

实验三 建筑门窗三性检测实验虚拟仿真模拟

1) 实验目的(学生在进入虚拟仿真实验室时界面弹出课程目标,明确学习目的)

- 熟悉常用的门窗种类;
- 熟悉检测设备的相关原理及操作;
- 选择一种窗户,并按相关规程操作;

2) 外窗物理性能的概念及检测方法、检测标准(进行实验前,操作界面弹出相关概念,对概念进行复习之后,再对概念进行考察,强化学生对概念的理解):

- 气密性能概念:

外窗在正常关闭状态时,阻止空气渗透的能力。

检测方法:检测试件的气密性能,以在10Pa压力差下的单位缝长空气渗透量或单位面积空气渗透量进行评价。

- 水密性能的概念:

外窗正常关闭状态时,在风雨同时作用下,阻止雨水渗透的能力。

检测方法:检测方法分为稳定加压法和波动加压法,工程所在地为热带风暴和台风地区的工程检测,应采用波动加压法;定级检测和工程所在地为非热带风暴和台风地区的工程检测,可采用稳定加压法。已进行波动加压法检测可不再进行稳定加压法检测。

- 抗风压性能的概念:

外窗正常关闭状态时在风压作用下不发生损坏(如:开裂、面板破损、局部屈服、粘结失效等)和五金件松动,开启困难等功能障碍的能力。

检测方法:

- 变形检测

检测试件在逐步递增的风压作用下,测试杆件相对面法线挠度的变化,得出检测压力差 P_1 。

- 反复加压检测

检测试件在压力差 P_2 (定级检测时)或 P_2' (工程检测时)的反复作用下,是否发生损坏和功能障碍。

- 定级检测或工程检测

检测试件在瞬时风压作用下,抵抗损坏和功能障碍的能力。

定级检测是为了确定产品的抗风压性能分级的检测,检测压力差为 P_3 ;

工程检测是考核实际工程的外门窗能否满足工程设计要求的检测,检测压力差为 P_3' 。

- 执行标准: 建筑外窗气密性能分级及检测方法 GB/T7106-2008

3) 实验中的注意事项(正式进入实验之前,操作界面弹出注意事项,减少学生操作中的失误,此部完成后跳出问题选项,学生回答正确后进行下一步操作)

定级检测时,反复加压检测:检测压力从零升至 P_2 后降为零, $P_2=1.5P_1$,且不宜超过3000pa,反复5次。安全检测:检测压力从零升至 P_3 后降至零, $P_3=2.5P_1$ 。

工程检测时,反复加压检测:当工程设计值小于2.5倍 P_1 时以0.6倍工程设计值进行反复加压检测。

- 安全检测:当工程设计值 P_3' 小于或等于 $2.5P_1$ 时才按工程检测进行。压力加至工程设计值 P_3' 后降至零,再降至 $-P_3'$ 后升至零。

以上为一樘窗实验步骤,按照以上步骤重复实验另外两樘窗。三樘窗试验全部结束后进行结果判定。

4) 虚拟仿真实验操作步骤



图18 门窗三性测定实验室

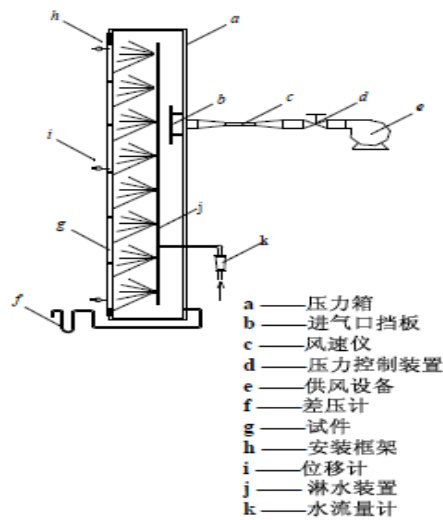


图19 门窗检测系统的各部件功能

步骤一：进入虚拟仿真实验室，熟悉实验设备（界面中弹出门窗物理性能检测系统，然后对设备进行介绍，让学生了解操作设备）

步骤二：准备测试工具了解测试标准（界面中出现所要使用的工具并介绍其使用功能）

工具：卷尺、透明胶带、大气压表、温度计

步骤三：检查窗户试件（通过鼠标滑动，查看窗户试件）

检查检测窗五金件是否齐全，安装是否牢固，试件应为按所提供图样生产的合格产品或研制的试件，不得有多余的零配件和采用特殊的组装工

艺或改善措施。

步骤四：测量试件的尺寸，型材厚度，窗的高度、宽度并计算出面积（通过相应的选项进行点击，然后动画演示相关操作，并记录相关数据）

- 测量型材厚度；
- 测量开启扇的缝长、测点间距以及最大玻璃的尺寸。

步骤五：把试件上所有镶嵌缝用胶带密封好（用鼠标点击窗户镶嵌缝，选择工具中的胶带，进行密封，完成此步骤后出现问题，回答选择密封的工具）

步骤六：开启扇的缝隙需开关窗扇5次以后再密封好。（鼠标点击门窗的开启扇，进行开关操作，连续进行五次。然后选择工具中的密封材料进行密封。此处完成后对开关窗次数进行考察）

步骤七：试件的安装（此步骤完成后对操作中的一些问题进行考察，如用胶带密封的位置，回答正确进入下一步）

将实验设备调整好对应试验窗的高宽尺寸，并将实验设备可能有缝隙的地方用胶带密封严密。

试件与安装框架之间的连接应牢固并密封，安装好的试件要求垂直，下框要求水平，下部安装框不应高于试件室外侧排水孔，不应因安装而出现变形。此步骤用鼠标选中窗户试件，然后放到检查设备上）

步骤八：启动检测设备（试件安装完成后，选择启动设备，弹出操作界面）

打开桌面上的“窗检仪”→单击“数据”，选择“填写数据”，→选择图标“气密性”，填写相应的数据，填完后再选择图标“水密性”填写相应的数据，填完后选择按钮“抗风压性”填写相应的数据，填写完后单击确定。（启动设备时首先要将气密性，水密性，抗风压性能的试样信息填写完整）

步骤九：门窗三性测定虚拟仿真模拟实验-气密性检测，实验前记录环境温度及

室内大气压。

步骤十：正向预备加压

分为三次压力脉冲，压力差绝对值为500Pa，加载速度为100Pa/m，压力稳定作用时间为3秒，泄压时间不少于1秒。

单击“检测”，选择按钮“正压预备加压” →单击按钮“开始” 检测设备将施加三个压力脉冲，待压差回零后，将试样上所有可开启部分开关5次，最后关紧。（点击门窗可开关部位，进行五次开关操作）

步骤十一：正向附加空气渗透量检测

检测前将试件可开启部分用胶带密封严实，按照50Pa-100Pa-150Pa-100Pa-50Pa的顺序依次加压，每级压力作用试件时间约为10秒。

单击按钮“正压附加渗透量” →单击按钮“开始”，设备开始对正压附加渗透量进行检测。

实验结束后，撕开试件开启扇的密封胶带，开关可开启部分五次并夹紧。（点击门窗可开关部位，进行五次开关操作）

步骤十二：负向预备加压（方法同正向预备加压）

分为三次压力脉冲，压力差绝对值为500Pa，加载速度为100Pa/m，压力稳定作用时间为3秒，泄压时间不少于1秒。选择“负压预备加压” →单击按钮“开始” 待压力回零后，将试件上所有开启部分，开关五次最后夹紧。（点击门窗可开关部位，进行五次开关操作）

步骤十三：负向附加空气渗透量检测，方法同正向附加空气渗透量检测

检测前将试件可开启部分，用胶带密封严实，按照负50Pa-负100Pa-负150Pa-负100Pa-负50Pa，顺序依次加压。单击按钮“负压附加渗透量” →单击按钮“开始”，设备开始对负压附加渗透量进行检测。

步骤十四：正向总渗透量检测

检测前应去除试件上所有的密封胶带，然后开关可开启部位五次并夹紧（点击门窗可开关部位，进行五次开关操作），先进行正向预备加压，结束后开关可开启部位五次并夹紧（点击门窗可开关部位，进行五次开关操作），进行正向总空气渗透量检测，加压顺序同正向附加空气渗透量。单击按钮“正压总渗透量” →单击按钮“开始” 设备开始对正压总渗透量进行检测。

步骤十五：负向总渗透量检测

检测前应去除试件上所有的密封胶带，然后开关可开启部位五次并夹紧（点击门窗可开关部位，进行五次开关操作），先进行负向预备加压，结束后开关可开启部位五次并夹紧（点击门窗可开关部位，进行五次开关操作），进行负向总空气渗透量检测，加压顺序同负向附加空气渗透量。

单击按钮“负压总渗透量” →单击按钮“开始” 设备开始对负压总渗透量进行检测。

步骤十六：以上为一樘窗实验步骤，按照以上步骤重复实验另外两樘窗。三樘窗试验全部结束后进行结果判定。

步骤十七：检测值的处理（此部分实验结束后，弹出实验结果计算，让学生知道计算过程，然后根据门窗气密性能分级表，选择门窗的气密性能）：

分别计算出升压和降压过程中在 100 Pa 压差下的两个附加空气渗透量测定值的平均值 \bar{q}_f 和两个总渗透量测定值的平均值 \bar{q}_t ，则窗试件本身 100 Pa 压力差下的空气渗透量 q_t (m³/h)即可按式(1)计算：

$$q_t = \bar{q}_t - \bar{q}_f \quad \dots\dots\dots(1)$$

然后，再利用式(2)将 q_t 换算成标准状态下的渗透量 q' (m³/h)值。

$$q' = \frac{293}{101.3} \times \frac{q_t \cdot P}{T} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中：

q' ——标准状态下通过试件空气渗透量值，m³/h；

P ——试验室气压值，kPa；

T ——试验室空气温度值，K；

q_t ——试件渗透量测定值，m³/h。

将 q' 值除以试件开启缝长度 l ，即可得出在 100 Pa 下，单位开启缝长空气渗透量 q'_1 [m³/(m·h)]

表1 建筑外门窗气密性能分级表

| 分 级 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------|
| 单位缝长 分级指标值 q_1 / [m ³ / (m·h)] | 4.0 ≥ q_1 >3.5 | 3.5 ≥ q_1 >3.0 | 3.0 ≥ q_1 >2.5 | 2.5 ≥ q_1 >2.0 | 2.0 ≥ q_1 >1.5 | 1.5 ≥ q_1 >1.0 | 1.0 ≥ q_1 >0.5 | q_1 ≤ 0.5 |
| 单位面积 分级指标值 q_2 / [m ³ / (m ² ·h)] | 12 ≥ q_2 >10.5 | 10.5 ≥ q_2 >9.0 | 9.0 ≥ q_2 >7.5 | 7.5 ≥ q_2 >6.0 | 6.0 ≥ q_2 >4.5 | 4.5 ≥ q_2 >3.0 | 3.0 ≥ q_2 >1.5 | q_2 ≤ 1.5 |

步骤十八：门窗三性测定虚拟仿真模拟实验-水密性能检测-实验前将试件可开启

部位开关五次并夹紧（点击门窗可开关部位，进行五次开关操作）

步骤十九：待气密性检测完后，进行水密性能检测，在检测前先将水闸打开。预

备加压打开试验设备后面的循环水阀。（鼠标选择检测设备中的水闸，并打开）

步骤二十：观察试件内部试验设备对应的喷水口

步骤二十一：开启对应的喷水口的开关（通过观察内部的喷水口编号，选择相应的喷水口并打开）

步骤二十二：将试件可开启部位开关5次并夹紧（点击门窗可开关部位，进行五次开关操作）

步骤二十三：选择图标“水密性” →单击按钮“预备加压”单击按钮“开始”，启动水泵，进行淋水试验

步骤二十四：待预备加压完后选择“稳定加压” →单击按钮“开始”，在检测中，当有水持续喷溅出试件界面时单击图标“▲”，当有水持续流出试件界面时单击图标“●”，设备停止，检测完毕后关闭水闸。

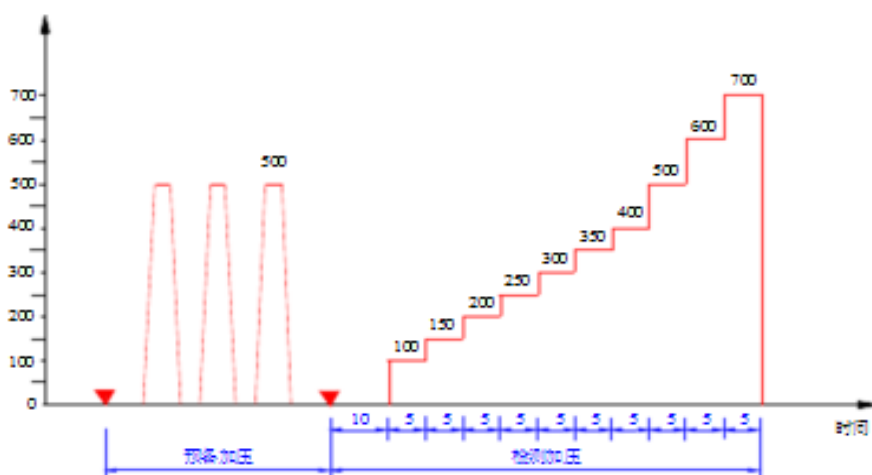


图20 加压顺序

步骤二十五：预备加压：施加三个压力脉冲。压力差值为500Pa。加载速度约为100Pa/s, 压力稳定作用时间为3S, 泄压时间不少于1S。待压力差回零后，将试件所有可开启部分开关5次（点击门窗可开关部位，进行五次开关操作），最后关紧；

淋水量为 $2L/(m^2 \cdot min)$ ，并根据试件面积计算出淋水量（此部分给出计算公式，学生填写结果，然后进行下一步）。

步骤二十六：调整淋水量表，持续十分钟。（选择检测设备上的淋水表，时间设

置为10分钟)

进行雨水加压检测，定级检测时，逐级加压至出现严重渗漏为止。工程检测时，直接加压至水密性能指标值，压力稳定作用时间为15分钟或产生严重渗漏为止。在逐级加压持续作用过程中，观察并参照渗漏状态符号表记录渗漏状态及部位。（弹出记录表格，仔细观察设备内的情况，并记录）

表2 渗漏状态符号表

| 渗漏状态 | 符号 |
|---------------------------------------|----|
| 试件内侧出现水滴 | ○ |
| 水珠连成线，但未渗出试件界面 | □ |
| 局部少量喷溅 | △ |
| 持续喷溅出试件界面 | ▲ |
| 持续渗出试件界面 | ● |
| 注1：后两项为严重渗漏 注2：稳定加压和波动加压检测结果均采用此有。 | |

步骤二十七：以上为一樘窗实验步骤，按照以上步骤重复实验另外两樘窗。三樘窗试验全部结束后进行结果判定。

步骤二十八：定级指标值的确定

取三樘检测值的算术平均值。如果三樘检测值中最高值和中间值相差两个检测压力等级以上时，将该最高值降至比中间值高两个检测压力等级后，再进行算术平均。如果3个检测值中较小的两值相等时，其中任意一值可视为中间值。

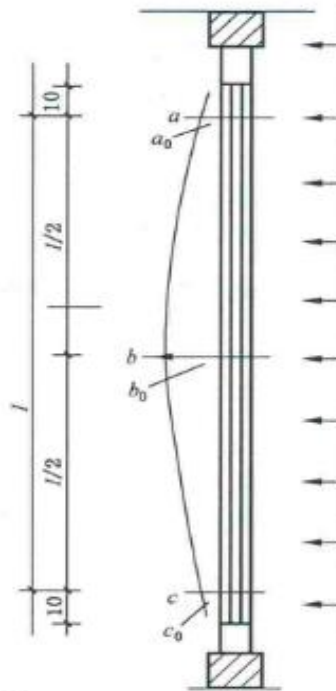
表3 建筑外门窗水密性能分级表

单位帕

| 分 级 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|
| 分级指标 ΔP | $100 \leq \Delta P < 150$ | $150 \leq \Delta P < 250$ | $250 \leq \Delta P < 350$ | $350 \leq \Delta P < 500$ | $500 \leq \Delta P < 700$ | $\Delta P \geq 700$ |
| 注：第6级应在分级后同时注明具体检测压力差值。 | | | | | | |

步骤二十九：门窗三性测定虚拟仿真模拟实验-抗风压性能实验-试验前将试件可开启部位，开关五次并关紧（点击门窗可开关部位，进行五次开关操作）

步骤三十：安装位移传感器（用鼠标选择位移传感器，并点击相应的安装位置，即完成安装）将三个位移传感器分别布置在测试杆件上端点向下10mm处、中点处、下端点向上10mm处。



注： a_0, b_0, c_0 ——三测点初始读数值(mm)；
 a, b, c ——三测点在压力差作用过程中的稳定读数值(mm)；
 l ——测试杆件两端测点 a, c 之间的长度(mm)。

图21 测点布置

步骤三十一：待水密性检测完后进行抗风压检测，检测前先安装好位移计，检查做水密性时开的泄水孔是否关闭。然后选择“正压预备加压” →

单击按钮“开始”。

步骤三十二：待正压预备加压完毕后选择“正压变形检测”，单击按钮“开始”。

开始正向变形检测并记录+P1值。

步骤三十三：再依次开始负向预备加压。

步骤三十四：待负压预备加压完毕后选择“负压变形检测”，单击按钮“开始”。

负向变形检测并记录-P1值。

步骤三十五：负变形检测结束后，去除安装好的位移传感器（鼠标点击位移传感器，进行去除）

步骤三十六：选择“正压反复加压检测”，单击按钮“开始”。开始正向反复加压检测并开始记录+P2值，压力值为+P1值的1.5倍。

步骤三十七：正向反复加压检测结束后，将试件可开启部位开关5次并夹紧（点击门窗可开关部位，进行五次开关操作）

步骤三十八：选择“负压反复加压检测”，单击按钮“开始”。进行负向反复加压检测并开始记录+P2值，压力值为+P1值的1.5倍。

步骤三十九：负向反复加压检测结束后，将试件可开启部位开关5次并关紧（点击门窗可开关部位，进行五次开关操作），并记录实验过程中发生损坏和功能障碍的部位。

步骤四十：负向反复加压检测结束后单击按钮“开始”。进行正向安全检测，并记录+P3值，压力值为+P1值的2.5倍。

步骤四十一：结束后将试件可开启部位开关5次并夹紧（点击门窗可开关部位，进行五次开关操作）

步骤四十二：选择“负压安全检测”单击按钮“开始”。进行负向安全检测，并记录-P3值，压力值为-P1值的2.5倍。

步骤四十三：结束后将试件可开启部位开关5次并夹紧（点击门窗可开关部位，

进行五次开关操作), 以上为一樘窗实验步骤, 按照以上步骤重复实验另外两樘窗。三樘窗试验全部结束后进行结果判定。

步骤四十四: 待负压定级检测完毕后单击按钮“退出” → 单击图标保存数据, 将实验数据保存在相应的文件夹中。关闭检测系统, 在文件夹中找出本次试验原始数据表, 然后打印, 关闭设备电源。

门窗物理性能试验原始数据

| 检验编号 | | | | 委托编号 | | | | | |
|----------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|---|--------|------|------|---------------------------|
| 工程名称 | | | | | | | | | |
| 委托单位 | | | 成型日期 | | | | | | |
| 生产厂家 | | | 见证人员 | | | | | | |
| 见证单位 | | | 见证号码 | | | | | | |
| 使用部位 | | | 外墙 | | 检验性质 | 委托检验 | | | |
| 试件名称 | 中空玻璃平开窗 | 试样品种 | 塑钢窗 | 玻璃品种 | 钢化玻璃 | | | | |
| 型号规格 | 60型 | 试样尺寸 | 1200×1500 mm | 玻璃厚度 | 5+6A+5 mm | | | | |
| 密封方式 | 挤压成型 | 密封材料 | 橡胶条 | 五金配置 | 执手 | | | | |
| 开启缝长 | 3.1 m | 窗面积 | 1.6m ² | 收样日期 | | | | | |
| 试件来源 | 见证取样 | 代表批量 | 100 樘 | 试验日期 | | | | | |
| 检验设备 | 建筑门窗物理性能检测仪 | | | | | | | | |
| 检验依据 | GB/T7106-2008 | | | | | | | | |
| 检验环境 | ℃ | | 测试杆件两端点间距离 | | | 1080mm | | | |
| 设计值 | 气密性能 | ≥6级 | 水密性能 | / | 抗风压性能 | / | | | |
| 检验结果 | | | | | | | | | |
| 试件 编号 | 抗风压性能(P _a) | | | | 气密性能[m ³ /(m ² ·h)、m ² /(m ² ·h)] | | | | 水密性能 (P _a) |
| | P ₁ /P ₁ ' | P ₂ /P ₂ ' | P ₃ /P ₃ ' | 定级 值 | 正压 | | 负压 | | 检测值 |
| | q ₁ | q ₂ | -q ₁ | -q ₂ | | | | | |
| 1 | 1117 | 1676 | 2793 | 2793 | 0.70 | 1.36 | 0.56 | 1.09 | 400 |
| 2 | 1195 | 1793 | 2988 | 2988 | 0.65 | 1.26 | 0.68 | 1.33 | 400 |
| 3 | 1202 | 1803 | 3005 | 3005 | 0.61 | 1.18 | 0.73 | 1.41 | 400 |
| 定级值 | | 2793 | | | 0.6 | 1.3 | 0.7 | 1.3 | 400 |
| 定级 | | 4级 | | | 7级 | | 7级 | | 4级 |
| 检验结论 | 送检外窗抗风压性能属于 GB/T7106-2008 标准的 4 级; 气密性能正压属于 GB/T7106-2008 标准的 7 级, 符合设计要求; 负压属于 GB/T7106-2008 标准的 7 级, 符合设计要求; 水密性能属于 GB/T7106-2008 标准的 4 级。 | | | | | | | | |
| 备注 | | | | | | | | | |

审核:

检验:

步骤四十五: 试件经检测未出现功能障碍或损坏时, 注明±P₃值, 按±P₃中绝对值较小者定级。如果经检测, 试件出现功能障碍或损坏, 记录出现功能障碍或损坏的情况及发生的部位, 并以试件出现功能障碍或损坏所对应的压力差值的前一级分级指标值进行定级。

定级检测时, 以三试件定级值的最小值为该组试件的定级值。

表4建筑外门窗抗风压性能分级表

单位为千帕

| 分 级 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------|
| 分级指标值 P_3 | $1.0 \leq P_3$ <1.5 | $1.5 \leq P_3$ <2.0 | $2.0 \leq P_3$ <2.5 | $2.5 \leq P_3$ <3.0 | $3.0 \leq P_3$ <3.5 | $3.5 \leq P_3$ <4.0 | $4.0 \leq P_3$ <4.5 | $4.5 \leq P_3$ <5.0 | $P_3 \geq 5.0$ |
| 注：第9级应在分级后同时注明具体检测压力差值。 | | | | | | | | | |

5) 问题与思考（考察实验过程中的操作及细节问题，强化学生对实验操作的认知，考察学生的学习结果）

- 首先要了解外窗物理性能的定义，标准规范。
- 熟悉设备操作规程，出具报告。
- 进一步了解开启方式、型材、玻璃厚度不同的外窗在数据上的差异。
- 最后熟练试验操作，对每一个操作步骤所包含的原理都能够理解跟掌握。