

中等职业技术教育规划教材

# 机 械 基 础

中国机械工业教育协会  
全国职业培训教学工作指导委员会 编  
机电专业委员会

主 编 黄国雄

机械工业出版社

本书共分六章。第一章为静力学，介绍了静力学基本概念、平面力系合成与平衡的计算、考虑摩擦力时物体的平衡计算及空间力系简介；第二章为材料力学，简述了构件拉伸与压缩、剪切与挤压、扭转、弯曲以及组合变形的强度计算及影响因素；第三章为机械零件，讲述了螺纹联接、轴、键与销、滑动轴承、滚动轴承、联轴器、离合器和制动器等结构及工作原理等；第四章为机械传动，介绍了带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轮系及螺旋传动等各类传动的原理、结构、传动比计算及其应用；第五章为机构，分析了平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、变速变向机构及安全保险机构等的结构与工作原理；第六章为液压传动，介绍了液压传动基本概念、液压泵、液压缸、液压控制阀、液压辅件的结构和工作原理，简单液压传动系统的应用等。

本书按最新机械类技工学校教学大纲编写，各校在使用时可按各地实际情况及各工种的特点适当增删。

本书通俗易懂，详略得当，图文并茂，注重应用，符合技工学校培养目标，可作技工学校机械类各工种及相近工种统编教材，也可作其他职业学校教学、青工培训和职工自学用书。

## 图书在版编目（CIP）数据

机械基础/中国机械工业教育协会，全国职业培训教学工作指导委员会  
机电专业委员会编。—北京：机械工业出版社，2004.1

中等职业技术教育规划教材

ISBN 7-111-13276-9

I. 机... II. ①中...②全... III. 机械学—专业学校—教材 IV. TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 097074 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：吴天培 版式设计：霍永明 责任校对：李汝庚

封面设计：姚毅 责任印制：

印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

850mm×1168mm  $1/32$ ·9 印张·238 千字

0 001—册

定价：元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换  
本社购书热线电话（010）68993821、88379646  
封面无防伪标均为盗版

# “中等职业技术教育规划教材” 编审委员会名单

- 主任 郝广发
- 副主任 周学奎 刘亚琴 李超群 何阳春 林爱平  
李长江 付捷 单渭水 王兆山 张仲民
- 委员 (按姓氏笔画排序)
- 于平 王柯 王军 王洪琳 付元胜  
付志达 刘大力(常务) 刘家保 许炳鑫  
孙国庆 李木杰 李稳贤 李鸿仁 李涛  
何月秋 杨柳青(常务) 杨耀双 杨君伟  
张跃英 林青 周建惠 赵杰士(常务)  
郝晶卉 荆宏智(常务) 贾恒旦 黄国雄  
董桂桥(常务) 曾立星 甄国令
- 本书主编 黄国雄  
本书主审 杨耀双

# 前 言

为贯彻落实全国职业教育工作会议精神，克服原有的教材专业设置落后，缺乏新的专业和复合专业，技术内容比较陈旧，理论课内容偏深、偏难的弊端，更好地满足中等职业技术教育教学改革的需要，中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会联合组织编写了这套适合新形势的中等职业技术教育规划教材。首批所选五个专业为机床切削加工、数控机床加工、机械设备维修、模具制造与维修、电气维修。本套教材的编写指导思想是：贯彻党的教育方针，依据《劳动法》、《职业教育法》的规定和《国家职业标准》的要求，更新教学内容，突出技能训练，强化创新能力的培养，以培养具备较宽理论基础和复合型技能的人才，使培养的人才适应科技进步、经济发展和市场的需要。其宗旨是：促职业教育改革，助技能人才培养。

为实现这一宗旨，中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会联合组织了 30 多所高、中级技工学校参加了首批五个专业教学计划、教学大纲的制定和教材的编审工作。各学校对新教材的专业选择、课程设置、学时安排、教学计划和教学大纲的制定、教材定位、编写方式等，参照《国家职业标准》相关工种中级工的要求和各校实际，经过三次会议进行了广泛的讨论和充分论证，首先完成了教学计划和教学大纲的制定和审定工作。在教材的编写过程中，贯彻了“简明、实用、够用”的原则，反映了新知识、新技术、新工艺和新方法，体现了科学性、实用性、代表性和先进性，正确处理了理论知识与技能的关系。同时通过对原有教材进行评价，针对其不足并在编写过程中进行了改进，以充分反映学校的实际需要。新教

材的价值在于兼顾了学生学习真本事与达到职业技能鉴定考试两种要求。综上所述，本套教材具有以下特色：

1) 职业性 专业设置参照有关专业目录，并根据职业发展和实际社会需求确定。

2) 科学性 教学内容与现代科学技术发展和先进技术装备、技术水平相适应，体现了科学性和先进性。

3) 实践性 重视实践性教学环节，加强了技能训练和生产实习教学，努力实现产教结合。

4) 衔接性 与企业培训和其他类型教育相沟通，与国家职业资格证书体系相衔接。

5) 实用性 教学内容符合职业标准及企业生产实际需要，有利于培养实用型人才。

与本教材配套的还有相应教材的习题集。

本套教材的编写工作得到了各学校领导的重视和支持，参加教材编审的人员均为各校的教学骨干，保证了本套教材能够按计划有序地进行，并为编好教材提供了良好的技术保证，在此对各个学校的支持表示感谢。

由于时间和编者水平有限，书中难免存在某些缺点或错误，敬请读者批评指正。

中国机械工业教育协会

全国职业培训教学工作指导委员会

机电专业委员会

# 目 录

|                        |    |
|------------------------|----|
| 前言                     |    |
| 绪论 .....               | 1  |
| <b>第一章 静力学</b> .....   | 4  |
| 第一节 静力学的基本概念 .....     | 4  |
| 第二节 平面汇交力系 .....       | 12 |
| 第三节 力矩与力偶 .....        | 21 |
| 第四节 平面任意力系的合成与平衡 ..... | 25 |
| 第五节 考虑摩擦力时物体的平衡 .....  | 31 |
| 第六节 空间任意力系 .....       | 34 |
| 复习思考题 .....            | 37 |
| <b>第二章 材料力学</b> .....  | 42 |
| 第一节 材料力学概论 .....       | 42 |
| 第二节 拉伸与压缩 .....        | 44 |
| 第三节 剪切与挤压 .....        | 49 |
| 第四节 扭转 .....           | 53 |
| 第五节 直梁弯曲 .....         | 60 |
| 第六节 组合变形 .....         | 69 |
| 第七节 影响构件强度的其他因素 .....  | 72 |
| 复习思考题 .....            | 76 |
| <b>第三章 机械零件</b> .....  | 81 |
| 第一节 机械零件与传动概述 .....    | 81 |
| 第二节 螺纹联接 .....         | 85 |
| 第三节 轴 .....            | 93 |

|             |                   |            |
|-------------|-------------------|------------|
| 第四节         | 键与销 .....         | 103        |
| 第五节         | 滑动轴承 .....        | 108        |
| 第六节         | 滚动轴承 .....        | 114        |
| 第七节         | 联轴器、离合器、制动器 ..... | 123        |
|             | 复习思考题 .....       | 131        |
| <b>第四章</b>  | <b>机械传动 .....</b> | <b>133</b> |
| 第一节         | 带传动 .....         | 133        |
| 第二节         | 链传动 .....         | 142        |
| 第三节         | 齿轮传动 .....        | 146        |
| 第四节         | 蜗杆传动 .....        | 170        |
| 第五节         | 轮系 .....          | 175        |
| 第六节         | 螺旋传动 .....        | 182        |
|             | 复习思考题 .....       | 188        |
| <b>第五章</b>  | <b>机构 .....</b>   | <b>192</b> |
| 第一节         | 平面连杆机构 .....      | 192        |
| 第二节         | 凸轮机构 .....        | 202        |
| 第三节         | 间歇运动机构 .....      | 209        |
| 第四节         | 变速变向机构 .....      | 214        |
| 第五节         | 安全保险机构 .....      | 218        |
|             | 复习思考题 .....       | 221        |
| <b>第六章</b>  | <b>液压传动 .....</b> | <b>223</b> |
| 第一节         | 液压传动的基本概念 .....   | 223        |
| 第二节         | 液压泵和液压缸 .....     | 230        |
| 第三节         | 液压控制阀 .....       | 239        |
| 第四节         | 液压辅件 .....        | 265        |
| 第五节         | 液压传动系统的应用 .....   | 268        |
|             | 复习思考题 .....       | 272        |
| <b>参考文献</b> | .....             | <b>277</b> |

# 绪 论

现代化的工业生产广泛使用各种机械设备，如车床、铣床、刨床、磨床、钻床以及组合机床等各种工作母机，电动机、内燃机、汽轮机等将电能、化学能、热能转变为机械能的各种原动机，泵、压缩机等利用原动机提供的机械能完成有用功的工作机。机械设备是工业生产的重要技术装备，它们的质量直接影响工业生产的水平，生产的机械化程度已是现代化的重要标志。

对于从事机械加工及机械维修的技术工人来说，其工作内容就是直接与各种机械打交道，如按图样要求采用适当的方法加工机械零件，把零件按机械设备的技术条件进行部件装配和总装配、调整和修配，对机械设备进行维护保养，对在使用中出现故障、损坏或长期使用后精度降低的机械设备进行维修等。这些工作都要求其掌握机械的基础知识和机械操作技能，了解机器和设备的构造和原理，分析机械的受力情况和工作能力，能按照标准和规范正确选择机械的通用零、部件等。这就是我们学习这门课程的目的。

《机械基础》是一门重要的技术基础课，它研究的内容主要有以下几部分：

1. 静力学基础 研究物体在静载荷作用下的平衡问题，分析物体平衡时的受力情况，确定各力的大小和方向，为机械的受力分析及力学计算打下基础。

2. 材料力学 研究物体受力时的变形情况及如何进行强度计算，为机械设备的零部件确定合理的材料、形状和尺寸，以达到安全及经济的目的。

3. 机械零件 研究螺纹联接、轴、轴承、键与销、联轴器、离合器、制动器等机械零件的基本参数，结构特点及应用情况。

4. 机械传动 研究带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轮系、螺旋传动等各类机械传动的类型，特点与基本计算及应用。

5. 机构 研究机械中平面连杆机构、间歇运动机构、变速变向机构及安全保险机构的组成、工作原理、运动特性等。

6. 液压传动 了解液压传动的基本原理、各种液压泵、液压缸、控制阀的结构、工作原理及性能特点。各种液压辅助元件的结构与作用，简单液压回路的分析等。

机械基础课程是一门有一定理论分析且实践性又较强的机械类综合课程，学习本课程时要注意以下几个方面：

1. 要注意掌握静力学和材料力学中的基本概念、基础理论和基本计算方法，学习时要注意掌握和应用合理的假设、准确的概括与抽象、严密的逻辑推理等科学方法，以解决机械中的一些力学分析和计算问题。

2. 机械零件、机械传动、机构、液压传动等在生产实践中应用十分广泛，我们要认真观察、积极思考，下功夫弄懂其中的结构和原理。

3. 学习中要运用辩证唯物主义观点，认真理解基本概念、定理、公式的意义，并且要注意通过例题、习题等的训练，掌握基本的分析、运算技能，同时还应熟悉一些机械类标准等相关资料。

4. 学习中注意与其他课程学习间的联系，特别注意与机械制图、金属材料及各工种专门工艺学的联系，打好基础，拓宽知识面，加强学习的目的性与针对性，不断提高学习效率和效果。

5. 本课程理论与实际联系比较密切，学习时要坚持理论联系实际的原则，注意与实习教学相结合，不断积累感性知识，重视生产实习、实验和参观，并用所学的理论去分析和指导实践。

机械是人类进行生产劳动的重要工具，也是社会生产力发展水平的一个重要标志。在古代社会，人类就已开始利用杠杆、滚子等简单工具从事劳动，这些可以说是机械的鼻祖，18世纪中

叶，随着蒸汽机的发明而出现了由原动机、传动机、工作机所组成的近代机器，促进了机械工业的大发展，从而带动了整个工业革命。

在几千年的文明史中，我国劳动人民在机械领域中，曾有过辉煌的成就，公元前 2 世纪，发明了齿轮系传动的记道车和司南车，在陕西临潼出土的秦陵彩绘铜车马，显示出当时高超的机械制造工艺。张衡发明的相当复杂的天文仪器，距今约有一千八百多年，我国在机械工程中的发明，源远流长，足以显示出我国劳动人民的聪明才智，值得我们引以自豪。只是到了近代，由于封建制度的日益腐败，特别是鸦片战争以来一百多年外国列强的侵略，导致在新中国成立前，我国科学技术的发展停滞落后了。新中国成立后，特别是改革开放 20 多年来，我国的机械工业有了较快的发展，机械工程领域成就卓著，正在努力赶上和超越世界先进水平。机械类职业学校的学生是机械工业战线上的后备力量，肩负着振兴机械工业的历史使命，将来要直接修理及使用各种机械设备，所以现在必须努力学好《机械基础》这门课程，掌握各种机械设备的构造原理和运动规律，以便今后在工作岗位上，能够合理地使用、维护和改革各种机械设备，为实现祖国的四个现代化贡献力量。

# 第一章 静力学

静力学研究物体受力分析的方法和物体在力系作用下处于平衡的条件，物体受力分析的方法和平衡条件在机械中有较多应用，如轴、齿轮、螺栓等机械零件及手动工具和低速运转的机械等，它们大多在平衡状态下工作，或者可近似地看作为平衡状态。为了保证机械零件和工程构件能安全可靠的工作，许多工程技术中的问题都直接需要采用静力学的理论和方法进行求解，根据静力学的基本知识进行受力分析及根据平衡条件求出其未知力，从而合理地选择零件的形状和尺寸，以满足生产实际的需要。

## 第一节 静力学的基本概念

### 一、力的基本概念

1. 力 人们在长期的生产和生活实践中逐步形成了力的概念，如推动小车、搬运重物、拧紧螺母等都要用到力，力是物体与物体间的相互作用，一个物体受到力的作用必定有另一个对它施力的物体，如果没有施力物体，力也就不可能存在。列车在机车的牵引下，由静止到运动，由慢到快，速度大小发生变化；小球受到细绳的牵引（见图 1-1a），速度方向发生变化；所有这些物体运动状态的变化，都是物体受力作用的结果，即力是使物体运动状态发生变化的原因。弹簧受到重物的作用或受到手的作用会伸长或缩短（见图 1-1b），是重物的重力或手对弹簧拉（压）力作用的结果。即使作用力很小或弹簧非常坚硬，变形不易被人们所察觉，但变形是客观存在，受力作用而不产生变形的物体是没有的，只是程度不同而已，即力是使物体形状发生变化的原因。总之，力是物体间相互的机械作用，力不能脱离物体而独立存在，力的作用效果是使物体运动状态发生变化或使物体产

生变形。

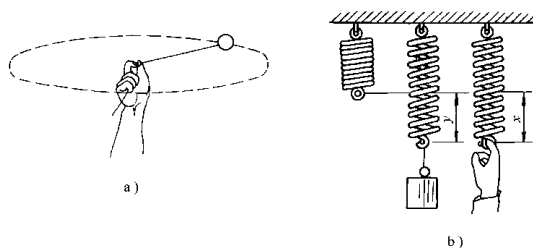


图 1-1 力的作用效果

a) 力改变物体的运动状态 b) 力使物体产生变形

由实践可知，力对物体的作用效果取决于三个要素：①力的大小；②力的方向；③力的作用点。力的大小是指物体间相互作用的强弱程度，其大小可以用测力器测定，在国际单位制中，力的单位是 N（牛顿）和 kN（千牛顿）。其换算关系为

$$1\text{kN} = 1000\text{N}$$

力具有方向，用同样大小的力从左向右或从右向左推动小车，小车的运动效果是不同的。

力的作用点不同，对物体的作用效果也不同，如图 1-2 所示，用同样大小和方向的推力推木块，推力作用点居中，木块向前移动，如作用点在上端，木块可能翻倒。

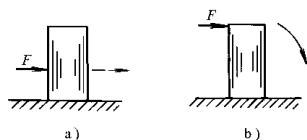


图 1-2 力的作用点影响力的作用效果

力的三要素可用带箭头的有向线段来表示，线段的长度表示力的大小，线段的起点或终点表示力的作用点。箭头指向表示力的方向。

2. 刚体 在力的作用下形状和大小都保持不变的物体称为刚体。如前所述，任何物体在力的作用下都会产生不同程度的变

形，但实际工程构件的变形一般都很微小，为使研究的问题得以简化，常常将小的变形略去不计，以更合理的反映客观事物的本质及方便力学问题的分析和计算。

3. 平衡 平衡是指物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动的状态。静力学主要研究物体的平衡问题，如刚体只受两个力作用而处于平衡状态时，这两个力则必定大小相等、方向相反且作用线重合，如图 1-3 所示。

4. 力的合成与分解 图 1-4 所示为两根绳悬挂重物处于平衡状态，此时一个力  $R$  对重物的作用相当于两个力  $F_1$ 、 $F_2$  对重物的作用，我们把力  $R$  叫做力  $F_1$ 、 $F_2$  的合力。而力  $F_1$ 、 $F_2$  叫做力  $R$  的两个分力。

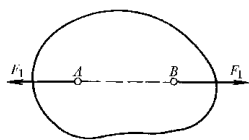


图 1-3 二力平衡

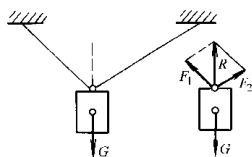


图 1-4 力的合成

交于一点的两个力的合力，可由力的平行四边形法则来确定，作用于物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力，合力的作用点就在该点，合力的大小和方向用该两个分力为邻边所构成的平行四边形的对角线表示，如图 1-4 中的  $R$ 。

两个分力可以合成为一个合力，一个合力也可以分解成两个分力。力的分解同样可用平行四边形法则进行，但将一个已知力分解成两个分力有多种分法，如图 1-5a 所示， $R$  可以分解为  $F_1$ 、 $F_2$ ，也可以分解为  $F'_1$ 、 $F'_2$ 。要想得到惟一的解答，必须增加条件，如已知合力的两个分力方向或已知一个分力的大小和方向。在工程实际中常将一个力沿直角坐标轴方向分解，得到两个互相垂直的分力，如图 1-5b 所示。

## 二、约束和约束反力

约束与约束反力的概念 研究物体的平衡或运动问题时，首

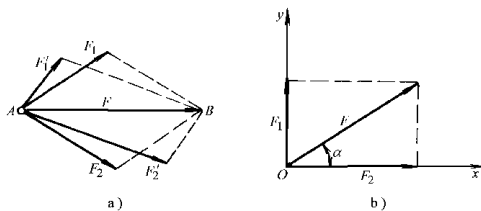


图 1-5 力的分解

a) 将力分解成多对分力 b) 将力分解成相互垂直的分力

先必须分析物体受到哪些力的作用，并确定物体所受到的力的大小、方向和作用点位置，自然界的一切事物总是以各种形式与周围事物互相联系而又互相制约的。在机械中，任何构件的运动都会受到与它相联系的其他构件的限制。如轴受到轴承的限制，使其只能绕轴心线旋转，车床尾座受导轨的限制只能沿其床身作平移运动等。一个物体的运动受到周围物体的限制时，这些周围物体就称为约束。约束对物体的运动起限制作用的力，称为约束力，又称约束反作用力或约束反力。约束反力的方向总是与约束所能限制的运动方向相反。

下面分析机械工程中常见的几种约束类型及其约束反力的特点：

(1) 柔性约束 机械中常用的绳索、传动带、链条等物件属于柔体约束，柔体约束只能承受拉力，而不能承受压力，它们只能限制物体沿着柔体伸长的方向运动。即柔体对物体的约束反力是通过接触点，沿柔体中心线作用的拉力，柔体约束反力常用符号  $T$  表示，如图 1-6 所示。

(2) 光滑接触面约束 当物体在接触处的摩擦力很小，可以略去不计时，即是光滑面约束。这种约束只能限制物体沿着光滑面的公法线方向并指向光滑面的运动，而不能限制物体沿着光滑面的切线方向或背离光滑面的运动。即光滑面的约束反力方向是

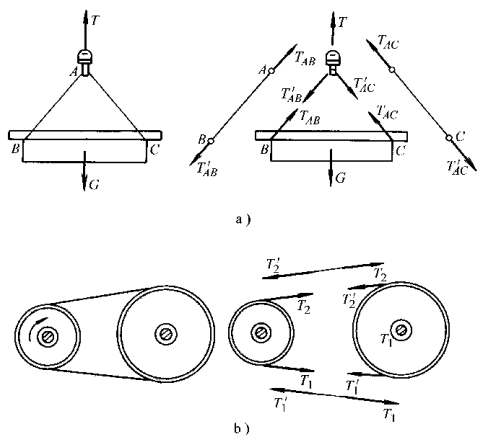


图 1-6 柔性约束

a) 绳索 b) 传动带或链条

沿接触面的法线方向而指向物体，使物体受一法向压力的作用。这种约束反力又称法向反力，常用符号  $N$  表示。机械中光滑面约束的实例很多，如机床工作台与导轨的接触面、变速箱中齿轮的啮合等，如图 1-7 所示。

(3) 铰链约束 铰链约束为两构件采用圆柱定位销所形成的联接，如图 1-8 所示。这种联接限制了两构件彼此的相对平移，而只允许其相对转动。

铰链约束应用广泛，如图 1-9 所示内燃机中曲柄与连杆用销  $A$  的联接，连杆与活塞用活塞销  $B$  的联接；铰链约束又可分为固定铰链约束与活动铰链约束。用销子联接的两个构件中，如有一个是固定件，则称其为支座，销子固定于支座上，另一构件可绕销子的中心旋转，这种支座称固定铰链，其形式和简图如图 1-10 所示。在图 1-9 中  $O$  点即为固定铰链约束。

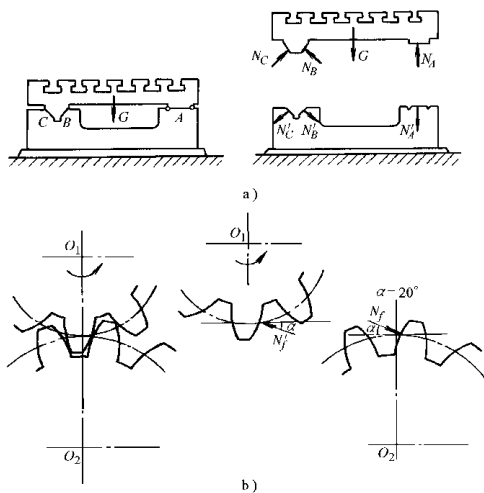


图 1-7 光滑面约束

a) 机床工作台与导轨的接触面 b) 齿轮啮合

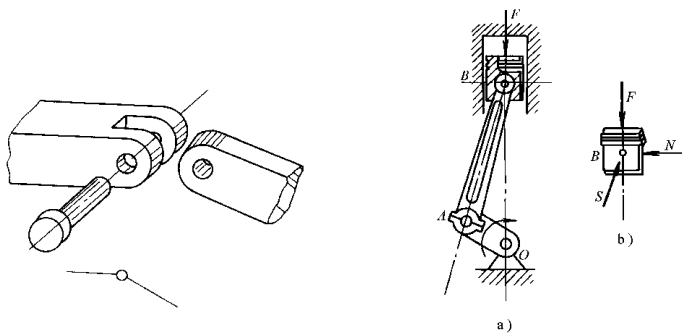


图 1-8 铰链约束

图 1-9 曲柄连杆机构中的铰链约束

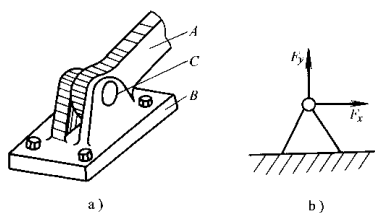


图 1-10 固定铰链约束形式及简图

固定铰链约束反力的方向是随转动零件所处的位置的变化而变化的，通常可用两个相互垂直的分力  $F_x$ 、 $F_y$  来表示。约束反力的作用线必定通过铰链的中心。

在桥梁等结构中，常采用一种搁在几个圆柱形滚子上的铰链支座，支座在滚子上可任意左右移动，允许两支座间距稍有变化，这种支座称为活动铰链，其形式和简图如图 1-11 所示。在不计摩擦的条件下，支座只能限制构件沿支承面垂直方向的运动，故活动铰链支座的约束反力必定通过铰链中心，并与支承面相垂直。

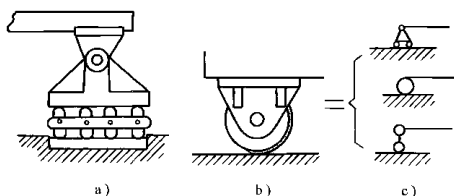


图 1-11 活动铰链约束形式及简图

(4) 固定端约束 车床上的刀架对车刀的约束，三爪自定心卡盘对工件的约束等称固定端约束，固定端约束可阻止被约束物体作任何移动和转动，即这种约束在一般情况下，除存在互相垂直的约束反力的两分力外，还存在一个阻止其转动的力偶矩，它的约束形式及简图如图 1-12 所示。