

# 基于COSMOS的生物质颗粒机环模寿命分析

王慧，陆萍，吴云玉，杜红光

(高效洁净机械制造教育部重点实验室(山东大学)，济南250061)

**摘要：**为将环模寿命定量化，分析了环模的失效形式、失效机理和影响环模寿命的结构因素；根据材料的疲劳寿命实验数据，利用Weibull公式建立了环模疲劳失效的S-N曲线，对环模的疲劳寿命进行研究；最终借助COS-MOS有限元软件将环模的疲劳寿命量化，采用雨流计数法对不同结构参数下的环模进行数值计算，得出不同结构参数下环模的疲劳寿命数据，并确定模孔孔径为10mm、模孔交替排列且模孔数为720的环模为理想环模。

## 0引言

目前，对生物质固体颗粒成型机环模的寿命虽有研究，但大都停留在实验阶段，对生物质环模寿命的分析也没有定量化。本文将通过分析环模的失效形式、失效机理和影响环模寿命的结构因素，建立环模疲劳失效的S—N曲线，对环模的疲劳寿命进行研究。最后借助COSMOSWorks有限元软件，采用雨流计数法对不同结构参数下的环模进行数值计算，获得环模的疲劳寿命。

## 1环模失效特性研究

### 1.1失效形式

成型机环模为多孔环形零件，工作条件恶劣，使用过程中长期承受压辊的循环挤压和物料的摩擦，产生周期性的弯曲应力和接触压应力，其主要失效形式为疲劳破坏。这与环模实际使用中的失效现象吻合。

### 1.2失效机理

本文将从环模的结构特点分析成型机失效现象—塑性变形、接触疲劳和磨粒磨损的失效机理。

#### 1)环模孔的塑性变形<sup>[1]</sup>

。多孔的环模自身机械强度较低，加之压辊调整时过大的张紧力，导致环模出现局部微裂纹，最终出现疲劳失效现象。

2)接触疲劳。环模工作时低速旋转，同时承受较大的交变接触压应力，经过一段时间环模就会出现疲劳裂纹，终导致环模疲劳失效。

3)磨损失效。一是压辊调得太紧，与环模间隙小，互相摩擦；二是绞龙角度不恰当，导致分配物料不均匀而使环模部分先磨损，最终环模出现疲劳裂纹而失效。

上述分析表明，环模最终的失效形式都表现为疲劳失效。因此，本研究主要通过对环模的疲劳寿命分析来研究环模的使用寿命。

### 1.3影响环模疲劳失效的结构参数

环模结构主要参数为模孔的孔径、长径比、模孔的排列和孔数等。

## 2环模失效数学模型

本文采用应力寿命方法 (SN)对环模进行寿命分析。为了评价和估算疲劳寿命或疲劳强度,需要建立外载荷  $S$ 与寿命  $N$ 之间的关系 (即  $S - N$ 曲线,或称之WOhler曲线)。图 1为一典型的  $S - N$ 曲线,完整的  $S - N$ 曲线分为 3个阶段:低周疲劳区 (LCF)、高周疲劳区 (HCF)和亚疲劳区 (SF)。描述  $S - N$ 曲线在 HCF阶段的  $S - N$ 曲线经验方程一般为 Weibull公式,即

$$N_f = S_f (S_a - S_{ae})^b \quad (1)$$

式中,  $S_f$ ,  $b$ 和  $S_{ae}$ 为材料常数。其中,  $b < 0$ ;  $S_{ae}$ 为理论疲劳极限幅值。

目前,研究者一般通过对材料的静力性能数据去估计疲劳极限,现已经建立了一些基础实验数据。应力比  $R = -1$ 时的疲劳极限  $\sigma_{-1}$ 的表达式为

$$\sigma_b < 1800\text{MPa的钢: } \sigma_{-1} = 0.5\sigma_b$$

$$\text{镁、铜和镍合金: } \sigma_{-1} = 0.35\sigma_b$$

$$\text{铝合金: } \sigma_{-1} = 1.49\sigma_b$$

本文根据王威强和陈举华等对42CrMo钢的疲劳特性的研究,再结合上述金属材料的疲劳特性特点,最终建立42CrMo材料的S-N曲线<sup>[4-6]</sup>

,如图2所示。从图2可以看出,从实验获得的疲劳寿命曲线图2(a)与通用金属材料的理论疲劳寿命曲线图2(b)的形状基本吻合,属于正确的疲劳曲线,符合研究需要。该曲线是本研究分析环模疲劳寿命的重要数据和理论依据。

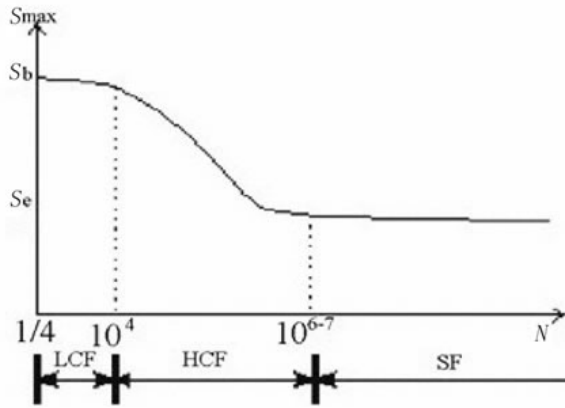
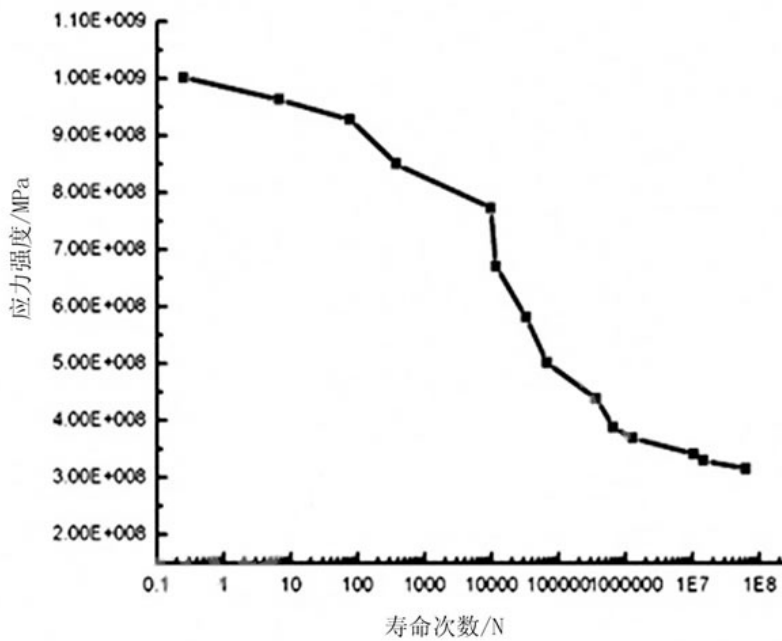
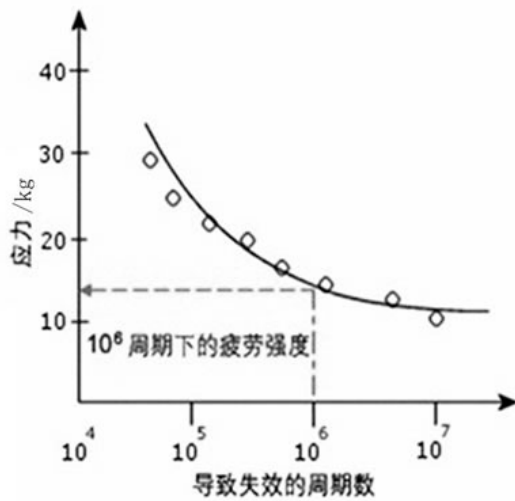


图 1 42CrMo钢的  $S - N$  曲线示意图



(a) 42CrMo环模的  $S - N$  曲线



(b) 标准  $S - N$  曲线

图 2 42CrMo环模的  $S - N$  曲线图和标准  $S - N$  曲线图

### 3环模疲劳寿命的数值模拟

本课题对环模的疲劳寿命研究将采用SolidWorks三维建模和COSMOSWorks有限元软件进行模拟分析。首先，利用SolidWorks建立生物质环模的参数化模型；其次，利用COSMOSWorks有限元软件对环模进行疲劳寿命分析；最后，运用相关的弹塑性力学理论和疲劳损伤机理，针对不同环模孔的形状、不同环模孔的排列以及不同环模孔数的疲劳寿命进行分析模拟，使环模的寿命分析定量化。

#### 3.1环模疲劳几何模型的建立

申述云<sup>[2]</sup>

对生物质颗粒成型环模特性的研究发现，环模孔的长径比为5：1时，环模所受的应力最小，故笔者只对模孔长径比为5：1的环模在模孔形状、模孔直径(d)、排列方式等条件下的疲劳寿命进行研究。

该研究环模材料取用42CrMo，基材料的参数如下<sup>[7]</sup>：

弹性模量 / MPa:  $2.06 \times 10^5$

泊松比: 0.3

密度 /  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ : 7870

比热 /  $\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$ : 459.85

导热系数 /  $\text{W} \cdot (\text{mm} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$ :  $60.378 \times 10^{-3}$

热膨胀系数 /  $^\circ\text{C}$ :  $11.3 \times 10^{-6}$

张力强度 / MPa: 1080

屈服强度 / MPa: 930

环模建模时,考虑到模孔数目和模孔分布排列方式对环模强度的影响,对模孔的分布排列按照平行和交替排列两种方式。交替排列时,设计为轴向分布8排模孔。本文取环模的一个循环周期为研究对象(如图3(a)所示),此取法正好得到整个环模周向排列方式不同的两排模孔。环模内径 $D$ 与压带宽 $b$ (如图3(c)所示)的关系<sup>[8]</sup>为

$$D = AP / \pi b \text{ (mm)} \quad (2)$$

式中  $A$ —单位功率面积 ( $\text{mm}^2 / \text{kW}$ );

$P$ —主电机功率 (kW);

$D$ —环模内径 (mm);

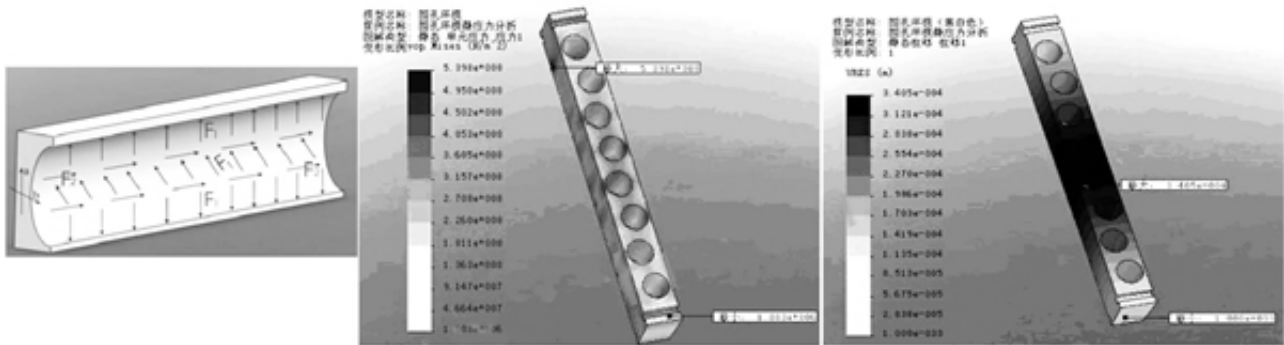
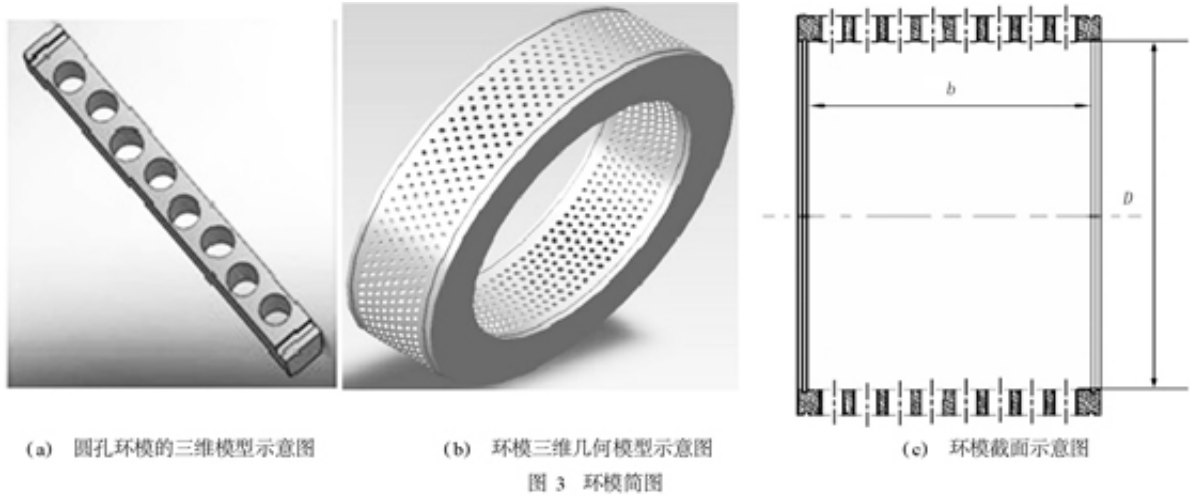
$B$ —压带宽 (mm)。

通常情况下,  $d = (0.2 \sim 0.3) D$ 。建立的环模三维几何模型如图3(b)所示。

### 3.2 环模的结构静力分析

### 3.2.1约束、载荷和边界条件

根据环模实际装配工作情况，对模拟环模施加载荷、约束和边界条件。对环模轴向的两个侧面施加固定约束，对周向两个侧面施加周向对称约束；对X，Y，Z等3个方向的所有移动自由度和所有旋转自由度进行固定定位；对模孔的内壁施加垂直于内表面的平均压力，以模拟生物质原料对环模孔的周向压力；同时，沿着模孔轴向在模孔的内表面施加摩擦力，模拟生物质原料对环模孔内壁的摩擦力[3]，如图4所示。



### 3.2.2静力分析结果

模孔的Mises应力分析计算结果和模孔位移场分析计算结果分别如图5和图6所示。

从模型的静应力分析结果可知：对应载荷下，模孔所受的最大 Mises 应力为  $\sigma_{\max} = 5.398 \times 10^8 \text{ Pa}$ ，材料所能允许的 Mises 应力强度为  $\sigma_b = 9.300 \times 10^8 \text{ Pa}$ ；模孔所受的 Mises 应力变化范围为  $\sigma_{\text{回}} = 2.252 \times 10^6 \text{ Pa} \sim 5.398 \times 10^8 \text{ Pa}$ 。从模型的位移分析结果可知，模孔所受的最大位移分别为  $\mu_{\max\text{回}} = 3.408 \times 10^{-6} \text{ m}$ ，位移变形范围为  $\mu_{\text{回}} = 0 \sim 3.408 \times 10^{-5} \text{ m}$ 。

### 3.3 环模寿命分析

#### 3.3.1 寿命参数设置

在对环模进行了结构静力分析的基础上，即可对环模进行疲劳寿命分析。划分网格后的圆孔环模模型如图7所示。

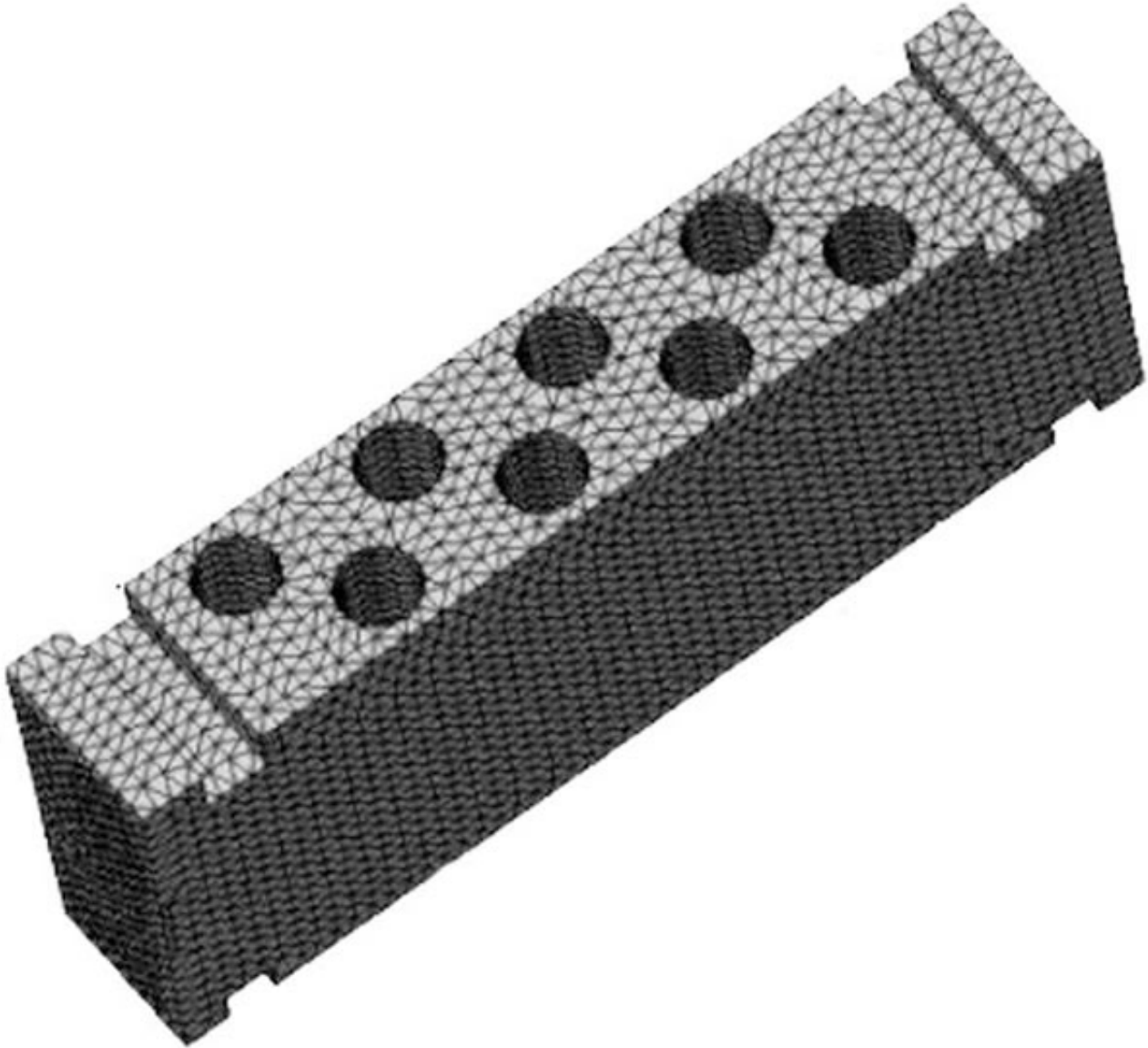


图 7 圆孔环模模型图

利用COSMOSWorks软件对环模进行疲劳寿命分析时，软件参数设置除满足结构静力分析的需要外，还需要依据上述对环模疲劳理论的研究，对疲劳参数进行设置。首先，将环模的S-N曲线载入，同时设定因环模结构对S-N曲线造成的强度缩减因子；设置疲劳累积损伤理论为Palmgren-Miner线性累积损伤理论(简称Miner理论)，对软件计算器的计算方法设置为雨流循环计数法。

### 3.3.2 寿命模拟结果分析

对环模使用寿命的衡量，既要考虑到环模的疲劳寿命，又要兼顾环模的产量。环模孔的数目对环模的产量有较大影响，在寿命相同的条件下，模孔数目越多环模的产量越高。对寿命模拟结果的分析将以这两个因素为分析重点。在120℃温度时，环模寿命数据如表1所示。



表 1 120℃时环模寿命数据

角度 /(°)	直径 10mm				角度 /(°)	直径 15mm			
	交替孔		平行孔			交替孔		平行孔	
	孔数 个	寿命	孔数 个	寿命		孔数 个	寿命	孔数 个	寿命
3.6	800	2.15E7	1200	3.26 E4	4.0	720	1.58E5	无法做出孔	
4.0	720	6.18E7	1080	5.11 E4	4.5	640	1.19E7	无法做出孔	
4.5	640	6.18E7	960	3.24 E5	5.0	576	1.64E7	864	1.05E6
5.0	576	6.18E7	864	5.46 E6	6.0	480	5.91E7	720	2.01E6
6.0	480	6.18E7	720	8.43 E6	7.2	400	6.18E7	600	5.78E6

从表1分析的数据可以看出，在孔径10mm、长径比5：1、温度120℃的条件下：

- 1)模孔排列方式相同的环模，其疲劳寿命随着模孔数目的增多而减小，因为随着模孔数目的增多，环模的机械强度降低。
- 2)环模孔数相当时，模孔交替排列的环模寿命比模孔平行排列的环模寿命长得多，如交替800个模孔的环模寿命为 $2.15 \times 10^7$ 次，平行864个模孔的环模寿命为 $5.46 \times 10^6$ 次。两者相比，交替孔环模寿命是平行孔环模寿命的4倍，而模孔数之比约为1：1。这是因为环模孔交替排列使得环模受力更均匀，增强了机械强度。

120℃时环模寿命曲线如图8所示。由图8可以看出，在寿命相同的条件下，模孔直径10mm交替排列方式的环模寿命要比模孔直径15mm的环模产量大得多。在模孔排列方式相同的情况下，模孔的数目较少时，环模的寿命较高。

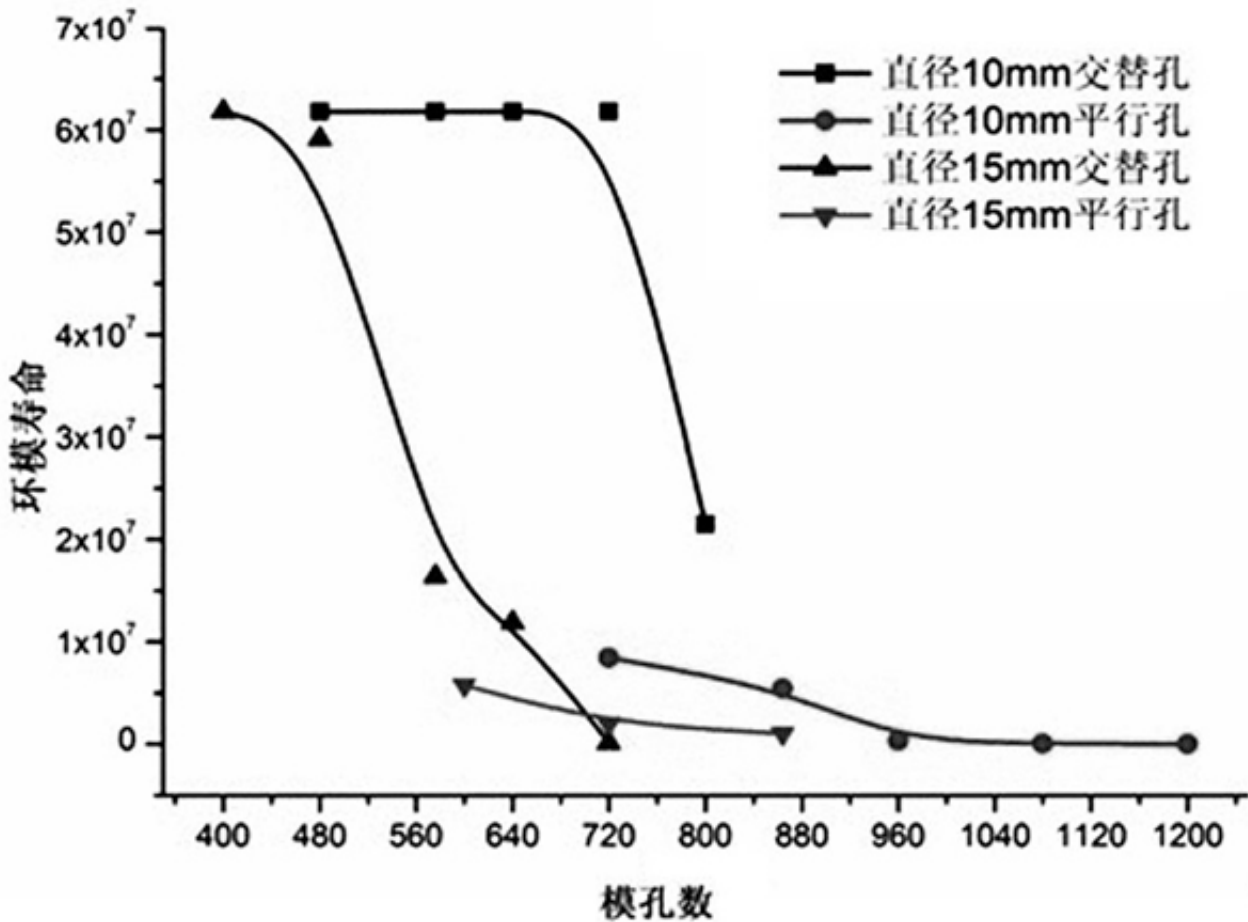


图 8 120 °C时环模寿命曲线

工程中，一般认为机械零件的疲劳寿命达到 $N=10^6 \sim 10^7$ 次时，零部件的疲劳寿命视为无限长。考虑到环模颗粒机的产量问题，根据上面对环模寿命分析的数据和相关曲线综合衡量，将模孔交替排列且孔径为10mm、模孔总数为720的环模选定为基准品。

#### 4结论

- 1)本文得出了生物质颗粒机环模主要的失效形式为疲劳破坏，分析了环模的失效机理。
- 2)建立了环模的S-N曲线，为分析环模疲劳寿命提供了重要数据和理论依据。
- 3)借助COSMOS有限元软件将环模的疲劳寿命量化，得出了不同结构参数下环模的疲劳寿命数据，研究得出模孔孔径10mm、模孔交替排列、模孔数720的环模为理想环模。

#### 参考文献：

- [1]Yao W X , Xia K Q , Gu Y.On the fatiguenotch factor Kf[J].International Journalof Fatigue , 1995 , 17(4) : 245-251.
- [2]申树云.生物质颗粒成型环模特性研究[D].济南：山东大学，2008.
- [3]汤爱君，马海龙，董玉平.生物质挤压过程中的静水压应力[J].可再生能源，2006(2)：28 - 31.
- [4]王威强，徐楠，贺庆强.42CrMo硬齿面齿轮虚拟全寿命的试验与分析[J].农业机械学报，2006，37(3)：126-129；1

33.

[5]陈举华, 徐楠, 安艳秋.42CrMo材料硬齿面齿轮全寿命试验及数据分析[J].机械传动, 2005(5): 63-65.

[6]何柏林, 李树桢, 于影霞, 等.42CrMo钢M+F双相组织接触疲劳、多冲疲劳及弯曲疲劳性能研究[J].机械强度, 2004, 26(4): 431-435.

[7]中国机械工程学会, 中国机械设计大典编委会.中国机械设计大典2[M].南昌: 江西科学技术出版社, 2002: 17-18.

[8]王敏.环模制粒机的主要技术参数[J].湖南饲料, 2006(4): 39-41.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/119776.html>