

中国制冷展专题研讨会-环境营造与健康提升

商用多联机空气空间营造技术研究进展

江宇
氟机产品公司
美的楼宇科技

MBT Midea Building Technology
美的楼宇科技

创建“未来楼宇空间”，4大关键要素：节能，高效，健康和舒适。

碳达峰和
节能

健康

高效

舒适



报告内容

CONTANTS

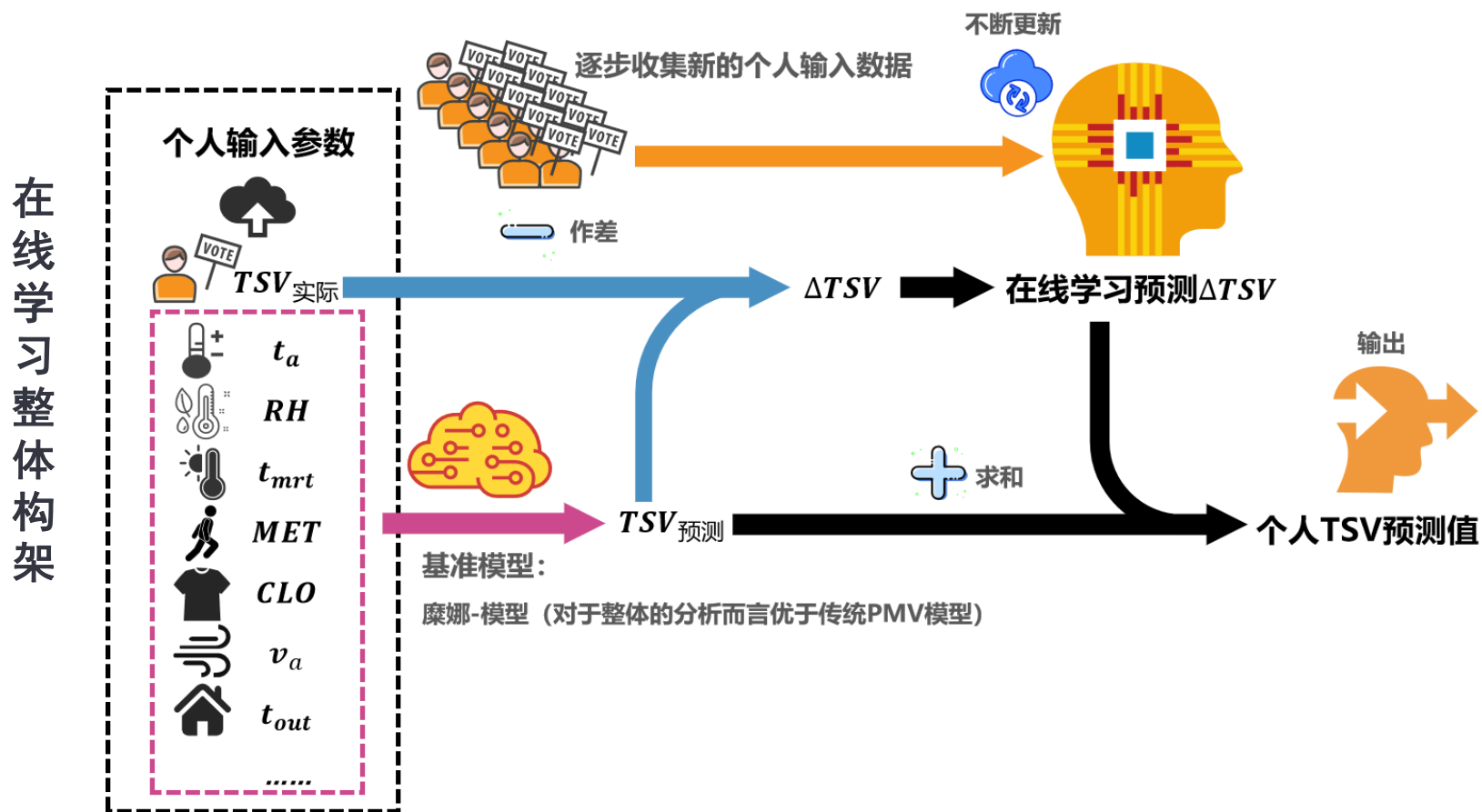
CONTANTS 目录

1. 基础技术—热舒适与工效
2. 设备技术
3. 设计技术
4. 运维技术
5. 总结和展望

1. 基础技术-热舒适与工效

■ 热舒适预测与数据驱动

1. 冬季、过渡季、夏季数据驱动个体热感觉预测模型报告
2. 工效量化模型框架与应用数据驱动个体热舒适统一输出模型

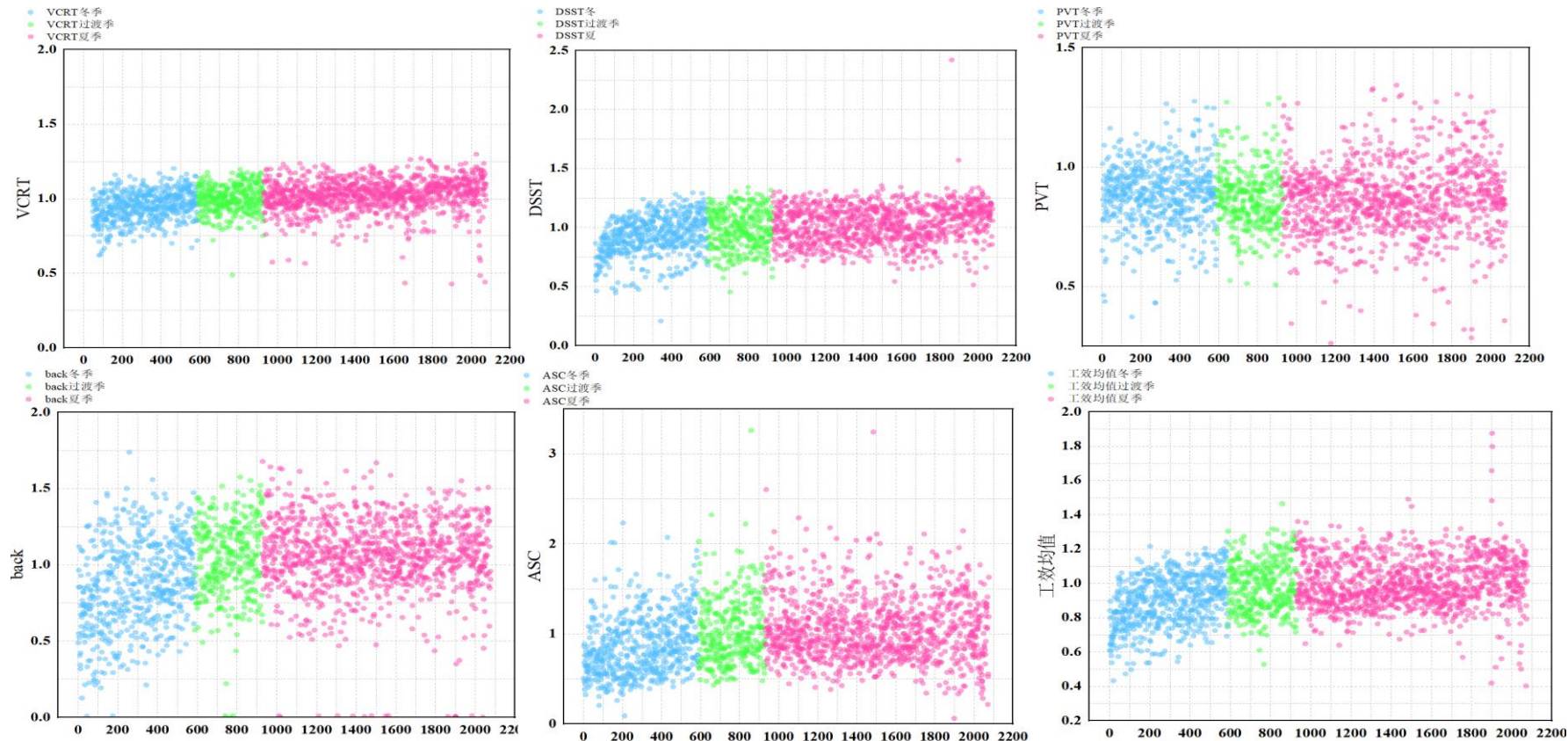


1. 基础技术-热舒适与工效

■ 基于动态事件和多环境参数的工效量化模型

1. 工作效率动态事件分析
2. 工作效率多环境参数分析
3. 工效量化模型框架与应用

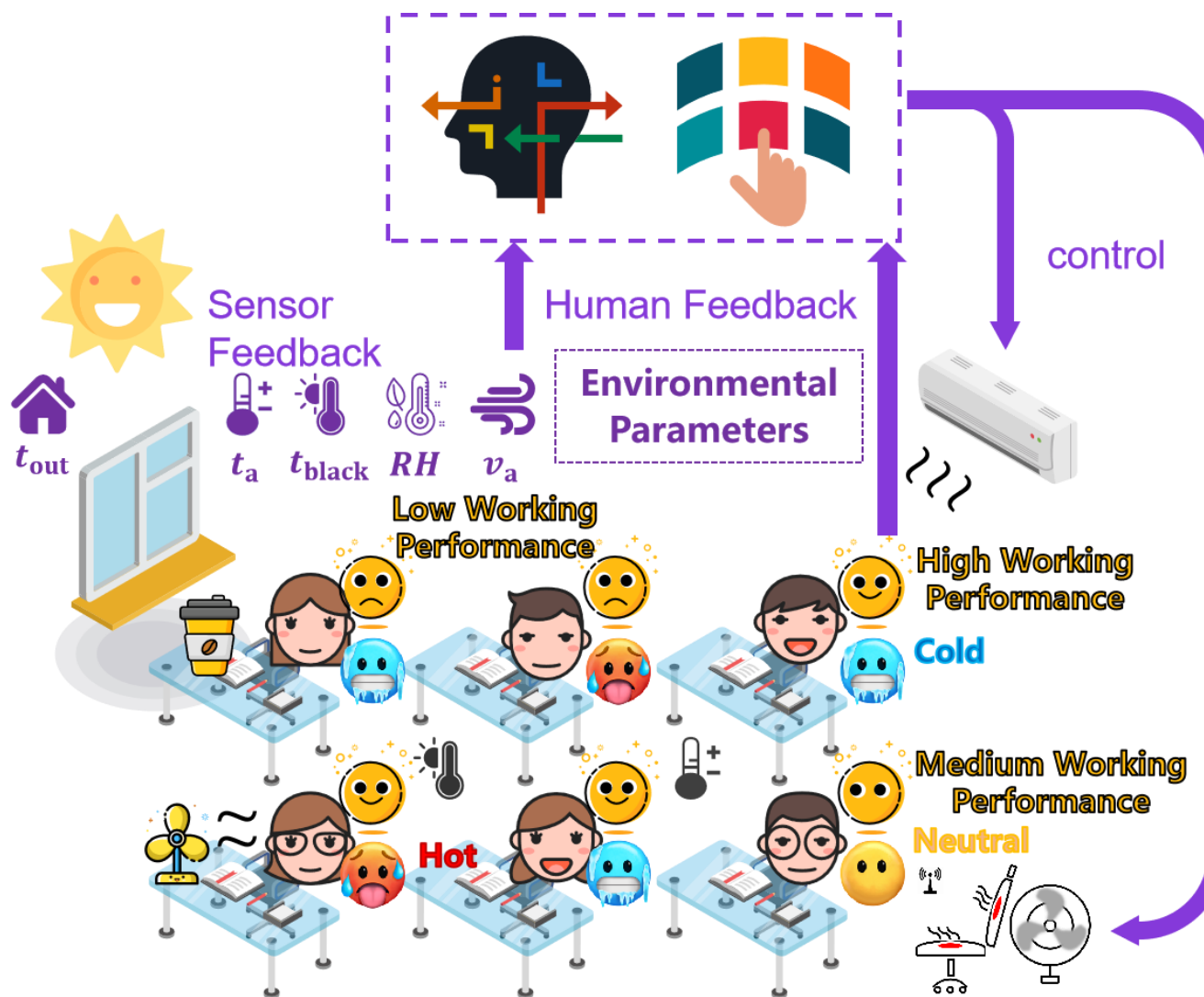
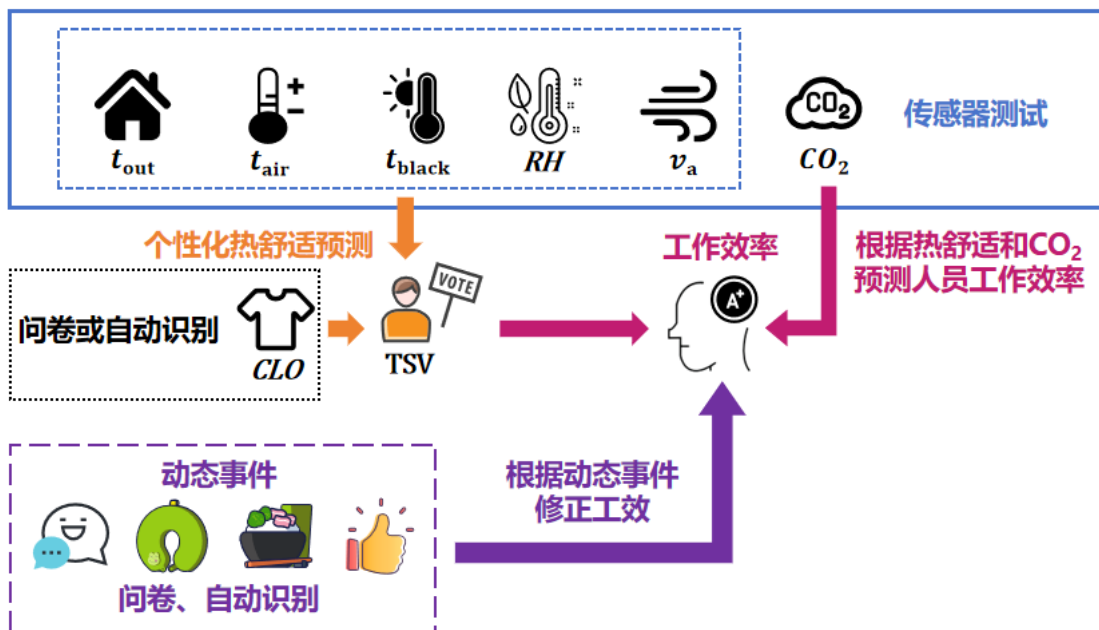
对5种不同的工作效率测试方法在不同的季节进行了不同的统计
——整体学习效应



1. 基础技术-热舒适与工效

■ 基于动态事件和多环境参数的工效量化模型

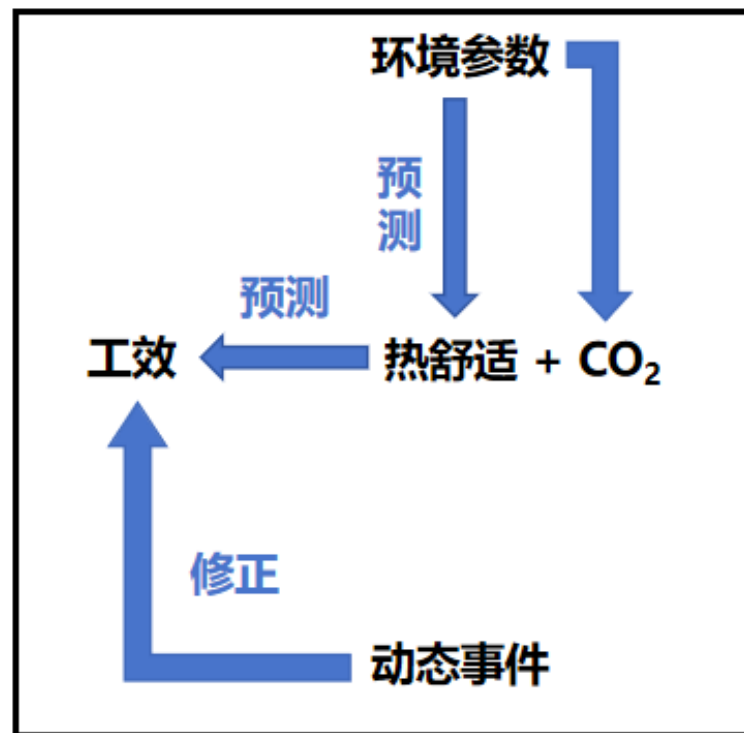
1. 工作效率动态事件分析
2. 工作效率多环境参数分析
3. 工效量化模型框架与应用



1. 基础技术-热舒适与工效

■ 基于动态事件和多环境参数的工效量化模型

1. 工作效率动态事件分析
2. 工作效率多环境参数分析
3. 工效量化模型框架与应用



最终输出形式：简单示例，具体应用中可考虑更多级指标或其他表达形式


- A. 人员热舒适模型计算得到数值，根据不同数值，搭配不同的人物表情提醒


热
(TSV > 0.5)


中性
(-0.5 ≤ TSV ≤ 0.5)


冷
(TSV < -0.5)

- B. 人员工效模型预测得到数值，根据不同数值，搭配不同的人物表情提醒


低工效风险
(相对工效 < 0.8)


正常工效
(0.8 ≤ 相对工效 ≤ 1.1)


高工效
(相对工效 > 1.1)

报告内容

CONTANTS

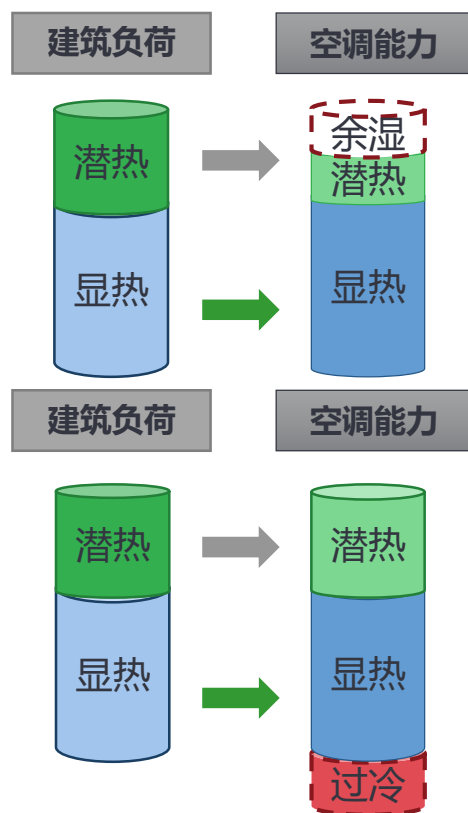
CONTANTS 目录

1. 基础技术
2. **设备技术—温湿度独立控制空调系统**
3. 设计技术
4. 运维技术
5. 总结和展望

2. 设备技术-温湿度独立控制空调系统

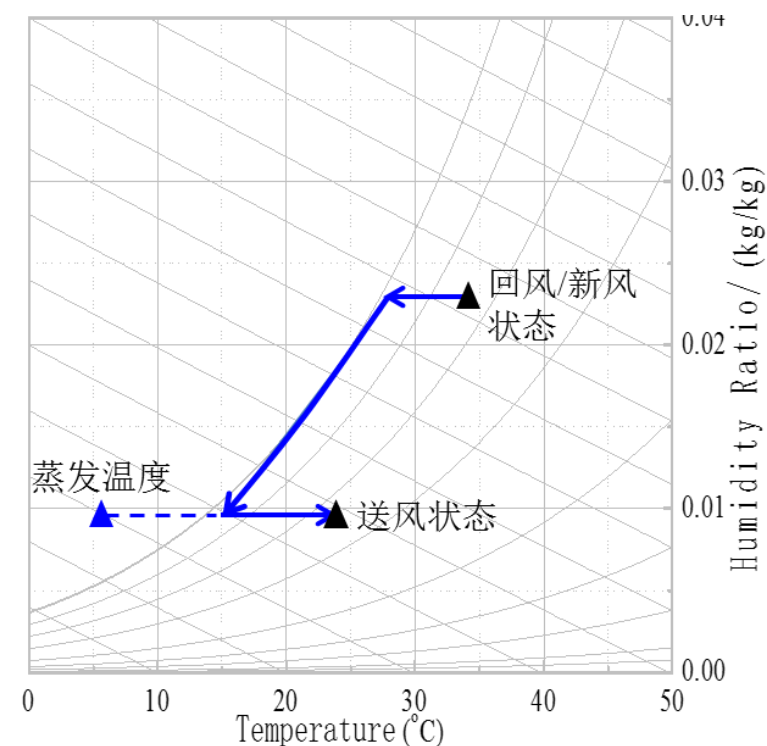
传统热泵空调系统通过低蒸发温度下冷凝除湿集中处理显热和潜热负荷

→室内舒适性无法得到完美解决的同时，制冷循环能效因为蒸发温度限制而无法进一步提升



Case1 :
蒸发温度根据显热负荷控制 ($\sim 20^{\circ}\text{C}$)
→潜热无法得到有效处理, **室内潮湿**

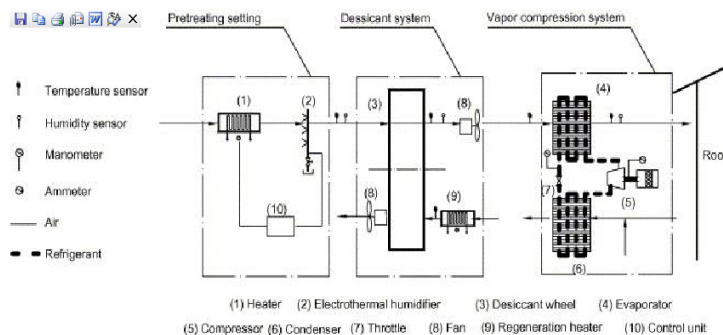
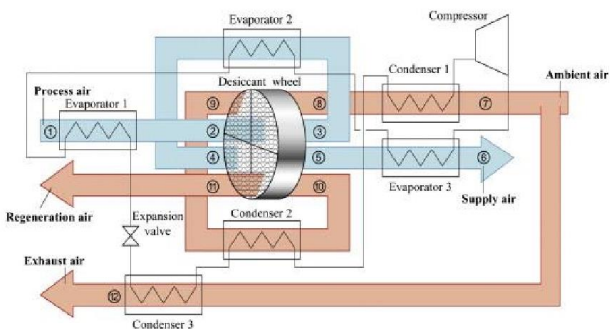
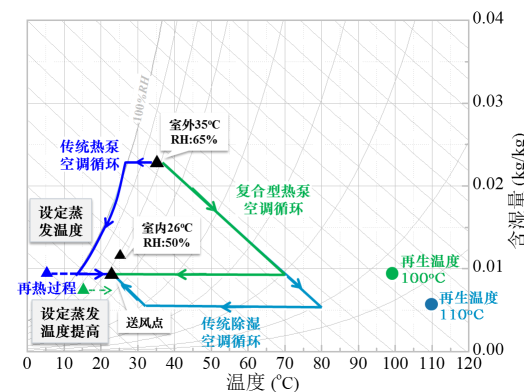
Case2 (现状) :
蒸发温度根据潜热负荷控制 ($\sim 7^{\circ}\text{C}$)
→显热被过度处理, **室内较冷**
(造成空调频繁启停, 能效低下的原因之一)



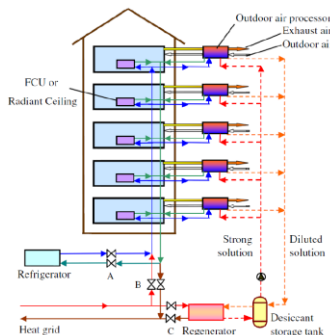
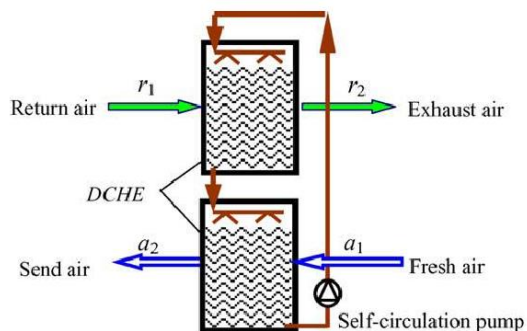
2. 设备技术-温湿度独立控制空调系统

温湿度独立控制空调技术伴随着空调技术的发展，其研究可以追溯到上世纪

湿度处理子系统：通过固体吸附/溶液吸收等原理对空气中的水分进行处理，从而使得空调系统可以提升蒸发温度专注于温度控制。
 →由于材料技术的限制，传统技术的再生温度多数在**100°C**以上



固体吸附技术：
 学术界致力于通过优化空气循环提升转轮使用效率。
瓶颈：再生温度高

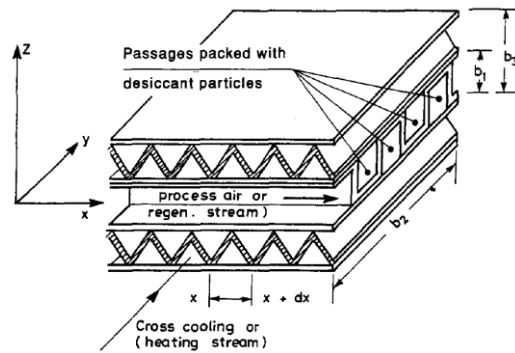


溶液吸收技术：
 溶液除湿技术自20年前开始推广，市场端应用案例有限。
瓶颈：腐蚀+送风带液问题

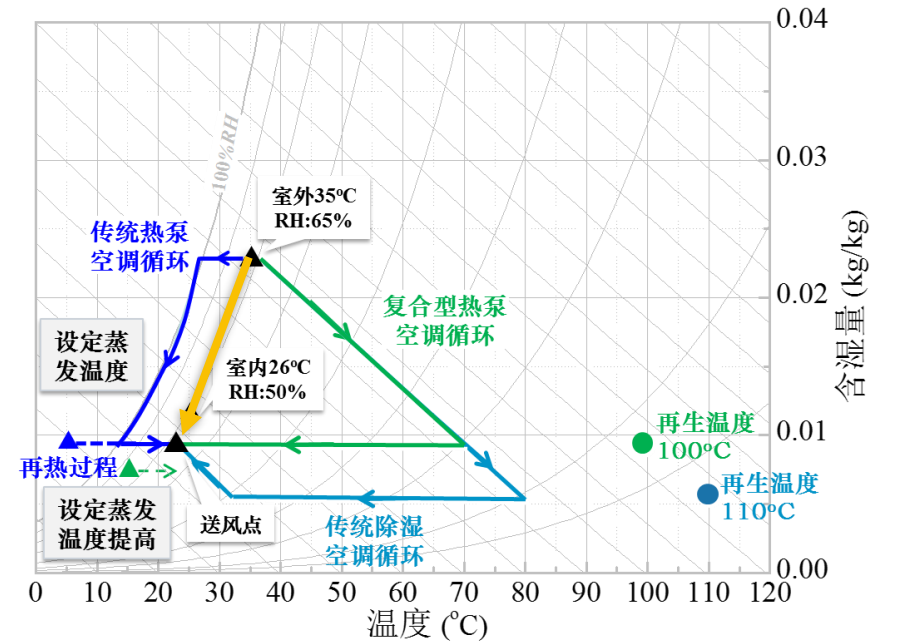
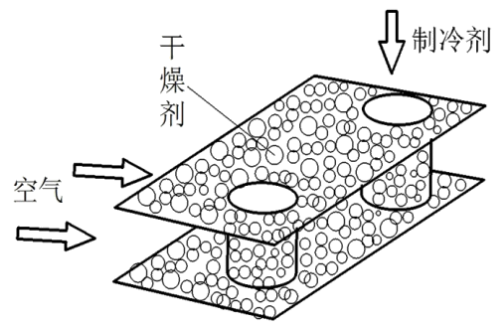
2. 设备技术-温湿度独立控制空调系统

除湿换热器通过第二流体（空气、水、制冷剂）吸收吸附热，显著提升除湿效果，同时降低再生温度

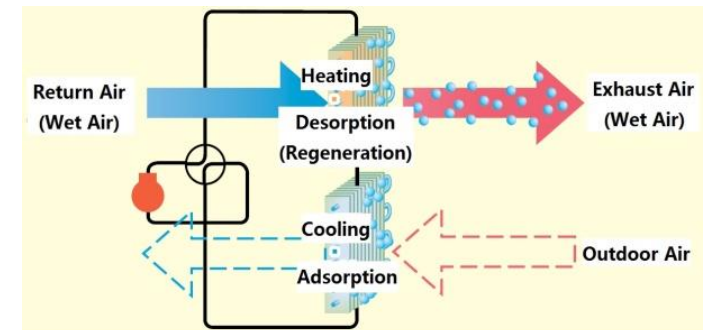
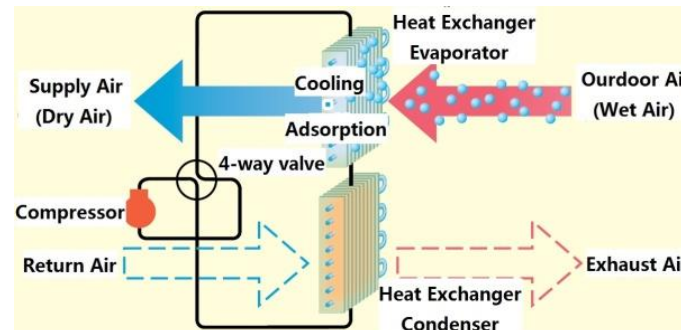
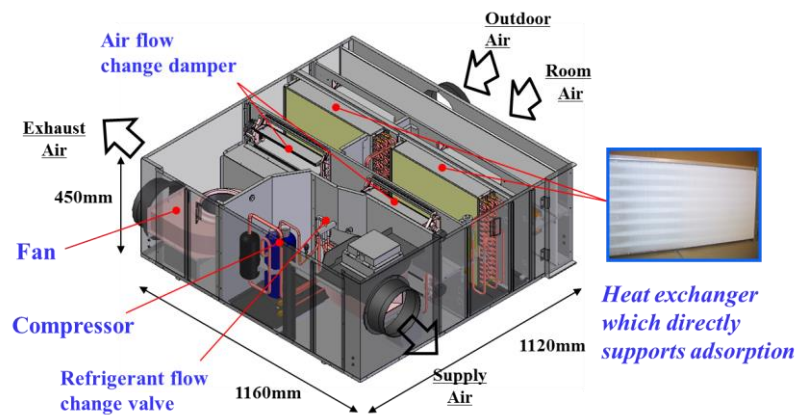
叉流式内冷除湿床



除湿换热器

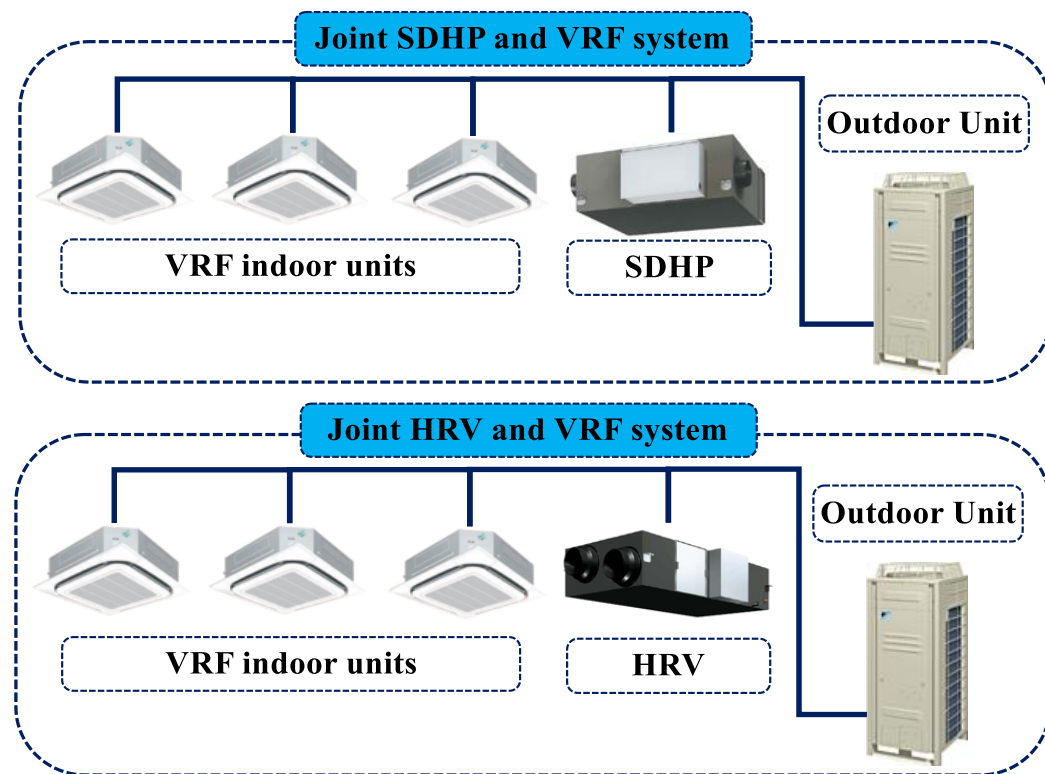
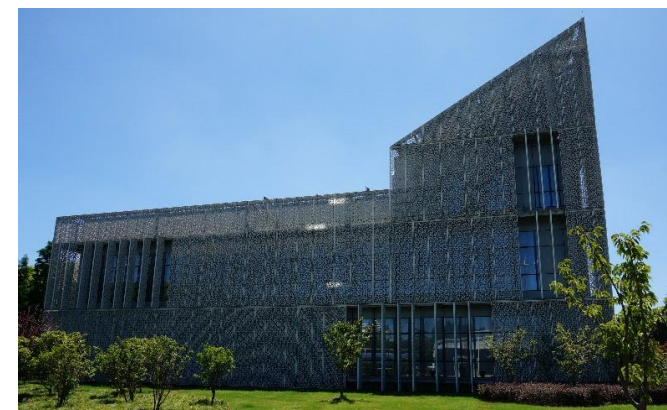


日本大金公司-DESICA



2. 设备技术-温湿度独立控制空调系统

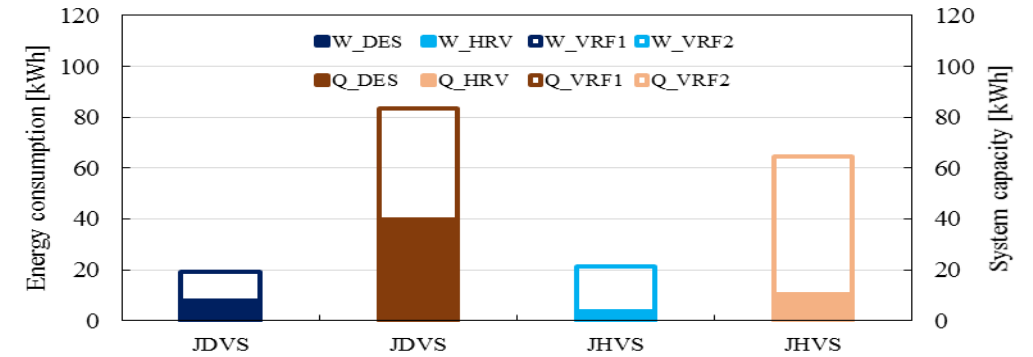
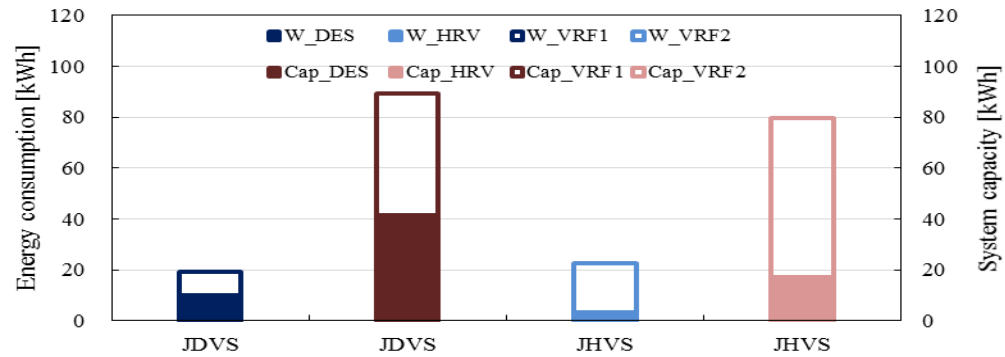
为了研究温湿度独立控制空调系统在舒适性和节能性上的实际效果，在上海某办公楼内建立两套多联机新风空调系统的对比验证试验。



名称	参数描述
概况	
地点	上海
房间尺寸	11.2m×6.4m；高度3m
窗户	Low-e 双层玻璃，东朝向玻璃幕墙，高度2.7m
设备运行时间表	工作日设备运行时间 7:30-17:00；节假日关闭
内部热负荷及通风	
人员负荷	15人
照明强度负荷	400W
办公设备负荷	1500 W
设计室内温度	冬季温度22℃，相对湿度50% 夏季温度26℃，相对湿度50%
渗透风量	每小时0.5次换气
新风量	30m ³ /人小时

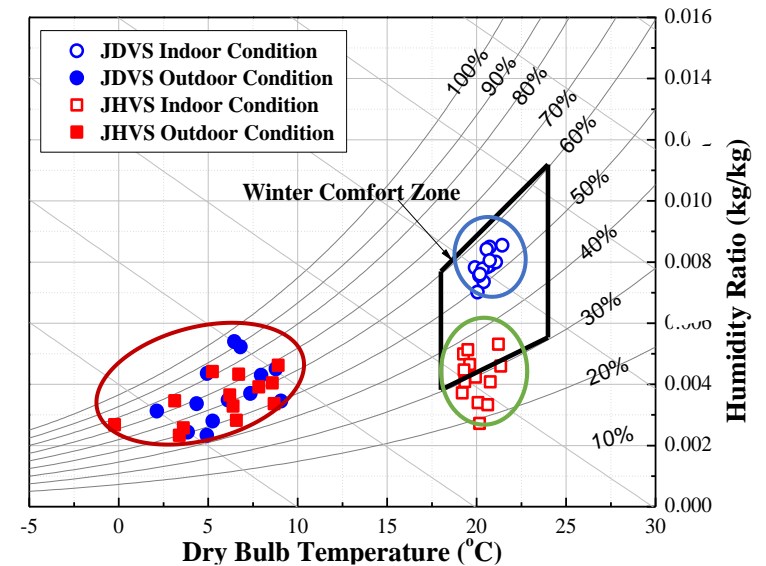
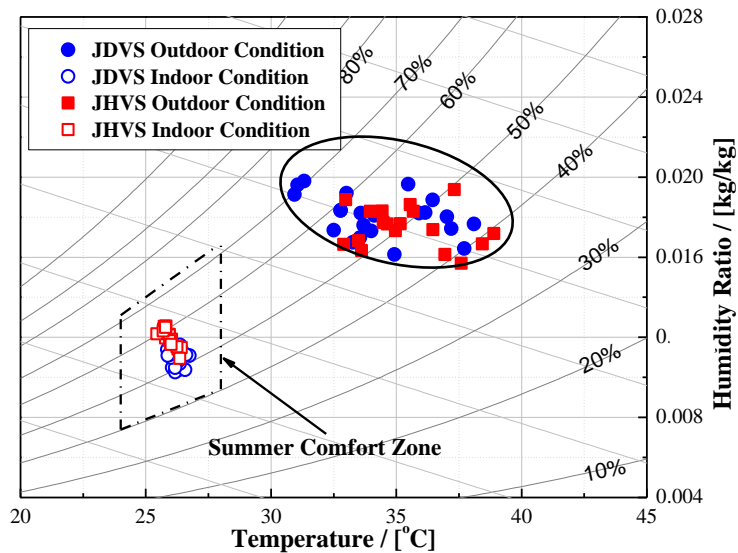
2. 设备技术-温湿度独立控制空调系统

夏季：JDVS-日累计耗电19.2kWh；日平均COP4.6；JHVS-日累计耗电22.5kWh；日平均COP3.5；JDVS省电15%，COP提高31%
 冬季：JDVS-日累计耗电19.3kWh；日平均COP4.5；JHVS-日累计耗电21.1kWh；日平均COP3.1；JDVS省电8%，COP提高45%



JDVS-室内状态26.2°C, 11.0g/kg, 52%RH
 JHVS-室内状态26.0°C, 11.9g/kg, 57%RH

JDVS-室内状态20.5°C, 7.9g/kg, 53%RH
 JHVS-室内状态20.2°C, 4.2g/kg, 29%RH



2. 设备技术-温湿度独立控制空调系统

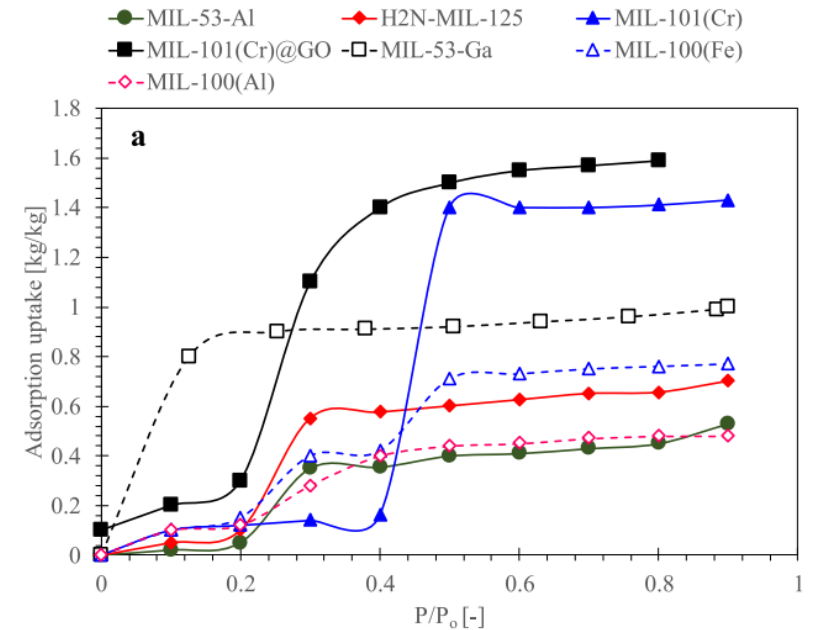
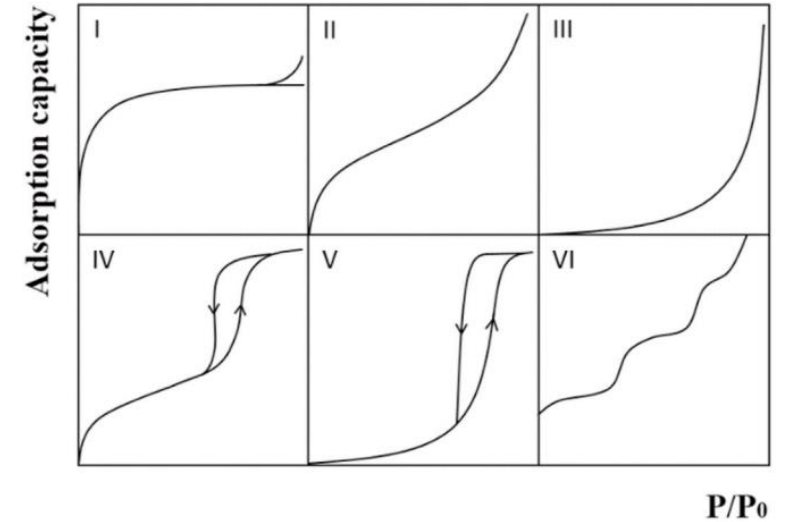
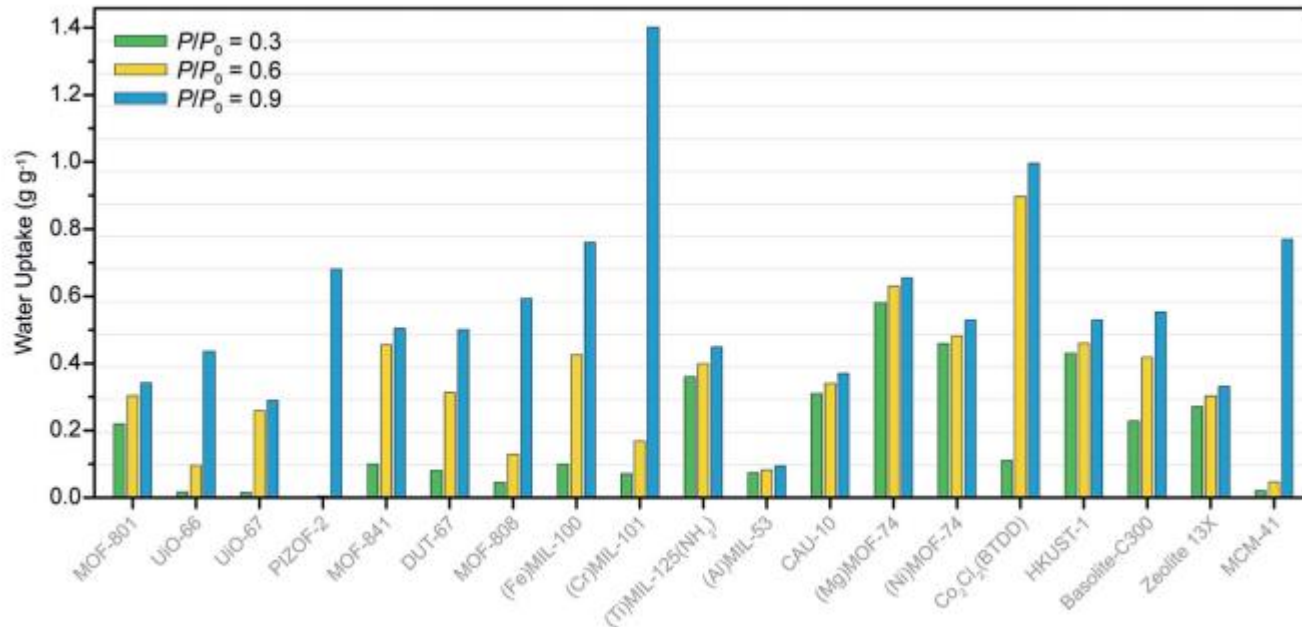
因为**MOFs**材料的可设计性，除湿行业可能迎来技术突破，最理想的除湿剂需要同时具有两个特征：

特征1-饱和吸附量高

→单位质量水蒸气吸附潜力可**提升数倍**，转轮尺寸减小

特征2-S型曲线

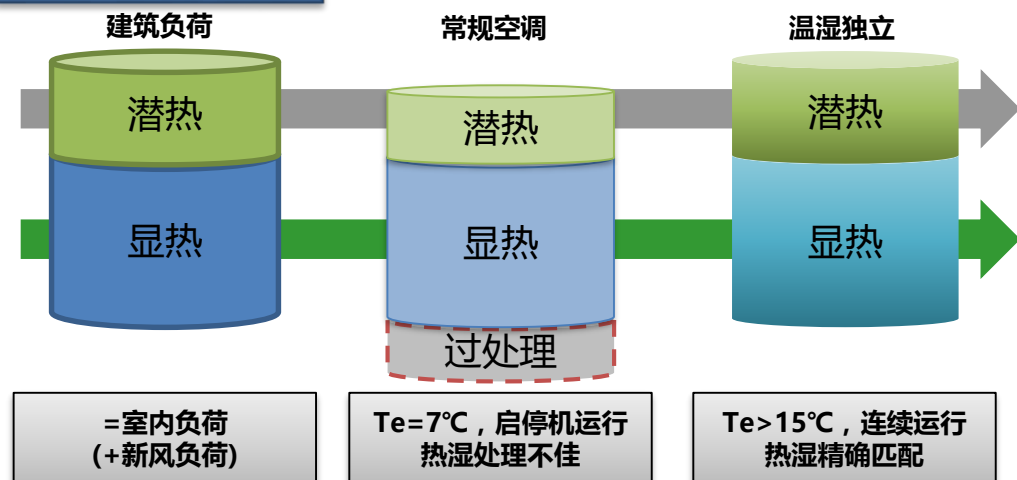
→高低吸附量转折点设计，使**冷凝温度**可实现转轮再生



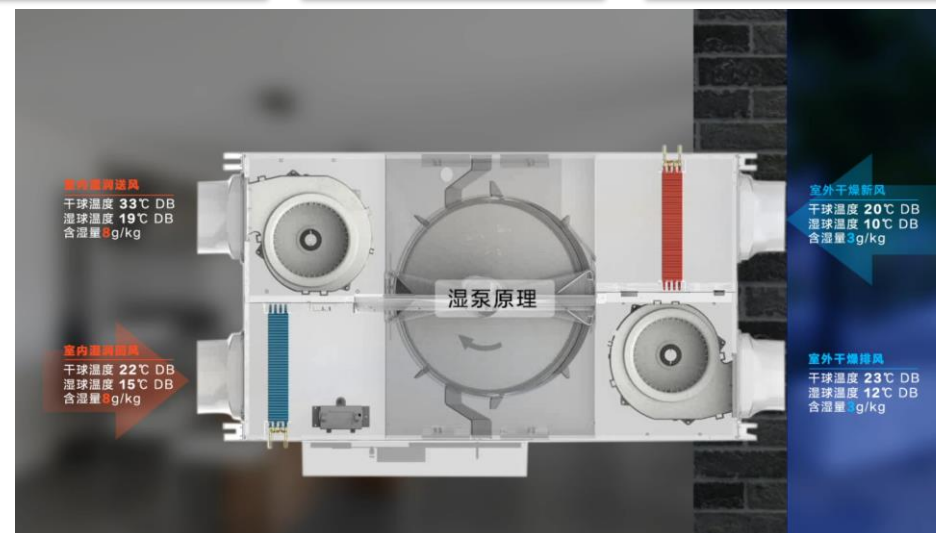
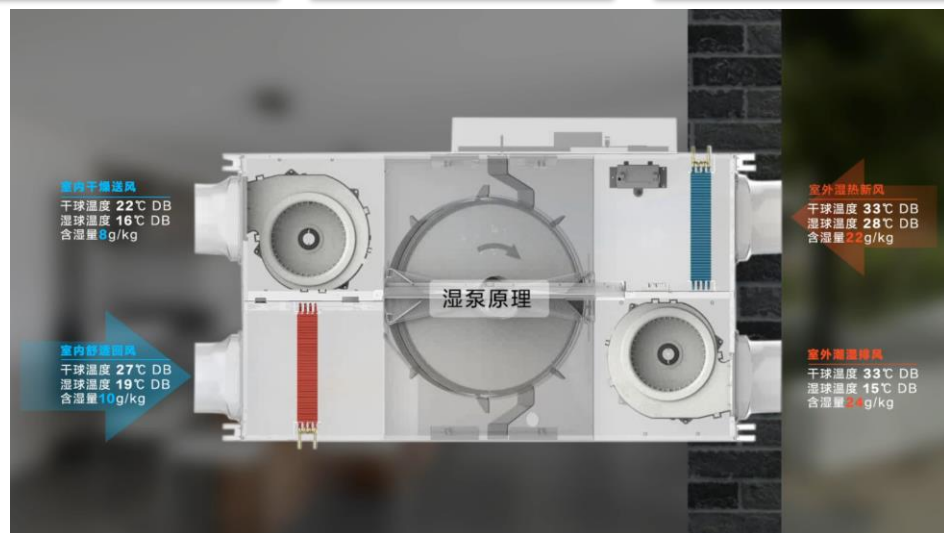
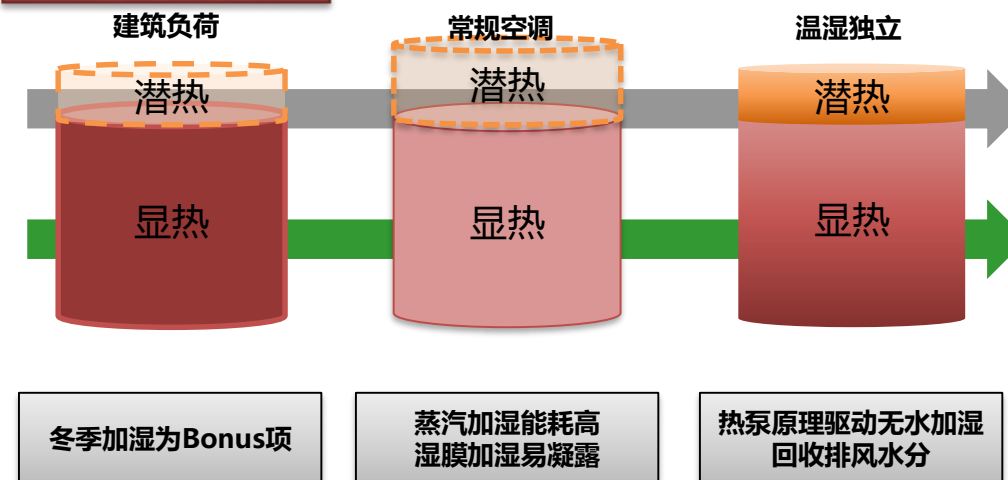
2. 设备技术-温湿度独立控制空调系统

通过三管制热回收多联机结合无水调湿新风机 实现显热负荷和潜热负荷独立处理
 →冷媒系统蒸发温度提升，并高效利用冷凝废热，实现系统节能同时提升舒适性

制冷除湿工况

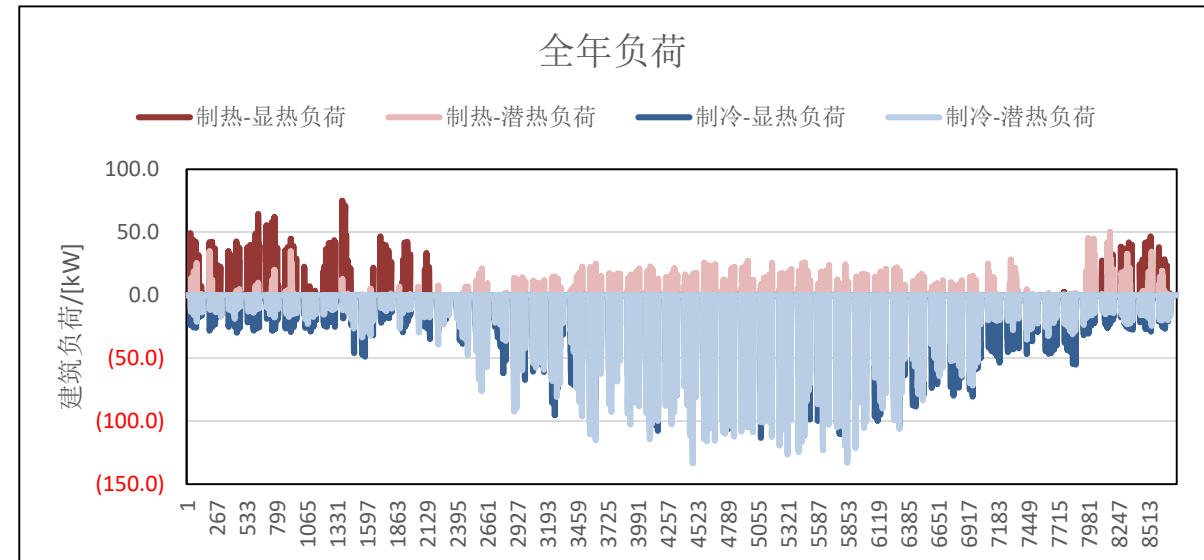
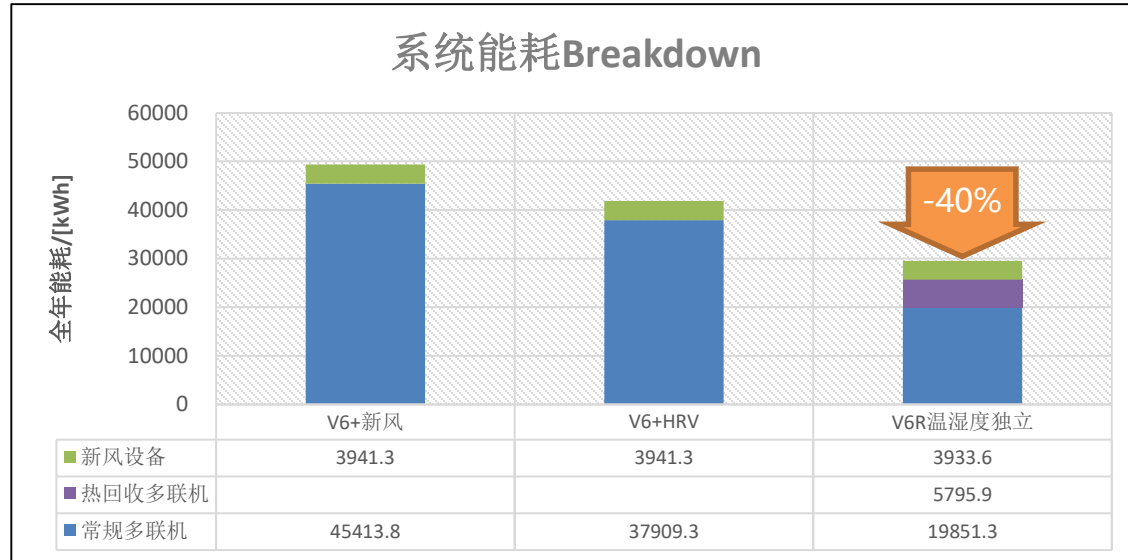


制热加湿工况

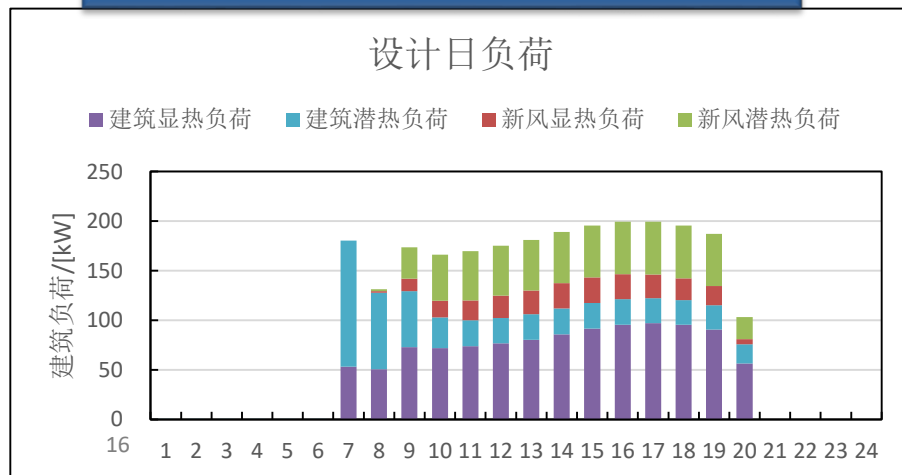


2. 设备技术-温湿度独立控制空调系统

相较于新风机搭配常规多联机，基于热回收多联机的温湿度独立控制空调系统可实现节能40%



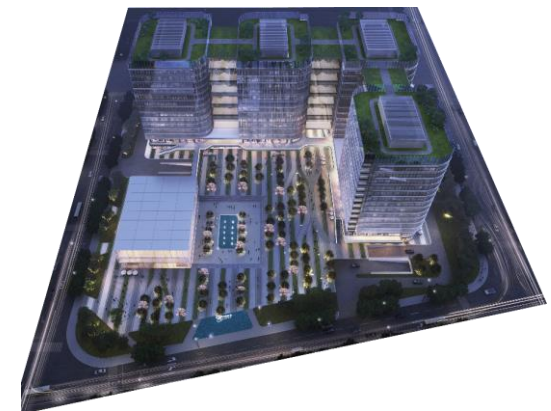
建筑负荷+新风负荷模拟计算



3种方案空调系统选型

项目	单位	方案1	方案2	方案3	
热源		常规多联机	常规多联机	高显热多联机	热回收多联机
新风设备		新风机	全热交换器	新风转轮除湿机	
室外机设备	制冷量	18HP	18HP	20HP	24HP
	台数	4	4	2	1
新风设备	风量	500CMH			
	台数	11			

参考某办公建筑模型



报告内容

CONTANTS

CONTANTS 目录

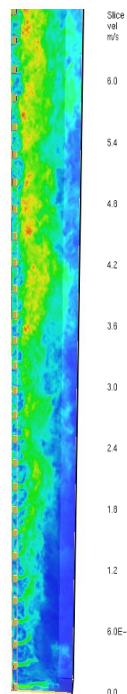
1. 基础技术
2. 设备技术
3. **设计技术—美智解楼宇气流可视化仿真**
4. 运维技术
5. 总结和展望

3. 设计技术-美智解楼宇气流可视化仿真

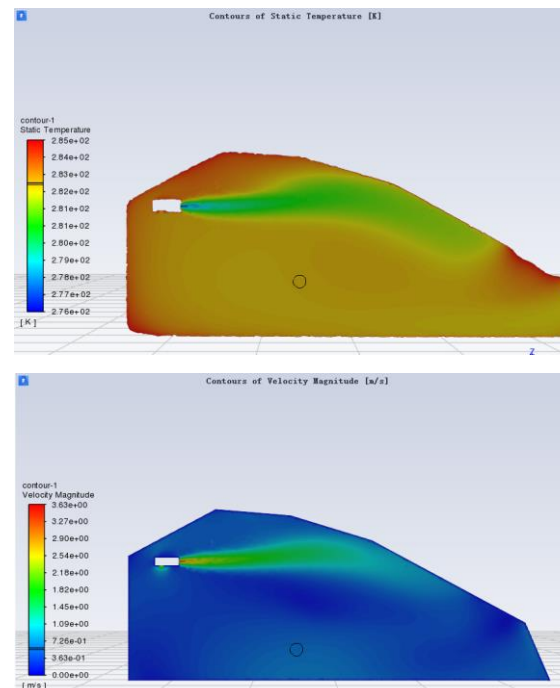


长期以来，各暖通空调设备厂家主要致力于提升设备在实验室内的性能表现，而在一定程度上忽视了实际安装环境对于空调设备性能的影响。

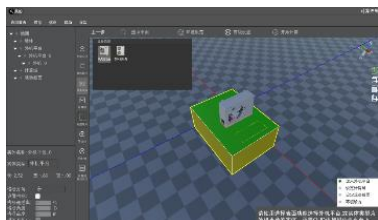
室外



室内



3. 设计技术-美智解楼宇气流可视化仿真

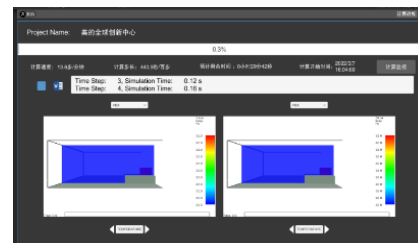


美的流体环境模拟软件
Midea Fluid Environment Simulator

FDS-SMV

自研建模引擎，操作简单，无需任何流体知识即可快速上手

高精度求解器+自研快速求解器
双核驱动，适应不同市场需求



求解器云端部署，实时监视计算情况，对硬件要求极低



自主开发用户数据管理与样板工程分享平台

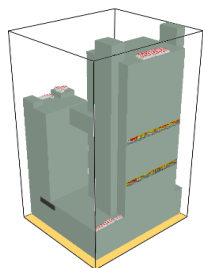
建筑气流仿真平台

经济性，可靠性设计

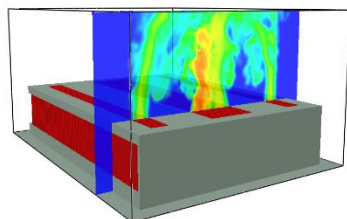
舒适性设计

室外环境

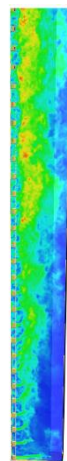
- “碳中和”战略的背景之下，多联机的能效问题日益受到厂家与用户的重视。
- 建筑气流仿真平台可建立设备散热模型，模拟不同设备组合在不同建筑围护结构下的散热情况，优化室外机摆放方案。



深圳万科梅林智造办公楼项目
散热仿真

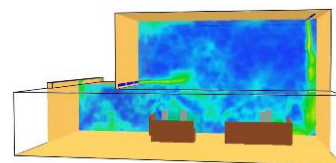


君兰人才公寓外机散热仿真

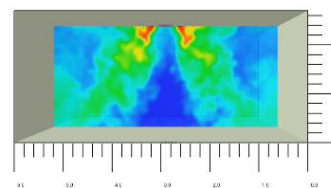


保利云上项目散热仿真

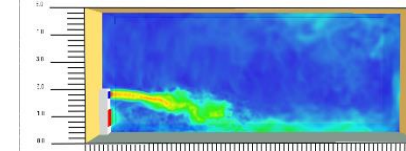
室内环境



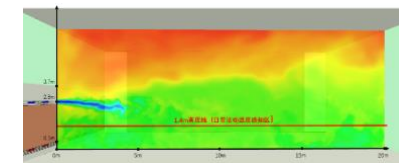
君兰人才公寓室内侧设计



外销小冷霸手册数据提供



内销柜机送风距离仿真

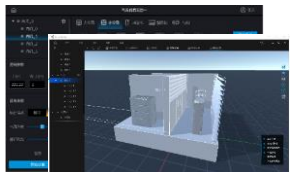


重庆蔚来工厂室内侧设计

- 室内侧气流组织对人体舒适性的影响愈发受到关注。
- 气流仿真平台通过温度场，速度场模拟，指导设备合理选型，优化设备布置方案。

3. 设计技术-美智解楼宇气流可视化仿真

技术特点



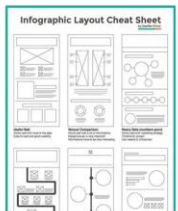
美的流体环境模拟软件
Midea Fluid Environment Simulator



难度低

速度快

配置低

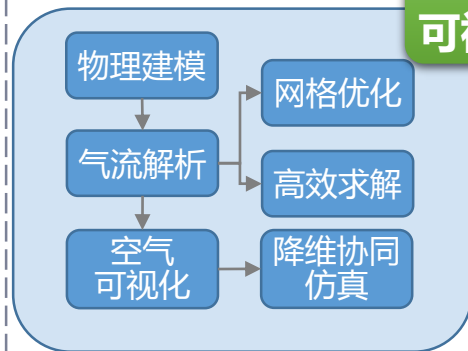


自动排版



随时用

技术原理



气流可视化

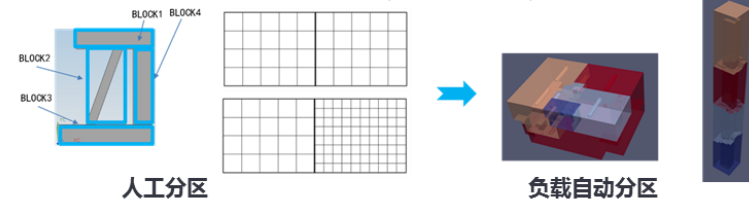
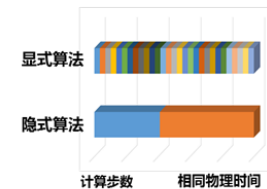
自适应大时间步隐式推进算法+基于负载平衡理论的自动并行分区算法, 求解效率提升80%以上

- 质量守恒: $\sum_j m_{j \rightarrow i} = m_s$
- 动量守恒: $\rho_i V_i \frac{dV_i}{dt} = F_M + F_P + F_G + F_S$
- 能量守恒: $\rho_i C_p V_i \frac{dT_i}{dt} = \sum_{j \neq i} \rho_j C_p V_{j \rightarrow i} (T_j - T_i) + Q_S$

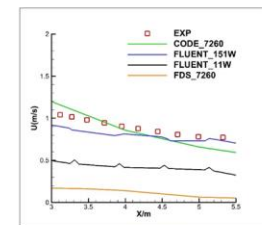
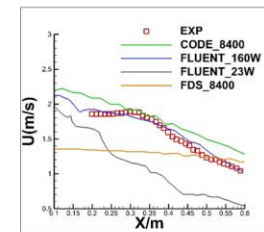
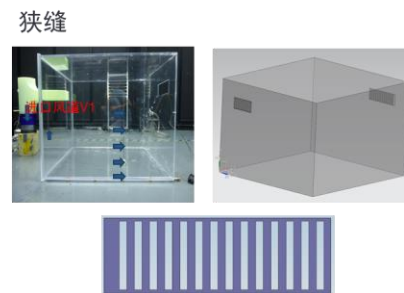
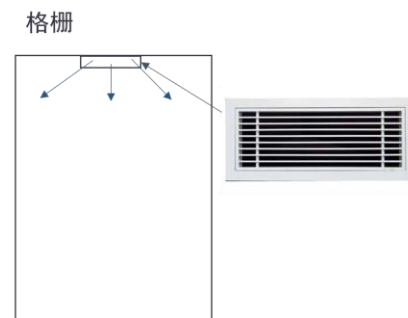
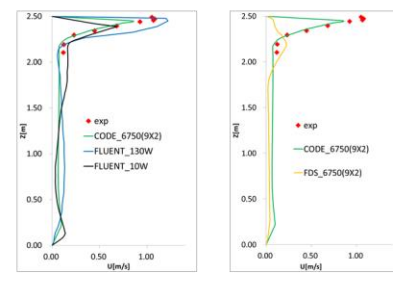
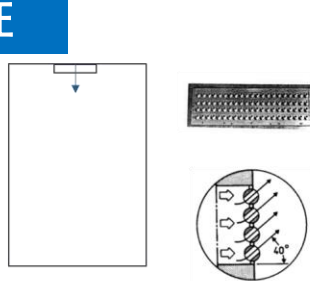
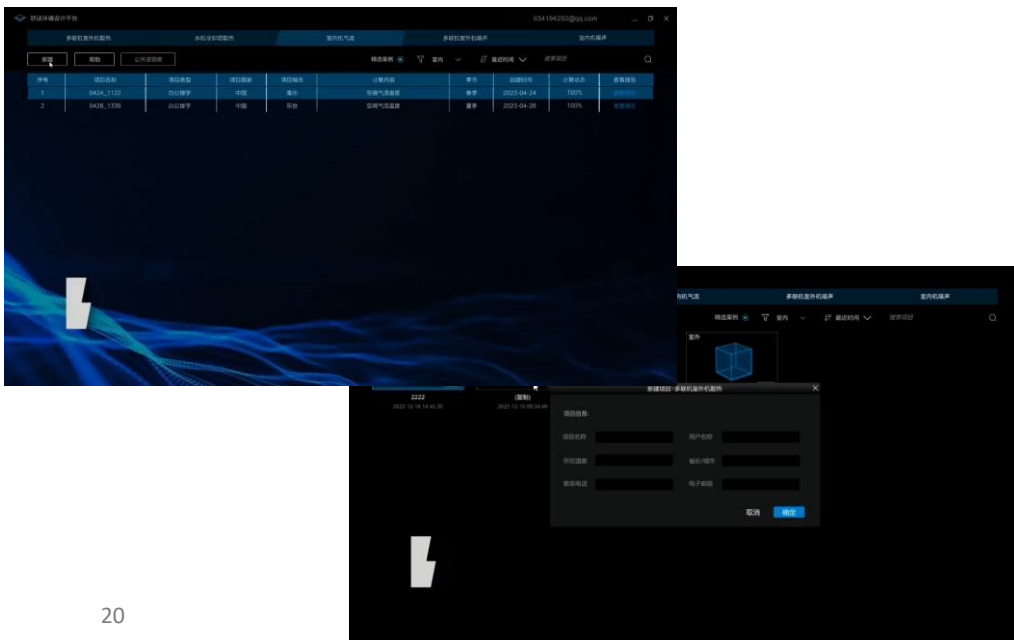
时间步长 $\Delta t = o(\Delta x)$

时间离散 $\frac{U^{n+1} - U^n}{\Delta t} = f(U^{n+1}, p^{n+1}, T^{n+1})$

$\frac{T^{n+1} - T^n}{\Delta t} = g(U^{n+1}, p^{n+1}, T^{n+1})$



技术验证



报告内容

CONTANTS

CONTANTS 目录

1. 基础技术
2. 设备技术
3. 设计技术
4. **运维技术—数字孪生空气空间运维平台**
5. 总结和展望

4. 运维技术-数字孪生空气空间运维平台

iBUILDING 数字孪生办公空间管理系统

王大美

室外温度: 23.4°C 2022/10/11
室外湿度: 36.3% 10:39 星期二

舒适度反馈

空气品质 **热舒适模块** **工效模块**

舒适 舒适度	元气满满 疲劳度
25.8 °C 室内温度	31 % 室内湿度
15 µg/m³ 细颗粒物	571 ppm 二氧化碳

设备总览

- 15 空气质量变送器
• 正常
- 14 空调系统
 - 3 多联机外机
• 正常
 - 11 多联机内机
• 正常
 - 0 制风机
- 4 数字电表
• 正常
- 1 人员计数器
• 正常

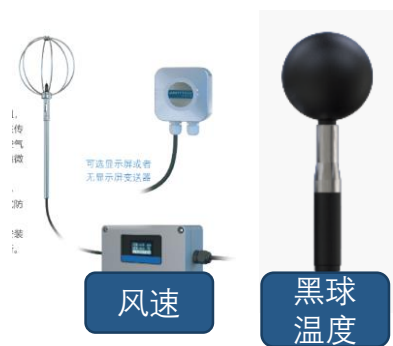


环境/设备
能耗/人员

首页 三维浏览 设备空间地图 环境品质分布图

4. 运维技术-数字孪生空气空间运维平台

数字孪生室内气流环境由气流设计工具设计，搭载的多种空气传感器，检验与提升解析算法的精度。
快速CFD算法搭载在数字孪生平台上，实现室内**热湿环境的实时预测和可视化展示。**



空气传感器



报告内容

CONTANTS

CONTANTS 目录

1. 基础技术
2. 设备技术
3. 设计技术
4. 运维技术
5. **总结和展望**

5. 总结与展望

基础技术

—舒适性和工效评价体系的建立对于商用空气空间营造至关重要

设备技术

—基于MOFs的分布式热泵新风系统可以兼顾舒适性和低碳

设计技术

—基于楼宇空间的CFD仿真技术可以协助设计者提升设计效率

运维技术

—楼宇空气空间营造是动态过程，需要在运维阶段结合数字化技术持续优化



楼宇空气空间的营造需要跨学科专家的共同参与