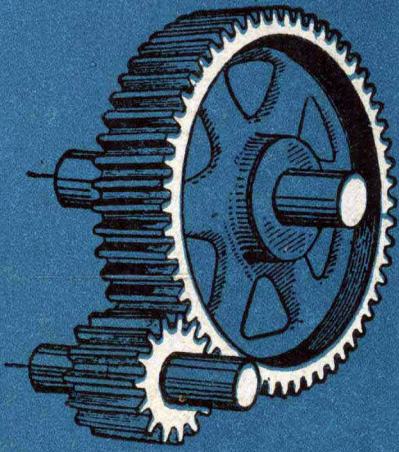




机械零件

上册

許鎮宇 朱景梓 郑林庆 徐 灏

郭可謙 刘孝乾 丘宣怀編

許鎮宇 主編

高等教育出版社

高等学校教学用书



机 械 零 件
上 册

許鎮宇 朱景梓 郑林庆 徐 灏
郭可謙 刘孝乾 丘宣怀編

高等教育出版社

本書是根据中华人民共和国前高等教育部 1956 年批准的高等工业学校机械类各专业适用的“机械零件”教学大纲编写的,另外又添入了“起重机械零件”一章。编写时还参考了苏联高等教育部 1957 年批准的“机械零件”教学大纲,并且也考虑了 1958 年大跃进以来在各高等学校中进行教学改革运动时,对过去这门教材所提出的意见,以及苏联各高等工业学校对“机械零件”课程辩论总结中所指出的各种问题。

全书内容分为六篇:第一篇总论;第二篇联接;第三篇传动;第四篇轴及其联接;第五篇轴的支承;第六篇其他零件。为了能及时配合各学校 1959 年秋季开学时使用,本书初版分为上、下两册出版。上册包括第一篇及第二篇,共七章。

参加本书编写的有:朱景梓、刘孝乾(设计计算总论,心轴与转轴);徐灏(齿轮、蜗轮、减速器,键);郭可谦(螺纹联接,键、多槽、无键、楔、弹性环和销钉联接,起重机械零件);郑林庆(滑动轴承);许镇宇、丘宣怀(其他各章);由许镇宇担任主编。

本书除适合于高等工业学校机械类各专业作为教学参考书外,还可供工厂设计科和设计机关中的工程技术人员参考。

机 械 零 件

上 册

许镇宇 朱景梓 郑林庆 徐 灏

郭可谦 刘孝乾 丘宣怀编

许镇宇主编

高等教育出版社出版 北京宣武门内承恩寺 7 号

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 054 号)

京华印书局印装 新华书店发行

统一书号 15010·822 开本 787×1092¹/₃₂ 印张 14

字数 301,000 印数 8,061—15,000 定价 (7) 1.30

1959 年 9 月第 1 版 1960 年 8 月北京第 2 次印刷

序

編写本書所根据的文件是：

1. 中华人民共和国前高等教育部 1956 年批准的高等工业学校机械类各专业适用的“机械零件”教学大綱；
2. 苏联高等教育部 1957 年批准的高等工业学校机械类各专业适用的“机械零件”教学大綱。

在編写过程中还通盘考虑了自 1958 年第二次教学改革以来对过去教学和教材所提的意見，以及苏联各高等工业学校的机械零件教研組对机械零件課程的辯論总结中所指出的各方面問題(見苏联“高等教育通訊”1957 年第 6 期)。

对于这本教材作者們还有下列一些說明：

1. 使用本書时应同时发給学生零件手册或其他有关的补充資料。作者們認為，作为教科書來說过多地編入这部分內容是不恰当的，所以为說明問題所必需的資料、数据都尽可能放入每章后的附录以內；
2. 書中較次要的內容都用小号字排印；
3. 鉚釘联接、楔联接、斜鍵的应力分析等內容，其取舍問題还在爭論中，本書中仍保留下来，但大部分已印成小号字；
4. 本書中增添“起重机械零件”一章。因为目前我国各高等学校的机械类各专业大部分都取消了“起重机”这一門課，而起重机零件在“起重机”这門課独立講授以前一向是包括在“机械零件”这門課程之內的。为了补足这方面知識的欠缺，所以添入了这一章；
5. 書中大部分引用的是苏联标准。我国在机械工程方面已頒布的国家标准尚不多，截至本書付印时只公布了“紧固件”部分，所以这一版中只引用了这一部分。

作者們热誠地欢迎讀者对本書提出批評和意見，以便使內容更趋完善，更能符合教学的实际需要。作者們对提出意見和批評的諸同志謹先致衷心的謝意。批評和意見請寄北京高等教育出版社轉。

作 者

1959 年 4 月

基本符号表^①

A —中心距, 軸向力
 b, B —寬度
 c, C —系數
 d, D —直徑
 E —縱向彈性模數
 f —摩擦系數
 F —橫剖面面積
 G —橫向彈性模數
 h, H —高度
 H_B —布氏硬度
 H_{RC} —洛氏硬度
 i —數目
 I —剖面的軸慣性矩
 I_K —剖面的極慣性矩
 k, K —系數
 k_σ, k_τ —有效應力集中系數
 l, L —長度
 m —系數、質量
 M —力矩
 M_K —扭矩
 n —轉速、安全系數
 N —功率
 N, Q, P —作用力
 p —壓力強度(比壓)
 r, R —半徑
 t, T —時間、溫度
 v, V —速度
 W —彎曲時的剖面模數、重量
 W_K —扭轉時的剖面模數
 x, y, z —點的坐標, 坐標軸符號
 z —個數
 $\alpha_\sigma, \alpha_\tau$ —應力集中系數
 α, β —角度、系數
 γ —角度、比重
 δ —厚度
 ε —應變
 η —效率
 θ —角度
 λ —變形量

μ —泊松系數、精度
 ρ —摩擦角、曲率半徑
 σ —法向應力
 σ_H —名義法向應力
 σ_p —拉應力
 σ_u —彎曲應力
 $\sigma_{c\sigma}$ —壓應力
 σ_{cM} —擠壓應力
 $[\sigma]$ —許用法向應力
 $[\sigma]_p, [\sigma]_u, [\sigma]_{c\sigma}, [\sigma]_{cM}$ —許用拉、彎曲、壓、擠壓應力
 σ_d —強度限(瞬時阻力)
 $\sigma_{dp}, \sigma_{du}, \sigma_{dc\sigma}$ —拉伸、彎曲、壓縮時的強度限
 σ_T —屈服限
 σ_{-1} —對稱循環時的彎曲耐久限
 σ_0 —脈動循環時的彎曲耐久限
 $(\sigma_{-1})_k$ —對稱循環有應力集中時的彎曲耐久限
 $(\sigma_{-1})_{kd}$ —對稱循環有應力集中並計入尺寸影響時的彎曲耐久限
 σ_m —循環的平均應力
 σ_a —循環的應力幅
 τ —切向應力
 τ_{cp} —剪應力
 τ_K —扭應力
 $[\tau]$ —許用切向應力
 $[\tau]_{cp}, [\tau]_K$ —許用剪應力和許用扭應力
 τ_T —剪切時的屈服限
 τ_{-1} —對稱循環時的剪切耐久限
 τ_0 —脈動循環時的剪切耐久限
 $(\tau_{-1})_k$ —對稱循環有應力集中時的剪切耐久限
 $(\tau_{-1})_{kd}$ —對稱循環有應力集中並計入尺寸影響時的剪切耐久限
 τ_m —循環的平均應力
 τ_a —循環的應力幅
 φ —角度、系數
 ω —角速度
 ψ —系數
 ψ_σ, ψ_τ —表示材料對循環不對稱性的敏性系數

① 本表所列符號, 只限於一些常見的符號, 其他一些特殊的、比較少見的符號則沒有包括在內, 但在初次出現時都加以說明——編者注。

目 录

序	lii
基本符号表	iv

第一篇 总論

第一章 緒論	1
1. 机器制造业在国民經济各部门中的作用。 我国机器制造业的发展情况	2
2. 机器构造发展的主要方向	3
3. 机械零件課程的任务	4
第二章 設計計算总論	6
1. 概論	6
2. 机器零件的强度及計算准則	7
3. 机器制造业中許用应力的選擇	41
4. 机器零件必須滿足的其他要求及計算准則	44
5. 机器制造业中常用的材料和 選擇材料的原则	47
6. 关于互換性、公差及配合的簡單概念	53
7. 机器零件的标准化	58
8. 机器零件的工艺性	61
附录	64

第二篇 联接

联接总論	69
第三章 鉚釘联接	72
1. 概論	72
2. 鉚釘	73
3. 鉚接結構所采用的材料	75
4. 鉚接的工艺过程及其对鉚接質量的影响	75
5. 鉚接計算的前提	76
6. 强固鉚縫的构造和計算	81
7. 密固鉚縫的构造和計算	85
附录	88
第四章 焊接	90
1. 概論	90
2. 焊縫的主要式样	91
3. 焊接結構中所采用的材料, 焊条	95
4. 焊接工艺对焊縫質量的影响	96
5. 焊縫的强度計算	98
6. 焊接在各生产部門中的应用	104
附录	111
第五章 过盈配合联接	113
1. 概論	113
2. 压合联接的装配工艺	114
3. 摩擦和摩擦系数	115
4. 压合联接的計算	117
5. 受弯曲作用的压合联接	121
6. 压合联接的合理結構	121
7. 扣紧件联接的計算	122
第六章 螺紋联接	123
1. 螺紋	123
2. 螺紋联接的主要类型	131
3. 螺母、垫圈、防松装置、扳手和起子	142
4. 螺紋联接的計算	151
5. 螺栓組联接的計算	167
6. 螺紋联接的許用应力	174
7. 影响螺紋联接强度的因素和 提高强度的措施	175
8. 螺旋傳动	182
第七章 鍵、多槽、无鍵、楔、彈性环和銷釘联接	190
1. 鍵的分类、构造和应用	190
2. 鍵联接的選擇和計算	197
3. 多槽联接	201
4. 无鍵联接	205
5. 彈性环联接	207
6. 楔联接	208
7. 銷釘联接	215

第一篇 总論

第一章 緒論

人类远在上古时代就制造和利用了简单的机械及机器零件。簡單紡織机械的利用，在我国可以追溯到三千年以前；古埃及、希腊和古羅馬在修建金字塔及其他建筑物中也曾利用了杠杆、楔、滾子等零件。

从亚里士多德的著作中知道，紀元前 350 年就有关于齿輪的記載。文艺复兴时代意大利的偉大艺术家、数学家、力学家兼工程师列奥拿尔德·达·芬奇曾研究过滑輪、杠杆、天平以及齿輪的齿形和差动輪系等問題，并获得了相当的成就。

不过关于机器制造和設計的成系統的科学是在十九世紀中叶才形成的。当时这門科学籠統地叫做“机械学”或“机器构造学”。它包括了很多性質相近的近代課程，如理論力学、材料力学、机械零件、机器制造工艺学、起重机、內燃机、蒸汽机等。以后，由于生产的发展以及知識和經驗的积累，大大地丰富了这一門科学的内容，才使它有可能发展成为許多独立的科学部門。

“机械零件”就是从机械学这样一門总的課程中分离出来的。1882 年俄罗斯的基尔比巧夫(В. Л. Кирпичев)教授編写的“机械零件”教程在彼得堡出版，才第一次为这門科学奠定了基础。

以后机械零件这門科学在各国都有不同程度的发展。到目前为止，它不仅拥有大量的一般著作，而且还拥有极其丰富的專門論文、专著以及手册、图集、工厂规范、标准等等。

我国古代人民在机器零件方面的創造和发明，也同其他文化方面的成就一样，具有悠久和輝煌的历史。

在商朝时就有了利用杠杆制成的汲水工具——桔槔。周朝时便有人利用卷筒原理制成轆轤。汉灵帝(166—189 年)时所制的翻車(水利方面用的)已具有近代搬运鏈的雛形。齿輪的应用，由古物考証，不晚于汉朝；三国时魏国博士馬鈞所制的指南車以及晋書所記載的記里鼓車中均应用了輪系的傳动。汉朝的張衡在他的候風地动仪中利用杆的傳动而得到巧妙的自动机构。元朝的黃道婆把曲柄、滑块、飞輪等零件用在紡織机上。此外，在凿盐井时利用繩輪以及在水碓上利用凸輪，都至少有了一千八百年以上的历史。

由于长期的、殘酷的封建統治和百余年来帝国主义的入侵，使我国科学技术的发展受到了严重的摧殘。解放以前的几十年間，反动統治階級也一向不注意发展祖国的科学和工业；而帝国主义者又力图奴役我国，极力阻撓它的发展，因而使我国在科学技术方面长期处于落后状态。

只是在人民政权建立以后,机械零件这门科学才象其他科学一样,在我国有了广阔的发展前途。国家对于经常使用的零件,如轴承,已建立了专门的研究机构;机器零件的全盘标准化工作,在中华人民共和国科学技术委员会的领导下,也正在紧张地进行,对于部分零件已颁布了国家标准。随着我国机器制造业的发展,完全可以预料,在不久的将来,机械零件这门科学将具有空前丰富的内容。

1. 机器制造业在国民经济各部门中的作用·我国机器制造业的发展情况

解放以前,我国在帝国主义、封建主义和官僚资本主义三重压榨下,生产很落后,国民经济非常薄弱,工业地区绝大部分分布在沿海几个大城市。这种畸形的、落后的、薄弱的工业基础,完全描绘出了半封建半殖民地的旧中国的情景。我国在刚解放的那年,即1949年,作为国民经济发展主要标志的现代工业,在工农业总产值中只占17%,而且主要是轻工业。重工业不但比重很小,并且大多数是帝国主义国家在中国的修理厂,或是为帝国主义国家提供原料和半成品的矿山和工厂。这种缺乏重工业基础而造成国民经济十分落后的状态,使我国百年来国弱民穷,受尽了帝国主义的压迫和剥削。

解放以后,工人阶级掌握了政权。独立、自由、民主、统一的国家实现了,发展祖国工业也就有了可能。为了保障人民的胜利果实,为了增进人民的幸福,为了在我国建成社会主义社会,我们更迫切要求实现社会主义工业化。毛主席曾说过:“没有工业,就没有巩固的国防,就没有人民的福利,就没有国家的富强”。

作为重工业心脏的机器制造业,解放以后得到了高速度的发展。因为只有高度发展的机器制造业才能供给各生产部门以大量价廉的、生产率高的、使用可靠的各种机器,从而可以大大提高各工业部门的生产能力。党中央在1958年五月召开的八大二次会议提出的技术革命的主要任务中曾指出“使一切能够使用机器的劳动都使用机器”、“在尽可能地采用世界上最新的技术成就的同时,在全国的城市和农村中广泛地开展改良工具和革新技术的群众运动,使机器操作、半机械操作和必要的手工劳动适当地结合起来”。由此可见,用机器代替人力劳动是技术革命的中心任务之一。

目前我国的机器制造业已具备了比较完整的体系。冶金设备、远洋轮船、喷气式飞机、中型水电站设备、程序控制机床、精密计量仪器、大型机床等等重型、大型、精密、尖端的产品都已能够设计和制造,部分产品已达到或接近国际水平,某些产品甚至超过国际水平。

1958年党中央结合我国具体情况提出了多快好省地建设社会主义的总路线,其中对我国工业化的方针作了明确规定。同年12月在党的八届六中全会上对我国进行经济建设的经验又加以总结。总括说来,党在工业建设上的方针是:在优先发展重工业的基础上,工业和农业同时并举,重工业和轻工业同时并举,中央工业和地方工业同时并举,大型企业和中小型企业同时并举,洋法生产和土法生产同时并举,在工业战线上集中领导和群众运动相结合,在目前时期以钢为纲和全面跃进相结合。这一整套方针是两条腿走路的方针。在工农业关系上既要保证同时并举,又要保证工业的主导作用;在工业内部既要保证重工业和轻工

业同时并举，又要保证重工业对轻工业的主导作用。因为它正确地反映了我国的实际情况和客观经济规律的要求，辩证地解决了各种不同的矛盾，所以具有强大的生命力。1958年我国在工业战线上取得的伟大胜利，主要是贯彻了这套方针的结果。

机械工业也由于贯彻了党中央的两条腿走路的一整套方针，自1958年起在全国普遍展开了以技术革命为中心的群众运动，因而大大地解放了生产力；出现了一个轰轰烈烈的全民办机械工业的新形势。

用“小土群”的办法来办机械工业，不仅形成一个声势浩大的群众运动，同时与“大洋群”结合起来能形成一个大中小相结合的机械工业网。这样一来，毛主席所指示的“在一切能使用机器的地方统统使用机器”这个任务就可以加速实现。

1958年比1957年我国的机床产量增长了79%而达到了五万台(不包括简易机床)，这种增长速度是史无前例的。

贯彻了党的两条腿走路的一整套方针，1959年在机械工业方面不但有可能继续跃进，而且完全可以相信会跃进得更好。

2. 机器构造发展的主要方向

在社会主义的经济中，机器是利用自然力以造福社会、减轻体力劳动和提高生产率的主要工具。机器的生产水平和技术水平是衡量一个国家工业化程度的明显指标。

随着运转和生产所提出的新要求，随着新材料、新工艺方法以及科学上新发明的出现，机器的结构也在不断改善中。

运转和生产方面对机器所提出的主要要求是：对于工作机械要求有高的生产率；对于发动机则要求大的功率；此外，还要求机器的运转可靠、操作简单而且造价低廉等等。

提高机器生产率和增大功率的最有效方法就是提高生产速度和生产过程的自动化。高度自动化、高速以及伴随而来的高压、高温可以说是现代机器制造业的基本特点。

由下列的几个数字可以看出在近几十年间在提高机器速度方面所作的努力：世界上汽车的最高速度在1895年是每小时106公里，而现在是850公里；切削速度(钢制零件)在1850年是每分钟5米，而现在的高速切削每分钟可达到2000米；轧制钢带的速度在1925年是每秒0.3米，而1950年已达到30米。其他类似的例子不胜枚举。

如果机器的功率维持不变，提高速度就意味着减轻重量和节约金属，这对社会主义经济建设具有重大的意义。

减轻机器重量以节约金属可以通过不同的方法，例如提高材料的机械性能、改善机器结构、提高转速等。在改善机器性能的前提下减轻机器重量，是现代机器结构的主要发展方向之一。减轻机器重量就意味着用同等数量的原料生产出更多的机器，当然重量得到减轻则材料费用及相应的加工费用还都可以降低。对于运输工具(如飞机、汽车等)来说，减轻重量还可以提高它的载重量，也就是提高了它的生产率。

从材料消耗这个角度来比较同型式的机器构造的优劣时，常采用所谓“比重量”这一指

标。比重量就是机器或工具每单位功率(或載重量)所占有的重量。以螺絲車床为例, 1875年每千瓦功率的平均重量是 680 公斤, 到 1949 年則已降低到 240 公斤。

以上所指出的机器制造的总的发展趋向决定了以下机器构造的发展特点:

1) 用迴轉运动机构代替往复运动机构——在往复运动的机构中常常不能避免有不作功的行程, 因而使生产時間受到損失; 又由于慣性作用, 往复运动机构不宜在很高速度下工作。所以現代的机器总是設法用連續工作的迴轉运动机构代替往复运动机构。例如在高速大功率时, 就用蒸汽透平代替了蒸汽机; 用离心式、齿輪式、叶片式水泵代替活塞式水泵; 用透平压气机代替活塞式压气机; 用迴轉式鑽孔机代替冲击式鑽孔机等等。当然, 这部分工作离实际可能还差得很远。举例來說, 掘土用的主要机器还是鏟式掘土机; 織布用的主要机器还是往复梭的織布机, 其他类似的例子还很多。不过在所有各种机器制造部門中都已经深刻体会到, 用連續工作的机器代替間歇工作的机器将是提高生产率的一个主要方法。

2) 采用了組装的构造——組装的机器在最近二十年中愈来愈得到重視。在这以前, 把机器分成几部分只是为了制造、运输和装配上的理由, 而現在却把它看成是提高机器的經濟和运转指标的重要方法。采用組装的结构可以用为数不多的組件装配成不同用途的各种机床, 每个組件都可以在总装以前进行装配、試車, 因此使配装和檢修的工作大大簡化。此外, 采用組装构造对于各組件的設計、制造和提高質量等方面还有很大好处。

3) 采用了多种的傳动方式——不久以前由原动机到各工作机构間的能量傳遞还主要采用机械傳动方式, 但現在除去机械傳动以外又广泛采用了电傳动、液力傳动、气力傳动等等。采用这些傳动就可以簡化控制系統, 因而为机器的自动控制和远程控制創造了有利的条件。沒有这些种傳动方式, 生产自动化的实现是难以想象的。

3. 机械零件課程的任务

机器、设备、仪器及其他装置中的独立組成部分和它們的联接叫做机器零件。

每个零件常可划分成更小的組成部分, 这些更小的組成部分是构造上最基本的單位, 叫做元件。例如鉚釘联接算是零件, 但它还可細分为鉚釘、角鋼、鋼板等組成部分, 这些就是鉚釘联接的元件。鉚釘联接, 作为机械零件的課程內容之一, 不只是一要研究其中各个元件, 而更主要的是研究用鉚釘所完成的这个联接。

由于运转、维护或其他方面的理由, 几个零件在机器的构造上結成一体, 叫做部件或組合。例如, 机器中常見的滚动軸承組合就是由滚动軸承、螺栓联接、油封等零件組成的。在鋼結構中把組合叫做节点。

在机器或装置中, 由較多零件組成的在构造上和作用上自成一系統的可分离部分叫做組件。例如机器或装置中的減速箱、汽車中的发动机都可算作組件(組件也叫做机組)。

机器零件可分为普通的和特殊的两类。

普通零件是在各不同类型的机器中都可遇到并完成同一任务的零件, 如齿輪傳动、螺栓联接等; 特殊零件則是只适用于一定类型机器的零件, 如曲軸、活塞、汽輪机叶片等。机器零

件課程只研究普通機器零件，特殊的機器零件則在有關的專業課程中講述。

機械零件課程的內容是從強度、構造、維護和工藝等觀點來研究普通零件，以達到能正確設計這些零件的目的。其中包括如何賦予零件以最適當的外形和尺寸，如何選擇所需的材料、精度等級、表面質量以及如何規定製造上的技術條件等等。

機械零件這門科學與下列課程有密切關係：1)理論力學和機械原理，用這兩門課程中的知識以求出作用在零件上的力和零件的運動規律；2)材料力學，用這門科學的知識來計算零件的強度、剛度和穩定性；3)金相學，給合理地選擇材料奠定基礎；4)金屬工藝學；5)機械制圖。

機械零件課程是介乎普通技術課與專業課之間的聯繫環節，學生必須在學完上述課程以後才能在這些課程的基礎上學習機械零件。學生學習機械零件時，不但要用他們以往所學到的理論知識，而尤其重要的是必須把理論知識運用到實際的零件設計工作中去。當他們設計一具體的零件時，就不再停留於純粹的理論計算，而要考慮與實際生產有關的一系列問題。所以學了這門課程，不僅使學生能領會理論是如何與實際相結合的，同時也領會了作為一個工程師應如何地提出問題和解決問題。

第二章 設計計算總論

1. 概論

設計師所設計的機器必須滿足技術條件上所規定的各種要求，這些要求是：機器的生產率和工作速度、造價和運轉費用、重量特征、預定的使用期限等。在某些場合下還可能提出一些附加的要求，例如：外廓尺寸和運輸的可能性（如鐵路貨車對機器外廓尺寸的限制等）、轉動的均勻性、工作時無噪音、操作簡單方便、外形美觀以及安全可靠等等。

對每個零件也將提出下列一些要求，例如強度、剛度、工藝性、消除不允許的強烈振動、耐磨性、耐熱性以及選擇來源豐富和價格低廉的材料等等。

在這些要求中可以分出這樣一類來，如果它們得不到滿足，機器就不能正常地工作，因此應當把它們看作是判斷其工作能力的基本準則。屬於這類的有：必需的和足夠的強度（體積強度和表面強度）、剛度，對於很多零件還有：不發生強烈振動（抗振性）及耐熱性等。

為了保證符合這些基本要求，就要對強度、剛度和彈性振動等進行計算。這些計算的基本準則中最主要的將在下面加以討論。

因為在設計過程中必須使所設計的零件最合理，所以常需擬定幾個設計方案，並把這些方案進行評比，然後選用其中最合理的一個。

設計計算和校核計算 目前設計機器零件有兩種設計方法：

第一種方法的設計程序是：1)繪制計算用的草圖，圖中零件的結構形狀、與其他零件的聯接方法和施加於零件上的力（採用集中力、或採用按給定規律分布的均布力，或採用按假定近似規律分布的均布力）都盡量地簡化；2)確定作用在零件上的載荷大小；3)根據物理和機械性質（其中也包括加工性）選擇材料，並考慮經濟因素（材料的價格，是否易於獲得等）；4)按照工作能力準則（在所給條件下是最主要的）決定零件的計算尺寸，並把這些尺寸取成實用的標準尺寸，這時所完成的計算就叫做設計；5)在部件裝配圖中繪出零件來，然後繪制零件的工作圖，這時，要擬出零件的詳細結構，並在工作圖上注明全部尺寸、公差、表面光潔度等級和特殊的技術條件等。

上述設計程序看來似乎是完全合理的，而且也的確解決過很多問題。但是，在設計時使用這種方法往往要遇到很多困難，而且在使用時也不太方便，因而這種方法實際上只能用於簡單的（指零件的形狀和載荷的性質而言）場合下。這可用下面的原因來加以解釋。

剖面中產生交變應力是機器中最典型的受載狀況，在這種情況下材料的某些機械性質（如耐久限）並不是一個不變的量，而是隨着零件的絕對尺寸、形狀和其他因素變化的。

由此可見，上述設計程序就不一定是很恰當的，因為只有在知道了零件的形狀和絕對尺寸以後，才有可能定出合乎實際情況的應力集中系數和耐久限等數值，然後才可談到正確的計算。

有鉴于此，零件的設計往往按另一种設計程序进行(第二种方法)：1)利用某些簡單的計算公式并根据部件的构造关系初步选定零件的尺寸和形状；2)按工作能力的基本准则进行驗算，也就是对于所选的零件材料求出計算剖面(危險剖面)內的安全系数、变形(撓度、扭轉角)和临界轉速等。

用这种方法能够較快地求出合理的方案，因为在初步选定零件的尺寸和形状时，設計者就可能考虑到对所設計的零件提出的各种綜合要求。因此在現代的实际設計工作中，偏重于采用这种方法。

机器零件計算的發展趋势 机器零件的理論和計算方法的发展，在极大程度上决定于世界範圍內的动力学、强度、摩擦和磨損以及热傳遞等有关科学方面的研究工作的进展，这方面以苏联的貢獻为最大。

就目前情况来看，机器零件計算方法发展的基本趋势具有以下几个特点：1)更加精确地确定計算載荷(动力載荷、載荷随時間分布的規律等)；2)由按半經驗公式进行計算系統地过渡到按零件真实的工作能力准则进行計算；3)准确地构成計算方案；4)在計算中引入時間因数和考虑工作情况的变动等。

2. 机器零件的强度及計算准则

机器運轉过程中，在施加于零件上的載荷作用下，如果零件的强度不够，則必然会引起过大的殘余变形，或者甚至使机器零件遭到破坏。

在很多情况下都不允許产生殘余变形，因为零件尺寸的变化可能会破坏机器中相互作用部分的正常工作，或者改变部件中各零件的联接特性等。

在机器的使用过程中，能看到断裂性的損坏，但更多的則是零件工作表面的損坏，如疲坑(疲劳剝損)、磨損(擦伤)等。

在机器的規定使用期限內絕對不允許零件提前断裂。同样，如果机器零件的工作表面在这一期間內发生递增性疲劳剝損也是不允許的。

由此可見，为了保証所設計的零件具有必要的和足够的强度，应当在避免发生过大的殘余变形、过早的断裂和表面損坏等前提下来确定它的尺寸和形状。

常用的判断零件强度的方法有两种。其一是比較計算剖面处的名义应力(σ , τ)与許用应力($[\sigma]$, $[\tau]$)；这时强度条件可以写成

$$\sigma \leq [\sigma] \quad \text{或} \quad \tau \leq [\tau];$$

而

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{nped}}{[n]}, \quad [\tau] = \frac{\tau_{nped}}{[n]};$$

式中， σ_{nped} 和 τ_{nped} ——分别表示法向应力和切向应力的极限应力，視材料的性态而定(塑性或脆性)； $[n]$ ——許用安全系数。

另一方法是比較計算剖面处的实际安全系数和許用安全系数，这时强度条件可写成

$$n_o \geq [n] \quad \text{或} \quad n_t \geq [n],$$

此处

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{nped}}{\sigma}$$

$$n_{\tau} = \frac{\tau_{nped}}{\tau}$$

显然,这两种方法分别与第一、二种计算方法相对应,而如前所述,后者是比较合理的。但由于研究数据还不够充分,目前后一方法还不能用于所有零件的计算,因而两种方法在机器零件的设计计算中都有应用。以下对两种方法都将作一简单介绍,但偏重于后者。

必须指出,要想提高零件的强度、降低零件的重量、采用具有新的机械性能的材料,以及利用对零件性质有重大影响的工艺过程,就必须采用现代的强度计算方法,因为它广泛地运用了关于零件在静载荷和交变载荷作用下承载能力的最新概念。

在静应力状态下,如把根据弹性理论按条件的(假定的)许用应力来计算零件强度的方法改成运用塑性理论按极限载荷来计算强度的方法,则对于提高强度和降低重量有很大的作用。

在交变应力的情况下,零件的强度受很多因素的影响,如:应力集中、绝对尺寸、表面层的状态、周围介质、表面强化工艺和机器的运转条件等。广泛地运用关于零件疲劳破坏条件的最新概念以及零件剖面上实际应力分布状况的数据,特别是应用在不稳定交变应力情况下的研究成果,就可以近似地计算出零件的实际承载能力,从而可以拟制出从构造上和工艺上来提高零件耐疲劳强度的措施。

载荷和应力的类型 到现在为止,公认的载荷分类法实质上还没有建立起来。

作用在零件上的载荷和相应的应力,随着工作情况的不同可以具有各种不同的数值和随时间变化的特性。

按照随时间变化的特性,载荷和应力可分为:

1) 静载荷和静应力——如载荷和应力长期地作用于零件上,并且在加载和卸载期间改变得很缓慢,则这种载荷和应力就叫静载荷和静应力。属于这类载荷和应力的有:零件的自重、离心力、静水压力、装配时的扣紧力等等。

大家都知道,静载荷在零件内部不仅可以引起静应力,还可以引起随时间变化的交变应力。例如,当轴在方向不变的静载荷作用下转动时,剖面上所发生的应力是随时间变化的。又如滚动轴承在静载荷作用下工作时,轴承的内外环和滚动体都受到随时间变化的交变应力的作用。

2) 交变载荷和交变应力——随时间重复且周期性变动的载荷和应力叫做交变载荷和交变应力。例如,活塞式机器、锻压设备、金属切削机床、汽车拖拉机以及农业机器上的某些零件承受的就是这种载荷和应力。交变载荷可以是按照一定规律周期性变化的,也可以是随偶然因素变化的(如汽车、列车、拖拉机等行驶部分的零件),后者可以用统计规律来表征。

3) 瞬时载荷——在很多情况下,作用于零件上的力由于陡振、冲击和压力急剧增高等原因而随时间很快地增大,在极短时间内完成整个循环的变化,这种载荷叫做瞬时载荷或冲击载荷。对于这种载荷和所引起的应力,不仅最大值很重要,它随时间增大的速度也很重要。

显然,在机器工作时,可能有各种情况不同的载荷和应力同时作用。比如交变应力常与静应力联合作用,而短时作用应力又常常周期地与連續作用的交变应力相复合等等。

材料力学中已經講过,应力状态可以分成三种类型:

1) 单軸向应力状态——又叫做綫应力状态,这时只有一个主应力不等于零。例如剖面不变或改变很慢的杆件承受拉伸、压缩和弯曲时所发生的应力状态就属于这种类型。

2) 双軸向应力状态——又叫做平面应力状态,这时有两个主应力不等于零。属于这类的有:杆件受扭轉时、薄壁容器承受压力时以及梁同时承受拉伸和扭轉时等。

3) 三軸向应力状态——又叫做空間应力状态,这时三个主应力都不等于零。例如:厚壁容器承受很高的內压力时、互相压紧的表面处的应力状态、零件与軸的压入配合处的应力状态等等。

設計零件时,正确地确定計算载荷和相应的应力状态是非常重要的。所以在很多情况中,必須綜合考虑零件在工作中可能受到的各种不同载荷和相应的应力状态,例如起动、制动、正常運轉、可能引起的短时过载及振动等。

应力集中 大家都知道,根据名义应力計算不可能确定所設計零件的危險地区的真实应力状态。

机器零件的形状一般都是比較复杂的,其上有:过渡剖面、沟槽、横孔或压入配合等。这些应力集中的策源地能引起远較名义应力大得多的局部应力。

为了正确判断零件的强度,在很多場合下都必須計入局部应力。局部应力有以下的特点:1)最大局部应力可能超出名义应力很多;2)最大局部应力由应力集中策源地很快衰减,換句話說,即有很高的应力梯度(应力梯度表征应力随剖面坐标而变化的速度)。

最大局部应力与名义应力的比值叫做**应力集中系数**,在彈性範圍內可用下式确定:

$$\alpha_{\sigma} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma}, \quad \alpha_{\tau} = \frac{\tau_{\max}}{\tau}, \quad (2-1)$$

式中, σ 和 τ ——名义应力。

表征零件形状对集中区域应力分布影响的系数 α , 其大小并不能作为由于局部应力的存在而使强度降低的标准。强度的降低实际上不单純取决于切口的形状,并且与零件材料的性态、载荷状况等有很大关系。因而强度的降低常用所谓**有效应力集中系数**(k)来估計。

受載条件相同和絕對尺寸相同的平滑試件与有应力集中的試件两者极限应力的比值叫做**有效应力集中系数**。承受靜载荷时,可以写成

$$(k_{\sigma})_s = \frac{\sigma_s}{\sigma'_s} \quad \text{和} \quad (k_{\tau})_s = \frac{\tau_s}{\tau'_s}, \quad (2-2)$$

式中, $\sigma_s, \tau_s, \sigma'_s, \tau'_s$ ——分別表示平滑試件与有切口試件的强度限。

在塑性状态的材料承受靜载荷时,应力集中并不会降低其承载能力。因为超过屈服限以后,剖面上的应力将重新分配,使应力高峰得到減緩。同时,在应力集中的区域内,由于强化作用,其强度增高。所以对于受靜载荷的在塑性状态的零件,在計算其强度时可不考虑应

力集中。

对于引起随時間变动的交变应力的載荷,有效应力集中系数

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_r}{\sigma'_r} \text{ 和 } k_{\tau} = \frac{\tau_r}{\tau'_r} \quad (2-3)$$

式中, $\sigma_r, \tau_r, \sigma'_r, \tau'_r$ ——分别为平滑試件与尺寸相同但具有应力集中的試件的耐久限。

有效应力集中系数 k 总是小于按弹性理論得出的理論应力集中系数 α 。換句話說,局部应力实际上是被減緩了的。試驗証明,这一現象与材料的塑性性質有关,塑性愈高,減緩得就愈显著。

为了在数量上估計 k 与 α 之間的差別,可引用所謂材料对应力集中的敏感性系数 q 。对于法向应力和切向应力,此系数用下面的比值来表示:

$$q_{\sigma} = \frac{k_{\sigma}\alpha_{\sigma} - 1}{\alpha_{\sigma} - 1}, \quad q_{\tau} = \frac{k_{\tau} - 1}{\alpha_{\tau} - 1} \quad (2-4)$$

当已知 α 和 q 时,可以按下式来計算有效应力集中系数 k 的数值:

$$k_{\sigma} = 1 + q_{\sigma}(\alpha_{\sigma} - 1); \quad k_{\tau} = 1 + q_{\tau}(\alpha_{\tau} - 1) \quad (2-5)$$

如果 $q_{\sigma} = 0$ 和 $q_{\tau} = 0$, 則 $k_{\sigma} = 1$ 和 $k_{\tau} = 1$, 即在这种情况下,材料对应力集中无敏感。如果 $q_{\sigma} = 1$ 和 $q_{\tau} = 1$, 則 $k_{\sigma} = \alpha_{\sigma}$ 和 $k_{\tau} = \alpha_{\tau}$, 即材料对应力集中十分敏感。

靜应力情况下的強度問題

各种材料在不同应力状态下的强度条件 材料在各种不同应力状态下对产生塑性变形的抵抗能力可用各种塑性条件来确定。

对于塑性显著的材料常采用最大切向应力学說和正八面体应力学說。

按照最大切向应力学說,当最大切向应力达到与單純拉伸相对应的屈服限时,开始产生塑性变形,即当

$$\sigma_1 - \sigma_3 = 2\tau_T = \sigma_T \quad (2-6)$$

时产生塑性变形。上式中的 σ_1 和 σ_3 为最大和最小主应力,其差之半为最大切向应力; σ_T 和 τ_T 为拉伸和剪切的屈服限。

試驗証明,采用正八面体应力学說与試驗結果更相符。

正八面体应力作用在法綫对三个主应力方向傾斜相同角度的平面上,这些平面上的切向应力等于

$$\tau_n = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

正八面体的剪切变形等于

$$\gamma_n = \frac{1}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}$$

