

第1章

概 论



1.1 机械设计课程设计的定位

机械设计课程设计是机械类专业本科教育中至关重要的实践教学环节,是对机械设计相关理论课程的综合应用与实践检验。它紧密衔接机械原理、机械设计、机械制造工艺学等专业核心课程,旨在让学生将所学的机械设计理论知识运用到实际设计项目中,实现从理论学习到工程实践的跨越,培养学生解决复杂机械工程问题的能力,为学生未来从事机械设计、制造及相关领域的工作奠定坚实基础。

1.2 机械设计课程设计的目标

机械设计课程设计的主要目的是,通过将理论知识应用于实际工程设计,培养学生的工程设计能力、软件应用能力和问题解决能力。目标包括以下三个方面。

1. 知识巩固与拓展

机械设计涉及众多的理论知识,通过具体的设计项目,学生能够将分散的理论知识有机地结合起来综合运用到机械设计训练中,将理论与实践紧密结合,进一步巩固、加深和扩展所学的机械设计方面的知识。在设计过程中,学生需要依据设计任务的要求,选择合适的机械传动方案、计算零件的尺寸和强度等,深入理解机械设计的原理、方法和流程,对机械零件、机械传动装置的设计过程和方法有更清晰、更全面的认识,从而更好地掌握机械设计的基本理论体系。

2. 能力培养

机械设计是一门实践性很强的学科,与实际工程应用密切相关。课程设计模拟了实际工程设计的过程,让学生在实践中了解和掌握机械设计的一般流程和方法,包括设计任务的分析、方案的制定、设计计算、绘图、编写设计说明书、运用设计资料(手册、图册、标准和规范等),以及使用经验数据、进行经验估算和处理数据等方面。通过这些实践环节,学生能够熟悉机械设计的各个环节,掌握常用的设计工具和软件,如 CAD、SOLIDWORKS 等,提高自己的工程实践能力,为今后从事机械设计及相关领域的工作打下坚实的基础。

3. 职业素养塑造

机械设计直接关系到产品的质量、性能和安全性,一个小的错误可能导致整个设计的

失败。课程设计要求学生认真对待每一个设计环节,严格遵守设计规范和标准,培养学生严谨的工作态度和责任心。同时,学生还需要考虑设计产品对环境、社会和人类的影响,树立可持续发展的设计理念。

1.3 机械设计课程设计的内容

机械设计课程设计的内容聚焦机械设计核心知识,涵盖设计基础、方法、传动装置及零部件设计等关键领域。课程首先介绍机械设计的基本原理及设计规范,培养学生的规范意识;重点讲解传动装置(带传动、齿轮传动等)及关键零部件(轴、轴承等)的设计计算与选型方法,强化对标准件的应用能力。在数字化设计方面,通过 SOLIDWORKS 等软件开展三维建模、虚拟装配等实践训练,提升对现代设计工具的应用水平。课程注重工程实践,结合

企业真实案例进行项目式教学,完成从方案设计到工程制图的全流程训练。最后通过设计答辩环节,系统检验学生的工程实践能力、文档撰写与表达水平,全面培养符合行业需求的机械设计人才。

本课程设计项目通常是围绕机械传动装置或特定机械部件的设计。例如,带式输送机传动装置机构(图 1-1),包含齿轮、轴、轴承、键、联轴器、螺栓等典型通用零部件设计,这些零部件在机械设备中起着关键作用。

项目设计内容涵盖从任务分析到详细设计的全过程。

1. 设计任务分析

进行设计任务分析,明确设计对象的功能、性能、工作条件、使用环境等方面的要求。根据设计任务的要求,广泛搜集与设计相关的资料,包括机械设计手册、国家标准、行业规范、同类产品的设计案例等。

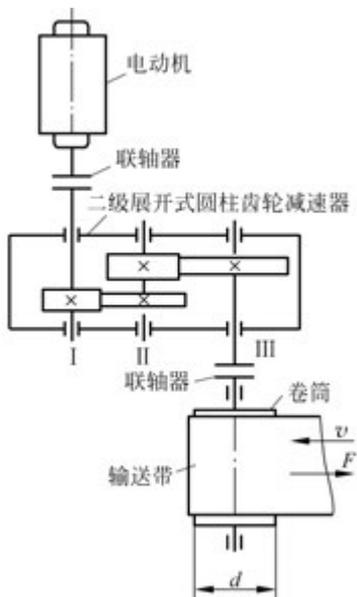


图 1-1 带式输送机传动装置机构简图

2. 机械传动方案设计

根据设计任务的要求和工作条件,选择合适的机械传动类型,拟定具体的传动方案,包括传动机构的组成、布置方式、传动顺序等。不同的传动方案会对设备的性能、结构和成本产生不同的影响,因此需要对多种方案进行分析和比较,选出最优的方案。

3. 机械零部件设计

根据选定的传动方案,对传动装置中的传动件(如带轮、链轮、齿轮等)进行详细的设计计算,包括几何尺寸设计、材料选择、强度校核等;设计轴的结构,确定轴的直径、长度、轴上零件的安装位置等;选择合适的轴承、联轴器、键等轴系零件,并进行相应的设计计算和选型;根据设备的整体结构和功能要求,设计其他零部件,如箱体、机架、密封装置等。

4. 工程图样绘制

使用机械设计软件(如 CAD、SOLIDWORKS 等)绘制装配图。装配图应清晰地表达各零部件之间的装配关系、工作原理和运动方式。在装配图上,需要标注必要的尺寸、技术要求和零件编号等信息。根据装配图,绘制各个零件的零件图。零件图应详细标注零件的尺寸、公差、表面粗糙度、热处理要求等技术参数,以满足零件的加工制造要求。

5. 设计说明书撰写

设计说明书对整个设计过程进行详细记录和总结,内容包括设计任务的提出、设计方案的选择与论证、设计计算的过程、图样的绘制说明、设计的创新点和不足等。设计说明书要求语言表达清晰、逻辑严谨、内容完整,能够准确地反映学生的设计思路和设计成果。

课程设计一般步骤如图 1-2 所示。



图 1-2 课程设计一般步骤

1.4 数字化辅助设计的意义

数字化辅助机械设计已成为了机械设计领域的核心技术,对机械设计行业的发展产生了深远影响。将数字化辅助机械设计融入课程设计,具有多方面的重要意义。

1. 提升设计效率与质量

数字化技术通过计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工程(CAE)等工具,可以快速创建三维模型,通过参数化设计和直接编辑功能,能够轻松地修改模型的尺寸、形状等参数;同时数字化工具还可以进行各种精确的分析,如有限元分析、运动学分析、动力学分析等,这不仅提高了设计效率,还通过优化设计参数和提前发现潜在问题,显著提升了设计质量。

2. 培养创新设计能力

数字化平台提供了丰富的资源和多样化的设计工具,学生可以方便地获取各种参考资料,学习不同的设计理念和方法,拓宽设计思路。同时,虚拟设计和可视化技术能够让学生更加直观地感受设计方案的效果,激发他们的创新思维和创造力。

3. 增强工程实践能力

数字化辅助课程设计通常以实际工程项目为背景,要求学生熟练使用数字化设计软件,完成机械产品的设计、建模、分析和优化等工作;使学生熟悉设计的全流程,提高实践操作能力,提高解决实际工程问题的能力,积累实际项目经验,毕业后能够迅速适应企业的工作需求。

4. 满足企业实际需求

随着制造业的数字化转型,企业对掌握数字化设计技术的专业人才需求越来越大。将数字化技术融入机械设计课程设计,能够将理论学习延伸到企业实际需求,学生能够对机电产品进行虚拟设计和仿真分析。这种实践导向的教学模式有助于培养学生的工程实践能力和解决复杂工程问题的能力,为今后从事相关工作打下坚实的基础。

第2章

机械传动装置的总体设计

机器通常由原动机、传动装置和工作机这三个基本部分构成。传动装置作为连接原动机和工作机的关键环节,其主要功能是传递运动和动力,可以通过调整转速、转矩或改变运动形式,来满足工作机的特定工作要求。

传动装置总体设计的主要任务是根据机器的工作要求和运行条件,确定合理的传动方案,选择合适的原动机,计算总传动比,并合理分配各级传动比,完成传动装置的运动和动力参数计算,拟定传动装置的结构布局,为后续零部件的设计提供依据。

2.1 拟定传动方案

拟定传动方案是机械传动装置设计的关键步骤,需要综合考虑动力传递需求、工作条件、空间限制和经济性等因素。满足同一工作机性能要求的方案往往有多种,通常可提出多种方案进行比较分析,择优选定。合理的传动方案不仅要满足动力传递需求,还要尽可能提高设备的可靠性、经济性和使用寿命。

传动方案通常可用运动简图表示,简单明了地反映各部件的组成、连接关系以及运动和动力传输的路线。

1. 传动机构类型的选择

传动机构类型的选择可依据表 2-1 中的一般原则。

表 2-1 传动机构类型选择的一般原则

设计工况	选择原则
小功率传动	宜选用结构简单、价格便宜、标准化程度高的传动机构,以降低制造成本
大功率传动	应优先选用传动效率高的传动机构,如齿轮传动,以降低能耗
工作中可能出现过载的工作机	应选用具有过载保护作用的传动机构,如带传动。但在易爆、易燃场合,不能选用摩擦传动,以防止因静电引发火灾
载荷变化较大、换向频繁的工作机	应选用具有缓冲吸振能力的传动机构,如带传动
工作温度较高、潮湿、多粉尘、易爆、易燃场合	宜选用链传动、闭式齿轮传动或闭式蜗杆传动
要求两轴保持准确的传动比	应选用齿轮传动或蜗杆传动

表 2-2 给出了常用传动机构的主要特性和适用范围。

表 2-2 常用传动机构的主要特性和适用范围

选用指标		传动机构					
		平带传动	V带传动	链传动	齿轮传动		蜗杆传动
					圆柱齿轮传动	锥齿轮传动	
功率(常用值) P/kW		小(≤ 20)	中(≤ 100)	中(≤ 100)	大(最大达 50 000)		小(≤ 50)
单级传动比	常用值	2~4	2~4	2~5	3~5	2~3	7~40
	最大值	5	7	10	10	6~10	80
传动效率 η		中	中	中	高		低
许用线速度 $v/(\text{m/s})$		≤ 25	$\leq 25 \sim 30$	≤ 40	6级精度		$\leq 15 \sim 25$
					$\leq 15 \sim 25$	≤ 9	
					7级精度		
					$\leq 10 \sim 17$	≤ 6	
					8级精度		
$\leq 5 \sim 10$	≤ 3						
外廓尺寸		大	大	大	小		小
传动精度		低	低	中	高		高
工作平稳性		好	好	较差	一般		好
自锁能力		无	无	无	无		可有
过载保护作用		有	有	无	无		无
使用寿命		短	短	中	长		中
缓冲吸振能力		好	好	中	差		差
要求制造及安装精度		低	低	中	高		高
要求润滑条件		不需要	不需要	中	高		高
环境适应性		不能接触酸、碱、油类、爆炸性气体		好	一般		一般

2. 多级传动机构的布置

当采用几种传动方式组成多级传动时,各类传动机构的布置方式需要综合考虑传动平稳性、传动效率、结构尺寸以及工作环境等因素。合理布置各类传动机构,可以充分发挥各传动方式的优势,优化传动系统的整体性能。表 2-3 列出了常用传动机构的一般布置原则。

表 2-3 常用传动机构的一般布置原则

传动机构布置类型		适用场合
高速级	带传动	承载能力较小,当传递相同转矩时其结构尺寸较其他传动形式大,但传动平稳,能缓冲、减振,并可起过载保护作用
	蜗杆传动	对于锡青铜蜗轮的蜗杆传动,由于允许齿面有较高的相对滑动速度,可将其布置在高速级,有利于形成润滑油膜,提高承载能力和传动效率
	锥齿轮传动	锥齿轮加工较困难,特别是大直径、大模数的锥齿轮。一般在需要改变轴的布置方向时才选用锥齿轮传动,并尽量将其布置在高速级,同时传动比不应过大,以减小锥齿轮的直径和模数
	斜齿轮传动	平稳性较直齿轮传动好,常布置在高速级

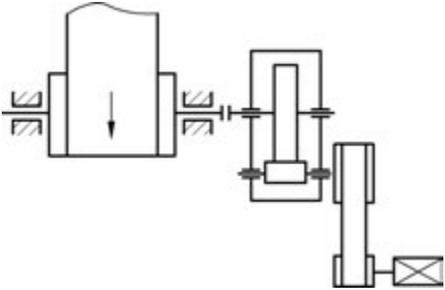
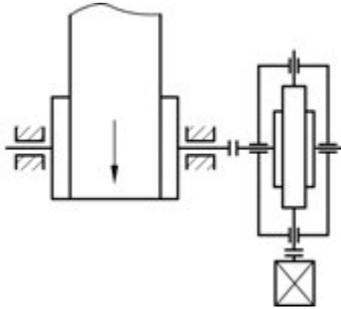
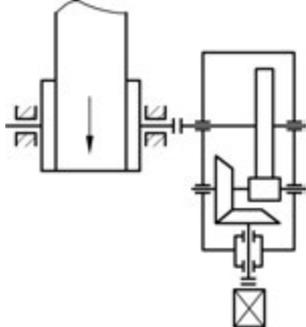
续表

传动机构布置类型		适用场合
低速级	链传动	运转不均匀,有冲击,不适用于高速级,应布置在低速级
	蜗杆传动	蜗杆传动可实现较大的传动比,尺寸紧凑,传动平稳,但传动效率较低,适用于中小功率、间歇工作的场合。当与齿轮传动同时使用时,对于青铜或铸铁蜗轮的蜗杆传动,常将其布置在低速级,以保持较低的齿面滑动速度,防止产生胶合或严重磨损
	开式齿轮传动	开式齿轮传动的工作环境较差,润滑条件不好,磨损较为严重,寿命较短,应布置在低速级

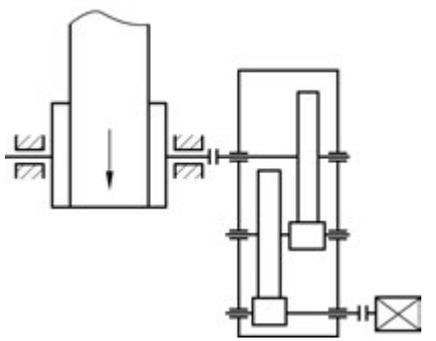
3. 传动方案的选择

表 2-4 中列出了四种带式输送机传动方案,并总结了每种方案的特点与应用。

表 2-4 带式输送机传动方案及特点与应用分析

方案	类 型	结 构 简 图	特 点 与 应 用
一	带传动+闭式齿轮传动		带传动布置于高速级,具有传动平稳、缓冲吸振和过载保护的特点。但此方案宽度较大,且带传动不适合繁重的工作要求及恶劣的工作环境
二	闭式蜗杆传动		优点是结构紧凑,缺点是传动效率低,功率损耗大,在长期连续运转中不经济
三	锥齿轮传动+圆柱齿轮传动		横向结构较紧凑,适合布置在较狭窄的通道中,锥齿轮传动一般布置在高速级,此时转矩较小,可减小锥齿轮的尺寸,便于加工。但锥齿轮总体加工困难,加工成本高

续表

方案	类型	结构简图	特点与应用
四	闭式圆柱齿轮传动		工作可靠,效率高,寿命长,环境适应性好,使用维护方便,但结构较庞大

2.2 选择电动机

电动机是一种标准化的系列产品,设计时需要根据负载需求和实际应用场景,选择合适的电动机类型和技术参数,确定电动机型号。

1. 电动机类型的选择

电动机类型多样,常见的有交流异步电动机、直流电动机和交流同步电动机。交流异步电动机因结构简单、价格低廉、维护方便,在一般工业领域应用广泛,适用于对调速要求不高的场合,如各类风机、水泵等。直流电动机具有良好的调速性能,能在较宽范围内实现平滑调速,启动转矩大,适用于需要频繁调速和启动的场合,如起重机、牵引机、电动汽车等。交流同步电动机则常用于要求转速恒定、功率较大的场合,适用于大功率、高精度的工业设备,如大型发电机、精密机床主轴等。在选择电动机类型时,需根据工作机的具体运行要求、工作环境以及成本预算等多方面因素综合判断,确定最适配的电动机类型,为机械传动系统提供稳定、高效的动力支持。

2. 电动机额定功率的选择

电动机的功率应满足负载的最大需求,并留有一定的余量。确定电动机功率时要考虑电动机的发热、过载能力和启动能力三方面因素,但一般情况下电动机的功率主要由运行时的发热条件来限定。对于载荷不变或变化不大,且在常温下长期连续运转的电动机,只要其所输出的功率不超过额定功率,工作时就不会过热,一般也就无须对电动机进行热平衡计算和启动力矩校核。

1) 工作机所需功率 P_w

工作机所需功率 P_w (单位为 kW) 应根据工作机的工作阻力和运动参数求得,计算式如下:

$$P_w = \frac{F_w v_w}{1000} \quad (2-1)$$

或

$$P_w = \frac{T_w n_w}{9550} \quad (2-2)$$

式中: F_w 为工作机的阻力, N; v_w 为工作机的线速度, m/s; T_w 为工作机的阻力矩, N·m; n_w 为工作机轴的转速, r/min。

2) 电动机输出功率 P_d

$$P_d = \frac{P_w}{\eta_\Sigma} \quad (2-3)$$

式中, η_Σ 为传动装置的总效率。

传动装置的总效率 η_Σ 的具体计算公式如下:

$$\eta_\Sigma = \eta_1 \eta_2 \cdots \eta_n \quad (2-4)$$

式(2-4)中右侧分别为传动装置中每一传动副(如带传动、链传动或齿轮传动等)、每一对轴承及每一个联轴器的效率,其数值可由表 2-5 选取。

表 2-5 机械传动效率的概略值

种 类		效 率	种 类		效 率
齿轮传动	圆柱齿轮	闭式: 0.96~0.98 (7~9 级精度)	蜗杆传动	自锁	0.40~0.45
		开式: 0.94~0.96		单头	0.70~0.75
	圆锥齿轮	闭式: 0.94~0.97 (7~8 级精度)		双头	0.75~0.82
		开式: 0.92~0.95		三头或四头	0.80~0.92
带传动	平带	0.95~0.98	联轴器	弹性联轴器	0.99~0.995
	V 带	0.94~0.97		齿式联轴器	0.99
滚子链传动		闭式: 0.94~0.97 开式: 0.90~0.93		十字滑块联轴器	0.97~0.99
轴承	滑动轴承	润滑不良: 0.94~0.97(一对) 润滑良好: 0.97~0.99(一对)		万向联轴器	0.95~0.98
	滚动轴承	0.98~0.995(一对)	滚(卷)筒	0.96	

3) 电动机额定功率 P_{ed}

根据计算的 P_d 选择 P_{ed} , 应使 P_{ed} 等于或稍大于 P_d 。

3. 电动机转速的选择

同一类型、同一额定功率的电动机通常有多种转速。电动机转速的选择要兼顾工作机的转速要求与传动系统设计。若工作机转速较低, 而电动机转速过高, 则需要多级传动来降低转速, 这会增加传动系统的复杂性与成本。

选择电动机转速时, 可先根据工作机的转速要求 n_w 和传动系统中各级传动的常用传动比范围, 推算出电动机转速的可选范围, 即:

$$n'_d = (i'_1 i'_2 \cdots i'_n) n_w \quad (2-5)$$

式中: n'_d 为电动机的转速可选范围; i'_1, i'_2, \cdots, i'_n 为各级传动的传动比范围, 参见表 2-2。



电动机标准手册

一般来说,通常多选用同步转速为 1500 r/min 或 1000 r/min 的电动机。

根据选定的电动机类型、结构型式、功率和转速,可通过电动机标准手册查出电动机型号,记录其型号、额定功率、满载转速、外形尺寸、安装尺寸等参数备用。

2.3 计算并分配传动装置的总传动比

在带式输送机传动装置设计中,总传动比是电动机满载转速与工作机工作转速的比值,由各级传动链串联实现。

1. 计算总传动比

$$i = \frac{n_m}{n_w} \quad (2-6)$$

式中: n_m 为电动机的满载转速; n_w 为工作机的工作转速。

传动装置的总传动比是各级传动比的乘积,即

$$i = i_1 i_2 \cdots i_n \quad (2-7)$$

2. 分配各级传动比

在设计多级传动的传动装置时,传动比的分配是一个关键问题。传动比的分配直接影响传动装置的结构、性能、成本、制造安装难度及可靠性。分配传动比时通常须考虑以下几个方面:

(1) 各级传动机构的传动比应在推荐的范围内(见表 2-2),以符合各种传动形式的特点,并使结构紧凑、工艺合理。

(2) 各级传动比应使传动装置的尺寸协调、结构匀称,避免传动零件之间相互干涉或安装困难。

(3) 应使传动装置的总体尺寸紧凑,质量轻。

(4) 当减速器内的齿轮采用油池浸油润滑时,为使各级大齿轮浸油深度合理,各级大齿轮直径应相差不大,从而避免低速级大齿轮浸油过深,增加搅油损耗。例如:在二级展开式齿轮减速器中,常推荐的取值为 $i_1 = (1.3 \sim 1.4) i_2$; 在二级同轴式圆柱齿轮减速器中,常推荐 $i_1 = i_2 \approx \sqrt{i}$, 其中 i_1 和 i_2 分别为高速级和低速级的传动比。

2.4 计算传动装置的运动和动力参数

为了进行传动零件的设计计算,应计算出各轴的转速、功率和转矩,计算时可将各轴从高速级向低速级依次编号为 I 轴、II 轴、III 轴等,如图 1-1 所示。

各轴的转速可根据电动机的满载转速和各相邻轴间的传动比进行计算,各轴转速计算如下:

$$n_{\text{I}} = n_m$$

$$n_{\text{II}} = \frac{n_{\text{I}}}{i_1}$$