

不同密度木塑结构板材的可靠性分析

于贵文

(哈尔滨商业大学, 哈尔滨 150028)

摘要: 聚乙烯基木塑结构板材作为弹药箱包装材料,为了其使用安全性,研究了其可靠性。通过试验获得了其动态弹性模量和静态弹性模量,并运用一次二阶矩方法分析了该种木塑结构板材的可靠性。结果表明:密度大的木塑结构板材可靠性较高,而密度小的木塑结构板材可靠性较低。为木塑结构板材的广泛应用提供了合理依据。

关键词: 木塑复合材料; 结构板材; 载荷; 可靠性分析

中图分类号: TB484.2; TB482.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)09-0009-03

Reliability Analysis of Wood-plastic Structural Planks with Different Density

YU Gui-wen

(Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

Abstract: Wood-plastic structural planks made of polyethylene (PE) and poplar flour were used as a packaging material of ammunition. Reliability analysis of the planks is of great significance for safety in service. The modulus of elasticity and static bending strength of the planks were obtained by experiments. The first and second order moment method (FOSM) was used to analyze the reliability of the structural planks. The result showed that the wood-plastic structural planks with higher density have a better reliability than that with lower density. The purpose of this research was to provide reference for wide application of wood-plastic structural planks.

Key words: wood-plastic composite; structural plank; load; reliability analysis

木塑复合材料(WPC)是以木纤维和热塑性塑料为原料制备的复合材料^[1-2]。木纤维包括木粉、刨花、木屑、木材边角料和稻秆、花生壳、椰子壳、亚麻等材料的纤维。热塑性塑料以聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚氯乙烯(PVC)为主,可以用回收料、新料或二者的混合料。木塑复合材料兼有木材和塑料的性能优点,可经挤出压制成型为型材、板材或其他制品。

木塑复合材料之所以能替代其他传统材料,不断扩大应用,进入新的市场,主要取决于其独特的性能。木塑复合材料具有良好的室外耐用性和外观,外观十分类似天然木材,并具有防腐、防潮、尺寸稳定性高、不开裂、不翘曲等优点,比纯塑料硬度和刚性高,能像塑料一样加工成型。木塑复合材料制品可进行切割、粘接,也可用钉子或螺栓固定连接^[3]。木塑复合材料广泛应用在建筑业、运输业、汽车业和包装行

业^[4],并且,木塑复合材料被用作结构材料的比例较大,为了木塑复合材料的进一步发展和使用安全,也要求人们研究其可靠性。

木塑复合材料已经比较广泛地应用于产品包装行业。比如用聚乙烯和杨木粉制作的弹药箱,其底板的木塑结构板材要求具有较高的承载能力和安全性能,所以,迫切要求研究这些材料的可靠性和安全性^[5]。

有许多因素影响木塑结构板材的最大承载力,比如:木材的种类、聚合物的种类、材料的密度、机械性能、热压力的大小和结构板材的厚度等^[6]。不同因素对板材的最大承载能力有不同程度的影响。笔者仅分析在室温条件下,密度对木塑结构板材可靠性的影响。

收稿日期: 2011-01-08

基金项目: 黑龙江省自然科学基金资助项目(C201014)

作者简介: 于贵文(1967—),男,黑龙江人,硕士,哈尔滨商业大学副教授,主要研究方向为聚合物基复合材料。

1 试验

1.1 试件制备

用于本试验中的木塑结构板材购买于中国山东省邹平三立特木塑复合材料有限公司,杨木粉和聚乙烯的质量分数分别为 55% 和 45%。

根据美国材料试验标准(ASTM D790-03)制作所有试件。试件的尺寸为: 340 mm × 55 mm × 15 mm, 这些试件被存放在湿度为 (65 ± 5)%、温度为 (20 ± 2)°C 的恒温室中, 持续 24 h。

1.2 方法

总共 60 个试件被放在恒温室中, 直到试件的质量保持稳定, 目的是使试件在试验前保持湿度均恒, 性能稳定。根据美国材料试验标准(ASTM D790-03)进行弯曲试验, 使用的是 10 吨级世界先进水平的压力机, 加载速度为 8 mm/min, 见图 1。在图 1 中, t 代表试件的厚度, F 代表载荷, $l_1 = 16 t$, $l_2 = l_1 + 50$ 。

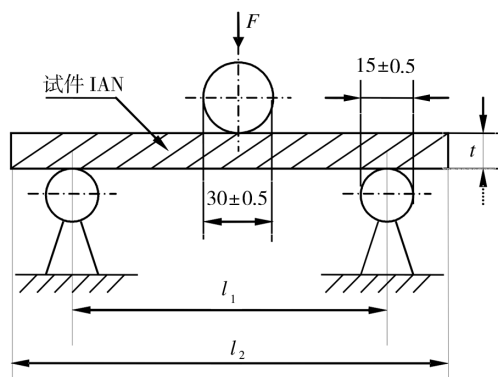


图 1 三点弯曲试验

Fig. 1 Three point bending test

载荷持续到试件的表面发生断裂, 同时, 获得最大载荷 (F_{max}) 和试件的弯曲曲线。最大结构抗力可以根据最大载荷通过极限状态方程计算。

1.3 结果

来自压力试验的弯曲力的平均值见表 1。

表 1 2 种试件的试验结果

Tab. 1 Experimental results of two specimens

结构板材的厚度 t /mm	15	15
密度 $\rho_i / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	1.2962	1.2862
最大载荷 F_{mi} / kN	1.1546	0.8585
弹性模量 E_i / GPa	3.7243	3.278
弯曲强度 P_i / MPa	32.272	21.929

2 可靠性分析

有许多随机变量影响结构板材的变化, 有一些能够测得, 有些不能, 而有的也只能通过试验获得^[7]。

2.1 可靠性研究方法

通过对木塑结构板材最大载荷的结果分析, 载荷符合正态分布, 因此, 可以用一次二阶矩方法分析结构板材的可靠性^[8]。首先, 等式必须进行标准化处理, 并且, 各参数的均值、标准差和变异系数等可分别根据以下公式获得。

均值:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

标准差:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{n - 1}} \quad (2)$$

变异系数:

$$V = \frac{\sigma}{\mu} \quad (3)$$

2.2 持续荷载

以某 5.8 mm 机枪弹为例, 机枪弹是枪弹中的重弹头型号, 全弹长度为 57~58 mm, 弹头直径为 5.8 mm, 全弹质量约为 0.014 kg。为了搬运方便, 设计 2 个由不同密度木塑结构板材制作的弹药箱, 弹药箱的最大容量为 2 000 发机枪弹。在机枪弹装箱前, 先分装在 20 或 40 个小纸箱中, 然后放入木塑弹药箱中, 小纸箱的长度方向与底板方向垂直, 假定每个小纸箱都是刚性整体, 质心处于小纸箱的中心处, 那么, 底板荷载 (S_Q) 的质量为 28 kg 左右。

2.3 极限状态方程

考虑到一般状态下结构板材的承载能力受到持续性和载荷方式的影响, 结构板材可靠性分析的极限状态方程为^[9-10]:

$$Z = R - S_Q - S_G \quad (4)$$

其中: R 是木塑结构板材的抗力; S_Q 是弹药箱底板上的持续荷载; S_G 是木塑结构板材的自重。

2.4 安全系数

考虑了使用一次二阶矩木塑结构板材的安全性, 使用了安全系数。由于计算使用的结构抗力是一个均值, 一些试件的结构抗力小于均值, 因此, 在计算时

应将抗力取小一些;另外,木塑复合材料具有蠕变特性,在长期受力时,木塑结构板材将发生形变,这一特性影响到木塑结构板材的应用,在结构用材上木塑结构板材的抗力也要求取较小值。同理,材料自重和机枪弹载荷的大小也是均值,也应进行安全修正,可根据式(5)和式(6)计算:

$$R_i = \mu_R(1 - \alpha_R V_R) \quad (5)$$

$$S_i = \mu_S(1 + \alpha_S V_S) \quad (6)$$

其中: R_i 是抗力安全值; S_i 是载荷安全值; μ_R 结构板材的抗力均值; μ_S 是载荷均值; α_R 是抗力安全系数; α_S 是载荷安全系数; V_R 和 V_S 分别代表抗力和载荷的变异系数。

2.5 可靠度

可靠指标(β)可根据式(1)–(2)和(4)–(6)获得。当实验室内的温度、湿度等条件适宜时, β 值的极值差为 0.01,因此可求得较精确的 β 值,根据下面式(7)计算,可靠度可根据式(8)计算:

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_G - \mu_Q}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_G^2 + \sigma_Q^2}} \quad (7)$$

$$P_r = \Phi(\beta) \quad (8)$$

其中: $\Phi(X)$ 是标准的正态分布,其数值见表 2。

表 2 2 种试件的可靠度

Tab.2 Reliability of two specimens

木塑结构板材类型	厚板值	薄板值
厚度 t/mm	15	15
最大抗力均值 μ_{Rm}/kN	1.159	0.8615
最大抗力的变异系数 $V_R/\%$	0.9	0.78
最大抗力的安全系数 α_R	20	20
载荷的安全系数 α_S	10	10
安全抗力值均值 μ_R/kN	0.949 4	0.726 3
标准差 α_R/kN	0.014	0.005 4
变异系数 $V_R/\%$	0.89	0.77
自重均值 μ_G/kN	0.003 5	0.003 0
标准差 σ_G/kN	0.002 4	0.002
变异系数 $V_G/\%$	2.3	2.2
安全载荷均值 μ_Q/kN	0.291 2	0.291 2
标准差 σ_Q/kN	0.2	0.2
变异系数 $V_Q/\%$	0.71	0.71
可靠性指标 β	3.273 5	2.160 5
可靠度 P_r	0.999 5	0.984 6

文中没有考虑结构板材受到随机载荷的变异性,以及材料配比的精准性。安全抗力、安全抗力标准差及其变异系数,弯曲强度、弯曲强度标准差及变异系

数,以及计算所得的可靠度等见表 2。

3 结论

研究结果显示,在 2 种弹药箱底板试件中,密度大的试件能承载更大的载荷,拥有同样技术、同样的原材料的试件的静态弹性模量也有同样的规律,而密度大的试件的弯曲强度远大于密度低的试件的弯曲强度。试件的可靠度与其密度近似地成正比例关系:密度较大试件的可靠性指标高于密度较小试件的可靠性指标,而可靠度也有同样规律;密度低的试件的可靠度达到 98.46%,其失效概率仅为 1.54% < 2%,也能满足弹药箱的可靠性要求。文中仅仅分析了同厚木塑结构板材的密度对其可靠性的影响,其它因素对木塑结构可靠性的影响还需进一步研究。

参考文献:

- [1] 王强,吴超. 木塑复合材料挤出技术的现状及发展趋势[J]. 工程塑料应用,2008,36(1):76–79.
- [2] 张天昊,张求慧,李建章. 木塑复合材料改性研究进展及应用前景[J]. 包装工程,2008,29(2):188–190.
- [3] 唐伟家,李茂彦,吴汾. 世界塑木复合材料市场动向和开发建议[J]. 中外能源,2007,12(6):15–19.
- [4] XUE Bing, HU Ying-cheng. Reliability Analysis of the Structural Laminated Veneer Lumber[C]. Trans Tech Publications, Switzerland, 2009:157–160.
- [5] NZOKOU P, FREED J, KAMDEM D P. Relationship between non Destructive and Static Modulus of Elasticity of Commercial Wood Plastic Composites[J]. Holz als Roh-unk Werkstoff, 2006,64(1):90–93.
- [6] DONG G Q. Master's Thesis[D]. Nanjing: Nanjing University of Technology, 2005.
- [7] CHEN Nian-zhong, SOARES C Guedes. Reliability Assessment for Ultimate Longitudinal Strength of Ship Hulls in Composite Materials[J]. Science Direct, 2007, 22(1):330–342.
- [8] 武清玺. 结构可靠性分析及随机有限元法[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [9] LIU Y B, WANG G Y. Generalized Reliability Theory of Engineering Structure[M]. Beijing: Science Press, 2005.
- [10] HUANG B, DU X. Analytical Robustness Assessment for Robust Design[J]. Struct Multidiscip Optim, 2007, 34(1):23–37.