



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械设计基础

第三版

陈立德 主编

普通高等教育“十一五”国家级规划

机械设计基础

Jixie Sheji Jichu

第三版

陈立德 主 编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在第2版的基础上根据教育部2012年制定的“高等学校机械设计基础课程教学基本要求”修订而成的。本书突出了高等工院校应用型人才的特点,内容更贴近工程实践。

本书将机械原理与机械设计的内容有机地结合在一起,适应了目前教学改革的需要。全书除绪论外共分20章,内容包括:机械设计概述、润滑与密封概述、平面机构的结构分析、平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、螺纹连接、轴毂连接、带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、齿轮系、机械传动设计、机械的调速与平衡、轴、滚动轴承、滑动轴承、联轴器和离合器、弹簧等。各章配有一定数量的“思考与分析”和“复习题与练习题”供学习时选用。

本书可作为高等学校机械类、近机械类的机械设计基础课程教材,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 / 陈立德主编. —3版. —北京: 高等教育出版社, 2013. 6

ISBN 978-7-04-037292-2

I. ①机… II. ①陈… III. ①机械设计-高等学校-教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第084423号

策划编辑 宋晓 责任编辑 宋晓 封面设计 李小璐 版式设计 童丹
插图绘制 尹莉 责任校对 胡晓琪 责任印制 朱学忠

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	高教社(天津)印务有限公司		http://www.landaco.com.cn
开 本	787mm × 1092mm 1/16	版 次	2004年4月第1版
印 张	27.5		2013年6月第3版
字 数	670千字	印 次	2013年6月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	44.80元(含光盘)
咨询电话	400-810-0598		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究
物料号 37292-00

第 3 版 前 言



本书是在第 2 版的基础上,依据教育部新制定的“高等学校机械设计基础课程教学基本要求”,并吸取教学实践中所取得的经验修订而成的。

修订前,编者广泛听取了有关学校师生的意见,经过讨论确定了修订的重点和方案:保持第 2 版的特色,对文字、插图,尤其是突出理论指导下的工程应用方面作进一步修改。具体的修订工作主要有以下几个方面:

1. 保持原书体系,对原书的少量内容进行了增、删或改写,使之更便于教与学。
2. 增强实用性,使教材内容更贴近工程实践。
3. 通用零件的各章设有实例分析,使教材内容更系统化,利于学生的应用与自学。
4. 采用已正式颁布的最新的国家标准和有关的技术规范、数据及资料。

本书可作高等学校近机械类、机械类教学用书,参考时数为 80~100 学时。

为便于高等学校师生的教与学,本书配套了较为齐全的辅助教学资源,已完成的有:

1. 陈立德主编《机械设计基础(第三版)多媒体辅助教学系统》。本系统采用开放平台,教师可以根据教学需求进行个性化设计。

2. 陈立德主编《机械设计基础课程设计》(第 2 版)。此书汇集了机械设计常用资料、实验、大作业、课程设计指导书、课程讨论等教学资料。

3. 陈立德主编《机械设计基础学习指南与典型题解》。此书主要是引导学生学习,并可增强学生设计计算能力。

还可为选用本教材的教师免费提供《机械设计基础电子教案》,该资源可为教师编写讲义、布置板面等提供帮助。

参加本书编写工作的有:陈立德(绪论,第 1、2、16、17 章),毛炳秋(第 3.1 节、第 3.3~3.5 节、第 4.1~4.5 节、第 5.1~5.4 节),张京辉(第 11.1~11.10 节、第 11.15~11.17 节),贾毅朝(第 6、14 章),李晓晖(第 8 章),张静(第 9 章),王先安(第 13、15 章),姜小菁(第 3.2、3.6、4.6、5.5 节、第 7、12、19 章),罗卫平(第 10 章、第 11.11~11.14 节、第 18、20 章)。全书由南京金陵科技学院陈立德任主编,姜小菁、张京辉、王先安任副主编。

本书由南京航空航天大学欧阳祖行教授审阅。在修订过程中,许多同行也提出了很好的意见与建议。在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,缺点在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2012 年 8 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录



绪论	1	4.2 用图解法作平面机构的 运动分析	40
0.1 机器的组成及特征	1	4.3 用图解法作平面机构的 力分析	44
0.2 课程的内容、性质和任务	2	4.4 铰链四杆机构的基本类型 及其演化	52
0.3 学习方法	3	4.5 铰链四杆机构的基本特性	55
复习题与练习题	3	4.6 平面四杆机构的设计计算与 实例分析	59
第 1 章 机械设计概述	4	复习题与练习题	64
1.1 机械设计的基本要求	4	第 5 章 凸轮机构	66
1.2 机械设计的内容与过程	5	5.1 概述	66
1.3 机械零件的失效形式及设计 计算准则	6	5.2 从动件常用运动规律	68
1.4 机械零件的接触强度	9	5.3 盘形凸轮轮廓设计	72
1.5 机械零件的标准化	10	5.4 凸轮机构基本尺寸的确定	77
1.6 现代机械设计理论概述	10	5.5 凸轮机构的结构和精度	78
复习题与练习题	12	复习题与练习题	79
第 2 章 润滑与密封概述	13	第 6 章 间歇运动机构	81
2.1 摩擦与磨损	13	6.1 棘轮机构	81
2.2 润滑	17	6.2 槽轮机构	85
2.3 密封	22	6.3 不完全齿轮机构	89
复习题与练习题	24	6.4 凸轮式间歇运动机构	90
第 3 章 平面机构的结构分析	25	复习题与练习题	91
3.1 机构结构分析的内容及 目的	25	第 7 章 螺纹连接	92
3.2 运动副、运动链及机构	26	7.1 螺纹连接的基本知识	92
3.3 平面机构的运动简图	27	7.2 螺纹连接的预紧与防松	95
3.4 平面机构的自由度	30	7.3 单个螺栓连接的强度计算	99
3.5 平面机构的组成原理、分类与 结构分析	33	7.4 螺栓组连接的设计计算与 实例分析	105
3.6 平面机构的结构分析与 实例分析	36	7.5 提高螺栓连接强度的措施	113
复习题与练习题	38	7.6 螺旋传动	114
第 4 章 平面连杆机构	40	复习题与练习题	120
4.1 概述	40		

课堂讨论题	122	11.6 渐开线齿廓切削加工的原理	202
第 8 章 轴毂连接	123	11.7 渐开线齿廓的根切现象与标准外齿轮的最少齿数	204
8.1 概述	123	11.8 变位齿轮传动	206
8.2 键连接	123	11.9 齿轮传动的失效形式及设计准则	210
8.3 花键连接	127	11.10 齿轮的常用材料及许用应力	213
8.4 销连接	129	11.11 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	217
8.5 过盈配合连接	130	11.12 平行轴斜齿圆柱齿轮传动	222
8.6 键连接的设计计算与实例分析	131	11.13 交错轴斜齿圆柱齿轮传动	229
复习题与练习题	132	11.14 直齿锥齿轮传动	231
第 9 章 带传动	133	11.15 齿轮结构设计	238
9.1 概述	133	11.16 齿轮传动的润滑与效率	240
9.2 带和带轮	136	11.17 标准齿轮传动的设计计算与实例分析	242
9.3 带传动的工作情况分析	143	复习题与练习题	250
9.4 普通 V 带传动的设计计算与实例分析	147	课堂讨论题	252
9.5 V 带传动的张紧、正确安装与维护	160	第 12 章 蜗杆传动	253
9.6 同步带传动设计	162	12.1 蜗杆传动的特点与类型	253
复习题与练习题	170	12.2 阿基米德蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	256
第 10 章 链传动	172	12.3 蜗杆传动的相对滑动速度与效率	260
10.1 概述	172	12.4 蜗杆传动的失效形式、材料与结构	262
10.2 链传动的结构和标准	173	12.5 蜗杆传动的强度计算	266
10.3 链传动的工作情况分析	176	12.6 蜗杆传动的润滑与热平衡计算	268
10.4 链传动的合理布置和润滑	179	12.7 蜗杆传动的设计计算与实例分析	270
10.5 滚子链传动的设计计算与实例分析	181	12.8 普通圆柱蜗杆传动的精度等级选择及安装与维护	272
复习题与练习题	185	复习题与练习题	273
第 11 章 齿轮传动	187		
11.1 齿轮传动的特点和基本类型	187		
11.2 齿廓啮合基本定律	189		
11.3 渐开线及渐开线齿轮	190		
11.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的主要参数及几何尺寸计算	195		
11.5 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	199		

第 13 章 齿轮系	275	17.4 滚动轴承类型的选择	356
13.1 轮系的分类	275	17.5 滚动轴承尺寸的选择	358
13.2 定轴轮系传动比计算	277	17.6 滚动轴承组合设计	368
13.3 周转轮系传动比计算	279	17.7 滚动轴承的设计计算与实例 分析	376
13.4 复合轮系传动比计算	281	复习题与练习题	382
13.5 轮系的应用	282	课堂讨论题	383
13.6 其他类型行星传动简介	284	第 18 章 滑动轴承	384
复习题与练习题	286	18.1 概述	384
第 14 章 机械传动设计	289	18.2 滑动轴承的结构	384
14.1 概述	289	18.3 滑动轴承的材料	388
14.2 机械传动的类型	290	18.4 滑动轴承的润滑	390
14.3 机械传动的特性和参数	293	18.5 非液体摩擦滑动轴承的设计 计算与实例分析	393
14.4 机械传动的方案设计	297	18.6 液体动压润滑的形成及 基本方程	396
14.5 机械传动的设计程序	302	18.7 其他滑动轴承简介	399
复习题与练习题	302	18.8 滚动轴承与滑动轴承 性能比较	400
第 15 章 机械的调速与平衡	303	复习题与练习题	400
15.1 机械的运转过程及速度 波动的调节	303	第 19 章 联轴器 and 离合器	402
15.2 飞轮的近似设计方法	305	19.1 联轴器	402
15.3 机械的惯性载荷及平衡	308	19.2 联轴器的选择设计与 实例分析	407
15.4 刚性回转体的平衡	310	19.3 离合器	409
复习题与练习题	313	复习题与练习题	413
第 16 章 轴	315	第 20 章 弹簧	414
16.1 概述	315	20.1 概述	414
16.2 轴的材料及选择	317	20.2 圆柱螺旋弹簧的结构和 几何尺寸	416
16.3 轴的结构设计	319	20.3 弹簧的材料与制造	418
16.4 轴的强度计算	323	20.4 圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的 设计计算与实例分析	420
16.5 轴的刚度计算	327	复习题与练习题	426
16.6 轴的设计计算与实例分析	328	参考文献	428
复习题与练习题	339		
附表	340		
第 17 章 滚动轴承	345		
17.1 概述	345		
17.2 滚动轴承的代号	350		
17.3 滚动轴承的工作情况分析	353		

绪论

0.1 机器的组成及特征

在人们的生产和生活中广泛使用着各种机器。生产活动中常见的机器有起重机、拖拉机、电动机及各种机床等,日常生活中常见的机器有缝纫机、洗衣机等。机器的种类繁多,结构形式和用途也各不相同,但它们都具有共同的特征。

图 0.1 所示为单缸内燃机,它由气缸体 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 10 等组成。当内燃机工作时,燃气推动活塞作往复运动,经连杆使曲轴作旋转运动。凸轮和顶杆用来控制进气和排气。曲轴经齿数比为 1:2 的一对齿轮带动凸轮轴转动,曲轴每转两周,进、排气阀各启闭一次,就把燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。又如图 0.2 所示的颚式破碎机,它由电动机 1、带轮 2、V 带 3、带轮 4、偏心轴 5、动颚板 6、摇杆 7、定颚板 8 及机架等组成。电动机的转动通过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。

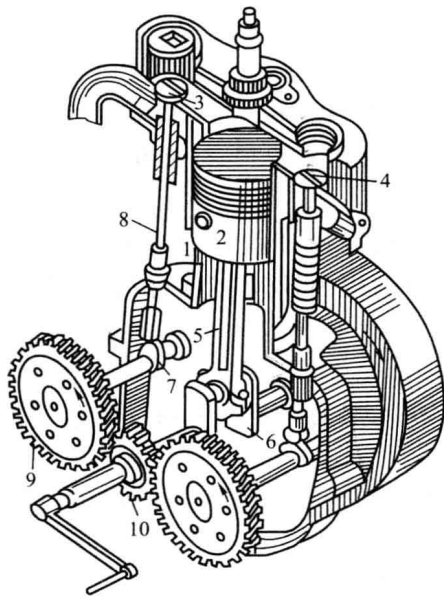


图 0.1 内燃机

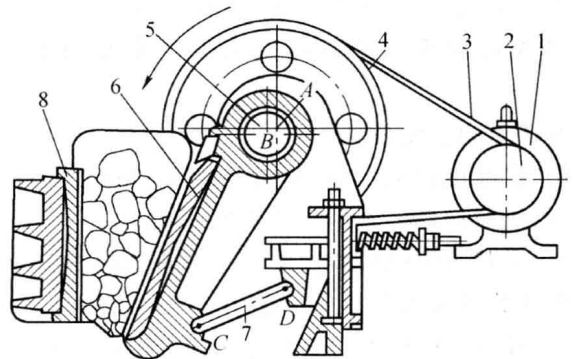


图 0.2 颚式破碎机

从以上两台机器的实例可看出,机器具有三个共同的特征:

- 1) 它是人为的实物组合;
- 2) 各部分形成运动单元,各单元之间具有确定的相对运动;
- 3) 能实现能量转换(如内燃机把油燃烧的热能转化为曲轴转动所需的机械功,颞式破碎机把电能转化为压碎物料所需的功)。

机器是由零件组成的执行机械运动的装置,用来完成有用的机械功或转换机械能。机构是多个构件的组合,能实现预期的机械运动。如图 0.1 所示的内燃机中,曲轴、连杆、活塞和气缸体组成连杆机构,凸轮、顶杆和气缸体组成凸轮机构等。由此可见,一部机器可能由一种机构或多种机构所组成。但从运动观点来看,机器与机构并无差别。因此,习惯上用“机械”一词作为机器和机构的总称。

组成机械的各个相对运动的运动单元称为构件。机械中不可拆的制造单元称为零件。构件可以是单一的零件,如内燃机的曲轴 6(图 0.1);也可以是几个零件组成的刚性体,如内燃机的连杆 5(图 0.3),就是由连杆体 1、连杆盖 4、螺栓 2 以及螺母 3 等几个零件刚性连接而成。这些零件形成一个整体而进行运动,所以称为一个构件。由此可见,构件是机械中独立的运动单元,零件是机械中的制造单元。

各种机器中普遍使用的机构称为常用机构,例如平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构和间歇运动机构等。

零件可分为两类:一类是通用零件,是在各种机器中都经常使用的零件,如螺栓、齿轮等;另一类是专用零件,是仅在特定类型机器中使用的零件,如活塞、曲轴等。

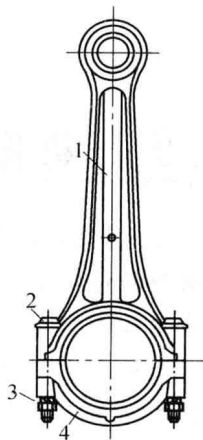


图 0.3 连杆

0.2 课程的内容、性质和任务

本课程作为机械设计的基础,其研究对象为机械中的常用机构和一般工作条件下常用参数范围内的通用零部件,研究其工作原理、运动特性、结构特点、使用和维护、标准和规范以及设计计算的基本理论和方法。

本课程是一门重要的技术基础课,是专门培养学生机械设计能力的课程。它综合地应用各先修课程的基础理论和生产实践知识,解决常用机构和通用零部件的分析和设计问题。

本课程的主要任务为:

- 1) 掌握机构的组成、运动特性和机械动力学的基本知识,具有一定分析和设计常用机构的能力,对机械运动方案的确定有所了解;
- 2) 掌握通用机械零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和设计计算方法,并具有设计机械传动装置和简单机械的能力;
- 3) 具有运用标准、规范、手册、图册及查阅有关技术资料的能力;
- 4) 获得实验技能的基本训练。

总之,本课程是理论性和实践性很强的机械类及近机械类专业的主干课程。在教学中具有

承上启下的作用,是机械工程师的必修课程。

0.3 学习方法

本课程是从理论性、系统性很强的基础课和技术基础课向实践性较强的专业课过渡的一个重要环节,课程的技术性较强。因此,在学习本课程时,学生必须在学习方法上有所转变和适应,应注意以下几个特点:

1) 本课程将先修课程的基本理论应用到实际中去解决有关实际问题。因此,先修课程的掌握程度直接影响本课程的学习。

2) 学生一接触本课程就会产生“没有系统性”“逻辑性差”等错觉。本课程中,虽然不同研究对象所牵涉的理论基础不相同,且相互之间也无多大的关系,但最终的目的只有一个,即设计出能应用的机构、零件等。本课程各部分内容都是按照工作原理、结构特点、强度计算、使用维护等的顺序来介绍,即有其自身的系统性,在学习时应注意这一特点。

3) 由于实践所发生的问题很复杂,很难用纯理论的方法来解决,因此常常采用很多经验公式及数据、简化计算(条件性计算)等,这点必须在学习过程中逐步适应。

4) 因为是联系实际的设计性的课程,所以计算步骤和计算结果不像数学课那样具有唯一性。

5) 计算对解决设计问题虽然很重要,但并不是唯一所要求的能力。学生应逐步注意培养把理论计算与结构设计、工艺等结合起来解决设计问题的能力。

复习题与练习题

- 0.1 机器的特征有哪三个?
- 0.2 机器与机构有何区别?
- 0.3 构件与零件有何区别?
- 0.4 本课程研究对象是什么?
- 0.5 通过本课程学习应达到哪些要求?

第 1 章 机械设计概述

本章扼要阐述机械设计的基本知识,如机械设计的基本要求、设计准则等,重点讨论接触强度。本章最后简单介绍机械设计方法近代发展概况,作为初步了解现代设计方法的基础。

1.1 机械设计的基本要求

机械设计包括以下两种设计:

- 1) 应用新技术、新方法开发创造新机械;
- 2) 在原有机器的基础上重新设计或进行局部改造,从而改变或提高原有机器的性能。

机械设计质量的好坏直接影响机械产品的性质、价格及经济效益。

机械零件是组成机器的基本单元。在讨论机械设计的基本要求之前,首先应了解设计机械零件的基本要求。

机械零件设计的基本要求是机械零件工作可靠并且成本低廉。

零件的工作能力是指零件在一定的工作条件下抵抗可能出现失效的能力。失效是指零件由于某些原因不能正常工作。只有每个零件都能可靠地工作,才能保证机器的正常工作。

设计机械零件还必须有经济观点,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) 保证良好的工艺性,减少制造费用;
- 3) 尽量采用标准化、通用化设计,简化设计过程,节省设计和加工费用。

机械设计应满足的基本要求主要有以下几个方面:

1. 使用要求

所设计的机械要求保证实现预定的使用功能,并在规定的工作条件下,规定的工作期限内正常运行。

2. 经济性要求

机械的经济性应该体现在设计、制造和使用的全过程,是一项综合性指标。要求设计及制造成本低、机器生产率高、能源和材料消耗少、维护及管理费用低等。

3. 可靠性要求

现代机械的复杂性和现代大规模生产的高生产率及综合技术的应用,都要求机械具有高可靠性。可靠性是机械在规定的工况条件下和规定的使用期限内,完成预定功能的一种特性,取决于设计、制造、管理、使用等。设计阶段对机械可靠性起到决定性的影响。就目前而言,对机械产

品的可靠性还难以提出统一的考核指标。

4. 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,避免人身及设备事故的发生。

5. 造型美观、减少污染

要求所设计的机器不仅使用性能好、尺寸小、价格低廉,而且外形美观,富有时代特点,并且尽可能地降低噪声,减轻对环境的污染。

6. 其他特殊要求

例如为了运输,所设计的机械既必须容易拆卸,又要容易装配。

1.2 机械设计的内容与过程

1.2.1 机械设计的内容

机械设计包括以下主要内容:

- 1) 确定机械的工作原理,选择合适的机构,拟订设计方案;
- 2) 进行运动分析和动力分析,计算作用在各构件上的载荷;
- 3) 进行零部件工作能力计算、总体设计和结构设计。

随着科学技术的发展,机械设计方法得到了不断的改进。近年来发展起来的优化设计、可靠性设计、有限元设计、模块设计、设计方法学、计算机辅助设计等现代设计方法已在机械设计中得到了推广与应用。即使如此,常规设计方法仍然是工程技术人员进行机械设计的重要基础,必须很好地掌握。常规设计方法又可分为理论设计、经验设计和模型试验设计等。

1.2.2 机械设计的一般过程

机械产品的设计过程通常可概括为如下几个阶段:

1. 明确设计任务阶段

根据市场预测、用户需要和使用要求进行可行性分析,确定机器的设计参数及制约条件,最后给出可行性报告及设计任务书。任务书中的内容有机器的用途、主要性能参数、工作环境、有关特殊要求、生产批量、预期成本、设计完成期限以及使用单位生产条件等。

2. 方案设计阶段

在满足设计任务书中具体要求的前提下,由设计人员构思出各种可行方案并进行分析比较,从中优选出一种功能满足要求、工作性能可靠、结构设计可行、成本低廉的方案。

3. 技术设计阶段

在既定设计方案的基础上,完成机械产品的总体设计、部件设计、零件设计等。设计结果以工程图及计算书形式表达出来。技术设计的工作量很大。

4. 制造与试验阶段

经过加工、安装及调试,制造出样机,对样机进行试运行,或生产现场试用。将试验过程中发

现的问题反馈给设计人员,作为进一步修改的依据。经过修改完善后的产品,最后通过验收或鉴定。

机构设计也同样有以上四个阶段。

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,从而确定其设计计算准则。
- 3) 进行主要参数的选择,选定材料。根据计算准则求出零件的主要尺寸,考虑热处理及结构工艺性要求等。
- 4) 进行结构设计。
- 5) 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。

本课程在介绍各种通用零件设计时,其内容的安排顺序基本上是按照上述设计步骤进行的。

应当指出:在设计零件时,往往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来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和假定,这种计算称为条件性计算。机械零件设计基本上是按条件性计算进行的。

1.3 机械零件的失效形式及设计计算准则

机械零件丧失预定功能或预定功能指标降低至许用值以下的现象,称为机械零件的失效。机械零件设计时必须根据零件的失效形式分析其失效的原因,提出防止或减轻失效的措施,根据不同的失效形式得出不同的设计计算准则。

1.3.1 失效形式

机械零件的主要失效形式大致上有以下几种:

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。
- 2) 零件在循环交变应力的作用下,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. 过大的变形

当零件上应力超过材料的屈服极限时,零件将发生塑性变形,使零件的尺寸和形状改变,破坏各零件的相对位置和配合,使机器不能正常工作。

3. 表面失效

1) 在过大的表面接触应力作用下,可能造成零件的表面失效,有如下几种形式:

① 胶合失效(又称粘着磨损) 在重载下润滑失效致使金属实体直接接触及过高的温度使滚动或滑动的接触表面粘着并撕裂。

② 点蚀失效(又称疲劳磨损) 在变化的表面接触应力作用下,点接触或线接触的接触表面累积产生麻点形状的损伤现象,属于表面疲劳失效。

③ 磨损失效(又称磨粒磨损) 无密封、相对运动的滑动表面在磨粒作用下严重磨损,或由

于表面过高的表面粗糙度值,经摩擦后致使接触表面严重磨损。

④ 塑性变形 在低速重载下,在过大的表面间的摩擦力作用下,使接触表面的表层材料沿摩擦力的方向产生无法恢复的塑性变形。

2) 压溃 面接触的零件在外载荷作用下,接触表面因互相挤压的作用将产生挤压应力。若挤压应力过大,塑性材料将产生表面塑性变形,脆性材料将产生表面破碎。

3) 腐蚀失效 多产生在化学腐蚀物质的接触和作用下而造成表面腐蚀失效。

实践表明,由于磨损、腐蚀和各种疲劳破坏的零件占总失效数量的绝大多数(73%以上),而由于断裂失效的零件则很少(不到5%)。

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,使传动不能正常工作,但带本身却未发生疲劳失效等。

1.3.2 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的判定条件,称为设计计算准则。零件设计时的主要计算准则有:

1. 强度准则^①

强度是零件必须首先满足的基本计算准则。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(接触和挤压强度)两种。

整体强度的计算准则为零件在危险截面处的最大应力 σ 、 τ 不应超过零件的许用应力 $[\sigma]$ 、 $[\tau]$,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

$$S \geq [S]$$

表面强度的计算准则为:对于表面接触强度,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

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

对于表面挤压强度,受挤压的表面上挤压应力不能过大,否则会发生表面塑性变形、表面压溃等,其计算准则为挤压应力 σ_p 应小于或等于许用挤压应力 $[\sigma_p]$,即

$$\sigma_p \leq [\sigma_p]$$

(1) 许用应力

1) 静应力下, $[\sigma] = \sigma_B/S$ 或 $[\sigma] = \sigma_s/S$,式中 σ_B 为强度极限, σ_s 为屈服极限, S 为安全系数。根据不同的工况,选用 σ_B 或 σ_s 。

2) 变应力下,当零件中应力为变应力时,由于其失效除与材料性质、热处理和使用条件等因

^① 目前金属材料室温拉伸试验方法的标准为 GB/T 228.1—2010。为了与计算中的应力符号统一,本书中的各强度符号未采用最新标准中的符号。

素有关外,还与零件形状(不同形状的零件应力集中不同)、尺寸、表面状态、要求的寿命以及工作的重要性等因素有关,故在计算其许用应力时,应在其计算公式中考虑,具体的计算已在材料力学课程中学过,故在此不作论述了。

对许用切应力 $[\tau]$,上述关系式概念上亦适用。

(2) 许用拉伸应力 $[\sigma]$ 与弯曲、剪切、挤压、扭转等许用应力的比例关系

在静应力作用下,各种应力状态下的许用应力与许用拉伸应力 $[\sigma]$ 的比例关系可由表 1.1 查得。

表 1.1 弯曲、扭转、挤压、剪切的许用应力与许用拉伸应力 $[\sigma]$ 的比例关系 MPa

材料 \ 状态	弯曲 $[\sigma_F]$	扭转 $[\tau]$	挤压 $[\sigma_p]$	剪切 $[\tau]$
塑性材料	$(1 \sim 1.2)[\sigma]$	$(0.5 \sim 0.6)[\sigma]$	$(1.5 \sim 2.5)[\sigma]$	$(0.6 \sim 0.8)[\sigma]$
脆性材料	$[\sigma]$	$(0.8 \sim 1)[\sigma]$	$(0.9 \sim 1.5)[\sigma]$	$(0.8 \sim 1)[\sigma]$

注:此表适用于静应力或应力循环次数 $N < 10^3$ 次的变应力。

(3) 强度计算内容

在强度计算中,一般有两种计算形式:①设计计算,可求出零件的主要几何参数;②校核计算,判断是否符合强度条件。

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弹性变形量应小于或等于机器工作性能允许的极限值。其表达式为

$$\text{挠度} \quad Y \leq [Y]$$

$$\text{偏转角} \quad \theta \leq [\theta]$$

$$\text{扭转角} \quad \phi \leq [\phi]$$

各种变形量计算公式可参考材料力学课程。

3. 耐磨性准则

耐磨性是指零件抗磨损的能力。设计时应使零件的磨损量在预定限度内不超过允许量。计算时是通过对接触表面的正压力 p 与 pv 值等参数的计算,使其小于许用值,即零件的耐磨性合格,用公式表示为

$$p \leq [p]$$

$$pv \leq [pv]$$

4. 热平衡准则

零件工作时因摩擦产生过多的热量导致润滑剂失去作用,从而使零件不能正常工作。热平衡准则是: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 R 表示。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

$$R = \frac{N_s}{N_T}$$

1.4 机械零件的接触强度

在高副机构(如齿轮机构中的齿轮、凸轮机构中的凸轮等)中,理论上载荷是通过点接触或线接触传递的。实际上,受载后接触处会发生变形,形成极小的面接触,在接触处会产生很大的接触应力,这时零件的强度称为接触强度。

零件的接触应力通常是随时间变化的,所以表面的破坏大多属于表面接触疲劳破坏。

表面疲劳破坏的过程是:由于接触应力的反复作用,首先在厚度为 $15 \sim 25 \mu\text{m}$ 的表层内产生疲劳裂纹,然后裂纹沿着与表面成锐角的方向发展,又由于润滑油渗入裂纹受到挤压,产生高压,迫使裂纹加速扩展,最终以甲壳状的小片而脱落,在零件表面上也就遗留下一个个的小坑,这种现象称为疲劳点蚀,简称点蚀,如图 1.1 所示。

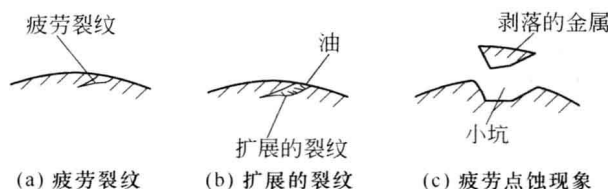


图 1.1 点蚀形成过程

点蚀形成后,零件的有效接触面积减少,传递载荷的能力也随之降低。此外,由于表面平滑性被破坏,工作时还将引起振动和噪声。对于齿轮、滚动轴承等,点蚀常是主要的失效形式。

如果接触处没有润滑油,则将引起磨损,而磨损速度常会远远超过裂纹发展的速度,使点蚀来不及形成,这时主要的失效形式是磨损而不是点蚀。

判断金属接触疲劳强度的指标是接触疲劳极限,即在规定的应力循环次数下不发生点蚀现象的最大应力。虽然影响点蚀形成的外因很多,如金属的表面状态、润滑油的粘度、相对滑动的性质等,但最主要的还是接触应力的大小,所以接触强度的设计计算准则是限制接触应力不超过允许值,则点蚀就不会发生。

σ_H 的求得依赖于弹性理论,下面以两个平行圆柱体相压的情况进行讨论:

如图 1.2 所示,两半径分别为 ρ_1 和 ρ_2 且轴线平行的圆柱体相互接触并受压时,其接触面积为一狭长矩形,最大接触应力发生在接触区中线上,两圆柱体接触处的接触应力分布规律及数值相同。

根据弹性力学中的赫兹(Hertz)公式,最大接触应力 σ_H 为

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{F_n}{\pi b} \frac{\frac{1}{\rho_1} \pm \frac{1}{\rho_2}}{\left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}\right)}} \quad (1.1)$$

式中: b ——接触线长度;