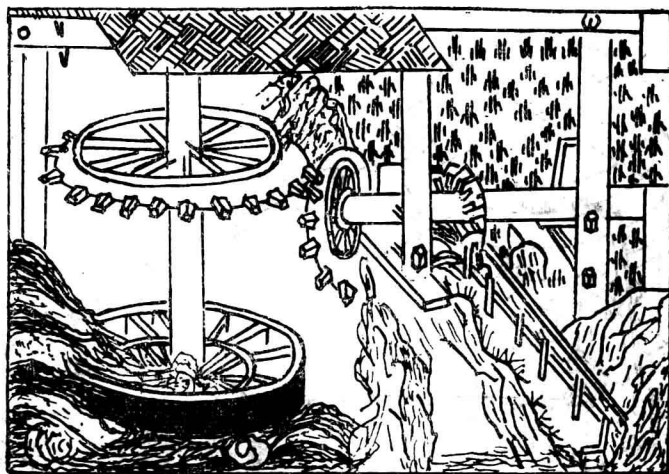


图 3

新中国成立后，我国机械工业和机械设计科学和其它科学技术一样，有了很大的发展。可以预计，在实现“四化”的进程中，在第四次工业革命的浪潮推动下，机械设计这门学科将会发挥越来越大的作用，并将得到更大的发展。

二、本课程研究的对象和内容

“机械设计基础”是研究机械中的常用机构和通用零部件的工作原理、结构特点 and 设计方法的一门课程。

生产和日常生活中使用着各种机械，如起重机、拖拉机、飞机、汽车、洗衣机等。尽管它们的构造、性能和用途各异，但它们仍具有一些共同的特征。

如图 4 所示的圆盘刻线机，它是由带轮 1 及 2，蜗杆 3、蜗轮 4、曲柄 5、连杆 6，扇形齿轮 7、齿轮 8、棘轮 9、棘爪 10、齿轮 11 及 12，蜗杆 13 及蜗轮 14 等组成第一条传动路线，以实现分度运动；由带轮 1 及 2，蜗杆 3、蜗轮 4、双万向联轴器 20，凸轮 19（使带有刻刀的滑板 17 在机架 21 的导槽中移动），凸轮 18（使刻刀后退时抬起，以保护刀刃不被磨损）及用来控制所刻线条长度的棘爪 22、棘轮 23、定位鼓轮 24 和定位螺钉 25 等组成第二条传动路线，以实现刻线运动。两条路线均由同一台电动机带动，将电能转变为机械能。另如图 5 所示的直接作用式的灰浆泵，它是由电动机 1、主动带轮 2、过压安全机构 3、从动带轮 4、齿轮组 5、曲轴 6、活塞 7、泵缸 8、单向阀 9 及 10、气罐 11 及压力表 12 等组成。单向阀 9 和 10 随着活塞的往复运动而轮流启闭，从而使灰浆吸入和压出。当工作压力超过规定值时，带盘上的过压安全机构 3 自动打滑，停止动力传递。又如内燃机是由燃气推动活塞作往复移动，经连杆变为曲柄的连续转动，从而将燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。再如发电机主要由转子（电枢）和定子组成。当原动机（如水轮机）拖动转子旋转时，便将转子转动的机械能转换为电能。从以上几例可以看出，机械具有下列共同特征：

- 1) 它们都是人为的实体（机件）的组合；

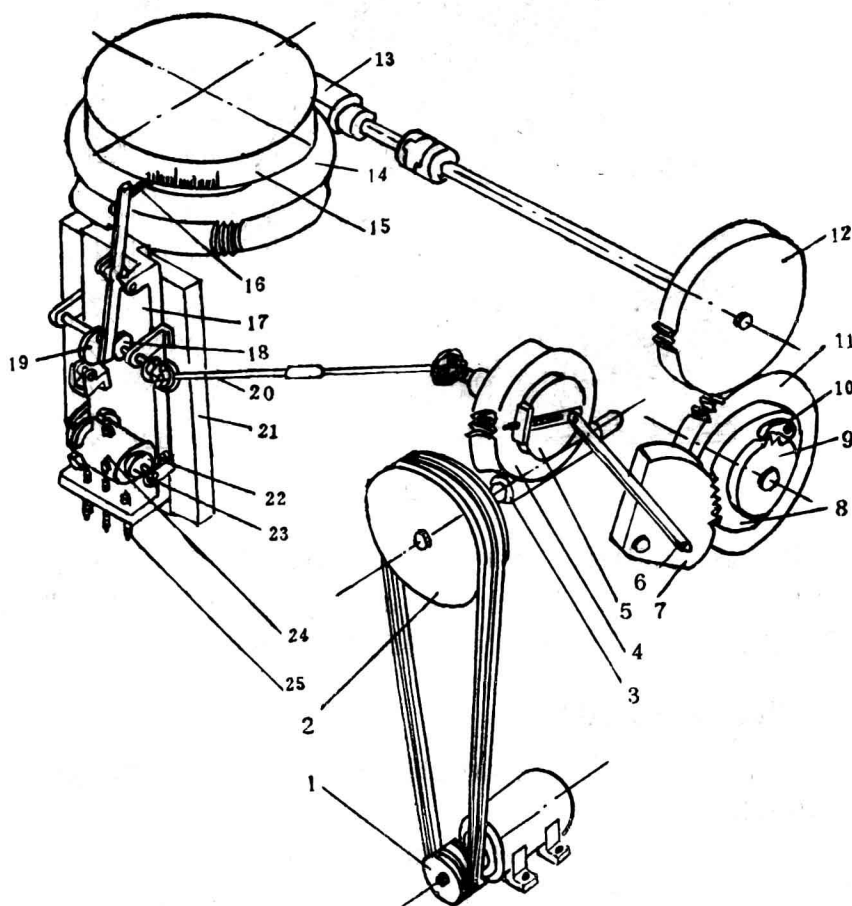


图 4

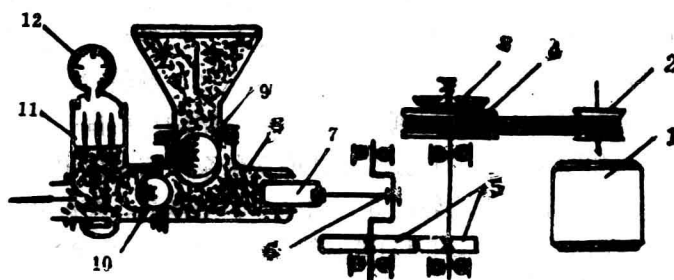


图 5

- 2) 各个运动实体之间都具有确定的相对运动；
- 3) 都能通过能量的转换来完成有用的机械功（如打煤机、牛头刨等），以代替或减轻人们的劳动。

同时具有上述三个特征的称为机器；只具有前两个特征的则称为机构。但从结构和

运动的观点看，两者之间并无区别。因此，为了叙述方便，常用“机械”一词作为机器和机构的总称。

任何一台完整的机器均由三个主要部份组成：

1. 原动部份：它们是机械动力的来源。最常见的原动部份是电动机（参看图4、图5）。此外，还有以内燃机、液动机、气动机等作为原动部份的。

2. 工作部份：它是直接完成工艺动作的部份，如图4中的刻线机构，图5中的泥浆机构等。

3. 传动部份：它是将原动部份的动力和运动传递给工作部份的中间环节。如图4中的带传动、齿轮传动、凸轮机构等。

由运动角度来看，可以认为机器是由若干“构件”组成的。构件是机器的运动单元。它可能是一个零件，也可能是若干零件的刚性组合体。如图6所示的蜗轮构件就是由齿圈1、轮芯2、轴3、衬套4、轴承5①、螺栓6及螺母7等零件和成件（轴承5）组成的刚性组合体。

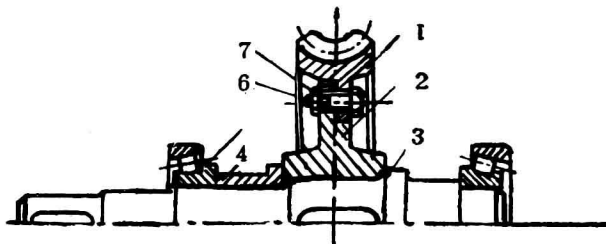


图6

由装配角度来看，可以认为较复杂的机器是由若干零件和部件组成的。零件是机器的制造单元。它又分为通用零件和专用零件两大类：

通用零件是指各类机械中常用的零件。专用零件是指某些特殊机械中才用到的零件，如飞机发动机的涡轮叶片，内燃机的曲轴等。部件是机器的装配单元（零件既是制造单元也是装配单元），如车床的主轴箱、溜板箱、进给箱及尾架等。

三、学习本课程的目的和方法

“机械设计基础”不仅在整个教学环节中起着承上启下的作用，而且是有关工程技术人员必修课程。它又是最后一门技术基础课，是以机械制图、金属工艺学、理论力学、材料力学等课程为基础来综合研究机械设计中的共性问题的课程。学习本课程的目的就是掌握常用机构和零件设计的基础理论和基本技能，学会较为简单的机械装置，并为以后学习有关专业课及进一步学习有关新的科学技术打好必要的基础。

学习本课程时应注意下列方法：

1. 建立机构的动态概念，要把瞬时相对静止的图形和机构连续运动过程联系起来进行分析。为此，应多结合模型和实物进行学习。

①严格地说，只包括与轴配合在一起的轴承5的内圈

2. 学习中应培养运用几何图解方法研究机构问题的工程素养。
3. 注意设计原理和设计公式的应用条件，并注意公式中各量间的相互关系。
4. 学习中应正确对待理论设计与经验设计。
5. 应正确处理计算和绘图的关系。
6. 应正确对待设计中的继承性与创新性的关系；吸取国内外先进经验与自行设计的关系。
7. 应注意机构、零部件设计与总体设计的合理性。
8. 注意联系实际，多了解实际机械，从原理和结构上加以探讨，以提高分析问题和解决问题的能力。

第一章 平面机构的运动简图及自由度

如绪论所述,机构是具有确定相对运动的构件组合。显然,不能运动或不规则乱动的构件组合都不能成为机构。研究机构的组合及其具有确定运动的条件,对于分析已有机构或设计新的机构都是非常重要的。本章主要讲述这方面的问题。

所有构件都在同一平面或相互平行的平面内运动的机构称为平面机构;否则称为空间机构。由于机械中常见的机构大多属于平面机构,故本章仅限于讨论平面机构。

§ 1-1 运动副及其分类

一个构件在尚未与其它构件组成运动副之前为自由构件。一个作平面运动的自由构件具有三个独立运动。如图 1—1 所示,自由构件 S 相对 xoy 坐标系可随其任一点 A 沿 x 、 y 轴方向移动和绕该点转动。要确定构件 S 在平面坐标 xoy 上的位置就需要有

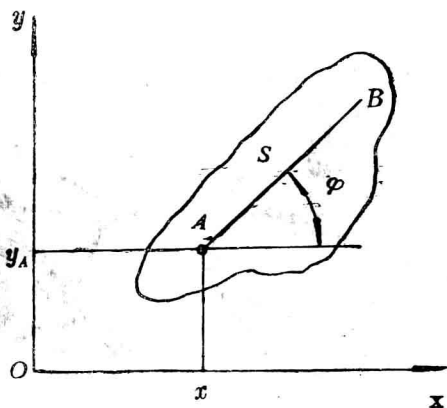


图 1—1

三个独立的参变数,即 A 点的坐标 x_A 、 y_A 和过 A 点任一直线 AB 的倾角 φ 。这种决定构件位置的独立参变数称为自由度。所以,一个作平面运动的自由构件有三个自由度。

当两个构件以一定的方式联接后,此两构件都不再是自由构件,它们便因直接接触而使相对独立运动受到某些限制,自由度便随之减少。这种限制称为约束条件。有一个约束条件,构件便失去一个自由度;有两个约束条件,构件便失去两个自由度。

凡两构件直接接触并能产生一定相对运动的联接称为运动副。

两构件组成运动副,不外乎是通过点、线或面的接触来实现。依照接触的特性常把运动副分为低副和高副两类:

一、低 副

两构件通过面接触组成的运动副称为低副。

根据它们的相对运动是转动或移动，又可分为转动副和移动副。

(1) 转动副：组成运动副的两构件只能在一个平面内作相对转动，这种运动副称为转动副（或称铰链），如图 1—2，*a* 及 *b* 所示。图 *a* 中有一个构件是固定的，故称为固定铰链；图 *b* 中两构件均未固定，故称为活动铰链。

(2) 移动副：组成运动副的两构件只能沿某一轴线作相对移动，这种运动副称为移动副如图 1—3 所示。

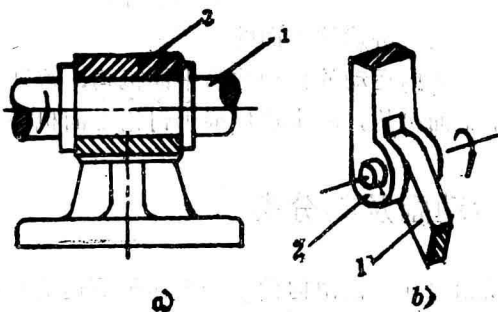


图 1—2

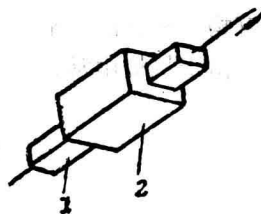


图 1—3

二、高 副

两构件通过点或线接触组成的运动副称为高副，如图 1—4 所示。图 *a* 中的凸轮 1

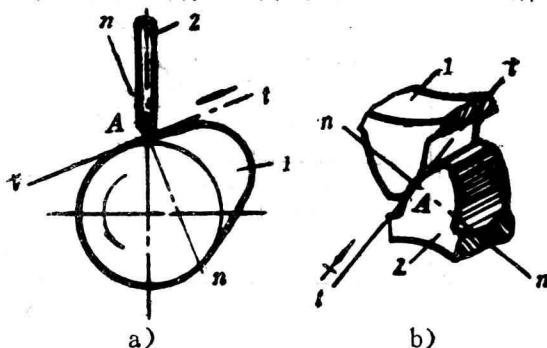


图 1—4

与从动件 2 和图 *b* 中的轮齿 1 与轮齿 2 分别在其接触处组成高副。它们的相对运动是转动和沿过接触点的公切线 *t-t* 的移动。

由上所述，平面低副具有一个自由度，两个约束条件；平面高副一般具有两个自由度，一个约束条件。

§ 1-2 平面机构运动简图

在研究机构运动时，概不涉及强度问题。因此，可以撇开构件的复杂外形和运动副的具体构造，仅用简单的符号和线条，并按一定的比例定出各运动副的位置。这种表示机构中各构件之间相对运动关系的简单图形，称为机构运动简图。常用运动副的代表符号见表 1—1。