

自然环境谱转化为加速试验环境谱的方法

王艳艳^{1,2}, 舒畅^{1,2}, 李超^{1,2}

(1. 西南技术工程研究所, 重庆 400039; 2. 重庆市环境腐蚀与防护工程技术研究中心, 重庆 400039)

摘要: 目的 研究将自然环境监测数据转化为加速试验环境谱的方法。方法 提出了自然环境谱向加速试验环境谱转化的方法, 举例将某地域的自然环境谱转化为加速试验环境谱, 并以天然橡胶 1142 为试验对象, 验证环境谱的转化方法。结果 加速试验结果与户外暴露结果一致。样品的硬度随试验时间的延长逐渐增大, 拉伸伸长率不断下降, 表明样品出现老化, 交联程度增加, 柔韧性降低。结论 获得了包括环境应力水平的确定, 环境应力作用时间的确定, 环境谱的转化、组合和综合以及环境应力施加顺序的环境谱转化方法。

关键词: 自然环境谱; 加速试验谱; 转化方法; 天然橡胶

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2014.01.007

中图分类号: TG174.4 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2014)01-0034-05

Method for Conversion of Natural Environmental Spectra to Accelerated Test Environmental Spectra

WANG Yan-yan^{1,2}, SHU Chang^{1,2}, LI Chao^{1,2}

(1. Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China;

2. Chongqing Engineering Research Center for Environmental Corrosion and Protection, Chongqing 400039, China)

ABSTRACT: **Objective** To study the method for conversion of natural environmental data to accelerated test environmental spectra. **Methods** Conversion method of natural environmental spectra to accelerated test environmental spectra was put forward. The accelerated test environmental spectra of one climate was established as an example. The method was verified using natural rubber 1142. **Results** The accelerated test result was coincident with the exposure test result. Along with test duration, the rigidity of the natural rubber samples gradually increased, while the extension percentage continuously descended. The results indicated that the crosslinking degree of the rubber increased, while the flexibility decreased. **Conclusion** The conversion method comprises the establishment of the environmental stress level, the duration determination of environmental stress, the conversion and combination of the environmental spectra as well as the infliction

收稿日期: 2013-10-16; 修订日期: 2013-11-20

Received: 2013-10-16; **Revised:** 2013-11-20

作者简介: 王艳艳(1980—), 女, 山西保德人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为环境试验与评价。

Biography: WANG Yan-yan (1980—), Female, from Baode, Shanxi, Master, Senior Engineer, Research focus: environmental test and evaluation.

sequence of environmental stress.

KEY WORDS: natural environmental spectra; accelerated test environmental spectra; conversion method; natural rubber

产品在自然环境中所经历的环境谱是造成其环境腐蚀损伤的主要原因。通过自然环境试验来考核验证产品的环境适应性,结果真实、可靠,缺点是周期较长。实验室加速试验能够缩短试验和评价周期,但要做到对产品自然环境效应的真实再现和等效评估,其试验条件的选取就至关重要。如何将自然环境谱转化为实验室加速试验环境谱,对科学考核、验证产品的环境适应性具有重要意义。

目前,围绕建立自然环境谱和实验室加速试验环境谱已开展了大量的研究,获得了依托较为完备的气象资料编制自然环境谱的方法^[1-2],以及以飞机为应用对象建立的飞机结构局部环境谱^[3-4]、载荷-环境谱^[5-6]、使用环境谱^[7-8]等各类环境谱的编制方法。还开展了部分飞机结构的加速试验谱研究^[9-11],但对自然环境谱和加速试验谱相互对应关系的研究非常有限。

文中采用文献[1]介绍的方法,根据连续监测某地域近5年的大气环境因素数据,建立了自然环境谱,提出了自然环境谱向加速试验环境谱转化的方法,并以天然橡胶的老化为载体开展了加速试验环境谱的验证试验。

1 自然环境谱的分类

将自然环境谱分为单项环境谱、组合环境谱和综合环境谱3类。

1) 单项环境谱。单项环境谱指仅针对单一环境因素建立的环境谱,不考虑其他环境因素,如温度谱定义为“一定统计时间内,温度平均值、极值及特定温度区间累积时间的统计结果”。单项环境谱包含温度谱、相对湿度谱、日照辐射谱等。

2) 组合环境谱。组合环境谱以多种因素在确定应力水平组合下所占年均累积时间的形式体现。例如,温度-相对湿度谱以统计年份内一定温度-相对湿度区间的年均累积时间来表示,定义为“一定统计时间内,特定温度-相对湿度区间累积时间的统计结果”;降水谱定义为“一定统计时间内,特定温度区间降水量、降水时数和降水次数的统计结果”。组合

环境谱包含温度-相对湿度谱、雾谱、露谱、降水谱、酸雨谱、污染介质谱等。

3) 综合环境谱。将某气候区域所有环境因素归类合并计算后,形成综合环境谱。综合环境谱中给出了各种环境因素的时间比例、累积作用时间、作用次数、作用强度以及各种污染介质的浓度等。

2 自然环境谱向加速试验环境谱转化的方法

2.1 环境应力水平的确定

在加速试验中,每种环境因素的量值水平应在自然环境谱中对应环境因素的监测数据范围内。温度的应力水平推荐采用整点温度的年极值,相对湿度的应力水平推荐采用月均值的年极值,污染介质浓度推荐采用年极值,日照辐射、降水、雾、露、酸雨等推荐采用年均累计值进行折算。

当设定的加速试验条件明显高于自然环境谱中的应力水平时,应当作出充分的分析和论证,说明应力水平的改变不会造成异常环境效应的产生,即环境腐蚀机理以及产品与环境作用的产物不会发生显著变化。

2.2 环境应力作用时间的确定

在一个加速试验周期内,每种环境因素的作用时间比例按照自然环境谱中的作用时间比例来确定。如果与自然环境谱中的作用时间比例不符,应有充分的理论依据或试验结果作为支撑。

加速试验的持续时间不能仅采用自然环境与加速试验环境中的累积应力相当来简单换算,应当采用参考材料进行验证,用参考材料在2种环境作用下出现相同程度环境效应的时间来确定。

2.3 环境谱的转化、组合和综合

针对自然环境谱中的每个单项环境谱、组合环境谱,分别转化为加速试验环境谱,如温度谱转化为温度试验谱,温度-相对湿度谱转化为温、湿度试验谱,日照辐射谱转化为实验室光源暴露试验谱等。

每个加速试验谱中的环境因素及其量值水平都来自于对应的自然环境谱。

对分别转化形成的加速试验环境谱,结合现有的实验室加速试验手段,将相互有关联的、同时作用的环境因素进行合理组合,在加速试验中同时实现。如温度谱、相对湿度谱与实验室光源暴露试验谱可以组合,温度、相对湿度谱与污染介质谱也可以组合。

为尽可能在实验室中模拟多环境因素的综合作用,优先进行综合试验,必要时可牺牲部分试验条件的控制精度来满足这一要求。

2.4 环境应力的施加顺序

在现有加速试验条件不能满足多个环境应力同时作用的前提下,采用各个环境应力顺序施加的方式来体现每种环境应力的影响。通过分析自然环境特点及其对装备或产品的影响,按照对装备或产品的影响程度的重要性进行排序,重要性越高,排列次序越靠前。

3 实例

某地域环境属低温寒冷地域气候环境,根据此转化原则将该地域的自然环境谱转化为加速试验谱,并用天然橡胶 1142 为试验对象开展试验验证。

3.1 加速试验谱

1) 温度谱。该地域近 5 年的极高温、极低温分别为 $34.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-38.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 实验室加速试验的温度条件设定高温为 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, 低温为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。根据自然环境谱中各个温度区段的作用时间比例,确定高温试验时数占总试验时间的 40%,低温作用时间为 60%。

2) 相对湿度谱。该地域近 5 年的极高月平均相对湿度、极低月平均相对湿度分别为 75%, 51%, 相应实验室加速试验的相对湿度条件设定高湿为 75%, 低湿为 50%。根据自然环境谱中各个相对湿度区段的作用时间比例,确定高湿(相对湿度为 70% 以上)试验时数占总试验时间的 33%, 低湿(相对湿度为 70% 及 70% 以下)作用时间为 67%。

3) 温度-相对湿度谱。自然环境谱中的潮湿空气(温度为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上且相对湿度在 70% 以上)作用时

间比例为 25%, 干燥空气(相对湿度为 70% 及 70% 以下)作用时间比例为 75%。实验室加速试验的高温高湿试验($35\text{ }^{\circ}\text{C}$, RH 为 75%)时间占比相应设定为 25%, 其余 75% 的试验时间内, 高温低湿试验($35\text{ }^{\circ}\text{C}$, RH 为 50%)时间占 15%, 低温作用时间为 60%。

4) 降水、雾谱。该地域年均总降水时数占全年时间的比例为 6.57%, 其中 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的降水时间占 1.91%, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的降水时间占 4.66%; 雾、露的作用时间比例分别为 3.71%, 4.09%, 绝大部分集中在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。对产品造成的影响为表面产生连续水膜, 与湿热试验合并。

5) 日照辐射谱。该地域近 5 年的年均总辐射为 4488.9 MJ/m^2 , 总紫外辐射为 213.7 MJ/m^2 , 日照时数占全年时间的比例为 23.2%。实验室加速试验中 340 nm 处的辐照量设定为 0.68 W/m^2 , 光照时间占 25%, 无光照时间占 75%。

6) 污染介质谱。根据对自然环境谱中的酸雨谱、污染介质谱和综合环境谱的分析, 该地域无盐雾和工业废气的作用, 加速试验谱中无污染介质的作用。

3.2 加速试验谱的剪裁

橡胶暴露于户外大气环境中, 受太阳辐射、氧和臭氧、温度等环境因素的作用发生老化, 最常出现的老化类型包括光氧老化、热氧老化、低温脆化等。水分的影响与臭氧、热、光的破坏性相比要小得多。高湿度条件对橡胶制品没有不利影响, 相反, 这种条件还会造成对太阳辐射高光化学效应的有效屏蔽。

对在该地域暴露使用的橡胶而言, 加速试验模块选择实验室光源暴露试验和温度试验(高温、低温、温度冲击), 不考虑湿度试验和大气中污染介质的作用。

3.3 验证试验

1) 试验样品。天然橡胶 1142, 规格为 $150\text{ mm} \times 120\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 。

2) 试验条件。温度谱: $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, 10 h(作用时间比例为 40%); $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, 14 h(作用时间比例为 60%)。日照辐射谱: 光照 6 h(作用时间比例为 25%), 无光照 18 h。光照条件: 340 nm 处的辐射强度为 0.68 W/m^2 , 箱体温度为 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。加速试验环境谱如图 1 所示。

3) 试验方法。采用实验室光源暴露试验、高

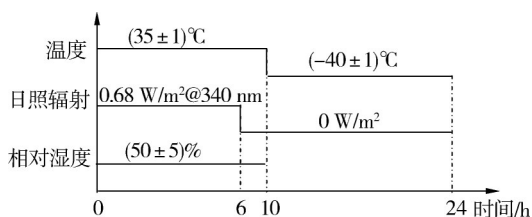


图1 加速试验环境谱

Fig. 1 Accelerated test environmental spectra

温、低温等3种试验的循环组合进行加速试验。试验设备:Q-Sun Xe-3-HSC型低温氙灯老化测试仪、65CT/3型温度冲击试验箱。试验条件按照加速试验环境谱设定。试验参数:实验室光源暴露试验——340 nm处的辐射强度为 0.68 W/m^2 ,箱体温度为 $(35 \pm 1)^\circ\text{C}$;高温试验——箱体温度为 $(35 \pm 1)^\circ\text{C}$,相对湿度RH为 $(50 \pm 5)\%$;低温试验——箱体温度为 $(-40 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。循环方式:光照(6 h)+高温(4 h)+低温(14 h),每一个循环24 h。

4) 性能检测。试验前和试验循环数为3, 7, 14, 21时,分别检测试验样品的邵氏硬度、拉伸强度和拉伸伸长率。

3.4 试验结果

加速试验中天然橡胶1142的性能检测结果见表1。开展加速试验前,在该地域进行了天然橡胶1142的户外暴露试验,户外暴露试验中每个月暴露后的性能检测结果见表2。

表1 天然橡胶1142的加速试验结果

Table 1 Accelerated test results of natural rubber 1142

试验时间/d	邵氏硬度 Shore A	拉伸强度/ MPa	拉伸 伸长率/%
0	43	13.0	610
3	44	15.1	590
7	45	15.4	590
14	44	14.1	560
21	45	12.8	530

以该地域户外暴露中的试验数据和结果为基准,对加速试验的结果进行分析比较。2种试验方式的橡胶性能变化情况为:样品的硬度随试验时间的

表2 天然橡胶1142户外暴露试验结果

Table 2 Exposure test results of natural rubber 1142

暴露时间/月	邵氏硬度 Shore A	拉伸强度/ MPa	拉伸 伸长率/%
0	43	13.0	610
1	43	14.0	590
2	43	15.1	590
3	44	13.8	560
4	45	12.1	530

延长逐渐增大,拉伸伸长率不断下降,拉伸强度先升高后下降。表明橡胶样品出现老化,交联程度增加,柔韧性降低。加速试验结果与户外暴露结果具有一致性。

4 结语

实测环境数据合理转化为实验室加速试验条件是装备环境工程领域的难点问题之一。2009年颁布实施的GJB 150A《军用装备实验室环境试验方法》中不再规定试验条件,使用时需要在分析产品寿命期环境剖面,并了解环境对产品影响机理的基础上,利用实测环境数据或标准中推荐的基本环境数据进行剪裁,选择确定相应的环境试验条件^[12],对标准的应用造成了一定的困难。文中提出的自然环境谱向实验室加速试验环境谱的转化方法对解决这一难题进行了尝试。

参考文献:

- [1] 舒畅, 苏艳, 吴龙益, 等. 自然环境谱编制方法研究[J]. 装备环境工程, 2011, 8(2):93—96.
SHU Chang, SU Yan, WU Long-yi, et al. Research on Establishment Method of Natural Environmental Spectrum [J]. Equipment Environmental Engineering, 2011, 8(2): 93—96.
- [2] 栗小飞, 张琦, 傅耘. 依托特定地域气象资料编制环境谱的尝试[J]. 装备环境工程, 2006, 3(3):63—66.
LI Xiao-fei, ZHANG Qi, FU Yun. The Attempt of Establishing the Environment Spectrum Based on Meteorological of Special Area [J]. Equipment Environmental Engineering, 2006, 3(3):63—66.

- [3] 刘治国, 穆志韬, 邹岚. 军用飞机结构局部环境谱编制方法研究[J]. 装备环境工程, 2009, 6(3):42—45.
LIU Zhi-guo, MU Zhi-tao, ZOU Lan. Research on Establishment Method of Local Environmental Spectrum for Navy Aircraft Structure [J]. Equipment Environmental Engineering, 2009, 6(3):42—45.
- [4] 陈群志, 刘桂良, 崔常京, 等. 军用飞机结构局部环境谱编制的工程方法[J]. 装备环境工程, 2006, 3(2):53—56.
CHEN Qun-zhi, LIU Gui-liang, CUI Chang-jing, et al. Engineering Method on Establishment of Local Environmental Spectrum for Military Aircraft Structure [J]. Equipment Environmental Engineering, 2006, 3(2):53—56.
- [5] 蒋祖国. 飞机载荷-环境谱的编制[J]. 航空学报, 1994, 15(1):76—81.
JIANG Zu-guo. The Compilation of Aircraft Load-environment Spectra [J]. Acta Aeronautica Et Astronautica Sinica, 1994, 15(1):76—81.
- [6] 陈跃良, 郁大照. 飞机载荷/环境谱编制研究及应用[J]. 海军航空工程学院学报, 2007, 22(1):114—118.
CHEN Yue-liang, YU Da-zhao. Research and Application of Compilation of Load/Environment Spectrum for Aircraft [J]. Journal of Naval Aeronautical Engineering Institute, 2007, 22(1):114—118.
- [7] 杨晓华, 金平, 陈跃良. 飞机空中使用环境谱的编制[J]. 航空学报, 2008, 29(1):85—90.
YANG Xiao-hua, JIN Ping, CHEN Yue-liang. Making out Aerial Environment Spectrum of Aircraft [J]. Acta Aeronautica Et Astronautica Sinica, 2008, 29(1):85—90.
- [8] 蒋祖国. 编制飞机使用环境谱的任务-环境分析法[J]. 航空学报, 1994, 15(1):70—75.
JIANG Zu-guo. The Profile-environment Analysis Method for Compiling Aircraft Operational Environment Spectra [J]. Acta Aeronautica Et Astronautica Sinica, 1994, 15(1):70—75.
- [9] 刘文琰, 蒋冬滨. 飞机结构关键危险部位加速腐蚀试验环境谱研究[J]. 航空学报, 1998, 19(4):434—438.
LIU Wen-ting, JIANG Dong-bin. Study on Accelerated Corrosion Test Environment Spectrum for Critical Area [J]. Acta Aeronautica Et Astronautica Sinica, 1998, 19(4):434—438.
- [10] 刘文琰, 李玉梅, 陈群志, 等. 飞机结构腐蚀部位涂层加速试验环境谱研究[J]. 北京航空航天大学学报, 2002, 28(1):109—112.
LIU Wen-ting, LI Yu-mei, CHEN Qun-zhi, et al. Accelerated Corrosion Environmental Spectrums for Testing Surface Coatings of Critical Areas of Flight Aircraft Structures [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2002, 28(1):109—112.
- [11] 周希沅. 飞机结构的当量环境谱与加速试验谱[J]. 航空学报, 1996, 17(5):613—616.
ZHOU Xi-yuan. Equity Environmental Spectrum and Speed Test Spectrum for Aircraft Structure [J]. Acta Aeronautica Et Astronautica Sinica, 1996, 17(5):613—616.
- [12] GJB 150A, 军用装备实验室环境试验方法[S].
GJB 150A, Laboratory Environmental Test Method of Military Equipment [S].

(上接第17页)

- ZHU Long-ying. Study on Corrosion Resistance of Stainless Steels in Acid Solution [J]. Research on Iron&Steel, 2003(2):45—48.
- [12] 夏浩, 周栋, 丁毅, 等. 304不锈钢环保型酸洗钝化工艺及其性能研究[J]. 表面技术, 2009, 38(4):54—56.
XIA Hao, ZHOU Dong, DING Yi, et al. Study on the Pickling and Passivation of Environmental Protection and the Performance of 304 Stainless Steel [J]. Surface Technology, 2009, 38(4):54—56.
- [13] 马李洋, 丁毅, 马立群, 等. 316L不锈钢柠檬酸钝化工艺及其耐点蚀性能研究[J]. 表面技术, 2007, 36(2):45—47.
MA Li-yang, DING Yi, MA Li-qun, et al. Study on the Citric Acid Passivation and the Pitting Corrosion Resistance of 316L Stainless Steel [J]. Surface Technology, 2007, 36(2):45—47.
- [14] 杨景祥, 林晓娉, 姜晓霞, 等. 合金元素对铸造奥氏体不锈钢组织及耐蚀性能的影响[J]. 沈阳工业大学学报, 1992(1):20—29.
YANG Jing-xiang, LIN Xiao-ping, JIANG Xiao-xia, et al. Influence of Alloying Elements on the Microstructure and Corrosion Resistance of Austenitic Stainless Steels [J]. Journal of Shenyang Polytechnic University, 1992(1):20—29.