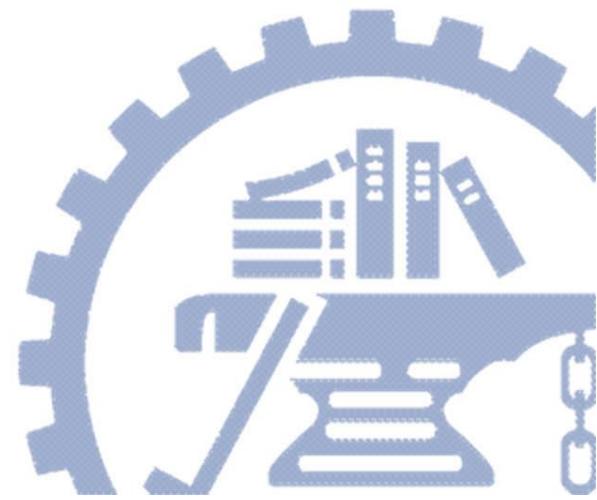




空调器在积灰环境下长效性能的 测试方法与标准制订

丁国良 教授
上海交通大学

2018. 04. 19.





目录



1 空调器长效性能研究背景



2 空调器长效标准发展概况



3 上海市技术标准立项情况



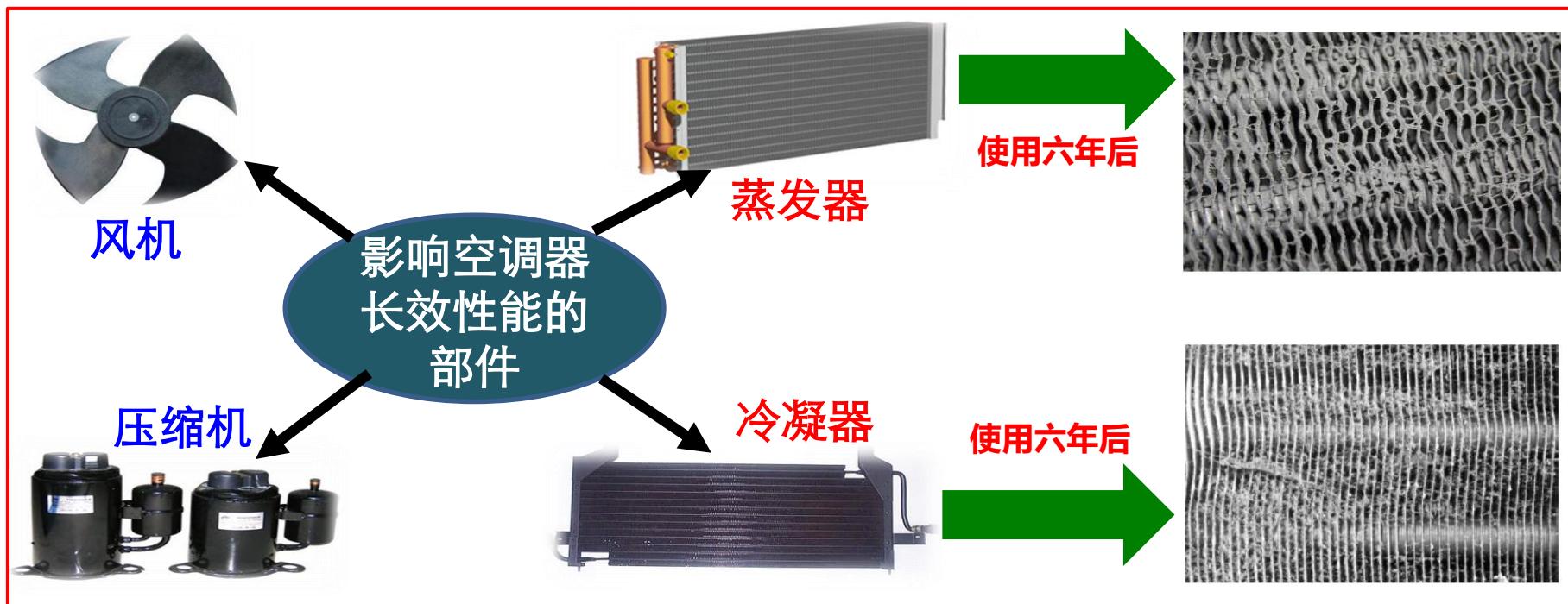
4 上海交大已开展工作介绍



5 后续工作展望

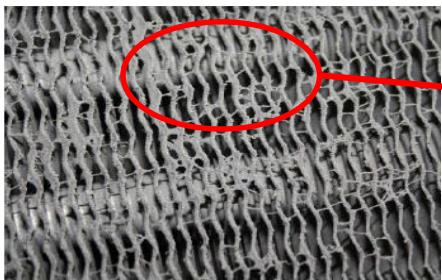
1.1 空调器长效性能所面临的基本情况

- **空调器长效性能:** 不同于出厂性能, 指的是空调器**经一定使用年限后的性能**.
- **换热器是影响长效性能最重要的部件:** 在空调器四大部件中, 换热器 (包括**蒸发器**和**冷凝器**) 所面临的长效性能衰减程度最严重.
- **积灰是影响长效性能最重要的因素:** 积灰的影响主要体现在**恶化传热并减小风量**, 可使制冷量衰减率达20%以上.

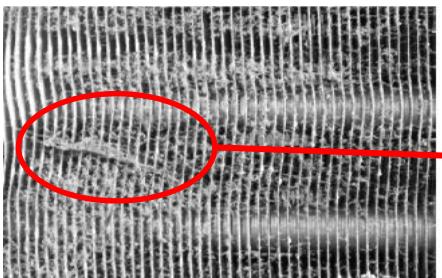


1.2 空调换热器表面积灰的基本特征

- **积灰成分复杂:** 积尘的大部分成分是粒径为1-100 μm 的颗粒物, 同时含有**少量的纤维**.
- **不同应用场景下积尘程度差异大:** 积尘特征涵盖换热器**表面干燥**、**表面有凝水**、**以及表面有雨水冲刷**三种情况.



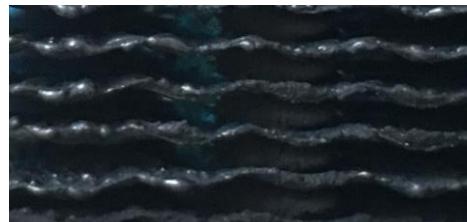
颗粒物污垢



纤维



表面干燥时的积尘



表面析湿时的积尘

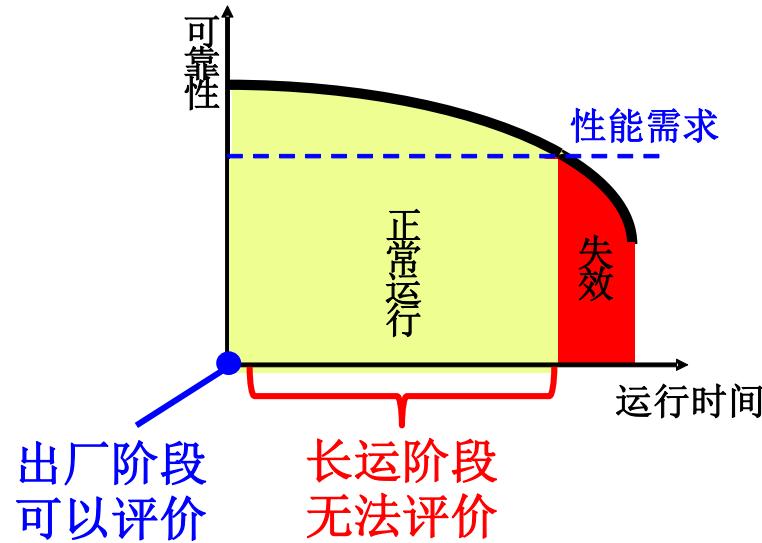


表面淋雨冲刷后的积尘

1.3 现有空调器国家标准不能评价长效性能

➤ 现有空调器国家标准只对新空调出厂阶段进行评价

- 主要评价指标
- 能效比 (EER)
 - 性能系数 (COP)
 - 制冷季节能源消耗效率 (SEER)
 - 制热季节能源消耗效率 (HSPF)
 - 全年能源消耗效率 (APF)



➤ 现有国家标准评价指标存在的缺陷: 没有考虑到空调器本身效率随着使用运行时间的增加而下降的情况.

结论: 亟需建立空调器长运阶段的性能评价标准, 建立能够评价空调器使用过程中性能下降的一个量化的、直观的、便于判定的指标.

目 录



1 空调器长效性能研究背景



2 空调器长效标准发展概况



3 上海市技术标准立项情况



4 上海交大已开展工作介绍



5 后续工作展望

2.1 空调器长效标准的发展历程



2.2 现有标准中的测试方法及评价指标

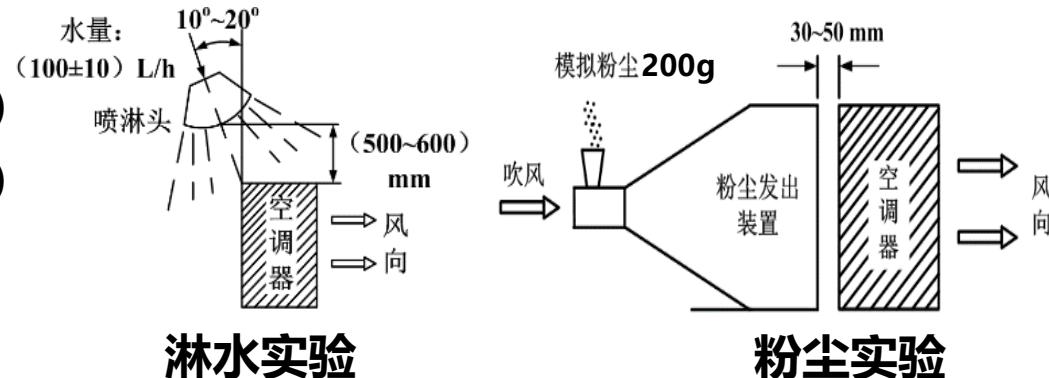
- **长效性能评价指标:**

- 制冷量长运衰减率 (限值10%)

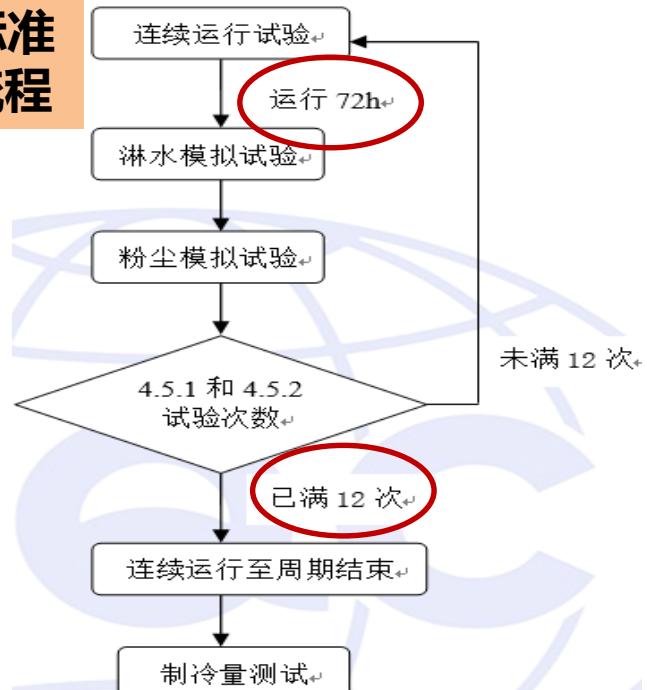
- 能效比长运衰减率 (限值15%)

- **长运性能衰减率实验:**

- **淋水实验**和**粉尘实验**

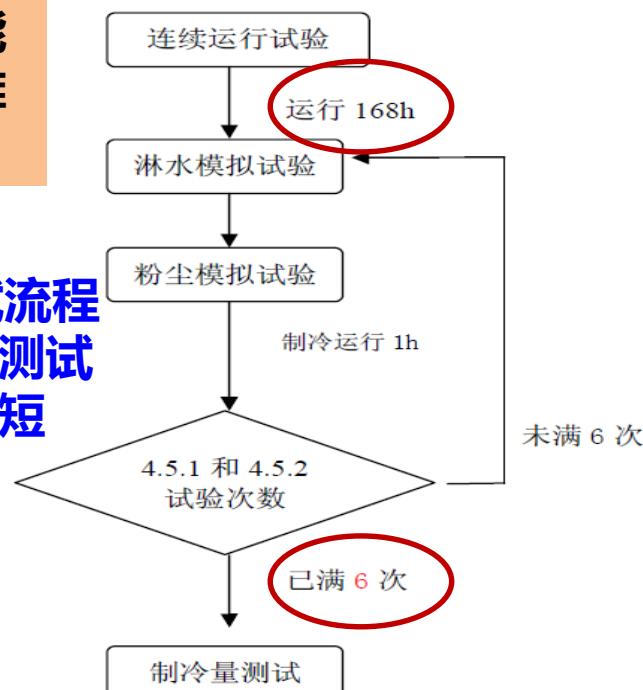


CQC标准测试流程



上海市节能领跑者标准测试流程

与CQC测试流程
类似，但是测试
时间有所缩短

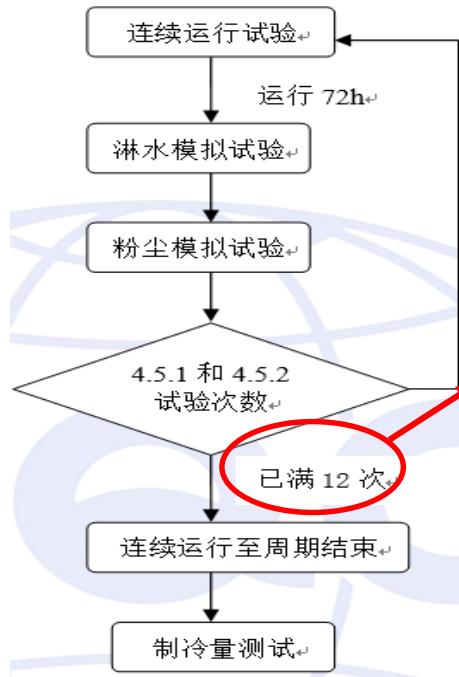


2.3 现有标准的不足

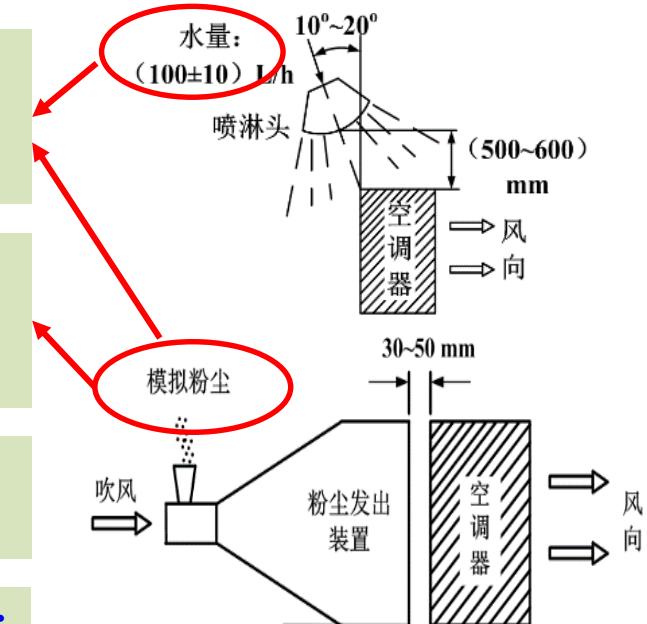
标准现状

CQC标准从2012年5月发布并实施，至今并未被广泛接受，且看不到被广泛接受的可能性，更谈不上成为国家标准的可能。

原因分析



- 不能反映实际长运环境条件：喷粉参数和淋雨参数脱离实际长运环境工况
- 测试结果难以保证重复性：喷粉过程不均匀不稳定，受人为因素影响较大
- 测试方法的经济性差：单次测试可达一个月之久
- 能效衰减率评价准则过于单一：没有考虑地域差异和产品差异



制冷量长运衰减率(限值10%)
能效比长运衰减率(限值15%)

目 录



1 空调器长效性能研究背景



2 空调器长效标准发展概况



3 上海市技术标准立项情况



4 上海交大已开展工作介绍



5 后续工作展望

3.1 上海市正式立项空调器长效性标准项目

- **立项名称:** 《房间空调器长效性能测试方法研究与团体标准制定》 .
- **承担单位:** 上海交通大学等
- **执行时间:** 2018年04月~2020年03月.

上海市科学技术委员会
科研计划项目可行性方案
(V1.0版)

指南名称 上海市2018年度“科技创新行动计划”技术标准项目指南

项目名称 房间空调器长效性能测试方法研究与团体标准制定

开始日期 2018-04-01

结束日期 2020-03-31

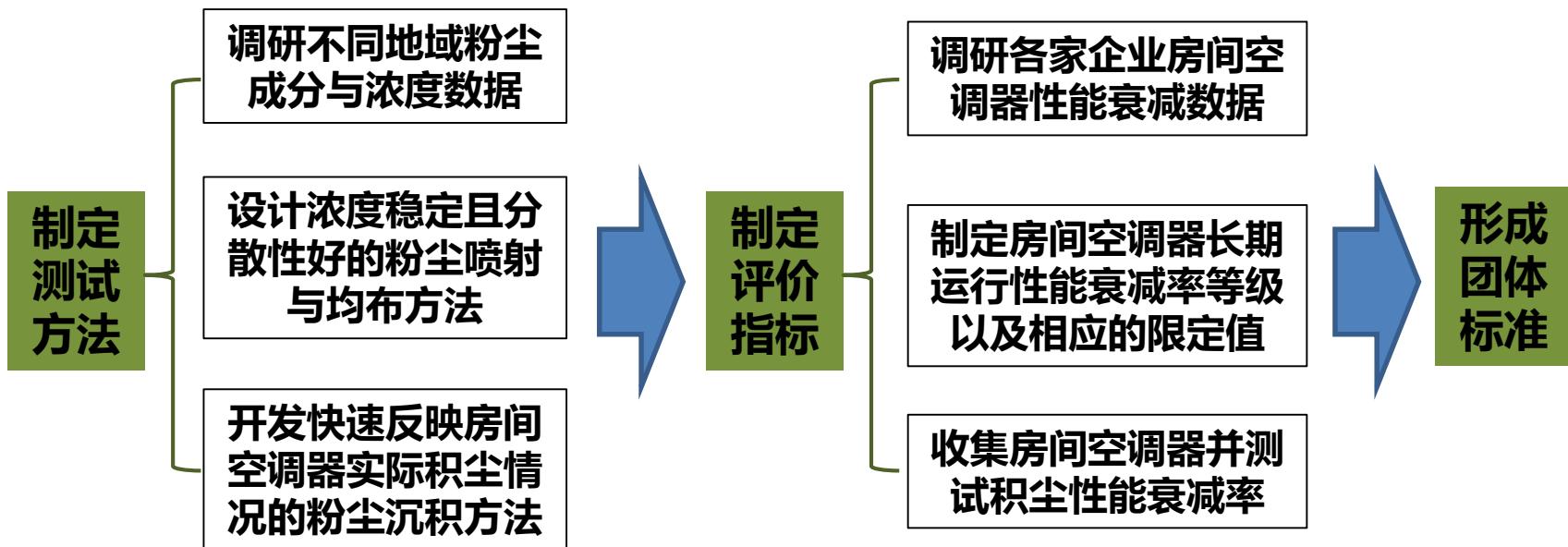
承担单位 上海交通大学 (盖章)

3.2 立项的目标及研究内容

研究目标

- 1) 开发**可重复性好、测试耗时少**的房间空调器长期运行性能衰减测试方法;
- 2) 构建房间空调器**长效性能评价指标**;
- 3) 形成可推广应用的**房间空调器长效性能的团体标准**.

研究内容



3.3 立项的关键技术问题

关键点1：喷粉方法的确定

掌握粉尘质量流量稳定且分散性好的粉尘喷射方法

关键点2：测试装置的设计

开发能够保障测试环境中粉尘浓度高且稳定的方法

关键点3：测试流程的确定

开发能够快速反映空调实际积尘情况的粉尘沉积方法

关键点4：评价指标的确定

- 建立多层次的评价体系，充分调动企业提高空调长运能效的动力

目 录



1 空调器长效性能研究背景



2 空调器长效标准发展概况



3 上海市技术标准立项情况

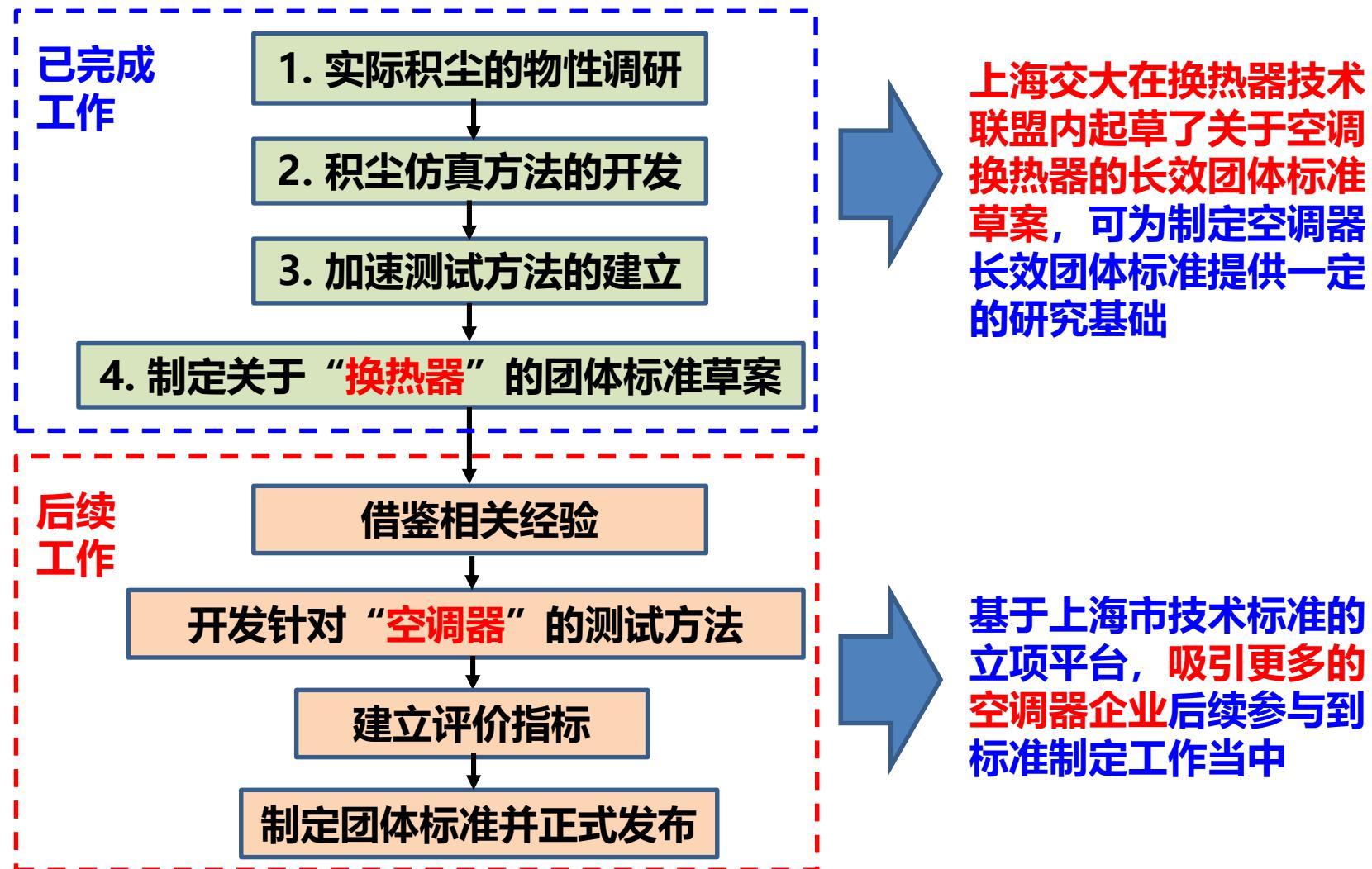


4 上海交大已开展工作介绍



5 后续工作展望

4.1 总体工作概览



备注：换热器技术联盟是由上海市制冷学会发起的，其会员单位包含了格力、美的、海尔、海信科龙、志高、TCL、盾安等在内的国内主要空调器和换热器生产企业。

4.2 已完成工作介绍(第1部分) ——积尘调研

空调积尘实地调研

积尘成分分析

气象参数收集

调研城市	调研对象	调研目的	调研场景的说明
南京、菏泽、 郑州、西安、 成都、武汉、 保定和北京 共8个城市	已使用2~9 年的空调器 换热器	<p>1) 拍摄空调换热器堵塞形貌；</p> <p>2) 采集实际积尘样品，分析积尘样品的物性，包括积尘成分、粒径、纤维比重、粘度等；</p> <p>3) 获得当地气象参数，包括PM10浓度、温度、湿度等</p>	<p>1) 主要调研场景为室外近地面场景，包括街边、商业街、高校、居民区等，对这些场景分别拍摄了空调换热器表面的积尘形貌照片并采集了积尘样品；</p> <p>2) 室内场景（主要为居民区），包括1~15层楼。</p>

4.2 已完成工作介绍(第1部分) ——积尘调研

空调积尘实地调研

积尘成分分析

气象参数收集

结论1：

不同场景下（街边店、商业街、高校及居民区），换热器积灰程度差异较大；其中街道边换热器积灰程度最严重。

结论2：

不同高度下，换热器积灰程度不同，其中近地面换热器积灰最严重；换热器安装位置越高，积灰程度越弱。

结论3：

在街道场景下，对于使用5年及以上的室外换热器，其迎风表面几乎全部被含尘纤维堵塞。

4.2 已完成工作介绍(第1部分) ——积尘调研

空调积尘实地调研

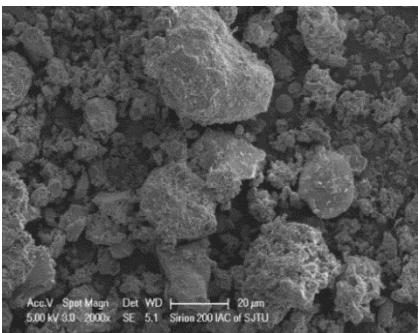
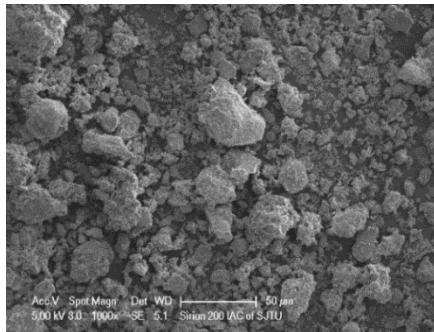
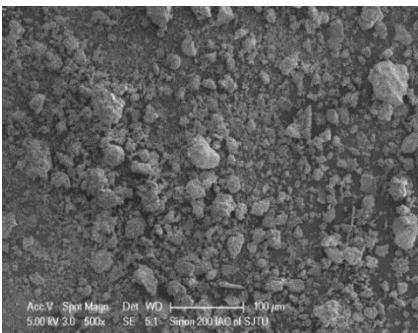
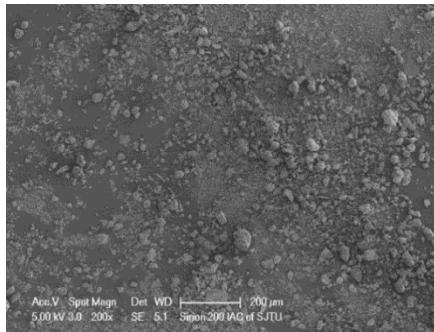
积尘成分分析

气象参数收集

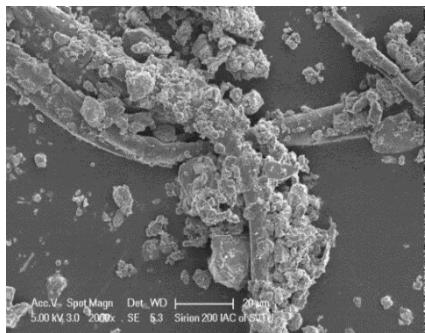
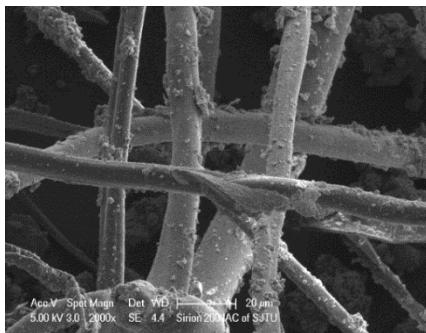
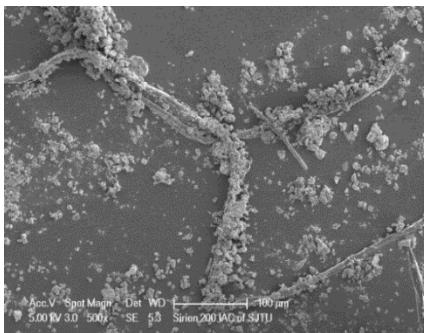
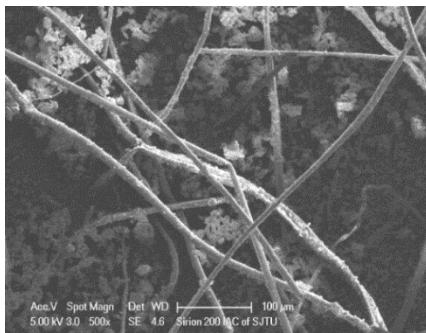
粉尘颗粒物分析方法	纤维比重分析方法	粘度分析方法	样品分析种类的说明
直接进行化学元素谱分析以及颗粒物粒径分析	将原始样品洗净并烘干，按照纤维长度进行分类并称重	根据国标 GB/T 16913.9 -1997 中的“粉尘物性试验方法”，搭建粉尘粘度测试装置	<p>1) 根据空调行业调研结果可知，室外近地面场景下的堵塞情况最严重，因此针对每个调研城市分别选取近地面场景下的积尘样品进行物性分析；</p> <p>2) 室内场景下积尘物性分析，则由个别城市（北京）的积尘样品来得到。</p>

4.2 已完成工作介绍(第1部分) ——积尘调研

粉尘颗粒物表面微观形貌



纤维表面微观形貌



结论:

- 1) 空调表面的积尘污垢中，粉尘颗粒物的尺寸大小不均匀，外观形状不规则；
- 2) 除了颗粒物外，积尘污垢中还含有纤维，且纤维表面更容易捕获颗粒物。

4.2 已完成工作介绍(第1部分) ——积尘调研

空调积尘实地调研

积尘成分分析

气象参数收集

数据源

- 气象网站
<http://data.cma.cn/data/weatherBk.html>
- <http://www.aqistudy.cn/historydata/>
- <http://www.myforecast.com/bin/climate.m?city=12844&metric=false>

城市分布

- 西北地区
- 东北地区
- 东南地区
- 西南地区

数据处理

- 加权计算出月平均参数

$$T_{ave} = \sum_i^N T_i / N$$

$$V_{ave} = \sum_i^N V_i / N$$

$$RH_{ave} = \sum_i^N RH_i / N$$

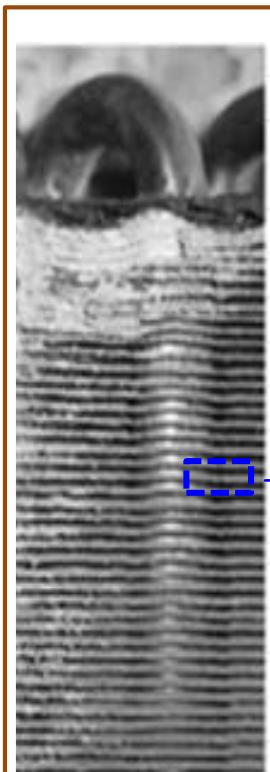
$$C_{ave} = \sum_i^N C_i / N$$

气象参数

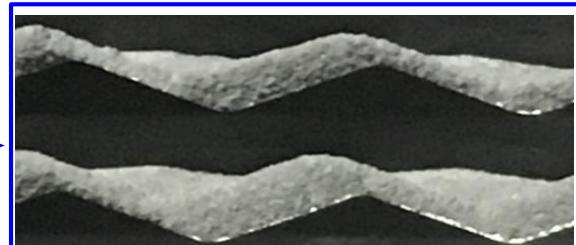
- 温度(1981~2010年)
- 风速(1981~2010年)
- 相对湿度(1981~2010年)
- PM10 浓度(2013~2015年)

4.3 已完成工作介绍(第2部分) —— 积尘仿真

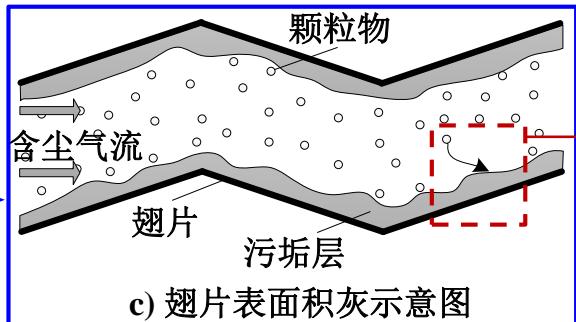
➤ 物理过程分析



a) 翅片管换热器表面积灰

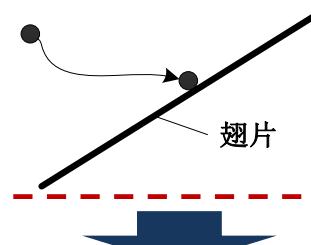


b) 翅片表面积灰图



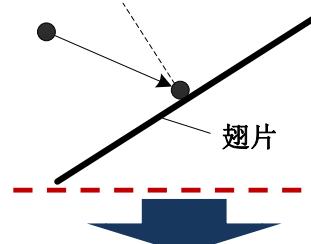
c) 翅片表面积灰示意图

d) 过程1: 颗粒物传输至翅片



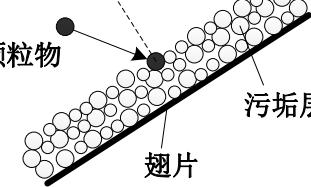
颗粒物传输子
模型: 计算颗粒物运动轨迹

e) 过程2: 颗粒物与翅片碰撞



颗粒物-翅片碰撞模型: 模拟颗粒物沉积

f) 过程3: 颗粒物与污垢层碰撞

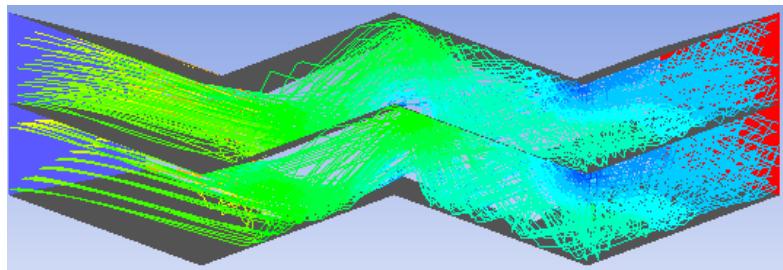
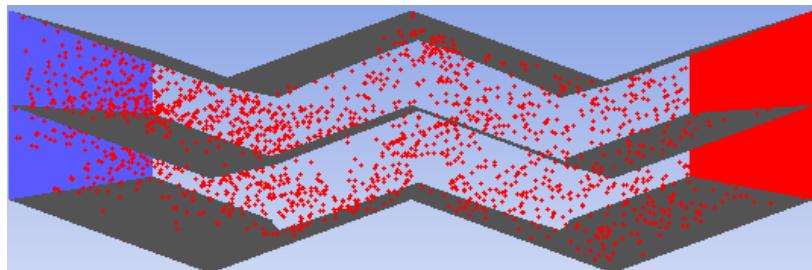


颗粒物-污垢层碰撞模型: 模拟颗粒物沉积

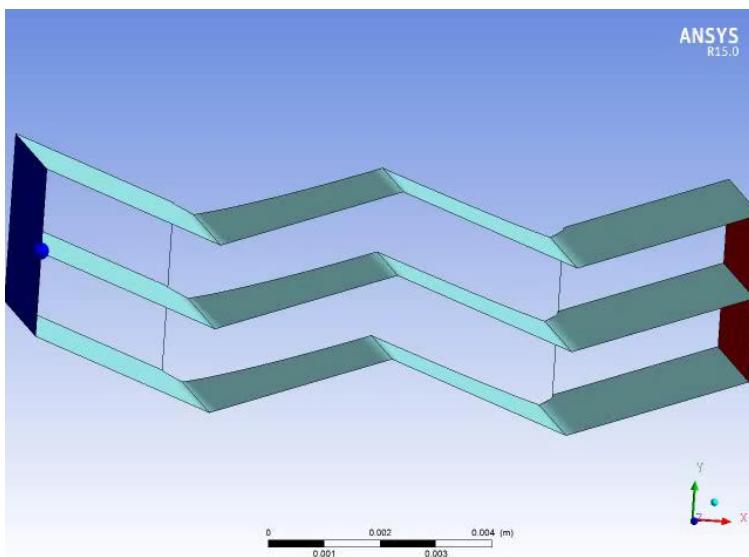
4.3 已完成工作介绍(第2部分) ——积尘仿真

➤ 模拟结果

三维颗粒物运动轨迹



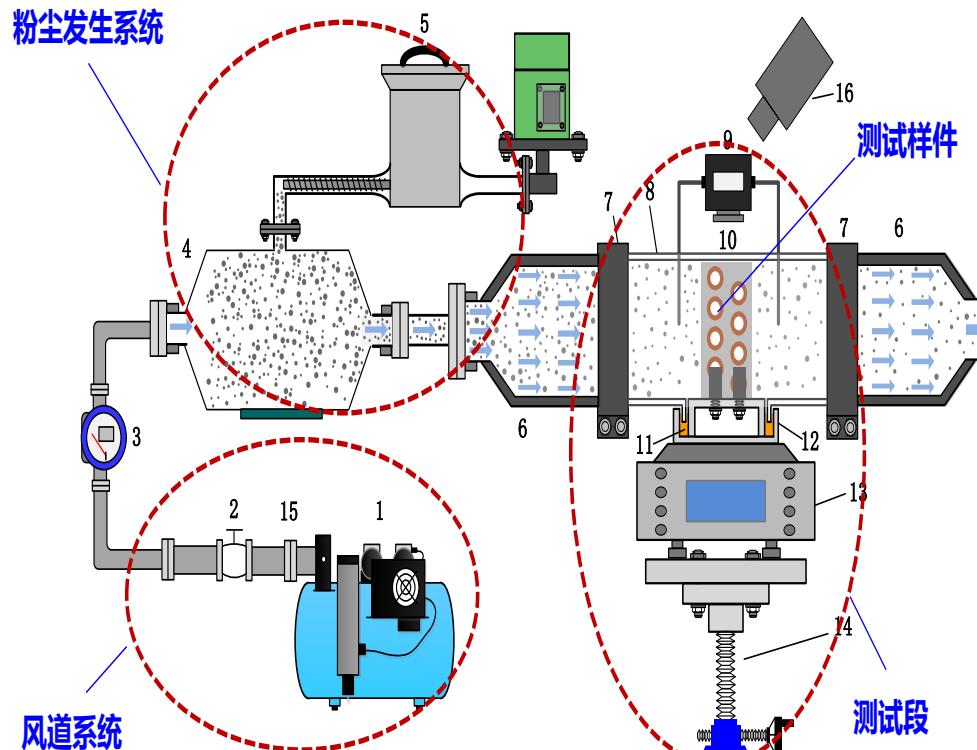
ANSYS
R15.0



4.3 已完成工作介绍(第2部分) ——积尘仿真

➤ 实验验证

实验台原理图



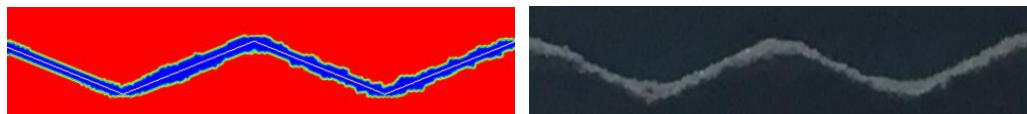
实验台实物照片



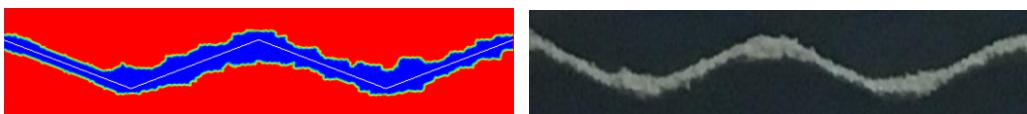
4.3 已完成工作介绍(第2部分) —— 积尘仿真

➤ 实验验证

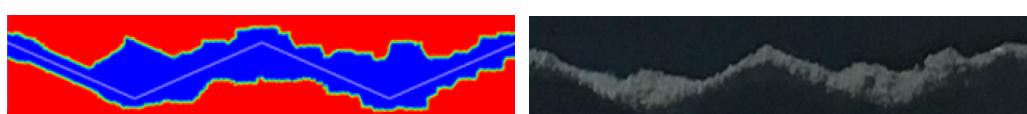
实验验证-积尘厚度分布



T=10min



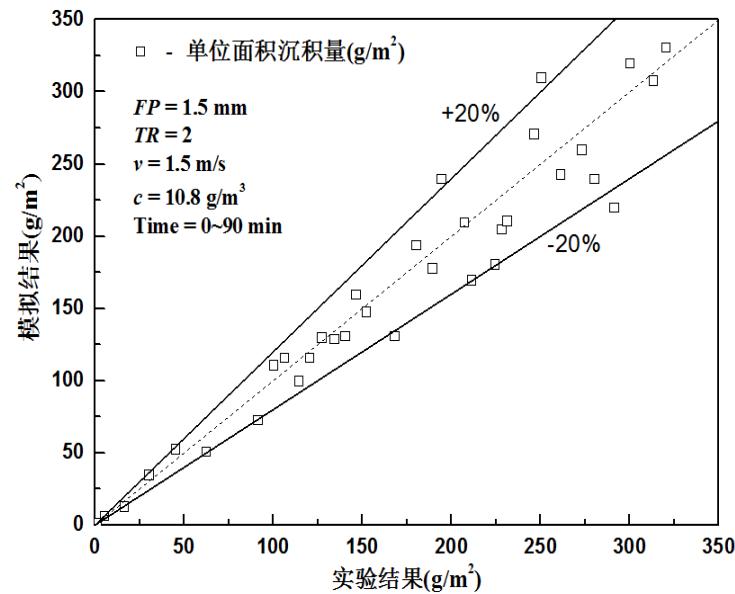
T=30min



T=60min

沉积厚度对比结论：具有较好的吻合度.

实验验证-沉积量



沉积量对比结论：单位面积沉积量模拟结果与88%的实验结果之间的误差在±20%以内，平均误差为12.8%

4.4 已完成工作介绍(第3部分) —— 测试方法

加速工况设计

测试装置设计

测试流程设计

加速因子开发

测试结果分析

粉尘源成分

- 室外场景：由8个调研城市所采集的室外近地面样品的物性分析来确定
- 室内场景：由个别城市（北京和上海）所采集的室内场景下积尘样品的物性来确定

粉尘浓度

- 室外场景：污染严重地区实际PM10浓度为1200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；通过模拟确定完全堵塞时间在20h以内时，浓度需达到实际浓度的100倍（120 mg/m^3 ）
- 室内场景：设计为室外场景的80%

淋雨量

经调研发现，全国年平均降雨量约为61.8mm，滴水强度按照GB4208-2008中的滴水强度1mm/min来定，滴水时间设计为1h

4.4 已完成工作介绍(第3部分) —— 测试方法

加速工况设计

测试装置设计

测试流程设计

加速因子开发

测试结果分析

工况	室外场景	室内场景
粉尘成分	按照重量比重, 50%的SiO ₂ 、30%的Al ₂ O ₃ 、19%的CaO以及1%的炭黑	按照重量比重, 60%的SiO ₂ 、20%的Al ₂ O ₃ 、19%的CaO以及1%的炭黑
粒径		中位径15μm
纤维比重	按照重量比重, 纤维重量为粉尘重量的12%, 其中短棉绒纤维(2~5mm)占纤维总量的75%、长纤维占纤维总量的25%	按照重量比重, 纤维重量为粉尘重量的3%, 其中短棉绒纤维(2~5mm)占纤维总量的60%、长纤维占纤维总量的40%
风速	积尘氛围中无环境风速, 由室内机/室外机换热器自带风扇给定入口风速	
温度		环境温度15°C~25°C
相对湿度		>90%
粉尘浓度	120mg/m ³	100mg/m ³
淋雨强度	年平均降雨量为61.8mm, 滴水强度按照GB4208-2008中的滴水强度1mm/min	—

4.4 已完成工作介绍(第3部分) —— 测试方法

加速工况设计

测试装置设计

测试流程设计

加速因子开发

测试结果分析

	粉尘源成分对比	纤维成分对比
本研究设计的粉尘源	以室外场景为例：按照重量比重，50%的SiO ₂ 、30%的Al ₂ O ₃ 、19%的CaO以及1%的炭黑	以室外场景为例：按照重量比重，纤维重量为粉尘重量的12%，其中短棉绒纤维(2~5mm)占纤维总量的75%、长纤维占纤维总量的25%
美国ASHRAE52.1-1992	72%亚利桑那粉尘、25%炭黑及5%棉绒纤维	纤维长度不超过4mm
日本JIS C5402-11-8-2002	97% ~ 99%的二氧化硅	没有考虑纤维
中国GB13270-91	72%的黄土尘、25%的炭黑以及3%的短纤维	只有短纤维，没有长度大于20mm的长纤维

与国内外标准规定的粉尘源对比结论：

1. 国内外已有的粉尘测试标准中，只规定了一种固定的粉尘成分，并没有区分场景；而**本研究所设计的粉尘源成分按照室外场景和室内场景有所区分**；
2. 与国内已有的模拟大气尘标准相比，本研究粉尘源中的纤维成分更复杂、比重更大，**本项目测试标准比国内标准更贴近空调实际运行场景**。

4.4 已完成工作介绍(第3部分) —— 测试方法

加速工况设计

测试装置设计

测试流程设计

加速因子开发

测试结果分析

换热器
使用场景

室内场景

室外场景

加速积尘
测试需求

积尘实验

淋雨实验

粉尘环境

纤维环境

需要的测
试装置

1. 积尘测试实验台, 实现大气氛围中含有粉尘和纤维;
2. 淋雨测试实验台, 实现降雨模拟

4.4 已完成工作介绍(第3部分) —— 测试方法

加速工况设计

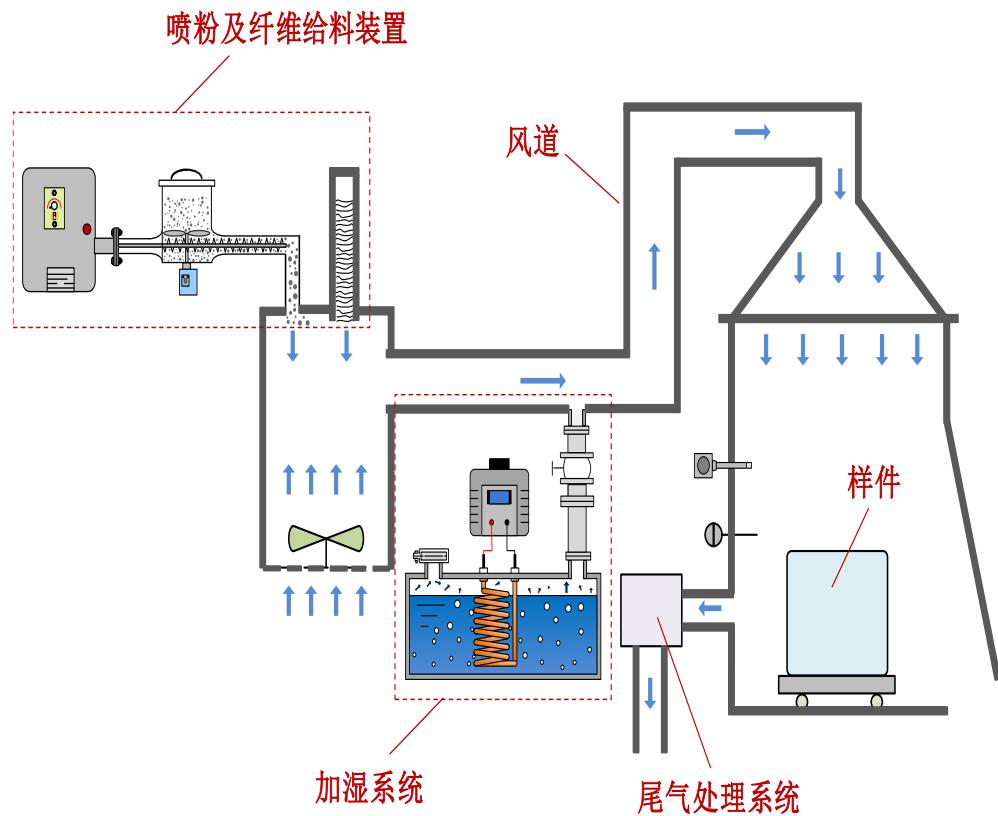
测试装置设计

测试流程设计

加速因子开发

测试结果分析

换热器加速积尘测试原理设计



加速积尘测试台实物



4.4 已完成工作介绍(第3部分) —— 测试方法

加速工况设计

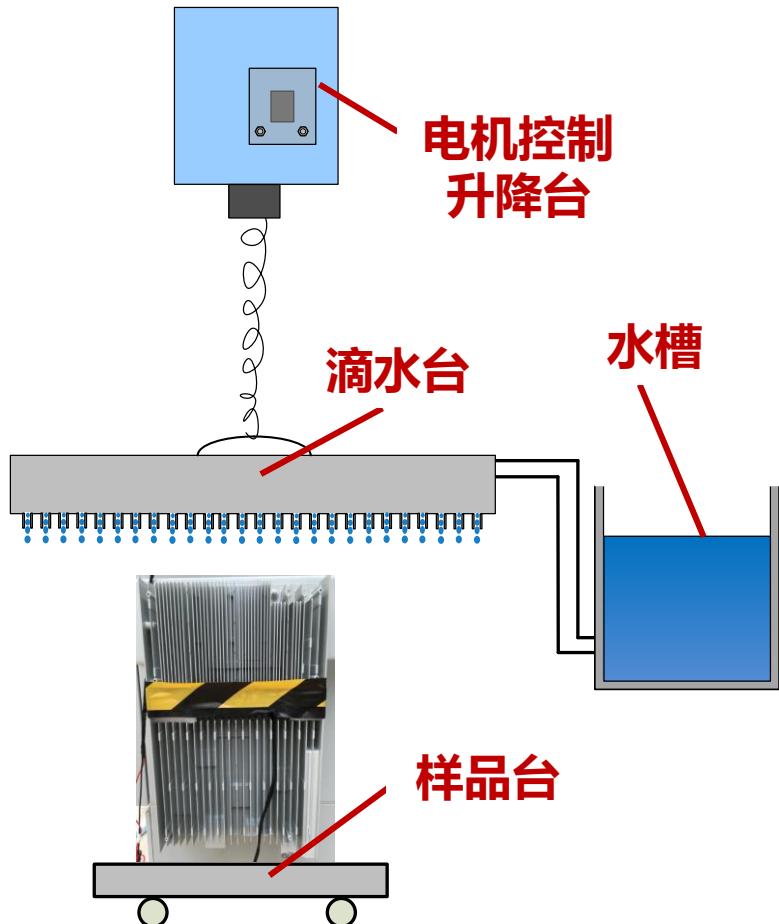
测试装置设计

测试流程设计

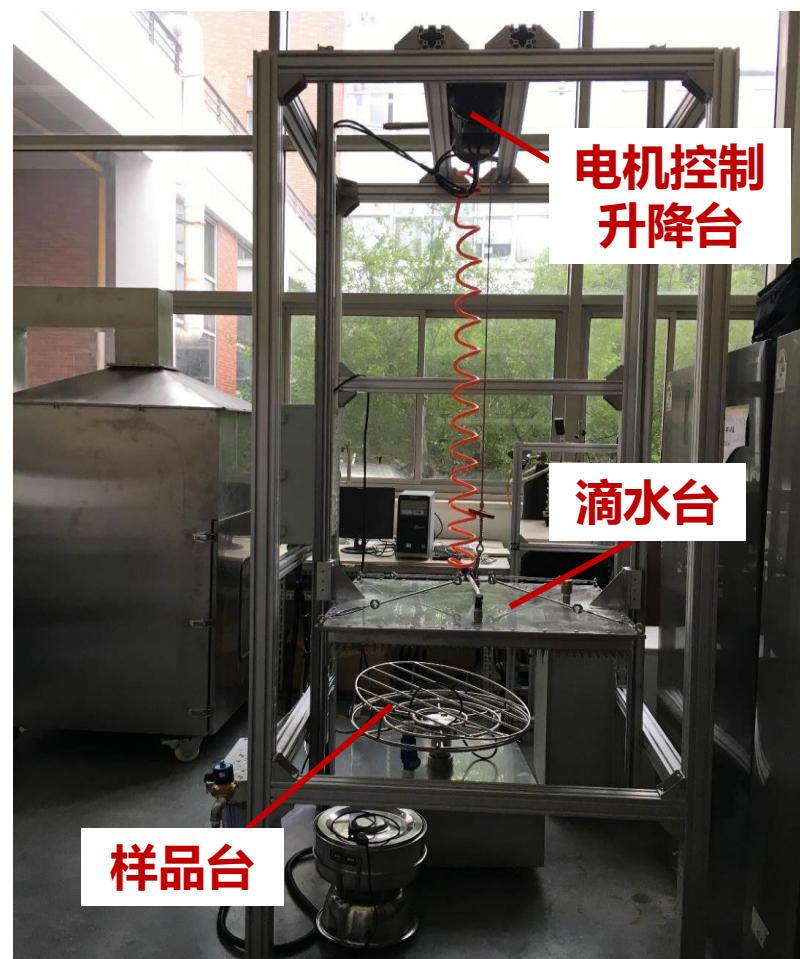
加速因子开发

测试结果分析

基于GB 4208-2008中IPX1滴水实验标准



淋雨测试装置实物



4.4 已完成工作介绍(第3部分) —— 测试方法

加速工况设计

测试装置设计

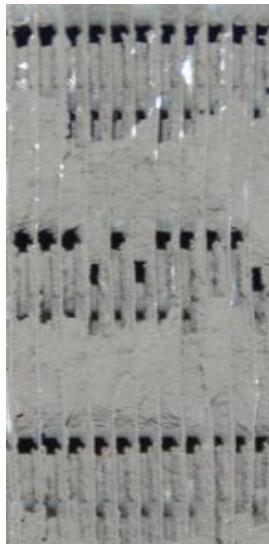
测试流程设计

加速因子开发

测试结果分析

➤ 测试流程分析

不同喷粉方式下的测试结果



只喷粉尘



粉尘+3%纤维



粉尘+9%纤维

为了能够达到实际堵塞中**前端堆积大量纤维、后端沉积少量颗粒物**的积尘分布效果，可分成两个阶段来依次喷粉：

- 1) 首先喷射粉尘颗粒物，保证散热翅片各个位置上均分布有粉尘颗粒物；
- 2) 然后喷射含有一定纤维配比的粉尘，保证迎风面上能够被堵塞。

4.4 已完成工作介绍(第3部分) —— 测试方法

加速工况设计

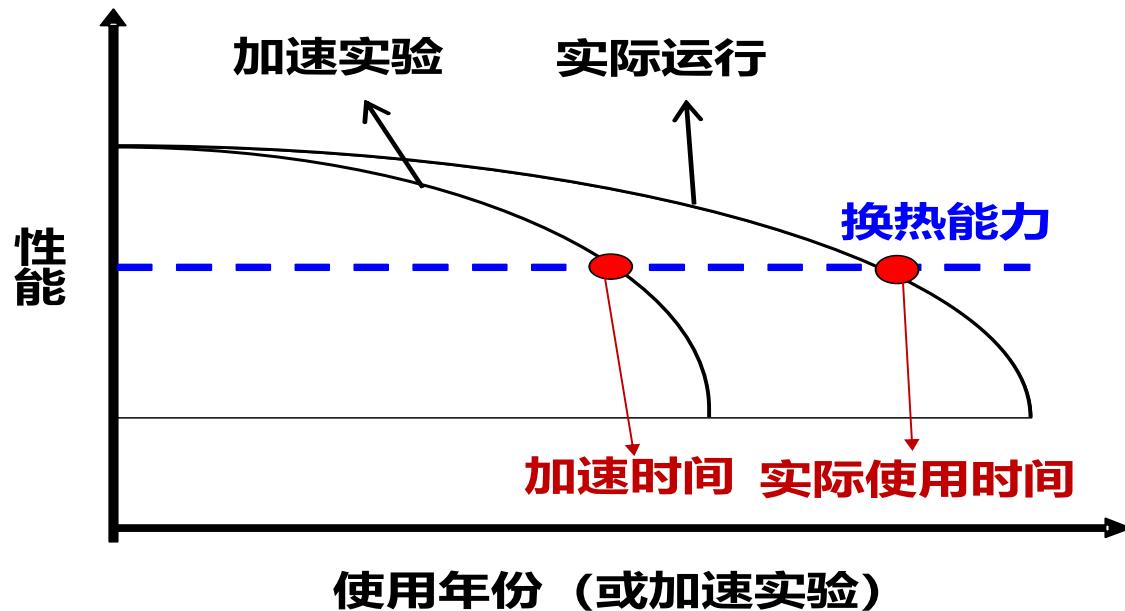
测试装置设计

测试流程设计

加速因子开发

测试结果分析

➤ 加速结果与实际换热器性能衰减对应关系



加速实验后性能衰减

- 浓度: 100mg/m³
- 时间: 24h



实际运行3年后性能衰减

- 浓度: 约1mg/m³
- 时间: 约2400h

4.4 已完成工作介绍(第3部分) —— 测试方法

加速工况设计

测试装置设计

测试流程设计

加速因子开发

测试结果分析

➤ 通过实际运行时间确定加速测试需要的时间——加速因子

$$AF = \frac{t_{\text{实际}}}{t_{\text{加速}}} = \left[\left(\frac{RH_{\text{实际}}}{RH_{\text{加速}}} \right)^\alpha \right] \exp \left[\varphi \cdot \left(\frac{1}{C_{\text{实际}}} - \frac{1}{C_{\text{加速}}} \right)^\tau \right]$$



高湿度加速影响

高浓度加速影响

AF – 加速因子

α – 反映湿度影响的拟合参数

φ, τ – 反映粉尘浓度影响的拟合参数

$C_{\text{实际}}$ – 换热器实际运行环境的粉尘浓度

$C_{\text{加速}}$ – 换热器在加速测试实验中采用的粉尘浓度

4.4 已完成工作介绍(第3部分) —— 测试方法

加速工况设计

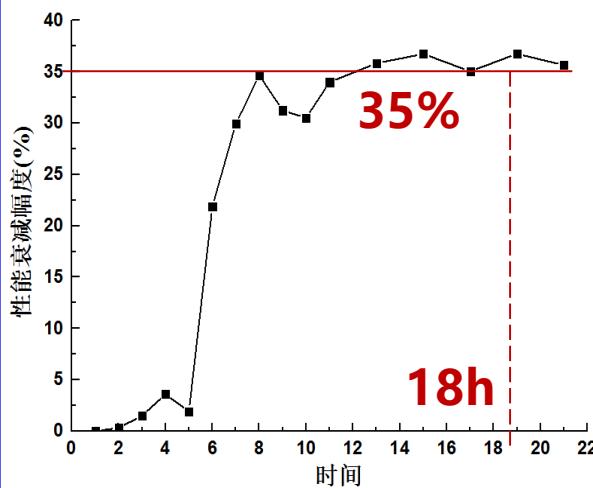
测试装置设计

测试流程设计

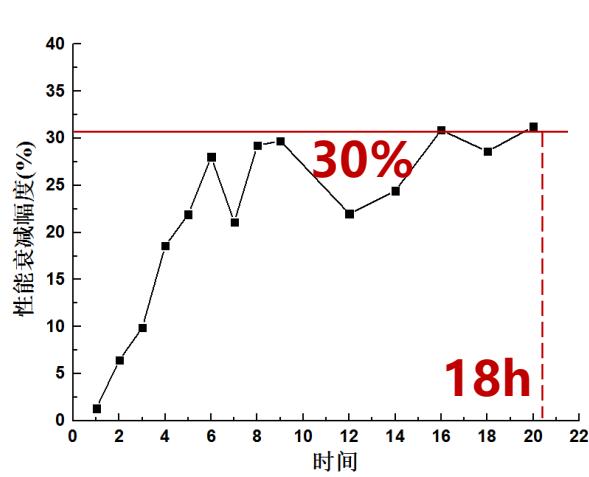
加速因子开发

测试结果分析

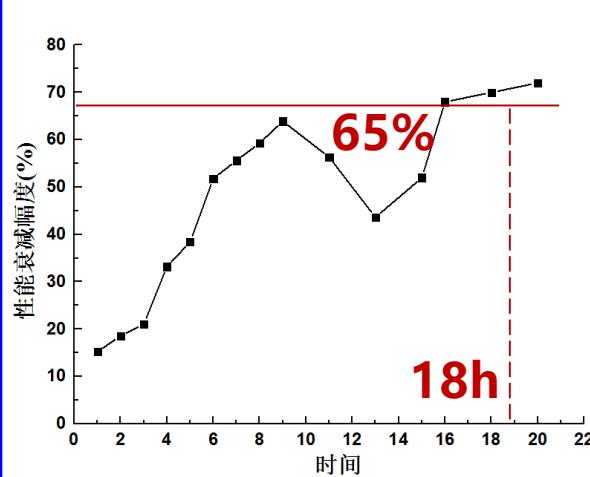
翅片管式换热器



翅片管式换热器+涂层



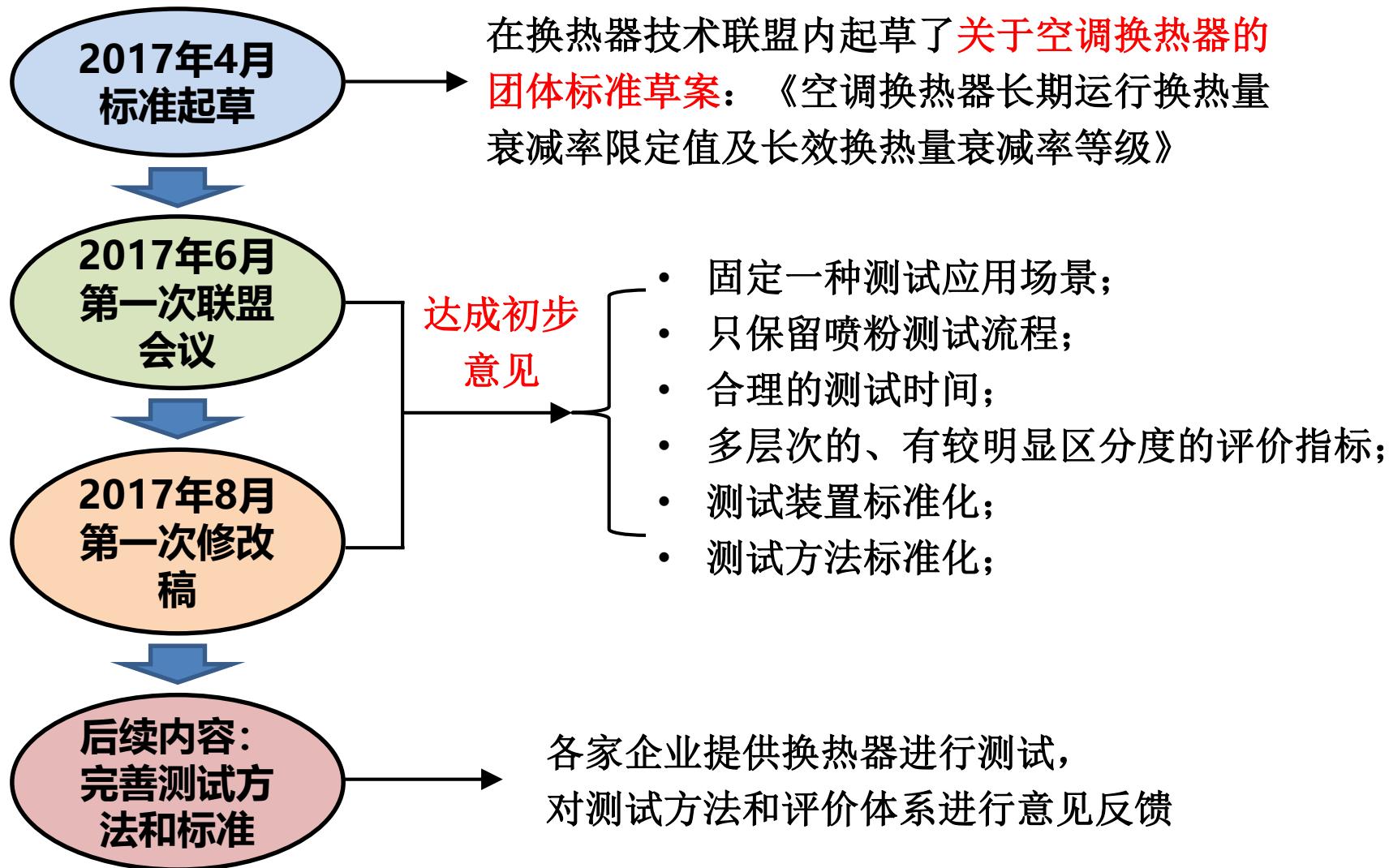
平行流换热器



结论：

- 1) 积尘18h后换热器的性能衰减率基本稳定，可代表换热器实际运行积尘稳定情况；
- 3) 涂层具有一定的防尘效果；
- 4) 平行流换热器完全堵塞后相比于翅片管换热器衰减更严重。

4.5 已完成工作介绍(第4部分) ——换热器标准草案



目 录



1 空调器长效性能研究背景



2 空调器长效标准发展概况



3 上海市技术标准立项情况



4 上海交大已开展工作介绍



5 后续工作展望

5.1 技术路线

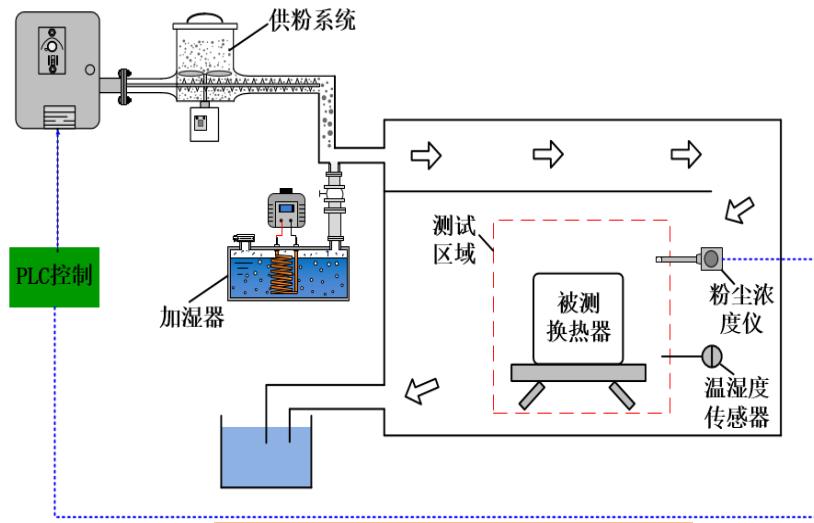
借鉴已有的“空调换热器”长效团体标准草案，总结相关经验

制定针对“空调器”的加速积尘及长效性能测试方法，制定测试方案

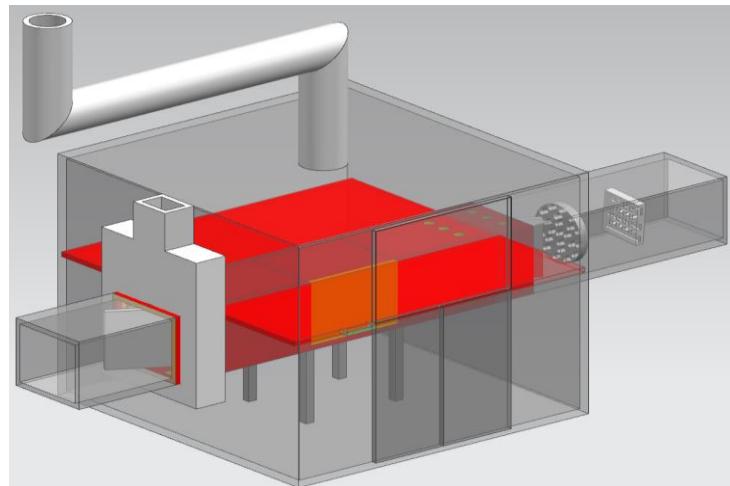
开展大量的空调器长效性能测试，并获得足够多的有效测试数据

制定空调器长效性能评价指标及团体标准草案，并与各大空调器企业沟通

反复修改标准草案，并最终发布空调器长效性能团体标准



测试方案改进原理图



测试方案改进设计图

谢 谢！

上海交通大学

2018-04