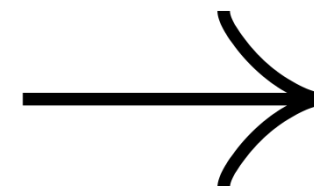


传感赋能安全储能

多模态耦合技术在储能系统中的创新应用



编号：6 姓名：应逸雯 导师：张宏



大型储能系统特性

- 【热失控】目前电池材料多为磷酸铁锂/三元锂，且密集排列，热失控时会产生**大量可燃气体**，如氢气、甲烷、乙烯等，单体失效后引发**连锁热失控**
- 【化学风险】电池外壳破裂，电解液泄露，不同化学物质相互反应，产生烷烃、一氧化碳等具有**毒性、挥发性气体**
- 【环境干扰】环境温度过高、电池受到机械冲击或穿透；电池管理系统、能量管理系统、储能变流器失效，电池过充、过放或过热，**引发热失控**
- 【腐蚀风险】电池极柱、金属连接件在潮湿、含腐蚀性气体环境中，易腐蚀，影响充放电性能，进而**引发结构损坏和电气故障**



大型储能系统特性

- 储能系统爆炸后果严重，**生命威胁，环境污染，经济损失**



大型储能系统现有安全措施

- 温度传感器，大量紧密排列在电池表层
- 持续的监控温度，发现热失控点，发出警报
- 依靠大量传感器，效率低
- 检测不均匀，离散点无法构建完整的温度模型
- 出现热失控后才能够检测到，不够及时

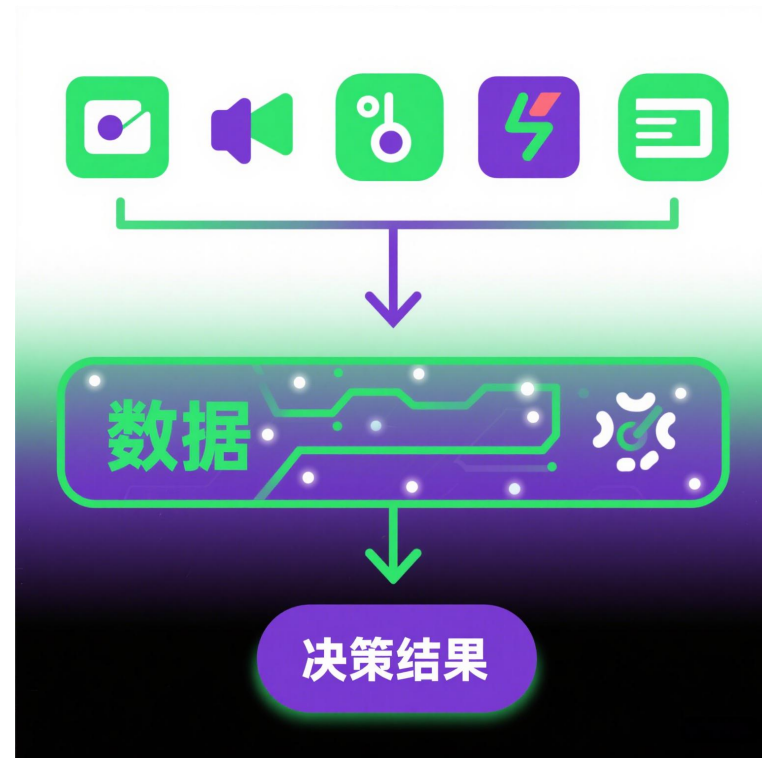


多模态数据融合

- 增加决策可靠性，降低误判概率
- 跨模态语义对齐，深度理解
- 应对环境复杂变化，噪声，恶劣数据条件
- **漏报→安全风险；多报→经济损失**

- 数据融合方法：

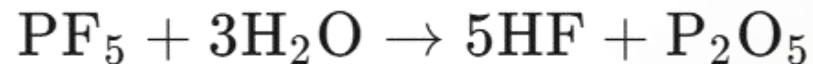
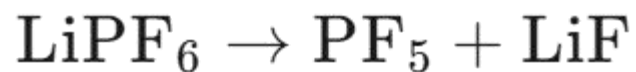
- **特征级融合**，联合处理所有信息，利用各模态互补优势。
- **决策级融合**，独立优化各决策模块，融合决策结果。
- **机器学习算法**，捕捉模态间的复杂关系，具有很强的表达能力和泛化能力。



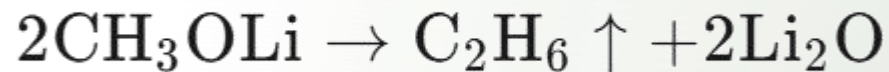
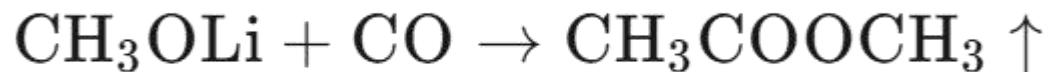
设备异常报警

● 气体传感器

- 锂电池电解液主要由**烷基碳酸酯类**有机溶剂和**锂盐**（如六氟磷酸锂）组成
- 五氟化磷**剧毒**，且易与空气中的水蒸气反应会产生氟化氢，具有**强腐蚀性**



- 锂电池电解液中常用的碳酸酯类溶剂（如碳酸乙烯酯EC、碳酸二甲酯DMC、碳酸二乙酯DEC、碳酸甲乙酯EMC等）在高温下会分解，产生**剧毒气体**



设备异常报警

● 气体传感器

- 在储能系统的电池模组、电池簇以及集装箱内部等关键位置安装气体传感器，全面覆盖可能的气体泄漏点
- 电池破裂或受外力冲击漏液，带来泄露风险，微量泄露时，便易于通过气体传感器监测一氧化碳、氟化氢等特征气体，发出警报，提醒工作人员及时检查，并在检查时注意自身安全



设备异常报警

● 光谱传感器

- 使用波长为0.7-1微米的红外LED作为光源。当红外光通过被测区域时，烟雾粒子会将部分光线散射到各个方向。传感器通过检测散射光的强度来判断**微量烟雾的存在**。**灵敏度高**，可用于早期火灾预警。**选择性强**，能够有效区分烟雾粒子和其他干扰物质。
- 微量烟雾可能是出现故障，爆炸风险。
- 物体的温度越高，其发出的红外辐射强度越大，且辐射的光谱分布会发生变化。**温度升高**会导致光谱向长波方向移动，**光谱红移**。光谱传感器监测空间范围内连续温度信号，具有**全面温度建模**。
- 局部温度升高可能是出现了故障，热失控风险。



设备异常报警

- **电压传感器**监测电压，**电流传感器**监测电流，**霍尔传感器**监测磁场，监测电能系统最浅层特征，及时发现异常。
- 三者数据融合，得到更准确的故障信息。



设备异常报警

- 热失控早期特征：

- 阈值判断：当**电压**超过4.2V、**电流**超过150A且**磁场变化率**超过0.1T/s时，**立即触发热失控预警**，拉响警报，停止储能系统工作，分区隔离。
- 趋势检测：利用**ARIMA模型**、**长短期记忆网络LSTM**对电压、电流和磁场的**联合变化趋势**分析。如果这些参数同时出现升高，但未超过阈值，预示着热失控的**早期迹象**。

- 电池内部结构损坏：

- 多特征耦合：电压和电流的**相位差**超过 10° ，磁场与电流**变化率**不一致，可能是电池内部发生**电化学反应异常**，暂停该组模块工作，提醒工作人员检修。
- 风险预测：电池模组中单体电池的**电压差**超过0.2V，电流**峰值频繁**出现且**超过**100A，可能是**部分电池性能下降或有短路风险**，暂停该组模块工作，提醒工作人员检修。

设备异常报警

- 多模态耦合，综合多种信息源，避免单一模态数据的局限性，**减少多报、漏报**，在大事故前及时发现小事故，发现火灾早期预警信号，**快速响应**
 - 开启着火防烟分区内的全部排烟阀、排烟风机和补风设施
 - 关闭该防烟分区内与排烟无关的通风、空调系统
 - 火灾初期可以采用气体灭火和干粉灭火，减少损失
 - 及时警报工作人员，联动消防系统，加快反应速度



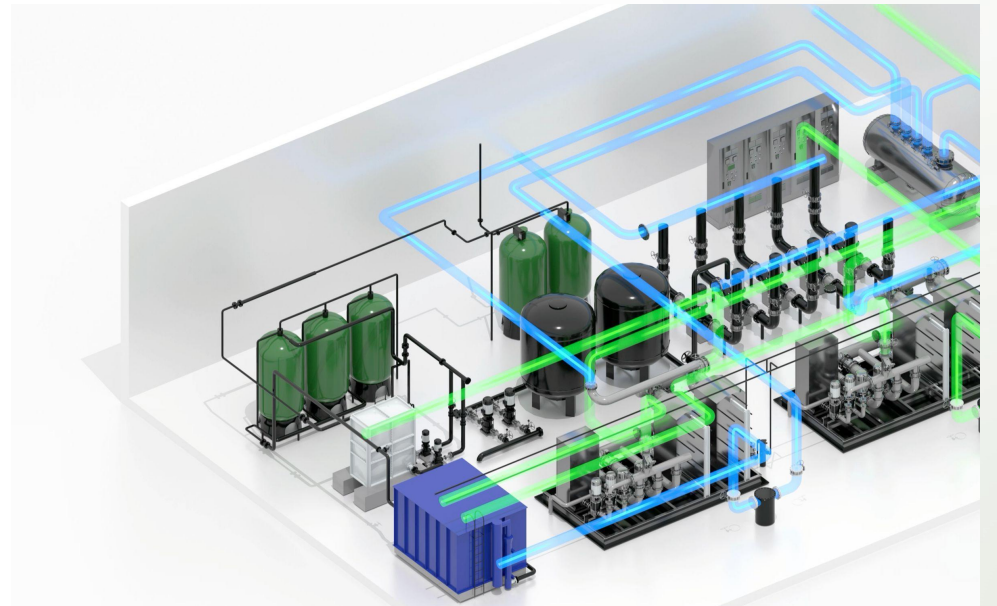
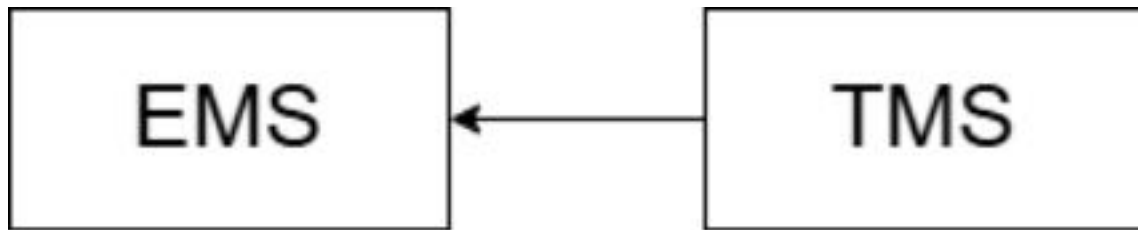
动态温度调节



- **温度对锂电池高效工作非常重要！**
- 锂离子电池在 20°C ~ 30°C 的温度范围内，其充放电效率通常可以达到90%以上；保持适宜的温度可以**减少电池内部的极化现象**，降低电池的内阻，从而**提高电池的充放电速度和能量转换效率**。
- 温度过低时，电池的活性物质反应不充分，导致电池容量下降。在 -10°C 时，锂离子电池的容量可能只能达到常温下的60%~70%。温度过高时，电池内部的化学反应过于剧烈，会导致电池内部材料的副反应增加。在最佳温度范围内，电池的容量能够保持在较高水平，确保储能系统的**能量输出稳定**。

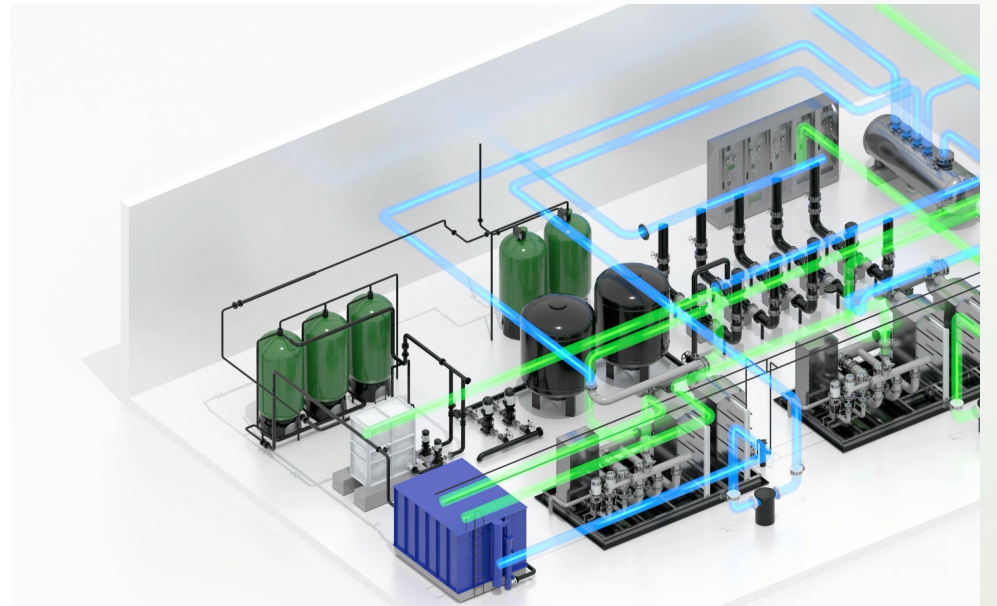
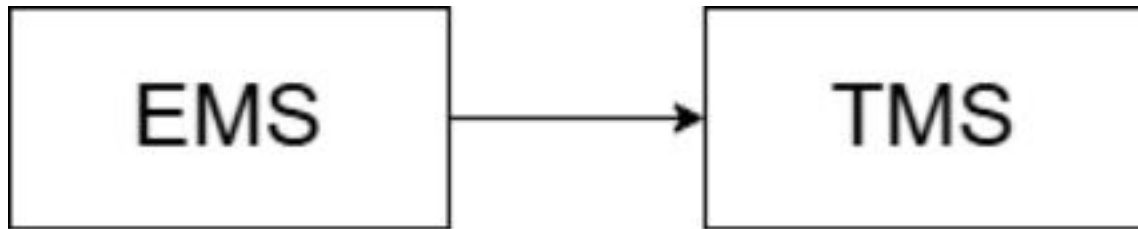
动态温度调节

- 将能量管理系统（EMS）与热管理系统（TMS）进行深度耦合协同
- **被动调节：**综合考虑电池的温度、SOC（荷电状态）、SOH（健康状态），检测到某些电池模组的**温度异常升高**时，**调整 TMS 的冷却强度，合理分配充放电功率**，避免对电池造成进一步损害。



动态温度调节

- 将能量管理系统（EMS）与热管理系统（TMS）进行深度耦合协同
- **主动调节：** EMS分配充放电功率的同时，将功率变化信息实时传递给TMS。TMS根据接收到的功率信息，**提前调整冷却或加热策略**，确保电池在充放电过程中始终**处于最佳温度范围**。



动态温度调节

- 外界环境同样会影响电池温度，**监测环境温度**及时应对。
- 联合所在地区**天气预报**系统，**提早响应**温度变化。
- 10°C-35°C内，储能系统能够高效工作，气温超出范围时启动响应，负反馈**维持储能系统室内温度**在最佳区间内，如制冷制热空调，保温散热措施。





THANKS

应逸雯：传感赋能安全储能

