



清华大学 清华四川能源互联网研究院

Sichuan Energy Internet Research Institute, Tsinghua University



WILER ENERGY

# 锂电池储能主动安全及其智慧运维技术

山东威尔勒技术服务有限公司

2025年5月



# 目录

01

背景分析

---

02

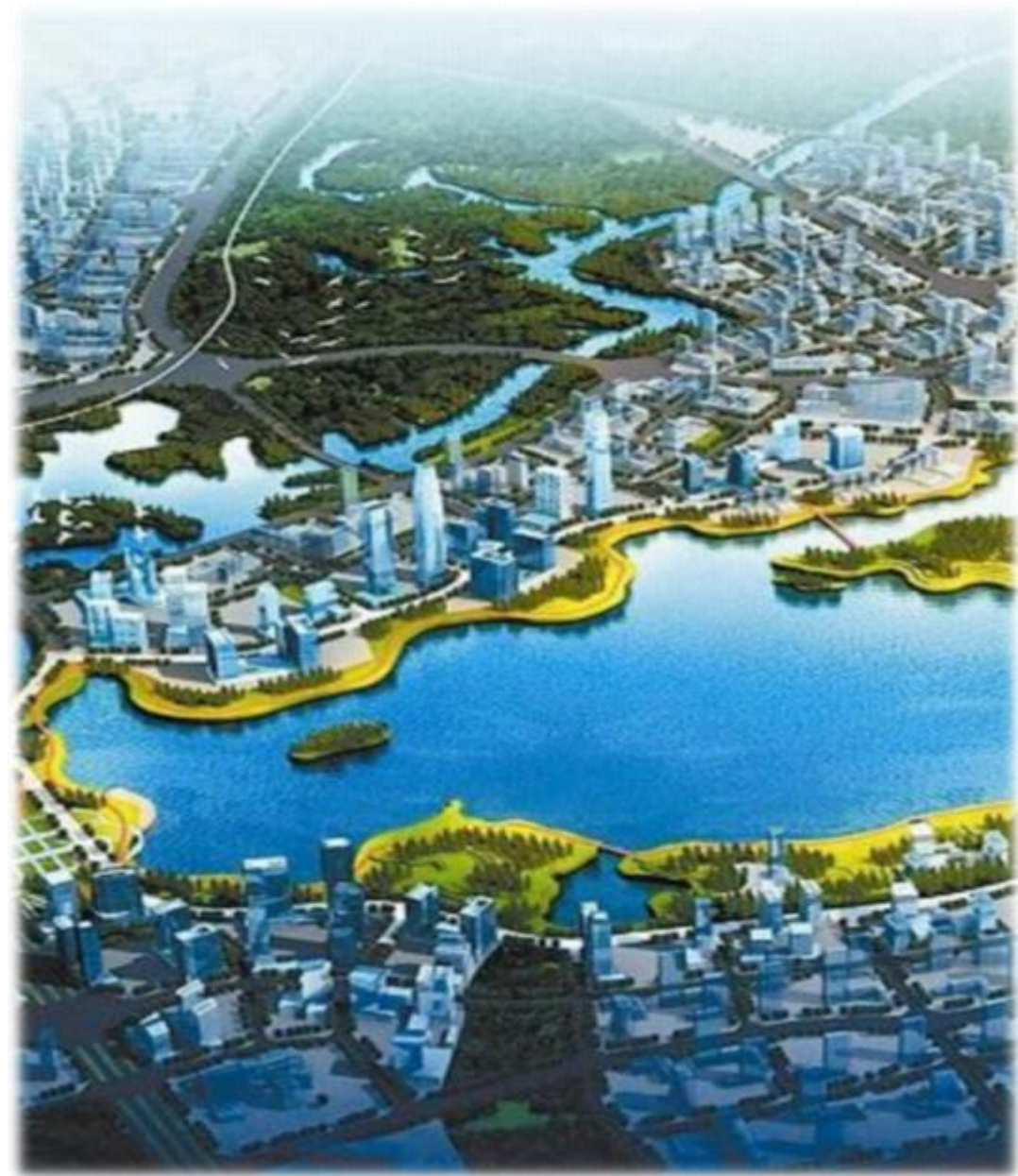
解决方案

---

03

工程应用

---



# 关键词——“安全”

2017年起储能电站火灾

储能电站火灾事故率

35 起 1.5 GWh一次



## 国家能源局综合司文件

国能综通安全〔2023〕131号

### 国家能源局综合司关于加强发电侧电网侧电化学储能电站安全运行风险监测的通知

全国电力安全生产委员会各企业成员单位，中国电力企业联合会，有关电力企业：

多个国家标准或能源主管部门文件对加强储能安全提出要求。如2023年底发布的国能综通安全〔2023〕131号：明确提出要增强运行风险监测及分析预警能力，并明确监测能力建设时间节点。

## 现有技术不足以全面保障储能系统运行安全



### 现有监控系统/BMS存在的盲区

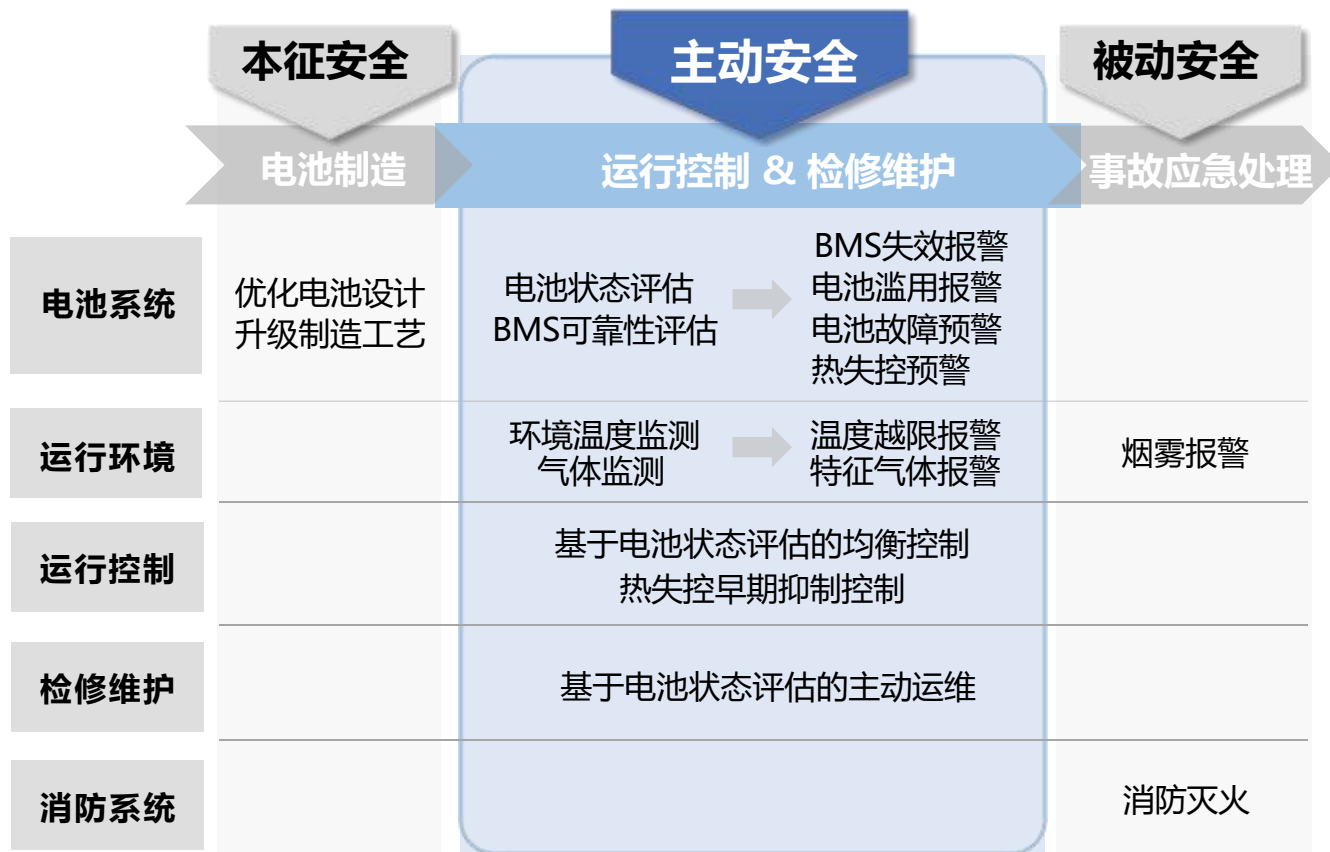
- 缺乏系统层级的分析识别能力
- 缺乏对安全阈值参数进行自适应调整的能力
- 难以存储足够的历史数据
- 缺少对自身数据自治性的校核
- 采集数据精度和可靠性有待提升



### 现有储能电站运维体系的不足

- 被动运维：检修周期及计划固定，难以及时发现安全隐患
- 离线检测：因电芯数量众多，耗时长、成本高
- 人工检修：工作量大，效率低下

# 主动安全管理势在必行



我们的解决方案：防患未然

- 储能电站的安全防控贯穿于电池制造、电站设计建设、运行维护和事故应急处理等全生命周期的多个关键环节
- 目前对储能电站安全防控主要关注设计建设阶段和热失控发生后的消防应急处理，**运行阶段的安全防控尚存在缺失**
- 故障早期预警可以识别和定位劣化单元，通过主动运维措施，可以及时排除故障风险，避免电池发展到热失控阶段

## 实验测试条件

近百个充放电测试通道，高  
分辨率数据采集与存储

多场景下的电池仿真模拟

近10台温度辅助测试设备，  
模拟不同工作环境

常规工况下的电池循环老化  
极端条件下的电池诱导老化

电化学阻抗分析仪、多物理  
场仿真软件

多场景、跨环境下的储能  
电池性能测试

高标准气体/液体灭火隔间

电池热失控全过程测试



# 目录

01

背景分析

---

02

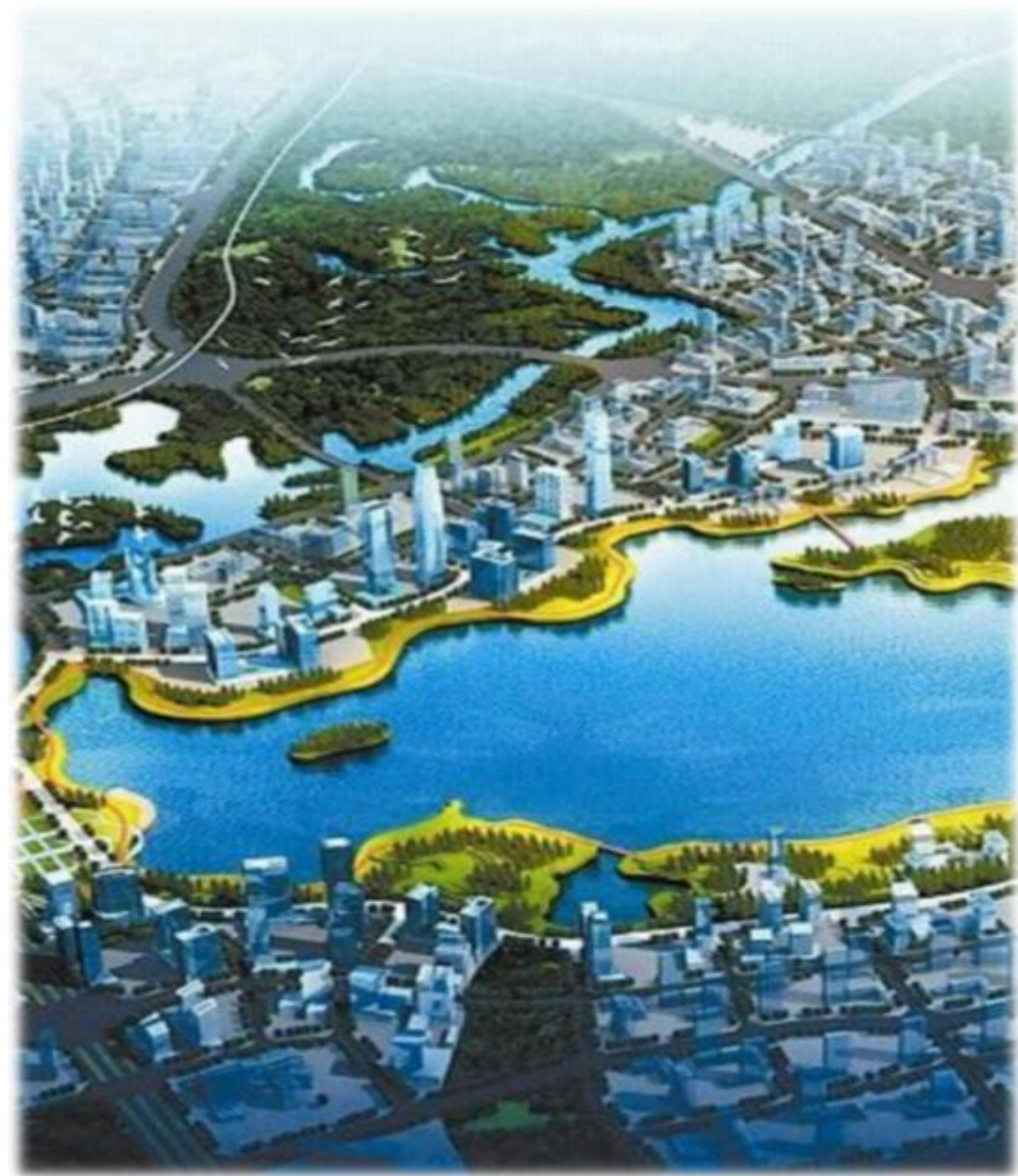
解决方案

---

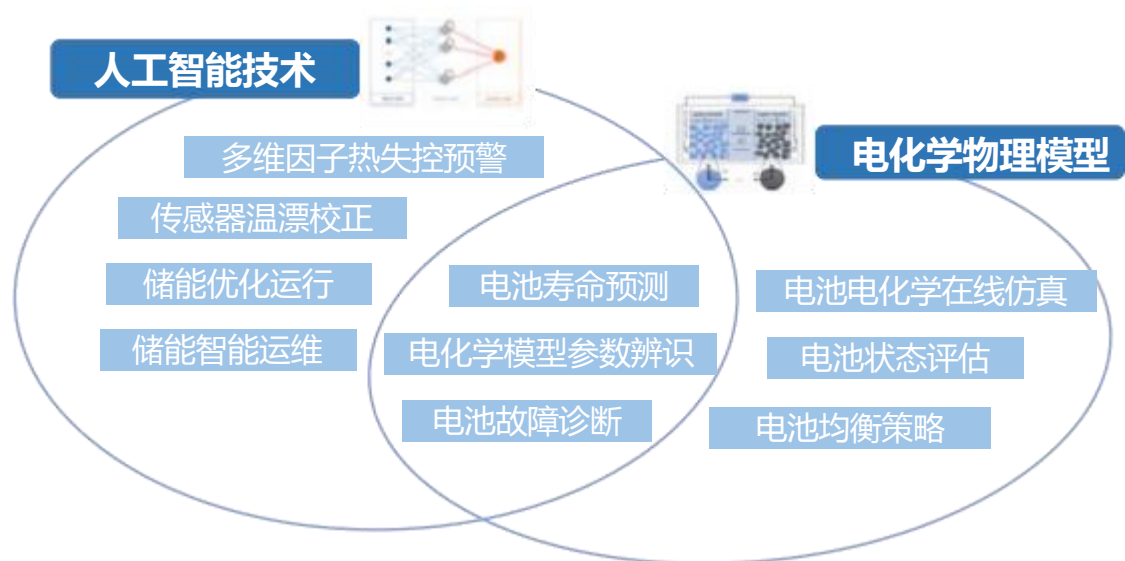
03

工程应用

---



## 人工智能与电气电池专业基础科学的深度融合



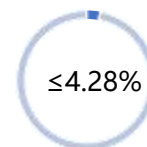
### 以全面数字化思维进行多维度融合

- ✓ 从最底层开始每一个环节实现从硬件到软件再到算法的高度融合和集成
- ✓ 数据/知识驱动的融合
- ✓ 计算机/电气/电化学工程交叉融合

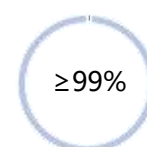
### 14项发明专利、100%自主研发



### 核心技术指标



电芯级SOC  
评估误差



电池内短路  
预警准确率



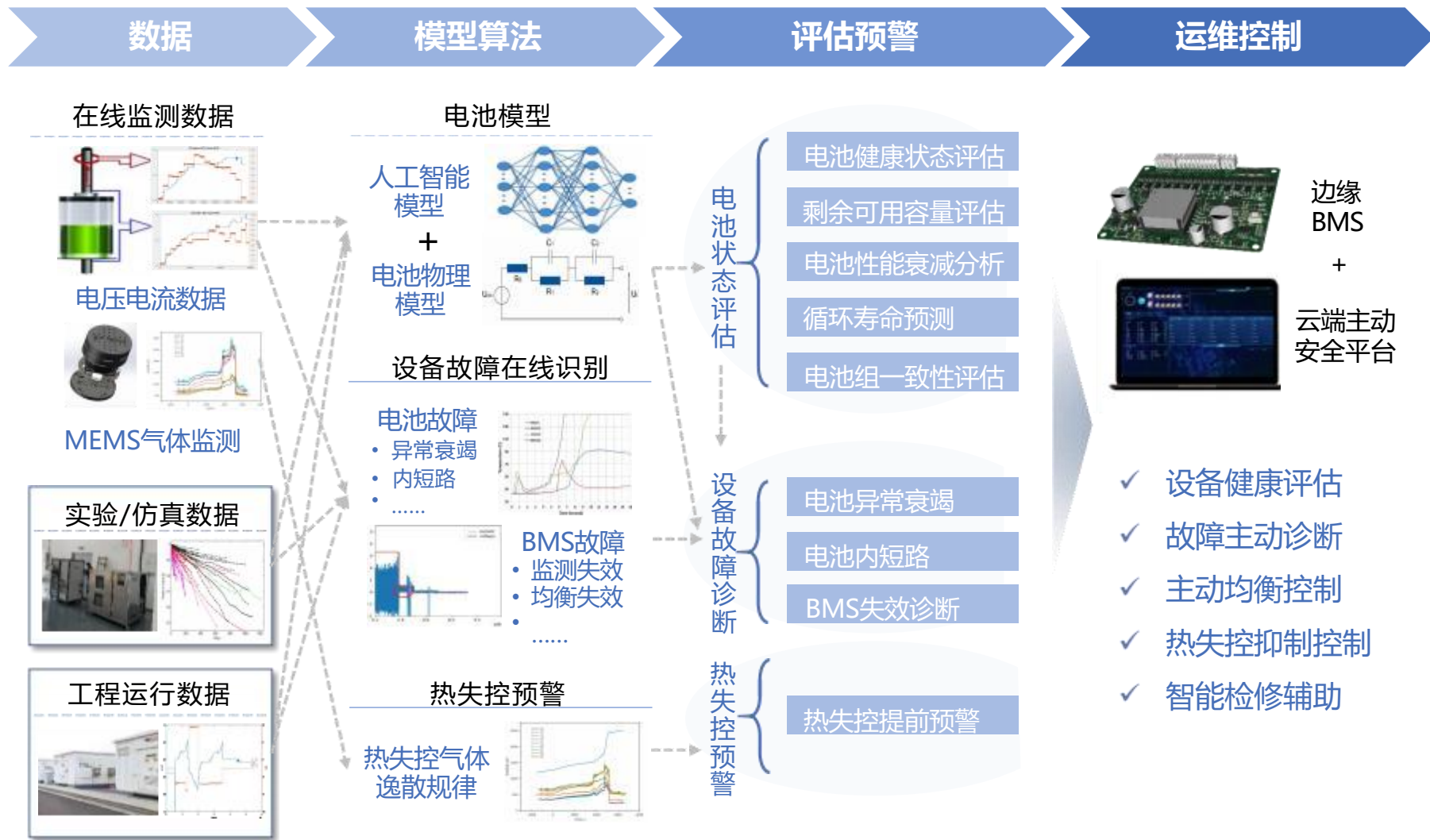
电池异常衰竭  
预警准确率



电池热失控预  
警提前时间

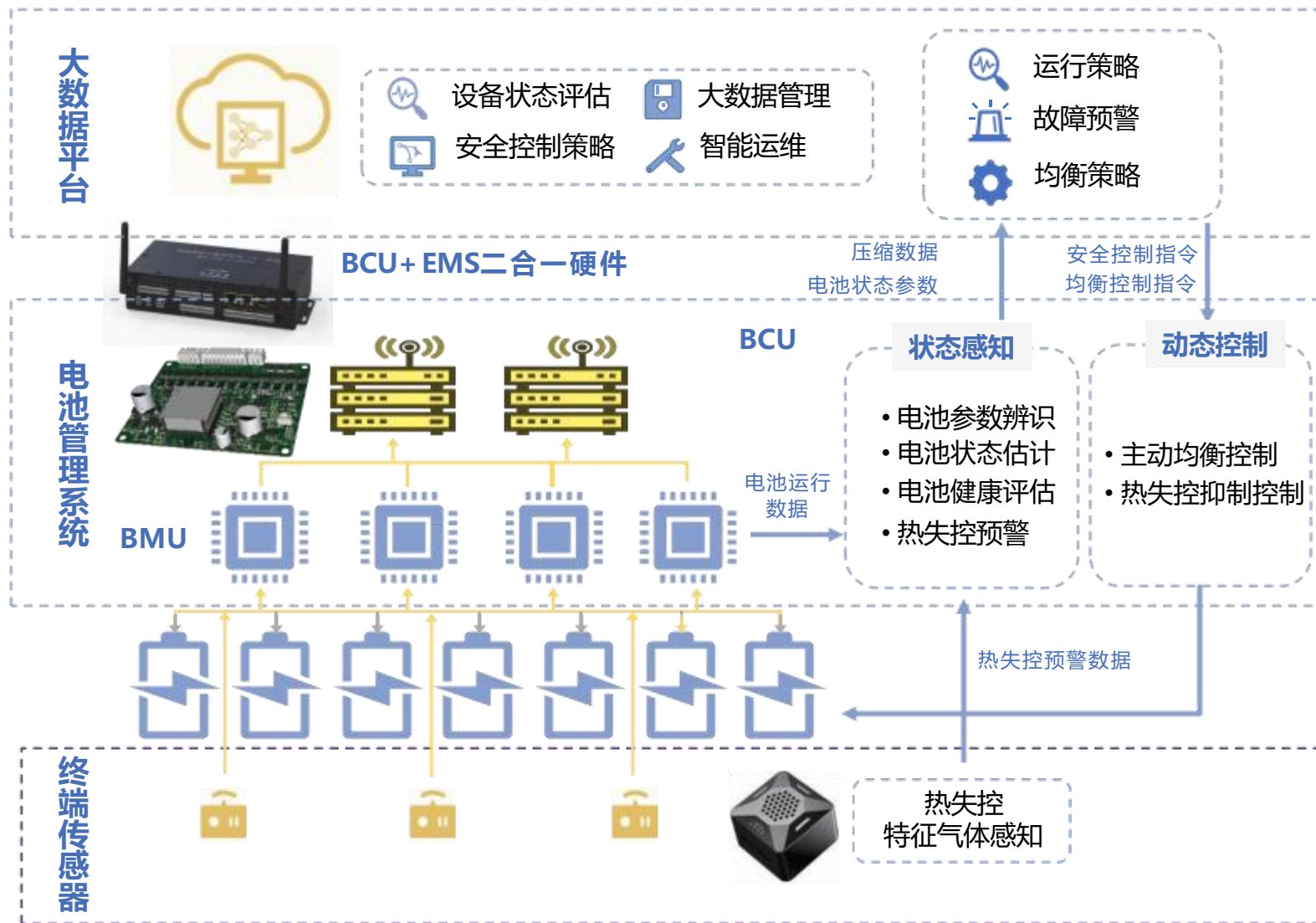
## 算法模型架构

- 通过数据、机理和半经验模型共同驱动的数字空间建模,对电池模型进行参数辨识和健康状态评估。
- 基于工程运行数据和电池故障机理研究,构建设备故障特征库,支撑对电池早期故障的在线识别。
- 基于状态评估和故障预警的结果,实现运行过程中的安全控制,以及储能电站的智能主动运维。

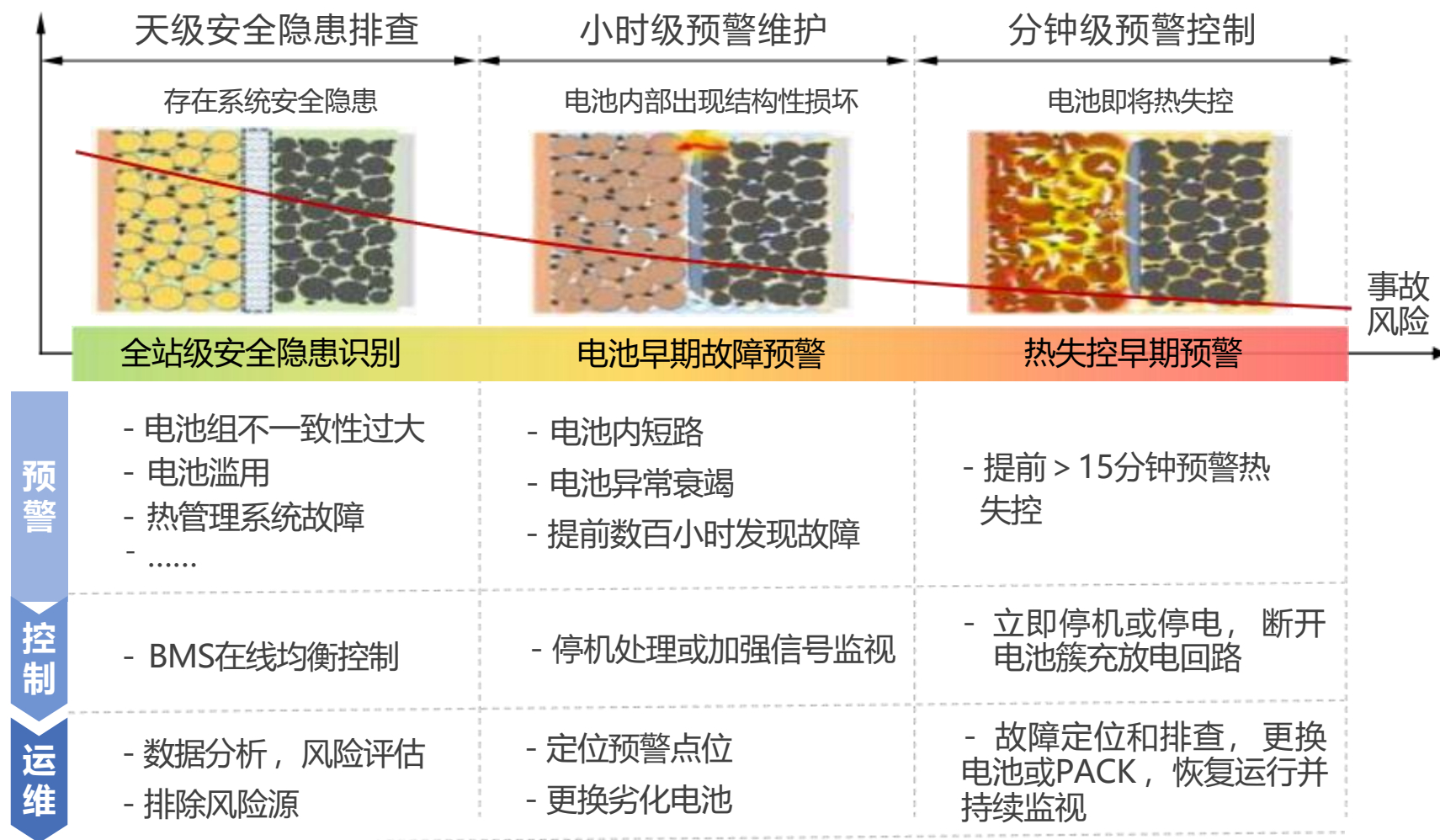


## 软硬件系统框架

- S-感知**
  - ✓ 基于气体声光效应的MEMS传感技术
  - ✓ 温度-气体-气压-应变多合一传感器
- D-硬件设备**
  - ✓ 独立式动态主动均衡模块
  - ✓ 控制与计算解耦的BMU硬件
  - ✓ BCU与EMS二合一硬件
- A-算法**
  - ✓ 电池参数和状态多时间尺度联合估计状态评估算法
  - ✓ 多维特征参数提取的电池健康状态评估算法
  - ✓ 基于漏电流模型的内短路识别算法
  - ✓ 局部异常因子的离群点检测热失控特征提取算法
- P-平台**
  - ✓ 三级主动安全“预警-控制-运维”闭环防控体系
  - ✓ 云端电池状态评估-标定-校正



## 关键技术1：储能电站三级主动安全 “预警-控制-运维” 闭环防控体系



- **首创储能电站三级防控体系**，从风险源识别、到电池故障监测、到电池热失控预警，层层降低事故风险。
- 构建**“预警-控制-运维”闭环防控体系**，基于评估预警信息提供智能运维策略及时排除安全风险源，通过热失控早期抑制控制降低严重事故风险。

## 关键技术2：基于模式识别的安全隐患在线监测技术

安全隐患：BMS并不总是可靠

### BMS 常见故障

- SOC评估不准
- 继电器失效
- 均衡失效
- 电流检测失效
- 电压检测失效



2015年  
深圳电动汽车起火

原因：  
BMS失效导致过充



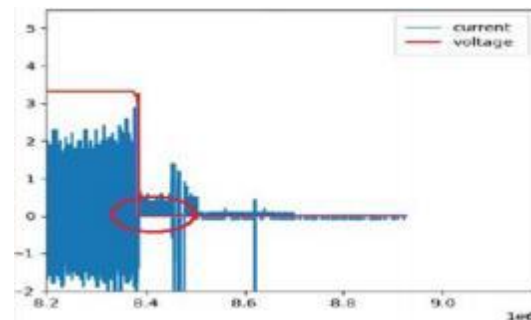
2018年  
韩国储能电站起火

原因：  
BMS失效导致过充

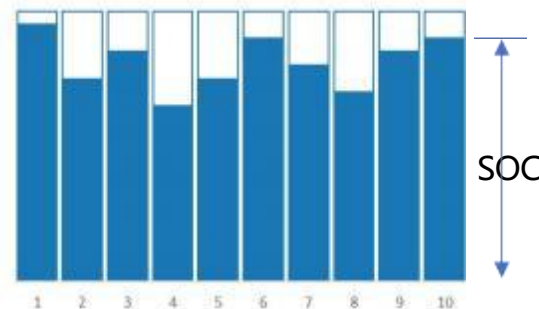
电站级故障风险源在线识别，为电站加装双重保险

- 通过对全站运行数据的实时分析，识别电池故障风险源
- 针对不同故障隐患推送相应的维护措施建议

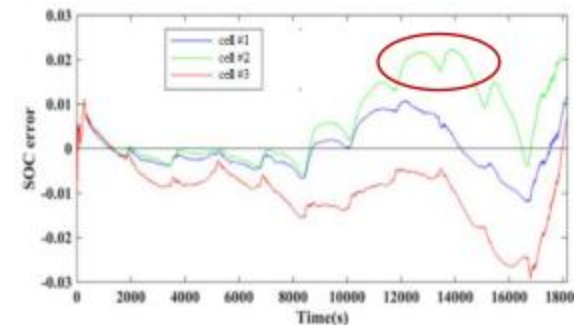
### BMS 电压/电流监测失效报警



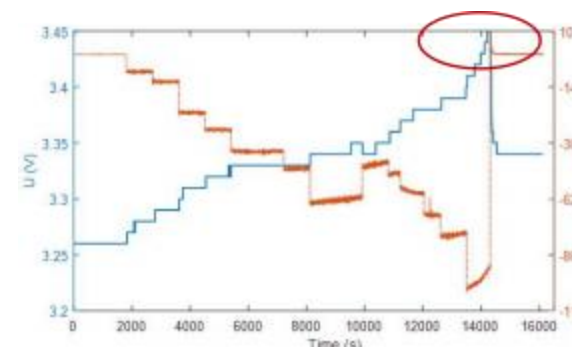
### 电池组不一致性过大报警



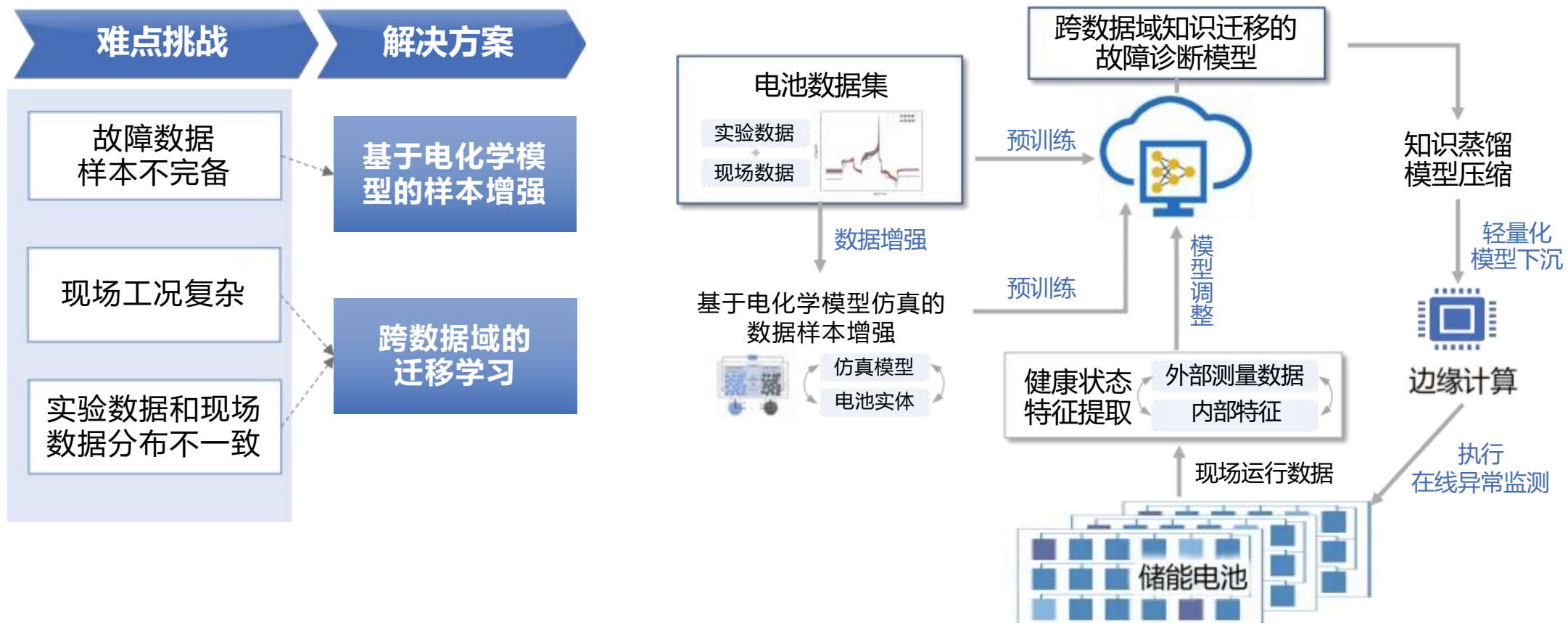
### BMS SOC误差过大报警



### 过压/过流/过放报警



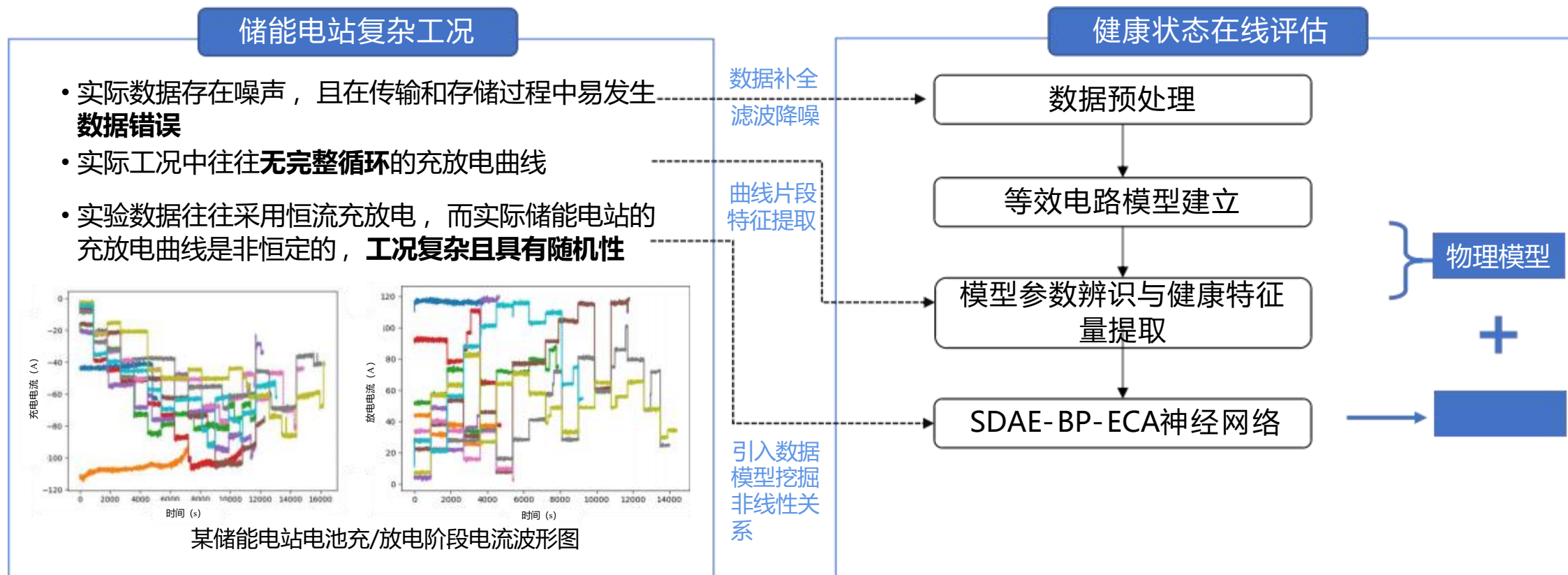
## 关键技术3：基于知识迁移AI模型的储能电池状态评估及早期故障诊断模型



实现安全预警人工智能算法从实验数据到工程现场的迁移泛化

## 关键技术3：基于知识迁移AI模型的储能电池状态评估及早期故障诊断模型

基于混合驱动的电池状态评估算法：采用数据挖掘和机理模型相结合的方法构建面向复杂工况的电池健康状态评估算法，基于迁移学习实现储能锂电池的跨数据域状态估计，具有良好的泛化能力

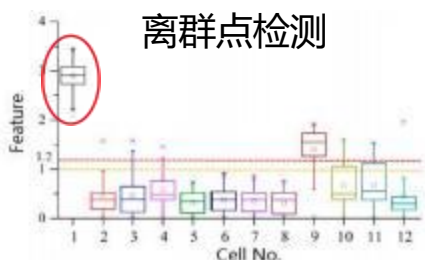


## 关键技术3：基于知识迁移AI模型的储能电池状态评估及早期故障诊断模型

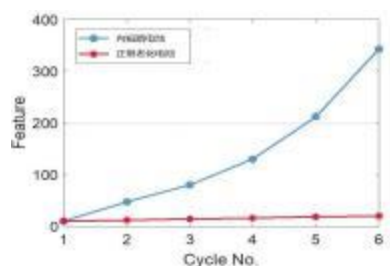
### 基于离群点检测和知识迁移的内短路识别

基于数据物理融合构建电池失效模型，结合参数概率分布实现数据增强，通过分析特征参数在电池间的**横向分布**以及**纵向演化**，识别异常个体，通过迁移学习实现模型参数的自适应调整

单体间横向比较

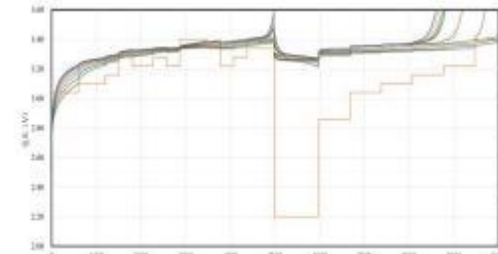


特征演化分析



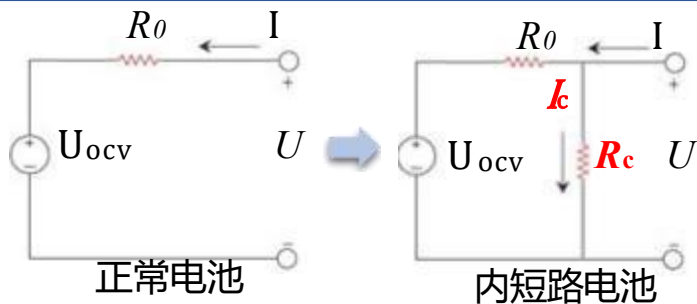
测试数据

- 真实现场运行数据样本 95条
- 基于电化学模型的内短路仿真数据300条

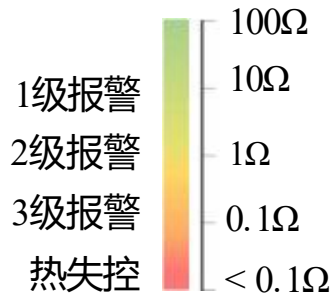


模拟现场工况的内短路数据生成

基于漏电流的内短路电阻估算



内短路分级预警



测试结果



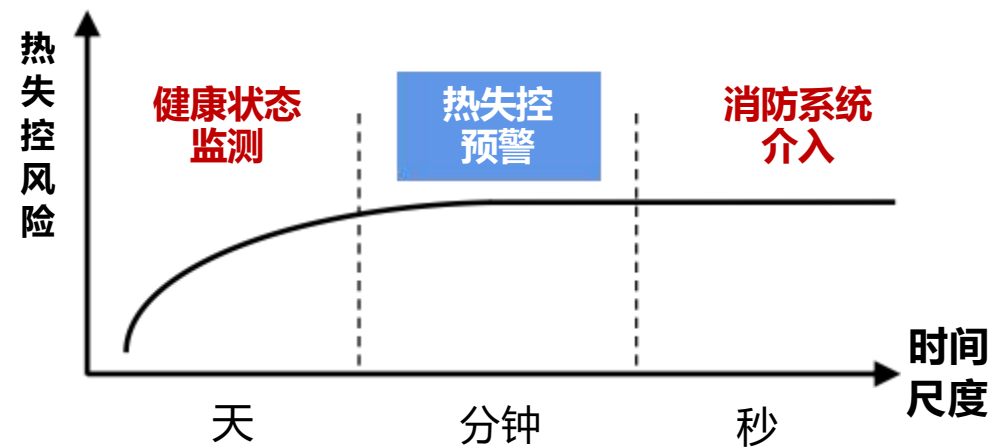
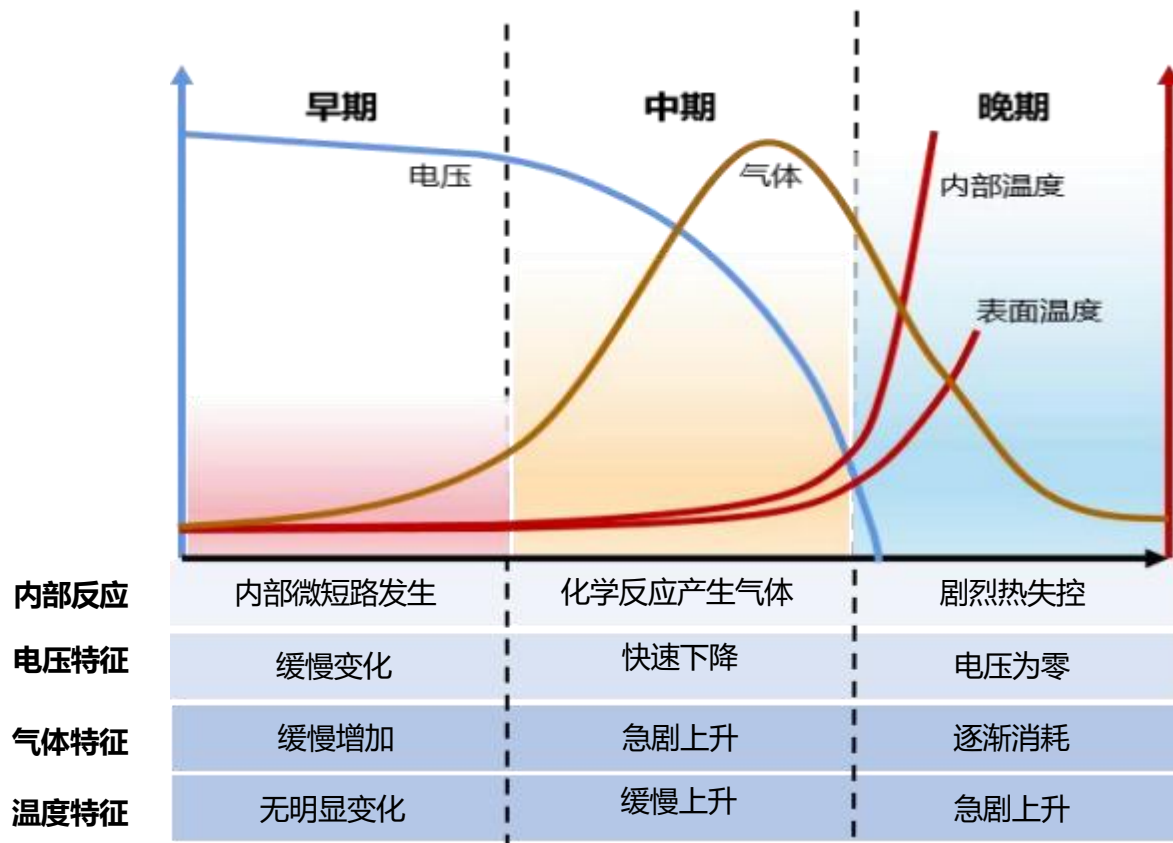
类别	Precision	Recall	F1
无内短路	100%	100%	100%
黄色预警	93%	94%	94%
橙色预警	93%	92%	92%
红色预警	100%	100%	100%

## 关键技术4：基于联合参数特征的电池热失控预警

通过神经网络模型学习不同热失控条件下的电池外参数特征（电压-气体-温度），实现热失控的提前预警

### 电压-气体-温度联合特征识别

- 融合“电压+气体+温度”多因素辨识热失控阶段与风险
- 机理模型与实测数据支撑热失控安全预警算法，增加预警提前量，提高辨识准确率

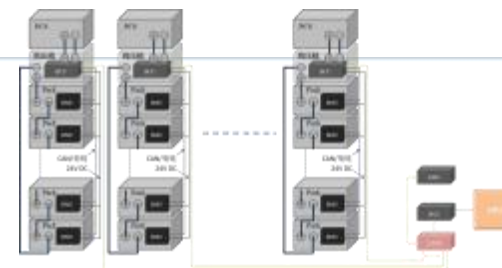


## □ 关键技术5：基于边缘大数据智能算法的电池管理系统

➤ 与云平台协同的主动安全边缘计算，边缘侧实时电池安全防护

### 硬件

双MCU架构，BMU和BCU带算力和存储，采用ARM Cortex-M4系统低功耗高性能芯片，实现不同层级的边缘计算，为主动安全算法提供算力支撑。



### 边缘侧算法

#### 边缘侧数据清洗

BMS数据可靠性提升80%

更可靠的数据质量

#### 基于高精度数据采集的 电池参数辨识

电压采样误差 $\pm 2\text{mV}$   
电池参数辨识精度提升70%

更准确的状态评估

#### 边缘侧数据压缩

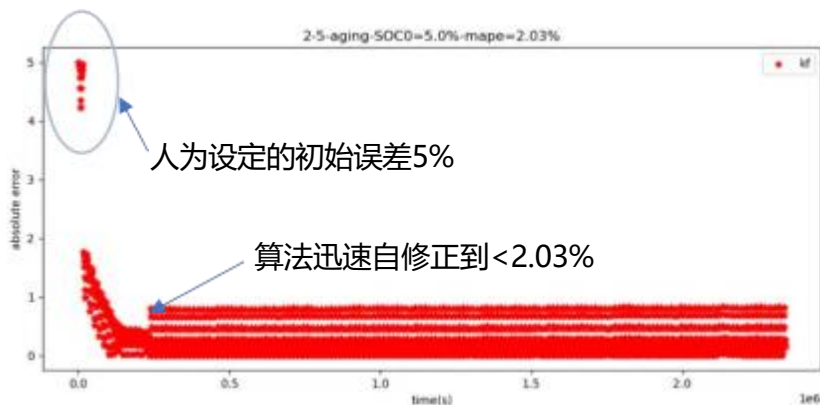
数据压缩率 $\geq 90\%$   
大数据传输无压力

更高效的数据管理

## 关键技术5：基于边缘大数据智能算法的电池管理系统

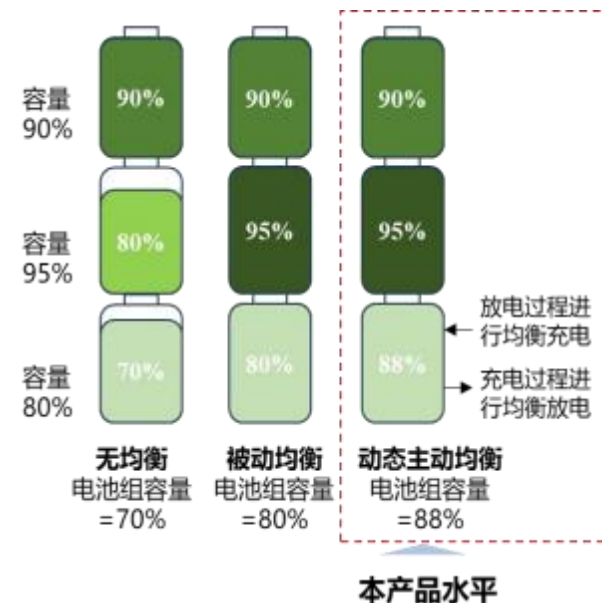
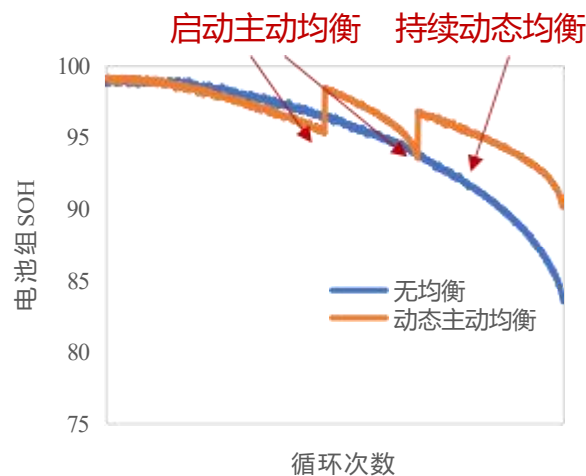
### 基于云边协同电池状态校正的动态主动均衡策略

- 云端电池状态评估-标定一体化在线闭环学习框架，基于数理混合驱动的电池状态在线评估，并通过定期智能标定对评估模型参数进行校正



SOC评估算法误差自修正性能测试

- 基于电芯状态的准确评估动态生成自适应均衡控制策略，在电池低容量的时候进行充放电过程动态均衡，相比被动均衡策略电池组容量提升10%。



## 关键技术5：基于边缘大数据智能算法的电池管理系统

### 边端协同的热失控早期抑制控制

- 基于“温度-气体”的多维因子热失控预警，BMS边缘侧秒级计算报警，实时性更高，提前15分钟以上预警热失控
- BMS在热失控早期就地控制断电，可有效抑制热失控，避免消防系统启动

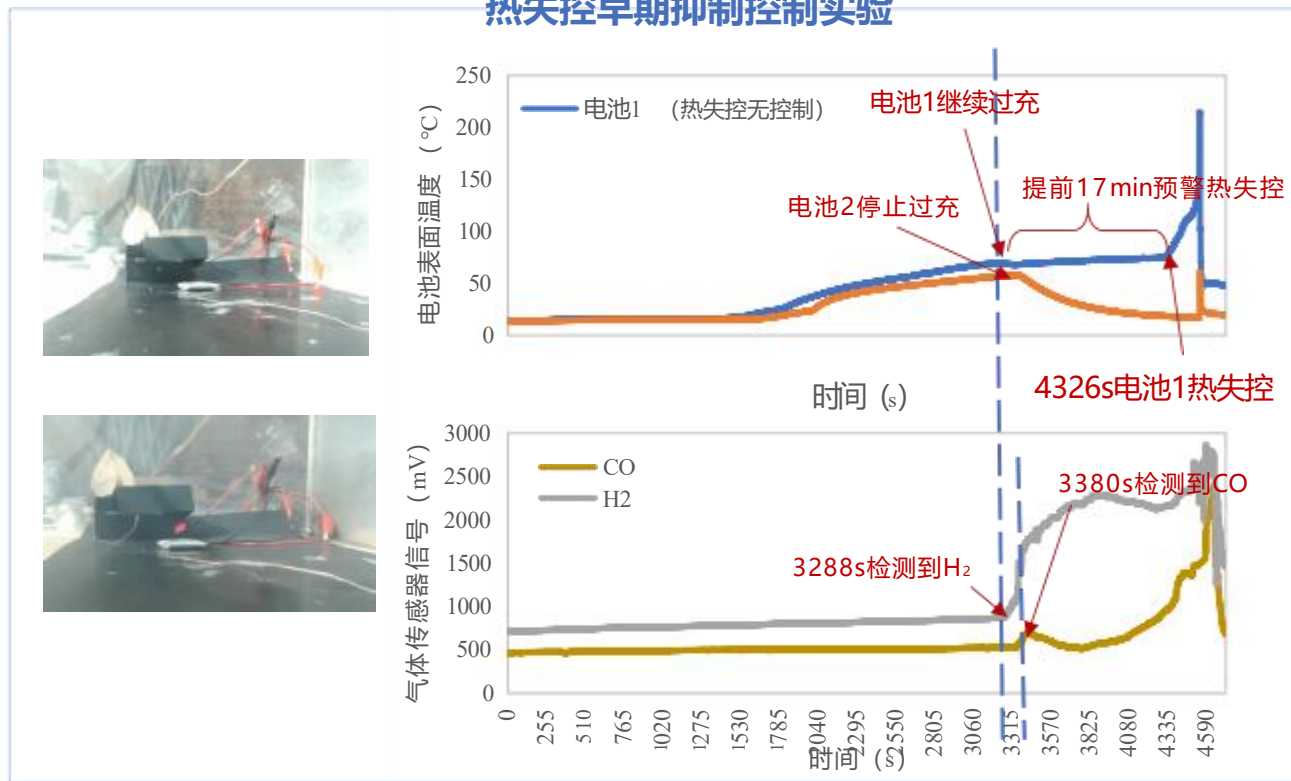
端侧感知

+

边侧报警

+

就地控制



## 关键技术6：基于超声波探测的MEMS热失控气体传感器



可与电池模组集成嵌入式安装，或至于电池模组间外挂式安装

基于超声波探测的MEMS气体传感器		VS	单独的气敏元件传感器
H2与CO	极值及差值双重判断		---
吸入式检测	响应时间<30s		分钟级
自适应修正	漏报率<2%		漏报率<5%
数据互校验	误报率<2%		误报率<5%
超声波探测	寿命>10年		2年

- 超声波探测技术，解决单个传感器的“毒化”问题，寿命可达10年以上，免于维护
- H2和CO的监测范围分别为0-1000ppm和0-500ppm
- 内置吸入式风扇，提高低气流与复杂环境下的检测响应速度
- 内置MCU，集成预警算法与自检算法，实现预警阈值自动修正

### 智能传感器型谱体系与发展战略白皮书

2.45mm×2.45mm×0.75mm。国内气体传感器产品多为单独的气敏元件，落后国际平均水平一代，落后德国先进水平两代，在敏感材料研发、敏感材料加载技术、集成信号调理采集技术、多传感器数据融合技术、智能气体传感器SIP封装工艺、海量传感器批量校准技术等方面亟待提升。



## 多重感知

- 三级主动安全 **“预警-控制-运维”** 闭环防控体系，层层降低事故风险
- 云边协同架构，具备百兆瓦级储能电站数据**秒级处理响应能力**，安全预警实时性有保障

## 云边协同

- 基于多重信号感知和人工智能技术，实现更可靠的安全预警
  - 提前**数十~数百小时** 内短路识别
  - 提前**>15分钟** 热失控预警

## 人工智能

- 自研基于超声波探测的MEMS气体传感器，寿命 **>10年**
- 云边协同电池状态校正的动态主动均衡，实现电池组容量利用率提升 **>10%**

## 软硬结合

- 边端协同的**热失控早期抑制控制**，有效避免事故发展到消防阶段

# 目录

01

背景分析

---

02

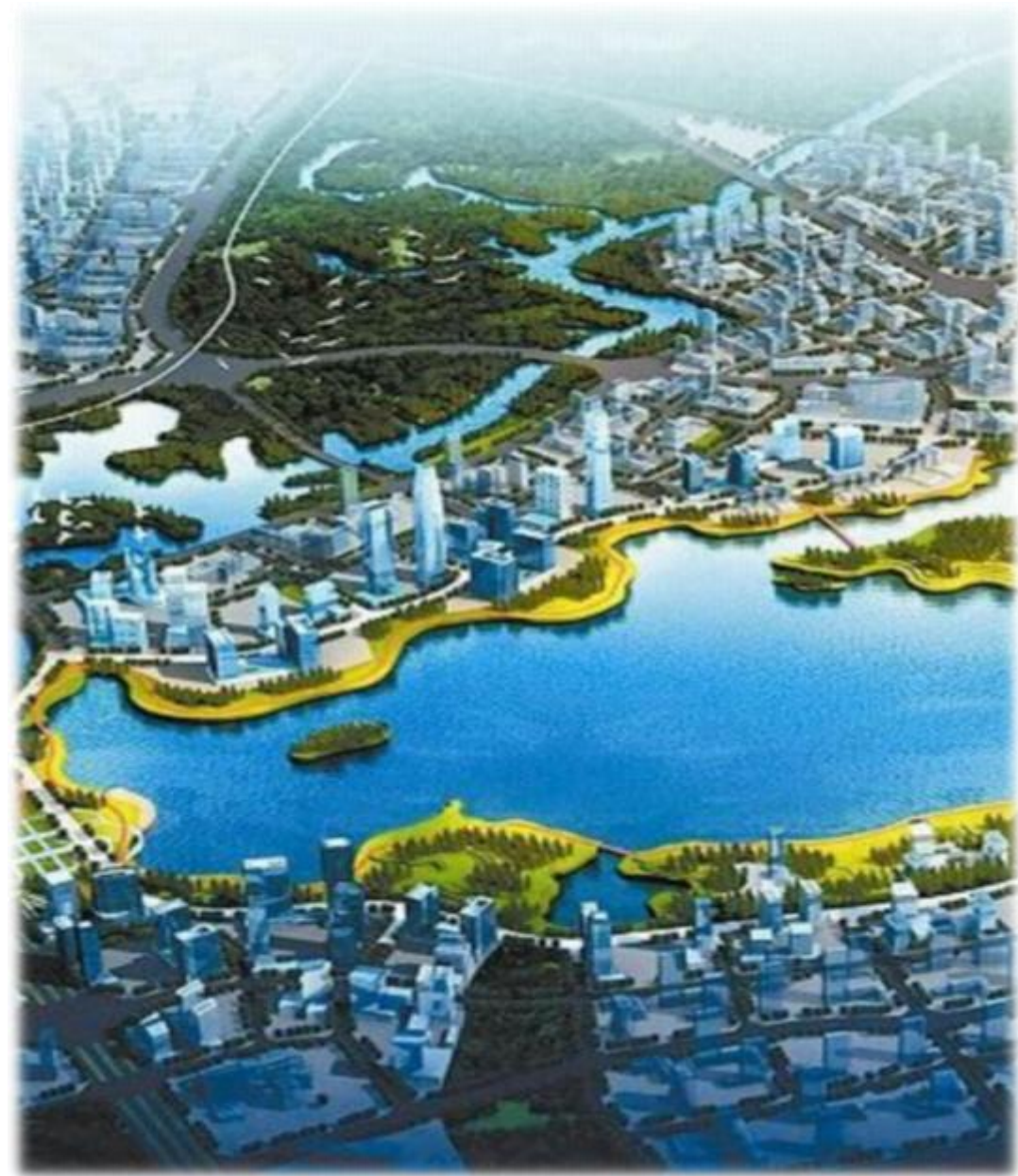
解决方案

---

03

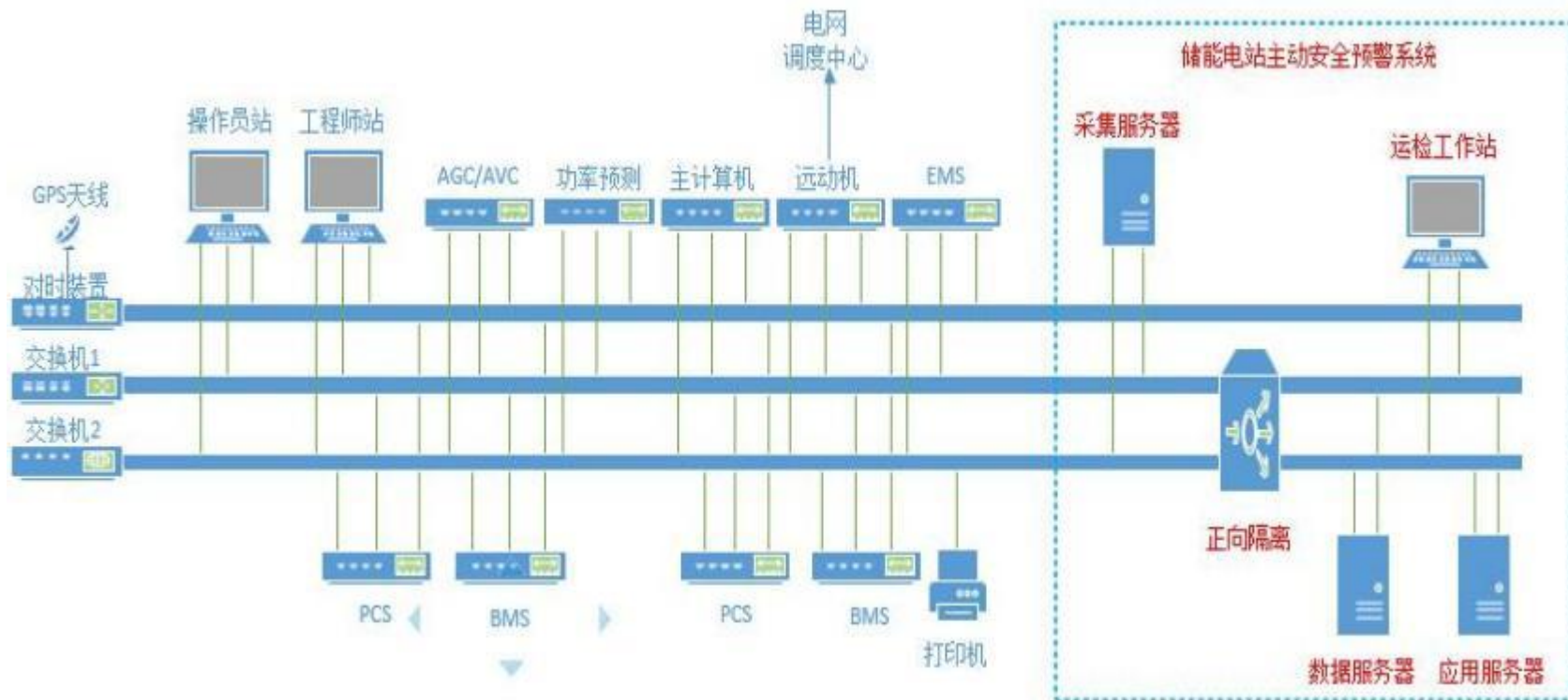
工程应用

---



## 站端部署方案

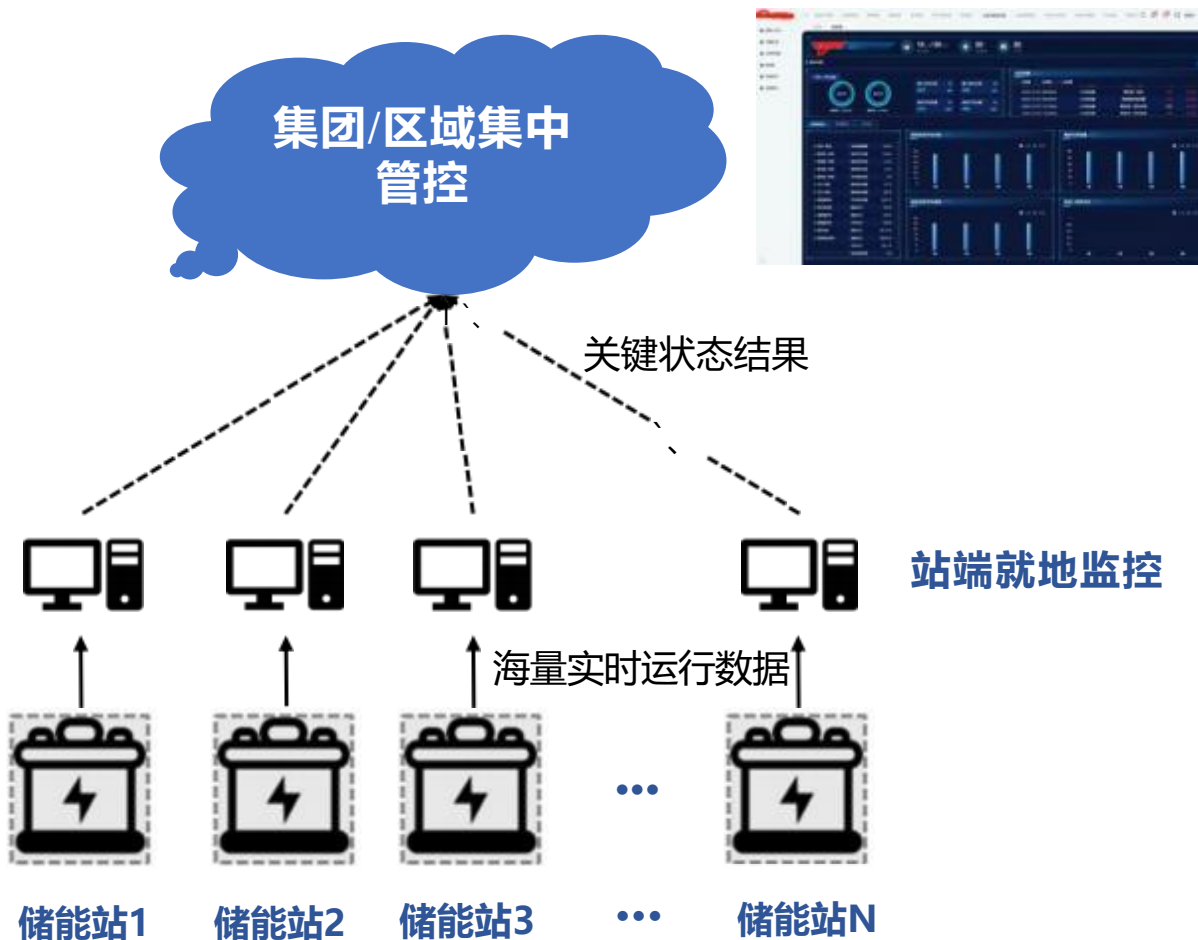
按照安全分区原则，在I区独立部署数据采集服务器，经正向隔离将数据传输至IV区独立部署的存储和应用服务器，在满足网络信息安全要求的移动网络中也可以部署运检移动终端。



### 施工优势:

- 主动安全预警系统不新增传感点位
- 利用储能系统现有BMS和PCS数据信息和间隔层信息通道
- 不影响站内其他计算机监控功能
- 可独立部署存储和应用服务器

集团/区域部署方案



特点:

- 云边协同架构，站端与集控紧密配合
- 站端就地处理大量实时运行数据及复杂计算，输出关键的系统状态信息
- 云端进行汇总分析与呈现，便于总体把控与对比分析



□ 已在北京、山东、江苏、内蒙古、重庆多地大型储能电站获得实际工程应用，在运工程累计覆盖储能装机容量超过**3GWh**，单站最大容量超过**600MWh**

## 发电侧

- 内蒙古鄂尔多斯新能源基地项目储能电站 (150MWh)
- 乌兰察布新一代电网友好绿色电站示范项目 (1100MWh)
- 阿拉善储能电站 (90MWh)

## 电网侧/共享储能

- 北京怀柔储能电站 (30MWh)
- 南京江北194MWh储能电站 (194MWh)
- 重庆合川储能电站 (480 MWh )
- 山东庆云储能电站 (600 MWh )
- 山东海化集团储能电站 (120MWh)
- 湖北龙感湖储能系统 (200MWh)

## 用户侧

- 江苏扬中分布式储能 (100kWh)
- 秦皇岛移动储能电站 (2MWh )
- 宝鸡分布式储能电站(2.4MWh)
- .....



乌兰察布



南京江北



湖北龙感湖



北京怀柔

# 1.国内最早投运的储能电站主动安全预警系统

国网北京市电力公司  
STATE GRID BEIJING ELECTRIC POWER COMPANY

国网冀北电力有限公司  
STATE GRID JIBEI ELECTRIC POWER COMPANY LIMITED

国网江苏省电力公司  
STATE GRID JIANGSU ELECTRIC POWER COMPANY

## 北京某储能电站



## 河北某移动储能电站



## 江苏某分布式储能项目



国内首套**大型储能电站**主动安全系统

国内首套**移动储能电站**主动安全系统

国内首套**分布式储能**主动安全系统



## 2.投运于国内最大的两个百兆瓦级储能电站

国网江苏省电力公司

STATE GRID JIANGSU ELECTRIC POWER COMPANY

### 江苏某110MW/194MWh储能电站



三峡能源

CHINA THREE GORGES RENEWABLES (GROUP) CO., LTD.

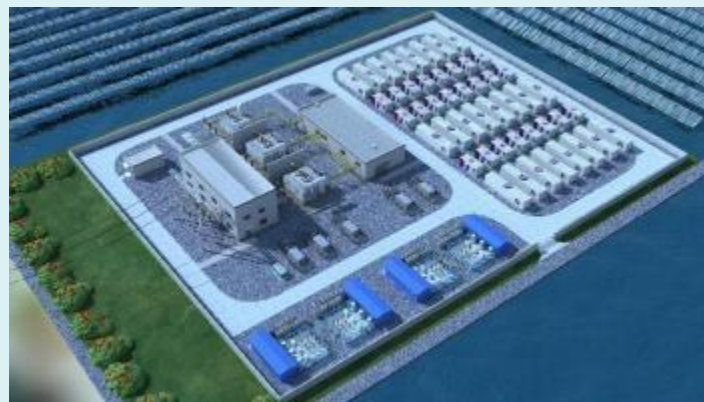
### 内蒙古某1100MWh储能电站



### 3.共享储能/新能源配储/分布式储能

山东海化集团有限公司  
SHANDONG HAIHUA GROUP CO., LTD.

#### 山东某120MWh储能电站



华电集团  
CHINA HUADIAN CORPORATION LTD.

#### 内蒙古某90MWh储能电站



宝光智中能源科技有限公司  
BAOGUANG SMART CHINA

#### 陕西某分布式储能电站





## 故障检出案例

### 案例2：数据采集异常及时预警

4月8日上午9时，主动安全预警系统态势感知界面**四个舱室显示报警提醒**



定位异常电池舱位，  
确认预警类型为数据  
采集异常预警

查看单体温度分布和温度场分析发现 6#  
电池簇显示异常代码65535，相应位置数  
据采集无效



4月8日上午11时，主动安全预警系统预  
警提示**电池舱44-2温度采集异常**



运行人员确认该电池舱现场  
BMS人员正在进行调试，导致  
温度上送异常

运行人员发现报警信息并根据问题定位进行现场检  
查，确认**电池温度传感器接触不良**，已反馈给BMS  
厂家维护检修。

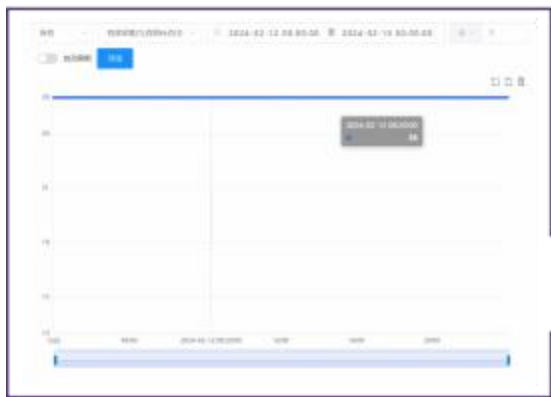
**数据采集  
异常危害**

- ✓ 接收无效失效数据信息
- ✓ 发送错误充放电指令
- ✓ 形成误判危机设备安全

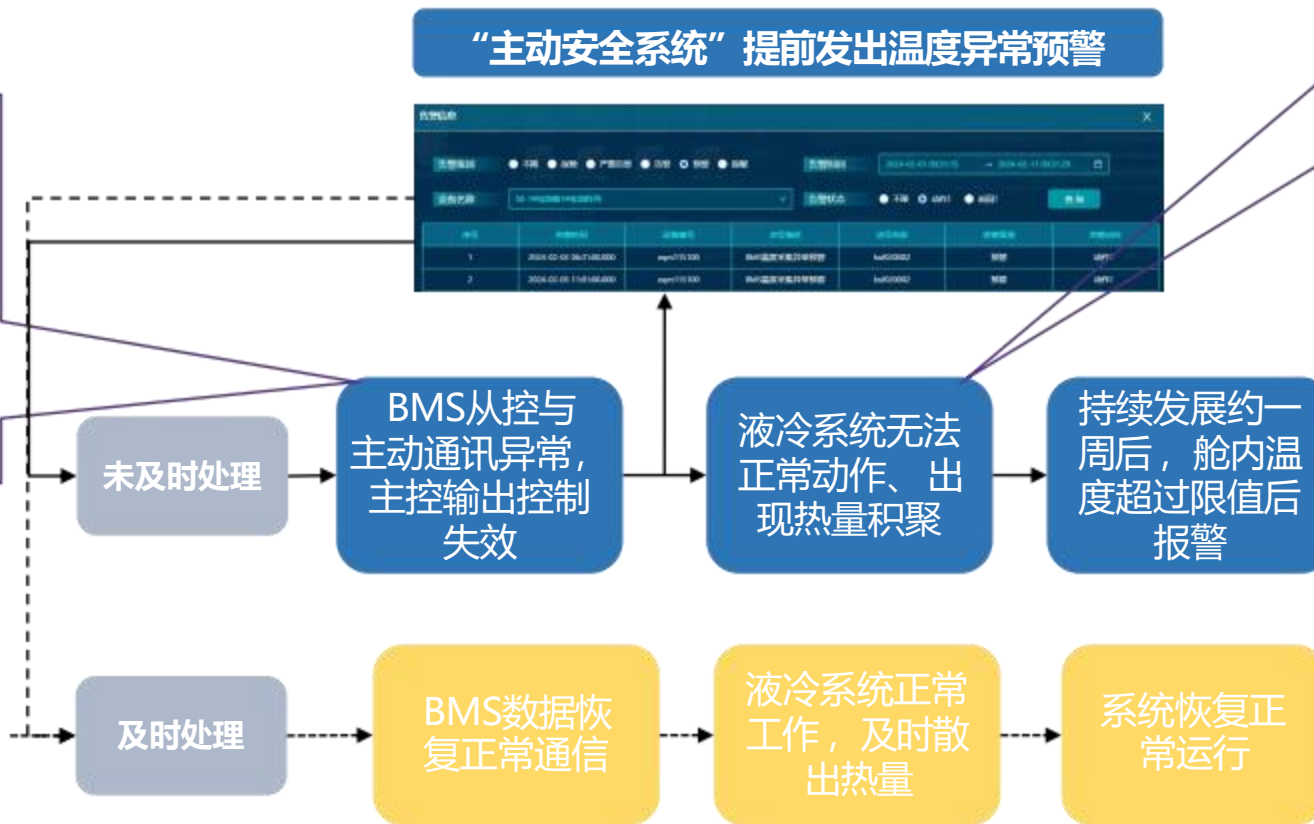
# 故障检出案例

## 案例2：数据采集异常及时预警

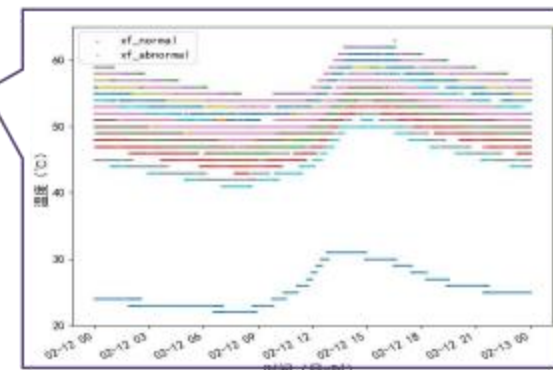
2月1日由主动安全系统报出58-1和91-2两电池舱**温度数据异常**，温度数据持续不变，2月12日两电池舱发生**超温报警**。经调查事故原因为BMS通讯故障，导致液冷系统接收异常数据无法正常动作、带走电池充放电中放出的热量，最终舱温升高触发报警阈值。



事发时BMS通讯问题导致送出温度数据无变化



事发前几日舱内温度逐步上升

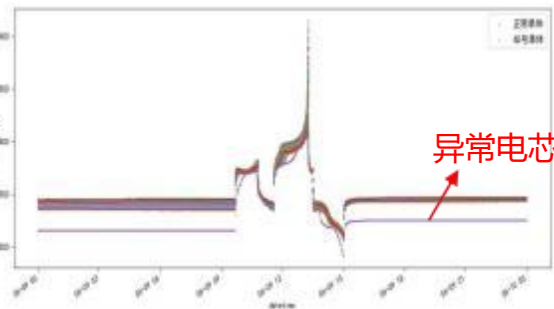
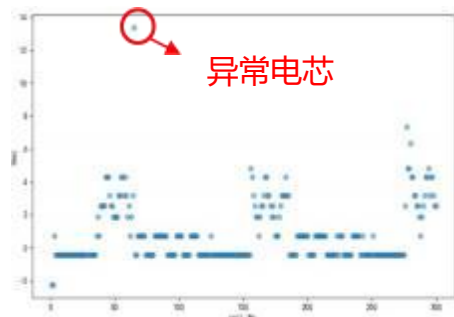


事发当日舱内温度明显高于正常值

## 案例3：内短路电芯检出

### 发现风险征兆

某电池簇65号电芯，经主动安全系统监测发现存在异常的电压特征和内短路电流值



1

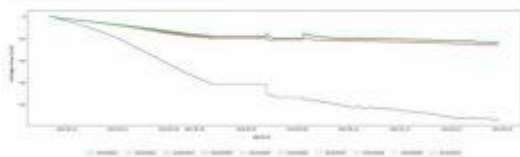
### 核实并发出预警

2

通过持续跟踪评估，证实该电芯自放电率偏高。主动安全系统发出内短路预警信息及处置建议

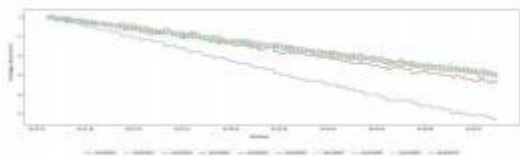
静置时段01

2023-04-19 16:31:00 - 2023-05-24 16:23:00



静置时段02

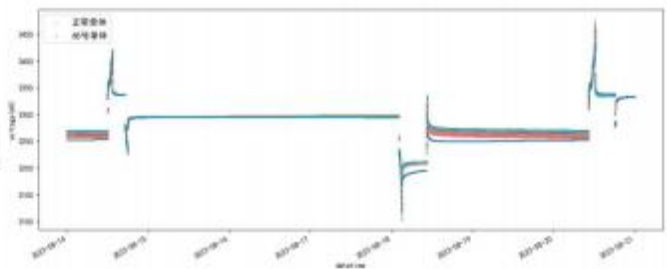
2023-05-25 16:25:00 - 2023-05-26 10:58:00



3

### 隐患处置与消除

现场运维对对应位置的电池组进行均衡维护，隐患排除，截断了热失控的进一步发展路径



对于单个储能电站，储能安全运行风险监测及预警系统能够通过延长电池使用寿命、避免停运损失、减少运维投入等方面，通过增加“<1%”的工程总投资投入获得“>10%”的直接收益

某52MWh储能电站，项目总投资约8400万元，电池使用寿命12年（8400次，每天充放两次），年营业收入约1100万元。注：上述数据来源于《储能产业研究白皮书2022》储能工程案例

- **延寿收益：**通过实时评估电池寿命衰减情况，推荐更合理的充放电策略，提高电池循环寿命5%以上，整体使用寿命增加0.6年，增加营收收益**660万元**
- **运维收益：**通过自动缺陷识别定位与智能工单，提升运维处置操作准确性，巡检人工替代率达到50%，操作时间减少60%，按照0.8%的运维费率，预计可节约运维投入**20万元**
- **减少停运：**通过对系统早期故障进行监测预警，使得问题能够快速处置，避免出现因较大事故隐患导致的停运检修。按照每年因故障隐患造成停运2次、每次停运3天计算，12年使用周期内停运天数可达70天，预计可避免营收损失**210万元**

# 效益分析

某52MWh储能电站，项目总投资约8400万元，电池使用寿命12年（8400次，每天充放两次），年营业收入约1100万元。注：上述数据来源于《储能产业研究白皮书2022》储能工程案例

延寿收益：通过实时评估电池寿命衰减情况，推荐更合理的充放电策略，提高电池循环寿命5%以上，整体使用寿命增加0.6年，增加营收收益660万元

运维收益：通过自动缺陷识别定位与智能工单，提升运维处置操作准确性，巡检人工替代率达到50%，操作时间减少60%，按照0.8%的运维费率，预计可节约运维投入20万元

减少停运：通过对系统早期故障进行监测预警，使得问题能够快速处置，避免出现因较大事故隐患导致的停运检修。按照每年因故障隐患造成停运2次、每次停运3天计算，12年使用周期内停运天数可达70天，预计可避免营收损失210万元

# 汇报完毕 敬请指正

电话: 18153452285



企业微信

企业微信



企业公众号

企业公众号