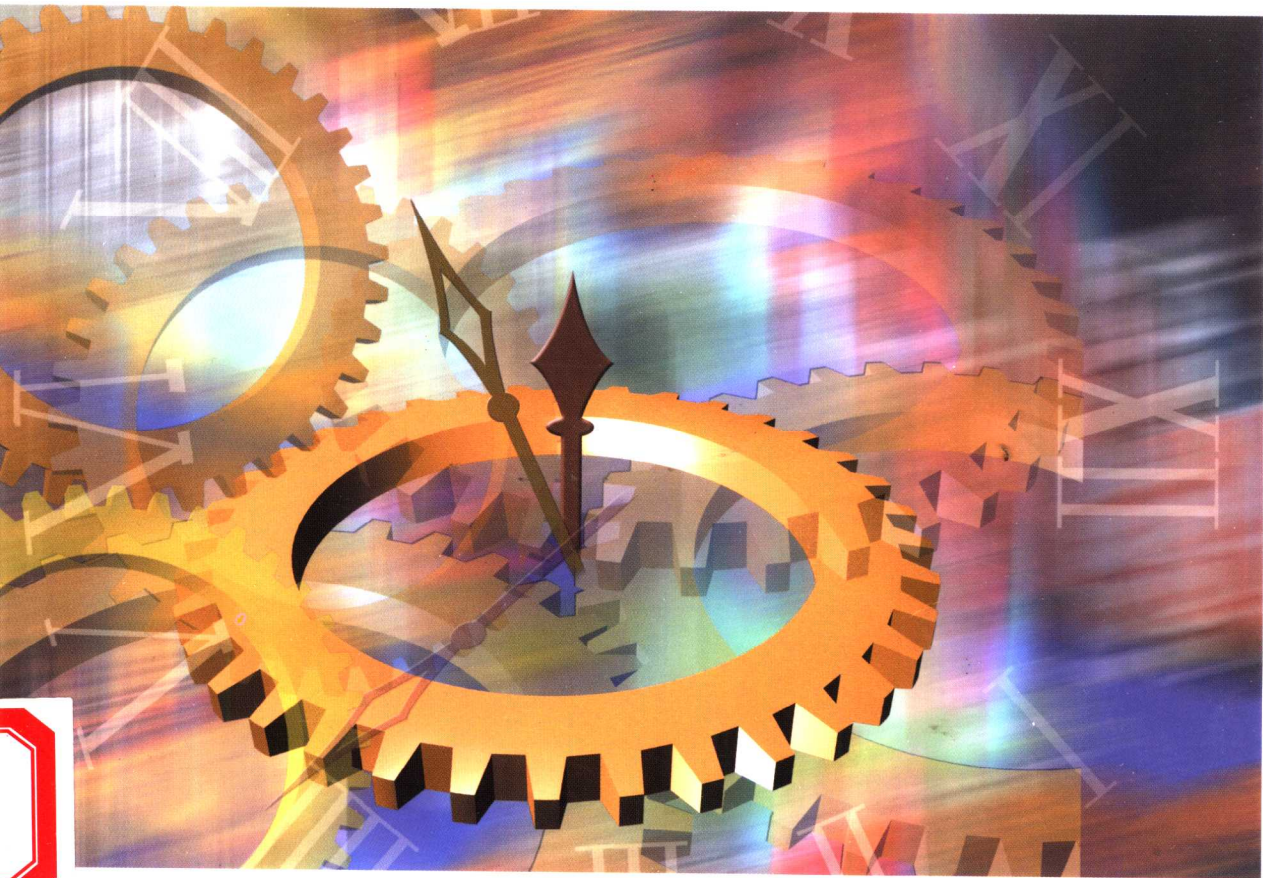


21 世纪高等院校教材

工程训练

董桂田 主编



21 世纪高等院校教材

工 程 训 练

董桂田 主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍制图基本知识、投影制图原理、机械图表达方法、构件受力分析及应力分析、常用机构、通用零件的设计原理及方法等工程训练基本知识,并注重突出这些知识的应用。

本书可作为高等院校文、理、医、信息、环境科学等非工科类专业学生的教材,也可供其他专业的师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程训练/董桂田主编. —北京:科学出版社,2003

(21世纪高等院校教材)

ISBN 7-03-011058-7

I. 工… II. 董… III. 工业技术-高等学校-教材 IV. T

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 107640 号

责任编辑:马长芳 / 责任校对:柏连海

责任印制:刘秀平 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年6月第 一 版 开本:BS(720×1000)

2003年6月第一次印刷 印张:18 3/4

印数:1—3 000 字数:368 000

定价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

前 言

本书依照理论够用、实践为重的指导思想,将工程图学、工程力学、工程材料、机械原理及机械设计等课程中最基本的知识统筹规划,按彼此间的内在联系,有机地整合成一本供大学文、理、医、信息管理、环境等非工科类专业学生拓宽知识面需要的教材。

本书课程体系独特,按照最新国家标准,选材去粗取精,内容删繁就简,便于自学,并为创意发挥留有空间;谋篇布局恰如其分,图文并茂;集知识传授、素质教育和能力培养为一体,对学科交叉、相互渗透大有裨益。

全书分为12章,由董桂田主编并撰文,王国强教授主审。本书得到吉林大学“十五”规划教材基金资助并在有关领导大力支持下完成。此间,于骏一教授和许纯新教授一直关心《工程训练》成书,在此一并感谢。

由于编者水平有限且时间仓促,书中错误与不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2001年12月

目 录

绪 论	1
第 1 章 机械方案设计概述	3
1-1 机械设计的要求及程序	3
1-2 平面机构的运动简图	5
1-3 平面机构自由度的计算	10
1-4 机构传动的运动和动力计算	12
第 2 章 制图基本知识及投影原理	16
2-1 制图基本标准	16
2-2 平面图形的分析与画法	24
2-3 正投影和三视图	29
2-4 基本几何体投影及组合体视图	37
第 3 章 机件形状的表达方法及机械图	45
3-1 机件形状的表达方法	45
3-2 装配图的内容及其表达方法	53
3-3 零件图的内容及表达方法	57
第 4 章 构件平衡及其受力分析	71
4-1 静力学的基本概念和公理	71
4-2 约束类型及受力图的画法	74
4-3 力矩和力偶	78
4-4 平面力系的合成与简化定理	81
4-5 平面力系简化及其平衡方程	84
4-6 物系平衡及超静定问题	90
4-7 考虑滑动摩擦时的平衡问题	92
4-8 空间力系及其平衡方程	95
第 5 章 构件变形及其应力分析	100
5-1 载荷、应力、基本变形及承载能力	100
5-2 拉伸、压缩及弯曲强度	103
5-3 剪切、挤压及扭转强度	111
5-4 强度理论、刚度及材料概述	114

第 6 章 常用机构	118
6-1 平面四杆机构的类型及其应用.....	118
6-2 平面四杆机构的工作特性.....	125
6-3 平面四杆机构的运动设计.....	129
6-4 凸轮机构的应用和分类.....	132
6-5 从动件的常用运动规律.....	134
6-6 用作图法设计盘形凸轮廓线.....	139
6-7 凸轮设计中基本尺寸的确定.....	143
6-8 间歇运动机构.....	145
第 7 章 螺纹联接和键联接	154
7-1 螺纹联接的表示法及其标记.....	154
7-2 螺纹联接及螺旋传动简介.....	162
7-3 键联接和花键联接.....	168
第 8 章 带传动和链传动	174
8-1 带传动的分类和特点.....	174
8-2 V 带和带轮.....	176
8-3 带传动的工作情况分析.....	179
8-4 带传动的设计计算.....	183
8-5 链传动的特点及链和链轮.....	189
8-6 链传动的运动特性及动力分析.....	193
8-7 链传动的设计计算.....	196
第 9 章 齿轮传动及其设计	200
9-1 齿轮传动的分类及啮合基本定律.....	200
9-2 渐开线齿廓及其啮合特性.....	202
9-3 渐开线齿轮各部分的名称及尺寸.....	204
9-4 渐开线齿轮啮合传动及其精度.....	207
9-5 轮齿的切削加工方法及变位齿轮.....	210
9-6 直齿圆柱齿轮传动的设计.....	213
9-7 斜齿圆柱齿轮传动.....	218
9-8 直齿圆锥齿轮传动.....	222
9-9 蜗杆传动及其设计.....	226
9-10 齿轮与蜗杆和蜗轮的结构及画法.....	233
第 10 章 轴和轴承	239
10-1 轴的分类和材料.....	239
10-2 轴的结构设计.....	241

10-3 轴的计算	245
10-4 滑动轴承的分类和结构	247
10-5 非液体摩擦滑动轴承的设计	252
10-6 滚动轴承及其类型与代号	257
10-7 滚动轴承的组合设计	262
10-8 滚动轴承的承载能力计算	267
第 11 章 联轴器和离合器	271
11-1 概 述	271
11-2 刚性联轴器	272
11-3 挠性联轴器	274
11-4 操纵式离合器	278
11-5 自动离合器	282
第 12 章 轮系及平衡和调速	285
12-1 轮系类型及其传动比	285
12-2 机械的平衡和调速	288

绪 论

科学技术的进步与机械的发展密切相关。机械即机器和机构的总称,它是依据力学原理组成的装置或设备,其作用是在生产和生活中代替或减轻人的劳动。机械的种类繁多,但一般都可以看成是由图 0-1 所示的几个部分组成。

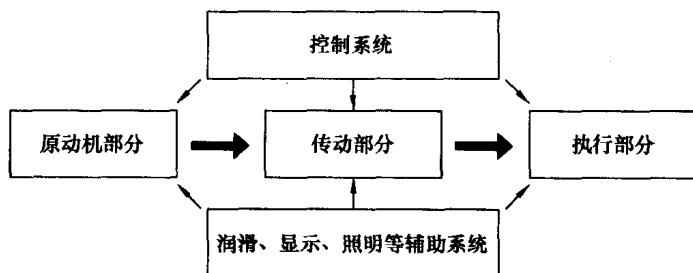


图 0-1 机械的组成

原动机部分是机械运转的动力来源,它分电动机和热力机两大类。其作用是将其其他形式的能量转换成机械能。原动机输出运动一般为转动,而动力为转矩。执行部分是直接完成预定功能的部分,也称工作机,例如压路机的压辊。显然,机械用途不同,其执行部分也各异。传动部分则用来将原动机的运动形式及运动和动力参数转变成满足执行部分需要的运动形式及运动和动力参数。例如,把原动机输出的转动变成工作机需要的直线运动,把高转速变成低转速,小转矩变为大转矩等。按工作原理不同,传动分机械传动、电力传动、流体传动。机械传动的能量输入和输出均为机械能。除上述三个基本组成部分,机械通常还有控制系统和辅助系统。

机械各组成部分的工作实际都是由机构完成的,如图 0-2 所示的内燃机,其活塞 10、连杆 4、曲轴 5 及气缸 11 组成的连杆机构,把活塞的往复直线运动变成曲轴的转动;曲轴再通过齿轮 1 和齿轮 2 组成的齿轮机构及凸轮 7 和从动件 8(9)组成的凸轮机构来自动控制气门启闭。因此,从运动的观点看,机器又是由机构组成的,机构中具有独立运动规律的人为实体称为构件,而未经装配工序的制品则称为零件。构件可以是单一零件(曲轴 4),也可以是若干零件组成的刚性结构,如图 0-3(a)所示连杆,是由图 0-3(b)所示各零件经刚性联接组成的构件。因此,从结构的观点来看,机器也是由零件组成的。机械零件分通用零件和专用零件两类,凡在各种机械中都经常使用的零件称为通用零件,如齿轮、轴、螺钉等;而只在某些特

定机械中才使用的零件称为专用零件,如曲轴、螺旋桨等。

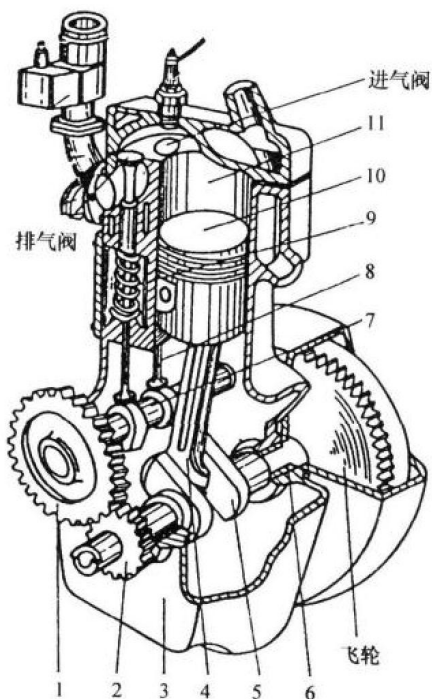


图 0-2 内燃机

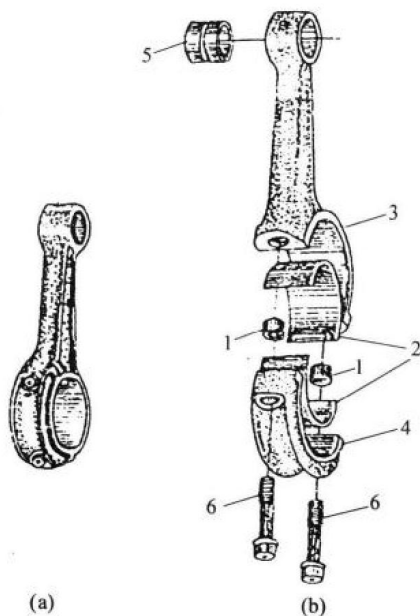


图 0-3 连杆及其组成

机械工作时,其构件因受到载荷作用而发生形状和尺寸的改变称为变形。卸载后消失的变形称为弹性变形,而剩余的变形称为塑性变形。变形增加的同时也使构件单位面积上的内力增大,其超过一定限度就会使构件破坏,构件抵抗破坏的能力称为强度,而抵抗变形的能力称为刚度,对受压细长构件尚需考虑其因侧弯而失去稳定性的问题。要合理设计机械零件和构件的形状和尺寸,首先运用力学知识对其进行受力分析,再根据平衡条件求出这些力,然后根据变形及应力分析确定基本尺寸,最终将计算结果得到的数值与形体巧妙结合起来绘出装配图和零件图。工程训练课正是以机械设计基本知识为主线,把与其密切相关的工程力学、工程图学、工程材料以及机械原理等基本知识融汇贯通,从而整合成适合文、理、医、信息管理等专业扩大知识面要求的公共课,本课对培养学生综合运用知识的能力和复合型人才素质都大有裨益。

本课以理论够用、实践为重原则谋篇布局。先以投影制图开篇,再是力学原理,最后是机械设计基础。各部分知识结构统筹兼顾,彼此靠内在联系环环相扣,从而恰如其分地把工程训练的宗旨体现得淋漓尽致。

第 1 章 机械方案设计概述

1-1 机械设计的要求及程序

一、机械设计的基本要求

1. 满足使用要求

机械能够按预期的技术条件顺利执行其全部功能,并在规定的寿命期限内可靠地工作而不发生损坏,即满足使用要求。这主要靠恰当选择机械的工作原理,正确设计或选择能够全面符合功能要求的机构来实现。

2. 满足经济要求

机械的经济性体现在设计制造和使用的全过程,也即设计制造成本低、生产周期短,在使用上生产率高、能源消耗少、维护费用低等。这主要靠选择材料、合理设计机械零件结构及尽量采用标准件来实现。

3. 满足安全要求

安全要求包括机械设备的安全和操作者的劳动保护两个密切相关的方面。这主要靠在机械中设置完善可靠的安全防护系统,并从人机工程出发,尽量消除操作失误的可能性,考虑工业美学,以及降低噪声等来实现。

除以上基本要求外,不同机械还有各自的特殊要求,如流动作业的建筑机械要便于安装、拆卸和运输;饮食机械应保持卫生;印刷和纺织机械应清洁;航空机械要求质量轻等。

二、机械设计的基本类型

1. 开发性设计

开发性设计也称无样板设计,因此开发性设计最富创造性。

2. 适应性设计

在总的方案原理基本保持不变的情况下,对已有产品进行局部变更,使其适应在质和量方面某种附加要求,例如汽油机以电喷代替化油器,就是适应性设计。

3. 变参数设计

在方案原理和功能结构都不变的情况下,对现有产品的结构配置和尺寸加以改变,使之适应于量方面有所变更的要求,系列化产品设计就属变参数设计。

三、机械设计的一般步骤

1. 机械工作原理的确定

根据市场需求,结合国内外同类产品的对比分析,参阅相关技术资料,经过调查研究最终确定所设计机械的工作原理,并拟定总体方案。

表 1-1 机械产品开发生性设计的程序

开发程序	设计步骤	目 标	方 法
第一阶段 (计划阶段)	市场调查 可行性研究	可行性研究报告设计任务书	调查研究方法 技术预测方法
第二阶段 (设计阶段)	产品开发计划 设计要求 功能分析 搜寻解法 方案组合	原理方案图	创造性科学方法 系统化设计法 机构综合设计法 参数优化法 相似设计法 模块化设计法
	评价决策 结构设计要求 结构设计(形状材料尺寸)	结构设计图	结构设计原理及方法 结构优化设计 有限元设计 强度、刚度计算、可靠性设计
	评价决策 总体布置 人机工程设计 外观造型设计	总装配图	计算机辅助设计(CAD)
	部件图设计 零件图设计 编写技术文件	部件工作图 零件工作图 技术文件	计算机辅助设计(CAD)
	样机制造 样机试验		
第三阶段 (试制阶段)	样机鉴定评价	样机试验大纲 样机鉴定文件	试验设计
第四阶段 (批量生产阶段)	修改图纸 验证工艺 批量生产	工艺文件 修改设计图	计算机辅助制造(CAM)
第五阶段 (销售阶段)	技术服务 用户访问	信息反馈	反馈控制法

2. 机械的运动和动力计算

根据选定的工作原理,选择所需要的机构和机构组合方案,给出表明机械运动情况的机构运动简图,并通过运动分析和动力分析及零件工作能力计算来确定主要参数和基本尺寸。

3. 机械及其零件结构设计

根据零件受力情况、装配关系及工艺要求等确定机械各部分及零件的结构和尺寸;绘制总装配图、部件装配图、零件工作图;编写技术说明书及标准件、外购件明细表。

上述步骤通常交叉进行,并且往往经多次反复才能使设计渐趋完善。随着计算机的应用与普及,涌现出可靠性设计、有限元计算等多种现代设计方法,尤其计算机辅助设计(CAD)与计算机辅助制造(CAM)的结合,使工业自动化向智能化发展迈出关键的一步。总之,现代设计方法正愈来愈受到工程上的普遍重视。表1-1即为充满现代设计韵味的开发程序。

1-2 平面机构的运动简图

实际机械的结构和外形往往比较复杂,为了便于分析和研究,经常使用机构运动简图,它虽然简单,但却完全反映了原机械的运动特性。

一、运动副分类及其表示符号

机构是由若干个构件以某种方式联接而组成的。各构件间的联接显然不能是刚性的,而应保证彼此有一定的相对运动。这种使两构件直接接触并能产生一定相对运动的联接称为运动副。在图0-2所示的内燃机中,活塞10与气缸11的联接,曲轴5与连杆4的联接、齿轮1和齿轮2的联接,以及凸轮7和气门顶杆8的联接等都构成了运动副。上述例子表明,两构件组成的运动副不外乎是通过点、线或面的直接接触来实现的,按照不同的接触特性,通常把运动副分为低副和高副两大类。

1. 低副

两构件通过面与面接触组成的运动副称为低副。按其两构件间相对运动形式,低副又分为转动副和移动副。

1) 转动副 凡组成运动副的两构件彼此间只能相对转动,称为转动副或铰链。如图1-1(a),显见,构件1和2之间只可绕垂直于 xoy 平面的轴 OO' 转动,而不能沿 x 或 y 轴方向移动。转动副的表示符号如图1-1(b)所示,图中打斜线的构件是固定件,若转动副的两构件之一是固定件,则称为固定铰链。

2) 移动副 凡组成运动副的两构件彼此间只能相对移动,称为移动副。如图

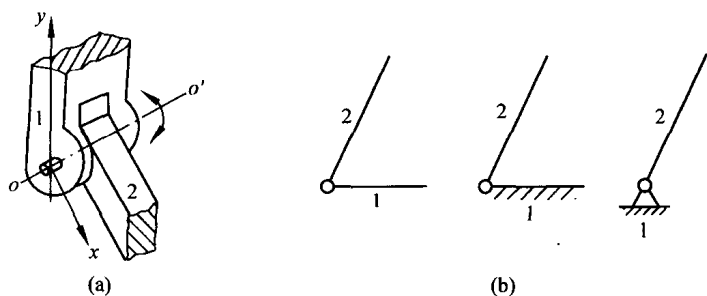


图 1-1 转动副及其表示符号

1-2(a)所示,组成移动副的构件1和2只可沿 x 轴方向作相对移动,而不能沿 y 轴方向移动和绕任何轴转动。移动副的表示符号如图1-2(b)所示,其中打斜线的为固定件。

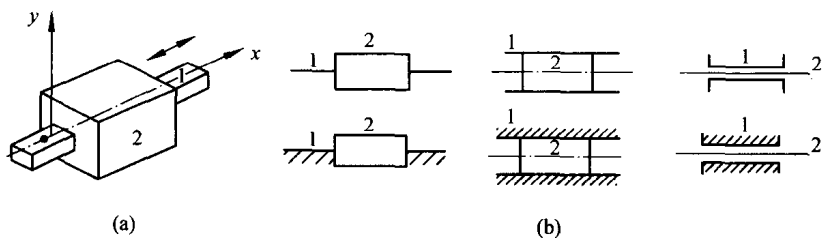


图 1-2 移动副及其表示符号

2. 高副

两构件通过点或线接触组成的运动副称为高副。图1-3(a)所示的凸轮1与从动件2及图1-3(b)所示齿轮1和齿轮2分别在接触处A组成高副。显然,组成高副的构件1和构件2只能沿接触点A的切线 $t-t$ 方向相对移动和在 xAy 平面内转动,而在接触点A的法线 $n-n$ 方向不会有相对运动。平面高副表示符号见图1-3(c),通常需将接触处两构件的轮廓曲线准确地画出。高副比低副有较多的自由度,但高副制造较困难且易磨损。

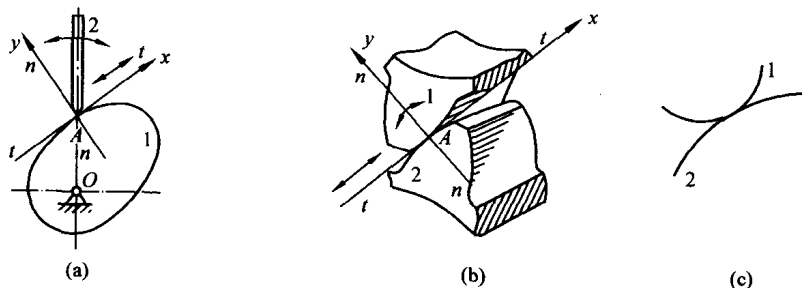


图 1-3 平面高副及其表示符号

除平面低副和高副以外,常用的还有球面副(图1-4(a))和螺旋副(图1-5(a)),它们均属空间运动副。球面副和螺旋副的表示符号分别见图1-4(b)和图1-5(b)。

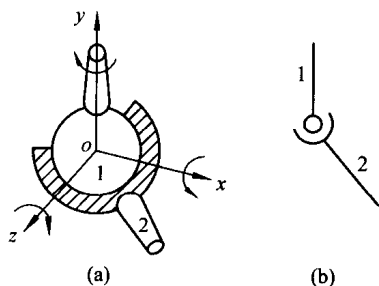


图1-4 球面副

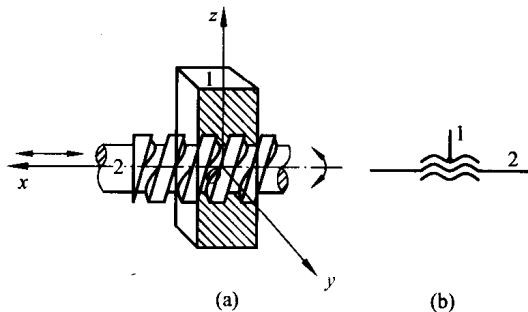


图1-5 螺旋副

二、平面机构运动简图及其绘制

机构中构件按运动性质不同分固定件、原动件、从动件三类。

固定件 是用来支承活动构件的构件。任何机构总有一个构件被相对地看做固定件,固定件也称为机架。在画机构运动简图时,作为整体的机架(图1-6(a)),可用图1-6(b)所示打斜线的符号表示。其中各运动副相对位置尺寸A、B、C、D、E、F等称为机构的运动尺寸。

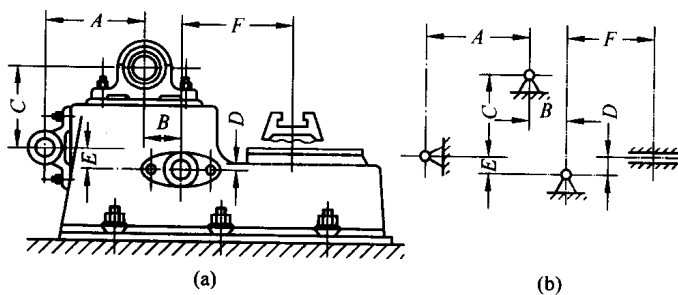


图1-6 机架及其表示法

原动件 是指运动规律已知的活动构件,在机构中必须有一个或几个原动件,原动件也称为输入构件。在机构运动简图中,原动件用弧线(表示转动)或直线(表示移动)加箭头表示。表示往复运动的弧线或直线两端均画箭头。

从动件 是机构中随原动件运动的其余活动构件。

机构中各部分的运动仅取决于原动件的运动规律、构件数目、运动副的类型以及运动尺寸,而与构件形状及运动副的具体结构无关。因此在研究机构运动时,可

撇开那些与运动无关的因素,只根据机构的运动尺寸和规定的运动副代表符号以及常用机构的代表符号(表1-2)和简单线条将机构的运动情况表示出来,这种简单的图形称为机构运动简图。

表 1-2 部分常用机构运动简图符号(摘自 GB4460—84)

名 称	符 号	名 称	符 号
组成部 分与轴 (杆)的固 定联接		与杆固 接的凸轮	
圆柱齿 轮传动 (不指明 齿线)		带传动 一般符 号(不指 明类型)	
圆锥齿 轮传动 (不指明 齿线)		链传动 一般符 号(不指 明类型)	
蜗轮与 圆柱蜗杆 传动		普通轴 承	
		联轴器 一般符 号(不指 明类型)	
棘轮机 构		电动机 一般符 号	

构件直接参与接触的部分称为运动副元素,有两个运动副元素的构件和有三个运动副元素的构件分别如图1-7和图1-8所示。

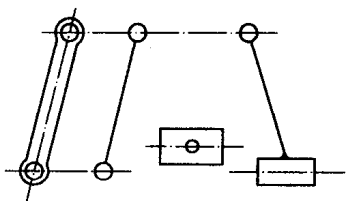


图 1-7 有两个运动副元素的构件

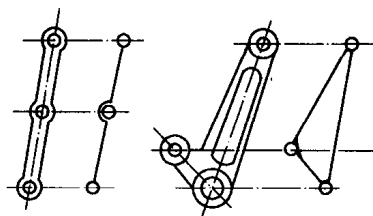


图 1-8 有三个运动副元素的构件

机构运动简图的绘制步骤如下:

1) 分析机构的运动以明确固定件、原动件及从动件,并由原动件开始循着运动传递路线搞清各构件间相对运动的性质,从而确定构件数、运动副类型及数目。

2) 合理选择视图平面,通常选择能充分表现机构各构件运动关系的平面作为视图平面,必要时也可加辅助视图。

3) 选择适当比例尺定出各运动副之间的相对位置,用代表构件的简单线条和运动副及常见机构的规定符号绘制机构运动简图。长度比例尺 $\mu_l = \text{构件实长 (m)} / \text{图示尺寸 (mm)}$ 。

例 1-1 图 1-9(a) 为某初轧机辊道上的下降式挡板机构,其作用是使沿辊道运动的轧件很快停下来。试绘制该机构的运动简图。

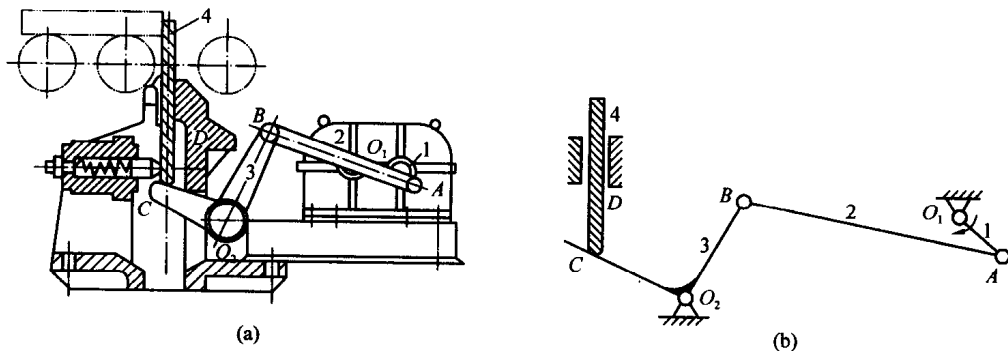


图 1-9 运动简图绘制

解 1) 减速器的输出轴带动曲柄 1 (原动件) 转动,并将运动经连杆 2 传给直角构件 3,使构件 3 绕 O_2 轴摆动。它的另一边设有一挡板 4。当构件 3 按顺时针方向摆动时,将推动挡板 4 沿机架上的滑槽向上移动,从而起到阻止轧件运动的作用。

2) 曲柄 1 与固定在机架上的减速器的轴承,曲柄 1 与连杆 2,连杆 2 与直角构件 3 以及构件 3 与机架均组成转动副;挡板 4 与滑槽组成移动副;直角构件 3 与挡板 4 组成高副。

- 3) 选择各构件运动平面为视图平面。
- 4) 选取长度比例尺 μ_l 绘制该机构的运动简图, 见图 1-9(b)。

1-3 平面机构自由度的计算

机构的各构件之间应具有确定的相对运动。不能产生相对运动或无规则地乱运动的一些构件组合不能成为机构。为了使组合起来的构件彼此能产生相对运动并具有运动确定性, 有必要探讨机构自由度及构件之间具有确定相对运动的条件。

一、平面机构的自由度

如图 1-10 所示, 一个作平面运动的构件 AB 有三个独立运动的可能性, 也即它的运动可用 A 点的动坐标 x_A 、 y_A 及 AB 与坐标轴正向夹角 α 来描述。显然, 当两个构件组成运动副之后, 彼此的相对运动将受到约束, 相应的自由度数随之减少。如前所述, 转动副和移动副均提供两个约束, 各保留一个自由度; 而高副则只提供一个约束, 保留 2 个自由度。所以, 在平面机构中, 每个低副引入 2 个约束, 使构件失去两个自由度; 每个高副引入一个约束, 使构件失去一个自由度。因为平面机构总有一个构件为机架(其自由度为零), 故由 N 个构件组成的平面机构, 其活动构件数 $n = N - 1$ 。显然, 没组成机构之前共有 $3n$ 个自由度, 组成机构后活动构件的自由度因受到运动副的约束而减少。设机构中低副数目为 P_L 、高副数目为 P_H , 则机构中全部运动副将引入 $2P_L + P_H$ 个约束, 所以该机构的自由度 F 等于活动构件自由度总数减去全部运动副引入的约束数, 即

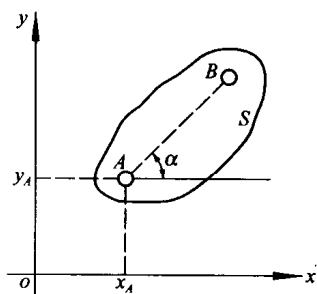


图 1-10 构件自由度

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

显然, 机构自由度必须大于零才能够运动。由于原动件的运动是由外界给定的, 因此要使各构件之间具有确定的相对运动, 还必须使原动件数等于机构的自由度 F 。

一、自由度计算时的注意事项

1. 复合铰链

两个以上构件在同一轴线上用转动副联接便形成复合铰链。如图 1-11 所示为三个构件组成的复合铰链, 由图显见, 这三个构件在 B 点组成两个转动副而非是一个转动副。同理, 当有 m 个构件用复合铰链联接时, 组成的转动副数应为