

多联机空调系统设计中的系统分区方法

——多联机PLR-CUR性能模型的应用

清华大学 建筑技术科学系 石文星

wxshi@tsinghua.edu.cn

2024年4月9日 · 北京



主要内容

- **研究背景**
- **基于CUR的多联机性能模型**
- **多联机系统分区设计特性分析**
- **多联机系统设计的分区方法**
- **结束语**



多联机产业现状

● 多联机产品市场现状

- 据IEA统计：全球空调设备保有量中，**房间空调器 + 多联机**占比达到**77%**
- 据中央空调行业发展报告^[1]：2023年，**年销售额**约**750亿元**，占比**中央空调市场**的**49.6%**
- 多联机产品广泛应用于**办公楼、酒店、别墅、学校**等建筑，近年在**住宅建筑**中的占比快速增加



办公楼



酒店



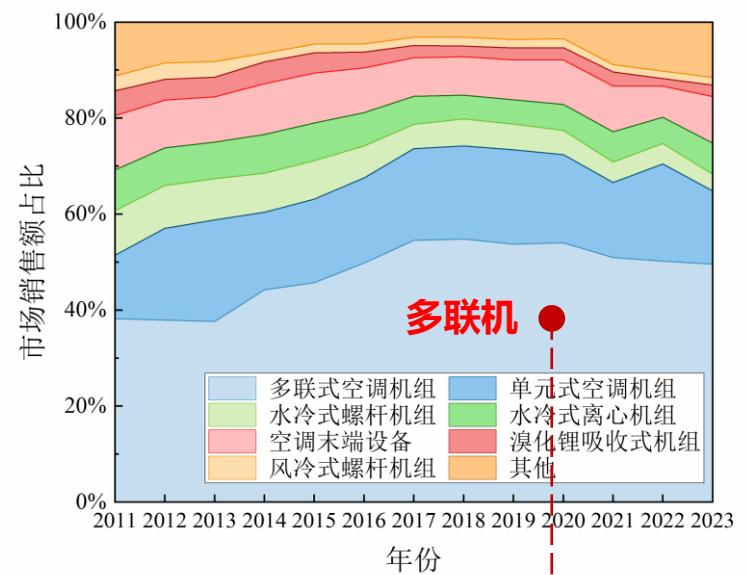
别墅



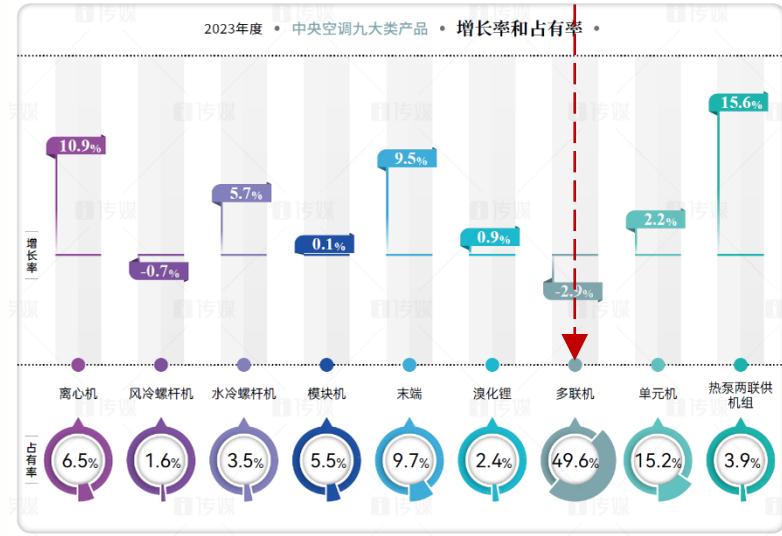
医院



单元式住宅



2011~2023年中央空调市场年销售额占比^[1]

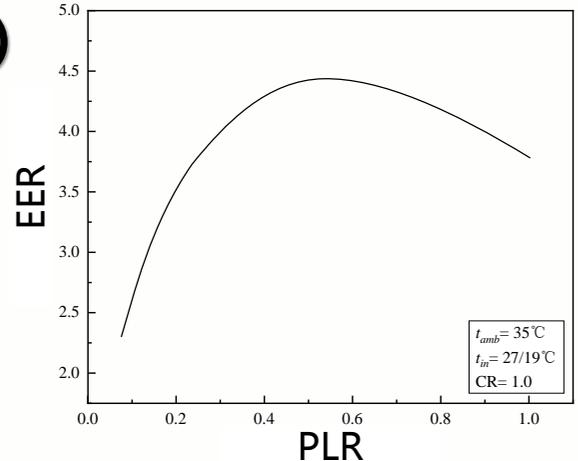


2023年中央空调市场占比^[1]
(总产值约1500亿元)

[1] i传媒,《暖通空调与热泵》,暖通家编辑团队. 2011~2023年度中国中央空调行业发展报告[R].

多联机的性能模型

空调器(单末端)

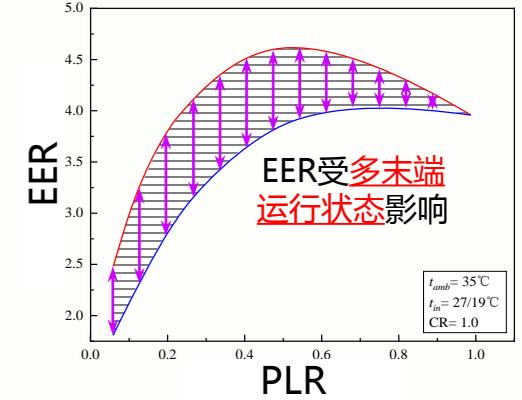


$$EER = f(\text{室外工况, 室内工况, PLR})$$

空调器 (GB/T 7725-2022) 模型 **合理**
 多联机 (GB/T 18837-2015) 模型 **存在缺陷**

- **缺乏描述多室内机运行的指标，导致：**
 - **性能评价：**企业在**室内机全开、最高风量、最小过热度**下测试 **测试能效比高**
 - **实际使用：**多联机在**室内机部分开启、低风量、大过热度**下运行 **运行能效比低**
 - **性能模拟：****难以考察**室内机运行对性能的影响，模拟结果**偏差大**

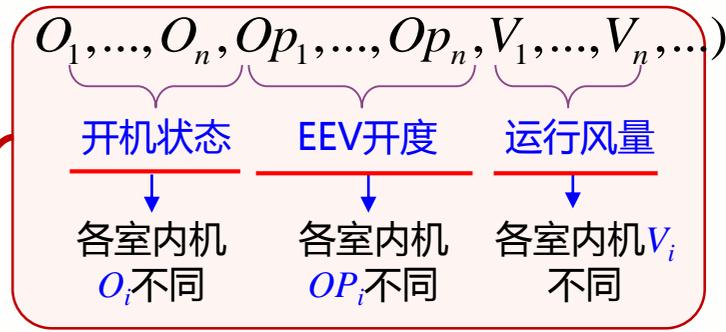
多联机(多末端)



结构确定后则不变

负荷率: $Q_e/Q_{e,r}$

$$EER = f(L, H, \text{室外工况, 室内工况, PLR, } O_1, \dots, O_n, OP_1, \dots, OP_n, V_1, \dots, V_n, \dots)$$



运行状态复杂、缺乏综合描述指标

- **多联机的性能模型对系统设计、产品研发、优化性能具有重要意义**
- **但目前缺乏描述多末端运行状态的关键指标！**

多联机的性能模型

- 我们课题组提出了多末端特征的描述指标：**CUR**，并基于此提出PLR-CUR性能模型

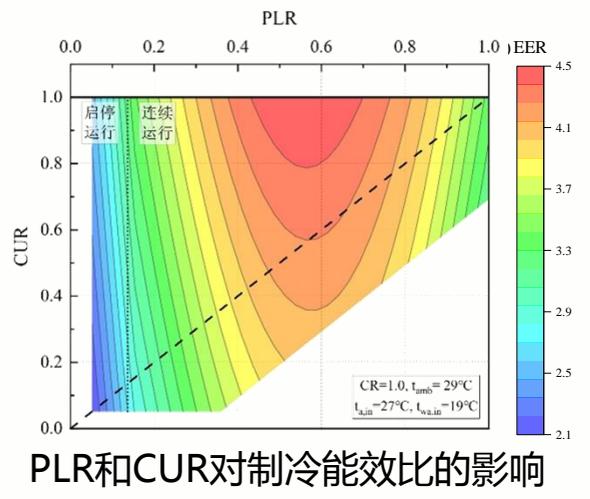
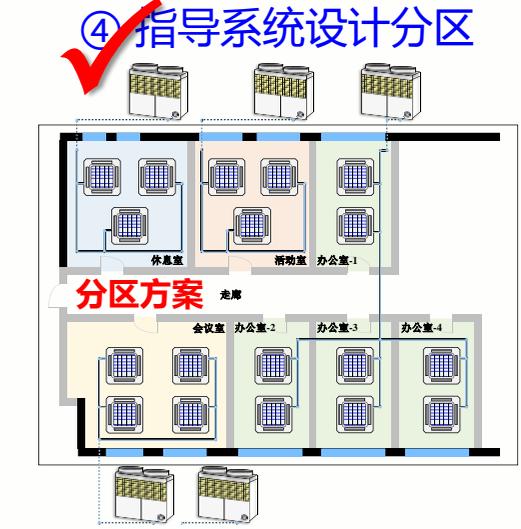
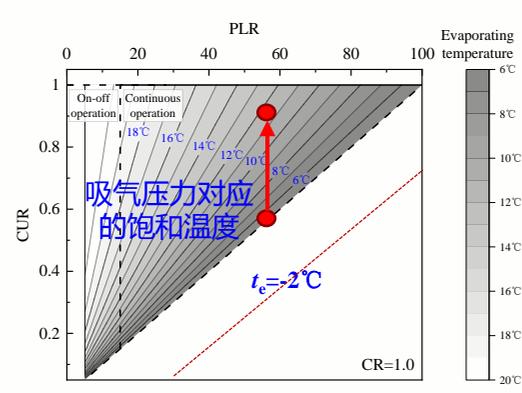
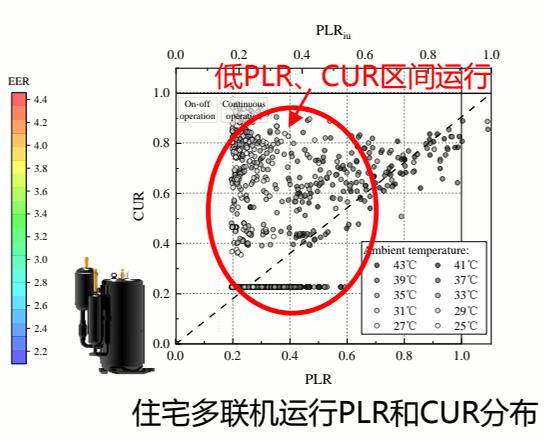
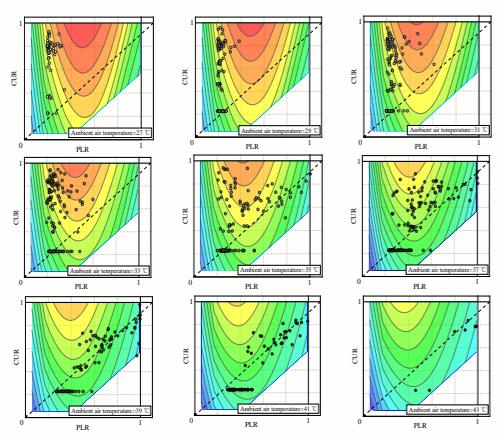
室内机容量利用率CUR (Capacity Utilization Rate)
 表征某工况下，所有室内机实际投入(使用)的换热器容量
 $\Sigma(F_RKA)_{op,i}$ 与室内侧总额定换热容量 $\Sigma(F_RKA)_{rat,i}$ 的比值

- 多联机**某台**室内机容量利用率**CUR_i**定义：

$$CUR_i = \frac{(F_{R,i} K_{e,i} A_{e,i})_{op}}{(F_{R,i} K_{e,i} A_{e,i})_{rat}}$$
—— 某台室内机实际使用的容量
—— 某台室内机额定容量

● PLR-CUR性能模型的应用

- ① 基于在线测量描述实际性能
- ② 指导产品设计研发
- ③ 指导运行调控实现节能
- ④ **指导系统设计分区**



现行多联机工程的系统设计方法

多联机系统设计是产品研发的**拓展**，现场安装是多联机制造的**延续**

企业



提供：

- 产品
- 产品样本(设计指南)
- 设计负荷指标
- 设计修正系数

设计师

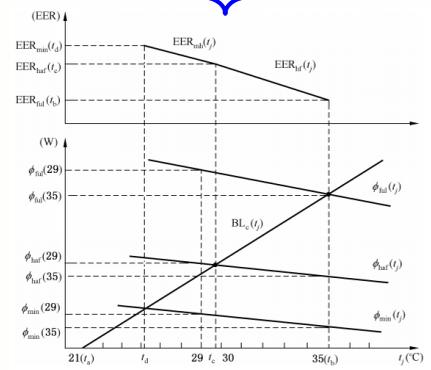


提供：

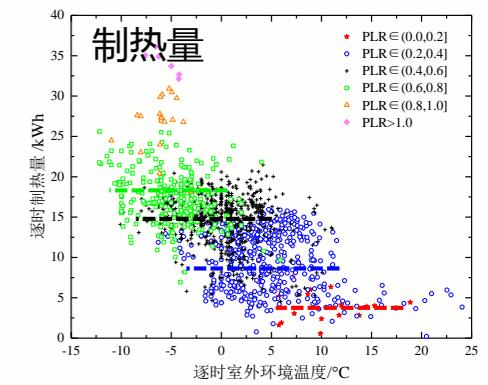
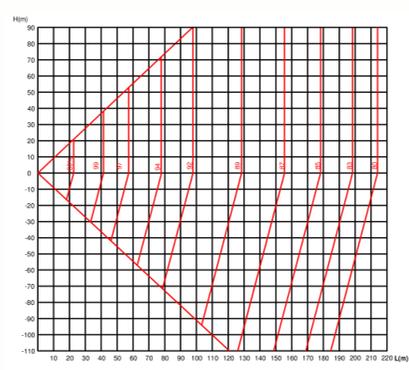
- 负荷计算
- 根据厂家参数，完成选型、校核



产品(实验室测试)性能



管长、高差、(制热)除霜修正



实际性能

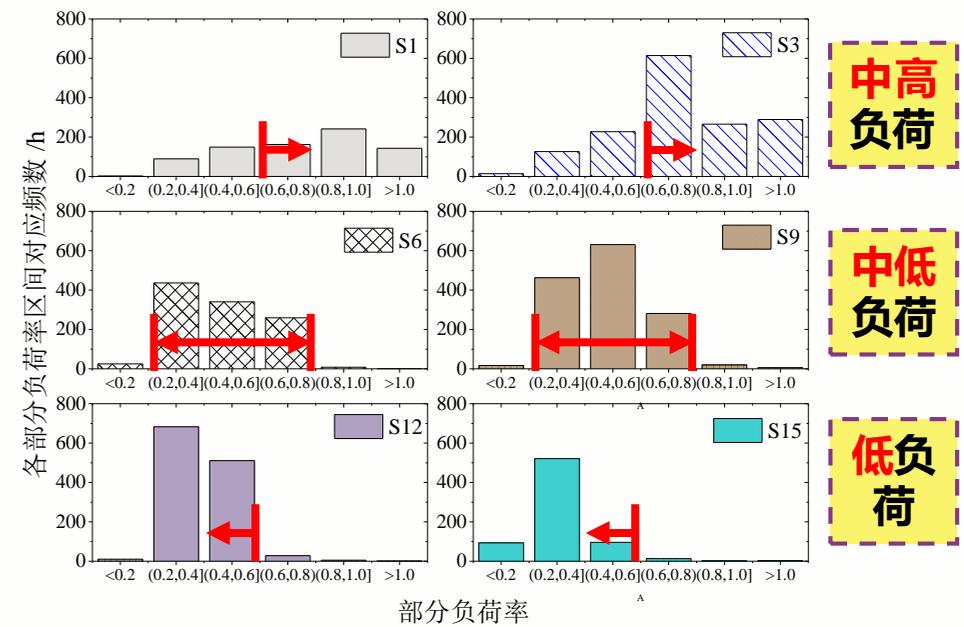
现行多联机工程的系统设计方法

● 系统设计分区方法不明确, 部分负荷性能差

- 对不同地区多套多联机性能实测结果表明：
 - 多联机实际运行**负荷率差异大**，不少多联机存在**实际运行负荷率过低**的问题，导致性能很差
- **系统分区设计、容量设计不合理**，是导致低负荷运行的重要因素

厂家/标准	分区原则
厂家A设计手册	不同朝向、使用时间有差异的房间划分为一个系统
厂家B设计手册	
厂家C设计手册	使用时间不一的房间分为一个区域(如将会议室、办公室、员工休息室、活动室等房间并入一个系统)
厂家D设计手册	<ul style="list-style-type: none"> ● 同一系统设置在同一层或同一区域 ● 相同使用时间的房间设计在同一系统
JGJ174-2010 多联机空调系统工程技术规程 ^[2]	负荷特性相差较大的房间或区域，宜分别设置多联机空调系统

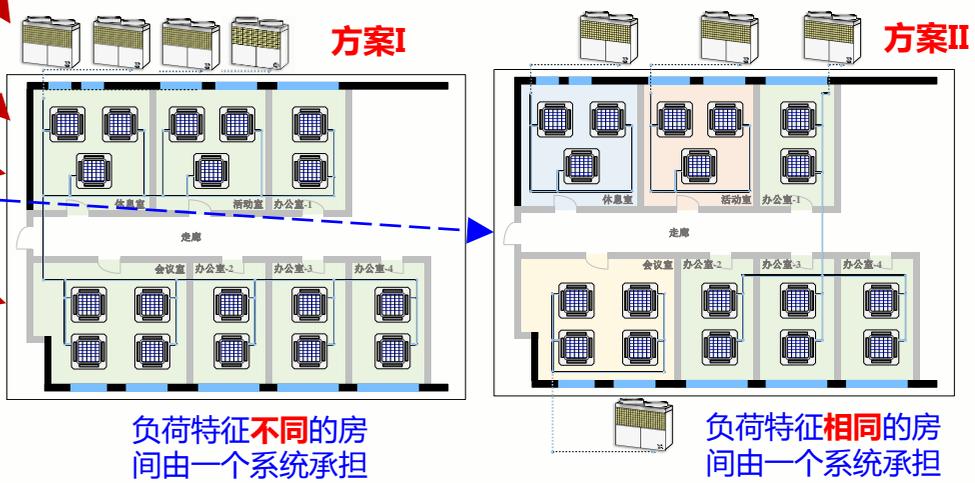
实测6套多联机制热季节负荷率分布^[1]



中高负荷

中低负荷

低负荷



负荷特征不同的房间由一个系统承担

负荷特征相同的房间由一个系统承担

[1] 张国辉. 办公建筑中多联机制冷(热)量测量方法及运行特性研究[D], 清华大学博士论文, 2020.

[2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ174-2010 多联机空调系统工程技术规程[S].

主要内容

- 研究背景
- **基于CUR的多联机性能模型**
- 多联机系统分区设计特性分析
- 多联机系统设计的分区方法
- 结束语



多联机室内机的容量利用率(CUR): 概念与定义

● 多末端特征的描述指标

室内机容量利用率CUR (Capacity Utilization Rate) : 表征某工况下, 所有室内机实际投入(使用)的换热器容量 $\Sigma(F_R KA)_{op,i}$ 与 室内侧总额定换热容量 $\Sigma(F_R KA)_{rat,i}$ 的比值

室内干/湿球温度 蒸发温度

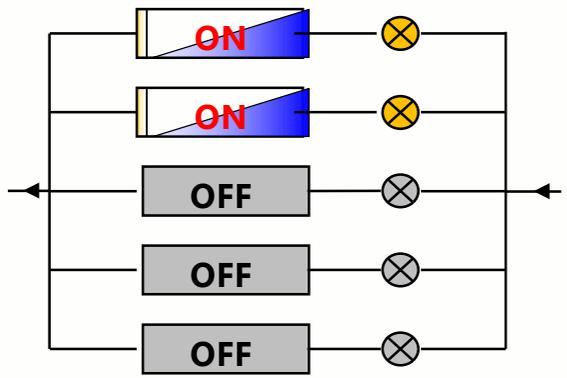
室内换热器的换热特性

$$Q_{e,i} = F_R K_e A_e (t_{ea} - t_e)$$

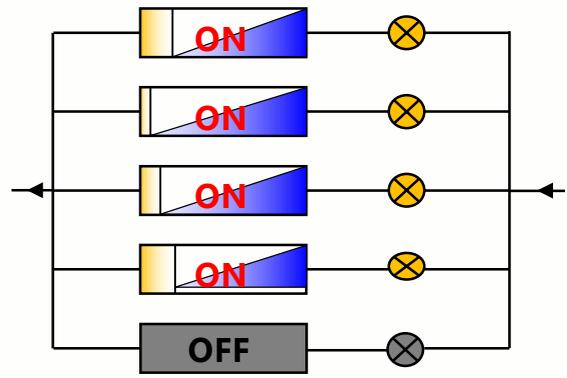
$$F_R = \frac{M_{ea} c_{pa}}{K_e A_e} \left[1 - \exp\left(-\frac{K_e A_e}{M_{ea} c_{pa}}\right) \right]$$

- 多联机**第i台室内机**的容量利用率**CUR_i** : $CUR_i = \frac{(F_{R,i} K_{e,i} A_{e,i})_{op}}{(F_{R,i} K_{e,i} A_{e,i})_{rat}}$
 - 第i台室内机的实际容量
 - 第i台室内机的额定容量
- 多联机**所有运行室内机**的容量利用率**CUR** : $CUR = \frac{\sum_1^n (F_R K_e A_e)_{op,i}}{\sum_1^n (F_R K_e A_e)_{rat,i}}$
 - n 台室内机 —— $\sum_1^n (F_R K_e A_e)_{op,i}$ —— 运行室内机的实际容量
 - $\sum_1^n (F_R K_e A_e)_{rat,i}$ —— 所有室内机总额定容量

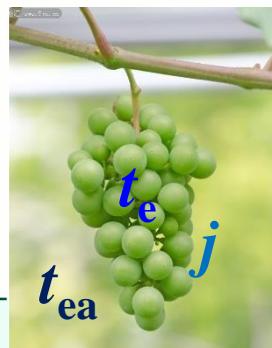
室内机启停控制时：额定容量未完全利用



室内机容量调节(流量调控)时，额定容量未完全利用



多联机室内机的容量利用率(CUR): 计算方法



● CUR模型的推导 (基于NTU-ε模型)

➤ 效能:
$$\varepsilon = \frac{\Phi}{\Phi_{\max}} = \frac{M_a c_a (t'_a - t''_a)}{M_a c_a (t'_a - t_{ref}') } = \frac{t'_a - t''_a}{t'_a - t_{ref}'}$$

• 传热单元数:
$$NTU = \frac{kA}{C_{\min}}$$

➤ 换热量:
$$\Phi = \varepsilon \cdot \Phi_{\max} = (1 - e^{-NTU}) \cdot M_a c_a (t'_a - t_{ref}') = F_R K_e A_e (t_{ea} - t_e)$$

- 假设条件:**
- ① 各房间室内机进风湿球温度近似相等
 - ② 各室内机之间连接管长、高差不太大, 各室内机的蒸发温度近似相同
 - ③ 至少存在1台 (第j台) 室内机所利用的换热器容量 $(F_{R,j} K_{e,j} A_{e,j})_{op}$ 与额定工况 $(F_{R,j} K_{e,j} A_{e,j})_{rat}$ 相等, 即该室内机换热器容量完全被利用

室内机**额定工况**

室内机**实际运行**

$$\begin{cases} (Q_{c,1})_{rat} = (F_{R,1} K_{e,1} A_{e,1})_{rat} (t_{ea,1} - t_e)_{rat} \\ (Q_{c,2})_{rat} = (F_{R,2} K_{e,2} A_{e,2})_{rat} (t_{ea,2} - t_e)_{rat} \\ \dots\dots \\ (Q_{c,n})_{rat} = (F_{R,n} K_{e,n} A_{e,n})_{rat} (t_{ea,n} - t_e)_{rat} \end{cases}$$

$$\begin{cases} (Q_{c,1})_{op} = (F_{R,1} K_{e,1} A_{e,1})_{op} (t_{ea,1} - t_e)_{op} \\ (Q_{c,2})_{op} = (F_{R,2} K_{e,2} A_{e,2})_{op} (t_{ea,2} - t_e)_{op} \\ \dots\dots \\ (Q_{c,n})_{op} = (F_{R,n} K_{e,n} A_{e,n})_{op} (t_{ea,n} - t_e)_{op} \end{cases}$$

CUR_i

第j行方程相除:
$$\frac{(Q_{c,j})_{op}}{(Q_{c,j})_{rat}} = \frac{(t_{ea,j} - t_e)_{op}}{(t_{ea,j} - t_e)_{rat}} \cdot \frac{(Q_{c,j})_{op}}{(Q_{c,j})_{rat}}$$

CUR_i

• **第i台室内机容量利用率:**
$$CUR_i = \frac{(Q_{c,i})_{op} / (Q_{c,i})_{rat}}{(Q_{c,j})_{op} / (Q_{c,j})_{rat}}$$

每行方程相除:
$$\begin{cases} \frac{(Q_{c,1})_{op}}{(Q_{c,1})_{rat}} = \frac{(F_{R,1} K_{e,1} A_{e,1})_{op}}{(F_{R,1} K_{e,1} A_{e,1})_{rat}} \cdot \frac{(t_{ea,1} - t_e)_{op}}{(t_{ea,1} - t_e)_{rat}} \\ \frac{(Q_{c,2})_{op}}{(Q_{c,2})_{rat}} = \frac{(F_{R,2} K_{e,2} A_{e,2})_{op}}{(F_{R,2} K_{e,2} A_{e,2})_{rat}} \cdot \frac{(t_{ea,1} - t_e)_{op}}{(t_{ea,1} - t_e)_{rat}} \\ \dots\dots \\ \frac{(Q_{c,n})_{op}}{(Q_{c,n})_{rat}} = \frac{(F_{R,n} K_{e,n} A_{e,n})_{op}}{(F_{R,n} K_{e,n} A_{e,n})_{rat}} \cdot \frac{(t_{ea,n} - t_e)_{op}}{(t_{ea,n} - t_e)_{rat}} \\ \frac{(Q_{c,n})_{rat}}{(Q_{c,n})_{rat}} = \frac{(F_{R,n} K_{e,n} A_{e,n})_{rat}}{(F_{R,n} K_{e,n} A_{e,n})_{rat}} \cdot \frac{(t_{ea,n} - t_e)_{rat}}{(t_{ea,n} - t_e)_{rat}} \end{cases}$$

• **系统总室内机容量利用率:**
$$CUR = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{c,i})_{op} / \sum_{i=1}^n (Q_{c,i})_{rat}}{(Q_{c,j})_{op} / (Q_{c,j})_{rat}}$$

因此, 仅根据各室内机**额定容量**和**实际能力**, 即可计算各台室内机 CUR_i 和整个系统的 CUR

额定容量: 铭牌参数 **实际能力:** 室内机制冷(热)量测量值

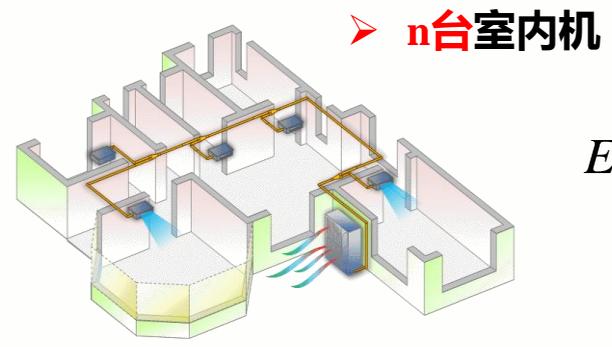
基于CUR的多联机性能模型

● 多联机的“PLR-CUR”性能模型



➤ 房间空调器 $EER = f(\text{室外工况, 室内工况, PLR})$

➤ 多联机



$$EER = f(\text{室外工况, 室内工况, PLR, } \underbrace{O_1, \dots, O_n}_{\text{各室内机风量不同}}, \underbrace{Op_1, \dots, Op_n}_{\text{各室内机 } OP_i \text{ 不同}}, \underbrace{L, H, \dots}_{\text{结构确定后则不变}})$$

负荷率 开机状态 EEV开度 管长高差
 ↓ ↓ ↓ ↓
 各室内机 各室内机 各室内机 结构确定
 风量不同 O_i 不同 OP_i 不同 后则不变

□ 当**安装结构 (L/H) 确定后**，
多联机性能模型可简化为：

$$EER = f(\text{室外工况, 室内工况, PLR, CUR})$$

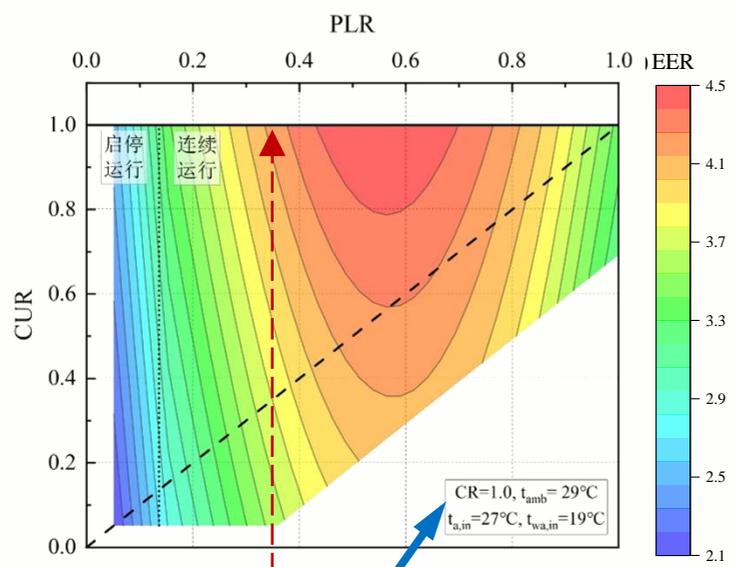


在相同运行模式 (室内工况近似相同) 下，该模型能反映**室内侧风量、开机状态、EEV开度**的实际运行状态

基于CUR的多联机性能模型

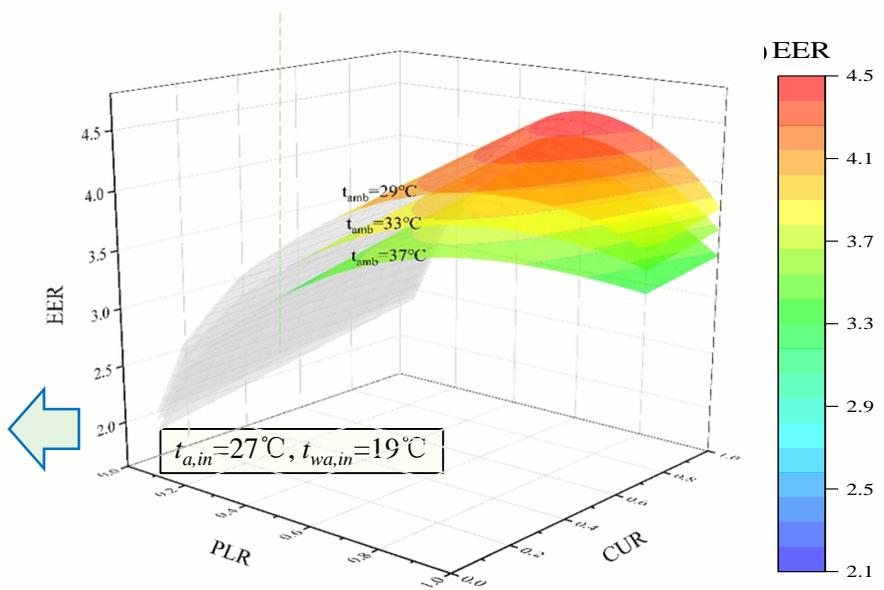
● 多联机 “PLR-CUR” 性能模型

➤ 反映多联机的系统负荷率(PLR)和室内机投入容量(CUR)多少



制冷能效比 (室内/外工况给定)

注: 室内、外机配管长度10 m, 高差0 m



制冷能效比 (室内工况给定、室外工况不同)

- CUR是描述多联机能效比的指标之一
- 直观、定量解释了多末端运行状态各异的本质的本质 → 室内机换热器的利用容量不同
- 揭示了一拖多(多联机)与一拖一(空调器)的相似性

空调器 : $Q_{rac} = (F_R K_e A_e)_{rat,i} \cdot \underline{1} \cdot (t_{ea} - t_e)_{op}$

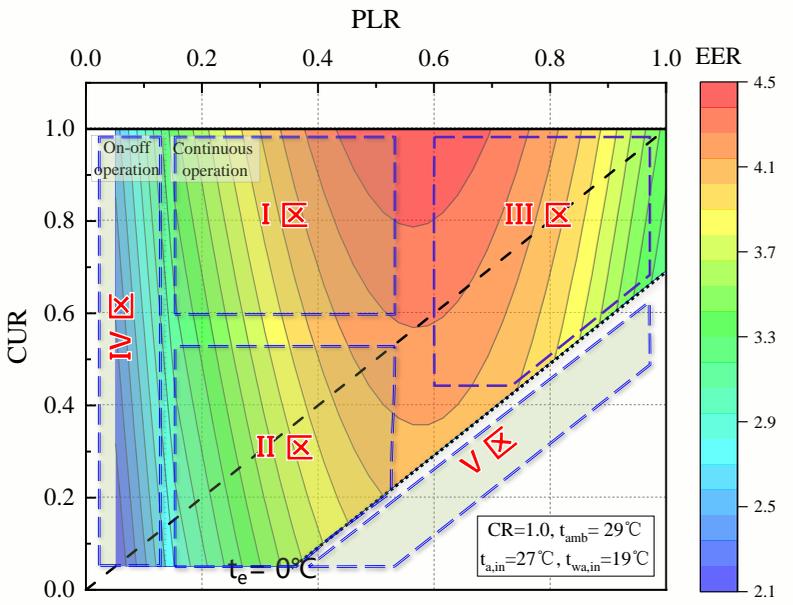
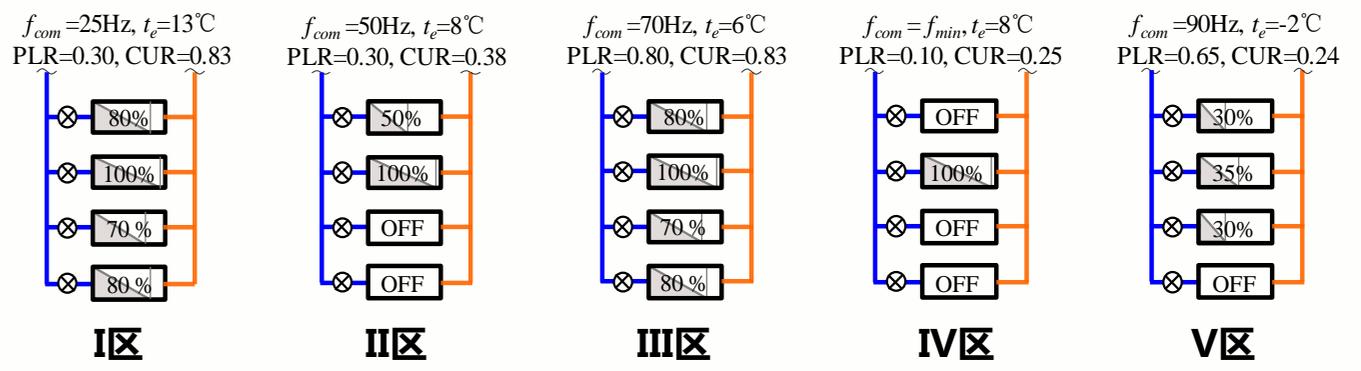
多联机 : $Q_{vrf} = \sum_1^n (F_R K_e A_e)_{rat,i} \cdot \underline{CUR} \cdot (t_{ea} - t_e)_{op}$

基于CUR的多联机性能模型

● 性能曲面的分区

- 多联机任意时刻运行状态，对应PLR-CUR性能模型中一个状态点
- 根据运行特征不同，可将相同室内、外工况下的性能曲面定性分为5个区域 (I区~V区)
- 实际工程中，能效比略低 (<10%)

运行状态示例:



区域	名称	多联机的实际运行状态
I区	低PLR、高CUR区	总制冷量较小，均匀分布于各末端；压缩机频率较低，蒸发温度高，室内除湿少(基本不除湿)
II区	低PLR、低CUR区	总制冷量较小，集中分布于少数末端；压缩机中频运行，蒸发温度低；大部分室内机关机时对应此区域
III区	高PLR、高CUR区	总制冷量较大，且均匀分布于多数室内末端；压缩机高频运行，蒸发温度较低
IV区	极低PLR区 (压缩机启停或热气旁通)	在极低PLR条件下，受压缩机最低运行频率限制，压缩机以最低频率(f_{min})启停或热气旁通运行，导致系统能效降低
V区	冻结区 (高PLR、低CUR)	室内机蒸发温度 $<0^\circ\text{C}$ ，压缩机高频运行(正常机组几乎不运行在该区域)

主要内容

- 研究背景
- 基于CUR的多联机性能模型
- 多联机系统分区设计特性分析
- 多联机系统设计的分区方法
- 结束语



建筑负荷特征: 概念与定义

● 建筑负荷不同步特征的描述指标

➤ 单个房间的负荷率 LR_i

表征单个房间在某时刻的负荷率

$$LR_i = \frac{Q_i}{Q_{i,\max}}$$

➤ 建筑负荷特征指标：负荷同步率 CUR_B

表征建筑(区域)在某时刻、不同空间(房间)
上负荷同时发生的程度

$$CUR_B = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i / \sum_{i=1}^n Q_{i,\max}}{Q_j / Q_{j,\max}}$$

- 取值范围： $CUR_B \in (0, 1]$
- 当各房间负荷率 $LR_1 \sim LR_n$ 均相等时， $CUR_B = 1$
- 在各房间设计冷负荷与室内机名义制冷量相等的条件下，建筑负荷在空间上的同步率 CUR_B 与采用多联机服务相同建筑(区域)时系统的容量利用率 CUR 在数值上相等

➤ 建筑或区域的总负荷率 PLR_B

表征建筑(区域)在某时刻的负荷率

$$PLR_B = \sum_{i=1}^n Q_i / \left(\sum_{i=1}^n Q_i \right)_{\max}$$

➤ 统计时段平均负荷同步率 $CUR_{B,\tau}$

考虑到统计时段内 CUR_B 随时间连续变化，定义 $CUR_{B,\tau}$ ，表征 τ 时段内不同空间的 CUR_B 均值

$$CUR_{B,\tau} = \frac{\int_0^{\tau} CUR_B d\tau}{\tau}$$

式中，

i ——多联机室内房间编号

j ——房间负荷率最高的房间编号，满足 $LR_j = \max\{LR_i\}$

n ——多联机所服务建筑(区域)的房间数量

τ ——统计时段，根据时段长度不同可为1天、1年

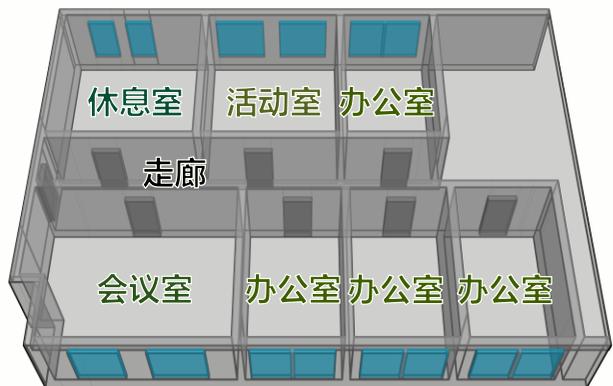
Q_i —— i 房间的逐时冷负荷，kW

$Q_{i,\max}$ —— i 房间的最大冷负荷(即设计冷负荷)，kW



系统分区设计模拟案例: 模拟设置条件 → 以制冷为例

- 模拟对象：南京四层办公楼



办公建筑标准层结构图

- 人员在室时间

办公室: 工作日8:00-21:00

会议室: 周一/三/五8:00-12:00
及14:00-18:00

活动室: 每天19:00-23:00

休息室: 工作日11:00-15:00
及17:00-20:00

- 空调使用条件概率模型

$$P_{on} = \begin{cases} 1 - e^{-(x-u)^k}, & x \geq u \\ 0, & x < u \end{cases} \quad P_{off} = \begin{cases} 1 - e^{-(t-m)^n}, & t \geq m \\ 0, & t < m \end{cases} \quad P_t = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T-u)^2}{2\sigma^2}}$$

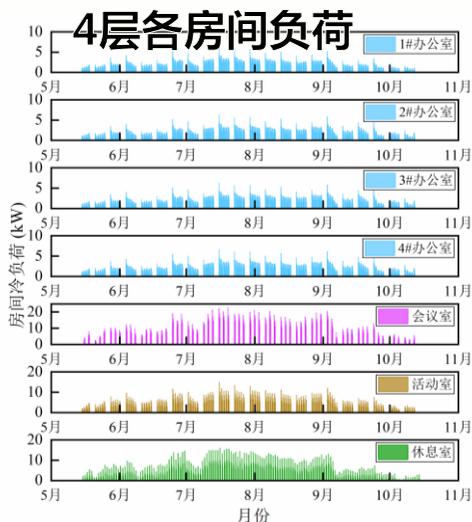
空调开启

空调关闭

温度设置

- 其他设置

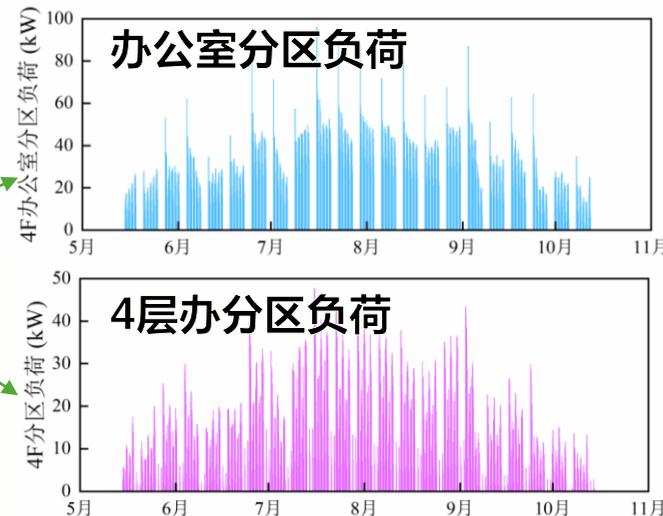
- 选型方法
- 室内机根据房间最大负荷选型
- 室外机根据最优配置率选型
- 循环控制策略：变吸气压力控制
- 计算期：5月15日-10月15日
- 不保障时间: < 3%
- PLR < 15%时，启停运行
- 室外机组置于屋顶



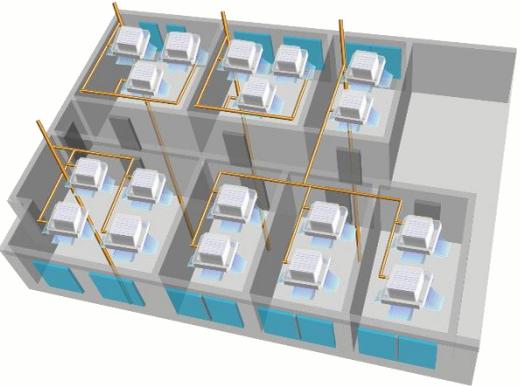
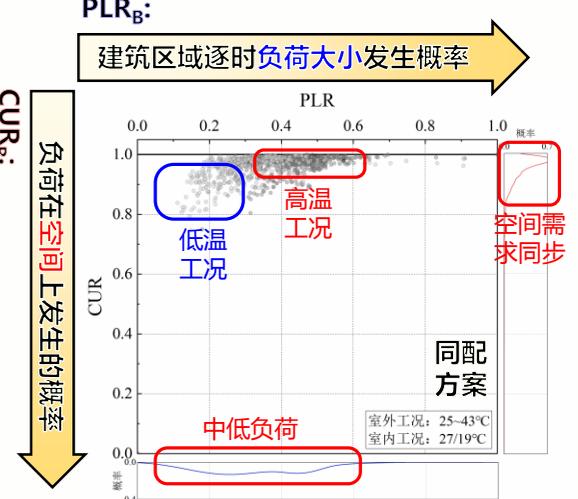
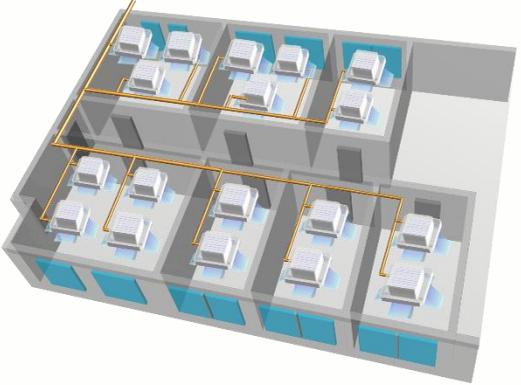
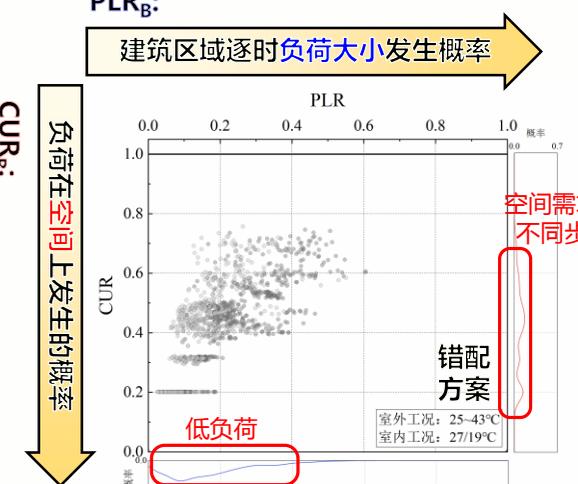
分区方案

- 方案I: 负荷特征相似
- 方案II: 负荷特征相异
- 方案III:
- 方案IV:

每个系统



系统分区: 概念与定义

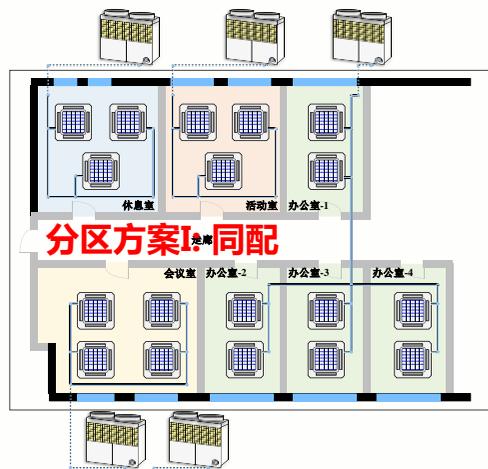
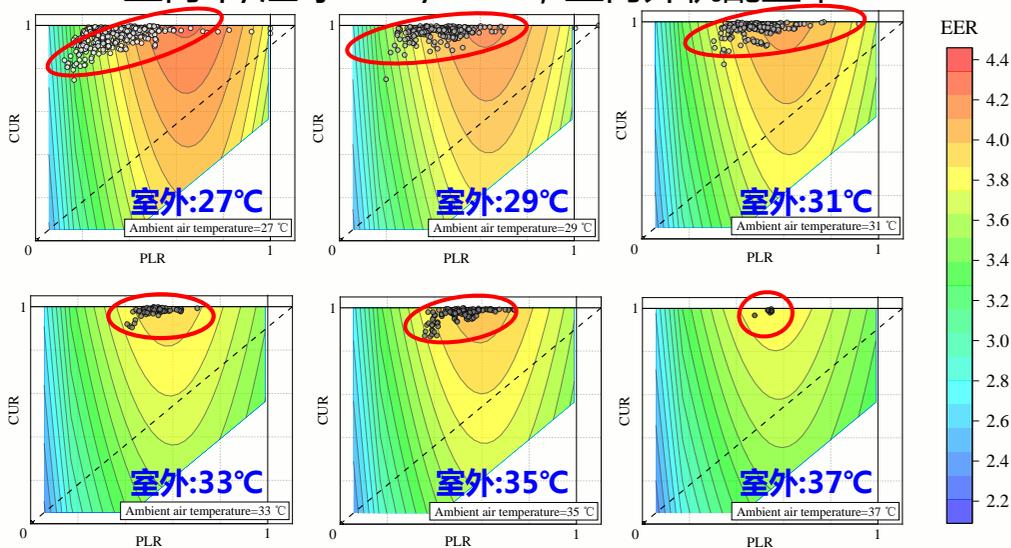
分区原则	示例(4层管路连接)	系统设置	配置率	负荷特征
<p>同配方案： 一套系统服务负荷特征相同房间</p>		<p>按功能分区，采用5套系统： (1) 1~2层会议室分区 (2) 3~4层会议室分区 (3) 1~4层活动室分区 (4) 1~4层休息室分区 (5) 1~4层办公室分区</p>	<p>1.0~1.3</p>	<p>PLR_g: 建筑区域逐时负荷大小发生概率</p>  <p>同配方案</p>
<p>错配方案： 一套系统服务负荷特征不同房间</p>		<p>按楼层分区，采用4套系统： (1) 1层分区 (2) 2层分区 (3) 3层分区 (4) 4层分区</p>	<p>1.2~1.6</p>	<p>PLR_g: 建筑区域逐时负荷大小发生概率</p>  <p>错配方案</p>



系统分区: 系统能效与能耗

● 同配方案

室内干/湿球: 27/19°C, 室内外机配置率: 1.10



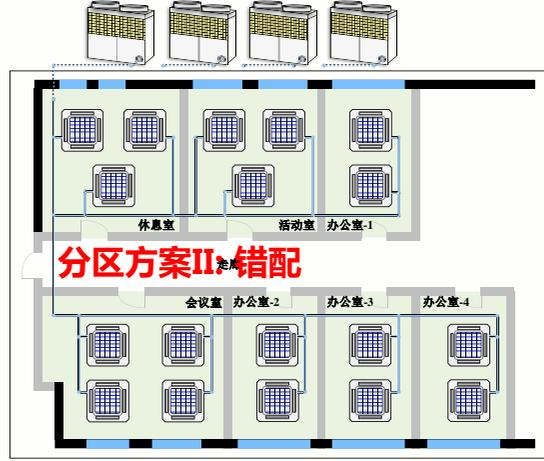
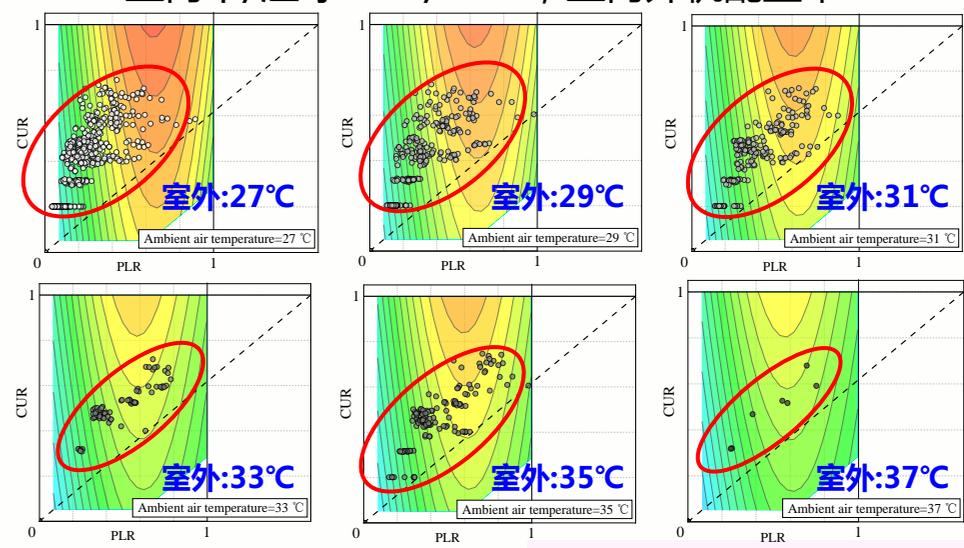
同配方案

- 中等PLR、高CUR 区间运行
- 宜作为1个分区

负荷特征相同的房间由一个系统承担

● 错配方案

室内干/湿球: 27/19°C, 室内外机配置率: 1.60



负荷特征不同的房间由一个系统承担

特例: 大容量错配方案 全楼采用1套大系统

错配方案

- 长期低PLR、低CUR 区间运行

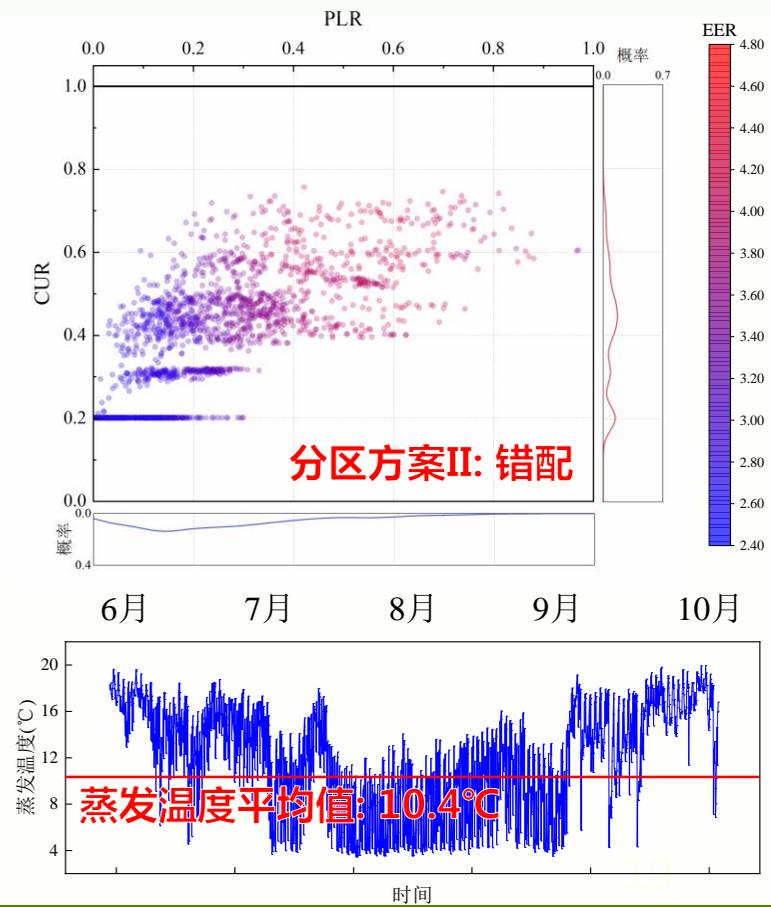
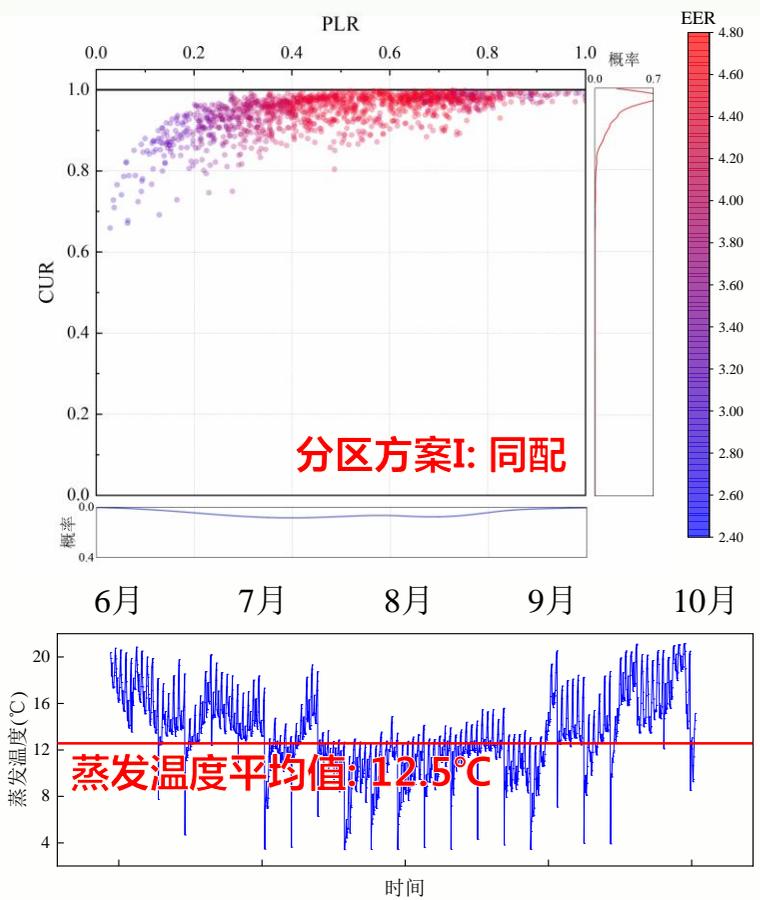
大容量错配方案

- 全楼采用1个大系统, 则需:
 - 突破系统高配置率, 同时解决回油难题
 - 提升低PLR能效难题

系统分区: 系统**能效**与**能耗**

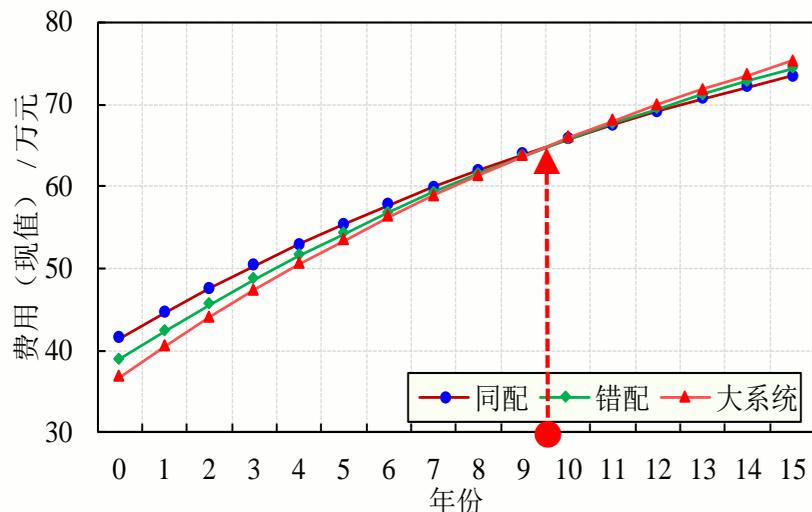
整栋建筑制冷季节能效比(SEER) : 同配(4.07) > 错配(3.67) > (大容量)错配(3.57)

- 当负荷特征**相似**时, 变吸气压力控制策略能提升蒸发温度, 提高运行能效; 当负荷**特征差异较大**时, 为**满足个别房间的高负荷需求**, 蒸发温度较低
- 蒸发温度: **同配 > 错配**; 累计运行时长: **同配 < 错配**



系统分区: 综合因素考察

• 经济性



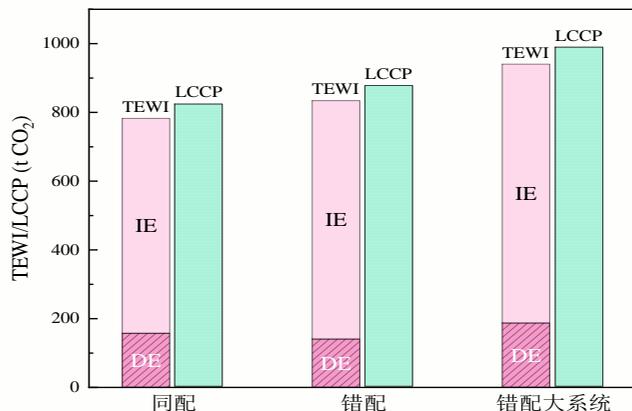
3种方案的生命周期经济成本

注：选型、报价参考某品牌多联机，电价按南京市2023年工商业用电核算

结论：

- **初投资**：(大容量)错配 < 错配 < 同配，错配系统**初投资低**
- **长期经济性**：同配 > 错配 > (大容量)错配，同配系统**长期经济性好**

• 气候影响性



3种方案的TEWI、LCCP

• 变暖影响总当量 (TEWI)

$$TEWI = DE + IE$$

直接排放 间接排放

• 寿命期气候性能 (LCCP)

结论：

- **TEWI**：同配 < 错配
- **LCCP**：同配 < 错配
- 不宜采用过多末端的大容量系统方案，其**直/间接排放均较高**

• 安全性

- **系统高差、管长影响液体管内制冷剂压力**
 - 电子膨胀阀前压力**过低**：制冷剂**闪发**、**不稳定**运行
 - 压力**过高**：可能超出设计最大允许压力
- **长管路、高落差引起回油困难，压缩机缺油**

• 调节性

- **各并联室内机电电子膨胀阀前后的压差影响电子膨胀阀的调节性能**
 - 压差**过小**：EEV最大开度，过热度仍偏大，供液不足、制冷量偏小
 - 压差**过大**：膨胀阀易**失调**，有效调节范围缩小

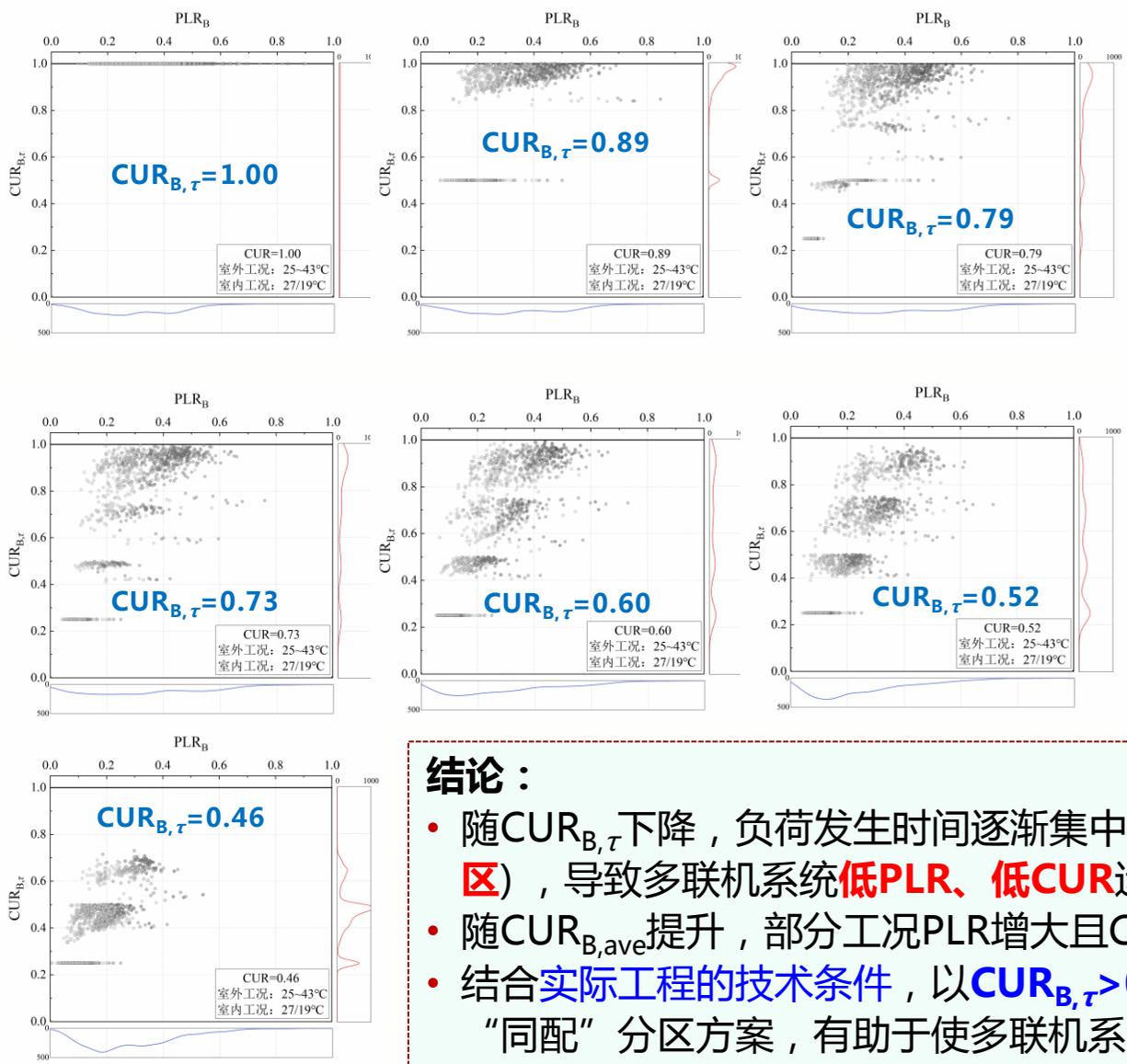


主要内容

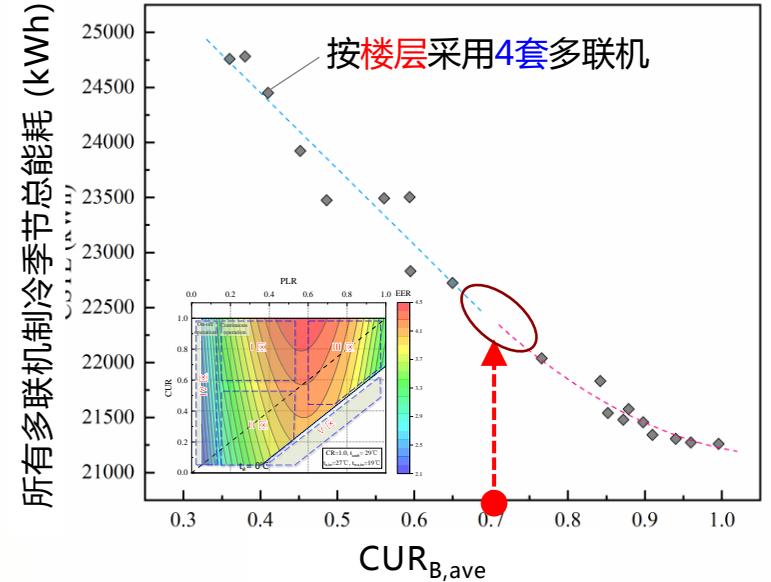
- 研究背景
- 基于CUR的多联机性能模型
- 多联机系统分区设计特性分析
- 多联机系统设计的分区方法
- 结束语



多联机系统的分区判据: 建筑负荷特征 + 全工况系统性能模型 → 系统季节运行能耗



注: $CUR_{B,ave}$ 代表建筑内各分区的 $CUR_{B,\tau}$ 的平均值
图中每个点代表某分区方案下多联机制冷季总能耗

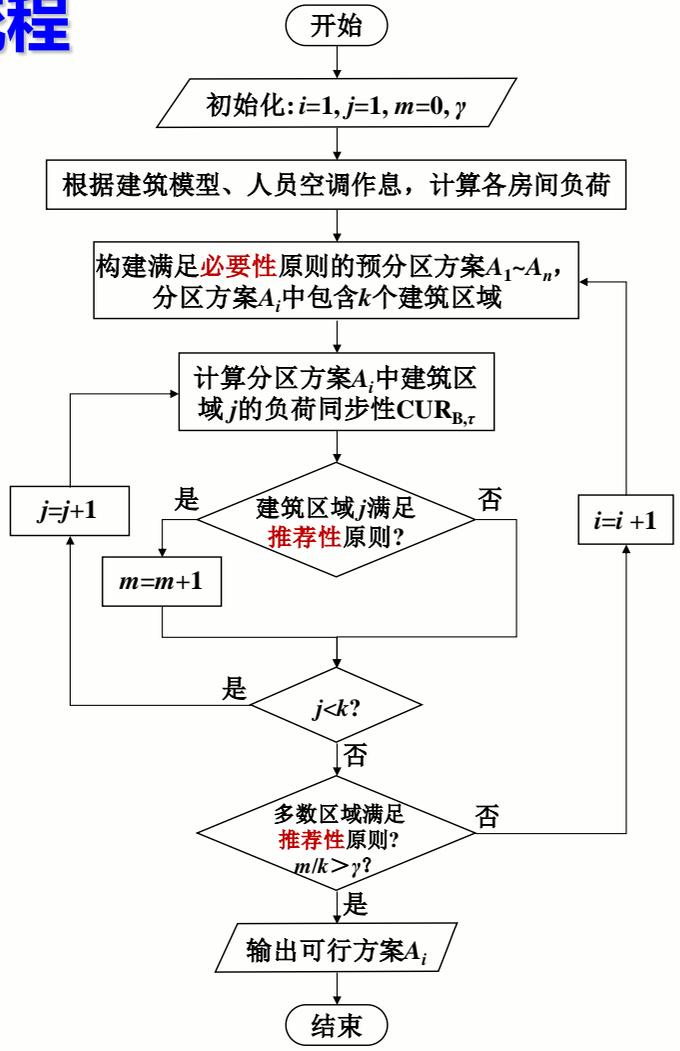


不同 $CUR_{B,ave}$ 下建筑中所有多联机在制冷季节的运行总能耗

- 结论:**
- 随 $CUR_{B,\tau}$ 下降, 负荷发生时间逐渐集中于**左下角**(对应多联机系统PLR-CUR模型的**II区**), 导致多联机系统**低PLR、低CUR**运行
 - 随 $CUR_{B,ave}$ 提升, 部分工况PLR增大且CUR对能效的影响变小, **总能耗**变化**斜率减小**
 - 结合**实际工程的技术条件**, 以 $CUR_{B,\tau} > 0.7$ 作为系统分区设计的**参考界限**, 采用负荷“同配”分区方案, 有助于使多联机系统**多数时间在高能效区间**运行

多联机系统分区设计方法

● 系统分区设计流程



系统分区**必要性**原则

- 室内、外机管长约束: $L < L_{max}$
- 室内、外机高差约束: $H < H_{max}$
- 室内机连接数量约束: $n_{in} < n_{in,max}$
- 室内机之间连接管长约束: $l < l_{max}$
- 室内机之间高差约束: $h < h_{max}$

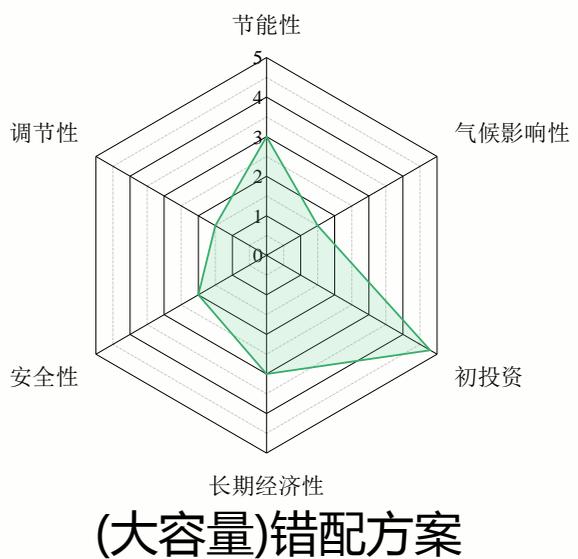
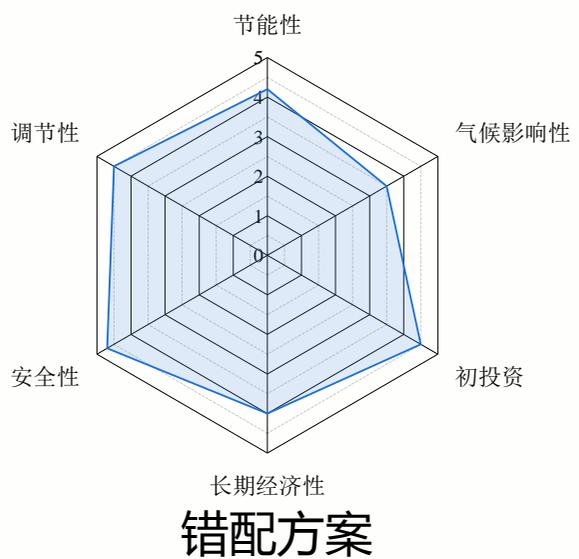
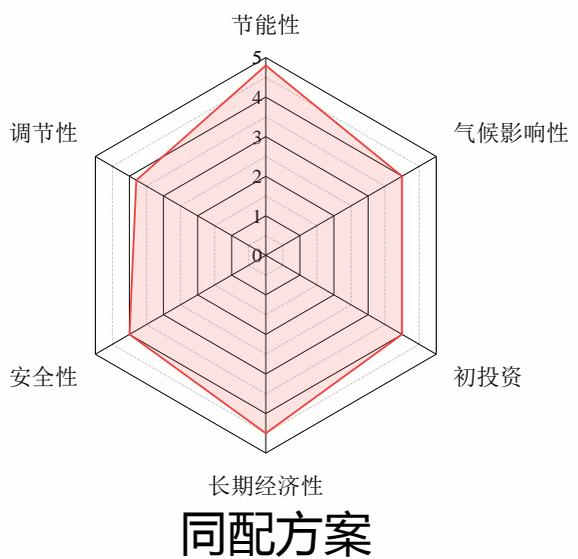
系统分区**推荐性**原则

- 负荷同步要求: 尽可能采用“同配”, 将**负荷特征相似 ($CUR_{B,\tau} > 0.7$)**的房间采用一套系统
- 系统容量要求: 较大建筑(区域)宜设置多套系统
- 分户结算要求: 多个独立用能单位、归属单位宜分别设置多套系统
- 防竞争运行要求: 同一房间不宜共用多个系统的室内机
- 穿墙、楼板要求: 尽量避免穿墙、跨楼层过多

多联机系统的设计分区方法: 小结

多联机系统分区应综合评判多方面影响：

- **"同配"方案**($CUR_{B,\tau} > 0.7$)在**节能性、气候影响性、长期经济性**方面较好(推荐采用)
 - 不足：室外机装机容量偏大，初投资相对较高
- **"错配"方案**在**初投资**方面具有优势，若(同层安装)L、H较小，**调节性、安全性**有优势
 - 不足：低PLR、低CUR条件下运行能效低
 - 必须**突破高配置率下的回油技术** & **低负荷率下的高能效比难题**
- 大容量系统**"错配"方案**初投资低，但**节能性、经济性、安全性、调节性**差(不宜采用)



注: 图中"1~5"级评级分别代表"差、较差、一般、较优、优"

主要内容

- 研究背景
- 基于CUR的多联机性能模型
- 多联机系统分区设计特性分析
- 多联机系统设计的分区方法
- 结束语



结束语

- **多联机系统分区对其实际运行性能有重要影响**
 - 公共建筑中通常采用多套多联机服务整栋建筑或部分区域
 - 多室内机末端的结构特征导致系统分区会影响机组PLR和CUR
- **基于建筑负荷特征(PLR_B 与 CUR_B)与多联机PLR-CUR的关系进行分区，能够为工程中多联机系统分区提供指导**
 - 以负荷同步率 $CUR_{B,\tau} > 0.7$ 作为系统分区的判据
 - 综合考虑多联机系统的节能性、经济性、气候影响性、安全可调性进行分区
- **多联机的高效低碳应用离不开产品研发生产企业、研究设计机构、多联机用户，感谢对多联机行业做出的重要贡献！**



敬请各位专家批评指正！

清华大学 建筑技术科学系 石文星

wxshi@tsinghua.edu.cn

2024年4月9日 · 北京

