

蒸发冷却电机用静密封材料的寿命研究

刘杰军

(湘潭电机集团有限公司, 湖南 湘潭 411101)

摘要: 通过电机用氢化丁腈橡胶 O 形密封圈、丁腈橡胶 O 形密封圈, 环氧树脂包覆电极在氟利昂 F113 环境下的高温加速老化试验, 对材料的使用寿命进行预测。结果表明, 氢化丁腈橡胶 O 形密封圈在工况下使用寿命为 37.5 年, 能满足装置密封使用 10 年的要求。

关键词: 蒸发冷却; 静密封; 氢化丁腈橡胶; O 形密封圈; 老化寿命

中图分类号: TM 305 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2018)01-0116-07

Research of Static Seal Material About Its Performance and Life Study

LIU Jiejun

(Xiangtan Electric Group Co., Ltd., Xiangtan 411101, China)

Abstract: It was predicted the life of above mentioned materials such as the NBR O seal ring, the HNBR O seal ring and the electrode coated with epoxy resin through the high temperature and accelerated aging test in the Freon F113. According to the experimental results, the HNBR O seal ring could meet the seal requirement after ten years, its aging life expectancy was 37.5 years under operating conditions.

Key words: evaporative cooling; static seal; HNBR; O seal ring; aging life expectancy

0 引言

蒸发冷却是一种新型高效的电机冷却方式, 其是继空冷、氢冷、水冷之后的又一种重要的大型电机冷却方式, 具有安全可靠, 技术、效益优异, 性能稳定, 运行管理简便等特点^[1]。大型电机定子绕组采用蒸发冷却技术后, 与采用其他传统冷却方式的电机相比, 具有明显的优越性^[2]。某大型卧式蒸发冷却电机在相对封闭的空间内运行, 由于蒸发冷却介质采用氟利昂 F113, 对于氟利昂的泄露量有着严苛的要求, 而且电机寿命在 10 年以上, 对电机的密封性能提出了新的挑战。本文针对该型号电机的静密封材料进行研究, 对于电机使用的静密封材料 O 形密封圈和环氧树脂包覆电极在接触冷却介质的情况下进行老化试验和寿命预测, 以确定其寿命能否达到电机使用要求。

1 试验部分

1.1 原材料及主要试验设备

胶料: 丁腈橡胶 (NBR), 氢化丁腈橡胶 (HNBR)。

高温老化试验箱: TL-004-60-F。

测厚计: XUT-3。

1.2 试验试样和方法

1.2.1 试验试样

(1) 氢化丁腈橡胶 O 形密封圈, 规格为 $\Phi 25 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$, 每个温度 3 个平行试样, 共计 15 个, 试验工装如图 1 所示。

(2) 丁腈橡胶 O 形密封圈, 规格为 $\Phi 25 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$, 每个温度 3 个平行试样, 共计 15 个, 试验工装如图 1 所示。

(3) 环氧树脂包覆电极 (按照电机上的实际使用尺寸制作, 该电极固定在定子机座上, 起连接

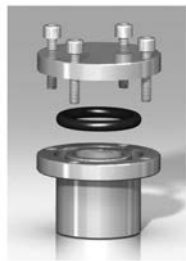


图1 O形密封圈试验工装

线缆的作用,靠O形密封圈进行密封)试样数量为18个,试验工装:试验容器示意图如图2所示,其中的规格为 $\Phi 25\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ 、 $\Phi 46\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ 的O形密封圈为试验样品,数量各18个。



图2 环氧树脂包覆电极试验工装

1.2.2 试验方法

按照HG/T 3087—2001 静密封圈橡胶零件贮存期快速测定方法,使用温度取常温 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$,或者等效温度^[3]。

试样压缩率:丁腈橡胶O形密封圈试样为36.3%~42.2%,氢化丁腈橡胶O形密封圈为20.9%~23.3%。

根据GB/T 7759—1996 硫化橡胶或热塑性橡胶在常温、高温及低温下压缩永久变形测定,密封橡胶圈在使用过程中受到压缩而变形,其密封性能与其受到压缩后产生的形变有直接关系^[3],因此,选择材料的压缩永久变形率作为老化特性指标。压缩永久变形率计算公式如下:

$$\varepsilon\% = \frac{h_0 - h_1}{h_0 - h_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $\varepsilon\%$ ——橡胶压缩永久变形率;

h_0 ——橡胶试样压缩前的高度;

h_1 ——橡胶试样通过夹具被均匀压缩后达到的规定高度;

h_t ——试验后橡胶试样的高度。

测试温度恒定在 $23 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内,测

厚计仪器精度为 0.01 mm 。

根据GB/T 7759—1996 硫化橡胶或热塑性橡胶在常温、高温及低温下压缩永久变形测定,高温老化试验箱的试验温度分别取 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。将如图1所示的O形密封圈工装中装入氟利昂F113,放入密封圈,将盖子盖好,并用螺栓压紧。然后在标准试验室环境下放置3 d,使O形密封圈与氟利昂F113之间的溶胀达到平衡,卸掉负荷,在 $23 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境下使O形密封圈自由恢复24 h,测量尺寸为原始尺寸 h_0 。重新装好O形密封圈,将容器放入不同试验温度的老化试验箱中,按照一定的周期取出O形密封圈试验工装,用氟利昂检测仪器,判断工装在不同温度下是否泄漏,卸掉负荷,让O形密封圈在 $23 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境下恢复24 h后进行测试,测试结果为 h_t 。每个温度下的测试点不少于10个。

根据GB/T 5720—1993 O形橡胶密封圈试验方法,结合实际情况,进行环氧树脂包覆电极的试验。整个试验工装一次装好后,不再拆卸。盖板下的 $\Phi 46\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ 的O形密封圈实际取样间隔时间为30、60、102 d,用氟利昂检测仪器进行检测,观测有无氟利昂泄露情况出现。每个温度设置3个平行样品,共计18个。

2 结果与讨论

2.1 氢化丁腈橡胶O形密封圈高温加速老化数据的处理及分析

氢化丁腈橡胶O形密封圈 $\Phi 25\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ 高温加速老化试验数据如表1所示。

根据试验数据绘制的压缩永久变形随时间变化关系如图3所示。

从表1试验数据可知,不同温度的压缩永久变形 ε 均有负值出现,这是由于橡胶在氟利昂里的溶胀造成的。试验前期的压缩永久变形测试值实际上包括两方面:一方面是溶胀造成的尺寸增长;另一方面是由于压缩永久变形造成的尺寸下降。试验刚开始时溶胀作用占优,表现为压缩永久变形的测试结果为负值;当试验进行到一段时间,溶胀达到平衡后,压缩永久变形占优,表现为测试值的下降。另外,从试验数据还能看出,试验温度越高,达到溶胀平衡的时间越短。

不同温度下的试验数据可以用经验公式(2)

对测试结果和老化时间的规律进行描述^[4]：

表 1 氢化丁腈橡胶 O 形密封圈 $\Phi 25\text{ mm}\times 6\text{ mm}$ 高温加速老化试验数据

老化 时间/d	50 ℃ 1-ε%	60 ℃ 1-ε%	70 ℃ 1-ε%	80 ℃ 1-ε%	90 ℃ 1-ε%
1	1.005 4	0.999 7	0.996 9	0.994 9	0.995 6
4	1.034 9	1.020 3	1.015 0	1.015 8	1.001 4
8	—	—	1.015 8	0.996 1	0.969 3
9	1.039 1	1.024 2	—	—	—
16	—	—	—	0.973 8	0.933 9
18	—	—	0.996 4	—	—
19	1.029 8	1.014 5	—	—	—
27	—	—	—	0.949 3	0.896 8
29.5	—	—	0.997 5	—	—
30.5	1.039 1	1.012 2	—	—	—
37.5	—	—	—	0.924 0	0.860 0
50.5	—	—	0.962 5	—	—
51.5	1.024 7	0.980 5	—	—	—
52.5	—	—	—	0.893 0	0.822 9
78.5	—	—	0.946 7	—	—
79.5	1.010 8	0.971 9	—	0.859 8	0.767 0
113.5	—	—	0.908 9	—	—
114.5	0.994 6	0.935 2	—	0.821 6	0.725 5
142.5	—	—	—	0.783 0	0.701 7
144.5	—	—	0.886 9	—	—
145.5	0.977 3	0.903 0	—	—	—
172.5	—	—	0.865 0	—	—
173.5	0.960 9	0.888 2	—	—	—
184.5	—	—	—	0.751 5	0.675 2
207.5	—	—	0.846 9	—	—
208.5	0.955 8	0.876 8	—	—	—
244.5	—	—	—	0.743 6	0.657 7
247.5	—	—	0.846 4	—	—
248.5	0.953 5	0.869 3	—	—	—
296.5	—	—	0.811 1	—	—
297.5	0.924 6	0.837 6	—	—	—
309.5	—	—	—	0.743 6	0.648 9
392.5	—	—	—	0.716 6	0.584 7

$y = B\exp(-Kt^\alpha)$ (2)

式中：y——1-ε%；

— 118 —

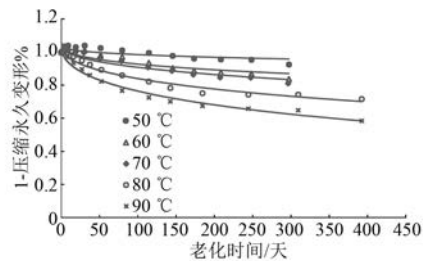


图 3 氢化丁腈橡胶 O 形密封圈压缩永久变形随老化时间变化曲线

B——试验常数；
K——老化速度常数；
t——老化时间；
α——待定常数。

式(2)两边求对数得

$$\ln y = \ln B - Kt^\alpha \tag{3}$$

对不同温度下的老化试验数据按照式(3)进行一元线性拟合^[5]。经尝试计算,α 的选择值为 0.51 时,氢化丁腈橡胶 O 形密封圈所有试验数据的实测值与预测值的离差平方和最小,如表 2 所示。

表 2 氢化丁腈橡胶选取不同 α 时的离差平方和

α	$\sum (y-y')^2$
0.508	0.035 608 5
0.509	0.035 606 2
0.510	0.035 605 97
0.511	0.035 607 87
0.512	0.035 611 9

通过一元线性回归分析得到氢化丁腈橡胶 O 形密封圈在各个温度下的 B 值,老化速度常数 K 及直线化的相关系数 r 如表 3 所示,回归直线如图 4 所示。

表 3 各个温度下氢化丁腈橡胶 O 形密封圈经验公式中的参数计算及回归直线的相关系数 r

温度/℃	50	60	70	80	90
K	0.005 1	0.010 8	0.012 5	0.018 8	0.027 2
B	1.040 8	1.043 3	1.038 3	1.029 2	1.022 2
r	0.838 7	0.946 6	0.968 5	0.980 4	0.988 6

老化速度常数与温度服从阿仑尼乌斯公式^[6]：

$$K = A\exp[-E_a/(RT)] \tag{4}$$

式中：K——老化速度常数；

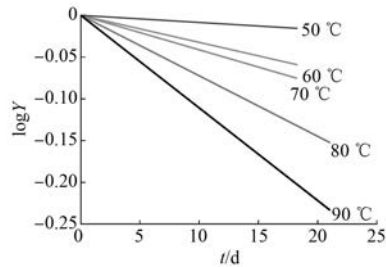


图4 氢化丁腈橡胶 O 形密封圈在各温度下试验数据的直线化处理

A——频率因子;
 E_a ——表观活化能;
 R ——气体常数;
 T ——老化试验温度。

同样对式(4)两边求对数,得

$$\ln K = \ln A - E_a/RT \tag{5}$$

令 $C = \ln A$ 、 $D = -E_a/R$ 、 $Y = \ln K$ 、 $X = 1/T$, 则:

$$Y = C + DX \tag{6}$$

对常温下的老化速度常数 K 可以按照式(6)的一元线性回归分析方程进行预测,经计算一元线性回归的方程参数如表 4 所示。回归直线如图 5 所示。

表 4 一元线性回归的方程参数

C	D	r	S	S_w
3.920 8	-1 990.756 1	0.981 3	0.060 834 6	0.118 650

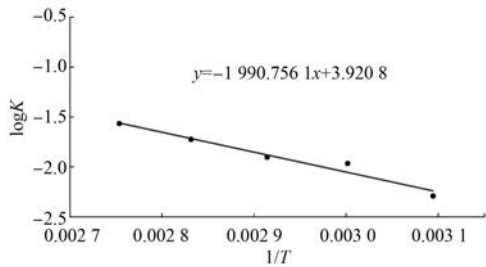


图5 老化速度常数 K 与温度的一元线性回归

从 HG/T 3087—2001 查得自由度 $df=2$,显著性水准为 0.01 时相关系数的表值为 0.958 7, r 的计算值大于表值,所以建立 $\log K = 3.920 8 - 1 990.756 1/T$ 方程是显著相关的。

按照 99% 置信度,查得自由度 $df=2$,单侧界限显著性水准为 0.01 的 t 值是 4.540 7,所以 $\log K$ 的预测区间的上限为

$$\log K = 3.920 8 - 1 990.756 1/T + 4.540 7 \times 0.118 650 = 4.459 5 - 1 990.756 1/T$$

根据上述老化速率方程可计算 25 °C 下的速度常数 K 和 25 °C 下临界值为 0.5 时的贮存期,计算如下:

$$K = 0.006 06$$
$$t = \exp \{ [\ln \ln (1.034 8/0.5) - \ln (0.006 06)] / 0.51 \} / 365 = 32.71 (\text{a})$$

即常温 25 °C 下,氢化丁腈橡胶 O 形密封圈的使用寿命为 32.7 a。

2.2 丁腈橡胶 O 形密封圈高温加速老化数据的处理及分析

丁腈橡胶 $\Phi 25 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ O 形密封圈高温加速老化试验的压缩永久变形随时间变化关系如图 6 所示。

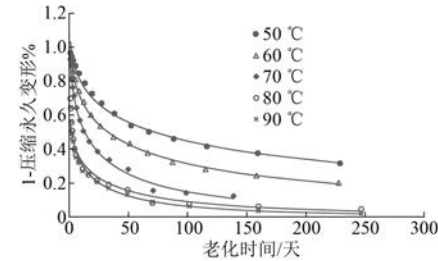


图6 丁腈橡胶 O 形密封圈压缩永久变形随老化时间变化曲线

用相同的数据处理方法对丁腈橡胶 O 形密封圈不同温度下的老化试验数据按照式(3)进行一元线性拟合。经尝试计算, α 的选择值为 0.299 时,所有试验数据的实测值与预测值的离差平方和最小,如表 5 所示。

表 5 丁腈橡胶选取不同 α 时的离差平方和

α	$\sum (y-y')^2$
0.297	0.155 250
0.298	0.155 124
0.299	0.155 107
0.3	0.155 180
0.301	0.155 356

通过一元线性回归分析得到丁腈橡胶 O 形密封圈在各个温度下的 B 值、老化速度常数 K 及直线化的相关系数 r 分别如表 6 所示,回归直线如图 7 所示。

表 6 各温度下丁腈橡胶 $\Phi 25\text{ mm}\times 6\text{ mm}$ O 形密封圈
经验公式中的参数计算及回归直线的相关系数 r

温度/ $^{\circ}\text{C}$	50	60	70	80	90
K	0.288 5	0.397 8	0.629 8	0.661 4	0.802 0
B	1.400 5	1.511 8	1.855 5	1.187 6	1.451 0
r	0.995 2	0.997 7	0.990 6	0.990 2	0.995 1

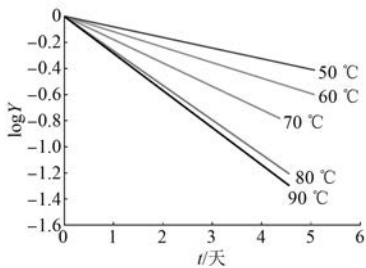


图 7 丁腈橡胶 $\Phi 25\text{ mm}\times 6\text{ mm}$ O 形密封圈的各温度下
试验数据的直线化处理

常温下的老化速度常数 K 可按照式(6)的一元线性回归分析方程进行预测。经计算一元线性回归的方程参数如表 7 所示,回归直线如图 8 所示。

表 7 一元线性回归的方程参数				
C	D	r	S	S_w
3.541 9	-1 310.386 0	0.971 0	0.971 0	0.097 885

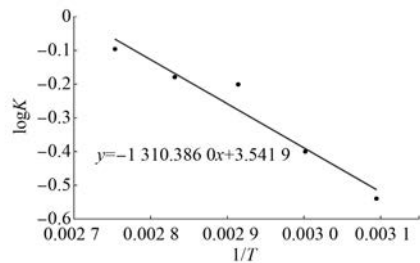


图 8 老化速度常数 K 与温度的一元线性回归

从 HG/T 3087—2001 查得自由度 $df=3$,显著性水准为 0.01 时相关系数的表值为 0.958 7, r 的计算值大于表值,所以建立的 $\log K = 3.541\ 9 - 1\ 310.386\ 0/T$ 方程是显著相关的。

根据上述老化速率方程可计算 25 $^{\circ}\text{C}$ 下的速度常数 K 和 25 $^{\circ}\text{C}$ 下临界值为 0.5 时的贮存期。

$$\begin{aligned}\log K &= 3.541\ 9 - 1\ 310.386\ 0/T = 3.541\ 9 - \\ &1\ 310.386\ 0/298.15 = -0.853\ 1\ K = 0.140\ 238\ 6 \\ t &= \exp\{[\ln \ln(1.481\ 3/0.5) - \\ &\ln(0.140\ 238\ 6)]/0.299\}/365 = 2.58(\text{a})\end{aligned}$$

即压缩率为 36.3%~42.2%,常温 25 $^{\circ}\text{C}$ 下丁腈橡胶 O 形密封圈的使用寿命为 2.58 年。

2.3 环氧树脂包覆电极在不同温度下的高温加速老化试验结果分析

对丁腈橡胶 O 形密封圈的压缩永久变形进行测试,数据如表 8 所示。

表 8 环氧树脂包覆电极两种规格丁腈橡胶 O 形密封圈的压缩永久变形

样品规格	老化时间/d	1-ε/%					
		50 $^{\circ}\text{C}$	60 $^{\circ}\text{C}$	70 $^{\circ}\text{C}$	80 $^{\circ}\text{C}$	90 $^{\circ}\text{C}$	100 $^{\circ}\text{C}$
$\Phi 25\text{ mm}\times 6\text{ mm}$	30	0.796 9	0.679 2	0.615 5	0.663 9	0.541 1	0.546 0
	60	0.719 4	0.606 2	0.538 0	0.482 8	0.464 8	0.399 3
	102	0.639 4	0.543 8	0.439 4	0.412 2	0.393 1	0.344 6
$\Phi 46\text{ mm}\times 6\text{ mm}$	30	0.610 5	0.552 3	0.363 0	0.263 7	0.294 2	0.162 1
	60	0.528 8	0.468 7	0.305 4	0.223 9	0.215 8	0.119 1
	102	0.492 4	0.404 3	0.269 1	0.188 4	0.169 9	0.072 1

在整个试验过程中,试验进行到 60 d 时,除 50 $^{\circ}\text{C}$ 有 1 套工装发生氟利昂泄露外,其他温度下均无泄露。对发生泄露的工装重新更换新接线柱后(O 形密封圈未更换),继续进行试验。所有试验温度下,老化到 102 d 后,18 套试验工装无一发生泄露。经分析,50 $^{\circ}\text{C}$ 有 1 套在老化到 60 d 泄露为装配原因导致泄露,如图 9 所示,O 形密封圈没有

被接线柱完全压实,与 O 形密封圈老化无关。由于接线柱的 O 形密封圈安装槽为高度 3 mm 的弧形槽,导致压缩量无法控制,出现图 9 中的接线柱崩坏的现象,同时出现了图 10 中的 O 形密封圈损坏的现象,而且随着试验温度的升高,O 形密封圈损坏程度越严重。造成这种情况的主要原因是 O 形密封圈的压缩量设计过大,O 形密封圈在过



图 9 泄露试验工装包覆电极实拍照片



图 12 氢化丁腈橡胶 $\Phi 25\text{ mm}\times 6\text{ mm}$ O 形密封圈
90 °C 老化试验结束后



图 10 丁腈橡胶 $\Phi 25\text{ mm}\times 6\text{ mm}$ O 形密封圈
50 °C 老化到 102 d

大的机械压力和空气中臭氧的作用下,很快就因为出现裂纹而损坏。

2.4 高温加速老化试验两种 O 形密封圈变形情况对比

图 11 和图 12 分别是 $\Phi 25\text{ mm}\times 6\text{ mm}$ 丁腈橡胶 O 形密封圈和氢化丁腈橡胶 O 形密封圈 90 °C 老化试验结束后的照片。从照片及试验数据的测试值来看,在相同老化试验温度下老化 393 d 后,湘潭电机现用丁腈橡胶 O 形密封圈的压缩永久变形要明显高于氢化丁腈橡胶 O 形密封圈。其中氢化丁腈橡胶 O 形密封圈 90 °C 的压缩永久变形最大为 42%,丁腈橡胶 O 形密封圈为 98%。整个试验测试过程中,两种 O 形密封圈均未泄露氟利昂。这说明按照标准推荐的临界值 50% 预测 O 形密封圈的使用寿命比较保守,不能正确估计 O



图 11 丁腈橡胶 $\Phi 25\text{ mm}\times 6\text{ mm}$ O 形密封圈 90 °C
老化试验结束后

形密封圈的使用寿命。
试验过程中,O 形密封圈的最大压缩永久变形达到 98% 以上,也并没有出现氟利昂泄露的现象,但考虑到高温下橡胶 O 形密封圈和试验工装的粘连,过大的压缩永久变形之所以没有出现氟利昂泄露的情况,很可能与粘连有关。为保险起见,O 形密封圈每次拆装均应更换,分别以压缩量为 50%、90% 以及 98% 对两种 O 形密封圈在不同温度、不同临界值下进行使用寿命预测,具体结果如表 9 所示。

表 9 不同临界值下 O 形密封圈的使用寿命

使用 温度/°C	临界值	丁腈橡胶 O 形密封 圈使用寿命/a	氢化丁腈橡胶 O 形 密封圈使用寿命/a
25	0.5	2.58	32.7
50		0.19	7.38
60		0.07	3.83
50	0.1	3.93	72.8
60		1.54	37.5
50	0.02	18.8	203.3
60		7.36	104.6

从表 10 可以看出,氢化丁腈 O 形密封圈在各个使用温度及不同临界值下的预测寿命都优于丁腈橡胶 O 形密封圈。

2.5 两种 O 形密封圈氟利昂中体积变化率对比结果

两种 O 形密封圈在氟利昂中的体积变化率结果如表 10 所示。

表 10 O 形密封圈在氟利昂中的体积变化率

O 形密封圈	试验温度/°C	试验时间/h	体积变化率/%
丁腈橡胶	100	24	18.08
氢化丁腈橡胶			44.63

从表 10 可以得出,若以氟利昂 F113 作为液体介质,氢化丁腈 O 形密封圈的溶胀大于丁腈橡胶 O 形密封圈的溶胀。

3 结 语

(1) 该电机现有使用结构中的丁腈橡胶 O 形密封圈压缩率为 36.3%~42.2%,按照标准推荐的临界值 50% 预测 O 形密封圈的使用寿命为 2.58 a;按照临界值为 0.02 时,丁腈橡胶 O 形密封圈在 50 ℃的使用寿命为 18.8 a,60 ℃的使用寿命为 7.36 a,因此,现有结构的 O 形密封圈建议使用寿命为 5 a,并建议将压缩量控制在 20%~30% 之间。

(2) 环氧树脂包覆电极的 O 形密封圈安装槽为 3 mm 深的圆弧,结构不合理,应采取常规 O 形密封圈安装槽结构并合理设计压缩率,建议在 20%~30% 之间,环氧树脂外壁应加厚。

(3) 试验中当丁腈橡胶 O 形密封圈最大压缩永久变形达到 98% 以上,也未出现氟利昂泄露的现象,故按照标准推荐的临界值 50% 预测 O 形密封圈的使用寿命比较保守,不能正确估计丁腈橡胶 O 形密封圈的使用寿命。

(4) 西北院配置的氢化丁腈 O 形密封圈,压缩率为 20.9%~23.3%,按照标准推荐的临界值

50% O 形密封圈的使用寿命为 32.7 a,按照临界值为 0.02 时,氢化丁腈 O 形密封圈在 50 ℃的使用寿命为 72.8 a,60 ℃的使用寿命为 37.5 a,理论预测使用寿命在 10 年以上。

(5) 氢化丁腈橡胶 O 形密封圈的溶胀大于丁腈橡胶 O 形密封圈的溶胀(氟利昂 F113 作为液体介质)。

【参考文献】

- [1] 栾茹,傅德平,顾国彪.135 MW 蒸发冷却汽轮发电机定子绝缘结构的研究[J].电工电能新技术,2006(4): 24-28.
- [2] 栾茹.卧式蒸发冷却电机定子绝缘与传热系统的研究[D].北京:中国科学院研究生院(电工研究所),2004.
- [3] 李志辉.GB/T 20028—2005 和 HG/T 3087—2001 在橡胶寿命预测中的应用[J].特种橡胶制品,2013(4): 64-67.
- [4] 陈珊钧.装置材料寿命预测[J].石油化工设备技术,1986(5): 37-43.
- [5] 王德胜,梁成浩.装置材料腐蚀寿命预测研究进展[J].全面腐蚀控制,1997(3): 5-9.
- [6] 靳福泉.阿累尼乌斯方程探讨[J].大学化学,2007(5): 45-48.

收稿日期: 2017 -08 -29

(上接第 115 页)

第二步,转子轴孔冲裁。上模继续下行,转子外径凸模与下模接触后被顶起(即向上浮动),转子轴孔凸模与轴孔啮合,从而实现转子轴孔的冲裁。弹簧的压力需大于轴孔凹模的冲压抗剪强度。

第三步,定子冲片与转子冲片的分离冲裁。上模继续下行,转子外径凸模向上浮动到限位装置而停止,转子外径凸模与定子外圆凸模的内侧面啮合,从而实现定子冲片与转子冲片的分离冲裁;冲裁完成后,转子冲片的内径将套在转子轴孔凸模上,定子冲片的内孔套装转子外径凸模上,定子冲片的槽型套装在定子槽型凸模上。

第四步,自动卸料。上模上行,下模上的下模卸料板将边角料推出。上模继续上行,在模具接近设备上死点时,滑块打料杆与打料板接触,将定子冲片和转子圆片同时推出。

3 结 语

全复式定子和转子落料模具已推广使用,通过阶梯冲裁原理,在整个冲裁过程仅需一道工序即可完成,使生产效率大幅提高,节省了人力,降低了生产成本,提高了精度。

【参考文献】

- [1] 郭铁良.模具制造工艺学[M].北京:高等教育出版社,1999.
- [2] 许发越.实用模具设计与制造手册[M].北京:机械工业出版社,1992.
- [3] 成虹.冲压工艺与模具设计[M].北京:高等教育出版社,2002.

收稿日期: 2017 -07 -11