



# 热泵/热管复合家用空气源热泵 供热装置

报 告 人： 马国远

2018.8.16

# 目录

## contents

- PART 1 背景**
- PART 2 目前的采暖型式**
- PART 3 热泵的主要型式及应用存在的问题**
- PART 4 解决思路**
- PART 5 复合供暖系统的研究**
- PART 6 工程应用及测试结果**
- PART 7 总结与展望**

# 1、背景

京津冀多个城市  
PM2.5的来源解析结果  
表明，**燃煤排放是形成  
PM2.5污染的主要原因。**  
采暖“**煤改电**”，是实  
现空气治理目标的重要  
手段。



# 1、背景

## 我国北方地区“煤改电”计划：

- 1、2003年，清洁能源采暖拉开帷幕，主要是在城市核心区。
- 2、2013年，北京实施清洁空气行动计划，农村“煤改电”提上日程。
- 3、2015年，北京市开始重点推广储能式电暖器，但效果不尽如人意。
- 4、2016年，市场上的空气源热泵技术开始成熟，最终北京市形成了以空气源热泵为主，储能式电暖器为补充，严禁使用直热式电取暖器的一整套方案。
- 5、2017年，北京“煤改电”进入攻坚阶段，完成522个村、约20.5万户的改造任务，北京“煤改电”总户数近80万户，基本实现朝阳、海淀、丰台、石景山、通州、房山、大兴等的平原地区无煤化。同时天津、河北、山西、山东等地的清洁采暖也开始。
- 6、2018年，北京密云等地“煤改电”收尾，外省市有扩大的趋势。



## 2、目前的采暖型式

燃煤（直接燃煤和家用小型燃煤锅炉）和直接电采暖



## 2、目前的采暖型式

### 燃气采暖



- 1、在气源充足的地方尝试“煤改气”。
- 2、但安全性及是否减小污染有争论。



# 3、热泵的主要型式及应用存在的问题

空气源热泵将空气中的低品位热能提升为高品位热能加以利用。  
**高效、环保、无污染，**  
被认为是减少化石燃料依赖最具潜力的选择。

项目	与散煤相比		与型煤相比		
节标煤/kg/a	2046.1		1862.5		
节能率/%	53		51		
CO <sub>2</sub> 减排量/t/a	5.05		4.44		
SO <sub>2</sub> 减排量/kg/a	40.9		37.3		
烟尘减排量/kg/a	20.5		18.6		

项目	散煤采暖炉	型煤采暖炉	热泵采暖		
燃料热值/MJ/kg	23	17.6			
供热效率/%	40%	42%	COP=2.7	COP=2.5	COP=2.3
燃料价格	1.15 元/kg	0.78 元/kg	0.49 元/kWh		
供暖能耗量	4913.0kg	6114.7kg	4654.3kWh	5026.6kWh	5463.7
年供暖运行费用/元	5650.0	4769.5	2280.6	2463.1	2677.3
年运行费用/元/m <sup>2</sup>	70.6	59.6	28.5	30.8	33.5

### 3、热泵的主要型式及应用存在的问题

#### 热泵型家用空调器

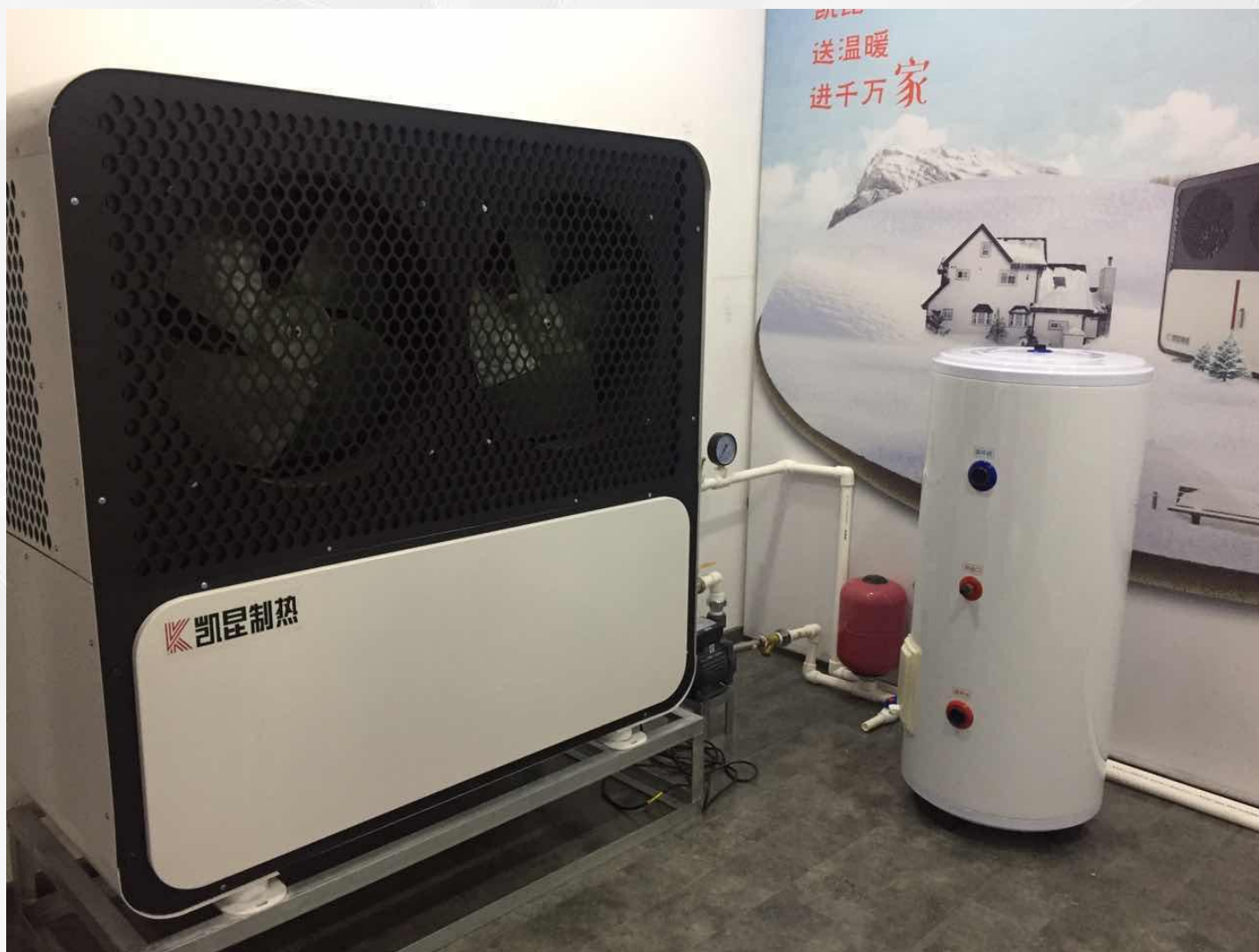


优势-效率高、安装操作简便、冷热两用



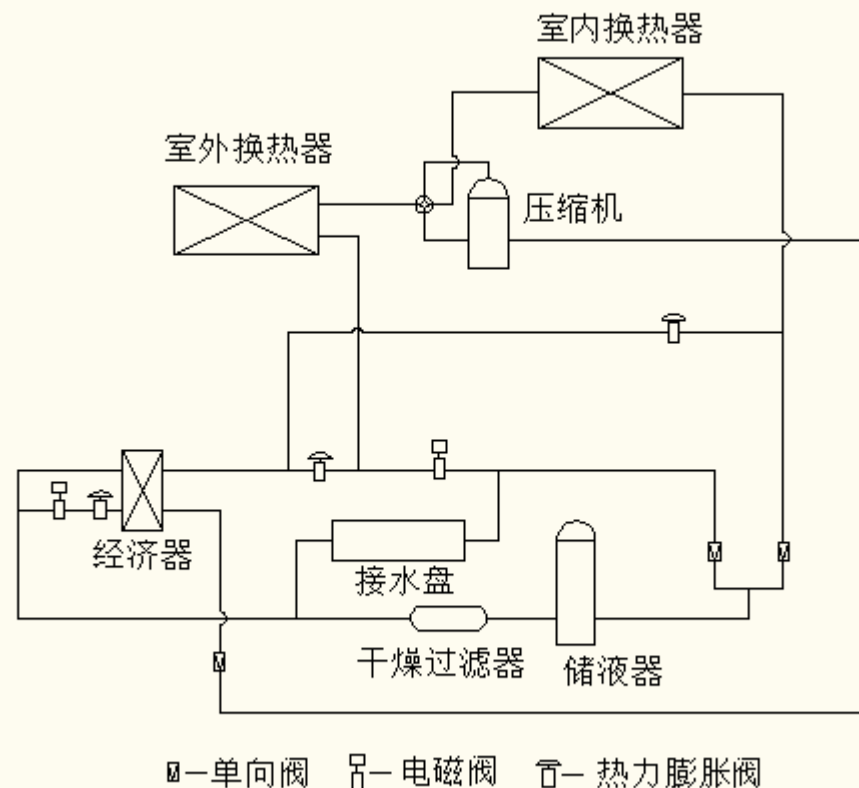
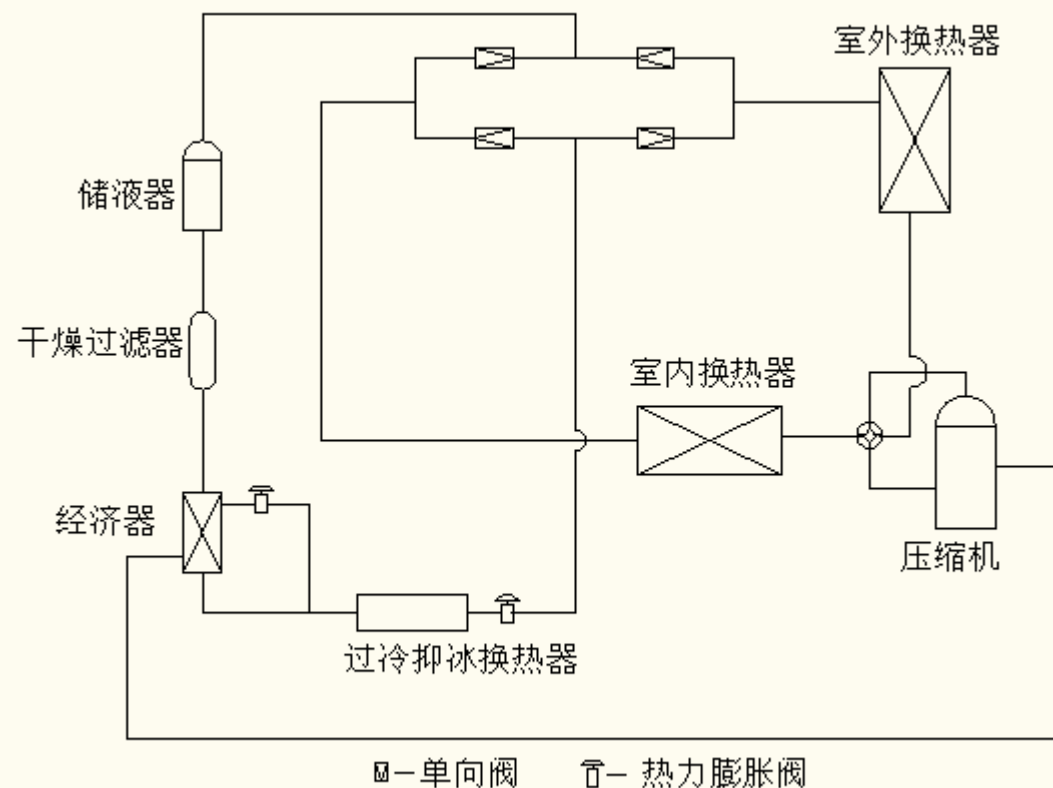
### 3、热泵的主要型式及应用存在的问题

#### 水循环式热泵-“煤改电”的主流机型



### 3、热泵的主要型式及应用存在的问题

#### 水循环式热泵-“煤改电”的主流机型



两种典型的家用空气源热泵（北京地区煤改电用）



### 3、热泵的主要型式及应用存在的问题

#### 水循环式热泵-“煤改电”的主流机型



现场安装图



### 3、热泵的主要型式及应用存在的问题

#### 水循环式热泵-“煤改电”的主流机型

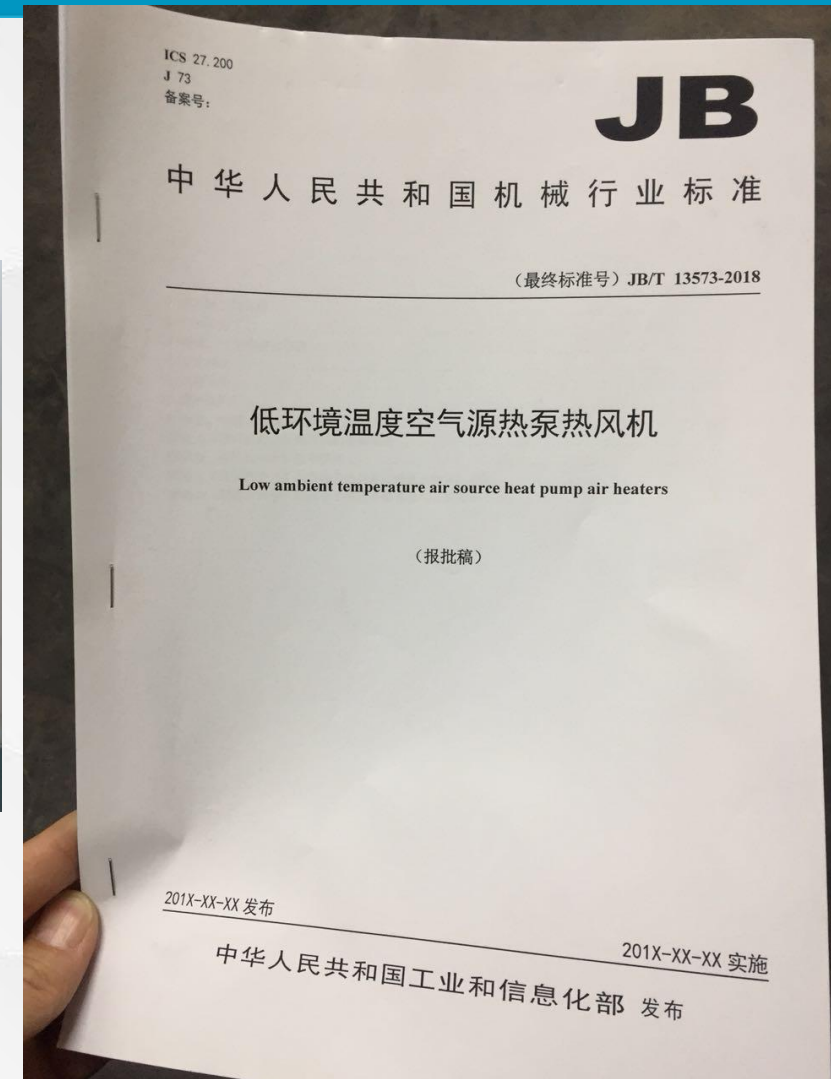


现场安装图



# 3、热泵的主要型式及应用存在的问题

## 空气源热泵热风机



# 3、热泵的主要型式及应用存在的问题

## 热泵型空调存在的问题

### 热泵型空调器的采暖体验并不好：

- 1、室内机置于上部：热风从上至下，不符合热力学原理。
- 2、室内机置于地下：扰动室内气流，污染空气。
- 3、“热风吹面”干热不舒服。
- 4、换热器内会积存污垢，气味严重，并对室内空气造成二次污染。
- 5、噪声。

# 3、热泵的主要型式及应用存在的问题

## 水循环式热泵存在的问题

**经调查及用户反映，水循环式系统有以下缺点：**

- 1、体积、重量大，安装、维修困难（3HP/80kg，5HP/150kg）；
- 2、系统复杂，运动部件多，故障率高；
- 3、补水和防冻是必须面临的问题；
- 4、能效比有待提高，电费多。

### 3、热泵的主要型式及应用存在的问题

#### 水循环式热泵存在的问题

直接将大型中央空调的思路移植到小型家用供暖机上，**“简单粗暴”**，从热力学的角度看，存在的问题有：

- 1、传热热阻大。（制冷剂-**水**-换热器-风）；
- 2、质量传递环节多。（制冷剂循环、**水循环**、风循环）；
- 3、压缩机压比大，效率低。（**高供水温度-高排气压力**）



# 3、热泵的主要型式及应用存在的问题

## 空气源热泵热风机存在的问题

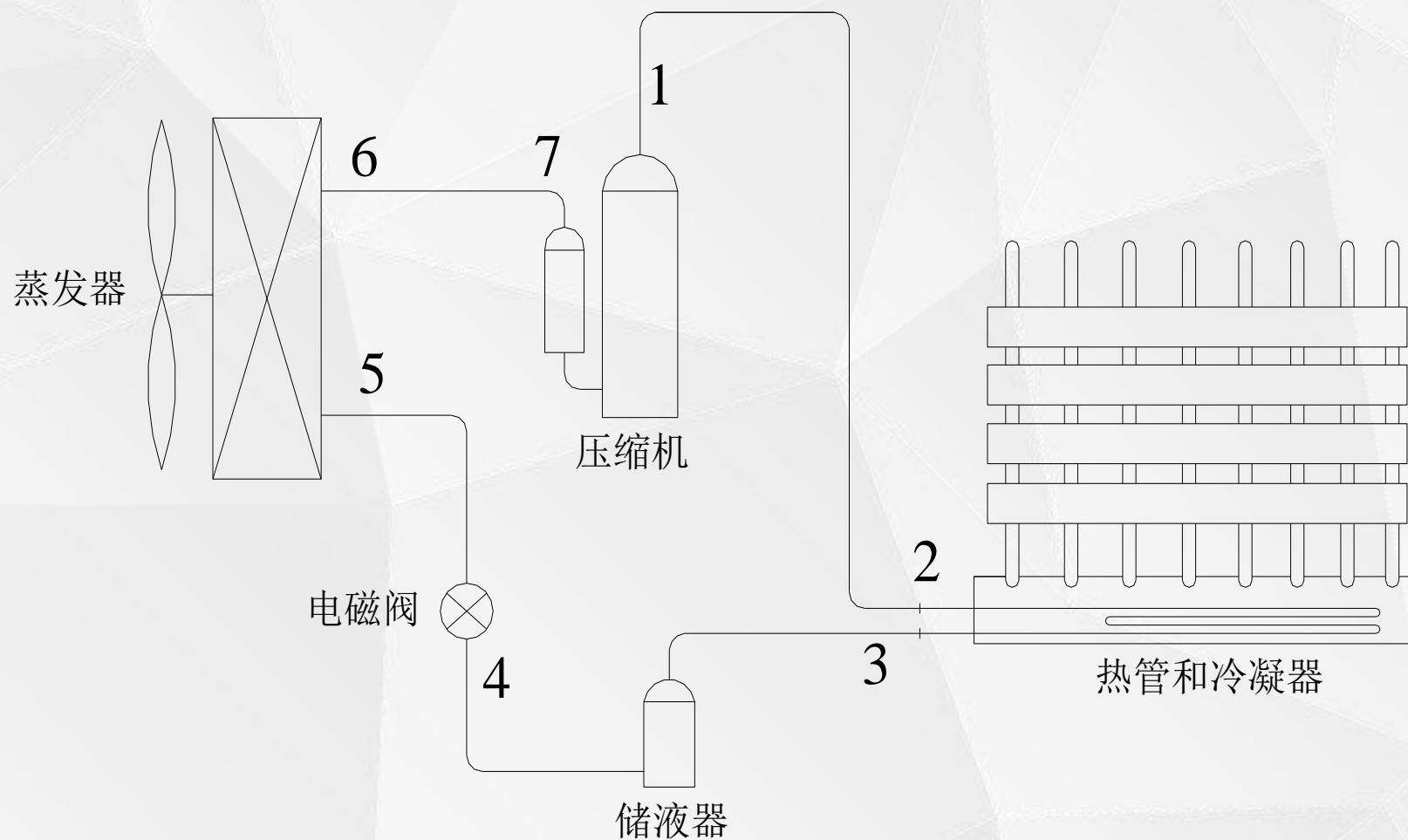
与热泵型空调无本质区别。

- 1、室内机**体积**进一步减小困难；
- 2、采暖依然离不开**风机**；
- 3、“**一拖多**”受限制，特别是大于2台。

## 4、解决思路

- 1、**无水化**-简化系统，无需防冻；
- 2、**无风**-满足供暖的舒适性要求；
- 3、**多末端**-适合农村住宅的特点。

# 5、复合供热系统的研究



热泵/热管复合家用空气源热泵供热装置

# 5、复合供热系统的研究

## 系统的构造原理

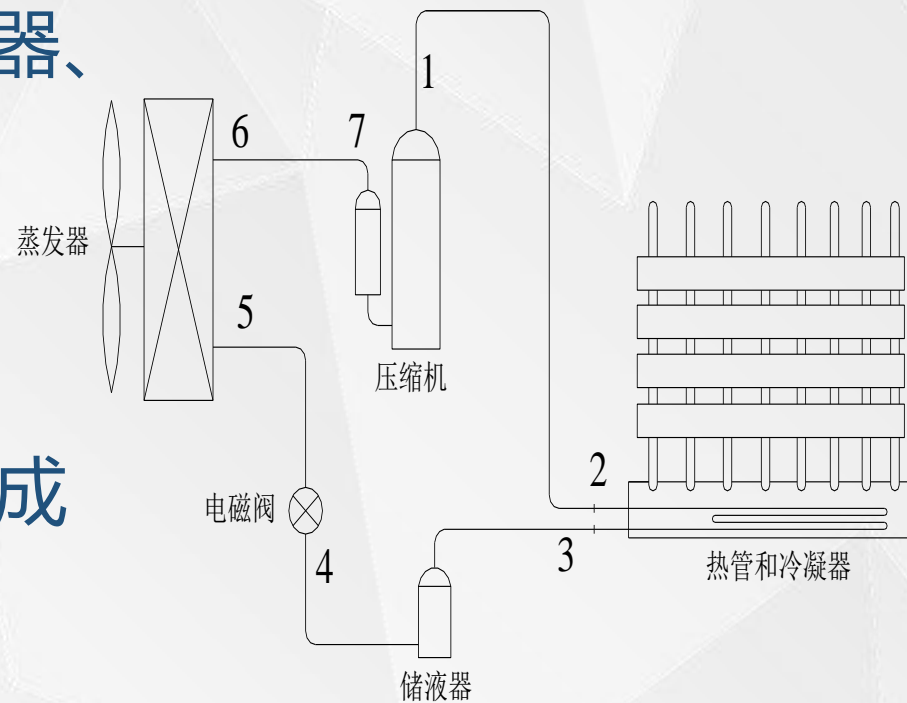
**包括：**压缩机、热管换热器、节流阀、蒸发器、热管与冷凝器。

**构造特征：**

- 1、室外机为**普通的压缩冷凝机组**；
- 2、冷凝器末端与高效传热**热管辐射散热器**耦合成一

**优势：**

热量依然由热泵**冷凝器**产生，但其传热环节依靠热管式高效传热元件完成。热管**扩大传热面积**，但同时削弱多个冷凝器带来的**阻力增大**的问题。





# 5、复合供热系统的研究

## 核心部件

$$Q_c = h_c A (t_s - t_{room})$$

$$h_c = 1.31(\theta)^{0.33}$$

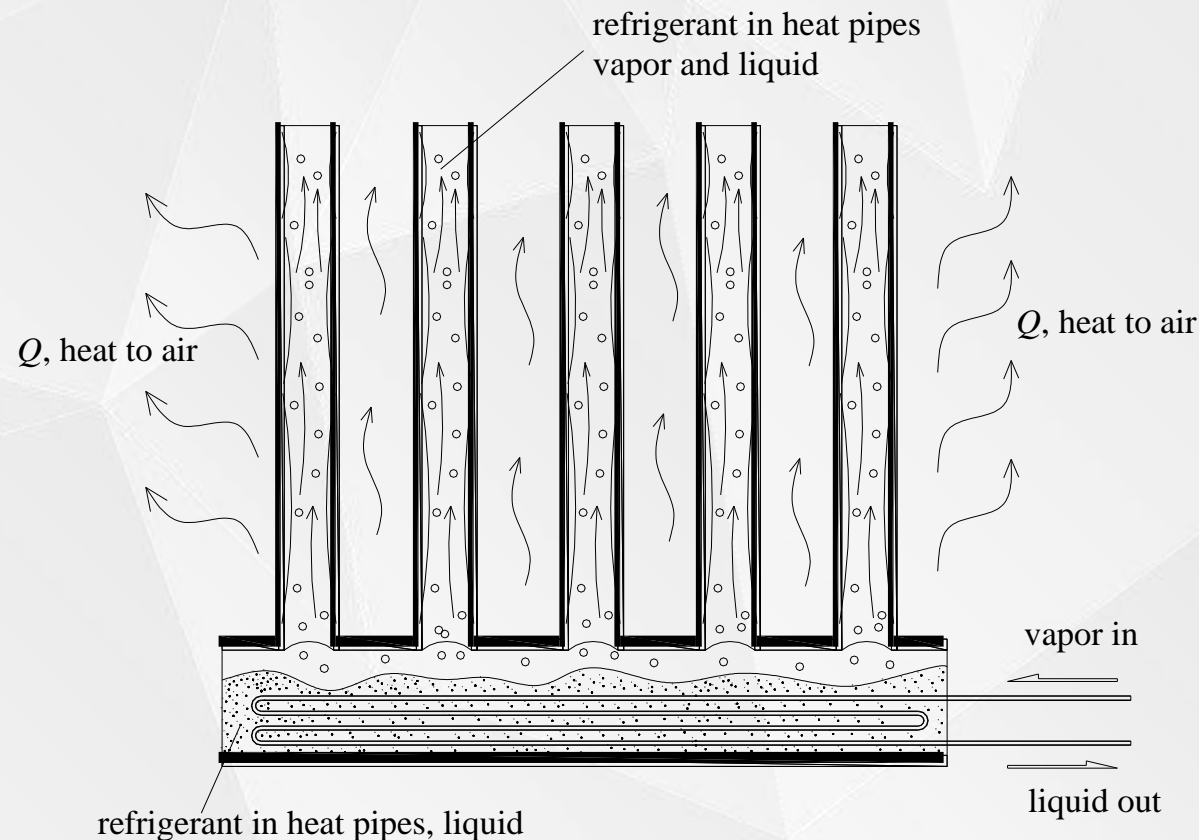
$$h_c = 1.41 \left( \frac{\theta}{l} \right)^{0.25}$$

$$Pr = 0.680 + 4.69 \times 10^7 \times (t_k + 540)^2$$

$$t_k = 273 + \frac{1}{2} \times (t_s + t_{room})$$

$$G_k = \frac{\beta g l^3 \theta}{\nu^2}$$

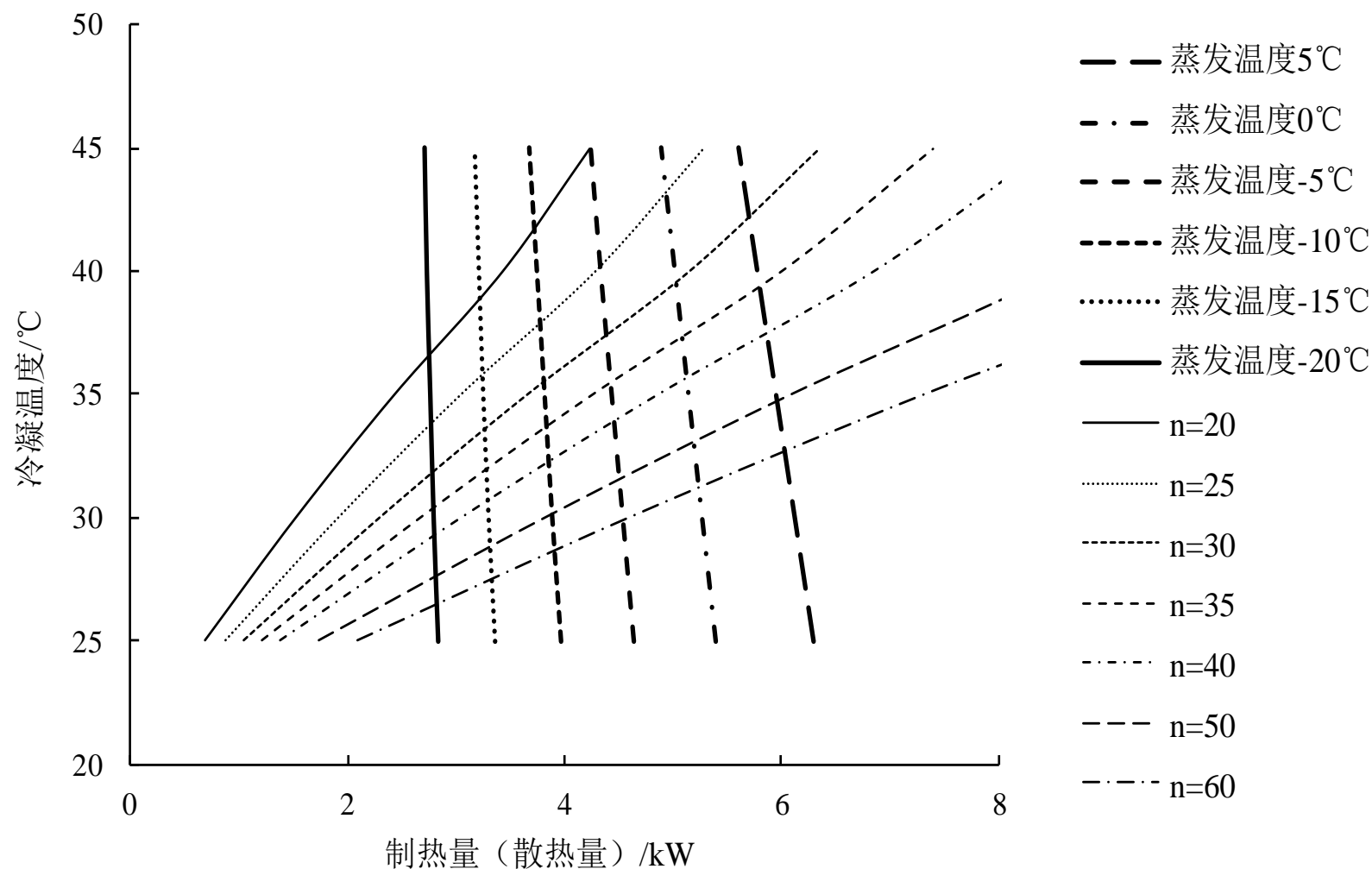
$$Q_r = A \varepsilon \sigma (t_s^4 - t_{room}^4)$$



热管式热辐射装置

# 5、复合供热系统的研究

## 系统的工作特性曲线



n表示热管的排数。通过热管的散热量计算及查压缩机的性能样本获得结果如图所示。热泵的制热量与热管散热器的散热量相同。

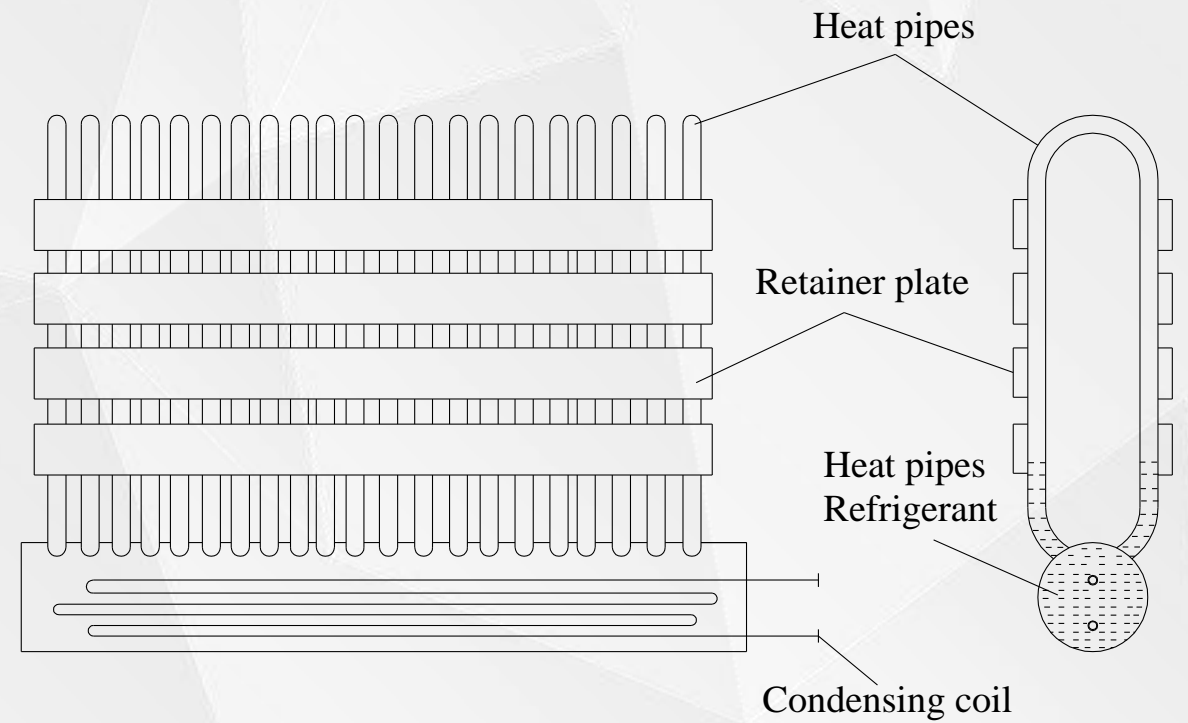
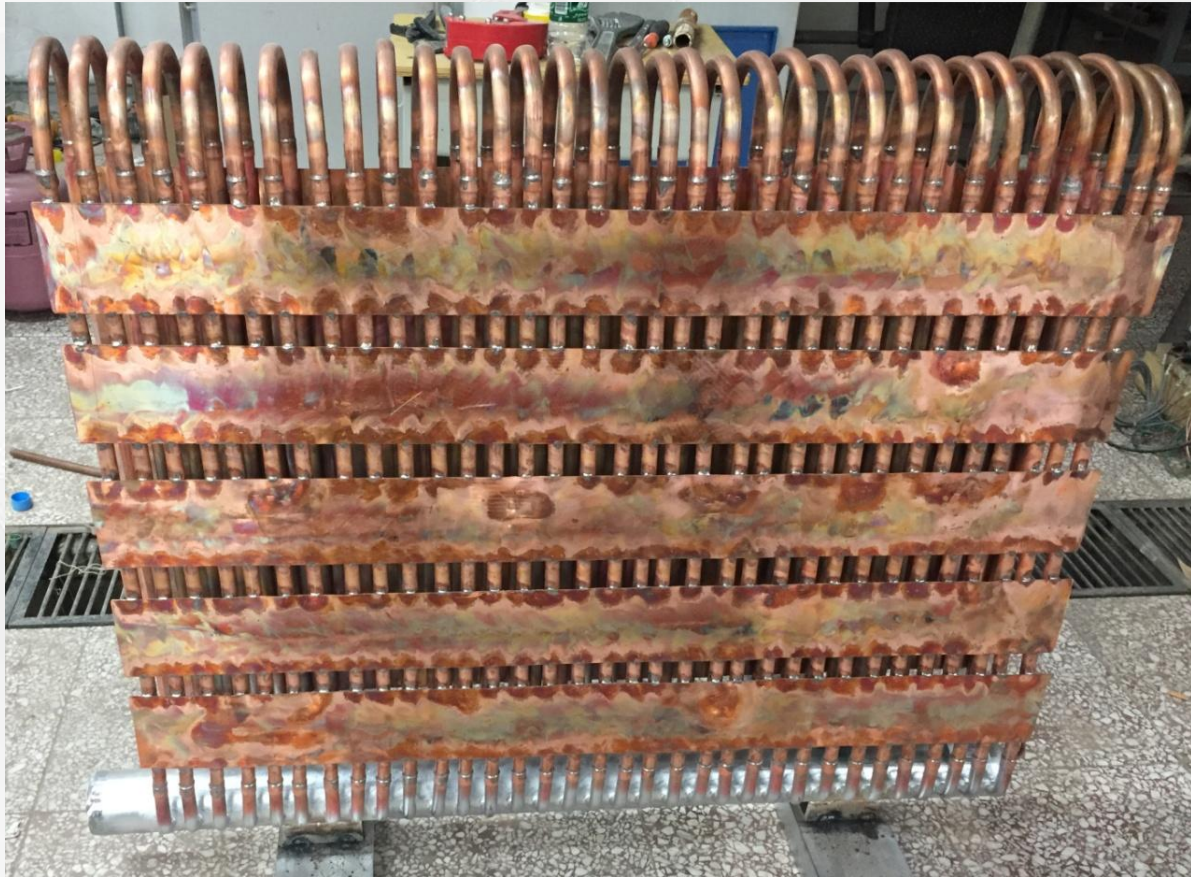
其交点为工作点。

1、温度越低，热管的启动及散热性能越好。

2、温度越低，热泵的性能变差，热管很好地“辅助了”热泵的工作。

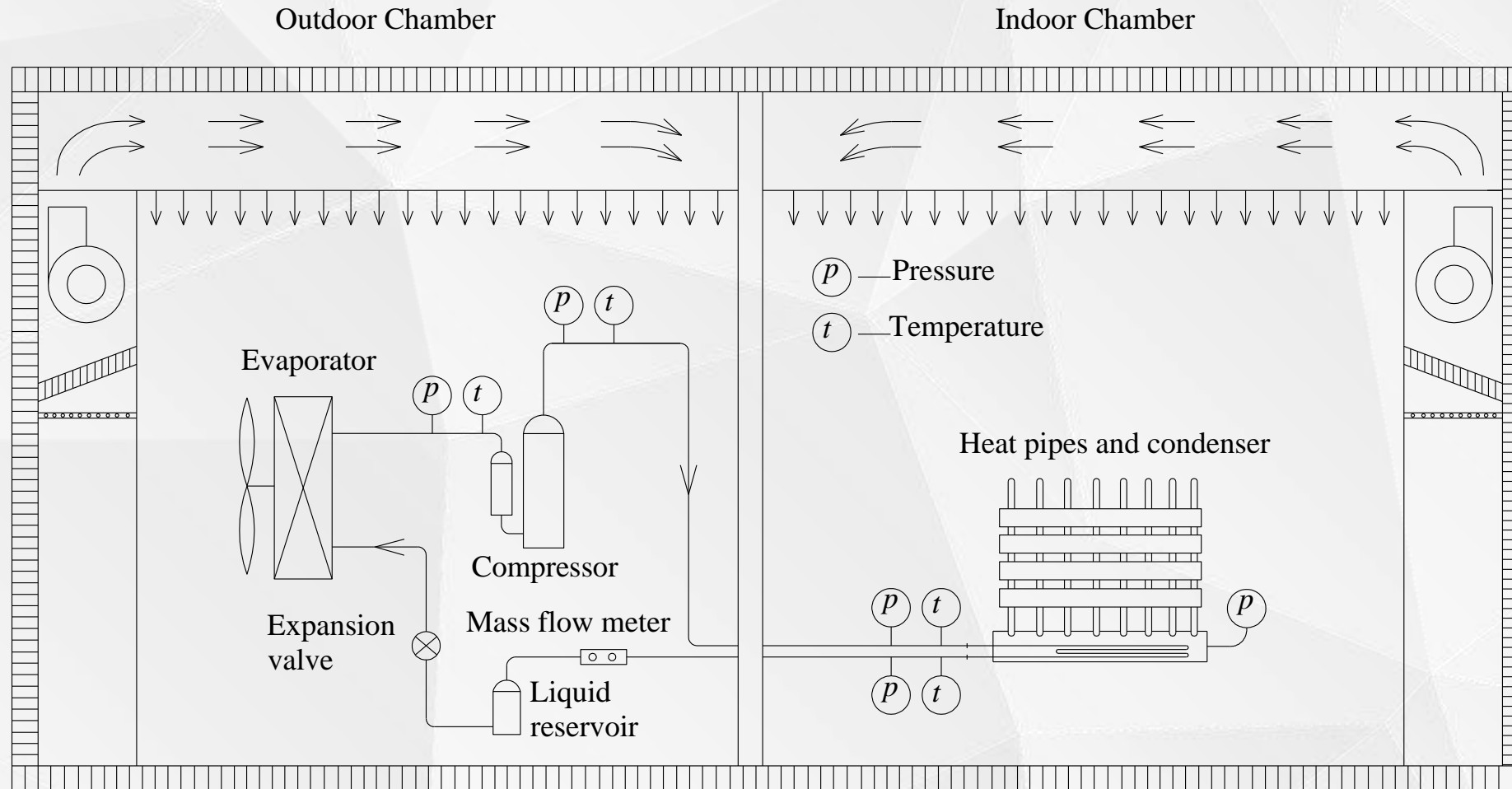
## 6、工程应用及测试结果

### 样机的制造



# 6、工程应用及测试结果

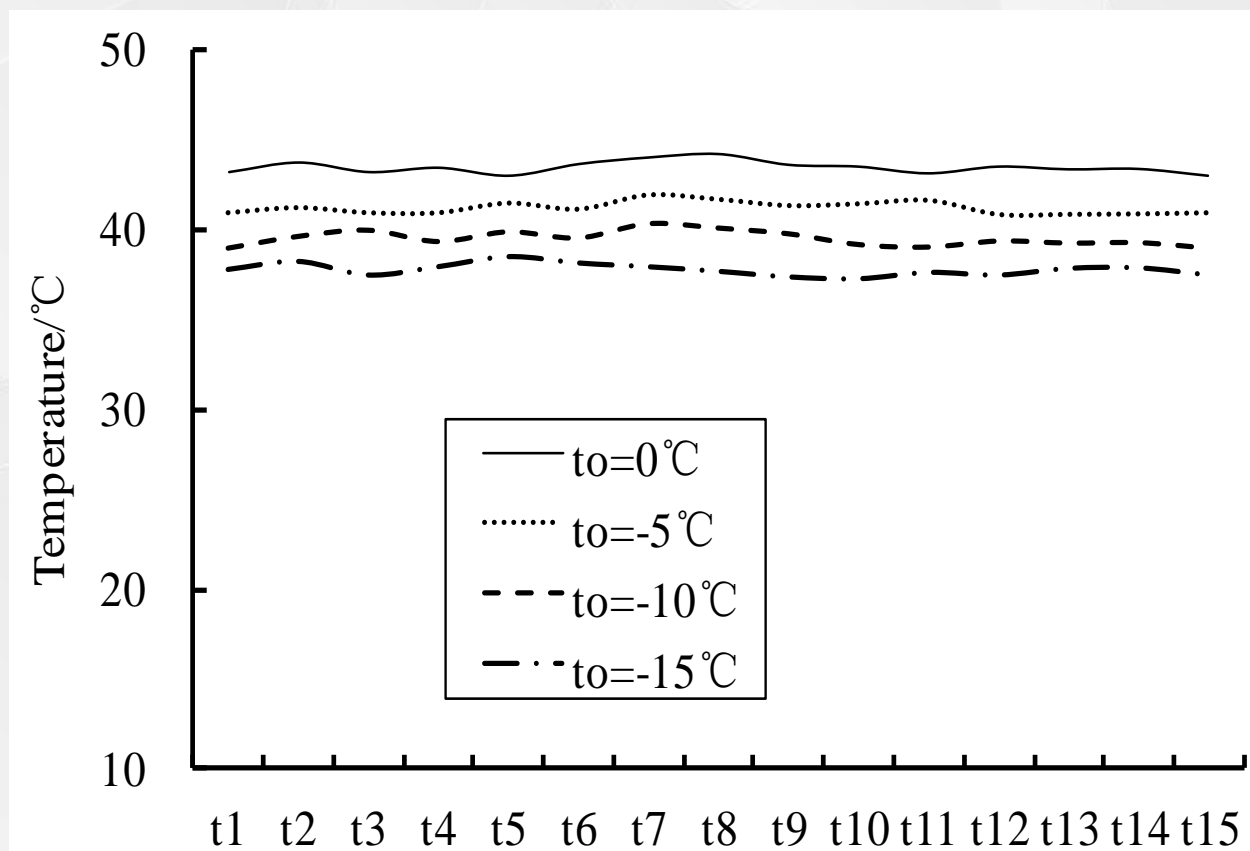
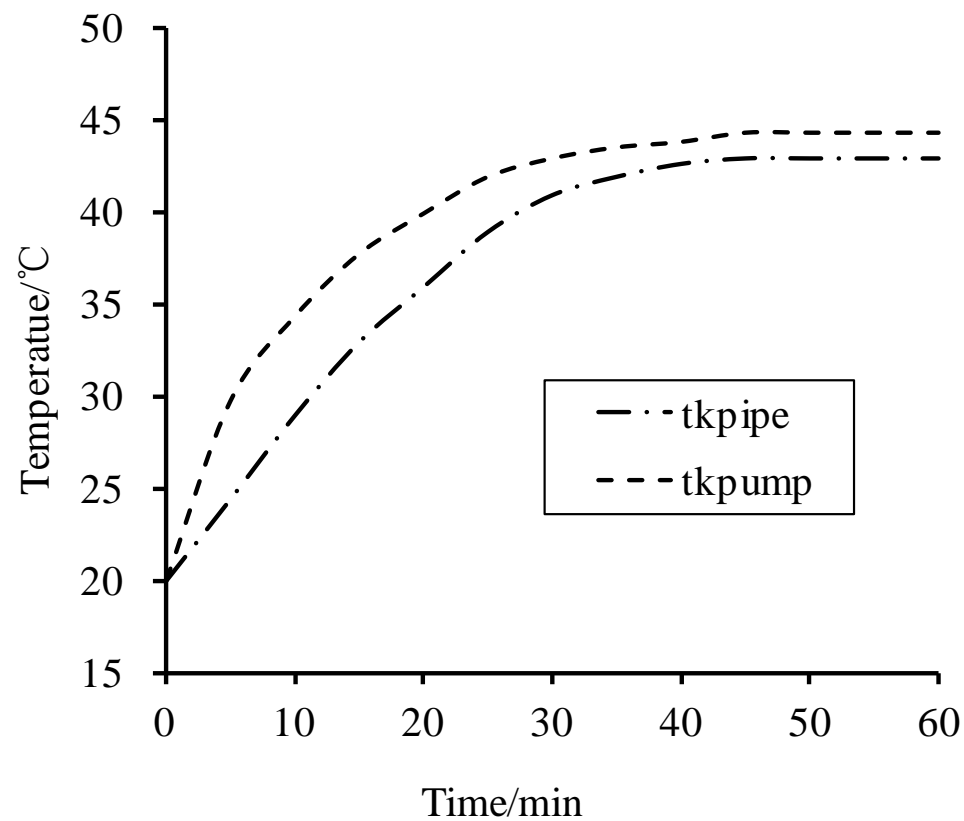
## 测试环境





## 6、工程应用及测试结果

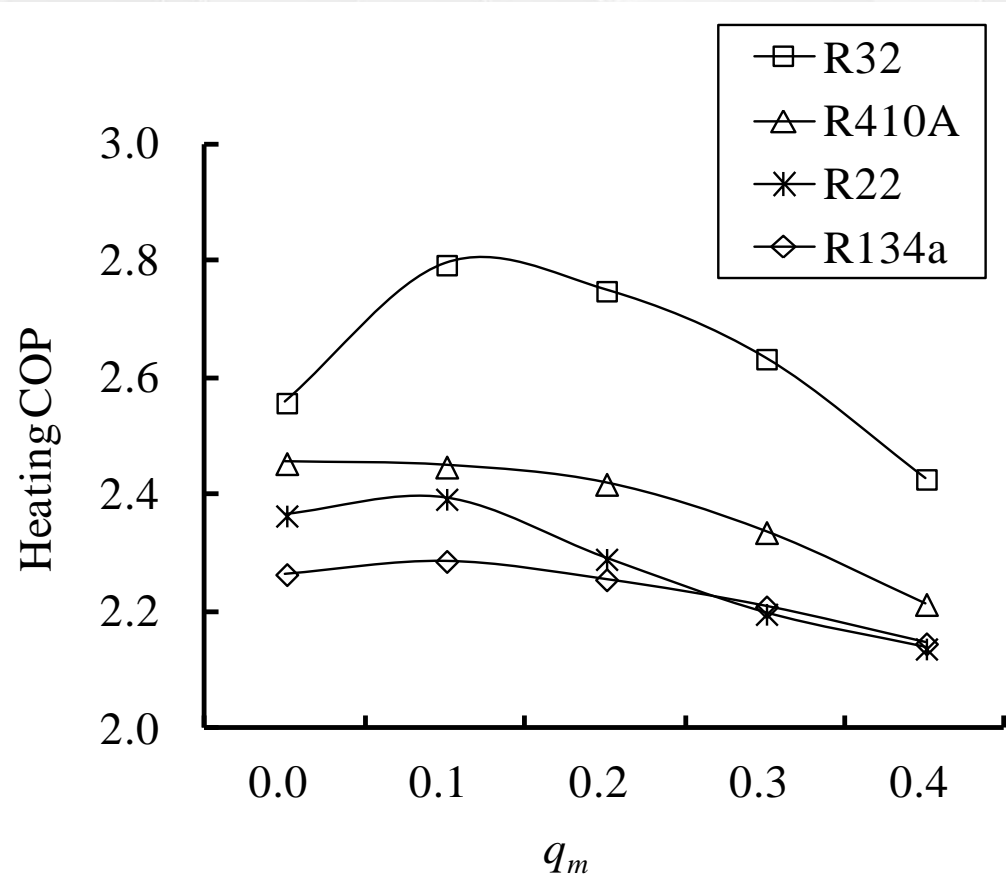
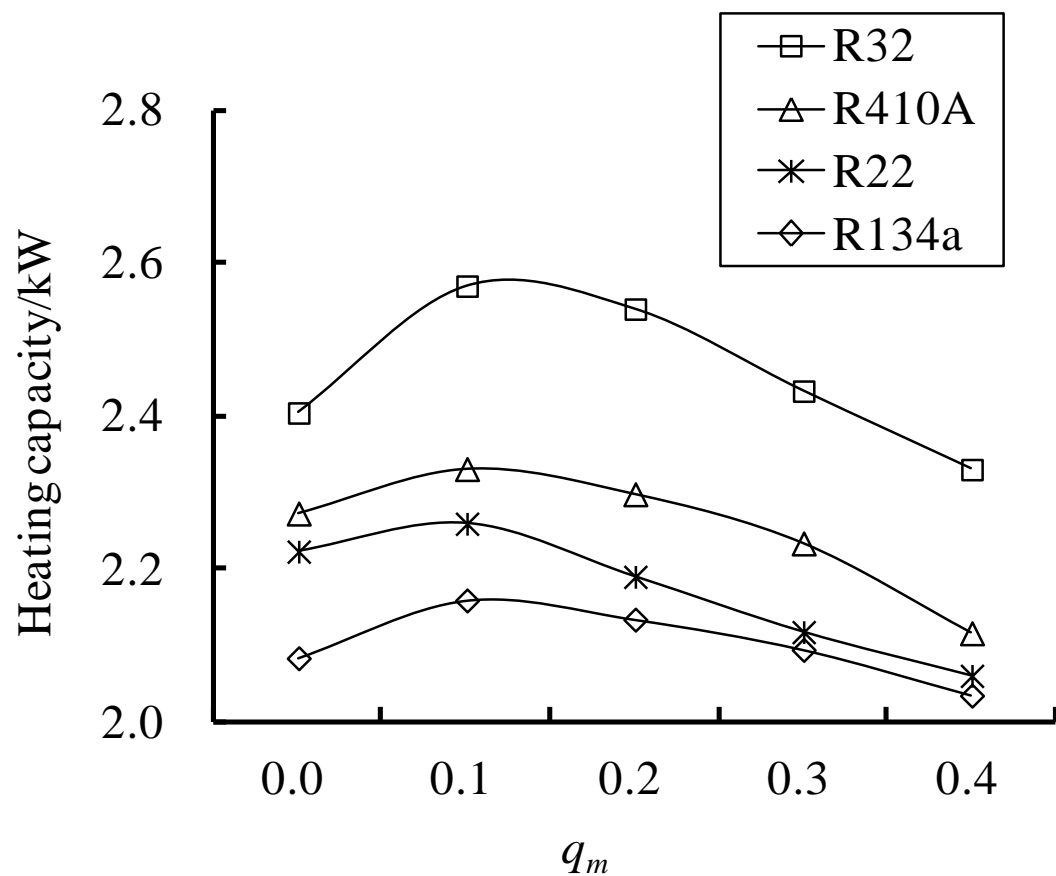
### 启动过程及稳定后的热均匀性



在室外温度-10°C，室内温度为5°C时，散热器表面平均温度15分钟内达到35°C，半小时内达到45°C。

## 6、工程应用及测试结果

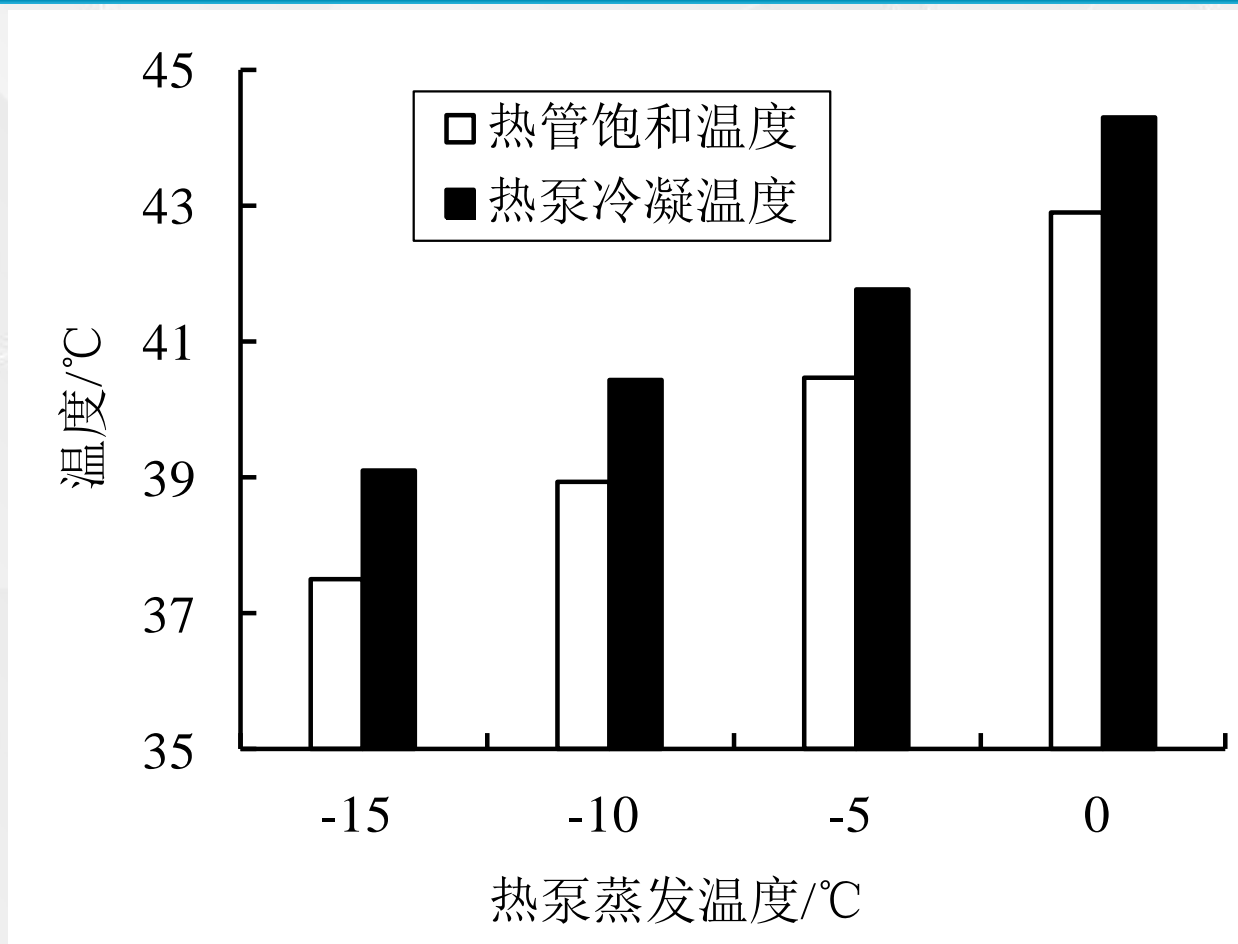
### 工质种类及充注量的优化



热管内工质容积充注比例 $q_m$ 和工质的种类对系统性能有影响（室外-5℃，室内20℃）

## 6、工程应用及测试结果

### 系统的性能



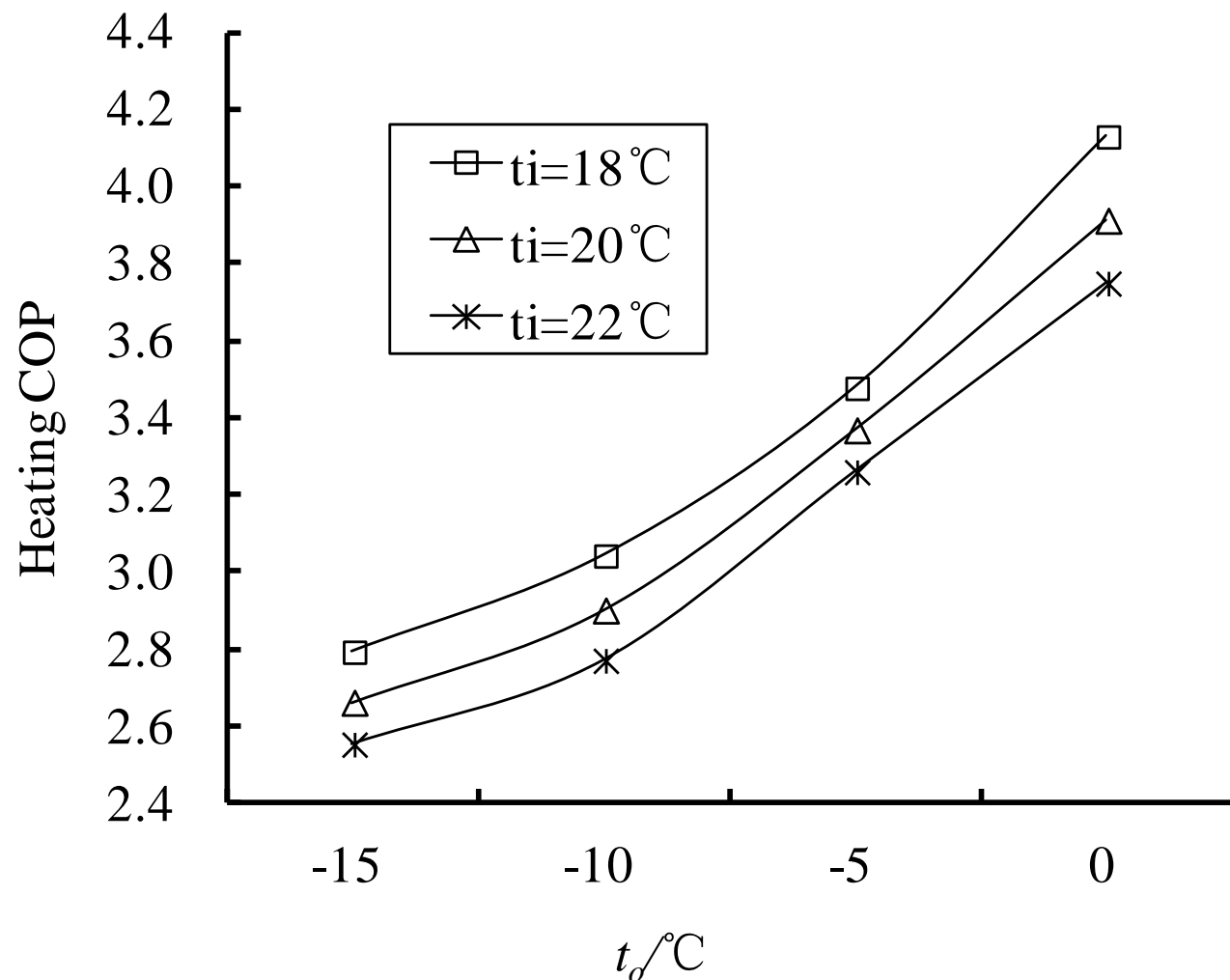
热管的饱和温度与热泵的冷凝温度之差小于1.5 °C

## 6、工程应用及测试结果

### 系统的性能系数

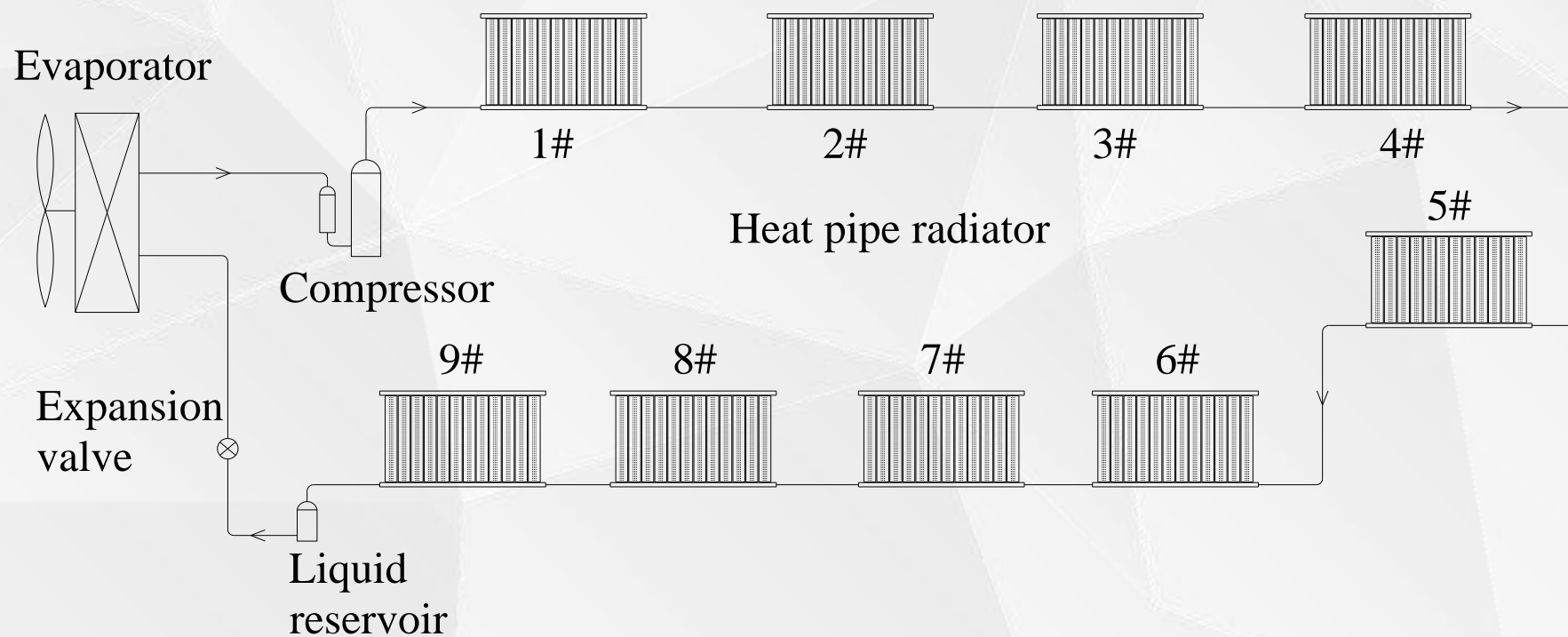
测试结果显示：在环境温度为 $-10^{\circ}\text{C}$ 时系统制热COP为2.9；环境温度为 $5^{\circ}\text{C}$ 时系统制热COP为3.8。

当前，家用小型水循环式蒸汽压缩式热泵在环境温度 $-10^{\circ}\text{C}$ ，室内回水温度 $41^{\circ}\text{C}$ 的工况下，其制热COP范围为2.4-2.6。



## 6、工程应用及测试结果

### 多联式样机的搭建

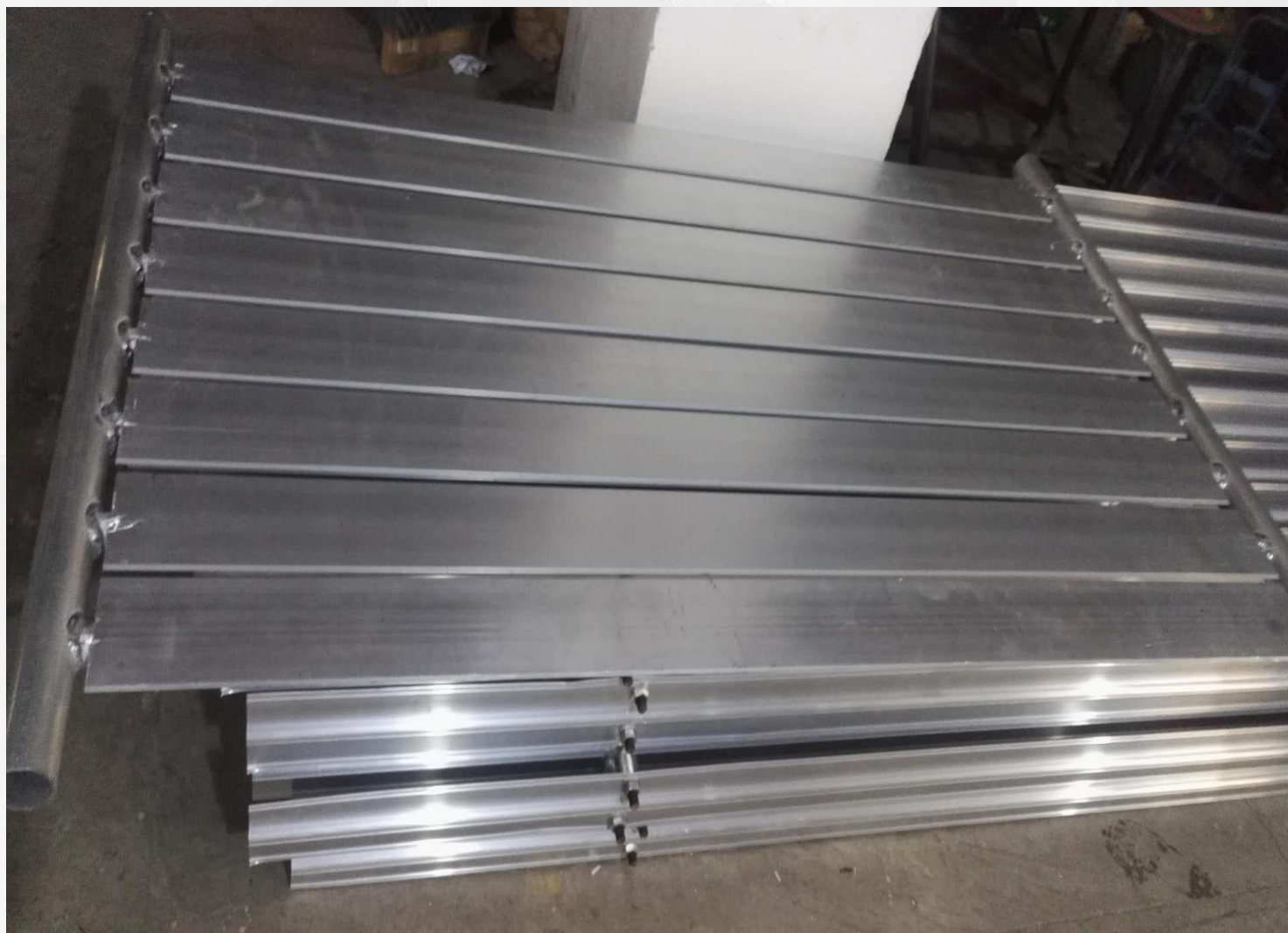


- 1、满足“京津冀”地区乡村多个房间供暖的实际情况；
- 2、材料由铜改为铝材，降低成本并简化结构；
- 3、连接方式，创造性地提出多个末端串联结构。



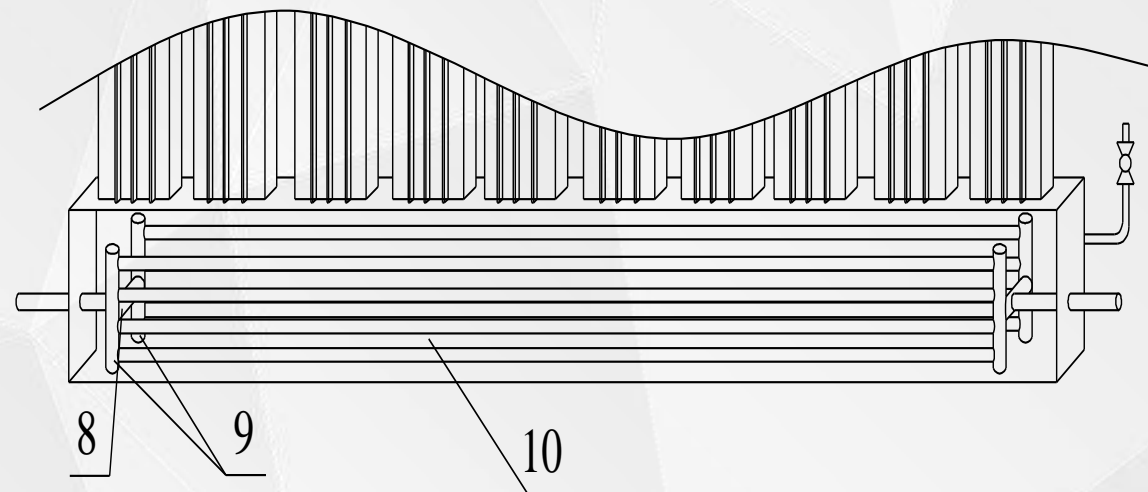
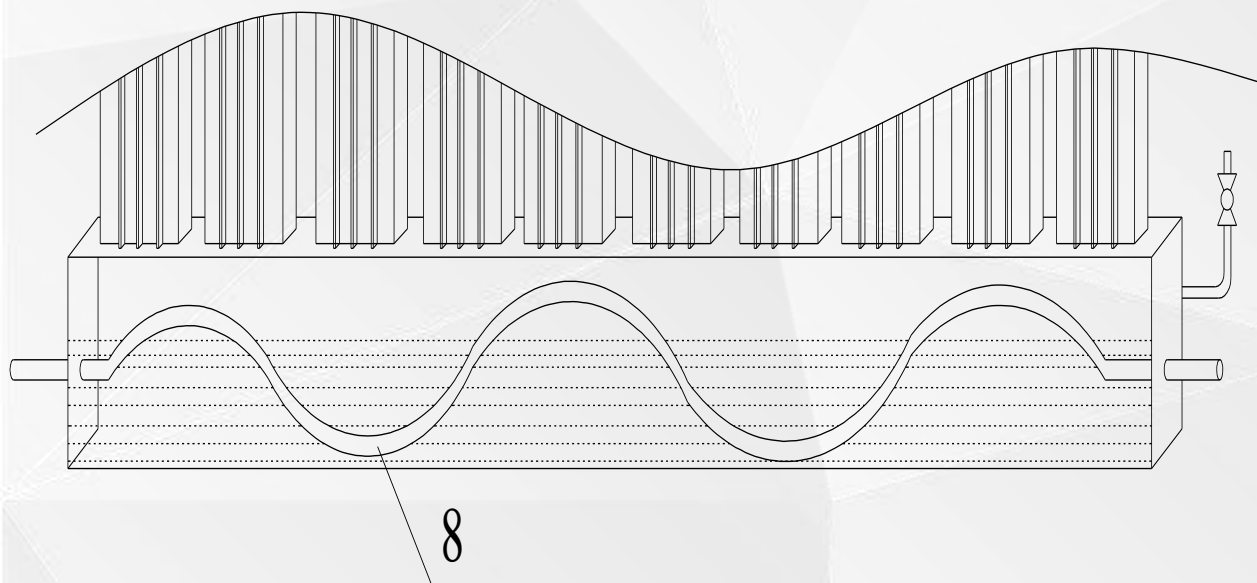
## 6、工程应用及测试结果

### 多联式样机末端



## 6、工程应用及测试结果

### 多联式样机末端



- 1、波纹型和纵向多管束。热量与充注量呈现线性增大关系。充注量可以调节散热量。
- 2、波纹型冷凝管起到分离润滑油和回油的作用。

## 6、工程应用及测试结果

### 多联式样机末端

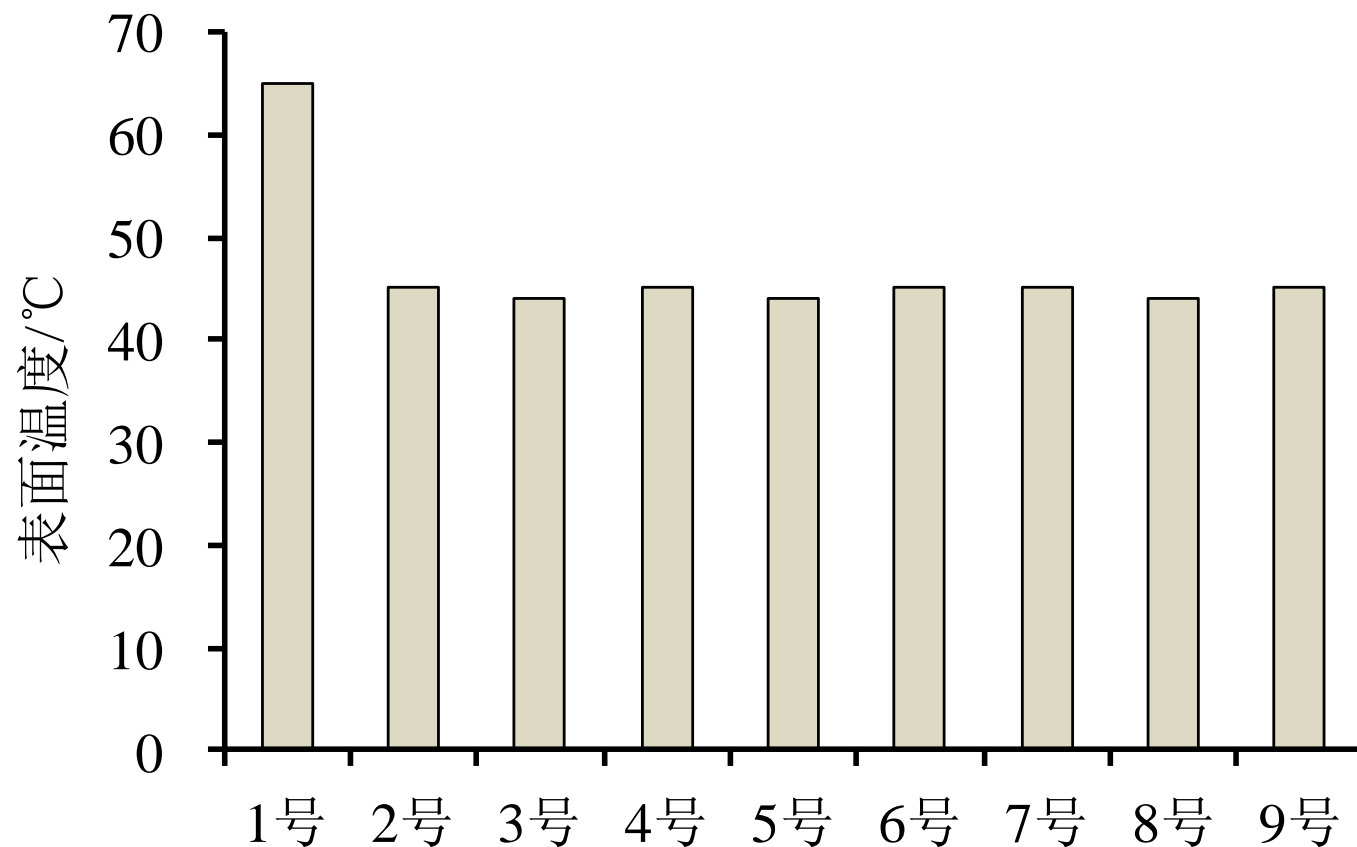




## 6、工程应用及测试结果

### 多联式样机测试结果

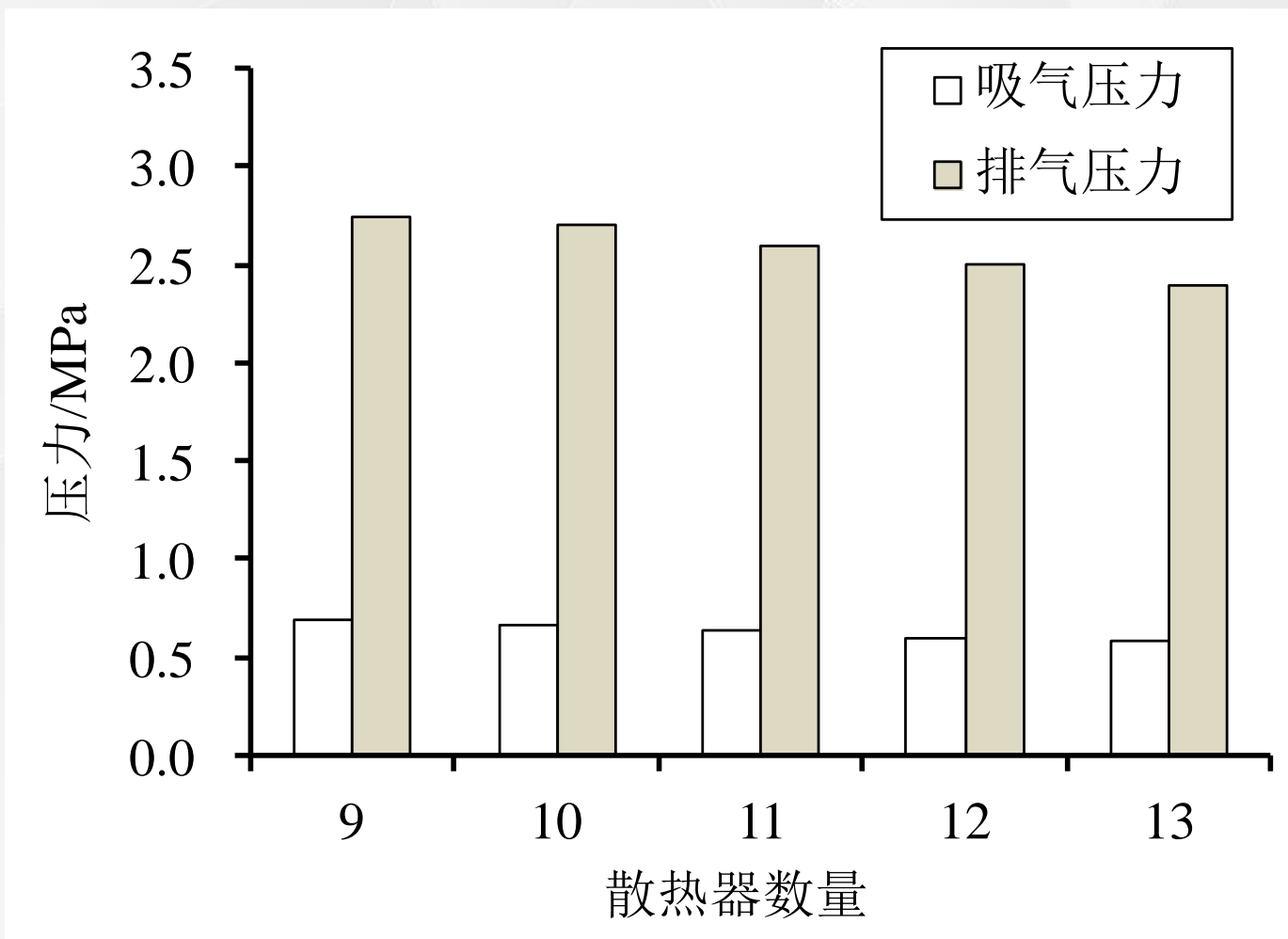
室内热管散热器表面温度情况。除了**第一台（1号）**温度高外，其余多台的表面温度基本相等，大约为 $45^{\circ}\text{C}$ ，1号的表面温度比其他高约 $20^{\circ}\text{C}$ ，为 $65^{\circ}\text{C}$ 。这主要是因为压缩机的排气首先进入到1号散热器内。



## 6、工程应用及测试结果

### 多联式样机测试结果

吸气压力和排气压力均随散热器的数量增加而降低。排气压力从2.7MPa降至2.5MPa，吸气压力从0.75MPa降低至0.55MPa。

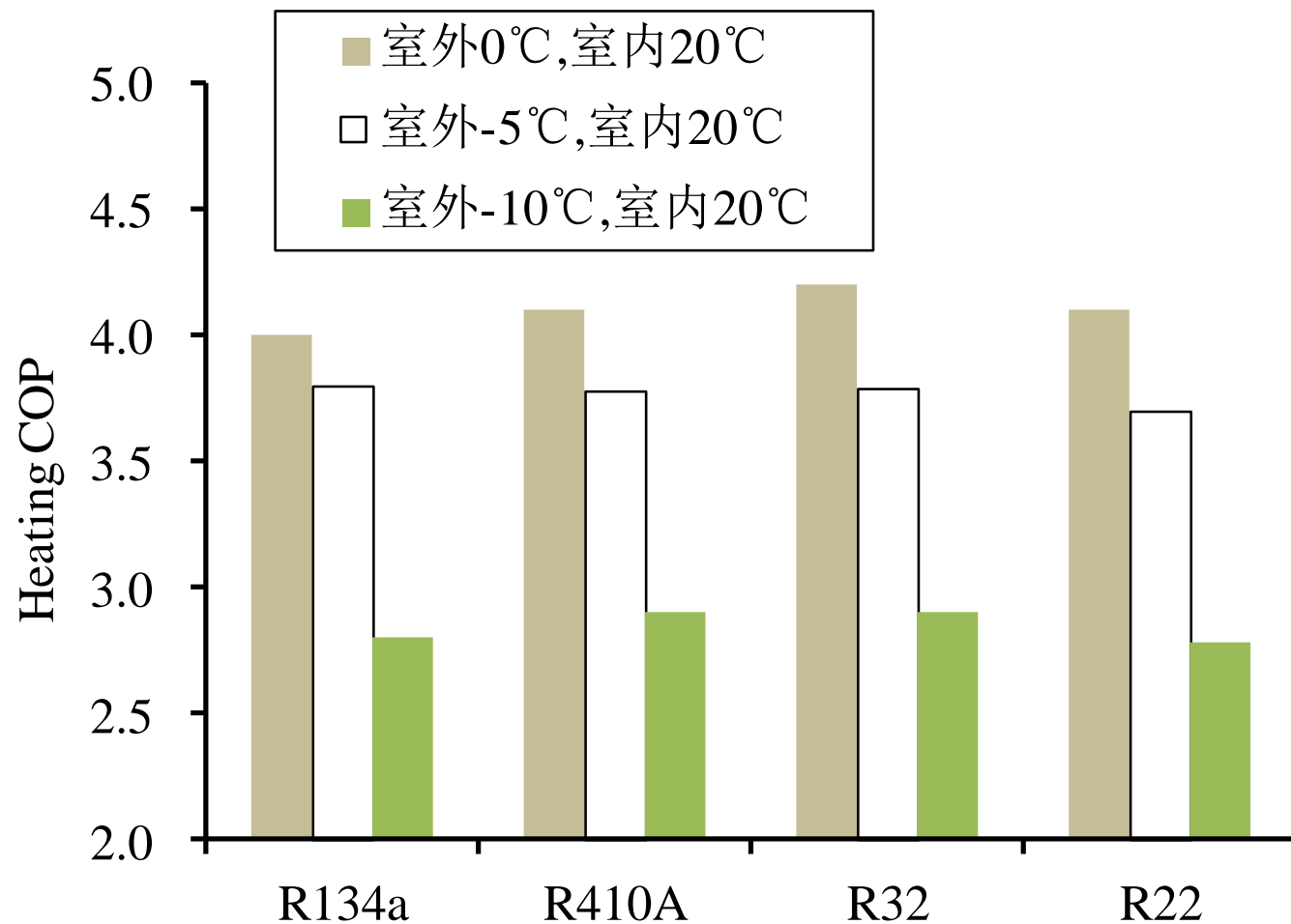




## 6、工程应用及测试结果

### 多联式样机测试结果

不同工质的制热COP稍有区别。室外温度-10度，室内20度时目前的测试约为2.7-3.0.



## 7、总结与展望

- 1、热泵/热管复合家用空气源热泵供热装置，特别是**多级串联型式**可以长时间高效稳定运行；
- 2、热管表面温度高、低差**在1 °C以内**，热泵冷凝温度与热管表面温度差距**低于1.5 °C**；
- 3、**R32及R410A**效果略优于其他氟利昂工质；
- 4、新的热泵能效，乐观估计高于水循环式**30%以上**没有问题。

## 7、总结与展望

- 1、热管式散热器的超薄化（微通道）？
- 2、常压高效环保的热管内工质的研制。
- 3、热辐射表面涂料的开发。
- 4、带有蓄热功能的热管式暖气片（油和制冷剂混合？）

谢谢各位！