

规模储能装置经济效益的判据

杨裕生，程杰，曹高萍

(防化研究院，北京 100191)

摘要：为使规模储能装置的选择和规模储能技术的发展朝着更加实用化、更加有序而可持续地发展，从规模储能装置的性能指标和运行经济指标出发，推导出了“规模储能装置的经济效益指数”(YCC)关系式，由此可得出储能装置运行的利润率(Pm)。指出对于化学储能装置，循环寿命和成本是其能否在规模储能中获得经济利益的关键因素。

电能是国民经济发展和人民生活的重要保障，已成为人类生产、生活中不可替代的组成部分。电能不能简单地直接储存，电能的生产与耗费必须时刻保持严格的同步，这给电能的供需平衡造成了很大的困难。电力系统内的发电和输配电设备均需按照用电峰值配备，导致资源利用率低，系统内存在大量可平移的负荷。电能以规模储存，则可降低电力系统内发电和输配电设备的规模、提高能效和利用率。现代用户对电网提出了越来越高的可靠性要求，这不仅需要电网的智能化，也需要规模储能。我国核能发电迅速增长，核电装置要求恒功率运行，拉大了夜间电网的供需差距。风能、太阳能等可再生能源发电时，功率、电压和频率的波动大，且难以人为控制，如果直接并入电网，将会影响供电质量；尤其我国北方风场夜间风大，势将增加电网调峰的压力。为实现稳定、均衡供电，将部分电能转换成其他能源形式储存，显得愈来愈迫切，开发高效的规模储能技术意义非常重大。

规模储能技术中，物理方法有抽(扬)水蓄能、压缩空气蓄能、飞轮蓄能等，其中实用的当推抽(扬)水蓄能。该方法的规模大、寿命长，但地理条件要求苛刻，且一次投入的建造费用高。

化学方法有铅酸电池、金属-空气电池、钠硫电池、锂离子电池、镍基电池、超级电容器及液流蓄电池等。化学方法不受地理环境的限制，具有随充随放的突出特点，但使用年限和循环寿命不显优势。

本文作者对大规模蓄电装置总结了4大可能的用途：可再生能源的蓄电；电网的调“峰”；用电大户的蓄电；军用蓄电。各种用途对规模储能的要求各有侧重，需要综合考虑需求目标和储能手段。高安全可靠性是规模蓄电的首要要求，此外还需要考虑能量转换效率、自放电率、初始投资、目标充放电情况下的循环寿命、维护成本、环境适应性和场地等等。再生能源蓄电及电网的调峰对于储能装置的比能量指标要求不强，而用电大户和军用蓄电还会要求储能装置的比能量达到一定的程度。对于化学电源，工作温度也是必须考虑的，低温(如-40℃)环境以Cd/Ni电池和超级电容器最合适，高温下(如60℃)以Zn/Ni电池、MH/Ni电池和超级电容器较好，全钒液流电池的温度范围以5~40℃为好。作为商业运行，在选择储能技术时，还必须切实考虑经济效益。当前，大规模蓄电装置发展迅速，应对蓄电装置的经济效益有一个客观的判据。

本文作者曾将放出单位能量的投资 C 、储能-放能全寿命循环次数 L 和储能-放能循环的转换效率 η 等 3 个因子归结为 E ，来衡量储能装置经济效益的相对大小^[3] [见式(1)]。

$$E = L \cdot \eta / C \quad (1)$$

据此，对各种储能装置定性以“5分制”打分，得如下的排序：得5分的有抽水蓄能，得4分的有液流电池，得3分的有锂离子电池和钠硫电池，得2分的有铅酸电池和超级电容器。上述3个因子是在不断变化、发展的，如锂离子电池的价格不断下降，全寿命的循环次数在上升。这就是上述排序中，锂离子电池的排序先于铅酸电池的原因。

用 E 值可比较各种储能装置经济效益的相对大小,但不能定量地判别储能装置的运行结果是否有经济效益。本文作者考虑,有 7 项指标与储能装置的经济效益有关:储能装置的电能“进价”(R_{in})、“出价”(R_{out}),能量转换效率(输出电能与输入电能之比, η),输出 1 kWh 电能的初投资(C),输出 1 kWh 电能的运行成本(C_0),储能装置的充放电深度(DOD)和相应 DOD 下的循环寿命(L),由它们推导出“规模储能装置的经济效益指数”(YCC , Yang Cheng Cao) 关系式 [见式(2)],并得出储能装置运行的利润率(P_m) [见式(3)]。

$$YCC = [R_{out} - R_{in}/\eta] / [C / (L \cdot DOD) + C_0] \quad (2)$$

$$P_m = (YCC - 1) \cdot 100\% \quad (3)$$

式(2)中, R_{in} 、 R_{out} 的单位为 $\text{¥}/\text{kWh}$; L 的单位为次,与 η 、 DOD 一样,为无量纲量; C 与 C_0 的单位为元/kWh。当计算出的 $YCC > 1$ 时,则 $P_m > 0$,表示储能企业盈利。以上仅以电池系统在常规条件(常压、常温或规定温度、适宜的充放电倍率及充放电制度、不考虑充放过程中的自放电等)下的性能作为输入条件,而未考虑维持电池系统外环境(厂房及其常规水电配置、用地、环境温度及湿度保持等)、电池对于外环境的特异要求(如锂离子电池防火、防爆设计,有机系超级电容器防火、防爆设计,钠硫电池防火、防爆设计,全钒液流电池台架结构及电解液防泄漏设计等)。经验表明,电池恒温工作的循环寿命最长,因此需要保证储能电池工作的环境温度和充放电时的局部温度变化不大。显然,比能量高的电池,所用厂房、用地及相应费用会低,但一般需要考虑特异的外设要求(防火、防爆等),附加费用也会高。这些外环境等条件对储能投资与收益的影响没有确定指标化数据,本文没有考虑。牵引型铅酸电池 100% DOD 的循环寿命约 800 次^[4-5],一般出厂价(即 C) 约 1 000 元/kWh(进口电池约为国产电池的 3 倍)。若企业以该铅酸电池储能,设 R_{in} 、 R_{out} 分别为 0.15 元/kWh、0.80 元/kWh, C_0 为 0.05 元, η 为 75%,可得到 $YCC = 0.46$, $P_m = -54\%$,表示该储能企业亏本。如欲保本($P_m = 0$),在其他指标不变的情况下,则 C 应降为 360 元/kWh(寿命为 100% DOD 下 800 次);或循环寿命升为 100% DOD 下 1818 次(C 为 1 000 元/kWh)。日本开发了 70% DOD 下循环寿命达到 4 500 次的铅酸电池^[6],若以上面提到的条件估算,用于储能的利润率为 63%,储能企业能够赚钱。以上的讨论中,未考虑采用蓄电装置储能带来的间接经济收益和社会效益。

依据文献数据，对不同的化学电源以此进行评估，得到的数据见表1。

表1 不同化学储能技术的性能及以电价进出为 0.15 元/kWh 和 0.8 元/kWh 估计的经济效益

Table 1 Energy storage devices' performance and their operation economic profits based on the prices of input and output electricity of 0.15 ¥/kWh and 0.8 ¥/kWh respectively

| 电池类型 | 能量效率 /% | 自放电率 % /month | DOD×寿命 | 初始投资 元/W h | 维护成本 元/kWh ²⁾ | 利润率 /% ³⁾ |
|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------|--|---------------------------|--------------------------|----------------------|
| 铅酸电池 | 70- 75 ⁽¹⁻⁴⁾ | 5 ⁽¹⁾ | 1× 800 ⁽¹⁻⁵⁾ | 1. 0 ⁽⁵⁻¹⁰⁾ | 0. 05 | - 54 |
| | | | 0. 75× 1. 500 ⁽⁵⁾ 0. 70× 4. 500 ⁽⁶⁾ | | | - 36 63 |
| 镍镉电池 | 60- 70 ⁽¹⁾ | - 10 ⁽¹⁾ | 1× 2. 000 ⁽⁷⁾ | 2. 5 | 0. 05 | - 55 |
| 氢镍电池 | 80- 85 ⁽¹⁾ | 60 ⁽¹⁾ | 1× 1. 500 ⁽⁷⁾ | 10- 15 ⁽¹⁾ | 0. 05 | - 91/ - 94 |
| | | | 0. 4× 4. 000 ⁽⁷⁾ | | | - 7. 6/ - 37 |
| 金属氢化物镍电池 | 55- 65 ⁽¹⁾ | 15- 25 ⁽¹⁾ | 1× 900 ⁽¹¹⁾ | 2- 4. 0 ^(5,11) | 0. 05 | - 75/ - 87 |
| | | | 0. 8× 2. 500 ⁽¹²⁾ | | | - 46/ - 72 |
| 锂离子电池 | 90- 95 ⁽¹⁾ | 2 ⁽¹⁾ | 1× 1. 000 ⁽⁷⁾ 0. 3× 20. 000 ⁽⁷⁾ | 4. 5 | 0. 05 | - 86 - 20 |
| 超级电容器 | 80- 95 ^(6- 10) | - 50 ^(8, 11) | 1× 200. 000 ^(10, 12) | 27 ⁽¹¹⁾ | 0. 05 | 247 |
| 全钒液流电池 | 70- 80 ^(5, 7) | 5- 10 ⁽¹⁾ | 1× 13. 000 ⁽⁵⁾ | 5- 10 | 0. 10 | 26/ - 30 |
| 多硫化钠溴液流电池 | 67 ⁽⁷⁾ | 5- 10 ⁽¹⁾ | 1× 2. 000 ⁽⁷⁾ | 1. 5- 2. 0 | 0. 10 | - 32/ - 48 |
| 锌溴液流电池 | 64 ^(5, 7) | 12- 15 ⁽¹⁾ | 1× 2. 500 ⁽⁵⁾ | 8. 0- 9. 5 | 0. 10 | - 83/ - 85 |
| 钠硫熔融电池 ¹⁾ (维持约 300 ℃) | 58- 62 ⁽¹⁻⁵⁾ | / | 1× 1. 500 ⁽⁷⁾ | 5. 0- 7. 0 ⁽⁵⁾ | 0. 10 | - 84/ - 88 |
| | | | 1× 3. 000 ⁽⁵⁾ | | | - 68/ - 77 |

从表1可知，大部分的化学电源不能在储能中取得收益，长寿命铅酸电池、超级电容器和全钒液流电池等循环寿命长的装置最终可能获得经济收益，因此，循环寿命和成本是化学电源是否能够在储能中获得经济利益的关键因素。

由YCC关系式可得到明确的启示：必须提高化学蓄电装置的循环寿命和降低成本，才能适应规模储能需求的发展。当然，拉开昼夜电价也是必须的。

电池技术的进步和电池相关材料的价格波动，都会影响储能用电池的基本性能，从而影响规模储能装置的经济效益指数。储能电池因规模巨大，大量生产后，原材料价格可能会大幅度变化。材料来源丰富的电池体系，可能具有更强的竞争优势。

YCC关系式将有助于储能装置选择和储能技术研究，从而能够推动可再生能源及电网蓄电的健康、有序发展。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/89729.html>