

在追求能源转型的全球浪潮中，储能技术无疑是关键的一环。我们谈论锂离子电池、抽水蓄能，而最近，一种被称为“物理储能明星”的技术——压缩空气储能，正吸引着越来越多的目光。大家讨论它的效率、它的规模，但一个绕不开的核心议题，始终是它的建设成本。这就像评估一座大厦，不仅要看它的设计图纸是否精妙，更要算清楚打下每一根桩基需要多少预算。

压缩空气储能建设成本分析

在追求能源转型的全球浪潮中，储能技术无疑是关键的一环。我们谈论锂离子电池、抽水蓄能，而最近，一种被称为“物理储能明星”的技术——压缩空气储能，正吸引着越来越多的目光。大家讨论它的效率、它的规模，但一个绕不开的核心议题，始终是它的建设成本。这就像评估一座大厦，不仅要看它的设计图纸是否精妙，更要算清楚打下每一根桩基需要多少预算。

让我们先看看现象。与电化学储能相比，压缩空气储能系统通常规模庞大，初始投资门槛较高。它需要一个庞大的地下洞穴（如盐穴、废弃矿洞或人工硐室）来储存高压空气，这涉及到复杂的地质勘探、改造和密封工程。一套完整的系统还包括压缩机、储气库、燃烧室（或蓄热装置）、透平膨胀机等核心部件。这些因素叠加，使得其单位千瓦时的建设成本，在现阶段，往往高于主流的锂电池储能。然而，如果我们只看到这个“现象”，结论可能失之偏颇。

数据会告诉我们更完整的故事。根据行业研究，一个百兆瓦级别的先进压缩空气储能电站，其建设成本（不含利息）目前在每千瓦 1000 到 1500 美元之间，折合人民币约 7000 元到 1 万元每千瓦。这个数字乍看之下不低，但我们必须将其置于全生命周期和系统价值中审视。压缩空气储能的寿命通常可达 30 年以上，循环次数数万次，其度电成本（LCOS）随着时间推移会极具竞争力。更重要的是，它具备长时储能（4 小时以上乃至跨周、跨季调节）和超大容量的潜力，这是应对未来高比例可再生能源电网波动的“压舱石”。对于需要稳定、长时间、大规模能量调度的应用场景，它的“性价比”逻辑完全不同。

一个具体市场的透视：内蒙古的实践

理论需要实践的检验。在中国内蒙古，由于其独特的地质条件和丰富的风光资源，压缩空气储能迎来了天然的试验场。当地一个示范项目，利用已有的盐穴资源进行建设，有效降低了储气库的挖掘和建设成本。据公开资料显示，该项目通过优化系统集成和采用非补燃式技术（利用储热回收压缩热），将系统设计效率提升至较高水平。虽然初始投资依然不菲，但项目测算的全生命周期成本，在应对本地大规模风电的弃风问题和提供调峰服务方面，展现出了良好的经济性预期。这为我们提供了一个生动的案例：当资源条件、技术路径和市场需求精准匹配时，压缩空气储能的成本模型就会发生积极的化学反应。

（地下盐穴储气库示意图，这类地质构造是降低压缩空气储能成本的关键自然禀赋。）

成本构成的阶梯式拆解

要深入分析，我们需要像剥洋葱一样，层层拆解其成本构成。这可以看作一个逻辑阶梯：

第一级：地质与场地成本。这是最大的变量之一。利用现成的、地质条件合格的盐穴或矿洞，成本

最低；若需人工挖掘硬岩硐室，成本则急剧上升。选址，是成本控制的“第一战”。

第二级：核心设备成本。主要包括高效压缩机、蓄热换热系统和透平发电机组。这部分成本与系统规模、技术路线（如是否带储热）紧密相关。设备国产化率的提升，是近年来降低这部分成本的主要驱动力。

第三级：系统集成与工程建设成本。如何将地下储库、地面厂房、管道、电气和控制系统无缝衔接，考验着集成商的功力。高效、可靠的集成能减少损耗、提高效率，从而摊薄全周期成本。

第四级：运维与生命周期成本。由于机械部件多，定期维护至关重要。但得益于其长寿命和低衰减特性，其年均运维成本占初始投资的比例，可能低于需要定期更换电芯的电池系统。

说到这里，我不得不提一下我们海集能的视角。作为一家在新能源储能领域深耕近二十年的企业，海集能从电芯、PCS到系统集成与智能运维积累了全产业链的深刻理解。我们深知，无论是电化学储能还是物理储能，成本控制的核心在于“精准匹配”与“全生命周期优化”。我们在江苏南通和连云港的基地，分别专注于定制化与标准化的生产体系，正是为了应对不同场景下对成本与性能的精准需求。对于像压缩空气储能这样的大型项目，其“系统集成”和“智能管理”的思维，与我们为全球客户提供“交钥匙”一站式解决方案的理念是相通的——最终目标都是让每一分投资，转化为最高效、最可靠的能源价值。

（大型能源系统的集成与控制中心，智能化管理是优化运行、降低长期成本的核心。）

未来的成本曲线将走向何方？

基于以上分析，我的见解是，压缩空气储能的建设成本，目前正处在一个关键的下降通道前夜。驱动因素包括：成熟盐穴/矿洞资源的进一步开发利用、核心设备制造规模的扩大和国产化深化、以及更优热力循环系统（如液态空气储能等变体）的技术进步。当项目规模从示范走向商业化批量部署，学习曲线效应将开始显著发力。此外，电力市场对长时储能服务的价值认可机制（如容量电价、辅助服务市场）的完善，将从收益端反哺初始投资，改善项目的经济性模型。它不再是简单的“贵”或“便宜”的判断题，而是一道关于“何时、何地、以何种技术组合投资最划算”的动态优化题。

所以，当我们下次再讨论压缩空气储能的成本时，或许我们应该换一个问题：在构建以新能源为主体的新型电力系统这幅宏大的画卷中，我们该如何为不同时间尺度的储能技术——包括像压缩空气这样的长时储能巨头——设计一个能真实反映其系统价值的市场舞台，从而激励技术创新，最终让成本不再是普及的障碍？你觉得呢？

来源: <https://hjaiot.com>