

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 “机械零件”课程的内容、性质和任务.....	(1)
第二节 机械零件的工作能力和设计的基本准则.....	(2)
第三节 机械产品的可靠性*	(5)
第四节 机械零件的常用材料.....	(8)
第二章 带传动	(13)
第一节 概述.....	(13)
第二节 带传动的工作情况分析.....	(17)
第三节 三角带传动的设计计算.....	(23)
第四节 同步齿形带传动*	(39)
第五节 带的张紧装置.....	(42)
第三章 齿轮传动	(45)
第一节 概述.....	(45)
第二节 齿轮传动的失效形式及计算准则.....	(48)
第三节 齿轮材料的选择.....	(53)
第四节 齿轮传动的计算载荷.....	(57)
第五节 直齿圆柱齿轮轮齿弯曲强度计算.....	(63)
第六节 直齿圆柱齿轮齿面接触强度计算.....	(73)
第七节 直齿圆柱齿轮传动的设计计算.....	(81)
第八节 斜齿圆柱齿轮传动的设计计算.....	(87)
第九节 圆锥齿轮传动.....	(98)
第十节 齿轮的结构设计	(107)
第十一节 齿轮传动的效率和润滑	(109)
第十二节 圆弧齿轮传动简介*.....	(112)
第四章 蜗杆传动	(119)
第一节 概述	(119)
第二节 普通圆柱面蜗杆的类型和加工	(120)
第三节 阿基米德蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	(121)
第四节 蜗杆传动的工作情况分析	(127)
第五节 蜗杆传动的失效形式及材料选择	(132)

第六节	蜗杆传动的强度计算	(133)
第七节	蜗杆传动的效率和热平衡计算	(137)
第八节	蜗杆和蜗轮的结构及零件工作图	(140)
第五章	链传动	(149)
第一节	概述	(149)
第二节	传动链的结构	(149)
第三节	链传动的工作情况分析	(152)
第四节	套筒滚子链传动的设计	(157)
第六章	轴	(164)
第一节	轴的功用和类型	(164)
第二节	轴的受力分析及设计准则	(166)
第三节	轴的常用材料	(168)
第四节	轴的结构设计	(172)
第五节	轴的强度计算	(181)
第六节	轴的刚度计算*	(194)
第七节	轴的振动计算简介*	(199)
第八节	轴的设计步骤小结	(203)
第七章	滚动轴承	(213)
第一节	概述	(213)
第二节	滚动轴承的基本类型及其代号	(214)
第三节	滚动轴承的载荷分析和失效形式	(217)
第四节	滚动轴承的类型选择	(221)
第五节	滚动轴承的尺寸选择	(225)
第六节	滚动轴承组合设计	(243)
第八章	滑动轴承	(255)
第一节	滑动轴承中的几种润滑状态	(256)
第二节	牛顿粘滞定律	(257)
第三节	流体动压润滑的机理	(259)
第四节	流体动压润滑的基本方程	(262)
第五节	液体摩擦径向滑动轴承的设计计算	(269)
第六节	非液体摩擦滑动轴承的设计计算	(280)
第七节	滑动轴承的结构型式	(283)
第八节	轴瓦和轴承衬材料	(291)
第九节	动压式径向滑动轴承稳定性分析*	(292)

第十节 液体静压滑动轴承及气体滑动轴承简介	(298)
第九章 联轴器和离合器	(302)
第一节 联轴器	(302)
第二节 离合器	(309)
第十章 螺纹联接	(316)
第一节 螺纹联接的基本知识	(316)
第二节 螺栓组的结构设计	(321)
第三节 螺栓组受力分析	(323)
第四节 单个螺栓的强度计算	(326)
第五节 螺纹联接的预紧和防松	(333)
第六节 提高螺栓联接强度的措施	(335)
第十一章 焊联接、铆联接、粘接	(343)
第一节 焊联接	(343)
第二节 铆钉联接	(346)
第三节 粘接	(349)
第十二章 弹簧	(351)
第一节 概述	(351)
第二节 圆柱形螺旋弹簧的结构	(351)
第三节 弹簧的材料和制造	(351)
第四节 圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计计算	(356)
第五节 圆柱形螺旋组合压缩弹簧设计简介	(363)
参考文献	(366)

第一章 绪 论

内 容 提 要

本章从培养工程设计人员的需要出发,提出“机械零件”课程的内容、性质和任务;简要叙述以强度为重点的关于机械零(部)件的设计准则和计算方法;介绍机械产品可靠性的概念;从设计角度概述了常用材料的一般性态。附录中还列出了正态分布可靠度数值表和国内外常用钢号对照表。

第一节 “机械零件”课程的内容、性质和任务

1. 本课程的内容 “机械零件”课程专讨论一般尺寸(指直径、长度等)和一般参数(指荷载、速度、温度等)的通用机械零件的设计准则、计算方法和设计步骤。

各种机器的主体——机械系统都是由零件和部件组成的。机械零件就是不经装配而制成的机器组成单元。通常,为了某个单一的用途而把一些零件组合在一起工作,例如齿轮减速器、联轴器等,这样的零件组合称为部件。对机器都通用的大多数型式的零件,称为通用零件,例如螺栓(钉)、齿轮、轴、轴承等。这些零件以及它们的组合,是本课程所要研究的主要对象。另外,有一些零件只用于专门机器上,例如,汽轮机的叶片、车床的尾架等,称为专用零件。专用零件的设计牵涉到各种专业机械的整套工艺、理论和计算方法,将在专业课中讨论。

机械零件的设计是整个机器设计工作中的一项重要具体内容,因此,必须从机器整体出发来考虑零件的设计。设计零件的步骤通常包括:选择零件的类型;确定零件上的载荷;零件失效分析;选择零件的材料;通过承载能力计算初步确定零件的主要尺寸;分析零、部件的结构合理性(例如装拆是否方便、制造是否省工省料等);作出零件工作图和部件装配图。对一些由专门工厂大批生产的标准件(螺栓、滚动轴承等)主要是根据机器工作要求和承载能力计算,由标准中合理选用。

根据工艺性及标准化等原则对零件进行结构设计,是分析零、部件结构合理性的基础。有了准确的分析和计算,而如果零件的结构不合理,则不仅不能省工省料,甚至使相互组合

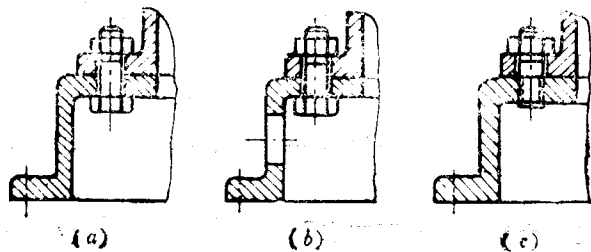


图1—1. 是否便于装配的结构举例
(a)不合理; (b)较合理; (c)较合理

的零件不能装配成合乎机器工作和维修要求的良好部件,或者根本装不起来。例如,在第四章图4—16中,如果蜗轮不是采用齿圈式而是整体式结构,就浪费了贵重的有色金属。再看图1—1中(a)的结构,无法将螺栓装上;而(b)和(c)的结构则可保证将凸缘与底座用螺栓加以牢固地联结。又如,装用滚动轴承的轴颈直径,除满足其它要求外,还必须符合轴承的直径系列标准,等等。这些问题在教材的各章中都将有所讨论。总之,在设计机械零件时,承载能力计算和结构设计这两个既有区别又有联系的方面,构成了本课程整个内容上的一大特点。

2. 本课程的性质 “机械零件”课程是继基础课及某些技术基础课(工程画、力学、金属工艺学、公差及技术测量等)之后的一门重要的技术基础课,是工科高等学校机械类专业机械设计系统各课程(如机床设计、内燃机设计等)中的一门重要课程。“机械零件”课程既不能代替专业课,也不可能涉及设计整台机器的所有问题,它是将先修课程中的许多知识用于解决工程实际问题,向专业过渡的一个重要环节,起着承前启后的作用。本课程的技术性较强,在学习方法上同专业课比较接近。

3. 本课程的任务 “机械零件”课程的基本任务在于:①使学生学会利用先修课程中的有关理论和知识,对通用机械零件的工作(承载)能力进行分析和计算,在分析中善于把一个工程问题简化成物理模型(例如,把受弯矩作用的齿轮牙齿简化成“材料力学”中的悬臂梁,进行强度计算),然后,再根据机器及零件的实际工作条件对理论公式加以修正,使能用于零件的设计。②培养学生能从机器整体出发,掌握零件的设计方法和步骤,具有设计一般通用机械零件及某些简单机械(例如各种机械传动装置)的基本能力。③使学生初步学会使用手册资料和图表的技能。所有这些不仅为学生学习专业课打下重要的基础,而且对今后对于解决某些机械工程问题,也可具有一定的独立工作能力。

第二节 机械零件的工作能力和设计的基本准则

1. 机器应满足的基本要求 前已述及,机械零件是组成机器的单元。因此,要想较地进行机械零件的设计,就必须对机器应满足的要求有一个起码的了解。一般地说,机器应满足下面的一些基本要求:

(1) 功能要求——满足人们生产及生活上的需要。例如,汽车能在规定行驶里程内正常行驶;机床在使用期内能加工出一定精度的零件等。

(2) 经济性——机器本身造价低(包括零件选材得当,零件的结构工艺性能好等),机器的生产率高、能耗低。

(3) 安全性——人身安全及机器工作时自身的安全。

(4) 维修性——易于维修和更换失效零件,两次大修间的工作时间长。

2. 机械零件的工作能力和设计的基本准则 机械零件的工作能力,是零件在保证给定参数,完成规定功能所处的状态。所谓给定参数,是根据零件的用途和对零件提出的不同要求而制定的种种特性指标(使用性能)。例如,用于传递动力的轴必须不发生疲劳断裂;仪

表上用来传递运动的轴要求严格控制其扭转变形，等等。这些特征指标，可由一些确定的设计准则来加以保证。

主要的设计准则有：强度、刚度、耐磨性和振动稳定性等。如果这些准则最终决定零件所能承受外部载的大小，则此时的工作能力也称为承载能力。零件丧失工作(承载)能力的现象称为失效(或故障)，例如轴的断裂，液压系统滑阀的卡滞，摩擦离合器接通时间过长，机架或床身变形量超过规定值，等等。对这些零件进行设计的准则，就是在选材得当、费用节省的条件下，保证零件在规定的使用期内不致发生某种形式的失效。现在简要介绍按照强度、刚度和耐磨性提出的设计准则(有关振动稳定性的准则请参阅第六章第七节和第八章第九节)。

(1) **强度** 强度是零件抵抗破裂及塑性变形的能力。作用于零件上的载荷(力、力矩、转矩)在零件的工作截面*上产生应力。强度准则可由下面的条件来表达：

$$\text{对简单应力状态} \quad \sigma \leq [\sigma] \quad (1-1)$$

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

$$\text{对复杂应力状态} \quad \sigma_{eq} \leq [\sigma] \quad (1-3)$$

式中 σ 、 τ 和 σ_{eq} ——零件工作截面上的计算应力(即最大名义应力考虑实际工作情况而增大后的应力)，或称为工作应力，其中 σ_{eq} 为复杂应力状态下的当量应力。根据【材料力学】中的有关强度理论计算， $[\sigma]$ 、 $[\tau]$ ——零件的许用应力，亦即零件计算应力的最大许可值。

当零件由塑性材料制成并受有静应力时，失效的形式通常为发生不允许的残余变形。因此，式(1-1)到式(1-3)中的许用应力是由材料的屈服极限来确定的，即

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{[n]} \quad (1-4)$$

$$[\tau] = \frac{\tau_s}{[n]} \quad (1-5)$$

式中 σ_s 和 τ_s ——材料的拉伸和剪切屈服极限， $[n]$ ——相对于屈服极限的许用安全系数。

当零件由脆性材料制成时，失效形式为一次断裂，此时许用应力是根据材料强度极限来确定的，即

$$[\sigma] = \frac{\sigma_B}{[n]} \quad (1-6)$$

式中 σ_B ——材料的强度极限， $[n]$ ——相对于强度极限的许用安全系数。

当零件中的应力值随时间而变化时，失效形式为疲劳断裂。此时，许用应力由下式表达：

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{-1}}{[n]} \quad (1-7)$$

式中 σ_{-1} ——材料试件在对称循环应力下的持久极限， $[n]$ ——相对于持久极限的许用安全系数。由于零件的结构形状和尺寸变化而引起的应力集中会大大削弱零件的疲劳强度，故而此时的许用应力比静应力场合要小得多。

* 为简单起见，这里仅限于体积强度的讨论。

公式1-1到1-3通常用于设计计算(初步计算),通过计算应力同许用应力的关系把载荷、零件工作截面尺寸、与材料强度这三者联系了起来,根据已知的载荷及材料强度计算出零件的尺寸。在另一种情况下,当零件尺寸根据其它准则或结构要求已预先确定,并且载荷与应力成线性关系时,则可对这种零件进行强度校核计算:

$$n = \frac{S}{\sigma} > [n] \quad (1-8)$$

式中 S ——材料的极限应力(例如 σ_B 、 σ_s 或 σ_{-1}); σ ——零件的计算应力; n ——计算的(或实际的)安全系数; $[n]$ ——许用安全系数。

机械零件强度计算中所引入的许用安全系数 $[n]$,是为了考虑设计中一系列不确定因素的影响。这些因素主要与①对零件上所作用外力估计的精确程度;②零件截面上的应力计算同实际分布的差异程度;③零件的重要性等有关。在设计零件时,可如上述那样根据经验先选取一许用安全系数 $[n]$,据此求出零件的许用应力进行强度计算。倘若设计时缺少 $[n]$ 的经验数据,则可采用所谓部分系数法来确定许用安全系数:

$$[n] = n_1 n_2 n_3 n_R \quad (1-9)$$

式中 $n_1 = 1 \sim 1.5$,表示计算时所取载荷和应力可靠程度的分系数; n_2 表示材料不均匀性的分系数:对于锻造或轧制毛坯的钢制零件 $n_2 = 1.2 \sim 1.5$,对于铸铁零件 $n_2 = 1.2 \sim 2.5$; $n_3 = 1 \sim 1.5$,表示特殊安全要求的分系数; n_R 是当钢制零件有可靠性要求时的分系数,根据给定的可靠度 R 用式1-15及附录I的表进行计算,不考虑可靠性时取 $n_R = 1$ 。

(2) **刚度** 刚度是零件受力时抵抗弹性变形的能力。有些零件(例如机床床身)中的应力不到 10N/mm^2 (即MPa),大大低于其极限值(σ_s 、 σ_B 等),而这些零件的尺寸则是由具有足够刚度这一准则来确定的。近来越来越多地强调刚度准则的应用,因为结构材料的改进主要在于提高其强度值,而弹性模量则提高很少,有些材料,例如各种钢,其弹性模量是保持不变的。

对机械零件提出刚度要求是基于下列情况:①不稳定平衡(例如细长杆受轴向压缩载荷)情况下零件的强度条件。②与相配零件协同工作的零件的工作条件。例如轴与其上的轴承及齿轮,当轴的挠曲变形超过允许值时,将导致轴承和齿轮传动的载荷集中(详见第三章和第八章),甚至引起失效。③动力稳定性条件。例如,支持在流体膜润滑的滑动轴承上的转子,在一定的工况下会发生自激振动(见第八章第九节),常使整个系统损坏而造成严重后果。避免自激振动的方法之一就是增大轴的刚度以提高转子的自然振动频率(见第六章第七节)。④加工工艺上的要求。例如,有些零件由于受工艺条件的限制,必须有足够的刚度,以免加工中产生变形。

(3) **耐磨性** 零件沿各个摩擦表面发生尺寸和形状的改变称为磨损。大多数机器都是由于磨损而报废。磨损不但大大增加了运转费用,而且引起停工和产量下降,机器的使用寿命因此(例如引起精度丧失、强度降低等)而受到很大限制。机械零件在工作中抵抗各种磨损的能力称为耐磨性。

机器中的磨损可分为:

① **机械磨损**,其中最重要的是磨粒磨损。在粉尘环境中工作而密封又不良的机器(如采矿、土建机械),或有的机器虽然工作环境清洁而且密封良好,但因润滑油池中金属屑粒

未能滤清（例如齿轮减速器），在这些场合都容易发生磨粒磨损。此时，磨粒在摩擦表面间运动，使表面上的不平处发生疲劳变形，甚至发生剪切。这就是机械磨损。

② **分子-机械磨损**（粘着磨损），例如胶合、咬死。摩擦副（例如齿轮传动的轮齿接触表面）在速度和压力的不利组合下，由于接触表面间不能形成润滑膜，或虽形成润滑膜但遭破坏，以致发生胶合。最危险的胶合形式是两摩擦表面局部熔焊起来，在随后的相对运动时，把焊到一物体上的颗粒从另一物体上撕下。在轴颈与滑动轴承的摩擦表面间，由于速度和载荷过大，不仅破坏了流体膜，甚至连表面上的边界润滑膜也被破坏，以致产生很大的粘着力而使轴顿时停止转动。这种现象称为咬死（亦称抱轴）。要想减少或避免胶合的危险，两摩擦体不宜采用化学性质相同或相近的材料制造，而且表面必须经硬化处理。必要时还可同时采用含极压添加剂的润滑油以增加边界润滑膜的强度。要想避免轴颈在轴承中的咬死，还必须限制轴承的速度和载荷。

③ **腐蚀-机械磨损**（腐蚀磨损），是由于化学反应及电化学反应引起材料的转移。通常腐蚀的产物以机械磨损的方式磨掉。

④ **接触疲劳磨损**，是受接触变应力的摩擦副由于材料的疲劳而在表面上发生小块金属的剥落。这种磨损形式的机理详见第三章第二节3、(3)。

理论研究及实践表明，如果能使两摩擦表面间被一层足够厚的润滑剂隔开，以致表面不平处不相接触（流体膜润滑），并且严格防尘，保持润滑剂清洁，则机器运转时就可能没有磨损。

耐磨计算是使润滑膜的厚度大于两摩擦表面形状误差同表面不平度高度之和，这样，就能保证获得流体膜润滑（见第八章）。如果上述条件不能保证，就必须限制许用接触压力，以获得要求的使用寿命。为了从磨损的角度估计使用寿命，当认为磨损形式一定时，可采用下面的公式进行计算：

$$p^m S = \text{常数} \quad (1-10)$$

式中 p ——比压； S ——摩擦路程； m ——由试验得出的指数，通常为1~3。对于边界膜润滑下的摩擦， $m \approx 3$ ；对于磨粒磨损以及小压力 and 没有润滑时的摩擦， $m \approx 1$ 。

第三节 机械产品的可靠性*

1. **可靠性的定义** 机械产品包括一个零件、整台机器以及由若干台机器所组成的系统（或机组）。从广义来说，产品的可靠性是指产品在规定的时间内完成规定功能的性能。例如，有某厂同批生产的两辆完全相同的卡车，在同一条公路上拉运相同吨位的货物。按技术文件规定这批卡车在两次大修间的使用寿命为15万公里，但其中一辆已安全行驶了20多万公里，而另一辆行驶不到10万公里就因故障而需进行大修。这样，我们可以说前一辆卡车的可靠性比后一辆的好。狭义的可靠性指产品的无故障性。对失效后不可修复的产品（机械零件）只有狭义可靠性。对可修复的产品（整台机器），用坏修理，修好再用，直到工作能力达于极限状态而不能使用为止。这种产品在整个使用期内和规定的维护保养和修理制度的条件下保持其工作能力的性能，称为耐用性。广义的可靠性包括无故障性和耐用性。

2. 评价可靠性的指标 (尺度)

(1) 评价产品无故障性的指标 这种指标中主要是产品的可靠度, 它等于产品在规定的使用条件下和规定的时间内, 无故障地完成规定功能的概率, 用 R 表示。因为故障本身是一种偶然现象, 故障前的使用寿命 (失效时间) 是随机分布变量, 所以可靠度是时间的函数。

设有 N 个完全相同的产品, 在相同条件下从时刻“0”开始工作 (或试验), 到时刻 t 发生故障 (对零件称失效) 的总数为 $n(t)$; 仍在工作的产品数为 $N(t) = N - n(t)$ 。当 N 足够大时, 到时刻 t 为止的累积故障概率 (也是时间的函数) F 可表示成

$$F \approx \frac{n(t)}{N} \quad (1-11)$$

而无故障概率, 即可靠度 R 则为

$$R \approx \frac{N - n(t)}{N} = \frac{N(t)}{N} \quad (1-12)$$

上面两式相加得:

$$R + F = 1 \quad (1-13)$$

这表明产品的可靠与故障属于对立事件, 它们各自发生的概率之和等于1。例如, 滚动轴承相应于其额定寿命的可靠度为90% (见第七章), 那么100套相同轴承同时工作到额定寿命时就会有10套发生失效。此外, 对一套轴承来说, 90%可靠度意味着在额定寿命内有90%的把握不会失效。

产品可靠度 R 的允许值应根据故障的危险程度来选取。不难想象, 用于航天飞机上的轴承、齿轮等零件, 其可靠度应比用于地面一般机械上同类零件的可靠度高得多。当然, 产品的可靠度越高, 制造费用就越大; 另一方面, 工作时的使用 (包括修理) 费用则越小。因此从经济观点来看, 应选取一个最佳的可靠度。若将机器的总费用 C (制造费用 C_m 与使用费用 C_s 之和) 表示为可靠度 R 的函数时, 则函数的极小值所对应的 R_{opt} 即为机器在经济上最佳的可靠度, 如图1-2所示。

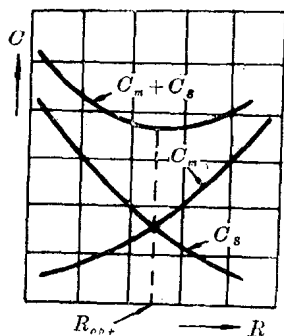


图1-2. 产品可靠度与经济性的关系

自己功能的能力来表示整台机器的工作耐用性。这里所说的消耗主要指用于更换已磨损的零件和维修、保养的费用。在机器的整个使用期间, 用于更换, 修理所消耗的时间和费用的总值越少, 机器的工作耐用性就越高。在这种情况下, 可采用技术利用系数 K_u 作为评价产品耐用性的一个指标, 即

(2) 评价产品耐用性的指标 这是用来评价产品在整个使用期间工作能力耗损情况的指标。可采用两种方法来评价。

第一种方法用可以说明整台产品技术特征 (例如工作精度、功率、速度、效率等) 是否超过允许极限的指标来衡量。在这种情况下, 产品的寿命 (或使用期限) 就成为耐用性的指标。

第二种方法, 用机器能以最少的消耗完成

$$K_u = \frac{T_w}{T_w + \sum_{i=1}^n T_{ri}} \quad (1-14)$$

式中 T_w ——机器整个使用期内的的工作时间； $\sum T_{ri}$ ——整个使用期内各次修时理间的总和。

K_u 的值在0~1之间，等于任意时刻机器在工作的概率。

对于通用机械零件，失效后一般不可修复，不存在评价其耐用性的问题。

3. 机械零件强度计算中考虑可靠性的安全系数 在式 1—8 中用 S 代表零件材料的各种极限应力 ($\sigma_s, \sigma, \sigma_{-1}$ 等) 来校核零件强度时, S 是作为确定性变量从有关手册的材料机械性能表中选取的。但是, 由于种种不确定的因素, 一批相同材料做成的相同试件, 在相同条件下试验得出的 S 值是离散的, 属于随机分布的变量(图1—3), 经统计处理后取其均值, 列成机械性能表供设计时选用。由于零件的实际极限应力都可能偏离其均值, 如果不考虑其它不确定因素对零件失效的影响, 只认为与极限应力的离散性有关, 则在

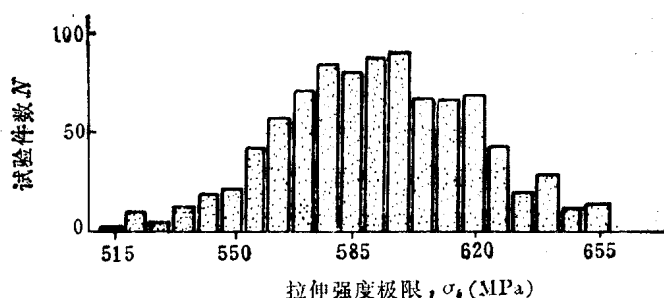


图 1—3. UNS G10250 热轧钢拉伸强度分布[19]

对零件要求某一可靠度的情况下, 应选取相应的 S 值才能满足强度计算的需要。通常, 零件的失效时间和极限强度均可按正态分布的性质来处理, 如图1—4所示。图中纵坐标 f_i 为失效分布密度, 横坐标 S 为随机分布的极限应力; $\bar{S}$ 是 S 的均值 (即手册中列出的各种强度值)。正态分布曲线关于 $\bar{S}$ 两边对称, 曲线下的总面积等于 1。在校核零件强度时若取 $S = \bar{S}$, 则失效概率 F 和可靠度 R 都等于 50%, 各占曲线下总面积的一半。当取 $S < \bar{S}$ 时, F 减少而 R 增大 (如图中阴影线部分的面积所示)。

根据规定的可靠度来确定安全系数 n_R , 则此时应取 $S = \bar{S} / n_R$; 对钢制零件, n_R 可用下式近似求得

$$n_R = \frac{1}{1 - 0.08 Z_R} \quad (1-15)$$

式中 Z_R 是标准正态分布函数中的标准化系数, 由附录 I 的正态分布可靠度数值表中查取。例如, 要求 0.90000 (即 90%) 的可靠度时, 由表中可见, Z_R 在 1.28 到 1.29 之间; 用插值法求得 $Z_R = 1.288$ 。于是 $n_R = 1 / (1 - 0.08 \times 1.288) = 1.11$ 。

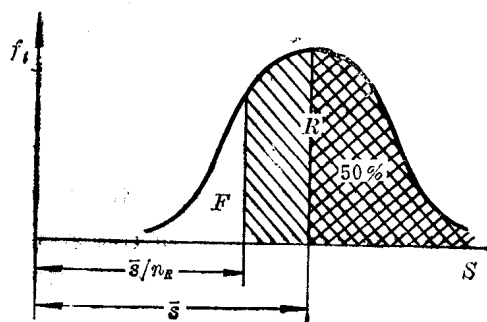


图 1—4. 正态失效分布曲线

对钢制零件受对称循环变应力时, 采用 n_R 来考虑可靠性要求较为合适。此时式 1-8 中的 $S = \sigma_{-1}$, σ 为工作应力的应力幅 σ_a 。

第四节 机械零件的常用材料

机械零件的工作可靠性和经济性与材料选择是否恰当有密切关系。各种零件所用的具体材料以及选择的原则, 将在后面有关章节中介绍。本节只从设计的角度介绍一些常用材料的一般性态。至于材料名称、牌号、主要机械性能及用途举例等, 可从常用的机械零件设计手册中查阅。

1. 铸铁

(1) 灰铸铁 灰铸铁的主要优点是成本低, 铸造性好, 比较容易制成形状复杂的毛坯。铸铁件的壁厚常常是由于铸造工艺上的考虑, 而不是由强度或刚度来确定。灰铸铁的主要缺点是强度较低, 性脆。尽管如此, 它仍然是机械零件广为应用的材料。

灰铸铁的抗拉强度与抗压强度之比约为 1:4, 因此, 在结构上应该尽量使铸件受压缩, 不受拉伸。在设计受弯曲的铸件截面形状时, 应使其对抗压和抗拉的强度都能充分利用, 例如采用不对称的工字形截面。

灰铸铁的弹性模量比钢低。因此在应力相同时, 铸铁零件的变形比钢大。当承载能力相同时, 由于铸铁零件的尺寸比钢制零件的大, 因而也提高了前者的刚度。

灰铸铁由于性脆, 断裂时的变形很小, 故而不适宜用于受冲击载荷的零件。

灰铸铁在 350℃ 以下时, 其强度受温度的影响很小; 但当超过 400℃ 时就要产生有害的体积膨胀和很大的附加应力, 使零件出现裂纹, 强度降低。这种现象称为“热生长”。因此, 灰铸铁不宜用于温度超过 400℃ 的环境。

灰铸铁的耐磨性和减摩性比钢好, 减震性也较好, 常用来制造机架或床身。

(2) 球墨铸铁 球墨铸铁由于其中的石墨成球状, 强度约比铸铁高一倍, 接近于普通碳素钢, 而且强度受壁厚的影响小于灰铸铁。球墨铸铁具有较高的延伸率和耐磨性, 弹性模量也比灰铸铁高。减震性能比钢好, 但不如灰铸铁。球墨铸铁的价格比灰铸铁高。球墨铸铁适宜于制造受冲击载荷的高强度铸件, 例如齿轮、曲轴等。

(3) 可锻铸铁 当零件的尺寸小, 形状复杂, 不能用铸钢或锻钢制造, 而灰铸铁又不能满足高强度和高延伸率的要求时, 就可选用可锻铸铁来制造。它是铸件, 而不是锻件。可锻铸铁的强度与球墨铸铁和普通碳素钢的强度接近。黑心可锻铸铁的强度受壁厚的影响小。可锻铸铁的强度在温度高于 400℃ 时要显著下降。可锻铸铁的冲击韧性较好。

可锻铸铁也可以整体硬化、表面硬化或调质。壁厚小于 6 mm 的白心可锻铸铁可象钢一样进行焊接。可锻铸铁不耐腐蚀, 但它的防大气腐蚀能力比灰铸铁强。可锻铸铁的价格比灰铸铁高。

2. 铸钢 铸钢主要用于承受重载的大型零件。铸钢的强度同碳素结构钢相近。因为铸钢组织不如轧制件和锻压件致密, 所以强度值比锻件略低。铸钢的抗拉强度为灰铸铁的 2~4 倍, 两者的抗压强度相近。铸钢的抗弯强度比铸铁高约一倍, 扭转强度高约 50%。铸钢的弹性模量约为铸铁的 2 倍, 因此减震性能较差。铸钢的延伸率比灰铸铁好, 一般为 12~20%。

铸钢的熔点比铸铁高，铸造收缩率约为后者的2倍，容易形成气孔，因此比灰铸铁难于铸造。铸钢的品种很多，可以满足各种要求，但用途特殊的合金铸钢价格都比较贵。

3. 碳素钢和合金钢 碳素钢和合金钢是机械制造中用得最广泛的材料，品种也比较多。碳素钢的产量约占总产量的65%以上，价格较低，应优先采用。

选用钢材时，除了零件的使用要求外，还必须考虑材料的热处理性能和机械加工性能。对于受力不大，而且基本上经受静应力的一般零件，可选用普通碳素钢。普通碳素钢的淬透性差，一般用普通碳素钢制造的零件不进行热处理。

当零件受力较大，而且受变应力或受冲击载荷时，或对一些重要的零件，可选用优质的碳素结构钢。这种钢由于化学成分比较稳定，可以进行热处理，但它的淬透性仍不够好，淬火变形较大，所以零件淬火后都要回火。对尺寸较大且要求金相组织均匀的重要零件不宜采用。含锰量较高的优质碳素结构钢，在淬透性和耐磨性方面都优于正常含锰量的碳素结构钢。

各种截面的型钢和钢丝，绝大多数是碳素钢的热轧、冷轧或冷拉制品。

碳素钢的使用温度范围为 $-40\sim+300^{\circ}\text{C}$ ，但甲类普通碳素钢的最低使用温度只能到 -25°C 。

含碳量较低的碳素钢都有良好的可焊接性。

当零件受力较大，工作情况较复杂，热处理要求较高，用优质碳素结构钢不能满足时，可选用合金结构钢。合金结构钢同优质碳素钢相比，其主要区别在于前者根据不同要求加入各种合金元素如镍、铬、锰、钼、钨、钒、铝、硅、钛等，用以改善各种性能，例如提高淬透性、耐磨性、硬度、冲击韧性、高温强度和低温强度等等。在这里必须指出，各种合金元素对各种性能的改善并不是同等的，并且与热处理工艺有很大的关系。例如，有些元素提高了钢的硬度和强度，但是降低了延伸率，增加了对应力集中的敏感性。因此在选择合金钢时，必须兼顾热处理的要求，进行仔细比较，在满足主要要求的条件下，兼顾次要要求。要想通过热处理来满足所有要求则是不现实的。

选择钢材时，还要有一些其它的考虑，例如：

对于大量生产的某些零件，为了提高机械切削加工的生产率，尽可能选择切削性能好的易切钢。

对于需要用冷拉工艺制造的零件，应该采用冷拉优质结构钢。

对于在高温、低温、腐蚀等特殊条件下工作的零件，以及滚动轴承、弹簧等由专门厂大量生产的零件，其所用材料都有专门的品种和规格。有些行业如起重机、汽车、船舶、石油、化工、锅炉等，还有本行业的材料要求和规格。

4. 有色金属 在有色金属中，除铝合金具有比较高的机械强度，可用于制造承载零件外，其它有色金属都是作为耐磨材料、减摩材料、耐腐蚀材料、装饰材料等在机械制造中应用的。常用的有色金属有铝合金、黄铜、青铜、轴承合金以及镁合金等。

5. 钛及钛合金 纯钛的强度低，但加入合金元素的各种钛合金强度很高，钛合金的密

度小，在高温下仍能保持相当高的强度，而且耐腐蚀，因此它在化学工业、石油工业以及航空与造船工业中的应用越来越广。

钛合金的价格目前还比较贵，但我国的钛资源丰富，预料今后这种合金的价格将会逐渐降低，因此是一种有发展前途的材料。

6. 塑料 塑料的突出优点是相对密度小，容易加工，而且可用注射的方法制成各种形状复杂、尺寸精确的零件。塑料的品种很多，目前还能用改性、接枝等技术获得各种性能特殊的塑料，因此它的应用日益广泛。

各种塑料的价格相差很大，通常只有在批量大于1000件时，模制才具有经济价值。

7. 橡胶 橡胶的摩擦系数大，抗拉强度低，在机械零件中主要用作传动带的被覆材料和粘接剂；由于橡胶的弹性好，也广泛用作减震元件（例如在弹性联轴节中），另外还用作密封件、水润滑的滑动轴承轴瓦等。

8. 复合材料 复合材料是按设计要求把材料进行定向处理或复合而获得的新型材料。这是材料工业发展的方向之一。在机械工业中，用得最多的是纤维增强复合材料，它是利用玻璃、石墨、硼、塑料等非金属材料（也可用金属）的纤维强度很高、相对密度很小的特点，以金属、合金、塑料或陶瓷作基材，把纤维与基材复合而成，其纵向强度比横向强度高出若干倍。基材的作用在于把纤维粘在一起，使它不受机械的或化学的损伤，而且还可起到把各纤维隔开的作用。这种材料非常适合于制作薄壁压力容器，现已在各种容器和汽车外壳等的制造中采用，并已开始用于制造其它零件。

在普通碳素钢板外面贴覆塑料或不锈钢，可以获得强度高而耐腐蚀性好的塑料复合钢板，用以代替价格较贵的耐酸不锈钢板。

把金属箔与塑料层交替叠置，就可得到既能导电，又能绝热的复合材料。

将减摩材料薄层与较薄的结构钢基体用连续的方法制成带状，例如，钢-巴氏合金（浇注在带上），钢-铅青铜（浇注或粉末烧结在带上）等。用这些复合材料可制成汽车和拖拉机的轴套和止推环以及其它支承零件，其强度和抗磨性能均佳。

复合材料还在发展中。复合材料的价格目前都比较贵。随着科学技术的进步，它将会获得更加广泛的应用。

附录1

正态分布可靠度数值表

Z_R	R									
	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.50000	.50399	.50798	.51197	.51595	.51994	.52392	.52790	.53188	.53586
0.1	.53983	.54380	.54776	.55172	.55567	.55962	.56356	.56749	.57142	.57535
0.2	.57926	.58317	.58706	.59095	.59483	.59871	.60257	.60642	.61062	.61409
0.3	.61791	.62172	.62552	.62930	.63307	.63683	.64058	.64431	.64803	.65173
0.4	.65542	.65910	.66276	.66640	.67003	.67364	.67724	.68082	.68439	.68793

续 表

0.5	.69146	.69497	.69847	.70194	.70540	.70884	.71226	.71566	.71904	.72240
0.6	.72575	.72907	.73237	.73565	.73891	.74215	.74537	.74857	.75175	.75490
0.7	.75804	.76115	.76424	.76730	.77035	.77337	.77637	.77935	.78230	.78524
0.8	.78814	.79103	.79389	.79673	.79955	.80234	.80511	.80785	.81057	.81327
0.9	.81594	.81859	.82121	.82381	.82639	.82894	.83147	.83398	.83646	.83891
1.0	.84134	.84395	.84614	.84850	.85083	.85314	.85543	.85769	.85993	.86214
1.1	.86433	.86650	.86864	.87076	.87286	.87493	.87698	.87900	.88100	.88298
1.2	.88493	.88686	.88877	.89065	.89251	.89435	.89617	.89796	.89973	.90147
1.3	.90320	.90490	.90658	.90824	.90988	.91149	.91309	.91466	.91621	.91774
1.4	.91924	.92073	.92200	.92364	.92507	.92647	.92786	.92922	.93056	.93189
1.5	.93319	.93448	.93574	.93699	.93822	.93943	.94062	.94179	.94295	.94408
1.6	.94520	.94630	.94738	.94845	.94950	.95053	.95154	.95254	.95352	.95449
1.7	.95543	.95637	.95728	.95818	.95607	.95994	.96080	.96164	.96246	.96327
1.8	.96407	.96485	.96562	.96638	.96712	.96784	.96856	.96926	.96995	.97062
1.9	.97128	.97193	.97257	.97320	.97381	.97441	.97500	.97588	.97615	.97670
2.0	.97725	.97778	.97831	.97882	.97932	.97982	.98030	.98077	.98124	.98169
2.1	.98214	.98257	.98300	.98341	.98382	.98422	.98461	.98500	.98537	.98574
2.2	.98610	.98645	.98679	.98713	.98745	.98778	.98809	.98840	.98870	.98899
2.3	.98928	.98956	.98983	.99010	.99036	.99001	.99086	.99111	.99134	.99158
2.4	.99180	.99202	.99224	.99245	.99266	.99286	.99305	.99324	.99343	.99361
2.5	.99379	.99396	.99413	.99430	.99446	.99461	.99477	.99492	.99506	.99520
2.6	.99534	.99547	.99560	.99570	.99585	.99598	.99609	.99621	.99632	.99643
2.7	.99053	.99664	.99674	.99683	.99693	.99702	.99711	.99720	.99728	.99736
2.8	.99744	.99754	.99760	.99767	.99774	.99781	.99788	.99795	.99801	.99807
2.9	.99813	.99819	.99825	.99831	.69836	.99841	.99846	.99851	.99856	.99861
Z_R	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
3	.9 ² 865	.9 ³ 032	.9 ³ 313	.9 ³ 617	.9 ³ 663	.9 ³ 767	.9 ³ 841	.9 ³ 892	.9 ⁴ 277	.9 ⁴ 519
4	.9 ⁴ 683	.9 ⁴ 793	.9 ⁴ 867	.9 ⁵ 146	.9 ⁵ 459	.9 ⁵ 660	.9 ⁵ 789	.9 ⁵ 870	.9 ⁶ 207	.9 ⁶ 521
5	.9 ⁶ 713	.9 ⁶ 830	.9 ⁷ 004	.9 ⁷ 421	.9 ⁷ 667	.9 ⁷ 810	.9 ⁷ 893	.9 ⁸ 401	.9 ⁸ 668	.9 ⁸ 818
6	.9 ⁹ 013	.9 ⁹ 470	.9 ⁹ 718	.9 ⁹ 851	.9 ¹⁰ 223	.9 ¹⁰ 598	.9 ¹⁰ 794	.9 ¹⁰ 896	.9 ¹¹ 477	.9 ¹¹ 740

注：表中9字的指数表示9字重复出现的次数

附录 I 我国和世界一些国家常用钢号对照（举例）表

国别 标准 钢种 及牌号	中国	苏联	美国	英国	日本	西 德	意大利
	GB YB	ГОСТ	AISI SAE	BS	JIS	DIN W—Nr①	UNI
碳素结构钢	15	15	1015②	En2	S15C	{ C15(DIN) 1.0401(W—Nr)	C15
	45	45	1045	—	S45C	{ C45(DIN) 1.0503(W—Nr)	—
	50Mn	50J	1052	En43 { A B C	—	—	—
合金结构钢	40Cr	40X	5140	En18	SCr4	{ 41Cr4(DIN) 1.7053(W—Nr)	40C4
	20CrV	20XΦ	6120	—	—	{ 22CrVM04 7513(W—Nr)	—
	35CrMo	35XM	4132	En19B	SCM3	{ 34CrM04 1.7220	38CD4
不锈钢	1Cr13	1X13	403	En56A	SUS51	{ X10Cr13 1.4006	X15C13
	1Cr18Ni9	1X18H9	302	En58A	CKH2	{ B18 1.3355	X15CN1808

①W—Nr为西德在1951年提出的一种材料数字系统。

②美国AISI和SAE对结构钢用四位数字表示成××××，其中左起前两位表示钢种，后两位表示平均含碳量的万分数。举例如下：

10××——一般碳素钢，如1045说明含碳量约0.45%；

11××——易切碳素钢；

13××——锰钢；

2×××——镍钢；

3×××——镍铬钢，其中第二位数字表示含镍量；

4×××——钼钢，其中第二位数字表镍、铬含量；

5×××——铬钢；

6×××——铬钒钢等。

上表所列只是一部分数据，在于帮助读者阅读国外资料时，可略知国内外常用钢种的相当牌号，详细的对照及说明请参阅〔6〕。

第二章 带传动

内 容 提 要

带传动是机械传动中常用的一种传动型式，它的主要作用是传递转矩和改变转速。带传动是靠具有挠性的带与带轮间产生的摩擦力来实现传动的，因而属于摩擦传动。本章将从分析带传动的工作情况出发引出设计准则和计算公式，这是带传动设计的基础。只有掌握了这一基础，才能理解和解决带传动设计中的主要问题。本章全面介绍了三角带传动的设计计算，是学习这一章的重点。

第一节 概述

带传动由固定于主动轴 O_1 上的带轮1（主动轮），固定于从动轴 O_2 上的带轮2（从动轮）和套在两带轮上的带3所组成（图2—1）。带是挠性件，因而带传动是一种挠性传动。

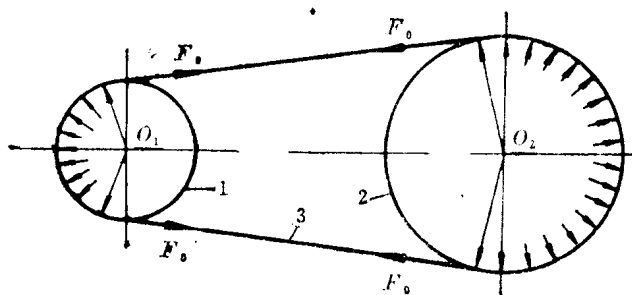


图2—1. 带传动的工作原理

带3紧套在带轮1、2上，因而带与轮的接触表面间存在着正压力，当原动机驱动主动轮1回转时，在带与主动轮接触表面间便产生摩擦力。正是借助这种摩擦力，主动轮才能牵动带，继而带又牵动从动轮，从而将主动轴上的转矩和运动传给从动轴。

1. 带传动的主要类型和传动形式 工业中常用的带传动有平型带传动和三角带传动〔图2—2(a)、(b)〕。近年来，为适应生产上的需要，又出现了一些新型的带传动，例如同步

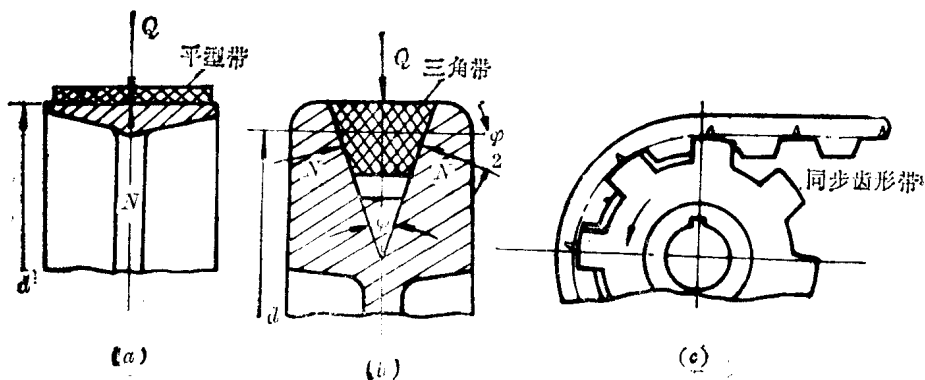


图2—2. 带传动局部剖视

齿形带传动 (图2—2,c)

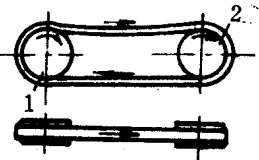
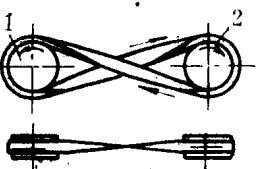
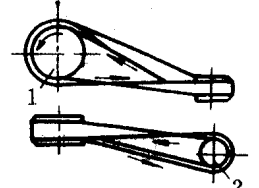
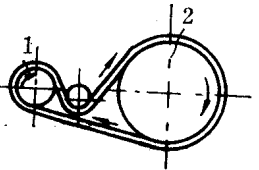
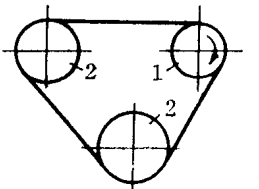
平型带是靠带的底面与带轮表面之间的摩擦力来传动的,而三角带则靠带的侧面与带轮轮槽之间的摩擦力传递动力。从图2—2(a)中可见,若平型带以 Q 力压向带轮,则带与带轮间能产生的摩擦力为:

$$F_{\text{平}} = Q \cdot f$$

其中 f 为摩擦系数。若三角带也以同样大小的 Q 力压向带轮〔图2—2(b)〕,则在带的两侧面上产生正压力 N ,根据力平衡条件得

$$Q - 2N \sin \left(\frac{\varphi}{2} \right) = 0$$

表2—1 带传动的传动形式

传动形式	简 图	传动速度 m/s	传动比	工作特点	三角 胶带	平型带		同步齿形 带
						包 层 式	叠 层 式	
开 式 传 动		25~50	≤ 5	平行轴、双向、 同旋向传动。	○	○	○	○
交 叉 传 动		15	≤ 6	平行轴、双向、 反旋向传动, 交叉处有摩擦	×	○	△	×
半交叉 传 动		15	≤ 3	交错轴、单向 传动。	×	○		×
有紧张轮的 平行轴传动		25~50	≤ 10	平行轴、单向、 同旋向传动, 用于 <i>i</i> 大 α_1 小的 场合。	○	○		○
多从动轮 传动		25	≤ 6	简化传动机构 , 带的曲绕次 数多, 寿命短。	○	○		○

注: 表内符号: ○——适用, △——不合理, 寿命短; ×——不适用。