

玻璃纤维增强复合材料的寿命预测^{*}

李 晖¹ 张录平¹ 孙 岩¹ 刘亚平¹ 王树伦² 章玉斋¹

(1. 中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031; 2. 南京军区局驻济南地区代表室, 济南 250031)

摘要 运用双因素方差分析法对试验数据进行分析, 选取能够敏感反映玻璃纤维(GF)增强复合材料在老化过程中性能变化的指标——弯曲强度作为预测寿命的性能指标。提出了环境综合因子的概念, 并利用实验室人工加速老化试验数据分析确定环境综合因子中各因素(温度、湿度、光照强度)的比例系数。基于二元统计分析方法, 建立GF增强复合材料在老化过程中弯曲强度与老化时间、环境综合因子之间的二元一次方程, 通过计算可得方程的形式为 $y = 684.13 - 4.071t - 0.025w$, 利用 F 检验法对回归方程和回归系数的显著性进行检验, 检验结果表明, 在 $\alpha = 0.01$ 水平下, 方程的回归效果和回归系数均为显著。利用6个地区3 a试样的试验数据对方程进行验证, 结果预测值和实测值很好地吻合, 说明用此回归方程预测GF增强复合材料的寿命在一定条件下是可靠的。

关键词 玻璃纤维增强复合材料 寿命 预测 环境综合因子

自从聚合物基复合材料在航空、航天、车辆、船舶等行业中广泛应用以来, 科研人员就开始关注复合材料的自然老化寿命问题。经过几十年的研究发现, 聚合物基复合材料的自然老化是一个非常复杂的问题, 原因是聚合物基复合材料与金属材料相比, 其本身的物理、力学性能存在较大的分散性, 这种分散性受原材料(树脂体系、增强纤维等)的分散性、复合材料的固化成型工艺及后处理工艺、树脂在增强纤维中的流动行为、气泡、空隙等诸多因素的影响^[1]。

纤维增强复合材料作为一种聚合物基复合材料, 因其自然老化性能分散性大, 导致在老化试验过程中需要用大量的试样, 试验费用非常高, 在项目研究中难以承受。因此在实际工程应用中, 需要在自然老化数据少、老化周期短的情况下对复合材料寿命进行预测。国内外很多科研工作者对聚合物基复合材料的自然老化寿命预测做了很多工作。俄罗斯全俄航空研究院 I. M. 古尼耶夫等提出了中值老化寿命和剩余强度之间的关系公式, 工程应用表明, 该公式能较好地描述聚合物基复合材料的自然老化规律^[2]。预测材料的使用寿命可以为材料在工程应用上提供参考依据, 减少因材料老化而造成的巨大损失与事故。

笔者主要通过对玻璃纤维(GF)增强复合材料的不同地区的自然大气暴露试验和实验室人工加速老化(热空气加速老化、光加速老化、湿热老化)试验的数据进行统计分析, 建立材料性能与老化时间和环境综合因子之间的方程, 通过方程对GF增强复合材料的使用寿命进行预测。

1 试验部分

1.1 原材料

GF增强复合材料: 中国兵器工业集团第五三研究所。

1.2 主要仪器、设备

氙灯光老化试验箱: Ci65/DMCA 型, 美国 Atlas Electric Devices 公司;

热老化试验箱: 401B 型, 上海试验仪器总厂;

湿热老化箱: SH050A 型, 重庆银河试验仪器有限公司;

万能电子试验机: RGT-10A 型, 深圳市瑞格尔仪器有限公司。

1.3 试验方法及条件

选用自然老化和人工加速老化两种试验方法。其中人工加速老化试验方法有热空气加速老化、光加速老化、湿热老化等方法。

热空气加速老化试验按 GB/T 7141-1992 进行, 试验温度为 80℃;

光加速老化试验按 GB/T 16422.2-1999 进行, 辐照强度为 0.50 W/m^2 , 波长为 340 nm; 降雨周期为 18 min/120 min; 黑板温度为 65℃; 相对湿度为 50%;

湿热老化试验按 GB/T 2574-1989 进行, 试验温度为 60℃; 相对湿度为 95%;

自然老化试验主要是采用大气暴露试验方式。选取西双版纳、万宁、拉萨、漠河、济南、厦门等 6 个地区进行试验。自然老化试验按 GB/T 2573-1989

^{*} 国防环境试验与观测重点项目(H092006A004)

收稿日期: 2010-11-02

进行,采用朝南 45°暴露角。6 个试验地区的环境气候基本情况见表 1。

表 1 6 个试验地区的气候基本情况						
项 目	试验站					
	万 宁	漠 河	拉 萨	厦 门	西 双 版 纳	济 南
地 点	海南省 万宁市	黑龙江省 漠河县	西藏 达孜县	福建省 厦门市	云南省 景洪市	山东省 济南市
气候 类型	湿热海洋 性气候	寒冷内陆 气候	高原气候	亚热带海 洋性气候	亚热带 雨林气候	温带 气候
海拔 /m	12.3	613.0	3658.0		626.6	51.6
年平均气 温 /℃	24.5	-3.5	7.4	21.0	21.4	14.5
年平均相对 湿度 /%	86	58	34	83	82	60
年辐照总 量 /MJ·m ⁻²	4826	4385	7647	5237	5490	4868
日照时间 /h	2091	2501	3000		1799	2776
降水量 / mm	1515.0	491.0	500.0	1100.0	1664.1	
气候特点	北热带海洋 性气候,炎热 度大。	气候寒冷, 冬季长。度 -40℃温度 年可达 2 个月以上。	全年多晴朗天 气,冬无严寒, 夏无酷暑,属 高原季风半干 旱气候。高海拔 地区,气压、强辐 射、含氧量少。	亚热带海洋 性气候,夏季 无酷暑,冬季 无严寒,降水 较多。	长夏无冬,连 夏春秋,热量充 足,雨水多。	气候温和,没 有炎热月。

1.4 性能测试

拉伸强度按 GB/T 1447 - 2005 测试,试样采用 II 型,试验速率为 2 mm/min,取 5 批;

弯曲强度按 GB/T 1449 - 2005 测试,试样采用 I 型,试验速率为 2 mm/min,取 5 批;

压缩强度按 GB/T 1448 - 2005 测试,试验速率为 5 mm/min,取 5 批。

2 大气暴露环境下 GF 增强复合材料的使用寿命预测

2.1 寿命预测指标的确定

表 2 ~表 4 列出 GF 增强复合材料的拉伸强度、弯曲强度和压缩强度。表中的数据均为测试结果的平均值。

表 2 拉伸强度试验结果						
时间 /月	西 双 版 纳	万 宁	厦 门	拉 萨	漠 河	济 南
0	460	460	460	460	460	460
0.5	449	498	503	430	446	513
1	529	427	545	469	514	486
2	459	436	504	499	503	479
3	504	472	475	445	501	457
6	467	485	467	440	480	392
9	482	453	487	461	499	473
12	437	454	478	478	452	459
18	440	437	434	431	479	440
24	440	408	509	407	421	432
36	371	449	462	400	445	403

表 3 弯曲强度试验结果						
时间 /月	西 双 版 纳	万 宁	厦 门	拉 萨	漠 河	济 南
0	609	609	609	609	609	609
0.5	690	615	691	643	643	636
1	603	616	676	616	681	645
2	552	641	700	606	671	652
3	668	619	584	621	626	687
6	629	624	561	592	645	573
9	645	606	616	609	645	628
12	589	620	597	627	670	560
18	553	441	618	545	599	547
24	531	475	565	541	608	599
36	475	419	553	500	540	531

表 4 压缩强度试验结果						
时间 /月	西 双 版 纳	万 宁	厦 门	拉 萨	漠 河	济 南
0	207	207	207	207	207	207
0.5	264	258	285	228	255	276
1	200	257	293	215	269	236
2	260	249	216	273	267	278
3	258	274	205	244	284	272
6	295	256	210	244	266	257
9	235	237	188	247	235	251
12	186	218	191	158	247	216
18	198	181	202	207	178	210
24	178	166	199	141	182	205
36	191	172	215	135	176	207

为了选取 GF 增强复合材料在大气暴露环境下能够敏感反映材料性能变化的性能指标,需要对试验结果进行分析。以老化时间为 A 因素,不同试验地区为 B 因素做双因素方差分析^[3]。其中 A 因素选择 10 个水平, B 因素选择 6 个水平,以不同地区、不同老化时间的拉伸强度(表 2 中的数据)为例,进行显著性分析。

以 r 表示因素 A 的水平数, s 表示因素 B 的水平数,所以 $r=10, s=6$ 。 X_{ij} 表示 A 因素的第 i 个水平和 B 因素的第 j 个水平的测试结果,其中 $i=1, 2, \dots, r; j=1, 2, \dots, s$ 。

运用双因素方差分析的方法分析因素 A 和因素 B 对 GF 增强复合材料拉伸强度影响的显著性。方差分析结果如表 5 所示。

表 5 拉伸强度方差分析表					
方差来源	离差平方和 Q	自由度	均方误差	F 值	显著性
因素 A	34 199.08	9	3 799.90	4.26	**
因素 B	13 469.28	5	2 693.86	3.02	*
误差	40 186.22	45	893.03		
总和	87 854.58	59			

查表得 $F_{0.01}(9, 45) = 2.82, F_{0.01}(5, 45) = 3.44, F_{0.05}(5, 45) = 2.42$

所以 $F_A = 4.26 > F_{0.01}(9, 45) = 2.82$

$F_{0.01}(5, 45) = 3.44 > F_B = 3.02 > F_{0.05}(5, 45)$
 $= 2.42$

由此可以看出, 因素 A 对材料拉伸强度的影响是极显著的, 因素 B 对材料拉伸强度的影响是显著的。同理可计算因素 A 、因素 B 对材料弯曲强度和压缩强度的影响程度, 计算结果如表 6 所示。

表 6 3 种性能的方差分析 F 值			
因素 F 值	拉伸强度	弯曲强度	压缩强度
F_A	4.26	10.35	10.88
F_B	3.02	3.66	2.07

从表 6 可以看出, 对于因素 A , 其对 GF 增强复合材料 3 个性能的影响大小顺序是: 压缩强度 > 弯曲强度 > 拉伸强度; 对于因素 B , 其对 GF 增强复合材料三个性能的影响大小顺序是: 弯曲强度 > 拉伸强度 > 压缩强度。所以可以确定在拉伸强度、弯曲强度、压缩强度 3 个性能中, 因素 A 和因素 B 对材料弯曲强度的影响最显著, 也就是说材料的弯曲强度对因素 A 和因素 B 反应最敏感。另外, 根据实际使用情况, 弯曲强度也是 GF 增强复合材料的主要性能指标之一, 所以笔者选取弯曲强度作为预测 GF 增强复合材料寿命的性能指标。

2.2 环境综合因素的确立

GF 增强复合材料在大气暴露环境中老化时, 各种环境因素的共同作用导致复合材料使用性能的降低, 对于聚合物基复合材料, 重要的是热、光和湿度对其性能的影响, 但这 3 个因素对材料性能降低的影响程度不同, 笔者用环境综合因子 (w) 来确定材料失效的环境影响大小。 w 是一个和温度 (T)、湿度 (H) 及光照辐射量 (Q) 3 个因素相关的函数, 即 $w = f(T, H, Q)$ 。

对于 w 的确定, 通过实验室单一人工加速老化对 GF 增强复合材料的弯曲强度的影响情况来确定各个因素在材料老化过程中的性能降低中影响程度的大小, 表 7 是 GF 增强复合材料在 80℃热空气加速老化、光加速老化和湿热老化过程中弯曲强度的变化情况。

为了确定各因素在老化过程中对 GF 增强复合材料弯曲性能的影响大小, 笔者把不同老化时间时复合材料的弯曲性能作为一个整体考虑, 以原始性能为 1, 不同老化时间后测量的性能除以原始性能, 然后再减去 1 后再求和, 具体结果如表 8 所示, 表 8 中 y_i 为不同老化时间时的弯曲强度, y_0 为原始弯曲强度。

表 7 不同人工加速老化的弯曲强度的测量值					
80℃热空气加速老化		光加速老化		湿热老化	
时间 /h	弯曲强度 /MPa	时间 /h	弯曲强度 /MPa	时间 /h	弯曲强度 /MPa
0	609	0	609	0	609
24	627	50	596	24	617
72	633	80	659	48	664
144	691	150	700	144	681
240	675	300	682	336	665
360	709	500	658	504	633
600	670	720	687	672	661
840	665	960	597	840	657
1080	623	1200	628	1 176	612
1440	633	1500	593	1 512	620
1800	649	1800	601	2 016	578

表 8 环境综合因子系数计算表								
80℃热空气加速老化			光加速老化			湿热老化		
y_i	y_i/y_0	$y_i/y_0 - 1$	y_i	y_i/y_0	$y_i/y_0 - 1$	y_i	y_i/y_0	$y_i/y_0 - 1$
609	1.00	0	609	1.00	0	609	1.00	0
627	1.03	0.03	596	0.98	-0.02	617	1.01	0.01
633	1.04	0.04	659	1.08	0.08	664	1.09	0.09
691	1.13	0.13	700	1.15	0.15	681	1.12	0.12
675	1.11	0.11	682	1.12	0.12	665	1.09	0.09
709	1.16	0.16	658	1.08	0.08	633	1.04	0.04
670	1.10	0.10	687	1.13	0.13	661	1.09	0.09
665	1.09	0.09	597	0.98	-0.02	657	1.08	0.08
623	1.02	0.02	628	1.03	0.03	612	1.00	0.00
633	1.04	0.04	593	0.97	-0.03	620	1.02	0.02
649	1.07	0.07	601	0.99	-0.01	578	0.95	-0.05
总和		0.80	总和		0.51	总和		0.49

设 $w = f(T, H, Q) = aT + bH + cQ$, 根据表 8 计算结果分析可知:

$a = 0.80 / (0.80 + 0.51 + 0.49) = 0.45$
 $b = 0.49 / (0.80 + 0.51 + 0.49) = 0.27$
 $c = 0.51 / (0.80 + 0.51 + 0.49) = 0.28$

所以, $w = f(T, H, Q) = aT + bH + cQ = 0.45T + 0.27H + 0.28Q$ 。由此可以确定各个试验地区的 w , 表 9 是各个试验地区的年平均气温、年平均相对湿度和年辐照总量及环境综合因子 w 。

地区	年平均气温 /℃	年平均相对湿度 /%	年辐照总量 /MJ · m ⁻²	w
西双版纳	21.4	82	5 490	1 569.0
万宁	24.5	86	4 826	1 385.5
厦门	21.0	83	5 237	1 498.2
拉萨	7.4	34	7 647	2 153.7
漠河	-3.5	58	4 385	1 241.9
济南	14.5	60	4 868	1 385.8

2.3 寿命预测模型的建立

从试验数据看, GF 增强复合材料的弯曲强度随

老化时间增加而整体呈降低趋势。把弯曲强度 y 视作老化时间 t 和 w 的函数, 即 $y=f(t, w)$, 通过用二元线性回归方程来拟合 y 与 (t, w) 之间的关系, 并用之预测和评价 GF 增强复合材料的使用寿命。

首先, 以表 3 中的试验数据构造数据样本 $(y_i, t_i, w_i), i=1, 2, 3, \cdots, 60$, 见表 10 所示。

表 10 数据样本

i	y_i/MPa	$t_i/\text{月}$	w_i
1	690	0.5	1569.0
2	603	1	1569.0
3	552	2	1569.0
...	...	...	...
60	531	36	1385.8

设二元回归模型为

$$y=a_0+a_1t+a_2w+\varepsilon \tag{1}$$

式中: a_i ——待定系数, $i=0, 1, 2$;
 $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ 。

其正规方程组为:

$$\begin{aligned} l_{11}\hat{a}_1+l_{12}\hat{a}_2&=l_{10} \\ l_{21}\hat{a}_1+l_{22}\hat{a}_2&=l_{20} \end{aligned} \tag{2}$$

式中: $\hat{a}_1, \hat{a}_2$ ——分别为 a_1, a_2 的估计值;

$$\begin{aligned} l_{11}&=\sum_{i=1}^{60}(t_i-\bar{t})^2, \bar{t}=\frac{1}{60}\sum_{i=1}^{60}t_i; \\ l_{22}&=\sum_{i=1}^{60}(w_i-\bar{w})^2, \bar{w}=\frac{1}{60}\sum_{i=1}^{60}w_i; \\ l_{12}&=l_{21}=\sum_{i=1}^{60}(t_i-\bar{t})(w_i-\bar{w}); \\ l_{10}&=\sum_{i=1}^{60}(t_i-\bar{t})(y_i-\bar{y}); \\ l_{20}&=\sum_{i=1}^{60}(w_i-\bar{w})(y_i-\bar{y}), \bar{y}=\frac{1}{60}\sum_{i=1}^{60}y_i。 \end{aligned}$$

将表 10 中的相关数据代入上式, 可得得:
 $l_{11}=7368.15, \bar{t}=11.15, l_{22}=5157216.28,$
 $\bar{w}=1539.02, l_{12}=l_{21}=0, l_{10}=-29992.70,$
 $l_{20}=-126590.17, \bar{y}=600.97。$

将所求相关系数代入式 (2), 可得得: $\hat{a}_1=-4.071, \hat{a}_2=-0.025。$

另外, $\hat{a}_0$ 由式 (1) 可求得: $\hat{a}_0=684.13。$

由此可得 GF 增强复合材料的弯曲强度与老化时间 t 和环境综合因子 w 之间的二元线性回归方程为:

$$y=684.13-4.071t-0.025w \tag{3}$$

2.4 回归方程的显著性检验

通过计算可以得到 GF 增强复合材料弯曲强度

与 t 和 w 之间的二元线性回归方程为 $y=684.13-4.071t-0.025w$, 下面采用 F 检验法对回归方程的显著性进行检验。本回归模型的自变量元数 $p=2$ (t 与 w), 样本数 $n=60$ 。计算结果见表 11。

表 11 回归方程显著性检验计算结果

误差平方和 S_T ¹⁾	回归平方和 S_R ²⁾	剩余平方和 $S_{\text{余}}$ ³⁾	F	显著性
218 603.93	125 365.63	93 238.30	38.32	* *

注: 1) $S_T=\sum_{i=1}^{60}(y_i-\bar{y})^2$; 2) $S_R=\sum_{i=1}^{60}(\hat{y}_i-\bar{y})^2$; 3) $S_{\text{余}}=S_T-S_R$;
 $F=\frac{S_R/p}{S_{\text{余}}/(n-p-1)}。$

取显著性水平 $\alpha=0.01$, 查 F 表可知:
 $F_{1-\alpha}(p, n-p-1)=F_{0.99}(2, 57) \in [4.98, 5.06] < F=38.32。$

所以回归方程 (3) 在 $\alpha=0.01$ 水平上回归效果是显著的。

2.5 回归方程系数的显著性检验

在回归方程显著性的基础上, 需要对回归方程的系数进行显著性检验。这里记 $Q_j=\frac{\hat{a}_j^2}{C_{jj}}(j=1, 2)$, 其中 C_{jj} 是式 (2) 系数矩阵的逆矩阵的第 j 个对角线元素。影响 GF 增强复合材料弯曲性能的两个因素老化时间 t 和环境综合因子 w 的 F 值分别记为 $F_1、F_2$, 则回归方程系数的显著性检验的 F 值为:

$$F_j=\frac{Q_j}{S_{\text{余}}/(n-p-1)}(j=1, 2)$$

将相关数据代入, 计算结果如表 12 所示。

表 12 回归方程系数显著性计算结果

因素	Q	F	显著性
t	122087.91	74.64	? ?
w	31070.31	18.99	? ?

取显著性水平 $\alpha=0.01$, 查 F 表可知: $F_{1-\alpha}(1, n-p-1)=F_{0.99}(1, 57) \in [7.08, 7.17]$ 。所以回归方程系数在水平 $\alpha=0.01$ 上是显著的。

2.6 预测区间的确定

(1) 弯曲强度

在给定 t 和 w 下根据式 (3) 可以求得 GF 增强复合材料的弯曲强度^[4]。设式 (3) 在一组自变量值 (t_0, w_0) 下计算的弯曲强度 y_0 的点预测值为 $\hat{y}_0$, 式 (3) 的偏差 $\hat{\sigma}$ 为:

$$\hat{\sigma}=\frac{S_{\text{余}}}{n-p-1}$$

所以 $\hat{\sigma}$ 的无偏估计 δ 为:

$$\delta(x_0) \approx \hat{\sigma} \omega_2(n-p-1)$$

则其对应的 GF 增强复合材料的弯曲强度 y_0 在给定显著水平 α 的置信度 $(1 - \alpha)$ 的预测区间为:

$$[\hat{y}_0 - \delta(x_0), \hat{y}_0 + \delta(x_0)] \tag{4}$$

取 $\alpha=0.01$, 代入相关数据可求得: $\hat{\sigma}=40.44$, $\delta(x_0)=20.54$ 。

故 GF 增强复合材料在给定老化时间和环境综合因子 (t_0, w_0) 下计算得到的弯曲强度 y_0 在给定显著水平 α 的置信度 $(1 - \alpha)$ 的预测区间为 $[\hat{y}_0 - 20.54, \hat{y}_0 + 20.54]$ 。

(2) 失效时间

在给定材料性能变化指标和环境综合因子的情况下, 需要对材料的老化时间进行预测计算, 由式 (1) 可得当 $y = y_0$ (y_0 是材料性能的失效指标) 时, 则老化时间 t 为:

$$t = \frac{y_0 - a_0 - a_2 w}{a_1} - \frac{\varepsilon}{a_1} \tag{5}$$

由于测量的随机误差及每次测量的独立性, 可以认为 t 服从正态分布, 即:

$$t \sim N\left(\frac{y_0 - \hat{a}_0 - \hat{a}_2 w}{\hat{a}_1}, \frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{a}_1^2}\right)$$

代入失效指标 y_0 和相应的各估计值, 可以得到在一定环境综合因子 w 下, 置信度为 $(1 - \alpha)$ 的失效时间 t 的置信区间为:

$$\frac{y_0 - \hat{a}_0 - \hat{a}_2 w}{\hat{a}_1} - \mu_{1-\alpha/2} \frac{\hat{\sigma}}{\hat{a}_1}, \frac{y_0 - \hat{a}_0 - \hat{a}_2 w}{\hat{a}_1} + \mu_{1-\alpha/2} \frac{\hat{\sigma}}{\hat{a}_1} \tag{6}$$

2.7 寿命预测方程的验证

通过建立的回归方程 (3), 可以在给定时间和环境参数条件下预测 GF 增强复合材料的性能变化情况。为了验证方程预测结果的符合程度, 笔者选取 GF 增强复合材料在西双版纳、万宁、厦门、拉萨、漠河和济南 6 个地区 3 a 内不同老化时间试样的弯曲强度实测值和预测值进行比较, 见表 13 所示, 预测误差按式 (7) 进行计算。

$$\text{预测误差} = \frac{\text{预测值} - \text{实测值}}{\text{实测值}} \times 100\% \tag{7}$$

从表 13 可知, 如果在预测误差允许 $\pm 10\%$ 的条件下, GF 增强复合材料在不同地区、不同时间的弯曲性能的预测值和实测值吻合性很好, 在验证的 24 组数据里, 仅有 2 组数据不在误差要求的范围内, 预测精度达 91.67%。这说明利用二元回归方程 (3)

表 13 预测值和实测值预测误差分析表

试验地点	老化时间/月	实测值/MPa	预测值/MPa	预测误差/%
西双版纳试验站	6	629	620	1.35
	12	589	596	1.20
	24	531	547	3.05
	36	475	498	4.92
万宁试验站	6	624	625	0.17
	9	606	613	1.13
	12	620	601	3.12
	24	475	552	16.17
厦门试验站	6	561	622	10.92
	12	597	598	0.14
	24	565	549	2.84
	36	553	500	9.56
拉萨试验站	6	592	606	2.34
	12	627	581	7.27
	24	541	533	1.56
	36	500	484	3.25
漠河试验站	6	645	629	2.53
	12	670	604	9.82
	24	608	555	8.65
	36	540	507	6.20
济南试验站	6	573	625	9.09
	12	560	601	7.26
	24	599	552	7.88
	36	531	503	5.29

预测 GF 增强复合材料在老化过程中的性能变化和失效时间在一定条件下是可靠的。

3 结论

(1) 弯曲强度是 GF 增强复合材料在老化过程中性能变化最敏感的性能指标。

(2) 运用环境综合因子来评价各因素对 GF 增强复合材料老化过程的影响是可行的。

(3) GF 增强复合材料在老化过程中弯曲强度与老化时间和环境综合因子之间的二元一次方程为 $y = 684.13 - 4.071t - 0.025w$, 在 $\alpha=0.01$ 水平下方程的回归效果和回归系数均为显著。

(4) 用 6 个地区 3 a 试样的数据对方程进行验证, 结果说明, 用此回归方程预测 GF 增强复合材料的寿命在一定条件下是可靠的。

参考文献

[1] 王晓洁,梁国正, 张伟, 等. 湿热老化对高性能复合材料性能的影响[J]. 固体火箭技术, 2006(4) : 301 - 304.

[2] 肇研,梁朝虎. 聚合物基复合材料自然老化寿命预测方法[J]. 航空材料学报, 2001, 21(2) : 55 - 58.

[3] 赵选民, 徐伟, 师义名, 等. 数理统计(2 版) [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 115 - 180.

[4] 鲁蕾, 范启胜, 刘晓石, 等. 多元统计分析在材料贮存寿命预测中的应用[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2004, 36(3) : 115 - 118.

PREDICTION OF SERVICE LIFE OF THE GLASS FIBRE REINFORCED COMPOSITE

Li Hui¹, Zhang Luping¹, Sun Yan¹, Liu Yaping¹, Wang Shulun², Zhang Yuzhai¹

(1. CNGC Institute 53, Jinan 250031, China; 2. Nanjing Military Representative in Jinan, Jinan 250031, China)

ABSTRACT By using two-factors variance analysis method, the data of experimentation was analysed. In order to ascertain the sensitive reflect the performance of GFRC in the aging process. The bending strength was chosen to predict life of GFRC as the performance index. The concept of integrated environmental ingredient was put forward and the laboratory artificial accelerated aging test was applied to determine factors in the integrated environmental ingredient(temperature, humidity, light energy). Based on the binary regression analysis, the relation between the GFRC bending strength in the aging process and the aging time and the integrated environmental ingredient was obtained, the equation was $y = 684.13 - 4.071t - 0.025w$. The availability of the regression equation and regression coefficients were approved by using the method of F. The result of equation and coefficients were good availability in the level of 99% ($\alpha = 0.01$). Finally, the equation was validated by applying the test date of six different area(Wanning, Mohe, Xishuangbanna, Lhasa, Xiamen, Jinan) with aging 3 years time, the results for the predicted date values tallies with test date values, this showed that the results predicted by using the equation were credible for the life of GFRC in certain condition.

KEYWORDS GFRC, life, predict, integrated environmental ingredient

洛阳石化 14 万 t/a 聚丙烯装置开工

2010 年 12 月 18 日, 洛阳石化举行 14 万 t/a 聚丙烯 (PP) 装置开工仪式。洛阳石化现有 PP 产能超过 9 万 t/a, 此次新建 14 万 t/a PP 项目总投资 5.9 亿元。建成后, 洛阳石化将成为我国中部地区重要的 PP 化工生产基地。

(工塑网)

首款采用 Ingeo 生物塑料的修正带面市

汉高推出世界第一款用 Ingeo 生物塑料制造的高科技修正带。高性能百特 ECOMfort 修正带是汉高修正带系列产品中的最新创举。

这款无添加溶剂的修正带是世界上首个用 89% 来自植物的天然塑料 Ingeo 制造外壳的同类产品。使用可再生材料的这项转变可节约的能源相当于 2.14 万 L 的汽油, 可减少的温室气体排放相当于一辆汽车行驶 28.64 万 km 的气体排放量, 或环绕世界行驶七次。这类似于种植了 1000 多棵新树。百特 ECOMfort 修正带正因它的创新可持续发展优势而获得 2010 汉诺威工业博览会生物材料创新产品三等奖。

这款百特 ECOMfort 系列使用一种先进的防护修正涂层以达到理想的覆盖作用, 使用者可以马上在上面写字而不会模糊弄脏。产品采用人体工学设计, 舒适的倾斜角度让使用者应用自然顺畅, 8.5 m 超长修正卷可修正 3400 多个字。

(CPRJ)

拜耳将在我国再投 10 亿欧元发展新材料

拜耳公司于 2010 年 12 月 9 日在上海宣布, 计划 2016 年之前大幅扩大其高级别材料在我国的产能, 在拜耳上海一体化基地将继续投资约 10 亿欧元, 使聚氨酯原材料二苯基甲烷二异氰酸酯 (MDI) 年产能增加 1 倍以上, 达到 100 万 t, 并扩大六亚甲基二异氰酸酯 (HDI) 的产能, 高性能聚碳酸酯 (PC) 年产能将达到 50 万 t。

拜耳将 PC 业务部总部从德国勒沃库森移师上海, 旨在确保更加贴近亚洲地区蓬勃发展的 PC 市场。此外, 拜耳材料科技也于近期将在上海和另外 3 个城市建造 5 个客户配

套设施, 集中关注定制化生产和深加工。

此次扩能投资计划涉及的项目, 已在 2010 年 12 月 8 日上海市经信委和拜耳中国有限公司签署的战略合作备忘录上落实。

这些项目的实施, 意味着拜耳未来 5 年将更多地聚焦亚太和中国地区。拜耳集团董事会主席说, 希望到 2015 年将集团在我国的销售额增至 50 亿欧元左右, 预计拜耳材料科技将至少占到其中一半的份额。2009 年, 拜耳集团在我国的销售额创下了 21 亿欧元的记录, 其中 12 亿欧元来自拜耳材料科技。

拜耳材料科技首席执行官说, 目前我国已成为拜耳材料科技全球第二大市场。作为到 2012 年长期项目的一部分, 拜耳材料科技在上海投资将达 21 亿欧元, 加上此次的扩能计划, 意味着投资额已逾 30 亿欧元。

(中国化工报)

扬子石化新型塑料管材专用料开发成功

扬子石化自行研发的一种新型塑料专用料——过氧化物交联聚乙烯管材专用料, 日前在该公司聚乙烯装置上试产成功, 产品各项性能指标均达到国外同类产品水平。

过氧化物交联聚乙烯管材具有优良的卫生和综合性能, 因其具有舒适、节能、环保等独特优势而成为新一代的绿色管材。早在 20 世纪 80 年代, 发达国家就将其广泛应用于热水辐射供暖, 与传统采暖方式相比, 该取暖具有 20%~30% 的节能效果。过氧化物交联聚乙烯管材专用料在欧美、日本和韩国等国家和地区的普及率达到 60% 以上。我国于 1997 年引进国外设备开始进行该管材的生产, 经过十多年的发展, 这种管材在国内也得到迅速推广, 但其原料却一直依靠进口。

扬子石化科研人员结合该公司生产装置的特点, 在中试装置上对过氧化物交联聚乙烯管材专用料进行研发, 并提出了工业化生产建议, 最终成功实现了工业化生产。扬子石化生产的这种专用料为粉料, 省去了造粒和助剂的成本。

(中建网)