

能源互联网中多种储能的协调

朱永强, 赵娜, 王福源, 王欣

(新能源电力系统国家重点实验室, 华北电力大学, 北京 102206)

摘要: 能源互联网已成为又一代工业革命的主题,而储能作为能源互联网发展的关键技术支撑,受到越来越多的关注。能源互联网由各种能源网络结合在一起构成,各能源子网之间可以提供能源支持,因此在整个能源互联网中会出现能源存储的冗余。各种储能的协调配合有助于降低能源储存的总需求,提高经济效益。本文首先指出各种储能协调的必要性,根据能源互联网中各种能量需求的特点,提出了协调原则和能源互联网储能协调的实施步骤。以经济效率和能源利用率为优化目标,给出了适当的必要约束。应用粒子群优化算法进行优化协调,并在模拟的情况下得到两种具有较高的经济效益和能源利用率率的储能协调方案。本文对能源互联网各种储能的有效协调具有参考价值。

关键词: 能源互联网; 储能; 协调原则; 实施

DOI: 10. 12067/ATEEE1702026 **文章编号:** 1003-3076(2018)03-0010-07 **中图分类号:** TM60

1 引言

能源为人类生活与生产提供能量来源,每一次工业革命都离不开能源类型和使用方式的革新。现有能源系统在取得了令世人瞩目的成就的同时,也面临着严峻的挑战,如能源生产的不可持续性、能源使用的低效和能源行业的内向保守等,亟需新一轮的能源变革来保证能源行业的蓬勃发展,因此能源互联网的概念也应运而生。

能源互联网的概念刚刚提出,对其理念、架构、组成等都还未有一个统一的认识和定义,对于该概念的理解也是多种多样,业界对于如何构建能源互联网体系仍莫衷一是。总的来说,能源互联网的主要特点是:通过电能、热能、化学能、机械能等多种能源的相互转换和互补,借助交通网提供互联的基础设施,将电力网、热力网、气网、煤油网、水网等多种能源网络的互联互通融为一体,实现多种能源系统的信息共享。

在能源互联网的发展背景下,储能将成为能源互联网的重要基础支撑和关键技术设备,在能源互联网中发挥能量中转、匹配和优化的重要作用^[1]。目前关

于储能在能源互联网中的应用和地位尚未得到很大的关注。文献[2]给出了广义电力储能的定义,对储能在能源互联网中的关键应用技术进行了探讨。指出了新能源发电与储能的协调规划和调度技术、基于储能的能源路径和能源分配策略、储能与能量转换装置的集成设计和协调配置、考虑储能的能源交易机制是储能在能源互联网应用中的几项关键技术。文献[3]介绍了储能技术在能源互联网中的应用,如电网调峰调频,平滑可再生能源发电波动,改善配电质量和可靠性,作为基站、社区或家庭备用电源,分布式微电网储能等。文献[4]系统地比较了目前各种储能技术的研究进展,对储能技术的原理以及储能技术的特性进行分析,总结了不同储能技术的优缺点及其应用范围。文献[5]为保证系统内部功率,设计了储能装置工作状态及控制策略。

本文在能源互联网背景下,介绍了不同形式的储能原理及特点,对其性能进行了总结,根据储能协调在能源互联网中的作用明确了多种储能能在能源互联网中协调的必要性,总结了多种储能间协调的原则,并在该原则下给出了能源互联网中储能协调配合的实施方法。

收稿日期: 2017-02-20
基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2015AA050102)、新能源电力系统国家重点实验室自主研究课题(LAPS2016-14)
作者简介: 朱永强(1975-),男,天津籍,副教授,博士,研究方向为新能源发电与并网技术、能源互联网等;
赵娜(1993-),女,河北籍,硕士研究生,研究方向为新能源发电与并网技术、能源互联网。

2 多种储能协调配合的必要性

2.1 不同储能技术的性能

储能作为能源互联网的五大支柱之一,其在能

源互联网中的作用不言而喻。不同储能方式的性能见表1^[6-9],不同的储能有各自的优缺点,可实现不同的功能。

表 1 不同储能形式的性能

Tab.1 Performance of different energy storage forms

储能形式	功率等级	连续发电时间	能量自耗散率(%)	合适的储能期限	成本/(\$ / (kW·h))	寿命/年	转换效率(%)
抽水蓄能	100 ~ 5000MW	1 ~ 24 小时以上	极低	小时 ~ 月	5 ~ 100	40 ~ 60	70 ~ 82
压缩空气	5 ~ 300MW	1 ~ 24 小时以上	低	小时 ~ 月	2 ~ 50	20 ~ 40	60 ~ 70
超导储能	100kW ~ 10MW	毫秒 ~ 8 秒	10 ~ 15	分钟 ~ 小时	1000 ~ 10000	> 20	≥ 96
飞轮储能	0 ~ 250kW	毫秒 ~ 15 分钟	59 ~ 100	秒 ~ 分钟	1000 ~ 5000	< 15	≥ 90
超级电容	0 ~ 300kW	毫秒 ~ 60 分钟	20 ~ 40	秒 ~ 小时	300 ~ 2000	> 20	≥ 95
低温储能	100kW ~ 300MW	1 ~ 8 小时	0.5 ~ 1.0	分钟 ~ 天	3 ~ 30	20 ~ 40	< 60
高温储热	0 ~ 60MW	1 ~ 24 小时以上	0.05 ~ 1.0	分钟 ~ 月	30 ~ 60	5 ~ 15	< 60
铅酸电池	0 ~ 20MW	秒 ~ 小时	0.1 ~ 0.3	分钟 ~ 天	200 ~ 400	5 ~ 15	≤ 80
锂电池	0 ~ 100kW	分钟 ~ 小时	0.1 ~ 0.3	分钟 ~ 天	1200 ~ 4000	5 ~ 15	80 ~ 85
液流电池	100kW ~ 5MW	秒 ~ 小时	0.1 ~ 1.0	分钟 ~ 天	250 ~ 300	10 ~ 20	70 ~ 80

2.2 多种储能协调配合的必要性

由于能源互联网的核心特性是多种能源的转化和互联,其能源网络已从电力网拓展到包含电力网、煤油网、燃气网、热力网、水网等多种能源形式的网络,因而其储能也从单纯的储电拓展到储电、储氢、储热、储煤等多种储能方式。能源互联网的各种储

能结构如图 1 所示。电能、煤、石油、天然气等能源之间可以进行相互转换,不同的能源通过电网、天然气管网等不同的能量传输网进行能量传输并进行相应的能量存储,最终能量管理系统对用户需求数据、能量供应数据以及能量存储数据进行分析,将不同的能量进行合理的协调分配。

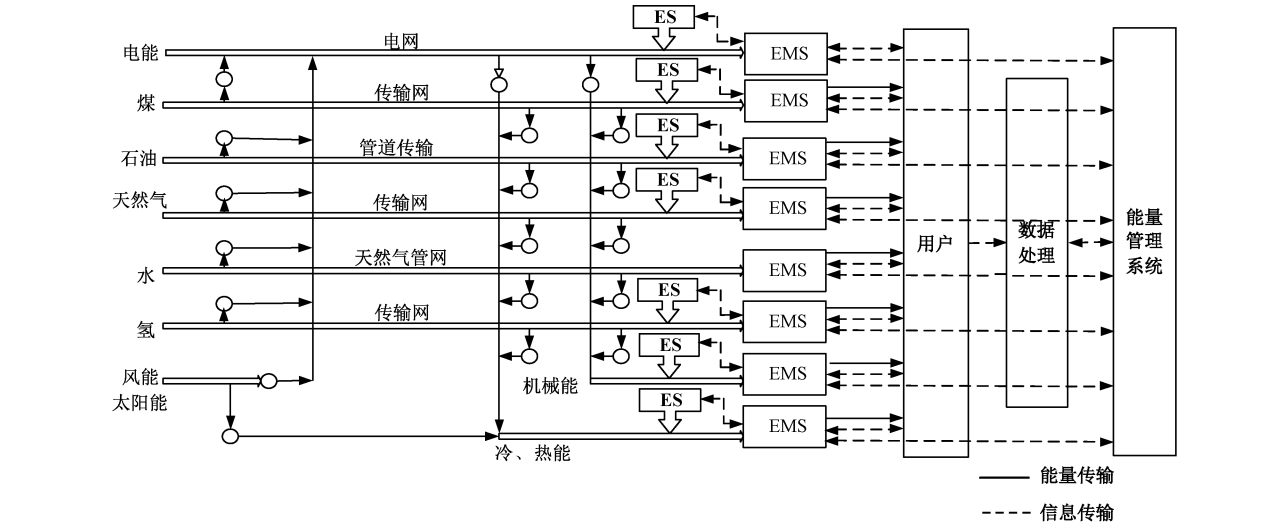


图 1 能源互联网的各种储能结构图

Fig.1 Structure diagram of Energy Internet with various energy storages

储能的形式多种多样,为保证系统的稳定、高效运行,需要各种形式的储能合理搭配和协调。本文从五个方面对储能协调的重要性进行了分析,如图 2 所示,并对每个方面进行具体分析。

(1)减少系统储能冗余量
当能源互联网或局部能源互联网中不同的储能共同发挥作用时,每一种储能都有与之对应的需求,需求量会不断地变化,而每一种储能的最大需求量

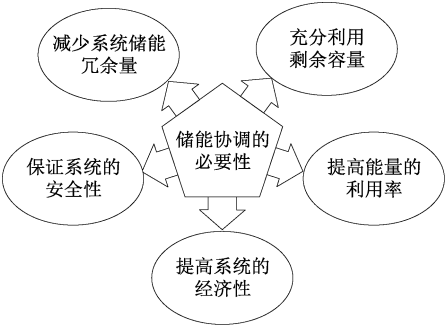


图 2 储能协调的重要性

Fig. 2 Necessities of coordination of various energy storages

并不会出现在同一时刻,将需求较少的能量存储方式向需求较大的能量存储方式进行转换,可以减少需求较高的储能需求总量,并有效利用需求较少储能的剩余能量,从而使得系统储能的冗余量减少。

(2) 充分利用大型储能设备的剩余容量

对于一些大型储能设备,如抽水蓄能、压缩气体等,其储能的容量较大、功率等级较高,在满足能源互联网对其需求的同时,其剩余容量也可应用到其他需要的场所,在信息共享的能源互联网结构中储能协调使大型能量设备剩余容量充分利用。

(3) 提高能量利用率

通过各种储能的相互转换和替代使得各种储能合理搭配,可充分利用多种能源,优先选用转换效率较高的储能方式,提高转换效率。同时可减少某些自放电率较高的储能的存储时间,从而减少能量存储带来的能量衰减,提高存储能量的利用效率。

(4) 提高系统的经济性

通过不同能量之间的转换,可减少能源缺乏带来的运输成本;通过能量之间的替代,可减少能量冗余产生的储存费用;多种储能间协调配合,可减少储能设备进行多次循环带来的设备更新费用,也可通过减少装置带来的环境污染,减少环境保护成本从而提高系统的经济性。

(5) 保证系统的安全性

各种储能在安全上互为备用和支撑,当一种储能出现故障或由于某种其他原因无法提供所需能量时,其他储能可以通过能量转换或者直接替代的方式发挥该储能在能源互联网中的作用,保证整个网络的安全稳定运行。另外,当电网中各机组在受扰动时,各种储能还可以向电网提供功率支撑,使之仍能保持同步运行,减小系统失稳概率,保障系统安全^[10]。

3 多种储能协调配合的原则及关系

3.1 多种储能协调配合的原则

各种形式的储能在能源互联网中协调搭配,共同保证系统的稳定、高效、经济运行。根据需求情况及不同储能的特点合理安排各种储能才能满足能源互联网各种性能的要求。本文提出多种储能间协调时应遵循的原则:

(1) 满足储能总量的需求

在安排各种储能装置的安装容量时,满足系统对储能总量的需求是储能协调的前提,储能总量满足需求才能使能源互联网总体达到供需平衡,保证系统的稳定运行。

(2) 保障系统的基本性能

能源互联网中,各能源子网都有自己的储能需求,每种形式的储能在系统中都有不同的作用。对于有多种储能的系统,必须保证一些必需的能量存储形式及数量来确保系统可实现其基本性能,安全稳定地运行。剩余的能量存储可以参与协调和调度,如图 3 所示。基本储能需求根据不同储能形式基本需求量和基本性能进行固定分配,对多余储能根据最佳的协调效果进行分配调度。

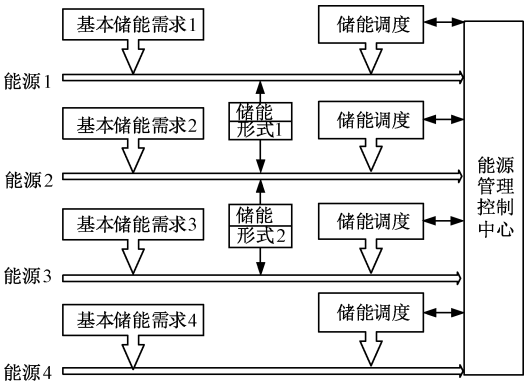


图 3 储能参与能源互联网的协调

Fig. 3 Participation and coordination of energy storage in Energy Internet

(3) 满足功率需求

不同场合由于其发展程度不同,对于功率等级要求不一,如工业城市要求功率等级较高,发展落后及人均分布密度低的地区对于功率等级要求较低,通过多种储能的协调可满足功率等级的需求。

(4) 保障存储和释放的速度最合理

不同场所对储能装置的性能要求不同,不同储能形式的存储速度不同,如一些新能源发电渗透率

较高的场所易出现较大功率波动,要求安装有存储及释放迅速的储能装置,因此在搭配储能装置时需要考虑储能装置存储和释放能量的速度快慢,以保证系统运行的可靠性。

(5) 保证能源利用效率最高

能源利用效率涉及存储效率及转换效率。多种储能方式在能量存储期间能量的衰减程度不同,应该选择能量损失较小、自耗散率较小的存储方式来提高能量存储效率。对于复杂的能源互联网,能量存在形式多样,同种能量需求可以通过不同的能源提供,因此存在不同的能量转换方式。不同能量转换方式的转换效率不同,转换效率公式为:

$$\eta = \frac{E(\text{释放的能量})}{E(\text{存储的能量})}$$

因此在选择不同能量提供时要综合考虑能量的存储效率及转换效率。

(6) 保证系统的经济性最优

储能系统的经济性受多种因素的影响,包括不同材料成本的波动、使用寿命的长短、能量自耗散率等,在选择不同的储能方式时应保证储能的成本最低,经济性最优。

3.2 各原则之间的关系

首先,应满足储能的总需求量和各子网的基本性能需求,以保证系统基本的正常运行。当系统的基本性能得到满足时,需要保证系统的额定功率需求以及适当的能量存储和释放速度,从而保证系统的安全稳定。

当上述原则都遵循时,最佳协调、合理的能源利用率和经济效益是应考虑的目标。不同储能的协调原则及关系如图 4 所示。

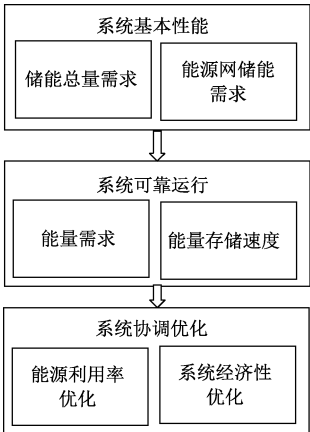


图 4 不同储能的协调原则及关系

Fig. 4 Principles of coordination of various energy storages and their relations

4 多种储能协调配合的实施过程

4.1 实施步骤

具体的实施流程如图 5 所示。

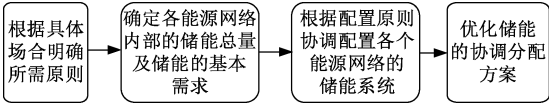


图 5 多储能协调原则的实施步骤

Fig. 5 Implementing steps of coordination of various energy storages

(1) 明确需要遵循的原则,根据具体的场合选择需要遵循的原则(3.1 节原则的全部或部分)。

(2) 确定各能源网络内部的储能总量及储能的基本需求,即确定不能用其他储能替代的部分,其形式及数量固定,用来保障系统的基本性能。

(3) 根据配置原则协调配置各个能源网络的储能系统。

(4) 采用合适的优化方法得到各种储能能在能源互联网中合理的协调和分配方案。

4.2 目标与约束条件的协调

(1) 目标函数

设某一能源网络所需储能系统提供的总能量(本处所指能量为储能转换之后的能量,不同于储存能量,下同)为 E_{total} , 固定的基本能量需求为 E_{basic} , 其中有 m 种储能形式, 每种储能形式基本需求量为 $e_i (i = 1, 2, \dots, m)$, 剩余对于储能形式无要求的需求量中对实时性有要求(发电达到秒级)的能量为 E_{real} , 对实时性无要求的能量为 E_{non-re} 。该区域共有 n 种储能方式, 每种储能方式的储存能量为 $x_i (i = 1, 2, \dots, n, n \geq m)$ 。以经济性和储能效率原则为目标,对存在的储能方式及容量进行协调配置。

1) 经济性

不同储能方式的成本有很大差异,根据表 1 可知,压缩空气、抽水储能及相变储能技术的成本较低、能量自耗散率较低,且压缩空气、抽水储能技术发展较成熟,在条件允许的情况下应优先选择。总成本为:

$$C = \sum x_i f(C_{imin}, C_{imax}) \tag{1}$$

式中, C_{imin} 和 C_{imax} 为第 i 种储能的成本的最小值和最大值; f 函数为根据实际情况对于成本的选取。

2) 能量利用率

每种储能方式都有不同的转换率,在能量需求

相同的情况下不同储能方式需要存储的能量不同,即消耗的能量不同。因此在条件允许的情况下应优先选择转换效率较高的储能方式,本文以相同转换能量下消耗的存储能量来表征能量利用率的大小。为满足该能源网络的能量需求,所需消耗的总存储能量为:

$$E = \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

(2) 约束条件

各种储能之间协调配置时应满足的约束条件如下:

1) 能量约束

任何形式的储能接入都会改变能源互联网的能量分布,但总体都会遵循能量守恒,即

$$E_s - E_{st} = E_L \quad (3)$$

式中, E_s 为能源互联网中不同能源网络释放的能量; E_{st} 为储能装置存储能量; E_L 为能源互联网中消耗的能量。

2) 设备及原料约束

由于储能原料供应及设备硬件的承受能力有限,可储存的能量会受到限制,如抽水储能由于水量的限制,压缩空气储能地下储室的容量限制,使能量储存低于某个限值。设每种储存方式的最大储存量为 X_{imax} ,则约束条件为:

$$x_i \leq X_{imax} \quad (4)$$

3) 总量约束

为保证系统的稳定运行,储能装置存储的能量应满足总量的需求,即所有储能形式的储能总量应不小于所需储能总量:

$$\sum_{i=1}^n x_i \eta_i \geq E_{total} \quad (5)$$

式中, η_i 为储能的效率。

4) 基本性能约束

为保障系统的基本性能,需要一定数量的固定方式的储能,即保障系统对于储能的基本需求。

$$x_i \eta_i \geq e_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

5) 实时性约束

对于一些大扰动、瞬时性故障通常需要实时性比较高的储能形式来保证系统的可靠性,因此要求存在达到秒级的储能形式,即超导储能、飞轮储能、超级电容和铅酸电池,本文将其统称为实时性储能 (Real-Time Energy Storage, RTES)。约束条件为:

$$\sum (x_i \eta_i - e_i) \geq E_{real} \quad \text{第 } i \text{ 种储能} \in \text{RTES} \quad (7)$$

4.3 具体背景下的储能协调调度

粒子群优化算法 (PSO)^[11] 的概念在 1995 年出现,其算法简单,容易实现。基本的粒子群优化算法的思想是群中各成员之间能够进行交流,并通过信息交换进行自身学习和经验积累,主动或被动地改变自身的行为以增强自身环境适应能力,在优胜劣汰的机制下,较优成员可获得相对较大的生存概率以实现群体行为的优化^[12]。基本粒子群算法的学习模式可表示为:

学习模式 = 自身经验 + 惯量学习 + 社会知识

文献[13]引入惯性权重参数 w , 得到带惯性权重的 PSO 模型,求第 i 个粒子在迭代 $k+1$ 次后第 d 维函数值的具体数学公式如下:

$$\begin{cases} v_{id} = wv_{id}^{(k)} + c_1 r_1 (p_{id}^{(k)} - x_{id}^{(k)}) + c_2 r_2 (p_{ld}^{(k)} - x_{id}^{(k)}) \\ x_{id}^{(k+1)} = x_{id}^{(k)} + v_{id}^{(k+1)} \end{cases} \quad (8)$$

式中, v_{id} 为第 i 个粒子的第 d 维运动速度; x_{id} 为第 i 个粒子的第 d 维位置坐标; 变量上标括号内为迭代次数; c_1 、 c_2 为加速因子; r_1 、 r_2 为 (0,1) 之间的随机数; p_{id} 为个体位置最优; p_{ld} 为群体位置最优。粒子群算法的流程图如图 6 所示。

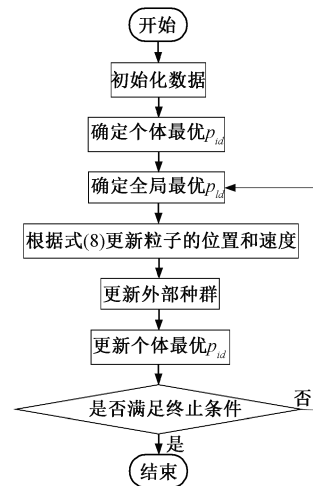


图6 粒子群算法流程图

Fig.6 Flow chart of PSO

5 算例分析

本文对成本、转换效率等参数进行适当选取,设置能源网的相关参数如下:所需储能系统提供的总能量 E_{total} 为 3000MW·h,固定的基本能量需求 E_{basic} 为 1500 MW·h,其中有 4 种储能形式,每种储能形式基本需求量如表 2 所示,剩余储能中 E_{real} 为

600MW·h, E_{non-re} 为900MW·h.该网络中存在表1中的8种储能方式,每种储能方式储存能量的最大值见表2。

表2 储能协调系统参数

Tab.2 Parameters of energy storage coordination system					
编号	储能形式	成本/($\$/$ (kW·h))	η_i (%)	$X_{i,max}$ /(MW·h)	e_i /(MW·h)
1	抽水蓄能	50	85	1000	700
2	低温储能	15	60	600	300
3	铅酸电池	300	80	600	300
4	超级电容	1000	95	800	200
5	高温储热	45	60	200	0
6	压缩空气	25	70	500	0
7	超导储能	5000	96	400	0
8	飞轮储能	3000	90	500	0

以经济性和储能效率原则为目标,在4.2节约束条件下利用粒子群算法对其进行优化,将多种储能之间进行协调配置。粒子群算法的相关参数设置如下:粒子数目为50,非劣解集为100,加速因子 c_1 、 c_2 为1.494,惯性权重 w 为0.729,最大迭代次数为5000。

分别以经济性最优以及能源利用率最高为目标,运用粒子群算法得到的储能配置方案见表3。

表3 储能优化方案

Tab.3 Energy storage optimization scheme										
储能量/(MW·h)								成本/\$	储能 总量 /(MW·h)	
1	2	3	4	5	6	7	8			
利用率	850	512	389	669	75	156	263	241	2881155	3155
经济性	970	529	521	710	529	486	4	12	999885	3432

由表3可知,以利用率最优优化得出的储能总量相比经济性最优得到的储能总量少大约300kW·h,相反成本高出近200万\$。以能源利用率为目标时,超导储能、飞轮储能以及超级电容储能等转换效率较高的储能方式发挥作用较大;以经济性为目标时,成本较低的压缩空气储能以及高温储热所占比重相对较高。两种配置方案分别使得经济性及能源利用率两目标得到很好的提升,最终,可根据决策者的实际需求对配置方案进行折中选取。

6 结论

能源互联网在新的工业革命中越来越受到人们的关注,能源存储将成为能源互联网的关键技术之一,在能源互联网的运行中发挥着重要的作用。在

能源互联网中,不同的能源网络结合在一起构建成复合能源互联网,他们可以或多或少地相互提供能源支持,所以在整个能源互联网中会出现能源存储的冗余。

能源互联网对于不同的储能方式有不同的需求,在一定协调优化原则下,根据需求情况及不同储能的特点合理安排各种储能不仅能够满足能源互联网各种性能的要求,而且可以达到提高经济效益以及提高能源利用率的目的。因此,本文首先指出各种储能的必要性,其次根据能源互联网不同能量的需求特点,提出了能源互联网的储能协调的原则,最后利用粒子群优化算法对仿真算例进行了优化。根据仿真实例所得到的数据可知,在实际应用中,以能源利用率为目标时,配置的储能中超导储能、飞轮储能以及超级电容储能等转换效率较高的储能方式应占较大比重;以经济性为目标时,配置的储能中应以成本较低的压缩空气储能以及高温储热等为主。决策者可以根据实际需要选择配置方案,协调各种能源存储配置从而降低能源储存的总需求,提高经济效益。

参考文献 (References):

[1] 慈松,李宏佳,陈鑫,等 (Ci Song, Li Hongjia, Chen Xin, et al.). 能源互联网重要基础支撑:分布式储能技术的探索与实践 (Based support of Energy Internet: Exploration and practice of distributed energy storage technology) [J]. 中国科学:信息科学 (Scientia Sinica (Informationis)), 2014, 44 (6): 762-773.

[2] 李建林,田立亭,来小康 (Li Jianlin, Tian Liting, Lai Xiaokang). 能源互联网背景下的电力储能技术展望 (Prospect of power energy storage technology in the context of Energy Internet) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2015, 39 (23): 15-25.

[3] 陈永翀,李爱晶,刘丹丹,等 (Chen Yongchong, Li Aijing, Liu Dandan, et al.). 储能技术在能源互联网系统中应用与发展展望 (Application and development of energy storage in Energy Internet) [J]. 电器与能效管理技术 (System Electrical and Energy Management Technology), 2015, (24): 39-44.

[4] 丛晶,宋坤,鲁海威,等 (Cong Jing, Song Kun, Lu Haiwei, et al.). 新能源电力系统中的储能技术研究综述 (Review of energy storage technology for new energy power system) [J]. 电工电能新技术 (Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy), 2014,

- 33 (3): 53-59.
- [5] 董博, 李永东, 郑治雪 (Dong Bo, Li Yongdong, Zheng Zhixue). 分布式新能源发电中储能系统能量管理 (Energy management of hybrid storage in distributed generation system) [J]. 电工电能新技术 (Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy), 2012, 31 (1): 22-25, 96.
- [6] Bocklisch Thilo. Hybrid energy storage systems for renewable energy applications [A]. 9th International Renewable Energy Storage Conference [C]. 2015. 104-111.
- [7] 陈海生 (Chen Haisheng). 主要储能系统技术经济性分析 (Technical and economic analysis of the main energy storage system) [J]. 工程热物理纵横 (Journal of Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences), 2012, (10): 13-14.
- [8] 黄先进, 郝瑞祥, 张立伟, 等 (Huang Xianjin, Hao Ruixiang, Zhang Liwei, et al.). 液气循环压缩空气储能系统建模与压缩效率优化控制 (System modeling and compression efficiency optimal control of hydro-pneumatic cycling compressed air energy storage system) [J]. 中国电机工程学报 (Proceedings of the CSEE), 2014, 34 (13): 2047-2054.
- [9] 贾传坤, 王庆 (Jia Chuankun, Wang Qing). 高能量密度液流电池的研究进展 (The development of high energy density redox flow batteries) [J]. 储能科学与技术 (Energy Storage Science and Technology), 2015, 4 (5): 467-475.
- [10] 黄际元, 李欣然, 黄继军, 等 (Huang Jiyuan, Li Xinran, Huang Jijun, et al.). 不同类型储能电源参与电网调频的效果比较研究 (Comparison of application of different energy storages in power system frequency regulation) [J]. 电工电能新技术 (Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy), 2015, 34 (3): 49-53, 71.
- [11] Kennedy James, Eberhart Russell. Particle swarm optimization [A]. IEEE International Conference on Neural Network [C]. Piscataway, NJ, USA, 1995. 1942-1948.
- [12] 刘建华 (Liu Jianhua). 粒子群算法的基本理论及其改进研究 (The research of basic theory and improvement on particle swarm optimization) [D]. 长沙: 中南大学 (Changsha: Central South University), 2009.
- [13] Shi Y, Eberhart R. A modified particle swarm optimizer [A]. Proceedings of Congress on Evolutionary Computation [C]. 1998. 69-73.

Energy storage coordination among various energy networks in Energy Internet

ZHU Yong-qiang, ZHAO Na, WANG Fu-yuan, WANG Xin

(State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources,
North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: Currently, Energy internet has become the theme of the new industrial revolution. As one of the key supporting technologies of Energy Internet, energy storage has attracted more and more attention. Since several energy networks are combined together to construct a composite Energy Internet, they may provide more or less energy supporting to each other, so there will be some redundancy in the total of energy storage among the whole Energy Internet. The coordination and allocation of various energy storages is helpful to reduce the total demand for energy storage and improve the economic efficiency. This paper points out the necessity of the coordination of various energy storages firstly. According to the characteristics of different energy storages and various demands in Energy Internet, the coordination principles and the implementing steps of energy storage coordination in Energy Internet are presented in the paper. Based on the principles, economic efficiency and energy utilization rate are set as the optimal objectives, and the proper necessary constraints are given. The optimal coordination is solved by particle swarm optimization, and two coordination schemes of various energy storages with high economic efficiency and proper energy utilization rate are obtained in the simulation case. Valuable reference for the effective coordination of various energy storages in Energy Internet is provided in this paper.

Key words: Energy Internet; energy storage; principle of energy storage coordination; implementation