

高职高专“十一五”规划教材

机械设计基础

JIXIE SHEJI JICHU

——·主编 ◎ 丁守宝 李 皖·——



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

高职高专“十一五”规划教材

机械设计基础

• 第 2 版 •

主 编 丁守宝 李 皖

副主编 王 韬 龚厚仙

参 编 凌文曙 李海容 孙明江

主 审 朱家诚

合肥工业大学出版社

内 容 简 介

本书是根据教育部制定的《高职高专教育机械设计基础课程教学基本要求》，结合多所院校近几年的教改经验编写而成的。主要介绍了常用机构的工作原理、运动特性、设计方法、应用场合及选择，通用零件在一般工作条件下的工作原理、结构特点、使用要求、设计原理与选用方法等内容。全书除绪论外共十六章，各章配有一定数量的思考题与练习题，供学习时选用。

本书突出高职教育的特点，并贯彻最新的国家标准。

本书为高职高专院校机械类及近机类专业的教学用书，也可以作为成人高等学校用书及有关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/丁守宝,李皖主编. —2版. —合肥:合肥工业大学出版社,2011.9

ISBN 978-7-5650-0555-8

I. ①机… II. ①丁…②李… III. ①机械设计—高等职业学校—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 157379 号

机械设计基础(第 2 版)

主 编 丁守宝 李 皖

责任编辑 汤礼广

出 版 合肥工业大学出版社

地 址 合肥市屯溪路 193 号

邮 编 230009

电 话 总编室:0551-2903038

发行部:0551-2903198

网 址 www.hfutpress.com.cn

E-mail press@hfutpress.com.cn

版 次 2005 年 12 月第 1 版

2011 年 9 月第 2 版

印 次 2011 年 9 月第 7 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 21 字 数 500 千字

印 刷 合肥工业大学印刷厂

发 行 全国新华书店

ISBN 978-7-5650-0555-8

定价: 39.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换。



前 言

本书为安徽省高等学校“十一五”省级规划教材（见安徽省教育厅教秘高〔2007〕9号文件）。

本书是根据教育部制定的《高职高专教育机械设计基础课程教学基本要求》，并结合多所院校近几年的教改经验编写而成的，主要用于机械类、近机类各专业的教学，参考学时数为90~100学时。本书主要有以下特点：

（1）从培养实用型技能人才应具有的基本技能出发，在教材内容的取舍上，充分考虑目前职业院校的生源状况，力求实用、够用，并适当考虑知识的连续性和学生今后继续学习的需要。在内容的编排上，力图有利于先修课和后续课的衔接、有利于教师组织教学、有利于学生自学。在语言阐述上，力求通俗易懂，将问题交待清楚。

（2）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实际问题能力的培养。

（3）适当介绍了现代设计方法以及机械零部件的新形式和新结构。

（4）一律采用法定计量单位和已正式颁布的最新国家标准。

参加本书编写的有：丁守宝（绪论、第一章、第四章、第五章），凌文曙（第十四章、第十六章），李皖（第二章、第三章、第六章），李海容（第七章、第八章），王韬（第十三章、第十五章），龚厚仙（第九章），孙明江（第十章、第十一章、第十二章）。本书由丁守宝、李皖任主编，王韬、龚厚仙任副主编。



本书由合肥工业大学朱家诚教授担任主审。朱家诚教授认真细致地审阅了本书，提出很多宝贵的修改意见和建议，编者对此谨致以深深的谢意。

本书的所有编者在编写过程中都得到所在学校的大力支持，在此一并表示感谢。

此次再版之前，根据读者反馈的意见，丁守宝老师对本书进行了认真地修订。由于编者水平有限，书中难免仍有误漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者



目 录

绪 论	1	第三节 盘形凸轮轮廓的设计与 加工方法	58
思考与练习	3	第四节 凸轮机构基本尺寸的确定	62
第一章 机械设计概述	4	思考与练习	65
第一节 机械设计的基本要求和 一般程序	4	第五章 间歇运动机构	66
第二节 机械零件的失效形式和 设计准则	5	第一节 棘轮机构	66
第三节 机械设计方法简介	7	第二节 槽轮机构	69
第四节 摩擦、磨损及润滑	9	第三节 其他间歇运动机构简介	71
思考与练习	22	思考与练习	73
第二章 平面机构的结构分析	23	第六章 螺纹联接与螺旋传动	74
第一节 机构的组成	23	第一节 螺纹联接的基本知识	74
第二节 平面机构的运动简图	25	第二节 螺纹联接的基本类型、 预紧和防松	76
第三节 平面机构的自由度	28	第三节 单个螺栓联接的强度计算	82
思考与练习	32	第四节 螺纹联接件的材料和 许用应力	86
第三章 平面连杆机构	34	第五节 螺栓组联接的结构设计和 受力分析	87
第一节 概述	34	第六节 提高螺栓联接强度的措施	95
第二节 平面四杆机构的基本型式 及其演化	34	第七节 螺旋传动简介	97
第三节 平面四杆机构的基本特性	41	思考与练习	100
第四节 平面四杆机构的设计	45	第七章 带传动	103
思考与练习	50	第一节 带传动的类型、特点和 应用	103
第四章 凸轮机构	52	第二节 V 带和带轮结构	106
第一节 凸轮机构的特点、类型及 应用	52	第三节 带传动的工作能力分析	111
第二节 从动件的运动规律	55		



第四节 V 带传动的设计计算	116	第十二节 直齿圆锥齿轮传动	188
第五节 带传动的张紧、安装 与维护	129	第十三节 齿轮的结构设计及齿轮传动 的润滑和效率	192
第六节 其他带传动简介	133	第十四节 标准齿轮传动的 设计计算	195
思考与练习	134	思考与练习	200
第八章 链传动	135	第十章 蜗杆传动	202
第一节 链传动的类型、特点和 应用	135	第一节 蜗杆传动的类型和特点	202
第二节 滚子链和链轮	136	第二节 蜗杆传动的主要参数和 几何尺寸计算	204
第三节 链传动的运动特性	140	第三节 蜗杆传动的失效形式、 材料及结构	208
第四节 滚子链传动的设计计算	143	第四节 蜗杆传动的强度计算	211
第五节 链传动的布置、张紧及 润滑	148	第五节 蜗杆传动的效率、润滑及 热平衡计算	214
思考与练习	152	第六节 常用各类齿轮传动的 选择	219
第九章 齿轮传动	153	思考与练习	220
第一节 齿轮传动的特点、类型和 齿廓啮合基本定律	153	第十一章 齿轮系	222
第二节 渐开线齿廓的啮合特点	155	第一节 齿轮系及其分类	222
第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的 主要参数及几何尺寸计算	158	第二节 定轴轮系传动比的计算	224
第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的 啮合传动	162	第三节 行星轮系传动比的计算	226
第五节 渐开线齿轮的加工原理与 根切现象	166	第四节 复合轮系传动比的计算	229
第六节 变位直齿圆柱齿轮传动	168	第五节 轮系的功用	230
第七节 齿轮传动的失效形式与 设计准则	170	第六节 其他新型齿轮传动 装置简介	233
第八节 齿轮常用材料及 许用应力	172	第七节 减速器	235
第九节 齿轮传动的精度	176	思考与练习	238
第十节 标准直齿圆柱齿轮传动的 强度计算	178	第十二章 机械传动设计	240
第十一节 斜齿圆柱齿轮传动	183	第一节 概述	240
		第二节 常用机械传动机构的 选择	243
		第三节 机械传动的特性和参数	244



第四节 机械传动的方案设计·····	247	第五节 滚动轴承的失效形式和 设计准则·····	275
第五节 机械传动的设计顺序·····	249	第六节 滚动轴承的寿命计算·····	277
思考与练习·····	250	第七节 滚动轴承的静强度计算·····	282
第十三章 轴和轴毂联接 ·····	251	第八节 滚动轴承的组合设计·····	284
第一节 概述·····	251	第九节 滑动轴承简介·····	294
第二节 轴的材料与选择·····	252	思考与练习·····	303
第三节 轴的结构设计·····	253	第十五章 其他常用零部件 ·····	306
第四节 轴的尺寸确定和 强度校核·····	257	第一节 联轴器·····	306
第五节 轴毂联接·····	262	第二节 离合器·····	310
思考与练习·····	267	第三节 弹簧·····	313
第十四章 轴承 ·····	268	思考与练习·····	315
第一节 轴承的功用和类型·····	268	第十六章 机械的平衡与调速 ·····	316
第二节 滚动轴承的结构、类型和 特点·····	269	第一节 回转件的平衡·····	316
第三节 滚动轴承的代号·····	272	第二节 机械速度波动的调节·····	316
第四节 滚动轴承类型的选择·····	275	思考与练习·····	324
		参考文献 ·····	325



绪 论

一、机器的组成及其相关概念

在长期的生产实践中,人类为了减轻劳动强度、改善劳动条件、提高劳动生产率,创造了各种机器,例如洗衣机、汽车、机床、电动机、起重机等。尽管这些机器的结构、性能和用途各不相同,但它们具有一些共同的特征。

图 0-1 所示为单缸内燃机,它由汽缸体 1、活塞 2、进气阀 3、排气阀 4、连杆 5、曲轴 6、凸轮 7、顶杆 8、齿轮 9 和齿轮 10 等组成。燃气推动活塞移动时,经过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 0-2 所示为颚式破碎机,它由电动机 1、带轮 2 和带轮 4、V 带 3、偏心轴 5、动颚板 6、肘板 7、定颚板 8 等组成。电动机的转动经带传动带动偏心轴转动,从而使动颚板作平面运动,与定颚板一起实现轧碎矿石的功能。

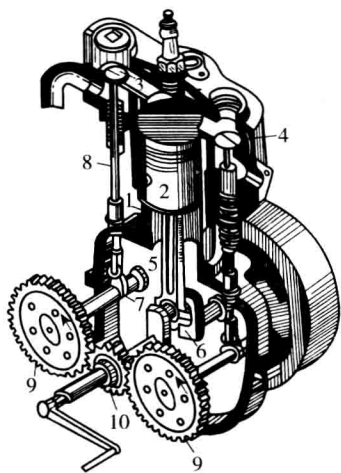


图 0-1 单缸内燃机

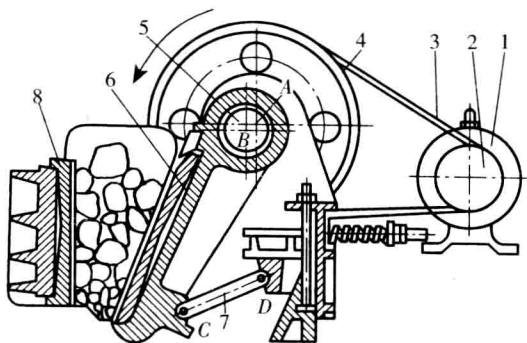


图 0-2 颚式破碎机

以上仅举了两个实例。再对其他不同机器分析可知,机器具有如下共同的特征:

(1) 它们都是由各制造单元(通常称为零件)经装配而成的组合体。

(2) 组合体中各运动单元之间都具有确定的相对运动。

(3) 组合体能变换或传递能量、物料和信息。例如,电动机、内燃机用来变换能量;颚式破碎机用来传递能量;起重机用来传送物料;计算机用来变换信息等。

由此可得出机器的定义是:一种用来转换或传递能量、物料和信息的,能执行机械运动的装置。仅具备上述(1)、(2)两个特征的称为机构。机构是具有确定的相对运动,能实现一定运动形式转换或动力传递的实物组合体。机器与机构的根本区别在于:机构的功



能只是用于传递运动和力,而机器的功能除传递运动和力外,还能实现能量、物料和信息的转换与传递。当仅从运动的观点来看时,机构与机器并无区别,工程上习惯将机构与机器统称为机械。

从功能角度分析,任何一种机器都主要由原动部分、工作部分和传动部分等所组成。原动部分是机器的动力源,最常用的原动机有电动机、内燃机等;工作部分是直接完成机器预定功能的部分,例如图 0-2 中颞式破碎机的动、定颞板;传动部分是机器中将原动机的运动和动力传递给工作部分的中间部分,常由凸轮机构、齿轮机构、带传动等组成。除此以外,对于较复杂和自动化程度较高的机器,往往还包括各种动作的操纵控制系统和信息处理、传递系统。

从传递力和运动的角度来分析,机器是由机构所组成。如图 0-1 所示的内燃机中,活塞 2、连杆 5、曲轴 6 和汽缸体 1 组成一个曲柄滑块机构,可将活塞的往复移动变为曲轴连续转动;凸轮 7、顶杆 8 和汽缸体 1 组成凸轮机构,将凸轮的连续转动转换为顶杆有规律的往复移动;凸轮轴与曲轴上的齿轮 9、齿轮 10 和汽缸体 1 组成齿轮机构,使两轴保持一定的转速比,以保证进气阀 3、排气阀 4 和活塞 2 之间具有协调动作。可见,内燃机主要由曲柄滑块机构、凸轮机构和齿轮机构组合而成。一台机器常包含几个机构,至少也有一个机构,如电动机就是一个由转子和定子组成的二杆机构。

机器的种类很多,但是组成机器的机构种类却是有限的。机器中普遍使用的机构称为常用机构,如齿轮机构、连杆机构和凸轮机构等。

组成机构的各个相对运动的单元称为构件,机器中不可拆的制造单元称为零件。构件可以是单一的零件,如图 0-1 所示内燃机中的曲轴;也可以是由几个零件装配而成的刚性结构,如图 0-1 所示内燃机中的连杆,由连杆体、连杆盖、螺栓以及螺母等几个零件组成。

在机器中普遍使用的零件称为通用零件,如螺栓、轴、齿轮、键等;只在某些机器中使用的零件称为专用零件,如汽轮机中的叶片、内燃机中的活塞、起重机中的吊钩等。另外,把为完成共同任务而结合起来的一组零件称为部件。部件是机器的装配单元,也可分为通用部件和专用部件,如减速器、轴承、联轴器等属于通用部件,而汽车转向器等则属于专用部件。

用制造的观点看机器,可以认为机器是由零部件组成的,这不仅有利于装配,也有利于机器的设计、运输、安装和维修等。用运动的观点看机器,可以认为机器是由机构组成的,这为机器的运动分析与设计带来了方便。

二、本课程研究的对象、内容和任务

本课程研究的对象为机械中的常用机构及一般工作条件下和常用参数范围内的通用零部件,研究其工作原理、结构特点、运动和动力性能、基本设计理论、计算方法以及一些零部件的选用和维护。本课程是一门介于基础课和专业课之间的重要的技术基础课,综合运用先修课程(如机械制图、金属工艺学、工程力学等)的基本知识,解决常用机构及通用零部件的分析和设计问题,起着“从理论过渡到实际、从基础过渡到专业”的承前启后的桥梁作用,是机械类及近机械类专业的主干课程之一,也是工程技术人员必修课程。

本课程的任务是:

(1) 使学生了解常用机构及通用零部件的工作原理、类型、特点及应用等基本知识。



(2) 使学生掌握常用机构的基本理论和设计方法,掌握通用零部件的失效形式、设计准则与设计方法。

(3) 使学生具备设计简单机械及传动装置的基本技能。

(4) 使学生具备运用标准、规范、手册、图册等有关技术资料的能力。

三、本课程的学习方法

本课程是从理论性、系统性很强的基础课和专业基础课向实践性较强的专业课过渡的一个转折点,因此,学习本课程时除传统的学习方法外,需要注意以下几点:

(1) 理论联系实际。对日常所遇到的各种机器结合所学理论进行观察与分析。

(2) 由于机器是由许多零部件组成的有机整体,各零部件之间既相互联系,又相互制约,因此学习时,应从整体去理解,不应孤立地片面地学习和研究。

(3) 设计计算公式与数据都是有条件的,学习时要着重理解各量的物理意义,了解其取值范围、应用条件以及各量之间的相互关系,掌握其内在规律。

(4) 要充分重视结构设计。本课程实践性很强,结构设计尤为重要,不应只重视理论而轻视结构设计。要多观察现有机器及其零部件的实物和图样,了解结构特点,分析相互间的关系,以丰富结构设计方面的知识,逐步提高机械设计的能力。

思考与练习

0-1 机器有哪些特征?机器与机构的主要区别是什么?

0-2 何谓构件、零件、通用零件和专用零件?

0-3 构件与零件有何异同点?



第一章 机械设计概述

第一节 机械设计的基本要求和一般程序

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械的性能。

一、机械设计的基本要求

尽管机械的种类很多,但设计的基本要求都基本相同,主要有以下几个方面:

(1) 要满足使用要求 要求机器在规定的使用期内能有效地实现预期的使用目的,即实现预定的功能,满足运动性能、动力性能以及可靠性与安全性要求。

(2) 要满足市场需要与经济性要求 在产品设计中,应始终把经济效益与社会效益紧密联系起来,即把产品设计、销售、制造三方面作为一个整体考虑。只有在市场需求、设计、生产中寻求最佳关系,才能获得满意的经济效益与社会效益。

(3) 要满足工艺性及标准化、系列化、通用化的要求 机械及其零部件应具有良好的工艺性,即制造容易、装拆方便、加工精度及表面粗糙度适当。设计时零部件和机器的参数应尽量标准化、系列化、通用化,以提高设计质量,降低制造成本。

(4) 要造型美观、减少污染 机械产品的设计除了要满足上述要求外,还应满足人们的精神需求,这就要求产品美观、舒适和时尚。尽可能降低噪声,减少污染,提倡并推广绿色设计。

二、机械设计的一般程序

机械设计是一项复杂细致的工作,要提供性能好、质量高、成本低、竞争力强、深受用户欢迎的新产品,必须有一套科学的工作程序。机械产品的设计一般可按如下程序进行:

(1) 产品规划 主要工作是提出设计任务,明确设计要求,一般包括:机械产品的名称、功用、生产率、主要性能指标、可靠性、使用和维护要求、工作条件、生产批量、预定成本、完成日期,以及其他特殊要求等。

(2) 方案设计 根据设计任务书的要求,构想出多种设计方案,进行分析比较,从中优选出一种较好的方案(包括功能、可靠性、结构、成本等方面)。设计方案包括整体方案、传动系统方案、工作机选择等,它是下一步技术设计的基础。

(3) 技术设计 在既定设计方案的基础上,完成机械产品的运动设计、动力设计、结构设计、零件设计。这一阶段要完成装配图、零件工作图及设计说明书等技术文件。技术设计是把设计方案变成技术文件的过程,显然这一阶段的工作是非常重要的。



(4) 样机制造与试验 根据技术设计所提供的图样等技术文件, 进行样机试制, 对已制造出的样机进行试运行或在生产现场试用, 以检验样机是否达到设计要求, 还存在什么问题, 为进一步修改设计提供依据。

(5) 修改设计 针对样机试验和技术经济评价中所暴露出来的问题, 修改原来的设计方案, 使设计更加完善。

(6) 生产设计 根据修改后的图样等技术文件, 考虑生产批量, 进行工艺流程和工艺装备的设计, 以确保产品的性能和质量。

(7) 正式投产 根据修改后的图样等技术文件确定的生产批量, 正式组织生产合格的机械产品, 投放市场, 并不断搜集用户意见, 总结经验, 为将来修改设计提供依据。

第二节 机械零件的失效形式和设计准则

机械零件丧失预定功能或预定功能指标降低到许用值以下的现象, 称为机械零件的失效。由于强度不够引起的破坏是最常见的零件失效形式, 但并不是零件失效的惟一形式。进行机械零件设计时必须根据零件的失效形式分析失效的原因, 提出防止或减轻失效的措施, 根据不同的失效形式提出不同的设计计算准则。

一、失效形式

机械零件最常见的失效形式大致有以下几种:

1. 断裂

机械零件的断裂通常有以下两种情况:

(1) 零件在外载荷的作用下, 某一危险截面上的应力超过零件的强度极限时将发生断裂 (如螺栓的折断);

(2) 零件在循环变应力的作用下, 危险截面上的应力超过零件的疲劳强度而发生疲劳断裂。

2. 过量变形

当零件上的应力超过材料的屈服极限时, 零件将发生塑性变形。当零件的弹性变形量过大时也会使机器的工作不正常, 如机床主轴的过量弹性变形会降低机床的加工精度。

3. 表面失效

表面失效主要有疲劳点蚀、磨损、压溃和腐蚀等形式。表面失效后通常会增加零件的摩擦, 使零件尺寸发生变化, 最终造成零件的报废。

4. 破坏正常工作条件引起的失效

有些零件只有在一定的工作条件下才能正常工作, 否则就会引起失效, 如带传动因过载发生打滑, 使传动不能正常地工作。

二、设计计算准则

同一零件对于不同失效形式的承载能力也各不相同。根据不同的失效原因建立起来的工作能力判定条件, 称为设计计算准则, 主要包括以下几种:



1. 强度准则

强度是零件应满足的基本要求。强度是指零件在载荷作用下抵抗断裂、塑性变形及表面失效（磨粒磨损、腐蚀除外）的能力。强度可分为整体强度和表面强度（接触与挤压强度）两种。

整体强度的判定准则为：零件在危险截面处的最大应力（ σ , τ ）不应超过允许的限度（称为许用应力，用 $[\sigma]$ 或 $[\tau]$ 表示），即

$$\sigma \leq [\sigma]$$

或

$$\tau \leq [\tau]$$

另一种表达形式为：危险截面处的实际安全系数 S 应大于或等于许用安全系数 $[S]$ ，即

$$S \geq [S]$$

表面接触强度的判定准则为：在反复的接触应力作用下，零件在接触处的接触应力 σ_H 应小于或等于许用接触应力值 $[\sigma_H]$ ，即

$$\sigma_H \leq [\sigma_H]$$

对于受挤压的表面，挤压应力不能过大，否则会发生表面塑性变形、表面压溃等。挤压强度的判定准则为：挤压应力 σ_P 应小于或等于许用挤压应力 $[\sigma_P]$ ，即

$$\sigma_P \leq [\sigma_P]$$

2. 刚度准则

刚度是指零件受载后抵抗弹性变形的能力，其设计计算准则为：零件在载荷作用下产生的弹性变形量应小于或等于机器工作性能允许的极限值。各种变形量计算公式可参考工程力学课程，本书不再赘述。

3. 耐磨性准则

设计时应使零件的磨损量在预定期限内不超过允许量。由于磨损机理比较复杂，通常采用条件性的计算准则为：零件的压强 p 不大于零件的许用压强 $[p]$ ，即

$$p \leq [p]$$

4. 散热性准则

零件工作时如果温度过高将导致润滑剂失去作用，材料的强度极限下降，引起热变形及附加热应力等，从而使零件不能正常工作。散热性准则为：根据热平衡条件，工作温度 t 不应超过许用工作温度 $[t]$ ，即

$$t \leq [t]$$

5. 可靠性准则

可靠性用可靠度表示，对那些大量生产而又无法逐件试验或检测的产品，更应计算其可靠度。零件的可靠度用零件在规定的使用条件下、在规定的时间内能正常工作的概率来表示，即用在规定的寿命时间内能连续工作的件数占总件数的百分比表示。如有 N_T 个零件，在预期寿命内只有 N_S 个零件能连续正常工作，则其系统的可靠度为



$$R = N_s / N_T$$

三、机械零件设计的基本要求

零件工作可靠且成本低廉是设计机械零件应满足的基本要求。设计机械零件还必须坚持经济观点,力求综合经济效益高。为此要注意以下几点:

- (1) 合理选择材料,降低材料费用;
- (2) 零件结构要合理,工艺性能要好,降低制造与装配费用;
- (3) 尽量采用标准化、通用化设计,简化设计过程从而降低成本。

四、机械零件设计的一般步骤

机械零件设计的一般步骤如下:

- (1) 根据机器的具体运转情况和简化的计算方案确定零件的载荷。
- (2) 根据零件工作情况的分析,判定零件的失效形式,从而确定其计算准则。
- (3) 进行结构设计。
- (4) 绘制零件工作图,制订技术要求,编写计算说明书及有关技术文件。

对于不同的零件和工作条件,以上这些设计步骤可以有所不同。此外,在设计过程中,这些步骤又是相互交错、反复进行的。

应当指出,在设计机械零件时往往是将较复杂的实际 ([工作情况进行一定的简化,才能应用力学等理论解决机械零件的设计计算问题。因此,这种计算或多或少带有一定的条件性或假定性,称为条件性计算。机械零件设计基本上是按条件性计算进行的,如注意到公式的适用范围,一般计算结果具有一定的可靠性,并充分考虑了机械零件的安全性。为了使计算结果更符合实际情况,必要时可进行模型试验。

第三节 机械设计方法简介

机械设计过程中思维活动的组织方式及解决问题所采取的手段等称为设计方法。机械设计的方法很多,但大致可分为两大类,即传统(或常规)设计方法和现代设计方法。

一、传统设计方法的特点

传统设计方法是以经验总结为基础,运用力学和数学或实验而形成的经验、公式、图表、设计手册等作为设计依据,通过经验公式、简化模型或类比改造 ([方法进行设计。传统设计在长期运用中得到不断地完善和提高,是符合当代技术水平的有效设计方法之一,故本课程介绍的机构和零件设计方法大多属于传统设计。

传统设计方法在设计机械产品时,首先凭借设计者直接的或间接的经验,通过类比分析等方法来确定机械的传动方案,对于特别重要的设计或简单的设计,有时可拟定几个方案,并对其进行分析评价;采用解析法、作图法或实验 ([方法进行机构尺寸综合,但往往只能近似满足运动和动力要求;其次接近似的力学公式或经验公式确定主要零件的基本尺寸,不重要的零件(或结构复杂的零件)则进行类比设计。

由此可见,传统设计方法具有很大的局限性,主要表现在:①方案的拟定很大程度上取决于设计者的个人经验,即使同时拟定了少数几个方案,也难获得最优方案;②在分析



计算工作中,由于受人工计算条件的限制,只能采用静态的或近似的方法,故影响了设计质量;③设计工作周期长,效率低,成本高。因此,传统设计方法正在逐渐被现代设计方法所取代。

二、现代设计方法的特点

20 世纪 60 年代以来,由于科学技术的飞速发展和计算机的普及应用,给机械设计带来了新的变化。随着科技发展,新工艺、新材料的出现,微电子技术、信息处理技术及控制技术等新技术对机械产品的渗透和有机结合,与设计相关的基础理论的深化和设计思想的更新,使机械设计跨入了现代设计阶段,该阶段使用的新兴理论和方法称为现代设计方法。

与传统设计方法相比,现代设计方法的主要特点是:①研究设计的全过程;②突出设计者的创造性;③用系统工程处理人一机一环境的关系;④寻求最优的设计方案和参数;⑤动态地、精确地分析和计算机械的工作性能;⑥将计算机全面地引入设计全过程。

现代设计是在传统设计基础上发展起来的,它继承了传统设计的精华。由于传统设计发展到现代设计有一定的时序性和继承性,所以当前正处在两者共存阶段。

三、现代设计方法的内容简介

现代设计方法所包含的内容十分丰富,且在不断发展中,现将其主要几种常见方法简介如下:

1. 计算机辅助设计

计算机辅助设计 (Computer Aided Design), 简称 CAD, 是用计算机完成机械设计中的选型、计算、资料检索、绘图及其他作业的一种现代设计方法。它应包括分析计算和自动绘图两部分功能,甚至扩展到具有逻辑能力的智能 CAD。一个完整的机械产品 CAD 系统,应首先能够确定机械结构的最佳参数和几何尺寸,这就要求具有进行机构运动学分析及综合、有限元分析和优化设计、可靠性设计等功能,然后能够由分析计算结果自动显示和绘制机械的装配图和零件图,并可进行动态修改。

CAD 的基础工作是建立常用算法的程序库、设计资料的数据库和参数化的图形库。在此基础上,依据机械产品的具体要求,建立该产品的数学模型和设计程序,在计算机上自动或人一机交互地完成设计工作。

2. 优化设计

优化设计 (Optimal Design) 是把最优化理论应用于解决工程设计问题,在所有可行方案中寻求最佳设计方案的一种现代设计方法。进行机械优化设计时,首先需要建立设计问题的数学模型,然后选用合适的优化方法在计算机上对数学模型进行寻优求解,最后得到机械设计的最优方案。

在建立优化设计数学模型的过程中,把影响设计方案选取的那些参数称为设计变量;设计变量应当满足的条件称为约束条件;而设计者选定来衡量设计方案优劣并期望得到改进的产品性能指标称为目标函数。设计变量、约束条件和目标函数组成了优化设计的数学模型。将数学模型和优化算法编写成计算机程序,即可寻优求解。

3. 可靠性设计

可靠性设计 (Reliability Design) 是以概率论和数理统计为理论基础,以失效分析、



失效预测及各种可靠性试验为依据,以保证产品的可靠性为目标的一种现代设计方法。传统设计中将设计参数(载荷、材料性能和零件尺寸等)均视为常量,用安全系数反映零件的安全程度。但实际上许多设计参数都是随机变量,所以不能简单地用安全系数判定零件安全与否,而应当用可靠度说明安全的概率有多大。基于应力—强度干涉理论,可靠性设计确定零件在随载荷下保证给定可靠度时的疲劳寿命。也可以确定在预定寿命内机械的可靠度,或确定在预定寿命和可靠度条件下零件的结构尺寸等。

4. 有限元法

有限元法(Finite Element Method)是以计算机为工具的一种现代数值计算方法。该方法用来进行机械的静态和动态受力分析,能准确地计算复杂零件的应力分布和变形,成为现代设计中确定复杂零件强度和刚度的有力工具。

有限元法的基本思想是:首先假想将连续的结构分割成数目有限的单元,各单元之间仅在有限个指定结点处相联接,用所有单元的集合体近似代替原来结构,此过程称为结构离散化。然后对每个单元,选择一个简单的函数(一般为坐标的多项式函数)来近似地描述单元内位移的分布规律,并按弹性力学中的变分原理建立单元结点力与结点位移(或速度、加速度)的关系,得单元质量(或阻尼、刚度)矩阵,此过程称为单元特性分析。最后把所有单元的这种关系集合起来,形成以结点位移为基本未知量的动力学方程,引入初始条件和边界条件即可求解,此过程称为单元特性集成。所以,有限元法的基本思想是“先分后合”,先分是为了进行单元分析,后合则是为了对整个结构进行综合分析。

5. 摩擦学设计

摩擦学设计(Tribology Design)就是利用摩擦、磨损及润滑理论,解决机械中具有相对运动的两接触零件的结构与形态设计等问题。由于机械零件的失效绝大部分是摩擦磨损过度造成的,因此将摩擦学理论应用到机械设计中,不仅具有学术意义,而且会产生巨大的经济效益。目前,摩擦学正在从机理研究、实验研究阶段进入实际设计和工程应用阶段,如在齿轮传动、滚动轴承设计中,采用了考虑接触部位弹性变形和润滑剂动压效应的弹性流体动压润滑理论。此外,在大型发电机组和高速精密机床中的动压和静压轴承以及人工关节、宇航飞行器中的密封等的设计中,都用到了摩擦学设计。

除上述几种方法之外,现代设计方法还有动态设计、相似设计、疲劳设计、绿色设计、并行设计、反求设计等,而且随着科学技术的不断发展,新的设计方法和理论也不断产生,如虚拟设计、异地设计、智能设计等,这些技术和方法的采用,将会极大地推动机械科学的发展。

第四节 摩擦、磨损及润滑

各类机器在工作时,作相对运动的零件的接触部分都存在着摩擦,摩擦是机器运转过程中不可避免的物理现象。摩擦不仅造成能量损耗,还会使零件发生磨损和因摩擦发热产生其他形式的表面失效。据统计,世界上 $1/3 \sim 1/2$ 的能源消耗在摩擦上,而因磨损失效的各种机械零件约占全部失效零件的一半以上。磨损是摩擦的结果,润滑则是减小摩擦和磨损的有力措施,这三者相互联系不可分割。