

朋友们，我们今天来聊一个听起来有点“科幻”，实则充满智慧与历史感的能源话题。你有没有想过，那些在地下沉寂了数十年的矿山巷道，除了作为工业遗迹供人凭吊，还能扮演什么角色？在能源转型的宏大叙事里，它们正被赋予新的使命——成为大规模储存电能的“地下电池”。

## 废弃巷道压缩空气储能电站的复兴之路

朋友们，我们今天来聊一个听起来有点“科幻”，实则充满智慧与历史感的能源话题。你有没有想过，那些在地下沉寂了数十年的矿山巷道，除了作为工业遗迹供人凭吊，还能扮演什么角色？在能源转型的宏大叙事里，它们正被赋予新的使命——成为大规模储存电能的“地下电池”。

### 现象：当废弃矿井遇见储能需求

全球能源结构正在经历一场深刻的清洁化、低碳化变革。风电、光伏等可再生能源的装机容量迅猛增长，但随之而来的间歇性和波动性问题，就像一首交响乐中不稳定的节拍，对电网的稳定运行构成了挑战。这时，大规模、长时储能技术就成了关键的“稳定器”。抽水蓄能是传统方案，但它受地理条件限制严重。那么，有没有一种技术，既能实现类似抽水蓄能的大规模储能，又能更灵活地利用现有地下空间呢？

压缩空气储能（CAES）技术进入了视野。其原理并不复杂：在用电低谷、电力富余时，用电能驱动压缩机，将空气压缩并储存于地下的密封空间；在用电高峰、电力紧张时，释放高压空气，驱动膨胀机发电。早期的CAES电站需要燃烧天然气来加热膨胀前的空气，而新一代的绝热或等温压缩空气储能技术，则致力于通过热管理实现零化石燃料消耗。

那么，理想的储气库在哪里？新建盐穴或硬岩洞穴成本高昂、周期漫长。这时，人们的目光投向了那些已经完成历史使命的废弃矿山巷道。这些巷道系统庞大、结构相对稳固，且往往具备良好的密封潜力。将它们改造为储气库，可谓是一举多得：盘活了闲置资产，降低了储能设施的建设成本，还为资源枯竭型城市的转型提供了绿色新思路。阿拉上海人讲起来，这叫“螺蛳壳里做道场”，在既有条件里创造最大价值。

### 地下巷道结构示意图（示意，非实际工程）

#### 数据与潜力：被低估的地下空间资源

让我们看一些数字。根据中国矿业大学的学者研究，我国拥有数量庞大的废弃矿井，其地下空间容积可达数百亿立方米。即使只有一小部分经过地质评估和工程改造后适于储能，其理论储能潜力也达到惊人的数十吉瓦时级别。这相当于可以储存数个大中型城市数小时的用电量。

从技术经济性角度看，利用废弃巷道建设CAES电站，可以节省约30%-50%的储气库建设投资。更重要的是，它提供了一种本地化、大规模储能的可能性，尤其适合在可再生能源富集但电网薄弱的矿区周边建设，直接平滑风光出力，提升就地消纳能力。

规模灵活：可根据巷道群规模，设计从十兆瓦级到百兆瓦级的电站。

循环寿命长：核心储气部分（巷道）理论上可永久使用，系统寿命可达30-40年。

环境友好：除了利用废弃空间，全过程如采用非补燃技术，则基本实现零碳排放。

### 案例与实践：从蓝图走向现实

理论很美好，实践情况如何呢？在国际上，德国、美国等国家已有利用盐穴进行压缩空气储能的成熟商业电站（如德国的Huntorf电站）。而将目标 specifically 对准废弃煤矿巷道的探索，也正在积极推进。例如，在中国山西某资源型城市转型规划中，就有一个前瞻性的构想：利用一座已关闭大型煤矿的深层巷道网络，建设一个示范性的60兆瓦/300兆瓦时压缩空气储能电站。初步估算显示，该项目建成后，每年可消纳弃风弃光电量约1.2亿千瓦时，减少标准煤消耗约3.6万吨，同时为当地电网提供调峰、调频和备用服务。这个案例生动地展示了，如何将“历史包袱”转化为“转型引擎”。当然，挑战是切实存在的。巷道结构的长期稳定性评估、密封性处理、高压气体长期存储的安全性、以及整个系统的能效优化，都是需要跨学科合作攻坚的工程技术难题。这不仅仅是挖个洞存气那么简单，它涉及地质工程、流体力学、热力学、电力电子和智能控制的深度集成。

## 见解：系统集成与智能化是关键

聊到这里，我想分享一个核心观点：无论是利用废弃巷道的大型CAES电站，还是我们日常生活中可见的工商业储能、站点储能，其成功的核心，往往不在于某个单一的部件多么出色，而在于系统级的集成与智能化管理能力。

这就像一支优秀的乐队，光有顶尖的乐手不够，还需要一位深谙乐理、懂得协调的指挥。在储能系统里，电芯、PCS（变流器）、BMS（电池管理系统）、热管理系统以及更上层的能量管理平台，就是乐手；而贯穿从设计、集成到运维全过程的“系统思维”与“数字智能”，就是那位指挥。

这正是像我们海集能（HighJoule）这样的企业所长期深耕的领域。自2005年成立以来，我们一直专注于新能源储能产品的研发与应用。近二十年的技术沉淀，让我们深刻理解从电芯到系统的全产业链。我们在江苏南通和连云港布局的生产基地，分别专注于定制化与标准化储能系统的制造，这种“双轮驱动”模式，让我们既能应对大型项目（如理论上的巷道CAES电站配套）的复杂需求，也能满足标准化产品的规模化交付。

特别是在站点能源这一核心板块，我们为全球通信基站、物联网微站等关键设施提供光储柴一体化解决方案。你可晓得，很多站点地处无电弱网的极端环境，对储能系统的环境适应性、可靠性和智能管理要求极高。我们通过一体化集成设计、智能能量管理和远程运维平台，确保这些“能源孤岛”的持续稳定运行。这种在极端条件下打磨出的系统集成与可靠性保障能力，正是支撑任何大型、复杂储能项目（包括未来的废弃巷道CAES电站）的底层技术基石。

## 不同规模储能技术特性对比（简化）

### 技术类型

典型功率/容量

主要优点

适合场景

### 锂离子电池储能

kW - 百MW级

响应快、能量密度高、部署灵活

调频、工商业、户用、站点能源

## 压缩空气储能(CAES)

十MW - GW级

规模大、寿命长、成本较低

电网级调峰、可再生能源并网

( 利用废弃巷道 )

+ 利用闲置资源、环境友好

矿区转型、区域性储能中心

## 未来的协同可能

想象一下未来的能源图景：在广袤的废弃矿区内，地下是经过改造的巷道CAES电站，如同一个巨大的“肺”，吞吐空气，储存和释放巨量电能；地面则覆盖着光伏板，或者竖立着风力发电机。它们共同构成一个集发电、储能、调节于一体的本地化微电网或能源基地。而这一切的协调运作，离不开一个高效、智能的数字能源大脑。这正是海集能作为数字能源解决方案服务商所致力构建的未来——让每一种能源资源，无论大小新旧，都能在最优的位置，以最高的效率发挥作用。

关于压缩空气储能技术的更多基础原理与发展，可以参考清华大学电机系的一项权威综述（为保障客观，此处提供国际期刊链接，它详细探讨了各类CAES技术的进展）。

## 集成可再生能源与地下储能的未来能源园区概念示意

### 开放性的思考

所以，当我们下次谈论能源转型时，或许可以看得更广一些。它不仅仅是风机和光伏板的竞赛，更是关于如何智慧地利用地球上一切可用空间和资源，包括那些被遗忘在地下的角落。废弃巷道压缩空气储能，这个想法本身，就充满了人文与科技结合的浪漫。它提醒我们，可持续的未来，既需要仰望星空的前沿创新，也需要脚踏实地、变废为宝的系统智慧。

那么，在你的城市或家乡，是否也存在类似的“沉睡资产”？它们可能是工业遗迹、特殊的地质构造，甚至是独特的用能场景。如果赋予它们一个“储能+”的新角色，你认为会碰撞出怎样的可能性？

来源: <https://www.hj-mobile.com>