

高等学校教材

机 械 原 理

谢 进 万朝燕 杜立杰 主编



高等教育出版社

策划编辑 龙琳琳
责任编辑 龙琳琳
封面设计 李卫青
责任绘图 朱 静
版式设计 史新薇
责任校对 俞声佳
责任印制

前 言

现代机械是“由计算机信息网络协调与控制的、用于完成包括机械力、运动和能量流等动力学任务的机械和(或)机电部件相互联系的系统”(美国机械工程师协会, 1985年)。在日常生活和工业、农业等各项生产活动中,以机电一体化产品为代表,现代机械已经有了广泛的应用。无论是工程技术人员还是在校学习的各类学生,对现代机械的设计、制造和使用都表现出了极大的兴趣。机械原理课程主要研究的内容与机电一体化产品的设计有着非常密切的联系,其教学内容的改革应当适应工业发展的需要,脱离“纯机械”的束缚,加强与微电子技术的结合。这种观点目前已经成为一种广泛的共识。

本教材在满足教育部高等学校机械原理课程教学基本要求的基础上,力求引入一些现代机械的基本概念、机械运动的控制原理和方法等内容。教材包括了步进电机、伺服电机、直线电机和一些新型驱动装置的介绍,机构运动学的逆问题及其求解方法,机电一体化常用机构,机械系统动态模型和机械运动控制方面的基本知识等内容。

本教材突破了传统的以基本机构安排章节的方法,采用了机械运动的产生、传递变换、检测和控制这样一个新的体系。教材共分 缘篇。

第 员篇为机械运动及其产生和变换。在学习了这部分内容后,学生就会对各种形式的机械运动的发生条件、各种驱动装置的运动输出形式和各种机构运动形式变换的功能、机构的组成等方面的问题有初步的了解。

第 圆篇为机械系统的运动分析和设计。重点介绍了各种机构运动分析和设计的基本理论和方法,突出了适用于计算机的解析法的介绍,保留了部分方便实用的图解法的教学内容。

第 猿篇为机械系统的静力与动力分析和设计。机械系统静力分析和设计的主要内容包括机构的压力角和传动角、摩擦分析等,机械系统动力分析和设计的主要内容包括机构动态静力分析,平衡,机械系统的运动方程及其应用等。

第 源篇为机械系统运动和动力参数的测定及机械运动控制原理。重点介绍了用于测定运动参数的传感器的基本原理、机械系统动态模型的建立、系统运动分析的传递函数和状态空间描述等机械运动控制的基本概念,最后以系统速度波动的调节为例介绍了机械运动控制的原理和方法。

第 缘篇为机械系统运动方案的概念设计和新的研究课题。重点介绍了机械运动概念设计的一些方法,其中基于功能、结构、约束的方法和基于机构特征矩阵的方法都是近些年出现的面向计算机的方法。除此之外,还重点介绍了几种新型的传动装置,目的是使学生对这些传动装置有一些了解,同时也是为了启发学生的思维。关于机构学新的研究课题的介绍,对于那些对本课程有兴趣、准备进一步深入研究的学生会有一定的帮助。

参加本书编写的人员有大连铁道学院的万朝燕、关天民(第 员章,第 猿章的部分内容),石家庄铁道学院的范晓珂、杜立杰(第 源章),北方交通大学的房海蓉、张英(第 圆章),华东交通大学的刘平安(第 猿章),西南交通大学的李立、谢进(第 员章,第 缘、怨章,第 员、缘

章), 由谢进、万朝燕、杜立杰担任主编, 谢进负责统稿。

西南交通大学的陈永教授在本教材的编写过程中提出了许多建设性建议, 最后又作了精心的审阅, 编者对陈永教授表示衷心的感谢。编者还要感谢参加本教材试用并提出了修改建议的教师和同学; 感谢高等教育出版社的领导和有关人员; 感谢所有其他关心本教材的领导及同事。

由于编者水平有限, 对于教材中存在的错误、不足, 恳请同人和读者批评指正。

编者

二〇一〇年 月

目 录

第 1 篇 机械运动及其产生和变换

第 1 章 绪论	1	1.1 其他新型驱动装置	1
1.1 机械、机构和机器	1	1.2 机械传动简介	1
1.2 机械原理学科的形成 和发展概况	1	1.2.1 低副机构	1
第 2 章 构件、约束和运动副	2	1.2.2 高副机构	2
2.1 构件及其分类	2	1.2.3 挠性传动机构	2
2.2 构件的运动约束	2	1.2.4 组合机构	2
2.2.1 构件的自由度与约束	2	1.3 机构的设计过程	2
2.2.2 日常生活中的各种机械约束	2	思考题及习题	2
2.2.3 约束力	2	第 3 章 机构的结构	3
2.2.4 构件运动约束的设计	2	3.1 运动链、机构	3
2.3 运动副及其分类	3	3.2 机构运动简图	3
2.3.1 运动副	3	3.3 机构的数字存储	3
2.3.2 运动副的分类	3	3.3.1 机构与机构的拓扑图	3
思考题及习题	3	3.3.2 机构拓扑图的关联矩阵 和邻接矩阵	3
第 4 章 机械系统常用的驱动和运动 传递变换装置	4	3.4 机构的自由度	4
4.1 电动机	4	3.4.1 机构自由度的概念	4
4.1.1 电动机的基本原理与分类	4	3.4.2 机构的自由度与原动件数	4
4.1.2 驱动电动机的机械特性 曲线及其控制	4	3.4.3 机构自由度的计算公式	4
4.1.3 控制电动机	4	3.4.4 过约束	4
4.2 内燃机	4	3.5 机构的组成原理	4
4.2.1 内燃机的基本原理	4	3.5.1 基本杆组	4
4.2.2 内燃机的特性曲线	4	3.5.2 平面基本杆组的形式	4
4.3 液压传动	4	3.5.3 机构的组成	4
4.3.1 液压传动的基本原理 和特性	4	3.5.4 机构的级	4
4.3.2 液压传动系统的组成	4	3.6 机构的变形与同构	4
4.4 气压传动	4	3.6.1 再生运动链法	4
		3.6.2 同构机构	4
		思考题及习题	4

第 四 篇 机械系统的运动分析和设计

<p>第 四 章 速度瞬心及其应用 缘</p> <p>缘 缘 速度瞬心的概念及其确定方法 ... 缘</p> <p>缘 缘 缘 速度瞬心的概念 缘</p> <p>缘 缘 缘 构件速度瞬心的确定 缘</p> <p>缘 缘 速度瞬心在机构速度分析中的 应用 缘</p> <p>缘 缘 瞬心线和瞬心线机构 缘</p> <p>缘 缘 共轭曲线和共轭曲线机构 缘</p> <p>缘 缘 在机构运动和结构分析中的 高副低代 缘</p> <p>缘 缘 思考题及习题 缘</p> <p>第 五 章 平面连杆机构的运动分析和 设计 缘</p> <p>缘 缘 平面连杆机构及其应用 缘</p> <p>缘 缘 平面连杆机构的基本运动特性 ... 缘</p> <p>缘 缘 缘 曲柄存在的条件 缘</p> <p>缘 缘 缘 摇杆的极限位置和机构的 急回运动特性 缘</p> <p>缘 缘 连杆机构的演化 缘</p> <p>缘 缘 平面连杆机构运动分析的解析法 ... 缘</p> <p>缘 缘 缘 机构运动分析和设计解析法中 方程组的求解方法 缘</p> <p>缘 缘 缘 平面连杆机构正运动学分析 的直角坐标法 缘</p> <p>缘 缘 缘 平面连杆机构的逆运动学 分析 缘</p> <p>缘 缘 运动副间隙对机构运动的影响 ... 缘</p> <p>缘 缘 平面连杆机构的运动设计 缘</p> <p>缘 缘 缘 连杆机构运动设计的图解法 ... 缘</p> <p>缘 缘 缘 平面连杆机构运动设计的 位移矩阵法 缘</p> <p>缘 缘 缘 机构设计中应检验的 运动学条件 缘</p> <p>缘 缘 思考题及习题 缘</p> <p>第 六 章 凸轮机构的运动设计 缘</p> <p>缘 缘 凸轮机构的组成及其应用 缘</p>	<p>缘 缘 缘 凸轮机构从动件运动规律的设计 ... 缘</p> <p>缘 缘 缘 凸轮轮廓曲线的设计 缘</p> <p>缘 缘 思考题及习题 缘</p> <p>第 七 章 齿轮机构与轮系的运动分析和 设计 缘</p> <p>缘 缘 齿廓啮合的基本定律和共轭齿廓 ... 缘</p> <p>缘 缘 渐开线直齿圆柱齿轮传动 缘</p> <p>缘 缘 缘 渐开线的形成及其性质 缘</p> <p>缘 缘 缘 渐开线齿轮传动的特点 缘</p> <p>缘 缘 缘 渐开线直齿圆柱齿轮和齿条 的几何尺寸、加工方法和 基本参数 缘</p> <p>缘 缘 缘 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合 传动 缘</p> <p>缘 缘 缘 渐开线直齿圆柱齿轮传动的 运动设计 缘</p> <p>缘 缘 斜齿圆柱齿轮传动 缘</p> <p>缘 缘 缘 斜齿轮的端面和法面 缘</p> <p>缘 缘 缘 斜齿轮的啮合传动 缘</p> <p>缘 缘 蜗杆蜗轮传动 缘</p> <p>缘 缘 缘 阿基米德蜗杆和蜗轮的加工 方法和中间平面 缘</p> <p>缘 缘 缘 蜗杆蜗轮的啮合传动 缘</p> <p>缘 缘 直齿圆锥齿轮传动 缘</p> <p>缘 缘 缘 背锥和当量齿轮 缘</p> <p>缘 缘 缘 直齿圆锥齿轮几何尺寸的 计算及其啮合传动 缘</p> <p>缘 缘 轮系的运动分析和设计 缘</p> <p>缘 缘 缘 定轴轮系的运动分析和设计 ... 缘</p> <p>缘 缘 缘 周转轮系的运动分析 和设计 缘</p> <p>缘 缘 缘 混合轮系的运动分析和设计 ... 缘</p> <p>缘 缘 思考题及习题 缘</p> <p>第 八 章 其他常用机构的运动分析 和设计 缘</p> <p>缘 缘 间歇运动机构 缘</p>
--	---

怨源猿	棘轮机构	员源
怨源圆	槽轮机构	员猿
怨源猿	不完全齿轮机构	员源
怨源	螺旋机构	员源
怨源	空间连杆机构	员猿

怨源猿	空间机构中的构件及其连接的描述	员猿
怨源圆	坐标变换及其在空间机构运动学中的应用	员源
	思考题及习题	员猿

第猿篇 机械系统的静力与动力分析和设计

第 员章	机械系统的静力分析和设计	员猿
员章	压力角和传动角	员猿
员章	死点	员猿
员章	机械中的摩擦、自锁和效率 ...	员源
员章	运动副中的摩擦和自锁	员源
员章	考虑运动副摩擦时机机构的力分析	员圆
员章	机械的效率和自锁	员猿
	思考题及习题	员源
第 圆章	机械系统的动力分析和设计	员猿
员章	平面连杆机构动态静力分析的方法	员猿
员章	机械的平衡	员猿

员章	刚性转子的平衡	员猿
员章	挠性转子的平衡简介	员源
员章	机构的平衡简介	员源
员章	刚性构件组成的单自由度机械系统的真实运动	员源
员章	刚性构件组成的单自由度机械系统的等效动力学模型	员源
员章	机械系统稳定运动的条件 ...	员圆
员章	考虑构件的弹性时的机械动力学简介	员猿
	思考题及习题	员猿

第源篇 机械系统运动和动力参数的测定及机械运动控制原理

第 员章	机械系统运动和动力参数的测定简介	员猿
	思考题及习题	员圆
第 圆章	机械运动控制技术简介	员猿
员章	利用控制机构进行机械运动的控制	员猿
员章	机电一体化系统控制的	

	基础理论简介	员源
员章	周期性速度波动和非周期性速度波动的调节	员源
员章	周期性速度波动及其调节 ...	员源
员章	非周期性速度波动的调节 ...	员圆
员章	电子调速器	员圆
	思考题及习题	员圆

第缘篇 新型传动机构和新的研究课题

第 员章	新型传动机构简介	员圆
员章	渐开线少齿差传动	员圆
员章	摆线针轮传动	员源
员章	谐波齿轮传动	员源
员章	活齿传动	员圆
第 圆章	机械系统运动方案的概念设计和新的研究课题	员圆

员章	机械系统运动方案概念设计的一般过程	员圆
员章	机械系统运动方案的概念设计方法	员圆
员章	现有方案的修改	员圆
员章	灵感	员圆
员章	组组法	员猿

员编图原	利用机械设计的书籍、	的运动方案概念设计	图缘
	工具书进行设计的方法 ...	图猿	图远
员编图缘	基于功能、结构、约束的	员编图原	图苑
	概念设计方法	图源	图怨
员编图远	基于机构特征矩阵表示		
	(选择图缘图猿图原图苑图怨图源图怨)	参考文献	图园

第 1 篇

机械运动及其产生和变换

本篇重点介绍机械运动的特点、各种常用的驱动装置和各种基本机构的运动变换功能。

各种机械运动都是人为设计的约束运动，约束的作用和设计是机械设计最基本的问题。

各种不同类型的驱动装置所基于的物理学原理是不同的。作为工程技术人员应当了解和掌握驱动装置的物理学原理，研究将各种能量转换为机械能的技术，创造出各种新型的驱动装置，同时，也应当注意各种驱动装置的输出运动和动力形式、特点，以便于正确使用各种驱动装置。

各种运动传递和变换机构同样也具有不同的特点、功能和应用场合，在构件的运动形式变换的同时也伴随有力或力矩的变换。

本篇的学习将为机械运动、动力分析和设计奠定基础。

第 1 章 绪 论

1.1 机械、机构和机器

1.1.1 机器

机器是具有使材料成形,或进行运动和力的传递和变换等特殊用途的机械系统。在工业、农业、国防以及人们的日常生活中有各种各样的机器。图 1-1 所示的缝纫机可以将若干布块缝制成一个整体,改变了布块的形状,所以缝纫机是一种机器。

1.1.2 机构

机构是人为设计而成的系统,用来将一个或几个物体的运动转变为另外一些物体的约束运动,或将作用在一个或几个物体上的力转变为作用在另外一些物体上的力。

常用的基本机构有连杆机构、齿轮机构、凸轮机构等。

1.1.3 机械

机械是机构和机器的总称。

图 1-1 所示的缝纫机是由若干个机构组成的机械系统。它能够将脚踏板 1 的往复摆动通过连杆 2 转变为曲柄 3 的整周转动,再通过带传动以及安置在缝纫机机头内部的一些机构完成挑线、刺布和送布等一系列动作。其中脚踏板 1、连杆 2、曲柄 3 和缝纫机机架就组成了一个基本机构——连杆机构。

在缝纫机这个机械系统中,运动的驱动装置是人力,运动的传递、变换和控制全部是由变形很小(小到可以忽略不计)的“刚体”来完成的。这种缝纫机便是一种典型的传统机械。

现代机械则是由计算机信息网络协调与控制的,用于完成包括机械力、运动和能量流等动力学任务的机械和(或)机电部件相互联系的系统。计算机控制的家用和工业用缝纫机、机器人等机电一体化产品均属于现代机械。

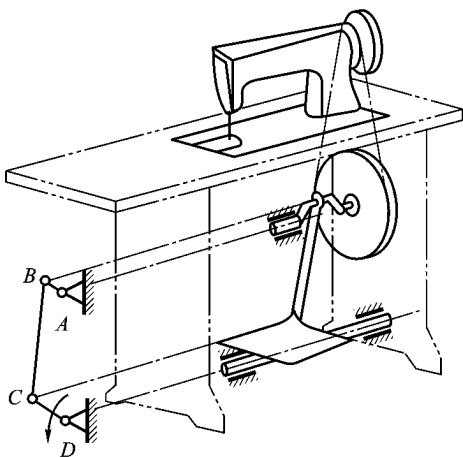


图 1-1 缝纫机

1.2 机械原理学科的形成和发展概况

机械原理研究的是机械的结构、运动和动力分析及设计的一般方法,包括机械系统中各个部件或零件之间的运动功能关系,以及它们之间的相互联系和相互作用关系等。在一个机械系

统的设计中，首先要解决机械的结构和运动等方面的问题，然后才能进一步考虑机械零部件的材料选择、强度计算、制造加工和投资预算等方面的问题。工程实践表明：如果机械的结构、运动传递和变换方案选择不当，将会导致所设计的机械水平低下，或者不能很好地达到设计的基本要求，甚至可能造成机械的运转不可靠，造成巨大的人力和资源的浪费。

人们对机械原理课程所涉及的问题进行了长期的研究。远古时代，美索不达米亚、埃及、印度和中国等已有了各种各样的机械，如水车、杠杆等。但是，限于当时社会的政治和经济状况，这些机械的设计仅仅靠的是技术或技艺，而不是系统的工程科学方法。

当社会发展到有了剩余产品的时候，就有部分人开始了艺术和哲学的研究，认识到自然现象是可以解释的。尤其是在逻辑的思想产生之后，人们就力求用一般的严密科学理论取代过去孤立的、凭经验的规则。公元前 5 世纪就有人用数学的原理处理机构学的问题。当时人们将机器定义为改变自然进程的工具，研究了速度矢量的特点、相对运动和绝对运动的概念、点的圆周运动、纯滚动和四杆机构的速度分析；发现了机器是由一些简单的机构组成的，而机构又是由一些基本元素(构件和运动副,见第 1 章)组成的；提出了在满足一定的运动要求的条件下如何进行机构设计的机构综合方面的问题。人们逐渐将简单的技艺人与机械装置的设计人区别开来：一个机械工程师必须进行理论和实践两方面的学习，理论学习包括自然科学的学习，而实践学习包括各种工程训练。同时人们也意识到：要成为一个机械装置发明者，必须具有坚实的自然科学知识和实践技能。

第一个被命名为机器的是古希腊舞台上用于升降演员、战车和飞马而产生飞的感觉效果的机构。公元前 4 世纪已有了曲柄、连杆、连杆机构、滑块等名词及其应用。公元前 3 世纪至公元前 2 世纪就有了利用反馈控制的机械装置，并且出现了齿轮。公元 1 世纪中国出现的指南车就利用了差动轮系。

在罗马和中世纪时代，土木工程与机械工程被分离开来，此时，机构设计仍被视为纯经验的设计。人们将机器定义为：由木块装订在一起，主要用于有效地举升重大的物体的工具。阿拉伯人建造了具有相当高自动化和控制水平的机械。15 世纪引入了笛卡儿坐标研究加速运动，并且提出了连续体力学的概念。当时出现了大量的图册来介绍机构的设计方法，研究的主要对象是摆钟，同时，在世界各地出现了不少研究机械的学术组织。

17 世纪和 18 世纪的研究成果标志着早期现代化时代的开始，也标志着机械化和工业革命的早期阶段的开始。化工能源的利用和减轻机械体积、质量的要求提出了大量的机械动力学问题，而微积分和连续体力学的发展又为力学的迅速发展提供了基础。从 17 世纪到 18 世纪人们主要研究的是蒸汽机。17 世纪提出了实现直线连杆轨迹的机构设计方法；18 世纪提出刚体平面运动可以看成是一个点的移动和绕着该点的转动的运动合成，并将运动学与动力学区分开来；18 世纪提出了速度瞬心的概念。

在 18 世纪之前，人们都是将机器作为整体进行研究，或者只研究机器中分离出的零件。18 世纪第一个提出了机构的概念，他把机器描述为“将一种运动转变为另外一种运动”，例如将圆周运动转变成直线运动。当时，人们将各种机构以其运动变换功能或力的增益等方式进行分类。不少高等学府将运动学和机构从一般的机械学分离出来，认为机构运动学“是研究运动而与产生运动的动力无关的科学，运动学应当包括各种形式的运动”。18 世纪提出了运动分析的基本问题：“在已知机器中某些部件的运动的条件下，求机器的运动”。机构的符号表

示也是当时研究的热点问题。在此方面，**瓦特**做出了不少贡献，同时他还提出了机构的综合问题：“比机构分析更重要的是：**瓦特**发明人在不知道如何进行思考的情况下，是如何得到他们的发明成果的？”当然，他提出的机构综合问题仅仅是机构的“型综合”。**瓦特**提出了机构是由机架和活动部件组成的概念。

按照 **瓦特**关于平面一般运动的概念，**瓦特**和 **瓦特**等人分别对机构的位移、速度和加速度都进行了分析，**瓦特**提出了机构运动分析的“三心定理”。

瓦特进一步发展了连杆机构可动性的判定准则，并在机构的“数综合”的研究方面迈出了重要的一步；在 **瓦特**应用几何方法进行刚体导引问题的研究成果发表之后，机构的“尺度综合”引起了广泛的关注，**瓦特**和 **瓦特**提出了实现连杆曲线的“同源机构”的概念。

瓦特世纪是机械原理课程所研究的基本问题形成的时代，揭示出了许多基本原理，建立了许多分析方法，并且开辟了机构综合的道路。在此之后，有大量的研究成果不断涌现出来。

瓦特世纪 **瓦特**年代，用计算机进行机械系统的运动、动力分析和设计的方法又成为研究的热点，出现了难以数计的研究成果。尽管目前应用的许多机械分析和设计的基本原理(包括本书中的主要内容)，都是 **瓦特**多年前的研究成果，但是，计算机的应用可以提高计算的速度和精度，可以将人们从烦琐的计算中解脱出来，集中精力解决设计过程中最富于创造性的问题。分析和设计的手段的改进，同样带来了机械工业的巨大发展。

现在，日常生活中已有各种各样的机构和机器：玩具、钟表、手表、机械加工工具、自动化机械、残疾人的假肢、照相机、复印机、建筑机械、汽车、飞机、轻纺机械、印刷机械等。可以预计，在未来的生产和生活中还会有许多新的机构和机器有待人们去发明和创造。

纵观机械原理研究内容的发展变化可以看出：机构、机器和机械的概念随着人类文明的进步而不断发生变化；机械设计和分析中的任何一种理论和任何一种方法的形成、发展都经历了长期的历史演变。机械原理的教学内容随着机械从传统机械到现代机械的转化，设计和分析方法从简单的技艺到系统的理论体系的转化，都经历了并正在经历着不断的变化。

对于日常生产、生活和学习中的各种各样机械，简单地分析它们的作用原理是件容易的事情，但是要真正理解它们是如何发明的，以及它们为什么被设计成其所具有的特殊形式和尺寸却不是一件容易的事情。

作为一个从事机械设计和制造的工程技术人员，必须具有机械运动的想象能力，具有解释机械运动原理的能力，具有改进已有机械产品设计的能力，具有机械创新设计的能力。这些能力的培养和训练，正是本课程的主要教学目的。

第 四 章 构件、约束和运动副

四 一 构件及其分类

四 一 一 构件

机械一般都是由许多机械零件组合而成的。所谓零件，是制造、加工的单元体。有的零件在机械的运动过程中作为单一的运动单元体而运动，如凸轮、齿轮等；有的则是若干个零件连接在一起，在机构的运动过程中这些零件之间没有任何的相对运动，形成了一个运动的单元体。如图 四 一 一 所示，连接活塞和曲柄的连杆就是由连杆体 1、连杆盖 2、轴瓦 3、轴瓦盖 4、螺栓 5、螺母 6 和开口销 7 等零件装配而成的一个运动单元体。一般把运动的单元体称为构件。

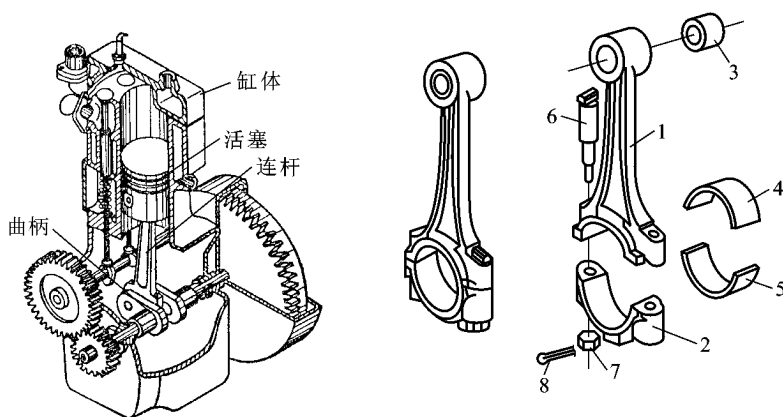


图 四 一 一 单缸内燃机的组成及组成连杆的零件

由此可见，构件和零件是两个不同的概念：构件是运动时的单元体，而零件是制造时的单元体。

四 一 二 构件的类型

机构中构件的种类非常多，分类方法也各不相同。下面介绍几种常见的构件类型。

(一) 在传递运动和力的过程中，构件具有不同的抗载能力。据此可将构件分为刚性构件、弹性构件、拉曳件等。刚性构件由在各个方向都具有相同的承载能力的材料制成，它们能够承受拉伸、压缩、弯曲、剪切和扭转等各种载荷。刚性构件在几何上的特点是：在机构的运动过程中，构件上任意两点之间的距离是保持不变的，构件上任意两条直线所夹的角度也是保持不变的。当然，在工程上，严格意义的刚性构件是很少的，甚至可以说目前是不存在的。但是，在机构设计和分析中，当系统的运转速度比较低，受力比较小，构件的弹性变形非常小(小到可以忽略不计)时，将构件作为刚性构件处理，可以使设计和分析问题大大简化。否则必须考

虑构件的弹性变形，此时构件便成为弹性构件。本书中除特别说明之外，一般将构件均视为刚性构件。

拉曳件是指主要承受拉力的构件，例如一些传动装置中的带、钢带、绳索、链条等。

(圆) 按照构件在机械传动中的功能，可将构件分为机架、原动件和从动件。

机架是指被固定而作为机构运动的参考系的构件。当机构安装在地面上时，通常以与地面固接的构件为机架；如果机构安装在某一运动的物体上，则取相对这一运动物体固定不动的构件为机架。

原动件是指将运动和力传入到机构中的构件，有时又称为主动件。

在机构中除机架和原动件以外的其余构件称为从动件，从动件的运动规律取决于原动件的运动规律和机构的结构。从动件还可以再分为传动构件、输出构件和运动引导构件等。

在图 圆原员所示的机械系统中，通常以内燃机的缸体为机架，活塞为原动件，曲柄和连杆均为从动件，驱动其他机械所需要的力和运动通过曲柄得到，因此，曲柄为输出构件，而连杆为传动构件。

(猿) 构件还可以按照其几何和运动特征进行分类，如凸轮、齿轮、摩擦轮、滑块、导槽、杆件等。很多机构的名称都来源于构件的名称，如齿轮机构、凸轮机构等。

广义来讲，随着科学技术的不断发展，机构中的构件可以有形的，也可以是无形的，只要它在传递运动和力或在运动的导引的过程中能完成一些确定的运动任务，都可以将其视为一个构件。例如液态介质或气态介质、具有可塑性的颗粒状物质等，只要这些物质能够充满所提供的空腔，在运动的传递过程中起到了必不可少的作用，都可以看作为压力构件。此外，机械运动的计算机控制程序等也可以看作是一个构件。

圆圆 构件的运动约束

圆圆圆 构件的自由度与约束

空间中的两个自由构件就是物理和力学中的两个空间运动的自由刚体，它们之间可以发生六个独立的相对运动，即沿着轴 x 、 y 、 z 的移动和绕着这三个轴的转动。每一种独立的相对运动就是一个运动的自由度，因此，两个自由构件之间有六个自由度，如图 圆原圆所示。

使得机构的自由度减少的条件被称为约束。机构中，构件之间相互接触将产生运动约束，约束的数目与它们的接触状态有关。例如两个构件之间如果为一个点接触，则可能提供一个或更多的约束：首先，两构件沿着接触点的法线方向将不再能够运动；除此之外，当摩擦力足够大的时候，两构件将沿着接触点的切平面上的任意方向都不能运动；当接触点处发生了变形，点接触变成了平面接触，则两构件不再具有绕着接触平面内任意一个轴转动的自由度。

约束使构件之间的自由度减少。任意两个构件之间的约束数目等于其自由度减少的数目。一个光滑点接触的约束数目为 员 一个

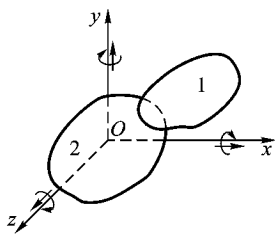


图 圆原圆 两个空间自由构件的独立相对运动

光滑平面接触的约束数目为 猿 两个空间运动的构件之间的约束数和自由度数相加之和应该为 远

下面以可拆卸焊接烧锅的固定装置的设计为例，说明构件之间运动约束设计的一种方法。

可拆卸焊接烧锅的固定装置设计的基本要求是：固定必须准确；从安全方面考虑，其放置的位置是不易触摸到的地方；要能够方便地多次反复装拆。

在图 圆原猿中，当焊接烧锅 粤没有与固定件 月接触时，焊接烧锅与固定件之间有 远个相对运动的自由度。根据设计要求，设计目的是提供 远个独立的运动约束，将焊接烧锅 粤与固定件 月之间的 远个自由度完全消除掉，同时，运动约束又必须能方便地建立和去掉。

设计方法如下：

在固定件 月上设置一个三棱锥形孔 员 灾形槽 圆和平面区域 猿。三棱锥形孔与 灾形槽在同一条直线上。烧锅 粤上设置三个支脚 源 缘 远。每个支脚的端部为半球面。

支脚 源放在三棱锥形孔 员中，烧锅 粤与固定件 月中就有了三个接触点 员 圆 猿。这三个接触点提供了对所有移动的运动约束。可是，只有这三个接触点，烧锅 粤还可以绕轴 载 再和在转动。而当将支脚 缘放在 灾形槽 圆中后，烧锅 粤与固定件 月之间又多了两个接触点 员 源 员 缘。此时就有了绕轴 载和在转动的运动约束。当支脚 远与平面区域 猿的接触点 员 远出现的时候，又有了绕轴 再方向的运动约束。这样，在重力的作用下，烧锅 粤就可以很稳固地固定在固定件 月上了。

值得注意的是，该设计采用了点接触构造约束的方法，具有定位方便快捷、易于加工、没有装配应力等优点。

在各种机构中，平面机构是比较简单但应用非常广泛的一类机构。平面机构的特点是机构中所有构件都在同一个平面或相互平行的平面内运动。

对于运动在同一平面 载 再上的两个构件来说，其相对运动可以分解为三个独立的运动，即沿轴 载 再的移动和绕垂直于 载 再平面的轴的转动。因此，作平面运动的两个自由构件之间具有三个自由度。

圆原圆 日常生活中的各种机械约束

在日常生活中运动约束的形式多种多样，需要留心观察和研究。

图 圆原原所示为球铰链约束。这是一种空间约束，构件 员的杆端为球形，它被约束在一个球窝中，球和球窝半径近似相等。球心固定不动，两构件可以绕此点作空间任意绕动。机床的照明灯与支承杆之间采用的就是球形铰链。

图 圆原缘所示为简单的万向轮的结构。它是由两个转动自由度组合而成的。这些自由度可

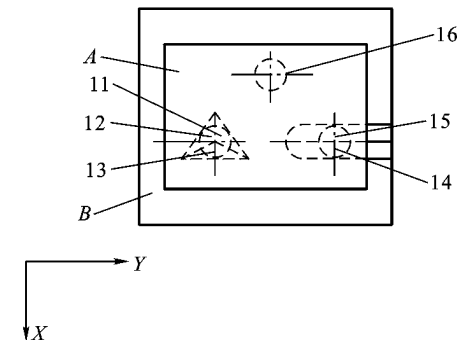
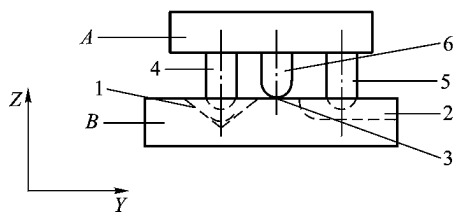


图 圆原猿 拆卸焊接烧锅的固定装置的设计

以使构件在工作扭矩的作用下实现自调整。

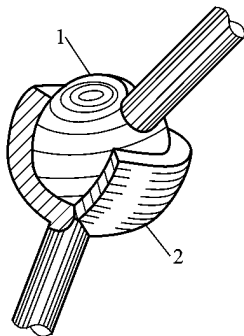


图 圆原 球铰链

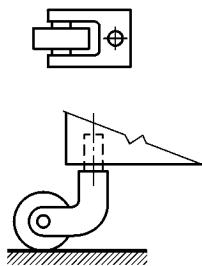
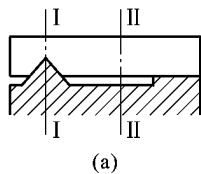
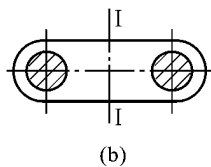


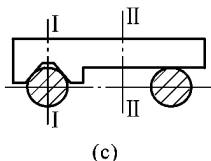
图 圆原 万向轮



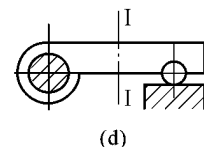
(a)



(b)



(c)



(d)

图 圆原 相同的运动约束

需要说明的是，构件之间不同的连接方式可能产生相同的运动约束。图 圆原 遭 槽 凿 构件的联接方式不同，但两构件之间可能的相对运动都是垂直于纸面的移动，它们所提供的运动约束是相同的。

圆原 约束力

约束是以约束力的方式对构件的运动产生影响的。约束力是通过约束与被约束物体之间的相互接触而产生的，这种接触力的特征与接触面的物理性质和约束的结构形式有关。一个构件所受到的约束力的方向与该约束所能阻碍的相对运动方向相反，所以两构件直接接触后，沿约束力方向的相对运动将受到限制。由于构件接触面的物理性质、结构各不相同，实际的约束形式也多种多样，构件间的约束力也各不相同。

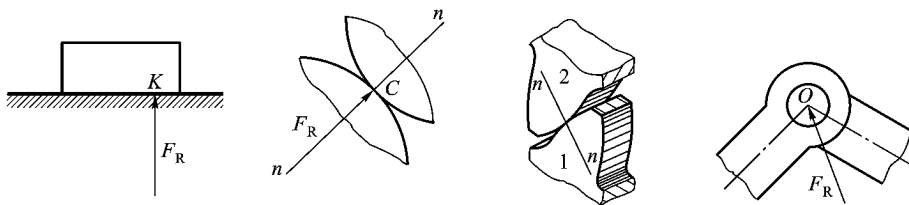


图 圆原 光滑接触的约束力

几种刚性构件不计摩擦的光滑接触的约束力如图 圆原 苑 所示。一般情况下，光滑支承面对构件(刚性构件之间)的约束力的作用点为接触点，其方向沿接触表面的公法线方向，并指向受力物体。

圆原 构件运动约束的设计

约束设计就是确定出约束的具体结构。在 圆原 节 中介绍了利用点接触构造约束的方法。点接触构造约束的方法会产生较大的接触应力，当构件之间有相对运动的时候又会产生较大的磨损。

在工程设计中还有利用平面和曲面构造约束的方法。