



JIXIE JIGU
SHIYAN JIAOCHENG



PUTONG GAODENG YUANXIAO
JIXIELEI SHISANWU GUIHUA JIAOCAI

普通高等院校机械类“十三五”规划教材

机械基础实验教程

JIXIE JICHU SHIYAN JIAOCHENG

主 编 拓耀飞

副主编 曹金玲 孙志勇 刘建勃



西南交通大学出版社

普通高等院校机械类“十三五”规划教材

机械基础实验教程

主 编 拓耀飞

副主编 曹金玲 孙志勇 刘建勃

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

机械基础实验教程 / 拓耀飞主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2016.9

普通高等院校机械类“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5643-5061-1

I. ①机… II. ①拓… III. ①机械学-实验-高等学校-教材 IV. ①TH11-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 228826 号

普通高等院校机械类“十三五”规划教材

机械基础实验教程

主编 拓耀飞

责任编辑 李芳芳
特邀编辑 刘亚萍
封面设计 何东琳设计工作室

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话 028-87600564 028-87600533
邮政编码 610031
网址 <http://www.xnjdcbs.com>

印刷 四川森林印务有限责任公司
成品尺寸 185 mm × 260 mm
印张 9.25
字数 230 千
版次 2016 年 9 月第 1 版
印次 2016 年 9 月第 1 次
书号 ISBN 978-7-5643-5061-1
定 价 26.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

“机械基础实验”是高等院校机械类及近机械类专业开设的一门技术基础实验课程，该课程在整个教学体系中占有重要地位，它对于培养学生分析问题和解决问题的能力以及创新思维具有重要的作用和意义。近年来，伴随高校教学体系的改革，为加强实验教学和培养学生能力培养，一些院校将实验课从原来的理论课程中独立出来，单独设为一门课程。为了适应这种改革，有必要编写一本与实验相配合的实验教材，以期对学生的实验内容、实验方法等进行全面指导，从而切实提高学生分析问题、解决问题的能力 and 实验操作技能。基于此，编写组在认真总结多年实验教学的基础上，编写了本教材。

本书涵盖机械原理、机械设计和工程力学实验，所开设的实验均是这些课程较为经典的实验。本书在编写过程中，立足于应用型本科院校的人才培养目标，注重培养学生创新、应用的能力以及分析问题和解决问题的能力。每个实验均涉及了预备知识、实验目的、实验设备及仪器、实验原理与内容、实验步骤、注意事项、思考题和实验报告样式等八个方面的内容。这些内容的安排，保证了每个实验内容都能成为一个完整的体系，对于相关知识体系的构建、分析和解决问题能力的培养、实验的正确操作和实验过程中设备和人员的安全保障具有重要作用。

本书可作为普通高等院校应用型本科机械类、近机械类专业的机械基础实验教材，也可供有关教师、工程技术人员和科研人员参考。

本书是榆林学院机械设计及其自动化特色专业和专业综合改革试点建设的最新成果，本书的出版得到了榆林学院教材出版专项经费支助。本书由拓耀飞担任主编，曹金玲、孙志勇、刘建勃担任副主编。参与本书编写的有：拓耀飞（绪论、实验六～实验十）、曹金玲（实验一～实验四、实验十四～实验十八）、孙志勇（实验十一、十二、十三）、刘建勃（实验五）。全书由刘建勃统稿。

本书在编写过程中，参阅了以往的同类教材、相关文献和实验设备资料，在此特向有关作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

2016年5月

目 录

绪 论	1
第一部分 机械原理实验	3
实验一 机构认知实验	3
实验二 机构运动简图测绘实验	7
实验三 渐开线齿轮范成原理实验	12
实验四 刚性转子动平衡实验	18
实验五 机构运动创新设计实验	25
第二部分 机械设计实验	48
实验六 机械设计认知实验	48
实验七 皮带传动实验	52
实验八 液体动压润滑轴承性能实验	58
实验九 减速器拆装实验	73
实验十 机械传动性能综合测试实验	78
第三部分 工程力学实验	88
实验十一 金属材料拉伸实验	89
实验十二 金属材料压缩实验	97
实验十三 金属材料扭转实验	102
实验十四 纯弯曲梁横截面上正应力的分布规律实验	108
实验十五 弯扭组合变形下主应力测定实验	119
实验十六 材料弹性模量 E 和泊松比 μ 的测定实验	126
实验十七 偏心拉伸实验	133
实验十八 压杆稳定实验	138
参考文献	143

绪 论

一、机械基础实验的重要性

实验一般是指根据一定的目的，运用相关的仪器设备，在人为控制条件下，模拟自然现象来进行研究和分析，从而认识自然界事物本质和规律的方法。在科学技术飞速发展的今天，实验在科技发展中的地位和作用更为明显，许多高科技成果，无一例外都是通过实验获得的，因此，实验已成为自然科学理论的直接基础。

实验作为理工科教学活动的重要组成部分，对于促进学生进一步理解课堂所学理论知识，掌握科学的研究方法，培养学生实验技能和创新能力方面，具有十分重要的地位和作用。特别是在应用型人才的培养中，实验的地位和作用更加突出。

机械基础实验是根据机械原理、机械设计和工程力学等机械基础类课程教学大纲对学生实践能力的培养要求开设的。该课程是工科院校机类和近机类专业学生一门重要的技术基础课，开设该实验课程对于培养学生分析问题和解决问题的能力以及创新思维具有重要的作用和意义。

二、机械基础实验课程的性质和任务

机械基础实验是培养学生具有初步的实验设计能力、基本参数测定和相关测试仪器操作能力和实验分析能力的技术基础课程，是机械基础类课程教学的重要实践性教学环节之一，它是深化感性认识、理解抽象概念、应用基础理论的重要途径。

课程的任务主要是培养学生以下几个方面的技能与素质：

(1) 熟悉机械工程领域基础实验的常用工具、仪器和设备的工作原理，掌握相关工具、仪器和设备的使用方法和操作技能。

(2) 掌握机械基础各个基本实验的实验原理、方法、调试技术、测试技术、数据采集和误差分析等基本理论和基本技能。

(3) 培养严格遵守实验操作规程的工作素质，养成不怕困难、敢于创新和实事求是的科学态度。

(4) 养成善于观察、分析事物和现象的良好习惯，培养自我学习、开展实验研究和设计实验的能力。

(5) 培养良好的表达能力、独立工作能力和团队合作精神。

三、机械基础实验课程的主要内容

机械基础实验课程主要包括机械原理、机械设计、工程力学课程的相关实验。不同专业的学生可根据情况选择相应的实验内容。

实验课程中的实验分为基本实验和综合实验两大类。基本实验主要是一些传统的典型的验证性实验。这类实验所占比重相对较大，主要是加深和巩固学生对所学知识的理解，培养学生基本的实验操作技能。综合性实验要求学生能综合应用多门理论课程的知识，根据预定的实验目标，利用所提供的仪器设备，进行实验设计并完成数据测试和分析报告。此类实验的主要目的在于鼓励学生发挥想象力、创造力，提出实验的新思路和新方法，从而培养学生分析问题、解决问题的能力 and 创造精神。

课程中关于机械原理实验包括机构认知实验、机构运动简图测绘实验、渐开线齿轮范成原理实验、刚性转子动平衡实验和机构运动创新设计实验等 5 个实验；机械设计实验主要包括皮带传动实验、减速器拆装实验和机械传动性能综合测试实验等 5 个实验；工程力学实验开设了金属材料拉伸实验、金属材料压缩实验、金属材料扭转实验和薄壁圆筒在弯扭组合变形下主应力测定实验等 8 个实验。

四、机械基础实验课程对学生的要求

(1) 实验前要做好本次实验的预习工作，要对实验目的、原理与内容、仪器设备的操作使用等方面认真学习。

(2) 在实验的过程当中，要遵守实验室的各种规章制度，不要做与实验无关的事情。

(3) 实验前要对实验设备进行详细的检查，实验做完后要及时切断电源，将仪器设备工具等整理摆放好，发现丢失或损坏应立即报告。

(4) 遵守仪器设备的操作规程，注意人身和设备的安全。学生不严格遵守安全操作规程、造成他人或自身受到伤害的，由本人承担责任；造成仪器损坏的应按照规定进行赔偿。

(5) 实验前后认真填写实验签到表、实验运行记录表、设备使用记录表，实验完毕后离开实验室前，由指导老师的数据记录纸上签字后方可离开。

(6) 实验完毕后要保持工作台面干净整洁并要搞好实验室卫生。

五、学习方法

(1) 实验前一定要认真做好实验的预习，做到理解实验原理、熟悉实验步骤、掌握操作要领、领会注意事项，要对整个实验做到心中有数。

(2) 实验时，在切实掌握操作方法和步骤的基础上，自己动手完成实验，以培养动手能力和提高操作技能。

(3) 要带着预习时的问题进行实验，实验时要仔细观察实验现象，有意识地对实验过程中发现的问题和现象进行思考，以提高分析、解决问题的能力。

(4) 要善于和同组的同学共同配合完成实验，以培养团队合作精神。

(5) 实验完毕后要认真撰写实验报告，通过对实验过程和实验结果的分析 and 总结，不断提升自己的表达能力。

第一部分

机械原理实验

机械原理实验是机械原理课程的重要实践性环节，通过实验不仅可以验证课堂所学理论、加深对理论知识的理解，而且可以培养学生的动手能力、观察分析能力和勇于探索的创新精神。

本部分共包含 5 个实验，具体有机构认知实验、机构运动简图的测绘实验、齿轮范成实验、刚性转子的动平衡实验和机构运动创新设计实验。该部分实验能帮助学生理解课程内容，同时要求学生综合运用所学知识完成实验要求。

实验一 机构认知实验

一、预备知识

“机械原理”的研究对象是“机械”，机械是机器和机构的总称。机器是由各种各样的机构组成，机构是机器的运动部分，即剔除了与运动无关的因素而抽象出来的运动模型。《机械原理》是研究机械的课程，它是以《高等数学》《普通物理》《机械制图》和《理论力学》等课程为基础的一门课程，旨在通过机构认知了解常用机构的组成、运动转换形式以及在实际机械中的应用情况，从而为后续课程的学习打下坚实的基础。

二、实验目的

(1) 配合课堂教学及课程进度，为学生展示大量丰富的实际机械、机构模型、机电一体化设备及创新设计实例，使学生对实际机械系统增加感性认识，加深对所学知识的理解，初步了解《机械原理》课程所研究的各种常用机构的结构、类型、特点及应用实例。

(2) 开阔眼界，拓宽思路，启迪学生的创造性思维并激发学生创新的欲望，培养学生最基本的观察能力、动手能力和创造能力。

三、实验设备及仪器

机械原理陈列柜如图 1-1 所示。



图 1-1 机械原理陈列柜

四、实验原理与内容

1. 对机器的认识

通过实物模型和机构的观察，学生可以认识到机器是由一个机构或几个机构按照一定运动要求组合而成的，所以只要掌握各种机构的运动特性，再去研究任何机器的特性就不困难了。在机械原理中，运动副是以两构件的直接接触形式的可动连接及运动特征来命名的，如高副、低副、转动副、移动副等。

2. 平面四杆机构

平面连杆机构中结构最简单、应用最广泛的是四杆机构。四杆机构分成三大类：铰链四杆机构、单移动副机构和双移动副机构。

(1) 铰链四杆机构：分为曲柄摇杆机构、双曲柄机构、双摇杆机构，即根据两连架杆为曲柄或摇杆来确定。

(2) 单移动副机构：它是以一个移动副代替铰链四杆机构中的一个转动副演化而成的，可分为曲柄滑块机构、曲柄摇块机构、转动导杆机构及摆动导杆机构等。

(3) 双移动副机构：它是带有两个移动副的四杆机构，把它们倒置也可得到：曲柄移动导杆机构、双滑块机构及双转块机构。

3. 凸轮机构

凸轮机构常用于把主动构件的连续运动，转变为从动件严格地按照预定规律的运动。只要适当设计凸轮轮廓线，便可以使从动件获得任意的运动规律。由于凸轮机构结构简单、紧凑，因此广泛应用于各种机械、仪器及操纵控制装置中。

凸轮机构主要由三部分组成：凸轮（它有特定的廓线）、从动件（它由凸轮轮廓线控制）及机架。

凸轮机构的类型较多，学生在参观这部分时应了解各种凸轮的特点和结构，找出其中的共同特点。

4. 齿轮机构

齿轮机构是现代机械中应用最广泛的一种传动机构。它具有传动准确、可靠、运转平稳、承载能力大、体积小、效率高等优点，广泛应用于各种机器中。根据轮齿的形状齿轮分为：直齿圆柱齿轮、斜齿圆柱齿轮、圆锥齿轮及蜗轮、蜗杆。根据主、从动轮的两轴线相对位置，齿轮传动分为平行轴传动、相交轴传动、交错轴传动三大类。

(1) 平行轴传动的类型：外、内啮合直齿齿轮机构、斜齿圆柱齿轮机构、人字齿轮机构、齿轮齿条机构等。

(2) 相交轴传动的类型：圆锥齿轮机构，轮齿分布在一个截锥体上，两轴线夹角常为 90° 。

(3) 交错轴传动的类型：螺旋齿轮机构、圆柱蜗轮蜗杆机构、弧面蜗轮蜗杆机构等。

在参观这部分时，学生应注意了解各种机构的传动特点、运动状况及应用范围等。

齿轮基本参数有齿数 z 、模数 m 、分度圆压力角 α 、齿顶高系数 h_a^* 、顶隙系数 c^* 等。

参观这部分时，学生需要掌握：什么是渐开线，渐开线是如何形成的，什么是基圆和渐开线发生线，并注意观察基圆、发生线、渐开线三者间关系，从而得出渐开线有什么性质。

再就观察摆线的形成，要了解什么是发生圆，什么是基圆，动点在发生圆上位置发生变化时，能得到什么样轨迹的摆线。

同时还要通过参观总结出：齿数、模数、压力角等参数变化对齿形有何影响。

5. 周转轮系

通过各种类型周转轮系的动态模型演示，学生应该了解什么是定轴轮系，什么是周转轮系；根据自由度不同，周转轮系又分为行星轮系和差动轮系，它们有什么差异和共同点；差动轮系为什么能将一个运动分解为两个运动或将两个运动合成为一个运动。

周转轮系的功用、形式很多，各种类型都有它自己的缺点和优点。在我们今后的应用中应如何避开缺点、发挥优点等都是需要学生实验后认真思考和总结的问题。

6. 其他常用机构

其他常用机构常见的有棘轮机构、摩擦式棘轮机构、槽轮机构、不完全齿轮机构、凸轮式间歇运动机构、万向节及非圆齿轮机构等。通过各种机构的动态演示，学生应知道各种机构的运动特点及应用范围。

7. 机构的串、并联

展柜中展示有实际应用的机器设备、仪器仪表的运动机构。从这里可以看出，机器都是由一个或几个机构按照一定的运动要求串、并联组合而成的。所以在学习机械原理课程中一定要掌握好各类基本机构的运动特性，才能更好地去研究任何机构（复杂机构）的特性。

五、注意事项

(1) 注意人身安全；不要在实验室内跑动或打闹，以免被设备碰伤；特别应注意摇动设备时不要轧到自己或别人的手。

(2) 爱护设备；摇动设备动作要轻，以免损坏设备；一般不要从设备或展台上拿下零件；若拿出零件，看完后应按原样复原，避免零件丢失。

实验二 机构运动简图测绘实验

一、预备知识

从分析机构的组成可知，任何机构都是由许多构件通过运动副的连接构成的。这些组成机构的构件其外形和结构往往是非常复杂的，但决定机构各部分之间相对运动关系的是原动件的运动规律、运动副类型及运动副相对位置的尺寸，而不是构件的外形（高副机构的轮廓形状除外）、断面尺寸以及运动副的具体结构。因此，为了便于对机构进行分析或设计新机构，可以撇开构件、运动副的外形和具体结构，而只用简单的线条和符号来表示构件和运动副，然后按比例定出各运动副的位置，以此来表示机构的组成和运动情况。这种表示机构相对运动关系的简单图形称为机构运动简图。掌握机构运动简图的绘制方法是工程技术人员进行机构设计、机构分析、方案讨论和交流所必需的。

二、实验目的

- (1) 初步掌握根据实际机器或机构模型绘制机构运动简图的技能。
- (2) 验证和巩固机构自由度的计算方法。

三、实验设备及仪器

- (1) 若干个机构模型。
- (2) 自备三角尺、圆规、铅笔、橡皮和草稿纸等。

四、实验原理与内容

机构的运动简图是工程上常用的一种图形，是用符号和线条来清晰、简明地表达出机构的运动情况，使人对机器的动作一目了然。在机器中尽管各种机构的外形和功用各不相同，但只要是同种机构，其运动简图都是相同的。

机构的运动仅与机构所具有的构件数目和构件所组成的运动副的数目、类型、相对位置有关。因此，在绘制机构运动简图时，可以不考虑构件的复杂外形、运动副的具体构造，而用简单的线条和规定的符号（见表 1-1）来代表构件和运动副，并按一定的比例尺寸表示各运动副的相对位置，画出能准确表达机构运动特性的机构运动简图。

表 1-1 常用平面运动副符号

名称		符号
低副	回转副	
	移动副	
	螺旋副	
高副	凸轮副	
	齿轮副	
构件	有运动副元素的活动构件	
	机架	

五、实验方法与步骤

1. 分析机构的运动情况，判别运动副的性质

通过观察和分析机构的运动情况和实际组成，先搞清楚机构的原动部分和执行部分，使其缓慢运动，然后循着运动传递的路线，找出组成机构的构件，弄清各构件之间组成的运动副类型、数目及各运动副的相对位置。

2. 恰当地选择投影面

选择时应以能简单、清楚地把机构的运动情况表示清楚为原则，一般选机构中多数构件的运动平面为投影面，必要时也可以就机械的不同部分选择两个或多个投影面，然后展开到同一平面上。

3. 选择适当的比例尺

根据机构的运动尺寸，选择适当的比例尺 μ_l ，使图面匀称，先确定出各运动副的位置（如转动副的中心位置、移动副的导路方位及高副接触点的位置等），并画上相应的运动副符号，然后用简单的线条和规定的符号画出机构运动简图，最后要标出构件号数、运动副的代号字母以及原动件的转向箭头。

4. 计算机构自由度并判断该机构是否具有确定运动

在计算机构自由度时要正确分析该机构中有几个活动构件、有几个低副和几个高副。并在图上指出机构中存在的局部自由度、虚约束及复合铰链，在排除了局部自由度和虚约束之后，再利用公式计算机构的自由度，检查计算的自由度数是否与原动件数目相等，以判断该机构是否具有确定运动。

例：图 1-2 所示为回转偏心泵机构，下面按照实验方法与步骤来绘制该机构的运动简图，并计算其自由度。

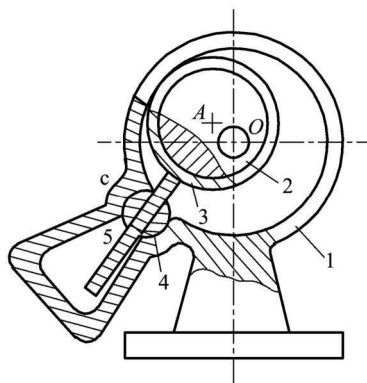


图 1-2 回转偏心泵

(1) 观察该机构，找到原动件为偏心轮 2，偏心轮起着曲柄的作用，连杆 3 及转块 4 为从动件，偏心轮 2 相对机架 1 绕 O 点回转，并通过转动副连接带动连杆 3 运动，连杆 3 既有往复移动又有相对转动，转块 4 相对机架做往复转动。通过分析可知该机构共有 3 个活动构件和 4 个低副（3 个转动副、1 个移动副）。

(2) 根据该机构的运动情况，可选择其运动平面（垂直于偏心轮轴线的平面）作为投影面。

(3) 根据机构的运动尺寸，按照比例尺确定各运动副之间的相对位置；然后用简单的线条和规定的简图符号绘制出机构运动简图，如图 1-3 所示。

(4) 从机构运动简图可知：活动构件数 $n = 3$ ，低副数 $P_l = 4$ ，高副数 $P_h = 0$ ，故机构自由度 $F = 3n - 2P_l - P_h = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$ ，而该机构只有一个原动件，与机构的自由度数相同，所以该机构具有确定的运动。

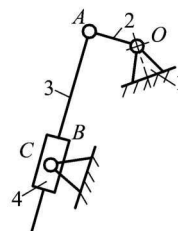


图 1-3 偏心泵机构简图

六、注意事项

- (1) 每人应按照上述方法完成至少两个机构的运动简图绘制及自由度计算。
- (2) 绘制运动简图时注意一个构件与其他构件用运动副相连的表达方法。
- (3) 绘制机构运动简图时注意高副中的滚子与转动副的区别，可以用稍大些的实心圆表示高副滚子，用稍小些的空心圆表示转动副。
- (4) 注意构件的尺寸，尤其是固定铰链之间的距离及其相互位置。
- (5) 注意运动简图的标注，包括构件序号、原动件、运动副字母等。

七、思考题

- (1) 一个正确的“机构运动简图”应能说明哪些内容？
- (2) 什么情况下机构中存在“死点”？应怎样避免？
- (3) 什么是复合铰链、局部自由度、虚约束？

八、实验报告式样

实验二 机构运动简图测绘实验报告

1. 实验目的

2. 实验设备及工具

3. 实验数据记录

序号	机构名称	机构运动简图	自由度计算
1		$\mu_1 =$	
2		$\mu_1 =$	

4. 实验结果分析

(1) 曲柄存在条件的验证：(如果所选机构不存在曲柄应加以说明)

(2) 各机构由哪几部分组成：

5. 思考题

实验三 渐开线齿轮范成原理实验

一、预备知识

现在齿轮齿廓的加工方法很多，有铸造法、热轧法、冲压法、模锻法和切制法等。目前最常用的是切制法。切制法中按照切齿原理的不同，又分为仿形法和范成法，其中范成法加工精度和生产率都比较高，是一种比较完善、应用广泛的切齿方法。范成法加工是利用一对齿轮（或齿轮和齿条）啮合时，其共轭齿廓互为包络的原理来切制齿轮的，常用的刀具有齿轮插刀、齿条插刀、齿轮滚刀等。

1. 齿轮插刀切制齿轮

图 1-4 (a) 为用齿轮插刀切制齿轮的情形。插刀形状与齿轮相似，但具有切削刃。插齿时，插刀一方面与被切齿轮按一定传动比做回转运动，另一方面被切齿轮轴线做上下往复的切削运动，这样插刀切削刃相对于轮坯的各个位置所形成的包络线[见图 1-4 (b)]即为被切齿轮的轮廓。

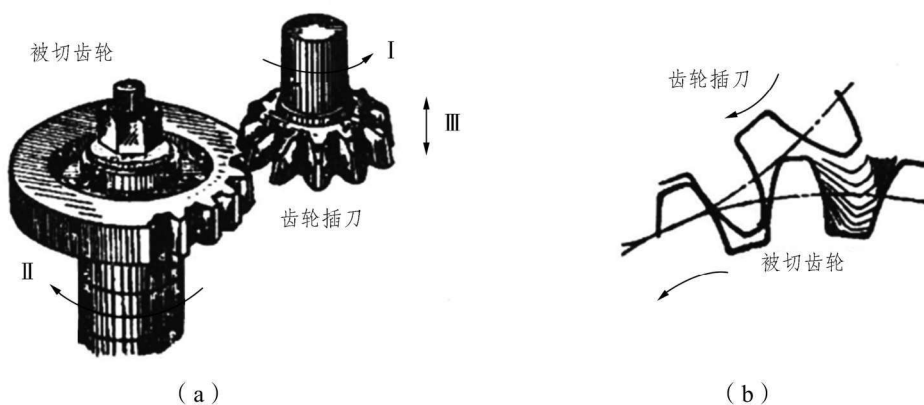


图 1-4 齿轮插刀切制齿轮

2. 齿条插刀切制齿轮

当齿轮插刀的齿数增加到无穷多时，其基圆半径变为无穷大，则齿轮插刀演变为齿条插刀，图 1-5 (a) 为用齿条插刀切制齿轮的情形。插刀形状与齿条相似[见图 1-5 (b)]，但具有切削刃。刀具直线齿廓的倾斜角即为压力角，刀具顶部比正常齿条高出 c^*m ，是为了使被切齿轮在啮合传动时具有顶隙。刀具上齿厚等于齿槽宽处的直线正好处于齿高中间位置，称为刀具中线。切制标准齿轮时，刀具中线相对于被切齿轮的分度圆做纯滚动，同时，刀具沿被切齿轮轴线做上下往复的切削运动。这样，插刀切削刃相对于轮坯的各个位置所形成的包络线[见图 1-5 (c)]即为被切齿轮的轮廓。