

第一部分 材料力学



绪 论

1.1 机械组成与机械设计要求

1.1.1 机械组成

机械是机器和机构的总称。人类为了满足生产和生活的需要,设计和制造了类型繁多、功能各异的机器。

机器是用来代替人的劳动,做能量转换或产生有用功的机械。图 1.1 所示的单缸四冲程内燃机就是一台机器。

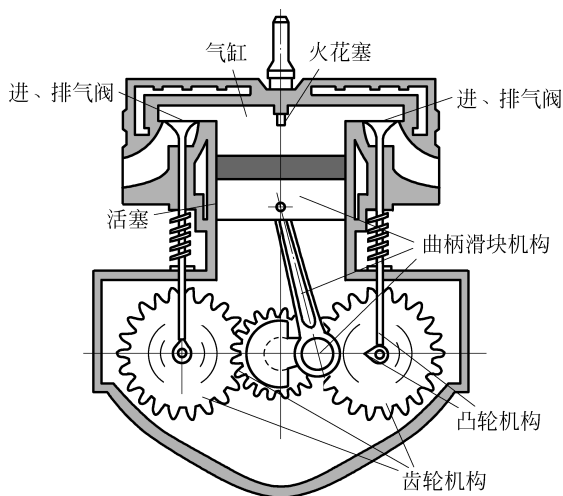


图 1.1 单缸四冲程内燃机

通常一台完整的机器包括三个基本部分:

(1) 原动部分,其功能是将其他形式的能量变换为机械能(如内燃机和电动机分别将热能和电能变换为机械能),它是驱动整台机器完成预定功能的动力源。

(2) 工作部分(或执行部分),其功能是利用机械能变换或传递能量、物料、信号,如发电机将机械能变换为电能,轧钢机变换物料的外形等。

(3) 传动部分,其功能是把原动机的运动形式、运动和动力参数转变为工作部分所需的运动形式、运动和动力参数。



汽车机构

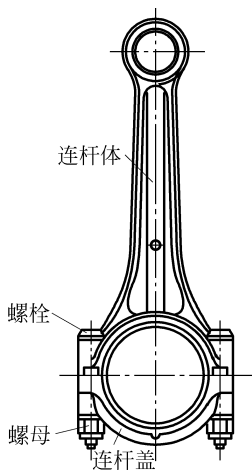


图 1.2 内燃机连杆

以上三部分必须安装在支承部件上。为了使三个基本部分协调工作,并准确、可靠地完成整体功能,必须增加控制部分和辅助部分。

机器由机构组成,它可以包含一个或多个机构。

机构是具有确定的相对运动,用于传递运动的机械。单缸四冲程内燃机包含的三个机构分别是齿轮机构、曲柄滑块机构和凸轮机构。机构由多个构件组成。

构件是机械中的基本运动单元。图 1.2 所示是曲柄滑块机构中的一个构件——连杆,它由连杆体、连杆盖、螺栓及螺母四种零件组成,形成了一个整体运动单元。

零件是机械中的最小加工单元,可分为两大类:一类是在各种机器中经常能够用到的零件,称为通用零件,如螺栓、螺母,以及齿轮、链轮、蜗轮、轴承等;另一类则是在特定类型的机器中才用到的零件,称为专用零件,如连杆体、连杆,以及内燃机的曲轴、汽轮机的

叶片等。

1.1.2 机械设计的基本要求

虽然不同的机械其功能和外形都不相同,但它们设计的基本要求大体相同。机械应满足的基本要求可以归纳为以下几方面。

1. 功能要求

满足机器预定的工作要求,如机器工作部分的运动形式、速度、运动精度和平稳性、需要传递的功率,以及某些使用上的特殊要求(如高温、防潮等)。

2. 安全可靠性要求

(1) 使整个技术系统和零件在规定的外载荷和规定的工作时间内,能正常工作而不发生断裂、过度变形、过度磨损,且不丧失稳定性。

(2) 能实现对操作人员的防护,保证人身安全和身体健康。

(3) 对于技术系统的周围环境和人不造成污染和危害,同时要保证机器对环境的适应性。

3. 经济性要求

在产品整个设计周期中,必须把产品设计、销售及制造三个方面作为一个系统工程来考虑,用价值工程理论指导产品设计,正确使用材料,采用合理的结构尺寸和工艺,以降低产品的成本。设计机械系统和零部件时,应尽可能使零件标准化、部件通用化、产品系列化,以提高设计质量,降低制造成本。

4. 其他要求

应使机械系统外形美观,便于操作和维修。此外,还必须考虑有些机械由于工作环境和要求不同,对设计提出某些特殊要求,如食品卫生条件、耐腐蚀、高精度等。

1.2 课程的目的及步骤

1.2.1 课程的目的

机械设计基础是机械类专业中一门重要的技术基础课。课程主要介绍机械中常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和计算方法。此外,在本课程的学习中还要掌握相关的国家标准和设计规范。这些内容不仅仅限于常用机构和通用零件设计,对专用机械和专用零件的设计也具有一定的指导意义,是学生学习后续专业机械设备课程的基础。本课程的主要目的是培养学生具备以下能力:

- (1) 掌握常用机构和通用零件的工作原理和结构特点,使学生具有设计机械传动装置和简单机械的能力;
- (2) 初步具备运用标准、手册、规范、图册和查阅有关技术资料的能力;
- (3) 了解典型的机械实验方法。

1.2.2 机械设计的一般步骤

机械设计就是建立满足功能要求的技术系统的创造过程。机械设计包括如下几个步骤。

1. 确定设计任务

产品设计是一项为实现预定目标的有目的的活动,因此正确确定设计任务是设计成功的基础。确定设计任务包括确定技术系统的总体目标和各项具体技术要求,这是设计、优化、评价和决策的依据。其具体内容包括分析所设计机械系统的用途、功能、各种技术经济指标和参数范围、预期的成本范围等,并对同类或相近产品的技术经济指标、同类产品的不完善性、用户的意见和要求、目前的技术水平及发展趋势等进行认真调查研究、收集材料,以进一步确定设计任务。

2. 总体设计

机械系统总体设计需根据机器要求进行功能设计研究。总体设计包括确定工作部分的运动和阻力,选择原动机的种类和功率,选择传动系统,计算机械系统的运动和动力,确定各级传动比、转速、转矩和功率。总体设计时要考虑到机械的操作、维修、安装、外廓尺寸等要求,确定机械系统各主要零部件间的相对位置关系及相对运动关系及人-机器-环境之间的

合理关系。总体设计对机械系统的制造和使用都有很大的影响,因此,常需做出几个方案加以分析、比较,通过优化得到最佳方案。

3. 技术设计

技术设计的任务是根据总体设计要求,确定机械系统各零部件的材料、形状、数量、空间相互位置、尺寸、加工和装配,并进行必要的强度、刚度、可靠性设计。若有几种方案时,需进行评价决策,最后选择最优方案。技术设计时还要考虑加工条件、现有材料、各种标准零部件、相近机器的通用件等。此外,技术设计还需绘制装配图、零件图,编制设计计算说明书等。因此,技术设计是从定性到定量、从抽象到具体、从粗略到详细的设计过程,是保证质量、提高可靠性、降低成本的重要工作。

4. 样机试制

样机试制阶段是通过样机制造、样机试验来检查机械系统的功能及整机、零部件的强度、刚度、运转精度、稳定性、噪声等方面的性能,随时检查并修正设计图纸,以更好地满足设计要求。

5. 批量正式生产

批量正式生产阶段是根据样机试验、使用、测试、鉴定过程中所暴露的问题,进一步修正设计,以保证完成系统功能,同时验证各工艺的正确性,以提高生产率,降低成本,提高经济效益。

除以上步骤外,产品设计过程还是一个创造过程,它体现了设计人员的创新思维活动,是逐步完善的过程。因此,设计过程中还应注意以下几点:

- (1) 设计过程要有全局观,不能只考虑设计对象本身的问题,而是要把设计对象看作一个系统,处理好人-机器-环境之间的关系;
- (2) 善于运用创造性思维和方法,注意考虑多方案解,避免解答的局限性;
- (3) 设计的各阶段应有明确的目标,注意各阶段的评价和优选,以求出既满足功能要求又有最大实现可能的方案;
- (4) 要注意反馈及必要的工作循环,解决问题要由抽象到具体、由局部到全面、由不确定到确定。

1.3 机械零件的失效形式及设计准则

1.3.1 机械零件的失效形式

机械零件在预定的时间内和规定的条件下,不能完成正常的功能,称为失效。

机械零件的失效形式主要有断裂、过大的残余应变、表面磨损、腐蚀、零件表面的接触疲劳和共振等。

机械零件的失效形式与许多因素有关,如零件的工作条件、材质、载荷及其所产生的应

力性质等。即使是同一种零件,由于材质及工作情况不同,也可能出现各种不同的失效形式,如齿轮可能出现断裂、点蚀、磨损、塑性变形等失效形式。

1.3.2 机械零件的设计准则

为了使机械零件能在预定的时间内和规定的工作条件下正常工作,设计机械零件时应满足下面的基本要求。

1. 强度

强度是保证机械零件正常工作的基本要求。为了避免零件在工作中发生断裂,必须使零件在设计时满足下面的设计准则:

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (1.1)$$

或

$$\tau \leq [\tau] \quad (1.2)$$

式中, σ 和 τ 分别为零件的设计正应力和切应力; $[\sigma]$ 和 $[\tau]$ 分别为零件材料的许用正应力和许用切应力。

为了提高机械零件的强度,设计时可采用下列措施:使用强度高的材料;使零件具有足够的截面尺寸;合理设计机械零件的截面形状,以增大截面的惯性矩;采用各种热处理和化学处理方法来提高材料的机械强度特性;合理进行结构设计,以降低作用于零件上的载荷。

2. 刚度

刚度是指零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。若零件刚度不够,则将产生过大的挠度或转角而影响机器正常工作,如车床主轴的弹性变形过大则会影响加工精度。为了使零件具有足够的刚度,设计时必须满足下面的设计准则:

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

$$\theta \leq [\theta] \quad (1.4)$$

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

式中, y 、 θ 和 ϕ 分别为零件的设计挠度、偏转角和扭转角; $[y]$ 、 $[\theta]$ 和 $[\phi]$ 分别为零件的许用挠度、许用偏转角和许用扭转角。

3. 寿命

机械零件应具有足够长的寿命。影响零件寿命的主要因素有腐蚀、磨损和疲劳。由于至今还没有实用且有效的计算腐蚀、磨损的方法,因此,只能采用条件性的计算:

$$L_h \geq [L_h] \quad (1.6)$$

式中, L_h 是零件的设计寿命; $[L_h]$ 为零件的许用寿命,一般由实验得到,保修期就是厂家对产品许用寿命的承诺;下标“h”表示寿命按小时计。

4. 可靠度

有些零件(如滚动轴承)由于其材料、工况等有一定的随机性,故即使同一批零件的寿命也不相同。这种零件的寿命服从一定的概率分布。因此,设计时应根据零件的重要程度给定寿命的可靠度,即在给定寿命期内保证未失效零件所占的百分比,如:

$$L_{10} \geq [L_{10}] \quad (1.7)$$

式中,下标“10”为在寿命 L 期内有 90% 的零件仍可以正常工作,或者只有 10% 的零件发生失效; L_{10} 是可靠度为 90% 的设计寿命; $[L_{10}]$ 是相应的许用寿命。

5. 温度

一些机械零件由于摩擦功耗较大,会产生大量的热,导致工作温度明显升高。过高的温度会急剧降低材料强度和润滑油的黏度,从而导致胶合和严重磨损。因此,在这些零件的设计中,通常需要进行热平衡计算。热平衡计算的依据就是温度设计准则,其表达式为

$$\Delta T \leq [\Delta T] \quad (1.8)$$

式中, ΔT 为设计温升; $[\Delta T]$ 为许用温升。

1.4 机械零件的常用材料及选用原则

1.4.1 常用材料

机械制造中最常用的材料是钢和铸铁,其次是有色金属合金。目前,非金属材料如塑料、橡胶等,在机械制造中也得到了广泛应用。

1. 钢

钢和铸铁都是铁碳合金,它们的区别主要在于含碳量不同。含碳量(质量分数)小于 2% 的铁碳合金称为钢,大于 2% 的称为铁。

钢的强度较高,塑性较好,可通过轧制、锻造、冲压、焊接和铸造等方法加工成各种机械零件,并且可以用热处理和表面处理方法提高机械性能,应用极为广泛。

钢的种类很多,按用途分,钢可分为结构钢、工具钢和特殊用途钢。结构钢可用于加工机械零件和各种工程结构。工具钢可用于制造各种刀具、模具等。特殊用途钢(不锈钢、耐热钢、耐腐蚀钢等)主要用于特殊的工况条件。

按化学成分不同,钢可分为碳素钢和合金钢。碳素钢包括普通碳素结构钢和优质碳素结构钢。普通碳素结构钢(如 Q215、Q235)一般只保证机械强度而不保证化学成分,不宜进行热处理,通常用于不太重要的零件和机械结构中。优质碳素结构钢(如 20 钢、45 钢)的性能主要取决于含碳量,含碳量越大,强度越高,但塑性越低。低碳钢的含碳量低于 0.25%,其强度极限和屈服极限较低,塑性很高,可焊性好,通常用于制作螺栓、螺母、垫圈和焊接件等。低碳钢可通过渗碳淬火使其表面硬而芯部韧,可用于制造表面耐磨且耐冲击的零件。中碳钢的含碳量为 0.3%~0.5%,它的综合力学性能较好,可用于制造受力较大的螺栓、螺

母、键、齿轮和轴等零件。高碳钢的含碳量为 $0.55\% \sim 0.70\%$,具有较高的强度和刚度,通常用于制作弹簧和钢丝绳等。

合金结构钢是在碳钢中加入某些合金元素冶炼而成的。每一种合金元素含量低于 2% 或合金元素总量低于 5% 的称为低合金钢。每一种合金元素含量为 $2\% \sim 5\%$ 或合金元素总含量为 $5\% \sim 10\%$ 的称为中合金钢。每一种合金元素含量高于 5% 或合金元素总含量高于 10% 的称为高合金钢。加入不同的合金元素可以改变钢的机械性能并使其具有各种特殊性质,如铬可提高钢的硬度,并使其在高温时防锈耐酸;镍可使钢具有良好的淬透性和耐磨性。但合金钢零件一般都需经过热处理才能提高其机械性能。此外,合金钢较碳素钢价格高,应力集中亦较敏感,因此只有在碳素钢难以胜任工作时才考虑采用。

用碳素钢和合金钢浇铸而成的铸件称为铸钢,通常用于制造结构复杂、体积较大的零件,但铸钢的液态流动性比铸铁差,且其收缩率比铸铁件大,故铸钢的壁厚常大于 10 mm ,其圆角和不同壁厚的过渡部分应比铸铁件大。

2. 铸铁

常用的铸铁有灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁、合金铸铁等。其中灰铸铁和球墨铸铁属于脆性材料,不能辗压和锻造,不易焊接,但具有适当的易熔性和良好的液态流动性,因而可铸成形状复杂的零件。灰铸铁的抗压强度高,耐磨性、减振性好,对应力集中的敏感性小,价格低,但其抗拉强度较钢低。灰铸铁常用于制作机架、外壳和底座等。球墨铸铁的强度较灰铸铁高且具有一定的塑性,可代替铸钢和锻钢用来制造曲轴、凸轮轴、油泵齿轮、阀体等。

3. 有色金属合金

有色金属合金具有良好的减摩性、跑合性、抗腐蚀性、抗磁性、导电性等,在工业中应用最广的是铜合金、轴承合金和轻合金,但有色金属合金比黑色金属价格高。铜合金有黄铜与青铜之分。黄铜是铜与锡的合金,它具有很好的塑性和流动性,能轧制和铸造成各种机械零件。青铜分为锡青铜和无锡青铜两类,它们的减摩性和抗腐蚀性均较好。轴承合金(简称巴氏合金)为铜、锡、铅、锑的合金,具有良好的减摩性、导热性和抗胶合性,但强度低且价格较高,主要用于制作滑动轴承的轴承衬。

4. 非金属材料

非金属材料是现代工业和高技术领域不可缺少和占有重要地位的材料。机械制造中应用的非金属材料种类很多,包括橡胶、塑料、陶瓷、木料、毛毡、皮革、棉丝等。

(1) 橡胶。橡胶富有弹性,有较好的缓冲、减振、耐热、绝缘等性能,常用于制作联轴器和减振器的弹性装置、橡胶带及绝缘材料等。

(2) 塑料。塑料是合成高分子材料工业中生产最早、发展最快、应用最广的材料,其密度小,易制成形状复杂的零件,而且不同的塑料具有不同的特点,如耐蚀性、减摩耐磨性、绝热性、抗振性等。常用的塑料包括聚氯乙烯、聚烯烃、聚苯乙烯、酚醛和氨基塑料。常用的工程塑料包括聚甲醛、聚四氟乙烯、聚酰胺、聚碳酸酯、ABS、尼龙、MC尼龙、氯化聚醚等。目前,某些齿轮、蜗轮、滚动轴承的保持架和滑动轴承的轴承衬均有使用塑料制造的。一般工

程塑料耐热性能较差,且易老化而使性能逐渐变差。

(3) 陶瓷。陶瓷材料具有较高的熔点,在高温下有较好的化学稳定性,适宜作为高温材料。一般超耐热合金使用的温度范围为 $950\sim 1100^{\circ}\text{C}$,而陶瓷材料的使用温度范围为 $1200\sim 1600^{\circ}\text{C}$,因此现代机械装置特别是高温机械部分使用陶瓷材料是一个重要的研究方向。此外,高硬度的陶瓷材料具有摩擦系数小、耐磨、耐化学腐蚀、密度小、线膨胀系数小等特性,因此可应用于高温、中温、低温领域及精密加工的机械零件,也可以用于电机零件。以机械装置为代表所使用的陶瓷材料叫作工程陶瓷。

(4) 复合材料。复合材料是将两种或两种以上不同性质的材料通过不同的工艺方法由人工合成多相的复合材料,它既可以保持组成材料各自的一些最佳特性,又具有组合后的新特性,这样就可以根据零件对于材料性能的要求进行材料配方的优化组合。复合材料主要由增强材料和基体材料组成。还有一类是加入各种短纤维等的功能复合材料,如导电性塑料、光导纤维、绝缘材料等。近年来,从材料的功能复合目的出发,应用于光、热、电、阻尼、润滑、生物等方面的新的复合材料不断问世,使复合材料的应用范围正在不断地扩大。

1.4.2 机械材料的选用原则

从各种各样的材料中选择出适用的材料是一项受到多方面因素制约的工作,通常应考虑以下原则。

1. 载荷的大小和性质,应力的大小、性质及其分布状况

以承受拉伸载荷为主的零件宜选用钢材,承受压缩载荷的零件应选铸铁。脆性材料原则上只适用于制造承受静载荷的零件,承受冲击载荷的零件应选择塑性材料。

2. 零件的工作条件

在腐蚀介质中工作的零件应选用耐腐蚀材料,在高温下工作的零件应选用耐热材料,在湿热环境下工作的零件应选防锈能力好的材料,如不锈钢、铜合金等。零件在工作中有可能发生磨损,要提高其表面硬度,以增强耐磨性,则应选择适于进行表面处理的淬火钢、渗碳钢、氮化钢等。金属材料的性能可通过热处理和表面强化(如喷丸、滚压等)来提高和改善,因此要充分利用这些手段来发挥材料的潜力。

3. 零件的尺寸及质量

零件的尺寸大小及质量好坏与材料的品种及毛坯制取方法有关,对外形复杂、尺寸较大的零件,若考虑用铸造毛坯,则应选用适合铸造的材料;若考虑用焊接毛坯,则应选用焊接性能较好的材料;尺寸小、外形简单、批量大的零件适于冲压和模锻,应选用塑性较好的材料。

4. 经济性

选择零件材料时,当用价格低廉的材料能满足使用要求时,就不要选择价格高的材料,这对于大批量制造的零件尤为重要。此外,还应考虑加工成本及维修费用。为了简化供应