



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书

机械设计基础 学习指南与典型题解

第二版

主编 陈立德 姜小菁

高等教育出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套

机械设计基础 学习指南与典型题解

Jixie Sheji Jichu

Xuexi Zhinan yu Dianxing Tijie

第二版

主 编 陈立德 姜小菁
副主编 罗卫平 张 静

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材——《机械设计基础》(第三版)的配套教材。它是一本为了帮助学生学好该课程而编写的辅助教材。本书内容不超出教材的范围。各章内容包括:主要内容和学习要求;重点、难点及学习注意事项;解题方法示例;复习题与练习题的题解。

本书可供普通高等学校、高等职业学校、高等专科学校、成人高校的学生及广大自学者学习“机械设计基础”课程时参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础学习指南与典型题解/陈立德,姜小菁主编. --2版. --北京:高等教育出版社,2014.9
ISBN 978-7-04-040760-0

I. ①机… II. ①陈… ②姜… III. ①机械设计-高等学校-教学参考资料 IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第180594号

策划编辑 宋晓
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 宋晓
责任校对 刘娟娟

封面设计 李小璐
责任印制 韩刚

版式设计 范晓红

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 河北鹏盛贤印刷有限公司
开本 787mm×960mm 1/16
印张 13
字数 240千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2007年2月第1版
2014年9月第2版
印 次 2014年9月第1次印刷
定 价 20.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 40760-00

前 言

本书是陈立德主编《机械设计基础》(第三版)的配套教材,它是一本学习指导性质的书。本书是在第一版的基础上,吸取第一版教材使用中所取得的经验修订而成的。

本书编写的目的主要是指导学生如何学习“机械设计基础”内容,明确重点,指引思路,对主教材中的难点及关键问题加以必要的论述,讨论了典型例题的解题方法,给出了各章复习题与练习题的题解,可增强学生的设计计算能力。本书内容的深广度均不超出主教材的范围。

本书的章节顺序与主教材完全相同,所引用的图号、表号、公式号及其他有关符号均与主教材相对应,以方便学生对照学习;新增加的图号、表号、公式号等则用“x-x”表示,以便于与主教材中的“x.x”相区别。同时在题解中留有少量题目供学生练习,故不作解答。

本书由陈立德主编《机械设计基础》(第三版)的编者们编写,具体分工如下:参加复习题与练习题的题解工作的有续海峰(第6、18章),李晓晖(第8章),张静(第10章),张京辉(第11章),王先安(第12、13、15章),姜小菁(第7、19章),罗卫平(第20章);毛炳秋(第3、4、5章的全章内容);其余部分由陈立德编写;王珺、凌秀军参与了资料收集与整理。全书由南京金陵科技学院陈立德教授、姜小菁副教授任主编,并由陈立德负责全书的统稿;罗卫平、张静任副主编。

全书由陈立兴审阅,在此表示衷心感谢。

在编写过程中,我们得到了李颖、卞咏梅、褚天承等同志的大力支持与帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,缺点在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2014年5月

目 录

绪论	1
第1章 机械设计概述	3
第2章 润滑与密封概述	6
第3章 平面机构的结构分析	9
第4章 平面连杆机构	20
第5章 凸轮机构	31
第6章 间歇运动机构	45
第7章 螺纹连接	49
第8章 轴毂连接	64
第9章 带传动	67
第10章 链传动	77
第11章 齿轮传动	85
第12章 蜗杆传动	124
第13章 齿轮系	137
第14章 机械传动设计	146
第15章 机械的调速与平衡	149
第16章 轴	157
第17章 滚动轴承	174
第18章 滑动轴承	184
第19章 联轴器和离合器	190
第20章 弹簧	194
课堂讨论	198
参考文献	203

绪 论

0.1 本课程在专业教学计划中的地位与作用

“机械设计基础”是近机械类、机械类专业教学计划中的主干课程,也是介于基础课和专业课之间的一门技术基础课,它不仅要求在学习本课程前学完机械制图、工程力学、机械制造基础、工程材料、材料成形工艺基础、互换性与技术测量等课程,而且要求学生结合本课程的学习,能够综合地运用所学的基础理论和技术知识,联系生产实际和机器的具体工作条件,去设计适合的常用机构和通用零件(部)件以及简单的机械,以便为顺利地过渡到专业课程的学习及进行专业产品与装备的设计打下初步的基础。因此,本课程具有从理论性课程过渡到结合工程实际的设计性课程、从基础课程过渡到专业课程的承前启后的桥梁作用。

0.2 本课程的内容、性质和任务

本课程是一门培养学生机械设计能力的技术基础课,属于设计性的课程,其研究对象为机械中的常用机构和一般工作条件下常用参数范围内的通用零部件,研究其工作原理、运动特性、结构特点、使用和维护、标准和规范以及设计计算的基本理论和方法。

本课程的主要任务为:

- 1) 掌握机构的组成、运动特性和机械动力学的基本知识,具有一定分析和设计常用机构的能力,了解机械运动方案的确定以及机器速度调节和平衡概念;
- 2) 掌握通用机械零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和设计计算方法,并具有设计机械传动装置和简单机械的能力;
- 3) 具有运用标准、规范、手册、图册查阅有关技术资料的能力;
- 4) 获得实验技能的基本训练;
- 5) 对机械设计的新发展、新结构等有所了解。

0.3 本课程的教学环节

本书只是针对如何学好教材内容而编写的。但是,本课程的教学环节除了讲课外,还有习题课、课堂讨论、实验课、现场教学、答疑、设计大作业及课程设计等,它们在应用型人才培养上也占有相当重要的地位。这一点每个学生都必须充分认识,加以重视。如果一个学生在做习题、设计大作业和课程设计时,不注

意进行理论和技术分析,不认真查阅手册、图册和有关资料;做实验时不详细了解实验目的、原理、仪表功能及测试方法;在现场教学中不细心观察零件的结构、材料、制造、工作情况、失效形式和有关机器的运转性能,那就不可能学好这门课程,也不可能成为一个优秀的设计者。学习本课程时必须明确,书本知识固然重要,但在工程实际中,很少是靠单独运用书本知识就能正确解决问题的,而是需要掌握一定的经验资料和具备较强的工程判断能力。所以,一定要善于全面分析、综合协调、灵活处理,并富有想象力、观察力、探索精神和创新勇气,从而对各式各样的设计问题作出机敏的工程判断。而这些能力是要靠一系列课程的各个教学环节来综合培养的。

0.4 学习方法

前已指出,本课程要起到“从理论性课程过渡到结合工程实际的设计性课程、从基础课程过渡到专业课程”的作用,因而必须认清“过渡”二字所包含的意义。学习本课程时学生必须在学习方法上有所转变和适应,应注意以下几个特点:

1) 本课程将先修课程的基本理论应用到实际中去解决有关工程实际问题。因此,先修课程的掌握程度直接影响本课程的学习。

2) 学生一接触本课程就会产生“没有系统性”、“逻辑性差”等错觉。本课程中,虽然不同研究对象所牵涉的理论基础不相同,且相互之间也无多大的关系,但最终的目的只有一个,即设计出能应用的机构、零件等。常用机构(如平面连杆机构、凸轮机构等)部分的内容均是按照其组成、工作原理、结构特点、运动特性、设计计算(即尺寸计算)等顺序来介绍,而通用零件是按照工作原理、结构特点、设计计算(强度计算、结构设计)、使用维护等顺序来介绍。对于常用机构中齿轮传动机构等,其内容讲授的顺序可将上述两种顺序进行有机的结合。总之,本课程各部分内容有其自身的系统性,在学习时应注意这一特点。

3) 由于实践中发生的问题很复杂,很难用纯理论的方法来解决,因此常常采用很多经验公式及数据、假定及简化计算(条件性计算)等,这一点必须在学习过程中逐步适应。

4) 因为是联系实际的设计性的课程,所以计算步骤和计算结果不像数学课那样具有唯一性。

5) 计算对解决设计问题虽然很重要,但并不是唯一所要求的能力。学生应逐步注意培养把理论计算与结构设计、工艺等结合起来解决工程设计的能力。

学习本课程,主要是靠学生结合自己的具体情况,创造性地建立起自己的一套最有效的学习方法。以上内容是针对本课程的特点,向学生作必要的介绍与引导,仅供学生参考。

第1章 机械设计概述

1.1 主要内容与学习要求

机械设计概述主要是论述设计基本知识和一些共性问题。本章扼要地阐述机械设计的基本知识,如机械设计的基本要求、机械设计的内容与过程、失效形式及计算准则等,并着重讨论接触强度问题,最后简单地介绍机械设计方法近代发展概况,作为初步了解现代设计方法的基础。

1. 主要内容

本章概括地说可分为两大部分。第一部分是关于机械总体设计的概述,包括教材中第1.1、1.2两节;第二部分是关于机械零件的设计概述,包括教材中第1.3~1.5三节。

2. 学习要求

本章学习的内容为一些机械设计方面的基本知识和共性问题。学习时,由于学生还没有接触各个具体零件的设计内容,所以不太容易较为深刻地掌握本章的内容,也无法和以后的各章建立起联系。因此,初学时容易感到抽象,不知如何去应用,现只要求作大体上了解,在以后学习过程中,不断地结合各章的具体分析来逐步加深理解。

1.2 重点、难点及学习注意事项

1. 重点、难点

重点: 机械设计的基本要求、内容、步骤及设计计算准则。

难点: 不在于各节的具体内容,而在于对各节的内容要从总体上以及它们的相互联系上予以理解,了解各节之间在逻辑上的相互关系。它们的具体内容要在以后的各章中才会论述。

2. 学习注意事项

(1) 1.1、1.2 机械设计的基本要求及内容与过程

这两节内容属于机械(零件)设计中的全局性问题。这里,只能勾画一下概貌,起到开阔视野的作用。

(2) 1.3 机械零件的失效形式及设计计算准则

这节内容与先修的力学课程有着密切的联系,是在力学基础之上,结合工程实际所形成的,故比较容易理解。学生可能仅对可靠性准则这一概念感觉比较

生疏。

(3) 1.4 机械零件的接触强度

接触应力的分析必须借助于弹性力学的方法,而学生又不可能去学习弹性力学。因此,学习时,只要求学生能了解式(1.1)中各个物理量的含义及能使用公式。

(4) 1.5 机械零件的标准化

要了解标准化、系列化、通用化的重要意义,应提高到是否遵守法律的高度来认识。这点学生是不易理解的。

(5) 1.6 现代机械设计理论概述

在设计领域中相继发展了一系列新兴学科,本节只对设计方法、优化设计、计算机辅助设计等作了一个概述。

1.3 典型解题指导

1. 解题方法示例

略。

2. 复习题与练习题题解

1.1 机械设计过程通常分为哪几个阶段?各阶段的主要内容是什么?

答:机械设计过程通常可分为以下几个阶段:

(1) 产品规划 主要工作是提出设计任务和明确设计要求。

(2) 方案设计 在满足设计任务书中设计具体要求的前提下,由设计人员构思出多种可行方案并进行分析比较,从中优选出一种功能满足要求、工作性能可靠、结构设计可靠、结构设计可行、成本低廉的方案。

(3) 技术设计 完成总体设计、部件设计、零件设计等。

(4) 制造及试验 制造出样机、试用、修改、鉴定。

1.2 常见的失效形式有哪几种?

答:常见的失效形式有断裂、过量变形、表面失效、破坏正常工作条件引起的失效等几种。

1.3 什么是工作能力?计算准则是如何得出的?

答:工作能力是指零件在一定的工作条件下抵抗可能出现的失效的能力。对于载荷而言称为承载能力。

计算准则为根据不同的失效原因建立起来的工作能力判定条件。

1.4 表面接触疲劳强度的条件是什么?

答:表面接触疲劳强度的条件为 $\sigma_H \leq [\sigma_H]$ 。如果满足此条件,则表面不会发生点蚀失效。

1.5 标准化的重要意义是什么?

答：标准化的重要意义是可使零件、部件的种类减少，简化生产管理过程，降低成本，保证产品的质量，缩短生产周期。

第2章 润滑与密封概述

2.1 主要内容与学习要求

摩擦、磨损和润滑统称为摩擦学,它是研究相对运动表面摩擦行为的一门学科。本章内容是按照摩擦—磨损—润滑—密封的顺序安排的。过去这部分内容是分散在各章之中,现为了加强系统性和对共性问题的认识,将这部分内容集中在本章中,而针对某个零件的某些具体内容则仍分散于各章之中。本章也是机械设计中的共性问题。

1. 主要内容

本章主要内容是对摩擦、磨损、润滑、密封的基本问题作简单扼要的介绍。

2. 学习要求

1) 对于干摩擦、流体摩擦、边界摩擦、混合摩擦的机理与物理特征以及影响因素要有扼要的了解;

2) 初步了解磨损的一般规律(即磨损过程图 2.2)及各种磨损(粘着磨损、磨粒磨损、表面疲劳磨损、腐蚀磨损)的机理、物理特征和影响因素;

3) 了解润滑的作用及润滑剂的主要质量指标;

4) 了解密封的作用及密封装置。

2.2 重点、难点及学习注意事项

1. 重点、难点

重点:

1) 各类摩擦的机理、物理特征及其影响因素;

2) 各类磨损的机理、物理特征及其影响因素;

3) 润滑与密封(作用与装置)。

难点: 如何根据工作情况,合适地选择润滑剂和密封装置。

2. 学习注意事项

(1) 2.1 摩擦与磨损

1) 本节所讨论的摩擦不是先修课程内容的简单重复,而是着重于摩擦机理和物理本质。

2) 对于磨损过程有所了解,目的在于如何采取措施使跑合期缩短,延长稳定磨损期,推迟剧烈磨损阶段。

3) 磨损分类中粘着磨损、磨粒磨损、表面疲劳磨损是学习重点,同时应了解这些磨损形式可随工作条件的变化而转化。

(2) 2.2 润滑

1) 对润滑、润滑剂的种类有一个初步了解。

2) 对于润滑油、润滑脂的主要物理性能指标有所了解。重点在润滑油,对润滑脂只作一般了解即可。

(3) 2.3 密封

重点在于了解密封的作用与重要性。密封也是目前亟待解决的工程技术问题之一。

2.3 典型解题指导

1. 解题方法示例

略。

2. 复习题与练习题题解

2.1 按摩擦副表面间的润滑状态,摩擦可分为哪几类?各有何特点?

答:摩擦可分为四类:干摩擦、液体摩擦、边界摩擦和混合摩擦。

干摩擦的特点是两物体间无任何润滑剂和保护膜,摩擦系数及摩擦阻力最大,磨损最严重,在接触区内出现了粘着和犁刨现象。液体摩擦的特点是两摩擦表面不直接接触,被液体油膜完全隔开,摩擦系数极小,摩擦是在液体的分子间进行的,称为液体润滑。边界摩擦的特点是两摩擦表面被吸附在表面的边界膜隔开,但由于边界膜较薄,不能完全避免金属的直接接触,摩擦系数较大,仍有局部磨损产生。混合摩擦的特点是同时存在边界润滑和液体润滑,摩擦系数比边界润滑小,但会有磨损发生。

2.2 混合摩擦属于哪种摩擦状态?

答:混合摩擦属于干摩擦、液体摩擦、边界摩擦的混合状态。

2.3 磨损的一般过程是怎样的?为什么要认真对待零件的跑合阶段?

答:在机械正常运转中,磨损过程大致可分为三个阶段:(1)跑合磨损阶段;(2)稳定磨损阶段;(3)剧烈磨损阶段。

跑合磨损到一定程度后,尖峰逐渐磨平,使实际接触面积增大,压强减小,磨损速度减慢,可提高摩擦副的使用寿命。这个阶段是有益的磨损,要认真对待。

2.4 磨损有几种基本类型?减少磨损的途径有哪些?

答:磨损可分为四种基本类型:粘着磨损、磨粒磨损、表面疲劳磨损、腐蚀磨损。

减少粘着磨损的途径为:合理选择摩擦副材料,采用合适的润滑剂,限制摩擦表面的温度,控制压强。

减少磨粒磨损的途径为：除注意满足润滑条件外，还应合理地选择摩擦副的材料、降低表面粗糙度值以及加装防护密封装置等。

为了提高摩擦副的接触疲劳寿命，除合理地选择摩擦副材料外，还应注意：合理选择摩擦副表面的粗糙度，合理选择润滑油的粘度，合理选择表面硬度。

防止腐蚀磨损应在摩擦表面加涂润滑油（脂），但还应注意油脂与氧反应生成的酸性化合物对表面的腐蚀作用。

2.5 润滑剂的作用是什么？常用的润滑剂有几类？

答：在摩擦面间加入润滑剂，不仅可以降低摩擦、减轻磨损、保护零件不遭锈蚀，当采用液体循环润滑时还能起散热降温的作用。此外，润滑剂还具有传递动力、缓冲吸振、密封和清除污物等作用。

常用的润滑剂有润滑油、润滑脂、固体润滑剂、气体润滑剂等四类。

2.6 何谓润滑油的粘度？粘度相同的两种润滑油是否可以互相替代？有什么前提条件？

答：粘度的大小表示液体的粘滞性，即表示液体流动时其内摩擦阻力的大小，粘度愈大，内摩擦阻力就愈大，液体的流动性就越差。

在同样的测试温度下的两种油的粘度相同时，才可以互相替代。

2.7 润滑剂中加入添加剂的作用是什么？

答：为了改善润滑油和润滑脂的性能，或适应某些特殊的需要，应加入一定的添加剂，例如加入抗氧化的添加剂，可抑制润滑油氧化变质等。

2.8 密封装置包括哪几个部分？

答：一般包括被密封表面、密封件和辅助件等部分。

2.9 在接触式密封中常用的密封件有哪些？

答：接触式密封常用的密封件有 O 形密封圈、J 形、U 形、V 形、Y 形、L 形密封圈，以及毡圈。

第3章 平面机构的结构分析

3.1 主要内容与学习要求

本章是进入整个机械系统设计的开篇。它不仅为学习各类机构的运动设计和动力设计打下必要的基础,也为机械系统方案设计和新机构的创新设计提供一条途径。

1. 主要内容

有关机构组成中的构件、运动副、运动链及机构等概念;机构具有确定运动的条件,机构运动简图的绘制和平面机构自由度的计算;机构的组成分析和机构的级别判定以及结构分析等。

2. 学习要求

1) 掌握组成机构的零件、构件、运动副、运动链及机构的基本概念和联系;掌握运动副的常用类型及特点。

2) 熟练掌握机构运动简图的绘制方法,能够将实际机构或机构的结构图绘制成机构运动简图;能看懂各种复杂机构的机构运动简图;掌握常用机构构件和运动副的符号及机构运动简图的绘制方法。

3) 熟练掌握机构自由度的意义和机构具有确定运动的条件;掌握平面机构自由度的计算公式,能正确识别出机构中存在的复合铰链、局部自由度和虚约束,并做出正确处理。

4) 掌握机构的组成原理和结构分析方法,重点掌握用基本杆组法进行机构的结构分析;掌握运动链成为机构的条件。

3.2 重点、难点及学习注意事项

1. 重点、难点

重点:

- 1) 有关机构组成的概念及机构具有确定运动的条件;
- 2) 机构运动简图及其绘制;
- 3) 机构的自由度计算。

难点:

- 1) 机构中虚约束的正确判别;
- 2) 机构的级别判定。

2. 学习注意事项

(1) 3.1 机构结构分析的内容及目的

主要应掌握:

- 1) 机构结构分析的内容;
- 2) 机构结构分析的目的。

(2) 3.2 运动副

主要应掌握:

运动副是由两构件组成的相对可动的连接,是组成机构的又一基本要素。运动副的基本特征有:具有一定的接触形式;能产生一定形式的相对运动。因此,运动副可按其接触形式分为低副、高副;又可按所能产生相对运动的形式将平面运动副分为移动副(相对运动轨迹为直线)、转动副(相对运动轨迹为圆或圆弧)。两构件构成运动副应至少要引入一个约束,也至少要保留一个自由度。运动链是两个或两个以上构件通过运动副连接而构成的相对可动的系统。如果构成的是相对不可动的系统,则为桁架或结构体,即蜕变成为一个构件。运动链可以是首尾封闭的闭链,也可以为不封闭的开链。

机构从其功能来理解是一种用来传递运动和力的可动装置。从机器的特征来看,机构是具有确定相对运动规律的构件组合体。而从机构组成来看,机构是具有固定构件并且具有确定运动的运动链。

(3) 3.3 平面机构的运动简图

主要应掌握:

1) 机构的运动仅与机构中的运动副的结构情况(转动副、移动副及高副等)和机构的运动尺寸(由各运动副的相对位置确定的尺寸)有关,而与构件的外形尺寸等因素无关。机构运动简图不仅表示机构的组成和运动情况,而且可以用来进行机构的运动分析和力分析。

2) 绘制机构运动简图的方法及应注意的问题:

① 通过观察和分析机械的实际构造和运动情况,先搞清机械原动部分和执行部分,两者之间为传动部分,然后循着运动传递的路线分析构件间的接触关系,确定组成机构的构件数目和各构件之间组成的运动副的类别、数目及各运动副的相对位置。

② 恰当地选择投影面。选择时应以能简单、清楚地把机构的运动情况表示出来为原则,一般选择垂直于机构中的多数构件的运动平面为投射方向,必要时也可以就机械的不同部分选择两个或两个以上的投影面,然后展开到同一平面上。

③ 选取适当的比例尺。根据机构的运动尺寸,先确定各运动副的位置(如转动副的中心位置、移动副的导路方位及高副的接触点的位置等),并画上相应的运动副符号(应注意的是:代表转动副小圆的圆心必须与回转中心重合,两个转动副

中心连线的长度是构件的基本尺寸,一定要精确)。然后用简单线条或几何图形将同一构件上的运动副符号连接起来,最后要标出构件编号(1,2,3...)、运动副的代号(A,B,C...)以及表示原动件运动方向的箭头,在机架上加上阴影线。

④ 偏心轮和圆弧形滑块是转动副的特殊形式,绘制时关键是要找出相对转动中心。

⑤ 绘制移动副时,导路的方向和位置是关键。必须注意:代表移动副的滑块,其导路的方向必须与相对移动的方向一致;若某一构件分别以转动副和移动副与另两个构件相连接,且转动副的回转中心不在移动副的导路上,则转动副到移动副导路间的距离要精确,应标出该距离,即偏心距 e 。

⑥ 任意形状的构件,当它只以两个转动副与其他构件相连接,且外形轮廓也不以高副与其他构件相接触时,简图中只需以两个转动副几何中心的连线代表此构件。构件在图形表达上是用最简单的线条或几何图形来表示的,但从运动学的角度来看,构件又可视作任意大的平面刚体。

⑦ 为保证机构运动简图与实际机械有完全相同的结构和运动特性,对绘制好的简图需进一步检查与核对:简图上的构件数目与原机构的构件数是否相等;简图上构件间的连接形式,即运动副及其数目和相对位置与原机构是否一致;简图上原动件和固定件与原机构是否一致;根据简图计算自由度,看其与实际机构的原动件数目是否相等。

(4) 3.4 平面机构的自由度

主要应掌握:

机构的自由度是机构具有确定运动时所需的独立运动参数的数目。为了使机构能按照一定的要求进行运动变换和力的传递,机构必须具有确定的运动,其运动确定的条件是机构原动件的数目应等于机构自由度的数目。否则机构的运动将不确定或没有运动的可能性。因此,在分析现有机械或设计新机械时,必须考虑所画的机构是否满足机构具有确定运动的条件。机构只有在具有确定的运动时,才能对其进行结构分析、运动分析和力分析等。

一个机构具有 F 个自由度,就说明该机构需要 F 个广义坐标才能确定所有构件的位置,而原动件和机架组成低副之后,每个原动件只有一个自由度。既然每个原动件可输入机构一个独立的运动规律, F 个自由度的机构就需有 F 个原动件。如果 $F \leq 0$,则机构会变成一个不可动的桁架;如果原动件数目少于 F ,则机构中的某些构件的运动将是不确定的;如果 F 小于原动件数目,则构件间的运动将会彼此矛盾而使机构被卡死或造成某些构件损坏。

在计算机构自由度时,应注意处理好以下三种情况:

1) 局部自由度 在计算机构自由度时,局部自由度应当舍弃不计。可将产生局部运动的构件和与其相连接的构件视为焊接在一起,然后进行计算。

2) 复合铰链 由 K 个构件汇集而成的复合铰链应当包含 $(K-1)$ 个转动副。

3) 虚约束 计算机构自由度时,应先将产生虚约束的构件和运动副去掉,然后再进行计算。判定虚约束结构,有时是较复杂和困难的,初学者应进行必要的习题训练才能达到熟能生巧的程度。下列情况有可能存在虚约束:

① 轨迹重合的情况 如果用转动副连接的是两构件上运动轨迹相重合的点,则该连接将引入一个虚约束。

② 用运动副和构件连接两运动构件上距离恒定不变的两点的情况 机构在运动过程中,若两构件上某两点之间的距离始终保持不变,如用运动副和构件将此两点相连,则将引入一个虚约束。

③ 结构重复或对称的情况 机构中某些不影响机构运动传递的重复部分或对称部分所引入的约束为虚约束。

两构件之间只能构成一个有效的运动副,当两构件之间构成多个运动副时,其中只有一个运动副起约束作用,其余都是虚约束。因此,可归纳出虚约束必定同时具有以下两个特征:其一,去除该部分后机构中其余部分的运动规律不变;其二,去除该部分前后计算出的机构自由度不相等。

根据以上两特征,可很方便地找出虚约束。

(5) 3.5 平面机构的组成原理与结构分类

主要应掌握:

机构中最常见的基本杆组是Ⅱ级组(又称双杆组)和Ⅲ级组。不同级别的机构,其运动分析和力分析的方法有各自的特点。鉴别机构的级别,是为了寻求求解机构的运动分析和力分析的途径。需要特别注意的是,机构的级别与杆组的级别既有联系又含义不同。其一,机构的级别是以机构中所含杆组的最高级别来定义的;其二,同一机构,当取不同构件为原动件时,机构的级别有可能会发生变化。

拆组原则及注意事项:

① 由离原动件最远的部分开始试拆。所谓离原动件“最远”,不是指在空间距离上离原动件最远,而是指在传动关系和传动路线上离原动件最远。

② 每试拆一个杆组后,机构的剩余部分仍应是一个完整的机构,并且机构的自由度不变,这是判别拆除过程是否正确的准则。

③ 试拆杆组时,最好先按Ⅱ级组来试拆;如果无法拆除(指拆除之后剩余部分不能构成一个完整机构),意味着拆除有误,再试拆高一級杆组。

④ 拆杆组结束的标志是只剩下原动件和机架所组成的Ⅰ级机构,原动件不同,拆分结果就不同。

⑤ 每个构件和运动副只能属于一个杆组。

(6) 3.6 平面机构的结构分析与实例分析