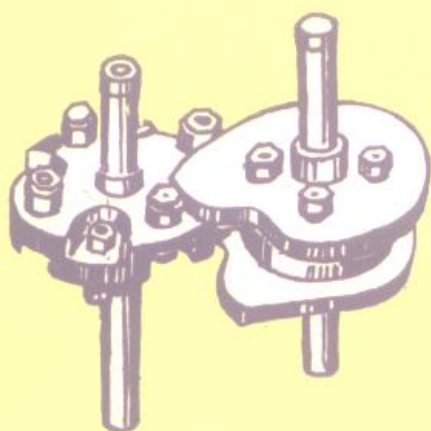


〔日〕 牧野洋 著



自动机械机构学

科学出版社

78.112
349

自动机械机构学

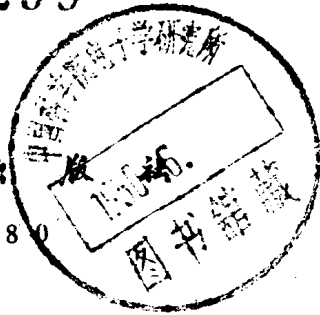
(日) 牧野 洋 著

胡茂松 译

1108299

科学出版社

1980



内 容 简 介

本书从基础理论到机构计算较全面地介绍了自动机械的机构学及其应用。本书从凸轮机构学、矢量机构学的角度作了详细的阐述,内容比较先进,可应用于计算机机构、自动机械机构。特别是作者在第五章中从数学理论到计算方法(还采用了计算机的计算方法),详尽地介绍了新引进的旋转变换张量概念来解决空间矢量的问题,运用本章内容可解决许多过去手算无法解决的机构计算问题,从而可根据需要设计新的自动机械。

本书可供从事机械设计的技术人员、研究人员、工人以及大专院校有关专业的师生参考。

牧野 洋

自 动 机 械 机 构 学

日刊工業新聞社

1976年6月

自 动 机 械 机 构 学

[日] 牧野 洋 著

胡茂松 译

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1980年7月第一版 开本:787×1092 1/32

1980年7月第一次印刷 印张:13

印数:0001—17,600 字数:287,000

统一书号:15031·280

本社书号:1735·15—3

定 价: 1.60 元

序 言

引 言

近十年来,由于电子计算机和矢量数学的进展,机构学也有了显著的发展。

据说电子计算机的价格平均每年下降 22%。在中等规模的企业添置电子计算机已很普遍,所有的研究室和设计室都将配备小型计算机的时候已为期不远了。

解题的程序大致可分为如下四个过程:

- (1) 充分理解问题并建立式子;
- (2) 解式子(用已知数来表达未知数);
- (3) 将数值代入变数并求解;
- (4) 解释答案。

由于电子计算机的出现,以上的过程(3)明显地变得容易了,过去计算透镜等往往需要二、三年,而现在几分钟就可解决。而且,因为过程(3)变得容易实现,所以过程(2)解式子的方法也就有可能加以改变。

以往认为,如不写成象 $y = f(x)$ 这样单一式子形式的函数,就不能解。现在,即使变成象 $y = f(p)$, $p = g(t)$, $t = h(x)$ 这样复合函数的形式,只要右边没有未知数也就能解,这样可以免去那种容易引起错误的“代入”手续。

以前,所以要求单一式子的形式,其主要原因是对于解题便于预测,这是一方面,当然,另一方面是要了解变数的变化对结果的影响。

但是,实际上预测的方便只限于初等函数场合下的解,因

为稍稍复杂些的函数就难以预测，所以用近似的估算。与其复杂的式子近似的解还不如从一开始就作成简单假设的式子。以前的解题方法从根本上讲具有“近似的思想”。另外，没有被近似化而要代入数值是很困难的。

然而，随着时代的前进，要求我们尽快而正确地求解问题，用这种近似的方法就显得很不够了。

另一方面，随着矢量数学和与此有关的矩阵代数学的发展，就使得过程(2)解式子变得更加容易了。所谓矢量方程式的解就是要同时解二个(平面矢量的场合)以至于三个(空间矢量的场合)标量方程式，并且解题的过程就更显得容易了。另外，读者在本书中将会发现，与烦琐的 $\sin\theta$ 、 $\cos\theta$ 微分相比较， $e^{j\theta}$ 微分就容易得多了。

本书的目的是解决在自动机械等方面实际发生的问题，给出了为解这些问题的手段，而不去叙述机构学的历史。因此，以往一般采用的解题方法例如即使对于象瞬心这样的方法，也不再在本书中详细介绍了。对此，读者可参阅其他的参考书。

本书由七章组成。第一章是运动，第二章是平面矢量，第三章是平面机构，第四章是平面凸轮机构，第五章是空间矢量，第六章是空间机构，第七章是自动机械机构学。通观全书采取的都是按矢量求解析解的方法。特别是第五章，新引用了考虑旋转变换张量的方法，试行按此新的方法解题，对于这种方法请读者批评指正。此外，在叙述时尽可能多占一些篇幅举一些实用化的机构，浅显地加以说明。

很多解是按直接写出计算机的程序这一形式来考虑的。另外，书中还提出了用计算机进行计算时二、三件必须注意的事项。而且，附带说明一下书中所引用的图表多数是由计算机计算的结果。

一九七二年九月

• • •

结 束 语

本书作为《自动机械机构学》从1973年1月到1975年9月,曾在日刊工业新闻社发行的杂志《机械设计》上连载了27次,最后经过一些修订汇编而成,从第一章到第四章附加了习题。

看了内容就知道,本书所讲述的是凸轮机构学、矢量机构学以及计算机机构学。而且,同时还可以看作是《自动机械机构学》。

所以要增添这些内容是著者的一种意图,以便提供关于空间机构标准的、一般的解法。见到断面,就应取投影之类的解,换言之,不是将三维问题换成二维的来解,而是三维的机构还是用三维的来解。那么,在这些问题上引用矢量无论如何也是必要的。

因此,把旋转变换张量 $E^{w\theta}$ 作为对二维的旋转 $e^{i\theta}$ 比拟来设定,并以此为基础建立了所有的数学式。如果读这本书时稍加注意就会发现前半部分的平面机构的解构成了解后半部分空间机构的基础。

因为持有这样的意图,所以本书在理论推导方面谈得多了一些。对于看了书名之后想从本书得到更多实际内容的读者,著者甚感抱歉。可是,本书中也讲了不少实际的(或者至少可以说是“实用的”)机构。另外,即使是没有叙述到的机构,如果运用本书所介绍的解法也是应当完全能解的。愿本书能够成为读者手头的一本好的工具书。

如果切柔软的东西即使是不很锋利的刀也可以了。但是,要切坚硬的东西就必须使用锋利的刀具。本书中所叙述的解法,至少著者至今用到的刀里面是最“锋利的刀”。

在写本书时,得到了各方面的协助。承蒙曾在著者的研

究室里工作过的或者现在还在工作的同事以及秘书等在计算和作图上大力地协助,还有大学的毕业生、学生等帮助做了一部分的解析和实验。此外,承蒙三兴線材工业株式会社的石原義弘先生通读了全书,指出了一些错字和说明不太完善的地方。另外,在本书发行时,给日刊工业新闻社的渋谷青彬先生和木下昇先生不止一次地添了麻烦。在此,对各方面的协助表示深切的谢意。

著 者

一九七六年四月

主要符号

- a : 加速度(毫米/秒²)
- a_m : 最大加速度(毫米/秒²)
- \mathbf{a} : 主轴方向的单位矢量
- \mathbf{a}^* : 表示姿势的姿势矢量
- A : 无因次加速度
- A_m : 无因次最大加速度
- A_{mm} : 负的无因次最大加速度
- A_{mp} : 正的无因次最大加速度
- \mathbf{A} : 主轴矢量
- \mathbf{A} : 加速度矢量
- \mathbf{b} : 副轴方向的单位矢量
- \mathbf{B} : 长度已知而方向未知的平面矢量, 只有一个旋转角
为未知的空间矢量
- c : 心间距离(毫米)
- c : 粘性阻力系数(公斤·秒/毫米)
- C_ρ : 曲率(1/毫米)
- $C_{\rho\min}$: 最小曲率(1/毫米)
- C : 常数
- \mathbf{C} : 常数矢量
- d : 滚子直径(毫米)
- d_c : 刀具直径(毫米)
- D : 凸轮直径(毫米)
- e : 自然对数的底(= 2.7182……)

e : 偏心量(毫米)
 $E, E^{w\theta}$: 旋转变换张量, 围绕 w 轴的旋转
 $E^{i\theta}$: 围绕 i 轴的旋转
 $E^{j\theta}$: 围绕 j 轴的旋转
 $E^{k\theta}$: 围绕 k 轴的旋转
 f : 力(公斤)
 F : 力(公斤)
 F_0 : 弹簧的初张力(公斤)
 F_f : 摩擦力(公斤)
 g : 重力加速度(= 9800 毫米/秒²)
 G_m : 沟数, 条数, 用分度数除滚子数的值, 滚子的倍数
 G_n : 滚子编号
 \mathbf{G}, \mathbf{G}^* : 夹持矢量
 h : 最大位移, 冲程, 行程, 扬程(毫米)
 i : x 方向单位矢量
 I : 惯性矩(公斤·厘米·秒²)
 j : 虚数单位(= $\sqrt{-1}$)
 j : 跃动(毫米/秒³)
 j_m : 最大跃动(毫米/秒³)
 j : y 方向单位矢量
 J : 无因次跃动
 J_m : 无因次最大跃动
 J_1 : 第一分量运算张量
 J_2 : 第二分量运算张量
 J_3 : 第三分量运算张量
 k : 常数
 k : 弹簧常数(公斤/毫米)
 k : z 方向单位矢量

K: 已知矢量

l : 长度(毫米)

l : 杠杆长度(毫米)

l/c : 随动件尺寸比

L: 方向已知长度未知的矢量

m : 质量(公斤·秒²/毫米)

m : 自动机械的列数

M: 变换矩阵

n : 分度数

n : 自由度

n: 法向矢量

P: 平面上的矢量

P: 位置矢量

P**: 位置姿势矩阵

q : 扭矩(公斤·毫米)

q_c : 凸轮轴扭矩, 驱动轴扭矩(公斤·毫米)

q_{cm} : 最大凸轮轴扭矩, 最大驱动轴扭矩(公斤·毫米)

q_t : 随动件轴扭矩(公斤·毫米)

q_{tm} : 最大随动件轴扭矩(公斤·毫米)

Q: 圆锥面上的矢量, 仅知一个旋转角的矢量

r : 半径, 滚子半径(毫米)

r : 矢量 **R** 的长度(毫米)

r : 凸轮半径(滚子中心)(毫米)

r_0 : 凸轮基圆半径(滚子中心)(毫米)

r_c : 刀具半径(毫米)

r_h : 凸轮外半径(滚子中心)(毫米)

r_p : 凸轮有效半径(滚子中心)(毫米)

rpm: 转速(转/分)

- R_c : 凸轮半径(毫米)
 R_r : 随动件滚子安装半径(毫米)
 \mathbf{R} : 一般的矢量,未知矢量
 \mathbf{R}' : 被旋转的矢量
 s : 位移(毫米)
 s : 沿曲线的长度(毫米)
 \dot{s} : 以时间 t 或者以无因次时间 T 微分沿曲线长度的值
 S : 无因次位移
 \mathbf{S} : 球面上的矢量,长度已知方向未知的矢量
 t : 时间(秒)
 t_c : 周期时间(秒)
 t_h : 凸轮上升时间,按行程 h 所需的时间(秒)
 T : 无因次时间
 \mathbf{u} : 单位矢量
 v : 速度(毫米/秒)
 v_m : 最大速度(毫米/秒)
 \mathbf{v} : 单位矢量
 \mathbf{v} : 切线方向的单位矢量
 V : 无因次速度
 V_m : 无因次最大速度
 \mathbf{V} : 速度矢量
 \mathbf{w} : 旋转轴,轴向单位矢量
 W : 重量(公斤)
 x : 未知数
 x : 位移(毫米)
 y : 未知数
 y : 位移(毫米)
 y_h : 最大位移,动程,行程(毫米)

z : 齿数
 α : 加速度(毫米/秒²)
 α : 角度
 α : 初张力比
 β : 角度
 β : 凸轮上的旋转角
 γ : 角度
 θ : 角度
 θ : 凸轮的实际旋转角,机械旋转角
 θ_h : 分度角,凸轮的摆角
 $\theta_{h\min}$: 最小分度角
 λ : 周期比
 λ : 方向余弦
 λ_g : 极限周期比
 μ : 摩擦系数
 μ : 方向余弦
 ν : 方向余弦
 π : 圆周率(= 3.14159...)
 ρ : 曲率半径(毫米)
 ρ_{\min} : 最小曲率半径(毫米)
 ρ_p : 凸轮轮廓的曲率半径(毫米)
 τ : 随动件轴旋转角
 τ_0 : τ 的初始值
 τ_h : 随动件轴摆角
 τ_p : 随动件方位角
 ϕ : 切线的方位角
 ϕ : 斜角,外表上的压力角
 $\dot{\phi}$: 以时间 t 或以无因次时间 T 微分切线方位角的值

ψ : 二个矢量的夹角
 ψ : 压力角,实际压力角
 ψ_0 : 停留时压力角
 ψ_m : 最大压力角
 ω : 角速度(1/秒)
 ω : 圆频率(1/秒)
 ω_0 : 固有圆频率(1/秒)

目 录

序言	ix
主要符号	xiii
第一章 运动	1
1.1. 位置,位移,速度,加速度	1
1.2. 运动曲线	3
1.3. 凸轮曲线概论	4
1.3.1. 凸轮曲线	4
1.3.2. 凸轮曲线的无因次化表示	5
1.3.3. 凸轮曲线的特性值	8
1.3.4. 凸轮轴的扭矩	10
1.3.5. 停留和连续条件	15
1.3.6. 凸轮曲线的定义范围	17
1.3.7. 对称曲线和非对称曲线	20
1.4. 凸轮曲线各论	21
1.4.1. 凸轮曲线的特性比较表	21
1.4.2. 不连续曲线	21
1.4.3. 双停留对称曲线	27
1.4.4. 双停留非对称曲线	39
1.4.5. 单停留曲线	43
1.4.6. 无停留曲线	46
1.4.7. 凸轮曲线数值表	47
习题	50
第二章 平面矢量	53
2.1. 平面矢量	53
2.1.1. 平面矢量的表示	53

2.1.2. 复数矢量	55
2.1.3. 矢量方程式	57
2.1.4. 平面矢量的分类	59
2.2. 平面三角的解法	59
2.2.1. 三角解的分类	59
2.2.2. 分类 1 的解	61
2.2.3. 分类 2 的解	64
2.2.4. 分类 3 的解	65
2.2.5. 分类 4 的解	66
2.2.6. 连杆机构的位移解	69
2.2.7. 三角解的程序	71
2.3. 矢量的微分	74
2.4. 速度多边形、加速度多边形	80
2.5. 相对运动	82
2.5.1. 相对速度、相对加速度	82
2.5.2. 坐标系的旋转	83
2.5.3. 瞬时中心	85
2.6. 运动轨迹	86
2.6.1. 切线和法线	86
2.6.2. 曲率半径	87
习题	89
第三章 平面机构	91
3.1. 偏心圆板凸轮机构	91
3.1.1. 平端直线运动随动件偏心圆板凸轮	91
3.1.2. 止转棒轭机构	92
3.1.3. 圆端直线运动随动件偏心圆板凸轮	93
3.1.4. 圆端摆动随动件偏心圆板凸轮	98
3.2. 曲柄活塞机构	103
3.2.1. 没有偏心的曲柄活塞机构	103
3.2.2. 偏心曲柄活塞机构	108

3.2.3. 活塞曲柄机构	110
3.3. 四连杆机构	115
3.3.1. 四连杆机构及其用途	115
3.3.2. 曲柄和摇臂	116
3.3.3. 连杆长度的设计	119
3.3.4. 四连杆机构的解析	120
3.4. 连杆机构的合成	125
3.4.1. 合成的目的	125
3.4.2. 合成的方法	126
3.4.3. 按 CAD 合成的实例	129
3.5. 摇臂式卸载机	135
3.5.1. 卸载机的用途	135
3.5.2. 卸载机的构造和轨迹	136
3.6. 长节距环形链	139
3.6.1. 环形托板链	139
3.6.2. 机构的假定和速度变动	140
3.6.3. 中心距变动	143
3.7. 十字轮机构	146
3.7.1. 名称的由来	146
3.7.2. 十字轮机构的种类	147
3.7.3. 十字轮机构的运动特性	149
3.7.4. 十字轮机构的扭矩	154
3.8. 齿轮机构	158
3.8.1. 齿轮的齿形	158
3.8.2. 轮系	162
3.8.3. 连杆齿轮机构	165
习题	174
第四章 平面凸轮机构	176
4.1. 凸轮总论	176
4.1.1. 凸轮在自动机械上的任务	176

4.1.2. 按照合成过程的凸轮设计	178
4.1.3. 凸轮的作图法	180
4.1.4. 压力角	181
4.1.5. 曲率半径	182
4.1.6. 凸轮机构的分类	184
4.2. 直进凸轮	185
4.2.1. 尖端直线运动随动件直进凸轮	185
4.2.2. 圆端直线运动随动件直进凸轮	187
4.2.3. 圆端摆动随动件直进凸轮	190
4.3. 直线运动随动件板凸轮	195
4.3.1. 圆端直线运动随动件板凸轮	195
4.3.2. 偏心配置的圆端直线运动随动件板凸轮	200
4.3.3. 平端直线运动随动件板凸轮	201
4.4. 摆动随动件板凸轮	204
4.4.1. 随动件的构成	204
4.4.2. 圆端摆动随动件板凸轮	209
4.4.3. 平端摆动随动件板凸轮	214
4.5. 板凸轮的设计	216
4.5.1. 凸轮半径的确定	216
4.5.2. 杠杆长度的确定	218
4.5.3. 约束弹簧的设计	221
4.6. 约束凸轮	231
4.6.1. 平面沟槽凸轮	231
4.6.2. 共轭凸轮	233
4.6.3. 平行分度凸轮	234
习题	245
第五章 空间矢量	247
5.1. 旋转变换张量(旋转矩阵)	247
5.1.1. 旋转变换张量的定义	247
5.1.2. 张量的性质	248