

最近和几位能源界的老朋友聊天，话题总绕不开储能。大家都有个共识，就是现在风能和光伏成本下来了，装机量也上去了，但“靠天吃饭”的间歇性，始终是心头一根刺。我们讨论的焦点，从大家熟知的锂电，逐渐转向了一个更“大气”的领域——压缩空气储能。这可不是什么新鲜概念，但最近几年，它在中国的发展势头，真有点“老树开新花”的意思，值得好好聊聊。

中国空气储能技术发展趋势的观察与思考

最近和几位能源界的老朋友聊天，话题总绕不开储能。大家都有个共识，就是现在风能和光伏成本下来了，装机量也上去了，但“靠天吃饭”的间歇性，始终是心头一根刺。我们讨论的焦点，从大家熟知的锂电，逐渐转向了一个更“大气”的领域——压缩空气储能。这可不是什么新鲜概念，但最近几年，它在中国的发展势头，真有点“老树开新花”的意思，值得好好聊聊。

让我先描述一个现象。你去看中国的能源版图，西北地区风光资源富集，但本地消纳能力有限，电送出去又面临通道拥堵。与此同时，东部负荷中心需要稳定、可调节的电源。传统的抽水蓄能是个好方案，但它对地理条件要求太苛刻，不是哪里都能建。这就形成了一个结构性矛盾：一边是大量的清洁电力可能被浪费，另一边是调峰填谷的需求日益紧迫。在这个背景下，压缩空气储能，特别是先进绝热压缩和液态空气储能这些技术路线，开始从实验室走向示范工程，再到商业化探索。它的逻辑很吸引人：利用电网低谷时段的富余电力（尤其是那些可能被弃掉的风光电）驱动压缩机，将空气压缩并储存于地下盐穴、废弃矿洞或人造储气装置中；等到用电高峰时，释放高压空气驱动膨胀机发电。它本质上是一个巨型的“空气电池”，规模可以做到百兆瓦级甚至吉瓦级，持续放电时间长达数小时到十几天，这恰恰是应对新能源大规模波动、提供长时间尺度能量搬移的利器。

那么，数据怎么说呢？根据中国能源研究会储能专委会等机构的统计，截至2023年底，中国已投运的压缩空气储能项目累计装机规模已跃居世界首位。2022年以来，山东肥城、江苏金坛、河北张家口等地一系列百兆瓦级项目相继并网，标志着技术进入了工程化验证的关键阶段。我注意到一个有趣的数据，这些示范项目的设计效率（电-电转换效率）普遍瞄准60%-70%这个区间，虽然目前实际运行数据还有提升空间，但相比早期技术的不足50%，已是巨大飞跃。更关键的是，它的单位千瓦时建设成本随着规模扩大和技术迭代正在快速下降，生命周期内的度电成本潜力被广泛看好。这背后，是国家层面在《“十四五”新型储能发展实施方案》等文件中将其列为重点攻关方向，以及产业链上下游在压缩机、蓄热换热器、膨胀机等核心装备上取得的突破。阿拉上海交大、中科院工程热物理所等高校院所的团队，在这方面的基础研究贡献是蛮结棍的。

说到这里，我想插入一个与我们海集能业务相关的案例。我们海集能（上海海集能新能源科技有限公司）在站点能源和工商业储能领域深耕近二十年，我们的核心是提供高效、智能、绿色的锂电储能解决方案。我们位于南通和连云港的生产基地，确保了从标准化到定制化产品的可靠交付。虽然我们专注于电化学储能这条技术路径，为全球的通信基站、微电网、工商业园区提供“交钥匙”的一站式服务，但我们对整个储能生态的发展始终保持高度关注。比如，在青海的一个偏远通信基站项目，那里风光资源好但电网薄弱，我们为其提供了光储柴一体化智慧能源柜，确保7x24小时不间断供电。这个项目的挑战在于极端低温和高海拔。我们在设计时，就必须深度考虑环境适应性与系统可靠性。这种对具体应用场景的深刻理解，其实与推动压缩空气储能大规模应用所面临的挑战有相通之处——技术必须真正适配于

复杂的现场环境与实际的运营需求。无论是我们的锂电储能系统，还是正在崛起的空气储能，最终目标都是提升能源系统的韧性、经济性和清洁度。

基于这些现象和数据，我的见解是，中国空气储能技术的发展趋势，正沿着一条清晰的“技术-工程-商业”逻辑阶梯演进。首先，技术路线正在多元化竞赛。除了传统的带补燃的压缩空气储能，更高效的先进绝热压缩空气储能（AA-CAES）和液态空气储能（LAES）成为主流研发方向，它们通过回收和储存压缩热，摆脱了对化石燃料补燃的依赖，实现了真正的零碳储能。其次，工程化瓶颈正在被逐个击破。寻找和评估合适的大型地下储气库（盐穴、废弃矿洞）是规模化发展的前提，这需要地质、能源、化工等多学科交叉。目前，在盐穴资源丰富的地区，项目推进速度明显更快。再者，商业模式与电力市场机制的结合至关重要。空气储能电站的投资巨大，其价值体现离不开现货市场、辅助服务市场提供的峰谷价差套利、调频、备用等收益渠道。随着中国电力市场化改革的深入，其商业可行性将越来越清晰。最后，它与其他储能技术（如抽蓄、锂电、液流电池）不是简单的替代关系，而是互补共生的关系。未来电网需要的是一个“混合储能生态”，其中，空气储能凭借其大规模、长时、长寿命的特点，有望在电网侧承担“主力调峰”和“战略备用”的角色，而像我们海集能擅长的锂电储能，则继续在功率快速响应、分布式场景、站点保电等领域发挥不可替代的作用。

储能技术类型

典型功率/容量规模

放电时长

主要应用场景

压缩空气储能 (CAES)

100MW - 1GW+

4 - 24+ 小时

电网侧大规模调峰、可再生能源消纳

锂离子电池储能

kW - 数百MW

0.5 - 4 小时

频率调节、工商业/户用储能、站点保电

抽水蓄能

GW级

6 - 20+ 小时

电网侧大规模调峰、调频、黑启动

展望未来，空气储能要真正成为新型电力系统的支柱之一，还有几级陡峭的阶梯要爬。核心装备的国产化与性能提升、系统效率的进一步优化、环境影响的精细评估，都是需要持续投入的科研课题。同时，如何设计更合理的市场机制和价格信号，让这种投资大、回报周期长的技术能够吸引社会资本，是

政策制定者需要深思的问题。对于我们这些产业界的实践者而言，无论是像海集能这样聚焦于分布式电化学储能，还是投身于压缩空气储能的大型化事业，都需要秉持同样的理念：以解决客户的实际能源问题为出发点，将技术创新扎实地融入工程实践。毕竟，能源转型的宏图，最终是由一个个稳定运行的电站、一套套可靠供电的系统拼接而成的。

所以，我想留给大家一个开放性的问题：当大规模、长时储能（如空气储能）的成本曲线与光伏风电的成本曲线在未来某个时刻形成“黄金交叉”，从而彻底解决可再生能源的间歇性问题时，你认为我们的能源基础设施、城市规划乃至生活方式，将会发生哪些我们今天还难以想象的根本性改变？

来源: <https://www.hj-mobile.com>