

管荣法 等译

[英] M.P. 柯斯特 著

凸轮机构的振动

安徽科学技术出版社



TH112.2

339803

K57

机械工业出版社

机械工业出版社

凸轮机构的振动

(英) M. P. 柯斯特 著

管荣法

杨永清

吴继常

管子方

韩声道

储修云

管子祥

译

机械工业出版社

安徽科学技术出版社

(皖)新登字02号

责任编辑: 王春阳

封面设计: 张远林

凸轮机构的振动

管荣法等 译

安徽科学技术出版社出版

(合肥市九州大厦内)

邮政编码: 230013

安徽省新华书店发行 安徽省少管所印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 8.75 字数: 240,000

1992年5月第1版 1992年5月第1次印刷

印数: 1,400

ISBN7-5337-0603-X/TH·4 定价: 4.80元

译 序

《凸轮机构的振动》的作者W·P·柯斯特是荷兰南部爱因和文市 (Eindhoven) N.V. Philips Gloerampenfabrieken的一位高级科研工程师,专门从事于生产高速机器的研究和设计工作,达十几年之久。1973年,该书作为作者的论文出现,后经几位教授的鼓励,于1974年在英国伦敦的麦克米伦印刷公司第一次印刷出版,后又在纽约、墨尔本 (Melbourne) 都柏林 (Dublin) 约翰内斯堡 (Johannesburg)、马德拉斯 (Madras) 等地的联合公司陆续出版。

译者在数十年的教学 and 实际设计工作中,经常体会到凸轮机构振动的重要性,在70年代中期就开始钻研与编写有关于凸轮机构方面的著作。在编写过程中,感到国外关于凸轮机构振动方面的资料较少或零散而不系统,没有象M.P.柯斯特编写的这本“凸轮机构的振动”一书全面,而且有系统地阐述了完整的理论与实践,拟定有关凸轮从动件连杆机构以及驱动部件的设计定则,同时提供了许多设计实例。

作者由于长时期在设计准确度、高速机器的领域中工作,促成编写本书,所以其中一系列的理论分析和设计定则以简洁扼要易懂的语言描述,且应用公式表达,以便设计出有关于位置准确性和动负荷所必要条件的优良机器。难能可贵的是,即使没有专门动力学理论知识的设计人员也能应用这些定则。如果这种机构用数学模型来代替时,就能够预估出机器的动力特性,作者对凸轮机构及其驱动部件 (即凸轮轴、减速齿轮和驱动异步电动机)

的研究方法和结果，都具有较广泛的实用性。机器振动的详细分析是通过四自由度典型的基础，借用数字模拟程序求得的。同时，阐明了从动件和轴的振动以及非线性现象效应（即间隙、挤压和冲击）都可以模拟。

综上所述，该书所包含的内容，恰好补充译者于1985年、1989年在北京国防工业出版社出版的“凸轮与凸轮机构基础”一书在凸轮机构振动方面的不足。同时，与译者将出版的《凸轮设计与制造》中有关于数控机床加工凸轮和凸轮机构的振动问题，相辅相成。为此目的，译者虽经验学识浅陋，勉为其难，将该书译成中文，抛砖引玉，不妥之处在所难免，冀读者和这门学科的专家们能惠于指正或提供意见，以便修正。

管荣法

1990年2月于合肥

符 号

α	由凸轮作用的压力角 (2—52)	(rad)
α_m	($=\arctg(h_m/R_{1/2}\beta_m)$)由凸轮作用的平均压力角 (4—13)	(rad)
α_s	由轮齿作用的压力角 (6—71)	(rad)
β	凸轮角位置	(rad)
β_m	凸轮曲线角	(rad)
γ	密度	(kg/m ³)
$\Delta\cdots$	差别: (1)增量 (4—28), (2)偏差	
δ	异步电动机的滑溜 (8—1)	
$\delta\cdots$	增量 (4—23)	
δ_K	临界滑溜 (附 5—3)	
δ_{lim}	最大许可滑溜 (8—1)	
e	接触比 (6—3)	
η_s	减速齿轮效率 (附 5—34)	
η	润滑剂的动态粘滞度 (或称粘度) (附 4—2)	(Ns/m ²)
ρ	(1) ($=\Delta T/2$)半时间阶跃 ΔT (4—24), (5—21), (2) 修正正弦凸轮曲线发生最大名义加速度的瞬间 (附 2—17)	
λ	特征值 (2—50)	
μ	摩擦角 (6—71)	(rad)
ν	摩擦系数 (6—13)	
ξ	常数 (或称常量) (4—22)	
ρ	凸轮曲率半径 (6—31)	(m)

$\rho_{i i c}$	节圆曲线的曲率半径 (6—30)	(m)
σ_p	液体压力 (附 4—1)	(N/m ²)
σ_s	液体中的剪切应力 (附 4—2)	(N/m ²)
τ	T_e/t_m (3—3)	
τ_{e1}	T_{e1}/t_m (附 5—23)	
τ_m	T_m/t_m (附 5—24)	
ϕ	流量 (附 4—4)	(m ³ /s)
ϕ	(= φ/β_m) 驱动机械的无量纲 (因次) 角位置	
φ	被简化在凸轮轴上的驱动机械的角位置	(rad)
φ_m	驱动机械的角位置	(rad)
φ_s	轴在面对减速齿轮一边的角位置	(rad)
α	输出角	(rad)
ψ	回转角 (2—1 b)	((rad)
$\Omega_{i i c}$	(= $\omega_{i i c} t_m / \beta_m$) 凸轮的无量纲模拟角速度	
ω	(= $\dot{\psi}$) 简化在凸轮轴处的驱动机械的角速度 (附 5—9)	(rad/s)
$\Delta\omega$	$=\omega-\omega_s$ (附 5—6)	(rad/s)
ω_s	固有 (径向) 频率	(rad/s)
$\omega_{e h}$	最高固有频率 (5—46)	(rad/s)
$\omega_{e l}$	最低固有频率 (5—46)	(rad/s)
$\omega_{e h u}$	在去耦情况下的最高固有频率 (5—45)	(rad/s)
$\omega_{e l u}$	在去耦情况下的最低固有频率	(rad/s)
ω_m	(= $\dot{\psi}_m$) 电动机轴的角速度	(rad/s)
$\omega_{\Sigma i i c}$	主 (总) (径向) 频率 (附 5—3)	(rad/s)
$\omega_{i i c}$	凸轮的模拟角速度 (1—3)	(rad/s)
ω_s	凸轮轴的等角速度 (附—9)	(rad/s)
A	横剖面域	(m ²)
AA	$=(\omega_s-\varphi)^{-3/2}$ (6—7)	(rad ^{-3/2})

a_i	系数 (2—28), (2—29)	
a_i	位移矢量的分量 (4—36)	
B	(β/β_m) 凸轮的无量纲位置	
BB	$= (\varphi + s_i - \varphi_i)^{-3/2}$ (6—8)	(rad)
ΔB	(1) B 的增量 (5—34); (2) $(=(\varphi_i - \beta)/\beta_m)$ 无量纲轴的扭紧	
b	在挤压条件下圆柱体的表面长度 (A 4—11)	(m)
CC	$= (h_r' - h_c')^{-3/2}$ (6—39)	(m ^{-3/2})
$\bar{C}$	刚度矩阵 (2—48)	(N/m)
c	刚度	(N/m)
c_c	等刚度 (4—3)	(N/m)
c_{ts}	切向刚度 (4—4)	(N/m)
D	d/dt , 微分算子	(s ⁻¹)
DD	$= (h_c' + s_r' - h_r')^{-3/2}$ (6—40)	(m ^{-3/2})
d	阻尼系数	
E	杨氏模数	(N/m ²)
$\bar{E}$	单元矩阵 (2—49)	
F	力	(N)
F_s	轴-刚度因子 (或称轴-刚度因素) (4—14)	
F_i	冲击力	(N)
$F_{..}$	外力	(N)
F_v	飞轮因子 (或称飞轮因素) (5—14)	
F_v	从动件弹簧预负荷	(N)
f	底座位移	(m)
	(1) 切变模量;	(N/m ²)
	(2) 线性化静态特征 (A 5—1)	(Nms/rad)
G_s	在零扭矩时相切于静态特征的斜率 (A 5—4a)	(Nms/rad)

h	($=h'/h_n'$)无量纲凸轮曲线的位移	
h	凸轮曲线的位移 (附 3—2)	(m)
$\bar{h}$	输入位移矢量 (2—48)	(m)
h_c	无间隙从动滚子中心的位移 (2—52)	(m)
h_m	在凸轮上的行程	(m)
h_r	滚子中心位置	(m)
I	横剖面惯性矩 (转动惯量)	(m)
I_p	横剖面极惯性矩 (极转动惯量)	(m ⁴)
i	传动比	
i_r	减速齿轮的传动比 (附 5—6)	
i_x	从动连杆机构的传动比	
J	凸轮的极质量惯性矩	(kg m ²)
J_m	驱动机械的极质量惯性矩 (附 5—7)	(kg m ²)
$\bar{K}$	刚度矩阵 (2—48)	(N/m)
k	($=GI_p/I$)扭转刚度	(Nm/rad)
l	棒, 梁或轴的长度	(m)
M	凸轮轴扭矩 (附 2—5)	(Nm)
$\bar{M}$	质量矩阵 (2—48)	(kg)
M_e	驱动机械的电磁扭矩 (附 5—1)	(Nm)
M_k	电动机的临界扭矩 (附 5—4a)	(Nm)
M_m	作用在驱动机械上的外扭矩 (附 5—7)	(Nm)
m	质量	(kg)
m_r	输出齿轮的模量 (6—15)	(m)
m_{t1}	切向质量 (5—51)	(kg)
N	功率 (8—3)	(W)
n	整数	
P	($=M_{...}/M_{...}$)超(全)尺寸比 (附 5—15)	

P_r	$(=M/(\beta_m c_p' R_b'^2))$ 无量纲扭矩	
p	配对的极数(附 5—4a)	
Q	某一节点的力(2—23), (2—29)	(N)
Q^*	综合力(2—27)	(N)
q	相对阻尼(1—2)	
$R(\beta)$	凸轮曲线的瞬间节圆半径(2—53)	(m)
R_b	$(=R'(\beta)/h_m')$ 无量纲瞬间节圆半径	
R_c	有效曲率半径(附 4—8)	(m)
R_b	基圆节圆半径(4—1)	(m)
$R_{1/2}$	$(=R_b + \frac{1}{2}h_m)$, 平均节圆半径(4—1)	(m)
R_r	滚子半径(6—31)	(m)
r_c	$(=v_c t_m/h_m')$ 无量纲冲击速度(3—16)	
S_r	$(=s_r'/h_m')$ 滚子在凸轮槽中的无量纲间隙	
S_i	$(=s_i/\beta_m)$ 在减速齿轮中的无量纲间隙	
S_f	瞬间最小油膜厚度(附 4—10)	(m)
s	间隙(3—16)	(m)
s_f	瞬间油膜厚度(附 4—3)	(m)
s_{β_0}	轴的起始位置(6—61)	(rad)
s_{x_0}	滚子的起始位置(6—56b)	(m)
T	(1) $(=t/t_m)$ 无量纲时间(附 2—1); (2) 动能(2—7)	(Nm)
T_r	固有振动周期(3—3)	(s)
T_{el}	用电时间常数(附 5—3)	(s)
T_m	机械时间常数(附 5—11)	(s)
t	时间	(s)
t_c	轴的一次循环的时间	(s)
t_d	停留时间	(s)

t_n	凸轮升程时间 (即凸轮上升时间) (3—2)	(s)
$U_{..}$	($=U_{..}/h_m'$) 无量纲冲击幅 (3—11)	
$\ddot{U}_{..}$	($=\ddot{u}_{s..}t_m^2/h_m'$) 冲击时无量纲加速度幅 (3—12)	
U_o	($=U_o/h_m'$) 无量纲位置误差 (3—5)	
$\ddot{U}_o$	($=\ddot{u}_o t_m^2/h_m'$) 无量纲剩余加速度幅 (3—6)	
u	($=x-h_m'$) 瞬间位置误差 (3—4)	(m)
$u_{..}$	冲击幅 (3—11)	(m)
$\ddot{u}_{..}$	冲击时加速度幅 (3—12)	(m/s ²)
u_o	位置误差幅 (3—5)	(m)
$\ddot{u}_o$	剩余加速度幅 (3—6)	(m/s ²)
V	位能 (或称势能) (2—5)	(Nm)
v	与挤压表面相平行的润滑油膜速度 (A4—3)	(m/s)
v_s	冲击速度 (3—10)	(m/s)
VR	与滚子和槽壁间挤压有关的挤压项 (6—38)	(Nsm ^{3/2})
VT	与减速齿轮间挤压有关的挤压项 (6—6)	(Nsm ^{3/2})
w	挤压速度 (附4—5)	(m/s)
X	($=x/h_m$) 输出元件的无量纲位置	
x	输出元件的位置 (1—2)	(m)
x_d	动态位移函数	(m)
x_e	弹性位移函数 (2—2)	(m)
x_s	具有可以忽略不计的动态耦合的位移函数	(m)
x	位移矢量 (2—48)	(m)

z, 输出齿轮的齿数 (6—15)

索引

β 指的是凸轮的回转

a 指的是在凸轮轴处的简化尺寸

e 指的是(1)弹性位移;

(2)电磁扭矩 (附 5—1)

eq 指的是等效, 当量或方程式

f 指的是底座

l 指的是纵向运动 (2—1a)

max 指的是最大值

me 指的是平均值

min 指的是最小值

n 指的是额定 (8—3)

r 指的是滚子

ri 指的是刚度

s 指的是从动件弹簧 (6—45)

t 指的是齿轮的齿

tr 指的是横向运动

w 指的是摩擦力 (6—13)

x 指的是从动输出元件的位移

y 指的是切向偏转

z 指的是从动滚子运动方向的偏转

o 指的是起始条件

, 指的是简化尺寸

^ 指的是幅

• 指的是 $d/dt(s^{-1})$ 或 d/dT , 例如 $\dot{h} = dh/dt$,

$\dot{H} = dH/dT$

目 录

符号	1
第1章 引言	1
1.1 机构	1
1.2 研究凸轮机构的动态的意义	3
1.3 技术状态	4
1.4 本书所讨论的内容	12
1.5 综述	13
第2章 造型	16
2.1 引言	16
2.2 自由度	16
2.3 动态模型	38
2.4 简化	43
2.5 动态模型的各项细节	49
第3章 等模拟角速度的单自由度模型	51
3.1 引言	51
3.2 假定	51
3.3 动态响应	53
3.4 阻尼	57
3.5 最高点和零位点	58
3.6 间隙	59
3.7 多自由度	62
3.8 小结	68
第4章 可变模拟角速度的单自由度模型(凸轮轴-1)	70
4.1 引言	70

4.2	假设	72
4.3	模型的描述	76
4.4	解法	80
4.5	“凸轮轴-1”程序的结果	85
4.6	计算最低固有频率的简单方法	90
4.7	小结	93
第5章	两自由度模型(凸轮轴-2)	96
5.1	引言	96
5.2	假设	96
5.3	模型描述	98
5.4	解法	101
5.5	“凸轮轴-2”程序的结果	105
5.6	多自由度	114
5.7	小结	119
第6章	四自由度模型(动态凸轮)	121
6.1	引言	121
6.2	假设	121
6.3	数值计算	123
6.4	“动态凸轮”模型的效果	124
6.5	凸轮机构的方程	124
6.6	方框图	141
6.7	异步电动机和减速齿轮的方程	141
第7章	机械动态分析	145
7.1	引言	145
7.2	试验机的详细资料	145
7.3	测量设备	150
7.4	用模拟来说明从动件响应的测量规范	150
7.5	从动件的跳开	178
7.6	挠性轴	179
第8章	各种动态模型响应与实际机构响应的比较	181
8.1	引言	181

8.2	各种凸轮机构动态模型的响应与实际机构的响应比较	182
8.3	异步电动机的选择	194
8.4	凸轮的交替曲线	196
8.5	设计定则	202
8.6	小结	204
第9章	结论	206
附录1	机器零部件的动态模型	208
附录2	摆线曲线和修正正弦凸轮曲线的名义特征	210
附2.1	引言	210
附2.2	通解	210
附2.3	摆线凸轮曲线	211
附2.4	修正正弦凸轮曲线	213
附录3	计算最低固有频率的雷莱法	216
附3.1	引言	216
附3.2	雷莱法	216
附3.3	求各集总质量的正确方法	216
附3.4	近似单自由度系统	217
附3.5	两自由度系统中雷莱法的精确性	217
附3.6	雷莱法精确性的确定	219
附录4	挤压	226
附4.1	(二维)稳压粘滞流动	226
附4.2	挤压	227
附录5	异步电动机	229
附5.1	引言	229
附5.2	电磁扭矩	229
附5.3	电动机方程	231
附5.4	解法	232
附录6	“动态凸轮”程序	247
附录7	动态模型的计算	256
附7.1	引言	256

附7.2 转位机构	256
-----------	-----

附7.3 凸轮从动件机构	260
--------------	-----

001	.....	1.1.1
002	.....	1.1.2
003	.....	1.1.3
004	.....	1.1.4
005	.....	1.1.5
006	.....	1.1.6
007	.....	1.1.7
008	.....	1.1.8
009	.....	1.1.9
010	.....	1.1.10
011	.....	1.1.11
012	.....	1.1.12
013	.....	1.1.13
014	.....	1.1.14
015	.....	1.1.15
016	.....	1.1.16
017	.....	1.1.17
018	.....	1.1.18
019	.....	1.1.19
020	.....	1.1.20
021	.....	1.1.21
022	.....	1.1.22
023	.....	1.1.23
024	.....	1.1.24
025	.....	1.1.25
026	.....	1.1.26
027	.....	1.1.27
028	.....	1.1.28
029	.....	1.1.29
030	.....	1.1.30
031	.....	1.1.31
032	.....	1.1.32
033	.....	1.1.33
034	.....	1.1.34
035	.....	1.1.35
036	.....	1.1.36
037	.....	1.1.37
038	.....	1.1.38
039	.....	1.1.39
040	.....	1.1.40
041	.....	1.1.41
042	.....	1.1.42
043	.....	1.1.43
044	.....	1.1.44
045	.....	1.1.45
046	.....	1.1.46
047	.....	1.1.47
048	.....	1.1.48
049	.....	1.1.49
050	.....	1.1.50
051	.....	1.1.51
052	.....	1.1.52
053	.....	1.1.53
054	.....	1.1.54
055	.....	1.1.55
056	.....	1.1.56
057	.....	1.1.57
058	.....	1.1.58
059	.....	1.1.59
060	.....	1.1.60
061	.....	1.1.61
062	.....	1.1.62
063	.....	1.1.63
064	.....	1.1.64
065	.....	1.1.65
066	.....	1.1.66
067	.....	1.1.67
068	.....	1.1.68
069	.....	1.1.69
070	.....	1.1.70
071	.....	1.1.71
072	.....	1.1.72
073	.....	1.1.73
074	.....	1.1.74
075	.....	1.1.75
076	.....	1.1.76
077	.....	1.1.77
078	.....	1.1.78
079	.....	1.1.79
080	.....	1.1.80
081	.....	1.1.81
082	.....	1.1.82
083	.....	1.1.83
084	.....	1.1.84
085	.....	1.1.85
086	.....	1.1.86
087	.....	1.1.87
088	.....	1.1.88
089	.....	1.1.89
090	.....	1.1.90
091	.....	1.1.91
092	.....	1.1.92
093	.....	1.1.93
094	.....	1.1.94
095	.....	1.1.95
096	.....	1.1.96
097	.....	1.1.97
098	.....	1.1.98
099	.....	1.1.99
100	.....	1.1.100

第1章 引言

1.1 机 构

凡是可以将一种输入运动转变成输出运动，而且后者的运动能产生前者运动所要求的功用的装置，都称为机构。

有许多方法可以产生输入运动，例如通过气动或液压传动装置以产生往复线性运动，以及用液压方法即用步进电动机和连续回转式电动机来驱动传动轴，以便产生往复、间歇和连续性的回转运动。

输出运动往往是周期性地顺着直线和曲线轨迹作往复运动。这时，作传递运动的机构具有极简单的性能。例如，用某一传动装置产生往复运动的情况下，只有一种简单的滑动运动。另一例是带有螺母的回转心轴，该螺母是由回转运动变成输出直线运动的滑动来带动的。就输入回转运动来说，主要的有两种机构能产生往复运动：

(1) 空间和平面形式的连杆机构（图 1-1），输入的回转

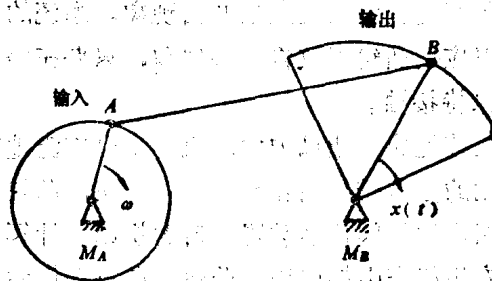


图 1-1 平面连杆机构