

储能关键技术 及商业运营模式

华志刚 主编



ENERGY
STORAGE

阐述规模化大容量储能技术
推进智能电网、泛在电力物联网建设



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

储能关键技术 及商业运营模式

主 编 华志刚

副主编 李璟涛 张晓辉 周正道 吴水木



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

《储能关键技术及商业运营模式》一书针对适用于电力系统的规模化储能技术的关键问题和商业运营模式进行了系统分析,旨在借鉴国外储能应用现状和产业政策环境,顺应我国能源变革和电力发展的实际需要,探索提出适用于我国当前电力市场政策和能源供需特点的储能产业规划、业务布局、发展方向和运营模式建议。

本书既可作为高等院校能源与动力类、电气类、电子信息类、材料类专业师生的教学用书,也可作为能源领域工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

储能关键技术及商业运营模式 / 华志刚主编. —北京: 中国电力出版社, 2019.1
ISBN 978-7-5198-2915-5

I. ①储… II. ①华… III. ①储能—产业发展—经营方式—研究—中国 ②储能—技术—研究
IV. ① F426.2 ② TK02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 011398 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号(邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 宋红梅

责任校对: 黄 蓓 郝军燕

装帧设计: 王红柳

责任印制: 吴 迪

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

版 次: 2019 年 3 月第一版

印 次: 2019 年 3 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 16 开本

印 张: 13.5

字 数: 258 千字

印 数: 0001—2000 册

定 价: 75.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

编委会

主 编 华志刚

副主编 李璟涛 张晓辉 周正道 吴水木

成 员 (按姓氏笔画排序)

丁义军 王 颖 包伟伟 李 彬 李广博 李 炎
李岱昕 吴 凯 吴宏亮 应波涛 汪 霞 张广宏
张 起 张 强 陈以明 陈 川 岳 芬 周乃康
胡定军 赵 宁 袁建丽 殷 俊 顾 怡 符 佳
董宁波 韩文学 谢 明

序

当前，我国乃至世界均处在能源变革的关键时期，信息化、数字化、智能化技术与能源、电力技术深度融合，未来世界能源结构体系必将是清洁低碳、绿色高效的。我国政府高度重视并致力于推动能源转型变革。党的十九大报告把能源发展放在加快生态文明体制改革、建设美丽中国的重要位置，强调推进绿色发展、推进能源生产和消费革命，对新时代能源发展提出了更高的要求。

2017年10月11日，国家发改委、财政部、科技部、工信部、能源局发布的《关于促进储能技术与产业发展的指导意见》明确提出：加快储能技术与产业发展，对于构建清洁低碳、安全高效的现代能源产业体系，推进我国能源行业供给侧改革、推动能源生产和利用方式变革具有重要战略意义，同时还将带动从材料制备到系统集成全产业链发展，成为提升产业发展水平、推动经济社会发展的新动能。伴随着新时代能源绿色发展和能源生产消费革命的不断推进，创新储能技术、发展储能产业势在必行。

《储能关键技术及商业运营模式》一书针对适用于电力系统的规模化储能技术的关键问题和商业运营模式进行了系统分析，旨在借鉴国外储能应用现状和产业政策环境，顺应我国能源变革和电力发展的实际需要，探索提出适用于我国当前电力市场政策和能源供需特点的储能产业规划、业务布局、发展方向和运营模式建议。

该书在以下三个方面值得肯定：

（1）研究内容全面。该书系统阐述了包括电化学储能、物理储能、储热、储氢等在内的传统及前沿的储能技术路线，重点分析了规模化储能在电力系统发、输、配、用等各个环节的应用场景和典型案例，有助于读者对于储能技术发展及其应用价值有一个清晰认识。

（2）市场政策发展脉络清晰。该书全面梳理了美国、德国、日本、澳大利亚、英国和中国等国内外主要储能市场的发展特点和政策环境的历史沿革，分析储能发展背后的政策驱动因素，可为后续研究制定储能发展战略和扶持政策提供依据和指导。

（3）储能产业发展建议针对性强。该书从储能产业面临的机遇和挑战出发，结合储能技术发展现状和我国能源政策趋势，有针对性地提出储能产业发展方向和技术路线建议，在储能业务布局和商业运营模式方面有所创新。

储能技术创新和应用示范协同推进，着力建立有效的商业运营模式，是我国储能产业未来发展的主要方向。本书研究成果对推动我国储能产业的政策制定、技术研发和发展规划具有参考价值，对促进我国规模化储能产业的技术进步和产业化发展具有指导作用，对推进新时代能源供给侧结构性改革、打赢能源改革攻坚战具有重要意义，市场空间广阔。

向此书的作者们致敬。

刘志臻

前言

随着新一轮电力体制改革的不断推进，我国能源发展模式和能源体系构建方式正在发生重大变革。发电和售电企业的多元化发展、可再生能源的快速增长、分布式发电和综合能源的大力推广、电力市场化交易机制的不断革新，都对电力系统的安全性、稳定性、灵活性和经济性提出了更高要求。

储能技术在电力系统发-输-配-用各个环节的应用价值已经得到国内外业界的广泛认可和高度关注，当前储能技术的研究和应用正从试验示范向规模化、商业化推广快速迈进，掀起新一轮全球性科技与市场竞争。我国多项能源规划政策已经将储能作为重点研究和创新发展领域之一，储能技术在我国能源产业发展中的战略定位不断清晰。

根据中关村储能产业技术联盟不完全统计，截至2017年底，中国已投运储能项目累计装机规模达28.9GW，同比增长19%。我国储能产业发展进入了快速发展的新阶段，初步具备了产业化的基础。但同时我国储能产业发展仍面临着诸多问题需要克服和解决，突出表现在：①储能政策体系有待进一步完善；②储能产业的商业运营模式在当前电力市场尚不明晰，储能多重应用价值尚无法体现；③储能技术路线不明确，关键技术创新有待突破；④相关技术标准和市场管理体系缺乏规范性指导。

开发和推进储能技术应用作为新时代能源供给侧结构性改革的战略举措和未来能源生产和消费方式革命的战略支撑，对其关键技术路线和商业运营模式的梳理，既是对习近平总书记“四个革命”和“一个合作”能源战略思想的贯彻落实，同时也是探索在新时期提升核心竞争力、挖掘新动能、保证可持续发展的能源发展路线需求。

本书共9章。第1章提出规模化储能技术的定义，并基于能源和电力发展状况阐述储能技术发展的必要性。第2章围绕全球主要储能国家的市场发展现状，对各国储能市场特点、发展趋势和政策环境进行全面解析。第3~6章系统梳理了电化学储能、物理储能、储热、储氢等四类规模化储能技术的原理、性能特点及其技术关键点。第7章结合典型项目案例，重点分析储能技术在发电侧、电力辅助服务、输配侧、工商业用户侧、分布式发电与微电网、大规模可再生能源并网等电力系统应用场景的应用价值和商业运营模式。第8章从规模化储能技术评价指标出发，评估了四类储能技术在电力系统中的技术成本和经济性发展趋势，并预测其应用前景和实施路径。第9章剖析了我国储能产业发展面临的机遇和挑战，凝练出了我国储能产业发展规划、项目布局、业务发展模式及适用于不同区域的储能技术路线和运营模式实施建议。本书注重理论研究和典型案例分析相结合，以期为广大读者提供借鉴和参考。

在此要特别感谢原华北电力大学校长、中国工程院院士刘吉臻对本书编写给予的悉心指导和关心。感谢国家发改委能源研究所安琪、国家电力投资集团有限公司火电部黄宝德、中科院工程热物理研究所陈海生和徐玉杰、清华大学电机系胡泽春、中科院金属研究所严川伟、电力规划设计总院孙湧、北京睿能世纪科技有限公司俞振华、北京科技大学能源与环境工程学院玄伟伟，他们对本书内容提供了许多宝贵建议，在此深表谢意。

在本书编写过程中，得到了国家电力投资集团有限公司、国家电投集团科学技术研究院、国家电投集团电站运营技术（北京）有限公司和中关村储能产业技术联盟等单位领导、专家以及同事们的指导和帮助，在此表示感谢。

本书的写作，还得到了国家发改委、能源局、兄弟集团、科研院校、研究机构、设计单位和储能厂商等有关部门的大力支持，参考了他们的许多研究成果，在此一并表示感谢。

本书的出版得益于全体编委会成员的辛勤付出和努力工作。

本书既可作为高等院校能源动力类、电气类、电子信息类、材料类专业师生的教学用书，也可作为能源领域工程技术人员的参考用书。

鉴于编委会成员的水平 and 掌握的资料有限，本书难免存在疏漏及论述不当之处，恳请各位专家和读者批评指正。

编委会

2018年11月于北京

目 录

序

前言

1 概述 /1

- 1.1 储能技术的概念 /1
- 1.2 储能技术的分类 /2
- 1.3 储能技术发展的必要性 /4

2 储能市场和政策环境分析 /10

- 2.1 全球储能市场发展状况 /10
- 2.2 全球主要储能市场政策环境分析 /13
- 2.3 中国储能市场发展状况 /30
- 2.4 中国储能市场政策环境分析 /33

3 电化学储能技术路线及关键技术 /46

- 3.1 铅酸电池 /46
- 3.2 锂离子电池 /50
- 3.3 液流电池 /56
- 3.4 钠硫电池 /61
- 3.5 前沿电池储能技术 /64

4 物理储能技术路线及关键技术 /69

- 4.1 抽水蓄能 /69
- 4.2 压缩空气储能 /72
- 4.3 飞轮储能 /77
- 4.4 超导磁储能 /80
- 4.5 超级电容器储能 /84

5 储热技术路线及关键技术 /88

- 5.1 显热储热技术 /88

- 5.2 相变储热技术 /91
- 5.3 热化学储热技术 /94
- 5.4 规模化储热技术 /98

6 储氢技术路线及关键技术 /106

- 6.1 氢气的制取技术 /106
- 6.2 氢气的存储技术 /108
- 6.3 氢气的利用技术 /114
- 6.4 氢气的应用领域及发展趋势 /117

7 储能技术典型应用场景与商业运营模式 /122

- 7.1 储能技术在电力系统的典型应用场景 /122
- 7.2 发电侧领域 /124
- 7.3 电力辅助服务领域 /128
- 7.4 输配侧领域 /138
- 7.5 工商业用户侧领域 /144
- 7.6 分布式发电与微电网领域 /151
- 7.7 大规模可再生能源并网领域 /156

8 储能技术经济性和应用前景分析 /165

- 8.1 规模化储能技术评价指标 /165
- 8.2 储能技术成本及经济性发展趋势 /168
- 8.3 规模化储能技术经济效益评估 /177
- 8.4 规模化储能技术发展路线图 /179
- 8.5 规模化储能技术实施路径 /182

9 储能产业发展方向及建议 /185

- 9.1 储能产业发展的机遇与挑战 /185
- 9.2 储能产业发展建议 /190
- 9.3 储能技术路线和运营模式建议 /198

参考文献 /202

1.1 储能技术的概念

储能即能量存储 (Energy Storage), 是通过某种介质或者设备, 将一种能量形式用同一种或者转换成另一种能量形式储存起来, 以备在需要时以特定能量形式释放出来的循环过程。目前我们所认识的能量形式包括机械能、热能、电能、化学能、辐射能、核能等。储能过程往往同时伴随着能量的传递和形态的转化。我们常说的储能系统是为研究某个对象而划出的部分物体和空间范围, 包括能量、物质的输入和输出设备、能量转换及存储设备等。

由于储能系统的物理结构、化学组成、电压、电流输出特性以及能量转换接口均不相同, 导致储能机理也不尽相同。用以评价储能系统基本特性的指标因素主要包括存储容量、能量转换效率、能量密度和功率密度、自放电率、放电时间、循环寿命、系统成本、环境影响等。

(1) 存储容量。存储容量 (E_s) 指储能系统充电后所具有的有效能量, 通常比实际使用能量 (E_u) 大。由于实际使用能量通常受放电深度 (DOD) 限制, 在快速充放电时, 储能系统效率下降, 加上系统自放电因素影响, 其实际使用能量比存储容量要小。

(2) 能量转换效率。能量转换效率即储能效率, 指储能系统放电后释放出的能量与初始存储能量之间的比值, 即 $\eta = E_u / E_s$ 。能量转换效率是储能系统能否高效运行的关键因素。

(3) 能量密度与功率密度。能量密度指单位质量或体积储能系统中所具有的有效储存能量, 又称比能量, 包括质量能量密度 (质量比能量) 与体积能量密度 (体积比能量), 常用单位分别为 Wh/kg 或 Wh/L。

功率密度指单位质量或体积储能系统中所能输出的最大功率, 又称比功率, 包括质量功率密度 (质量比功率) 与体积功率密度 (体积比功率), 常用单位分别为 W/kg 或 W/L。

一般来说, 能量密度高的储能系统 (能量型储能) 其功率密度不会太高; 同样, 当

储能系统的功率密度较高时（功率型储能），其能量密度不一定会很高，许多蓄电池储能就是如此。

（4）自放电率。储能系统原材料中会存在少量杂质，所以储能系统闲置不用时，不可避免存在自放电现象，其初始存储能量会自动耗散。常用自放电率（常以%/日、%/月等表示）来反映储能系统所存储能量在一定条件下的保持能力，它是衡量储能系统性能的重要参数，主要受制造工艺、材料、存储条件等因素影响。如蓄电池自放电率与正极材料在电解液中的溶解性和其受热后的不稳定性（易自我分解）有关，可充电电池的自放电率远比一次性电池高，电池类型不同其自放电率也不一样。

（5）放电时间。放电时间即储能系统最大功率运行时的持续放电时间，取决于系统放电深度、运行条件以及是否为恒功率放电等。

（6）循环寿命。储能系统经历一次充电和放电，称为一次循环或一个周期。在一定放电条件下，储能系统工作至某一容量规定值之前，系统所能承受的循环次数或年限，称为循环寿命。影响循环寿命的因素主要是储能系统的性能和技术维护工作的质量。后者由于工作过程（如使用模式、充放电模式、失效模式和环境情况等）不能达到理想的状况，会导致装置寿命进一步缩短。好的循环性能是储能系统长期经济运行的重要保障。

（7）其他指标。除此之外，储能系统还有成熟度、成本、系统维护量、放电频率、环境影响、与现有基础设施的兼容性、可移植性、安全性和可靠性等评价指标。

1.2 储能技术的分类

广义的储能技术，根据不同能量类型，可分为四大类别：

- （1）一次能源的存储，如煤、石油、天然气等；
- （2）二次能源的存储，如氢、煤气、合成天然气等；
- （3）电能存储，如电化学储能、机械储能、电磁储能等；
- （4）后消费能量存储，如蓄热、蓄冷等。

从狭义上讲，我们通常所说的与电力系统相关的储能主要是电能存储、热能存储和氢能存储。根据不同能量形式及技术原理，电力储能技术可分为：

（1）电能存储：电化学储能（铅酸电池、钠硫电池、液流电池、锂离子电池等）、机械储能（抽水蓄能、压缩空气储能、飞轮储能等）、电磁储能（超导磁储能、超级电容器储能等），机械储能和电磁储能统称为物理储能，各类型电能存储技术特点如表 1-1 所示。

表 1-1 电能存储技术特点及应用场合

储能类型	额定功率等级	持续充/放电时间	优点	缺点	应用场合	
电化学储能	铅酸电池	1kW~50MW	1~4h	成本低廉, 安全稳定, 稳定性较好	回收处理, 循环次数较少	备用电源, UPS*, 电能质量, 调频等
	钠硫电池	1kW~100MW	4~8h	结构紧凑, 容量大, 效率高	运维费用高	平滑负荷, 稳定功率等中小容量应用
	全钒液流电池	10kW~10MW	4~8h	充放电次数多, 容量大, 效率高	能量密度较低	调峰调频, 可靠性, 能量调节等
	锂离子电池	1kW~100MW	1~4h	能量密度高, 高效率, 寿命长	成本较高	备用电源, UPS 等中小容量应用场合
机械储能	抽水蓄能	100MW~2GW	8~10h	容量大, 寿命长, 运行费用低	选址受限, 建设周期长	削峰填谷, 调频调相, 事故备用, 黑启动
	压缩空气储能	10~300MW	4~20h	容量功率范围灵活, 寿命长	选址受限, 化石燃料	削峰填谷, 系统备用, 分布式电网微网
	飞轮储能	5kW~10MW	1s~30min	效率高, 响应速度快, 寿命较长	自放电率高, 用于短期储能	调峰调频, 桥接电力, 电能质量保证, UPS
电磁储能	超导磁储能	10kW~50MW	1ms~15min	效率高, 响应速度快, 功率密度大	成本高, 自放电率较高	动态稳定, 功率补偿, 电压支撑, 调频
	超级电容器储能	1kW~1MW	1s~1min	寿命长, 效率高, 充放电速度快	能量密度较低, 成本高	大功率负载平衡, 电能质量, 脉冲功率

*UPS: 不间断电源。

(2) 热能存储: 显热储热、相变储热、热化学储热。

(3) 氢能存储: 高压气态储氢、低温液态储氢、固态储氢。

除了按照能量类型和技术原理外, 还可以从规模等级、存储时间及功能、输入输出接口方式、布局方式等多种角度对储能技术进行分类。

按照规模和容量等级, 储能技术可分为:

(1) 大规模储能, 功率等级达 10MW 到数百兆瓦, 存储时间达数小时, 包括抽水蓄能、大型地下压缩空气储能、大容量化学电池储能、氢能存储、热能存储等;

(2) 中等规模储能, 功率等级达兆瓦级, 存储时间达小时级, 如化学储能、小型地上压缩空气储能;

(3) 小规模储能, 功率等级多在兆瓦级以下, 包括小容量的化学电池储能、超级电容器储能等。

按照存储时间及功能, 储能技术可分为:

(1) 能量型储能 (energy-usage energy storage, EES): 以高能量密度为特点, 主要应用于需要长时间、高能量存储和释放能量的场合, 能量型储能系统放电时间相对较慢且存储时间较长 (如数十分钟到数小时)。如抽水蓄能、压缩空气储能、电化学储能等。

(2) 功率型储能 (power-usage energy storage, PES): 以高功率密度为特点, 主要应用于需要储能系统提供短时间快速高功率输入和输出的场合, 功率型储能系统存储时间基本在分钟及以下。如飞轮储能、超导磁储能、超级电容器储能等。

按照储能载体的电压、电流输出特性, 储能技术可分为:

- (1) 直流电流形式: 如超导磁储能;
- (2) 直流电压形式: 如各类化学储能、超级电容器储能等;
- (3) 交流电压形式: 如抽水蓄能、压缩空气储能、飞轮储能等。

按照储能系统能量转换的接口方式, 储能技术可分为:

(1) 电力电子接口方式: 如超导磁储能、超级电容器储能、化学电池储能、飞轮储能等;

(2) 电动机/发电机接口方式: 如抽水蓄能、压缩空气储能及飞轮储能(若直接采用电机接入)等。

我们将能够应用于电力系统领域, 可达到兆瓦级/兆瓦时级的规模化水平并且具备实现统一调度与控制管理可能的储能技术统称为规模化储能技术。规模化储能技术有两种实现方式: 一种是单个储能系统的存储容量达到规模化水平, 即通常所说的大容量集中式储能, 如抽水蓄能、压缩空气储能、熔盐蓄热和高压气态储氢等; 另一种是虽然单个储能装置容量较小, 但可通过成组及系统集成技术将数量众多的分散或分布布置的小容量储能装置组合形成所需容量的规模化储能系统, 即所谓的规模化分布式储能, 如用于大型风电场接入的电池储能系统。

1.3 储能技术发展的必要性

进入 21 世纪以来, 大规模开发利用化石能源所带来的能源安全、环境保护和气候变化已成为全球性的问题。为了应对这些危机, 新一轮以电为中心、以新能源大规模开发利用为特征的能源变革正在世界范围内蓬勃兴起。储能作为未来能源结构转变和电力生产消费方式变革的战略性支撑技术, 伴随着能源利用模式的变化以及对可再生能源依赖程度的提升, 加快推进储能技术和产业的发展成为必然。

1. 储能在新能源领域潜力巨大

统计过去 20 年全球太阳能、风能装机容量, 太阳能装机容量每两年翻一番、风能装机容量每四年翻一番, 全球太阳能装机容量从 2005 年的 5.1GW 增长到 2015 年的 227GW, 风能装机容量从 2005 年的 59GW 增长到 2015 年的 433GW。预计 2025 年、

2030年太阳能装机容量将分别达到1500GW、2400GW，同期风能装机容量将分别达到1200GW、2000GW。储能技术作为支撑大规模可再生能源并网的关键技术，市场潜力巨大。晶体硅光伏电池价格持续降低，价格从1977年的76美元大幅下降至现今的0.3美元。过去5年，太阳能、风能发电成本下降了50%~60%。当前太阳能光伏发电、陆上风电在有些国家已具有市场竞争力。按照目前的发展趋势，预计到2025年，风电、光伏发电将在很多国家成为最便宜的发电方式，储能将在新能源发电领域发挥巨大的作用。

我国风能和太阳能资源丰富，风能和太阳能装机规模持续迅速增长。截至2017年底，我国风电装机容量达1.64亿kW，太阳能发电装机容量达1.30亿kW，均居世界第一位。新能源在我国19个省（区）成为第一、二大电源，其中新能源在甘肃成为第一大电源类型，甘肃、青海、宁夏、新疆、河北新能源发电装机占比均超过30%。《能源生产和消费革命战略（2016—2030）》指出到2020年、2030年和2050年，我国非化石能源占能源消费总量比重将分别达到15%、20%和50%。随着可再生能源发电比例的不不断提高，电网的可调节性和稳定性将受到影响，电力系统调峰能力不足、调度运行和调峰成本补偿机制不健全等问题日益突出，难以适应可再生能源大规模并网消纳的需要。提升电力系统调峰能力和消纳可再生能源能力已被列为我国“十三五”期间补齐电力发展短板的重要任务，储能成为实现这一目标的关键技术手段。储能技术可以在电力系统中增加存储环节，特别是平抑大规模可再生能源发电接入电网带来的波动性，提高电网运行安全性、经济性和灵活性。

2. 推动辅助服务领域储能走向大规模应用和商业化发展

纵观全球，多个国家通过修改电力市场规则帮助储能等灵活性资源进入电力市场。一是通过修改市场规则减少储能并网或参与电力市场的障碍。如，美国联邦能源管理委员会（Federal Energy Regulatory Commission, FERC）要求区域输电组织（Regional Transmission Organization, RTO）和独立系统运营商（Independent System Operator, ISO）修改现行规则，允许任何技术通过分布式能源集成商参与批发电力市场，消除储能和分布式能源参与批发电力市场的障碍。英国政府鼓励相关机构制定储能并网技术要求及储能系统行业准则等措施，积极为储能并网扫清障碍。2016年11月，澳大利亚能源市场委员会（Australian Energy Market Commission, AEMC）又发布“国家电力修改（需求响应机制和辅助服务解绑）规则2016”，对辅助服务进行解绑，允许新的市场参与者利用储能提供辅助服务。二是通过修改市场规则拓展储能的收益渠道。上面提到的美国、英国和澳大利亚等国通过修改电力市场规则，允许储能和分布式能源集合起来开展需求响应或参与电力市场交易，本质上也是帮助储能拓展收益渠道、增加收益的一种方式。此外，美国FERC通过制定755法令和784法令，奠定“基于效果付费”的辅助服务结算机制，

使得储能获得合理的补偿。澳大利亚也打算效仿这一做法。目前，澳大利亚正在开展的“5分钟批发电力结算机制规则修改”，构建类似于美国的“基于性能付费”的调频辅助结算机制，增加储能等短时灵活性资源的收益。

国外经验已经表明，储能可以参与到辅助服务、日前交易、实时交易和备用容量等电力市场中，获取多重应用回报。继2016年6月国家能源局下发《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》，首次给予电储能独立身份参与调峰调频辅助服务之后，东北能监局于2016年底先后出台《东北电力辅助服务市场专项改革试点方案》和《东北电力辅助服务市场运营规则（试行）》，特别提出了电储能参与辅助服务市场调峰应用的价值，即蓄电设施通过在低谷或弃风弃核时段吸收电力，在其他时段释放电力，从而提供调峰辅助服务。

2017年以来，山东、福建、新疆、山西先后发布辅助服务市场化建设试点方案和市场交易规则，各地结合自身的电源结构特点，以市场化交易为主要手段，对AGC调频和有偿调峰交易制定了明确的市场运营规则。目前，电力辅助服务补偿机制除西藏尚未建立外，在全国范围内基本建成，运行效果普遍较好，为进一步推进电力市场建设奠定了基础。为进一步应对我国电力供应能力总体富余，煤电机组利用小时数呈逐步下降趋势，局部地区弃风、弃光、弃水、限核和系统调峰、供暖季电热矛盾的现状。2017年11月，国家能源局下发《完善电力辅助服务补偿（市场）机制工作方案》，构建有效竞争的市场结构和市场体系，在更大范围内优化资源配置，进一步完善和深化电力辅助服务补偿（市场）机制。储能技术应用在电力辅助服务市场的地位得到广泛重视，迎来了新的发展机遇。受到储能在国外调频辅助服务领域商业化应用的激励，国内储能厂商也开始在辅助服务领域寻找大规模储能应用的市场机遇。未来，将构建类似于“按效果付费”的市场机制，促进价格机制在电力市场中发挥主体作用，以保证项目获取合理的投资回报、建立起稳定的商业模式，以推动电力辅助服务领域储能的大规模应用和商业化发展。

3. 储能在用户侧前景看好

近年来，家庭储能在德国、美国、澳大利亚、日本等国家获得快速发展，据HIS、REN最新发布的数据显示，到2020年，全球家庭光伏发电电池储能装机容量有望达到1000MW。2020年后，储能系统将成为电力生产运营的必备部分，而工业、商业，尤其是居民家庭储能的增长速度会明显高过电网储能，2025年储能技术应用有望进入大规模发展期。

2017年我国的储能市场增长很快，新增投运电化学储能项目主要集中在用户侧、集中式可再生能源并网和电力辅助服务领域。尤其是用户侧发展最快，用户侧新增电化学储能装机规模占全部新增电化学储能的59%。在工商业用户侧领域，储能技术在促进分

布式发电就地消纳、降低用户用电成本、提高用能质量和可靠性等方面的应用价值已经得到市场验证。结合我国配售电改革和能源互联网发展机遇，为工商业用户提供以储能为核心的综合能源服务正成为我国储能发展的重要推动力。近两年，以工商业用户侧储能为起点，以南都电源、科陆电子、欣旺达、上能电力等为代表的储能企业已经迈出了探索构建能源互联网、整合配售电业务的第一步。2018年5月，国网江苏能源、南都电源与江苏镇江新区材料产业园等6家重点企业，集中签订了分布式储能项目合同，总投资超过5亿元，标志着全国最大规模用户侧分布式储能项目正式在镇江落地。未来，储能将实现与配售电增值业务和能源互联网智能管控运营技术的有机结合，储能更多的应用价值获得认可，以及储能市场机制和商业模式的不断完善，将有望真正推动我国用户侧储能实现商业化发展。

4. 储能技术是涉及多个新兴产业的战略性新兴产业

储能技术作为学科交叉性强、技术环节多、产业链较长的具有战略意义的前沿技术和战略性新兴产业，是有可能改变能源和电力生产与消费方式乃至人们未来生活方式的革命性技术，从某种意义上来说储能就是“储存未来”。发展储能这一战略性新兴产业已成为各国关注和关注的焦点，从欧美日实施的储能项目和发展规划来看，多个国家都将支持开发合适本国能源特点的储能技术上升到战略层面。通过支持技术创新、布局示范项目、政府直接投资、调整税收等手段累计实际经验，推动储能产业的技术创新、研发和应用，并以此为基础开展储能经济性研究，促进储能商业化和市场化发展，抢占这一新兴产业的科技制高点。

作为目前全球最大的储能市场，美国已将大规模储能技术定位为振兴经济、实现能源新政的重要支撑性技术，于2012年成立了先进电池与储能能源创新中心，目标是支持储能革命性新技术研究，培育新储能体系设计和研发工作，突破电化学储能技术瓶颈，并将这些新技术应用于市场。加州依然占据美国各州储能领头羊的地位，从加速部署公共事业级项目应对储气库泄漏带来的高峰电力运行压力，到批准了一系列市场规则提升分布式能源和储能技术在电力市场中的参与度。加州在多年储能市场发展经验的基础上，正全方位地推动储能发展，并调整发展的步伐与方向。在加州的带动下，2017年，美国其他州也开始活跃起来。俄勒冈州、马萨诸塞州和纽约州均通过设立储能采购目标或提出采购需求，启动公用事业规模的储能项目部署，并依据各自能源结构及供需特点调整储能的应用重点。

欧盟各国也大力支持储能技术和产业发展，包括资金支持储能技术研发和示范，以及两部制电价^①、峰谷电价和季节性电价等政策支持储能应用。2013年底，欧盟电网计划

^① 将与容量对应的基本电价和与用电量对应的电量电价结合起来决定电价的电力市场定价制度。

(EEGI) 发布的《欧洲储能创新图谱》报告, 对欧洲 14 个国家储能研究、开发与示范项目进行了统计分析。结果显示在过去 5 年, 这些国家公共投资和受到欧盟委员会直接资助的项目总数达到 391 个, 总投资额 9.86 亿欧元。大部分经费投资于电化学储能、储热和储氢技术。近两年以来, 在欧洲各国的储能补贴政策刺激下, 欧洲储能市场呈现出户用光储、电网侧储能、海岛微网储能全面发展的态势。

2017 年, 英国储能市场规模迎来爆发式增长, 其累计投运储能项目规模达到 2016 年同期规模的 10 倍。这一增长主要得益于先进调频、其他电网平衡服务等高价值电网服务合同的推动。大部分电网规模的储能项目均采用与可再生能源发电站或大工业用户共享站址的方式, 积极寻求调频辅助服务合同、容量市场合同等实现多重应用效益叠加。英国的用户侧储能市场尚处于发展初期阶段, 除了政府部门和 Innovate UK 资助的一些将用户侧储能聚合起来提供电网服务的试验性项目外, 分散的用户侧储能项目规模和数量都较小。

日本经济产业省下属的新能源产业技术开发机构 (NEDO) 对电池研发工作进行了详细的规划, 并制定了路线图和行动计划, 提出了 Li-EAD (下一代高性能电池系统开发) 和 RISING (下一代革新性电池尖端科学基础研究) 两个重大项目。福岛核泄漏事故之后, 日本政府大力发展可再生能源, 并将储能视为实现可再生能源大规模并网优先选用的技术手段之一。2016 年日本新能源促进会共拨款 2.57 亿美元, 开展了两个“利用大规模储能电池系统提升电网供需平衡示范项目”。此外, 日本政府制定了到 2020 年日本厂商生产的储能电池产量占据全球 50% 市场份额的发展目标。

韩国贸易、工业和能源部 (MOTIE) 制定的《韩国能源总体规划 2035》中提到, 到 2020 年储能系统的成本降低一半, 推动锂离子电池以外的液流电池、钠硫电池等技术在 2020 年前实现初步商业化, 开展中、大型储能系统 (50~100MW) 的示范项目等目标。

我国储能行业起步比较晚, 随着我国能源清洁化发展、可再生能源消纳及智能电网建设, 规模化储能技术及产业的发展已经引起我国高度重视。发展储能产业、推进储能技术应用已成为国家宏观能源布局、能源革命实施的重要举措, 国家多个能源政策将储能技术研究和行业发展纳入能源革命总体布局中加以推动。《能源发展“十三五”规划》《电力发展“十三五”规划 (2016—2020 年)》《可再生能源发展“十三五”规划》《太阳能发展“十三五”规划》《风电发展“十三五”规划》《能源技术创新“十三五”规划》《关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见》等一系列能源政策从不同角度对储能的推广应用做出部署, 储能技术应用成为未来电力、可再生能源、能源互联网等领域解决发展瓶颈、实现发展目标的一项重要支撑技术。围绕储能技术和装备, 《能源发展战略行动计划 (2014—2020 年)》《能源技术革命创新行动计划 (2016—2030 年)》《国家创