



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

锂电池储能状态监测及主动安全管理技术

山东威尔勒技术服务有限公司

2025年5月



目录

01

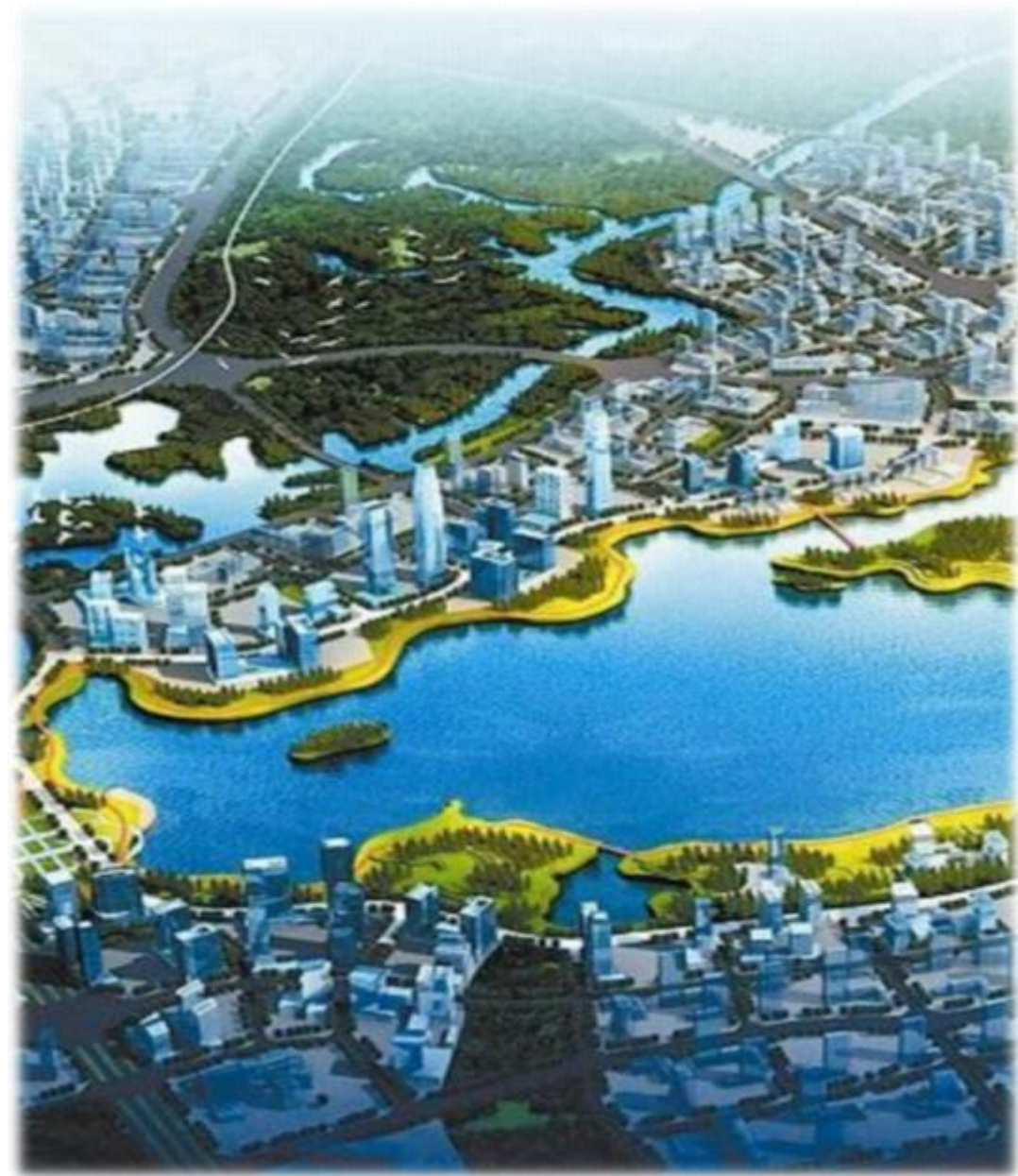
背景分析

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



- 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

我们的解决方案：防患未然

目录

01

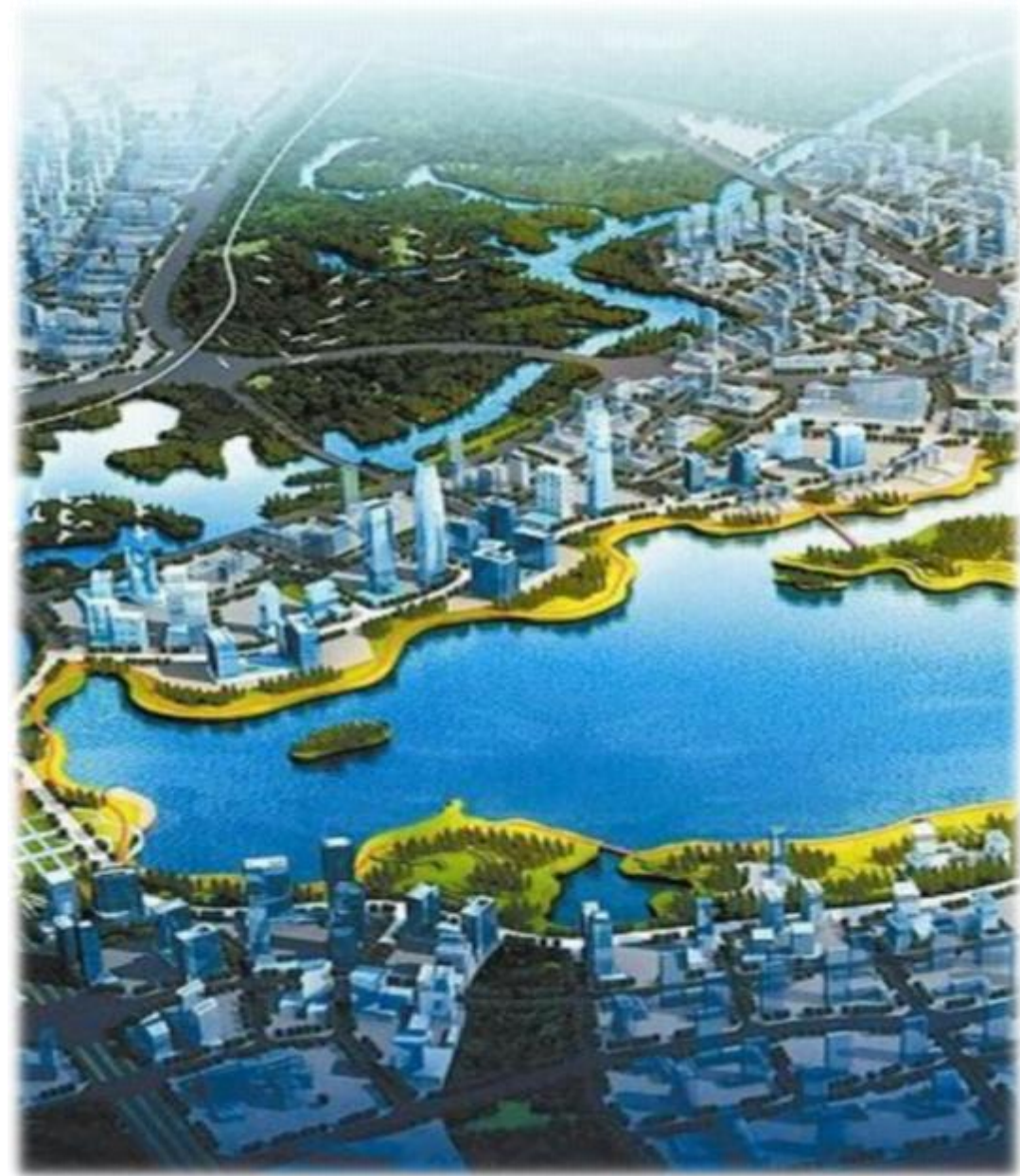
背景分析

02

解决方案

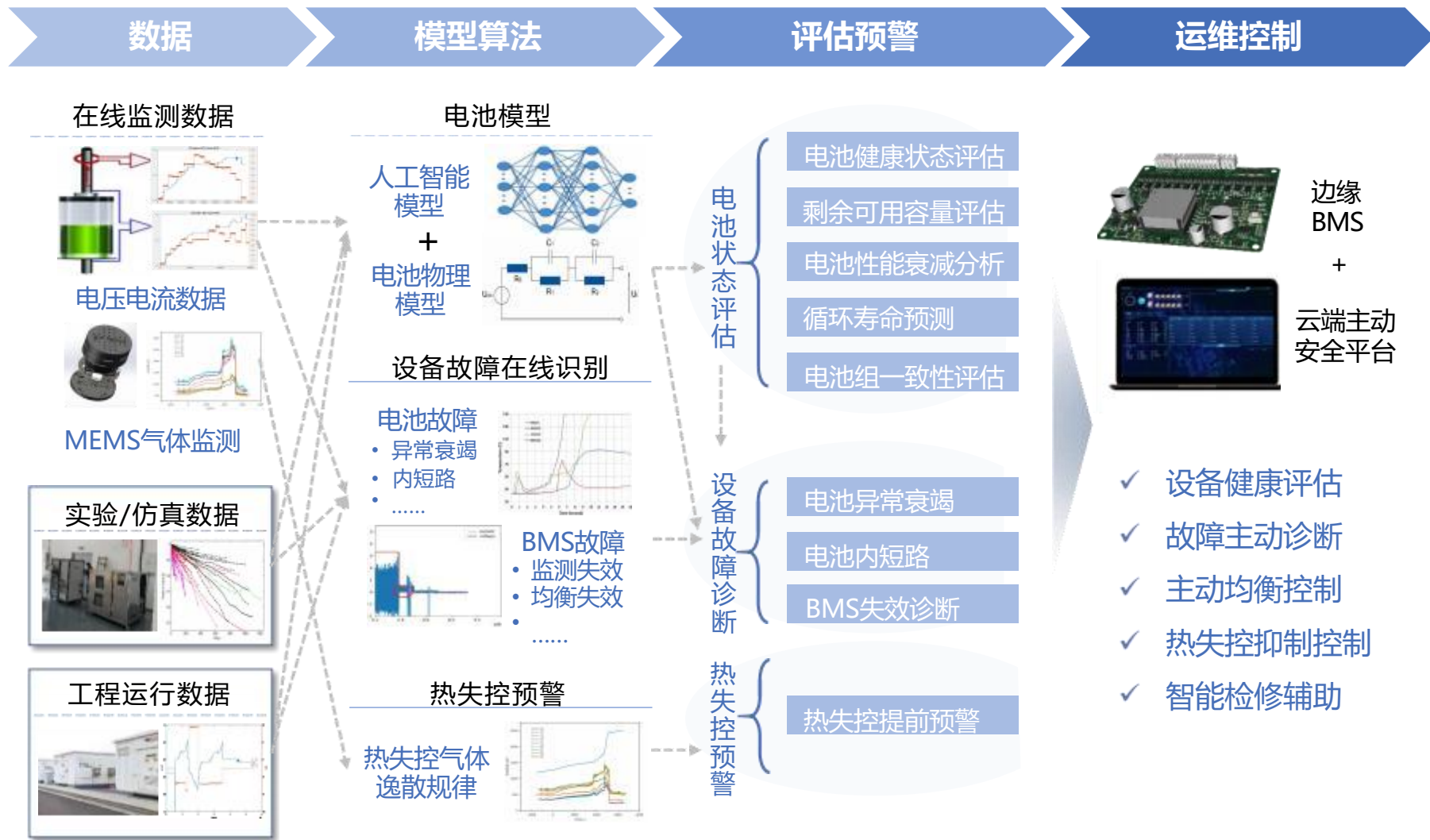
03

工程应用

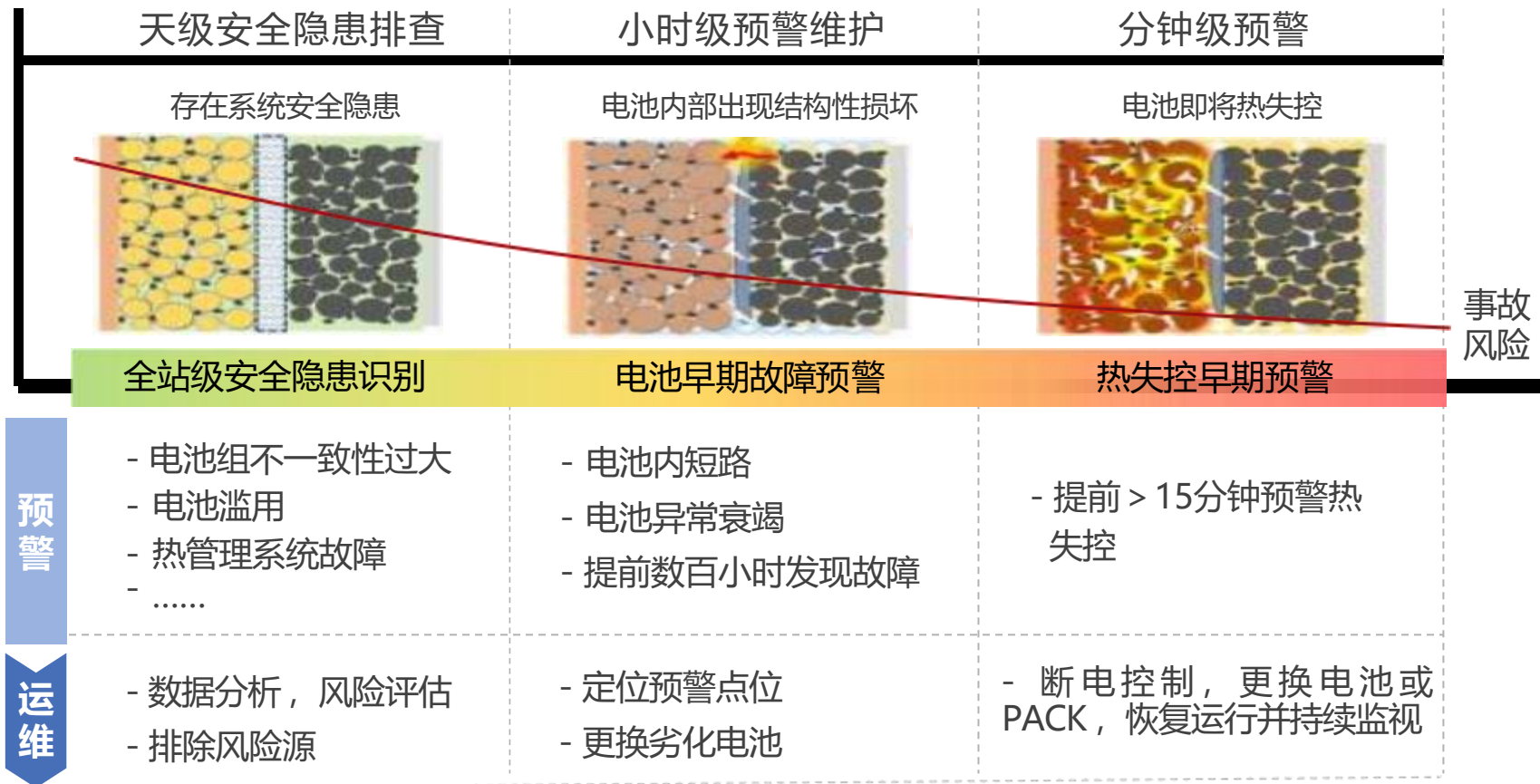


算法模型架构

- 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。



关键技术1：储能电站三级主动安全 “预警-运维” 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-运维”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,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
- 传感器失效
- 均衡失效
- 通讯异常
- 继电器失效



2015年
深圳电动汽车起火

原因:
BMS失效导致过充



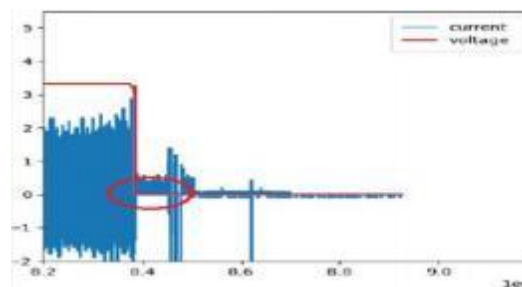
2018年
韩国储能电站起火

原因:
BMS失效导致过充

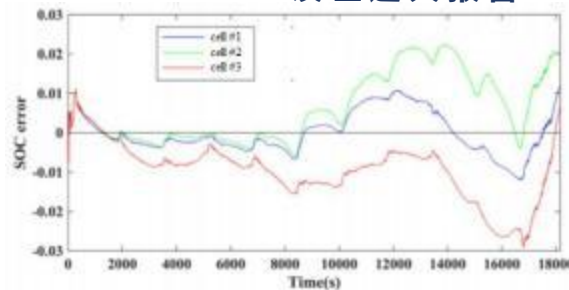
安全隐患辨识

- 基于人工智能的数据模式识别, 发现安全风险隐患

BMS 电压/电流监测失效报警



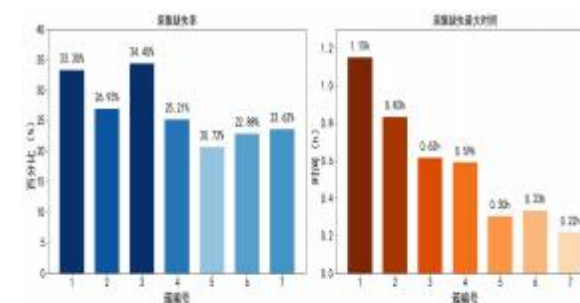
BMS SOC误差过大报警



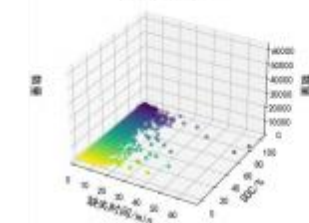
安全风险等级评估

- 评估安全风险, 对故障隐患进行分级评估

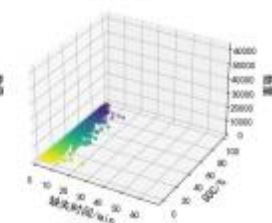
BMS 数据采集失效时长分析



小电流充放电

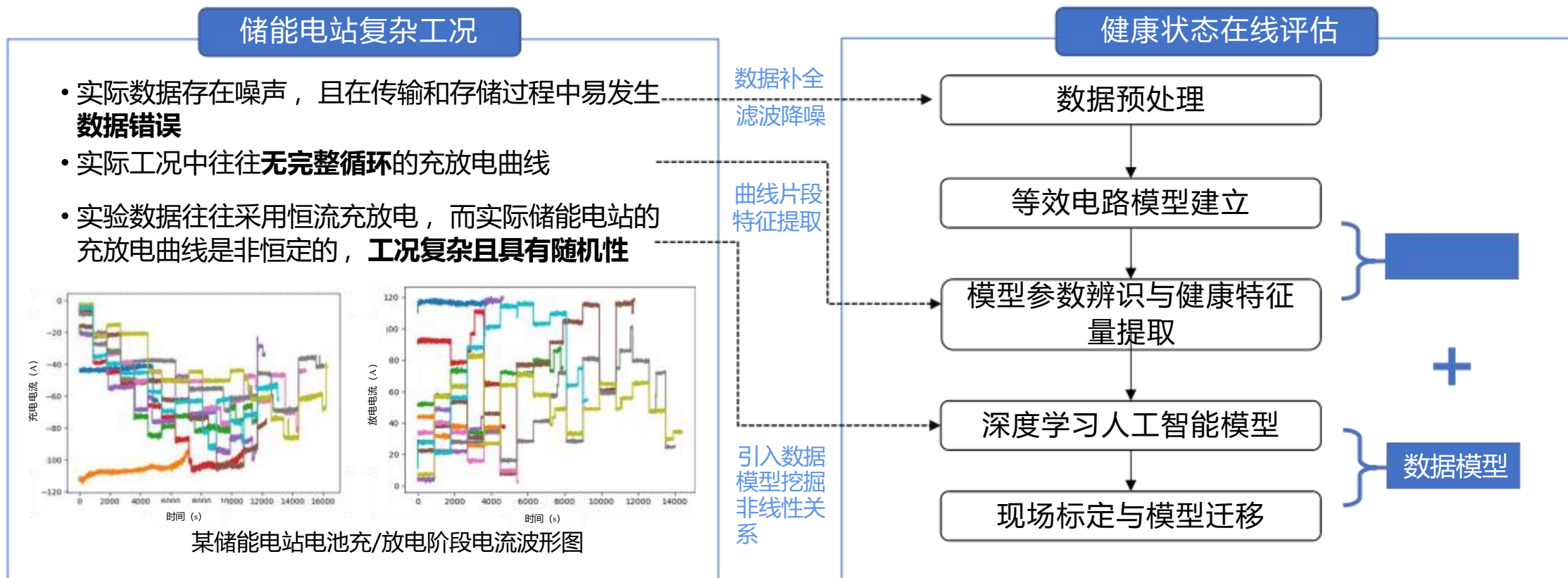


大电流充放电



关键技术3：基于数据-物理融合模型的储能电池状态评估方法

- **电池状态评估**：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4：基于知识迁移AI模型的储能电池SOH预测模型

Step1：生成离线数据

采用电化学模型对复杂电池工况进行模拟，生成复杂工况下（例如不同温度、C率、放电深度等）的电池全生命周期老化数据

Step2：预训练SOH预测模型

通过Step1生成的离线数据，对SOH预测模型进行预训练，反映电池SOH衰减量与复杂工况（如当前SOH/SOC, 温度, 充放电曲线等）之间的关系

Step3：SOH在线评估

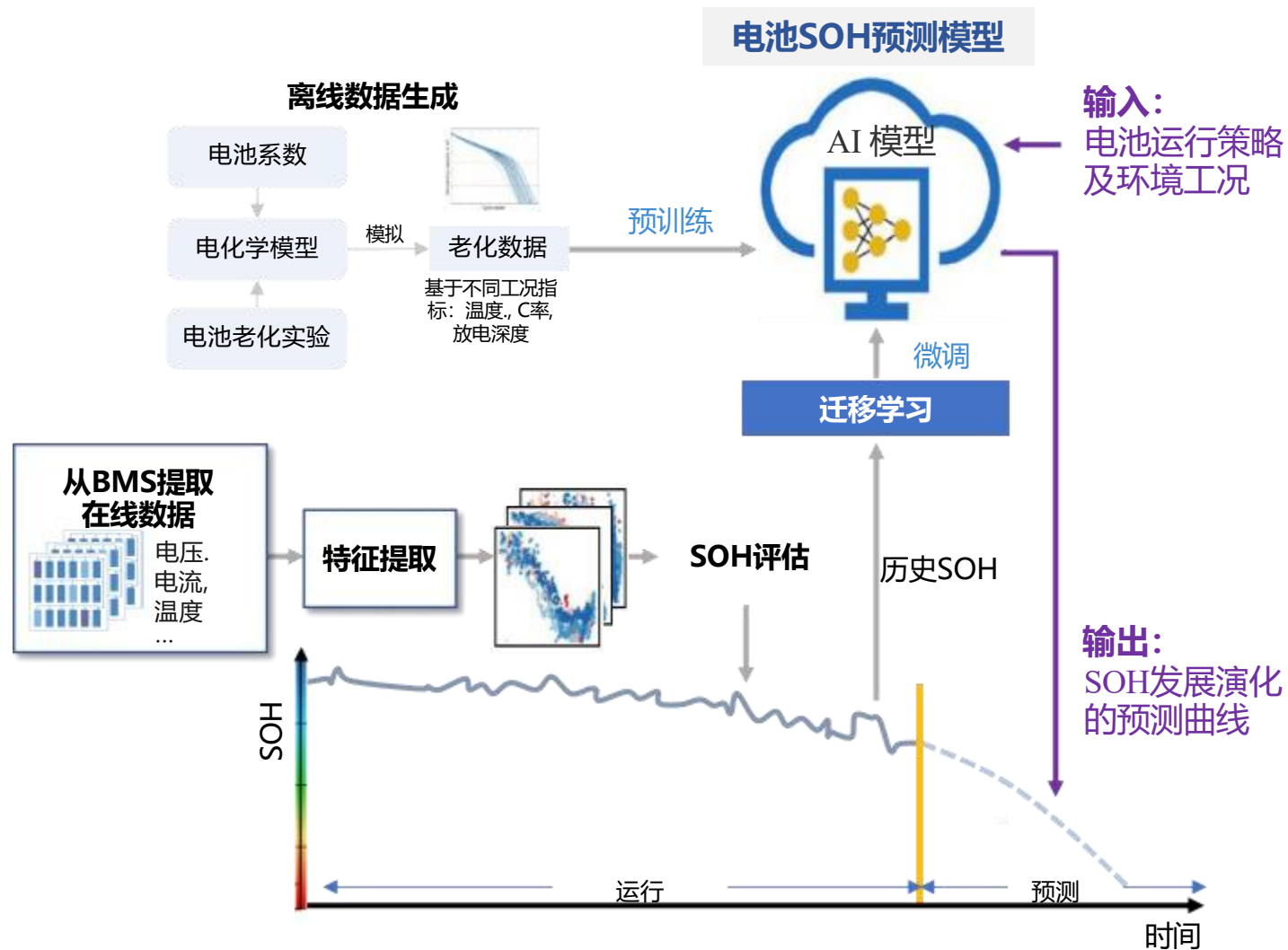
对于每一次充放电循环，用在线运行的数据来评估SOH

Step4：微调预训练模型参数

用Step3中在线评估的SOH来动态调整Step2中经过预训练后的模型，完成模型迁移

Step5：在线预测

在给定的电站运行策略和环境工况条件下，算法会返回对SOH的预测值



□ 关键技术4：基于知识迁移AI模型的储能电池SOH预测模型

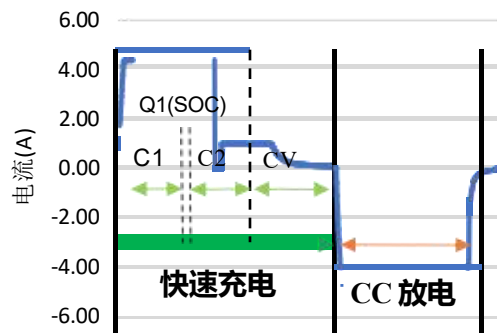
用于验证的数据集

数据集: 电池全生命周期老化实验数据

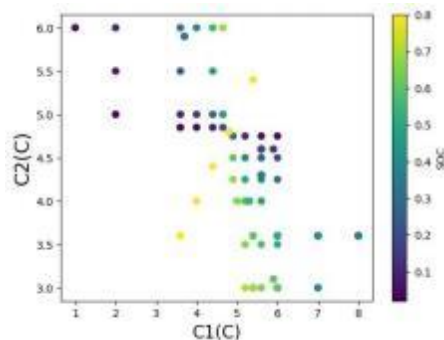
电池数量: 124

电池类型: 磷酸铁锂电池

工况条件: 模拟储能电站实际运行曲线



充放电曲线



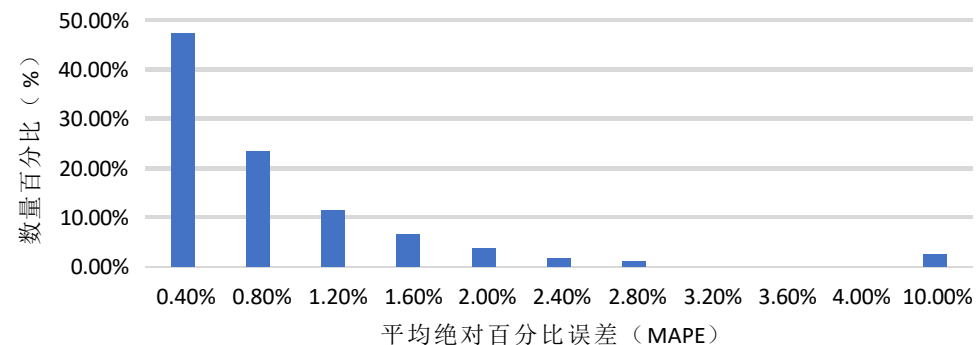
充放电情况统计

SOH预测精确度实证验证

- 基于电池全生命周期老化数据对SOH预测模型进行验证：
 - 60%的数据用于训练, 40%的数据用于测试
 - 模型输入: 电池未来的运行策略和环境工况 (包括温度, SOC, 充放电曲线)
 - 模型输出: SOH衰减曲线

• **测试结果: 平均绝对百分比误差 (MAPE) = 1.02%**

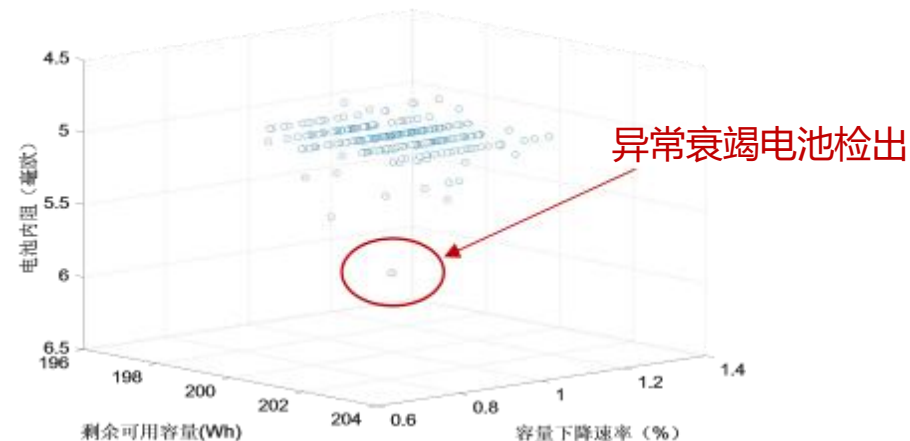
预测误差分布



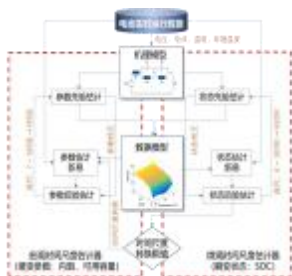
关键技术5：基于高斯混合模型的电池异常衰竭识别

- 电池在正常情况下老化过程很缓慢，但在特定条件下会加速衰减，表现为内阻增加、容量衰减和极化增强
- 提取能反映电池健康状态的数据特征量，通过分析这些表征参数在单体电池间的分布，识别异常电池
- 通过设置概率阈值，可适应不同厂家不同型号的电池

某储能站异常衰竭电池检出案例

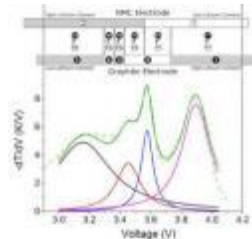


状态估计



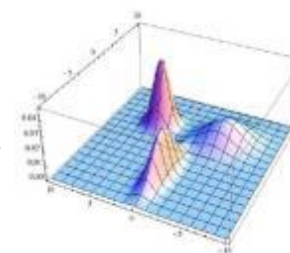
健康状态表征参数提取

剩余容量
内阻
温度
.....



基于概率方法的异常电池检测

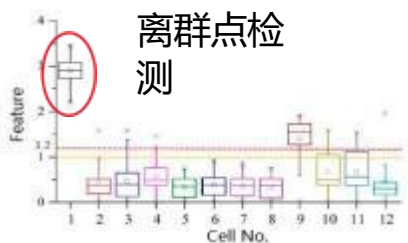
- 多维特征量：
混合高斯模型



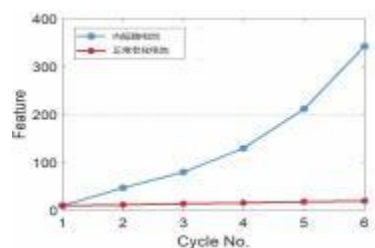
关键技术6：基于漏电流模型及离群点检测的内短路识别

- 提取电池内短路特征参量，通过分析特征参量在电池间的**横向分布**以及**纵向演化**，识别异常个体
- 基于漏电流模型估算内短路电阻估算，实现对内短路严重程度的定量评估及分级预警

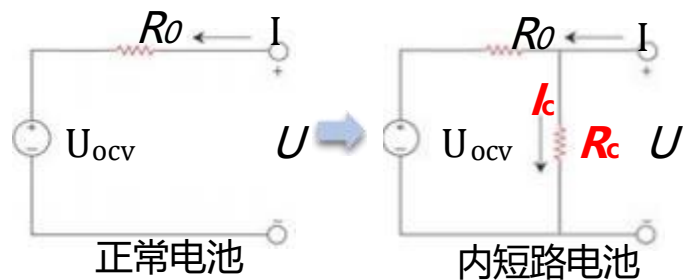
单体间横向比较



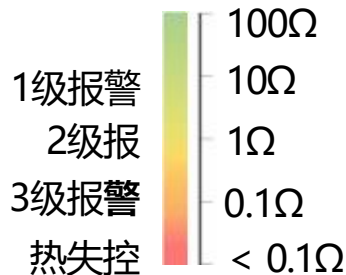
特征演化分析



基于漏电流的内短路电阻估算

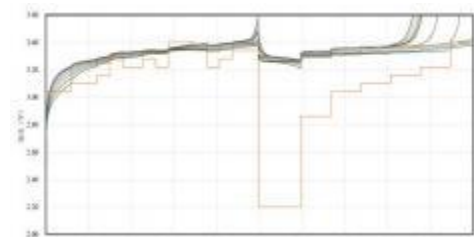


内短路分级预警



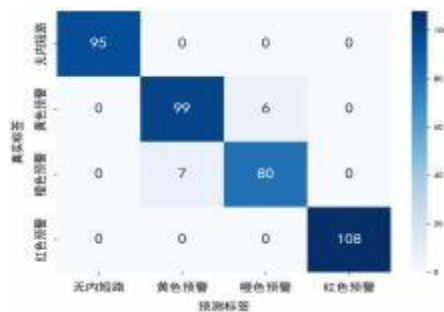
测试数据

- 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

测试结果

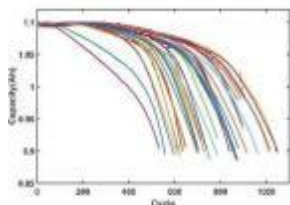


| 类别 | Precision | Recall | F1 |
|------|-----------|--------|------|
| 无内短路 | 100% | 100% | 100% |
| 黄色预警 | 93% | 94% | 94% |
| 橙色预警 | 93% | 92% | 92% |
| 红色预警 | 100% | 100% | 100% |

□ 关键技术7：基于深度融合的故障诊断及智能运维技术

基于状态评估及异常识别的结果，融合专家知识及运维现场经验，构建故障诊断及智能运维知识图谱，实现对检出的异常进行故障诊断，并提供有针对性的运维措施建议。

状态评估及异常识别



运维现场专家知识



故障诊断及智能运维知识图谱

故障分析

表征现象

温度超限

温差异常

单体过压

单体欠压

簇SOC低

簇SOC高

...

BCU主控故障

BCU从控故障

液冷滤网堵塞

接线松动

BMS SOC不准

过充过放

NTC失效

电池内短路

热失控

....

目录

01

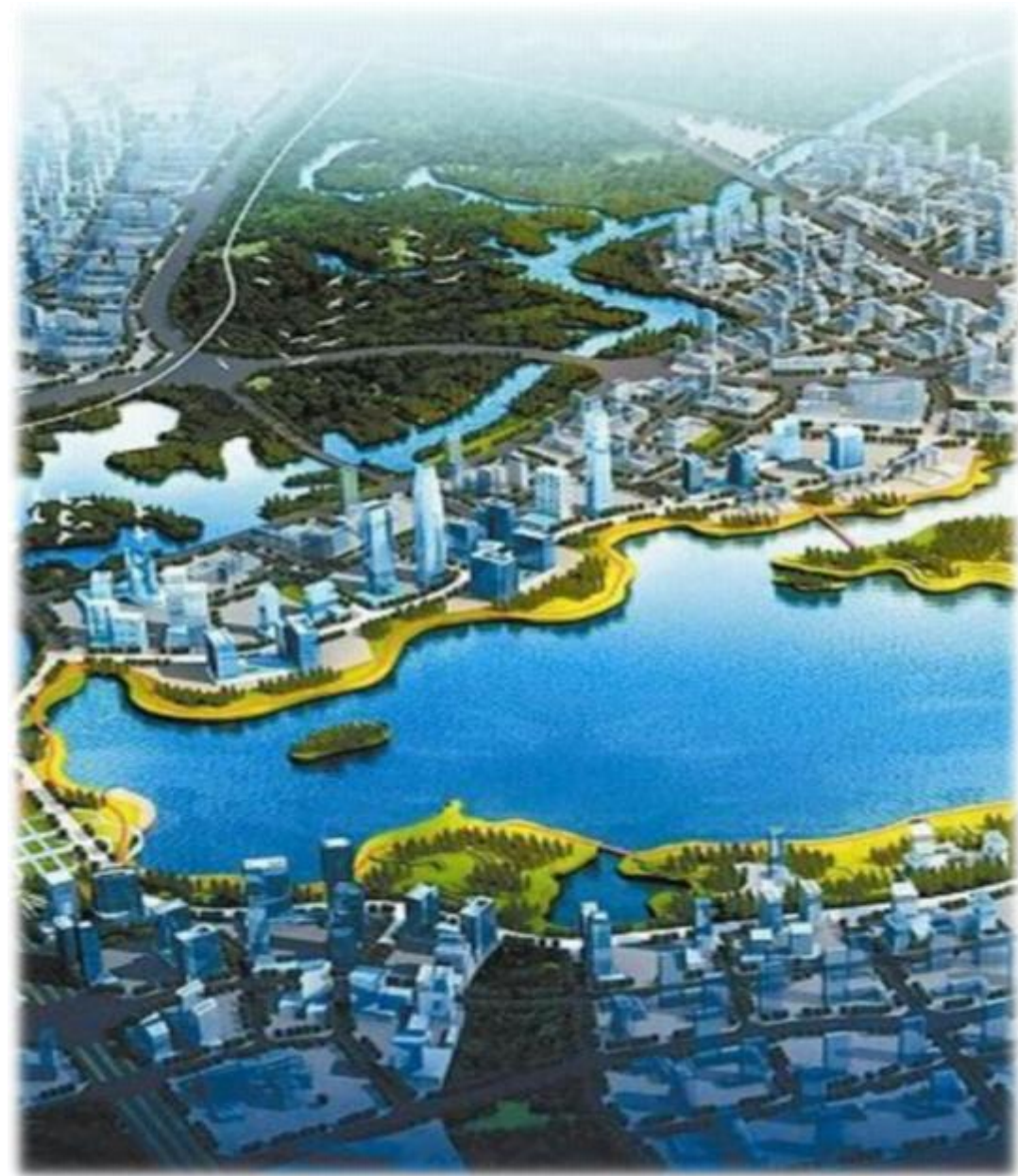
背景分析

02

解决方案

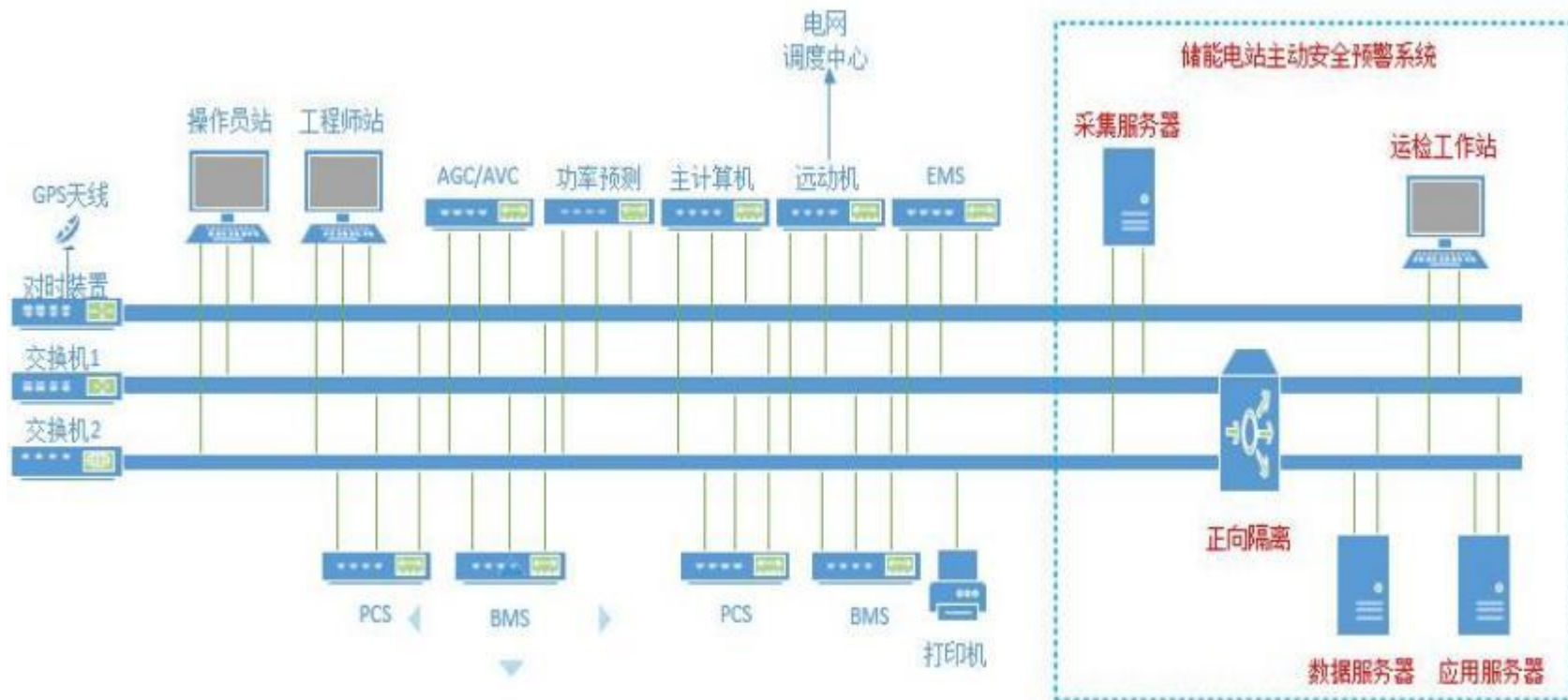
03

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。

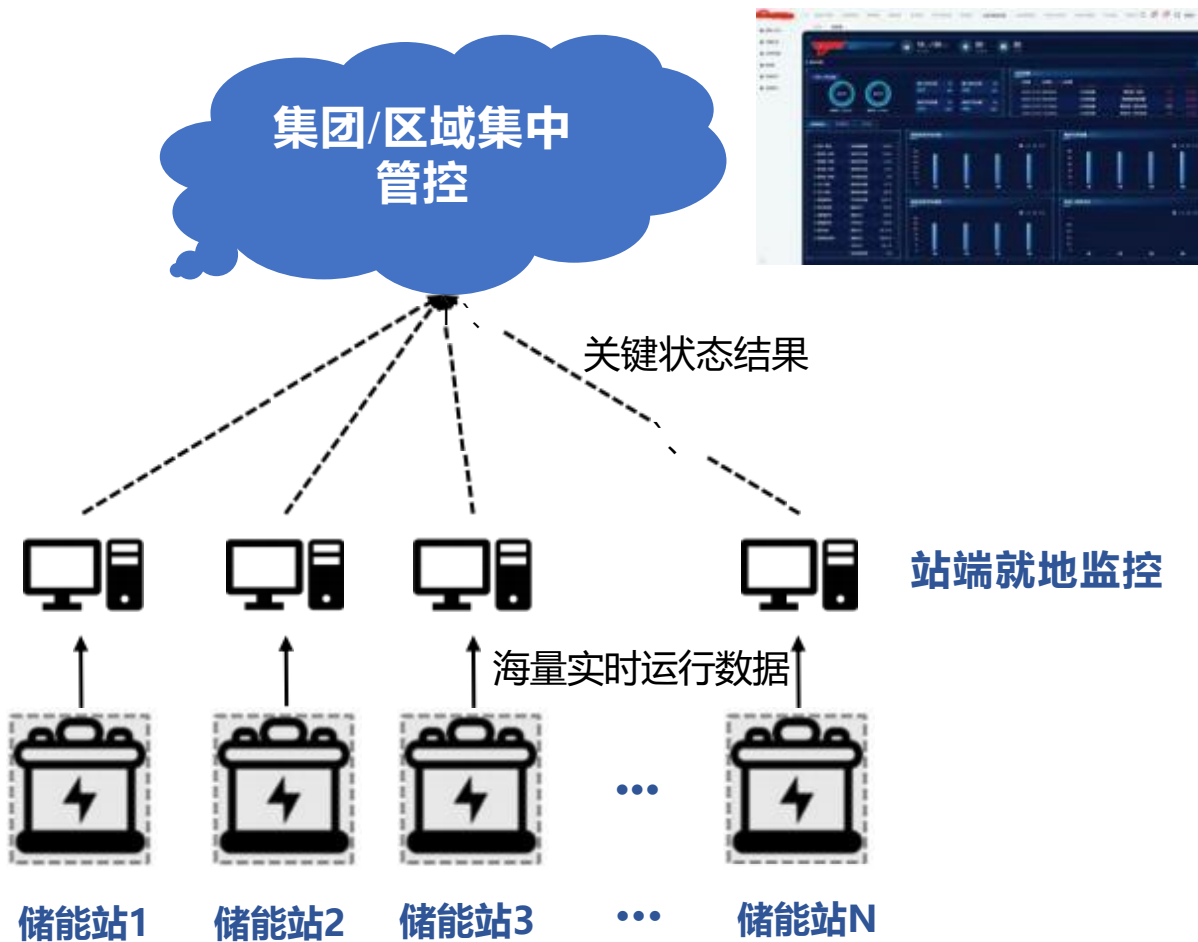


施工优势:

- 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**3.5GWh**，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



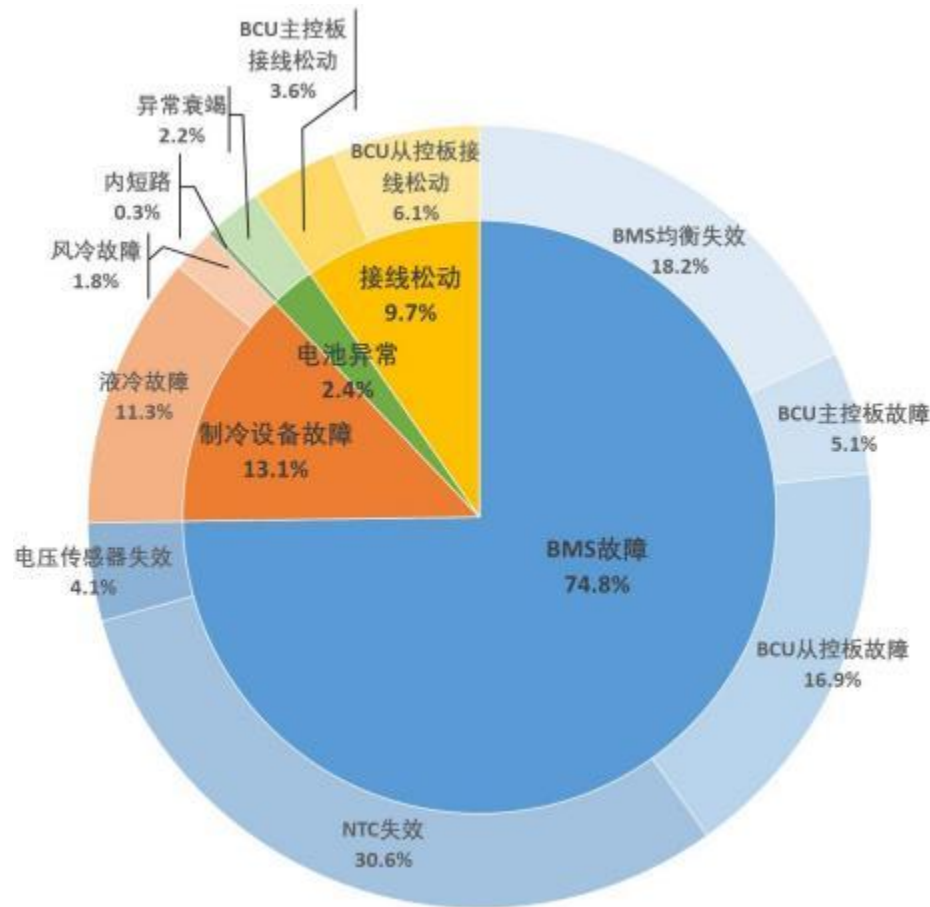
北京怀柔

截至2024年12月，**储能主动安全系统**累计覆盖的储能装机容量超过**3.5GWh**，监测的设备类型主要涵盖**电池本体、BMS和冷却系统**。对主动安全系统诊出故障诊断类型进行统计分析，结果如下图所示：

储能主动安全系统检出的故障类型主要为**4种大类故障**：

1 BMS故障、2 制冷设备故障、3 电池异常、4 接线松动

| 故障类型 | 占比 | 子故障类型 | 子故障占比 |
|----------|--------|------------|--------|
| BMS故障 | 74.80% | NTC失效 | 30.60% |
| | | BMS均衡失效 | 18.20% |
| | | BCU从控板故障 | 16.90% |
| BCU主控板故障 | 5.10% | | |
| 电压传感器失效 | 4.10% | | |
| 制冷设备故障 | 13.10% | 液冷故障 | 11.30% |
| | | 风冷故障 | 1.80% |
| 接线松动故障 | 9.70% | BCU从控板接线松动 | 6.10% |
| | | BCU主控板接线松动 | 3.60% |
| 电池异常 | 2.50% | 电池异常衰竭 | 2.20% |
| | | 电池内短路 | 0.30% |

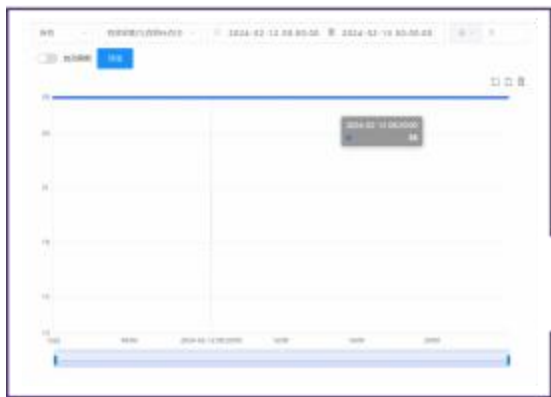


从统计结果可见，储能电站中BMS故障类的故障数量远远高于其他大类，特别是NTC失效和BMS均衡失效。BMS故障容易造成电池过充过放，进而引发电池损坏，是储能电站主要的安全隐患，需要特别关注。

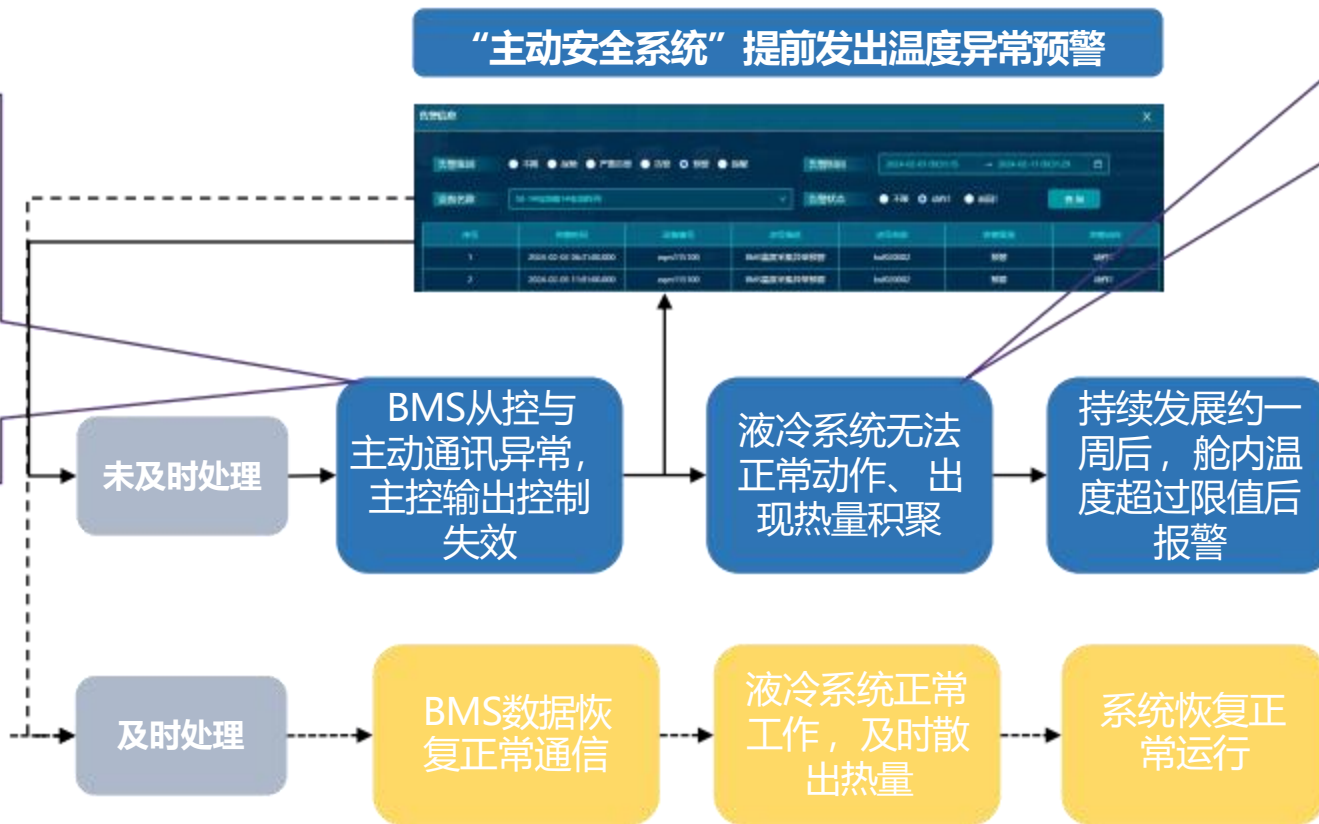
故障检出案例

案例2：温度数据异常及消防超温报警

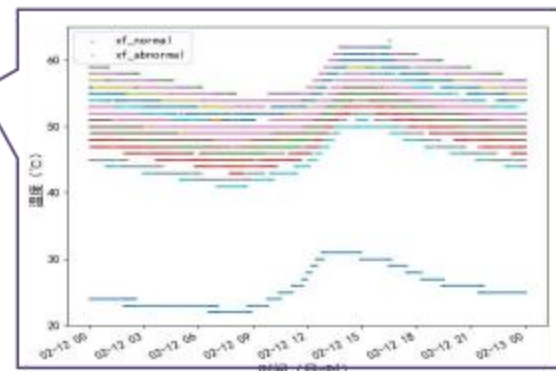
2月1日由主动安全系统报出58-1和91-2两电池舱**温度数据异常**，温度数据持续不变，2月12日两电池舱发生**超温报警**。经调查事故原因为BMS通讯故障，导致液冷系统接收异常数据无法正常动作、带走电池充放电中放出的热量，最终舱温升高触发报警阈值。



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

故障检出案例

案例3：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。

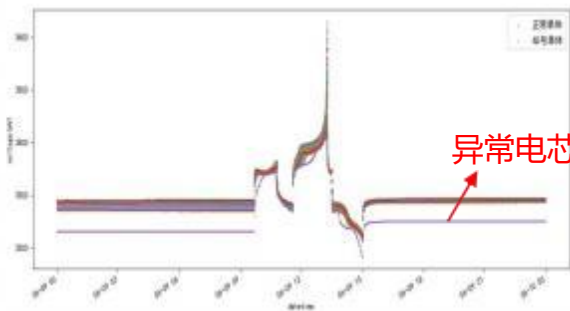
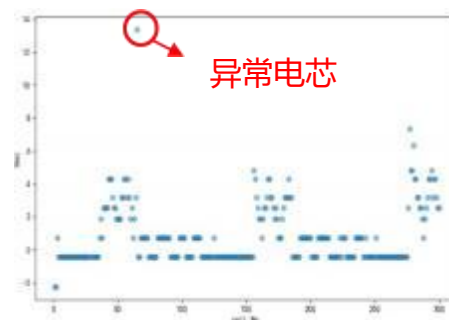
**数据采集
异常危害**

- ✓ 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

案例4：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

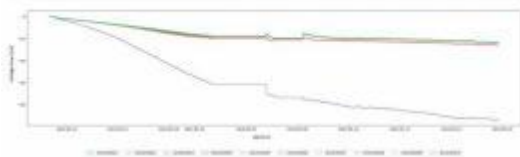
核实并发出预警

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

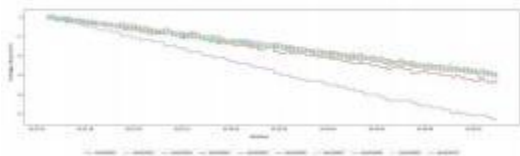
静置时段01

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



静置时段02

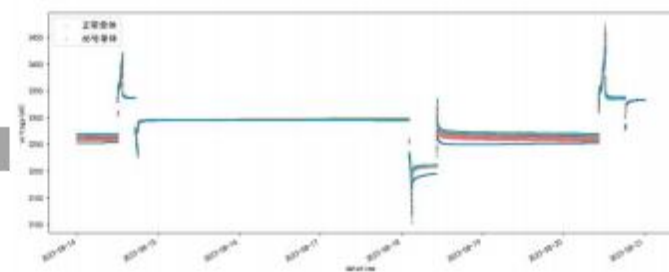
2023-05-25 16:25:00 - 2023-05-26 10:58:00



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



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