

К. И. ЗАБЛОНСКИЙ

ДЕТАЛИ
МАШИН • 机械零件

余梦生 欧宗瑛 吴宗泽 译

高等教

机 械 零 件

[苏] К. И. 扎布隆斯基 著

余梦生 欧宗瑛 吴宗泽 译

高 等 教 育 出 版 社

内 容 简 介

本书是根据[苏]K. И. 扎布隆斯基 (Заблонский) 教授著 «Детали машин» 1985 年版翻译的。

全书分四篇, 共计 42 章。第一篇设计计算的出发点, 第二篇机械传动, 第三篇零件的联接, 第四篇设计的一般原理。

本书在体系上与国内外同类教材相比, 有较大的变动, 采取了按零件的工作性质分篇、按零件的基本原理分章的办法; 详细分析了零件的工作情况; 插图内容丰富, 数量多, 且颇具特色; 加强了结构分析与理论分析、零件设计与整体设计之间的联系。

本书可供大学本科、专科机械类、近机类专业师生参考。

本书责任编辑马盛明。

(京)112号

机 械 零 件

[苏] K. И. 扎布隆斯基著

余梦生 欧宗瑛 吴宗泽 译

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

文字六〇三厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 26.5 字数 600 000

1992 年 7 月第 1 版

1992 年 7 月第 1 次印刷

印数 0 001—2 630

ISBN 7-04-002280-X/TH·205

定价: 13.45 元

译者的话

K. И. 扎布隆斯基教授著《机械零件》是目前苏联机械零件教科书中科学水平和教学水平都具有代表性的教材之一。

K. И. 扎布隆斯基教授是苏联敖德萨工学院机械零件教研室主任，曾任该院院长，是苏联乌克兰人民共和国的功勋科学工作者。他在齿轮传动方面的研究成果为世界所公认，并有多种专著和大量学术论文问世。1959年，他与B. A. 多布罗沃尔斯基教授等合作编写了由苏联高等教育部批准作为苏联第一本正式教科书的《机械零件》。该书于1962年由余梦生等同志翻译，并由人民教育出版社出版。

1985年，K. И. 扎布隆斯基总结了他几十年的科学研究成果和教学经验，出版了他的新作《机械零件》。与现有的国内外其他教材相比，该书有以下几个特点：

(1) 体系上有较大变动。全书分为四篇，共计四十二章。该书在体系上改变了传统的按联接件、传动件和支承件划分的办法，采用更为合理的按零件的工作性质分篇；按基本原理分章的办法，避免把互不相关的内容放在同一章中。例如把联轴器和离合器归入“零件的联接”篇，并分为三章；把“齿形带传动”从“带传动”中分出来，单独成章。这样就突出了各个零件的特点，加强了理论基础，也便于教师灵活处理教学内容。

(2) 各章篇幅的比例较适当。各章按教学基本要求、当前技术发展水平及生产中的作用确定篇幅，以能讲清基本内容为度，因而选材较得当，无轻重失调之感。例如齿轮传动仅占44页，螺纹联接仅有19页，均远较一般教材为少。

(3) 各章基本上均按“概述”、“结构和材料”、“理论基础和工作”、“计算”这样一个顺序安排内容，使结构与理论基础并重，计算方法紧密联系零件的工作特点，因而条理清楚，有助于使学生较快地掌握机械零件的设计思路。

(4) 结构分析与理论分析紧密配合，插图与文字说明紧密配合。全书共有插图418幅（不包括表中的图），每幅图平均又包括3~4个小图，因此全书插图约在1500幅左右，其中有结构图，也有关于工作情况分析和受力分析的图，甚为丰富多样。但由于图幅比例恰当，布置得当，排列紧凑，多数插图均由作者经过教学上的加工，比较新颖，而且与书中的文字说明配合呼应较好，因此使学生学到更多的结构知识，开阔视野，并不感到篇幅过多或繁杂。

(5) 加强了零件设计与整体设计之间的联系。全书第一篇“设计计算的出发点”着重讲述零件设计的基本要求，如可靠性、经济性、工艺性、强度、刚度、耐热性等，第二、三两篇着重介绍单个零部件的设计，第四篇又以“设计的一般原理”为标题，通过润滑系统、箱形零件、减速器、无级变速器等着重讲述整体设计中应当考虑的问题，前后呼应，使学生的设计能力提高一步。最后以结束语的形式讲述自动设计以及计算机在自动设计中的应用等问题，并作为例子介绍了САПР程序的一部分构造。这样，就使全书既反映了现代设计水平，又合乎教学要求和学生水平，不致在计算机应用的问题上喧宾夺主。

因此，该书的翻译出版必然对我国的机械零件教学起良好的作用。

本书由余梦生(序言、第一篇、第三十二~三十七章、第四篇)、欧宗瑛(第二篇)、吴宗泽(第二十四~三十一章)三同志翻译,并由余梦生同志负责校阅,撰写了译者的话。在本书翻译过程中,作者K.И.扎布隆斯基教授给予了很大的关心和支持,并为中文版写了序言,译者在此表示感谢。

原书中已发现的印刷错误均已由译者作了更正,不一一注明。

译 者

1988年1月

序 言

苏联敖德萨工学院的五位作者合写的《机械零件》教科书的中文译本出版已经25年了。在这一期间，苏联的机械制造业有了很大的发展：提高了设备的生产率，出现了按新的原理工作的更完善的机器，以模型化为基础并采用计算技术，制订了零件和驱动装置的结构优化方法。同时，机器的特性也有了很大的改进：效率提高，单位重量减轻，劳动量减少等等。在上述成果的获得中，以强度、寿命和材料等科学的最新成就为基础的较完善的现代计算方法起了很大的作用。在总结机械学和苏联的机械制造，以及最发达的国家在这一领域的成就的基础上，制订了有关机械零件计算方法的各种新标准。

在这本《机械零件》教科书中，可以找到机械制造在苏联的科学技术加速进步过程中的上述发展特点。书中以浓缩的方式介绍了机械零件的现代结构和机械零件的新的计算方法。书中介绍了计算简图的选择、机械传动和机械联接中的载荷及应力的分布不均匀性的考虑、计算时安全系数的选取等问题。为了减少教科书的篇幅，设计的基本原理都以总结的方式介绍，并且特别注意教材内容的编排和叙述的系统性。

作者希望本书能对中国高等工业学校机械制造专业的学生起有益的作用。对于提出能反映中国的机械制造经验和本学科的讲授经验、旨在改进本书的意见和建议的中国高等工业学校的教师，作者将表示衷心的感谢。

敖德萨工学院机械学及机械零件教
研室主任，技术科学博士，教授
K. И. 扎布隆斯基

目 录

绪论	1
第一篇 设计计算的出发点	3
第一章 机械零件的工作能力和计算的 准则	3
概述	3
机械零件的失效原因	5
机械零件的计算基础	6
第二章 机器和零件的可靠性	10
概述	10
可靠性的理论基础	11
用试验确定可靠性的各项指标	12
随机变量的典型分布	13
设计中的可靠性评价	14
第三章 设计的经济基础	16
概述	16
技术-经济计算的基础	17
选择结构方案的经济依据	17
提高经济效益的途径	19
第四章 标准化	21
概述	21
设计与制造的相互联系	22
第五章 机械制造中使用的材料	25
概述	25
主要材料的特性及用途	27
材料工作性能的改善	30
第六章 腐蚀和时效	32
概述	32
腐蚀和时效的有害作用	33
防止腐蚀和时效后果的措施	34
第七章 工艺性	37
概述	37
保证工艺性的主要条件	37
零件的制造精度和装配	39
提高工艺性的途径	42
第八章 机器中的载荷	43
概述	43
作用在零件上的载荷的类型	43
对影响计算载荷值的各个因素的评价	44

第九章 工作表面的强度	47
概述	47
影响工作表面强度的因素	48
表面强度的计算	52
提高表面强度的途径	54
第十章 体积强度	56
概述	56
影响强度的因素	58
强度计算	60
提高零件强度的途径	62
第十一章 刚度	63
概述	63
影响刚度的因素	64
刚度计算	65
调整刚度的途径	69
第十二章 振动稳定性	71
概述	71
具有一个自由度的系统的振动	72
扭转振动和横向振动	74
降低振动有害影响的途径	75
第十三章 耐热性	76
概述	76
发热和冷却	76
热强度	78
减少热作用的途径	80
第二篇 机械传动	83
第十四章 传动型式及其主要特性	83
概述	83
主要传动类型的工作原理	86
传动的主要特性	87
机械传动的构成	89
第十五章 摩擦轮传动	91
概述	91
结构和材料	92
传动的理论基础和工作	93
摩擦轮传动的计算	96
第十六章 带传动	99
概述	99

结构和材料.....	100	第二十四章 联接的类型及其主要特性.....	203
传动的理论基础和工作.....	104	概述.....	203
带传动的计算.....	108	静联接.....	206
第十七章 齿形带传动	112	动联接.....	208
概述.....	112	第二十五章 焊接	210
结构和材料.....	113	概述.....	210
传动的理论基础和工作.....	114	结构.....	212
齿形带传动的计算.....	117	联接的理论基础和工作.....	214
第十八章 链传动	121	焊接的计算.....	215
概述.....	121	第二十六章 铆钉联接	220
结构和材料.....	123	概述.....	220
传动的理论基础和工作.....	126	结构和材料.....	221
链传动的计算.....	131	联接的理论基础和工作.....	222
第十九章 齿轮传动	135	铆钉联接的计算.....	224
概述.....	135	第二十七章 螺纹联接	227
结构和材料.....	138	概述.....	227
传动的理论基础和工作.....	141	结构和材料.....	229
渐开线圆柱齿轮传动的计算.....	152	联接的理论基础和工作.....	231
圆锥齿轮传动的计算.....	161	螺纹联接的计算.....	238
诺维柯夫啮合齿轮传动的计算.....	164	第二十八章 啮合联接	243
第二十章 螺旋齿轮传动和准双曲面齿		概述.....	243
轮传动	168	结构和材料.....	244
概述.....	168	联接的理论基础和工作.....	247
结构和材料.....	169	啮合联接的计算.....	249
传动的理论基础和工作.....	169	第二十九章 摩擦联接	253
螺旋齿轮传动和准双曲面齿轮传动的		概述.....	253
计算.....	171	结构和材料.....	254
第二十一章 蜗杆传动	174	联接的理论基础和工作.....	256
概述.....	174	摩擦联接的计算.....	259
结构和材料.....	176	第三十章 弹性联接	262
传动的理论基础和工作.....	177	概述.....	262
蜗杆传动的计算.....	182	结构和材料.....	263
第二十二章 环面蜗杆传动	187	联接的理论基础和工作.....	266
概述.....	187	弹性联接的计算.....	269
结构和材料.....	188	第三十一章 转轴和心轴	273
传动的理论基础和工作.....	190	概述.....	273
环面蜗杆传动的计算.....	193	结构和材料.....	274
第二十三章 螺旋螺母传动	196	联接的受载情况和工作.....	277
概述.....	196	转轴和心轴的计算.....	281
结构和材料.....	197	第三十二章 固定式联轴器	287
传动的理论基础和工作.....	199	概述.....	287
螺旋螺母传动的计算.....	201	结构和材料.....	289
		固定式联轴器的理论基础和工作.....	292
第三篇 零件的联接	203	固定式联轴器的计算.....	296

第三十三章 操纵式离合器300	第三十八章 结构设计的基本原则361
概述.....300	初始要求.....361
结构和材料.....302	使计算草图与零件的受载条件保持
操纵式离合器的理论基础和工作.....305	一致.....363
操纵式离合器的计算.....308	第三十九章 润滑系统和润滑装置, 密封装置365
第三十四章 自动离合器311	概述.....365
概述.....311	润滑系统和润滑装置.....367
结构和材料.....313	润滑系统辅助装置的结构.....369
自动离合器的理论基础和工作.....315	密封装置.....370
自动离合器的计算.....319	润滑系统的计算.....372
第三十五章 滑动轴承322	第四十章 箱形零件374
概述.....322	概述.....374
结构和材料.....324	结构和材料.....376
滑动轴承的理论基础和工作.....327	箱形零件的受载情况.....379
滑动轴承的计算.....334	箱形零件的计算.....380
第三十六章 滚动轴承337	第四十一章 减速器和传动箱382
概述.....337	概述.....382
结构和材料.....338	减速器和传动箱的结构.....384
滚动轴承的理论基础和工作.....342	减速器和传动箱的设计.....389
滚动轴承的计算和选择.....349	第四十二章 无级变速器395
第三十七章 导轨352	概述.....395
概述.....352	无级变速器的结构.....397
结构和材料.....353	无级变速器的设计基础.....400
联接的受载情况和工作.....357	结束语404
导轨的计算.....358	参考文献410
第四篇 设计的一般原理361	

绪 论

根据复杂程度和外形尺寸的不同,机器可分解为一定数量的部件,而这些部件又由一些独立的零件组成。零件是用名称和牌号都相同的材料不经装配工序而制成的制品。机械零件可分为通用零件和专用零件。属于通用零件的有:铆钉、螺栓、螺母、转轴、心轴、齿轮、摩擦轮、带轮、链轮、联轴器、轴承、弹簧、壳体和许多其它零件。在完全不同的机器中,这些同一种类型的零件所执行的功能都是一样的,因此可以把它们的研究工作划入一个独立的学科范围即机械零件。而专用零件如活塞、阀门、主轴、犁铧,则只在特定类型的机器中才能遇到。这类零件的设计在有关的专业课中研究。由零件可以组成装配单元,它是一个在制造企业中经过装配工序将组成部分彼此联接在一起的制品。

在苏共第26次代表大会上,提出了下列任务:“提高技术水平和机械制造产品质量,提高自动化装置和仪器的质量,大大提高生产技术的经济性和生产率,提高它们的可靠性和寿命。为了达到上述目的,必须保证加速发展机器和设备的自动控制装置的生产,带可控硅变流器和微处理机的成套电力驱动装置的生产,液压传动和气动装置的生产。大大地扩大机器、设备、运输装置和仪器的备用零件、备用部件和备用组件的生产。”^①

随着使用和生产的要求,科学发展所揭示的可能性,新材料以及使它们具有所需要的形状和性能的方法的出现,机器的结构越来越完善。工作机应尽量做得具有较高的生产率,而发动机则在具有较高的可靠性和操作简单的同时,尽量做得功率大些和经济性更好些。现代结构发展的主要方向是减少机器的重量。重量 m 和材料的利用系数 $K_{\text{мст}}=m/m_{\text{м}}$ 决定了制造机器时所消耗的金属量 $m_{\text{м}}$ 。减少金属消耗具有重大的国民经济意义:金属的费用占机器成本相当大的部分(例如在机床制造中,约占生产费用总和的30~40%)。减少重量必须同生产和使用中的经济性、可靠性和表征零件或机器工作的其它指标联系起来考虑。

零件结构的发展与机器的整体结构的发展有密切联系。机器中的零件可以组成联接,以保证它们的相互位置的确定性,也可以组成传动,用来改变速度和力矩的方向与大小。只有在给定的使用期限和载荷情况下按一定的准则保证机器每个零件的工作能力时,才有可能创造现代化的机器。机械零件课程的任务在于研究能保证机器整体结构的完善性的机械零件的设计计算方法。

首先,必须以最大的精确度确定零件接合区的计算载荷,它取决于刚度、制造精度和相对速度。而零件的寿命则取决于加载频率和速度。考虑到上述因素和其它因素,我们就可以确定载荷,而在计算中采用这个载荷时,必须保证零件具有足够的承载能力。

结构的合理性也由许用应力的合理选择来保证。这不仅与材料和它们的热处理有关,而且也与零件的形状、零件工作表面的质量有关。在确定许用接触应力时,还要考虑相对速度和对接触强度及耐磨性都有很大影响的润滑条件。强度安全系数的选择确定了作为极限应力

^① 苏共第26次代表大会资料, 153、154页, 莫斯科政治出版社, 1981年。

的一部分的许用应力值。

计算载荷和许用应力取决于计算简图的选择,在计算简图中要考虑零件的固定、载荷的作用位置及分布特性、载荷的大小及方向。这时,在很大程度上决定制品质量的制造精度有很大的作用:零件的各个要素的精度越高,则载荷的分布越有利,因而工作条件越好。由于不可能准确地估计误差的影响,就要用提高计算载荷或降低许用应力的办法来补偿,从而使机器的重量增大。所需精度的选择与经济性密切相关:低精度时,所需要的寿命可以靠增大重量和外廓尺寸来保证;高精度时,金属消耗要少一些,但加工费用却增加了。

在选择计算简图时,要估计所采取的加载方法与真实的工作条件的近似程度。计算简图反映真实的受载情况越精确,则计算载荷与名义载荷的差别就会越小,强度安全系数就可以取得越小,许用应力就可以取得越高。许用应力取得越精确(以便能最大限度地利用材料的机械性能),计算简图越可靠,则结构越合理,即它的重量与尺寸在寿命给定时最小。合理地选择最佳计算简图是研制完美结构所必需的第三个条件。

只有在对工作中所产生的偏差的原因及特性的分析和对失效的分析的基础上,联接零件和机械传动才可能有完善的计算。对各种不同的失效事例的研究为计算准则的选择提供了依据。计算准则就是有关何种应力将在何种地方影响某种失效形式的规定。与此密切相关的是研究提高机器的可靠性和寿命的途径。在这里,必须着重注意零件结构形状的选择,注意为互相接触的零件创造有利的工作条件。对于可移式联接来说,特别重要的是选择零件之间的间隙的形状和尺寸,保证可靠的润滑。

机械零件课程的任务在于研究机械零件联接和传动中所产生的各种现象,研究用材料力学和弹性理论的方法估算零件应力状态的途径,以便能确定零件的尺寸,并赋予零件以最合理的形状,保证机器在最有利的可比性指标下具有规定的可靠性和寿命。

第一篇 设计计算的出发点

第一章 机械零件的工作能力和计算的准则

概 述

机器及其零件的工作能力和对它们提出的基本要求 每一种制品，如机器、仪器、装配单元、零件等，都用能反映该制品质量指标的一定的输出参数来表征。这些输出参数可以表征制品的能量指标、动作精度指标、机械特性和强度特性、运动参数和动力参数、经济指标。

与保持各个给定的参数值在由标准技术文件规定的极限范围内的同时，制品（机器、仪器、零件等）能够执行确定的功能的状态称为工作能力。在技术文件中都预先说明了制品必须保持自己的工作能力的条件，该技术文件规定了外界作用的水平、技术维护和修理的方法、标准以及与所规定的参数之间的允许偏差。机械零件以及其它制品工作能力的主要准则为：强度，刚度，稳定性，振动稳定性，耐磨性，耐热性，耐腐蚀性和耐时效性。

所设计的机器必须满足那些首先涉及生产率、可靠性、所要求的寿命和成本（初始费用和使用费用）的技术条件。

提高机器的生产率和经济性的要求导致了功率的强化，这是一个受在机器的执行机构中产生的载荷增长和工艺过程的工作速度增长的制约的自然趋势。这个趋势也影响到各个零件的载荷参数。产品的生产效率和质量的提高问题与机器的可靠性的提高有关。机器的可靠性取决于它的零件的可靠性，而零件的数目有时要以五位数、六位数来计算。在减少机器重量和成本的条件下，只有最准确地确定零件的受载情况并确定其中的实际应力，才能满足上述各项要求。

机械零件的载荷和应力的特性 根据零件用途的不同，在预先规定的整个使用期间，每个零件都应当能够工作。零件的受载情况和应力状态取决于零件在运动链中的位置和与其它零件联接的方法。例如，在起重机卷筒的驱动装置（图1.1）中，当外载荷不变时，零件受到大小和方向都变化的各种不同的力的作用。在提升重物时，钢丝绳1沿卷筒2移动，因此卷筒的轴承3（见第三十六章）受到变载荷的作用。由于有不可避免的制造误差，联轴器4和5（见第三十二章）的各个零件受载是不均匀的。在减速器6的齿轮传动（见第十九章）中，载荷沿轮齿分布也不均匀，等等。

零件受载条件的重复变化可以在滚子轴承这个例子中看出来。内座圈1上受有力 F （图

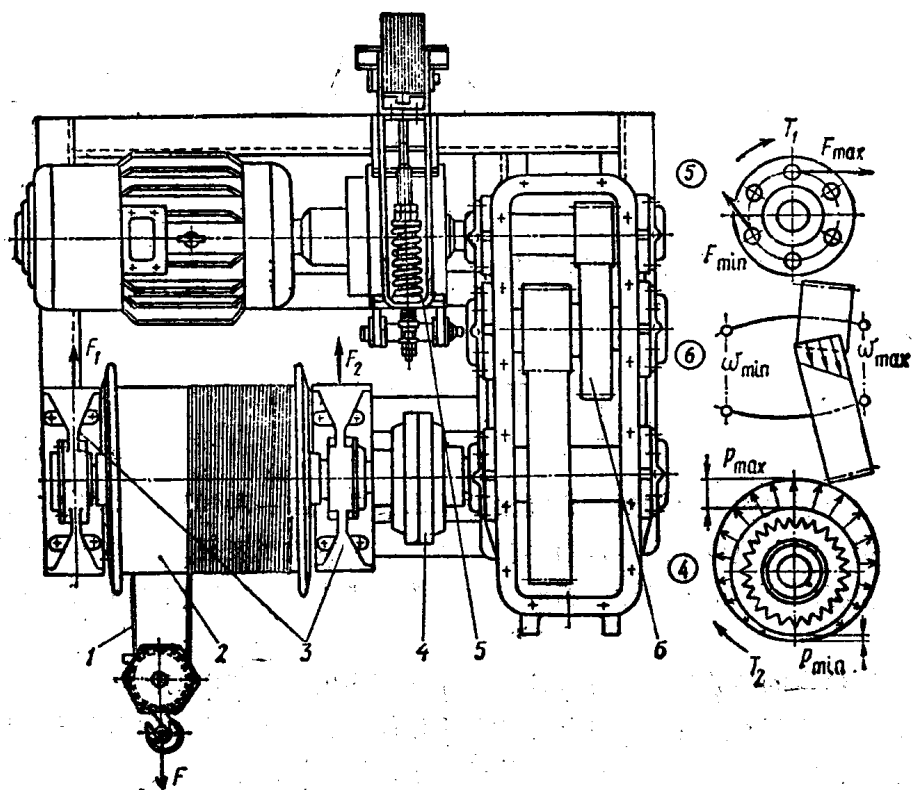


图1.1 用于说明载荷分配及载荷分布不均匀的问题的图

1.2a), 载荷由1传向不动的外座圈2。由传递载荷的条件可以得出, 载荷在各个滚子之间的分配是不均匀的 (见第三十六章)。当轴承旋转时, 外座圈在 abc 弧范围内的工作表面上作用有某种周期性的载荷 (图1.2c)。在轴承的整个使用期内, 内座圈工作表面的每一部分 (图1.2d) 都受到由零到 F_{max} 的变载荷的重复作用。

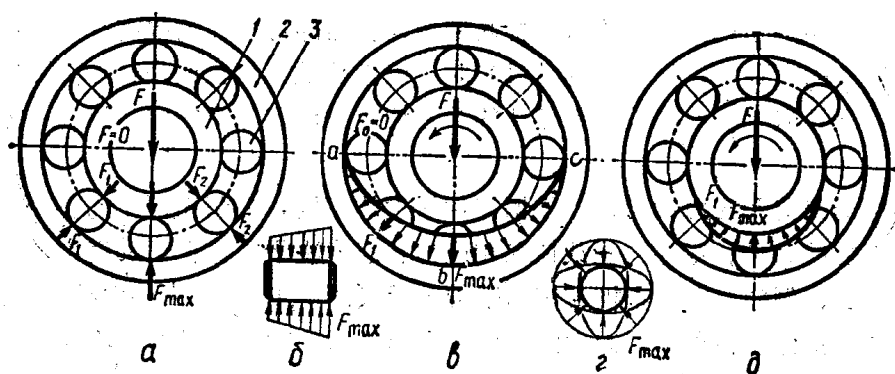


图1.2 滚动轴承中的载荷分布

滚子所受的是脉动载荷, 载荷的作用面积沿滚子的表面移动 (图1.2c)。在轴承的整个使用期间, 滚子表面的任何部分都重复地受到完全按 γ 分布的由零到 F_{max} 的变载荷作用。载荷不仅在各个滚子之间的分配不均匀, 沿着滚子的分布也不均匀 (图1.2c)。这是由制造不精

确和零件受载时的变形引起的。

载荷在组成运动链的各个零件之间的分配，以及压力在各个零件的接触面积上的分布，实际上总是不均匀的，在零件的计算中必须予以考虑。

机械零件工作的第二个特性是应力在零件的接触面积和横截面上分布不均匀。产生这种情况的原因首先是载荷和压力在接触面积上分布不均匀，其次是从一种形状和尺寸的截面突然过渡到另一种形状和尺寸的截面。

在前面所研究的滚动轴承中，滚子与外座圈的接触区中的最大应力 σ_H 要比滚子与内座圈的接触区中的最大应力小（图1.3a, b），这是因为，在第一种情况，是凸面与凹面接触，而在第二种情况，是两个凸面互相接触。在旋转的轴承中（图1.3c, d），上述情况在滚子表面（图1.3e）的每一个部分都是周期性地发生和消失的，因此产生循环应力。

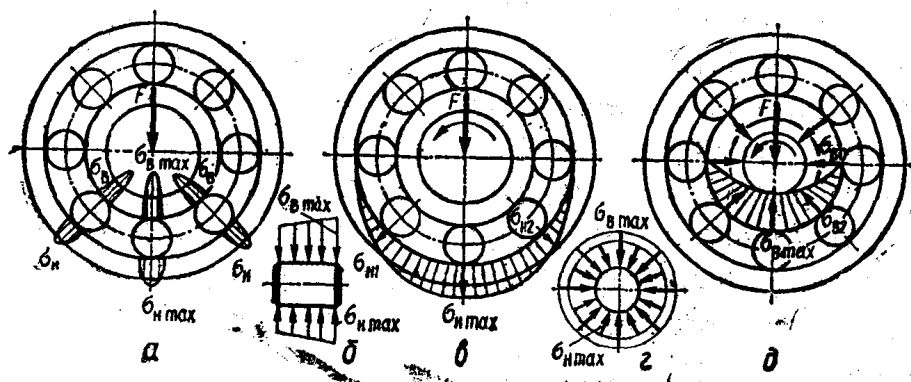


图1.3 滚动轴承中的应力分布

在直径不同的两段轴的联接处（见第三十一章）（图1.4），弯曲应力 σ 和扭转应力 τ 分布都不均匀。根据两轴段的直径 d_1 与 d_2 的比值和（过渡）圆角半径 ρ 的不同，最大应力 σ_{max} 和 τ_{max} 可以比平均值大很多。

应力在零件的接触区中的分布不均匀性和沿零件截面的分布不均匀性，在计算时以及在确定由于过载和应力过大而有可能损伤的部分时，都必须予以考虑。

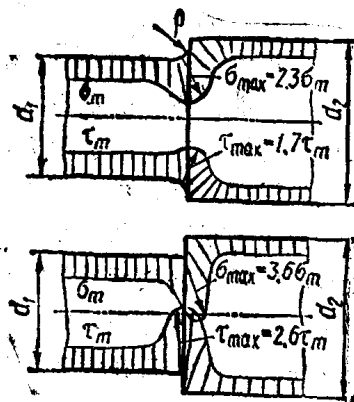


图1.4 轴中的应力分布

机械零件的失效原因

断裂 当载荷作用在机械零件上，零件的强度不够时，就可能出现断裂。当危险截面上的应力超过屈服极限时，则在损坏之前，可能产生大的残余变形。其后果是：零件的形状和尺寸发生变化，机器各部分的正常的相互作用遭到破坏，零件的接合特性遭到破坏等，并最终产生断裂。

在静应力下，当应力达到强度极限时产生断裂。这种断裂称为脆性断裂（见第十章），

其特点为断面呈粗晶粒结构。机械零件在循环受载(见第十章)时的断裂称为疲劳断裂。只要应力变化的次数足够多,则在应力小于屈服极限时就可产生疲劳断裂。在零件的所有断裂中,大约有80%是疲劳断裂。

工作表面损伤 当载荷超过允许值,以及有附加的不利条件(表面硬度低、质量差,相对位移速度大,有外界活性介质作用,没有足够的润滑膜)时,在接触表面上可能产生磨损、粘附、工作表面塑性变形、点蚀。

在移动的接触区看到的最普遍的损伤形式是磨损(见第九章)。这种过程,即磨损,使接合零件的尺寸和形状发生变化。磨损后,由于精度丧失,将改变零件的接合特性;由于截面减少和动载增大,零件的强度降低;由于润滑条件变坏,气密性受到破坏以及漏油,机器的效率降低;机器在工作时的噪声增大等。

如果工作表面的硬度不足,而载荷又大,则在摩擦力的作用下,在工作表面上可以看到表面层材料的塑性流动。在工作表面滚动的条件下,当工作表面以有限的表面传递载荷时,在移动的接触区要产生高的循环接触应力,从而产生点蚀,即表面疲劳损伤(见第九章)。

过度变形 在很多情况下,机器的运行质量取决于接合零件的弹性变形,而这种弹性变形又由其刚性决定。传动零件如轴、齿轮等的刚度不足,将导致载荷沿接触线长度分布不均匀(见第十一章)。当轴弯曲时,它的支承部分(轴颈)在轴承中偏斜,使轴承的正常运行受到破坏;轴瓦出现不均匀的和高于正常值的磨损,在滑动轴承中出现发热和胶合(见第三十五章),使滚动轴承的工作条件变坏,寿命降低(见第三十六章)。

振动 机器及其零件的工作速度提高,以及伴随这种趋势而来的结构减轻,常常促成振动的产生(见第十二章)。当机器及其零件的自振频率与周期性外载荷的变化频率相同时,就产生共振,这时振幅剧烈增大,甚至产生破坏。由弹性、载荷变化及摩擦力变化而引起的零件及其元素的振动,可能产生非常大的噪声。

温度升高 当机器在运行过程中由于摩擦而产生相当大的功率损耗,并伴有大量的发热时,就可能使零件的温度状态遭到破坏。过度发热可能使零件变形,影响零件在机器中的相互作用特性,产生附加应力,破坏润滑条件等等(见第十三章)。

当温度升高,与正常值相差甚远时,材料的机械性能也发生变化。在这种情况下,金属蠕变和应力松弛这两种现象特别重要:零件所受的长期而恒定的载荷使零件产生连续的塑性变形,使零件丧失原有的接合条件。随时间而增长的塑性变形使弹性变形的分量减少,应力降低。随着温度降低,塑性降低,对应力集中的敏感性增大。于是就产生冷脆。这是材料的一种性能,即材料在温度足够低的条件下加载时发生脆性破坏。

机械零件的计算基础

机械零件的计算基础

计算准则 从零件必须满足的所有各种条件中,可以分出一些来作为主要条件:体和强度,表面层强度和刚度。对于有些种类的零件,耐热性和振动稳定性也很重要。

保证必要的强度的任务在于确定机械零件的尺寸和形状,使之不可能产生不允许的大残

余变形、过早的断裂和表面损伤。

有两种计算强度的方法：按极限状态和按许用应力。按极限状态的计算用于静载条件，例如在设计桥梁、房顶及管路等时。这时要利用由结构的承载能力如强度、稳定性或耐久性决定的极限状态，或是由结构的最大变形如挠度或振动决定的极限状态。在机械制造中采用按许用应力计算的方法，它是按极限状态计算的特殊情况。按许用应力计算的基础是评价危险截面或危险点上的材料强度。所有其它地方的材料质量的状态是不予考虑的。

在初步计算和设计计算中，最通用的评价零件强度的方法是将相应的计算特性值 (σ 、 τ 、 σ_{cm} 、 σ_H 、 p 、 w 、...) 与许用值 $[\sigma]$ 、 $[\tau]$ 、... 进行对比，

$$\sigma \leq [\sigma]; \tau \leq [\tau]; \sigma_H \leq [\sigma_H]; \dots \quad (1.1)$$

式中，

$$[\sigma] = \sigma_{lim} / [s_\sigma]; [\sigma_H] = \sigma_{Hlim} / [s_H]; [p] = p_{lim} / [s_p]; \dots \quad (1.2)$$

在上述公式中， σ_{lim} 、 σ_{Hlim} 、 p_{lim} 等均为相应的应力状态特性值的极限值，当特性值达到极限值时，就出现故障而失效（见第二章）， $[s_\sigma]$ 、 $[s_H]$ 、 $[s_p]$ 等均为相应的许用强度安全系数。

当刚度是主要的计算准则时，就用“危险”截面（或方向）的位移 δ 作为计算参数，并将其与许用值对比：

$$\delta \leq [\delta] \quad (1.3)$$

式中，

$$[\delta] = \delta_{lim} / [s_\delta] \quad (1.4)$$

位移的极限值 δ_{lim} 由各种类型机器的运行经验来确定。这时，必须考虑限制载荷分布的不均匀性、动载荷和不精确等等。刚度安全系数的许用值 $[s_\delta]$ 要根据零件的用途来选取。

作为计算准则的耐热性是在发热可能使零件的相互作用遭到破坏时，以保证工作能力的因子出现的。

$$Q \leq [Q] \quad (1.5)$$

式中，

$$[Q] = Q_{lim} / [s_Q] \quad (1.6)$$

工作中的机器内产生的热量 Q 和它的许用值 $[Q]$ 取决于极限值 Q_{lim} 和安全系数 $[s_Q]$ ，而 $[s_Q]$ 则由结构、零件的工作条件、机器的润滑和运行决定。

零件的发热主要是由于克服阻止零件运动的阻力时所消耗的机械能转变为热能的缘故。只有存在润滑剂时，零件才可以相对运动。当温度超过某一值 $[\theta]$ 时，润滑油就会丧失它的性能，因此必须用计算来保证下列条件：

$$\theta \leq [\theta] \quad (1.7)$$

式中，

$$[\theta] = \theta_{lim} / [s_\theta] \quad (1.8)$$

取润滑剂丧失它的性能的温度作为极限温度 θ_{lim} 。

当温度对材料性能有显著影响时，在强度和刚度的计算中都要考虑机械性能在温度影响下的变化。

振动稳定性的计算在于验算自振, 尤其在于防止共振。在机器运行的时候, 其条件为限制振动频率:

$$\text{当}[s_n] \geq 1 \text{ 时, } n \leq [n]; \text{ 当}[s_n] \leq 1 \text{ 时, } n \geq [n] \quad (1.9)$$

$$\text{式中, } [n] = n_{kp} / [s_n] \quad (1.10)$$

临界振动频率 n_{kp} 和安全系数 $[s_n]$ 根据振动系统的具体方案确定。

在进行强度、刚度和发热的验算时, 通常用实际安全系数 s 和许用安全系数 $[s]$ 对比来评价工作能力, 其条件为

$$s \geq [s] \quad (1.11)$$

上述计算带有限定的性质。然而, 随机量载荷参数和强度特性值都是在一定的范围内变动的。只有进行大量的观察, 并用数理统计的方法对观察结果进行处理, 才能据此可靠地确定这些量。有了这类数据, 就可以在安全系数给定时确定所设计的零件的损伤概率(见第二章)。

计算简图和强度安全系数的选择 零件的运行质量取决于计算简图与真实受载情况的近似程度。如果在计算简图中难于复现真实的载荷体系, 那么就只好采用近似的计算简图(图1.5), 但是要使用可靠的计算工具。这时要用修正计算载荷或许用应力的办法来弥补所得到的不一致性。因此, 计算简图、计算方法和强度安全系数的选择是一个彼此有联系的问题。如果计算简图非常近似, 在计算载荷中没有考虑可能出现的过载, 由计算方法得到的应力值也是近似的, 材料特性值的确定也不准确, 那么就应当把安全系数取得大一些。零件结构的合理程度也与计算安全系数 s 的正确确定和许用安全系数 $[s]$ 的正确选择有关, 如果无根据地选取 $[s]$ 值并将它取得过高, 就可能做出不经济的结构, 但是如果把它取得过低, 又会使结构不够牢固。

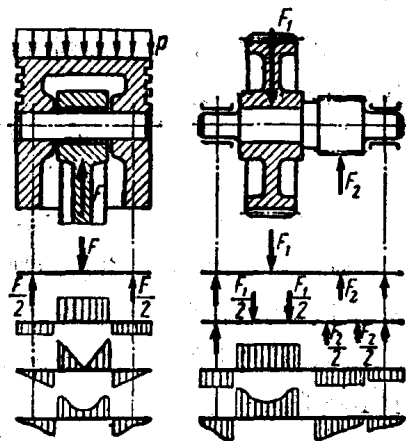


图1.5 受载简图的选取

最简单的是标准的安全系数确定法, 这时, 对各项强度安全系数和许用应力都作了详细而严格的规定, 同时也对计算方法预先作了说明(例如, 在设计起重机械的专用零件和结构如钢丝绳、吊钩、制动器等时, 就用这种方法)。许用强度安全系数通常是若干个系数的乘积:

$$[s] = [s_1][s_2][s_3] \quad (1.12)$$

式中的系数是: $[s_1]$ 考虑材料的可靠性(机械性能的均匀性, 内部缺陷的存在); $[s_2]$ 考虑零件的重要程度(工作条件); $[s_3]$ 考虑计算的精确性。

系数 $[s_1]$ 要根据大量试验结果的处理来确定。对于用锻件或轧制件制成的零件, 可大致取 $[s_1] = 1.05 \sim 1.10$; 对于铸造零件, 可大致取 $[s_1] = 1.15 \sim 1.2$ 。系数 $[s_2]$ 的估计是困难的, 因此它的数值可以规定为: $[s_2] = 1.0 \sim 1.3$ 。系数 $[s_3]$ 取决于计算简图与零件的实际工作条件的一致程度, 平均可取 $[s_3] = 1.2 \sim 1.3$ 。如果采用各部分系数的推荐值, 则钢制零件的强度安全系数为 $[s] = 1.20 \times 1.30 \times 1.30 \approx 2.0$ 。