

国家示范性高职院校建设项目成果



机械制造专业领域

机械原理与机械零件

JIXIE YUANLI YU JIXIE LINGJIAN

■ 张景学 主编

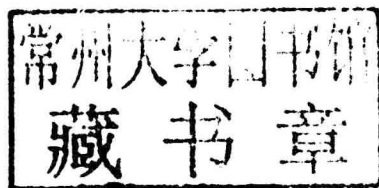


 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国家示范性高职院校建设项目成果

机械原理与机械零件

主 编 张景学
副主编 宁 煜
参 编 朱凤芹 何克祥
王小爱 魏 静
主 审 王保民



机械工业出版社

本书是根据目前高等职业院校机械类专业机械原理与机械零件（机械设计基础）课程教学改革的实际需要，并结合多年来的教学实践经验编写而成的。

全书分为六篇共十六章。第一篇机器与机构组成认识，包括认识机器、平面机构运动简图及自由度；第二篇常用机构的分析与设计，包括平面连杆机构、凸轮机构、间歇机构；第三篇常用机械传动的分析与设计，包括机械传动系统概述、带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轮系；第四篇常用机械连接的分析与设计，包括螺纹联接和螺旋传动、键联接和销联接；第五篇轴系结构的分析与设计，包括轴系零部件的基本知识、轴系的结构设计及强度计算；第六篇机械的平衡与调速。各章后均附有一定数量的实训和设计训练题。

本书主要作为高等职业院校机械类专业用教材，也可供其他相关专业的师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

机械原理与机械零件/张景学主编. —北京：机械工业出版社，
2011

国家示范性高职院校建设项目成果
ISBN 978 - 7 - 111 - 34602 - 9

I. ①机… II. ①张… III. ①机构学 - 高等职业教育 - 教材
②机械元件 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TH111②TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 149738 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
策划编辑：郑丹 王海峰 责任编辑：王海峰 王德艳
版式设计：张世琴 责任校对：任秀丽
责任印制：杨曦
北京京丰印刷厂印刷
2011 年 10 月第 1 版 · 第 1 次印刷
184mm × 260mm · 17 印张 · 417 千字
0 001 — 3 000 册
标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 34602 - 9
定价：32.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010)68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010)88379649

读者购书热线：(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

2007年,国家开始实施100所示范性高等职业院校的建设,高等职业教育的改革全面展开。围绕提高学生的职业素质和核心职业能力这一中心,各高职院校都在专业和课程改革方面进行了有益的探索和实践。本书即为国家示范院校建设中央财政支持建设专业的建设成果之一,也是国家精品建设专业、国家教改试点专业——机械制造与自动化专业的核心教材之一。

本书从培养学生的初步设计能力出发,重点介绍了常用机构、常用机械传动及通用零件设计的基本知识、基本理论和基本方法。在内容取舍上,遵照少而精的原则,既保证了后续课程的需要,又满足了学生今后实际工作及后续发展的需要;对齿轮传动等部分的内容作了进一步的删减,但在各章设计例题方面有所加强。在内容编排上,根据课程自身的知识体系特点,分为六篇十六章;另外,为了使学生对机械设计过程有一个总体认识,篇章顺序基本上按照一个简单机械传动系统的设计程序来排列;而每一章的内容结构为设计案例导入、相关知识介绍、设计案例分析、实训与设计训练。

本书适用于高职院校机械类专业使用。既可用于实训室环境下的授课、实验、设计训练一体化教学,也可用于传统教室环境下的授课、实验、设计训练单独集中教学。在教学实施过程中,建议在每一章开课初就布置设计训练任务,以使案例教学与任务驱动教学两种方法相得益彰。

参加本书编写的人员为:朱凤芹(第三、四、五章),何克祥(第七、八章),宁煜(第十四、十五章),王小爱(第二、十、十一章),魏静(第十二、十三章),张景学(第一、六、九、十六章)。本书由张景学任主编,宁煜任副主编。付兴娥参加了编写组的内部校稿工作,魏静对全书的例题进行了验算。

本书承陕西理工学院王保民教授审阅,提出了宝贵意见,在此表示衷心感谢!

由于编者水平所限,书中定有不当及疏漏之处,敬请各位教师和广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一篇 机器与机构组成认识

第一章 认识机器	1	自由度	6
第一节 机器及其组成	1	第一节 平面机构的组成	6
第二节 机械设计的基本要求及一般 过程	4	第二节 平面机构运动简图	8
实训与练习	5	第三节 平面机构的自由度	11
第二章 平面机构运动简图及		实训与练习	16

第二篇 常用机构的分析与设计

第三章 平面连杆机构	18	第三节 凸轮廓线的设计	41
第一节 平面四杆机构的类型及应用	19	第四节 凸轮机构基本尺寸的确定	45
第二节 平面四杆机构的运动和动力 特性	26	实训与练习	49
第三节 平面四杆机构的设计	29	第五章 间歇机构	52
实训与练习	33	第一节 棘轮机构	52
第四章 凸轮机构	35	第二节 槽轮机构	55
第一节 凸轮机构的类型和应用	35	第三节 不完全齿轮机构	57
第二节 从动件的常用运动规律	38	第四节 凸轮间歇机构	58
		实训与练习	59

第三篇 常用机械传动的分析与设计

第六章 机械传动系统概述	61	第二节 滚子链和链轮	90
第一节 机械传动的类型及性能	62	第三节 链传动的运动特性分析	94
第二节 机械传动系统总体设计	64	第四节 滚子链传动的设计计算	96
实训与练习	67	第五节 链传动的布置、张紧和防护	100
第七章 带传动	72	实训与练习	103
第一节 带传动的类型、特点及应用	72	第九章 齿轮传动	104
第二节 V带与V带轮	73	第一节 齿轮传动的特点及类型	104
第三节 带传动的工作情况分析	76	第二节 齿廓啮合基本定律	106
第四节 普通V带传动的设计计算	80	第三节 渐开线齿廓	107
第五节 带传动的张紧、安装与维护	85	第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基 本参数及几何尺寸	109
实训与练习	88	第五节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮 合传动	112
第八章 链传动	89		
第一节 链传动的类型、特点及应用	89		

第六节 渐开线齿轮的切齿原理·····	114	第三节 蜗杆传动的失效形式、设计 准则、常用材料和精度选择·····	156
第七节 齿轮传动的失效形式与设计 准则·····	119	第四节 蜗杆传动的强度计算·····	157
第八节 齿轮材料与精度选择·····	121	第五节 蜗杆传动的效率、润滑和热 平衡计算·····	159
第九节 标准直齿圆柱齿轮传动的强 度计算·····	123	第六节 蜗杆、蜗轮的结构·····	161
第十节 圆柱齿轮的结构与润滑·····	127	实训与练习·····	165
第十一节 斜齿圆柱齿轮传动·····	132	第十一章 轮系 ·····	166
第十二节 直齿锥齿轮传动·····	140	第一节 轮系的类型·····	166
实训与练习·····	149	第二节 定轴轮系的传动比计算·····	168
第十章 蜗杆传动 ·····	151	第三节 周转轮系的传动比计算·····	170
第一节 蜗杆传动的类型和特点·····	151	第四节 复合轮系的传动比计算·····	173
第二节 蜗杆传动的主要参数及几何 尺寸计算·····	153	第五节 轮系的功用·····	174
		实训与练习·····	176

第四篇 常用机械连接的分析与设计

第十二章 螺纹联接和螺旋传动 ·····	179	实训与练习·····	198
第一节 螺纹的类型和主要参数·····	179	第十三章 键联接和销联接 ·····	200
第二节 螺旋副的摩擦、效率和自锁·····	181	第一节 键联接·····	200
第三节 螺纹联接的类型、预紧和防松·····	183	第二节 花键联接·····	204
第四节 螺栓组联接的结构设计·····	187	第三节 无键联接·····	205
第五节 螺栓组联接的设计计算·····	188	第四节 销联接·····	206
第六节 螺纹联接件的材料和许用应力·····	194	实训与练习·····	207
第七节 螺旋传动·····	196		

第五篇 轴系结构的分析与设计

第十四章 轴系零部件的基本知识 ·····	208	第十五章 轴系的结构设计及 强度计算 ·····	231
第一节 滑动轴承·····	209	第一节 轴系的结构方案设计·····	231
第二节 滚动轴承的类型、代号及选择·····	215	第二节 轴的结构尺寸设计·····	241
第三节 联轴器·····	220	第三节 轴的强度计算·····	245
第四节 离合器·····	225	第四节 滚动轴承的寿命计算·····	248
第五节 轴的分类和材料·····	227	实训与练习·····	253
实训与练习·····	230		

第六篇 机械的平衡与调速

第十六章 机械的平衡与调速 ·····	254	实训与练习·····	262
第一节 刚性转子的平衡·····	254	参考文献 ·····	264
第二节 机械的速度波动及其调节·····	260		

第一篇 机器与机构组成认识

【教学目标】

- 1) 了解机器与机构的组成。
- 2) 能够读懂和绘制简单机械系统的运动简图。
- 3) 能够计算平面机构的自由度，并判断其运动的确定性。

第一章 认识机器

第一节 机器及其组成

一、机器的概念

人类为了满足生活及生产的需要，设计和制造了各种各样的机器，如洗衣机、汽车、内燃机、机床、复印机等等。机器的种类很多，用途各不相同，但它们却有着共同的特征。

图 1-1 所示为单缸四冲程内燃机，它由缸体 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4、齿轮 5 和 6、凸轮 7 和 9、进气阀顶杆 8、排气阀顶杆 10 等组成。燃气推动活塞 2 作往复运动，经连杆 3 转换为曲轴 4 的连续转动。曲轴 4 在输出运动的同时，又通过齿轮 5、6 的啮合（传动比为 2）带动凸轮 7、9 转动，凸轮迫使顶杆 8、10 往复移动，从而控制进、排气阀的启闭。这样，活塞往复四个冲程，曲轴转两周，进、排气阀各启闭一次，依此循环，就把燃料燃烧产生的热能转换为曲轴转动的机械能。

图 1-2 所示为牛头刨床的主体结构，它由电动机 1、小齿轮 2、大齿轮（曲柄）3、滑块 4 和 6、导杆 5、滑枕 7、工作台 8、丝杠 9、床身 10 等部分组成。电动机 1 经带传动和变速器（图中未表示）、齿轮 2 和 3 减速后使曲柄转动，再通过滑块 4 和 6、导杆 5 带动滑枕 7 和刨刀往复移动，从而实现了刨削运动。另一路则通过曲柄、连杆、摇杆、棘轮等（图中未表示）驱动丝杠 9 转动，使工作台

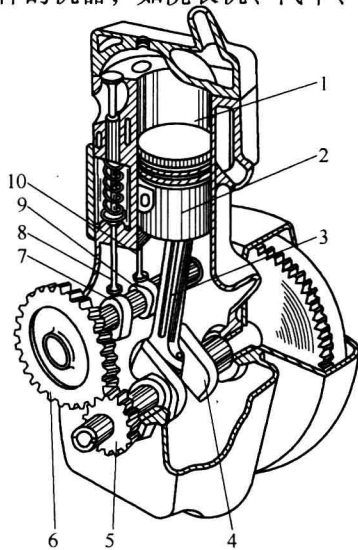


图 1-1 内燃机

- 1—缸体 2—活塞 3—连杆
4—曲轴 5、6—齿轮
7、9—凸轮 8—进气
阀顶杆 10—排气阀顶杆

2 机械原理与机械零件

8（螺母）间歇移动，从而实现了横向进给运动。刨削运动与进给运动相互配合，实现了工件的刨削加工。

由以上两例可以看出，机器具有下列特征：

- (1) 结构特征 它们是人为实物的组合体。
- (2) 运动特征 各实物间具有确定的相对运动。
- (3) 功能特征 可传递或变换能量、物料和信息，以代替或减轻人的劳动。

可见，机器是根据某种使用要求而设计的一种执行机械运动的装置，可用来传递或变换能量、物料和信息。

根据用途的不同，机器可分为以下四类。

(1) 动力机器 如电动机、内燃机、发电机、空气压缩机等，用来实现机械能与其他形式能量间的转换。

(2) 加工机器 如金属加工机床、纺织机、轧钢机、包装机等，主要用来改变物料的形状、尺寸、性质和状态。

(3) 运输机器 如汽车、火车、轮船、飞机等，主要用来搬运人和物料。

(4) 信息机器 如摄像机、复印机、印刷机、打印机、绘图机等，主要用来获取或处理信息。

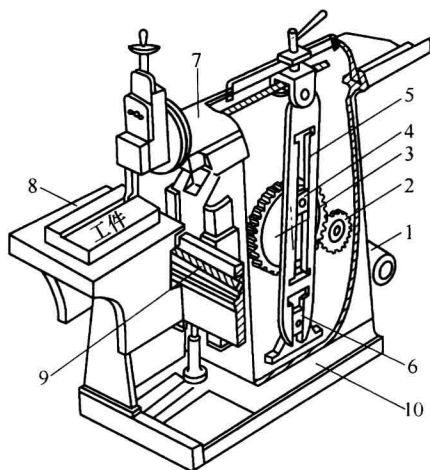


图 1-2 牛头刨床

- 1—电动机 2—小齿轮 3—大齿轮
4、6—滑块 5—导杆 7—滑枕
8—工作台 9—丝杠 10—床身

二、机器的结构组成

在一台现代化的机器中，常会包含机械、电气、液压、气动、润滑、冷却、信号、控制、检测等多个系统，但是机器的主体，仍然是它的机械系统。无论分解哪一台机器，它的机械系统总是由一些机构所组成；每个机构又是由若干构件和零件所组成，如图 1-3 所示。



图 1-3 机器的结构组成

1. 机构

具有确定相对运动的实物组合体称为机构。图 1-4 所示为单缸四冲程内燃机包含的四个机构，图 1-4a 是缸体 1、活塞 2、连杆 3 和曲轴 4 组成的连杆机构，它实现了移动与转动的转换；图 1-4b 是齿轮 5 和 6 组成的齿轮机构，它实现了减速和换向；图 1-4c、d 分别是凸轮 7 和顶杆 9、凸轮 8 和顶杆 10 组成的凸轮机构，它们实现了转动与移动的转换。

可见，机构具有机器的前两个特征，其主要功用是传递或转换运动。故仅从结构和运动的观点来看，机器与机构并无区别，机器是一个比较复杂的机构而已。通常，我们把机器和机构统称为机械。在各种机械中广泛使用的一些机构称为常用机构，如连杆机构、齿轮机构和凸轮机构等。

2. 构件

机构中每一个独立运动的实物称为构件。如在图 1-4a 所示的内燃机连杆机构中，缸体 1、活塞 2、连杆 3 和曲轴 4 都是构件。从运动的角度看，构件是运动的最小单元。所以，机构是具有确定相对运动的构件组合体。

3. 零件

若将构件进行拆分，拆到不能再拆的最小单元就是零件。图 1-5a 所示为内燃机的连杆构件，图 1-5b 是连杆的分解图。连杆包含连杆体 1、轴瓦 2、连杆盖 3、螺栓 4、销 5、轴套 6 等多个零件，这些零件之间为静连接，不能产生相对运动。从制造的角度看，零件是制造的最小单元。所以，构件是零件的刚性组合体，它至少包含一个零件。

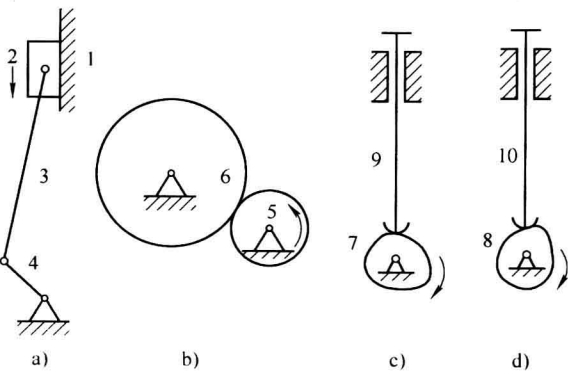


图 1-4 单缸四冲程内燃机包含的机构

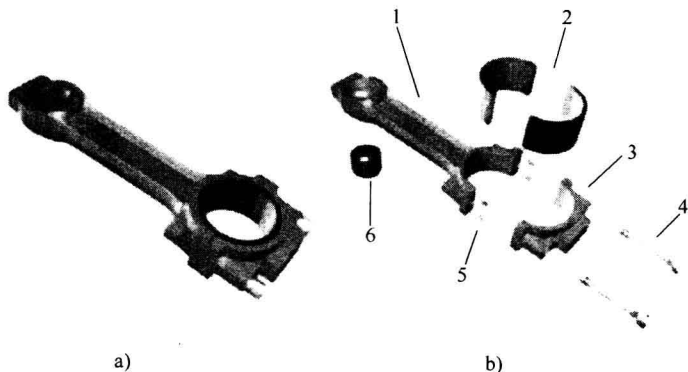


图 1-5 内燃机连杆包含的零件

1—连杆体 2—轴瓦 3—连杆盖 4—螺栓 5—销 6—轴套

在各种机械中广泛使用的零件称为通用零件，如螺栓、齿轮、轴等。只在特定类型机械中使用的零件称为专用零件，如内燃机中的活塞、曲轴等。另外，把由一组协同工作的零件所组成的独立制造或独立装配的组合体称为部件，如滚动轴承、离合器、减速器等。

三、机器的功能组成

机器的种类很多，形式各异，但就其功能而言，任何一部完整的机器主要由四个部分组成，如图 1-6 所示。

(1) 原动机部分 是机器动力的来源，常用的原动机有电动机和内燃机两大类，此外还有液压缸或气动缸等。

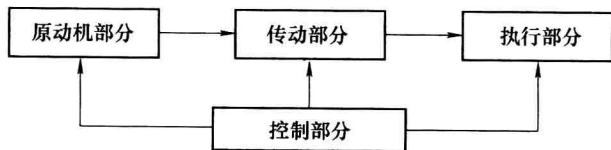


图 1-6 机器的功能组成

4 机械原理与机械零件

(2) 执行部分 处于整个传动路线的终端,是直接完成机器功能的部分。一部机器可以只有一个执行部分,也可以有几个执行部分。

(3) 传动部分 介于原动机和执行部分之间,作用是把原动机的运动形式、运动及动力参数转变为执行部分所需要的运动形式、运动及动力参数。机器的传动部分主要使用机械传动系统,如各种机构,此外也使用流体或电力传动系统。

(4) 控制部分 作用是控制机器各部分的运动,使操作者能随时实现或终止机器的各种预定功能。现代机器的控制系统,一般既包含机械控制系统,又包含电子控制系统,其作用包括监测、调节、计算机控制等。

以牛头刨床为例,电动机是原动机;带传动、变速器、导杆机构、曲柄摇杆机构、棘轮机构、螺旋机构等组成传动部分;刀架和工作台是执行部分;电气开关、各种手柄等组成控制部分。

第二节 机械设计的基本要求及一般过程

一、机械设计的基本要求

机械设计一般应满足如下的基本要求。

(1) 使用功能要求 所设计的机械应具备预定使用功能,这是最主要的要求。

(2) 经济性要求 所设计的机械应在设计、制造和使用的全过程中都有低的成本。为此应采用恰当的设计方法,缩短设计周期等,以降低设计成本;选用适当的材料,减小设备的尺寸、重量,改善零件的制造工艺性等,以降低制造成本;提高设备的生产率,降低其运行中的消耗和管理费用等,以降低使用成本。

(3) 社会性要求 所设计的机械不应对人、环境和社会造成消极影响。要考虑操作者的方便性、安全性和舒适性,造型应美观,色彩应宜人,要符合国家有关的环境保护等法规。

(4) 可靠性要求 所设计的机械在规定的寿命期限内和预期的环境条件下,正常工作的概率要高,故障率要低。

二、机械设计的一般过程

机械设计一般要经过表 1-1 所示的几个阶段。

表 1-1 机械设计的一般过程

设计阶段	设计工作内容	应完成的报告或图样
计划阶段	1) 根据市场需求或受用户委托,或由上级下达,提出设计任务 2) 进行可行性研究,重大问题应召开相关方面的专家参加论证会 3) 编制设计任务书	1) 提出可行性论证报告 2) 提出设计任务书。任务书应尽可能详细具体,它是以后设计、评审、验收的依据 3) 签定技术经济合同
方案设计阶段	1) 根据设计任务书,通过调查研究和必要的试验分析,提出若干个可行的方案 2) 经过分析对比、评价、决策,确定最佳方案	提出最佳方案的原理图和机构运动简图

(续)

设计阶段	设计工作内容	应完成的报告或图样
技术设计阶段	1) 运动学、动力学、工作能力的分析与设计 2) 绘制总装配图、部件装配图和零件图 3) 编制各种技术文件	1) 提出全套完整的设计图样, 包括外购件明细表 2) 提出设计计算说明书 3) 提出使用维护说明书
试制试验阶段	通过试制、试验发现问题, 加以改进	1) 提出试制、试验报告 2) 提出改进措施
投产以后	1) 收集用户反馈意见, 研究使用中发现的问题, 进行改进 2) 收集市场变化情况	1) 对原机型提出改进措施 2) 提出设计新型号的建议

实训与练习

1-1 常用机构和通用零件感性认识

在实验室参观常用机构陈列柜、通用零件陈列柜和教学插齿机。通过观察, 了解常用机构和通用零件的类型及应用, 建立对机构和零件的感性认识。

1-2 机器组成感性认识

在校办工厂参观万能工具磨床的装配过程。通过观察和技术人员的讲解, 了解万能工具磨床的用途、组成及工作原理, 认识原动机部分、传动部分、执行部分和控制部分在机器中的作用, 获得机器、机构、构件和零部件的真实感受。

1-3 机器组成创意描述

用创意性的语言、图形或符号, 与人体等进行关联对比, 表示出机器、机构、构件、零件之间的关系, 原动机、传动部分、执行部分、控制部分的关系。

第二章 平面机构运动简图及自由度

【案例导入】

图 2-1 所示为一简易冲床的初步设计方案。设计者的意图是：运动由凸轮 1 输入，凸轮绕轴 O 连续转动，推动杠杆 2 绕轴 A 往复摆动，杠杆通过铰链 B 带动冲头 3 沿铅垂线往复移动，从而实现对工件的冲压加工。试绘出该机构的运动简图，分析其能否实现设计意图。若不能，提出改进方案。

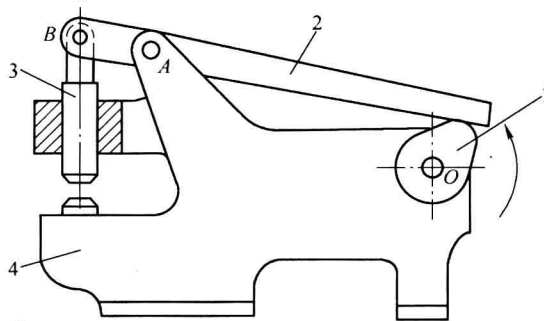


图 2-1 简易冲床

1—凸轮 2—杠杆 3—冲头 4—床身

【初步分析】

机器依靠构件的运动来工作，故其要实现预期的功能，各构件之间应具有确定的相对运动规律。此方案中，当凸轮 1 绕轴 O 转动时，由于连接的约束作用，铰链 B 的中心既要随杠杆 2 绕轴 A 转动，又要随冲头 3 沿铅垂线移动，存在运动干涉。因此，该机构无法运动，也就不能实现设计意图。

在机构中，若其所有构件均在同一平面或相互平行的平面中运动，称为平面机构，否则称为空间机构。本章主要讨论平面机构的组成、运动简图及其具有确定运动的条件。

第一节 平面机构的组成

一、构件

如前所述，任何机构都是由若干个构件组合而成的。

二、运动副

机构中的每个构件都以一定的方式与其他构件相互连接，但是这种连接不是固定连接，

而是能产生一定相对运动的活动连接。这种由两个构件组成的活动连接称为运动副。而两构件上构成运动副的接触表面称为运动副元素。

根据组成运动副两构件之间相对运动的不同，运动副可分为平面运动副和空间运动副。根据运动副两元素接触情况的不同，运动副可分为低副和高副。

1. 平面低副

两运动副元素为面接触的运动副称为低副。根据组成低副两构件之间相对运动形式的不同，低副又可分为转动副和移动副两种。

(1) 转动副 两构件间只能产生相对转动的运动副称为转动副，又称回转副或铰链，如图 2-2a 所示。

(2) 移动副 两构件间只能产生相对移动的运动副称为移动副，如图 2-2b 所示。

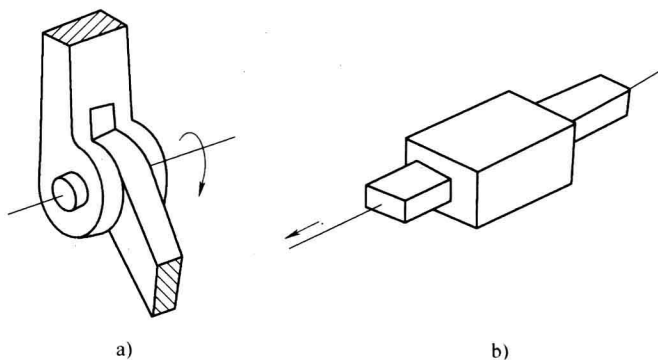


图 2-2 平面低副

a) 转动副 b) 移动副

2. 平面高副

两运动副元素为点或线接触的运动副统称为高副，如图 2-3a 中的车轮与钢轨、图 2-3b 中的凸轮与从动件（即构件 2）、图 2-3c 中的齿轮啮合等分别在接触点 A 处组成高副。

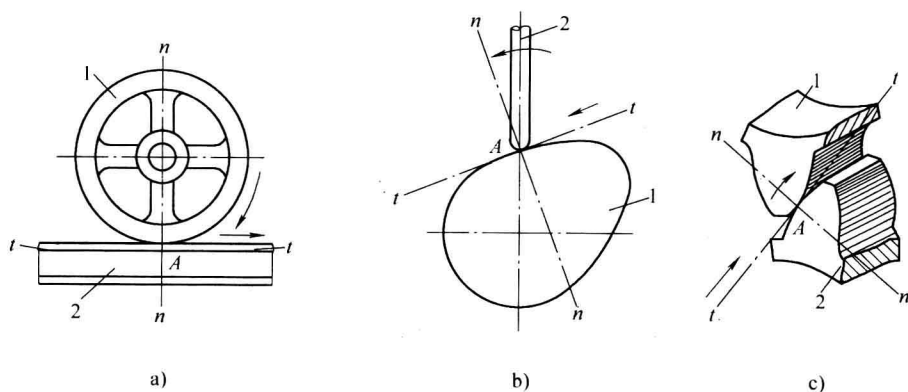


图 2-3 平面高副

除上述平面运动副之外，机械中常见的空间运动副有球面副（见图 2-4a）和螺旋副（见图 2-4b）。

三、运动链

多个构件通过运动副的连接而组成的可动系统称为运动链。运动链分为闭链（见图 2-5a）和开链（见图 2-5b）两种类型。传统机械多采用闭链；生产线上的机械手和机器人多采用开链。

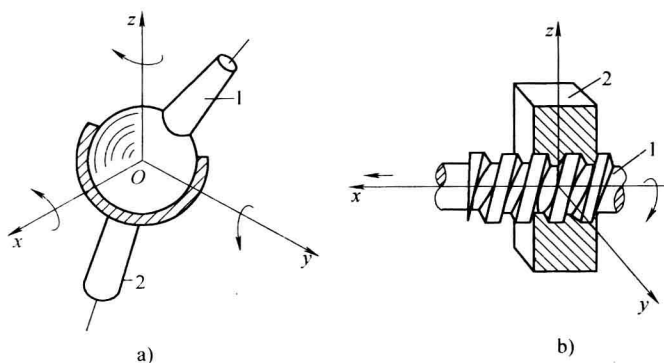


图 2-4 空间运动副

a) 球面副 b) 螺旋副

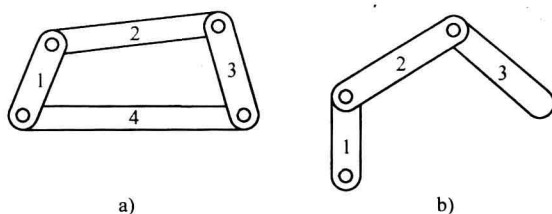


图 2-5 运动链

a) 闭链 b) 开链

四、机构

在运动链中，将某一构件固定作为机架，而让另一个或几个构件按照给定的运动规律相对于机架运动，若运动链中其余各构件都具有确定的相对运动，则这种运动链便成为机构。机构中按给定的已知运动规律独立运动的构件称为原动件，其余活动构件称为从动件。从动件的运动规律取决于原动件的运动规律和机构的组成情况。从动件中直接执行生产任务的构件称为执行件。

第二节 平面机构运动简图

一、机构运动简图的概念

表示机构组成和各构件间真实运动关系的简单图形称为机构运动简图。借助机构运动简图，可以方便地分析现有机械或设计新机械。

把一个实际机构抽象为运动简图，其总的原则是保证机构的运动特性不变。由机构的组成可知，一个机构的运动情况主要与六个因素有关，即原动件的运动规律、构件数目、运动副的类型、运动副的数目、运动尺寸（即各运动副之间的相对位置尺寸）和机架，而与构件的外形、截面尺寸、运动副的具体构造等因素无关。为此，在绘制机构运动简图时，只需表示出该六个因素即可，而其余因素均可忽略。

二、运动副及构件的表示方法

机构运动简图是一种工程语言，运动副和构件的符号应符合国家标准。常用平面运动副的符号见表 2-1；一般构件的表示方法见表 2-2；常用机构运动简图的符号见表 2-3。

表 2-1 常用平面运动副的符号

	转动副	移动副	高副
两构件均为活动构件			
两构件之一为机架			

表 2-2 一般构件的表示方法

同一构件	
两副构件	
三副构件	

表 2-3 常用机构运动简图的符号

支架上的电动机		带传动		链传动	
---------	--	-----	--	-----	--

(续)

外啮合圆柱齿轮传动		内啮合圆柱齿轮传动		齿轮齿条传动	
锥齿轮传动		圆柱蜗杆传动		凸轮机构	

三、机构运动简图的绘制步骤

绘制给定机构的运动简图，一般遵循以下三个步骤。

(1) 分析机构组成 首先找出机架、原动件和执行件，然后由原动件开始，沿着运动传递路线，依次分析各构件间的连接方式及相对运动形式，从而确定构件的数目、运动副的类型及数目。

(2) 测量运动尺寸 逐一测量各构件上运动副之间的位置尺寸。

(3) 绘制运动简图 选择适当的投影面（一般为运动平面）和原动件的位置，采用构件和运动副的符号，按一定的比例绘制出机构运动简图，并标出原动件符号（代表运动方向的箭头）、构件及运动副编号。

例 2-1 绘制图 2-6a 所示牛头刨床主体运动机构的运动简图。

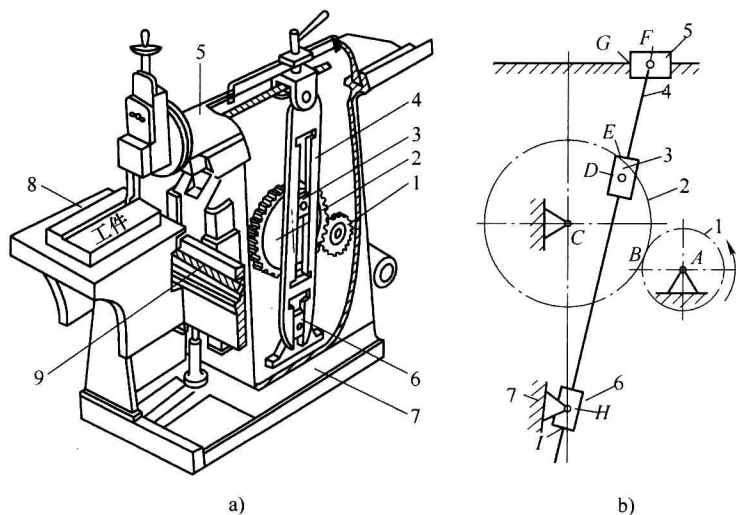


图 2-6 牛头刨床

1、2—齿轮 3、6—滑块 4—导杆 5—滑枕 7—床身 8—工件 9—丝杠

解 (1) 分析机构组成 牛头刨床主体运动机构的机架是床身 7，原动件是齿轮 1，执

行件是滑枕 5。从运动传递顺序可以看出,它由齿轮 1 和 2、滑块 3 和 6、导杆 4、滑枕 5 和床身 7 共 7 个构件组成。齿轮 1 与机架 7 之间构成转动副,齿轮 1、2 之间构成高副,齿轮 2 与滑块 3 之间构成转动副,滑块 3 与导杆 4 之间构成移动副,导杆 4 与滑枕 5 之间构成转动副,滑枕 5 与机架 7 之间构成移动副,导杆 4 与滑块 6 之间构成移动副,滑块 6 与机架 7 之间构成转动副,故本机构共有 5 个转动副、3 个移动副和 1 个高副。

(2) 测量运动尺寸 逐一测量各构件上运动副之间的位置尺寸。

(3) 绘制运动简图 选择机构的运动平面为投影面,按比例作出其运动简图,如图 2-6b 所示。

机械设计中,未严格按比例绘制、仅用于定性分析的机构运动简图,称为机构示意图。

第三节 平面机构的自由度

为了使所设计的机构能够运动,并具有确定的运动规律,必须研究机构的自由度和机构具有确定运动的条件。

一、平面机构自由度计算

1. 构件的自由度

如图 2-7 所示,设有任意两个构件,构件 2 固定于平面坐标系 Oxy 上,当两构件尚未通过运动副连接之前,构件 1 相对于构件 2 能产生 3 个独立的运动,即沿 x 轴和 y 轴的移动以及绕任一垂直于 Oxy 平面的轴线的转动。这种两构件间可能产生的独立的相对运动数目称为构件的自由度。显然,一个作平面运动的自由构件具有 3 个自由度。

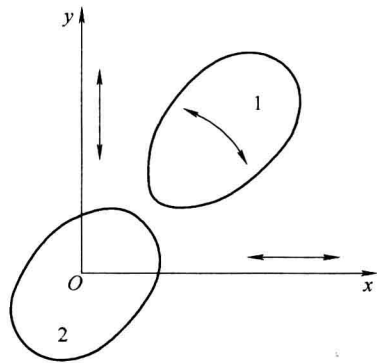


图 2-7 构件的自由度

2. 运动副的约束

当两构件通过运动副连接之后,它们之间的某些相对运动会受到限制。运动副的这种对相对运动的限制作用称为约束,所限制的运动数目称为约束数。至于运动副限制了哪些相对运动,则取决于运动副的类型。

如图 2-2a 所示,当两构件组成转动副时,限制了两个相对移动,保留了一个相对转动;如图 2-2b 所示,当两构件组成移动副时,限制了一个相对移动和一个相对转动,保留了一个相对移动。由此可见,一个平面低副引入 2 个约束,保留了 1 个自由度。

如图 2-3 所示,当两构件组成平面高副时,限制了沿接触点 A 处公法线 $n-n$ 方向上的相对移动,保留了沿公切线 $t-t$ 方向上的相对移动和绕 A 点的相对转动。由此可见,一个平面高副只引入 1 个约束,保留了 2 个自由度。

3. 机构的自由度

机构中的所有活动构件相对于机架所能发生的独立运动的总数目,称为机构的自由度。

设一个平面机构共有 n 个活动构件(不能包括机架)、 P_L 个低副和 P_H 个高副。如上所述,一个平面自由构件具有 3 个自由度,那么, n 个活动构件尚未通过运动副连接之前共有 $3n$ 个自由度。由于一个低副引入 2 个约束,一个高副引入 1 个约束,那么它们共引入 $(2P_L$