

机械设计制造文集

The Collections of Machine Design and
Manufacturing

钮心宁 著

中国科学技术大学出版社

机械设计制造文集

The Collections of Machine Design and
Manufacturing

藏书章

钮心宁 著

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书系作者在企业工作及学校教学时的研究成果汇集,包含内燃机配气凸轮与平面挺柱相切时外形圆滑性之改进方法、管带式散热器波纹散热带一步成型刀具几何参数计算、甩掉渐开线函数表、应用电子计算器进行渐开线函数计算、等概率分布尺寸之组合、无心磨通过法加工圆柱形零件时导轮外形之计算等内容。

本书对企业和学校中从事机械制造行业相关人员有一定参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计制造文集/钮心宁著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2017.3

ISBN 978-7-312-04149-5

I. 机… II. 钮… III. ①机械设计—文集 ②机械制造—文集
IV. TH-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 034310 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
<http://press.ustc.edu.cn>
<https://zgkxjsdxcbs.tmall.com>
印刷 安徽省瑞隆印务有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 880 mm×1230 mm 1/32
印张 4
字数 73 千
版次 2017 年 3 月第 1 版
印次 2017 年 3 月第 1 次印刷
定价 30.00 元

目 录

内燃机配气凸轮与平面挺柱相切时外形圆滑性 之改进方法	(1)
管带式散热器波纹散热带一步成型刀具几何 参数计算	(48)
甩掉渐开线函数表	(62)
应用电子计算器进行渐开线函数计算	(66)
等概率分布尺寸之组合	(71)
无心磨通过法加工圆柱形零件时导轮 外形之计算	(95)
机械制图、识图中的“无法判定”与“想当然”	(104)
手工绕制有预张力拉伸弹簧的方法	(108)
其他著作	(112)
后记	(113)

内燃机配气凸轮与平面挺柱相切时 外形圆滑性之改进方法

一、用二圆弧组成凸轮工作部分 半侧时外形圆滑性之改进

常见的用二圆弧组成凸轮工作部分半侧的凸轮外形如图 1 所示。

凸轮的工作部分由 $\widehat{KG}$ 及 $\widehat{GE}$ 两条圆弧组成 ($\widehat{EM}$ 为过渡曲线)。

凸轮的基本数据可以归纳如下：

$$CK = r = \text{桃尖}^{\text{①}} \text{曲率半径}$$

$$\angle KOE = \frac{\varphi}{2} = \text{反映在凸轮上的气门开启角之半}$$

$$OC = D$$

$$OE = R'_1$$

① 在江南一带凸轮俗称“桃子”。

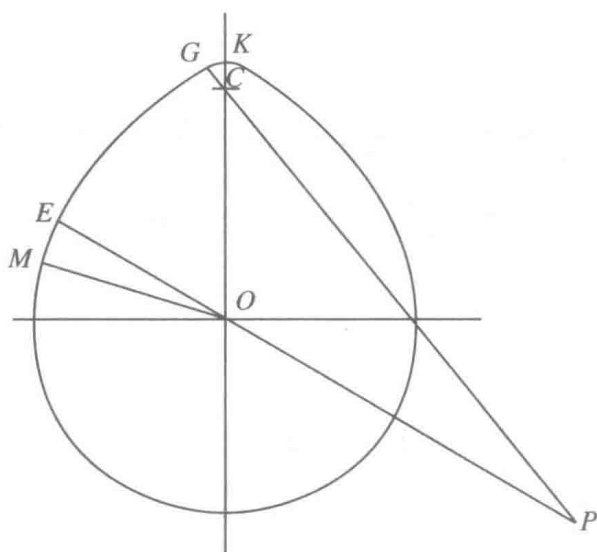


图 1

$$OM = R'_2 = \text{基础圆半径}^{①}$$

$$\angle EOM = \beta$$

按上述 6 个原始数据可以算出下面 2 个数据：

$$EP = GP = R$$

$$\angle GPE = \theta_m$$

计算 R 及 θ_m 之公式在许多书中都可以容易地找到：

① 本文中的基础圆一般称为基圆，这里改称基础圆是为了与渐开线的基础圆相区别。

$$R = \frac{D^2 + R_1'^2 - r^2 - 2DR_1' \cos \frac{\varphi}{2}}{2\left(R_1' - r - D \cos \frac{\varphi}{2}\right)} \quad (1)$$

$$\theta_m = \arcsin \left[\frac{D \sin \frac{\varphi}{2}}{R - r} \right] \quad (2)$$

江西拖拉机厂 481 发动机凸轮的相关数据在 1965 年前亦由上述公式算出。以进气凸轮为例,基本数据如下(长度单位为 mm,下同):

$$CK = r = 2$$

$$\angle KOE = \frac{\varphi}{2} = 52^\circ 30'$$

$$OC = D = 16.88$$

$$OE = R_1' = 13.65$$

$$OM = R_2' = 13.44$$

$$\angle EOM = \beta = 21^\circ$$

在 OE 到 OM 之间,凸轮轴每转 1° ,平面挺柱下降 0.01。按此原始数据算出:

$$R = 67.944131$$

$$\theta_m = 11.717011^\circ$$

上述计算公式之应用实际上只有当没有过渡曲线 $\widehat{ME}$, 或者过渡曲线从 M 过渡到 E 时,挺柱瞬时速度为零时才是正确的。如果不然,当过渡曲线过渡完

毕时速度不等于零(对 481 发动机进气凸轮来说,速度为 0.57 mm/rad),则过渡曲线与圆弧 $\widehat{EG}$ 必然不会在 E 点相切,因为如果将 E 点看成是 $\widehat{EG}$ 圆上的一点,则当挺柱与 E 点相切时,挺柱瞬时速度应为零,也就是说这一点不可能是过渡曲线的终结点。

这种矛盾存在于一些内燃机凸轮设计中。^①

若平面挺柱与过渡曲线相切时挺柱以等速上升或下降,则凸轮过渡曲线外形应为渐开线^②(以圆弧为收缩线)。这对于熟悉渐开线齿轮基本原理的人来说是容易理解的,因为此时可将凸轮外形看成是一个小齿轮的齿形,而把平面挺柱看成是一个压力角为零度的齿条。^③改进后之凸轮外形如图 2 所示。

凸轮外形从桃尖开始依次由圆弧 $\widehat{GK}$ 、圆弧 $\widehat{GE}$ 、渐开线 EN 、直线 MN 组成, M 以下为基础圆。

① 这类内燃机有早期美国的雪佛兰(见 *High Speed Combustion Engine*, P. M. Heldt, 1946),苏联的 СМД-7(见 Восстановление Деталей Двигателей СМД ИЗДАТЕЛЬСТВО «УРОЖАЙ» КИЕВ, 1965)(凸轮同天津拖拉机厂铁牛 45 拖拉机者),上海柴油机厂的 135 柴油机。

② 本文为了叙述方便,将渐开线作狭义解释,将展伸线作广义解释,也就是说展伸线的收缩线不是圆弧而是其他任意曲线。

③ 许多书及文章将等速上升之过渡曲线看成是阿基米德螺线,其实这仅对作直线运动的在二维图中为针尖状的挺柱才正确,而这种挺柱在实践中是不存在的,如将针尖改成滚柱则应为阿基米德螺线的等距线,如为作直线运动的平面挺柱则应为渐开线。

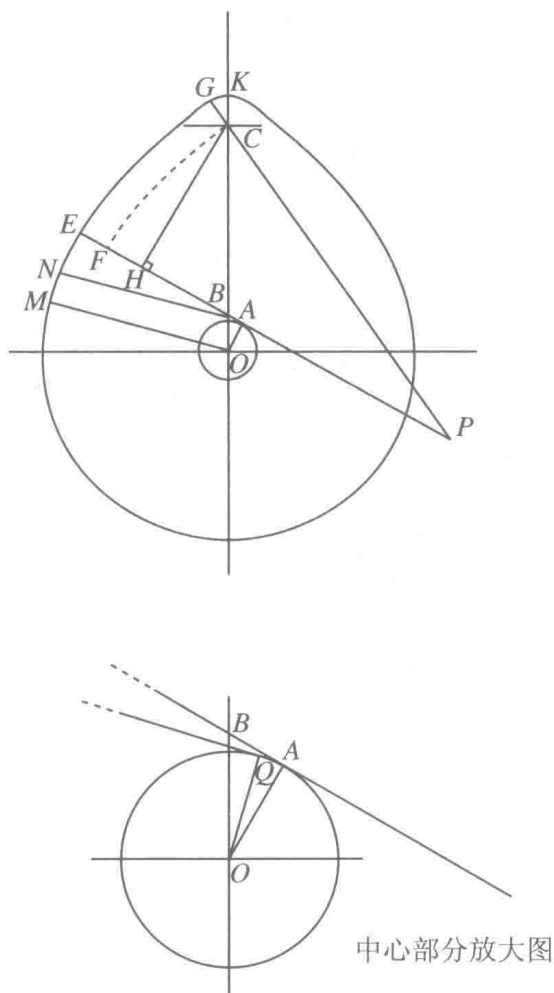


图 2

令

$$CK = r$$

$$\angle KBE = \frac{\varphi}{2}$$

$$OC = D$$

$$AE = R'_1$$

$$QN = R'_2$$

$$OA = I$$

则由图 2 可得

$$EA \text{ 与 } NQ \text{ 间夹角 } \angle AOQ = \frac{\widehat{AQ}}{OA} = \frac{R'_1 - R'_2}{I}$$

$$CB = D - \frac{I}{\sin \frac{\varphi}{2}} \quad (3)$$

$$BE = R'_1 - \frac{I}{\tan \frac{\varphi}{2}} \quad (4)$$

$$\angle FCH = \frac{1}{2} \angle CPH$$

$$\frac{2CP}{CF} = \frac{CF}{HF}$$

所以

$$CP = \frac{CF^2}{2HF} \quad (5)$$

而

$$CF^2 = CB^2 + (BE - r)^2 - 2CB(BE - r) \cos \frac{\varphi}{2} \quad (6)$$

$$HF = R'_1 - r - D \cos \frac{\varphi}{2} \quad (7)$$

令

$$R = CP + r = \frac{CF^2 + 2HF \cdot r}{2HF} \quad (8)$$

将式③④⑥⑦代入式⑧得

$$R = \frac{D^2 + R_1'^2 - r^2 - 2DR'_1 \cos \frac{\varphi}{2} - 2DI \sin \frac{\varphi}{2} + I^2}{2\left(R'_1 - r - D \cos \frac{\varphi}{2}\right)} \quad (9)$$

$$\theta_m = \arcsin \left[\frac{D \sin \frac{\varphi}{2} - I}{R - r} \right] \quad (10)$$

以 θ 表示凸轮轴转角(桃尖向上时, θ 为零)(参看图 6), 则凸轮外形各组成部分反映在平面挺柱上的升程、速度、加速度及加速度变化值可按下列公式计算:

1. 从 0° 到 $\frac{\varphi}{2} - \theta_m$

$L = D \cos \theta + r$ (L 表示升程, 本文中升程之含义与一般常用概念有别, 是指挺柱平面到凸轮轴中心之距离, 参看图 6);

$V = \frac{dL}{d\theta} = -D \sin \theta$ (V 表示速度, 单位为长度单

位/弧度,不包含时间因素,下同);

$$A = \frac{dV}{d\theta} = -D\cos\theta \quad (A \text{ 表示加速度,单位为长度}$$

单位/弧度²,与 V 一样,也不包含时间因素,而且仅仅是一次长度单位,因为弧度是 2 个长度单位之比,下同);

$$\frac{dA}{d\theta} = D\sin\theta \quad (\text{亦是只有一次长度单位}).$$

$$2. \text{ 从 } \frac{\varphi}{2} - \theta_m \text{ 到 } \frac{\varphi}{2}$$

$$L = R - OP\cos\left(\frac{\varphi}{2} - \theta + \angle APO\right), \text{ 式中}$$

$$OP = \sqrt{I^2 + (R - R_1')^2}$$

$$\angle APO = \arctan\left(\frac{I}{R - R_1'}\right)$$

$$V = \frac{dL}{d\theta} = -OP\sin\left(\frac{\varphi}{2} - \theta + \angle APO\right)$$

$$A = \frac{dV}{d\theta} = OP\cos\left(\frac{\varphi}{2} - \theta + \angle APO\right)$$

$$\frac{dA}{d\theta} = OP\sin\left(\frac{\varphi}{2} - \theta + \angle APO\right)$$

$$3. \text{ 从 } \frac{\varphi}{2} \text{ 到 } \frac{\varphi}{2} + \frac{R_1' - R_2'}{I} \text{ ①}$$

① 本文中提到的角度值除注明者外,均应按弧度考虑,以免发生差错。

$$L = R'_1 - I \left(\theta - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$V = \frac{dL}{d\theta} = -I$$

$$A = \frac{dV}{d\theta} = 0$$

$$\frac{dA}{d\theta} = 0$$

按原例的原始数据利用上述公式可以算出：

$$I = 0.57295$$

$$R = 62.47962$$

$$\theta_m = 12^\circ 14' 12''$$

及各部分之 L 、 V 、 A 、 $\frac{dA}{d\theta}$ 值。根据算出之数据绘出

L - θ 、 V - θ 、 A - θ 图形，如图 3 所示。

从图 3 可以看出（实际上，更主要是从计算数据看出）：

L - θ 曲线为圆滑曲线；

V - θ 曲线为折断连续曲线；

A - θ 曲线为断续曲线；

V - θ 曲线之所以不圆滑是因为凸轮外形虽由依次相切之曲线组成，但相切之处相邻两曲线之曲率半径还不相等（或者说收缩线不连续）。

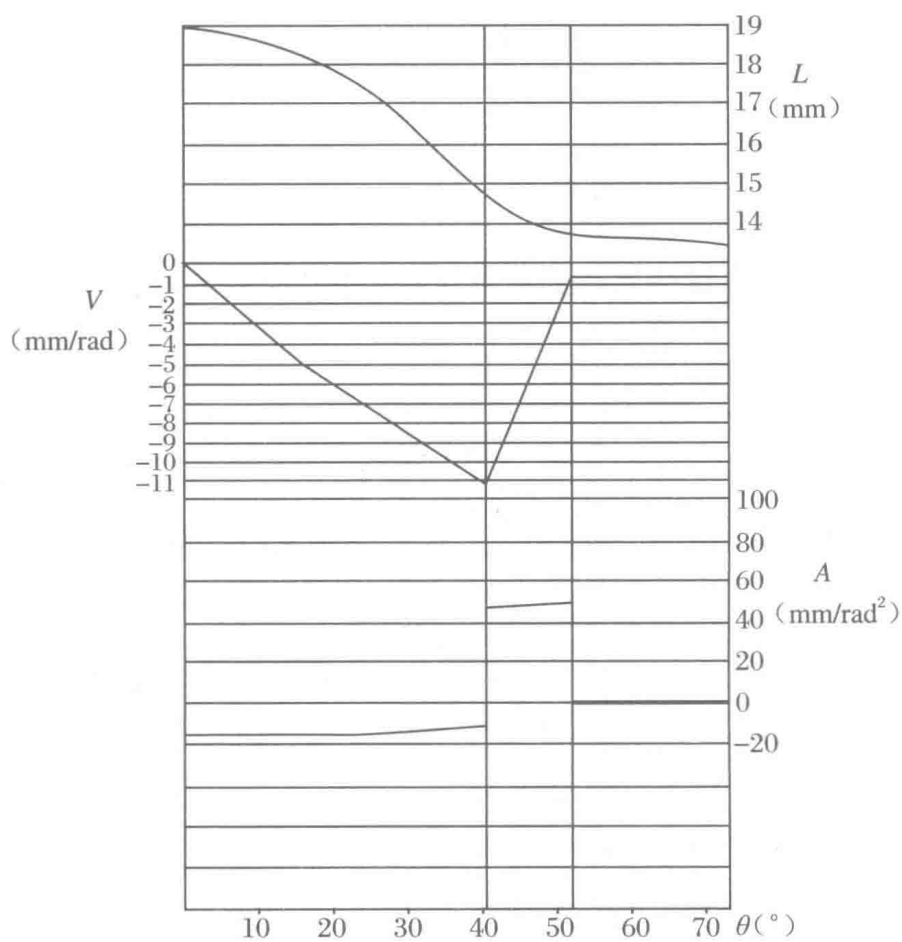


图 3

要做到相切曲线在相切处曲率半径相同,显然不能用圆弧来组成凸轮外形。有一些内燃机的凸轮外形用两个以上的圆弧来组成,这一方面可以改变特性曲线,另一方面还可以使 $V-\theta$ 曲线的不圆滑程度得到改进,但始终不能使 $V-\theta$ 曲线成为圆滑曲线,因此也是不彻底的。

应用多条渐开线来组成凸轮外形,可以做到使 $V-\theta$ 曲线为圆滑曲线,因为此时可以使相切之渐开线在相切处曲率半径相等。

二、用渐开线组成凸轮外形

因循原设计的过渡曲线及原始数据(即保证凸轮基础圆半径、桃尖曲率半径、开启角、最大升程不变)在凸轮工作部分采用不同数量,不同长度的渐开线组合可以设计出不同特性曲线的凸轮来,而它们都可以做到使 $V-\theta$ 曲线为圆滑曲线。

图 4、图 5 为根据原设计的过渡曲线及原始数据算出的两种不同样的渐开线凸轮的特性曲线(具体公式推导及计算略)。

从图 4、图 5 可以看出: $L-\theta$ 曲线为圆滑曲线; $V-\theta$

曲线为圆滑曲线； $A-\theta$ 曲线为连续折断曲线。

由于 $A-\theta$ 曲线是连续的，所以 $V-\theta$ 曲线必然是圆滑的。由于 $V-\theta$ 曲线是圆滑的，所以 $L-\theta$ 曲线的圆滑性可以看成是“二次”的。

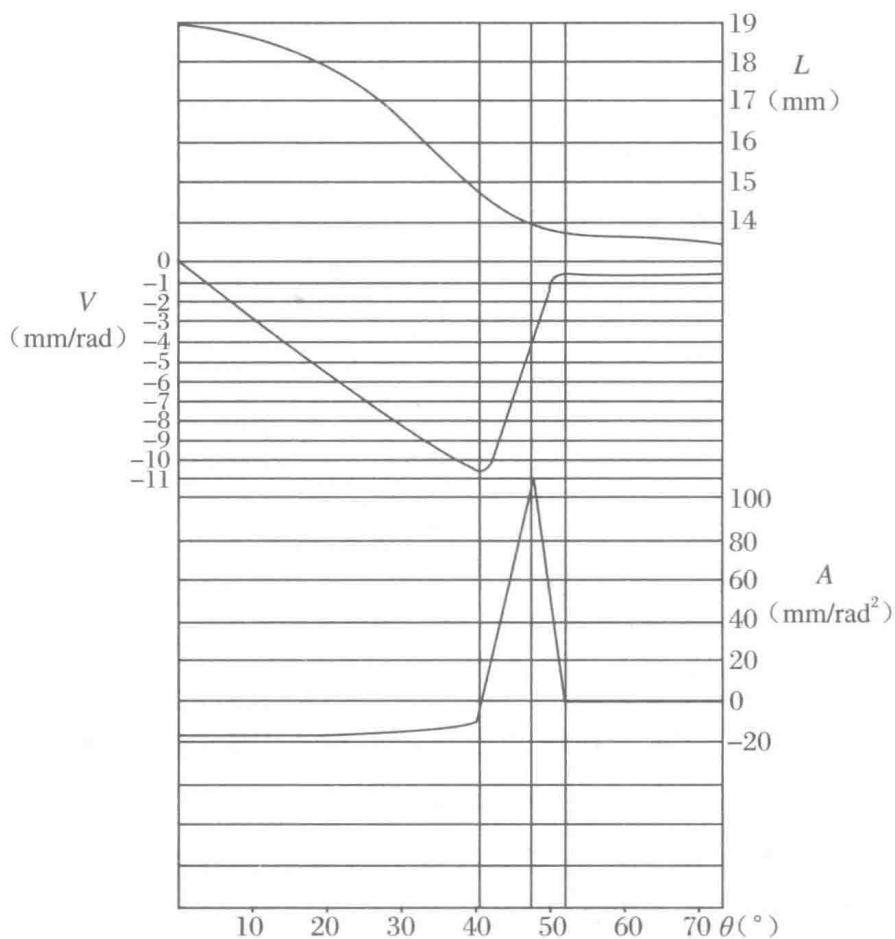


图 4

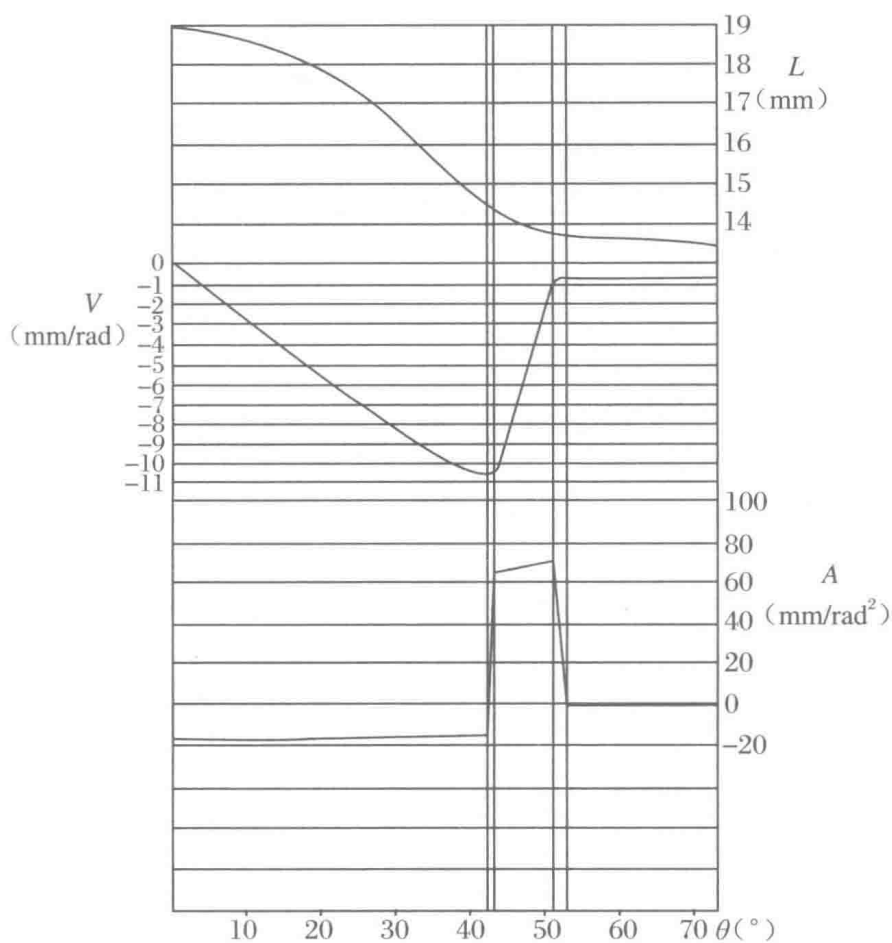


图 5