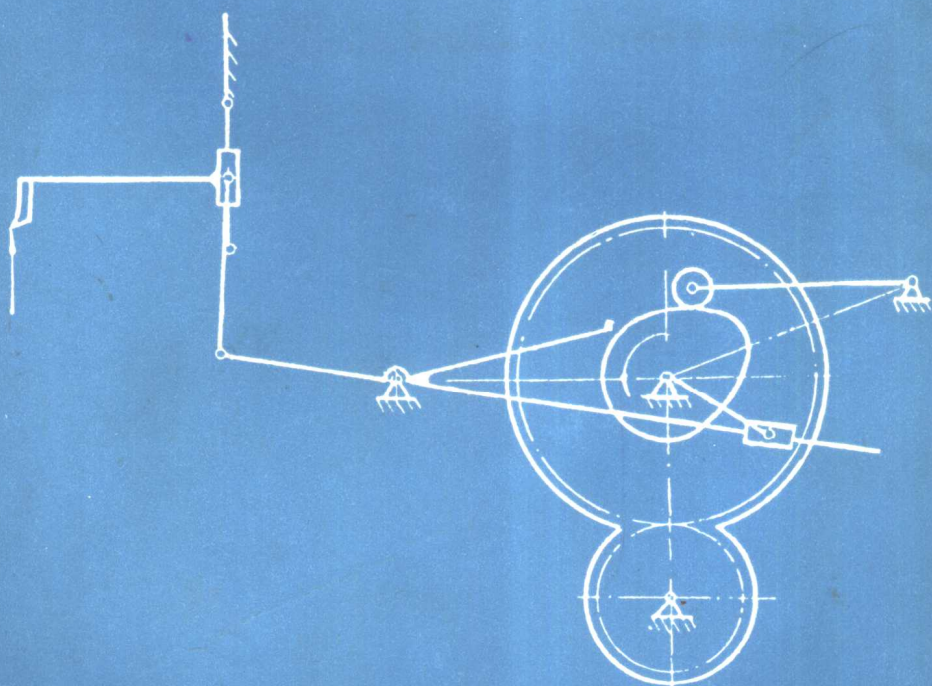


高等学校教材

罗洪田 主编

机械原理课程设计指导书



高等教育出版社

E111

7

机械原理课程设计指导书

罗洪田 主编

TH11

17

高等学校教材

机械原理课程设计指导书

罗洪田 主编

高等教育出版社

本书是在“机械原理课程作业指导书”(1964年,人民教育出版社)的基础上重新编写的。在编排方式上作了较大变动,重点是增加了用解析法进行课程设计的内容,除对所采用的分析和设计方法作概要介绍外,还附有用 Fortran 语言编写的子程序,为上机计算提供了方便,有较大的实用意义。书中还附有三个设计实例供参考,并提供了14个课程设计题目供选用。

本书可作为高等工业学校机械类专业的教材,也可供非机械类专业师生及有关工程技术人员参考。

高等学校教材
机械原理课程设计指导书

罗洪田 主编

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷一厂印装

开本787×1092 1/16 印张 6 插页 2 字数130,000

1986年10月第1版 1986年10月第1次印刷

印数 00,001—20,400册

书号15010-0764 定价 1.15 元

第 二 版 序

“机械原理课程设计指导书”是受原高等学校工科机械基础教材编审委员会机械原理课程教材编审小组的委托在“机械原理课程作业指导书”(1964年人教版)的基础上重新编写的。本书第一版在编写时,曾考虑按设计题目分别出单行本,所以各题自成一套。这次改编,已将重复部分内容删去,重新编排。图例适当保留,供学生设计时参考。

电子计算机在机械原理课程中的应用已日趋广泛。尽管目前的教材在这方面内容介绍不多;但在教学中有逐步加强趋势,因此本书对用解析法进行机械原理课程设计仍作适当的介绍,其中包括平面机构的运动分析、平面机构的动态静力分析、平面连杆机构设计和凸轮机构设计等。在第三章中,除了对所采用的分析和设计方法作概要介绍外(一般教材中已详述的内容从简),在附录中还附有相应的以 Fortran 语言编写的子程序供调用。并有 3 个示例供设计参考。全部程序在 POP-11、MBE-16007 计算机上调试通过,并经实例考核。

本书由西安交通大学机械原理及机械零件教研室蒋希成、凌文倩、金孚文、罗洪田同志编写,并由罗洪田同志主编。由于水平所限和编写时间匆促,遗误之处,恳切希望广大读者不吝指正。

本书承清华大学张济川同志审阅,对本书提出了许多宝贵意见,谨此誌谢。

编 者

1985年12月

第一版序

本套课程作业指导书系以大连工学院、上海机械学院、内蒙古工学院、北京农业机械化学院、华中工学院、西北农学院、江西工学院、西安交通大学、吉林工业大学、成都工学院、陕西工业大学、重庆大学、南京工学院、唐山铁道学院、浙江大学、清华大学、贵州工学院、鸡西矿业学院和解放军总342部队的来稿为基础，按照1962年5月审订的机械原理教学大纲(试行草案)中对于课程作业的要求而进行选编的。选编的目的是为了配合目前的试用教科书，使课程作业能有相应的辅助教材。从来稿情况看，各校作业的内容、份量和要求都有很大出入，作业指导书的编写式样亦颇不一致，此次选编，主要是以来稿为基础根据机械原理课程教材编审小组所制定的“编选细则”(草案)的精神和作业题目结合机械类各专业所常见的机器类型来进行的。这次先选编出13份课程作业指导书，其中有的包含大纲所规定的全部五个作业内容，也有的只包含大纲所规定的四个、三个或一个内容，各校可根据自己的具体情况选用。为了增加指导书的通用性，所选内容除了符合大纲的要求外在份量和解题的方法上也有一定的灵活性。在作业内容的安排方面，既适用于作业与理论教学平行进行的院校，亦可适用于作业在理论教学结束后进行的院校。每份作业指导书后所附的示范图是为了帮助学生了解图纸上的要求和图面布置等参考用的。

选编工作于1964年4月在西安交通大学集中进行。参加选编工作的有大连工学院马书山(作业一、九)，南京工学院邱宁生(作业二、三、十)，浙江大学贺贤贵(作业四、七、八)，西安交通大学罗洪田(作业五)、夏兆熊(作业六)，贵州工学院易兴华(作业十一、十二、十三)等六位同志，并由罗洪田同志负责主选编。高等工业学校机械课程教材编审委员会机械原理课程教材编审小组来虔委员担任审阅。

由于选编通用性的课程作业指导书尚属初次，且对于在机械原理课程作业中如何贯彻“少而精”原则的认识也很不够，因此所选编的课程作业指导书内容的选择是否恰当，通用性是否合适等都存在着一定的问题，深望各兄弟院校教师及有关同志多多提供宝贵意见，以便今后改进。

选编者
1964年

目 录

第一章 概述	1
§ 1-1 机械原理课程设计的目的	1
§ 1-2 机械原理课程设计的任务	1
§ 1-3 机械原理课程设计的方法	1
第二章 用图解法进行机械原理课程设计	2
§ 2-1 插床机构简介与设计数据	2
§ 2-2 课程设计的内容与步骤	2
§ 2-3 注意事项	7
第三章 用解析法进行机械原理课程设计	8
§ 3-1 矢量运算的基本知识	8
§ 3-2 刚体和 II 级组的运动分析及子程序	10
§ 3-3 用矢量矩阵法对机构进行动态静力分析	17
§ 3-4 用解析法设计铰链四杆机构	24
§ 3-5 用解析法设计盘形凸轮轮廓线	27
§ 3-6 设计示例	30
第四章 课程设计题目	45
§ 4-1 牛头刨床	45
§ 4-2 压 床	47
§ 4-3 螺丝搓床	50
§ 4-4 单缸四冲程柴油机	53
§ 4-5 活塞式压缩机	56
§ 4-6 摇摆式输送机	58
§ 4-7 凸轮式颚式破碎机	61
§ 4-8 铰链式颚式破碎机	63
§ 4-9 搅拌机	65
§ 4-10 变位齿轮机构	67
§ 4-11 摆动从动件凸轮机构	68
§ 4-12 移动从动件凸轮机构	69
§ 4-13 拖拉机转向机构	70
附录	72
I. 标识符说明	72
表 1. 运动分析、力分析、连杆机构设计标识符对照表	72
表 2. 凸轮轮廓线设计标识符对照表	73

II. 子程序汇编	74
1. 刚体运动分析(POS1, VEL, ACC)	74
2. 曲柄运动分析(CRANK)	74
3. 两连杆 II 级组运动分析(PDYAD, VDYAD, ADYAD)	75
4. 摆动滑块 II 级组运动分析(POSC, VOSC, AQSC)	77
5. 转动导杆 II 级组运动分析(PGUIDE, VGUIDE, AGUIDE)	78
6. 移动导杆 II 级组运动分析(TST)	80
7. 两连杆 II 级组力分析(FDYAD)	80
8. 摆动滑块 II 级组力分析(FOSC)	82
9. 转动导杆 II 级组力分析(FGUIDE)	83
10. 移动导杆 II 级组力分析(FTST)	85
11. 曲柄力分析(FCRANK)	86
12. 解线性方程组(COG)	87
13. 按两连架杆三对位置设计铰链四杆机构(FOB).....	88
14. 滚子移动从动件盘形凸轮廓线设计(TRC)	88
15. 滚子摆动从动件盘形凸轮廓线设计(ORC)	89
参考书目	90
图例 1 插床导杆机构的运动分析与动态静力分析	
图例 2 插床飞轮转动惯量的确定	
图例 3 齿轮传动啮合图	
图例 4 移动从动件凸轮机构的设计	
图例 5 摆动从动件凸轮机构的设计	

第一章 概 述

§ 1-1 机械原理课程设计的目的

机械原理课程设计是高等工业学校机械类专业学生第一次较全面的机械运动学和动力学分析与设计的训练,是本课程的一个重要教学环节。其目的在于进一步加深学生所学的理论知识,培养学生独立解决有关本课程实际问题的能力,使学生对于机械运动学和动力学的分析与设计有一较完整的概念,具备计算、制图和使用技术资料的能力。在此基础上,初步掌握电算程序的编制,并能使用电子计算机来解决工程技术问题。

§ 1-2 机械原理课程设计的任务

机械原理课程设计的任务是对机器(见第四章)的主体机构进行运动分析、动态静力分析,并根据给定机器的工作要求,在此基础上设计飞轮;或对各机构进行运动设计。要求学生根据设计任务,绘制必要的图纸(参见图例),编制计算程序和编写说明书等。

§ 1-3 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。图解法几何概念较清晰、直观;解析法精度较高。考虑到目前各校对两种方法都有讲授,为了便于选用,本指导书对两种方法都给予介绍。

第二章 用图解法进行机械原理课程设计

由于目前所有的机械原理教材已对图解法原理作了系统讲授,因此,本书不再作详细论述,设计前必须认真复习有关知识。

这里,我们以插床为例介绍机械原理课程设计的图解法,着重于介绍课程设计的具体内容与设计步骤。

其他设计题目可参照本例进行设计。

§ 2-1 插床机构简介与设计数据

插床主要由齿轮机构、导杆机构和凸轮机构等组成,如图 2-1, a 所示。电动机经过减速装置(图中只画出齿轮 z_1, z_2)使曲柄 1 转动,再通过导杆机构 1-2-3-4-5-6,使装有刀具的滑块沿导路 $y-y$ 作往复运动,以实现刀具切削运动。为了缩短空程时间,提高生产率,要求刀具具有急回运动。刀具与工作台之间的进给运动,是由固结于轴 O_2 上的凸轮驱动摆动从动杆 O_4D 和其他有关机构(图中未画出)来完成的。

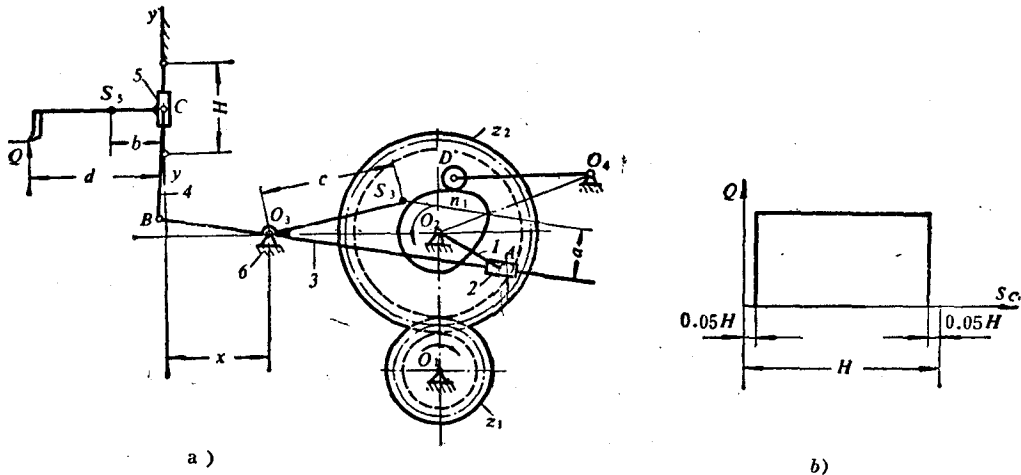


图 2-1 插床机构简图及阻力曲线图

表 2-1 设计数据表

设计内容	导杆机构的设计及运动分析							凸轮机构的设计					齿轮机构的设计				导杆机构的动态静力分析及飞轮转动惯量的确定									
	符号	n_1	K	H	$\frac{l_{BC}}{l_{O_3B}}$	$l_{O_2O_3}$	a	b	c	ψ_{max}	$[\alpha]$	l_{O_4B}	Φ	Φ_0	Φ'	从动杆 加速度 规律	z_1	z_2	m	α	G_3	G_5	J_{S_3}	d	Q'	δ
单位	r/min		mm		mm				°	mm	°								mm	°	N		kgm ²	mm	N	
数据	60	2	100	1	150	50	50	125	15	40	125	60	10	60	等加速 减速	13	40	8	20	160	320	0.14	120	1000	1/25	

§ 2-2 课程设计与步骤

1. 导杆机构的设计及运动分析

已知 行程速度变化系数(行程速比系数) K , 滑块 5 的冲程 H , 中心距 $l_{O_2O_3}$, 比值 $\frac{l_{BC}}{l_{O_2B}}$, 各构件重心 S 的位置, 曲柄每分钟转数 n_1 。

要求 设计导杆机构, 作机构两个位置的速度多边形和加速度多边形, 作滑块的运动线图, 以上内容与后面动态静力分析一起画在 1 号图纸上(参考图例 1)。整理说明书。

步骤

1) 设计导杆机构。按已知条件确定导杆机构的各未知参数。其中滑块 5 的导路 $y-y$ 的位置可根据连杆 4 传力给滑块 5 的最有利条件来确定, 即 $y-y$ 应位于 B 点所画圆弧高的平分线上(见图例 1)。

2) 作机构运动简图。选取长度比例尺 μ_l (m/mm), 按表 2-2 所分配的两个曲柄位置作出机构运动简图, 其中一个位置用粗线画出。曲柄位置的作法如图 2-2: 取滑块 5 在上极限时所对应的曲柄位置为起始位置 1, 按转向将曲柄圆周十二等分, 得 12 个曲柄位置, 显然位置 9 对应于滑块 5 处于下极限时的位置。再作出开始切削和终止切削所对应的 $1'$ 和 $8'$ 两位置。共计有 14 个机构位置, 可以 7 个学生为一组。

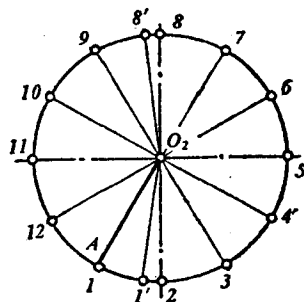


图 2-2 曲柄位置图

表 2-2 机构位置分配表

学生编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
位置编号	1	1'	2	3	4	5	6	7	8	8'	9	10	11	12
	2	3	4	5	6	7	8	8'	9	10	11	12	1	1'

3) 作速度、加速度多边形。选取速度比例尺 μ_v ($\frac{m/s}{mm}$) 和加速度比例尺 μ_a ($\frac{m/s^2}{mm}$), 用相对运动图解法作该两个位置的速度多边形和加速度多边形, 并将其结果列入表 2-3。

4) 作滑块的运动线图。根据机构的各个位置, 找出滑块 5 上 C 点的各对应位置, 以位置 1 为起始点, 量取滑块的相应位移, 取位移比例尺 μ_s ($\frac{m}{mm}$), 作 $s_c(t)$ 线图。为了能直接从机构运动简图上量取滑块位移, 建议取 $\mu_s = \mu_l$ 。然后根据 $s_c(t)$ 线图用图解微分法(弦线法)作出滑块的速度 $v_c(t)$ 线图, 并将其结果与相对运动图解法的结果比较。

5) 绘制滑块的加速度线图。列表汇集同组同学用相对运动图解法求得各个位置的加速度 a_c , 绘制加速度 $a_c(t)$ 线图。

表 2-3

项 目 位 置	ω_1	v_{A_2}	$v_{A_3A_2}$	v_{A_3}	v_{CB}	v_C	v_{S_3}	ω		a_{A_2}	$a_{A_3A_2}^x$	$a_{A_3}^y$	$a_{A_3}^x$	$a_{C_1}^y$	a_C	a_{S_3}	e	
								大小	方向								大小	方向
单 位	1/s	m/s						1/s		m/s ²						1/s ²		

6) 由 $s_c(t)$ 和 $v_c(t)$ 两线图作 $v_c(s)$ 线图^①。

7) 整理计算说明书。内容包括：已知条件与要求；导杆机构设计简述；以一个机构位置为例，说明用相对运动图解法求机构的速度和加速度的方法，另一位置只须列出结果；图解微分法比例尺的选取和计算等。

2. 导杆机构的动态静力分析

已知 各构件的重量 G 及其对重心轴的转动惯量 J_s 。(数据表中未列出的构件重量和转动惯量可略去不计)、阻力线图(图 2-1, b)及已在导杆机构设计和运动分析中得出的机构尺寸、速度和加速度。

要求 确定 1~2 个机构位置的各运动副反力及应加于曲柄上的平衡力矩。用茹可夫斯基杠杆法求平衡力矩^②，并与上述方法所得的结果相比较。作图部分画在运动分析的图纸上(参考图例 1)。整理说明书。

步骤

1) 选取阻力比例尺 $\mu_Q \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right)$ ，根据给定的阻力 Q 和滑块冲程 H 绘制阻力线图。

2) 根据各构件重心的加速度及角加速度，确定各构件的惯性力 P_i 和惯性力偶矩 M_i ，并将其合成为一力，求出该力至重心的距离 l_k 。将结果列入表 2-4。

3) 按杆组分解为示力体，用力多边形法决定各运动副中的反作用力^③ 和加于曲柄上的平衡力矩。在列杆组示力体的力平衡方程式时，最好先写完一个构件上的所有已知力，然后再写另一构件上的所有已知力。同一运动副中反作用力的两分力 N^* 和 N' 应列在一起。对于开始切削和终止切削的两个特殊位置，其阻力值各有两个(其中一个为零)，应分别进行计算。

将所求位置的机构阻力、各运动副中的反作用力(对于力 N_{65} 还须求出其作用线至 C 点的距离 e) 和平衡力矩 M_y 的结果列入表 2-5。

① 加选内容

② 加选内容

③ 求运动副 O_2 的反作用力 N_{61} 时，应取曲柄 1 为示力体，由 $\Sigma P = N_{61} + N_{21} + G + N_{2,2} = 0$ 求出。式中 G 为飞轮、齿轮 Z_2 与曲柄重量之和， $N_{2,2}$ 为齿轮 Z_1 对 Z_2 的作用力。 G 的大小和 $N_{2,2}$ 的大小与方向均应待飞轮设计和齿轮机构设计都完成后，才能确定。

表 2-4

项 目 位 置	P_{13}	P_{15}	M_{13}			l_{13}
			大	小	方 向	
单 位	N		N·m			m

表 2-5

项 目 位 置	Q	$N_{34} = N_{54}$	$N_{65} = N_{56}$	e	$N_{32} = N_{12}$	$N_{63} = N_{36}$	M_y		
							大	小	方 向
单 位	N			m	N		N·m		

4) 用茹可夫斯基杠杆法求平衡力矩 M_y , 并与上述方法所得结果相比较。

5) 整理说明书, 内容应包括: 写明已知条件与要求, 选取比例尺, 列出力平衡方程式及进行必要的运算。

3. 飞轮设计

已知 机器运转的速度不均匀系数 δ , 平衡力矩 M_y (由 2. 求得), 飞轮安装在曲柄轴上, 驱动力矩 M_a 为常数。

要求 用惯性力法^①求飞轮转动惯量 J_F 。以上内容作在 2 号图纸上(参考图例 2)。整理说明书。

步骤

1) 列表汇集同组同学在动态静力分析中求得的各机构位置的平衡力矩 M_y ($-M_y$ 即为动态等功阻力矩 M_c^*), 以力矩比例尺 $\mu_M \left(\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{mm}} \right)$ 和角度比例尺 $\mu_\varphi \left(\frac{1}{\text{mm}} \right)$ 绘制一个运动循环的动态等功阻力矩 $M_c^* = M_c^*(\varphi)$ 线图。对 $M_c^*(\varphi)$ 用图解积分法求出在一个运动循环中的阻力功 $A_c^* = A_c^*(\varphi)$ 线图。

2) 绘制驱动力矩 M_a 所作的驱动功 $A_a = A_a(\varphi)$ 线图。因 M_a 为常数, 且一个运动循环中驱动功等于阻力功, 故将一个循环中的 $A_c^* = A_c^*(\varphi)$ 线图的始末两点以直线相联, 即为 $A_a = A_a(\varphi)$ 线图。

3) 求最大动态剩余功 $[A']$ 。将 $A_a = A_a(\varphi)$ 与 $A_c^* = A_c^*(\varphi)$ 两线图相减, 即得一个运动循环中的动态剩余功线图 $A' = A'(\varphi)$ 。该线图的纵坐标最高点与最低点的距离, 即表示最大动态剩余功 $[A']$ 。

① 详见参考资料[2]233页。

4) 确定飞轮的转动惯量 J_F 。由所得的 $[A']$, 按下式确定飞轮的转动惯量

$$J_F = \frac{900 [A']}{\pi n_1^2 \delta}$$

5) 整理说明书, 内容应包括: 已知条件与要求, 各线图比例尺的选取及飞轮转动惯量的计算等。

4. 凸轮机构设计

已知 从动件的最大摆角 ψ_{\max} , 许用压力角 $[\alpha]$, 从动件长度 l_{O_1D} , 从动件运动规律为等加速、等减速运动, 凸轮与曲柄共轴。

要求 按许用压力角 $[\alpha]$ 确定凸轮机构的基本尺寸, 求出理论廓线外凸曲线的最小曲率半径 ρ_{\min} , 选取滚子半径 r_g , 绘制凸轮实际廓线。以上内容作在 2 号图纸上(参考图例 5)。整理说明书。

步骤

1) 根据从动件运动规律, 按公式分别计算推程和回程的 $\left(\frac{d\psi}{d\varphi}\right)_{\max}$, 然后用几何作图法直接绘出 $\frac{d\psi}{d\varphi}(\varphi)$ 及 $\psi(\varphi)$ 线图。

2) 求基圆半径 r_0 及凸轮迴转中心 O_2 至从动件摆动中心 O_1 的距离 $l_{O_2O_1}$ 。按 $\psi(\varphi)$ 线图划分 ψ_{\max} 角时, 可将其所对的弧近似看成直线, 然后根据三角形相似原理, 用图解法按预定比例分割 ψ_{\max} 角所对应的弧, 自从动件摆动中心 O_1 作辐射线与各分割点相连, 则 ψ_{\max} 角便按预定比例分割(参见图例 5)。

作图时, 如取 $\mu_l = l_{O_1D} \cdot \mu_{\frac{d\psi}{d\varphi}}$, 则可直接根据 $\frac{d\psi}{d\varphi}(\varphi)$ 线图上各纵坐标值, 在 O_1 点的相应辐射线上由 D 点分别向左或向右截取各线段, 线段所代表的实际长度就等于 $l_{O_1D} \cdot \frac{d\psi}{d\varphi}$ 。截取方向可根据 D 点速度方向顺着凸轮转向转过 90° 后所指的方向来确定。然后按许用压力角 $[\alpha]$ 作出凸轮轴心的安全区, 求出凸轮的基圆半径 r_0 和中心距 $l_{O_2O_1}$ 。

3) 根据凸轮转向、摆杆长 l_{O_1D} 、角位移线图 $\psi = \psi(\varphi)$ 和以上求得的 r_0 、 $l_{O_2O_1}$, 画出凸轮理论廓线, 并找出其外凸曲线的最小曲率半径 ρ_{\min} ①。然后, 再选取滚子半径 r_g , 画出凸轮的实际廓线。

4) 整理说明书, 内容应包括: 已知条件与要求, 运动线图各比例尺的选取及滚子半径的确定等。

5. 齿轮机构设计

已知 齿数 z_1 、 z_2 , 模数 m , 分度圆压力角 α , 齿轮为正常齿制, 工作情况为开式传动, 齿轮与曲柄共轴。

要求 选择移距系数, 计算该对齿轮传动的各部分尺寸, 以 2 号图纸绘制齿轮传动的啮合图(参考图例 3)。整理说明书。

① 方法见参考资料[3]150页及图例 5。

步骤

1) 选择移距系数 x_1 和 x_2 。根据齿轮不根切和两轮的最大滑动系数尽可能小且接近相等的条件, 查阅有关移距系数表①, 选出 x_1 、 x_2 。

2) 计算该对齿轮传动的各部分尺寸, 建议列表计算。

3) 绘制齿轮传动啮合图。比例尺的选取应能使图上齿高达到 30~50 mm。绘制齿廓时, 对于根圆小于基圆的齿轮, 其非渐开线部分齿廓用径向线画出, 径向线与齿根圆用半径为 $0.2m$ (模数) 的圆弧连接之。要求每个齿轮画出三个完整的轮齿, 其位置要使两轮轮齿在啮合线上有两对齿同时啮合。图上应标出理论啮合线、实际啮合线、齿廓工作段、啮合弧等, 并应标注尺寸和符号。

4) 整理说明书, 内容应包括: 已知条件与要求, 齿轮传动各部分尺寸的计算, 根据啮合图上量得的尺寸验算重迭系数和两轮齿顶厚。

§ 2-3 注 意 事 项

1. **准备物品:** 1号图纸(594×841)一张, 2号图纸(420×594)三张, 绘图仪器(包括曲线板)一套以及其他用品等。

2. **设计图纸:** 要求作图准确, 布置匀称, 线条、尺寸标注和图纸大小等均应符合制图标准。图纸标题栏格式见图 2-3。

3. **整理说明书:** 要求步骤清楚, 叙述简要明确, 文句通顺, 书写端正, 及时整理。

(设计名称)				机械原理 课程设计	
50 10 10 10	设计者		日期	图号 总图数	大学(学院) 系 专业 班
	审阅者		日期	方案号	
	成绩		日期	位置号	
	20	20	10	20	10
	130				

图 2-3 标题栏格式

① 见参考资料[6]

第三章 用解析法进行机械原理课程设计

在解决机构分析和设计问题时,通常采用概念明确而又较简单的图解法,而解析法由于计算烦复而不易为工程上采用。但是由于生产技术不断发展,图解法有时已无法满足生产上的要求;另一方面,近年来电子计算机迅速发展,特别是价廉的微型计算机的广泛采用,为用解析法解决机构分析和综合问题开辟了广阔的前景。目前,机械原理教材中对于运动分析和动态静力分析方面的内容,大多没有介绍便于采用电子计算机的解析法。为了通过课程设计培养学生利用电子计算机解决机械原理问题的能力,以适应四化建设的需要,我们在这里对机构运动分析和动态静力分析的解析法作一概要介绍。解析法可因采用的数学工具不同而有各种不同的方法,现主要介绍一种建立在矢量基础上的杆组法(见参考资料[7])。

任何机构都包含机架、主动件和从动系统三部分。而从动系统有时还可以分解为若干个杆组。只要我们解决了各类杆组的运动分析和动态静力分析问题,并建立起相应的子程序,即可十分方便地求解各种复杂机构的运动分析和动态静力分析问题。在平面连杆机构中经常碰到的是各类II级组。在本章中,我们将介绍解决本书第四章中各题目所需要的四种类型II级组的运动分析和动态静力分析的公式。为了减轻学生的负担和节省上机时间,已将这些公式用FORTRAN语言写成相应的子程序,并列于附录中,可供直接调用。学生只需按题目要求写出主程序,然后就可上机调试。对§3-2和§3-3中的内容,学生可只学与所做设计题目有关的部分,且重点可放在如何调用子程序上。为使学生掌握这些子程序的调用方法,我们以插床为例(§3-6例1)给出了它的运动分析和动态静力分析的主程序和计算结果。

在§3-4、§3-5中,我们分别对平面连杆机构设计(给定两连架杆对应角位移)和盘形凸轮廓线(滚子移动从动件和摆动从动件)设计的解析法作了简要介绍。并于附录中给出了相应的子程序。在§3-6中给出两个例子,供设计参考。

§ 3-1 矢量运算的基本知识

用杆组法进行机构运动分析和动态静力分析主要是利用矢量这一数学工具。为了便于理解杆组法,有必要对矢量的一些基本知识作一简单的介绍。

1. 矢量的表达式

设矢量 a 在坐标轴 x, y, z 上的投影分别为 a_x, a_y, a_z (图3-1),而坐标轴 x, y, z 的单位矢量分别为 i, j, k ,则矢量 a 可表达为:

$$a = a_x i + a_y j + a_z k \quad (3-1)$$

2. 矢量的基本运算

1) 两矢量的标积(点积)

$$a \cdot b = ab \cos \theta \quad (3-2)$$

$$i \cdot i = j \cdot j = k \cdot k = 1$$

$$i \cdot j = j \cdot k = k \cdot i = 0$$

$$a \cdot i = a \cos \theta = a_x$$

$$a \cdot b = (a_x i + a_y j + a_z k) \cdot (b_x i + b_y j + b_z k)$$

$$= a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z \quad (3-3)$$

2) 两矢量的矢积(叉积)

$$a \times b = (ab \sin \theta) c^\circ \quad (3-4)$$

c° 为垂直于 a, b 两矢量的单位矢量, 方向由右手定则确定(图3-2)。

$$i \times i = j \times j = k \times k = 0$$

$$i \times j = k, \quad j \times i = -k$$

$$j \times k = i, \quad k \times j = -i$$

$$k \times i = j, \quad i \times k = -j$$

$$a \times b = (a_x i + a_y j + a_z k) \times (b_x i + b_y j + b_z k)$$

$$= i(a_y b_z - b_y a_z) + j(a_z b_x - a_x b_z) + k(a_x b_y - a_y b_x) \quad (3-5)$$

$$= \begin{vmatrix} i & j & k \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix}$$

若 a, b 两矢量均在 xOy 平面内时, 则

$$a \times b = k(a_x b_y - a_y b_x)$$

此时, k 通常可省略。

3) 三个矢量的积

三个矢量的混积

$$a \cdot (b \times c) = b \cdot (c \times a) = c \cdot (a \times b) = -a \cdot (c \times b) \quad (3-6)$$

$$(a \times b) \cdot b = 0$$

三个矢量的三重矢积

$$a \times (b \times c) = (a \cdot c)b - (a \cdot b)c \quad (3-7)$$

$$(a \times b) \times c = (c \cdot a)b - (c \cdot b)a \quad (3-8)$$

3. 矢量的微分

若矢量 $r = r r^\circ$, 其中 r° 为 r 的单位矢量, 对时间 t 求导后得

$$\dot{r} = \dot{r} r^\circ + r \frac{d}{dt} r^\circ \quad (3-9)$$

式中 $\frac{dr^\circ}{dt}$ 表示矢量 r 的方向变化率。

$$\frac{dr^\circ}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r^\circ}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|r^\circ| \Delta \theta}{\Delta t} = \dot{\theta}$$

由于 $\frac{dr^\circ}{dt}$ 垂直于 r° , 则式(3-9)可用矢积的形式表示为

$$\dot{r} = \dot{r} r^\circ + r(\dot{\theta} \times r^\circ) = \dot{r} r^\circ + \dot{\theta} \times r \quad (3-10)$$

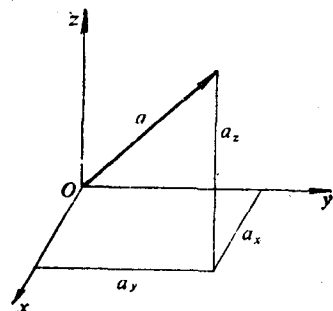


图 3-1

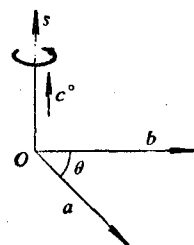


图 3-2

式(3-10)再对 t 求导可得

$$\begin{aligned}\ddot{\mathbf{r}} &= \frac{d}{dt}(\dot{r}\mathbf{r}^\circ + \dot{\theta} \times r\mathbf{r}^\circ) \\ &= \ddot{r}\mathbf{r}^\circ + \dot{r} \frac{d}{dt}\mathbf{r}^\circ + \dot{\theta} \times \mathbf{r} + \dot{\theta} \times \frac{d}{dt}(r\mathbf{r}^\circ)\end{aligned}$$

式中 $\dot{r} \frac{d}{dt}\mathbf{r}^\circ = \dot{r}(\dot{\theta} \times \mathbf{r}^\circ) = \dot{\theta} \times \dot{r}\mathbf{r}^\circ$

$$\begin{aligned}\dot{\theta} \times \frac{d}{dt}(r\mathbf{r}^\circ) &= \dot{\theta} \times (\dot{r}\mathbf{r}^\circ + \dot{\theta} \times r) \\ &= \dot{\theta} \times \dot{r}\mathbf{r}^\circ + \dot{\theta} \times (\dot{\theta} \times r)\end{aligned}$$

因此 $\ddot{\mathbf{r}} = \ddot{r}\mathbf{r}^\circ + \dot{\theta} \times r + \dot{\theta} \times (\dot{\theta} \times r) + 2(\dot{\theta} \times \dot{r}\mathbf{r}^\circ)$ (3-11)

而 $\ddot{\theta} = \frac{d}{dt}(\dot{\theta}) = \frac{d}{dt}(\dot{\theta}u) = \ddot{\theta}u + \dot{\theta}\dot{u}$ (3-12)

式中 u 为角速度矢量 $\dot{\theta}$ 的单位矢量, 表示 $\dot{\theta}$ 的瞬时方向。

§ 3-2 刚体和 II 级组的运动分析及子程序

1. 刚体的运动分析及子程序

已知: 刚体上一点 N_1 的位置 $p_1(p_{1x}, p_{1y})$ 、速度 $\dot{p}_1(\dot{p}_{1x}, \dot{p}_{1y})$ 和加速度 $\ddot{p}(\ddot{p}_{1x}, \ddot{p}_{1y})$; 尺寸参数 r, s, ϕ ; 刚体的角位移 θ (以 x 轴为起始线逆时针度量为正)、角速度 $\dot{\theta}$ 和角加速度 $\ddot{\theta}$ 。

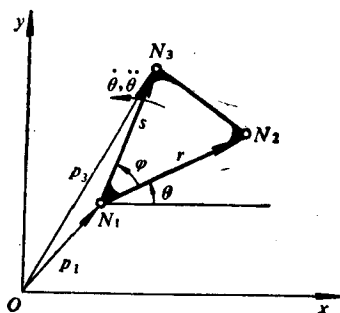


图 3-3

求: 刚体上另一点 N_3 的运动 ($p_3, \dot{p}_3, \ddot{p}_3$)。

由图 3-3 可得 N_3 点的位置矢量方程为

$$p_3 = p_1 + s \quad (3-13)$$

即 $p_{3x} = p_{1x} + s \cos(\phi + \theta)$

$$p_{3y} = p_{1y} + s \sin(\phi + \theta)$$

式(3-13)对时间 t 求导, 即得 N_3 点的速度矢量方程

$$\begin{aligned}\dot{p}_3 &= \dot{p}_1 + \dot{s} \\ &= \dot{p}_1 + \dot{s}u^\circ + \dot{\theta} \times s\end{aligned}$$

由于 s 长度不变, 即 $\dot{s} = 0$, 则

$$\dot{p}_3 = \dot{p}_1 + \dot{\theta} \times s \quad (3-14)$$

将式(3-14)展开

$$\begin{aligned}\dot{p}_3 &= \dot{p}_1 + \dot{\theta}k \times [(p_{3x} - p_{1x})i + (p_{3y} - p_{1y})j] \\ &= \dot{p}_1 + \dot{\theta}(p_{3x} - p_{1x})j - \dot{\theta}(p_{3y} - p_{1y})i \\ &= \dot{p}_1 + \dot{\theta}s_x j - \dot{\theta}s_y i\end{aligned}$$

即

$$\begin{aligned}\dot{p}_{3x} &= \dot{p}_{1x} - \dot{\theta}s_y \\ \dot{p}_{3y} &= \dot{p}_{1y} + \dot{\theta}s_x\end{aligned}$$