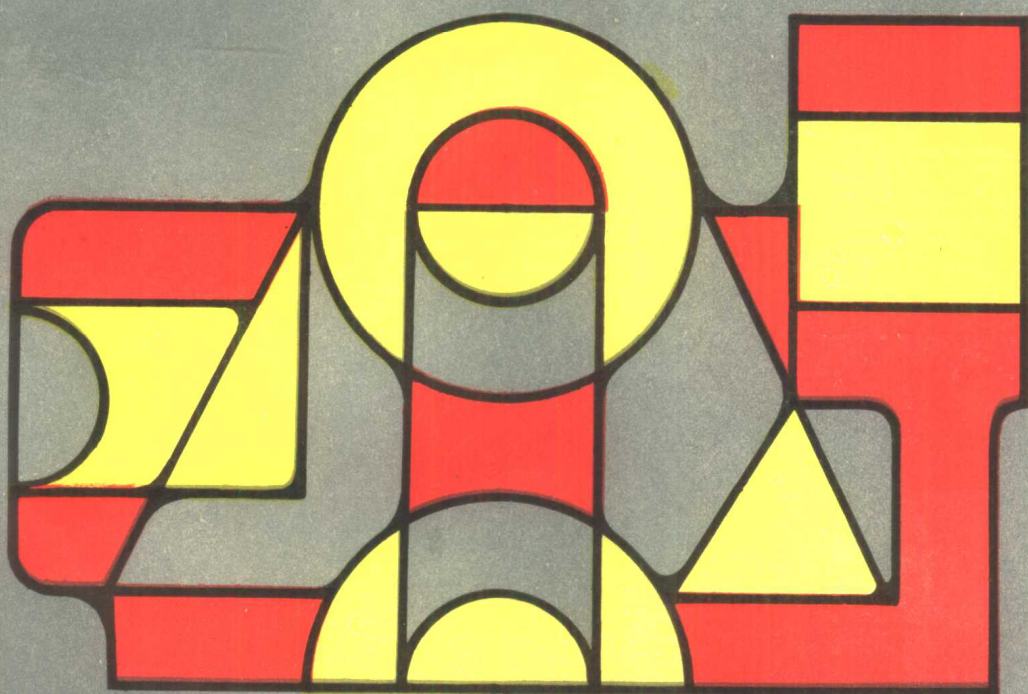


机械設計

沈继飞 主编



上海交通大学出版社

机 械 设 计

沈继飞 主编

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书根据1986年制订的全国高等工科学校本科四年制机械类专业《机械设计课程教学基本要求试行草案》，并结合上海交通大学机械设计教研室历年来的教学经验编写而成。

全书由0(绪论)和1~19(章)组成。1为机械设计总论；2~4阐述机械零件的基本知识和基础理论(摩擦、磨损和润滑，常用材料和结构工艺性，强度计算)；5~8为联接零件(螺纹联接件、键、花键、销等)及其设计；9~14为传动零件(带、链、齿轮、蜗杆蜗轮、螺杆螺母)及其设计；15~18为轴系零件(轴、滚动轴承、滑动轴承、联轴器、离合器)及其设计；19为弹簧的设计。

本书可作为高等工科院校机械类专业《机械设计》课程的教材，也可供高校理工科其他专业的师生和工程技术人员参考。

机 械 设 计

上海交通大学出版社出版

(淮海中路1984弄19号)

新华书店上海发行所发行

浙江上虞汤浦印刷厂排版

常熟市梅李印刷厂印装

开本 787×1092毫米 1/16 印张 25.625 字数 632,000

1983年8月第1版 1988年8月第1次印刷

印数：1—10,000

ISBN7—313—00180—0/TH12科技书目：176—298

定价：4.20元

前 言

1986年,国家教委“机械设计课程教学指导小组”制定了高等工科大学四年制机械类专业《机械设计课程教学基本要求试行草案》。本书据此并结合上海交通大学机械设计教研室历年来的教学经验编写而成。在编写过程中,遵循“少而精”的原则,精选有关内容,对必要的经典的基础内容,按当前技术水平、设计和生产实践予以更新;此外,还酌量介绍某些先进科技成就,以扩大知识面。按照“打好基础,利于教学”的方针,本书着重阐明机械设计的基本概念、基本理论、基本方法和基本技能,力求阐述清晰、分析扼要、思路清新、条理分明和文字通顺。

本书基本上反映了上海交通大学历年来的教学实践经验和教学特色。为便于教学,各章内容的编写体系尽可能与讲授体系相符,是一本教学型的教材。

本书采用国际单位制(SI制),并尽量采用国家标准(GB1434-78)所规定的物理量符号。

本书有关各章算例采取表格化排版,清晰易懂,解题过程着重于培训学生掌握分析方法和解题技能。

本书编写的分工是:0(绪论)、1、2、9、10、11、12、13(章)——沈继飞,3、4、5、6、7、14、15、19(章)——谢绍玄,8、17、18、19(章)——张培金,由沈继飞主编并统一审、校全稿。

本书编写过程中,得到辛一行、马家瑞两教授的支持,教研室同志提出了宝贵意见,在此谨致以深切的谢意。

殷切期望广大读者对本书漏误之处匡谬指正。

主 编

一九八六年十月于

上海交通大学

0 绪 论

机械工业是标志国家工业水平的基础工业,在国民经济中起重要作用。国家社会生产力的发展和生产水平的提高,人民物质福利的改善和增长,都有赖于机械工业不断提供先进的机械设备。机械工业中不论是制造新的机械,还是改造原有的机械,首先面临的工作是进行机械设计。因此,高等工业院校学生,特别是机械类专业的学生,修习《机械设计》课程无疑是极其重要的。

任何机械都由一定数量的基本单元所组成。这种基本单元称为机械零件,简称零件,如螺钉、齿轮、轴等。为了便于机械的制造、安装、维修和运输,设计时通常将整台机械分成若干相互关联但又相对独立自成系统的装配单元。装配单元称为部件。部件是由协同完成同一功能的若干零件所组成,如联轴器、减速器、变速器等。

经仔细观察,可以发现较多零件经常应用于各种机械中,并且具有完全相同的功能,这类零件称为通用零件,螺栓、螺钉、键、齿轮、蜗轮、蜗杆、带、链、轴、轴承、弹簧等均为其典型实例。同时也可发现,有一些零件仅用在一定类型的机械中,并且表征此类机械的特点,这类零件称为专用零件,其典型实例如曲轴、汽轮机叶片、船舶螺旋桨、纺锭等。本课程的研究对象是在普通条件下工作且具有一般参数的通用零件,由此类通用零件组成的通用部件以及由此类通用零部件组成的一般简单机械的设计。至于专用零件以及尺寸特大或特小、工作温度过高或过低、高速、重载及特殊工况下工作的通用零件,将在相应的各专业课程中研究。

本课程的主要内容是:

整机设计的基本原则和一般设计程序;

零件设计的基本原则和一般设计步骤;

机械零件的摩擦学设计概述;

机械零件的材料和选用原则,机械零件的工艺性;

机械零件的强度;

联接零件(螺纹联接、键联接等)的设计原理和方法;

传动零件(齿轮、蜗杆蜗轮、带、链等)的设计原理和方法;

轴系零件(轴、轴承、联轴器等)的设计原理和方法;

弹簧的设计原理和方法。

简单机械课题设计即从整机概念出发,着重于机械传动装置的技术设计和零件设计。

本课程是一门综合应用各先修课程(如数学、物理学、理论力学、材料力学、金属工学、机械制图、机械原理等)的基础理论和工程实践生产知识的设计性技术基础课,它是机械工程的一门主干课。本课程着重机械设计基本知识、基本理论和基本方法的阐明,并注重设计构思和设计技能的训练及培养。本课程将为后继的专业机械设计课程打下基础,在教学计划中,它在基础课程与专业课程之间起承上启下的作用。

本课程培养学生的主要任务是:

树立正确的设计思想,运用辩证唯物主义的观点剖析机械设计中,特别是机械零件设计中

的普遍性矛盾,掌握常规设计的一般规律;

掌握通用零、部件的常规设计和计算方法,具有设计通用机械传动装置和一般简单机械的能力;

具有熟悉和运用机械设计手册、图册、标准、规范等有关技术资料的能力;

初步了解机械零件的基本实验方法,获得实验技能的基础训练;

对现代设计方法有所了解;

对国家颁布的有关技术经济政策和法规有所了解。

目 录

0 绪论	1
1 机械计设总论	1
1.1 机械设计的基本要求和一般程序	1
1.2 机械零件设计的基本要求和一般步骤	3
1.3 机械零件、部件的标准化	7
1.4 可行性研究	8
1.5 设计评价	8
1.6 机械设计方法的新发展	12
2 摩擦、磨损和润滑	14
2.1 摩擦学	14
2.2 摩擦	14
2.3 磨损	19
2.4 润滑	22
3 机械零件的常用材料和结构工艺性	24
3.1 机械零件的常用材料	24
3.2 材料选择的基本原则	26
3.3 机械零件的结构工艺性	29
4 机械零件的强度计算	32
4.1 机械零件的强度	32
4.2 机械零件的整体强度计算	35
4.3 机械零件的表面强度计算	44
4.4 提高零件强度的若干措施	46
4.5 附录	47
5 螺纹联接	57
5.1 概述	57
5.2 螺纹联接的基本类型	59
5.3 螺纹联接中的联接件和防松装置	61
5.4 螺纹联接的预紧	66
5.5 螺纹联接的失效和计算准则	68
5.6 螺栓联接的强度计算	69
5.7 螺栓组联接的设计和计算	76
5.8 提高螺纹联接承载能力的措施	79
6 键、花键、销等联接	88
6.1 键联接	88

6.2 花键联接	92
6.3 销联接	95
6.4 型面联接和弹性环联接	97
7 过盈配合联接	101
7.1 概述	101
7.2 圆柱面过盈配合联接的计算	102
7.3 过盈配合联接的结构设计和提高承载能力的措施	107
8 焊联接和粘联接	111
8.1 焊联接	111
8.2 粘联接	119
9 带传动	126
9.1 概述	126
9.2 三角带	128
9.3 带传动的几何关系	130
9.4 带传动的受力分析	131
9.5 传动带的应力分析	133
9.6 带传动的弹性滑动和打滑	135
9.7 带传动的失效形式和计算准则	136
9.8 承载能力计算	136
9.9 带轮设计	140
9.10 标准型三角带传动的设计	143
9.11 同步齿形带传动	149
10 链传动	152
10.1 概述	152
10.2 传动链的结构、规格和材料	152
10.3 链轮	155
10.4 链传动的运动特性	157
10.5 链传动的失效和许用功率曲线	159
10.6 套筒滚子链传动主要参数的确定	162
10.7 链传动的合理布置、张紧方法和润滑	164
10.8 套筒滚子链传动的设计	166
11 圆柱齿轮传动	170
11.1 概述	170
11.2 渐开线圆柱齿轮传动的主要参数和制造精度	172
11.3 直齿圆柱齿轮传动的受力分析	177
11.4 轮齿工作应力分析	184
11.5 齿轮失效形式和承载能力计算准则	185
11.6 常用材料和许用应力	187
11.7 渐开线直齿圆柱齿轮传动的承载能力计算	195

11.8 斜齿圆柱齿轮传动的受力分析	203
11.9 渐开线斜齿圆柱齿轮传动的承载能力计算	204
11.10 圆柱齿轮结构设计	207
11.11 齿轮传动的润滑	210
11.12 圆弧齿圆柱齿轮传动简介	223
12 圆锥齿轮传动	225
12.1 概述	225
12.2 直齿圆锥齿轮传动的几何计算	225
12.3 轮齿受载分析	229
12.4 直齿圆锥齿轮传动的承载能力计算	230
12.5 圆锥齿轮结构设计	232
12.6 齿锥圆锥齿轮传动简介	237
13 蜗杆传动	239
13.1 概述	239
13.2 蜗杆传动的类型	240
13.3 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	242
13.4 蜗杆传动的效率、自锁和润滑	249
13.5 蜗杆传动的受力分析	251
13.6 蜗杆传动的失效形式和计算准则	253
13.7 蜗杆传动的材料、许用应力和制造精度	253
13.8 普通圆柱蜗杆传动的承载能力计算	257
13.9 蜗杆和蜗轮的结构设计	262
13.10 圆弧齿圆柱蜗杆传动简介	264
13.11 圆弧面蜗杆传动和锥蜗杆传动简介	267
14 螺旋传动	272
14.1 概述	272
14.2 螺旋传动的运动关系	273
14.3 螺旋传动的材料	274
14.4 螺旋传动的计算	275
14.5 滚动螺旋传动简介	278
15 轴	282
15.1 概述	282
15.2 轴的材料	283
15.3 轴的结构	284
15.4 轴的强度计算	288
15.5 轴的刚度计算	292
15.6 轴的振动计算	294
16 滑动轴承	300
16.1 概述	300

16.2 向心滑动轴承的构造和材料	301
16.3 润滑剂、润滑方法和润滑装置	303
16.4 非液体摩擦向心滑动轴承的设计	310
16.5 液体动压滑动轴承的工作原理和压力分布方程	312
16.6 单油楔动压向心滑动轴承的设计	314
16.7 推力滑动轴承	324
16.8 油膜振荡和多油楔向心轴承简介	327
16.9 静压轴承和气体轴承简介	330
17 滚动轴承	335
17.1 概述	336
17.2 滚动轴承的主要类型和代号	339
17.3 滚动轴承类型的选择	340
17.4 滚动轴承的载荷和应力分析,失效形式和计算准则	344
17.5 滚动轴承的寿命计算	350
17.6 滚动轴承的静强度计算	351
17.7 滚动轴承组合设计	364
18 联轴器和离合器	365
18.1 联轴器	374
18.2 离合器	382
19 弹簧	382
19.1 概述	382
19.2 圆柱形压缩(拉伸)螺旋弹簧的端部结构、基本几何尺寸、参数和弹簧的 制造	382
19.3 弹簧的材料和许用应力	385
19.4 圆柱形压缩(拉伸)螺旋弹簧的设计和计算	385
19.5 组合弹簧的设计	393
19.6 圆柱形扭转螺旋弹簧	394
主要参考文献	399

1 机械设计总论

1.1 机械设计的基本要求和一般程序

1.1.1 机械设计的基本要求

一般说来,机械设计应当满足如下要求:

A 使用要求

所设计的机械必须保证实现规定的功能、实现规定的运动和达到规定的生产率,必须在规定的时间内可靠地工作而不发生任何形式的失效,有效地达到预期的使用目的。

B 经济性要求

机械的经济性必须贯穿在设计、制造和使用的全过程中。设计经济性体现为多用标准零件和标准部件,尽量少采用贵重材料,采用先进的设计方法,缩短设计周期等;制造经济性体现为用料省,制造易,装配简便,缩短制造周期等;使用经济性体现为效率高,生产率高,消耗(电、油、水、原材料和辅助材料的消耗等)少,管理和维修费用低等。

C 社会要求

设计机械时,一方面必须充分考虑操作人员的安全,力求避免由于机械设计原因而造成操作中发生重大事故;另一方面则应考虑机械本身工作时的安全问题。此外,应使机械装拆省力和操作简便,以减轻操作人员的劳动强度;降低噪音和从工业美学出发考虑机械的外形和色彩,以减轻对环境的污染和美化工作环境。

D 可靠性要求

机械的可靠性用可靠度来衡量。机械的可靠度 R ,是指机械在规定工况条件下和规定使用时间内完成规定功能的概率。由于机械是由各个零件组成的,所以机械的可靠度 R ,取决于其中各个零件的可靠度。在机械中,零件之间的组成有两种基本模式:串联组成和并联组成。不同的组成模式,其可靠度 R 的计算也就不同。

a 串联组成模式(图 1-1(a))

这时,任一零件的失效,都将导致机械的失效。若令各零件的可靠度分别为 $R_1, R_2 \dots R_n$, 则机械的可靠度为

$$R = R_1 \cdot R_2 \dots R_n \quad (1-1)$$

b 并联组成模式(图 1-1(b))

这时,只有所有的零件失效,机械才告失效。若令各零件的失效概率分别为 $F_1, F_2 \dots F_n$, 则机械的失效概率为

$$F = F_1 \cdot F_2 \dots F_n \quad (1-2)$$

由于可靠度 R 是不失效的概率,因此

$$R = 1 - F \quad (1-3)$$

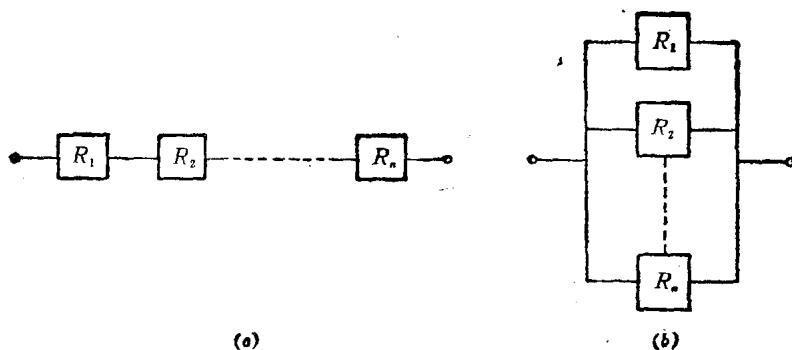


图 1-1 零件在机械中的组成模式

于是可得零件并联组成模式时机械的可靠度为

$$R_s = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) \cdots (1 - R_n). \quad (1-4)$$

由式(1-1)和式(1-4)可见,在串联组成模式中,机械的可靠度 R_s 随着零件数的增多而降低;在并联组成模式中,机械的可靠度 R_s 则随零件数的增多而提高。但是,不论是串联或并联组成模式,提高其中任一零件的可靠度,就能提高机械的可靠度。

E 其他特殊要求

在满足上述主要要求的前提下,某些机械还需满足一些相应的特殊要求。例如,机床要求长时期地保持精度,航空发动机要求减轻质量,大型机械要求便于运输,食品机械和纺织机械要求不污染制品等。

不言而喻,要满足上述要求,应取决于机械中所有零件和部件的正确设计。

1.1.2 机械设计的一般程序

机械设计的一般工作程序可分五个阶段,简要说明如下:

a 确定设计任务

在确定设计任务时需进行调查研究,包括:(1)有关设计项目的基础理论研究和应用成果;(2)技术情报资料和专利;(3)用户意见和要求;(4)市场供销情况、竞争状态和发展动态;(5)制造方面的技术力量、设备条件和生产经验;(6)环境保护要求等。在此基础上,制定产品发展建议书。

b 编制技术任务书

编制技术任务书时,应当(1)阐明设计任务要求;(2)制定要求明细表,列出使用方面的最低要求和期望要求、标准零件的采用、机械的功能、制造和运行方面的一切性能等;(3)进行功能分析,选择合适的综合设计原则,提出可供选择的设计方案;(4)论证工作原理和设计方案,在进行价值分析后确定出最佳设计方案,并绘出总布置图和外型图等。在考虑整机的总布置图时,可将整机分成几个相对独立但有联系的部件,以有利于整机的设计、制造、维修或运输。

c 技术设计

总体方案设计简图类似机械的骨架,必须使其具体化,即进行技术设计。这时,首先进行运动学和动力学计算,确定所用的原动机类型、转速和功率,确定作用于各零件上的载荷、应力和失效形式。进而通过工作能力计算或经验计算求得有关零件的主要尺寸,绘出整机各个部件的装配草图,在进行技术经济分析和评价后加以改进,最后正式绘成部件装配图。

d 零件工作图设计

部件装配图只是确定部件的总尺寸和其中各个零件的主要尺寸、相对位置要求和配合关系,它并未反映出零件的全部尺寸、加工要求和技术条件。为了造出零件,必须进行零件工作图设计。通过设计而绘制的零件工作图,必须具有足够的视图、全部尺寸(包括倒角、圆角等细节尺寸)、尺寸公差、形位公差、加工光洁度和技术条件等。在零件工作图设计时,如有必要,可将强度公式和费用公式综合成技术经济公式对零件进行优化设计。

一般说来,技术设计和工作图设计常需相互配合,交叉进行,不仅如此,甚至整个设计工作可能出现多次反覆的情况。

通过上述设计过程,应提出一套完整的图纸,包括:总布置图,总装配图,部件装配图,零件工作图和各种系统图(传动系统、润滑系统、冷却系统、电气系统图等)。此外,还需提出一份计算说明书、一份使用说明书、以及标准件、通用件和图纸编号等各种明细表。

e 样机试验

在这一阶段,试制样机以验证设计的合理性。对不合理之处,加以改进后,使设计达到最佳化,以取得一个最满意的方案。然后再全面计算其经济效益,并申报批准制造。

1.2 机械零件设计的基本要求和一般步骤

1.2.1 机械零件设计的基本要求

零件是组成机械的基本单元,它从属于机械,和机械是局部和整体的关系。因此,机械零件设计的基本要求除需反映机械设计的基本要求外,应体现自身的具体内容。

机械在运转时,零件应当实现所要求的功能和效用,即必须满足工作能力要求。如果丧失工作能力,则称为失效。

机械零件的失效形式很多,如断裂、表面压碎、表面点蚀、塑性变形、过量弹性变形、过量磨损、共振和过热等。但是,具体零件的具体失效形式,取决于受载情况、所生工作应力的性质、所处的工况条件等因素。为了保证零件正常地工作,应当根据零件的具体失效形式采取相应的防失效措施,其中包括进行相应的防失效计算,如强度、刚度、磨损、振动或热平衡等计算。这些计算统称为工作能力计算。

a 强度要求

强度是任何零件必须满足的基本要求。按照不同的分类观点,机械零件的强度可分为静强度和疲劳强度,也可分为整体强度和表面强度。零件发生断裂和塑性变形,说明是整体静强度不足所致;发生表面压碎和表面塑性变形,说明是表面静强度不足所致;发生疲劳断裂,说明整体疲劳强度不足;发生表面疲劳点蚀,说明表面疲劳强度不足。零件因强度不足而失效,将破坏机械的正常工作,甚至可能引起不幸的人身事故。为了保证零件在预定的使用期内具有足够的强度,除选用合适的材料和毛坯、确定合理的结构和剖面形状、采用合理的切削加工和热处理工艺外,还必须进行强度计算。计算时所遵循的准则是:零件在载荷下所产生的最大工作应力 σ (或 τ)不超过零件的许用应力 $[\sigma]$ (或 $[\tau]$),或零件的工作安全系数 S 不小于零件的最小许用安全系数 $[S]$,即

$$\sigma(\text{或}\tau) \leq [\sigma] (\text{或}[\tau]),$$

或

$$S \geq [S].$$

b 刚度要求

任何零件均非刚体, 受载后都将产生弹性变形。对于某些零件(不是所有的零件), 如果受载后产生的工作弹性变形量 y (或 θ) 超过所规定的容许弹性变形量 $[y]$ (或 $[\theta]$), 就会因刚度不足而破坏正常工作, 结果导致机械的失效。为了保证这些零件具有足够的刚度, 必须进行刚度计算, 计算准则是

$$y \text{ (或 } \theta) \leq [y] \text{ (或 } [\theta]).$$

c 耐磨性要求

对于工作时彼此接触并作相对运动的某些零件, 其接触表面会因摩擦而产生磨损。磨损将逐渐减小零件的形状和尺寸, 使接触间隙不断增大, 造成机械运转质量的不断降低。当工作磨损量超过规定的容许磨损量时, 机械即告失效。在一般机械中, 由于磨损导致失效的零件目前约占全部报废零件的 80%。为使零件在预定的使用期内具有足够的耐磨性或耐磨寿命, 除正确选择材料和材料组合, 通过热处理提高表面硬度, 提高表面加工光洁度和给予良好的润滑外, 还需进行耐磨性计算。应当指出, 由于目前尚未完全搞清磨损的机理, 所以至今尚无成熟的耐磨性计算方法。通常采用条件性的概略计算。其计算准则是, 零件的工作比压 p 不超过零件的许用比压 $[p]$, 即

$$p \leq [p].$$

d 振动稳定性要求

机械在运转时一般都有振动, 轻微的振动并不妨碍机械的正常工作, 但剧烈的振动将影响机械的运转质量和工作精度, 甚至造成破坏性事故。振动的特征一般用振幅和频率这两个参数来表征。当周期性载荷的作用频率接近于零件的固有频率或固有频率的整倍数时, 就会发生共振。共振时, 零件的振幅急剧增大, 将在短期内导致零件甚至整个系统的毁坏。因此, 对于高速运转的零件(例如高速回转的轴、高速齿轮传动等), 应具有足够的振动稳定性。为了避免发生共振, 必须进行振动稳定性计算。计算准则是, 周期性载荷的作用频率 f_s 适当远离零件的固有频率 f , 即

$$f_s < 0.85f,$$

或

$$f_s > 1.15f.$$

e 热平衡要求

对于工作时发生剧烈摩擦的某些零件, 其摩擦部位将会产生很大的热量。这时, 如果散热不良, 则零件的温度升高, 将破坏零件的正常润滑条件, 改变零件之间的结合性质, 导致零件材料的局部熔融而发生胶合甚至咬死, 最终造成零件工作能力的丧失。因此, 对于摩擦发热较大的零件, 应进行热平衡计算。其计算准则是, 摩擦所生的热量 H_f 不超过散逸出去的热量 H_d , 即

$$H_f \leq H_d.$$

f 可靠性要求

满足强度要求 ($\sigma \leq [\sigma]$ 或 $S \geq [S]$) 的一批完全相同的零件, 由于零件的工作应力和极限应力都是随机变量, 故在规定的工况条件下和规定的使用时间内, 并非所有零件都能完成规定的功能, 而是具有一定数量的零件丧失工作能力产生失效。机械零件在规定的工况条件下和规定使用时间内完成规定功能的概率, 称为零件的可靠度。可见, 零件的可靠度和使用时间 t 具

有函数关系,用 $R(t)$ 表示。

设有 N_0 个相同的零件,当到达工作时间 t 时有 N_t 个零件失效,而仍能正常工作的零件为 N 个,则零件的可靠度为

$$R(t) = \frac{N}{N_0} = \frac{N_0 - N_t}{N_0} = 1 - \frac{N_t}{N_0}, \quad (1-5)$$

$$\text{不可靠度或失效概率 } F(t) = \frac{N_t}{N_0} = 1 - R(t). \quad (1-6)$$

例如现有 10000 个相同的零件,工作达 200h 时,有 9500 个零件未失效;工作达 500h 时,有 9000 个零件未失效,则零件在第 200h 和第 500h 时的可靠度分别为

$$R(200) = \frac{9500}{10000} = 95\%,$$

和

$$R(500) = \frac{9000}{10000} = 90\%,$$

而零件的不可靠度或失效概率分别为

$$F(200) = 1 - 95\% = 5\%,$$

和

$$F(500) = 1 - 90\% = 10\%.$$

若将 $F(t)$ 对时间 t 进行微分,则得

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}. \quad (1-7)$$

式中 $f(t)$ 称为失效密度函数或寿命密度分布函数。

设在时间 t 到 $(t + \Delta t)$ 的间隔内有 dN 个零件失效,则在时间间隔 dt 内零件发生失效的概率为

$$\lambda(t) = -\frac{dN/dt}{N}. \quad (1-8)$$

$\lambda(t)$ 简称失效率。式中负号表示 dN 的增大将使 N 减小。

分离变量并积分,得

$$-\int_0^t \lambda(t) dt = \int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \ln \frac{N}{N_0} = \ln R(t), \quad (1-9)$$

即

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}. \quad (1-10)$$

为便于处理,令 $\lambda(t) = \lambda = \text{常数}$, 则得

$$R(t) = e^{-\lambda t}. \quad (1-11)$$

讨论零件的可靠性时,常用平均寿命这一参量。它是可靠性寿命中最常用的一种参量,表示零件的无故障时间。对于可修复系统(系统、设备),平均寿命称为 MTBF (Mean Time Between Failures——平均故障间隔,即从一次故障到下一次故障的平均时间)。对于不可修复系统(零件、材料),平均寿命称为 MTTF (Mean Time To Failure——失效前的平均

时间,即从开始使用到发生故障的平均时间)。MTBF 和 MTTF等效,统称为平均寿命,用 m 表示。

若失效密度函数 $f(t)$ 为连续型分布,则根据概率论知道,平均寿命 m 为失效密度函数 $f(t)$ 和时间 t 之乘积的积分,即

$$m = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt. \tag{1-12}$$

由式 (1-7) 和式 (1-6), 可得

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = - \frac{dR(t)}{dt},$$

于是
$$m = \int_0^{\infty} -t \cdot dR(t).$$

利用分部积分法将上式进行积分, 得

$$m = - [t \cdot R(t)]_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt.$$

因为 $t = \infty$ 时, $R(\infty) = 0$, 故得

$$m = \int_0^{\infty} R(t) dt.$$

当 $\lambda =$ 常数时,考虑到式(1-11),得

$$\begin{aligned} m &= \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} \left(\frac{-\lambda}{-\lambda} \right) dt \\ &= - \frac{1}{\lambda} \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} d(-\lambda t) = \frac{1}{\lambda}. \end{aligned} \tag{1-13}$$

上式说明对于 $\lambda(t) = \lambda =$ 常数的指数型分布, 平均寿命 m 等于失效率 λ 的倒数。由于 m 易由统计方法获得, 所以利用式(1-13)就可求得 λ 值。表 1-1 列出了一般设备的某些通用零件在正常工作时根据工程实践经验而得的 λ 值, 可供设计时参考。

表 1-1 失效率 λ 的经验值

零 部 件 名 称	失 效 率 λ		
	最 上 限	平 均	最 下 限
齿 轮	2	1.2	0.118
齿轮箱(运输用)	3.6	2	1.1
带传动	150	38.75	1.42
轴	6.2	3.5	1.5
一般轴承	10	5	0.2
球轴承(高速重载)	35.3	18	0.72
球轴承(低速轻载)	17.2	8.75	0.35
滚子轴承	10	5	0.2
轴套或轴承	10	5	0.2
离合器	11	4	0.6
刚性联轴器	0.49	0.25	0.01
弹性联轴器	13.48	6.875	0.27
弹 簧	2.21	1.125	0.04
箱 体	20.5	11	0.51

这样,应用式(1-11),就可算得可靠度 $R(t)$, 称工作可靠度。为使零件具有足够的可靠性,应遵循如下准则:

$$R(t) \geq [R(t)].$$

式中 $[R(t)]$ 为许用可靠度,它取决于零件的重要程度、所受载荷的类别、生产和维修费用等因素。例如,对于航空齿轮,取 $[R(t)] > 99\%$; 对于一般工业齿轮,取 $[R(t)] = 99\%$; 对于一般滚动轴承,取 $[R(t)] = 90\%$ 。

1.2.2 机械零件设计的一般步骤

机械零件设计的一般步骤建议如下:

(1) 根据原始参数(功率、转速、力或力矩等)、工况条件和使用要求等,正确选定需采用的零件类型。

(2) 拟定力学模型,计算作用于零件上的载荷,并判明载荷的方向和变化性质。

(3) 根据零件所受的载荷和工况条件,算出零件所产生的工作应力,并确定应力的变化性质和变化次数。

(4) 根据零件工作应力的方向、大小、产生地点、变化性质和变化次数,正确判定零件的失效形式。

(5) 根据零件失效形式正确选用合适的材料(包括毛坯获得方式、热处理方法和硬度等)或材料组合。

(6) 根据零件的失效形式确定工作能力计算准则。根据计算准则算得零件的主要参数或尺寸,这样的计算称为设计计算;如果先行根据经验定得零件的尺寸,然后按计算准则校核零件是否满足工作能力要求,这样的计算称为校核计算。

(7) 根据工艺、结构等要求对零件进行结构设计,定出零件的全部尺寸包括细节尺寸。所确定的结构尽量有利于或至少不得有损于零件的工作能力。

(8) 必要时应在结构设计后对零件的工作能力进行精确校验计算。

(9) 绘出完全符合制造要求的零件工作图。

1.3 机械零件、部件的标准化

在我国,许多通用零件和通用部件(如螺钉、键、滚动轴承、联轴器、减速器等)的型式、品种、参数和符号等都已实行了标准化,并按尺寸的不同实现了系列化。有些零件则仅在参数方面实行了标准化和系列化(如齿轮的模数、蜗杆的特性系数、轴径等)。若在系列产品内部或在跨系列的产品之间采用同一结构和尺寸的零件、部件,则称之为通用化。

零件与部件的标准化、系列化和通用化具有如下重要的意义:

(1) 减轻了设计工作量,缩短了设计周期和降低了设计费用,利于设计人员将主要力量用于关键零件、部件的设计。

(2) 便于设置专门工厂采用先进技术进行大量生产,有利于合理并节约使用原材料,有利于采用标准刀具、夹具、量具和专用设备,有利于节省能源、缩短生产周期、降低成本,保证获得高生产率和高的产品质量。

(3) 具有互换性,便于用户单位进行维修工作。