

曲柄连杆检测机构的 CAD

李 玉 燕

(精密机械工程系)

摘要 本文叙述柴油机的气门顶杆、汽缸的活塞销等圆柱形零件,在检测机作用下作旋转运动,以测得零件外形尺寸是否符合公差要求。这一运转的主要尺寸、运动位置,通过数学模型及电算以及微机绘图加以说明。

关键词 运动学,矢量方程,位置分析

1 工作原理

曲柄连杆旋转检测机构是回转零件测量机的主体部分。此机构为气门顶杆测量而设计,也适于其它圆形零件,如活塞销等圆柱形零件的检测。其工作原理是由曲柄的旋律带动连杆作平面运动,靠连杆本身重量压在零件上,当连杆运动时,靠摩擦力带动圆形零件旋转。零件的外测,装有位移传感或其它位移测量仪器,以测量零件外形公差(圆柱、圆锥公差等),根据测得的公差范围,分等。

零件的进给由零件箱及提取机构送入,零件的装卡,靠V形铁、固定端、顶尖卡紧,顶尖的松紧由圆柱凸轮机构控制,曲柄的旋律由电机减速系统带动,测量由测控部分控制,这些部分另得设计。

本文通过设计,求连杆、曲柄的主要尺寸,通过电算验证其工作条件:即保证零件旋转一周以上,以测得整个外圆尺寸;计算曲柄旋转一周时杆所处的位置,目的是作为零件进给机构及其它部分设计的依据。图1为零件检测示意图。

2 主要设计尺寸

曲柄长度 $R=50\text{mm}$; $AO_2=R$; 支撑高度 $ED=25\text{mm}$; 零件半径 $R_1=5\text{mm}$, $OG=R_1$; 支撑与曲柄中心平距离 $DH=80\text{mm}$; 曲柄中心与水平面垂直距离 $o_2y_2=50\text{mm}=O_2H$; 零件中心离水平面的垂直距离 $oy_1=0$ 。

* 本文1990—05—11收到。

零件水平位置的计算:当 $\theta_2 = \theta_0$, θ_2 为连杆与水平方向夹角, θ_0 为连杆通过 E 点及零件表面且与曲柄成一直线时的夹角, 图2为机构示意图. $CH/CD = R/DE$, $CD = DH \cdot DE / (R - DE)$, $CH = CD - DH$, $\theta_0 = \text{ATN}(R/CH)$, $CO = R_1 / \text{TAN}(\theta_0)$.

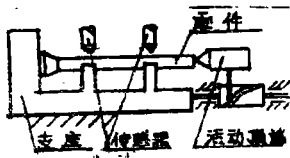


图1 零件检测示意图

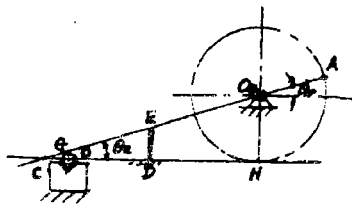


图2 机构示意图

连杆长度 L 的设计: 当曲柄转角 θ , 由 θ_0 转至 $(\pi + \theta_0)$ 时, $AE_{\max} = DH / \sin \theta_0 + R$, $AG_{\max} = (OH + R \cdot \cos \theta_0 + R_1 \cdot \sin \theta_0) / \cos \theta_0$, $AG_{\min} = AG_{\max} - 2 \cdot R$, $AG_{\max} > l > AE_{\max}$. 由程序计算 $AG_{\max} = 206 \text{mm}$, $AG_{\min} = 106 \text{mm}$, $AE_{\max} = 134 \text{mm}$, 所以定义 $l = 180 \text{mm}$ (满足上式条件), $\Delta = l - AG_{\min}$, $\Delta > 2\pi R_1$, 这样 $l = 180 \text{mm}$, 合理.

3 分析连杆位置的数学模型

曲柄 AO_2 的位置由 θ 表示, 连杆的位置与 x 方向的夹角用 θ_2 表示.

1) 当 $0 \leq \theta \leq \pi - \theta_0$ 时 (如图3所示):

矢量 $\vec{O_2A}$, \vec{AE} , \vec{ED} , \vec{DH} , $\vec{HO_2}$, 形成一封闭多连形. 其矢量式为: $\vec{O_2A} + \vec{AE} + \vec{ED} + \vec{DH} + \vec{HO_2} = 0$. $\vec{O_2A}$ 的方向角为 $-\theta$, $o_2A = R$; \vec{AE} 的方向角为 $(180 - \theta_2)$, $AE = l$; \vec{ED} 的方向角为 270° ; \vec{DH} 的方向角为 0° ; $\vec{HO_2}$ 的方向角为 90° , $HO_2 = R$.

写成指数形式为: $Re^{j(-\theta)} + l e^{j(180-\theta_2)} + ED e^{j270} + DH e^{j0} + R e^{j90} = 0$, $R \cdot \cos \theta - i R \sin \theta + l \cos(180 - \theta_2) + i l \sin(180 - \theta_2) + ED \cos 270^\circ + i ED \sin 270^\circ + DH \cos 0^\circ + i DH \sin 0^\circ + R \cos 90^\circ + i R \sin 90^\circ = 0$. 其实部和为

$$R \cos \theta - l \cos \theta_2 + DH = 0, \quad (1)$$

其虚部和则为

$$-R \sin \theta + l \sin \theta_2 - ED + R = 0 \quad (2)$$

由式(1)、(2)化简得

$$l \cos \theta_2 = R \cos \theta + DH, \quad (3)$$

$$l \sin \theta_2 = R \sin \theta + ED - R, \quad (4)$$

$$\theta_2 = \arctg \left(\frac{R \sin \theta + ED - R}{R \cos \theta + DH} \right).$$

2) 当 $\theta_2 \geq \pi - \theta_0$ (θ_2 为连杆将离开零件时曲柄的转角) 时 (如图4所示):

矢量 \vec{OH} , $\vec{HO_2}$, $\vec{O_2A}$, \vec{AG} , \vec{GO} 形成一封闭多边形其矢量式为: $\vec{OH} + \vec{R}_{HO_2} + \vec{R}_{O_2A} + l + \vec{GO} = 0$, $\vec{O_2A}$ 的方向角为 $-\theta$; \vec{OH} 的方向角为 0° ; $\vec{HO_2}$ 的方向角为 90° ; \vec{AG} 的方向角为 $180^\circ + \theta_2$; $-\vec{R}_1$ 的方向角

为 $(90^\circ + \theta_2)$ 。

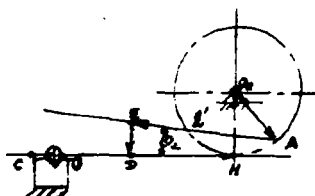


图3 矢量图 A

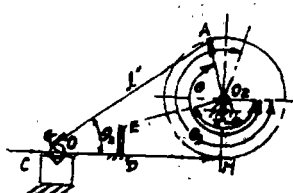


图4 矢量图 B

写成指数形式为： $OH e^{j0} + R e^{j90} + R e^{j(-\theta)} + l' e^{j(180^\circ + \theta_2)} - R_1 e^{j(90^\circ + \theta_2)} = 0$, $OH \cos \theta + i OH \sin \theta + R \cos 90 + i R \sin 90 + R \cos \theta - i R \sin \theta + l' \cos \theta (180 + \theta_2) + i l' \sin \theta (180 + \theta_2) - R_1 \cos (90 + \theta_2) - i R_1 \sin (90 + \theta_2) = 0$, $OH \cos \theta + i OH \sin \theta + R \cos 90 + i R \sin 90 + R \cos \theta - i R \sin \theta - l' \cos \theta_2 - i l' \sin \theta_2 + R_1 \sin \theta_2 - i R_1 \cos \theta_2 = 0$. 其实部和为： $OH + R \cos \theta - l' \cos \theta_2 + R_1 \sin \theta_2 = 0$. 其虚部则为

$$R - R \sin \theta - l' \sin \theta_2 - R_1 \cos \theta_2 = 0.$$

$$l' \cos \theta_2 = OH + R \cos \theta + R_1 \sin \theta_2 = 0, \quad (5)$$

$$l' \sin \theta_2 = R - R \sin \theta - R_1 \cos \theta_2 \quad (6)$$

$$\sin \theta (OH + R \cos \theta + R_1 \sin \theta_2) = \cos \theta_2 (R - R \sin \theta - R_1 \cos \theta_2),$$

$$OH \sin \theta_2 + R \cos \theta \sin \theta_2 + R_1 \sin^2 \theta_2 = R \cos \theta_2 - R \sin \theta \cos \theta_2 - R_1 \cos^2 \theta_2,$$

$$(OH + R \cos \theta) \sin \theta_2 + R_1 = \cos \theta_2 (R - R \sin \theta),$$

$$\cos \theta_2 = [1 - \operatorname{tg}^2(\theta_2/2)]/[1 + \operatorname{tg}^2(\theta_2/2)], \quad \sin \theta_2 = 2 \operatorname{tg}(\theta_2/2)/[1 + \operatorname{tg}^2(\theta_2/2)],$$

$$\frac{2 \operatorname{tg}(\theta_2/2)}{1 + \operatorname{tg}^2(\theta_2/2)} (OH + R \cos \theta) + R_1 = \frac{1 - \operatorname{tg}^2(\theta_2/2)}{1 + \operatorname{tg}^2(\theta_2/2)} (R - R \sin \theta),$$

$$2 \operatorname{tg}(\theta_2/2) (OH + R \cos \theta) + R_1 [1 + \operatorname{tg}^2(\theta_2/2)] = [1 - \operatorname{tg}^2(\theta_2/2)] (R - R \sin \theta),$$

$$2 (OH + R \cos \theta) \operatorname{tg}(\theta_2/2) + (R_1 - R + R \sin \theta) + (R_1 + R - R \sin \theta) \operatorname{tg}^2(\theta_2/2) = 0,$$

$$\operatorname{tg}^2(\theta_2/2) (R_1 + R - R \sin \theta) + 2 (OH + R \cos \theta) \operatorname{tg}(\theta_2/2) + R_1 - R + R \sin \theta = 0.$$

设定： $A = R_1 + R - R \sin \theta$, $B = 2 (OH + R \cos \theta)$, $C = R_1 - R + R \sin \theta$, $\operatorname{tg}(\theta_2/2) = (-B + \sqrt{B^2 - 4AC})/2A$, $\theta_2 = 2 \arctan [(-B + \sqrt{B^2 - 4AC})/(2A)]$,

则 θ_3 的计算, 由式(5)得

$$\cos \theta_3 = (l \cos \theta_2 - OH - R_1 \sin \theta_2)/R, \quad (7)$$

由式(6)得

$$\sin \theta_3 = (-l \sin \theta_2 + R - R_1 \cos \theta_2)/R, \quad (8)$$

由式(7)²+式(8)²(注: 当 $\theta = \theta_3$ 时 $l' \Rightarrow l$) 得

$$1 = \frac{(l \cos \theta_2 - OH - R_1 \sin \theta_2)^2}{R^2} + \frac{(-l \sin \theta_2 + R - R_1 \cos \theta_2)^2}{R^2},$$

$$R^2 = l^2 \cos^2 \theta_2 + OH^2 + R_1^2 \sin^2 \theta_2 - 2 OH l \cos \theta_2$$

$$+ 2 OH R_1 \sin \theta_2 + R^2 - R_1^2 \cos^2 \theta_2 + l^2 \sin^2 \theta_2$$

$$- 2 R R_1 \cos \theta_2 + R_1 l \sin \theta_2 \cos \theta_2 - 2 R l \sin \theta_2,$$

$$0 = l^2 + OH^2 + R_1^2 - 2 OH l \cos \theta_2 + 2 OH R_1 \sin \theta_2$$

$$-2RR_1\cos\theta_2 - 2Rl\sin\theta_2,$$

$$0 = l^2 + OH^2 + R_1^2 - 2\cos\theta_2(OHl + RR_1) + 2\sin\theta_2(OHR_1 - Rl),$$

$$\begin{aligned} & l^2 + OH^2 + R_1^2 + 2(OHR_1 - Rl)\sin\theta_2 \\ &= 2(OHl + RR_1)\cos\theta_2, \\ & l^2 + OH^2 + R_1^2 + 2(OHR_1 - Rl)2\lg(\theta_2/2)/[1 + \lg^2(\theta_2/2)] \\ &= 2(OHl + RR_1)[1 - \lg^2(\theta_2/2)]/[1 + \lg^2(\theta_2/2)], \\ & (l^2 + OH^2 + R_1^2)[1 + \lg^2(\theta_2/2)] + 4(OHR_1 - Rl) \times \lg(\theta_2/2) \\ &= 2(OH \cdot l + R \cdot R_1)[1 - \lg^2(\theta_2/2)], \\ & l^2 + OH^2 + R_1^2 + (l^2 + OH^2 + R_1^2)\lg^2(\theta_2/2) + 4(OH \cdot R - R \cdot l)\lg(\theta_2/2) \\ &= 2(OH \cdot l + R \cdot R_1) - 2(OH \cdot l + R \cdot R_1)\lg^2(\theta_2/2), \\ & (l^2 + OH^2 + R_1^2 + 2OH \cdot l + 2R \cdot R_1)\lg^2(\theta_2/2) + 4(OH \cdot R_1 - Rl)\lg(\theta_2/2) \\ &+ l^2 + OH^2 + R_1^2 - 2(OH \cdot l + R \cdot R_1) \\ &= 0. \end{aligned}$$

设定: $A_1 = l^2 + OH^2 + R_1^2 + 2OH \cdot l + 2R \cdot R_1$, $B_1 = 4(OH \cdot R_1 - R \cdot l)$, $C_1 = l^2 + OH^2 + R_1^2 - 2(OH \cdot l + R \cdot R_1)$, $H_1 = (-B_1 + \sqrt{B^2 - 4A_1C_1})/(2A)$, $Q_2 = \arctg(H_1)$ 。则 $\cos\theta_3 = (l\cos\theta_2 - OH - R_1\sin\theta_2)/R$, $\lg\theta_3 = \sqrt{1 - \cos^2\theta_3}/\cos\theta_3$, $\theta_3 = \arctg(\sqrt{1 - \cos^2\theta_3}/\cos\theta_3)$ 。

3) 当 $\theta_3 \leq \theta \leq 2\pi$ 时

$$\theta_2 = \arctg((R\sin\theta + ED - R)/(R\cos\theta + DH)),$$

计算方法与第3中1)相同。

4 电算结果

初值: $R=50\text{mm}$; $R_1=5\text{mm}$; $DH=80\text{mm}$; $DE=25\text{mm}$; $n=0.4\text{ 1/s}$ 。

计算值: $CO=16\text{mm}$; $Q_0=0.3028849\text{rad}=17^\circ.20'$; $OH=144\text{mm}$; $CH=160\text{mm}$; $l=180\text{mm}$; $AG_{\max}=206\text{mm}$; $AE_{\max}=134\text{mm}$; $AG_{\min}=106\text{mm}$; $\theta_3=278^\circ$ 。

5 连杆位置分析

连杆各位置示意图5所示。

当曲柄 O_2A 顺时针转动时, 转角 θ 由 $(\pi - \theta_0)$ 转至 θ_3 , 即近似由 162° 至 278° ; 连杆靠摩擦力带动圆柱形零件旋转, 完成外圆尺寸的测量, 当 θ 大于 θ_3 时, 连杆开始将零件拨离 V 形铁, 直入筛选框。结束测量过程。

6 程序设计

程序设计框图如图6所示。程序(略)

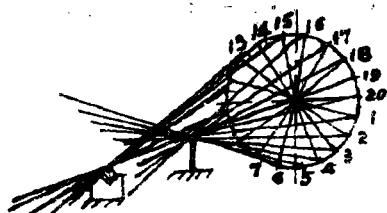


图5 连杆各位置示意图

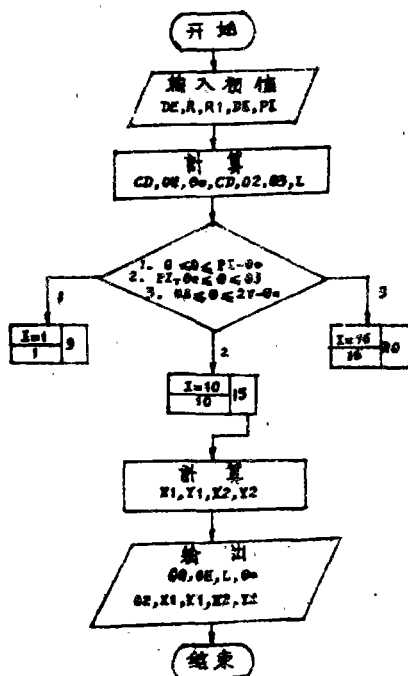


图6 程序设计框图

参 考 文 献

- [1] 冯润译, 机械原理解题技巧与 CAD 程序设计, (1987), 43—53.
 [2] 张福炎等, 微型计算机 IBM PC 的原理与应用, (1985), 437—452.

CAD of Detecting Crank and Link Mechanism

Li Yuyan

(Department of Precision Mechanical Engineering)

Abstract The rotary Motion of cylindrical parts, such as the top rod of air vialve in diesel engine and the piston pin in cylinder, are started off by the effect of detecting mechanism, so as to measure their contour dimensions and see if they are consistent with the demand of tolerance. The primary dimensions and position location in motion of this operating mechanism are illustrated by mathematical model and computerization and microcomputer graphics.

Key words kinematic, vector equation, position analysis