



空调设备及系统运行节能国家重点实验室

让世界爱上中国造  
Made in China, Loved by the World

# 基于大数据的多联机研发

GREE ELECTRIC APPLIANCES, INC. OF ZHUHA

刘华

2018年5月31日



概述



精准研发



运行节能



故障诊断和预测



标准研究

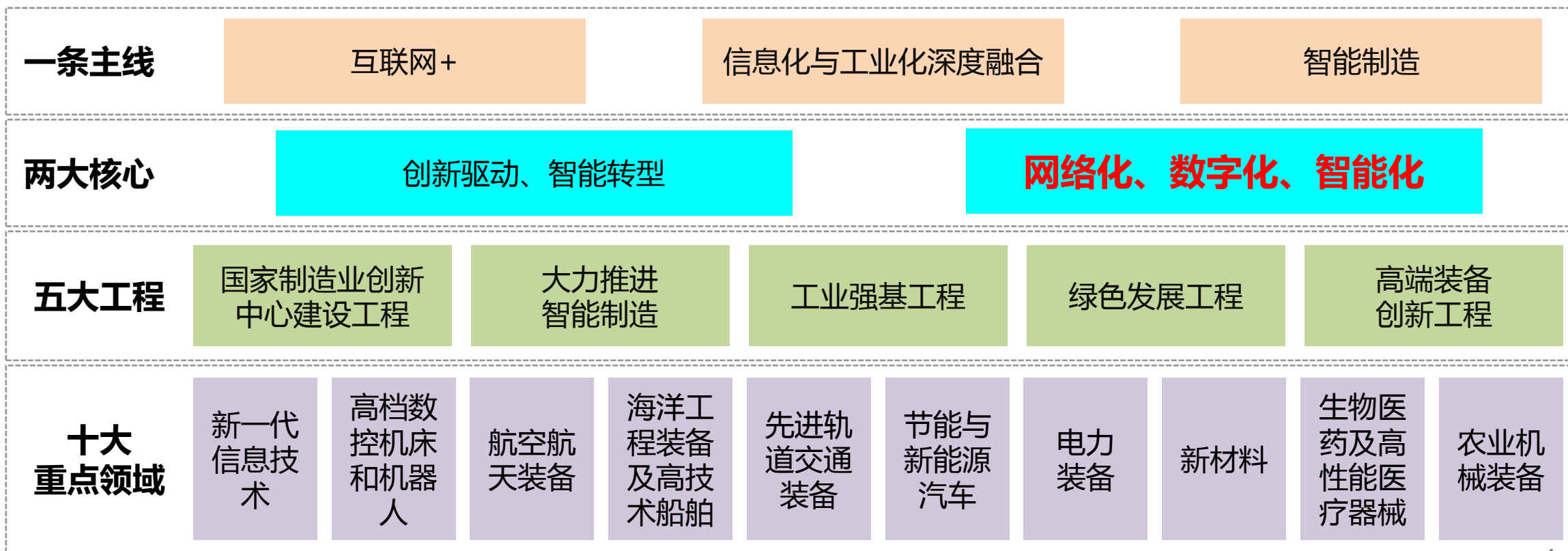


# 概述

1. 大数据特点
2. 格力大数据平台

## 我们正在经历新的工业革命的“历史时期”

- 新一轮工业变革以物联网、云计算、大数据技术为基础，典型代表包括美国工业互联网，德国工业4.0；
- 中国制造2025--强国战略规划；



## 新一代智能制造的典型特征——数字化+网络化+智能化

- 信息化目前经历了三个阶段：数字化阶段、网络化阶段、智能化阶段；
- 数字化奠定基础，网络化提供平台，智能化展现能力；
- 正在开启万物数字化、万物互联、以数据的深度挖掘与融合应用为主的**智能化阶段**

数字化制造



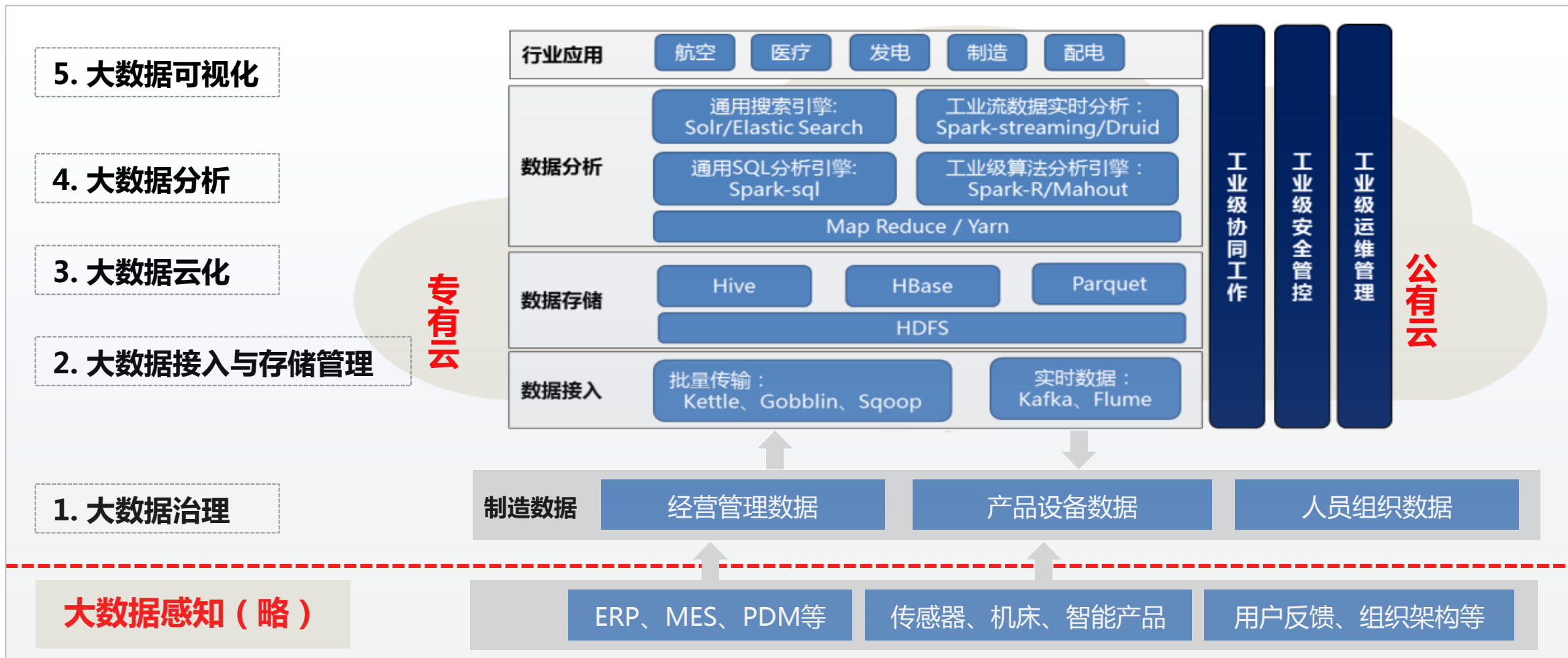
数字化网络化制造



数字化网络化智能化制造



## 制造大数据平台 - 平台架构



## 大数据分析新模式之一：从抽样到全样本

假设一：抽样与全样分布相同  
假设二：抽样包含绝大部分信息

问题一：抽样不够随机时有偏差  
问题二：抽样忽视细节信息

**抽样 ≠ 全样**

抽样



普查



## 大数据分析新模式之二：从精确到模糊

- 执迷于精确性是信息缺乏时代和模拟时代的产物；
- 大数据的简单算法比小数据的复杂算法更有效。

IBM精确翻译项目Candide  
300万加拿大议会资料英语和法语  
翻译问题变成数学统计问题  
十年成效不大



Google收集全互联网语料  
涵盖60种语言上万亿语句  
不完整、拼写、语法和其他错误  
效果提升显著



## 大数据分析新模式之三：从因果到关联

- 建立在相关关系分析法基础上的预测是大数据的核心。
- 大数据的相关关系分析法更准确、更快，而且不易受偏见的影响。



知道“是什么”这种洞察力足以重塑很多行业，不仅仅只是电子商务。  
知道“是什么”就够了，没必要知道为什么。

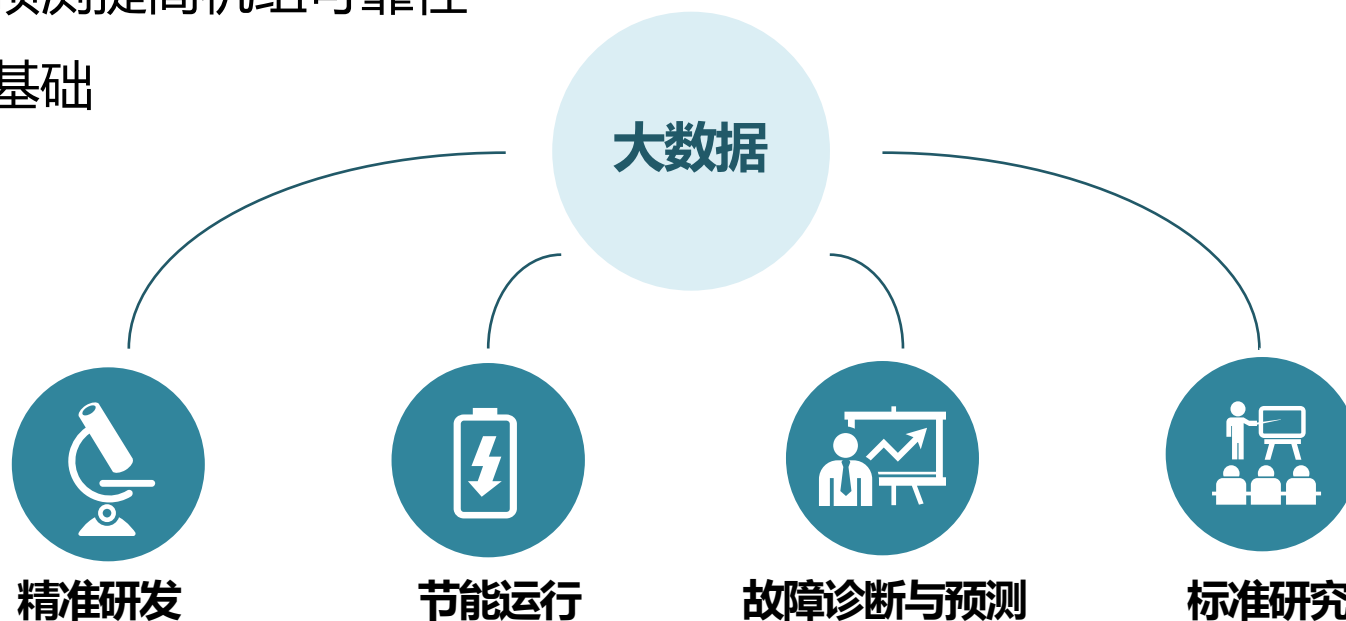
## 格力商用空调（CAC）产品大数据平台

- 实现了商用空调实时数据的采集、存储、挖掘、可视化和应用；
- 在线商用设备约100万，每天数据流量高达600GB，包括设备运行数据、气候数据、计算数据等；



## 基于操作规则和用户习惯的挖掘

- 明确用户的需求和开发方向
- 提高实际操作效率
- 进行故障诊断和预测提高机组可靠性
- 为标准提供量化基础



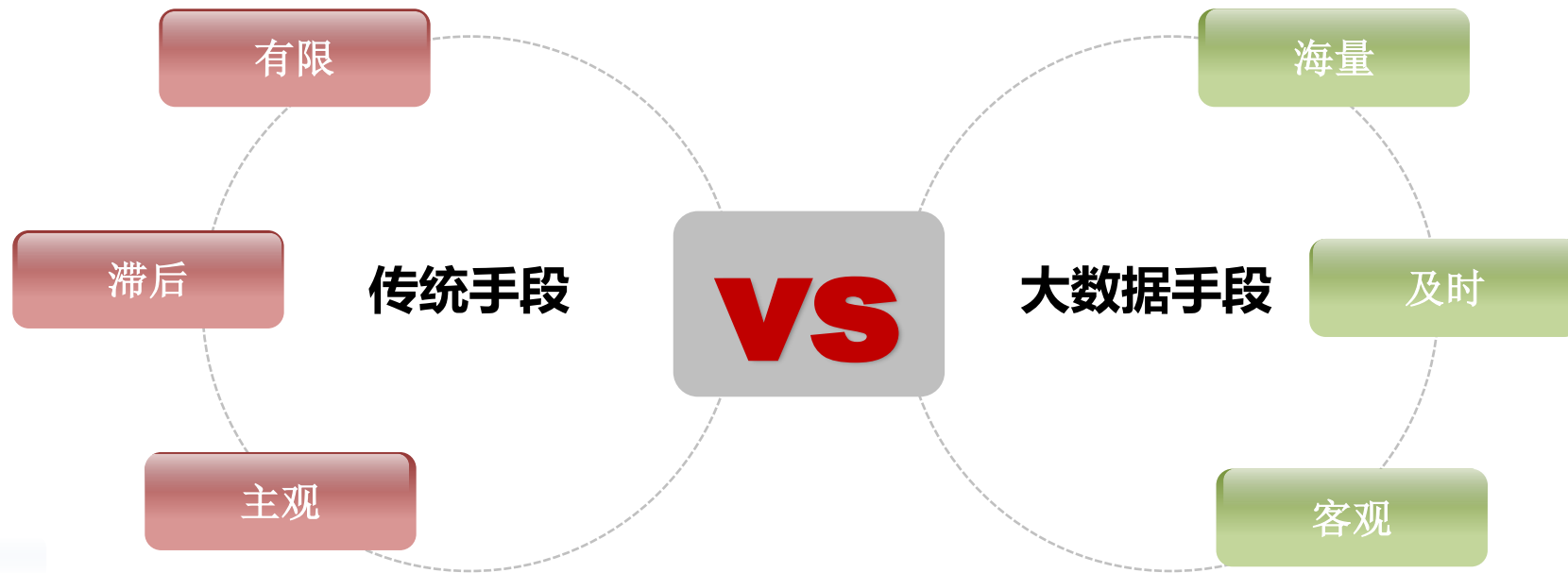


# 精准研发

1. 基于大小容积切换的节能新技术
2. 室内分布式送风新技术

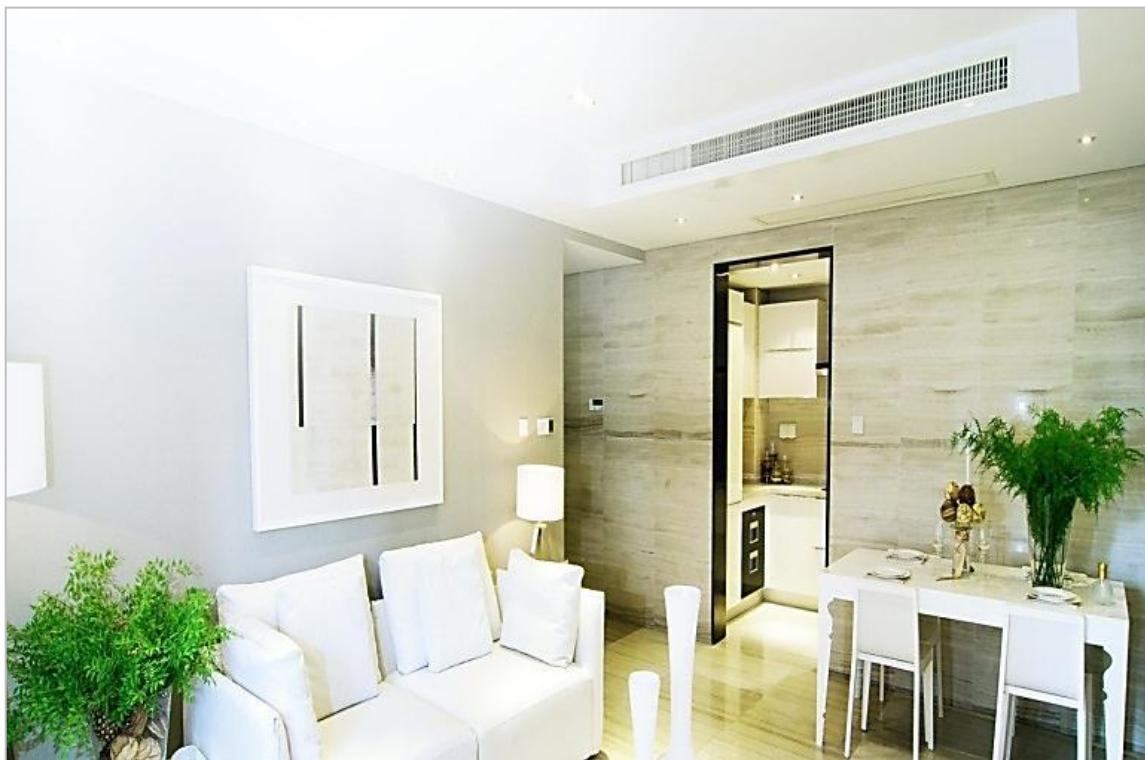
## 需求分析过程中大数据的优势

- 研发过程中发现问题比解决问题更重要；
- 采样和现场调查数据有限、过时和主观；
- 大数据具有海量、及时、客观的优势，可以从中发现比较隐蔽的规律；

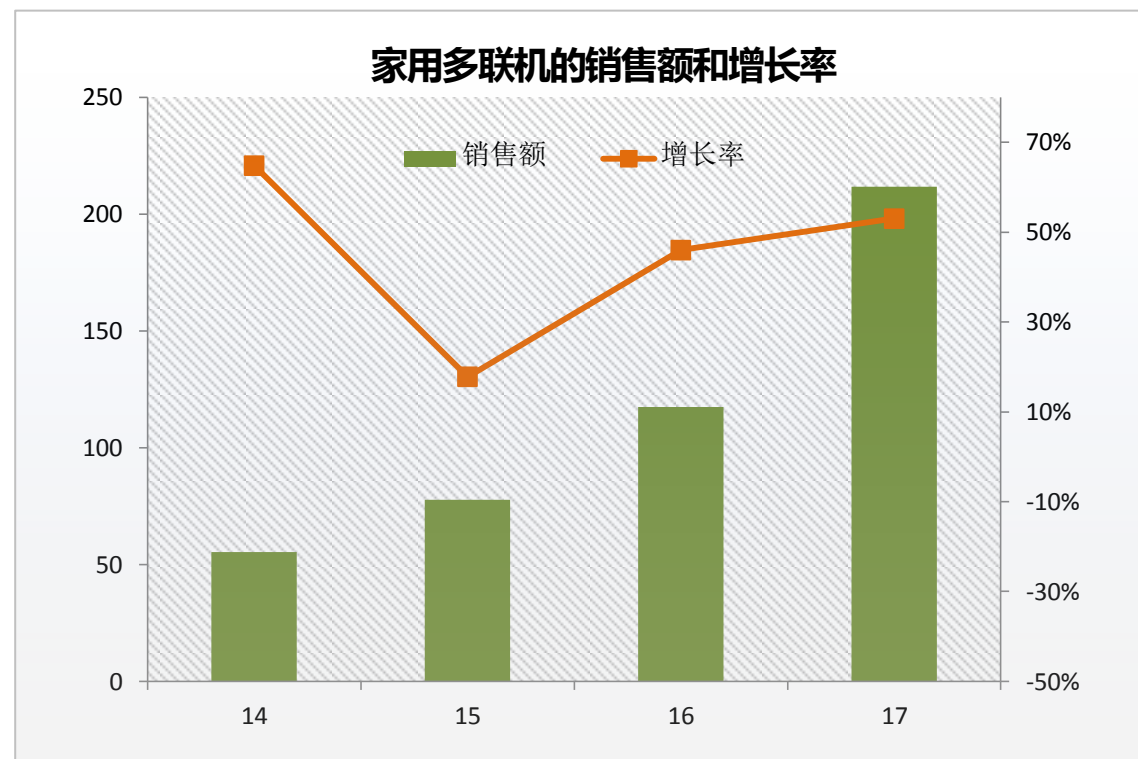


## 1、基于大小缸切换的家用多联机新技术

- 设计美观和节省空间，越来越受欢迎；
- 家用多联机市场占比50%以上，平均年增长率30%以上；

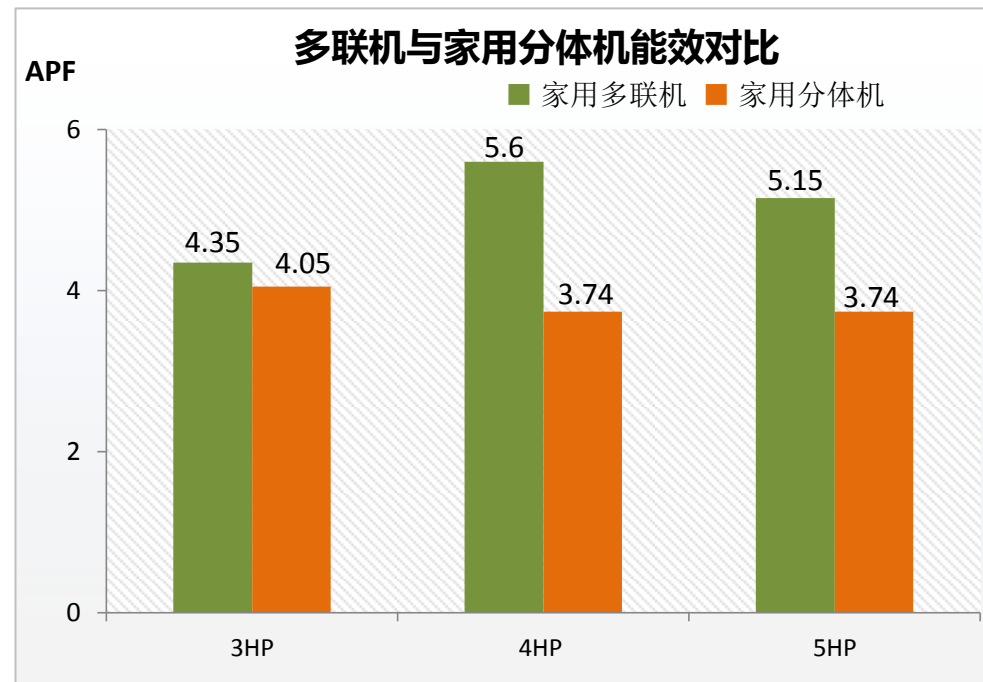
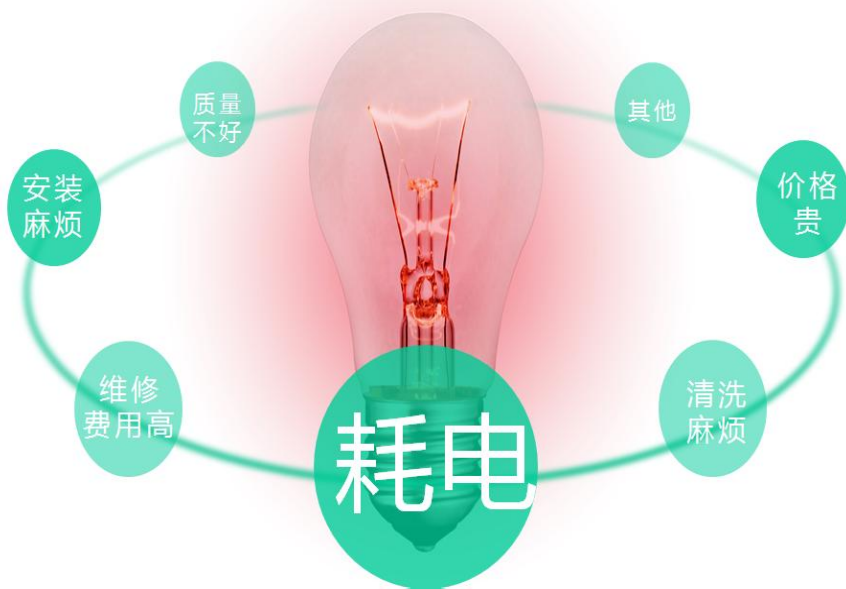


数据来源：暖通空调资讯



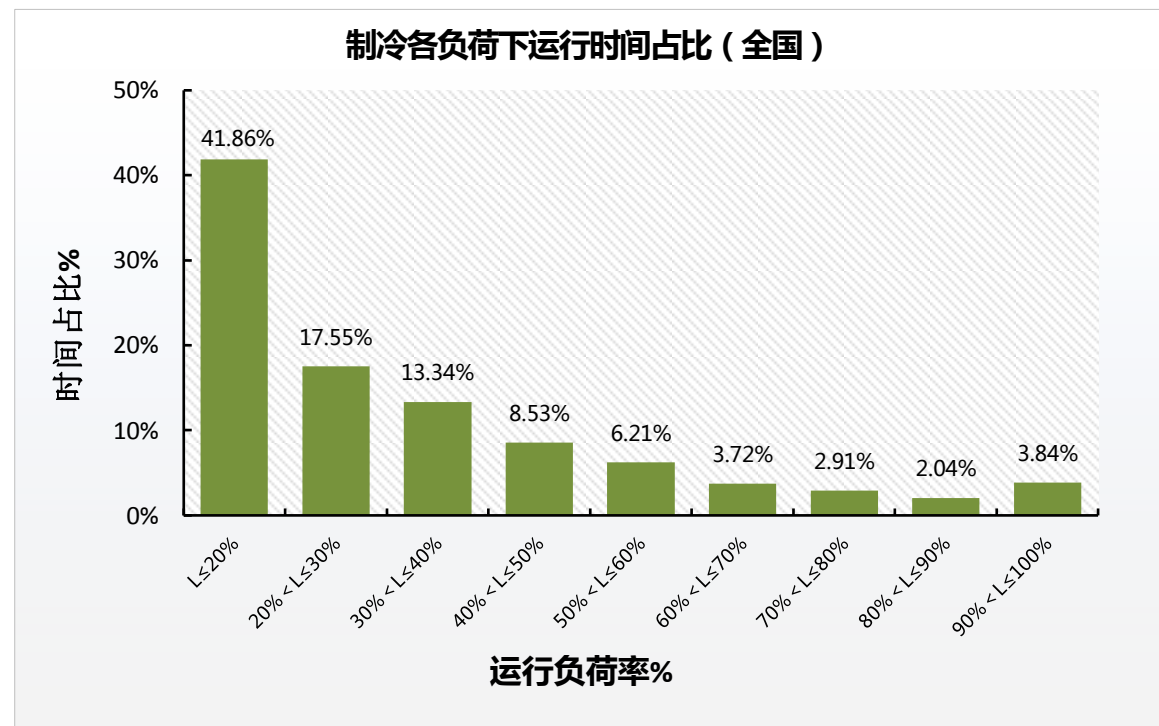
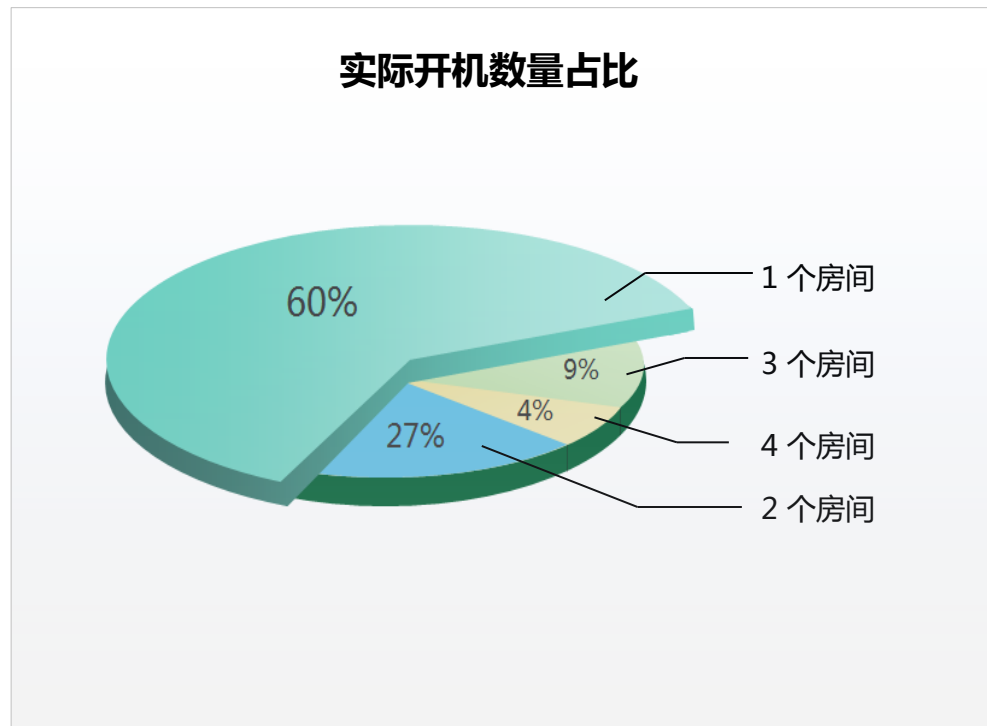
## 用户痛点：耗电

- 用户普遍认为家用多联机更加耗电，但家用多联机能效高于远家用分体机，**为什么**？
- 我们对20万套多联机运行大数据进行挖掘；



## 中国家用多联机使用现状：

- 运行数量：60%时间只开了一个房间内机；87%时间开1~2个房间内机；
- 运行负荷：60%的时间内，机组负荷低于30%；

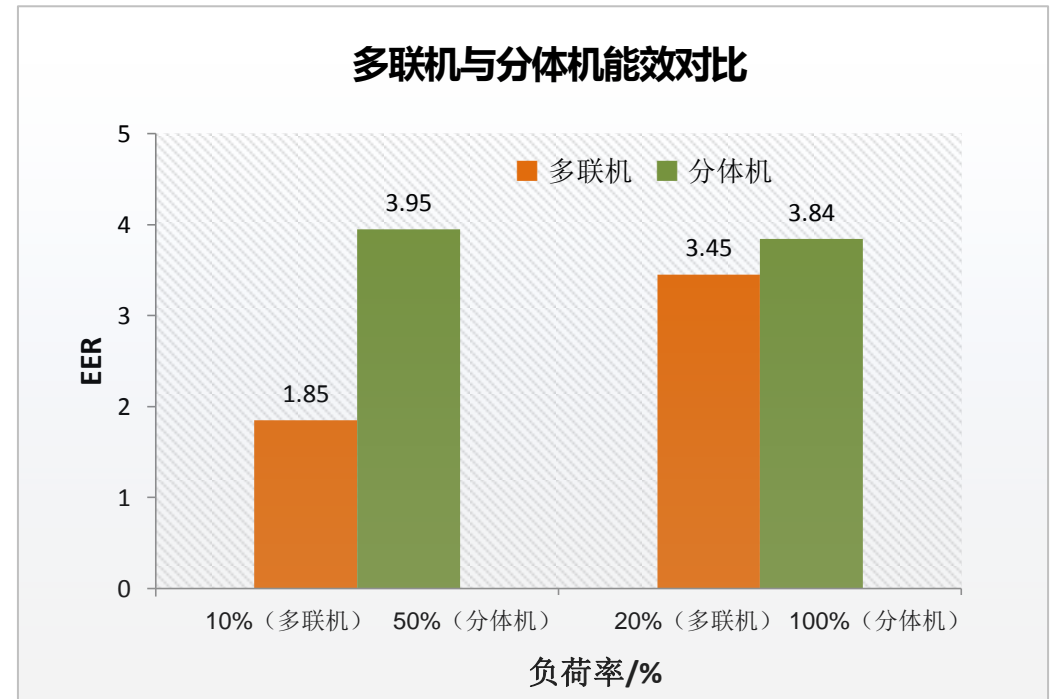
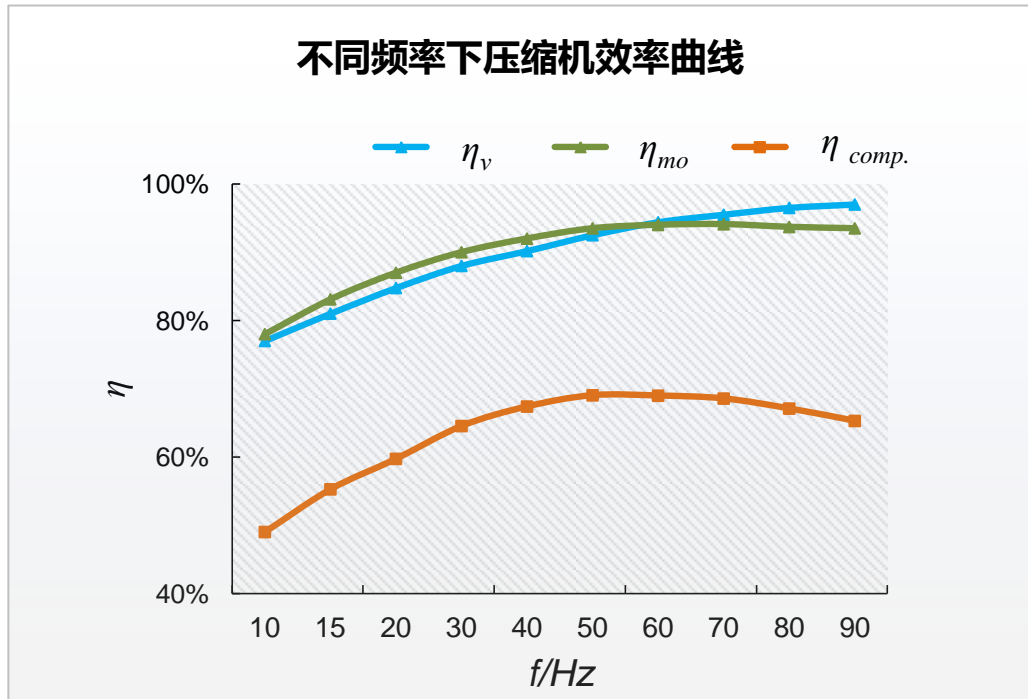


数据来源：《中国制冷空调实际运行状况调研报告》



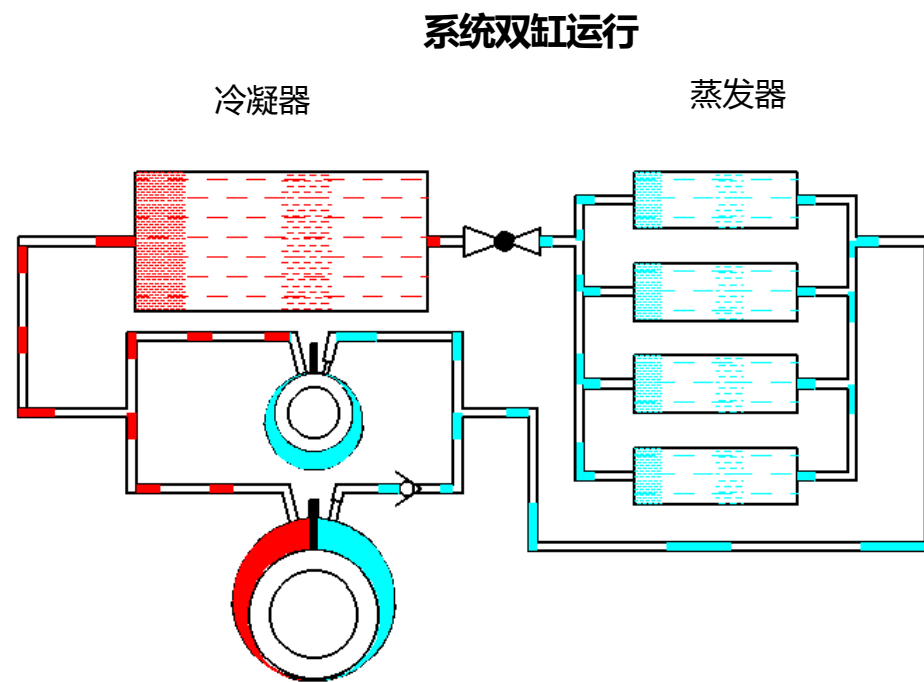
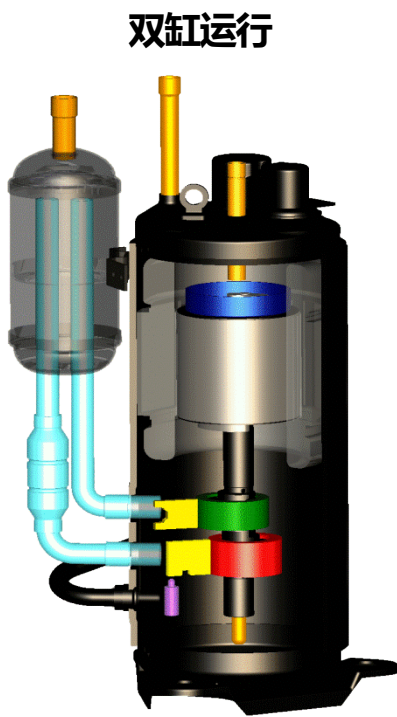
## 降低家用多联机能耗的关键：提高低负荷下的运行效率

- 在低负荷下，电机速度下降，电机效率和容积效率也下降，使压缩机效率低下；
- 只开一个房间内机50%，对1HP分体机负载为50%，EER 3.95；对5HP多联机负载为10%，EER 1.85；
- 传统多联机的最小负载仅为10%，可能导致压缩机频繁启停，增加功耗；

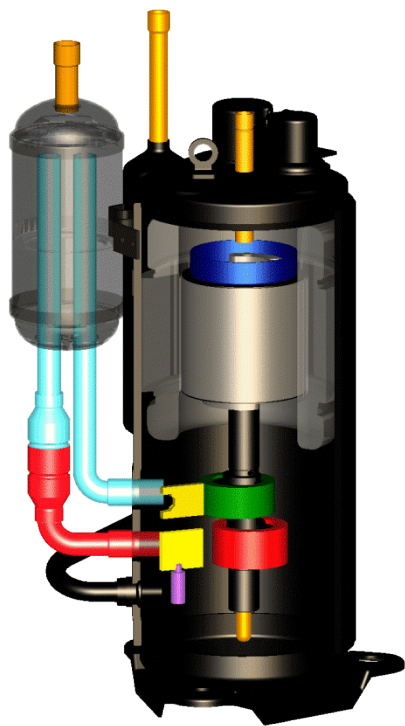


## 新技术：大小缸体切换的压缩机

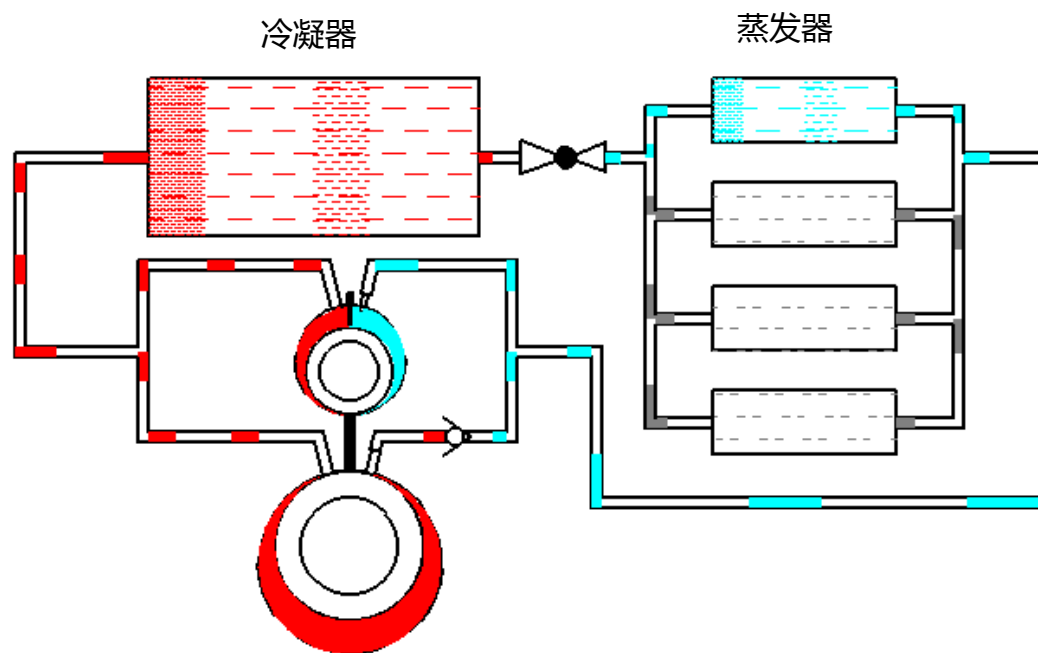
- 高负载时两个气缸同时工作；低负载时大气缸空载不做功，只有小气缸压缩冷媒；
- 电机始终工作在高速下，从而提高低负载时的能效；



### 单缸运行

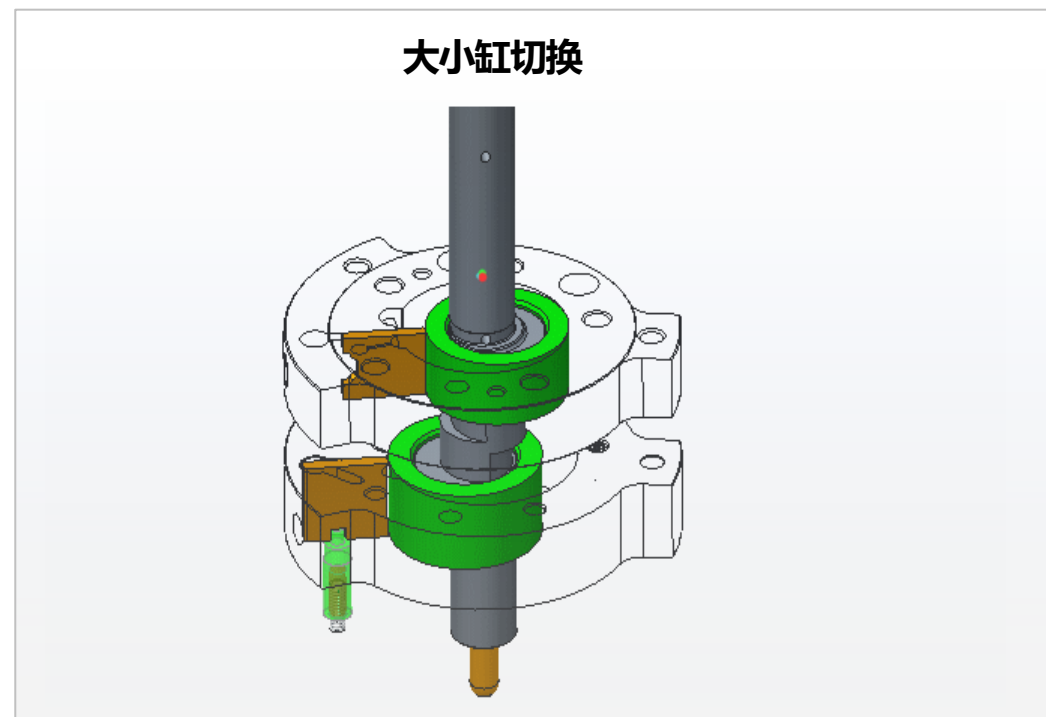
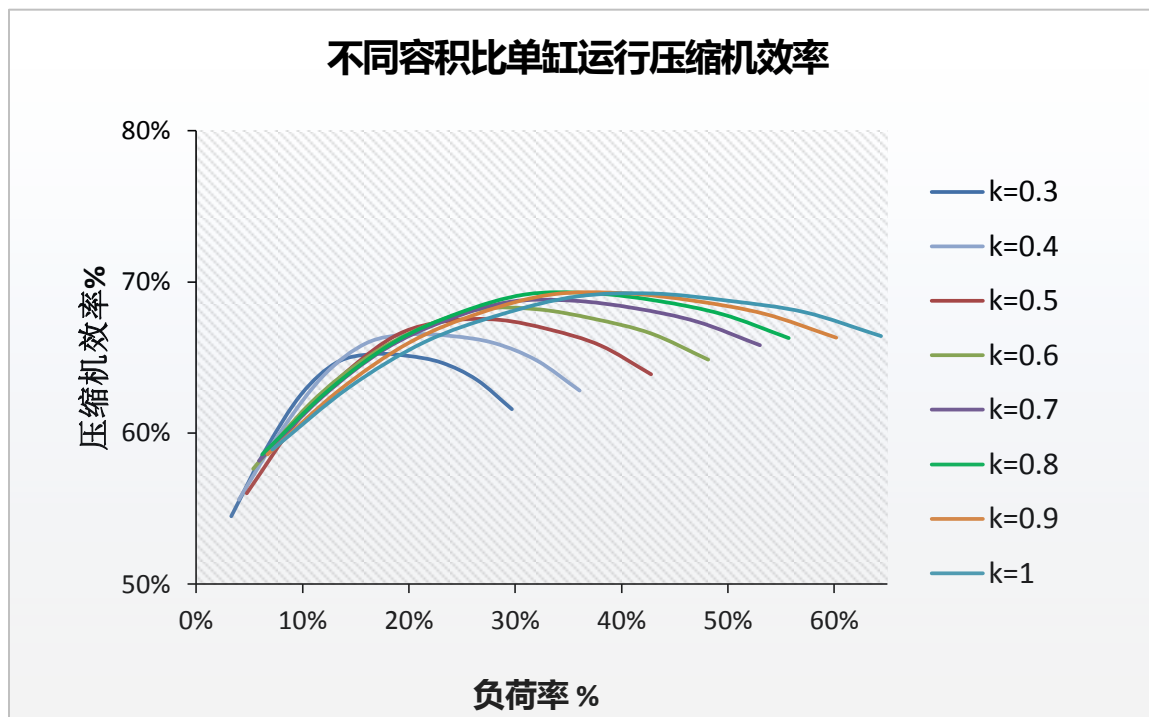


### 系统单缸运行



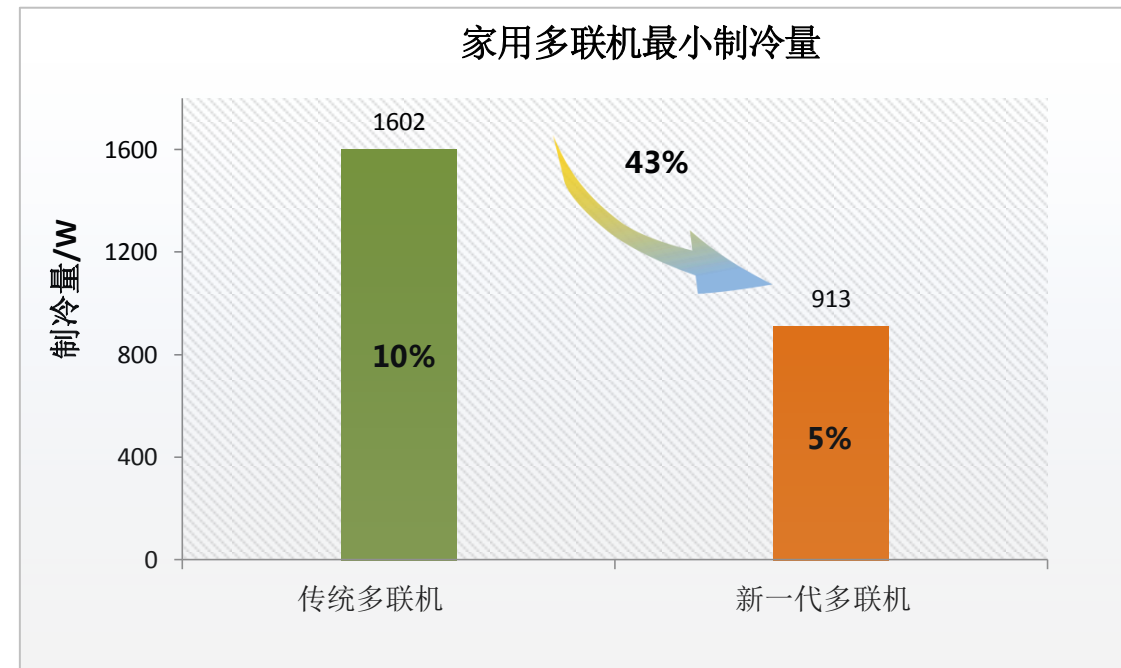
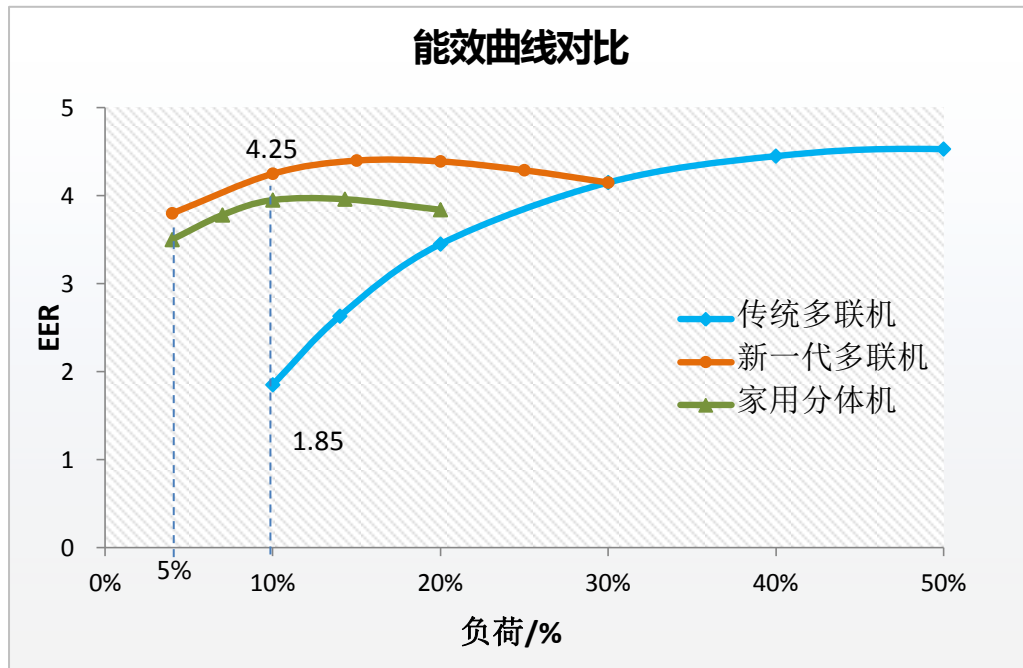
## 关键技术:

- 大小容积压缩机技术：实现优化的容积效率
- 切换可靠切缸技术：压力切换系统、转矩补偿无缝切缸技术  
已申请39项发明专利



## 更舒适度，更节能\*

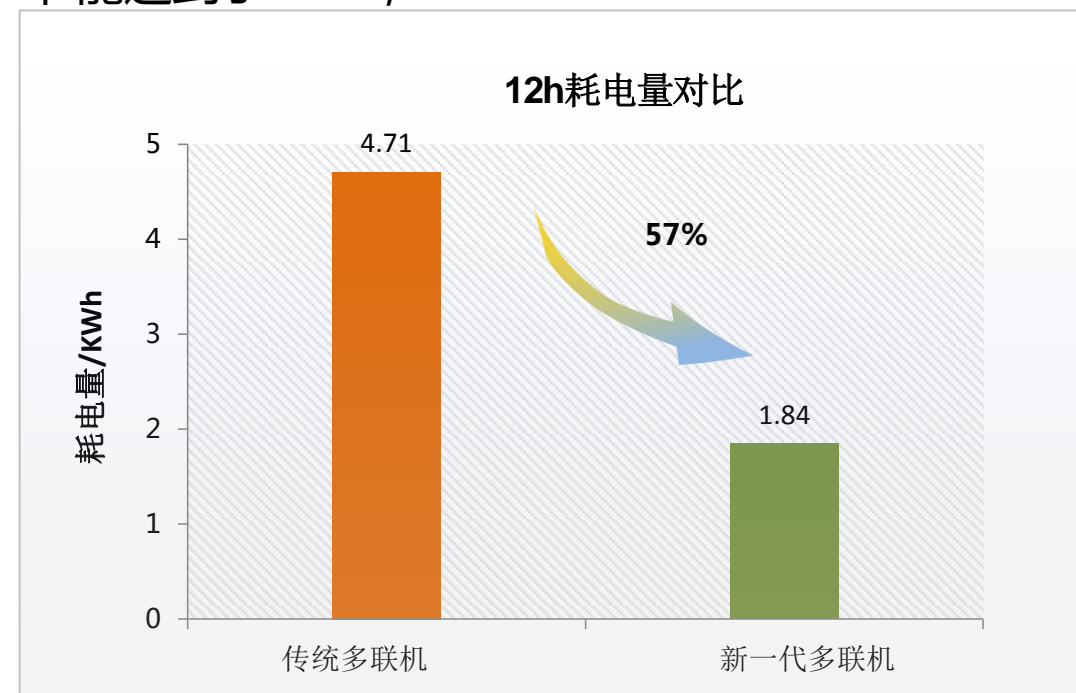
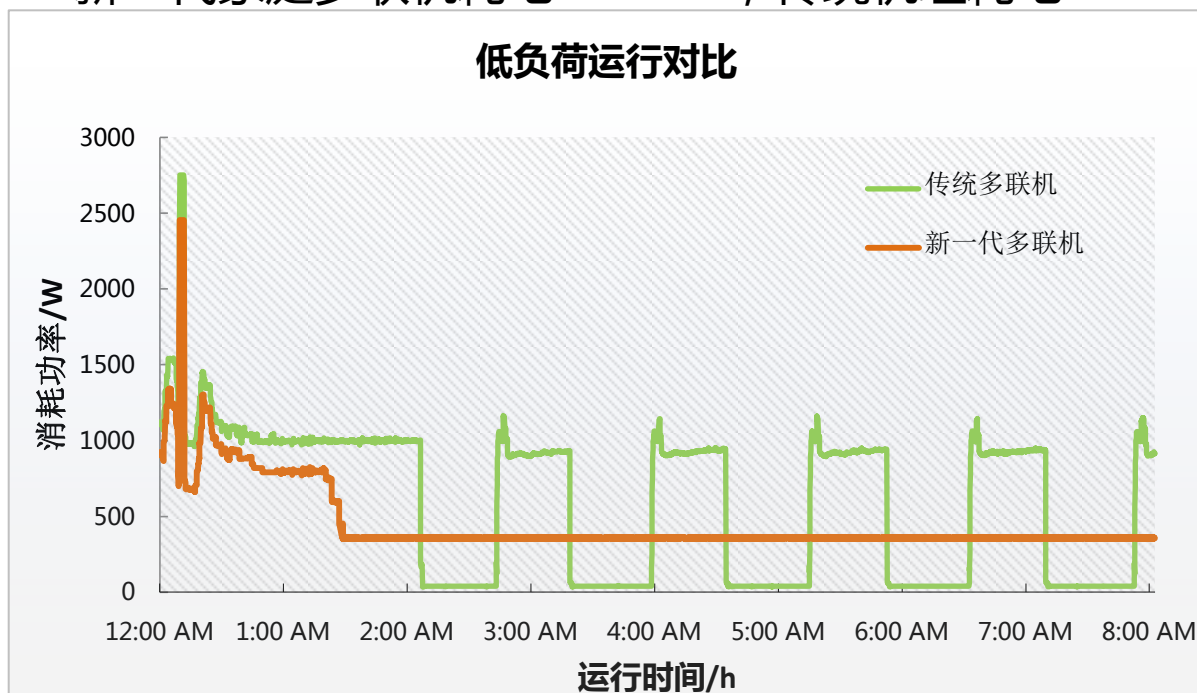
- 在负载低于30%时，新一代家用多联机的EER已经大大提高，并高于现有分体机；
- 在10%负载时：EER从1.85增加到4.25，提高了130%；
- 最低负荷降低到5%，解决室内温度波动和频繁启停问题；



\*第三方测试：国家压缩机制冷设备质量监督检查中心

## 多联机对比测试情况\*

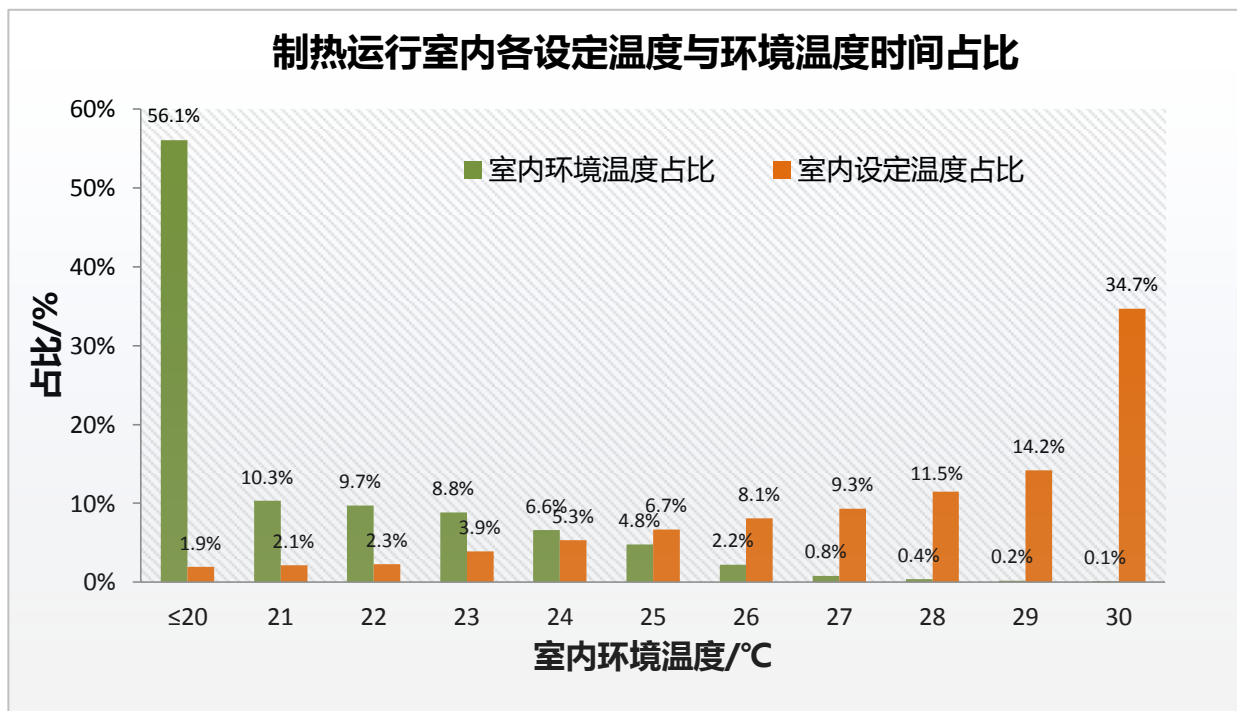
- 测试条件：外机为16kW，5个室内机，室外温度30℃，室内温度27℃，开一个房间空调，从晚上10点运行到第二天8点；
- 新一代家庭多联机耗电1.8kWh，传统机组耗电4.7kWh。节能达到了56%；



\*第三方测试：国家压缩机制冷设备质量监督检查中心

## 2、室内分布式送风新技术

- 传统家用中央空调室内机由于安装位置较高，制热效果不佳，“头热脚冷”不舒适；
- 大数据分析统计，温度设定28~30℃的有60%，但56%的室内实际温度低于20℃；
- 热聚集现象使热风在房间上层局部循环，存在热短路现象；



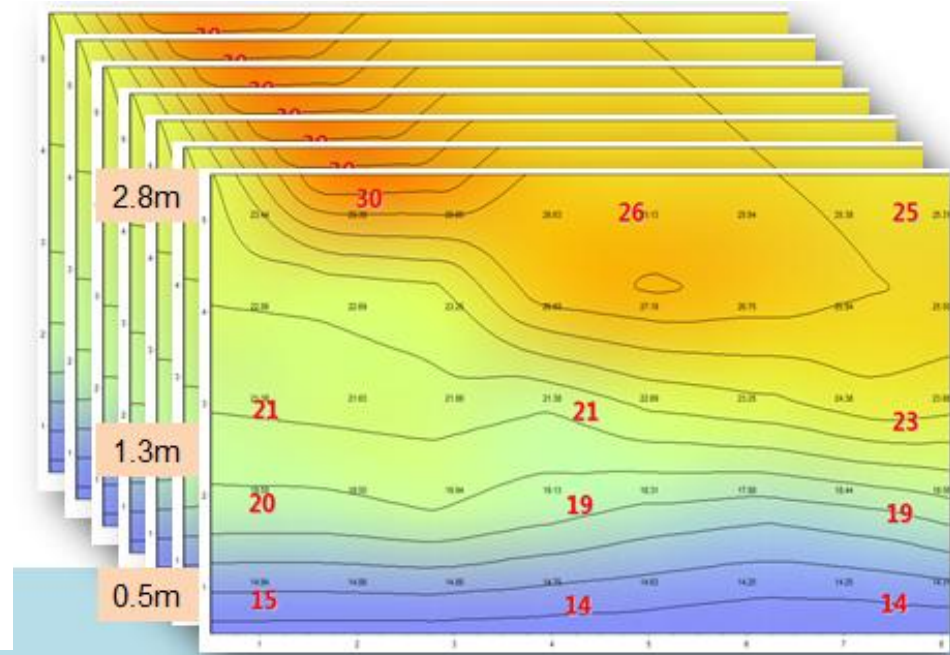
## 热聚集问题实验研究

- 测试条件：房间尺寸 $8\times 3.5\times 2.8\text{m}$ 、窗户1： $2.2\times 1.645\text{m}$ 、窗户2： $1.335\times 1.645\text{m}$ 、安装高度：2.3m，房间布置感温包，形成温度立体分布；
- 初始工况：室外 $0^{\circ}\text{C}$ ，室内 $5^{\circ}\text{C}$ ；
- 制热运行1h后，温度场稳定，热分层现象明显；

舒适性实验室



传统家用中央空调制热温度场分布



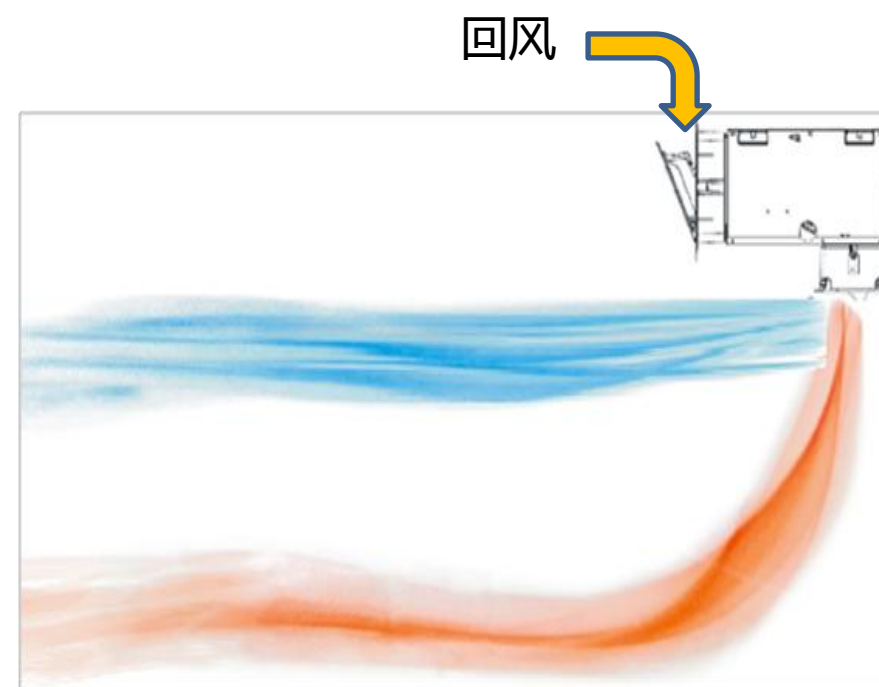


## 新技术：分布式送风

- 下送侧回和0~90°大角度扫风，保证了热风下吹的送风方式；
- 改善制热送风气流组织分布，彻底解决热聚集现象；



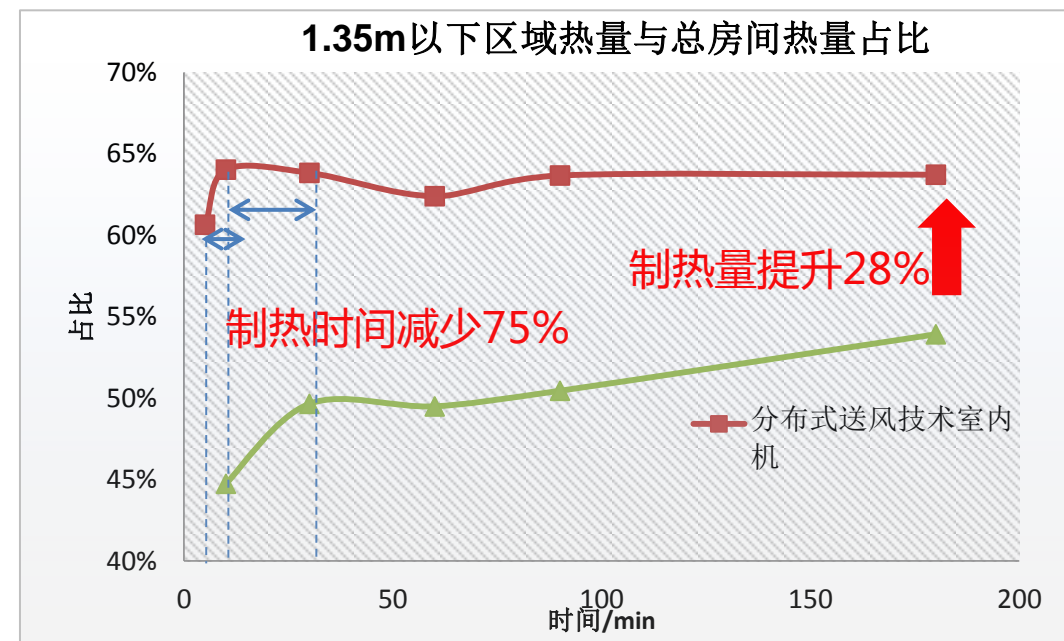
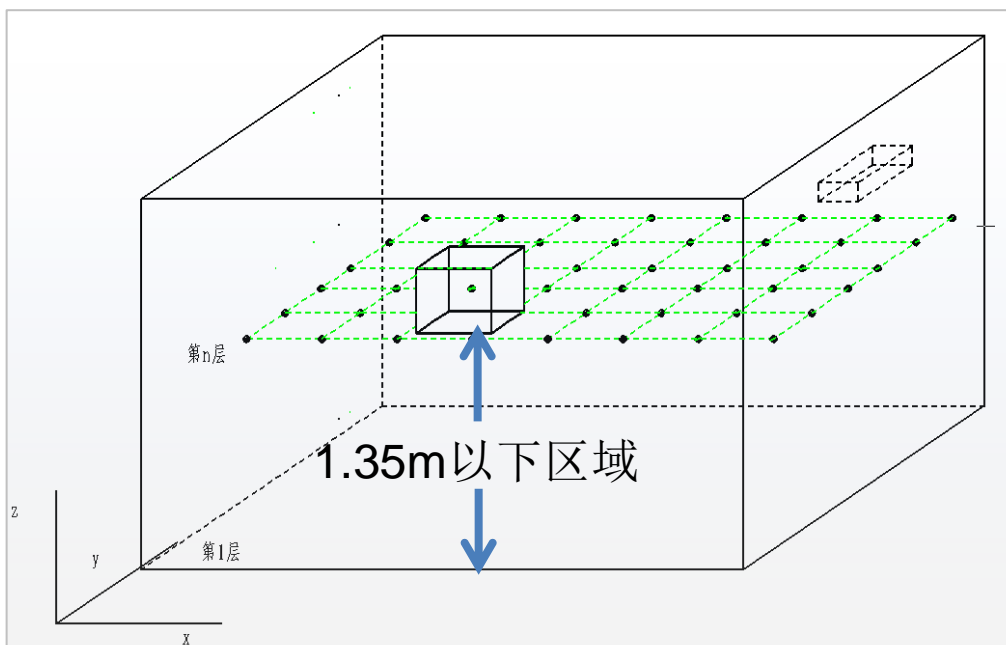
普通中央空调室内机送风方式



分布式送风技术室内机送风方式

## 效果对比：

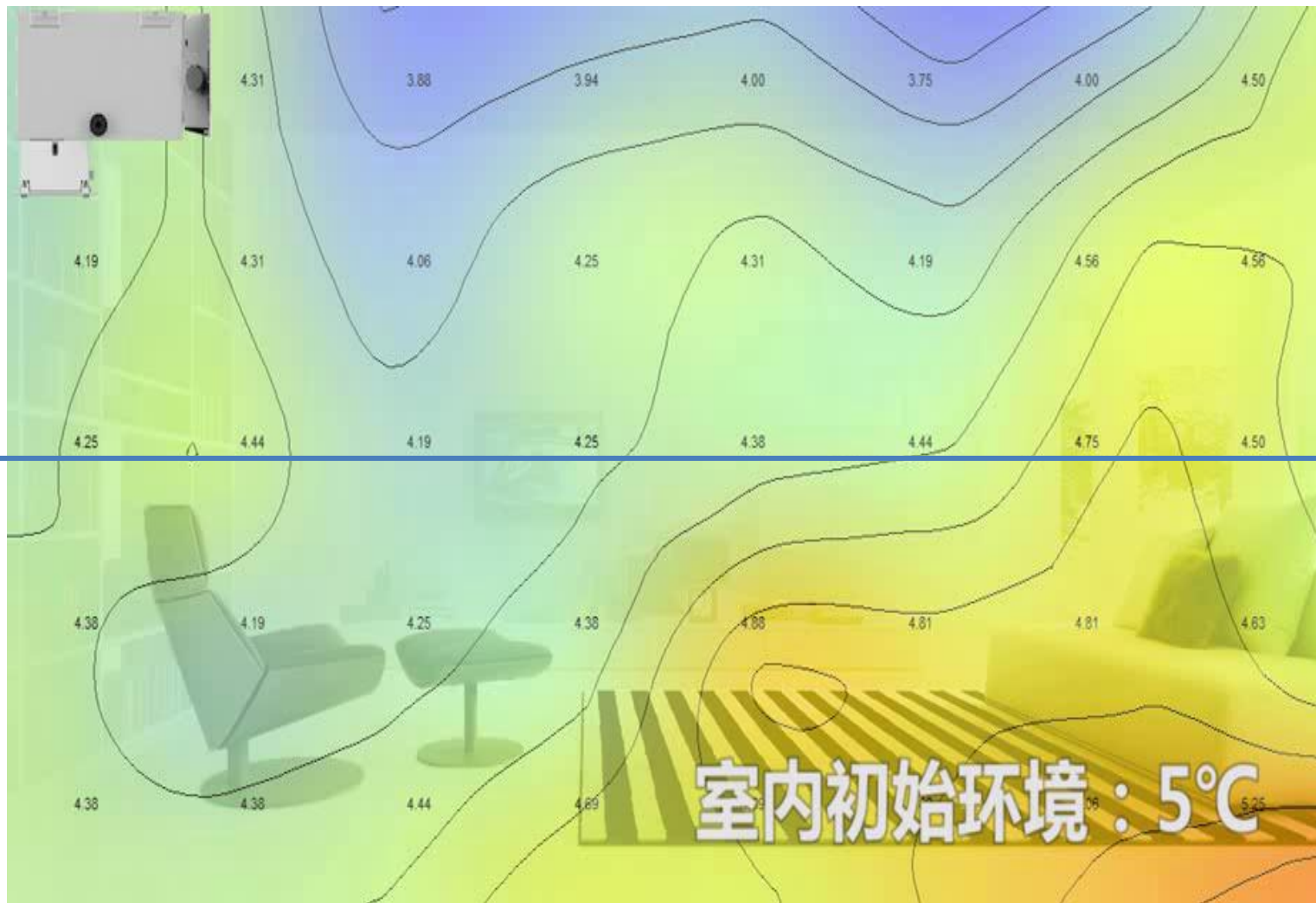
- 同样制热量下，人体活动区域的热量提升28%，制热效果大为改善；
- 达到热量分布比例稳定，时间缩短75%，制热速度大大提高；



以感温包为中心将房间进行分块，得出每一块的制热增量 $Q_i$ ，总制热增量 $Q_{总} = \sum Q_i$

其中： $Q_i = cm\Delta t = cpV\Delta t$ ； $Q_{总} = cp(V_1\Delta t_1 + \dots + V_i\Delta t_i + \dots)$

1.35m



分布式送风技术温度实时分布图

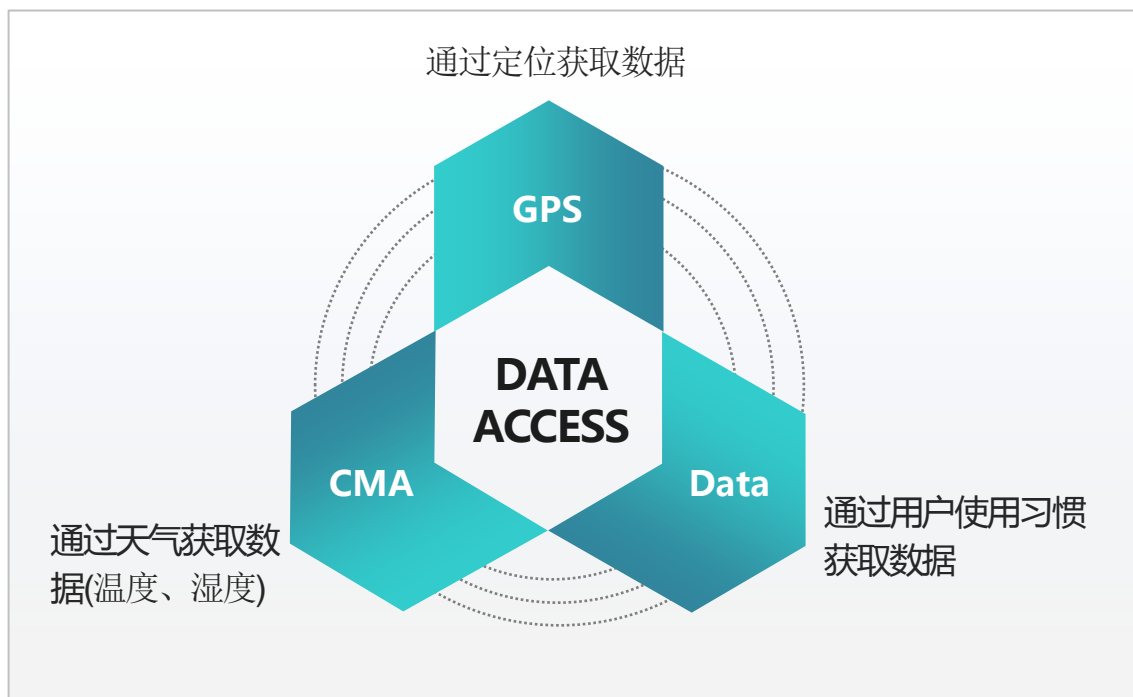
- 这是应用大数据进行精确研发的典型示例；
- 通过大数据统计设备实际使用状态，发现少量样本难以发现的问题，识别关键点，进行技术创新，真正解决客户的痛点问题；
- 这种新的研发思路不仅可以实现精准研发，同时也提升了研发效率；
- 研发方法可以应用到所有的产品研发中；



# 节能运行

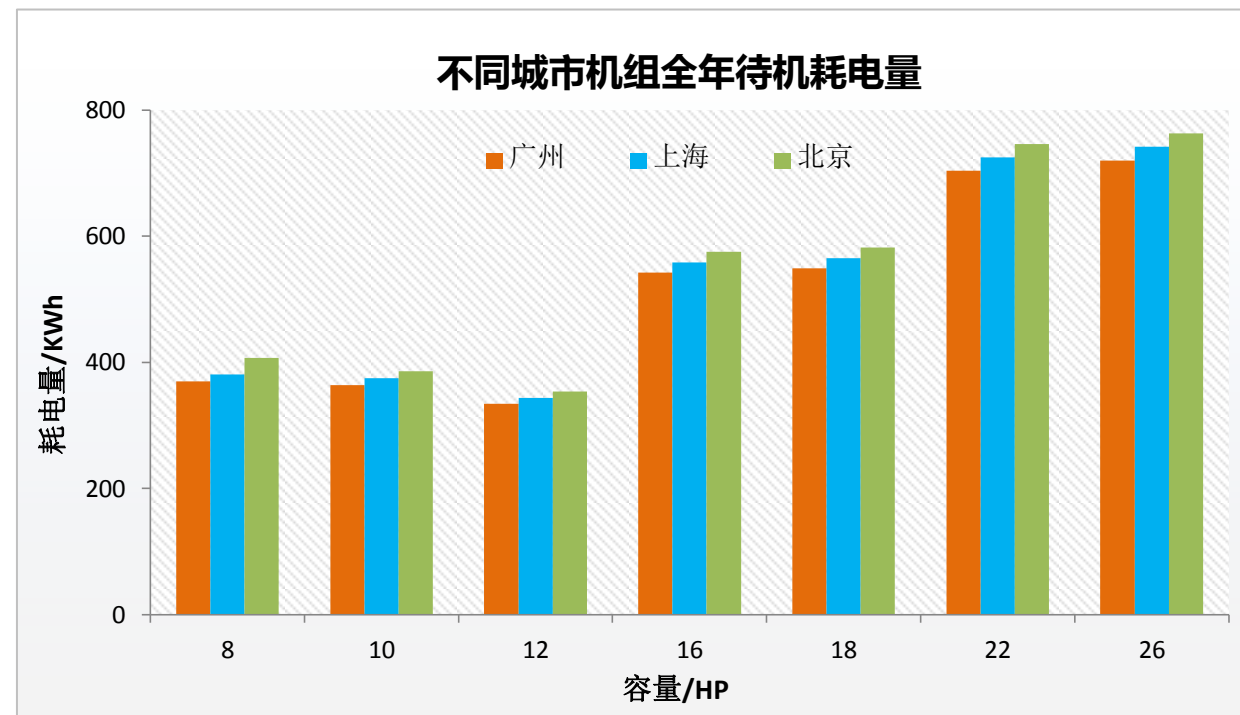
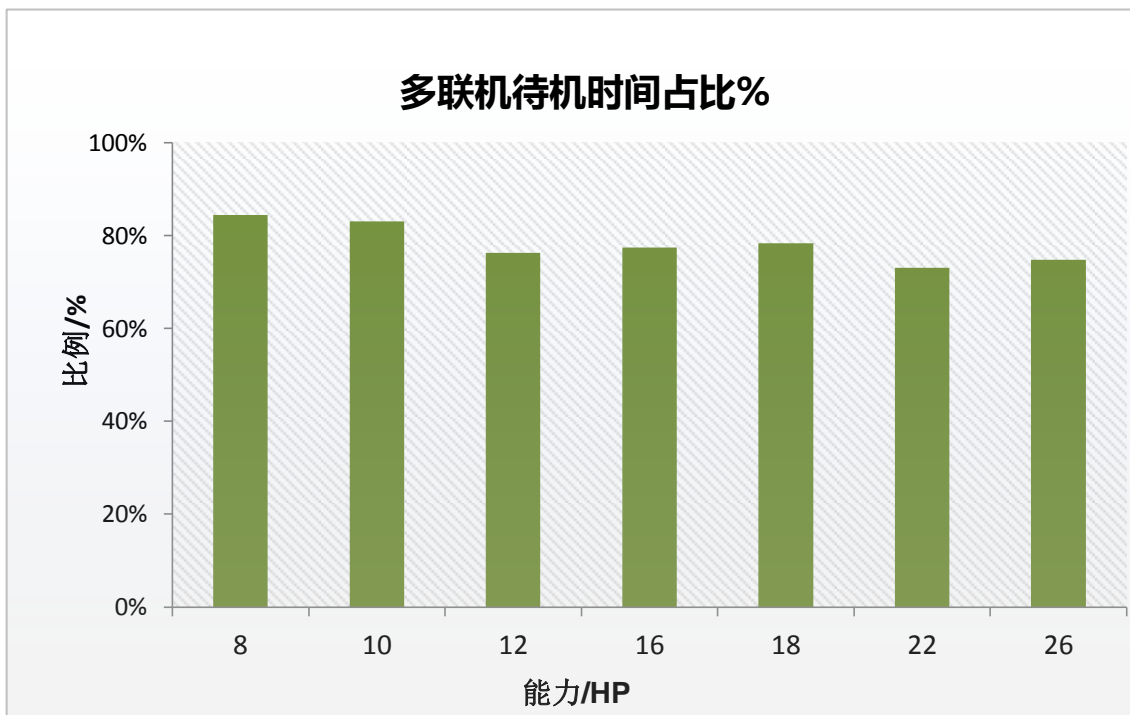
1. 多联机智能待机
2. 热泵化霜控制策略

- 空调系统运行效率与运行环境、用户习惯等密切相关；
- 基于大数据，开展了融合天气预报、机器学习的多联机系统运行节能的研究；
- 通过机组GPRS定位获取机组安装地的天气预报，提前响应，运行最优模式，从而提升系统效率与舒适性；



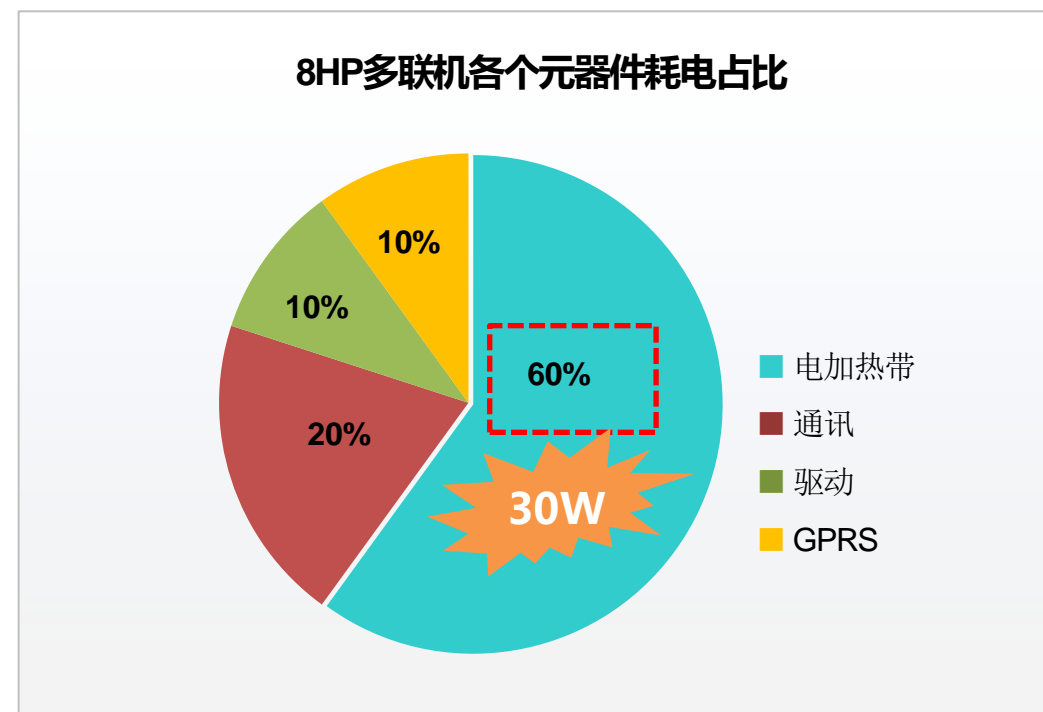
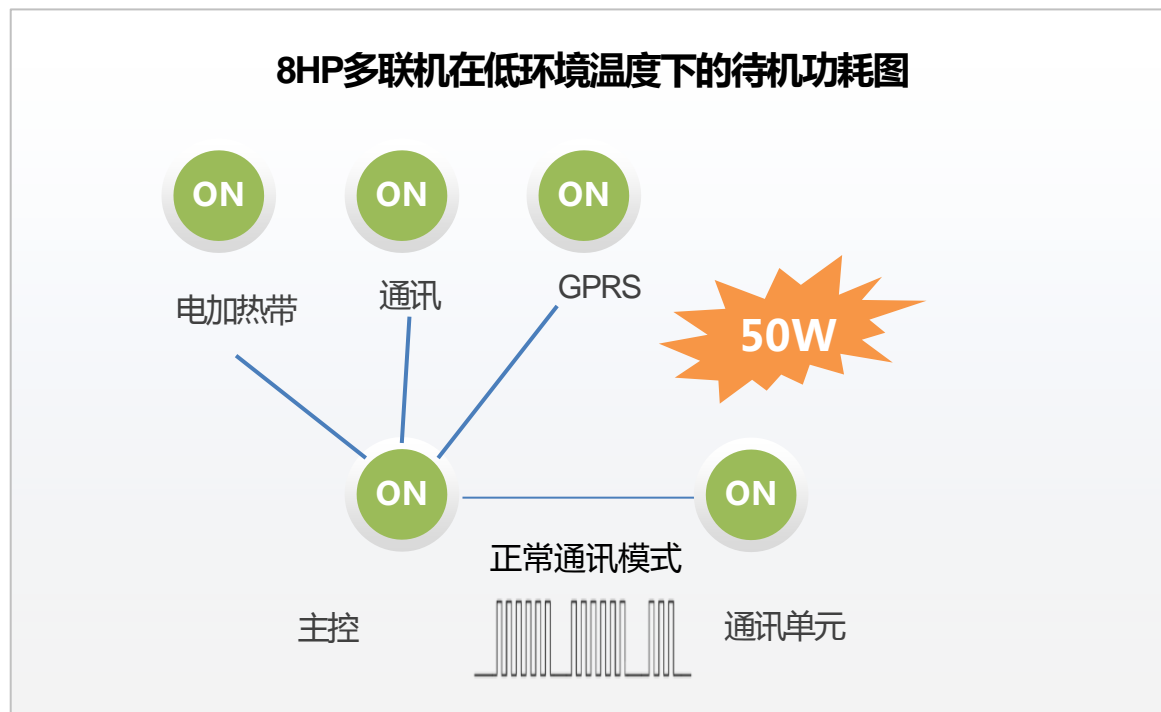
## 1、多联机智能待机

- 一年内，多联机平均待机时间占总时间的76%；
- 每个工程的年用耗电量约为300-800kWh，不同的区域有所不同；
- 中国每年1000万台多联机的待机耗电量高达50亿kWh；



## 多联机待机功耗分析

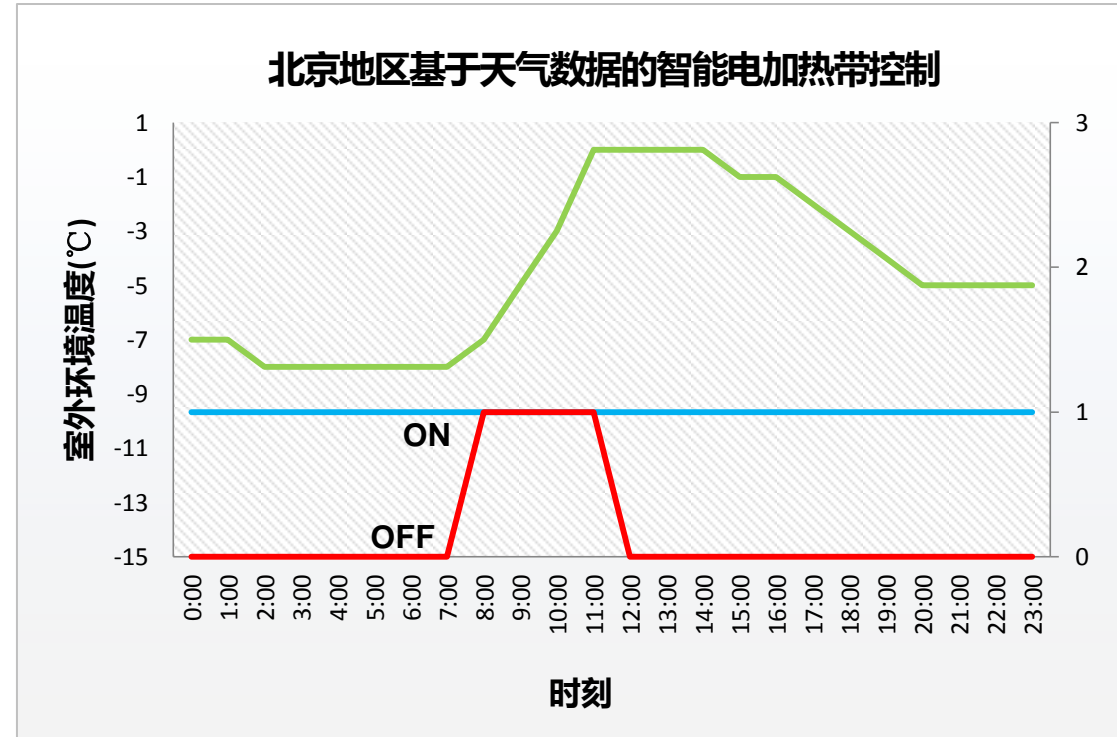
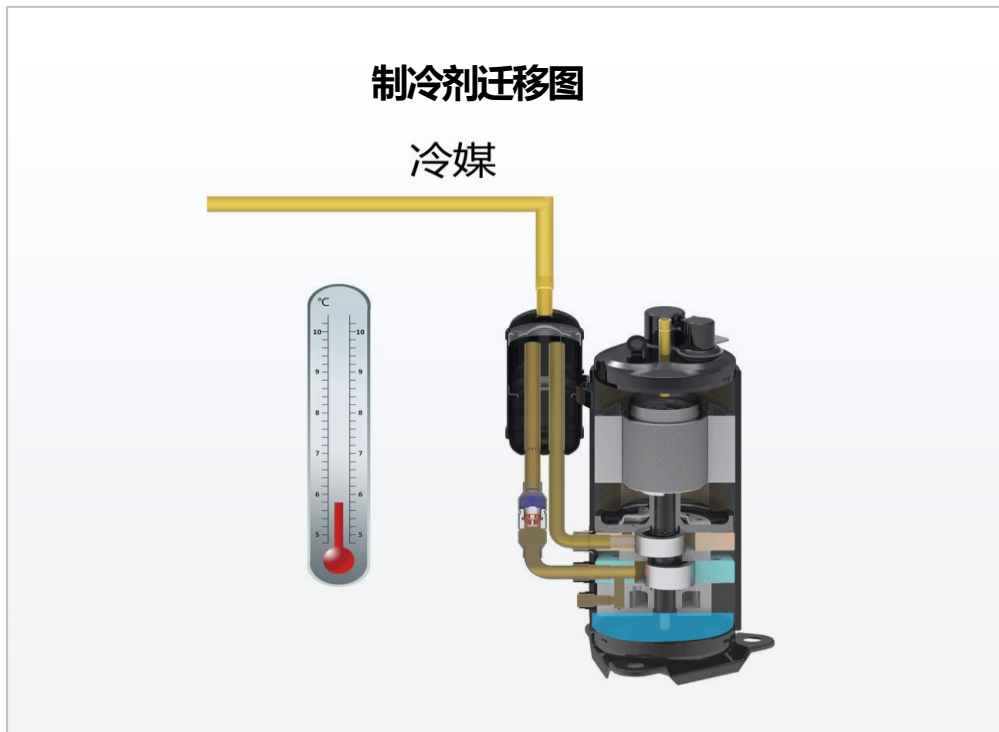
- 待机功耗主要是电加热器，占比60%，其次通讯功耗，占20%





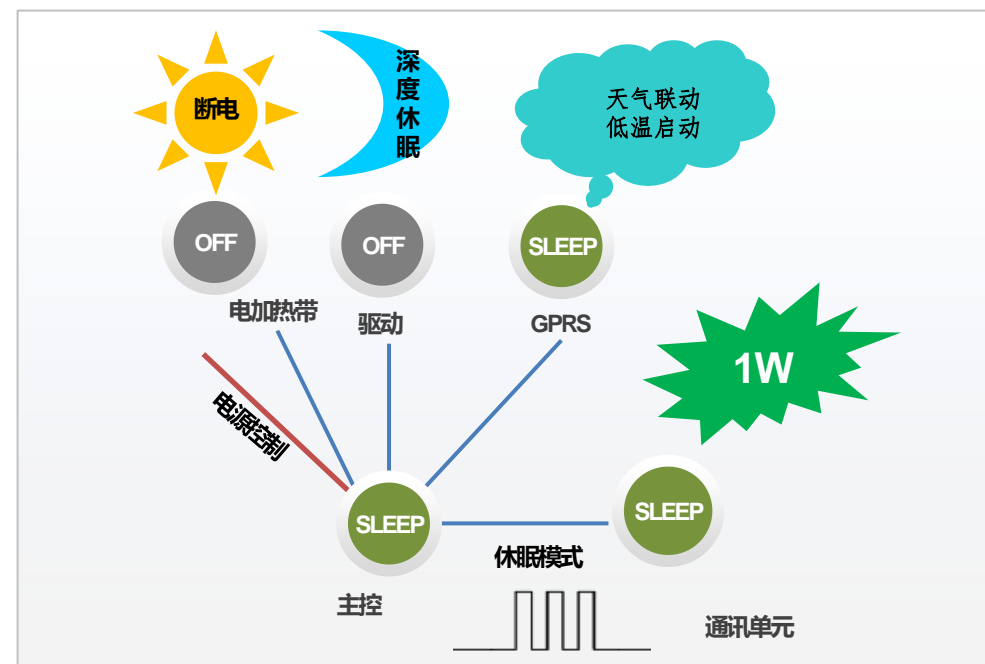
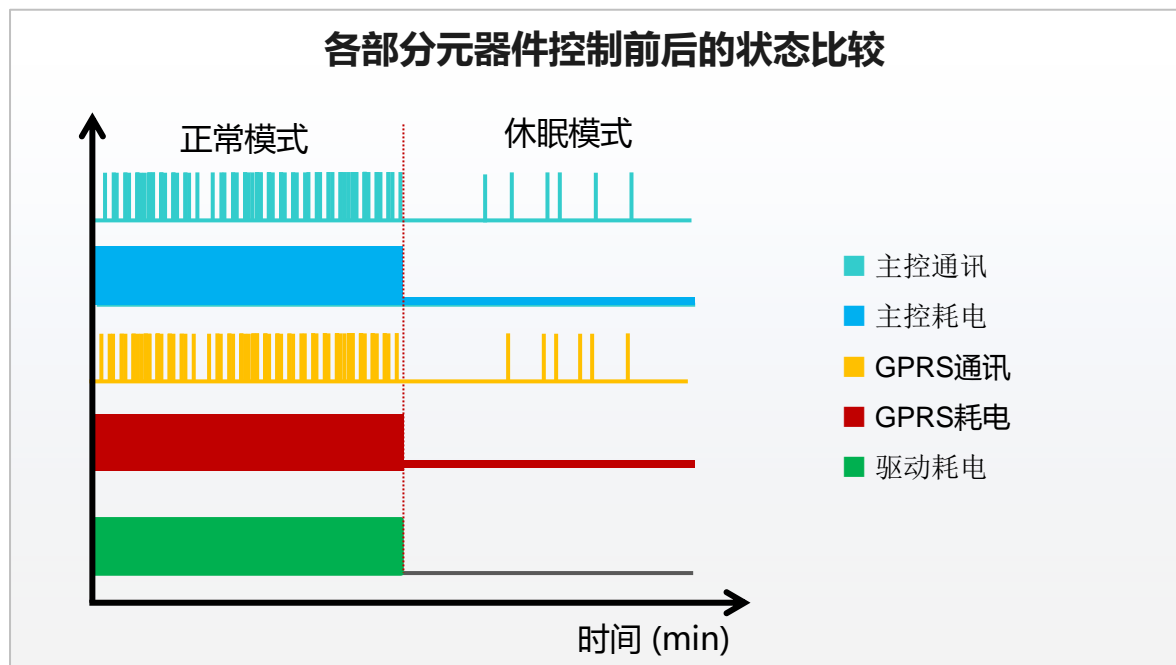
## 基于天气预报和压缩机智能控制

- 多联机停机时电加热器开启以防止冷媒迁移，研究发现，冷媒迁移与气温变化相关；
- 基于天气预报和压缩机特性智能控制策略，可将电加热器的运行时间缩短80%；



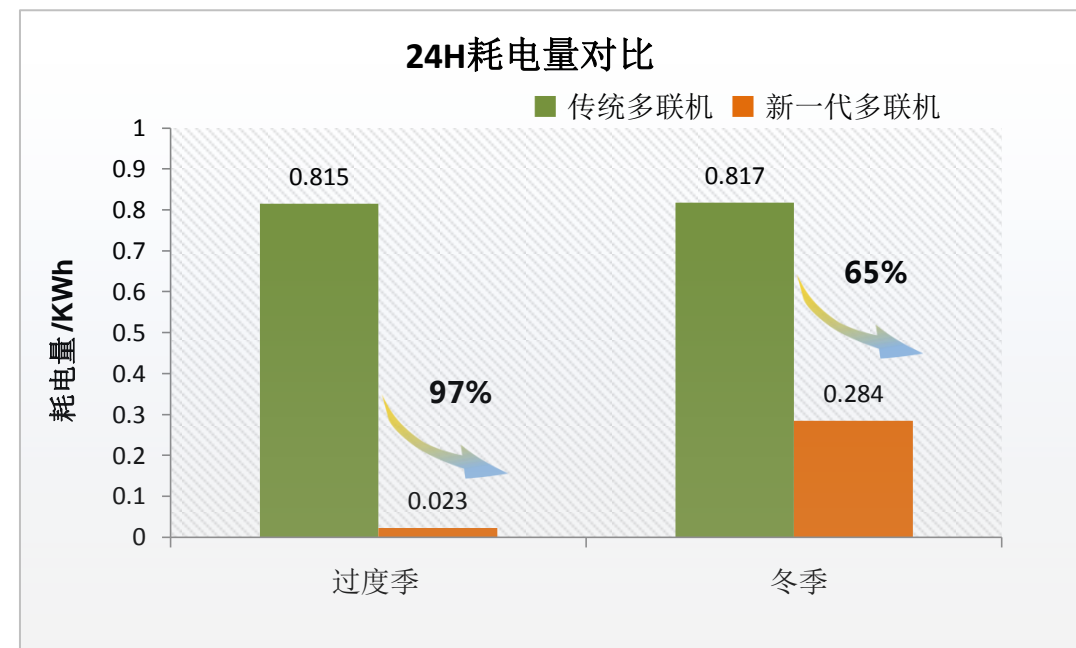
## 基于机器学习的休眠及唤醒控制

- 待机模式下，进入睡眠模式，通过机器学习用户习惯，机组预测何时需重新启动机组；
- 功率可降低至1W；



## 对比测试\*

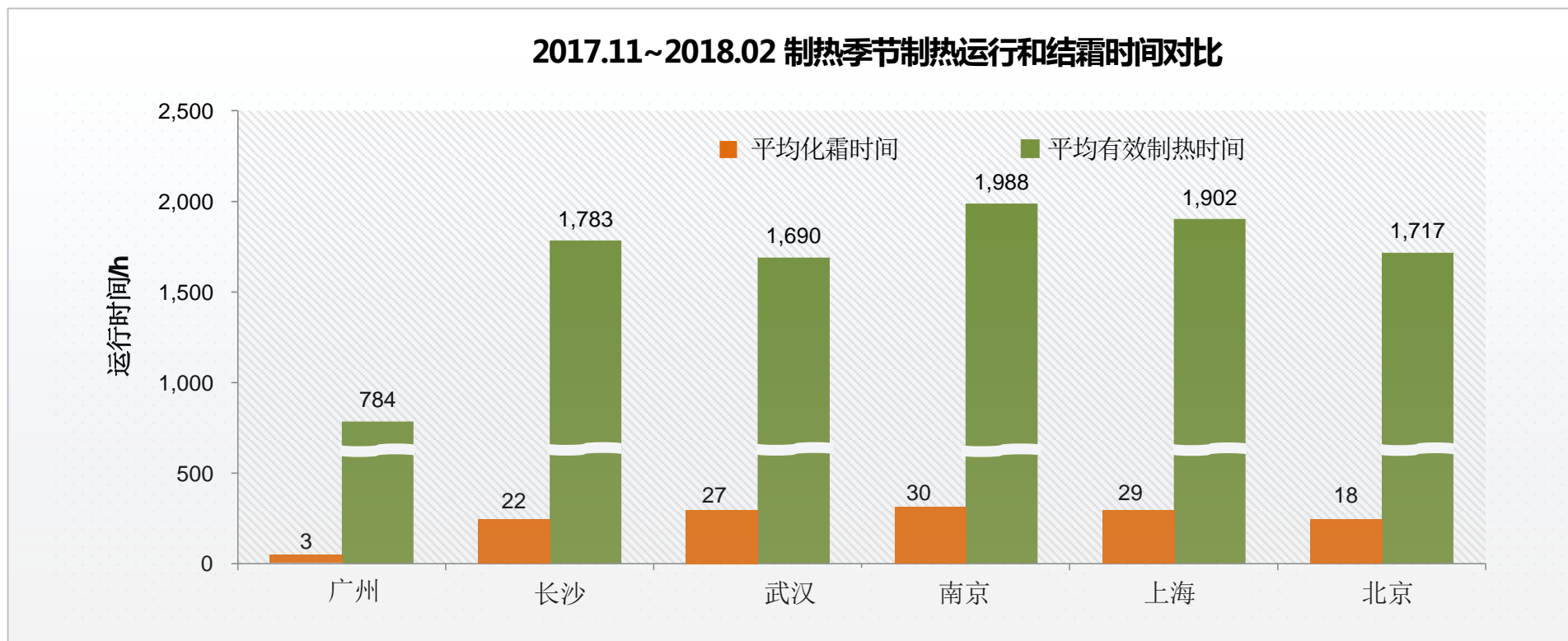
- 8HP容量，30W电加热器，过渡季节和冬季条件下，记录24小时耗电量；
- 新一代待机控制策略可以极大减少待机能耗，过渡季节减少97%，冬季减少65%；



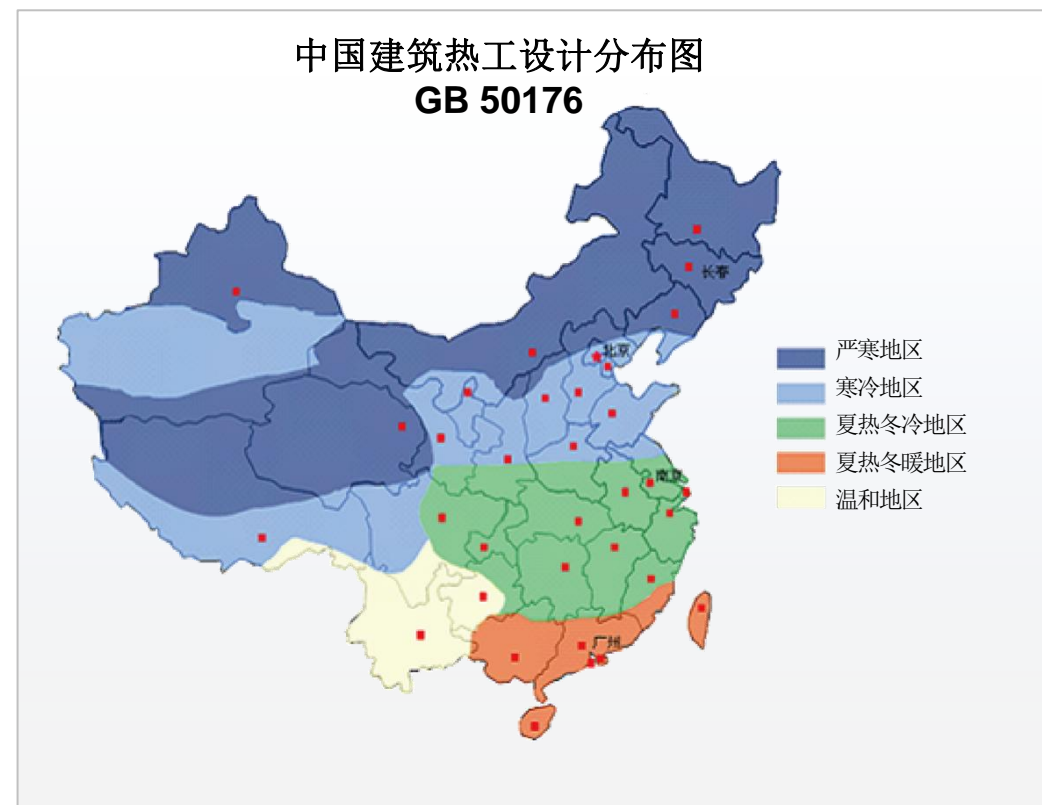
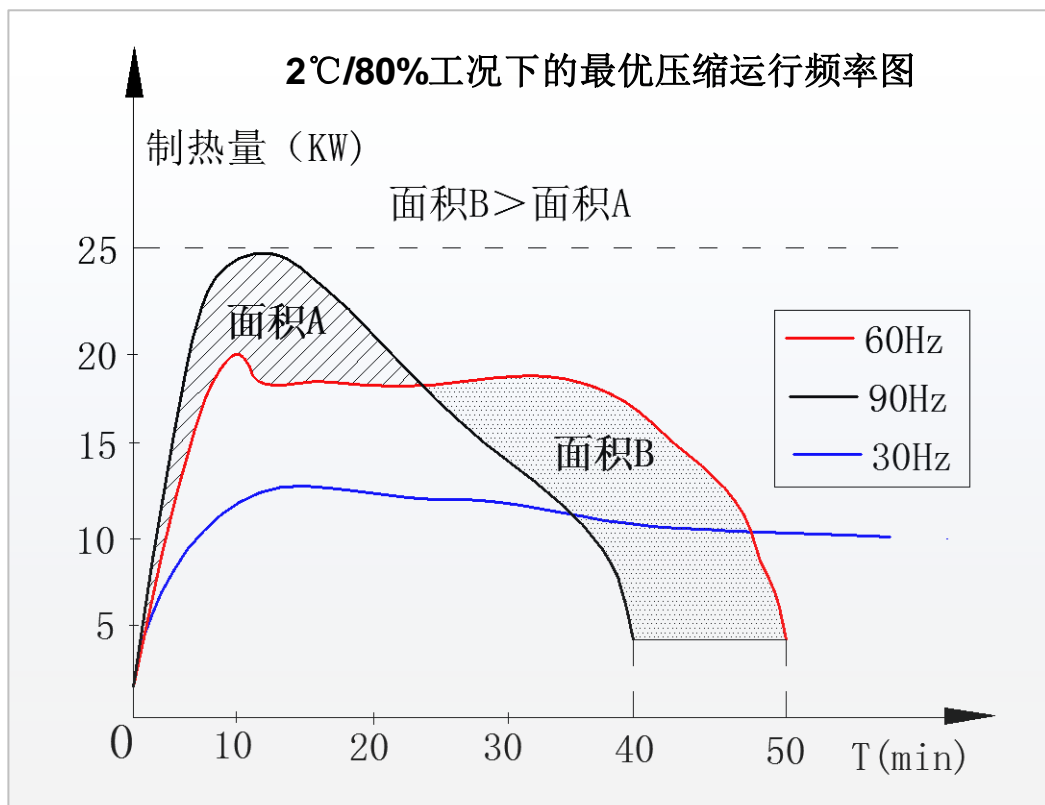
第三方测试：国家压缩机制冷设备质量监督检查中心

## 2、空气源热泵化霜控制策略

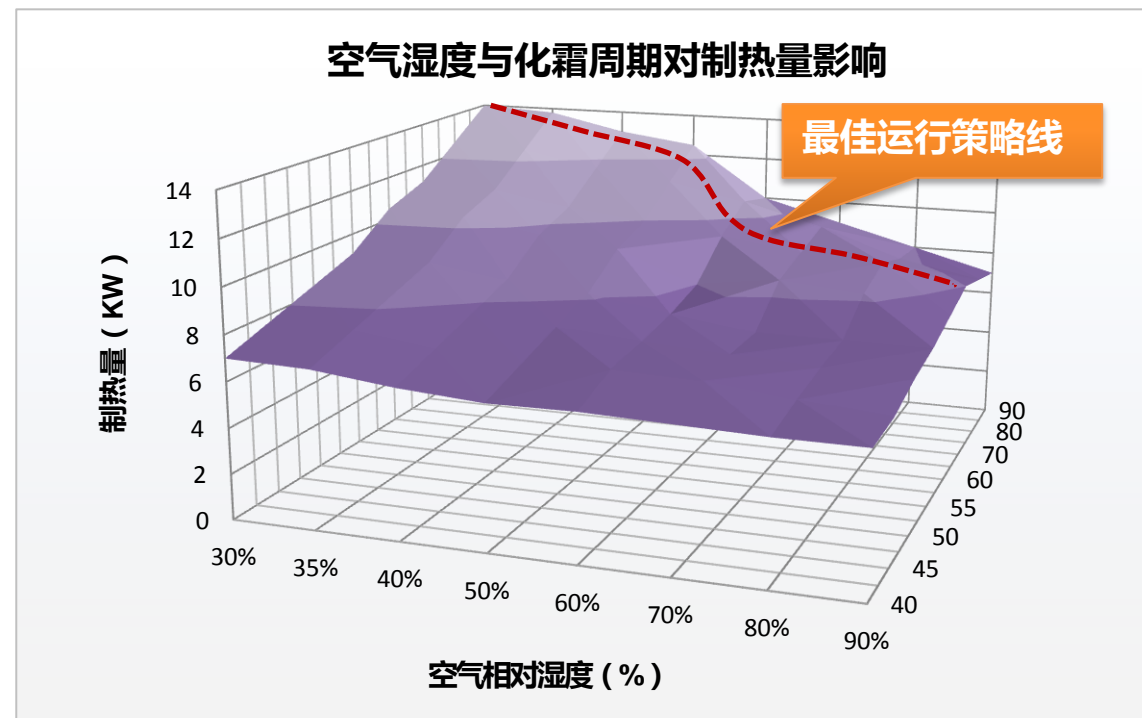
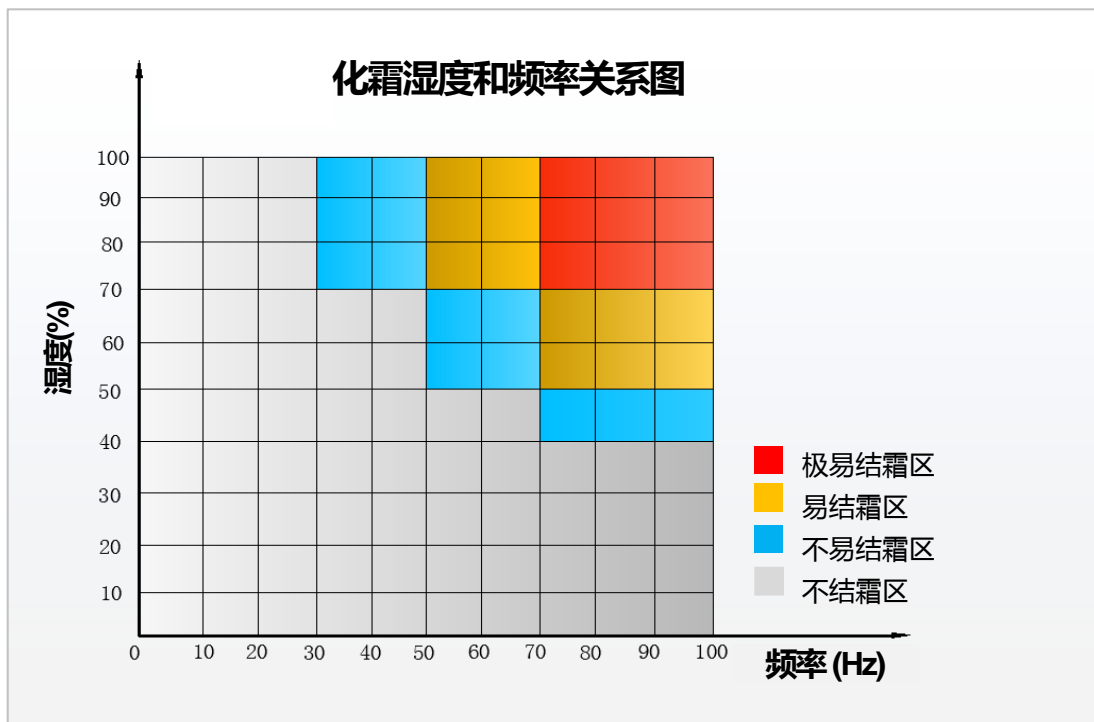
- 结霜是影响空气源热泵系统节能与舒适的重要因素；
- 不同区域的总化霜时间不同，南京是北京的1.7倍，是广州的10倍；



- **实验研究**：得到不同温度、湿度工况下的最优压缩运行频率，保持机组最佳的制热效果；
- **策略选择**：针对不同气候制定了不同的化霜最佳的运行策略，进行推送；

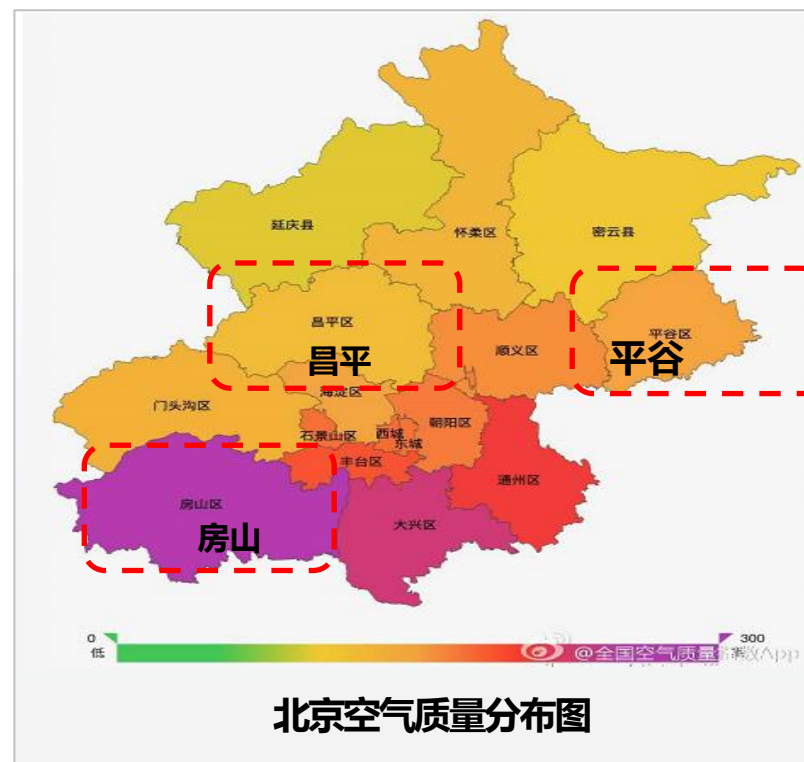
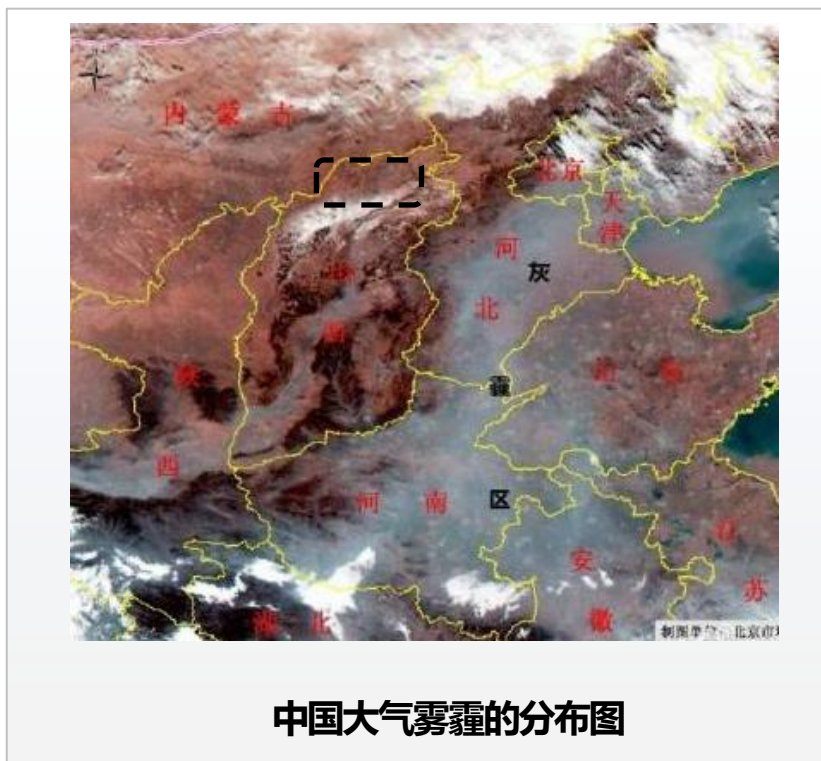


- **模型训练**：通过大数据收集和分析制热实际运行数据，对实验模型反复训练优化，提高模型准确性；
- **模型优化**：引入制热量参数变量，建立具有相对湿度和运行频率的制热模型，在满足制热舒适性前提下，少结霜化霜，运行更节能；



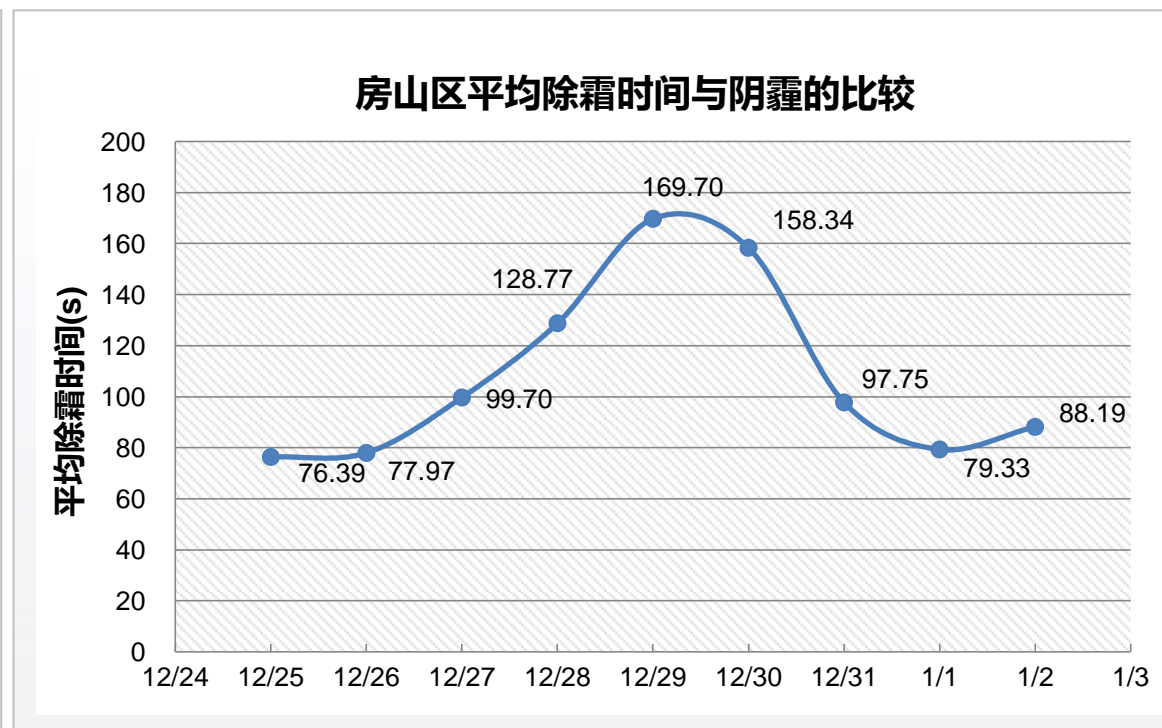
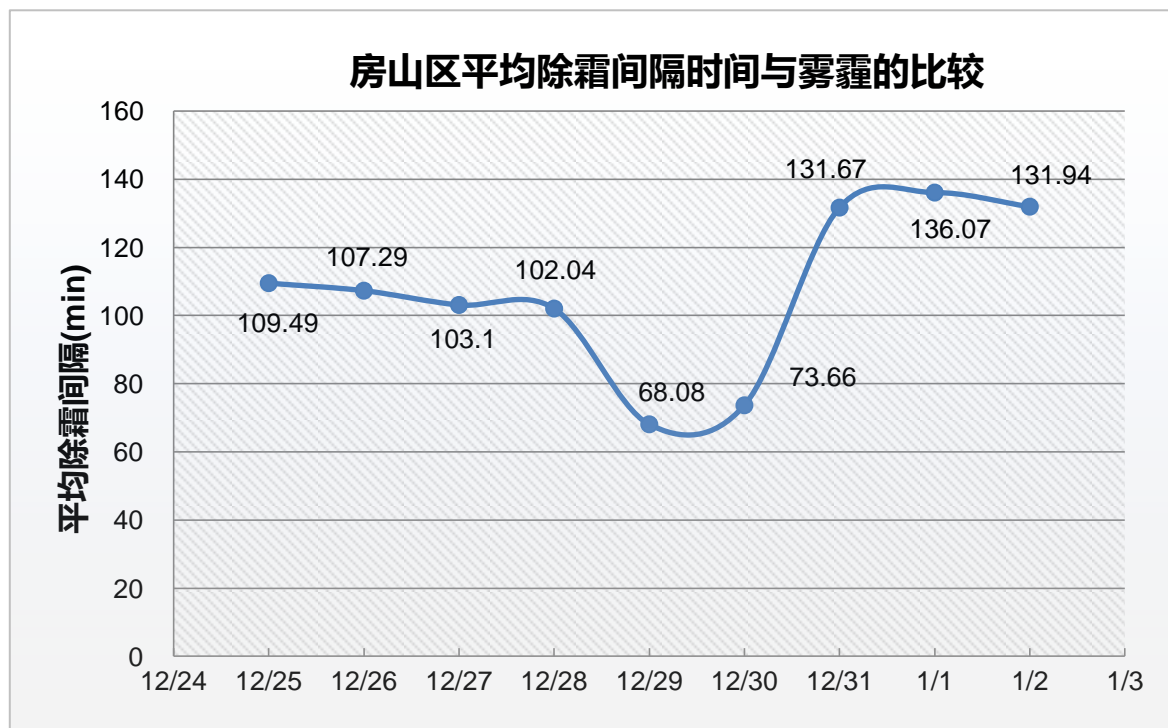
## 雾霾对结霜和除霜的影响

- 2017年12月28日至30日，雾霾笼罩北京，以29日最为严重；
- 北京房山区雾霾等级最高，昌平和平谷等级较低；



## 房山区同一机组雾霾前后比较：

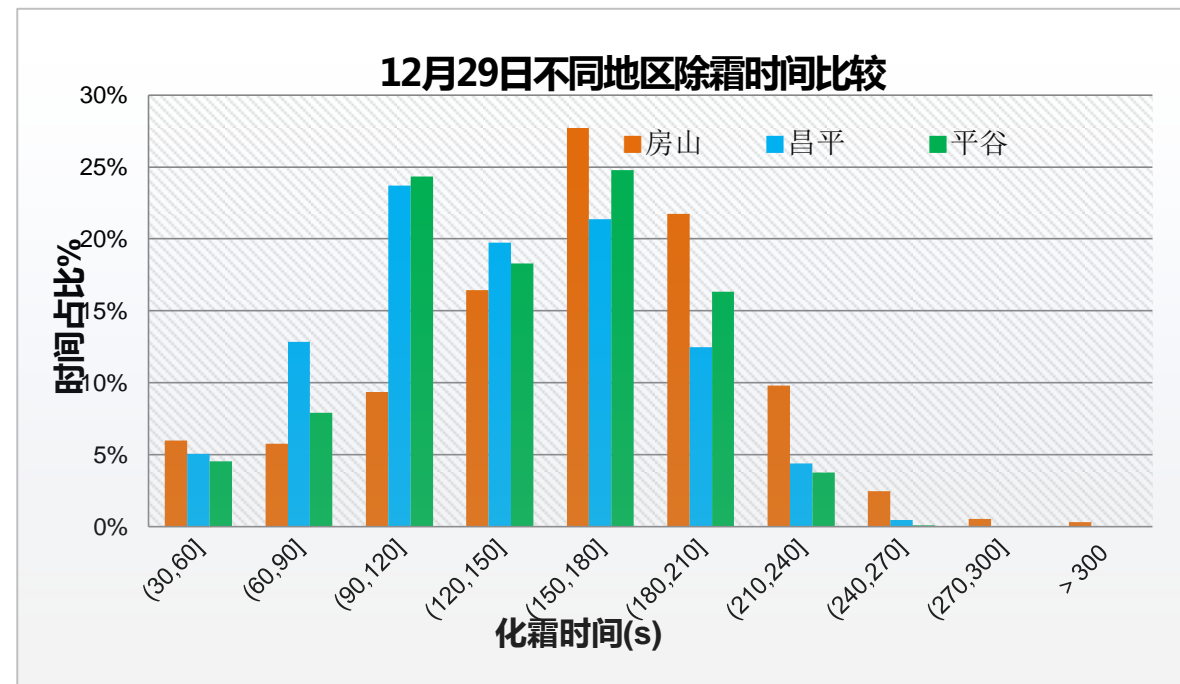
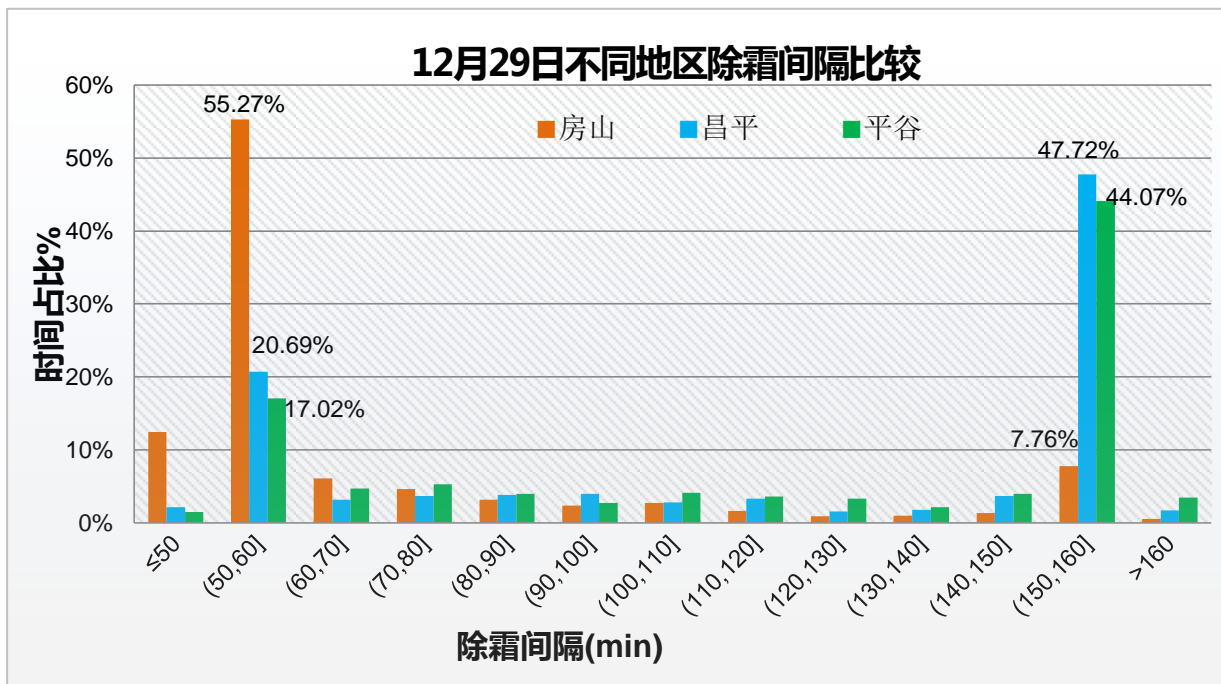
- **化霜间隔**：无霾时110分钟，12月29日有霾时68分钟。
- **化霜时间**：无霾80秒，12月29日有霾时180秒。





## 12月29日安装在不同区域的机组运行对比：

- **化霜间隔**：房山区50-60分钟的占比55.3%，昌平150-160分钟的占比47.7%
- **化霜时间**：房山区150-210秒的占比49.4%，昌平90-180秒的占比64.8%



通过大数据优化控制策略，大大提高了运行效率。除此之外，有许多类似的研究，例如：

- 地暖预加热的控制
- 干区制冷模式下的蒸发温度控制
- 冰蓄冷系统的负荷预测

.....

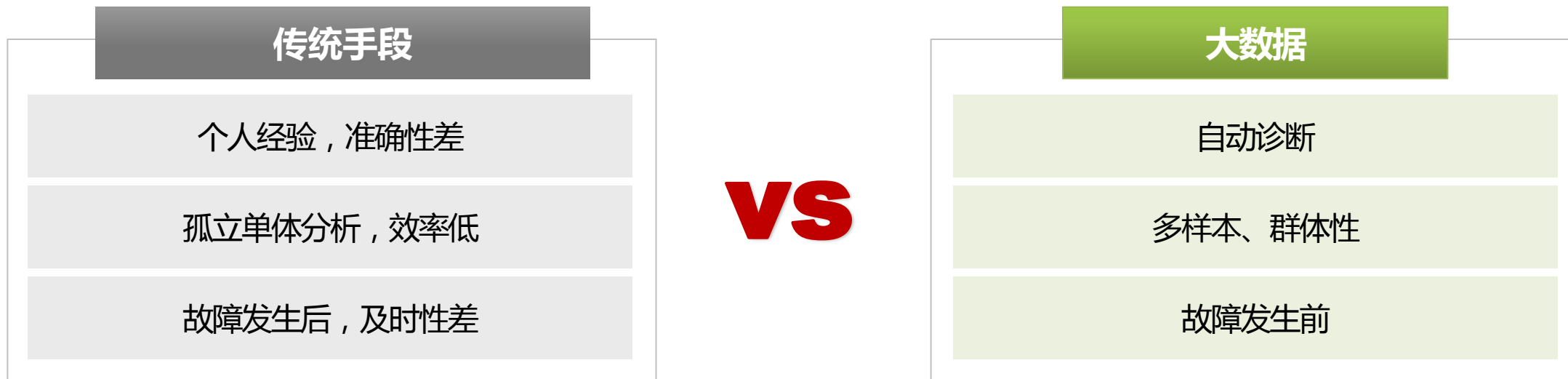


# 智能诊断与预测

基于压缩机MAP的故障预测

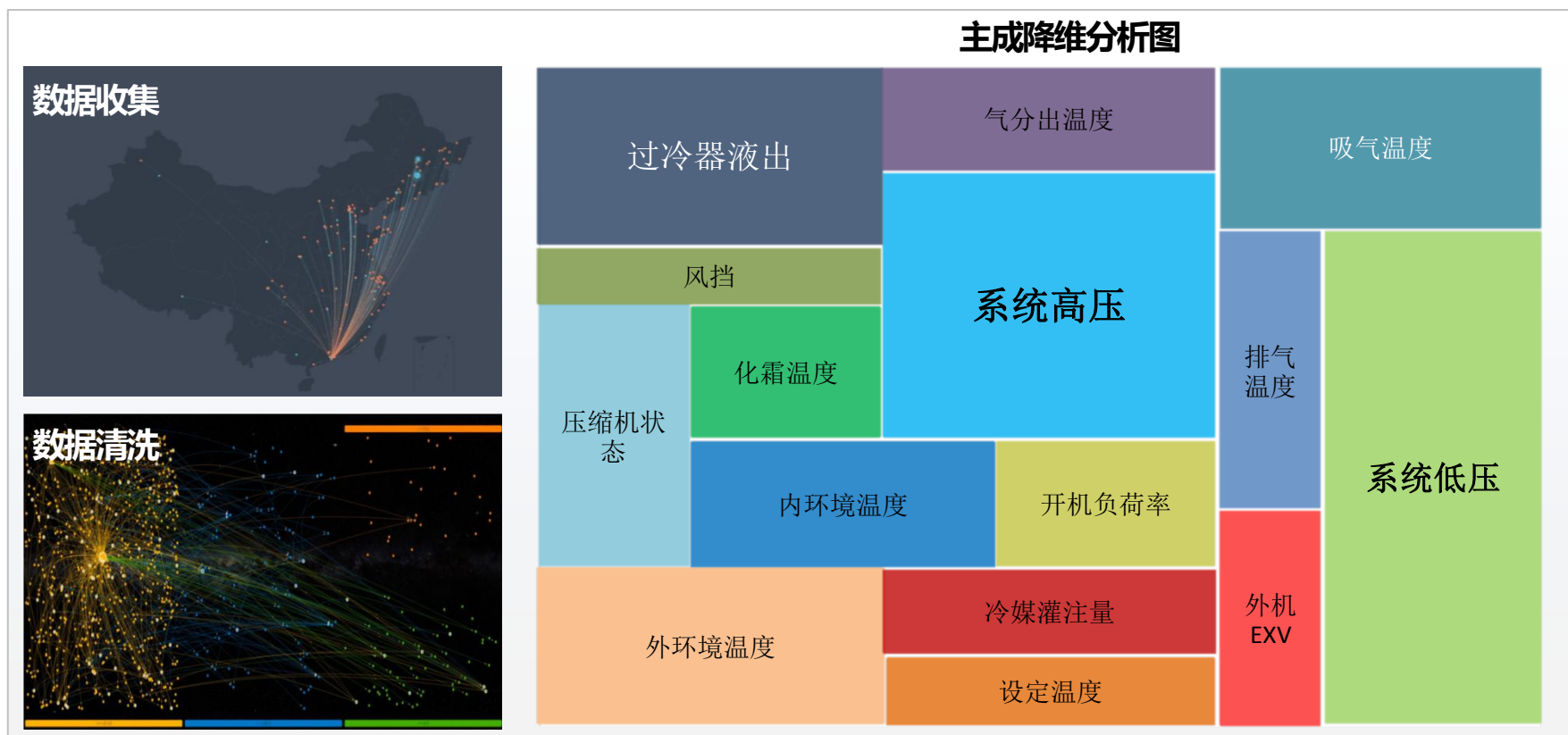
## 基于大数据的故障诊断与预测

- 基于大数据的故障诊断有自动、准确、预防等优势；
- 对设备整个生命周期进行健康管理，及时预测潜在的故障，提高机组的可靠性；



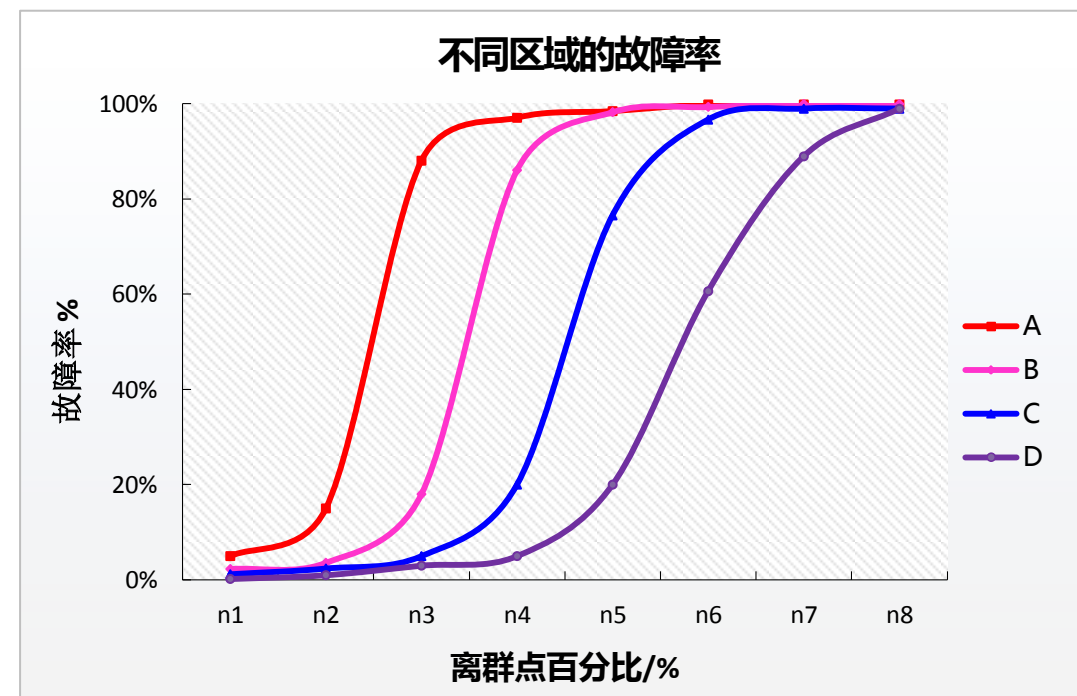
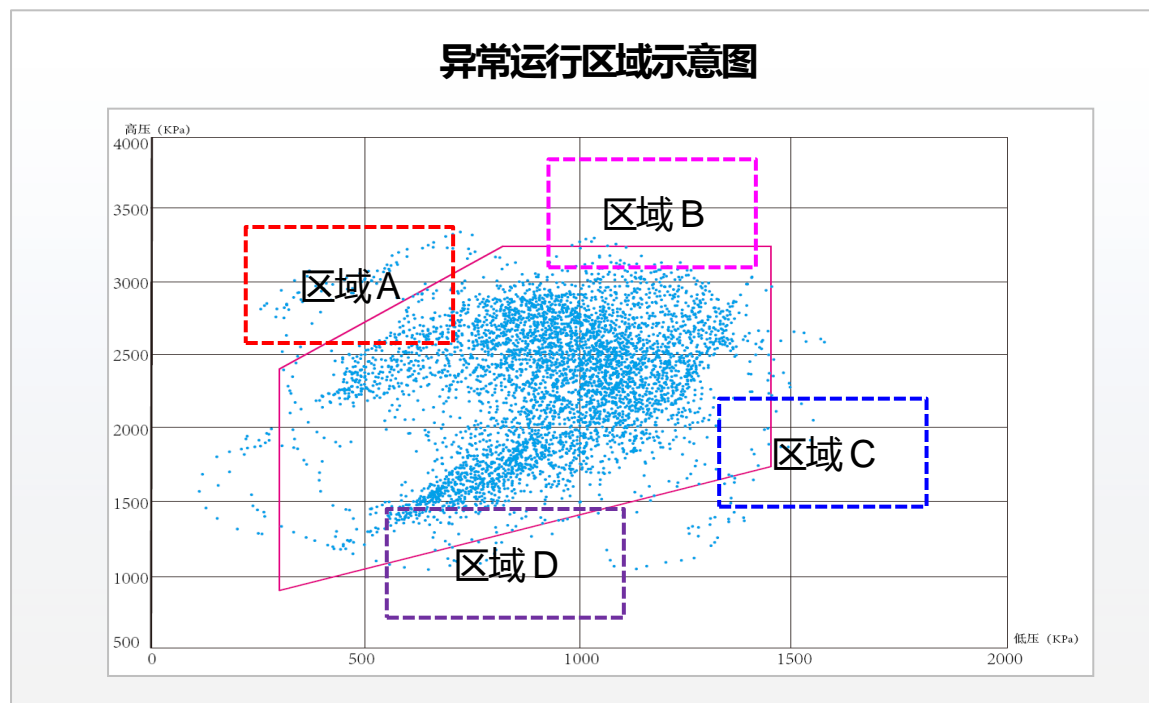
## 压缩机MAP故障预测

- 传统方法通过电流、温度等参数实时诊断，不能全面反映压缩机健康状况，更不能判断压缩机寿命；
- 通过对20万台压缩机运行数据进行挖掘分析，降维提取压缩机关键参数；



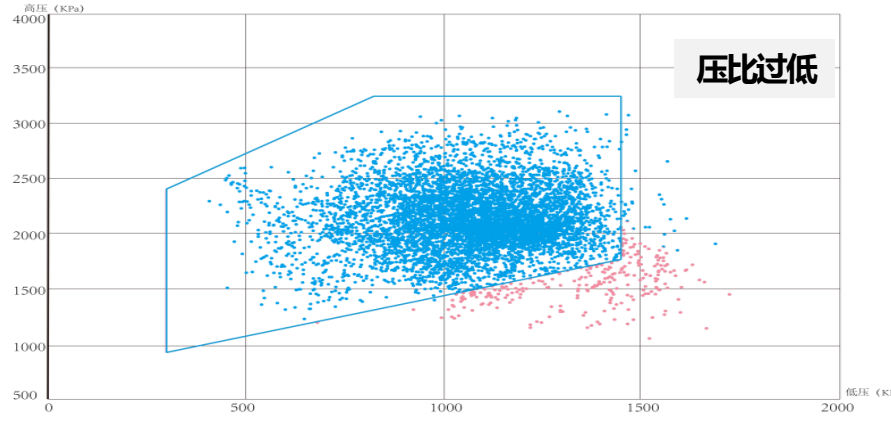
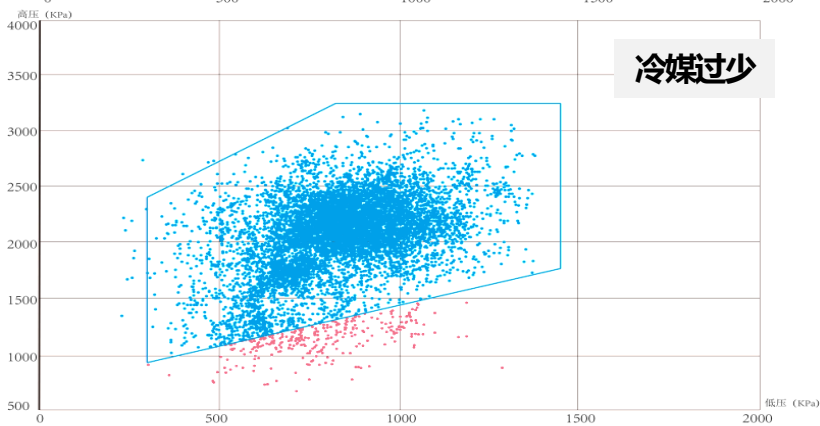
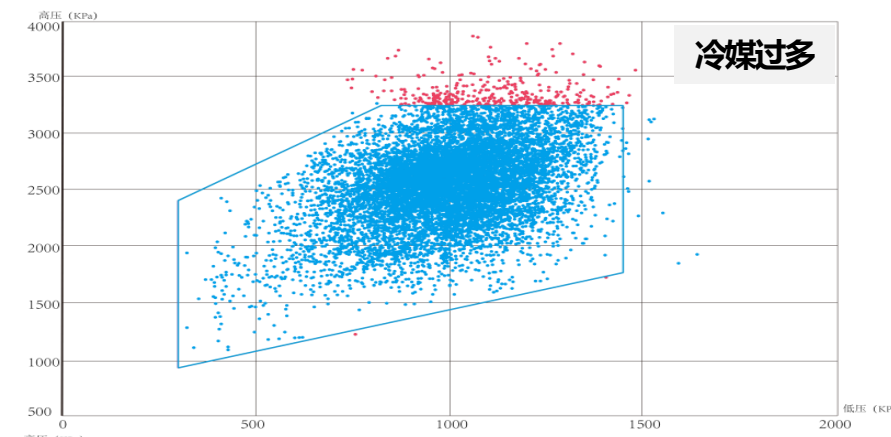
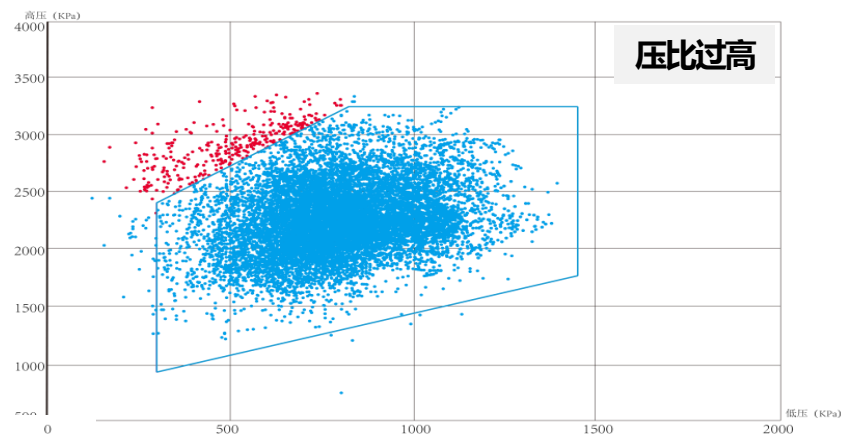
## 压缩机运行MAP：

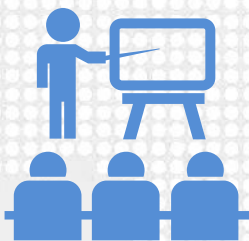
- 通过Map实时监控压缩机在特定时间的运行状态，清晰的评估压缩机健康状态；
- 通过对安全运行区域范围以外状态点分区，建立压缩机健康模型，预测压缩机使用寿命；



## 多联机压缩机的典型MAP类型

- 通过及时调整运行策略，确保压缩机运行在正常范围内；
- 实现零损坏压缩机的目标；



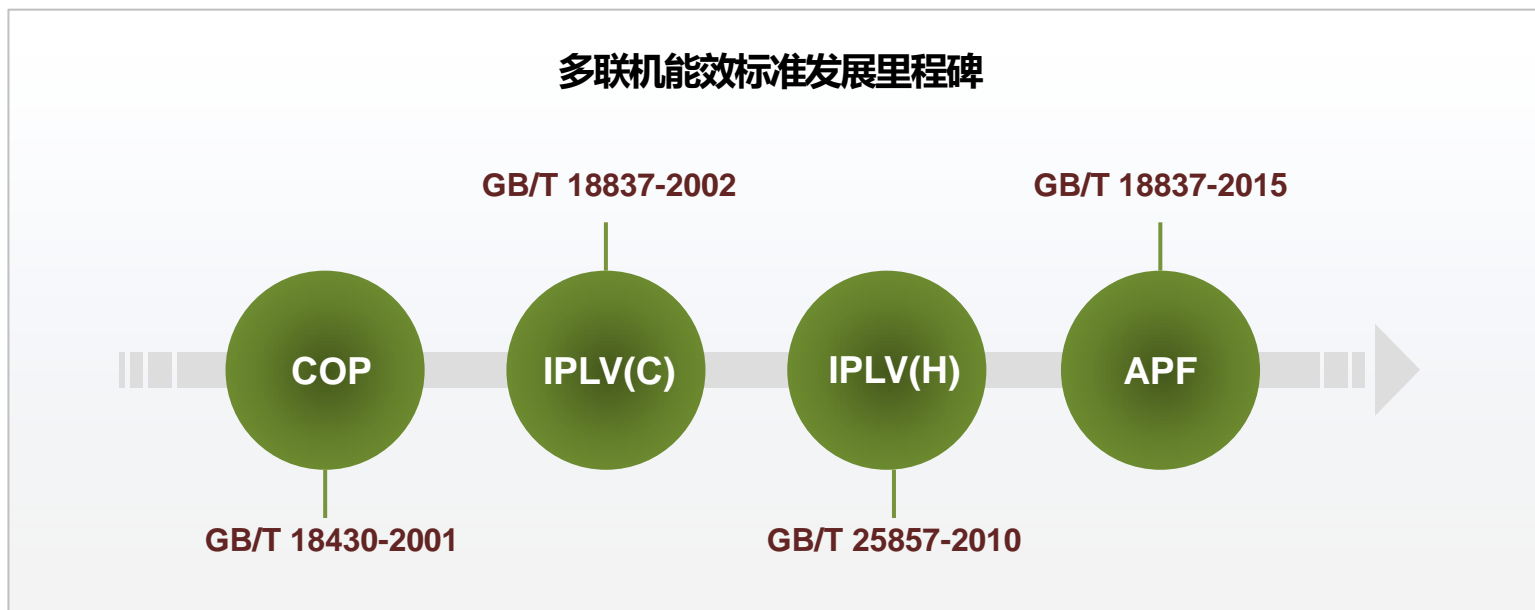


# 标准研究



## 多联机标准在中国的发展里程碑

- 最早多联机能效标准基于COP；
- 2002年，首次采用季节能效指标IPLV；
- 2015年，引入全年综合能效APF；



## APF的2个基本因素：负载和运行时间

$$APF = \frac{CSTL + HSTL}{CSTE + HSTE}$$

CSTL: 季节制冷量

HSTL: 季节制热量

CSTE: 制冷季节耗电量

HSTE: 制热季节耗电量

$$CSTL = \sum_{j=1}^m BL_c(t_j) \times n_j + \sum_{j=m+1}^{19} \phi_{ful}(t_j) \times n_j$$

$BL_c(t_j)$ : 建筑负荷

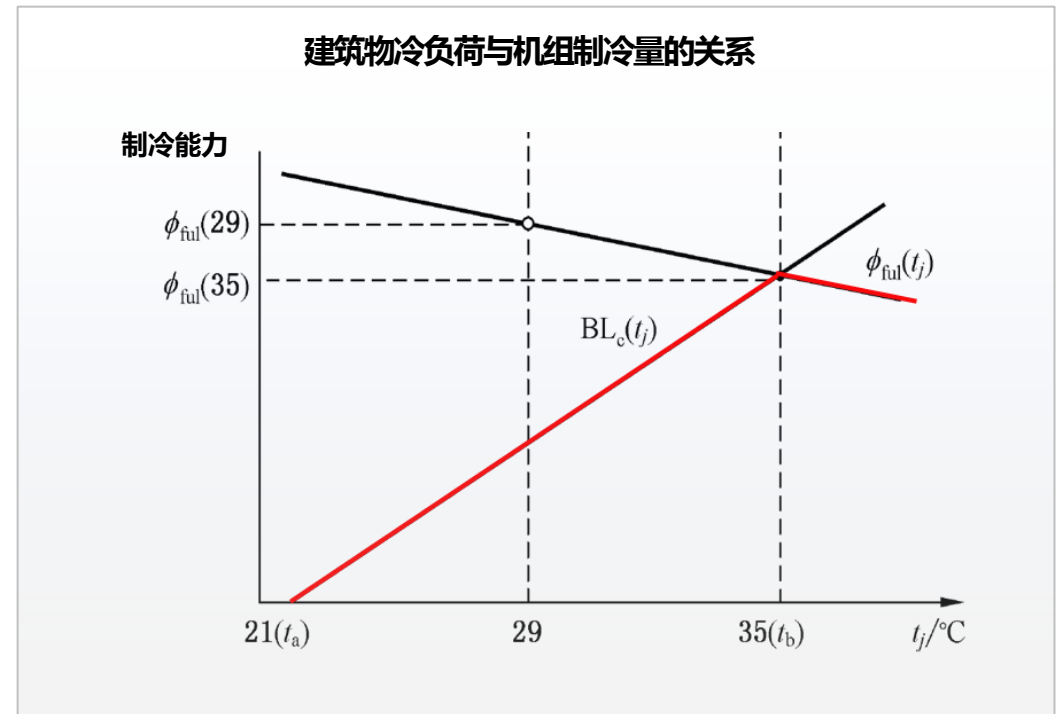
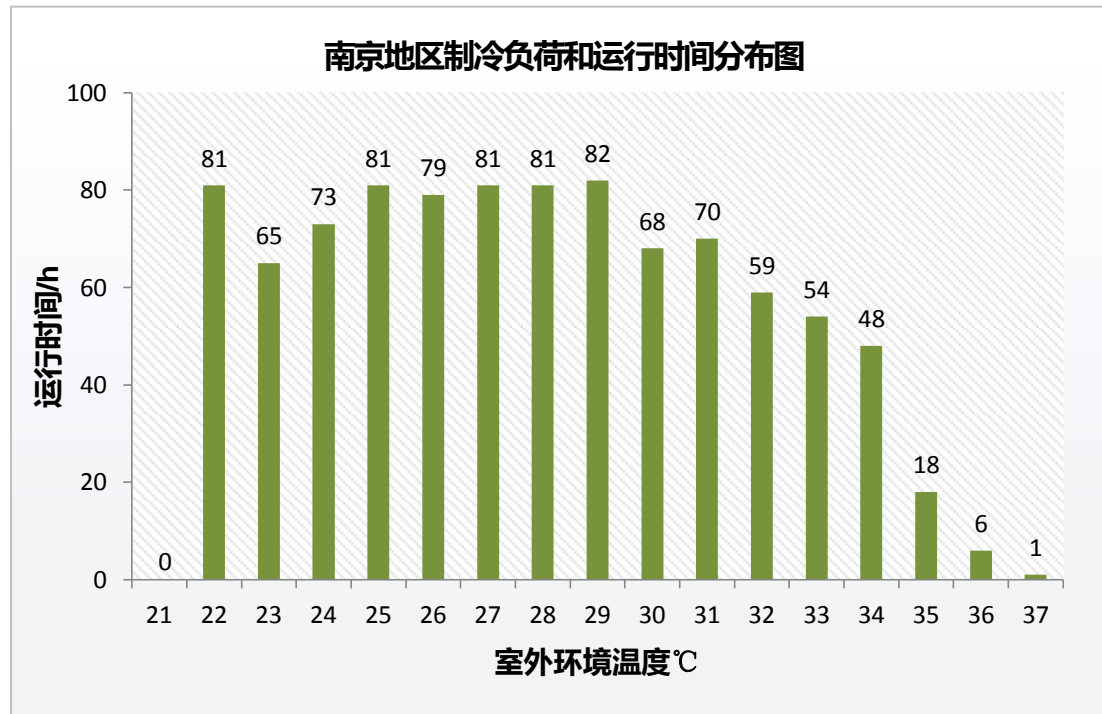
$\phi_{ful}(t_j)$ : 最大运行能力

$n_j$ : 制冷季节各个温度下的运行时间 → 运行时间

} 负荷

## APF标准是否适用于家用多联机？

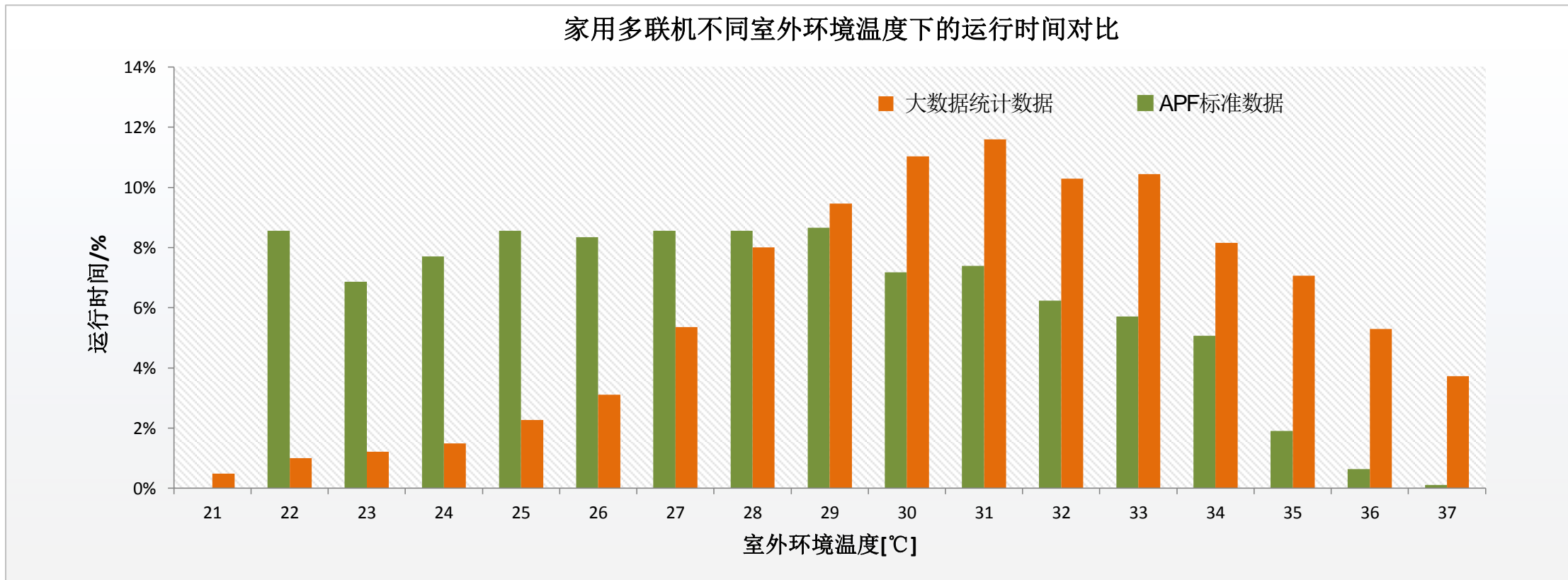
- **运行负荷**：办公楼作为APF的典型样本，建筑负荷等于运行负荷。对于家用多联机，住宅不同于工作场合，运行负荷也远小于建筑负荷；
- **运行时间\***：APF采用的是星期一至星期五上午8点至下午6点，而家用多联机则大多在夜间运行；



\*数据来源: GB/T18837-2015

## 不同室外温度下运行时间占比

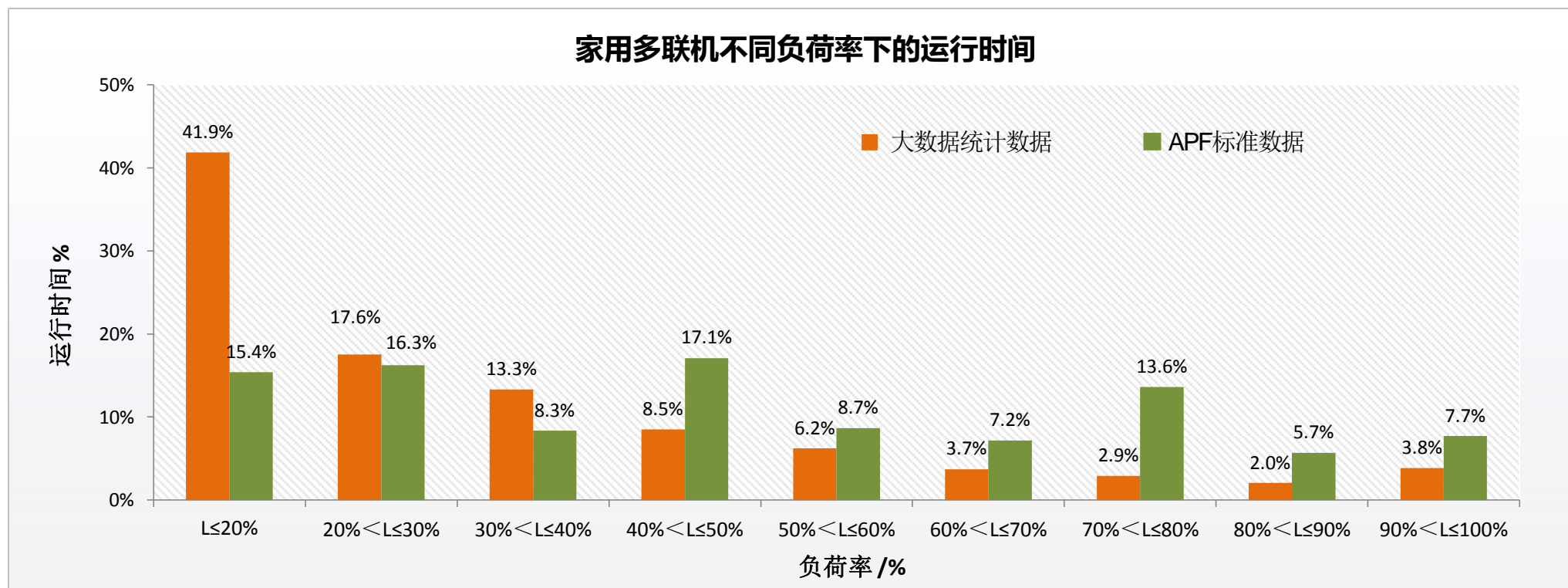
- APF标准：集中在22-30℃；
- 家用多联机：集中分布在28-33℃；



\*数据来源：《中国制冷空调实际运行状况调研报告》

## 制冷运行时间和负荷对比

- **APF 标准**：大部分时间内主要负荷在40~80%之间；
- **家用多联机\***：在60%的时间内制冷负荷小于30%；



\*数据来源：《中国制冷空调实际运行状况调研报告》

- 住宅和办公楼有很大的不同，有必要为家用多联机建立一个新的评估系统；
- 大数据可以为标准修订提供数据基础；

## 基于大数据的研究工作意义重大

- 精确量化用户的使用需求与痛点，推动技术创新；
- 实现空调系统运行节能、故障诊断与机组健康度的评估、预测；
- 让数据说话，为行业标准、国家政策制定提供依据；

## 数据开放与共享

- 建立空调大数据平台与共享机制，将促使制冷空调行业发生全面深刻的变革；

# 感谢聆听

Email: [liuhua@cn.gree.com](mailto:liuhua@cn.gree.com)

GREE ELECTRIC APPLIANCES, INC. OF ZHUHA