



国家电网  
STATE GRID

# 电网侧储能电站关键应用 及试验技术

国网江苏省电力有限公司电力科学研究院  
二〇一八年八月



全球能源互联网期刊



一

工程介绍



二

储能电站监控系统



三

源网荷储系统



四

储能控制调节技术



五

储能站调试情况



**储能（广义）：**是指通过一种介质或者设备，把一种能量形式用同一种或者转换成另一种能量形式存储起来，基于未来应用需要以特定能量形式释放出来的过程。

**电能储能（狭义）：**利用化学或物理方法将产生的能量存储起来并在需要时释放的技术和措施。

**领域：**电力系统（发、用平衡）、电动汽车、家庭应用

## 1. 电源侧储能：

平滑新能源发电功率波动，减少弃光/风；参与电网调频、调峰



电力应用

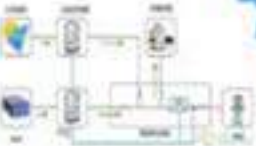
## 2. 电网侧储能：

参与电网的调峰、调压、调频；作为黑启动电源



## 3. 用户侧储能：

削峰填谷、平移负荷，减少对供电容量需求和减缓配电网投资



## 4. 微网储能：

发挥基准电源或快速调节电源作用；电力调峰，改善微电网电能质量



## 一、工程介绍-建设背景



国家电网公司  
STATE GRID  
CHINA

高端  
电网  
需要

推动大规模“源网荷储”协调发展；提高可再生能源消纳水平和高渗透率地区新能源外送能力；提升电网友好互动灵活运行能力

能源  
服务  
转型

实现向综合能源服务的深度转型，助力公司构建现代能源综合服务体系

缓解  
电网  
压力

缓解镇江地区电网迎峰度夏供电压力，提高电网削峰填谷能力和局部电网供电能力；储能电站具有建设周期短、布点灵活的优势



全球之最



## 镇江电网侧储能电站

容量最大的电化学储能电站

+

功能最全面的储能电站

+

首套毫秒级响应的源网荷储系统



| 序号 | 所属地区 | 工程名称    | 站址位置       | 建设规模         |
|----|------|---------|------------|--------------|
| 1  | 大港   | 大港储能电站  | 110kV大港变电站 | 10MW/20MWh   |
| 2  | 大港   | 北山储能电站  | 220kV北山变电站 | 10MW/20MWh   |
| 3  | 大港   | 五峰山储能电站 | 五峰山变电站     | 24MW/48MWh   |
| 4  | 丹徒   | 谏壁储能电站  | 110kV谏壁变电站 | 36MW/72MWh   |
| 5  | 丹徒   | 丹徒储能电站  | 220kV丹徒变电站 | 12MW/24MWh   |
| 6  | 扬中   | 八圩储能电站  | 110kV八圩变电站 | 36MW/72MWh   |
| 7  | 扬中   | 新丰储能电站  | 110kV新丰变电站 | 10MW/20MWh   |
| 8  | 扬中   | 三洲储能电站  | 110kV三洲变电站 | 10MW/20MWh   |
| 合计 |      |         |            | 101MW/202MWh |

容量：101MW/202MWh（8个站）

功能：参与电网调峰、调频、调压  
（AGC、AVC）

源网荷储：全部接入源网荷储系统

组成：储能电池、电池管理系统（BMS）、储能变流器（PCS）、监控系统、升压变压器、SVG

电池：基本的能量存储介质

BMS：对电池电压、温度、状态等信号在线监测，对电池进行管理

PCS：核心设备，实现储能电池与电网间交直流交换和双向能量传递

**监控系统：**实现全站储能系统实时监视，功率控制，满足电网调峰调频需求



升压变压器：储能系统交流输出升压后并网

### SVG：提升储能电站无功电压调节能力

电池均采用磷酸铁锂电池组（宁德时代、中天科技、合肥国轩、力信能源），**安全可靠、能量密度高、充放电速率快、使用寿命长。**

多个电池串并联，形成一个电池模块，多个模块串联形成电池簇，多个簇并联形成电池堆（0.5MW/1MWh，电压约690V~760V），2个电池堆安装于一个舱（1MW/2MWh），每个电池堆对应一台PCS。



| 电池类型          | 宁德时代    | 中天科技 (磷酸铁锂)        | 合肥国轩 (LFP)         | 力信能源 (LFP) |
|---------------|---------|--------------------|--------------------|------------|
| 额定电压 (V)      | 3.2     | 2.8-3.7            | 3.2-4.2            | 3.6        |
| 额定容量 (kWh/kg) | 25-30   | 150-160            | 200-220            | 2-25       |
| 额定功率 (kW/kg)  | 150-160 | 300-350            | 100-150            | 15-40      |
| 放电倍率          | 0.2C    | 0.2C-1C (100% SOC) | 0.2C-1C (100% SOC) | 2-5C       |
| SOC 使用范围 (%)  | 20%-80% | 10%-90%            | 10%-90%            | 20%-90%    |
| 能量效率 (%)      | 90-95   | 90-95              | 90-95              | >90        |
| 循环寿命          | >1000   | 10000              | 10000              | >10000     |
| 安全特性          | 无明火     | 无明火                | 无明火                | 无明火        |
| 额定功率 (MW)     | 0.5-1.0 | 0.5-1.0            | 0.5-1.0            | 0.5-1.0    |

## 一、工程介绍-特点



国家电网公司  
STATE GRID  
CHINA POWER GRID CORPORATION

一、二次设备高度集成，采用标准预制舱体布置形式，实现设计方案模块化、设备基础通用化、施工建设标准化，缩短建设周期，节约建设成本。

智能总控舱、电池舱、PCS升压舱、汇流舱、SVG舱，舱体数量多。

电池舱与PCS升压舱（2 PCS+升压变）——对应，前者有空调，后者通风，前者采用七氟丙烷气体自动灭火系统（全淹没灭火方式），均装设红外测温高清摄像头。

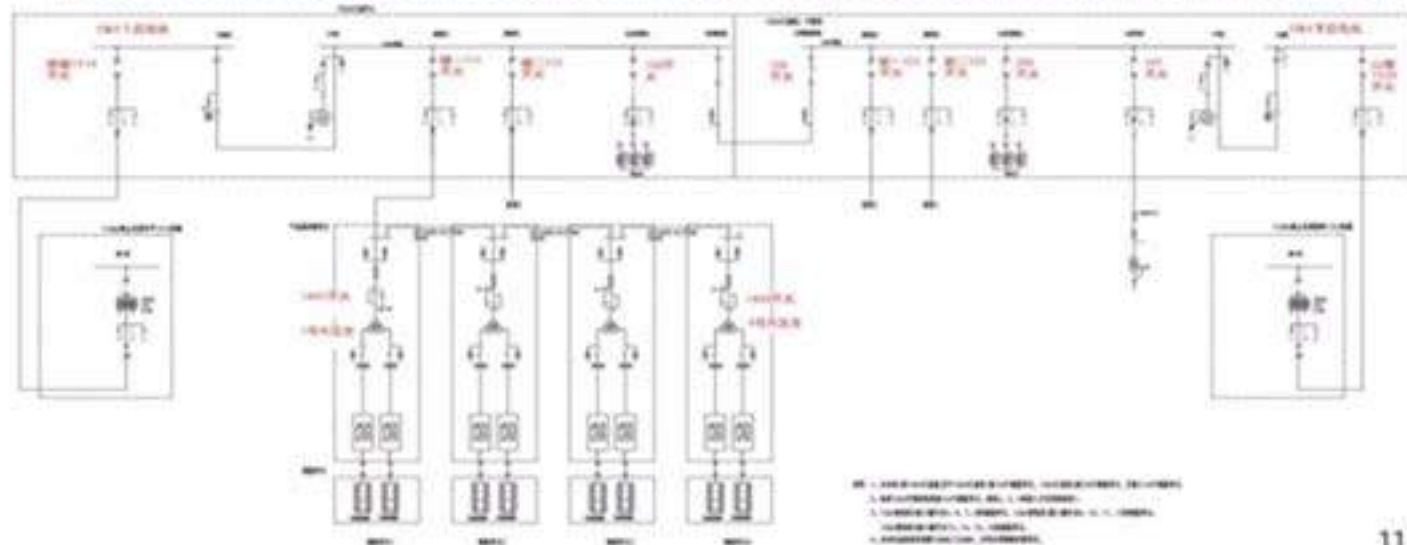


## 一、工程介绍-特点



国家电网公司  
STATE GRID  
CHINA ELECTRICITY GRID CORPORATION

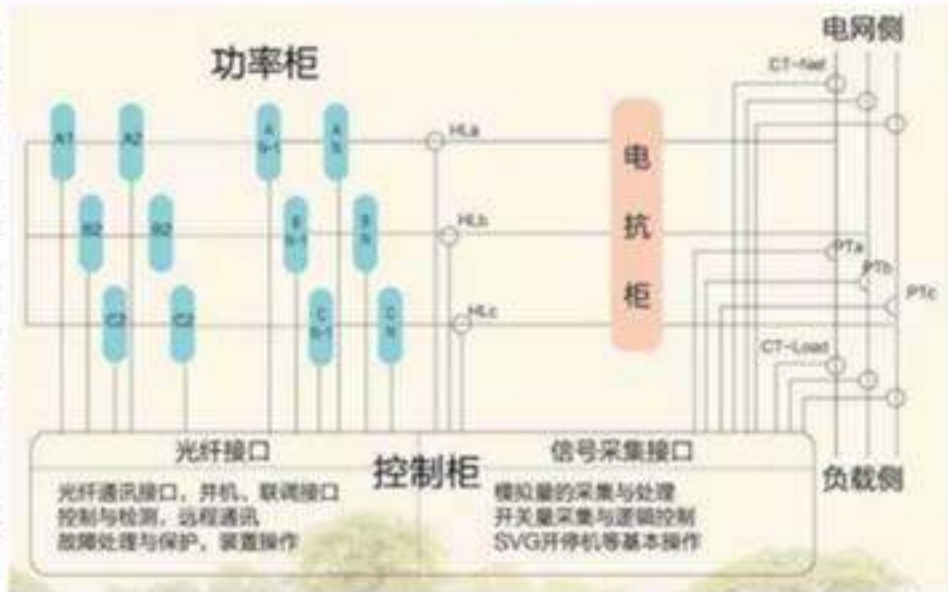
优化主接线，将进线柜与PCS舱——对应的型式优化为“一拖四”、“一拖三”，将多面PCS舱相互连接后接入一台进线柜，大幅降低设备成本，有效减少占地面积。





SVG：与储能系统配合，提升储能站无功调节能力，以IGBT为核心，快速连续提供容性或感性无功。

优点：通过对电流的实时追踪，实现对无功和谐波的瞬时动态补偿，具有提高电网稳定性、抑制谐波、平衡三相电网、降低损耗等作用。



## 一、工程介绍-效果



国家电网公司  
STATE GRID  
CHINA STATE GRID CORPORATION

总控舱



电池舱



整站图



监控系统

## 一、工程介绍-效果



国家电网公司  
STATE GRID  
CHINA ELECTRICITY GRID



镇江电网侧储能站同时放电：

响应快、一致性好；  
有效支撑高峰负荷；  
满放1h稳定性好。



**监控系统：**储能电站的核心部分（“大脑”），实现对储能站中储能系统、升压变压器、SVG等进行信息采集、处理、实时监视、**有功自动控制、无功电压控制、与调度通信**和运行管理等功能。

**控制与调节：**支持远方和就地模式，包括站内断路器、隔离开关、变压器分接头遥控；设备状态切换、软压板遥控、定值切换；有功功率优化控制、无功电压优化控制。

**与调度通信：**站内信号上送省/地调，接收省/地调控制和遥调。

**高级应用：**事故反演、诊断预警、全景分析等。

## 二、监控系统-性能指标



国家电网公司  
STATE GRID  
CHINA ELECTRICITY GRID

**可用性：**年可用率 $\geq 99.99\%$ ；运行寿命 $\geq 10$ 年；设备电源故障无缝切换，热备节点切换时间 $\leq 5s$ ，主备通道切换时间 $\leq 20s$ 。

**可靠性：**系统长期稳定运行，关键设备MTBF $\geq 30000h$ 。

**准确率：**遥信、遥控、遥调准确率 $100\%$ ；遥测误差 $\leq 0.5\%$ ；频率测量误差 $\leq 0.005Hz$ ；SOE $\leq 2ms$ ；对时精度 $< 100ms$ 。

**实时性：**遥测响应时间 $\leq 3s$ ；遥信变位响应时间 $\leq 2s$ ；画面调用 $< 3s$ ；操作响应时间 $< 3s$ 。

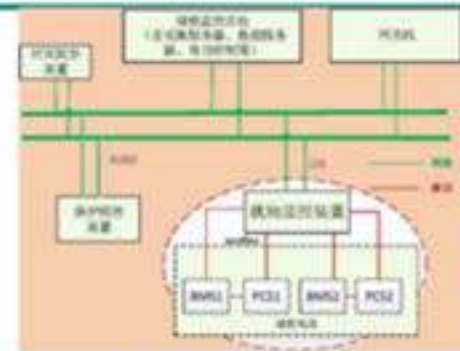
**系统容量：**模拟量 $\geq 500000$ 、状态量 $\geq 500000$ 、遥控量： $10000$ ；遥调量 $10000$ 。



## 二、监控系统-工程应用



国家电网公司  
STATE GRID  
CORPORATION OF CHINA



厂商S



厂商X

工程  
应用  
多样

厂商N



厂商E



## 二、监控系统-工程应用



国家电网公司  
STATE GRID  
CHINA



全站接线图

全站状态图



单间隔详细图

全站网络图



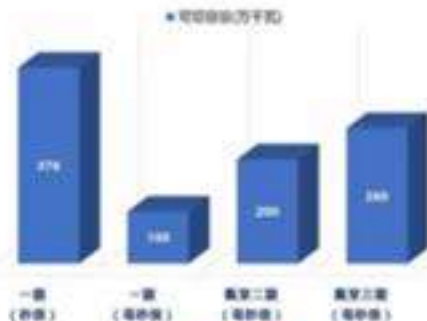
### 三、源网荷储系统-规模现状



国家电网公司  
STATE GRID  
CHINA ELECTRICITY GRID CORPORATION



2016年6月15日，**国内首套**“大规模源网荷友好互动系统”在江苏建成投运，标志着最大的虚拟电厂建成，全省实现376万千瓦的秒级、100万千瓦毫秒级精准负荷控制能力。

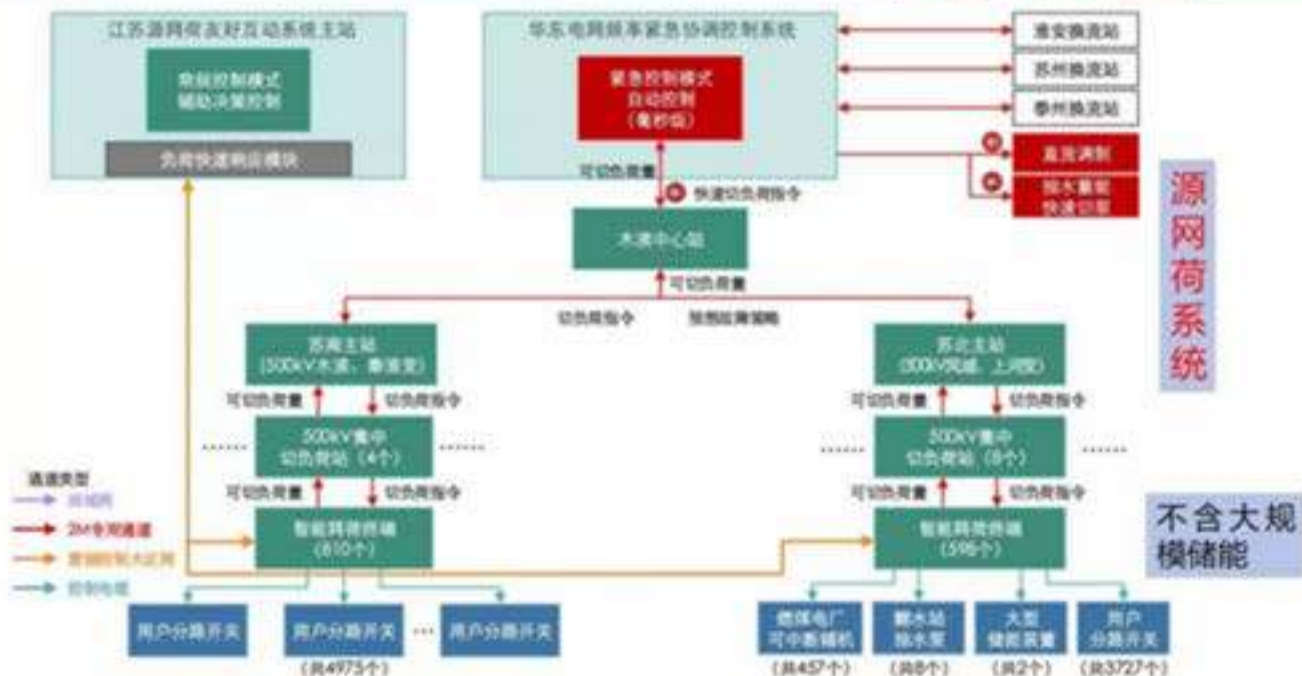


- 2017年12月，**二期工程**建成投运，江苏全省具备200万千瓦毫秒级精准切负荷能力；
- 2018年5月，**三期工程**建成投运，江苏全省具备260万千瓦毫秒级精准切负荷能力。

# 三、源网荷储系统-系统架构



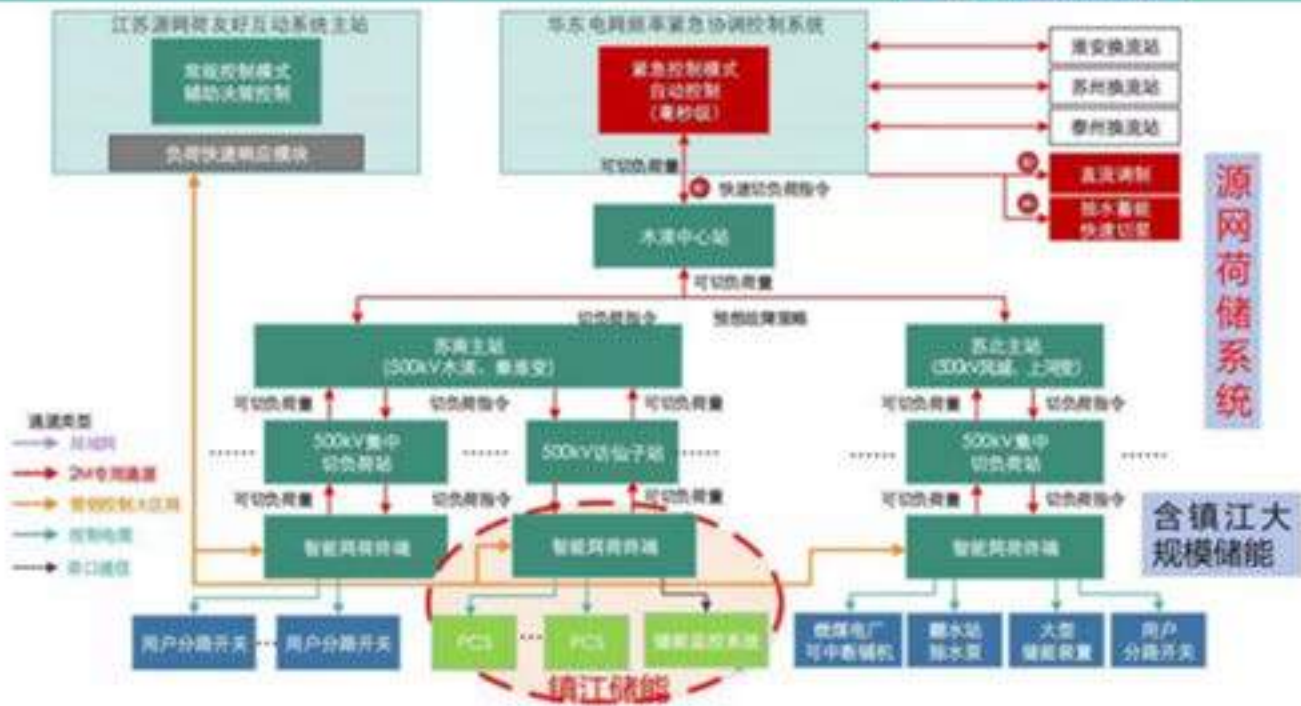
国家电网公司  
STATE GRID  
CHINA



### 三、源网荷储系统-系统架构



国家电网公司  
STATE GRID





**源网荷总体策略：**按层级切负荷，每个子站分6个层级，结合不同故障（省外直流故障、锦苏直流故障、锡泰直流故障、雁淮直流故障），子站设置不同优先级切负荷。

**储能策略：**

**执行：**储能系统直接按最大能力满放（至少持续1s，不接受其他命令），充放电转换时间小于100ms

**恢复：**1s后监控系统接管PCS（由监控系统控制放电功率，最优经济模式）；5min内收到网荷终端复归命令，恢复执行之前的状态；5min内未收到复归命令，自行恢复执行之前状态。



**需求：**大电网故障、负荷峰谷差日益增大、可再生能源渗透率提高，引起电网频率、电压变化，需动整机组出力、控制电压。

一次  
调频

二次  
调频

三次  
调频

AGC

自动发电控制：发电机组在规定的出力调整范围内，跟踪调度下发的指令，按照一定调节速率实时调整出力，满足电力系统频率和联络线功率控制要求。

一级  
电压  
控制

二级  
电压  
控制

三级  
电压  
控制

AVC

自动电压控制：分层控制电网无功电源和变压器分接头，对无功补偿可控设备闭环控制，达到电压优质和网损最小的目标。





**模式：**调度AGC模块根据ACE模块计算储能站充放电功率，储能监控系统根据调度AGC调节指令结合站端各储能单元当前状态实时生成站端AGC控制命令，在实现调度AGC指令跟踪的同时有效保护电池运行安全。

**要求：**实时计算站内电池状态、剩余容量（SOC），上送调度快速响应调度AGC指令；  
优化分配并控制；

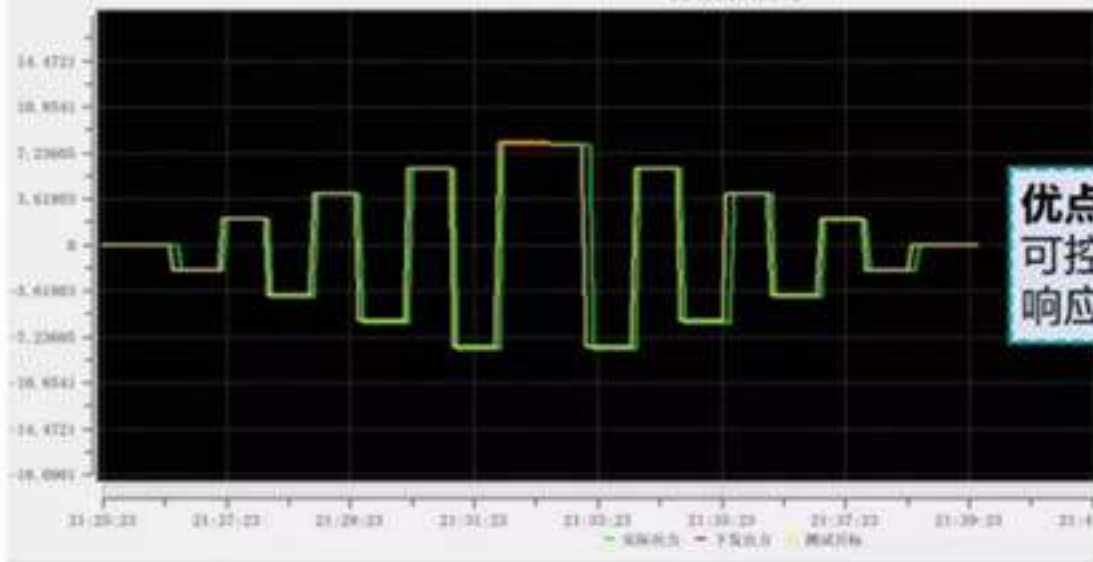


## 四、储能控制调节技术-AGC



国家电网公司  
STATE GRID  
CHINA ELECTRICITY GRID

随动测试曲线



优点：  
可控范围大 $2 \times P_N$   
响应快



为满足储能电站接入江苏电网调度自动化的技术要求，首次开展储能电站监控系统入网测试。



## 五、储能站调试情况-监控系统测试



国家电网公司  
STATE GRID  
CHINA

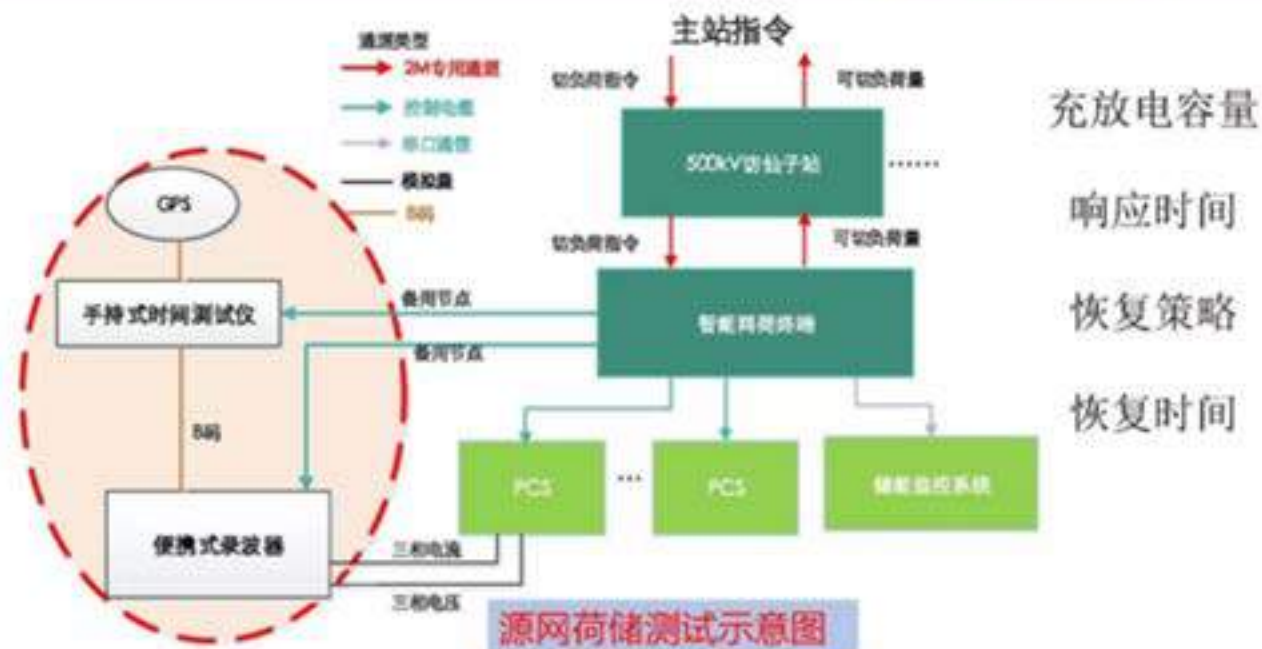
测试项目

| 序号 | 测试项目    | 测试内容                                  | 测试选项   |
|----|---------|---------------------------------------|--------|
| 1  | 数据采集    | 采集BMS、PCS、保测及辅控装置信息。                  | 必测 (M) |
| 2  | 数据处理    | 通信处理、遥测处理、计算功能及数据质量码处理。               | 必测 (M) |
| 3  | 控制操作    | 遥控权限、遥控监护及遥控操作。                       | 必测 (M) |
| 4  | 告警功能    | 实时告警、历史告警及事故追忆。                       | 必测 (M) |
| 5  | 有功控制    | 计划曲线、控制模式、安全机制及调度有功控制。                | 必测 (M) |
| 6  | 无功控制    | 调度侧无功控制。                              | 必测 (M) |
| 7  | 时间同步    | 对时功能及时间同步监测功能。                        | 必测 (M) |
| 8  | 通信功能    | 监控系统与PCS、保测装置通信功能，网关机与调度主站通信功能。       | 必测 (M) |
| 9  | SOC维护功能 | 储能SOC维护功能。                            | 必测 (M) |
| 10 | 逻辑闭锁    | 站控层逻辑闭锁及间隔层逻辑闭锁。                      | 必测 (M) |
| 11 | 画面监控    | 站控层监控与就地监控。                           | 必测 (M) |
| 12 | 双机切换    | 双前置机切换、双数据服务器切换及双监控主机切换。              | 必测 (M) |
| 13 | 网络拓扑    | 电气岛分析、电源点分析、拓扑着色等功能。                  | 可选 (O) |
| 14 | 诊断预警    | PCS诊断分析功能及电池系统诊断分析功能。                 | 可选 (O) |
| 15 | 全景分析功能  | 根据BMS和PCS上送的全景数据，分析系统运行状态，挖掘或抽取有用的信息。 | 可选 (O) |
| 16 | 系统性能    | 储能监控系统性能指标。                           | 可选 (O) |

4个监控厂商

完成测试132项

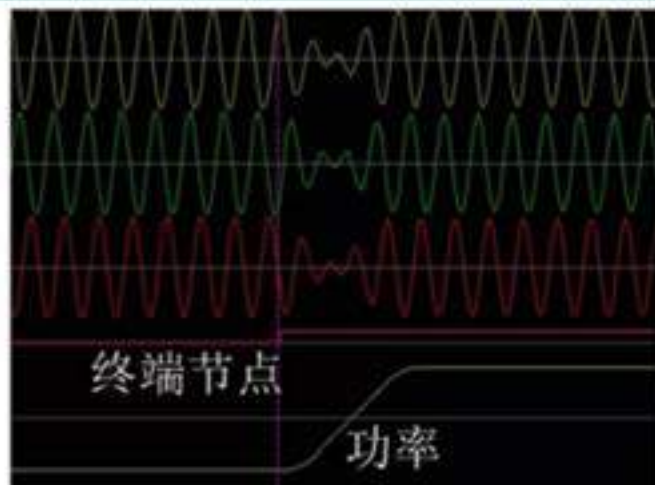
发现缺陷37项



## 五、储能站调试情况-源网荷测试



国家电网公司  
STATE GRID  
CHINA STATE GRID CORPORATION LIMITED



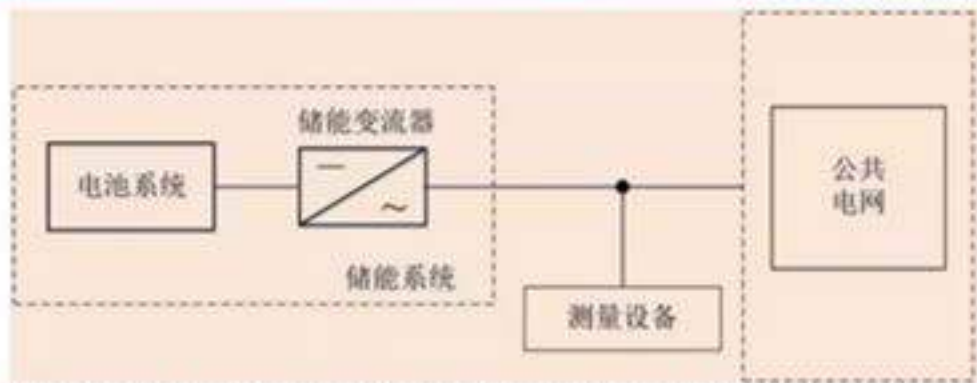
动作波形（快速转换）



恢复波形（慢速转换）

动作时间（满充-满放）：  
站内100ms以内（40ms）；子站200ms以内

策略：  
1s满放，5min可靠放电



### 测试项目：

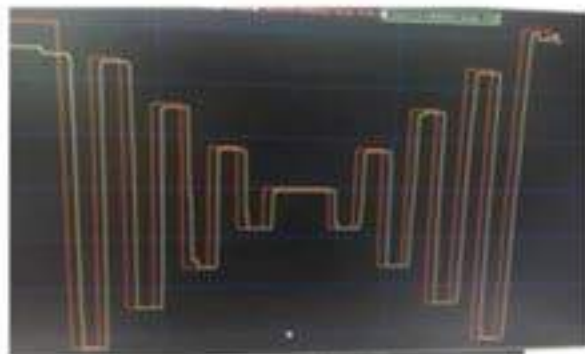
功能检查：信号逻辑、最大可充/放电、时间检查

设定功率：有功（升功率、降功率）设定点调节

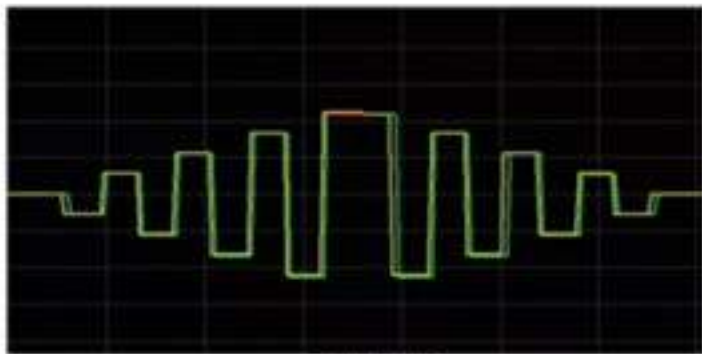
自动调节：主站自动调节（根据电网及储能站状态）

响应、调节时间：充/电响应、调节、转换时间





A站曲线



B站曲线

AGC响应时间（主站调-主站收）：5-15s  
充放电转换时间：500ms左右  
调节精度：优于8%