



低充注量高效R290热泵的 优化设计

南京天加环境科技有限公司
中央研究院 江俊



关于天加

天加成立于1991年，形成以天加环境为主体的专业空气环境制程事业板块，和以天加能源为主体的绿色再生能源事业板块。

- **天加环境**专注于空气极端环境领域及建筑制冷系统节能应用；
- **天加能源**在地热(干热岩)、工业余热、LNG冷能、生物质能、高温热泵以及CO₂液化储能等六大主体能源市场延展。

天加全系统

一个环保路径

专业空气环境制程

150 亿元

2024 年天加全系统营收

两个事业板块

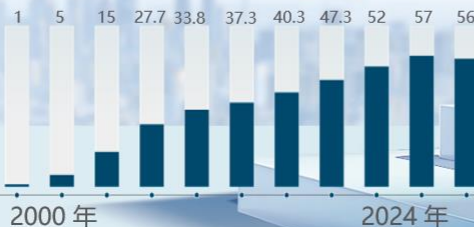
绿色可再生能源

15 %

2024 年总增长率

天加环境销售

2024 年天加环境营收 56 亿元



核心产品 CORE PRODUCT

高效双级直驱变频离心机组



自然冷却风冷螺杆冷水机组



reddot winner 2025

一体化蒸发冷却式冷水机组



V-Class 大冷量水冷
磁悬浮机组



E-Class 蒸发冷
磁悬浮机组



TA-Class 高压风冷
磁悬浮机组



SMARTD 无油磁悬浮
变频离心式冷水机组



"其乐" 模块化
磁悬浮冷水机组

核心产品 CORE PRODUCT

模块化风冷式冷（热）水机组



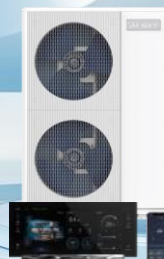
R32全变频空气源热泵



数据中心专用空气处理机组



水冷双冷源精密空调



AirNEXT 五恒空气生态系统



空气处理机组



侧出风多联机



全场景健康多联机



R290空气源热泵





主要内容

- ◆ R290制冷剂的特点
- ◆ 降低充注量的方法
- ◆ 低充注量高能效的优化设计

PART 1

R290制冷剂的特点

常用制冷剂物性对比

	R410A	R32	R290
分子式	/	CH_2F_2	C_3H_8
分子量/(g·mol ⁻¹)	72.6	52.0	44.1
标准沸点/°C	-51.6	-51.7	-42.1
临界温度/°C	70.5	78.1	96.7
临界压力/MPa	4.81	5.78	4.25
ODP	0	0	0
GWP	1730	675	3
可燃性	A1	A2L	A3
燃烧下限kg/m ³	/	0.306	0.038
气化潜热 (蒸发温度1°C)kJ/kg	223.1	313.7	373.4
饱和液体动力粘度/×10 ⁻⁵ Pa·S	15.9	14.9	12.4

R290制冷剂 ODP 值为 0， GWP 值只有 3， 环保性好；

R290属于A3制冷剂， 设计需要考虑尽量减少充注量。

R290 的动力粘度较小， 可用于小管径的换热器。

常用制冷剂设计工况下理论循环参数对比

性能参数	R410A	R32	R290	R410A	R32	R290
设计工况	名义制冷			名义制热		
单位质量制冷量kJ/kg	168.9	254.7	290.7	221.9	329.7	354.6
单位容积制冷量kJ/m ³	5220.5	6064.5	3232.7	/	/	/
单位质量理论功耗kJ/kg	46.0	68.1	74.8	41.6	60.8	64.01
单位制冷冷凝热量kJ/kg	/	/	/	6144.7	7369.5	3721.2
冷凝压力/kPa (A)	2.73	2.79	1.53	2.30	2.36	1.31
蒸发压力/kPa (A)	0.88	0.89	0.52	0.82	0.84	0.49
压力比	3.11	3.13	2.96	2.80	2.81	2.67
吸气密度kg/m ³	30.9	23.81	11.12	27.69	22.35	10.49
理论排气温度/°C	76.9	96.6	62.6	67.40	85.18	54.79
性能系数COP	3.67	3.74	3.89	5.33	5.42	5.54

注：设计工况

1. 名义制冷A35W7，冷凝温度45°C，蒸发温度3°C，过冷度10°C，过热度3°C
2. 名义制热A7W35，冷凝温度38°C，蒸发温度1°C，过冷度10°C，过热度3°C

单位容积制冷(热)量：

R32>R410A>R290

- R290较R410A低38%，较R32低47%
- 同冷量下，R290较R410A压缩机排量增大38%，较R32压缩机排量增大47%

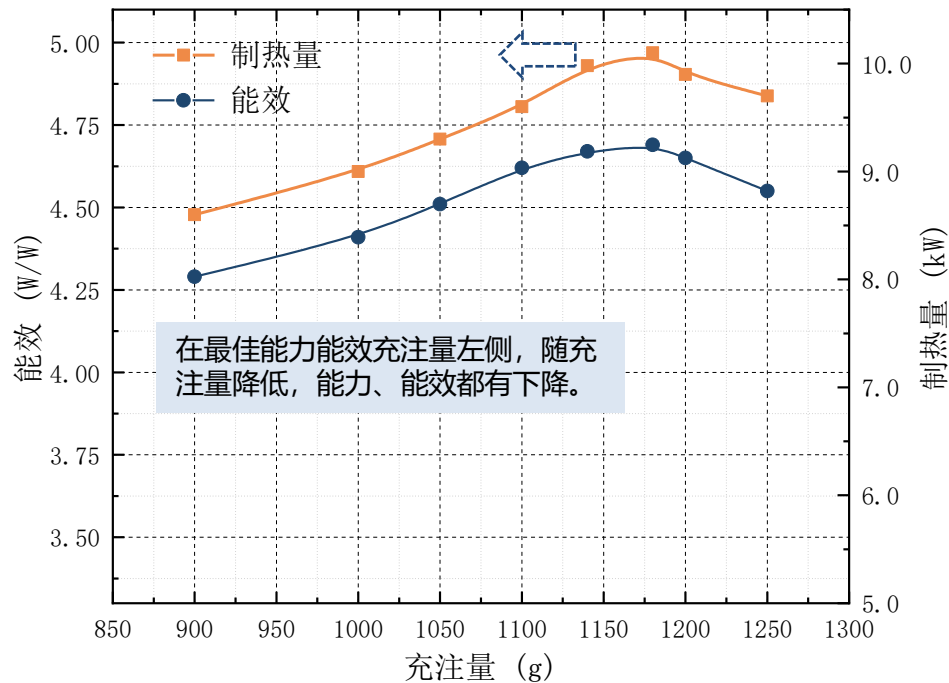
能效：R290>R32>R410A

- 名义制冷工况：R290性能较R410A高6%，较R32高4%；
- 名义制热工况：R290性能较R410A高4%，较R32高2%；

基于安全、性能、制冷剂特性，R290热泵机组的设计需要考虑高能效的同时尽量减少制冷剂充注量。

PART 2 降低充注量的方法

制热能力能效随充注量变化实测数据

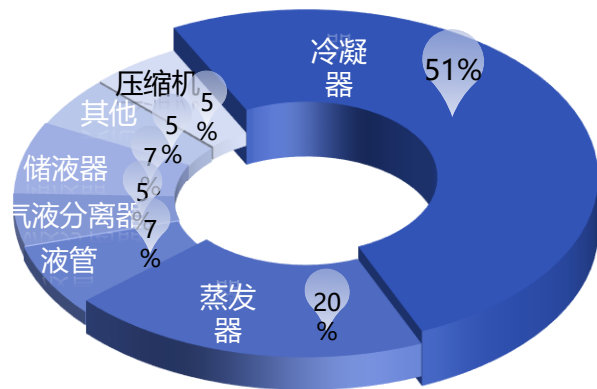


实际产品设计需要考虑，如何通过部件的优化设计，以及系统的优化设计，使得能力能效曲线最佳点左移。

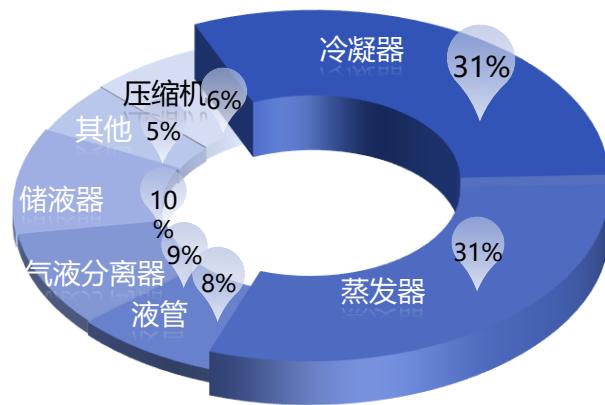
注：以上测试数据基于天加某产品在A7W35工况的测试结果。

制冷系统稳定运行过程中，制冷剂量的分布依次是：冷凝器>蒸发器>储罐及管路>压缩机

名义制冷

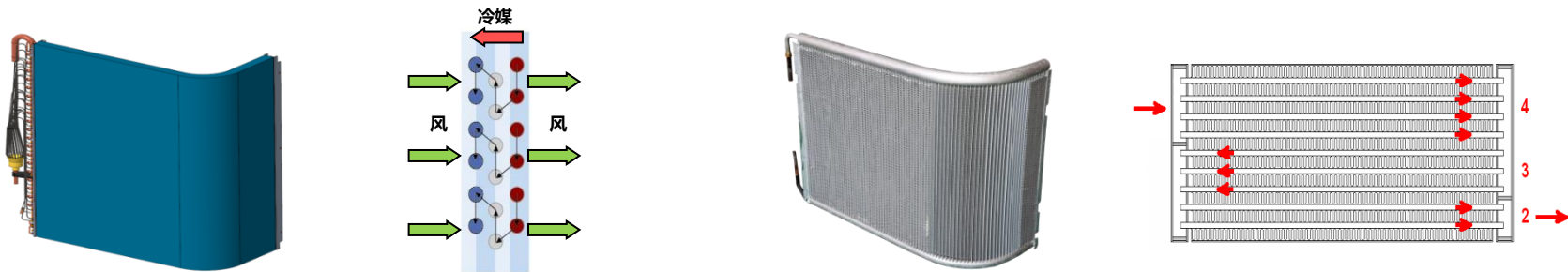


名义制热



降低系统充注量，需重点考虑冷凝器和蒸发器的设计，其次储罐等其他部件的设计

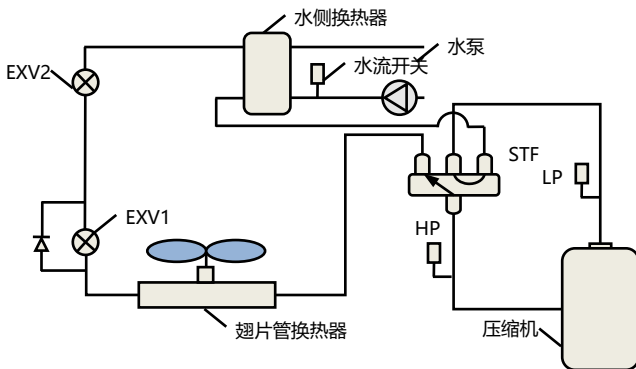
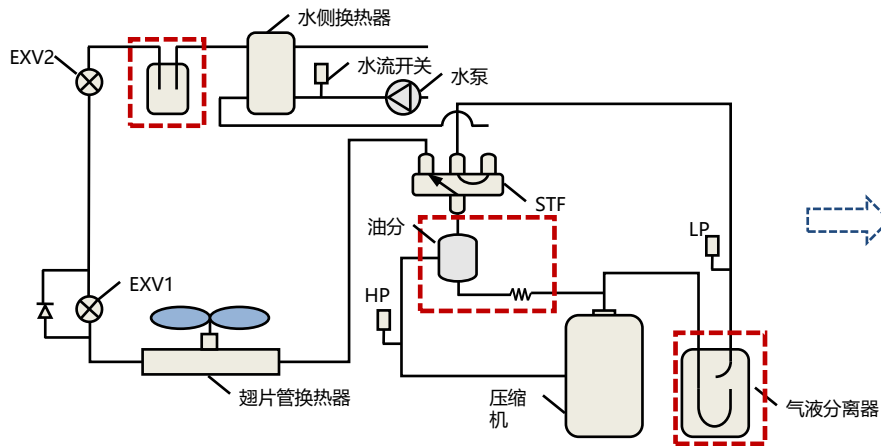
- **风侧换热器：**优选5mm管径翅片管换热器或微通道换热器；流路设计可通过仿真分析，选用压降较小、换热能力高的方案



- **水侧换热器：**优选高效板式换热器
同换热面积的条件下，板式换热器的内容积为套管换热器的50~60%；为壳管换热器的20~30%；



- **系统设计：无储液器、气分设计、无油分设计**（实测能效提高约3%）；**液管管径适当减小，长度尽量减短。**



- **压缩机：选用少油量及小型化，减少润滑油中溶解的制冷剂，减少压缩机腔体内的制冷剂含量**

压缩机	油量 (g)	油中制冷剂含量 (g)	内部空间含量 (g)	总量 (g)	差值 (g)	充注量限制值 (g)	占比限值比例%
①一般压缩机	420	105	13	118	49	290	16.9
②少油量压缩机	200	50	19	69			

PART 3 低充注量高能效的优化设计

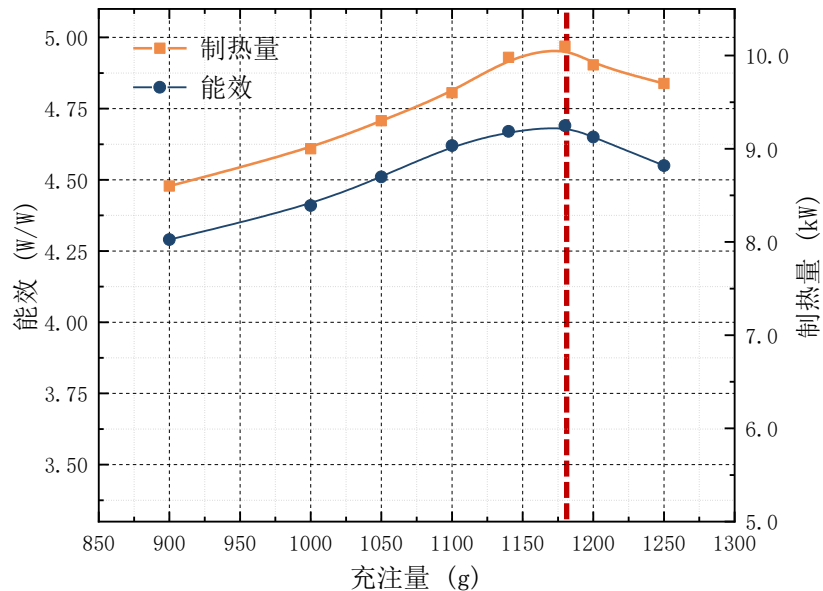
基于新平台设计优化方案

部件/指标	原设计方案	优化后方案	优化点
压缩机	排量** (油量750cc)	排量**(油量600cc)	油量降低20%
空气侧换热器	3排Ø7内螺纹管	3排Ø5内螺纹管	选型5mm管径管热器, 内容积减小43%
液管	管径12.7mm	管径9.52mm	液管管径减小
储液器	1.0L	/	无储液器设计
水侧换热器	板换0.67L	板换0.74L	板换换热面积增大10%
气分	2.0L	/	无气分设计
壳体尺寸mm	980×840×*	1100×945×*	热交迎风面积加大5%
R290充注量(g)	1180	800	降低32%
单位能力的制冷剂充注量g/kW	118	80	降低32%

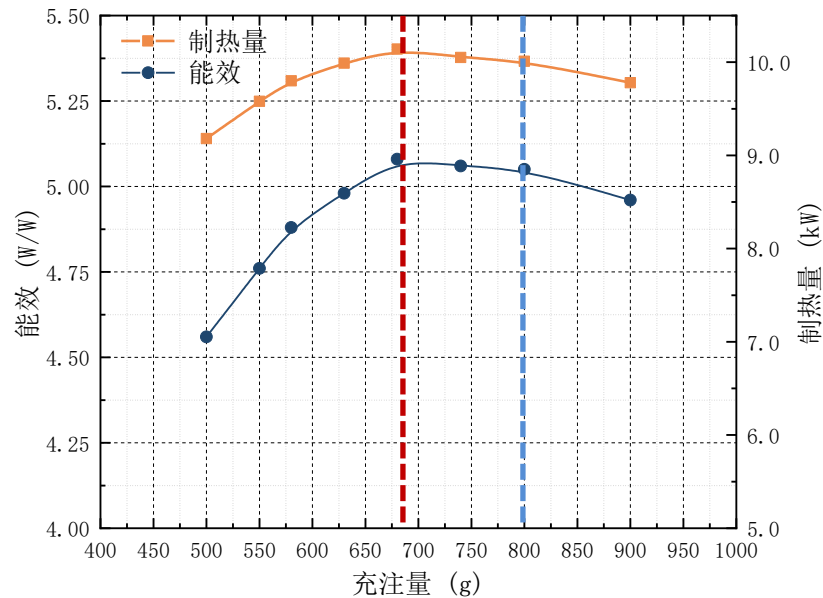


优化后，系统制冷剂充注量降低32%，单位能力制冷剂充注量达到80g/kW，达到相同能效水平产品的行业领先水平。

原设计方案



优化后方案



通过优化设计，能力能效最佳点对应的冷媒充注量大幅降低至680g，兼顾制冷性能，最终冷媒量确定为800g

出水35°C的季节性空间供暖能效数据

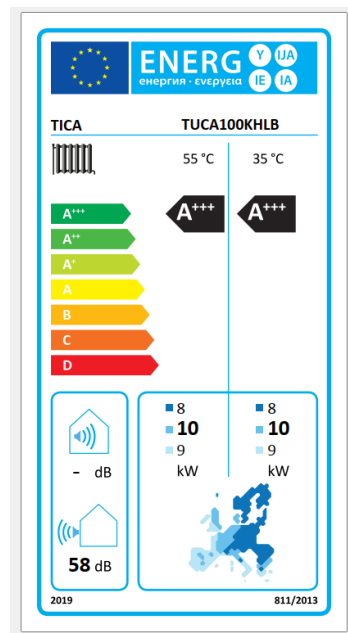
负荷点	部分负荷率%	室外干/湿球°C	进出水温度/°C	能效
SCOP-A点	88	-7/-8	29 / 34	3.08
SCOP-B点	54	2/1	25 / 30	4.86
SCOP-C点	35	7/6	22 / 27	7.48
SCOP-D点	15	12/11	19 / 24	9.46
SCOP-E点	100	-10	30/ 35	2.77
SCOP	5.17			
季节性空间供暖 能效%	203.9		>175为A+++	

注：

①数据来源SGS认证机构官方实测数据

②测试工况根据欧标EN 14825:2022, EN 14511-2:2022, EN14511-3, No 811/2013

出水35°C/55°C均为A+++能效



NOAH SERIES



产品特点

- **高效节能：**机组采用全变频设计、高效换热器等，全系列产品满足欧标A++最高能效要求
- **安全防爆：**通过制冷剂泄漏后浓度扩展仿真计算，优化设计五重防爆方案；
- **降噪安静：**采用多重降噪设计，降低整机噪音，5m处噪音低至33dB (A)
- **高出水温度：**最高出水80℃，满足多种应用场景；

谢谢聆听！

天加，我们一直在努力！

