

2024. 04. 09-北京

# 轻商领域技术现状及发展趋势

汇报人：代宝民

邮 箱：dbm@tju.edu.cn

天津市制冷技术重点实验室  
冷冻冷藏技术教育部工程研究中心  
农业农村部农产品低碳冷链技术重点实验室  
天津市工程热物理基础及工程国际联合研究中心



# 汇报 提纲

## 一、轻商领域概况

## 二、轻商领域技术现状

## 三、轻商领域发展趋势



# 一 轻商领域概况





# 1.1 轻商业设备涵盖领域



- 降低生鲜、易腐食品损耗、保障食品安全
- 支撑国家发展战略与新经济增长点

**节能，环保-热点话题**



# 国内政策 发展冷链物流已经成为国家战略 “节能、增效、优化、升级”势在必行

2021年12月28日，国务院印发《“十四五”节能减排综合工作方案》。

中华人民共和国中央人民政府  
www.gov.cn

国务院关于印发“十四五”节能减排  
综合工作方案的通知  
国发〔2021〕33号

各省、自治区、直辖市人民政府，国务院各部委、各直属机构：  
现将《“十四五”节能减排综合工作方案》印发给你们，请结合本地区、本部门实际，认真贯彻落实。

国务院  
2021年12月28日

方案指出要以**冷链物流**为重点，**更新升级制冷技术、设备**，**优化符合供需匹配**，**大幅提升制冷系统能效水平**。

中华人民共和国国家发展和改革委员会  
National Development and Reform Commission

首页 > 发展改革工作

国家发展改革委发布2023年国家骨干冷链物流基地建设名单

发布时间：2023/06/12 来源：经贸司 [打印]

近日，国家发展改革委印发《关于做好2023年国家骨干冷链物流基地建设工作的通知》，发布建设名单。国家骨干冷链物流基地是依托存量设施群布局建设的大型冷链物流基础设施，是整合运行体系、促进冷链物流与相关产业融合发展的基础支撑、组织中心和重要平台。2020年以来，国家骨干冷链物流基地纳入年度建设名单，基地网络覆盖29个省（自治区、直辖市，含新疆生产建设兵团

国家发改委发布2023年国家骨干冷链物流基地建设名单，**整合聚集**冷链物流资源、**优化**冷链物流体系，**促进**冷链物流与相关产业融合发展的基础支撑、**组织中心和重要平台**。

中华人民共和国国家发展和改革委员会  
National Development and Reform Commission

热门搜索：油价 产业结构调整指导

请输入关键字

首页 机构设置 新闻动态 政务公开 政务服务

首页 > 政务公开 > 解读 > 政策解读

专家解读之二 | 加强建筑全过程节能降碳管理 推动建筑领域绿色低碳发展

存在问题

- 从地域分布看,冷链设施和企业“东多西少”分布不均
- 从产业链布局看,配套设施少、信息化水平低或引发“断链”风险
- 从冷链企业竞争力看,市场集中度不高,存在“小而散、缺专人、缺资金”等问题
- 从行业监管看,“标准不统一、各自为政、监管真空”并存

# 国外政策

- 2023年9月8日，德国通过《建筑能源法》（GEG），法案规定德国新安装的供暖系统应由至少65%的可再生能源供电（热泵或生物质锅炉）。法案计划于2024年初生效，有效期至2044年12月31日，从2045年起，德国将全面禁止石油和天然气供暖。
- 2024年1月19日，欧盟理事会在欧盟立法数据库发布了新F-GAS法规的立法行为文件，该新法规已正式生效。2025年1月1日开始，在商用冰箱、冰柜（独立设备）里，禁用含有GWP值150或以上的氟化温室气体。

## 限用PFAS提案：





**PRESS EN**

707/23  
05/10/2023

**Fluorinated gases and ozone-depleting substances: Council and Parliament reach agreement**

The Council and Parliament negotiators today reached a provisional political agreement on phasing down substances that cause global warming and deplete the ozone layer.

This provisional agreement finalises negotiations on fluorinated greenhouse gases (F-gases) and confirms an informal agreement reached in June on ozone-depleting substances (ODSs).

While existing EU legislation has already limited the use of F-gases significantly, the new rules would further reduce their emission into the atmosphere and contribute to limiting the global temperature increase, in line with the Paris Agreement.

---

**nature**

Explore content ▾ About the journal ▾ Publish with us ▾ Subscribe

nature > news feature > article

NEWS FEATURE | 01 August 2023 | Correction 01 August 2023 | Clarification 11 September 2023 | Correction 07 November 2023

**聚焦**

**Could the world go PFAS-free? Proposal to ban ‘forever chemicals’ fuels debate**

June 22, 2023



3M Science. Applied to Life.™

**案例**

**3M Resolves Claims by Public Water Suppliers, Supports Drinking Water Solutions for Vast Majority of Americans**

- Agreement includes present value commitment of up to \$10.3 billion payable over 13 years
- Provides funding for public water suppliers (PWS) nationwide that have detected PFAS in drinking water, as well as for eligible PWS that may detect PFAS at any level in the future

ST. PAUL, Minn., June 22, 2023 /PRNewswire/ -- 3M (NYSE: MMM) has entered into a broad class resolution to support PFAS remediation for public water suppliers (PWS) that detect PFAS at any level or may do so in the future. This agreement will benefit U.S.-based PWS nationwide that provide drinking water to a vast majority of Americans. Subject to court approval, the agreement:



## 1.2 常见的轻商业设备

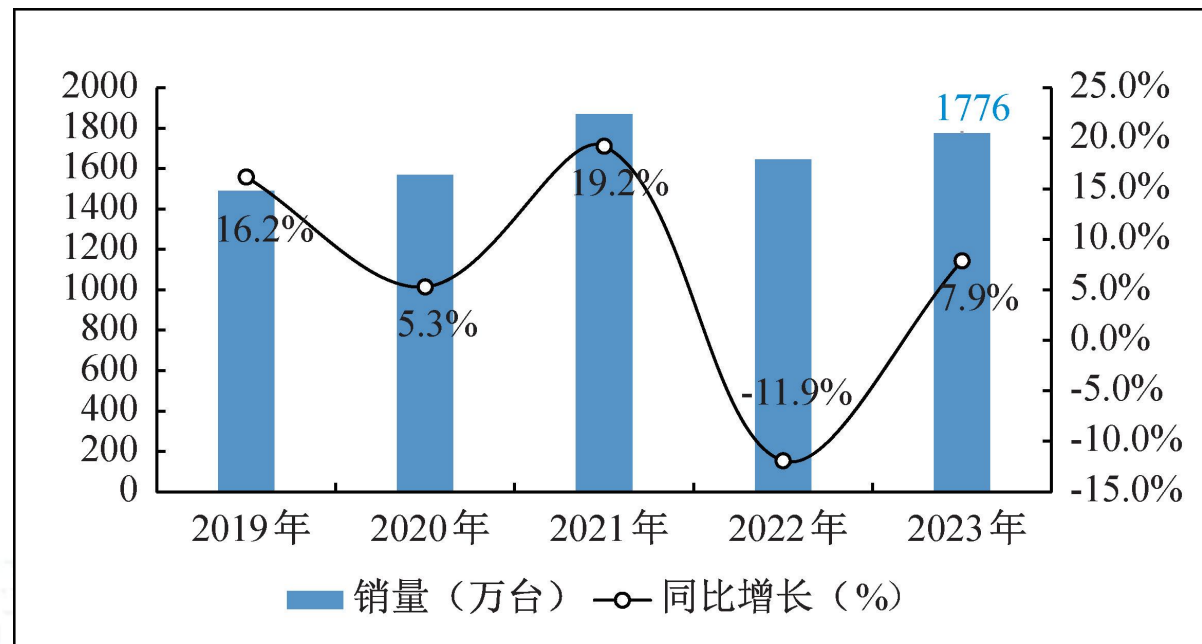
大类	产品	产品范围	
轻商柜	远置式制冷陈列柜	应用在超市、便利店的远置式制冷陈列柜，包括柜体、安装服务和制冷机组三个部分	
	冰淇淋柜	用于展示、销售冰淇淋柜的冷冻设备	
	饮料柜	用于展示、销售饮料产品的冷藏设备	
	厨房冰箱	用于存储食材的冷冻冷藏设备，材质为不锈钢，用于餐饮、酒店等场景，含不锈钢冰箱、工作台等	
	葡萄酒储藏柜	用于葡萄酒储存及展示的冷柜，含家用葡萄酒储藏柜	
	自动售货机	传统自动售货机	蛇形货道、弹簧机等人货分离的自动售货机，付款以后，通过自动售货机的取货口进行取货
		智能售货柜	扫码开门或者和货物有接触的智能售货柜，通过扫码取货后结算
	其他食品柜	用于展示、销售食品、奶制品、啤酒、蛋糕等产品的冷冻冷藏设备	
其他轻商设备	商用冰淇淋机	用于餐饮、奶茶店、面包房、咖啡厅、商业街等场所的商用冰淇淋机，含软质冰淇淋机和硬质冰淇淋机	
	商用制冰机	用于餐饮、酒店等领域的轻型商用制冰机，不含大型工商业制冰机	
	医用冷柜	涵盖超低温保存箱、低温保存箱、冷藏冷冻箱、恒温冷藏箱，不含液氮罐、洁净工作台等	
	车载冰箱	搭载于轿车、卡车、商用车、房车等上的车载冰箱，含嵌入式车载冰箱和便携式车载冰箱	
	其他	用于餐饮、电影院等商用场景的冷饮机、饮料机、现调机、咖啡机、雪融机、啤酒机等产品	

来源：产业在线；中国轻型商用制冷设备行业年度研究报告



## 1.3 轻商产业现状—市场规模

- 2023 年全球供应链逐步畅通，国内外餐饮零售业得到恢复，行业发展趋势向好。
- 2023 年中国轻型商用制冷产品销售 1776 万台，同比增长 7.9%。

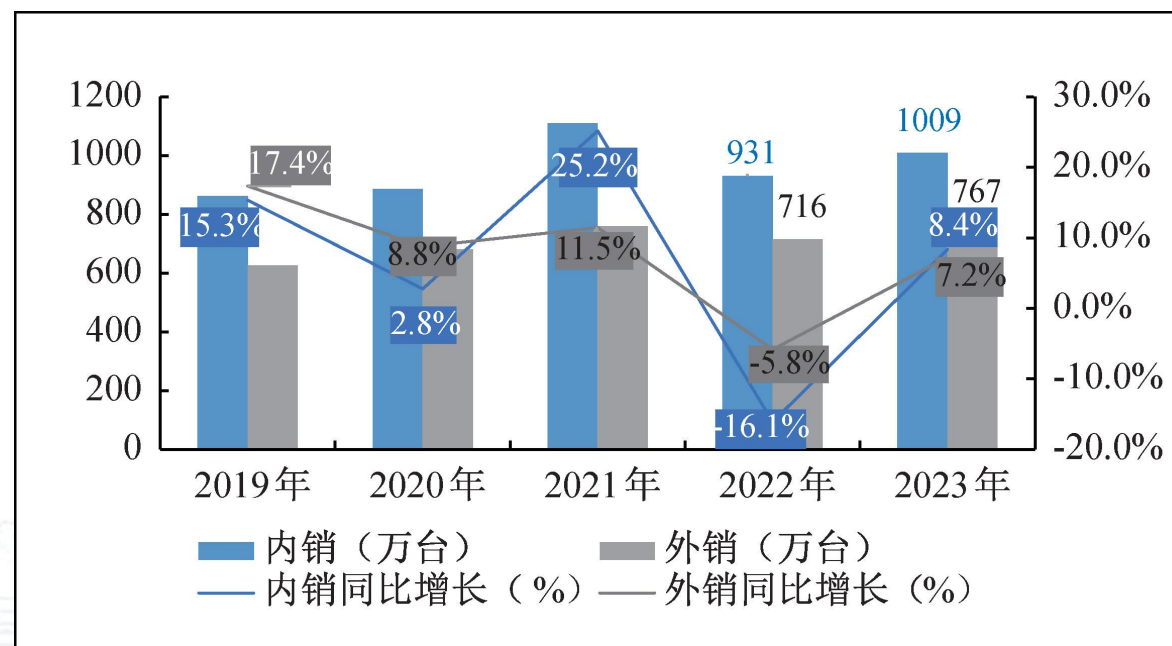


2019—2023 年中国轻型商用制冷产品销量统计

数据来源：产业在线

## 1.3 轻商产业现状—内外销规模

- 2023 年轻型商用制冷产品内外销市场迎来双增，内销增幅大于出口增幅。
- 2023 年:内销量为1009 万台，同比增长 8.4%；外销量为 767 万台，同比增长 7.2%。内外销量占比分别为 57%和 43%。

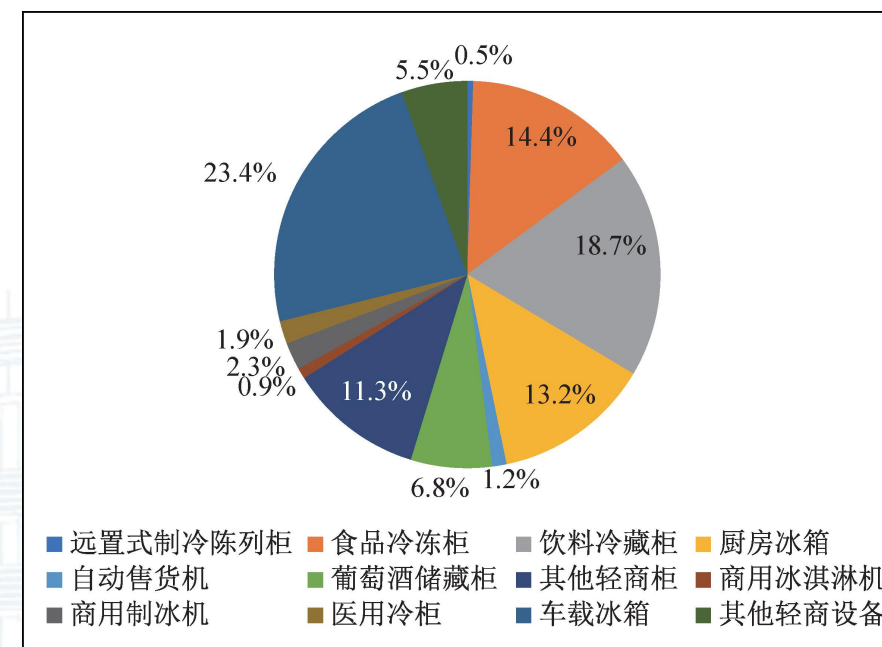


2019—2023 年中国轻型商用制冷产品内外销销量统计

数据来源：产业在线

## 1.3 轻商产业现状—产品结构

- 2023年各细分产品销售统计当中，车载冰箱销售量占比最高达到了 23.4%，较上年占比增长超过其他品类。
- 从金额占比上看，饮料冷藏柜占比最高，达到 18.4%；销售量占比 18.7%，占比排在第二位。
- 销售量占比最低的是远置式制冷陈列柜，仅占 0.5%，占比与上年持平。



2023 年中国轻型商用制冷设备细分产品销量占比统计

数据来源：产业在线



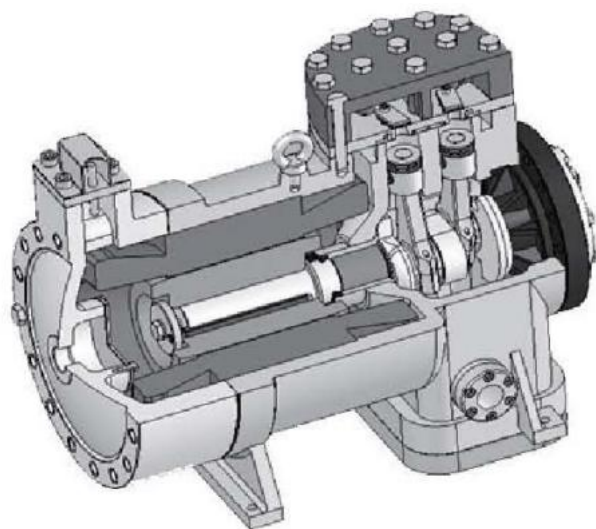
## 二 轻商领域技术现状



## 2.1 轻商领域零部件技术发展现状—压缩机

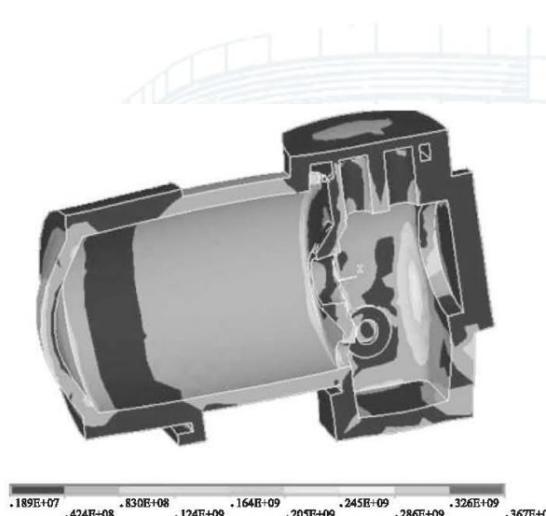
### 往复式制冷压缩机

往复制冷压缩机关键技术包括压缩机**基本结构设计**、**油路设计**、**气阀可靠性**及运动特性研究、排气压力损失及气流脉动研究等方面。



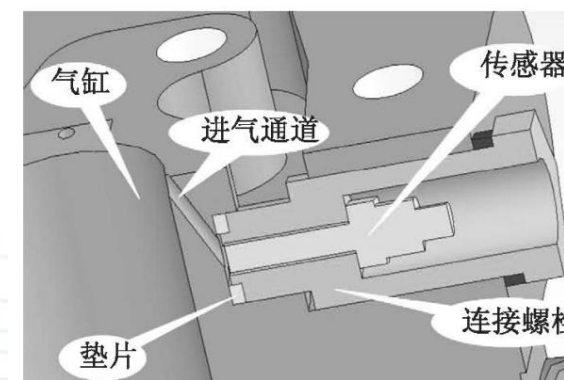
(a) 一种商用跨临界CO<sub>2</sub>往复压缩机结构

较高的工作压力，对壳体强度与承压能力提出了较高的要求。可采用**有限元方法**对壳体应力分布与结构强度进行分析。



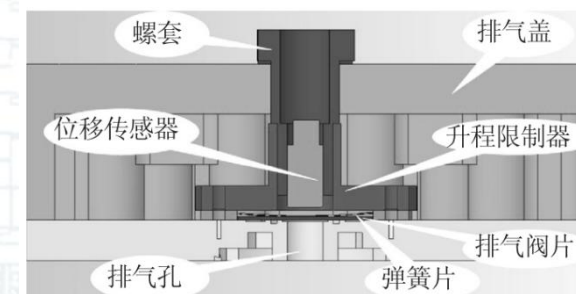
(b) 壳体应力分布云图

### 测取压缩机工作过程的p-V图



(c) 压力传感器的安装

### 排气阀片的运动规律测试

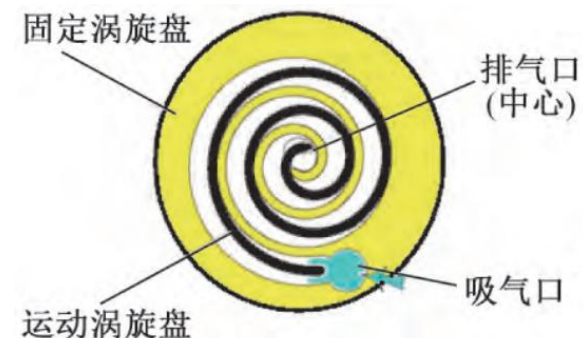
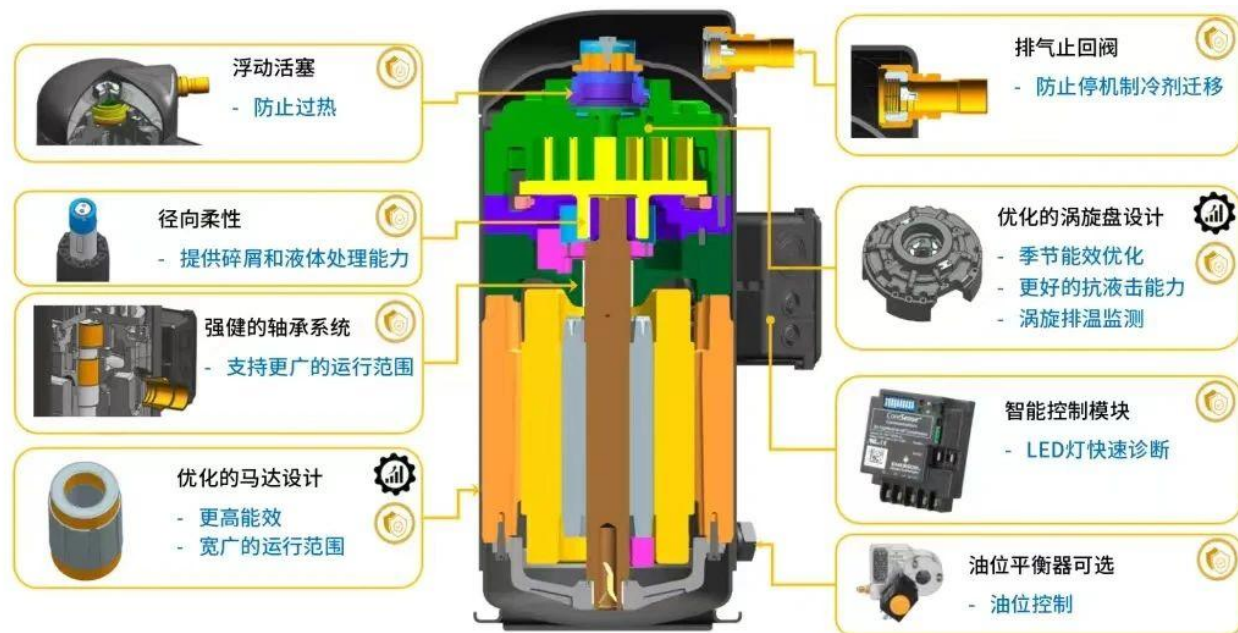


(d) 位移传感器的安装

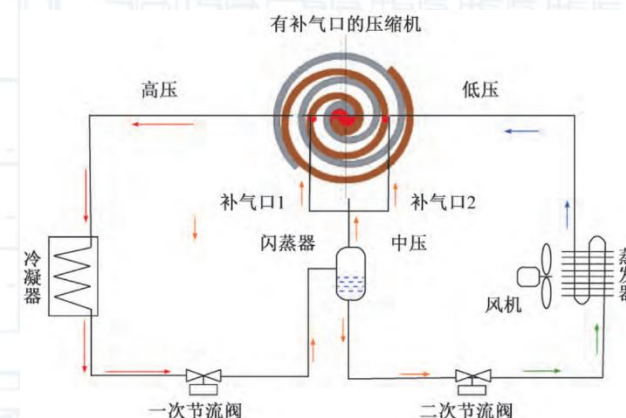


## 2.1 轻商领域零部件技术发展现状—压缩机

### 涡旋式制冷压缩机



**不对称涡旋盘**



**喷气增焓技术**

谷轮50HP大涡旋压缩机是基于新一代低温大涡旋平台开发的，这款压缩机的设计特点包括**优化的涡旋盘设计**，**可变压比调节阀**优化季节能效，**涡旋排温监测**，**涡旋泄压阀**提供更好的抗液击能力；**排气止回阀**防止停机制冷剂迁移；同时强健的轴承系统以及智能控制模块等特性。



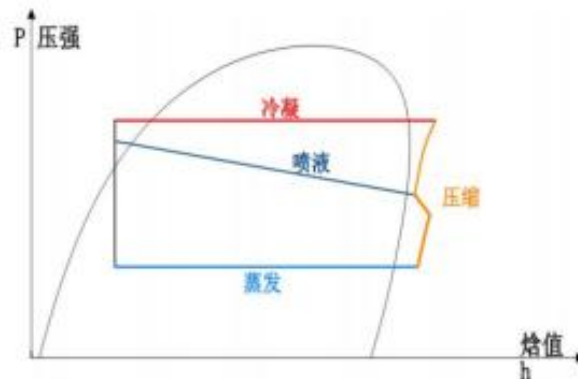
## 2.1 轻商领域零部件技术发展现状—压缩机

### 海立冷冻冷藏压缩机可靠性技术

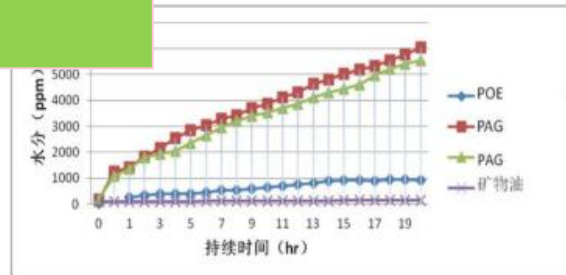
转子式压缩机



**增气喷焓技术** COP和制冷量大幅度提升，蒸发温度越低，提升越大。



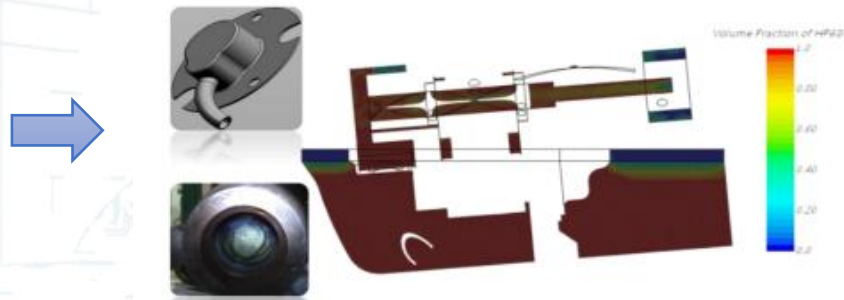
**喷液冷却设计** 为适应冷冻所需高压比工况，增加喷液设计，有效降低排气温度。



**油品选用**，聚醇油绝缘性较低，吸水性强，吸收水分后电阻率进一步恶化。选用需注意。



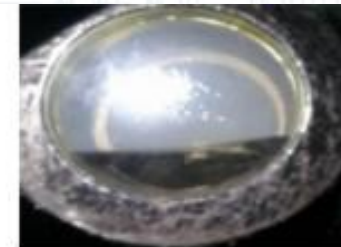
场景应用



卧式供油技术



启动前油面位置



启动后油面位置

油面稳定技术

## 2.1 轻商领域零部件技术发展现状—压缩机

### 新一级高效变频压缩机



长虹华意cubigel

- 先进矢量控制算法、驱动控制更精准;
- 磁悬浮轴承技术、提效降噪;
- 高转速突破, 实现摩擦/电机/控制/阀组突破;
- 相位角停机技术;

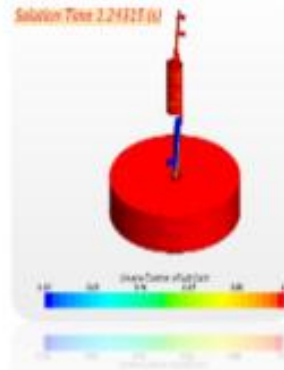
**NVS70FSC** 小型高效环保智能 R290 商用变频压缩机采用了空气动力学流体技术、材料表面特殊处理技术等前沿技术,整机质量为 6.3 kg,相对同行节省 30%以上材料,制冷功率为 185 ~ 520 W, COP 为 1.85, 相对定频压缩机, 节能 40% 以上。

**NUD125FSC** 超高效大排量 R290 商用变频压缩机,制冷量 365 ~ 980 W,COP 为1.90,产品具有环保高效、智能化、低噪声等特点,可广泛应用于商超便利店、商厨冷链、智慧零售等场景制冷设备。

结构动力学



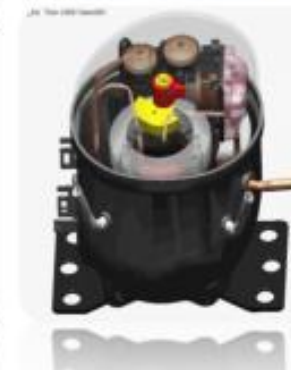
摩擦润滑



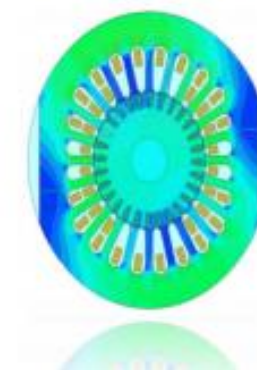
热流耦合



声学振动



电机控制

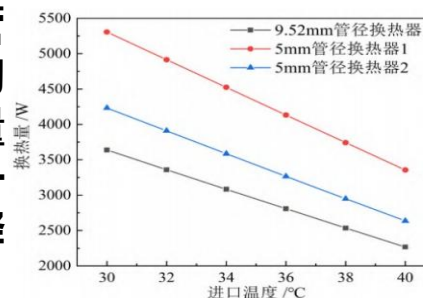




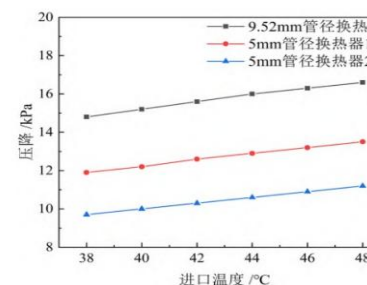
## 2.1 轻商领域零部件技术发展现状—换热器

冷凝器优化之减小管径

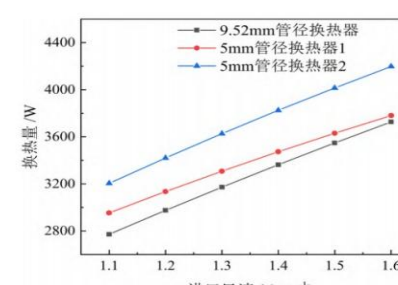
采用5mm小管径铜管替代原有铜管，并对其结构参数进行优化设计，换热量相较于原有冷凝器平均提升了**16%~47%**，压力降下降了**34%~38%**。



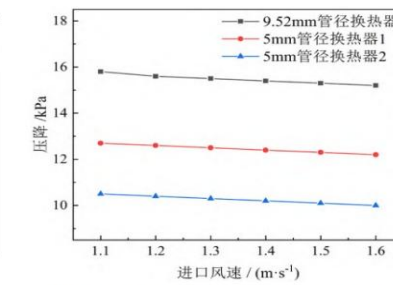
(a) 换热量随进口温度变化趋势



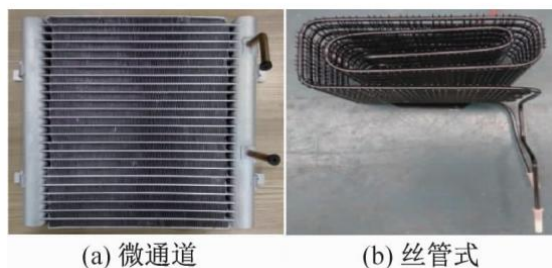
(b) 制冷剂侧压力降随进口温度变化趋势



(c) 换热量随进口风速变化趋势



(d) 制冷剂侧压力降随进口风速变化趋势



(a) 微通道

(b) 丝管式

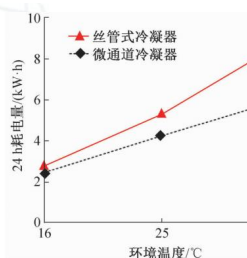


图4 耗电量随环境温度的变化

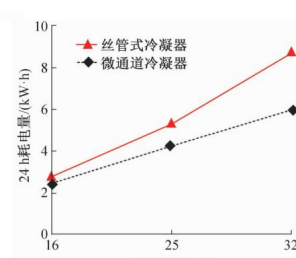
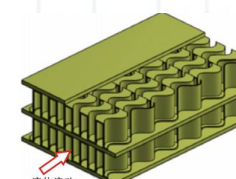
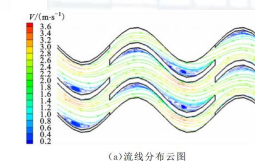
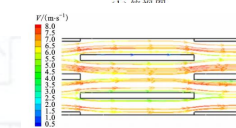
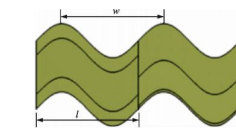


图4 耗电量随环境温度的变化

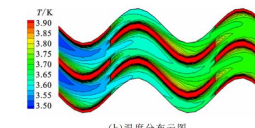
采用微通道换热器作为冷藏展示柜的冷凝器，结果表明与管外面积相差在3%以内丝管式冷凝器相比，微通道冷凝器分别节能**11.67%、24.85%、45.64%**，开停比分别下降**7.20%、14.90%、31.70%**。



(a) 轴测图



(a) 流线分布云图



(b) 温度分布云图

图5 波纹-锯齿翅片通道物理场分布图

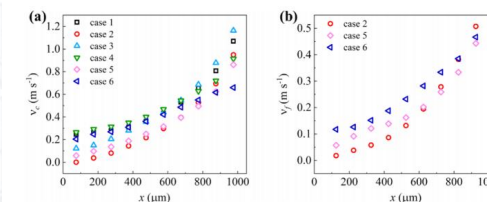
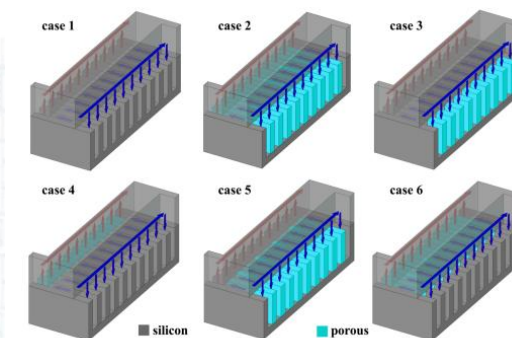


Fig. 9. The average velocities of (a) microchannels ( $v_c$ ) and (b) porous fins ( $v_p$ ) at the inlet velocity of  $2.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

换热器优化之新型翅片

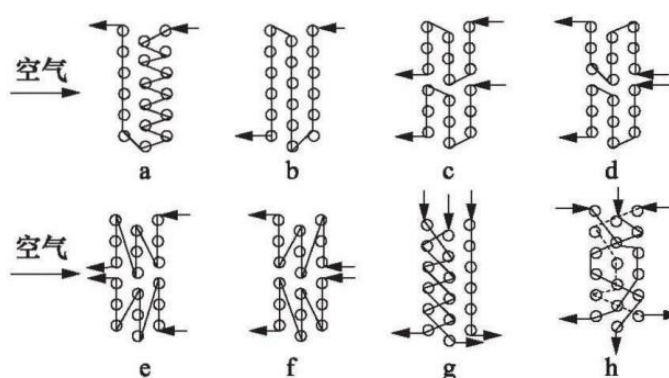
换热器优化之翅片开孔



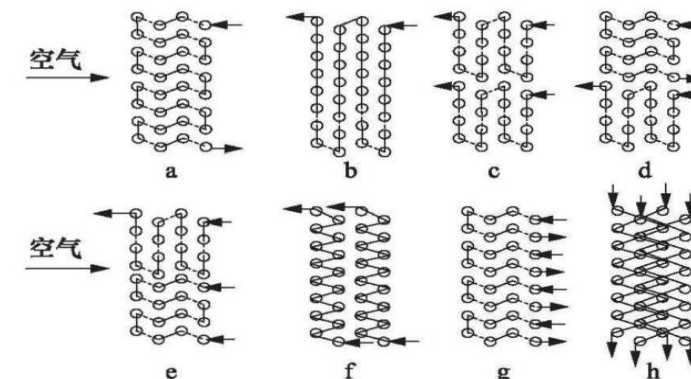
## 2.1 轻商领域零部件技术发展现状—换热器

### 蒸发器优化之流路布置

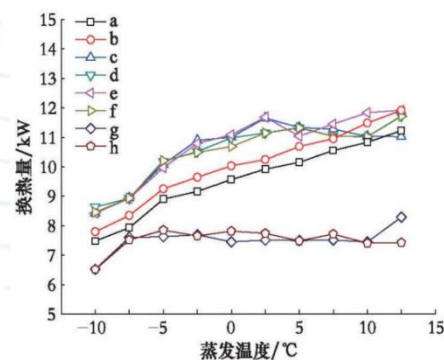
对于翅片管式蒸发器，为强化换热效果，提高蒸发器效率，降低制造成本，通过模拟不同蒸发温度，探明不同流路布置下的蒸发器性能。



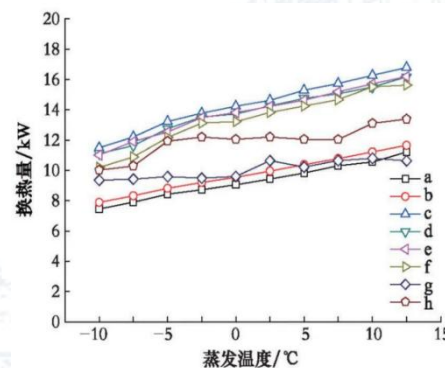
(a) 三排换热器各支路布置图



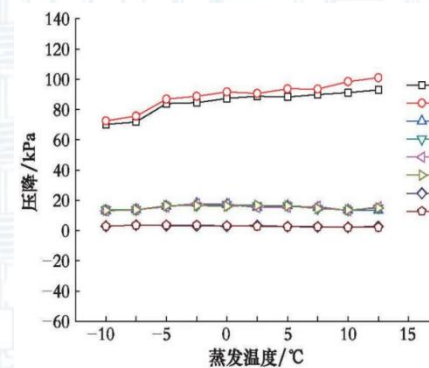
(b) 四排换热器各支路布置图



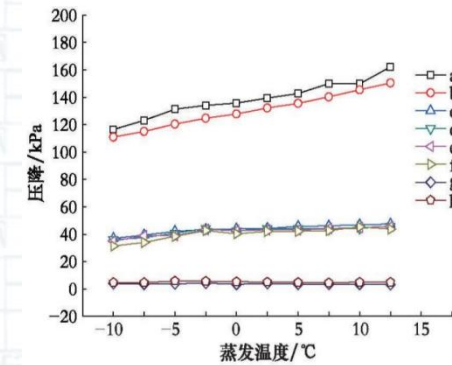
(c) 三排管蒸发器换热量随蒸发温度的变化



(d) 四排管蒸发器换热量随蒸发温度的变化



(e) 三排管蒸发器制冷剂侧压降随蒸发温度的变化

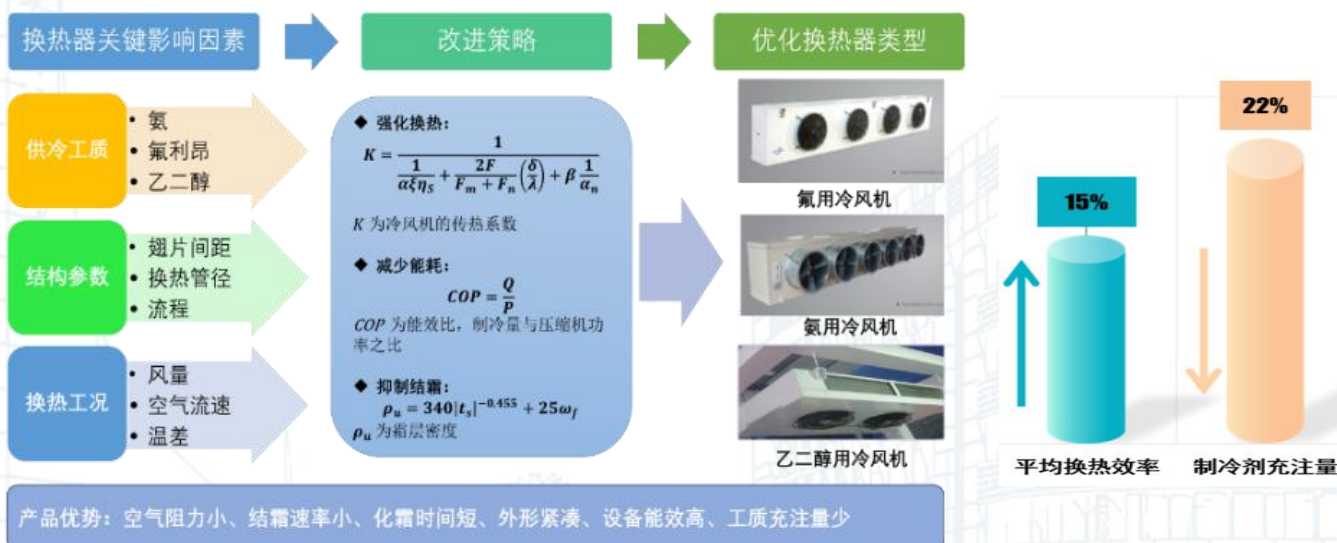


(f) 四排管蒸发器制冷剂侧压降随蒸发温度的变化

## 2.1 轻商领域零部件技术发展现状—换热器

**可控静压箱的抑霜蒸发器**，除霜时间间隔延长1倍。研制了新型波纹翅片和整体热浸锌技术，开发了氨制冷剂、二氧化碳、氟利昂和载冷剂专用等系列的高效蒸发器，具有空气阻力小、结霜速率小、化霜时间短、外形紧凑等优点。

高效冷风机应用及产业化



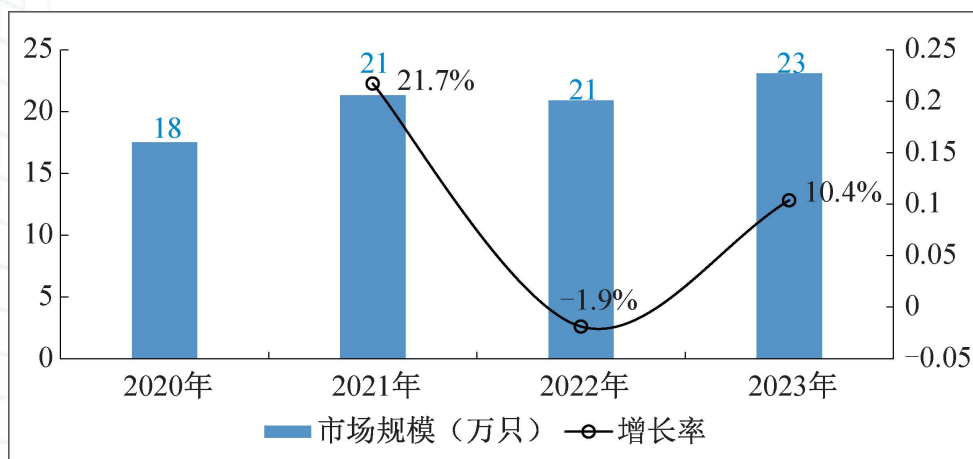
相关技术与河北亚通制冷设备有限公司进行了产学研合作，**已推广设备5万余台**，实现预冷、速冻库、冷库、冷冻库、冷藏车、展销柜等多场景集成应用，解决了冷链设备能效低、氟利昂充注量大等问题。



## 2.1 轻商领域零部件技术发展现状—阀件

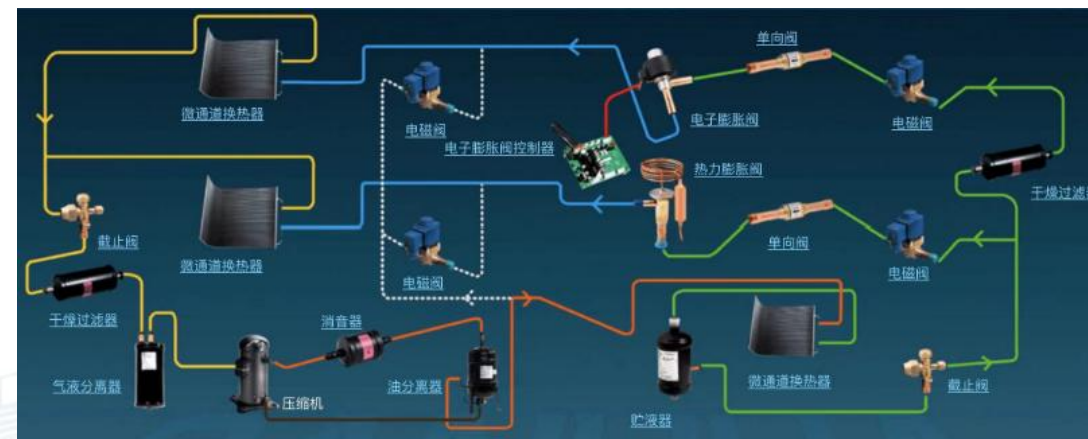
### 电子膨胀阀

近年来，随着市场对设备节能要求的日渐提升，电子膨胀阀在冷冻冷藏领域开始崭露头角。



(a) 2020—2023 年中国冷冻冷藏设备用电子膨胀阀市场规模(按内销量) 数据来源:产业在线

尽管近年来电子膨胀阀在技术上面不断突破，但由于其需要搭配控制器、压力传感器等配件才能发挥效用，成本的提升不得已使其在冷冻冷藏市场领域的应用比例相对难以大幅提升。



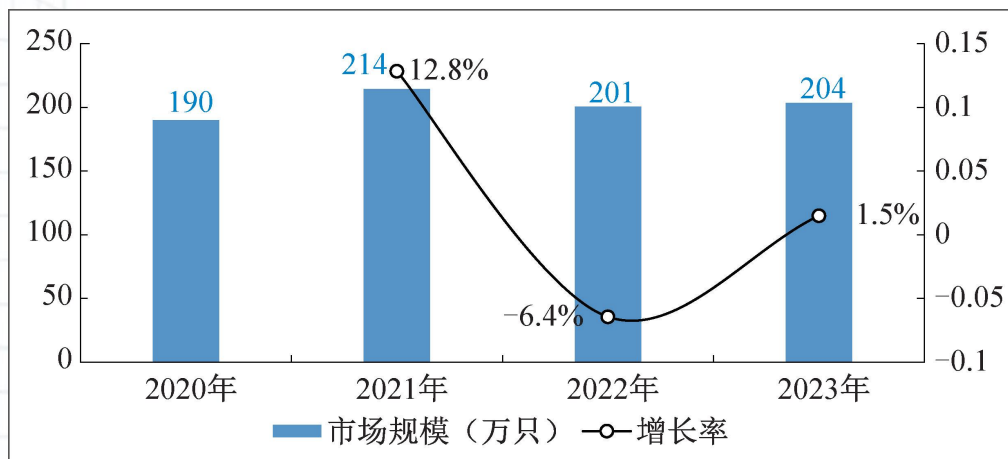
专门应用于二氧化碳和HFC制冷系统的电子膨胀阀



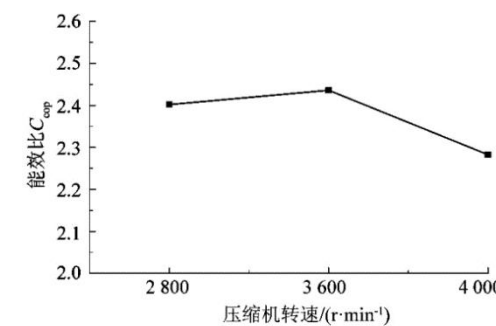
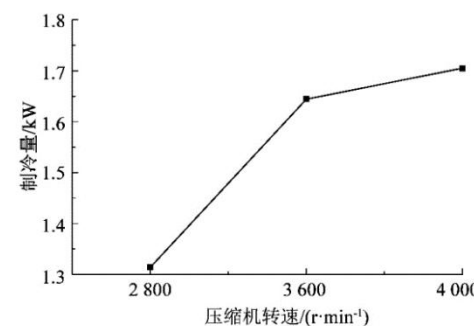
## 2.1 轻商领域零部件技术发展现状—阀件

热力膨胀阀具有**结构简单、价格经济、适用范围广**的特点，使其在冷冻冷藏领域占有绝对的市场规模。

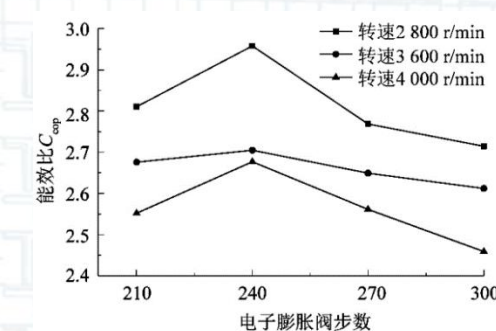
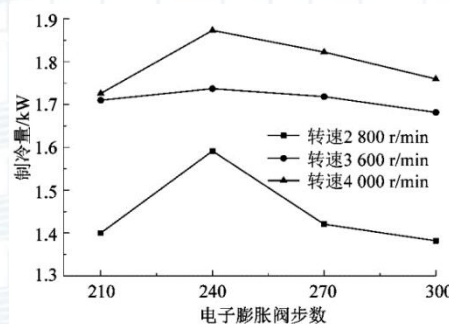
热力膨胀阀



(a) 2020—2023 年中国冷冻冷藏设备用热力膨胀阀市场规模(按内销量) 数据来源:产业在线



(b) 不同压缩机转速H型热力膨胀阀制冷量及 COP



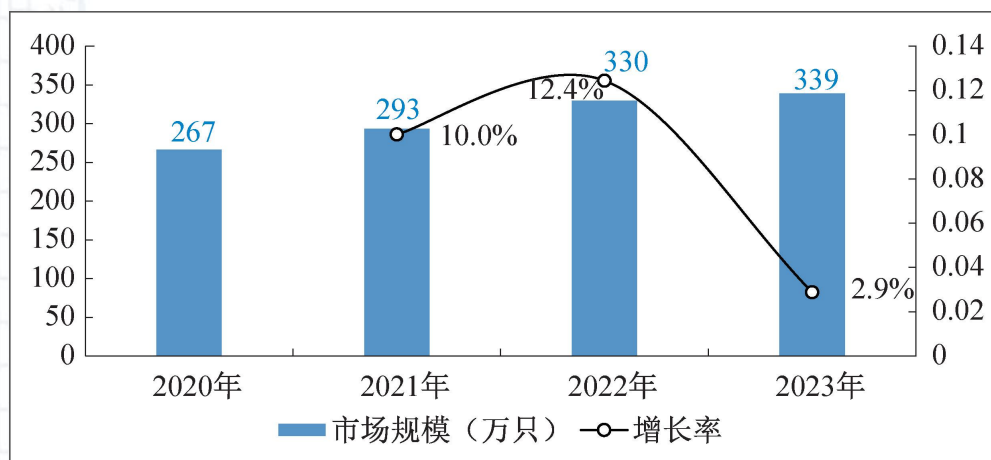
(d) 不同压缩机转速电子膨胀阀制冷量及 C<sub>COP</sub>

压缩机转速分别为**2800**，**3600**和**4000** r/min下，电子膨胀阀开度为**240**步时，采用电子膨胀阀的制冷系统制冷量比采用热力膨胀阀时的系统高**21.1%**，**5.6%**和**9.8%**；C<sub>COP</sub>值高**20%**，**11.2%**和**17.1%**。且在低转速时，效果更加显著。

## 2.1 轻商领域零部件技术发展现状—阀件

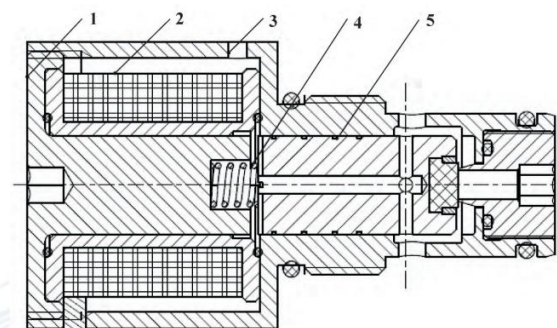
### 电磁阀

近年来，电磁阀随着下游以多联机为主的商用空调以及食品冷链市场的**快速增长**，市场对电磁阀的需求也呈**稳步增长**态势。



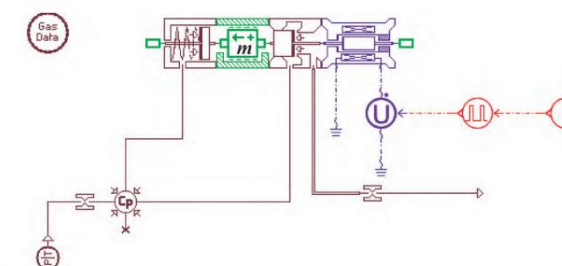
(a) 2020—2023 年中国冷冻冷藏设备用电磁阀市场规模(按内销量) 数据来源:产业在线

### 气动电磁阀

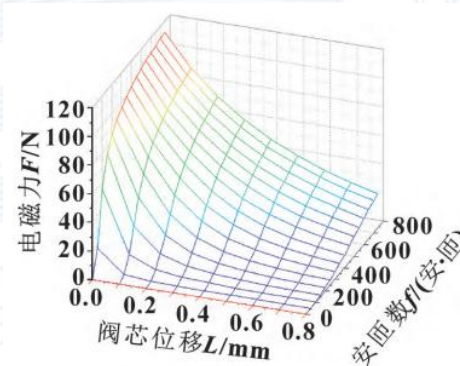


1—端盖 2—线圈组件 3—外壳 4—复位弹簧 5—阀芯组件

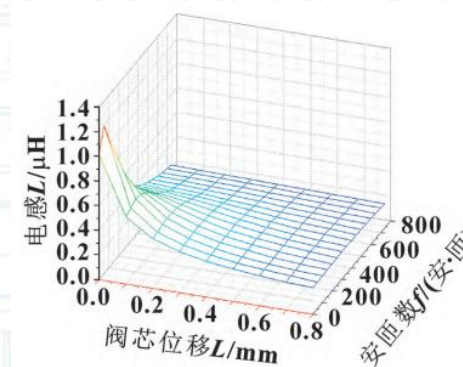
(c) 气动电磁阀结构



(d) 气动电磁阀AMESim仿真模型



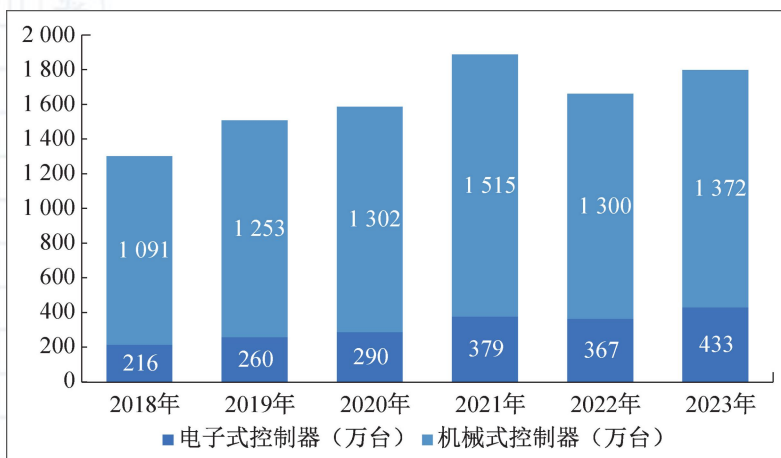
(e) 电磁力随阀芯位移、安匝数变化情况



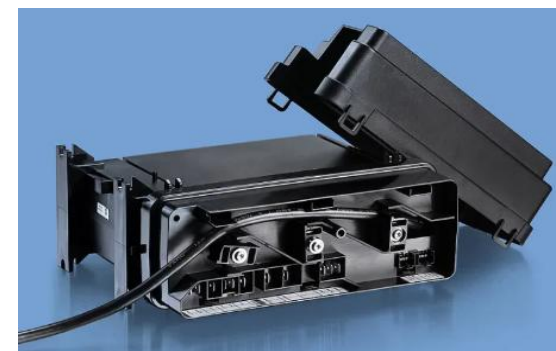
(f) 电感随阀芯位移、安匝数变化情况

## 2.1 轻商领域零部件技术发展现状—控制器

- 从控制器产品结构看,机械式控制器占比为 **76%**, 电子式控制器占比为**24%**。
- 从增速来看, 2023 年机械式控制器市场同比增长 **5.5%**, 电子式控制器市场与同比增长 **18.1%**。



(a) 2019—2023 年中国轻型商用制冷产品用控制器规模(按内销量)  
数据来源:产业在线



思科普为 NLV 压缩机开发了新一代高效、有效的电子控制器,采用**模块化 SW-HW 设计**,可根据系统需求进行灵活配置。

卡乐电子(苏州)有限责任公司开发研制的用于**医疗柜的IJS控制器**主要面向药品柜、医疗冷藏/冷冻柜、超低温冷冻柜、医疗转运箱等基于医疗应用场景开发的控制器。



深圳宝立讯开发的CoolVCC智能控制器采用**PID智能温控算法**,按照传感器读取的实际温度实时调节压缩机的转速,调节制冷量,从而助力变频压缩机实现最佳性能。



## 2.2 轻商领域制冷剂替代技术现状

轻商用制冷设备可以选择的人工合成制冷剂

制冷剂	分子量/kg·kmol <sup>-1</sup>	临界温度/°C	临界压力/MPa	ODP	GWP	安全等级
R134a	102.0	101.1	4.07	0	1300	A1
R410A	72.6	72.1	4.92	0	1975	A1
R407H	79.1	86.5	4.85	0	1495	A1
R32	52.02	78.2	5.8	0	550	A2L
R1234yf	114.04	94.7	3.38	0	4	A2L
R1234ze	114.04	109.4	3.64	0	4	A2L
R161	48.06	102.2	5.09	0	12	—
R449A	87.21	81.49	4.50	0	1282	A1
R454C	90.78	85.67	4.32	0	146	A2L
R1270	42.08	92.4	4.67	0	~20	A3

轻商用制冷设备可以选择的天然制冷剂

制冷剂	分子量/kg·kmol <sup>-1</sup>	标准沸点/°C	临界温度/°C	临界压力/MPa	ODP	GWP	安全等级
R290	44.1	-42.2	96.7	4.25	0	~20	A3
R744	44.01	-78.4	31.1	7.38	0	1	A1
R717	17.03	-33.3	132.3	11.34	0	<1	B2
R600a	58.12	-11.7	408.0	3.65	0	~20	A3

彭杰,孙志利,师雅博,等. 轻型商用制冷行业制冷剂替代进展[J]. 冷藏技术,2021,44(3):1-8.

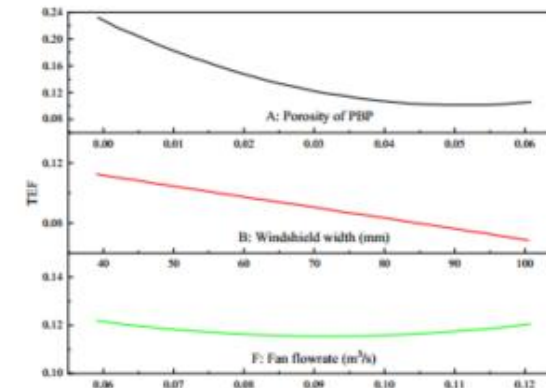
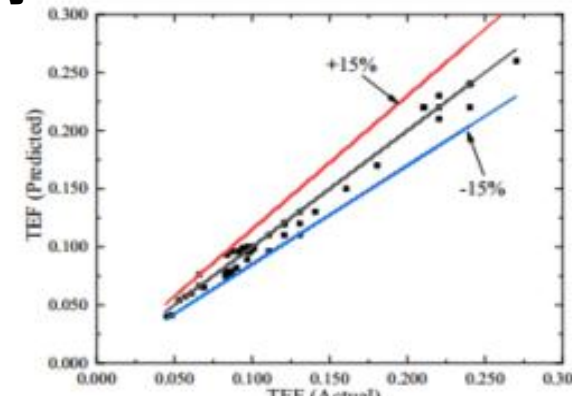
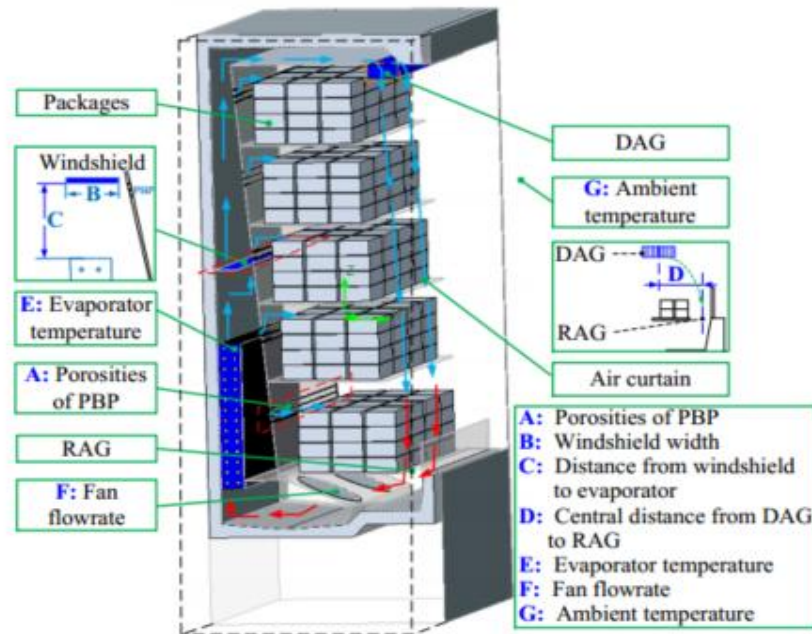
## 2.3 轻商领域技术创新与赋能应用—冷藏陈列柜风幕的研究 (天津商业大学)

### 基于响应面法的开放式冷藏陈列柜性能优化

#### ■ 关键参数对TEF的影响

- A: 孔隙率      B: 挡风玻璃宽度      C: 挡风玻璃到蒸发器的距离  
 D: 从风幕出口到入口中心距离      E: 蒸发温度  
 F: 风机流量      G: 环境温度

系统原理图



#### 模型诊断

- 紧密的分布在对角线上，预测结果偏差在15%以内。
- 能准确预测TEF。

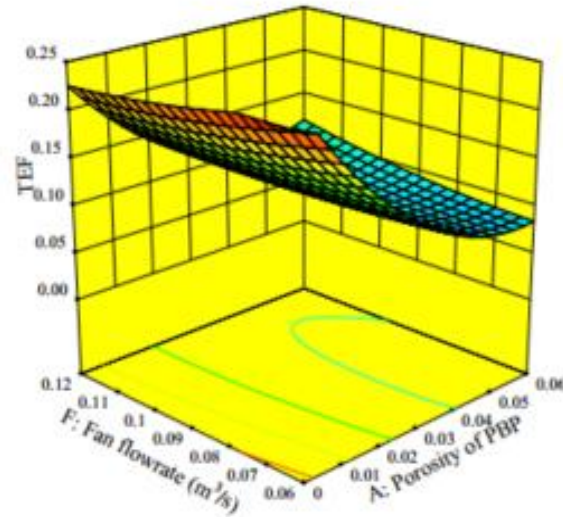
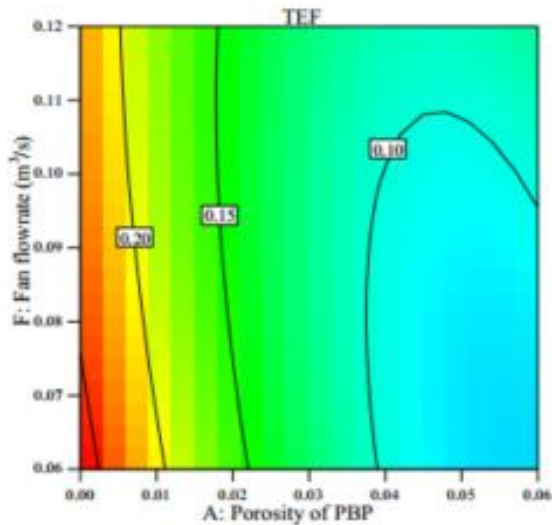
#### 单参数对TEF的影响

- 孔隙率增大，对风幕有推动作用，TEF随之减小。
- 挡风玻璃宽度增加，TEF随之减小。
- 风机流量存在最佳值。

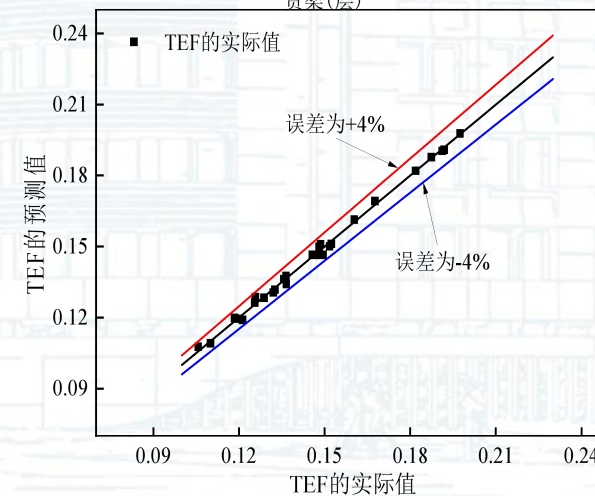
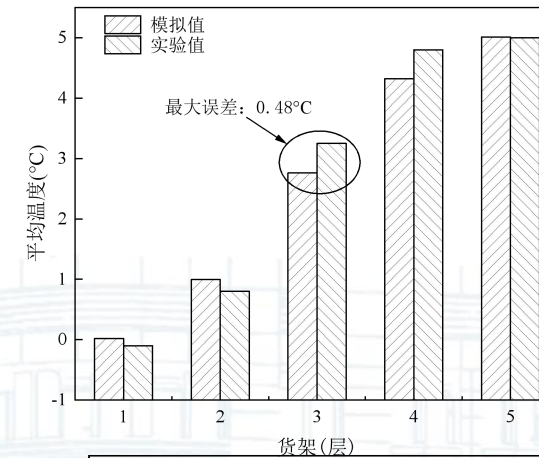
## 2.3 轻商领域技术创新与赋能应用—冷藏陈列柜风幕的研究 (天津商业大学)

### 基于响应面法的开放式冷藏陈列柜性能优化

孔隙率和风机流量对TEF的影响



- 随着风机流量的升高, TEF呈现**先减小后略微上升**的趋势, **存在最优值**。
- 随着孔隙率的升高, TEF呈现**下降趋势**, 当孔隙率较大时, TEF有所**上升**。



#### 模型验证

- 实验结果与模拟结果趋势相同。
- 最大偏差出现在第三层, 为0.48 °C。

#### TEF模型诊断

- 紧密的分布在对角线上, 预测结果偏差在4%以内。
- 能准确预测TEF。

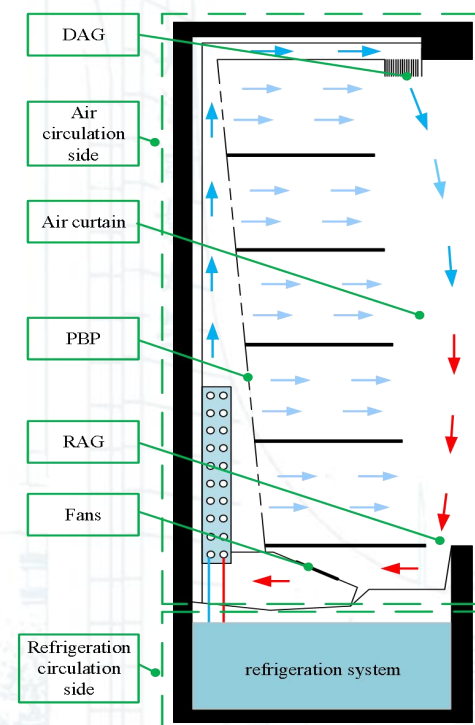


## 2.3 轻商领域技术创新与赋能应用—**冷凝水回收应用** (天津商业大学)

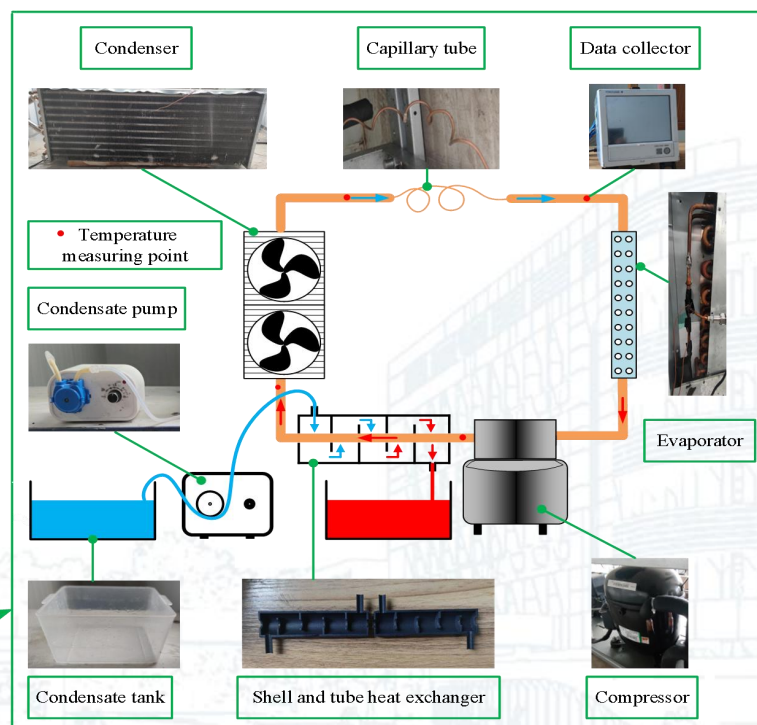
### 冷凝水的回收再利用对系统的影响

#### ■ 冷凝水回收对**冷藏陈列柜**系统的影响

##### ☑ 冷凝水流量

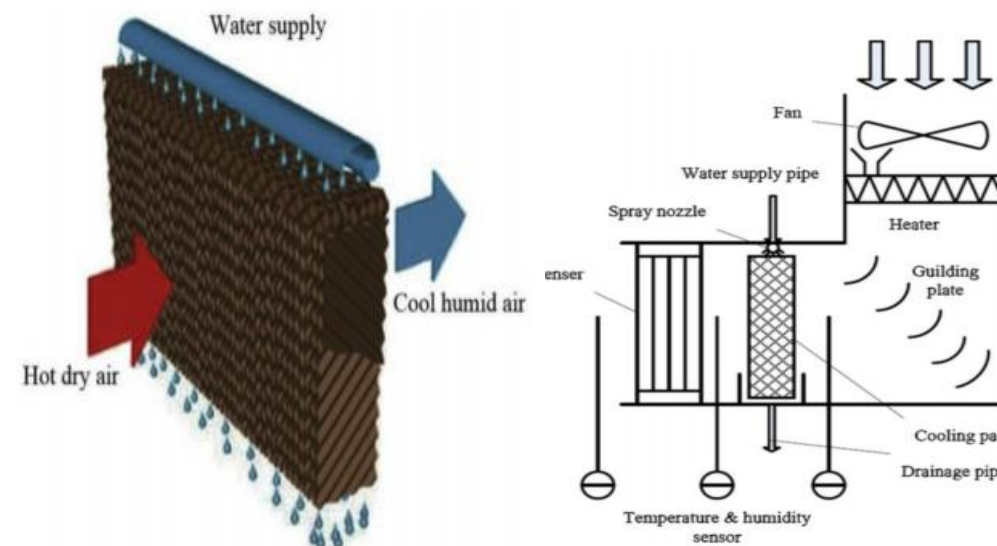


##### ☑ 冷凝水温度



##### ☑ 换热器长度

##### ☑ 实际应用



- 在制冷系统中，常见的冷凝水回收方式是与**风冷系统相结合**。
- 应用冷凝水**冷量与蒸发特性**，提高**系统性能**。

冷凝水回收系统原理图

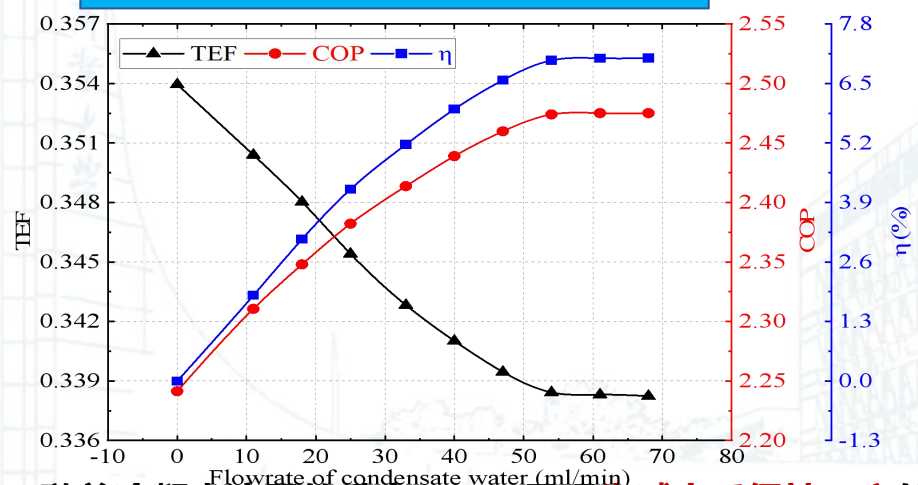
冷凝水的不同应用方式

## 2.3 轻商领域技术创新与赋能应用—冷凝水回收应用 (天津商业大学)

### 冷凝水回收对冷藏陈列柜系统的影响

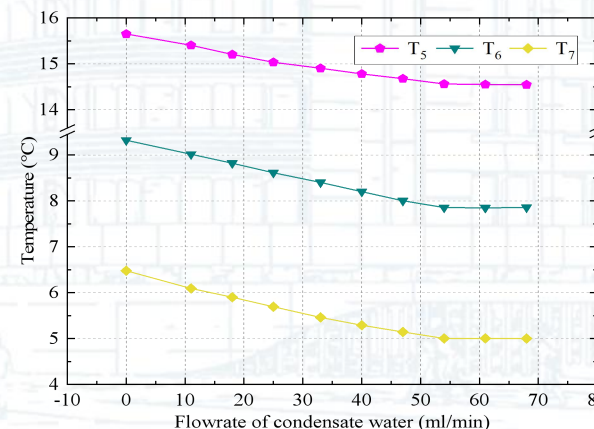
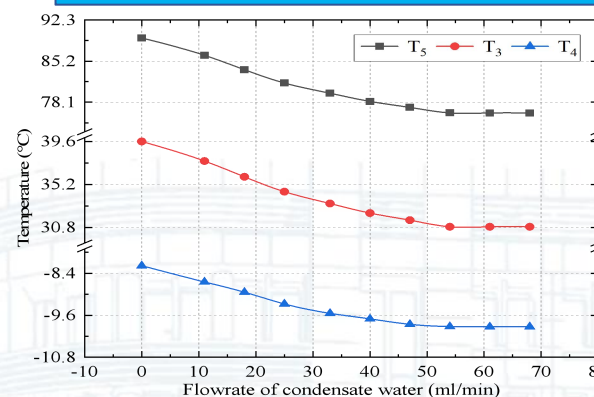
评价指标：TEF用于评价**风幕质量**，COP表征系统的**能效比**， $\eta$ 用于评价**热量传输效率提高**大小的指标。

冷凝水流量对TEF、COP、 $\eta$ 的影响



- 随着冷凝水流量的升高，TEF呈现**先减小后保持不变**的趋势。
- 随着冷凝水流量的升高，COP呈现**上升**的趋势。
- 冷凝水流量的升高导致 $\eta$ **逐渐上升**。

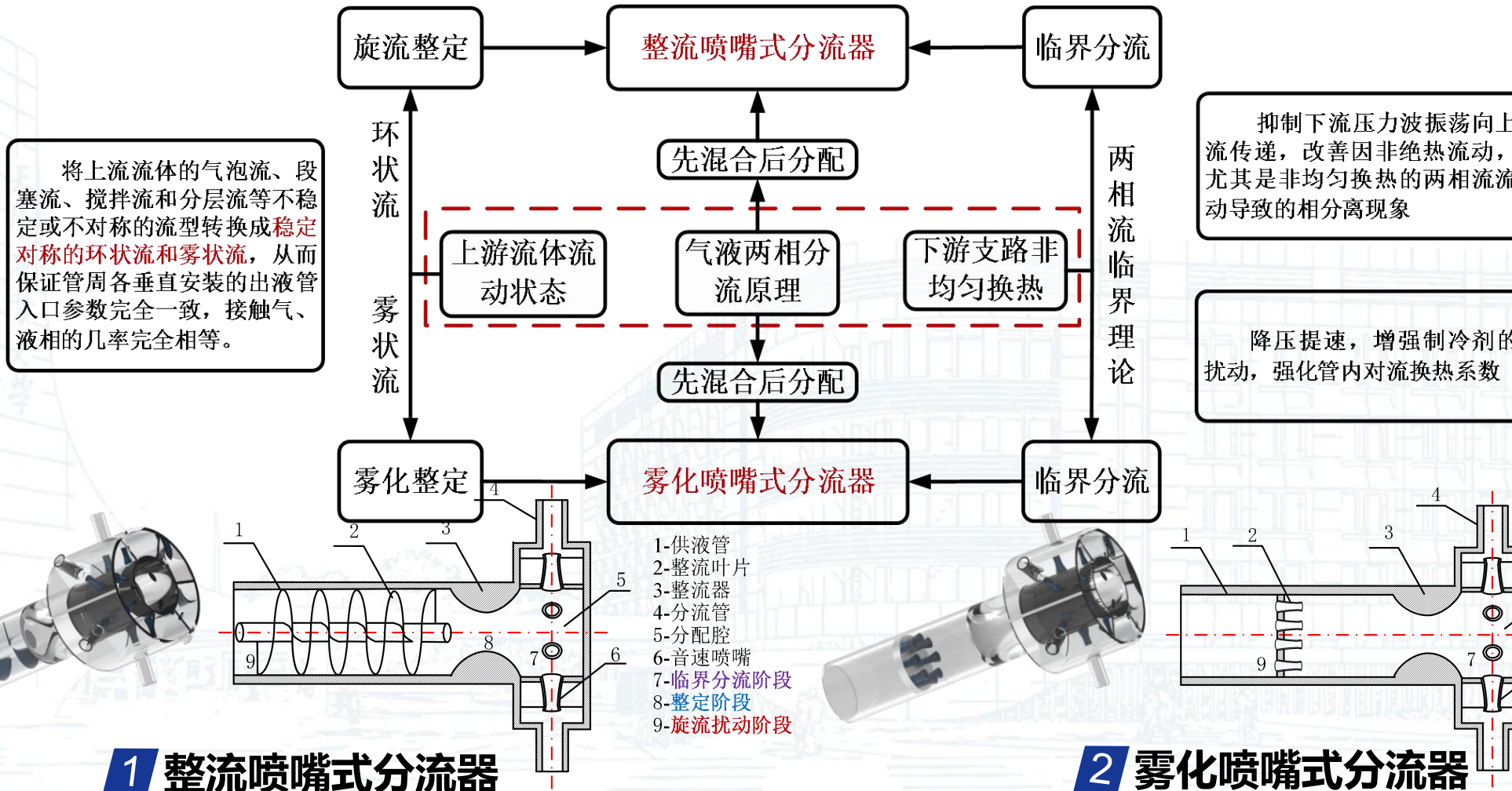
冷凝水流量对各个检测点温度的影响



- 随着冷凝水流量的升高，换热器出口温度、冷凝器出口温度、蒸发器进口温度均出现**下降趋势**，且存在**最佳流量**。
- 随着冷凝水流量的升高，冷藏陈列柜出口温度、入口温度和后壁开孔温度均出现**下降趋势**。

## 2.3 轻商领域技术创新与赋能应用—分流器优化 (天津商业大学)

### 整流喷嘴式分流器





## 2.3 轻商领域技术创新与赋能应用—分流器优化 (天津商业大学)

### 整流喷嘴式分流器

冷风机的**制冷剂分流不均**是制约冷风机性能的关键因素，研发新型整流临界喷嘴式分流器，气液两相制冷剂在临界流喷嘴喉部达到音速，在流经喷嘴的流体流量达到稳定值后，流体形成临界流并存在阻塞现象，**切断喷嘴下游的压力扰动向上游传播，克服分流喷嘴之间因下游压力不一致导致的分液不均。**

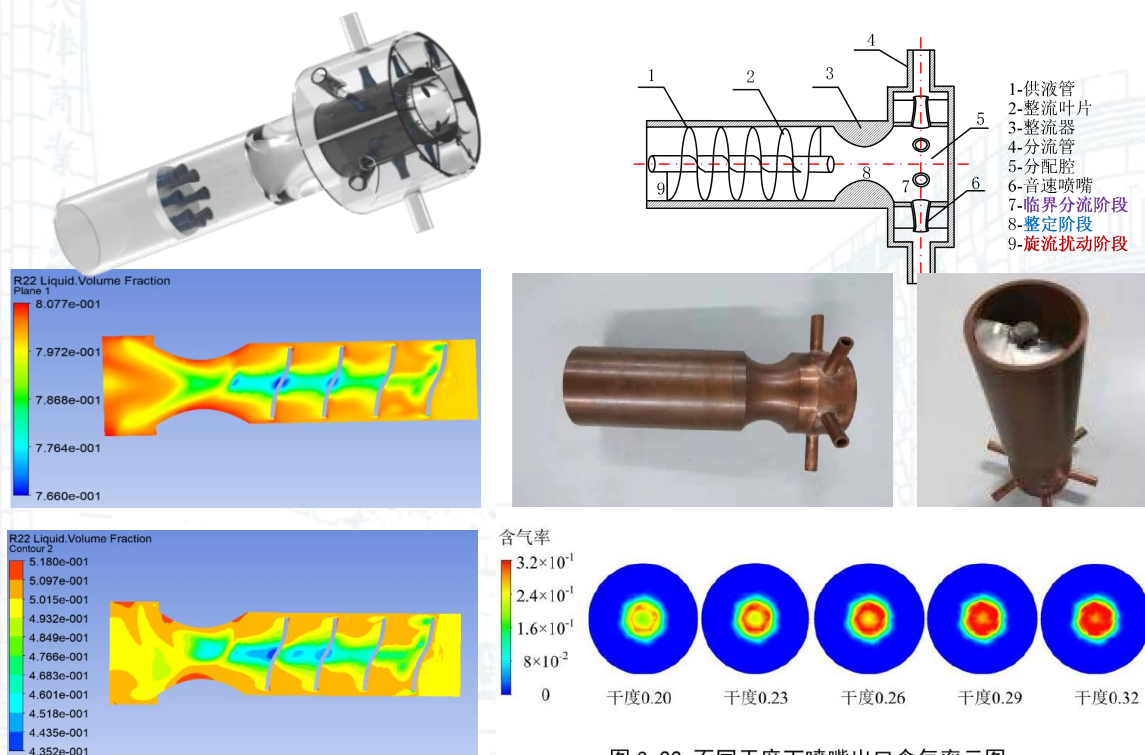
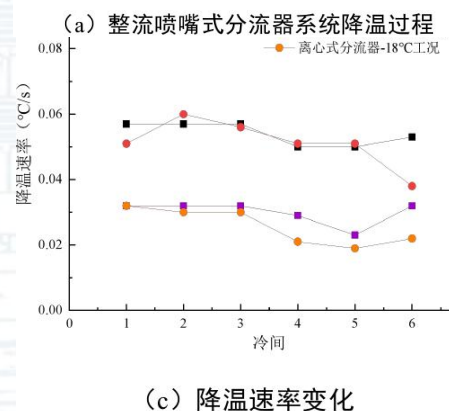
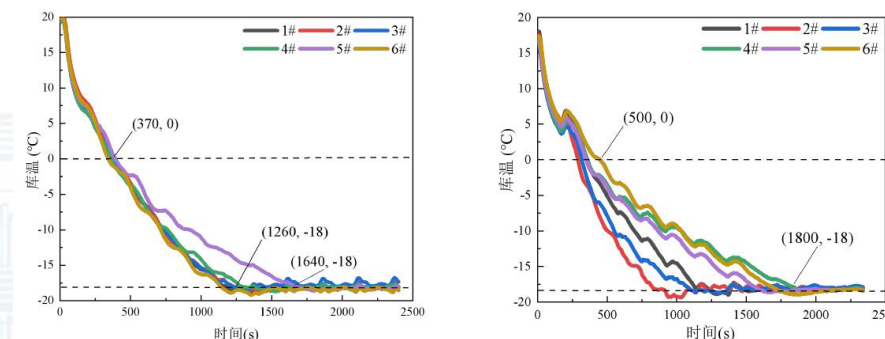
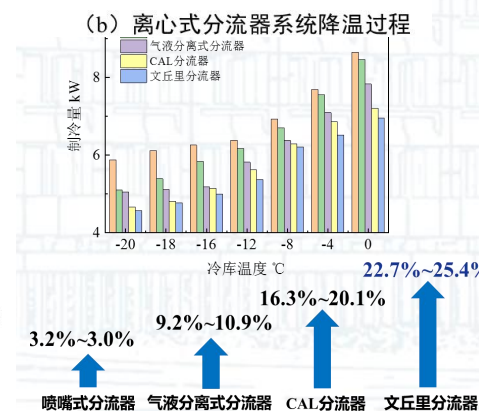


图 3-22 不同干度下喷嘴出口含气率云图

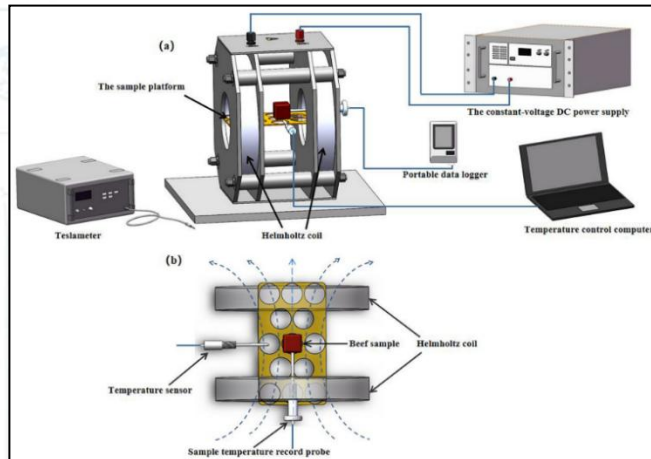


(c) 降温速率变化



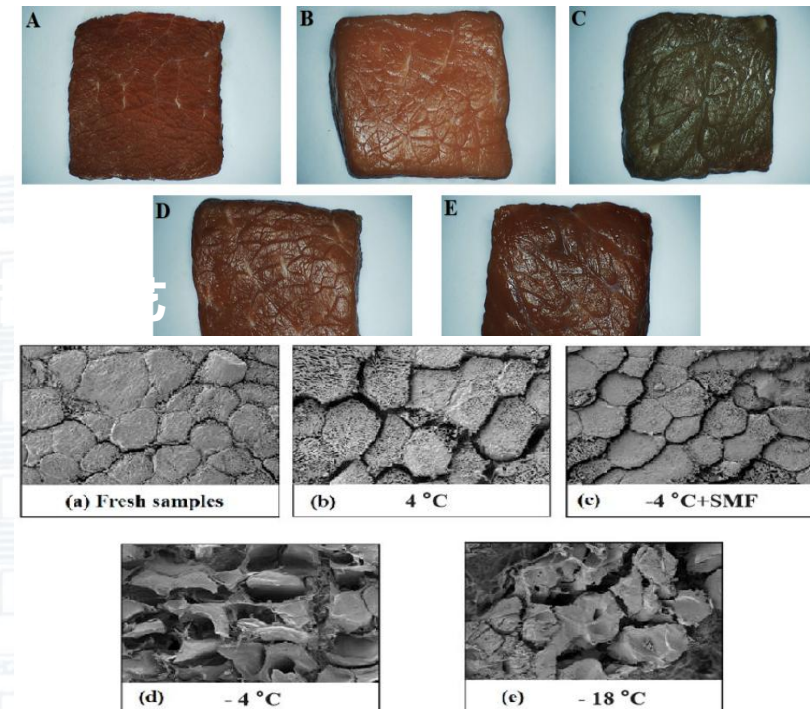
## 2.3 轻商领域技术创新与赋能应用——牛肉静磁场延长过冷 (SM-ES) 冰温保鲜技术 (天津商业大学)

### 静磁场过冷保鲜牛肉品质工艺



静磁场延长过冷保鲜牛肉

提出了一种新的静磁场延长过冷 (SM-ES) 方法来维持牛肉的非冷冻状态。研究了SM-ES ( $-4^{\circ}\text{C} + \text{SMF}$ ) 与冷藏 ( $4^{\circ}\text{C}$ )、缓慢冷冻 ( $-4^{\circ}\text{C}$ ) 和冷冻 ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) 处理对牛肉品质的影响。结果表明, SM-ES成功地将牛肉在 $-4^{\circ}\text{C}$ 下保存了14天而没有冰核。扫描电子显微镜 (SEM) 观察结果表明, 慢冻/冷冻样品的微观结构由于结晶而受到破坏, 而SMES处理的牛肉没有观察到冰核现象。



## 2.3 轻商领域技术创新与赋能应用——牛肉静磁场延长过冷 (SM-ES) 冰温保鲜技术 (天津商业大学)

针对温度波动大、智能化控制程度低等问题，开发牛肉静磁场延长过冷 (SM-ES) 冰温保鲜技术，可实现牛肉-4℃下保存14天无冰核，货架期延长6d以上；据此，研制了冰温冰箱，可实现箱内温度智能化调控。



产品样品



合作对象

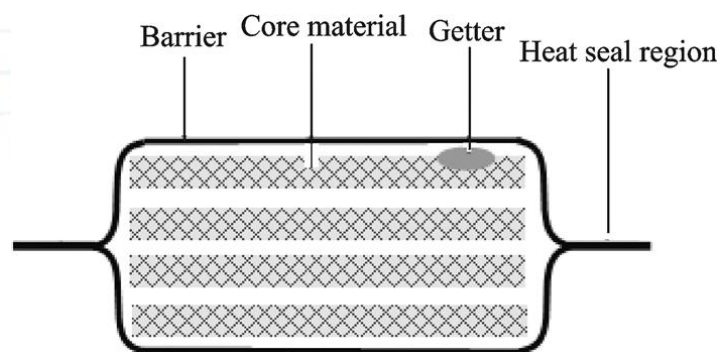
Haier 海尔

相关产品投入市场后，受到了市场的热烈欢迎，**近三年销售量达到177.45万台**，销售额681341.63万元。

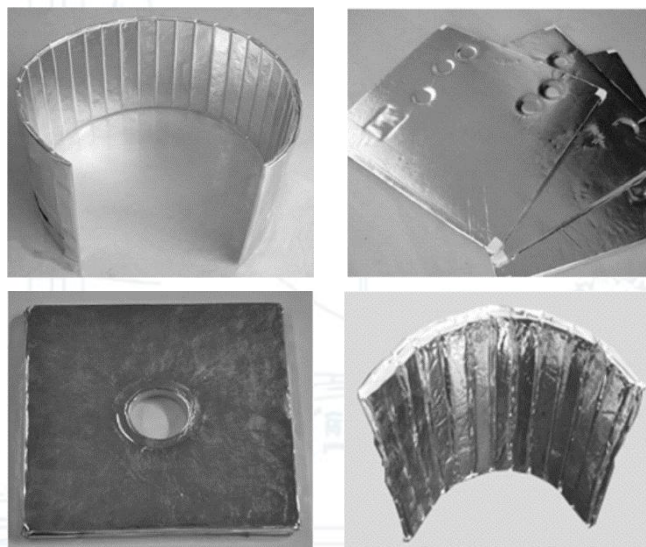


## 2.3 轻商领域技术创新与赋能应用—真空换热板研究（上海海事大学）

### 真空绝热板芯材



(a) 真空绝热板结构图

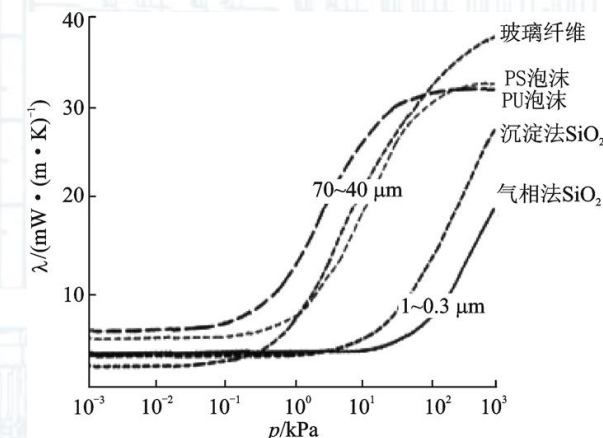


(b) 多种异性结构

由于成本高、制备工艺复杂，颗粒芯材的应用受到限制；泡沫芯材由于阻燃性差被淘汰；纤维芯材由于原料来源广泛、工艺简单而被大规模产业化应用。具有**超混杂结构的玻璃纤维/颗粒复合芯材**既克服了玻璃纤维芯材刚度小、吸潮大以及颗粒芯材成本高的缺点，又利用不同芯材的特性进行性能互补。填充在玻璃纤维之间的粉末颗粒减小了芯材的内部孔径，弱化了气体热传导，有效地提高了VIP芯材的临界真空度，从而显著提升VIP的绝热能力。

不同芯材VIP的导热系数

芯材类型	导热系数/(W·(m·K) <sup>-1</sup> )
气相法SiO <sub>2</sub>	0.004~0.005
沉淀法SiO <sub>2</sub>	0.005~0.007
珍珠岩粉	0.006~0.008
PU泡沫	0.007~0.009
玻璃纤维	0.0015~0.003



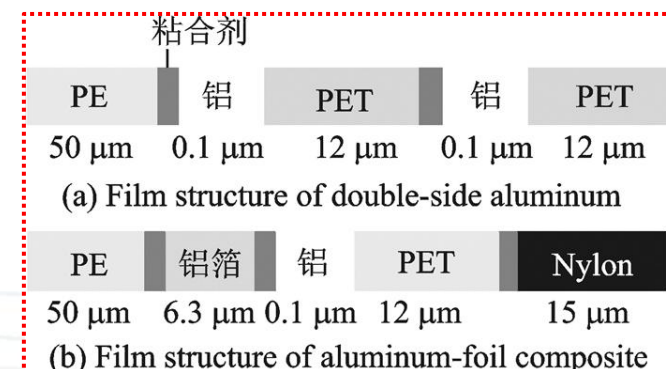
(c) 常用芯材的导热系数随气压的曲线

## 2.3 轻商领域技术创新与赋能应用—真空换热板研究（上海海事大学）

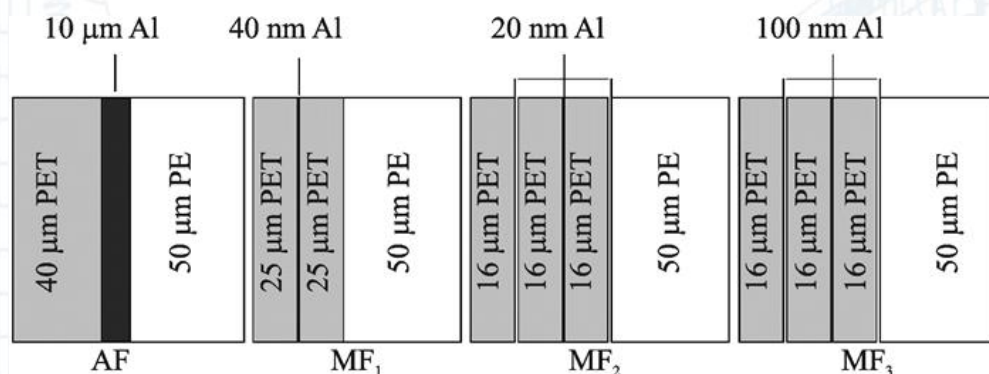
### 真空绝热板阻隔膜

阻隔膜由结构层、热封阻隔层和气体阻隔膜层组成。结构层主要起支撑阻隔膜的作用；热封层是阻隔膜的最内层，起封装阻隔膜的作用；气体阻隔膜层主要起阻气阻氧，延长VIP服役寿命的作用。

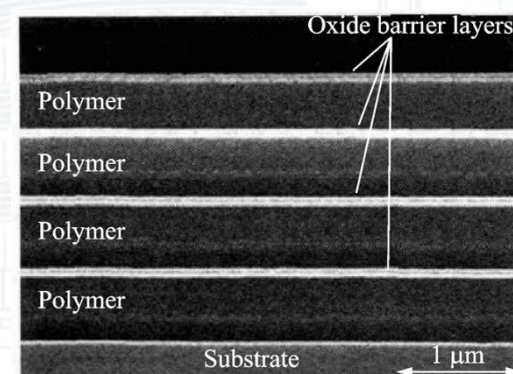
现有的  
高效阻  
隔膜  
结构



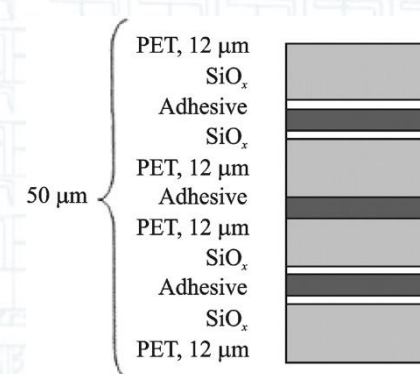
(b) 双层镀铝膜和铝箔膜结构



(a) 阻隔膜结构



(c) 四双阻隔膜的SEM截面图



(d) 面对面层压结构

## 2.3 轻商领域技术创新与赋能应用——天然环保制冷剂替代技术研究（上海理工大学）

### 天然环保制冷剂 R290 在展示柜等轻商设备中的替代应用与关键技术研究

#### 背景

天然环保制冷剂 R290 开始在家用空调器和冰箱中开始应用,但由于其**燃爆特性**(安全等级 A3)及相关标准对其充注量的限制,R290 **在商用领域**还尚未取得推广应用。

#### 成果应用

1. 采用新型天然制冷剂 R290 替代 R404A 等应用于商用冰箱、陈列柜,系统能耗可降低高达**35%**,碳排放降低**44%**。
2. 采用高效低充注量技术,显著降低充注量,将充注量严格控制在**安全标准内**。
3. 采用智能控制技术,结合 R290 制冷系统运行特性,提高柜内**温度场均匀性**、降低系统能耗。

#### 创新性 & 优势

1. **能效提高**。R290 制冷系统能耗低,24 h 耗电量相比 R404A 可降低**15% ~ 35%**,等效碳排放量可降低**25% ~ 44%**,绿色安全,节能减碳,具有良好的技术优势。
2. **成本降低**。采用高效低充注量技术,显著降低 R290 制冷剂的充注量,R290 充注量仅为 R404A 的**20% ~ 34%**,制冷剂充注成本降低**50%**以上;相比于 R454C 等非共沸制冷剂,充注成本降低高达**87%**。
3. R290 制冷系统具有显著成本优势。

采取的各种制冷剂减量技术,结合智能控制技术,成功开发出样机,测试结果表明节能减碳成果显著。



## 2.3 轻商领域技术创新与赋能应用——自复叠制冷循环先进控制（西安交通大学）

一种应用于分离增效自复叠制冷循环的控制系统及控制方法

### 背景

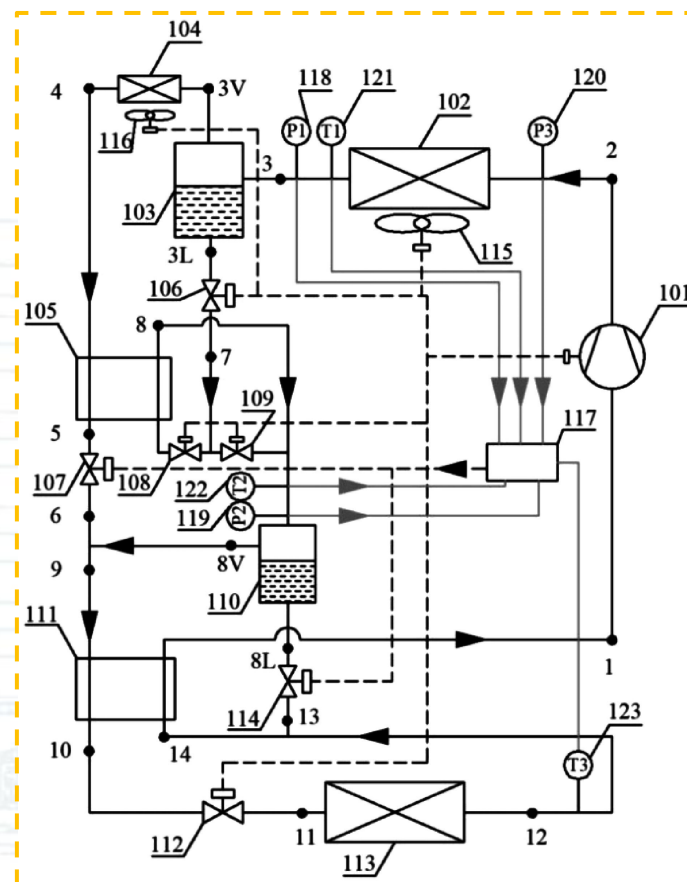
自复叠制冷系统多应用于轻商设备中的**医用冷柜**。受**国家政策支持**、**人口老龄化**趋势加重,以及医疗卫生事业投入增加等多方面因素的驱动,医用冷柜市场**持续增长**,再加上新冠病毒感染的刺激,医用冷柜市场一路飙升。

目前自复叠制冷循环分离增效的相关技术较为缺乏,缺少相应的控制方法。

### 成果应用

该控制系统能够实时根据分离增效自复叠系统运行的热力参数值,控制压缩机、风机的启停,控制电磁阀的通断和电子膨胀阀的开度,实时保障分离增效自复叠制冷系统的**安全、高效运行**。在启动阶段保障系统**安全启动**,在拉低温阶段和稳定运行阶段**增加蒸发器内制冷剂流量,增加蒸发器内低沸点组分浓度**,提升蒸发压力,减少压缩机的压比,降低压缩机耗功,达到节能目的。

### 自控系统实施案例



## 2.3 轻商领域技术创新与赋能应用——自复叠制冷循环先进控制（西安交通大学）

### 基于涡流管调节工质组分与流量的自复叠制冷系统及控制方法

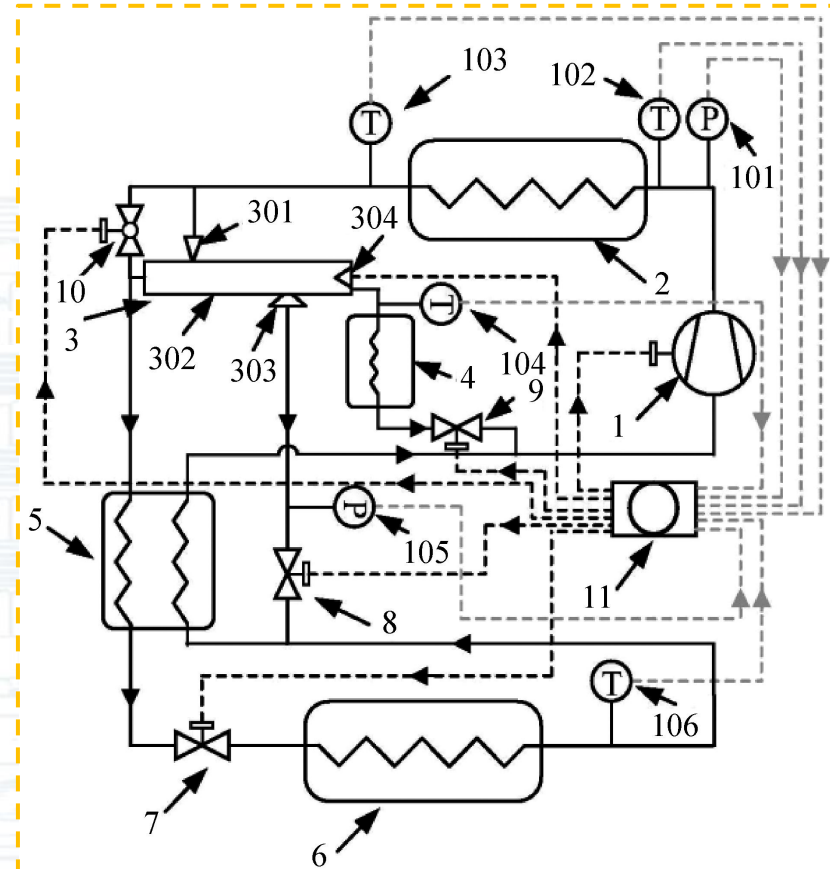
#### 背景

自复叠制冷系统多应用于轻商设备中的**医用冷柜**。受**国家政策支持**、**人口老龄化**趋势加重,以及医疗卫生事业投入增加等多方面因素的驱动,医用冷柜市场**持续增长**,再加上新冠病毒感染的刺激,医用冷柜市场一路飙升。传统自复叠制冷系统复叠换热器冷负荷占比较大,为此提出一种基于涡流管调节工质组分与流量的自复叠制冷系统及控制方法。

#### 成果应用

系统以**涡流管取代气液分离器**,低温饱和气体进入复叠换热器降温,低温饱和液体节流后提供复叠换热器的冷量,从而**减少**了复叠换热器内的换热**不可逆损失**和**节流损失**。同时由于涡流管能量分离为组分分离和相分离提供了**额外的驱动力**,因此其分离**效率比平衡闪蒸的分离器更高**,技术用极大地提升了系统性能。

#### 创新性及优势





三

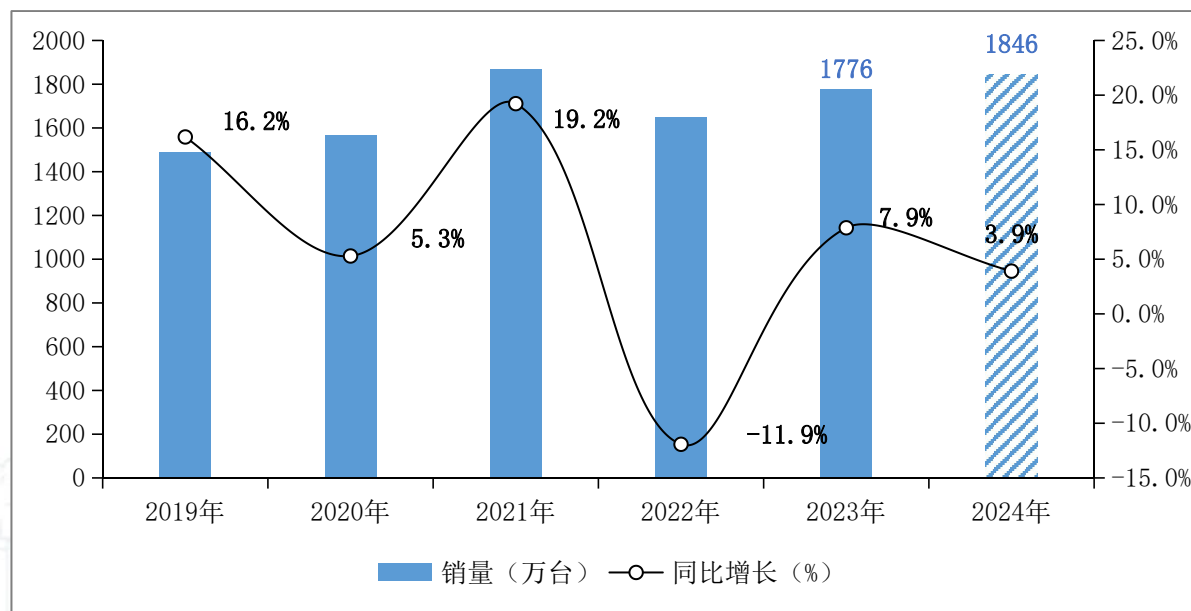
## 轻商发展趋势





## 3.1 轻商产业行业预测

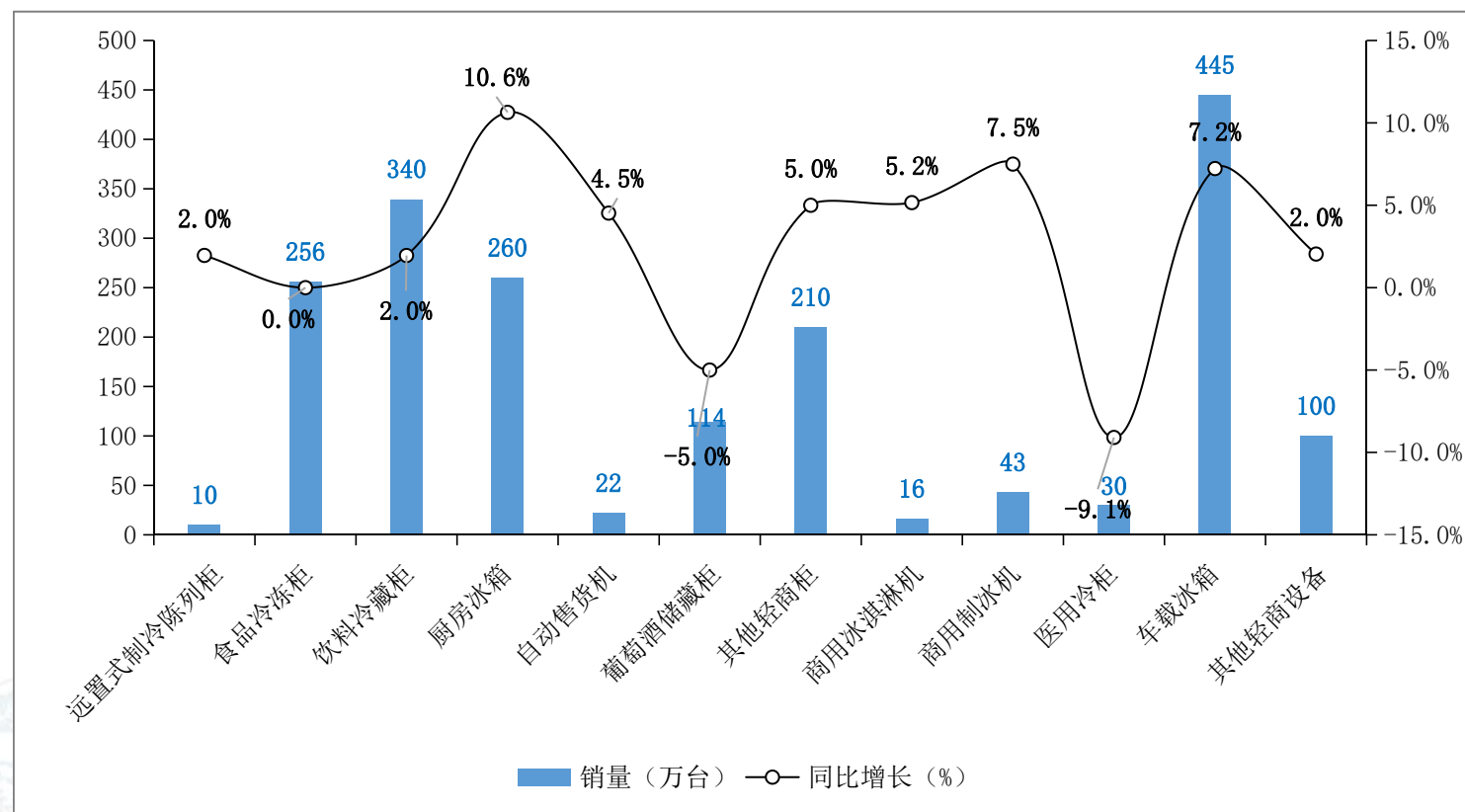
- 进入2024年外部环境的复杂性、严峻性、不确定性持续上升，海外主要经济体的货币金融政策调整悬而未决，**稳中求进成为未来一年国内经济主趋势。**
- 在经济大环境影响下，2024年中国轻型商用制冷行业也将呈现稳中有进的小幅提升的状态，如下图所示，**预计2024年销售量为1846万台，同比增长3.9%。**



2024年中国轻型商用制冷产品销量预测  
数据来源：产业在线

## 3.2 轻商产业设备细分产品规模

- 从细分产品看，预计2024年各细分产品发展较为均衡，产品的销量增幅变化不大。
- 右图为2024年中国轻型商用制冷产品销量预测。2024年预计：**餐饮业发展提速，会带动厨房冰箱产品销售有所提升，同比增长11%**；**医用冷柜和葡萄酒储藏柜预计上涨压力较大，大概率会有下滑，但下滑幅度不会太大；其他细分产品会有小幅增长。**



2024年中国轻型商用制冷产品销量预测  
数据来源：产业在线

### 3.3 轻商设备用制冷剂替代方案

设备分类		主要在用制冷剂	潜在替代制冷剂
带制冷功能的自动售货机		R134a、R290、R404A、R600a	R290
制冷陈列柜	自携式冷柜	R290、R134a、R404A、R410A	R290
	远置式冷柜	R134a、R404A、R410A	R744、R448A等
厨房冰箱		R290、R134a、R404A、R600a	R290、R600a
商用制冰机		R404A、R134a、R290	R290、R600a
冰激凌机		R404A、R134a、R290	R290、R600a
葡萄酒储藏柜		R134a、R600a	R600a
医用冷柜	冷藏温区柜	R134a	R600a
	冷冻温区柜	R404A	R290
	-86°C医疗柜	R134a/R23、R404A/R23、混合工质	碳氢混合工质等。 (如：R600a/R290/R170/R150)
海鲜低温柜 (-60°C)		R290/R170、R600a/R170等	R290/R170、R600a/R170等

来源：刘业凤 轻型商用制冷设备制冷剂替代技术路线及成熟度研究



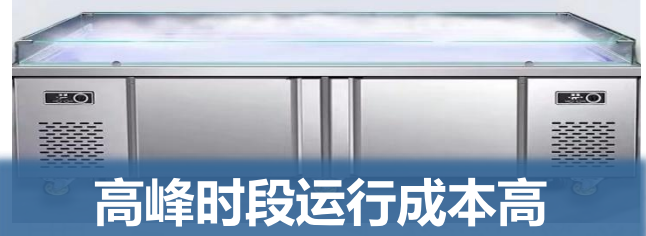
### 3.4 关键技术研究——相变蓄冷技术——研究背景



无围护结构



保温性能差



高峰时段运行成本高

#### 相变蓄冷冰鲜展示台

存在问题

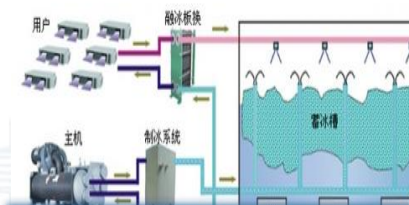


现状

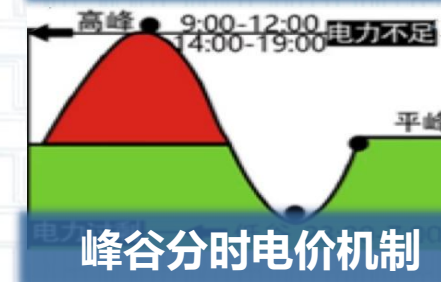
◆ 节约能耗，降低成本



保温材料应用成熟



相变蓄冷技术发展较快



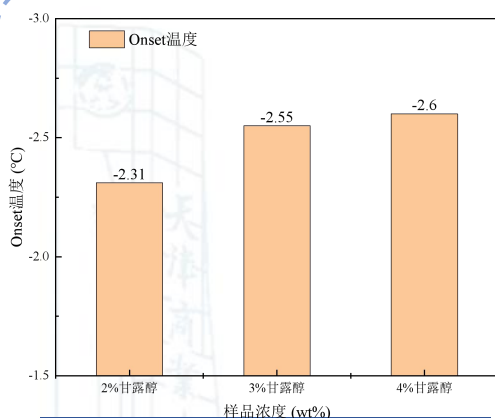
峰谷分时电价机制

#### 研究意义

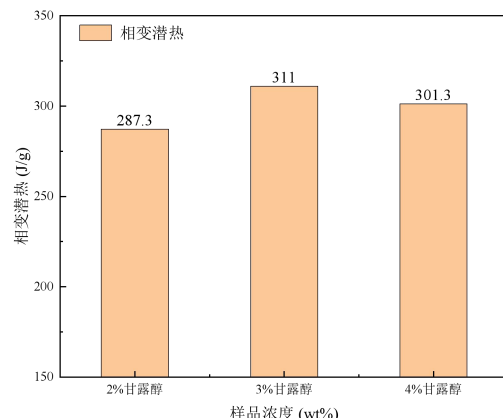
使用相变蓄冷材料，结合峰谷分时电价机制，可最大程度上减少冷量浪费，缓解用电高峰电网供电压力，提高电网用电负荷率，促进能源绿色低碳发展。

### 3.4 关键技术研究——相变蓄冷技术——相变材料

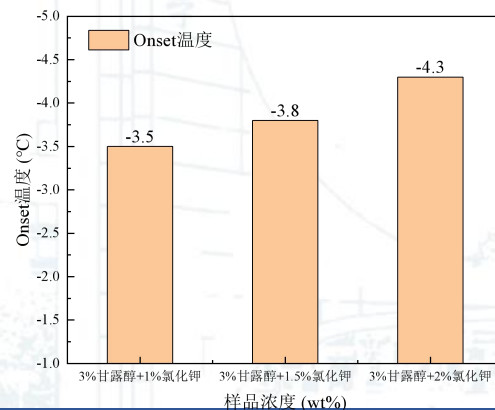
#### -5°C相变蓄冷材料三种材料复合相变温度相变潜热测试



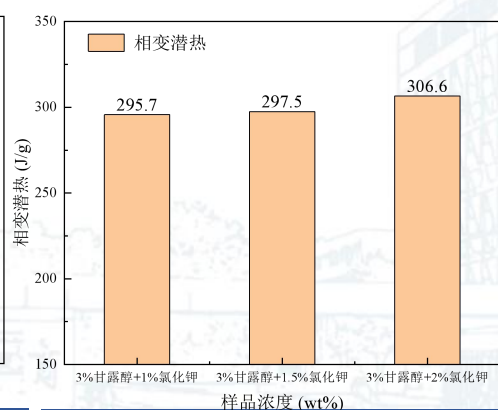
2%3%4%甘露醇相变温度



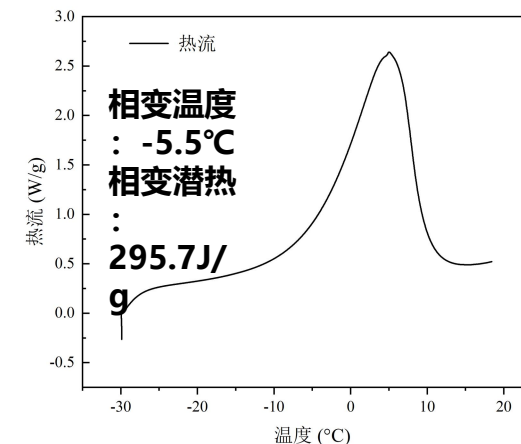
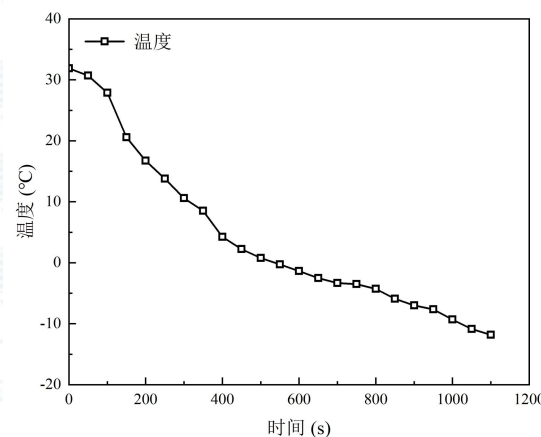
2%3%4%甘露醇相变潜热



3%甘露醇+1%1.5%2%相变温度



3%甘露醇+1%1.5%2%相变潜热



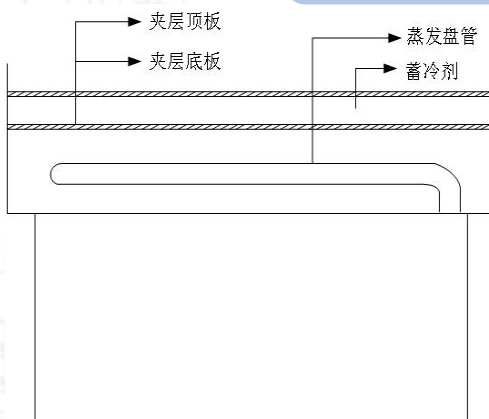
3%甘露醇+2%KCL+1.8%高吸水树脂

### 3.4 关键技术研究——相变蓄冷技术——相变蓄冷冰鲜展示台测试

➤ **原理：**蓄冷材料直接铺在台面上，使用谷电充冷，第二天不开启制冷机组，只使用蓄冷材料供冷。



#### 结构

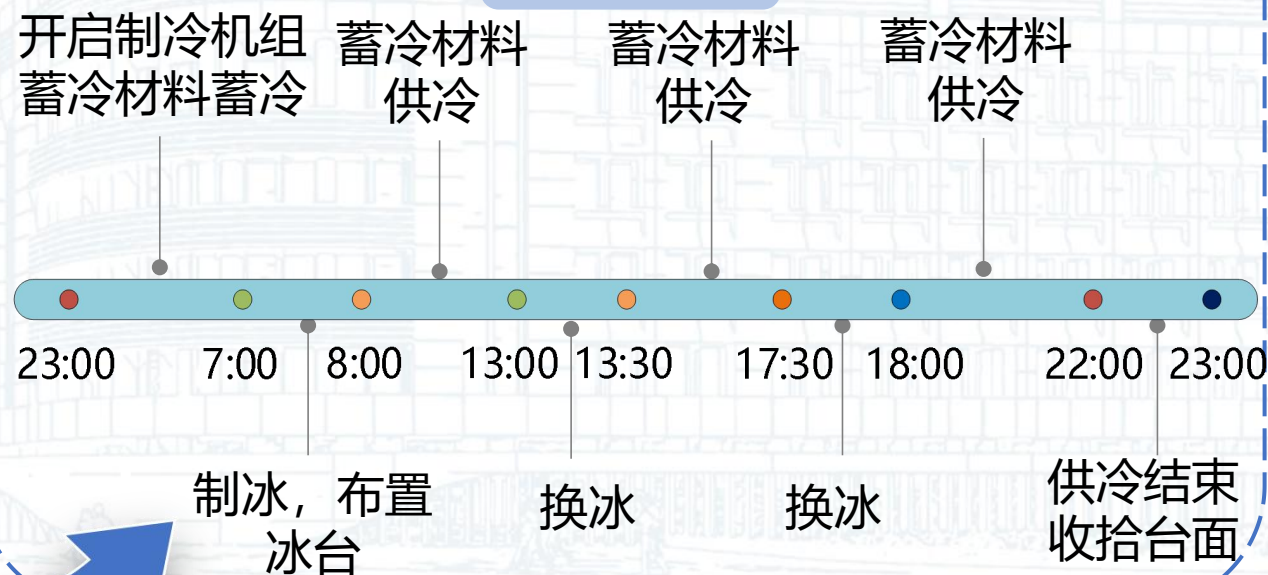


结构设计



实际应用

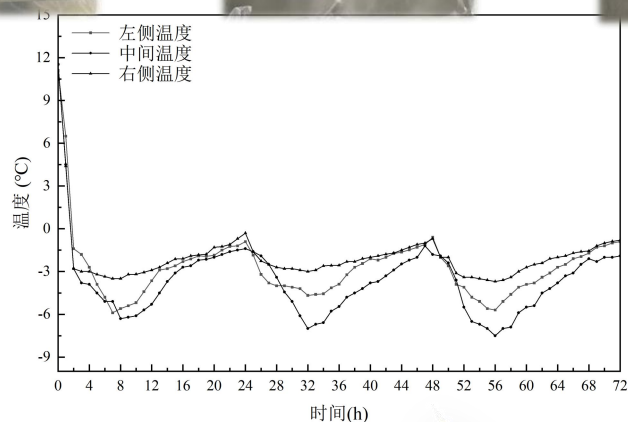
#### 运行原理





### 3.4 关键技术研究——相变蓄冷技术——相变蓄冷冰鲜展示台测试

蓄冷材料冻融过程



单台节能效益

	种类	耗冰量/天 (kg)	耗电量/天 (kW·h)	电费 (元)
对照组	传统不带制冷机组冰鲜台	84	11.07	9.17
实验组	相变蓄冷冰鲜展示台	36	4.1425	3.5

- 每年减少用冰17.52吨
- 每年节约电费2067.19元
- 每年减少CO<sub>2</sub>排放2.32吨

耗电量降低率高达**62.5%**



低谷时点

用低价电能蓄能

冷量  
省钱

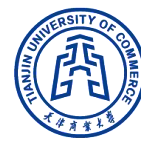


高峰时点

高电价时段用能

蓄冷材料可持续供冷16个小时

预计项目投资回收期是**1.02年**



**衷心感谢各位专家的支持和帮助!**