

水蒸气透过率、透过量与透过系数应用指南

摘要: 本文详细介绍了三项透湿性参数（水蒸气透过率、透过量以及透过系数）的定义、应用范围以及相互之间的差异和换算关系，同时对于目前国际国内标准中定义不清晰的情况给予说明。

关键词: 透湿性, 透过率, 透过量, 透过系数

随着阻隔性检测的普及, 相关参数指标已成为材料性能评价的关注重点。然而由于国内、国际标准在一些参数定义上的差异使得很多试验人员、研究人员对于参数概念及应用分辨不明。这不但给数据传递带来一些影响, 同时还会造成对材料性能评价的失误。本文着重分析透湿性参数水蒸气透过率、水蒸气透过量以及水蒸气透过系数的定义, 对它们之间的关系进行介绍, 并指出实际应用中应当注意的问题。

1. 渗透描述

按照质量迁移理论, 气体分子或者水蒸气分子之所以能透过塑料薄膜是受到高分子材料内的化学势能驱动。化学势能由化学活性决定, 而化学活性比例于气体浓度, 因此渗透物质分子的浓度 C_i 与其分压强 p_i 有如下关系式:

$$p_i = kC_i \quad (1)$$

式中 k 为常数, 即透过薄膜的气体通量将取决于其两边的分压强。如果在时间 t 内, 透过面积 A 上的测试气体总量为 Q , 可计算得到渗透系数 (气体透过系数或者水蒸气透过系数) P 为:

$$P = \frac{Ql}{At(p_1 - p_2)} \quad (2)$$

式中, p_1 、 p_2 是薄膜两边渗透物质的分压强, 分压差为 $\Delta p = p_1 - p_2$, l 是薄膜的厚度。

2. 透湿性能参数的国际标准描述

以下是透湿性能测试中经常使用的基础标准:

2.1 ASTM E96-05

ASTM E96-05 中, 用于描述材料透湿性能的参数有以下 3 个:

1. Water Vapor Transmission Rate: The steady water vapor flow in unit time through unit area of a body, normal to specific parallel surfaces, under specific conditions of temperature and humidity at each surface.

译文: 水蒸气透过率: 在单位时间内、在单位面积上透过样品的水蒸气总量, 透过方向垂直与试样特定表面, 试样每个表面都保持特定的温湿度环境。

水蒸气透过率缩写为 WVT, 公制单位为: $\text{g/h} \cdot \text{m}^2$ 。

2. Water Vapor Permeance: The time rate of water vapor transmission through unit area of flat material or construction induced by unit vapor pressure difference between two specific surfaces, under specified temperature and humidity conditions.

译文: 水蒸气透过量: 保持试样两表面特定的温湿度环境, 在单位时间内, 由试样两侧单位水蒸气压差引起的, 在单位面积上透过样品的水蒸气总量。

可见水蒸气透过量是水蒸气透过率与试样两侧水蒸气分压差的比值。常用单位为: $\text{g/Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^2$ 。

3. Water Vapor Permeability: The time rate of water vapor transmission through unit area of flat material of unit thickness induced by unit vapor pressure difference between two specific surfaces, under specified temperature and humidity conditions.

译文: 水蒸气透过系数: 保持试样两表面特定的温湿度环境, 在单位时间内, 由试样两侧单位水蒸气压差引起的, 单位厚度的样品在其单位面积上透过的水蒸气总量。

水蒸气透过系数是水蒸气透过量与薄膜厚度的乘积, 常用单位为: $\text{g} \cdot \text{cm/Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^2$ 。

2.2 ISO 2528:1995

ISO 2528:1995 中, 用于描述材料透湿性能的参数只有一个:

Water vapour transmission rate (WVTR): Mass of water vapour transmitted through a unit area in a unit time under specified conditions of temperature and humidity. It is expressed in grams per square metre per 24h [$\text{g} / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$].

译文: 水蒸气透过率 (WVTR): 在一定的温度、湿度条件下, 单位时间内透过单位面积的水蒸气的质量。单位表示为: 克每平方米每 24 小时, [$\text{g} / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$]。

2.3 GB/T 1037-1988

GB/T 1037-1988 中, 用于描述材料透湿性能的参数有两个:

1. 水蒸气透过量 (WVT): 在规定的温度、相对湿度, 一定的水蒸气压差和一定厚度的条件下, 1m^2 的试样在 24h 内透过的水蒸气量。单位: $\text{g/m}^2 \cdot 24\text{h}$ 。

2. 水蒸气透过系数 (P_V): 在规定的温度、相对湿度环境中, 单位时间内, 单位水蒸气压差下, 透过单位厚度, 单位面积试样的水蒸气量。单位: $\text{g} \cdot \text{cm/cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$ 。

注: GB/T 1037-1988 参照采用美国试验与材料协会标准 ASTM E 96-80 《材料透过水蒸气性试验方法——杯式法》。

2.4 总结

从上述标准定义中分析它们的结果单位, 我们可以得到, GB/T 1037-1988 中的水蒸气透过量 (WVT) 与 ASTM E96-05 标准中 Water Vapor Transmission Rate (水蒸气透过率, 缩写为 WVT) 的定义是一致的, 与 ISO 2528:1995 中 Water Vapor Transmission Rate (水蒸气透过率, WVTR) 也是一致的, 单位都可转化为 $\text{g/m}^2 \cdot 24\text{h}$ 的形式; GB/T 1037-1988 中的水蒸气透过系数与 ASTM E96-05 的 Water Vapor Permeability (水蒸气透过系数) 单位也是一致的, ISO 2528:1995 中没有提及水蒸气透过系数的概念; 而 ASTM E96-05 中的 Water Vapor Permeance (水蒸气透过量) 的概念在 GB/T 1037-1988 与 ISO 2528:1995 的标准中都没有涉及。

3. 透湿性参数实际应用

水蒸气透过率是单位时间透过单位面积的水蒸气的质量, 它由材料本身的阻隔性能和材料两边水蒸气浓度差两个因素决定。水蒸气透过率与测试环境和试样个体有关, 水蒸气透过量只与测试试样自身有关而与环境无关, 至于水蒸气透过系数则仅与试样的材质有关, 是材料本身的性质。三个参数之间满足如下关系:

$$\text{水蒸气透过量} = \text{水蒸气透过率} / \Delta p, \quad \text{水蒸气透过系数} = \text{水蒸气透过量} \times l \quad (3)$$

式中, Δp 为试样两侧的水蒸气分压差, l 是薄膜的厚度。

通常, 我们只关注包装材料的水蒸气透过率 (Water Vapor Transmission Rate, 单位: $\text{g/m}^2 \cdot 24\text{h}$) 和水蒸气透过系数 (Water Vapor Permeability, 单位: $\text{g} \cdot \text{cm/cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)。除去由于标准定义差异带来的影响外, 严格来讲水蒸气透过量 (Water Vapor Permeance) 是很少用到的, 这主要是由应用习惯导致的。然而对于水蒸气透过系数的使用还存在误区。The permeability is meaningful only for homogeneous materials, in which case it is a property characteristic of bulk material. (水蒸气透过系数仅对均匀材料有意义, 它是一批均匀材料的特性参数。) 可见材料的水蒸气透过系数并非对所有材料都有意义, 它仅对于均匀的单层材料有意义, 而且应用前必须已经通过检测多种厚度的材料证明其数据的一致性。也可将多种单层材料的水蒸气透过系数应用于多层复合材料的结构设计中。但是对于多层复合材料, 检测其水蒸气透过系数是没有意义的。

4. 总结

对于透湿性参数的名称定义不一致的问题应该引起有关方面的重视。对于使用者而言, 不能仅关注透湿性参数的名称, 需要通过比较结果单位是否一致来确定不同标准中提及的参数意义是否相同, 这样才可以有效地避免名称定义不一致所引起的应用混乱, 给业界的沟通交流提供便利。

济南兰光机电技术有限公司

中国济南市无影山路 144 号 (250031)

总机: (86) 0531 85864214 85953155

传真: (86) 0531 85812140

E-mail: labthink@labthink.cn

网址: <http://www.labthink.cn>