



2020欧洲杯全球官方合作伙伴

# 中国多联机APF标准分析及能效提升的关键技术思路

青岛海信日立空调系统有限公司  
张恒

2021年04月

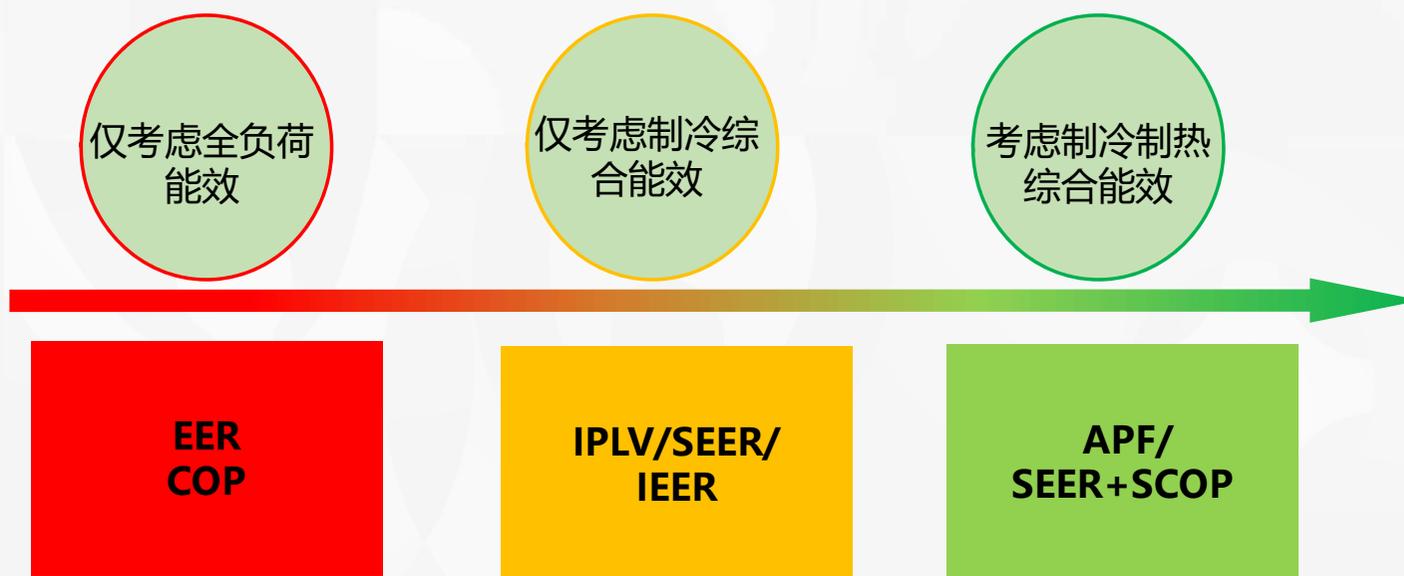
# 目录

- 一 引言
- 二 中国多联机APF标准的分析
- 三 多联机各要素对APF的影响
- 四 多联机APF提升的技术思路
- 五 结束语

# 一、引言

## APF标准实施的必要性

随着人们对空调在建筑中的实际使用情况的了解，空调能效评价标准在不断变化，从最初的仅考虑全负荷能效EER/COP，到现在的制冷综合能效IPLV/SEER/IEER，而由于多联机冬季制热，特别是在冬冷地区的十分常见，**能效标准改为用APF评价是能够更好的反应设备真实性能。**



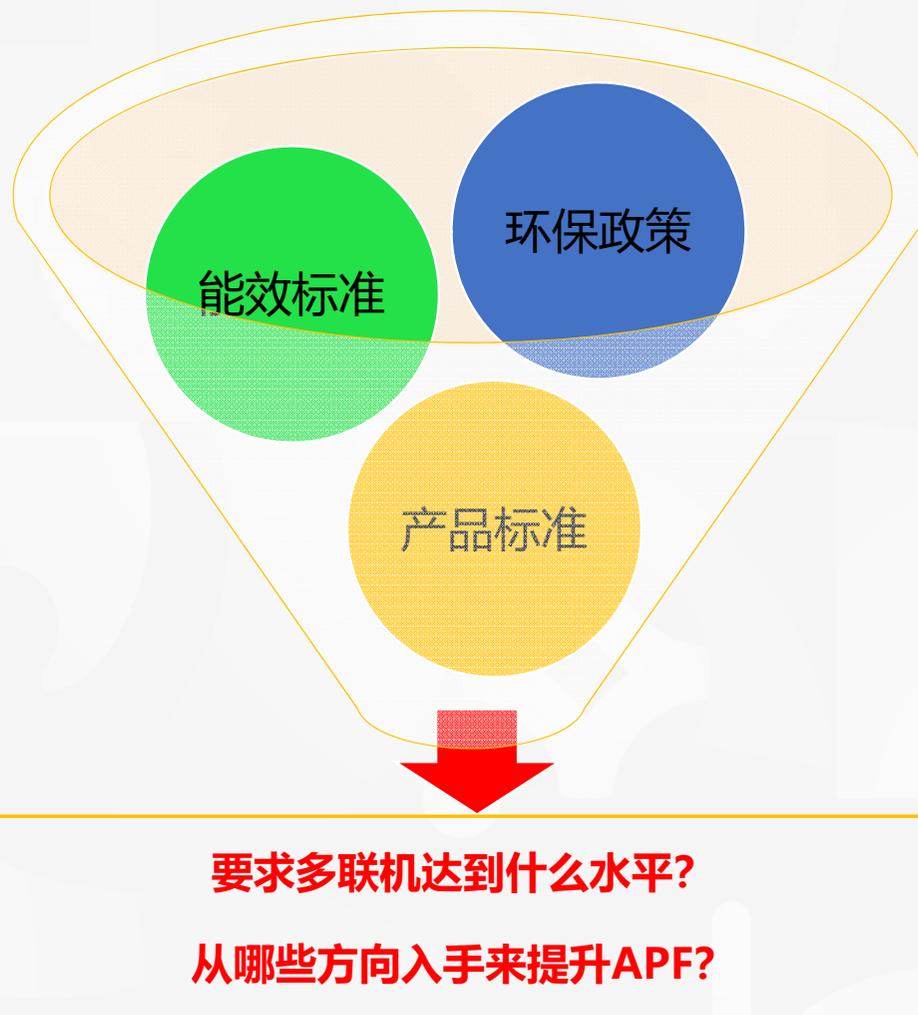
# 一、引言

## 能效需要提升到什么程度？如何提升？

2020年9月22日，在第七十五届联合国大会一般性辩论上，中国宣布将采取更加有力的政策和措施，力争于**2030年前达到峰值**，努力争取**2060年前实现碳中和**。

2019年国家发展改革委、工业和信息化部、财政部、生态环境部、住房城乡建设部、市场监管总局、国管局等多部门联合印发《绿色高效制冷行动方案》中要求**三年内空调的能效提高30%，多联机提升40%**。

多联机能效标准《多联式空调（热泵）机组能效限定值及能效等级》-GB 21454（报批稿）已经完成，按照国家环保政策的整体导向，**对多联机能效的要求有了大幅度的提高**。



## 二、中国多联机APF标准的分析

### 如何评估中国APF标准要求的能效水平？

多联机技术起源于日本，但在我国的发展非常迅速，多联机APF标准同样起源于日本，**中国和日本APF计算方法基本一致**，二者多联机热泵产品的性能评价指标均采用全年季节能效系数APF，计算公式如下所示：

$$APF = \frac{CSTL+HSTL}{CSTE+HSTE}$$

式中，  
CSTL：制冷季节的总制冷量（Wh）  
HSTL：制热季节的总制热量（Wh）  
CSTE：制冷季节的总耗电量（Wh）  
HSTE：制热季节的总耗电量（Wh）

通过与相对成熟的日本APF标准进行对比，才能更好的了解中国APF标准所要求的的能效水平

但是中国和日本采用的计算时间差异大，通过分析中日APF标准的差异才能更好的了解本次《多联式空调（热泵）机组能效限定值及能效等级》-GB 21454（报批稿）所要求的真实水平。

注：所有分析均基于中国的多联机产品执行的国家标准**GB/T 18837-2015**，日本的多联机空调产品标准按照JIS B 8616-2015（Package Air Conditioners）

## 二、中国多联机APF标准的分析

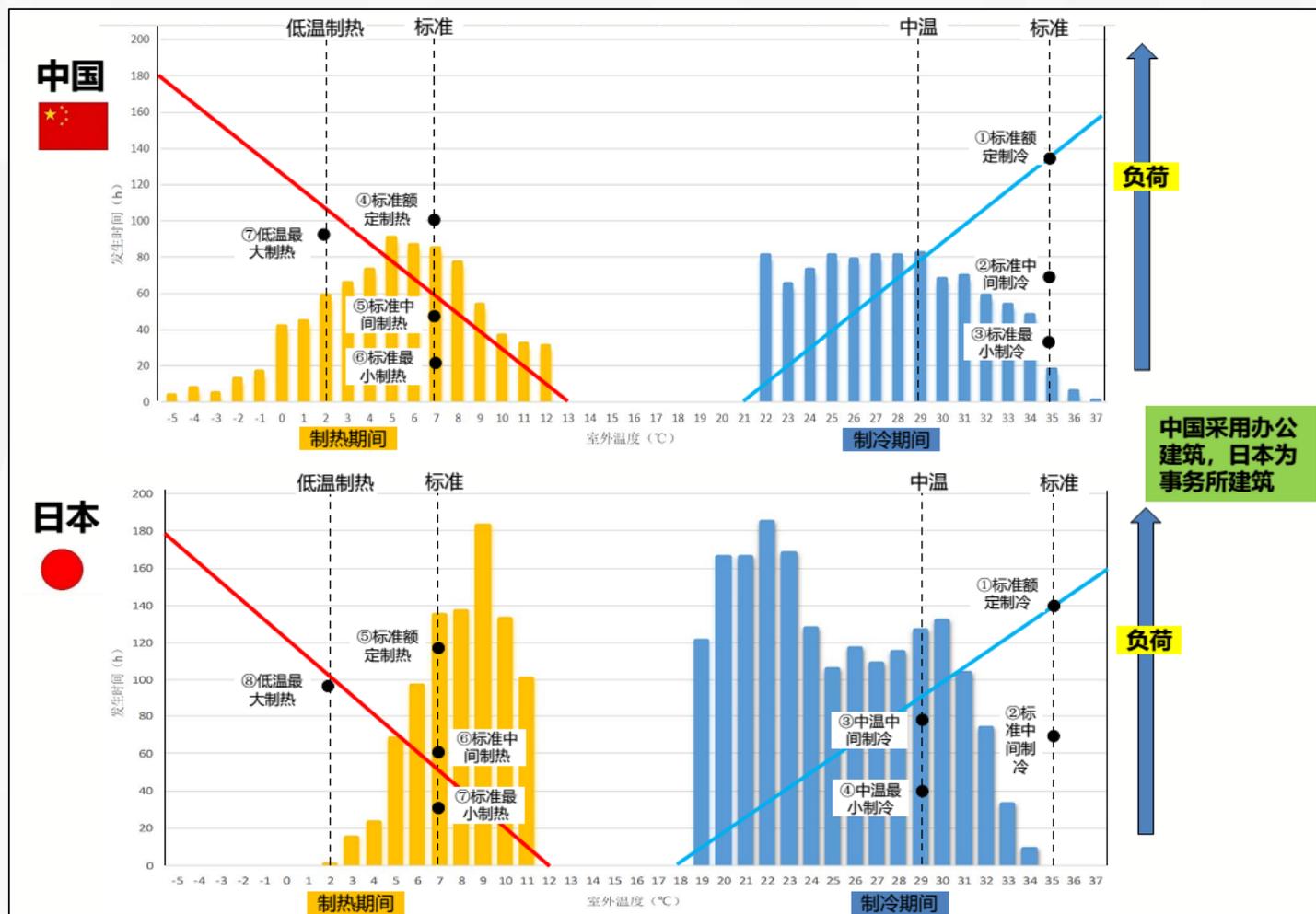
### 中国和日本APF标准的对比

APF评价因素中主要有3点:

- (1) 建筑物的冷、热负荷线;
- (2) 各室外温度条件下的运行时间;
- (3) 多联机的性能模型, 即测试方法与测试评价点。

上述因素中:

- (1)和(2)应与各国国情相符合, 中日区别较大;
- (3)测试方法思路可以通用, 但中国和日本测试评价点不同。



## 二、中国多联机APF标准的分析

### 中国和日本APF标准的对比

#### (1) 建筑物零负荷点不同

项目	中国	日本		
建筑物用途	办公建筑/租赁商铺	独栋店铺	租赁店铺	事务所
制冷零负荷对应的室外温度	21℃	21℃	19℃	18℃
制热零负荷对应的室外温度	13℃	15℃	13℃	12℃

#### (2) 各室外温度条件下的运行时间不同

项目	中国（南京）		日本（东京）		
建筑物用途	租赁商铺（商店）	办公建筑（办公室）	独栋店铺	租赁店铺	事务所
一周的运行天数	7天	5天	7天	6天	6天
一天内的运行时间段	9:00~22:00	8:00~18:00	8:00~21:00	8:00~20:00	8:00~20:00

注1: GB/T 18837-2015中附录B.4.1 机组的全年性能系数APF的计算以南京作为代表城市，以办公建筑为代表建筑类型计算。

注2: JRA 4048-2006中全年性能系数APF的计算以东京、大阪、名古屋、仙台、福岗、广岛、高松、富山、前桥、札幌及鹿儿岛等11个城市为代表地区。技术资料的发表应以东京为代表地区。

## 二、中国多联机APF标准的分析

### 中国和日本APF标准的对比

#### (2) 各室外温度条件下的运行时间不同

项目		中国	日本
		办公建筑 (南京)	事务所 (东京)
制冷	发生时间(h)	947	1860
	时间占比	53.4%	67.6%
	加权平均温度	27.8℃	25.1℃
制热	发生时间(h)	826	893
	时间占比	46.6%	32.4%
	加权平均温度	5.2℃	8.1℃

可以看出几点差异，对办公建筑（日本为事务所）而言：

- ① 中国制冷和制热发生时间占比分别为53.4%和46.6%，而日本占比为67.6%和32.4%，**因此日本APF评价中制冷运行时间占比大，制冷运行能效权重较大；**
- ② 制冷运行时，室外环境的加权平均温度不同，中国为27.8℃，而日本为25.1℃，说明在**制冷运行时日本气候条件对APF数值有利；**
- ③ 制热运行时，中国室外环境的加权平均温度为5.2℃，而日本为8.1℃，说明在**制热运行时日本气候条件也对APF数值有利。**

## 二、中国多联机APF标准的分析

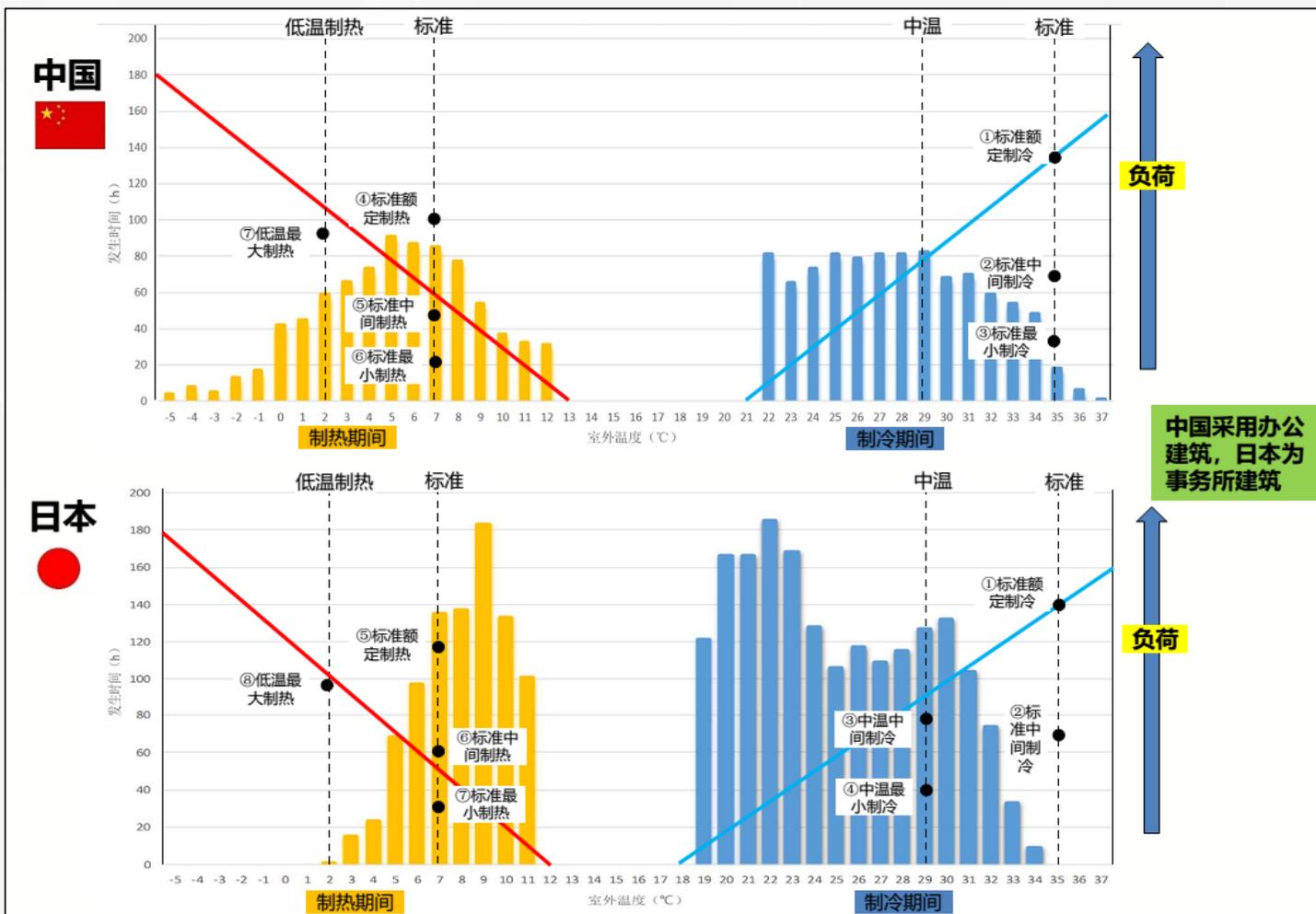
### 中国和日本APF标准的对比

#### (3) 测试方法不同

模式	评价点	测试工况条件	中国	日本
制冷	1. 标准额定制冷	室外35℃，室内27/19℃	○	○
	2. 标准中间制冷		○	○
	3. 标准最小制冷		○	—
	4. 中温中间制冷	室外29℃，室内27/19℃	—	○
	5. 中温最小制冷		—	○
制热	6. 标准额定制热	室外7/6℃，室内20℃	○	○
	7. 标准中间制热		○	○
	8. 标准最小制热		○	◎ (选测)
	9. 低温最大制热	室外2/1℃，室内20℃	○	○

注：在标准最小制冷(3)、标准最小制热(8)运行时，中国标准要求至少关闭一台室内机，且被关闭的室内机名义制冷量之和不小于机组名义制冷量的25%。

## 二、中国多联机APF标准的分析



## 二、中国多联机APF标准的分析

### 中国最新APF标准的真实水平

单纯从数值上看，日本的略高

中国：GB 21454（报批稿）

名义制冷量 CC(kW)	能效等级					
	1级		2级		3级	
	EERmin	APF	EERmin	APF	EERmin	APF
$CC \leq 14$	3.50	<b>5.20</b>	2.80	4.40	2.00	3.60
$14 < CC \leq 28$	—	<b>4.80</b>	—	4.30	—	3.50
$28 < CC \leq 50$	—	<b>4.50</b>	—	4.20	—	3.40
$50 < CC \leq 68$	—	<b>4.20</b>	—	4.00	—	3.30
$68 < CC$	—	<b>4.00</b>	—	3.80	—	3.20

注：

(1) 不同静压机组的能源效率应进行修正，参照GB/T 18836-2017和GB/T 18837提供的方法进行。

(2) 对于名义制冷能力14kW及以下的风冷多联式空调（热泵）机组，全年能源消耗效率（APF）、最小制冷量（低温）工况的能效比EERmin均应满足要求。

(3) “—”为不作指标要求。

日本：JIS B 8616-2015

名义制冷量 CC(kW)	节能领跑者	绿色购入法 限定值
$CC \leq 22.4$	<b>5.54</b>	4.8
$22.4 \leq CC < 28$	<b>5.18</b>	4.6
$28 \leq CC < 33.5$	<b>4.82</b>	4.2
$33.5 \leq CC < 40$	<b>4.8</b>	4.2
$40 \leq CC < 45$	<b>4.6</b>	4.0

## 二、中国多联机APF标准的分析

### 中国最新APF标准的真实水平

我们将日本市场部分产品（53个机型样本，每容量段不少于5个样本值）的能效值范围按照中国的同类型建筑用途、运行时间和测试数据进行近似折算后，汇总对比如下表：

项目	制冷量范围CC (kW)		CC ≤ 14	14 < CC ≤ 28	28 < CC ≤ 50	50 < CC ≤ 68	68 < CC
中国标准	1级	A	5.2	4.8	4.5	4.2	4
	2级	B	4.4	4.3	4.2	4	3.8
	3级	C	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2
日本标准	节能领跑者	D	5.54	5.18	4.82	4.80	4.60
	绿色购入法	E	4.8	4.6	4.2	4.2	4
	折算后(节能)	D'	4.83	4.19	3.59	4.09	4.22
	折算后(绿色)	E'	4.2	3.7	3.1	3.6	3.7
中国/日本	1级/节能	A/D'	107.59%	114.50%	125.35%	102.77%	94.70%
	2级/绿色	B/E'	105.07%	115.50%	134.27%	111.86%	103.46%
	3级/绿色	C/E'	85.97%	94.01%	108.69%	92.29%	87.12%

- ① 中国新限值的1级指标除了制冷量范围CC > 68kW外，基本都高于日本的节能领跑者指标，最高的28 < CC ≤ 50kW范围段超出日本节能领跑者指标25.35%；
- ② 中国新限值的2级指标全部高于日本的入门级，3级指标大都低于日本的入门级。

挑战：一级能效要求非常高，急需APF提升技术。

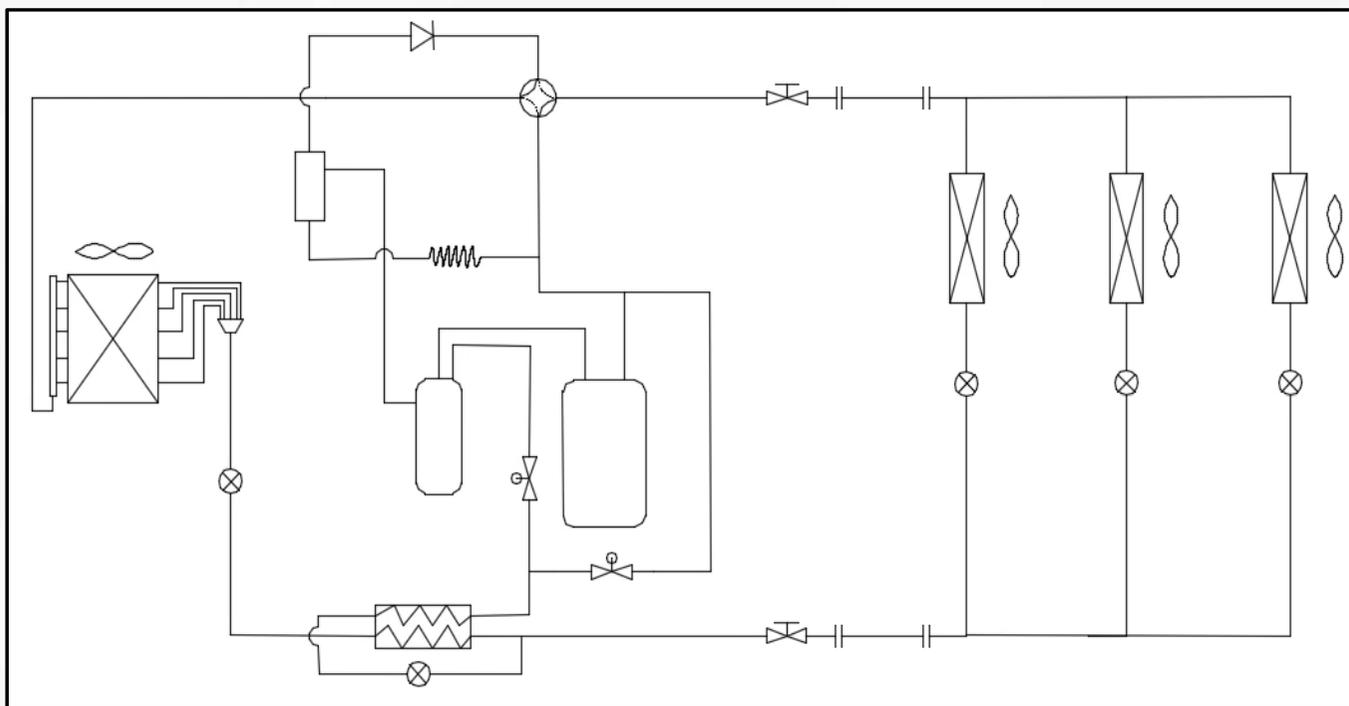
### 三、多联机各要素对APF的影响

哪些要素影响多联机APF?  
哪些是关键要素?

需要研究各要素的影响权重

相关要素包括

压缩机
室内换热器
室外换热器
室内送风系统（风量、风机效率、电机效率）
室外送风系统（风量、风机效率、电机效率）
配管（室内外机组配管、联机配管）
机组阀件、增阻力部件（截止阀、四通阀等）
气分、油分
回油系统（压机上油率、回油旁通）
联机方案
冷媒量

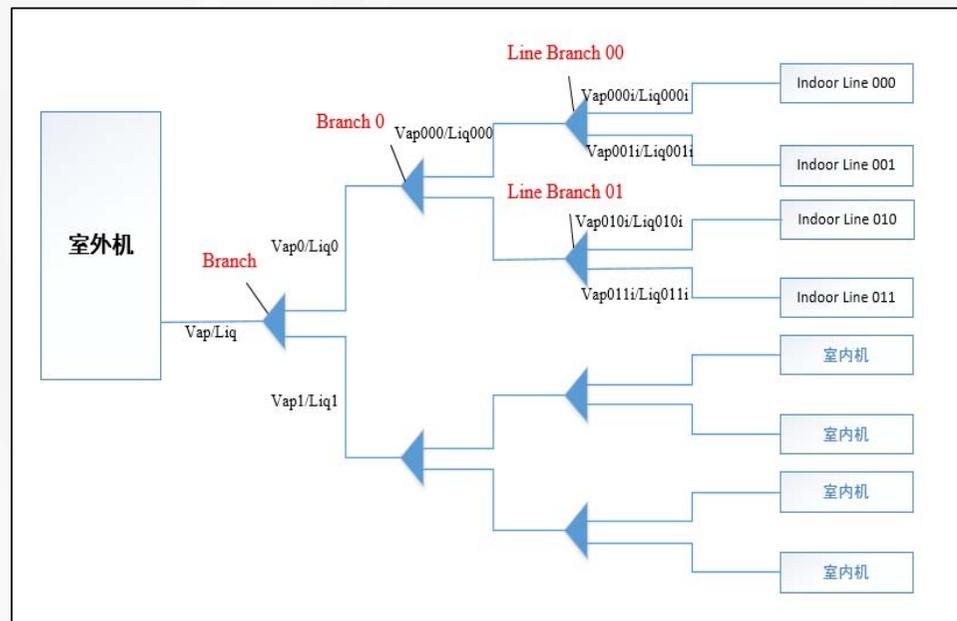
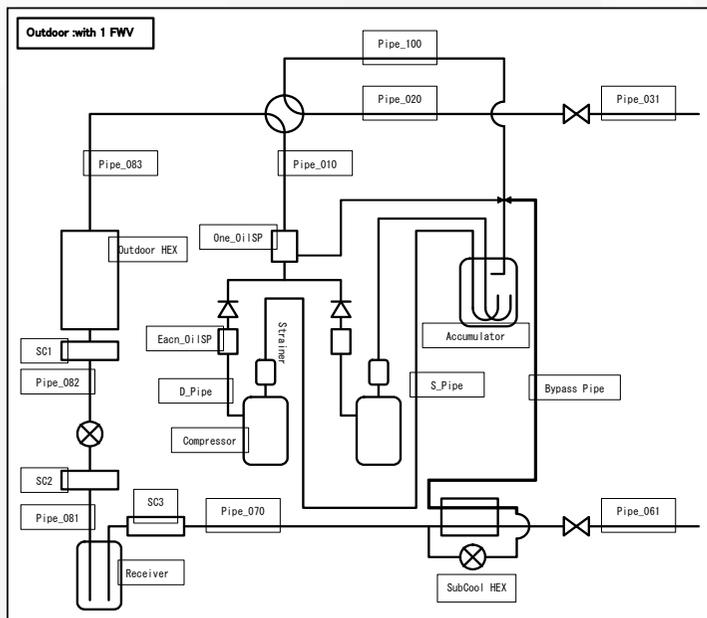


### 三、多联机各要素对APF的影响

#### 仿真和实验结合的研究方法

- ①仿真能够找到无法测量or难以测量准确的规律;
- ②仿真和实验结合,可以互相印证结论的准确性。

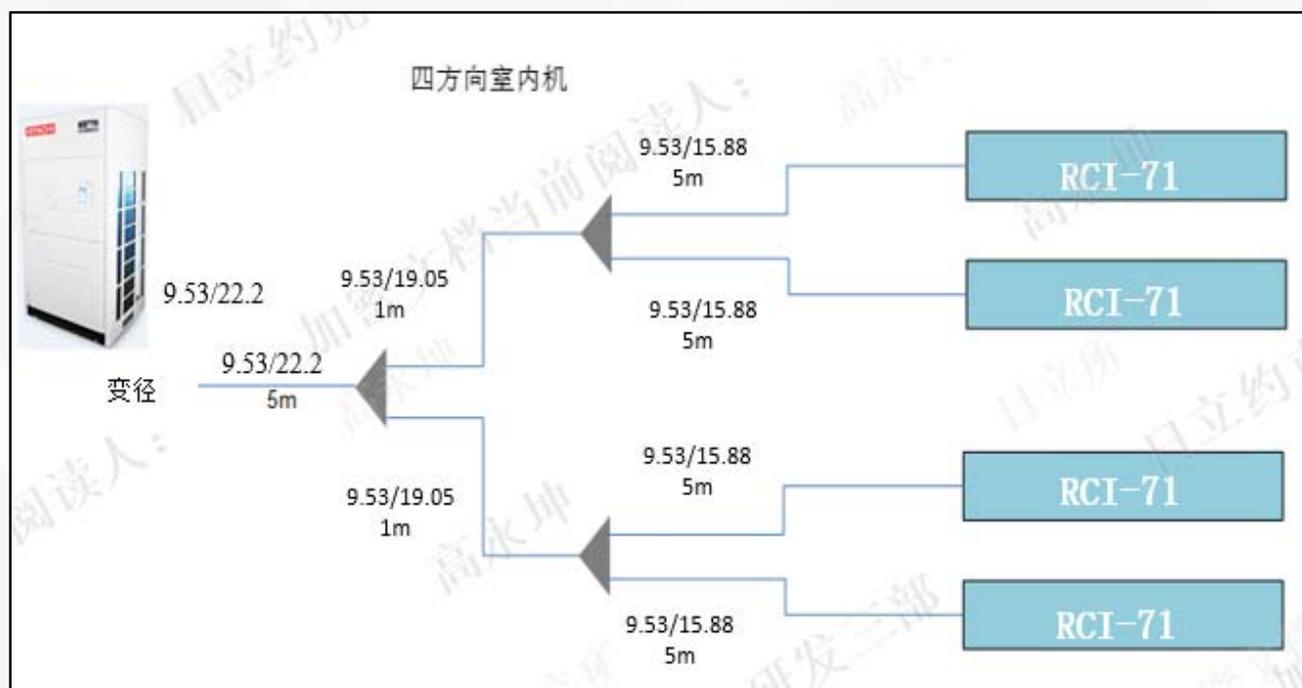
如下图所示,按照海信日立的APF仿真技术,建立多联机各部件模型、循环系统模型,进行计算;实验按照GB/T 18837-2015的规范进行测试。



### 三、多联机各要素对APF的影响

#### 系统联机方案

采用某开发中10HP室外机和4台四面嵌入式2.5HP室内机  
(以下分析结论仅针对本机组, 不同的机组结论有差异)



### 三、多联机各要素对APF的影响

#### 实测结果及仿真准确性

APF实验与仿真结果对比

工况	额定制冷	制冷50%	制冷25%	额定制热	制热50%	制热25%	低温制热
能效误差	0.3%	1.6%	5.1%	3.7%	-1.3%	-5%	-3.6%

	APF值	误差
实验	4.588	+0.5%
仿真	4.612	

结果表明：

- ① 开发中10HP机型APF实测4.588，能效已非常高，但是仍然需要提升才可达到新的一级能效；
- ② APF的7个工况仿真与实测误差在-5%~5.1%之间，综合能效APF的误差为+0.5%。

注：一般仿真误差在±5%以内，APF仿真误差+0.5%属于各工况综合作用的结果。

# 三、多联机各要素对APF的影响

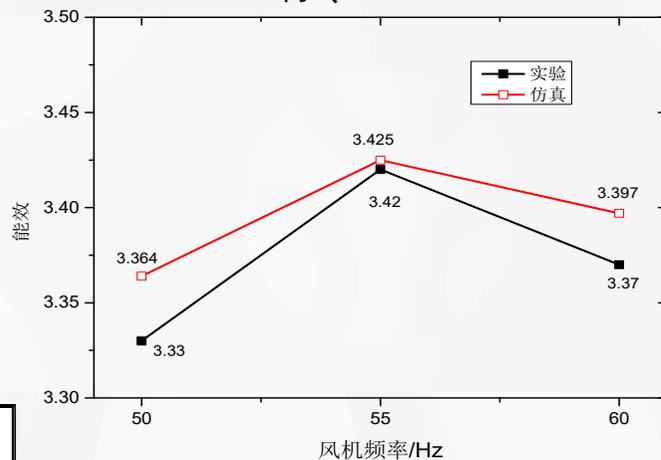
## 外机风系统

结论:

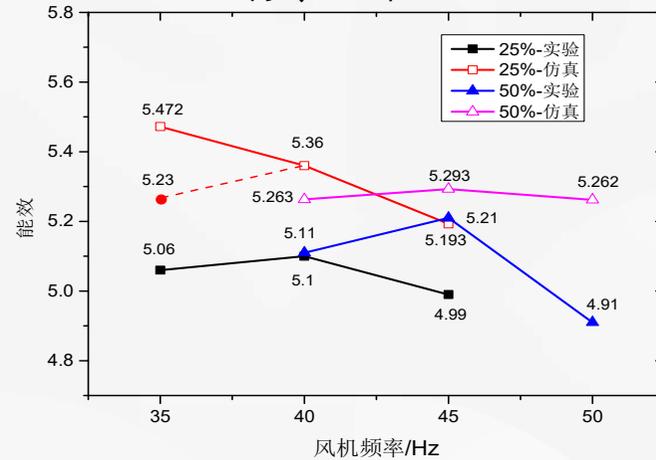
- ① 每个工况均存在最优风挡，仿真和实测趋势一致；
- ② 优化控制后的，每个工况下均处于最优风挡时，APF性能可提升3%左右。

外机风档	实验APF	仿真APF	误差	APF影响比重 (实验值)
最优风档	4.588	4.612	0.31%	1
次风档	4.498	4.459	0.88%	-2.20%
劣风档	4.476	4.409	1.50%	-2.70%

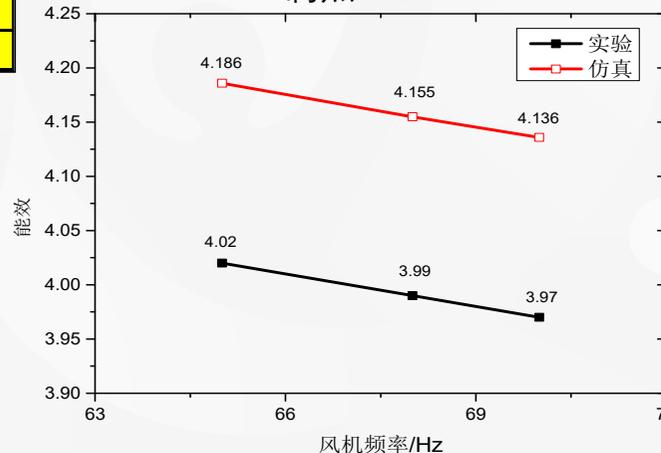
制冷100%



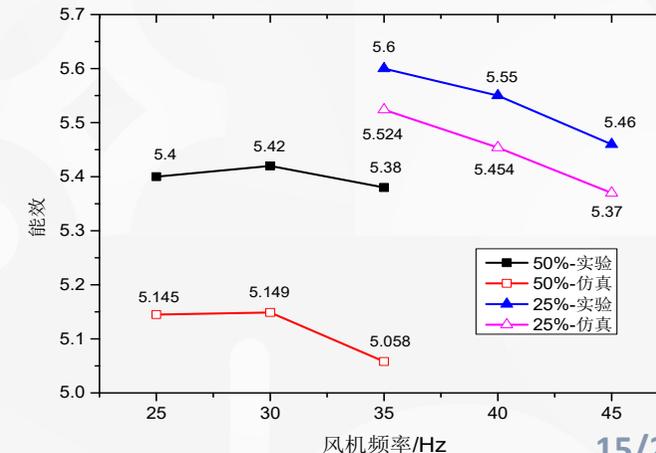
制冷50%和25%



制热100%

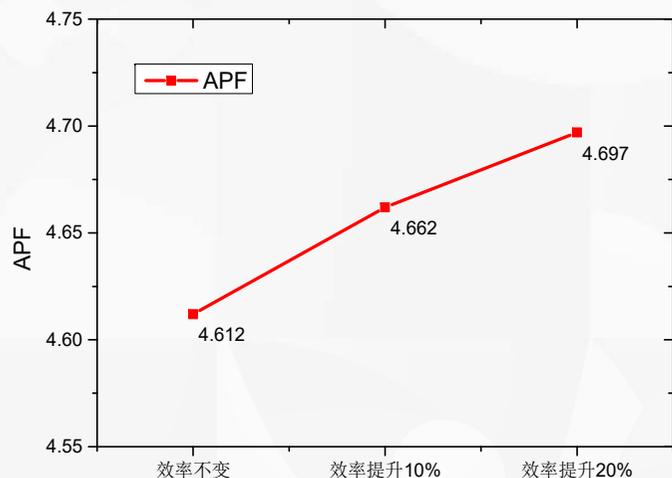


制热50%和25%



### 三、多联机各要素对APF的影响

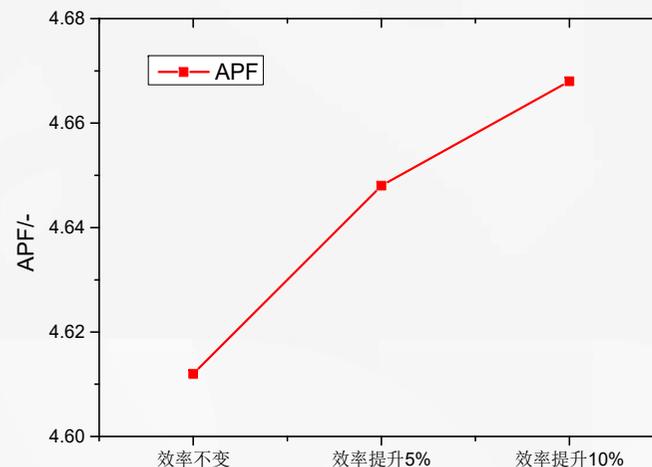
#### 外机风系统效率



	效率不变	效率提升10%	效率提升20%
--	------	---------	---------

APF	4.612	4.662 (+1.08%)	4.697 (+1.63%)
-----	-------	----------------	----------------

#### 内机风系统效率



	效率不变	效率提升5%	效率提升10%
--	------	--------	---------

APF	4.612	4.648 (+0.78%)	4.668 (+1.21%)
-----	-------	----------------	----------------

结论:

- ① 外机各风档效率均提升后20%后（包括电机+风扇），带来APF提升1.63%，**单独提升效果不显著**；
- ② 内机风系统效率提升10%后（包括电机+风扇），带来APF提升1.21%，**单独提升效果不显著**。

### 三、多联机各要素对APF的影响

#### 室外换热器 (KA值)

换热器性能	制冷100%	制冷50%	制冷25%
原型	3.424	5.293	5.361
KA提升5%	3.46	5.327	5.38
KA提升10%	3.49	5.35	5.392

换热器性能	制热	制热	制热	低温制热
	100%	50%	25%	
原型	4.186	5.524	5.186	2.42
KA值提升5%	4.193	5.525	5.196	2.423
KA值提升10%	4.202	5.527	5.197	2.427

换热器效率	APF	APF增幅
原型	4.612	1
KA提升5%	4.635	+0.5%
KA提升10%	4.651	+0.8%

#### 室内换热器 (KA值)

换热器性能	制冷100%	制冷50%	制冷25%
原型	3.424	5.293	5.361
KA提升5%	3.438	5.31	5.372
KA提升10%	3.451	5.323	5.381

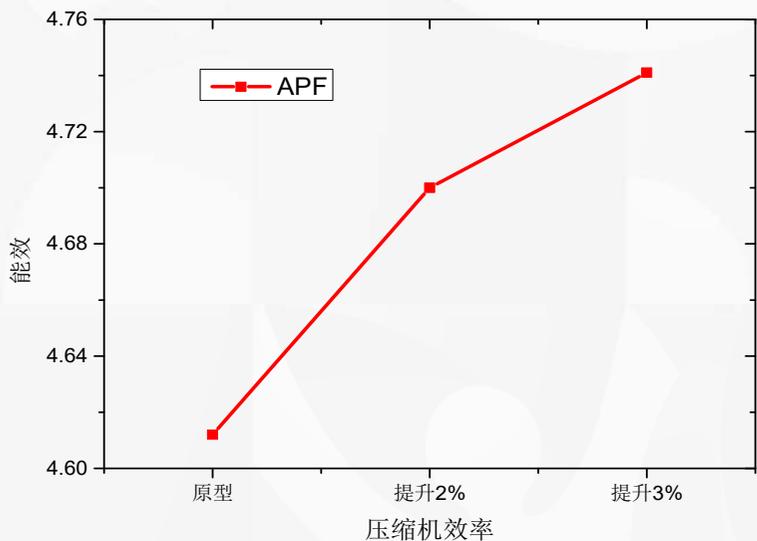
换热器性能	制热	制热	制热	低温制热
	100%	50%	25%	
原型	4.186	5.524	5.186	2.42
KA值提升5%	4.207	5.534	5.202	2.431
KA值提升10%	4.225	5.548	5.221	2.442

换热器性能	APF	APF增幅
原型	4.612	1
KA值提升5%	4.629	+0.34%
KA值提升10%	4.644	+0.69%

青岛海信日立空调系统有限公司 **针对本机型，室内外机换热器性能，单独提升APF的效果已不显著**

### 三、多联机各要素对APF的影响

#### 压缩机效率



总体压机效率提升

压缩机效率	APF	增幅
原型	4.612	1
效率提升2%	4.70	+1.91%
效率提升3%	4.741	+2.80%

不同负荷压缩机效率提升

压缩机效率	APF	增幅/%
原型机	4.612	0%
仅全负荷提升3%	4.65	0.82%
仅半负荷提升3%	4.672	1.3%
仅25%负荷提升3%	4.635	0.50%

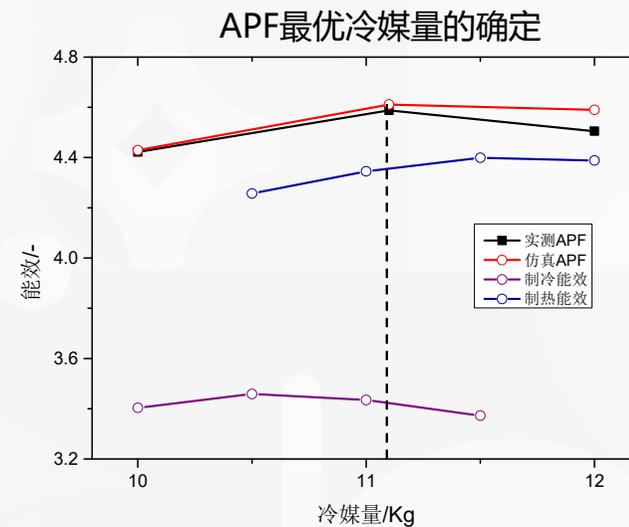
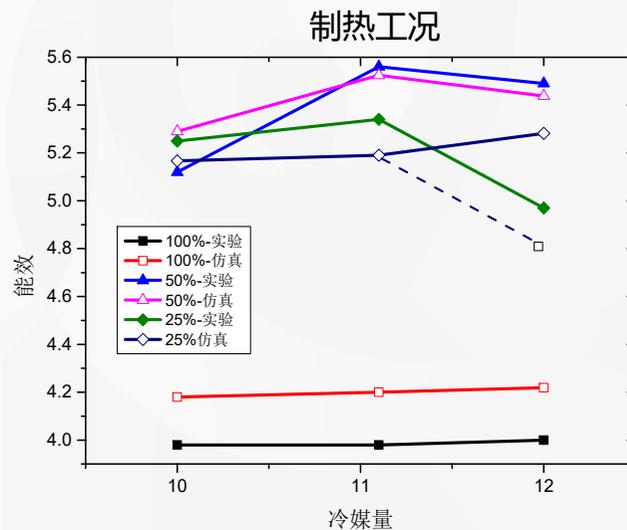
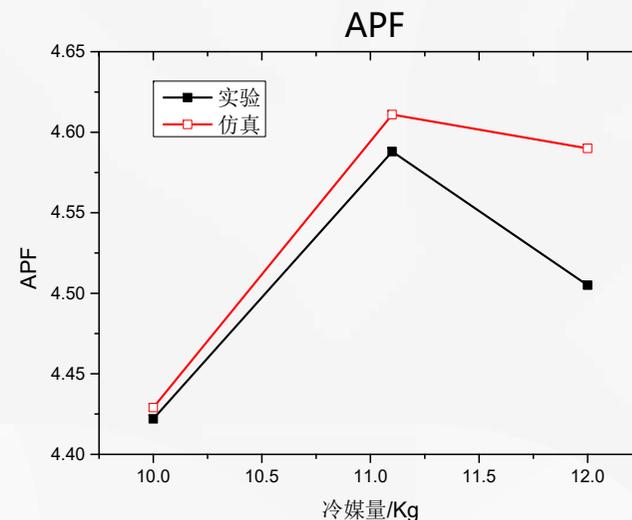
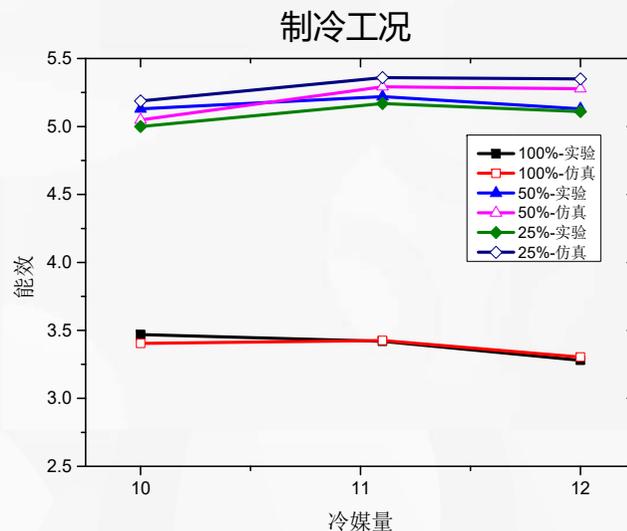
①压机效率提升对APF影响显著;  
②压缩机50%负荷效率提升对APF的影响最大, 压机更多的考虑部分负荷效率是趋势

# 三、多联机各要素对APF的影响

## 冷媒量

结论:

① 仿真和实测趋势一致;



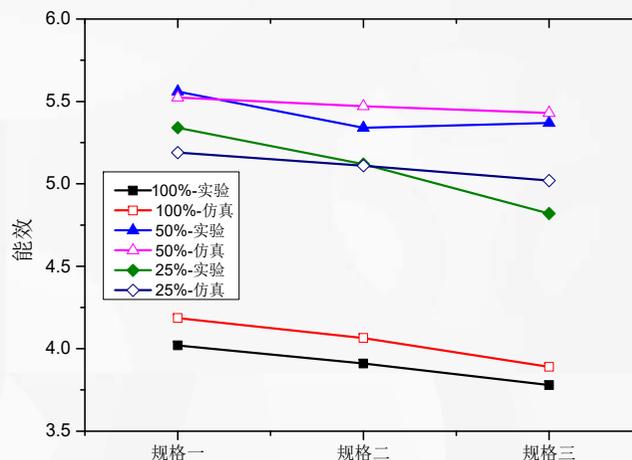
### 三、多联机各要素对APF的影响

#### 配管和阻力件（系统压损）

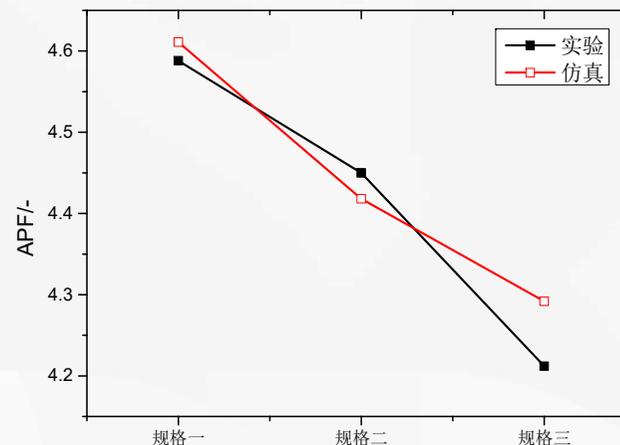
实验及仿真方法：

由于此10HP机型的压损较低，为了验证各阻力件对性能的影响，采用更换阻力更大的四通阀、截止阀、单向阀、配管、气分等，总共分为三个规格，**从规格一到规格三的吸排气压损依次增大。**

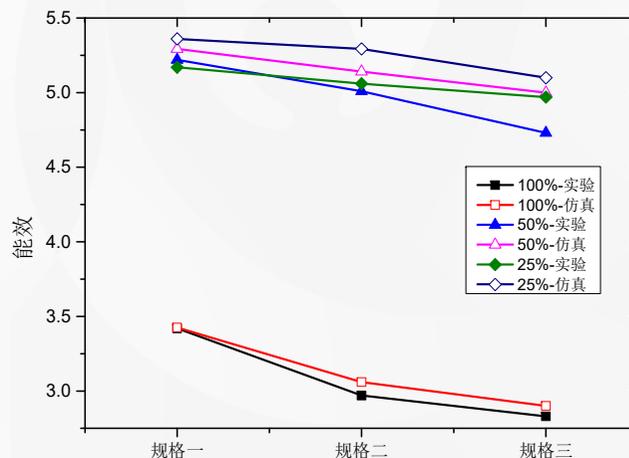
制冷工况



APF



制热工况



结论：

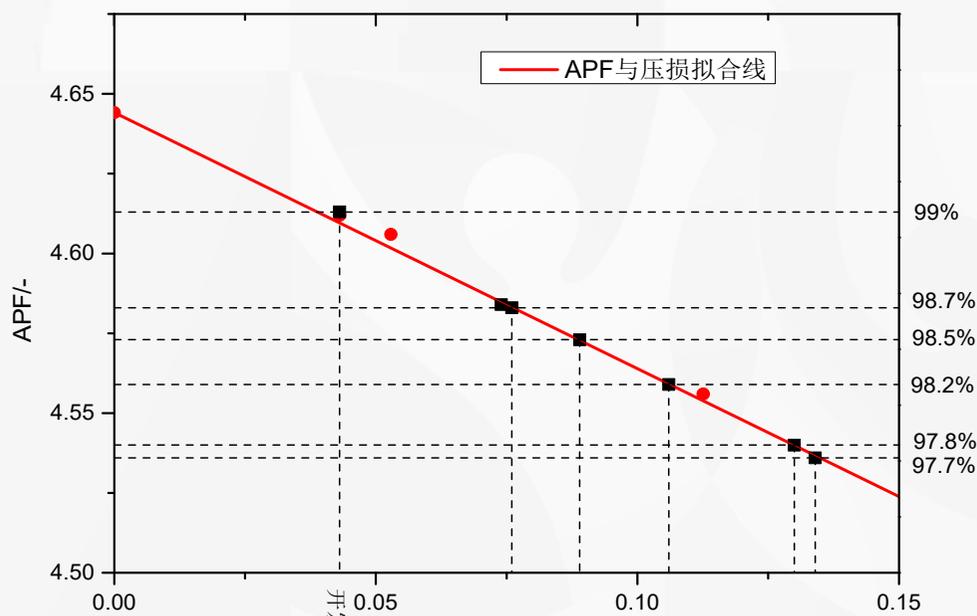
- ① 仿真和实测趋势一致，结果准确，
- ② **负荷越大，压损对性能的影响越大。**

### 三、多联机各要素对APF的影响

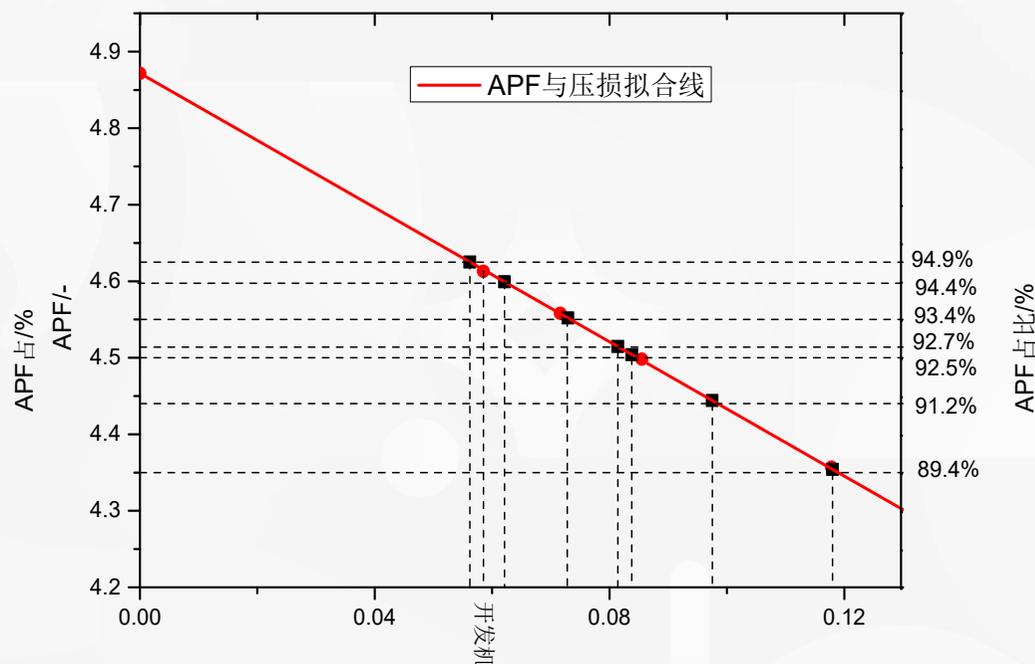
#### 配管和阻力件（系统压损）

- ① 同一机型低压压损的影响权重为高压压损的4~5倍，降低低压压损更为重要；
- ② 本机组的系统压损已处于较优的状态，单独降低压损提升的APF不会太显著；
- ③ 从分析现有的机组来看，有的机组从压损的改善入手，最高有6%左右的APF性能提升潜力，特别是大容量机组。

高压压损对APF的影响



低压压损对APF的影响

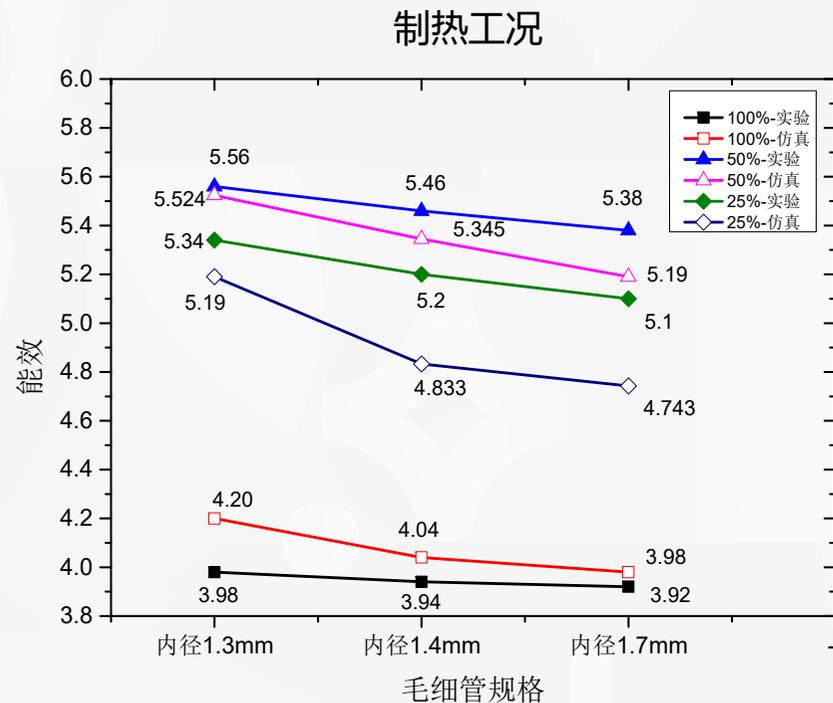
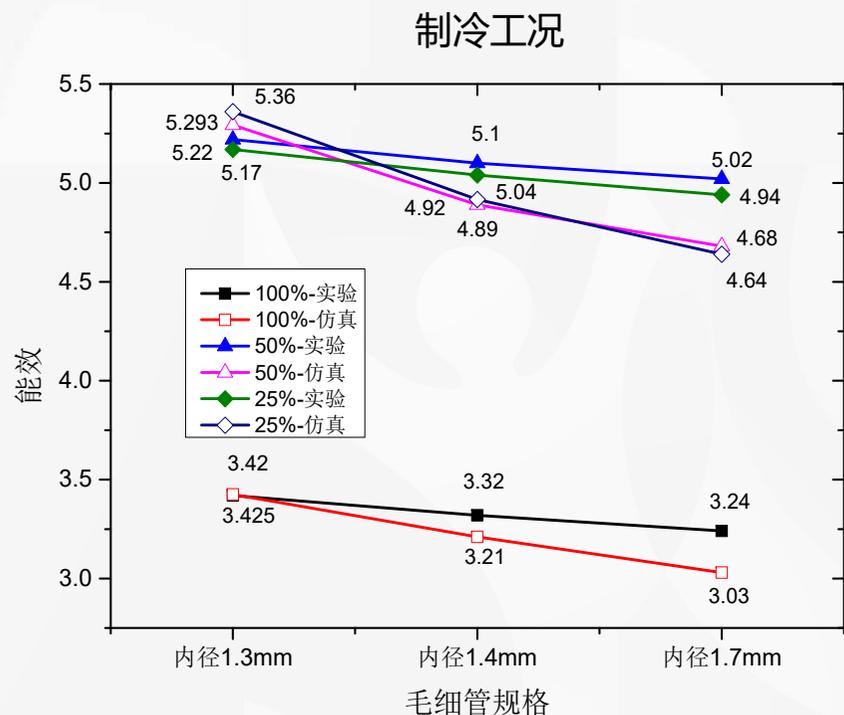


### 三、多联机各要素对APF的影响

#### 回油系统

分别按照2%、3%、4%的压机上油率进行回油设计，实验结果如下图所示，结果表明：

- ① 负荷越大，回油系统影响越大，在低负荷时仿真误差较大；
- ② 压机上油率减小，系统回油精细化设计均可较好的提升APF，部分系统可有5%左右的提升空间。

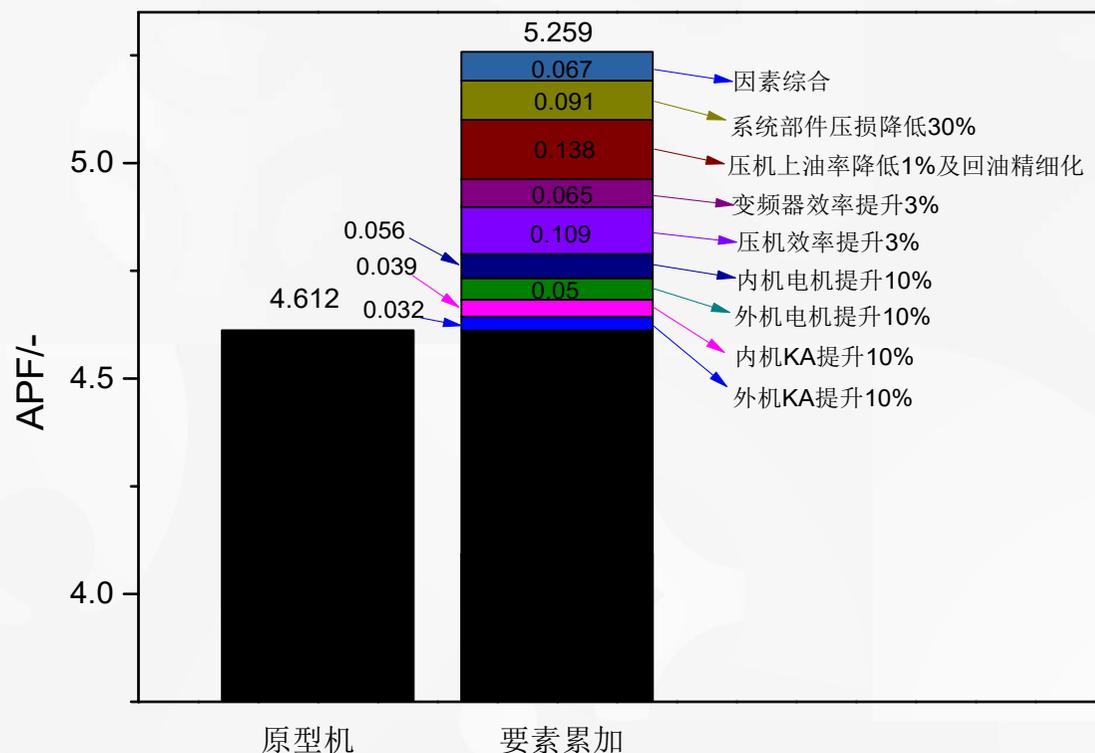


## 四、多联机APF提升的关键技术思路

通过以上分析，我们在考虑多联机APF提升的技术时，需要按照以下思路：

① 针对系统能效已经较好的机组（已接近或达到新标准一级能效），**单一要素的提升潜力均有限，需要考虑多因素同时改善，来提升APF能效水平；**

② 由于不同机组的设计方案的差异，**每个机组的关键提升方向需要具体分析，精准的APF仿真技术是关键。**



开发机已提升至4.92，达成国标报批稿一级能效4.8的要求

## 五、结束语

中国新能效标准要求高，已超过日本的领跑者，为行业带来机遇与挑战

依靠经验和简单的改善已很难提升APF，越来越考验各方面的技术深度

海信日立将与业界共同努力，为实现碳达峰、碳中和的目标贡献一份力量！

谢谢!

