

 中国石油大学（华东）远程与继续教育系列教材

机械设计基础

FUNDAMENTALS OF MECHANICAL DESIGN

刘峰 主编



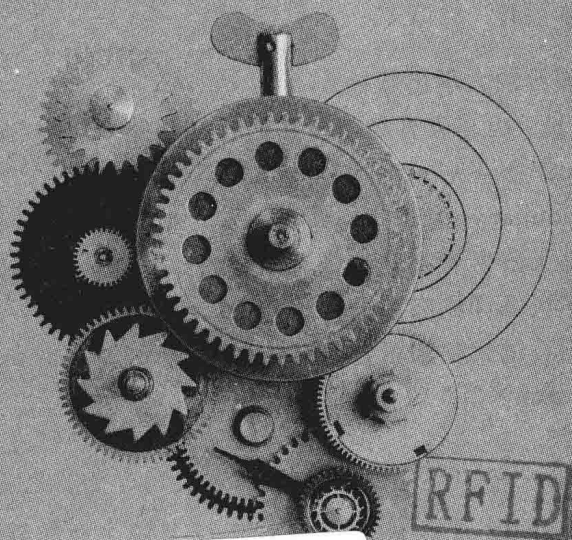
中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

中国石油大学（华东）远程与继续教育系列教材

机械设计基础

FUNDAMENTALS OF MECHANICAL DESIGN

刘峰主编



图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/刘峰主编. —东营:中国石油大学出版社, 2016. 12

ISBN 978-7-5636-5411-6

I. ①机… II. ①刘… III. ①机械设计 IV.
①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 298558 号

书 名: 机械设计基础

主 编: 刘 峰

责任编辑: 袁超红(电话 0532—86981532)

封面设计: 悟本设计

出 版 者: 中国石油大学出版社

(地址: 山东省青岛市黄岛区长江西路 66 号 邮编: 266580)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子邮箱: shiyoujiaoyu@126.com

排 版 者: 青岛天舒常青文化传媒有限公司

印 刷 者: 山东世嘉印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981531, 86983437)

开 本: 185 mm×260 mm

印 张: 19.75

字 数: 475 千

版 印 次: 2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5636-5411-6

印 数: 1—3 000 册

定 价: 39.00 元

中国石油大学(华东)
远程与继续教育系列教材编审委员会

主 任：王瑞和

副主任：王天虎 冯其红

委 员：刘 华 林英松 刘欣梅 韩 彬
康忠健 黄善波 郑秋梅 孙燕芳
张 军 王新博 刘少伟

总 序

Preface

从1955年创办函授夜大学至今,中国石油大学成人教育已经走过了从初创、逐步成熟到跨越式发展的60年历程。多年来,我校成人教育紧密结合社会经济发展需求,积极开拓新的服务领域,为石油石化企业培养、培训了20多万名本专科毕业生和管理与技术人才,他们中的大多数已经成为各自工作岗位的骨干和中坚力量。我校成人教育始终坚持“规范管理、质量第一”的办学宗旨,坚持“为石油石化企业和经济建设服务”的办学方向,赢得了良好的社会信誉。

自2001年1月教育部批准我校开展现代远程教育试点工作以来,我校以“创新教育观念”为先导,以“构建终身教育体系”为目标,整合函授夜大学教育、网络教育、继续教育资源,建立了新型的教学模式和管理模式,构建了基于卫星数字宽带和计算机宽带网络的现代远程教育教学体系和个性化的学习支持服务体系,有效地将学校优质教育资源辐射到全国各地,全力打造出中国石油大学现代远程教育的品牌。目前,办学领域已由创办初期的函授夜大学教育发展为今天的集函授夜大学教育、网络教育、继续教育、远程培训、国际合作教育于一体的,在国内具有领先水平、在国外具有一定影响的现代远程开放教育系统,成为学校高等教育体系的重要组成部分和石油石化行业最大的成人教育基地。

为适应现代远程教育发展的需要,学校于2001年9月正式启动了网络课程研制开发和推广应用项目,斥巨资实施“名师名课”教学资源精品战略工程,选拔优秀教师开发网络教学课件。随着流媒体课件、WEB课件到网络课程的不断充实与完善,建构了内容丰富、形式多样的网络教学资源超市,基于网络的教学环境初步形成,远程教育的能力有了显著提高,这些网上教学资源的建设与研发为我校远程教育的顺利发展起到了支撑和保障作用。相应地,作为教学资源建设的一个重要组成部分,与网络教学课件相配套的纸质教材建设就成为一项愈来愈重要的任务。根据学校远程与继续教育发展规划,在“十三五”期间,学校将重点加强教学资源建设工作,选聘石油石化行业和有关石油高校专家、学者参与系列教材的开发和编著工作,计划用5年的时间,组织出版所开设专业的远程与继续教育系列教材。系列教材将充分吸收科学技术发展和成人教育教学改革最新成果,体现现代教育思想和远程教育教学特点,具有先进性、科学性和远程教育教学的适用性,形成纸质教材、多媒体课件、网上教学资源互为补充的立体化课程学习包。

为了保证远程与继续教育系列教材编写出版进度和质量,学校专门成立了远程与继续教育系列教材编审委员会,对系列教材进行严格的审核把关,中国石油大学出版社也对系列

教材的编辑出版给予了大力支持和积极配合。远程与继续教育系列教材的建设经过探索阶段,逐步形成了稳定的开发模式,并形成了教材与数字化教学资源一体化设计、内容上以应用为轴心和以能力为本位、形式上适应成人学生自主学习需要的鲜明特色。我们相信,在广大专家、学者们的共同努力下,一定能够创造出体现现代远程教育教学和学习特点的,体系新、水平高的远程与继续教育系列教材。

编委会

2015年7月

前言

Foreword

机械设计基础课程是高等工科院校成人教育近机类和非机类专业普遍开设的重要技术基础课程。本课程的学习可使学员加强对机械的了解,引发对实际工作岗位中所接触的机械的兴趣,激发创新意识,从而为正确选择和使用机械以及初步分析机构和设计简单机械装置打下基础。

本教材是在总结中国石油大学(华东)成人教育近机类和非机类各专业机械设计基础课程教学经验的基础上,结合成人学员学习的特点,根据国家教委成人教育机械设计基础课程教学基本要求的精神编写的,可满足 32~64 学时课程教学的要求。

本教材内容紧扣成人特点,注重贴近生活和工程实际,遵循成人的认知规律,从感性认识入手,逐步深入,从实践到理论,达到学习理论知识的目的,并反过来用理论指导实践,使学员结合自己的工作实际有所创新、有所发明。考虑到本教材的使用对象主要为成人学员,以自学为主,因此本教材力求简明,公式推导力求简单,便于学员自学。

本教材的主要特点是:

(1) 打破常规教材的编写模式而以专题的形式展开,便于学员在工作之余利用零星时间进行学习;

(2) 从成人的认知规律入手,突出成人学员有一定的生活经验和工作经历的特点,以熟悉的实例开始,逐步深入,便于学员循序渐进地学习;

(3) 在大众创业、万众创新的形势下,教材每章的最后一个专题将起到“抛砖引玉”的作用,启发学员立足岗位进行创新。

本教材可供高等工科院校近机类和非机类成人学员学习机械设计基础课程之用,也可作为在校大学生学习机械设计基础课程的参考书,还可供任课老师备课参考。

本教材由中国石油大学(华东)机电工程学院刘峰编写,研究生张万涛、刘建伟和孔祥顺做了大量的辅助工作。全书由崔学政教授和石永军教授担任主审。

由于水平所限,难免有不妥之处,殷切希望读者在使用过程中对本教材的错误和欠妥之处提出指正,编者在此致以谢意。对本教材的意见请发至编者邮箱 liuf@upc.edu.cn。

编者

2016 年 10 月

目 录

Contents

第 0 章 绪 论	1
专题 1 认识机械	1
专题 2 机械创新设计	5
专题 3 课程性质、内容和任务	7
第 1 章 平面机构的自由度	9
专题 1 自由度、运动副及机构运动简图绘制	9
专题 2 机构自由度的计算及注意事项	14
专题 3 机械向着多自由度发展	19
第 2 章 平面连杆机构	21
专题 1 平面连杆机构	21
专题 2 平面四杆机构的基本特性	27
专题 3 平面连杆机构的设计	29
专题 4 平面连杆机构的创新设计	32
第 3 章 凸轮机构	34
专题 1 认识凸轮机构	34
专题 2 凸轮从动件的常用运动规律及凸轮轮廓设计	38
专题 3 凸轮机构基本参数的确定	41
专题 4 凸轮轮廓的创新设计	43
第 4 章 齿轮机构	45
专题 1 齿轮机构的认识及分类	45
专题 2 齿廓啮合基本定律与共轭齿廓	47
专题 3 渐开线齿廓	49
专题 4 渐开线标准齿轮及其啮合传动	51
专题 5 渐开线齿轮齿廓的切制	55
专题 6 平行轴斜齿圆柱齿轮机构	60
专题 7 圆锥齿轮机构	65

专题 8 齿轮机构的创新	67
第 5 章 轮 系	69
专题 1 认识轮系	69
专题 2 轮系的类型	70
专题 3 定轴轮系的传动比	72
专题 4 周转轮系传动比计算	75
专题 5 轮系的应用	77
专题 6 轮系的创新应用	80
第 6 章 间歇运动机构	83
专题 1 认识间歇运动机构	83
专题 2 棘轮机构	85
专题 3 槽轮机构	87
专题 4 不完全齿轮机构	90
专题 5 凸轮式间歇运动机构	91
专题 6 间歇运动机构的应用创新	92
第 7 章 机器的调速与平衡	95
专题 1 认识速度波动的调节	95
专题 2 机器的速度波动及调节	96
专题 3 刚性转子的平衡	100
第 8 章 机械零件设计概论	105
专题 1 设计机器的基本要求与一般程序	105
专题 2 机械零件设计概论	106
专题 3 机械零件的材料及其选用	115
专题 4 机械设计创新	120
第 9 章 连 接	122
专题 1 生活中的连接件	122
专题 2 连 接	123
专题 3 螺纹连接	125
专题 4 螺纹的类型与螺纹连接件的类型	130
专题 5 螺纹连接的强度计算	134
专题 6 键连接	146
专题 7 销连接	150
专题 8 新型螺纹紧固件	152
第 10 章 带传动和链传动	154
专题 1 生活中的带传动和链传动	154
专题 2 带传动的类型及几何参数	155
专题 3 带传动的受力分析	158

专题 4 V 带的设计	162
专题 5 链传动	178
专题 6 链传动的运动分析和受力分析	185
专题 7 滚子链传动的设计计算	188
专题 8 链传动的布置和润滑	193
专题 9 汽车行业的传动带	195
第 11 章 齿轮传动	197
专题 1 齿轮传动设计的重要性	197
专题 2 齿轮传动的失效形式及计算准则	198
专题 3 齿轮材料及精度选择	201
专题 4 齿轮传动的载荷计算	204
专题 5 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	207
专题 6 斜齿圆柱齿轮与直齿圆锥齿轮传动的强度计算	213
专题 7 齿轮的润滑与效率	216
专题 8 齿轮的结构设计	218
专题 9 齿轮的创新设计	219
第 12 章 蜗杆传动	221
专题 1 蜗杆应用实例	221
专题 2 蜗杆传动的类型和主要参数	222
专题 3 蜗杆传动的失效形式、材料选择和结构	227
专题 4 圆柱蜗杆传动的强度计算	229
专题 5 圆柱蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	233
专题 6 蜗杆减速器及传动形式的比较	235
第 13 章 轴	237
专题 1 轴的应用	237
专题 2 轴的分类和材料	238
专题 3 轴的结构设计	242
专题 4 轴的强度计算	244
专题 5 轴的刚度计算	248
专题 6 提高轴的强度、刚度和减轻重量的措施	250
专题 7 轴的结构改进	252
第 14 章 轴 承	255
专题 1 轴承的应用	255
专题 2 滑动轴承的类型和结构	256
专题 3 轴承材料及润滑	259
专题 4 滑动轴承的条件性计算	263
专题 5 滚动轴承的基本类型和特点	264
专题 6 滚动轴承的代号	269

专题 7 滚动轴承的力分析、失效和计算准则	272
专题 8 滚动轴承的组合设计	279
专题 9 轴承的创新	285
第 15 章 联轴器、离合器和制动器	287
专题 1 联轴器、离合器和制动器的应用	287
专题 2 联轴器和离合器的类型及选用	288
专题 3 刚性联轴器	290
专题 4 无弹性元件挠性联轴器	291
专题 5 弹性元件挠性联轴器	293
专题 6 离合器	295
专题 7 制动器	300
专题 8 联轴器的创新	301
参考文献	302

第0章 绪论

瓦特改良了蒸汽机(图 0-1),从此我们进入了机器时代,人们从繁重的体力劳动中解放出来。人类在长期的生产实践中创造了机器,并不断发展成当今各种各样的机器。在目前的生产和生活中,机器已经成为代替或减轻人类劳动、提高劳动生产率的主要手段。使用机器的水平也成为衡量一个国家现代化程度的重要标志。

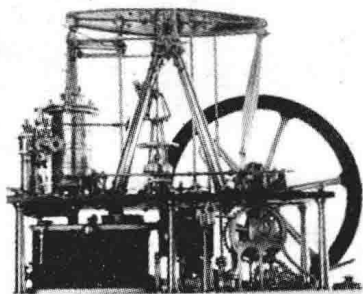


图 0-1 蒸汽机

学完本章,你将能够:

- 理解什么是机构、机器和机械以及它们之间的联系;
- 了解机械设计的一般过程;
- 了解本课程的性质、内容以及后续学习中的任务。

专题 1 认识机械

专题导读

本课程介绍的是机械设计基础方面的知识,那么大家是否知道什么是机器呢?机器又是怎么工作的呢?先让我们认识几个生活中的机器实例,再开始我们这门课程的学习。

我们知道了机器后,那机构是什么?机械又是什么?三者之间有何联系?本专题将从生活实例中深入剖析机构、机器和机械的概念及其组成关系。

1 机器

油田工作的抽油机是机器。在图 0-2 所示的游梁式抽油机中,采用电动机 6 驱动,通过传动带 5 把动力传给减速箱,减速器减速增扭后输出运动,带动曲柄 1 旋转,并通过连杆 2 驱动游梁 3 摆动,游梁 3 前端装有驴头 4,驴头 4 上悬挂着悬绳,悬绳通过悬绳器与抽油杆相连,从而实现抽油杆的上下往复运动,进而带动井下的抽油泵活塞往复运动,将井液从井下抽出,实现开采原油的目的。

内燃机也是机器。图 0-3 所示为一个内燃机的模型,燃料在气缸内燃烧,推动活塞 2 向下做直线运动,通过连杆 5 转化为曲轴 6 的旋转运动,带动工作机工作,此为内燃机的主要部分。在这个模型中,还有齿轮 9 和 10(它们的齿数比是 1:2),以及凸轮 7 和从动件 8,以上各个部分相互配合,完成内燃机的进气与排气的动作。这可保证每转两转进、排气阀各启闭一次,完成将燃料的化学能转变成机械能的过程。

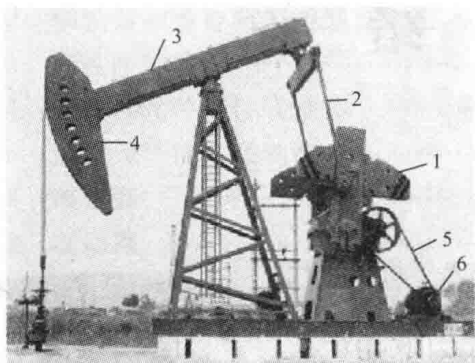


图 0-2 游梁式抽油机

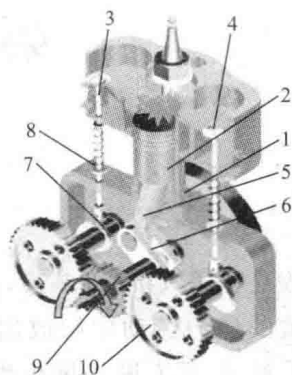
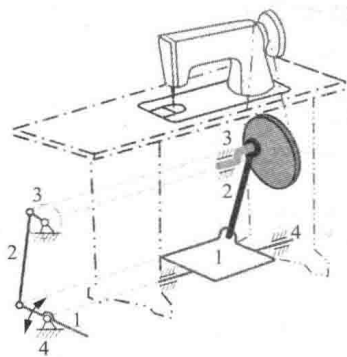


图 0-3 内燃机

缝纫机也是机器。图 0-4 所示的缝纫机由脚踏板(即摇杆)1、连杆 2、曲柄 3、传动带和机头等组成。人踏脚踏板使其摆动,通过一系列构件,变成针的上下往复运动和摆梭的摆动,实现缝合布料的目的,减轻工人的劳动。这一过程是将人的生物能转化为机械能。



(a)



(b)

图 0-4 缝纫机

任何机器的发展都经历了从简单到复杂的过程。例如,起重机的发展历程:斜面—杠杆—起重轱辘—滑轮组—手动(电动)葫芦—现代起重机(包括龙门吊、鹤式吊及汽车吊等),如图 0-5 所示。

根据某种使用要求而设计的一种执行运动的装置,可以用它来变换或传递能量、物料和信息,我们称为机器。如洗衣机、车床、收割机等,如图 0-6 所示。

上述这些机器都具有以下特征:

- (1) 组成——由一系列人为的机件组合而成;
- (2) 运动特性——各组成部分之间具有确定的运动;
- (3) 功能关系——能够代替人的劳动完成有用功或者实现能量的转换。

人们把具有以上特征的实物组合称为机器。

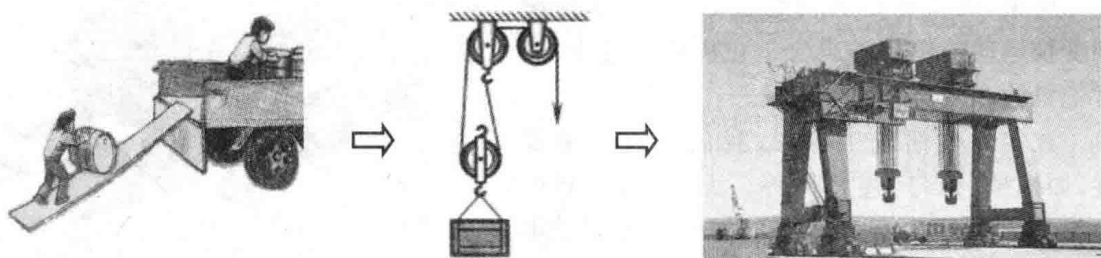
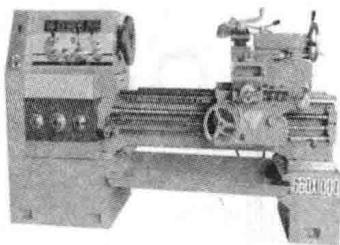


图 0-5 起重机的发展历程



(a) 洗衣机



(b) 车床



(c) 收割机

图 0-6 常见的机器

随着科学技术的不断发展,人们对机器的应用范围、组成有了更深入的认识。机器中可包括曲柄滑块机构、凸轮机构、齿轮机构等一个或多个机构。

2 机构

通过分析上文机器的构成可以发现,从运动传递的角度讲,机器是由若干个传递运动的机构组成的,如:抽油机由带传动、齿轮机构和曲柄摇杆机构等组成,将曲柄的旋转运动变为游梁的摆动;内燃机由曲柄滑块机构、凸轮机构和齿轮机构等组成,将活塞的往复直线运动变为曲轴的旋转运动。这些机构都具有机器的前两个特征,即由一系列人为的机件组合而成,以及各组成部分之间具有确定的运动。

把组成机器的在运动上独立的机件的组合称为机构。机构就是能够用来传递运动和动力或改变运动形式的实物组合体。常见的机构有连杆机构、凸轮机构和齿轮机构,如图 0-7 所示。



(a) 连杆机构



(b) 凸轮机构



(c) 齿轮机构

图 0-7 常见的机构

可见,机器是由机构组成的,机构是传递和变换运动的机件的组合。在机械设计中,通常把机构和机器总称为机械。

在实际生活或工程中,我们见过许多零件,如螺栓、螺母、连杆体等。大家知道,零件是加工的单元,在机器中有的构件是由一个零件构成的,如内燃机中的曲柄(图 0-8),但大多构件是由若干个零件连接而成的,如内燃机中的连杆(图 0-9)。

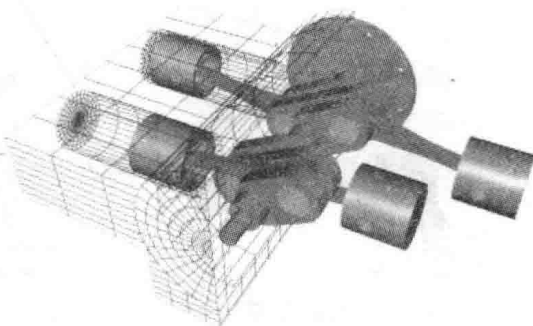


图 0-8 内燃机的曲柄

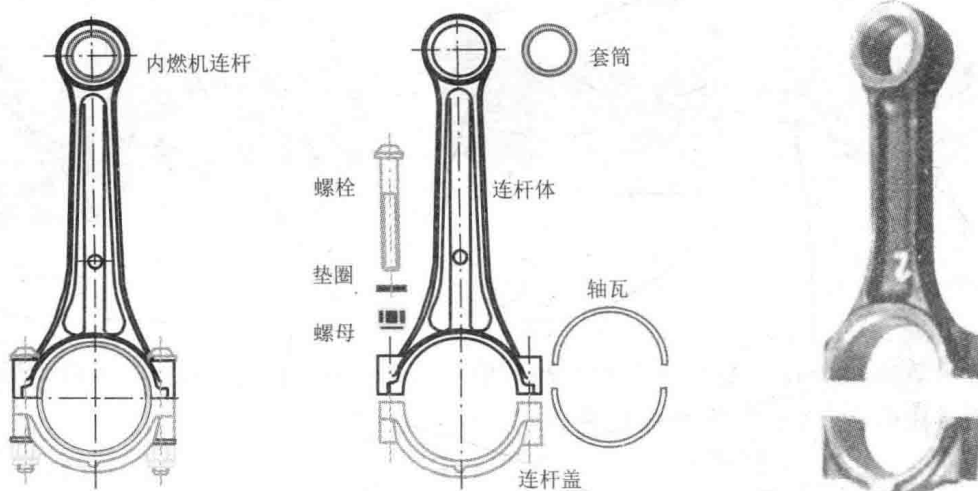
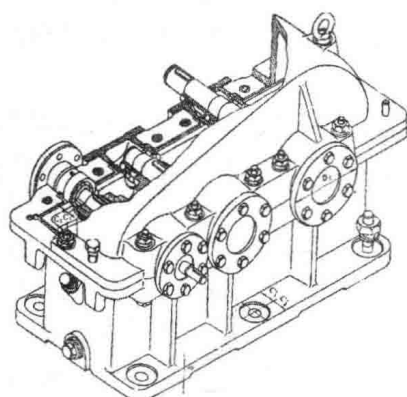
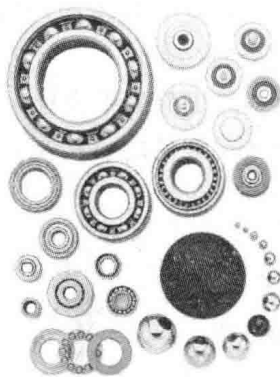


图 0-9 连杆

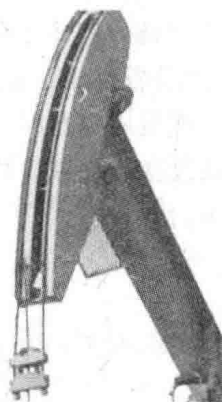
分析组成机器的零部件,可以发现有的零部件是在各种机器中都存在的,如减速器(图 0-10a)、轴承(图 0-10b)等,有的零部件只是在某些机器中存在,如抽油机的驴头(图 0-10c)等。我们将前者称为通用零部件,将后者称为专用零部件。



(a) 减速器



(b) 轴承



(c) 驴头

图 0-10 零部件

零件是加工制造的最小单元,构件是运动的单元。零件、构件、机构、机器和机械的关系可表示成图 0-11 所示。



图 0-11 几个概念的关系

专题小结

通过日常生活中的机器了解了机器的组成,在此基础上理解机构、机器和机械各概念的内涵和外延。在工作中见到一台机器,应该能够分析其组成,找出其中的机构,分析其运动。

专题 2 机械创新设计

专题导读

设计机器的目的是什么?设计的机器应该满足哪些方面的要求?是如何实现一个机器从无到有的?本专题将从设计机器的目的出发,结合设计要求进一步讲解机械设计的过程,从而对机械设计有一个全面系统的了解。机械设计是一个继承与创新融合的过程,本专题以一个创新实例为大家介绍机械创新设计。

1 设计新机械的一般过程

机械设计是指规划和设计实现预期功能的新机械或改进原有机机械。

1) 设计机器的目标

设计机器的目的是代替(至少减轻)人们的劳动,改善人们的物质生活水平。因此,设计机器的目标有两个:

- 设计的机器应是先进的,满足社会发展对机器的需求;
- 设计的机器应是实用的,可以为社会所接受,带来更大的社会效益和经济效益。

2) 设计机器应满足的要求

结合上述机器设计目标,机器应满足下列要求:

- 满足功能方面的要求,能实现预期运动,完成设计者要求的动作;
- 具有良好的经济性,成本低,结构简单,工艺性好,工作效率高;
- 操作方便,便于维修,运行成本低;
- 符合人机工程学原理,造型美观,便于包装和运输;
- 安全,环保。

3) 机械设计的一般过程

机械设计师从接到设计机械任务到将产品推向市场,一般要完成图 0-12 所示的工作。

从图中可以看出,绘图、加工等内容在前面相应课程中已经有介绍,机构的类型选择、机器运动学和动力学分析与设计、通用零部件设计及选型则是机械原理和机械设计课程的内

容,也就是机械设计基础课程所涉及的教学内容。可见,机械设计基础在机械设计过程中占有非常重要的地位。作为机械设计基础课程的学员,了解机械设计的过程、机械的基本构成、机器通用零部件的设计及选型是很有必要的。

实践证明,在机器的设计过程中,方案设计阶段是决定所设计机器能否达到设计目标的关键,应该引起我们的高度重视。

2 机械创新设计

机械设计的过程就是继承与创新的融合,本小节内容将以枪支创新实例作为创新启迪。

喜欢军事的读者可能都会对枪支有所了解,一款先进的枪支可以在战场上挽救无数士兵的生命。人们对枪支的研究从它诞生之日起就在不断进行着,经过无数次的改进,才有了今天的先进枪支。

最早具有现代意义的枪支是一种前膛枪(图 0-13),即一种从枪管的前部装填火药的枪支。与弓箭时代的武器相比,这种枪有很大的好处,它利用火绳点燃火药实现射击,所以对士兵的操作能力要求不高而且可以射击得更远,在当时得到了广泛应用。

前膛枪的缺陷是必须在前部装药,这种装填方式决定了其射击速度很慢。为了克服上述缺点,增加士兵在冲锋时的生存概率,需要一种可以让士兵趴在战壕里面就可以完成装弹的枪支,于是后膛枪(图 0-14)应运而生。作战时士兵用事先设计好的药包装入枪支尾部就可以进行射击。

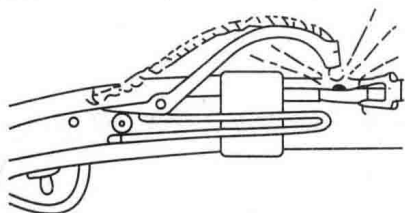


图 0-13 前膛枪

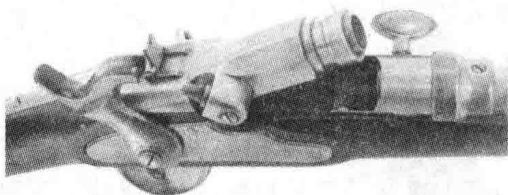


图 0-14 后膛枪

前膛枪和后膛枪都是使用火药,携带起来很不方便,也很容易受到环境的影响,如不能在雨中使用等。它们的枪管都是光管,子弹飞出去后是以抛物线轨迹运动,因此它们的射击距离都不是太远。针对这些缺陷,人们又设计出了子弹(图 0-15a),利用尾部撞击就可以引燃弹壳内的火药,火药爆炸将弹头推出枪管(图 0-15b),这种子弹可以克服水、泥等外界因素的影响。枪管部分根据陀螺的定轴性设计了膛线(图 0-15c),这大大提高了枪的有效射程。

众所周知,谁能在更短的时间内发射出更多的子弹,谁就能更有效地杀伤敌人并保护自己,于是机枪应运而生。最出名的莫过于加特林机枪(图 0-16a),它利用图 0-16(b)所示的凸轮机构将子弹推入枪膛,每颗子弹后面都有一个独立的撞针机构,当子弹连同枪管一起旋转

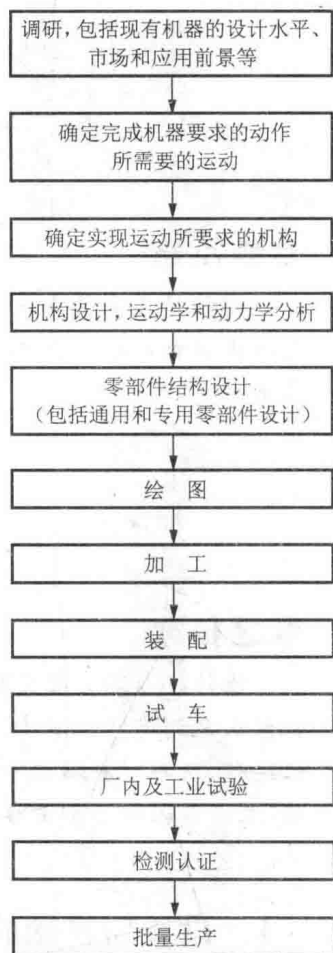


图 0-12 机械设计的一般过程