

高等学校试用教材

机械设计

上册

轻纺类《机械设计》联合编写组编

人民教育出版社

内 容 提 要

全书共计十九章,分上、下两册出版。上册包括绪论、平面机构的结构分析、平面机构的运动分析和动态静力分析、连杆机构、凸轮机构、带传动、链传动、齿轮传动等八章。

本书可作为高等学校工科轻纺机械类专业和部分轻纺工艺专业的试用教材,也可作为轻纺工业部门职工大学相应专业的试用教材,同时亦可供有关工程技术人员参考。

高等学校试用教材

机 械 设 计

上 册

轻纺类《机械设计》联合编写组编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 20.5 字数 462,000

1979年7月第1版 1980年5月第1次印刷

册数 00,001—9,500

书号 15012·0129 定价 1.70 元

前 言

本书是根据高等学校工科基础课机械原理、机械零件、机械设计、工程热力学、传热学教材会议讨论的轻纺类《机械设计》教材编写大纲编写的。

全书共十九章,分上、下两册出版。

参加本书编写的有:上海纺织工学院、上海纺织专科学校、上海纺织机械器材公司七·二一工人大学、大连轻工业学院、天津纺织工学院、无锡轻工业学院、北京化纤工学院、西北纺织工学院、苏州丝绸工学院和浙江丝绸工学院的有关教师,并由上海纺织工学院主编。

本书由上海交通大学机械原理及机械零件教研室主审,参加审阅的还有清华大学、天津大学、西北工业大学和浙江化工学院的代表。本书在编写过程中,曾得到上海纺织轴承厂和无锡探矿机械厂等单位的大力支持,在此一并致谢。

由于我们水平有限,加以时间匆促,书中一定存在不少缺点和错误,恳切希望读者对本书批评指正。

联合编写组

一九七九年二月

上册目录

前言	
第一章 绪论	1
§ 1-1 <机械设计>研究的对象和内容	1
§ 1-2 机械和机械零件设计的基本要求	2
§ 1-3 机械设计的方法及一般步骤	4
第二章 平面机构的结构分析	9
§ 2-1 概述	9
§ 2-2 运动副	9
§ 2-3 运动链、机构与机构的运动简图	11
§ 2-4 平面机构的自由度及平面机构具有确定运动的条件	12
§ 2-5 计算机构自由度时应注意的几个问题	14
§ 2-6 低副代替高副法	16
§ 2-7 平面机构的组成原理概述	17
第三章 平面机构的运动分析和动态静力分析	21
§ 3-1 概述	21
§ 3-2 用相对运动图解法分析平面机构的运动	21
§ 3-3 速度瞬心及其在平面机构速度分析上的应用	30
§ 3-4 运动线图和图解微分法、图解积分法	33
§ 3-5 用解析法分析平面机构的运动	37
§ 3-6 平面机构的动态静力分析	40
§ 3-7 机构自锁的概念	50
第四章 连杆机构	53
§ 4-1 概述	53
§ 4-2 平面四杆机构的基本类型及互相转化	53
§ 4-3 平面四杆机构的基本性质	57
§ 4-4 平面四杆机构的设计	71
§ 4-5 平面多杆机构	85
§ 4-6 空间四杆机构简述	94
第五章 凸轮机构	100
§ 5-1 概述	100
§ 5-2 从动件的常用运动规律	103
§ 5-3 盘形凸轮廓线设计	118
§ 5-4 凸轮机构的压力角和凸轮基圆半径	126
§ 5-5 圆柱凸轮机构设计	133
第六章 带传动	140
§ 6-1 概述	140
§ 6-2 三角胶带的结构和标准	140
§ 6-3 三角胶带传动的理论基础及工作情况分析	143
§ 6-4 三角胶带传动的设计计算	151
§ 6-5 三角胶带传动的张紧装置	158
§ 6-6 同步带传动设计	161
第七章 链传动	171
§ 7-1 概述	171
§ 7-2 套筒滚子链和链轮	171
§ 7-3 链传动的运动特性	177
§ 7-4 链传动的设计计算	179
§ 7-5 链传动的布置、张紧和润滑	188
§ 7-6 齿形链传动简述	192
第八章 齿轮传动	195
§ 8-1 概述	195
§ 8-2 齿廓啮合的基本定律	197
§ 8-3 渐开线及渐开线齿廓的定传动比传动	198
§ 8-4 渐开线齿轮的主要参数和标准齿轮几何尺寸计算	201
§ 8-5 渐开线齿轮的正确啮合和连续传动条件	212
§ 8-6 渐开线齿轮传动的滑动率	217
§ 8-7 渐开线齿轮的齿厚和公法线长度的计算	219
§ 8-8 渐开线齿轮齿廓曲线的切削原理	225
§ 8-9 齿轮的根切现象和避免根切的方法	228
§ 8-10 变位直齿圆柱齿轮传动	231
§ 8-11 齿轮传动的失效形式和齿轮的材料	253
§ 8-12 直齿圆柱齿轮的强度计算	257
§ 8-13 圆柱齿轮的结构	277
§ 8-14 圆柱齿轮的精度	280
§ 8-15 斜齿圆柱齿轮传动	286
§ 8-16 直齿圆锥齿轮传动	304
§ 8-17 螺旋齿轮传动	317

第一章 绪 论

§ 1-1 《机械设计》研究的对象和内容

一、机械及其基本组成部分

生产中使用的各种机械,如精纺机、织机、自动包装机、牛头刨床等,就其构造、用途和性能来说是各不相同的,但从它们的组成部分和运动确定性以及与功、能的关系来看,却有着三个共同的特征:

- (1) 它们都是一种人为的实体的组合;
- (2) 它们各部分之间具有确定的相对运动;
- (3) 在生产过程中,它们能代替人类的劳动来完成有用的功或转换机械能。

只具有前两个特征的称为机构。同时具有三个特征的称为机器。但从结构和运动的观点来看,两者之间并无区别。因此,为了简化叙述,常用“机械”一词作为“机构”和“机器”的总称。

任何一台完整的机械都是由三个主要部分所组成:

(1) 原动部分:它是机械动力的来源。最常见的原动部分是电动机。此外,还有以内燃机、液动机、气动机等作原动部分的。

(2) 工作部分:它是直接完成工艺动作的部分,它的结构形式完全取决于机械本身的用途。例如精纺机的锭子、牵伸加拈机构,织机的梭子、投梭、打纬机构,自动包装机的机械手,牛头刨床的刨头等。

(3) 传动部分:它是将原动部分的功率和运动传递到工作部分的中间环节。例如各机械中的带传动、链传动、齿轮传动、连杆机构、凸轮机构等。

由于在各种机械中,对传动部分述及的这些机构和零件都有广泛的应用,故把这些机构和零件称为常用机构和通用零件。

二、《机械设计》研究的对象和内容

《机械设计》主要是研究在一般条件下常用机构和通用零件的基本工作原理和设计方法。其具体内容有:

(1) 研究常用机构的组成原理、运动特性、动力特性和设计计算方法,从而能够分析已有的机械(即进行机构的分析)和根据生产上的需要创制出新的机械(即进行机构的综合)。

(2) 研究通用零件的强度、刚度、寿命、结构及设计计算方法,以便能够正确选择、设计和改进这些零件。

(3) 初步了解整部机械设计的基本要求、方法和步骤。

《机械设计》是介于基础课和专业课之间的一门技术基础课,它是设计性的课程,在教学中起着承上启下的作用,其教学应在学习了高等数学、机械制图、理论力学、材料力学、金属工艺学、金

属材料与热处理等课程的基础上进行。

§ 1-2 机械和机械零件设计的基本要求

一、机械设计的基本要求

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。这些基本要求是:

(一) 满足使用性能的要求

就是要求所设计的机械能有效地执行预定的全部工作职能。

1. 运动性能要求: 首先应根据预定的使用要求确定机械的工作原理,并据此选择机构和机械传动的形式。绘制运动简图,进行运动分析,判断这些机构的组合是否合理,运动是否协调,能否实现预定的动作,同时也为机构动力分析和强度、刚度计算提供计算数据。

2. 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必不可少的。

3. 可靠性要求: 机械在预定的工作期限内应具有一定的可靠性,不致在使用期内,因零件的断裂、变形、磨损、振动等因素使得机械不能正常工作。为此,在设计机械零件时,必须对零件的强度、刚度、寿命、振动等进行必要的计算。

(二) 满足经济性的要求

经济性是用设计、制造和使用三方面的综合指标来衡量的。机械设计时应最大限度地考虑经济性。

1. 提高设计及制造的经济性: 应推广“三化”(零件标准化、部件通用化、产品系列化);采用“四新”(新产品、新技术、新结构、新材料);注意改善工艺性及节约原材料等。

2. 提高使用的经济性: 应提高机械的机械化和自动化水平;选用效率高的传动系统及支承装置;注意采用适当的防护、润滑与密封装置等。

这样,可以使得整部机械的成本低、生产率高、效率高、消耗低以及维护费用低廉等,达到好的经济性。

(三) 满足劳动保护要求

机械设计时对于劳动保护必须给予极大的重视。

1. 注意操作者的操作安全: 对外露的运动零件应加防护罩;设置保险装置以消除不正确操作而引起的危险等。

2. 减少操作者操作时劳动强度: 操纵应简便省力;简单而重复的劳动要利用机械本身中的机构来完成等。

3. 改善操作者的工作环境: 应尽量减少机械的噪音;机械的外形要美观大方,色泽协调舒适等。

(四) 满足其他的特殊要求

对于不同用途的机械还可能提出一些特殊要求,例如:对机床要求能长期保持其精度;对食品和纺织机械要求能保持清洁,不能污染产品;对一些化纤机械要求能消除有害气体等。在满足基本要求的同时,这些特殊要求同样也需得到满足。

应该指出,在考虑上述一系列要求时,不可避免地会遇到一些矛盾,例如可靠性要求与经济性要求的矛盾等。应结合具体情况,因地因时进行辩证的分析,恰如其分地处理解决。

二、机械零件设计的基本要求

任何一部机械都是由许多零件组成的。因此,要想设计、制造出符合机械设计基本要求的机械,就必须对组成机械的各零件,根据它们在机械中的地位和作用提出一些相应的要求。这就是机械零件设计的基本要求:

(一) 要有足够的强度

强度是衡量零件抵抗破坏的能力。这是一项最基本的要求。零件的强度不足时,就会发生不允许的塑性变形,甚至造成断裂破坏,轻则使机械停止工作,重则发生严重事故。

(二) 要有足够的刚度

刚度是衡量零件抵抗弹性变形的能力。零件的刚度不足时,将会产生不允许的弹性变形,形成载荷集中。尤其是对象机床中的主轴、精纺机中的罗拉长轴等,如果没有足够的刚度,会导致产品质量的严重恶化,甚至造成事故。实践证明,凡是能满足刚度要求的零件,一般来说,强度要求总是能满足的。

(三) 要有足够的寿命

寿命是指零件正常工作的期限。影响零件寿命的主要因素是:有相对运动的零件的磨损、变载荷作用下的疲劳和高温工作下的蠕变。随着新材料、新品种的出现,热处理工艺的不断进步,零件寿命已有显著的提高。

(四) 要有良好的振动稳定性

振动稳定性是指机械在工作时不发生超过容许的振动现象。高速回转及往复运动的零件,由于设计不完善、制造安装误差、材料本身的不均匀等原因,工作中零件会产生周期性的振动。当转速或速度达到某一数值,使得自振频率和周期性外力的变动频率相符合或接近时,就会发生共振。这时零件的振幅将急骤增大,能在短期内使零件或整部机械造成破坏。所以,对于高速回转或往复运动的零件,为了保证有良好的振动稳定性,除要精确进行动平衡外,还要进行振动设计,如精纺机的锭子等。

(五) 要有良好的工艺性

工艺性好,就是在一定的生产规模和生产条件下,能以最少的工时和加工费用制造出合乎技术要求的零件。为此,要熟悉零件的各种加工工艺,以便能合理地确定零件的结构和外形,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,避免盲目提高零件的加工精度和表面光洁度;尽量采用优先配合、优先系列和标准结构等。

(六) 要尽量采用标准化零件

采用标准化零件不但能大大简化设计计算工作量,缩小制造、装配机械的时间,而且还能保

证产品的质量,节约原材料,降低成本。因此,只有当采用标准零件不能满足设计要求时,才允许使用非标准零件。与零件标准化密切有关的是部件的通用化,产品的系列化,即前面述及的“三化”。

(七) 要合理选择零件的材料

在一般机械制造中的常用材料不下几十种,有黑色金属(钢、铁)、有色金属合金(铜、铝等)、金属陶瓷材料及各种非金属材料等。材料的选择是否得当,对机械的工作好坏、尺寸、重量及成本都会产生重大的影响。在选择材料时应全面地考虑和分析如下因素:使用条件、工作环境、制造能力、材料价格、供应情况和加工费用等。要注意用低合金钢来代替高合金钢,以及“以焊代锻”、“以铸代锻”和非金属材料(如塑料、尼龙)的推广等。

当然,设计某一具体零件时,并不一定要求它能同时满足上述的所有基本要求,而是应根据所设计的零件在具体工作条件下可能产生的失效形式,来决定上述基本要求中哪些是主要的,哪些是次要的,抓住主要矛盾,全力解决它。例如,对于中速、低速回转或往复运动的零件,就不必进行振动稳定性计算;对一般机械中的传动轴不必作刚度计算;受力大而且重要的零件才选择优良的材料等。

§ 1-3 机械设计的方法及一般步骤

一、机械设计的方法

机械设计常用的方法有三种:

(一) 理论设计

这种设计方法是根据已掌握的科学理论及实践知识进行设计。按设计计算的顺序不同,理论设计的计算过程又可分为:

1. 设计计算: 可以按照已知的运动要求,载荷情况,零件的材料特性等,运用一定的理论公式设计计算零件的尺寸和形状。例如: 转轴的强度、刚度计算。

2. 校核计算: 先根据其他方法(如类比法、实验法)初步定出零件的尺寸和形状,再用理论公式进行精确校核。例如: 转轴的精确校核计算。由于校核计算考虑了零件尺寸形状及具体结构对强度的影响,所以计算的结果更近于实际。

用理论计算方法能得到比较精确而可靠的结果,一些重要的零部件应选择这种方法。但是,对于一些形状复杂、受力状态不明的零部件有时就难于用理论计算的方法。

(二) 经验设计

这种设计是根据已有的机械零件的经验公式、数据或图表,或采用类比的方法进行设计。

经验设计的最大优点是简便、迅速、可靠,在有些情况下它是一种很实用有效的方法。但它的局限性大,往往受到被类比机械的条件限制,有一定的盲目性。而经验公式、数据和图表是在一定的工作条件下,由使用经验或用统计的方法总结出来的,是在一定条件下反映出的客观规律。因此,在经验设计时要注意具体分析,以便在原有基础上提高一步。

对于象机架、箱体等形状结构复杂的零部件,大多采用这种设计方法。经验设计在目前的轻纺机械设计中有广泛的应用。

(三) 模型设计

对于一些大型的、结构复杂而又重要的但又难以进行理论设计的零部件,可采用模型设计方法。这时先将所设计的零部件,按一定比例将其尺寸、形状及载荷等进行缩小,作出模型,然后对模型进行各种模拟实验,取得满意设计数据后再按相似原理放大复原。

我国生产的万吨水压机,以及新型飞机的机体等,就都采用了模型设计方法。这种方法本身就是一项科学研究工作。

就机械设计来说,近十几年来也增添了不少新的内容,出现了一些崭新的设计方法和理论。特别是电子计算机技术的发展和运用,大大提高了设计工作的质量和速度,使得过去一些烦琐复杂的理论计算问题,得到了满意、精确的解答。例如最近一种新的工程设计方法——最优化设计法得到国内外的广泛重视和采用。此外,断裂力学、有限元法、多次冲击理论、统计理论等也都应用在机械设计中。

二、机械设计的一般步骤

(一) 拟订设计任务书

机械设计项目是根据生产任务的需要提出的,对每个设计项目通常都要拟订设计任务书。其主要内容有:产品用途和使用范围;产品性能和技术特征;技术经济指标(提出与国内外同类型产品的对比资料);主要参考资料或样机;主要制造技术关键、特殊材料和配套件,以及必要的试验项目;鉴定方式和鉴定地点等。拟订设计任务书是机械设计的重要步骤。

(二) 初步设计

根据设计任务书的要求,本着技术先进、使用可靠、经济合理的原则,在广泛调查研究的基础上拟定出初步设计方案。其主要内容有:

1. 工作机构方案的拟定

(1) 选定工作原理

设计一部机械,首先要根据工艺要求选择工作原理。显然,工作原理不同,据此设计出的机械也不同。例如,纺纱可以用走锭纺,也可以用环锭纺、气流纺、静电纺等;织布可以是普通织机,也可以用箭杆、片梭、喷气织机等。机械的工作原理是随着生产和科学技术的发展而不断发展,因此,不断采用和研究新的工作原理,才能使机械设计达到新的水平。

(2) 工作机构类型的选择

选定工作原理后,就要正确设计它的机构组合,以实现所需完成的动作。机械所需实现的动作是多种多样的,但均可根据所确定的运动方案把它分解为:连续回转运动、直线移动、往复摆动、间歇运动、实现预期的平面位置要求或运动轨迹、空间复杂运动等。而最基本的是回转运动和直线移动。

显然,运动形式不同,机构类型的选择就不同。事实上,即使同一种运动,也可以由各种不同的机构来实现,例如直线移动,可用齿条齿轮传动机构,也可用螺旋传动机构或直动从动件凸轮

机构等来实现。所以,在具体机械设计时,就要综合考虑各种要求,对各种常用机构进行分析比较,以便合理地选择应用。

(3) 工作机构之间运动的协调和配合

有些机械的运动方案中,各工作机构的运动是独立的,没有直接的运动联系,因此,在设计时常对每一种运动配备独立的原动机和传动系统。例如:织机的车头卷纬、浆纱机的自动落轴等。

有些机械的传动方案中,各工作机构之间运动必须密切协调和配合,才能完成机械的生产任务。这种协调和配合,按其性质不同可分为:

i. 运动速度的协调和配合:就是要求各工作机构间的运动必须保持严格的速比关系。例如,车床上切削螺纹时,主轴的转速和刀架的走刀速度必须保持一定的关系;精纺机为了得到所需的牵伸倍数,前、后罗拉的转速要保持一定的关系等。为了能保持工作机构间运动速度的协调和配合,在它们间应该用保持恒定速比关系的传动机构(如齿轮传动机构、螺旋传动机构等),而决不能采用传动比不稳定的传动机构(如带传动等)。

ii. 动作的协调和配合:就是要求各工作机构间的动作要按一定的循环规律、在时间上协调配合。例如:牛头刨床的刨头和工作台间的动作;自动包装机的各工作构件间的动作;织机的开口、投梭、打纬等主要运动,它们在时间上都必须协调和配合。为了使各工作机构间的动作能互相协调和配合,设计时应编制动作协调图,又叫运动循环图。

2. 原动机方案的拟定

原动机的运动形式比较单一,一般作连续回转(如电动机、油马达、电液脉冲马达等),也有作摆动(回转油缸或气缸)和移动(往复式油缸或气缸、直线电机等)的。由于电机构造简单、价格便宜、运行可靠、维护方便等优点,在一般机械(包括轻纺机械)中,得到了广泛的应用。

当工作机构的运动参数确定后,就可以确定原动机的运动参数。通常使用的电动机,其同步转速分 3000、1500、1000 及 750 转/分等几种。当输出功率相同时,转速越高,电动机的尺寸越小,价格也越低。因而当工作机构速度较高时,宜选用高速电动机。但工作机构速度较低时,则应从缩小减速装置、提高机械效率和电动机价格等综合地全面考虑,合理选择中、低速电动机。有时为了满足工艺要求(如熔融纺丝机等),需要选择具有调速性能的直流电动机或可控硅电磁调速电动机。

3. 传动系统方案的拟定

在工作机构与原动机方案确定后,可以进行传动系统方案的设计。由于传动系统在整部机械中起着变换运动形式、速度和传递功率作用,这同样是机械设计要解决的主要问题。

(1) 尽量简化和缩短传动路线:这样可降低成本,提高效率,提高机械的传动精度等。例如减小原动机轴与末端从动轴的转速差;合理选择变速机构及采用几个原动机分别传动各个运动链(但要注意同步、连锁和运动配合)等,都能使传动系统简化和缩短。

(2) 合理安排功率传递的顺序:一般在设计传动路线时,应尽量使原动机先传动消耗功率较大的工作机构,后传动消耗功率较小的工作机构,即功率分配按“前大后小”的原则。这样既可减少传递功率的损失,更可减小传动件的尺寸。例如,精纺机上首先传动消耗功率很大的滚筒部

分;机床总是先传动主运动系统,再传动进给系统等。

(3) 合理安排传动机构的顺序:一般变换转速的传动装置应尽量安排在与原动机相联部分(高速级),常将带传动、摩擦传动等与原动机相联,而齿轮传动等则往往放在它们的后面,这样,一方面可以减少外廓尺寸,同时又可起过载保护作用。由于圆锥齿轮的制造困难、安装条件不利,为了减小它的尺寸和受力,也往往把圆锥齿轮传动安排在高转速的轴上。此外,高速级应尽可能选择动载荷较小的传动,如斜齿轮、蜗杆蜗轮传动等,低速级可选择其他齿轮传动、链传动等。而对于变换运动形式的机构,如凸轮机构、连杆机构等,则通常是在传动系统的末端与机械的工作部分直接相联(低速级)。例如,精纺机、织机、自动包装机、牛头刨床等的第一级传动就都是三角带传动,而工作部分大多与连杆、凸轮等机构相联。

(4) 合理分配传动比:在一般机械中,电动机的转速较高,而工作机构的速度较低,往往需要多级降速才能达到要求。传动装置的每一级传动比宜在常用范围内选取,而各级传动比的分配应根据机构的不同工作要求而定。例如机床变速箱一般按等比级数分配各级传动比。一般情况下,机械中常采用相邻两级传动比相差不大,并使高速级传动比略小于低速级,即传动比分配按“前小后大”的原则。这样,可使各级中间轴有较高的转速及较小的扭矩,因而轴上各零件的尺寸可取得小,结构紧凑。

(5) 注意提高机械的效率:由于机械的总效率是机械中各传动系统的分效率的连乘积,因此传动系统中任一传动机构具有较低的效率都会使总效率降低,这应引起充分的注意。特别是传递功率较大时,机械效率应作为选择传动型式和机构的主要依据。

4. 考虑总体布局并画出传动简图

在工作机构、原动机和传动系统方案拟定后,就可进行总体布局。在总体布局时还应考虑一些其他装置(如操纵、自停和信号等装置)和必要的附属设备(如加油、降温、吸尘等设备)。

总体布局要重视操作、安全、拆装和维修等方面的方便,同时也要考虑到全机地位的紧凑及布局的合理。在考虑好总体布局后,应绘制出全机传动简图。

(三) 技术设计

在初步设计的基础上,着手把拟定的方案分成具体的零部件,把运动简图变成具体的结构图及装配图。其主要内容有:

1. 根据机械的运转特性、工作机构的工作能力、工作速度和传动系统的总效率等,算出机械所需的驱动功率,并结合机械的具体工作情况,选择好一部或几部原动机。

2. 对各机构和主要零件进行运动分析、动力分析和工作能力计算,以及必要的类比与实验,从而确定它们主要的尺寸、形状和技术参数。这是极为重要的工作,也是本课程以后各章主要研究的内容。

3. 确定总体尺寸关系,决定各个机构和主要零件在机械中的位置及互相间的联接。设计各部件的装配图并画出总体装配图。

(四) 工作图设计

工作图设计就是按照技术设计进行零件设计,由装配图到零件图。这时应从机械的总体出

发,综合考虑前面已详细述及的机械零件设计的基本要求,具体地决定零件的尺寸、形状、结构要素、制造精度等,并规定出适当的技术条件(如热处理方法及表面硬度等),从而绘制零件工作图。并编制部件明细表和产品明细表,然后复拼部件装配图及总体装配图。

另外,还要编制标准件汇总表、通用件汇总表、借用件汇总表、备件表、安装技术条件、机械技术说明书、设计专用工具和机械设计说明书等。

(五) 试制与鉴定

全套图纸设计绘制完毕,所有设计技术文件编写完成,并经工艺会签及审核结束后,图纸即可投入生产,作短期试制。样机完成,即进行机械鉴定和生产鉴定,以考核样机的性能是否符合设计任务书的各项规定。

鉴定通过后,需要根据试制和运转中暴露出来的问题,对设计图纸进行修改,常称为整图。机械设计工作到此才告一段落。

上述只是机械设计的一般步骤。各项工作不是相互割裂无联系的,而应是相互穿插和有机结合,有时甚至要多次反复。同时,这些步骤也不是一成不变的,而是应该根据机械的具体情况适当地进行变动。

第二章 平面机构的结构分析

§ 2-1 概 述

如前所述, 机构是具有确定相对运动的刚性物体的组合。在机构中彼此可作相对运动的刚性物体称为构件。一个构件可能就是一个零件, 如图 2-1a 所示的连杆; 也可能是由几个零件刚性固结而成, 如图 2-1b 所示的连杆是由连杆体 1、连杆头 2 以及螺栓 3、螺母 4 等零件刚性固结而成。构件和零件的区别在于: 构件是运动的单元, 零件是制造的单元。在研究机构时仅用到构件。

相对于地球或机体(飞机、船舶、汽车等)固定不动的构件称为机架。因此, 固定式机器的机架相对于地球是固定不动的。而飞机、船舶等发动机的机架相对于地球是运动的。

在设计新机构或对现有机构进行分析研究时, 都必须对机构的结构进行分析, 了解机构的组成原理, 在什么条件下机构才能具有确定的相对运动, 以及如何用简单的图形把机构中与运动有关的结构能清楚地表示出来, 以便于分析研究和设计。

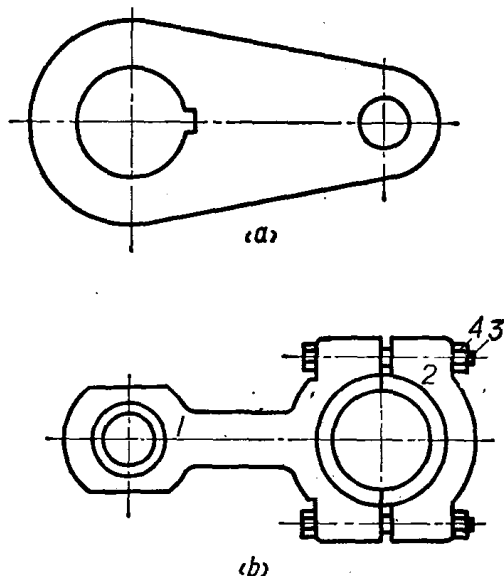


图 2-1

§ 2-2 运 动 副

两个构件直接接触而又能产生一定形式相对运动的联接称为运动副。例如轴与轴承的联接(图 2-2a)、滑块与导槽的联接(图 2-2b)、凸轮与从动件的联接(图 2-2c)以及轮齿与轮齿的联接(图 2-2d)等都是运动副。在组成运动副的两构件上可能参与接触的点、线或面称为运动副元素。按运动副元素的接触特征可把运动副分为低副和高副两类, 两元素成面接触的运动副称为低副, 而两元素成点或线接触的运动副称为高副。

由理论力学已知, 一个作平面运动的构件(图 2-3)在决定它相对于坐标系 xOy 的位置时, 需要三个独立的参变数, 即构件上任一点 A 的坐标 x_A 和 y_A 以及过 A 点的任一直线 AB 与 x 轴的夹角 α , 而自由度就是确定构件位置的独立参变数, 因此, 一个作平面运动的自由构件有三个自由度, 即沿 x 轴和 y 轴的两个移动及绕垂直于 xy 平面的轴的转动。但是, 当两构件组成运动副后, 它们便因直接接触而使相对独立运动受到某些限制, 其自由度也随之减少, 并且不同的限制方式所减少的自由度数也各不相同。对于构件一个独立运动的限制称为一个约束条件, 因而每

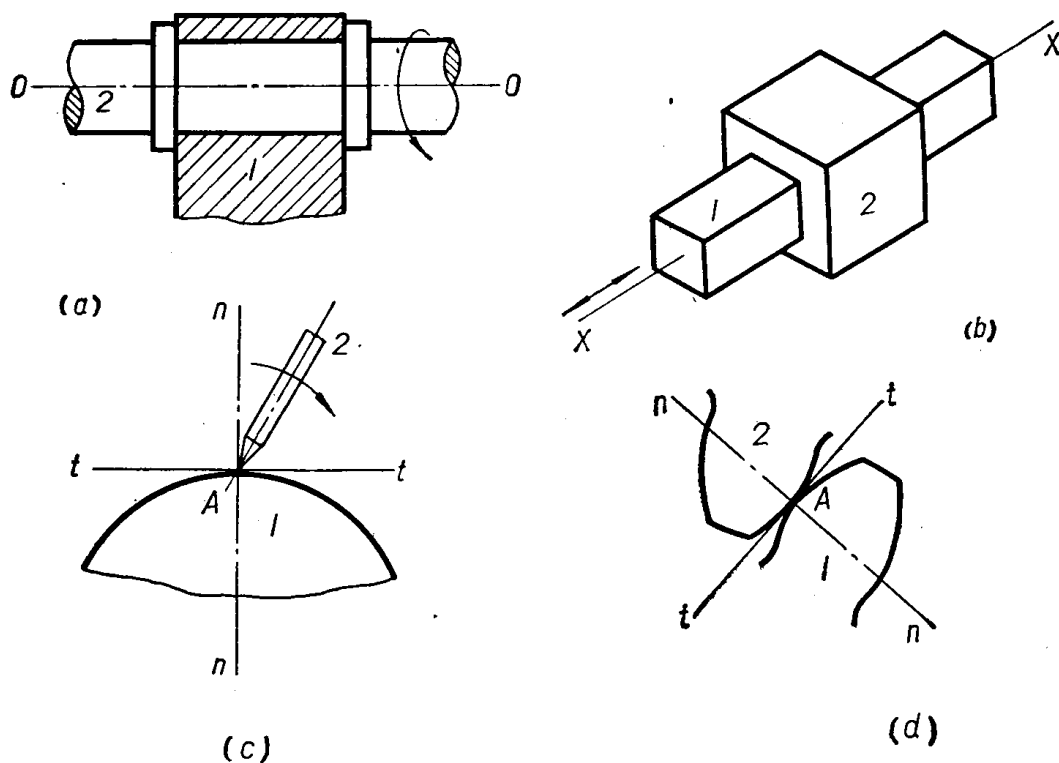


图 2-2

加一个约束条件构件便失去一个自由度。

图 2-2a 所示的运动副, 构件 2 相对于构件 1 只能绕 OO 轴线转动, 故称为转动副, 它只具有一自由度, 其约束条件为 2。

图 2-2b 所示的运动副, 构件 1 相对于构件 2 只能沿 x 轴方向移动, 故称为移动副, 它也只具有一个自由度, 其约束条件为 2。上述的转动副和移动副皆属于低副, 因而这些低副的约束条件为 2。

图 2-2c 所示的凸轮运动副, 构件 2 相对构件 1 只能绕接触点转动和沿接触点切线 tt 方向移动, 但不能沿公法线 nn 方向移动。因此, 它具有二个自由度, 其约束条件为 1。

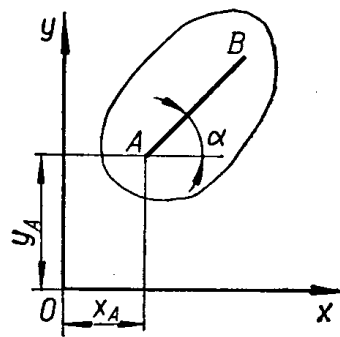


图 2-3

同理, 图 2-2d 所示的运动副有两个自由度, 两轮齿在接触点 A 作相对转动, 同时沿切线 tt 方向移动, 其约束条件为 1。上述这两种运动副皆属于高副, 因而这些高副的约束条件为 1。

上述这几种运动副, 由于成副两构件的相对运动为平面运动, 故都属于平面运动副。

图 2-4 所示的运动副称为球面副, 其中构件 1 和构件 2 可绕 O 点作相对的球面运动。图 2-5 所示的运动副称为螺旋副, 其中构件 2 和构件 1 可以绕轴线 xx 作相对的螺旋运动。这两种运动副由于成副两构件的相对运动是空间运动, 故都属于空间运动副。但在实际机构中大多数为平面运动副。

为研究方便常采用简略的符号来表示运动副。表 2-1 所示即为常见的各种运动副的代表

符号。

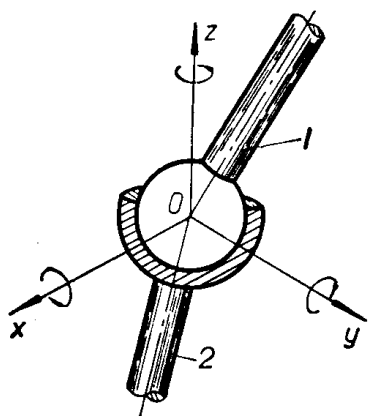


图 2-4

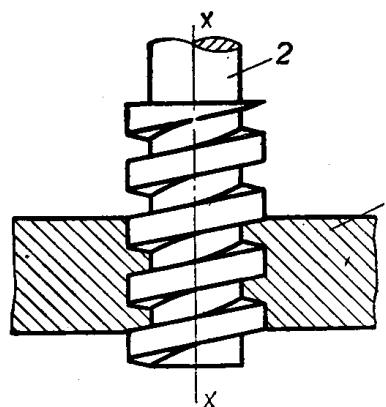


图 2-5

表 2-1 运动副的代表符号

名 称	代 表 符 号	名 称	代 表 符 号
转动副		球面副	
移动副		螺旋副	
高 副			

§ 2-3 运动链、机构与机构的运动简图

由运动副联接而成的构件系统称为运动链。将运动链中某一构件固定为机架，并使其中一构件或几个构件按已知规律运动，若其余构件相对于机架均能作完全确定的运动，则此运动链称为机构，机构按各构件的相对运动(平面运动或空间运动)的不同，可分为平面机构和空间机构两类，实际机械中常用的是平面机构。

由于机构的运动仅与机构中所有的构件数目和构件间所组成的运动副的数目、种类、相对位置有关，因此，在研究机构时可撇开构件的复杂外形和运动副的具体构造，用简略的符号代表构件和运动副，并按一定的比例尺确定运动副的相对位置，这种能反映实际机构的运动特征的简图称为机构的运动简图。

根据实际机械绘制其机构运动简图时, 首先应仔细地观察和了解它的用途和运动特性, 判别出机架和运动构件, 数出运动构件的数目, 并确定运动副的种类和数目。其次测量各构件上与运动有关的尺寸, 如两转动副之间的距离, 移动副的相对位置尺寸等。然后选择适当的比例尺和表示平面, 用上述的运动副和构件符号画出机构运动简图。

例 2-1 绘制图 2-6a 所示的偏心往复移动机构的运动简图。

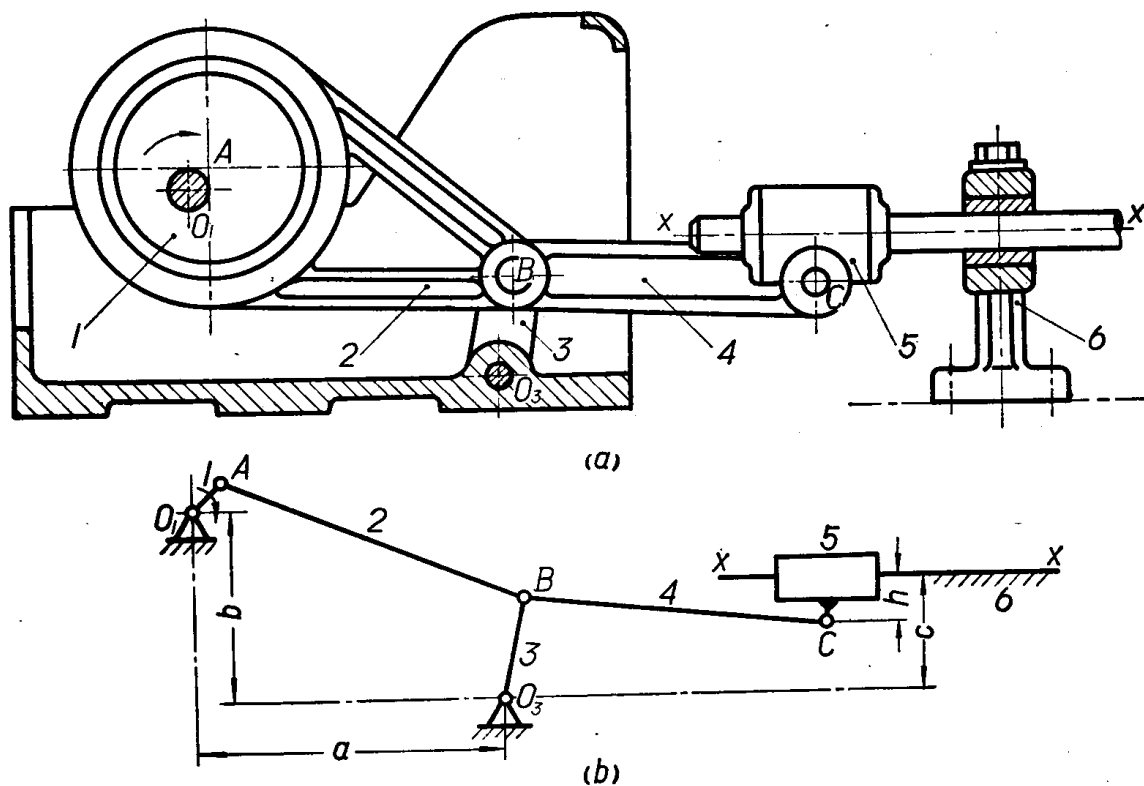


图 2-6

解: 首先从该机构的运动可知, 它系由偏心盘 1、连杆 2、摇杆 3、连杆 4、滑块 5 和机架 6 等六个构件所组成。机架 6 与偏心盘 1 组成转动中心在 O_1 点的转动副, 偏心盘 1 与连杆 2 组成转动中心在 A 点的转动副, 连杆 2、连杆 4 与摇杆 3 组成转动中心在 B 点的转动副, 连杆 4 与滑块 5 组成转动中心在 C 点的转动副以及滑块 5 与机架 6 组成以 xx 线为导槽中心线的移动副。

其次量出各构件的运动尺寸 (l_{O_1A} 、 l_{AB} 、 l_{BO} 、 l_{O_3B} 、 a 、 b 、 c 、 h 等), 根据上述尺寸及图纸大小选择适当的长度比例尺 μ_l (米/毫米):

$$\mu_l = \frac{\text{实际长度 } l_{AB}(\text{米})}{\text{图上长度 } AB(\text{毫米})} \quad (2-1)$$

比例尺选定后, 在图纸上定出各转动副中心的位置和移动副中心线的方位, 作出各运动副的代表符号。最后联接 O_1A 两点所得的直线表示偏心盘 1, 联接 AB 、 BC 、 O_3B 分别表示连杆 2、连杆 4 及摇杆 3, 而滑块 5 则如图 2-6b 所示。上述所画的图即为该机构的运动简图。

§ 2-4 平面机构的活动度及平面机构具有确定运动的条件

若一个平面机构由 n 个运动构件所组成, 而每一个作平面运动的自由构件相对于机架有三

个自由度,因此,在未用运动副联接起来以前, n 个运动构件共有 $3n$ 个自由度,现如将这些构件用运动副联接起来,那末在它们的相对运动上便加上了若干约束条件,自由度也随之减少,在一般情况下,其减少的数量随运动副的性质和数目而定。若以 P_2 表示机构中约束条件为2的平面低副数目,以 P_1 表示机构中约束条件为1的平面高副数目,那么这些运动副所加的约束条件总数为 $2P_2+P_1$,因而该平面机构的自由度数应为 $3n-2P_2-P_1$,平面机构的自由度常称为机构活动度,并以 w 来表示,则:

$$w = 3n - 2P_2 - P_1 \quad (2-2)$$

由上述可知,机构的活动度就是机构各构件相对机架的位置时的独立参变数。

机构中具有独立运动且与机架相联的构件称为起始构件。一般每一个起始构件相对机架具有一个独立运动。因为机构的活动度数即为机构相对于机架的独立运动数,故欲使机构具有确定的相对运动,只要使机构的活动度数与起始构件数相等。实际上大部分机构只有一个活动度,因而为了保证这类机构的运动确定性,就需要一个起始构件。

例 2-2 计算图 2-7 所示铰链四杆机构的活动度。

解: 图 2-7 所示机构中,其中运动构件数 $n=3$,平面低副数 $P_2=4$,平面高副数 $P_1=0$,应用公式(2-2)计算机构活动度为:

$$\begin{aligned} w &= 3n - 2P_2 - P_1 \\ &= 3 \times 3 - 2 \times 4 = 1 \end{aligned}$$

即此机构需要一个起始构件。

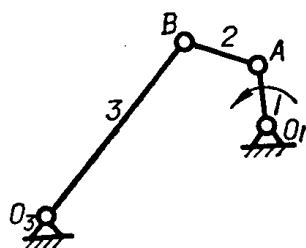


图 2-7

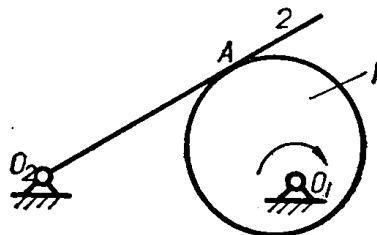


图 2-8

例 2-3 求图 2-8 所示凸轮机构的活动度。

解: 图示凸轮机构由一个平面高副和二平面低副组成,即 $P_1=1$, $P_2=2$ 。机构的活动度为:

$$\begin{aligned} w &= 3n - 2P_2 - P_1 \\ &= 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1 \end{aligned}$$

即此机构需要一个起始构件。

例 2-4 求图 2-9 所示五杆机构的活动度。

解: 机构的活动度为:

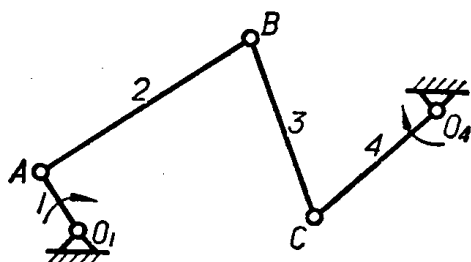


图 2-9

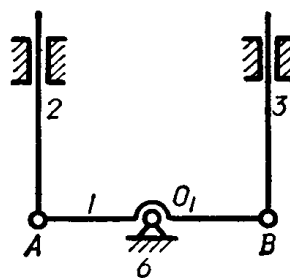


图 2-10