

21 世纪中职教育新编教材

机械设计应用基础

主 编：杨 楨

副主编：贺义宗

参 编：郭 婧 陈玉莲

齐庆国 刘晓玲

上海 交 通 大 学 出 版 社

内 容 提 要

全书内容包括机械基础基本概念,平面机构运动简图和自由度,平面连杆机构,凸轮机构,挠性件传动,齿轮传动,蜗杆传动,轮系,连接,轴承,轴,联轴器、离合器和制动器等。

本书的特点是突出了实用性和综合性,叙述力求简明,避免繁琐的理论与公式推导,例题和习题的选择注重联系工程实际,从机械设计整体出发,将机械原理与机械零件相关内容融为一体。体现了新理论、新技术、新方法、新工艺、新材料,保证了教材的先进性和科学性。

为加强实践性教学内容,本书还附录了机械应用基础实训指导,其内容包括实验实践的相关内容。

本书可作为中职、高职、技校等职业学校机械类、近机械类各专业教学用书,也可供相关工程技术人员参考。

中职教育新编教材编审委员会

主 任:刘胜利

副主任:胡贵祥 何绍人 张廷刚

委 员:焦 健 柳 斌 陈玉莲

杨惠军 刘 润 杨 桢

前 言

随着科学技术,特别是计算机和信息技术的迅猛发展,传统的机械工业呈现出了质的变化,进入了智能化领域。高新技术的发展,对生产一线技术人员的知识和能力的要求更高。为了适应 21 世纪技能型人才培养的需要,根据目前教学改革的实际需要,参照教育部、劳动和社会保障部关于中职类“机械设计基础课程教学基本要求”,既注意学习、吸收有关职业院校机械设计基础课程改革的成果,又尽量反映编者长期教学所积累的经验与体会,并大量听取了高职中职机电一体化技术专业有关教师的建议与意见,编写了本教材。

本教材具有以下特点:

1. 本书以传统内容为主,在保证基本知识和基本理论的前提下,摒弃了繁琐的理论推导和复杂的计算,突出了实用性和综合性,注重对学生基本技能的训练和综合能力的培养,加强实验、实训、实习等实践环节。

2. 教材的编写内容和学时数较以往教材有根本的变化,不但对教材内容系统地进行了精选、优化和压缩,而且适当考虑了相应的职业资格证书的课程内容,有利于学生在获得学历证书的同时,顺利获得相应的职业资格证书,增强学生的就业竞争能力。

3. 精选内容,叙述力求简明,避免繁琐的理论与公式推导;例题和习题的选择注重联系工程实际;教学起点适当放低,以便自学;从机械设计整体出发,将机械原理与机械零件相关内容融为一体。体现新理论、新技术、新方法、新工艺、新材料,保证教材的先进性和科学性。

4. 努力贯彻职业教育“以应用为目的”、“以必需、够用为度”的原则,体现了职业教育的特色。为加强实践性教学内容,书后附录了实验指导、计算机辅助设计等内容。

5. 本教材采用了最新国家标准、规范、数据、资料,采用了最新的设计计算方法和实用图例。

6. 增加了计算机辅助设计内容,注重培养学生的计算机应用能力。

7. 带“*”号部分为选学内容,可根据需要酌情取舍。

参加本书编写的有:杨桢(绪论、第六、十章、机械应用实训指导),齐庆国(第一、二章),刘晓玲(第三、四章),郭婧(第五、十一章),贺义宗(第七、九章),陈玉莲(第八章)。杨桢任主编,贺义宗任副主编。全书由甘肃煤炭工业学校刘胜利主审,杨桢、陈玉莲负责统稿并定稿。

机械设计应用基础

本教材在编写过程中始终得到了甘肃煤炭工业学校领导和相关部门的关心和支持。在此对他们表示衷心的感谢。本书在编写过程中还参考了大量的书籍资料,在此对作者一并表示感谢。

限于编者水平,错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者
2007年1月

目 录

| | |
|--------------------|----|
| 绪论 | 1 |
| 第一节 引言 | 1 |
| 第二节 本课程研究的对象和内容 | 1 |
| 第三节 现代机械设计思想和方法简介 | 5 |
| 本章小结 | 6 |
| 思考题与习题 | 7 |
| 第一章 平面机构运动简图及其自由度 | 8 |
| 第一节 平面机构的组成 | 8 |
| 第二节 平面机构运动简图 | 10 |
| 第三节 平面机构的自由度 | 14 |
| 本章小结 | 19 |
| 思考题与习题 | 19 |
| 第二章 平面连杆机构 | 21 |
| 第一节 铰链四杆机构的基本类型和应用 | 21 |
| 第二节 铰链四杆机构的演化 | 25 |
| 第三节 铰链四杆机构的基本特性 | 29 |
| 本章小结 | 33 |
| 思考题与习题 | 34 |
| 第三章 凸轮机构 | 36 |
| 第一节 凸轮机构的应用与分类 | 36 |
| 第二节 从动件的常用运动规律 | 38 |
| 第三节 凸轮机构的使用与维修 | 40 |
| 本章小结 | 43 |
| 思考题与习题 | 43 |
| 第四章 挠性件传动 | 45 |
| 第一节 带传动的主要类型和应用 | 45 |
| 第二节 带传动工作情况的分析 | 49 |
| 第三节 V带轮设计 | 54 |



| | |
|------------------------------------|-----|
| 第四节 带传动的张紧、安装与维修 | 57 |
| 第五节 链传动的组成、类型和应用 | 58 |
| 第六节 链传动的布置、张紧和润滑 | 62 |
| 本章小结 | 65 |
| 思考题与习题 | 65 |
| 第五章 齿轮传动 | 67 |
| 第一节 概述 | 67 |
| 第二节 渐开线的形成及其特性 | 68 |
| 第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的主要参数及几何尺寸计算 | 69 |
| 第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动 | 72 |
| 第五节 渐开线齿轮的切齿原理及变位齿轮传动简介 | 76 |
| 第六节 齿轮传动的失效形式、精度简介, 齿轮材料及热处理 | 79 |
| 第七节 渐开线直齿圆柱齿轮传动的计算简介 | 83 |
| 第八节 斜齿圆柱齿轮传动简介 | 86 |
| 第九节 齿轮结构、齿轮传动的润滑、维护和修复 | 88 |
| 本章小结 | 91 |
| 思考题与习题 | 92 |
| 第六章 蜗杆传动设计 | 94 |
| 第一节 概述 | 94 |
| 第二节 圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸 | 96 |
| 第三节 蜗杆传动的失效形式、材料和结构 | 99 |
| 第四节 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算简介 | 102 |
| 第五节 蜗杆传动的结构与维护 | 105 |
| 本章小结 | 106 |
| 思考题与习题 | 106 |
| 第七章 齿轮系传动 | 108 |
| 第一节 定轴轮系传动比的计算 | 109 |
| 第二节 行星轮系传动比的计算 | 112 |
| 第三节 轮系的功用 | 118 |
| 第四节 几种特殊行星传动简介 | 121 |
| 本章小结 | 123 |
| 思考题与习题 | 123 |
| 第八章 连接 | 125 |
| 第一节 概述 | 125 |
| 第二节 螺纹连接预紧与防松 | 128 |
| 第二节 螺纹连接的强度计算 | 130 |



| | |
|-------------------------|-----|
| 第三节 螺旋传动 | 135 |
| 第四节 轴毂连接 | 135 |
| 本章小结 | 140 |
| 思考题与习题 | 141 |
| 第九章 轴承 | 143 |
| 第一节 滑动轴承的类型及结构 | 143 |
| 第二节 轴瓦的结构和材料 | 146 |
| 第三节 滑动轴承的润滑 | 150 |
| 第四节 滚动轴承的类型及代号 | 152 |
| 第五节 滚动轴承装置特性 | 160 |
| 第六节 滚动轴承的润滑与密封 | 165 |
| 第七节 滚动轴承的使用与维护 | 168 |
| 本章小结 | 172 |
| 思考题与习题 | 172 |
| 第十章 轴 | 174 |
| 第一节 概述 | 174 |
| 第二节 轴的结构设计 | 177 |
| 第三节 轴的设计计算 | 182 |
| 第四节 轴的使用与维护 | 188 |
| 本章小结 | 189 |
| 思考题与习题 | 189 |
| 第十一章 联轴器、离合器和制动器 | 191 |
| 第一节 联轴器 | 191 |
| 第二节 离合器 | 194 |
| 第三节 制动器 | 195 |
| 本章小结 | 197 |
| 思考题与习题 | 197 |
| 机械应用基础实训指导 | 198 |
| 参考文献 | 222 |

绪 论

第一节 引 言

在现代生产活动和日常生活中,机械起着非常重要的作用。回顾机械发展的历史,机器是人类为了减轻体力劳动和提高劳动生产率而创造出来的主要工具,使用机器进行生产的水平是衡量一个国家的技术水平和现代化程度的重要标志之一。

在人类历史上,机器的进步从来就是促进生产力发展的主要因素。以蒸汽机的发明和广泛使用为标志的第一次技术革命,为近代机械化大生产奠定了基础,使人类从手工生产进入到机械化生产。

从 20 世纪 40 年代起,以原子能、空间技术和电子计算机为主要标志的一场新技术革命,促进了科学技术的重大变革和飞速发展,大量的新机器也从传统的纯机器系统,演变成机电一体化的机械设备。

机器的设计、制造手段得到根本的改变,新材料、新工艺的出现,改变了机器原来单一钢铁之躯的面貌,机器中电子控制技术的应用,使机械进入了智能化的新阶段。

机器的设计制造周期越来越短,对机器的性能、质量的要求也越来越高,个性化要求越来越多,机械产品向着高速、精密、重载、智能等方面发展。

第二节 本课程研究的对象和内容

一、基本概念

1. 机器组成及特征

1) 实例



图 0-1 所示为牛头刨床的结构示意图。电动机经带传动和齿轮传动装置实现减速，又通过摆动导杆机构将齿轮的转动转换为滑枕的往复直线移动，从而进行刨削。

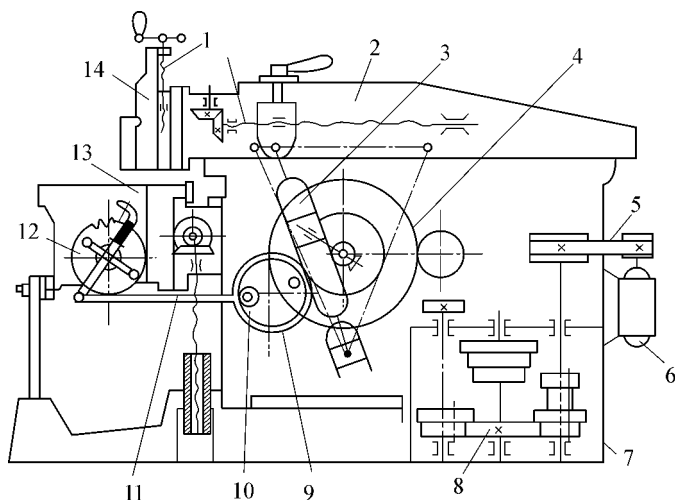


图 0-1 牛头刨床的结构示意图

- 1—螺旋机构；2—滑枕；3—导杆机构；4—齿轮机构；5—带传动装置；
6—电动机；7—床身；8—齿轮变速机构；9—圆盘；10—销子；
11—曲柄连杆机构；12—棘轮机构；13—工作台；14—刀架

图 0-2 所示为单缸四冲程内燃机，凸轮和推杆是用来启闭进气阀和排气阀的。燃气推动活塞移动，经连杆使曲轴连续转动，从而将燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。

2) 机器的特征

通过上述例子以及对其他不同机器的分析可以得到机器的共同特征：

(1) 都是人们根据某种使用要求而设计创造的实物组合。

(2) 必须执行确定的机械运动。

(3) 能实现能量转换或完成有用的机械功。

2. 机器、机构、构件和零件

1) 机构

具有机器的前两个特征。机器和机构最明显的区别是：机器能作有用功，而机构不能，机构仅能实现预期的机械运动。两者之间也有联系，机器是由几个机构组成的系统，最简单的机器只有一个机构。如上述的内燃机就是由曲柄滑块机构、齿轮机构和凸轮机构、带传动机构等组合而成。也可能

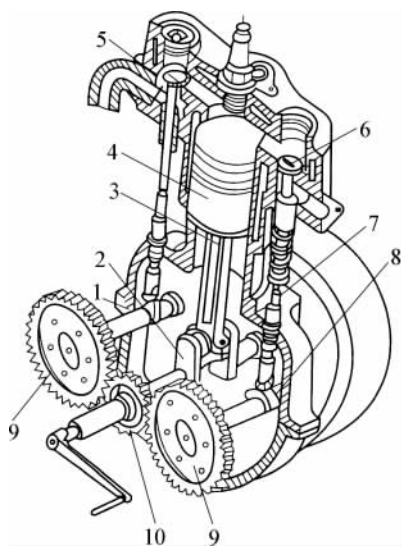


图 0-2 单缸四冲程内燃机

- 1—机架(气缸体)；2—曲轴；3—连杆；
4—活塞；5—进气阀；6—排气阀；7—推杆；
8—凸轮；9,10—大、小齿轮

仅由一个最简单的机构组成,如电动机就是只包含一个由定子和转子所组成的双杆回转机构。机构类型有:常用机构、液压机构和气压机构等。

2) 机械

各类机器的通称。若略去机器在做功和转换机械能方面的作用,仅从结构和运动的观点来看,则机器和机构之间并无区别。因此,习惯上用“机械”一词作为机器与机构的总称。

3) 构件

机器或机构中最小的运动单元。

4) 零件

机器或机构中最小的制造单元。零件类型有:通用零件和专用零件。

5) 部件

协同工作且完成共同任务的零件组合。有通用部件,如轴承、联轴器等;有专用部件,如汽车转向器。

注意:构件与零件有联系也有区别。一个构件可以是一个零件,如图中的曲轴。但往往由于结构、工艺等方面的原因,构件可由几个零件所组成,这些零件被刚性地连接在一起成为一个运动整体。图 0-3 所示的连杆就是由单独加工的连杆体、连杆头、轴瓦和、轴套、螺栓、螺母、开口销等零件组成的一个刚性构件,各个零件之间没有相对运动。

需要指出:随着科学技术的进步,组成机构的构件已不能都简单地作为刚体处理,某些构件可以是挠性的或弹性的;有时候液体、气体及电磁也参与实现机械运动的传递和变换。

总结:上述概念的关系如图 0-4 所示。

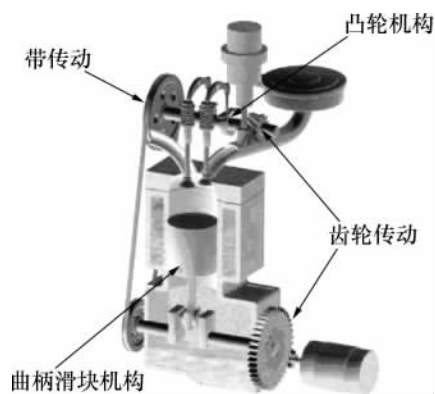


图 0-3 机构



图 0-4 机器、机构、零件、构件之间的关系

3. 机器的其他内容

1) 现代机器及其组成

随着伺服驱动技术、检测传感技术、自动控制技术、信息处理技术、材料及精密机械技术、系统总体技术的飞速发展,使传统机械在产品结构和生产系统结构等方面发生了质的变化,形成了一个崭新的现代机械工业。现代机器已经成为一个以机械技术为基础,以电

子技术为核心的高新技术综合系统。如图 0-5 所示。

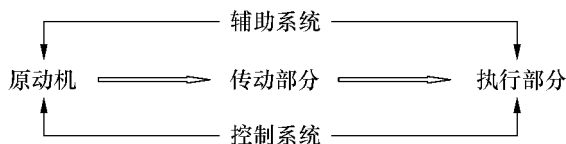


图 0-5 现代机器

现代机器的定义:由计算机信息网络协调与控制的、用于完成包括机械力、运动和能量转换动力学任务的机械和(或)机电部件相互联系的系统。

这个定义突出计算机在现代机器中的协调控制的核心作用,同时也强调了现代机器的主要功能仍然是执行机械运动、完成有用功和能量的转换。

焊接机器人就是典型的现代机器,它的执行系统是操作机,该系统可以实现六个独立的回转运动,完成焊接操作。驱动系统按动力源的不同可分为电动、液动或气动,其驱动机为电动机、液压马达、液压缸、气缸及气马达。传动系统可以是齿轮传动、谐波传动、带传动和链传动等。也可以将上述驱动机直接与执行系统相连。控制系统是控制器,它由计算机硬件、软件和一个专用电路组成。框架支撑系统是机座。另外还有焊接电源装置等。焊接机器人由计算机协调控制操作机的机械运动,用于完成各种焊接工作。

2) 现代机器的主要特征

现代机器是由机械技术与电子技术有机结合的一个全新系统。它与传统机器比较,具有以下主要特征:

(1) 功能增加,柔性提高。如机械加工中心就可以将多台普通机床上的多道工序在一次装夹中完成。只要改变控制器的控制程序就能改变加工工序等,完成不同的工作。并且还有自动检测、自动诊断、自动保护及自动显示等功能。改变了普通机床的功能单一、操作复杂等缺点,实现了多功能化和柔性化。

(2) 结构简化,改善性能。由于控制技术、驱动技术、检测传感技术及精密机械技术等的发展,现代机器的传动系统和执行系统在结构上得以大大的简化。因此,现代机械的性能得到很大的改善,主要有:体积减小、重量减轻、精度提高、改善了工作可靠性和稳定性、延长了机器的寿命等。如一台微机控制的精密插齿机,其机械零、部件比普通插齿机减少了 30%,精度提高了一个数量级。

(3) 效率提高,成本降低。如上述的焊接机器人再配置变位机(工作台)等就组成了焊接工作站。该工作站可以 24 小时连续自动焊接,提高了生产率,降低了成本。

必须强调指出:在现代机器中机械系统是不可缺少的重要组成部分,机械系统和电子系统在不同的场合具有不同的优势。因此,现代机器要求综合考虑机、电、硬、软等方面的特性,使系统各部分合理匹配,实现整体的最佳化。

二、研究对象和研究内容

该课程是研究常用机构和通用零部件的工作原理、结构和设计方法。其主要内容是

针对机械和机械零件在研究、分析、设计、改造、选用、正确使用以及维护等各有关方面存在的问题进行讨论和研究。

三、课程的性质

对于各专业的工程技术人员,他们在日常工作中会经常接触到各种通用和专用机械。为了能正确使用、维护和保养这些机械,工程技术人员应当具备一定的机械基础知识,因此,本课程是一门重要的专业技术基础课。

四、课程的任务

- (1) 了解常用机构的结构,运动特性,初步具有分析和设计常用机构的能力。
- (2) 掌握通用零件的工作原理、结构特点、设计计算和维护等知识。并初步具有设计简单机械传动装置的能力。
- (3) 具有运用标准,规范,手册,查阅相关技术资料能力。
- (4) 获得本学科实验技能的初步训练。
- (5) 通过本课程的学习为后续专业课程打好基础。

第三节 现代机械设计思想和方法简介

一、现代机械设计思想

机械设计是人类为了实现某种预期的目标而进行的一种创造性活动。传统机械设计的特点是:以长期经验积累为基础,通过力学、数学建模及试验等所形成的经验公式、图表、标准及规范作为依据,运用条件性计算或类比等方法进行设计。传统设计在长期运用中得到不断的完善和提高,目前在大多数情况下仍然是有效的设计方法。

近 30 年来,由于科学和技术迅速发展,特别是计算机技术和信息技术的发展和应用,给机械产品设计和制造带来革命性的变化。另一方面,随着社会进步和人类文明的发展,对现代机械产品设计已不能仅考虑产品本身,而且还要充分考虑对系统和环境的影响;不仅考虑当前,还需考虑长远发展。

总之,在机械设计已进入现代设计阶段,它要求在继承和发展传统设计的基础上,将自然科学、技术科学、社会科学及艺术科学等有关知识有机的融合在一起,形成一门崭新的设计知识体系。

二、现代机械设计方法

由于科学技术的发展,各学科的交叉渗透,机械设计理论和方法已逐渐成为一门崭新的学科。以下扼要介绍机械设计方法的新发展。

1. 与“人—机—环境”相适应的设计思想

从“人—机—环境”的系统观及可持续发展战略出发,现代机械设计必须全面考虑、综

合平衡、妥善处理系统的各种问题,与此相应的设计方法有:

- ① 基于功能原理的机械系统设计
- ② 人机工程学
- ③ 产品造型设计
- ④ 绿色产品设计

2. 机械学理论和方法

机械学(包括:机构学、机械动力学、摩擦学、机械结构强度学、传动机械学等)及计算机辅助分析(有限元法、模态分析、专家系统等)的不断发展,对机械的方案设计、运动设计、动力设计、工作能力(强度、变形、振动、摩擦与润滑等)设计等关键技术问题能作出很好的处理,一系列新型的设计准则和方法正在形成。

3. 可靠性设计

现代机械产品的可靠性已成为其市场竞争力的关键指标之一。可靠性设计是综合可靠性数学、可靠性物理及可靠性工程等学科知识的新兴设计方法。它研究产品全寿命周期内质量指标变化规律,对零部件和整个系统进行可靠性设计。

4. 优化设计

机械产品设计的过程就是一个优化的过程。产品的优化是一个从宏观到微观,从全局到局部,从总体方案到零部件设计的优化过程,即可分为参数优化,结构优化及总体方案优化三个层次。对于三者优化的处理方法还有所不同,但随优化理论和计算机技术的发展,日趋形成完整的优化方法体系。

5. 计算机辅助设计

计算机辅助设计(CAD)是把计算机技术引入设计过程,利用计算机完成选型、计算、绘图及其他作业的现代设计方法。CAD技术促成机械设计发生巨大的变化,并成为现代机械设计重要组成部分。目前,CAD技术向更深更广的发展,主要表现为以下几个方面:

- (1) 基于专家系统的智能CAD。
- (2) CAD系统集成化,CAD与CAM(计算机辅助制造)的集成系统(CAD/CAM)。
- (3) 动态三维造型技术。
- (4) 基于并行工程,面向制造的设计技术(DFM)。
- (5) 分布式网络CAD系统。

本章小结

阐述机器的相关概念,介绍本课程的性质和研究对象以及任务。在分析传统机械设计的局限性的基础上,综述现代机械设计的两个思想和主要设计方法。

- (1) 理解机构和机器的概念,了解机器的组成。



- (2) 了解本课程的性质、研究对象和学习本课程任务。
- (3) 注意了解现代机械设计的思想和方法。

思考题与习题

- 0-1** 什么是通用零件？什么是专用零件？试各举三个实例。
- 0-2** 机械设计课程研究的内容是什么？
- 0-3** 机械的现代设计方法与传统设计方法有哪些主要区别？

第一章

平面机构运动简图及其自由度

所有构件都在相互平行的平面或同一平面上运动的机构称为平面机构,否则称为空间机构。由于机械设备中常用的机构大多数是平面机构,所以本章只讨论平面机构的有关问题。

第一节 平面机构的组成

一、构件及其自由度

1. 构件的概念

生产实际中使用的各种不同机械,它们都是由零件组成的,零件是机械中单独加工和制造的单元体。

由于结构上的需要,常常把几个零件刚性地连接在一起,作为一个整体而运动。因此我们把刚性地连接在一起的零件共同组成的,具有独立运动的最小单元体称为构件。构件是组成机构的基本要素。

2. 构件的分类

一般机构中的构件可分为三类。

1) 机架

机构中相对固定不动的构件称为机架。它用来支撑其他运动构件,一个机构中只能有唯一的一个机架。

2) 原动件(又称主动件)

按外界给定运动规律运动的构件称为原动件。通常用箭头表示原动件的运动方向和运动形式。它是机构的动力源,一般与机架相联。

3) 从动件

除原动件以外的其余运动构件均称为从动件。

3. 构件的自由度

作平面运动的构件相对于定参考系所具有的独立运动的数目,称为构件的自由度。

由理论力学可知,在 xOy 平面内,任一作平面运动的自由构件有三个独立运动:沿 x 轴、 y 轴方向的移动以及绕任一垂直于 xOy 平面的轴线 A 的转动,如图 1-1 所示。因此,一个作平面运动的自由构件有三个自由度。

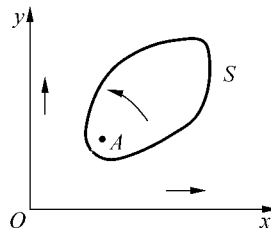


图 1-1 构件的自由度

二、运动副与约束

1. 运动副的概念

1) 运动副

机构是具有确定相对运动的构件组合体,为了传递运动,各构件间必须以适当的方式相互连接起来,并且能具有确定的相对运动。这种两构件直接接触并能产生一定相对运动的连接称为运动副,例如轴与轴承的连接、活塞与气缸的连接、传动齿轮两个轮齿间的连接等都构成运动副。

2) 约束

当两个构件用运动副连接起来以后,它们之间的相对运动就受到限制。这种对构件独立运动的限制称为约束。自由度减少的个数等于约束的数目。

2. 运动副的分类

两个构件组成的运动副,通常用三种接触形式连接起来:即点接触、线接触和面接触。根据两构件的接触情况,将平面运动副分为低副和高副两大类。

1) 低副

两构件之间通过面接触而构成的运动副称为低副。低副接触面积大,承受载荷时压强低且利于润滑,所以低副磨损较轻;低副元素易于加工和保证较高的制造精度;构件用低副连接起来以后,运动灵活性较差。按被连接两构件之间的相对运动形式的不同,低副分为转动副和移动副两种。

(1) 转动副:两构件之间只能产生相对转动的运动副称为转动副,又称铰链,如图 1-2 所示。转动副约束了两个移动的自由度,只保留了一个相对转动的自由度。

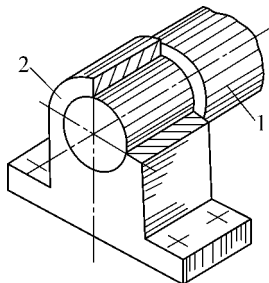


图 1-2 转动副

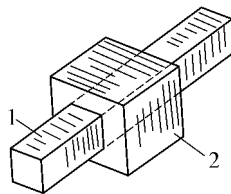


图 1-3 移动副