

第一单元 明确任务



本单元的任务是打开机械设计课程的大门,看看里面大致有些什么东西,将面临哪些问题,需要什么基础,哪些方面的能力将会得到发展,等等。

机械设计是工程技术课程,需要通过实践来学习。如陆游诗句所言,“纸上得来终觉浅,绝知此事要躬行”。学习机械设计的最好方法是自己设计一台简单的机械,本书就是按照设计机械的过程展开的。

机械设计博大精深,不可能用一本书将其概括。同时,机械设计又在迅速发展,没有哪一种介质可以将它的全部信息固化。所以,学习的重点应该是机械设计的思想方法。本书中**粗体字加重点符号**的词是提供给读者搜索相关资料的关键词,读者可以根据自身的需要扩展学习的内容。

设计一台哪怕是最简单的机械,也需要获取大量新鲜的信息,思考大量问题,在设计的过程中还要不断进行决策,不可能凭一个人的力量来完成。机械设计项目成功与否不但依靠技术和资金,还依靠团队运作的效率。所以,学习团队协作的工作方法也是学习机械设计的重要方面。推荐的学习方法是组成 3 到 5 人的工作小组,选择一个设计对象,一边学习一边实践。

引 例

1.1 机械设计任务的诞生

机械设计任务起源于市场的需求,通过两种途径进入机械设计团队:一种直接来自生产和生活,就像本章的例子;另一种则来自设计团队主动对市场需求进行的调研和预测。

机械设计项目有不同的类型。**开发性设计**是在工作原理、总体方案全部或大部分未知的情况下,根据产品的功能、使用要求和约束条件进行创造性设计,获得前所未有的机械。**改良性设计**是在总体功能和原理大致不变的情况下,对现有的产品进行改进,以满足更多的特定需求。**反求设计**是对已有产品进行研究,在消化和吸收的基础上,开发出同类并有所变化的、能避开原有专利的新产品。不同的设计类型,设计过程也不相同。本章通过一个简单的例子,说明开发性设计的一般过程。

1. 客户的原始诉求

有一家生产企业要对其产品进行升级换代,要采用一种新的原材料来制造某个零件,需要添置用来开料的机器,找到了机械设计师要求帮助。客户带来了这种原材料和一个毛坯样品,对设计师说(图 1.1):

“想委托你们设计专门用来切割这种材料的机器,循环动作,要达到每分钟 60 件的生产率,切口要光滑,像这块样品那样。需要两台这样的机器,总预算不要超过 100 万,我们想半年内投产。”

这个看似简单的要求其实隐含着很多需要进一步确定的情况。客户的原始诉求通常是很不完善的,他们缺乏把自己的需要完整、准确地表达出来的能力。在接受这个任务前,最重要的是确定这个设计问题是否存在现实的解。为此,设计师们要做很多工作。

首先要精心设计很多问题,向客户提问,了解更多关于设计对象的信息。还要仔细观察和测量实物、确定材料的物理化学属性、切口断面尺寸和粗糙度。也许还要通过试验来确定如何切割才能满足切口的表面质量,以及切割后材料的性能变化,以便进一步确定材料的可加工性,确定刀刃的形状和切割速度,如此等等。

在取得足够的信息后,设计师要设想可能的加工方法,在头脑中勾画出设计对象的初步结构。然后,设计师要对机器的安装环境进行实地考察,确定机器安装的方式、劳动保护和

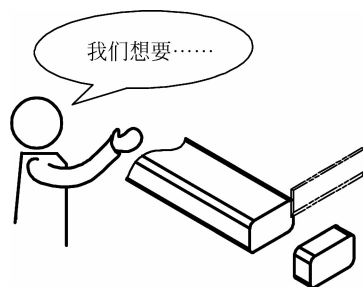


图 1.1 客户的原始诉求

环境保护的具体要求,弄清楚有什么可供使用的外部资源等情况(图 1.2)。最后,判断这个设计任务是否可行。在这个过程中,设计师不但要根据自己掌握的理论知识和实践经验来进行构思和判断,还必须根据当前技术和市场的需求和发展趋势进行衡量。



图 1.2 需求分析和实地考察

2. 确定机械产品的基因

在了解到足够的信息后,对于可以实现的设计对象,设计师对设计任务的复杂程度做出判断,估计设计项目的完成时间和机器的设计制造成本。然后把客户用自然语言表达的诉求翻译成用技术语言表达的设计要求(图 1.3 和表 1.1)。

表 1.1 开料机设计基本要求

项 目	描 述
材料物理化学属性	
开料尺寸要求	
切口表面质量要求	
推荐的开料方法	
允许的送料方式	
整机最大尺寸限制	
生产率要求	
成本要求	
动力源约束	
安装约束	
环境保护约束	
劳动保护约束	
.....	



图 1.3 确定技术要求

由于客户的原始诉求中往往带有许多不合理的成分,甚至不存在现实解。所以,从客户诉求到设计要求的拟定不是一个简单的翻译过程,它包含对原始诉求的改造。通过与客户的充分沟通,最后诞生的是一个现代技术可以实现的,符合行业技术标准、相关政策、法律和法规的,性能和成本符合要求的产品设计任务描述。

从客户诉求到技术描述的转换是机械设计至关重要的一个环节,它确定了机械产品的基因。通过这个阶段的工作,设计师头脑中已经对这个设计对象的可行性作了初步的判断,形成了对设计对象大致形态的概念。在这个阶段不可能把所有的问题考虑在内,随着设计的进展,很多细节要修改或补充。但是必须确保关键性描述不出现问题,不至于对项目产生很大的影响。

机械产品应该满足以下 6 个基本要求:

(1) **良好的使用性能** 能够实现预期的功能,满足使用的要求,操作简单,维修保养方便。

(2) **良好的安全性能** 关键零部件质量保证,操作界面设置可靠的安全防护及预警

装置。

(3) **可靠耐用** 在预定的使用期限内不发生或极少发生故障。

(4) **经济性好** 设计制造方法、工艺及材料选用合理,产品的销售、使用和维护的成本低。

(5) **环保** 生产制造、使用和报废回收的整个生命周期中符合环境保护的要求。

(6) **其他** 在满足相同使用要求的前提下,具有较简单的系统结构、较少的零件数目、较小的整机重量和体积,并具有良好的外观。

3. 拟定设计任务书

产品设计要求确定后,要进一步用设计任务书的形式来明确定义产品的功能、限制条件和商业目标。**机械设计任务书**一般包括产品的工作原理、技术性能、规格和外形、可靠性和寿命的预期,并对产品的经济性、环境适应性、操作使用和维护维修提出具体的要求,还要规定设计、制造和投产的进度。设计任务书是产品设计、制造、试验、改进、鉴定和验收的依据,也是用户评价产品的依据。

从客户需求分析到设计任务书的确定,这个过程称为**机械设计的规划阶段**,是确定机械产品开发是否成功的最重要阶段。参加产品规划的人员除了机械设计工程师外,可能还需要市场、财务等方面的专家,甚至法律、艺术方面的专家。规划阶段是设计团队与客户和市场接触最频繁的阶段,只有充分了解客户和市场的需求,才能开发出具有竞争力和生命力的产品。

设计任务书得到客户认可后,双方签订技术经济合同,机械设计项目正式立项。

1.2 设计机械产品的雏形

从无到有设计出一台机械,首先要构思出在功能、运动和动力方面满足设计要求的产品雏形。这个阶段的工作称为**机械系统方案设计**。在方案设计工作中,要广泛收集相关资料,按照设计任务书的要求进行创新,构思若干备用的方案,对这些方案进行分析和对比,选出较好的方案。

1. 采用什么原理来完成工作任务?

面对同一个工作任务,往往可以构思出不同的工作原理。例如,要去除道路上的结冰,可以提供冰雪快速融化的物理条件来实现,例如撒盐、撒煤粉、加热、……;也可以用敲、压、碾、撬等机械方法,通过运用工具或专门的机械来实现。又如,从原材料中分离出零件毛坯的开料操作,可以采用切削、冲压、剪切、线切割等工作原理,不同的工作原理将对应不同的机械。

实际上,在机械设计的规划阶段已经对可以采用的工作原理做了初步的构想。在进行机械系统的方案设计时,还必须进一步对备选的工作原理进行详细的分析和对比,选择最合适的,或构思更好的。

2. 需要实现怎样的机械动作?

工作原理确定后,要进一步确定完成工作任务的动作序列,即进行工艺动作的设计。例如,采用剪切的工作原理来实现开料机的功能,要想得到满意的切口表面质量,还需要进一步确定刀具的运动规律和剪切阻力的变化规律。

刀具的运动方式不同(如平动或旋转)将影响它相对材料的运动和作用力。在进行工艺动作设计的时候,通常要做一些试验来测定一些未知的参数,对比不同的工艺动作,确定最终采用的方案。

工艺动作的设计也称为**执行构件的运动设计**。除了主要的工艺动作外,往往还有其他一些辅助的工艺动作,如上下料的动作。这些动作要互相配合才能实现机器的功能,将在第2章中通过例子进行讲述。

当所有的动作设计完成后,还要进行它们之间的运动协调设计。例如切割开料,刀具尚未进入切割区域的时候,应该把原材料送至待加工位置,这个过程称为**上料**;上料完成后刀具执行切割操作;切割完成后要把得到的坯料移出,这个过程称为**下料**。不能出现刀具运动与上下料动作互相干涉的情况。确定工艺动作互相协调的过程称为**运动协调设计**,具体的设计方法将在第2章讲述。

3. 如何把动力源的简单运动变换为工艺动作?

工艺动作的实现是需要消耗能量的,所以需要**动力源**来驱动。常用的动力源有电动机、内燃机、液压或气动马达,也称为**原动机**。选择原动机之前要进行**动力分析**,根据所受到的工作阻力、摩擦力、重力以及机器运转的速度、加速度等因素来确定所需要的驱动力(或驱动力矩),相关知识将在第12、13章讲述。进行动力分析后,机械设计师将结合机器的制造成本、使用要求、使用环境等因素,最终确定采用哪一种原动机,并初步确定它的功率和速度。

原动机确定后,设计师面临的下一个任务是设计一套**传动机构**,进行动力传输和运动变换,把原动机的简单运动变换成复杂的、互相协调的工艺动作,形成**机械系统的总体方案**。对于同样的工艺动作和技术条件,设计师们可以构思出很多可行的方案,相关的知识在第5、14章讲述。

进行机械系统的方案设计需要很多专门的知识。首先必须对构思出来的方案进行适当的表述,以便于进行研究和交流。对机械系统设计方案进行描述的主要工具是**机构运动简图**,其绘制方法在第4章讲述。进行设计构思需要了解各种常用的机构和功能部件的特性,例如连杆机构、齿轮机构、……相关的基本知识将在第6~11章讲述。

4. 是否已经设计出了满意的结果?

构想出来的设计方案是不是符合预定的技术条件?是否满足机械设计的基本要求?需要做很多工作来对设计方案进行对比和选择,除了技术上的考虑,还要进行经济和社会方面的评价,如图1.4所示。其中涉及本课程的主要问题有以下几个。

1) 运动的传递和变换是否合理

从原动机开始,经过传动机构传递和变换,是否能产生符合工艺要求的运动?通过**机构运动分析**,可以得到每个方案在运动方面的特点。通过对比它们在实现运动要求方面的优

劣程度,进行方案的选择。机构运动分析的知识在第 12 章中讲述。

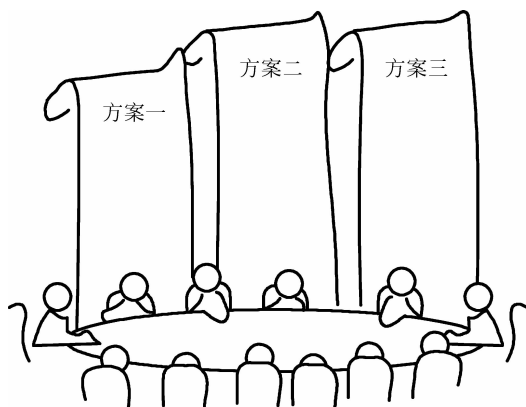


图 1.4 方案分析和选择

2) 动力性能是否达到设计要求

在原动机的驱动下,机器克服阻力、重力和自身惯性的影响进行工作,它的真实运动是否符合性能要求? 原动机的功率和扭矩是否足够? 速度和加速度变化是否会对工作性能产生不利影响? 会不会产生振动或失稳的状态? ……不同的方案将会有不同的表现。通过**机构动力分析**可以确定机械各部分的受力,估计机械运转过程中能量消耗的变化规律,预测机械的动力性能,调节机械运转的速度波动,相关的知识在第 13 章中讲述。

3) 实体化结构是否比较优越

机械系统的总体方案设计只是确定了机械的运动方案,还要详细设计出每一个零件,才能把方案变成现实。不同的方案将影响最终机械的结构和性能。哪个方案能得到最合理的实体结构? 哪个方案的零件数量最少? 重量最轻? 体积最小? 制造和使用成本最小? ……在进行方案对比时,还要做前瞻性的分析。

由于机械产品是由社会的需要而产生的,它的设计和制造受到现实社会各种因素的约束,它的生产和使用也将对社会产生影响。所以,对设计方案进行评价不但要进行技术分析,还牵涉很多其他方面的问题,对此本书不展开研究。

1.3 详细设计出每一个零件

经过反复论证确定机械系统的总体方案后,下一步的工作是把设计方案转化为具体的零部件形态。这个工作称为**技术设计**,也称为**详细设计**,是一个从抽象到具体的过程。设计师要确定组成机械的零件的数目、每个零件的工作位置及其功能,选择每个零件的材料,根据它所承受的载荷以及结构上的需要确定其尺寸。最后,设计师把用机构运动简图表达的设计方案变成了用**机械制图**方式表达的零件工作图、部件装配图和总体装配图。

进行技术设计需要了解机械制造材料的基本特性,零件在不同工作环境下产生破坏的原因和对应的**设计准则**,以及各种不同零件的设计方法。本书第 16 章讲述与机械零件设计相关的计算理论,第 17~20 章分别讲述几类常用零件的设计方法。第 21、22 章讲述如何进

行机械零件的连接,介绍相关的连接件。为了使零件保持在正确的工作位置上,要提供可靠的支承;为了使零件可靠地工作、延长机械的使用寿命,还要设置适当的润滑和散热设施,这些将在第 23、24 章中讲述。最后,按照机械功能实现的要求进行实体机械的全面设计,具体过程在第 25 章讲述。

1.4 机械设计的一般过程和主要原则

开发性设计的主要阶段如表 1.2 所示,本书主要针对方案设计和结构设计两个阶段。

表 1.2 机械设计的主要阶段

设计阶段	工 作 内 容	阶 段 目 标
规划	根据客户的原始诉求或者设计团队捕捉到的社会需求,进行调研、需求分析和可行性研究,明确设计任务	可行性报告、设计任务书、技术经济合同
方案设计	功能分析,拟定工作原理,提出可能的解决方案,进行运动和动力设计,进行方案分析与对比,确定最佳方案	最佳方案原理图、机械系统运动简图、工作循环图、方案设计说明书
结构设计	确定零部件装配方案,确定材料及加工方法,确定零件形状和尺寸,确定润滑、安装和维护方案	总体装配图、部件装配图、零件工作图、设计计算说明书
生产施工设计	调试、测试技术指标设计,加工、装配工艺设计,工具、夹具或加工装配专机设计,包装、运输和安装技术规范制定	工艺卡片、工装设计图、安装图、产品技术文件及使用维护说明书、备件及工具明细表

从本章叙述可以看出,机械设计项目通常从简单、抽象和模糊的诉求开始,根据实际要求和相关的理论进行构思,建立模型。在这个过程中问题逐步明确,开辟出若干可能的求解路径,通过分析、测试、优化等步骤最终收敛到相对满意的方案,然后把方案转变为现实的产品。所以,机械设计是一个多阶段、多路径的过程。

随着设计项目的展开,会发现许多前面阶段没有注意到的问题,遇到之前的决策不合理所造成的困难,或者触发到新的构思。此时,设计进程将回溯至前面阶段来进行修正,或选择不同的方案。对于一些重要的机械,或大批量生产的产品,还要通过试制样机,进行试验,对设计进行修改。所以,机械设计也是一个包含若干回溯的复杂过程。

机械设计师必须具有数学、自然科学和机械工程科学知识的应用能力,具有机械设计相关技术、技能、工具、标准和规范的运用能力,还要能够在团队环境中工作并发挥作用。一个优秀的机械设计工程师,还应该具有高度的社会责任感和良好的职业道德,具有丰富的实践经验和广阔的视野,能够综合考虑技术、经济、社会、资源、环境、文化等多种要素进行机械产品的设计。

机械设计遵循的主要原则包括市场需求导向原则,创造性与先进性原则,标准化、系列化和通用化原则,整体优化原则,现实约束原则,人机工程原则。

1. 市场需求导向原则

机械设计是一种社会生产活动,成果是服务社会的产品。设计任务的产生、使用要求的

确定、技术指标的斟酌、成本分析、开发周期确定、样机鉴定、使用信息反馈……无不紧密与市场联系在一起。只有建立以市场为导向的原则,才能设计出具有竞争力的产品。

2. 创造性与先进性原则

机械设计也是一种创造性的活动。任何一种机械产品都包含着某种创造性要素。它必须与众不同,才能在市场上立足。机械产品的竞争力和生命力与所采用的工作原理、系统结构和制造方法等因素密切相关,应该尽量采用先进的技术。

3. 标准化、系列化、通用化原则

在机械设计中,为了避免出现同一类零件的无限多种形态,对常用零件规定了质量、规格、性能、结构等方面的技术指标。比如普通螺纹的外径和螺距规定为标准数值,不符合标准的螺纹件不会被生产和使用。这种为了在某种范围内获得最佳秩序,对实际的或潜在的问题制定出共同规则的做法,称为**标准化**。贯彻标准化原则,有利于高效地进行设计;有利于标准零件的规模化、专门化生产,提高产品质量、降低成本;有利于提高零件的**互换性**。

系列化是指对同一类产品的主要参数、型式、尺寸、基本结构等作出安排与规划。例如汽车生产厂家在某种基本车型的基础上,采用更换一些不同部件(如发动机或车身)的办法,衍生出一系列的不同车型,从而满足不同用户的需要。采用系列化的设计原则,可以在满足顾客基本需求的前提下降低制造和维护成本。

通用化是指在不同种类的产品或不同规格的同类产品中采用同一结构和尺寸的零部件。例如设计某种柴油机,既可用于拖拉机,又可用于汽车、装运机、推土机和挖掘机等。采用通用化的设计原则,可以最大限度地扩大产品(包括元器件、部件、组件)的使用范围,由此获得经济和社会效益。

4. 整体优化原则

机械产品本身是一个系统,各部分的优劣必须放在整体视野中进行评价。很多时候,性能最好的机械并不是内部所有的零部件性能都是最好的,它体现的是一种优质的组合。同时,性能最好的机械也不一定是效益最好的,要根据对应的商业目标进行评价。

机械产品将参与人类的社会活动,它的优劣也要放在社会这个大系统中进行评价。从经济、技术、社会、环境、人文等各方面进行衡量,尽量使设计效果达到最佳。

5. 现实约束原则

机械产品的设计、制造和使用都受到当时当地条件的约束。要综合考虑设计团队的实力、当前原材料市场的状况、企业的加工生产能力、用户的使用条件,等等。只有根据现实的约束进行设计,才能得到适生适用的机械。

6. 人机工程原则

机械产品是供人使用的,两者组成一个**人-机系统**,互相影响,相互约束。机械设计必须考虑人的因素,才能设计出适合人使用,能减轻疲劳、减少故障、提高效率的机械。**人机工程**

研究人和机器、环境的相互作用以及互相结合的问题,使设计出来的系统充分体现人和机器各自的优势,适合人的生理、心理等特点,达到高效、安全、健康和舒适的目的。



现在召开设计小组会议,讨论制定第一单元的学习目标和分工合作计划。这个阶段的基本任务是获取关于机械设计基本概念的信息,寻找或构思一个设计对象,用技术语言表达出主要的设计要求,设计出执行构件的运动规律(见第2章),经过反复讨论确定后提交教师审查。

这个阶段至少需要4周的时间,其中选择适当的设计项目至关重要,将影响之后的学习。要根据课程的目标、专业的需要以及学生的精力分配等因素来确定项目所包含的内容和难易程度。在确定设计项目的过程中,要仔细观察生活中对于机械产品的需求情况,尽量广泛地获取与机械产品相关的信息。初学者的第一个设计项目不宜过于复杂,既可以是一个简单的机械,也可以是复杂机械中的一个功能部件,还可以结合机械设计比赛的主题来确定合适的设计项目。

根据本课程的教学要求,设计对象必须通过机械运动实现其功能。在进行设计对象的功能设定和工作原理选择时,要根据机械设计遵循的主要原则来进行思考,以机械产品应该满足的6个基本要求作为对照。

设计项目确定后,要尽可能详细列出各项技术要求,明确定义执行构件的运动规律。有条件的专业可以在教师指导下完成可行性报告和设计任务书。