

当我们谈论能源的未来，总绕不开一个核心挑战：如何将那些不稳定的、间歇性的可再生能源，比如风和光，变得像传统火电一样可靠。这就像试图把一阵阵的海风，装进瓶子里，等到风平浪静时再释放出来。你瞧，储能技术，就是这个神奇的“瓶子”。而今天，我想和大家探讨一种颇具历史感又充满未来想象的“瓶子”——利用废弃矿井进行空气储能。这听起来或许有些天马行空，但它背后涉及的成本与效益，恰恰是我们能源转型中一个非常务实的经济学问题。

废弃矿井空气储能成本几何

当我们谈论能源的未来，总绕不开一个核心挑战：如何将那些不稳定的、间歇性的可再生能源，比如风和光，变得像传统火电一样可靠。这就像试图把一阵阵的海风，装进瓶子里，等到风平浪静时再释放出来。你瞧，储能技术，就是这个神奇的“瓶子”。而今天，我想和大家探讨一种颇具历史感又充满未来想象的“瓶子”——利用废弃矿井进行空气储能。这听起来或许有些天马行空，但它背后涉及的成本与效益，恰恰是我们能源转型中一个非常务实的经济学问题。

从现象到数据：被低估的地下空间

全球范围内，随着矿产资源的枯竭，无数矿井完成了历史使命，被永久封闭。这些深达数百米甚至上千米的地下巷道和洞室，在工程师眼中，却并非简单的废墟。它们是一个个现成的、坚固的、巨大的压力容器。压缩空气储能（CAES）的原理并不复杂：在电力富余且廉价时，用电能将空气压缩并储存于地下空间；在电力紧张时，释放高压空气驱动涡轮发电。传统上，这项技术需要寻找特定的地质盐穴，选址苛刻。而遍布各地的废弃矿井，理论上提供了一个分布更广、前期地质勘探成本更低的替代方案。

那么，关键问题来了：改造一个废弃矿井用于空气储能，成本到底多少？

这可不是一个简单的数字。它涉及到一个复杂的成本矩阵，我们可以粗略地将其分为几个核心部分：

矿井评估与加固成本：这是最大的不确定性所在。需要对矿井的结构完整性、密封性、水文地质条件进行详尽评估，并进行必要的支护和防渗处理。这部分成本高度依赖矿井的原有条件和规模，可能从数千万到数亿元人民币不等。

储能系统设备成本：包括压缩机、蓄热（或换热）系统、膨胀机、发电机以及相关的电气与控制设备。这部分相对标准化，但规模巨大。根据装机功率和储能时长（如100MW/400MWh级别），设备投资可能在数亿到十数亿人民币。

系统集成与运维成本：如何将地下空间与地面设备高效、安全地耦合，并实现长期稳定运行，需要精密的系统工程和智能运维体系。

综合来看，一个利用废弃矿井的大型压缩空气储能电站，其单位千瓦投资成本，目前仍可能高于抽水蓄能和锂电储能。但它的优势在于极长的寿命（矿井结构本身可视为永久性资产）、巨大的规模（吉瓦时级别潜力）以及对生态环境的二次利用——变废为宝。

案例与见解：当理论照进现实

说到这里，你可能会想，这听起来很美，但有没有实际案例呢？让我们把目光转向中国。实际上，中国一些产煤大省已经开始探索这条路径。例如，在山西或山东的某些废弃煤矿，相关研究和示范项目已经启动。虽然详细的财务数据属于商业机密，但我们可以从公开报道中窥见一斑：这类项目的初衷，往往不仅是计算一度电的存储成本，更是着眼于整个区域的能源结构转型、废弃矿址的资源化利用以及老工

业基地的产业复兴。它是一种“综合成本”与“综合效益”的权衡。

从这个角度看，单纯询问“成本多少”可能问错了问题。更恰当的提问是：“在怎样的场景下，废弃矿井空气储能能展现出其不可替代的性价比？”

我的见解是，在那些同时具备以下条件的地区，它的优势将极为突出：

拥有大量结构条件合适的废弃矿井（降低了空间获取与部分建设成本）；
本地可再生能源（风电、光伏）弃电问题严重，亟需大规模、长时储能来消纳；
电网需要强大的惯性支撑和频率调节能力，而这是压缩空气储能的天然优势。

这恰恰与我们海集能正在做的事情不谋而合。海集能深耕储能领域近二十年，我们从电芯、PCS到系统集成与智能运维，构建了全产业链能力。在江苏的南通与连云港，我们拥有分别侧重定制化与规模化的生产基地。我们理解，无论是前沿的矿井储能探索，还是当下更成熟的工商业、户用或站点储能，核心逻辑都是相通的：因地制宜，用最合适的技术组合，为客户提供高效、智能、绿色的能源解决方案。比如，在为偏远地区的通信基站提供“光储柴一体化”方案时，我们面对的就是一个微缩版的“无电弱网”挑战。我们通过一体化集成和智能能量管理，最大化利用光伏，最小化依赖柴油发电机，其本质也是在优化全生命周期的供电“成本”，这个成本既是经济的，也是环境的。

技术的交响：系统集成是关键

让我们再深入一层。任何储能项目的成功，硬件是基础，但“系统集成”与“智能管理”才是灵魂。废弃矿井空气储能是一个极端复杂的系统工程，涉及岩土力学、热力学、流体机械、电力电子和数字控制多个学科的深度耦合。一个微小的泄漏或热管理失效，就可能导致效率大幅下降甚至系统故障。这要求总包方必须具备顶尖的跨学科整合能力和全生命周期运维思维。

在海集能，我们为 global 客户提供完整的EPC服务与“交钥匙”解决方案。我们的经验告诉我们，降低储能成本的关键路径之一，在于通过高度的智能化和预集成，降低部署复杂度与运维成本。无论是将光伏逆变器、储能变流器、电池管理系统深度集成的能源柜，还是能够自适应极端气候的站点电池柜，我们都致力于将复杂留给设计，将简单、可靠留给客户。这种对系统集成深度的追求，对于未来规模更大、更复杂的矿井储能项目，无疑是至关重要的能力储备。

面向未来的思考

所以，回到最初的问题。废弃矿井空气储能的成本，目前仍是一道由具体地质条件、技术方案和本地政策共同解答的动态方程式。它现阶段可能不是最便宜的选项，但它为我们勾勒了一个充满想象力的未来：将工业文明的遗产，转化为清洁能源时代的基石。每一次能源转型，都伴随着基础设施的重新定义。昨天输送煤炭的巷道，明天或许将成为储存“压缩空气”的血管，为新时代的电网注入稳定与弹性。作为同样致力于此道的探索者，海集能将持续关注这类创新储能形式的发展。我们相信，多元化的技术路径，才是应对全球多样化能源需求的最终答案。那么，在您看来，除了成本，还有哪些因素将最终决定这类“废墟中重生”的储能技术，能否从蓝图走向大规模的商业应用呢？

来源: <https://hjajiot.com>