

车用燃料电池系统中的关键技术

许思传 教授

同济大学新能源汽车工程中心
国家燃料电池汽车及动力系统工程技术研究中心



研究背景



能源安全



环境污染



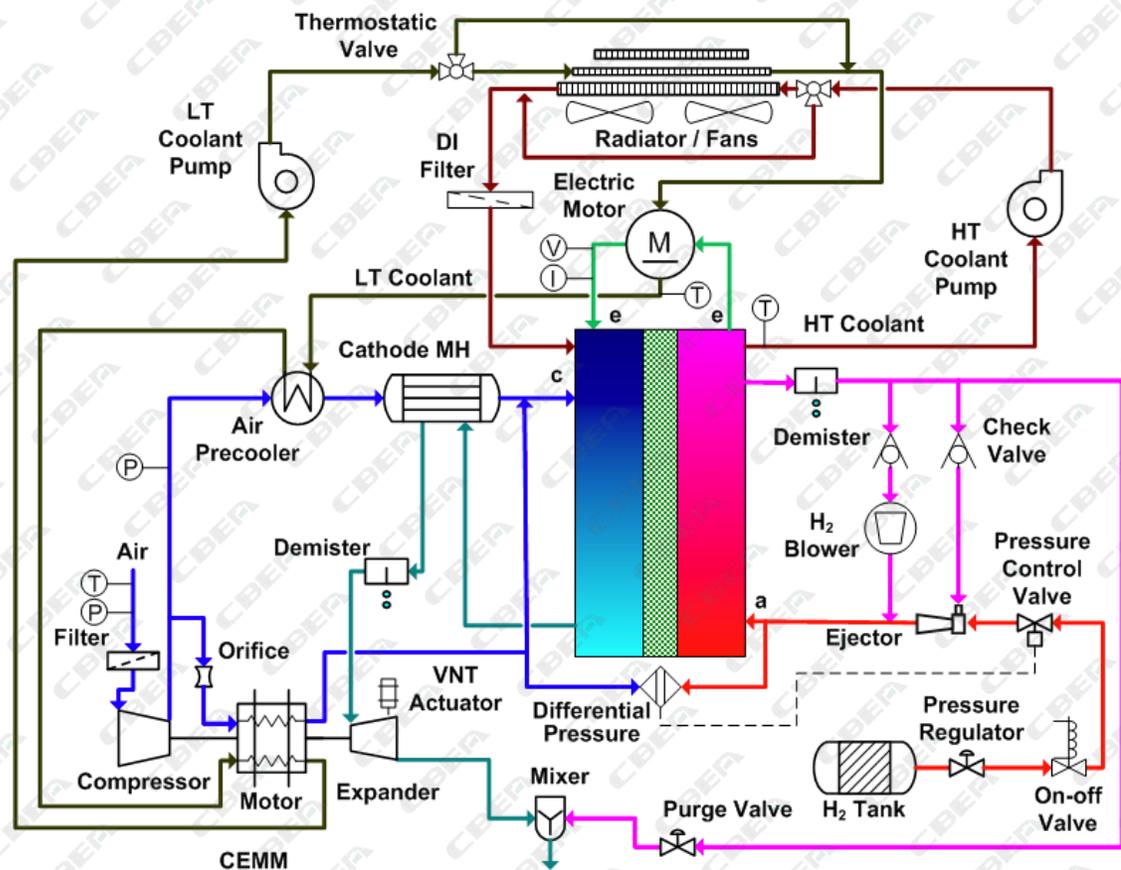
气候异常



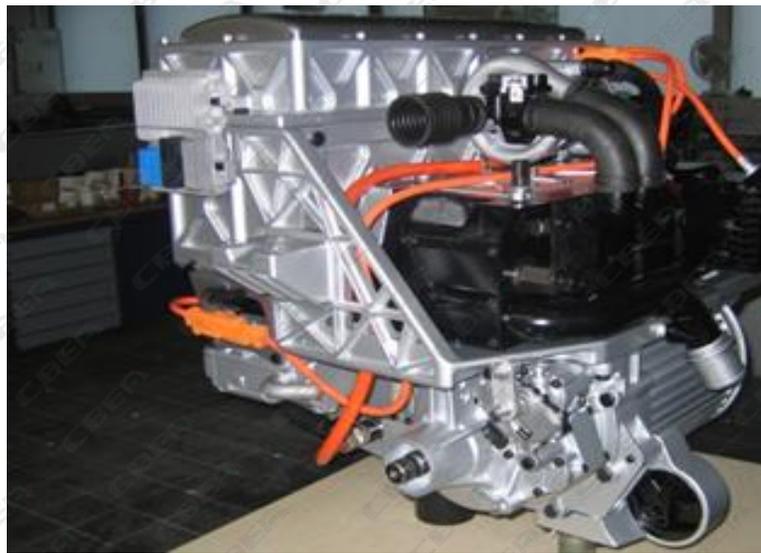
- 欧洲多国提案在2050年前全面禁售燃油车
- 中国也将制定燃油车禁售时间表
- 燃料电池汽车由于其**功率密度高**、**响应速度快**、**零排放**等优点，被视为未来最有前景的车用替代能源之一。



燃料电池发动机简介



- 氢气、空气供应系统：为电堆提供合适压力、温度、湿度、流量的氢气和空气；
- 水热管理系统：排出电池组废热，保持电池组稳定恒温运行；有效利用废热，提高燃料利用率；为空气加湿，保持系统水平衡；
- 控制系统：保证发动机稳定可靠工作，对关键执行机构进行故障诊断，对重要的系统参数进行标定；





燃料电池专用压缩机

技术指标：

□具体结构型式：高速电机+透平式泵头

□高速电机：无油润滑

流量：35~100g/s@0.25MPa；

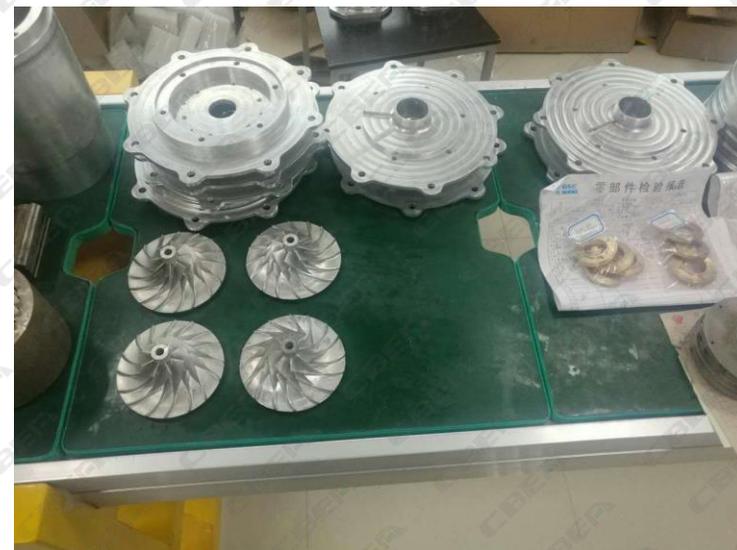
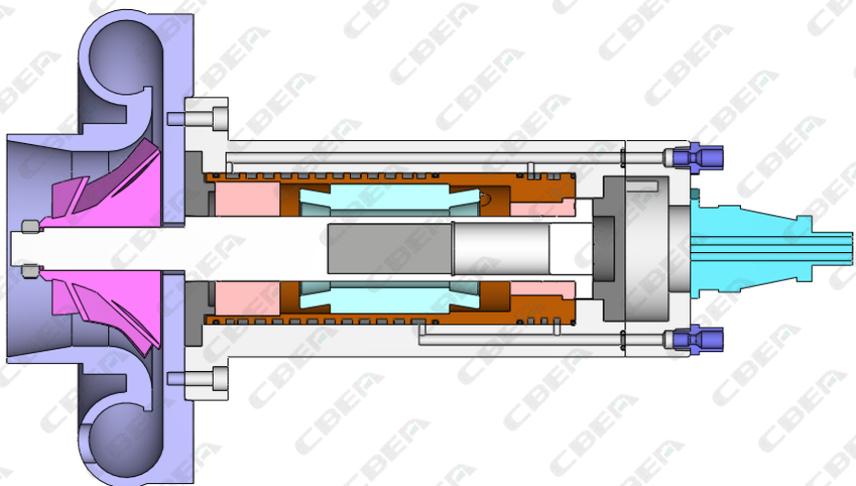
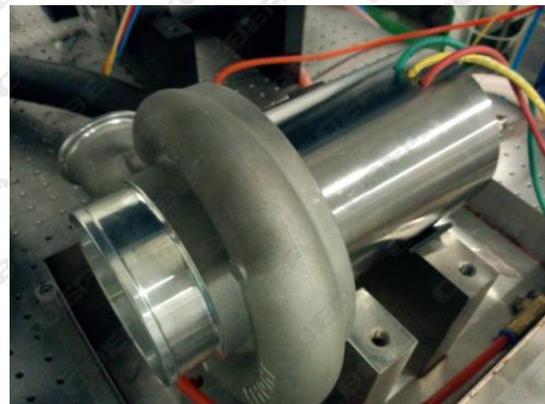
转速：100000r/min；

额定功率：~15kW；

1. 空压机本体

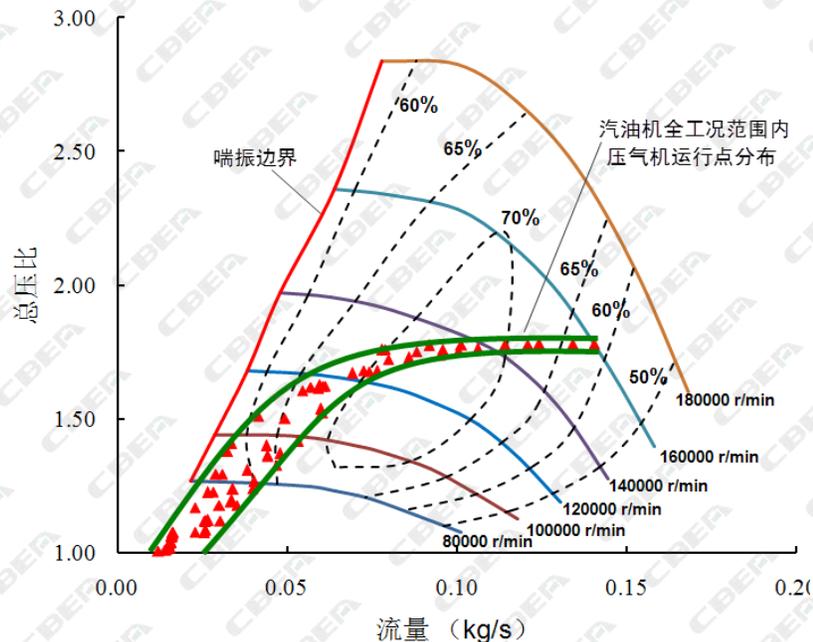
2. 高速电机

3. 轴承

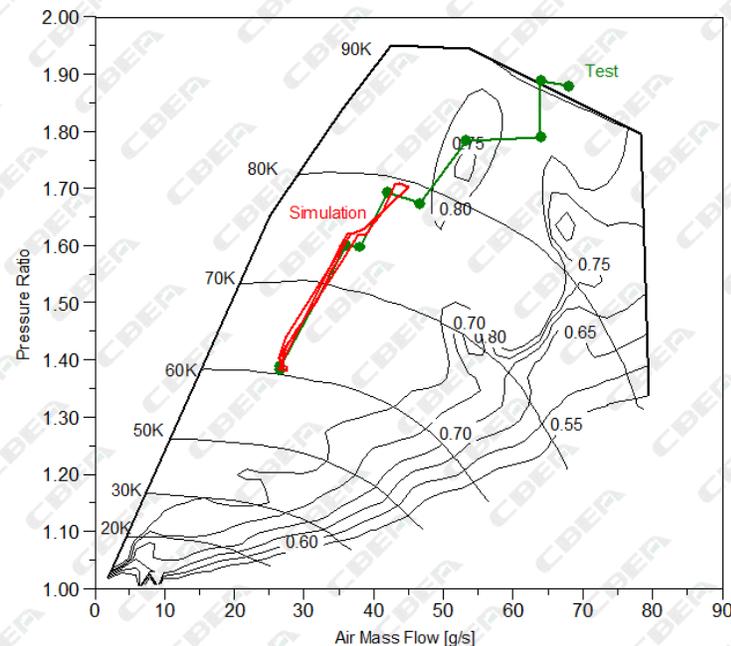




燃料电池专用压缩机



增压汽油机全工况压气机运行点分布

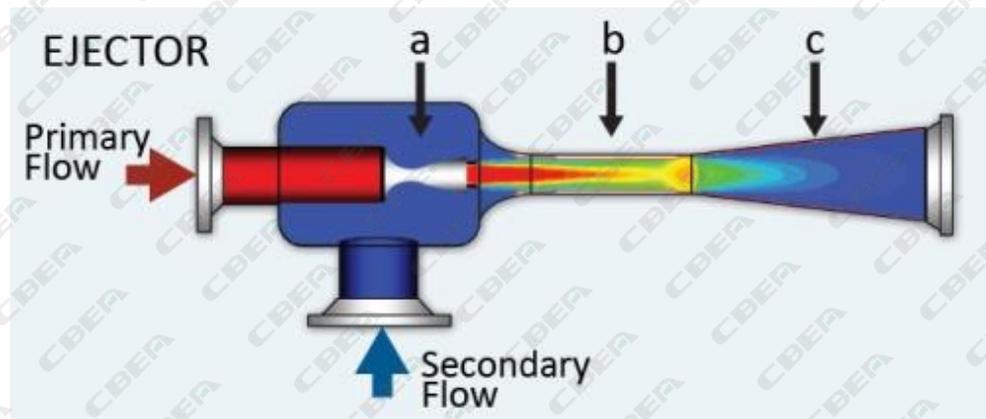


燃料电池系统不同功率输出空压机运行点

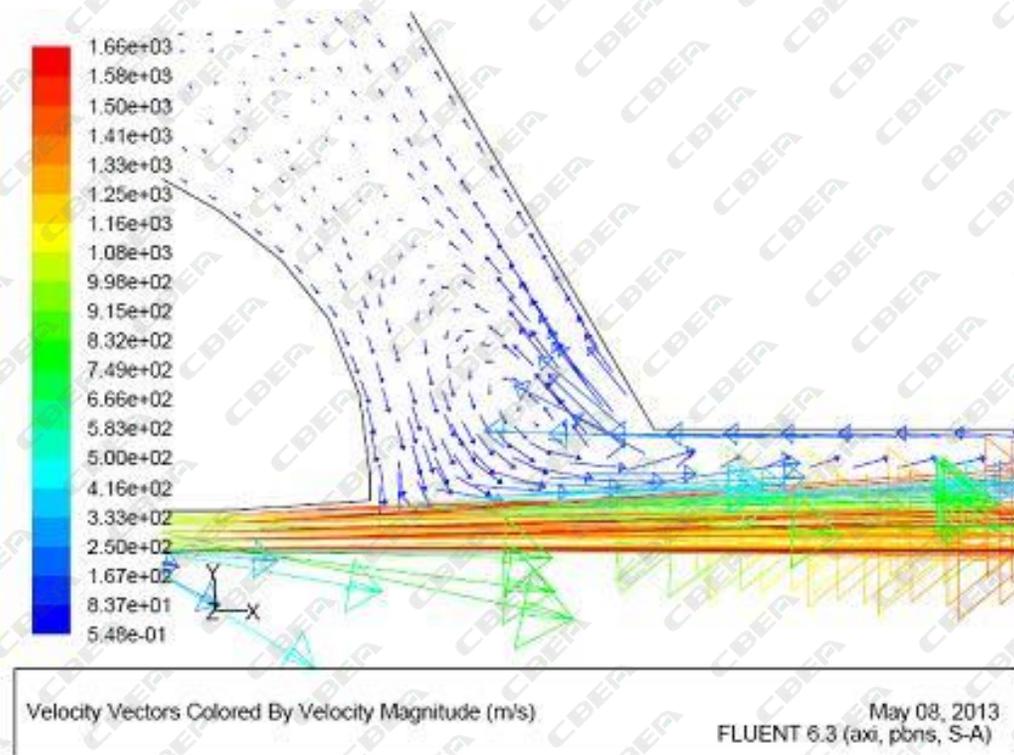
- 工作范围集中较窄，且集中低流量高压比区域，较接近喘振边界
- 电机转速限制，需在100000r/min以内获得传统内燃机150000r/min的压比
- 低流量系数，不稳定流动增加。



氢循环系统



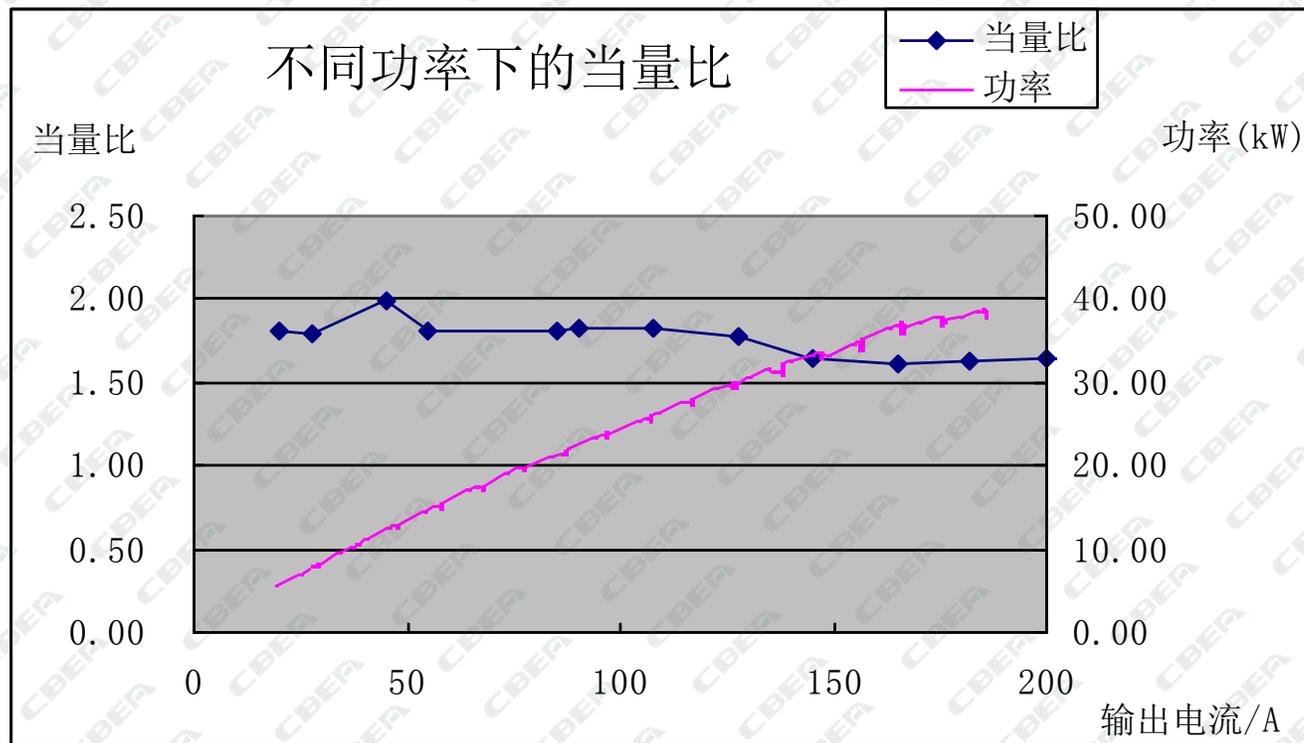
剖面图与实际加工件



数值仿真：混合室有涡流现象



氢循环系统



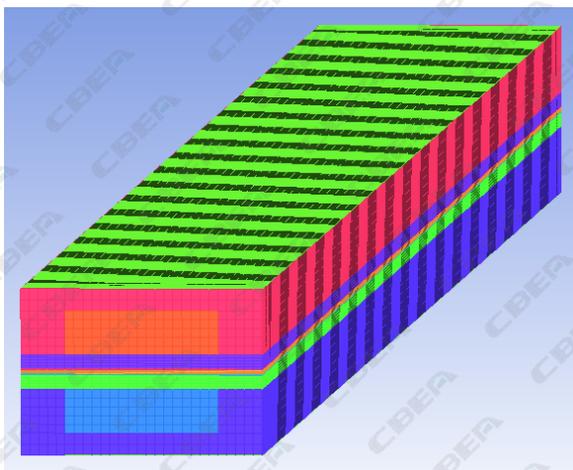
电流 /A	功率 /kW	阳极压力/MPa	工作流 体流量 /g·s ⁻¹	引射流 体流量 /g·s ⁻¹	引射 比
10	2.85	0.128	0.03	0.00	0.00
20	5.50	0.136	0.07	0.00	0.00
30	8.07	0.139	0.10	0.00	0.01
40	10.60	0.145	0.14	0.01	0.04
50	13.00	0.147	0.17	0.01	0.08
60	15.36	0.150	0.20	0.01	0.05
70	17.64	0.155	0.24	0.01	0.04
80	20.00	0.159	0.27	0.01	0.05
90	22.32	0.160	0.30	0.02	0.07
100	24.30	0.165	0.34	0.03	0.10
110	26.40	0.170	0.38	0.05	0.13
130	30.29	0.173	0.44	0.09	0.20
150	33.75	0.176	0.51	0.11	0.21
170	37.23	0.178	0.58	0.12	0.21
190	40.28	0.182	0.65	0.14	0.21
210	43.34	0.188	0.74	0.15	0.20
230	47.05	0.192	0.80	0.16	0.19
250	50.22	0.199	0.87	0.16	0.19
270	53.89	0.205	0.93	0.18	0.19
290	56.45	0.212	0.97	0.20	0.21
310	59.97	0.216	1.03	0.22	0.21
330	62.28	0.218	1.09	0.24	0.22
350	65.00	0.220	1.15	0.26	0.22

- 额定工况，引射流量达到0.26g/s，引射比达到0.22
- 电堆功率>30kW，引射比稳定在0.2左右
- 引射器工作范围：额定功率的23-100%

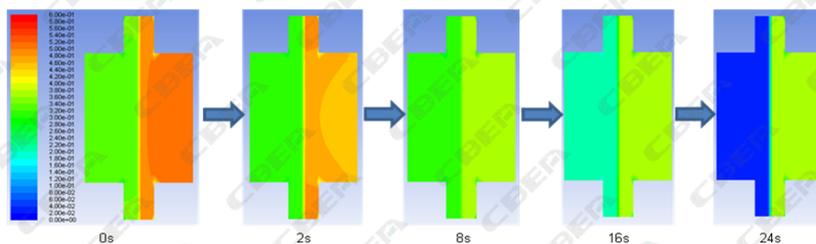


低温冷启动技术

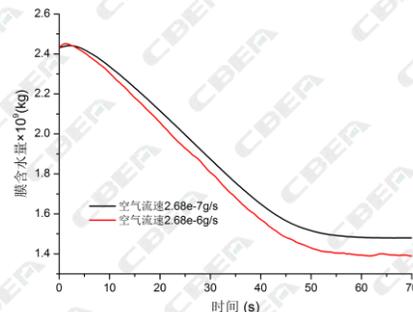
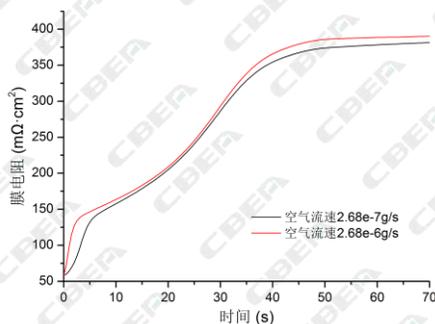
燃料电池吹扫仿真分析



参数	值
电池长度	50mm
电池宽度	2.74mm
流道宽度	1mm
流道深度	0.5
扩散层厚度	0.16mm
催化层厚度	0.01mm
膜厚度	0.051mm
Nafion®212	
网格数量	274482

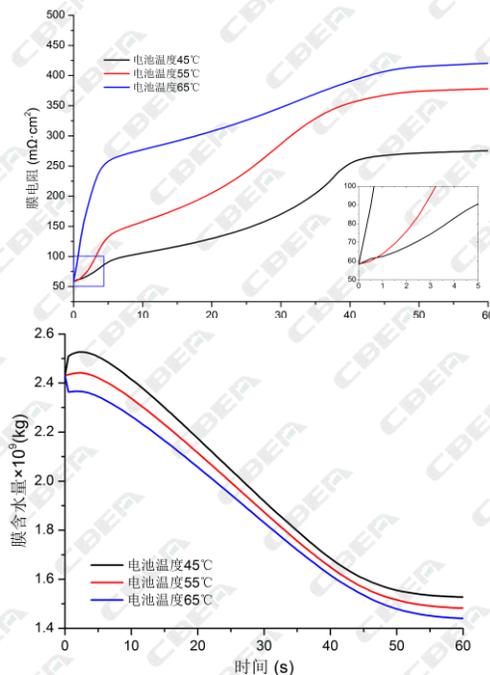


吹扫过程阴阳极含水量分布变化图



不同空气流速下膜电阻、膜含水量随时间的变化

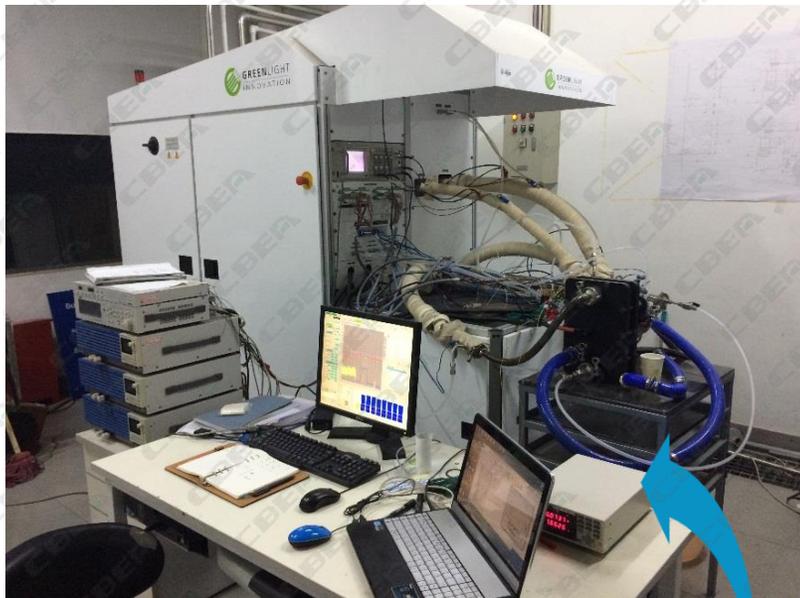
- 气流速越快，膜电阻值上升的越快，膜中的水也流失的越快，从而可以使膜更快的达到干燥；
- 电池温度越高，膜电阻值上升的越快，膜中的水也流失的越快，从而可以使膜更快的达到干燥。



不同电池温度下膜电阻、膜含水量随时间的变化



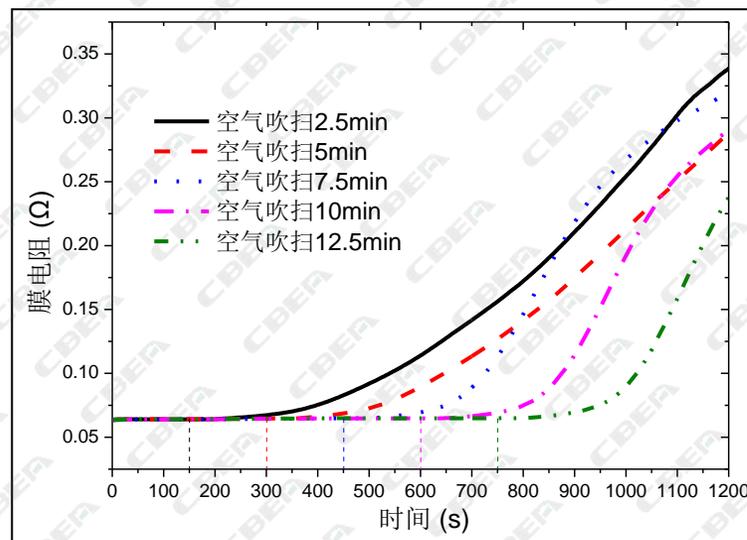
低温冷启动技术：吹扫试验



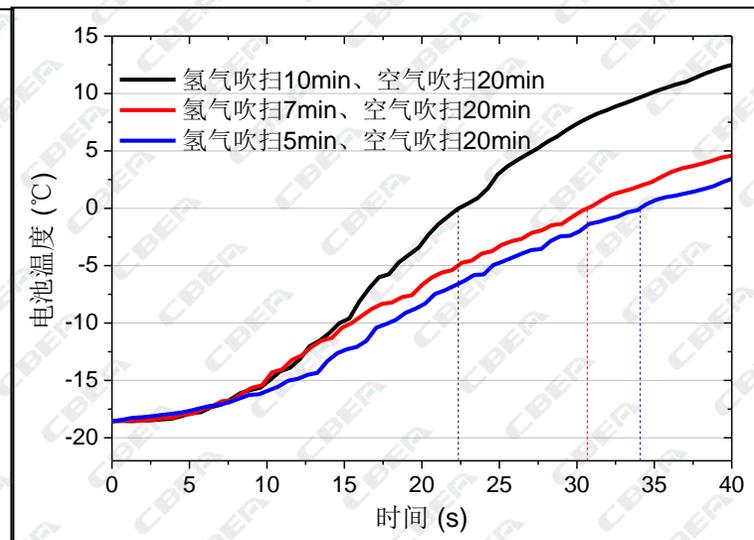
吹扫过程研究试验台架



燃料电池含水量表征



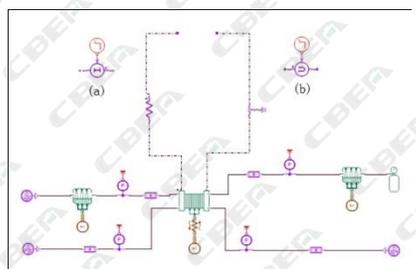
吹扫过程独立研究



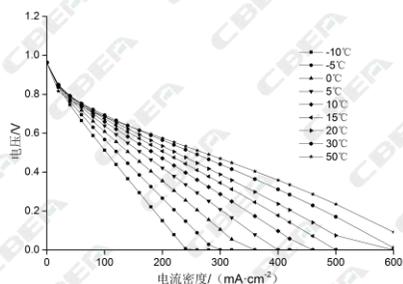
结合低温启动过程的吹扫研究

低温冷启动技术：启动仿真分析

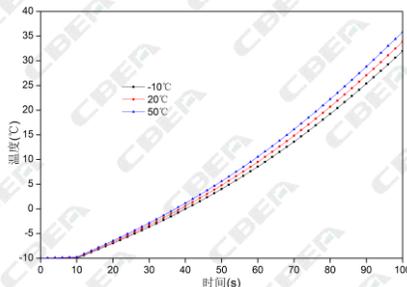
预测燃料电池系统在低温启动过程中的升温及输出特性变化，建立了基于AMESim的燃料电池系统低温启动仿真模型。



燃料电池系统低温启动过程一维模型

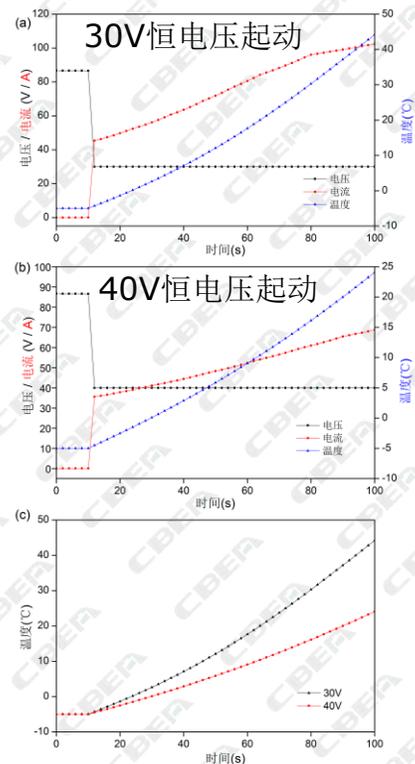


不同温度下电堆极化特性曲线

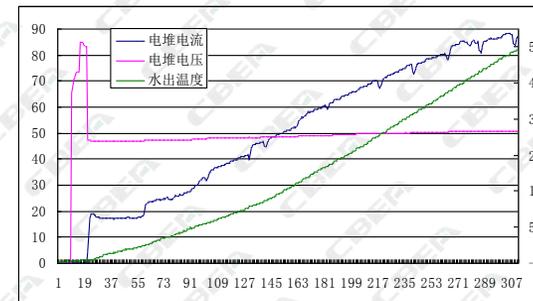


不同进气温度对低温启动性能的影响

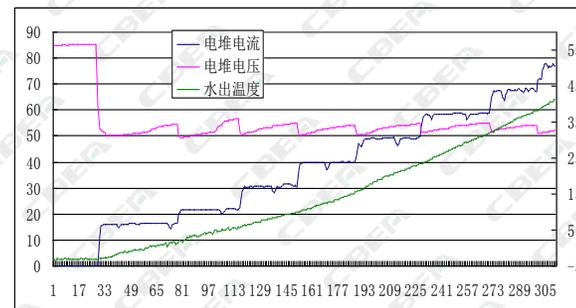
- 30V启动电堆的温升速率明显比40V的要大，表明其发热功率较大；
- 较高的进气温度对燃料电池低温启动性能能提供一定程度的帮助但并不显著。
- 恒电压下产生的电流为电堆能产生的最大电流，故恒电压模式能够最大限度地利用电堆的反应热。



-5°C时不同启动电压对低温启动过程的影响



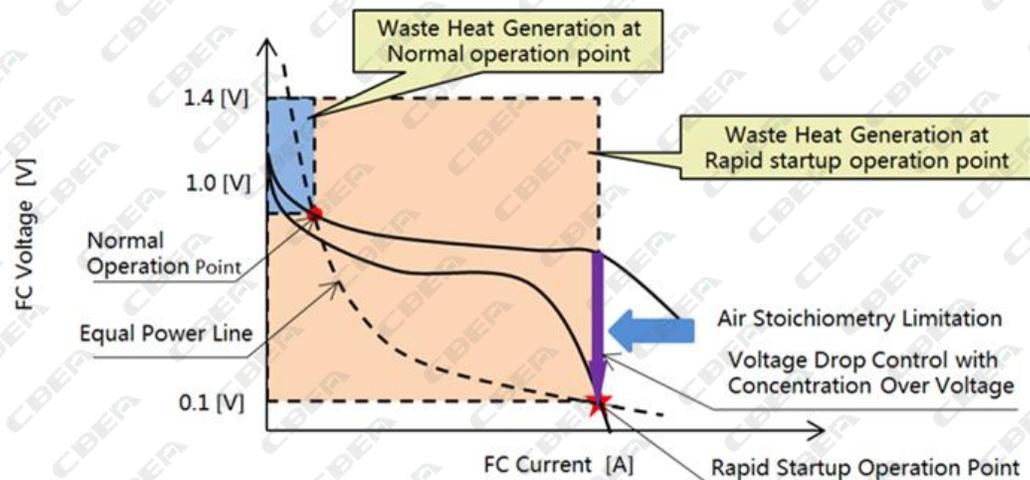
恒电压模式启动电堆数据曲线



恒电流模式启动电堆数据曲线



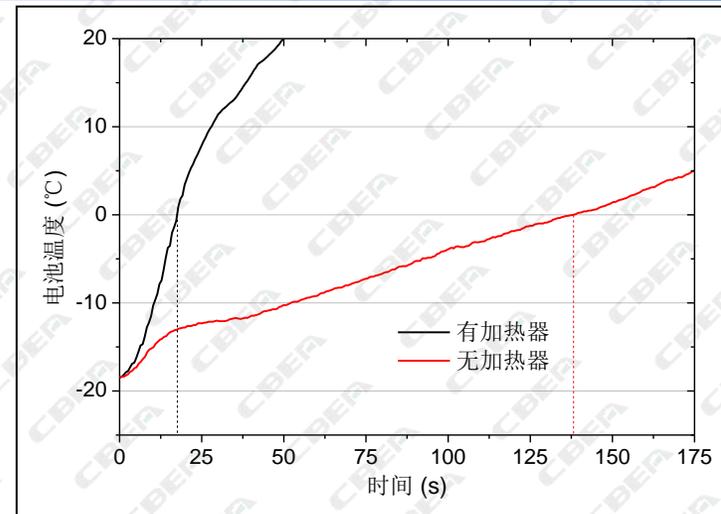
低温冷启动技术：控制策略



低温启动的方法与控制策略



低温启动试验台架



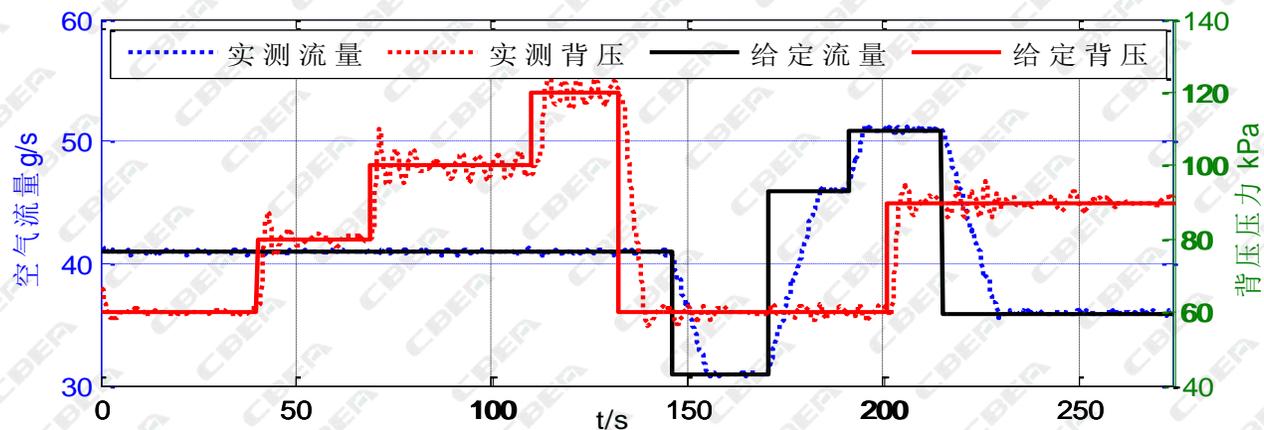
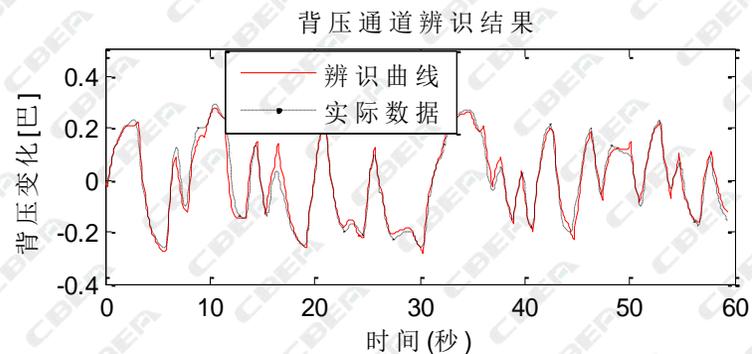
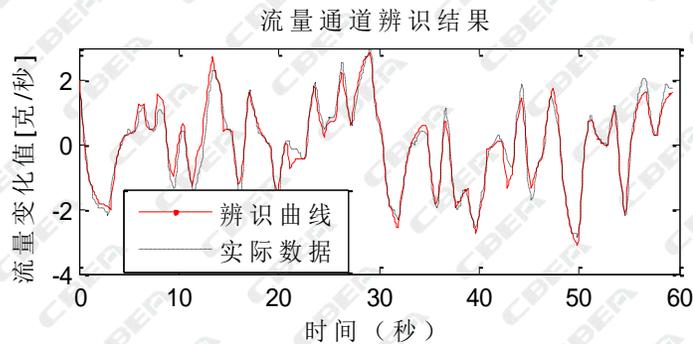
-20°C 低温启动
混合加热方法与自加热方法对比





空气供应系统：解耦控制

空气供应系统的多通道系统辨识技术



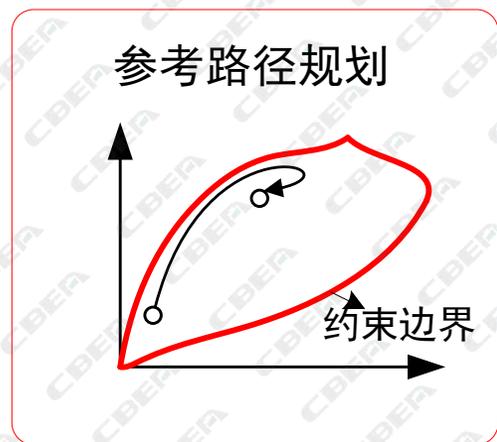
注：目前可以做到2kPa的压力波动，0.6g/s 流量波动，无超调



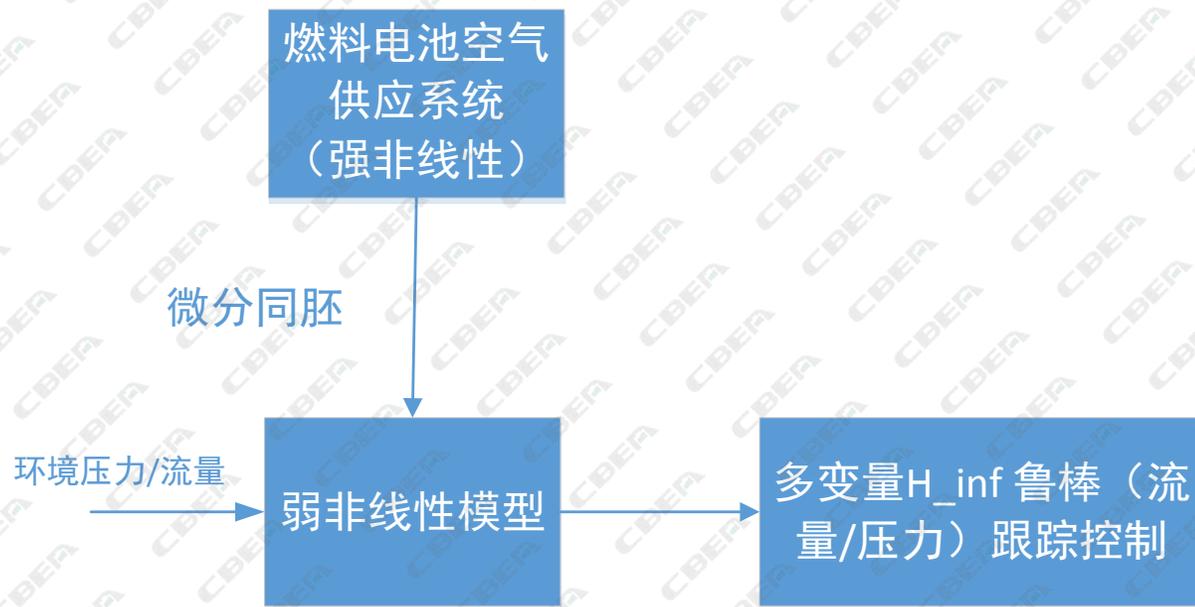
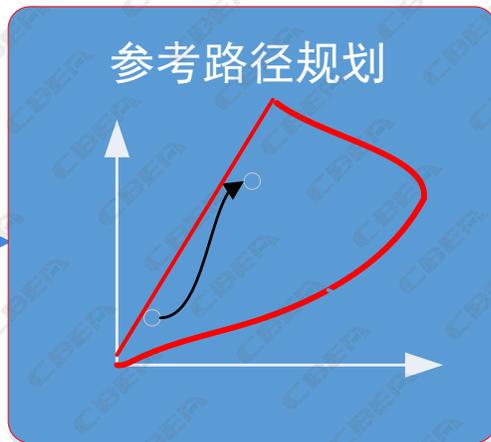
空气供应系统：高原环境下控制技术

环境压力降低一半,在同样的控制设定下,
质量流量降低一半。

选取适当坐标系



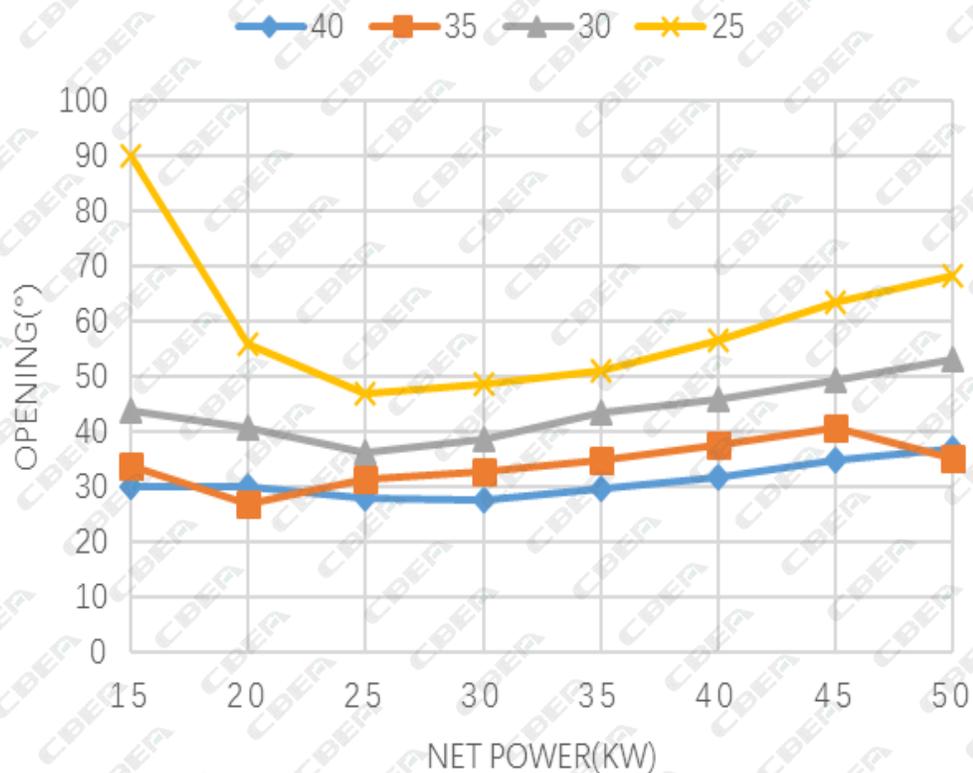
微分同胚



1. 离心式空压机的喘振线曲线尽量变成直线
2. 新的坐标系下, 新的量和环境温度/压力无关



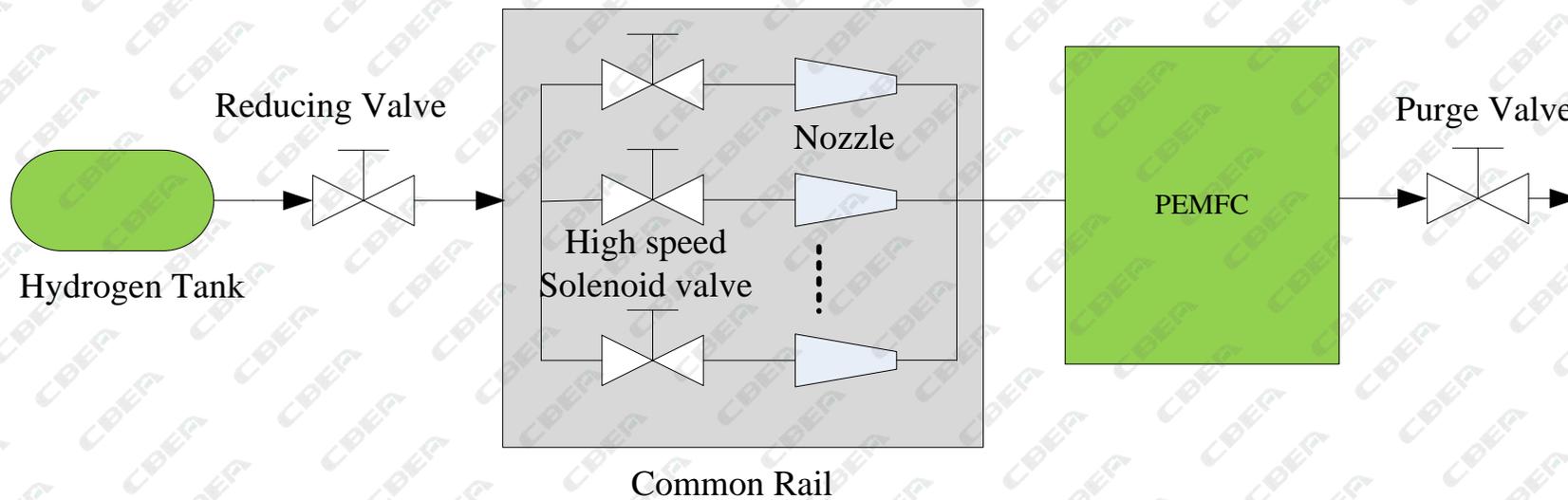
空气供应系统：背压阀匹配控制



1. 利用背压阀可以提高燃料电池系统整体效率
2. 背压阀口径过大或过小会提高系统的控制难度
3. 针对60KW的燃料电池系统，采用口径30mm的节气门较为合适



氢气供应系统：系统设计



共轨系统

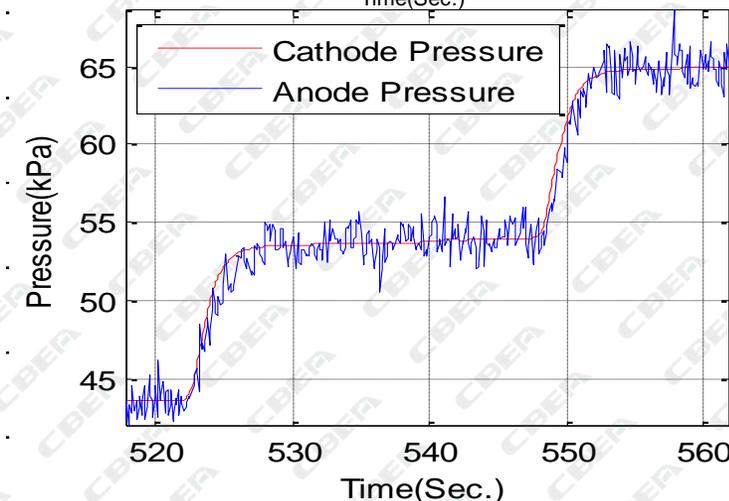
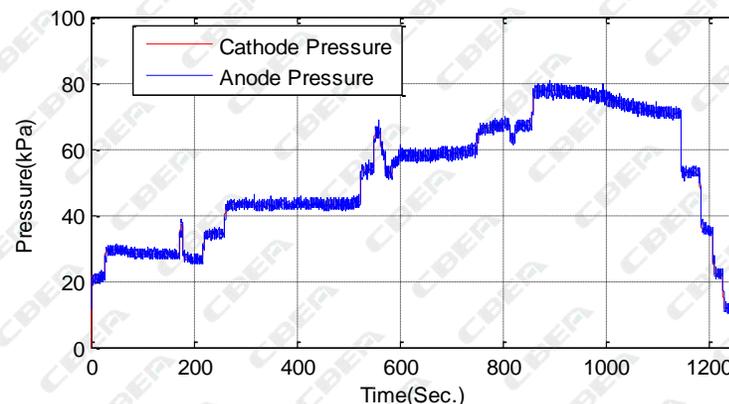
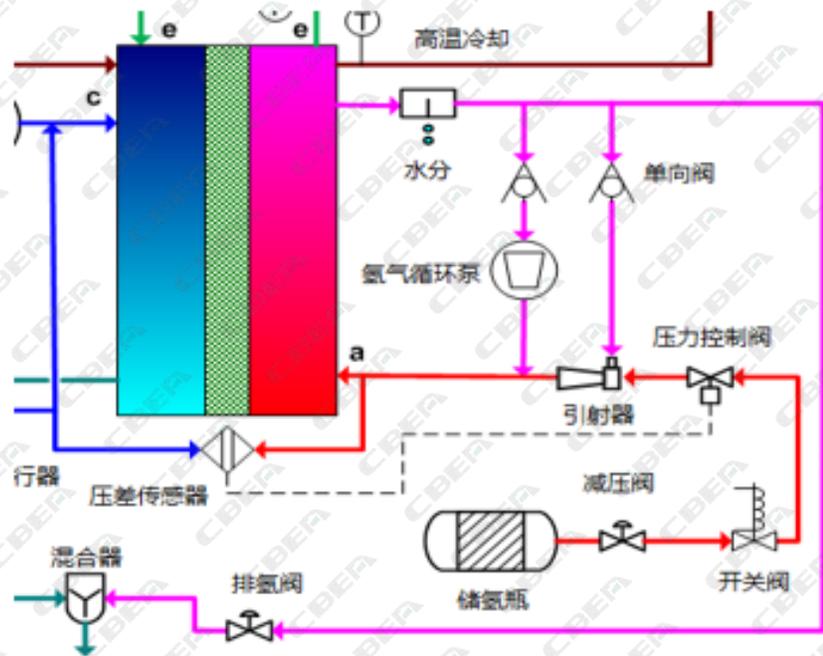
控制目标：

- 1) 快速跟随阴极压力设定
- 2) 减少膜二侧压差的波动



氢气供应系统：系统设计

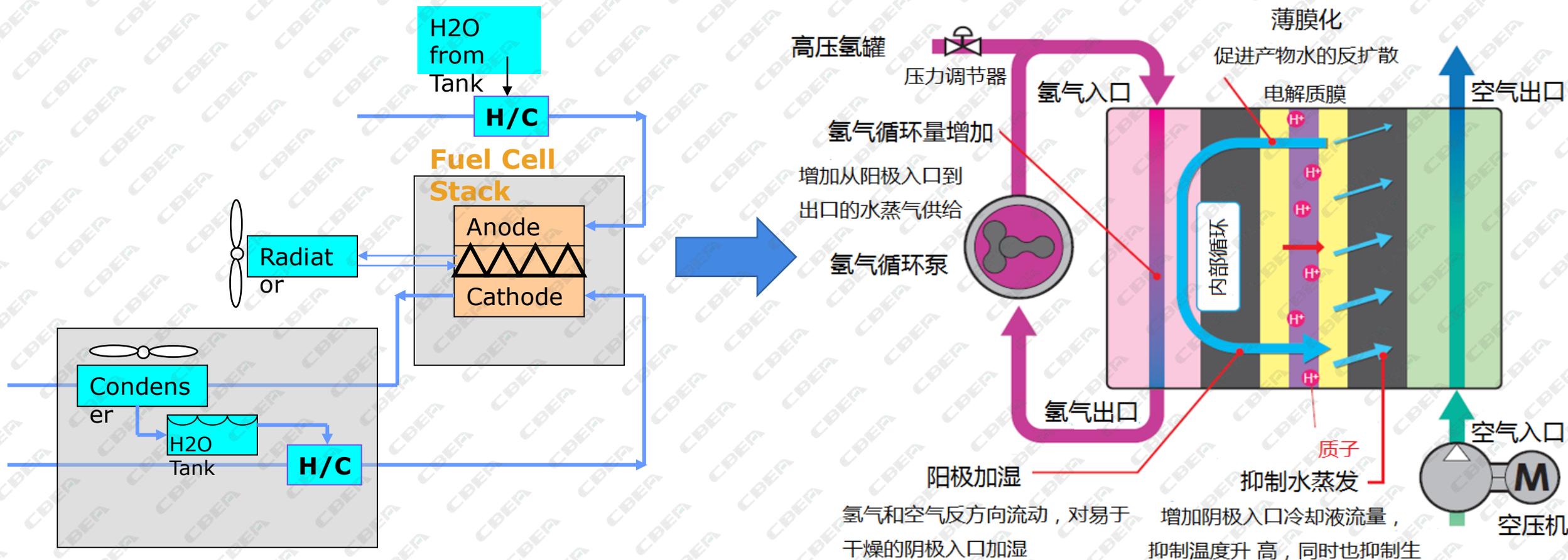
氢压跟随实际系统效果



某系统 (60KW) 实测
氢气压力跟随控制效果

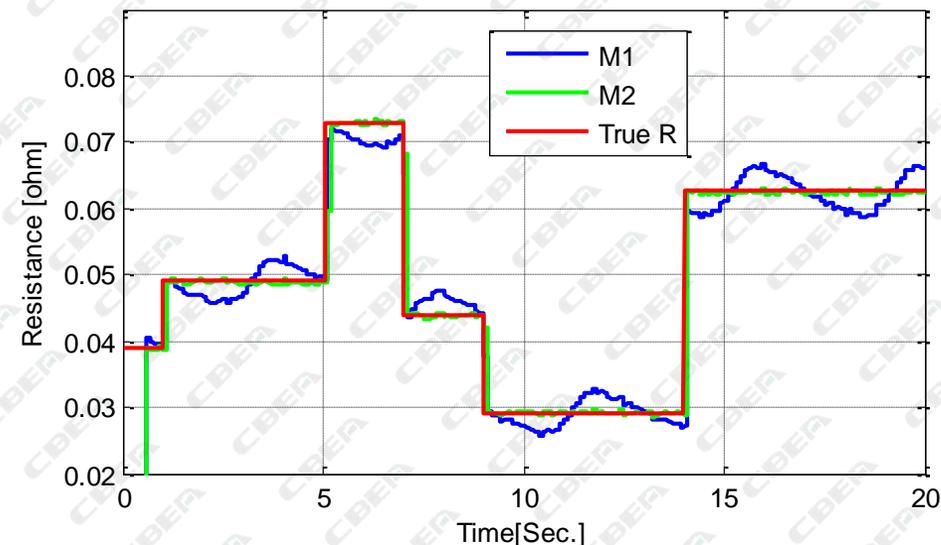
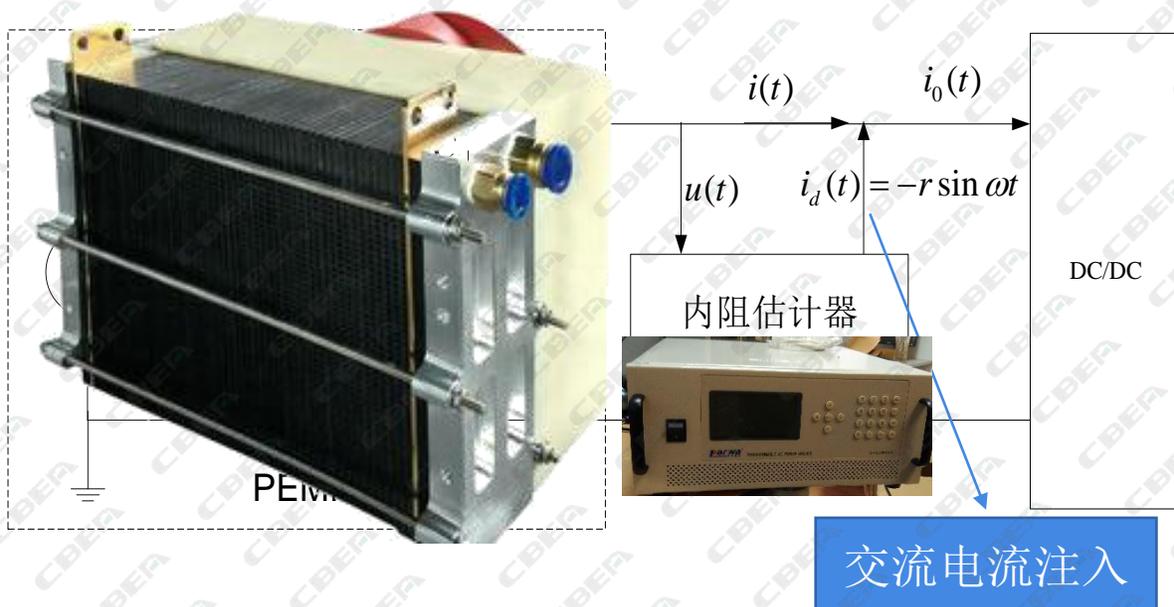


水热管理系统：系统设计





水热管理系统：膜中含水量在线检测

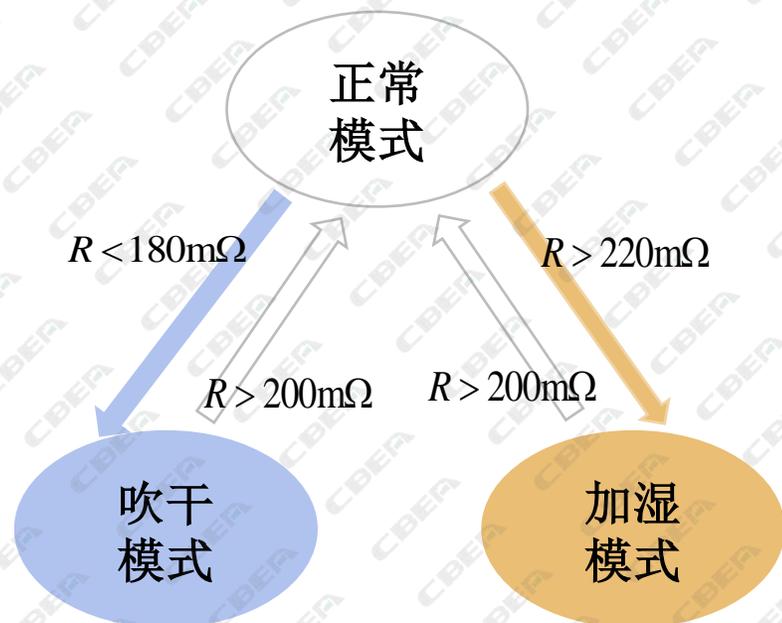


- 1) M1 为传统傅里叶方法
- 2) M2 同济改进后的方法
- 3) 红色为真实内阻

Fengxiang Chen, Yuan Gao, An algorithm for online measurement of Proton Electrolyte Membrane Fuel Cell internal resistance[J], Fuel Cells, 2015, 15(2):337-343



水热管理系统：膜中含水量调节



	吹干	正常	加湿
空气压力	低	调整	高
空气流量	大	调整	小
冷却液温度	偏高	恒定	偏低

通过状态转移的方式控制：空气压力，空气流量，冷却液的温度，来实现对内阻（膜中水含量的实时控制）



谢 谢 !