

# 四滚柱式超越离合器外环拉伸应力计算研究

胡斌梁 副教授

(湖南科技大学)

学科分类与代码: 620.3050

**【摘要】** 超越离合器广泛用于汽车、机床及飞机等机械动力装置,其可靠性直接影响着机械动力装置的性能,特别是离合器出现疲劳、断裂的破坏性征兆,将产生严重的后果。滚柱式超越离合器外环形状很不规则,其内壁拉伸应力目前还没有一种很好的解析方法。笔者将外环简化为曲杆,计算所得结果与光弹性实验结果及电阻应变片实验结果吻合良好。

**【关键词】** 外环 应力 曲杆

## Study on Strain of External Ring of the Four Roller Clutch

Hu Binliang, Assoc. Prof.

(Hunan University of Science and Technology)

**Abstract:** The shape of external ring of the roller clutch is rather irregular. Up to now, there is still no satisfactory calculating method for inside cliff's tensile strain. The author takes the external ring as a curved beam; its calculated result complies well with the experiment results of optical and elastic as well as the electric proof measurements.

**Key words:** Calculating method Strain Roller Clutch External ring

## 1 前言

众所周知,疲劳断裂破坏对设备与零件有极大的破坏性。例如,第二次大战期间美国有近200艘船舶因疲劳断裂而发生事故;1980年3月27日,英国北海油田的钻井平台由于疲劳载荷的作用发生断裂而倾覆,导致127人落水,30余人丧生。据统计,仅1983年因机件疲劳断裂破坏使美国一年损失1190亿美元。

据国家权威机构统计,20世纪80年代以来,全世界平均每年约发生100次由于金属疲劳断裂所引起的机毁人亡的重大事故。近年来,尽管安全管理及安全技术水平有很大的提高,但是世界民航每年发生重大死亡事故次数仍然在48~57之间。因为疲劳断裂破坏主要起源于高应力或高应变,所以必须了解有高速运动的设备或零件,并监视它们的应力。

超越离合器广泛应用于汽车、机床及飞机等机械动力装置,量大面广,其可靠性对工业生产、交通运输及国防等影响较大。可靠性的主要指标是可靠度,而零件材料的性能和可靠度的计算离不开零件所承受的应力。四滚柱式超越离合器是目前最常见的超越离合器之一。超越离合器外环形状很不规则,其拉伸应力的计算目前国内外主要采用厚壁圆筒

计算应力方法<sup>[1]</sup>。近年来,有学者采用有限元法来计算外环应力<sup>[2]</sup>。

前者计算结果误差较大,因为外环是受集中载荷作用,而这种方法则是将其处理为均布载荷;后者虽然能够比较准确地得到结果,但除须有计算机外,还要求使用者须熟悉有限元法。所以寻求一种既比前者结果准确,又比后者简便的计算方法就显得非常重要。笔者根据外环的受力情况,将其简化为曲杆,提出了一种新的应力计算方法,经光弹性实验及电测技术验证,新算法切实可行。

## 2 外环受力情况简化及其应力计算

### 2.1 外环实际受力情况

外环实际受力情况如图1所示。很明显,外环所受外力主要有因传递扭矩 $M_c$ 而产生的正压力 $N_z$ 和摩擦力 $F_m$  ( $F_m = FN_z$ ),除此之外,当然还应有由于高速旋转而产生的离心力(图1中略)。只因值小,所以计算应力时将其忽略。

### 2.2 外环受力情况简化

为计算方便,对外环的受力情况作简化处理,将正压力 $N_z$ 投影到通过外环中心的径向方向上。切向力(摩擦力)及

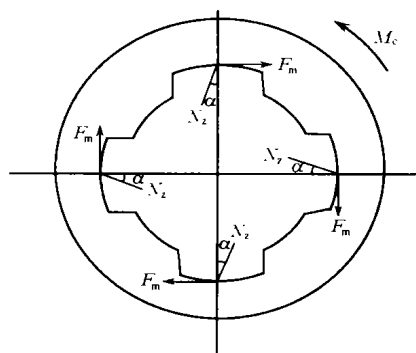


图1 外环受力情况示意图

正压力  $N_z$  的切向分力所组成的合力矩, 可以认为与扭矩  $M_c$  平衡, 仅对外环产生剪应力。

严格地讲, 外环应力状态是一个空间问题, 但因其几何特征与曲杆相符合, 且在光弹性实验中, 外环的切片沿厚度方向梯度变化不大, 所以人们将外环受力情况简化为平面问题处理, 采用平面曲杆的计算方法计算其应力。

四滚柱式离合器外环受力情况简化后如图2所示。

$$R_1 = \frac{a+b}{2} \quad R_2 = \frac{D}{2} \quad R_0 = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

式中,  $a$ ——表示离合器工作曲线的最高点值;

$b$ ——表示离合器工作曲线的最低点值。

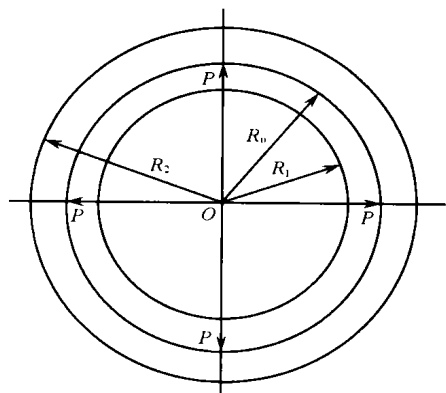


图2 简化后受力图

### 2.3 计算内壁拉伸应力

如图3所示, 设沿对称面  $oy$  切开, 则截面两侧的载荷均为  $P/2$ 。根据结构和载荷的对称性, 可知截面  $oA$  和  $oB$  上仅作用有轴力和弯矩, 即剪力等于零。再根据  $ox$  的对称性, 截面  $oA$  和  $oB$  上的轴力和弯矩必等。

由平衡条件  $\sum X = 0$  可算得  $N_A$  的值。求得轴力  $N_A$  后, 由于弯矩  $M_A$  仍为未知量, 所以它是一次静不定问题。

由受力情况可得其任意截面  $mn$  上的内力方程为

$$M_\varphi = M_A + \frac{PR_0}{2} \sin \varphi - N_A R_0 (1 - \cos \varphi) \quad (0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{5}) \quad (2)$$

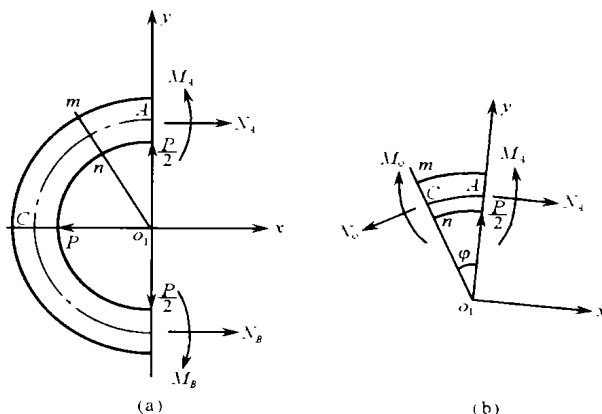


图3 计算内力示意图

$$N_\varphi = N_A \cos \varphi + \frac{P}{2} \sin \varphi \quad (3)$$

$$Q_\varphi = N_A \sin \varphi - \frac{P}{2} \cos \varphi \quad (4)$$

其中, 所设弯矩、轴力、剪力的方向为: 使曲率增加的弯矩为正; 引起拉伸的轴力为正; 以剪力对所考察的一段曲杆内任一点取矩, 若力矩的方向为顺时针, 则剪力为正。

由于对称, 截面  $oA$  的转角  $\theta_A$  等于零, 故其变形谐调条件为

$$Q_A = \frac{\partial u}{\partial M_A} = 0$$

利用卡氏定理, 变形谐调条件可以写成:

$$Q_A = \frac{\partial u}{\partial M_A} = \int_0^{\frac{\pi}{5}} \left\{ \frac{M_A}{E} \times \frac{\partial M_\varphi}{\partial M_A} + \frac{N_A}{E_A} \times \frac{\partial M_\varphi}{\partial M_A} + \frac{M_\varphi}{E_A} \times \frac{\partial N_A}{\partial M_A} \right\} d\varphi = 0 \quad (5)$$

完成积分, 即可解得  $M_A$ 。

### 2.4 计算正应力

由高等材料力学有关方法得曲杆正应力公式<sup>[3]</sup>:

$$\sigma = \frac{N_\varphi}{A} - \frac{N_\varphi}{AR_0} + \frac{M_\varphi}{J_z} \cdot \frac{Y}{1 - (Y/R_0)} \quad (6)$$

式中,  $A$ ——所计算截面面积;

$Y$ ——被计算点到曲杆中性层距离。

$$J_z = R_0^3 b \ln \frac{2R_0 + h}{2R_0 - h} - R_0^3 bh \quad (7)$$

式中,  $l$ ——圆筒长度,

$h$ ——圆筒厚度。

由于外环最大拉伸应力发生在内壁, 故  $\sigma_{\max}$  应在  $A$  点, 所以有:

$$\sigma_{\max} = \frac{N_A}{A} - \frac{M_A}{AR_0} + \frac{M_A}{J_A} \times \frac{y}{1 - y/R_0} \quad (8)$$

### 2.5 剪应力估算

视切向力 (即摩擦力)  $F_m$  所组成的合力矩与外扭矩  $M_c$  平衡, 并近似地用薄圆筒受纯扭时剪应力计算公式算得剪应力的值非常小, 可以忽略。

## 2.6 环过渡圆弧处的应力计算

由于外环楔形槽有过渡圆弧,因而存在应力集中现象,所以在计算这部分的应力时还须乘上应力集中系数。经光弹性实验算得外环圆弧处的应力集中系数: $\alpha_y = 1.417$ 。

## 3 结果比较

我国典型的四滚柱式超越离合器的结构参数如下:外径  $D = 57 \text{ mm}$ ,  $h_s = 19.5 \text{ mm}$ , 楔角  $\alpha = 5^\circ \approx 0.087 \text{ (rad)}$ ,  $h = 5.535 \text{ mm}$ , 传递扭矩  $M_t = 3 \text{ kg} \cdot \text{m}$ 。

用曲杆应力法算得  $\sigma_{\max} \approx 1.31 \cdot 10^3 \text{ pa}$ 。

光弹性实验结果与曲杆计算法结果比较情况如图4所示:

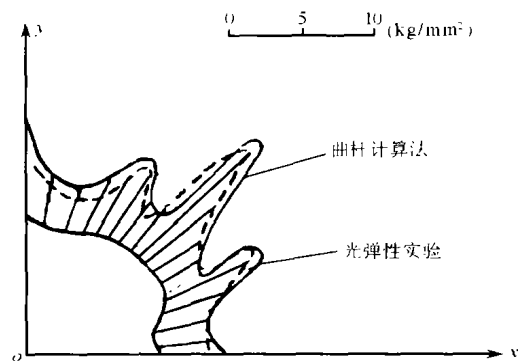


图4 结果比较图

计算法与电阻应变片测量结果比较情况如下表所示。

应力计算法与实测法结果比较

项目 \ 点别	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\epsilon(\%)$	379	580	297	401	203	287	301	598	319
计算结果( $1 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ )	7.9590	1.2180	6.2370	8.4210	6.0270	6.3210	6.3210	1.2558	6.6990
实测结果( $1 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ )	7.8170	1.2466	6.3010	8.6930	6.1900	6.9790	6.9790	1.3286	7.0960
误差(%)	2.583	2.294	1.061	3.129	2.633	9.428	9.428	5.479	5.595

## 4 结 论

通过笔者对离合器的受力情况的分析和简化,对厚壁圆筒计算应力法及有限元法计算外环应力进行比较分析和研究,提出了一种新的计算方法,建立了相应的方程;并且经实验实测验证,采用曲杆应力计算方法来计算滚柱式超越离合

器外环拉伸应力是切实可行的。

该方法对于其他类型的离合器及形状类似于超越离合器外环的机械零件的应力分析与计算,具有重要的应用价值。

笔者指出,目前,有些离合器的外环已采用冷挤压工艺,其形状仍是杯形,但其应力的计算还有待进一步探讨和修正。

(收稿:2003年7月;作者地址:湖南省湘潭市雨湖区石码头2号;湖南科技大学研究生处;邮编:411201)

## 参 考 文 献

- 1 uls. Thomas A. Design Practic-Passenger car Transmission, SAE, 1973
- 2 吴波. 滚柱式定向离合器可靠性优化设计的研究. 华中工学院硕士论文, 1985
- 3 刘鸿文. 高等材料力学. 北京: 高等教育出版社, 1985