

最近，我和几位欧洲的同行交流，他们不约而同地提到一个现象：在追求风能太阳能高比例并网的同时，电网的波动性成了一个令人头疼的“甜蜜负担”。阳光不会总灿烂，风也不会一直吹，当间歇性的可再生能源发电占比超过一定阈值，如何保持电网的实时平衡与稳定，就成了一个硬核的工程挑战。这时，一种被称为“物理电池”的大型储能技术，正在德国、美国、加拿大等发达国家重新获得战略青睐——这就是压缩空气储能（CAES）。

## 发达国家压缩空气储能技术正成为电网稳定新支柱

最近，我和几位欧洲的同行交流，他们不约而同地提到一个现象：在追求风能太阳能高比例并网的同时，电网的波动性成了一个令人头疼的“甜蜜负担”。阳光不会总灿烂，风也不会一直吹，当间歇性的可再生能源发电占比超过一定阈值，如何保持电网的实时平衡与稳定，就成了一个硬核的工程挑战。这时，一种被称为“物理电池”的大型储能技术，正在德国、美国、加拿大等发达国家重新获得战略青睐——这就是压缩空气储能（CAES）。

你可能觉得这个概念有些复古。的确，世界上首座商业运行的压缩空气储能电站（德国Huntorf电站）早在1978年就已投运，它利用电网低谷时的富余电力驱动压缩机，将空气高压注入地下盐穴储存；在用电高峰时，释放高压空气驱动涡轮机发电。然而，传统的CAES技术有个“阿喀琉斯之踵”：它在释能发电过程中需要燃烧天然气来加热膨胀的空气，以提高效率，这并未完全摆脱化石燃料。但技术从未止步，新一代的绝热压缩空气储能（AA-CAES）和液态空气储能（LAES）技术，通过更复杂的热能回收与存储系统，正在努力摆脱对天然燃料的依赖，将“电-电”转换效率提升到新的水平。根据美国能源部先进能源研究计划署（ARPA-E）的相关报告，这些先进压缩空气储能系统的目标是将效率提升至60%以上，并具备数小时乃至数十小时的超长时储能能力，这对于平抑可再生能源数日级别的波动至关重要。

## 从物理原理到市场逻辑：为何是现在？

我们不妨用数据来说话。国际可再生能源机构（IRENA）的分析指出，到2050年，全球电力系统中储能装机容量需要增长到当前水平的35倍以上，才能支持深度脱碳的能源转型。这其中，锂离子电池因其快速响应和模块化部署的优势，在短时高频调节领域占据了主导地位，我们海集能在站点能源和工商业储能领域也大量应用了先进的锂电技术。然而，当我们把目光投向需要大规模、长周期、低成本储存能量的场景时，比如应对连续多日的无风或阴雨天气，锂离子电池的成本和寿命就面临挑战。这时，基于地理构造（如盐穴、废弃矿洞、含水层）的压缩空气储能，其单位容量的建设成本随着规模扩大而显著降低，且几乎不存在电化学反应衰减，使用寿命可达30-40年，其经济性逻辑在长时储能赛道中逐渐清晰起来。一个具体的案例或许能让我们看得更真切。在美国阿拉巴马州，由加拿大Hydrostor公司开发的先进压缩空气储能项目正在推进中。该项目利用一个废弃的硬岩矿洞来储存压缩空气，设计储能容量可达1吉瓦时以上，能够持续输出电力超过10小时。它的核心创新在于使用水来维持储气库的恒定压力，从而让系统效率更高、运行更稳定。这个项目并非孤例，它代表了北美市场对长时储能的一种务实选择：利用现有的、合适的地质结构，来打造一个巨型“空气电池”，为电网提供坚实的“压舱石”。这种思路，与我们海集能在为偏远无电网地区的通信基站提供“光储柴一体化”解决方案时，有异曲同工之妙——核心都是因地制宜，利用最可靠、最经济的本地资源（无论是地下的盐穴还是屋顶的阳光），构建起一套自治、稳定的能源系统。

说到这里，我想稍微岔开一下话题。我们海集能（上海海集能新能源科技有限公司）自2005年成立以来，一直深耕于储能技术的研发与应用。阿拉晓得，从电芯、PCS到系统集成与智能运维，我们构建了全产业链的能力。在江苏，我们布局了南通和连云港两大生产基地，一个擅长为特定场景定制化设计，另

一个则专注于标准化产品的规模化制造。这种“双轮驱动”的模式，让我们既能应对通信基站、安防监控等关键站点千差万别的需求，提供一体化集成的站点能源柜，也能为工商业和户用市场提供高效可靠的标准产品。我们理解，无论是前沿的压缩空气储能，还是我们日常专注的锂电储能，本质都是服务于同一个目标：让能源更智能、更绿色、更可靠。

## 技术竞合与未来图景

那么，压缩空气储能技术的兴起，会对现有的储能市场格局产生冲击吗？我的见解是，这更像是一种有益的补充与协同，而非简单的替代。未来的电力系统将是一个多技术融合的复杂生态系统。我们可以想象这样一幅图景：

**秒级至分钟级响应：**由飞轮储能、超级电容器等承担，保障电网频率的瞬时稳定。

**小时级调峰与备用：**这是锂离子电池等电化学储能的“主战场”，也是目前海集能产品矩阵重点发力的领域，尤其适合工商业峰谷套利和可再生能源平滑输出。

**数小时至数日级能量时移：**压缩空气储能、抽水蓄能乃至液流电池等长时储能技术将扮演核心角色，解决能源的“跨天”甚至“跨周”转移问题。

每一种技术都有其最适宜的应用场景和经济性“甜蜜点”。压缩空气储能的“复兴”，恰恰说明全球能源转型进入了更深水区，我们必须动用所有技术工具箱里的工具。它挑战的不是锂电的地位，而是传统化石能源调峰电站的角色。当这些大规模、长时段的“物理电池”网络建成后，整个电网接纳波动性可再生能源的能力将实现质的飞跃，我们离真正高比例的可再生能源时代也就更近了一步。

## 留给我们的思考

纵观全球，发达国家的能源战略已清晰地将长时储能列为关键基础设施进行布局。这背后，是深刻的系统思维和前瞻性投入。对于我们中国这样可再生能源资源丰富、电网规模庞大的国家而言，在大力发展抽水蓄能的同时，是否也应加速对适合我国地质条件的先进压缩空气储能等技术的研发与示范布局？毕竟，在通往碳中和的道路上，能够稳定“托底”的，不仅仅是政策与市场，更是那些沉静而有力的、深埋于地下的“空气能量仓库”。

最后，我想抛出一个开放性的问题：在您看来，当未来的某一天，我们身边的电网主要由风和光来驱动时，您最希望由哪种“看不见”的储能力量，来守护夜晚的灯火通明和工厂的持续运转呢？

来源: <https://www.hjaiot.com>