

动车组制动系统用橡胶密封垫使用寿命预测

曾宪奎, 刘 威, 吕 冲, 张宗廷, 郝建国

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要:采用热空气加速老化试验方法对以丁腈橡胶为主体材料自制的动车组制动系统用橡胶密封垫使用寿命进行预测。建立了橡胶密封垫的使用寿命预测模型, 并对数学模型进行了验证和修正; 参数线性关系曲线的相关因数均大于 0.959, 线性回归效果显著; 预测出在正常工作温度下, 橡胶密封垫的使用寿命为 6.36 年。

关键词:动车组; 橡胶密封垫; 加速老化; 使用寿命; 预测

中图分类号: TQ330.7⁺5; TQ336.4⁺2 **文献标志码:** B **文章编号:** 1000-890X(2016)11-0693-03

橡胶密封垫是动车组制动系统中的关键零部件, 其性能直接影响动车组制动系统的可靠性和安全性。橡胶在使用过程中会产生老化, 出现变脆、变硬等现象, 甚至失去弹性和密封性能^[1], 因此对动车组制动系统用橡胶密封垫的使用寿命进行预测, 确定其合理的保养和更换期限非常重要。

本工作根据橡胶密封垫在动车组制动系统中的工作条件, 采用热空气加速老化试验方法, 对橡胶密封垫的使用寿命进行预测。

1 实验

1.1 试验样品

以丁腈橡胶为主体材料自制的动车组制动系统用橡胶密封垫。

1.2 试验原理

橡胶是一种非线性材料, 在热与氧的作用下, 性能随时间的延长有一定的变化规律。橡胶老化程度 P (老化性能指标) 随老化时间 (τ) 的变化可用动力学曲线描述, 其动力学公式经修正后得到 P 与 τ 的二元数学公式^[2]:

$$P = Be^{-K\tau^\alpha} \quad (1)$$

式中 B ——试验常数;

K ——速率常数;

α ——经验常数。

K 与老化温度服从阿累尼乌斯公式^[3]:

$$K = Ae^{-E/RT} \quad (2)$$

式中 E ——表观活化能, $J \cdot mol^{-1}$;

R ——气体常数, $J \cdot (K \cdot mol)^{-1}$;

T ——老化温度, K ;

A ——频率因子, d^{-1} 。

将公式 (1) 与 (2) 进行对数变换, 使数学模型线性化, 通过最小二乘法确立下式:

$$I = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n (P_{ij} - \hat{P}_{ij})^2 \quad (3)$$

式中, P_{ij} 为第 i 个老化温度下第 j 个测试点性能指标的试验值; $\hat{P}_{ij}$ 为第 i 个老化温度下, 第 j 个测试点性能指标的预测值。

求出待估参数与各温度下的速率常数, 进而确定正常工作温度下橡胶的老化寿命预测模型。

1.3 试验方法

首先按照 GB/T 3512—2001《橡胶热空气老化试验方法》, 将标准试样呈自由状态悬挂于老化试验箱内, 同时开始计算老化时间, 达到规定时间间隔后将试样取出, 再按照 GB/T 528—2009《硫化橡胶或热塑性橡胶拉伸应力应变性能的测定》测试老化后试样的拉伸强度。

选择 333, 343, 353, 363 和 373 K 五个温度进行热空气加速老化试验, 分别间隔 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 12, 16, 20, 25 和 32 d 测定试样的老化性能参数, 每个试验点测定 5 次。

2 结果与讨论

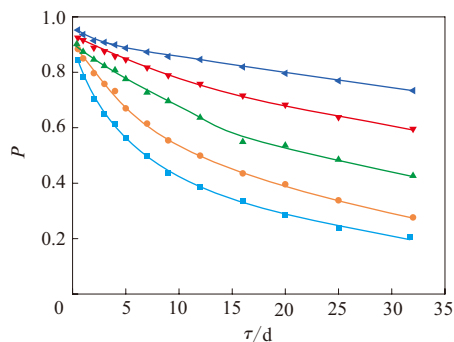
2.1 老化时间和温度对 P 的影响

P 为试样老化后与老化前拉伸强度的比值^[4]。

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目 (ZR2014EMM018)

作者简介: 曾宪奎 (1967—), 男, 山东青州人, 青岛科技大学教授, 博士, 主要从事橡塑机械教学、设计及研发工作。

测定各老化温度下的拉伸强度,经计算得到各老化温度下的 P 与 τ 的关系曲线如图1所示。从图1可以看出,随着老化时间的延长和老化温度的升高,试样的性能越来越差。



温度/K: —333; —343; —353; —363; —373。

图1 各温度下试样的 P - τ 关系曲线

2.2 参数的计算

确定各温度下的 P 后,采用逐次逼近法,求得 $\alpha=0.63$ 时, $I=0.013\ 951\ 2$,为最小^[5]。采用线性回归法计算各温度下的 B 和 K 、 B 的估计量 $\hat{B}$ 、标准差 S 及 $\lg K$ 的标准偏差 S_2 等参数,计算过程借助MATLAB软件完成。 K 和 B 的计算结果见表1。

由此得到主要数据的计算值: $\lg A = 5.840\ 1$,
 $-\frac{E}{2.303R} = -2\ 440.5$, $\hat{B} = 0.967\ 1$, $S = 0.050\ 12$, $S_2 = 0.115\ 86$ 。

表1 各温度下的 K 和 B

参 数	温度/K				
	373	363	353	343	333
K	0.198 26	0.130 92	0.084 44	0.053 09	0.032 46
B	0.918 5	0.992 8	0.985 3	0.973 1	0.965 9

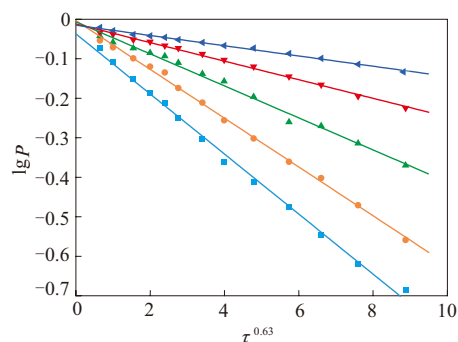
2.3 线性关系的验证

2.3.1 $\lg P$ 与 $\tau^{0.63}$ 的关系

作各温度下的 $\lg P$ 对 $\tau^{0.63}$ 的拟合曲线,如图2所示。从图2可以看出,不同温度下,每个 $\tau^{0.63}$ 与 $\lg P$ 所对应的点近似呈线性分布。

通过最小二乘法可计算出不同温度下 $\lg P$ 与 $\tau^{0.63}$ 关系式的相关因数(r),计算过程借助于MATLAB软件完成,计算得333,343,353,363和373 K下的 r 分别为 $-0.998\ 29$, $-0.998\ 93$, $-0.996\ 05$, $-0.998\ 05$ 和 $-0.997\ 65$ 。

从HG/T 3087—2001的附录A中查得,当置信



注同图1。

图2 $\lg P$ 与 $\tau^{0.63}$ 的线性拟合曲线

度为99%、自由度为3时,检验表中 $r=0.959$ 。由于不同温度下的 r 的绝对值均大于0.959,因此可验证 $\lg P$ 与 $\tau^{0.63}$ 的关系式线性回归效果显著。

2.3.2 $\lg K$ 与 $1/T$ 的关系

作各温度下 $\lg K$ 对 $1/T$ 的拟合曲线,如图3所示。从图3可以看出,每个 $1/T$ 与 $\lg K$ 所对应的点近似呈线性分布,由线性回归法计算得到 $\lg K$ 与 $1/T$ 关系式的 r 为 $-0.990\ 38$, $|r|$ 大于检验表值0.959。

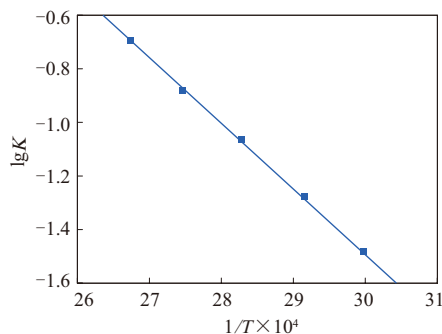


图3 $\lg K$ 与 $1/T$ 的线性拟合曲线

以上分析可验证 $\lg K$ 与 $1/T$ 的关系式线性回归效果显著。

2.4 预测模型的建立

根据统计分析, $\lg K$ 在置信度 $1-\alpha$ 下存在置信区间^[6],为了使预测结果更准确,将置信区间上限值作为预测值, $\lg K$ 的置信区间上限如下:

$$\lg K = \lg A - \frac{E}{2.303R} \cdot \frac{1}{T} + tS_2 \quad (4)$$

从HG/T 3087—2001的附录B中查得,当置信度为95%、自由度为3时, t 为2.353。将各参数代入式(4),可得 $\lg K = 6.112\ 72 - 2\ 440.5 \frac{1}{T}$,经变换可得 $K = 10^{6.112\ 72 - 2\ 440.5 \frac{1}{T}}$,将其代入式(1),可初步建立橡胶密封垫的使用寿命预测模型:

$$P = 0.9671 \exp(-10^{6.11272-2.440.5\frac{1}{\tau}} \tau^{0.63}) \quad (5)$$

2.5 预测模型的修正

通过理论预测值与实测值的对比,对上述预测模型进行修正。首先分别测定在动车组制动系统中使用过1,1.5,2,2.5,3,3.5,4,4.5和5 a的密封垫样品的老化程度 P_1 (实测值),其中每个测定点取5个样品,取其平均值。再通过预测模型分别推出不同使用时间的老化程度 P_2 (理论值),其中 T 取正常工作温度298 K。计算出理论值与实测值之间的偏差 ΔP 。 P_1 和 P_2 与 τ 的关系曲线如图4所示。计算得出 ΔP 的平均值 $\Delta \bar{P}$ 为0.02。

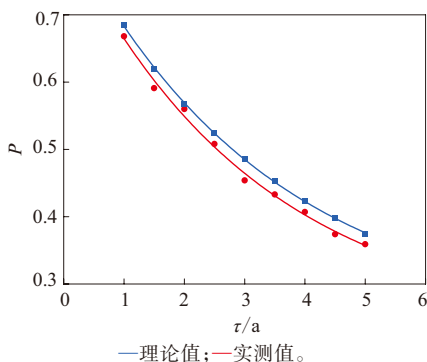


图4 P_1 和 P_2 与 τ 的关系曲线

图4中,各理论值点所构成的曲线为预测曲线,其与各实测值点所构成的拟合曲线的变化趋势基本相同,若将预测曲线向下平移 $\Delta \bar{P}$ 个单位,可以使其与拟合曲线基本重合,预测曲线得以修正。则预测模型修正为

$$P = 0.9671 \exp(-10^{6.11272-2.440.5\frac{1}{\tau}} \tau^{0.63}) - 0.02 \quad (6)$$

经变换,最终建立的橡胶密封垫使用寿命预

测模型为

$$\tau = \exp[\frac{1}{0.63}(\ln \ln \frac{0.9671}{P+0.02} - \ln 10^{6.11272-2.440.5\frac{1}{\tau}})] \quad (7)$$

2.6 使用寿命的预测

根据使用寿命预测模型可预测出,当 T 为正常工作温度298 K、老化性能指标临界值 $P_0=0.3$ 时,动车组制动系统用橡胶密封垫的使用寿命为6.36年。

3 结论

(1)建立了动车组制动系统用橡胶密封垫使用寿命的预测模型,并对模型进行了验证和修正。

(2)预测出当工作温度为298 K、老化性能指标临界值 $P_0=0.3$ 时,动车组制动系统用橡胶密封垫的使用寿命为6.36年。

参考文献:

- [1] 化学工业部合成材料老化研究所. 高分子材料老化与防老化[M]. 北京:化学工业出版社,1979:10-30.
- [2] 李咏今. 利用时间外延法预测硫化胶常温老化应力松弛和永久变形性能的研究[J]. 橡胶工业,2002,49(10):615-622.
- [3] 何曼君,陈维孝,董西侠. 高分子物理[M]. 3版. 上海:复旦大学出版社,2000:5-31.
- [4] 张凯,黄渝鸿,马艳,等. 丁基橡胶密封材料贮存寿命的预测[J]. 四川化工,2004,7(1):4-6.
- [5] 石菲,童宗鹏,龚丽琴,等. 橡胶隔振器老化寿命的预测[J]. 船舶工程,2009,31(4):38-40.
- [6] 张录平,李晖,庞明磊,等. 基于统计分析的橡胶材料贮存寿命预测[J]. 橡胶工业,2011,58(5):310-313.

收稿日期:2016-05-02

天然橡胶提质列入海南重大科技计划

中图分类号:TQ332.1 文献标志码:D

近日,海南天然橡胶品质提升及产业升级关键技术研发与示范项目正式立项,并被列入2016年海南省重大科技计划,项目实施期为3年。

该项目下设4个课题,分别为天然橡胶初加工传统技术升级、高性能天然橡胶产品技术研发、特种天然橡胶研发与生产示范、橡胶林现代管理技术集成与应用。

项目将围绕天然橡胶质量调控、高端化天然橡胶产品生产存在的关键问题,从原料胶乳、初加工技术对天然橡胶质量的影响和调控入手,通过

高性能化关键技术的研发以及特种专用天然橡胶产品技术研发与示范,为天然橡胶的品质提升提供技术与产品支撑。

此项目由海南天然橡胶集团股份有限公司牵头,联合海南大学、中国热带农业科学院农产品加工研究所等单位共同承担。这是海南天然橡胶集团股份有限公司首次承担的海南省重大科技项目。

此外,2016年海南省重大科技计划项目是《海南省深化省级财政科技计划和资金管理改革方案》实施后首次启动的重大项目,将首次实行企业承担项目(课题)事前立项、事后补助拨款方式。

(摘自《中国化工报》,2016-08-25)