

# 基于拉断伸长率预测城轨车辆门密封条寿命

张雨<sup>1</sup>, 朱文明<sup>2</sup>, 王玉国<sup>1</sup>, 李敬轩<sup>1</sup>, 杨泰隆<sup>1</sup>

(1. 南京工程学院 汽车与轨道交通学院, 江苏 南京 211167; 2. 南京康尼机电股份有限公司 技术中心, 江苏 南京 210013)

**摘要:** 选择拉断伸长率作为城轨车辆门密封条寿命预测性能指标, 以其50%保持率作为老化临界值, 分别对检测数据采用两点拟合、线性拟合和非线性拟合, 预测城轨车辆门密封条寿命。结果表明, 根据线性拟合预测密封条寿命会导致“过维护”, 采用两点拟合和非线性拟合预测密封条寿命基本兼顾了可靠性和经济性。

**关键词:** 城轨车辆门; 密封条; 寿命预测; 拉断伸长率

**中图分类号:** TQ336.4<sup>+</sup>2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-890X(2019)08-0624-03

**DOI:** 10.12136/j.issn.1000-890X.2019.08.0624

我国对城轨车辆门密封条采取定期更换的维护模式, 导致其未能全寿命周期使用, 保障城轨车辆门密封条可靠性与保障城轨车辆运营经济性两者不能兼顾。城市轨道交通维修工作应该综合考虑可靠性和经济性, 这就需要研究由定期维修方式向按需维修方式转变的理论基础和技术措施。为此本研究探索了城轨车辆门密封条寿命的预测方法, 以期为构建城轨车辆门密封条按需维护制度提供参考。

## 1 国家标准对橡胶老化程度指标和寿命预测指标的建议

GB/T 20028—2005《硫化橡胶或热塑性橡胶应用阿累尼乌斯图推算寿命和最高使用温度》认为, 橡胶的老化程度可用拉伸强度或拉断伸长率等物理性能老化后的保持率予以表征。当检测样品无具体使用时间极限要求时, 推荐物理性能下降到初始值的50% (即50%保持率) 作为容忍老化程度临界值 (边界)。

GB/T 20028—2005选择的硫化橡胶或热塑性橡胶性能指标通常为拉伸强度、拉断伸长率、压缩

应力松弛、拉伸应力松弛、压缩永久变形、拉伸永久变形和拉伸蠕变。可见, 拉伸强度和拉断伸长率可作为橡胶寿命的预测指标。

## 2 确定城轨车辆门密封条的寿命预测指标

在南京轨交A号线和上海轨交I号线城轨车辆架大修时收集了一批在用城轨车辆门密封条, 材质为三元乙丙橡胶, 种类为护指胶条与周边胶条。按照国家标准<sup>[1-2]</sup>, 考虑从收集的旧密封条中裁切出标准试样的可能性, 仅检测了硬度、拉伸强度和拉断伸长率3项物理性能, 检测结果见表1<sup>[3]</sup>, 同时还检测了同型号新品城轨车辆门密封条的物理性能<sup>[4]</sup>, 见表1中0<sup>#</sup>试样。

表1中密封条试样的性能保持率计算式如下,  $u_1$ 、 $u_2$ 和 $u_3$ 分别为硬度、拉伸强度和拉断伸长率。

$$\text{硬度保持率 } A_1 = [1 - (u_1 - 60) / 60] \times 100\%$$

$$\text{拉伸强度保持率 } A_2 = (u_2 / 9.3) \times 100\%$$

$$\text{拉断伸长率保持率 } A_3 = (u_3 / 460) \times 100\%$$

将GB/T 20028—2005推荐的50%性能保持率作为表征老化程度的临界值。再由新品密封条拉断伸长率为460%, 得出密封条拉断伸长率老化程度临界值为:  $460\% \times 50\% = 230\%$ 。

由表1可知: 在自然老化条件下, 随着使用时间的延长, 密封条物理性能以拉断伸长率下降最快; 使用177个月 (近15年) 后, 护指胶条拉断伸长率降至236%, 拉断伸长率保持率为51%, 几乎为

**基金项目:** 江苏省轨道交通车辆门系统重点实验室开放课题 (KN17-17)

**作者简介:** 张雨 (1958—), 男, 江苏泰州人, 南京工程学院教授, 博士, 主要从事车辆及其装备性能检测与控制的研究。

**E-mail:** zy586187@163.com

表 1 城轨车辆门密封条的物理性能检测结果

试样序号	试样种类	使用时间/月	邵尔A型硬度		拉伸强度		拉断伸长率	
			数值/度	保持率/%	数值/MPa	保持率/%	数值/%	保持率/%
0 <sup>#</sup>	新品胶条	0	60	100	9.3	100	460	100
1 <sup>#</sup>	护指胶条	52	67	88	7.5	81	372	81
2 <sup>#</sup>	护指胶条	69	66	90	7.8	84	334	73
3 <sup>#</sup>	护指胶条	99	65	92	7.3	79	278	60
4 <sup>#</sup>	护指胶条	177	69	85	7.3	79	236	51
5 <sup>#</sup>	周边胶条	52	68	87	7.9	85	303	66
6 <sup>#</sup>	周边胶条	69	70	83	7.3	79	270	59
7 <sup>#</sup>	周边胶条	99	71	82	8.1	87	273	59
8 <sup>#</sup>	周边胶条	177	71	82	7.8	84	287	62

GB/T 20028—2005推荐的老化程度的临界值。故本研究选择护指胶条拉断伸长率作为密封条寿命的预测指标。

### 3 密封条寿命预测

#### 3.1 由检测数据最后两点进行寿命预测(两点拟合)

以表1中1<sup>#</sup>—4<sup>#</sup>试样数据做出在用城轨车辆门护指胶条拉断伸长率随使用时间变化曲线并外延至老化边界,如图1所示。

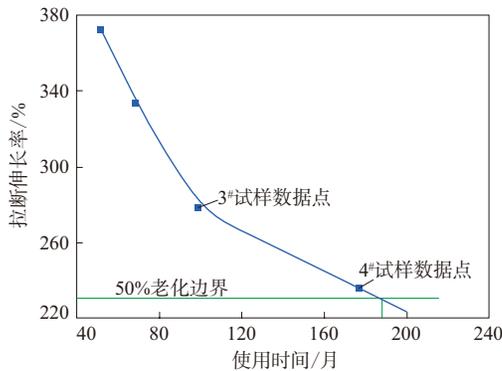


图1 两点拟合曲线

3<sup>#</sup>和4<sup>#</sup>试样的检测数据构成直线方程:

$$u_3 = -0.5385t + 331.307 \quad (1)$$

式中,  $t$ 为使用时间(月)。

将50%老化边界,即拉断伸长率230%带入式(1),得 $t$ 约为188个月,即由检测数据最后两点确定的城轨车辆门密封条预测寿命为188个月,此后拉断伸长率保持率降至50%以下。表1中4<sup>#</sup>试样已经使用了177个月,按照本预测方案其剩余寿命还有11个月。

#### 3.2 由检测数据线性拟合进行寿命预测(线性拟合)

在图1曲线基础上,增加0<sup>#</sup>试样(新品城轨车辆门密封条)拉断伸长率数据,作出护指胶条的拉断伸长率随使用时间的变化曲线。对其采用最小二乘法线性拟合并外延拟合线至老化边界,如图2所示。

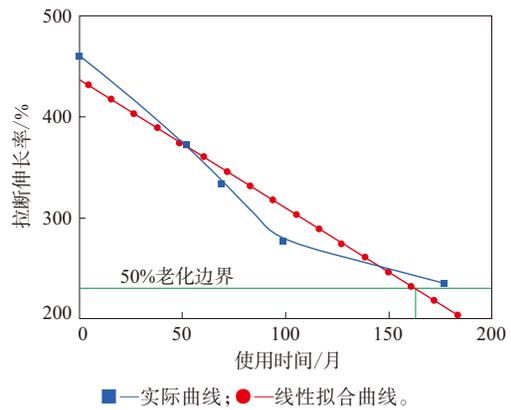


图2 线性拟合曲线

线性拟合方程为

$$u_3 = -1.27t + 436.95 \quad (2)$$

将50%老化边界带入式(2),得 $t$ 约为163个月,即由检测数据线性拟合确定的密封条预测寿命为163个月,此后其拉断伸长率保持率降至50%以下。而表1中4<sup>#</sup>试样使用了177个月其拉断伸长率保持率仍为51%,故可知按照本预测方案会出现提前维护,即“过维护”。

#### 3.3 由检测数据非线性拟合进行寿命预测(非线性拟合)

两点拟合仅使用了护指胶条最后两个时间点

的试样检测数据,对其他检测数据没有利用;线性拟合虽使用了新旧护指胶条检测数据,但是硬性的线性拟合没有顺应全部检测数据的变化趋势。因此对图2护指胶条的拉断伸长率随使用时间变化曲线进一步采用最小二乘法非线性拟合并外延拟合线至老化边界,如图3所示。

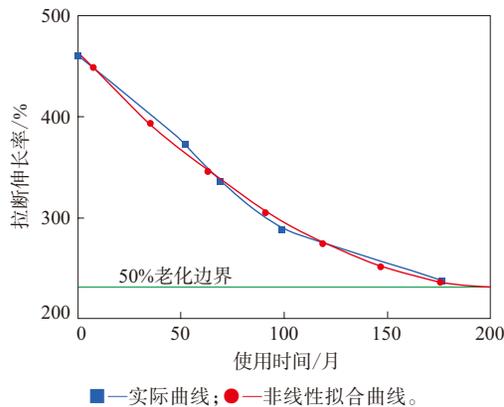


图3 非线性拟合曲线

非线性拟合方程为

$$u_3 = 0.00525t^2 - 2.2223t + 463.2 \quad (3)$$

由图3可以看出,非线性的二次幂函数拟合曲线与实际曲线吻合较好,反映了护指胶条拉断伸长率在使用后期趋于稳定的特征。

将50%老化边界带入式(3),得 $t$ 约为192个月,即由检测数据非线性拟合得到的密封条预测寿命为192个月,此后其拉断伸长率保持率降至50%以

下。表1中4#试样已经使用了177个月,故可知按照本预测方案其剩余寿命还有15个月。

#### 4 结论

(1) 50%物理性能保持率可作为密封条老化的临界值。

(2) 对于拉伸强度和拉断伸长率,后者更适合作为密封条寿命的预测指标。

(3) 密封条的拉断伸长率随使用时间变化曲线进行3种拟合:①对最后两个数据做两点拟合;②对整条曲线做线性拟合;③对整条曲线做非线性拟合。结果表明:线性拟合的预测方法容易出现“过维护”,强调了可靠性而经济性不够;两点拟合和非线性拟合预测得到的密封条寿命较为接近实际使用寿命,基本兼顾了可靠性和经济性。

#### 参考文献:

- [1] GB/T 531.1—2008,硫化橡胶或热塑性橡胶 压入硬度试验方法 第1部分:邵氏硬度计法(邵氏硬度)[S].
- [2] 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[S].
- [3] 青岛科标研究院有限公司. 轨道交通车辆门密封胶条测试报告(报告编号SCTB-B20180305-006N-1~5)[R]. 南京:南京工程学院, 2018.
- [4] 江阴海达橡塑股份有限公司. 南京轨交A号线密封胶条检测报告(报检单号10001015606)[R]. 南京:南京工程学院, 2017.

收稿日期:2019-03-30

## Prediction of Service Life of Door Seal Rubber of Urban Rail Vehicles Based on Elongation at Break

ZHANG Yu<sup>1</sup>, ZHU Wenming<sup>2</sup>, WANG Yuguo<sup>1</sup>, LI Jingxuan<sup>1</sup>, YANG Tailong<sup>1</sup>

(1. Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China; 2. Nanjing Kangni Mechanical & Electrical Co., Ltd., Nanjing 210013, China)

**Abstract:** The elongation at break was selected as the performance index of life prediction of the seal strip of urban rail vehicle door (SSURVD), and the 50% retention rate of elongation at break was used as an aging threshold. The service life of the SSURVD was predicted by two point fitting, linear fitting and non-linear fitting of the test data, respectively. The results showed that the service life of the SSURVD predicted by linear fitting would result in over maintenance, while the other two fitting methods could also provide reliable results but the maintenance was more cost efficient.

**Key words:** urban rail vehicle door; seal strip; life prediction; elongation at break