

各位朋友，下午好。最近在行业论坛和客户交流中，我注意到一个非常有趣的现象：大家对储能技术的热情空前高涨，但讨论的焦点往往集中在锂电池、液流电池这些“明星”身上。这当然很好，不过，当我们把目光投向大规模、长时储能这个更具挑战性的赛场时，另一个“重量级选手”的身影就清晰了起来——那就是压缩空气储能。今天，我们不谈那些复杂的原理图，就聊聊一个最实际、也最让项目投资者睡不着觉的问题：我投入这么多，最终能拿回多少能量？换句话说，就是它的释能效率到底怎么算，又意味着什么。

压缩空气储能释能效率计算是评估系统经济性的核心

各位朋友，下午好。最近在行业论坛和客户交流中，我注意到一个非常有趣的现象：大家对储能技术的热情空前高涨，但讨论的焦点往往集中在锂电池、液流电池这些“明星”身上。这当然很好，不过，当我们把目光投向大规模、长时储能这个更具挑战性的赛场时，另一个“重量级选手”的身影就清晰了起来——那就是压缩空气储能。今天，我们不谈那些复杂的原理图，就聊聊一个最实际、也最让项目投资者睡不着觉的问题：我投入这么多，最终能拿回多少能量？换句话说，就是它的释能效率到底怎么算，又意味着什么。

让我们先从一个简单的物理现象说起。你给自行车轮胎打气，会感觉到打气筒发热，对吧？这个过程中，你做的功一部分转化为轮胎内空气的压力能，另一部分，很不幸，以热量的形式散失掉了。压缩空气储能，在本质上就经历了类似的过程：用电低谷时，用电驱动压缩机将空气压入地下盐穴、废弃矿井或大型储气罐；用电高峰时，高压空气释放，驱动膨胀机（你可以理解为一种特殊的气动马达）带动发电机发电。问题就出在这“一压一放”之间。理想很丰满，我们希望一度电存进去，一度电放出来。但现实是骨感的，压缩会产生热能，膨胀又会吸收热能（导致温度骤降），这些热力学过程必然伴随着损失。所以，释能效率，即系统放电能量与充电能量的比值，就成了衡量技术先进性和经济可行性的生死线。目前，主流的传统补燃式压缩空气储能效率大约在40%-50%，而新一代的绝热或等温压缩技术，目标是将这个数字提升到60%甚至70%以上。每提升一个百分点，都意味着全生命周期内巨大的成本节约和收益增加。

讲到这里，我想分享一个我们海集能在思考不同储能技术路线时的视角。阿拉上海海集能新能源科技，从2005年成立起，就在新能源储能领域深耕，近二十年了，我们的角色既是数字能源解决方案的服务商，也是站点能源设施的生产商。我们位于南通和连云港的生产基地，一个擅长为通信基站、边防哨所这类特殊场景定制“光储柴一体化”的能源柜，另一个则专注于标准化产品的规模化制造。我们深知，没有一种储能技术是万能的。对于海集能服务的工商业用户、微电网乃至无电弱网地区的通信站点，锂电池因其灵活、高效，是目前站点能源解决方案的绝对主力。我们为全球客户提供的，正是基于这种高效电化学储能的“交钥匙”一站式方案。但对于电网侧需要吉瓦时级别、持续数天甚至数周的大规模储能，压缩空气、抽水蓄能这些物理储能技术的规模优势就无可替代了。技术的选择，永远是对效率、成本、规模和应用场景的综合考量。

那么，这个核心的“释能效率”具体是如何计算和优化的呢？这可不是一个简单的除法。它背后是一个严谨的系统工程。我们可以将其分解为一个典型的能量转换阶梯：

第一阶：压缩环节效率。这取决于压缩机的类型（如离心式、往复式）、级数以及是否采用中间冷

却。目标是尽可能接近“等温压缩”，减少热量产生。

第二阶：储气环节损失。无论是地下洞穴还是高压容器，都存在漏气、温度变化导致的压力波动，这会造成储存的能量“自然衰减”。

第三阶：释能环节效率。这是关键，高压空气在膨胀机中做功发电的效率，严重依赖进气温度和压力。传统技术需要燃烧天然气来补热，而先进技术则致力于回收利用压缩时产生的热量。

第四阶：系统辅耗。别忘了，整个系统的控制系统、冷却系统、管道阀门等都在持续耗电。

最终的系统释能效率（ η ），是这些环节效率的连乘积： $\eta = \eta_{\text{压缩}} \times \eta_{\text{储存}} \times \eta_{\text{膨胀}} \times (1 - \text{辅耗占比})$ 。业内专家和项目开发者会建立详细的热力学模型来模拟和优化这个链条。比如，通过采用高效换热器储存压缩热，并在发电时回用，可以大幅减少对外部热源的依赖，这正是提升效率至60%以上的技术关键。美国能源部曾资助的相关研究就深入探讨过这些技术路径（美国能源部对压缩空气储能的概述）。

说到这里，或许你会问，这些大型电站级别的计算，和我们海集能关注的分布式储能有什么关系？关系大了。这种对“系统效率”锱铢必较的工程思维，是相通的。在我们为一座偏远地区的5G通信基站设计光伏微站能源柜时，我们同样在计算一个“光-储-柴”混合系统的综合能源利用效率。我们要考虑光伏板的转换效率、锂电池的充放电效率、柴油发电机的燃油效率，以及整个能源管理系统的智能调度策略，如何让每一份阳光、每一滴油、每一度网电都发挥最大价值。目标是一致的：用最高的效率，为客户提供最可靠、最经济的电力保障。从大型压缩空气储能的宏观热力学，到站点能源柜的微观能量管理，其底层逻辑都是对能源转换效率的极致追求。这正是海集能作为一家技术驱动型公司，始终在思考和突破的课题。

所以，下次当你听到“压缩空气储能效率达到XX%”这样的新闻时，你不妨看得更深一层。这个数字背后，是材料科学的进步，是热力学的智慧，是控制算法的精妙，更是工程师们为了让我们的能源系统更绿色、更坚韧所付出的不懈努力。那么，在您看来，对于未来以可再生能源为主体的新型电力系统，除了效率，大规模长时储能技术最需要突破的瓶颈又是什么呢？

来源: <https://hjaiot.com>