

河南职业技术学院

国家示范性高职院校建设项目成果 机电一体化技术专业

机械零部件 与传动结构

JIXIE LINGBUJIAN YU CHUANDONG JIEGOU

张永智 主编



电子课件、习题解答

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

河南职业技术学院
国家示范性高职院校建设项目成果 机电一体化技术专业

机械零部件与传动结构

主 编 张永智
副主编 张 娜
参 编 李晓东 邵 塍 唐志祥
主 审 肖 龙



机械工业出版社

本书是根据机械制造领域职业岗位群的需求,采用任务驱动模式编写的一体化“工学结合”教材。全书共分5个项目,11个任务,内容包括颚式破碎机工作原理的分析,热处理炉门启闭机构的设计,固定支座螺栓联接的设计,减速器中轴毂联接的设计,鼓风机用普通V带传动的设计,链式输送机的滚子链传动的设计,减速器齿轮传动的设计,齿轮系传动比的计算,减速器传动轴的设计,支承传动轴的轴承选择及联轴器、离合器等部件的选用。各任务按照任务描述、任务资讯、任务实施、任务总结、任务评价和总结提高6个部分的顺序编写。

本书可作为高职高专、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院机械类及近机类专业的教学用书,也可供机械制造企业有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械零部件与传动结构/张永智主编. —北京:机械工业出版社,2010
河南职业技术学院国家示范性高职院校建设项目成果. 机电一体化技术专业

ISBN 978-7-111-32722-6

I. ①机… II. ①张… III. ①机械元件—转动机构—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TH13

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第243978号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王英杰 责任编辑:王英杰 武晋

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2011年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11.75印张·289千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-32722-6

定价:22.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

序

三载寒暑，数易其稿，我院国家示范性高职院校建设成果之一——“工学结合”的系列教材终于付梓了，她就像一簇小花，将为我国高职教育园地增添一抹春色。我院入选国家示范性高职院校建设单位以来，以强化内涵建设为重点，以专业建设为龙头，以精品课程和教材建设为载体，与行业企业的技术、管理专家共同组建专业团队，在课程改革的基础上，共同编著了三十余部教材，涵盖了我院的机电一体化技术、电子信息工程技术、汽车检测与维修技术、烹饪工艺与营养四个专业的三十余门专业课程。在保证知识体系完整性的同时，体现基于工作过程的基本思想，是本批教材探讨的重点。

本批教材是学院与行业企业共同开发的，适应区域、行业经济和社会发展的需要，体现行业新规范、新标准，反映行业企业的新技术、新工艺、新材料。教材内容紧密结合生产实际，融“教、学、做”为一体，力求体现能力本位的现代教育思想和理念，突出高职教育实践技能训练和动手能力培养的特色，注重实用性、先进性、通用性和典型性，是适合高职院校使用的理论和实践一体化教材。

本批教材由我院国家示范性重点建设专业的专业带头人、骨干教师与相关行业企业的技术、管理专家合作编写。这些同志大都具有多年从事职业教育和生产管理一线的实践经验，合作团队中既有享受国务院政府特殊津贴的专家、河南省“教学名师”，又有河南省教育厅学术技术带头人、国家技能大赛优胜者等。学院教师长期工作在高职教育教学一线，熟悉教学方法和手段，理论方面有深厚的功底；行业企业专家具有丰富的实践经验，能够把握教材的广度和深度，设定基于工作过程的教学任务。两者结合，优势互补，体现“校企合作、工学结合”的主要精髓。相信这批教材的出版，将会为我国高职教育的繁荣发展作出一定的贡献。

河南职业技术学院院长 王爱群

前 言

本书是根据机械制造领域职业岗位群的需求，以“工学结合”为切入点，以工作过程为导向，打破传统的学科型课程架构，突破定界思维，采用任务驱动模式编写的一体化教材。每个任务包括任务描述及目标、任务资讯、任务实施、任务评价与总结提高等内容。

本书整合了传统学科型教材的内容，淡化学科体系，以工作过程为导向，达到教、学、做一体化。在任务选取上，通过资讯、决策、计划、实施、检查以及评估六步法，根据典型的应用实例，确定适合教学的任务内容。本书包含机械原理、机械零件设计的内容，选取企业中真实的工程应用实例，通过一体化教学，培养学生的专业能力、方法能力以及社会能力。

本书在内容上力求理论与实际相结合，按照循序渐进的要求，由简单到复杂，由易到难展开，内容丰富，实用性强。

本教材配有电子教案，凡使用本书作为教材的教师可发送电子课件至 cmpgaozhi@sina.com 索取。咨询电话：010-88379375。

本书由河南职业技术学院张永智任主编，张娜任副主编，李晓东、邵堃、唐志祥参加编写。其中，张娜编写任务1、任务2、任务3，邵堃编写任务4、任务5、任务6，张永智编写任务7、任务11，唐志祥编写任务8、任务9，李晓东编写任务10。全书由肖龙主审。

在本书的编写过程中，得到了机械工业出版社等单位的热情帮助和指导，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免有疏漏、错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

序

前 言

项目 1 平面连杆机构的分析

与设计 1

任务 1 颚式破碎机工作原理的分析 1

- 1.1 任务描述及目标 1
- 1.2 任务资讯 1
 - 1.2.1 机构的组成 1
 - 1.2.2 机构运动简图的绘制 3
 - 1.2.3 平面机构自由度及其计算 5
- 1.3 任务实施 9
- 1.4 任务评价与总结提高 9
 - 1.4.1 任务评价 9
 - 1.4.2 任务总结 10
 - 1.4.3 练习与提高 10

任务 2 热处理炉门启闭机构的设计 11

- 2.1 任务描述及目标 11
- 2.2 任务资讯 11
 - 2.2.1 平面四杆机构及其应用 11
 - 2.2.2 平面四杆机构的基本特性 17
 - 2.2.3 平面四杆机构的图解法设计 19
- 2.3 任务实施 20
- 2.4 任务评价与总结提高 21
 - 2.4.1 任务评价 21
 - 2.4.2 任务总结 21
 - 2.4.3 练习与提高 21

项目 2 可拆联接的分析与设计 23

任务 3 固定支座螺栓联接的设计 23

- 3.1 任务描述及目标 23
- 3.2 任务资讯 23
 - 3.2.1 螺纹联接的基本知识 23
 - 3.2.2 螺纹联接的预紧与防松 28
 - 3.2.3 单个螺栓联接的强度计算 30
 - 3.2.4 螺栓组联接的结构设计和受力分析 32

- 3.2.5 螺纹联接件的材料和许用应力 37

- 3.2.6 提高螺栓联接强度的措施 38

- 3.3 任务实施 40

- 3.4 任务评价与总结提高 41

- 3.4.1 任务评价 41

- 3.4.2 任务总结 42

- 3.4.3 练习与提高 42

任务 4 减速器中轴毂联接的设计 43

- 4.1 任务描述及目标 43
- 4.2 任务资讯 43
 - 4.2.1 轴毂联接的类型、特点及应用 43
 - 4.2.2 平键联接的设计 46
 - 4.2.3 销联接 48
- 4.3 任务实施 48
- 4.4 任务评价与总结提高 49
 - 4.4.1 任务评价 49
 - 4.4.2 任务总结 49
 - 4.4.3 练习与提高 49

项目 3 挠性传动的设计 50

任务 5 鼓风机用普通 V 带传动的

设计 50

- 5.1 任务描述及目标 50
- 5.2 任务资讯 50
 - 5.2.1 带传动的类型及特点 50
 - 5.2.2 V 带和带轮的结构 52
 - 5.2.3 带传动工作情况的分析 55
 - 5.2.4 V 带传动的设计 58
 - 5.2.5 带传动的张紧、安装与维护 61
- 5.3 任务实施 62
- 5.4 任务评价与总结提高 64
 - 5.4.1 任务评价 64
 - 5.4.2 任务总结 64
 - 5.4.3 练习与提高 64

任务 6 链式输送机滚子链传动的

设计 65

- 6.1 任务描述及目标 65

6.2 任务资讯	65	8.2 任务资讯	116
6.2.1 链传动概述	65	8.2.1 齿轮系的分类	116
6.2.2 滚子链传动的设计计算	68	8.2.2 定轴齿轮系传动比的计算	116
6.2.3 链传动的润滑与布置	72	8.2.3 周转轮系的传动比	118
6.3 任务实施	73	8.2.4 复合轮系的传动比	120
6.4 任务评价与总结提高	74	8.2.5 轮系的功用	121
6.4.1 任务评价	74	8.2.6 特殊行星传动简介	123
6.4.2 任务总结	75	8.3 任务实施	124
6.4.3 练习与提高	75	8.4 任务总结评价提高	125
项目4 齿轮传动的设计	76	8.4.1 任务总结	125
任务7 传动齿轮的设计计算	76	8.4.2 任务评价	125
7.1 任务描述与目标	76	8.4.3 练习与提高	125
7.2 任务资讯	76	项目5 轴系零部件的设计	127
7.2.1 齿轮传动综述	76	任务9 轴的设计	127
7.2.2 齿轮的轮廓曲线	78	9.1 任务描述与目标	127
7.2.3 渐开线直齿圆柱齿轮各部分的 名称和符号	80	9.2 任务资讯	127
7.2.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基 本参数	82	9.2.1 轴的分类和材料	127
7.2.5 渐开线标准直齿圆柱齿轮的几 何尺寸计算	82	9.2.2 轴的结构设计	130
7.2.6 渐开线齿轮正确啮合的条件	83	9.2.3 轴的强度和刚度计算	133
7.2.7 渐开线齿轮连续传动的条件	83	9.3 任务实施	137
7.2.8 齿轮传动的中心距及啮合角	84	9.4 任务总结评价提高	140
7.2.9 渐开线齿轮的加工方法	85	9.4.1 任务总结	140
7.2.10 齿轮常见的失效形式与设计 准则	86	9.4.2 任务评价	140
7.2.11 齿轮的常用材料	88	9.4.3 练习与提高	140
7.2.12 直齿圆柱齿轮的强度计算	90	任务10 轴承的选用	141
7.2.13 平行轴斜齿圆柱齿轮传动	93	10.1 任务描述与目标	141
7.2.14 直齿锥齿轮传动	97	10.2 任务资讯	142
7.2.15 齿轮设计中主要参数的选择、 齿轮的结构设计及齿轮传动 的润滑	98	10.2.1 滚动轴承的结构、类型和 特点	142
7.2.16 蜗杆传动	103	10.2.2 滚动轴承代号	144
7.3 任务实施	111	10.2.3 滚动轴承类型的选择	146
7.4 任务总结评价提高	113	10.2.4 滚动轴承工作情况的分析 及计算	147
7.4.1 任务总结	113	10.2.5 滚动轴承的组合设计	155
7.4.2 任务评价	113	10.2.6 滑动轴承的分类和结构	161
7.4.3 练习与提高	114	10.2.7 轴瓦的结构及其常用材料	163
任务8 齿轮系的分析	116	10.2.8 滑动轴承的润滑与密封	164
8.1 任务描述与目标	116	10.3 任务实施	166
		10.4 任务总结评价提高	167
		10.4.1 任务总结	167
		10.4.2 任务评价	167
		10.4.3 练习与提高	167

任务 11 联轴器、离合器等部件的**选用 170****11.1 任务描述与目标 170****11.2 任务资讯 170****11.2.1 联轴器 170****11.2.2 离合器 175****11.2.3 制动器 177****11.3 任务实施 178****11.4 任务总结评价提高 178****11.4.1 任务总结 178****11.4.2 任务评价 179****11.4.3 练习与提高 179****参考文献 180**

项目 1 平面连杆机构的分析与设计

任务 1 颞式破碎机工作原理的分析

1.1 任务描述及目标

人们在生产和生活中广泛使用着各种机器。图 1-1 所示为颞式破碎机，利用它可以实现压碎物料的功能。图 1-2 所示为内燃机，利用它可以使燃烧的热能转变为机械能。

这些机器是如何工作的？如何用简单的方式来描述它们的工作原理？不同的机器是否具有相同的工作原理？在什么条件下机器才能按照人们需要的规律去运动？本节即对这些问题进行解答。

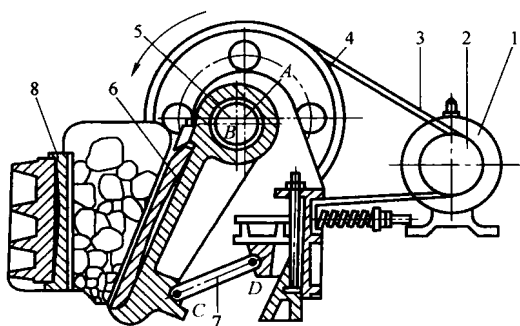


图 1-1 颞式破碎机
1—电动机 2、4—带轮 3—V 带 5—偏心轴
6—动颞 7—肘板 8—定颞板

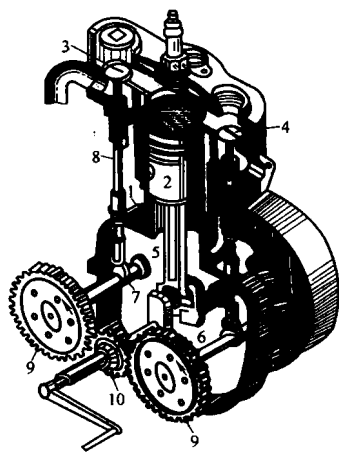


图 1-2 内燃机
1—机架 2—活塞 3—进气门
4—排气门 5—连杆 6—曲轴
7—凸轮 8—顶杆 9、10—齿轮

1.2 任务资讯

1.2.1 机构的组成

机器中大都包含能够产生相对运动的零部件，不同机器上的零部件的运动形式和运

动规律具有多样性,如转动、往复直线移动、摆动、间歇运动或者按照特定轨迹运动等。

如图 1-2 所示内燃机就是由气缸、活塞、连杆体、连杆头、曲柄、齿轮等一系列零件组成的。这些零件有的是作为一个独立的运动单元体而运动的,有的则需要与其他零件刚性地联接在一起作为一个整体而运动。如连杆就是由连杆体、衬套、螺栓、轴瓦、连杆盖、螺母、开口销等零件刚性地联接在一起作为一个整体而运动的。这些刚性地联接在一起的各个零件之间不能产生任何相对运动,也就是说它们共同组成了一个独立的运动单元。

机器中每一个独立运动的单元称为一个构件,因而从运动的观点来看,可以说机器是由若干个机构组合而成的。机构是用以实现某种确定运动的构件组合体,机器则是用来完成机械功或转化机械能的机构。一部机器可以是一种机构,也可以是数种机构的组合;不同的机器也可能包括相同的主体机构。

1. 运动副

机构是由许多构件组成的,机构的每个构件都以一定的方式与某些构件相互联接。这种联接不是固定联接,而是能产生一定相对运动的联接。两构件直接接触并能产生一定相对运动的联接为运动副。如轴承中的滚动体与内、外圈的滚道及啮合中的一对齿廓均保持直接接触,并能产生一定的相对运动,因而它们都构成了运动副。构件上参与接触的点、线、面,称为运动副元素。

根据运动副各构件之间的相对运动是平面运动还是空间运动,可将运动副分成平面运动副和空间运动副。所有构件都只能在相互平行的平面上运动的机构称为平面机构。大多数的常用机构都是平面机构,本书也仅就平面运动副和平面机构进行讨论。

2. 自由度和运动副约束

一个做平面运动的构件有 3 个独立运动的参数:沿 X 轴、 Y 轴的移动和绕垂直于 XOY 平面的轴的转动(图 1-3)。我们把构件相对于参考系具有的独立运动参数的数目称为自由度。

两个构件通过运动副联接以后,相对运动受到限制。这种运动副对构成运动副的两构件间的相对运动所加的限制称为约束。引入 1 个约束将减少 1 个自由度,而约束的多少及约束的特点则取决于运动副的形式。

如图 1-4 所示的运动副限制了轴颈 1 沿 X 轴和 Y 轴的移动,只允许轴颈绕轴线相对转动,这种运动副称为转动副。转动副引入了 2 个约束,保留了 1 个自由度。

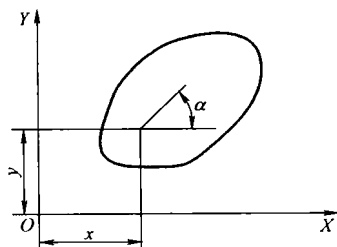


图 1-3 平面运动构件的自由度

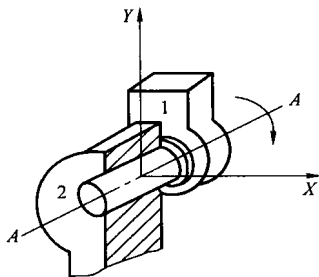


图 1-4 转动副

如图 1-5 所示的运动副, 构件之间只能沿 X 轴作相对移动, 这种沿一个方向相对移动的运动副称为移动副。移动副也具有 2 个约束, 保留了 1 个自由度。

转动副和移动副都是面接触, 统称为低副。

如图 1-6 所示, 在曲线或曲面构成的运动副中, 构件 2 相对于构件 1 既可沿接触点处切线 $t-t$ 方向移动, 又可绕接触点 A 转动, 故运动副保留了 2 个自由度, 引入了 1 个约束。这种点接触或线接触的运动副称为高副。

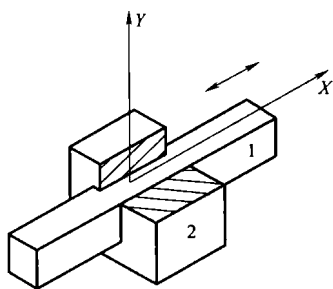


图 1-5 移动副

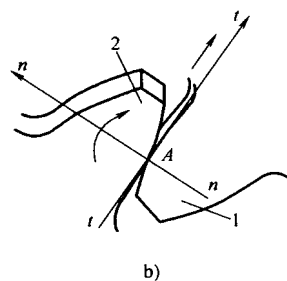
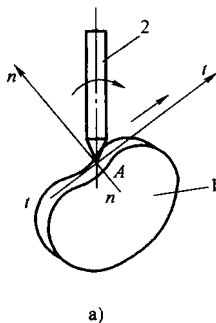


图 1-6 平面高副

3. 运动链和机构

两个以上的构件以运动副联接而构成的系统称为运动链。其中, 未构成首尾相连封闭环的运动链称为开链, 否则称为闭链。在运动链中选取一个构件加以固定 (称为机架), 当另一构件 (或少数几个构件) 按照给定的规律独立运动时, 其余构件也均随之做一定的运动, 这种运动链就成为机构。机构中输入运动的构件称为主动件, 其余的可动构件则称为从动件。由此可见, 机构是由主动件、从动件和机架三部分组成的, 如图 1-7 所示。

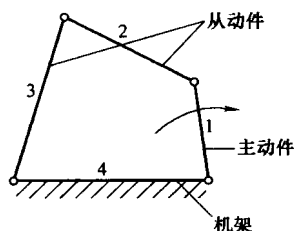


图 1-7 机构

1.2.2 机构运动简图的绘制

对机构进行综合分析时, 并不需要了解机构的真实外形和具体结构, 只需简明地表达机构的运动原理, 即用简单的线条和符号画出图形来进行方案讨论和运动、受力分析。这种用规定的线条和符号表示构件和运动副, 绘出能够表达各构件间相对运动关系的简图称为机构运动简图。机构运动简图一般应包括下列内容: 构件数目、运动副的数目和类型、构件之间的联接关系、与运动变换相关的构件尺寸参数、主动件及其运动特性。

1. 运动副及构件的表示方法

构件均用线段或小方块等来表示。其中, 画有斜线的表示机架。

两构件组成转动副时, 其表示方法如图 1-8 所示。其中, 图面垂直于回转轴线时用图 1-8a 所示表示; 图面不垂直于回转轴线时用图 1-8b 所示表示。表示转动副的圆圈, 其圆心必须与回转轴线重合。此外, 当一个构件具有多个转动副时, 则应把两条线交接处涂黑, 或在其内部画上斜线, 如图 1-8c 所示。

两构件组成的移动副的表示方法如图 1-9 所示, 其导路必须与相对移动方向一致。

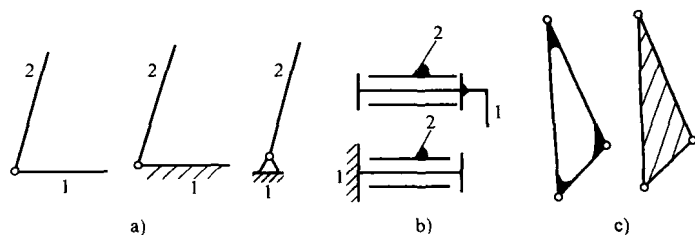


图 1-8 转动副的表示方法

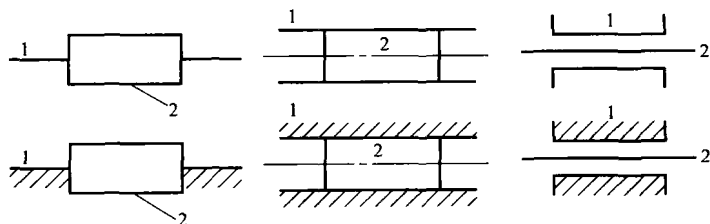


图 1-9 移动副的表示方法

两构件组成平面高副时，其运动简图中应画出两构件接触处的曲线轮廓。对于凸轮和滚子，习惯上画出其全部轮廓；对于齿轮，常用点画线画出其节圆，如图 1-10 所示。

2. 绘制机构运动简图的主要步骤

1) 认真研究机构的结构及动作原理，分清固定件（机架），确定主动件。

2) 循着运动传递的路线，清楚各构件间相对运动的性质，确定运动副的种类。

3) 测量出运动副间的相对位置。

4) 选择视图平面和比例尺，用规定的符号和线条表示其构件和运动副，绘制机构运动简图。

例 1-1 试绘制如图 1-2 所示内燃机的机构运动简图。

解：从图 1-2 所示可知，壳体及气缸体 1 是机架，缸内活塞 2 是主动件。活塞 2 与连杆 5 相对转动构成转动副；运动通过连杆 5 传给曲轴 6，连杆 5 与曲轴 6 联接构成转动副；曲轴 6 将运动通过与之相连的小齿轮 10 传给大齿轮 9，大、小齿轮与机架构成转动副；大齿轮 9 与凸轮 7 同轴，凸轮 7 通过滚子将运动传给顶杆 8，大、小齿轮之间及凸轮与滚子之间都构成高副；滚子与顶杆 8 构成转动副；顶杆 8 与机架构成移动副。

选择适当的比例尺，按照规定的线条和符号，绘出该机构的运动简图，如图 1-11 所示，其

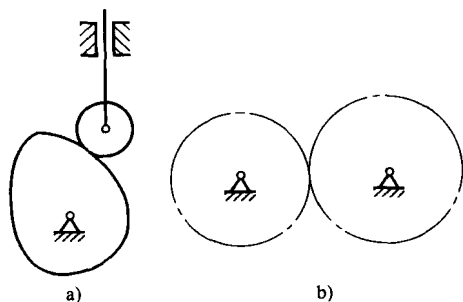


图 1-10 平面高副的表示方法

a) 凸轮高副 b) 齿轮高副

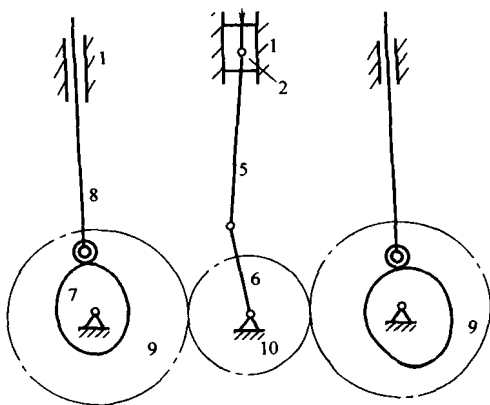


图 1-11 内燃机的机构运动简图

中标有箭头的构件2是主动件。

1.2.3 平面机构自由度及其计算

1. 机构具有确定运动的条件

运动链和机构都是由构件和运动副组成的系统，机构要实现预期的运动传递和变换，必须使其运动具有可能性和确定性。如图1-12所示，由3个构件通过3个转动副联接而成的系统就没有运动的可能性。

又如图1-13所示的五杆系统，若取构件1作为主动件，那么当给定位置参数 φ_1 时，构件2、3、4既可以处在实线所示的位置，也可以处在双点画线所示的位置或其他位置，其从动件的运动是不确定的；但如果给定构件1、4的位置参数 φ_1 和 φ_4 时，则其余构件的位置就都被确定下来。

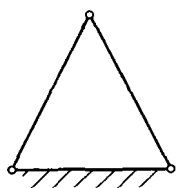


图 1-12 桁架

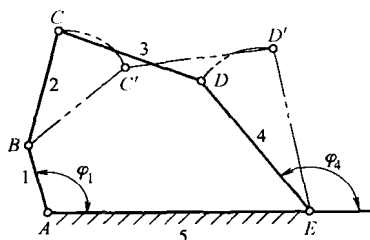


图 1-13 五杆铰链机构

如图1-14所示的曲柄滑块机构，当给定构件1的位置时，其他构件的位置也被相应确定下来。

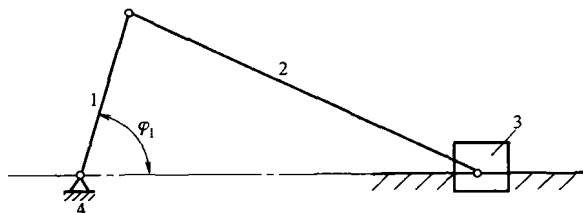


图 1-14 曲柄滑块机构

由此可见，无相对运动的构件组合或无规则乱动的运动链都不能实现预期的运动变换。将运动链的一个构件固定为机架，当运动链中一个或几个主动件位置确定时，其余从动件的位置也随之确定，则称机构具有确定的相对运动。取一个还是几个构件作为主动件取决于机构的自由度。

机构的自由度就是机构具有的独立运动的数目，因此，当机构主动件的数量等于自由度数目时，机构就具有确定的相对运动。

2. 平面机构自由度的计算

设一个平面运动链包含 N 个构件，其中1个构件为机架，则有 $n = N - 1$ 个活动构件，另外设有 P_L 个低副和 P_H 个高副。由于1个活动构件有3个自由度，1个低副引进2个约束，1个高副引进1个约束，因此，该机构的自由度 F 应为

$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (1-1)$$

用式(1-1)计算如图1-12所示运动链的自由度，则为 $F = 3 \times 2 - 2 \times 3 = 0$ ，因此，该运

动链无相对运动。用式 (1-1) 计算如图 1-13 所示运动链的自由度, 则 $F=3 \times 4-2 \times 5=2$, 因此, 它需要两个主动件才具有确定的相对运动。按同样的方法计算出如图 1-14 所示机构的自由度为 $F=3 \times 3-2 \times 4=1$, 因此, 它只需要一个主动件便具有确定的相对运动。

例 1-2 计算如图 1-15 所示活塞泵的自由度。

解: 活塞泵具有四个活动构件, $n=4$; 五个低副 (四个转动副和一个移动副), $P_L=5$; 一个高副, $P_H=1$, 由式 (1-1) 得该机构自由度 $F=3 \times 4-2 \times 5-1=1$ 。

可以看出, 机构的自由度与主动件 (曲柄 1) 数目相等。

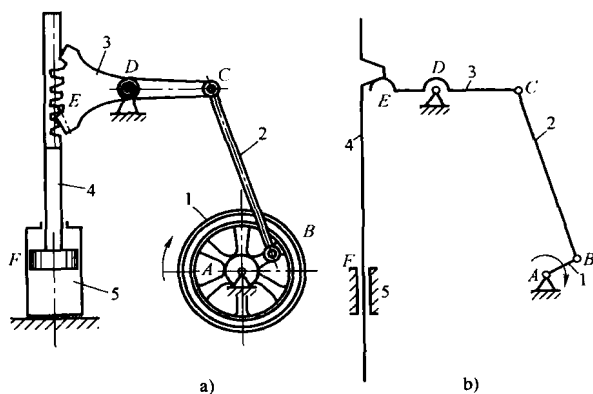


图 1-15 活塞泵及其机构运动简图

3. 计算机构自由度的注意事项

应用式 (1-1) 计算机构的自由度时, 必须注意以下几个问题:

(1) 复合铰链 由两个以上的构件在同一处构成的转动副称为复合铰链。图 1-16 所示为三个构件在 A 点形成复合铰链。从左视图可见, 此三个构件实际上组成了轴线重合的两个转动副。同理, 若有 m 个构件形成复合铰链时, 应具有 $(m-1)$ 个转动副。

例 1-3 计算如图 1-17 所示圆盘锯主体机构的自由度。

解: 机构中, A、B、C、D 四点均为由三个构件组成的复合铰链, 每处都有两个转动副, 因此, 该机构 $n=7$, $P_L=10$, $P_H=0$, 其自由度 $F=3 \times 7-2 \times 10-0=1$ 。

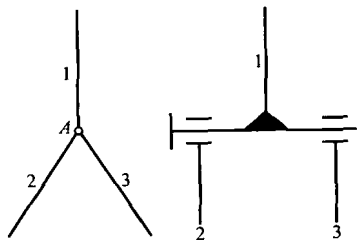


图 1-16 复合铰链

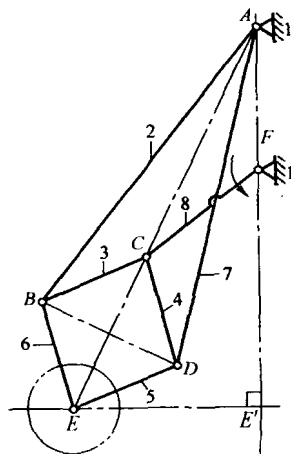


图 1-17 圆盘锯主体机构

(2) 局部自由度 机构中不影响机构输出与输入运动关系的个别构件的独立运动自由度称为局部自由度。在计算机构自由度时,局部自由度应略去不计。

如图 1-18a 所示的凸轮机构中,滚子绕本身轴线的转动不影响其他构件的运动,该转动的自由度即为局部自由度。计算时,先把滚子看成与从动件连成一体,消除局部自由度(图 1-18b)后,再计算该机构的自由度。

局部自由度虽不影响机构的运动关系,但可以减少高副接触处的摩擦和磨损。因此,在机械中具有局部自由度的结构很常见,如滚动轴承、滚轮等。

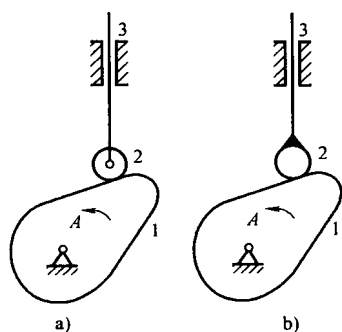


图 1-18 局部自由度

(3) 虚约束 机构中与其他约束重复而对机构运动不起独立限制作用的约束,称为虚约束。计算机构自由度时,应将虚约束除去不计。

平面机构中的虚约束常出现在下列场合:

1) 两构件间形成多个具有相同作用的运动副。如图 1-19a 所示,两构件形成多个轴线重合的转动副。轮轴 1 与机架 2 在 A、B 两处组成了两个转动副,但从运动关系看,只有一个转动副起约束作用,其余各处引入的约束均为虚约束,因此,计算机构自由度时应按一个转动副计算。

如图 1-19b 所示,两构件组成多个移动方向一致的移动副。构件 1 与机架 2 组成了 A、B、C 三个导路平行的移动副。同样,应只考虑一处的移动副,其余移动副引入的约束均为虚约束。

如图 1-19c 所示,两构件组成多处接触点公法线重合的高副。同样应只考虑一处高副,其余高副引入的约束均为虚约束。

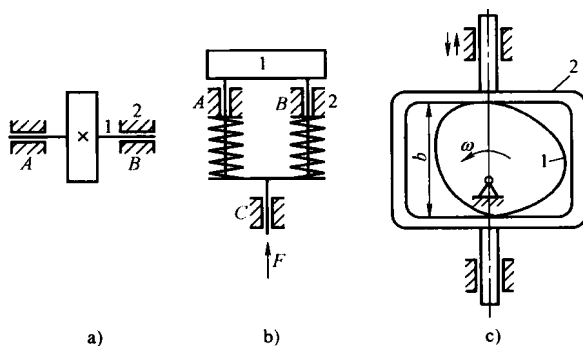


图 1-19 两构件组成多个运动副

2) 如果两相联接构件在联接点上的运动轨迹相重合,则该运动副引入的约束为虚约束。如图 1-20a 所示平行四边形机构,连杆 3 作平动,该机构自由度 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$ 。现若用一个附加构件 5 在 E 和 F 两点铰接,且 EF 平行于 AB 及 CD, $EF = AB = CD$,如图 1-20b 所示,则构件 5 上 E 点的轨迹与连杆 3 上 E 点的轨迹重合。显然,构件 5 对该机构的运动并不产生任何影响,其约束从运动角度看并无必要,为虚约束。因此,在计算如图 1-20b 所示机构的自由度时应将其去除,按图 1-20a 所示计算。如果不满足上述几何

条件, 则 EF 杆的约束为有效约束, 如图 1-20c 所示, 此时该机构的自由度 $F=0$, 机构不能运动。

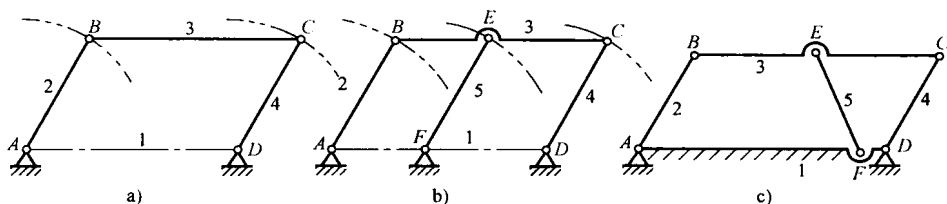


图 1-20 运动轨迹重合的运动副引入的虚约束

3) 机构中对运动不起作用的对称部分引入的约束为虚约束。如图 1-21 所示的行星轮系, 为使受力均匀, 安装三个相同的行星轮对称布置。从运动关系看, 只需一个行星轮 2 就能满足运动要求, 其余行星轮所引入的高副均为虚约束, 应除去不计。该机构的自由度 $F=3n-2P_L-P_H=3\times 3-2\times 3-2=1$ 。

4) 机构运动时, 如果两构件上两点间的距离始终保持不变, 将此两点用构件和运动副联接, 则会带进虚约束, 如图 1-22 所示, 用虚线表示的构件与引入的就是虚约束。

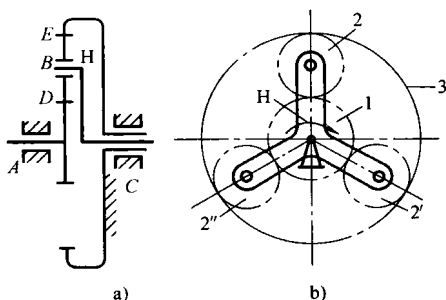


图 1-21 对称结构引入的虚约束

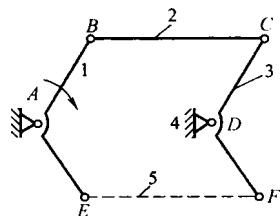


图 1-22 两点间的距离不变引入的虚约束

虚约束虽不影响机构的运动, 但能改善机构的刚性或受力情况, 保证机构顺利运动, 因而在结构设计中被广泛采用。但是, 虚约束对机构的几何条件及制造、安装精度要求较高, 因此, 对机构的加工和装配精度提出了较高的要求。

例 1-4 计算如图 1-23a 所示的筛料机构的自由度。

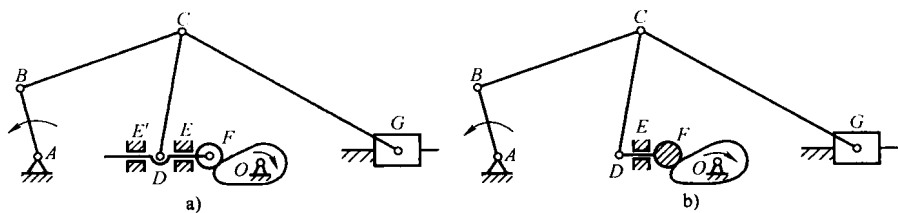


图 1-23 筛料机构

解: 机构中滚子有一个局部自由度; 顶杆 DF 与机架组成两个导路平行的移动副 E 、 E' , 故其中之一为虚约束; C 处为复合铰链。去除局部自由度和虚约束, 按如图 1-23b 所示机构

计算自由度, 机构中 $n=7$ 、 $P_L=9$ 、 $P_H=1$, 其自由度 $F=3n-2P_L-P_H=3\times 7-2\times 9-1=2$, 此机构中应当有两个主动件。

1.3 任务实施

图 1-1 所示为颚式破碎机, 利用它可以实现压碎物料的功能。它是如何工作的? 如何用简单的方式来描述它们的工作原理? 在什么条件下它才会按照人们需要的规律去运动?

运用机构运动简图可以方便地表达机器的运动原理, 这里绘出颚式破碎机的机构运动简图, 即可知道其工作原理; 计算出其机构自由度, 便知其具有确定运动的条件。

颚式破碎机的主体由电动机 1、带轮 2、V 带 3、带轮 4、偏心轴 (又称曲轴) 5、动颚 6、肘板 7、定颚板 8 及机架等组成。带轮与偏心轴固连成一个整体, 它是运动和动力输入构件, 即主动件, 其余构件都是从动件。

确定构件数目之后, 再根据各构件间的相对运动确定运动副的种类和数目。带轮 4 绕机架轴线 A 相对转动, 故带轮 4 和机架组成以 A 为中心的转动副; 动颚 6 与偏心轴 5 绕轴线 B 相对转动, 故构件 6、5 组成以 B 为中心的转动副; 肘板 7 与动颚 6 绕轴线 C 相对转动, 故构件 7、6 组成以 C 为中心的转动副; 肘板绕机架轴线 D 相对转动, 故构件 7 与机架组成以 D 为中心的转动副。

选定适当比例尺, 根据图 1-1 所示尺寸定出 A 、 B 、 C 、 D 的相对位置, 用构件和运动副的规定符号绘出机构运动简图, 如图 1-24 所示。

最后, 将图中的机架画上阴影线, 并在主动件 2 上标注箭头。

需要指出, 虽然动颚 6 与偏心轴 5 是用一个半径大于 AB 的轴颈联接的, 但是运动副的规定符号仅与相对运动的性质有关, 而与运动副的结构尺寸无关, 所以在简图中仍用小圆圈表示。

解: 在颚式破碎机主体机构中, 有三个活动构件, $n=3$; 四个转动副, $P_L=4$; 没有高副, $P_H=0$ 。由式 (1-1) 得机构自由度 $F=3n-2P_L-P_H=3\times 3-2\times 4=1$

该机构只要具有一个主动件 (曲轴 2), 即可具有确定的运动。

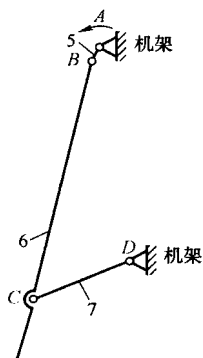


图 1-24 颚式破碎机的机构运动简图

1.4 任务评价与总结提高

1.4.1 任务评价 (表 1-1)

表 1-1 任务评价考核表

序号	考核项目	配分	检查标准	得分
1	机构的组成	20	掌握基本概念	
2	机构运动简图的绘制	40	明确机构工作原理, 绘制各种机构运动简图	
3	计算机构自由度	40	正确计算各种机构的自由度	