

储能技术与应用进展

汇报人：陈海生

**中国科学院工程热物理研究所
中国能源研究会储能专业委员会
中关村储能产业与技术联盟**

汇报内容

一、背景

二、技术现状

三、应用现状

四、发展趋势

五、结束语

1

背景

储能的概念

储能是指通过介质或设备把能量以某种形式存储起来，在需要时再以特定的形式释放出来的过程。

广义储能

化石燃料：煤、石油、天然气等

合成燃料：煤气、氢等

储电

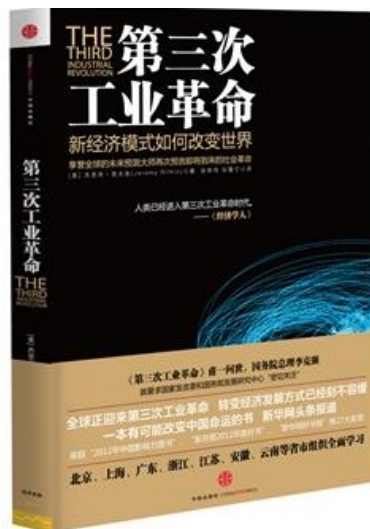
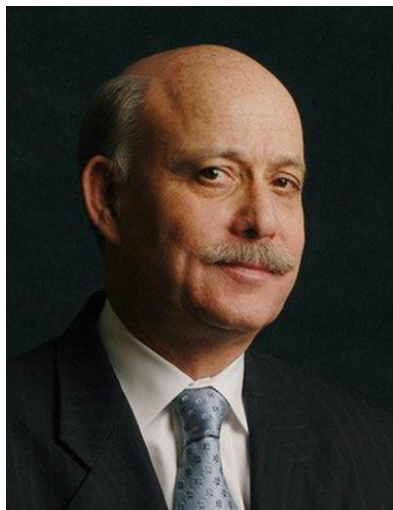
物理储电：抽水蓄能、压缩空气、
超导、飞轮等

化学储电：钠硫电池、液流电池、
锂电池、超级电容等

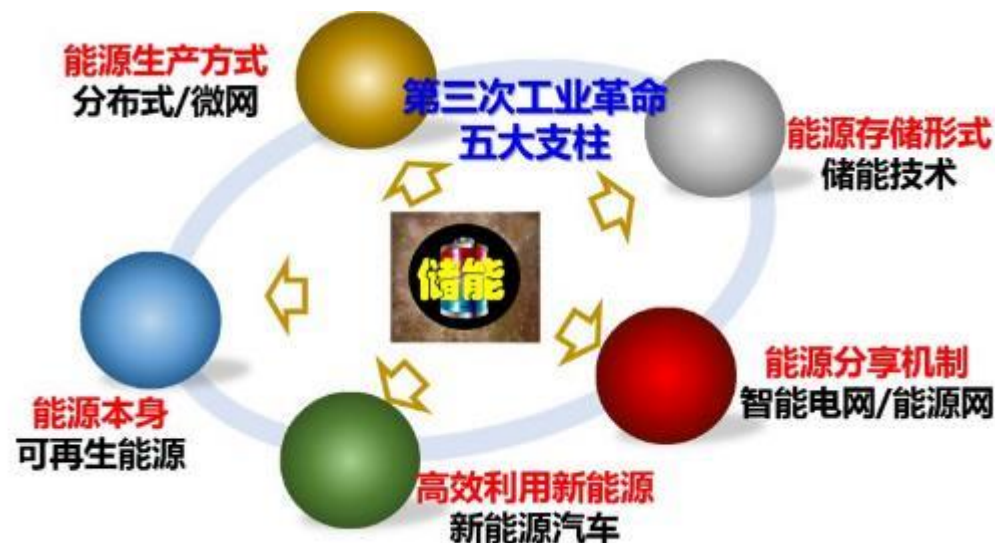
储热：显热、潜热、化学储热等

狭义储能

储能的重大战略意义



储能是
第三次工业革命的
支撑技术



国民经济与社会发展十三五规划：

大力推进**高效储能与分布式能源**系统、智能材料、高效节能环保等新兴前沿领域创新和产业化，形成一批新增长点。

100项重大任务第37项：发展储能与分布式能源



国家能源委员会会议：

李克强：“要集中力量在**储能等技术上取得突破**，抢占能源科技竞争制高点。”
—2016年11月17日

“要加快能源开发利用关键技术和重大装备攻关，探索**先进储能**、氢能等商业化路径。”

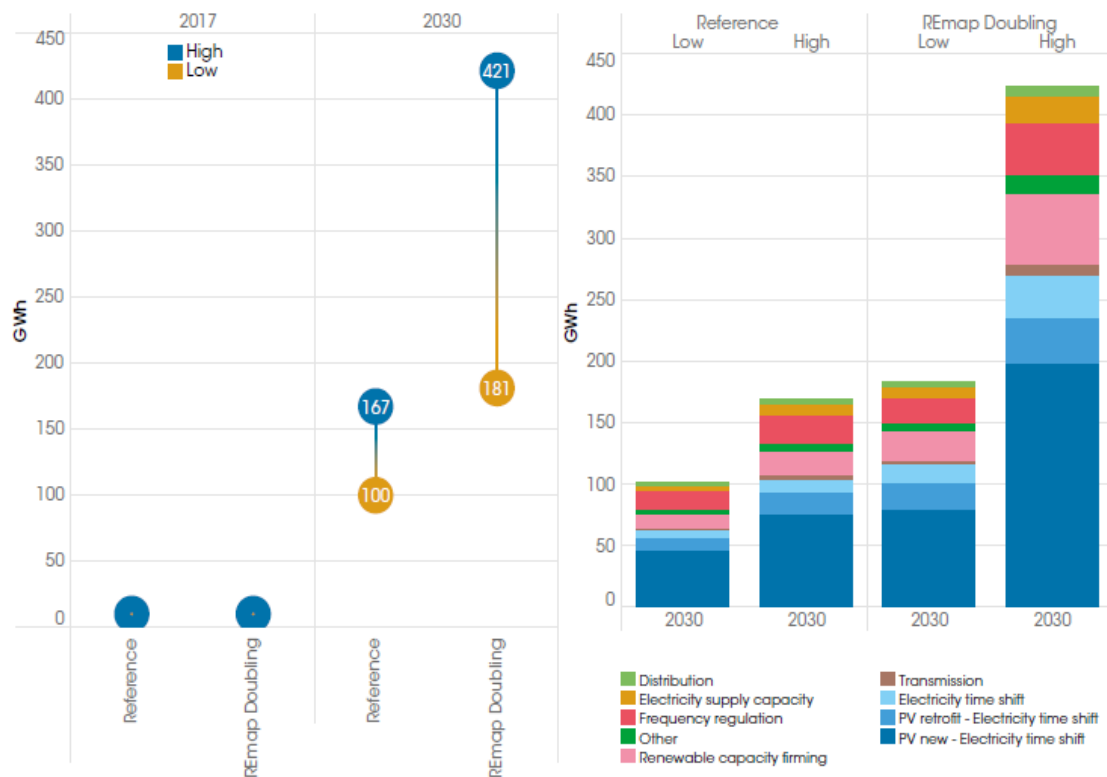
—2019年10月11日

储能的重大战略意义

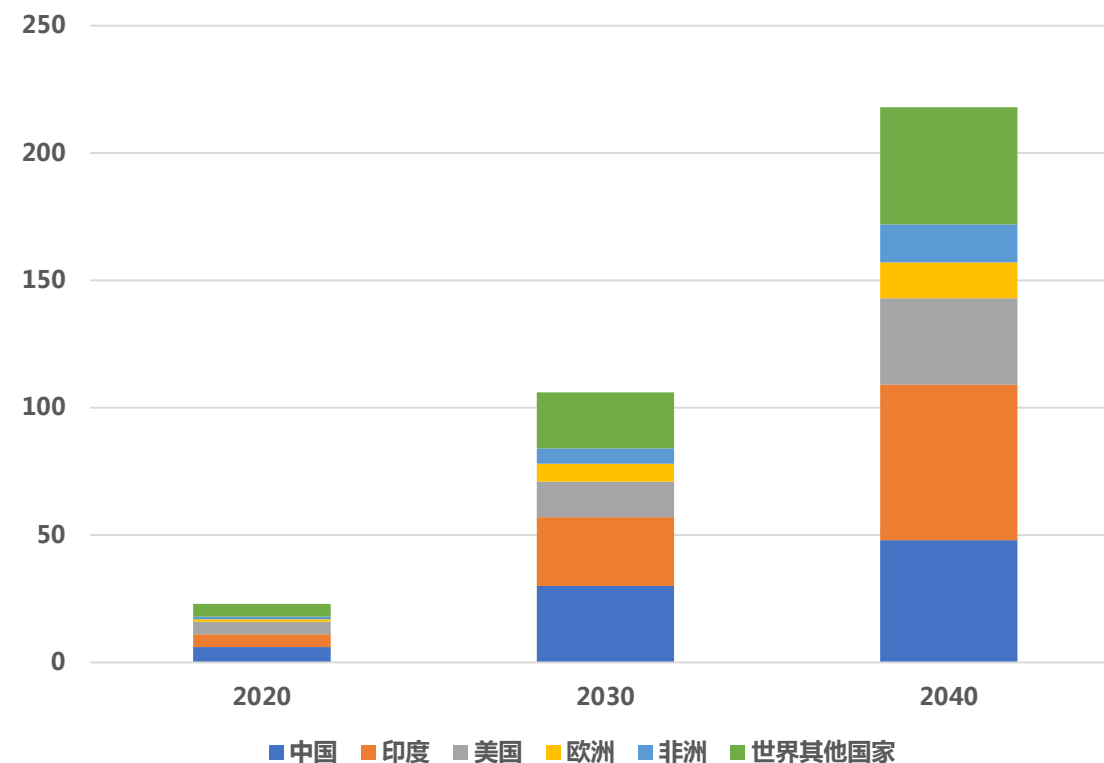
根据国际可再生能源署IRENA，到2030年，基准场景下，全球固定式储能电站容量（不含抽蓄）达到100-167GWh，理想场景下达到181-421GWh，增长10倍以上。

根据国际能源署IEA，在NPS场景*下，到2030年，全球电网规模的储能电站容量（不含抽蓄）将达到106GW，到2040年将达到218GW，增长10倍以上。

Figure ES5: Battery electricity storage energy capacity growth in stationary applications by main-use case, 2017-2030



全球电网规模储能系统装机容量预测(GW)

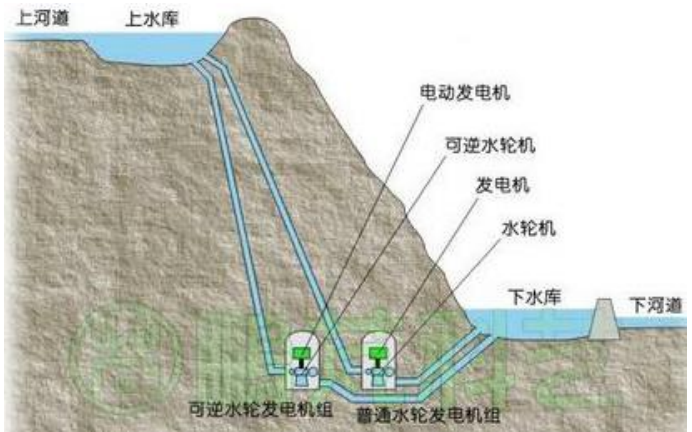


2

技术现状

抽水蓄能

技术现状



- 技术特点：规模大、寿命长、单位投资小、技术成熟；受地理条件限制、建设周期长、环境问题；
- 发展现状：削峰填谷、跟踪负荷、调频、备用、无功调节和黑启动等辅助服务任务；
- 关键技术：水泵水轮机、高坝筑造、变速控制、微型抽蓄、海水抽蓄等。

技术参数

储能技术	装机规模	全功率响应时间	典型发电时间	功率密度	循环寿命	功率成本	能量成本	能效
抽水蓄能	100-1000 MW	分钟级	数小时	0.1-0.3 W/L	>10000次 50年	6000-8000 元/kW	500-1500 元/kWh	70-80%

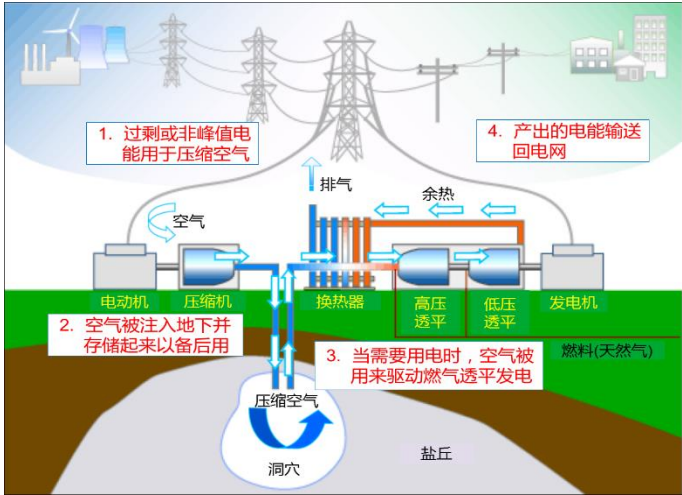
成熟度

技术成熟度	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8	TR9
成熟度定义	基本原理	概念研究	实验研究	原理样机	完整测试	模拟环境	真实环境	定型实验	商业应用
大型抽水蓄能	√	√	√	√	√	√	√	√	√
微型抽水蓄能	√	√	√	√	√	√			



压缩空气储能

技术特点



- 技术特点：储能容量较大、储能周期长、效率高和投资相对较小等特点；依赖储气室和化石燃料；
- 发展现状：传统300MW，国内中科院工程热物理所先进系统10-100MW示范，削峰填谷、平衡负荷、频率调制、分布式储能和发电备用等；
- 关键技术：压缩机、膨胀机、燃烧室、蓄热技术、超临界空气储能系统等。

技术参数

储能技术	装机规模	全功率响应时间	典型放电时间	功率密度	循环寿命	功率成本	能量成本	能效
压缩空气	0.01-300 MW	分钟级	数小时	0.2-0.6 W/L	>10000次	6000-8000 元/kW	500-2000 元/kWh	42-75%

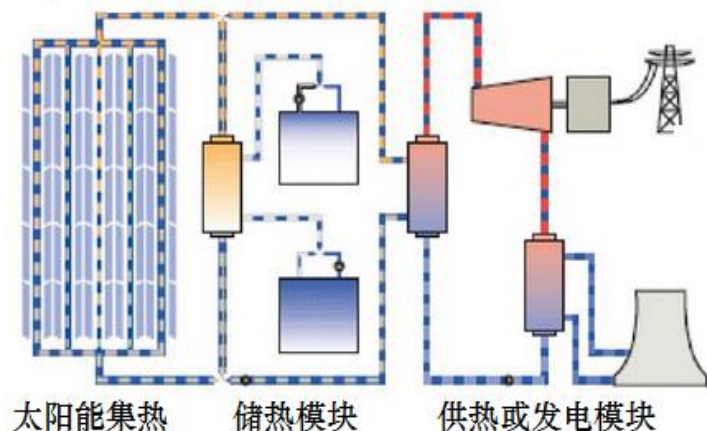
成熟度

技术成熟度	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8	TR9
成熟度定义	基本原理	概念研究	实验研究	原理样机	完整测试	模拟环境	真实环境	定型实验	商业应用
传统压缩空气	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
先进压缩空气	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	



蓄热蓄冷

技术现状



- 技术特点：规模大、寿命长、单位投资小等；储能密度较低、材料高温腐蚀等。
- 发展现状：显热储热是目前主要储热技术，潜热储热趋于成熟，多用于建筑蓄能或参与电网调峰；热化学储热不成熟。
- 关键技术：高性能蓄热材料、蓄热单元、系统控制等。

技术参数

储能技术	装机规模	全功率响应时间	典型放电时间	功率密度	循环寿命	功率成本	能量成本	能效
蓄热蓄冷	50MW	分钟级	数小时	0.2~3 W/L	>20年	—	100~1000 元/kWh	45~95%

成熟度

技术成熟度	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8	TR9
成熟度定义	基本原理	概念研究	实验研究	原理样机	完整测试	模拟环境	真实环境	定型实验	商业应用
显热储热	√	√	√	√	√	√	√	√	√
潜热储热	√	√	√	√	√	√	√	√	
热化学储热	√	√	√	√	√	√			



飞轮储能

技术特点



- 技术特点：功率密度较高、充放电次数高、工作环境要求低、无污染等特点。
- 发展现状：国外10MW级系统，国内100kW级，适合电网调频、电网安全稳定控制、电能质量治理等；
- 关键技术：高速飞轮本体、高速电机和轴承、储能阵列、运行控制技术。

技术参数

储能技术	装机规模	全功率 放电时间	功率密度	循环寿命	功率成本	能量成本	能效
飞轮	0.1~10 MW	十毫秒级	5000 W/L	>20000次	1500~2000 元/kW	~45500 元/kW	80~90%

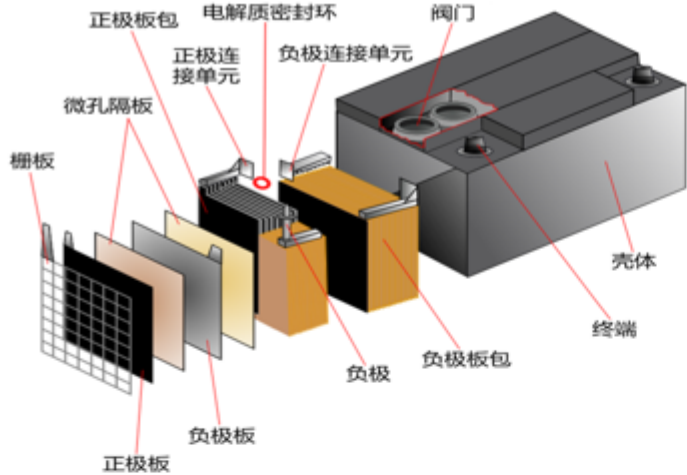
成熟度

技术成熟度	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8	TR9
成熟度定义	基本原理	概念研究	实验研究	原理样机	完整测试	模拟环境	真实环境	定型实验	商业应用
飞轮电池	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
飞轮储能阵列	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		



铅酸电池

技术特点



- 技术特点：成本低、技术成熟等特点；储能密度低、污染问题；
- 发展现状：传统技术已到瓶颈，新型技术如铅炭电池得到重视；
- 关键技术：铅炭电池、超级铅酸电池（铅酸+电容）等。

技术参数

储能技术	单体容量	全功率放电时间	工作温度	比能量	循环寿命	能量成本	能效
铅蓄电池	1~4000 A·h	百毫秒级	40~60℃	25~50 Wh/kg	1000~3000次	800~1300 元/kWh	50~75%

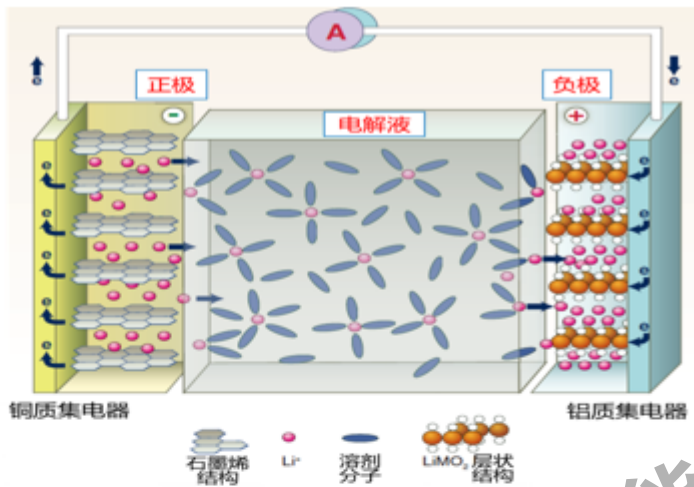
成熟度

技术成熟度	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8	TR9
成熟度定义	基本原理	概念研究	实验研究	原理样机	完整测试	模拟环境	真实环境	定型实验	商业应用
铅酸电池	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
铅炭电池	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	



锂离子电池

技术特点



- 技术特点：能量密度高、效率高、响应快、发展快等特点；成本相对高、安全性有待提高等；
- 发展现状：当前发展最快，多用于电动汽车、电网频率控制、系统稳定及新能源接入等。单体10MW级和总规模100MW级示范项目。
- 关键技术：全固态锂电池技术、聚合物锂电池技术、锂硫电池技术。

技术参数

储能技术	单体容量	功率响应时间	工作温度	比能量	循环寿命	能量成本	能效
锂离子电池	0.05~100 A·h	百毫秒级	-20~ 55℃	90~220 Wh/kg	3000~ 6000次	1600~4500 元/kWh	85~98%

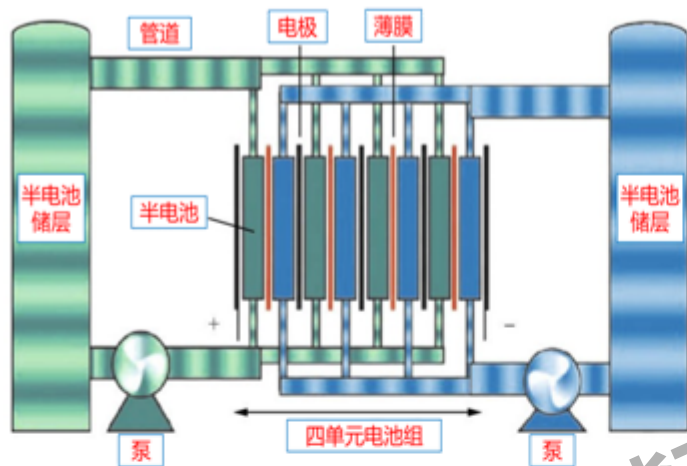
成熟度

技术成熟度	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8	TR9
成熟度定义	基本原理	概念研究	实验研究	原理样机	完整测试	模拟环境	真实环境	定型实验	商业应用
锂离子电池	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



液流电池

技术特点



- 技术特点：规模大、寿命长、功率和容量分离；价格较高、能量密度低、效率对比较低
- 发展现状：应用于备用电源、电动汽车、电力系统调峰、调频、可再生能源并网、分布式供能等；
- 关键技术：全钒液流电池技术、锌溴液流电池技术、锂液流电池技术、有机体系液流电池技术。

技术参数

储能技术	单体电压	全功率响应时间	工作温度	比能量	循环寿命	能量成本	能效
钒液流电池	1.4 V	百毫秒级	10~40℃	25~40 Wh/kg	5000~10000次	3500~3900 元/kWh	65~75%
锌溴液流电池	1.8 V	百毫秒级	0~40℃	80~120 Wh/kg	5000~10000次	4000~8000 元/kWh	65~80%

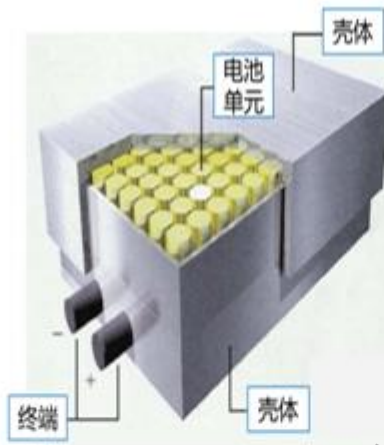
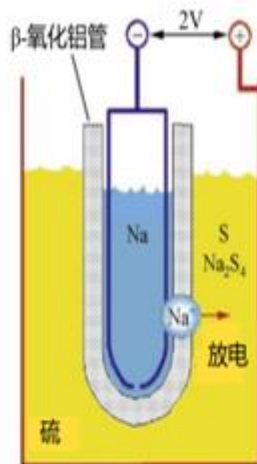
成熟度

技术成熟度	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8	TR9
成熟度定义	基本原理	概念研究	实验研究	原理样机	完整测试	模拟环境	真实环境	定型实验	商业应用
钒液流电池	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
其他液流电池	✓	✓	✓	✓	✓	✓			



钠硫电池

技术特点



- 技术特点：比能量较高、材料易得；工作温度高、安全性要求高、启动慢等
- 发展现状：日本NGK300MW以上，我国上海硅酸盐所等；削峰填谷、可再生能源输出稳定、应急电源、电能质量改善等领域；
- 关键技术：高质量陶瓷管技术、中温平板式钠硫电池技术、常温钠硫电池技术

技术参数

储能技术	单体容量	全功率响应时间	工作温度	比能量	循环寿命	能量成本	能效
钠硫电池	4~30 A·h	百毫秒级	300~ 350℃	130~150 Wh/kg	4000~ 5000次	2200~4000 元/kWh	75~90%

成熟度

技术成熟度	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8	TR9
成熟度定义	基本原理	概念研究	实验研究	原理样机	完整测试	模拟环境	真实环境	定型实验	商业应用
钠硫电池	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



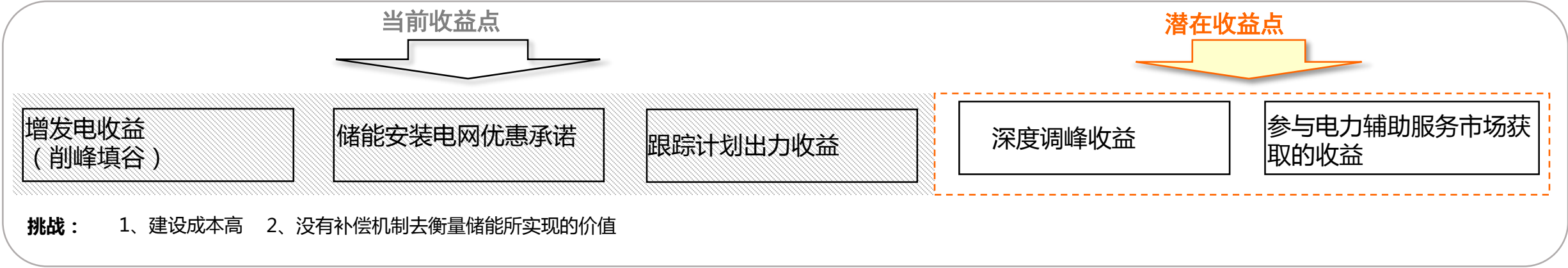
3

应用现状

中国储能应用领域：集中式风/光电站+储能

以华电某风电场储能项目为案例分析：

名称		
储能装机规模	8MW/14MWh	磷酸铁锂电池5MW/10MWh；全钒液流电池2MW/4MWh；超级电容1MW×5min
项目总投资	10460万元	储能系统成本：8500万元
		建设成本：800万元
运维成本	100万元/年	
投资回收期	无法实现	



实现投资收益

- 制定发电侧峰谷电价
- 储能初装补贴
- 落实优先调度机制
- 税收优惠

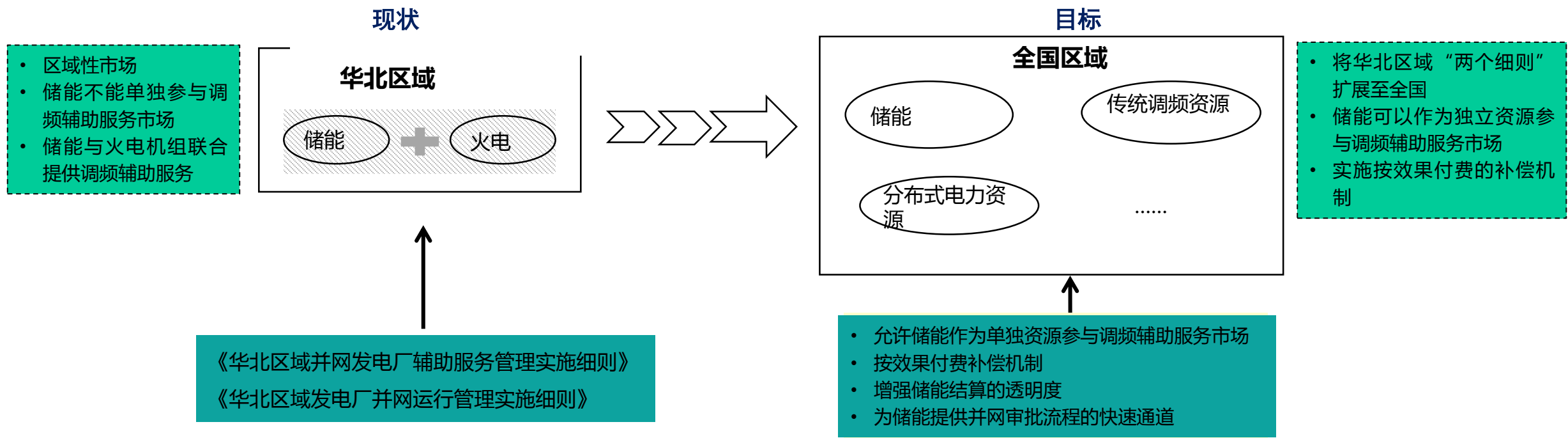
实现潜在收益

- 准许风电场+储能参与电力辅助服务市场
- 制定调峰补偿
- 保证直购电交易/电能替代的电能质量

中国储能应用领域：辅助服务（调频）

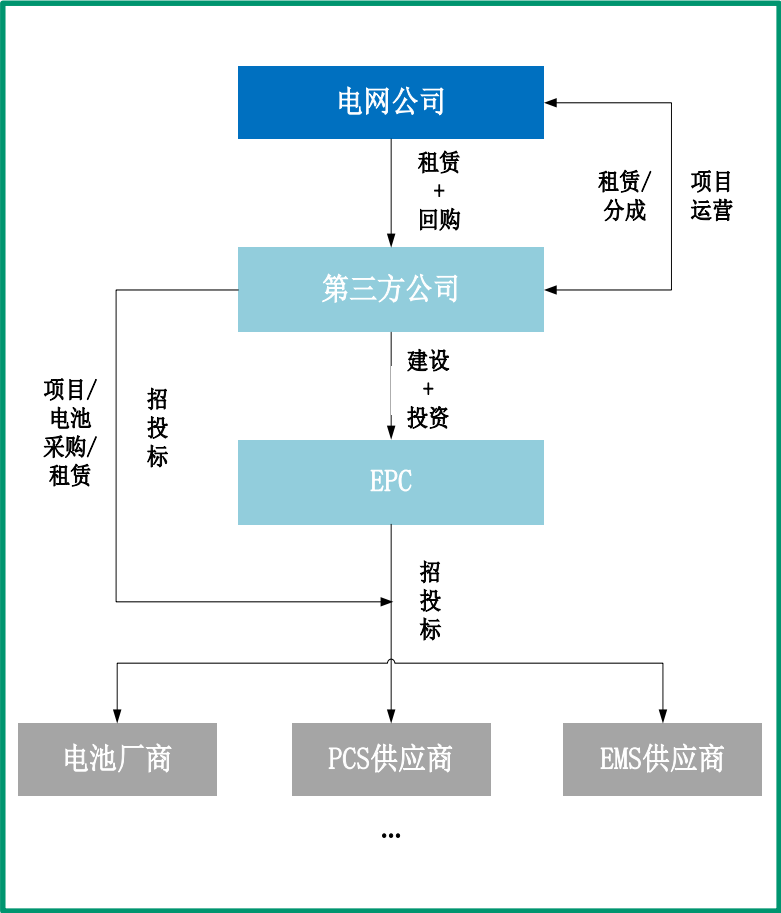
以山西某调频辅助服务项目为案例分析：

名称		
储能装机规模	9MW/4.5kWh	三元锂电池：能量转换效率90-95%，循环次数6000次，100%DOD，浅充放达100万次以上
项目总投资	5600万元	储能系统：5040万元（设备、控制系统）
		建设成本：560万元
运维成本	120万元/年	
项目收益	1500-1600万元/年	日收益 = 日调节量的总和 × 调节效果指标 × 调节性能补偿标准（5元/10元/15元）
预计投资回收期	5年左右	考虑贴现及成本



中国储能应用领域：电网侧

国内电网侧储能项目大多引入第三方主体作为项目投资方，负责项目整体建设和运营，电网仅采用**租赁形式**获得项目使用权，可利用储能资源替代传统输配电资产投资、提高电力系统运行可靠性或提升可再生能源消纳能力。



江苏：许继、山东电工、江苏综合服务公司投资建设，并租用储能系统集成商储能设备，部分电站由省公司向投资方支付租赁费，其他电站由省公司和投资方进行收益分享。一期项目成本暂纳入电网规划，相关成本计入输配电价。

湖南：湖南综合服务公司租用电池系统，其他系统一次性投资，省公司向综合服务公司支付租金费用，电网所支付成本尚无回收渠道。

河南：平高公司投资建设，合同能源管理模式运营（已参与需求侧响应）

宝清、潭头电站：分别由双调公司、南方和顺电动汽车投资建设，深圳供电局租用系统

经济性

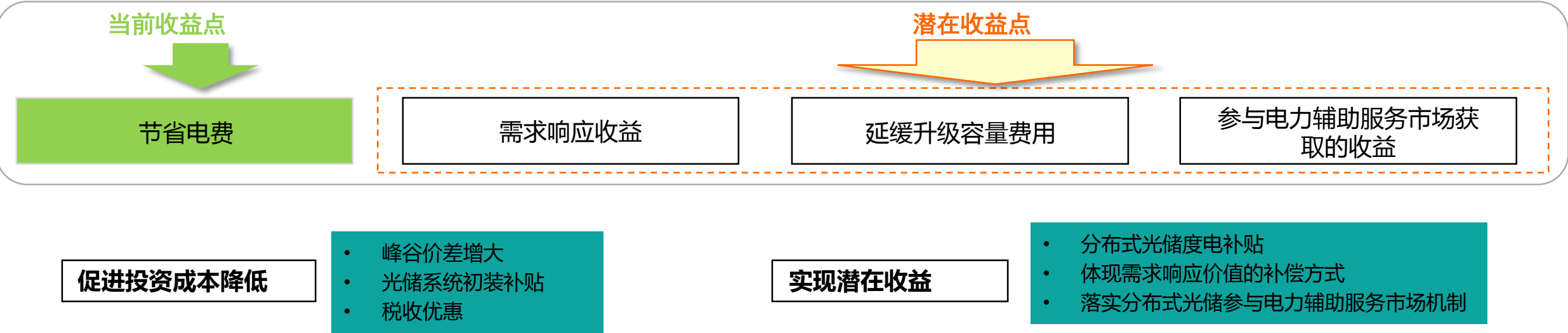
投资：江苏镇江电网侧储能项目接入“大规模源网荷储友好互动系统”，总规模101MW/202MWh，总占地面积33.7亩。

效益：提高镇江东部地区供电能力和电网灵活调节能力。可提高供电能力10万千瓦，为电网运行提供调频、调峰等多种服务。相当于每年减少调频燃煤5300吨，**节省调峰相关投资16亿元。**

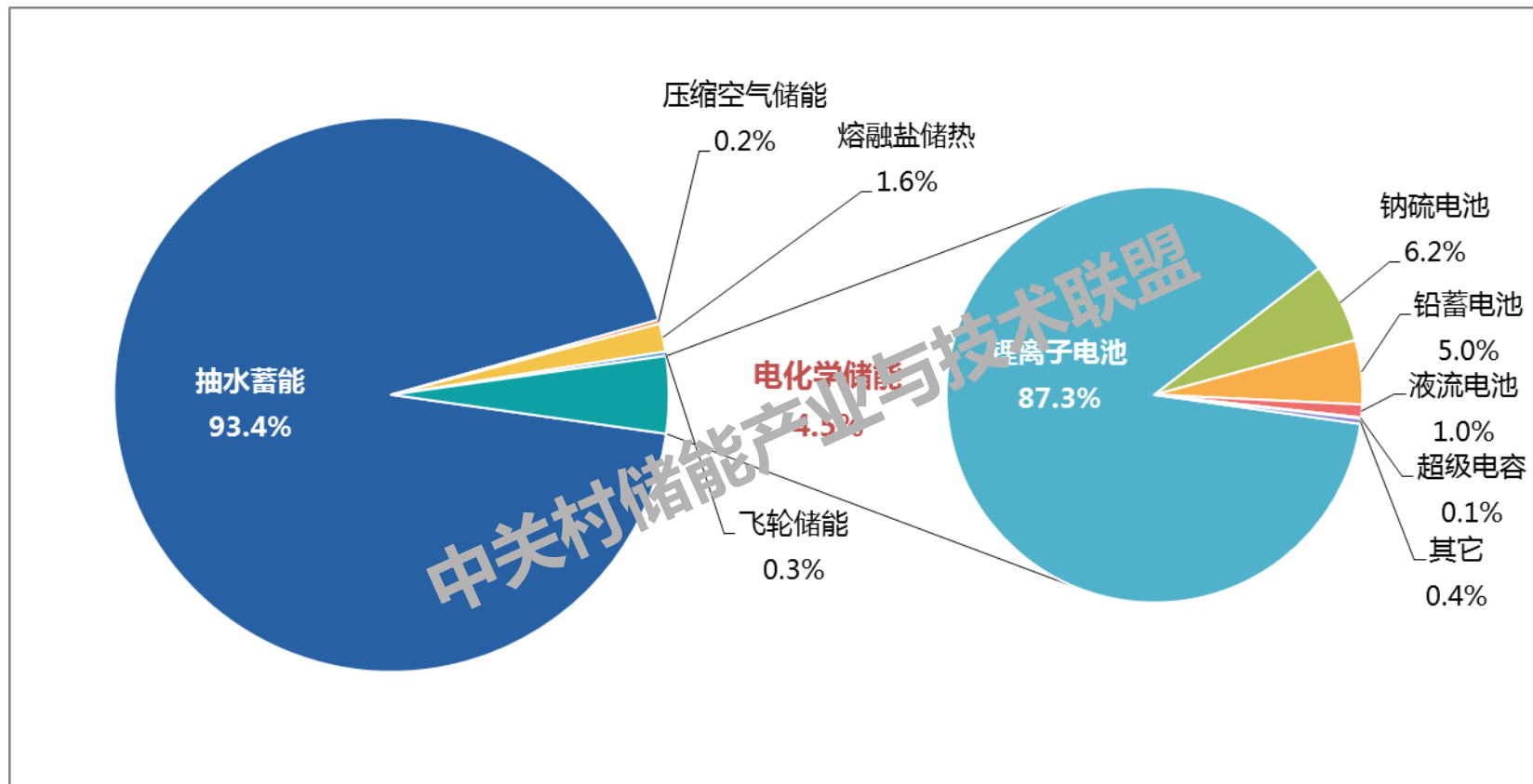
中国储能应用领域：分布式“光伏+储能”

以某工业园微电网项目为案例分析：

名称		
储能装机规模	20MW/40MWh	磷酸铁锂电池：0.5C，95%DOD，25℃，循环次数5500次以上，能量转换效率90%
项目总投资	14800万元	包括储能系统、PCS和配电设备
运维成本	30万元/年	
项目收益	约1896万元/年	峰期电价1.0147元/kWh，平期电价0.7099元/kWh，谷期电价0.3259元/kWh 每天节省电费：3×峰期电价－2×平期电价－谷期电价＝1.2984元/kWh 每年节省电费：储能系统容量×每天节省电费×365天＝1895.664万元
预计投资回收期	7.8年	理想状态，未考虑充放电效率、维护时间、送出线路损耗等



储能应用现状

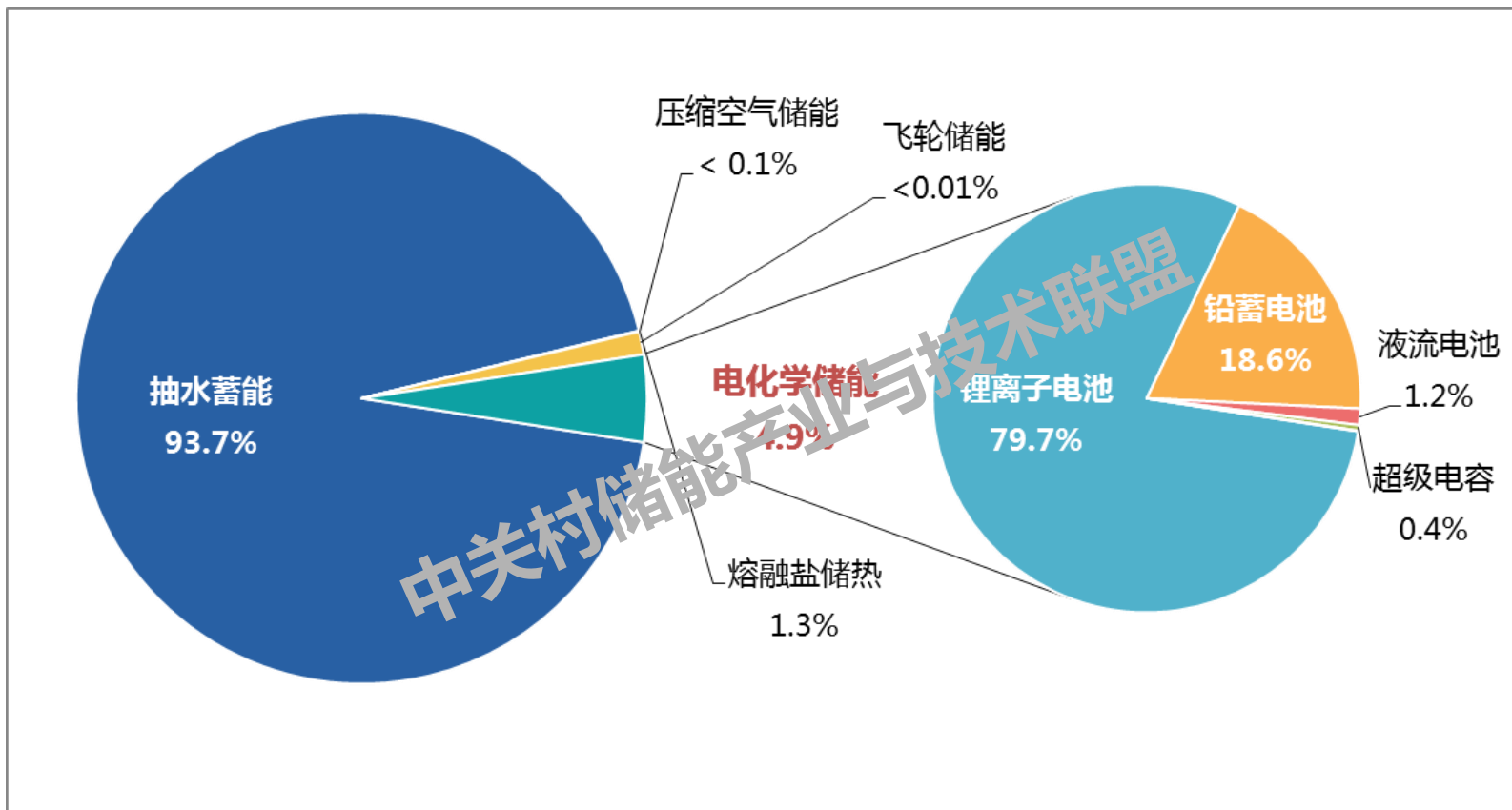


全球储能市场总规模

根据中国能源研究会储能专委会/中关村储能产业技术联盟（CNESA）全球储能项目库的不完全统计，截至2019年底，全球已投运储能项目累计装机规模为**183.1GW**。其中，抽水蓄能项目的累计装机占比最大，为93.4%，比去年同期下降0.9个百分点。

Source: NEA statistics; CNESA Project Database, 2020

储能应用现状



中国储能市场总规模

根据CNESA全球储能项目库的不完全统计，截至2019年12月底，中国已投运储能项目累计装机规模为**32.3GW**，占全球18%，其中，抽水蓄能项目的累计装机占比最大，为93.7%，比去年同期下降2.1个百分点。

4

发展趋势

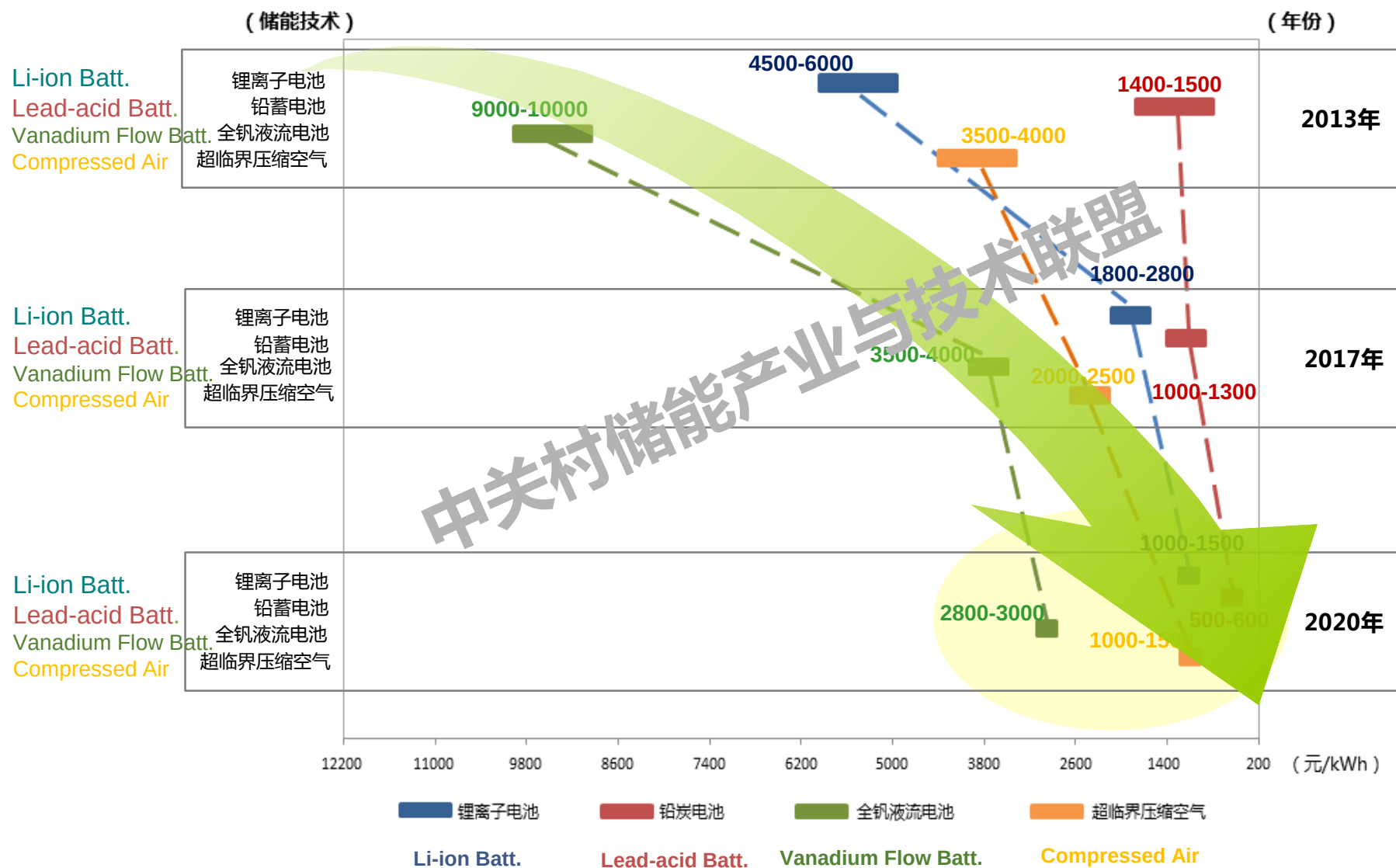
储能发展趋势



储能发展趋势

	Technologies	Technologies	Technologies
Physical Storage	• Pumped Hydro • Compressed Air (supercritical CAES) • Flywheel	• Pumped Hydro • CAES	• Pumped Hydro • CAES
Chemical Storage	• Lead-acid Battery • Li-ion Battery • Flow Battery (Vanadium, Zn-Br) • Na-S Battery	• Lead-acid Battery • Li-ion Battery • Flow Battery (Vanadium, Zn-Br)	• Lead-acid Battery • Li-ion Battery
Electro-magnetic Storage	• Supercapacitor • Superconductor	• Supercapacitor	
Other Storage	• Fuel Cell* • Mechanical Energy • Gravity		

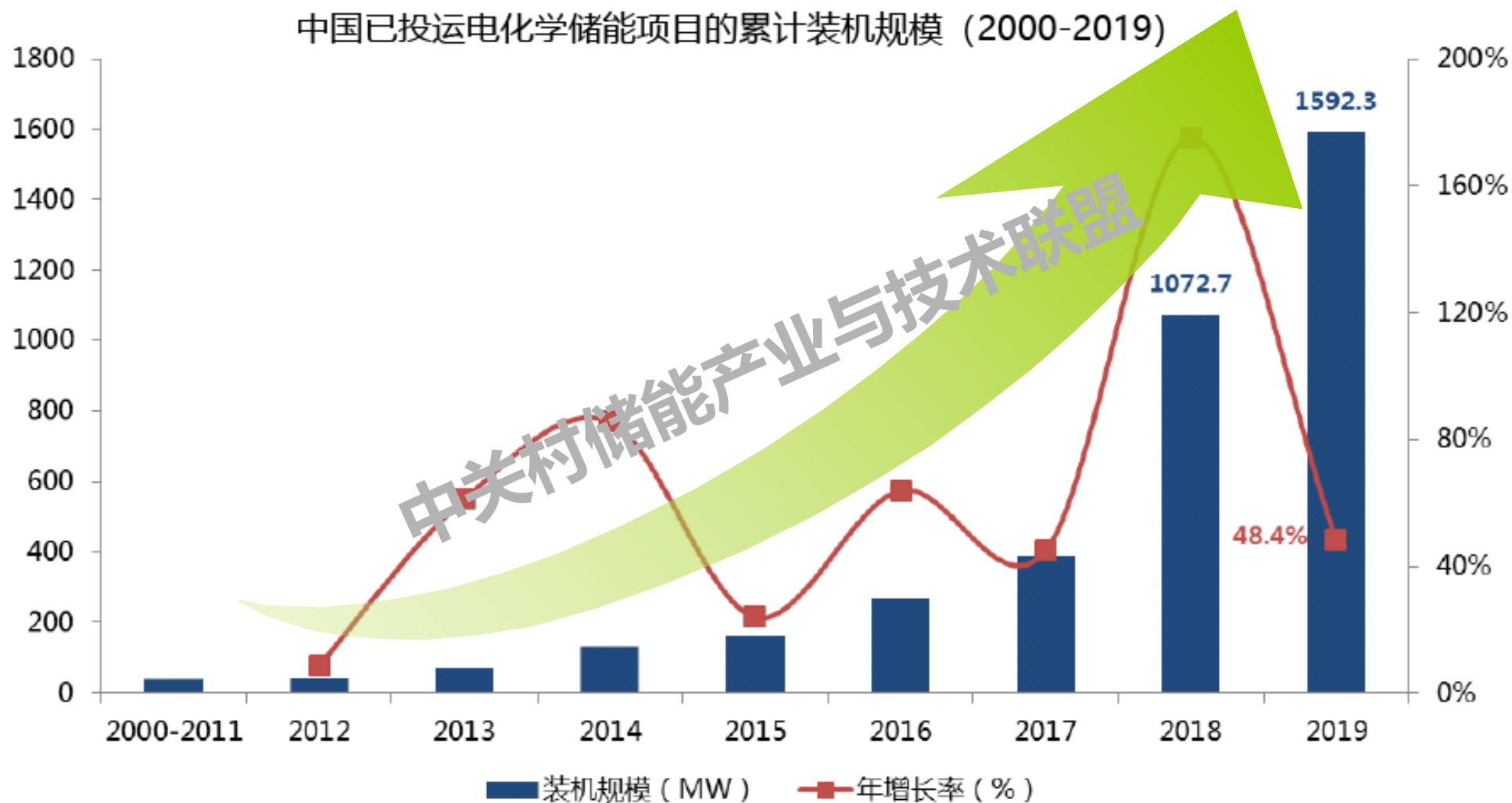
储能发展趋势



数据来源：联盟对各主流技术厂商成本数据跟踪及调研

注：锂离子电池为1小时磷酸铁锂电池系统；铅炭电池为1小时系统；全钒液流电池为5小时系统；超临界压缩空气为4小时系统

储能发展趋势



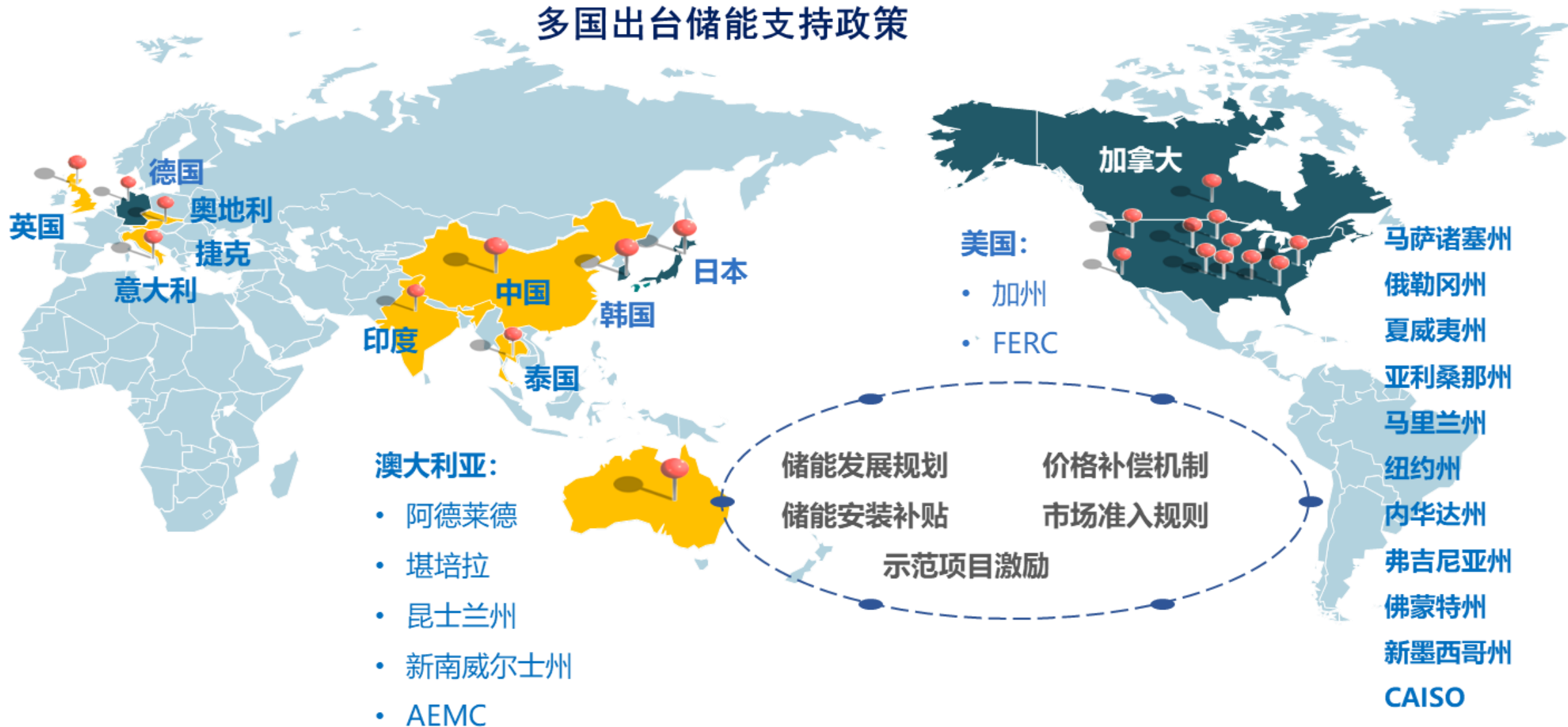
Data Source: CNESA forecast data

5

结束语

国际储能技术与产业发展的相关政策

多国出台储能支持政策



促进我国储能技术与产业发展的相关政策

《关于促进我国储能技术与产业发展的指导意见》- 中国储能产业第一个国家级政策

“十三五”：进入商业化初期

- 建成一批不同技术类型、不同应用场景的试点示范项目
- 研发一批重大关键技术与核心装备；
- 形成一批重点技术规范 and 标准
- 探索一批可推广的商业模式；
- 培育一批有竞争力的市场主体

1

推进储能技术
装备研发示范

2

推进储能提升
可再生能源利用
水平应用示范

3

推进储能提升
电力系统灵活性
稳定性应用示范

4

推进储能提升
用能智能化水平
应用示范

5

推进储能多元化
应用支撑能源
互联网应用示范

“十四五”：规模化发展

- 储能项目广泛应用，形成较为完整的产业体系
- 全面掌握具有国际领先水平的储能关键技术和核心装备
- 形成较为完善的技术和标准体系并拥有国际话语权
- 基于电力与能源市场的多种储能商业模式蓬勃发展
- 形成一批有国际竞争力的市场主体

促进我国储能技术与产业发展的相关政策



3 市场规则

- **华北能监局**：《第三方独立主体参与华北电力调峰辅助服务试点市场规则（试行）》
- **南方能监局**：《南方区域电化学储能电站并网运行管理及辅助服务管理实施细则（试行）》
- **西北能监局**：《发电厂并网运行管理实施细则》和《并网发电厂辅助服务管理实施细则》（简称“两个细则”）
- **甘肃省能监办**：《甘肃省电力辅助服务市场运营暂行规则（2020年修订版）》
- **青海省能监办**：《青海电力辅助服务市场运营规则（试行）》

1 国家层面产业政策

- **国家发改委、科技部、工信部、国家能源**：《关于促进储能技术与产业发展的指导意见2019-2020年行动计划》
- **国家能源局**：《关于促进电储能参与“三北”地区电力辅助服务补偿（市场）机制试点工作的通知》
- **国家标准委、国家能源局**：《加强能源互联网标准化工作指导意见》
- **国家发改委、教育部、能源局**：《储能技术专业学科发展行动计划（2020—2024年）》
- **国家发改委**《关于加快建立绿色生产和消费法规政策体系的意见》
- **国家能源局**：《关于组织申报科技创新（储能）试点示范项目的通知》

2 地方性产业政策

- **新疆自治区发改委**：《关于开展发电侧光伏储能联合运行项目试点的通知》
- **广东省能源局**：《广东省2019年电力需求响应方案（征求意见稿）》
- **海南省政府**：《海南智能电网2019-2021年建设方案》
- **浙江省财政厅**：《浙江省发展与改革专项资金管理办法（征求意见稿）》
- **山东省发改委**：《关于开展储能峰谷分时电价政策试点的通知》（征求意见稿）
- **内蒙古自治区发改委**：《2020年光伏发电项目竞争配置方案》

结束语

- 储能技术具有广阔的应用前景和市场需求。
- 各种储能技术有不同的技术特点和应用场合。
- 我国储能技术取得了重要进展且发展很快。
- 储能迫切需要更多的人才、资源和政策的支持！

结束语

请批评指正！

陈海生 chen_hs@iet.cn