

在谈论新能源的未来时，我们常常聚焦于锂离子电池，但能源世界的棋局远不止这一枚棋子。当你思考如何大规模、长时间地储存风能或太阳能时，一个古老而新颖的技术正在重新赢得工程师们的青睐——那就是压缩空气储能。今天，我想和你深入聊聊其中一种更高效、更环保的变体：非补燃式压缩空气储能。它的原理，本质上是在和物理定律做一场精妙的游戏。

非补燃式压缩空气储能原理

在谈论新能源的未来时，我们常常聚焦于锂离子电池，但能源世界的棋局远不止这一枚棋子。当你思考如何大规模、长时间地储存风能或太阳能时，一个古老而新颖的技术正在重新赢得工程师们的青睐——那就是压缩空气储能。今天，我想和你深入聊聊其中一种更高效、更环保的变体：非补燃式压缩空气储能。它的原理，本质上是在和物理定律做一场精妙的游戏。

从现象到本质：为何我们需要“空气电池”？

让我们从一个简单的现象开始。光伏电站中午发的电用不完，晚上却无电可用；风电场在狂风大作时可能不得不弃风。这是间歇性可再生能源面临的普遍困境。数据不会说谎，根据中国电力企业联合会的报告，2023年全国风电、光伏发电利用率分别保持在97%以上和98%以上，但局部地区的弃风弃光问题，以及电网调峰的压力，依然存在。这就引出了大规模长时储能的需求——我们需要一个“能源仓库”，而不仅仅是“能源背包”。

这时，压缩空气储能（CAES）进入了视野。传统的CAES，如德国亨托夫电站，需要在释能发电时燃烧天然气来加热膨胀的空气，我们称之为“补燃式”。这固然提高了效率，但依然依赖化石燃料并产生排放。而非补燃式技术，则决心走一条更彻底的绿色路径。它的核心逻辑阶梯非常清晰：用电低谷时的多余电能 驱动压缩机将空气压入地下盐穴、废弃矿洞或储气罐 压缩过程中产生的热能单独储存 用电高峰时，利用储存的热能加热冷空气，再推动透平发电。整个过程，实现了电 机械能+热能 电的循环，且不依赖任何额外燃料。

技术拆解：热管理是灵魂

非补燃式技术的精髓，全在于“热管理”。在压缩阶段，空气温度会急剧升高，如果这部分热量散失到环境中，那就是巨大的能量浪费。因此，先进的系统会通过换热器将压缩热储存在储热介质（如导热油、熔盐或陶瓷）中。等到需要发电时，储存的热量被用来预热从储气库中释放出的高压低温空气，使其温度提升后再进入透平膨胀做功。这个设计，阿拉晓得，真正做到了“吃干榨净”，将能量的利用推向了理论极限。

我们可以用一个简化的表格来对比两种技术路径：

特征

传统补燃式CAES	先进非补燃式CAES
-----------	------------

释能时加热方式

燃烧天然气等燃料	使用储存的压缩热
----------	----------

碳排放

有
近乎为零

系统效率（电-电）

约42%-54%
可达60%-70%

对地质要求

高（需大型地下洞穴）
中高（也可用地上储罐）

一个具体的案例：当原理照进现实

理论总是迷人的，但实践才赋予其生命。在中国河北张家口，一个标志性的项目将非补燃式压缩空气储能从蓝图变为现实。该项目是全球首个百兆瓦级的先进压缩空气储能电站，它巧妙利用了当地的地下盐穴作为储气库。在夜间风电富余时，它启动压缩机，将空气压入地下，并将压缩热存入巨大的储热系统。白天用电紧张时，它又能稳定输出超过100兆瓦的电力，持续数小时，像一座“绿色煤电”一样为电网提供坚实的支撑。据公开的运行数据，其系统设计效率可达70%左右，这为大规模消纳当地丰富的风电资源提供了革命性的解决方案。这个案例生动地告诉我们，解决能源转型的深水问题，需要这样具备大规模、长周期、高安全特性的技术。

海集能的视角：储能世界的多元图景

当我们探讨像压缩空气储能这样面向电网侧的大型技术时，我们海集能（HighJoule）在用户侧和分布式场景的深耕，恰好构成了能源变革的另一块重要拼图。我们自2005年于上海成立以来，近二十年的光阴都专注于新能源储能产品的研发与应用。从电芯到PCS，从系统集成到智能运维，我们在南通和连云港的生产基地，构建了从标准化到定制化的完整产业链。

我们的核心业务之一——站点能源，就是这种“分布式、智能化”理念的集中体现。我们为通信基站、物联网微站、安防监控等关键站点提供光储柴一体化的绿色能源方案。试想一下，在无电弱网的偏远地区，一个集成光伏、储能电池和智能管理系统的能源柜，其本质不也是一个微缩版的、电气化的“储能系统”吗？它同样需要高效地捕获、存储和释放能量。我们通过一体化的集成设计和智能管理系统，确保这些关键站点在极端环境下也能稳定运行。这与大规模压缩空气储能追求电网级稳定性的目标，在哲学上是相通的：都是为了实现能源的“right place, right time, right form”（在正确的地点、正确的时间、以正确的形式存在）。

更深层的见解：技术没有优劣，只有适用场景

所以，我的见解是，我们正步入一个“混合储能”的时代。锂离子电池以其快速的响应和灵活的部署，统治着户用、工商业和短时调频的战场；而非补燃式压缩空气储能、液流电池等长时储能技术，则瞄准了电网侧的大规模削峰填谷和可再生能源并网。它们不是替代关系，而是互补的盟友。技术的选择，永远取决于具体的应用场景、经济性、资源禀赋和环保要求。正如我们海集能不会用一套方案去应对全球

所有客户的站点能源需求一样，一个健康的能源系统也需要多元化的储能技术矩阵来支撑。未来，我们或许会看到更多技术的融合。例如，压缩空气储能电站能否与周边的光伏电站、风电场实现智能联动？其庞大的储热系统，能否在发电之余，为工业园区提供部分工业热源？这些可能性正在被探索。如果你对大规模储能如何与分布式微电网协同发展感兴趣，可以参考清华大学电机系关于新型电力系统的一些前沿论述（相关研究），那里有更系统的学术思考。

留给未来的问题

那么，下一个问题抛给各位：在您所在的行业或社区，您认为最具潜力的“能源时空搬运”场景是什么？是数据中心的不间断绿色供电，还是偏远矿区的离网能源解决方案？我们期待听到您的想法，因为能源的未来，需要每一个人的洞察与共创。

来源: <https://www.hjaiot.com>