



第01章

机械设计总论

第02节 机构与简图

宋超阳

songcy@ieee.org

本章要点概述

- 机器的构成及其功能结构
- 机械设计的概念及其特点
- 机械设计中的创新和优化
- 机械的组成及运动副
- 平面机构运动简图的绘制
- 平面机构具有确定运动的条件
- 机械设计中的两个问题
- 机械设计中的约束
- 机械设计中的强度问题
- 机械设计中的摩擦、磨损和润滑问题

平面机构运动简图的 绘制

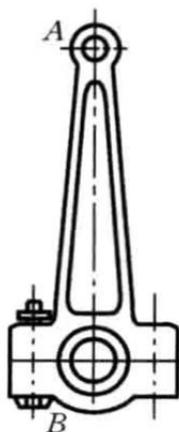
机构运动简图

- 用规定的运动副符号和代表构件的线条来表示机构，并根据运动学尺寸按比例绘制而成的简单图形，用于简明而准确地描述机构中各构件相对运动关系
- 它是机构分析和设计的几何模型

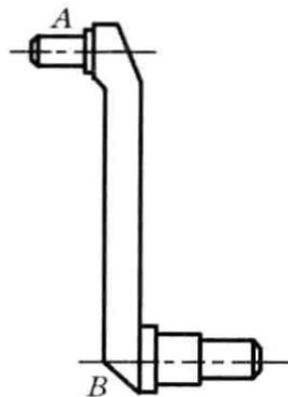
机构中各构件的运动是由机构原动件的运动规律及各运动副的类型和机构的运动学尺寸来决定的



(a) 连杆1



(b) 连杆2



(c) 曲轴



(d) 简图

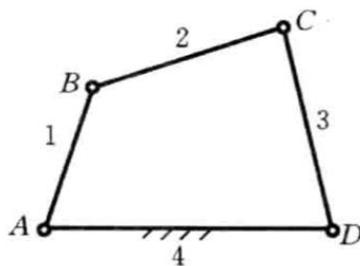
与构件的外形、截面形状和尺寸以及运动副的具体构造（如用滚动轴承还是用滑动轴承构成转动副）等因素无关

- 在研究机构运动时，为简明起见，可撇开与运动无关的因素，采用各种简单的符号和线条分别表示不同类型的运动副和相应构件

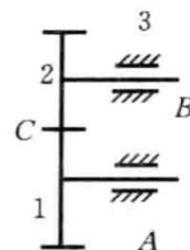
机构示意图或机构简图

名称	符 号	名称	符 号	名称	符 号	名称	符 号	名称	符 号
线型规定	粗实线表示一般构件轮廓、轴、杆类等 细实线表示运动方向、剖面线等 点画线表示轴线、齿轮、链条等	平面高副 曲面高副 凸轮高副		锥齿轮啮合		与移动副组成		的摆动滑块 与机架相连	
组成移动构件		两构件组成球面副		蜗轮蜗杆啮合		与机架组成转动副	运动平面平行于图纸 运动平面垂直于图纸	外啮合圆柱齿轮	
组成转动构件	运动平面平行于图纸 运动平面垂直于图纸	两构件组成螺旋副		的摩擦传动 带圆柱滚子		一个与其他构件连接 与三个运动副		齿轮齿条啮合	
								装在轴上的飞轮	

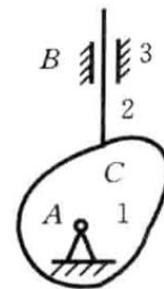
仅仅以构件和运动副组成的线条与符号表示机构，其图形不按精确的比例绘制，目的是为了进行初步的结构组成分析，看懂动作原理等



(a) 铰链四杆机构

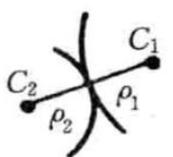
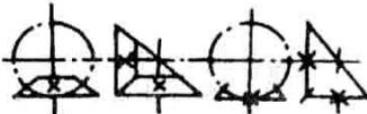
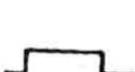
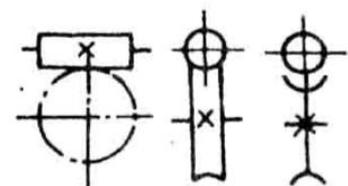
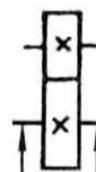
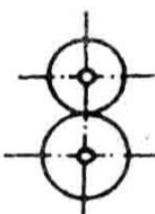


(b) 圆柱齿轮机构



(c) 盘形凸轮机构

机构示意图或机构简图

名称	符 号	名称	符 号	名称	符 号
线型规定	<p>粗实线表示一般构件轮廓、轴、杆类等</p> <p>细实线表示运动方向、剖面线等</p> <p>点画线表示轴线、齿轮、链条等</p>	平面高副	<p>曲面高副</p>  <p>凸轮高副</p> 	锥齿轮啮合	
两组成运动构件副	  	两构件组成球面副	 	蜗轮蜗杆啮合	
两组成运动构件副	<p>运动平面平行于图纸</p>  <p>运动平面垂直于图纸</p> 	两构件组成螺旋副		带的摩擦圆柱滚子传动	 

机构示意图或机构简图

名称	符 号		名称	符 号		名称	符 号	
与移动副组成			与摆动滑块相连	对心式 	偏心式 	棘轮传动		
与机架组成转动副	运动平面平行于图纸 	运动平面垂直于图纸 	外啮合圆柱齿轮			带传动		
一个构件与其他构件连接			齿轮齿条啮合			装在轴上的飞轮		

机构运动简图符号 (GB4460-84)

名称	基本符号	可用符号	名称	基本符号	可用符号	名称	基本符号	可用符号	名称	基本符号	可用符号
机架			凸轮机构			齿轮机构			向心轴承		
轴、杆			盘形凸轮			圆柱齿轮			普通轴承		
组成部分与轴(杆)的固定连接			圆柱凸轮			圆锥齿轮			滚动轴承		
轴上飞轮			尖顶			蜗杆蜗轮			推力轴承		
			曲面			齿轮齿条			单向推力		
			滚子			扇形齿轮			双向推力		
平面机构			槽轮机构			单向啮合式离合器			推力滚动轴承		
连杆			一般符号			齿条			单向向心推力普通轴承		
曲柄(或摇杆)			外啮合			电动机			双向向心推力普通轴承		
偏心轮			内啮合			一般符号			向心推力滚动轴承		
导杆			电动机			装在支架上的电动机			弹簧		
滑块			一般符号			联轴器			压缩弹簧		
			装在支架上的电动机			一般符号			拉伸弹簧		
摩擦传动			固定联轴器			摩擦离合器			扭转弹簧		
圆柱轮			可移式联轴器			单向式			涡卷弹簧		
圆锥轮			弹性联轴器			双向式			带传动		
可调圆锥轮						电磁离合器			链传动		
可调冕状轮						安全离合器有易损件			安全离合器无易损件		
						制动器			带传动		
									链传动		
									螺杆传动整体螺母		
									挠性轴		

平面机构 具有确定运动的条件

运动学

- Degree of Freedom

- *The number of coordinates needed to define its position in space*

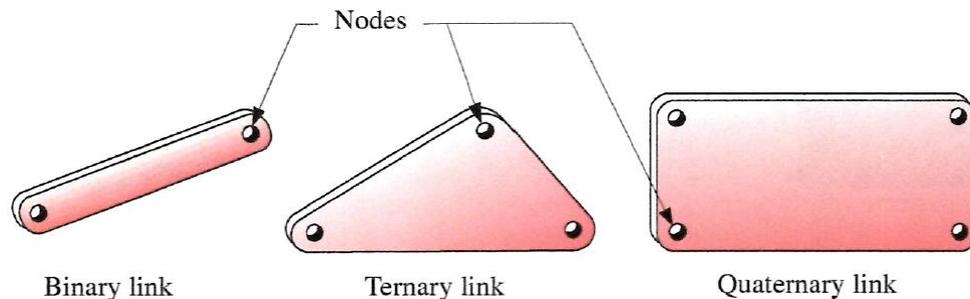
- One-DOF Mechanism: $\text{DOF} = 1$
 - Multi-DOF Mechanism: $\text{DOF} > 1$
 - Structure: $\text{DOF} = 0$
 - Preloaded Structure: $\text{DOF} < 1$

- Mechanisms: variants of a linkage

- *A collection of **links** and **joints**, one of which is grounded, and all are interconnected in a way to provide a controlled output in response to one or more inputs.*

连杆、铰链与可动性

- Link
 - A rigid body of any shape that has some number of attachment points called nodes, that allow multiple links to be connected by joints
- Joints
 - Characterized by their geometry, by the number of DOF they allow between the links they join, and by whether they are held together (closed) by a *force* or by their *form* (geometry)

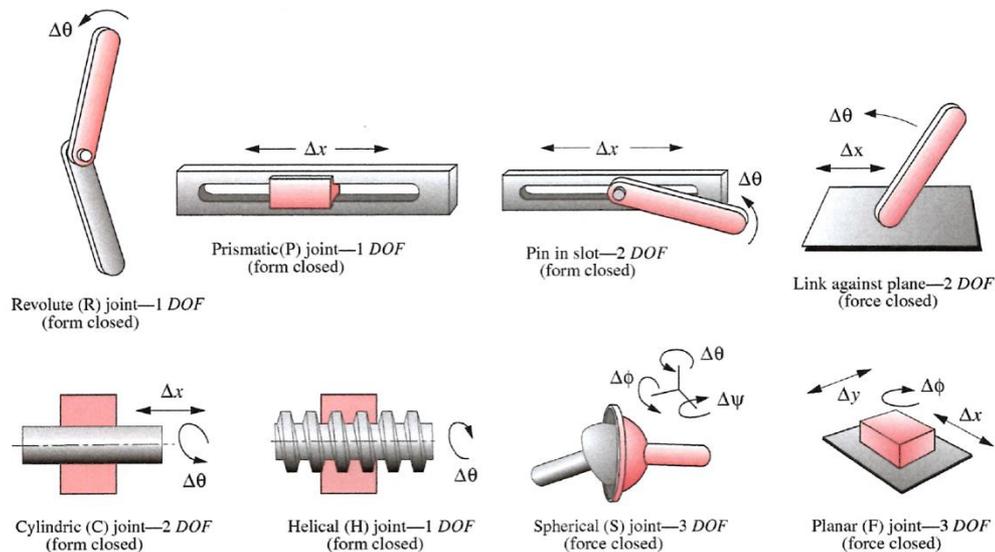


(a) Some links—their names reflect the number of nodes

- Kutzbach Equation

$$M = 3(L - 1) - 2J_1 - J_2$$

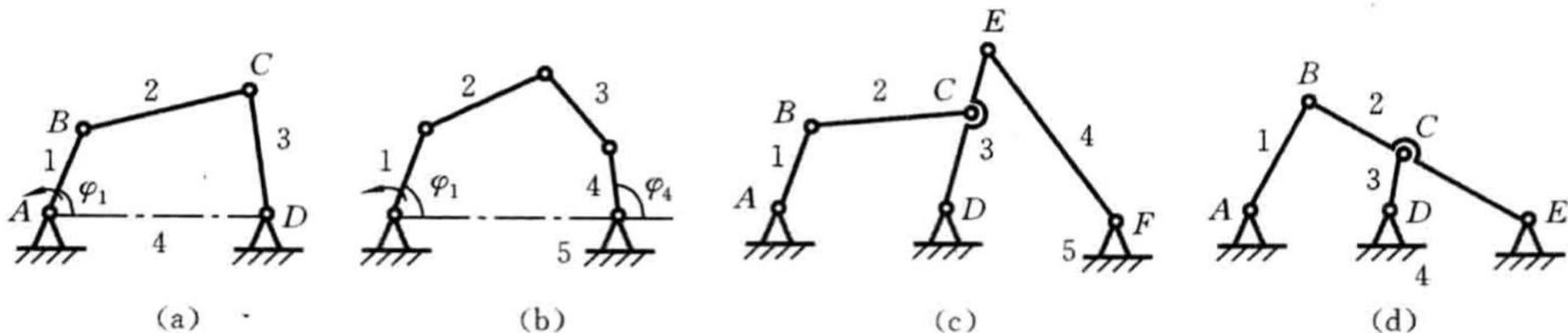
- M: Mobility (DOF)
- L: the number of links
- J₁: the number of one-DOF joints
- J₂: the number of two-DOF joints
- *[Doesn't really work]*



(b) Some joint types—note their DOF and type of closure

机构具有确定运动的条件

- 机构是用来传递运动和力的构件系统，因而一般应使机构中各构件具有确定运动
 - 首先，机构应具有可动性，其可动性用自由度来度量
- 机构的自由度是指机构中各活动构件相对于机架所具有的独立运动的数目，标记为 F

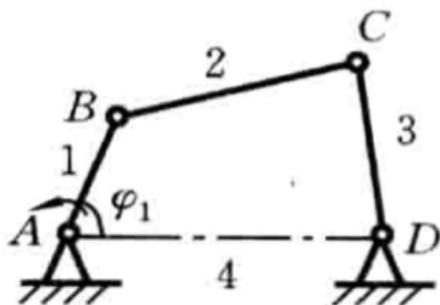


(a) 有4个构件，对构件1角位移 φ_1 的每一个给定值，构件2、3便随之有一个确定的对应位置，故角位移可取为系统的独立运动参数，且独立的运动参数仅有一个，即 $F=1$ 。(b) 进行类似的分析，易知其 $F=2$ 。

(c)、(d) 若忽略构件的弹性，其构件显然没有相对运动的可能，(c)、(d) 分别为静定和超静定结构，其 $F \leq 0$ ，因此机构自由度必须大于零。

机构具有确定运动的条件

- 机构原动件的数目必须等于机构自由度数目，只有原动件才具有独立的输入运动，通常每个原动件只有一个独立运动



- 若取构件 1 为原动件，输入的运动规律 $\varphi_1 = \varphi_1(t)$ ，即原动件的数目与 F 相等，均为 1，此时构件 2 和 3 便随之获得确定的运动，说明该机构的运动可以从原动件正确地传递到构件 2 和 3 上
- 当原动件的数目小于机构自由度数目时，机构运动具有不确定性

- 机构具有确定运动的条件是：

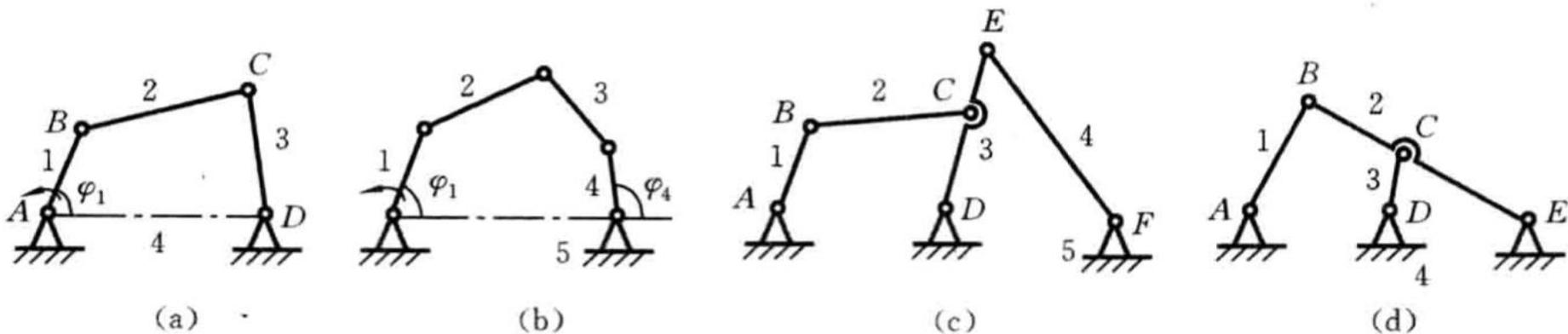
- ① 机构自由度必须大于零
- ② 机构原动件的数目必须等于机构自由度数目

平面机构自由度的计算

- 活动构件的自由度总数 - 运动副引入的约束总数 = 该机构自由度

$$F = 3n - (2P_L + P_H) = 3(N - 1) - 2P_L - P_H$$

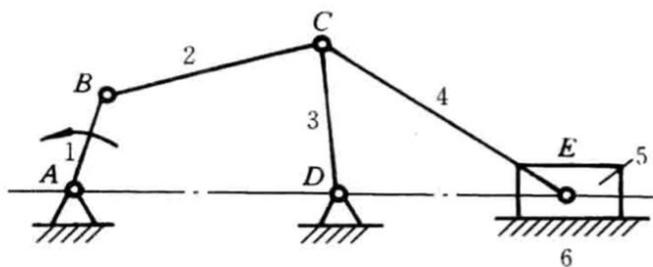
- 在一个平面机构中，若有 N 个构件，**除去机架后**，其余应为活动构件总数，即 $n = N - 1$
 - 这些活动构件在未组成运动副之前，其自由度总数为 3，当它们用运动副连接起来组成机构之后，机构中各构件具有的自由度数就减少了
- 若在平面机构中低副的数目为 P_L 个，高副的数目为 P_H 个，则机构中全部运动副所引入的约束总数为 $2P_L + P_H$



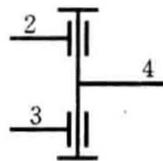
计算机构自由度时应注意的问题

• 复合铰链:

- 由 3 个或 3 个以上构件组成轴线重合的转动副称为复合铰链
- 一般由 m 个构件组成的复合铰链应含有 $m - 1$ 个转动副



(a) 六杆机构



(b) 三个构件连接关系

图 1-5 复合铰链

上图机构的自由度为 $F = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1$

右图机构的自由度为 $F = 3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1$

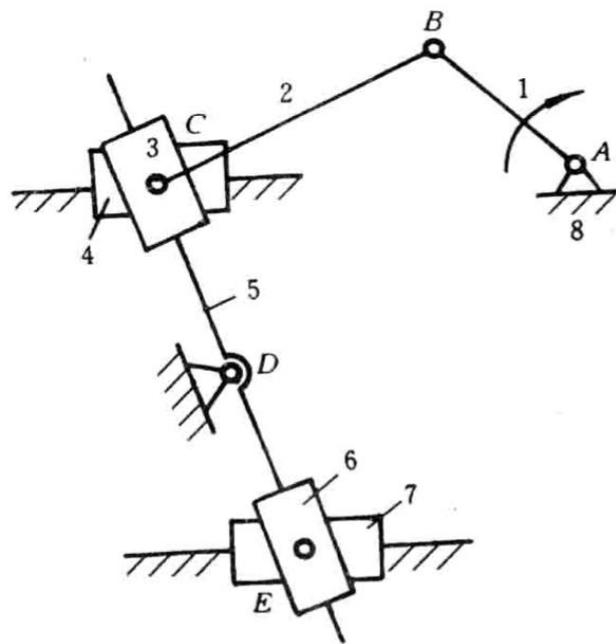


图 1-6 压缩机机构

计算机构自由度时应注意的问题

- 局部自由度（多余自由度）
 - 不影响整个机构运动关系的个别构件所具有的独立自由度
 - 在计算机构自由度时，应将它除去不计

局部自由度虽然不影响整个机构的运动，但滚子可使高副接触处的滑动摩擦变成滚动摩擦，可减少磨损

- 所以实际机构中常有局部自由度出现

- 圆滚子绕其自身轴线转动的快慢并不影响整个机构的运动
- 设想将滚子4与推杆3焊接在一起，机构的运动输入输出关系并不改变

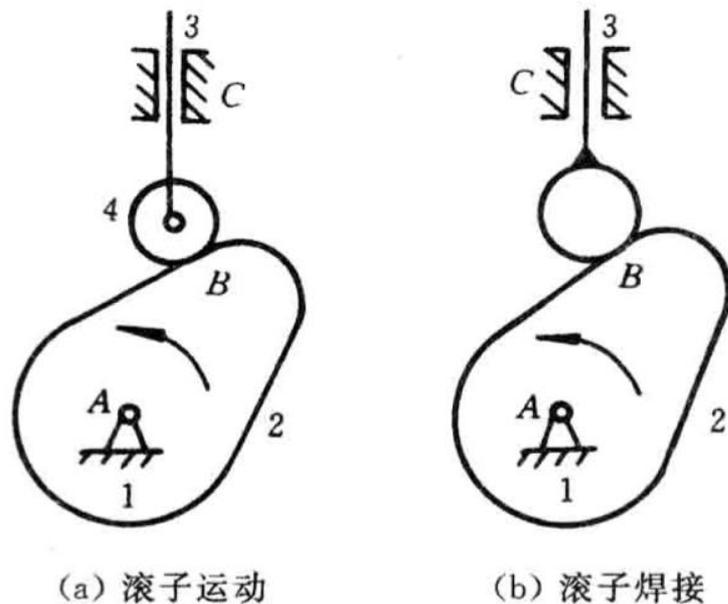


图 1-7 机构中的局部自由度

虚约束

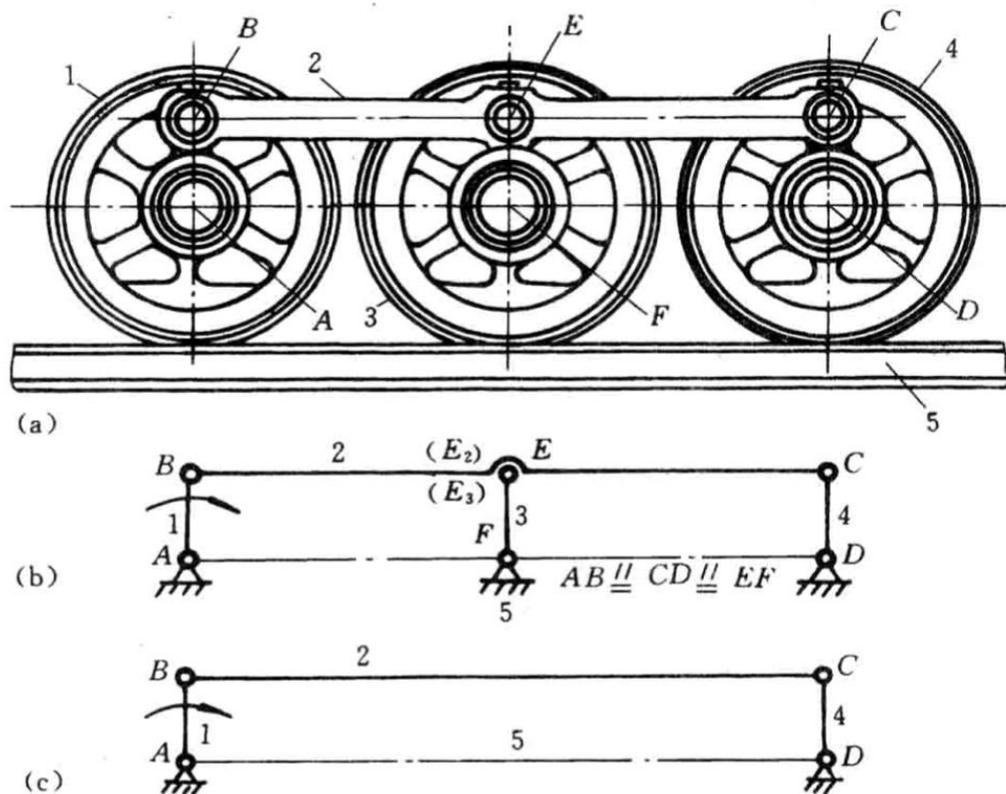
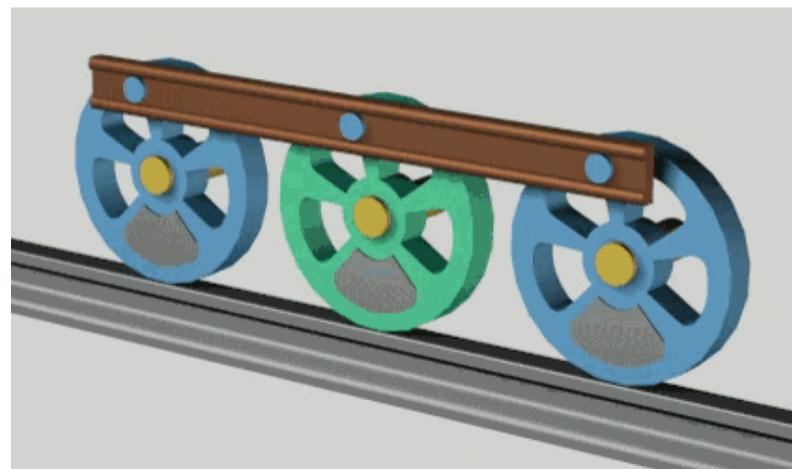


图 1-8 轨迹重合



- 在机构中，两构件构成运动副所引入的约束是用来限制某些相对运动的
- 但在机构中，某些运动链所引入的约束可能与机构所受的其他约束相重复，即对相对运动的限制产生了重复，因而对机构运动实际上起不到约束作用，这种约束就是虚约束

如果用转动副连接的是两构件上运动轨迹相重合的点，则该连接将引入一个虚约束

虚约束

- 机构在运动过程中，若两构件上某两点之间的距离始终保持不变，如用双转动副杆将此两点相连，则将引入一个虚约束

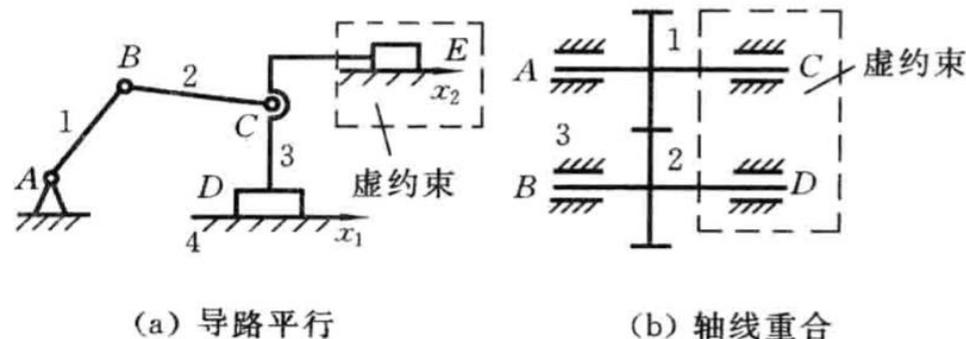


图 1-9 重复运动副

- 机构中某些不影响机构运动传递的重复部分或对称部分所引入的约束为虚约束

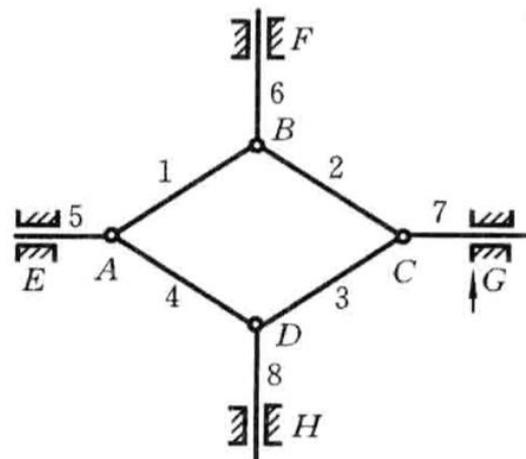
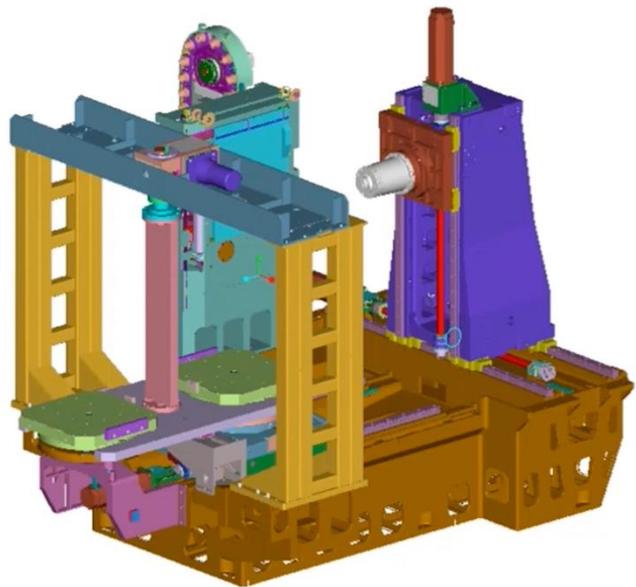


图 1-10 存在虚约束的对称结构

机械设计中的两个问题

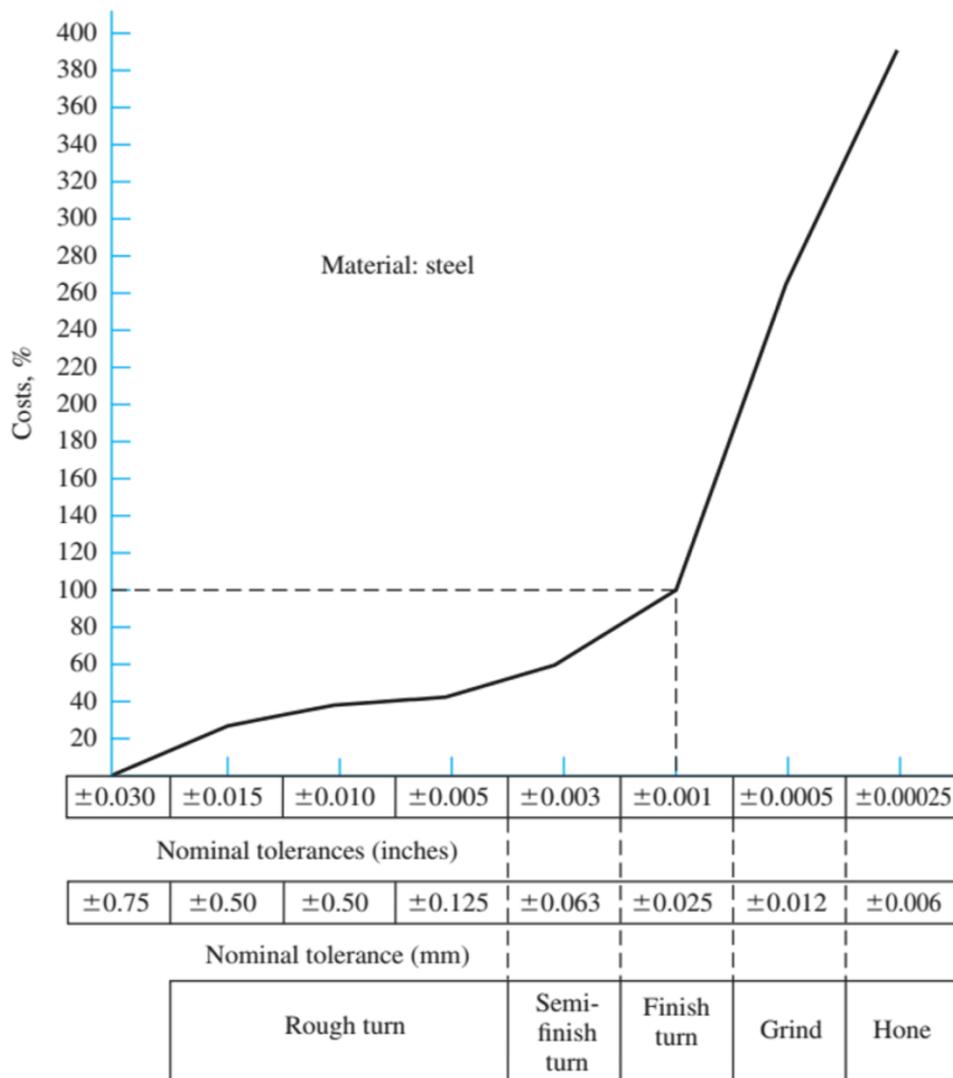
机械设计中的产品成本问题

- 产品设计好坏的根本标准，是能否用最经济的方案来实现产品的功能目标
 - 产品功能和质量的提高、节约能源和材料、提高劳动生产率和降低产品成本等方面，
 - 而所有这些方面又集中体现在产品成本上，应尽可能地降低产品成本，将它控制在规定的成本目标的范围之内。



机械设计中的产品成本问题

- 降低产品成本，要遵循以最少的费用，来最大限度地满足功能要求这一基本原则
 - 正确区分所设计产品的必要功能和不必要功能，去掉不必要功能所占的费用
 - 提高设计效率、缩短设计周期，尽可能减少产品的设计费用
 - 尽可能减少材料的费用
 - 尽量减少加工费用



机械设计中的可持续发展问题

- 可持续发展的核心问题是保护环境和合理利用资源
 - “既满足当代人的需要，又不对子孙后代满足其需求的能力构成危害的发展”
 - 世界环境与发展委员会（WCED）向联合国第42届大会提交的研究报告《我们共同的未来》中对可持续发展的定义



机械设计中的可持续发展问题

- 所设计的产品应符合国家科技政策和国家科技发展规划的目标
 - 作为设计者，不但要通过产品设计为企业获得效益，而且要通过设计出具有竞争力的先进产品，为国民经济的发展作出贡献
- 所设计的产品应符合减少三废对环境污染的要求
 - 工作过程中排出的废物，产生的振动、噪声等
- 所设计的产品应符合人机系统安全、可靠的要求
 - 现代工业生产中所有的机器设备都需要由人操纵、控制，人是生产的核心和主导，人、机器与工作环境形成一个不可分割的整体
- 所设计的产品应有利于提高生产力
 - 所设计的产品应有利于扩大生产规模，提高劳动生产率，能促进加工和制造过程的高效化，节约人力、物力等
- 资源的合理利用
 - 所设计的产品应有利于各种矿产资源、水资源和能源等各种资源的合理利用，有利于扩大资源利用范围及新能源的开发，有利于节约能源

机械设计中的约束

机械设计的基本特征之一是约束性

- 机械设计的主要任务，就是要在由各种约束组成的边界条件（或称设计空间）内，寻找能满足预定功能和性能要求的最优设计方案

经济性约束

- 主要是指要尽可能地降低产品成本，将它控制在规定的成本目标的范围之内

社会性约束

- 是指所设计的产品必须能对社会带来效益，而不对社会造成不良影响

技术性约束

- 是指设计以满足技术性能要求为目标。主要的技术性约束有：技术性能约束、标准化约束、可靠性约束、安全性约束、维修性约束等

技术性约束

• 技术性能约束

- 相关的技术性能必须达到规定的要求

- 例如，产品所能传递的功率、效率、使用寿命、强度、刚度、抗摩擦、抗磨损、振动稳定性、热特性等性能
- 例如，刚度是指零件受载时抵抗弹性变形的能力，而刚度约束则是指零件受载时产生的弹性变形不允许超过规定的许可值

• 标准化约束

- 在设计的全过程中的所有行为，都要满足一个国家生产技术水平和管理水平标准化的要求

• 可靠性约束

- 指产品、部件或零件在规定的使用条件下，在预期的使用寿命内能完成规定功能的概率

• 安全性约束

- 应能满足零件、整机、工作、环境安全性方面的限制。

• 维修性约束



机械设计

Design & Learning Research Group

谢谢~

宋超阳
songcy@ieee.org