



# R1224yd(Z)作为R245fa替代高温热泵的应用

海田武信

电力工业中央研究院 (CRIEPI)

福岛雅人

AGC 公司

饭冢光一郎

神户制钢株式会社 (KOBELCO)

# 背景

## 显著减少二氧化碳排放

降低发电碳化

电气化

更高效的用电

## 高温热泵 (HTHP)

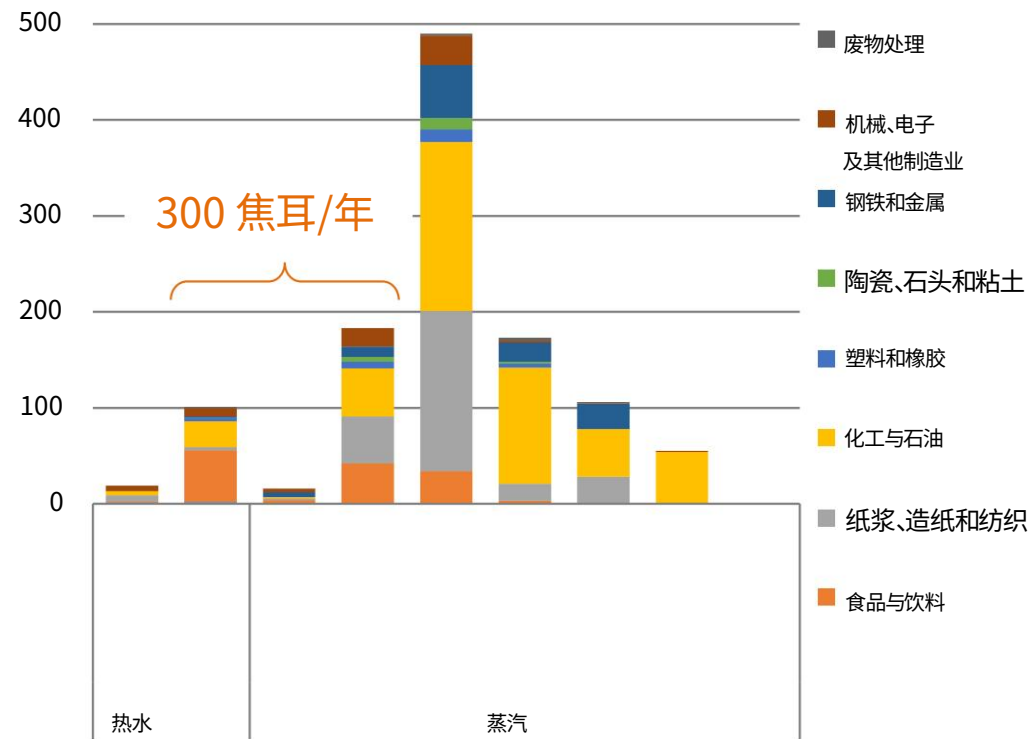
能源利用效率较高的扩大用热电气化的关键技术之一

## 低 GWP 制冷剂 R245fa

(GWP = 858) 用于 120°C 左右的 HTHP → 低 GWP 所必需

R245fa替代:

R1234ze(Z), R1233zd(E), **R1224yd(Z), ...**



资料来源: MRI, 供热设备调查报告, 由 enecho 委托, 2018 年。

# 大纲

## 目标

评估 R1224yd(Z) 作为 R245fa 替代高温 HP 的适用性

## 内容

R1224yd(Z)与R245fa的性能评估通过drop-in测试

与冷冻油、O型圈和电机绝缘材料的相容性



# R1224yd(Z)的特性

# 基本属性

相似的热力学性质  
带 R245fa

低毒不燃

ODP 几乎为零

极低的 GWP (< 1)

	R1224yd(Z)	R245fa
正常沸点 [°C]	14.62	15.05
临界温度 [°C]	155.54	153.86
临界压力 [MPa]	3.34	3.65
OEL [ppm]	1,000	300
可燃性范围 [%]	没有任何	没有任何
ASHRAE 安全分类	A1	B1
耗氧量	0.00023*	0
全球升温潜能值 (IPCC AR5)	0.88*	858

\* K. Tokuhashi 等人, Journal of Physical Chemistry A 122, 2018 年。

R1224yd(Z) 安全环保。

# 热泵用户受益

轻松处理 R1224yd(Z)

环保 (极低 GWP) → 不受修订的 F-gas 法约束

相对安全 (A1) → 在高压气体法中获得优待

	(碳氟化合物的合理使用和妥善管理法)	

# 热力学特性图

## 饱和蒸气压

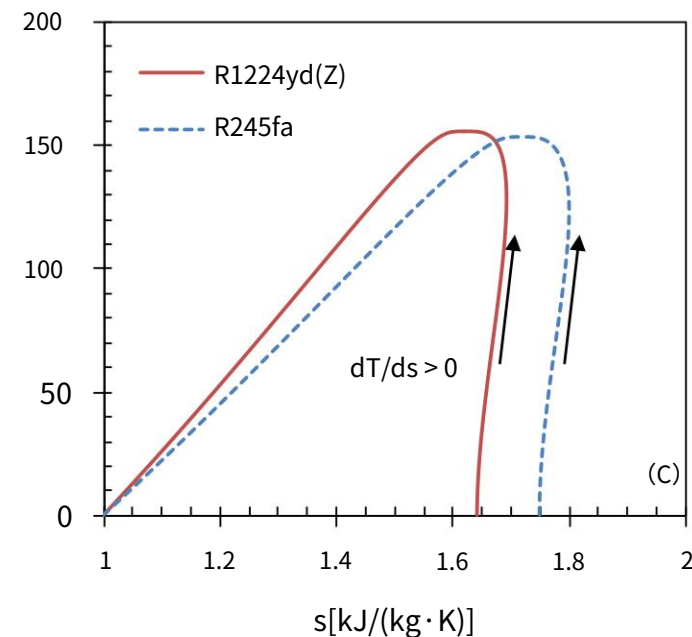
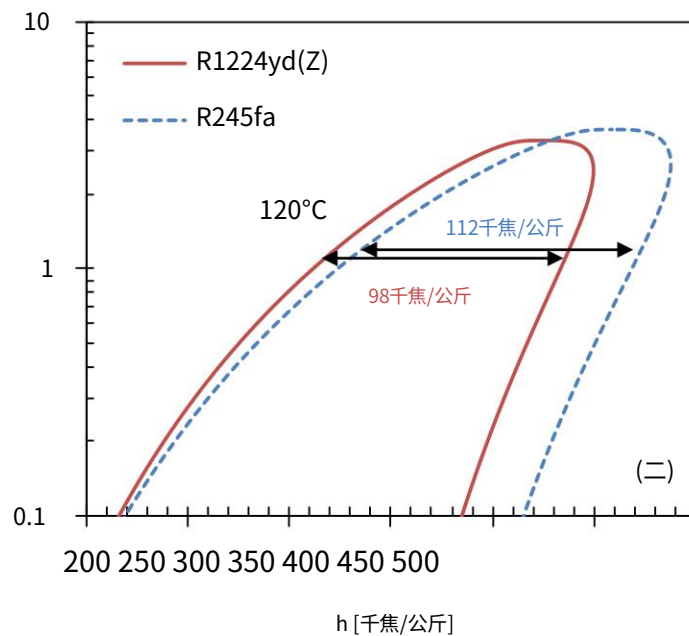
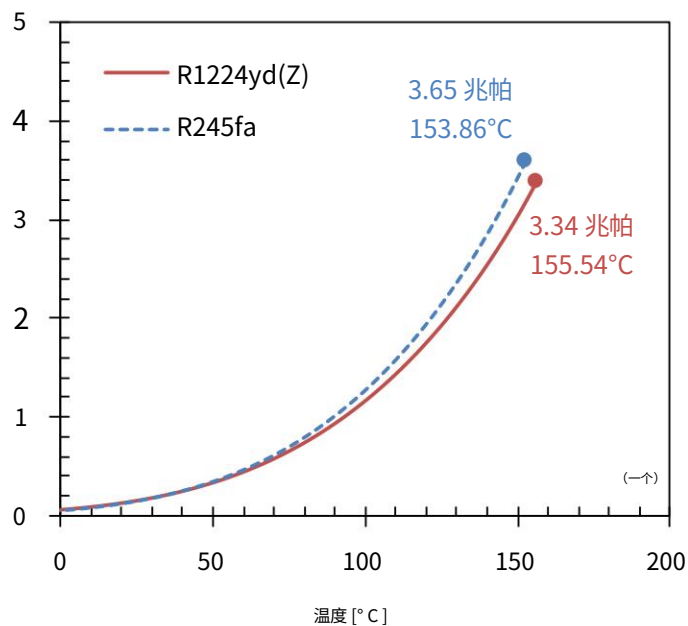
低温时非常接近R245fa,高温时略低

## 潜热

比 R245fa 略小 (120°C 时小 13%)

## 饱和蒸汽线

除临界点附近外,与 R245fa 类似的略微正斜率 ( $dT/ds > 0$ )



# 预测的热力学性能

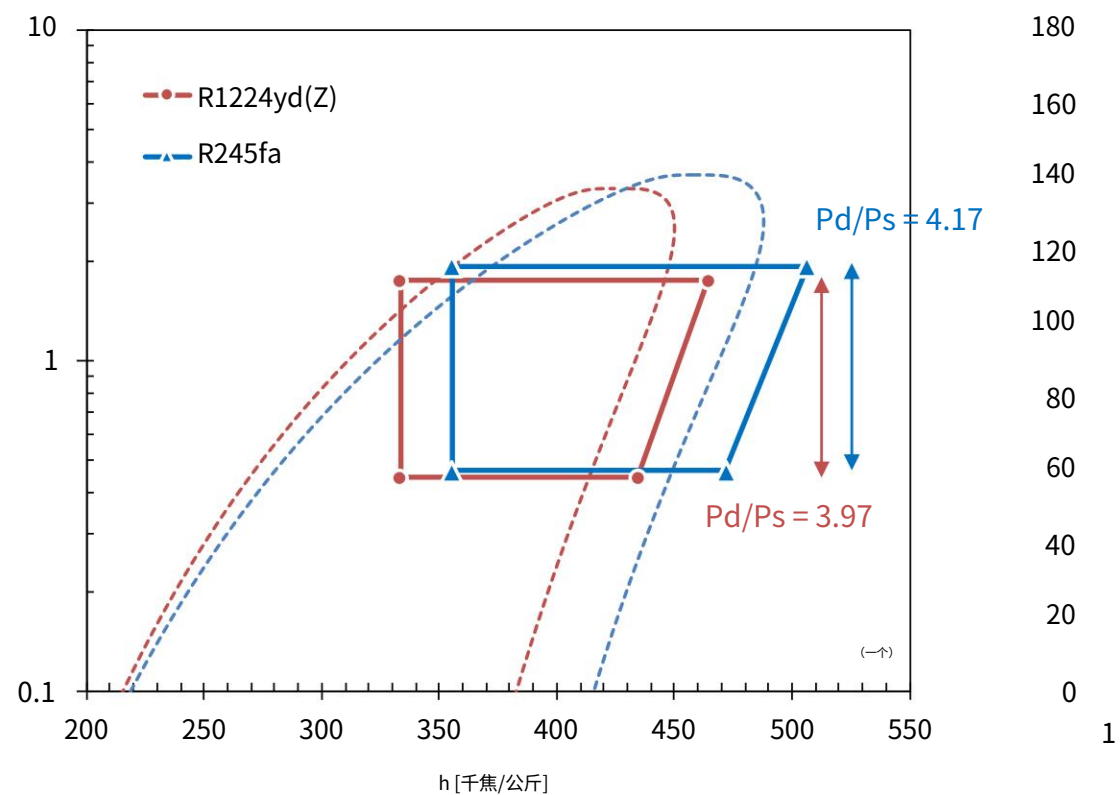
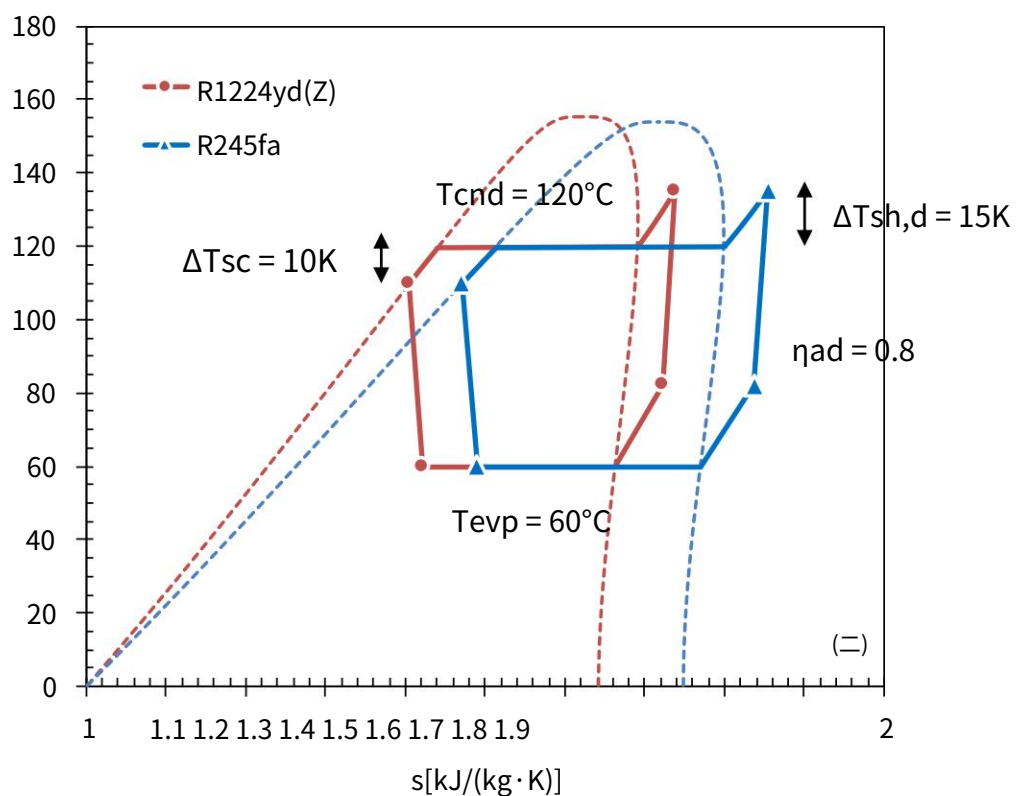
R1224yd(Z) 相对于 R245fa Pd/

Ps 0.95

COP 1.00

丙肝病毒0.92

预测:相似 COP 但加热能力小 8%





# 绩效评估

# 测试机

## SGH165

由KOBELCO和日本开发

电力公司,并于 2011 年商业化

可提供饱和蒸汽,回收厂内的温水由3台组成

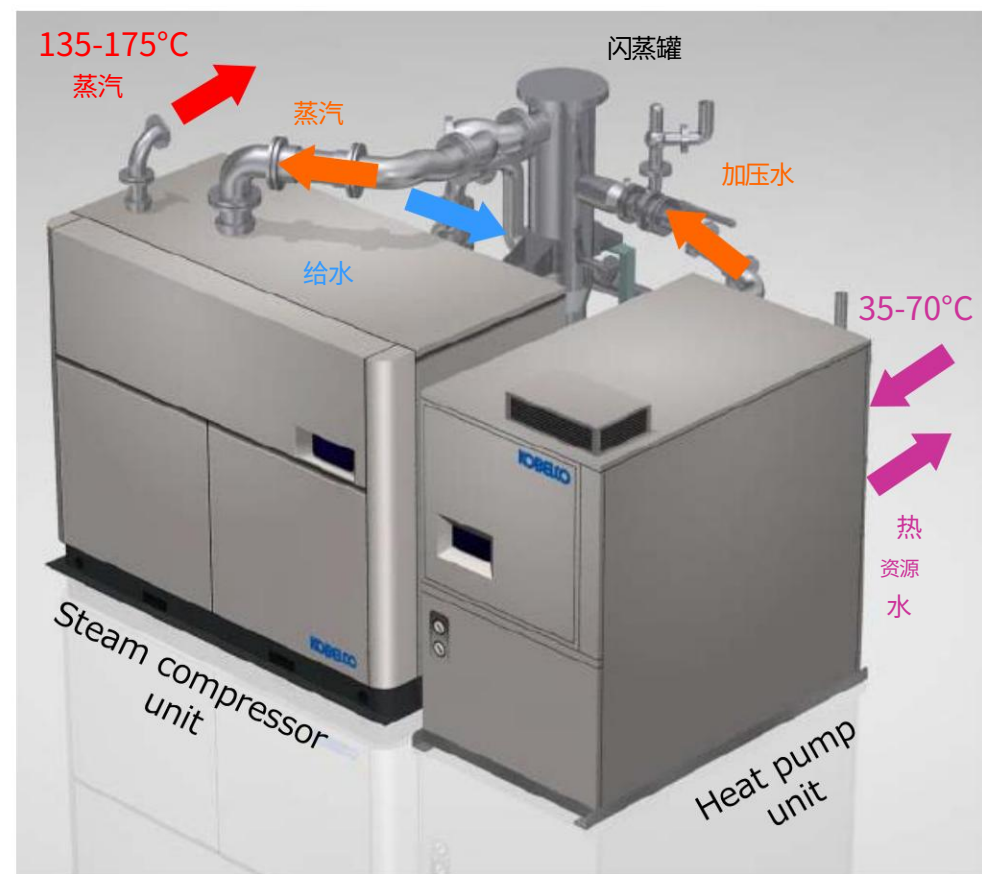
## HEM-HR115

SGH165热泵机组热源70°C

---> 散热片115°C

R245fa和R134a的混合物

使用纯制冷剂 R245fa 和 R1224yd(Z) 进行了测试。



## SGH165

R245fa+R134a COP = 2.5 制

热量 = 660 kW (0.9 ton/h)

蒸汽 = 165°C, 热源 = 70°C

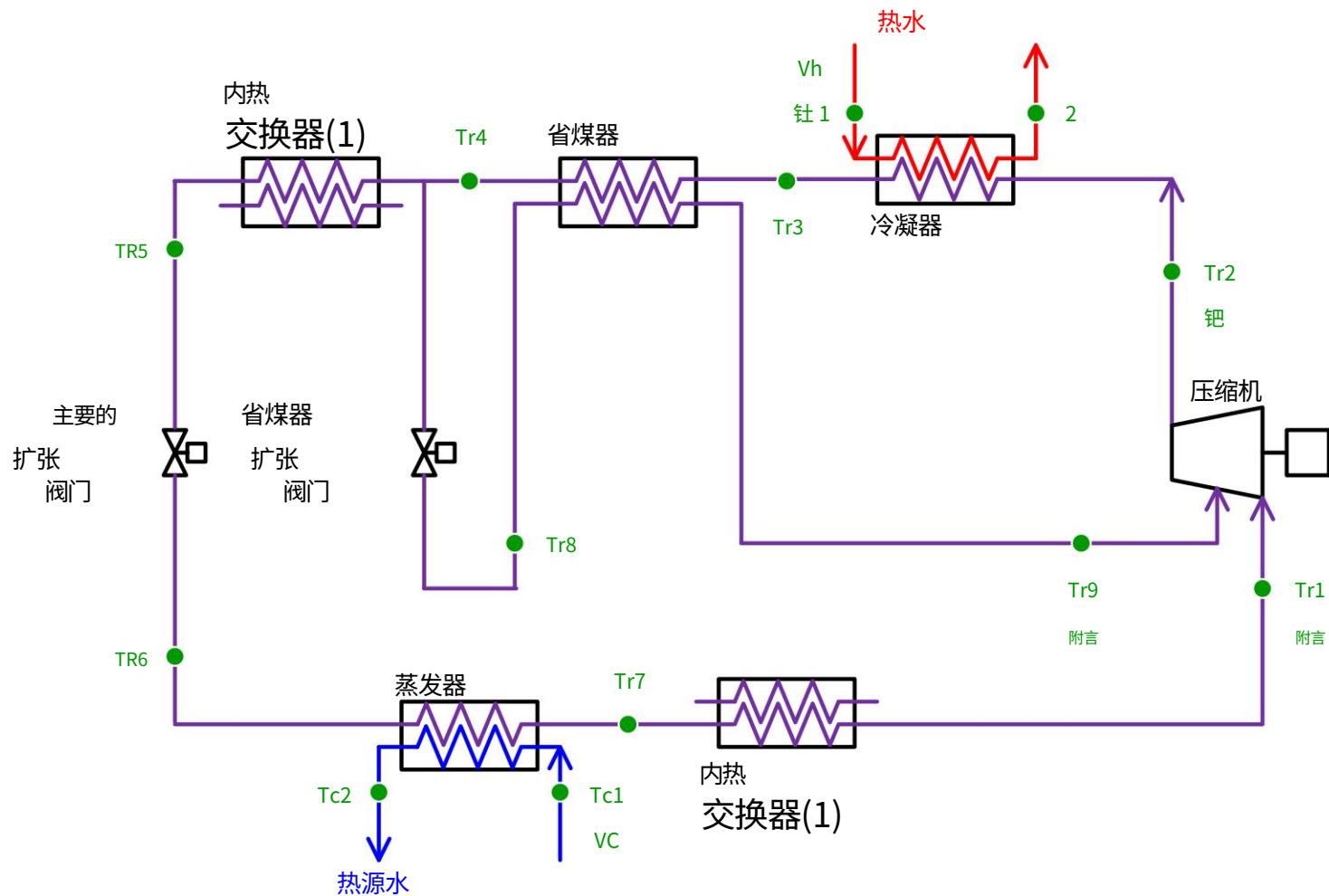
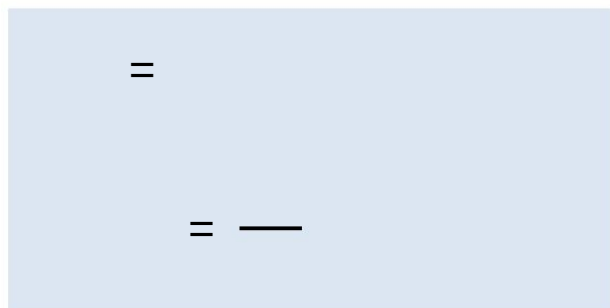
# 示意图和测量点

## 测量点

各进出水温度和流量

## 功耗

各冷媒压力和温度作为参考



(1)它们是由一个换热器分开拉出的。

# 测试方法

## 测试程序

压缩机转速固定在 100% (= 3,600 rpm)

通过调节主膨胀阀控制排气过热度

R1224yd(Z)和R245fa在相同排放过热度下的比较

## 测试条件

3个案例

温差固定在 5 K ( $\Delta T_c = T_{c1} - T_{c2} = 5 \text{ K}$ ,  $\Delta T_h = T_{h2} - T_{h1} = 5 \text{ K}$ )

	Tc1 [°C]	Th2 [°C]	$\Delta T_{sh,d}$ [K]	省煤器
情况1	70	115	15	打开
案例2	70	95	25	关闭
案例3	50	95	27	关闭

# 试验结果

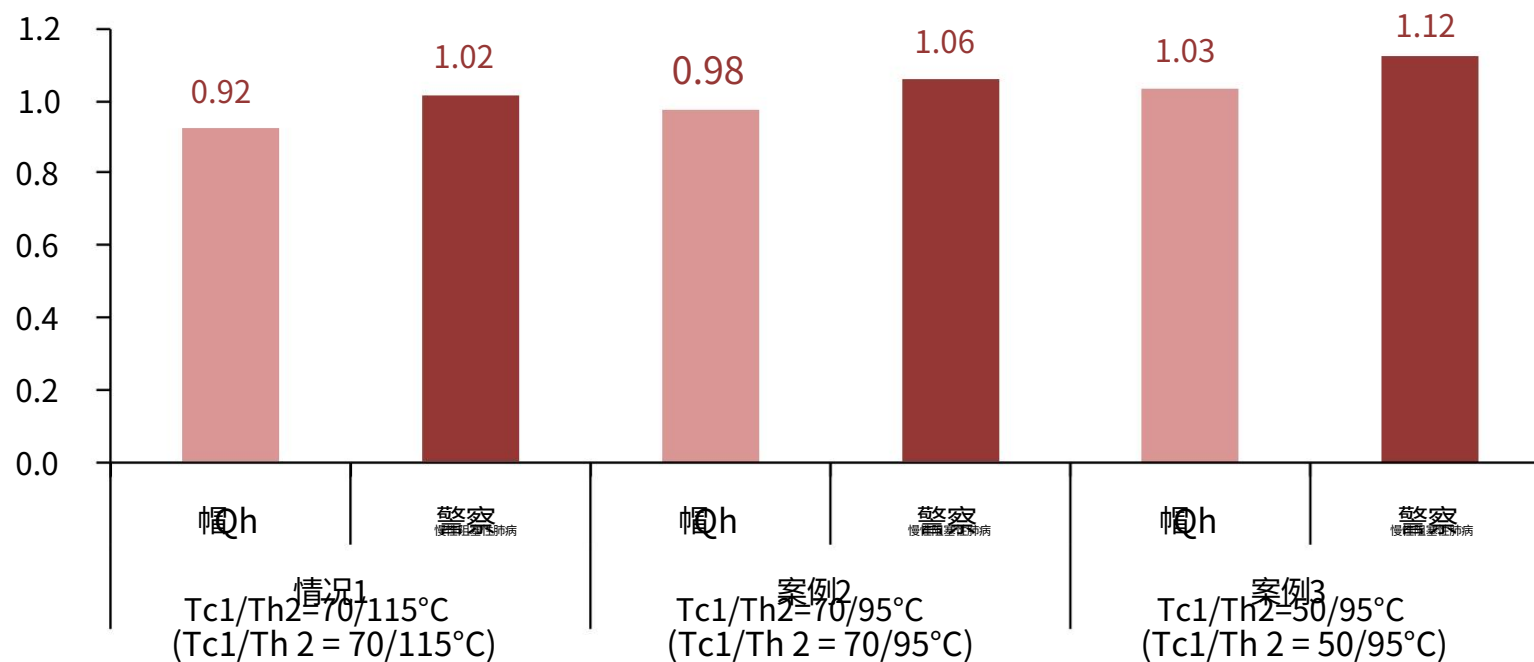
缔约方大会

比 R245fa 高 2-12% (= 好于预测)

制热量

案例1 :比R245fa低8% (=与预测相似)

案例3 :比R245fa高3% (=好于预测)



# 实际性能图对比 (案例3)

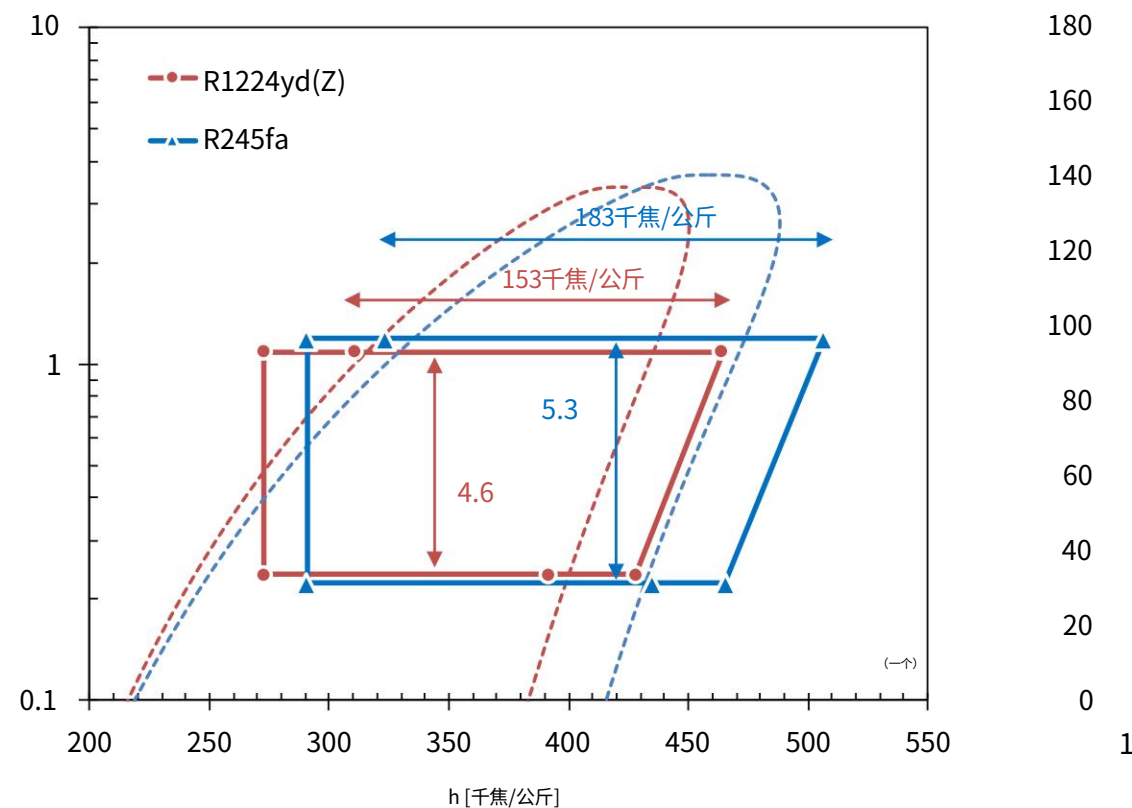
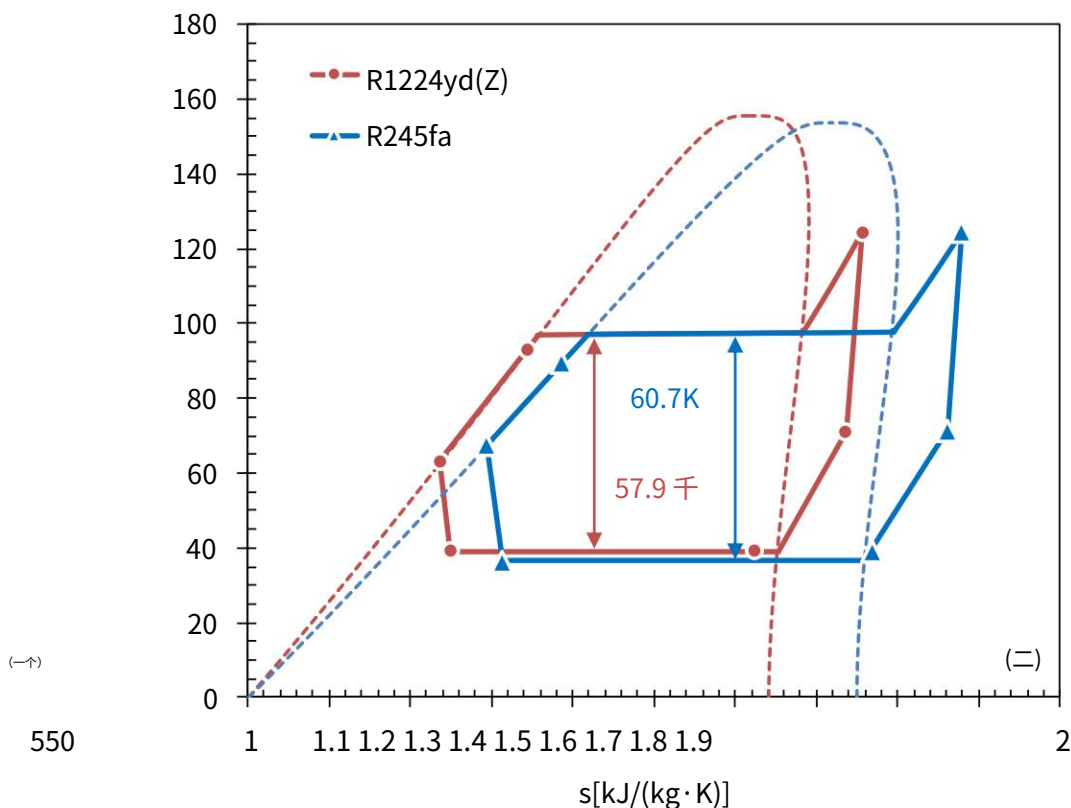
温升 (=  $T_{cnd} - T_{evp}$ ) 从 60.7 K 降低到 57.9 K 压力比 (=  $P_d/P_s$ ) 从 5.3 降低

(提高COP)

到 4.6 加热效果 (=  $h_{r2} - h_{r3}$ ) 从 183 kJ/kg 降低到 153 kJ/kg (如预期)

(提高COP)

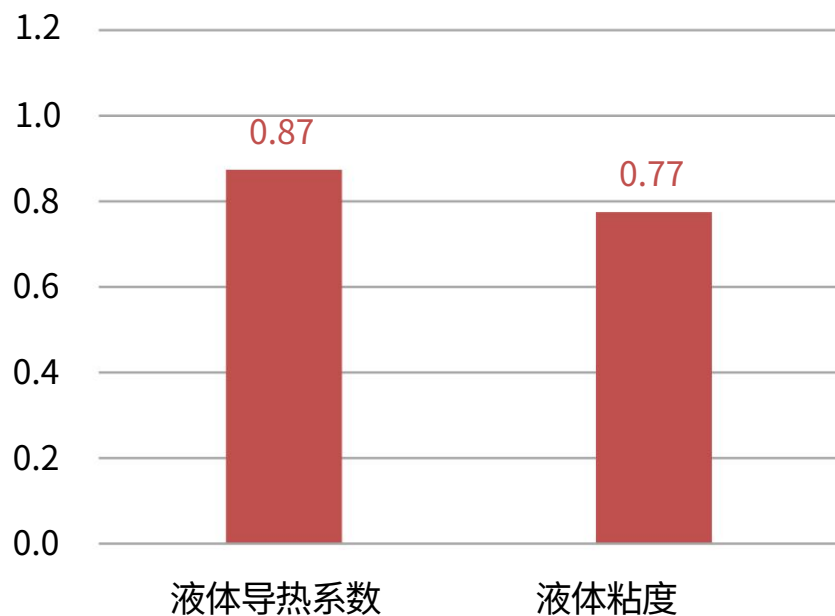
质量流量从 1.26 kg/s 增加到 1.55 kg/s (提高Q)



# 提高性能的原因

## 提高传热性能

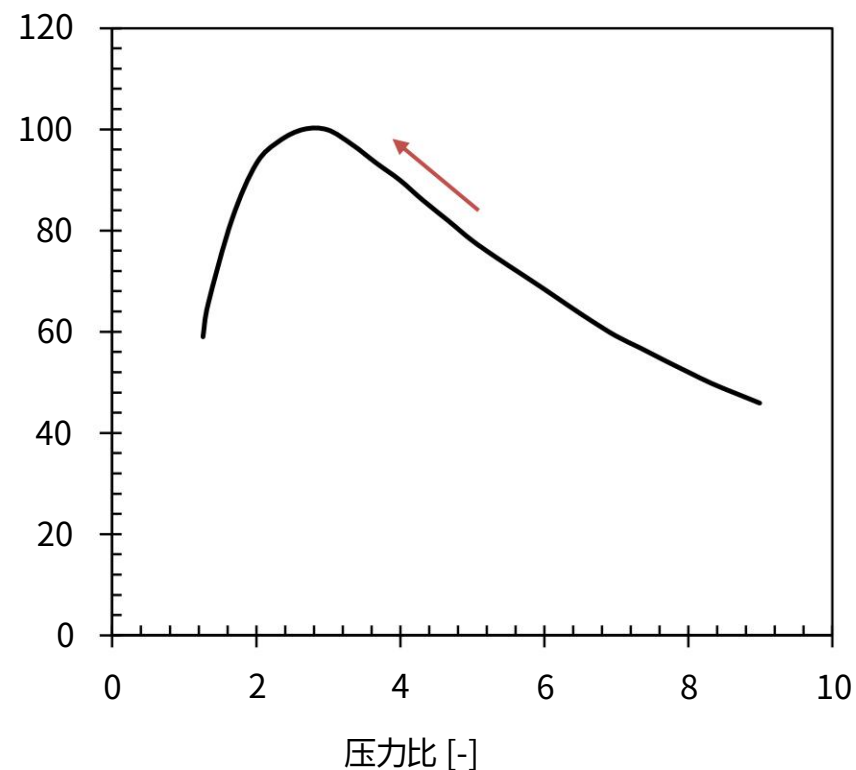
制冷剂质量流量增加粘度降低



\* 70°C饱和液体特性,REFPROP Ver.10计算

## 压缩性能的改进

通过降低压力比提高绝热效率



资料来源:K. Iizuka,通过热泵循环使用的高效阀杆供应系统,JSRAE 杂志 89,2014。

# 化学稳定性和兼容性



# PAG 油在金属中的化学稳定性

## 密封管测试

制冷剂:60 g,油:60 g,共存金属板:SS、Cu、Al (25×30×2mm)

温度:150°C,持续时间:14天

		R1224yd(Z)	R245fa
制冷剂	纯度变化 [%]	99.8 → 99.5 (异构化)	99.9 → 99.9
	酸度 [ppm]	< 0.2	< 0.2
	F [ppm]	< 0.2	< 0.2
	氯 [ppm]	< 0.2	< 0.2
油	酸值 [mgKOH/g]	0.05	0.03
	油的颜色 (ASTM)	L0.5	L0.5
金属	SS 重量变化 [mg]	< 0.01	< 0.01
	铜重量变化 [mg]	< 0.01	< 0.01
	铝重量变化 [mg]	< 0.01	< 0.01

R1224yd(Z) 和 R245fa 之间没有显著差异。

# 与 O 形圈的兼容性

## 密封管测试

制冷剂:80g,共存材料:HNBR、EPDM

温度:150°C,持续时间:7天



		R1224yd(Z)		R245fa	
制冷剂	纯度变化 [%]	99.8 → 99.5 (异构化)	99.8 → 99.5 (异构化)	99.9 → 99.9	99.9 → 99.9
	酸度 [ppm]	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
	F [ppm]	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
	氯 [ppm]	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
O形圈	类型	氢化丁腈橡胶	三元乙丙橡胶	氢化丁腈橡胶	三元乙丙橡胶
	体积变化 [%]	9.6	3.6	14.4	2.5
	重量变化 [%]	13.7	7.2	16.9	2.8

R1224yd(Z) 和 R245fa 之间没有显著差异。

# 与电机绝缘材料的兼容性

## 密封管测试

制冷剂:80g,共存材料:电机绝缘

温度:150°C,持续时间:7天



		R1224yd(Z)	R245fa
制冷剂	纯度变化 [%]	99.8 → 99.7 (异构化)	99.9 → 99.9
	酸度 [ppm]	< 0.2	< 0.2
	F [ppm]	< 0.2	< 0.2
	氯 [ppm]	< 0.2	< 0.2
电机绝缘 重量变化 [mg]		0.54	0.63

R1224yd(Z) 和 R245fa 之间没有显著差异。

# 结论

## 结论

---

R1224yd(Z)

与 R245fa 相比,毒性更低, GWP极低

### 能源性能

热力学预测:与R245fa 相比, COP 相似,但制热能力降低 8% 实际性能:优于预测

(因为传热和压缩性能的改进)

### 化学稳定性和相容性

PAG油、O型圈、电机绝缘材料 R1224yd(Z)和  
R245fa无显著差异

### 整体

R1224yd(Z)可作为高温热泵的R245fa替代品。

感谢您的关注。

海田武信

研究科学家

热泵与节能技术集团能源创新中心 (ENIC)

2-6-1 Nagasaka, Yokosuka, Kanagawa 240-0196, JAPAN

[kaida@criepi.denken.or.jp](mailto:kaida@criepi.denken.or.jp)