

燃料电池高速空压机碳化硅控制器

设计挑战及发展趋势

刘昌金 博士，致瞻科技
2021.07.11 上海

目录

CONTENTS

1

燃料电池系统简介

2

燃料电池空压机技术需求

3

设计挑战

4

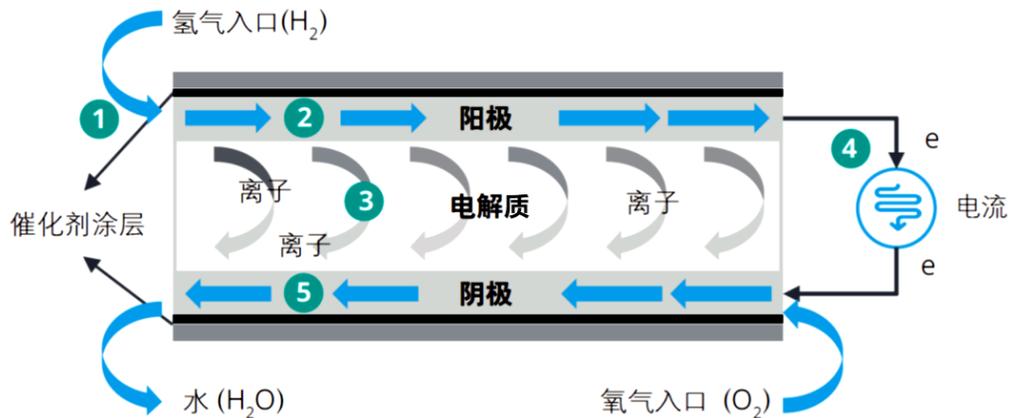
解决方案

5

致瞻科技介绍

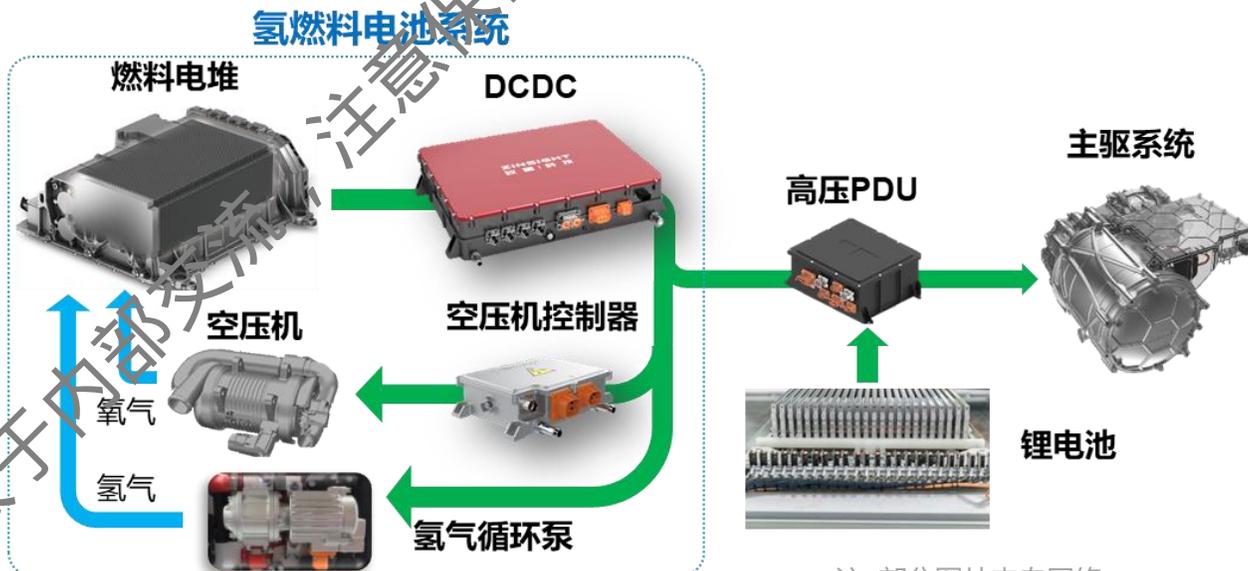
氢燃料电池系统介绍

氢燃料电池原理



注: 图片来自网络

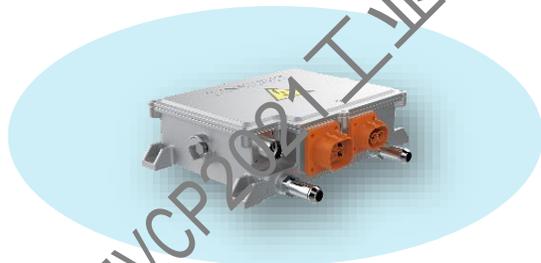
燃料电池汽车动力总成



注: 部分图片来自网络

致瞻布局：燃料电池高压电气部件

空压机控制器



多合一控制器
(DCDC、空压机、氢泵等)



燃料电池空压机控制器的技术要求

高转速

转速15万转以上
高控制精度
高动态响应

长寿命

整车8年/80万公里质保

碳化硅的技术优势:

- 高开关频率
- 低损耗
- 高功率密度

高效率

高电控效率
高电机效率

电磁兼容

IEC CISPR25 Class 3

高功率密度

体积小
重量轻
便于布置

低成本

低采购成本
低使用成本



碳化硅技术是空压机控制器的最佳解决路线之一

设计挑战

1

软件控制

- 高时效无感矢量控制
- 高动态无速度传感器
- 高速控制稳定性
- 故障保护

2

功率电路

- 门级串扰及短路保护
- 并联器件均流
- 低杂散功率回路设计
- 功率器件高可靠性、高寿命

3

高功率密度结构

- 高效散热设计
- 电磁空间耦合

4

系统设计

- 极高开关频率及dv/dt, di/dt
- EMC
- 电机绕组绝缘
- 电机轴电流
- 连接器寿命

5

面向量产

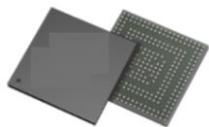
- 可制造性, 可装配性
- 低成本要求



解决方案

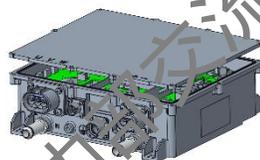
超高开关频率

- 高达百kHz以上
- 直接水冷设计
- 多核芯片协同处理技术
-



高频化硬件设计

- 交错叠层母排降低功率回路杂感
- 考虑损耗、EMC、均流、短路保护的驱动参数优化
- 减小高低压耦合保护敏感信号



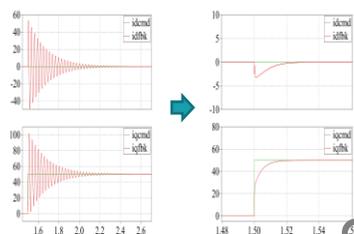
dvdt抑制

- 损耗与尖峰电压的平衡
- 最小开关纹波电流调制
- 立体散热设计
-



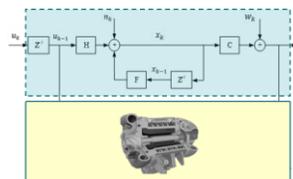
高速控制性能

- 转速、转矩、电流分级解耦
- 基于内模原理的控制设计



高精度无速度观测

- 精准数字孪生技术
- 参数自适应控制



系统可靠性

- 软硬件降低dv/dt
- 软件调制降低共模电流
- 喘振抑制算法
-



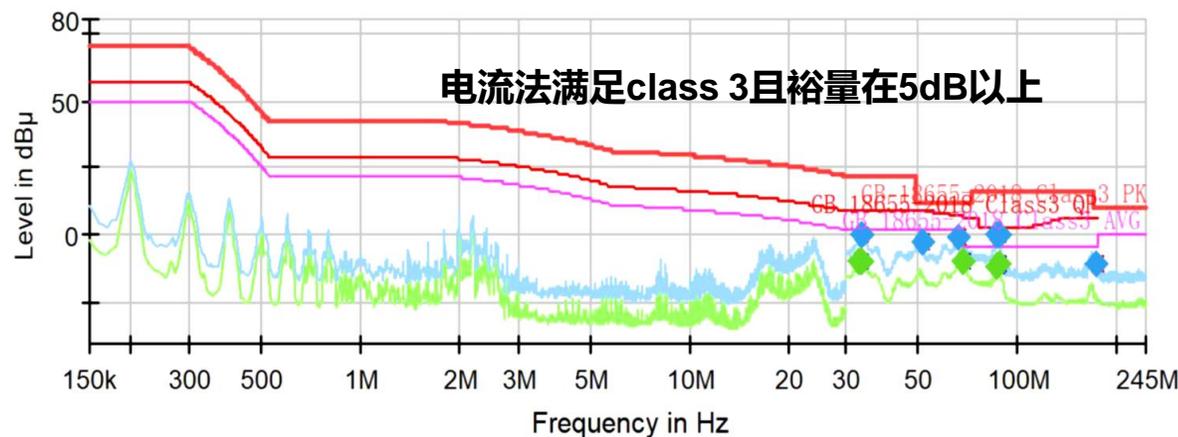
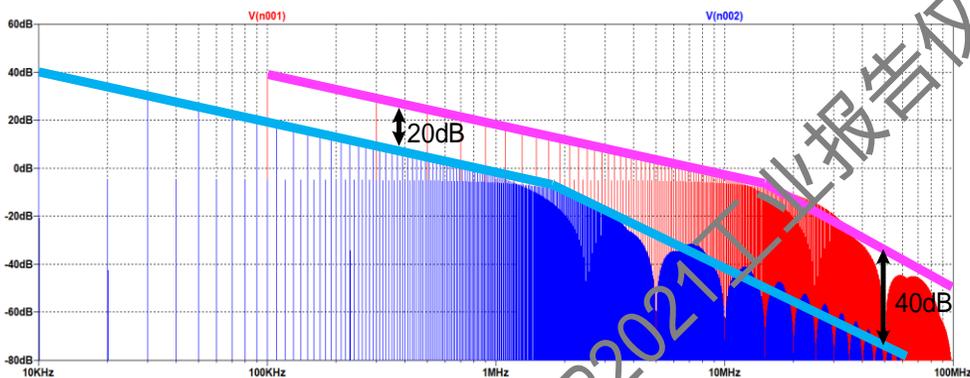
电磁兼容

挑战

- 碳化硅器件高dv/dt (10倍于Si器件)
- 碳化硅器件高开关频率 (10倍于Si器件)
- EMI干扰源频谱向高频拓展
- 滤波元件高频特性及高频耦合问题
- 干扰源能量大, 滤波元件设计难度增加

方案

- 建立完整的共模等效电路 → 识别关键EMI传播路径
- 降低dv/dt → 驱动优化 + 变化率抑制
- EMI滤波拓扑 → 全频段满足EMI滤波性能
- 滤波元件频率特性优化 → 组合使用实现更高的高频插损
- 结构优化 → 抑制内部干扰源对端口的辐射或近场耦合



关键结果

碳化硅控制器



电压: 250V ~ 750V
电流: 65A
功率: 35kW

01

控制性能

CONTROL

- 转速控制精度: $\pm 20\text{rpm}$
- 电流THD: $< 3\%$
- 启动时间: $< 0.5\text{s}$
- 3万到10万加速时间: $< 0.8\text{s}$

02

体积

VOLUME

- 无需外置滤波器
- 体积: $< 3\text{L}$

03

效率

EFFICIENCY

- 电控损耗小
- 电机损耗小

04

可靠性

RELIABILITY

- 电机温升更低
- 空气轴承磨损更小

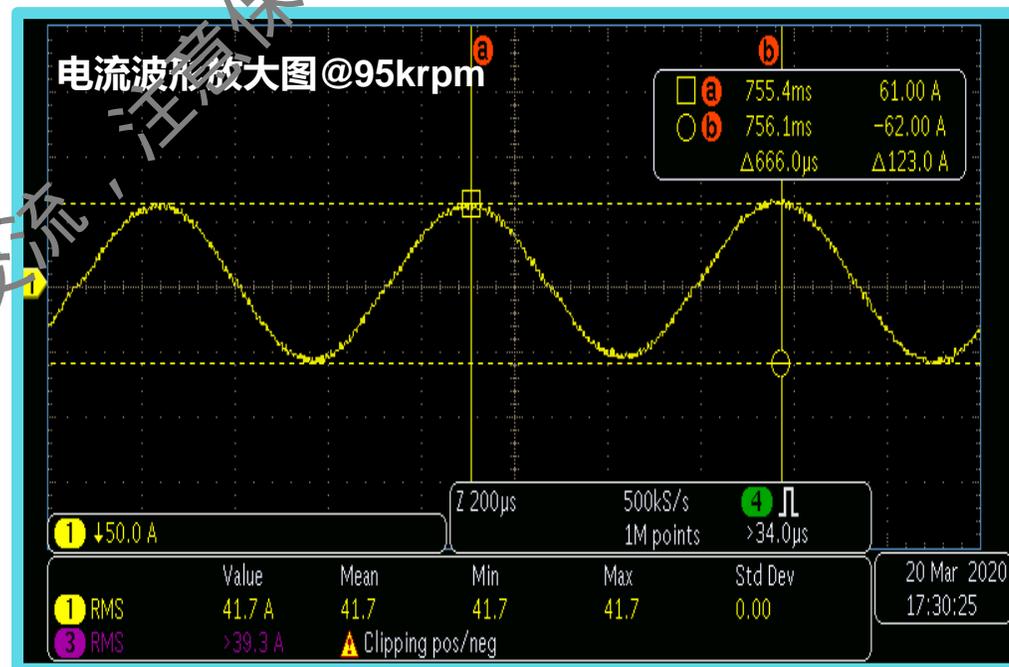
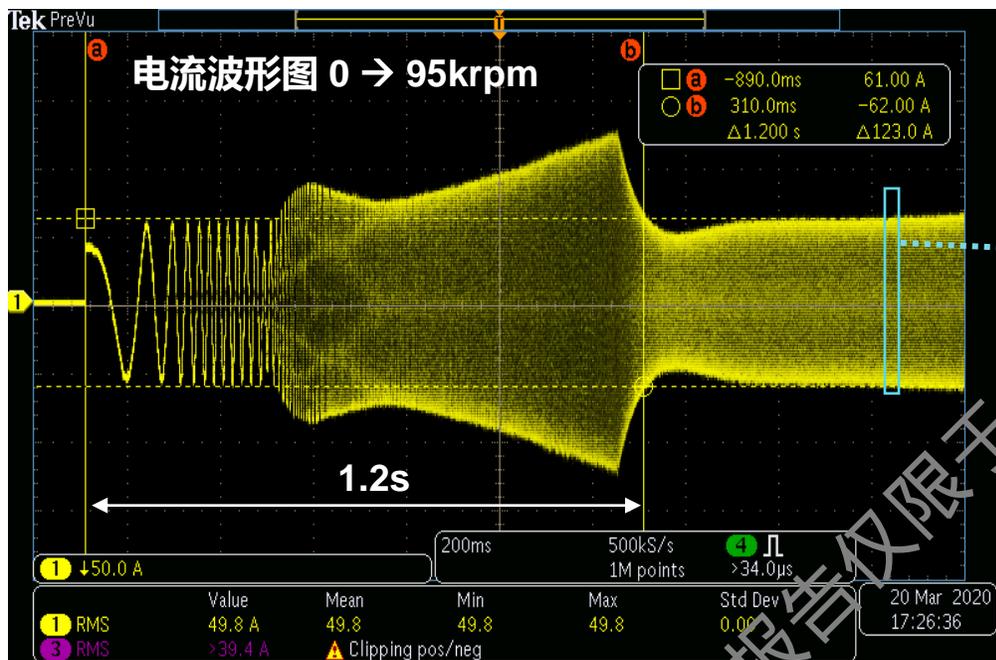
05

电磁兼容

EMC

- 业内首款IEC CISPR25 Class 3
- 支持盲抽盲测

部分波形



业内领先的响应时间、最优的波形质量、极低的定转子发热

燃料电池空压机控制器的发展趋势

大功率

- 匹配更大功率电堆, 满足重卡应用场景需求
- 更高压比/转速

长寿命

- 电机绝缘友好
- 车规级器件
- 更多严苛路况考核
- 加速寿命评测方法研究和标准制定

高集成

- 燃料电池高压电气部件集成 (空压机控制器, DCDC, PDU, DCL)
- 更高功率密度
- 更高可靠性

低成本

- 低部件成本
- 更高效率降低使用成本

磁芯材料

大功率、高速化、高频化

拓扑结构

两电平 VS 多电平
硬开关 VS 软开关

EMC抑制措施

低成本、小体积需求

致瞻科技简介

EVCP2021工业报告仅限于内部交流，注意保密勿外传！

公司概况

公司概况

致瞻科技（上海）有限公司（ZINSIGHT）是一家依托正向研发能力，研发、生产、销售碳化硅半导体器件和高端电力电子装备的高科技公司



研发运营办公室



试验基地



“万级” 洁净度产线



电磁兼容EMC实验室

公司愿景及“1+1”战略

愿景：成为领先的**碳化硅**半导体器件及先进电驱系统供应商

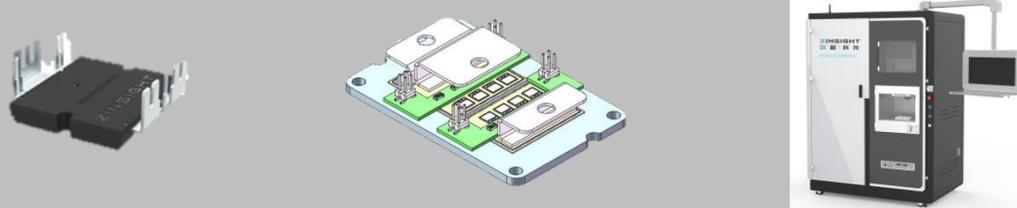
“1” 碳化硅先进电驱系统



领跑的SiCTeX™产品技术平台——

- 高端化：打破国外技术封锁
- 高效率：最高效率99%
- 高功率密度：最高可达40 kW/L

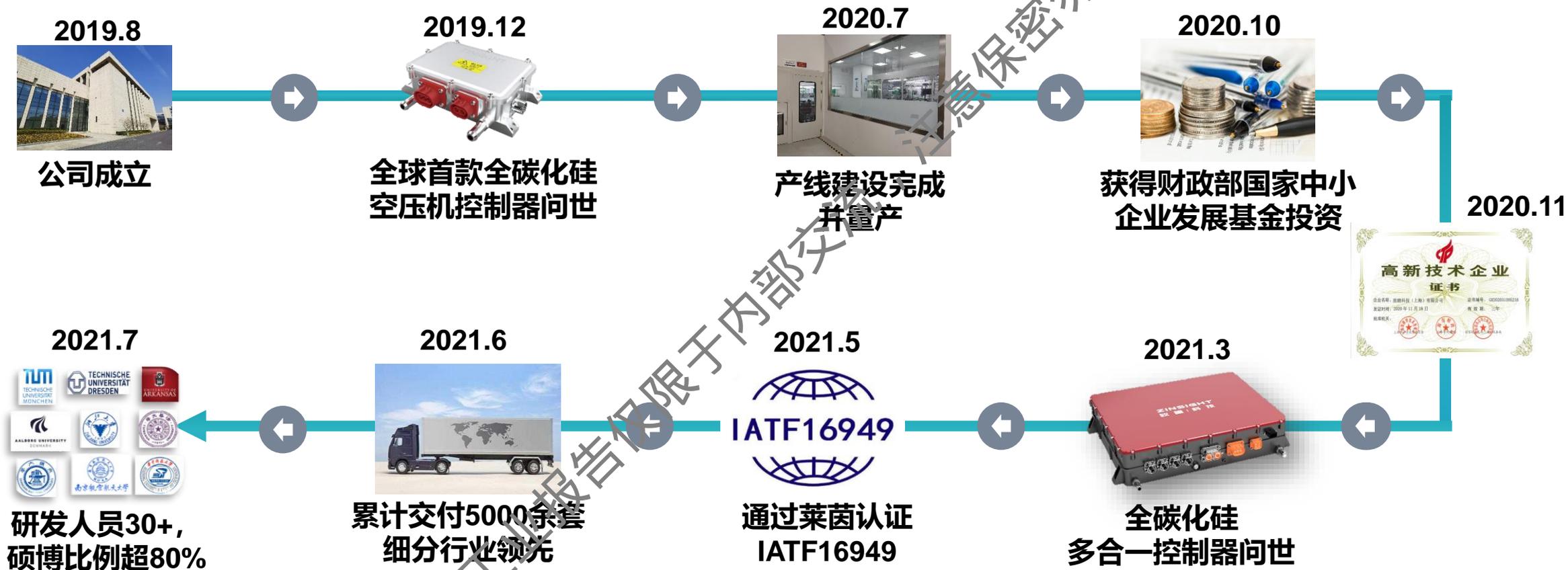
“1” 碳化硅功率器件



ZiPACK™碳化硅器件，填补国内空白——

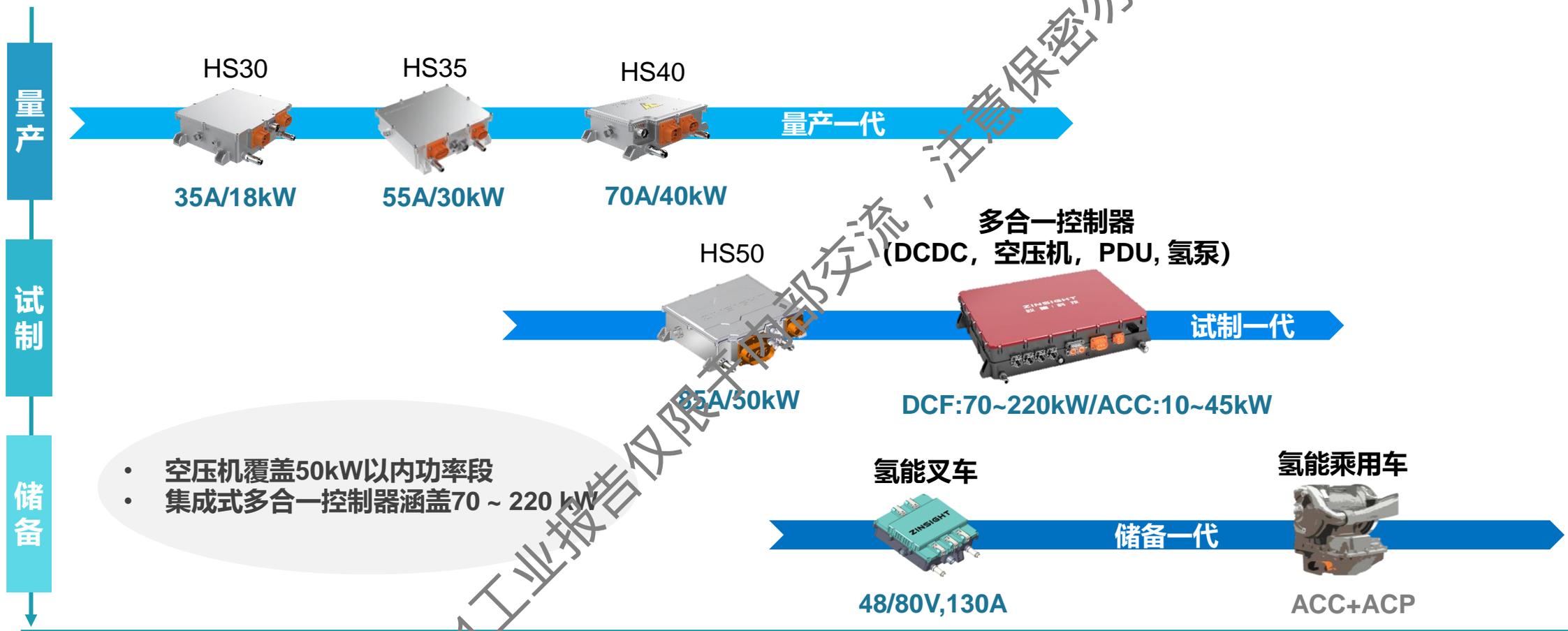
- 自研碳化硅器件，保障供应链自主可控
- 降低核心器件成本，提高产品价格竞争力
- 满足多维度客制化需求

发展历程



打破国际垄断，引领燃料电池行业高压电气部件的发展方向

燃料电池业务产品线



更大功率、更高集成度、更宽应用场景

Thanks

格物致知，赋能未来

POWER THE FUTURE WITH INSIGHT

EVCP2021工业报告仅限于内部文件 注意保密勿外传!