



# R290家用空调的零部件配置 策略探讨

Discussion on the Component Configuration Strategy of  
R290 Domestic Air Conditioners

宣讲人：上海海立电器有限公司 CTO 周易

Presenter: Shanghai Highly Electrical Appliances Co., Ltd. ,

CTO , Zhou Yi

2025. 04. 28



# CONTENTS

## 目录

• R290家用空调背景

• R290空调换热器配置探讨

• R290空调压缩机配置探讨

• 总结

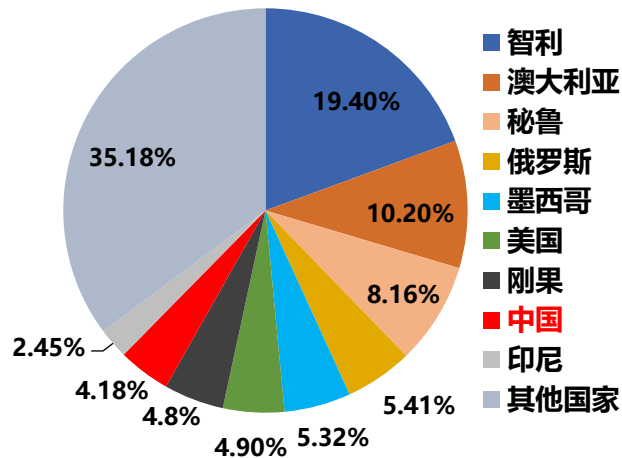


# R290家用空调背景介绍

## 中国精炼铜市场背景

- 我国是贫铜国，铜储量只占全球的**4.18%**。而我国又是全球**最大的铜消费国**，每年都需要大量进口精炼铜来满足国内市场需求。
- 铜价水涨船高，自2005年以来铜价经历了**5次**上行，2024年5月达到**历史高点**88940元/吨，2025年3月再次抵达高位。

全球铜储量示意图



\*资料来源：据美国地质调查局（USGS）统计



\*资料来源：东方财富网数据

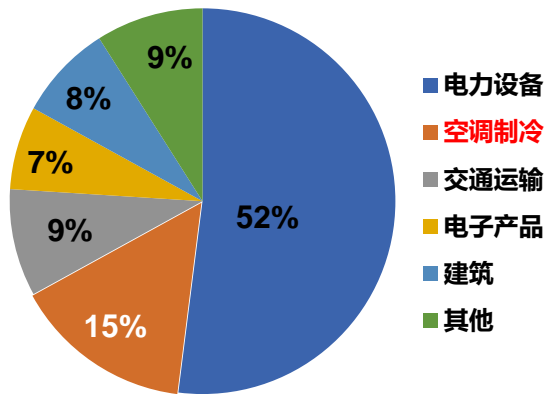


## R290家用空调背景介绍

### 中国精炼铜消费结构

- 目前中国精炼铜消费结构中空调制冷**占比15%**，位居第二。而随着新能源汽车、AI算力、光伏发电、基建、电子设备及国防军工等方面的发展未来对于铜的需求将大大增加。

中国精炼铜消费结构示意图



\*资料来源：观研天下数据中心整理



# R290家用空调背景介绍

## 中国精炼铜消费结构

- 目前中国精炼铜消费结构中空调制冷**占比15%**，位居第二。而随着新能源汽车、AI算力、光伏发电、基建、电子设备及国防军工等方面的发展未来对于铜的需求将大大增加。

• 纯电动汽车：平均用铜量是普通油车的**3~4倍**，**2024年产量超1300万辆<sup>①</sup>**，用铜量约**120万吨**。

• 数据中心：预计到**2026年用铜量将增至约71万吨<sup>②</sup>**，相较于**2023年增长51%**。

\*资料来源：产量数据由①中汽研、  
②光大证券、③国家能源局给出，  
用铜量由deepseek推算。



• 航天军工：我国卫星发射数量增加、民用航空市场持续增长。

• 光伏风电：2024年中国光伏新增<sup>③</sup>约**278 GW**，**同比增长28%**；风电装机**同比新增6%**。合计用铜量约**210万吨**。





# CONTENTS

## 目录

• R290家用空调背景

• R290空调换热器配置探讨

• R290空调压缩机配置探讨

• 总结



# R290空调换热器配置探讨

## 铝制换热器市场情况

- 我国电解铝产量充足，全球占比**57%**\*。在汽车空调以及冰箱行业，铝制换热器早已占据市场。
- 铝制换热器技术**已趋于成熟**，在国际上已得到大量推广应用。

### 北美：

1. 消费者**认可铝制空调**，并不觉得廉价
2. 暖通行业铝管用量**已超过铜管**
3. 铝可以降低**蚁巢腐蚀**

### 南美：

由于本土化政策以及能效提升要求，**铝管换热器**在阿根廷得到批量应用

### 墨西哥、东南亚：

为**应对中美关税壁垒**，中国企业在这地区建造生产工厂。

### 中国：

1. 电解铝大国，产量**占全球57%**。
2. 在**汽车空调及冰箱行业**，铝制换热器早已占据市场大头。

### 日本：

日本企业对铝制空调研究比较领先，**大金、松下、日立**等企业已大量减少铜在空调中的使用占比。

\*资料来源：彭博社发布





# R290空调换热器配置探讨

## 铝制换热器优点

有研究表明采用全铝管翅式换热器和微通道换热器后，**空调重量可减少19%至23.8%**。



铝合金的密度为 $2.63\text{g/cm}^3$ ，铜的密度为 $8.96\text{g/cm}^3$ ，这有利于降低空调重量。



轻量化



铜的密度为铝的3倍，相同体积的铜制换热器是铝制换热器价格的**12倍**左右。

**R32冷媒压力相对较高，铝管需加大壁厚增强承压性；R290相当压力较低，铝管正常壁厚就可以满足加承压需求。因此R290与铝管适配性更佳，既能降低成本，又能减轻重量。**

铝

展性也使其更容易适应复杂的几何形状（如微通道）。

轻量化

以某2匹机为例，全铝微通道铝制换热器能**提升换热性能1%-5%**以及**减少充注量32%**。



易回收

不需要再将换热管和翅片分开回收，能有效提高回收效率。



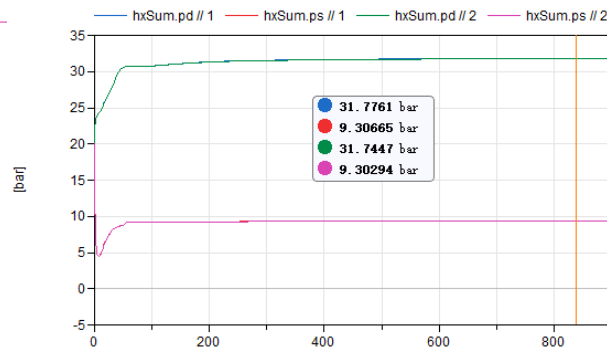
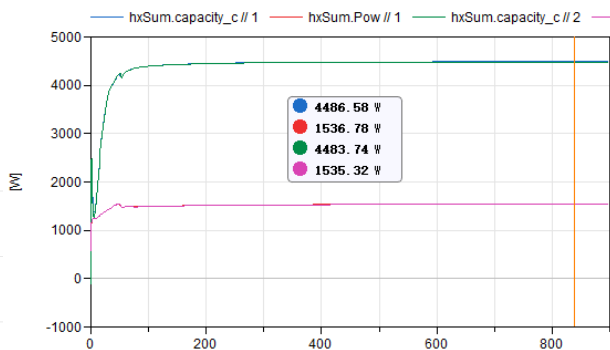
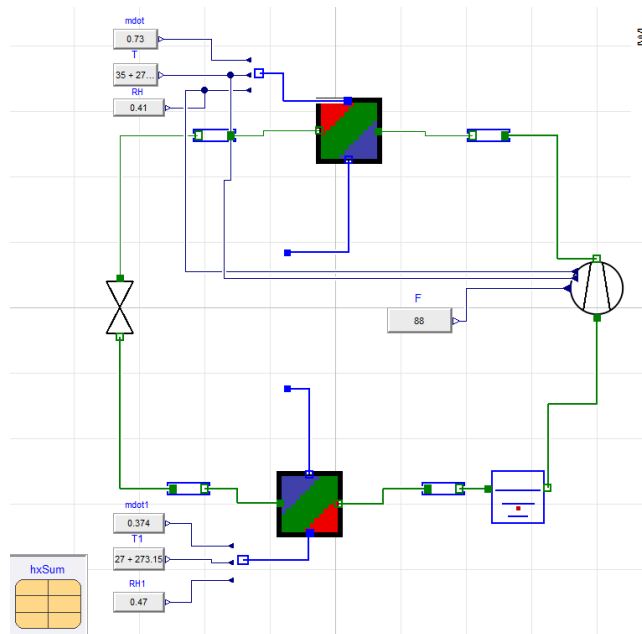
电解铝中**电力成本约占36%**，铝的回收能更大程度降低电解铝的成本。





# R290空调换热器配置探讨

## 铜和铝换热器仿真计算对比

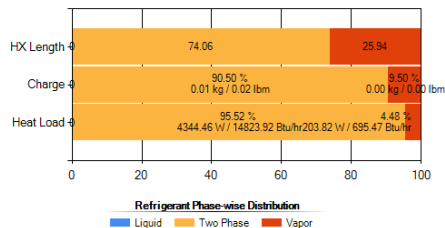
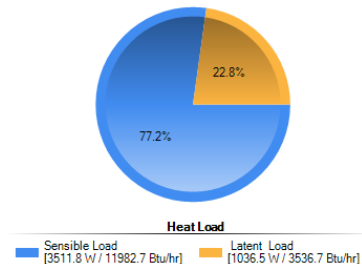
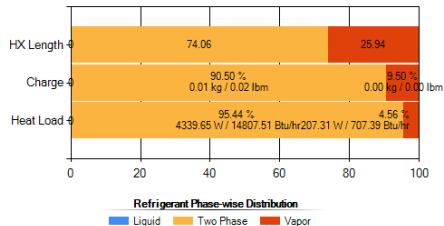
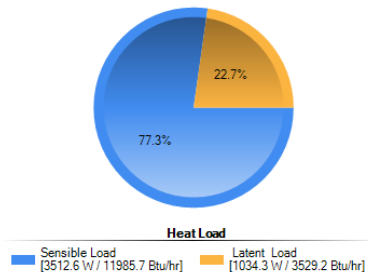


参数	单位	最大制冷 铜管	最大制冷 铝管
制冷剂	/	R32	
冷凝压力	MPa	3.18	3.17
蒸发压力	MPa	0.93	0.93
过冷度	°C	14	13.9
过热度	°C	15.6	15.67
换热量	W	4485.6	4483.41
功率	W	1536.2	1535.12
COP	/	3.87	3.87



# R290空调换热器配置探讨

## 铜和铝换热器仿真计算对比



参数	单位	最大制冷 铜管	最大制冷 铝管
制冷剂	/	R290	
室内进风干球温度	°C	27	
室内进风湿球温度	°C	19	
室内进风风量	m <sup>3</sup> /h	839.8	
蒸发器进口压力	MPa	0.72	
蒸发器进口制冷剂干度		0.173	
制冷剂流量	Kg/h	59.5	
室内出风干球温度	°C	14.51	14.51
室内出风湿球温度	°C	13.22	13.22
蒸发器出口压力	MPa	0.486	0.486
蒸发器出口温度	°C	7.97	7.92
压降	MPa	0.234	0.234
压降对应的饱和温度变化	°C	13.56	13.56
换热量	W	4548.28	4546.97
显热	W	3511.79	3512.65
潜热	W	1036.49	1034.32

结论：从仿真计算来看，不管是R32或R290系统，铝管和铜管的换热差异都很小。



## R290空调换热器配置探讨

### 铜和铝换热器传热理论分析

换热器传热系数计算

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ki}} \cdot \tau + \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{A_{of}}{A_m} + R_o + R_b + \frac{1}{\alpha_{of} \cdot \eta_o}}$$

热阻 (m <sup>2</sup> ·K) / W	铜管	铝管	铜铝热阻比值	占总热阻百分比
制冷剂侧热阻	1.66e-2	1.66e-2	100%	33.6%
导热热阻	9.64e-7	1.55e-6	62.2%	1.95E-3%
污垢热阻	全新管 污垢热阻默认为 0			
接触热阻	2.13e-8	2.78e-8	76.6%	4.3E-5%
空气侧热阻	3.28e-2	3.28e-2	100%	66.3%
总热阻 1/k	0.0494729	0.0494733	99.9%	100%

结论：从理论计算来看，铜制换热器和铝制换热器的**热阻差异极小**。这是因为铜铝管壁材质热导率大且壁厚薄，管壁导热热阻值较小，故其在总热阻中占比极低。



# R290空调换热器配置探讨

## 铜和铝换热器相关实验研究

铝管蒸发器替代铜管蒸发器在空调上的可行性分析  
Feasibility analysis of replacing copper tube evaporator with aluminum tube evaporator in air conditioner

### 铝管替代铜管空调冷凝器传热特性研究

陈剑波<sup>1</sup> 岳畏畏<sup>1</sup> 李静<sup>2</sup>

(1 上海理工大学环境与建筑学院 上海 200093; 2 盐城市国投集团 盐城 224000)

**摘要** 当前在空调领域中用铝管代替铜管越来越受重视。冷凝器作为空调中使用铜材料较多的器件,为了节约原材料成本,采用铝管替代铜管很有必要。通过对铝管替代铜管的空调管片式冷凝器换热量的理论计算与实验分析,验证了传热理论计算模型的正确性,并对其进行了传热特性研究。结果表明:在实验研究与铜管冷凝器加工工艺相同的铝管冷凝器管壁与翅片间接触热阻即使增大较大,对铝管换热性能亦无明显影响,而制冷剂管内的凝结换热系数对其影响较大,表面温度实验也验证了这一结论。同时对实验数据拟合得出铝管冷凝器管内凝结公式系数的理想值。

**关键词** 工程热物理; 铝代铜; 传热特性; 冷凝器; 制冷系统

**中图分类号**: TQ021.3; TQ051.61

**文献标识码**: A

Research on Heat Transfer Characteristics of Air Conditioning Condenser with Aluminum Tube Replacing Copper Tube

机构	研究方式	性能差异	原因
美的暖通 <sup>[1]</sup>	实验	降低4%-10%	胀管导致的内螺纹磨损。
格力电器 <sup>[2]</sup>	实验	降低1%左右	由于耐压,铝管的壁厚大于0.5mm,内容积减少。
江苏春兰 <sup>[3]</sup>	实验	降低2%-4%	实验的铝管为光管,内表面积为高齿铜管的76%。
西安交大 <sup>[4]</sup>	实验	降低2%-6%	不同金属材料的管内对流换热Nu数不同。
北京理工 <sup>[5]</sup>	仿真、实验	优化后提升5.69%	优化铝制换热器的翅片间距,数量等。
上海理工 <sup>[6]</sup>	仿真、实验	仿真相同,实验降低5%-10%	胀管导致的内螺纹坍塌及磨损。
太原理工 <sup>[7]</sup>	仿真	差异不大	扁管在翅片管中占比较少。

**结论:** 从相关实验数据来看优化前的铝制换热器和同规格(相同管径管长)的铜制换热器性能差异一般在5%-10%,优化后性能基本无差异。即使优化后的铝制换热器价格仍远低于铜制。



# CONTENTS

## 目录

• R290家用空调背景

• R290空调换热器配置探讨

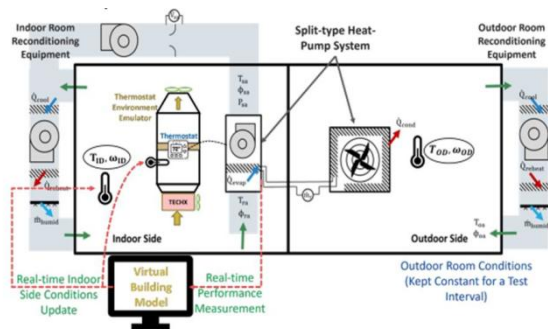
• R290空调压缩机配置探讨

• 总结

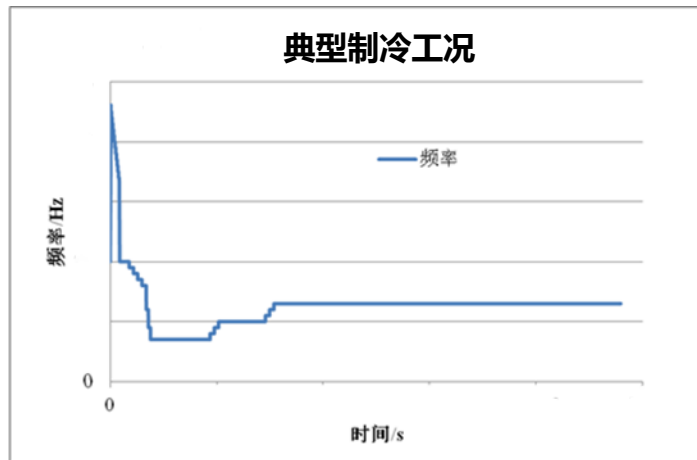


# R290空调压缩机配置探讨

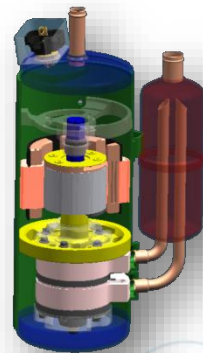
## R290双缸压缩机在新动态能效标准下



未来能效标准会从静态能效往**动态能效标准**转变



动态能效标准一个工况时长6-8小时（待定），考核压缩机在**低负载**变化下的能效。



**双缸压缩机**在长时间低频运行时无需力矩补偿，能效较优。

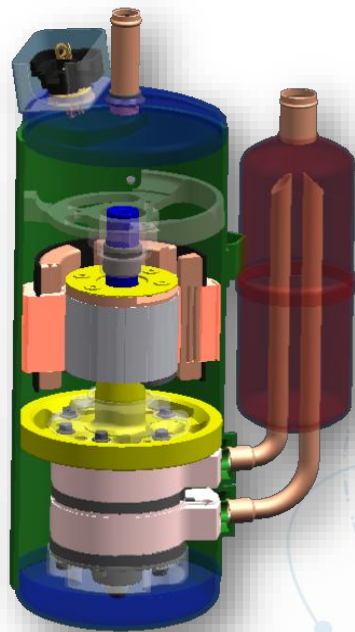


## R290空调压缩机配置探讨

### 双缸压缩机的优势

双缸压缩机是随着工业技术进步和市场需求升级而发展起来的机械动力设备，主要应用于制冷、空调、气体压缩等领域。

- 更 **大** 的转速调节范围
- 更 **小** 的运行振动
- 更 **高** 的能效与节能需求



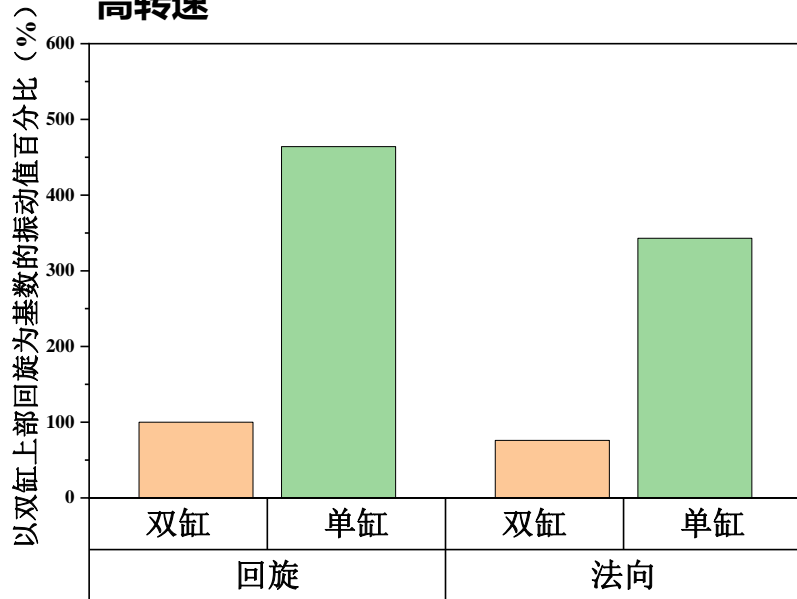




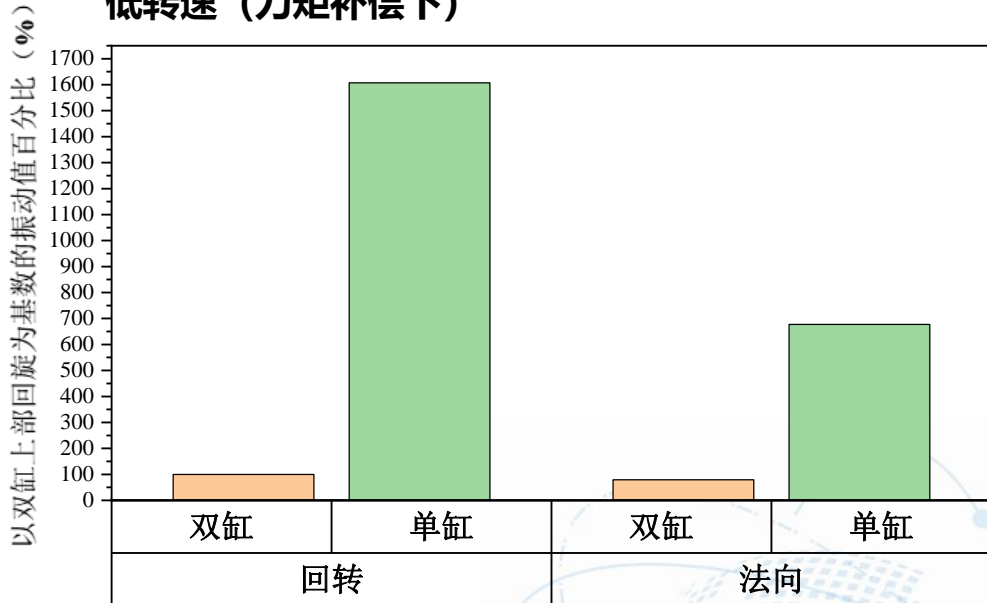
# R290空调压缩机配置探讨

## R290单双缸压缩机基频振动值对比

高转速



低转速 (力矩补偿下)



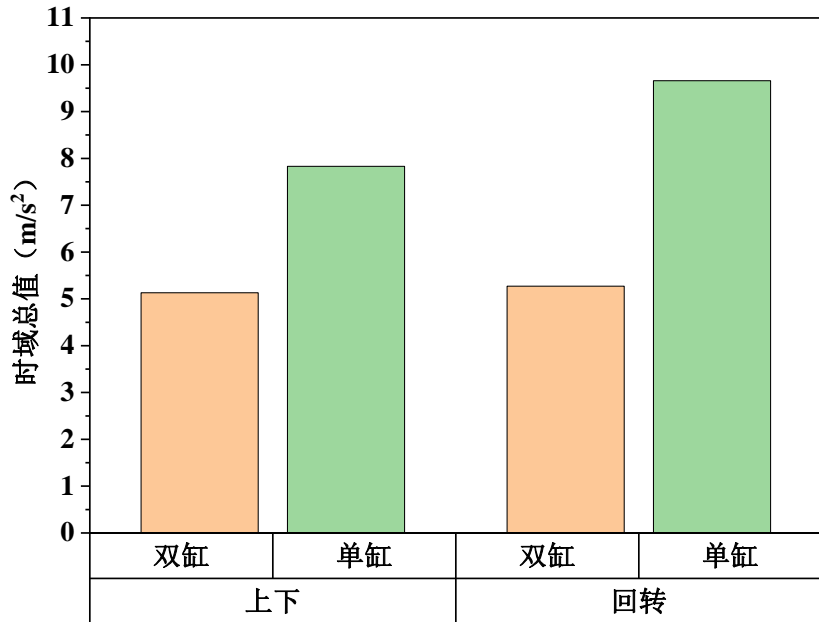
**结论：**不管是低转速还是高转速，同排量下双缸压缩机的**振动值都远小于**单缸压缩机。有效减少管路连接处因振动导致的疲劳裂纹或接口松动，降低 R290 泄漏风险大大提高了安全性。



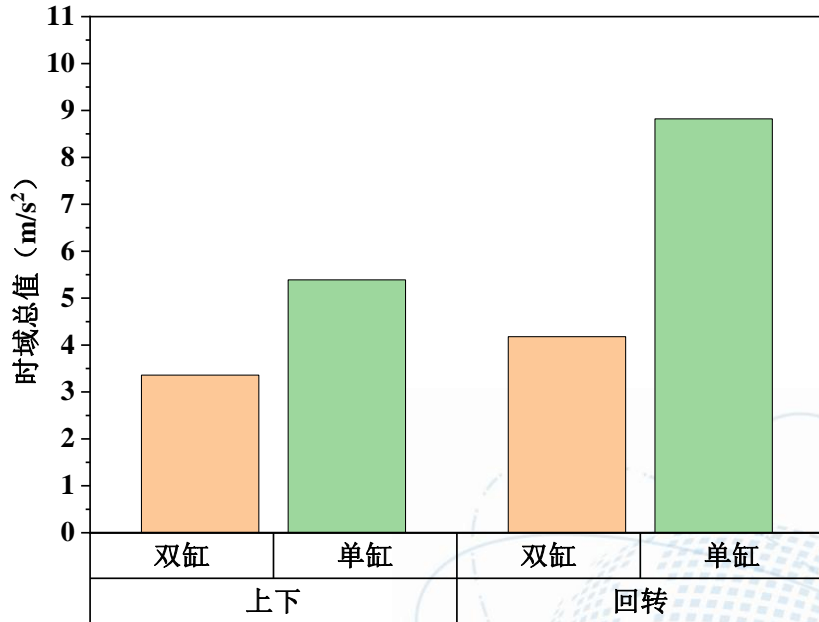
# R290空调压缩机配置探讨

## R290单双缸压缩机时域总值对比

高转速



低转速

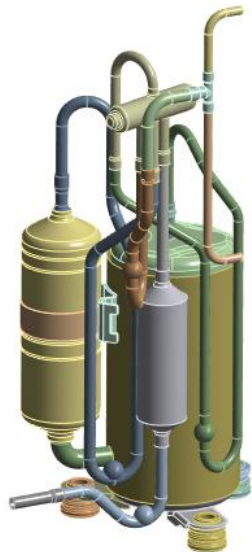


**结论：**不管是低转速还是高转速，同排量下双缸压缩机的**时域总值都小于**单缸压缩机。有效提高了在长期运行中压缩机和空调系统的可靠性，降低 R290 泄漏风险大大提高了安全性。

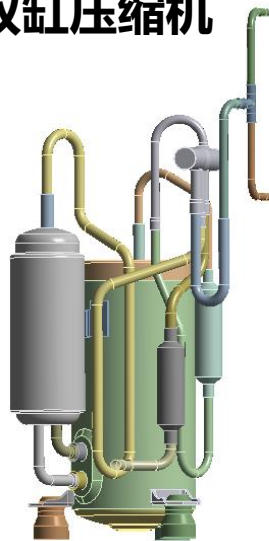
# R290空调压缩机配置探讨

## R290单双缸压缩机系统管路对比

单缸压缩机



双缸压缩机



- 配重和配管相对简单
- 主要运行频率段的响应点少

**结论：双缸压缩机比单缸压缩机对管路设计的敏感度低，系统配管发生断裂和泄漏的概率更低。**



# CONTENTS

## 目录

• R290家用空调背景

• R290空调换热器配置探讨

• R290空调压缩机配置探讨

• 总结



## 冷凝器（外机壳体平台1.5P→2P）

## 控制器（R290空调系统控制策略）

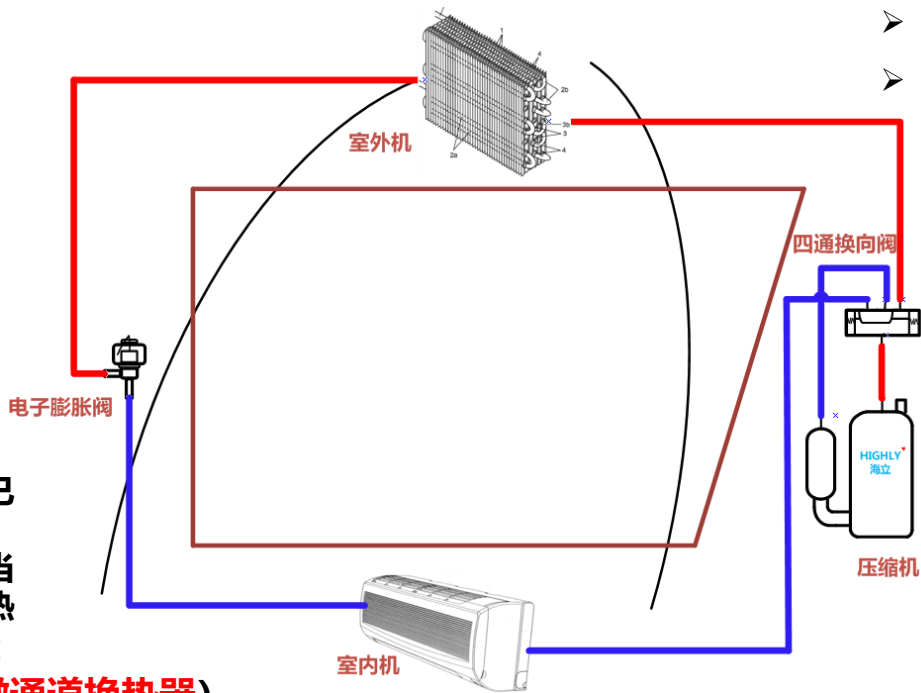
- 低压启动时的调节策略
- EEV结合升频速率的调整

## 压缩机（双缸压缩机）

- 动态能效标准考核下双缸能效更佳
- 更低的振动值，更少的泄漏风险
- 更少的系统配管，更低的R290充注量

- 铝价远远低于铜价
- 全球都有应用，技术已成熟
- 性能和铜制换热器相当
- 高效的微通道铝制换热器能减少R290充注量

## 蒸发器（铝制多流路微通道换热器）





- [1]. 赵方亮, 席战利, 武滔. 铝管换热器在家用空调器上的应用与研究[C]. 2017年中国家用电器技术大会.
- [2]. 仲明凯, 聂源基. 铝管蒸发器替代铜管蒸发器在空调上的可行性分析[J]. 家电科技. 2022, 2 (4) :22-39.
- [3]. 王冠新, 李世麟. 管翅式全铝换热器在家用空调上的应用研究[J]. 电器, 2012, S1:219-224.
- [4]. 张凡, 李兆辉. 不同材料翅片管换热器特性的试验研究[J]. 西安交通大学学报2015, 5 (49) :68-73.
- [5]. 万锐, 王义春, Revaz Kavtaradze等. 全铝无接触热阻冷凝器的建模与性能测试[J]. 华南理工大学学报(自然科学版) . 2019, (01) :118-125.
- [6]. 陈剑波, 岳畏畏, 李静铝. 管替代铜管空调冷凝器传热特性研究[J]. 制冷学报. 2012 (03) :44-48.
- [7]. 贺晓怡. 直接空冷凝汽器换热表面结构及材料的优化研究[D] 太原理工大学. 2018



THANKS

谢谢观看

