

基 础 篇

第一章 机械设计概论



学习目标

了解机器设计的一般程序、基本要求和基本方法。

一、机器的基本组成要素

在一部现代化的机器中,常会包含着机械、电气、液压、气动、润滑、冷却、控制、监测等系统的部分或全部,但是机器的主体,仍然是它的机械系统。机械系统总是由一些机构组成,每个机构又是由许多零件组成。所以,机器的基本组成要素就是机械零件。

机械零件可分为两大类:一类是在各种机器中经常都能用到的零件,叫作通用零件,如螺钉、齿轮、链轮等;另一类是在特定类型的机器中才能用到的零件,叫作专用零件,如叶片、螺旋桨、曲轴等。

二、设计机器的一般程序

一部新机器的设计过程大致有以下几个阶段。

(1) 计划阶段

计划阶段是设计机器的预备阶段,其目标是拟定出设计任务书。在此阶段,要根据社会和市场的需求,明确所设计机器的功能范围和性能指标;根据现有的技术资料进行可行性研究,明确设计中要解决的关键问题,最后形成设计任务书。设计任务书应包括机器的功能、经济性估计、制造要求、基本使用要求、预计设计期限等。

(2) 方案设计阶段

本阶段对设计机器的成败起关键的作用,其目标是确定一个原理性的设计方案。在此阶段,要按设计任务书的要求,提出可能采用的多种方案,并对这些方案在技术、经济、可靠性等方面进行综合评价,最后进行决策,确定一个可进行技术设计的原理图或机构运动简图。

(3) 技术设计阶段

技术设计阶段是产生总装配草图及部件装配草图。在此阶段,要按已确定的设计方案,进行运动学、动力学计算,零件的工作能力计算和结构设计,最后绘制出总装配图、部件装配图和零件图。在这一过程中,计算、绘图、修改常常是反复交叉进行的。本阶段所涉及的问题是机械设计课程最主要的研究任务。

(4) 技术文件编制阶段

技术文件编制阶段是设计机器的最后一个阶段,其目标是编写出机器的设计计算说明书、使用说明书等文件。设计计算说明书中应包括方案选择和技术设计的全部结论性内容;使用说明书应向用户介绍机器的性能参数范围、使用操作方法、日常保养及简单的维修方法、备用件目录等。

三、设计机器应满足的基本要求

设计机器应满足的基本要求如下:

① 使用功能要求。所设计的机器必须实现预定的使用功能。为此,正确地选择机器的工作原理是最重要的。此外,还应正确地选择执行机构和机械传动方案等。

② 经济性要求。机器的经济性是一个综合性指标,它要求设计和制造的成本低,生产周期短,使用机器的生产率高、效率高,能源和原材料消耗少,维护和管理费用低等。

③ 劳动保护要求。对所设计的机器,要求操作方便、安全,并对周围环境影响小。设计机器时,操作机构要适应人的生理条件,使操作轻便省力;要保证机器使用人员的人身安全,应设有安全防护装置。同时,应降低机器噪声,防止有害介质的渗漏,减轻对环境的污染。机器的外形和色彩应协调,符合工程美学的要求以美化工作环境。

④ 可靠性要求。机器的可靠性是指机器在使用中性能的稳定性,是机器的一个重要质量指标。可靠性高,说明机器使用过程中发生故障的概率小,能正常工作的时间长。机器的可靠性高低是用可靠度来衡量的。机器的可靠度是指在规定的条件下和预定的使用期内机器能够正常工作的概率。

⑤ 其他专用要求。这是对某种类型机器提出的一些特有的要求。例如,食品机器应能保持产品清洁,建筑机器要便于拆装和搬运,飞机应具有质量小、飞行阻力小而运载能力大的性能等。

四、设计机械零件应满足的基本要求

设计机械零件应满足的基本要求如下:

① 工作能力要求。组成机器的所有零件必须具有相应的工作能力,否则就会失效。为避免在预定寿命期内失效,机械零件应具有强度大、刚度足、抗疲劳、耐磨损和防腐蚀等性能。

② 结构工艺性要求。机械零件具有良好的结构工艺性,就是要求零件结构合理,外形简单,在既定生产条件下易于加工和装配。零件的结构工艺性不仅与毛坯制造、机械加工、装配要求有关,而且还与零件的材料、生产批量、生产设备条件等有关。零件的结构设计对零件的结构工艺性具有决定性的影响,是学习机械设计时应掌握的一个重点内容,要予以足够的重视。

③ 经济性要求。经济性要求就是要降低零件的生产成本。从经济性考虑,可以采取以下一些措施:尽量采用标准化的零部件以取代需要加工的零部件;采用廉价材料代替贵重材料;采用轻型结构以减少零件的用料;采用少余量或无余量的毛坯或简化零件结构,以减少加工工时;采用装配工艺性良好的结构以减少装配工序和工时等。

④ 质量小的要求。要尽量减少机械零件的质量,因为这样可减少材料的消耗,降低成本,还可以减小运动零件的惯性以改善机器的动力性能。

⑤ 可靠性要求。机器是由许多零件组成的,因而机器的可靠性取决于机械零件的可靠性。为了提高零件的可靠性,应当使工作条件和零件性能的随机变化尽可能小,并在使用中加强维护和对工作条件进行监测。

五、机械零件的主要失效形式

机械零件由于某种原因不能正常工作,称为失效。机械零件的失效形式主要有以下几种:

① 整体断裂。整体断裂分为一次断裂和疲劳断裂两类。当零件受外载荷作用下,由于危险截面上应力超过零件的强度极限时而发生的断裂称为一次断裂。当零件在循环变应力作用下工作较长时间以后,危险截面上的应力超过零件的疲劳极限时所发生的断裂称为疲劳断裂。在机械零件的整体断裂失效中多数属于疲劳断裂。

② 过大的残余变形。如果作用于零件上的应力超过了材料的屈服极限,则零件将产生残余变形。如机床上夹持定位零件的过大的残余变形,会降低加工精度。

③ 表面破坏。机器中的零件都要与别的零件发生静接触或动接触,或形成配合关系,因此表面破坏是机械零件经常发生的一种失效形式。机械零件的表面破坏主要是腐蚀、磨损和接触疲劳。腐蚀是金属表面与周围介质发生的一种电化学或化学侵蚀现象,使零件表面产生锈蚀而破坏。磨损是两个接触表面在作相对运动过程中表面材料的脱落或转移的现象。接触疲劳是零件表面长期受到接触变应力的作用而产生裂纹或微粒剥落的现象。这些破坏形式都是随工作时间的延续而逐渐发生的失效形式。

④ 破坏正常工作条件引起的失效。有些机械零件只有在一定的工作条件下才能正常工作。如果这些工作条件被破坏,就将导致零件的失效。例如,对于带传动,当其所传递的有效圆周力超过临界摩擦力时,将发生打滑失效;对于高速转动的零件,当其转速与转动件系统的固有频率接近时,就要发生共振使振幅增大而不能工作。

六、机械零件的计算准则

为了避免机械零件失效,在设计零件时进行计算所依据的准则是与零件的失效形式密切相关的。一个机械零件可能有多种失效形式,但在设计时,应根据其主要的失效形式而采用相应的计算准则。主要的计算准则如下:

① 强度准则。强度是机械零件抵抗整体断裂、塑性变形和表面接触疲劳的能力。例如:对一次断裂来讲,应力不超过材料的强度极限;对疲劳破坏来讲,应力不超过零件的疲劳极限;对残余变形来讲,应力不超过材料的屈服极限。其一般的表达式为

$$\sigma \leq \sigma_{\text{lim}} \quad (1-1)$$

考虑到各种偶然性或难以精确分析的影响,式(1-1)右边要除以设计安全系数 S ,即

$$\sigma \leq \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S} \quad (1-2)$$

式中, σ_{lim} ——极限应力。对应于一次断裂、疲劳断裂、塑性变形和表面接触疲劳,分别为材料的强度极限、零件的疲劳极限、材料的屈服极限和零件的接触疲劳极限。

② 刚度准则。刚度是机械零件抵抗弹性变形的能力。如果零件的刚度不够,就会因过大的弹性变形而引起失效。刚度准则是指零件在载荷作用下产生的弹性变形量不超过许用变形量。其表达式为

$$y \leq [y] \quad (1-3)$$

式中, y ——弹性变形量,可由各种求变形量的理论或实验方法确定;

$[y]$ ——许用变形量,即机器工作性能所允许的极限值,应随不同的工作情况,由理论值或经验值来确定其合理的数值。

③ 寿命准则。寿命是机械零件能正常工作延续的时间。影响零件寿命的主要失效形式为腐蚀、磨损和疲劳。由于它们各自的产生机理和发展规律不同,应有相应的寿命计算方

法。但对于腐蚀和磨损,目前尚无法列出相应的寿命准则。对于疲劳寿命,通常是用求出使用寿命时的疲劳极限来作为计算的依据。

④ 振动稳定性准则。振动是指机械零件发生周期性的弹性变形现象。一般情况下,零件的振幅较小。但当零件的固有频率 f 与激振源(如作往复运动的零件,轴的偏心转动,齿轮的啮合等)的频率接近或成整倍数关系时,零件就要发生共振,振幅急剧增大,致使零件破坏或机器工作失常。这种现象就称为失去振动稳定性。振动稳定性准则是指设计时使机器中受激振作用的各零件的固有频率与激振源的频率 f_p 错开。其条件式通常为

$$0.85f > f_p \quad \text{或} \quad 1.15f < f_p \quad (1-4)$$

由于激振源的频率取决于往复行程数或工作转速,通常为确定值,故当不能满足上述条件时,可用改变零件和系统的刚性、改变支撑位置、增加或减少辅助支撑等办法来改变零件的固有频率 f ,以避免发生共振。

此外,提高回转件的动平衡精度,采用隔振元件把激振源与零件隔开以防止振动传播;采用阻尼以消耗引起振动的能量等措施,都可改善零件的振动稳定性。

七、机械零件的设计方法

机械零件的常规设计方法有以下几种:

① 理论设计。理论设计是根据设计理论和实验数据所进行的设计。它又可分为设计计算和校核计算两类。设计计算是根据零件的工作情况,选定计算准则,按其所规定的要求计算出零件的主要几何尺寸和参数。校核计算是先按其他办法初步拟定出零件的主要尺寸和参数,然后根据计算准则所规定的要求校核零件是否安全。由于校核计算时,已知零件的有关尺寸,因此能计入影响强度的结构因素和尺寸因素,计算结果比较精确。

② 经验设计。经验设计是根据已有的经验公式或设计者本人的工作经验,或借助类比方法所进行的设计。这主要适用于使用要求变动相对固定而结构形状已典型化的零件,如箱体、机架、传动零件的结构要素等。

③ 模型实验设计。这种设计是对一些尺寸巨大、结构复杂的重要零件,根据初步设计的结果,按比例制成小尺寸的模型,经过实验手段对其各方面的特性进行检验,再根据实验结果对原设计进行逐步修改,从而达到完善的设计。模型实验设计是在设计理论还不成熟,已有的经验又不足以解决设计问题时,为积累新经验、发展新理论和获得好结果而采用的一种设计方法。但这种设计方法费时、耗资,一般只用于特别重要的设计中。

八、机械零件设计的一般步骤

机械零件设计的一般步骤如下:

① 选择零件的类型和结构。这要根据零件的使用要求,在熟悉各种零件的类型、特点及应用范围的基础上进行。

② 分析和计算载荷。分析和计算载荷,是根据机器的工作情况,来确定作用在零件上的载荷。

③ 选择合适的材料。要根据零件的使用要求、工艺要求和经济性要求来选择合适的材料。

④ 确定零件的主要尺寸和参数。根据对零件的失效分析和所确定的计算准则进行计算,便可确定零件的主要尺寸和参数。

⑤ 零件的结构设计。应根据功能要求、工艺要求、标准化要求,确定零件合理的形状和结构尺寸。

⑥ 校核计算。只是对重要的零件且有必要时才进行这种校核计算,以确定零件工作时的安全程度。

⑦ 绘制零件的工作图。

⑧ 编写设计计算说明书。

九、机械零件材料的选用原则

机械零件材料选择的一般原则是应满足零件的使用性能、工艺性和经济性等三方面的要求。

(1) 使用性要求

使用性要求是指零件的受力情况、工作条件、零件的尺寸和质量的限制等。例如,对于承受变应力的零件,应选择疲劳强度极限高的材料;对于受冲击载荷的零件,应选用韧性较好的材料;对于受接触应力较大的零件,应选用经表面强化处理的材料。在湿热环境下工作的零件,应选择防锈和耐蚀材料;在高温下工作的零件,应选用耐热材料;在滑动摩擦下工作的零件,应选用减摩、耐磨材料。对于要求强度高而质量小的零件,应选用强度极限与密度之比较高的材料;对于要求刚度大而质量小的零件,应选用弹性模量与密度之比较高的材料等。

(2) 工艺性要求

工艺性要求是指零件所用材料应使其在毛坯制造、热处理和冷加工时都易于进行。对于毛坯的制造,结构简单的可用锻造,结构复杂的宜采用铸造或焊接。锻造材料的工艺性是指材料的延展性、热脆性和塑性变形能力等。铸造材料的工艺性是指材料的液态流动性、收缩率、偏析程度和产生缩孔的可能性等。焊接材料的工艺性是指材料的可焊性和焊缝产生裂纹的倾向性等。热处理工艺性是指材料的淬硬性、淬火变形倾向性和淬透性等。冷加工工艺性是指材料的硬度、易切削性、冷作硬化程度和切削后能达到的表面粗糙度等。

(3) 经济性要求

经济性要求是一个综合性的指标。在满足使用要求的基础上,尽可能选择价格低廉的材料,同时还应考虑到使材料的利用率高、加工费用低和供应状况好等因素。

十、机械设计中的标准化

在机械设计中,标准化的作用非常重要。

标准化包括三方面的内容,即零件标准化、产品系列化和部件通用化。零件的标准化是通过对零件的尺寸、结构要素、材料性能、检验方法、设计方法和制图要求等制订出各式各样的供设计者共同遵守的标准。产品系列化是产品在同一基本结构或基本尺寸的条件下,按一定的规律优化组合成若干个不同规格尺寸的产品。部件通用化是指在系列产品内部或跨系列产品之间采用同一结构和尺寸的零部件。

标准化在简化设计工作、缩短设计周期、提高设计质量、便于专业化生产、扩大互换性、便于维修、保证产品质量和降低成本等方面具有重要意义。

我国现行标准有国家标准(GB)、部标准、专业标准和企业标准等。出口产品一般应符合国际标准(ISO)。