千年“盐穴”华丽转身绿色能源中心

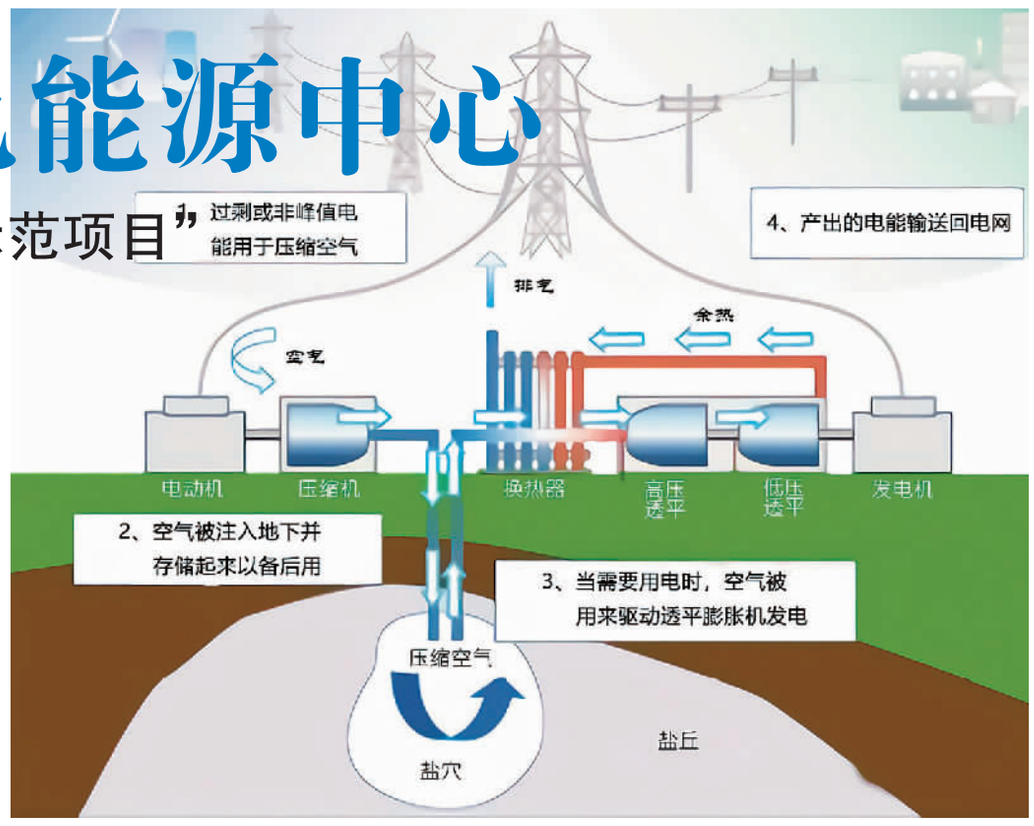
——探访“盐穴压缩空气储能发电系统国家示范项目”

赖 杰

前往工业区的道路两旁是返青的农田，其中还穿插着许多错综复杂的管道，有运输天然气的，也有运输盐矿采出的卤水的。进入到中盐金坛盐化有限公司的园区，庞大的真空制盐工厂和发电厂高高的烟囱占据了整个视野。而这一切都和地下的盐穴紧紧地联系着。

近日，笔者赶到江苏省常州市金坛区，实地探访位于该地的盐穴压缩空气储能项目。它是国家级试验示范项目，被称为储能领域“前沿中的前沿”。盐穴压缩空气储能电站相当于给电网加了一块巨型“电池”，可以储能也可以发电。由于使用的是空气这一清洁的储能介质，不会产生污染排放，是非常优异的大规模储能技术方案。

我国能源结构转型的目标是不断提升清洁能源占比，在能源生产、输送、储存和使用等各环节大力贯彻节能环保理念。盐穴压缩空气储能电站改变了传统电力“即发即用”的状态，为能源结构转型及传统电网的升级改造提供了有效技术支撑。



“盐穴压缩空气储能发电系统国家示范项目”原理示意图

削峰填谷 空气压缩储能发电大有可为

盐穴压缩空气储能电站是一种大规模储能发电技术的应用，其原理类似于目前常见的抽水蓄能电站。抽水蓄能电站在夜间用电低谷时，利用电能将水抽到上库；白天用电高峰时再将水释放发电。盐穴压缩空气储能电站则将上库换成了盐穴，将水换成了空气。

水可以储能发电，空气也能实现储能发电。盐穴压缩空气储能技术是以压缩空气为储能介质实现能量的存储转化。通过这种新型技术，可从电网吸纳用电低谷时的“过剩电能”——电动机驱动多级压缩机将空气压缩至高压并储存至地下盐穴中，完成电能到空气压力势能的转换，从而实现电能的储存。在此过程中，通过换热器回收压缩热，回输的热量储存在储热装置中。

用电高峰到来之时，释放空气驱动透平膨胀机即可做功发电，将电能回馈至电网，完成空气压力势能到电能的转换。在此过程中，利用储热装置中存储的压缩热加热透平膨胀剂进口空气，提高系统的循环性能。压缩空气储能可以实现电能的大规模清洁储能，大幅改善发电、用电的时空结构，实现电力供需的“削峰填谷”。

清华大学教授梅生伟介绍说：“目前，金坛盐穴压缩空气储能电站采用非补燃先进绝热压缩空气储能技术，其设计的能量综合效率为85%，除供电外还包括供暖和供冷。其中电转电的储能效率相对较小，仅为60%，随着技术研发的推进，未来系统的储能效率会进一步提升至70%以上。”

梅生伟掰起手指细数了盐穴压缩空气储能在容量、寿命、成本和环保上的各种优势。盐穴压缩空气储能采用空气作为清洁的储能介质，是无燃烧的纯机械物理储能装置，具有清洁环保的特性。它前期的生产和后期的报废都不会产生排放和污染。压缩空气储能电站配置的盐穴储气库容量大，使其单机容量就可以达到数十万千瓦甚至百万千瓦，能够更好地发挥储能作用。此外，盐穴压缩空气储能电站的运行寿命长，例如德国亨托夫补燃压缩空气储能电站自1978年建立至今已运行40余年，且仍在正常运营。金坛压缩空气储能电站的设计寿命也可达40年以上。

地下造腔 建设盐穴面临多重技术挑战

金坛盐穴压缩空气储项目是“中国创造”有力证明。由于这是国际率先采用非补燃技术的压缩空气储能电站，项目团队没有相关技术经验可以借鉴，只能自行研发。该项目副总工程师王国华介绍说：“我们走的是与国外压缩空气储能电站完全不同的技术路径，所以一切都得靠自己摸索创新。”

当问及使用何种具体技术时，清华大学薛小代博士表示，由于涉及技术机密，他不能做深入介绍，不过可以向外界透露的是，他所在的项目团队已经探索建立了一个拥有百余项专利的完善的自主知识产权体系，涵盖核心技术环节如高负荷空气压缩机、高效蓄热/换热、大容量稳定储气、宽工况空气透平、高效空气膨胀、大容量空气注采器等。

对项目推进过程中遇到的问题，中盐金坛总经理管国兴说，在建设地下盐穴储气库方面，大家都没有经验，需要攻克的技术难题很多，其中最大的有两个：一是如何在无法直接窥探盐穴的情况下完成地下造腔工艺；二是如何消化造腔过程中产生的大量卤水。

王国华解释说，由于盐穴在上千米深的地下，开采只能通过管道井进行，无法直接窥探其内部真实场景，只能从地面管道和控制机械略知其中一二。在施工过程中，保持盐穴墙室的形状至关重要。理论和实践证明，将其塑造成“梨形”可以承受更高压力，因此在施工过程中，综合利用声纳探测等各种手段，及时了解掌控形状变化状况，引导其向“梨形”拓展。经过10多年探索和实践，中盐金坛掌握了国内一流、世界领先的盐穴造腔工艺，在此基础上，建成三大盐穴天然气储气库群，成绩斐然。”

对于造腔过程中的卤水处理问题，中盐金坛有大规模综合利用渠道。管国兴说：“对于中盐金坛来说，建腔过程中采出来的卤水可是宝贝，是公司制盐的原材料。”

对于压缩空气储能这一新型的技术，目前国家没有现成的技术标准，为项目实施带来了一定的困难。对此，王国华表示，“现在项目团队正在着手准备起草非补燃压缩空气储能电站的相关标准。这也是国家试验示范项目给我们的一个重要任务，以便后期压缩空气储能电站的快速推广”。

多年积累 从储气到压缩空气储能发电

对中盐金坛来说，建设国家试验示范项目，起草相关标准，积累成功经验，既是一项光荣的任务，也是一项重大使命。为争取建设该项目，中盐金坛早在本世纪初就审时度势地推进相关工作。彼时，国家西气东输工程正在如火如荼建设中，有关方面要在沿线建设一批储气库。中盐金坛利用自身盐矿资源丰富的优势，向有关部门上报自己的盐穴资源非常适合做储气库。

为了证明盐穴储能的可行性，中盐金坛方面收集整理了详实的资料，并钻取了盐芯样本一起送到相关研究检测机构。经过论证，评审专家一致认可盐穴适合做储气库。中盐金坛抓住机会，趁势而上，于2007年在金坛建成了亚洲第一个盐穴天然气储气库。

盐穴储存天然气成功后，中盐金坛把盐穴资源的用途瞄准了盐穴压缩空气储能。实际上，在此领域，中盐金坛的相关科研人员早在2006年就开始关注了，只是当时国内相关技术非常薄弱，不具备基本建设条件。时间到了2011年，清华大学开始推进相关技术攻关，并在2年后取得重大突破。

中盐金坛方面与清华大学技术团队合作建立联合研究中心，推动新技术的研发。2017年5月，“盐穴压缩空气储能发电系统国家示范项目”获国家能源局批复。2017年底，中盐金坛携手有关方面，组建了以清华大学梅生伟教授为项目首席科学家的技术专家团队，协力推进盐穴压缩空气储能国家示范项目。2018年10月取得当地政府建设许可并于当年底开工建设。至此，我国盐穴压缩空气储能项目进入真正的工业实施阶段。

盐穴储能项目创建了具有完全自主知识产权的压缩空气储能技术体系，推动储能产业自主创新水平的提升，引领智能电网向低碳、绿色的方向建设与发展，促进我国能源结构的清洁化转型。以盐穴作为新的储能载体，不仅是消除工业盐穴地质灾害风险最有效、最经济的手段之一，也是盐行业实现结构转型发展的良机，推动中国丰富的盐穴资源的开发利用。

中国驻法国大使馆科技公参孙玉明：

携手40载 中法科技合作正青春

李宏策

近日，国家主席习近平对意大利、摩纳哥和法国进行国事访问。这是我国国家元首2019年度首访，凸显了中国对欧洲的高度重视。中国驻法国大使馆科技公参孙玉明日前接受采访时，详细阐述了中法科技合作在新时期的重要战略意义。

孙玉明公参表示，中法科技创新合作历来“敢为人先”。1964年中法建交，法国成为首个与中国建立大使级外交关系的西方大国。1978年中法签订政府间科技合作框架协议，这也是中国与西方大国签署的首个政府间科技合作协议。历经约40个春秋的中法科技合作与中国改革开放相伴相随，同步发展、深化。法国是欧盟和世界大国，其能在众多重大关键领域力避外来干涉，坚持与中国合作，除经济利益的驱动外，还源于中法间特殊的战略关系及法国外交的独立性、自主性。

孙玉明表示，科技合作作为中法双边关系的重要内容，受到两国国家领导人和两国政府极大关注，特别是2014年习主席访法以来，在两国政府、科研机构、高校和企业共同努力下，双方在诸多领域取得丰硕成果。

在核能领域，中法民用核能始终保持高位合作。2018年1月马克龙总统访华期间，两国领导人共同为世界首座先进压水堆三代核电站——台山核电站命名揭幕。两国合作建设的台山核电站1号机组已成为全球首台商业运营的EPR机组。同时，中法两国都重视核燃料闭式循环在核能可持续发展中的重要作用，并支持正在进行的商业谈判，以使中国乏燃料后处理/再循环工厂项目以安全、具有经济性以及符合双方共同利益的方式实现。

在航天领域，尽管在对华合作时受到外来因素的限制，法国依然能长期保持对华合作，并在空间轨道数据共享、航空发动机设计、卫星关键元器件设计与生产等方面取得一系列合作成果。卫星合作方面，中法海洋卫星已于2018年成功发射，中法天文卫星计划于2021年发射。双方还将继续推进在空间站、月球与火星等深空探测、地球科学、空间科学及气候变化等领域的深度合作，积极紧密联手落实第21届联合国气候变化大会的《巴黎协定》。

在航空领域，双方充分利用中法民用航空工业合作工作组合作平台，中航工业集团、中国商飞公司等多家中方企业与法国航空工业集团、空客集团、赛峰集团等法方企业共同围绕商用飞机、直升机、航空发动机重载飞艇、航电系统与空管设备以及飞行器总装引进生产等领域开展深度磋商，拓展双边合作。

在生物医疗领域，“中法P4实验室”意义非凡。2017年，中法P4高级别生物安全实验室合作取得关键性进展。该实验室是中法两国最高领导人亲自推动的战略性重大平台合作项目，自建设之初就备受两国领导人关注。2017年“中法P4实验室”正式通过评审，标志着历经10余年建设之久的中法最高水平新发传染病研发平台正式具备“战斗力”，成为我国应对全球重大公共卫生挑战的“国之重器”，使我国实现了从无到有的历史性突破。下一阶段，双方将积极探索从“建好”到“用好”的合作机制，围绕实验室管理和前沿研究两个层面提升两国在该领域的国际影响力。

中法科技合作联委会第14届会议不久前在北京召开，双方就两国科技创新战略与政策进行了深入交流，决定在联合实验室、联合资助机制、人员交流、举办主题研讨会、开展创新创业合作等几个方面加强顶层设计，并共同确定卫生健康、农业、人工智能、先进材料、空间、环境、粒子物理7个优先合作领域。这既是落实两国元首达成的共识，也是延续并进一步深化中法两国间强劲的科技合作。

孙玉明表示，当前大国战略博弈加剧，新一轮科技革命和产业革命正在酝酿之中，世界处于百年未有之大变局，科技对国家发展的重要战略意义进一步凸显。2019年是中法建交55周年和留法勤工俭学运动100周年。中法科技合作经历了40余年砥砺前行，有坚实的基础和光明的未来，对进一步推动中法战略合作，并作为表率推动中欧科技合作具有重要战略意义。

孙玉明最后表示，习近平主席访法，与马克龙总统达成的共识，将为推进中法科技创新合作进一步指明方向。我们最重要的任务，是将这些共识贯彻好、落实好，让中法科技创新合作产生巨大成效，服务于中法两国经济社会的发展，服务于第三方市场发展，推动全人类的共同进步。

（中国科技微信公号）

2019中国青年策展人奖聚焦“社交智能”

本报电 2019中国青年策展人奖（Hyundai Blue Prize 2019）日前在北京现代汽车文化中心启动。

今年比赛的主题为“社交智能”，将继续通过公开招募和提名的方式募集选手。初审团向复审团提名参赛选手的同时，还会从海选选手中选拔出10名选手，与被提名选手一同进入复赛选拔。复赛中，专家评委将通过选手提交的文章、方案和展览计划等参赛材料选出6名候选人入围决赛。而最终的两位获奖人将由专家评审和媒体评审的现场选拔和大众投票票数综合产生。

获奖者将分别获得由现代汽车提供的60万元人民币展览经费，以及在现代汽车文化中心举办获奖展、走访全球一线艺术机构的机会。

作为在华的重点艺术项目之一，中国青年策展人奖是韩国现代汽车用艺术连接科技、社会和未来的桥梁。自2017年开办以来，其不仅在中国挖掘了许多优秀的青年策展人，更为他们提供了一个自我展示的国际性空间和平台。

（任 铭）

近日，由上海市静安区教育局、静安区交警支队等单位联合打造的中小学生交通安全实践基地在静安区华灵学校正式启动。图为小学生在情景体验馆内体验安全『驾车』。（新华社发）

进化古生物学界又一突破性进展

寒武纪大爆发极盛期“化石宝库”被发现

据新华社电（记者**许祖华**）近日，美国《科学》杂志发表了中国西北大学早期生命与环境创新研究团队张兴亮、傅东静等人的最新研究成果《华南早寒武世布尔吉斯页岩型化石库——清江生物群》，在国际上首次公布了该团队在我国宜昌长阳地区发现了距今5.18亿年的寒武纪特异埋藏软躯体化石库——“清江生物群”。这是进化古生物学界又一突破性发现。

布尔吉斯页岩型化石库最早在1909年发现于加拿大落基山脉寒武纪中期的布尔吉斯页岩中，并因此命名。百余年来，此类化石库在全球各地已发现50余个，其中尤以加拿大寒武纪中期5.08亿年前的布尔吉斯页岩生物群和我国云南寒武纪早期5.18亿年前的澄江生物群最为著名。

清江生物群与澄江生物群同处于寒武纪生命大爆发时期动物门类爆发式起源演化的极盛时期，代表了同一时期不同古地理环境下全新的生物群落，两者的科学研究价值具有很强的互补性。清江生物群的后续挖掘、研究与保护将有可能为探索寒武纪大爆发这一重大科学难题提供多方面科学依据。

中国西北大学的研究团队自2007年在宜昌长阳发现第一块软躯体化石以来，长期坚持野外发掘和室内研究，揭示出清江生物群具有突出特点和优势。

此次发现的清江生物群，在4351件化石标本中，已分类鉴定出109个属，其中53%为此前从未有过记录的全新属种。生物统计学的“稀疏度曲线”分析显示，清江生物群的物种多样性将有潜力超越其他寒武纪软躯体化石库。

论文第一作者傅东静副教授介绍说，清江生物群的特色和优势体现在新属种比例最高、后生动物相对多样性最大、软躯体生物类群最多、化石形态保真度最优、原生有机质的埋藏保存最好等五个方面，具有难以估量的研究潜力。

“与澄江生物群相比，清江生物群生活于远离海岸的较深水环境，代表了不同生态环境下的全新生物群落，这一点从其超过半数以上的新属种可以证实。因此，清江生物群后续的大规模发掘，将为发现和探索新的躯体构型和新的动物门类提供第一手材料。”论文通讯作者张兴亮教授说。