



《燃机空气过滤元件抗湿性能测试方法》

标准编制说明

国电科学技术研究院有限公司

2019 年 10 月

目 录

| | |
|---------------------------|-----------|
| 1 任务来源 | 1 |
| 1.1 研究背景..... | 1 |
| 1.2 主要工作过程..... | 2 |
| 1.3 参编单位和人员..... | 3 |
| 2 标准主要内容..... | 4 |
| 2.1 试验装置..... | 4 |
| 2.2 试验方法..... | 5 |
| 3 主要试验 | 7 |
| 3.1 过滤器耐水雾试验..... | 7 |
| 3.2 容尘胁迫试验..... | 10 |
| 3.3 湿空气影响试验研究..... | 13 |
| 3.4 重复性试验 | 15 |
| 3.5 结论 | 16 |
| 4 代替现行协会标准说明 | 17 |
| 5 其他事项说明..... | 17 |
| 6 参考资料 | 18 |

1 任务来源

1.1 研究背景

燃气轮机是以空气和燃气作为工作介质的涡轮机械，空气质量和特性对燃气轮机运行的安全性和经济性有着直接的影响。为了避免因粉尘、油雾、气溶胶颗粒物质和碳氢化合物、硫氧化物等随空气吸入后造成压气机及高温部件的侵蚀、结垢、腐蚀和阻塞冷却通道等危害，燃气轮机对进入的空气中颗粒物粒径和污染物成分有着严格的要求。

燃气电厂广泛分布在内陆、沿海、城市和郊区等各地。作为外界空气进入燃气轮机的唯一一道防线，进气过滤系统面临着干燥、潮湿、烟尘和雾霾等各异的自然气候环境和局部运行环境。为了保证燃气轮机进气过滤系统的功能和性能，过滤系统需要根据燃气轮机的运行条件进行个性化设计。

当前在全球范围内，燃气轮机进气过滤系统普遍在雨水、雾霾和高湿的气候下运行时容易发生压差急剧升高的现象，我们定义为燃气轮机进气系统“湿堵”。湿堵不仅大大降低了进气过滤系统的可靠性，而且危及旋转机械动力设备的安全运行。近十几年来，国内外研究学者关注到湿堵现象并进行了一定的研究工作。美国西南研究院研究了燃气轮机在不同运行环境下进气过滤系统的配置方案，针对沿海应用的进气系统提出了增加凝聚式过滤器去除水雾，同时研究表明水雾凝聚式过滤器受到空气中污染物影响容易导致性能下降。文献表明北欧地区燃气轮机在潮湿气候下性能逐渐恶化的状况，通过实验验证了进气过滤系统性能在潮湿和干燥气候条件下存在着较大的差异，表明在潮湿气候条件下污染物容易穿透过滤器流经进气道下游污染压气机。国内学者对外界环境对进气过滤系统及机组性能影响进行了一定的研究。我们公开文献简述了燃气轮机进气过滤系统在南方雨季压差上升并多次造成机组被迫停机的现象，介绍了极端恶劣天气对某燃气电厂改进型过滤系统的影响和对策，研究表明了增加过滤级数并提高过滤效率后的燃气轮机进气系统在暴雨天气时仍存在阻力突增的现象，电厂当前仅能通过降低燃气轮机负荷来应对。

从区域分布来看，中国燃气发电机组主要分布于长三角、珠三角和京津

等经济发达地区。在夏季雨水、高湿以及冬季雾霾频发季节，上述地区燃气轮机经常发生进气系统湿堵。图1所示为珠三角地区某9F级燃气轮机进气系统在2017年06月雨水天气中发生湿堵，联合循环负荷、进气系统压差、环境相对湿度和运行时间之间关系的示例。

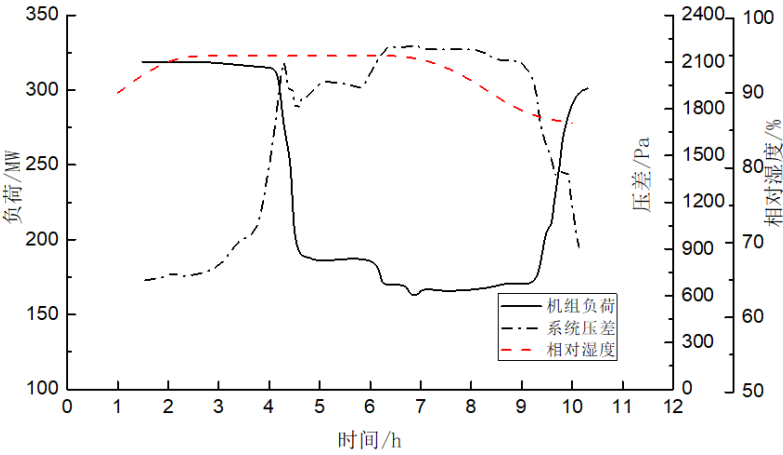


图 1 进气系统湿堵时压差及机组负荷变化曲线

由图1可知，受持续高湿进气的影响，燃气轮机进气过滤系统压差不断上升，在数十分钟内由700Pa急剧升高至2100Pa，触发机组自动降负荷停机程序，机组联合循环负荷由320MW降至190MW，进气系统压差降至1700Pa，数小时后进气系统差压继续升高并再次触发机组自动减负荷停机指令，复位后联合循环负荷被迫降至160MW，此时燃气轮机处于低负荷运行，直至进气相对湿度和压差下降后机组恢复正常。

进气过滤系统湿堵成为中国燃气发电行业十几年来关注的焦点和一直未解决的难点。然而当前国内外现有技术和检测方法标准无法满足过滤器在高湿环境下的评价需求，国电科学技术研究院首次提出进气过滤器耐湿耐水雾性能评价，并在CRAA领导下组织进行《空气过滤器抗水雾性能试验方法》编制。

1.2 主要工作过程

1.2.1 主要工作阶段

《空气过滤器抗水雾性能试验方法》编制主要包括如下工作：

| 项目 | 时间 | 工作节点 | 工作内容 |
|----|-----------------------------|------|----------------|
| 1 | 2015 年 05 月 -2016 年 05 月 | 项目预研 | 提出过滤器耐湿性能测试方法； |

| | | | |
|---|-----------------------------|------------|--|
| | | | 试验台研制工作； 试验验证方法可行性。 |
| 2 | 2016 年 06 月 -2016 年 12 月 | 项目立项 | 组建参编单位和人员； 提出项目并立项； |
| 3 | 2017 年 01 月 2017 年 12 月 | 项目研制 | 试验方法研制；试验台优化； 试验参数确定等 |
| 4 | 2018 年 1 月 -2018 年 07 月 | 征求意见阶段 | 召开 CRAA 标准制定研讨会； 在行业内发布标准征求意见稿，仅有文字性修改意见； |
| 5 | 2018 年 08 月 -2019 年 10 月 | 标准审查（送审）阶段 | CRAA 标准联席会议； 标准审查稿汇报； 召开审查稿审查会，项目汇报工作等 |
| 6 | 2019 年 10 月- | 报批、发布 | 报批审查、发布和宣贯工作 |



图 2 2016 年 CRAA 标准立项



图 3 2017 年 CRAA 标准制定研讨会

图 4 2018 年 CRAA 标准联席会议

1.3 参编单位和人员

本标准由国电科学技术研究院牵头，编制单位包括进气过滤行业和燃气发电行业 20 家单位，涵盖了该领域产、学、研、用各个方面的知名企业以及相关专家。

参编单位按名称拼音排序为：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、氏（苏州）特殊材料有限公司、华北电力大学、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等。

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、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。

2 标准主要内容

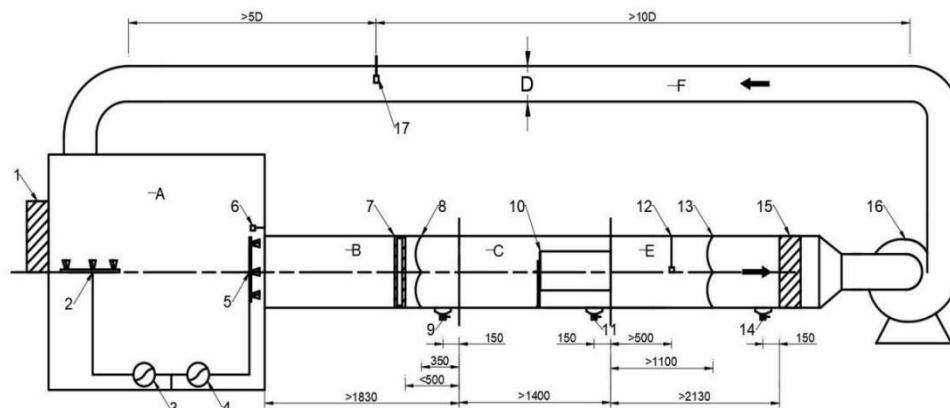
标准规定了燃气轮机和空压机等旋转式空气动力设备中进气过滤器耐水雾性能试验的一般要求、试验台、试验台确效、试验材料、试验规程和试验报告。

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。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。

2.1 试验装置

试验装置主要包括试验台以及喷雾系统等。

试验需湿平衡预处理，试验台使用循环风，试验台布局见图 5。



- | | | | |
|---|----------------|----|------------|
| 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 5 试验台原理图

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。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） μm （体积平均粒径）的粒子数占比不低于总粒子数的 90%。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。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。

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。可选用装置包括超声波加湿器、喷雾器、蒸汽加湿器等

2.2 试验方法

试验方法中主要包括过滤器的准备、初阻力、耐湿性能试验、湿平衡试验以及透水率测试等。

2.2.1 受试过滤器的准备

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。安装前应对过滤器进行称重，精确到克。

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。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。

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。

2.2.2 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 kg/m^3 的压降，该密度对应的标准空气条件为：温度 20°C ，大气压力 101.3 kPa ，相对湿度 50%。

2.2.3 耐水雾性能试验一般要求

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 $2\ 500 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

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。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。试验中，送风和喷雾进程不应中断，直至耐水雾试验结束。

2.2.4 湿平衡预处理和水雾试验

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。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%。

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。水雾试验应在湿平衡预处理结束后立即进行。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 g/m³。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。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。

2.2.5 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进行测试。

其他内容见标准正文以及附录。

3 主要试验

3.1 过滤器耐水雾试验

试验设备基于一般通风过滤器测试平台并在空气进口处加装定量加湿和水雾发生装置。测试过滤器受高湿及水雾胁迫时差压随时间的变化情况，以测试一定时间内压差上升幅度或到达试验终阻力的时间作为耐湿性能优劣的评价指标。

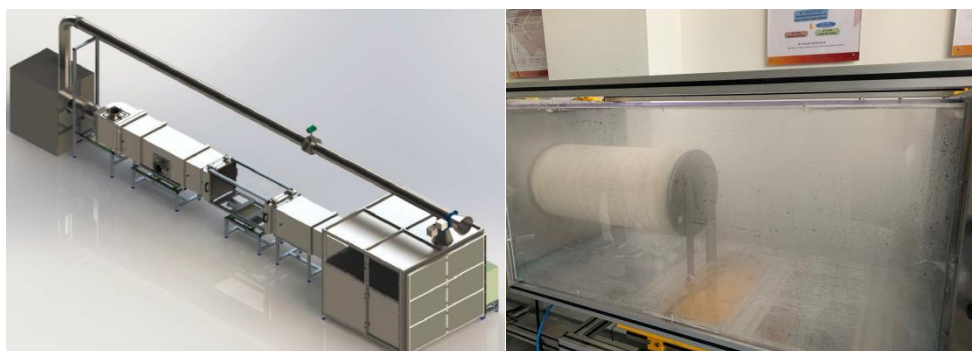


图 6 试验台实物及试验过程图片

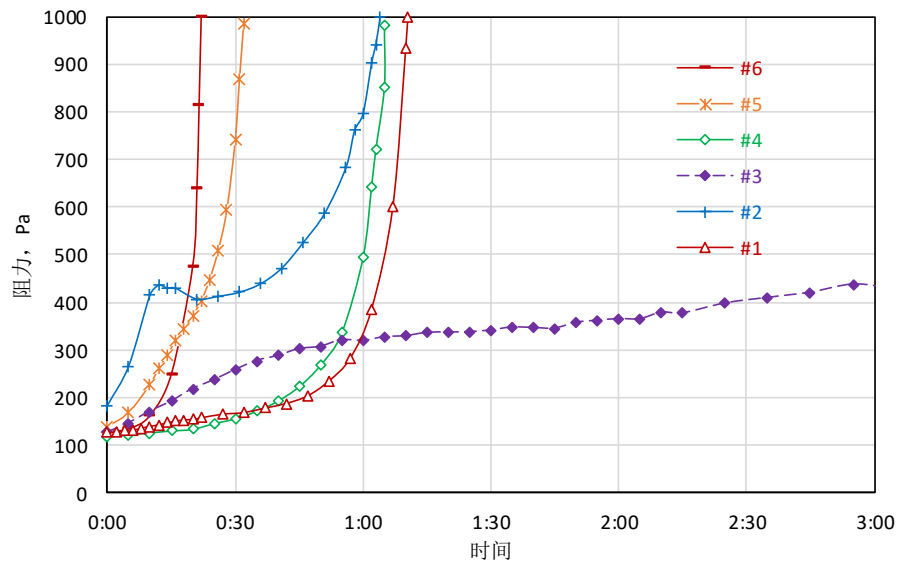


图 7 不同滤材过滤器抗雾性能，同一厂家生产

图 7 所示为 6 只过滤器在水雾浓度为 10kg/h 时的耐湿性能。显然，样品中 #1 的抗水雾性能最佳，#6 最差。

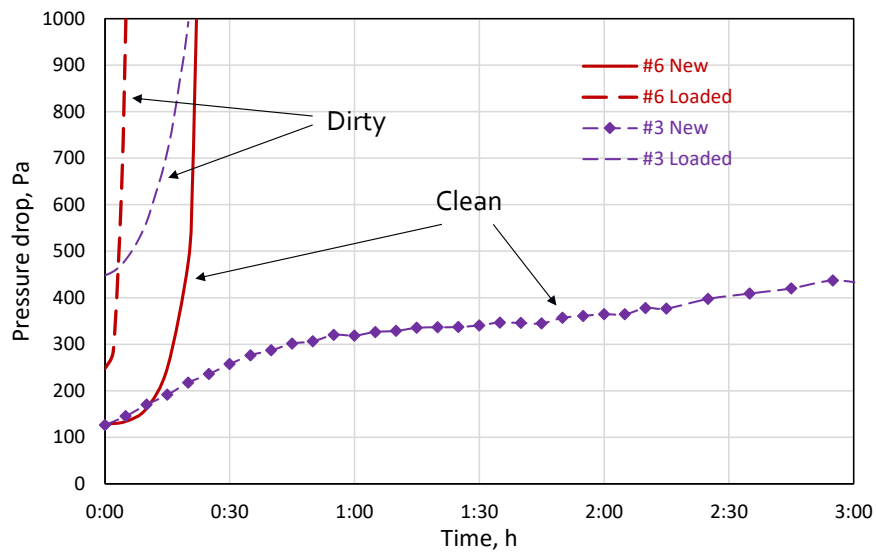


图 8 新滤筒与容尘后滤筒抗水雾性能比较

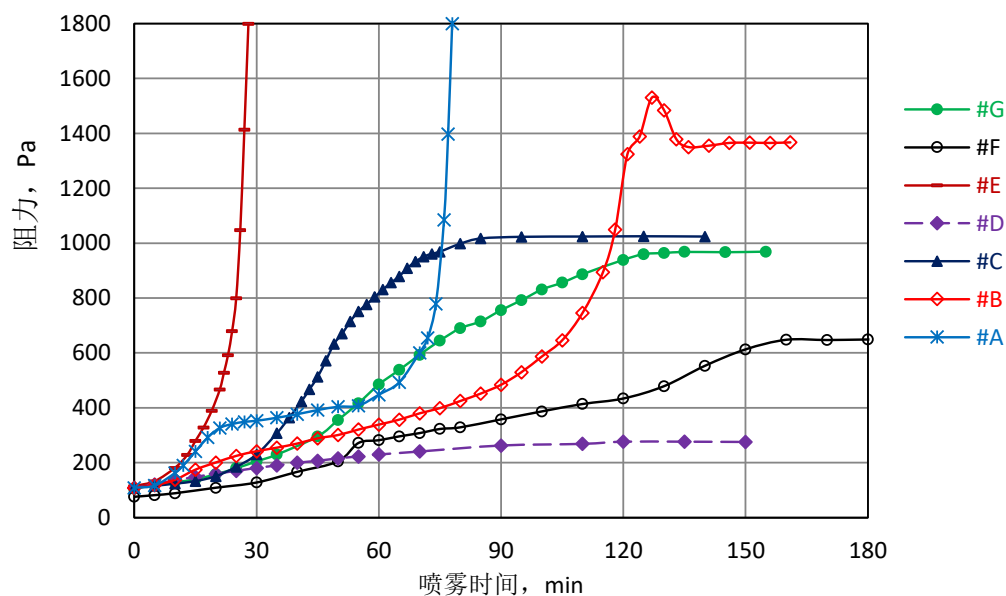


图 9 不同供货商样品抗水雾试验结果比较，新滤筒

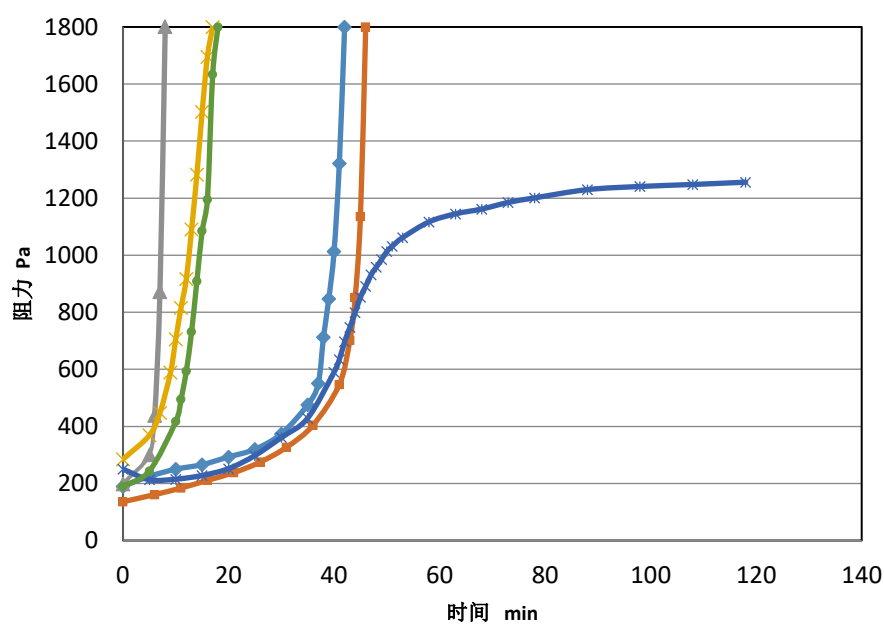


图 10 不同供货商样品抗水雾试验结果比较，脏滤筒

图 7～图 10 为在不控制空气湿度时探索性试验，表明该方法可以用来评估过滤器的耐湿性能，特别适用于不同类型过滤器的比较，同时表明容尘（脏）和水雾浓度对过滤器耐湿性能影响较大。

3.2 容尘胁迫试验

3.2.1 试验条件

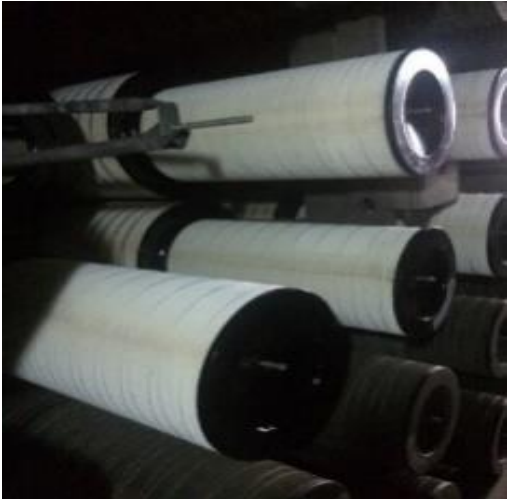
试验选取行业中常用的三种类型过滤器，按照在燃气轮机进气系统中实际等效运行小时数，分为 0h、1000 小时和 2000 小时等三个试验阶段。试验风量选取燃气轮机满负荷时单位过滤器进气量 2500m³/h，测试前 120min 试验介质为饱和湿空气，120min 至 180min 为含有 2g/m³ 游离水雾的气液两相流体。当达到试验终阻力 1300Pa 或达到三小时试验时间时结束试验，以先到者为准。试验材料如表 2 所示。

表 2 试验材料参数
Table2 The parameter of test materials

| 过滤器 | 等级 | 初始阻力/Pa | 自然容尘增量/g | | 水雾/ (g/m ³) |
|-----|----|---------|----------|-------|-------------------------|
| | | | 1000h | 2000h | |
| #1 | F9 | 127 | 430 | 750 | 2 |
| #2 | F9 | 134 | 210 | 355 | 2 |
| #3 | F9 | 145 | 120 | 430 | 2 |

3.2.2 试验结果分析

空气过滤器试验样品在三个运行阶段耐湿性能试验结果如图11-图13所示。



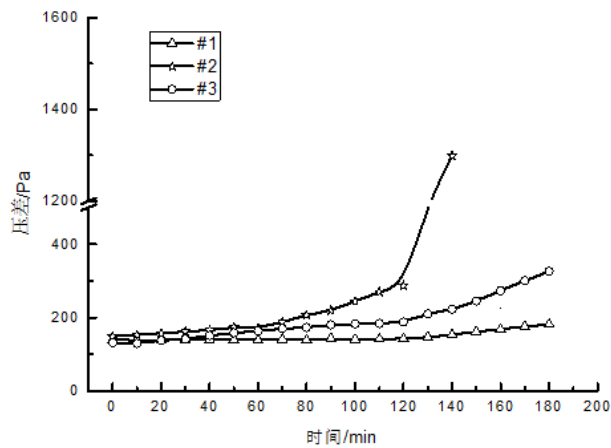


图11 新过滤器耐湿性能试验结果

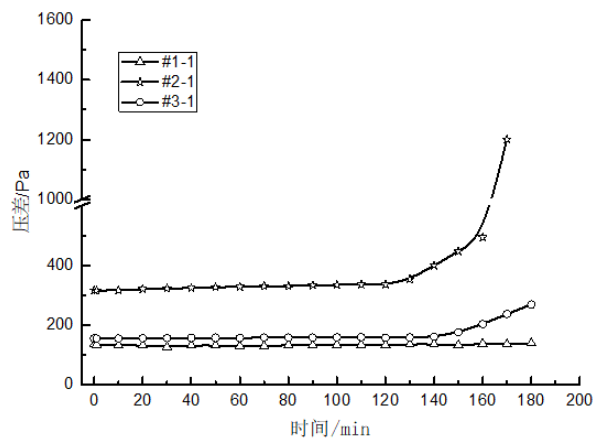


图13过滤器耐湿性能试验结果 (EOH=1000h)
(EOH=1000h)

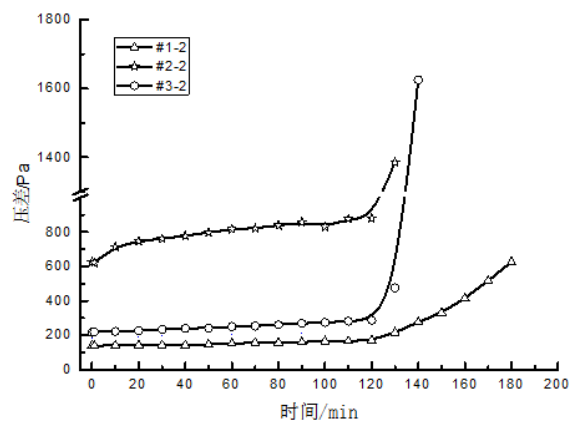


图4 过滤器耐湿性能试验结果 (EOH=2000h)
(EOH=2000h)

第一运行阶段，新过滤器的自然容尘量为零。如图 11 所示，试验工况下，

#1 在试验时间内压差变化较小, #3 在游离水雾胁迫阶段阻力有较大幅度增加; #2 在饱和湿空气下阻力略有上升, 在游离水雾胁迫中压差在 20 分钟内增长至 1300Pa, 过滤器耐湿性能优劣排序依次为#1、#3 和#2。

第二运行阶段为现场运行 EOH1000 小时, 耐湿性能试验结果如图 12 所示。由表 2 可知, 过滤器自然容尘量增长幅度差异较大, 三种过滤器虽受自然尘的影响, 但耐湿性能与第一试验阶段趋势相同。

第三运行阶段为现场运行 EOH2000 小时, #1 至#3 过滤器自然容尘量分别为 750g、355g 和 430g。如图 13 所示, #1 过滤器压差仅在含水雾空气中有所缓慢增长; 受容尘影响, #2 初始阻力上升至 600Pa, 在高湿和含水雾空气中压差增加较快; #3 过滤器压差在水雾胁迫下急剧增加。过滤器耐湿性能优劣排序与前两阶段保持一致。

3.2.3 试验结论

比较三种类型过滤器在不同容尘阶段的耐湿性能可知, 受自然尘的胁迫影响, 在一定程度上降低了过滤器的耐湿性能, 但基本不改变不同类型过滤器耐湿性能的优劣排序, 一方面证明了滤材和工艺等是决定耐湿性能的主要因素, 另一方面可以说明针对新过滤器耐湿性能测试比选结果可以充分反映现场实际的应用情况, 是一种科学的定量评价过滤器耐湿性能优劣的方法。对燃气轮机用户来说, 通过试验筛选耐湿性好的过滤器可以有效抵御和避免湿堵问题, 保障燃气轮机在雨水、雾霾、高湿等气候环境安全运行。

3.3 湿空气影响试验研究

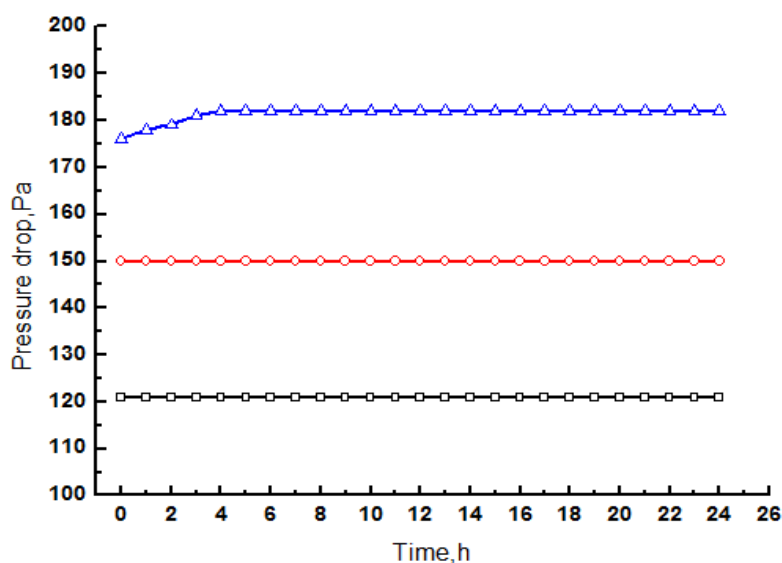


图 14 三种材质过滤器饱和湿空气影响试验

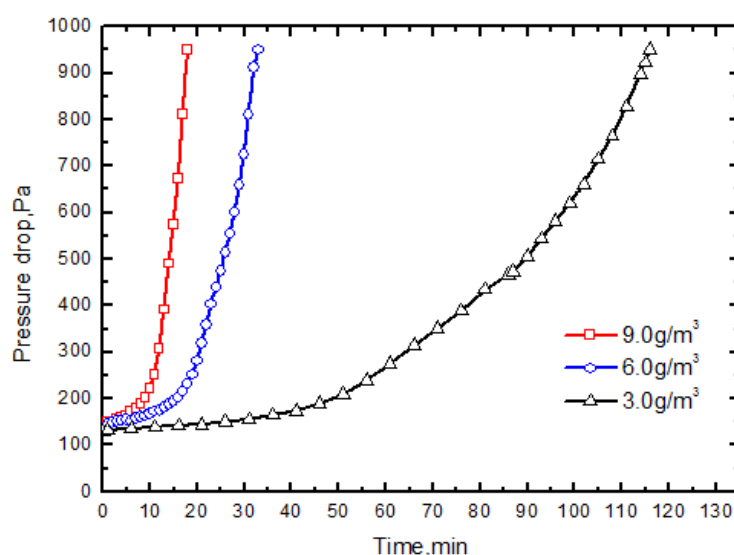


图 15 不同喷雾浓度对过滤器耐湿性能的影响

为了研究过滤器在高湿度环境下的阻力变化性能,采用饱和湿空气对三种不同材质的过滤器进行试验。试验全程中,试验材质为湿空气,相对湿度保持大于95%且不含有游离水液滴,试验时间设置为24小时,三种材质过滤器在饱和湿空气下的性能如图14所示。由图14可知,在试验时间24小时之内,三种类型过滤器在 $2500\text{m}^3/\text{h}$ 风量下阻力分别为120、150、180pa,阻力基本保持不变,试验表明仅采用饱和湿空气无法在短时间内考察过滤器的抗湿性能。对本试验来说,仅采用湿空气不适宜作为试验介质。

为了合理设计过滤器耐湿性能试验,采用带有一定浓度游离水的空气作为试

验介质进行重复试验。如图 15 所示，选取同一类型三组过滤器性能，分别采用游离水浓度为 $3\text{g}/\text{m}^3$ 、 $6\text{g}/\text{m}^3$ 和 $9\text{g}/\text{m}^3$ 进行试验，试验研究表明，在 $2500\text{m}^3/\text{h}$ 风量下，三次实验的初始阻力均为 120Pa ，过滤器阻力在游离水态试验介质随着试验时间均有较大的增加。根据试验方案，试验时间或阻力增加值达到 1000Pa 时终止时间。在 $3\text{g}/\text{m}^3$ 、 $6\text{g}/\text{m}^3$ 和 $9\text{g}/\text{m}^3$ 浓度下，过滤器阻力分别约在 120min 、 40min 和 20min 增加至 1000Pa 。对不同浓度水雾进行试验，筒式过滤器耐湿差异性较大。

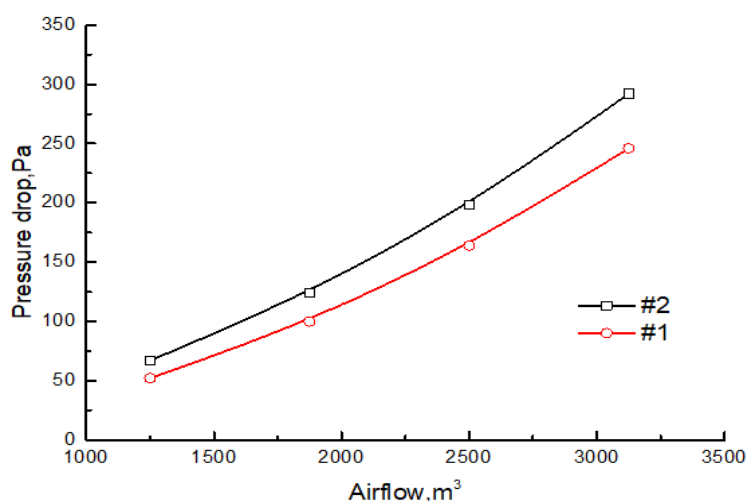


图 16 过滤器在不同风量下的阻力

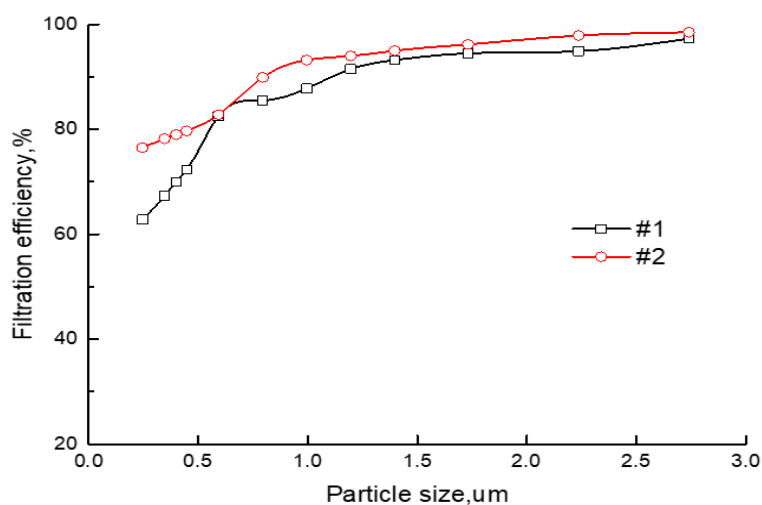


图 17 过滤器过滤效率变化

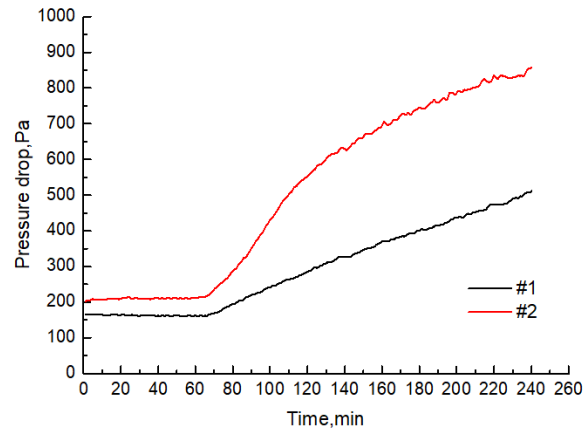


图 18 过滤器使用前后耐湿性能对比试验

耐湿试验过程中，风量选取燃机满负荷时单位过滤器进气量 $2500\text{m}^3/\text{h}$ ，测试前 60min 试验介质为饱和湿空气进行湿平衡处理，60min 至 240min 为含有 $6\text{g}/\text{m}^3$ 游离水雾的气液两相流体。当达到试验终阻力 1000Pa 或达到三小时试验时间时结束试验，以先到者为准，过滤器使用前后耐湿性能对比试验结果如图 18 所示。可知，在 60min 湿平衡时间内，两只过滤器的阻力均基本保持在 160Pa 和 200Pa。在喷雾阶段，#1 过滤器阻力逐渐上升，在 180min 内，阻力由 160Pa 逐渐增加到 500Pa。同样试验工况下，在 180min 内，#2 过滤器阻力由 200Pa 逐渐增加到 900Pa。受容尘影响，#2 过滤器阻力上升速率大于#1 过滤器阻力上升速率，表明使用后过滤器的耐湿性能劣于洁净过滤器的耐湿性能，燃机用户可通过不同类型过滤器间耐湿性能比对试验选取耐湿性能较好的过滤器。

3.4 重复性试验

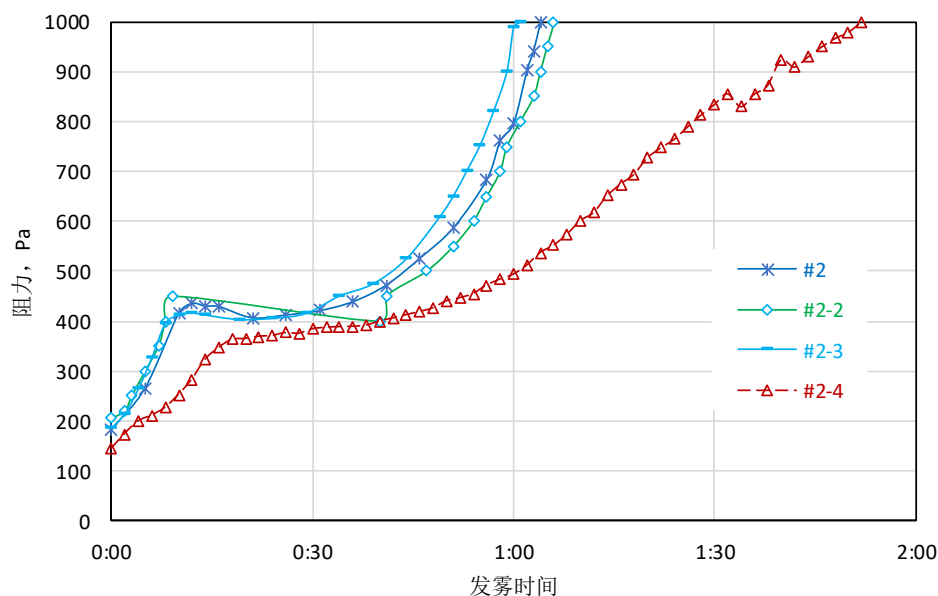


图 19 重复性试验

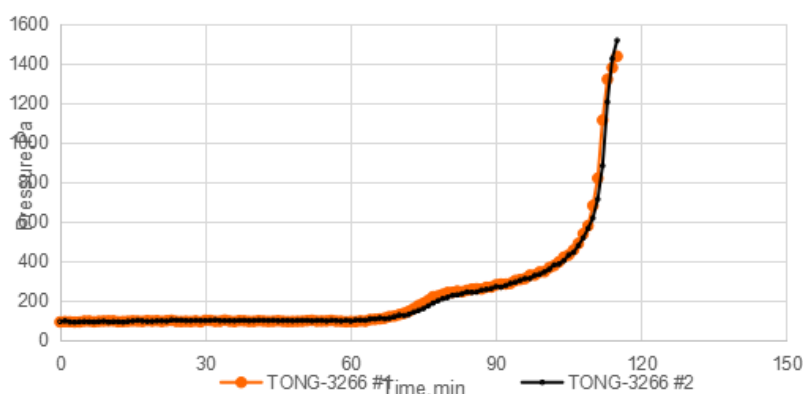


图 20 比对试验

在不同试验时间，在同一测试试验台上用相同的试验方法进行多次耐湿测试，试验结果表明，如图 19，该方法具有较好的重复性。同时与九江精密仪器有限公司实验室进行了不同实验室间的比对试验，如图 20，在同样的试验条件和工况下，TONG-3266 过滤器的耐湿性能试验数据基本重合。

3.5 结论

(1) 燃机进气过滤系统在高湿气候条件下运行时，进气阻力急剧增长的问题频发，严重影响了机组可靠性和经济性，当前进气过滤器的评价指标已无法满足运行在复杂气候条件燃机进气系统下评价需求；

(2) 基于过滤系统全阻力变化的主要影响因素，分析了过滤器在雨水、高湿等气候条件下压差急剧增长的原因和湿堵机理；自主设计了耐湿测试试

验装置，提出了进气过滤器耐湿性能评价方法。针对不同类型筒式过滤器开展了饱和湿空气及不同水雾浓度影响的试验研究工作，表明了饱和湿空气不适用于耐湿性能测试；

（3）对燃机实际使用进气过滤器对比试验测试。试验结果表明，过滤器表面污染物颗粒在一定程度上增加了过滤阻力，同时改善了过滤效率，降低了过滤器的耐湿性能，但基本不改变耐湿性能排序，故水雾胁迫可以反映出过滤器的耐湿性能。

（4）试验研究表明，在水雾浓度为 $6\text{g}/\text{m}^3$ 时对当前市面上的过滤器具有较好的区分度；

（5）试验研究表明，过滤器试验性能测试试验方法具有较好的重复性。

4 代替现行协会标准说明

《燃机空气过滤元件抗湿性能测试方法》为国内外首次提出，同时主编单位已在牵头制定相应的ISO国际标准ISO29461-7. 当前该国际标准处于委员会稿(CD)阶段，拟于2021年制定完成并发布实施。

5 其他事项说明

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。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。

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。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。

本标准方法依托国电燃机进气过滤器性能检测试验室已经在燃气发电行业得到有效应用，得到了国内外燃机用户、过滤器制造企业的一致肯定和认可，同时解决了我国燃机进气过滤器遇湿堵塞的难题，获得了行业的大力支持及赞誉。

标准给出的方法可重复、易操作、试验费用较低，其CRAA标准和ISO标准将在国际上得到广泛的应用。

6 参考资料

- [1] 中国制冷空调协会.标准化管理条例[C], 2004.
- [2] 蔡杰.空气过滤ABC[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [3] T/CRAA43× (IDT ISO 29464:2017) 空气及其他气体净化设备—术语[S].
- [4] 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[S],2016.
- [5] 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[S],2016.
- [6] 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[S],2011.
- [7] MUND F C , PILIDIS P. Gas turbine compressor washing : Historical
developments, trends and main design parameters for online systems[J]. Journal
of Engineering for Gas Turbines and Power,2006,128(2):344-353.
- [8] KURZ R, BRUN K. Degradation in gas turbine systems[J]. Journal of
Engineering for Gas Turbines and Power, 2000,123(1):70-77.
- [9] D.Thomas,P. Penicot, P.Contal,et al.J.Vendel. Clogging of fibrous filters by solid
aerosol particles Experimental and modeling study [J]. Chen. Eng.Sci.1967,22
- [10]张涛, 刘志坦, 付忠广, 郝洪亮, 朱鸿飞, 严志远. 燃气轮机进气系统湿堵
分析及对策[J]. 中国电力, 2018, 51(12): 29-35.
- [11]WILCOX M, KURZ R, BRUN K. Successful selection and operation of gas
turbine inlet filtration systems[C]//Proceedings of the 40th Turbomachinery
Symposium. Texas A&M University. Turbomachinery Laboratories, 2011.
- [12]WILCOX M, BALDWIN R, GARCIA-HERNANDEZ A, et al. Guideline for
gas turbine inlet air filtration systems[M]. Gas Machinery Research Council,
Dallas, TX, 2010.
- [13]BREKKE O, BAKKEN L E. Performance deterioration of intake air filters for
gas turbines in offshore installations[C]//ASME Turbo Expo 2010: Power for
Land, Sea, and Air. American Society of Mechanical Engineers, 2010: 685-694.
- [14]杨顺虎.燃气-蒸汽联合循环发电机组设计中几个节能问题探讨[J]. 中国电

力,2002,35(4):62-65.

- [15]李俊,龙涛.燃气轮机高效空气过滤器在极端天气下的应用对策[J]. 燃气轮机技术,2015,28(2):68-72.
- [16]曾彪,张旭,鲍谦.湿空气绝热节流系数计算及讨论[J]. 暖通空调,2011,41(9):115-117.
- [17]DELGADO-GARIBAY H, RANSOM D, WILCOX M. Filter failure during high humidity conditions[C]//ASME Turbo Expo 2010: Power for Land, Sea, and Air. American Society of Mechanical Engineers, 2010:185-193.
- [18]SAMUEL O,FIDELISI A,OLAYINKAS O. Performance modeling of industrial gas turbines with inlet air filtration system[J]. Case Studies in Thermal Engineering,2015(5):160-167.