



高职高专项目导向系列教材

机构零部件设计与应用

★ 边秀娟 主编
★ 尚蕊 主审

JIGOU

LINGBUJIAN SHEJI YU
YINGYONG



化学工业出版社

高职高专项目导向系列教材

机构零部件设计与应用

边秀娟 主编
尚蕊 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书将机械原理、机械零件、工程力学、工程材料等内容有机地结合在一起,适应了目前教学改革的需要。本书按照以工作过程为导向的情境教学方式编写。全书共包含了观察机器认知机构零部件、制作简单机构、机构在机器中的应用、构件尺寸和材料确定、传动机构的应用、零部件设计与选用等6个学习情境,每个学习情境都以典型的机构或机器为载体安排教学内容。

本书可作为高等职业院校机械类或近机械类专业教材,也可以作为培训机构和企业的培训教材,以及相关技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机构零部件设计与应用/边秀娟主编. —北京:化学工业出版社, 2012.6
高职高专项目导向系列教材
ISBN 978-7-122-13940-5

I. 机… II. 边… III. 机构-零部件-教材 IV. TH112

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第060670号

责任编辑:高钰
责任校对:吴静

文字编辑:张绪瑞
装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张7 $\frac{3}{4}$ 字数192千字 2012年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:24.00元

版权所有 违者必究

编 委 会

主 任 徐继春

副主任 李晓东

秘书长 郝万新

委 员 徐继春 李晓东 郝万新 齐向阳

高金文 武海滨 刘玉梅 赵连俊

秘 书 李 想

序

辽宁石化职业技术学院是于2002年经辽宁省政府审批，辽宁省教育厅与中国石油锦州石化公司联合创办的与石化产业紧密对接的独立高职院校，2010年被确定为首批“国家骨干高职立项建设学校”。多年来，学院深入探索教育教学改革，不断创新人才培养模式。

2007年，以于雷教授《高等职业教育工学结合人才培养模式理论与实践》报告为引领，学院正式启动工学结合教学改革，评选出10名工学结合教学改革能手，奠定了项目化教材建设的人才基础。

2008年，制定7个专业工学结合人才培养方案，确立21门工学结合改革课程，建设13门特色校本教材，完成了项目化教材建设的初步探索。

2009年，伴随辽宁省示范校建设，依托校企合作体制机制优势，多元化投资建成特色产学研实训基地，提供了项目化教材内容实施的环境保障。

2010年，以戴士弘教授《高职课程的能力本位项目化改造》报告为切入点，广大教师进一步解放思想、更新观念，全面进行项目化课程改造，确立了项目化教材建设的指导理念。

2011年，围绕国家骨干校建设，学院聘请李学锋教授对教师系统培训“基于工作过程系统化的高职课程开发理论”，校企专家共同构建工学结合课程体系，骨干校各重点建设专业分别形成了符合各自实际、突出各自特色的人才培养模式，并全面开展专业核心课程和带动课程的项目导向教材建设工作。

学院整体规划建设“项目导向系列教材”包括骨干校5个重点建设专业（石油化工生产技术、炼油技术、化工设备维修技术、生产过程自动化技术、工业分析与检验）的专业标准与课程标准，以及52门课程的项目导向教材。该系列教材体现了当前高等职业教育先进的教育理念，具体体现在以下几点：

在整体设计上，摒弃了学科本位的学术理论中心设计，采用了社会本位的岗位工作任务流程中心设计，保证了教材的职业性；

在内容编排上，以对行业、企业、岗位的调研为基础，以对职业岗位群的责任、任务、工作流程分析为依据，以实际操作的工作任务为载体组织内容，增加了社会需要的新工艺、新技术、新规范、新理念，保证了教材的实用性；

在教学实施上，以学生的能力发展为本位，以实训条件和网络课程资源为手段，融教、学、做为一体，实现了基础理论、职业素质、操作能力同步，保证了教材的有效性；

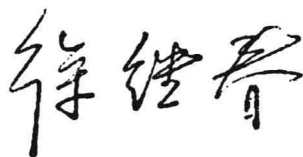
在课堂评价上，着重过程性评价，弱化终结性评价，把评价作为提升再学习效能的反馈

在课堂评价上，着重过程性评价，弱化终结性评价，把评价作为提升再学习效能的反馈工具，保证了教材的科学性。

目前，该系列校本教材经过校内应用已收到了满意的教学效果，并已应用到企业员工培训工作中，受到了企业工程技术人员的高度评价，希望能够正式出版。根据他们的建议及实际使用效果，学院组织任课教师、企业专家和出版社编辑，对教材内容和形式再次进行了论证、修改和完善，予以整体立项出版，既是对我院几年来教育教学改革成果的一次总结，也希望能够对兄弟院校的教学改革和行业企业的员工培训有所助益。

感谢长期以来关心和支持我院教育教学改革的各位专家与同仁，感谢全体教职员工的辛勤工作，感谢化学工业出版社的大力支持。欢迎大家对我们的教学改革和本次出版的系列教材提出宝贵意见，以便持续改进。

辽宁石化职业技术学院 院长



2012 年春于锦州

前言

我国的职业教育教学改革正在不断地深入，高职教育应该以学生为主体、以能力为本位，突出职业能力培养。在课程建设上注重适应高技能人才可持续发展的要求，体现基于就业岗位分析和具体工作过程的课程设计理念，以真实工作任务或社会产品为载体组织课程教学内容，加强教师与学生的互动。教学中以学生为中心，使学生学中做、做中学，实现“理实一体化”，全面提升学生的综合素质。

课程建设离不开教材建设，本教材编写组成员根据高职教育的特点和课程建设的要求重新安排了教材的内容和设计教材结构，具有以下特点。

① 在内容上，打破了传统的教材体系，去掉了验证性实验，以常见的典型机构或机器为载体安排教材内容，培养学生的工程实践能力。

② 在结构上，按照以工作过程为导向的情境教学方式编写。全书总共包含了观察机器认知机构零部件、制作简单机构、机构在机器中的应用、构件尺寸和材料确定、传动机构的应用、零部件设计与选用等 6 个学习情境。

③ 在形式上，每个子情境中都有“学习目标”、“工作任务”、“任务分析”、“相关知识”、“任务实施”、“自主训练”等形式，引导学生明确各情境的学习目标，学习与课程相关的知识和技能，并适当拓展相关知识，强调在做中学和学中做，便于学生在计划和实施过程中进行自学，符合情境教学的需要。

参加本教材编写工作的有：边秀娟（学习情境五、六），张碧波（学习情境三），于凤春（学习情境一），富玉竹（学习情境二），姚芳萍（学习情境四中的学习子情境一），刘爽（学习情境四中的学习子情境二）；由边秀娟担任主编，张碧波担任副主编，全书由边秀娟统稿。

尚蕊承担了本书的主审并提出了许多宝贵意见和建议，在此表示真诚的感谢。

高等职业教育课程改革教学用书的编写是一项全新的工作。由于没有成熟经验可供借鉴，虽然我们尽心竭力，但是教材中难免还会出现疏漏、不妥之处，敬请读者不吝指正。

编者

2012 年 2 月

目录

❖ 学习情境一 观察机器认知机构零部件	1
学习子情境一 认知牛头刨床的结构组成	1
工作任务	1
任务分析	1
相关知识	1
一、机器和机构	1
二、机器的组成	2
三、零件和构件	3
任务实施	3
自主训练	4
学习子情境二 判定抽水唧筒具有确定运动条件	4
工作任务	4
任务分析	4
相关知识	5
一、运动副及其分类	5
二、构件的表示方法	5
三、绘制机构运动简图的步骤	6
四、机构具有确定运动的条件	6
任务实施	6
拓展知识	7
自主训练	8
❖ 学习情境二 制作简单机构	9
学习子情境一 认识内燃机配气机构的运动	9
工作任务	9
任务分析	9
相关知识	10
一、凸轮和凸轮机构	10
二、凸轮机构的特点	10
三、凸轮机构的分类	10
四、凸轮机构的应用实例	11
任务实施	12
自主训练	12
学习子情境二 制作阀门机构的凸轮	12
工作任务	12
任务分析	12
相关知识	13
一、凸轮机构的运动分析	13
二、反转法设计凸轮轮廓曲线	14
任务实施	15
自主训练	16
❖ 学习情境三 机构在机器中的应用	17
学习子情境一 认知牛头刨床刨削运动	17
工作任务	17
任务分析	17
相关知识	18
一、铰链四杆机构的组成	18
二、铰链四杆机构的基本类型及应用	18
三、铰链四杆机构三种类型的判别方法	20
四、曲柄滑块机构	21
五、曲柄滑块机构的演化形式	21
六、偏心轮机构	22
任务实施	23
自主训练	24
学习子情境二 设计牛头刨床摆动导杆机构	24
工作任务	24
任务分析	24
相关知识	25
任务实施	26
拓展知识	26
自主训练	27
学习子情境三 调节刨削加工的进给量	27
工作任务	27
任务分析	28
相关知识	28
一、棘轮机构	28
二、螺旋传动	29
任务实施	31

自主训练	32
------------	----

❖ 学习情境四 构件尺寸和材料确定 33

学习子情境一 确定压力机连杆尺寸	33	学习子情境二 内燃机连杆材料的选用	41
工作任务	33	工作任务	41
任务分析	34	任务分析	41
相关知识	34	相关知识	42
一、杆件的受力分析	34	一、金属材料的力学性能	42
二、求解力的大小	36	二、金属材料的热处理	44
三、轴向拉伸压缩强度计算	38	三、钢铁材料的分类与牌号	45
任务实施	40	任务实施	49
自主训练	40	自主训练	49

❖ 学习情境五 传动机构的应用 50

学习子情境一 更换空气压缩机传动带	50	学习子情境三 蜗杆传动的维护	61
工作任务	50	工作任务	61
任务分析	50	任务分析	62
相关知识	51	相关知识	62
一、V带的结构与标准	51	一、蜗杆传动的类型特点	62
二、V带轮的结构和材料	52	二、蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	62
三、普通V带传动的主要参数	53	三、蜗杆与蜗轮的材料及结构	64
四、V带传动的工作特点及应用范围	53	四、蜗杆传动的应用特点	65
五、V带传动的张紧与维护	54	五、蜗杆传动的滑动速度和失效形式	66
任务实施	55	六、蜗杆传动的效率和润滑	66
自主训练	56	七、蜗杆传动的热平衡计算	67
学习子情境二 配换车床变速箱齿轮	56	任务实施	68
工作任务	56	自主训练	68
任务分析	57	学习子情境四 吉普车转速调节	68
相关知识	57	工作任务	68
一、渐开线的形成及渐开线齿廓的啮合特性	57	任务分析	68
二、渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸计算	58	相关知识	69
三、直齿圆柱齿轮的正确啮合条件和连续传动条件	59	一、轮系的分类	69
任务实施	61	二、定轴轮系的概念及分类	69
自主训练	61	三、定轴轮系传动比计算	69
		任务实施	70
		自主训练	71

❖ 学习情境六 零部件设计与选用 72

学习子情境一 设计减速器轴	72	任务实施	83
工作任务	72	自主训练	84
任务分析	72	学习子情境二 设计减速器齿轮传动	85
相关知识	73	工作任务	85
一、轴的材料和类型	73	任务分析	85
二、轴的结构设计	74	相关知识	85
三、轴的强度计算	76	一、齿轮传动的失效形式和设计准则	85

二、齿轮常用材料及齿轮传动的精度等级	87	二、滚动轴承	100
三、渐开线直齿圆柱齿轮传动的强度计算	87	任务实施	104
四、齿轮的结构	89	自主训练	104
任务实施	89	学习子情境五 选择联轴器	105
自主训练	91	工作任务	105
学习子情境三 选择键连接	91	任务分析	105
工作任务	91	相关知识	105
任务分析	92	任务实施	106
相关知识	92	自主训练	107
一、键连接的类型、特点及应用	92	学习子情境六 更换联轴器上的失效螺栓	107
二、平键连接的选择、标记和强度计算	93	工作任务	107
任务实施	96	任务分析	108
一、确定键的类型与尺寸	96	相关知识	108
二、强度计算	96	一、常用连接螺纹的特点及应用	108
自主训练	97	二、普通螺纹的代号与标记	108
学习子情境四 合理选用轴的支承	97	三、螺纹连接的类型和应用	109
工作任务	97	四、螺纹连接件	110
任务分析	97	五、螺纹连接的预紧与防松	111
相关知识	97	任务实施	113
一、滑动轴承	97	自主训练	113

学习情境一

观察机器认知机构零部件

【情境导学】 自从发明了蒸汽机，人类使用机械的程度变得越来越普遍，机械的形式变得越来越复杂。在人们的生产和生活中广泛地使用着各种类型的机器，以减轻或代替人们的劳动，提高生产效率、产品质量和生产水平。机器的种类繁多，常见的如自行车、缝纫机、洗衣机、电动机、车床、火车、电风扇、打印机等。它们的构造、性能和用途等各不相同，但从机器的组成分析，又有共同点。通过认知牛头刨床的结构组成及对抽水唧筒具有确定运动条件的判定，了解机器的组成，掌握机械、机器、机构、零件的概念，会绘制常见的机构运动简图，分析判定机构的运动。

学习子情境一 认知牛头刨床的结构组成

【工作任务】

牛头刨床主要用于刨削中小型工件上的平面、成形面和沟槽。如图 1-1 所示为牛头刨床的结构示意，观察牛头刨床的工作状态，了解牛头刨床的组成，指出牛头刨床的动力部分、传动部分、执行部分和控制部分，指出构成传动装置的零部件。

【任务分析】

观察牛头刨床的外形图，牛头刨床由电动机 1、小齿轮 2、与大齿轮固定在一起的曲柄 3、滑块 4 和 6、导杆 5、刨头 7、工作台 8、丝杠 9、床身 10 以及其他图中未画出的辅助部分组成。当电动机经带传动并通过齿轮使曲柄回转时，导杆 5 作平面复杂运动，刨头便带着刨刀作往复直线移动，从而产生刨削动作。通过对牛头刨床的运动原理分析，了解机构的组成、运动情况及零部件的构成。

【相关知识】

一、机器和机构

机器是人类制造出来的、各组成部分具有确定相对运动的、可完成人们期望的预定职能（转换能量或代替人做有用的机械功）的实物组合。内燃机、牛头刨床、抽油机等就是常见

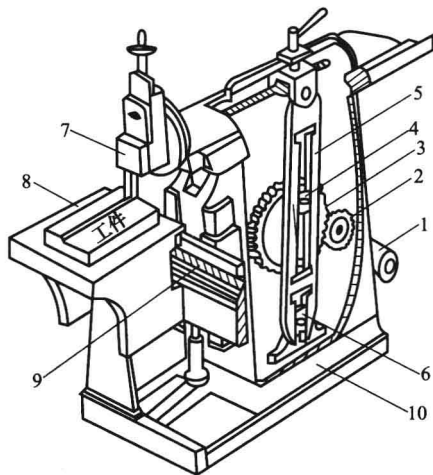


图 1-1 牛头刨床的结构示意

1—电动机；2—小齿轮；3—曲柄；
4、6—滑块；5—导杆；7—刨头；
8—工作台；9—丝杠；10—床身

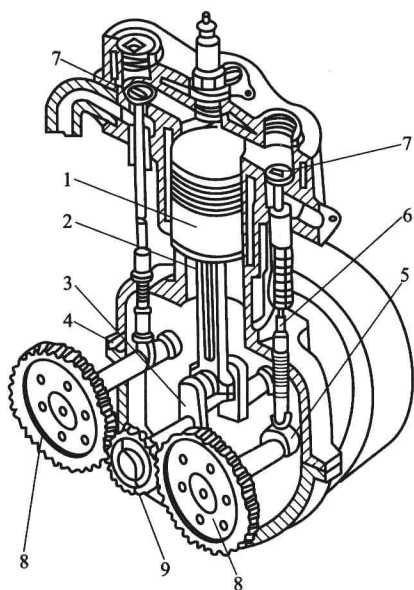


图 1-2 单缸内燃机

1—活塞；2—连杆；3—曲柄轴；4—汽缸体；
5—凸轮；6—顶杆；7—进气、排气阀；
8,9—齿轮

的机器。虽然机器的构造、用途和性能有所不同，但都具有以下几个共同的特征。

- ① 是许多人为实物的组合。
- ② 各实物之间具有确定的相对运动。
- ③ 能完成有用的机械功或转换机械能。

凡具有上述三个特征的实物组合体称为机器。

机构是实现某种特定运动的构件组合，它是用来传递运动和力的构件系统。如图 1-2 所示为单缸内燃机。活塞 1、连杆 2、曲柄轴 3 和汽缸体 4 组成曲柄滑块机构，将活塞的直线运动变为曲轴的连续转动；凸轮 5、顶杆 6 和汽缸体 4 组成凸轮机构，将凸轮轴的连续转动变为顶杆有规律的直线运动；曲柄轴 3 和凸轮轴上的齿轮 8 与汽缸体 4 组成齿轮机构。所以，单缸内燃机的主体部分是由曲柄滑块机构、凸轮机构、齿轮机构等若干个机构组成的。

机构和机器是有区别的，主要体现在以下几个方面：

① 机构只是一个构件系统，而机器除构件系统外，还包含电气、液压等其他系统。

② 机构只用来传递运动和力，而机器除传递运动和力外，还具有变换或传递能量、物料和信息的功能。

因此机器是由机构组成的，而机构却不能像机器一样实现能量转换。若仅从结构和运动的观点来看，机器与机构之间并无区别，所以统称为机械。

二、机器的组成

家用洗衣机是多件实物的组合体，由波轮、脱水桶、盛水桶组成，用以实现人们所预期的工作要求和动作。

从图 1-3 中可以看出，电动机产生的动力经带传动和减速器传动后，带动波轮旋转，整个洗衣过程由控制器进行控制。一般而言，机器的组成通常包括动力部分、传动部分、执行部分和控制部分。机器各组成部分的作用和应用举例见表 1-1。

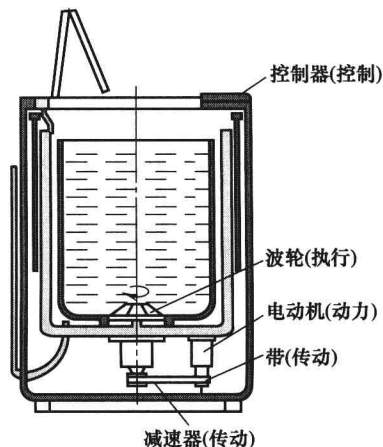


图 1-3 洗衣机

表 1-1 机器各组成部分的作用和应用举例

组成部分	作用	应用举例
动力部分	把其他类型的能量转换为机械能，以驱动机器各部件运动	如电动机、内燃机、蒸汽机和空气压缩机等
传动部分	将原动机的运动和动力传递给执行部分的中间环节	如金属切削机床中的带传动、螺旋传动、齿轮传动、连杆机构等
执行部分	直接完成机器工作任务，处于整个传动装置的终端，其结构形式取决于机器的用途	如金属切削机床中的主轴、滑板
控制部分	包括自动检测部分和自动控制部分，其作用是显示和反映机器的运行位置和状态，控制机器正常运行和工作	如机电一体化产品（数控机床、机器人）中的控制装置等

三、零件和构件

零件是指机器中不可分拆的基本制造单元,如图 1-4 所示内燃机连杆上的螺栓、连杆体、连杆盖等。零件分为专用零件(仅出现在某些类机器中的零件,如曲轴、连杆、汽轮机叶片等)和通用零件(各类机器中广泛应用的零件,如齿轮、螺栓、轴承等)。

构件是组成机器的运动单元(包括运动速度为零的单元),亦称为“杆”。内燃机中,活塞、连杆、曲轴、凸轮、挺杆、气缸体等都是构件。

构件和零件是有区别的,构件是运动的最小单元,零件是加工制造的最小单元。

【任务实施】

1. 牛头刨床的组成

牛头刨床由电动机、小齿轮、大齿轮、曲柄、滑块、导杆、刨头、工作台、丝杠、床身以及其他的辅助部分组成。如图 1-1 所示。

2. 牛头刨床的动力部分、传动部分、执行部分和控制部分

牛头刨床的动力装置为电动机;传动装置是带传动、齿轮传动、导杆机构;执行装置是牛头刨床的工作台、刀架与滑枕;控制部分包括有启动、停车、正反转、运动和动力参数改变装置。如图 1-5 所示。

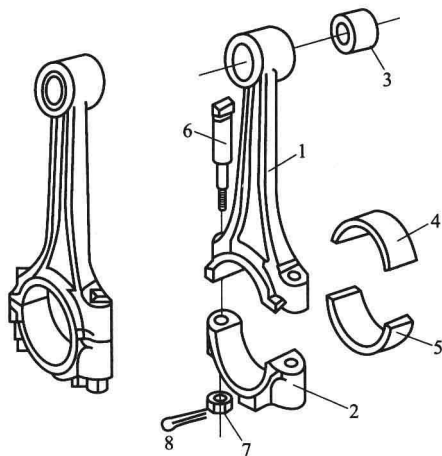


图 1-4 连杆

1—连杆体; 2—连杆盖; 3—轴套; 4—上轴瓦;
5—下轴瓦; 6—连接螺栓; 7—螺母; 8—开口销

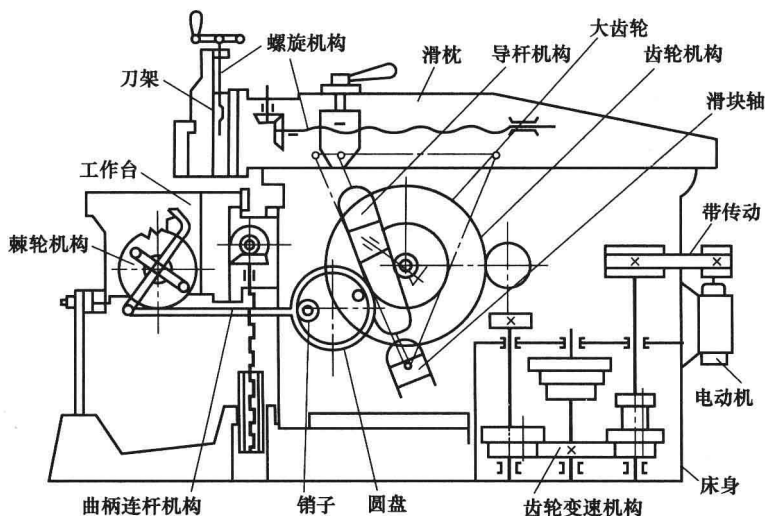


图 1-5 牛头刨床的传动系统

3. 构成传动机构的零部件

构成带传动机构的主要零件有带、大带轮、小带轮、键,构成齿轮机构的主要零件有齿轮、轴、键等。

【自主训练】

拆装桌虎钳，分析桌虎钳的运动，指出图 1-6 所示桌虎钳中包含的构件和零件的名称，列出零件表。

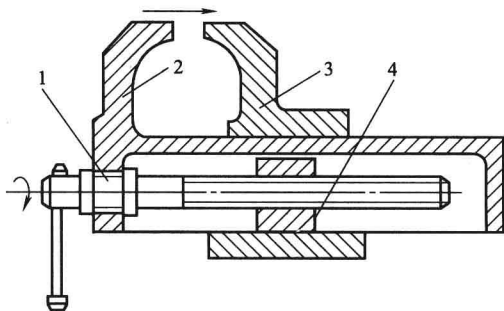


图 1-6 桌虎钳

1—螺杆；2—活动螺母；3—固定钳口；4—螺母

学习子情境二 判定抽水唧筒具有确定运动条件

【工作任务】

观察抽水唧筒（图 1-7）运动，根据抽水唧筒的传动装置绘制机构运动简图，根据机构运动简图描述唧筒的运动传递过程，计算唧筒机构的自由度，判断机构是否具有确定的运动。

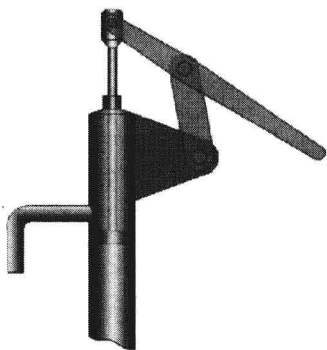


图 1-7 抽水唧筒

【任务分析】

在分析机构运动时，实际构件的外形和结构往往很复杂，为简化问题，在工程中通常不考虑那些与运动无关的构件外形、截面尺寸和运动副的具体构造，仅用规定的简单线条和符号来表示机构中的构件和运动副，并按一定的比例画出各运动副的相对位置及它们的相对运动关系。这种表示机构各构件间相对运动关系的简单图形，称为机构运动简图。

利用机构运动简图可以表达一部复杂机器的传动原理，可以进行机构的运动和动力分析。

【相关知识】

一、运动副及其分类

机构由许多构件组成,各构件都以一定方式与其他构件连接并保持相对运动,这种两构件之间直接接触所形成的可动连接称为运动副,机构中各构件之间的运动和动力的传递都是通过运动副来实现的。构件上参与接触的点、线、面称为运动副元素。两构件组成运动副后,就限制了两构件间的相对运动,这种限制称为约束。根据组成运动副的两构件间的接触性质,运动副可分为低副和高副。

(1) 低副 在平面机构中,两构件通过面接触组成的运动副称为低副。根据两个构件的相对运动形式,低副又可分为转动副和移动副。如果组成运动副的两构件只能绕某一轴线作相对转动,这种运动副称为转动副,也称为铰链,如图 1-8 所示。例如轴与轴承构成转动副。如果组成运动副的两构件只能沿某一轴线作相对移动,这种运动副称为移动副,如图 1-9 所示。

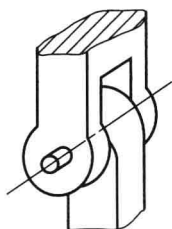


图 1-8 转动副

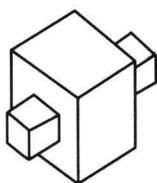


图 1-9 移动副

低副的结构形状简单,制造方便,两构件为面接触,压强低,承载能力强,便于润滑,不易磨损。

(2) 高副 两构件之间通过点或线接触组成的运动副称为高副,如图 1-10、图 1-11 所示。两者既可以沿接触点切线方向相互移动,又可以绕通过接触点垂直运动平面的轴线转动。

高副结构复杂,压强高,易磨损。



图 1-10 齿轮副

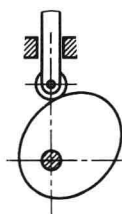


图 1-11 凸轮副

二、构件的表示方法

不论构件形状多么复杂,在机构运动简图中,只需将构件上的所有运动副元素按照它们在构件上的位置用规定的符号表示出来再用直线连接即可。通常,构件用直线、三角形或方块等图形表示,如图 1-12 所示。

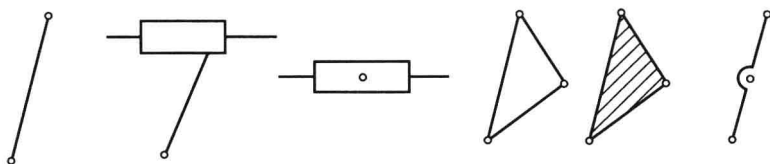


图 1-12 构件的表示方法

三、绘制机构运动简图的步骤

- ① 分析机构的组成和运动情况,找出机构中的主动件、机架、从动件。
- ② 确定运动副的类型和数量。
- ③ 恰当选择投影面和适当比例尺。按照构件实际尺寸和图纸幅面,按下式确定比例尺

$$\mu_l = \frac{\text{实际尺寸(m)}}{\text{图上尺寸(mm)}}$$

- ④ 测量各个运动副的相对位置尺寸。
- ⑤ 按比例尺用规定的符号和线条绘制成机构运动简图。

四、机构具有确定运动的条件

- (1) 自由度 一个作平面运动的自由构件具有三个独立运动的可能性。如图 1-13 所示,

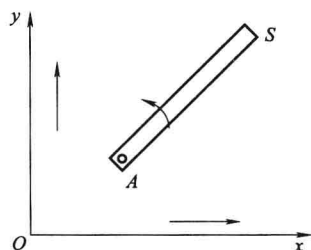


图 1-13 平面机构的自由度

在直角坐标系中,构件 S 可以随其上的任一点 A 沿 x 轴及 y 轴方向移动和绕 A 点转动。这种可能出现的独立运动称为构件的自由度。

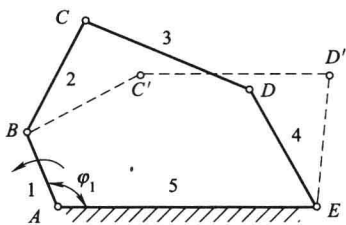
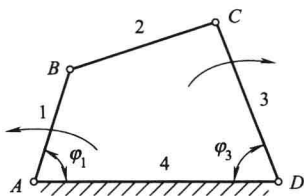
在平面机构中,每个低副引入两个约束,使构件失去两个自由度;每个高副引入一个约束,使构件失去一个自由度。因此活动构件的自由度总数减去由运动副引入的约束总数就是该机构的自由度,用 F 表示,即

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

式 (1-1) 为平面机构自由度的计算公式。由公式可知,机构自由度的大小取决于活动构件的数目以及高副和低副的数目。

(2) 机构具有确定运动的条件 如前所述,只有原动件才能独立运动,通常每个原动件只有一个独立运动。因此,要使各构件之间具有确定的相对运动,必须使原动件数等于构件系统的自由度数。当机构自由度大于 0 时,如果原动件数少于自由度数,那么机构就会出现运动不确定现象,如图 1-14 所示;如果原动件数大于自由度数,则机构中最薄弱的构件或运动副可能被破坏,如图 1-15 所示。所以,机构具有确定运动的条件是:原动件数目 W 应等于机构的自由度数 F ,即

$$W = F \text{ 且 } F > 0 \quad (1-2)$$

图 1-14 $W < F$ 图 1-15 $W > F$

【任务实施】

① 分析唧筒组成和运动情况:该机构中构件 1 是主动件、3 是机架、2、4 是从动件,共有三个活动构件,一个机架,其中,构件 1 作摇动,带动构件 4 作上下往复移动,构件 2 围绕机架摆动。

② 确定唧筒运动副的类型和数量:构件 1 与构件 4、构件 1 与构件 2 分别组成转动副,构件 4 与机架 3 组成移动副。

③ 选择机构中各构件的运动平面为投影面，测量各个运动副的相对位置尺寸，按比例尺用规定的符号和线条绘制成机构运动简图，如图 1-16 所示。

④ 计算抽水唧筒的自由度。机构有 3 个活动构件，4 个低副（3 个转动副，1 个移动副），没有高副，则

$$\begin{aligned} F &= 3n - 2P_L + P_H \\ &= 3 \times 4 - 2 \times 4 - 0 \\ &= 1 \end{aligned}$$

因为 $F=W$ ，所以机构具有确定的运动。

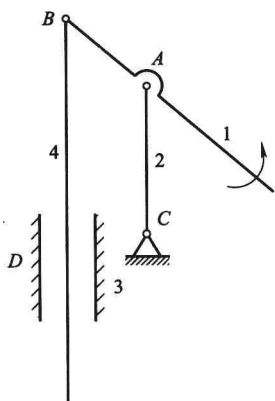


图 1-16 手动唧筒机构运动简图

【拓展知识】

计算平面自由度时几种特殊情况。

1. 复合铰链

两个以上的构件在同一处以转动副连接，则构成复合铰链。若 m 个构件在同一处构成复合铰链，则该处的实际转动副数目为 $(m-1)$ 个，如图 1-17 所示。

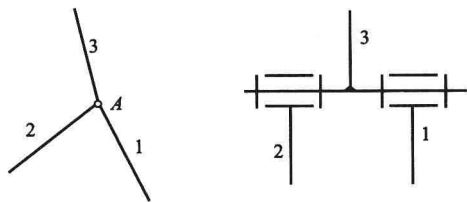


图 1-17 复合铰链

2. 局部自由度

在某些机构中，不影响其他构件运动的自由度称为局部自由度，在计算机构自由度时应除去不计，见图 1-18。

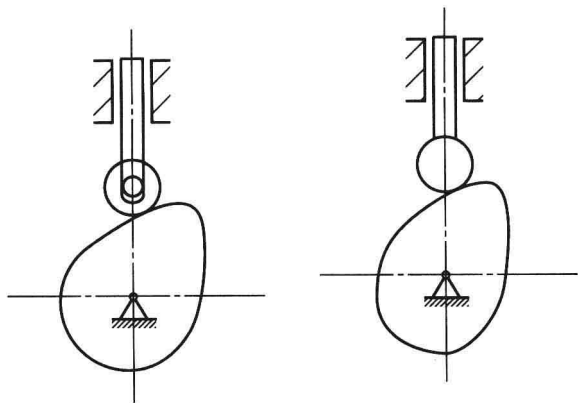


图 1-18 局部自由度

3. 虚约束

对机构运动实际上不起限制作用的约束称为虚约束，在计算机构自由度时应除去不计。平面机构的虚约束常出现于下列情况：

- ① 重复运动副，如图 1-19 所示。
- ② 重复轨迹，如图 1-20 所示。