

防水透气膜水蒸气透过性能和不透水性在应对建筑结露问题的功用及性能测试

The Function of Waterproof and Breathable Films to Solve Condensation Problems of Construction and Its Performance Test

摘要：在建筑领域中，水和水汽是威胁建筑安全的重要因素。防水透气膜凭借其独特的微孔结构，在建筑围护结构中发挥了优异的水蒸气透过和防水功用，具有良好市场发展潜力。本文从结露现象的本质入手分析了防水透气膜在应对建筑结露问题的作用机制，并从试验测试和生产工艺的角度提出了防水透气膜的性能控制要点。

The article aims at explaining the function of waterproof and breathable films to solve condensation problems of constructions, by analyzing the essence of condensation phenomenon.

It also points out performance control factors of waterproof and breathable films from the angle of test and production processes.

关键词：防水透气膜、结露、水蒸气透过性能、不透水性

作者：济南兰光机电技术有限公司

中国地域广袤，气候的地区差异性明显，严寒、寒冷、夏热冬冷、夏热冬暖、温和等多样化气候特征对当地建筑的围护结构形成了严峻的考验，其中因水分因素而导致建筑围护结构出现结露现象是最为普遍的建筑难题。

结露现象分析

根据热力学原理，在一定温度下，湿空气中水蒸气分压 P_v 达到该温度下饱和水蒸气分压 P_{vb} 时，水蒸气会释放热量凝结成水，结露条件如下所示：

$$P_v \geq P_{vb}$$

由于某一饱和温度（空气露点）对应的饱和水蒸气分压为定值，所以一定饱和温度下结露现象的发生取决于湿空气中水分含量，其比重越大，相应的水蒸气分压越高，则上述结露条件更容易满足。另一方面，当湿空气中水分含量不变，即水蒸气分压不变时，空气温度逐

渐降低到与之对应的饱和水蒸气分压等同于现实水蒸气分压时, 同样会产生结露现象。

在建筑领域中, 水和水汽是威胁建筑安全的重要因素。建筑发展初期, 外部雨水渗透是建筑防水系统重点防治对象, 传统方式是将一层不透气的防水层覆于保温层之外。这种做法虽将雨水阻隔在建筑之外, 同样也将来自室内的水蒸气“堵”在保温层中, 使其无法有效排出。这是因为室内温度和湿度普遍高于室外, 室内水蒸气透过实体墙渗透至保温层中, 遇冷在防水层内侧凝结成露, 日积月累致使保温层受潮, 损害其保温性和耐久性。随着对室内水蒸气防治要求的愈加严格和防水技术的提升, 防水需求和透气需求的矛盾日渐突出, 一种新型的兼顾防水和透气功能的高分子膜在 20 世纪中期的美国建筑业开始应用, 开启了“可呼吸式”防水系统的新应用。

防水透气膜水蒸气透过性能和不透水性在应对结露问题的应用及功效

防水透气膜是一种高分子防水材料, 分为微孔膜、亲水性膜和微孔亲水性膜三类, 建筑用防水透气膜一般采用微孔膜, 主要通过对聚合物、填料、助剂等原料进行混合、热成型和拉伸工艺制成, 拉伸时聚合物基体与填料粒子相互分离, 在周围形成相互连通的直径约 $1\mu\text{m}$ 左右的微孔或通道。由于水滴的最小直径约为 $20\mu\text{m}$ 左右, 而水蒸气的直径仅为 $0.0004\mu\text{m}$, 因此这些微孔既促进了水蒸气的通过同时又阻止了水滴的渗入。

以建筑外墙为例, 通常外墙结构如图 1 所示。此结构的防水重点主要来自三个方面: 外立面渗透的水滴、保温层自身中蕴含的水汽以及透过实体墙缝隙渗透入保温层的水汽。通过在保温层外侧覆盖防水透气膜, 其优异的水蒸气透过性能和不透水性一方面保证建筑内部潮气顺利排出, 另一方面阻挡外部雨水侵入和水蒸气结露返渗入保温层, 从而保障保温层和建筑结构的长久有效性。通过对上述因素的控制, 能耗亦将被降低。研究表明, 建筑的能耗与建筑的水密性和气密性密切相关, 而防水透气膜技术减少了结露对保温层有效热阻值的影响, 在一定程度上节约了建筑能耗。据试验对比, 采用防水透气膜作为保温层包覆系统的建筑比未使用的建筑供热和制冷能量费用节约率最多可达 40% 左右。

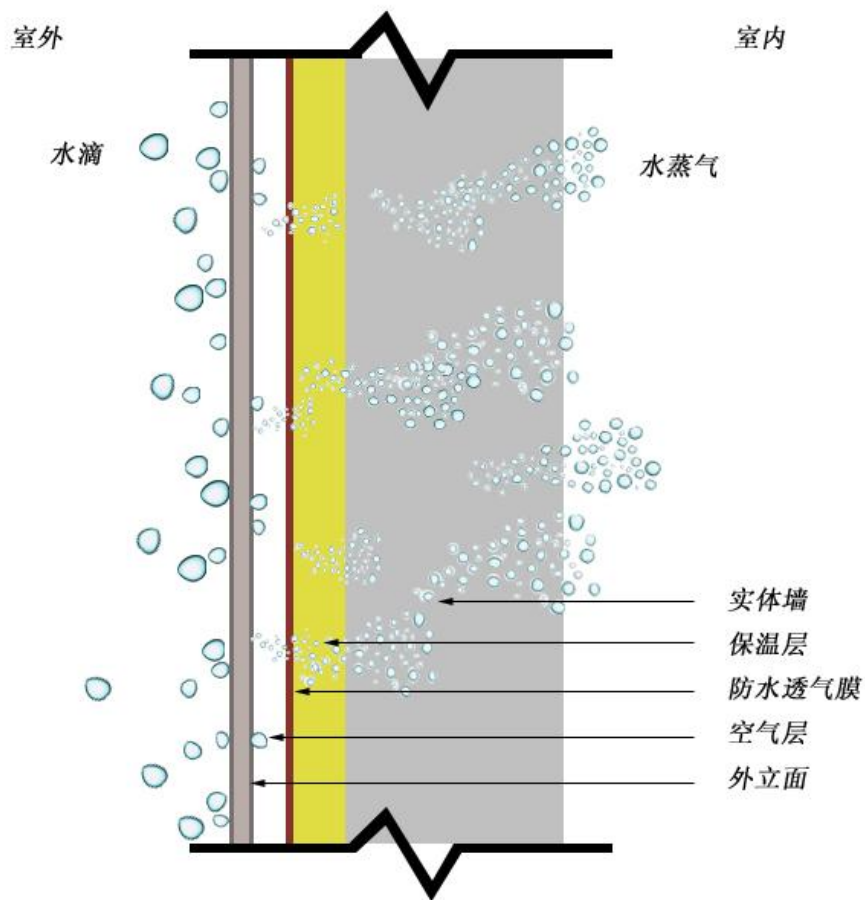


图 1.防水透气膜外墙应用示意

防水透气膜水蒸气透过性能和不透水性测试

防水透气膜独特的选择性透过在应对建筑结露方面发挥了显著功效，但是，这种功效却依赖于膜材的水蒸气透过性能和不透水性两项指标的均衡性。由于建筑用防水透气膜大多为微孔膜，微孔孔径决定着膜材上述两项性能的均衡，孔径过大，水蒸气透过量上升，不透水

性相应下降，反之亦然，所以寻求二者最佳平衡参数才能有效应对结露现象的影响。

《建筑外墙防水防护技术规程》中明确规定建筑防水透气膜水蒸气透过量和不透水性分别按 GB/T1037 B 法和 GB/T328.10 A 法进行测试。GB/T1037 是采用杯式法测试塑料薄膜、片材透水蒸气性（图 2），即在一定的温度下，使防水透气膜试样的两侧形成一特定的湿度差，水蒸气透过试样进入干燥的一侧，通过测定透湿杯重量随时间的变化量，而计算出试样的水蒸气透过率等参数。在现代技术的引导下，具有高精度称重传感器的水蒸气透过率测试仪逐渐取代了传统受人工因素影响较大的分析天平测量仪器，将温湿度控制技术与称重技术联合设计并配合计算机控制技术，实现了试验的自动化测量，结果更加精确（图 3）。

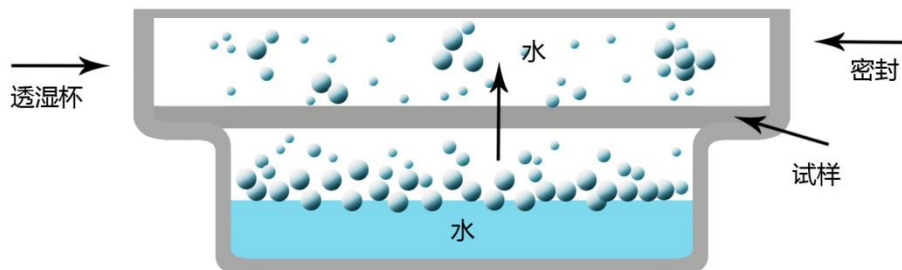


图 2.水蒸气透过性能测试方法之杯式法渗透原理图



图 3.水蒸气透过测试仪器内部测试装置示意图

GB/T328 第 10 部分《建筑防水卷材试验方法：沥青和高分子防水卷材不透水性》从试验原理、仪器设备、试样制备及试验步骤等方面对高分子防水卷材的不透水性，即耐积水性和表面承压性测试做了详细规定，其中 A 法适用于卷材低压力的使用场合。针对防水透气膜的不透水性测试方法，首先制取直径为 (200 ± 2) mm 的圆形试样，将暴露于大气或水的表面作为迎水面朝下置于图 4 低压力不透水装置 2 的指示位置，而后将湿气指示混合物、滤纸、玻璃板按图示顺序装夹牢固。打开入水阀 7 的同时打开排气阀 6，直至容器水满溢出，关闭阀 8。接着在 0-60KPa 的范围内调整 13 水压控制装置至试验要求压力并保持 (24 ± 1) h，最终通过观察滤纸是否变色来判断被测试样的不透水性是否合格。

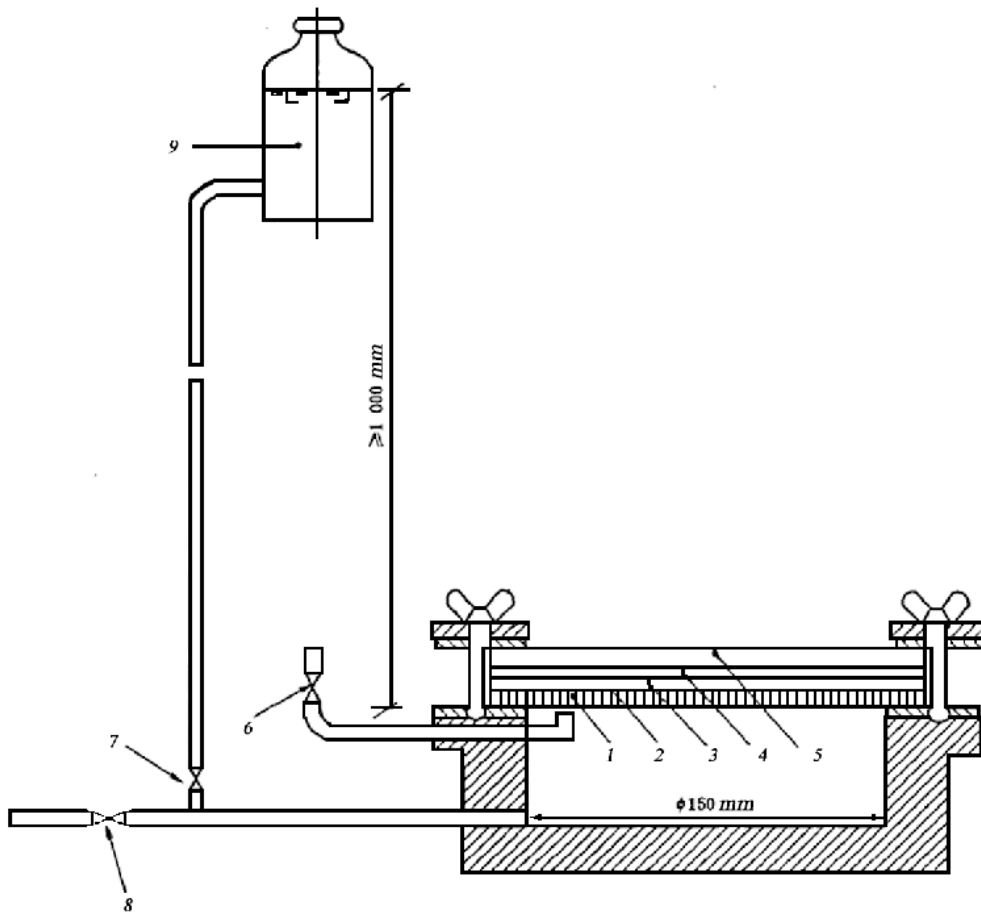


图 4. 低压力不透水装置

1 试样迎水面；2 实验室用滤纸；3 湿气指示混合物，均匀铺在滤纸上，湿气透过试样容易探测到；4 实验室用滤纸；5 圆的普通玻璃板；6 排气阀；7 进水阀；8 补水排水阀；9 提供和控制水压到 60KPa 的装置。

当然，仅获取防水透气膜的水蒸气透过性能和不透水性相关数据仍是不够的，如何判断两方性能的平衡才是应对结露问题的关键所在。所以根据实际测试的需求，采用防水透气膜防结露试验是验证其水蒸气透过性能和不透水性是否彼此均衡的重要途径。由于我国尚未制定防水透气膜防结露的试验方法标准，目前可参照日本标准 JISA6111:2004 中防结露试验方

法进行测试。

防水透气膜水蒸气透过性能和不透水性的控制方法

据防水透气膜成孔机理，膜材的水蒸气透过性能和不透水性基本上取决于孔径的大小，而孔径大小与生产原料和工艺密切相关，如填料粒径、填料量、拉伸率等因素，因此在生产防水透气膜时，建议可从以下方面控制其孔径，以间接调整其水蒸气透过性能和不透水性。

- 1、合理的填料粒径。粒径过大，易使填料在聚合物基体中引起应力，并使基体产生不连续相；粒径过小，则易成块，使填料无法均匀分布。因此填料粒径应控制在一个合理的范围内，如 $0.1\sim 100\mu\text{m}$ 之间。
- 2、科学的填料量。若填料量低于一定量，则易形成过大的微孔孔径，反之，将会破坏聚合物的基体连续性。
- 3、适宜的拉伸率。拉伸率过低，形成的微孔数太少，无法达到要求的水蒸气透过量；若拉伸率过大，将会产生过大孔径的孔隙，不再属于微孔的范围。

防水透气膜凭借其独特的微孔结构，在建筑围护结构中发挥了优异的水蒸气透过和防水功用，在一定程度上有效解决了结露现象对建筑热工性能和能耗的破坏作用，具有良好市场发展潜力。本文通过对防水透气膜的水蒸气透过性能和不透水性测试方法的论述，以期帮助生产科研企业进一步加强产品性能控制，促进防水透气膜在更广阔的领域得到应用。