

四川省高职高专精品教材

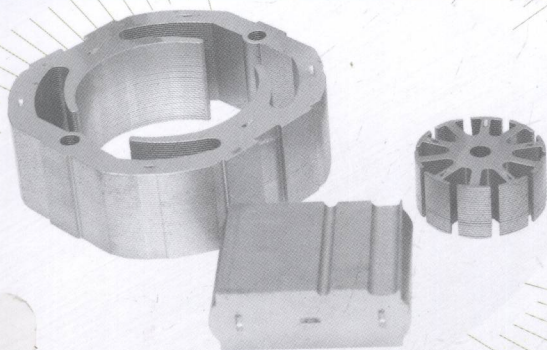
“高职高专机械基础系列课程与教材建设研究”
项目成果系列教材

机械设计基础

(第三版)

主 编 顾 铭 张安民

主 审 吴鹿鸣



科学出版社

四川省高职高专精品教材
“高职高专机械基础系列课程与教材建设研究”
项目成果系列教材

机械设计基础

(第三版)

主 编 顾 铭 张安民
副主编 刘静波 李 洁
主 审 吴鹿鸣

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书根据教育部制定的“机械设计课程教学基本要求”,考虑到高职高专的教学实际,强化工程观念,突出知识的实用性与针对性,并结合编者多年教学实践经验编写而成。

全书除绪论外,共有12章。主要阐述了一般机械中常用机构和通用零部件的结构、运动特性、工作原理及有关的设计计算,并对机械系统总体设计的基本知识进行了简单介绍。

本书可作为高职高专院校机械类、近机类各专业机械设计基础课程教材(60~90学时),也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础 / 顾铭, 张安民主编. —3版. —北京: 科学出版社, 2012
四川省高职高专精品教材·“高职高专机械基础系列课程与教材建设研究”项目成果系列教材

ISBN 978-7-03-035479-2

I. ①机… II. ①顾… ②张… III. ①机械设计-高等职业教育-教材
IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 202162 号

责任编辑: 贾瑞娜 / 责任校对: 陈玉凤
责任印制: 闫 磊 / 封面设计: 速底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京市农林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年8月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2012年8月第一次印刷 印张: 19

字数: 373 000

定价: 39.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

为适应高等职业教育以服务为宗旨、以就业为导向的办学理念,四川省教育厅已结题的“高职高专机械基础系列课程与教材建设研究”项目课题组通过对高职高专制造类专业的机械基础系列课程和教材建设的研究,形成了适合高职高专特点的较为完整的机械基础课程体系,取得的成果为制造类各相关专业提供了可供借鉴的专业人才培养模式。在此基础上将建设一批适合高职高专制造类专业特点的机械基础系列教材,为学生就业、特别是踏入社会以后的可持续发展及学生的创新能力培养打下坚实的机械基础。

受课题组委托,四川省高职高专精品教材《机械设计基础》系列教材成为本课题的首批重点建设教材。该系列教材由成都工业学院胥宏教授任总主编,西南交通大学吴鹿鸣教授任总主审。

本教材编者根据教育部制定的“机械设计课程教学基本要求”,并结合多年的教学实践经验及同行专家的意见,编写完成了本教材。

本教材的特点如下:

1. 内容简洁实用。删除了繁杂的理论推导,添加了生产、生活中的实例,可激发学生的学习兴趣,顺利地完专业基础课向专业课的过渡,引领学生对工程技术领域的探究。

2. 去繁就简。克服过去高职高专教材机械地沿用大学本科教材、理论深度大、系统性过强、不适应现在高职高专学生学习的特点。教材注重实用性和实践性,强化工程观念,便于培养学生理论联系实际的工作能力和技术应用能力。

3. 本教材的编写人员均来自教学一线,了解学生心理,从篇章结构的安排到教学语言的陈述均考虑得较为合理,便于讲授和学生学习。

4. 本教材中的机械系统总体设计、带传动、齿轮传动和轴的设计等章节中的例题均统一于一个大型例题,前后连贯,脉络清晰,便于学生了解整体设计思路。

5. 本教材采用的工程符号、名词术语、单位等均为国家最新标准或国际标准,力求使用成熟的、简便易行的设计方法与设计资料。

参加本书编写的有:成都工业学院顾铭(第9、第12章)、黄静(第4、第11章)、泸州职业技术学院张安民(绪论、第6章)、李洁(第5章)、陈林(第7章)、成都纺织高等专科学校刘静波(第10章)、四川建筑职业技术学院姚军(第8章)、

四川电力职业技术学院熊娟(第3章)、四川托普信息技术学院邢薇(第2章)、杜飞龙(第1章)。

全书由顾铭、张安民担任主编,刘静波、李洁任副主编。

本书承西南交通大学吴鹿鸣教授细心审阅,对本书提出了很多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2012年6月

目 录

前言

绪论	1
0.1 机器的组成	1
0.2 机械设计的基本要求及一般程序	4
0.3 机械设计基础课程的内容、性质和任务	7
小结	7
第1章 平面机构的运动简图及自由度	8
1.1 平面机构的组成	8
1.2 平面机构运动简图	10
1.3 平面机构的自由度	13
小结	17
思考题与习题	18
第2章 平面连杆机构	20
2.1 平面连杆机构的特点及应用	20
2.2 铰链四杆机构的基本形式及其演化	21
2.3 平面四杆机构的工作特性	31
2.4 平面四杆机构的运动设计	35
小结	41
思考题与习题	41
第3章 凸轮机构	44
3.1 凸轮机构的应用和分类	44
3.2 从动件的常用运动规律	47
3.3 盘形凸轮轮廓曲线的设计	53
3.4 凸轮机构基本尺寸的确定	58
小结	63
思考题与习题	64
第4章 间歇运动机构	66
4.1 棘轮机构	66
4.2 槽轮机构	71
4.3 其他间歇机构	75
小结	77

思考题与习题	77
第 5 章 带传动和链传动	78
5.1 带传动概述	78
5.2 带传动的力分析和运动特性	80
5.3 V 带和 V 带轮	84
5.4 普通 V 带传动的设计	89
5.5 带传动的张紧和维护	100
5.6 链传动简介	101
小结	109
思考题与习题	109
第 6 章 齿轮传动	111
6.1 齿轮传动概述	111
6.2 齿廓啮合基本定律	114
6.3 渐开线齿廓	115
6.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的主要参数和几何尺寸	118
6.5 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	124
6.6 渐开线齿轮的加工方法	128
6.7 齿轮的材料与失效	132
6.8 标准直齿圆柱齿轮传动的设计	135
6.9 平行轴标准斜齿圆柱齿轮传动	148
6.10 直齿圆锥齿轮传动	156
6.11 齿轮传动的润滑和精度	159
6.12 蜗杆传动简介	162
小结	167
思考题与习题	168
第 7 章 齿轮系	171
7.1 齿轮系的分类	171
7.2 定轴齿轮系传动比的计算	173
7.3 周转齿轮系传动比的计算	176
7.4 组合齿轮系传动比的计算	178
7.5 齿轮系的应用	180
小结	183
思考题与习题	183
第 8 章 连接	187
8.1 螺纹	187
8.2 螺旋副的受力分析、效率和自锁	191

8.3 螺纹连接的基本类型、预紧和防松	194
8.4 螺栓连接的强度计算	200
8.5 螺纹连接件的材料和许用应力	204
8.6 提高螺纹连接强度的措施	207
8.7 键连接	210
8.8 花键和销连接	215
小结	218
思考题与习题	218
第9章 轴	220
9.1 轴的分类和轴的材料	220
9.2 轴的结构设计	222
9.3 轴的设计计算	228
小结	235
思考题与习题	235
第10章 轴承	237
10.1 滑动轴承的类型、结构、材料与润滑	237
10.2 滚动轴承的类型及选择	244
10.3 滚动轴承的寿命计算	251
10.4 滚动轴承的组合设计	260
10.5 滚动轴承的润滑、密封和使用	264
小结	267
思考题与习题	267
第11章 其他常用零、部件	269
11.1 联轴器	269
11.2 离合器	275
11.3 弹簧	278
小结	281
思考题与习题	281
第12章 机械系统总体设计概述	282
12.1 机械系统总体设计的一般原则	282
12.2 工作机方案设计	283
12.3 原动机的选择	286
12.4 机械传动系统方案设计	289
12.5 机械系统设计实例	293
参考文献	297

绪 论

机械是人类在长期的生产实践中创造出来的技术装置。回顾机械发展的历史,从杠杆、斜面、滑轮到汽车、内燃机、缝纫机、洗衣机及机器人,机械的每一次发展,都标志着社会的进步和人类文明程度的提高。在现代生产和日常生活中,机械已成为代替或减轻人类劳动、提高劳动生产率的主要手段,机械的发展程度已成为国家工业水平的重要标志之一。因此,对于现代工程技术人员,学习和掌握一定的机械设计基础知识是极为必需的。

机械的种类繁多,性能、用途各异,所以有必要从各类机器的共同特征出发,剖析其结构、研究其组成及原理,以达到掌握和应用的目的。

0.1 机器的组成

0.1.1 机器的组成

任何机器都是为实现某种功用而设计制作的。

图 0.1 所示为人们熟悉的自行车简图,当人踩下踏板使链轮 1 逆时针转动时,通过链条 2、飞轮 3 内的棘轮棘爪机构,驱动后轮 4 转动,使自行车向前运动。

图 0.2 所示为颚式破碎机,其主体是由机架 1、偏心轴 2、动颚 3 和肘板 4 等组成。偏心轴 2 与带轮 5 固连,当电动机通过 V 带驱动带轮运转时,偏心轴则绕带轮轴转动,使动颚 3 做平面运动,轧碎动颚与定颚 6 之间的矿石,从而做有用的机械功。

图 0.3 为单缸内燃机,由曲轴 1、连杆 2、活塞 3、气缸体 4、顶杆 5、凸轮 6 以及齿轮 7 和 8 组成。燃气在缸内燃烧产生的压力推动活塞 3 往复运动,通过连杆 2 转变为曲轴 1 的旋转运动,并对外输出动力。进、排气阀的运动则通过齿轮、凸轮、顶杆、弹簧等予以控制,保证在规定的时刻打开或关闭。经过进气—压缩—做功—排气四个行程的循环,将燃气的热能连续不断地转换为机械能。

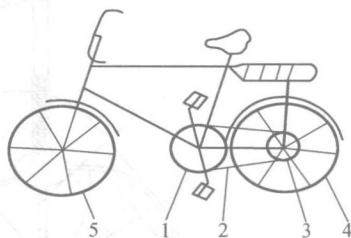


图 0.1 自行车简图

- 1. 链轮; 2. 链条; 3. 飞轮;
- 4. 后轮; 5. 前轮

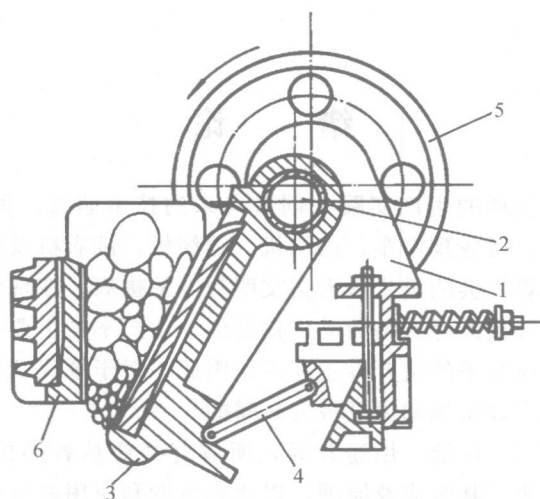


图 0.2 颚式破碎机

1. 机架; 2. 偏心轴; 3. 动颚; 4. 肘板; 5. 带轮; 6. 定颚

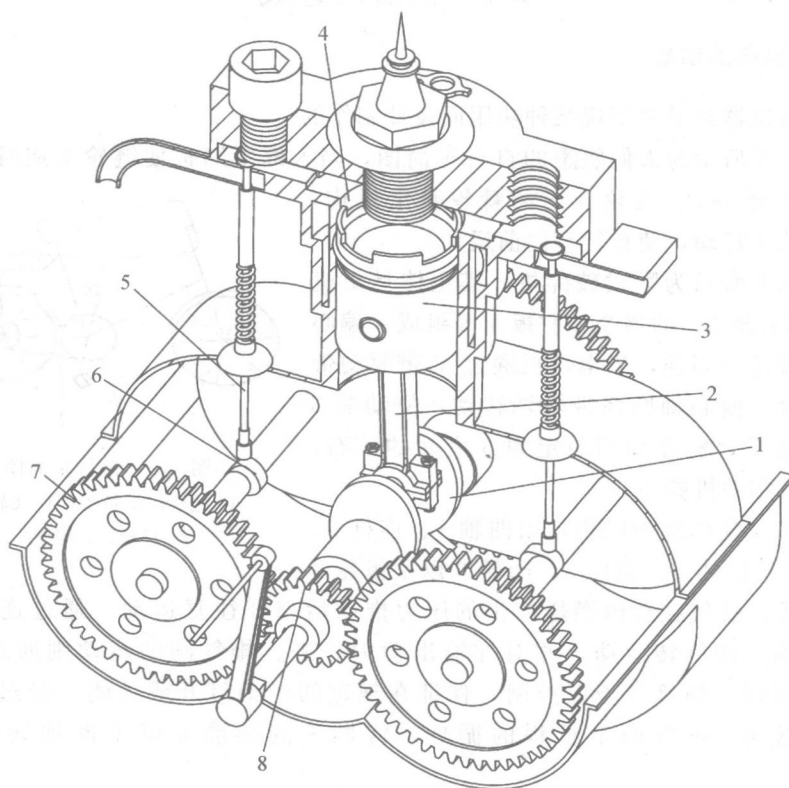


图 0.3 单缸内燃机

1. 曲轴; 2. 连杆; 3. 活塞; 4. 气缸体; 5. 顶杆; 6. 凸轮; 7、8. 齿轮

由此可见,机器的种类繁多,形状、尺寸差别很大,结构、原理、功用及性能各不相同,但它们都有下列共同的特征:都是人为的实体组合;各实体间具有确定的相对运动;可实现能量的转换,完成有用的机械功。

按照组成机器的各部分的功能分析,一部完整的机器通常由原动机、传动部分、执行部分以及控制系统等组成。

(1) 原动机。原动机是驱动整部机器以完成预定功能的动力源,其作用是把他形式的能量转化为可以利用的机械能。现代机器中常用的原动机多为电动机、内燃机和汽轮机等。

(2) 执行部分。执行部分也称为工作机,是直接实现机器预定功能的部分。机器种类不同,其执行部分的结构和工作原理也就不同。例如起重机的卷筒和吊钩、掘土机的掘斗、轧钢机的轧辊以及汽车的车轮等。

(3) 传动部分。传动部分是将原动机输出的运动和动力传递、转换或分配给执行部分的中间装置。如带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、螺旋传动等。

(4) 控制系统。控制系统是用来控制机器的起动、停车和变更运动参数的部分。如开关、变速手柄、离合踏板以及相应的电器等。

0.1.2 零件与部件

深入研究机器组成的具体细节,可以发现任何一部机器都是由一定数量的基本元件组成的,它有一定的形状、尺寸和重量,由一定的材料按预定的要求制造而成,并按预定的方式装配连接起来,彼此保持一定的相对关系,并能实现某种运动。

按照组成机器的各部分的结构及制造特征分析,机器由若干零、部件组成,其中部件又由若干零件组成。

(1) 零件。组成机器的不可分拆的基本单元称为零件,零件是机器中的制造单元。零件分通用零件和专用零件两大类。通用零件是指在各类机械中经常用到的零件,如齿轮、轴、螺栓、键、花键、销、弹簧等;专用零件只出现在某些特定的机械中,如飞机的螺旋桨、内燃机的曲轴和活塞、汽轮机的叶片等。

(2) 部件。由若干零件装配而成,共同完成某种确定任务的零件组合称为部件,部件是机器中的装配单元。部件也可分为通用部件和专用部件,如减速器、滚动轴承和联轴器属于通用部件,而汽车转向器则属于专用部件。

0.1.3 构件与机构

机器的功能,主要由其组成部分的运动规律和运动形式所决定。如果抛开其具体结构和形态,按照组成机器的各部分的运动特征分析,机器由若干具有确定运动的机构组成,而每一个机构又由若干构件组成。

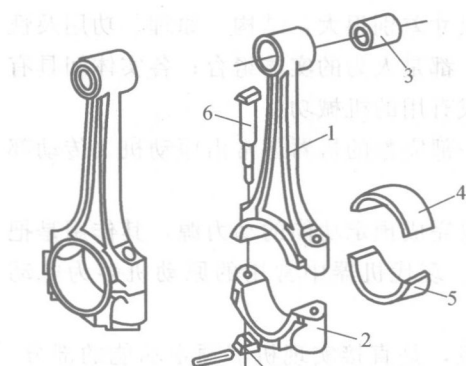


图 0.4 连杆简图

1. 连杆体; 2. 连杆盖; 3~5. 轴瓦; 6. 螺栓

机构、间歇运动机构等。

图 0.3 所示的内燃机由三个机构组成: 活塞 3、连杆 2、曲轴 1 和气缸体 4 组成一个曲柄滑块机构, 将活塞的往复直线运动转换为曲轴的旋转运动; 齿轮 8、齿轮 7 和气缸体 4 组成一个齿轮机构, 实现两轴运动的传递, 并保持一定的传动比; 凸轮 6、顶杆 5 和气缸体 4 组成一个凸轮机构, 将凸轮轴的连续转动转换为顶杆有规律的间歇直线运动。

由以上分析可知, 机构也是人为的实体组合, 其实体间同样具有确定的相对运动, 但它的功用是实现运动和力的传递和转换。若撇开机器在做功和转换能量方面所起的作用, 仅从构成和运动的观点来看, 机器与机构之间并无区别。在工程中, 通常可将机器和机构统称为“机械”。

0.2 机械设计的基本要求及一般程序

0.2.1 机械设计的基本要求

机械设计是指规划和设计实现预期功能的新机械或改进原有机器的性能的过程。机械的类型很多, 但其设计的基本要求大致相同, 主要有以下几方面:

1. 预定功能的要求

功能要求是指被设计机器的功用和性能指标。

设计机器的基本出发点是实现预定的功能要求。为此, 必须正确选择机器的工作原理、机构的类型和机械传动方案。

一般机器的预定功能要求包括: 运动性能、动力性能、基本技术指标及外形结构等方面。

(1) 构件。组成机构的最基本的运动单元称为构件。构件可以是一个零件, 也可以是一组没有相对运动的零件组合。如图 0.4 所示的连杆就是由连杆体 1、连杆盖 2、轴瓦 3~5、螺栓 6、螺母、开口销等多个零件组成的构件, 而曲轴是由一个零件组成的构件。

(2) 机构。由多个构件彼此连接而成, 具有确定相对运动的物体系统称为机构。其功用是实现运动和力的传递和转换。常见的机构有连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构等。

2. 安全性、可靠性要求

安全可靠是机器正常工作的必要条件,必须保证机器在预定的工作期限内能够可靠地工作,防止个别零件的破坏或失效而影响正常运行。为此,应使所设计的机器结构合理并满足强度、刚度、耐磨性、耐热性、振动稳定性及其寿命等方面的要求。

3. 经济性要求

在满足使用要求的前提下,还要使其结构简单、便于加工和维护,尽可能降低设计和制造成本,使产品质优价廉,具有市场竞争力。

4. 操作使用要求

设计的机器要力求操作方便,最大限度地减少工人操作时的体力和脑力消耗,改善操作者的工作环境,降低机器噪声,净化废气、废液及灰尘,使其对环境的污染尽可能小。

5. 其他特殊要求

某些机器还有一些特殊要求。例如,机床应能在规定的使用期限内保持精度;经常搬动的机器(如塔式起重机、钻探机等),要求便于安装、拆卸和运输;食品、医药、纺织等机械有不得污染产品的要求等。

总之,必须根据所要设计的机器的实际情况,分清应满足的各项设计要求的主、次程度,切忌简单照搬或乱提要求。

0.2.2 机械设计的一般程序

一部机器的诞生,从感到某种需要、萌生设计念头、明确设计要求开始,经过设计、制造、鉴定到产品定型,是一个复杂的创造性过程。机器的设计过程是决定机器好坏的关键。要提高设计质量,必须有一个科学的设计程序。虽然不同类型的产品,其设计过程不尽相同,但根据人们设计机器的长期经验,一部机器的设计程序大致可以分为以下几个阶段。

1. 产品规划

首先应根据用户的需要和要求,确定所要设计机器的功能和有关指标,研究分析其实现的可能性,然后确定设计课题,制定产品设计任务书。在产品设计任务书中应注明产品的用途、主要技术经济指标(生产率、能耗、重量、目标成本等)、使用条件、设计承担者和预定的设计周期等。

2. 总体方案设计

根据设计任务书的要求,进行调查研究,了解国内外有关的技术经济信息;分析有关产品,参阅有关技术资料,并充分了解用户意见、制造厂的技术设备及工艺能力等;在此基础上确定实现预定功能的机器的工作原理,拟定出总体设计方案;进行运动和动力分析,从工作原理上论证设计目标的可能性,必要时对某

些技术经济指标作适当修改；然后绘制机构简图，同时可进行液压、电器控制系统的方案设计。

3. 技术设计

在总体方案设计的基础上，确定机器各部分的结构和尺寸，绘制总装配图、部件装配图和零件图。为此，必须对所有零件（除标准件外）进行结构设计，并对主要零件的工作能力进行计算，即进行机械零件设计。

机械零件设计是本课程研究的主要内容之一，其设计步骤如下：

(1) 选择零件类型。根据零件的使用要求，对所设计的零件的不同类型进行综合分析，正确选择其中一种。

(2) 分析受力情况。根据机器的工作要求，分析零件的工作情况，确定作用在零件上的载荷。

(3) 选择材料。根据零件的工作条件（包括对零件的特殊要求，例如耐高温、耐腐蚀等），考虑材料的性能、供应情况、经济因素等，选择合适的材料及热处理方式，并确定其许用应力。

(4) 确定零件的主要参数。根据零件可能出现的失效形式，确定其设计准则，并通过设计计算，确定零件的主要尺寸。

(5) 结构设计。根据零件的主要尺寸及工艺性、标准化等要求，进行零件的结构设计。

(6) 绘制零件工作图。

应注意，以上内容可在绘制总装配图、部件装配图及零件图的过程中交叉、反复进行，同时进行润滑设计；然后编写设计说明书、有关的技术文件及标准件、外购件的明细表。

4. 样机的试制和鉴定

根据技术设计所提供的图样等技术文件进行样机试制，并对试制的样机进行综合性能测试；组织鉴定，对样机进行全面的技术经济评价，主要包括动力特性审查、标准化审查、工艺审查、成本预测等；在此基础上可对设计进行适当修改，以继续完善设计方案；必要时进行小批量生产。

5. 产品的正式投产

在样机试制与鉴定通过的基础上，将修改完善后的全套设计图样（总装配图、部件装配图、零件图、电器原理图、液压传动系统图、安装地基图、备件图等）和全套技术文件（设计任务书、设计计算说明书、试验鉴定报告、零件明细表、产品质量标准、产品检验规范、包装运输技术条件等）提交产品定型鉴定会评审。在评审通过后，可进行批量生产并投放市场，交付用户使用。

0.3 机械设计基础课程的内容、性质和任务

0.3.1 课程的内容

机械设计基础课程主要讲述机械中常用机构和通用零部件的工作原理、运动特点、结构特点及其基本设计理论和设计方法,同时扼要地介绍国家标准和规范、某些标准零部件的选用原则和方法,以及通用零部件的一般使用及维护知识。总之,本课程主要是讲述与常用机构和通用零部件设计有关的内容。

0.3.2 课程的性质

本课程是一门技术基础课。它综合运用高等数学、工程力学、机械制图、金属工艺学、金属材料及热处理、互换性与技术测量、计算机程序设计等课程的基本知识,去解决常用机构、通用零部件设计等问题。

本课程的科学性、综合性、实践性都比较强,是机械类或近机类专业的主干课之一,在相应各专业的教学计划中占有重要的地位,是培养机械或机械管理工程师的必修课。

0.3.3 课程的任务

本课程的主要任务是培养学生:

- (1) 掌握常用机构的结构特点、运动特性,初步具有分析和设计常用机构的能力。
- (2) 掌握通用零部件的工作原理、结构特点、设计计算和维护等基本知识,并初步具有设计机械传动装置或简单机械的能力。
- (3) 具有运用标准、规范、手册、图册等有关技术资料的能力。
- (4) 获得本学科实验技能的初步训练。

总之,通过本课程的学习,应使学生具备使用、维护和改进机械设备的基本知识和分析设备故障的基本能力。培养学生能运用手册、设计简单机械传动,为今后技术革新创造条件,并为学习有关专业机械设备课程奠定必要的基础。

小 结

本章主要内容如下:

- (1) 机器的组成及特征。
- (2) 零件与部件、构件与机构、机械的概念。
- (3) 机械设计的基本要求和一般程序。
- (4) 机械设计基础课程的内容、性质和任务。

第 1 章 平面机构的运动简图及自由度

机构是一个构件系统，其主要作用是传递和变换运动，因此机构各构件之间应具有确定的相对运动。但任意拼凑起来的构件系统，可能会因为各构件之间没有相对运动或没有确定的相对运动，而不能成为一个机构。研究构件系统如何组合才能成为一个机构，对分析现有机构或设计新机构具有重要意义。

实际机器的外形和结构都是很复杂的，在分析机器的工作原理或对机器进行原理设计时，通常将机器看成是由一个或多个机构所构成，并用机构运动简图来表示。

若组成机构的所有构件都在同一平面或彼此平行的平面内运动，则将该机构称为平面机构，否则称为空间机构。由于实际工程中常见的机构多为平面机构，因此本章主要介绍平面机构。

1.1 平面机构的组成

1.1.1 运动副

由前述可知，构件是机构中具有确定相对运动的单元体，因此它是组成机构的主要要素之一。

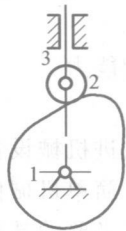


图 1.1 凸轮和顶杆的接触

1. 凸轮；2. 滚子；3. 顶杆

当构件组成机构时，每个构件都是以一定的方式与其他构件相互连接，且相互连接的两构件间保留着一定的相对运动。这种使两构件直接接触又彼此具有相对运动的可动连接称为运动副。显然，运动副也是组成机构的主要要素。例如，凸轮和顶杆的接触（图 1.1）、两齿轮轮齿的啮合（图 1.2）等都构成了运动副。

组成运动副的两构件在相对运动中可能参与接触的点、线、面称为运动副元素。按照运动副的接触特性，平面运动副可分为低副和高副两大类。

1. 低副

两构件之间以面接触构成的运动副称为低副。根据构件的相对运动形式，又分为移动副和转动副。

若组成运动副的两构件只能沿某一轴线作相对移动,这种运动副就称为移动副,如图 1.3 所示。例如,内燃机中活塞与气缸所组成的运动副就是移动副。

若组成运动副的两构件只能绕某一轴线作相对转动,这种运动副就称为转动副,又称为铰链,如图 1.4 所示。例如,内燃机中连杆和曲轴组成的运动副就是转动副。

2. 高副

两构件之间以点或线接触构成的运动副称为高副。如图 1.5 所示,齿轮之间通过线接触构成高副。如图 1.6 所示,凸轮与顶杆之间通过点接触构成高副。

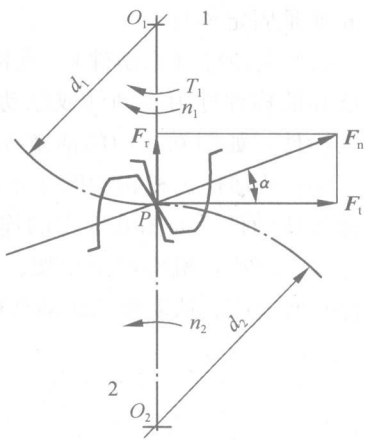


图 1.2 两齿轮轮齿的啮合

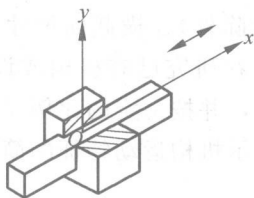


图 1.3 移动副

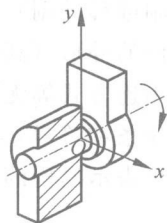


图 1.4 转动副

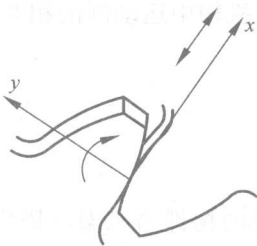


图 1.5 线接触高副

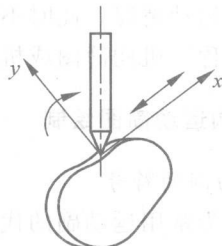


图 1.6 点接触高副

构成低副的两个构件接触处由于是面接触,通常接触面积大,所以压强小,承载能力大、耐磨损、寿命长,而且形状简单、容易制造,高副则往往相反。

1.1.2 机构中构件的分类及组成

组成机构的构件,根据其运动特征,通常可分为三类:

(1) 固定构件(机架)。机构中固结于定参考系的构件称为固定构件。它用来支承机构中的可动构件(机构中可相对于机架运动的构件),如图 0.2 中的定