

## 对一种木/塑复合材吸水性能及浸泡-干燥循环 对其力学性能影响的研究

王伟宏

J. J. Morrell

(东北林业大学材料科学与工程学院 150040 Oregon State University)

**摘要:** 本文介绍了一种常用的木塑复合甲板材, Strandex®的吸水性能以及干-湿循环对其力学性能的影响。试件被浸泡一定时间后, 测量其距端面 and 侧表面不同距离位置的含水率。水分的总吸收量增长缓慢, 材料含水率低。水分分布不均匀, 大部分集中在表层 5mm 厚的局部。水分向材料内部传递的速度十分缓慢, 经 215 天的浸泡, 绝大部分内部材料仍保持干燥状态。经过浸泡-干燥多次循环的试件, 吸水量随循环次数增加而增大, 但循环次数对抗弯强度没有显著影响。

### Study on Sorption Characteristics of One WPC Material and Wet-Dry Cycle Effect on Its Bending Strength

Wang Weihong

J. J. Morrell

(Northeast Forestry University, 150040 Oregon State University)

**Abstract:** Water sorption characteristics and effects of wet-dry cycle on one wood/plastic composite (WPC) decking material, Strandex®, were studied in this article. The samples were immersed in water for scheduled period; moisture content of different position in samples was measured. Moisture increment in composites was very slow, but not uniform. Most water concentrated in surface of 5 mm thickness. Water translated inward is so slow that the core was still dry after soaking for 215 days. Water sorption increased with wet-dry cycle times, however, bending strength changed negligibly.

木材-热塑性塑料复合材 (WPC) 在美国已经有几十年的生产历史, 在欧洲还要更早一些, 但直到最近几年其生产量和使用量才大幅度增加。WPC 增长最快的潜在市场是对结构功能要求不高的建筑产品, 包括甲板、护栏、工业地板、风景区用木料、栏杆、和嵌条等。对于这些室外使用场所, 材料的防腐、耐潮湿和强度是必须考虑的问题。通常认为在 WPC 中塑料包覆木材组分, 使其免遭真菌侵蚀, 因而具有耐腐蚀的优良特性。然而一些室外考察和实验室测试报告已经清楚地显示, WPC 同样吸收水分, 并最终导致腐朽<sup>[1][2][3][4]</sup>。另外, 塑料组分易老化进而影响使用性能也是令人担忧的问题之一。

水分是真菌侵蚀的必备条件。与木材相比, WPC 的腐朽速度慢得多, 说明塑料起到了防水作用。然而, 几乎没有数据能充分说明 WPC 对水分的吸收情况。尽管在常规性能测试项目中也包括浸水试验<sup>[5][6][7][8]</sup>, 但参照木质人造板标准所采用的浸渍时间对 WPC 来说是不充分的。其他少数进行长时间浸水试验的研究者并没有考虑水分的内外分布<sup>[9][10][11][12]</sup>, 他们的测试结果显示了较低的总吸水量, 但低估了水分在材料表面的分布, 而这里正是腐朽开始产生的地方。同样, WPC 在潮湿-干燥循环状态下力学性能的变化也鲜见报导。尺寸稳定性和耐水性是最经常采用的测量指标, 其中 Ibach<sup>[13]</sup>和 Rowell<sup>[14]</sup> 对试件进行了湿润-干燥循环处理, 另外几位研究者<sup>[15][16]</sup> 对试件进行了长期浸泡, 然后测量其力学性能。Johnson<sup>[17]</sup> 的试验证明 WPC 吸水饱和后抗拉强度显著下降,

第一作者简介: 王伟宏, 女, 东北林业大学材料科学与工程学院, 副教授, 博士。主要从事人造板、木质复合材料方面的研究。电话: 0451-82190394。

冰冻-融化循环没有产生显著影响。到目前为止，对潮湿-干燥循环等使用条件下 WPC 力学性能变化的研究还没有引起太多重视。

在使用过程中，WPC 经受雨水、冰雪、潮气以及真菌的侵蚀，深入了解水分在 WPC 内部的分布和反复干燥情况下强度的变化对正确评价和使用甲板材具有重要意义。

## 1 试验材料与方方法

从美国市场购买的一种长条形 WPC 材料，Strandex<sup>®</sup>，是常用的甲板材料。用于吸水性能研究的长板材被截成 100mm 长的短块，截面尺寸为 137.5×25mm。短块的一端用涂料封闭，防止水分渗入，以模拟长板材。然后试件被放置在 5℃ 的水里，浸泡一定时间后每次取出 4 块，擦去表面浮水，进行称重。从未封闭一端开始，每隔 25mm 向内锯下 5mm 厚的薄片，再将薄片从外围向中间依次锯割成 5mm 宽的环带。将每层环带称重，再在 105℃ 温度下烘至绝干。由于塑料的吸水量极小，可忽略不计，以木材组分含水率的变化考察复合材的吸水性能。Strandex<sup>®</sup> 中木材组分占 60%。

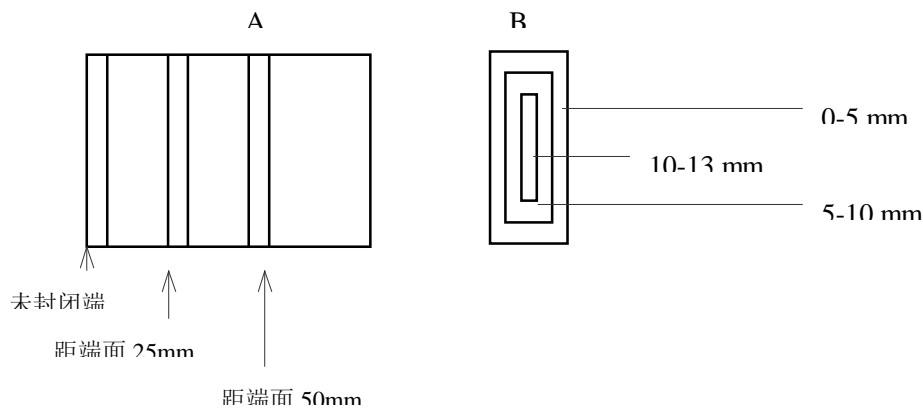


图 1 试件锯割示意图

另一部分用来测量强度变化的板材被截成 550 mm 长的试件。将试件浸泡在室温水里 2 周，然后在 60℃ 温度下干燥 1 周。这种浸泡-干燥循环重复进行 4 次，每次浸泡和干燥后都要进行称重以计算吸水量变化。每一循环结束后，取出 10 个试件在 20℃ 温度和 60% 相对湿度的恒温恒湿条件下进行平衡处理，直至达到衡重。对照组试件未经循环处理，直接放到恒温恒湿条件下调质平衡。按照美国 D6109 “非增强和增强塑料板材挠性标准测试方法” 规定的四点抗弯曲强度测试法测量弹性模量和断裂模量。

## 2 结果与讨论

Strandex<sup>®</sup> 试件的吸水速度极其缓慢。相对来说，在开始的半个月内含水率增长较快，3 个月以后基本不再变化（图 2）。浸泡 215 天后总含水率从开始的 1.27% 提高到 10.69%。

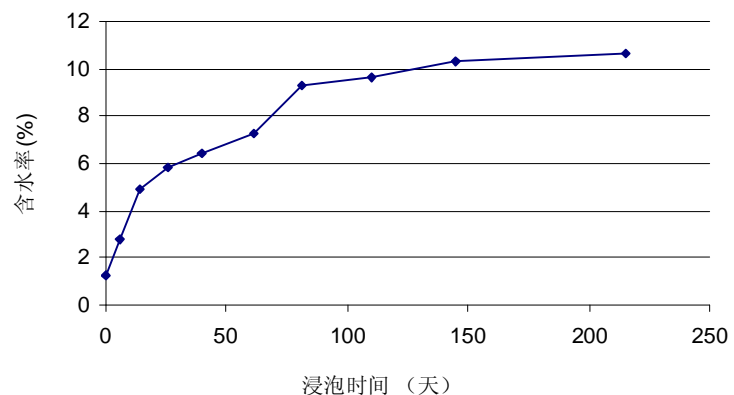


图 2 浸泡后 Strandex<sup>®</sup> 复合材含水率的变化

一般情况下, 适合真菌生长的木材含水率在纤维饱和点以上。显然, 从 Strandex®材料的总含水率来看是不能满足真菌繁殖要求的。然而, 经过深入观察我们发现, 水分在材料内部的分布非常不均匀。浸泡 215 天以后, 未封闭端的含水率已经达到 25.14%, 而向内 25mm 处截面的平均含水率只有 9.87%, 其中 5mm 厚的表层环带含水率为 19.75%, 中心部分含水率为 2.82%。水分在 WPC 内部的传递极其缓慢, 从表层向内, 木材组分的含水率急剧下降, 如图 3 所示。经过长时间的浸泡, 与水分直接接触的表面其含水率大幅度提高, 而内部几乎没有变化, 仍保持干燥状态。

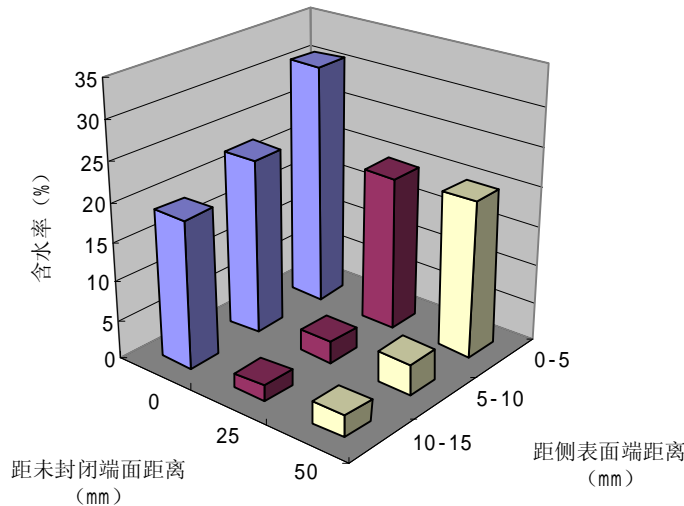


图 3 Strandex®试件浸泡 215 天后含水率的分布情况

未封闭端外层 5mm 厚的环带由于从两个方向吸收水分, 是含水率增长最快, 数值最大的位置, 达到 31%。由此说明, WPC 经过长时间浸泡后局部位置最终会达到真菌生长所需的含水率要求。在前期试验中另一种复合材料 Trex®也有类似的吸水性能和水分分布, 并且吸水速度比 Strandex®快, 未封闭端平均含水率在浸泡 14 天后就超过了 30%。这些试验数据可以使我们避免低估表层发生腐朽的可能性, 也可以正确判断材料内部的耐腐蚀性能。

吸水性能的试验持续了 215 天, 但最初 14 天的吸水量已经占全部吸水量的 45%, 是吸水最快的阶段。因此我们将循环试验中试件的浸泡时间定为 14 天。

经过浸泡-干燥的试件, 其力学性能变化见表 1。

表 1 经过浸泡-干燥循环后试件抗弯曲强度的变化

试件	断裂模量 (MPa)	弹性模量 (GPa)
对照组	16.79 (0.7223)	2.26 (0.0862)
1 次循环	16.93 (0.7044)	2.13 (0.0954)
2 次循环	16.80 (1.3588)	2.22 (0.1647)
3 次循环	15.96 (0.6849)	2.05 (0.0978)
4 次循环	18.17 (0.9238)	2.35 (0.1282)

经过 T 检验证明, 浸泡-干燥循环对 WPC 的抗弯曲强度没有造成显著影响, 经多次循环抗弯曲强度几乎没有变化。但是, 反复干燥使试件的吸水能力有所改变, 随着循环次数的增加浸泡后和调质平衡后试件的吸水吸湿量都呈逐渐增大的趋势 (图 4 和图 5)。这是由于经过反复的浸泡-干燥, WPC 表层木材纤维与塑料之间的结合遭到破坏, 产生细小裂缝, 增加了水分渗透的渠道, 循环次数的增加也加剧了裂隙的扩展。虽然在有限的循环次数内, 裂隙只发生在浅层部位, 对力学

强度没有造成影响，但长期室外使用条件下，风霜、雨雪、潮湿的侵蚀极有可能导致裂隙加深，最终使力学强度下降并逐渐丧失。

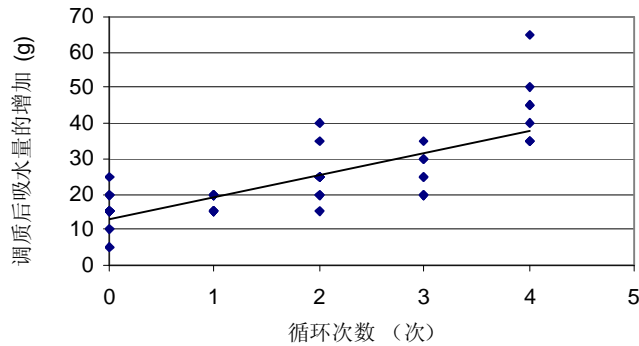


图 4 经过恒温恒湿调质后试件增加的质量

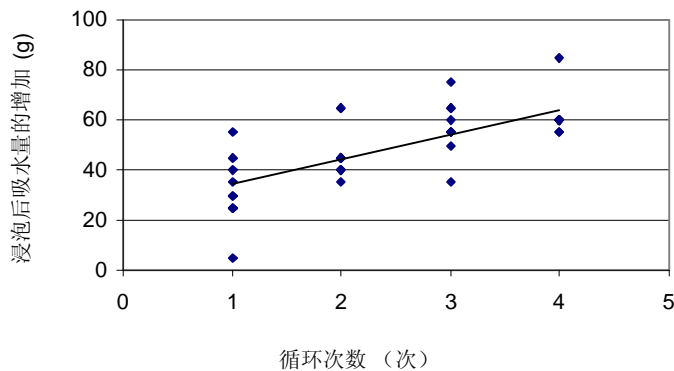


图 5 浸泡后试件增加的质量

### 3 结论

一般来说，影响 WPC 性能的主要因素有：1) 塑料和木材组分各自的性能；2) 复合材料中木材组分所占的比例；3) 木屑的几何形状；4) 木材与塑料之间界面的结合质量。因此，每种 WPC 材料性能都有一定的差别。但 WPC 产品吸水性能的总趋势是一样的，水分分布极其不均匀，绝大部分水分集中在表层；水分向内传递速度缓慢，绝大部分内部材料仍处于干燥状态。这种水分分布使得 WPC 极可能在表层发生腐朽，但又不会对材料的整体性能产生太大影响。有限次数的浸泡-干燥循环对力学性能没有显著影响，但吸水量的增加已经表明复合材料表面产生裂隙，塑料与木材组分之间的结合被削弱。气候变化，尤其是冰冻，对长期在室外条件下使用的 WPC 强度的破坏作用还有待于深入研究。

### 参考文献

- 1 Mankowski M. and J. J. Morrell. 2000. Patterns of fungal attack in wood-plastic composites following exposure in a soil block test. *Wood and Fiber Science*. 32 (3): 340-345
- 2 Morris, P.I. and P. Cooper. 1998. Recycled plastic/wood composite lumber attacked by fungi. *Forest Products Journal*. 48(1): 86-88.

- 3 Schmidt, E.L. 1993. Decay testing and moisture changes for a plastic-wood composite. In: Proc. American Wood Preservers' Association. 89: 108-109(Abstr.).
- 4 Simonsen J., J. Freitag and J.J. Morrell. 2001. Effect of wood-plastic ratio on the performance of borate biocides against brown rot fungi. In: Proceedings, the Sixth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites, Forest Products Society, Madison, Wisconsin. pp 215-220
- 5 Chow P., R.J. Lambert and C. T. Bowers. 2000. Physical and Mechanical Properties of Composite Panels Made from Kenaf Plant Fibers and Plastics. In: Proceedings of the 2000 International Kenaf Symposium, Yasuura, Hiroshima, Japan. pp 139-143
- 6 Sellers T., G.D. Miller, and M. Katabian. 2000. Recycled Thermoplastics Reinforced with Renewable Lignocellulosic Materials. Forest Products Journal. 50 (5): 24-28
- 7 Shi S.Q., D.J. Gardner and J.Z. Wang. 1999. Effect of the Addition of Polymer Fluff to Wood Furnish on the Mechanical and Physical Properties of Woodfiberboard. Forest Products Journal. 49 (2): 32-38
- 8 Simonsen J., R. Jacobson and R. Rowell. 1997. Wood Fiber Reinforcement of Styrene-Maleic Anhydride Copolymers. In: the Fourth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites. Forest products society, Madison, WI. pp: 215-220
- 9 Jacoby P., R. Sullivan and W. Crostic. 2001. A comparison of wood-filled high crystallinity polypropylene with other wood-filled polyolefins. In: the Sixth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites. Forest products society, Madison, WI. pp. 97-106
- 10 Johnson D.A., D.A. Hohnson., J.L. Urich, R. M. Rowell, T. Jacobson and D.F. Caufield. 1999. Weathering characteristics of fiber-polymer composites. In: the Fifth International Conference on Woodfiber-Plastic Composite. Forest Products Society, Madison, WI. pp 203-209
- 11 Rowell R. M., S.E. Lange and R. E. Jacobson. 2000. Weathering Performance of Plant-Fiber/Thermoplastic Composites. Mol. Cryst. And Liq. Cryst., Vol. 353: pp 85-94
- 12 Shi S.Q., D.J. Gardner, J.Z. Wang. 2000. Estimating Maximum Water Absorption of Wood Fiber/Polymer Fluff Composites. Wood and Fiber Science. 32(3): 269-277.
- 13 Ibach E.R., R.M. Rowell, S.E. Lange and R.L. Schumann. 2001. Effect of wet-dry cycling on the decay properties of aspen fiber high-density polypropylene composites. In: the Sixth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites. 267-270 pp.
- 14 Rowell R.M., S.E. Lange and R.E. Jacobson. 2000 Weathering performance of plant-fiber/thermoplastic composites. Mol. Cryst. And Liq. Cryst. Vol 353: 85-94
- 15 Jacoby P., R. Sullivan and W. Croslic. 2001. A comparison of wood-filled high crystallinity polypropylene with other-filled polyolefins. In: the Sixth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites. 97-105 pp.
- 16 Johnson A.D., D.A. Johnson, J.L. Urich, R.M. Rowell, R.J. Jacobson and D.F. Caufield. 1999. Weathering characteristics of fiber-polymer composite. In: the Fifth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites. 203-209 pp.