

机械原理课程设计概论

林建龙 著

北京出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

机械原理课程设计概论/林建龙著. —北京: 北京出版社, 2004

ISBN 7 - 200 - 03136 - 4

. 机 林 机构学—课程设计—高等学校—教材 . TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 064183 号

机械原理课程设计概论

JIXIE YUANLI KECHENG SHEJI GAILUN

林建龙 著

*

北京出版社出版

(北京北三环中路 6 号)

邮政编码: 100011

网 址: www.bph.com.cn

北京出版社出版集团总发行

首 钢 印 刷 厂 印 刷

*

787 × 960 毫米 16 开本 11.25 印张 190 千字

2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 7 - 200 - 03136 - 4

D · 263 定价: 18.00 元

内 容 简 介

机械原理课程设计概论,结合近年来作者从事机械方面的科研课题,以阐述机械系统运动方案设计、创新设计为目标,内容共分四章,其中第一章为概述,简要介绍机械原理课程设计的目的和要求;第二章为解析法,系统地阐述了采用解析法进行平面连杆机构运动分析与综合、动态静力分析、力平衡计算和齿轮、凸轮及组合机构的设计;第三章为机械原理课程设计示例,简明地展示了牛头刨床机构、游梁式抽油机抽油机构、电脑刺绣机针杆及挑线机构、轻型装卸机举升机构和机械手抓箱机构的设计、分析和优化设计内容;第四章为机械原理课程设计题目,提供了 11 个结合实际的机械原理课程设计实例。

前 言

机械原理课程设计概论,结合近年来作者从事机械方面的科研课题,以阐述机械系统运动方案设计、创新设计为目标,全书分为四章,其中第一章为概述,简要介绍机械原理课程设计的目的和要求;第二章为解析法,系统地阐述了采用解析法进行平面连杆机构运动分析与综合、动态静力分析、力平衡计算和齿轮、凸轮及组合机构的设计;第三章为机械原理课程设计示例,简明地展示了牛头刨床机构、游梁式抽油机抽油机构、电脑刺绣机针杆及挑线机构、轻型装卸机举升机构和机械手抓箱机构的设计、分析和优化设计内容;第四章为机械原理课程设计题目,提供了 11 个结合实际的机械原理课程设计实例。

在本书出版过程得到了北京出版社的大力支持,在此谨致衷心谢意;出版本书得到黄先开教授的大力帮助,研究生傅程同志完成了书稿所有的文字和图表的录入及制作工作,书稿能够顺利出版还得到了其他同仁的大力协助,在此对所有曾经给予本书出版以关心支持的人们表示由衷的感谢。

由于作者水平有限,加以出版时间仓促,书中误漏欠妥之处在所难免,衷心希望同仁和读者批评指正。

编 者

2004 年 7 月于北京

目 录

第一章 概述.....	(1)
第一节 机械原理课程设计的目的.....	(1)
第二节 机械原理课程设计的任务.....	(1)
第三节 机械原理课程设计的方法.....	(1)
第四节 机械原理课程设计说明书的总体要求.....	(2)
第二章 解析法.....	(3)
第一节 平面连杆机构的运动分析.....	(3)
第二节 平面连杆机构的运动综合	(19)
第三节 平面连杆机构动态静力分析	(45)
第四节 平面连杆机构的力平衡	(53)
第五节 凸轮机构运动分析	(55)
第六节 齿轮机构的设计	(68)
第七节 组合机构设计分析	(80)
第三章 机械原理课程设计示例	(87)
第一节 牛头刨床机构位移比较分析	(87)
第二节 游梁式抽油机抽油机构分析	(91)
第三节 电脑刺绣机针杆机构分析	(97)
第四节 电脑刺绣机挑线机构分析.....	(116)
第五节 轻型装卸机举升机构分析.....	(138)
第六节 轻型装卸机机械手选型分析.....	(150)
第七节 轻型装卸机机械手优化设计.....	(153)
第八节 轻型装卸机举升机构的优化设计.....	(156)

第四章 机械原理课程设计题目	(160)
第一节 牛头刨床导杆机构分析设计	(160)
第二节 游梁式抽油机抽油机构分析设计	(163)
第三节 压床机构分析设计	(164)
第四节 油泵凸轮机构分析设计	(166)
第五节 汽车、拖拉机转向机构分析设计	(166)
第六节 铰链式颚式破碎机机构分析设计	(168)
第七节 汽车风窗刮水器机构分析设计	(169)
第八节 牛头刨床刨刀往复运动机构分析设计	(169)
第九节 摆动式搬运机构分析设计	(170)
第十节 插床机构分析设计	(172)
第十一节 变位齿轮机构分析设计	(173)

第一章 概 述

第一节 机械原理课程设计的目的

机械原理是普通高等工科学校一门重要的技术基础课,其研究的主要内容包括机械结构分析、机械运动分析、机器动力学、常用机构的分析和设计、机构的选型及机械传动系统的设计;而机械原理课程设计是机械类专业学生学完机械原理课程后进行的机械运动学和动力学分析与设计的综合训练环节;其目的在于使学生巩固和加深对所学理论知识的综合运用,对于机械运动学和动力学的分析与设计有一个清晰完整的过程了解,初步训练学生的计算、分析、使用资料等方面的独立工作能力,提高学生机械运动方案设计和创新设计的基本素质。

第二节 机械原理课程设计的任务

机械原理课程设计的主要任务是对机器的主体结构进行运动分析、动态静力分析和机构的运动综合。机械原理课程设计题目可根据不同专业的具体需要选定,应注意题目的综合性和完整性,原则上应涉及连杆机构、凸轮机构和齿轮机构的分析和综合。编写机械原理课程设计说明书的内容包括题目简介、设计任务书与已知条件、机构结构分析、机构运动分析、机构动力分析和机构的运动综合。

第三节 机械原理课程设计的方法

机械原理课程设计的方法大致可分为图解法和解析法两种,图解法是运用基本理论中的某些几何关系式或已知条件,通过几何作图求其结果,其显著优点是几何概念清晰、直观,可用来检验解析计算的正确性;解析法是通过建立数学模型来求解未知参数,一般涉及计算关系式的建立、编制框图和计算机程序,其特点是计

算精度高,可以迅速获得计算结果,避免大量人工重复劳动;随着计算机相关技术的快速发展,解析法已在机构选型、运动分析、动态静力分析和机构运动综合、绘制运动线图等方面获得广泛的应用。本书侧重于运用解析法来解决各类工程实际问题,以提高学生综合运用所学知识、借助计算机进行分析计算的能力。

第四节 机械原理课程设计说明书的总体要求

机械原理课程设计说明书是对整个设计计算的归纳和总结,编写设计说明书是工程技术人员必须掌握的基本技能,机械原理课程设计说明书具体内容如下:

1. 目录
2. 设计题目(包括设计已知条件、具体要求)
3. 机构运动简图或设计方案的拟定和比较
4. 机构的结构分析
5. 机构的运动学分析
6. 机构的动态静力分析
7. 机构分析数学模型与计算机编程
8. 计算结果分析与比较
9. 参考文献

第二章 解析法

第一节 平面连杆机构的运动分析

一、机构运动分析的目的和方法

机构运动分析就是根据原动件已知运动规律, 求出机构其他构件上某些点的位移、轨迹、速度和加速度, 以及这些构件的角位移、角速度和角加速度。无论是分析研究现有机械的工作性能, 还是优化综合分析新机械, 机构运动分析都是十分重要的。

通过对机构的位移和轨迹的分析, 可以确定相应构件在运动时所需的结构空间, 判断当机构运动时各构件之间是否会互相干涉; 考察机构中某一点能否实现预定的位置或轨迹要求; 在此基础上确定机构的外轮廓尺寸。

通过对机构速度和加速度分析可以了解机构从动件速度、加速度变化规律能否满足工作要求。例如在设计牛头刨床的导杆机构时, 为了保证加工质量和延长刀具寿命, 要求刨刀在切削过程中接近于等速运动; 而刨刀空回行程的速度则应高于工作行程时的平均速度, 具有急回特征, 以提高加工生产率。设计出的牛头刨床导杆机构能否满足这种要求, 这就要对牛头刨床导杆机构进行速度和加速度分析。

通过对机构进行加速度分析, 可以确定各构件及构件上某些点的加速度, 了解机构加速度的变化规律, 这是计算构件惯性力和研究机械动力性能的必要前提。在高速机械和重型机械中, 其构件的惯性力往往很大, 对机械的强度和动力特性有较大的影响, 为此必须进行加速度分析以确定惯性力。

机构运动分析的方法主要有图解法和解析法, 本书介绍用解析法进行机构运动分析的原理和步骤, 采用便于推理和上机计算的矩阵解析法。

二、机构运动分析解析法的步骤

机构运动分析解析法的基本步骤如下:

(1) 建立数学模型 .

首先应选定直角坐标系,为了解题方便,建议将原点取在某一固定铰链上,一个坐标轴与机架重合;其次选取各杆的矢量方向及转角,以 x 轴正向为基准,逆时针为正,绘出机构的封闭矢量多边形;然后写出机构的封闭矢量方程式,向坐标轴投影写出机构独立运动方程,进行位置分析.在此基础上,运用矩阵方法进行速度和加速度分析 .

(2) 根据数学模型进行相关推导并设计、编制和调试程序 .

(3) 上机计算并输出计算结果 .

(4) 分析和验证计算结果,归纳出基本结论 .

三、平面四杆机构的运动分析

图 2 - 1 示出了平面铰链四杆机构,设已知该机构的尺寸及主动件角位移 ϕ_1 、角速度 $\dot{\phi}_1$ 及角加速度 $\ddot{\phi}_1$, 现对机构进行位移、速度和加速度分析 .

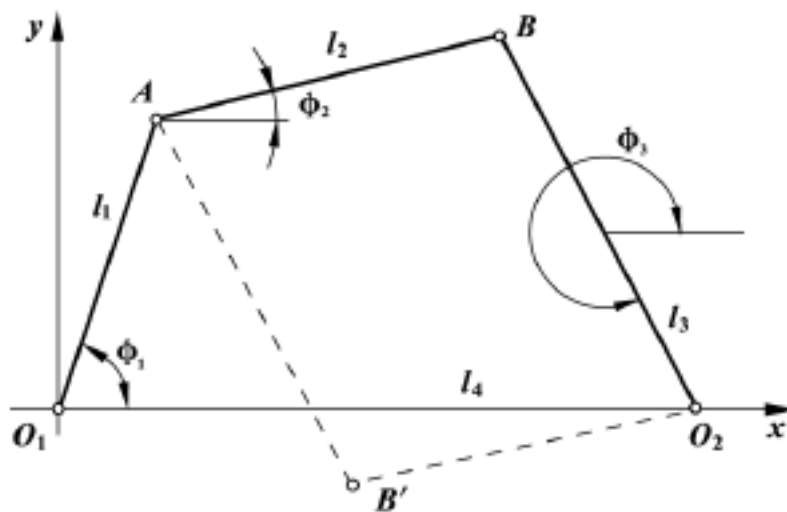


图 2 - 1 平面四杆机构运动分析

1. 位移分析

在图 2 - 1 中,根据四边形 O_1ABO_2 可得

$$\left. \begin{aligned} l_1 \cos \phi_1 + l_2 \cos \phi_2 + l_3 \cos \phi_3 + l_4 \cos 0 &= 0 \\ l_1 \sin \phi_1 + l_2 \sin \phi_2 + l_3 \sin \phi_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2 - 1)$$

式(2 - 1) 消去 ϕ_2 可得

$$E \cos \phi_3 + F \sin \phi_3 + G = 0 \quad (2 - 2)$$

式(2 - 2) 中,

$$E = l_4 + l_1 \cos \phi_1$$

$$F = l_1 \sin \alpha_1$$

$$G = \frac{E^2 + F^2 + l_2^2 - l_3^2}{2l_3}$$

由于

$$\cos \alpha_3 = \frac{1 - \tan^2(\frac{\alpha_3}{2})}{1 + \tan^2(\frac{\alpha_3}{2})}$$

$$\sin \alpha_3 = \frac{2\tan(\frac{\alpha_3}{2})}{1 + \tan^2(\frac{\alpha_3}{2})}$$

代入式(2-2)得

$$\alpha_3 = 2\arctan \frac{F \hat{e} \sqrt{F^2 - G^2 + E^2}}{E - G} \quad (2-3)$$

式中根号前“-”号适用于图2-1中实线所示位置，“+”号适用于虚线所示位置。根据式(2-1)确定

$$\alpha_2 = \arctan \frac{F + l_3 \sin \alpha_3}{E + l_3 \cos \alpha_3} \quad (2-4)$$

2. 速度分析

式(2-1)对时间 t 求一次导数可得

$$\left. \begin{aligned} -l_1 \sin \alpha_1 \dot{\alpha}_1 - l_2 \sin \alpha_2 \dot{\alpha}_2 - l_3 \sin \alpha_3 \dot{\alpha}_3 &= 0 \\ l_1 \cos \alpha_1 \dot{\alpha}_1 + l_2 \cos \alpha_2 \dot{\alpha}_2 + l_3 \cos \alpha_3 \dot{\alpha}_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-5)$$

按矩阵形式整理得

$$\begin{bmatrix} -l_2 \sin \alpha_2 & -l_3 \sin \alpha_3 \\ l_2 \cos \alpha_2 & l_3 \cos \alpha_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\alpha}_2 \\ \dot{\alpha}_3 \end{bmatrix} = -\dot{\alpha}_1 \begin{bmatrix} l_1 \sin \alpha_1 \\ -l_1 \cos \alpha_1 \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

式(2-6)为该机构的速度分析关系式。

3. 加速度分析

式(2-6)对时间 t 求一次导数可得

$$\begin{bmatrix} -l_2 \sin \alpha_2 & -l_3 \sin \alpha_3 \\ l_2 \cos \alpha_2 & l_3 \cos \alpha_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\alpha}_2 \\ \ddot{\alpha}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -l_2 \cos \alpha_2 \dot{\alpha}_2 & -l_3 \cos \alpha_3 \dot{\alpha}_3 \\ -l_2 \sin \alpha_2 \dot{\alpha}_2 & -l_3 \sin \alpha_3 \dot{\alpha}_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\alpha}_2 \\ \dot{\alpha}_3 \end{bmatrix}$$

由式(2 - 12) 得

$$= A^{-1} [- f] \quad (2 - 15)$$

在运算时第一次估算 值

$$^{(1)} = \{ \quad_1, \quad_2, \quad_3, \dots, \quad_N \}^{(1)}$$

根据 $^{(1)}$ 求雅可比矩阵

$$A^{(1)} = \left(\frac{-f_i}{\quad_k} \right) = ^{(1)}$$

用式(2 - 13) 算出

$$f^{(1)} = \{ f_1, f_2, \dots, f_N \}^{(1)}$$

再由式(2 - 9) 算出校正矢量

$$= \{ \quad_1, \quad_2, \dots, \quad_N \}$$

第二次再估算 , 用 $^{(2)}$ 表示

$$^{(2)} = ^{(1)} + \quad = \{ \quad_i^{(1)} + \quad_i \} \quad (2 - 16)$$

得出结果后再代入式(2 - 12) 求出 f_i , 并与规定 f_{tol} 比较, 即验算

$$| f_i | \leq f_{tol} \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

如果上式能满足就得解, 如果不能满足, 再继续运算 .

机构位移参数确定后, 根据式(2 - 8) 对时间求导, 得

$$\sum_{k=1}^N \frac{f_i}{\quad_k} \dot{\quad}_k + \sum_{j=1}^F \frac{f_i}{q_j} \dot{q}_j = 0 \quad (2 - 17)$$

上式写成矩阵形式

$$A \dot{\quad} = Bq \quad (2 - 18)$$

雅可比矩阵

$$A = \left[\frac{-f_i}{\quad_k} \right] \quad (i = 1, 2, \dots, N; k = 1, 2, \dots, N)$$

$$\dot{\quad} = [\quad_1 \quad_2 \quad \dots \quad_N]^T$$

$$B = - \left[\frac{f_i}{q_j} \right] \quad (i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, F)$$

上式中 A 与 B 中的元素是相对位移, 或称之为影响系数, 是决定于机构位置的 . 在求机构速度、加速度时, 机构位置是已知的 . 如果机构不处于奇异位形, 矩阵 A 就是非奇异的, 上述公式可以求出 $\dot{\quad}$; 此时所有输入速度 q 是已知的 .

把式(2 - 17) 对时间求导可得加速度解

$$\sum_{k=1}^N \left[\frac{f_i}{k} \ddot{q}_k + \dot{q}_k \frac{d}{dt} \left(\frac{f_i}{k} \right) \right] = - \sum_{j=1}^F \left[\frac{f_i}{q_j} \ddot{q}_j + q_j \frac{d}{dt} \left(\frac{f_i}{q_j} \right) \right] \quad (2 - 19)$$

写成矩阵形式

$$\ddot{A} = \ddot{B}q + \dot{B}q - \ddot{A} \quad (2 - 20)$$

式中

$$\dot{A} = [A_{ik}] = \left[\frac{d}{dt} \frac{f_i}{k} \right]$$

$$\dot{B} = [B_{ij}] = \left[\frac{d}{dt} \frac{f_i}{q_j} \right]$$

式(2 - 20) 等号右边各项决定于输入加速度 \ddot{q}_j 、输入速度 q_j 以及各从动件速度 \dot{q}_j ，它们都是已知的。

四、例题详解

例 2 - 1 图 2 - 2 所示的铰链四杆机构中, 设输入角为 q , 求从动件角位移 ϕ_1 及 ϕ_2 。

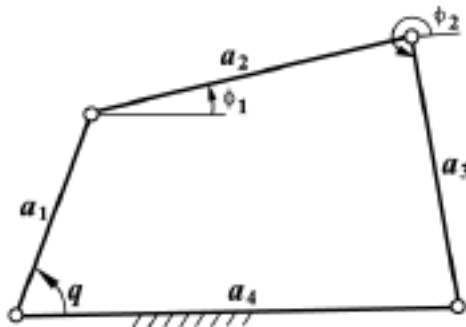


图 2 - 2 铰链四杆机构

解: 机构位移方程式

$$f_1 = a_1 \cos q + a_2 \cos \phi_1 + a_3 \cos \phi_2 - a_4 = 0$$

$$f_2 = a_1 \sin q + a_2 \sin \phi_1 + a_3 \sin \phi_2 = 0$$

上式求导后的雅可比矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial q} & \frac{\partial f_1}{\partial \phi_1} \\ \frac{\partial f_2}{\partial q} & \frac{\partial f_2}{\partial \phi_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_2 \sin \phi_1 & -a_3 \sin \phi_2 \\ a_2 \cos \phi_1 & a_3 \cos \phi_2 \end{bmatrix}$$

由式(2 - 12)

$$A \begin{bmatrix} \dot{q} \\ \dot{\phi}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_2 \sin \phi_1 & -a_3 \sin \phi_2 \\ a_2 \cos \phi_1 & a_3 \cos \phi_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dot{f}_1 \\ -\dot{f}_2 \end{bmatrix}$$

上式展开,如果用消元法直接求解,可得

$$\theta_1 = \frac{f_1 \cos \theta_2 + f_2 \sin \theta_2}{a_2 \sin(\theta_1 - \theta_2)}$$

$$\theta_2 = \frac{f_1 \cos \theta_1 + f_2 \sin \theta_1}{a_2 \sin(\theta_2 - \theta_1)}$$

令 $a_1 = 5, a_2 = 9, a_3 = 7, a_4 = 10$ 单位量,对于 $q = 60^\circ$ 时,求 θ_1, θ_2 的详细计算见表 2 - 1 .

表 2 - 1 四杆机构位移分析迭代计算

q rad	迭代次数	θ_1 / rad	θ_2 / rad	f_1	f_2	θ_1 / rad	θ_2 / rad
60° 1.0472	1	(19°) 0.331 6	(263°) 4.590 2	0.156 6	0.312 4	- 0.040 7	- 0.038 1
	2	0.290 9	4.552 1	0.004 8	0.001 3	- 0.000 2	- 0.000 8
	3	0.290 7 (16.65°)	4.551 3 (260.77°)	4E - 3	2E - 6	- 2E - 7	- 1E - 7

例 2 - 2 图 2 - 3 表示牛头刨床机构,由六杆双闭链组成,输入角为 θ_2 ,已知各杆尺度,求 $\theta_1, \theta_3, \theta_4$ 及 r_5 .

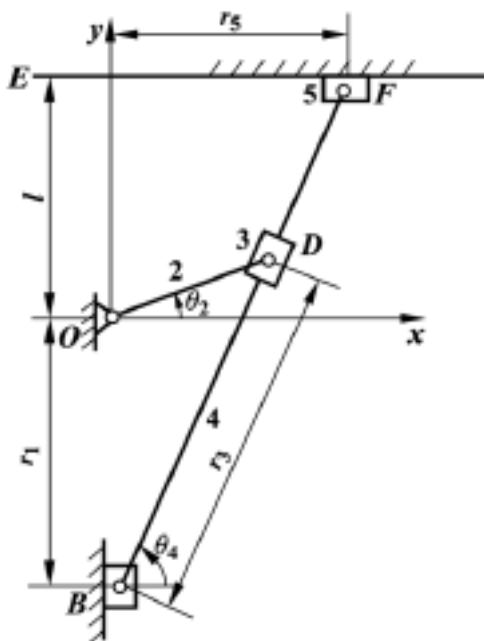


图 2 - 3 牛头刨床机构

解:机构有两个闭链 $BFEB$ 及 $BDOB$.

在 $BFEB$ 闭链中得

$$f_1 = a_4 \cos \theta_4 - r_5 = 0$$

$$f_2 = a_4 \sin \theta_4 - l - r_1 = 0$$

在 $BDOB$ 闭链中有

$$f_3 = r_3 \cos \alpha_4 - a_4 \cos \alpha_2 = 0$$

$$f_4 = r_3 \sin \alpha_4 - a_4 \sin \alpha_2 - r_1 = 0$$

求导后可得雅可比矩阵,代入式(2 - 15)

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_3 \\ \alpha_4 \\ r_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -a_4 \sin \alpha_4 & -1 \\ -1 & 0 & a_4 \cos \alpha_4 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_4 & -r_3 \sin \alpha_4 & 0 \\ -1 & \sin \alpha_4 & r_3 \cos \alpha_4 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -f_1 \\ -f_2 \\ -f_3 \\ -f_4 \end{bmatrix}$$

在图 2 - 3 中,令 $\alpha_2 = 30^\circ, l = 16, a_4 = 33, a_2 = 10$ 单位量,求 r_1, r_3, α_4, r_5 的计算过程见表 2 - 2 .

表 2 - 2 牛头刨床位移分析迭代计算

2	30°		
	1	2	3
迭代次数			
r_1	14.000 000	14.039 340	14.038 230
r_3	21.000 000	20.915 490	20.915 410
α_4 (°)	65	65.538 770	65.539 680
r_5	13.000 000	13.665 090	13.664 000
f_1	0.946 324	-0.000 612	-0.000 003
f_2	-0.091 807	-0.001 323	0.000 001
f_3	0.214 686	-0.000 332	-0.000 002
f_4	0.324 76	-0.001 174	0.000 001
r_1	0.039 336	-0.001 107	-0.000 001
r_3	-0.084 513	-0.000 077	-0.000 001
α_4 (°)	0.538 772	0.000 904	-0.000 000
r_5	0.665 087	-0.001 086	0.000 000

例 2 - 3 图 2 - 4 所示急回机构包含两个独立闭链 ABCA 和 CDEC,其中 α_1 为输入运动的参数,有四个待定参数 $r_2, \alpha_3, \alpha_4, r_5$.

解:在 ABCA 闭链中,机构位移方程为

$$a_1 \cos \alpha_1 + r_2 \cos \alpha_3 = 0$$

$$a_1 \sin \alpha_1 + r_2 \sin \alpha_3 + f = 0$$

由上述两方程式可解出 r_2 及 α_3 .

在闭链 CDEC 中,机构位移方程为

$$a_3 \sin \alpha_3 + a_4 \sin \alpha_4 = 0$$

$$a_3 \cos \alpha_3 + a_4 \cos \alpha_4 + r_5 = 0$$

由此可解出 r_5 及 α_4 .

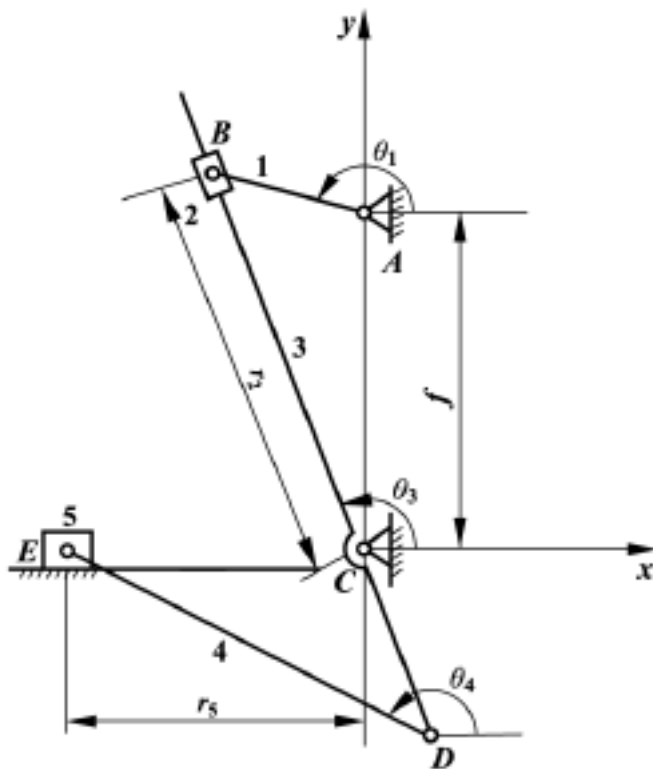


图 2 - 4 急回机构

求解速度时,在 $ABCA$ 闭链中,

$$\begin{aligned} a_1 \dot{\sin \theta_1} &= r_2 \dot{\cos \theta_3} - r_3 \dot{\sin \theta_3} \\ -a_1 \dot{\cos \theta_1} &= r_2 \dot{\sin \theta_3} + r_3 \dot{\cos \theta_3} \end{aligned}$$

由上式可得

$$\begin{aligned} r_2 &= a_1 \dot{\sin(\theta_1 - \theta_3)} \\ \dot{\theta_3} &= -\left(\frac{a_1}{r_2}\right) \dot{\cos(\theta_1 - \theta_3)} \end{aligned}$$

在闭链 $CDEC$ 中

$$\begin{aligned} a_4 \dot{\cos \theta_4} &= -a_3 \dot{\cos \theta_3} \\ r_5 &= a_3 \dot{\sin \theta_3} + a_4 \dot{\sin \theta_4} \end{aligned}$$

由此可解出 r_5 及 $\dot{\theta_4}$.

如果将四个速度参数同时排成矩阵求解,则发现矩阵的形式是可区分的,按 r_2 、 $\dot{\theta_3}$ 、 $\dot{\theta_4}$ 、 r_5 排成矩阵如下:

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -r_2 \sin \theta_3 & 0 & 0 \\ \sin \theta_3 & r_2 \cos \theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & a_3 \cos \theta_3 & a_4 \cos \theta_4 & 0 \\ 0 & a_3 \sin \theta_3 & a_4 \sin \theta_4 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_2 \\ \dot{\theta_3} \\ \dot{\theta_4} \\ r_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \dot{\sin \theta_1} \\ -a_1 \dot{\cos \theta_1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot 1$$