

机构学教程

[民主德国] J. 弗尔梅 主编

孙可宗 周有强 译



高等教育出版社

机 构 学 教 程

[民主德国]J. 弗尔梅主编

孙可宗 周有强 译

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是根据德意志民主共和国 J. 弗尔梅教授主编的“机构学教程”(Getriebetechnik Lehrbuch) 第四版(1980年)译出的。该书经德意志民主共和国高等和专科教育部批准为综合性大学和高等学校的教科书。

本书共分 12 章,内容包括机构系统学、机构运动学和动力学的分析,平面机构的综合和机构优化设计概述。本书吸取了德国机构学几何学派的若干主要成果,注意内容的更新并且加强了解析计算法的分量。本书取材的深广度高于大学本科的需要,而且注重叙述和论证的严肃性、简捷性和教学适应性。

本书适用为高等学校工科机械类各专业的教学参考书,也可作为大学毕业生和机构技术人员的参考读物。

机构学教程

[民主德国] J. 弗尔梅 主编

孙可宗 周有强 译

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

河北香河印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 29.5 插页 8 字数 680 000

1990年6月第1版 1990年6月第1次印刷

印数 00 001—31 400

ISBN7-04-002230-3/TH·200

定价 8.60 元

译者序

本书系根据民主德国卡尔·马克思城工业大学弗尔梅(J. Volmer)教授主编的《机构学教程》(*Getriebetechnik-Lehrbuch*)第四版(1980年)译出的。

该书第一版自1969年由柏林国营技术出版社出版之后,十年中经过三次修订,得到德国工科高等院校较普遍的采用,并为德意志民主共和国高等和专科教育部批准为综合大学和高等工业学校的教科书。

机械原理课程在德国高等学校中一般以机构学(*Getriebelehre*)命名,分为机构运动学(机构学基础)、机构综合(机构设计)和机构动力学三个部分。各校根据需要开设其中的一个或两个部分或全部内容的课程。教材的使用和编写也差别甚大。本书除包含这三部分外,还包含机构系统学部分。

译者体会,该书在内容取舍和编排上能从当代机构技术的发展实际和有利于教学出发,没有特别地求全、求新、求深,或偏执于某一特殊方面,因此较适合于我国多年来机械原理课程的教学实践和教学要求。但就本书内容的深广度而言,著者有意使它高于大学本科课程的教学要求,以便对大学师生甚至大学毕业后的学生和从事机构技术的人员都有学习参考的价值。

其次,该书在继承德国勒洛(F. Reuleaux)学派的几何法基础上,适当编入了适合于利用电子计算机的解析计算法的内容。书中多次提出并比较两种方法的优缺点和应用场合。对于机构的分析和综合两大部分,著者认为前者不仅是后者发展的基础,而且借助于现代的计算技术,也能直接应用于机构的综合。因而机构分析部分是本书的一个重点,同时对齿轮、凸轮、步进、连杆等机构的综合给予了足够的篇幅。对于机构动力学部分,著者为适应机械高速发展的趋势而增加了分量,不仅包含机构的动力学方程、飞轮调速、机构的平衡和机构振动等必要的内容,并且特别写入了一段消除和减小机构振动的实际方法,尤为一般机械原理教材中所罕见。

该书在内容的更新方面是积极而又稳妥的。例如,对于“运动副”、“高副”、“低副”等过去常用的术语,它采用“活节”、“曲线节”、“滑动节”等现代制定的名词。又如机构的定义(见节1.2),本书按最新的认识阐述。对于属于基本理论和基本知识的机构系统学和机构分类学的知识,各有专章加以论述(见第2、3章),而对于不属于本课程基本内容的机构优化设计问题,仅作了扼要的介绍和评述。

在内容繁简和深广度的处理上,该书有独到之处。例如,对于周转齿轮机构不专写速比计算,而对其效率和自锁现象通过寄生功率作了严格的、有说服力的阐述。对于在德国有丰富成果的平面连杆机构综合理论,著者作了高度精选,只提出最主要的概念、理论和方法,而且指出这种综合方法的局限性和应用时尽量不要片面追求多位置综合。本书在基本概念、基本理论的阐述上,不惜篇幅;而对于定理的证明则大多是简略的,留有让读者思考和补充的余地。

本书附有以透明纸作成的平面图形,让读者用于演示构件之间难以理解的相对运动。书中

例题大多来源于实际。书中有精心设计的插图 519 幅，设计计算用图表 48 个。本书未附习题，原书的习题集是另出的。

译者期望，此译本作为初次引入的德文机械原理教材，不仅能对我国机械原理课程的教学起到一定作用，而且对教材的编写也能有所借鉴。

本书译者的分工是：序、第 1、2、3、6、7、11 等章以及全译稿的校订统一——孙可宗；第 4、5、8、9、10、12 等章——周有强。本书承天津大学陆锡年副教授审阅部分译稿，提出许多有益的意见，译者特致谢忱。限于译者的水平，容有错失之处，恳请读者和各界专家提出宝贵意见，以匡不逮，特先此致谢。

译 者

1986 年于北京

符 号 表

拉 丁 字 母

a	线加速度
a_o	科里奥利加速度
a_n	法向加速度
a_t	切向加速度
AK	凸轮工作曲线
b	简单运动的数目
b_K	凸轮宽度
Bl	寄生功率(流)
c	弹簧刚度(弹簧常数)
C_a	加速度特征值
C_j	冲撞特征值
C_v	速度特征值
C_M	力矩特征值
C_{Mstat}	静载荷力矩特征值
C_{Mdyn}	动载荷力矩特征值
d_w	拐点圆直径
D	转动节
e	活节元素的总数; 偏心距; 自然对数的底
E	平面; 能量
E_o	参考平面
f	活节的自由度
f_i	活节的等同自由度
F	运动链自由度, 机构自由度; 力
F_{jk}	构件 k 作用于构件 j 的强加力
F_T	惯性力
F^*	简化力
F_T^*	简化惯性力
g	活节的数目; 重力加速度
g_1, g_2, g_3, \dots	活节自由度为 1, 2, 3, ... 的活节数
G	滚滑节
G_{jk}	活节反力(构件 k 作用于构件 j 的力)
h	包络线; 极距

h_i	原位速端曲线
i	速比; 传动比; 惯性半径
J_S	构件对于重心 S 的惯性矩
k	曲线; 曲率; 圆点曲线
k_{jk}	构件 j 对于构件 k 作螺旋运动的轴线
l	构件长
l_{min}	最短构件长
l_{max}	最长构件长
m	中心曲线; 质量
m^*	简化质量
M	力矩; 比例尺
M_i	图形比例尺
M_s	行程比例尺
M_φ	角度比例尺
M_v	速度比例尺
M_a	加速度比例尺
M_{ab}	输出力矩
M_{an}	输入力矩
n_k	有 k 个活节元素的构件数
n	法线; 构件数; 每分钟转数
n_{ab}	输出件每分钟转数
n_{an}	输入件每分钟转数
p	静极点轨迹(静瞬心线)
P	转动极点(中心); 瞬时转动极点(瞬心); 功率
P_K	联轴节功率
P_R	摩擦功率
P_V	损耗功率
P_W	啮合功率
P_{ab}	输出功率
P_{an}	输入功率
q	动极点轨迹(动瞬心线)
r	半径
r_o	基圆半径
s	行程(位移); 定轴齿轮机构的速比

s_a	基本升程
s_s	步幅
S	移动节; 重心
t	时间; 切线
t_R	停歇时间
t_s	步进时间
T	周期
T_o	构件的摆动中心
u	超约束
U	鲍尔点(波动点)
$v; \bar{v}$	线速度; 转向 90° 的线速度
\bar{v}	线速度向量矢
$\langle v \rangle$	线速度向量矢长
w	拐点圆
W	拐点极; 功; 滚动节

希腊字母

α	角; 偏斜角
$\alpha = \dot{\omega}$	角加速度 α
β	角
γ	输入轴曲柄销的加速度方向线与半径射线间所夹角
δ	角; 速度不均匀度

ε	影响系数
η	效率
η_{σ}	周转齿轮机构效率
$\kappa = 2 \frac{\dot{\omega}}{\omega^2}$	速度波动大时周期性变化速度不均匀度评断标准
μ	传动角
μ_{\max}	最大传动角
μ_{\min}	最小传动角
μ	摩擦系数
ν	方向角
ρ	曲率半径
φ	角, 输入角(主动件转角) φ_R 停歇角
φ_s	步进时的输入转角
χ	角
ψ	角; 输出转角(从动件转角)
ψ_a	基本角
ψ_s	步进角
$\omega; \omega_{ij}$	角速度(弧度/秒); 构件 i 对于构件 j 的相对角速度
Ω	激振源角频率
ω_{an}	输入角速度
ω_{ab}	输出角速度

本书著者及编写分工(按章节顺序排列)

Johannes Volmer 教授,工学博士	主编;第 1、3.1.3、5.1、5.2、 及第 7、11、12 等章节
Wolfgang Müller 学位工程师	第 2~3.1.2 等章节
Gert Thiel 学位工程师	第 3.2~3.7 等章节
Reimar Brock 工程师	第 4 章
Martin Schulze 工学博士	第 5.1~5.3 等节
Hans Dresig, 教授 科学技术博士	第 5.4、7.7 等节
Wolfgang Ihme 工学博士	第 6 章
Peter Jacobi 工学博士	第 7 章、标准
Gerhard Jokisch 学位工程师	第 8 章
Bernhard Hüther 工学博士	第 9 章
Christian Hammerschmidt 工学博士	第 10 章
Erhart Huhn 工学博士	第 12 章

第四版序

这本机构学教科书的第四版彻底地改用了国际单位制(SI)。与此同时还作了少量实质性的和文字上的修改。

关于一些新的知识参考了专门著作,其中包含新近出版的一本机构学专著《连杆机构》(Getriebetechnik Koppelgetriebe),该专著包容了机构学许多新的观点和研究成果,而且以便于设计师应用的精练形式陈述出来。

还有一些机构学丛书的其他教科书和专著的新版本。其实际的内容在教育 and 设计的实践中证实是有效的。在那些书中取得的许多有价值的经验,在本教科书的这一版中也有所反映,对此,本书的主编者将随时愉快地予以指明。

约翰涅斯·弗尔梅(Johannes Volmer)

1) *Getriebetechnik* 亦可译为“机构学”——译者注

第一版序

机构技术(*Getriebetechnik*)¹⁾属于在技术革命领域内具有重大意义的基础工程学科之一。对于未来的工程师来说,它是一门基础课程,因而在德意志民主共和国的工程学院以及高等工业学校和综合大学的技术科系中,特别是对于机器和仪器制造专业,它——大多以“机构学”(Getriebe lehre)命名——被规定为必修课程。

这本教科书是由高等工业学校和专科学校的一些富于经验的教师集体编著的,目的在于为机构技术领域的教育提供一个现代的基础并使之有助于国民经济进一步的迅速发展。书中大多数章节的内容超出了工程学院、高等工业学校和综合大学一般要求的范围,这使读者有可能进行深入的学习,而这种学习对于现代机器制造和仪器技术的实际要求来说是必要的。所以读者范围也包含工业界、科学界和研究部门中的现职工程师。

编写组所追求的目标,不仅在于介绍反映现代技术状况的那些成果,而且也注重在今后有可能使知识水平继续提高的那些规律。材料的阐述方式应能培养读者严格的、科学的创造性能力。据此,对于机构系统学和建立明晰的概念给予了特别的重视。按照这个认识,充分地舍去了经典机构学中那些实际上无意义的章节和概念。

在研究运动过程时,直观性是必要的。为此,本教科书添加了以透明纸作出的图形作为一种教学手段。读者利用这种图,即使对于复杂的运动过程也能够清楚地理解。本书没有要求它的内容达到无争论余地的程度,而是在许多地方指明机构学尚未解决的问题和将来的发展趋向,其中涉及到将机构技术的任务表示为控制系统以及利用计算技术求取该系统的最优复合解的问题。本教科书的篇幅和性质不允许用足够的篇幅对所有的机构类型给予详细的阐述。因此,计划在此教科书的基础上出版一些分别研究机构学个别章的专门著作。在这些专著中还应该包含一本实用机构的图例集。设计师对这类搜集的实例理由十分中意,因为它们能从各方面启发人们去提出新的解决问题的方案。

著者们有意地缩减了本书中参考文献的数量。机构技术的文献每年要增加无数的文章,所以有关本专业领域的各特殊篇章的全面动态只能由文献中心(情报所)来收集,例如在卡尔·马克思城工业大学的机构技术研究所中已经建立了这样的文献中心。

编写组和主编向为本书的编写和完成提供支持的所有的人致谢。对技术出版社(VEB Verlag Technik)为手稿所作的彻底且迅速的加工致以特别的谢忱。

本书主编将随时诚恳地接受各方为进一步完善本书所提出的建议和意见。

约翰涅斯·弗尔梅

1) *Getriebetechnik* 亦可译为“机构学”——译者注

目 录

1. 绪论	1	3.1.1.1 四铰链机构.....	43
1.1 机构学的任务和内 容	1	3.1.1.2 曲柄滑块链机构.....	47
1.2 基本概念.....	2	3.1.1.3 十字滑块曲柄链机构.....	51
1.3 机构学文献.....	7	3.1.1.4 导杆滑块机构.....	52
2. 机构系统学	8	3.1.2 六个和更多个构件的平	
2.1 机构的构造元素.....	8	面连杆机构.....	53
2.1.1 活节.....	8	3.1.3 连杆曲线.....	55
2.1.1.1 概念和分类.....	8	3.1.3.1 定义和性质.....	55
2.1.1.2 活节中的运动状况.....	8	3.1.3.2 连杆曲线的多重发生.....	58
2.1.1.3 活节自由度.....	10	3.1.3.3 高次连杆曲线.....	60
2.1.1.4 活节的发展.....	12	3.2 螺旋机构	61
2.1.1.5 力偶合、形偶合和物偶合.....	15	3.2.1 构造.....	61
2.1.1.6 平面活节和空间活节.....	16	3.2.2 系统学.....	62
2.1.1.7 活节的超静定.....	17	3.2.3 实际应用的螺旋机构举例.....	62
2.1.1.8 活节的组合.....	18	3.2.4 特殊的螺旋形式.....	62
2.1.2 机构构件.....	19	3.3 拉曳件机构	66
2.1.3 机构器件.....	20	3.3.1 概述.....	66
2.2 机构的分类.....	21	3.3.2 主要的结构类型.....	66
2.3 系统的机构构造的基本原理.....	23	3.4 压力件机构	68
2.3.1 平面机构的结构.....	24	3.5 组合机构	69
2.3.2 强制运动和机构自由度(活动度).....	26	3.5.1 组合方式.....	69
2.3.3 平面转动节链的发展.....	30	3.5.2 齿轮连杆机构.....	70
2.3.3.1 活动度 $F=1$ 的转动节链.....	30	3.5.3 齿轮凸轮机构.....	71
2.3.3.2 含有多重转动节的转动节链.....	33	3.5.4 链条连杆机构和链条凸轮机构.....	72
2.3.3.3 活动度 $F=2$ 的转动节链.....	33	3.6 无级可调传动比的转数变换器	73
2.3.4 活动度 $F=1$ 的平面转动		3.6.1 概述和分类.....	73
节链的数构成.....	34	3.6.2 调整范围和特性曲线.....	74
2.3.5 机构演变的方法.....	35	3.6.3 机械式无级转数变换器.....	74
2.3.5.1 活节元素扩大.....	35	3.6.3.1 摩擦轮机构.....	75
2.3.5.2 元素对换和形式变换.....	37	3.6.3.2 拉曳件机构.....	76
2.3.5.3 运动置换.....	38	3.6.3.3 超越机构.....	76
2.3.6 平面转动节链的变型.....	39	3.6.4 液力无级转数变换器.....	77
2.3.7 超连接机构.....	40	3.6.4.1 流体静力转数变换器.....	77
3. 机构的类型	43	3.6.4.2 流体动力转数变换器.....	79
3.1 平面连杆机构.....	43	3.6.5 转数变换器的联合.....	83
3.1.1 四构件平面连杆机构.....	43	3.7 装置	84

3.7.1	概念和分类	84	4.5.2	角速度平面图	122
3.7.2	步进装置	84	4.5.3	速度状况	123
3.7.3	扣紧装置	85	4.5.4	加速度状况	124
3.7.4	跃动装置	86	4.6	构件组在参考系内的运动	126
4.	机构运动学	87	4.6.1	在参考系内的二构件组(二支组)	126
4.1	图解法的比例尺	87	4.6.2	在参考系内的四构件组	127
4.2	向量代数的基本概念	88	5.	平面机构的运动分析	129
4.3	点的运动	89	5.1	平面机构的瞬时极点和极点构形的确定	129
4.3.1	基本概念	89	5.2	非匀速传动机构中的传动比	132
4.3.2	线图表示	92	5.2.1	传动比	132
4.3.2.1	位移-时间线图	92	5.2.1.1	定义	132
4.3.2.2	速度-时间线图	92	5.2.1.2	简单传动比的确定	133
4.3.2.3	加速度-时间线图	93	5.2.1.3	对角传动比的确定	135
4.3.2.4	图解微分法	93	5.2.2	转移距	136
4.3.2.5	图解积分法	94	5.2.3	简单传动比和转移距的极值	137
4.3.2.6	速度-位移线图	94	5.3	平面机构的图解分析	140
4.3.2.7	由速度-位移线图求时间	95	5.3.1	三构件和四构件机构的图解分析	141
4.3.2.8	速端曲线	96	5.3.1.1	曲柄摇杆机构	141
4.4	参考系内一个平面的平面运动	97	5.3.1.2	曲柄滑块机构	143
4.4.1	平面绕固定转动中心的转动(旋转)	97	5.3.1.3	带摇杆的凸轮机构	144
4.4.2	一个平面的移动(平移)	100	5.3.1.4	曲柄导杆机构	145
4.4.3	一个平面的一般平面运动	100	5.3.1.5	滚动杆机构	151
4.4.3.1	几何关系	100	5.3.2	多构件机构的图解分析	152
4.4.3.2	极点轨迹	102	5.3.2.1	八构件连杆机构(一台线材编织机的进料驱动装置)	152
4.4.3.3	速度状况	105	5.3.2.2	具有大摆角的六构件连杆机构	153
4.4.3.4	加速度状况	108	5.3.2.3	五构件的双曲柄机构(胶片抓送机构)	154
4.4.4	平面运动的曲率关系	110	5.3.2.4	七构件的双曲柄机构(干涉曲柄机构, 隆美尔机构—Römergetriebe)	155
4.4.4.1	度量关系	110	5.3.2.5	曲柄齿条机构(清洗机驱动装置)	156
4.4.4.2	根据两对关联的曲率中心作出极点轨迹切线	111	5.3.2.6	具有移动节的七构件双曲柄机构(针织机驱动装置)	157
4.4.4.3	利用博比利尔定理作出曲率中心	112	5.4	平面机构的计算分析	158
4.4.4.4	根据哈特曼(Hartmann)法作出瞬时曲率中心	113	5.4.1	基本原理	158
4.4.4.5	拐点圆	115	5.4.1.1	强制运动条件的建立	159
4.4.4.6	拐点圆的作图法	116	5.4.1.2	运动关系的解析表达式	160
4.4.4.7	尖点圆	116	5.4.1.3	运动关系	162
4.4.4.8	切向圆	117	5.4.1.4	谐波分析	162
4.4.4.9	轨迹曲线的顶点	119			
4.5	三个平面的相对运动	119			
4.5.1	基本原理	120			

5.4.2 运动分析例题.....	163	7.4 运动力学.....	204
5.4.2.1 四铰机构.....	163	7.4.1 动能.....	204
5.4.2.2 曲柄滑块机构.....	165	7.4.2 动力学参数及其确定.....	205
5.4.2.3 对心曲柄导杆机构.....	167	7.4.3 质量的简化.....	206
6. 空间机构.....	169	7.4.4 平面机构构件的惯性力.....	207
6.1 引言.....	169	7.4.5 动力学基本方程.....	209
6.2 系统学.....	169	7.4.6 动力学基本方程的解.....	210
6.2.1 运动链和机构构造形式.....	169	7.5 平面机构的动力学分析.....	211
6.2.2 等同运动链(变化形式)和等同活节 自由度.....	172	7.5.1 第I类威滕鲍埃尔基本问题.....	211
6.2.3 空间机构的特殊尺寸.....	173	7.5.2 第II类威滕鲍埃尔基本问题.....	216
6.2.4 球面机构.....	174	7.6 平面机构的动平衡.....	220
6.3 空间机构的运动学分析.....	176	7.6.1 功率平衡.....	221
6.3.1 引言.....	176	7.6.1.1 速度不均匀度.....	221
6.3.2 空间运动学.....	177	7.6.1.2 质量-功能线图.....	222
6.3.2.1 一个物体在一参考系中的空间 运动.....	177	7.6.1.3 飞轮计算.....	224
6.3.2.2 两个物体在一参考系中的空间 运动.....	179	7.6.2 质量平衡.....	227
6.4 简单空间机构的图解法运动学 分析.....	181	7.6.2.1 质量平衡的方法.....	228
6.4.1 空间双滑块机构.....	181	7.6.2.2 惯性力的完全平衡.....	229
6.4.2 空间曲柄摇杆机构.....	182	7.6.2.3 转动质量惯性力的平衡.....	233
7. 机构动力学.....	184	7.7 机构中的振动.....	233
7.1 概论, 基本问题.....	184	7.7.1 概述.....	233
7.2 力的分类.....	186	7.7.2 考虑振动的判别准则.....	235
7.3 动态静力学.....	187	7.7.3 机构中振动的实例.....	236
7.3.1 动态静力学基础.....	188	7.7.3.1 强迫振动.....	236
7.3.1.1 作用在物体一个点上的平面 力系.....	188	7.7.3.2 参数激励振动.....	238
7.3.1.2 作用在刚体上的平面力系.....	188	7.7.4 避免不希望振动的可能性.....	240
7.3.2 机构分解成构件组的图 解力分析.....	190	8. 齿轮机构.....	242
7.3.2.1 II级构件组(三节拱).....	191	8.1 分类.....	242
7.3.2.2 含移动节的三节拱.....	193	8.2 啮合.....	242
7.3.2.3 III级构件组.....	194	8.3 定轴齿轮机构.....	244
7.3.3 考虑摩擦的力分析.....	194	8.3.1 传动比.....	244
7.3.4 海恩极点力法.....	198	8.3.2 结构形式.....	245
7.3.5 力矩的确定.....	200	8.3.3 圆柱齿轮机构的转数平面图.....	247
7.3.6 按照功率原理进行的力分析.....	200	8.3.4 圆锥齿轮机构的转数平面图.....	249
7.3.7 力的简化.....	203	8.4 周转齿轮机构.....	250
		8.4.1 结构形式.....	251
		8.4.2 传动比.....	254
		8.4.3 沃尔夫记号.....	257
		8.4.4 力和力矩(无损耗).....	258
		8.4.5 功率(无损耗).....	259
		8.4.6 效率.....	266

8.4.7	均载	272
8.5	组合周转齿轮机构	273
8.6	旋轮线	274
8.6.1	形成和分类	274
8.6.2	旋轮线的二重形成	277
8.6.3	工程应用	278
9.	凸轮机构	280
9.1	基本概念	280
9.1.1	凸轮构件	281
9.1.2	作用构件	281
9.1.3	强制运动的保证	282
9.2	系统学	283
9.2.1	平面三构件凸轮机构	283
9.2.2	平面多构件凸轮机构	283
9.2.3	空间三构件凸轮机构	284
9.3	运动学	285
9.3.1	凸轮机构用作传动机构	285
9.3.2	运动方程	286
9.3.3	运动任务	287
9.3.4	对称传动函数(运动规律)	288
9.3.4.1	标准传动函数介绍	288
9.3.4.2	运动特征值	290
9.3.4.3	乘幂规律的标准传动函数	292
9.3.4.4	三角运动规律的标准传动函数	294
9.3.5	非对称传动函数	296
9.3.6	标准传动函数的选择	298
9.3.7	运动方程函数值的确定	299
9.4	尺寸的确定	303
9.4.1	运动尺寸	304
9.4.2	选择准则	305
9.4.3	利用传动角确定平面凸轮机构的运动尺寸	305
9.4.3.1	基本原理	305
9.4.3.2	速度矢端曲线法	306
9.4.3.3	弗洛凯的近似方法	310
9.4.3.4	非等速驱动的凸轮机构	311
9.4.4	凸轮机构最优尺寸的确定	312
9.4.4.1	凸轮机构的优化	312
9.4.4.2	按照压力为主要准则的优化	312
9.4.5	凸轮盘的确定	313
9.4.5.1	滚子中心轨迹和工作曲线的	

	作图	313
9.4.5.2	滚子中心轨迹的计算	318
9.4.5.3	特殊形状的凸轮盘	319
9.4.6	圆柱凸轮机构	320
9.5	力闭合凸轮机构中的返回力	321
9.5.1	凸轮盘的载荷	321
9.5.2	必要返回力	322
9.5.3	弹簧力作为返回力	323
9.6	力和力矩	324
9.6.1	法向力的方向和传动角	324
9.6.2	曲线节中的法向力	325
9.6.3	凸轮机构中的输入力矩	325
9.7	结构设计	326
9.7.1	轴, 栓销, 滚子	326
9.7.2	曲线节中的滚压应力和材料	327
9.8	凸轮体的加工	329
9.8.1	逐点的信息输入的加工方法	329
9.8.1.1	手工制作	329
9.8.1.2	在坐标镗床或精密铣床上逐点 铣削	330
9.8.2	连续的信息输入的加工方法	330
9.8.2.1	模拟信息输入	330
9.8.2.2	数字信息输入	331
10.	步进机构	332
10.1	引言	332
10.2	马尔他十字轮机构	333
10.2.1	结构和类型	333
10.2.2	尺寸和运动学	334
10.2.3	变型的内、外马尔他十字轮机构	336
10.2.4	动力学	339
10.2.4.1	力矩	339
10.2.4.2	力	340
10.2.5	结构设计	347
10.3	星轮机构	348
10.3.1	结构、工作方式及类型	348
10.3.2	尺寸和运动学	350
10.3.2.1	Z型星轮机构	350
10.3.2.2	A型星轮机构	353
10.3.3	动力学	355
10.3.4	结构设计	355
10.4	齿轮凸轮步进机构	356

10.4.1 结构和工作方式	356	11.2.4.5 特殊情况	385
10.4.2 尺寸和运动学	356	11.2.5 在参考平面 E_0 中一个平面 E 的 五个位置	386
10.5 链条凸轮步进机构	360	11.3 传动机构的综合	387
10.5.1 结构和工作方式	360	11.3.1 四构件连杆机构	387
10.5.2 尺寸和运动学	360	11.3.1.1 四铰机构	387
10.6 凸轮步进机构	361	11.3.1.2 曲柄滑块机构, 摇杆滑块机构	395
10.6.1 结构和类型	361	11.3.1.3 曲柄导杆机构, 摇杆导杆机构	398
10.6.2 尺寸和运动学	362	11.3.2 含有六构件和更多构件的连杆 机构	399
10.6.3 结构设计和加工	362	11.3.2.1 概述	399
10.7 具有瞬时停歇的步进机构	363	11.3.2.2 用于特殊摆动的连杆机构	400
10.8 其他步进机构	363	11.3.2.3 停歇机构	406
11. 平面连杆机构的综合	365	11.4 导引机构的综合	410
11.1 引言	365	11.4.1 平面曲线的产生	410
11.1.1 任务的给定	366	11.4.1.1 直线导引	410
11.1.2 解题方法(概述)	367	11.4.1.2 任意平面曲线的产生	415
11.2 图解法求平面连杆机构运动学尺寸 的几何原理(位置几何学)	368	11.4.2 物体(机构构件)的平面导引	418
11.2.1 基本问题	368	11.4.2.1 概述	418
11.2.2 在参考平面 E_0 中一个平面 E 的 两个位置	370	11.4.2.2 四构件导引机构的设计	418
11.2.3 在参考平面 E_0 中一个平面 E 的 三个位置	373	11.4.2.3 六构件导引机构的设计	419
11.2.3.1 有限邻近位置	373	12. 机构的设计	421
11.2.3.2 无限邻近位置	378	12.1 机构技术任务的最优解	421
11.2.4 在参考平面 E_0 中一个平面 E 的 四个位置	379	12.1.1 作为控制系统的最优化	421
11.2.4.1 圆点曲线和中心曲线	379	12.1.2 机构技术任务的确立	426
11.2.4.2 中心曲线的绘制	379	12.1.3 运动尺寸, 结构形状及制造	427
11.2.4.3 圆点曲线的绘制	383	12.1.4 应力	427
11.2.4.4 在参考平面 E_0 中 E 的无限邻近 位置	383	12.1.5 传动质量, 效率	428
		12.1.6 机构的评价	429
		12.2 传动角, 偏斜角	431
		参考文献	435

1 绪 论

1.1 机构学的任务和内容

对于为社会主义国民经济服务的工程师的教育,必须特别重视能够独立地、创造性地工作这一要求。可是,创造性能力并非仅来源于天赋的才能,这种能力是可以获得的。工程师的设计工作,正是这种能力起作用的领域。为了能够成功地即有效地建设社会主义社会,需要许多先决条件,这些条件既取决于工程师的专业知识,也取决于他们的政治思想境界。通晓各种关系和规律并了解这些关系和规律对于建设社会主义社会的作用,构成了工程师各种创造性才能的基础。就这个观点来说,现代的机构学作为工程师教育的基础课程,具有它的独特的任务。

在机构学中,研究和阐明机器和仪器的各个相互可动地连接着的功能构件的协调作用。机构学的任务是:汇总各类机构多种多样的型式,予以系统分类并找出其规律。它介绍用于分析机构的性质和工作状况的方法和程序,并且扩展所得到的知识而为机构综合进一步的发展和创新提供有科学根据的指导。

技术革命需要机器和仪器制造业极大的发展,尤其要求完善制造工艺和技术设备,即创造高生产率的机械化和自动化的生产手段以及提高所有工艺流程的自动化程度。机构学与其他学科共同协作,将有助于极大地加速这个提高生产率的过程。

所以,工程师在机器和仪器制造业的所有部门中面临着日益增多的机构学问题。他必须知晓多种可应用的实例,譬如知道哪一种机构适合于解决一个确定的运动学任务。除此以外,他还应该掌握各种方法,这些方法遵照一些确定的法则,利用这些方法可以创造性地拟订出许多可能的解决方案。

此外,一个工程师必须具有这样的能力,即通过分析和对比的研究能够提出、评定、选择出可作为最优的方案并能使之付诸于实际应用。对此,他应该利用有科学根据的、有如机构学所提供的那些方法,因为在当今的技术状况下,用试验法不能或者只能偶然地得到最优解。工程师作为技术改革的开创者,应该具有对各种运动过程的想象力,这种想象力对于有成效地、创造性地处理许多机构技术的任务是一个不可缺少的先决条件。因而在培养这种能力方面,也能看到机构学的重要性。

在制作正确的图形以及使用诸如线图、表格、图表等等某些辅助手段方面,工程师需要有一定比较熟练的技能。现代的机构学在这方面对于工程师的训练和教育起重要的作用。正是由于机构学对技术经济的进步所起的作用,这门学科在对工程师的长远训练和后续教育中受到了相应的重视并有所进展。对此有必要指出,不仅从事基础研究和开发性工作的工程师而且就如制造工程师除必须具有有关专门知识以外的宽广的、基本的基础知识,也都应该具有机构学的基本知

识。只有这样，他才能够拟定和建立与专业适应的机械化和自动化的生产过程和优质工艺产品的生产。他应该有能力提出有关机构技术方面的任务，并能给设计师在解决这些任务时以多方面的帮助。

机构学的内容可划分为两个主要方面。第一个主要方面是机构分析，研究给定的即所有尺寸为已知的机构，其中机构系统学研究这些机构的结构构造和它们的构造元素，而机构运动学和机构动力学则探索它们的运动和作用力。机构分析提供大量有条理的规律，这些规律奠定了机构综合——机构学第二个主要方面——的基础。用已知的元素组成实现给定要求的构造的这种设计，称为综合。所以一部机器中起一种确定作用——譬如具有严格规定的时间要求的输送运动——的机构，它的设计是一个机构综合问题。与机构分析的问题相比，机构综合问题是远为复杂的。

人们对机构综合¹⁾一词直至今日都理解为仅找出待设计机构的运动学尺寸，也就是一个机构在不考虑实际影响——如活节(运动副)间隙等等——时，完成一个给定运动任务所具有的那些尺寸。近数十年已经有了很多有价值的、有科学根据的确定运动学尺寸的方法，因而在求解时就能越来越少地采用试验法。但是，技术的现状和未来对高效能机构提出的一些要求，使得进行机构的综合必须根据动力应力、材料的表面处理、润滑状态以及计及加工经济性的制造工艺等等因素来综合考虑机构构件和活节构造形状的设计问题。因而在机构综合时，除运动学方面的问题之外，还要给出设计者在求解时必须考虑的若干其他条件。所以机构综合也必须具有其他技术基础学科如工程力学、材料学、机械零件等等方面的知识。对于一个综合问题，通常能找出一组解，因此，需要一些评定准则，以便据以从这些解中得到符合给定条件的最合宜的解。

现代的计算技术为机构的综合及其优化提供了全新的、合理的可能条件。今天人们已经可以在几秒钟之内对最复杂的机构作详细的分析。通过系统地改变机构尺寸作重复的分析，能够找到符合设计师要求的机构。这种方式的机构综合利用了机构分析的基础知识，被称为迭代(系统重复)分析法机构综合。正如这个发展方向所表明的那样，要在机构分析和机构综合两个主要方面之间划出一条明显的界线是不妥当的。

1.2 基本概念

在所有的机器和仪器中都能找到机构，其中具有确定运动的各工作器件产生或影响机器和仪器中的工作过程。因此，在机器和仪器制造的各个不同部门以及其他众多的技术领域中都具有机构。不论是为哪一个目的已经研制出的或者将要设计的所有机构，都具有一个主要功能和共同的基本构造，这些可用如下的机构概念的定义予以描述²⁾：

1) 迄今按照阿尔特(Alt)和利希滕黑耳特(Lichtenheldt)^[1,46]的提法，也称做机构设计学。

2) 本书所采用的概念、定义和符号中很多系由技术协会“机构学概念”工作组(KDT-Arbeitsgruppe. “Begriffe der Getriebetechnik”)在伊美劳工业大学(TH Ilmenau)的教授波格尔萨克(G. Bögelsack)科学博士领导下并且与本书的一些著者协作下编订的。