压缩空气储能

作者 李卿云

摘要 压缩空气储能（Compressed-Air Energy Storage, CAES ）是指在电网负荷低谷期将电能用于压缩空气，将空气高压密封在报废矿井、沉降的海底储气罐、山洞、过期油气井或新建储气井中，在电网负荷高峰期释放压缩空气推动汽轮机发电的储能方式。中国压缩空气储能行业起步较晚，但成长迅速，项目规模从千瓦级逐步扩张至百兆瓦级，2022年已出现GW级签约项目。压缩空气储能当前在中国储能市场中渗透率较低，市场占比不足0.5%，目前处于高速增长阶段，2021年累计装机规模182.5MW，市场规模达12.8亿元，2022年市场规模达18.4亿元，预计2027年市场规模将突破百亿元，达141.3亿元。压缩空气储能具有规模大、寿命长、建设周期短、站址布局相对灵活等优点，有望成为抽水蓄能在大规模储能电站领域的重要补充，在储能市场的渗透率有所提升。压缩空气储能作为重资产投入行业，投资回报周期较长，背靠大型央企、民企的企业具备强大资金实力，能够有效推进技术的产业化进程。行业整体尚处于商业化发展初期，竞争格局较为分散，龙头企业地位尚未巩固，未来随着产业化落地，竞争态势有望加剧，鉴于行业的高技术壁垒、高人才壁垒与重资产投入，掌握前沿技术、稳定人才渠道与强大资金实力的企业将处于优势地位，企业加速出清。

行业 头豹分类/能源、采矿业 | 头豹分类/能源、采矿业/能源设备与服务 | 头豹分类/能源、采矿业/能源设备与服务/能源设备与服务 | 港股分类法/能源

关键词 压缩空气储能 | 新型储能 | 盐穴资源

1. 压缩空气储能行业定义

压缩空气储能（Compressed-Air Energy Storage, CAES ）是指在电网负荷低谷期将电能用于压缩空气，将空气高压密封在报废矿井、沉降的海底储气罐、山洞、过期油气井或新建储气井中，在电网负荷高峰期释放压缩空气推动汽轮机发电的储能方式。通俗来说，就是在用电低谷时，将空气压缩储存于储气室中，将电能转化为空气能存储起来；在用电高峰时释放高压空气，带动发电机发电。整个发电过程对大气无污染，是一种绿色环保能源发电项目。

2. 压缩空气储能行业分类

根据技术形式分类，目前较受关注的压缩空气储能技术有三种，分别为盐穴压缩空气储能系统、液态空气储能系统与多能互补压缩空气储能海上电站。

类型名称	类型说明
盐穴压缩空气储能系统	盐穴即盐矿开采后留下的矿洞，是一种珍贵的不可再生资源。盐穴压缩空气储能是利用水溶采盐后形成的巨大腔穴，在电网低谷时将空气压缩到盐穴中，用电高峰时再释放压缩空气发电，从而实现削峰填谷，提升电网调节能力。中国盐穴资源丰富，大部分体积巨大且密封性良好，适于储存石油、天然气等重要战略物资，也是储存高压空气的理想场所。2022年5月，江苏省常州市金坛盐穴压缩空气储能项目正式投产，标志着中国首个压缩空气储能国家示范项目按照商业电站标准完成建设，成功完成连续满负荷储能-发电试运行后正式投运。
液态空气储能系统	液态空气储能系统利用剩余电力将空气降温到零下196℃，空气将被液化，体积缩小近700倍，极大地降低了对储存装置容量的需求。需要输出电力时，空气膨胀驱动发电机即可供电，转化效率约为60%-70%，比电池效率略低，但是储罐成本极低，而且不需要补充耗材，使用寿命较长，具有大规模推广的潜力。该系统由英国发明家彼得·迪尔曼设计，建成50MW储能设备将为曼彻斯特附近大约50,000个家庭存储5个小时的电力。Carlton Highview Storage公司还计划在英国进一步开发四个液态压缩空气储能项目，储能容量总计超过1GWh。Highview的液态压缩空气储能解决方案具有30-40年的使用寿命，已通过数个MW规模的试点项目证明，液态压缩空气储能在GW规模或每个项目数百MW规模下是最经济的。2020年10月，Highview宣布与总部位于智利的Energia-Latina S.A. Enlasa成立合资公司，将在智利和其他拉美市场开发“GW级低温压缩空气储能项目”。
多能互补压缩空气储能海上电站	多能互补压缩空气储能海上电站是一种新兴的综合性技术装备，目前还在技术研发阶段。海上电站的海浪能部分采用浮筒-气缸结构，利用海水的浮力及海浪的上下起伏将环境空气压缩进入集气管；风能部分采用垂直轴风轮-空压机（机头）结构，利用自然风能将环境空气压缩进入集气管；槽式太阳能集热管系统将太阳能热量收集，通过换热器将透平前压缩空气加热升温，进一步增加压缩空气能量，提高透平效率，同时提升透平后尾气温度，便于尾气再利用。海上电站的海浪能利用方式不同于其它海洋能利用方式，与海水接触的设备只有钢筋混凝土框架及被限制在其中的浮筒，浮筒采用渔网浮漂材料，与框架接触方式采用滑动摩擦方式，海面下不存在任何旋转部件。海浪能压缩空气的压强决定于浮筒体积及气缸直径，风能压缩空气的压强决定于垂直轴风轮扫风面积及空压机设计功率，海上电站集气管压强大于透平设计进气压强，使集气管起到储能作用。据估算，6MW海上电站占海面积为9万m^2，年利用小时数8,760小时，年发电量0.5亿kWh，造价3.5-4.5亿元，使用寿命70年，按全生命周期计算度电成本0.114元/kWh，不包括其它产品收入。

3. 压缩空气储能行业特征

中国压缩空气储能行业起步较晚，但成长迅速，项目规模从千瓦级逐步扩张至百兆瓦级，2022年已出现GW级签约项目。压缩空气储能作为一种新型储能技术，对行业尖端人才的依赖度较高，先发企业具有稳定的人才渠道与完善的培养机制，相对新进入企业已形成显著的人才壁垒。压缩空气储能技术具有工作时间和寿命长、成本经济、安全性好等优势，但目前在中国储能市场中渗透率较低，市场占比不足0.5%，未来市场增长潜力巨大。

中国压缩空气储能行业起步较晚，但成长迅速，项目规模从千瓦级逐步扩张至百兆瓦级。

项目规模持续升级	2013年，河北廊坊超临界压缩空气储能示范项目规模为1.5MW，2014年，安徽芜湖压缩空气储能示范项目规模仅为500kW，储能系统效率约33%。2017年，贵州毕节压缩空气储能验证平台规模达10MW，2021年，张家口先进压缩空气储能示范项目实现100MW级规模的突破。此后投资、签约的压缩空气储能项目规模均在100MW及以上，2022年签约的江西九江瑞昌市压缩空气储能调峰调频电站项目计划规模达1GW，中国压缩空气储能行业正向GW级时代迈进。
人才壁垒较高	**压缩空气储能作为一种新型储能技术，对行业尖端人才的依赖度较高。** 例如中国压缩空气储能领域的先发企业中储国能，首席科学家为中国先进压缩空气储能技术的创始人中国科学院工程热物理所陈海生研究员，目前研发团队200余人，产业化团队100余人，其中包括高级职称研究人员20余人，包括国家级人才计划入选者6名，中组部“享受国务院特殊津贴专家”3名，国家杰青、863项目首席专家、973项目首席专家、国家重点研发计划项目首席专家、中科院先导专项项目首席专家等5名。行业大部分尖端人才集中在具有先发优势的头部企业，新进入企业很难形成稳定的人才输送渠道与完善的人才培养机制。因此，行业内先发企业和新进入企业之间的人才差距将不断扩大，形成显著的人才壁垒。
市场增长空间巨大	**压缩空气储能技术具有工作时间和寿命长、成本经济、安全性好等优势，但目前在中国储能市场中渗透率较低，未来市场增长潜力巨大。** 根据中国能源研究会储能专委会数据统计，截至2021年底，中国已投运电力储能项目累计装机规模46.1GW，同比增长30%，市场增量主要来自新型储能，累计装机规模达5,729.7MW，同比增长75%，压缩空气储能在新型储能中占比3.2%，在电力储能中占比0.4%。2018-2020年，压缩空气储能在中国储能市场中的占比均小于0.1%，渗透率极低，未来市场增长空间巨大。

4. 压缩空气储能发展历程

中国压缩空气储能行业迄今主要经历三个发展阶段：**在1978-2003年的萌芽期，**世界第一座商业性盐穴压缩空气储能电站建成，发达国家积极研究、建造、运营压缩空气储能系统，储能系统工作时间较长，但运行效率较低，在技术上存在较大改进空间。**在2004-2020年的启动期，**中国开启在压缩空气储能领域的相关研究，中国科学院工程热物理研究所及其产业化公司中储国能先后突破多个关键技术，并最终实现了系统的工程示范，完成了在世界压缩空气储能技术领域从追赶到领先的跨越。**在2021年至今的高速发展期，**中国压缩空气储能项目规格突破百兆瓦级大关，首个商业电站项目完成投运，压缩空气储能技术进入商业化发展初期。

开始时间：1978　结束时间：2003　阶段：萌芽期

行业动态：1978年，德国率先建成世界上第一座商业性盐穴压缩空气储能电站——亨托夫（Huntorf）电站，该电站输出功率为321MW，运行效率为29%。1991年，美国建成世界上第二座商业性压缩空气储能电站——麦金托什（McIntosh）电站，该电站输出功率为110MW，运行效率为54%，储气洞穴在地下450m，总容积为5.6*105m^3，压缩空气储气压力为7.5MPa，可实现连续41小时空气压缩和26小时发电，机组从启动到满负荷约需9分钟。2001年，日本上砂川盯压缩空气储能示范项目于北海道空知郡投入运行，利用废弃的煤矿坑(约在地下450m处)作为储气洞穴，最大压力为8MPa，输出功率为2MW，是日本开发400MW机组的工业试验用中间机组。2003年，瑞士ABB公司(后并入法国的阿尔斯通公司)正在开发联合循环压缩空气储能发电系统。储能系统发电功率为422MW，空气压力为3.3MPa，系统充气时间为8小时，储气洞穴为硬岩地质，采用水封方式。

行业影响/阶段特征：世界第一座商业性盐穴压缩空气储能电站建成，发达国家积极研究、建造、运营压缩空气储能系统，大多采用地下洞穴作为储气容器，对地质条件要求苛刻。储能系统工作时间较长，但运行效率较低，在技术上存在较大改进空间。

开始时间：2004　结束时间：2020　阶段：启动期

行业动态：中国科学院工程热物理研究所从2004年开始聚焦压缩空气储能技术研发，2009年原创性提出先进压缩空气储能技术新原理。同年，中国科学院工程热物理研究所在压缩空气储能领域的产业化公司中储国能与英国利兹大学合作建成2MW液态压缩空气储能系统。2010年，中储国能建成5kW蓄热式压缩空气储能系统，2011年建成15kW先进空气储能系统。2013年，中储国能于河北廊坊建成国际首套1.5MW超临界压缩空气储能系统，系统效率可达52.1%。2016年，中储国能于贵州毕节建成国际首套10MW先进压缩空气储能系统，系统效率可达60.2%。2017年，热物理研究所开始研发100MW级新型压缩空气储能技术。

行业影响/阶段特征：中国在压缩空气储能领域相关研究开发起步较晚，但发展迅猛。中国科学院工程热物理研究所及其产业化公司中储国能从2004年至2020年先后突破多个关键技术，并最终实现了系统的工程示范，完成了在世界压缩空气储能技术领域从追赶到领先的跨越。

开始时间：2021　阶段：高速发展期

行业动态：2021年，中储国能于山东肥城建成10MW盐穴压缩空气储能国家示范项目，系统效率可达60.7%，同年于河北张家口建成国际首套100MW先进压缩空气储能国家示范项目，系统额定设计效率可达70.4%。2022年5月，江苏省常州市金坛盐穴压缩空气储能项目正式投产，标志着中国首个压缩空气储能国家示范项目按照商业电站标准完成建设，成功完成连续满负荷储能-发电试运行后正式投运。该项目是中国压缩空气储能领域首个商业电站项目，由中盐集团、中国华能和清华大学三方共同开发，一期储能、发电装机均为60MW，远期建设规模1,000MW。

行业影响/阶段特征：中国压缩空气储能项目规格突破百兆瓦级大关，示范项目建设投运愈加频繁。储能项目系统效率稳步提升，系统额定设计效率可达70.4%。中国压缩空气储能领域首个商业电站项目完成投运，压缩空气储能技术进入商业化发展初期。

5. 压缩空气储能产业链分析

压缩空气储能产业链上游包括空气压缩机供应商、透平膨胀机供应商、换热器供应商与盐矿企业，空气压缩机代表企业有开山股份、汉钟精机、鲍斯股份等，透平膨胀机代表企业有陕鼓集团、沈鼓集团、杭州杭氧等，换热器代表企业有兰石重装、巨元瀚洋、阿法拉伐等，盐矿代表企业有中盐化工、雪天盐业、苏盐井神等。**产业链中游包括压缩空气储能系统集成商与项目建设方，**系统集成商有中储国能、中科储能等，项目建设方有中国电建、中国能建、华能集团等。**产业链下游对接发电侧、电网侧、用户侧，**代表性参与方有国家电网、国家电投、大唐集团等。

压缩空气储能产业链较长，从设备成本角度分析，空气压缩机、透平膨胀机和换热器是压缩空气储能系统的核心设备，成本占比分别为20%、20%、12%。空气压缩机的国际知名企业如瑞典阿特拉斯、爱尔兰英格索兰、美国加顿丹佛等入局较早，在高端市场占有主导地位，具备强大的自主研发设计能力，中国本土企业如开山股份、东亚机械、陕鼓动力等近年来持续进行技术攻关，与国际一流企业的差距正逐步缩小。**透平膨胀机的核心技术长期为国际知名企业垄断，**中国本土企业起步较晚，发展较为缓慢，近年来已加大研发力度。**换热器企业竞争者众多，**行业格局较为分散，产品差异化程度低，市场竞争激烈。盐穴资源对降低产业链成本和提升效率具有重要意义，且中国可利用的盐穴资源较为丰富，盐矿企业有望受益于压缩空气储能市场放量。**空气压缩机与透平膨胀机的国产化进程或将成为压缩空气储能产业化的重要制约因素。**产业链中游的技术积累与项目建设已实现全球领先。2021年，中国新增新型储能项目在电源侧和电网侧的应用占比分别为41%和35%，但用户侧的盈利模式最为清晰，电源侧和用户侧将成为压缩空气储能的主战场。

上游环节	上游分析	上游参与方
空气压缩机供应商	**压缩空气储能产业链上游包括空气压缩机供应商。**空气压缩机是气源装置中的主体，也是压缩空气储能的核心设备之一，可将原动机的机械能转换成气体压力能，在压缩空气储能项目中成本占比约20%。空气压缩机分为活塞式、膜片式、螺杆式、滑片式、离心式、轴流式，现阶段工业生产主要采用活塞式空气压缩机和螺杆式空气压缩机。活塞式压缩机排气范围广、设备价格低、热效率高，螺杆式压缩机可靠性强、运转平稳、操作简单，离心式压缩机流量大、功率大、排气均匀，**而轴流式压缩机相比离心式压缩机更加节能，单位面积的气体通流能力大，在相同加工气体量的前提条件下，径向尺寸小，特别适用于要求大流量的场合。**另外，轴流式压缩机还具有结构简单、运行维护方便等优点。**陕鼓动力2023年3月在投资者互动平台披露，公司的透平设备可以应用于压缩空气储能领域的压缩储能环节。**公司围绕大型压缩空气储能系统压缩机组大型化、高转换效率及高可靠性要求，采用技术国际领先的AV100轴流压缩机产品，完成300MW压缩空气储能系统及压缩机组的技术方案研发。公司轴流压缩机产品应用最先进的叶型，产品效率处于国际领先水平，公司已中标某300MW级压缩空气储能示范项目，并在开展多项技术研发和产品开发。	开山集团股份有限公司、上海汉钟精机股份有限公司、宁波鲍斯能源装备股份有限公司、福建雪人股份有限公司、厦门东亚机械工业股份有限公司、金通灵科技集团股份有限公司、西安陕鼓动力股份有限公司、上海电气集团股份有限公司、冰轮环境技术股份有限公司、阿特拉斯.科普柯（无锡）压缩机有限公司
透平膨胀机供应商	**压缩空气储能产业链上游包括透平膨胀机供应商。透平膨胀机在压缩空气储能项目中成本占比约20%，按结构可分为轴流式和径流式透平膨胀机，**除了大流量、大功率以及高温条件下膨胀机采用轴流式外，绝大多数透平膨胀机采用向心径-轴流式。国际知名膨胀机制造商在优化工艺流程、选用特殊材料、设计实验叶片等关键核心技术方面持续优化升级，代表性企业包括美国GE公司动力系统成员之一Rotoflow、美国德莱赛兰、美国阿特拉斯、德国MAN TURBO、德国西门子以及日本三井造船株式会社等。**中国透平膨胀机制造厂商起步较晚，发展相对缓慢，但近年来加大研发力度，取得一定成绩，**例如陕鼓集团在与国际企业合作生产的基础上，与西安交通大学等科研院所研究，形成了一定的轴流膨胀机设计生产能力。沈鼓集团也在与中科院合作的基础上，开发自主知识产权的径流式透平膨胀机气动设计软件和轴流式透平膨胀机气动设计软件。杭氧股份是中国最早开始研发和制造透平膨胀机的公司，20世纪80年代引入德国林德公司膨胀机全套设计及制造技术，在此基础上不断改良工艺，年生产能力可达100台套。	东方电气股份有限公司、沈阳鼓风机集团股份有限公司、四川空分设备（集团）有限责任公司、四川简阳瑞特机械设备有限公司、山东华屹透平机械有限公司、四川泰博流体科技有限公司、福建雪人股份有限公司、开山集团股份有限公司、陕西鼓风机（集团）有限公司、杭州杭氧膨胀机有限公司
换热器供应商	**压缩空气储能产业链上游包括换热器供应商。换热器在压缩空气储能项目中成本占比约12%，是一种在不同温度的两种或两种以上流体间实现物料热量传递的节能设备，**使热量由较高的流体传递给温度较低的流体，使流体温度达到流程规定的指标，以满足过程工艺条件的需要。换热器作为提高能源利用率的主要设备之一，既可以是一种单元设备，如加热器、冷却器和凝汽器等，也可以是某一工艺设备的组成部分，如氨合成塔内的换热器。**换热器的市场应用主要集中于石油、化工、冶金、电力、船舶、集中供暖、制冷空调、机械、食品、制药等领域，其中石油、化工行业是换热器最主要的应用领域，约占换热器30%的市场份额，**电力和冶金两大行业所需的换热器约占换热器市场16%的份额。由于城市集中供热中心二次热交换器、制冷空调蒸发器冷凝器的大量应用，集中供暖和制冷空调行业约占换热器行业8%的市场份额。船舶行业应用大量的中央冷却器等换热设备，约占换热器行业8%的市	兰州兰石重型装备股份有限公司、巨元瀚洋（北京）换热技术有限公司、阿法拉伐（上海）技术有限公司、四平维克斯换热设备有限公司、斯必克（中国）投资有限公司、甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司、北京阿玛西换热设备制造有限公司、睿能太宇（沈阳）能源技术有限公司、凯络文换热器（中国）有限公司、北京市京海换热设备制造有限责任公司

	场份额。机械行业在汽车、工程机械、农业机械中应用大量的机油冷却器、中冷器等换热器，约占换热器行业8%的市场份额。此外，在食品、医药等领域，换热器的应用规模也较大。	
盐矿企业	**压缩空气储能产业链上游包括盐矿企业，因为盐穴资源对降低电站的建设成本和提升效率作用较为突出。**地下盐穴经水溶采盐后，通过造腔等技术控制，形成天然的梨形腔穴，容积大、密封性好、稳定性高，是天然的高压空气储气罐，盐穴压缩空气储能电站的储气库建设成本仅为地面压力容器库的1/10，对降低电站整体建设成本有着显著效用。此外，盐穴压缩空气储能电站的效率较高，在地下800-1,000米左右，其抗压能力约为200个大气压，此时盐穴压缩空气储能电站换电的效率约为62.7%，在同类压缩空气储能电站中效率处于第一位。**具备丰富盐矿资源储备的企业有望充分受益于压缩空气储能产业的放量。**例如中盐化工拥有柯柯盐湖东部盐矿的采矿权，矿区面积18.8平方公里；雪天盐业拥有五个重要生产企业的采矿权，可采面积共计15.8平方公里，控股子公司索特盐化拥有100万吨/年的井矿盐产能；云图控股拥有北纬30度“盐湖膏都”自主盐矿，井盐储量达2.5亿吨；苏盐井神旗下八个矿区采矿权共计保有资源储备里矿石量121.4亿吨，氯化钠储量70.9亿吨。	中盐内蒙古化工股份有限公司、雪天盐业集团股份有限公司、重庆索特盐化股份有限公司、成都云图控股股份有限公司、江苏苏盐井神股份有限公司、云南盐化股份有限公司昆明盐矿、青海盐湖工业股份有限公司、湖南省湘衡盐化有限责任公司、江西九二盐业有限责任公司、江苏淮盐矿业有限公司

中游环节	中游分析	中游参与方
压缩空气储能系统集成商与项目建设方	**压缩空气储能产业链中游包括系统集成商与项目建设方。**系统集成商包括中储国能、中科储能等，项目建设方包括中国电建、中国能建、华能集团等。**从专利申请趋势来看，**压缩空气储能一直是近年来新型储能领域的研究热点，2018-2022年每年相关专利申请数量均在300项以上，2021年专利申请数量达611项，2022年达713项，随着压缩空气储能研究热潮的延续，该项技术有望迎来新的变革，在提升系统效率的同时进一步降低成本。**中储国能是压缩空气储能领域的开拓者，技术水平全球领先，其技术及研发团队均源自中国科学研究院工程热物理研究所。**2020年，中储国能获得中科创星、株洲高科领投的1.6亿元天使轮投资，2021年资本继续加码，由招银国际领投，中科创星追投，联想之星、普华资本、华控基金、南京麒麟等机构跟投，融资金额达1.8亿元。2022年，中储国能获得由华控基金领投的3.2亿元Pre-A+轮融资，本轮融资除中科创星、招银国际、联想之星、普华资本等老股东持续跟投外，参与投资的机构还有高榕资本、三峡能源、翠微集团、中比基金、新鼎资本等。	中储国能（北京）技术有限公司、华能新能源股份有限公司、枣庄华金储能科技有限公司、湖北楚韵储能科技有限责任公司、江苏国源储能科技有限公司、河北华瑞能源集团有限公司、张北巨人能源有限公司、河南甫达储能技术有限公司、河南泰捷瑞储能技术有限公司、南阳市豫能南都新能源有限公司、平顶山晟光储能有限公司、浙江浙能电力股份有限公司台州发电厂、神华（宁夏宁东）新能源有限责任公司、中雁清盐储能科技有限公司、中科储能（北京）科技有限公司、南京科远智慧科技集团股份有限公司、中电建新能源集团股份有限公司

下游环节	下游分析	下游参与方
电源侧、电网侧、用户侧	**作为能量型储能技术的压缩空气储能技术，具有机组寿命周期内性能不衰减的优势，在电源侧储能、电网侧储能及用户侧储能三类场景中均有广泛应用前景。**现行电力系统用户端每日的用电负荷是波动变化的，且峰谷差日趋增大，为了满足要求，当前的发电装机容量与电网容量需要按最大需求建设，发电端根据用电端的实时动态负荷进行匹配。在用电低谷时，发电机组停机或低负荷运行，发电装机容量和电网容量的利用率低，并易引发大面积停电事故，增设压缩空气储能系统可为电力系统提供缓冲。**除了解决传统能源的用电负荷波动问题，压缩空气储能可促进可再生能源电力大规模并网，有效解决弃风、弃光问题，提高分布式能源系统供电的可靠性、稳定性，社会效益巨大。在电源侧储能应用场景下，**压缩空气储能站以参与调峰调频等辅助服务为主	国家电网有限公司、国家电力投资集团有限公司、中国大唐集团有限公司、中国国电集团有限公司、许继电气股份有限公司、浙江南都电源动力股份有限公司、深圳市首航新能源股份有限公司、江苏华富储能新技术股份有限公司、中国华能集团有限公司、Pylontech

	要应用场景。**在电网侧储能应用场景下，**压缩空气储能电站用途主要包括调峰调频、黑启动、缓解输配电阻塞及延缓输配电设备投资、提高供电可靠性等，发挥保底电网作用。**在用户侧储能应用场景下，**压缩空气储能站立足于满足用户降低用电成本及提高用电可靠性的需求，具体可用于基于峰谷电价的用电成本管理场景，基于两部制电价的容量费用管理场景，基于提升电能质量及用电可靠性的场景、参与电力辅助服务市场场景。	

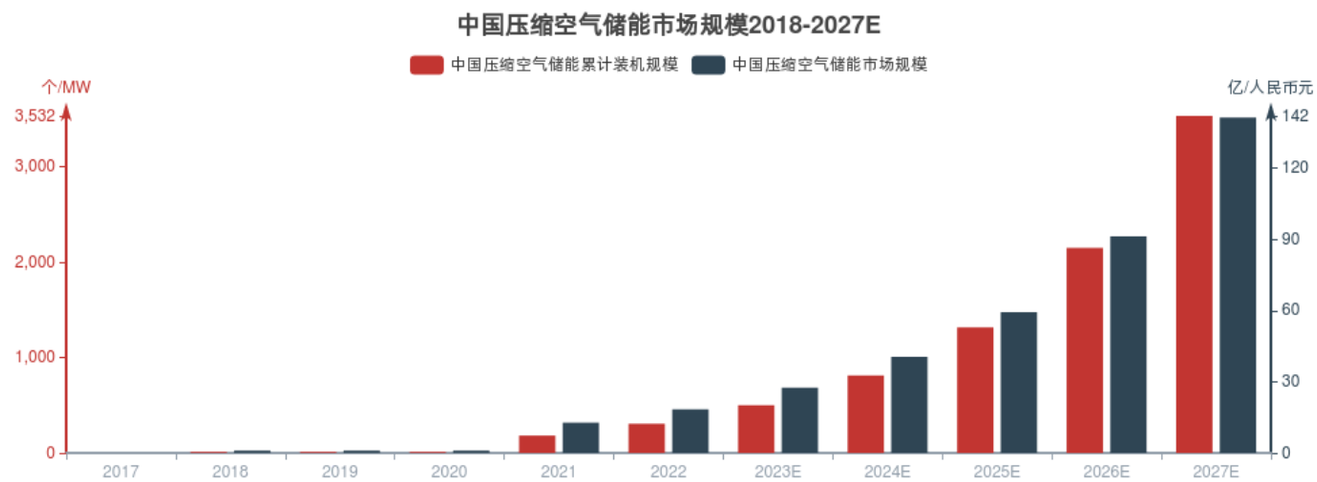
6. 压缩空气储能行业规模

中国压缩空气储能行业目前处于高速增长阶段，2021年累计装机规模182.5MW，市场规模达12.8亿元，2022年市场规模达18.4亿元，预计2027年市场规模将突破百亿元，达141.3亿元。

中国压缩空气储能市场规模的增长主要受政策支持与技术突破驱动。2021-2022年，国家密集发布储能相关政策，要求前瞻谋划未来产业，坚持储能技术多元化，2021年提出实施压缩空气储能示范项目，实现压缩空气等长时储能技术进入商业化发展初期，2022年在“十四五”新型储能技术试点示范中提出进行百兆瓦级先进压缩空气储能系统应用。2021年压缩空气储能行业呈井喷式发展，前期规划项目逐步落地，装机规模同比增长1,360.0%。**技术更迭是行业规模上涨的重要驱动力，带动储能项目总体规模跨数量级的增长，**2004-2020年是压缩空气储能行业的技术攻坚期，实现了储能系统从千瓦至十兆瓦级别的跨越，2021年河北张家口建成国际首套100MW先进压缩空气储能国家示范项目，突破百兆瓦级大关，推动压缩空气储能累计装机规模迅速提升至182.5MW。

未来压缩空气储能市场有望保持高速增长态势。压缩空气储能当前在储能市场中的渗透率较低，仍在1%以下。根据国家发展和改革委员会数据，到2025年，将实现新型储能装机规模3000万千瓦以上，新型储能将成为中国储能市场的主要增量。**压缩空气储能具有规模大、寿命长、建设周期短、站址布局相对灵活等优点，有望成为抽水蓄能在大规模储能电站领域的重要补充，渗透率有所提升，行业规模也将受益于储能市场整体规模的扩张而水涨船高。**电力市场的完善也将有力推进压缩空气储能的商业化应用。2022年11月，国家能源局就《电力现货市场基本规则（征求意见稿）》提出推动储能等新兴市场主体参与交易，同时提及各地按照国家要求，结合电力市场发展情况和实际需要，探索建立市场化容量补偿机制。**压缩空气储能作为新型储能之一，定价机制还在探索阶段，若能与抽水蓄能一样采取两部制电价，将进一步提高其经济性。**

中国压缩空气储能市场规模2018-2027E



中国压缩空气储能市场规模=中国储能市场累计装机规模*压缩空气储能渗透率*单位功率装机成本

CNESA（中国能源研究会储能专委会），中国储能网

7. 压缩空气储能政策梳理

政策名称：《贯彻落实<关于促进储能技术与产业发展的指导意见>2019-2020年行动计划》
颁布主体：国家发展和改革委员会办公厅，科学技术部办公厅，工业和信息化部办公厅，能源局综合司　生效日期：2019-07　影响：8
政策性质：指导性政策
政策内容：加大储能项目研发实验验证力度。重点推进大容量压缩空气储能等重大先进技术项目建设，推动百兆瓦压缩空气储能项目实现验证示范。积极推动储能国家电力示范项目建设。积极跟踪储能国家电力示范项目建设情况，重点推动大连液流储能电站、江苏压缩空气储能电站和甘肃网域大规模电池储能电站建设工作。
政策解读：进一步推进中国储能技术与产业健康发展，支撑清洁低碳、安全高效能源体系建设和能源高质量发展，形成新的具有核心竞争力的储能产业链。

政策名称：《首台(套)重大技术装备推广应用指导目录(2019年版)》　颁布主体：工业和信息化部　生效日期：2019-12　影响：7
政策性质：指导性政策
政策内容：压缩空气储能系统被列入《首台(套)重大技术装备推广应用指导目录(2019年版)》，要求每套额定功率≥100MW；系统效率≥65%；寿命≥30年。
政策解读：对压缩空气储能系统的额定功率、系统效率、寿命做出详细要求，利于压缩空气储能设备的推广应用与行业的规范健康发展。

政策名称：《关于加强储能标准化工作的实施方案》　颁布主体：国家能源局综合司，应急管理部办公厅，国家市场监督管理总局办公厅
生效日期：2020-01　影响：8　政策性质：指导性政策
政策内容：建立储能标准化协调工作机制。积极推进关键储能标准制定，鼓励新兴储能技术和应用的标准研究工作。推进储能技术创新与标准研制有效结合，鼓励在储能工程示范项目中开展标准应用、验证、研制，将成功的工程应用经验转化为标准。积极承担储能技术国际标准制修订任务，实质性参与储能技术领域的国际标准化工作。

政策解读：深入贯彻能源安全新战略，强化顶层设计和工作统筹，科学建设储能标准体系，有力支撑储能技术与产业发展，利于形成政府引导、多方参与的储能标准化工作机制，推进建立较为系统的储能标准体系，加强储能关键技术标准制修订和储能标准国际化。

政策名称：《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》 颁布主体：第十三届全国人民代表大会第四次会议
生效日期：2021-03 影响：8 政策性质：指导性政策
政策内容：前瞻谋划未来产业，在类脑智能、量子信息、基因技术、未来网络、深海空天开发、氢能与储能等前沿科技和产业变革领域，组织实施未来产业孵化与加速计划，谋划布局一批未来产业。加快抽水蓄能电站建设和新型储能技术规模化应用，实施电化学、压缩空气、飞轮等储能示范项目。
政策解读：着眼于抢占未来产业发展先机，培育先导性和支柱性产业，推进能源革命，建设清洁低碳、安全高效的能源体系，提高能源供给保障能力。

政策名称：《关于加快推动新型储能发展的指导意见》 颁布主体：国家发展和改革委员会，国家能源局 生效日期：2021-07 影响：9
政策性质：指导性政策
政策内容：坚持储能技术多元化，推动锂离子电池等相对成熟新型储能技术成本持续下降和商业化规模应用，实现压缩空气、液流电池等长时储能技术进入商业化发展初期，加快飞轮储能、钠离子电池等技术开展规模化试验示范，以需求为导向，探索开展储氢、储热及其他创新储能技术的研究和示范应用。
政策解读：加强顶层设计，统筹储能发展各项工作，完善优化储能项目管理程序，推动储能技术进步和成本下降，有效促进压缩空气等长时储能技术规模化应用，壮大产业体系。

政策名称：《“十四五”新型储能发展实施方案》 颁布主体：国家发展和改革委员会，国家能源局 生效日期：2022-01 影响：9
政策性质：指导性政策
政策内容：推动多元化技术开发。开展钠离子电池、新型锂离子电池、铅炭电池、液流电池、压缩空气、氢（氨）储能、热（冷）储能等关键核心技术、装备和集成优化设计研究。
政策解读：积极开展新型储能关键技术研发，采用“揭榜挂帅”机制开展储能新材料、新技术、新装备攻关，加速实现核心技术自主化，推动产学研用各环节有机融合，加快创新成果转化，提升新型储能领域创新能力。

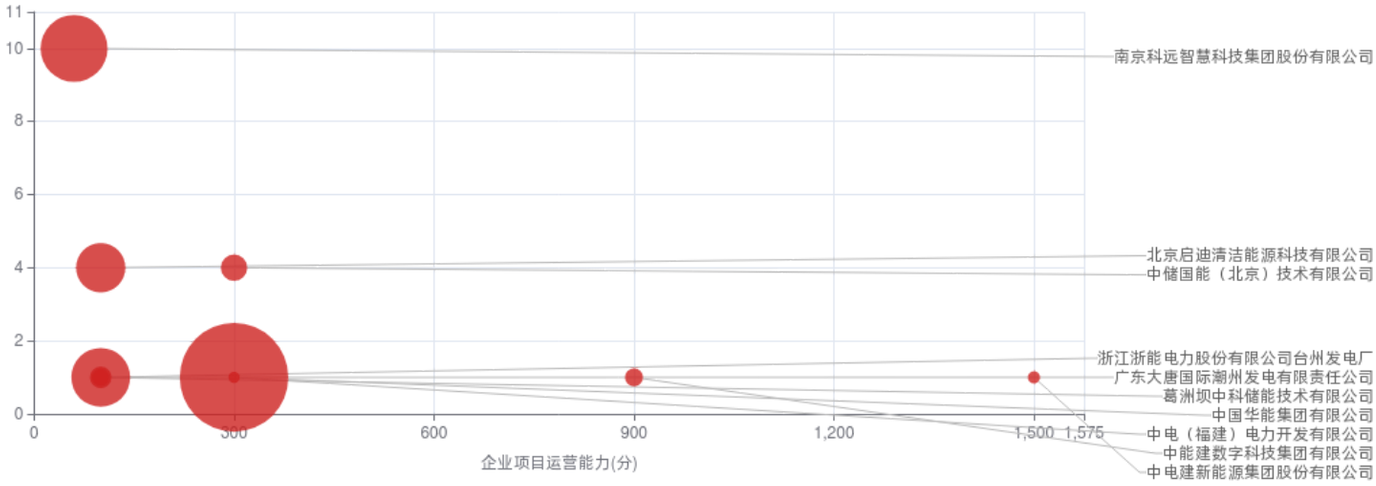
8. 压缩空气储能竞争格局

中国压缩空气储能行业尚处于商业化发展初期，行业竞争格局较为分散，龙头企业地位尚未巩固。从企业项目运营能力来看，中电建新能源集团、中能建数字科技集团作为央企重要的子公司，在能源电力及相关领域具备领先的技术实力与丰富的经验方法，拥有大型储能项目的建设资质，所参与的单个项目规模远远大于其他企业，在先进压缩空气储能领域占据优势地位。中储国能依靠中国科学院工程热物理研究所的强大技术背景，项目经验丰富，但参与的单个项目规模相对较小，目前已完成Pre-A+轮融资。
压缩空气储能作为新兴行业，企业的竞争优势主要源于强劲的科研背景与资金实力。中国压缩空气储能技术起步较晚但发展迅猛，当前国内的技术研发团队主要来自中国科学院工程热物理研究所、清华大学、华北电力大学等，与科研院校具备紧密合作关系的企业占有先发优势。例如中储国能的首席科学家为中国先进压缩空气储能技术的创始人中国科学院工程热物理研究所陈海生研究员，陈海生团队系统攻克了压缩空气储能系统总体设计、关键部件、整机集成与控制等核心技术，经历了从千瓦级到兆瓦级，再到十兆瓦级、百兆瓦级技术级别的完整研发迭代，建成目前全球唯一具备1-100MW的压缩空气储能部件实验和系统集成测试能力的研发平台，企业因此具备百兆瓦级先进压缩空气储能系统研发、设计，核心装备制造、工程实施，以及电站投资和运营全套能力，与热物理研究所合计申请压缩空气储能相关专利500余项（含国际专利20项），授权专利300余项（含国际专利6项，发明专利123项）。中能建数字科技集团依靠技术自研，华能集团的技术背景源自清华大学，中科储能作为央企控股子公司，技术背景同样源自中国科学院工程热物理研究所。**压缩空气储能作为重资产投入行业，投资回报周期较长，背靠大型央企、民企的企业具备强大资金实力，能够有效推进技术的产业化进程。**根据中储国能总经理纪律的演讲披露，中储国能在河北廊坊、贵州毕节与江苏南京建立了3个大型实验基地，实验基地投资共计13.5亿元，按照现有电价政策，压缩空气储能较好的项目收益大概10年以内能够回收，略差的项目回收期大概为10-15年。电站寿命通常在30-50年，初期投资较大，但是未来能获取长期稳定收益，属于重资产投入。
随着压缩空气储能产业化的推进，2022年备案、签约压缩空气储能项目的企业数量大幅增长，并出现1,500MW级别的项目规划，未来行业的竞争态势有望加剧。鉴于行业的高技术壁垒、高人才壁垒与重资产投入，中小企业不易挺过10-15年的投资回报周期，掌握前沿技术、稳定人才渠道与强大资金实力的企业将处于优势地位，**企业加速出清。**

X轴名称：企业项目运营能力 **单位：**分
维度说明：根据公开数据统计企业备案、签约、在建、投运的压缩空气储能项目最大规模，企业参与的项目规模可直观体现其技术水准及其在商业化实践中的建设、运营能力。以企业参与的压缩空气储能项目最大规模为其运营能力赋分。

Y轴名称：企业融资进程 **单位：**分
维度说明：根据企业融资的一般流程，为企业未融资或已退市、种子轮、天使轮、A轮（包括Pre-A、Pre-A+轮）、B轮、C轮、D轮及以后、Pre IPO、IPO、已上市分别赋分1分、2分、3分、4分、5分、6分、7分、8分、9分、10分。企业融资进程可呈现企业在资本市场的受关注度，展现企业未来的增长空间。

α轴名称：企业创新力 **单位：**分
维度说明：企业申请的专利数目可在一定程度上反映企业对于科技研发与创新的重视程度，是企业创新力的重要指标。以企业的专利信息数目为其创新力赋分。



上市公司速览

股票代码	上市公司	总市值	营收规模	同比增长(%)	毛利率(%)
601669	中国电力建设股份有限公司		39,709,280.41万元	2.66	11.66
601868	中国能源建设股份有限公司		24,178,238.40万元	15.36	10.48
002380	南京科远智慧科技集团股份有限公司	0	24,803.53万元	29.23	33.29

9. 压缩空气储能代表企业分析——中储国能（北京）技术有限公司

中储国能（北京）技术有限公司

企业状态 ： 存续

注册资本 ： 175600万人民币

企业总部 ： 市辖区

行业 ： 科技推广和应用服务业

法人 ： 纪律

统一社会信用代码：91110108MA01G3MDXW

企业类型 ： 其他有限责任公司

成立时间 ： 2018-12-11

经营范围 ： 工程设计；百兆瓦级压缩空气储能系统的技术开发、技术转让、技术推广、技术咨询、技术服务；销售自行开发后的产品、机械设备；产品设计。（市场主体依法自主选择经营项目，开展经营活动；工程设计以及依法须经批准的项目，经相关部门批准后依批准的内容开展经营活动；不得从事国家和本市产业政策禁止和限制类项目的经营活动。）

品牌名称 ： 中储国能（北京）技术有限公司

：

中储国能（北京）技术有限公司融资信息

披露时间	投资企业	金额	轮次
2022-05-26	华控基金，中科创星，招银国际资本，联想之星，普华资本，高榕资本，三峡新能源，翠微集团，海富产业基金，新鼎资本	3.2亿人民币	Pre-A+轮
2021-10-09	招银国际资本，中科创星，联想之星，普华资本，华控基金，南京麒麟	1.8亿人民币	Pre-A轮
2020-12-25	中科创星，株洲高科集团	1.6亿人民币	天使轮

中储国能（北京）技术有限公司竞争优势

中储国能（北京）技术有限公司是先进压缩空气储能系统的开拓者和引领者，是中国科学院工程热物理研究所先进压缩空气储能技术的产业化公司。作为国家高新技术企业、中关村前沿技术企业，具备百兆瓦级先进压缩空气储能系统研发、设计，核心装备制造、工程实施，以及电站投资和运营全套能力。公司技术团队已攻克1-300MW先进压缩空气储能核心关键技术，拥有完整的自主知识产权，建成“国家能源大规模物理储能技术研发中心”，具备1-300MW级先进压缩空气储能部件实验和系统集成测试的研发平台，已建成国际首套1.5MW、10MW及100MW先进压缩空气储能示范系统，在长时大规模压缩空气储能领域，处于国际领先地位。中储国能首席科学家为中国先进压缩空气储能技术的

创始人中国科学院工程热物理所陈海生研究员，目前研发团队200余人，产业化团队100余人，共300余人。其中包括高级职称研究人员20余人，包括国家级人才计划入选者6名，中组部“享受国务院特殊津贴专家”3名，国家杰青、863项目首席专家、973项目首席专家、国家重点研发计划项目首席专家、中科院先导专项项目首席专家等5名。申请压缩空气储能相关专利500余项（含国际专利20项），授权专利300余项（含国际专利6项，发明专利123项）。

中储国能官网

10. 压缩空气储能代表企业分析——中国电力建设股份有限公司

中国电力建设股份有限公司【601669】

企业状态 ： 存续

注册资本 ： 1514603.5123万人民币

企业总部 ： 市辖区

行业 ： 专业技术服务业

法人 ： 丁焰章

统一社会信用代码：91110000717825966F

企业类型 ： 其他股份有限公司(上市)

成立时间 ： 2009-11-30

经营范围 ： 许可项目：建设工程施工；建设工程设计；建设工程勘察；建设工程监理；公路管理与养护；地质灾害治理工程施工；地质灾害治理工程勘查；地质灾害治理工程设计；水力发电；发电业务、输电业务、供（配）电业务。（依法须经批准的项目，经相关部门批准后方可开展经营活动，具体经营项目以相关部门批准文件或许可证件为准）一般项目：工程管理服务；水利相关咨询服务；工程技术服务（规划管理、勘察、设计、监理除外）；工业工程设计服务；基础地质勘查；土壤污染治理与修复服务；土地整治服务；水污染治理；水环境污染防治服务；地质灾害治理服务；电力行业高效节能技术研发；风力发电技术服务；太阳能发电技术服务；储能技术服务；建筑废弃物再生技术研发；生物质能技术服务；土石方工程施工；对外承包工程；金属结构制造；砼结构构件制造；以自有资金从事投资活动；信息系统集成服务；数据处理和存储支持服务；软件开发；招投标代理服务；货物进出口；人力资源服务（不含职业中介活动、劳务派遣服务）。（除依法须经批准的项目外，凭营业执照依法自主开展经营活动）（不得从事国家和本市产业政策禁止和限制类项目的经营活动。）

股票类型 ： A股

品牌名称 ： 中国电力建设股份有限公司

：

中国电力建设股份有限公司财务数据分析

财务指标	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
销售现金流/营业收入	0.92	0.91	0.89	0.95	0.92	0.94	0.99		
资产负债率(%)	82.1536	83.2351	82.7901	82.8598	79.3794	79.9691	76.2095	74.744	75.089
营业总收入同比增长(%)	13.9948	15.3638	11.0459	13.2974	11.6549	10.6094	18.0159	15.272	11.752
归属净利润同比增长(%)	10.3941	5.1058	-24.6765	29.32	8.7836	3.7874	-5.9229		
应收账款周转天数(天)	49.4845	48.7296	45.6308	49.7334	54.7179	53.9084	51.011	50	52
流动比率	1.19	1.1255	1.1769	1.1283	1.0184	0.9626	1.051	1.091	1.038
每股经营现金流(元)	0.5625	0.7034	0.777	2.1038	0.3641	1.2539	0.6027	2.808	1.021
毛利率(%)	14.4729	14.025	14.8382	12.9912	14.0832	14.7737	14.0648		
流动负债/总负债(%)	61.7783	62.5658	60.3208	60.9403	62.252	61.9887	56.9237	57.605	56.489
速动比率	0.5187	0.4849	0.525	0.5583	0.468	0.458	0.4701	0.769	0.73

摊薄总资产收益率(%)	2.5184	2.0366	1.6776	1.6758	1.4969	1.5395	1.389	0.938	0.933
营业总收入滚动环比增长(%)	1.3632	9.6582	28.8604	26.762	20.7564	44.0037	39.4605		
扣非净利润滚动环比增长(%)	35.378	20.5343	-96.9657	-29.1667	-35.3125	-19.3451	-19.1233		
加权净资产收益率(%)	14.1	13.49	10.8	12.3	10.66	9.73	8.45		
经营现金流/营业收入	0.5625	0.7034	0.777	2.1038	0.3641	1.2539	0.6027	2.808	1.021
基本每股收益(元)	0.4746	0.4986	0.3807	0.4714	0.4788	0.4842	0.4567	0.4632	0.4979
净利率(%)	3.5905	3.1581	2.7515	3.1782	3.0272	3.3676	3.0489	3.1746	3.0018
总资产周转率(次)	0.7014	0.6449	0.6097	0.5273	0.4945	0.4571	0.4556	0.471	0.485
归属净利润滚动环比增长(%)	34.0206	-10.1439	-83.3225	-25.4383	-16.2924	-17.5266	-23.5036		
存货周转天数(天)	146.187	174.5285	174.6894	180.3156	180.7229	180.9864	175.0802	146	115
营业总收入(元)	1448.37亿	1670.91亿	2109.21亿	2389.68亿	2668.20亿	2952.80亿	3484.78亿	4019.55亿	4489.80亿
每股未分配利润(元)	1.3926	1.7345	1.6654	2.0438	2.1963	2.5213	2.8002	3.1524	3.5183
稀释每股收益(元)	0.4746	0.4986	0.3807	0.4714	0.4788	0.4842	0.4567	0.4632	0.4979
归属净利润(元)	45.56亿	47.86亿	52.36亿	67.72亿	73.67亿	76.95亿	72.39亿	79.87亿	86.32亿
扣非每股收益(元)	0.4716	0.483	0.333	0.4574	0.4435	0.4324	0.4009	0.2849	0.4624
每股公积金(元)	1.0937	1.1001	0.9146	0.9256	1.5075	1.6059	1.6496	1.8436	1.9394

中国电力建设股份有限公司竞争优势

公司始终把科技创新摆在发展全局的核心位置，研发投入力度持续加大，加强关键核心技术攻关，积极打造原创技术策源地，加快数字化转型步伐，全面建设数字电建，为新业务、新业态和新商业模式拓展奠定了坚实的技术基础。2021年，公司申请专利4,532件，授权专利4,275件，参与制定国际标准9部，完成国家、行业标准126项，获得省部级奖励299项。截至2021年底，公司拥有7个院士工作站、8个博士后科研工作站、8个国家级研发机构、60个省级研发机构，拥有18,134件专利。公司具备投资融资、规划设计、施工承包、运营管理和装备制造全产业链优势和提供一体化解决方案的能力，重点强化能源电力、水资源与环境、城市区域性综合开发和现代交通等四大主业产业链，在产业链一体化的基础上不断向价值链中高端升级，提升资源整合能力，打造开放合作、互利共赢的现代化产业链。

中国电力建设股份有限公司2021年年度报告

11. 压缩空气储能代表企业分析——中国华能集团有限公司

中国华能集团有限公司

企业状态 ： 存续

注册资本 ： 3490000万人民币

企业总部 ： 市辖区

行业 ： 批发业

法人 ：温枢刚

统一社会信用代码：911100001000100 2XD

企业类型 ：有限责任公司(国有独资)

成立时间 ：1989-03-31

经营范围 ：组织电力（煤电、气电、水电、风电、太阳能发电、核电、生物质能发电等）、热、冷、汽的开发、投资、建设、生产、经营、输送和销售；组织煤炭、煤层气、页岩气、水资源的开发、投资、经营、输送和销售；信息、交通运输、节能环保、配售电、煤化工和综合智慧能源等相关产业、产品的开发、投资和销售；电力及相关产业技术的科研开发、技术咨询服务、技术转让、工程建设、运行、维护、工程监理以及业务范围内设备的成套、配套、监造、运行、检修和销售；国内外物流贸易、招投标代理、对外工程承包；业务范围内相关的资产管理、物业管理；业务范围内的境内外投资业务。（市场主体依法自主选择经营项目，开展经营活动；依法须经批准的项目，经相关部门批准后依批准的内容开展经营活动；不得从事国家和本市产业政策禁止和限制类项目的经营活动。）

品牌名称 ：中国华能集团有限公司

：

中国华能集团有限公司融资信息

财务指标
暂无数据

中国华能集团有限公司竞争优势

中国华能集团有限公司是经国务院批准成立的国有重要骨干企业，创立于1985年，主营业务包括电源开发、投资、建设、经营和管理，电力（热力）生产和销售，金融、煤炭、交通运输、新能源、环保相关产业及产品的开发、投资、建设、生产、销售，实业投资经营及管理，2022年可控装机超过2.2亿千瓦，煤炭产能超1亿吨/年，具备压缩空气储能国家示范项目经验。2022年5月，江苏金坛盐穴压缩空气储能国家试验示范项目投产。这是中国压缩空气储能领域唯一国家示范项目，也是世界首个非补燃压缩空气储能电站。该项目由中国华能、中盐集团和清华大学三方共同开发,系统主设备均为国产首台套，标志着中国压缩空气储能技术实现从“理论实验”到“工程应用”质的飞跃。项目投产后可为地方电网提供6万千瓦调峰能力，一个储能周期可存储电量30万千瓦时，每年增加调峰电量约1亿千瓦时。项目远期规划100万千瓦，将打造中国大规模清洁物理储能基地。

华能集团官网

头豹“数字行研”——词条报告

诚邀

优质企业共建词条报告

—展示企业优势地位

第三方数据机构应用合作招募

—头豹词条数据库流量赋能转化

开通会员账号，查阅数据底稿

—市场规模、竞争格局工作底稿一览无余

详情咨询：400-072-5588

136-1163-4866

- 体量庞大、创作效率高
  - 上万词条由概念级、产业级、行业级、产品级分层搭建，为垂直细分研究提供基础
- 创作全程溯源
  - 原创内容溯源：创作过程中一手调研资料、访谈纪要、数据底稿（数据来源、预测逻辑、模型公式等）文件均上传头豹脑力擎系统存储，确保每个词条有据可查
  - 第三方资料溯源：创作过程中的参考文献、权威机构名称及网址等内容精准溯源
  - AI生成类内容溯源：AI生成的内容进行区分标识
- 科技赋能
  - 脑力擎系统：词条数据库、写作指引及视频指南、溯源功能、写作助手、 AI生成、专家访谈工具、数字资产确权等功能，实现数字行研
  - 开源、扩展性：词条内涉及的公司名可与第三方企业库对接获取信息；脑力擎系统接口可与第三方对接，获取实时数据或输出数据
- 方法论模型
  - 词条基于头豹行企研究8-D方法论组成，概述+数据+分析相结合，内容清晰，数据量足，观点结论丰富
  - 依托多年行研咨询经验，脑力擎Size3.0控件独创市场规模及竞争格局搭建及测算模型

头豹 LeadLeo