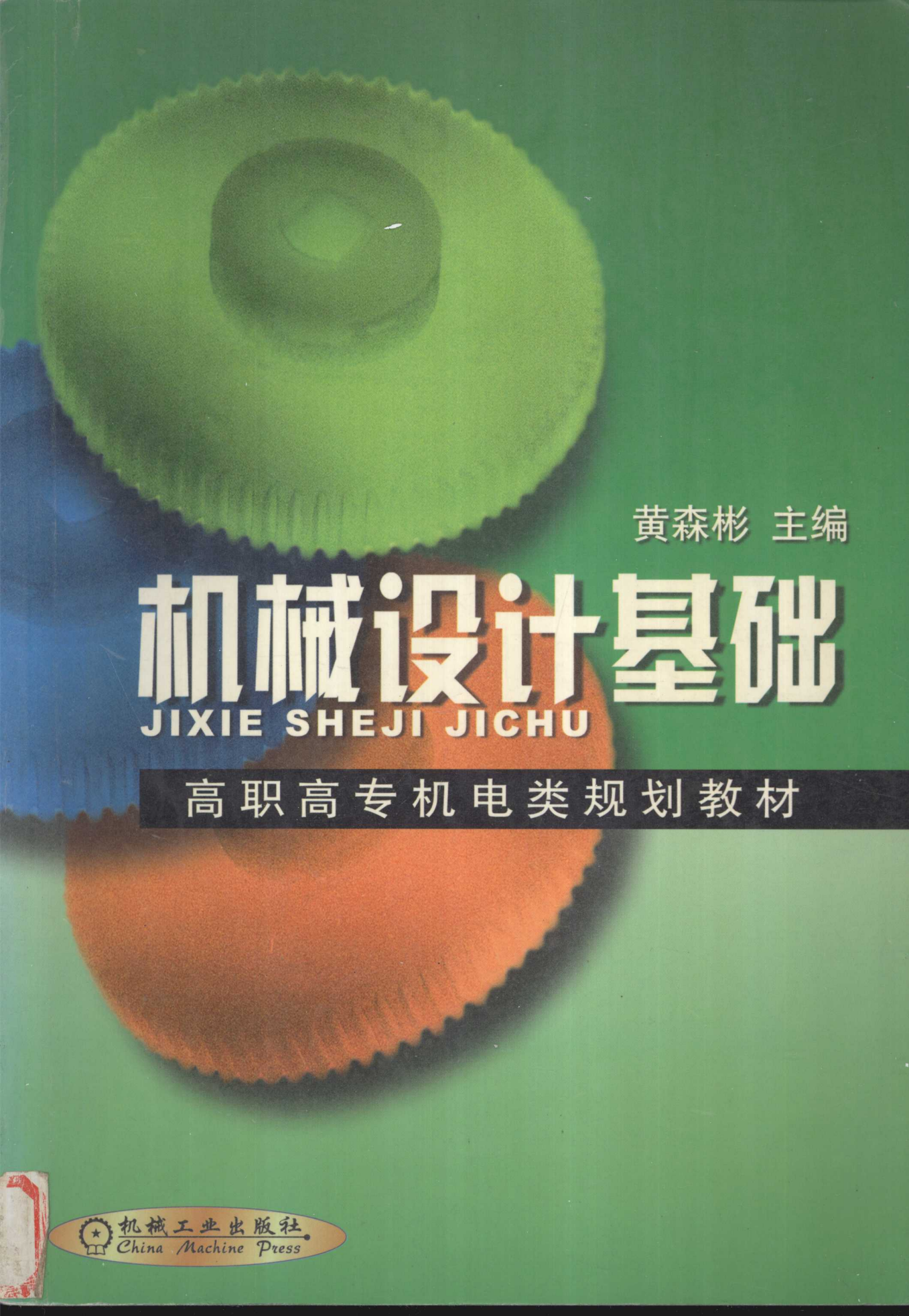




黄森彬 主编

机械设计基础

JIXIE SHEJI JICHU

高职高专机电类规划教材



机械工业出版社
China Machine Press

第2版 第1次印刷

机械设计基础

JIXIE SHEJI JICHU

机械工业出版社

机械工业出版社

高职高专机电类规划教材

机 械 设 计 基 础

主编	黄森彬	
参编	张天熙	栾学钢
	胡家秀	张淑贤
主审	赵 祥	

本书系根据高职人才培养目标和教育部“高职高专机械设计课程教学基本要求”编写而成。全书采用“机械设计概述——联接——机械传动——执行和控制机构——支承零部件——机械调整与润滑”的新体系。内容除绪论与概述外，主要阐述键、花键、销、螺纹联接、螺旋传动、联轴器和离合器，弹性联接，带、链、齿轮、蜗杆传动，齿轮系，平面连杆、凸轮、间歇运动机构，支承零部件，润滑和密封装置，机械的调整和平衡等。

本书为高等职业学校机械类和近机类专业教材，也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础/黄森彬主编. —北京: 机械工业出版社,
2001.5

高职高专机电类规划教材

ISBN 7-111-08515-9

I. 机... II. 黄... III. 机械设计-高等学校: 技术学校-教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 84264 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: 冯 铨 版式设计: 张世琴 责任校对: 李秋荣

封面设计: 李雨桥 责任印制: 郭景龙

北京京丰印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行

2001 年 3 月第 1 版 · 第 1 次印刷

787mm × 1092mm¹/₁₆ · 19.5 印张 · 480 千字

0 001 5 000 册

定价: 25.00 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、68326677-2527

前 言

随着科学技术的飞速发展,机械工程学科发生了广泛深刻的变化;高等职业教育的发展,促进了课程体系和内容的变革。因此,机械设计基础课程的改革势在必行。

本书是根据高等职业教育培养生产、建设、服务、管理第一线的高级技术应用性人才的目标,参照教育部最新组织制定的《高职高专教育机械设计课程教学基本要求》编写而成的。

本书是一本面向 21 世纪、具有较大改革力度的机械设计基础教材。作者总结了十多年来高职课程改革的体会,吸收了许多学校的教学改革成果,考虑了 21 世纪机械产品创新的知识需要和高职人才的工作实际,对机械设计基础课程进行了较大的改革。本书主要有以下特点:

(1) 从培养高职人才的实际需要出发,注意知识面的扩大和基本知识、基本理论、基本技能的掌握,重点培养学生的创新意识和实践能力。

(2) 按照“机械设计概述——联接——机械传动——执行和控制机构——支承零部件——机械调整与润滑”的新体系组织教学内容,力图更符合教学规律。

(3) 各章节基本上按照工作原理、典型结构、强度计算、使用维护的顺序安排内容,着重于现场实施应用和解决问题能力的培养。

由于各校教学安排可能不同,在进行本课程教学时,教师可根据实际情况,调整教材顺序。

参加本书编写的有福建职业技术学院黄森彬(绪论、第一、八章)、徐州建筑职业技术学院张天熙(第六、七、九、十五、十六章)、郑州铁路职业技术学院张淑贤(第四、五、十二、十三章)、浙江机械职业技术学院胡家秀(第十四章)和吉林化工学校栾学钢(第二、三、十、十一章),并由黄森彬担任主编。

郑州铁路职业技术学院赵祥担任本书主审。他对书稿进行了细致、认真的审阅,提出了不少宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,错误与不妥之处在所难免,敬请机械设计基础课程的各位教师 and 广大读者批评指正。

作者

2000 年 9 月

目 录

前言		
绪论	1	
思考题	3	
第一章 机械设计概述	4	
第一节 机械设计的基本原则	4	
第二节 平面机构的结构分析	6	
第三节 机械零件的失效形式和设计 计算准则	11	
第四节 机械零件的强度	13	
第五节 摩擦、磨损和润滑	16	
第六节 材料选择及结构工艺性	21	
思考题	25	
练习题	26	
第二章 键联接、花键联接、销联接	28	
第一节 键联接	28	
第二节 花键联接	32	
第三节 销联接	33	
思考题	34	
练习题	34	
第三章 螺纹联接及螺旋传动	36	
第一节 常用螺纹的类型和应用	36	
第二节 螺纹联接的结构	37	
第三节 螺栓联接的强度计算	44	
第四节 螺旋传动	49	
思考题	55	
练习题	56	
第四章 联轴器和离合器	59	
第一节 联轴器	59	
第二节 离合器	63	
思考题	65	
练习题	66	
第五章 弹性联接	67	
第一节 弹簧的类型、材料及制造	67	
第二节 圆柱螺旋弹簧的几何尺寸 及特性线	70	
第三节 圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧 的计算	72	
思考题	76	
练习题	76	
第六章 带传动	77	
第一节 带传动的类型和特点	77	
第二节 V带和V带轮	78	
第三节 V带传动的工作能力分析	82	
第四节 V带传动的设计	86	
第五节 V带传动的张紧和维护	91	
第六节 其他带传动简介	93	
思考题	94	
练习题	94	
第七章 链传动	96	
第一节 链传动的类型和特点	96	
第二节 滚子链	97	
第三节 链传动的运动特性	100	
第四节 滚子链传动的计算	101	
第五节 链传动的布置、张紧和润滑	104	
思考题	107	
练习题	108	
第八章 齿轮传动	109	
第一节 齿轮传动的类型、特点和齿廓 啮合基本定律	109	
第二节 渐开线直齿圆柱齿轮	110	
第三节 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合 传动	114	
第四节 渐开线齿轮的加工原理	119	
第五节 渐开线直齿圆柱齿轮传动的 尺度综合	125	
第六节 圆柱齿轮的结构和精度	130	
第七节 齿轮的失效形式及材料选择	136	
第八节 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	138	
第九节 斜齿圆柱齿轮传动	144	
第十节 直齿锥齿轮传动	154	
第十一节 齿轮传动的维护和修复	160	
思考题	164	
练习题	166	
第九章 蜗杆传动	171	

第一节	蜗杆传动的类型、特点和应用	171	思考题	240
第二节	圆柱蜗杆传动的参数和几何尺寸计算	173	练习题	240
第三节	蜗杆、蜗轮的材料、结构和精度	178	第十三章 间歇运动机构	242
第四节	蜗杆传动的工作能力分析	181	第一节	棘轮机构
第五节	蜗杆传动的安装和维护	185	第二节	槽轮机构
思考题		187	思考题	248
练习题		188	练习题	248
第十章 齿轮系		190	第十四章 支承零部件	249
第一节	定轴齿轮系的传动比	190	第一节	轴的功用、结构和材料
第二节	行星齿轮系的传动比	192	第二节	滑动轴承
第三节	组合行星齿轮系的传动比	194	第三节	滚动轴承的类型及选择
第四节	齿轮系的应用	195	第四节	轴系的结构设计
第五节	新型齿轮系及应用	198	第五节	轴的强度计算
思考题		200	第六节	滚动轴承的动载荷计算和静强度计算
练习题		201	第七节	轴系的维护
第十一章 平面连杆机构		203	思考题	281
第一节	平面四杆机构及其应用	203	练习题	281
第二节	平面四杆机构的基本特性	207	附表	283
第三节	平面机构的运动分析	210	第十五章 润滑和密封装置	288
第四节	平面机构的力分析	215	第一节	润滑剂及其选择
第五节	平面四杆机构的尺度综合	218	第二节	润滑方法和润滑装置
第六节	机构创新方法	219	第三节	密封装置
第七节	构件和运动副的结构	224	思考题	297
思考题		227	练习题	298
练习题		228	第十六章 机械的调整和平衡	299
第十二章 凸轮机构		230	第一节	机械运转速度波动的调节
第一节	概述	230	第二节	机械的平衡
第二节	凸轮机构的特性分析	232	思考题	304
第三节	凸轮机构的尺度综合	237	参考文献	305

绪 论

人类为了满足生产实际和社会生活的需要，创造了机器，从而减轻了劳动，提高了生产率，丰富了物质文明和精神文明。随着科学技术的发展，使用机器的水平已经成为一个国家技术水平和现代化程度的重要标志之一。

一、机器和机构

机器的种类繁多，如电动机、机床、汽车、纺织机、电脑绣花机、机器人等。根据它们的组成、运动和功用，可以得出一些共同的特征。

图 0-1 所示的单缸四冲程内燃机，由气缸体 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4、齿轮 5 和 6、凸轮 7、顶杆 8、排气阀 9、进气阀 10 等组成。燃气推动活塞移动，经连杆使曲轴作连续转动，从而将燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。

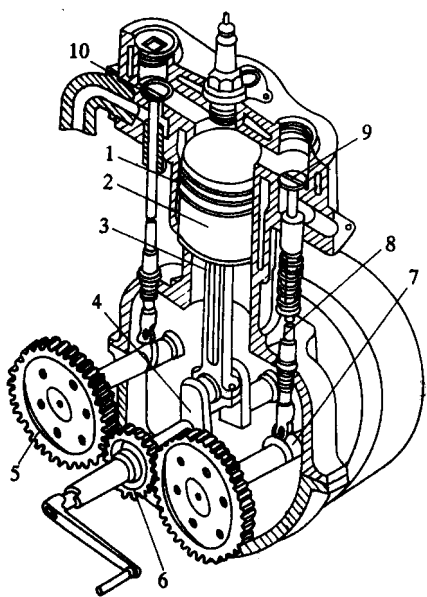


图 0-1 内燃机

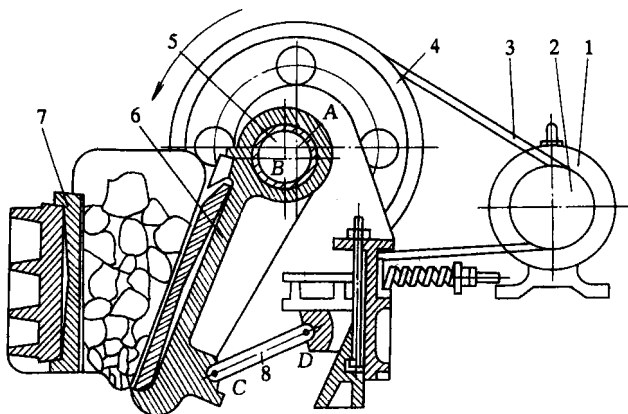


图 0-2 颚式破碎机

图 0-2 所示的颚式破碎机，由电动机 1、带轮 2 和 4、V 带 3、偏心轴 5、动颚板 6、定颚板及机架 7、肘板 8 等组成。电动机的转动经带传动带动偏心轴转动，进而使动颚板产生平面运动，与定颚板一起实现压碎物料的功能。

可见，机器是由多个人为实体组成的具有机械运动的装置，用以变换或传递能量、物料和信息。按照工作类型的不同，机器可以分为动力机器、工作机器和信息机器等三类。

动力机器用以将机械能变换成其他形式的能量，或者将其他形式的能量变换成机械能。例如，发电机、内燃机、电动机等都属于动力机器。

工作机器用以完成有用的机械功或搬运物料。例如，轧钢机、机床、飞机、起重机等属

于工作机器。

信息机器用以实现信息的变换、处理和传递。例如，照相机、复印机、传真机等属于信息机器。

机器与其他装置的主要不同点是产生确定的机械运动，完成有用的工作过程。如果仅从实现机械运动的角度分析，机器中含有一个或多个基本机构，如内燃机（图 0-1）中含有由曲轴、连杆、活塞和气缸体组成的曲柄滑块机构，由齿轮和机架组成的齿轮机构和由凸轮、顶杆和机架组成的凸轮机构。机器中各个机构通过有序的运动和动力传递，实现功能变换，完成有用的工作过程。

所谓机构，是指多个实体的组合，能实现预期的运动和动力传递。如图 0-1 中所示的齿轮机构将曲轴的转动传递给凸轮轴，而凸轮机构则将凸轮轴的转动变换为顶杆的直线往复移动，保证了进、排气阀有规律地启闭。

可见，机构主要用来传递和变换运动，而机器主要用来传递或变换能量、物料和信息。从运动和结构的观点来看，机构与机器之间并无区别。因此，通常将机构和机器统称为机械。

组成机械的各个相对运动的实体称为构件。机械中不可拆的制造单元体称为零件。构件可以是单一零件，如内燃机的曲轴（图 0-3）；也可以是多个零件的组合体，如内燃机的连杆（图 0-4）。这样的结构便于选择材料、加工和安装。因此，构件是机械运动的单元体。机构中的各构件可以都是刚性的，也可以是某些构件为挠性的或弹性的，或是由液压、气动、电磁件构成的。

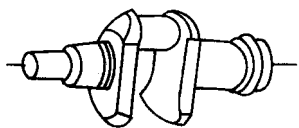


图 0-3 曲轴

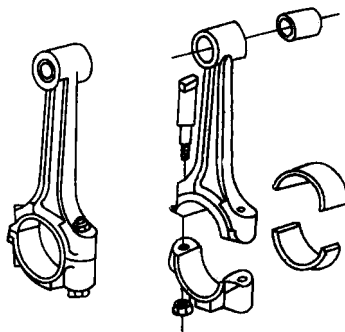


图 0-4 连杆

零件可分为两类。一类是通用零件，它在各种机械中都可能用到，如螺栓、螺母、弹簧、键等；另一类是专用零件，它仅用于某些机械中，如起重机的吊钩，内燃机中的活塞、曲轴等。

二、本课程研究的对象、内容和任务

本课程研究的对象是常规通用零件和常用机构的设计和使用维护方法。

本课程的主要内容是：

- 1) 机械设计的基本要求和基本原则；
- 2) 机械零件的设计计算准则；
- 3) 摩擦、磨损和润滑的机理；
- 4) 机械零件的常用材料和结构工艺性；

- 5) 联接的原理和计算方法;
- 6) 机械传动的设计和维护;
- 7) 执行机构的应用;
- 8) 支承零部件的设计和维护;
- 9) 机械的调整和平衡;
- 10) 简单机械的综合实践(课程设计)。

本课程综合应用各先修课程的基础理论知识和生产知识,是一门设计性的技术基础课。通过本课程的学习,可以使学生获得正确分析、使用和维护机械的基本知识、基本理论及基本技能,初步具备运用手册设计简单机械的能力,为学习有关专业机械设备课程以及参与技术改造奠定必要的基础。因此,对于将来从事生产第一线技术、管理工作的高职高专学生来说,学习“机械设计基础”课程无疑是十分重要的。

本课程又是应用性很强的工程课程。在学习过程中,必须多观察、细思考、勤练习、常总结。观察生活、生产中遇到的各种机械,熟悉典型结构,增强感性认识;思考明晰本课程的基本概念,注意各种知识的联系,融会贯通;勤练基本技能,提高分析能力和综合能力;及时总结、消化掌握课程内容,归纳学到的各种技术方法。特别应注重实践能力和创新精神的培养,提高全面素质和综合职业能力。

思 考 题

- 0-1 试述机器的特征。
- 0-2 说明机构与机器的异同点。
- 0-3 试述构件与零件的区别和联系。
- 0-4 观察单级圆柱齿轮减速器,说明它的功用及所含的构件数。
- 0-5 列举3个机器实例,说明其功能及所包含的机构。
- 0-6 “机械设计基础”课程在培养机械类人才中有什么作用?

第一章 机械设计概述

第一节 机械设计的基本原则

一、机器的组成

按照各部分实体的不同功能,一台机器可以分为几个部分。图 0-2 所示的颚式破碎机可以分解为动力部分(电动机 1)、传动部分(带轮 2 和 4、V 带 3 及机架组成的带传动)和执行部分(偏心轴 5、动颚板 6、肘板 8、定颚板及机架 7 组成的连杆机构)等三大部分。有的机器如排风扇、水泵等,只有动力部分和执行部分。复杂的机器,除上述三部分外,还有控制装置和信息测量与处理系统。于是,机器的基本组成和相互关系可用图 1-1 表示。

(1) 动力部分 机器完成预定功能的动力源,普遍应用电动机和内燃机等。

(2) 执行部分 直接完成工作任务的部分,其运动形式因机器的用途不同而异。

(3) 传动部分 介于动力部分和执行部分之间用以完成运动和动力的传递与转换的部分。利用它可以减速、增速、改变运动形式、改变转矩及分配动力等,从而满足执行部分的各种要求。

(4) 控制装置 控制机器各部分工作的装置。控制装置可采用机械、电气、电子、光波等技术。

(5) 信息测量与处理系统 采集、处理、传输信息的装置,多数由计算机完成,使机器达到机电一体化的水平。

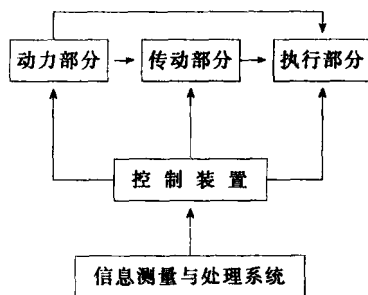


图 1-1 机器的组成

二、机器应满足的基本要求

机器的用途在于满足生产和社会生活的需要。因此,机器应满足以下基本要求:

(1) 满足使用要求 机器应满足生产或生活上预期的使用要求,并在规定的工作期限内和预定的工作条件下有效地执行规定的功能、规定的运动和规定的生产率。

(2) 经济性好 经济性是一项综合性指标,它要求设计、制造成本低,使用机器时生产率高,能源和材料耗费少,维护及管理费用低。

(3) 操作方便、工作安全 操作系统要简便可靠,有利于减轻操作人员的劳动强度;要有各种保险装置以消除由于误操作而引起的危险,避免人身和设备事故。

(4) 造型美观、减少污染 从工业美学的角度出发,充分考虑机器的外型及色彩;尽可能降低噪声,减轻对环境的污染。

三、机械设计的基本要求

机械设计可以是应用新原理、新技术、新方法开发创造新机械,也可以是在原有机机械的基础上重新设计或局部改造,从而改变或提高原有机机械的性能。机械产品的质量基本上取决于设计的质量,产品成本的 70% 取决于设计阶段。为了提高机械产品质量、降低成本、增强

竞争力,机械设计应注意遵循以下基本原则:

(1) 创造性原则 设计过程是创造性思维的过程。创造是设计的生命线。这种创造可表现为机器功能、工作原理和结构的创新,也可能是局部的改革。评价设计水平的高低取决于这些创造所带来的效果。

(2) 优化原则 设计者必须在经济、技术、社会效益等方面对设计方案进行全面的分析和计算,使设计效果达到最佳水平。

(3) 结合生产实际原则 所有的设计都必须经过生产过程才能成为产品。因此,设计者必须细致考虑生产条件及用户使用条件,使设计的产品在现有条件下具有尽可能好的工艺性。

(4) 人机工程原则 人机工程学是运用生理学、心理学及其他科学知识,使机器和人相互适应,创造舒适和安全的环境,从而提高工效的一门学科。在设计时,必须使机器适合于人的各方面因素的需要,安全可靠,以便在操作中付出最少劳动量而求得最高效率。

(5) 竞争性原则 产品要占领国内外市场,受到用户的欢迎,就必须具有竞争力。这就要求产品在性能、寿命、价格、外观、维护保养等方面有明显的优势。因此,设计者要有一定的社会学、心理学知识,注意市场信息,设计出满足市场需求的机器产品;要注意机器的艺术设计;要不断改进和提高设计水平等。

四、机械设计的一般程序

机械设计是一项复杂、细致和科学的工作,设计方法也在不断地深入和发展,近年来发展的“优化设计”“可靠性设计”“有限元设计”“模块设计”“计算机辅助设计”等现代设计方法,已在机械设计中推广应用,标志着机械设计正在向综合化、科学化方向发展。但是,归根结底,行之有效的设计方法应是将试验、研究、设计、制造、安装、使用、维修七事综合在一起,而以设计为主进行综合权衡。也就是将设计、制造、使用综合考虑,进行设计。机械设计过程按具体情况而定,没有一个通用的固定顺序。机械设计的一般程序,可分为设计计划、方案设计、技术设计、施工设计和改进设计五个阶段。

1. 设计计划阶段

这一阶段的主要任务是市场调查和预测,进行需求分析、可行性分析,合理确定设计参数及制约条件,最后给出明确而详尽的设计任务书。

2. 方案设计阶段

方案设计是最关键的设计阶段。这一阶段应进行产品功能分析、功能原理求解和评价,以决策选定最佳功能原理方案,并由此最后完成机械运动方案的设计。

3. 技术设计阶段

这一阶段是将原理性设计方案简图具体化,完成产品总体设计、部件和零件的设计;进行技术经济评价;绘制机器总体结构图,即总装配图;必要时还应绘出电气、润滑系统图等;编制设计计算说明书等。

4. 施工设计阶段

在施工设计阶段,应完成零件施工图的设计和编制各类技术文件。

5. 改进设计阶段

这一阶段的主要任务是根据产品样机试验、使用、鉴定中所暴露的问题,进一步作相应的技术完善工作,使产品达到设计任务书所规定的全部要求。

第二节 平面机构的结构分析

所有构件都在相互平行的平面内运动的机构称为平面机构；否则称为空间机构。工程中常见的机构大多数属于平面机构。

一、机构的组成

1. 构件的自由度

如图 1-2 所示，一个构件作平面运动时，可以沿 x 轴和 y 轴方向移动及绕垂直于运动平面 XOY 的 z 轴的转动。或者说，作平面运动的构件在某瞬间的位置，可以由构件上 A 点的坐标 (x_A, y_A) 以及通过 A 点的任一标线（如 AB 线）与坐标轴的夹角 φ 这三个独立参数来确定。构件的这种独立运动的可能性称为构件的自由度。可见，作平面自由运动的构件具有三个自由度。

2. 运动副

为了使各构件间具有一定的相对运动，构件之间必定要以某种方式联接起来。这种使两构件直接接触并能产生一定形式的相对运动的联接称为运动副，例如图 0-1 中的活塞与气缸体、活塞与连杆、连杆与曲轴、曲轴与气缸体之间的联接。运动副的作用：一是传递力，二是限制两构件间的某些相对运动。这种限制称为约束。构件受到约束后自由度减少。

3. 机构的组成

由上述可见，机构是由构件和运动副组成的，它们之间的关系可用图 1-3 表示。

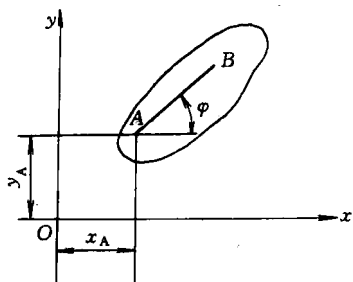


图 1-2 构件作平面运动时的自由度

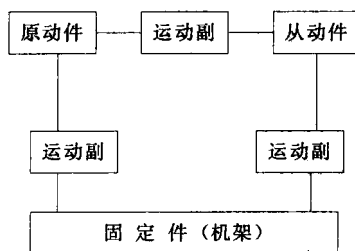


图 1-3 机构的组成

机构中的构件按其运动性质可以分为三类：固定件（机架）、原动件和从动件。

(1) 固定件 用来支承活动构件的构件。一个机构中，必有一个固定件。

(2) 原动件 运动规律已知的活动构件，它的运动规律由外界提供。一个机构中必有一个或几个原动件。图 0-2 中，起压碎物料作用的连杆机构中偏心轴是原动件，其动力由电动机经带传动提供。

(3) 从动件 随原动件的运动而运动的活动构件，如图 0-2 连杆机构中的动颚板和肘板。完成工作动作的从动件，又称为执行构件。

两构件间的平面运动副按接触特性可分为高副和低副。

(1) 高副 两构件通过点接触或线接触组成的运动副，如图 1-4 中齿轮 1 与 2、凸轮 3 与从动杆 4、车轮 5 与轨道 6 分别在 A 处组成高副。这时，两构件的相对运动是绕 A 点的转动和沿切线方向的移动，而沿法线方向的移动被运动副限制了。

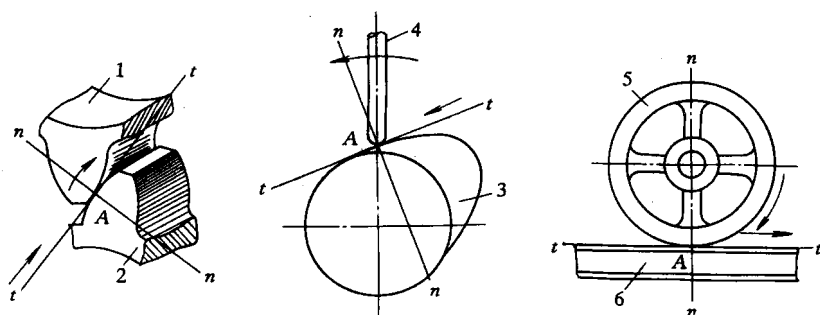


图 1-4 高副

(2) 低副 两构件通过面接触组成的运动副，如图 1-5 所示。这时两构件只能作相对移动或转动。允许两构件作相对移动的低副称为移动副，如图 0-1 中活塞与气缸体组成的是移动副。允许两构件作相对转动的低副称为转动副或铰链，如图 0-1 中活塞与连杆组成的运动副是转动副。低副限制（约束）了两构件的两种相对独立运动。

二、平面机构运动简图

实际机构的外形和结构都很复杂。为了便于分析和设计，通常不考虑构件的外形、截面尺寸以及运动副的实际结构，而用简单的线条和规定的符号表示构件和运动副，并按一定的比例画出各运动副间的相对位置，这种图形称为机构运动简图。表 1-1 列出了构件和运动副的常用表示方法。

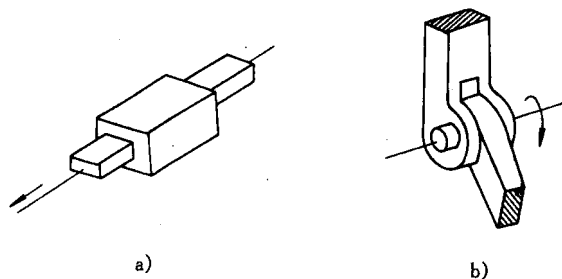


图 1-5 低副

a) 移动副 b) 转动副

在绘制机构运动简图时，首先要分析机构的运动，确定原动件、机架和从动件，分析原动件的运动如何传递给从动件，搞清构件数及各构件的相对运动；其次要明确运动副的类型、数目和各运动副的相对位置；然后选择一个与各构件运动平面相平行的平面作为视图平面，选择适当的比例尺 μ_L ，画出机构运动简图。长度比例尺 μ_L

$$\mu_L = \frac{\text{实际长度 (mm)}}{\text{图示长度 (mm)}}$$

表 1-1 构件和运动副的常用符号

运动副类别	代表符号	运动副类别	代表符号
两活动构件 1 和 2 组成转动副		活动构件 1 和机架 2 组成转动副	

运动副类别	代表符号	运动副类别	代表符号
两活动构件 1 和 2 组成移动副		活动构件 1 和机架 2 组成移动副	
齿轮副		凸轮副	

例 1-1 试绘制图 1-6a 所示货车翻斗自动卸料机构的运动简图。

解 (1) 分析机构运动, 确定构件数目 图示货车翻斗自动卸料机构是利用液压推动活塞杆 3 撑起翻斗 2, 使翻斗绕支点 B 翻转, 物料便自动卸下。机构工作时, 液压缸缸体 4 能绕支点 C 摆动。该机构中车体 1 是固定件、活塞杆 3 是原动件, 翻斗 2 和液压缸缸体 4 为从动件, 共有 4 个构件。

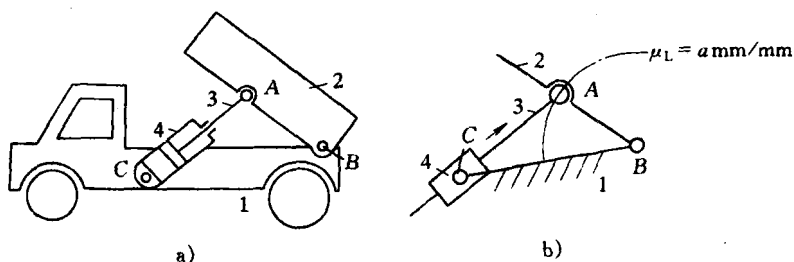


图 1-6 卸料货车

(2) 确定运动副的类型、数目 活塞杆 3 与液压缸缸体 4 的联接是移动副, 活塞杆 3 与翻斗 2、翻斗 2 与车体 1 及液压缸缸体 4 与车体 1 的联接分别是 A 、 B 、 C 处的转动副。

(3) 测量各运动副间的相对位置 测量 L_{AB} 、 L_{BC} 及 $\overline{BC}$ 与水平线的夹角。

(4) 选择翻斗 2 的运动平面为视图平面。

(5) 确定长度比例尺 $\mu_L = a \text{ mm/mm}$ 。

(6) 绘制机构运动简图 先画车体上两个转动副 B 和 C 的位置 (图示 $\overline{BC}$ 长度为 L_{BC}/μ_L); 以 B 为圆心, 以 L_{AB}/μ_L 为半径作弧, 得 A 点运动轨迹; 选定原动件的初始位置, 例如活塞杆 3 与车体 $\overline{BC}$ 成 30° 角位置 (可以自由取定); 过 C 点作活塞杆 3 的方向线, 与弧交于 A 点; 按规定的符号和线条画简图; 标注构件号、转动副代号 (A 、 B 、 C)、原动件运动方向, 便绘成机构运动简图 (图 1-6b)。

三、机构具有确定运动的条件

(一) 平面机构的自由度

机构自由度是指机构中各构件相对于机架所具有的独立运动参数。

设某平面机构有 n 个活动构件, 有 P_L 个低副和 P_H 个高副。如上所述, 一个没有受任何约束的构件有 3 个自由度, 一个低副有两个约束, 一个高副带来一个约束。因此, 机构自由度 F 可按下式计算

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

例 1-2 试计算图 1-7 所示铰链四杆机构的自由度。

解 此机构有 3 个活动构件 (构件 1、2、3)、4 个低副 (转动副 A 、 B 、 C 、 D) , 没有高副。按式 (1-1) 求得机构自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

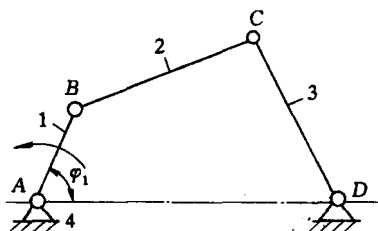


图 1-7 铰链四杆机构

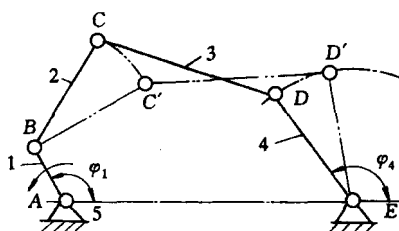


图 1-8 铰链五杆机构

(二) 机构具有确定运动的条件

由例 1-2 可知, 铰链四杆机构有一个自由度, 即机构中各构件相对于机架所能有的独立运动数目为 1。

通常机构的原动件是用转动副或移动副与机架相联, 因此, 每个原动件只能输入一个独立运动。设构件 1 为原动件, 参变量 φ_1 表示构件 1 的独立运动, 由图 1-7 可知, 每给定一个 φ_1 值, 从动件 2、3 便有一个确定的位置。可见, 自由度为 1 的机构在具有一个原动件时, 运动是确定的。

图 1-8 所示为铰链五杆机构, $n=4$ 、 $P_L=5$ 、 $P_H=0$, 自由度 $F=3 \times 4 - 2 \times 5 - 0 = 2$ 。如果只有构件 1 为原动件, 则当构件 1 处于 φ_1 位置时, 从动件 2、3、4 的位置不确定 (可以在图示实线或双点划线位置, 也可处于其他位置), 即从动件的运动不确定。如果取构件 1 和 4 为原动件, 每给定一组 φ_1 和 φ_4 的数值, 从动件 2 和 3 便有一个确定的相对位置。可见, 自由度等于 2 的机构在具有两个原动件时运动是确定的。

综上所述, 推理可知:

机构具有确定运动的条件是: 机构原动件的数目 W 应等于机构的自由度 F , 即

$$W = F > 0 \quad (1-2)$$

如果 $F \leq 0$, 构件间没有相对运动, 机构蜕变为刚性桁架; 如果 $W < F > 0$, 各构件没有确定的相对运动; 如果 $W > F > 0$, 机构按动力较大的原动件的运动规律运动, 机构的薄弱处可遭到破坏。

(三) 计算平面机构自由度时应注意的事项

使用式 (1-1) 计算机构自由度时, 对于下列情况应给予注意、处理, 才能使计算结果与实际一致。

1. 复合铰链

图 1-9a 为三个构件在 A 处组成转动副。由另一视图图 1-9b 中可以看出, A 处实际上存在两个转动副。这种由两个以上的构件在一处组成的转动副, 称为复合铰链, 其转动副的数目应是在该处汇交构件 (包括固定件) 的数目减 1。

图 1-10 所示的直线机构中, 在 B、C、D、F 四处都是由三个构件组成的复合铰链, 各含有两个转动副。因为 $n=7$, $P_L=10$, $P_H=0$, 由式 (1-1) 得 $F=3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1$ 。

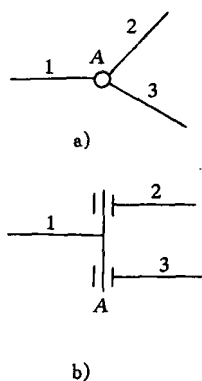


图 1-9 复合铰链

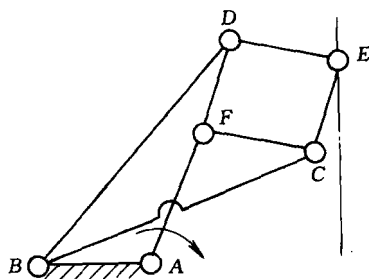


图 1-10 直线机构

2. 局部自由度

图 1-11a 所示的凸轮机构中, 为减少磨损, 在从动件 3 的端部装有滚子 2。由常识可知, 滚子绕 C 轴转动的自由度对从动件 3 的运动没有影响。这种不影响整个机构运动的、局部的独立运动称为局部自由度。计算机构自由度时, 应将局部自由度除去不计。如图 1-11b 所示, 设想将滚子与安装滚子的构件焊成一体, 此时, $n=2$, $P_L=2$, $P_H=1$, 按式 (1-1) 计算, 图 1-11 所示凸轮机构的自由度为 $F=3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1$ 。计算结果与实际情况相符。

3. 虚约束

图 1-12a 所示缝纫机刺布机构, 上下两个移动副 D 和 D' 同时约束针杆的上下移动, 其约束效果与图 1-12b 一样。移动副 D' 对机构的运动只起重复限制的作用。这种起重复限制作用的约束称为虚约束。在计算机构自由度时, 虚约束应当除去。因此, 图 1-12 机构的 $n=3$, $P_L=4$, $P_H=0$, 按式 (1-1) 计算, 得 $F=3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$ 。

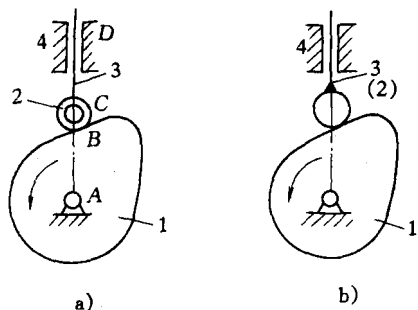


图 1-11 凸轮机构

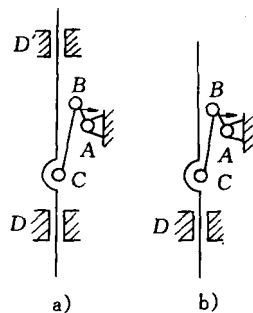


图 1-12 缝纫机刺布机构中移动副导路重合