

德国能源转型和大规模地下储能 对中国碳中和的启示

中德研发创新联盟

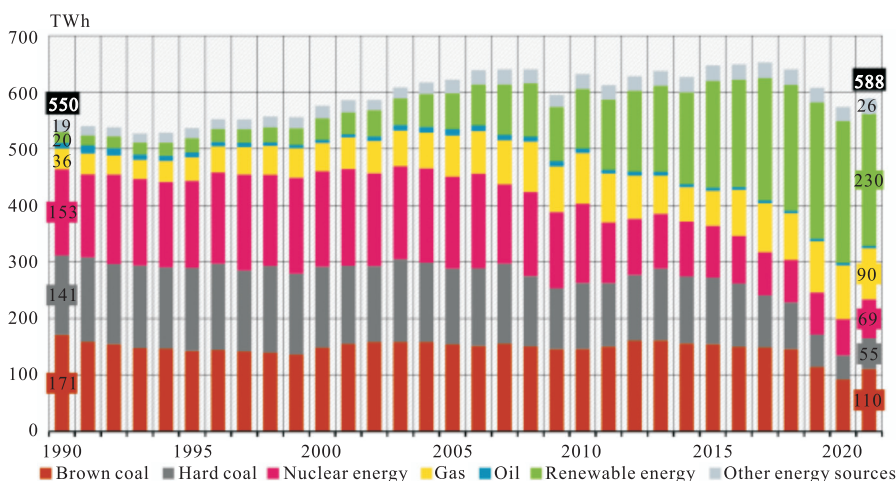
近日,德国克劳斯塔尔工业大学侯正猛院士团队的副研究员谢亚辰博士以第一作者身份在 International Journal of Mining Science and Technology 发表文章“Gleaning insights from German energy transition and large-scale underground energy storage for China’s carbon neutrality”,侯正猛院士为本文通讯作者。该文章强调了国际经验交流和合作在能源转型与碳中和战略中的重要性,详细分析了德国能源转型的现状和六大关键技术和排序,分析了中国实现碳中和的机遇和挑战,并建议将基于能源多板块智能耦合的绿色能源系统(ENSYSO)作为实现中国可持续能源的最主要途径。此外,考虑到中国的国情,提出了四种基于 ENSYSO 的大规模地下储能方法以应对可再生能源储存难题,有助于促进多能时空互补和整体电网平衡。

内容导读

为应对气候变化问题,世界各国以全球协议

的形式签署了减少温室气体排放的《巴黎协定》。以煤、石油和天然气为主的传统化石燃料,是全球全球变暖的最大贡献者,与化石燃料相比,太阳能、风能、水能和地热能等可再生能源不排放温室气体,是一种更加环保和可持续的能源形式。从化石燃料向可再生能源的转变是减缓气候变化的必要步骤。推动能源系统绿色低碳转型,构建以可再生能源为主的新型电力体系,是践行碳中和的关键。

中国的产业结构中制造业占比高,煤电比例高,污染排放量大,改变能源结构和能源转型的难度很大。中国有必要学习国际先进经验。美国的能源政策随执政党变更表现出截然相反的态度,能源转型战略的可持续性值得怀疑,使其不能成为理想的参考者。相比之下,德国一以贯之的坚持能源转型,已经成功地将电力生产中可再生能源占比提高到 45%以上,在可再生能源发电量方面成为欧洲的领导者,积累了丰富的技术和经验。

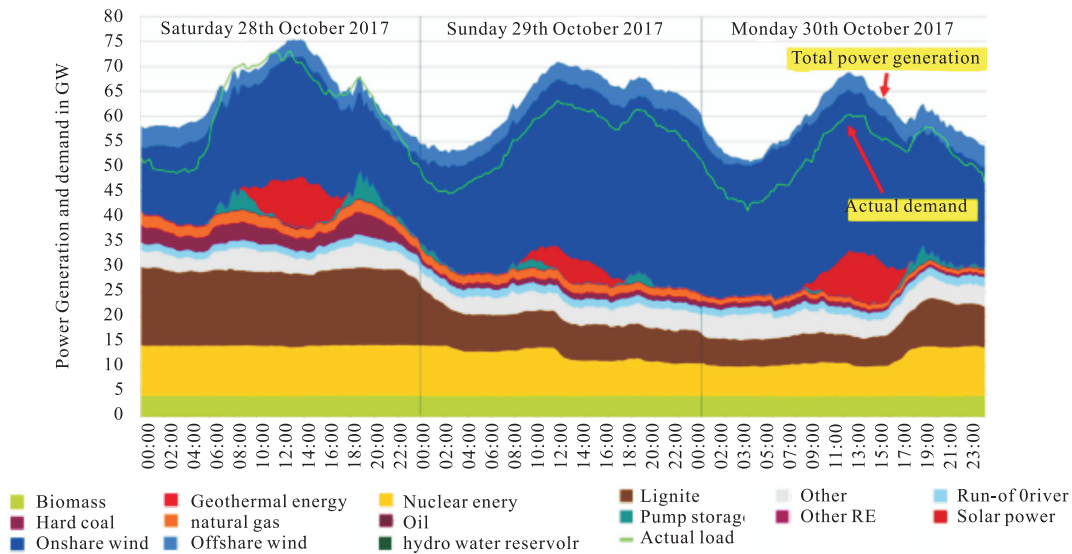


1 德国能源的总发电量

德国在能源转型第一阶段的成功,可归功于其采用智慧电网,实施电力期货和现货市场化,通

过电力多元转换和再发电技术实现了多能时空互补和整体电网平衡。德国在能源转型过程中主要依靠六大技术系统的推广:节能和提效、绿色建筑、可再生能源、电力期货和现货交易、交通领域

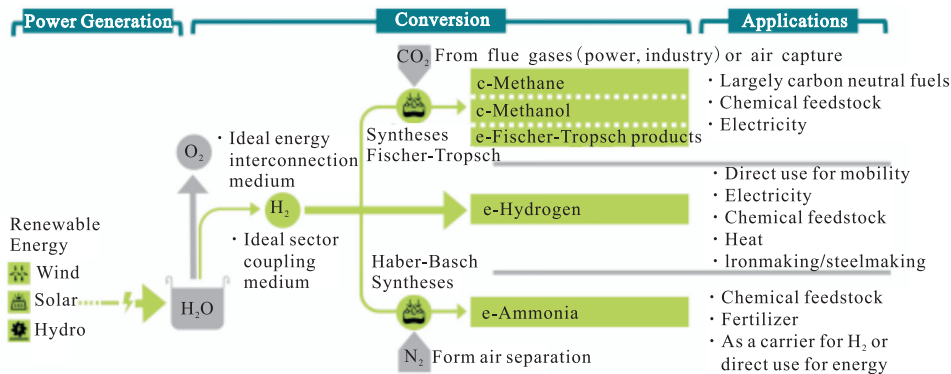
电气化和氢气化。虽然德国的能源转型取得了一定的成绩,但同时也存在一些问题和挑战。



2017 年 10 月 28 日至 30 日德国的电力供需图

可再生能源在时间维度上受到周期性和随机性的气候和天气波动影响(如水电、风能和太阳能),在空间维度上地理和全球环流模式控制着不同地区的天气,导致同一能源(尤其是风能和太阳能)的位置之间存在差异。因此,储能技术的发展对于解决可再生能源发电不稳定的问题至关重要。为了高比例消纳可再生电力,德国第二阶段的

能源转型将以发展能源消费板块耦合为主,构建电力、热力和交通部门耦合的智慧能源系统。德国将绿色氢气作为一种多功能的能源载体,成为运输、储存和交易可再生电力的理想能源互联媒介。结合 Power-to-X 技术,提供了解决可再生能源发电不稳定特性的变革性解决方案。



Power to X 的三种主要路径

德国政府预计,到 2030 年,氢气需求将达到 90 至 110TW·h。为满足这一需求,德国计划到 2030 年建造总容量高达 5GW 的电解槽。这相当于近 14TW·h 的绿色氢生产和近 20TW·h 所需的可再生电力。大规模地下能源储存将为绿氢提供可靠的储存方式。德国正在将现有的 32 座盐穴

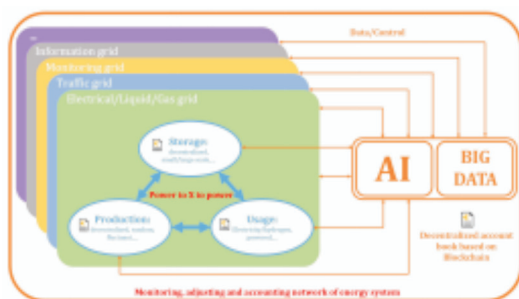
天然气库改造为储氢库,将现有的 4 座孔隙储气库改造为 20%混合储氢库。还将建设 40 个新的盐穴储氢库,升级现有的天然气管道系统。德国的绿氢地下储存计划总投资为 128 亿欧元(940 亿元人民币),到 2045 年实现碳中和时,所有地下储氢库的年度总工作气量将达到 730 亿千瓦时。



德国储气设施位置(2023年1月)

可再生能源在中国的发展更具挑战。2021年,中国风能和太阳能发电量占总发电量的11.5%,预计到2060年将达到85%。届时,风能和太阳能发电量接近 $2.6 \times 10^{13} \text{ kW} \cdot \text{h}$ (其中耦合 Power-to-X 的储能占比约25%,储能中大规模地下储能预计占比80%以上)。面对如此巨大的发电量,保障电力系统的稳定运行需要智慧能源系统和充足的储能能力。

侯正猛院士提出基于能源多板块智能耦合的绿色能源系统(ENSYSO),通过对电力多元转换和再发电技术(power-to-X-to-power)的应用将能源的生产、消费和存储3大板块智能耦合在一起。物理与数据混合驱动的轻量化人工智能方法既赋予 ENSYSO 管理系统强大分析、决策和反馈能力,也令整个系统的运转更高效、坚固且节能,同时更好地整合能源系统中的输运和监控网络,实现生产、消费和储能部门的模拟、分析、管理和智能耦合。



ENSYSO 综合能源系统架构

大规模地下储能技术有望成为中国实施 ENSYSO 的迫切需求,也是一种必要的选择。大规模地下储能是一种先进的储能技术,可以将电能转化为其他形式的能量(如压缩空气、液体或热能)进行储存,在需要时再转化为电能。基于 ENSYSO 框架的四种大规模地下储能方法:1) 矿井抽水蓄能(电转势能),2) 地下盐穴储能库(电转气包括氢、甲烷和压缩空气等、电转液包括甲醇等、电转电燃料),3) 可再生发电-供热-储能一体化增强型地热系统和浅层地热蓄能(电转热),4) 利用枯竭油气藏建造储气库(电转气包括氢、天然气和压缩空气),特别是作为大型生化反应器合成甲烷和储存可再生天然气,将助力于中国发展可持续清洁能源系统。可再生增强型地热系统有望实施的地区包括四川西部、西藏南部、云南、河南和广东等地区。云南、河南和山东等省份稳定的地质构造为矿山抽水蓄能发电提供了较好的工业化条件以及相对较小的技术和工程挑战。德国将盐穴储氢作为第二阶段能源转型最重要技术手段,投资将超过128亿欧元。中国盐穴分布广泛,但还未实施地下储氢项目,因此,开展盐穴储氢评估和试点项目至关重要。地下生物甲烷化作为一项关键的负碳技术,在中国拥有巨大的潜力和前所未有的发展机遇,特别适用于我国普遍存在的枯竭油气藏,尤其是在拥有众多枯竭天然气田的省份,如四川。

2 重要结论

基于德国能源转型的经验和教训,我们总结了实现能源转型和碳中和的六个要点:

(1) 能源转型路径的选择应符合中国能源资源禀赋“多煤、缺油、少气、可再生能源特丰富而分布不均”的特点。

(2) 必须优先保障能源安全,防止能源供应过度依赖单一国家。

(3) 中国可以学习德国成立电力现货/期货交易市场,推广绿色建筑,大力发展交通领域的电气化和氢化。

(4) 发展基于大数据的智慧电网和储能技术,以此来促进可再生能源产能比重的提高和减少弃光、弃风、弃水现象的发生。

(5) 坚持先立后破的原则,即先大力推广可再生能源及相关技术、再逐步减少对化石燃料的依赖。

(6) 避免德国把环境、气候保护与非常规油气开发、地下碳封存等对立起来的做法,而应鼓励加法和乘法的绿色创新,大力发展新能源和相关产业(如新能源汽车)、ENSYSO 绿色能源系统、绿色和高端制造、产业信息化和信息产业化,实现可持续循环经济。

中国发展可持续能源系统的一个关键方法是利用 ENSYSO 框架。在这种方法中,一个巨大的

挑战在于建立大规模的地下储能系统。为了适应中国不断扩大的可再生能源存储需求,提出了四种基于 ENSYSO 框架的大规模地下储能方法。相较于地上蓄能,大规模地下储能具有许多优点,包括大容量和长周期的蓄能潜力、安全高效、价格低廉、节约大量土地资源和保护生态环境。具有调峰、调频、调相、储能、系统备用和黑启动等“六大功能”,在保障电网安全稳定运行、促进可再生能源消纳和提高能效、提升全系统性能作用巨大,从而促进可再生能源的普及和大力发展。

“干热岩原位强制循环换热与 高效热光伏发电耦合技术” 实施方案论证会顺利召开

中国地质调查局水文地质环境地质研究所

2023 年 4 月 18 日,由中国地质调查局水文地质环境地质研究所牵头的国家重点研发计划项目“干热岩原位强制循环换热与高效热光伏发电耦合技术”实施方案论证会在北京胜利召开。会议旨在充分听取各方专家意见,统筹天津大学、深圳大学、中国地质调查局水文地质环境地质调查中心、中国科学院地质与地球物理研究所、清华大学山西清洁能源研究院、北京大学、中国科学技术大学、青海省地质调查局、国家能源集团新能源技术研究院有限公司等多家单位、多领域、多学科优势团队,全力完成该领域重点研发任务。

中国工程院院士多吉、中国工程院院士郭旭升、中国地质调查局发展中心研究员朱立新、天津大学教授朱家玲、核工业北京地质研究院研究员王驹、原西藏地勘局地热地质大队总工程师胡先才作为论证会专家出席本次会议,对项目实施方案进行指导。论证会由水环所副所长张兆吉主持,

所长侯春堂致辞,中国地质调查局领导和国家能源局领导在大会发表重要讲话,对项目组表示了祝贺,也提出了工作要求。

项目负责人从目标任务、课题设置、实施计划、组织管理与风险分析等方面介绍了该项目的实施方案。专家组听取汇报,审阅了相关材料,经过质询讨论,对实施方案的技术路线和示范应用等内容提出意见和建议。本项目的实施,将提升我国干热岩能量聚集、热量传递、原位取热、高效发电等方面的基础理论研究和技术创新能力。水环所作为项目牵头单位将深入贯彻科技部近年来关于科研项目运行管理的有关精神,为项目的良好运行提供坚实的保障。下一步,项目组将按照国家重点研发计划项目管理办法,在项目咨询专家组的指导下,在项目办公室的协调下,充分依托研究团队前期工作基础,全面展开本项目的科研攻关任务。

河南周口公布实施三大地热工程

中国热工作委

近日,河南省周口市人民政府印发《周口市“十四五”生态环境保护和生态经济发展规划》(以下简称《规划》),“十四五”期间周口市将实施三个地热能重大建设项目,总投资 78094 万元。根据规划,到 2025 年,周口市非化石能源占一次能源消费比例达到 10%。

“十四五”期间,周口市严格落实能源消费强度和总量“双控”,推行用能预算管理和区域能评制度,将用能权市场扩大至年综合能耗 5000 吨标准煤以上的重点用能企业。《规划》提出,加快发展风能、太阳能、地热能、生物质能等可再生能源。全市禁止新建企业自备燃煤锅炉,全面淘汰 35 蒸吨/小时及以下的燃煤锅炉。

周口属于河南省东部平原区地热系统,资源品质较优,已探明的地热资源,年可开采量达 4200 万立方米。《规划》提出,“十四五”期间,周口市将以地热清洁供暖为突破口,实施“沈丘县地热能集中供暖项目”、“西华县地热能集中供暖建设项目”、“西华县浅层地热能利用设施建设项目”3 个地热能重大工程。

其中,“沈丘县地热能集中供暖项目”可实现地热能清洁供暖面积 120 万平方米,项目总投资 54000 万元。“西华县地热能集中供暖建设项目”供热能力实现城区 400 万平方米建筑供暖,项目总投资 18000 万元。

另外,西华县浅层地热能利用设施建设项目,主要建设内容包括装机容量 13.2 兆瓦+3.7 兆瓦,该项目总投资 6094 万元,实施年限为 2023 年 3 月至 2023 年 10 月,项目牵头责任单位是西华县政府。

《河南省碳达峰实施方案》提出,大力发展新能源,探索深化地热能开发利用,建设郑州、开封、濮阳、周口 4 个千万平方米地热供暖规模化利

用示范项目。《河南省新能源和可再生能源发展“十四五”规划》同样提出,推动地热能集中供暖纳入城镇供热管网规划。到 2025 年,建成郑州、开封、濮阳、周口 4 个千万平方米地热供暖规模化利用示范区项目。

据了解,在政策利好与市场需求快速增长的双重推动下,周口市鹿邑县、沈丘县、太康县、西华县、淮阳县等地诸多项目规模化应用了地热能技术实现清洁供暖。作为北方地区清洁取暖试点城市,近几年郑州市大力推动地热能供暖建设,2023 年 4 月 21 日,郑州市人民政府办公厅印发了《关于可再生能源供热建设项目享受城市基础设施配套费资金支持的意见》提出,给予地热供暖服务项目城市基础设施配套费 55 元/平方米补助。

为深入推动河南省地热能规模化供暖制冷,充分挖掘区域资源优势,形成可复制可借鉴可推广的经验,由中国技术监督情报协会地热产业工作委员会、中国地质调查局浅层地温能研究与推广中心、北京中航环宇新能源研究院、地热加 APP 共同主办的“第七届中国(河南)地热高质量可持续发展开发利用高层论坛”将于 2023 年 5 月 30 日在郑州召开,共同分析探讨地热能产业高质量发展之路,解读新政策、研判新形势、寻求新路径。

《规划》还提出,周口市实施终端用能清洁化替代。全面推行清洁能源替代,推动农业、工业、交通、建筑等各用能领域电气化、智能化发展。加大绿色环保企业政策支持力度,引进和培育一批龙头骨干企业,培育一批精专特优中小企业。《规划》明确,创新供暖体制和方式,对集中供热管网覆盖范围以外的区域,鼓励沈丘、西华等县结合能源状况,采用工业余热、地热能等清洁能源供暖。