



2019《家电科技》学术年会 (ASTC2019)

微通道扁管在冷柜系统中的应用研究及进展

刘迎文 博士 教授

先进热管理与能效方案研究组

Advanced Thermal Management & Energy Efficiency Solutions Team

2019.11 安徽 合肥





一、应用效果浅析



目录



研究背景及意义



微通道换热器的应用效果



微通道扁管冰柜性能分析



1 研究背景和意义

行业数据显示近几年冷柜产业呈现递增趋势，2017年度全国冷柜年产量达到2356.1万台；但是，冷柜的能效要求和时长准入门槛与而越来越高。



节能认证



能源之星



能效等级

开展冷柜节能研究具有巨大的经济效益，提质增效的节能技术研究成为行业热点。



1 研究背景和意义

一机四器

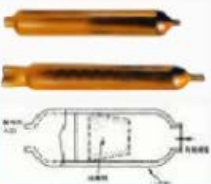


压缩机：压缩机是冷柜的心脏，它使冷柜的制冷系统完成连续循环。其功能是将蒸发器中吸收外界热量而气化的制冷剂吸入，压缩成高温高压的气体送到冷凝器。



冷凝器

制冷剂通过冷凝器将热量散发给周围空气中，由高温高压的气体冷凝为低温高压的液体；



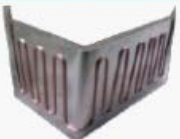
干燥过滤器

- 一、滤除制冷系统中的杂物（如润滑油、金属屑、灰尘等），防止杂物堵塞毛细管，损坏压机；
- 二、吸收制冷系统中的残留水份，防止产生冰堵，减少水份对制冷系统的腐蚀作用。



毛细管

毛细管的作用是节流降压。
制冷剂进入毛细管，因其通道细长受阻，而被节流降压，变为低温低压的液体。



蒸发器

蒸发器的作用是使制冷剂从毛细管进入蒸发器后，因压力降低而迅速蒸发，吸取柜内食品的热量使柜内食品的温度下降，达到冷冻和冷藏的目的。

冷凝器：

与环境换热向外散热，负荷最大

蒸发器：

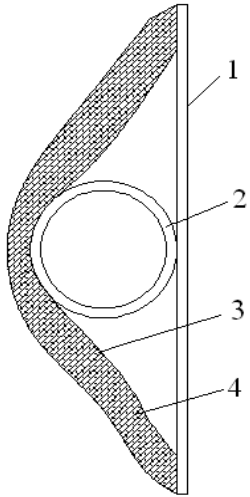
快速降温和高能效的关键



开展冷柜制冷系统两器的节能研究
对于实现冷柜节能具有重要的工程
意义和经济价值



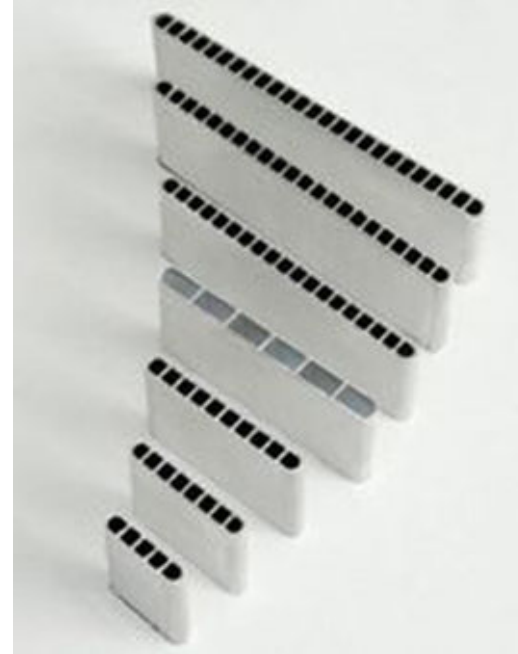
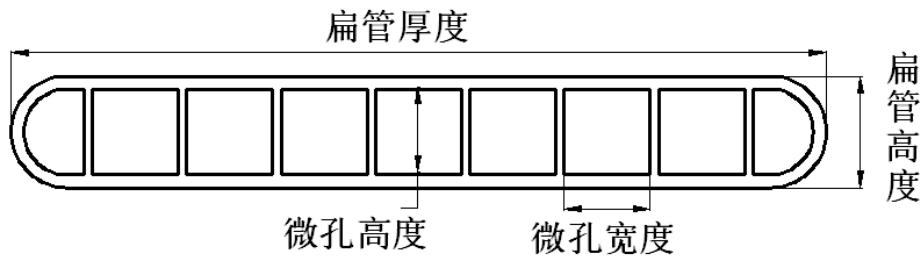
1 研究背景和意义



圆管换热器

- 线接触
- 有限换热面积
- 换热效率低

性能提升



微通道换热器：

- 紧凑高效、成本低廉，换热效率高、接触热阻小、换热面积大
- 平整接触面有利于增加换热器管材与冷柜壁板/箱胆的换热面积



2 微通道换热器的应用效果

微通道蒸发器

名称	圆管样机	微通道蒸发器样机
冷库/°C	-18	-18
功率/W	57.83	57.11 ↓ 1.25%
运行率/%	36.26	34.74 ↓ 4.19%
日耗电量 / kW·h/24h	0.5310	0.5053 ↓ 4.84%

微通道蒸发器具有较大**节能优势**!

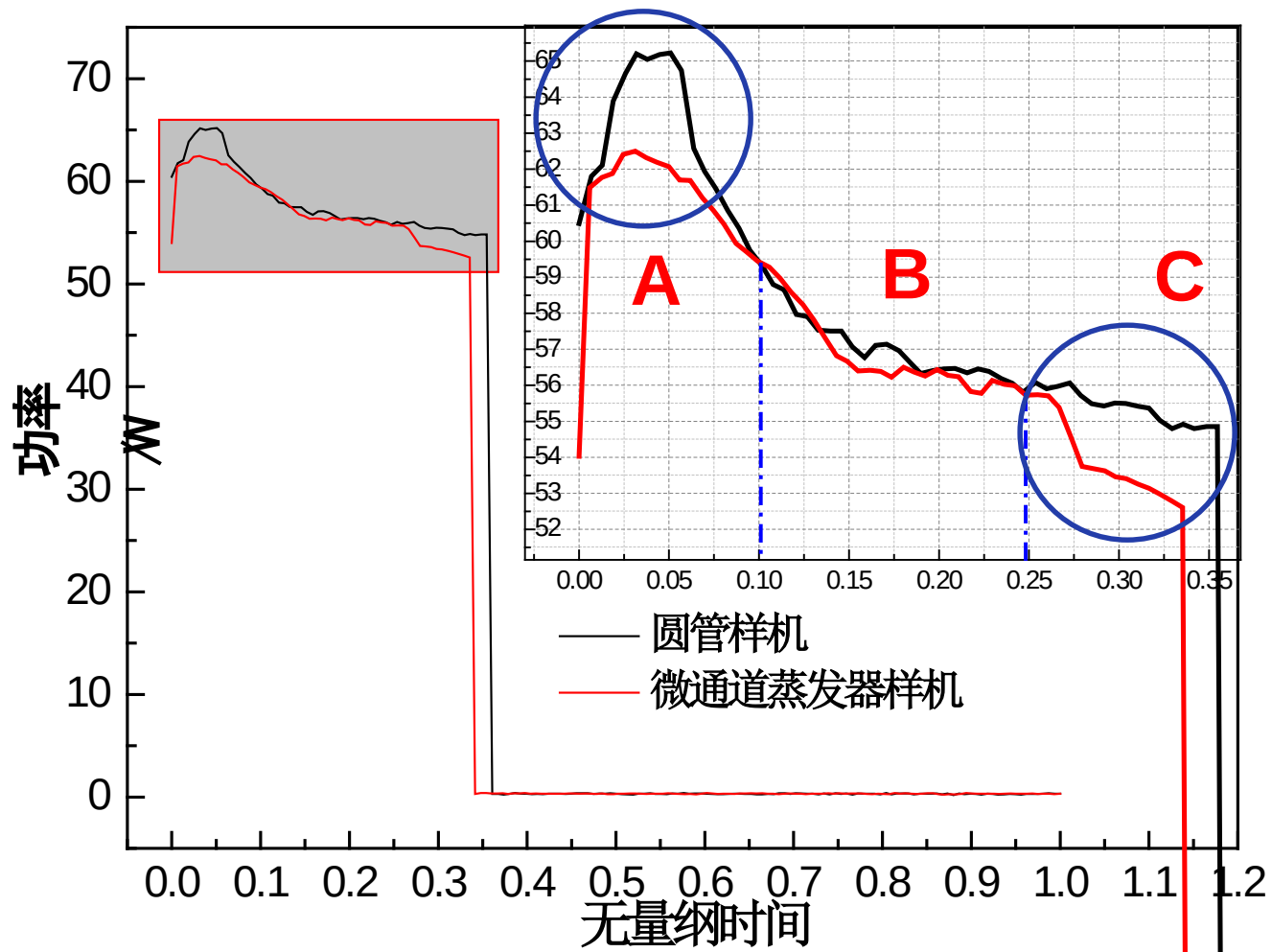
微通道冷凝器

型号	传热长度变化	耗电量/kW·h/24h
原管样机	100%	0.543
微通样机1	85.71%	0.553
微通样机2	71.43%	0.584
微通样机3	57.14% ↓ 42.86%	0.537 ↓ 1.1%

微通道冷凝器在**节材降耗**方面可行性较好!



3 微通道扁管冰柜性能分析—功率



微通道样机功率

- 开机初期，功率偏低约3W
- 开机中期：相当
- 开机末期：功率偏低约2W

单位工质功耗

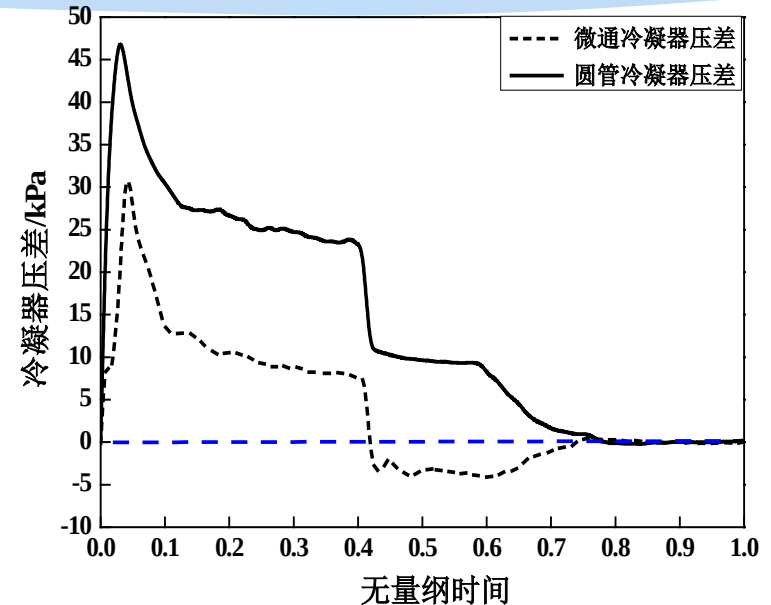
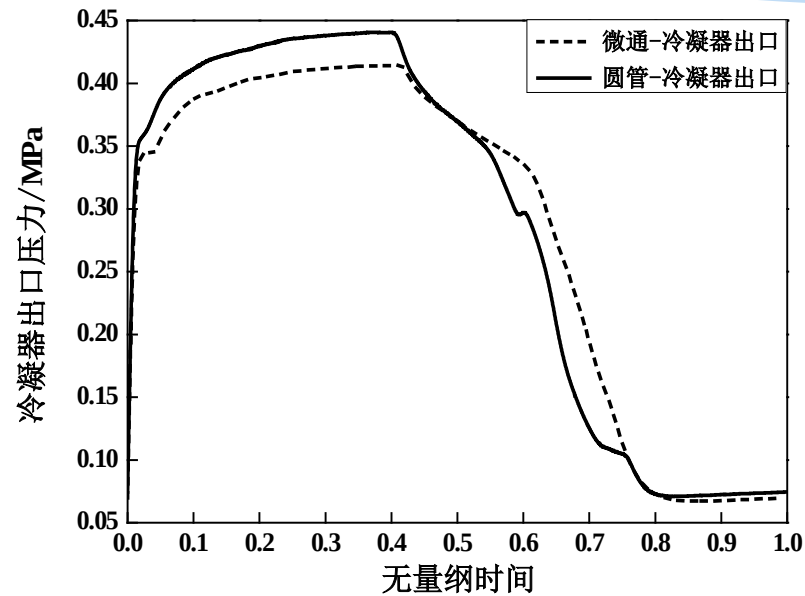
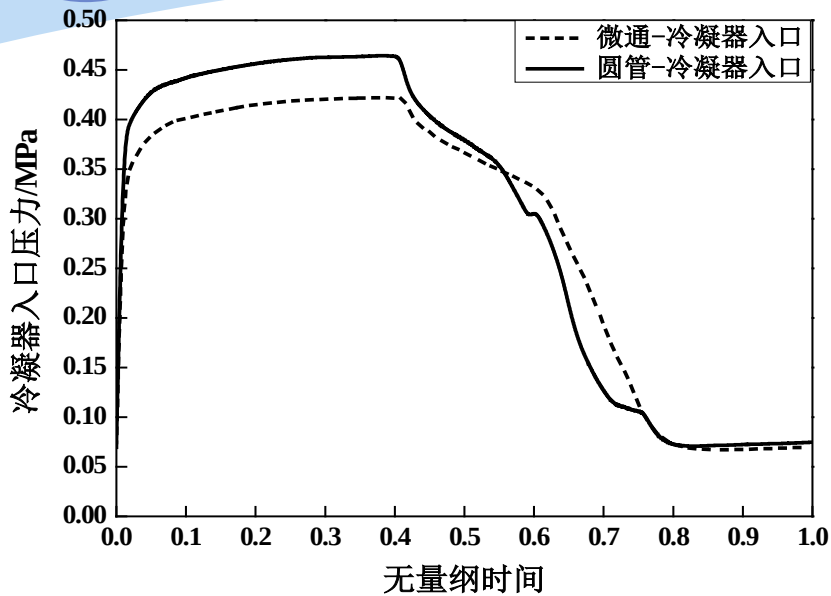
×

流量变化幅度

压缩机功耗 ↓



3 微通道扁管冰柜性能分析—压力



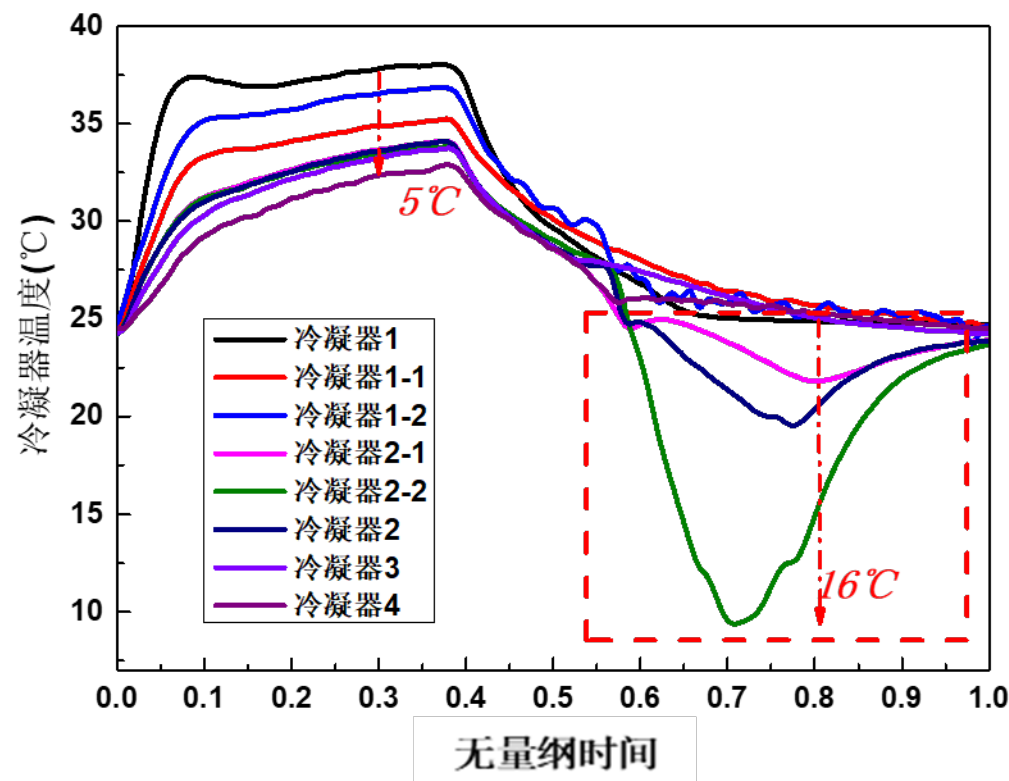
- 冷凝器入口压力：微通道低 42 kPa
- 冷凝器出口压力：微通道低 28 kPa
- 冷凝器压降：微通道 10 kPa；圆管 25 kPa

- 圆管换热器长度：100%
- 微通道换热器长度：71.43%
- 单位长度下圆管冷凝器压降更大

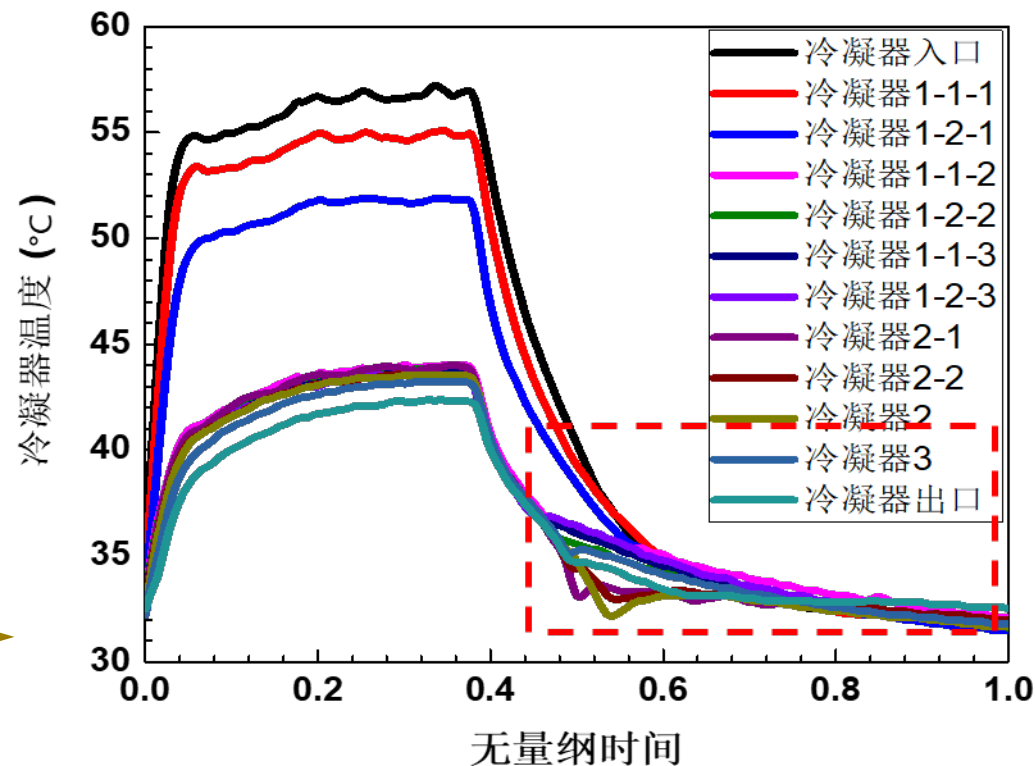
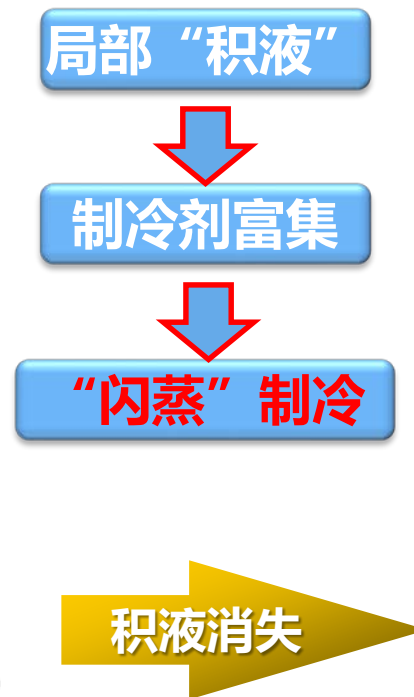
串并联结构前部分为双流路结构，实现了制冷剂分流作用：制冷剂流速较小、压降较小



3 微通道扁管冰柜性能分析—制冷剂富集现象



结构改进前



结构改进后



二、动态特性探讨



目录



引言



启停过程温压特性



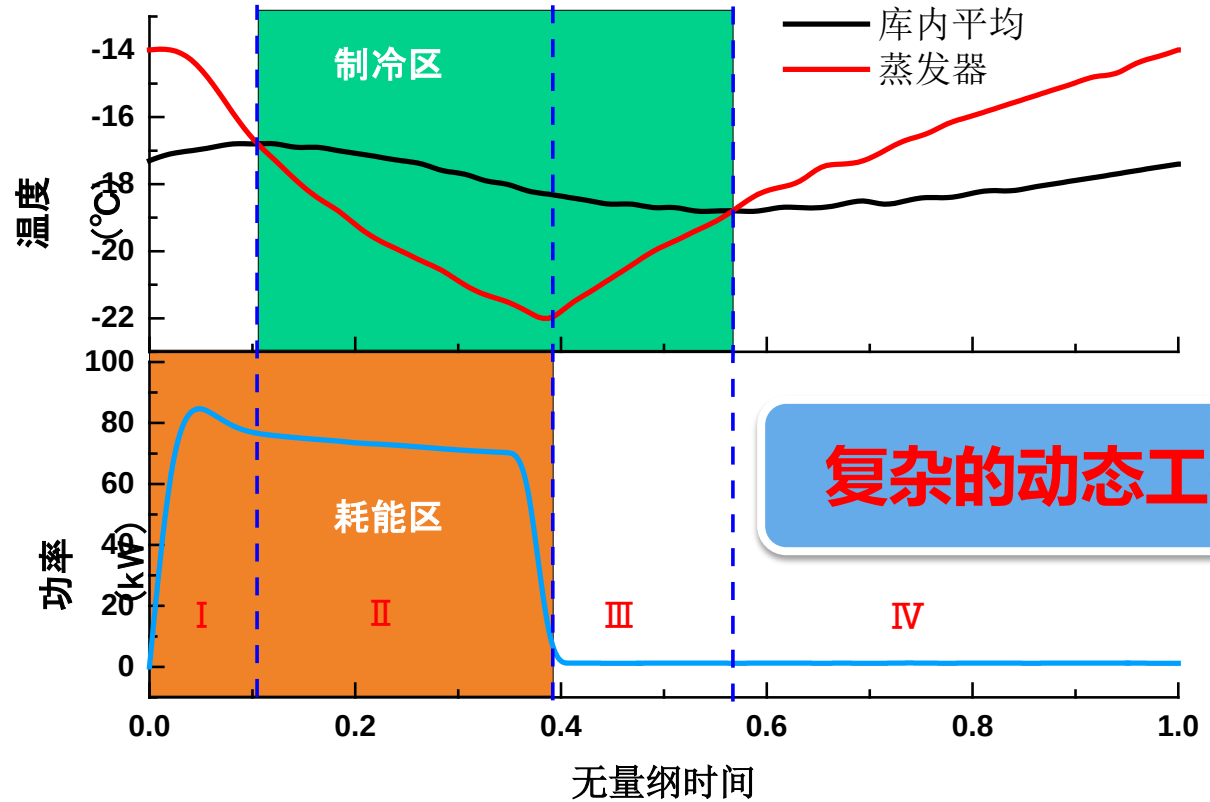
制冷剂迁移特性



制冷剂的变负荷分布特性



1 引言

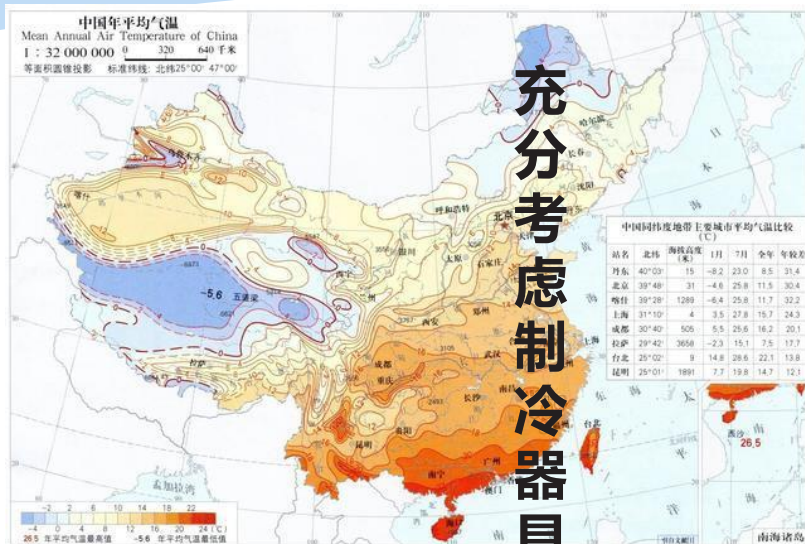


I	II	III	IV
冷媒迁移区	有效制冷区	附加制冷区	冷媒平衡区



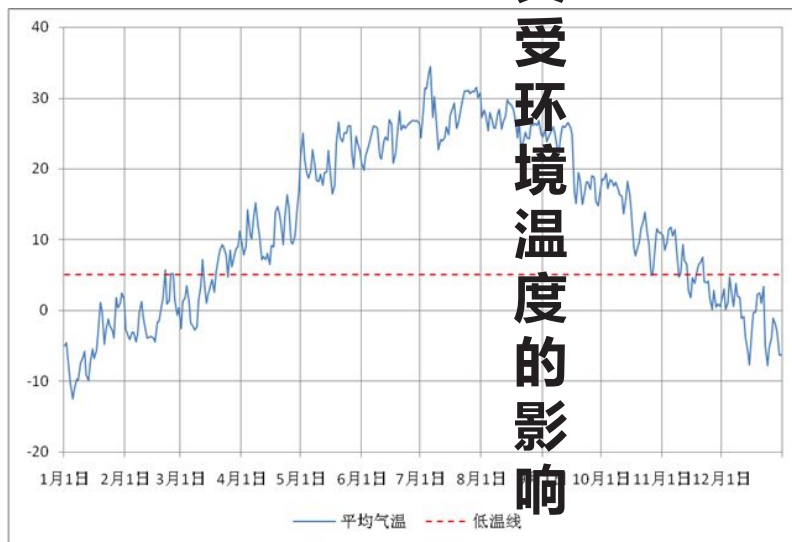
1 引言

中国年平均气温



充分考虑制冷器具受环境温度的影响

北京日平均气温图



GB/T 8059-2016 家用和类似用途制冷器具 耗电量测试方法的变化

16 耗电量试验

16.1 一般要求

本试验的目的是测量器具在规定试验条件下的耗电量。

16.2 试验程序

16.2.1 环境温度

耗电量测试应在环境温度 16 °C 和 32 °C, 相对湿度 45%~75% 条件下分别进行测试。

※环境温度改变

旧国标: 25°C单环境温度

新国标: 16°C和32°C双环境温度

年耗电量来代替原来的日耗电量

机遇

挑战

开展变环温下冷柜制冷系统的热力特性研究, 对开发
高能效冷柜具有重要学术价值和工程指导意义



1 引言

研究现状

➤ 研究手段

- ❑ 称重法
- ❑ 状态方程
 - 冷媒捕捉
 - 膨胀过热

➤ 分布特性研究

- ❑ 瞬态（定负荷）
- ❑ 稳态（变负荷）

系统复杂
周期太长

无法应对
新国标要求

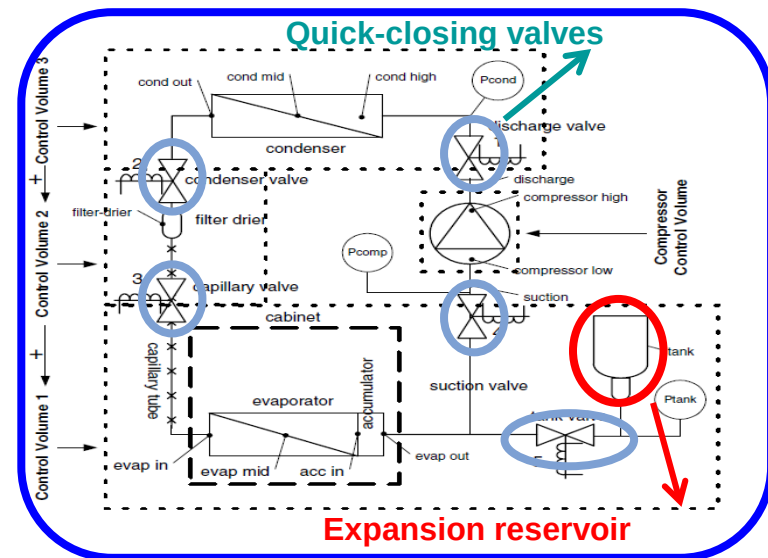
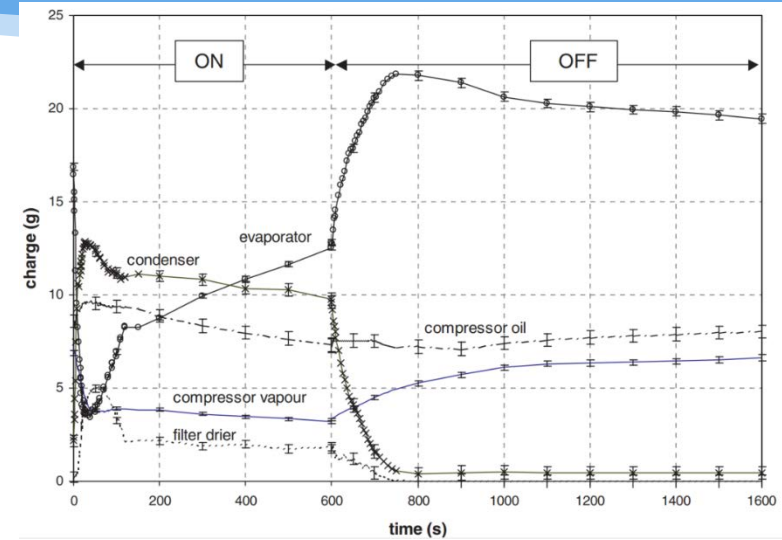
基于温度特性 （本工作） 瞬态 & 变负荷

简单

快速

有效

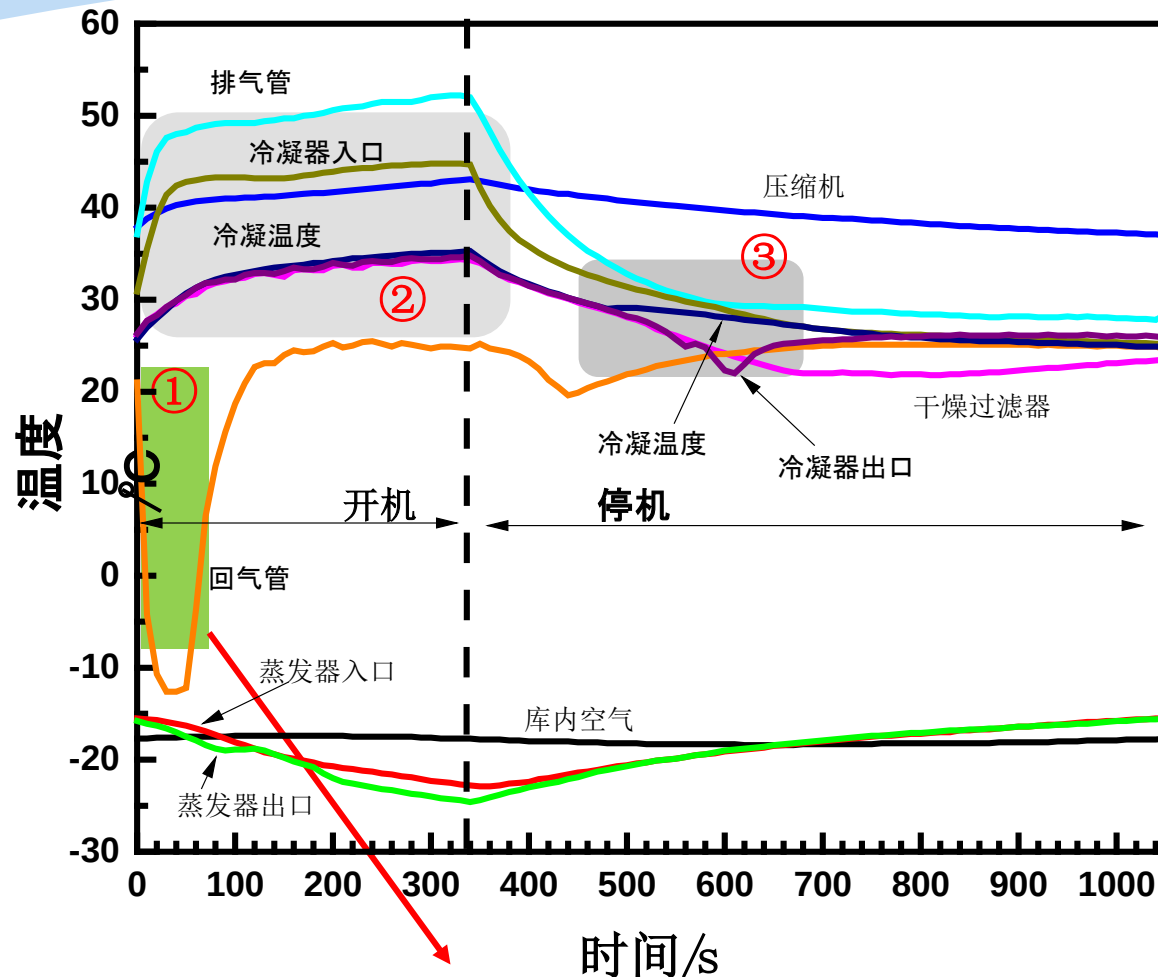
关键技术：
制冷剂分布与迁移特性快速预测





2 启停过程温度特性及制冷剂分布

旧国标: 25°C环境温度



① 回气温度迅速下降

液态制冷剂出流, 制冷剂“闪蒸”降温

➤ 开机阶段(0~340s)

- 制冷剂重新分配

- 蒸发器 → 冷凝器

➤ 停机阶段(340~1050s)

- 制冷剂迁移过程

- 冷凝器 → 蒸发器

- 压缩机流量迅速减小, 毛细管流量变化较慢

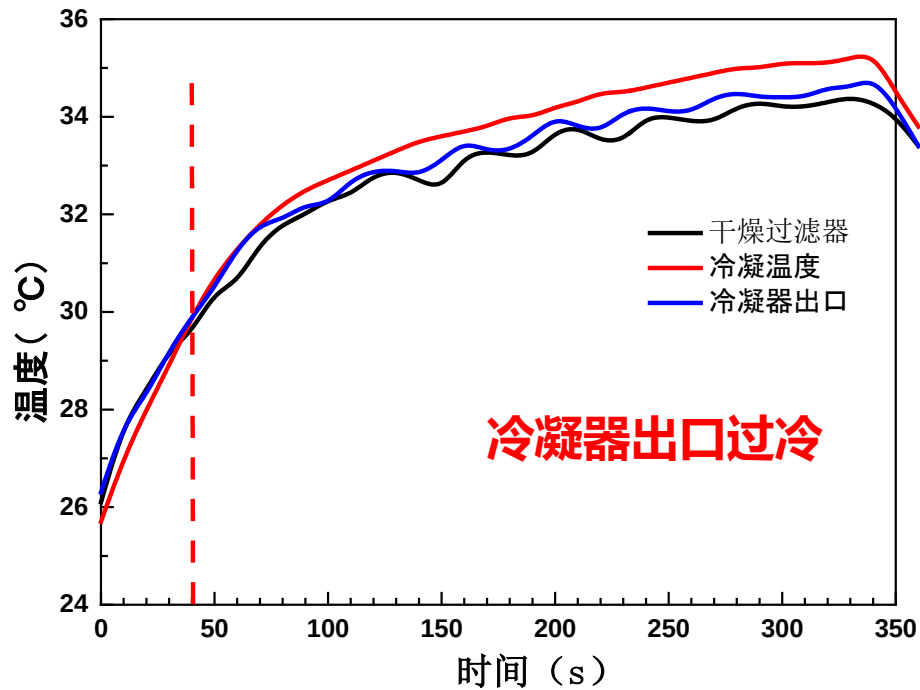
- 系统内压力平衡, 蒸发器内储存大量制冷剂



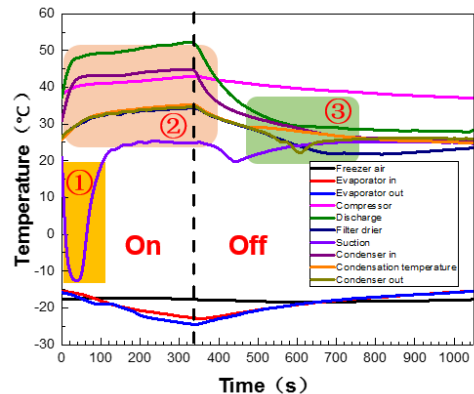
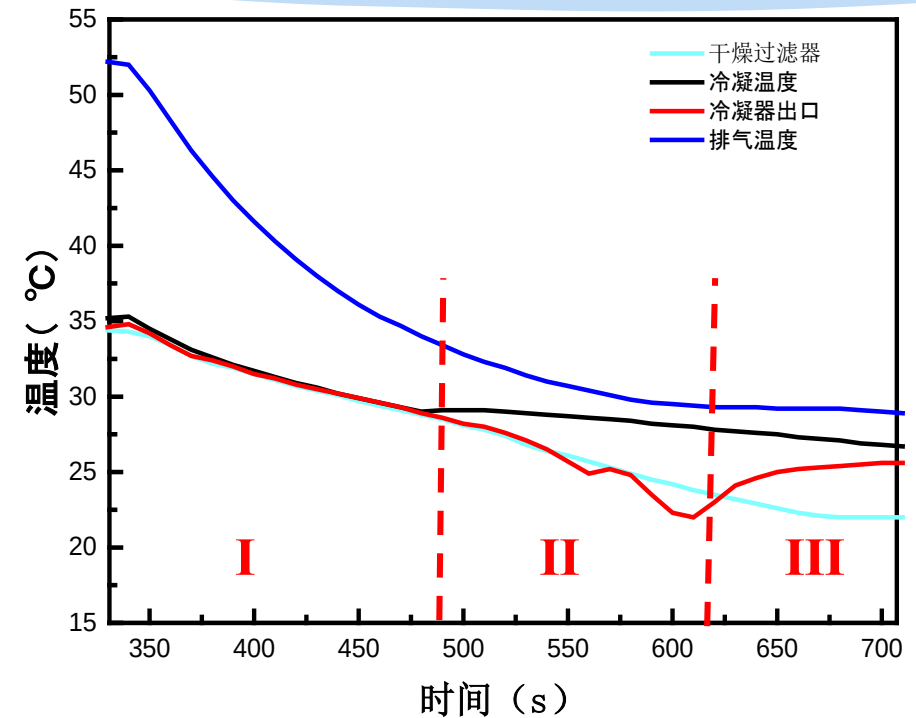
2 启停过程温度特性及制冷剂分布

旧国标：25℃环境温度

② 开机阶段



③ 停机阶段



➤ 毛细管入口

● “液封” 建立需要时间

➤ 冷凝器出口状态变化:

● 过热 → 过冷

➤ 冷凝器温度偏离冷凝温度

相变过程逆转 液体全部蒸发

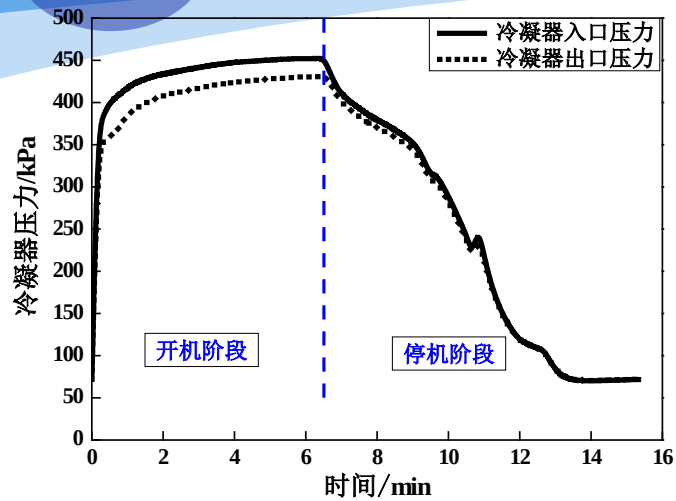
➤ 干燥过滤器温度偏离冷凝温度

“液封” 被破坏 多孔结构易积液体

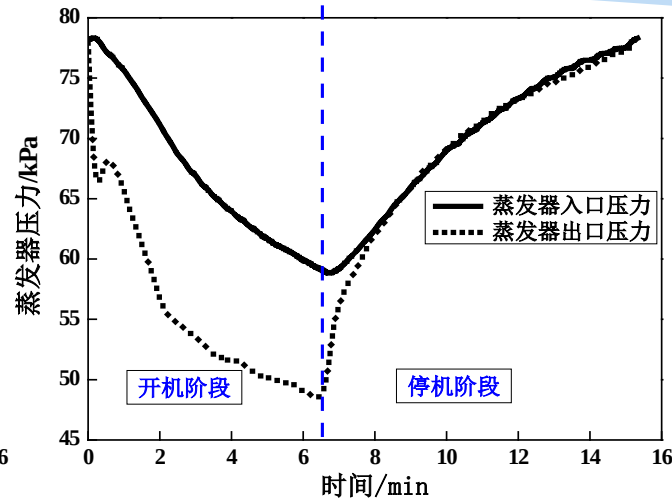


2 启停过程压力特性及制冷剂分布

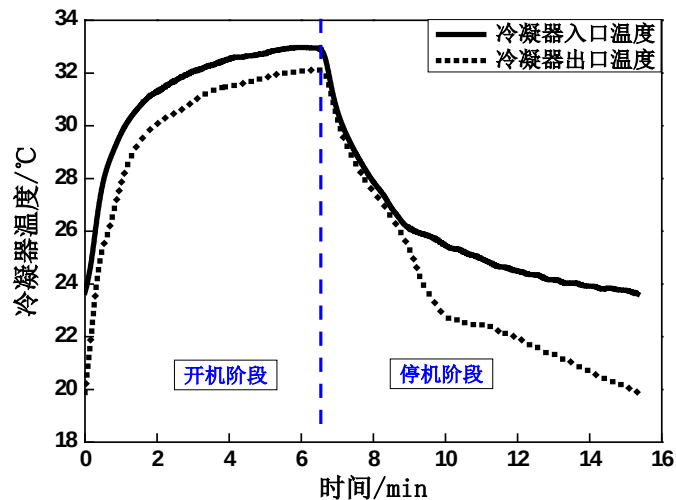
旧国标：25℃环境温度



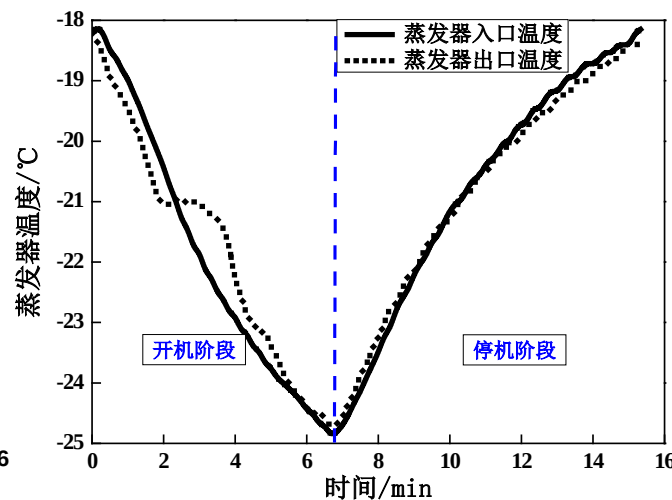
冷凝器压力



蒸发器压力



冷凝器温度



蒸发器温度

启动初期

- 流量：压缩机 > 毛细管
- 制冷剂向冷凝器迁移
- 冷凝器：压力/温度升高
- 蒸发器：压力/温度降低

启动中期

- 流量：压缩机↓；毛细管↑
- 冷凝器：压力/温度升高
- 蒸发器：压力下降导致入口段的液态制冷剂不断闪发并向出口迁移

启动后期

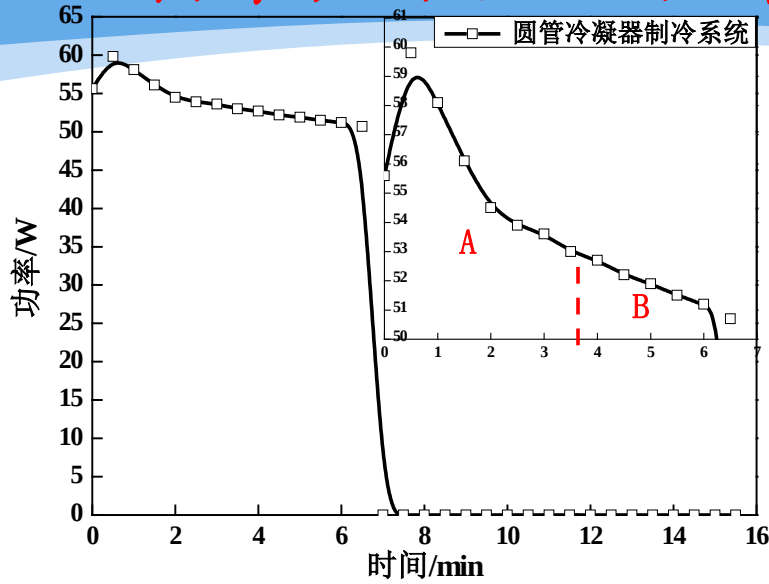
- 流量逐渐平衡
- 冷凝器温度和压力相对稳定
- 蒸发器有效制冷并制冷量达到最大



2 启停周期内能效分析

旧国标：25℃环境温度

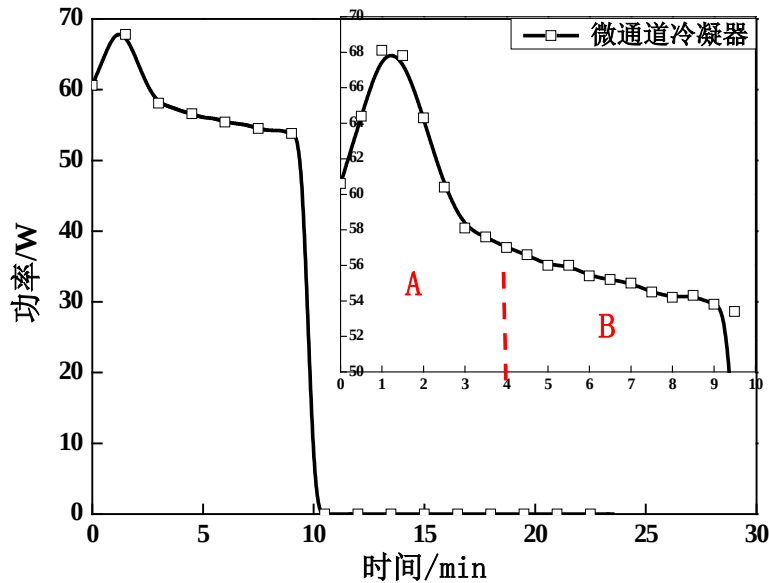
圆管样机



开机阶段	时间长度 /min	平均功率 /W	单周期能耗 /kW	能耗占比 /%
A阶段	3	56.0	2.33	42.83
B阶段	3.5	51.9	3.11	57.17

A阶段：制冷剂重新分配
B阶段：系统有效制冷

微通道样机



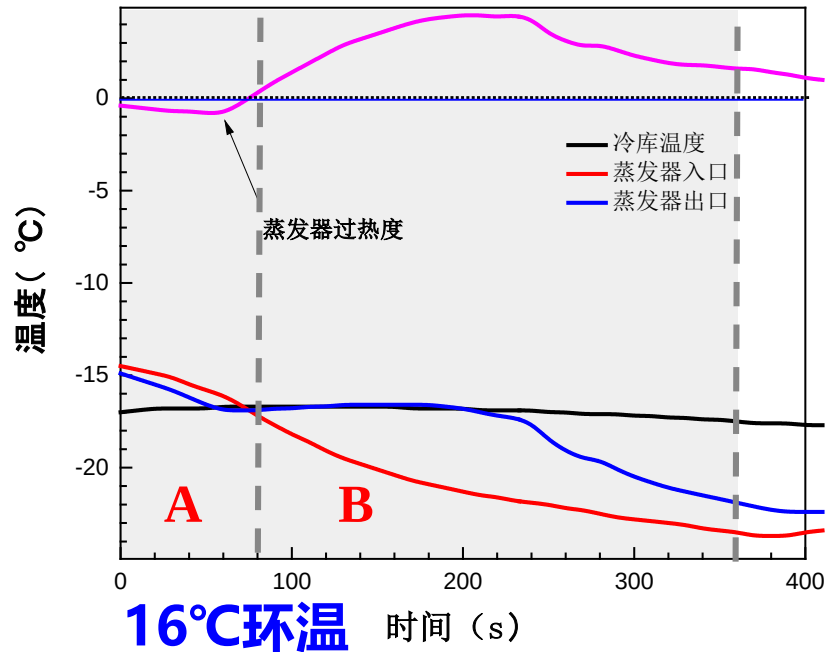
开机阶段	时间长度 /min	平均功率 /W	单周期能耗 /kW	能耗占比 /%
A阶段	4	62.21	3.48	40.98
B阶段	4.5	54.94	5.01	59.02



3 制冷剂迁移特性

新国标：双环境温度

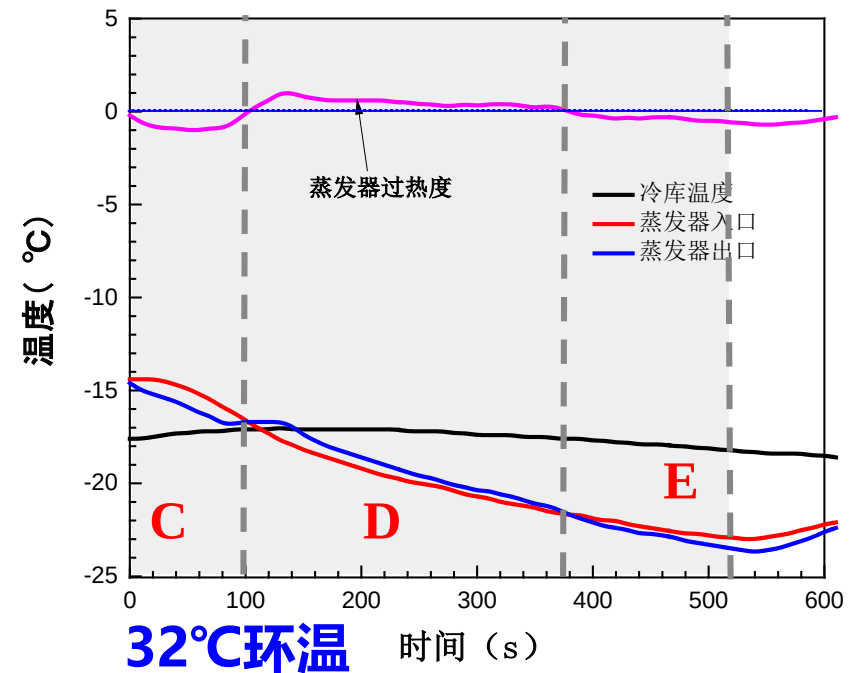
开机分配



□ 毛细管初始流量极小

➤ 16°C环温(360s)

- A:80s, 无冷量输出
- B:280s, 过热 蒸汽扩散至出口
- 压机启动, “段塞流” 实现快速分配



□ 制冷剂由蒸发器经压缩机实现再分配

➤ 32°C环温(520s, 开机更长)

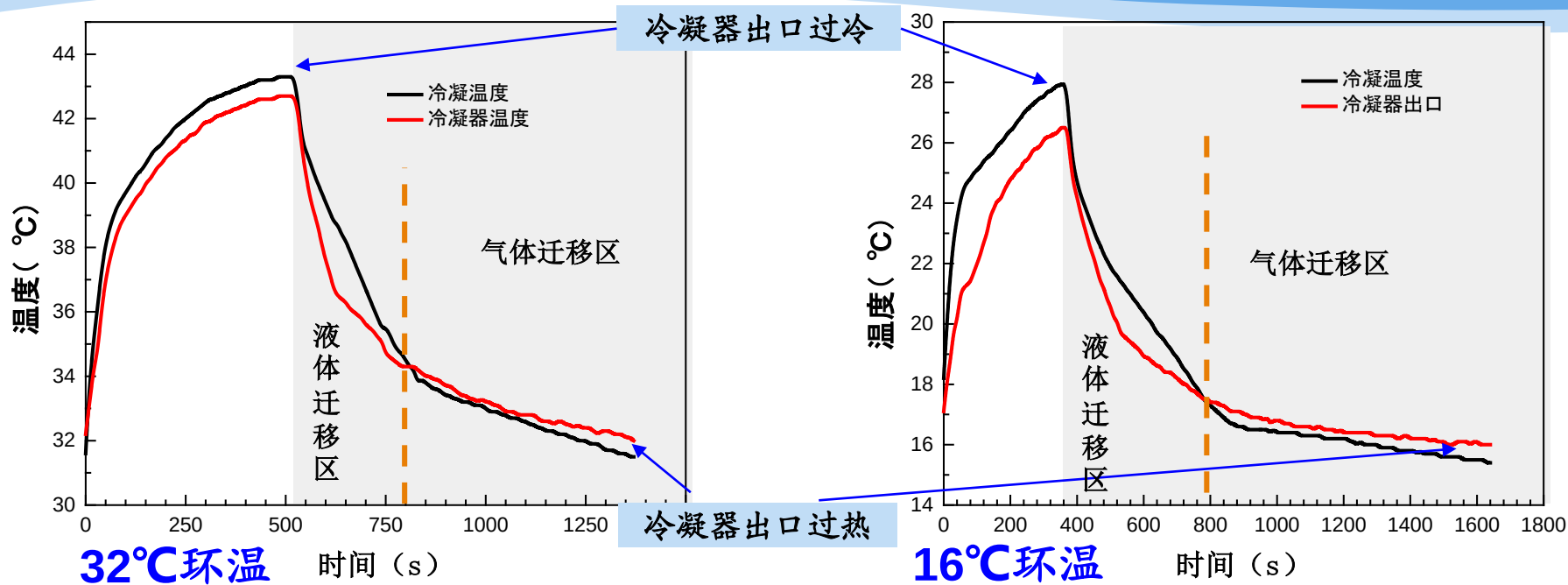
- C:100s, 冷量损失更大
- D:280s & E:140s
- “段塞流” 不易发生 (蒸发器饱和和工作状态)



3 制冷剂迁移特性

新国标：双环境温度

停机迁移



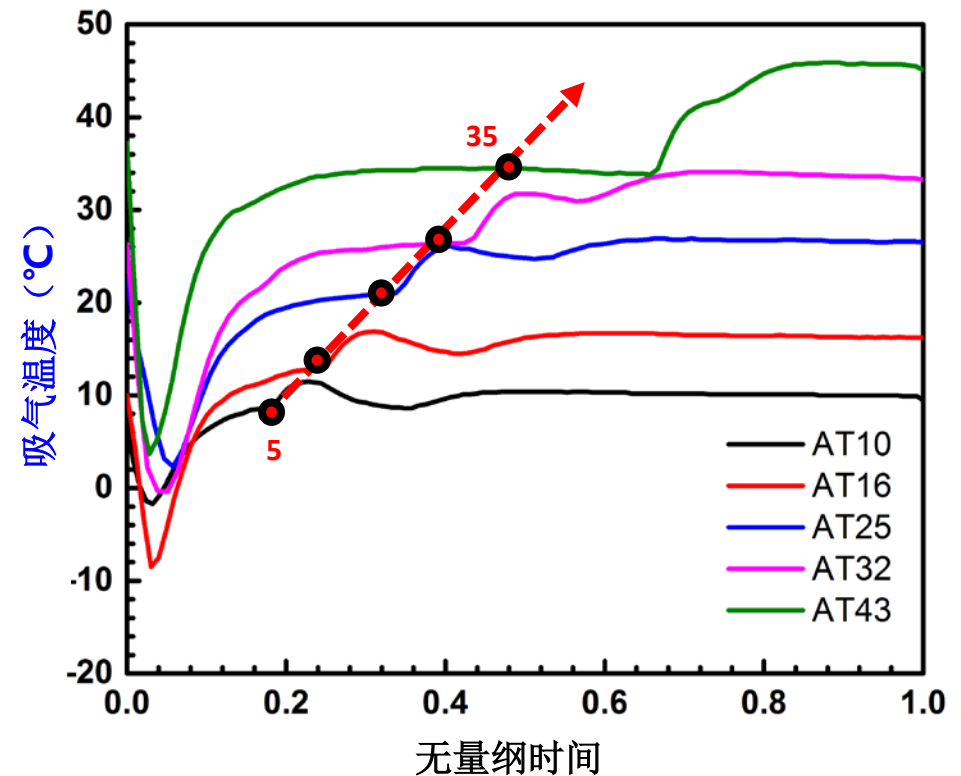
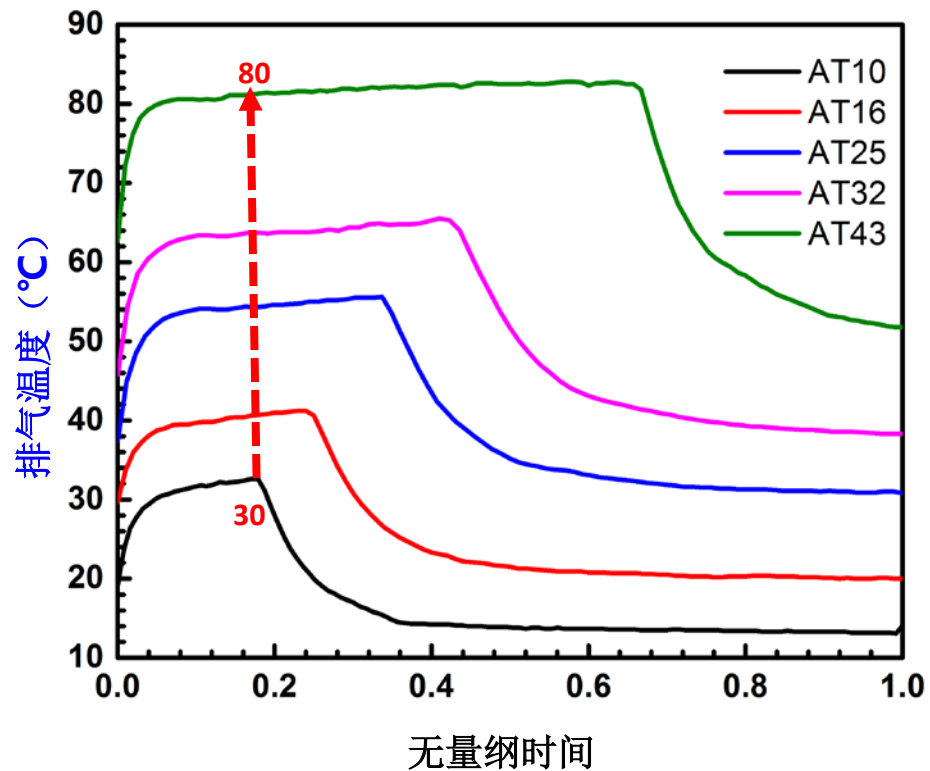
	开机过程			停机过程			运行率 /%
	阶段	时长/s	相对时长	阶段	时长/s	相对时长	
32 °C环温	无冷量输出	100	7.29 %	液体迁移	290	21.17 %	37.96%
	有效制冷	420	30.66 %	气相迁移	560	40.88 %	
16 °C环温	无冷量输出	80	4.88 %	液体迁移	420	25.61 %	21.95%
	有效制冷	280	17.07 %	气相迁移	860	52.44 %	

高环温下制冷剂迁移特性是冷柜系统节能研究的关键



4 制冷剂的变负荷分布特性

多环境温度



- 环温升高, 排气/吸气温度均上升
- 高压侧温度增幅 >> 低压侧温度增幅

高环温 大压比



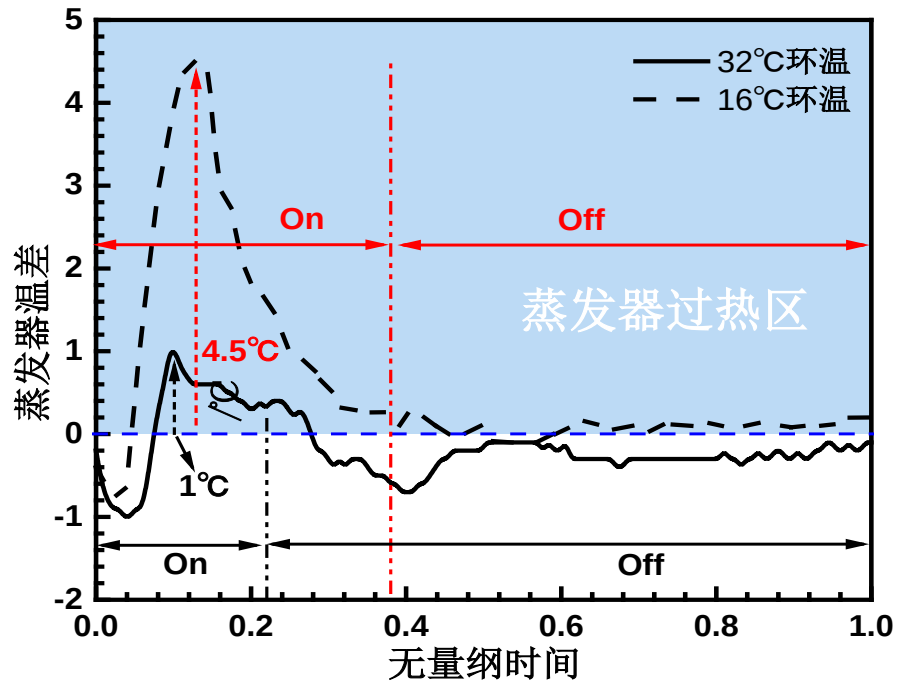
迁移驱动力增大



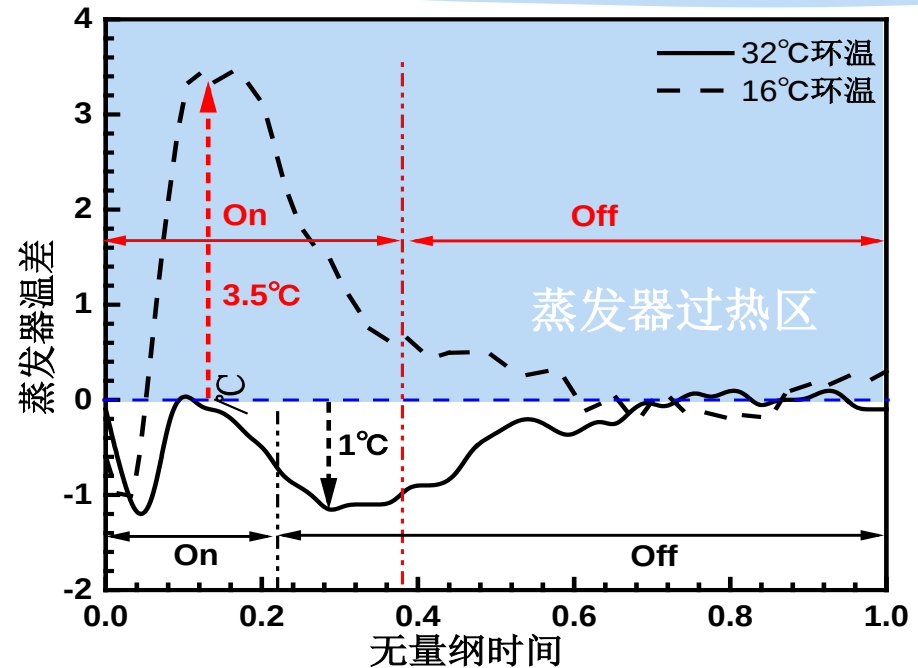
4 制冷剂的变负荷分布特性

过热水平对比 (变负荷)

微通道冷凝器样机



圆管冷凝器样机



➤ 32 °C环温 鲜有过热

➤ 16°C环温 均有明显过热

环温影响
高压侧>低压侧



低环温下
系统压比减小



制冷剂迁移动力
(压比) 减弱



冷凝器中积液
蒸发器制冷剂不足



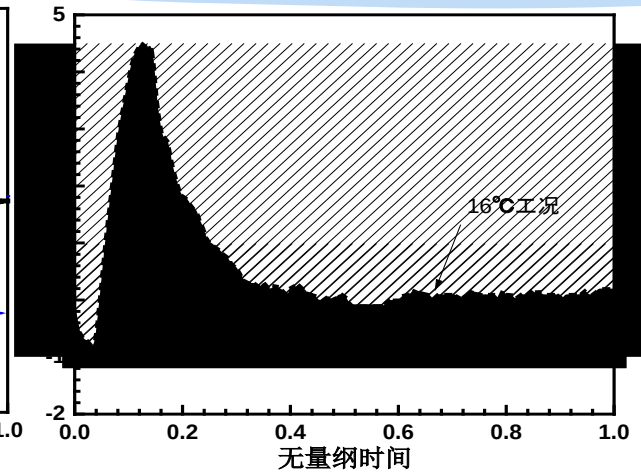
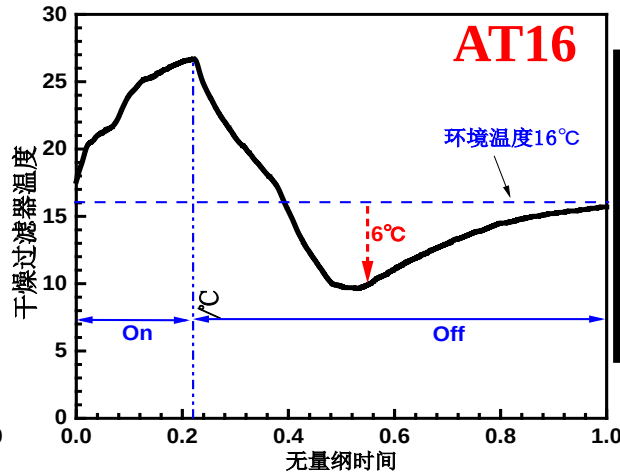
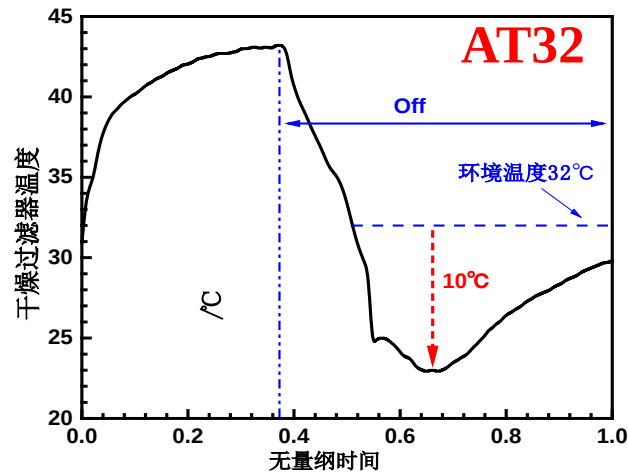
蒸发器过热
出口>入口

低环温下蒸发器内的制冷剂贮量不足

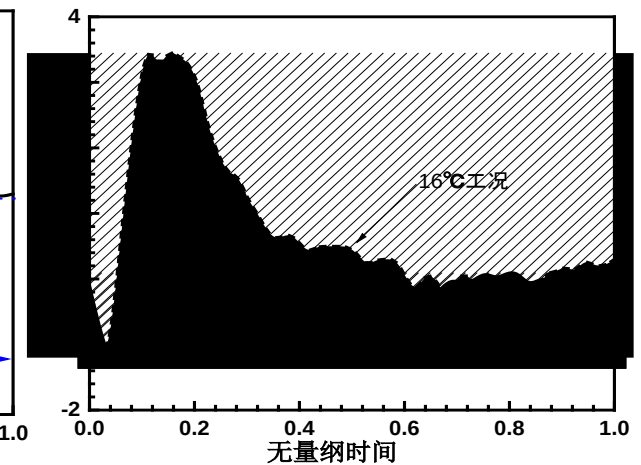
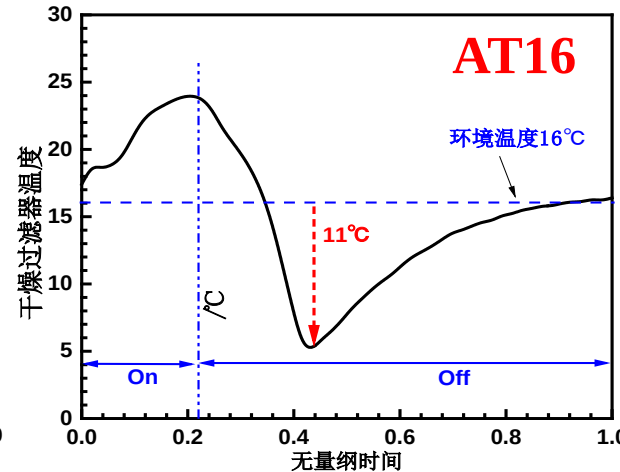
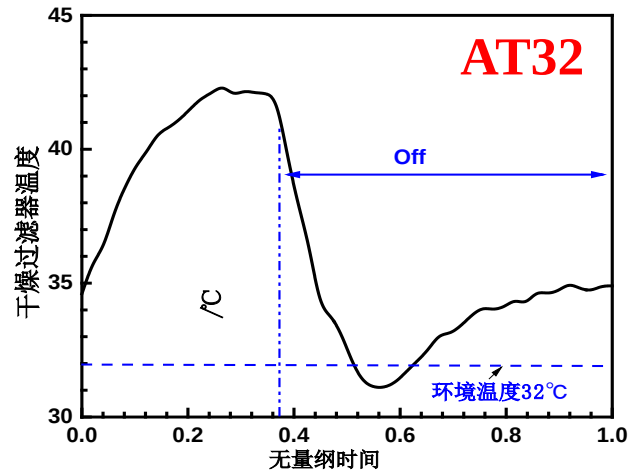


4 制冷剂的变负荷分布特性

微通道冷凝器样机

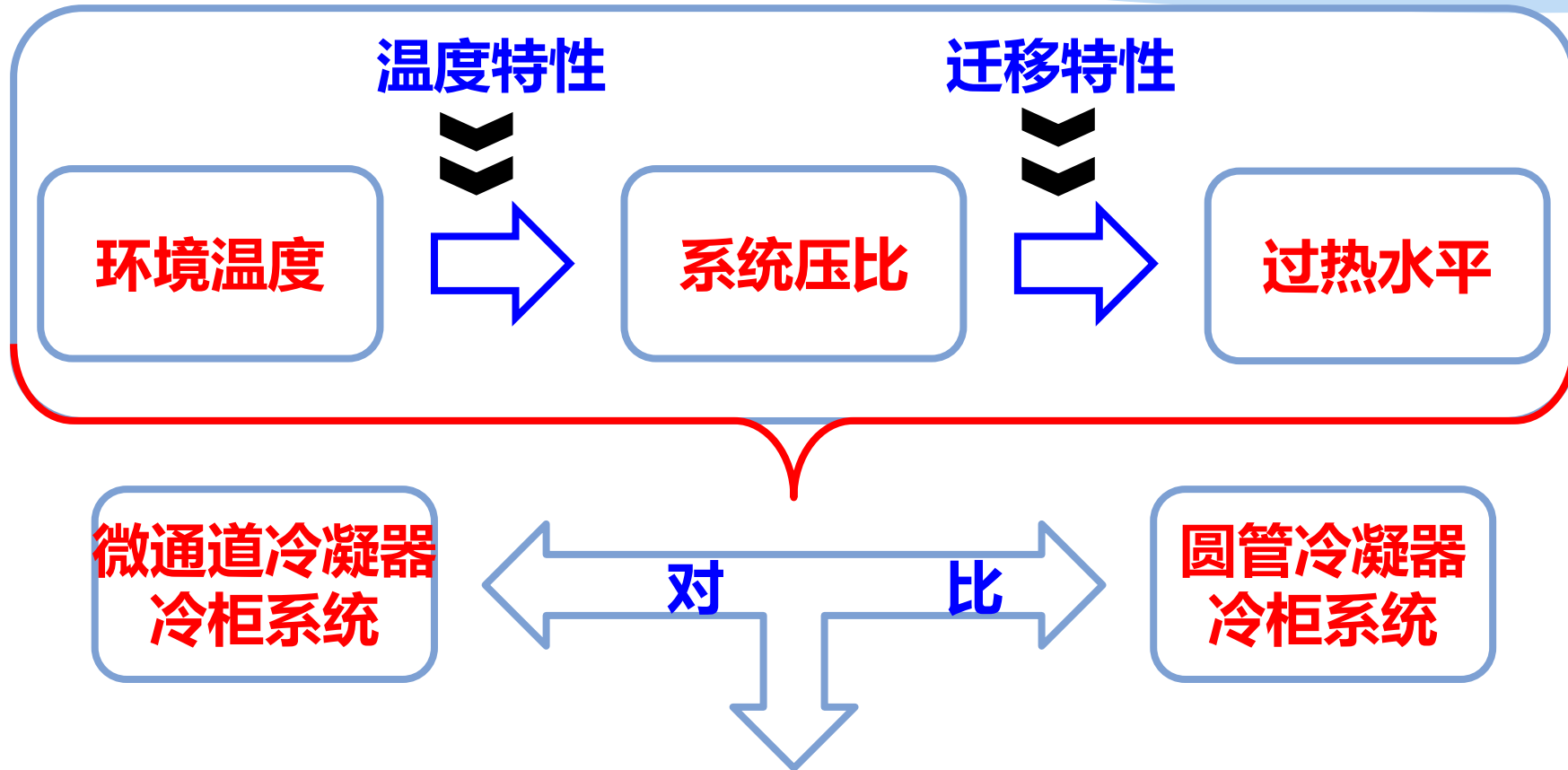


圆管冷凝器样机





4 制冷剂的变负荷分布特性



采用微通道冷凝器的制冷系统对环境温度的敏感性较低



进展小结



进展小结

微通道扁管的应用效果:

- 微通道扁管蒸发器样机日耗电量较圆管蒸发器样机降低了 **4.84%**
- 微通道扁管冷凝器样机日耗电量较圆管冷凝器样机降低了 **1.1%**
- 冷凝器所用管材长度相较圆管冷凝器减少了 **42.86%**

圆管与微通道冷柜启停周期内的压力特性对比:

- 单位长度下, 微通道冷凝器压降小于圆管冷凝器
- 蒸发和冷凝压力低于圆管冷凝器系统

变环境温度下, 微通道扁管换热器的自适应能力:

- 由于“富集制冷剂”固有特性, 微通道冷凝器制冷系统对环境温度的敏感性较低



感谢海尔集团和《家电科技》，谢谢聆听！

