



晶科储能液冷微电网交流耦合系统解决方案

中东250kW/645kWh 锂电池储能项目

Case Study

项目介绍

本项目位于中东的偏远地区，该地区土地广阔、人口稀少，无法接入电网，设施完全依赖柴油发电机供电。

为了提高能源效率、降低用电成本并提升供电稳定性，该项目在一家养鸡场部署了一套交流耦合储能系统（ESS），将电池储能系统与光伏系统相结合，优化现有电力架构。

晶科提供的解决方案集成了光伏（PV）、柴油发电机（DGs）和电池储能系统（BESS），确保电力供应的稳定性，并将柴油发电机作为备用电源。

该项目已成功将柴油发电机的运行时间从每天 24 小时减少至 1.5 小时，柴油消耗量下降 93%。

系统设计寿命超过 10 年，每年预计可提供超过 300 天的清洁能源。

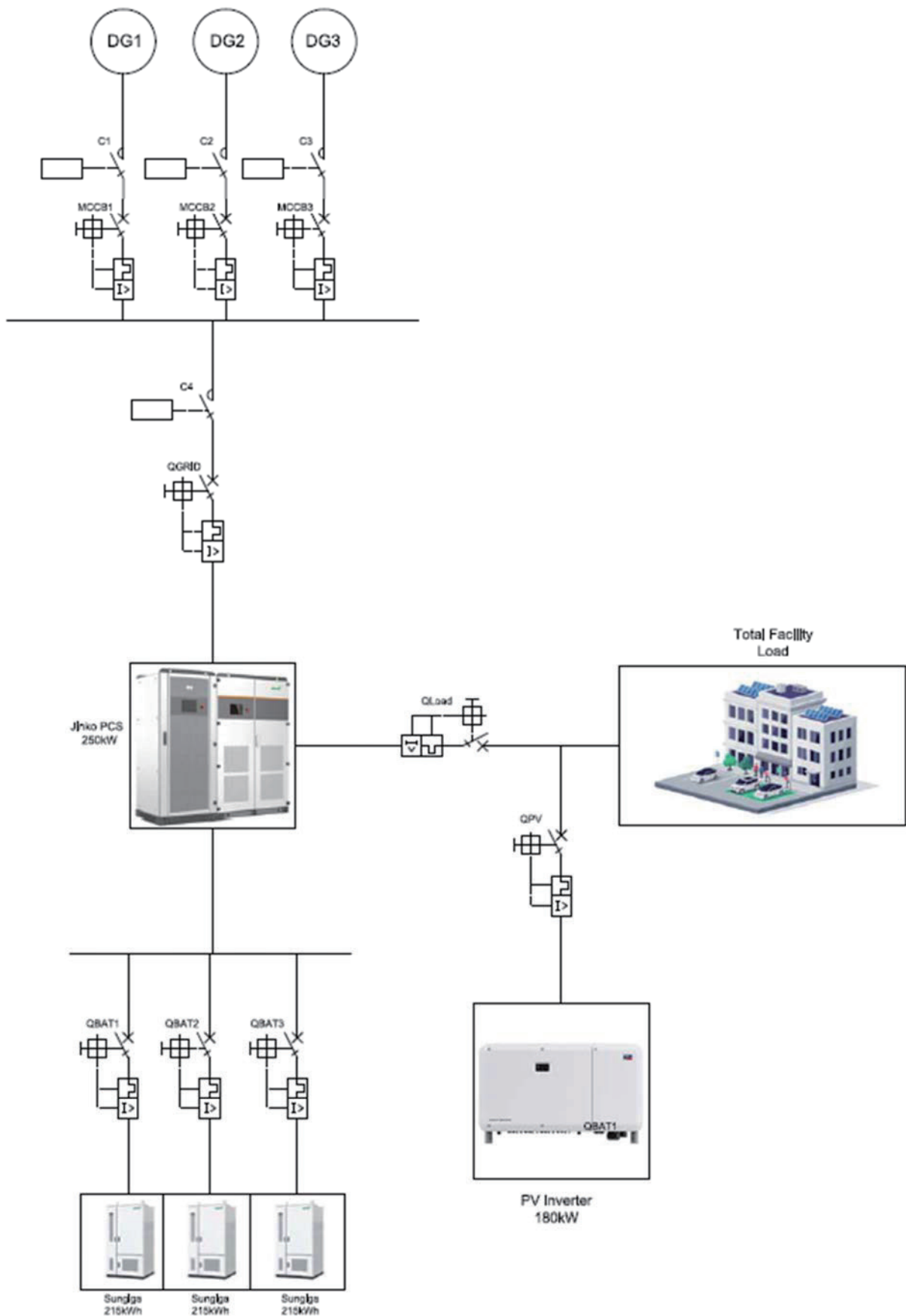


图 1: 微电网交流耦合系统单线图

解决方案

该项目采用 645kWh Jinko SunGiga 储能柜, 具备高度集成的设计, 安装维护简便, 可实现更高的系统集成度。

645kWh 储能系统采用柜式设计, 集成多个子系统, 以确保最佳性能和安全性, 包括电池架 (Battery Rack)、电池管理系统 (BMS)、液冷系统、消防系统、功率转换系统 (PCS) 和能源管理系统 (EMS)。

电池架

每个 215kWh 电池架由 5 组 153.6V 额定电压的电池模块串联组成, 总电压达到 768V。同时, 该系统配备高压盒 (HVB), 用于高低压电路的电气保护, 以及电池簇控制单元 (BCU), 负责收集和处理电池模块传输的数据。

电池管理系统

该解决方案采用两级架构的 BMS, 基于 CAN 总线通信, 包括电池管理单元 (BMU) 和电池簇控制单元 (BCU)。

BMU集成在每个电池模块中, 负责监测单体电压、温度和电流, 而 BCU 则集成在 HVB 内, 汇总 BMU 传输的数据。

BMS 负责实时监测热参数和电参数 (电压、电流、温度等), 精准估算电池的荷电状态 (SOC) 和健康状态 (SOH), 并支持自动校准及多重保护功能, 如过充、过放、短路、反接、过载及过温保护。

BMS能快速隔离局部故障, 报告故障信息, 并提供实时报警。

液冷系统

该解决方案采用液冷系统, 包括液冷主机、液体传输管道、电池液冷板, 并结合多模式精细化热管理控制逻辑, 以维持正常工作温度, 提升系统稳定性与使用寿命。液冷单元的额定功率仅为 4kW。

消防系统

ESS 系统内置的消防系统采用气溶胶灭火技术, 以确保安全并最大程度降低火灾风险。该系统包括温度和烟雾探测器, 可迅速识别 ESS 柜内可能发生的热失控现象。

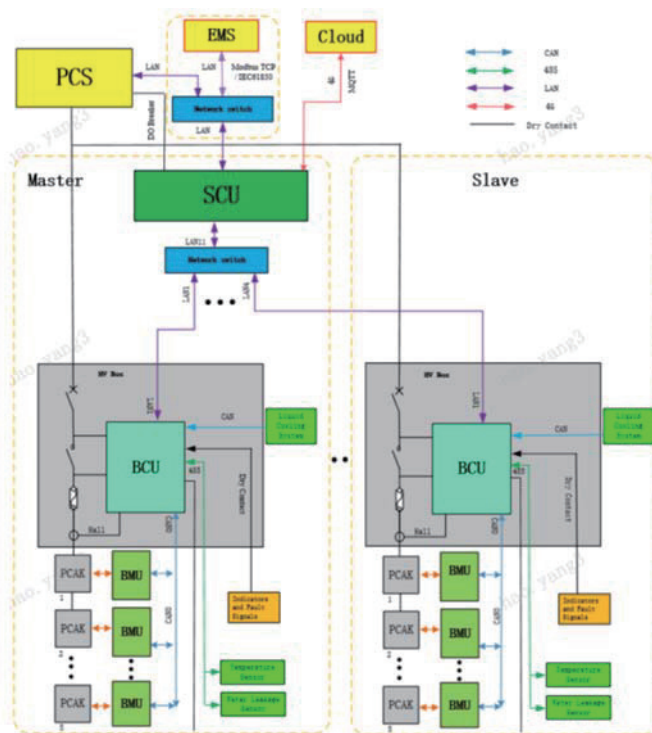


图 2: BMS 通信拓扑

当保护区域温度达到设定阈值时, 灭火装置会被触发, 释放灭火剂并扑灭火源; 同时, 干接点信号会反馈至上级控制单元, 提醒相关人员灭火剂已释放。

功率变换系统 (PCS)

该方案采用 250kW 并网成形 PCS, 并内置隔离变压器, 以提高负载适应能力。该系统支持同时接入负载、电池、柴油发电机 (DG) 和光伏逆变器 (PV Inverters), 并确保并网模式 (Grid Following) 与自组网模式 (Grid Forming) 之间的平稳切换, 确保负载的持续供电。

PCS 内置 DC-AC 转换器。在并网模式 (PQ 模式) 下, DC-AC 转换器连接电网进行功率调节和控制。

在自组网模式 (VF 模式) 下, DC-AC 转换器维持恒定电压和频率, 为负载提供稳定的交流电, 并为光伏逆变器的运行提供基准, 以符合系统运行逻辑。

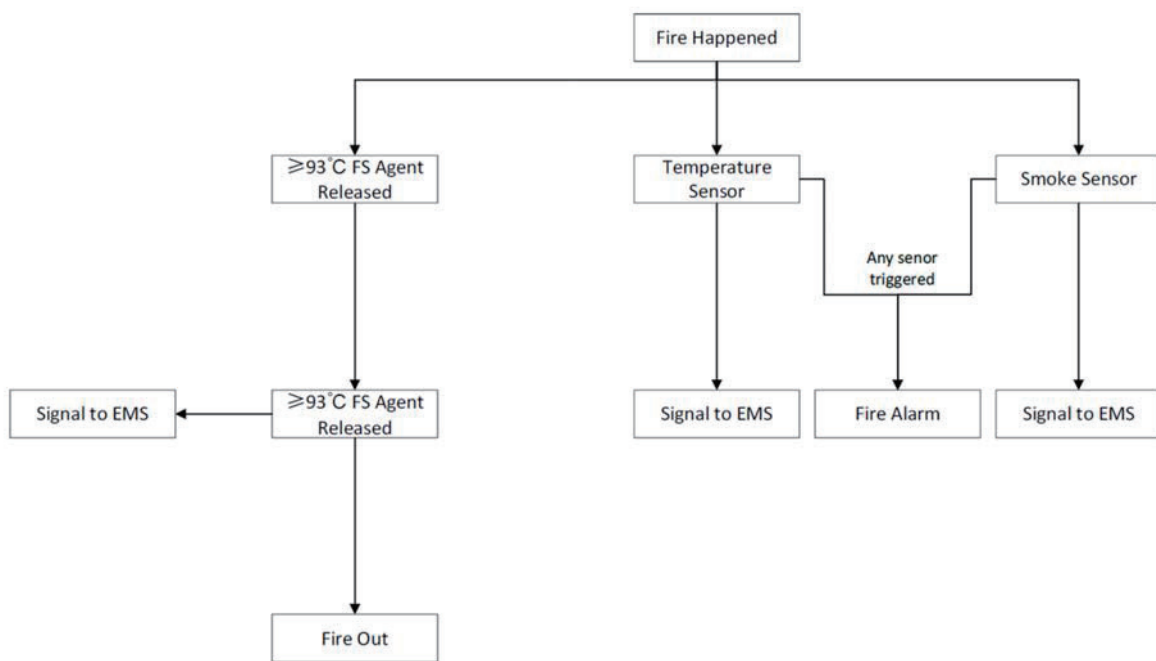


图 3: 消防系统工作流程

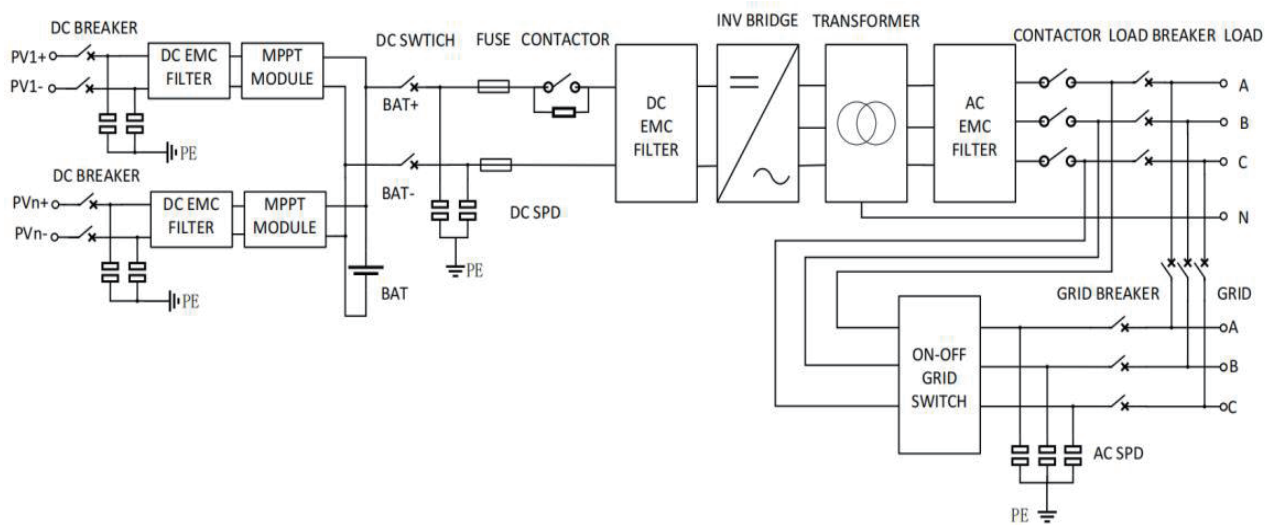


图 4: PCS 单线图

能源管理系统 (EMS)

作为 ESS 的核心控制单元,EMS 集成于 ESS 系统内,可优化能源流动,提高系统性能,并与现有的 SMA 光伏逆变器无缝集成。

EMS 提供实时监控与控制,用户可通过可视化界面管理和调整系统设置,监测如荷电状态 (SOC)、健康状态 (SOH) 和电力流动等关键参数。

EMS 在优化 ESS 运行方面至关重要,确保光伏逆变器、电池柜和柴油发电机之间的高效管理。

BMS、PCS 和光伏逆变器通过 Modbus TCP/IP 与 EMS 连接,EMS 通过干接点 (基于电池 SOC%) 与现有柴油发电机进行通信。

当保护区域温度达到设定阈值时,灭火装置会被触发,释放灭火剂并扑灭火源;同时,干接点信号会反馈至上级控制单元,提醒相关人员灭火剂已释放。

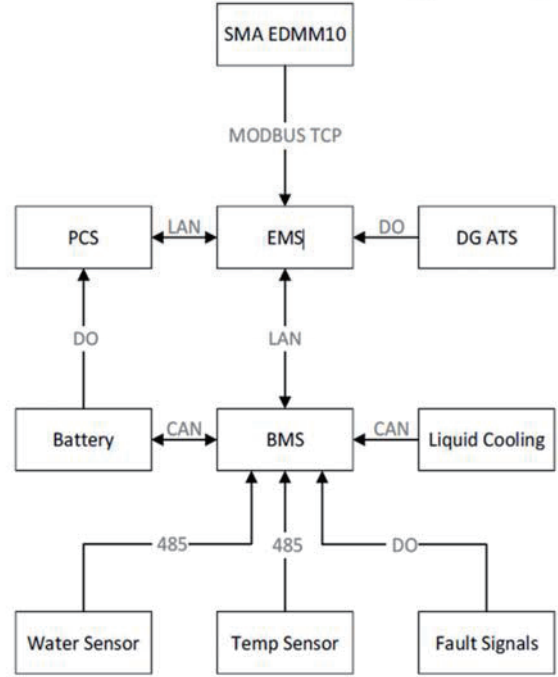


图 5: EMS 通信拓扑

运行逻辑

在白天,系统以离网模式运行,PCS 切换到构网模式,提供恒定的电压和频率,以支持光伏逆变器给电池充电,并为负载供电。

由于光伏系统的容量 (180kW) 低于最大可接受的充电能力,因此当电池荷电状态 (SOC) 在 0% 到 90% 之间时,EMS 会指示光伏逆变器以 100% 功率充电。

SOC 达到 90% 时,EMS 开始限制光伏充电,按照以下公式设定功率输出:

$$P_{Setpoint} = P_{Charging} + P_{Load}$$

$$P_{Setpoint} = 0.3 \times P_{CS\ Capacity} + P_{Load}$$

$$P_{Setpoint} = 75kW + P_{Load}$$

当 SOC 达到 95% 时,EMS 会进一步降低光伏逆变器的充电功率,使其充电设定值不超过 PCS 额定容量的 150%,确保系统安全稳定运行。

$$P_{Setpoint} = 0.10 \times P_{CS\ Capacity} + P_{Load}$$

$$P_{Setpoint} = 25kW + P_{Load}$$

当 SOC 达到 98% 时,EMS 将完全停止光伏充电,系统的功率输出仅用于维持设施负载:

$$P_{Setpoint} = P_{Load}$$

以上所有阈值均已在 PCS 一体化柜内的 EMS 人机界面 (HMI) 中设定, 以防止电池过充。

当电池 SOC 降至 20% (低电量阈值) 时, EMS 将触发 DO1 信号, 自动启动柴油发电机 (DG)。当柴油发电机投入运行后, PCS 将从构网模式切换至跟网模式 (grid following mode)。由于客户禁止使用柴油发电机的为电池充电, 因此 DG 仅用于向负载供电, 直至电池通过光伏充电, 并达到 30% SOC。

当系统 SOC 达到 30% (DG 关闭阈值) 时, EMS 将禁用 DO1 信号, 柴油发电机停止运行, PCS 再次切换回离网模式。

为了保护柴油发电机, EMS 设置了最低负载阈值, 该阈值由发电机的额定容量和制造商决定。现有的沃尔沃 (Volvo) 柴油发电机最低可运行负载为其额定容量的 25%。当操作人员手动启动 DG 时, EMS 将关闭光伏逆变器, 确保柴油发电机承担全部负载供电, 并考虑最低负载阈值。虽然禁止 DG 直接为电池充电, 但如果设施负载小于发电机的最低负载阈值, 则 DG 将以以下计算方式对电池充电:

$$P_{\text{charging from DG}} = P_{\text{minimum DG load}} - P_{\text{Load}}$$

$$DG_{\text{capacity}} = 250kW$$

$$P_{\text{charging from DG}} = 62kW - P_{\text{Load}}$$



图5: EMS HMI 显示

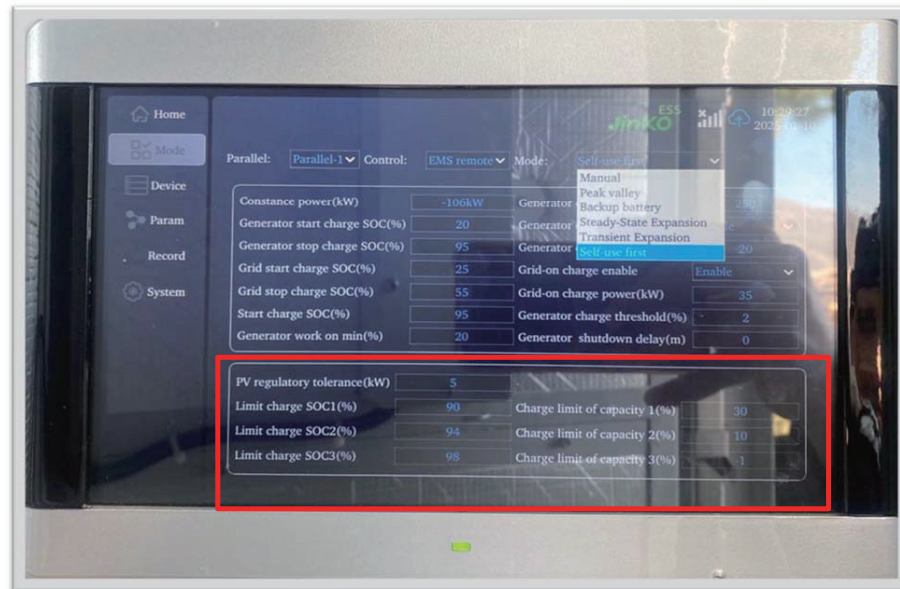


图6: EMS 逆变器功率限制阈值

监控系统

SCU监控

该方案配备了一台 SCU (系统控制单元), 连接至 3 个电池柜, 以监控和控制所有相关子系统 (包括冷却系统、消防系统 FSS、电池管理单元 BMUs、电池控制单元 BCUs 等), 并提供集群及单体电池的电压、温度、电流的实时数据, 同时记录报警日志和 SunGiga 电池柜的运行状态。

SCU 通过 LAN 连接至客户的路由器, 并可通过 VPN 远程访问, 实现云端监控。



图 6: SCU 云端监控界面

EMS监控

EMS 云端平台是一款智能管理系统, 用于集中监控和调控储能系统 (ESS) 的运行状态。

电池管理系统 (BMS)、光伏逆变器 (PV Inverters)、功率变流系统 (PCS) 及 EMS 人机界面 (HMI) 均通过 Modbus TCP/IP 连接至 EMS 一体化柜内的物联网 (IoT) 路由器, 该路由器通过客户互联网的 WAN 接入云端监控平台。

注意: 该路由器支持通过 4G SIM 卡接入云平台。



图 7: 系统物联网路由器 (IoT)

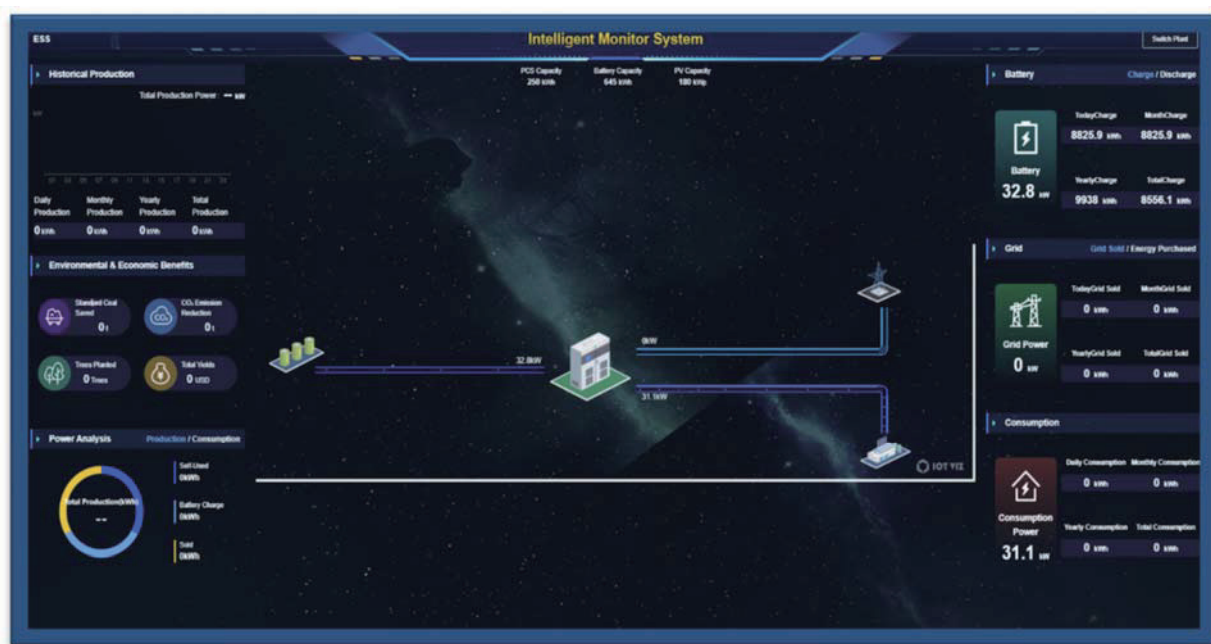


图 8: EMS 云端监控平台

数据分析

$20\% \leq \text{SOC} \leq 90$

由于系统 SOC (电池荷电状态) 低于第一阶段功率限制阈值 (90%), 光伏逆变器保持 100% 的有功功率设定点运行, 如下图所示:



图 9: SMA 监控平台显示EMS发送的100%设定点

90% ≤ SOC ≤ 95

在SOC进入90%-95%区间时,光伏逆变器的充电功率被限制在 75kW (即 PCS 额定功率的 30%),同时考虑 35kW 的负载需求。EMS 发送的功率设定点约为光伏总容量的 66% (见图 10),该数值与负载需求相匹配

$$P_{Load} = 35kW$$

$$Calculated\ PV\ P_{Setpoint} = PV\ P_{Charging} + P_{load}$$

$$Calculated\ PV\ P_{Setpoint} = 75kW + 35kW = 110kW$$

$$Calculated\ PV\ P_{Setpoint}\% = \frac{Expected\ PV\ P_{setpoint}(kW)}{Total\ PV\ Capacity\ (kW)} \times 100$$

$$Calculated\ PV\ P_{Setpoint}\% = \frac{110kW}{180kW} \times 100 = 62\%$$

计算得出的光伏功率设定点与实际设定点几乎相同。此外,如图 11 所示,充电功率受限于 71kW,符合系统运行逻辑。

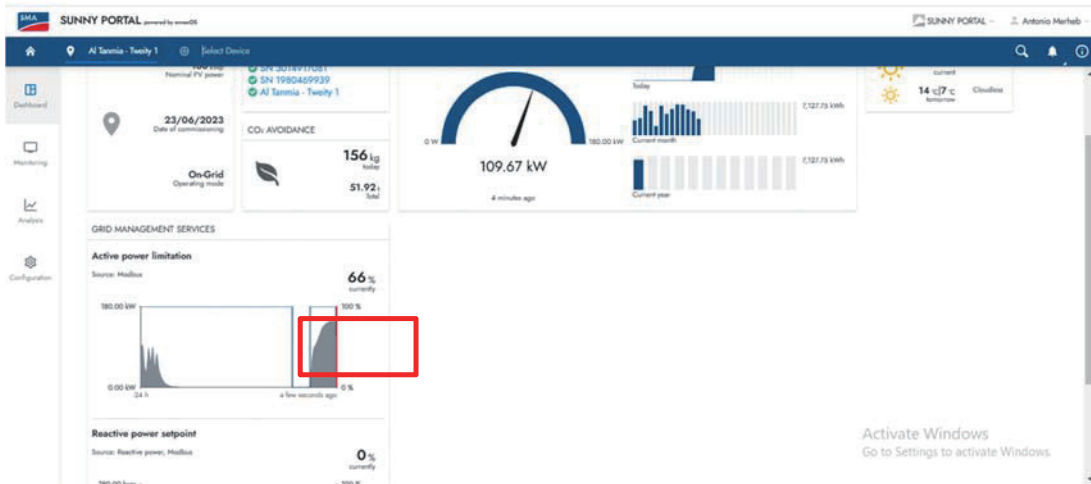


图 10: SMA 监控平台显示 66% 功率设定点

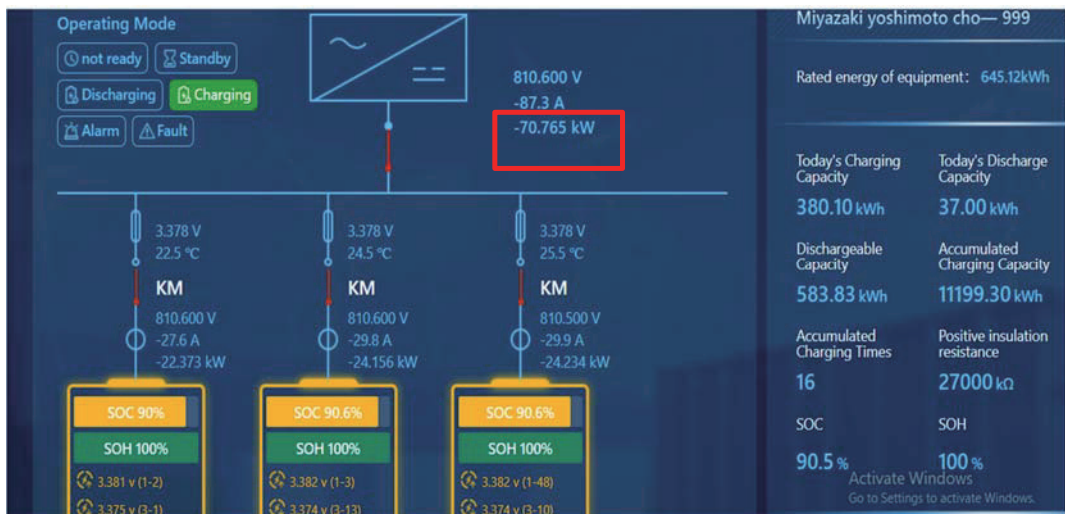


图 11: SCU 监控显示 90% SOC 充电功率受限

95% ≤ SOC ≤ 98%

当电池 SOC 进入 95%-98% 区间时, 光伏逆变器的充电功率会被限制在 25kW (相当于 PCS 总容量的 10%)。从图 12 可以看到, EMS 发送的光伏功率设定点为光伏总容量的 25%, 这一设定符合当前 20kW 负载需求:

$$P_{Load} = 20kW$$

$$Calculated\ PV\ P_{Setpoint} = PV\ P_{Charging} + P_{load}$$

$$Calculated\ PV\ P_{Setpoint} = 25kW + 20kW = 45kW$$

$$Calculated\ PV\ P_{Setpoint}\% = \frac{Expected\ PV\ P_{setpoint}(kW)}{Total\ PV\ Capacity\ (kW)} \times 100$$

$$Calculated\ PV\ P_{Setpoint}\% = \frac{45kW}{180kW} \times 100 = 25\%$$

计算得出的光伏功率设定值与实际设定值基本一致。同时, 从图 13 可以明显看出, 充电功率被限制在 25kW, 符合系统的运行逻辑。



图 12: SMA 监控平台显示 25% 设定点

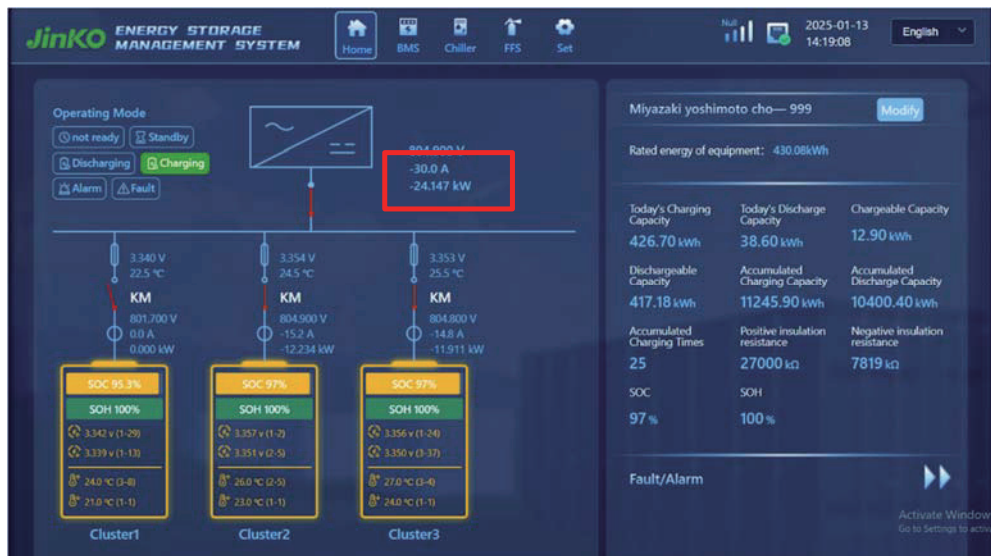


图 13: SCU 监控显示 97% SOC 充电功率受限

98% ≤ SOC

当电池 SOC 达到 98% 时, 光伏逆变器的充电设定点降至 0%, 此时光伏功率仅用于满足负载需求:

$$P_{Setpoint} = P_{Load}$$

$$Calculated\ PV\ P_{Setpoint} = 0kW + 55kW = 55kW$$

$$Calculated\ PV\ P_{Setpoint}\% = \frac{Expected\ PV\ P_{setpoint}(kW)}{Total\ PV\ Capacity\ (kW)} \times 100$$

$$Calculated\ PV\ P_{Setpoint}\% = \frac{55kW}{180kW} \times 100 = 31\%$$

计算得出的光伏功率设定点与实际设定点几乎一致。同时, 如图 15 所示, 充电功率降至 0kW, 符合系统运行逻辑。

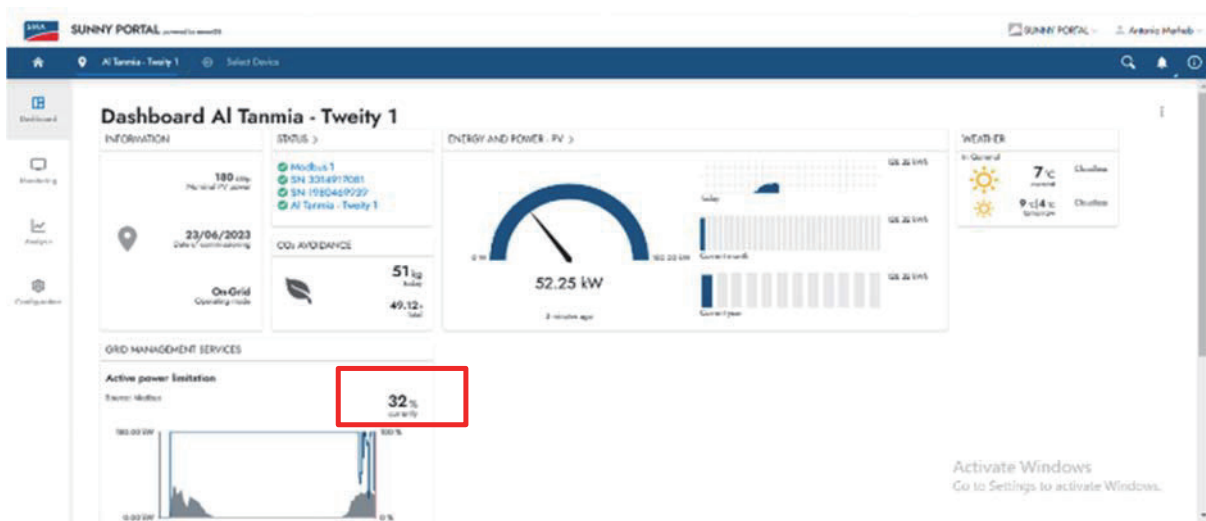


图 12: SMA 监控平台显示 EMS 发送的 32% 设定点

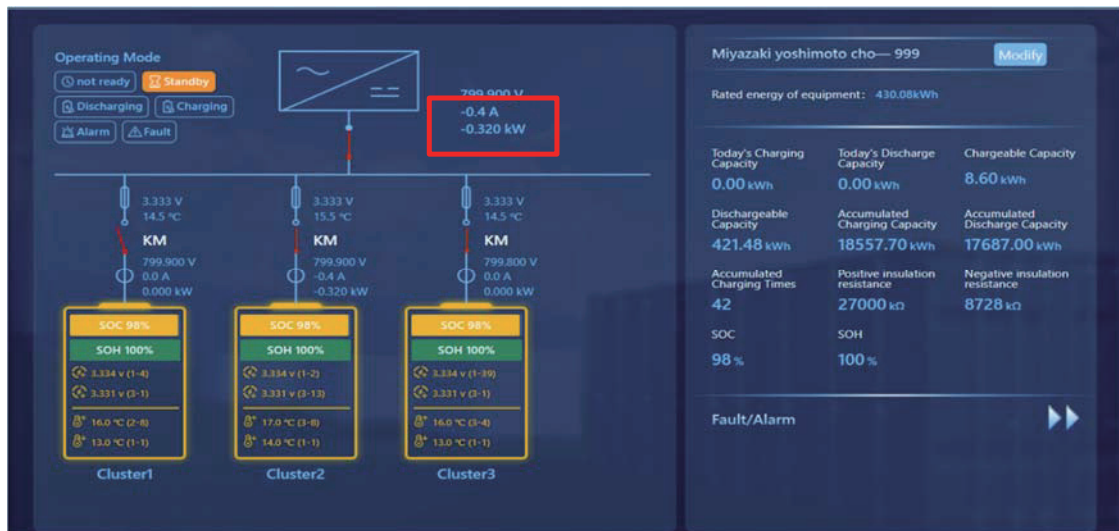
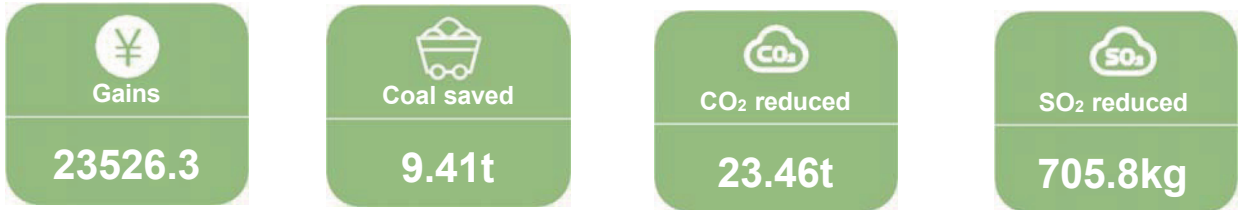


图 14: SCU 监控显示 98% SOC 时的充电功率限制

数据分析

本研究强调了储能系统在推动可持续、更具韧性的能源基础设施转型中的关键作用。645kWh 工商业 (C&I) 储能系统采用交流耦合微电网方案, 在简化安装、降低成本和满足环境要求方面展现出显著优势。

运营数据表明, 该系统具有高效率、高可靠性和良好的可扩展性, 在研究期间内几乎没有性能衰减。此外, 该项目为电池管理策略和控制提供了重要的实践经验。未来, 电池技术的进步及电网互联策略的优化将进一步提升类似储能系统的应用成效。



*本报告为概述性内容, 晶科储能保留更新内容的权利, 并对其解释拥有最终解释权。



浙江晶科储能有限公司

中国上海市闵行区申长路1466弄1号

电话: +86 400 860 8878

www.jinkosolar.com

Case Study

晶科储能液冷微电网交流耦合系统解决方案