



国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

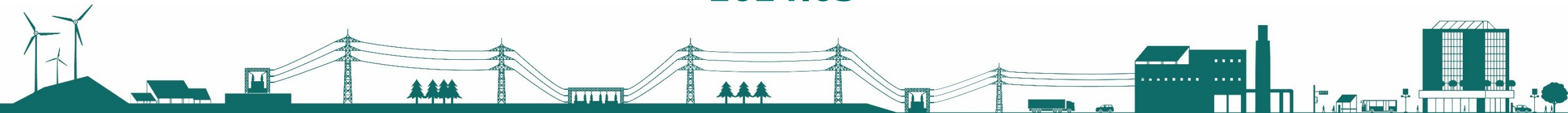
储能构网控制及并网测试

渠展展

中国电力科学研究院有限公司

储能与电工新技术研究所

2024.03





目

录

Contents



1

储能与构网

2

规范与要求

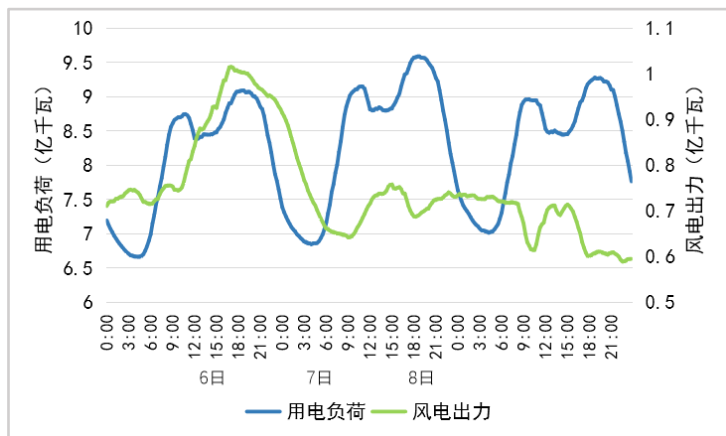
3

测试与实践

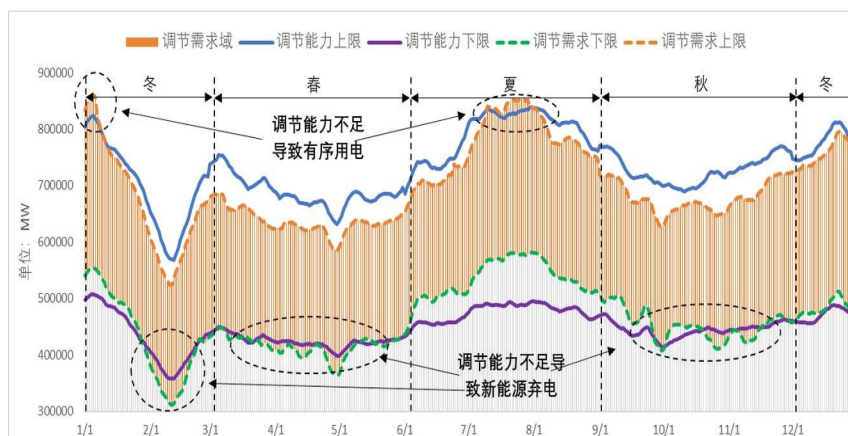
4

相关工作基础

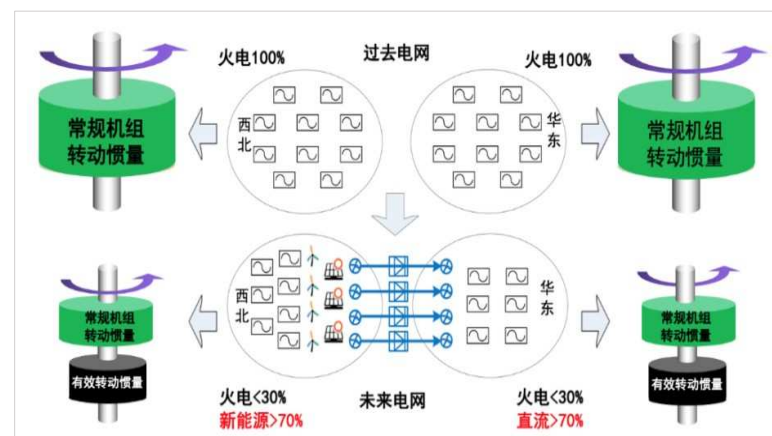
储能是支撑新型电力系统建设的**重要技术和基础装备**，对促进新能源消纳、保障电力供应、提升电网安全具有重要意义，主要在**保障电力电量平衡、提高系统安全裕度、促进新能源高效利用**方面发挥重要作用，是实现碳达峰碳中和目标的重要支撑。



极端天气下保障电力供需平衡



提升电力系统安全充裕度

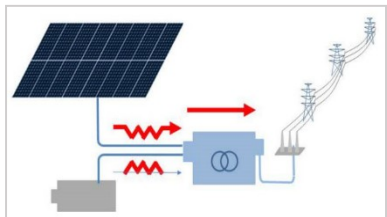


提供系统虚拟惯量支撑能力

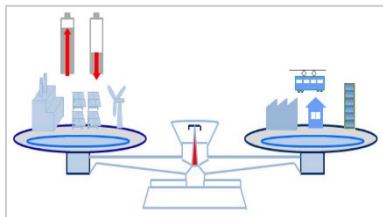
“保供应、保安全、促消纳”是贯穿新型电力系统各发展阶段的核心问题，未来还将长期存在。

储能不生产能量，只“搬运”能量，通过能量的**时间转移、空间转移、快速吞吐、保留备用、零存整取、整存零取**等方式，应用于电力系统不同节点，发挥不同的作用。与源、网、荷协同发展是实现电力系统高质量发展的客观需要。

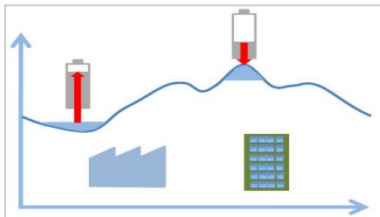
平滑新能源波动



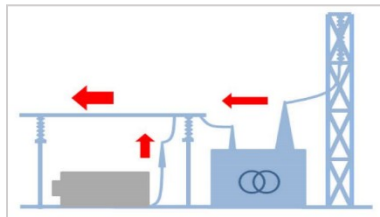
电能质量调节



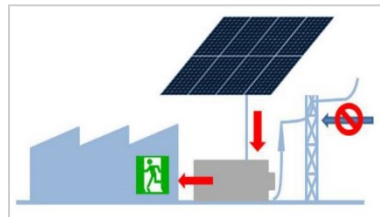
削峰填谷



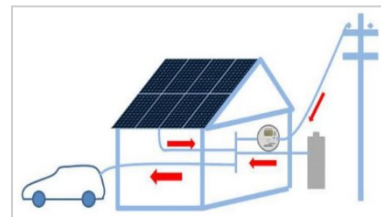
过载治理



应急电源



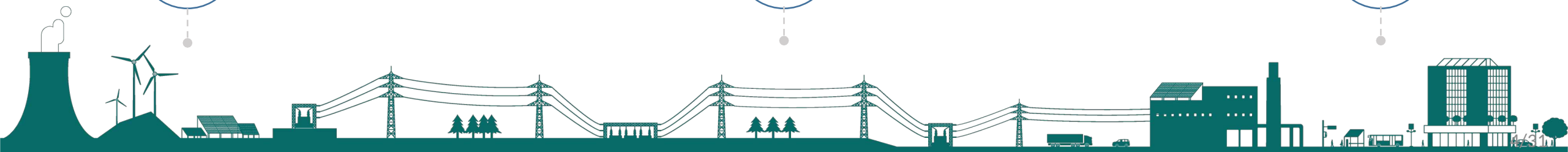
光储充



源

网

荷



● 2011 年，功能验证

国家风光储输 示范工程储能电站



2011 年投运

装机总容量 19MW/83.5MWh

● 2018 年，商业示范

江苏镇江百兆瓦大规模 电网侧储能电站示范工程



2018 年投运

装机总容量 101MW/202MWh

● 2021 年，推广应用

碳达峰、碳中和目标
加快建设新型电力系统
加快新型储能示范推广应用



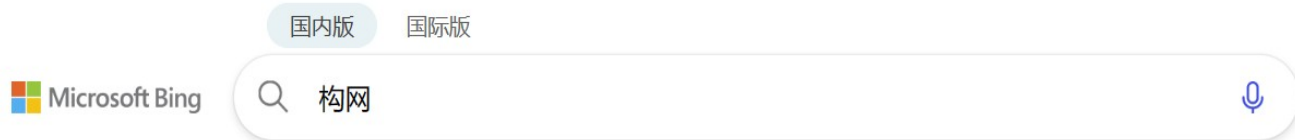
2030 年

电化学储能装机将超 1 亿千瓦

历经 10 余年的验证、示范、试错，新型储能进入快速发展期，应用场景及功能不断丰富

构网

什么是构网



构网 的相关搜索

构网是什么意思

什么是构网

构网和跟网

构网和跟网的区别

什么叫构网型

什么是构网型控制

什么是构网型与跟网型

构网型是什么

进一步探索

知 电力系统中，什么是构网型控制？ - 知乎

SMA Grid Forming 构网型储能技术 | SMA China

知 跟网型变流器和构网型变流器有什么区别？ - 知乎

全球首次！构网型光储系统并网性能现场测试顺利 ...

知 “被动跟网”到“主动构网”的趋势——构网型储能 ...

国内新能源侧容量最大、功能最完善的构网型储能 ...

根据热度为您推荐·反馈

zhihu.com

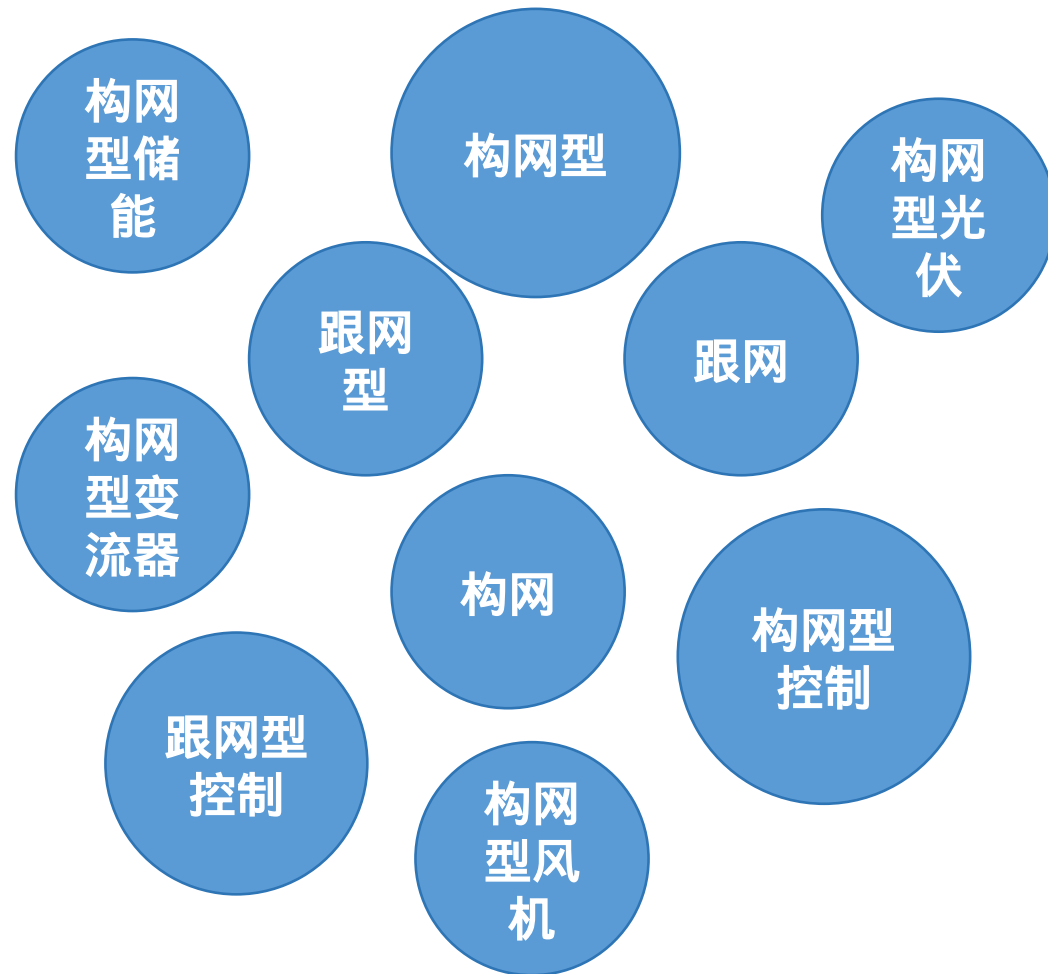
sma-china.com

zhihu.com

solar.huawei.com

zhuanlan.zhihu.com

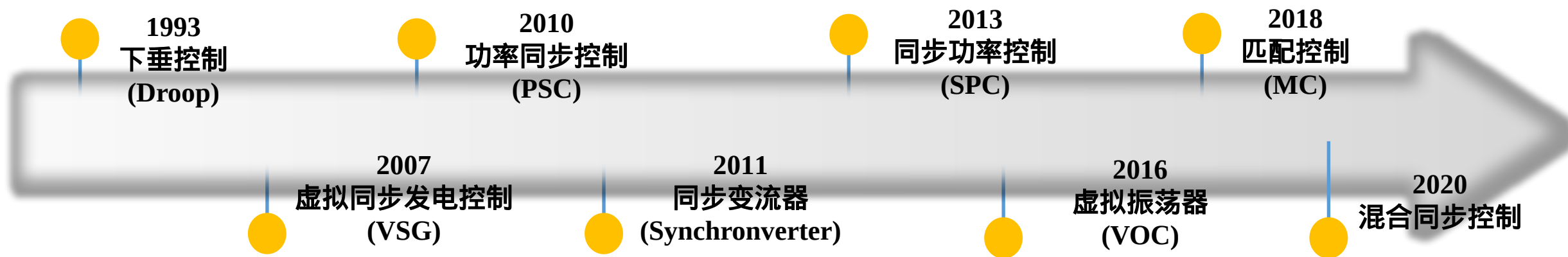
news.bjx.com.cn



“一种电力电子控制技术”

D. Pattabiraman, R. H. Lasseter. and T. M. Jahns, "**Comparison of Grid Following and Grid Forming Control for a High Inverter Penetration Power System**," 2018 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM), 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/PESGM.2018.8586162.

Grid-Following Control & Grid-Forming Control



A 公司

近日，张北柔直工程完成构网控制试验并转入实际应用，解决了复杂场景下纯电力电子电网的宽频振荡难题，大幅提升了新能源孤岛电网的电压和频率支撑能力，有效促进了新能源接入及送出，为新能源与柔直协同稳定运行提供了新的解决方案与示范。

“西藏索县50MW光储项目构网型储能人工短路试验取得圆满成功！”2024年1月26日16时，现场试验负责人宣布试验结果，世界首个高海拔构网储能能在三相短路期间提供了3倍电流，有效的提升了系统强度，体现了电压源特性，成功验证了构网储能在高海拔弱电网故障期间的主动支撑作用。

B 公司

现可再生能源高比例接入方面发挥的关键作用。通过光储融合+Grid Forming打造智能光储发电机，目的是通过改变新能源控制模式，从电流源型控制转为电压源型控制，使光伏发电系统具备强惯量支撑、瞬时稳压与故障穿越能力，从而提高其有功和无功控制与响应能力，主动缓解频率和电压波动，在解决光伏并网消纳问题的同时，让光伏发电从适应电网走向支撑电网、加速光伏成为主力能源。

C 公司

上述构网技术的使用，将使电网呈现更稳定、更柔性的电源特征，可助力新型电力系统电压、频率更加稳定，防止风电、光伏电站脱网，并且提高脱网后的快速恢复能力。为电网、投资企业带来三大价值

电压
支撑

频率
支撑

电压源
特征

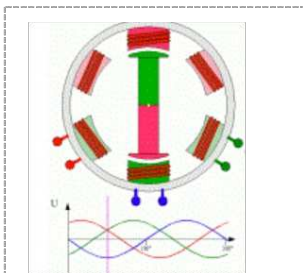
惯量
支撑

短路
电流

故障
穿越

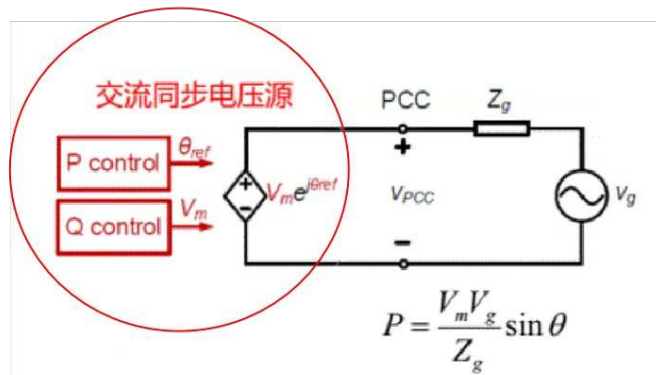
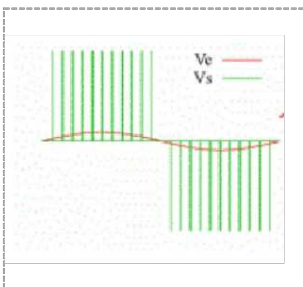
构网控制通过改变变流器输出电压相位 / 幅值以调节有功 / 无功功率输出，从而为系统提供频率 / 电压支撑。模拟同步发电机**电压源特性**，瞬时响应时保持**内电势恒定**，构网控制借助功率同步策略实现同步，不依赖外部电网相位信息，在孤网和并网模式下均能工作。

水火电机组
同步调相机
其他同步机组

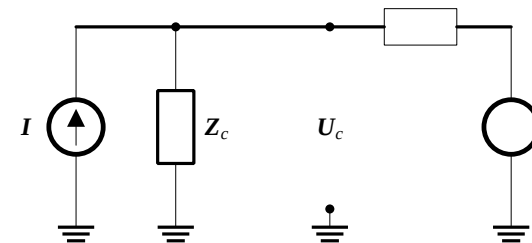


惯量构建电压，能量来自机械旋转势能

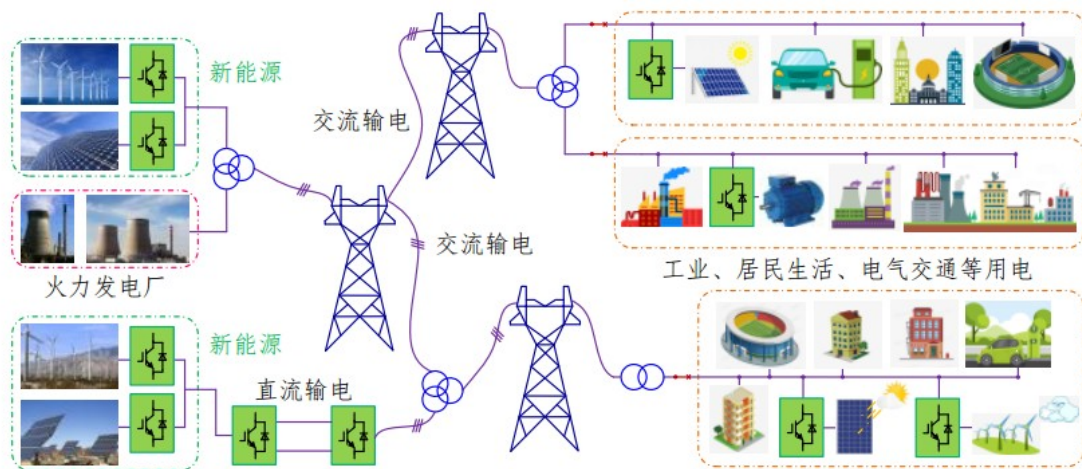
二三电平脉宽调制
(PWM)
模块化多电平
(MMC)



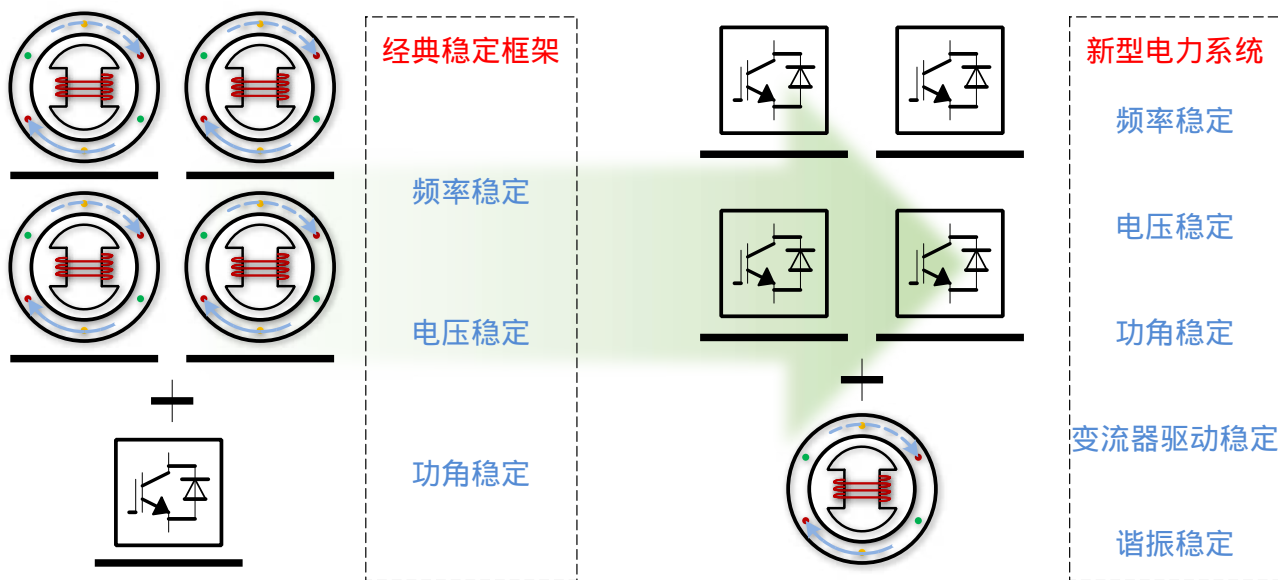
电力电子控制构建电压，能量来自直流侧



- ◆ 可再生能源大量接入，电力电子发电设备在电力系统中占比不断提升。**低惯量、低阻尼、弱电压支撑**已成为新型电力系统的显著特征，电力系统出现**新的稳定性问题**；
- ◆ 构网控制技术能够模拟同步发电机运行特性，理论上可以提升新能源电站暂态支撑能力及系统稳定性。



电力电子化电力系统



新型电力系统稳定性问题



目

录

Contents



1

储能与构网

2

规范与要求

3

测试与实践

4

相关工作基础

国家 / 地区	机构	名称	发布时间及相关信息
美国	美国国家可再生能源实验室 (NREL)	《 Research Roadmap on Grid-Forming inverters 》	2020 年 11 月发布，详述构网技术发展路线图
美国	北美电力可靠性公司 (NERC)	《 Grid Forming Technology-Bulk Power System Reliability Considerations 》	2021 年 12 月发布，构网逆变器在大容量电力系统中的运行规范
美国	北美电力可靠性公司 (NERC)	《 Grid Forming Functional Specifications for BPS-Connected Battery Energy Storage Systems 》	2023 年 6 月发布，电池储能系统构网功能规范
美国	构网技术通用性联盟 (UNIFI)	《 Specifications for Grid-forming Inverter-based Resources 》 Version 1	2022 年 12 月发布，逆变器构网技术规范
欧盟	欧盟最优系统灵活性解决方案 (OSMOSE)	《 Analysis of the Synchronisation Capabilities of BESS Power Converters 》	2022 年 3 月发布，推荐所有新并网的电网侧储能项目均采用构网型控制
欧盟	欧洲输电系统运营商联盟 (ENTSO-E)	《 High Penetration of Power Electronic interfaced Power Sources and the Potential Contribution of Grid Forming Converters 》	2020 年发布，阐述构网技术对系统安全运行的潜在贡献
澳大利亚	澳大利亚能源市场运营商 (AEMO)	《 Voluntary Specification for Grid-forming Inverters 》	2023 年 3 月发布，构网型逆变器自愿性规范

◆ GC0137 电网规范（英国）

- 相位跳变有功功率（响应时间 $<5\text{ms}$ ）
- 固有惯量支撑功率（响应时间 $<5\text{ ms}$ ，对相位和频率变化的响应）
- RoCoF 响应功率（包括系统惯性和功率缺额）
- 阻尼有功功率（响应时间 $<5\text{ ms}$ ，对振荡的响应）
- 电压阶跃无功功率（响应时间 $<5\text{ms}$ ）
- 短路电流注入（电压下降到 0.9p.u. 以下时， 5ms 内无功电流响应， 30ms 内达到 1p.u. ）

◆ 构网型逆变器自愿性规范（澳大利亚）

- 电压阶跃响应小于 5ms
- 相位跳变瞬时响应，固有惯量瞬时响应
- 可在低短路比稳定运行
- 可为振荡现象提供阻尼

电压
阶跃

相位
跳变

惯量
响应

阻尼
控制

短路
电流

◆ GB 38755-2019 电力系统安全稳定导则

ICS 29.020
F 21



中华人民共和国国家标准

GB 38755—2019
代替 DL 755—2001

电力系统安全稳定导则

Code on security and stability for power system

3.5.3 电源均应具备一次调频、快速调压、调峰能力，且应满足相关标准要求。存在频率振荡风险的电力系统，系统内水电机组调速系统应具备相应的控制措施。

3.5.4 电源及动态无功调节设备对于系统电压、频率的波动应具有一定的耐受能力。新能源场站以及分布式电源的电压和频率耐受能力原则上与同步发电机组的电压和频率耐受能力一致。

3.5.5 存在次同步振荡风险的常规电厂及送出工程，应根据评估结果采取抑制、保护和监测措施。存在次同步振荡或超同步振荡风险的新能源场站及送出工程，应采取抑制和监测措施。

3.5.6 电力系统应具备基本的惯量和短路容量支持能力，在新能源并网发电比重较高的地区，新能源场站应提供必要惯量与短路容量支撑。

◆ GB/T 40581-2021 电力系统安全稳定计算规范

ICS 29.020
CCS F 21



中华人民共和国国家标准

GB/T 40581—2021

电力系统安全稳定计算规范

Calculation specification for power system security and stability

6.12.3 新能源多场站短路比指标

送、受端系统的新能源多场站短路比应达到合理的水平。按照新能源场站并网点的多场站短路比，对新能源接入交流系统强度水平进行划分：

- a) 强系统——MRSCR 大于 3.0；
- b) 弱系统——MRSCR 在 2.0~3.0 之间；
- c) 极弱系统——MRSCR 小于 2.0。

对于新能源多场站接入交流系统情况，新能源发电单元升压变低压侧的多场站短路比应不小于 1.5，且新能源并网点的多场站短路比应不小于 2.0、宜大于 3.0。对于新能源并网点的多场站短路比小于 3.0 的系统，应进行电磁暂态和机电暂态时域仿真计算，校核新能源并网系统安全稳定水平。当短路比较低情况下，应计及系统阻抗比 X/R 的影响。

◆ GB/T 40594-2021 电力系统网源协调技术导则

- 电源：包含了接入 35kV 及以上电压等级的储能电站；
- 储能电站涉网试验：电能质量测试、有功功率控制能力测试、无功 / 电压控制能力测试、**惯量响应和一次调频测试**、场站建模与模型验证、故障穿越能力仿真验证、电压频率适应能力验证以及保障电力系统安全的其他测试。

◆ GB/T 40595-2021 并网电源一次调频技术规定及试验导则

□ 一次调频动态指标

储能电站在充电及放电状态下均应具备一次调频能力。频率阶跃扰动试验中，储能电站一次调频动态指标应满足下列要求：

- ✓ 一次调频有功功率的滞后时间应不大于 1s；
- ✓ 一次调频有功功率的上升时间应不大于 1s；
- ✓ 一次调频有功功率的调节时间应不大于 2s；
- ✓ 一次调频达到稳定时的有功功率调节偏差不超过 $\pm 1\%$ 额定有功功率。



【增加内容】

- 增加了电化学储能电站故障穿越、低电压穿越、高电压穿越、一次调频、惯量响应、防孤岛等技术相关的术语和定义；
- 增加了电化学储能电站接入电网的**总体要求**；
- 增加了电化学储能电站**无功功率控制**要求；
- 增加了电化学储能电站**一次调频**的技术要求；
- 增加了电化学储能电站**惯量响应**的技术要求；
- 增加了电化学储能电站**低电压穿越期间的动态无功支撑能力**要求；
- 增加了电化学储能电站连续故障穿越的要求；
- 增加了电化学储能电站的仿真模型和参数要求。

【更改内容】

- 更改了文件的**适用范围**；
- 更改了电化学储能电站**有功功率控制**要求；
- 更改了电化学储能电站**过载能力**要求；
- 更改了电化学储能电站**高电压穿越**的要求；
- 更改了电化学储能电站电网适应性中的**频率范围**要求；
- 更改了电化学储能电站**保护和安全自动装置**的要求；
- 更改了电化学储能电站**接入电网测试**的内容。

		政策名称	构网型储能相关内容
国家层面		《国家能源局关于组织开展可再生能源发展试点示范的通知》	主要支持构网型风电、构网型光伏发电、 构网型储能 等技术研发与工程示范。
地方层面	西藏	《2023 年风电、光伏发电等新能源项目开发建设方案》	并网光伏项目 + 储能项目配置储能， 储能时长不低于 4 小时 ，并按要求加装 构网型装置 。
		《关于积极推动西藏电力系统构网型储能项目试点示范应用的通知》	鼓励在阿里地区、那曲市、日喀则市、拉萨市等地区 先行先试构网型储能 。
	新疆	《关于组织上报 2023 年独立新型储建设方案的通知》	积极探索建设 构网型储能 ，喀什、和田、克州等地 构网型储能比例原则上不低于年度新型储能规模的 20% 。

◆ 新疆《关于组织上报 2023 年独立新型储建设方案的通知》 - **构网型新型储能并网技术要求**

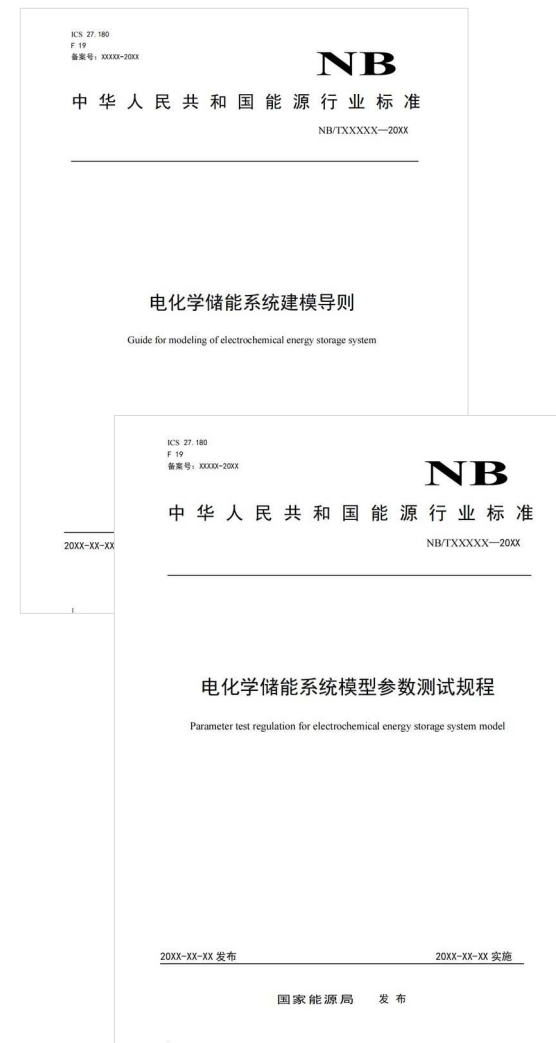
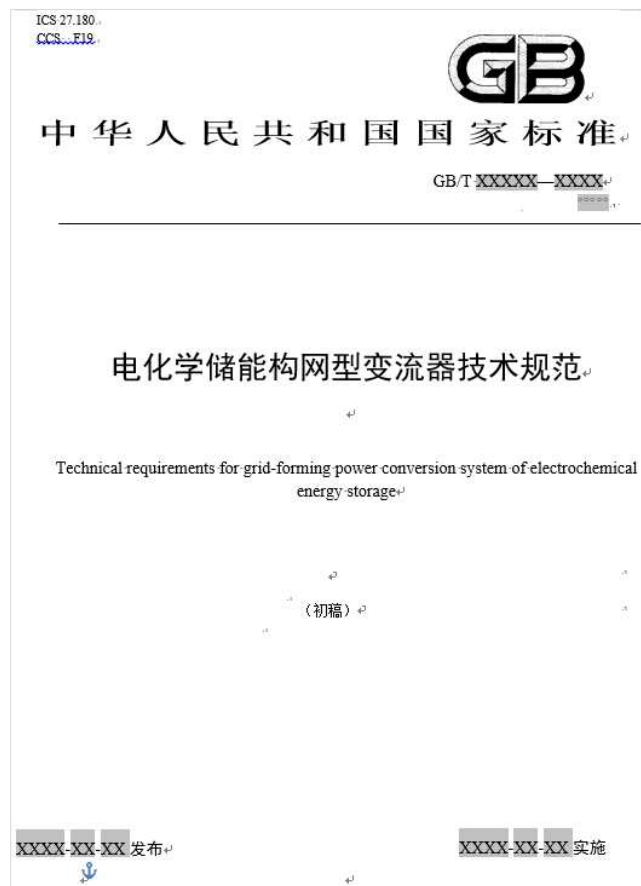
- 构网控制功能
- 惯量响应能力
- 过载能力
- 一次调频能力
- 主动电压调节能力
- 自主阻尼抑制功能
- 黑启动功能
- 过载能力
- 频率电压耐受能力
- 涉网参数现场实测

2023 年 11 月，申报并通过了全国电力储能标准化技术委员会（SAC/TC550）国家标准《**电化学储能构网型变流器技术规范**》的立项，目前已经形成了标准初稿，为国标委标准立项答辩做准备。

《**构网型储能电站接入电网技术要求和测试规程**》也正在申请国标阶段。

两项标准主要规定了电化学储能变流器、储能电站构网控制技术要求、仪器设备、测试方法等。

《**电化学储能系统建模导则**》、《**电化学储能系统模型参数测试规程**》两项行标也在编制过程，涉及电化学储能系统构网控制模型构建及参数测试方法。





目

录

Contents



1

储能与构网

2

规范与要求

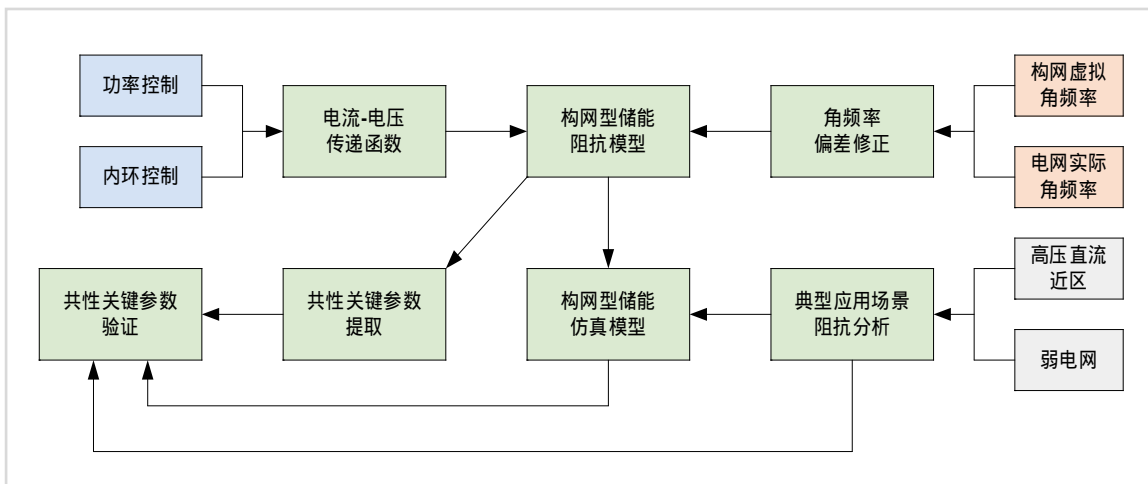
3

测试与实践

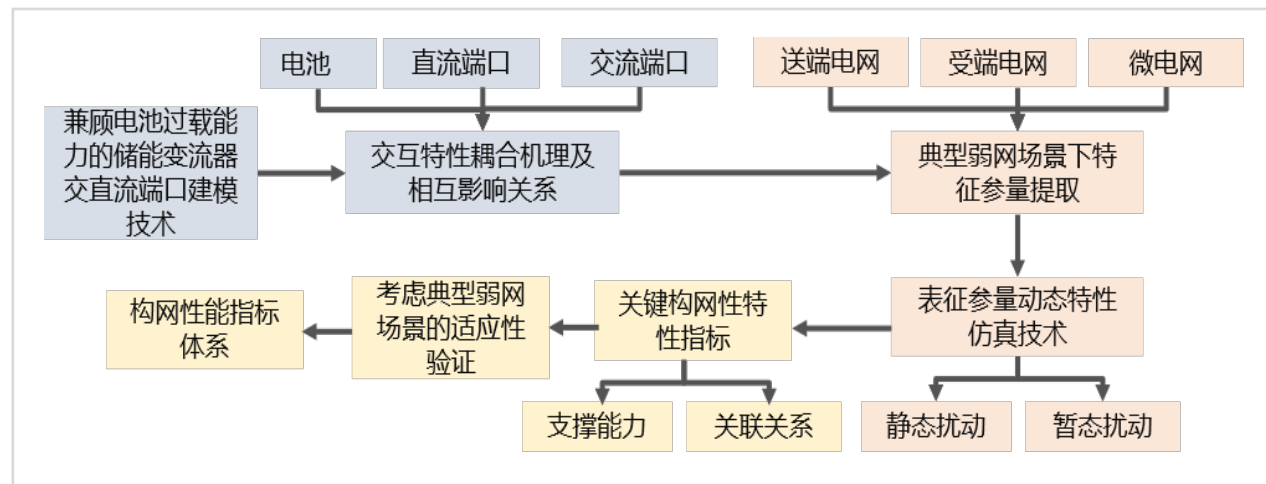
4

相关工作基础

- ◆ 针对构网型储能应用评价需求，中国电科院储能所创新开展了电化学储能系统的构网能力技术指标体系、构网型电化学储能系统接入电网的检测技术及方法研究；
- ◆ 建立构网型变流器、储能电站“**模型仿真 + 半实物测试 + 工程现场实测**”三位一体的测试评价方案。



建立不同扰动工况下的构网型电化学储能仿真模型



构建储能构网能力技术指标体系

序号	测试项目		测试对象
1	功率控制功能测试	有功功率控制功能测试	整站
		无功功率控制功能测试	
2	充放电时间测试	充放电响应时间测试	
		充放电调节时间测试	
		充放电转换时间测试	
3	额定功率充放电能量测试		
4	额定功率能量效率测试		
5	电能质量测试	电流谐波测试	
		电压谐波测试	
		电压间谐波测试	
		电压偏差测试	
		电压不平衡度测试	
		电压波动和闪变测试	
6	一次调频功能测试	一次调频死区测试	整站或者系统
		频率阶跃扰动测试	
		一次调频限幅测试	

序号	测试项目		测试对象
7	惯量响应		整站
8	阻尼控制		整站
9	电压小扰动测试		整站
10	电网耐受能力	频率耐受性	系统
		低电压耐受能力	
		高电压耐受能力测试	
		相角跳变耐受能力测试	
11	过载能力测试		系统
12	自动发电控制（AGC）		整站
13	自动电压控制（AVC）		整站
14	跟 / 构网模式切换	构网到跟网模式切换测试	系统
		跟网到构网模式切换测试	
15	通信功能测试		整站

- 针对储能单元 / 整站开展了一次调频、惯量响应、阻尼控制、小扰动、电压耐受、频率耐受、相角跳变耐受等构网性能试验；
- 试验结果表明，构网控制（1）可实现对电压、频率稳态偏差的自主调节；（2）可自然响应输出无功功率，对电网电压跌落 / 跃升实现暂态主动支撑；（3）可对电网电压相位跳变提供暂态稳定支撑；（4）具备电网低频振荡抑制功能；（5）可在系统频率失衡时可提供转动惯量支撑。
- 但被测构网型储能电站的稳定性待进一步提升，与同步发电机的外特性一致性需进一步验证。



【问题及分析】

- ◆安全风险大。部分电站电池、电池管理系统、变流器等核心部件缺少型式试验及到货抽检；
- ◆故障问题多。告警及保护导致的系统停机故障多、可靠性低，检测过程难以持续；
- ◆参数设置随意。为了达到宣称的性能指标，更改运行参数，严重影响并网检测结果；
- ◆缺乏专业调试。把并网检测当做调试现场，协同问题多、检测周期长。



10(6)kV/6MW 并网测试平台

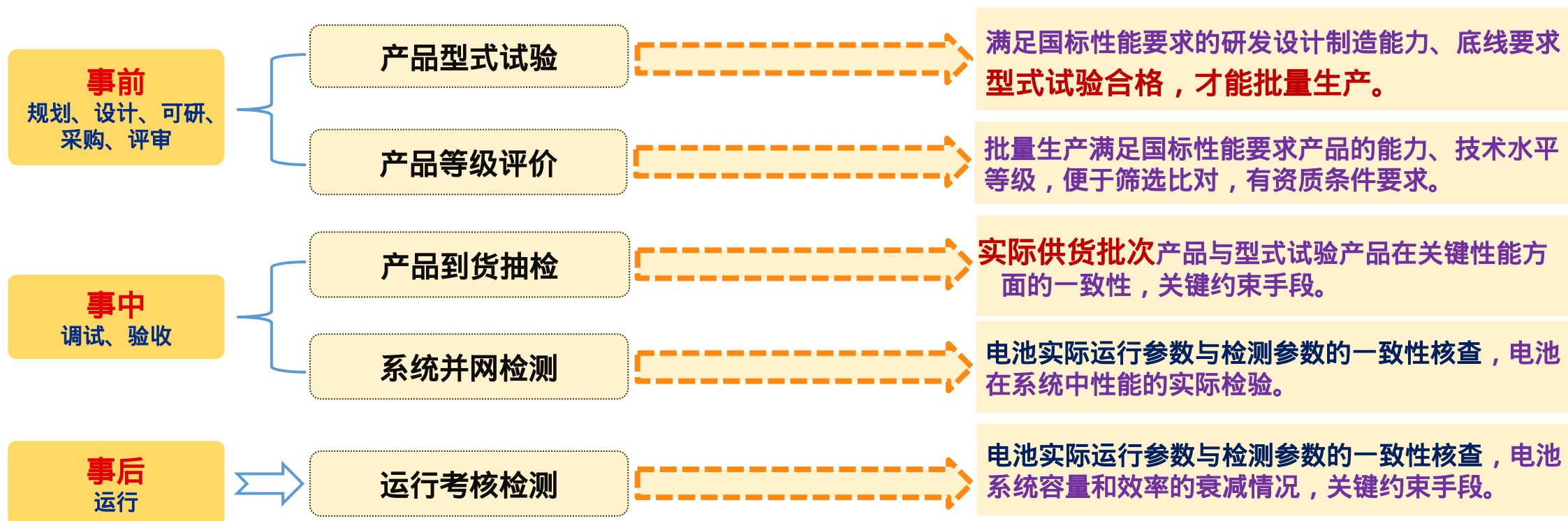


35kV/9MW 并网测试平台



并网测试现场图

储能电站全流程安全与质量管理亟待加强



- 规划设计可研采购环节：提准要求、找准依据，明确入口边界条件
- 并网调试验收运行环节：严格检测、严格考核，做好出口质量闭环

✳ 全流程检测评价方案已在多个省市的大型电池储能电站工程验收中开展了大量的实践，检出了多个质量和安全存在重大隐患的项目，为电池储能电站建设的安全与质量把关发挥了关键作用。



目

录

Contents



1

储能与构网

2

规范与要求

3

测试与实践

4

相关工作基础



- 国家电网公司直属科研机构，全国电力储能标委会**秘书处单位**
 - ✓ **主导建设**电力储能国家标准体系
 - ✓ **牵头编制**多项电力储能核心国家标准
- 电力储能领域专业的科研、检测及标准制定机构
 - ✓ **16年**储能技术研究与实践
 - ✓ **全链条**检测能力与资质
- 强力支撑电力储能安全管理和评估体系建设

✿ 技术引领
✿ 标准引领
✿ 应用引领

- ✓ 直接**参与北京“4·16”事故调查**组，支撑北京市应急局发布事故调查报告；
- ✓ 创立国家电网电池储能技术实验室“**BESTLab**”**专业品牌**，在全国有序布局电池储能技术共享实验室体系，**构建储能安全与质量全流程测评理论与实践体系**；
- ✓ 强力支撑国家和地方相关部门以及国网公司的储能安全管理和评估体系建设；
- ✓ 为国家能源局、国家应急管理部、北京市应急局、北京市消防救援总队等部门提供技术支持；
- ✓ 支撑国家能源局发布《**新型储能项目管理规范**》《**关于加强电化学储能电站安全管理的通知**》等文件；
- ✓ 支撑国网公司相关部门开展储能电站安全隐患排查，提出健康有序发展意见；
- ✓ 获中电联授牌“**国家电化学储能电站安全监测信息平台技术支持中心**”、“**储能电站安全检测与评价中心**”；
- ✓ 支撑国家能源局和中电联开展**国家电化学储能电站安全监测信息平台建设**及相关标准化工作。

针对电力系统“保安全、保供应、促消纳”需求，围绕**“让储能好用，把储能用好”**目标，开展多类型储能应用与评价关键技术研究，突破储能**高安全集成、高可靠并网、高效能应用、全流程评测**等核心技术，充分发挥储能灵活调节与支撑作用，助力新型电力系统建设。



新型储能发展不同阶段与解决的重点问题

中国电科院储能与电工所是“全国电力储能标准化技术委员会”、“中国电机工程学会电力储能专业委员会”、“新型电力储能技术创新联合体”秘书处单位，是电力行业国家标准验证检验检测试点单位。

全国电力储能 标准化技术委员会

在规划设计、运行维护、设备及试验等领域牵头编制电力储能相关国际标准 4 项、国行团企标准近百项，构建了电力储能标准体系的基本框架。支撑国标委、能源局出台《新型储能标准体系建设指南》。

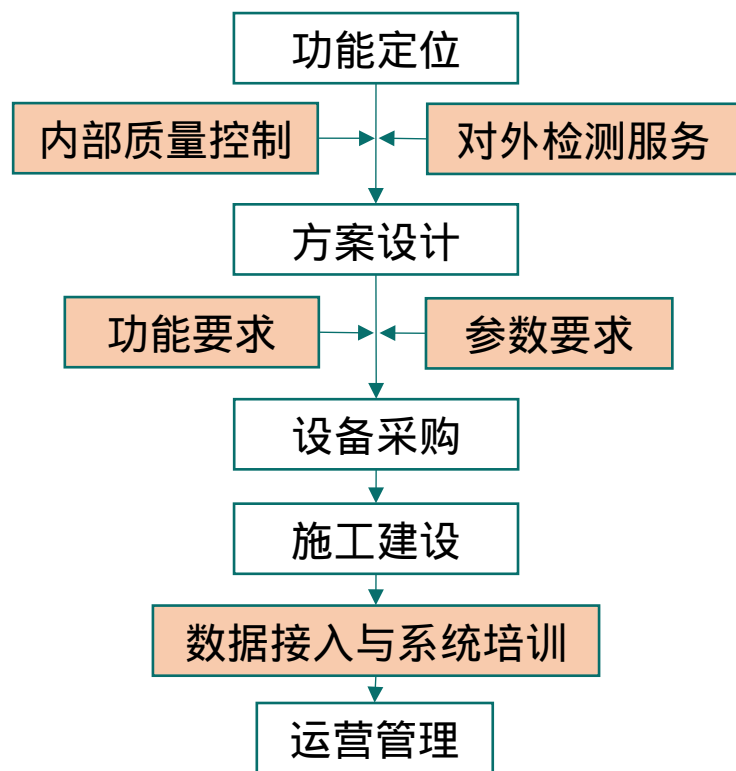
中国电机工程学会 电力储能专业委员会

围绕电力储能本体与装备、储能系统并网仿真分析、集成与控制、试验与评估四个学科方向，同时开展技术研究、学术交流、应用推广、人才推荐、咨询服务以及标准化等工作。

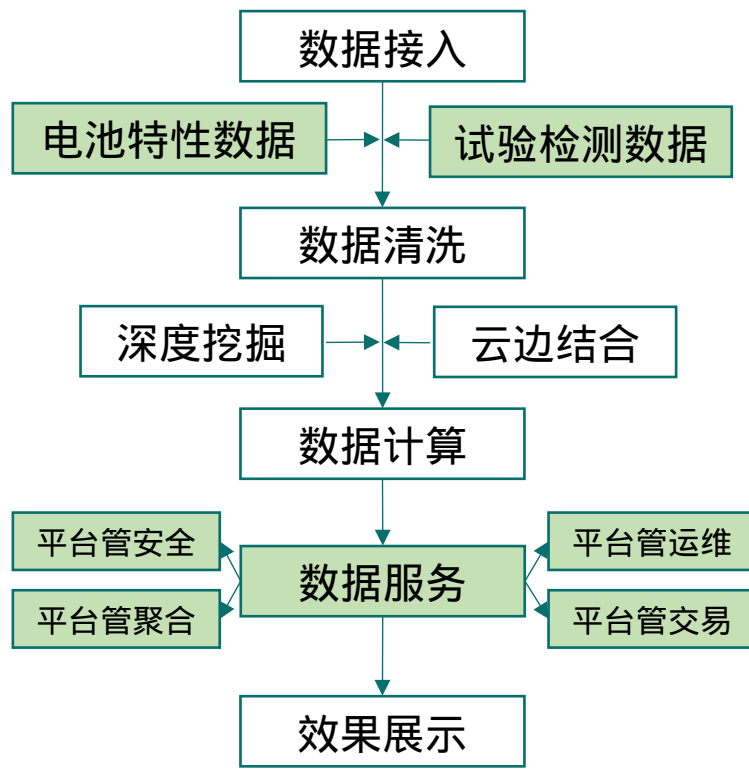
新型电力储能技术创新联合体

联合产学研用 28 个知名单位，从电力应用需求驱动出发，创建多方共同参与的储能应用生态，促进新型储能技术的健康有序发展。

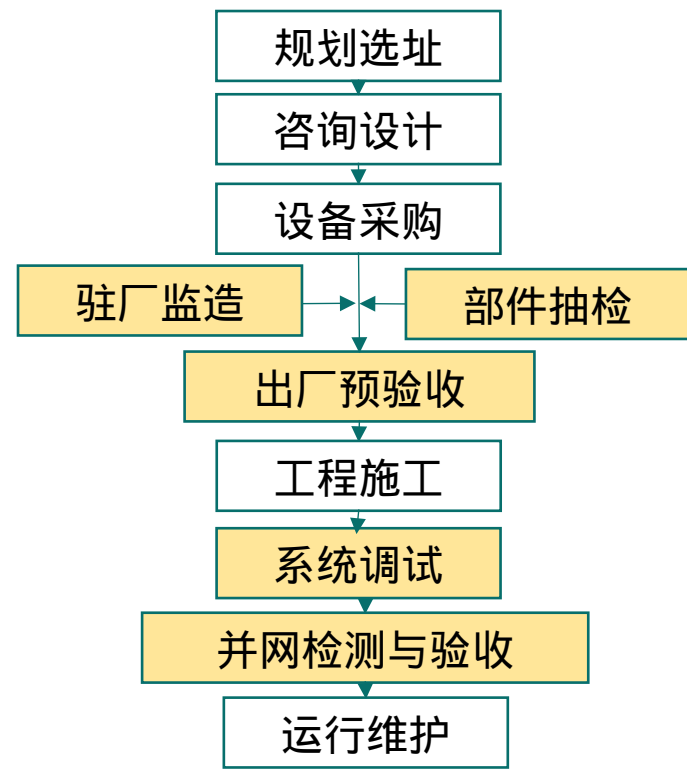
面向发电集团、能源聚合商等日益增长的储能应用需求与其技术积累相对薄弱的矛盾问题，充分发挥中国电科院作为专业储能研究与检测机构的技术优势、管理优势和品牌优势，创新提出**储能实验室建设、大数据平台开发、电站工程实施**三大技术服务体系，通过技术引领与优质服务推动行业进步与健康发展。



储能实验室建设



储能大数据平台开发



储能电站工程实施