

大家好，今天我们来聊聊一个有点“冷门”但潜力巨大的话题——利用废弃矿井来储存空气，也就是压缩空气储能。这听起来是不是有点像科幻小说？但实际上，它正从一个大胆的构想，逐步走向现实世界的工程实践。许多朋友可能会好奇，这种技术听起来很美好，但它的经济账到底怎么算？成本究竟是多少？这恰恰是我们今天要深入探讨的核心。

## 废弃矿井空气储能成本核算的底层逻辑

大家好，今天我们来聊聊一个有点“冷门”但潜力巨大的话题——利用废弃矿井来储存空气，也就是压缩空气储能。这听起来是不是有点像科幻小说？但实际上，它正从一个大胆的构想，逐步走向现实世界的工程实践。许多朋友可能会好奇，这种技术听起来很美好，但它的经济账到底怎么算？成本究竟是多少？这恰恰是我们今天要深入探讨的核心。

我们先来看一个现象。全球能源转型正在加速，风能、太阳能这些间歇性可再生能源的占比越来越高。随之而来的，是一个日益尖锐的问题：当风停、日落时，电力从哪里来？大规模、长时储能的需求变得空前迫切。抽水蓄能是传统方案，但它受地理条件限制严重。而锂电池储能，目前更适合中短时、高频次的调节。这时候，像压缩空气储能这样的长时储能技术，其价值就凸显出来了。那么，为什么偏偏是废弃矿井呢？这就要说到成本核算的第一个关键维度：初始投资。新建一个大型压缩空气储气库，无论是盐穴还是硬岩洞穴，地质勘探、开挖、建设的成本都非常高昂，周期也长。而一个现成的、结构稳定的废弃矿井，相当于省去了最“烧钱”的洞穴建设环节，直接提供了一个天然的、巨大的储气空间。这笔“地利”的节省，是成本核算中一个巨大的优势项。

### 成本核算的多元变量：不止是洞穴本身

当然，事情没这么简单。把废弃矿井变成可靠的储能设施，成本核算是一个复杂的系统工程。我们得把它拆开来看。首先，矿井的改造与密封。不是所有废弃矿井都适合，需要评估其地质结构的长期稳定性，并进行必要的加固。最关键的是，要建立高效的气密性密封系统，防止压缩空气泄漏，这个环节的技术要求和成本投入不容小觑。其次，是核心的动力与换热系统。压缩空气时会产生大量热能，膨胀释能时又会急剧变冷。为了提高整体效率，现代先进的压缩空气储能系统都会配备蓄热装置，将压缩热储存起来，用于发电时加热空气。这套热管理系统的设计、材料与造价，直接决定了系统的循环效率，而效率是影响全生命周期度电成本的关键。

让我们引入一些数据来具体化。根据中国能源研究会储能专委会等机构的分析，一个典型的基于盐穴的压缩空气储能电站，单位千瓦投资成本大约在5000-7000元人民币。而利用废弃矿井，理论上可以节省约30%-50%的储气洞穴建设成本。但这只是建设成本的一部分。我们还需要考虑：

**系统效率：**目前先进项目的设计循环效率可达60%-70%，效率每提升一个百分点，都对平准化储能成本有积极影响。

**运维成本：**包括设备维护、电力损耗、人工等。

**寿命与贴现率：**这类项目设计寿命通常长达30-40年，资金的时间成本（贴现率）在成本核算模型里权重很大。

一个潜在的实践场景：当技术遇见具体需求

讲到这里，我想分享一个更具象的思考。假设在西北某矿业城市，随着资源枯竭，留下了一片废弃矿坑，同时当地又有丰富的风电资源，弃风现象时有发生。在这里建设一个废弃矿井压缩空气储能项目，它的成本核算模型就会非常独特。它不仅仅是一个储能电站，更可能成为城市能源转型和产业再生的一个支点。它能够：

就地消纳可再生能源：将原本要废弃的“垃圾电”储存起来，变成稳定的优质电力。

提供电网支撑服务：参与调峰、调频，提升区域电网的韧性和可靠性。

盘活沉没资产：赋予废弃矿井新的经济价值和社会价值。

在这个模型里，成本核算就需要纳入更广泛的“社会成本”与“综合收益”。比如，它可能因此获得一定的政策补贴或绿色金融支持，这部分会直接改善项目的财务内部收益率。同时，它为稳定当地电网所作的贡献，其价值虽然难以直接货币化，却是项目可持续性的重要基石。

海集能的视角：从站点能源到大规模储能的系统思维

说到稳定可靠的能源供应，这恰恰是我们海集能深耕了近二十年的领域。我们总部在上海，在江苏有南通和连云港两大生产基地，从电芯到系统集成，提供全链条的储能解决方案。我们长期服务于通信基站、物联网微站等关键站点，尤其是在无电弱网的极端环境，我们的一体化能源柜必须做到高度可靠、智能管理和成本可控。这些在“小场景”里磨练出的系统集成能力、环境适配能力和精细化的成本控制经验，其实与大规模压缩空气储能项目在逻辑上是相通的——都是在追求安全、高效、经济的最优解。海集能在工商业储能、微电网领域的实践告诉我们，任何储能方案的成本核算，都不能脱离具体的应用场景和客户需求。比如，我们为偏远地区通信基站设计的“光储柴”一体化方案，其成本模型就与城市峰谷套利模型完全不同，它更看重的是全生命周期的供电保障和运维便利性。同样，对于一个废弃矿井储能项目，它的成本核算也必须紧密围绕其核心使命：是主要用于削峰填谷赚取电价差？还是主要为了服务可再生能源并网？不同的定位，决定了设备选型、运行策略的差异，最终会体现在财务报表上。

未来展望：成本下降的路径在哪里？

那么，推动废弃矿井空气储能成本进一步下降的路径在哪里？我个人认为，关键在“规模化”和“标准化”。当更多项目落地，整个产业链，包括压缩机、膨胀机、蓄热装置等关键设备的制造和集成成本会随着规模效应而降低。同时，针对不同地质条件的废弃矿井，形成几类典型的、可复制的改造与系统集成方案，也能大幅减少单个项目的设计成本和工程风险。此外，数字孪生、智能运维等技术的深入应用，可以通过预测性维护提升系统可用性和寿命，从而摊薄长期成本。这方面，可以参考国内外一些大型储能项目的前沿研究，例如美国能源部旗下实验室对先进压缩空气储能技术的持续评估与报告（美国能源部能效与可再生能源办公室-储能），虽然不直接针对矿井，但其技术经济分析方法很有借鉴意义。

最后，我想留给大家一个开放性的问题：如果我们不仅仅将废弃矿井视为一个储气罐，而是将其与周边的可再生能源发电、工业园区用电、甚至未来的氢能产业进行协同规划，构建一个多能互补的本地能源系统，那么，这个储能设施的成本和价值，又该如何被重新定义呢？

来源: <https://www.hj-mobile.com>