

机械设计基础

(上册)

机械传动

上海工业大学 编

上海科学技术出版社

机 械 设 计 基 础

上 册

上 海 工 业 大 学 编



上 海 科 学 技 术 出 版 社

上 册

上海工业大学 编

(原上海人民版)

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海中华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 21 字数 496,000

1978 年 2 月新 1 版 1981 年 8 月第 2 次印刷

印数 15,001—37,000

书号: 15119·1906 定价: 1.40 元

内 容 简 介

本书共六篇二十三章，分上下两册出版。上册主要内容为机械传动，包括带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、周转轮系及无级变速器等共十二章。下册主要内容为轴、轴承、联轴器和离合器，常用机构（连杆、凸轮、螺旋、转位定位等机构），弹簧、螺纹连接，及机械传动与机构的组合设计等共十一章。

本书可作为工科院校机械类专业教材和教学参考书，亦可供从事机械设计工作或其它有关专业人员参考。

重 印 说 明

本书前身为原上海机械学院机械制造专业内部使用的《机械设计基础》讲义(1972年编)。以后根据试用的反映,并学习吸取了工厂中技术革新的经验以及兄弟院校教材中的长处,由原上海机械学院(延长路部分)机械原理及机械零件教研室部分教师进行修改增删而成此书。1979年,上海机械学院(延长路部分)更名为上海工业大学,故重印本的作者单位也作了相应的更改。

在编写过程中,许多工厂、学校和科研、设计单位提供了丰富的资料。有关章节曾请上海第二机床厂、上海申江机械厂、上海胶带厂、上海机电设计研究院、上海拖拉机齿轮厂、上海工具厂、上海交通大学、洛阳轴承研究所、西安交通大学和上海精密机床研究所等单位有关同志审阅。

本书出版以来,受到了有关院校、厂矿业余工人大学师生与技术人员的欢迎与鼓励,我们深表感谢。根据广大读者的要求,作者再次进行了仔细校阅,改正了个别错误和不当之处,现重印再版。

1981年3月

目 录

前 言

第一篇 绪 论

第一章 绪论

§ 1-1 《机械设计基础》研究的对象和内容	2
§ 1-2 机械设计的基本要求和一般步骤	5
§ 1-3 机械传动系统示意图	7

第二篇 机 械 传 动

第二章 带传动

§ 2-1 带传动的类型、特点和应用	14
§ 2-2 三角胶带的结构和标准	16
§ 2-3 三角带轮	18
§ 2-4 三角带传动工作情况的分析	20
§ 2-5 三角带传动的设计计算	24
§ 2-6 三角带传动的张紧装置、安装与维护	30
§ 2-7 高速带传动	32
§ 2-8 同步齿形带传动	38

第三章 链传动

§ 3-1 传动链和链轮	52
§ 3-2 链传动的运动特性	59
§ 3-3 链传动的设计计算	61
§ 3-4 链传动的布置和润滑	65

第四章 圆柱齿轮传动的啮合原理

§ 4-1 圆柱齿轮的类型与应用	70
§ 4-2 圆柱齿轮传动的定传动比条件与共轭齿廓	74
§ 4-3 圆的渐开线及其性质	78
§ 4-4 圆柱齿轮各部分名称及其尺寸的计算	83
§ 4-5 渐开线圆柱齿轮的齿厚计算	91
§ 4-6 渐开线圆柱齿轮公法线长度的计算和测量	94
§ 4-7 渐开线圆柱齿轮传动的啮合特性	97
§ 4-8 渐开线圆柱齿轮传动的重迭系数和滑动系数	100
§ 4-9 圆柱齿轮传动的综合比较	105
§ 4-10 渐开线齿轮齿廓曲线的加工原理	107

第五章 圆柱齿轮传动的强度计算

§5-1 齿轮的失效形式	113
§5-2 齿轮的材料	116
§5-3 齿轮传动精度的选择	119
§5-4 直齿圆柱齿轮的强度计算	120
§5-5 斜齿圆柱齿轮的强度计算	135
§5-6 齿轮的结构设计	139
§5-7 齿轮传动的润滑	143
附录 圆弧点啮合齿轮传动	150

第六章 变位齿轮传动

§6-1 变位齿轮的应用	155
§6-2 渐开线齿廓的根切现象	156
§6-3 标准渐开线齿轮不发生根切的最少齿数	159
§6-4 渐开线齿轮移距变位的概念	160
§6-5 滚刀(或齿条插刀)加工齿轮的变位计算	161
§6-6 变位齿轮(滚刀或齿条刀具加工的)传动的设计	167
§6-7 变位系数的选择	169
§6-8 插齿刀加工齿轮的变位计算	176
§6-9 内啮合齿轮传动的变位计算	182

第七章 圆锥齿轮传动

§7-1 直齿圆锥齿轮齿廓曲线的形成和几何尺寸计算	185
§7-2 直齿圆锥齿轮传动的几何关系	189
§7-3 直齿圆锥齿轮的变位概述	190
§7-4 直齿圆锥齿轮传动的强度计算	191
§7-5 圆锥齿轮的结构	194
§7-6 螺旋锥齿轮传动简介	195

第八章 螺旋齿轮及蜗杆传动

§8-1 螺旋齿轮传动	202
§8-2 蜗杆传动的类型及特点	206
§8-3 蜗杆传动的几何计算	209
§8-4 蜗杆传动的失效形式、材料选择和结构	214
§8-5 蜗杆传动的强度计算	216
§8-6 蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计算	220
§8-7 圆弧齿圆柱蜗杆和圆弧面蜗杆传动简介	223

第九章 齿轮传动与蜗杆传动的精度和公差

§9-1 圆柱齿轮传动的精度要求及精度等级	227
§9-2 圆柱齿轮传动的检验和公差	232
§9-3 圆锥齿轮传动的精度	242
§9-4 蜗杆传动的精度	244

第十章 齿轮测绘

§10-1 齿轮的标准制度	257
---------------------	-----

§ 10-2	直齿圆柱齿轮的测绘	259
§ 10-3	斜齿圆柱齿轮的测绘	269
§ 10-4	直齿圆锥齿轮的测绘	270
§ 10-5	蜗轮蜗杆的测绘	274
第十一章 周转轮系		
§ 11-1	生产实践中的周转轮系	277
§ 11-2	周转轮系传动比的计算	278
§ 11-3	行星轮系设计中的齿数条件	282
§ 11-4	行星轮系的传动效率	285
§ 11-5	渐开线少齿差行星齿轮传动	287
§ 11-6	摆线针轮行星传动	293
§ 11-7	谐波齿轮传动	298
第十二章 机械无级变速器		
§ 12-1	常用机械无级变速器的结构与工作原理	305
§ 12-2	无级变速器的设计计算	315
§ 12-3	常用机械无级变速器的性能比较	324

第一篇 绪 论

第一章 绪 论

§ 1-1 《机械设计基础》研究的对象和内容

《机械设计基础》是研究各类机械中通用零件和常用机构的设计原理和计算方法的。机械设计学科的形成和发展,是与社会生产的进步和发展密切相关的。毛主席教导我们:“人类的历史,就是一个不断地从必然王国向自由王国发展的历史。”“在生产斗争和科学实验范围内,人类总是不断发展的,自然界也总是不断发展的,永远不会停止在一个水平上。因此,人类总得不断地总结经验,有所发现,有所发明,有所创造,有所前进。”长期以来,劳动人民为了阶级斗争、生产斗争和科学实验的需要,发明、创造了许许多多的机械。这些机械就其外观和用途来说是多种多样的,但是,如果仔细剖析它们的内部结构和组成,可以发现,任何一台完整的机械都可以归纳为由下列三个主要部分所组成:

一、原动部分:是机械动力的来源,由它提供或转换机械能,最常见的原动部分是电动机。此外,也有以气动、液压等作原动部分的。

二、传动部分:是将原动部分的功率和运动传递到工作部分的中间环节。组成传动部分的零部件形式很多,例如胶带、链条、齿轮、凸轮、连杆等;从广义来说,还包括支承这些零件的轴和轴承,以及为了把上述零件相互连接起来所用的键、花键和螺纹连接等零件。可见,传动部分在机械中占有很大的比例,而且具有较大的通用性。

三、工作部分:是直接完成生产任务的部分,这一部分的结构形式完全取决于机械本身的用途,例如自动机的机械手,机床的刀架,挖土机的挖斗,轧钢机的轧辊,等等。

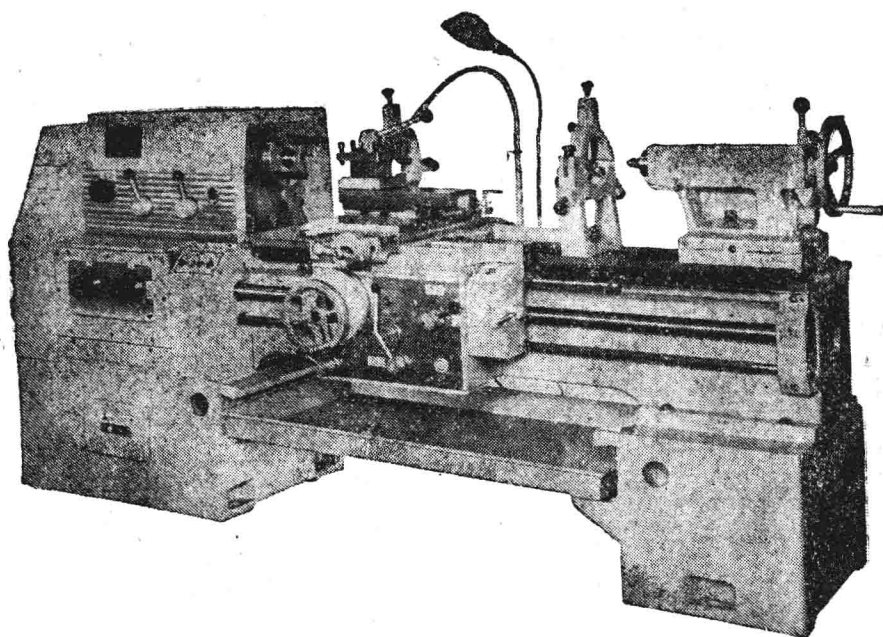
图 1-1 是 C6150 型车床的外观图及传动系统示意图。图 1-2 是 THK63-55 型自动换刀数控机床(加工中心)的外观图及传动系统示意图。从外观看,两台机床的型式完全不同,其用途也各异。但从其传动系统来看,却有许多共同的地方,例如它们在传动部分中都采用了三角胶带、齿轮、凸轮、连杆等机构,以及支承和连接它们的轴、轴承和键、花键等零件。

通过以上简单的分析和对比,可以发现各类机械的工作部分是随机械本身用途的不同而各异的,但是它们的传动部分却往往是采用几种相同的零件和机构以不同的方式组成的,这些在各类机械中普遍被使用的零件和机构称为通用零件和常用机构。对于这些具有共性的东西进行分析和综合,并总结出它们的设计原理和计算方法,就是本书的主要任务。它所研究的内容具体来说有以下几方面:

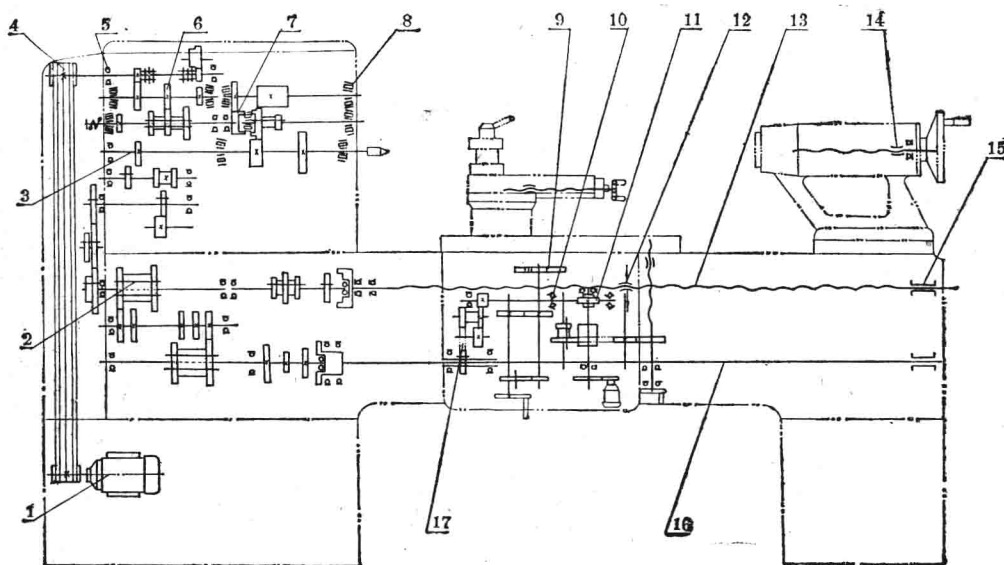
(1) 研究各种机械传动和常用机构的结构、工作特点、运动和动力特性及其设计计算方法;

(2) 从强度、刚度、寿命、结构工艺性等方面研究通用零件和机械部件的设计计算方法;

(3) 研究机械设计的基本原理和方法。



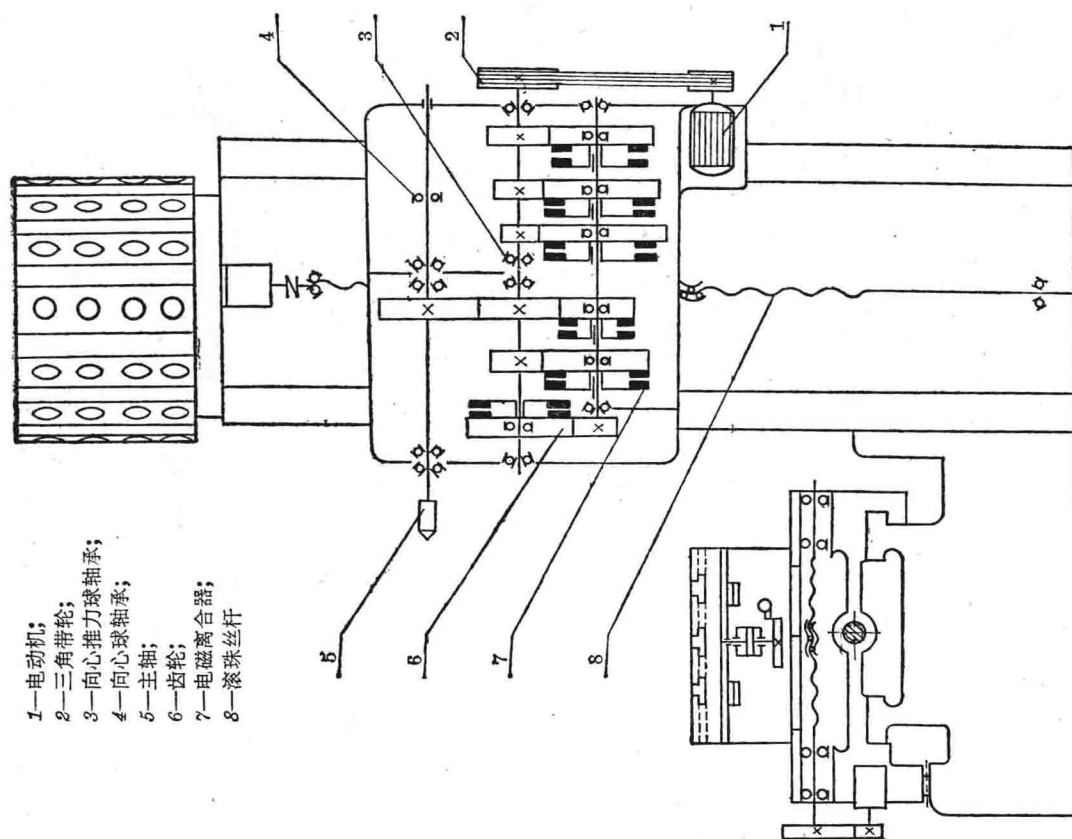
(a) 外观图



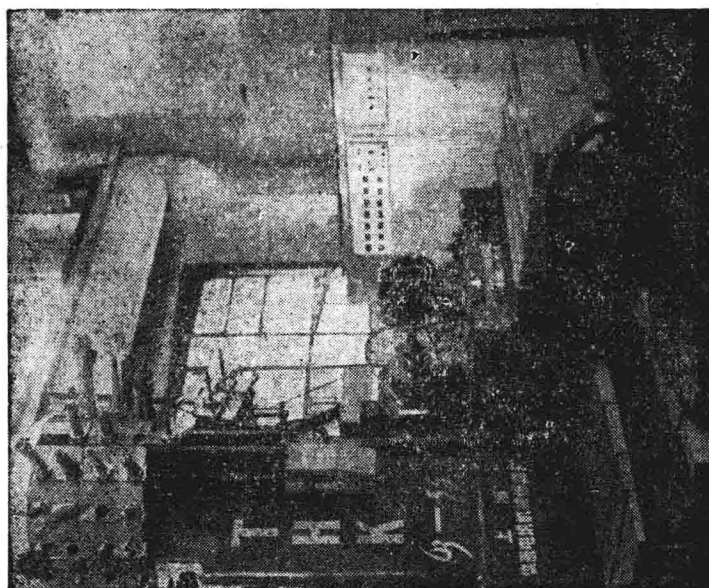
(b) 传动系统示意图

图 1-1 C6150 型车床

1—电动机；2—花键；3—主轴；4—三角带轮；5—向心球轴承；6—齿轮；7—离合器；8—圆锥滚子轴承；9—齿条；10—向心推力球轴承；11—蜗杆蜗轮传动；12—对开螺母；13—丝杆；14—整体螺母；15—向心滑动轴承；16—光杆；17—挂轮



(b) 传动系统示意图



(c) 外观图

图 1-2 THK63-55 型自动换刀数控机床

§ 1-2 机械设计的基本要求和一般步骤

机械的种类虽然很多,但设计时所应考虑的基本要求却往往是相同的,主要有以下几方面:

一、运动要求:首先要根据预定的使用要求(如技术性能、经济性能等),确定机械的工作原理,并据以选择机构和机械传动的方式。这些机构的组合必须合理,运动必须协调,能够实现预定的动作。为此,在必要时,应绘制机构运动简图,作出各机构的运动分析,根据运动分析,可以判断出机构是否能满足机械的工作要求,各机构间运动是否协调,同时也为机构动力分析和强度、刚度计算提供计算数据。

二、动力性能要求:在运动分析的基础上,对机构进行动力分析,从而确定作用在机构各零部件上的功率、扭矩和作用力(包括轴承反作用力等),这些力对于计算机械的强度、刚度、发热、振动、平衡和效率等问题,都是不可缺少的。

三、可靠性要求:所设计的机械必须具有足够的可靠性,即机械在使用中不发生破坏;不因个别零件的磨损等原因而使整个机械失效;不因机械中产生的有害振动而影响工作质量;等等。为此,在设计机械零件时必须满足下列要求:

(1) 强度:指零件承受载荷后不致发生断裂或超过容许限度的残余变形的能力。强度是设计一切机械时最基本的要求,显而易见,如果机械中有一个零件发生断裂,轻则使机械停止工作,重则发生严重事故。

(2) 刚度:指零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。这一要求对于那些弹性变形量超过一定数值后,会影响机器工作质量的零件尤为重要,例如机床的主轴、丝杆、导轨、轧钢机的轧辊等。实践证明,凡是能满足刚度要求的零件,一般来说,强度总是没有问题的。

(3) 寿命:指零件能够正常工作的时间。影响零件工作寿命的主要因素有三点:一是机械中有相对运动的零件的磨损;二是在变应力情况下工作的零件的疲劳(即疲劳强度问题);三是在高温情况下,机械零件(如汽轮机的叶片)的蠕变。

(4) 减振性:表示振动特点的两个主要参数是振幅和频率。由于近代机械的速度越来越高,使载荷的作用频率、冲击性加大,所以减振性问题也就越来越突出。

在一般情况下,机械或零件的振幅是很小的。但是,当其自振频率和周期性外力的变动频率相符合或接近时,就要发生共振,这时振幅将急剧增大,能在短期内导致零件的破坏,这种情况必须避免。

四、经济性要求:设计和制造机械时应该最大限度地考虑经济性,即要求成本低、生产率高、效率高、消耗低以及维护费用低廉等。

显然,可靠性要求与经济性要求是相互矛盾的,而机械设计正是在解决这一类矛盾中逐步发展和完善的。

为了改善和提高机器的经济指标,主要从以下几个方面考虑,即改善工艺性,节约原材料,推广“三化”(标准化、通用化、系列化)等。

(1) 工艺性:在一定的生产规模和生产条件下,如果能以最少的加工费用制造出合乎技术要求的零件,则这样的零件具有良好的工艺性。为此,要求设计人员熟悉各种加工工艺,能够合理地确定零件的结构,在设计零件时就要考虑到其制造的过程和方法,只有这样,

才能设计出具有良好工艺性的结构,否则,会造成设计出无法加工制造或不能装拆的零部件的错误。在设计零件时应使零件具有尽可能简单的几何形状,避免采用复杂的加工方法,避免盲目地提高零件的加工精度及光洁度要求,等等。

(2) 合理地选择材料: 选择材料时,既要满足零件的使用要求,又要便宜,同时还要注意材料的供应情况,尽可能就地取材,为此,要求设计人员能够熟悉各种材料的性能。要尽可能少采用贵重材料,特别是我国较缺少的某些合金材料,而应该根据实际需要来选择材料,采用热处理等方法来改善零件的局部品质。例如对于齿轮的要求是,工作表面要耐磨,有足够的接触强度,而对轮芯则要求具有良好的冲击韧性,因此在很多场合下,往往只用碳钢或低合金钢并进行高频表面淬火等处理,即可得到较好的齿面质量,而不必采用高合金钢。

此外,也要注意推广使用各种非金属材料,如塑料、尼龙等。

(3) 标准化、通用化、系列化: 在设计机器时,应尽量采用标准零件,这在经济上有重大意义。标准化使零件有可能由专门工厂用先进的方法进行大量生产,这不但保证零件质量,而且可以大大地节约材料,降低成本。同时,简化了设计工作,保证了互换性的要求,便于机器的修配。因此,每个设计人员都应该严格遵守国家制订的标准,只有当采用标准零件和尺寸确实不能满足使用要求时,才允许采用非标准零件和尺寸。

五、操作安全要求: 在机械设计时必须特别注意操作工人的安全问题,对于劳动保护应给予极大的重视。例如对于机器中易于造成危害的运动部件(如三角带传动)应加装防护罩,以消除由于操作不慎或意外原因引起的事故。

机械的操纵应力求简便可靠,对于容易因操作错误而引起设备事故的地方,可采用连锁闭合装置。例如在具有集中润滑的大型设备中,为了避免起动时发生过度磨损,就安装有这种装置,使在油泵未开动前,不可能开动机器,以保证消除操作错误。

六、其它的特殊要求: 例如对机床要求能长期保持其精度;对于汽车、飞机、轮船等交通工具要求其发动机在最小重量的条件下得到最大的功率;对经常流动使用的机械,如钻探机等,要求装拆方便;对矿山、冶金等重型机械要求便于运输;对食品及纺织机械要求保持清洁,不许污染产品;等等。

综上所述,对于机械设计的要求可以简单地概括为重量轻、体积小、质量好、效率高、成本低、使用维修方便、操作安全。

机械设计的方法,常用的有三种:

(1) 理论设计: 即根据已掌握的科学理论及实践知识进行设计。按照设计顺序的不同,理论设计的计算过程又分为两种:

(i) 设计计算: 例如根据运动要求、载荷情况、材料性能等,由理论公式设计计算零件的形状和尺寸。

(ii) 校核计算: 即先根据其它方法(例如选用标准零件,或根据经验)初步定出零件的形状及尺寸,然后用理论公式进行校核。

如果运动情况和受力状态的分析精确可靠,使用公式合理,理论设计能获得较可靠的结果,且对发挥产品的潜力能做到心中有数。但是,有时计算过程复杂,花费时间较多。还应指出,有些零部件(如箱体、床身等)的应力状态是较难用理论公式计算的,因此,对这种零部件往往采用经验数据来确定其结构和尺寸。

应当注意,随着科学技术的发展,理论设计的方法也在不断变化和发展,不应当将教材中介绍的方法看成是十分完善的或一成不变的。

(2) 经验设计: 即根据已有的机械或零件的使用经验而总结出来的经验公式和数据,或采用类比的方法进行设计。

经验设计简便、可靠,避免了繁琐的计算过程,是非常实用和有效的设计方法,但是它往往受到被类比机器的限制。弥补的办法是对类比产品进行深入的调查,主要是对它的使用情况作调查,做到心中有数,这样就可原有基础上更提高一步。

(3) 模型实验设计: 对于一些巨大的、结构复杂而重要的但又难以进行理论设计的机械或零、部件,可采用模型实验设计。例如,对于万吨水压机、飞机的机身和机翼、重型水轮机的转子等,可先做出模型,经过实验,测定出其主要零、部件中的工作应力的实际分布情况和极限承载能力,以此来弥补理论分析和经验设计的不足之处,然后,再根据实验结果修改初步设计的模型。

机械设计的一般步骤是:

(1) 进行工艺分析: 首先要了解所设计的机械、机构或零、部件在整个工艺过程中所占的地位,对它提出的要求,它与前后工序之间的联系等。如果设计的是机床,则要求根据工件的形状、尺寸、材料、技术要求、批量等确定工件的加工方法、余量、定位基准面、装夹方法等。

(2) 调查研究: 主要是通过访问使用单位、制造单位和参阅技术资料等途径进行,了解机械的性能及技术参数,工作范围,使用情况及存在问题,以及制造厂的设备条件、技术能力及生产经验等,从而为拟定出初步的设计方案打下基础。在调查研究时,最重要的是直接访问生产第一线的操作工人。

(3) 工作图设计: 通过分析比较,确定机械的工作原理并拟定总体方案;绘制机械传动系统示意图,进行运动分析、动力分析和强度计算等来确定技术参数;拟定各部分的结构,绘制总装配图、各部件装配图、零件图,边绘图,边计算,边修改;编制技术说明书、标准件和外购件明细表等。

(4) 现场服务: 设计人员要参加制造、装配、调试和鉴定工作,发现问题后,要随时修改图纸。

上述步骤不是互相割裂的,而是互相联系、有机结合的,往往是边设计,边修改,多次反复的。

§ 1-3 机械传动系统示意图

在分析现有的机械设备或设计新机械时,为了突出表达设计构思的重点,需要把复杂的机械用简单的线条和规定的符号将其传动系统、零、部件间的相互关系(连接或相对运动)和运动特性等表示出来,表示这些内容的图称为机械传动系统示意图。其作用是:

一、可以清晰地看出机械的传动方式及各种机构和零件的相互关系。

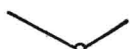
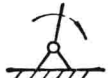
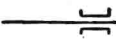
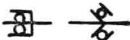
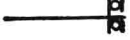
二、经过简化后,使分析机械运动及受力情况时简便、清晰。

三、在设计新机械时,为零件结构具体化提供了条件,因为零件的具体结构与传动方式、各零件的相互位置都有关系。

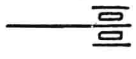
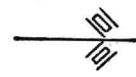
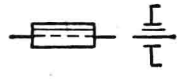
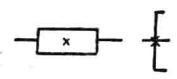
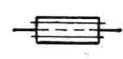
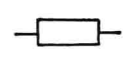
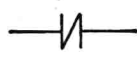
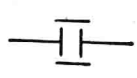
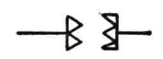
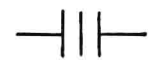
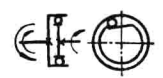
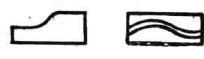
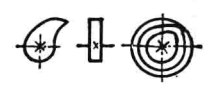
机械传动系统示意图应将机械的主要组成部分，特别是与运动有关的方面突出表示出来，故一般不画出零件的实际结构形状，并略去与运动特性无关的零件。有时为了表达清晰起见，各组成部分间的相对位置与实物大小并不需要严格符合比例，但必须能定性地表达各个传动机构间的运动关系。只有在需要定量地分析机构的运动特性时，才必须按照一定的尺寸比例绘制机构运动简图。在机械传动系统示意图中，常须注上电动机的参数、轴和齿轮等主要零件的编号，以及齿轮的齿数、带轮的直径等与运动特性有关的参数。

机械传动系统示意图中所使用的符号见表 1-1。

表 1-1 机械传动系统示意图中的常用符号 (摘录自 GB138-74)

序 号	名 称	符 号
1	轴、杆、连杆等	
2	轴、杆的连接 (1) 牢固连接 (2) 活销连接 (3) 两杆间牢固连接而与第三杆用活销连接	(1)  (2)  (3) 
3	杆与固定支点的活销连接	
4	向心滑动轴承	
5	滚动轴承 (1) 向心球轴承 (2) 向心球面球轴承 (3) 单列向心推力球轴承 双列向心推力球轴承 (4) 单向推力球轴承 双向推力球轴承	(1)  (2)  (3)   (4)   

(续表)

序 号	名 称	符 号
5	(5) 圆柱滚子轴承	(5) 
	(6) 圆锥滚子轴承	(6) 
6	零件与轴的连接	
	(1) 导键连接	(1) 
	(2) 固定键连接	(2) 
	(3) 花键连接	(3) 
	(4) 牢固连接	(4) 
7	轴与轴连接	
	(1) 紧固连接	(1) 
	(2) 弹性连接	(2) 
	(3) 齿轮联轴器连接	(3) 
8	离合器	
	(1) 单向啮合式	(1) 
	(2) 摩擦式	(2) 
	(3) 单向超越式	(3) 
9	凸轮	
	(1) 纵向移动式	(1) 
	(2) 圆盘式	(2) 
	(3) 圆柱式	(3) 