



ICS 号

中国标准文献分类号

# 中国制冷空调工业协会标准

T/CRAA XXXX—2020

---

## 燃机空气过滤元件耐湿性能测试方法

Test method of water endurance for filter elements of Gas Turbine

（征求意见稿）

2020-XX-XX 发布

2020-XX-XX 实施

---

中国制冷空调工业协会 发布

# 重要声明

## 安全建议

本协会竭力推荐制冷空调产品或系统的设计、制造、安装、维修及保养执行国家认可的安全规范和标准。

作为行业协会，中国制冷空调工业协会力求在制定本协会标准时，采用当前的技术工艺水平和成熟有效的实践经验。但是，中国制冷空调工业协会不保证按照这些标准进行的任何实践无害或没有风险。

## 目次

前言.....	4
引言.....	5
1 范围.....	6
2 规范性引用文件.....	6
3 术语和定义.....	6
3.1 阻力和风量.....	6
3.2 过滤器.....	7
3.3 试验时间.....	7
3.4 其他.....	7
4 符号和代号.....	7
5 一般要求.....	8
6 试验条件.....	9
6.1 温度和湿度.....	9
6.2 空气.....	9
6.3 水质.....	9
7 试验台和试验设备.....	9
7.1 试验台.....	9
7.2 水雾发生器.....	10
7.3 加湿装置.....	11
7.4 集水槽.....	11
8 试验装置的确效.....	11
8.1 压力系统试验.....	11
8.2 气密性试验.....	11
8.3 风速均匀性.....	12
8.4 试验段空阻.....	13
8.5 湿环境稳定性.....	13
8.6 水雾浓度及沉降确效.....	13
8.7 确效要求汇总.....	13
8.8 设备维护.....	14
9 试验规程.....	14
9.1 受试过滤器的准备.....	14
9.2 初阻力.....	14
9.3 耐水雾性能试验规程.....	15
9.4 透水率.....	15
10 试验报告.....	16

10.1	一般要求.....	16
10.2	试验报告说明.....	16
10.3	性能报告汇总.....	16
10.4	水雾量与压降.....	17
10.5	标识.....	17
10.6	报告格式.....	17
附录 A	(资料性附录) 立式布置过滤器耐水雾性能试验 .....	18
附录 B	(资料性附录) 无湿平衡预处理过滤器耐水雾性能测试.....	20
附录 C	(资料性附录) 进气温度对阻力的修正与加湿量计算.....	22
附录 D	(资料性附录) 透水率测量 .....	23
附录 E	(资料性附录) 耐水雾试验报告.....	24
附录 F	(资料性附录) 其他说明.....	31
本标准编制单位	.....	32

## 前言

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本标准是第一次起草。

本标准由中国制冷空调工业协会提出并归口。

本标准负责起草单位：国电科学技术研究院有限公司。

本标准其他编制单位见“本标准编制单位”。

本标准主要起草人：刘志坦、张涛、蔡杰、周浩、王建华、郝洪亮、王凯、杨晓光、陈国文、陈鑫、林忠平、冯昕、苑凤珍、侯小龙、冷刘喜、孙剑、徐立昊、陈欣、付忠广、张磊、苏新国、陈轶群、卢骚、邵瑾荣、彭桂云、郝建刚、谢大幸、田鑫、刘江、杨勇、胡伟、邱振波、邱伟坤、吉杰、于天、于凯庆、陈毅、付宇、黄永衡、王文飞、朱鸿飞、严志远、李玉刚、张斌、王婷、曹炼博、徐泽鹏、袁新烨、张天清、张高强。

本标准于 20××年×月×日通过中国制冷空调工业协会技术委员会审查。

本标准于 20××年×月×日经中国制冷空调工业协会秘书长审核批准。

本标准由中国制冷空调工业协会标准法规部负责解释。

## 引言

在旋转式空气动力设备中，进气系统通常包含带有一大批过滤元件的过滤段。过滤段可能面临各种气候条件的挑战。遇到雨、雾、霾、高湿等环境，过滤器将其视为颗粒物而阻拦。过滤器带水，其性能可能漂移。若过滤器选型不当，过滤器可能因带水而阻力飙升，严重时导致故障停机。

空气动力设备的无故障运行，经常是用户的第一要求。而进气系统的过滤器遇水造成阻力飙升，经常是用户最担心的故障之一。在全球范围内，无论是内陆还是沿江、沿海地区，均发生过因雨雾、高湿导致的空气动力设备事故，即使在沿海的沙漠地带，也出现过因大雾造成的过滤器故障。

为了满足用户要求，评估过滤器的性能时，既要考虑过滤器的阻力、效率和容尘能力，还应考虑耐水雾能力，特别是高湿环境和雨雾频发环境下使用时。本标准给出一种过滤元件耐水雾性能的试验方法，用于评估实验室条件下过滤元件遇到水和雾时性能漂移的趋势。

本标准的试验结果可用于：

- 过滤器制造商开发产品；
- 过滤器用户筛选供货商；
- 滤材供货商研发耐水雾滤材。

本标准不仅适用于脉冲反吹式自清洁过滤元件，也适用于传统一般通风用过滤元件。

本标准给出的方法可重复、易操作、试验费用较低。

若只需要比较接近空气条件下同一实验室的试验数据，则可在常见的一般通风过滤器试验台上进行试验，许多过滤器实验室拥有那样的试验台，略加改造，即可进行试验。若需要对不同实验室的试验数据进行比较，则只能使用本标准规定的、带有空气湿度预处理的试验装置。

本标准是初次制定。

## 1 范围

本部分规定了燃气轮机和空压机等旋转式空气动力设备中进气过滤器耐水雾性能试验的一般要求、试验台、试验台确效、试验材料、试验规程和试验报告。

本部分适用于燃气轮机和空压机等旋转式空气动力设备中进气过滤器的耐水雾性能试验。

本试验仅适用于比较过滤器在实验室条件下的耐水雾性能。按照本部分的得出的性能试验结果，可以对实验室条件下受试样品的耐水雾性能进行排序，但不能定量地预测实际使用中的过滤器耐水雾性能以及使用寿命。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注明日期的文件，其随后所有修订单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准。但是，鼓励根据本标准达成协议的各方探讨是否使用这些文件的最新版本。凡是未注明日期的引用文件，其最新版本适用于本标准（包括增补）。

T/CRAA43×（IDT ISO 29464:2017） 空气及其他气体净化设备—术语

ISO 16890-1:2016 一般通风过滤器—第1部分：颗粒物综合过滤效率（ePM）技术要求和分级体系

ISO 16890-2:2016 一般通风过滤器—第2部分：计径效率和阻力的测量

ISO 29461-1 旋转式空气动力设备进风过滤系统-试验方法-第一部分：传统过滤元件

## 3 术语和定义

### 3.1 阻力和风量

#### 3.1.1 风量 airflow rate

单位时间内通过过滤器的空气体积。

除非特别指明，本标准中的“风量”为体积风量。

#### 3.1.2 额定风量 rated airflow

过滤器制造商标称的体积风量。

#### 3.1.3 试验风量 test airflow rate

试验中的体积风量。

#### 3.1.4 阻力 pressure drop

试验风量下过滤器两端的压力差。

特别地，对于圆筒形过滤器，过滤器的试验阻力包含了安装圆筒过滤器的挡板的阻力。

#### 3.1.5 初阻力 initial pressure drop

试验风量下干净过滤器的阻力。

#### 3.1.6 终阻力 final pressure drop

测定过滤性能过程达到的最大阻力。

**3.1.7 推荐试验终阻力 final test pressure drop-recommended**

试验方和委托方协议的，试验风量下终止试验的阻力。

**3.2 过滤器**

**3.2.1 受试过滤器 test to be tested**

将按本标准进行试验的过滤元件。

**3.2.2 过滤元件 filter element**

由过滤材料、支撑物及其与过滤器安装框架之间连接物所组成的结构。

**3.2.3 上游 upstream, U/S**

气流进入受试过滤器之前流经的系统区域。

**3.2.4 下游 downstream, D/S**

气流经过受试过滤器后流经的系统区域。

**3.2.5 静态过滤器 static filter**

不能借助脉冲反吹或其他手段清洁而全部或部分返回初始性能（阻力和效率），达到终阻力后需拆除更换的空气过滤器。

**3.2.6 脉冲反吹过滤器 pulse jet filter**

通常借助脉冲反吹来清洁，使其长期使用的空气过滤器。

**3.3 试验时间**

**3.3.1 推荐试验时长 test duration**

达到规定压差或其他终止条件的试验时间。

**3.4 其他**

**3.4.1 水雾 water fog**

空气和液态水滴的混合物。

**3.4.2 游离水质量浓度 water fog mass concentration**

单位体积空气中携带液态水的质量。

**3.4.3 饱和空气 saturated air**

对应温度和大气压下，空气中水蒸气含量达到最大值的湿空气。

**4 符号和代号**

本标准中使用了下述符号和缩略语

$T$	过滤器耐水雾性能试验时长，min
$T_{\text{tot}}$	试验终止时间，min
$\varphi$	相对湿度，%
$\varphi_{\text{u}}$	上游风道空气湿度，%



$\varphi_d$	下游风道空气湿度，%
$d_0$	环境空气含湿量，g/kg
$d$	饱和湿空气含湿量，g/kg
$c_{wm}$	游离水浓度，g/m <sup>3</sup>
$m_{wm,1}$	湿空气达到饱和时每小时水雾发生量，kg/h
$m_{wm,2}$	游离水雾每小时发生量，kg/h
$m_{wm}$	每小时水雾发生总量，kg/h
$m_{tot}$	总雾化水量，kg
$m_u$	过滤器上游集水量，kg
$m_p$	试验结束时透过受试过滤器水量，kg
$\eta_p$	透水率；
$t_0$	环境空气干球温度，℃
$t_{wb}$	环境空气湿球温度，℃
$t_u$	过滤器上游进气温度，℃
$t_d$	过滤器下游进气温度，℃
$\rho$	环境空气密度，kg/m <sup>3</sup>
$\rho_a$	过滤器上游空气密度，kg/m <sup>3</sup>
$\rho_s$	饱和湿空气密度，kg/m <sup>3</sup>
$q_v$	未加湿空气的体积流量，m <sup>3</sup> /s
$p$	环境大气压力，Pa
$p_a$	过滤器上游空气绝对压力，kPa
$p_w$	湿空气中水蒸气分压力，Pa
$p_{ws}$	饱和湿空气中水蒸气压力，Pa
$\Delta p_b$	试验风量下过滤器的初阻力，Pa
$\Delta p_f$	试验风量下过滤器的终阻力，Pa
$\Delta p_t$	喷雾开始后“ $T$ ”时刻过滤器在试验风量下的压差，Pa

## 5 一般要求

本标准给出了过滤元件耐水雾性能试验方法。

本标准部分不包括安装后整个过滤系统的性能测量，除非现场试验条件可以满足元件试验的各

种条件。

试验委托方或过滤器用户可以参考本试验结果，对多个候选过滤器的耐水雾性能进行排序。

## 6 试验条件

### 6.1 温度和湿度

试验室内环境和试验台引气相对湿度应介于 30%~70%之间，温度应介于 10℃~38℃之间（湿平衡预处理前）。

### 6.2 空气

室内和室外的空气均可用作试验空气源。试验条件应满足 6.1 条要求。当存在试验尘和游离水雾时，建议对排风进行过滤。

### 6.3 水质

试验用水质 pH 值应为 6~8，碱度 $\leq 50$  mg/l，全硬度 $\leq 70$  mg/l。

## 7 试验台和试验设备

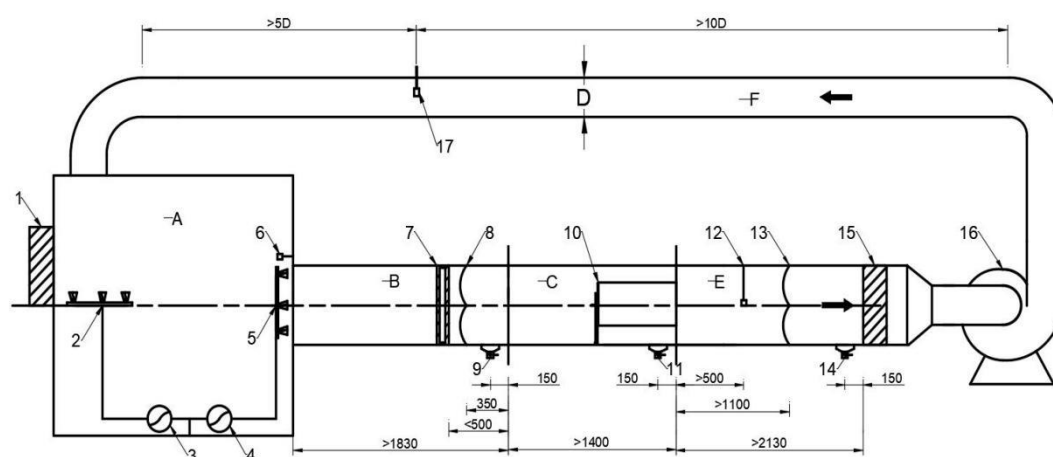
### 7.1 试验台

**7.1.1** 试验台中有几截正方形风道管段，除安装过滤器管段外，其他管段的名义内径应为 610 mm $\times$ 610 mm。安装过滤器的管段名义内径应在 616 mm~622 mm 之间。该管段的最小长度应为 1.5 m。

**7.1.2** 试验台可以在正压或负压下运行，推荐采用负压。如正压运行，喷雾段管道应做好密封措施防止水雾渗漏。试验用风机具备变频调节功能。

**7.1.3** 风道材料应导电并接地，应具有光滑的内表面，且具有足够的刚度，以保证在工作压力下不变形。为了观察过滤器和设备，有必要设置监视试验过程的观察窗，或在试验风道中局部采用玻璃等透明材料。

**7.1.4** 本试验需湿平衡预处理，试验台使用循环风，试验台布局见图 1。若试验台非循环风，参见附录 B。



- |   |                |    |            |
|---|----------------|----|------------|
| A | 试验台——静压间       | 7  | 水雾粒径测点（可选） |
| B | 试验台——上游管段      | 8  | 上游压力测点     |
| C | 试验台——受试过滤器安装管段 | 9  | 上游集水槽      |
| D | 试验台——回风管径      | 10 | 待测过滤器      |
| E | 试验台——下游管段      | 11 | 中游集水槽      |
| F | 试验台——回风管段      | 12 | 下游温湿度测点    |
| 1 | 高效过滤器          | 13 | 下游压力测点     |
| 2 | 加湿装置           | 14 | 下游集水槽      |
| 3 | 水量计量装置1        | 15 | 末端过滤器      |
| 4 | 水量计量装置2        | 16 | 变频风机       |
| 5 | 喷水雾装置          | 17 | 风量测点       |
| 6 | 上游温湿度测点        |    |            |

图 1 试验台布局

## 7.2 水雾发生器

**7.2.1** 水雾发生器的作用是在试验期间匀速地向受试过滤器发送水雾，本标准推荐气雾喷嘴发生器。

**7.2.2** 发生器产生的水雾颗粒直径由压缩空气和水流速度调节，直径范围在（5~30） $\mu\text{m}$ （体积平均粒径）的粒子数占比不低于总粒子数的 90%。

**7.2.3** 水雾流量由水泵转速精确控制，水流量偏差不应高于 3%。满足 8.6 水雾浓度及沉降检查要求。

**7.2.4** 可以选用任何与本文水雾发生器有相同试验效果的水雾发生装置，例如：超声波雾化、高压雾化、蒸汽雾化等装置。

### 7.3 加湿装置

加湿装置用于湿平衡阶段及实验过程中湿度的补偿，维持试验管道内湿度达到试验要求。可以选用装置包括超声波加湿器、喷雾器、蒸汽加湿器等，应满足 8.5 湿环境稳定性要求。

### 7.4 集水槽

集水装置用于收集试验过程中的积水，可用于试验台确效。

当委托方或用户关注过滤器透水率时，可以用资料性附录 D 中介绍的透水率测量。

## 8 试验装置的确效

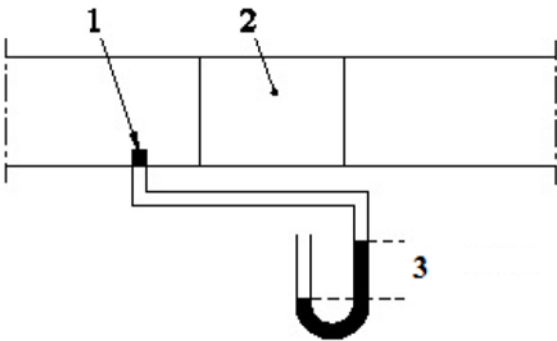
### 8.1 压力测量系统试验

#### 8.1.1 压力测量系统试验协议

使用经校准的压力测量仪器进行校准，或采用图 2 所示系统。仔细封堵试验台上的取压口，令采样管路承受 5 000 Pa 的负压。断开压力传感器，逐一对采样管进行负压试验。

对于系统上每个压力传感器，其最大承压应符合供应商的规定。本试验逐一对试验台所连接所有压力采样管进行试验。

注：压力测量系统试验检查试验台上压力测量系统的管路、接头及设备，验证它们不会对风量和阻力测量准确度产生明显影响。



- 1 封堵取压口；
- 2 试验段；
- 3  $\Delta p = 5\,000\text{ Pa}$

图 2 压力测量系统试验

#### 8.1.2 压力测量系统试验结果

对于每个采样管或传感器连接口，试验持续 30 s，其间压力值保持不变。

### 8.2 气密性试验

#### 8.2.1 一般要求

试验台可为正压或负压，这取决于风机的位置。正压时（即风机位于试验风道上游），水雾可能渗出至实验室，负压时，外界空气可能会渗入试验段。正压或负压，如果气密性不好，都可能影响试验结果。

8.2.2 气密性试验协议

非循环状态下，在截面尺寸为 610 mm×610 mm 的起始风道段和紧靠排风过滤器处，用钢板加密封垫或其他适当手段封堵试验风道。也可以用同样方法封堵更长的风道。若封堵更长风道，整个系统的气密性要求不变。为了估计气密性试验所需压力，不安装密封装置和过滤器，测量上游管道静压环与实验室内差压，风量分别调整为 0.236 m³/s、0.944 m³/s、1.416 m³/s。在实测压力基础上加 250 Pa，视为实际过滤器试验时的压力。

8.2.3 气密性试验结果

仔细测量进入试验风道的空气流量，直至风道压力达到最低试验压力。测量并记录维持风道压力恒定时的流量，这个流量就是漏风率。重复试验 3 次。漏风率不应超过试验风量的 1.0%。本标准的最高试验压力为 2 000 Pa。为了保证人身安全，应避免试验台超压。

8.3 风速均匀性

8.3.1 风速参数

在截面尺寸为 610 mm×610 mm 的风道断面上，测量均匀分布的 9 个点（见图 3）的风速，以确定试验台的风速均匀性，测量面位于上游段紧靠受试过滤器处，试验时试验台中无受试过滤器。均匀性试验时的风量分别为 0.236 m³/s、0.944 m³/s、1.416 m³/s。测量仪器的准确度不差于±10%，分辨率不差于 0.05 m/s。

注：若试验台的风速不均匀，过滤器阻力和效率试验结果的波动会偏大。

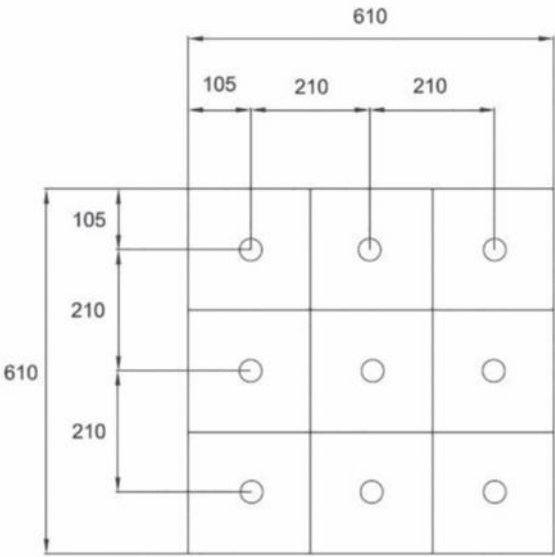


图 3 风速均匀性和气溶胶混匀性测点（单位：mm）

8.3.2 风速试验协议

在图 3 中的每个测点，1 分钟内读取间隔相等的不少于 10 个读数，取平均值。在给定风量下，重复上述测量，共测量 3 轮。求出每个测点 3 组测量的平均值。

8.3.3 风速试验结果

每种风量下，9 各点风速平均值的变异系数 CV（标准差与平均值之比）均应小于 10%。变异系数计算如下：

$$CV = \frac{\delta}{mean}$$

式中：  $\delta$  9 个测点平均值的标准差；  
 $mean$  9 个测点的平均值。

#### 8.4 试验段空阻

##### 8.4.1 试验段空阻试验协议

试验段无过滤器，调整风量至  $0.944 \text{ m}^3/\text{s}$ ，记录此时试验段的空阻力。

##### 8.4.2 试验段空阻试验结果

试验段实测空阻应小于  $5 \text{ Pa}$ 。若空阻高于此值，应对系统进行维护。

**注：**上下游采样点之间有段距离，空气在该距离的流动可能产生微小压损，这个压损不包含为固定过滤器而采用的硬件设施的压损。

#### 8.5 湿环境稳定性

**8.5.1** 温度测量仪器不准确度应不大于  $\pm 1^\circ\text{C}$ ；相对湿度测量仪器不准确度应不大于  $\pm 2\%$ ；温度和相对湿度的测量仪器应每年校准。

**8.5.2** 试验风量  $3\ 400 \text{ m}^3/\text{h}$ ，开启加湿装置，直到上游及下游管段风道温湿度测点湿度均不低于  $90\%$ 。

**8.5.3** 每  $5 \text{ min}$  记录一次上、下游管段温湿度，试验时间共计  $30 \text{ min}$ 。

**8.5.4** 试验期间的下游管段湿度应始终不低于  $90\%$ ，湿度低于  $90\%$  的记录不应多于 3 次。

**8.5.5** 试验期间风道应无水滴出。

**8.5.6** 试验结束后，收集后管段积水总量小于  $50 \text{ g}$ 。（整个过程加湿设备实际加湿量与计算值误差不超过  $\pm 3\%$ ，加湿量估算公式见附录 C）。

#### 8.6 水雾浓度及沉降确效

**8.6.1** 本试验用以确保水雾浓度在过滤器受试段满足本标准要求。

**8.6.2** 称量末端过滤器初始重量，开启加湿循环，风量设为  $3\ 400 \text{ m}^3/\text{h}$ ，上、下游湿度达到  $90\%$ 。

**8.6.3** 开启喷水雾装置，水雾浓度控制为  $6 \text{ g}/\text{m}^3$ ，持续  $30 \text{ min}$ ，期间上游湿度应不小于  $90\%$ 。

**8.6.4**  $30 \text{ min}$  后关闭喷水雾装置，统计加水量及称量末端过滤器重量。

**8.6.5** 将上游段积水收集至上游集水槽，上游集水槽内积水重量应小于发雾水量的  $5\%$ 。

**8.6.6** 受试过滤器安装段、下游段积水重量与末端除水装置重量增量的总和应不低于发雾水量的  $90\%$ 。

#### 8.7 确效要求汇总

试验设备的确效要求见表 1。

表 1 确效要求汇总

项目	条款	要求
压力系统试验	8.1	维持不变
气密性试验	8.2	$<1\%$

风速均匀性	8.3	CV<10%
试验段空阻	8.4	<5 Pa
湿环境稳定性	8.5	湿度低于 90%的记录不应多余 3 次
水雾浓度及沉降检查	8.6	上游积水重量小于发雾水量的 5%

## 8.8 设备维护

试验设备的维护频率见表 2。

表 2 维护频率

维护项目	条款	每次 试验	每月	每年 4 次	每年	每次可能改变 性能的变动
项目	8.1			√		√
压力系统试验	8.2					√
气密性试验	8.3					√
风速均匀性	8.4	√				√
试验段空阻	8.5			√		√
湿环境稳定性	8.6			√		√
注：所有设备都要定期清洁，以维持试验系统的性能。						

## 9 试验规程

### 9.1 受试过滤器的准备

**9.1.1** 按现场使用情况或委托方建议安装过滤器。针对筒式过滤器，按现场安装方向安装过滤器，进行立式布置试验时，应使用专门的立式试验段，参见资料性附录 A。

**9.1.2** 安装前应对过滤器进行称重，精确到克。

**9.1.3** 过滤器及各种正常安装的框架应与风道良好密封，以防止渗漏。目测密封情况，不应出现可见渗漏。

**9.1.4** 若过滤器的安装需要额外安装附件，试验时应使用与现场应用性能相同的附件。

**9.1.5** 若因某种原因，标准试验条件下无法试验单只过滤器，可将两只或更多同型号或同类型过滤器拼装在一起，拼装成的过滤器不允许出现因拼装产生的渗漏。对附件使用情况应作记录。

### 9.2 初阻力

在试验风量下测定湿平衡处理前的过滤器阻力。对于圆筒式过滤器，阻力测量中包含了固定装置的阻力。

若空气密度超出  $1.16 \text{ kg/m}^3 \sim 1.24 \text{ kg/m}^3$  范围，则将阻力读数修正到空气密度  $1.20 \text{ kg/m}^3$  的降压，该密度对应的标准空气条件为：温度  $20^\circ\text{C}$ ，大气压力  $101.3 \text{ kPa}$ ，相对湿度 50%。

（源于 ISO 16890-2 附录 B）

### 9.3 耐水雾性能试验规程

#### 9.3.1 一般要求

**9.3.1.1** 试验风量为制造商标称的额定风量或与试验委托方约定的风量。若无法获得额定风量或没有约定试验风量时,静态过滤器推荐试验风量  $3\,400\text{ m}^3/\text{h}$ ,单筒过滤器推荐试验风量  $1\,000\text{ m}^3/\text{h}$ ,双筒过滤器推荐试验风量为  $2\,500\text{ m}^3/\text{h}$ 。

**9.3.1.2** 喷雾前进行规定时间的湿平衡预处理,进入受试过滤器的空气相对湿度大于 90%,湿平衡处理后开始水雾试验。

对于没有湿平衡预处理装置的试验台,若委托方认可,可以不进行湿平衡预处理,但应在试验报告解释中注明。没有湿平衡处理的简化试验台及试验规程见资料性附录 B。

**9.3.1.3** 喷雾前进行规定时间的湿平衡预处理,使进入受试过滤器的空气相对湿度大于 90%,湿平衡处理后开始水雾试验。

对于没有湿平衡预处理装置的试验台,若委托方认可,可采用资料性附录 B 中介绍的简化试验但应在试验报告中注明。

**9.3.1.4** 采用满足 8.6 条件的水雾进行试验。试验中,送风和喷雾进程不应中断,直至耐水雾试验结束。

#### 9.3.2 湿平衡预处理

**9.3.2.1** 在试验风量下,调整加湿设备,使得受试过滤器上游空气相对湿度不低于 95%时,开始计时。

**9.3.2.2** 湿平衡处理时长不少于 60 min,试验期间试验风道内的相对湿度应保持不低于 90%。

**9.3.2.3** 记录过滤器在湿平衡处理开始和结束时刻及平均分布的 3 个以上中间时刻的阻力,若过滤器阻力变化明显,应减小记录间隔,增加记录次数,以给出平滑的阻力-时间曲线。

#### 9.3.3 水雾试验

**9.3.3.1** 水雾试验应在湿平衡预处理结束后立即进行。

**9.3.3.2** 保持试验风量,在接近饱和空气基础上,开启水雾发生装置,使得试验空气携带的液滴(游离水)浓度为  $6.0\text{ g/m}^3$ 。

**9.3.3.3** 观察并记录受试过滤器的阻力。相邻阻力-时间数据记录点的时间间隔应不大于 5 min,阻力增量应不大于 20 Pa,过滤器阻力上升较快时应增加数据记录点。

**9.3.3.4** 当阻力达到试验终阻力,或试验时长达到预定最大时长时,停止发雾,终止试验。

试验终阻力为委托方与实验室约定的终阻力,若没有约定,本标准推荐的喷雾持续时长为 180min,推荐的试验终阻力为 1 000 Pa,以先到者为准。

### 9.4 透水率

若试验委托方关注过滤器在整个试验过程中的透水情况,可以收集过滤器前后的积水,并按资料性附录 D 进行相关估算。



## 10 试验报告

### 10.1 一般要求

试验报告中应包括试验结果说明，试验方法介绍，以及与标准方法的不同之处。报告中应给出水雾发生装置类型。报告中应包含以下内容：

- 试验报告解释；
- 结果汇总；
- 风量和阻力实测数据及结果。

试验结果报告应采用本标准所用试验报告格式。没必要使用与本标准范例完全相同的报告格式，但报告中应包含所示项目。每个表格和曲线图中最好都包含以下内容：

- 过滤器类型；
- 本标准号；
- 试验编号；
- 试验风量。

### 10.2 试验报告说明

**10.2.1** 试验报告和汇总报告后面应有简单的说明，这份说明在签发的报告之后，文件占一页纸。

**10.2.2** 针对那些不熟悉规程的读者，这里给出试验规程简介。这份简介的目的是帮助读者了解并解释试验报告或试验汇总表中的试验结果。

**10.2.3** 使用现场的气候条件和颗粒物特性千差万别，试验耐水雾性能不能用于定量计算实际现场过滤器的使用状况。试验结果可能用于过滤器的性能比较和分级，但应记住，现场实际条件决定着过滤器的现场性能。

### 10.3 性能报告汇总

性能报告汇总部分应包含以下信息：

- 概况
  - 1) 试验机构；
  - 2) 试验日期；
  - 3) 实验员姓名；
  - 4) 报告编号；
  - 5) 请求试验者；
  - 6) 试件提交者；
  - 7) 试件收到日期；
- 试件制造商数据
  - 8) 试件说明；
  - 9) 类型、识别信息、标识；
  - 10) 制造商；
  - 11) 构造的物理描述；

- 12) 尺寸;
  - 13) 滤材种类;
  - 14) 试件上空气流入与流出侧的照片;
  - 15) 正确的过滤器识别所需其他附加信息
  - 试验数据
    - 16) 试验风量;
    - 17) 试验空气温度、相对湿度、大气压力;
    - 18) 水雾浓度;
    - 19) 初阻力和试验终阻力;
    - 20) 水雾穿透率(参考);
    - 21) 湿平衡及雾化状态下过滤器阻力随时间变化曲线;
  - 声明
    - 22) 试验结果只涉及所测项目;
    - 23) 所得性能试验结果不能用于定量预测使用中的过滤器性能。
- 汇总报告中,数据可圆整至整数。

#### 10.4 水雾量与压降

报告中应以表格形式罗列所需的雾化水量和压降测量的所有数据和结果。汇总页中给出干净过滤器的阻力曲线。报告的雾化水量为实测喷量,初阻力是按第 9.2 条规定的空气密度  $1.20 \text{ kg/m}^3$  修正后的阻力。修正按附录 C 的说明进行。

#### 10.5 标识

过滤器应带有识别标签,标签上需给出以下信息:

- 制造商名称,商标或其他识别制造商的标识;
- 过滤器类型和参考号;
- 本标准号;
- 过滤器的试验风量。

若无法辨别在通风管道中的正确安装方式,有必要增加正确安装方式的标识(如“朝上”、“气流方向”)。标识应清晰可见,并尽可能持久。

#### 10.6 报告格式

参考资料性附录 E。

附录 A（资料性附录）立式布置过滤器耐水雾性能试验

A.1 概述

在实际使用中，滤筒式过滤元件有卧式和立式两种布置。

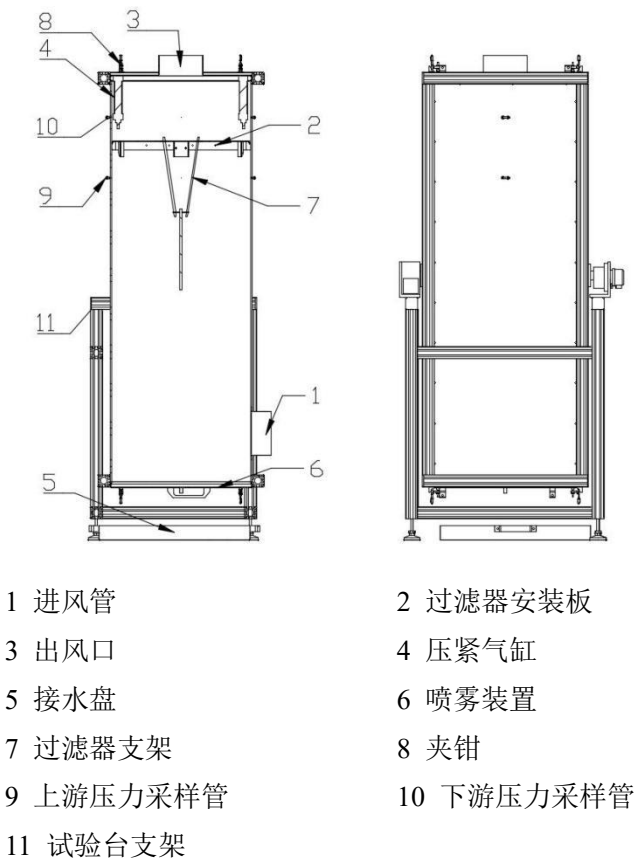
经验表明，同样过滤元件、同样使用环境，立式布置比卧式更耐水雾胁迫。

经验表明，不同滤筒比较时，若试验方法相同，不管卧式还是立式，滤筒间耐水雾性能的排序不变。

本试验用于立式安装的筒式过滤器耐水雾性能测试，以方便部分用户的需求。

A.2 试验方法

A.2.1 设备



A.1 立式段试验台示意图

试验台立式试验段如图 A.1 所示。除非特别说明，立式试验台除了样品安装段外的其他部分均与本标准中试验台一致。

A.2.2 受试过滤器的准备

按委托方的建议立式安装过滤器，在与试验空气平衡后称重，精确到克。若过滤器的安装需要额外安装附件，试验时应使用与现场应用性能相同的附件。过滤器及各种正常安装的框架应与风道良好密封，以防止渗漏。

注：本实验方法不检测过滤器密封机制。

### **A.2.3 试验条件**

试验条件应符合本标准第 6 章的要求。

### **A.2.4 初阻力**

初阻力应符合本标准第 9.2 条的要求。

### **A.2.5 耐水雾试验过程**

水雾试验应符合本标准第 9.3 条的要求。

### **A.2.6 试验报告**

试验报告符合本标准第 10 章。报告编制时，应在备注中注明过滤器为立式布置。

附录 B（资料性附录）无湿平衡预处理过滤器耐水雾性能测试

B.1 概述

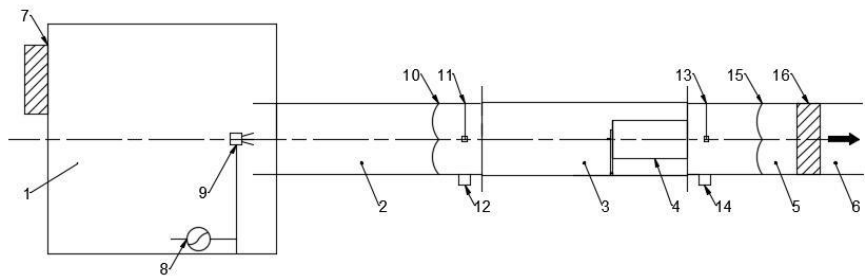
对于不具备合适的湿平衡预处理手段的试验台，若委托方认可，可以不进行湿平衡预处理，但应在试验报告解释中注明。本附录规定了无湿平衡预处理过滤器耐水雾性能试验的试验台及试验规程。

本附录方法得出的数据或结论，不应直接用于不同试验室间的对比。

B.2 试验方法

B.2.1 设备

试验台如图 B.1 所示。该试验台不具备合适的加湿设备或非循环进风方式，除非特别说明，试验台的其他部分与标准第 7 章相同。



- |                 |                |
|-----------------|----------------|
| 1 静压室           | 9 喷水雾装置        |
| 2 试验台-上游管段      | 10 上游压力测点      |
| 3 试验台-受试过滤器安装管段 | 11 温湿度测点-放入静压室 |
| 4 受试过滤器         | 12 集水槽 1-在过滤器前 |
| 5 试验台-下游管段      | 13 温湿度传感器      |
| 6 试验台-末端过滤器后部管段 | 14 集水槽 2-在过滤器后 |
| 7 高效过滤器         | 15 下游压力测点      |
| 8 水量计量装置        | 16 末端过滤器       |

B.1 试验台布局

B.2.2 受试过滤器准备

试验样品的准备应符合本标准 9.1 的要求

B.2.3 试验条件

试验条件应符合本标准第 6 章的要求。

B.2.4 初阻力

初阻力测试应符合本标准 9.2 的要求。

B.2.5 水雾试验

保持试验风量，调节水雾发生设备喷雾量  $m_{wm}$ ，使试验空气饱和并额外携带浓度为  $c_{wm}$  的液滴进行水雾试验。此时进入试验风道的介质为饱和空气与浓度为  $c_{wm}$  游离态水雾的气液两相流体。本标准推荐液滴浓度为  $6 \text{ g/m}^3$ 。

加湿总量  $m_{wm}$ ：

$$m_{wm} = m_{wm,1} + m_{wm,2}$$

$$m_{wm,2} = \frac{c_{wm}}{1000} q_v$$

式中：

$m_{wm}$  每小时雾化水流量，kg/h；

$m_{wm,1}$  使试验空气饱和的雾化水流量，kg/h。 $m_{wm,1}$  计算式见资料性附录 C，此时  $\phi$  取值 100%。

$m_{wm,2}$  使携带液滴达到一定浓度时的雾化水流量，kg/h；

$q_1$  未加湿空气的体积流量， $\text{m}^3/\text{h}$ ；

$c_{wm}$  游离水浓度， $\text{g/m}^3$ ；

测量记录受试过滤器阻力在气液两相流作用下随时间的变化数值。相邻阻力-时间数据记录点的时间间隔应不大于 5 分钟，压差增量一般应不大于 20 Pa，对阻力上升较快的过滤器应增加数据记录点。

喷雾时间持续一段时间停止试验或受试过滤器达到试验终阻力时停止水雾试验。试验终阻力可以为制造商标称的耐水雾阻力值或测试委托方要求的阻力值，若没有上述约束，本标准推荐喷雾持续时间为 3 个小时，推荐试验终阻力与试验初阻力的差值为 400 Pa，先到者为准。

试验终止，记录数据。

### B.3 试验报告

试验报告参考本标准中试验报告，同时应在报告中明确说明没有进行湿平衡预处理。

## 附录 C（资料性附录）进气温度对阻力的修正与加湿量计算

### C.1 压差修正

符合 ISO 16890-2 附录 B。

### C.2 加湿量计算

相对湿度  $\varphi_0$  的空气通过喷雾加湿达到饱和状态，加湿量计算如下：

$$m_{wm,1} = \rho \times q_v \times (d - d_0) \quad (C.1)$$

其中， $q_v$  为未加湿空气的体积流量， $d_0$  和  $d$  分别为未加湿空气和饱和湿空气的含湿量， $\rho$  为未加湿空气的密度，分别由下式给出：

$$d_0 = 0.622 \times \frac{\varphi p_{ws}}{p - \varphi p_{ws}} \quad (C.2)$$

$$d_0 = 0.622 \times \frac{p_{ws}}{p - p_{ws}} \quad (C.3)$$

$$\rho = \frac{p - 0.378 p_w}{287.06 \times (t_0 + 273.15)} \quad (C.4)$$

其中， $q_v$  为未加湿空气的体积流量， $d_0$  和  $d$  分别为未加湿空气和饱和湿空气的含湿量， $\rho$  为未加湿空气的密度，分别由下式给出：

$$p_w = \frac{\varphi}{100} \times p_{ws} \quad (C.5)$$

其中， $p_{ws}$  是温度  $t_0$  (°C) 饱和湿空气水蒸气压力，由下式得出，

$$p_{ws} = \exp\left[59,484,085 - \frac{6790,4985}{t_0 + 273.15} - 5.02802 \times \ln(t_0 + 273,15)\right] \quad (C.6)$$

## 附录 D（资料性附录）透水率测量

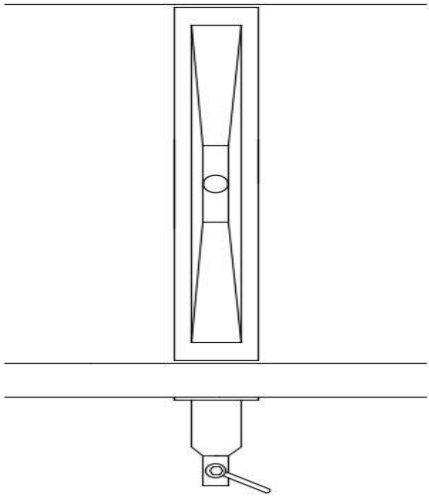
### D.1 概述

在本标准试验条件下，透水率是过滤器耐水雾性能试验过程中一个重要的参考指标。若试验委托方关注过滤器在整个实验过程中透水情况，可以收集过滤器前后的积水进行透水量测试。

### D.2 试验方法

#### D.2.1 设备

在受试过滤器管段前后底部安装集水槽，用于收集样品在测试过程中的前后积水，如图 D.1 所示。在试验终止时可借助玻璃刮刀试验段内积水归集于集水槽内，集水可由水槽下的放水口导出。



D.1 集水装置

#### D.2.2 测试方法

水雾试验结束后，关闭水雾发生装置和风机。

用量筒收集受试过滤器下游管段中的积水，进行称重（精确到±1g），以确定在试验过程中过滤器的透水量。

按照下式计算透水率：

$$\eta_p = \frac{m_p}{m_{tot}} \times 100\% \quad (D.1)$$

式中：  $\eta_p$  透水率

$m_p$  试验结束时透过受试过滤器的水量。

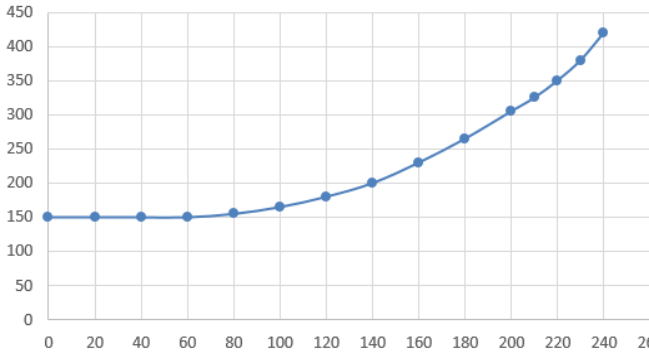


附录 E（资料性附录）耐水雾试验报告

E.1 试验报告示例一

见表 E.1。

表 E.1 试验报告格式

CRAA			
试验机构：牛二实验室		报告编号：001-2018	
概况			
试验编号：123	试验日期：2018.07.10	负责人：帅哥	
请求试验者：张三公司		试件收到日期：2018.05.01	
试件提交者：李四			
受试器件			
型号：C	制造商：D	型号：筒 E-11	
滤材类型：合成纤维	净有效过滤面积：18 m <sup>2</sup>	尺寸： φ <sub>R</sub> 325 × φ <sub>r</sub> 215×H658	
试件生产日期：2018.03.01			
检测依据			
T/CRAA 43×—20××，空气过滤器耐水雾性能试验方法			
试验数据			
试验风量： 1 000 m <sup>3</sup> /h	空气温度： 20℃	空气相对湿度： 60%	水雾浓度： 6 g/m3
结果			
初阻力： 150 Pa	终阻力： 420 Pa	试验时长： 240min	发雾总质量： 18 kg
备注：	1、试验时长包括湿平衡预处理60min，水雾耐湿180min； 2、透水率为0； 3、本试验仅测试实验室条件下过滤器的性能，不能定量表示现场实际使用寿命。		
阻力，Pa			
<div></div> <div>阻力随喷雾时间变化曲线</div>			

检测人员/日期:

审核人员/日期:

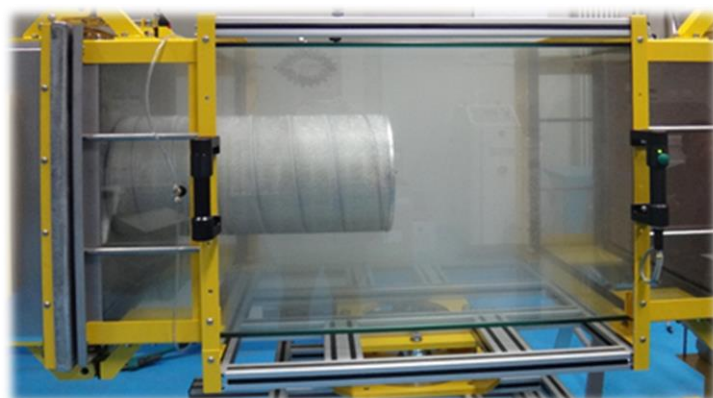
报告日期: 2018年08月10日

表 阻力随喷雾时间变化

CRAA						
空气过滤器: Leader1						
试验编号: 123						
喷雾浓度: 6 g/m <sup>3</sup>						
流量: 1 000 m <sup>3</sup> /h						
日期	$T$ , min	$\Delta p_T$ , Pa	$m_{tot}$ , kg	$T_u$ , °C	$\phi_d$ , %	$T_{tot}$ , min
湿平衡阶段						
2018-07-10	0	150	0	16	95	
2018-07-10	20	150	0	16	95	
2018-07-10	40	151	0	16	97	
2018-07-10	60	151	0	16	96	
喷水雾阶段						
2018-07-10	80	155	2	16	95	
2018-07-10	100	165	4	16	95	
2018-07-10	120	180	6	16	97	
2018-07-10	140	200	8	16	96	
2018-07-10	160	230	10	16	95	
2018-07-10	180	265	12	16	95	
2018-07-10	200	305	14	16	97	
2018-07-10	210	325	15	16	96	
2018-07-10	220	350	16	16	95	
2018-07-10	230	380	17	16	95	
2018-07-10	240	420	18	16	97	240
透水量						
透水量						
总雾化水量: 18 kg						
后端集水量: 0g						
符号和单位						
$T$ , 试验时间, min						
$T_{tot}$ , 总发雾时长, min						
$\Delta p_T$ , $T$ 时刻下过滤器阻力, Pa						

$\Delta m$ , 雾化器耗水增量, g

试验照片



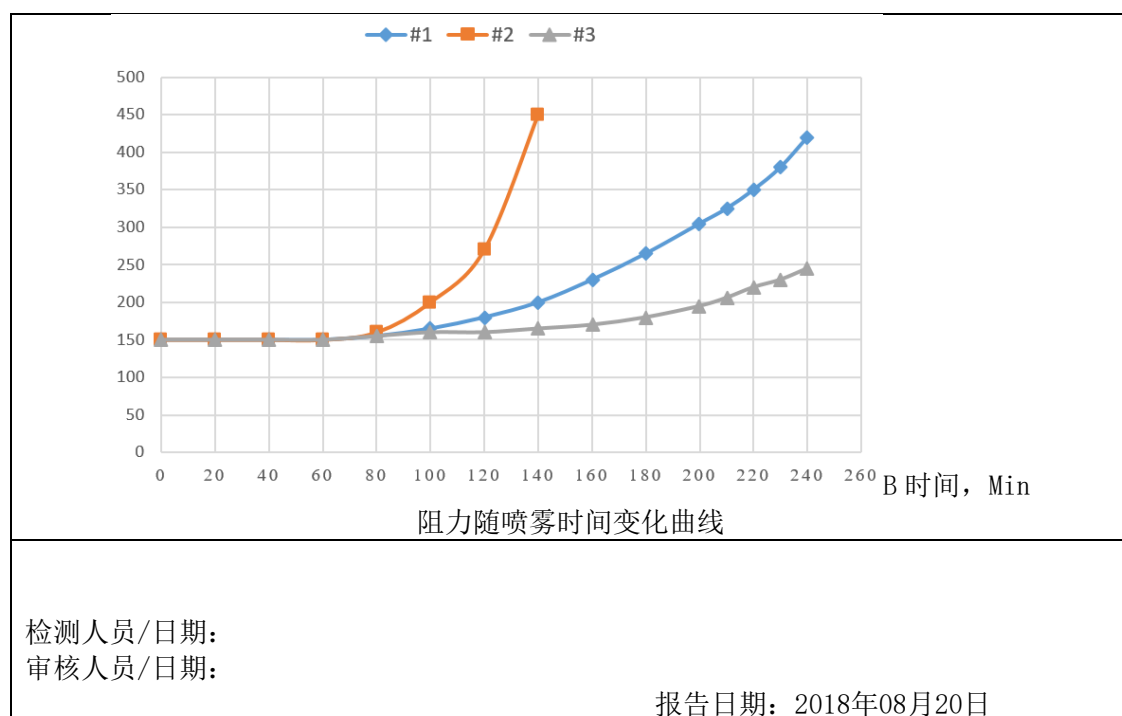
过滤器照片

## E.2 比对试验报告示例二

见表 E.2。

表 E.2 过滤器比对试验报告格式

CRAA				
试验机构：国电过滤器实验室			报告编号：002-2018	
概况				
试验编号：124		试验日期：2018.08.10		负责人：ZH
请求试验者：A			试件收到日期：2018.05.01	
试件提交者：B				
受试器件				
#1	型号：C	制造商：D		型号：EE1
	滤材：合成纤维	净有效过滤面积：18m <sup>2</sup>		过滤器尺寸： φ <sub>R</sub> 325 × φ <sub>r</sub> 215 × H658
#2	型号：C	制造商：D		型号：EE2
	滤材：未知	净有效过滤面积：18m <sup>2</sup>		过滤器尺寸： φ <sub>R</sub> 325 × φ <sub>r</sub> 215 × H658
#3	型号：C	制造商：D		型号：EE3
	滤材：合成纤维	净有效过滤面积：18m <sup>2</sup>		过滤器尺寸： φ <sub>R</sub> 325 × φ <sub>r</sub> 215 × H658
检测依据				
T/CRAA 43×—20××，空气过滤器耐水雾性能试验方法				
试验数据				
#1	试验风量： 1000m <sup>3</sup> /h	空气温度： 20℃	空气相对湿度： 60%	水雾浓度： 6g/m <sup>3</sup>
	结果			
	初阻力： 150Pa	终阻力： 420 Pa	试验时长： 240min	发雾总质量： 18kg
#2	试验风量： 1000m <sup>3</sup> /h	空气温度： 20℃	空气相对湿度： 60%	水雾浓度： 6g/m <sup>3</sup>
	结果			
	初阻力： 150Pa	终阻力： 450 Pa	试验时长： 140min	发雾总质量： 8kg
#3	试验风量： 1000m <sup>3</sup> /h	空气温度： 20℃	空气相对湿度： 60%	水雾浓度： 6g/m <sup>3</sup>
	结果			
	初阻力： 150 Pa	终阻力： 250 Pa	试验时长： 240min	发雾总质量： 18kg
备注：	1、试验时长包括湿平衡预处理60min，喷雾时长180min； 2、透水率均为0； 3、本试验仅测试实验室条件下过滤器的性能，不能定量表示现场实际使用寿命。			
A 阻力，Pa				



阻力随喷雾时间变化

CRAA						
空气过滤器: #1						
试验编号:唯一编码						
喷雾浓度:6g/m <sup>3</sup>						
流量:1000m <sup>3</sup> /h						
日期	$T$ ,min	$\Delta p_T$ ,Pa	$m_{tot}$ ,kg	$t_u$ ,°C	$\varphi_d$ ,%	$T_{tot}$ ,min
湿平衡阶段						
2018-07-10	0	150	0	16	95	
	20	150	0	16	95	
	40	151	0	16	97	
	60	151	0	16	96	
喷水雾阶段						
	80	155	2	16	95	
	100	165	4	16	95	
	120	180	6	16	97	
	140	200	8	16	96	
	160	230	10	16	95	
	180	265	12	16	95	
	200	305	14	16	97	
	210	325	15	16	96	
	220	350	16	16	95	
	230	380	17	16	95	
	240	420	18	16	97	240
透水量						
透水量						
总雾化水量: 18kg						
后端集水量: 0g						
空气过滤器: :#2						

试验编号:唯一编码						
喷雾浓度:6g/m <sup>3</sup>						
流量:1000m <sup>3</sup> /h						
Data	$T$ ,min	$\Delta p_T$ ,Pa	$m_{tot}$ ,kg	$t_u$ ,°C	$\varphi_d$ ,%	$T_{tot}$ ,min
湿平衡阶段						
2018-07-10	0	150	0	16	95	
	20	150	0	16	95	
	40	151	0	16	97	
	60	151	0	16	96	
喷水雾阶段						
	80	155	2	16	95	
	90	175	3	16	95	
	100	200	4	16	95	
	110	233	5	16	95	
	120	270	6	16	97	
	130	350	7	16	95	
	135	400	7.5	16	95	
	140	450	8	16	96	140
透水量						
透水量						
总雾化水量: 8kg						
后端集水量: 0g						
空气过滤器: #3						
试验编号:唯一编码						
喷雾浓度:6g/m <sup>3</sup>						
流量:1000m <sup>3</sup> /h						
Data	$T$ ,min	$\Delta p_T$ ,Pa	$m_{tot}$ ,kg	$t_u$ ,°C	$\varphi_d$ ,%	$T_{tot}$ ,min
湿平衡阶段						
2018-07-10	0	150	0	16	95	
	20	150	0	16	95	
	40	151	0	16	97	
	60	151	0	16	96	
喷水雾阶段						
	80	155	2	16	95	
	100	160	4	16	95	
	120	160	6	16	97	
	140	165	8	16	96	
	160	170	10	16	95	
	180	180	12	16	95	
	200	195	14	16	97	
	210	206	15	16	96	
	220	220	16	16	95	
	230	230	17	16	95	
	240	240	18	16	97	240
透水量						
透水量						

总雾化水量: 18kg
后端集水量: 0g
符号和单位
$T$ , 测试时间, min
$T_{tot}$ , 总发雾时长, min
$\Delta p_T$ , $T$ 时刻下过滤器阻力, Pa
$\Delta m$ , 雾化器耗水增量, g
过滤器试验照片
略。

## 附录 F（资料性附录）其他说明

### F.1 额定风量

同样过滤器用在不同领域时，制造商可能给出不同的额定风量。例如，对于同样滤筒，用在空分行业，制造商声称的“额定风量”可能 900 m<sup>3</sup>/h 或 1 000 m<sup>3</sup>/h；用到燃气轮机时，供货商可能将“额定风量”提高到 1 250 m<sup>3</sup>/h。对于板框式过滤器，一般通风领域的额定风量是 3 400 m<sup>3</sup>/h，用于燃气轮机时“额定风量”是 4 250 m<sup>3</sup>/h。

### F.2 容尘状态下的耐水雾试验

参考本标准，可以在洁净过滤器中添加 ASHREA 尘及 ISO L2 等人工试验尘进行耐湿胁迫试验。大量试验研究表明，添加一定量的人工尘对过滤器本身耐湿性能影响较小，容尘胁迫下的不同类型过滤器耐湿性能优劣排序与洁净过滤器耐湿性能的优劣排序高度一致；有限试验研究表明，对于非人工尘胁迫下的耐湿试验，不同过滤器间的耐湿性能排序亦基本不变。



## 本标准编制单位

本标准编制单位（按名称拼音排序）：

奥斯龙复合纤维（滨州）有限公司  
北京京丰燃气发电有限责任公司  
北京太阳宫燃气热电有限公司  
国电环境保护研究院有限公司  
国电科学技术研究院有限公司  
贺氏（苏州）特殊材料有限公司  
华北电力大学  
湖北能源东湖燃机热电有限公司  
华电电力科学研究院有限公司  
江苏国信淮安第二燃气发电有限责任公司  
九江七所精密机电科技有限公司  
科德宝·宝翎无纺布（苏州）有限公司  
康斐尔过滤设备（昆山）有限公司  
神华国华(北京)燃气热电有限公司  
上海华强新能源技术有限公司  
山东军高过滤材料有限公司  
深圳华盛过滤系统有限公司  
同济大学  
唐纳森（无锡）过滤器有限公司  
烟台宝源净化有限公司  
中海石油气电集团研发中心  
中国船舶工业系统工程研究院  
浙江国华余姚燃气发电有限责任公司