



碳硅融合： 智算中心的源网荷储能源新范式

南瑞继保季炳伟



目录

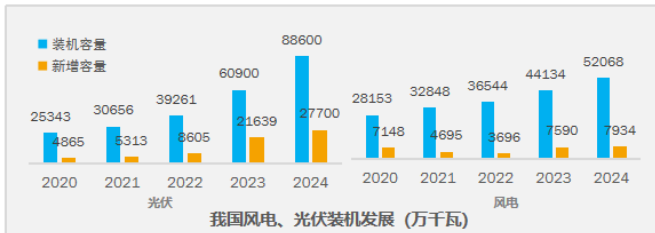
CONTENTS

01 应用背景

02 电源发展历程

03 技术方案介绍

构建以**新能源为主体**的电力系统是落实国家“双碳”战略的必由之路，需要通过**关键技术革新**，在**保障电网安全**的基础上实现能源转型。



传统电力系统，以化石能源为主体



新型电力系统，以新能源为主体

2023年12月，西北地区新能源装机占比超50%，新能源成为“主力电源”。

截至2025年5月底，我国风电光伏发电装机突破16亿千瓦，占总装机比重45.7%（超火电）。

2060年新能源预测

60% 90%

电量占比

总装机占比

- 随着云计算，人工智能，电动乘用车等技术及应用的爆发式增长，数据中心、直流快速充电站等应用场景中的用电容量不断攀升，传统供电方案存在功率变换环节多、效率低、体积庞大、电压调节能力差等痛点

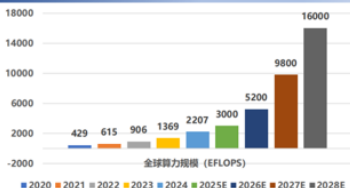
中国算力规模 (EFLOPS)



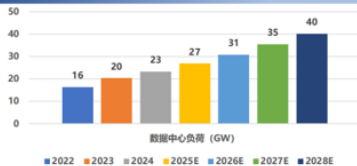
注：智能算力基于FP16计算，通用算力基于FP64计算。

资料来源：灼识咨询

全球算力规模 (EFLOPS)



中国数据中心电力负荷



1660亿kWh

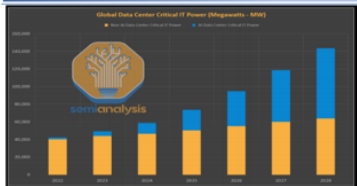
2024年 (2个三峡)



4000亿kWh

2030年 (1.3个雅江)

全球数据中心电力负荷



4150亿kWh

2024年 (≈英国)



9450亿kWh

2030年 (≈日本)

资料来源: SemAnalysis. 仅供参考不作为

智算中心能耗特点

智算中心平均PUE 1.5、年利用小时8760，负荷密度瞬间变化量大，可再生能源却呈间歇、波动、逆调峰特性。

传统模式的浪费

传统“市电+UPS”模式造成双重浪费：电网侧为保供预留容量备用，用户侧为安全冗余双倍配置，导致碳成本大增15%、电费占OPEX 60%以上。

局部电网压力

局部电网尖峰负荷被放大30%，传统模式无法满足智算中心的高可靠与低碳需求。



650号文 (2025年5月) 确立绿电直连“能干”：明确点对点直供模式，支持新能源向单一用户专线供电；

1192号文 (2025年9月) 解决“怎么算账”：建立按容量缴纳输配电费机制，下网电量免系统备用费



采用“单一容量制”计算模式： $\text{月度容（需）量电费} = \text{现行政策容（需）量电费} + \text{电量电价} \times \text{平均负荷率} \times 730\text{小时} \times \text{接入容量}$

计费模式转型

由按电量收费转为按接入容量收费，下网电量不再计收电量电费和系统备用费。



公式两部构成

费用由现行容量电费与基于虚拟电量的附加部分共同组成，体现固定与变动成本分摊。

虚拟下网电量

以平均负荷率 \times 730小时 \times 接入容量测算，将潜在用电需求转化为固定成本基准。



核心变量绑定

电费与接入容量强关联，激励企业优化配置，提升变压器利用率和负荷匹配度。



目录

CONTENTS

01 应用背景

02 电源发展历程

03 技术方案介绍

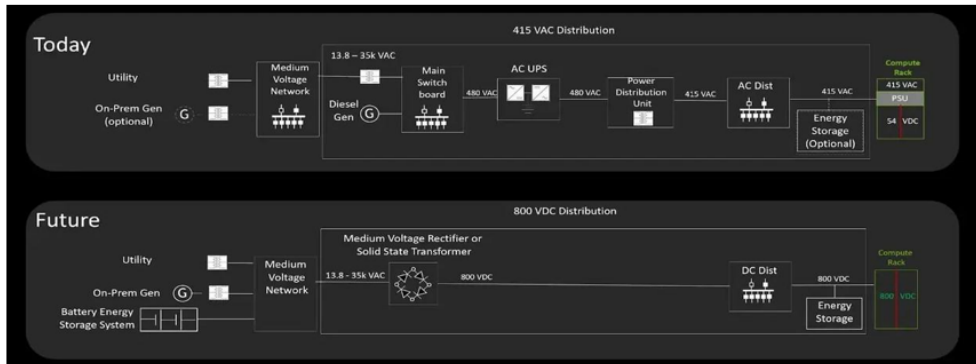
现有的AIDC电源主要分为UPS、HVDC、巴拿马电源三类，UPS和HVDC应用较多。

- 1、UPS由整流器、逆变器、蓄电池组和切换开关组成，正常时市电经整流、逆变后供电并为蓄电池充电，市电异常时蓄电池放电，整流或逆变环节故障时通过切换开关旁路供电；
- 2、HVDC由交流配电模块、整流器、直流配电模块、蓄电池组和监控装置组成，整流器是核心，市电正常时整流后供电并充电，市电故障时蓄电池供电，省去逆变环节，电源效率更高；
- 3、巴拿马电源将10千伏配电等核心环节柔性集成，最早由阿里联合台达开发，本质是高压直流供电形式，通过省略中间环节提升系统效率、减少占地面积，目前主要由阿里大规模部署；

	UPS	240V/336V HVDC	巴拿马电源
冗余供电模式	主流: 2N, DR 很少采用: RR	主流: 1路市电+1路DC 特别登记: 2N HVDC	主流: 2N DC 也可: 1路市电+1路HVDC
可用性	结构负载, 可用性一般	结构简化, 可用性高	环节简洁, 可用性极高
理论链路效率	93%	95%	97.5%
占地面积 (2.2MW IT)	310m ²	300m ²	110m ²
建设周期	12个月左右	6个月左右	3个月左右
系统成本 (元/W)	3元/W	2元/W	1.3元/W
优势	应用成熟, 产品生态完善	成本下降, 结构简单	集成度更高, 效率高 更高, 运维简单
缺点	效率提升有限, 扩展不灵活, 占地面积大	占地面积较大, 产业链不成熟, 运行案例少, 缺乏运维经验	产业链不成熟, 运行案例少, 可扩展性较差

指标	UPS	HVDC	巴拿马电源
当前份额	85%-90%	10%-15%	<5%
效率	92%-94%	96%-98%	98.5%
未来趋势	逐步被HVDC替代	渗透率快速提升	技术验证阶段

在不久前OCP全球峰会上，AI行业巨头英伟达（NVIDIA）正式发布白皮书《800VDC Architecture for Next-Generation AI Infrastructure》，全面描绘了AI工厂电力基础设施的下一阶段发展蓝图。800VDC直流供电架构成为数据中心下一阶段发展的关键技术路径。

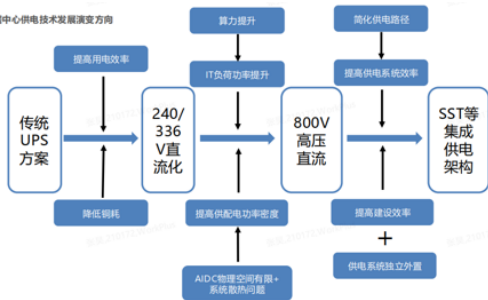


供电技术进化的底层逻辑:

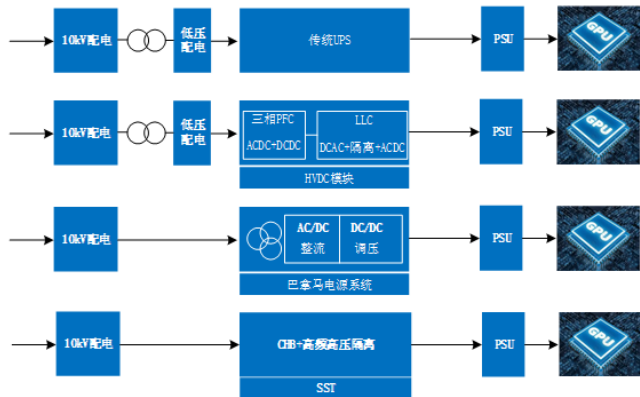
1) 随着AI算力需求的增长和性能GPU的部署, IT负荷功率大幅提升, 同时AIDC存在物理空间有限+系统散热问题, 迫使供配电功率密度大幅提升, 供电系统向800V/±400V 更高压直流系统发展;

2) 远期AIDC向GW级发展, 进一步提高供电效率+绿电高效接入+提高建设效率+供电与算力分开, SST (固态变压器) 等集成供电架构有望成为主流。

图: 数据中心供电技术发展演变方向



- 高效率、高功率密度、小型化的高压直流供电系统已成为数据中心、直流配电网、直流快速充电站等应用场景中最受关注和欢迎的解决方案
- SST：电力电子变压器（或固态变压器）为上述解决方案的核心设备



效率高，高5%

铜量低，少67%

占地少，少60%



目录

CONTENTS

01 应用背景

02 电源发展历程

03 技术方案介绍

- 融合新能源发电、储能、电网安全稳定、负荷柔性调控等先进技术，构建“1（1个平台）+4（源网荷储4类业务）”总体方案，打造“四个一体化”的管控平台，支撑源网荷储协同运营新机制，实现能源的动态化管理、科学化决策、人性化服务。

打造源网荷储一体化整体解决方案，支撑智算中心“碳硅融合”的技术应用与实践

统一的实时监测

通过对能源运行全景监测，实现对全数据中心各类能源运行的全天候、全方位监控，提升统一管理能力。

统一的优化调度

实现能源系统控制、运维管理和安全生产等能力，提高对电力能源的穿透力，提升系统综合效率和管理水平。

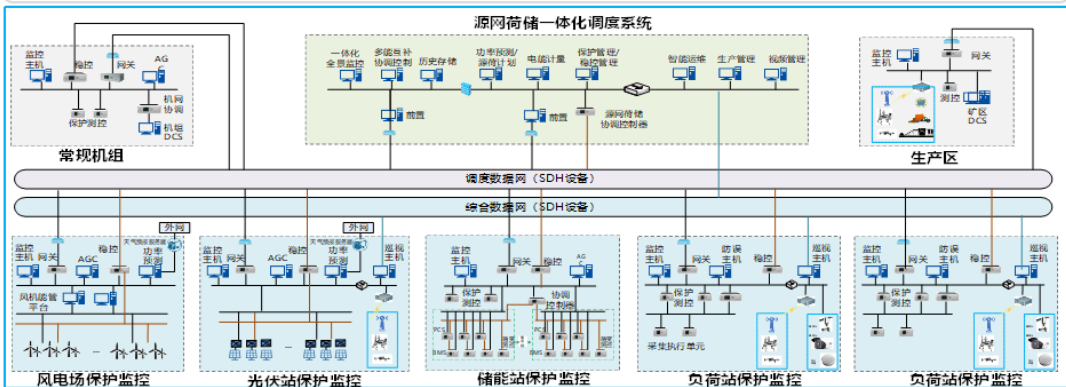
统一的调度管理

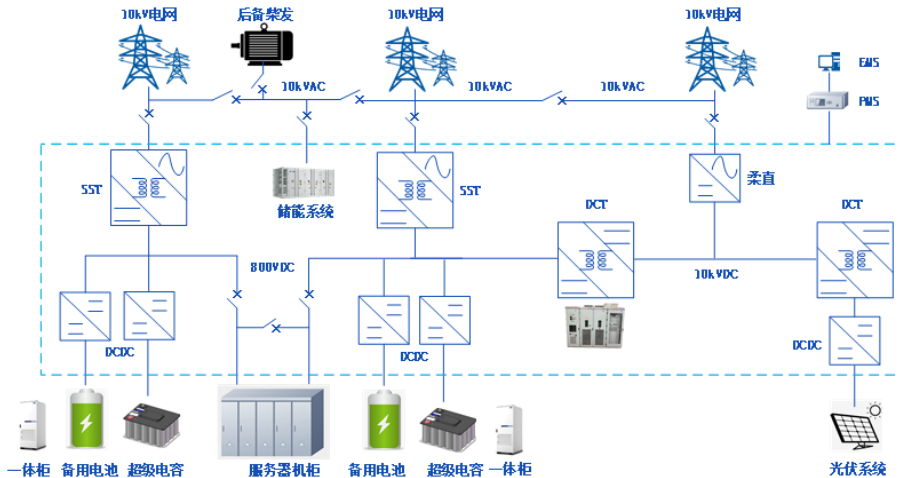
基于模型和算法分析的结果，提供源网荷储优化协同控制，调度管理，保障能源系统的安全、可靠、经济运行。

统一的生产运营

构建绩效指标考核、生产报表管理、运营成本分析、安全管理等生产运营智能分析，实现能源系统科学运营

- 全面覆盖发-输-配-用等所有环节，融合传统二次系统与新能源技术的特点，实现电力资源最大化利用、电网稳定运行、设备安全保护，以及系统的易维护和可扩展性。

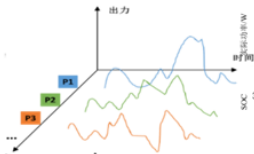




- **电源侧**：研究新能源、储能以及柴发、燃机等备用电源的**调节特性及运行特性曲线**；
- **负荷侧**：研究数据中心**GPU服务器、辅控设备**等典型负荷的调节特性及运行特性曲线，**解决源荷双向互动问题**。

调节特性

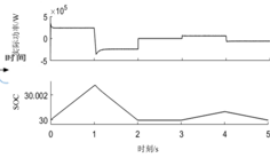
- 调节区间、调节步长
- 调节精度
- 调节响应时间



风光互补特性曲线

运行特性

- 风光出力历史/预测曲线
- 机组启停特性曲线
- 储能电力电量关系曲线



储能电力电量关系曲线

源荷相关性分析

发电出力调整

负荷分级限电

运行方式改变

电网结构切换

调节特性

- 调节范围、调节周期
- 调节优先级
- 调节允许时段

运行特性

- 典型负荷曲线
- 设备启停特性曲线
- 数据中心关系曲线

序号	负荷名称	可调容量	负荷分类	减载一轮	减载二轮
1	数据中心1#线	15MW	一级	是	是
2	数据中心2#线	72MW	二级	否	是
3	数据中心3#线	72MW	二级	否	是
4	数据中心4#线	15MW	一级	否	否

西藏拉果措锂矿项目

国内首例高海拔离网新能源电力系统，配置200MWp光伏+193.7MW/ 540MWh 构网型储能，给35MW提锂负荷和30MW可调电锅炉负荷供电。

项目采用了基于构网型储能的源网荷储一体化解决方案。以**构网型储能**为核心支撑，在三道防线框架下，通过多目标、多时间尺度源网荷储**快速协调控制**和**优化调度控制**，实现了新能源电力系统的安全稳定运行。



内蒙古额济纳项目

世界首个广域极高比例新能源电力系统，为实现“主网停电全域绿电不停供”的目标，构建了以**25MW构网型储能**为核心、源网荷储一体化的新能源电力系统解决方案，首次实现新能源电力系统并离网无缝切换。

11.46 万km²

供电范围

21 个

35kV及以上场站数

110 MW

风光新能源

4332 km

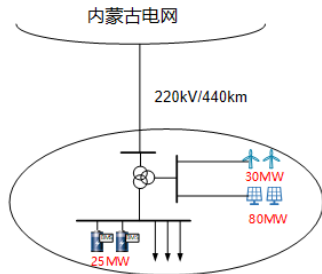
线路总长

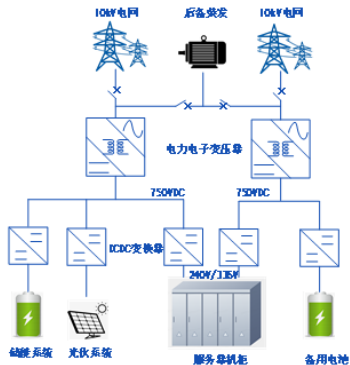
0 MW

常规电源

70 MW

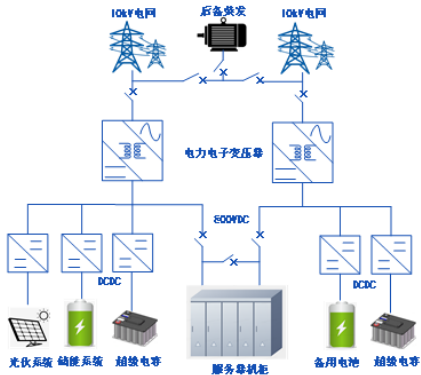
最大负荷





传统240V/336V架构

- 全电力电子化，直流替代交流，效率高
- 光储灵活接入，新能源使用率高



新型800V架构

- 链路短，效率更高，可靠性更高
- 相同尺寸配送容量提升85%，铜量减少67%

	SST方案	巴拿马方案	HVDC方案	UPS方案
全链路效率	90.8%	90.3%	88.9%	85.8%
占地面积	最小（UPS的一半）	较小	大	大
现场安装	柜式或集装箱	受制于移相变压器	受制于工频变压器	受制于工频变压器
灵活性	高压在线维护困难	受制于移相变压器	受制于工频变压器	受制于工频变压器
集成度	高度集成，兼容APF/SVG功能	需额外配置APF/SVG	低	低
绿电接入	具备高效接口	无	无	无
电网适应性	兼容高低穿、主动无功补偿场景	无	无	无

• 已有业绩——±10kV直流场合

- 嘉兴海宁主动式配电网示范工程 (2019年)
- 苏州同里新能源小镇建设工程二期3×1MW电力电子变压器项目 (2019年)
- 2018年国重项目“中低压直流配用电系统关键技术及应用”示范工程
- 国网江苏省电力科学研究院直流配网实验室直流配网系统设备 (2020年)
- 浙江杭州大江东柔性直流风光储示范工程一期/二期 (2018年/2020年)
- 连云港连岛电力电子变压器工程 (2019年)





跬步成峰
共越新高

双碳目标是当代电力人新的使命，让我们携手一起挺膺担当，为新能源电力系统建设贡献力量！