

# 废盐穴变身“空气充电宝”

## ——山东省肥城市新型储能产业调查

本报记者 崔浩

党的二十届三中全会提出,加快规划建设新型能源体系,完善新能源消纳和调控政策措施。近年来,可再生能源在我国能源体系中占比越来越高,新型储能技术在促进新能源消纳和电力系统安全稳定运行等方面的作用逐步显现。与传统的电化学储能相比,新型储能技术路线处于示范、试运行阶段,需要不断提高与电网的适配性和经济性,探索规模化、商业化道路。

### 山东省肥城市

#### 300MW/1800MWh先进压缩空气储能国家示范电站

年发电量 **约6亿千瓦时**  
 用电高峰可为 **20万至30万户** 居民提供电力保障  
 每年可节约标准煤 **约18.9万吨**  
 减少二氧化碳排放 **约49万吨**

盐井深平均在800米至1000米  
 储气容量超过 **50万立方米**

具有地质稳定、埋深适中、  
 气密性好等特点



山东省肥城市300MW先进压缩空气储能国家示范电站项目全景。(资料图片)

(资料图片)

### 走向示范应用

2024年4月30日,在山东省泰安市肥城经开区储能产业园,国际首套300MW/1800MWh先进压缩空气储能国家示范电站首次并网发电并一次成功。中储国能(山东)电力能源有限公司项目经理侯虎灿介绍,该电站是目前国际上规模最大、效率最高、性能最优、成本最低的新型压缩空气储能电站,在系统设计、装备研制、工程实施等领域实现10余项关键技术突破;年发电量约6亿千瓦时,用电高峰可为20万至30万户居民提供电力保障,每年可节约标准煤约18.9万吨,减少二氧化碳排放约49万吨。

作为一种物理储能技术,压缩空气储能是通过物理变化即对空气的压缩和膨胀来实现能量的储存和释放。在储能阶段,利用电网富余电力驱动电动机带动压缩机,把常压空气压缩成高压状态,储存在地下盐穴,完成由电能向势能的转化。当电力紧张时释放高压空气,推动膨胀机做功,带动发电机发电,对电网进行调峰,实现调度。与电化学储能相比,压缩空气储能技术使用寿命更长,可达30年至50年,因而成本更低。

与锂电池、抽水蓄能等相比,压缩空气储能技术非常“年轻”,但发展迅速。中国科学院工程热物理研究所所长陈海生说,2004年他开始研究该技术时,我国可再生能源装机占比不足1%,未出现并网难题。2010年,陈海生带领一支新成立的小团队,3年完成1.5MW示范项目,5年建成10MW示范项目,7年建成100MW示范项目。2021年9月23日,10MW盐穴压缩空气储能电站在肥城成功并网发电,成为国际首个商业化运行的先进压缩空气储能调峰电站。2022年7月,该电站获批成为我国首座参与电力现货交易的压缩空气储能电站,通过参与电网调峰、调频,对提升供电质量和优化电网运行起到很大作用。

“从1.5MW到10MW,每一次规模放大,都不是简单地技术叠加,而是需要从底层开始重新研发设计。”陈海生介绍,肥城300MW先进压缩空气储能国家示范电站首次采用自主研发的300MW级多级宽负荷组合式压缩机、多级高负荷透平膨胀机、高效紧凑型蓄热换热器等新产品,将形成一系列技术标准及操作规范,有效促进并规范压缩空气储能技术及产业的发展。

参与电网统一调度与优化配置,成为衡量新型储能技术能否实现规模化、商业化应用的关键指标之一。侯虎灿说,自并网发电以来,电站顺利转入试运行阶段,目前正紧锣密鼓地进行电网耦合实验与测试工作。在此过程中,电站积极与山东省电网合作,依托国家重点研发计划等多个项目与课题,全力推进300MW先进压缩空气储能系统的实验与测试。

“压缩空气储能作为一种新型储能技术,在电网中具有广阔应用前景。”国网山东肥城市供电公司发展建设部工作人员孙衍伟表示,储能系统运行必须严格遵循电网调度中心指令,确保电力系统运行效果最优化。并网试运行阶段,首要任务是让电站适应电网结构,更有效吸收电能。同时,电网方面也需要深入了解压缩空气储能技术特性,以确保稳定高效应用。

在肥城项目加速发展的同时,压缩空气储能技术不断迭代升级。陈海生说,中国科学院工程热物理研究所和中储国能研发团队已开展面向更大规模、更高效率、更优性能的先导压缩空气储能核心技术的研发及装备制造,在系统设计、设备研发、工程示范方面取得了阶段性突破,将为下一步提高效率、降低成本提供技术支持。

### 充分利用资源

在参观压缩空气储能电站压缩机、变电站等主要设施后,侯虎灿告诉记者,储存压缩空气的罐子不在电站,而是在盐穴中。从电站出发,向南行驶约两公里,盐穴的“洞口”就“藏”在一片玉米地中。说是“洞口”,其实更像“管口”,只见一对猩红色的连接束矗立其中。工作人员介绍,这里是连接地面与地下盐穴的通道,每个盐穴平均体积为50万立方米至80万立方米,相当于20多层建筑物的大小。

盐穴是盐井开采完后,地下形成的巨大空洞。因其特有的蠕变性,可作为天然的能源密封存储罐,用于储气、储油、储氢等能源储备。从2009年江苏常州金坛部署天然气地下储气库开始,我国对地下盐穴的开发利用已经有10多年的历史。利用盐穴进行压缩空气储能具有显著经济优势,与人工制造的压力容器相比,这种自然形成的空间减少了对外部材料和资源的依赖,大大降低了建设成本。

肥城矿产资源丰富、种类齐全,是山东最大的井矿盐生产基地之一,已探明岩盐储量52.2亿吨。在此次建设300MW空气储能电站项目之前,肥城做了大量天然气储能项目前期探索工作,多次邀请全国储能领域权威研究机构对地下盐穴开展实地勘探,反复论证。中储国能相关负责人表示,当地除了盐穴资源丰富,独特的盐穴特征对企业来说也颇具吸引力。当地盐井深平均在800米至1000米,储气容量超过50万立方米,可承受压力达170个大气压,具有地质稳定、埋深适中、气密性好等特点,很适合开发利用。

2022年以来,越来越多产业链项目落户肥城。肥城先后招引前端制盐建穴项目4个,年建穴能力扩大到500万立方米,制盐规模突破千万吨级;中端盐穴储能项目4个,储能规模达千兆瓦级;天然气储气库项目1个,储气规模达10亿立方米;后端延伸建设储能装备制造智能制造产业园项目2个,全力打造集盐穴储能、储能装备制造、能源配套服务等于一体的全链条盐穴储能产业集群。近年来,泰安新型储能产业实现了从无到有、从弱到强,逐步构建以抽水蓄能、盐穴储能储气、电化学储能为主,以制氢储能、储热储冷等为辅的新型多元储能体系。预计到2025年,泰安市储能规模将发展到400万千瓦,到2030年力争达到1000万千瓦,建成全国知名的多元储能基地。

肥城市委书记张莉表示,肥城将以新型

储能科创中心为引领,壮大新型储能全产业链集群,同时融合商务服务、未来社区等功能,建设新型储能未来产业城,聚力打造高质量发展新的强力引擎。

### 直面商业化难题

从整体趋势看,新型储能技术正由初步探索阶段逐步走向产业化、规模化。中储国能(北京)技术有限公司总经理纪律介绍,继肥城300MW项目并网以来,一批压缩空气储能项目在国内纷纷上马,仅中储国能就已在河北、新疆、宁夏、河南、山东等地启动项目共计1500MW,规划项目超4000MW。此外,各地对重力、飞轮、液流等技术路线项目的投资建设也在加速。

随着新型储能技术步入大规模商业化推广阶段,市场更加关注其千千瓦时电成本是否具有竞争力。多位行业分析师指出,由于当前国际市场碳酸锂价格处于历史低位,加上国内市场竞争激烈,所以在成本方面,新型储能技术路线目前还难以与传统储能方式相抗衡。因此,部分投资方采取谨慎观望态度,等待成本下降和市场进一步明朗。

但很多人依然持乐观态度。“我们看中的是压缩空气储能的发展潜力。”山东电力工程咨询院有限公司山东省能源大数据中心副主任裴善鹏认为,山东是新能源大省,新型储能发展迅速,3年来电网新型储能装机量由55万千瓦增长至566万千瓦,装机规模居全国第二。截至今年9月10日,山东省电网风光发电量突破1000亿千瓦时,用时较去年提前70天。当前,山东省储能配置以2小时储能

时长为主流。未来随着新能源装机比例持续攀升,对4小时至6小时储能的需求将显著增强。在此背景下,以压缩空气储能技术为代表的长时储能方案将得到广泛应用。

在新型储能技术商业化进程中,政策支持尤为重要。通过制定针对性政策措施,可以有效促进新型储能技术示范应用,带动成本下降,为进一步推广新型储能技术奠定坚实基础。“山东发展新型储能是新型电力系统建设的必然选择,也有电力现货市场支撑等优势,但新型储能建设成本高的现象会在一段时间内持续存在。为促进全省新型储能发展,能源主管部门出台相关支持政策,充分体现了政府重视和政企密切协同的特点。”国网山东电力调度控制中心水电及新能源处负责人刘军说。

“以肥城压缩空气储能项目为例,山东省在并网发电盈利方面积极引导。参考山东省印发的促进新型储能示范项目健康发展的若干措施,压缩空气储能成本回收机制主要来源于现货电价差、容量补偿、容量租赁三种形式。”孙衍伟介绍,据测算,盐穴压缩空气储能项目全生命周期为30年至50年,预计10年至12年可回收成本,盈利空间可观。

“发展初期可以通过政策‘扶上马送一程’,最终目标是促进产业独立发展并实现盈利。”裴善鹏说,山东省电力现货市场发展4年来,已探索出一条比较成熟的路径。从长远来看,在构建新型电力系统过程中,最终目标是建立与新型储能相适应的市场机制,从而促进整个行业可持续发展。

### 2022年以来

肥城先后招引前端制盐建穴项目 **4个**  
 年建穴能力扩大到 **500万立方米** 制盐规模突破千万吨级  
 中端盐穴储能项目 **4个** 储能规模达千兆瓦级

作为北方经济强省,山东同时也是能耗大省和排放大省,其能源消费总量和碳排放总量均占全国近十分之一,节能减排任务艰巨。近年来,山东在新能源领域持续发力,推动能源结构优化转型取得显著成效。随着新能源装机规模持续扩大,新型储能技术作为构建新型电力系统的关键支撑技术与基础装备,其市场需求呈现强劲增长态势,为山东储能产业发展提供了广阔市场空间与发展机遇。然而,新型储能技术在迈向规模化与商业化过程中,仍面临诸多挑战,如成本居高不下、电网接纳能力有限等,需逐步加以解决。

在此过程中,技术创新与制度创新需要“两手抓”。一方面,依靠技术创新实现储能技术的迭代升级,突破成本与性能瓶颈;另一方面,通过制度创新为新型储能产业提供政策支持扶持与保障,确保其在发展初期顺利起步并稳健前行。唯有协同发力,才能建立起与新型储能发展相适应的电力市场机制,提高储能设备的总体利用效率,有效解决当前新型储能商业模式不完善的问题,推动行业走上可持续发展道路。

山东在新型储能领域积极探索、先行先试,初步构建起一套较为完善的产业发展框架,搭建起支撑新型储能发展的“四梁八柱”。例如,创新性出台独立储能参与电力现货市场交易等一系列支持政策,创立“电量交易+容量补偿+容量租赁”的多元收益模式,从政策与市场机制层面为新型储能产业发展提供了有力保障。通过全方位的创新举措,山东成功将新型储能融入电力系统的调度运行、安全管控、市场营销以及监督管理等各个环节,实现了新型储能与电力系统的有机融合与协同发展。

面对当前新型储能产业发展过程中遇到的困难以及市场短期波动,更加需要政府相关部门与行业协会保持战略定力,进一步加大政策支持力度,以更加开放包容的心态积极应对变化。同时,要密切关注产业发展动态,及时优化完善相关政策,为新型储能产业营造更加稳定、健康、有序的发展环境。



山东省肥城市300MW先进压缩空气储能国家示范电站主厂房。(资料图片)

(资料图片)

技术与  
 调查手  
 记

两手抓