



高等学校試用教科書

机械零件

JIXIE LINGJIAN

(修訂本)

上册

西北工业大学等校編



人民教育出版社

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 ——拉壓彈性模數
 f ——摩擦系數
 F ——橫剖面面積
 G ——剪切彈性模數
 h, H ——高度
 H_B ——布氏硬度
 H_C ——洛氏硬度
 i ——某範圍內的任意數
 J ——剖面的軸慣性矩
 J_P ——剖面的極慣性矩
 k, K ——系數
 k_a, k_r ——有效應力集中系數
 l, L ——長度
 m ——系數、質量
 M ——力矩
 M_x ——扭矩
 n ——轉速、安全系數
 N ——功率
 N, Q, P ——作用力
 p ——壓力強度、單位壓力(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_P ——扭轉時的剖面模數
 x, y, z ——點的坐標, 坐標軸符號
 z ——個數
 $\alpha_\sigma, \alpha_\tau$ ——理論應力集中系數
 α, β ——角度、系數
 γ ——角度、比重
 δ ——厚度、斷裂伸長率
 ε ——應變
 η ——效率
 θ ——角度、角變形量
 λ ——長度變形量

μ ——波桑比、粘度
 ρ ——摩擦角、曲率半徑
 σ ——法向應力
 σ_n ——公稱法向應力
 σ_p ——拉伸應力
 σ_s ——彎曲應力
 σ_{cm} ——壓縮應力
 σ_{cn} ——擠壓應力
 $[\sigma]$ ——許用法向應力
 $[\sigma]_p, [\sigma]_s, [\sigma]_{cm}, [\sigma]_{cn}$ ——許用拉伸、彎曲、壓縮、擠壓應力
 σ_s ——強度極限
 $\sigma_{sp}, \sigma_{sn}, \sigma_{scn}$ ——拉伸、彎曲、壓縮時的強度極限
 σ_T ——屈服極限
 σ_{-1} ——對稱循環時的彎曲疲勞極限
 σ_0 ——脈動循環時的彎曲疲勞極限
 $(\sigma_{-1})_s$ ——對稱循環有應力集中時的彎曲疲勞極限
 $(\sigma_{-1})_{sd}$ ——對稱循環有應力集中並計入尺寸影響時的彎曲疲勞極限
 σ_m ——循環法向應力的平均應力
 σ_a ——循環法向應力的應力幅
 τ ——切向應力
 τ_s ——剪切強度極限
 τ_{cp} ——剪切應力
 τ_x ——扭轉剪切應力
 $[\tau]$ ——許用切向應力
 $[\tau]_{cp}, [\tau]_x$ ——許用剪切應力和許用扭轉剪切應力
 τ_T ——剪切時的屈服極限
 τ_{-1} ——對稱循環時的剪切疲勞極限
 τ_0 ——脈動循環時的剪切疲勞極限
 $(\tau_{-1})_s$ ——對稱循環有應力集中時的剪切疲勞極限
 $(\tau_{-1})_{sd}$ ——對稱循環有應力集中並計入尺寸影響時的剪切疲勞極限
 τ_m ——循環切向應力的平均應力
 τ_a ——循環切向應力的應力幅
 φ ——角度、系數
 ω ——角速度
 ψ ——系數、斷裂收縮率
 ψ_σ, ψ_τ ——表示材料對於應力循環的不对称性的敏感系數

① 本表所列僅為一些常見的符號, 其他一些特殊的、比較少見的符號則沒有包括在內, 但在初次出現時大都加以說明——編者注。

目 录

基本符号表	1
緒論	1
§ 1. 机械零件課程的性質、地位和任务	1
§ 2. 机械零件課程研究的对象、范围及內容。学习的目的和要求	1
§ 3. 机械設計在国民經济中的作用及其发展趋势	2
§ 4. 机械零件科学和机械零件課程的发展簡史	3

第一篇 总論

第一章 机械零件設計总論	6
§ 1-1. 設計机械零件时应滿足的基本要求	6
§ 1-2. 設計与設計的方法	8
§ 1-3. 一般的設計步驟	10
§ 1-4. 机械制造业中的标准化与规格化	10
参考书刊	11

第二章 机械零件的工作能力及其計算 准則	12
§ 2-1. 机械零件的强度	12
§ 2-2. 机械零件的刚度	35
§ 2-3. 机械零件的振动稳定性	36
§ 2-4. 机械零件的受熱問題	37
附录	38
参考书刊	40

第三章 机械零件的結構設計	41
§ 3-1. 鑄造零件結構設計要点	41
§ 3-2. 鍛造及冲压零件的結構設計要点	46
§ 3-3. 机械加工的特点对零件結構的影响	48
§ 3-4. 装配工艺对机械零件結構的影响	50
§ 3-5. 从結構設計方面提高零件强度的几点措施	52
§ 3-6. 从結構設計方面节约零件材料的几点措施	53
§ 3-7. 毛坯的選擇	53
§ 3-8. 零件某些部位的制造精度及表面光洁度等 級的選擇	54
§ 3-9. 机械零件的表面质量	56
参考书刊	57
附录	58

第四章 潤滑及潤滑裝置	64
§ 4-1. 概述	64
§ 4-2. 潤滑油的主要性質、品种及選擇原則	64
§ 4-3. 潤滑脂的主要性質、品种及選擇原則	71
§ 4-4. 潤滑方法分类和潤滑裝置、潤滑系統的選 擇原則	73
§ 4-5. 潤滑裝置	74
参考书刊	80

第五章 机械零件常用的材料	81
§ 5-1. 材料的基本性質	81
§ 5-2. 選用材料的一般原則	101
参考书刊	104

第二篇 联接

总論	105
第六章 鉚釘联接	106
§ 6-1. 概述	106
§ 6-2. 鉚釘	107
§ 6-3. 鉚接結構的材料	108
§ 6-4. 鉚接的工艺过程及其对鉚接质量的影响	109
§ 6-5. 鉚接計算的前提 鉚縫效率和强度系数	110
§ 6-6. 强固鉚縫	113
§ 6-7. 密固鉚縫	116
附录	119
例题	120
参考书刊	121

第七章 焊接联接	122
§ 7-1. 概述	122
§ 7-2. 电弧焊縫的型式和强度計算	125
§ 7-3. 焊接結構的材料及焊条	130
§ 7-4. 电弧焊縫的許用应力	131
§ 7-5. 影响焊接强度的結構因素	133
§ 7-6. 焊接在机械零件上的应用	133
例题	136
参考书刊	137

第八章 过盈配合联接.....138

§ 8-1. 概述.....138

§ 8-2. 过盈配合联接的用途及装配方法.....138

§ 8-3. 影响过盈配合联接强度的因素.....140

§ 8-4. 过盈配合联接的计算.....141

§ 8-5. 过盈配合联接的合理结构.....147

例题.....148

参考书刊.....149

第九章 键、花键、无键、楔及销钉联接.....150

§ 9-1. 键联接概述.....150

§ 9-2. 键联接设计计算.....155

§ 9-3. 花键联接概述.....160

§ 9-4. 花键联接设计计算.....162

§ 9-5. 无键联接.....163

§ 9-6. 弹性环联接.....164

§ 9-7. 楔联接.....165

§ 9-8. 销钉联接.....170

例题.....171

参考书刊.....172

第十章 螺纹联接.....173

§ 10-1. 螺纹.....173

§ 10-2. 螺纹联接的类型及结构.....177

§ 10-3. 螺母及垫圈.....182

§ 10-4. 螺栓联接的工作情况.....184

§ 10-5. 螺纹联接的计算.....189

§ 10-6. 螺栓组联接的计算.....200

§ 10-7. 螺纹联接的许用应力.....203

§ 10-8. 螺旋传动.....205

例题.....213

参考书刊.....214

緒 論

§ 1. 机械零件課程的性質、地位和任务

“机械零件”是一門基础技术課，它是設計性的課程。在本課程的学习过程中，將研究組成机械的各种通用零件和部件的材料的選擇、結構和尺寸的設計，并繪制制造那些零件和部件所需的圖紙。因而可以說，机械零件課程就是具体解决各种通用零件^①的設計的課程。

任何一个机械工程技术人員，甚至某些其他部門的工程技術人員，在工作中不可避免地都会遇到或多或少的机械設計問題；尤其是在我国社会主义建設一日千里地迅速发展之际，更是如此。所以作为一个工程技术干部，具备有关机械設計方面的一些基本知識和技能，的确是必要的。对于机械类各专业的学生，学习本課程的目的在于初步培养这方面的能力，并为进一步学习和設計专业产品及有关設備的設計打下基础。

很显然，机械零件課程在专业教育中，对培养学生的設計能力起着重要的作用。通过机械零件課程的学习，可使学生初步建立基本的、正确的設計思想及設計观点，掌握一般用途的零件的設計原理及方法，并具备設計简单的机械的能力。

設計工作需要多方面的知識与技能，从国家的方針政策到生产单位的具体情况，从基本理論到实际生产技术，可以說无不涉及。因而进行設計工作时，就必须首先在正确的政治思想基础上，建立正确的設計思想；并須灵巧地、創造性地綜合利用一切現有条件，才有可能設計出既符合理論要求、又满足实际需要的机件。因此，学习机械零件課程时，就應該具有必要的基础理論、生产知識与技能。它們是通过机械制图、理論力学、材料力学、金属工艺学、金属学热处理、互换性原理及技术测量和机械原理等課程的学习，以及参加实际的生产劳动鍛炼而获得的。

根据上述情况，可見机械零件課程还对各門基础理論課与基础技术課起着总结的作用；它密切联系着生产实际，并对从基础課的学习过渡到专业課的学习起着重要的桥梁作用。

§ 2. 机械零件課程研究的对象、范围及內容。学习的目的和要求

随着社会生产力的发展和科学技术的进步，机器的功用和类型也日益增多。作为組成各种机器的机械零件，不論就其种类或型式說，就更为多样化了。为了研究方便起見，通常將所有的机械零件划分为专用零件及通用零件两大类。

凡是具有專門功用及性能，并在特定的机器中才使用到的零件，都叫做专用零件。如活塞式发动机的曲軸、凸輪和活塞；燃气渦輪机的叶片；飞机的螺旋桨；机床的刀架、夹具等均属专用零件。

凡是在各类机器中具有同一的功用与性能的零件，都叫做通用零件。如螺釘、齒輪、軸、軸承等均属通用零件。

^① 本課程所用的“零件”一詞中，一般均包括部件在內。

机械零件課程仅研究各种通用零件的設計和計算問題。至于专用零件，則在各有关专业課程中进行研究。

机械零件課程所研究的具体内容为：

- (一)設計的总原則及計算准則，潤滑及潤滑裝置；
- (二)联接——鉚釘联接，焊接联接，过盈配合联接，鍵、花鍵、无鍵、楔、銷釘联接及螺紋联接等；
- (三)傳动——摩擦輪傳动，皮帶傳动，鏈傳动，齒輪傳动，蝸輪傳动及减速器等；
- (四)軸，滑动軸承，滚动軸承及联轴器等；
- (五)其它——制动裝置、彈簧及壳形零件等。

学习机械零件課程的主要目的和要求是：

- (一)建立正确的設計思想，掌握正确的設計原則、設計理論和設計方法；
- (二)掌握通用零件和简单的机械的設計技能和有关方面的基本知識；
- (三)为今后学习专业课程和进行专业课程設計打下基础。

学习时不但要学会运用理論、公式、手册、规范、資料等进行設計和計算，而且應該通过練習及实践，逐步提高到具备全面地、辯証地分析問題，以及結合实际解决工程問題的能力。

§ 3. 机械設計在国民經济中的作用及其发展趋势

我們的祖国正处在一个偉大的社会主义建設的历史时期，全国人民在党的领导下，在鼓足干劲、力爭上游、多快好省地建設社会主义的总路綫的光輝照耀下，正在为尽快地把我国建成为一个具有現代工业、現代农业和現代科学文化的偉大的社会主义国家而奋斗。

我国国民經济的发展，必須以农业为基础，以工业为主导，优先发展重工业和迅速发展农业相結合。我国工业生产水平的不断提高和物质技术基础的不断壮大，对于我国国民經济、首先是农业的技术改造，对于科学文化的发展和提高，都已經发生而且將繼續发生巨大的促进作用。

随着我国国民經济各部門的飞跃发展，也就对設計工作者提出了更繁重的要求，即要設計出更新的、更完善的机器，来满足我国高速度发展生产的要求，和满足劳动人民日益增长的物质文化生活的要求。

解放前，我国处于半封建、半殖民地的社会，深受帝国主义压迫侵略和国民党反动派的黑暗統治，工业是十分落后的。工业产值只占工农业总产值的 17% 左右，而且大部分是輕工业。在那时，我国沒有真正的机器制造业，大多数机器工厂只是帝国主义与官僚資本所經營的机器修配厂，当然更談不到整部机器的設計与制造了。

解放后，在党和毛主席的英明领导下，全国人民迅速地完成了国民經济的恢复工作，并立即着手进行社会主义建設。在第一个五年計劃期間，机器制造业有了很大的发展。建立了許多专业工厂，并开始制造載重汽車、噴气式飞机、大型发电設備及冶金設備等。至 1957 年，机械設備的自給率已达 60% 以上，許多产品已由仿制过渡到自行設計。由于第一个五年計劃的胜利完成，我国初步建立了自己的工业体系，奠定了社会主义工业化的初步基础。

特别是在1958年,全国人民在党的领导下实现了史无前例的社会主义建设全面大跃进。工业产值较1957年增长了66%,生铁、钢、发电设备、机车、汽车、动力机械等都较1957年增长了一倍,机械设备的自给率以惊人的速度提高到78%。这是党所提出的社会主义建设总路线的伟大胜利。由于执行了党所指示的一整套“两条腿走路”的方针,以及开展了大规模的兴办小型企业和土法生产的群众运动,大大地促进了我国工业的飞跃发展。劳动人民发挥了无穷智慧和冲天干劲,在机械设计和制造方面取得了很大的成就。如积木式机床的创造,机床结构的简化,各种型式土机床的设计,以及土滚动轴承及其生产设备的创制等等。这些成就都是由于在工业建设中贯彻了‘土洋并举’的方针而获得的。

1959年,我国人民在党和毛主席的正确领导下,在社会主义建设总路线、大跃进、人民公社三面红旗的照耀下,以豪迈的风格提前三年完成了第二个五年计划工业生产的主要指标。机械工业总产值在1949—1959的十年间飞快地增长了约40倍。在世界史册中,写下了空前辉煌的一页。

1960年,我国国民经济持续地取得了巨大的发展。1960年比1957年工业总产值增长了将近两倍,平均每年增长40%以上;机床的拥有量和工程技术人员,都增长了一倍多;农业排灌机械增加了八倍左右;拖拉机增加了两倍左右。特别是钢的年产量达到了1845万吨,这就给我国农业的技术改造准备了初步的物质技术基础。

随着我国国民经济的迅速发展,机器制造正在向“高、大、精、尖”的方向发展。新机器的设计特征是与高速、高温、高压、大功率、高效率、高生产率等方面紧密地联系着的。例如:现在的小直径的轴的转速高达100,000—150,000转/分;轴颈的圆周速度达80米/秒;齿轮的圆周速度达150米/秒;齿轮上的载荷(圆周力)已达1000吨;水力透平机中的推力轴承上的载荷已达几千吨;燃气轮机叶片的温度高达700—800°C。特别是火箭技术及原子能的应用,对机械设计提出了更新更高的要求。机械设计质量的高低,对所设计的新机器的可靠性、经济性、寿命及使用性能等起着重要的作用。所以如何设计一些新的机器来满足国民经济各部门日益增长的需要,这对设计工作者来说,是一个非常光荣而艰巨的任务。同时可知,机械设计工作在国民经济中的作用的的确是非常巨大的。

每个设计工作者都负有设计新机器的使命。为了完成这项艰巨的任务,每个设计工作者都必须坚决执行党的各项工业技术政策,和努力学习先进的科学技术成就,必须把“多、快、好、省”作为总的工作纲领。在设计工作中,既要发挥敢想、敢说、敢做的共产主义风格,又要有实事求是和科学分析的作风。同时要深入工人群众,共同研究问题,充分发挥群众的智慧。只有这样,才能使我们的机械设计工作不断地得到革新和创造,才能设计出一些更新、更完善的机器,为祖国的大规模经济建设贡献出一切力量。

§ 4. 机械零件科学和机械零件课程的发展简史

任何一门科学都是伴随着生产的发展而不断地发展起来的。机械零件这门科学和机械零件课程的形成及发展,同样也是由于生产的发展所促成的结果。

人类在生产劳动的发展过程中,为了满足生产上的需要,多种多样的机械和机械零件也不断地被創造与改进着。在我国,简单机械和机械零件的设计、制造与应用已具有悠久的历史。远在新石器时代末期(公元前5000—4000年),我国古代劳动人民为了把巨大的石块搬运到远方,就已运用了滚动摩擦的原理而使用了木质滚子。公元前2600—1700年間,我們勤劳的祖先为了提高运输效率,就发明了车子;到商朝(公元前1401—1120年)时,车的构造已很完备。公元前2500年前,我国人民为了生产絲織品,就已发明了抽絲的纛車和紡織的机杼。距今3700年前,就为了汲水灌田的需要而发明了桔槔。周朝(公元前1122年—公元256年)时,已发明了用动物油作为潤滑剂,以减少机械的摩擦。汉灵帝(公元168—189年)时制造的翻車,已建立了近代曳引鏈傳动的原理。根据古代器物的考证,我国在汉朝时就开始应用了齒輪,并且用金属来制造軸和軸承。由此可见,我国古代劳动人民在机械的創造和发展方面的贡献是极为巨大的。

世界上其他一些古老的国家,劳动人民对机械及机械零件的創造和发明方面也有着很大的成績。例如:古埃及在王朝統治时代建筑金字塔时(約为公元前1550年),也应用了滚子、斜面 and 杠杆;古希腊在公元前350年已应用了齒輪。

我国关于机械方面的較早的著作有:明朝王征的“諸器图說”和“远西奇器图說”;徐光启的“农政全书”;宋应星的“天工开物”;清朝徐寿的“車工图說”和“机动图說”;华备钰的“兵船汽机与制造理法”等。

綜覽世界史册可知,我国和西方古国在当时所以能在机械和机械零件方面有着很多的发明和創造,这是和当时的生产情况分不开的。在汉朝时,正是我国农业开始发展时期,人們在生产实践中丰富了生产斗争知識,为了提高生产效率和減輕体力劳动,遂发明了适应于农业发展需要的一系列的机械和机械零件。在西方,当时亦正值建筑、交通、运输业开始发展之际,因而也創造了不少适应于当时需要的机械和机械零件。由此可见:“科学之有賴于生产,更甚于生产之有賴于科学。”

我国长期受着封建統治,再加以近百年来帝国主义的猖狂侵略,使我国的科学文化遭受到了严重的摧殘。西方在公元200年后,也正是古羅馬开始衰落时期;而于四世紀末,欧洲即进入了历史上的所謂“黑暗时代”。故接連十余世紀期間,世界各国在机械和机械零件方面几无重大的发明和創造。迨至欧洲“文艺复兴”以后,西方才随着交通、建筑、貿易等工商业发展的需要而逐渐兴起了机械制造业。

但是直至19世紀中叶,机械制造和机械設計才形成为一門独立的、較有系統的科学。当时这門科学被統称为“机械学”或“机械构造学”,其中包括了理論力学、材料力学、机械零件、机器制造工艺学、起重机、蒸汽机和內燃机等学科的内容。以后随着生产的不断发展及解决生产問題的要求的日益提高,科学技术的門类及内容日漸繁多,从而发展成为目前的各門学科及它們的独立的科学体系。而机械零件課程开始作为一門独立的課程出現,距今不过八十年的历史。

1881年,机械零件課程奠基者之一、俄罗斯的基尔皮契夫(В. Л. Кирпичев)教授写成第一部名为“机械零件”的教程,并于1882年在彼得堡出版。1886—1887年,胡佳科夫(П. К. Худяков)出版了他自己的机械零件群稿,并第一次規定了机械零件課程的定义——研究一切机械中零件

的設計、計算和結構設計的科学。

此后,这门科学在各国都有了不同程度的发展,到目前为止,机械零件这门科学不仅拥有大量的著作,而且拥有极其丰富的专门论文、手册、图册、国家标准和工厂规范,同时还有科学院和许多专门研究所正在努力从事这方面的研究工作。

新中国成立以来,在党的大力关怀下,机械零件科学在我国有了很大的发展。很多的专业工厂、专业设计院、专门研究所和高等学校都在进行这方面的研究工作。

1958年开始全面大跃进以来,我国广大工农群众的革新创造正如雨后春笋。从技术革新和技术革命运动中总结出来的机械设计和制造中的许多技术措施(如蚂蚁啃骨头、以大化小、以小并大、以铁代钢等等),都给机械零件科学充实了极为丰富的新内容;并且提出了适合我国情况的‘土’‘洋’并举以及‘高、大、精、尖’和‘轻、小、简、廉’并举的方针。

近几年来,在党的“教育为无产阶级政治服务,教育与生产劳动相结合”的教育方针的指引下,各高等学校的师生广泛地参加了‘四化’工作,并结合工农业建设的需要,大力开展了科学研究工作。

目前,机械零件课程的内容,有了很大的充实和改进;机械零件科学的水平也有了一定的提高。这充分地说明了,优越的社会主义制度为我国科学事业的发展开辟了无限广阔的前途。今后,我们要更进一步地认真总结我国劳动人民的创造发明,大力开展科学研究活动,还要继续学习苏联和其他国家的先进经验,从而加速发展我国的机械零件科学和整个科学事业,为实现党和全国人民的伟大理想和壮丽事业——建设共产主义社会——而奋斗!

第一篇 总論

第一章 机械零件設計总論

§ 1-1. 設計机械零件时应滿足的基本要求

設計任何一台机器都必須滿足技术条件中規定的各种要求。这些要求首先是：机器的生产率和工作速度、造价和运轉費用、重量限制、預定的使用期限等。其次，在某些場合还可能提出一些附加的要求。例如：外廓尺寸的限制、轉动的均匀性、工作时无噪音、操作简单方便、外形美观等等。当然，工作安全是必須同时保證的。

为了滿足上述要求，对于組成机器的各个零件，也就須要根据它們在机器中的地位和作用，提出一些相应的要求。例如：足够的工作能力（包括强度、刚度、振动稳定性、耐热性、耐磨性等）、良好的工艺性、节料性、机械損失小、以及重量小、便于运输等等。随着机器向‘高、大、精、尖’和‘輕、小、簡、廉’并举的方向不断地发展，对于零件的要求也就日益提高。

現将这些要求簡要闡述于后：

(一)工作能力 机械零件的工作能力主要建立在它的强度（整体强度和表面强度）、刚度（整体刚度和表面刚度）、振动稳定性、耐热性和耐磨性上；如果这些要求得不到滿足，机器就不能正常地工作。因此，这些要求被看作判断零件工作能力的基本准则。

为了滿足这些要求（对于某一零件，当然只須根据具体情况，相应地滿足上述要求中的一个或几个），就需要进行一些相应的計算：强度計算、刚度計算、彈性振动計算等。这些計算都是机械零件設計过程的組成部分。关于它們的計算准则將在第二章中詳加討論。

(二)工艺性 設計机械零件时，要考虑到滿足工艺性的要求。所謂零件具有良好的工艺性，是指那些在既定的生产条件下，能用最少的資金，制造出滿足使用及技术要求的零件[1]、[2]①。显然，花錢少、制造容易、滿足使用及技术要求是零件工艺性的三个主要方面，同时考虑工艺性能又必然要与工厂的生产条件密切联系。

花錢少，首先要材料費用少，設計費用少，制造工时少。

为了达到材料費用少的要求，应尽量采用价廉的材料，和采用消耗原材料最少的結構形式。

为了降低設計費用，应当尽量采用标准件及規格化零件，或在一个零件上尽量采用标准要素，例如标准直徑，标准配合等。

为了降低制造工时，应当尽量减少耗費劳动量多的工作。例如：在生产机床时，各工种劳动量的百分比为：鑄工 12—18%；热处理 3—4%；特殊（专用）零件的机械加工 44—53%；标准零件的机械加工 4—6%；装配工 24—29%[1]。由此可以看出，应当尽量簡化鑄件形状来减少鑄工工作量；应当尽量用标准化零件代替特殊零件，以减少特殊零件的种类和数量；应当尽量减少各零件需要机械加工的表面积和降低加工精度，以降低机械加工量；尽量考虑到装配的簡易，使装

① 本书用加有方括号的数字代表各章末尾所列的参考书刊的序号。

配工作机械化,采用装配设备,简化结构来降低装配工作量。

容易制造的含义是指在制造零件时用最少的人工、最简单的设备及现有的制造方法能得到所设计出的零件,并且尽可能地不用或少用特殊的及贵重的设备和工具。

在工艺性中,还要考虑到零件装拆的可能和方便,没有设计经验的工作者,在实际设计时,常会错误地设计出只能画出来,但是制造不出来或是不能装拆的零件或部件。

关于结构工艺性问题,将在第三章中集中讨论,在本章须要建立的概念是:为了满足工艺性的要求,设计工作者应当熟悉国家目前的生产水平及制造零件的方法;在设计时,要时刻考虑到制造它的过程及方法。

(三)节料性 节约材料是降低零件成本的有效方法。例如在机床的成本中,材料费约占全部成本的 25—40%;拖拉机的成本中,材料费高达全部成本的 65%;更重要的是,减少材料用量就能节约国家的资财,就能在原材料的现有生产水平下,制造出更多的产品。

特别是节约稀有材料,对于节约国家的资财,就具有更为重大的意义。为了满足这个要求,有时虽然某些稀有材料的价格并不昂贵,但如果能以价格较高的非稀有材料代替时,就应当这样做,以便将稀有材料用到更必需的地方去。

(四)机械损失小 机器除了在制造时要花钱少以外,设计者还应当考虑在使用时也要花钱少;机械损失小是机器工作经济性的表征。因此在合理的情况下(例如并未导致机器或零件的结构过于复杂化),应该尽可能地降低摩擦损失,以提高机器的效率,从而节省动力和燃料,降低运转成本,这对国民经济显然有着重要的意义。

(五)重量小 减轻机械零件和机器的重量可以得到两方面的好处:一方面可以节约材料;另一方面,对运动的零件来说,可以减小惯性,降低动力的消耗,减小机器的起动功率。尤其象汽车、飞机之类的机器以及它们的零件,由于减轻了重量,还可以增加有效的运载能力。因此,减轻机械零件和机器的重量在这里就具有特殊重要的意义。

为了减轻零件或机器的重量,应当尽可能地减小大型铸件的壁厚,广泛采用宽翼薄壁及空心构件;采用焊接代替铸造;采用精确的设计计算方法设计零件;合理利用热处理及其他强化处理方法,提高材料的机械性能及许用应力;广泛采用轻质材料(轻合金或塑料);以及利用低合金钢制造受力极大的构件等。

(六)便于运输 任何零件的尺寸和重量,都应以现有的运输工具能够运送为限。这对大型的零件和机器就须要特别注意。

除了以上各项要求外,其他如安全、美观、避免噪音等,当然也应该作相应的考虑。

设计工作者在考虑以上一系列要求时,不可避免地要遇到一些矛盾。这些矛盾是前述各项要求间所固有的。能够结合具体情况,因时因地地进行辩证的分析后,分清主次恰如其分地处理各项矛盾,就可以提高设计的质量。例如:强度、刚度的要求与重量小、工艺性好之间就有矛盾。为了提高零件的强度,常要增大剖面尺寸;但当剖面尺寸增加时,零件的重量就必然增大。因而只有进一步掌握机械零件材料的机械性能及符合实际情况的计算方法,才有可能在保证强度的条件下,尽可能地减轻零件的重量。显然,机械零件的设计科学也正是在不断克服这些矛盾的过

程中发展起来的。例如：早先对于低碳钢静强度的许用弯曲应力一概采取为 900 公斤/厘米²；后来，由于设计科学的发展，以及材料性能的提高，许用应力就被提高到 1500 公斤/厘米²左右。

对待以上各项要求，也不应采取一成不变的态度。有时为了保证主要或贵重零件在工作时不致破坏，常常利用安全装置（例如采用当载荷增大到规定的临界值时立刻断裂的零件），以保证在必要时切断贵重零件所受的载荷，从而达到上述目的。例如采用安全联轴节就是为了实现这样的意图。此外，如果遇到为了满足强度的要求，将导致零件过分笨重时，那就宁可零件故意做得小些，另外准备一些备用零件，以备更换。

此外，还应该综合地考虑以上各项要求，不能孤立地对待它们。例如：为了减小铸造零件的重量，须把一个较大的零件分成数块来铸造，以减小壁厚。但是，这时却要增加机械加工量和增加联接件的用量。在这种情况下，任何孤立片面的看法，都会引起不良的后果。

这些要求的总和，从实质上来看，也正是如何在设计工作中贯彻党的社会主义建设总路线的问题。只有正确地、综合地解决了上述各要求间的矛盾，才能在设计工作中体现出多、快、好、省的要求。因此，我们不仅要以上这些要求从技术意义上来理解，更应当提高到党的社会主义建设总路线的高度上来理解。只有这样，设计工作者才会更自觉地在技术工作中做到政治挂帅，更有效地发挥设计工作人员的主观能动性，从而创造出更新更合理的机器和机械零件来。

§ 1-2. 设计与设计的方法

概括地说，设计就是应用了正确的基本原理和已有的实践经验来创造发展新事物或改善旧事物。机器或机械零件的设计也完全符合这一概念。但由于所设计的零件各有不同，因而在设计方法上也就不免有所差异。目前最常用的设计机械零件的方法有以下几种：

(一) 理论设计 理论设计是根据人们已经掌握的合乎客观规律的理论及实践知识所进行的设计。

机械零件的理论设计，使用了理论力学、机械原理、金属学、材料力学、弹性力学等课程的知识。本课程中主要是研究进行设计的方法。

根据设计顺序的不同，理论设计的计算过程又分为：

1. 设计计算 在零件尺寸尚未决定之前，根据载荷情况，由计算公式直接求出零件的某些主要几何尺寸，这个计算过程叫做设计计算。例如：在计算受拉伸载荷的直杆剖面面积时，可直接引用材料力学的公式：

$$F > \frac{P}{[\sigma]_p}$$

式中 F —— 直杆的剖面面积；

P —— 直杆所承受的拉伸载荷；

$[\sigma]_p$ —— 直杆材料的许用拉伸应力。

由此可以看出，设计计算的必要条件是：载荷情况、材料特性与零件工作情况（为了决定许用应力）以及应力的分布规律（能用材料力学公式表现出来），同时这个规律在实际设计中，一般表现为简单的数学关系。

2. 校核计算 先根据其他方法（例如：选用标准化或规格化的零件，或按经验、规范、近似计

算等)初步定出零件的尺寸及形狀,然后用理論計算的方法校核零件危險剖面的安全系數。這個計算過程叫做校核計算。

校核計算多用於應力分布規律複雜,但又能用材料力學的公式表示出來的零件設計中;也用於應力分布規律雖簡單,但其計算數據又須在零件尺寸已知時才能決定的情況下。例如:轉軸的設計、彈簧的設計就是這樣進行的。

有經驗的設計工作者,在設計某些零件時,雖然已經具備進行設計計算的條件,但是為了簡化計算手續,也常根據有關資料或粗略估計直接進行結構設計,然後採用校核計算^①。

由於理論設計是在闡明了材料特性及應力分布規律的基礎上進行的,因而它是比較科學和先進的方法。它是在大量的感性知識的基礎上總結出來的設計規律。所以對於一切重要的零件,都應當尽可能地採用理論設計。

但是理論設計直到今天還有許多不完善的地方;隨着科學的日益發展,理論設計的方法本身將會不斷地改進和變化;所以不應當將書本中的理論設計方法看作一成不變或絕對完善的方法。

(二)經驗設計 根據對某類零件已有的設計與使用實踐而總結出來的經驗關係式,或根據設計工作者本人的設計經驗,採用類比的辦法所進行的設計叫做經驗設計。

雖然經驗設計沒有詳盡的理論化的科學分析作為根據,但經驗公式的形成,已經具有一定的科學統計性。因此,它具有很大的實用價值。另外,由於它也是由實踐中總結出來的經驗關係,因而它也就比較能夠經得起實踐的考驗。通常經驗設計都是用於外形複雜、載荷情況不明而目前尚不能用理論分析的零件設計中。例如:機架的設計、變速箱箱體的設計等。由此可以看出,它正是用在理論薄弱的地方,並且是理論設計的前身。

本書中,在研究理論設計的同時,也將引用有關的經驗設計關係式。

(三)模型實驗設計 對於一些很巨大的、結構複雜而重要的,但以現有理論知識尚不足以詳盡分析的零件和部件,如今已開始廣泛地採用所謂模型實驗設計的方法。這就是說,將初步設計的零件或部件做出模型,經過實驗,再根據實驗結果加以修改,這樣的过程叫做模型實驗設計。顯然,這種設計方法是借助於實驗來彌補理論的不足,同時也消除了經驗設計中不夠科學的成分。

這種設計方法費時多,花錢亦多;因此,它只用於大型重要的零件部件等。例如飛機的機身、機翼或巨大水輪機的轉子等的設計。

通過模型實驗設計,能夠決定複雜零件中工作應力的分布實況和零件的極限工作能力,故能得到比用經驗設計時更為合理的結構。因此,這個方法也是使經驗設計轉變為理論設計的途徑之一。任何一件模型設計工作,實質上亦是一件科學研究工作,它所涉及的范围極廣。深入研究模型實驗設計不是本課程所能做到的,故在此僅就其含義加以介紹,以後不再詳細討論。

最後,有必要強調指出:設計方法是理論與實踐相結合的具體體現;設計工作是創造性的工作;設計工作必須貫串着敢想、敢說、敢做的共產主義風格,同時必須和科學分析緊密結合。任何脫離實際或是忽視理論的設計,都會給工作造成不良的影響,甚至是不可彌補的損失。

^① 必須附帶指出,並不是所有的零件在初步定出尺寸及形狀後都要進行校核計算;對於某些次要的零件,有時是可以略去的。

§ 1-3. 一般的設計步驟

任何一成不變的設計步驟是不存在的；而且任何零件的設計也不能和具体機器的設計分离开来。但是，一般來說，零件的設計大体要經過以下几个步驟：

(一)根据零件在机器整体中的地位和作用，选择零件的种类和結構。为此，必須对于各种零件的优缺点和特性，以及使用范围等能有綜合对比及正确选择的能力；

(二)根据机器的工作要求，計算作用在零件上的載荷；

(三)根据零件的工作条件及对零件的特殊要求(例如高温、高速等)选择适当的材料；

(四)决定計算用的許用应力；

(五)根据强度、剛度或寿命等条件，用理論或經驗設計的方法設計零件的几何尺寸；

(六)根据工艺性及标准化、規格化等原則进行零件的結構設計，或改进結構型式(必要时，在結構設計以后，还要进行校核計算)；

(七)画出零件的工作图。

在进行設計时，对于數值的运算，除个别的情况外，都可以用計算尺进行；因为計算的精确度也只要求在計算尺的精确度的范围内。过高地追求計算精确度，在設計中並沒有太大的实用价值。因为計算公式、材料特性等方面的誤差要比計算上的誤差大得多。此外，对計算結果进行符合标准化的修正，或是數值的圓整时，往往就把那些精确度很高的計算結果修改了。

例如：在計算一根軸的直徑时，求出的結果可能是48.8毫米，亦可以作出更精确的計算而求得为48.83毫米。此时，按标准直徑的規範，都应该取为50毫米。

結構設計是机械零件設計中的重要內容之一，是本課程理論联系实际的重要方面之一。学习本课程的人都应当对这方面給予足够的重視。在进行結構設計与設計計算的同时，应当繪出草图，結構設計的大部分工作通常是在草图上进行的，孤立地进行設計計算往往会造成更多的返工現象。有关結構設計的知識将在第三章內講述。

繪制零件工作图是集中表現設計者的思想及意图的方法。在零件工作图上應該具有足够的視图、必要的尺寸和尺寸公差、符合工作要求的表面光洁度符号、以及其他用图象不能表示而須用文字說明的技术条件。

§ 1-4. 机械制造业中的标准化与規格化

标准化的一般含义是：在各个国民經济部門中，采用科学分析和科学归納的方法，將該部門中某一事物的众多种类、型式、过程等統一化为数量有限的、符合于使用要求的标准。

由于机械制造业的特点是制品型式和尺寸的多样性，各种产品的社会需求量也各有不同，因而对产品及其組成产品的零件的标准化，就更具有特別的重要性。

零件标准化以后，由于减少了品种，相应地增加了每种产品的数量，这对于設計和制造，都是十分有利的。零件标准化对于国民經济的意义，主要表现在以下几个方面：

(一)能够組織零件以最先进的方法大量生产。这样就能大大地降低制造零件的劳动量，有效地節約原材料，簡化生产设备，降低生产成本。

(二)保证了在专门工厂中集中制造大量零件的可能性。为提高零件的质量、工作性能、使用寿命等创造了有利的条件。

(三)简化了设计工作,节约了设计工作量,使设计工作者能有更多的时间用于设计新的、特殊的、特别重要的结构与产品上。

(四)保证了互换性的要求,简化了修配工作。

总之,遵守标准化的要求是提高机器的经济指标的重要措施,是使设计工作达到多、快、好、省的一个重要途径。因此遵守国家的标准是每个设计人员的天职。但这并不是说完全排斥了使用非标准零件及尺寸的可能性,只要是当采用标准零件和尺寸时,的确不能满足使用要求,以及有使机器成本增高或性能降低的情况,采用非标准零件与尺寸亦是允许的。不过这种情况是极少的,如果必须如此时,应当经过一定的批准手续,以便消除设计工作者本人在这项工作中可能发生的错误。

国家标准、部颁标准都是集中了国家工业的先进技术及经验而制定的。但标准的制定不仅是一项技术工作,而且也是具有重大政治意义的工作。我国在国民党反动统治时期,处于半封建半殖民地的地位,谈不上工业的发展,因而除了因袭一些殖民国家的某些标准以便修配外,从未有过,而且也不可能有一套符合祖国工业发展需要的正确标准。解放后,在党的领导下,经过了经济恢复时期和第一个五年计划,在苏联无私地、兄弟般地援助下,我国建立了自己的工业体系,开展了自己的工业研究工作;并且在零件标准化的研究方面获得了显著的成果,以苏联的国家标准(ГОСТ)、全苏标准(ОСТ)和国际标准为参考,结合我国的生产实际,业于1959年5月由中华人民共和国科学技术委员会颁布了一批国家标准(GB);并且在第一机械工业部机械制造与工艺科学研究院的主持下,正在与各厂矿和有关单位密切配合拟订着更多的标准^①;同时亦颁布了一批部颁标准(机)和重型机械标准(ZS)。可以预期,在不久的将来,就会有完全符合我国工业建设需要的一套完整的标准问世。

在本书中所涉及到的标准零件有:铆钉、键、销、螺栓、(螺钉)、皮带、皮带轮、链、轴承、联轴器、弹簧、润滑装置等;涉及到的标准数据与尺寸有:直径、长度、转数、模数等。在进行设计时,应该采用我国的标准;凡我国尚未规定的,则主要以苏联标准为依据。

在最近若干年来,随着标准化的概念的发展,引起了规格化的问题。所谓规格化,就是在某一个具体的业务部门对本企业的产品,在标准化的基础上,进行一些定型的标准规定。这样就使得该企业产品的结构达到高度的统一,并且也保证了国家标准或部颁标准的贯彻。例如:在起重运输机械制造部门中,已对齿轮减速器制定了标准规格;这样就使得起重运输机械的设计、制造使用、检修工作大为方便和经济。

参 考 书 刊

[1] ЭНИМС Инструкция по оформлению чертежей, 1952.

[2] 卡尔塔沃夫: 机器合理设计原理, 机械工业出版社。

① 参看“标准化”编辑委员会: 标准化(月刊)

第二章 机械零件的工作能力及其计算准则

§ 2-1. 机械零件的强度

机器运转过程中,零件在载荷作用下,如果其强度不够,就会产生过大的残余变形,甚至遭到破坏。

在多数情况下,是不允许出现残余变形的。因为零件形状和尺寸的改变可能会破坏机器各部分之间正常的相互作用关系,改变零件间应有的接合性质等。

在实践中,能看到断裂形式的破坏,但更多的则是机械零件工作表面的损坏,如点蚀、磨损(擦伤)等等。

在机器的规定使用期限内不允许零件提前断裂。同样,如果机器零件的工作表面在这一期限内发生发展性的损伤也是不允许的。

因此,要把机械零件的强度问题与时间因素(即零件的使用期限)联系起来进行研究。这样作的必要性,是在于生产过程及其机械化和自动化需要不断改善,这个任务要求经常的更新机器设备,即用较为完善的机器替换旧的机器以及改装现有的机器。

当然,对于不同结构的机器所要求的寿命也是不同的。例如,飞机发动机的使用期限总共只有几百飞行小时,而金属切削机床的使用期限则有 50000 小时。

另一方面,由于同一机器上的各个零件的受力状况是不同的,为了保证一定的检修时间间隔,要能够控制磨损过程和其他形式的表面破坏,使零件不要由于这些原因而早期报废。所以对于某些零件预先规定出所要求的寿命是有重要意义的。例如用在金属切削机床和某些其他机器上的滚动轴承的寿命为 5000 小时。

因此,保证零件有必要和足够的强度的问题,就是要消除产生过大残余变形、早期断裂和表面破坏等的可能性,就是要在一个前提下确定零件的尺寸和形状。这也就是所谓“强度计算的准则”。

(一) 判断零件强度的方法

常用的判断零件强度的方法有两种。其一是比较在载荷作用下计算剖面处的公称应力(σ, τ)与许用应力($[\sigma], [\tau]$); 这时强度条件可以写成

$$\sigma \leq [\sigma] \text{ 或 } \tau \leq [\tau]; \quad (2-1)$$

而

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

式中, $\sigma_{\text{пред}}$ 和 $\tau_{\text{пред}}$ ——分别表示法向应力和切向应力的极限应力,视材料的性能而定(塑性或脆性), $[n]$ ——许用安全系数。

另一方法是比較计算剖面处的实际安全系数和许用安全系数,这时强度条件可写成

$$n_{\sigma} \geq [n] \text{ 或 } n_{\tau} \geq [n],$$

此处

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{\text{пред}}}{\sigma}; \quad n_{\tau} = \frac{\tau_{\text{пред}}}{\tau}.$$

在这两种方法中,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,因而两种方法在机械零件的计算中都应用。

近年有一种趋势,即摆脱内应力来判断强度,而转向根据零件的极限状态进行计算。零件达到所谓极限状态时,将不能再继续正常工作。按照这个方法,对于不同零件定出几种极限状态,而对每一种极限状态,都应使零件具备不可能出现这种状态的条件。例如,按照这个方法,对零件不产生破坏的条件可以拟定如下:运转过程中,作用在零件上的可能的最大载荷,应该小于会使零件丧失承载能力的最小载荷。

在建筑结构的设计工作中,应用按极限状态的计算方法很有成效。在机械制造方面也对这种方法很感兴趣,但用来计算机械零件还研究得很少。

在某些个别场合中,用这个计算方法得到的结果和根据应力进行计算所求得相同。

(二)整体强度。

1. 应力集中 大家知道,根据公称应力的计算不可能确定所设计零件上危险区的真实应力状态。

机械零件的形状一般都是很复杂的。其上有:剖面的过渡部分、沟槽、横孔、压入配合和其他一些应力集中源(统称切口),在这些零件形状急剧变化的地方,将呈现应力的局部增大和应力状态的改变,这种现象就叫做应力集中。它的特点是:(1)最大局部应力能够超出公称应力很多;(2)随着离开应力集中源的距离的增大,由其引起的局部应力很快地衰减下来,即有很高的应力梯度。

在弹性范围内,最大局部应力与公称应力之比叫做理论应力集中系数:

$$\alpha_{\sigma} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_n}; \quad \alpha_{\tau} = \frac{\tau_{\max}}{\tau_n} \quad (2-2)$$

系数 α 表示在应力集中区域零件形状对应力分布的影响,然而却不能作为因局部应力的存在引起强度降低的尺度。因为强度的实际降低量不仅取决于切口的形状,还与零件材料的性质有关。然而当加载状态不同时材料的性质也有所不同。所以常用有效应力集中系数(k)来判断强度的实际降低量。加载状态相同和绝对尺寸相同的光滑试件与有应力集中的试件的极限应力的比值叫做有效应力集中系数。

在静载荷作用下,

$$(k_{\sigma})_c = \frac{\sigma_c}{\sigma_{cn}} \text{ 和 } (k_{\tau})_c = \frac{\tau_c}{\tau_{cn}} \quad (2-3a)$$

式中 σ_c, τ_c 和 σ_{cn}, τ_{cn} ——分别表示平滑试件和有应力集中的试件的强度极限。

在引起循环应力的载荷作用下,

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_r}{\sigma_{rk}} \text{ 和 } k_{\tau} = \frac{\tau_r}{\tau_{rk}} \quad (2-3b)$$

式中 σ_r, τ_r 和 σ_{rk}, τ_{rk} ——分别表示同样尺寸的平滑试件和有应力集中的试件的疲劳极限。

这样确定的有效应力集中系数考虑了材料的塑性能使局部应力展平的效果。材料的塑性愈大,则缓和应力集中的效果也愈大,而 α 与 k 间的差别也就愈大。

为了判断不同材料的这种使局部应力展平的能力,引用了材料对应力集中的敏感系数(q)。所谓敏感系数就是指应力集中区的应力的实际最大增量与理论计算增量之比:

$$\text{对于法向应力} \quad q_{\sigma} = \frac{k_{\sigma}\sigma_n - \sigma_n}{\alpha_{\sigma}\sigma_n - \sigma_n} = \frac{k_{\sigma} - 1}{\alpha_{\sigma} - 1};$$

$$\text{对于切向应力} \quad q_{\tau} = \frac{k_{\tau} - 1}{\alpha_{\tau} - 1}.$$