



2024年储能技术与热管理装备专题论坛

《新能源汽车热管理核心技术发展方向探讨》

陈祥吉

南京奥特佳新能源科技有限公司

2024年4月8日



主要内容

- 汽车热管理技术发展概要
- 影响汽车热管理技术未来发展的关键因素
- 新能源汽车热管理核心技术发展方向探讨



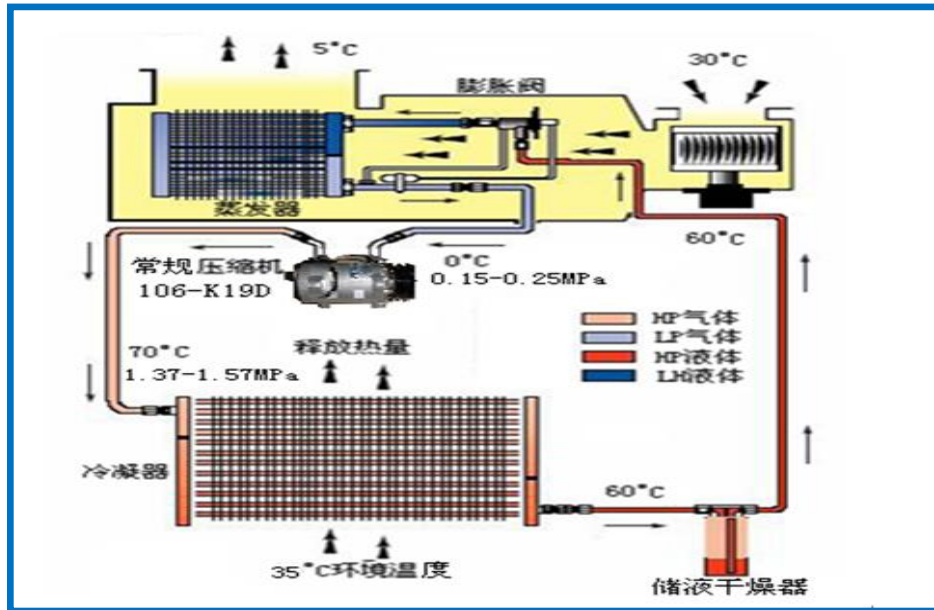
汽车热管理技术发展概要





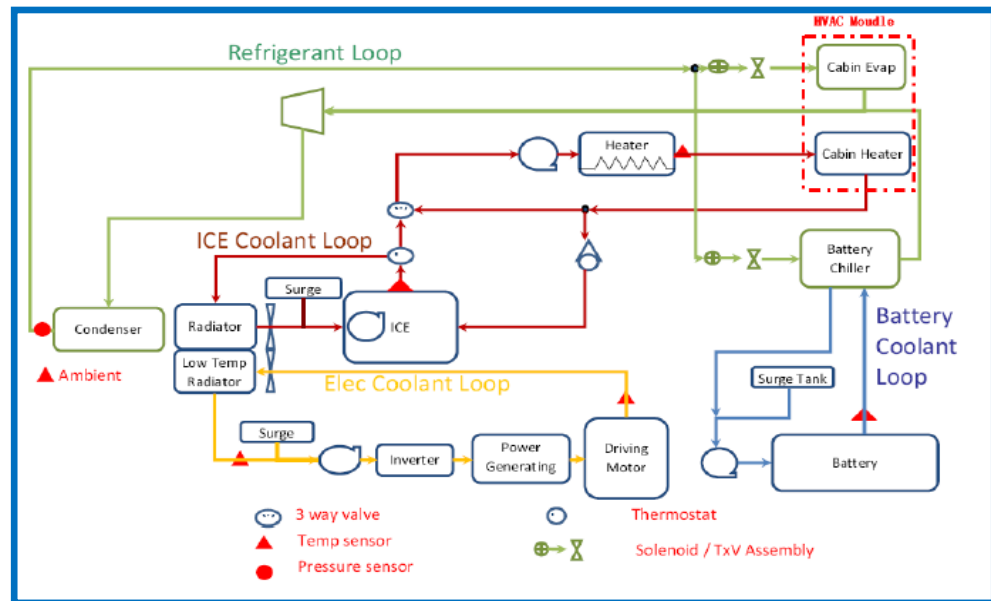
新能源汽车热管理技术发展概要

传统车热管理系统



- 发动机散热、乘员舱空调
- 结构简单，系统架构相对标准
- 冬季发动机余热采暖

典型的EV/PHEV热管理系统

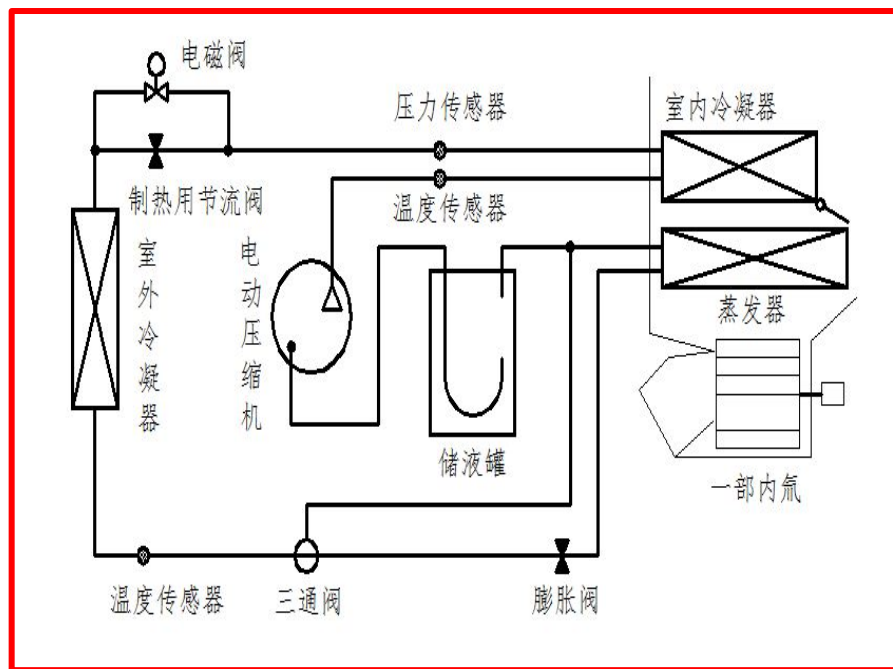


- 电池、电机、电控的散热及加热、乘员舱空调
- 结构复杂，系统架构多样化
- 电动车冬季无发动机余热采暖，电加热或者热泵
- 集成多专业技术：包括机械、电机、制冷、软硬件
- 系统价值较传统车大幅度增加



新能源汽车热管理技术发展概要

典型的车有热泵技术

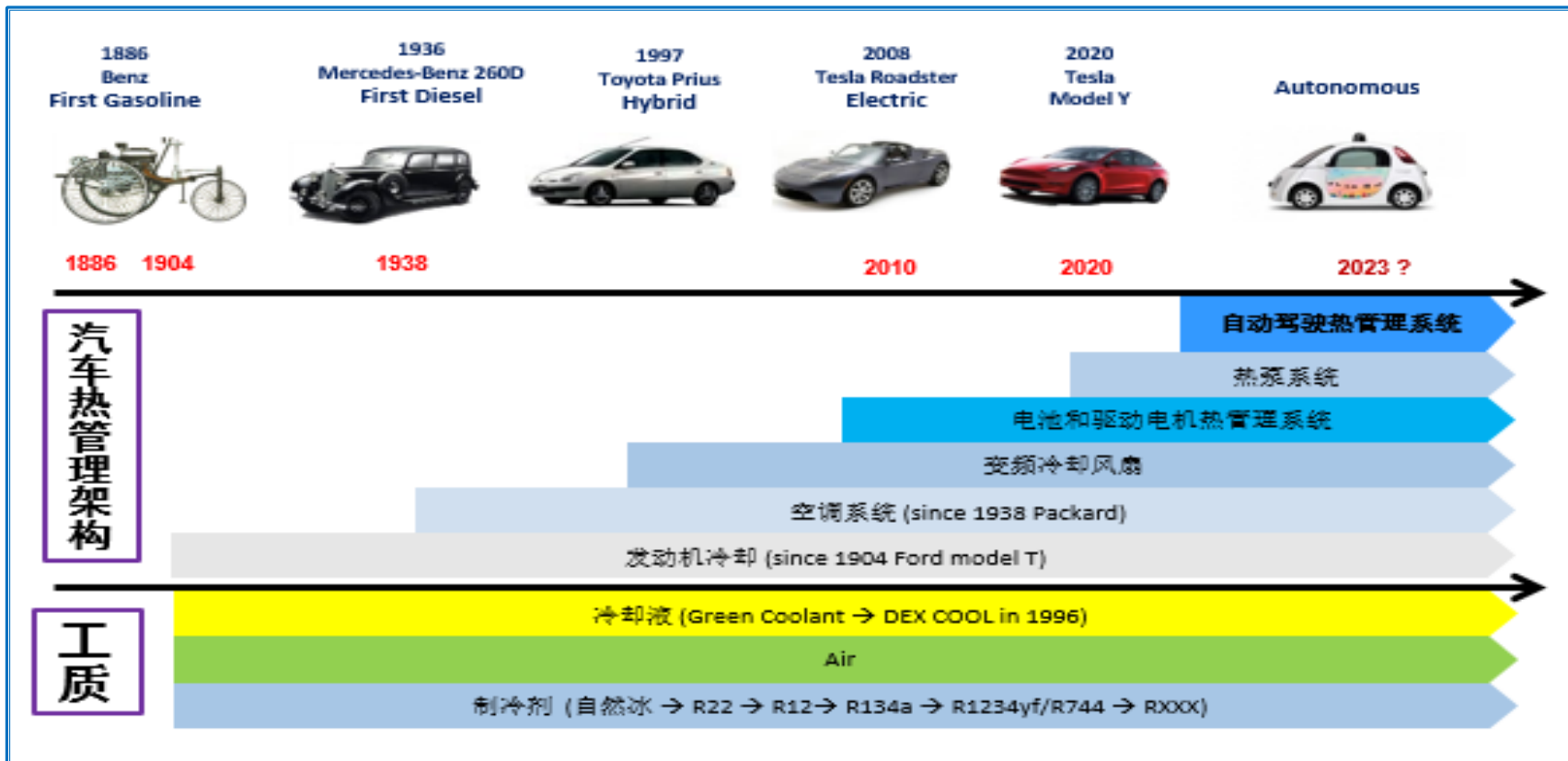


- 夏季制冷、冬季制热

- 热泵成为新能源汽车标配技术
- 多样化的热泵系统架构
 - 直冷直热式，间接冷热（通俗称水冷）
 - 电池、电机余热回收
 - 低温补气 增焓
 - 不同制冷剂



影响新能源汽车热管理技术发展主要因素



- 市场技术痛点：低温采暖
 - 超级快充
 - 系统架构复杂
-
- 法规、双碳：
 - GWP<150

GWP<150

-30 °C 高效低温热泵

技术创新



解决方案：需要一种制冷剂

模块化设计



□ 电池快充技术对新能源汽车技术的影响

电动汽车快充

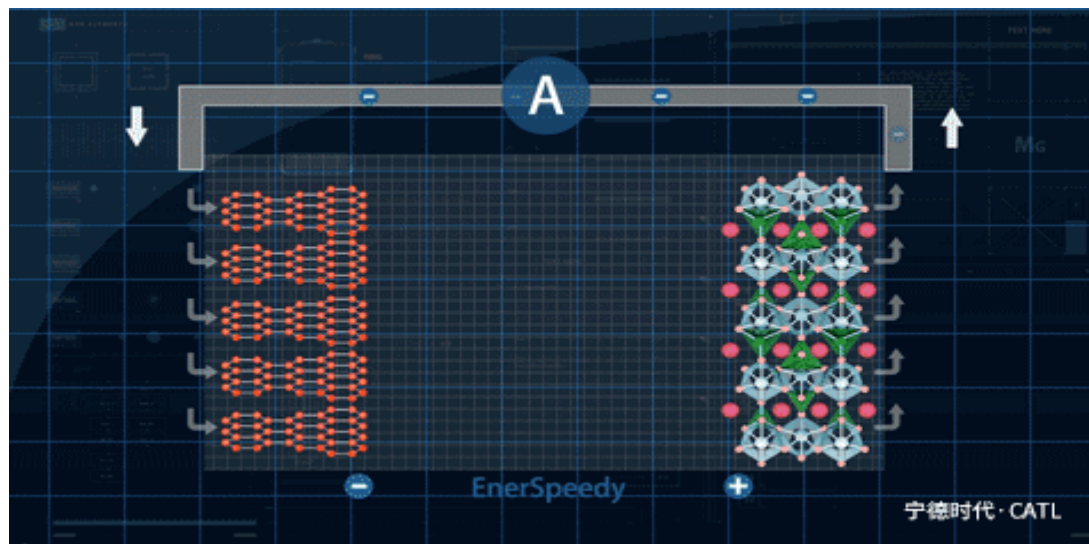
- 充电电流大于1.6C
- 从0%充电到80%时间小于30分钟的技术

C指的是充电倍率：

1C: 60分钟；

2C: 30分钟；

4C: 15分钟。

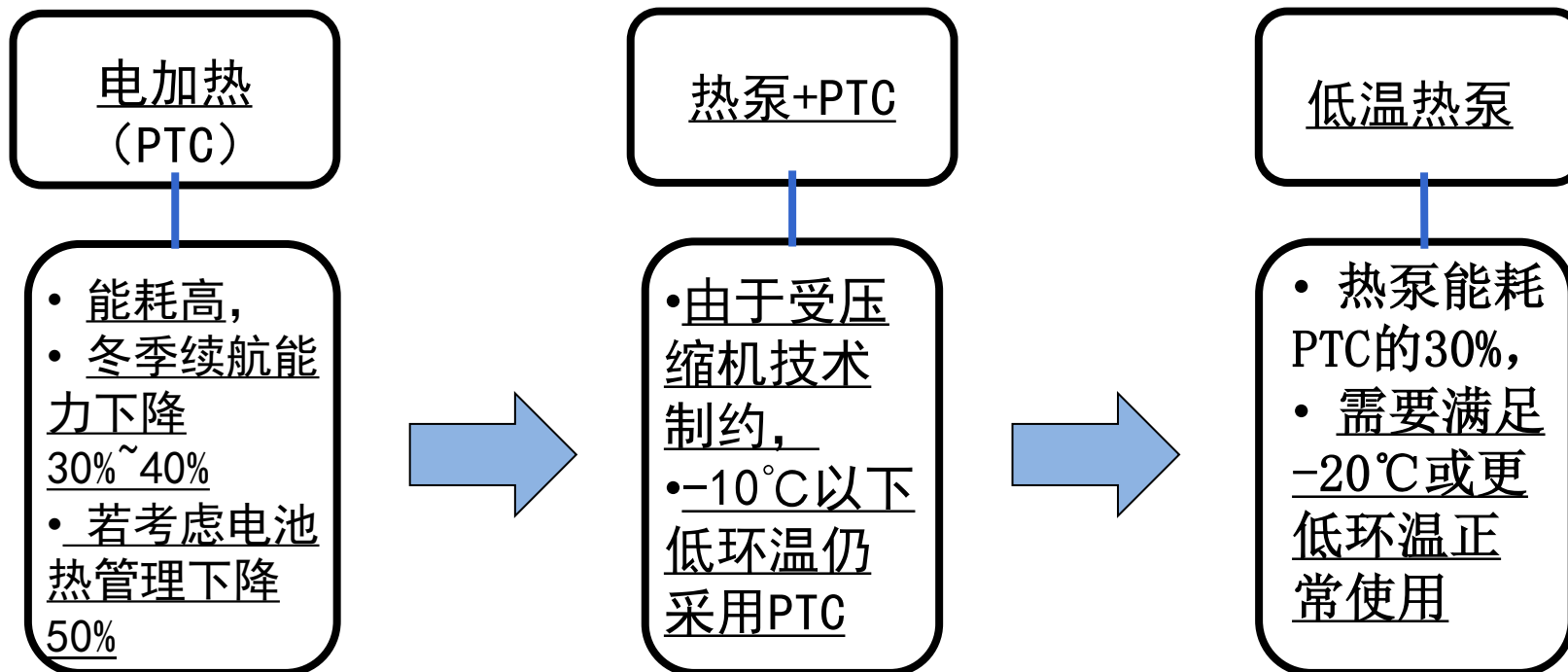


快速制冷能力、高效的换热技术、更宽广的能量调节



□ 高效采暖要求对新能源汽车技术的影响

冬季采暖能耗问题



高效节能技术、更宽温度的应用

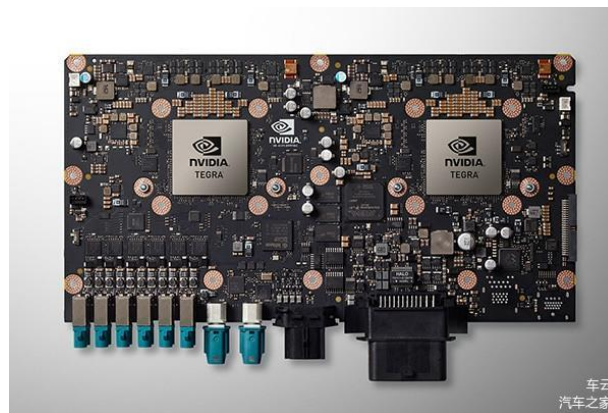


自动驾驶技术对汽车热管理技术影响

夏天，车内温度可以达到四五十度
计算平台热量叠加器件的温度达到**100-200度**

问题：轻则发烫，重则烧坏，进而导致系统“死机”。

自动驾驶分级		称呼 (SAE)	SAE定义	主体			
NHTSA	SAE			驾驶操作	周边监控	支援	系统作用域
0	0	无自动化	由人类驾驶者全权操作汽车，在行驶过程中可以得到警告和保护系统的辅助。	人类驾驶者	人类驾驶者	人类驾驶者	无
1	1	驾驶支援	通过驾驶环境对方向盘和加速中的一项操作提供驾驶支援，其他的驾驶动作都由人类驾驶员进行操作。	人类驾驶者系统			
2	2	部分自动化	通过驾驶环境对方向盘和加速中的多项操作提供驾驶支援，其他的驾驶动作都由人类驾驶员进行操作。	系统	系统	部分	
3	3	有条件自动化	由无人驾驶系统完成所有的驾驶操作。根据系统请求，人类驾驶者提供适当的应答。				
4	4	高度自动化	由无人驾驶系统完成所有的驾驶操作。根据系统请求，人类驾驶者不一定需要对所有的系统请求作出应答，限定道路和环境条件等。				
	5	完全自动化	由无人驾驶系统完成所有的驾驶操作。人类驾驶者在可能的情况下接管，在所有的道路和环境条件下驾驶。				



超级计算

功率 300~500W

功率 1.5~2.5kW

符合功能安全高可靠的软、硬件要求



□ 环保法规对汽车热管理技术影响（制冷剂替代）

➤ 基加利修正案生效

基加利修正案主要内容

修正案的生效

2019年1月1日，届时应至少有20个国家签署加入修正案

安全标准修订

及时修订国际标准的重要性，包括IEC-60335-2-40。

能效

推动低GWP和零GWP替代品技术，寻找提高能效的方式

➤ 2023年欧盟对制冷剂最新消息

PER EU PFAS regulation, R1234yf may be kicked out

<https://echa.europa.eu/-/echa-publishes-pfas-restriction-proposal>

<https://echa.europa.eu/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e18323a25d>

<https://echa.europa.eu/restrictions-under-consideration/-/substance-rev/71401/term>

<https://echa.europa.eu/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e18195edb3>

PFAS (PolyFluoroAlkyl Substances): 氟烷基物质


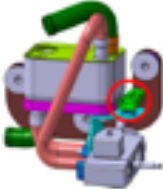
More than 40 scientists from across Europe have signed a position statement backing what they say is the proven superior efficiencies of hydrocarbon refrigerants in heat pumps

来自欧洲各地的40多名科学家签署了一份立场声明，支持他们碳氢化合物制冷剂在热泵中的优越效率



□ 电池热管理技术发展探讨

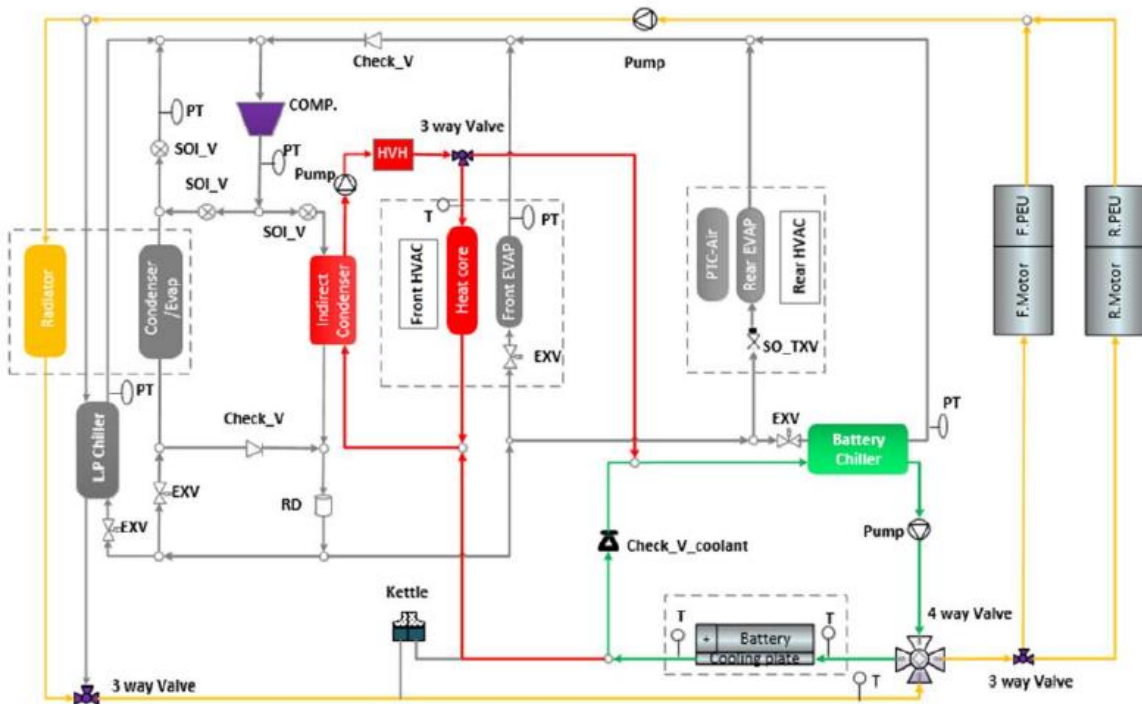
➤ 当前电池热管理的系统架构：风冷、水冷和直冷

	电池风冷 (乘客仓空气)	电池水冷	电池直冷 (制冷剂直接)	电池热管理(液冷液热)	电池直冷直热 (制冷剂直接)
技术方案				电池液冷回路中串联水加热式高压PTC,增加电子水泵和电控阀	
技术参数	电池温度范围: < 60°C,受乘客使用空调限制	制冷能力: 4-10KW 电池温度范围: 20°C~30°C	制冷能力: 4-10kW 电池温度范围: 20°C~30°C	制冷能力: 4-10KW 制热能力: 5-10KW 电池温度范围: 20°C~30°C	制冷能力: 4-10KW 制热能力: 5-10KW 电池温度范围: 20°C~30°C
技术难度评价	C	B	B	A	S
成本评价分析	C	B	B	A	A
适用车型	混合动力 纯电动车	混合动力 纯电动车	混合动力 纯电动车	纯电动车	混合动力 纯电动车

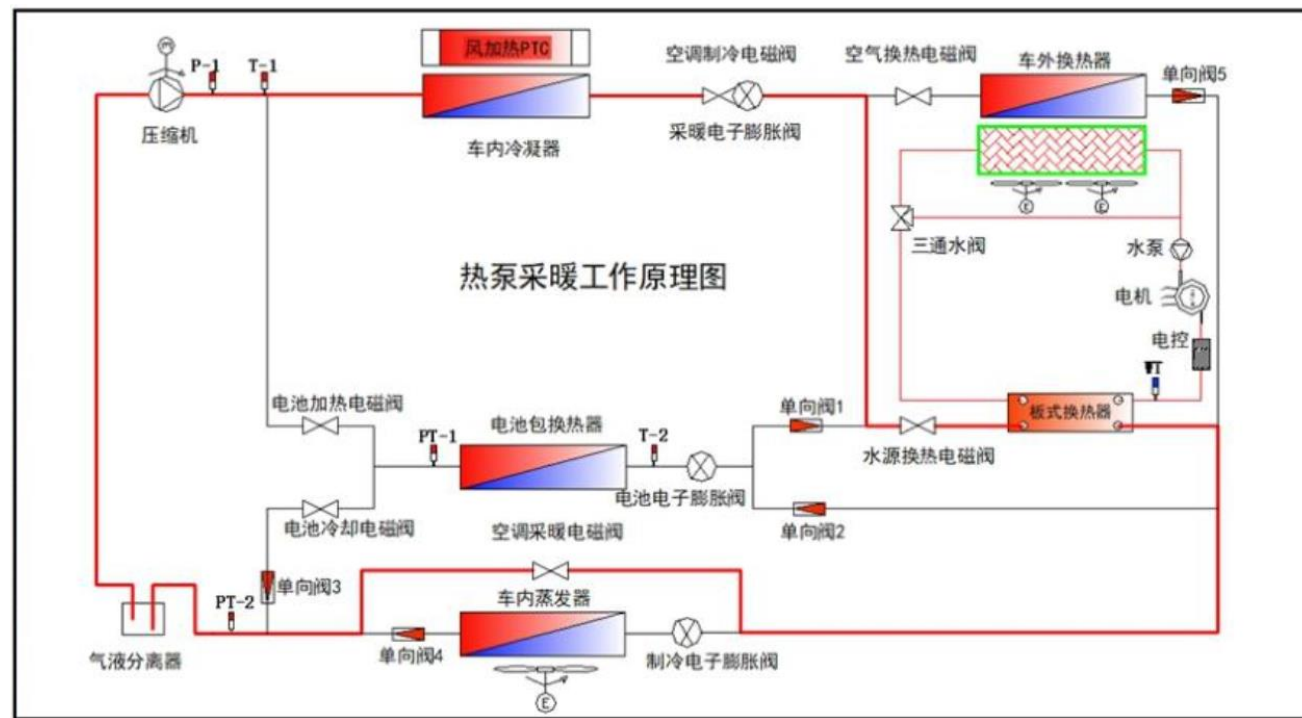


□ 电池热管理技术发展探讨

液冷液热 热管理系统



直冷直热 热管理系统





□ 电池热管理技术发展探讨

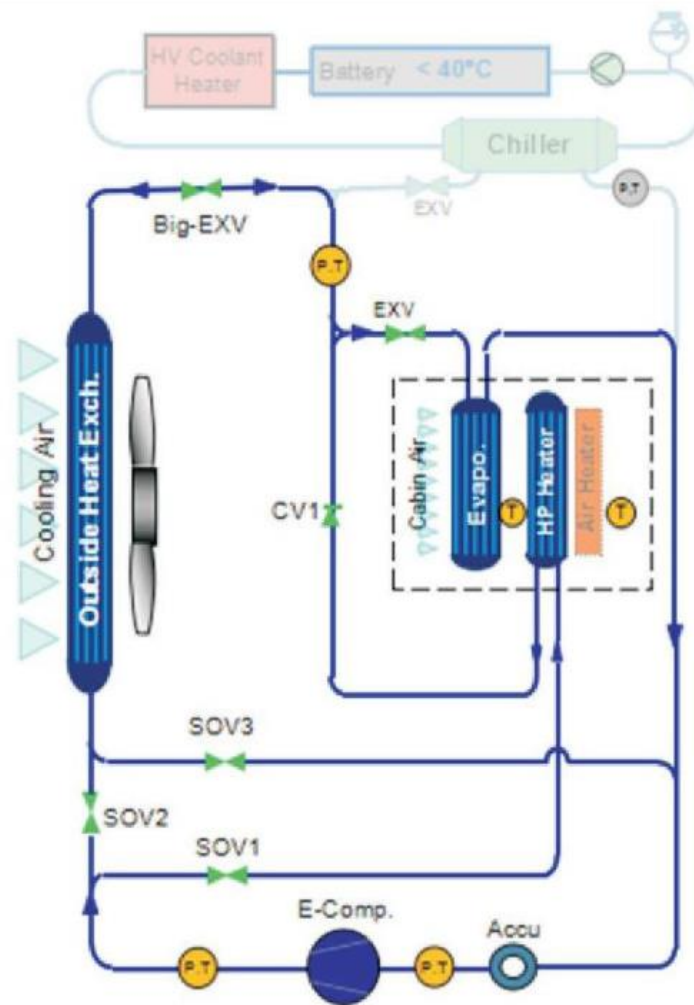
液冷 和 直冷的优缺点

对比项	液冷液热系统	直冷直热系统
电池加热速度	一般	快
系统成本	高	低
技术成熟度	高	低
温度均匀性	好	一般

电池均温策略

电池包均温控制策略

- 电池包单元最小温度与最大温度超过标定值后，启动电池均温策略
- 电池包温度越大，电池水流量控制越大
- 电池包温差越小，电池水流量控制越小
- 电池期望进水温度不宜设置过高或者过低

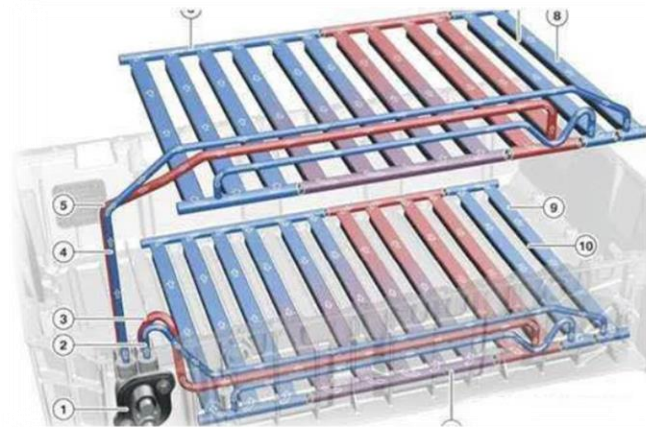
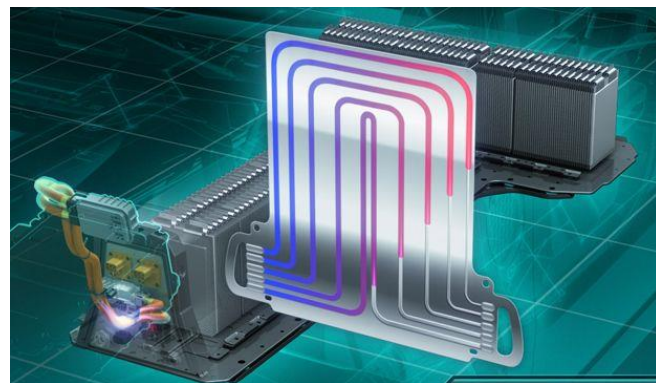




□ 电池热管理技术发展探讨

直冷直热系统开发难点

- 电池包制冷剂过冷度或者过热度控制
 - PID标定
 - 压力和温度波动较大
 - 目标温度选择（电池包换热管路长）
- 电池包制冷剂流量和进出口温度控制
 - 压缩机转速和EXV开度都会影响制冷剂流量
 - 电池包管路长，进口温度和出口温度差值较大
- 电池与乘客舱制冷或者制热双开情况下流量分配处理
 - EXV让行会导致过冷度和过热度较大，影响换热均匀性
- 电池制热，乘客舱制冷需求情况下的目标跟随控制
 - 压缩机仅跟随高压或者低压，若都有需求，需要进行不同工况下的侧重优先级处理
- 系统回油耐久风险



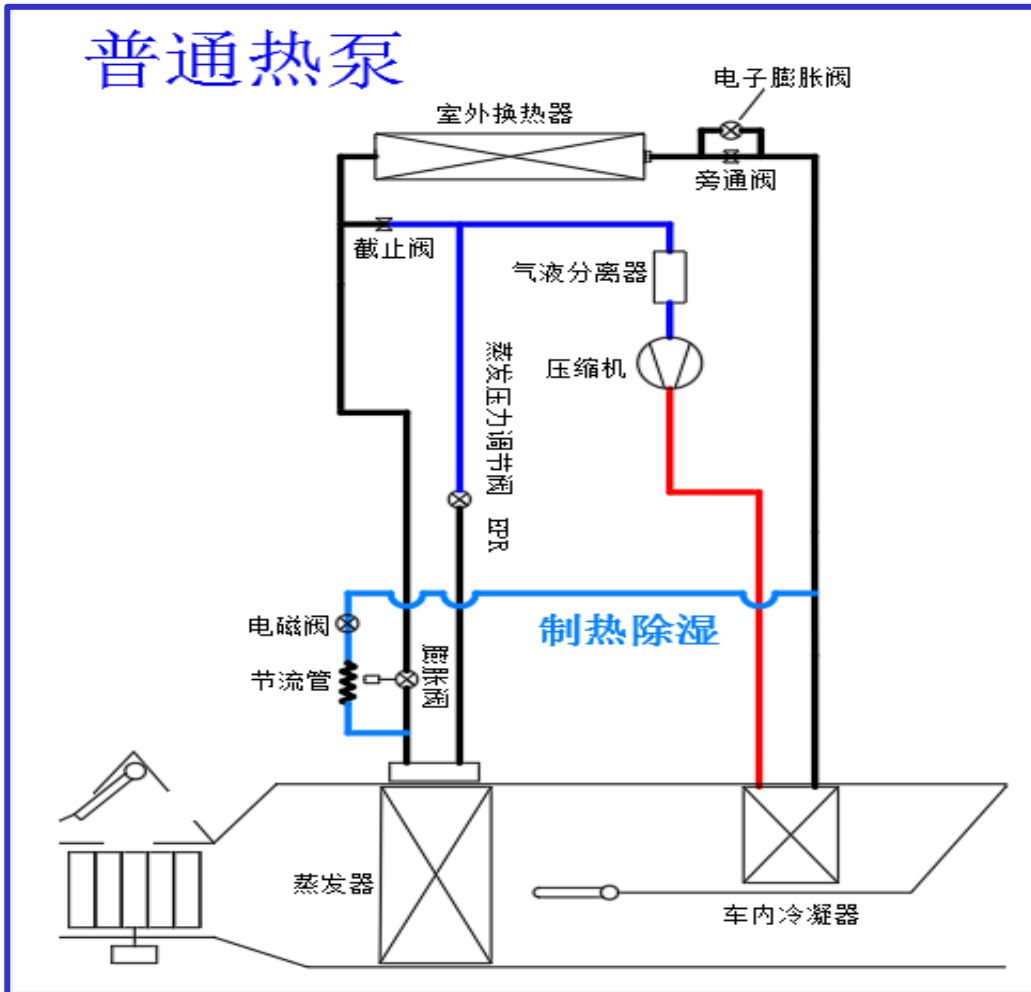


□ 热泵技术发展探讨

- 普通热泵
- 热回收热泵
- 补气增焓低温热泵
- 低温低效的三角循环和热气旁通技术



□ 普通热泵



R134a/R1234yf

- 单级压缩
- -5°C 效率高，低温效率下降
- 运行 -10°C 以上环境温度， -5°C 以下需PTC辅助加热

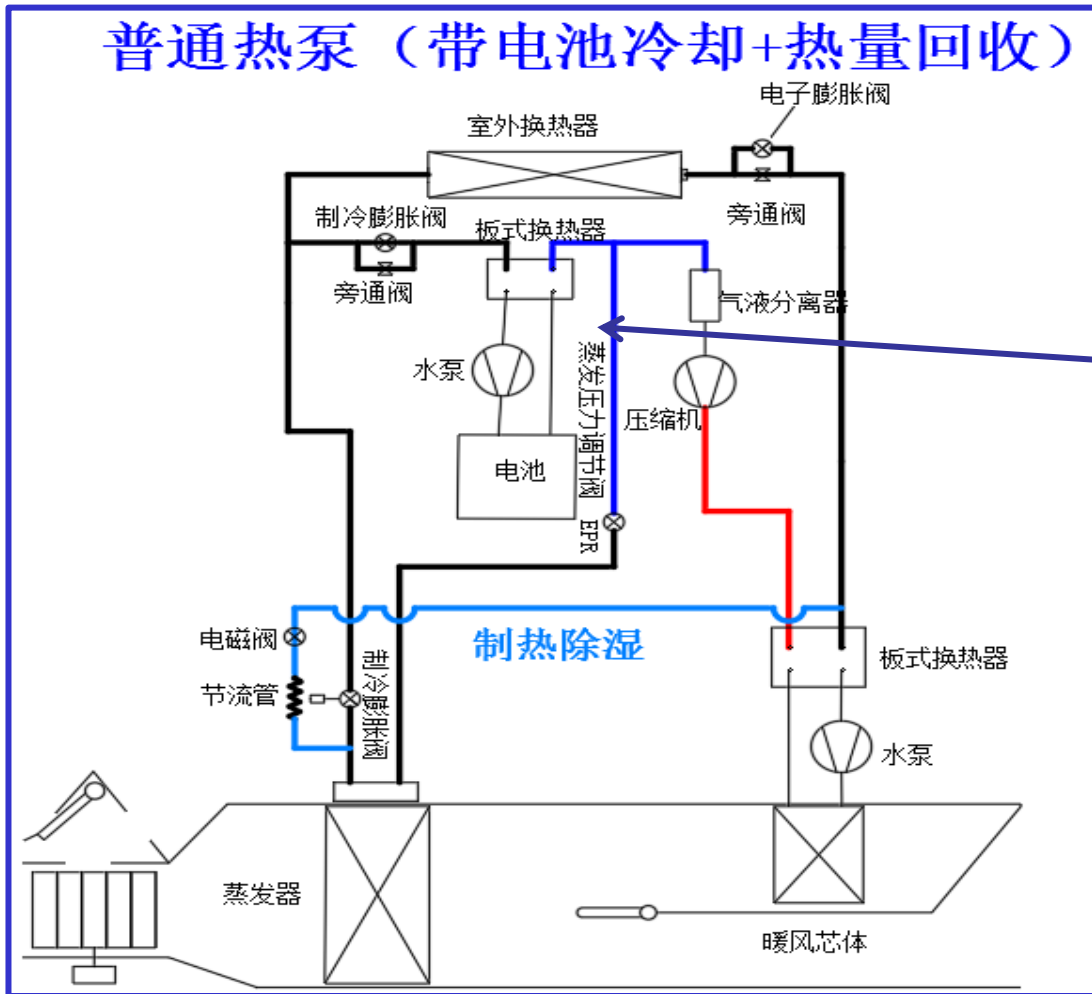
是否可以实现 -20°C 环境制热？

- 可以，除CO2外，采用其它制冷剂
冷凝温度不能太高，出风温度低



□ 普通热泵 + 热回收

普通热泵（带电池冷却+热量回收）



R134a/R1234fy

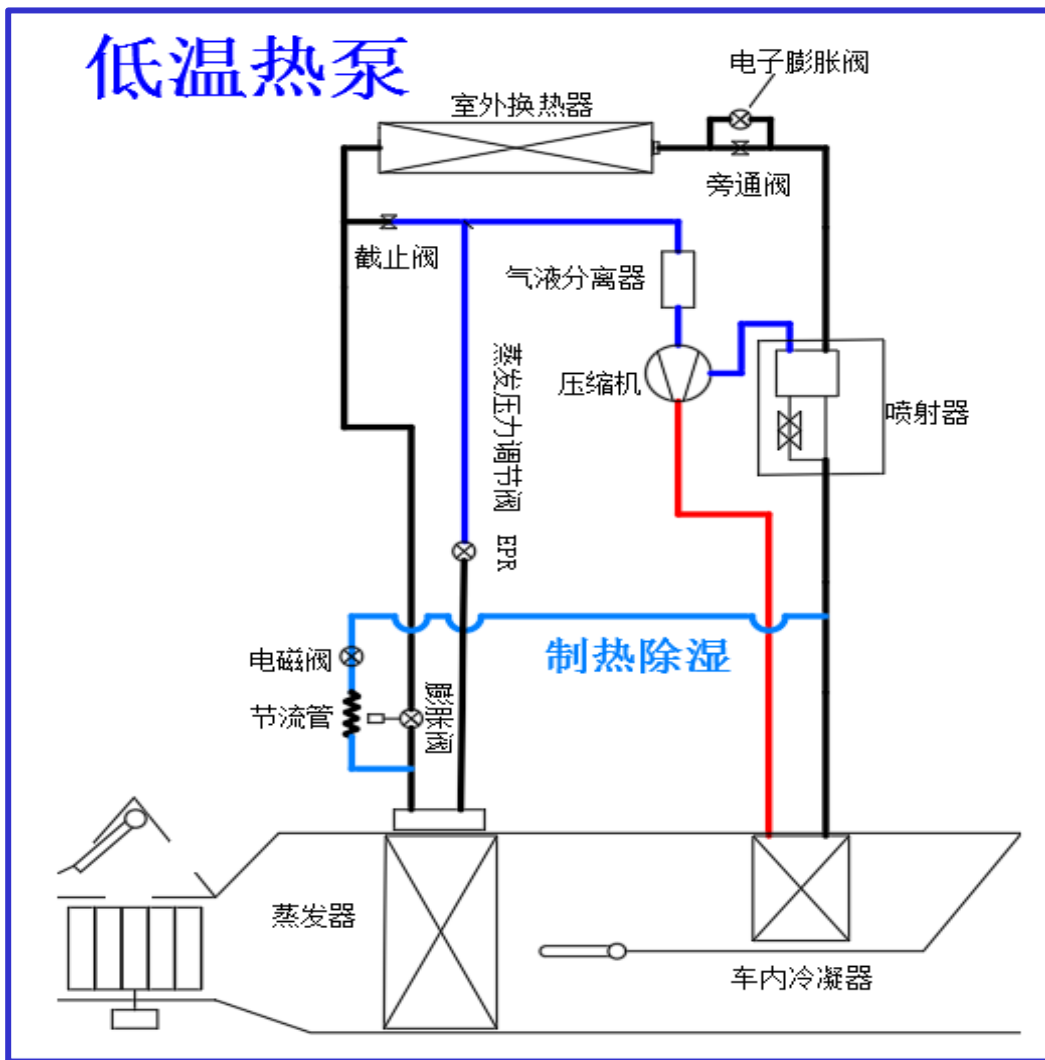
电机、电池热回收

是否可以实现 -20℃ 环境制热？

是的，仅在行车工况时适合



□ VPI补气增焓热泵



R134a/R1234fy

- 双级压缩，蒸气喷焓技术
低温条件热保持高效率
运行 -20°C 以上环境温度，正常采暖无需PTC辅助加热
- 采用替代制冷剂可实现 -30°C 超低温制热

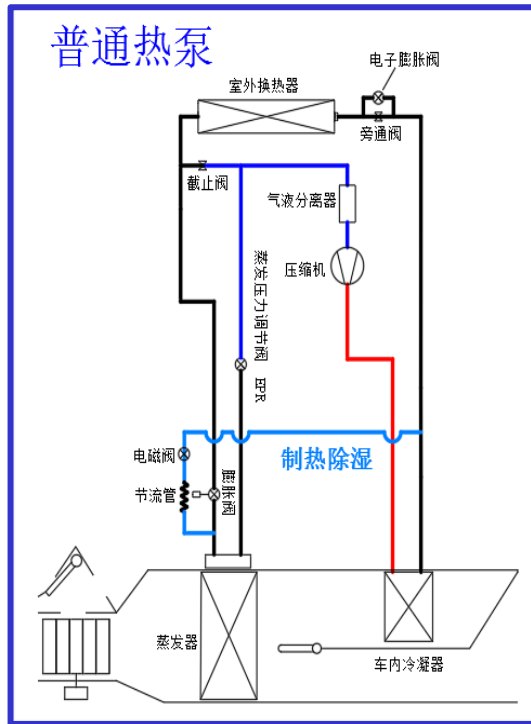


普通热泵扩展应用: 三角循环或热气旁通

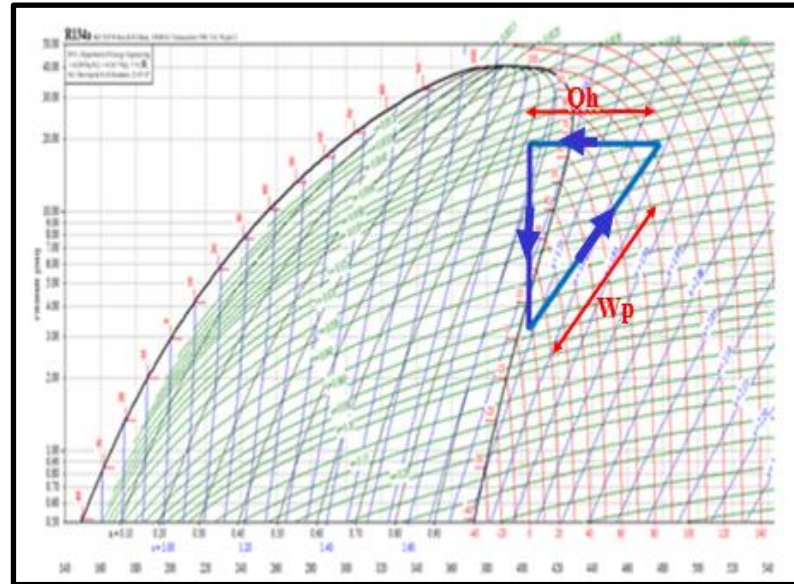
R134a/R1234fy

- 单级压缩
- -30°C 以上环境温度, $-30\sim-20^{\circ}\text{C}$ 采用电机功率加热
- 取消PTC加热

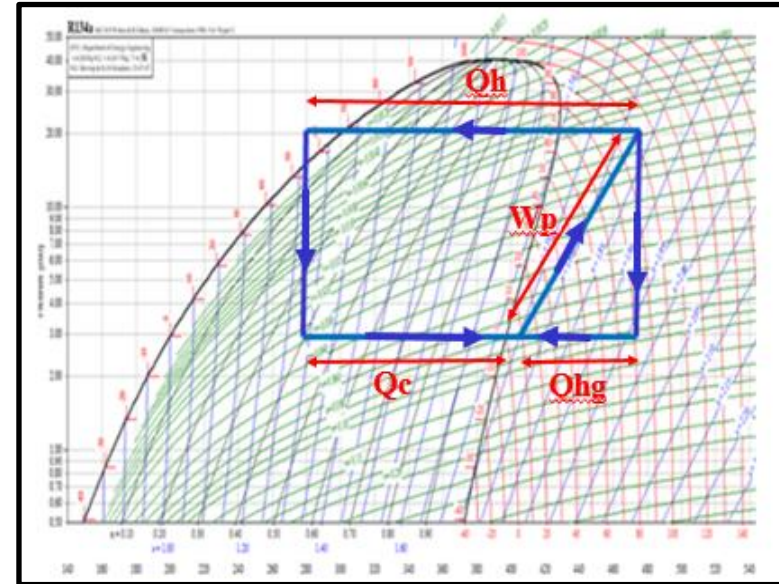
普通热泵



三角循环原理



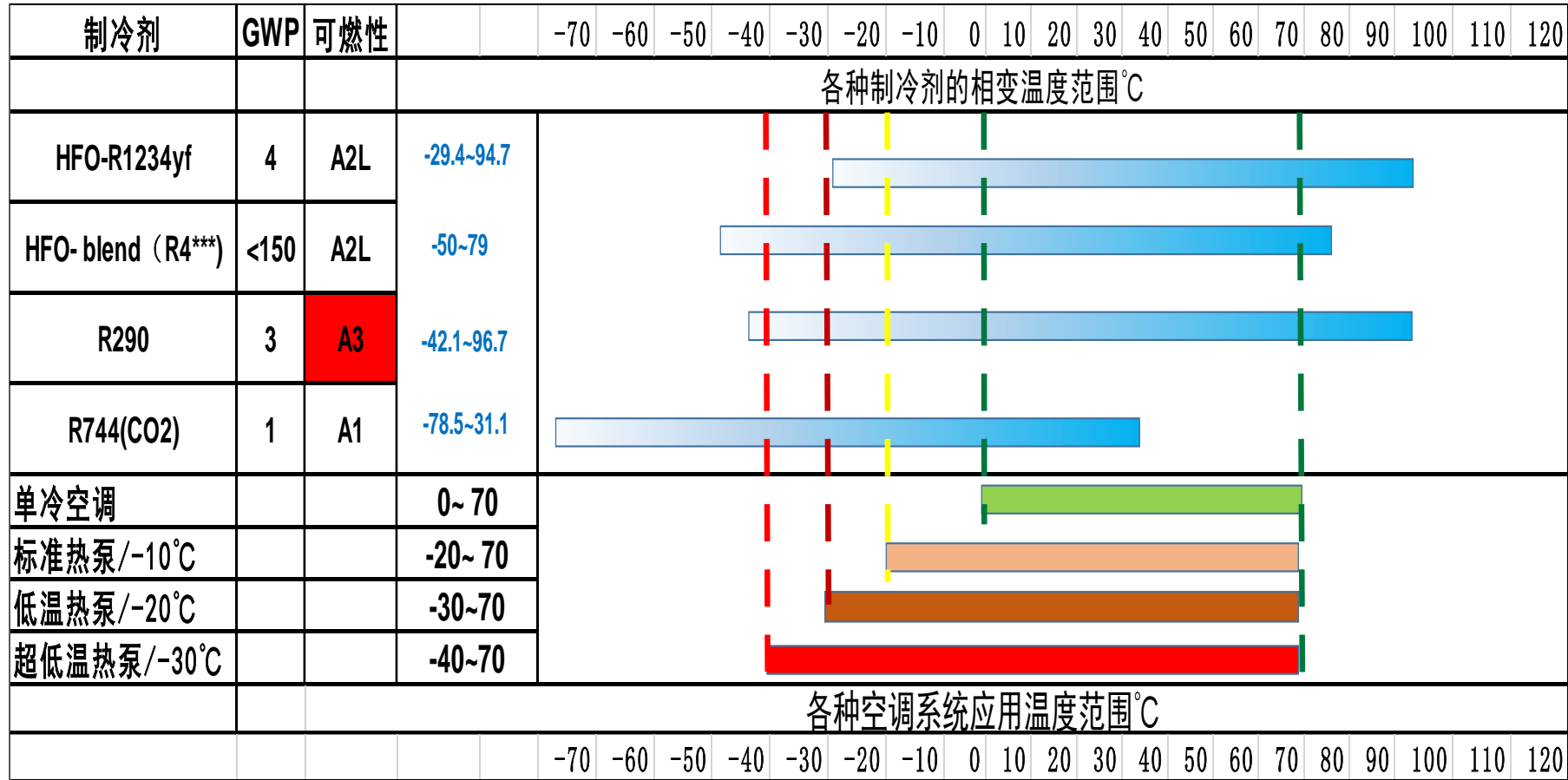
热气旁通原理





制冷剂替代技术的探讨

➤ 车用替代制冷剂可能性



R134a/R1234yf GWP不满足
低温受限，效率低



□ 可替代的两种自然工质优缺点

- R290自然工质, GWP=3, 对环境友好, 可燃(A3), 车用热泵具备低温制热能效优势
- R290系统应用发展的主要障碍: **强可燃, 安全隐患**
- R290 (双) 二次循环能效衰减, **板换和载冷剂**亟需创新

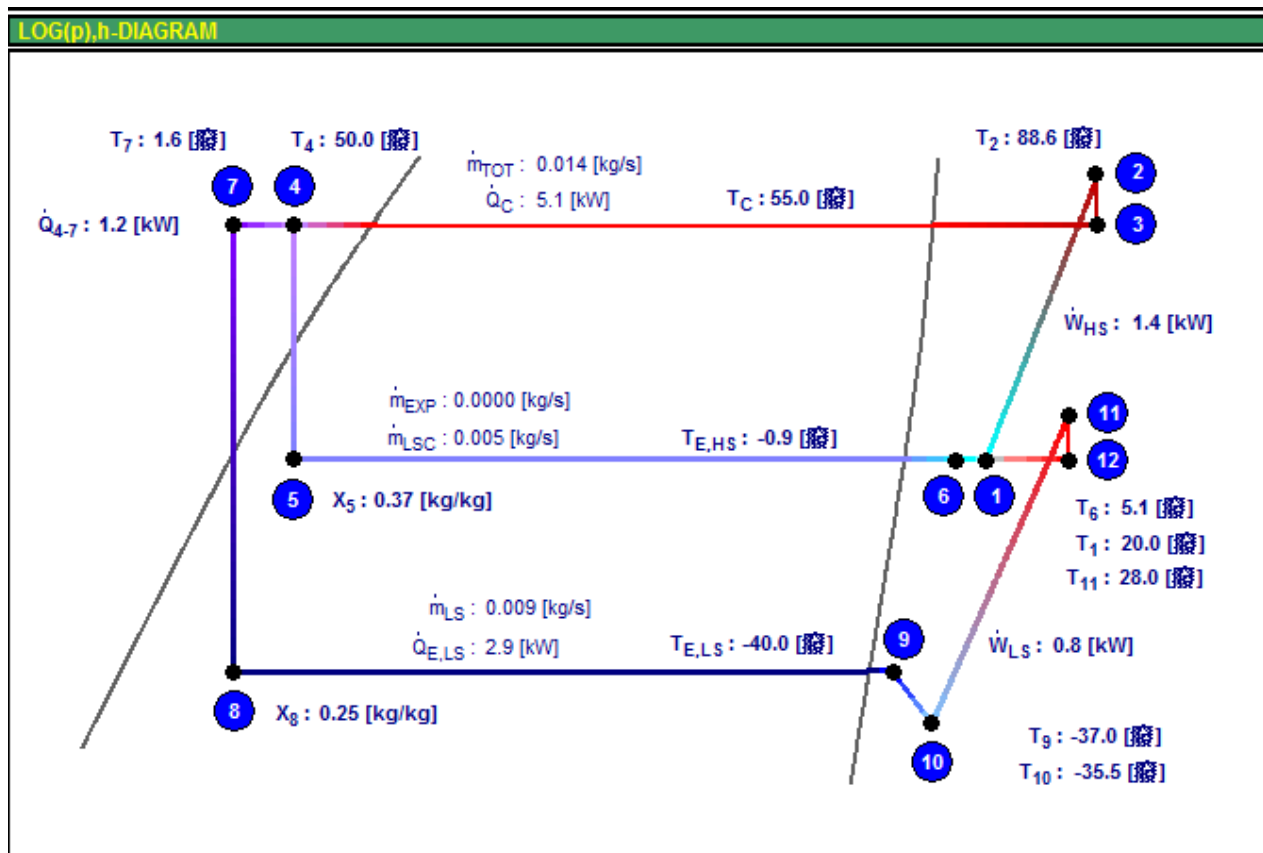
- 整车级的安全验证
- 推动法规的落地

- CO₂自然工质, GWP=1, 对环境友好, 不可燃, 车用热泵低温制热能力突出
- CO₂系统循环压力受环境温度的影响较大, **零部件市场成熟度不高**
- CO₂系统应用发展的障碍主要有: **高压, 泄漏, 可靠性, 系统成本; 高温能效衰减, 与整车布局, 超充散热冲突**

- 零件产业化技术成熟度
- 更低成本的解决方案



□ R290系统对应-30℃环境制热仿真



压缩机:
27cc VPI
n=8500rpm

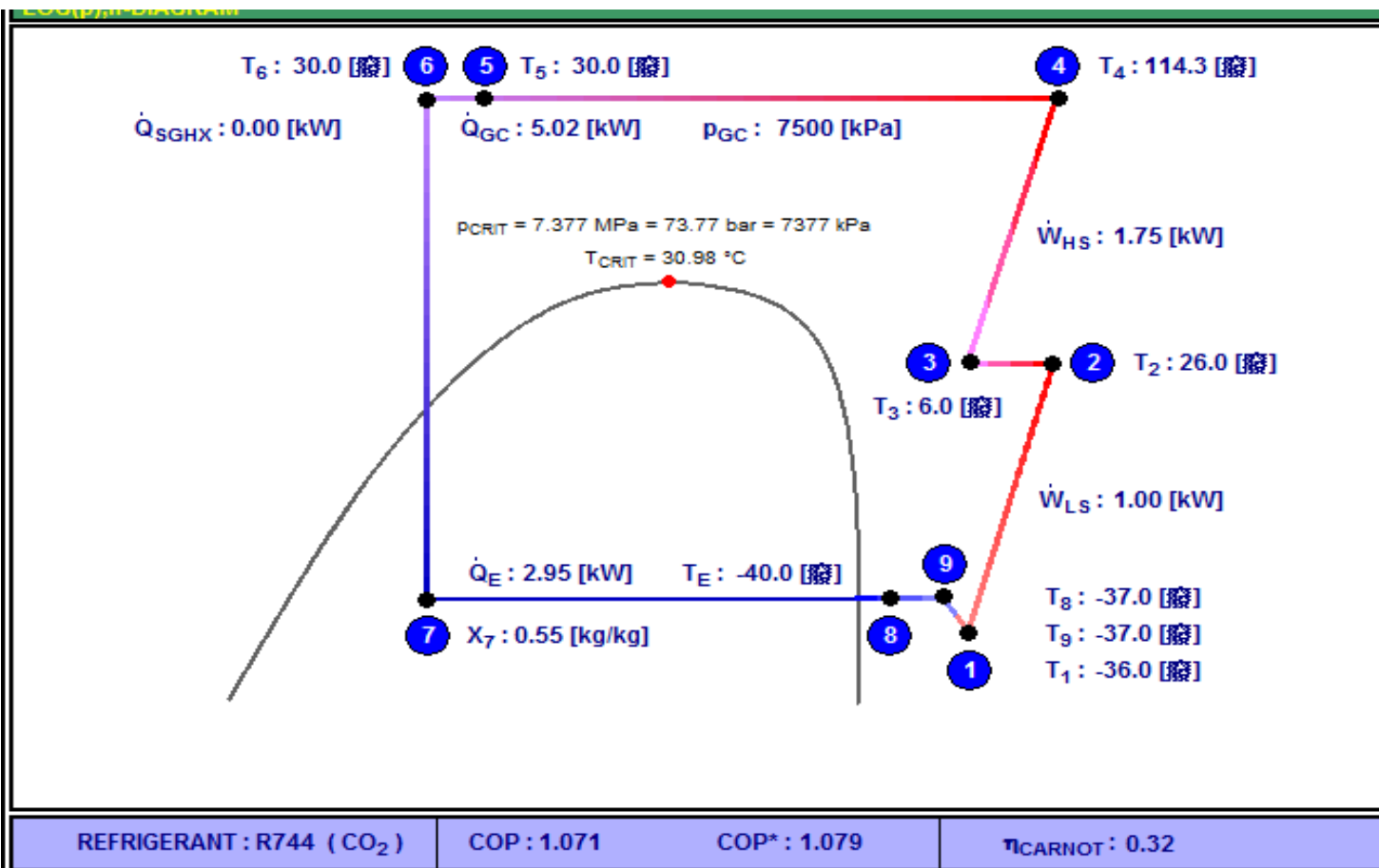
工况:
蒸发温度 -40℃
冷凝温度 55℃

制热量 $Q_h \approx 5.1\text{kW}$
功率 $\approx 2.2\text{kW}$
COP ≈ 2.3
◆ 按优化设计仿真

□ R290 排气温度比R410a 低大约30℃，质量流量约为R410a 的65%。



□ R744 (CO₂)系统对应-30℃环境制热仿真



压缩机: **6 cc**
n=8500rpm

工况:
蒸发温度 **-40℃**
排气压力 **75 bar**

制热量 $Q_h \approx$ **5.kw**
功率 \approx **2.75kw**
COP \approx **1.8**



CO2变工况运行

	E7		R744					R744					R744			
			制冷工况					制热工况 (内循环)					制热工况 (外循环)			
环境温度	Ta	°C	40	35	25	20	15	-30	-20	-10	0	15	-30	-20	-10	0
蒸发温度	Te	°C	0.16	0.16	10	0.16	10	-40	-30	-20	-10	0	-40	-30	-20	-10
	过热	K	24.8	24.8	15	19.84	5	5	5	5	5	7	2	3	4	5
吸气温度	Ts		25.0	25.0	25.0	20.0	15.0	-35.0	-25.0	-15.0	-5.0	7.0	-38.0	-27.0	-16.0	-5.0
排气温度	Td		127	125	105	80.4	30.03	132	107	102	82	59	101	93	92	87
吸气压力	Ps	bara	35	35	45	35	45	10	14.3	19.7	26.5	34.8	10	14.3	19.7	26.5
排气压力	Pd	bara	125	125	110	75	55	100	113	100	90	80	75	80	90	95
气冷器出口	Tg-out	°C	49	47	38	31	23	12	15	18	20	25	-15	-5	5	10
制冷剂体积流量	Vmass	cc/s	848.02	504.92	135.05	403.93	47.69	703.23	754.94	474.50	200.75	43.80	734.26	775.63	576.70	240.90
制冷剂质量流量	m	kg/s	0.07	0.04	0.01	0.03	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.02
		kg/h	238.13	141.79	53.90	117.65	21.36	64.17	97.52	84.94	49.10	14.21	67.78	101.57	103.91	58.92
压缩机制冷/热量	Q	kw	9.43	5.9	2.3	5.0	0.95	5.81	7.50	6.36	3.27	0.75	6.77	9.14	8.45	4.40
容积效率	ηv		0.82	0.83	0.74	0.83	0.49	0.68	0.73	0.78	0.66	0.45	0.71	0.75	0.79	0.66
输入功率	Pi	kw	6.15	3.13	1.33	1.65	0.16	3.35	2.69	2.25	1.04	0.20	2.73	3.07	2.48	1.34
效率	COP	kw/kw	1.53	1.87	1.77	3.05	5.98	1.73	2.79	2.82	3.15	3.79	2.48	2.98	3.40	3.28
压缩机排量	Vh	cc	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
压缩机转速	n	rpm	8500	5000	1500	4000	800	8500	8500	5000	2500	800	8500	8500	6000	3000



□ R290热泵变工况运行

Outside Ambient	Suction Pressure	Discharge Pressure	Comp R	Injection Pressure	Evp. Temp	Cond. Temp	Discharge Temp	Power	Heating Capacity	COP
Ta	Ps	Pd	Pd/Ps	P_vpi	Te	Tc	Td	W	Qh	
°C	bar(A)	bar(A)		bar(A)	°C	°C	°C	kw	kw	
-10	2.02	19.06	9.4	N/A	-25	55	88.8	3.72	7.26	1.95
				6.88			84.3	4.04	8.72	2.16
				7.07			83.7	4.05	8.90	2.20
-10	2.02	23.46	11.6	N/A	-25	65	101.2	4.16	7.29	1.75
				6.88			96.6	4.64	8.80	1.90
				7.47			95.0	4.77	9.42	1.98
-20	1.36	19.06	14.0	N/A	-35	55	94.3	3.07	5.15	1.68
				4.29			91.6	3.30	5.74	1.74
				5.13			87.0	3.63	6.90	1.90
-20	1.36	23.46	17.3	N/A	-35	65	106.6	3.44	5.21	1.51
				5.13			99.2	4.07	6.93	1.70
				5.64			96.1	3.93	7.09	1.81
-30	0.88	19.06	21.7	N/A	-45	55	100.1	2.23	3.42	1.53
				3.66			90.8	2.70	4.73	1.75
				3.78			90.5	2.76	4.87	1.77
-30	0.88	23.46	26.7	N/A	-45	65	112.3	2.46	3.45	1.40
				3.66			102.8	3.01	4.75	1.58
				4.03			100.5	3.11	5.12	1.65



感谢您的耐心聆听！