

汽车橡胶元件蠕变性能的灰色拓扑预测

赵振东

(南京工程学院 汽车与轨道交通学院, 江苏 南京 211167)

摘要:针对汽车橡胶元件蠕变性能数据需要实测才能获得的局限, 尝试运用灰色预测理论分析橡胶元件蠕变性能。根据较少的试验数据, 建立灰色 GM(1,1) 拓扑模型, 预测汽车橡胶元件的蠕变性能。结果表明, 预测模拟值与实际试验值吻合较好, 模型精度较高。

关键词:汽车; 橡胶元件; 灰色系统理论; 蠕变

中图分类号: TQ336.4; U465.4+2 **文献标志码:** B **文章编号:** 1000-890X(2015)05-0309-03

汽车用橡胶元件有 300 多种, 其中大多数是重要的承载结构零件, 如悬架橡胶衬套、发动机支承和橡胶弹簧等^[1]。蠕变性能是指材料在保持应力不变的条件下应变随时间延长而增加的现象。橡胶元件的蠕变性能直接影响汽车整车性能, 如悬架橡胶衬套的蠕变影响车辆的定位参数和整车操纵动力性; 车身连接衬套的蠕变影响整车姿态等。因此, 准确地预测橡胶元件的蠕变特性并使其控制在可行的范围内是产品设计的重要目标。由于橡胶元件蠕变问题的复杂性, 目前还没有一套完整、严格的理论, 蠕变数据需要通过试验获得, 耗时长, 难以满足产品开发的需要。

灰色系统理论以部分信息已知、部分信息未知的小样本、贫信息、不确定性的系统为研究对象, 主要通过对部分已知信息的生成和开发, 提取有价值的信息, 实现对系统运行行为和演化规律的正确描述和有效监控^[2]。近年来, 灰色理论在汽车工程领域逐步得到应用^[3-5]。

本工作在灰色系统理论研究的基础上, 运用灰色拓扑预测方法建立橡胶元件的蠕变特性模型, 对橡胶元件蠕变数据进行预测。

1 原理与方法

1.1 灰色系统理论

灰色预测模型是灰色系统理论的重要组成部分

作者简介: 赵振东(1974—), 男, 江苏靖江人, 南京工程学院研究员级高级工程师, 博士, 主要从事汽车整车集成和悬架方面的研究工作。

分。灰色 GM 预测模型一般是指 GM(1,1) 模型及其扩展形式, 突破了一般建模方法要求大样本数据的局限, 是建模思路和方法上的创新^[6]。本研究原始数据中, 由于预测蠕变量与时间间隔对应, 都是单变量, 且模型群均为一阶模型, 因此采用 GM(1,1) 模型建立预测模型群。

1.2 灰色拓扑预测方法

GM(1,1) 模型精度与对原始数据的取舍有关。为了提高 GM(1,1) 模型的精度, 可以把原始数据分成几个包含原点在内的子数列。对这些子数列建立的模型群称为 GM(1,1) 拓扑模型。经检验后, 从中选出一个误差最小的模型进行预测。该方法被称为灰色拓扑预测^[7]。

一般灰色拓扑预测主要步骤如下^[6-7]。

(1) 给定原始时间数据序列:

$$X^{(0)}(t) = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$$

(2) 对 $X^{(0)}(t)$ 作一次累加, 记 $x^{(1)}(k)$ 为 $x^{(0)}$ 在 k 时的一次累加, 则

$$x^{(1)}(k) = \sum_{t=1}^k x^{(0)}(t) \quad (1)$$

(3) 构造数据矩阵 B 和 y_n , 并建立微分方程:

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)] & 1 \end{bmatrix}$$

(2)

$$y_n = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \cdots, x^{(0)}(n)]^T \tag{3}$$

则 $x^{(1)}(k)$ 的 GM(1,1) 模型白化形式的微分方程为

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \tag{4}$$

式中, a 和 u 为待定参数。

(4) 求解 $X(1)$ 模拟值。记参数向量为 α , 则

$$\alpha = [a \quad u]^T = (B^T B)^{-1} B^T y_n \tag{5}$$

式(4)的时间响应函数为

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = [x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}]e^{-ak} + \frac{u}{a} \tag{6}$$

$k=1, 2, \cdots, n$

(5) 还原求出 $X^{(0)}$ 的模拟值如下:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \tag{7}$$

$k=1, 2, \cdots, n$

(6) 检验模型精度。一般有残差检验、关联度检验和后验差检验, 其中残差检验是逐点检验^[8], 计算公式如下:

$$q^{(0)}(t) = x^{(0)}(t) - \hat{x}^{(0)}(t) \tag{8}$$

$$e(t) = \frac{|q^{(0)}(t)|}{x^{(0)}(t)} \tag{9}$$

式中, $q^{(0)}(t)$ 为残差, $e(t)$ 为相对误差。

2 应用算例

选取某汽车橡胶元件试样进行蠕变试验, 给予橡胶试样以恒定载荷, 测量一定时间间隔后变形的变化量(ΔS), 试验数据如表 1 所示。

表 1 橡胶试样蠕变试验结果

项 目	试验序号					
	1	2	3	4	5	6
试验时间/min	15	30	45	60	75	90
$\Delta S/mm$	2.87	3.20	3.35	3.40	3.47	3.51

选取 1~5 号数据为原始数据, 6 号数据为预测验证数据。根据灰色拓扑建模理论, 选取多重时区数列建模。分别选取 1~4, 1~5, 2~5 号蠕变变量数据, 对其进行初值化处理^[3], 即以每列各数据除去首数据, 得各列数据如下:

$$X_1^{(0)} = \{1, 1.114\ 9, 1.167\ 2, 1.184\ 6\}$$

$$X_2^{(0)} = \{1, 1.114\ 9, 1.167\ 2, 1.184\ 6, 1.209\ 0\}$$

$$X_3^{(0)} = \{1, 1.046\ 8, 1.062\ 5, 1.084\ 3\}$$

按式(1)进行累加处理, 得

$$X_1^{(1)} = \{1, 2.114\ 9, 3.282\ 2, 4.466\ 8\}$$

$$X_2^{(1)} = \{1, 2.114\ 9, 3.282\ 2, 4.466\ 8, 5.675\ 9\}$$

$$X_3^{(1)} = \{1, 2.046\ 8, 3.109\ 3, 4.193\ 7\}$$

按式(2)和(3)计算, 分别得数据矩阵:

$$B_1 = \begin{bmatrix} -1.557\ 49 & 1 \\ -2.698\ 61 & 1 \\ -3.874\ 56 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} -1.557\ 49 & 1 \\ -2.698\ 61 & 1 \\ -3.874\ 56 & 1 \\ -5.071\ 43 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} -1.523\ 44 & 1 \\ -2.578\ 13 & 1 \\ -3.651\ 56 & 1 \end{bmatrix}$$

$$y_{n1} = [1.115\ 0, 1.167\ 2, 1.184\ 7]^T$$

$$y_{n2} = [1.115\ 0, 1.167\ 2, 1.184\ 7, 1.209\ 1]^T$$

$$y_{n3} = [1.046\ 9, 1.062\ 5, 1.084\ 4]^T$$

由式(5)计算得

$$\alpha_1 = [a_1 \quad u_1]^T = [-0.03 \quad 1.074\ 317]^T$$

$$\alpha_2 = [a_2 \quad u_2]^T = [-0.025\ 52 \quad 1.084\ 766]^T$$

$$\alpha_3 = [a_3 \quad u_3]^T = [-0.017\ 63 \quad 1.019\ 039]^T$$

由式(6)得模型群的时间响应方程如下:

$$\hat{x}_1^{(1)}(k+1) = 36.806\ 11e^{0.03k} - 35.806\ 1 \tag{10}$$

$$\hat{x}_2^{(1)}(k+1) = 43.504\ 02e^{0.025\ 52k} - 42.504 \tag{11}$$

$$\hat{x}_3^{(1)}(k+1) = 58.803\ 44e^{0.017\ 63k} - 57.803\ 4 \tag{12}$$

由式(7)进行数据还原, 并根据式(8)和(9)进行误差检验, 结果如表 2~4 所示。

由表 2~4 可见, 模型 1 没有包含最新信息, 模型 2 包含全部新旧信息, 模型 3 既包含了新信息, 又去掉了第 1 个旧信息。模型 3 具有较高的

表 2 模型 1 模拟结果及误差检验

项 目	原始数据序号		
	2	3	4
模拟数据	1.120 9	1.155 0	1.190 2
实际数据	1.114 9	1.167 2	1.184 6
残差	-0.005 94	0.012 198	-0.005 56
相对误差/%	0.53	1.04	0.46

表 3 模型 2 模拟结果及误差检验

项 目	原始数据序号			
	2	3	4	5
模拟数据	1.124 5	1.153 5	1.183 3	1.213 9
实际数据	1.114 9	1.167 2	1.184 6	1.209 0
残差	-0.009 55	0.013 67	0.001 274	-0.004 92
相对误差/%	0.85	1.17	0.10	0.40

表 4 模型 3 模拟结果及误差检验

项 目	原始数据序号		
	3	4	5
模拟数据	1.045 9	1.064 4	1.083 4
实际数据	1.046 8	1.062 5	1.084 3
残差	0.000 938	-0.002	0.000 942
相对误差/%	0.089	0.188	0.086

精度,平均相对误差仅为 0.12%。因此选取模型 3 进行下一步的预测分析。

根据式(12),取 k 为 6 时, $\hat{x}^{(1)}=5.296\ 5$,由式(7)还原得 $\hat{x}^{(0)}=3.528\ 6$,对照表 1 所示数据,根据式(8)和(9),计算其相对误差为 0.53%,模拟值与试验值吻合较好,模拟精度较高,表明模型 3 可以作为橡胶元件蠕变性能的预测模型。

3 结语

运用灰色理论处理有限的蠕变试验数据,并建立灰色 GM(1,1)模型,预测后一时间段的蠕变值。分析结果表明,预测值与实际试验值很接近,精度较高,分析方法可行。

参考文献:

[1] 卢原春彦. 防振橡胶及其应用[M]. 北京:中国铁道工业出版社,1982.

[2] 吴顺祥. 灰色粗糙集模型及其应用[M]. 北京:科学出版社,2009.

[3] 赵振东,邹小俊. 汽车风噪声主观评价的灰色聚类分析[J]. 机械科学与技术,2011,30(12):2157-2164.

[4] 赵振东. 灰色聚类法在汽车传动系选型优化中的应用[J]. 机械设计与研究,2011,27(3):52-55.

[5] 于雷. 灰色系统理论在汽车齿轮寿命预测中的应用[J]. 汽车技术,2006(9):24-26.

[6] 党耀国,刘思峰,王正新,等. 灰色预测与决策模型研究[M]. 北京:科学出版社,2009.

[7] 袁嘉祖. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,1991.

[8] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1990.

收稿日期:2014-11-22

国内全钢子午线轮胎首用电子束预硫化技术

中图分类号:TQ336.1;TQ330.4+7 文献标志码:D

我国首套电子束(EB)预硫化装置已在双钱集团(江苏)轮胎有限公司的全钢子午线轮胎生产线中成功应用。在 2015 年 3 月下旬由中国化工学会主持召开的成果鉴定会上,双钱集团、武汉久瑞电气有限公司等合作完成的“EB 预硫化装置在全钢子午线轮胎中的应用”项目通过技术鉴定。评审专家认为,该项目填补了我国电子束预硫化装置在全钢子午线轮胎中的应用空白,技术达到国内领先、国际先进水平。

EB 预硫化技术在国外轮胎行业中已经被广泛应用,是子午线轮胎绿色生产的核心技术之一。该技术通过 EB 预硫化装置激发的高能电子束作用于轮胎部件,从而激活胶料中的橡胶大分子,产生橡胶大分子的活性自由基,使橡胶大分子间进一步发生碳-碳键交联形成三维网状结构,以达到提高轮胎部件的物理性能的目的。但此前 EB 预硫化技术长期被国外公司所垄断,设备采购及运

行成本极高。国外公司还对我国轮胎企业采取保密措施,导致 EB 预硫化工艺很难在我国轮胎企业实际应用并产生效益。EB 预硫化工艺的缺失限制了国内轮胎制造业的技术提升和产业发展。

武汉久瑞电气有限公司经过多年自主研发,并结合国内轮胎企业的生产现状,开发出新一代具有完全自主知识产权的国产 EB 预硫化装置。2013 年,国产 EB 预硫化装置在半钢子午线轮胎生产线中成功应用。2014 年,他们又与双钱集团合作,将我国首套 EB 预硫化装置及其应用技术在双钱集团(江苏)轮胎有限公司的全钢子午线轮胎生产线中成功应用。在实际生产过程中,经过多批次、长时间运行检测,EB 预硫化装置各项性能优于国外同类装置,轮胎产品检测数据均优于国家标准,关键性能指标提升超过 30%,远超预期目标。

据悉,近 40 家国内轮胎制造企业参加了本次会议,他们对于 EB 预硫化技术的应用推广表现出浓厚兴趣。

(摘自《中国化工报》,2015-04-01)