

# 谐波齿轮传动啮合过程的实验研究

## ——连续摄影法

凌如昭 李元燮

### 一、概 述

谐波齿轮传动是由于发生器和柔轮的相对运动,迫使柔轮产生谐波变形,因而柔轮和刚轮的齿发生相对位移。在发生器的长轴区,柔轮和刚轮的齿进行啮合;在发生器的短轴区,则啮合逐渐脱开,随着发生器和柔轮的相对运动,啮合区也随之转移,从而达到传动的目的。

谐波齿轮传动的啮合过程,也就是柔轮齿和刚轮齿之间相对运动的过程。啮合过程的合理与否直接影响参加啮合的齿的数目,因此研究谐波齿轮传动的啮合过程,对于提高传动的精度、刚度、效率和减小虚动等性能,对于谐波齿轮传动的设计和应用都是很重要的。

谐波齿轮传动啮合的主要质量指标是啮入深度和齿侧间隙,而这两个指标又都与柔轮变形之后的形状、柔轮的最大变形量、原始齿廓角、原始齿廓的移距系数、传动比、柔轮的厚度等有关,要研究它的啮合过程,就要研究这些参数之间的关系。目前虽然已经发展了一种封闭图的计算方法。但是这些参数之间的关系比较复杂,因此不得不在一些简化和假设的条件下进行。我们认为通过实验手段探讨谐波齿轮的实际啮合轨迹曲线,验证理论计算的可靠程度,具有重要意义。为此我们采用连续摄影法进行了探讨试验,兹将实验原理和结果介绍如下。

### 二、实验原理

在谐波齿轮传动的啮合过程中,由于刚

轮和柔轮之间的运动是相对的,所以当发生器的旋转方向一定时,无论是刚轮固定,柔轮输出;还是柔轮固定,刚轮输出,我们都可以把它们的相对运动看做是刚轮固定不动,柔轮相对刚轮运动。

基于上述理由,要想把一个啮合过程中的每一瞬间的啮合图描绘到一起,综合成一张运动轨迹图,只需把每张摄影底片投影出来的刚轮齿廓重合在第一张底片投影出来的刚轮齿廓上,对准之后再描下柔轮齿廓,这样把所有底片上的柔轮齿廓全部都依次描出来,便得到柔轮相对于刚轮运动的实际啮合轨迹图(图4)。

在图中,可以得到柔轮齿廓上任意点的运动轨迹,并能确定啮合弧的大小,啮合齿数,啮合深度和侧隙等……,从而评定啮合质量的好坏(参看本文第四部分)。

### 三、实验装置及实验方法

在实验台上装调好刚轮(12)柔轮(13)发生器(11)电机(3)照明灯(10)等。将电影机(4)对准一对刚轮和柔轮的齿,调好焦距和光圈之后旋转电影机的电位计,使摄影频率与谐波齿轮传动输入端的电机转速同步,就可以进行摄影(见图1及图2)。

将底片冲洗之后,放在文献阅读器或照相放大机上,把刚轮齿和柔轮齿的相对位置图象放大投影出来,并描绘成轨迹图(见第四部分)。

### 四、实例及其结果的探讨

现举一个在我所自制的谐波传动试验台

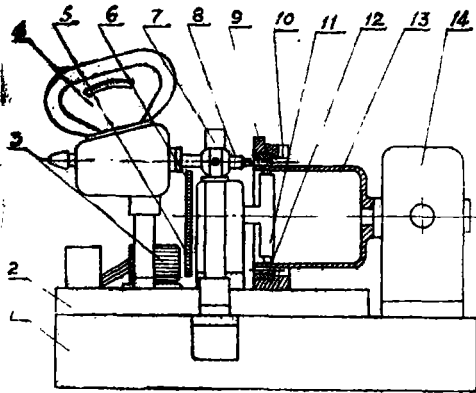
上进行的实例说明如下：

具体实验条件为：

刚轮参数：

$$Z = 242 \quad m = 0.75$$

$$\xi = 0$$



- 1—底座 2—滑动导轨 3—电机  
4—电影机 5、6—齿轮 7—立柱  
8—显微镜 9—刚轮座 10—照  
明灯 11—发生器 12—刚轮 13—  
柔轮 14—主轴箱

图1 实验装置示意图

$$\alpha = 28^{\circ}36' \quad \text{材料为45}$$

$$\text{柔轮参数: } Z = 240 \quad m = 0.75$$

$$\xi = 0.191$$

$$\alpha = 29^{\circ}28'$$

材料为 35CrMnSiA

柔轮形状为杯状

$$\text{变形系数 } \Delta = 0.809m$$

发生器：双波四滚子结构，滚子的着力  
点与椭圆长轴之间的夹角 =  $30^{\circ}$

调节电源使发生器的转速为0.083转/秒

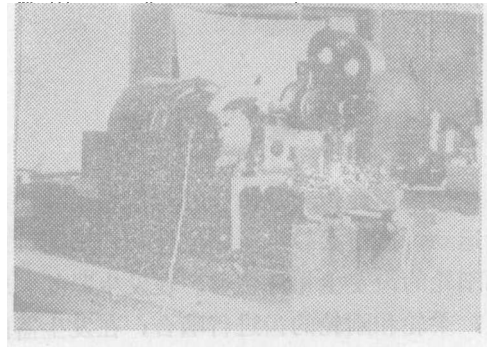


图2 实验装置图

照明灯（碘钨放映灯：12V，100W）  
装在被拍摄的刚轮、柔轮齿的后面（见  
图1）拍摄时将电压及电流分别调至12V  
8A；

将电影机的镜头拆下，装上光洁度检查  
仪的显微照相附件，在其前面再装上显微物  
镜，并调好焦点。

电影机（和平35型）的电机电压固定在  
16V，调节旋转电位计，使摄影频率为5  
帧/秒左右。

这样要拍摄一对齿的一个啮合过程只要  
30张左右的照片就可完成了。图3为部分啮  
合图。

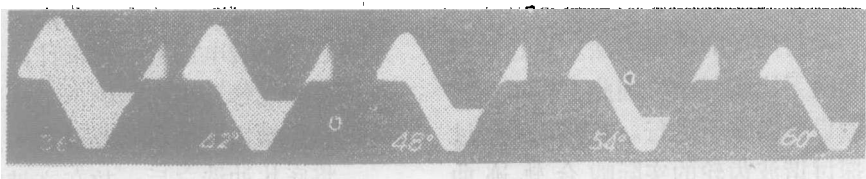


图3 啮合图( $36^{\circ} \sim 60^{\circ}$ )

利用图3绘出的轨迹曲线如图4所示。

图4中我们可以看出， $\widehat{ab}$ 为柔轮某一  
齿的齿顶左端点的运动轨迹； $\widehat{a'b'}$ 为齿顶  
中间一点的运动轨迹曲线；同样可以得到齿  
上任一点的运动轨迹曲线。

在图中可以得到任一瞬间的任一对齿间

的齿侧间隙的大小。 $H$ 为啮入深度。图中  
 $\widehat{d'b}$ 为啮合段，其相应的角度范围为约 $60^{\circ}$

（自 $30^{\circ}$ 至 $90^{\circ}$ ），参加啮合的总齿数为 $Z \times$   
 $\frac{60}{180} = 80$ 齿（百分比为 $\frac{60^{\circ}}{180^{\circ}} \times 100 = 33.3\%$ ）在

图中还可以看出刚轮齿顶 $K$ 处的干涉情况。

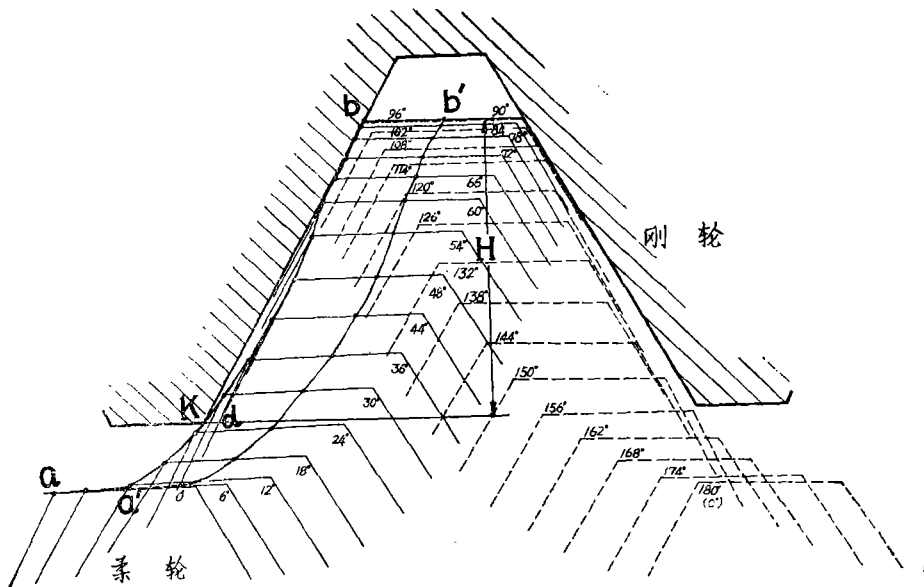


图4 啮合轨迹曲线

因此,要做到小侧隙、避免干涉或者为了加大承载能力而需要增加啮合齿数以及为了降低启动力矩而减小啮入深度等……, 可以根据使用及设计要求采取相应的措施, 如改变发生器曲线形状, 柔轮的径向变形量, 移距系数等, 从而达到要求。

表1

$\varphi$	X	Y	S/2
0°	0.8982	91.27694	0.8887
5°	0.8820	91.26954	0.8844
10°	0.8643	91.24799	0.8720
15°	0.8438	91.21205	0.8513
20°	0.8192	91.16134	0.8222
25°	0.7890	91.09535	0.7844
30°	0.1519	91.01342	0.7377
35°	0.7073	90.91591	0.6824
40°	0.6550	90.80704	0.6211
45°	0.5943	90.69179	0.5565
50°	0.5247	90.57486	0.4914
55°	0.4464	90.46062	0.4283
60°	0.3596	90.35310	0.3693
65°	0.2650	90.25586	0.3162
70°	0.1634	90.17202	0.2707
75°	0.0561	90.10416	0.2340
80°	-0.0556	90.05432	0.2072
85°	-0.1704	90.02399	0.1909
90°	-0.2868	90.01404	0.1855

## 五、与理论计算法的比较

理论计算法是根据发生器凸轮的曲线形状、柔轮的最大变形量、原始齿廓角、移距系数、柔轮厚度及中心层半径、齿数等参数按着柔轮和刚轮的相对运动来进行计算的, 但是这种计算法涉及到积分计算, 并且比较复杂, 通常是根据上述参数及其关系式来编排自动程序, 由电子计算机进行计算(即自动程序计算法)。

为了验证这种理论计算法的可靠性, 我们已做过多次实验, 在这里仅就以上述实验中的刚轮、柔轮及发生器为例, 根据已知参数算出该柔轮某一齿的齿顶左端点在运动过程中的理论座标值(表1)并画出其运动轨迹曲线(图5)与实验轨迹曲线(图4)进行比较。

# 降低高速摄影机齿轮传动噪音和振动的方法

薛培中 王慧娥

## 一、概 述

旋转反射镜光学补偿式高速摄影机（原理见图1）胶片是在连续输片的过程中感光成象的。胶片在15米/秒的速度下必须与转镜反射的象保持严格的同步，否则就会产生象移出现虚象。实现这种同步运动，是靠一组齿轮来传动的。齿轮传动的误差，以及高速运转中产生的振动和不平稳，将直接影响到成象的质量。

摄影机中除输片与转镜的同步用齿轮传动之外，送片、收片等机构也是采用齿轮传

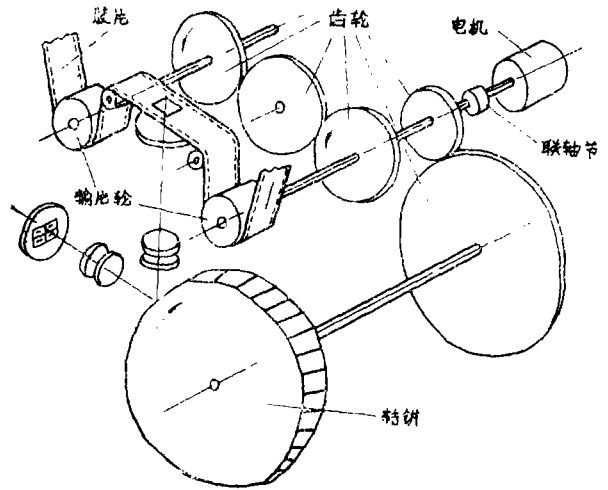


图 1

其中  $X$ —柔轮的横座标值  
 $Y$ —刚柔轮的纵座标值  
 $S$ —刚轮的齿宽度

图4和图5中可以看出，这两条曲线  
 1) 其基本形状相同；2) 最大间隙基本相同，只是干涉情况有所不同。

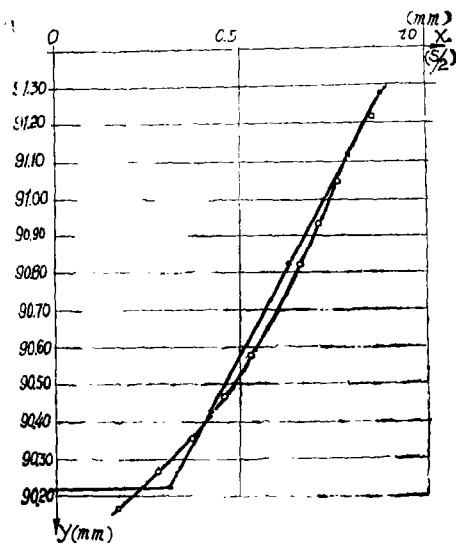


图 5

上述两个曲线（图4与图5）相异的主要原因在于零件的加工误差，实验误差以及采用的自动程序算法计算时，有一些假设条件，如不考虑负载，柔轮没有切向变形等。但总的看来，自动程序算法所得的结果与实际啮合情况基本相似，因此这种计算方法是可行的。同时它有实验方法所达不到的一些优点，如它可以算出一个齿的很多截面的啮合情况（因为在运动中柔轮齿有扭转变形），能够自动选择最佳参数以及产品加工之前预先知道其啮合规律等。

## 六、结 论

连续摄影法不仅具有简单、易行、直观、连续等特点，而且能够比较准确地反映出柔轮和刚轮在任意瞬间的相对位置。因此对研究任何一种新传动的啮合过程，找出其啮合规律，进行正确的设计是一种可靠而有效的方法。