

材料阻隔性指标详解

摘要: 本文详细介绍了常用的各类阻隔性检测指标的定义、应用范围、以及相互之间的差异和换算关系, 并给出了应用说明。

关键词: 阻隔性, 渗透性, 透过系数, 透过量, 单位换算

1. 材料的阻隔性

任何物体都有一定的渗透性, 差别仅是一些物体的渗透性比较高, 另一些的渗透性比较低。高分子聚合物的可透性较低, 用它对物品进行包装可有效阻隔环境中氧气、水蒸气等的渗入, 并保持包装内的特定气体成分, 显著提高物品的保质期。

通常, 在使用高分子聚合物或由它制得的相关材料包装物品时最关注材料对氧气、二氧化碳、氮气等常见气体的阻隔性以及水蒸气的阻隔性, 可用渗透性(Permeability)和透过量(Permeance)两项指标加以描述。其中渗透性表征的是一种材料的特性, 不随材料厚度、面积等的变化而变化, 而渗透物质的透过量只是一个制成品的性质, 随材料厚度、结构等的变化而变化。

2. 气体透过系数与气体透过量

一般我们用气体对材料的渗透性(即气体透过系数)和气体透过量评价材料的阻隔性, 但是由于常见无机气体对材料的渗透性能直接取决于材料对气体的溶解度(S)以及气体在材料中的扩散系数(D), 所以在评价材料的阻隔性时应根据需要对材料的气体透过系数、气体透过量、溶解度、以及扩散系数进行综合评定。

气体透过系数(P)是在恒定温度和单位压力差下, 在稳定透过时, 单位时间内透过试样单位厚度、单位面积的气体的体积, 单位为: $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$ 。气体透过量(Q)是在恒定温度和单位压力差下, 在稳定透过时, 单位时间内透过试样单位面积的气体的体积, 单位为: $\text{cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{Pa}$ 。它们之间满足以下关系:

$$P = Q \times d$$

其中 d 是材料的厚度。

由于两者的单位不同,所以在计算时必须统一计算单位。例如,当材料气体透过系数的单位是 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$ 而气体透过量的单位是 $\text{cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{Pa}$ 时,仅是在计算过程中引入的测试时间单位就相差 86400 倍,面积单位又相差 10000 倍,所以在国标 GB 1038 中给出了 1.1574×10^{-9} 这个系数用于单位的统一。

目前,各标准中对材料的气体阻隔性的指标定义比较混乱,如气体透过率 (Gas Transmission Rate, GTR) 在 ISO 标准 (ISO 2556, ISO 15105-1) 中是稳定透过时在恒定温度、单位压差下单位时间内透过单位面积试样的气体体积 (与国标 GB 1038 中气体透过量的含义相同),单位是 $\text{cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{atm}$;然而在 ASTM D1434 中它是指在试验状态下单位时间内透过单位面积试样的气体量,单位是 $\text{mL (STP)}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。因此建议大家在比对数据时首先要看清数据单位,以确定它们各属于哪一项指标,然后将同项指标的所有比对数据换算成相同的单位再进行比较。在 ASTM D1434 中给出了几组单位换算表,表 1 只是其中之一,用于气体渗透性单位之间的换算。

表 1. 常用气体渗透性单位换算表

To Obtain	Multiply			
	$\frac{\text{cm}^3 \cdot \text{cm}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cm Hg}}$	$\frac{\text{cm}^3 \cdot \text{mil}}{\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h} \cdot \text{atm}}$	$\frac{\text{cm}^3 \cdot \text{mil}}{100 \text{ in.}^2 \cdot 24 \text{ h} \cdot \text{atm}}$	$\frac{\text{cm}^3 \cdot \text{mm}}{\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h} \cdot \text{atm}}$
$\frac{\text{cm}^3 \cdot \text{cm}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cm Hg}}$	1.00	3.87×10^{-14}	6.00×10^{-13}	1.52×10^{-12}
$\frac{\text{cm}^3 \cdot \text{mil}}{\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h} \cdot \text{atm}}$	2.58×10^{13}	1.00	15.5	39.4
$\frac{\text{cm}^3 \cdot \text{mil}}{100 \text{ in.}^2 \cdot 24 \text{ h} \cdot \text{atm}}$	1.67×10^{12}	6.45×10^{-2}	1.00	2.54
$\frac{\text{cm}^3 \cdot \text{mm}}{\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h} \cdot \text{atm}}$	6.57×10^{11}	2.54×10^{-2}	0.394	1.00

3. 水蒸气透过系数与水蒸气透过量

一般我们用材料的水蒸气渗透性 (即水蒸气透过系数) 和水蒸气透过量来评价材料的水蒸气阻隔性,也有使用水蒸气渗透量 (Water Vapor Permeance) 进行评价的,其中最常用的是材料的水蒸气透过量。

水蒸气透过系数 (P_v) 是在规定的温度、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, 单位为: $\text{g} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$ 。水蒸气透过量 (WVT, 在 ISO 2528、ASTM F1249 等标准中也称为 WVTR) 是在规定的温度、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。单位为: $\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$ 。两者之间满足以下关系:

$$P_v = \frac{WVT \times d}{\Delta p}$$

其中 d 是试样的厚度, Δp 是试样两侧的水蒸气压差, 可查湿空气水蒸气压力表获得。

水蒸气渗透量 (Water Vapor Permeance, 以下简称 P) 的概念在国标 GB 1037 中是没有的, 但在 ASTM 的标准中有涉及, 是在指定的温湿度条件下, 试样两侧在单位水蒸气压差下, 单位时间内透过单位面积试样的水蒸气量, 单位是 $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$, 所以

$$P = \frac{WVT}{\Delta p}$$

$$\text{而 } P_v = P \times d$$

其中 Δp 是试样两侧的水蒸气压差, 而 d 是试样的厚度。

材料的水蒸气阻隔性的各项指标定义清晰, 常用单位比较集中, 可以参照表 2 (摘自 ASTM E96) 进行换算。

表 2. 常用水蒸气各类阻隔性单位换算表

Multiply	by	To Obtain (for the same test condition)
	WVT	
g/h·m²	1.43	grains/h·ft²
grains/h·ft²	0.697	g/h·m²
	Permeance	
g/Pa·s·m²	1.75 × 10⁷	1 Perm (inch-pound)
1 Perm (inch-pound)	5.72 × 10⁻⁸	g/Pa·s·m²
	Permeability	
g/Pa·s·m	6.88 × 10⁸	1 Perm inch
1 Perm inch	1.45 × 10⁻⁹	g/Pa·s·m

注: 表中压强单位 mmHg 与 Pa 之间的换算是在 0℃ 下进行的。

4. 注意事项

首先, 在进行测试数据比对时, 需要注意试验条件, 包括测试环境温湿度等。由于阻隔性测试受环境影响比较显著, 因此, 无论是进行哪项阻隔性指标的比较, 都需要在相同的试验条件下进行试验, 否则单纯比对数据没有任何意义。

其次, 材料的渗透性 (包括气体渗透性及水蒸气渗透性) 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, 可用作多层材料结构设计的指标使用。因此对于单层的均匀材料, 材料的渗透性及透过量都具有实际使用意义, 是阻隔性检测中必须获取的指标; 但是对于多层复合材料或成品包装膜, 计算材料的渗透性没有意义, 只有材料的透过量才有实用价值。当然, 单层均匀材料渗透性的确定也不能仅由对一个试样的检测确定, 必须对厚度不同的同种材料进行大量试验以保证材料渗透性的准确。