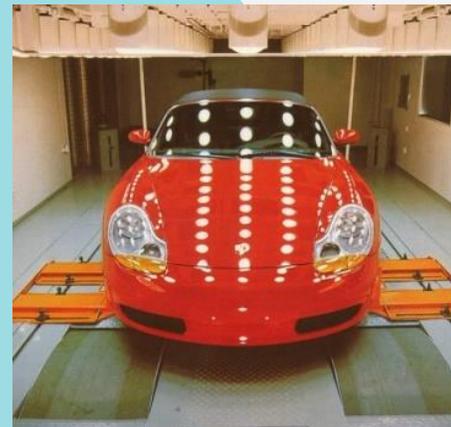
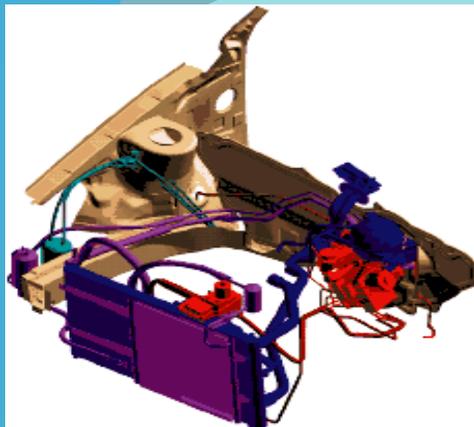


R744汽车空调系统测试技术及设备



上海天菡空气处理设备有限公司
Shanghai TianHan Air-handling Equipment Co.,Ltd

- **公司简介**
- **应用背景**
- **测试设备的挑战及解决方案**
- **试验设备介绍**

■ 公司简况 Company Profile

上

30多年开发经验

上

注册资本: 人民币2000万元

工厂面积2500m²

办公用房, 面积: 650 m²

公司员工: 70人, 其中研发技术人员约占40%
拥有硕士及以上学历的有10人 (2021年底数据),



上

汽车空调委员会会员单位



中冷协理事单位



资质证书 Qualification certificate



Quality Certified

注册证书

上海天鹫空气处理设备有限公司

统一社会信用代码: 91310112792789811E
 注册地址: 上海市闵行区三鲁公路1985号
 审核地址: 中国上海市闵行区三鲁路2121号-8号
 公司实行的
质量管理体系
符合ISO 9001:2015的要求

认证范围: 热工与制冷测试设备的设计、销售; 工业除湿机的设计、生产和销售

初次注册日期: 14/01/2014
 发放/改版日期: 06/04/2020

注册编号: CN786-QC
 失效日期: 13/01/2023



Craig J Bates
 President
 TQCS International (Group) Pty Ltd
 For the TQCSI Certification Approval Panel



Sean Bates
 Accreditation Manager
 TQCS International Pty Ltd

本证书由 TQCSI 颁发, 可在 TQCSI 网站 www.tqcsi.com 查询。本证书的有效性依赖于获证企业的质量管理体系符合 ISO 9001:2015 标准的要求, 并接受 TQCSI 的定期监督审核。TQCSI 总部 (ABN900993824) 地址: Quality House, 117A Tapleys Hill Road, Hendon, SA 5014, Australia。TQCSI 在澳大利亚注册, 颁发证书。本证书的有效性依赖于获证企业的质量管理体系符合 ISO 9001:2015 标准的要求。



TQCS
 INTERNATIONAL
 PTY LTD
www.tqcsi.com



www.aacb.com.au



www.iaf.eu



www.jas-anz.org/register



Quality Certified

Certificate of Registration

Shanghai Tianhan Air-handling Equipment Co., Ltd

ABN: 91310112792789811E
 Registered address: No.1985, Sanlu Road, Minhang District, Shanghai City
 Audit address: No.2121-8, Sanlu Road, Minhang District, Shanghai City, China
 operates a
Quality Management System
 which complies with the requirements of:
ISO 9001:2015

The registration covers the design, manufacture and sale of industrial dehumidifiers, and the design and sale of thermal and refrigeration test equipment.

Original Certification: 14/01/2014
 Issue/Revised Date: 06/04/2020

Registration No: CN786-QC
 Expiry Date: 13/01/2023



Craig J Bates
 President
 TQCS International (Group) Pty Ltd
 For the TQCSI Certification Approval Panel



Sean Bates
 Accreditation Manager
 TQCS International Pty Ltd

This certificate verifies the original certificate issued and is valid as long as it is displayed as an electronic copy at www.tqcsi.com and surveillance audits are satisfactorily completed. TQCSI International Pty Ltd (ABN 59 055 953 924) of Quality House, 117A Tapleys Hill Road, Hendon, SA, 5014, Australia issues certification subject to the TQCSI Rules of Certification. The certificate can be verified on CNCA's web site at www.cnca.gov.cn.



TQCS
 INTERNATIONAL PTY
 LTD
www.tqcsi.com



www.aacb.com.au



www.iaf.eu



www.jas-anz.org/register

Certificate – Сертификат – 證明書 – Certificat – 증명서 – شهادة

Verification of Compliance



No. EC.1282.0A130604.STA1125

Certificate's Holder: Shanghai Tianhan Air Handling Equipment Co., Ltd.
 Room A, 4th Floor, 10th Building, No.1188, Lianhang Road, Pujiang Town, Minhang District, Shanghai China

Product: Psychrometric Type Calorimeter Laboratory
 Model(s): 2HP, 3HP.

Directives: 2006/42/EC Machinery
 2006/95/EC Low Voltage

Standards: EN ISO 12100:2010, EN 60204-1:2006+AC:2010

Remark: This Verification of Compliance has been issued on a voluntary basis. ECM confirms that a Technical Construction File (TCF) is existent for the above listed product(s). The TCF satisfactorily covers the essential requirements of the above listed Directive(s). Other relevant Directives have to be observed in case they are applicable. This Document is only valid for the equipment and configuration described and in conjunction with the TCF detailed above. Whereas the Manufacturer is responsible of the certification of the product(s) and not exempted to perform all the necessary activities before placing the product(s) on the market. The Manufacturer is also responsible of the internal production control to ensure the product(s) are in compliance with the essential requirements of the above mentioned Directive(s). This certificate can be checked for validity at www.entocerma.org



Ente Certificazione Macchine Srl
 Via Mincio, 386/a - 41056 Savignano s/P. (MO) - ITALY
 ☎ +39 059 763736 - +39 059 766306 ✉ +39 059 761838 ☒ info@entocerma.it 🌐 www.entocerma.it

ISO 9001

CE

主要产品

- ◆ 整车环境仓
- ◆ 新能源热管理系统综合性能试验室
- ◆ 冷媒单体换热器试验台
- ◆ 压缩机试验台：性能、寿命
- ◆ 前端冷却模块性能试验室
- ◆ HVAC风量分配试验台
- ◆ HVAC温度线性试验台



主要客户 Customer Reference



R744应用背景

1. 制冷剂替代



图片来源 《蒙特利尔议定书》

按照议定书的要求，包括中国在内的发展中国家，2020-2022年三年要确定基准配额（相当于设定最高生产量）。从2024年开始对制冷剂的生产和消费进行冻结，2029年开始执行第一步削减10%的计划，之后每五年再消减一次，淘汰周期长达20年。

CO₂作为一种自然工质，无毒无害，无可燃性，成本低廉，已被广泛应用于热水器和超市制冷等领域。CO₂既符合新环保指标的规定，也满足低温制热工况的要求。CO₂在汽车空调，尤其新能源汽车领域有着无法比拟的优势。随着对应汽车空调的大力发展，对应实验室设计也需要更新进步。

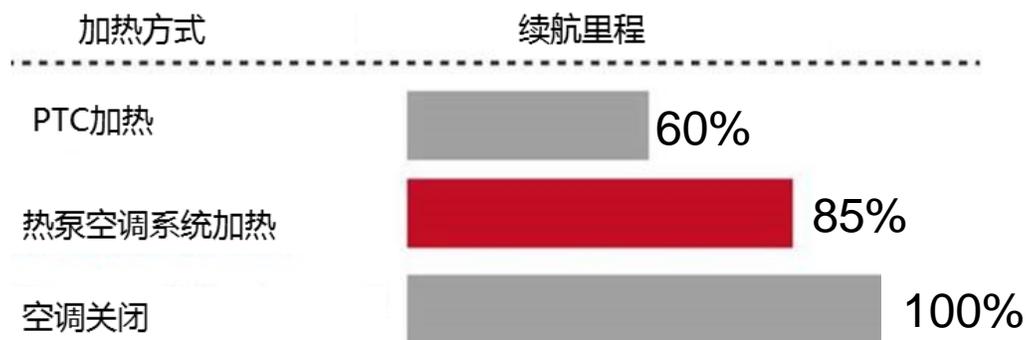
R744应用背景

2. 电动汽车

电动车存在冬季采暖差和采暖续航里程低两大难题，**二氧化碳热泵系统为最佳解决方案：**

- ◆ 相比电加热器(PTC)加热，二氧化碳热泵系统加热效率更高，约为PTC加热效率的3-4倍
- ◆ 相同的采暖工况下，二氧化碳热泵比电加热器(PTC)加热采暖多出20%-30%的续航里程

冬季续航里程 (车外温度: -10~ -15°C)



测试设备的挑战

1. 更高的系统压力

空调实验 典型工况比对

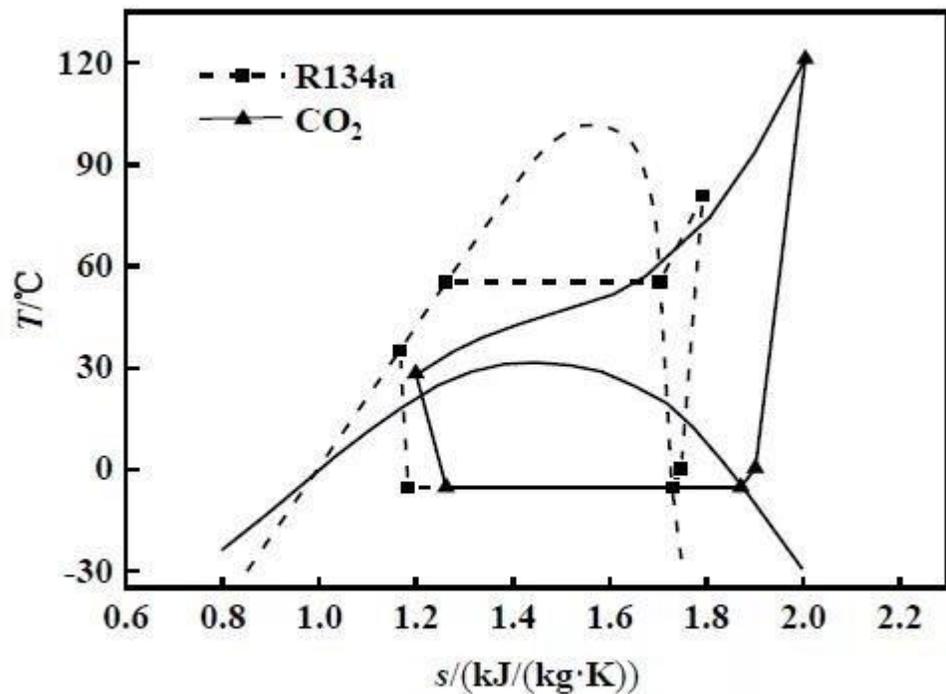


图 1 R134a 与 CO₂ 的 T-s 图

蒸发器测试标准

项目	位置	R134A标准	R744标准	单位
制冷剂侧工况	阀前压力	15	120	bar
	阀前温度	50	30	°C
	蒸发器出口压力	3	35	bar
	过热度	5	3	k

冷凝器/冷却器测试标准

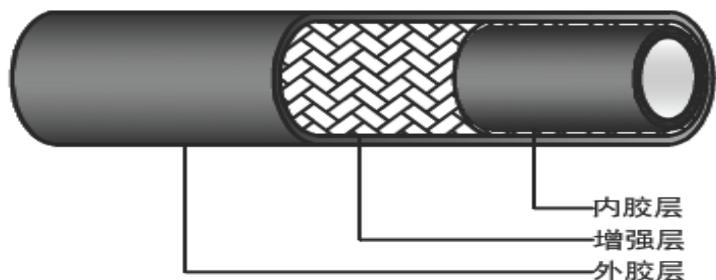
项目	位置	R134A标准	R744标准	单位
制冷剂侧工况	进口压力	20	125	bar
	进口温度	105	150	°C
	过冷度	10	/	k
	冷媒流量	/	198	Kg/h

工况来源于某客户实验标准

最高压力达14MPa

管路的差异:

◆ 试验软管: 定制耐高压软管



A型、B型示意图



◆ 硬管选择: 铜管/铝管转变为适用压力 $\geq 200\text{bar}$ 的洁净316不锈钢管

铜管规格 符号 (单位)	牌号	最大承受压力 P(Mpa)	许用应力 S(Mpa)
$\phi 3 \times 0.5$	TP2M2	18.6	67
$\phi 6.35 \times 0.8$	TP2M2	13.5	67
$\phi 6 \times 0.6$	TP2M2	7.8	67
$\phi 7 \times 0.6$	TP2M2	6.6	67
$\phi 8 \times 0.7$	TP2M2	6.7	67
$\phi 9.52 \times 0.7$	TP2M2	5.6	67
$\phi 12 \times 0.7$	TP2M2	4.4	67
$\phi 12.7 \times 0.7$	TP2M2	.1	67

卡套管 外径 mm	卡套管 壁厚 mm	订购号	重量 kg/m	工作压力 bar
3	0.5 ^①	SS-T3M-S-0,5M-6ME	0.021	330
	0.7 ^①	SS-T3M-S-0,7M-6ME	0.027	560
6	1.0	SS-T6M-S-1,0M-6ME	0.125	420
	1.5	SS-T6M-S-1,5M-6ME	0.169	710
8	1.0	SS-T8M-S-1,0M-6ME	0.175	310
	1.5	SS-T8M-S-1,5M-6ME	0.244	520
10	1.0	SS-T10M-S-1,0M-6ME	0.225	240
	1.5	SS-T10M-S-1,5M-6ME	0.319	400
12	1.0	SS-T12M-S-1,0M-6ME	0.275	200
	1.5	SS-T12M-S-1,5M-6ME	0.394	330
	2.0	SS-T12M-S-2,0M-6ME	0.500	470

2. 密封材料及方式:

超临界状态下, CO₂物理性质发生了急剧的变化, 既具有液体对溶质有较大溶解度的性质, 又具有气体易于扩散和运动的特征, 传质速率远大液体。汽车空调R744作为介质时, 系统高压侧均为超临界状态, 系统密封材料的选用尤为重要。

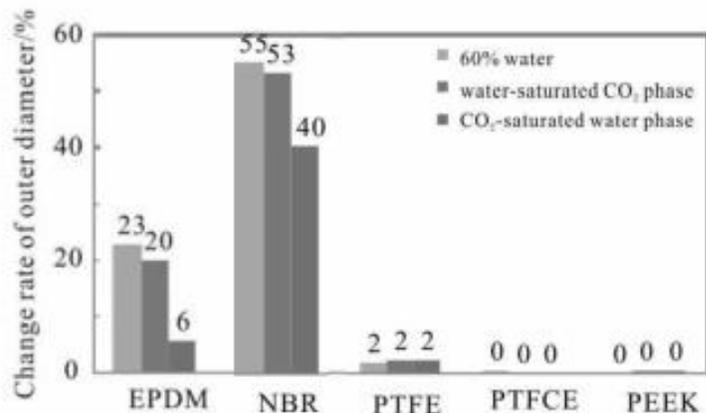


图 2 5 种密封材料在不同含水量的 CO₂ 环境中外径变化率
 Fig. 2 Change rate of outer diameter for five seal materials to be exposed in CO₂ environment with different water contents for 1 day

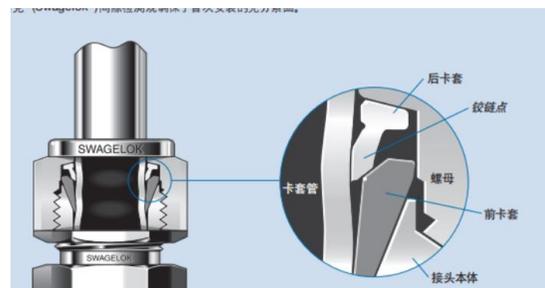
序号	名称	代码	测试
1	三元乙丙橡胶	EPDM	泄漏、溶胀, 裂开鼓包
2	丁晴橡胶	NBR	泄漏、溶胀, 裂开鼓包
3	氟橡胶	FPM	溶胀, 裂开鼓包, 比NBR差
4	聚四氟乙烯	PTFE	无泄漏、硬度降低
5	可溶性四氟乙烯	PFA	
6	聚醚醚酮	PEEK	表现良好, 外观会变黄

接头密封: O型圈材料 (HNBR等) → 紫铜片

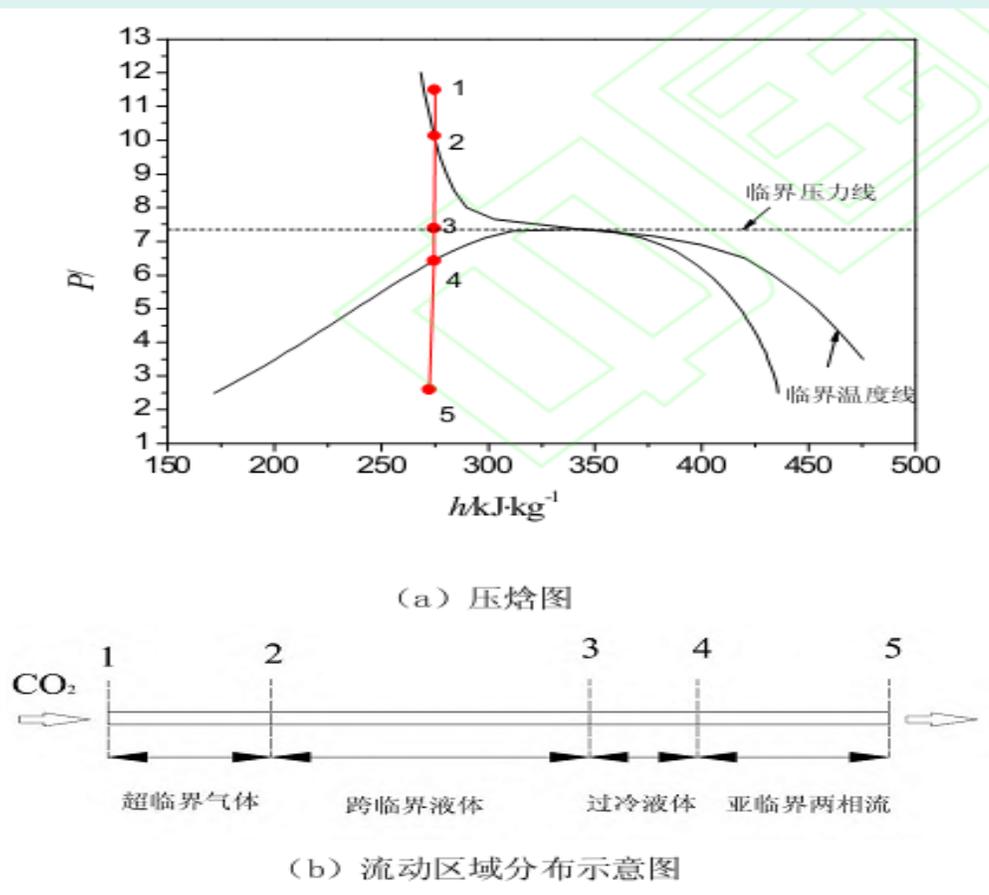
阀门密封材料: FPM / PTFE → PEEK

管道密封方式: O型圈径向密封 → 紫铜球面 / 卡套 硬密封

+ 管道焊接



3. 关于调节阀选型差异



相较于R134A 阀门入口流态单一，CO2系统对于辅助台架膨胀阀较为复杂，

阀门进出口存在多种流态变化，在阀门选型中应
需要综合考虑以下因素：

1、阀两端压差： $\Delta P \geq 90\text{bar}$

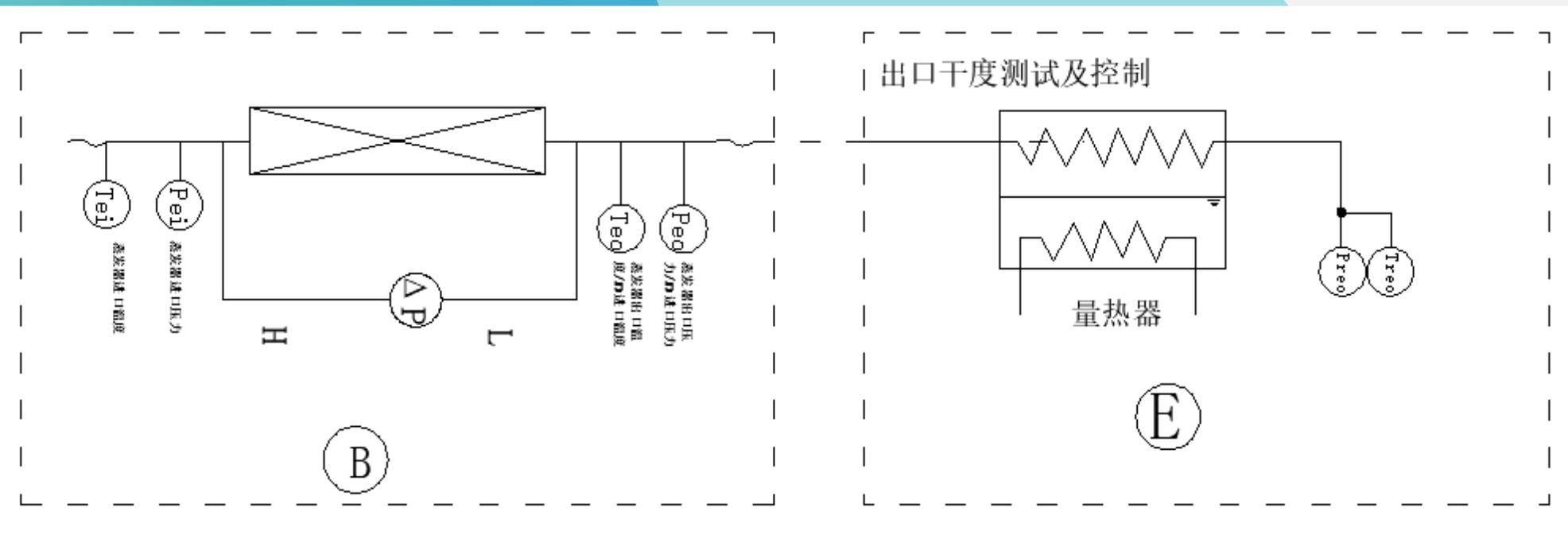
2、阀门Cv计算选型，应充分考虑流态影响，计算时选择多流态组合算法。

3、结合工程经验

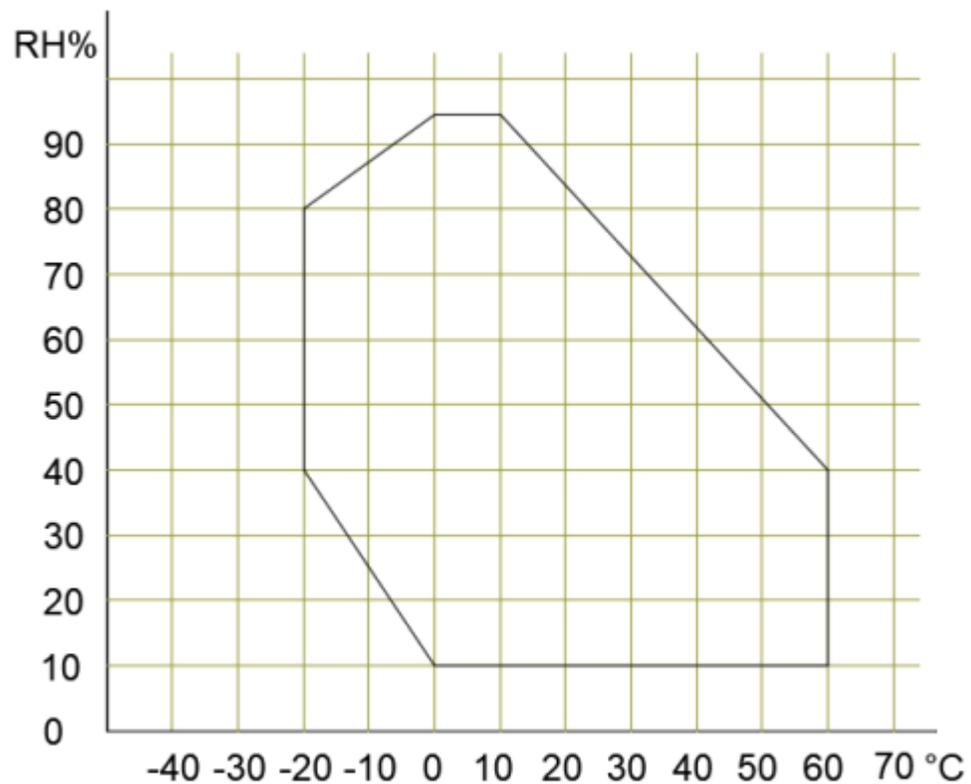
4. 两相状态的测试需求

因CO₂有着良好的热泵性能，新能源汽车领域，热泵系统作为高效的热舒适性手段有着无可替代的优势。在现设计CO₂空调系统中为了一步提升系统能效，一般在蒸发器出口设计IHX换热器（气液分离器）。为了提高蒸发器性能，蒸发器出口干度一般为低过热度或两相状态。

- ◆ 问题：1. 干度无法直接测量
- 2. 低过热度无法准确测量出口焓
- ◆ 解决方法：我司采用量热器法测试干度，



5. 车外换热器低温高湿及低温低湿的需求



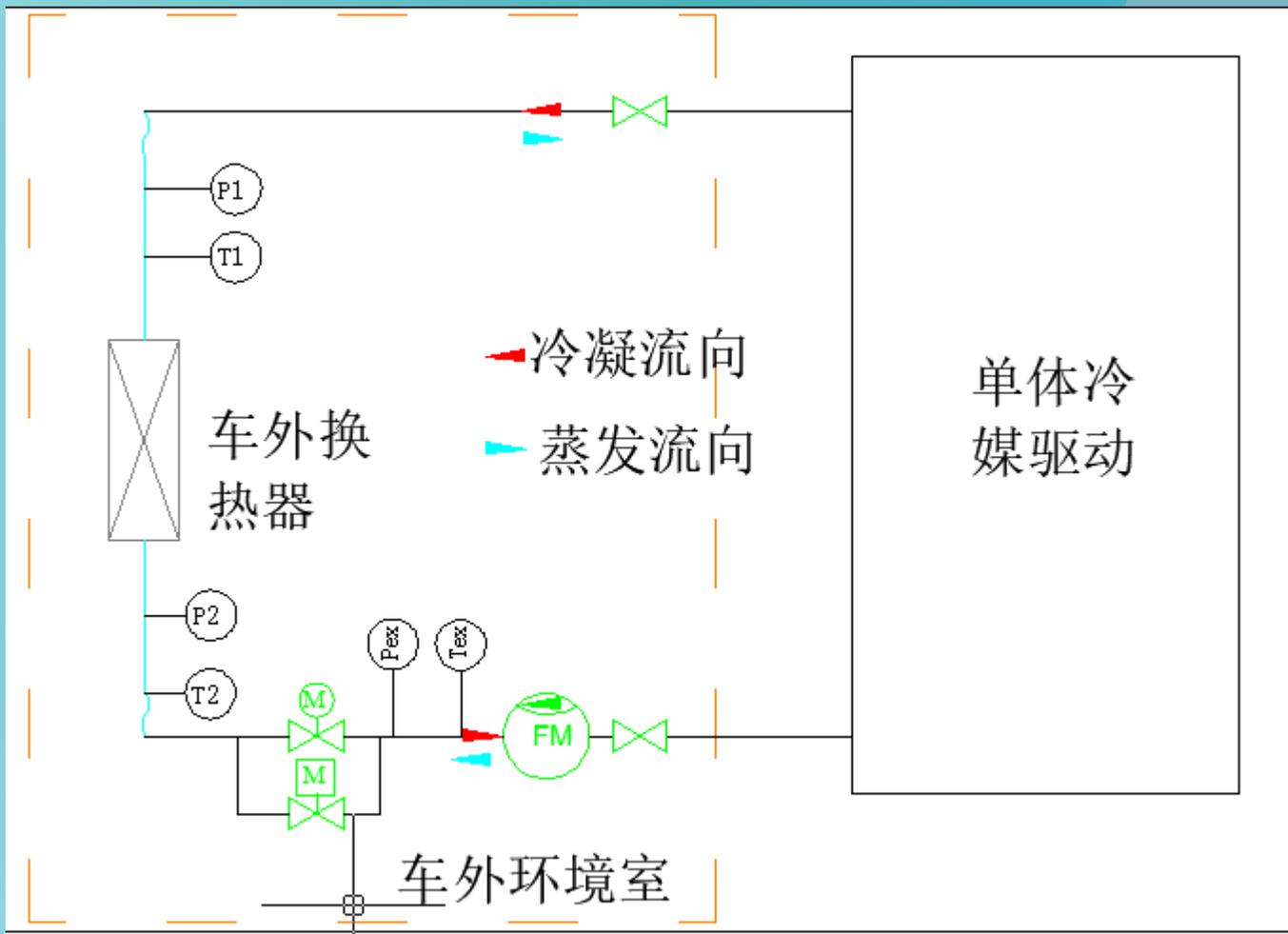
环境空调：

- ◆ 多种防结霜措施
 - 提高环境空调蒸发器进口空气相对湿度
 - 精确控制加湿量
 - 提高环境空调蒸发器进口空气温湿度均匀性。
- ◆ 连续运行8小时以上

低温低露点除湿机：

- ◆ 吸附除湿
- ◆ 露点-30° C

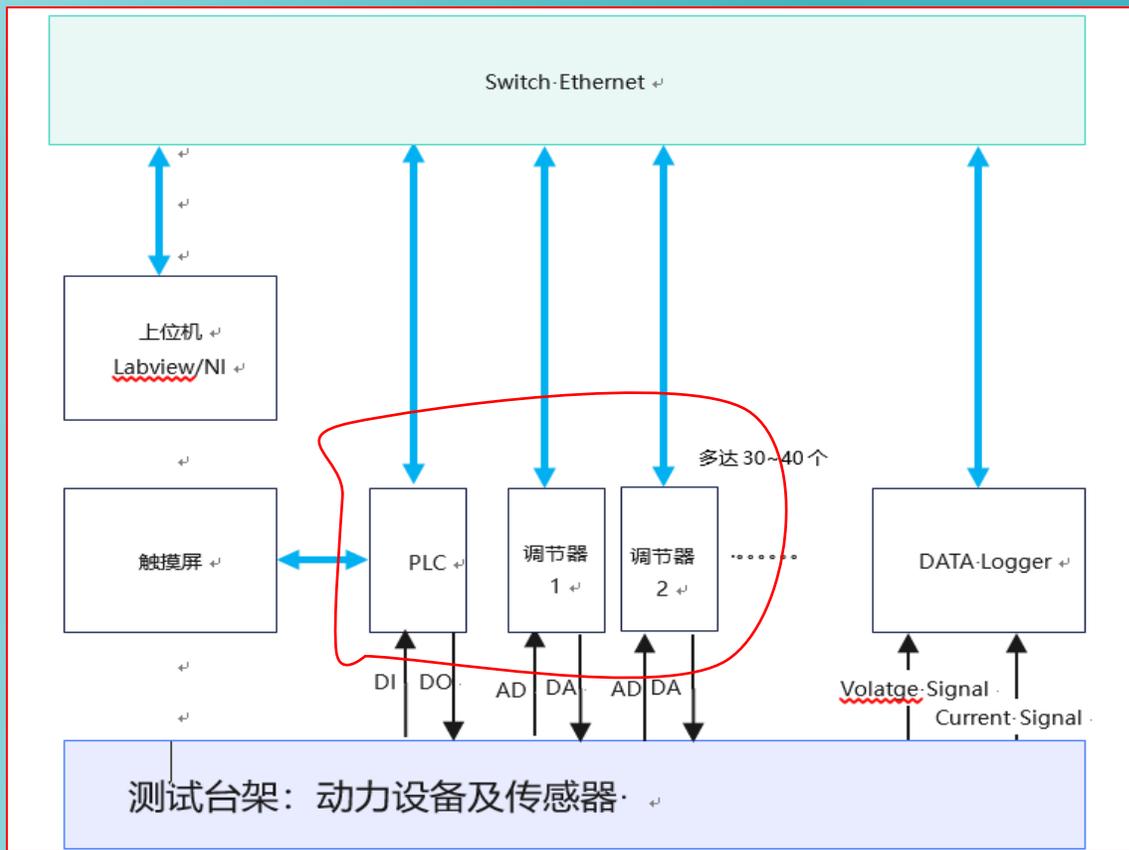
6. 同一样件需要完成蒸发器及冷凝器的测试的需求



无需拆卸，驱动自动完成蒸发器及冷凝器试验的冷媒切换。

- ◆ 提高测试效率
- ◆ 减少泄漏风险
- ◆ 测试更灵活

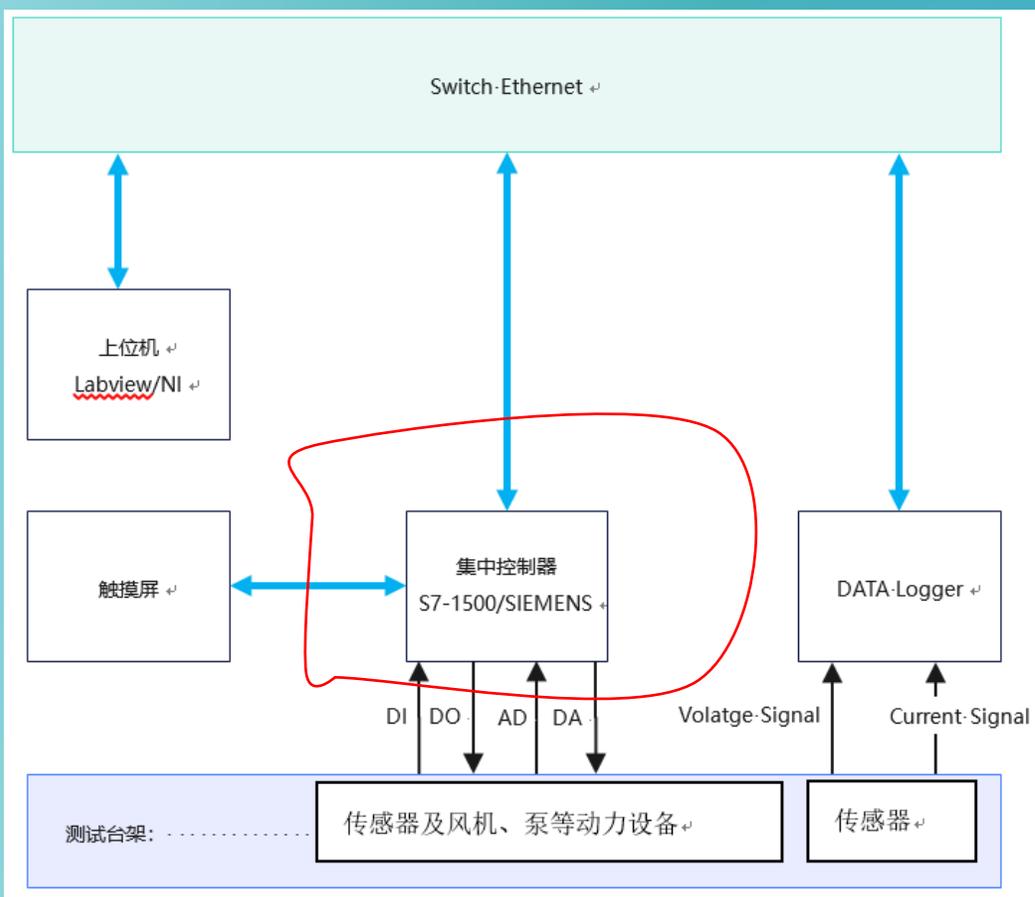
测控参数的多样性----集控测试系统



存在问题:

- ◆ 无法嵌入制冷剂物性计算, 无法控制焓、干度等中间参数,
- ◆ 每个控制参数一个调节器, 数量庞大, 故障率高
- ◆ 参数控制相互独立, 关联控制困难

测控参数的多样性——集控测试系统



相较于传统单回路调节器（如UT表），集中控制的优点：

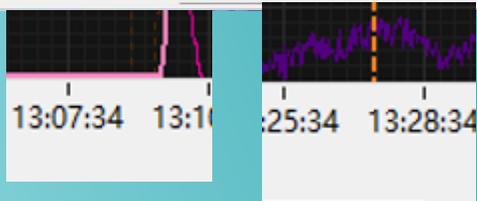
1. **可实现过热度、过冷度、干度的实时控制**：嵌入制冷剂物性计算
2. **控制更灵活**：控制参数与执行器之间可以任意组合虚拟调节器
如对于蒸发芯体试验：

- ◆ 膨胀阀进口温度、进口压力、蒸发器出口压力、出口温度
 - ◆ 膨胀阀进口温度、进口压力、蒸发器出口压力、出口过热度
 - ◆ 蒸发器进口焓、出口压力，出口温度/过热度
 - ◆ 蒸发器进口干度、出口压力、出口温度/过热度
-

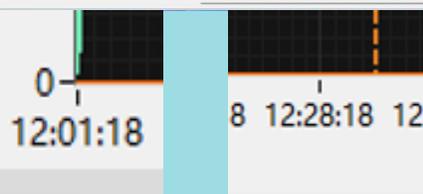
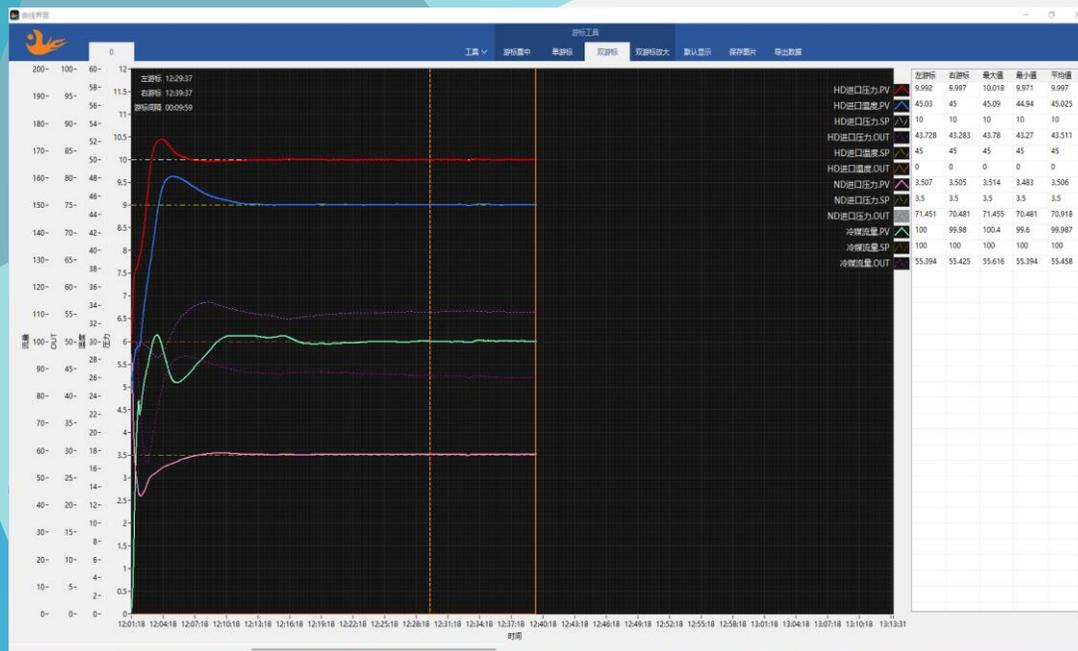
3. **可扩展性更好**：后期更改控制对象，无需更改硬件，控制器内部调整即可
4. **可靠性更高**：有30~40个硬件故障率浓缩到一个
5. **工况稳定更快**：集控系统可以在PID算法基础上增加特殊算法，
将相互耦合的参数进行关联控制，

实际测试结果

1. 气冷器试验曲线



2. IHX 试验曲线



各参数同步控制，工况稳定时间小于30min

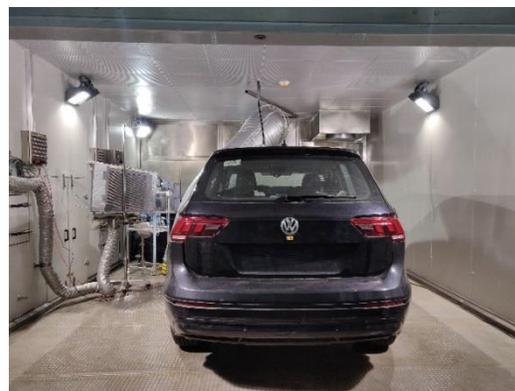
R744系统综合试验室介绍

1. 开发案例历程

经历三代迭代



- ◆ 2009年, 国内首套CO₂+R134a汽车空调性能试验室 西安交通大学
- ◆ 2017年, CO₂节流元件试验台 上海理工大学
- ◆ 2019年, 国内首套CO₂热管理系统性能试验室 上汽大众
环境-40°C~60°C, CO₂+R134a,低温整车
- ◆ 2021年, R134a+CO₂热管理系统性能试验室 汽研高邮基地
- ◆ 2021年, CO₂热管理系统性能试验室 应雪科技
- ◆ 2021年, CO₂热管理系统性能试验室 天菡自建
- ◆ 2022年, CO₂换热器性能试验室 应雪科技
- ◆ 2022年, R134a+CO₂热管理系统性能试验室 腾龙股份



2. 热管理实验室的基本组成——模块化设计

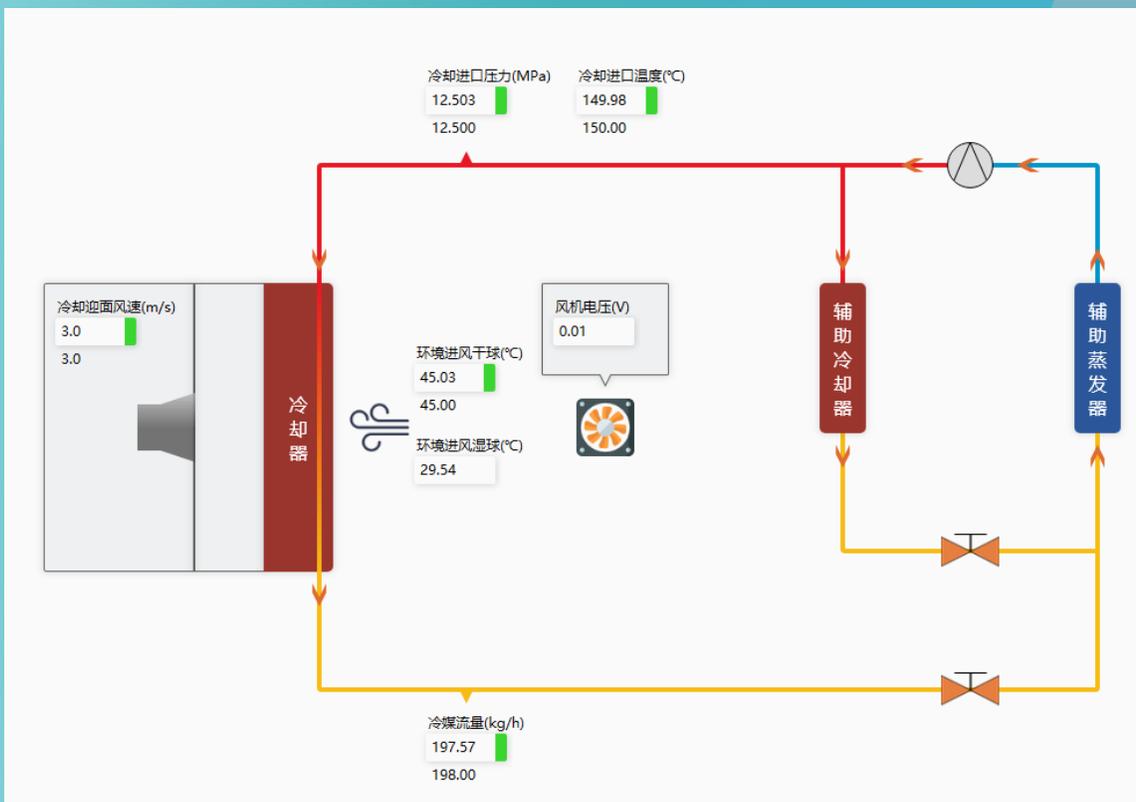
序号	名称	规格	数量	功能
1	高低温环境室	温度: -40°C~60°C 湿度: 10~95% (可定制)	2套	为换热器试验提供高低温环境, 含有低露点除湿机。
2	风洞1	600~7000m ³ /h (可定制)	1套	为冷却器/冷却器试验提供出风温湿度测量\风量测量, 可以移动
3	风洞2	60~700m ³ /h (可定制)	2套	为蒸发器试验提供出风温湿度测量\风量测量. 可升降、移动
4	单体CO ₂ 冷媒驱动	定制	1套	为蒸发器\冷却器等试验提供对应CO ₂ 冷媒.
5	冷热水系统	定制	2套	为冷媒供给设备提供恒温冷源。
6	压缩环境	定制	1套	用于压缩机试验
7	直流电源	0-1000V, max50A, 15KVA	2套	为电动压缩机提供直流电源
8	直流电源	0-30V, max50A	2套	为鼓风机提供直流电源
9	软水器	0.5T/H	1套	为环境室加湿器提供软化水
10	电气控制		1套	控制整套系统的动力设备
11	测控系统		1套	测量用
12	CO ₂ 防护措施	探测及排风	1套	安全防护

以上可根据客户使用定制化参数及模块

4. 实际测试结果

1) . 气冷器

A-软件界面



B-某产品测试数据

通道名称	1#件	2#件	3#件
工况参数			
冷凝进风干球(°C)	45.058	45.037	45.037
冷凝进风湿度(%)	36.129	36.379	36.273
冷凝进口压力(Mpa)	12.509	12.502	12.5
冷凝进口温度(°C)	149.545	149.852	149.915
冷凝.空气.风速(m/s)	1.499	1.497	1.496
冷媒参数			
冷凝进口压力(Mpa)	12.509	12.502	12.5
冷凝出口压力(Mpa)	12.374	12.364	12.378
冷凝出口温度(°C)	58.281	55.842	55.88
冷凝冷媒流量(kg/h)	197.901	197.734	197.71
冷凝.冷媒.进口焓值(kJ/kg)	558.519	559.122	559.215
冷凝.冷媒.换热量(W)	10447.084	11002.239	11009.059
计算参数			
冷凝.空气.换热量(W)	10284.557	10710.386	10832.119
冷凝.空气.通风阻力(Pa)	22.95	26.713	26.356
冷凝.冷媒.换热量(W)	10447.084	11002.239	11009.059
冷凝.AR比(%)	98.444	97.348	98.393

根据实际工程经验：此系统对于R744汽车空调系统测试，控制精度、能力比对等均能较好的满足试验需求。

4. 实际测试结果

2) . 蒸发器

A-某产品测试数据

工况测试-蒸发器试验

通道名称	样件1	样件2	样件3
工况参数			
前蒸进风干球(°C)	40.02	40.031	40.013
前蒸进风湿球(°C)	27.806	27.805	27.807
前蒸.空气.进风质量风量(kg/h)	537.873	537.814	539.101
前蒸出口压力(Mpa)	3.492	3.482	3.501
前蒸出口温度(°C)	3.128	2.736	3.043
前蒸阀前压力(Mpa)	11.986	11.981	11.985
前蒸阀前温度(°C)	30.202	30.149	30.382
计算参数			
前蒸.空气.通风阻力(Pa)	124.049	122.963	123.608
前蒸.空气.换热量(W)	8710.27	8888.446	8720.539
前蒸.冷媒.换热量(W)	8885.452	8895.358	8830.709
前蒸.AR比(%)	98.02	99.923	98.75

B-样件安装



根据实际工程经验：此系统对于R744汽车空调系统测试，控制精度、能力比对等均能较好的满足试验需求。

4. 实际测试结果

3) . IHX试验 (气分)

A-测试结果

IHX-气分-试验汇总				
工况控制参数	工况一	工况二	工况五	工况六
HD进口压力.PV(MPa)	9.997	9.999	10.001	9.999
HD进口温度.PV(°C)	44.997	45.007	44.998	44.998
ND进口压力.PV(MPa)	3.506	3.502	3.5	3.503
ND进口温度.PV(°C)	14.817	9.99	9.937	14.943
冷媒流量.PV(kg/h)	99.931	99.833	80.024	79.95
测试结果				
HD侧压降(KPa)	20.795	20.174	12.584	12.87
ND侧压降(KPa)	45.808	44.72	34.537	34.925
HD侧换热量(W)	758.513	890.899	735.893	623.564
ND侧换热量(W)	744.938	879.04	723.939	609.144
两侧比(%)	98.21	98.67	98.38	97.69
理论换热量(W)	1060.678	1251.519	1006.833	847.751
换热效率(%)	71.512	71.185	73.09	73.555

B-样件安装



结语

1; 根据R744跨临界特性和高压运行的特点, 常规试验设备无法满足测试需求, 我司开发的R744汽车空调系统试验装置具有良好的稳态性能和测试精度: 该试验系统可测试对象广, 可完成包括R744汽车空调系统、气体冷却器、蒸发器、IHX、压缩机等组件的测试: 试件安装方便, 只需要将所需测试件联接到对应位置即可; 可实现不同工况自动测试。

2.; 试验装置归根是服务于用户的使用, 我们也期待能跟各位交流, 提出更多的测试需求, 共同推动R744测试技术的良性发展。



感谢您的支持与关注

THANKS

上海天鹳空气处理设备有限公司
Shanghai Tianhan Air-handling Equipment Co., Ltd
上海闵行区浦江镇联航路1188号10号楼4层A单元 (浦江智谷园区)
Unit A, Floor 4, Building 10, No. 1188, Lianhang Rd., Pujiang Town, Minhang District, Shanghai
邮编ZIP: 201112
电话Tel: +86-21-54335190/91/92
主页Website: www.shanghaitianhan.com