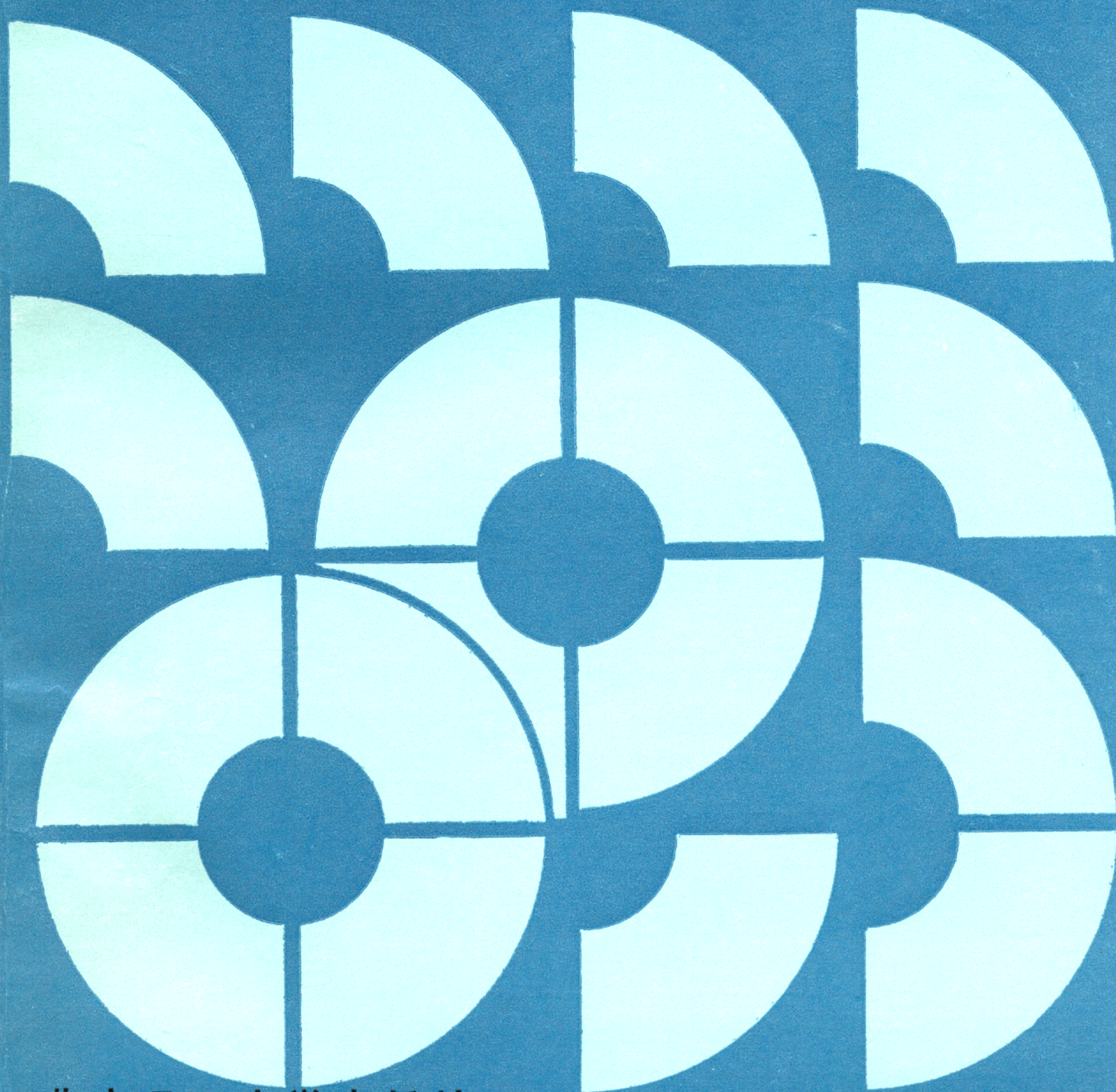


机械设计基础

赵学镛 主编



北京理工大学出版社

机械設計基础

赵学镛 施益洪
王立军 顾循平 编

北京理工大学出版社

前 言

本书是根据国家教委颁发的《高等学校机械设计基础（原机械原理及机械零件）课程教学基本要求（参考学时范围：110~130学时）》编写的。在编写过程中，参照机械设计课程教学指导小组在1989年11月发出的《机械设计（原机械零件）课程教学基本要求的试行情况和补充说明》的精神，力求做到：取材新颖、实用；反映近年来教学实践中的成功经验；适应近机类各专业的特点和要求。

根据“设计就是综合”的精神，本书从我国国情出发，针对近机类各专业的实际情况，更多强调机械设计的基础训练。在突出教学基本理论、基本知识和基本技能的前提下，立足于解决机械设计中的实际问题。在机械原理及机构设计中，加强了“机构的组合和选型”内容，引导学生初步寻求综合设计的途径。在机械零件设计中，把“机械零件的结构设计”独立成章，并在内容上有所增加，用以丰富学生在结构设计方面的知识，便于教师指导学生自学和设计时参考。为适应机械设计现代化发展的趋势，本书还把计算机应用技术适当引入到本课程中，即简单介绍机械零件计算机辅助设计知识，并结合典型零件的设计，简要介绍设计资料的数据处理和编制机械零件设计程序的方法，以开扩学生视野，提高学生应用计算机的能力。考虑到有些近机类专业的需要，本书还增加了《课程教学基本要求》未作规定的“钢的热处理简介”和“公差与配合”等内容。对于已开过这类先修课程的专业，这部分内容可以不讲，留给学生自学和设计时参考。

本书可作为高等学校近机类、动力类各专业的教材，也可作为专科机械类各专业以及职工大学、夜大学的教材或教学参考书。本书除供“机械设计基础”课程选用外，也适用于将“机械原理”和“机械设计”分开设课的安排。本书还可供其它专业师生和有关工程技术人员参考。

参加本书编写的有：王立军（第1~8章），施益洪（第10~11、16~21、23章），赵学镛（引论、第9、12~15、22章），顾循平（第24~29章及全书的例题）。本书由赵学镛担任主编。

本书由太原工业大学刘孝乾教授审阅，并提出不少宝贵意见和建议，在此表示衷心谢意。

由于编者水平有限，书中缺点错误在所难免。尤其新增和加强的各章节内容及其写法，还需通过实践检验，我们殷切希望广大读者给予批评指正。

编 者

1989年12月于太原

目 录

引论

- 一、机器及其基本组成部分..... (1)
- 二、机械设计的主要内容..... (2)
- 三、机械设计的指导思想和基本原则..... (3)
- 四、本课程的内容、性质和任务..... (4)

第一篇 机械原理及机构设计

- 第一章 平面机构运动简图及其自由度**..... (6)
 - § 1.1 平面机构的运动副和机构简图..... (6)
 - § 1.2 平面机构自由度和机构具有确定运动的条件..... (9)
 - § 1.3 计算机构自由度的注意事项..... (10)
- 第二章 平面连杆机构**..... (14)
 - § 2.1 铰链四杆机构及其基本形式..... (14)
 - § 2.2 铰链四杆机构的演化..... (17)
 - § 2.3 平面四杆机构的传动特性..... (21)
 - § 2.4 平面四杆机构的设计..... (26)
- 第三章 凸轮机构及其设计**..... (30)
 - § 3.1 凸轮机构概述..... (30)
 - § 3.2 从动件常用的运动规律..... (33)
 - § 3.3 凸轮机构的压力角和基圆半径..... (37)
 - § 3.4 凸轮机构的设计..... (40)
- 第四章 齿轮机构**..... (45)
 - § 4.1 齿轮机构概述..... (45)
 - § 4.2 渐开线的形成及其性质和方程..... (48)
 - § 4.3 渐开线齿轮各部分名称及尺寸..... (50)
 - § 4.4 标准直齿轮的啮合传动及其重合度和滑动系数..... (53)
 - § 4.5 直齿圆柱齿轮的切削加工和变位齿轮..... (58)
 - § 4.6 斜齿圆柱齿轮机构..... (64)
 - § 4.7 蜗轮蜗杆机构..... (69)
 - § 4.8 圆锥齿轮机构..... (72)
- 第五章 轮系**..... (81)
 - § 5.1 定轴轮系..... (81)
 - § 5.2 周转轮系..... (84)
 - § 5.3 组合轮系..... (88)
- 第六章 其它常用机构**..... (92)
 - § 6.1 万向联轴节..... (92)
 - § 6.2 螺旋机构..... (93)
 - § 6.3 棘轮机构..... (94)

§ 6.4 槽轮机构	(95)
第七章 机构的组合和选型	(97)
§ 7.1 机构组合和选型目的	(97)
§ 7.2 机构的组合方式	(98)
§ 7.3 组合机构的设计举例	(100)
§ 7.4 机构选型和运动循环图	(102)
第八章 转动构件平衡和机器调速	(104)
§ 8.1 刚性回转件的平衡	(104)
§ 8.2 回转件平衡试验法	(107)
§ 8.3 机器速度波动和调节方法	(109)
§ 8.4 机器运转的平均速度和不均匀系数	(111)

第二篇 机械零件设计

第九章 机械零件设计概论	(112)
§ 9.1 概述	(112)
§ 9.2 机械零件的失效形式	(112)
§ 9.3 机械零件的设计计算准则	(114)
§ 9.4 机械零件的设计方法	(116)
§ 9.5 机械零件常用材料及其选用原则	(117)
§ 9.6 钢的热处理简介	(120)
§ 9.7 机械零件的标准化	(121)
第十章 键、花键和销联接	(123)
§ 10.1 键联接	(123)
§ 10.2 花键联接	(127)
§ 10.3 销联接	(129)
第十一章 螺纹联接及螺旋传动	(131)
§ 11.1 螺纹	(131)
§ 11.2 螺纹联接	(132)
§ 11.3 螺旋传动	(148)
第十二章 带传动	(154)
§ 12.1 带传动的类型和应用	(154)
§ 12.2 V带的结构和型号	(155)
§ 12.3 带传动的工作情况的分析	(156)
§ 12.4 V带传动的设计计算	(160)
§ 12.5 带轮设计	(165)
§ 12.6 V带传动的张紧装置	(166)
第十三章 链传动	(170)
§ 13.1 链传动的类型和应用	(170)
§ 13.2 套筒滚子链的结构和规格	(170)
§ 13.3 链传动的运动特性	(172)
§ 13.4 套筒滚子链传动的设计计算	(174)
§ 13.5 链轮设计	(178)

§ 13.6 链传动的布置	(179)
第十四章 齿轮传动	(182)
§ 14.1 概述	(182)
§ 14.2 齿轮传动的失效形式及设计准则	(183)
§ 14.3 齿轮材料及其热处理	(186)
§ 14.4 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	(190)
§ 14.5 标准斜齿圆柱齿轮传动强度计算的特点	(200)
§ 14.6 标准直齿圆锥齿轮传动强度计算的特点	(203)
§ 14.7 齿轮传动强度计算汇总表	(205)
第十五章 蜗杆传动	(212)
§ 15.1 概述	(212)
§ 15.2 蜗杆传动的主要参数及其尺寸计算	(213)
§ 15.3 蜗杆传动的失效形式和材料选择	(218)
§ 15.4 蜗杆传动承载能力的计算	(218)
§ 15.5 蜗杆传动效率及热平衡的计算	(223)
第十六章 轴	(229)
§ 16.1 概述	(229)
§ 16.2 轴的设计准则	(231)
§ 16.3 轴的一般设计步骤	(231)
§ 16.4 轴的强度计算	(231)
§ 16.5 轴的刚度计算简介	(234)
§ 16.6 轴的振动计算概念	(235)
第十七章 滚动轴承	(238)
§ 17.1 概述	(238)
§ 17.2 滚动轴承的主要类型及其特性	(239)
§ 17.3 滚动轴承的代号	(241)
§ 17.4 滚动轴承的选择	(243)
第十八章 滑动轴承	(253)
§ 18.1 概述	(253)
§ 18.2 滑动轴承的摩擦状态	(253)
§ 18.3 滑动轴承的型式	(254)
§ 18.4 轴瓦及轴承衬材料	(255)
§ 18.5 滑动轴承的润滑	(257)
§ 18.6 非液体摩擦滑动轴承的计算	(262)
§ 18.7 液体动压滑动轴承的工作原理	(263)
§ 18.8 液体动压滑动轴承计算简介	(265)
§ 18.9 其它轴承简介	(268)
第十九章 联轴器和离合器	(273)
§ 19.1 概述	(273)
§ 19.2 联轴器	(274)
§ 19.3 离合器	(277)
§ 19.4 其它联轴器及离合器的简介	(281)

第二十章 弹簧	(283)
§ 20.1 概述.....	(283)
§ 20.2 弹簧的结构、制造、材料及许用应力.....	(284)
§ 20.3 圆柱形压缩和拉伸螺旋弹簧的设计计算.....	(287)
第二十一章 减速器	(293)
§ 21.1 减速器的主要型式及其特性.....	(293)
§ 21.2 单级圆柱齿轮减速器的典型构造.....	(295)
§ 21.3 减速器的润滑.....	(296)
第二十二章 机械零件的结构设计	(299)
§ 22.1 螺栓组联接的结构设计.....	(299)
§ 22.2 轮类零件的结构设计.....	(301)
§ 22.3 轴类零件的结构设计.....	(306)
§ 22.4 轴承支座的结构设计.....	(310)
§ 22.5 支架及箱体的结构设计.....	(317)
第二十三章 机械零件计算机辅助设计简介	(323)
§ 23.1 计算机辅助设计概述.....	(323)
§ 23.2 设计资料的数据处理.....	(324)
§ 23.3 编制机械零件设计程序方法简介.....	(331)

第三篇 公差与配合

第二十四章 光滑圆柱表面的公差与配合	(347)
§ 24.1 基本术语及其定义.....	(347)
§ 24.2 公差与配合的基本规定.....	(352)
§ 24.3 公差与配合标准的选用.....	(361)
第二十五章 形状和位置公差	(364)
§ 25.1 概述.....	(364)
§ 25.2 形位误差和形位公差.....	(366)
§ 25.3 形位公差的标注.....	(377)
§ 25.4 形位公差的等级与公差值.....	(381)
第二十六章 表面粗糙度	(383)
§ 26.1 表面粗糙度的评定标准.....	(383)
§ 26.2 表面粗糙度的标注及选用.....	(387)
第二十七章 键和花键公差	(390)
§ 27.1 键联接公差.....	(390)
§ 27.2 矩形花键联接公差.....	(391)
第二十八章 圆柱齿轮公差	(395)
§ 28.1 概述.....	(395)
§ 28.2 齿轮、齿轮副误差及侧隙的评定指标.....	(395)
§ 28.3 有关齿轮精度与公差标准.....	(401)
第二十九章 滚动轴承的公差与配合	(412)
§ 29.1 滚动轴承的内、外径公差.....	(412)
§ 29.2 滚动轴承的配合.....	(413)
参考书目	(420)

引 论

在工程上，常把机器和机构统称为机械。

机械是人类进行生产劳动的重要武器，也是衡量社会生产力发展水平的重要尺度。劳动生产过程的机械化和自动化，有赖于新机构和新机器的不断产生。要创造发明新的机构和机器，首先就要作创始意念的设计工作，也就是为实现机构或机器的指定功能，提出创造性的、崭新的设计方案。创造性同其它技能一样，也可以通过训练、培养而获得和提高。实践证明，学习《机械设计基础》课程，有利于培养创造性思维，可以提高机械零、部件的设计能力。

一、机器及其基本组成部分

人们在劳动生产活动中，广泛地使用着各种机器。例如起重机、推土机、破碎机、纺织机、汽车、拖拉机以及各种金属切削机床等。这些机器就其构造、用途和性能来说，是各不相同的。但从它们的组成原理、运动确定性以及功能关系来看，却有着三个共同特征：

(1) 机器都是由刚强物体人工组合而成的。所谓刚强物体是相对于负荷而言的。如果不考虑某些机器中的电磁作用，那么带、索等挠性件相对于拉伸，流体相对于挤压等，都可以认为是刚强的。

(2) 机器的各个组成部分之间，具有确定的相对运动。这种相对运动可能是周期性的（如内燃机、牛头刨床、曲柄压力机等），也可能是随机的（如起重机、汽车等）。

(3) 在生产过程中，机器能减轻或代替人的体力劳动，完成有用的机械功（如机床切削工件、破碎机破碎物料、起重机举升重物等），或转换机械能（如内燃机将燃油的热能转换为机械能，发电机将机械能转换为电能等）。

当我们仅仅是研究机器各个部分之间的相对运动，而不考虑它们在作功或能量转换方面所起的作用时，通常可把这些具有确定相对运动的刚强物体的人为组合系统，称为机构。显然机构只具有机器的前两个特征。

从运动学观点来看，机构和机器二者之间并无区别。例如内燃机和曲柄压力机的功用尽管不同，但它们的主体机构都是曲柄滑块机构。曲柄在内燃机里称为曲轴，在压力机里称为偏心轴，它们均作匀速连续转动。滑块在内燃机里称为活塞，在压力机里称为冲头，它们均作往复直线运动。可见，功用不同的机器，可以具有相同的主体机构。

综合以上各点可得出如下结论：机构与机器的区别在于，机构主要是用来传递和变换运动，而机器主要是用来转换机械能或利用机械能作功。

大量生产实践表明，世界上没有脱离机构的机器，却有不用作机器的机构。以齿轮机构为例，它可作为传动机构在仪器中单独使用，如钟表、解算装置中的齿轮机构；也可以作为现代机器中的一个重要组成部分，如机床、汽车中的齿轮传动系统。

从结构上来看，就会发现多数机器都装有一个（或几个）用来接受外界输入能源的原动

机（如电动机、内燃机等），并通过机器中的一系列传动机构，把原动机的动作转变为机器工作部分完成机器功能的动作（如牛头刨床上刨刀的往复动作；起重机吊钩的升降动作等），用以克服工作阻力，输出机械功。所以一台完整的机器，总是由原动部分、传动部分和执行部分所组成。当然，在一台现代化的机器中，常会包含着机械、电气、液压、气动、润滑、冷却、监测、控制等系统中的部分或全部，但是机器的主体，仍然是它的机械系统。无论任何机器，它的机械系统总是由一些机构组成的；而每个机构又是由许多机械零件组成的。所以机器的基本组成要素就是机械零件。

二、机械设计的主要内容

尽管机器的类型、用途、性能要求及结构特点等各有不同，但概括说来，它们的设计过程和主要内容大体上是相同的。对于每个设计项目，通常都要编制设计任务书，其中明确规定机器的用途、主要性能参数、工作环境条件及有关特殊要求、生产批量、承制单位、预期的成本以及设计完成的期限等。设计任务确定之后，应对设计任务进行全面调查研究，在此基础上拟定切实可行的工作计划。当明确了一台机器的设计目的和要求之后，设计工作的主要内容即为：

1. 机器工作原理的选择

工作原理是机器实现预期功能的基本依据。反映在生产方法方面，例如设计生产螺钉的机器时，可以根据切制螺纹的原理，也可以根据滚压螺纹的原理。所以实现同样的预期功能，可以有多种不同的工作原理。显然，工作原理不同，据以设计出来的机器也必然不同。工作原理的选择属于专业机械设计的范畴，这里不作详细论述。

2. 机器的总体设计

机器的总体设计，就是根据工作原理的要求本着简单、实用、经济、可靠、美观等原则，布置出一套能够实现预期功能的装置。为了拟定机器的总体布置，就需要进行机器的运动设计和动力设计，把机器各部分之间的运动关系，以及各个机构和主要零件在机器中的大体位置，用规定的简单符号表示出来，这就是机器的运动简图。

在进行机器的运动设计时，要妥善选择与设计机器的机构组合，把原动机的运动转变为执行部分预期的机械动作，并考虑在某些性能参数范围内灵活调整的必要性、可能性与可靠性。在进行机器的动力设计时，要根据机器的运转特性、执行部分的工作阻力、工作速度和传动系统总效率等，计算出机器所需的驱动功率，并结合机器的具体工作情况，选定合用的原动机进行驱动。

在进行机器的总体设计时，可能会出现几种不同的设计方案。设计时，应对这些方案进行全面的技术经济评价，通过分析比较，最后选择一种最优方案。

3. 零、部件工作能力设计

对于一般机器，在选定了原动机之后，即可根据功率、运转特性和各个零、部件的具体工作情况，计算出主要零、部件上的载荷，进而从机器总体出发，考虑各个零、部件的工作

能力准则（强度，刚度、寿命等），以及体积、重量及技术经济性等一系列要求，最后设计出各主要零、部件的主要参数和尺寸。

4. 机器的结构设计

通过总体设计和机器零、部件工作能力设计，也只是初步确定了机器的总体尺寸及各个零、部件间的相对位置关系、配合要求等，还不能反映机器的确定形态以及各个零件的全部尺寸、结构要素及加工要求等。因此，在结构设计中，就要根据初步设计的结果，充分考虑零件工作能力的要求，特别是从结构工艺性出发，将零件的全部尺寸和形状，机器的装配和安装尺寸完全确定下来，并绘出各种工作图纸，编制各种技术文件和说明书。

设计过程的各个阶段是相互联系，相互影响，相互交叉地反复进行的。设计过程中发现的问题和不当之处，必须返回到前面有关阶段去修改。所以，设计过程是一个不断返回，不断完善，逐渐接近最优结果的过程。当然，设计结果优良与否，最终还要依靠实践来检验。

三、机械设计的指导思想和基本原则

任何机器的设计，都应该是在正确的设计思想指导下进行的，而正确的设计思想只能从社会实践中来。因此，每个设计人员都应在刻苦钻研设计理论与技术的同时，积极投入到社会实践中去，逐步树立正确的设计思想。

设计各类机器时，应该遵循的基本原则是：

1. 满足使用要求

机器的使用要求，就是要求机器能够有效地执行预期的全部功能，这包括以下两个方面：

首先是能够按照规定的技术要求，顺利地执行机器的全部功能。这主要靠正确选择机器的工作原理和正确设计全面实现工作原理的机构组合来保证。

再者是能在预定的寿命期间可靠地工作，即机器在使用过程中不致发生任何形式的失效。这主要靠正确的设计和选择机器的零、部件来保证。

2. 满足经济性要求

机器的经济性是一个综合指标，它表现在设计、制造和使用的整个过程中。在设计、制造上，要求成本低，生产周期短；在使用上，要求生产率高，效率高，适用范围大，燃料和辅助材料消耗少，操作方便以及维护费用低廉等。

3. 满足劳动保护的要求

劳动保护是设计机器时必须特别重视的要求，它可以概括为以下三个方面：

(1) 技术安全 对于机器中易于造成危害工人安全的部位，应该加装防护装置：一切传动机构均尽可能设计成封闭式的；易于与工人接触的外露部位不应有锋利的棱角或灼热的介质等；采用可靠的安全保险装置和信号报警系统，以防止发生人身和设备事故。

(2) 最大限度地减少工人操作时的体力及脑力消耗 力争减少人力驱动的机械,并合理限定其所需的驱动力;适当减少操纵手柄的数目,并使其集中于适当的位置,操纵灵便,且操纵效果符合人们的习惯;仪表和信号等指示装置布置应适中;力求简化操作过程,采用各种可靠的联锁装置,避免因操作失误所引起的不良后果,以消除操作者的精神负担。

(3) 改善操作者的工作环境 力争降低机器的噪声;有效地净化或排除操作时产生的废气、废液及灰尘屑末,保持工作环境通风流畅,温度适中;适当美化机器和零件的外形及表面等。

4. 满足工艺性要求

整部机器应具有良好的工艺性。在不影响工作性能的条件下,应使机器的结构尽可能简化,力求用最简单的机构和装置实现机器的预期功能。为此,应全面分析对比各种机构组合方案,尽量采用标准零、部件及优先配合、优先系列和标准结构要素等;制造及装配的劳动量要少;拆装维修应方便。

5. 满足其它特殊要求

有些机器除需满足以上一般要求外,还有其各自的特殊要求。例如:兵器的构件有高可靠度的要求;机床有长期保持精确度的要求;建筑机械有便于装卸和运输的要求;食品机械有保证产品卫生的要求等。

四、本课程的内容、性质和任务

一般机器中常用的机构称为常用机构,如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构等。多数机器中用到的零件称为通用零件,如螺栓螺母、齿轮、轴与轴承等。本课程正是在学习常用机构和通用零件的基础上,研究机械设计的一般基础问题。课程的主要内容有以下三方面:

1. 机械原理及机构设计

包括平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、其它常用机构,机构选型和机构组合,转动构件平衡和机器调速等的设计。

2. 机械零件设计

包括联接零件、传动零件、轴系零件及其它零件设计,机械零件的结构设计和机械零件计算机辅助设计等。

3. 公差与配合

包括光滑圆柱形表面的公差与配合、形状和位置公差、表面粗糙度和常用零件的公差与配合等。

在我国,由于改革开放形势的发展,生产机械化和自动化的程度日益提高,使用机构和机器的类型也越来越多。为了适应社会主义建社的实际需要,高等工科院校的学生,必须熟悉更多有关机构和机器的基础知识,以利于培养学生今后从事设计、制造、运行、研究和管理等工作的实际工作能力。

本课程是一门培养学生具有一定机械设计能力的技术基础课程。其任务是培养学生初步树立正确的设计思想，掌握常用机构和通用零件的工作原理和设计方法，并初步具有设计机械传动部件和简单机械的能力。同时，综合运用先修课程的知识与技能，结合设计实践，进行机械设计基础能力训练，为顺利学习专业机械知识打下必要的基础。

机械设计是属于多学科综合运用的一门学科，所以在学习本课程之前，必须学完画法几何及机械制图、工程材料及机械制造基础、金工实习、理论力学及材料力学等有关课程。

当前国民经济的各个部门，正对机械产品和技术装备提出日益增长的需求。同时，新材料、新工艺、新技术、新结构也不断涌现。现代机械设计发展的趋向主要是：迅速提高机器的生产率和自动化程度 积极更新设计方法，如采用最优化设计、可靠性设计、计算机辅助设计（CAD）等；广泛应用新的理论与技术，如断裂力学、摩擦学、有限元素法及数控、程控、高性能监测技术等。为此必须刻苦钻研，努力奋斗，不断用先进的设计理论和生产技术，武装和发展我国的机械制造业，密切结合我国国情和具体条件，设计制造出大量的切合实际需要、品种齐全、性能优良的机器，以适应我国四化建设的需要。

第一篇 机械原理及机构设计

第一章 平面机构运动简图及其自由度

§1.1 平面机构的运动副和机构简图

人类在和大自然斗争中创造了工具，并加以逐步完善，制成了各种各样的机器。不但如此，人们还总结出制造各种机器的普遍规律——机械科学，它是人类灿烂文化的一个组成部分。机械原理又是机械科学中的重要组成部分。

在日常生活和生产活动中，有各类性能和外形各异的机器，但是它们也有共性。例如机器总是由好多件(至少两件)通过活动的联结组成的；机器中各部分之间的运动是确定而有规律的；机器均是为了减轻甚至完全替代人的劳动而创造的，它起到利用或转换机械能的作用。

许多机器往往是很复杂的，但这些机器总是由许多机构组合而成的。机器中某些联接件组合在一起完成特定的确定运动则称之为机构。例如图1-1所示的单缸四冲程内燃机，就是由气缸体1、活塞2、连杆5、曲轴6组成了曲柄滑块机构，它是内燃机的主体机构，使活塞的往复运动变成曲轴的转动。齿轮9、10和凸轮7、推杆8、阀门3、4组成了齿轮机构和凸轮机构，它们配合主体机构完成进气和排气。我们见到的机器有千万种，但组成机器的机构却为数不多，因此研究机器组成原理，首先就要研究机构。

机构是由构件组成的。有的构件只有一个零件，例如活塞、凸轮等；有的构件是由几个零件刚性地联接在一起组成的，例如连杆(图1-2)，是由连杆体1、连杆头2、轴瓦3、4、5和

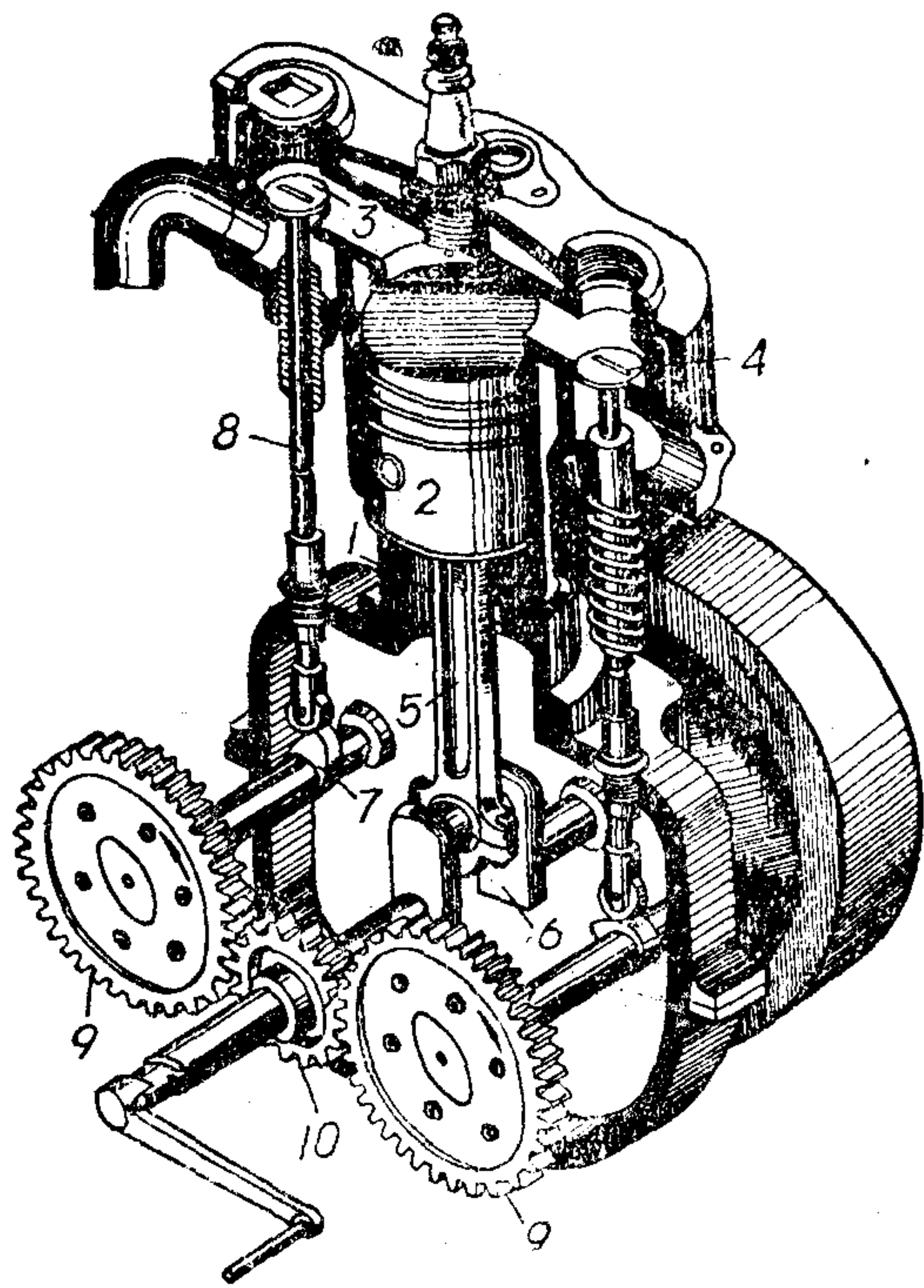


图 1-1 单缸四冲程内燃机

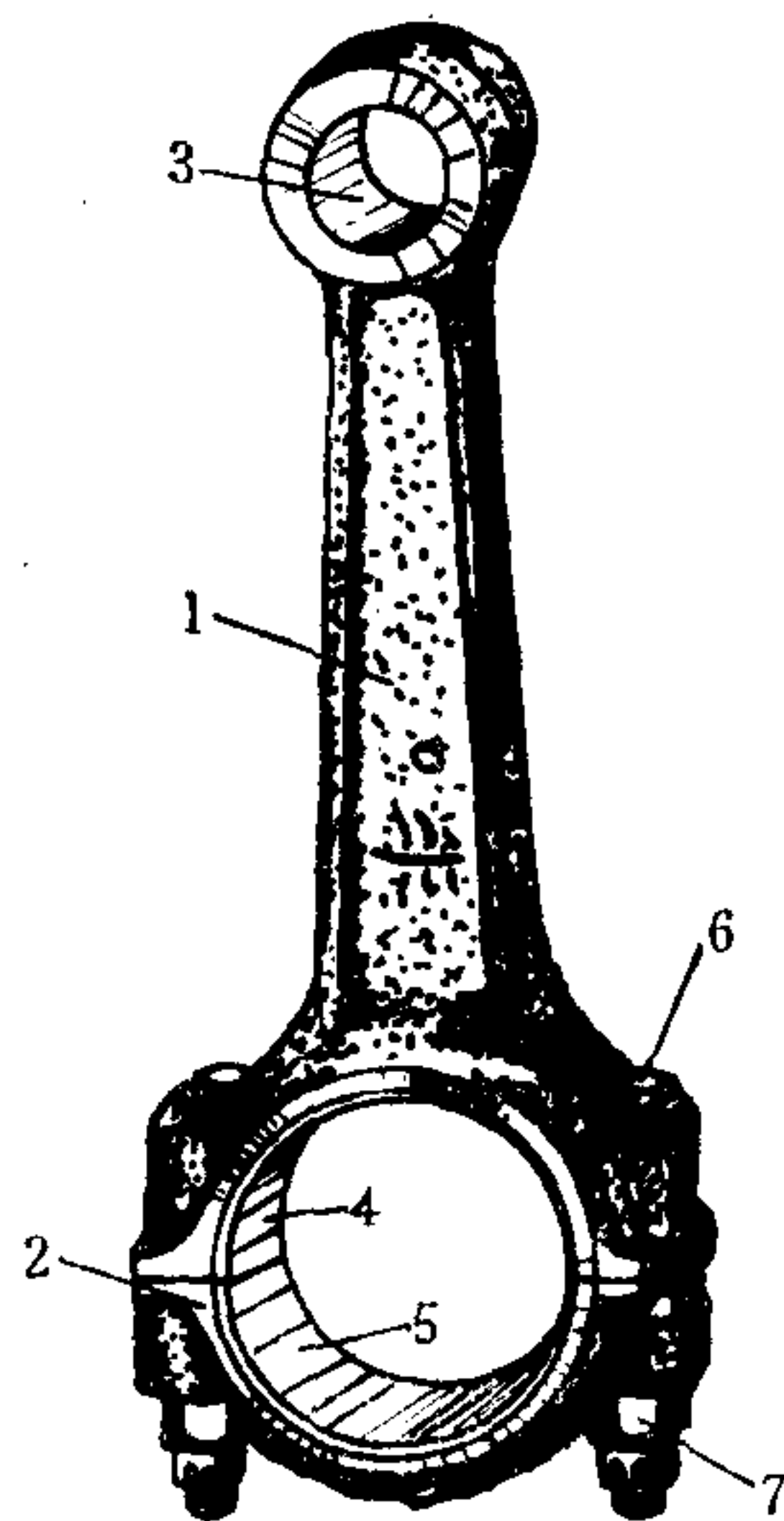


图 1-2 连杆构件

螺栓6，螺母7等零件所组成，它作为一个整体在运动。所以构件是运动单元体，而零件则是制造单元体。

机构可以分为平面机构和空间机构，前者，构件上每个质点的运动轨迹是在一个平面内，而后者就没有这项限制。平面机构应用最普遍，是本课程主要研究对象。随着机械科学的发展，空间机构的应用也日渐增多。

构件组成机构，要靠一定的联接方式，不能把构件一个个刚性地联接（如焊接、铆接等）起来，因为这样的组合体，构件间没有相对运动，从而也就不称其为机构。

构件间直接接触且产生一定相对运动的联接称运动副，机构正是凭借构件和构件间的各种运动副产生独特并确定的运动。

任何构件，当尚未用运动副和其它构件联接成为机构的一部分时，称自由构件。自由构件作平面运动时有三个自由度：沿 x 方向移动，沿 y 方向移动，绕 z 方向转动。只要具备了这三个独立运动，构件便可以占据 xy 平面内的任何位置，如图1-3所示。

常见的机构运动副，有转动副、移动副和高副。

图1-4所示为转动副，指的是轴通过圆柱面相对于孔作转动。该轴只有绕 z 轴转动一个自由度，另外两个沿 x 、 y 移动的自由度均被转动副所限制，这种对独立运动的限制称约束，所以转动副存在两个约束。

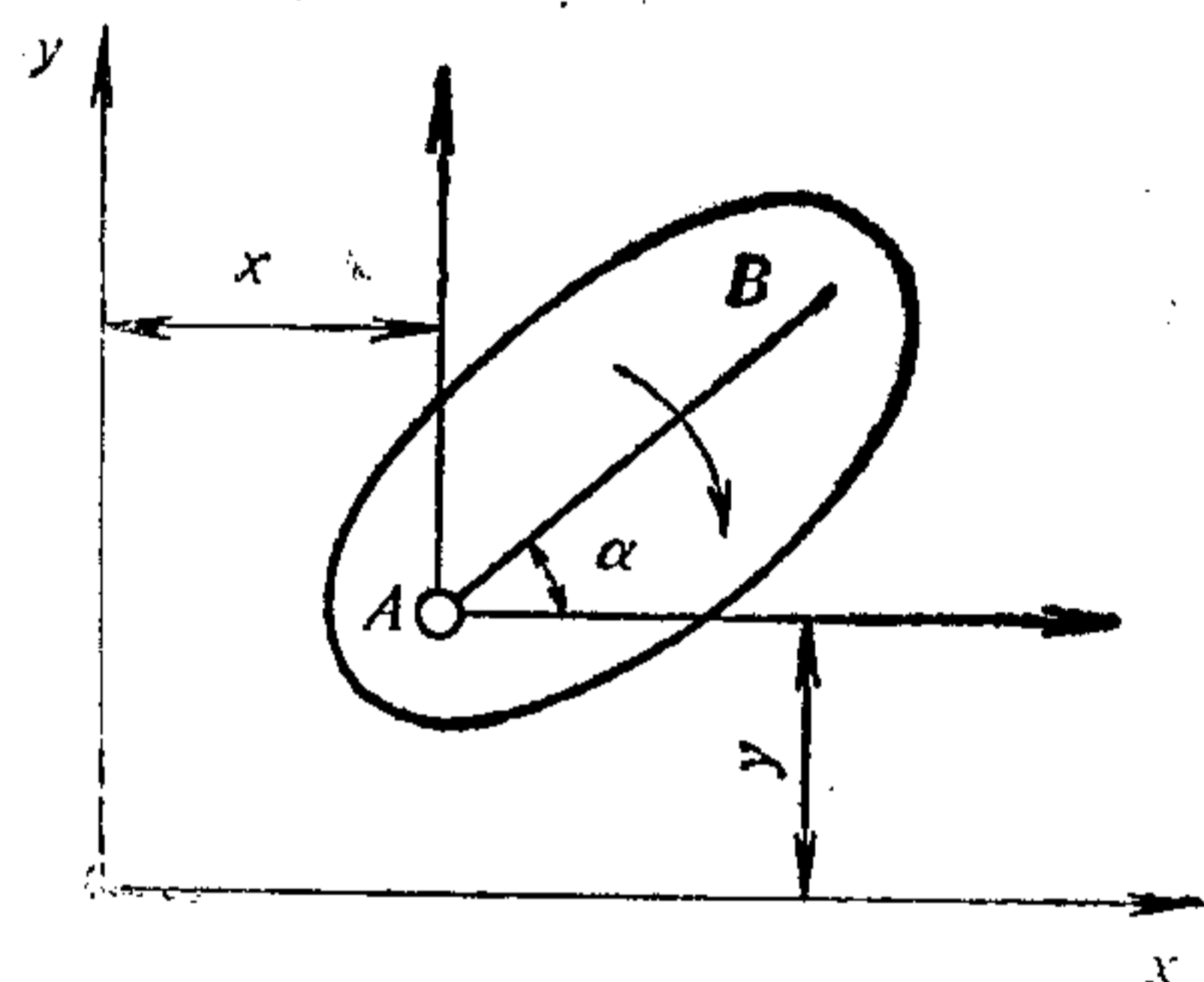


图 1-3 平面运动自由构件的三个自由度

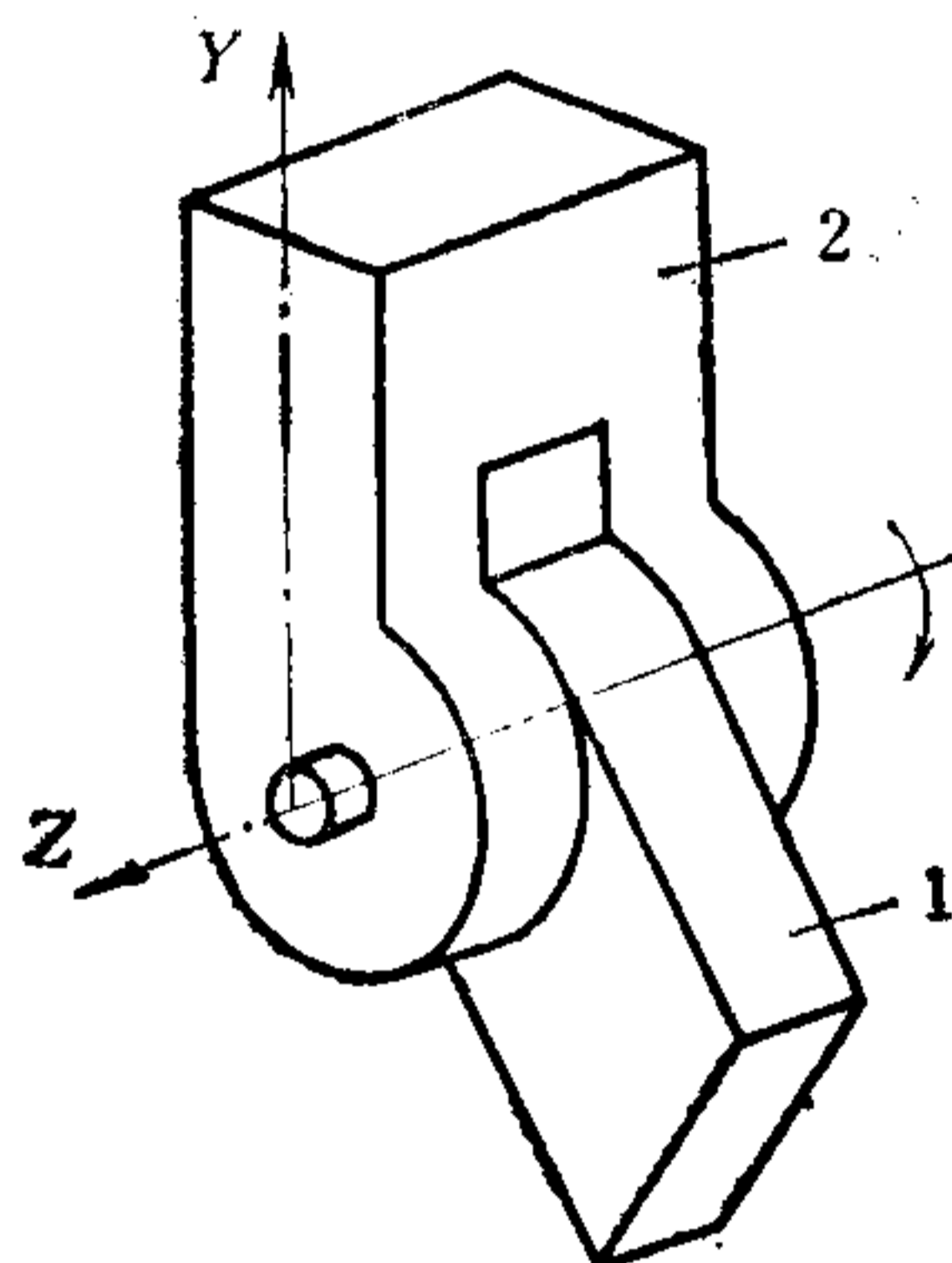


图 1-4 转动副

图1-5所示为移动副，构件2只能在孔1中沿 X 方向移动，而沿 Y 方向移动和绕 Z 轴转动均被移动副所约束，所以移动副也存在两个约束。

转动副中，两构件接触处是圆柱面。移动副中，两构件接触处是平面。这种以面接触形式的运动副统称为低副。

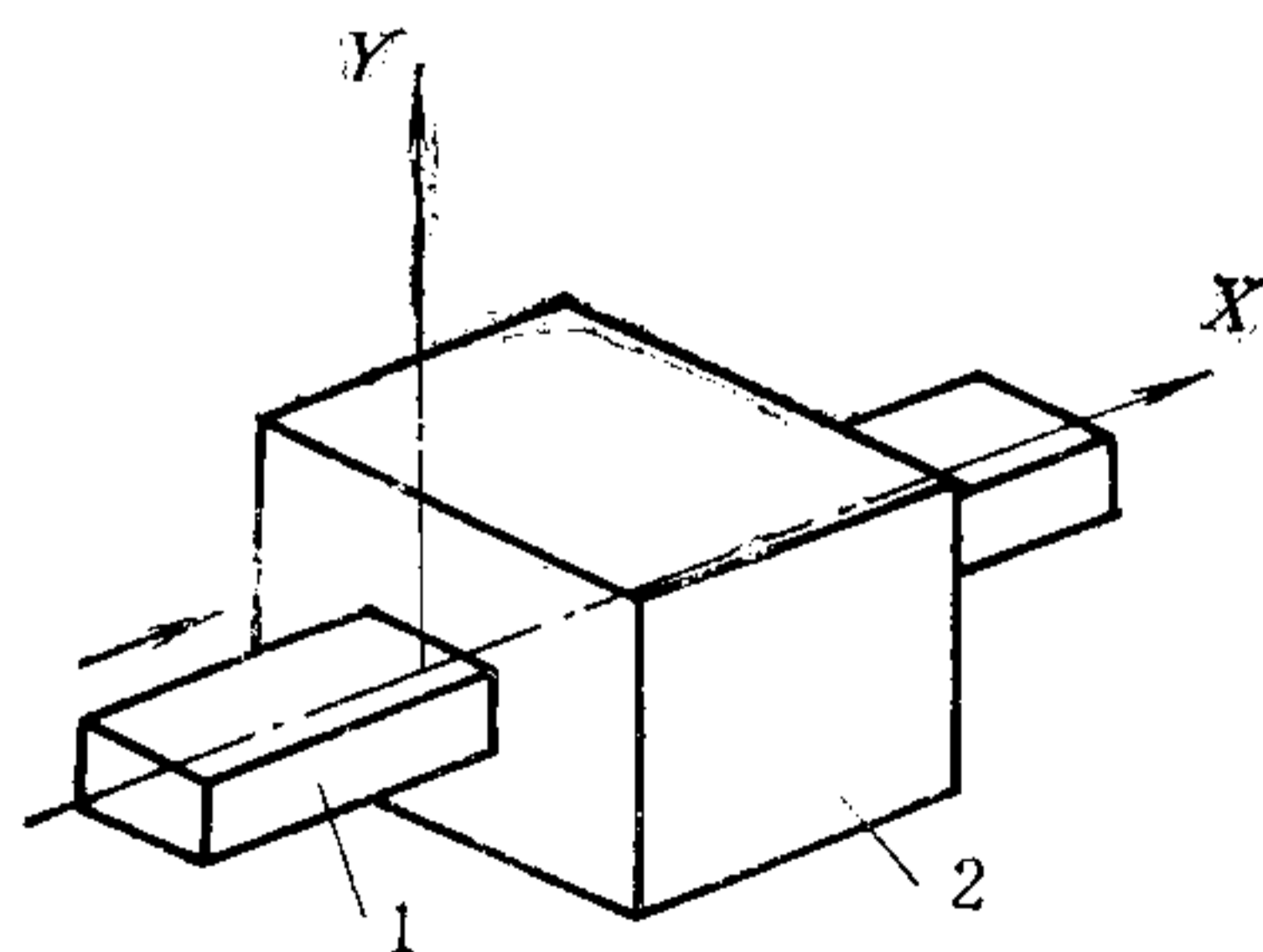


图 1-5 移动副

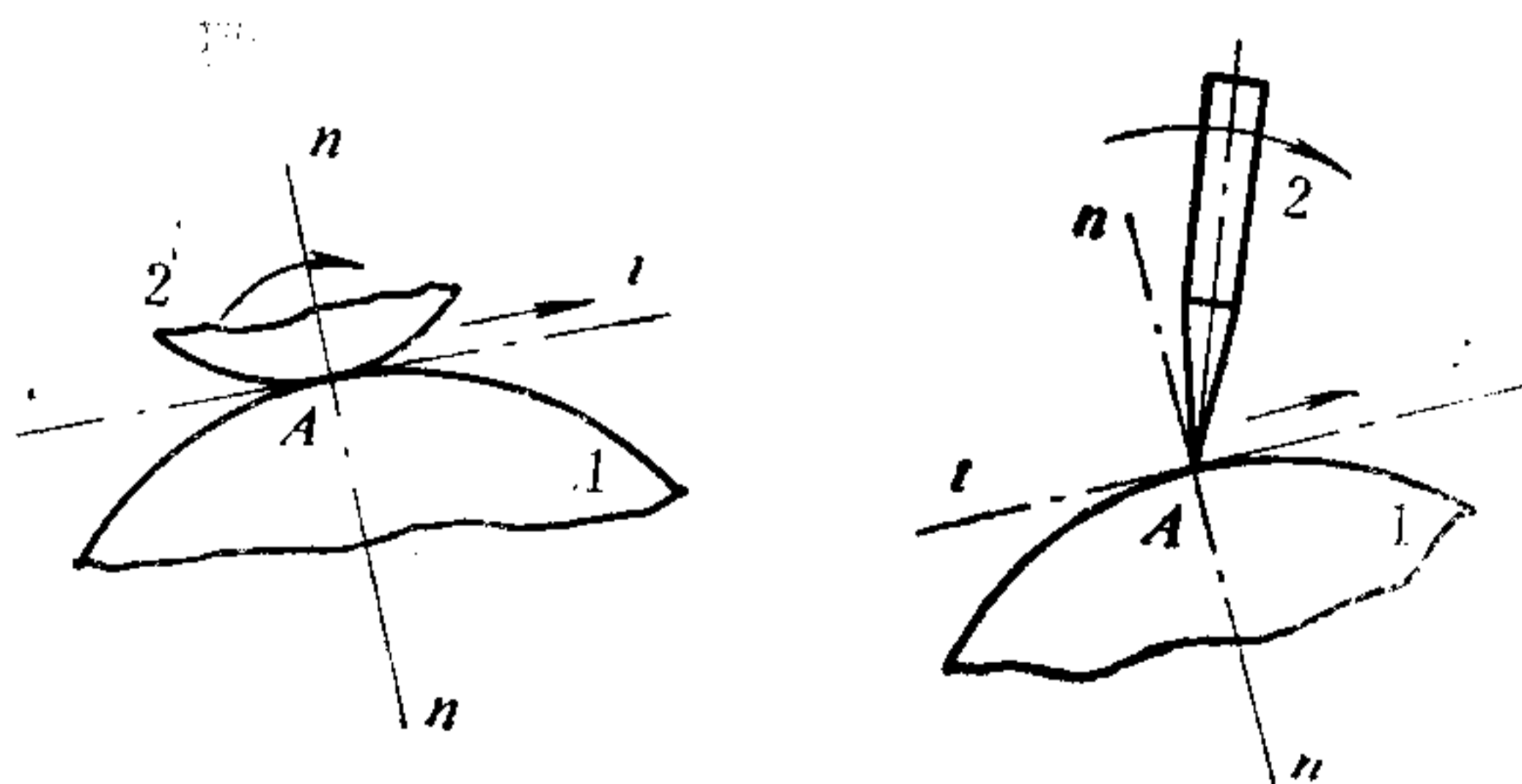


图 1-6 高副

两构件接触处若是线或点，如图1-6所示，则称为高副。高副使构件间沿接触处法线方向（即 $n-n$ 方向）上的移动被限制，而沿切线方向（即 $t-t$ 方向）的移动和绕垂直于运动平面轴线的转动仍然存在，所以高副的约束数为1。

如果只是为了研究机构的运动，或者作为设计机构的第一步，即先作运动学设计时，为使问题简化，则可不考虑构件的真实外形，仅用规定的简单符号代表构件和运动副。为了能反映机构运动情况，应按一定比例定出各运动副的相对位置，这样绘出的简单图形称机构运动简图。

平面机构运动副符号，有如下规定画法：

转动副符号，如图1-7所示。图1-7(a)是转动副实形，图1-7(b)、(c)是它的符号。小圆圈圆心代表转轴的轴线位置，阴影斜线部分表示机架。机架是机构中不动的构件，是支承其它活动构件的基础，也是机构各构件相对运动的参照物，如内燃机中的汽缸体即是。

移动副符号，如图1-8所示。图1-8(b)是实形，其余均是它的符号。应该注意的是移动副符号的导路方向必须和实物或设计中要求的相对移动方向一致。

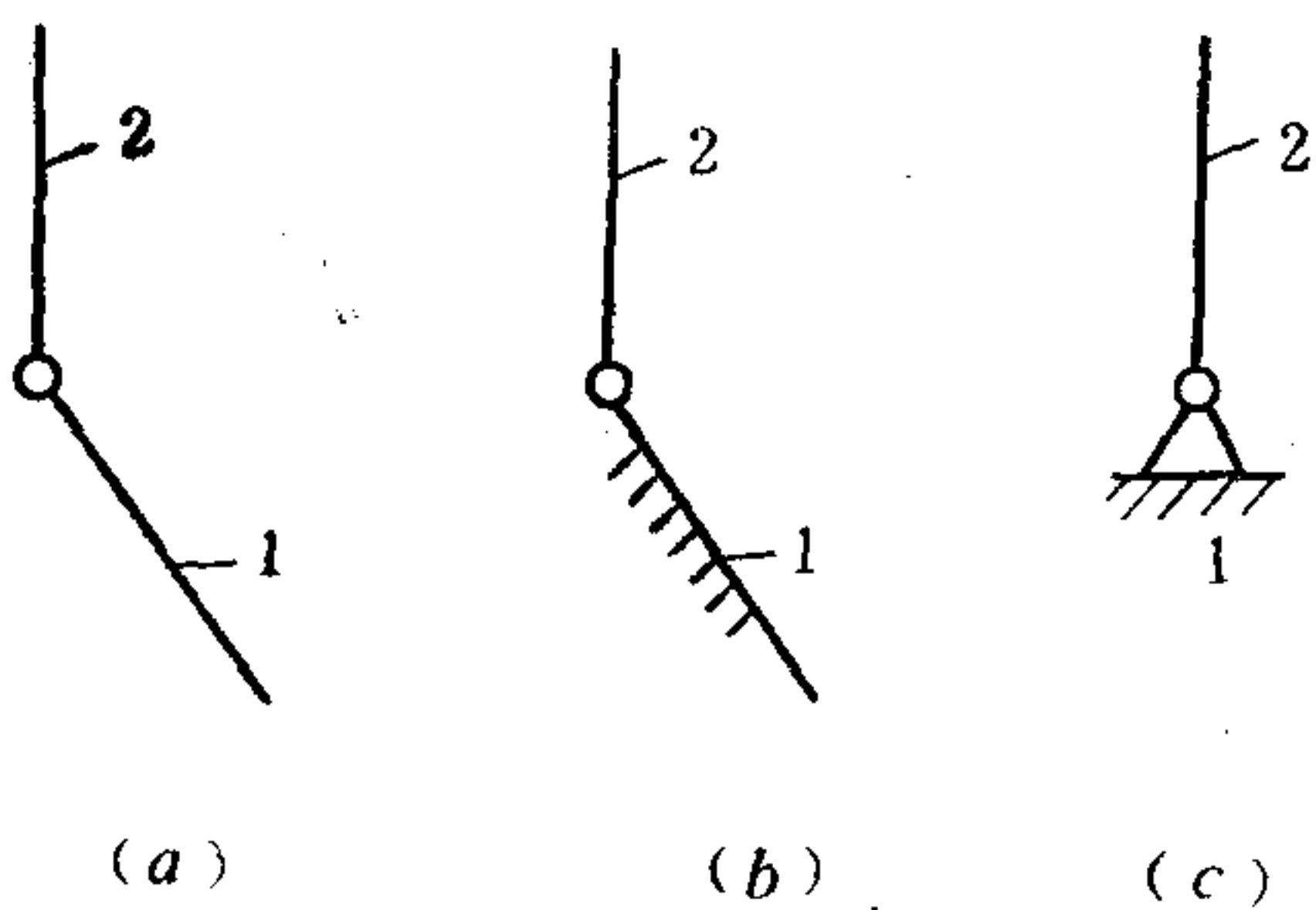


图 1-7 转动副符号

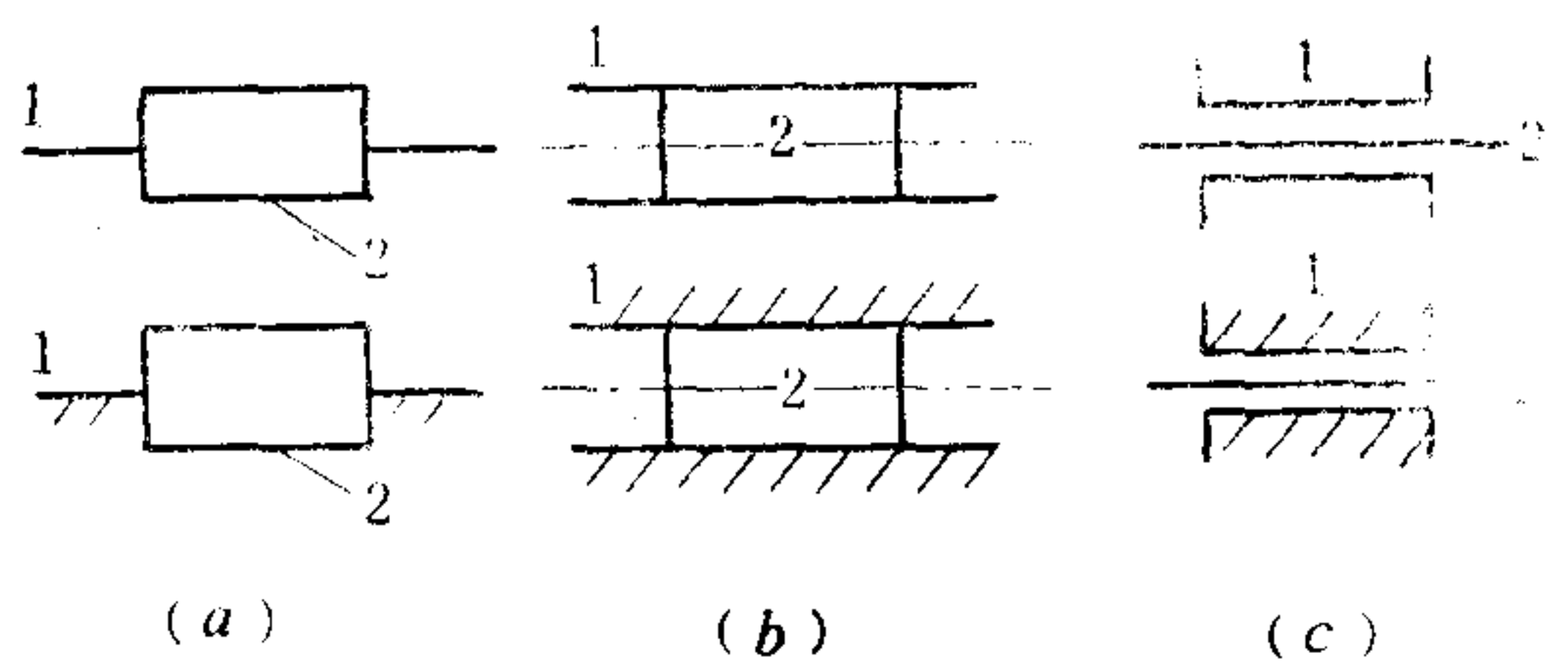


图 1-8 移动副符号

高副符号如图1-9所示。对于高副应画出两构件接触处的轮廓。

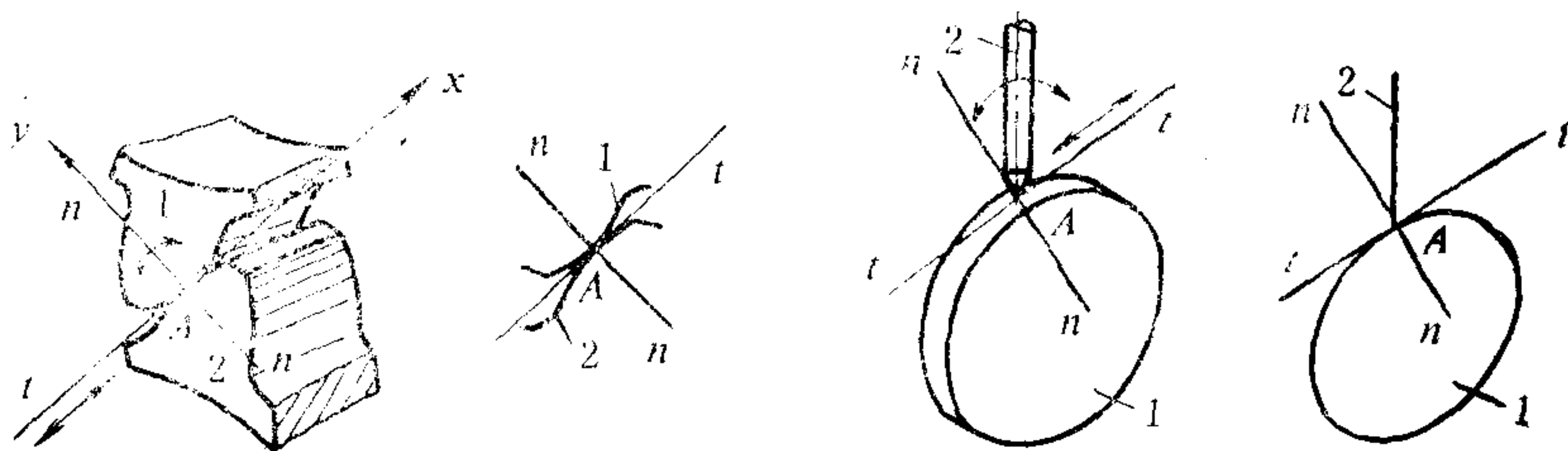


图 1-9 高副符号

机构构件的画法，只需将构件上所有的运动副符号按照在机构上的位置画出，然后用简单线条把这些运动副符号连起来便表示了该构件。图1-10表示具有两个运动副构件的画法；图1-11表示具有三个或多个运动副构件的画法。齿轮和凸轮的构件有它们的习惯画法，见图1-12所示。

测绘机构简图大致步骤如下：先选择好视图平面，通常的视图平面即机构运动平面；其次分析哪个是原动件，哪个是从动件（外力驱动机构促使其运动所作用的构件称原动件，其余被推动的构件称从动件）；观察各构件间是用什么运动副联接的；最后按规定的运动副符号

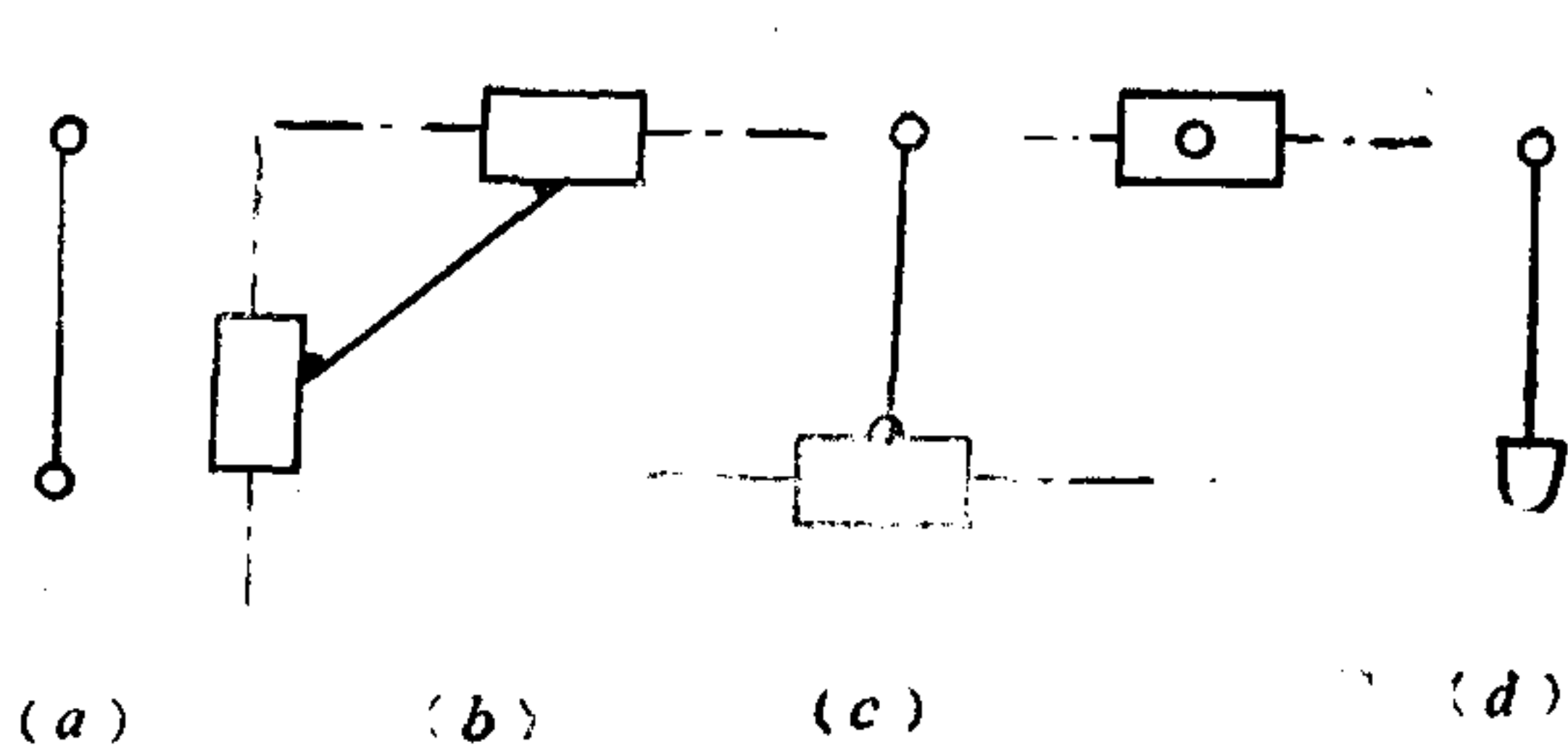


图 1-10 具有两个运动副的构件

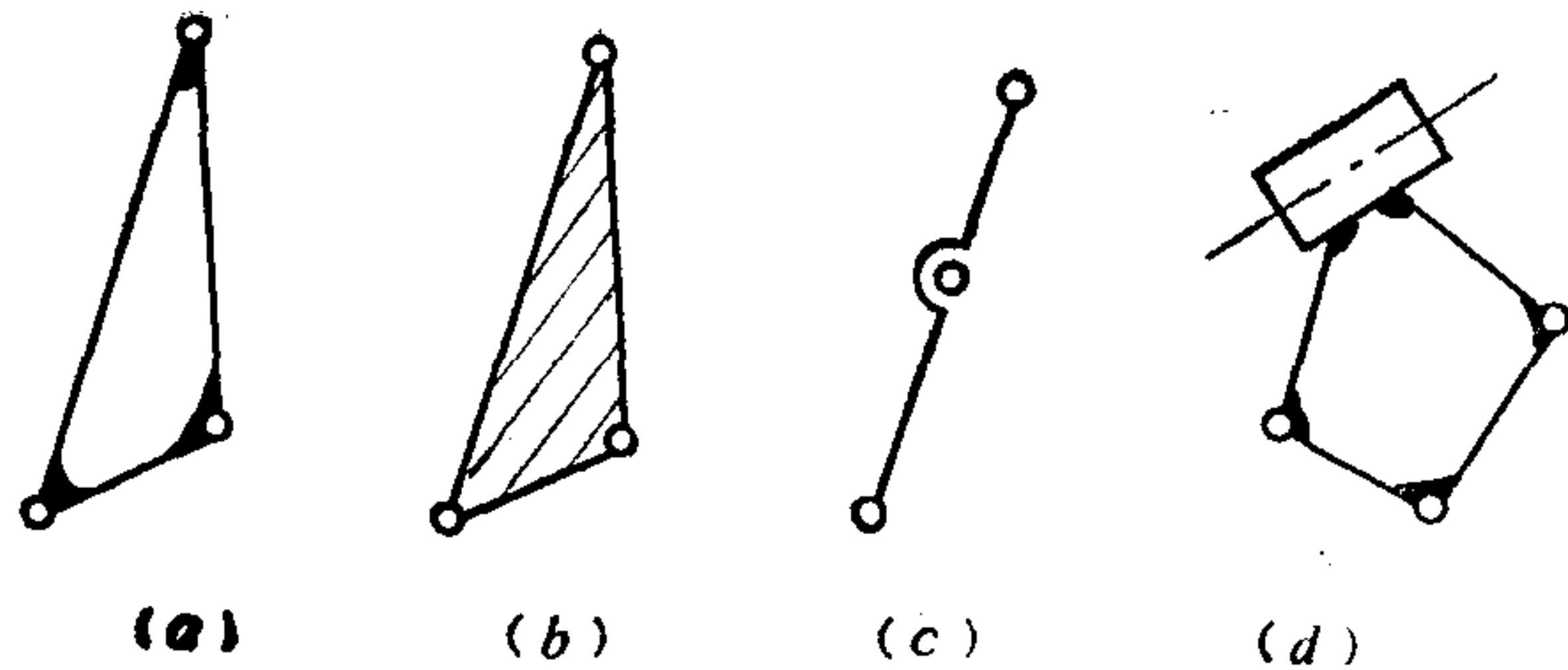


图 1-11 具有三个或多个运动副的构件

和构件画法按一定比例画成。例如图1-1单缸四冲程内燃机简图即由图1-13表示出。

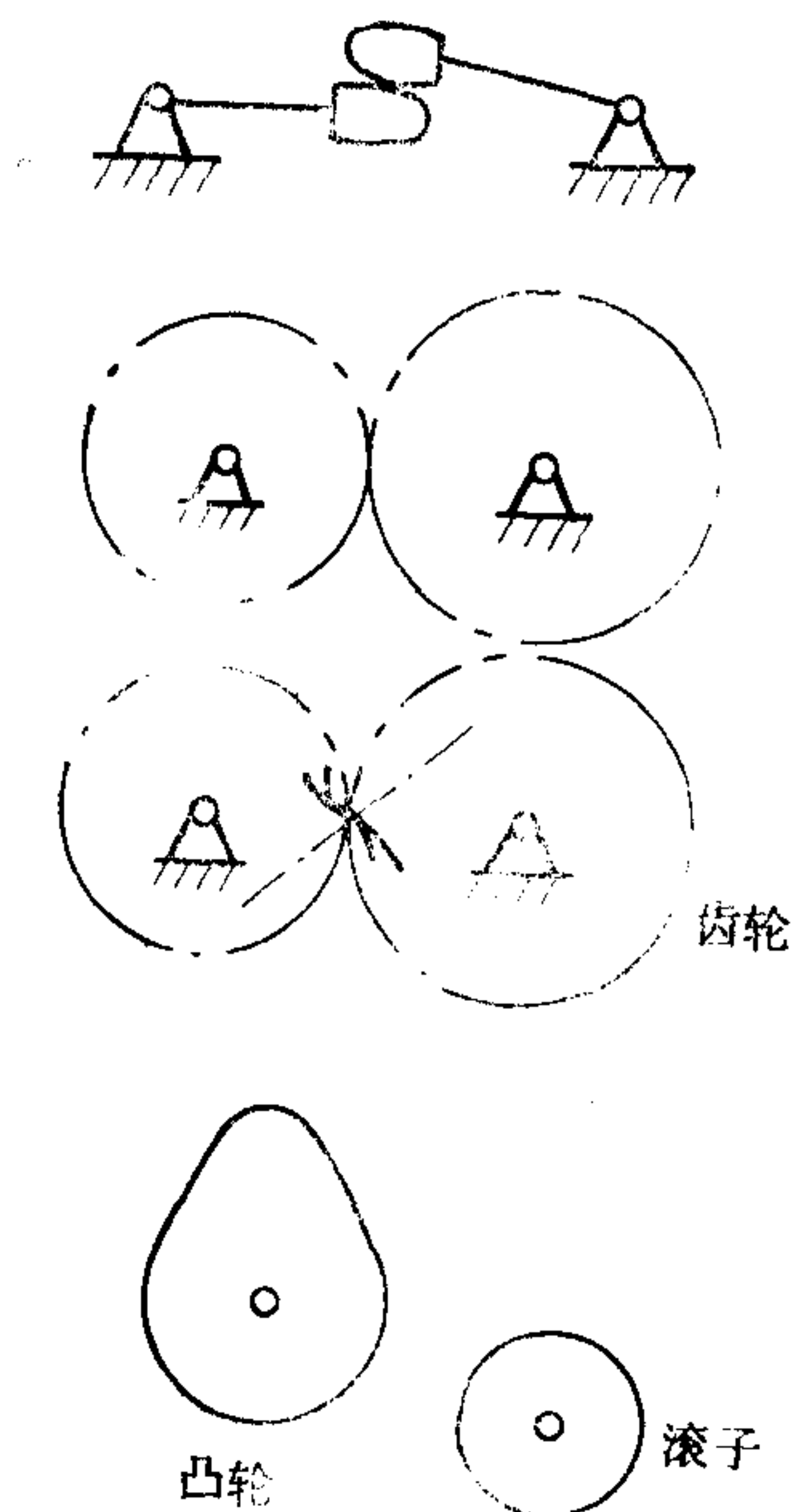


图 1-12 齿轮和凸轮构件

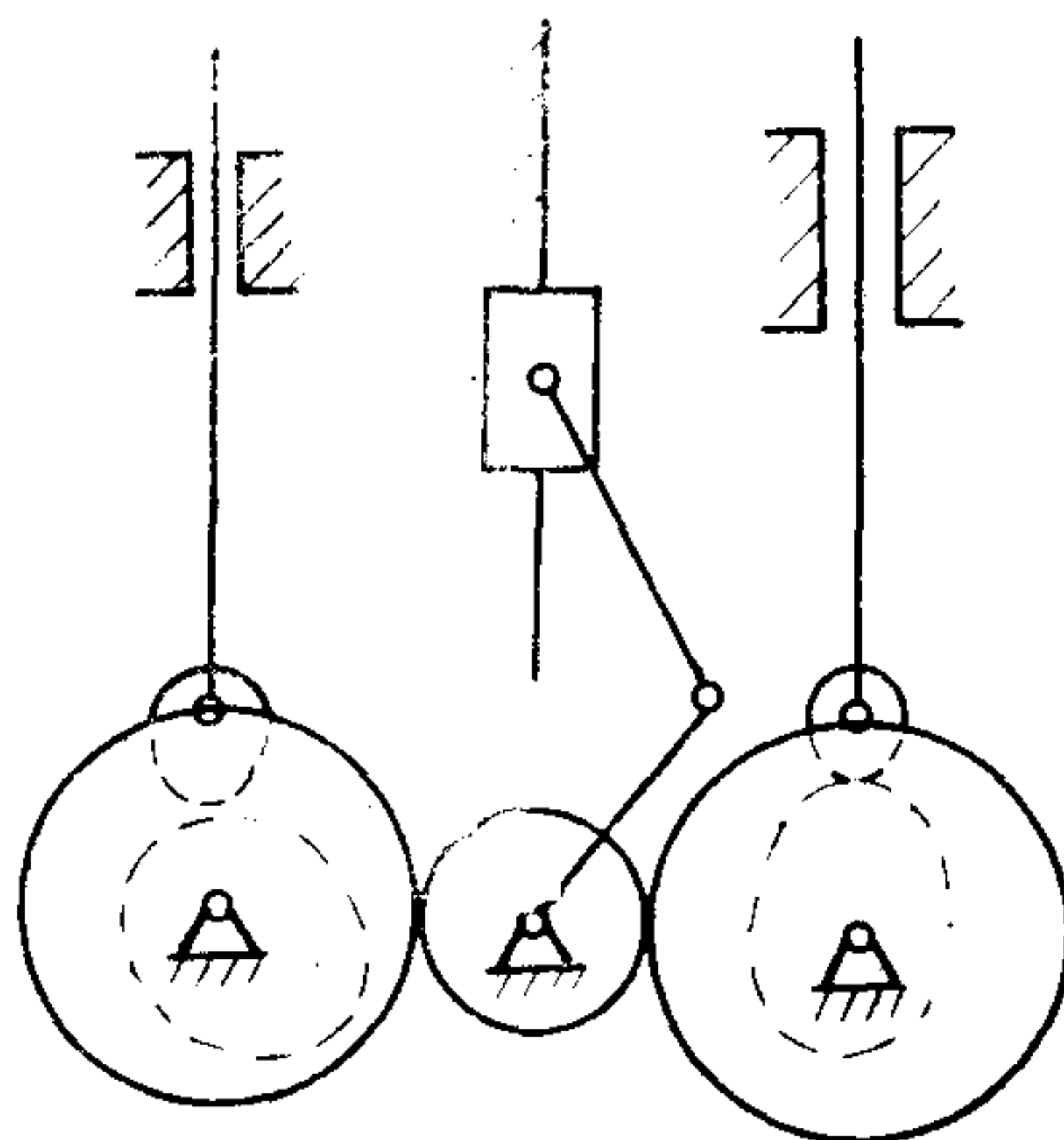


图 1-13 单缸四冲程内燃机简图

§1.2 平面机构自由度和机构具有确定运动的条件

作平面运动的自由构件共有三个自由度，它们一旦以运动副形式联接起来，便形成了各种约束。凡是低副约束数为2，凡是高副约束数为1，因此平面机构的自由度可以这样确定：当机构有 n 个活动构件（即机架除外所有构件），则共有 $3n$ 个构件自由度，若有 P_L 个低副和 P_H 个高副，则共有 $2P_L + P_H$ 个约束，则机构自由度 F 为

$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (1-1)$$

机构自由度表明了机构有几个独立运动的数目。该公式早在1869年由俄国科学院院士契贝谢夫（П.А.Чебыщев）提出。

机构自由度的计算，其意义在于从理论上判断机构的运动是否可能或者是否确定。例如图1-14(a)所示为由三个杆用转动副（或称铰链）联接的结构，因 $n = 2$ ， $P_L = 3$ ， $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 2 - 2 \times 3 = 0$ ，这样在形式上是采用转动副活动联接，但实际上各杆间并不存