

在探讨能源转型的诸多路径时，我们常常将目光聚焦于电池储能。然而，在规模化和长时储能领域，一种基于物理原理的技术正重新获得青睐——它利用空气的压缩与膨胀来储存和释放能量。今天，我们就来聊聊压缩空气储能（CAES）中一个关键且精妙的部分：热能利用。这不仅是工程学上的一个挑战，更是提升整个系统效率的灵魂所在。

## 压缩空气储能热能利用原理

在探讨能源转型的诸多路径时，我们常常将目光聚焦于电池储能。然而，在规模化和长时储能领域，一种基于物理原理的技术正重新获得青睐——它利用空气的压缩与膨胀来储存和释放能量。今天，我们就来聊聊压缩空气储能（CAES）中一个关键且精妙的部分：热能利用。这不仅是工程学上的一个挑战，更是提升整个系统效率的灵魂所在。

让我们从一个现象说起。当你给自行车轮胎打气时，会感觉到气筒发热，这是因为你对空气做功，将其压缩，机械能转化为了空气的内能，表现为温度升高。反过来，如果让高压气体迅速膨胀，比如从轮胎中放气，气嘴处会变得很凉，因为气体膨胀需要吸收热量，导致温度骤降。这就是最基本的物理原理：气体被压缩时发热，膨胀时吸热。在工业级的压缩空气储能中，这个“热”如何处理，直接决定了系统的生死存亡。

### 效率的困局与热能的钥匙

传统的压缩空气储能电站，比如世界上早期投运的设施，在压缩空气时会产生大量热能。如果不加处理，这些热量就白白散失到环境中了。等到需要发电时，被压缩的冷空气需要重新加热才能驱动涡轮机高效做功，通常需要额外燃烧天然气来补热。你看，这就像一个辛苦攒钱却要付高额手续费才能取现的账户，整体往返效率往往只有40%-50%左右。这个数据，对于追求绿色高效的今天，显然是不够理想的。

那么，钥匙在哪里？答案就在于“热能管理”，或者说“储热”。先进的压缩空气储能技术，其核心进步正是围绕“保存并再利用压缩热”展开的。这其中的逻辑阶梯非常清晰：

现象层面：压缩生热是必然的物理结果。

数据层面：未经回收的压缩热损失，是导致系统效率低下的主要因素。

技术方案层面：通过热交换器，在压缩阶段将产生的热量捕获，并储存于储热装置（如导热油、熔盐或陶瓷材料）中。

效能层面：发电时，不再需要或仅需少量外部燃料，而是利用储存的热量来预热膨胀前的冷空气，从而大幅提升系统效率。理论上，带储热的先进压缩空气储能系统，其往返效率可提升至60%-70%甚至更高。

这个原理听起来简单，但工程实现上需要应对高温高压、材料耐受、热循环效率等一系列挑战。它要求对热力学和系统集成有极其深厚的功底。说到这里，我不得不提一下我们海集能。在近二十年的储能技术深耕中，我们深刻理解“系统集成”与“能效优化”的价值。从电芯到PCS，从电池管理系统到复杂的能源物联网，我们始终在思考如何将每一份能量更智慧地转化、存储与利用。虽然我们目前的核心业务聚焦于电化学储能的站点能源与户用、工商储领域，但我们对各种储能技术路线的原理与前沿保持密切关注。这种对“能量流”本质的洞察，贯穿于我们为通信基站、物联网微站提供的“光储柴一体化

”解决方案中——本质上，我们都是在解决能量的捕获、存储、转换与高效释放的命题。

一个具体的想象：如果应用于微电网

让我们设想一个案例。在某偏远地区的矿场或岛屿微电网，需要稳定、大规模的长时储能来平抑可再生能源的波动。一套基于压缩空气储能（带储热）的系统可以这样工作：

## 阶段

### 过程

#### 热能利用关键动作

#### 充电（储能）

利用风光过剩电力驱动压缩机，将空气压入地下盐穴或储气罐。  
压缩产生的热量被热交换器及时捕获，储存于高温储热罐中。

#### 放电（释能）

需要电力时，释放高压空气。

冷空气在进入膨胀涡轮机前，先流经储热罐，吸收之前储存的热量，升温增压，从而高效做功发电。

这个过程中，原本会被废弃的热能变成了宝贵的驱动能源。根据一些示范项目的运行数据，通过这样的储热循环，可以节省发电阶段约60%以上的化石燃料消耗，使得整个储能过程更加清洁、经济。当然，阿拉晓得，具体数据会因地质条件、系统设计而有差异，但原理带来的效率增益方向是明确的。

## 超越技术本身的见解

所以，当我们谈论压缩空气储能的热能利用原理时，我们实际上在谈论一种哲学：对能源的尊重与物尽其用。在“双碳”目标下，任何一种储能技术都不是孤立的，其价值在于能否在更宏大的能源系统里，扮演好“搬运工”和“缓冲器”的角色，并且尽可能少地在搬运过程中“洒落”能量。热能回收，正是减少这种“洒落”的高明手段。它启示我们，未来的能源系统必然是多种技术耦合的、智能协同的系统。就像我们海集能在站点能源领域所做的，将光伏、储能电池、发电机和智能管理系统一体化集成，本质上也是通过对不同能源载体的特性进行互补优化，来实现供电可靠性最高、能耗成本最低的目标。道理是相通的，对伐？

这种对系统效率的极致追求，推动着我们不断探索。从上海的研发中心到南通、连云港的生产基地，我们致力于将高效、智能、绿色的能源解决方案带给全球客户。无论是为无电地区的通信基站送去稳定电力，还是为工商业园区管理复杂的能源流，我们都在实践着“让每一度电都发挥更大价值”的理念。或许在不久的将来，当压缩空气储能技术更加成熟、成本更具竞争力时，我们也能看到它与电化学储能、抽水蓄能等一起，在构建新型电力系统的舞台上各展所长。

那么，在您看来，除了压缩热回收，还有哪些看似“废能”的环节，在未来智慧能源网络中具有巨大的回收利用潜力呢？

---

来源: <https://www.hjaiot.com>