

“十二五”国家重点图书出版规划项目
新能源发电并网技术丛书

*Grid Scale Energy Storage:
Systems and Applications*

吴福保 杨波 叶季蕾 编著

电力系统储能 应用技术



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

TM7
177

“十二五”国家重点图书出版规划项目
新能源发电并网技术丛书

吴福保 杨波 叶季蕾 编著

电力系统储能 应用技术



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书从电力系统持续发展的需求和储能技术的发展趋势出发,选择了一些近年来发展迅速且备受广大科研工作者和工程技术人员广泛关注的重要研究领域,力求突出重要的学术意义和实用价值。书中分别介绍了储能技术的发展、储能本体技术、储能电池管理技术、储能系统运行控制技术、储能系统的集成应用及经济性分析、储能技术在新能源并网发电中的应用和储能技术在微电网中的应用。希望本书的出版能够促进我国储能技术的研究和应用,充分发挥储能系统在智能电网中的重要作用,推动储能产业的快速发展。

本书对从事相关领域的研究人员、电力公司技术人员和储能系统研发人员具有一定的参考价值,也可供新能源领域的工程技术人员借鉴参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统储能应用技术 / 吴福保, 杨波, 叶季蕾编
著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2014. 12
(新能源发电并网技术丛书)
ISBN 978-7-5170-2820-8

I. ①电… II. ①吴… ②杨… ③叶… III. ①电力系统—储能 IV. ①TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第311220号

书 名	新能源发电并网技术丛书 电力系统储能应用技术
作 者	吴福保 杨波 叶季蕾 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开 13.25印张 290千字
版 次	2014年12月第1版 2014年12月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	48.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

丛书编委会

主任 丁杰

副主任 朱凌志 吴福保

委员 (按姓氏拼音排序)

陈宁 崔方 赫卫国 秦筱迪

陶以彬 许晓慧 杨波 叶季蕾

张军军 周海 周邝飞



随着全球应对气候变化呼声的日益高涨以及能源短缺、能源供应安全形势的日趋严峻，风能、太阳能、生物质能、海洋能等新能源以其清洁、安全、可再生的特点，在各国能源战略中的地位不断提高。其中风能、太阳能相对而言成本较低、技术较成熟、可靠性较高，近年来发展迅猛，并开始能在能源供应中发挥重要作用。我国于2006年颁布了《中华人民共和国可再生能源法》，政府部门通过特许权招标，制定风电、光伏分区上网电价，出台光伏电价补贴机制等一系列措施，逐步建立了支持新能源开发利用的补贴和政策体系。至此，我国风电进入快速发展阶段，连续5年实现增长率超100%，并于2012年6月装机容量超过美国，成为世界第一风电大国。截至2013年年底，我国光伏发电装机容量已达1942万kW，成为仅次于德国，排名第二的世界光伏发电大国。

根据国家规划，我国2015年风电装机将达到1亿kW，2020年达到2亿kW。华北、东北、西北等“三北”地区以及江苏、山东沿海地区的风电主要以大规模集中开发为主，装机规模约占全国风电开发规模的70%，将建成9个千万千瓦级风电基地；中部地区则以分散式开发为多。光伏发电装机也将在2015年达到3500万kW，2020年达到1亿kW。与风电开发不同，我国光伏发电呈现“大规模开发，集中远距离输送”与“分散式开发，就地利用”并举的模式，太阳能资源丰富的西北、华北等地区适宜建设大型地面光伏电站，中东部发达地区则以分布式建筑光伏为主，我国新能源在未来一段时间仍将保持快速发展的态势。

然而，在快速发展的同时，我国新能源也遇到了一系列亟待解决的问题，其中新能源的并网问题已经成为了社会各界关注的焦点，如新能源并网接入问题、包含大规模新能源的系统安全稳定问题、新能源的消纳问题以及新能源分布式并网带来的配电网技术和管理问题等。

新能源并网技术已经得到了国家、地方、行业、企业以及全社会广泛关注。自“十一五”以来，国家科技部在新能源并网技术方面设立了多个

“973”、“863”以及科技支撑计划等重大科技项目，行业中诸多企业也在新能源并网技术方面开展了大量研究和实践，在新能源的并网技术进步方面取得了丰硕的成果，有力地促进了新能源发电产业发展。

中国电力科学研究院作为国家电网公司直属科研单位，在新能源并网等方面主持和参与了多项的国家“973”、“863”以及科技支撑计划和国家电网公司科技项目，开展了大量的与生产实践相关的针对性研究，主要涉及新能源并网的建模、仿真、分析、规划等基础理论和方法，新能源并网的实验、检测、评估、验证及装备研制等方面的技术研究和相关标准制定，风力、光伏发电功率预测及资源评估等气象技术研发应用，新能源并网的智能控制和调度运行技术研发应用，分布式电源、微电网以及储能的系统集成及运行控制技术研应用等。这些研发所形成的科研成果与现场应用，在我国新能源发电产业高速发展中起到了重要的作用。

本次编著的《新能源发电并网技术丛书》内容包括新能源并网的建模、分析和规划技术，新能源功率预测技术、新能源发电智能监控技术、分布式电源和微电网技术、电力储能技术及应用等多个方面。该丛书是中国电力科学研究院在新能源发电并网领域的探索、实践和在大量现场应用基础上的总结，是我国首套从多个角度系统化阐述大规模及分布式新能源并网技术研究与实践的著作。希望该丛书的出版，能够吸引更多国内外专家、学者以及有志从事新能源行业的专业人士，进一步深化开展新能源并网技术的研究及应用，为促进我国新能源发电产业的技术进步发挥更大的作用！

中国科学院院士、中国电力科学研究院名誉院长：



2014年11月



储能是智能电网发展必不可少的支撑技术，在大规模可再生能源接入、分布式发电、微电网和电动汽车等应用领域将发挥重要作用。随着我国经济持续快速发展，我国电力系统运行面临用电负荷持续增长、电力峰谷差逐渐增大、调峰能力不足、电源结构不合理等问题，将储能与传统发电设施、新能源发电结合起来，是有效解决能源和环境问题的重要手段。

国家能源局 2013 年《能源发展“十二五”规划》里提到：“着力突破节能、低碳、储能、智能等关键技术。在可再生能源方面协调配套电网与风电开发建设，合理配套储能设施。在能源科技装备水平方面重点突破大容量储能技术。”国家发展和改革委员会《2013 战略新兴产业重点产品和服务指导目录》中也指出要发展储能技术。目前，我国在储能材料、储能能量转换装置、储能集成等关键技术研究、标准体系建立、示范工程建设等方面已取得了一批丰硕成果，有力地推动了国内储能产业的发展。

本书着眼于目前国内外储能技术的快速发展，同时结合储能和新能源领域的研究和应用成果，系统介绍了储能技术的发展、储能本体技术、储能电池管理技术、储能系统运行控制技术、储能系统的集成应用和经济性分析、储能技术在新能源发电并网和微电网中应用的关键技术和示范工程。

本书共 7 章，其中第 1 章由叶季蕾编写，第 2 章由薛金花编写，第 3 章由薛金花、叶季蕾编写，第 4 章由桑丙玉编写，第 5 章和第 6 章由叶季蕾编写，第 7 章由胡金杭编写。全书编写过程中得到了陶以彬、李官军、冯鑫振、许晓慧、王德顺、姬联涛、俞斌、刘欢等同事的大力协助，全书由吴福保、杨波指导完成。

本书在编写过程中参阅了很多前辈的工作成果，引用了大量电池厂家和示范工程的运行数据，在此对中关村储能产业联盟、上海市电力公司、上海交通大学、中国电力科学研究院电工所、浙江省电力公司等单位表示特别感谢。本书在编写过程中，中国电力科学研究院新能源所的领导和专家丁杰、朱凌志等给予了高度的重视和深切的关怀，在此一并向他们致以衷心的感谢。

感谢!

储能行业相关的政策法规和市场机制正在不断地改善，储能技术的发展以及在电力系统中的商业化推广和规模化应用任重道远，本书仅对目前的储能技术、系统集成和应用涉及的关键问题进行了系统地阐述。随着储能材料、制造技术、运行控制、集成应用等技术的快速发展，必将会有大量的新技术不断出现，仍需我们密切关注和深入研究。

限于作者水平和实践经验，书中难免有不足和有待改进之处，恳请读者批评指正。

作者

2014年11月



序

前言

第1章 储能技术的发展	1
1.1 基本概念	1
1.2 储能技术的发展历史	2
1.3 储能技术在电力系统中的需求和作用	4
1.4 储能技术在电力系统中的应用前景及挑战	7
参考文献	10
第2章 储能本体技术	11
2.1 电化学储能	11
2.2 物理储能	19
2.3 电磁储能	24
2.4 新型储能	27
2.5 储能技术的综合比较	32
参考文献	37
第3章 储能电池管理技术	38
3.1 电池管理系统	38
3.2 荷电状态 (SOC) 估算方法	41
3.3 健康状态 (SOH) 估算方法	45
3.4 均衡管理技术	45
3.5 保护技术	49
3.6 典型储能电池管理案例	51
参考文献	54
第4章 储能系统运行控制技术	56
4.1 基本原理	56
4.2 并网运行控制技术	77
4.3 离网运行控制技术	85

4.4	双模式切换控制技术	95
4.5	案例分析	98
	参考文献	104
第5章	储能系统的集成应用及经济性分析	105
5.1	储能系统的集成设计方法	106
5.2	典型应用模式下的储能系统集成	115
5.3	储能系统在典型应用场景中的经济性分析	125
5.4	我国电力市场环境下的储能效益分析	132
	参考文献	137
第6章	储能技术在新能源并网发电中的应用	139
6.1	储能在新能源并网中的作用	139
6.2	新能源并网中储能系统的优化设计	141
6.3	新能源发电—储能联合运行控制技术	150
6.4	典型应用案例	158
	参考文献	164
第7章	储能技术在微电网中的应用	166
7.1	作用	166
7.2	优化配置	168
7.3	实际应用	171
7.4	运行控制技术	178
7.5	典型应用案例	192
	参考文献	200

第1章 储能技术的发展

电力生产是现代社会运转的基本支柱，也是驱动现代社会各行各业发展的主要能源动力之一。构建电力系统的三大要素包括发电设施、电能输配系统和用电设备。发电机把机械能转化为电能，电能经变压器、变换器和电力线路输送并分配到用户，在用户端经电动机、电炉和电灯等设备又将电能转化为机械能、热能和光能等。这些生产、变换、输送、分配、消费电能的发电机、变压器、变换器、电力线路及各种用电设备等联系在一起组成的整体就是电力系统。

随着社会和经济的持续发展，电力系统的运行正在发生巨大的变化。当前我国电网运营面临着以下问题和挑战：

(1) 电力生产结构不尽合理。截至 2013 年底，我国火电装机占全国装机总量的 69.13%，而调节性能好的水电装机占 22.45%，比重小。我国以火电为主的电源结构导致长期以来电力系统的调峰能力不足。

(2) 间歇式能源发展迅猛，在电网中的渗透率逐渐加大，对电网调峰、安全稳定运行和供电质量带来巨大挑战。

(3) 日益加剧的峰谷差问题，不仅严重影响用户侧的供电质量，也给国民经济带来很大损失。用户对电力的需求在不同时刻、不同季节、不同区域存在较大的差别，随着用电峰谷差的逐渐增大，调峰问题更加突出，常导致用户电网在负荷高峰时电压偏低，处于低电压运行；低谷时，电力设备利用时间下降，容量过剩。日益加剧的峰谷差问题，不仅严重影响用户电网的供电质量，也给国民经济带来很大损失。

针对上述问题，储能技术可以渗透于电力系统的发、输、变、配、用各个环节，发挥不同的作用。储能系统作为智能电网灵活的组成部分，可以有效地实现需求侧管理，消除峰谷差，提高电力设备运行效率，降低供电成本；提高大规模可再生能源接入电网的能力，消除能源结构调整的瓶颈；发挥备用电源作用、改善电能质量，满足现代电力系统日益发展的不同需求。

本章介绍储能的定义，简述国内外储能技术的发展过程；结合未来电力系统发展存在的问题分析了对储能技术的需求，并归纳了储能技术在电力系统中不同环节可发挥的作用；分析了储能技术在电力系统中的应用前景和面临的挑战，为实现电网可持续发展目标、解决电量供需不平衡矛盾和提高供电可靠性等问题提供参考方法。

1.1 基本概念

从广义上讲，储能即能量存储，指通过某种介质或装置，把一种形式的能量转化成

另一种形式的能量存储起来，在需要时以特定能量形式释放出来的一系列技术和措施。

从狭义上讲，针对电能的存储，指利用化学或者物理等方法将电能存储起来并在需要时释放的一系列技术和措施。本书中的储能均指电能的存储。

传统意义上看，电能的生产、输送、分配和消费是同时进行的，即发电厂任何时刻生产的功率必须等于该时刻用电设备消耗和网络损失功率之和。将储能技术应用于电力系统中，可以改变上述模式，解决电能生产和使用存在的时间和空间的不匹配问题，以达到优化电力资源配置、提高电能质量、促进可再生能源利用及节能减排的目的。

1.2 储能技术的发展历史

电能存储不是一种新技术。早在 1786 年，意大利物理学家 Galvani 发现了生物电的存在；1799 年意大利科学家 Volta 发明了现代电池；1836 年，电池被用于通信网络。到 19 世纪 80 年代，纽约市的直流供电系统中，为了在夜间将发电机停下来，采用了铅酸蓄电池为路灯提供照明用电。

随着电力技术的发展，抽水蓄能电站逐渐被应用于电网调峰。世界上最早的抽水蓄能电站建于 1882 年，是瑞士苏黎世的奈特拉电站，扬程 153m，功率 515kW，是一座季节型抽水蓄能电站。1908 年，意大利在乌比昂内山建成了一座抽水蓄能电站；1912 年，意大利又建成了维罗尼抽水蓄能电站，利用两个天然湖之间的落差 156m，装机 7600kW。到 20 世纪 50 年代，世界上已有 50 余座抽水蓄能电站投入运行。从 60 年代开始，抽水蓄能电站进入了一个高速发展的时期，美国、日本和西欧成为抽水蓄能电站大规模发展的先驱。进入 90 年代以后，发达国家放缓了抽水蓄能发展的步伐，以中国为代表的发展中国家开始大规模建设抽水蓄能。

抽水蓄能 (Pumped Hydro Storage, PHS) 是在电力系统中得到最为广泛应用的一种储能技术，主要用于电力系统的调峰填谷、调频、调相、紧急事故备用、黑启动和提供系统的备用容量。截至 2011 年年底，全球已经有超过 123400MW 的抽水蓄能电站投入运行；截至 2012 年年底，我国已有超过 20GW 的抽水蓄能机组投入运行。据统计，世界兴建的抽水蓄能电站总装机容量：1950 年为 1600MW；1960 年为 3500MW；1970 年为 16000MW。1980 年为 46000MW；1988 年为 79000MW；1998 年为 98273MW；2010 年为 127000MW。其增长趋势如图 1-1 所示。其中，规模最大的是美国的巴斯康蒂电站，装机 2100MW。大型机组中水头最高的是意大利的桑费奥拉诺电站，达 1417m。单机容量最大的是日本神流川抽水蓄能电站，装机 2820MW，单机 470MW，水头 695m。从抽水蓄能技术特点来看，抽水蓄能电站可以按照任意容量建造，按调节性能可分为日调节、周调节、季度调节；而限制抽水蓄能电站更广泛应用的重要制约因素仍是选址困难、建设工期长、工程投资较大。

压缩空气储能 (Compressed - Air Energy Storage, CAES) 是一种调峰用燃气轮机发电厂，对于同样的电力输出，它所消耗的燃气要比常规燃气轮机少 40%。常规燃气

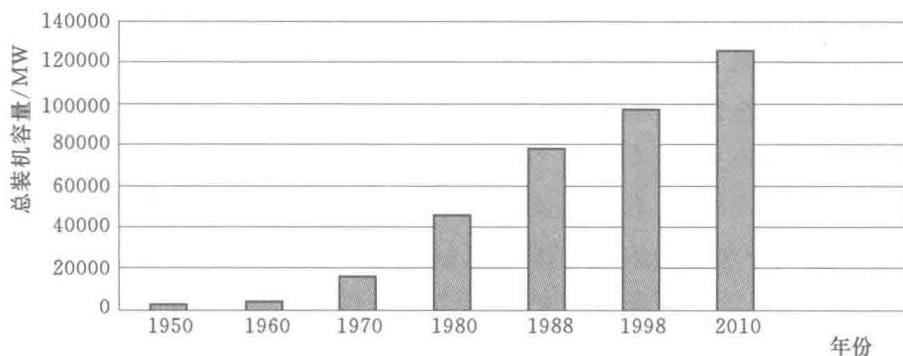


图 1-1 世界各国抽水蓄能电站总装机容量图

轮机在发电时大约需要消耗输入燃料的 $2/3$ 进行空气的压缩，而压缩空气储能则可利用电网负荷低谷时的廉价电能预先压缩空气，然后根据需要释放储存的能量加上一些燃气进行发电。压缩空气通常储存在合适的地下矿井或者熔岩下的洞穴中，通过熔岩建造这样的洞穴大约需要一年半到两年的时间。

第一个投入商用运行的压缩空气储能（CAES）是 1978 年建于德国 Hundorf 的一台 290MW 机组。1991 年，美国在 Alabama 的 McIntosh 建成了第二台商用 CAES，机组功率为 110MW，整个建设耗时 30 个月，耗资 6500 万美元，这台机组能够在 14min 之内并网。第三台商业运行 CAES，也是目前世界上最大容量的 CAES，建在 Ohio 州的 Norton，整个电站装机容量为 2700MW，共有 9 台机组，可将空气压缩储存在位于地下 670m 深的石灰石矿井里。

在电池储能方面，铅酸电池是最古老、也是最成熟的蓄电池技术。它是一种低成本的通用储能技术，可用于电能质量调节和 UPS 等。然而，这种蓄电池寿命较短，且在制造过程中产生环境污染，限制了铅酸电池在电力系统中的大规模应用。锌溴（ZnBr）电池在 20 世纪 70 年代早期由埃克森石油公司（Exxon）开发成功，经过多年的研究和发展，已经建成了多套数十千瓦的 ZnBr 电池储能系统并经过验证，其净效率达 75%。20 世纪 80 年代初期澳大利亚新南威尔士大学率先研制出全钒液流电池（Vanadium Redox Flow Battery, VRB）电池，之后经技术转让和发展，在澳大利亚、日本和加拿大得到深入研究。目前，加拿大的 VRB Power Systems 公司和日本住友电工研发的全钒液流电池技术进入实用化阶段。70 年代埃克森的 M. S. Whittingham 采用硫化钛作为正极材料，金属锂作为负极材料，制成首个锂电池。1982 年伊利诺伊理工大学发现锂离子具有嵌入石墨的特性，过程快速并且可逆。首个可用的锂离子石墨电极由贝尔实验室试制成功。1991 年索尼公司发布首个商用锂离子电池。1996 年具有橄榄石结构的磷酸盐被发现，如磷酸锂铁（ LiFePO_4 ），比传统的正极材料更具优越性，因此已成为当前主流的正极材料。

电力存储技术的研究和发展受到了各国能源、交通、电力、电信等部门的重视，在技术性和经济性上都得到了快速的提升。近十年，美国、日本、澳大利亚以及欧洲各国



的政府都将储能技术列入了国家发展规划中，并相继开展了多项储能系统的示范应用，展现了很大的应用潜力。

截至2010年底，全球电力储能总装机容量为128GW，约占世界电力装机总量的3.0%。据中关村储能产业技术联盟（CNESA）项目库统计，2000—2013年，全球累计储能装机容量达739MW（不含抽水蓄能、压缩空气储能和储热项目）。相比2012年，全球储能示范项目总装机容量规模增长104MW，年增长率为14%。目前，国际电力储能产业以年均9.0%左右速度增长，远高于全球电力2.5%的增长率。可以看出，储能已成为世界上多个国家重点发展的新兴产业，我国已将大规模储能技术列入国家“十二五”能源规划，正在积极引导促进储能产业发展。

1.3 储能技术在电力系统中的需求和作用

1.3.1 电网发展对储能技术的需求分析

1.3.1.1 峰谷差加剧对储能技术的需求

目前，我国尚处于重工业化阶段，电力需求旺盛，近年来新增电力装机容量和发电量不断提升。据统计，到2013年年底，我国发电装机容量达12.47亿kW，同比增长9.25%，超过美国，跃居世界第一，预测到2020年将达到15亿kW。电网大力发展的同时也带来了诸多问题与挑战，主要有：

(1) 电网用电峰谷差逐渐增大，调峰矛盾日益突出。2012年，中国电力企业联合会在《电力工业“十二五”规划滚动研究报告》中预测，到2015年全社会最大负荷将达9.66亿~10.64亿kW，用电量达6.02~6.61kW·h。“十二五”期间年均增长率分别为8.6%和8.9%，最大负荷增速快于用电增速，电网峰谷差将持续增大。

(2) 不断扩大的电网规模增大了电网安全稳定运行的风险。新型发、输电技术和控制技术的应用，使电网的复杂程度日益加剧，对大电网的安全稳定提出了更高的要求。

(3) 经济社会发展对电网电能质量和供电可靠性提出了更高的要求。

1.3.1.2 可再生能源大规模发展对储能技术的需求

大力开发可再生能源已经成为世界各国保障能源供应安全、保护生态环境、应对气候变化的共同选择，也是提高国家竞争力的重要措施。2006年1月，《中华人民共和国可再生能源法》正式实施，明确将可再生能源的开发和利用列为能源发展的优先领域；2009年12月，《中华人民共和国可再生能源法修正案》要求通过制定总量目标，采取相应措施推动其发展。

据世界风能协会发布的报告，截至2013年年底，全球累计风电装机总量达318.12GW，我国累计风电装机容量达91.41GW，占全球风电装机容量的28.7%。根



据“十二五”风电规划，到2015年我国风电并网装机容量将达1.5亿kW，发电量达到1900亿kW·h。国家发改委能源研究所发布的《中国风电发展路线图2050》显示，到2020年、2030年和2050年，我国风电装机容量将分别达到2亿kW、4亿kW和10亿kW。

据中国光伏产业联盟统计，截至2013年年底，全球光伏新增装机容量达39GW，累计装机达139GW；中国光伏新增装机容量达12.9GW，累计装机近20GW。2013年7月《国务院关于促进光伏产业健康发展的若干意见》中提出，2013—2015年，年均新增光伏发电装机容量10GW左右，到2015年总装机容量达到35GW以上。

风电、光伏发电具有随机性、间歇性和波动性的特点，昼夜间发电量差异很大。随着电网中间歇性能源占比的逐年上升，对电网调峰、运行控制和供电质量带来巨大挑战。2009年7月，国家能源局《我国风电发展情况调研报告》指出，随着风电装机容量迅速增加，风电并网对电能质量和电力系统运行安全的影响已初步显现，部分地区规模并网的风电机组已对电网系统电压、频率和稳定性产生了影响。因此，可再生能源装机容量提升的同时，需要配置大规模储能系统，大幅提高电网接纳可再生能源的能力，提高可再生能源并网的可控性和可调度性，实现间歇性能源的安全稳定并网运行。

1.3.1.3 分布式发电和智能电网建设对储能技术的需求

我国的电力系统一直遵循着大电网、大机组的发展方向，按照集中输配电模式运行，而我国的能源中心和电力负荷中心距离远跨度大，这决定了我国智能电网的基本框架是“建设以特高压电网为骨干网架，各级电网协调发展，具有信息化、数字化、自动化和互动化特征的统一的坚强智能电网”。

从欧美智能电网的发展重点看，其分布式发电比重的快速上升和完全竞争性电力市场使得智能电网将优先考虑用户侧与配电网的智能化，储能技术是其主要的投资领域，美国政府已将大规模储能技术定位为支撑新能源发展的战略性技术。在美国能源部制定的关于智能电网的资助计划中，储能技术项目在数量和金额上均超过了其他所有项目。

虽然各国根据自身实际对于智能电网构建有所区别，但优质、自愈、安全、清洁、经济、互动是共同追逐的目标。传统电网主要由发电、输电、变电、配电、用电五个环节构成，而储能环节是智能电网构建及实现目标不可或缺的关键环节。随着各国智能电网建设的推进，储能技术的应用需要快速发展，并形成规模化应用。

1.3.2 储能技术在电力系统中发挥的作用

1.3.2.1 削峰填谷

随着城市化进程的不断加快和电力负荷不断增长，电力峰谷差也将不断加大，通过新增发、输、配电设备来满足负荷增长需求变得越来越困难。对电力企业而言，一方面

需每年投入大量的资金；另一方面，由于尖峰负荷时间较短导致电力设备的资产利用率降低。储能系统的建设将会有效解决这一问题，各种形式的储能电站可以在电网负荷低谷的时候从电网获取电能充电，在电网负荷高峰时刻改为发电机方式运行，向电网输送电能，一方面有助于减少系统输电网络的损耗，减缓或者替代新建发电厂产生经济效益，同时提高输配电设备利用效率；另一方面在峰谷电价政策下，采用谷时充电峰时用电的方法给用户节约电费支出。

大容量储能系统可实现发电和用电间的解耦及负荷调节，在一定程度上削弱峰谷差。储能系统一旦形成规模，可有效延缓甚至减少电源和电网建设，提高能源利用效率和电网整体资产利用率，并改变现有电力系统的建设模式，促进其从外延扩张型向内涵增效型的转变。

1.3.2.2 提高电网对新能源的接纳能力

风能、太阳能、海洋能、生物质能等新能源正在快速发展，新能源的有序接入也是智能电网建设的重要内容。上述新能源不同于火电和水电等常规电源，具有波动性和间歇性的特点，大规模并网运行会对电网的稳定运行造成影响，影响程度与可再生能源发电在系统中所占的比重有关。当所占比例和电网容量相比较小时，对电网冲击不大，利用电网控制与配电技术，能够保证电网安全稳定运行。一旦可再生能源的装机容量所占比例超过一定值后，将对局部电网产生明显冲击。特别是在水、油、汽电源比例较小的地区，仅靠有功调节速度较慢的火电机组，难以完全适应其出力的快速变化，甚至会引发大规模恶性事故。

针对规模化新能源并网对电网稳定运行造成的影响，可采取不同措施避免或减缓。一种措施是加强对新能源发电的预测，包括短期预测、中期预测和长期预测，以更好地做好计划性的电力平衡；另一种措施是建设储能系统，通过储能系统对其进行缓冲，减少对电网的冲击影响，如建立光储、风储、风光储联合控制系统等。国家风光储输示范工程，在世界上首次验证了大规模风光储联合控制的可行性。

因此，在波动性可再生能源装机容量不断增加、规模不断扩大的情况下，增加储能装置，能够提供快速的有功支撑，增强电网调频能力。在电源侧配置动态响应特性好、寿命长、可靠性高的大规模储能装置，可以有效解决风能、太阳能等新能源大规模并网的间歇性、不确定性问题，大幅提高电网接纳可再生能源的能力，促进可再生能源的集约化开发和利用。这也是今后缓解环境压力及满足低碳社会发展的重要途径之一。

1.3.2.3 备用电源

要保证供电安全，就要求系统具有足够的备用容量。若电源备用不足，电网运行面临高风险。一旦电网发生故障，大电源退出，将可能产生连锁反应，导致事故扩大。在电力系统遇到大的扰动时，例如短路等事故时，储能装置可以在瞬时吸收或释放能量，使系统中的调节装置有时间进行调整，避免系统失稳，恢复正常运行。对于重要用电负



荷,如医院、政府和军工部门,设置事故或应急的备用电源也至关重要。据了解,日本已经有 200 多家工商业用户建立了钠硫电池储能电站,为用户提供了事故和应急备用电源,提高了用户的供电可靠性。总之,当电网发生故障且分布式发电系统不能正常供电时,储能系统可向用户提供稳定的电能。

1.3.2.4 提高电能质量

对于对电压暂降和电力短时中断等暂态电能质量问题特别敏感的用电负荷,如自动化生产线等,供电电压的瞬间波动等可能会导致产品不合格,从而引起重大的经济损失。对于这种用户,可以配置以超级电容器、超导、飞轮等为代表的功率型储能技术,实现与系统的快速有功、无功功率交换,减小系统地谐波畸变、降低电压波动和闪变,消除电压暂降和暂升,保证优质供电。

1.4 储能技术在电力系统中的应用前景及挑战

电力存储技术突破了传统电能即发即用的特点,可适用于多种应用领域,以解决传统方法难以解决的问题。储能技术作为一门关键支撑技术,目前已经在新能源及分布式电源发电、智能电网、电动汽车、工业用户、家庭用户等场合得到初步应用。世界上很多国家也规划和建设了数个示范工程,并推出了相关支撑政策,有力地推动了储能技术的快速发展。

1.4.1 应用前景

1.4.1.1 新能源发电侧

基于可再生能源发电的分布式供能技术已成为能源领域的发展重点,但风能、太阳能等可再生能源发电具有波动性、间歇性的特点,电网与新能源的矛盾越来越突出;同时,大电网事故的严重影响也凸显电力供应对高效、大规模储能技术的紧迫需求。依托储能技术,将不稳定的风能、太阳能发电储存起来并平稳输出,能够提供快速的有功支撑,增强电网调频能力,使大规模风力及太阳能发电方便可靠地并入常规电网。因此,储能技术已成为新能源发电大规模利用的核心技术之一。

我国风能、光伏等新能源发电技术应用已走在世界前列,但风能、太阳能发电的最大缺点是受天气、季节、时间的约束非常大,发电不稳定。根据 2011 年 1 月中华人民共和国国家电力监管委员会发布的《风电、光伏发电情况监管报告》,2010 年 1—6 月,风电未收购电量达 27.76 亿 kW·h,光伏发电没有未收购量。由于风电在电网中比例逐步增大,大规模风电功率波动给电网安全经济运行带来诸多不利影响。为了保障电网安全运行,制约了既有电网对风电的接纳规模,从而导致大量弃风或新建风电机组不能并网运行。大规模储能系统可以实现能量的时空平移,可有效抑制风电功率的波动性,