



 www.aotecar.com

新能源汽车热管理用电动压缩机发展 陈祥吉

南京奥特佳新能源科技有限公司
2021年4月8日

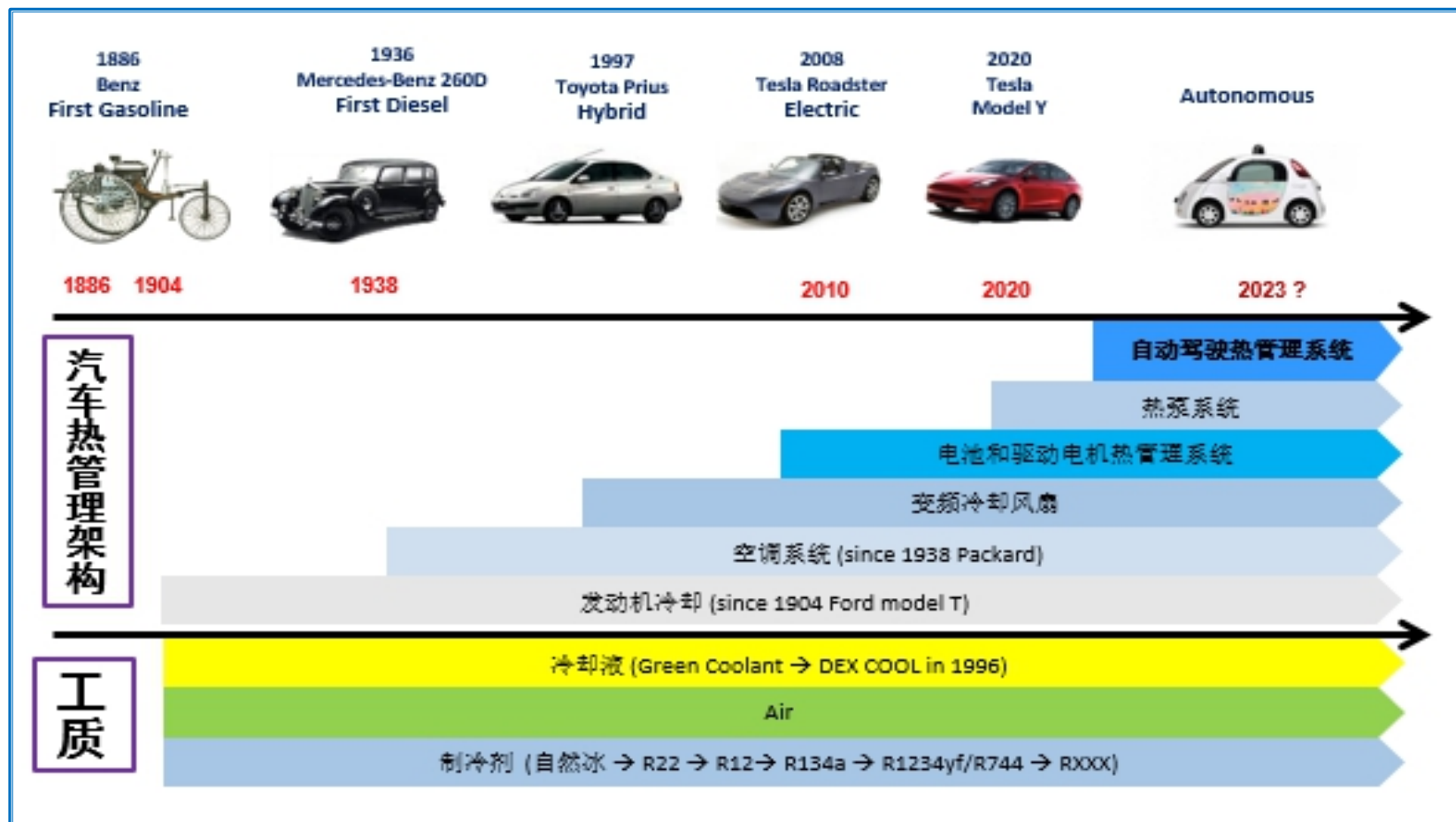


主要内容

- 新能源汽车电动空调压缩机概况
- 新能源汽车电动空调压缩机技术现状
- 新能源汽车电动压缩机的技术展望



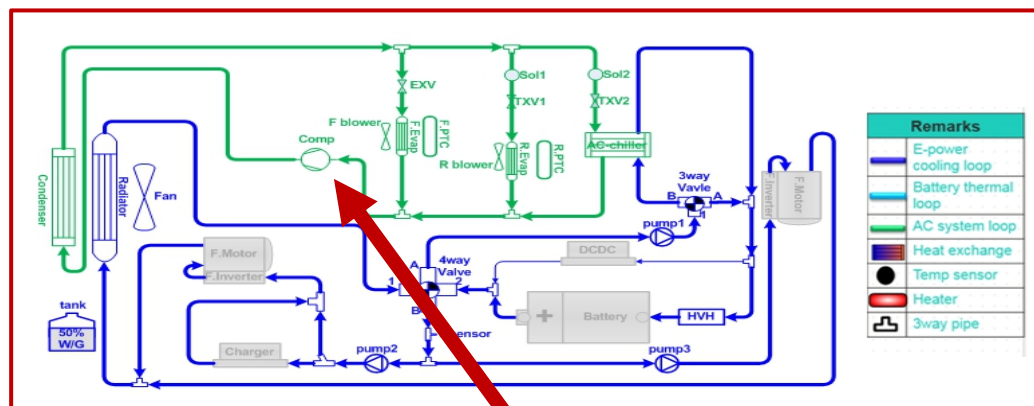
□ 汽车热管理技术发展





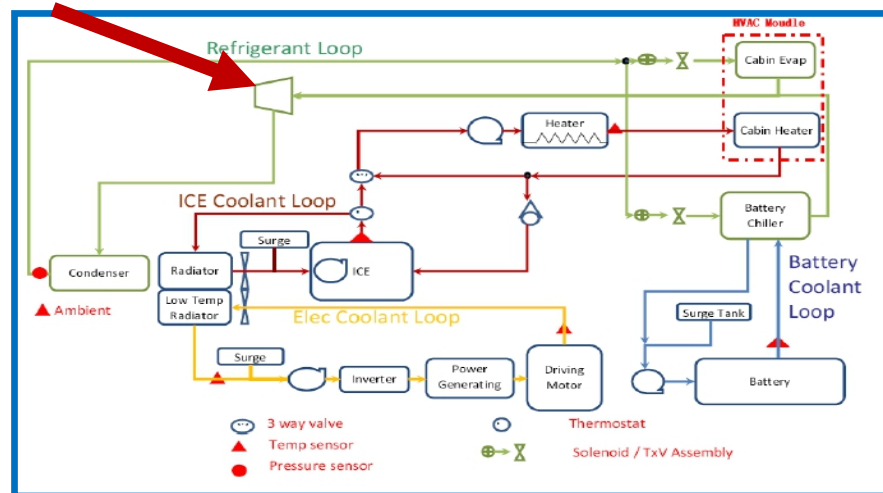
典型的EV/PHEV热管理系统

EV电动车热管理系统



电动压缩机

PHEV插电混合动力车热管理系统





□ 电动车空调电动压缩机技术条件

➤ 高效率、低噪声、轻量化、小型化

- 受续航里程的制约，要求各部件运行高效节能并采用小型、轻量化设计
- 新能源汽车没有发动机噪声源，整体噪声比传统燃油车低，整车NVH要求高

➤ 适应更严苛的运行条件、更宽广的运行范围

- 采用小排量、高转速的设计理念
- 运行转速范围600~8500 rpm(短期最高10000rpm)
- 满足制冷和制热工况要求
- 满足-20~125℃运行环境，达到车规级的技术要求

➤ 高安全性和可靠性

- 更高EMC标准，
- 对控制器硬件设计提出更高技术要求
- 集成了热泵、动力电池冷却及加热、电池快充等更多功能



□ 车用电动压缩机技术条件

传统离合器压缩机

大排量满足怠速舒适
转速随发动机变化大
无调速功能
能效比低
抗振要求高
耐高温 120°C
快速制冷
大压差启动
体积小
重量轻

车用电动压缩机

根据负荷选择合适排量
工况较稳定
变频调速
高能效比
抗振要求高
耐高温 120°C
快速制冷
大压差启动
体积小
重量轻
高电压，电气安全
运行电压范围宽
EMC要求高
电机能量密度大
转子退磁温度高
IP67等级

家用变频压缩机

根据负荷选择合适排量
工况较稳定
变频调速
高能效比
抗振要求低
满足50°C高温
3分钟启动
平衡压力启动
体积大
重量大
高电压供电，电气安全
电压范围小
电磁环境较好
电机能量密度小
转子退磁温度低

产品设计满足车规，系统设计参考家用空调



□ 当前以涡旋式结构形式为主

➤ 容积效率高（无吸气阀、无余隙）

- 涡旋式： 90~98%
- 活塞式： 65~75%

➤ 运转平稳，转矩脉动小

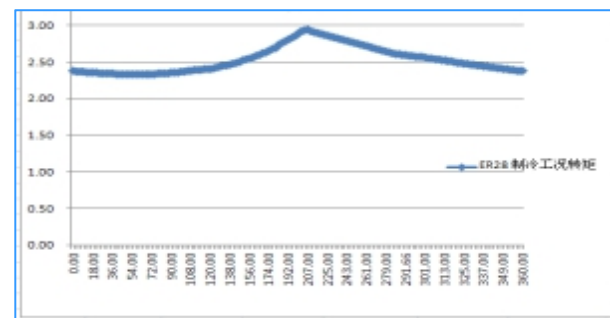
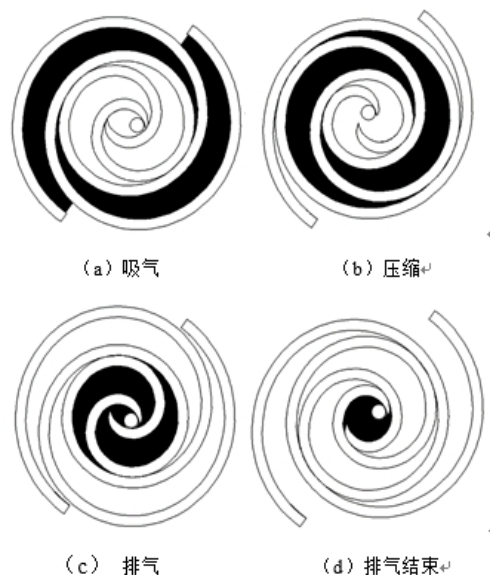
- 多腔连续工作

➤ 可靠性高

- 运动部件少
- 动静盘相对速度小0.4-0.8m/s
- 最高转速：10000rpm

➤ 噪音低，振动小

- 惯性力小（旋转半径小）



转矩脉动



□ 电动压缩机整体发展情况

历史时期	90年代末	本世纪初	当前
压缩机	 		 
控制器			
备注	体积庞大	体积和功能 上有很大改进	实现了一体化的设计

➤ 国内

- 2000年开始研发，2014年小规模产业化

**中国品牌取得很大进步，
整体实力与国际水平仍有差距**

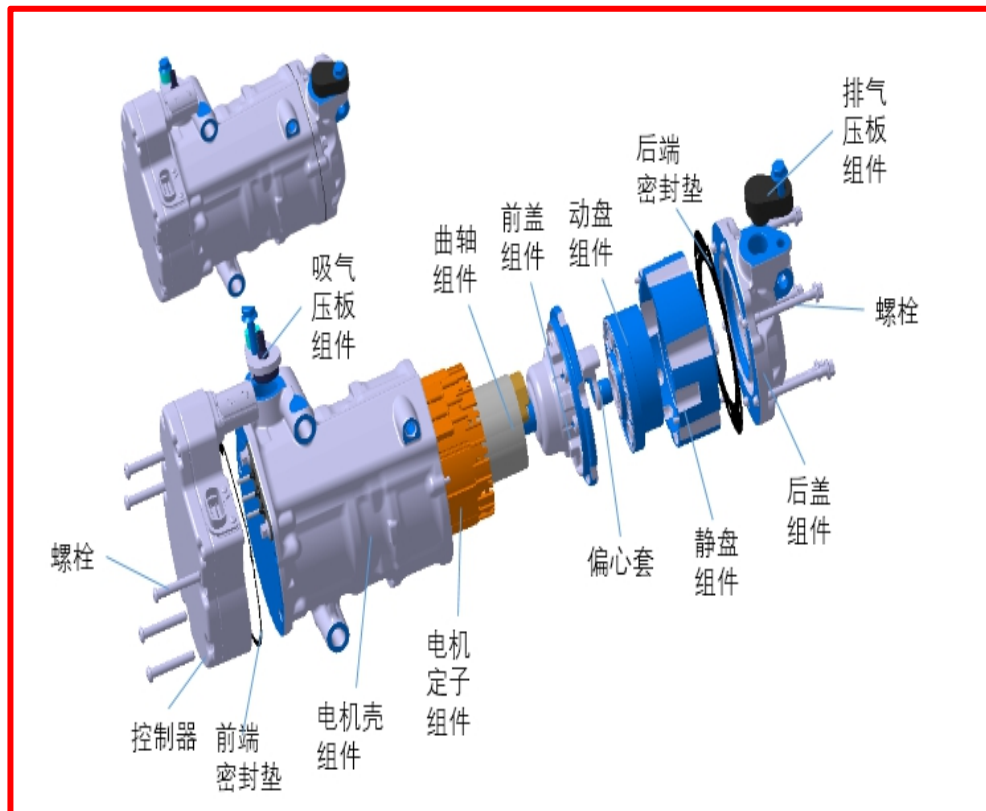
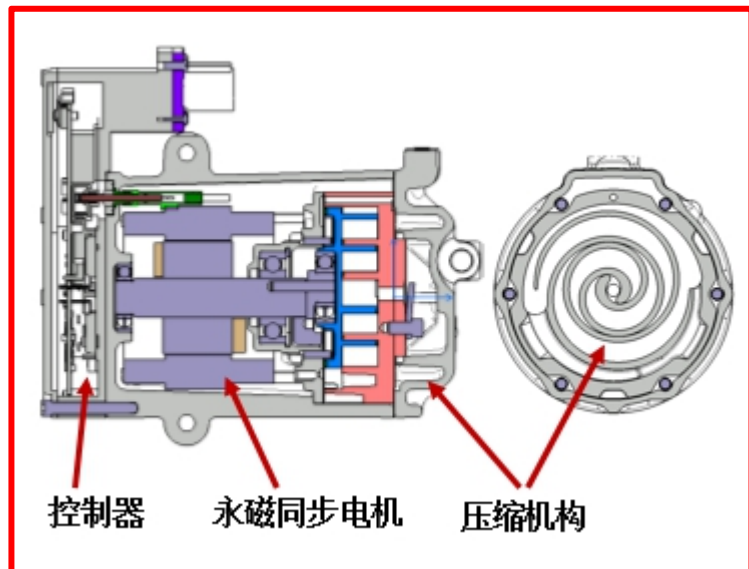
➤ 国际

- 日本早在20世纪70年代



□ 新能源汽车电动空调压缩机技术现状

结 构



- ◆ 集成一体式
- ◆ 控制器吸气冷却
- ◆ 变频调速
- ◆ 高速小型化
- ◆ 涡旋式为主



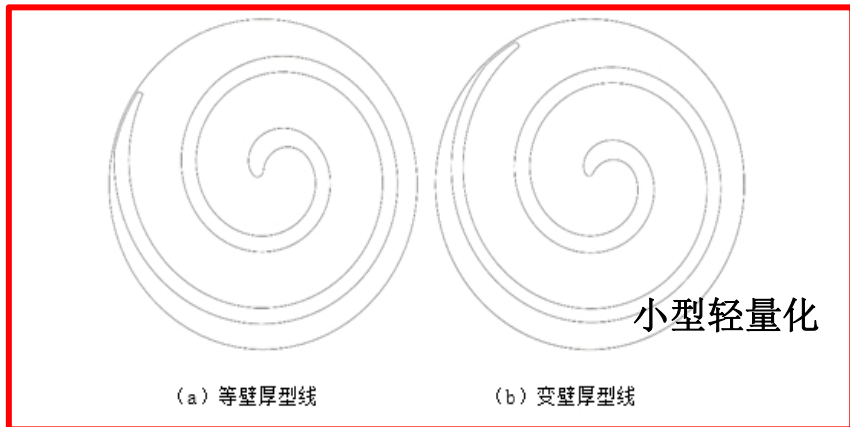
□ 主要技术参数

名称		单位/其他	基本参数	
排量		cc/rev	27	34
转速范围		rpm	800~8500	800~8500
工作温度范围		℃	-20~125	-20~125
高压		V	200~500	200~500
低压		V	8~16	8~16
通信		—	LIN /CAN	LIN /CAN
故障诊断		诊断	UDS/OBD (Lin)	UD S/OBD (Lin)
软件更新		远程	Yes(Lin)	Yes(Lin)
防水防尘		等级	IP67	IP67
制冷剂		类型	R134a/R1234yf	R134a/R1234yf
润滑油		类型	POE/PVE	
1.5/0. 3MPa	制冷量	kW	6	8
	COP	kW/kW	≥2.1	≥2.1

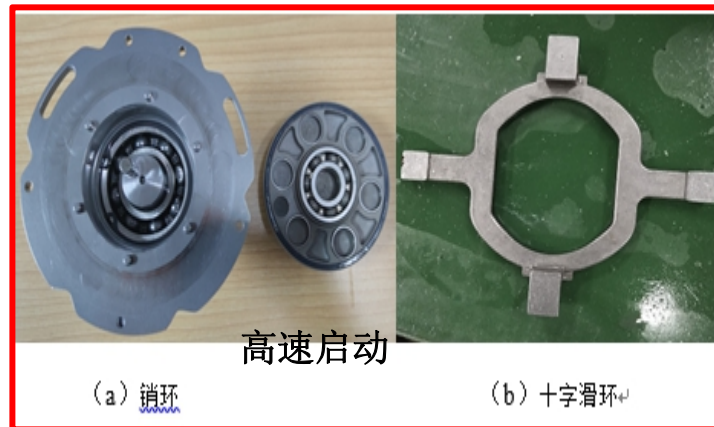


□ 一些关键技术

涡旋型线设计



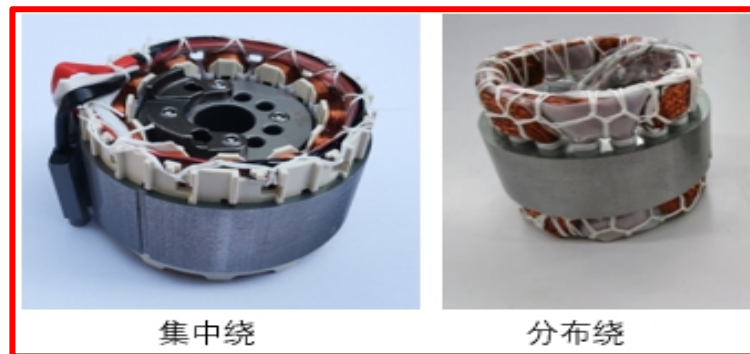
动盘防自转机构



涡旋盘表面处理



永磁同步电机





□ 一些关键技术

动静涡旋径向密封

- 01 曲轴中心
- 02 曲柄中心
- 03 动盘（偏心套）中心
- 动盘回转半径01-03

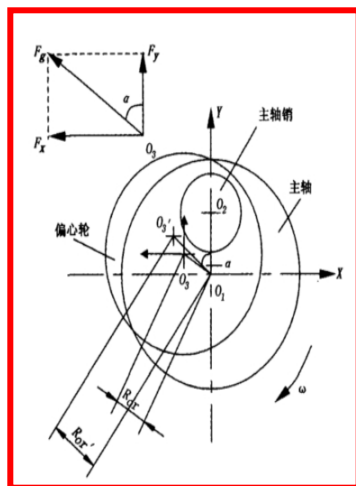
动盘（偏心套）在曲柄销驱动下
产生惯性力绕02运动，
将动盘推向静盘壁，实现径向密封

特点：**径向柔性密封**技术，
涡旋压缩机普遍采用的技术

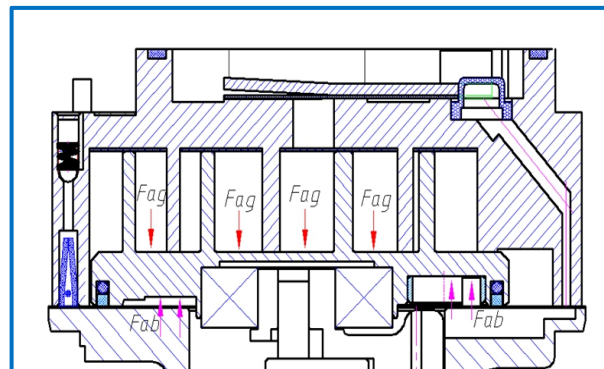
好处：

- 1) 容易消除动盘、静盘径向间隙
- 2) 容隙能力，当小颗粒固体，可变
的回转半径使动静盘分开提供脱离间隙
- 3) 提高抗液击能力，当液体压缩时，
动静盘可脱离卸液体压力

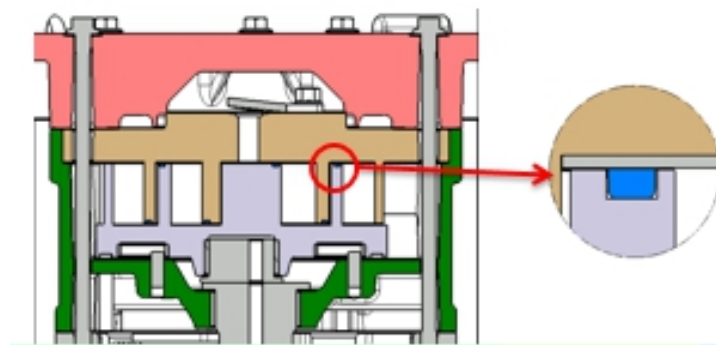
偏心机构原理



动静涡旋轴向密封



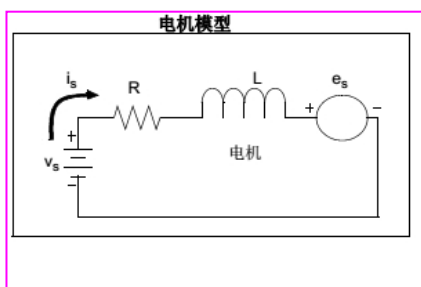
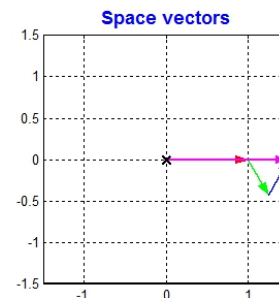
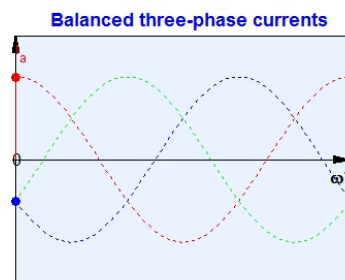
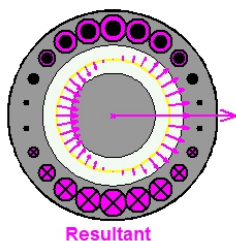
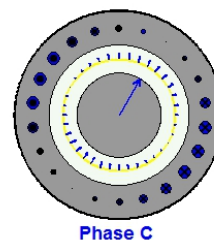
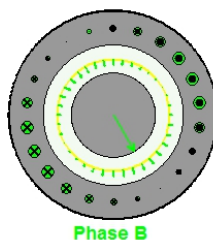
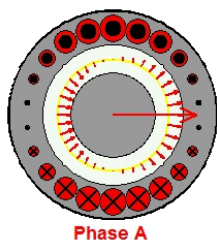
背压轴向柔性密封



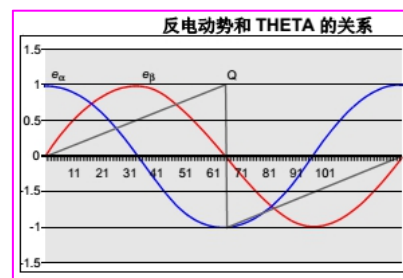
涡旋顶端轴向柔性密封



永磁同步电机矢量控制



$$V_s = R \cdot i_s + L \cdot \frac{di}{dt} + e_s$$





□ 压缩机技术发展主要因素

- 续航里程增加、高性能纯电动SUV
- 电池热管理+电池快充
- 冬季采暖的节能要求
- 无人自动驾驶技术发展
- 低温制热环保制冷剂



□ 电池热管理对压缩机的影响

电池过热引起问题

- 内部短路
- 热失控
- 寿命

对 策

- 散热
- 温度均衡

应用场景

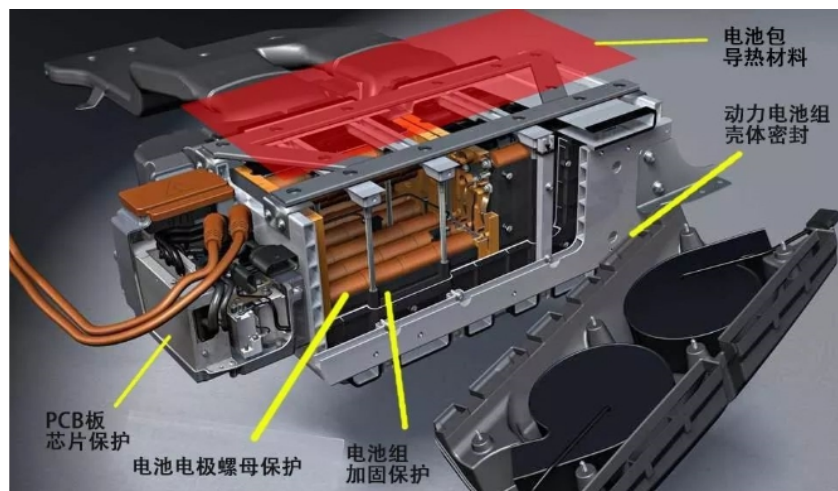
- 充放电
- 快充

对压缩机技术主要影响：

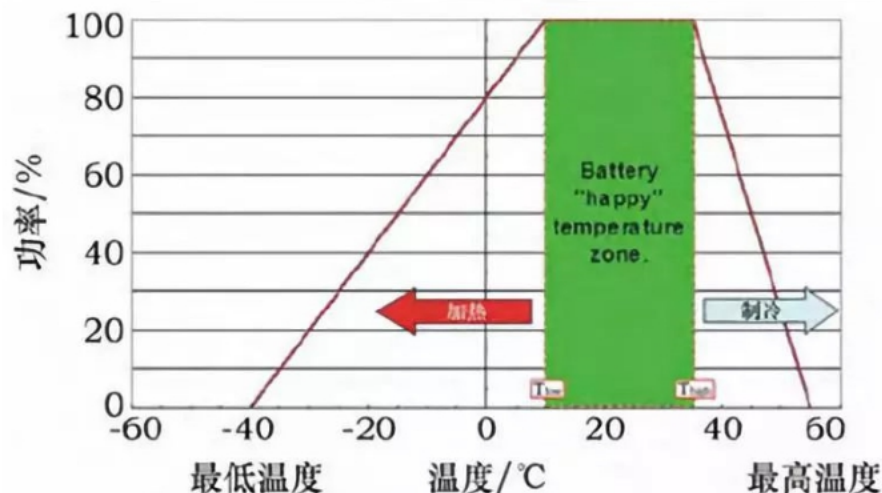
- 电池散热需要压缩机提供额外制冷量，增加压缩机排量



□ 电池热管理对压缩机的影响



锂离子电池温度适应区间



对压缩机技术主要影响

- 功能安全要求
- 超级电脑电子散热需要压缩机提供额外制冷量，增加压缩机排量



□ 电池快充技术对压缩机的影响

电动汽车快充

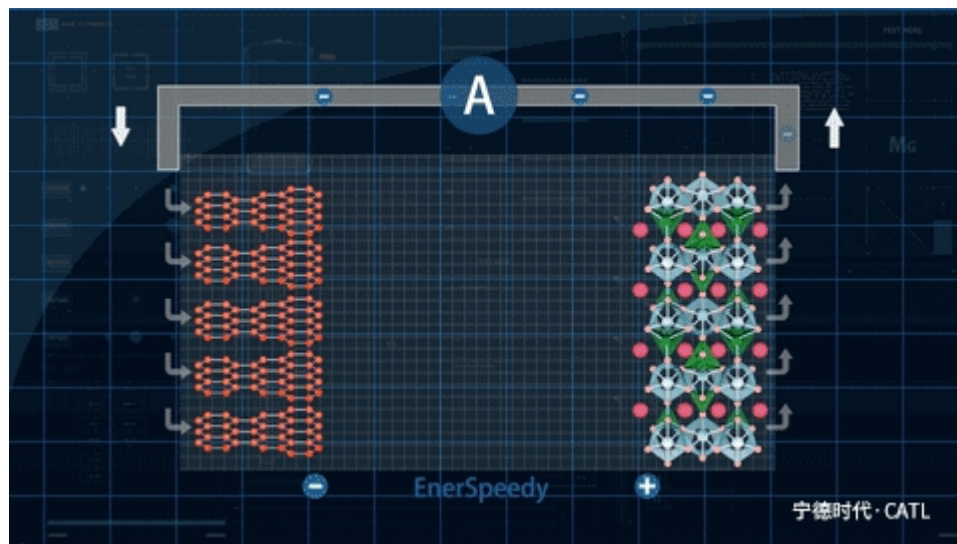
- 充电电流大于1.6C
- 从0%充电到80%时间小于30分钟的技术

C指的是充电倍率：

1C: 60分钟；

2C: 30分钟；

4C: 15分钟。





□ 电池快充技术对压缩机的影响

	当前充电	当前快充	未来快充
电池电量	1~1.2C 需要冷却	2C 快充需要冷却	4C 快充需要冷却
60度电	2.5kw	5 kw	
70度电	3kw	6 kw	?
80度电	5kw	/	
90度电	7kw	/	
	↓ 34cc压缩机满足	↓ 考虑乘员仓，增加排量	



□ 冬季采暖对压缩机技术的影响

冬季采暖能耗问题

电加热 (PTC)

- 能耗高,
- 冬季续航能力下降
30%~40%
- 若考虑电池热管理下降
50%

热泵+PTC

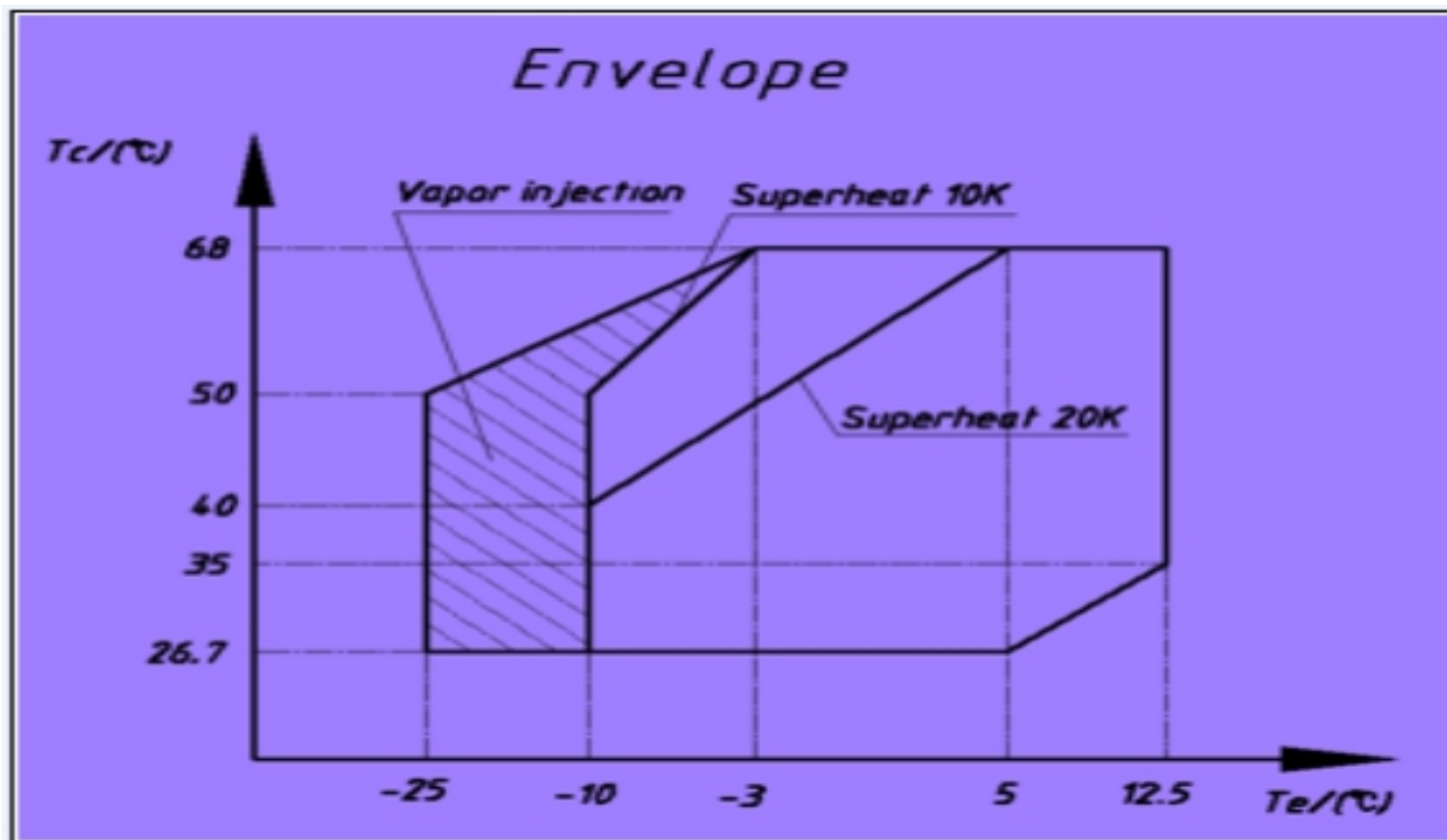
- 由于受压缩机技术制约,
- -10°C以下低环温仍采用PTC

低温热泵

- 热泵能耗PTC的30%,
- 需要满足-20°C或更低环温正常使用



□ 空调压缩机运行范围需要扩大

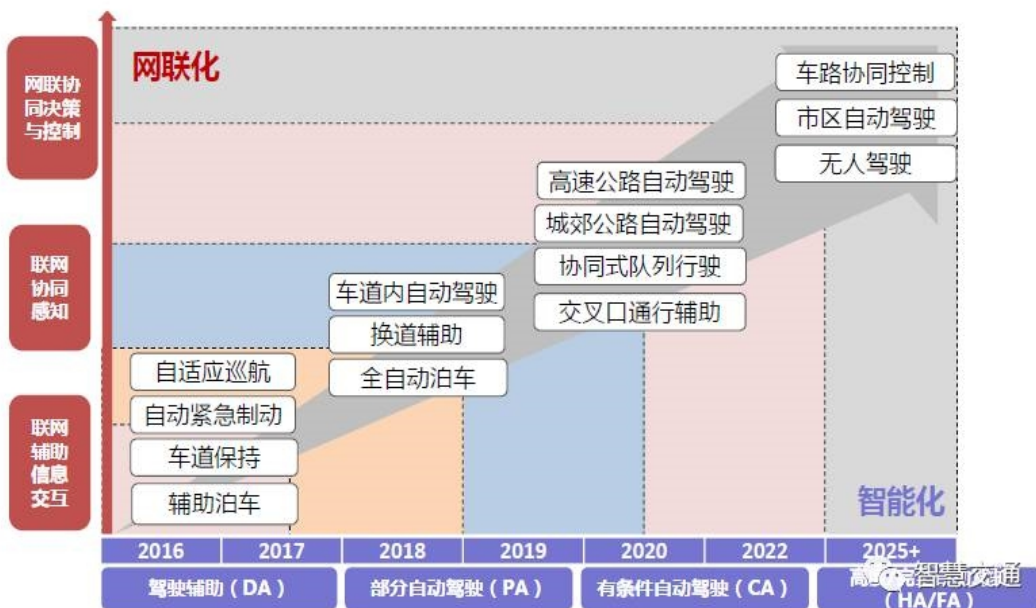




自动驾驶对压缩机的影响

Autonomous

智能网联乘用车里程碑



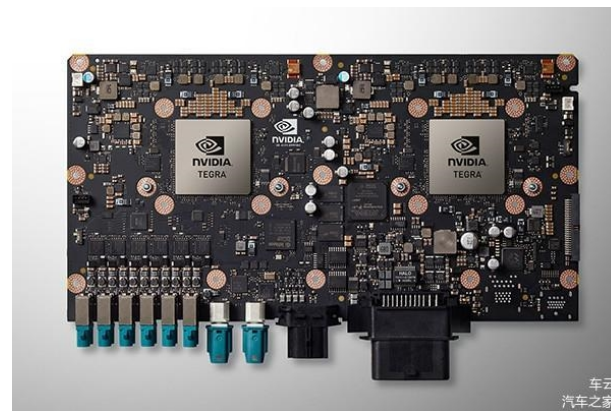
图片来自百度



□ 无人驾驶芯片散热需求

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”。



芯片

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减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	人类驾驶者	人类驾驶者	部分
2	2	部分自动化	通过驾驶环境对方向盘和加减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。	人类驾驶者	人类驾驶者	人类驾驶者	
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。	系统	系统	系统	
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。	系统	系统	系统	全域
	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。	系统	系统	系统	

功率 300~500W

功率 1.5~2.5kW

2022年



□ 环保制冷剂对电动压缩机的影响

◆ 环保法规

- ODP & GWP<150

◆ 安全性

- 毒性, 可燃性

◆ 化学特性

- 材料相容性、润滑油互溶性
- 导热&放热、**密度&粘度**

◆ 热力学特性

- 循环效率、**单位容积制冷量**
- 压力适中、临界温度高
- **沸点**

毒性 可燃性	低毒性	高毒性
高度可燃性	A3	B3
低度可燃性	A2	B2
无火焰传播	A3	B1

- 考虑低温制热性能;
- 兼顾高温制冷工作压力
- 兼顾纯电和PHEV

➤ 传统燃油车选择什么制冷剂?

- HFO-R234yf

➤ 热泵会选择什么制冷剂?

- CO₂
- R290
- R32 (GWP=675)?



□ 车用低温热泵制冷剂可能性

➤ 如何实现-30℃环境高效制热？

制冷剂	环保指数		安全性		沸点	临界温度	是否受控物质	未来车用热泵应用	备注
	ODP	GWP	等级		℃	℃			
要求	0	<150							
R134a	0	1430	A1	不可燃	-26.16	101.1	Y	-20℃热泵过渡	
R1234yf	0	4	A2L	弱可燃	-29.5	94.7	N	-20℃热泵	HFO
R410a	0	2090	A1	不可燃	-51.5	72.5	Y	X	R32/R125 blend 高GWP
R32	0	675	A2L	弱可燃	-51.7	78.4	Y	-30℃热泵过渡	
R454B	0	466	A2L	弱可燃	-50.9	77	Y	X	HFO: R32/R1234yf blend
R407C	0	1770	A1	不可燃	-43.8/-36.7	86.7	Y	X	R32/R125/R134a blend 高GWP, 温度滑移大
R454C	0	148	A2L	弱可燃	-46	82	N	-30℃热泵??	HFO: R32/R1234yf blend
R290	0	3	A3	高可燃	-42.1	96.7	N	-30℃热泵??	
R744	0	1	A1	不可燃	-78.5	31	N	-30℃热泵最终	
其它								-30℃热泵最终	新研发中??

中国新能源汽车热管理技术发展（征求意见稿）

4.5 制冷剂的未来发展建议

我国汽车空调领域未来的制冷剂替代发展路线目前尚未明确,上述几种替代方案均存在各自的优势和局限,未来的替代发展路线目前还无法确定,建议充分发挥各种制冷剂自身优点,应用于各自的优势领域。

(1) R1234yf 几乎可以直接替代 R134a 系统,在新一轮低 GWP 制冷工质替代前期将占明显优势,其居高不下的价格是制约发展的主要因素,降低成本才能促进其产业应用发展。

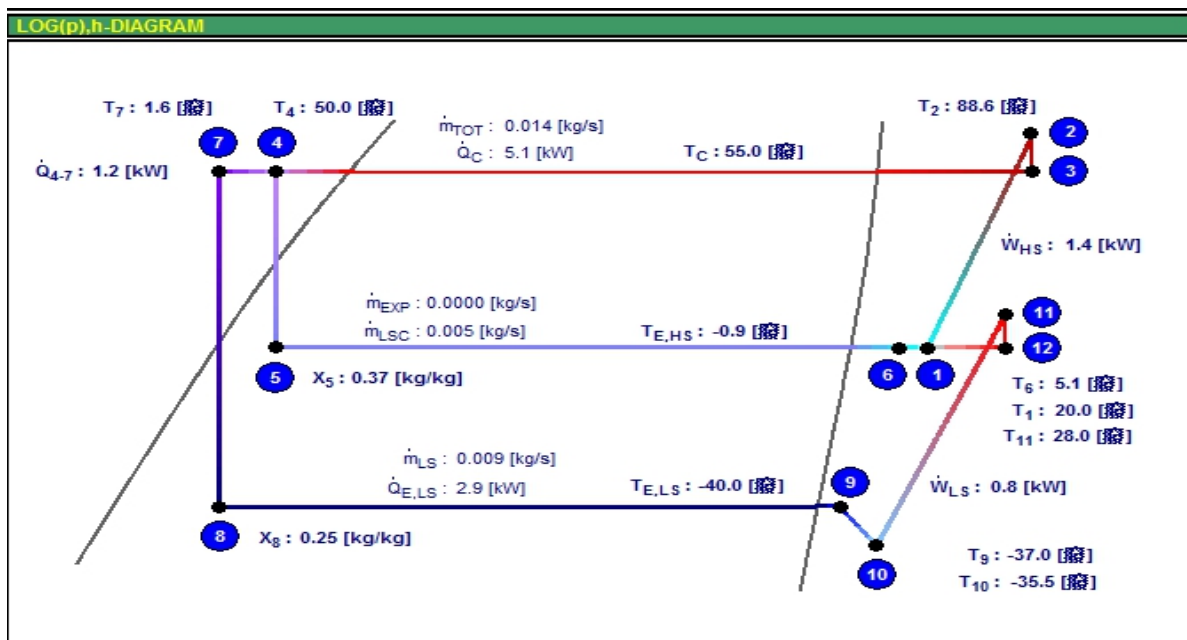
(2) CO₂ 具有优异的低温制热性能,能完全满足汽车驾驶室冬季供暖需求,且环保性优异,是一种较为理想的替代方案,从结构改进和技术升级等方面提升其高温制冷性能并推进其零部件供应链条的产业化,是促进其发展的关键。

(3) R290 具有良好的制冷制热综合性能,但是易燃易爆特性严重限制其在新能源汽车领域的使用,目前亟需建立健全相关可燃性工质安全应用法规,并从降低充注量或构建二次循环等角度入手提升其安全性能, R290 才能在新能源汽车热管理领域迎来良好发展。

注: 2021年“中国制冷学会”与“中国汽车工程学会”牵头编制



□ 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 $\approx 2.2\text{kw}$

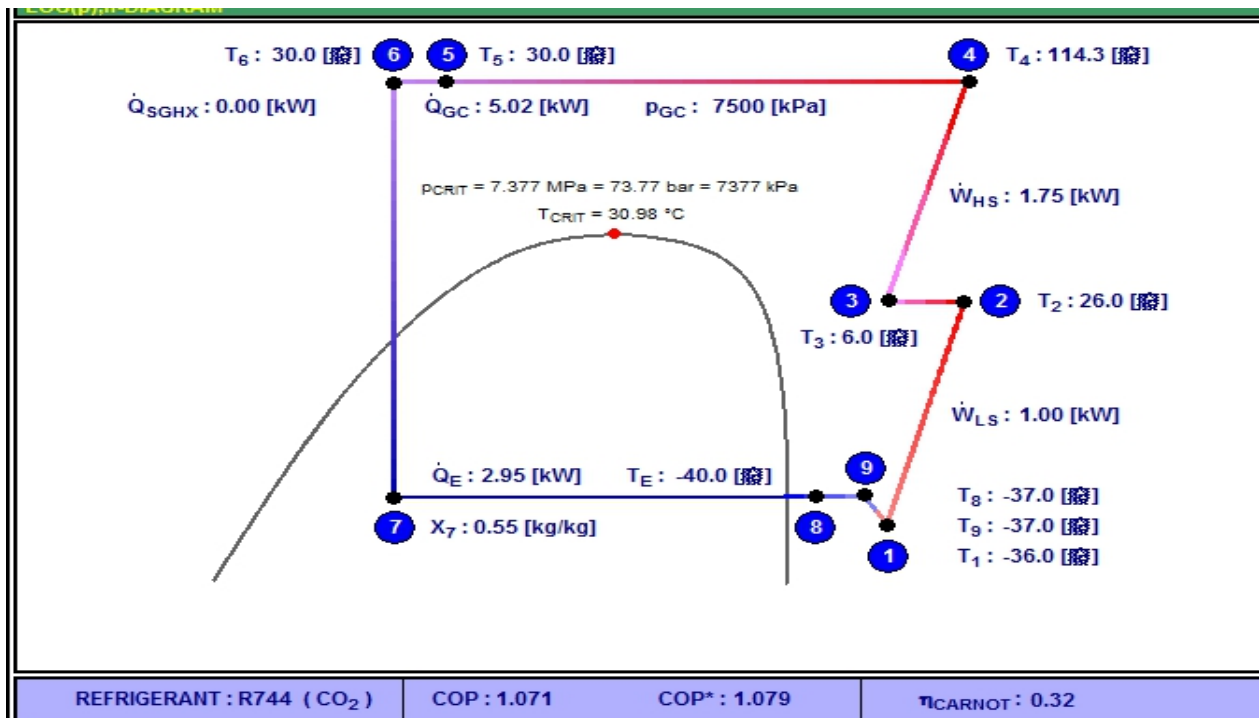
COP ≈ 2.3

◆ 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**
 $n=8500$ rpm

工况:
蒸发温度 -40°C
排气压力 75 bar

制热量 $Q_h \approx 5. \text{kw}$
功率 $\approx 2.75 \text{kw}$
COP ≈ 1.8



□ 新能源替代制冷剂存在的问题及解决思路

CO₂

R290

问题

- 跨临界高压力
- 高温工况效率

- A3 高可燃性
- 应用过程安全

解决思路

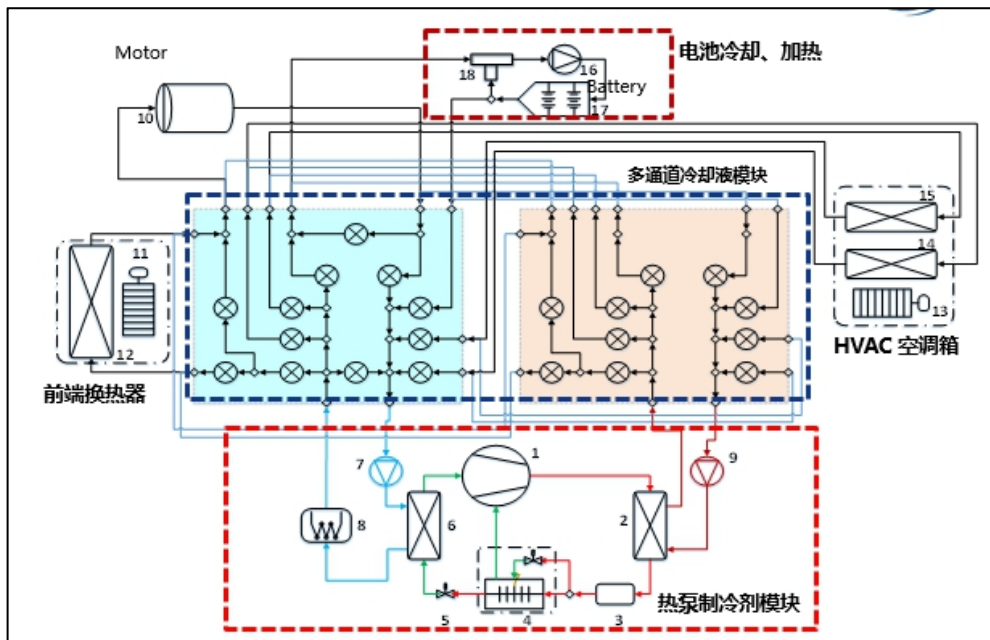
- 新密封技术
- 新制造工艺---成本

- 二次回路系统
- 控制制冷剂的安全充注量
- 系统厂内制冷剂充注

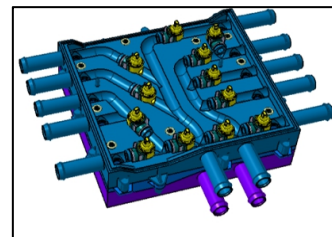


□ R290模块化热泵

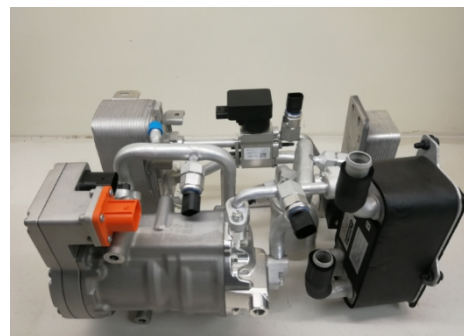
系统架构：二次回路+模块化



多通道冷却液模块



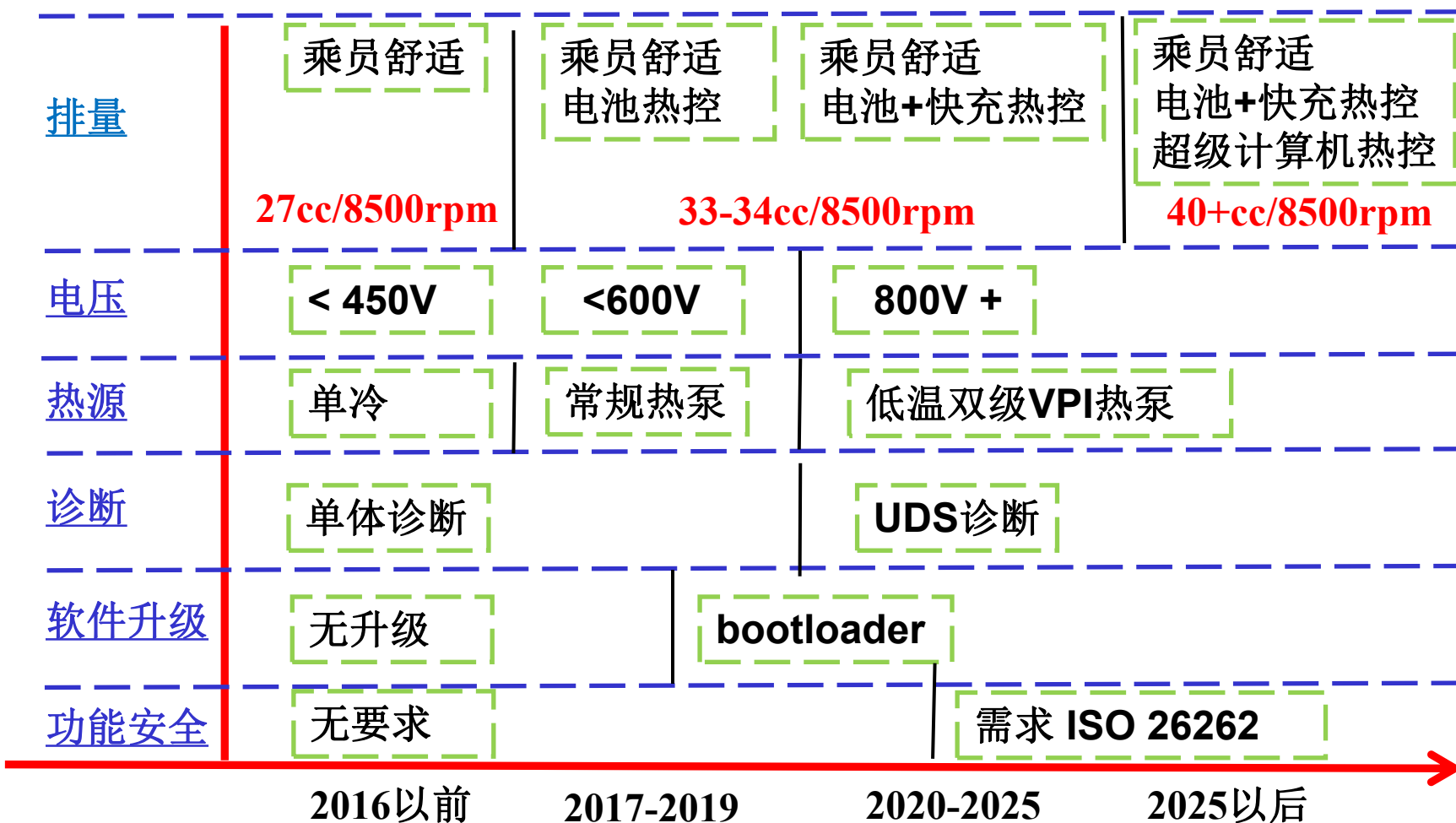
热泵制冷剂模块



- 制冷剂充注小于150g, 符合ASHRAE-34-2019及ICE60335-2-89
- 制冷机组在乘员仓外, 避免工质进入乘员仓的安全隐患



□新能源车电动压缩机技术路线图



谢谢 Thanks

南京奥特佳冷机有限公司

NANJING AOTECAR REFRIGERATING CO.,LTD.

地址：中国江苏省南京市大明路103号

ADD: No.103 of Daming road,Nanjing,Jiangsu Province of China

电话TEL: 86-25-52602600

传真FAX: 86-25-52600072

 www.aotecar.com