

# 储能产业研究白皮书

## 2014

### (摘要版)

中关村储能产业技术联盟  
China Energy Storage Alliance

电话: (8610)65667066 传真: (8610)65666983

网址: [www.cnesa.org](http://www.cnesa.org)

## 目录

前言.....	1
第一章 储能应用收益研究概述.....	3
一、 储能应用收益研究的意义.....	3
二、 储能应用收益研究方法概述.....	3
1. 国内外储能应用收益研究概况.....	3
2. 国内外储能应用收益研究总结.....	6
3. 本报告将采用的储能应用收益研究方法.....	6
第二章 储能在风电场中的应用及收益分析.....	7
一、 储能在风电场中的应用现状.....	7
1. 储能在风电场中的应用现状.....	7
2. 储能在风电场中的主要应用.....	7
二、 现有政策和电价机制对风电场储能的影响.....	8
三、 风电场储能应用的收益分析.....	9
1. 削峰填谷收益计算.....	9
2. 跟踪计划出力收益计算.....	9
3. 案例分析.....	9
第三章 储能在分布式发电及微网中的应用及收益分析.....	10
一、 储能在分布式发电及微网中的应用现状.....	10
1. 储能在分布式发电及微网中的应用现状.....	10
2. 储能在分布式发电及微网中的主要应用.....	10
二、 现有政策和电价机制对分布式发电及微网储能的影响.....	11
三、 分布式发电及微网储能应用的收益分析.....	12
1. 收益点分析.....	12
2. 并网分布式发电及微网中储能应用的收益分析.....	12
3. 离网分布式发电及微网中储能在应用的收益分析.....	14
第四章 储能在调频辅助服务中的应用及收益分析.....	15
一、 储能在调频辅助服务中的应用现状.....	15

二、	现有政策和电价机制对调频辅助服务的影响.....	16
三、	调频辅助服务中储能应用的收益分析.....	16
1.	收益点分析.....	16
2.	中国案例分析.....	17
3.	美国应用分析.....	17
第五章	储能在需求响应中的应用分析.....	18
一、	需求响应用的应用现状.....	18
二、	现有政策对需求响应的影响.....	18
三、	储能在需求响应中的作用及前景.....	19
四、	储能在需求响应中应用的收益探讨.....	19
第六章	储能在智能建筑中的应用分析.....	20
一、	储能在智能建筑中的作用.....	20
二、	国内外发展现状.....	20
三、	典型案例分析.....	21
第七章	储能在智能交通中的应用分析.....	21
一、	储能在智能交通中的作用.....	21
二、	国内外发展现状.....	22
三、	典型案例介绍.....	23
第八章	储能市场发展现状与展望.....	24
一、	全球储能市场发展现状与展望.....	24
二、	中国储能市场发展现状与展望.....	25
附录：技术分册.....		26
鸣    谢.....		27

## 前言

能源产业高速增长的粗框式发展时代已经一去不复返。为提高能效及相关的资源配置效率，国家重新开始了推动电力市场化改革的进程。直购电的出台、电力的主辅分离带来的市场化改革、微网项目的各地开花，这些都说明 2003 年开始，但随后停滞的中国电力市场化进程将重新回到既有轨道。以分布式光伏为推动的新的电力模式，2014 年创造性开启了 8GW 的装机目标，将会对中国未来的电力模式产生深远影响，新的能源体系必然会给中国的信息、建筑、汽车、金融等各相关行业带来新的投资和产业增长机会。

全球的储能革命在不断深化，AB2514 法案推动了加州 2020 年总计 1.3GW 储能项目规划，储能项目的金融创新模式在加州已经得到了各方的参与，带动了银行资金进入并做资产配置，像 SolarCity 模式一样，该方式已经产生了稳定的固定收益。但由于应用模式的欠缺，中国的储能产业还泥沼中前行，产业始终面临着技术、应用和市场机制的三重挑战。传统能源体制和机制相对僵化、非市场化状态，导致政府对储能产业的投入并不能有效配置到行业发展的关键环节，无论是关键技术的基础研发，还是产业化所需要的大量社会资本的参与，产业都缺乏有效的方法进行高效的资金资源配套。

储能行业发展需要有系统的解决方案，需要考虑不同社会力量的参与机制，包含用电主体（电网、电力公司、电力用户），企业和企业家、科研院所的科学家与工程技术人员、金融组织、社会组织。让机制解决问题，通过市场解决问题，提高资源的配置效率。对行业协会等社会组织，产业基金等金融组织，政府在做投入时，需要通过体制变化解决客户问题，加大对行业组织、金融机构的扶持力度，引入社会资本共同参与对企业和技术的扶持。

国家正逐步加强对这个领域的重视。我们正在朝这个方向前进，但由于传统的体制惯性，过程并不顺利。影响最终用户的市场政策，支持基础研究的科技投入、企业的市场金融政策环境、政府对专业产业资金的支持方式、中立第三方行业组织所获得的支持及运行方式都存在诸多不尽如人意的地方。这需要我们储能的从业者更多的耐心。

信息技术的高速发展正迅速的改变社会。由信息技术融合新一代能源技术支撑的能源大数据将对能源行业造成的变革性改变才刚刚开始。信息技术能够让产业内更透明，信息技术背后的“互联网精神”即：开放、平等、协作、分享，正在引导交通、能源的新一轮创新发展。在这以能源大数据为特点的转变过程中，储能已经成为了能够改变能源未来的关键支撑技术之一。

本着“开放、平等、协作、分享”的宗旨，中关村储能产业技术联盟 2010 年启动了对产业的探索与系统地研究，目前这项工作已持续 4 载。从 12 种主流电力储能技术，到储能传统电力系统内 5 大类别、17 小类的不同应用，再到美、日、欧和中国不同的市场环境以及储能机遇，白皮书 2011、2012、2013 的研究成果得到了普遍的认同。通过白皮书和各类委托项目，我们向产业分享研究成果，并欣喜地看到储能在国家能源局层面已经得到了足够的重视，成为了 2013 到 2014 年能源重点推动的 10 个领域的研究课题之一。但储能的市场化机制政策出台依然遥远，核心的困扰在于围绕具体应用的经济性分析仍属于空白，这阻碍了进一步政策的出台。

2013 年到 2014 年间，我们发现中国现阶段四个与新能源相关的重要领域，分布式发电与微网、辅助服务、用户侧需求响应和电动汽车并网系统开始涌现出一些市场机会和创新模

式，个别领域还出现了商业示范项目。因此，从 2013 年年初开始，我们启动了对储能应用经济性的分析，并由此形成了 2014 版白皮书的主要脉络。

2014 版白皮书，着重对风电场、分布式发电及微网和调频辅助服务中储能应用的经济性进行了初步探讨。分析了影响储能收益的政策环境、电价机制，并由此形成了储能应用收益的计算方法。本版白皮书对储能应用经济性分析还处于起步阶段，受限于实际项目数量及项目运行数据，经济性分析目前只停留在应用收益层面，但形成的相关数据以及计算方法，将对未来政策出台、厂商市场开拓等具有重要意义，这也夯实了联盟进一步推进储能应用经济性研究的基础。

另外，通过对 2013 年到 2014 年市场机会的观察，我们相信，新型城镇化下的区域生态系统将会给中国储能带来前所未有的发展机遇。需求侧响应、智能建筑、电动汽车电网应用是其中凸显的应用领域。加上能源可视化的信息系统、基于分布式的能控网络、能源类的资产证券化等创新模式，传统的能源发展模式将被突破，并将带动新的经济增长。与白皮书编写工作并行，2014 年我们投入资源选取了两个城市，从规划层面入手进行具体实施模式的研究，为行业发展中遇到的问题寻找答案。在过程中，我们会定期分享我们的实践经验和研究成果，希望能得到同行的指正，共同围绕行业发展遇到的共性问题尽我们的微薄之力。

中关村储能产业技术联盟理事长

俞振华

## 第一章 储能应用收益研究概述

### 一、 储能应用收益研究的意义

随着越来越多的示范项目在全球开展，储能可实现的功能逐渐变得明晰，储能的作用也逐渐得到相关行业的认可，但储能要想真正实现商业化，目前还存在很大的困难。

除了储能技术比较昂贵外，市场机制尚未理清、储能应用收益衡量困难也是目前阻碍储能产业继续向前发展的主要原因。CPUC（加州公共事业委员会）在向储能行业相关方征集如何制定加州储能采购方案的意见时，很多公共事业单位和电池厂家都认为“很难衡量储能价值”已经成为阻碍储能市场发展的最大障碍。

因此，现阶段进行储能应用的现有或潜在收益点探讨，正确分析衡量储能应用的收益具有重要意义：

#### 1. 全面理清储能应用的各种收益，明确储能应用的利益相关方

储能项目在某个特定领域开展，其可以实现的功能往往不是单一性的，会对与之相联系的其他领域产生影响。例如安装在负荷附近以削峰为主要应用目的的储能电站，其应用还可以带来延缓输配电设备升级，使现有机组运行更稳定从而节省燃料消耗和减少温室气体排放，提高现有机组利用率，延缓新建峰荷机组，降低电力系统生产成本等作用。

进行储能应用的收益研究，明确储能电站能实现的所有收益，确定收益具体的相关方，是全面计算衡量储能价值，进一步确定储能应用结算机制、利益分成机制的必要前提。

#### 2. 帮助储能从业者判断是否部署、如何部署储能项目

明确在现有市场条件、政策机制下，储能可实现收益的具体应用及收益计算方法，帮助储能从业者判断是否部署、如何部署储能项目，这其中包括根据不同的应用要求选择不同的技术及储能容量，以实现单一功能为主还是兼顾多种功能，实现多重应用等。

#### 3. 为进一步进行储能经济性研究打下基础

基于现有条件进行储能收益性分析，理清储能的收益点，并结合发现的影响储能收益的各种因素，可以为进一步建立模型，获取数据，进行全面的储能经济性研究奠定基础。

#### 4. 为进一步出台储能相关的政策、补贴标准、价格机制提供借鉴

清晰的赢利点和利益相关方，可以使储能的价值和作用得到充分体现，进而为完善现有政策、市场机制或出台新的与储能相关的政策、补贴标准、价格机制提供有益的借鉴，使政策的修改或制定有的放矢，能切实推动储能产业的发展。

### 二、 储能应用收益研究方法概述

#### 1. 国内外储能应用收益研究概况

一些政府组织、研究机构、行业组织、咨询公司公共事业公司等已经开展了一定的储能

应用收益研究工作，业内外对储能应用的收益测算方法和储能的价值评估方法有了一些较为清晰的认识，部分研究机构在探索储能应用收益上也取得了一些研究成果。

### EPRI（美国电科院）

EPRI、E3<sup>1</sup>、CPUC（加州公共事业委员会）、CEC（加州能源委员会）以及其他利益相关者共同合作，针对储能开发了一套评价工具：Energy Storage Valuation Tool（ESVT）。利用 ESVT，可以量化储能在能源、容量、监管市场中的潜在价值流，计算储能设施的实时收入。

另外，在计算储能设施的收益与经济价值时，EPRI 提出要分 7 步进行：1) 计算储能系统的成本；2) 计算单一应用收益并加总；3) 计算技术可行的收益；4) 计算可变现的收益；5) 计算出现 N 个类似的储能项目后可变现的收益；6) 计算储能的社会效益；7) 计算储能可行的商业模式的收益。这 7 步逐渐递进，越往后越能更真实的体现储能的实际价值，但受各方面条件的限制，目前这 7 步计算并不能完全在储能项目上实现。

### NREL（美国国家可再生能源实验室）

NREL 出版了报告《储能在电网中应用的价值》（《The Value of Energy Storage for Grid Applications》）。该报告分别采用基于系统生产成本（Production-based simulations）和基于市场价格（Market-price-based methods）两种方法，针对三种情景：削峰、备用、削峰+备用，计算储能的价值。另外，报告针对目前的市场如何调整、支持储能项目开展，展开了一定的论述。

### DNV GL（原名 DNV KEMA）<sup>2</sup>

DNV GL（Energy & Sustainability）开发了一系列用于储能经济性分析和计算的软件，例如 ES-GRID、ES-Select、PLEXOS<sup>3</sup>、KERMIT、Micro Grid Optimization 等。

DNV GL 大部分软件的开发是作为政府项目的一部分进行的，这些软件目前已经对政府政策以及投资者的投资决策产生了一定影响，例如美国加州 2013 年推出的储能采购要求（CPUC Energy Storage Order Instituting Rulemaking proceeding R.10-12-007）。

---

<sup>1</sup> E3（Energy, Environmental, Economics），咨询公司，为公共事业公司、监管机构、政府部门、电力生产部门、能源技术公司、投资者提供电力工业和天然气产业方面的咨询服务。

<sup>2</sup> KEMA 公司 1927 年于荷兰成立，为能源行业厂商提供技术咨询、运营支持、测量与检测，测试与认证等服务。DNV 1864 年于挪威成立，提供风险管理服务。2012 年，DNV 与 KEMA 联合组成 DNV KEMA，提供能源咨询、测试和认证等服务，总部设在荷兰阿纳姆。2013 年 9 月，DNV 与 GL（德国劳氏船级社）合并后，DNV GL 集团成立，DNV KEMA 成为其旗下能源和可持续发展部门（四大业务部门之一），在测试、检验、认证、风险管理等领域提供商业、技术咨询服务。

<sup>3</sup> PLEXOS 不是 DNV GL 的产品，但在其多个产品中使用。

## Navigant 咨询公司<sup>4</sup>

美国能源部电力传输与能源可靠办公室（OE）下属的智能电网成本-效益分析小组（CBA）开发出一套标准方法，评估智能电网领域所有项目的性能、效益以及成本。Navigant 基于此形成智能电网计算工具（SGCT）。随后，Navigant 拓展了 SGCT 中用来评估整个智能电网项目成本与收益的功能，并以此专门开发了一套储能计算工具（ESCT），评估储能的成本以及效益。ESCT 的主要目标是分析已经运行的项目，但也可以分析规划的或（假设）预期的项目。

## 中国防化科学研究院

相对来说，中国对储能应用的收益研究才刚刚起步，比较著名的是由中国工程院杨裕生院士提出来的 YCC 指数。YCC 指数的计算公式如下：

$$YCC = \frac{\text{电价}_{出} - \frac{\text{电价}_{进}}{\text{能量转换效率}}}{\frac{\text{输出 1kWh 的初始投资}}{\text{循环寿命} \times \text{充放深度}} + \text{输出 1kWh 的运营成本}}$$

YCC 指数实际上是储能全寿命周期内，充放一度电的收益和成本的比值。其中，储能的度电收益由充、放电价以及能量转换效率决定，成本主要由初始投资、循环寿命、充放电深度、运营成本决定。针对具体项目，根据 YCC 计算结果进行储能企业是否盈利的判定：

$$YCC > 1, \quad \text{储能企业盈利}$$

$$YCC \leq 1, \quad \text{储能企业亏损}$$

杨裕生院士根据收集了目前各种储能装置的参数，并代入 YCC 公式计算，发现除长寿命的铅酸电池和超级电容器外，绝大多数的化学电源在规模储能中还不能取得经济效益。

## 中科院工程热物理研究所

中科院工程热物理研究所的陈海生教授针对不同的购电电价、售电电价，以总的投资收益率为优化目标，设定了 6 种税收场景，分别计算了抽水蓄能电站、压缩空气储能电站、钠硫电池、液流电池、锂电池、铅酸电池的总投资收益率、内部收益率和投资回收期，着重研究了税收优惠政策对储能盈利性的影响。

研究结果显示，采用税收优惠政策，对提高总投资收益率、内部收益率，缩短投资回收期都有一定的帮助。另外，根据税收优惠政策以及储能技术的不同，具体改变幅度存在一定的差别。

<sup>4</sup> 总部位于美国芝加哥，提供能源、经济、财务、管理等方面的咨询服务。



## 2. 国内外储能应用收益研究总结

通过对以上机构进行的储能应用收益研究的概述,我们发现目前储能应用收益的计算方法大概分为以下三种:

(1) 只按照现有机制给储能提供的市场机会计算储能的投资回报,对于没有直接回报或者市场机制不支持间接回报的收益不做计算。目前 Navigant 设计的软件 ESCT、中国防化科学研究院以及中科院工程热物理研究所就是采用这种方法。

(2) 考虑了储能在电力系统内的所有收益(即使受益方可能不是同一主体),但不考虑储能的社会效益(如减排、提高其他机组运行效率和提高基础设施利用率等)的计算方法。目前采用这种方法的有 EPRI 和 KEMA。

(3) 以某一区域的电力系统为研究对象,通过对比该系统中有无一定量储能两种情况下系统的生产运行成本,来衡量储能的价值的价值的方法。NREL 采用了这种方法,但不包括对减少温室气体排放的计算。

其中第 1 种方法比较简单,容易计算,适用于投资人观察现有的市场机会和收益,但计算结果与储能可实现的实际价值差别最大。第 2 种方法比第 1 种方法更能反映储能的价值,但仍不全面。第 3 种方法能够真正地反映出储能的价值,但建模过程复杂,需要大量数据,研究难度高,如果温室气体减排量也能得到体现,那么此方法对储能价值的衡量将更全面、具体。

国内外在储能应用收益这个问题上已经做了很多工作和积极的尝试,这对政策制定、市场设计和引导资本市场都有着决定性的作用。实际上,储能的经济性分析跟储能具体的运行方式、技术要求有着直接的关系,影响着收益和成本的大小,这部分工作需要实际项目和电力系统仿真作为基础,这方面的工作目前在中国还非常缺乏,迫切需要行业相关方未来共同努力进行,从而明确储能在中国的发展路径。

## 3. 本报告将采用的储能应用收益研究方法

本报告的储能应用收益研究将针对现有示范或商用项目中主要进行的具体应用(包括测试、技术验证、商业运行等应用),从现有的政策、市场机制出发,形成衡量储能收益,即价值的方法。本文将采用上述第一种计算方法:只按照现有机制给储能提供的市场机会计算储能的投资回报,对于没有直接回报或者市场机制不支持间接回报的收益不做计算。

对于储能的多重应用,参照 EPRI 的分七步的循序渐进的计算方式,本文将进行第二步的计算。即计算储能系统分别使用于各个应用时的收益,不考虑储能在各个应用上的时间和容量分配。

在分析储能具体应用的收益时,本白皮书选取了目前储能项目开展最多的三个领域,风电场、分布式发电及微网(含并网及离网)、调频辅助服务,展开了详细的分析。其中包括这三个领域储能的具体应用,对储能收益将产生影响的政策、电价机制,以及计算储能收益的具体方法。

另外,除了热点应用领域外,需求响应、智能建筑以及智能交通等领域已经逐渐和储能产生了一定的交集,是未来储能可能会广泛参与的三个潜在应用领域。本白皮书针对这三个领域展开了一定的分析,探讨了储能参与这三个领域的具体模式、应用潜力,并希望借此

进一步拓宽储能的应用范围，发掘储能更多的应用空间。

对于某一具体领域的储能应用价值，本版白皮书还将结合具体案例，进行解析。其中具体案例除了中国的典型案例外，还将引入国外案例，结合国外案例开展情况，希望能给中国储能行业带来有益的借鉴。

## 第二章 储能在风电场中的应用及收益分析

近年来，随着我国风电装机的快速增长，弃风问题也日趋凸显。2013 年平均弃风率为 11%，虽然此数据与去年相比，下降了 6%，但整个产业的弃风现象依然严峻。目前我国正在积极采取多种方案解决弃风问题，促进风电并网消纳。

在众多的解决方案中，储能作为一种新兴技术，逐渐进入各方视野。它不仅可以解决由于风电的间歇性而引起的电网不稳定的问题，还可以提高风电的预测准确性<sup>5</sup>、电网柔性以及本地电网消纳风电的能力等。未来，随着我国风电穿透率不断提高，对储能的需求势必逐渐凸显，故此领域前景广阔。

### 一、 储能在风电场中的应用现状

#### 1. 储能在风电场中的应用现状

据 CNESA 项目库不完全统计，截至 2013 年底，全球共有 40 个风电场储能项目（含运行、在建及规划中项目），装机量约 241MW，超过 2/3 的项目分布在欧美国家。其中美国的风电场储能装机规模所占比重最大；欧洲电池储能技术在风电场中的应用处于初级阶段，项目数量和装机规模都不大；中国逐渐开始开展风电场储能示范项目。

锂离子电池、先进铅酸电池、液流电池和钠硫电池是风电场储能中应用最多的四种技术，在项目数量、装机容量方面，份额都超过了 80%。A123、Saft、LG Chem、三星 SDI、Xtreme Power、NGK、大连融科、比亚迪、中航锂电、普能等是这一领域表现较为突出的厂家。

#### 2. 储能在风电场中的主要应用

储能在风电场中的应用主要集中在削峰填谷、跟踪计划出力、调频和平滑风电输出等领域。

**削峰填谷** 在电网调度限电时段，风电为电池充电，在不限电时段，电池向电网放电，实质是解决弃风问题，充放电的时间节点完全取决于调度的要求。

**跟踪计划出力** 储能和风电预测技术相结合，使风电实际出力曲线和预测曲线一致，提

---

<sup>5</sup>目前采用的风电预测方法，基本思路大致上都是根据天气预测的相关数据，通过不同的计算软件或工具，来推断未来风电出力情况。由于天气测量精度等问题，导致风电预测存在误差，因此提高风电预测准确性是包括风电场、电网等机构在内都普遍关注的问题。本文中，储能可提高风电预测准确性，指的是在实时发电过程中，采用储能设备进行充放电操作，从而使实际发电曲线与预测曲线更为接近。储能实际上并不参与风电预测过程，它是对预测结果的一种实时修正。

高预测准确率，提高风电并网能力。

**平滑风电输出** 通过对储能系统进行频繁充放电操作，平滑风电场短时输出，减少风力发电的波动性，使其输出的爬坡率和爬坡幅度满足电网调度要求。

**调频** 在储能系统的额定功率和一定容量范围内，根据自动发电控制（AGC）信号，对电网进行频繁的充放电操作，使系统频率保持在合格范围内。

本章将对储能应用于削峰填谷、跟踪计划出力展开详细分析。由于短时阵风导致的风力发电的波动会随着风力发电机数量的增加和风电场分布区域的扩大而得到一定的缓解，储能的作用将不十分明显，因此平滑风电输出将不展开分析。调频将在第四章进行分析，本章节不再赘述。

## 二、 现有政策和电价机制对风电场储能的影响

目前，世界各国已颁布的风电扶持政策主要分为强制性政策（如可再生能源配额制度）、经济激励政策（如税收减免）、研发开发政策、市场开拓策略（如风电场运行机制）四大类，其中，经济激励政策是各国最常用的促进风电发展的有效手段。

我国从 2005 年《可再生能源法》颁布开始，已逐渐构建了一个比较完整的可再生能源法律的系统框架，为风电的长远发展提供了必要的法律保障。从 2011 年上半年开始，伴随开始凸显的弃风问题，国家能源局相继发布了一系列文件，促进风电消纳，其中较为重要的政策文件如下：

- 2011 年 6 月，《风电场功率预测预报管理暂行办法》
- 2012 年 2 月，《分散式接入风电项目开发建设指导意见》
- 2012 年 6 月，《关于加强风电并网和消纳工作有关要求的通知》
- 2013 年 1 月，《可再生能源电力配额管理办法（第三次讨论稿）》

这些文件集中体现了能源局促进风电消纳的主要思路：通过鼓励发展分布式风电、探索多种技术以及加强风电场建设等手段，解决“弃风”问题。而储能作为实现大规模风电并网的关键技术，也被写入了相关政策文件中。

政策文件的发布提升了储能在其中的发展空间，一些地区已经显示了一些市场潜力，例如辽宁卧牛石风电场（5MW/10MWh 全钒液流电池）、赤峰煤窑山风电场（500kW/1000kWh 全钒液流电池）、西部地区部署的风光储项目等。

另外，一些地区已经颁布实施了阶梯电价、峰谷电价等政策，国家也正在积极研究制定调峰调频电源的电价补贴、分散式风电上网电价等风电电价政策，这些对于储能来说，将会是一个很好的经济盈利点。

### 三、 风电场储能应用的收益分析

#### 1. 削峰填谷收益计算

削峰填谷收益计算时，决定收益的主要因素为电价（包括充电/购电电价，放电/供电电价）、电量、电池效率。

其中，储能应用于风电场削峰填谷时，由于储存的电力本身是将要弃掉的电力，因此充电/购电电价按零计算。风电场和储能设施打捆运行，放电/供电电价按风电场上网电价计算。

储能应用于风电削峰填谷的收益计算公式为： $B = P \times \eta \times Q$ 。其中， $B$  为年收益额（元/年）， $P$  为风电上网电价（元/kWh）， $\eta$  为电池储能系统的效率（%）， $Q$  为总充放电量。

#### 2. 跟踪计划出力收益计算

按照 2011 年 6 月，国家能源局印发的《风电场功率预测预报管理暂行办法》的相关规定，所有并网运行的风电场均应具备风电功率预测预报的能力，并按要求开展风电功率预测预报。《办法》制订了以预测准确率和预测合格率为基本指标的评分考核体系，前一日的考核结果将被作为电网调度当日进行风电调度的依据之一，风电场考核结果排名靠前，会优先被调度。

储能应用于跟踪计划出力的收益，主要由电价、风电场装机容量、安装储能后多发电力决定，计算公式为 $B = P \times C \times (T_1 - T_0)$ 。其中， $B$  为年收益额（元/年）， $P$  为当地风电上网标杆电价（元/kWh）， $C$  为风电场的装机容量（kW）， $T_1$ 、 $T_0$  为安装储能电池前后风电场年利用小时数。

#### 3. 案例分析

目前，储能型风电场在我国的发展还处于初期阶段，近年投运的几个规模较大的风电储能项目也还都处于示范期，运行时间不是很长，储能系统有时因调试而不能保证连续运行，监测的数据不完全，因此我们将采用假设的方式，并结合国内的电价和补贴机制，对削峰填谷及跟踪计划出力两种应用的收益进行计算分析。

在一定假设条件下（例如送出线路容量足够，可以将所有的弃风送出等），结合具体地区的风电场运行数据，针对一个风电装机规模 80MW，储能容量 8MW/16MWh（效率 80%，循环寿命>10000 次）的风电存储项目进行计算，相关结果为削峰填谷年收益约为 224 万元，跟踪计划出力年收益约为 1224 万元。

储能应用于削峰填谷，在目前的情况下，收益有限。但从中、长期来看，随着储能技术的不断成熟以及应用规模的不断扩大，储能系统成本的降低将会指日可待，再辅以国家政策、电价和补贴机制（包括储能电价补贴、储能系统安装补贴以及峰谷电价等）的完善，用于削峰填谷的储能容量将逐步增加，未来将有很好的盈利模式。

储能应用于跟踪计划出力，收益十分可观。但目前中国尚未进行这方面的实际考核，实际运行效果、最终能实现的收益还有待真实项目数据的验证。跟踪计划出力在目前阶段，并不能给风电储能项目带来收益。但随着国家政策和相关调度机制的完善及贯彻实施，会有很好的盈利前景。

## 第三章 储能在分布式发电及微网中的应用及收益分析

分布式发电及微网日益成为能源领域的应用热点之一，按照国家能源规划，到 2020 年，分布式发电的装机容量将达到 2.1 亿千瓦，占全国总装机的 11%。储能作为分布式发电及微网的关键支撑技术，在该领域具有巨大的应用潜力。

### 一、 储能在分布式发电及微网中的应用现状

#### 1. 储能在分布式发电及微网中的应用现状

分布式发电是指位于用户所在地附近，不以大规模远距离输送电力为目的，所生产的电力除由用户自用和就近利用外，多余电力送入当地配电网的发电设施、发电系统或有电力输出的能源综合梯级利用多联供系统。

微网可分为并网型微电网和离网型微电网两大类，其中并网型微电网既可并入大电网运行，也可以在外部电网故障情况下，转为独立运行模式继续为微网内重要负荷供电；离网型微电网不和常规电网相连，利用自身的分布式电源满足微网内负荷的需求。

CNESA 的项目库数据显示，截止到 2013 年底，分布式发电及微网已经成为储能最热点的应用领域之一，美国、中国及欧洲是发展最快的地区，其中美国在项目数量及装机容量方面都占据世界领先，中国位列第二。

就目前已开展的项目来看，包含储能系统的分布式发电及微网项目主要应用于社区、工业、商业、户用、偏远地区，军方等领域。其中，社区类的项目数量是最多的，占有项目数量的 50%，主要分布在美国和日本。其次是海岛和偏远地区类储能项目，分别占总项目数量的 12% 和 9%，主要在中国和美国。由此可见，储能在解决居民用电安全以及解决无电人口用电问题方面的巨大市场潜力。

在应用技术方面，锂离子电池、铅酸电池是在这一领域应用最多的技术。其中，锂离子电池装机容量占总容量的 50%，是近年来被认为应用领域最广且非常有发展前景的技术；铅酸电池，由于其便宜的价格，相对成熟的技术，在预算不高或早期建设的微网系统中成为最佳选择，现有市场份额占总容量的 27%。钠硫电池、液流电池在这一领域也有一定的应用，装机容量分别占总容量的 8%。

#### 2. 储能在分布式发电及微网中的主要应用

储能是分布式发电及微网的关键支撑技术，尤其是在包含可再生能源技术的分布式发电及微网系统中发挥着重要作用。其作用可概括为 3 个方面。

**稳定系统输出** 使用储能解决分布式电源中电压脉冲、涌流、电压跌落和瞬时供电中断等动态电能质量问题，对系统起稳定作用；通过由分布式发电系统提供所需的平均负荷、储能提供短时峰值负荷的方式，平滑用户负荷曲线。

**备用电源** 适量的储能可以在分布式发电单元不能正常运行的情况下起备用作用。如在分布式太阳能系统不能发电的夜晚，分布式风电系统在无风的情况下，或者其他类型的分布

式发电系统检修的情况下等，储能可以起到备用的作用。

**提高调度灵活性** 储能能够使得不可调度的分布式发电系统作为可调度机组运行，实现与大电网的并网运行，并在必要时向大电网提供削峰、紧急功率支持等服务。储能的容量越大，系统的调度就更加自由化，但须在调度自由化获取的利益与成本之间找到经济平衡点。

另外，储能在分布式发电及微网中应用还能提高现有发输配用电设备的利用率、降低运行成本、减少用户的用电费用等。

结合储能能发挥的具体作用，工、商、民用、无电人口、海岛等领域，成为了目前最为热门的分布式发电及微网储能应用领域。其中，德国、日本在工、商、民用领域的应用较多，中国和美国分别在无电人口用电问题解决和海岛微网方面关注度较高，社区储能在日本和美国应用较多，军方储能在美国也有不少应用。

本文将对储能在普通居民、工商业用户并网分布式及微网中的应用、以及储能在离网分布式发电及微网中的应用进行重点分析，并对两种模式的经济收益进行探讨，以期对储能在这些前景较好的应用领域中快速实现商业化应用提供借鉴。

## 二、 现有政策和电价机制对分布式发电及微网储能的影响

分布式能源系统出现至今已几十年，由于其对能源的高效利用，已成为发达国家应对全球气候变化和实现节能减排的有效措施。各国政府制定了相关法律、出台鼓励政策，使得分布式能源系统在这些国家得到长足发展。

2012年，中国国家能源局发布《分布式发电管理暂行办法》，鼓励企业、专业化能源服务公司和包括个人在内的各类电力用户投资、建设、经营分布式发电项目，并对用户给予一定补贴，分布式能源市场在我国也迎来发展机遇。

为促进分布式发电及微网的发展，中国出台的相关政策有：

- 2012年2月，国家能源局，《分散式接入风电项目开发建设指导意见》
- 2012年4月，国家能源局，《分布式发电管理办法（征求意见稿）》和《分布式发电并网管理办法（征求意见稿）》
- 2013年7月，财政部，《关于分布式光伏发电实行按照电量补贴政策等有关问题的通知》
- 2013年9月，国家能源局，国开行，《关于开展分布式光伏发电金融支持试点工作的通知》
- 2013年9月，国家能源局，《全面解决无电人口用电问题3年行动计划（2013-2015年）》

除以上分布式发电相关政策外，各省市发布的分布式光伏发电电量补贴政策，阶梯电价、峰谷电价、两部制电价等电价政策也可对分布式发电及微网的发展产生一定的影响，同时也提升了储能在该领域应用的预期。这其中，直接的补贴政策以及电价政策更是与储能在该领域应用时的经济收益密切相关。

### 三、 分布式发电及微网储能应用的收益分析

#### 1. 收益点分析

储能在分布式发电及微网系统中主要有四个收益点：分时电价电费管理，容量费用管理，提高供电可靠性，以及提高电能质量。

**分时电价电费管理** 在电价较低时向电池充电，在电价高峰时，电池向本地负荷放电，通过低买高卖（用）套利或者减少本地电费的支出。影响收益的主要因素是峰谷电价，另外储能系统的效率、放电时间及相关补贴也会直接影响收益的多少。

**基本电费管理** 基本电费按照用户的变压器容量或最大需用量（即一月中每 15 分钟或 30 分钟平均负荷的最大值）作为计算电价的依据，每月固定收取，不以实际耗电数量为转移。基本电费管理中，储能的收益通过在容量费低的时段保存电量，在容量费率高的时段使用，从而降低用户用电功率，降低容量费用来实现。基本电费管理主要面向工业用户。影响收益的主要因素包括：容量/需量费率，储能系统容量、放电时间等。

**提高供电可靠性** 在发生停电故障时，储能为用户供电，避免故障修复过程中的电能中断，以保证供电可靠性。在提高供电可靠性方面，降低断电事故，减少损失是储能给用户带来的主要获益点。

**提高电能质量** 部署在负荷端的储能在短期故障的情况下，减少电压波动、频率波动、功率因数、谐波以及秒级到分钟级的负荷扰动等对电能质量的影响。投入储能所获得的收益，可以通过计算电能质量事件发生造成的损失（即价值）来量化。影响收益的主要因素有：电能质量不合格事件的次数、低质量的电力服务给用户造成的损失程度、配备的储能系统的容量指标等。

除了上述四种收益点外，储能还可以优化微电网中的可再生能源发电机组的运行、降低电力损失和排放等，实现环境效益和社会效益。

#### 2. 并网分布式发电及微网中储能应用的收益分析

##### 普通居民并网分布式发电及微网中储能应用的收益分析

目前所指的户用储能系统，一般是配合太阳能屋顶工程承建，存储中午多余电量用于夜间使用。这种储能形式可以充分利用大面积屋顶，解决电网供电高峰压力，提高电力自给自足程度，提高用电安全性。户用储能的规模在 5kwh~20kwh，可以应用于家用屋顶，农舍屋顶。

##### (1) 中国案例分析

假设北京市郊区的一个四口之家，每天耗电 8.5 度，配置 5kw 光伏，5kwh 的储能装置。根据北京市居民阶梯电价标准，并考虑国家分布式光伏电量补贴电价，通过计算，该光伏+储能系统全年可为用户节约电费约 1642 元。如果该家庭执行居民峰谷电价标准，根据 2006 年北京市发改委发布的《关于居民分户电采暖电价问题的通知》的相关规定，计算所得采暖期储能系统可为用户节约电费约 383 元。

由此可见，目前的电价标准下，相对于系统的安装成本，光伏储能系统只能为普通居民用户带来少量的收益，不足以吸引大量用户投资自建光伏储能系统。

## (2) 德国应用分析

储能在德国普通居民用户领域的发展被认为是全球最具发展潜力的方向，该国不断升高的可再生能源比例、对可再生能源发电起助推作用的各种法规制度（例如可再生能源法、择优排序发电规则）、居民侧高电价、针对光伏的电价补贴机制 FIT 逐年下降等都不断刺激并促进了德国普通居民应用储能设施。

2013 年，德国光伏储能补贴政策正式确立，该政策将提供相当户用储能设备成本的 30% 的补贴，并通过德国发展银行 RfW 对购买光伏储能设备的单位或个人提供低息贷款。在这一补贴政策下，以一个新安装的、总成本为 19500EUR 的、配备有 3.3kWh 锂离子电池系统的 5kWp 的光伏系统为例，计算可得储能系统可获得的总补贴为 3000EUR，补贴额度可观。德国光伏储能市场将在这一政策下，获得大的发展。

## 工商业用户并网分布式发电及微网中储能应用的收益分析

工商业配置储能系统的目的主要是电费管理，其中包括容量电费管理以及分时电价管理。国内，工商业用户容量电费高，且分时电价体系的进一步应用，为储能技术在工商业用户端进行分时电价管理提供了可能性。

### (1) 中国案例分析

2012 年 4 月，金风北京亦庄经济开发区厂区“金风智能微网工程”完成建设，项目包含风力发电 2500kW，太阳能光伏发电 503kW，储能电池 540kWh，感应电机 300kW，微型燃气轮机 130kW。

微网系统目前主要为厂区提供生产和生活用电，储能系统主要起到控制联络线功率的长期波动以及进行瞬时功率调节的作用。另外，微网还将考虑进行电动汽车相关的实证。

计算表明，目前微电网的运行，每年可以为公司节约电费约 134 万元，每年向电网售电可获得收益 40 多万。另外该项目还在节能减排方面做出了一定的贡献。

如果不安装新能源发电设施，仅靠储能电池利用峰谷电价差进行充放电操作，假设位于江苏的某工业用户安装一套 8MWh、效率为 70% 的储能电池系统，在当地的电价条件下，通过计算表明，每年可节约电量电费 130 万，容量费用 48 万。

### (2) 美国应用分析

美国商用和工业用电计费包含两部分：常规电费，即根据用电总量计算的费用；高峰需量电费，即在计费周期里的企业自身用电高峰时段的需量电费 (demand charge)。这样的电价机制以及用电负荷需求就为储能在电网低谷时段储电、高峰时段放电，且在设备启动时稳定用电电压、降低最大容量需求，以达到电费管理的目的而提供了市场机会。

美国加州 Gills 洋葱加工厂是一个通过储能设施降低用电费用的典型例子。2012 年 4 月，Gill 工厂引入普能公司 600kW/3.6MWh 的全钒液流电池储能系统，通过负荷低谷充电，峰段放电的方式，为工厂节约电费。项目运行后，可帮助工厂节约数十万美元的电费（包括常规电费和需量电费）。另外，该项目还获得了加州 SGIP 激励计划 120 万美元的资助。



### 3. 离网分布式发电及微网中储能在应用的收益分析

#### 偏远地区离网分布式发电及微网中储能应用的收益分析

##### (1) 中国案例分析

内地偏远地区，如西藏自治区，目前还有一部分群众没有用上电，而这部分群众大部分生活在比较偏远的山区，传统的电网很难覆盖到该地区，但当地的风光资源丰富，风力等级比较高且持续时间长，日照时间长且太阳辐照度较高，非常适合建立风光互补微网发电来解决当地群众的用电问题。

华电天仁电力技术有限公司在西藏地区投资建设了西藏班戈公路段道班微网系统，采用 35kW 风力发电、25kWp 光伏发电、540kWh 储能蓄电池组，解决了当地居住办公人员的用电问题。经过现场考察和统计，该微网系统目前年用电量约 83000kWh。结合系统安装运行维护等成本，计算所得度电成本为 1.85 元，西藏本地柴油发电度电成本一般为 2.65 元，因此该系统具有一定的经济性。

##### (2) 美国军方应用分析

美国军方设置了许多高比例的可再生能源目标，这些目标推动着微电网在美国军方能源系统的应用。可提供稳定的能源供应，并可同时避免能源价格剧烈变动或袭击影响的功能系统对军方来说至关重要。微网，既能增加可再生能源的利用，同时又能降低对大电网和柴油发电机的依赖，是军方实现安全、稳定供能的一个现实选择。而储能是独立微网中的一个关键部分。

在试验平台（Test Bed）和 SPIDERS 计划支持下，美国国防部已建设了多个微网系统，容量已经从 2011 年的 228MW 增长到 2012 年的 578MW。锌溴液流电池，锂离子电池，高级铅酸电池和钠镍电池（如 Durathon 电池）等都在这其中取得了一定的应用机会。

由于对储能技术的成本较不敏感，且对供电安全性和稳定性要求较高，因此，相对于电网储能领域，储能在成本较高时期应用在军方微网系统中较为可行，且有前景。

#### 海岛离网分布式发电及微网中储能应用的收益分析

在一些远离大陆的偏远海岛，由于经济及生活品质的不断提高，对电力的需求越来越大，对其可靠性要求也越来越高。解决海岛供能的主要方式有建立自治独立系统与大陆主网互联两种方式。其中与大陆主网互联，代价高昂，因此自治独立系统是目前的主流方式。

以往的自治独立系统多以柴油发电机为主，近年来，从降低成本、保护环境、可持续发展等角度考虑，含储能装置的风光供电系统逐渐引起各方重视。

##### (1) 中国案例分析

2011 年 5 月，由国家电力集团投资建设的东福山岛风光储微网供电系统投运。该系统含 210kW 风力发电机、100kW 太阳能光伏电池组、200kW 柴油发电机、1000Ah 蓄电池。目前，全岛的用电基本实现由新能源提供。

计算表明，作为独立型微电网，东福山岛风光柴储系统如果单纯依靠电价获利，显然是不经济的。但从节约成本来看，用风光柴储系统替代柴油发电机组节约了发电成本，且比敷设电缆，与大陆电网相连更为经济。

## (2) 美国应用分析

在美国，夏威夷的大岛（Big Island）和毛伊岛（Maui Island），阿拉斯加的科迪亚克岛（Kodiak Island），波多黎各，以及美国在加勒比海部分岛屿，都建设了储能项目。例如位于阿拉斯加南部海岸的科迪亚克岛，2012年秋天，在建设4.5MW的Pillar Mountain风电项目二期工程时，就额外增加了一个3MW的储能系统。

目前，储能应用于海岛项目中，主要还是基于技术考量，如保障系统稳定性、提高接入可再生能源比例、做系统备用等。从成本来看，相对于柴油发电或铺设海底电缆，储能型微电网项目能节约一定的发电成本，但尚不能获得盈利。未来，随着储能技术的不断突破，成本不断下降，储能设备有望更多的应用在海岛供能项目中，不但能改善海岛电力结构，提高人们的生活质量，还能使发电企业更快地回收成本，甚至获得盈利。在世界范围内，以储能技术为支撑的互补发电方式正逐渐成为海岛发展可再生能源和微电网系统的一个明显的方向。

## 第四章 储能在调频辅助服务中的应用及收益分析

频率是衡量电能质量的一个重要指标，关系到电力系统中许多电力设备的安全经济运行，特别是电子设备和精密加工设备对电网频率有很高的要求，因此必须将频率控制在一定范围内，中国国家标准 GB/T15945-1995 规定，电力系统频率控制在  $(50 \pm 0.2)$  Hz 范围内的时间应达到 98% 以上。

根据 2006 年 11 月国家电监会印发的《并网发电厂辅助服务管理暂行办法》的定义，调频辅助服务分为一次调频和自动发电控制（AGC），其中自动发电控制（AGC）即二次调频。

《并网发电厂辅助服务管理暂行办法》同时规定，一次调频为保障电力系统安全稳定运行，保证电能质量，发电机组必须提供的辅助服务，不进行补偿。自动发电控制（AGC）不属于基本辅助服务，可获得一定的经济补偿。

### 一、 储能在调频辅助服务中的应用现状

尽管目前大部分布置于电网的大容量储能项目，例如用于风电、光伏发电的储能系统等，都将调频作为储能要实现的功能之一进行设计，但储能是否能参与辅助服务市场，与储能成本、辅助服务的补偿机制、电力市场准入机制等密切相关，目前专门针对电力调频辅助服务市场开展的储能项目数量比较有限。

目前，美国是开展储能调频项目最多的国家，比较知名的项目有纽约州 Stepentown 20MW 储能电站、AES 纽约州 8mw 储能电站等。智利也开展了一些调频储能项目，如 AES 公司在智利北部电网投用的三个储能项目。中国也开始进行储能调频电站试点，2013 年 9 月，中国第一个调频储能电站北京石景山热电厂电池储能项目正式投运。

从技术应用上看，飞轮和锂离子电池在调频辅助服务领域占据了绝对的优势，在已有的储能调频辅助服务项目中，飞轮技术的典型公司为 Beacon Power，锂离子电池技术的典型公司为 A123。

## 二、 现有政策和电价机制对调频辅助服务的影响

影响和决定中国调频辅助服务市场的政策主要是 2006 年电监会印发的《并网发电厂辅助服务管理暂行办法》，以及在此《办法》规定下，东北、西北、华北、华中、华东以及南方电监局<sup>6</sup>相继出台的各区域《发电厂并网运行管理细则》以及《并网发电厂辅助服务管理细则》（以下简称《两个细则》）。

《两个细则》规定，辅助服务由省级及以上电力调度交易机构直接调度的并网火力、水力发电厂提供，电网调度按照“按需调用”的原则安排发电机组承担辅助服务，并依据机组实际调节效果进行补偿或考核。

机组提供的调频辅助服务，分为一次调频和二次调频（即 AGC）两种，按《两个细则》的规定，一次调频是发电机组必须提供的辅助服务，提供此服务没有补偿，由于自身原因不能提供此服务时要接受考核。发电机组提供的 AGC 辅助服务，可获得补偿，区域不同补偿标准有所区别，当由于自身原因不能被调用或者不能满足相应标准时，要接受考核。

目前，储能尚不能作为一种独立的电力资源参与中国的辅助服务市场，储能要参与这一市场，必须寻找特殊的发展途径，例如采取与现有发电厂联合运行的方式。北京石景山热电厂电池储能项目采取储能电池与电厂联合运营的方式，为华北电网提供调频辅助服务，是目前取得成功的一个案例。

值得注意的是，随着政策的修订与完善，储能参与辅助服务的机会将慢慢显现。例如华北电网将风电并入辅助服务范畴，由于风电可控性差，目前基本不能提供调频等辅助服务，处于被考核（罚钱）状态，如果安装有一定量的储能设施，将富裕电力存储起来进行调频等操作，或将有可能改变被罚的状态，甚至盈利。

## 三、 调频辅助服务中储能应用的收益分析

### 1. 收益点分析

调频辅助服务的收益由三部分组成：一次调频考核费用，AGC 调节考核费用，以及 AGC 调节补偿费用。

在现有中国市场条件下，由于不允许储能作为单独的电力资源参与辅助服务市场，因此和辅助服务规则范围内的发电厂联合运营，提供调频辅助服务是储能最有可能参与调频辅助服务市场的方式。在这种模式下，储能用作调频辅助服务的收益可分为三部分：一次调频考核减少的费用、AGC 考核减少的费用、AGC 调节补偿费用。

---

<sup>6</sup> 2013 年 3 月，十二届全国人大一次会议第三次全体会议颁布《国务院关于提请审议国务院机构改革和职能转变方案》，国家电监会、国家能源局职责整合，重组国家能源局，国家电监会不再保留，由新组建的机构管理、监督电力市场的相关交易。

正常情况下, 储能电池的性能远远优于火电机组, 如果与火电机组采取同等的考核指标, 那么可以合理的认为储能电池的考核费用为零, 但由于是和火电机组联合运行, 具体能节约多少考核费用, 与机组参与调频辅助服务的容量、储能容量、机组本身性能等密切相关, 储能减少的考核费用需要针对具体项目具体分析。

AGC 调节补偿方式, 随区域电网的不同而有所差别, 大致可分为: 可用容量补偿、可用时间补偿、调节电量补偿、考虑了机组调节性能的调节电量补偿等。

另外, 与现有发电厂联合运行时, 储能频繁响应电网信号, 使发电机组得以运行在较为稳定的工况, 从而可提高发电机组的运行效率、减少机器损耗, 这也是储能提供调频服务的收益, 目前这部分收益计算缺乏标准, 还很难衡量。

如果假设储能电站可作为独立的电力资源参与调频辅助服务, 辅助服务市场的考核补偿方法不做改变, 仍按照现有的标准进行, 由于储能电池的响应调节性能均远远优于目前的火电或水电机组, 因此可以合理认为不会产生考核费用, 储能电站的收益主要由提供 AGC 服务后, 获取的补偿费用组成。

目前中国储能电池参与电力调频辅助服务, 并形成一定的盈利商业模式, 还需要一系列的改革及政策出台。

## 2. 中国案例分析

2013 年 9 月 16 日, 北京石景山热电厂储能电力调频系统正式挂网运行。该项目是国内运行的首个为电网提供调频辅助服务的储能电池项目, 由北京睿能世纪科技有限公司负责开发和运营, 储能规模为 2MW/0.5MWh, 采用 A123 公司的电池系统和 ABB 公司的控制系统。

## 3. 美国应用分析

美国联邦能源监管委员会 (The Federal Energy Regulatory Commission, FERC) 定义, 调频辅助服务是能迅速响应系统运行的需求, 利用自动发电控制实现快速的输出变化 (MW/分钟), 解决分钟级的系统负荷或发电波动, 可在线自动控制的电力资源。

传统上, 调频辅助服务由发电机组提供, 每个发电机组都可以提供其额定容量的 2% 用于调频辅助服务。各 RTOs/ISOs 都设置了相应的规则, 采用招投标的方式决定调频辅助服务的价格和供货商。

最近五年来, 随着各种新兴的储能技术引入到电力系统 AGC 调频服务领域, 美国电力市场开始逐渐修改或出台新的政策, 例如 FERC (联邦能源管理委员会) 于 2011 年颁布的 755 号法令和 2013 年颁布的 784 号法令, 以使储能技术能获得更合理的定价, 增强储能技术在调频辅助服务里的竞争优势。

区域系统运营商 PJM, 拥有目前美国最大的电力调频市场。电力资源, 包括储能电站在内, 满足 PJM 的条件, 并通过相关测试后, 便可使用在线的平台 eMKT, 经过竞价、排名、支付价格计算三个阶段, 为 PJM 提供调频辅助服务。

Beacon Power 位于宾夕法尼亚州、Hazle Township 的 20MW/5MWh 飞轮调频电站是 PJM 调频市场中的典型储能项目之一, 截止到 2013 年 10 月, 该电站已投运 6MW。目前在 FERC 755 法令以及 PJM 的相关规定下, 该电站提供调频辅助服务已被证实商业可行。

本版白皮书依据 PJM 的计价规则，通过假设模拟计算得出，一个 20MW 的飞轮储能电站，全年可获得的收益约为 660 万美元。收益十分可观。

## 第五章 储能在需求响应中的应用分析

需求响应是智能电网的基石，2012 年，FERC 将需求响应定义为：电力用户在电价信号、激励机制的驱动下，在尖峰用电时段或者电网不稳定时，改变自己原来的用电方式的行为。需求响应为用电客户带来了更大的灵活性，提供了一个直接削减用电量、解决用电供需缺口的有效措施。

### 一、需求响应用的应用现状

需求响应可以由各种类型的电力用户提供，包括居民、工业和商业用户，采用的技术也种类繁多，目前基本可分为基于价格机制的需求响应和基于激励机制的需求响应两种主要模式。

基于价格机制的需求响应，是指用户根据电费的变化改变用电习惯及用电量，从而降低用电成本。目前，这部分需求响应资源一般来自于居民用户。

基于激励机制的需求响应，主要包括需求响应资源参加辅助服务市场和以合同形式应对紧急状况，这种情况下，一般需要一定的激励机制（补贴、奖励、惩罚等）推动。这部分需求响应资源一般来自于工商业用户，或在电力市场上公开进行交易。

北美目前以及未来很长一段时间内，将是全球需求响应最主要的市场，但越来越多政府和公共事业公司开始重视并逐步实施相关的示范项目，亚洲、欧洲、中东地区的需求响应项目正在逐年上升，将共同推动需求响应的快速发展。

### 二、现有政策对需求响应的影响

政府政策一直是推动需求响应发展的重要力量，例如美国需求响应的发展过程中就伴随着一系列的扶植政策出台，其中包括《能源政策法案》（EPACT，1992）、《能源政策法案》（EPACT，2005）、美国联邦能源管理委员会 888 号令等。

为了解决日益加剧的电力需求问题，中国也出台了一系列与需求响应相关的政策，如 2010 年底发布的《电力需求侧管理办法》、2011 年 4 月发布的《有序用电管理办法》等。另外，为了推动电力需求侧管理的实施，发改委选取了北京、唐山、苏州和佛山四个城市，进行能源效率和负荷管理方面的试点，旨在减少工业设施和商业建筑的高峰用电需求并提高用电效率。

尽管这几年出台了一系列的政策，但中国电力需求侧管理，或需求响应，开展得并不理想，离真正意义上的需求响应还有较大距离。所有的政策方案中，强制措施，例如行政措施和负控设备，是最常用的负荷管理手段，这虽然可以有效而迅速地减少高峰用电需求，但因强制中断企业正常运行而造成的经济损失非常大，需求响应还需要配合更有效地市场调节手段和价格机制，才能进一步发展。

### 三、 储能在需求响应中的作用及前景

储能和需求响应是一种既相互竞争又相互包容的关系。首先,不采用储能技术的前提下,需求响应通过调整用户用电方式降低峰值负荷,与储能系统提供峰值调节和负载均衡的功能构成直接竞争。另一方面,从理论上来说,需求响应能实现的功能储能都能够实现,储能可以作为提供需求响应的技术之一,帮助电力用户降低高峰负荷的用量,赚取需求响应服务费。

目前,由于储能价格昂贵,大部分需求响应项目除了考虑蓄冷、蓄热技术外,并未使用其他电池储能技术。因此在需求响应的实施过程中,电力用户必须改变其用电行为,关闭用电设备或改变用电时段。对于一些核心用电领域,如医院、金融机构和高科技生产基地来说,临时降低用电量的影响可能非常巨大,因此这些领域将不可能参与需求响应服务。

储能应用于需求响应具有明显的优势。如果加入储能设备参与需求响应服务,则不仅可以达到降低负荷的目的,还可以在不改变用户用电习惯的前提下,为用户提供持续的电力,因此功能更加完整。

需求响应发展快速的地区,需求响应服务商已经开始考虑使用储能电池参与需求响应服务。例如阿尔斯通(ALSTOM)日前推出了 MaxSine™ eStorage 储能集成系统,通过配备 2MW 的储能电池(可扩展至 12MW),该系统可以应用于发电端、输配电、用户端等多个领域,完成调频、削峰填谷、需求响应等功能。随着未来储能技术的进步、成本的下降、以及电网对系统调节能力、灵活性提出更高的要求,储能在需求响应中的作用将更加明显,甚至成为最主要的需求响应技术。

### 四、 储能在需求响应中应用的收益探讨

影响需求响应收益的因素很多,要根据当地电价和激励政策的具体情况具体分析。但不管什么样的需求响应项目,参与的主体都是电力用户,实施需求响应项目动力分两种情况,一是降低本地电费支出,二是利用现有的负荷资源直接盈利。这两种情况几乎包括所有的需求响应的商业模式。

北美是需求响应技术和政策发展较为成熟的地区,形成一些较为完善的商业模式,随着储能技术成本的下降,一些需求响应解决方案将储能纳入,在一些特殊场景下可实现较高的价值。

由于储能在需求响应中的应用尚属非常新的应用,相关的研究工作刚开始展开,因此较为成熟的收益评价方法还未形成。目前欧美几家权威研究机构正在对其展开研究,例如,在美国能源部的支持下,美国的几大实验室已经展开了名为“Demand Response and Energy Storage Integration Study”的研究工作,参与方包括桑迪亚实验室、美国国家可再生能源实验室、伯克利实验和 Oak 实验室。

目前,一些专业的需求响应服务公司开始出现,这些公司通过提供整体解决方案,利用当地的电价和激励机制为电力用户提供服务来赚取利润,而电力用户不需要实际掌握需求响应技术。例如,美国的 Solarcity 公司开发了一套 DemandLogic™系统,结合光伏和储能设备,为用户削减需求费用并提供后备电源服务。

## 第六章 储能在智能建筑中的应用分析

### 一、 储能在智能建筑中的作用

根据 2007 年中华人民共和国建设部颁布的《智能建筑设计标准》(GB/T50314-2006), 智能建筑 (Intelligent Building) 以建筑物为平台, 兼备信息设施系统、信息化应用系统、建筑设备管理系统、公共安全系统等, 集结构、系统、服务、管理及其优化组合为一体, 向人们提供安全、高效、便捷、节能、环保、健康的建筑环境。IBM 公司从建筑智能化系统的角度提出, 智能建筑是利用系统集成方法, 将现代计算机技术, 现代通讯技术, 现代控制技术和现代建筑艺术有机地优化组合, 向业主提供一个投资合理, 具有安全、高效、舒适、便利和灵活的建筑环境。

智能建筑的能源体系通常包括能源生产和输送系统、储能系统、终端能源使用系统、智能能源服务系统四个要素。其中, 储能系统的作用主要表现在三个方面:

(1) 为建筑构建起合理高效、安全可靠的供电系统, 保证设备仪器不间断运行、改善电能质量。

(2) 储能系统和屋顶光伏或小型风力发电机配合, 构建分布式微网体系, 优化电力结构, 降低用户的电费支出。燃料电池还可以作为建筑物的电力来源, 直接为楼宇提供电力保障。

(3) 蓄冷蓄热系统转移建筑物高峰用电量, 在分时电价政策下, 为业主节省电力费用。

### 二、 国内外发展现状

自 1984 年美国康涅狄格州哈特福德市 City Place 大楼竣工以来, 智能建筑在短时间内风靡全球。进入 21 世纪, 随着全球城市化进程的不断加快, 智能建筑作为现代城市的一个重要元素, 逐渐融入“智慧城市”的发展体系之中, 获得了更为宽广的发展空间, 并且在不同的区域表现出不同的特点。

美国的智能建筑发展主要涵盖在以智能电网的建设为依托的智慧城市建设和示范中。例如, 科罗拉多州的 Boulder 市智慧城市项目中, 就融入了智能电网、分布式光伏发电、电动汽车、户用储能系统、能源管理服务网络等要素。

日本的智能建筑的发展主要围绕智能电网和智能城市进行。日本从 1985 年开始建设智能大厦, 并制定了从智能设备、智能家庭到智能建筑、智能城市的发展计划。例如, 横滨市、丰田市、关西文化学术研究都市 (京都府)、北九州市正在进行的实证项目, 就以探索日本智能电网及智能城市的未来形态为目标。

欧洲的智能建筑发展也主要体现在智慧城市这一领域。瑞典斯德哥尔摩、荷兰阿姆斯特丹、法国里昂、西班牙马拉加等城市正在积极的探索和尝试智能建筑的建设。利用光伏发电、电池系统和节能设备构建正能量楼宇 (positive energy building) 和电动汽车智能充电系统, 通过引入用电监控系统 and 社区能源管理网络, 对区域内的电力供需进行有效调控。

与世界其他地区相比，中国智能建筑的发展主要集中在写字楼、会展中心、图书馆等大型公共建筑领域，在智慧城市和区域能源一体化等方面着力较少。目前以天津中新生态城为代表的新型产业园区正在朝着绿色节能和构建智能社区的方向发展。随着中国新型城镇化建设步伐的加快，未来基于新型能源控制和供应体系的智能建筑、智慧城市将在中国迎来更加广阔的发展空间。

### 三、 典型案例分析

2010年，日本开始开展横滨大成建设技术中心项目。该项目以大成建设集团位于横滨市户冢区的“大成建设技术中心”内的五栋楼组成的楼群为对象，在智能楼宇能源控制系统的控制之下，实现建筑内部三大能源要素——“生产（发电、发热）”、“储存（蓄电、蓄热）”、“使用（设备运用）”的协调统一。

项目配备光伏发电约40kW，削峰型储能系统，容量72kWh，储能型电池系统，容量为33kWh。其中，削峰型锂离子电池储能系统通过高功率的快速充放电操作参与需求响应，解决楼宇在用电高峰期的用电问题。储能型电池系统可存储太阳能电池板产生的电力，作为备用容量使用。

另外，项目还配备了蓄冷蓄热系统，利用光照加热热水，直接流入供暖系统，大幅降低了建筑的热能负荷。

## 第七章 储能在智能交通中的应用分析

### 一、 储能在智能交通中的作用

智能交通系统（Intelligent Transportation System，简称ITS）是将先进的信息技术、数据通讯传输技术、电子传感技术、控制技术及计算机技术等有效的集成运用于整个地面交通管理系统而建立的一种在大范围内、全方位发挥作用的，实时、准确、高效的综合交通运输管理系统。

在各种交通工具中，电动汽车由于具有能量效率高、噪音低无污染、设计结构简单、操控性能好等优点成为近年来交通运输业重要的发展方向。以信息通信技术为基础，将电动汽车打造为智能汽车，促进电动汽车与能源网络和交通网络相互融合，将成为未来智能交通系统的发展方向。

储能应用于智能交通领域，主要通过电动汽车来实现。电动汽车除了是一种电力负荷外，车载电池不论在车辆使用阶段还是使用寿命结束之后都是一种十分有价值的储能资源，其能量存储的总量对于电网来说是一种保障和优化电网运行的积极资源。具体而言，电动汽车及其动力电池在储能领域的应用主要包括车电互联（V2G，Vehicle to Grid）和电动汽车电池二次利用两种。



## 二、 国内外发展现状

### 1. V2G 国内外发展现状

电动汽车既是一种用电负荷，也是一种储能装置。作为一种交通工具，每辆汽车每天有85%以上的时间处于停驶状态。随着插电式混合动力汽车和纯电动汽车大规模进入市场，在停驶时段内电动汽车潜藏着巨大的储能容量。

利用电动汽车车载电池作为电网储能单元参与电力系统相关操作，不仅在技术上是可行的，而且还能够获得良好的经济和社会效益：

- 为电动汽车用户提供智能化、个性化充电服务，提高用户使用电动汽车的经济性和便利性；
- 对电动汽车充电行为进行有序控制，减少电动汽车充电对电网的影响，保障电动汽车的可靠能源供给；
- 增加电网稳定性和可靠性，优化电力设备利用水平，提高电网运行效率，降低电力系统运营成本；
- 提供能量储存缓冲，解决风能、太阳能等间歇性可再生能源发电的波动性问题，提高可再生能源的利用水平；
- 降低交通和电力行业的温室气体排放，提高综合节能减排效益，实现经济社会的可持续发展。

目前 V2G 在技术和商业模式方面都存在许多问题有待解决。

在技术方面，智能调度技术、信息通讯系统、智能充放电管理技术、电池管理技术等都是有待突破的关键领域。从目前已开展的 V2G 示范项目来看，所采用的管理策略大多只适用于 V2G 运行的某一方面，尚无法建立起统一的策略和模式。对于 V2G 对电池性能、用户行为的影响关注较少。未来只有建立起集成化、高效率、低成本、一致性的技术平台和设计标准，V2G 技术才能在不同车型、不同电网系统、不同应用领域内全面推广。

在商业模式方面，现有的电力政策无法对电动汽车车主参与 V2G 提供足够的激励和刺激，如何既不影响车辆使用又能提高车辆参与 V2G 的收益和积极性，还需要通过政策手段和市场参与机制加以解决。

美国加利福尼亚州在 2013 年 12 月发布了 V2G 技术路线图《California Vehicle-Grid Integration (VGI) Roadmap: Enabling vehicle-based grid services》。按照该路线图确定的 V2G 技术发展步骤，第一步是明确 V2G 技术的价值和开发潜力，第二步需要制定政策、规则和商业运行模式推动 V2G 技术的发展，第三步是支持技术的研发、测试和示范应用项目。

### 2. 动力电池二次利用国内外发展现状

具体来说，电动汽车电池二次储能利用的发展潜力表现在以下方面：

- 电动汽车对于污染物减排、提高能源安全性、降低石油消耗意义重大，全球各国都对电动汽车发展给予高度重视，未来电动汽车将达到相当可观的规模；

- 锂离子电池的性能和寿命虽然已经得到大幅提升，但成本仍然较高，电池二次利用有望带动电池系统总成本降低 50%，推动新能源汽车市场的发展；
- 废旧动力电池若未经回收而直接报废丢弃，不仅破坏自然环境而且会造成资源浪费；
- 风能、太阳能等新能源发电技术的快速推广使电力随机性、波动性的问题日益突出，对储能系统需求大幅增加；
- 削峰填谷、备用电源等储能应用对充放电速度要求不高，易于二次利用电池发挥功效。

随着电动汽车产业进入快速发展阶段，各大汽车企业对动力电池二次利用的重视程度不断加深，它们多数采取与电池企业合作的方式，开展动力电池二次利用的研究和示范工作。例如，住友与尼桑合作成立 4R Energy Corporation，利用电动汽车废旧电池建成了首座大型固定式储能系统；福特汽车公司在密歇根工厂的屋顶安装 500kW 的太阳能光伏系统，并利用 EV 废旧电池配套建造了 50kWh 的储能系统；BMW 与 Vattenfall 合作，研究 MINI E 和 BMW ActiveE 电池的二次利用等。

需要指出的是，通常使用条件下，现有动力电池可以支持车辆运行 6-10 年，目前电动汽车仍处于推广和应用初期，已达到第一次生命周期末期并且可供研究的电池数量十分有限，尚未积累足够的数据和经验，用以评判电池性能、探索应用领域、构建商业模式、获得经济收益等。

### 三、 典型案例介绍

2009 年，丹麦启动了 EDISON 项目(Electric Vehicles in a Distributed and Integrated market using Sustainable energy and Open Networks，电动汽车智能并网及其与风电相互作用优化的研发项目)，研究在分散和集中式电力市场中电动汽车智能并网对可再生能源电力调节的作用，并在 Bornholm 岛开展示范实证。

Edison 项目主要包括四项内容：

- (1) 将虚拟发电厂 (Virtual Power Plant) 概念应用于电动汽车的统一电力管理；
- (2) 利用电动汽车解决风电并网时的出力波动问题；
- (3) 优化充放电系统，研究不同充电技术、充电控制策略、电动汽车接入规模、商业模式等对现有电力系统的影响，突破制约电动汽车发展的技术瓶颈；
- (4) 在丹麦 Bornholm 岛（岛上有 4 万居民）上开展实际试点，研究当电动汽车数量增加时能源系统如何发挥作用，确定电动汽车的适当发展规模。

EDISON 项目的研究结果显示，一天之内每辆电动汽车有接近 90% 的时间可以提供储能容量，参与电力系统调频等服务。分析结果表明，采用电动汽车提供调频服务会带来很高的效益。考虑运行和维护成本，一辆充/放电额定功率为 20kW、提供 5kWh 调频服务容量的电动汽车，电池的投资回收期仅需要 2 年。这些都证明了电动汽车具有巨大的经济潜力。

## 第八章 储能市场发展现状与展望

### 一、全球储能市场发展现状与展望

#### 1. 全球储能市场发展现状

2013年，储能产业继续向前发展，根据CNESA的统计，除抽水蓄能、压缩空气储能及储热外，储能项目总装机容量达到了736MW，较2012年增长了12%。

北美、欧洲、亚太地区是储能项目开展较多的区域。其中：

美国拥有全球近一半的示范项目，2013年投运了几个装机规模较大的项目，如AES位于Dayton市的40MW调频项目、毛伊岛10MW风电场项目等，使其全球装机规模首次超越日本，位居第一。

欧洲近几年计划大力推行可再生能源发电，储能将有很大的发展前景。德国、英国、法国、西班牙等国相继在2013年开展了若干项目，涉及输配、智能城市、海岛微网等领域，特别是德国，储能补贴政策出台以后，促动了户用储能市场，目前已有30MW的项目获得补贴，此外，政府正在部署大型储能调频项目，储能前景看好。

日本储能项目装机容量仅次于美国，但其中NGK公司的钠硫电池占有很大的装机规模，仅该公司的装机量就已超过300MW，项目数量也很多，但由于公司开展示范研究的时期较早，一些项目已结束示范期并停运。

韩国近两年较为活跃，在智能电网、微网、电动汽车、燃料电池车等领域均有涉足，三星SDI、LG Chem等韩企也成功在欧美市场开展了几个储能项目，如英国Buzzard地区6MW/10MWh输配项目等。

中国储能市场近两年发展较快，分别在可再生能源并网、分布式发电及微网以及电动汽车等领域部署了一些储能项目。

从应用上看，按装机容量分，储能可再生能源并网领域的比例最高，占51%，电力输配、分布式发电及微网、以及辅助服务也是应用的重点领域，分别占19%、8%及16%。

从技术选择上看，截止到2013年，钠硫电池的装机比例仍旧最高，约占45%，其次是锂离子电池和铅蓄电池，分别占32%和12%，

#### 2. 全球储能市场发展展望

目前，针对未来储能市场的发展规模，多家知名研究公司发布了研究报告，对未来储能市场做出了预测。例如：

- MarketsAndMarkets 预测，电网和运输领域的先进储能电池的市场规模从2013年到2018年将取得10%的年复合增长率，并于2018年达到108亿美元；
- Lux Research 预测，到2017年，电网级储能市场规模将达到104亿美元；
- Boston Consulting 预测，到2020年，电网级储能市场规模将达到4000亿美元。

尽管各个公司的预测数据并不一致，但从以上数据中我们可以发现，业内对储能未来的发展前景普遍持乐观态度。

对于热点应用领域，风电储能、光伏储能、微电网、电力辅助服务、输配电设施延缓升级、电动汽车储能应用、需求响应等，也得到了广泛的关注。其中：

**风电及光伏储能领域** Navigant 预测，应用于风电和光伏发电并网的储能系统，2013 年到 2023 年间，将新增 21.8GW。

**分布式发电及微电网领域** Navigant 预测，世界范围内，储能的安装规模将从 2014 年的 817MWh 上升至 2024 年的 15182MWh。

**调频辅助服务领域** Pike Research 预测，全球范围内的调频辅助服务市场 2012 年的市场规模为 45GW，2022 年将超过 55GW，其中，储能系统将提供 3-7GW 的调频辅助服务。

**电力输配领域** Navigant 预测，全球范围内公共事业级（输配电领域）的储能应用收益将从 2014 年的 1.64 亿美元，增长至超过 25 亿美元。

**电动汽车储能应用领域** Navigant 预测，世界范围内，2013 到 2022 年间，可支持 V2G（vehicle-to-grid）应用的 PEVs（插电式电动车，plug-in EV）的销售数量将超过 25 万辆，并且几乎所有的 V2G 系统都将参与电网辅助服务市场。

## 二、 中国储能市场发展现状与展望

### 1. 中国储能市场发展现状

根据 CNESA 的项目库统计的在建和已运行项目数据，2013 年储能项目累计装机容量从 2012 年的 47.7MW 上升至 64.9MW，增长率为 36%

从应用上看，可再生能源并网、分布式发电及微网是中国储能应用最重要的两个领域。

从储能项目的分布区域来看，中国各个区域基本上都有储能项目开展，其中华北区域项目开展数最多，东北、西北、华东、华南区域较为平均，西南和华中地区项目开展数目最少。

华北地区主要的储能应用类型为风电储能、分布式发电及微网储能，另外该地区还拥有中国唯一一个调频储能电站，石景山热电厂储能电站项目。

东北地区主要的储能应用类型为风电储能，国电和风北镇风电场储能项目、龙源法库卧牛石储能项目等是该地区的主要项目。

西北地区主要的储能应用类型为分布式发电及微网储能，其中又以离网项目居多。

华东地区海岛分布式发电及微网储能项目最多，如舟山市东福山岛风光储柴及海水淡化综合系统工程。另外该地区为缓解个别地区特定时段用电紧缺而投入的移动储能项目，也非常具有借鉴意义，例如为缓解采茶期用电紧张而投入运行的安溪移动式锂电池储能电站。

华南地区以配电网侧的储能应用最为亮眼，其中包含广为人知的南网宝清储能电站项目。另外，海岛分布式发电及微网也占有很大比例，包括珠海东澳岛智能微电网、海南三沙智能微电网项目等。

从技术选择上看，截止到 2013 年，从装机容量上看，锂离子电池的比例最高，约占 66%，

其次是铅蓄电池和液流电池，分别占 20% 和 14%，

## 2. 中国储能市场发展展望

随着越来越多的示范项目在中国运行，储能在中国的关注度也逐渐上升，预计到 2020 年，中国储能市场规模将达到约 136.97GW（这其中包括抽水蓄能、储热等技术），占 2020 年全国发电总装机量 1800GW 的 7.6%，储能发展前景广阔。

可再生能源并网、分布式发电及微网、电力输配、辅助服务、电动汽车储能应用 5 个领域仍将是储能未来最主要的应用领域。

## 附录：技术分册

本版白皮书仍旧持续关注储能技术的发展，着重对氢能的存储和利用、冰蓄冷技术进行了分析。其中包括技术原理、发展应用现状、全球发展格局以及代表性产商。

另外，除以上两项技术外，2013 年锂电池、液流电池、燃料电池等主要储能技术的研发工作都取得了大量成果，有多项新技术、新产品推向市场。本版白皮书对这方面内容也进行了详细的归纳和总结。

2013 年，储能技术的研发表现出以下特点：

- 电动汽车成为带动电池技术研发的重要因素；
- 开发能量密度更高、循环寿命更长、成本更低的电池系统始终是储能领域研发的重点；
- 在固定式储能方面，液流电池仍然是研究和应用的重点；
- 支持大容量动力电池发展；
- 氢能和燃料电池得到了各国的重视。

## 鸣 谢

### 审核委员会名单（排名不分先后）

国家能源局	李冶
防化研究院第一研究所	杨裕生
中国电力科学研究院	胡学浩
中国电力科学研究院	来小康
中国电力科学研究院	吴福保
中国电力科学研究院	迟永宁
国网能源研究院	蒋丽萍
中国科学院工程热物理研究所	陈海生
天津大学	王成山
华北电力大学	张建华
上海今日能源工程有限公司	胡迎辉
中关村储能产业技术联盟	林朔