



空气过滤器对电厂发电 效率的影响

报告人:胡明铨 博士
纺织产业综合研究所 检验部
2024年12月11日



医用纺织品

手术用口罩



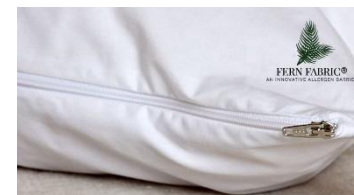
手术衣



呼吸系统过滤器

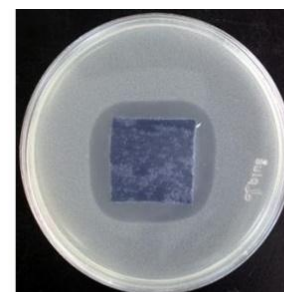


防螨测试

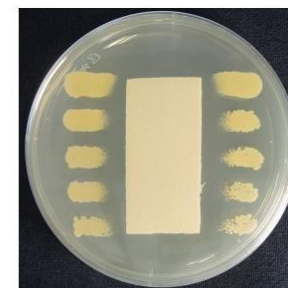


抗菌测试

覆盖巾



JIS L1902 HALO



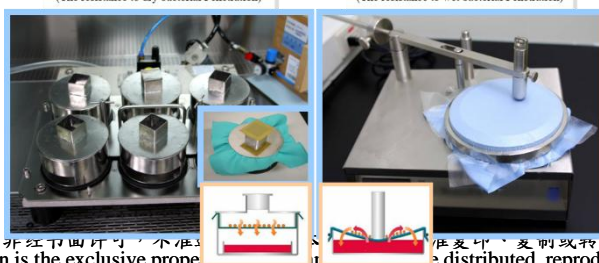
AATCC 147

乾式細菌穿透性

(The resistance to dry bacterial Penetration)

濕式細菌穿透性

(The resistance to wet bacterial Penetration)

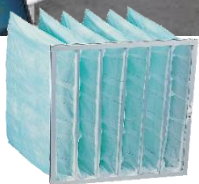




TAF



HVAC 过滤器



HEPA 滤材测试(MPPS)



HEPA 过滤器泄漏扫描



孔径



空调厢 / 引擎进气过滤器



可清洁式滤材



油过滤



过滤(测试、应用) 专业性 + 不织布 专业性 = 良好的顾客服务

并非只提供客户测试服务，更重于协助客户解决产品开发的问题



气轮机进气系统

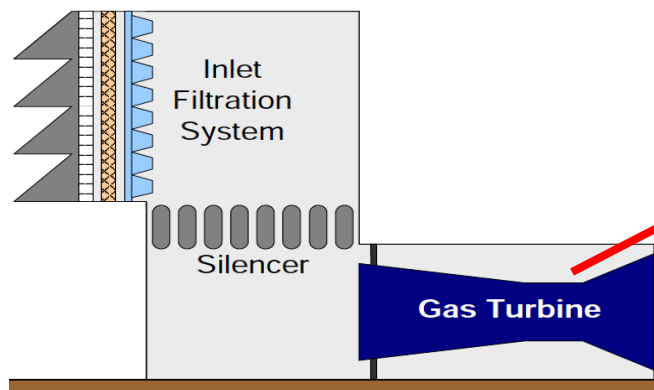


Figure 1-1. Location of Gas Turbine Inlet Air Filtration System

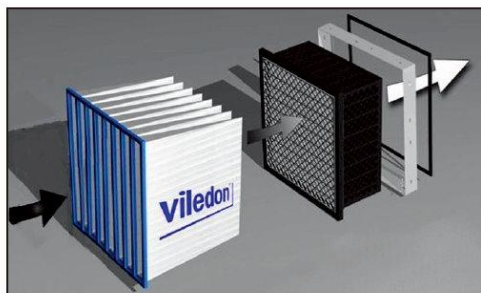
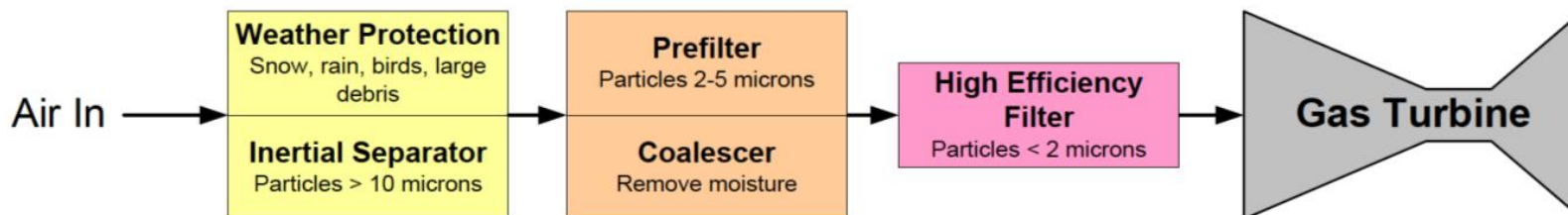


Figure 1. Two-stage filter system comprising pocket and cassette filters.

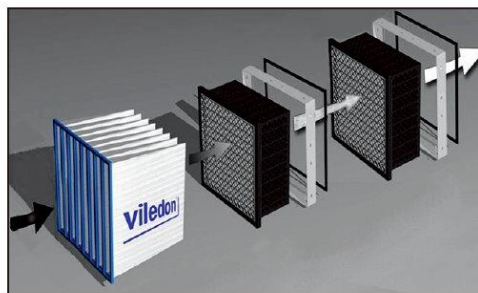
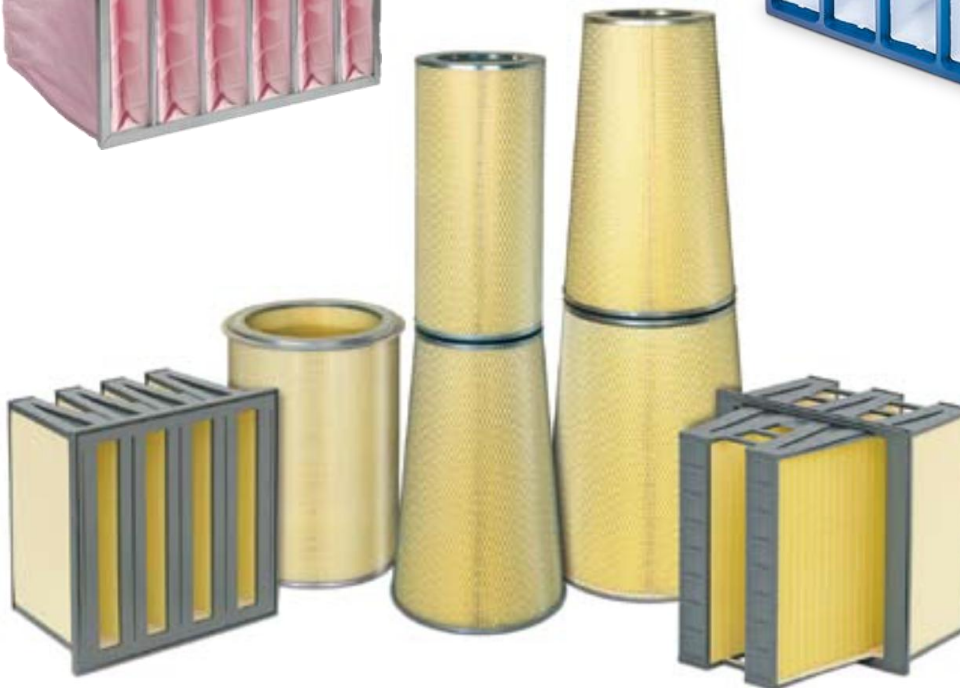


Figure 2. Three-stage filter system.



安装滤网的等级由G4/F8提升至
F8/E11，平均电力输出可增加6%。

气涡轮机系统常用过滤器





都市



沿海



热带/雨林



船舰



沙漠



离岸



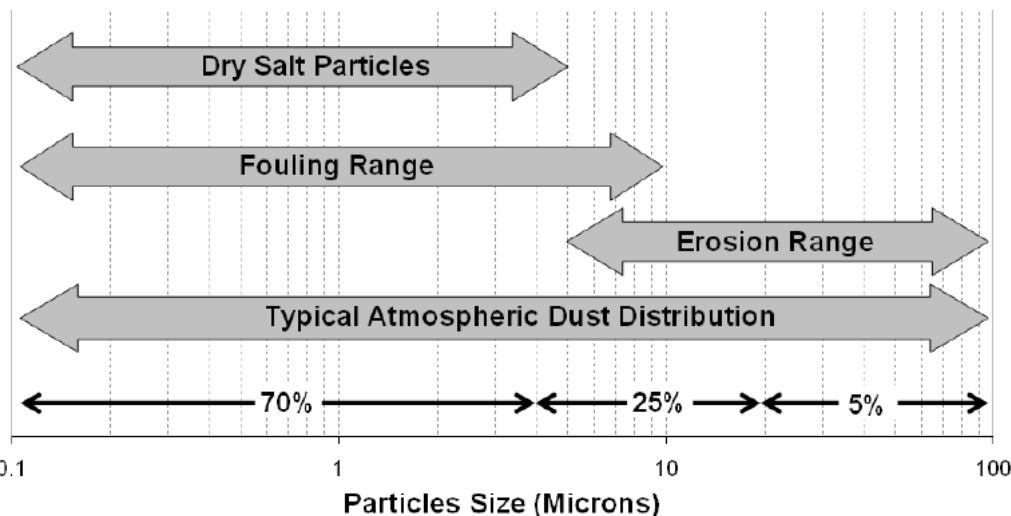
寒带

不同电厂环境对过滤系统的影响



环境型态	盐	粉尘	其他
沿海	中	中	水气
离岸	高	中	水气
船舶	高	低	大量的水
城市	无	中	水气
沙漠	无	非常高	-
寒带	-	-	雪和冰
热带	-	-	大量的水

Source: GE



SEM picture: Fouling sample 200 μm

结垢 (Fouling)

- 结垢是颗粒或水滴黏附在涡轮机叶片的表面，在很短的时间周期内使系统的流量和效率降低。
- 结垢通常可以藉由清洗而恢复正常，但往往需要停机。
- 结垢是一个严重的问题，尤其是在燃油和燃气的行业，普遍存在粘性的碳氢化合物气溶胶。
- 通常可藉由控制入口处的气体清洁度来控制结垢的发生。

Particle buildup on gas turbines cause fouling

Fouled engines:

- Operate less efficiently
- Power output decreases
- Heat rate increases



侵蚀 (Erosion)

- 侵蚀是由悬浮在气流中的**硬颗粒**与机器组件之间摩擦而始组件的表面受损。
- 造成侵蚀的颗粒通常大于 $10\mu\text{m}$ 。在5到 $10\mu\text{m}$ 之间的颗粒通常在结垢(fouling)和侵蚀之间的过渡区。
- 而随者粒子的直径、密度和气流的速度增加会使叶片的侵蚀损坏增加，减小叶片尺寸。
- 涡轮和压缩机制造商除了藉由改进叶片的设计与材料之外，他们都建议对入口的气流过滤，以防止硬质颗粒进入涡轮机。



腐蚀(Corrosion)

污染物藉由气流，燃料系统或水/蒸汽喷射系统进入燃气涡轮机，引起机器零件和污染物之间的化学反应而使机器受损。





- 过滤器的压损
 - 过滤器的压损越低，涡轮机的输出越高 (相同的输出，可节省燃料)
- 过滤效率
 - 空气的洁净度越高，可降低涡轮机关键组件(如扇叶)的损坏
- 过滤器的爆破压力
 - 确保过滤器不会受粉尘负载及高湿度等状况而破损，使设备有最高的安全因子



Source: Camfil

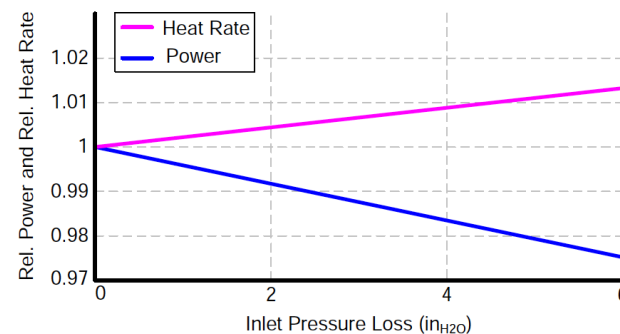


Figure 3-4. Effect of Pressure Loss at Inlet on Gas Turbine Power and HR



- 過濾效率、压差及容尘量: ISO 29461-1:2021 (ISO 29463/EN 1822; ISO 16890)
- 耐水测试 (水雾穿透率) : ISO 29461-2:2022
- 干式耐压测试 : 无国际标准 (in house standard)
- 湿式耐压测试 : ISO 29461-3:2024 Annex A (maximum pressure drop is up to 6250 Pa)
- 过滤器的完整测试 : ISO 29461-3:2024



ISO 29461规定了用于确定旋转机械（例如燃气轮机、压缩机和其他内燃机）进气过滤系统中使用的微粒空气过滤器性能的方法和程序

- ISO 29461-1:2021 Air intake filter systems for rotary machinery — Test methods — **Part 1: Static filter elements**
- ISO 29461-2:2022 Air intake filter systems for rotary machinery — Test methods — **Part 2: Filter element endurance test in fog and mist environments**
- ISO 29461-3:2024 Air filter intake systems for rotary machinery — Test methods — **Part 3: Mechanical integrity of filter elements**
- ISO/DIS 29461-4 Air intake filter systems for rotary machinery — **Part 4: Test methods for static filter systems in coastal and offshore environments**

ISO 29461-1 过滤器分级



1. T1-T4级按照ISO 16890 Coarse标准进行测试，区别在于初始重量捕集效率的计算基于**初始100克**粉尘的容尘过程而非初始30克粉尘。
2. 终端压损：ISO 16890为375 Pa；ISO 29463为625 Pa。

等级	组	MPPS 效率	ePM _{1,min}	ePM _{2,5,min}	ePM ₁₀	初始重量捕集率 A ₁₀₀	终端压损 Pa	测试方法
ISO T1	Coarse					20% < A ₁₀₀ < 50%	375	ISO 16890
ISO T2						≥ 50 %		
ISO T3						≥ 70 %		
ISO T4						≥ 85 %		
ISO T5	ePM ₁₀				≥ 50 %		625	
ISO T6	ePM _{2.5}			≥ 50 %				
ISO T7	ePM ₁		≥ 50 %					
ISO T8			≥ 70 %					
ISO T9			≥ 85 %					
ISO T10	EPA	≥ 85 %					ISO 29463	
ISO T11		≥ 95 %						
ISO T12		≥ 99,5 %						
ISO T13	HEPA	≥ 99,95 %						

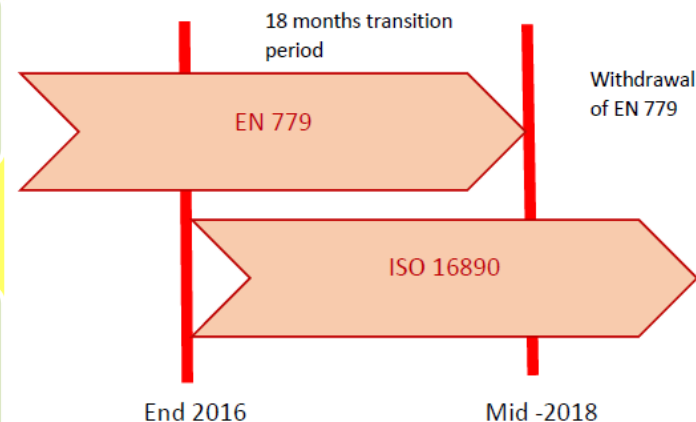
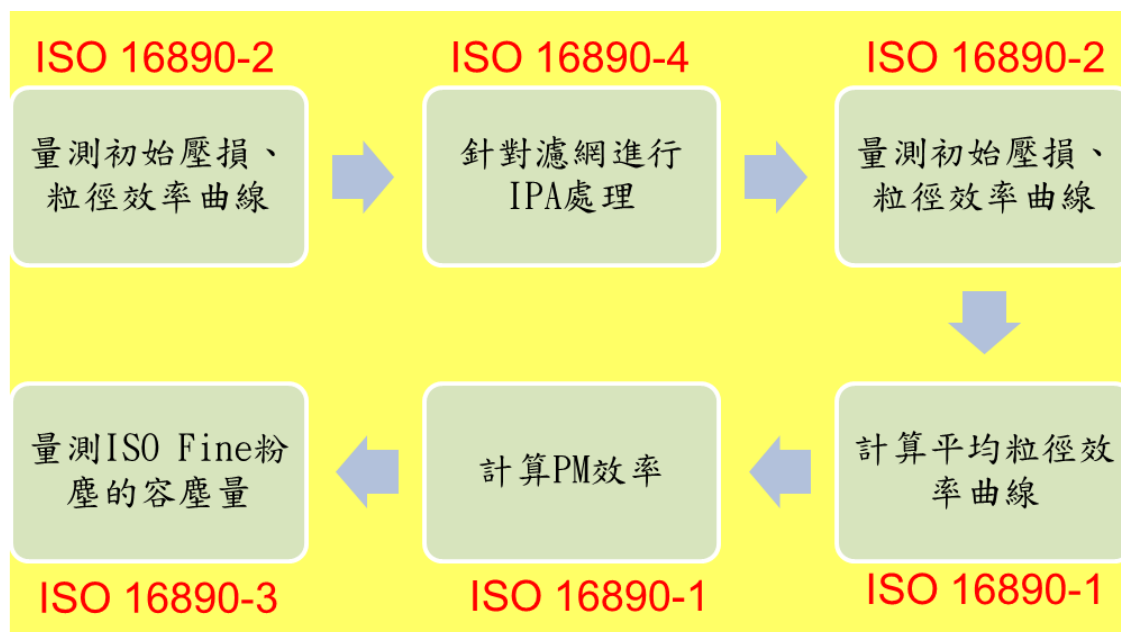


Part 1: Technical specifications, requirements and classification system based upon particulate matter efficiency (ePM) (過濾器的分類及效率計算)

Part 2: Measurement of fractional efficiency and air flow resistance (阻抗及效率測試)

Part 3: Determination of the gravimetric efficiency and the air flow resistance versus the mass of test dust captured (重量捕集率)

Part 4: Conditioning method to determine the minimum fractional test efficiency (去静电处理)



ISO 16890-1 过滤器分级



类别	组别	需求			等级标示值
		ePM _{1,min}	ePM _{2.5,mi} _n	ePM ₁₀	
粗效过滤器 (Coarse Filter)	ISO Coarse	-	-	<50%	初始重量捕集率
中效过滤器 (Fine Filter)	ISO ePM10	-	-	≥50%	ISO ePM10
	ISO ePM2.5	-	≥50%	-	ISO ePM2.5
	ISO ePM1	≥50%	-	-	ISO ePM1

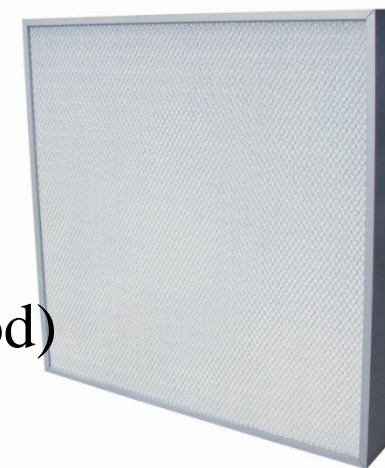
Efficiency	Size range, μm
ePM ₁₀	0,3 ≤ x ≤ 10
ePM _{2,5}	0,3 ≤ x ≤ 2,5
ePM ₁	0,3 ≤ x ≤ 1

例：ISO Coarse 60 %,
ISO ePM10 60 %,
ISO ePM2.5 80 %,
ISO ePM1 85 % ,
ISO ePM1 >95 %.



ISO 29463 (EN 1822) High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA)

- Part 1 : 2024
 - Classification, performance testing, marking
- Part 2 : 2009
 - Aerosol production, measuring equipment, particle counting statistics
- Part 3 : 2009
 - Testing flat sheet filter media
- Part 4 : 2009
 - Determining leakage of filter element (Scan method)
- Part 5 : 2022
 - Determining the efficiency of filter element



EPA, HEPA 和ULPA 过滤器分级



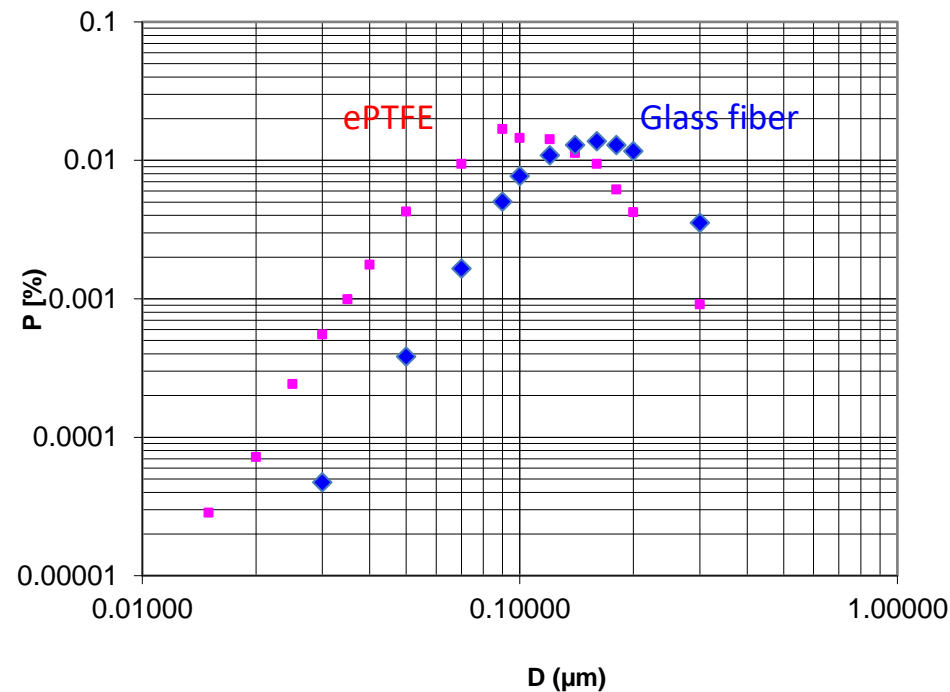
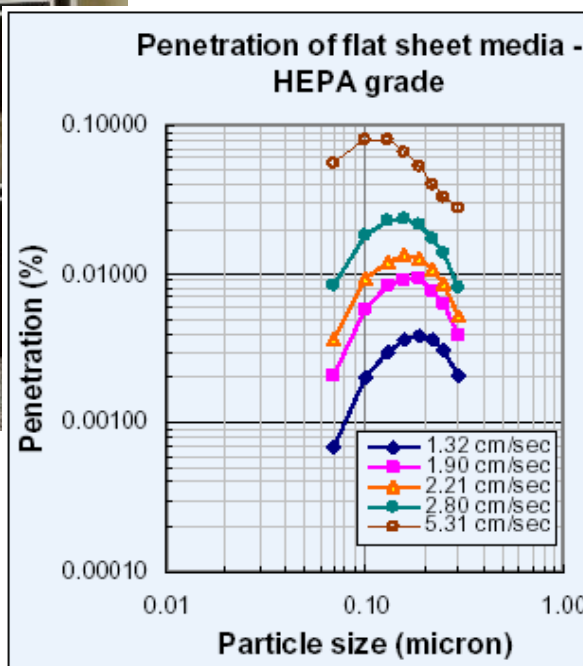
欧洲与国际标准之分级

Filter Class (Group)	Overall value		Local value		Filter Class (Group)
	Efficiency (%)	Penetration (%)	Efficiency (%)	Penetration (%)	
ISO 29463					EN 1822
	≥ 85	≤ 15			E10
ISO 15 E	≥ 95	≤ 5	--	--	E11
ISO 20 E	≥ 99.0	≤ 1	--	--	
ISO 25 E	≥ 99.5	≤ 0.5	--	--	E12
ISO 30 E	≥ 99.90	≤ 0.1	--	--	
ISO 35 H	≥ 99.95	≤ 0.05	≥ 99.75	≤ 0.25	H13
ISO 40 H	≥ 99.990	≤ 0.01	≥ 99.95	≤ 0.05	
ISO 45 H	≥ 99.995	≤ 0.005	≥ 99.975	≤ 0.025	H14
ISO 50 U	≥ 99.9990	≤ 0.001	≥ 99.995	≤ 0.005	
ISO 55 U	≥ 99.9995	≤ 0.0005	≥ 99.9975	≤ 0.0025	U15
ISO 60 U	≥ 99.99990	≤ 0.0001	≥ 99.9995	≤ 0.0005	
ISO 65 U	≥ 99.99995	≤ 0.00005	≥ 99.99975	≤ 0.00025	U16
ISO 70 U	≥ 99.999990	≤ 0.00001	≥ 99.99995	≤ 0.00005	
ISO 75 U	≥ 99.999995	≤ 0.000005	≥ 99.999975	≤ 0.000025	U17

玻纤与ePTFE滤材的MPPS



TSI 8160



干式耐压测试 (Dry Burst Test)



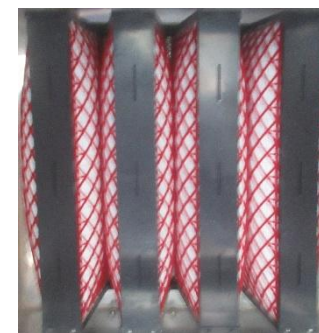
- 藉由持续喂入粉尘使过滤器的压差增加
- 每500 Pa观察过滤器的外观
- 喂粉尘过程中，持续的观察过滤器的压差是否有突然明显的下降
- 最大压差可为6250 Pa



500 Pa



2500 Pa



4500 Pa



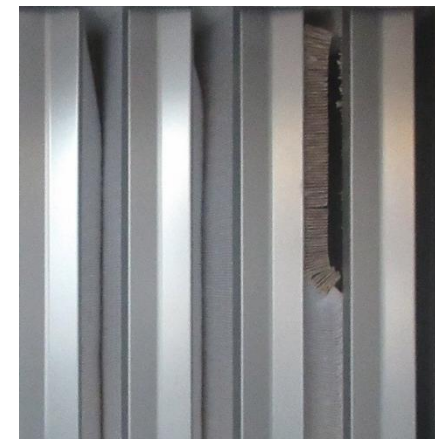
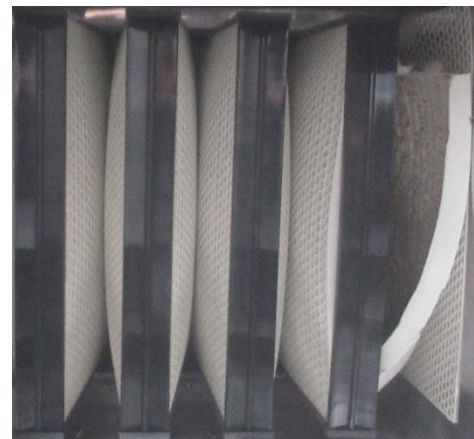
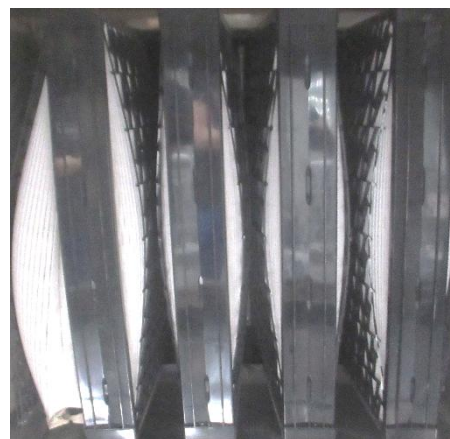
500 Pa



3000 Pa



3700 Pa





1. 污染物再溶解

- a. 当燃气轮机所用EPA、HEPA过滤器不具备良好疏水性能时，其压气机叶片仍会结垢，或被侵蚀，腐蚀
- b. 当水存在于过滤器之上时，一些被过滤器所捕捉到的污染物会在水中溶解(例如盐分)。

2. 过滤器阻力猛增

- a. 如果过滤器排水性能较差，水分会聚积在过滤器滤材表面。这会导致过滤器阻力猛增，最坏的情形下甚至可能会造成机组跳机。
- b. 高阻力也会进一步增加污染物透过滤材的风险。

ISO 29461-2 除水雾效率测试



Part 2: Filter element endurance test in fog and mist environments



超音波雾化器



喷嘴



未经疏水处理之滤网



经疏水处理之滤网

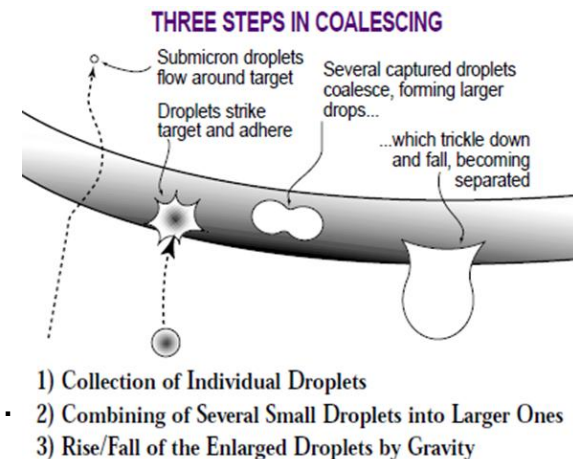
测试流程



The recommended test air flow rates are the following:

- for **static filter**: 4250 m³/h;
- for single cylindrical cartridge: 1000 m³/h;
- for cylindrical plus cylindrical (conical) combined cartridges: 2500 m³/h.

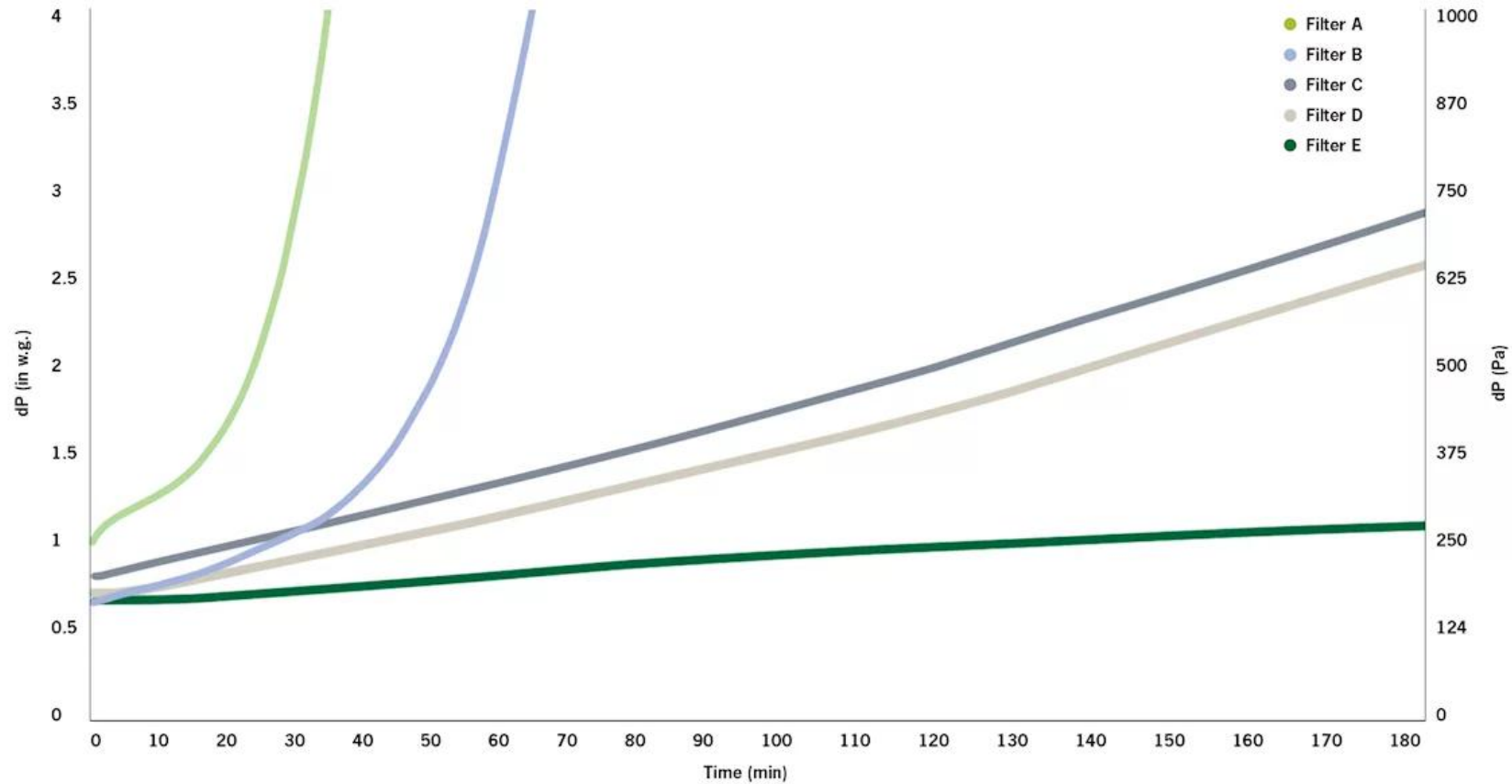
1. 预湿处理: 湿度 > 95% , 1小时
2. 耐水性能测试 : 压损小于1000 Pa或3小时
3. 水雾浓度 : 6 g/m³ (4250 m³/h x 6 g/m³ x 3 h=76,500 g)



过滤器耐水雾测试结果比较



Final Filter Deluge Test



Source: Camfil

谢谢指教



纺织产业综合研究所

检测及验证部

地址:236新北市土城区承天路6号

电话: +886-2-22670321分机 7146

E-mail: mchu.0814@ttri.org.tw