

Haier

直流驱动空调的机遇和挑战

海尔集团 超前创新中心 总工程师

中国制冷学会 资深工程师

俞国新

2021年04月08日

报告内容

一

直流空调开发的背景

二

直流空调场景和用户需求分析

三

直流空调开发的技术挑战

四

展望

报告内容

一

直流空调开发的背景

二

直流空调场景和用户需求分析

三

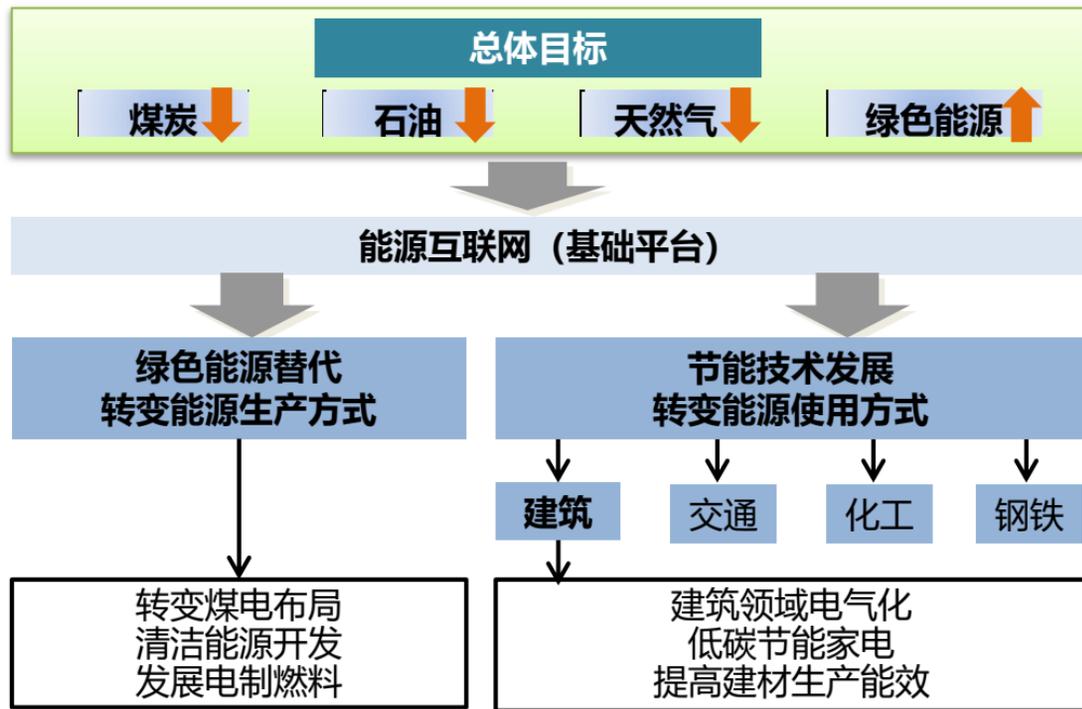
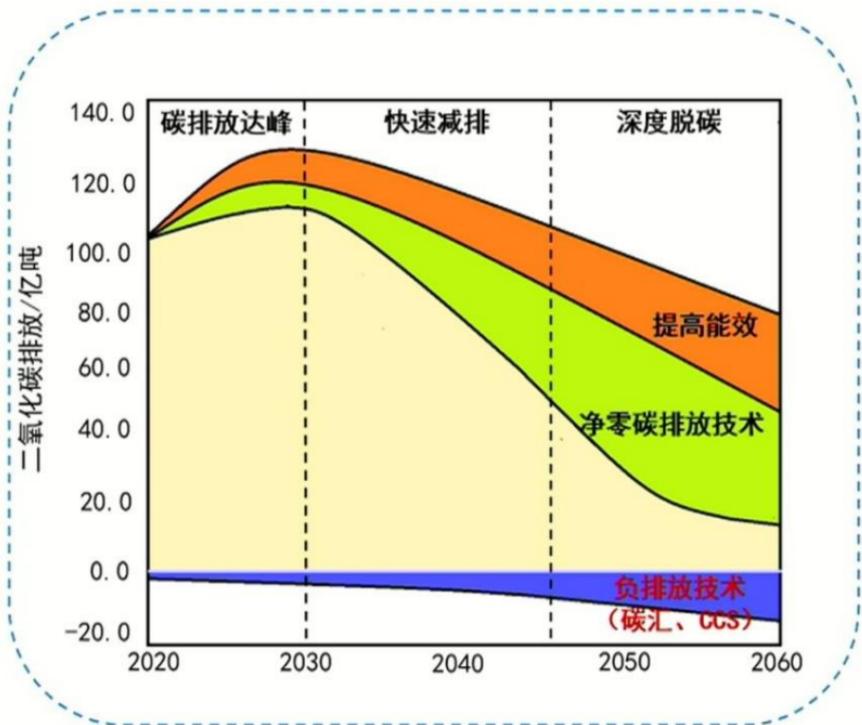
直流空调开发的技术挑战

四

展望

■ 国家政策-2030年实现碳达峰，2060年实现碳中和

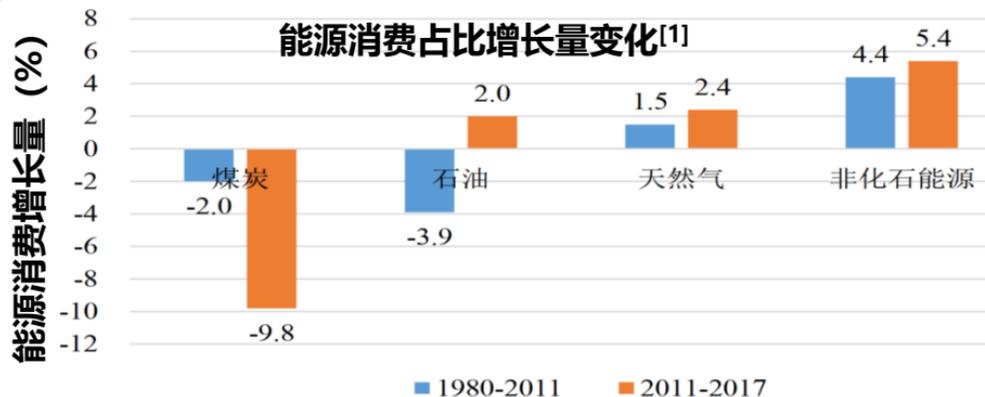
■ 实现思路-绿色能源替代和节能技术发展



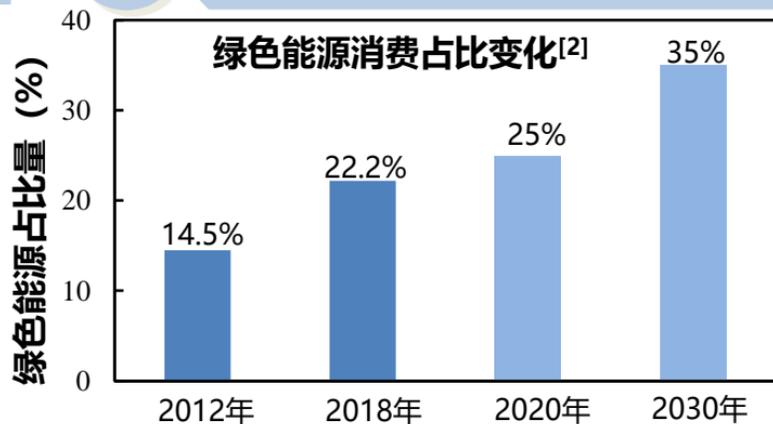
1 化石能源的开采与利用引发严重环境问题，能源消费结构的调整刻不容缓



2 非化石类能源占比增多，煤炭消费量占比逐渐减少



3 绿色能源消费占比稳定增长

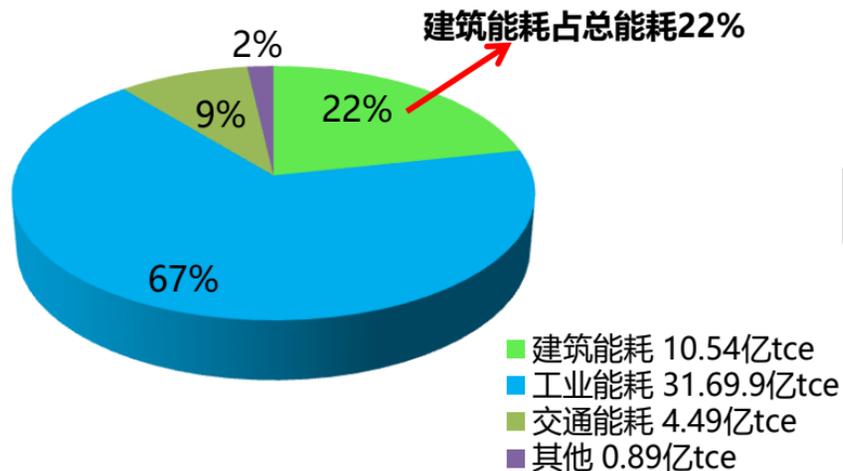


低碳环保催生能源转型，绿色能源消费占比稳定增长

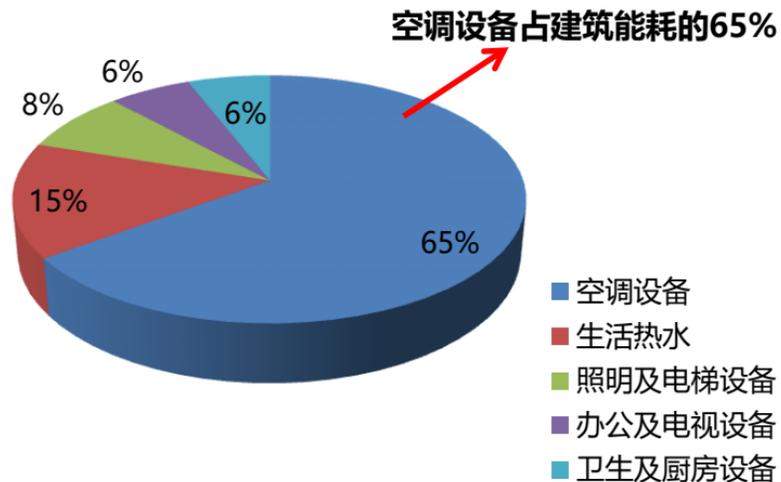
[1]数据取自国家发改委

[2]数据取自国家能源局

2019年全国能耗分布

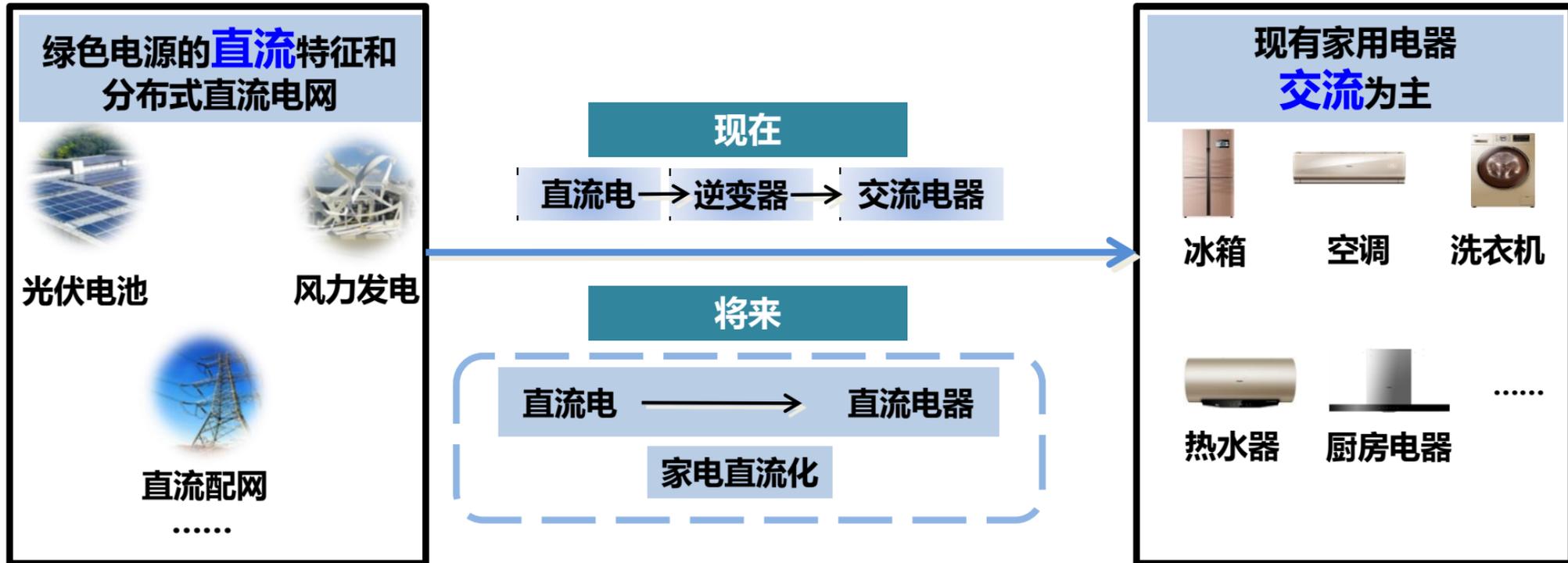


建筑设备能耗占比



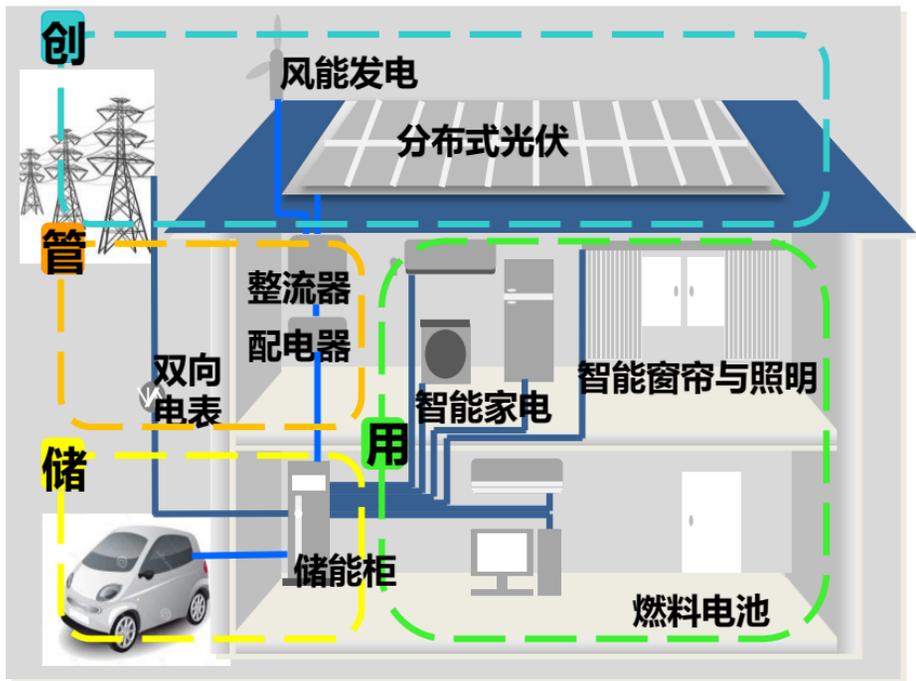
※中国建筑节能协会《中国建筑能耗研究报告2020》

建筑设备低碳环保之关键在于降低空调能耗

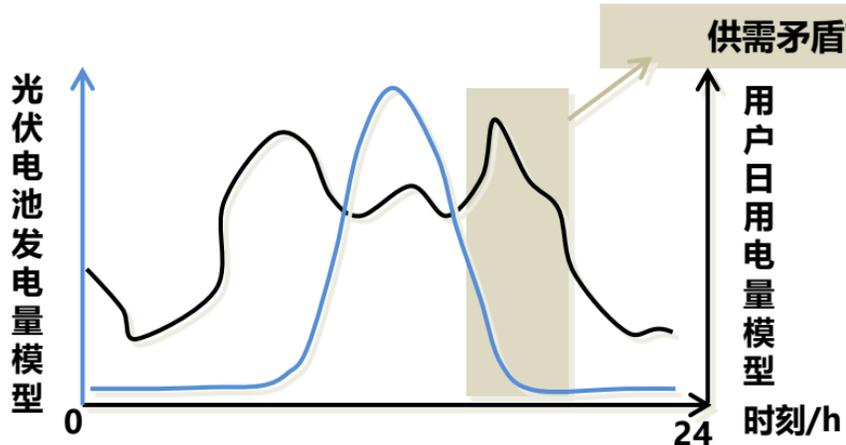


直流家电和绿色能源之间，不需要直流到交流的逆变，可提升提升用电效率和降低设备成本

全屋直流民用住宅场景



绿色能源的特征：不可精确预测，供需矛盾



例1：热水器蓄热



例2：空调蓄冰



家电储能，
实现柔性用电

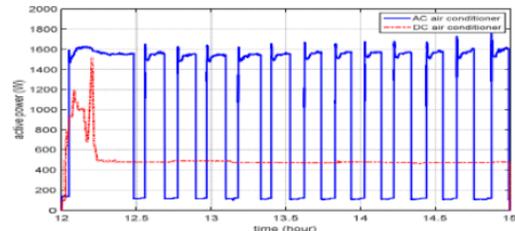
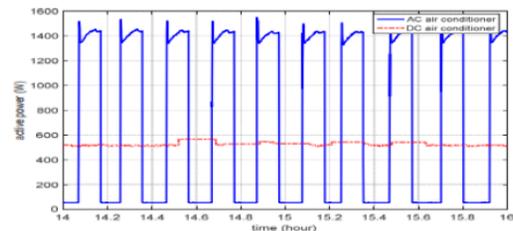
在民用住宅中，智能直流家电可直接参与终端直流用电的供需调节，满足柔性用电的需求

直流空调 (1) ——沙特 (国王石油与矿产大学)



	交流空调	直流空调
制造商	CRAFFT	TAIZHOU
制冷量	5274W	5274W
输入电压	230VAC	48VDC
额定功率	1500W	1200W
压机类型	定频	变频

直流空调采用额定功率较低的变频压机, 更加节能



	交流空调	直流空调
连网运行	230VAC	230VAC→48VDC
独立运行	24VDC→230VAC	48VDC
连网能耗 (24h)	16.5647 kWh	12.3753 kWh
独立能耗 (3h)	3.1833 kWh	1.6747 kWh

直流空调在连网及独立原型模式下具备能耗均较低

Al-Subhi A. IEEE, 2017: 330-336.

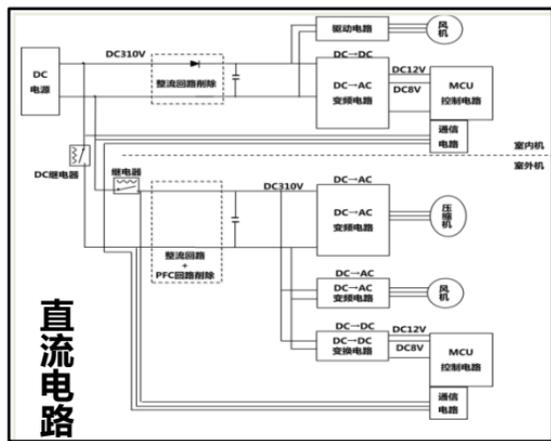
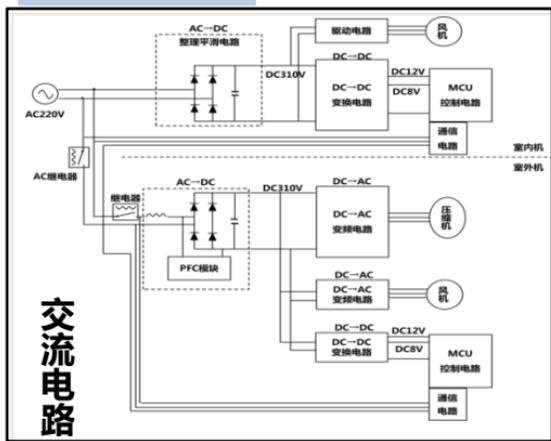
文章结论: 直流空调与交流空调相比, 并网运行节能25%

解读: 直流空调能耗大幅度降低得益于采用相对节能的变频压机, 主要贡献在于制冷系统效率的提升

直流家电是否大幅节能？——直流空调

直流空调 (2) ——浙江盾安人工环境股份有限公司

电路设计



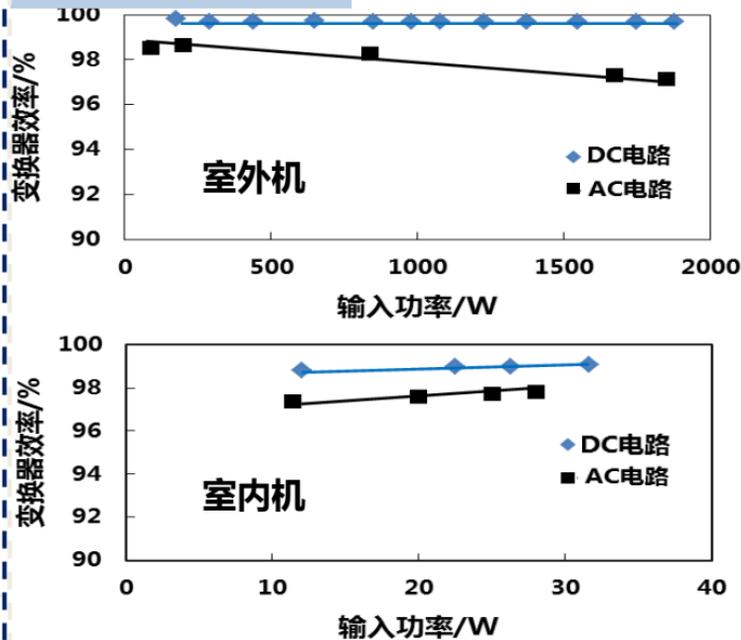
叶强. 家用变频空调的直流化改造与验证/第十一届全国冰箱、空调器\压缩机学术交流大会

**AC/DC器件 (整流桥和部分滤波电路) 变更为整流二极管
提高电路效率**



文章结论: 直流空调电路效率提升1%~2%

电路效率分析



报告内容

一

直流空调开发的背景

二

直流空调场景和用户需求分析

三

直流空调开发的技术挑战

四

展望

电网端与家电互联互通、能源智能管理

智慧电网



实时监测用电情况，自动调节供电峰谷价格



能源管理



智慧家电



直流家电接收电网数据、智能调温

空调峰段调温案例

以山东为例，1个3P空调，总输入功率2kW，每天峰段时间9h，参与峰段调温时设定温度下降1℃（节能5%），峰值电价每度电 $S_T=0.9$ 元



耗电量

~0.9kW·h

用户每年可节约~300元用电成本

直流智能空调，参与电网峰-谷调节的同时，也为用户节约用电成本（交流空调也有）

1

直流家电节能，提升用电效率

以1.5匹、3000元的空调为例，直流空调能效提升2%计算，假设耗电功率1200W，每天工作8小时，10年生命周期，电费0.55元/kW·h



电费省钱 < 器件成本上涨量

决定用户动机?

2

用户观念转变，追求绿色环保

环境问题引起用户重视



雾霾



温室效应

绿色能源及节能需求



节能



环保

现阶段直流家电的产业化推广，家电用户的需求不强烈，需要国家电网政策的支持

报告内容

一

直流空调开发的背景

二

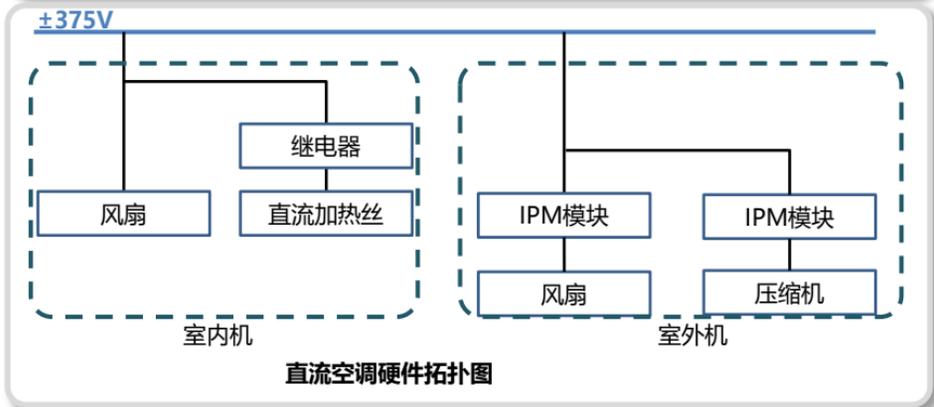
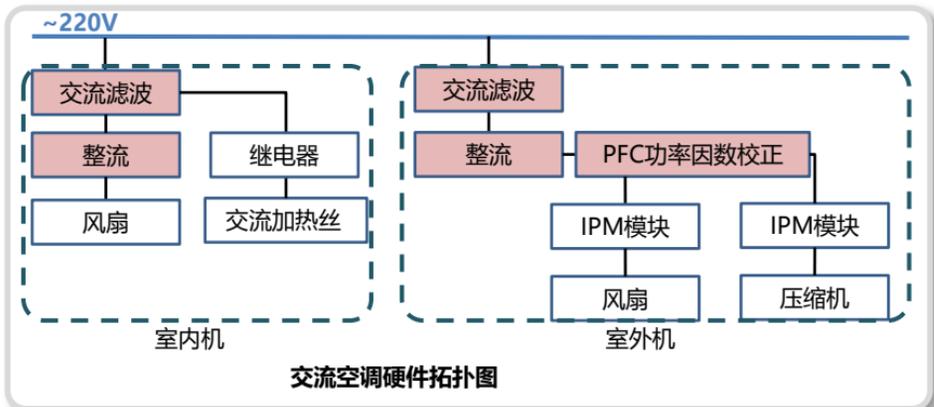
直流空调场景和用户需求分析

三

直流空调开发的技术挑战

四

展望



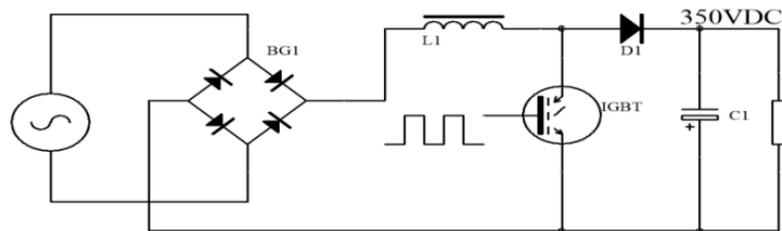
技术分析

- 无整流电路、PFC电路的电路板设计
- 无PFC的压缩机输出稳定控制技术
- 直流风机及驱动方案设计
- 辅热加热丝参数调整
- 直流开关电路设计
- 直流四通阀
-

技术挑战点

- (1) 电压等级的适配
- (2) 压缩机的稳定控制
- (3) 电弧
- (3) 部件直流化
-

现有家用电器中的电压等级



空调

IPM的耐压等级600V

电压等级产生的影响

220VAC → 375VDC±7%

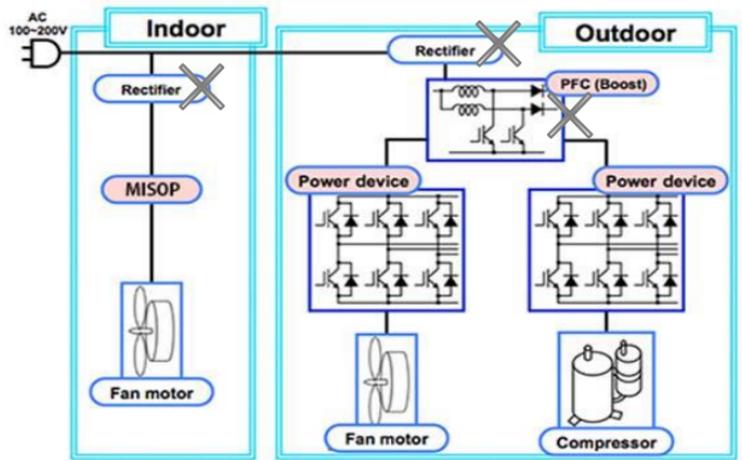
元器件耐压、产品设计裕量、电路参数计算、软件控制算法、整机系统输出能力、电气间隙与爬电距离、认证测试标准等

挑战：

1. 设计开发：元器件、电路、软件程序、整机零部件等；
2. 测试标准重新定义：安全、性能、可靠性、电磁兼容等；
3. 实验室、生产线改造

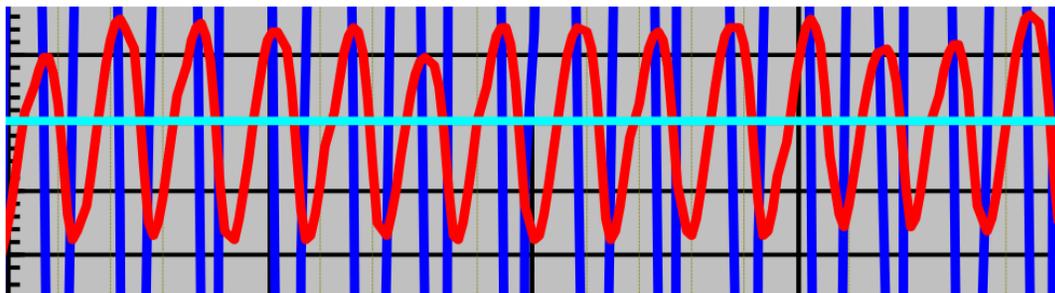
课题

针对直流家电的硬件电路去除整流环节以及空调室外控制器去除功率因数校正环节后，电网波动对母线电压影响



空调硬件重构电路

直流电源电压: $DC375V \pm 7\%$



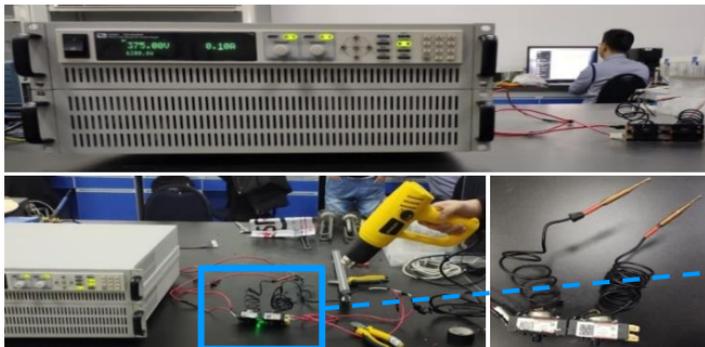
电机的稳定运转，特别是压缩机电机等稳定运转课题

直流电器中电弧产生的情景例

1. 带载插拔：电源线插头、插座；
2. 带载通断：电源开关、继电器、保护器等；
3. 绝缘等级下降或器件开短路失效。



电弧测试

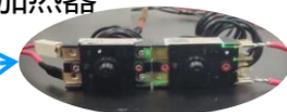


温控器：WY-S054A

电源：IT6536C

电压：375VDC

负载：PTC加热器



功率到达400W无法断开
产生明显的电弧

挑战：

1. **标准规范制定**：针对家用电器的直流插头插座，还没有正式的标准规范；
2. **安全性评估**：市场上直流强电的插头插座产品缺乏，并存在安全隐患；
3. **设计开发成本**：为避免电弧产生，需设计新型保护方案，开发各种通断装置，增加成本

直流电器中元器件与零部件的变更

安规滤波

保险丝
X/Y电容
共模电感
电解电容
继电器
开关变压器
温控器
.....

功率半导体

IGBT
FRD
MOS
IPM
.....

负载部件

电热管
电磁阀
温控器
排水泵
进水阀
门锁
电机
.....

挑战:

1. 上游产业推动乏力，材料、模具费用大幅上升
2. 元器件寿命与零部件可靠性重新评估；
3. 器件直流化后尺寸变大，影响整机重量和体积

继电器例



规格	250VAC/10A	450VDC/10A	对比
成本	12.63	78.65	↑6倍
重量	13g	26g	↑2倍
体积	12.7*15.7*29.0mm	23.5*24.0*27.0mm	↑3倍
寿命	150k	10k	↓15倍

注：成本考虑相同的采购数量。

报告内容

一

直流空调开发的背景

二

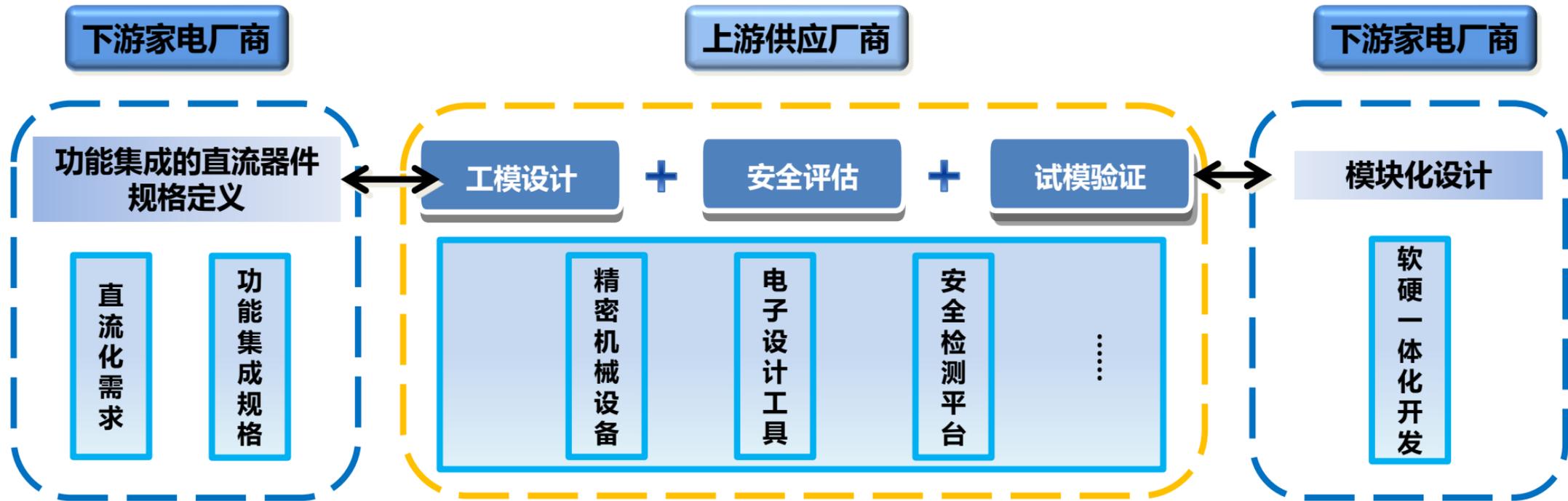
直流空调场景和用户需求分析

三

直流空调开发的技术挑战

四

展望



政策支持和市场需求驱动，下游企业的合作是直流元器件产业化突破的重要路径之一

- 1, 直流空调等家电的开发驱动力主要在于绿色能源和分布式直流电网，国家低碳能源战略的需要**
- 2, 在民用住宅中，直流空调可以有效缓解绿色供电侧的峰谷不平衡的压力，但相比同类交流空调，其电路端的节能效果有限**
- 3, 直流空调的产品研发面临着许多技术挑战，比如电压等级的适配、电机的稳定控制，直流电弧的解决方案、部件直流化，产业化应用需要上下游产业链的协同攻关**

国家政策支持，市场需求的挖掘和协同攻关，是直流空调产业化应用的关键

开放生态、 共创共赢

打造未来智慧生活

你的生活智慧 我的智慧生活