

2023年，我们加快构建现代能源体系

2023年，我国以更大力度深入推进能源低碳转型，能源生产和利用方式发生了重大变革。

这一年，绿电、绿氢灵活转换难题得以解决，海上稠油开发取得重要技术突破，我国可再生能源装机历史性超煤电，绿证核发范围扩大至所有可再生能源上网电量，具有完全自主知识产权的全球首座第四代核电站投运……

我国能源事业在实现高质量发展的道路上稳蹄疾，一个更加清洁、高效、可持续的能源体系正逐步建立。

◎本报记者 张晔

解决绿电、绿氢转换难题

固态储氢开发项目并网发电

2023年3月25日，国家重点研发计划固态储氢开发项目（以下简称固态储氢开发项目）在广东省广州市和云南省昆明市并网发电。在用电高峰时，该项目存储的165公斤氢能可连续稳定出力23小时。这是我国首次利用光伏发电制成固态氢能并将其应用于电力系统，破解了常温条件下以固态形式存储氢气的技术瓶颈，对于推进可再生能源大规模制氢、加快建设新型电力系统具有重要意义。

固态储氢的原理是在常温下通过氢气与合金发生化学反应，让氢原子进入金属的空隙中储存。需要释放氢气时，升高合金的环境温度即可。相比于高压气态储氢和低温液态储氢，固态储氢的体积储氢密度高、充放氢压力低、安全性好，可实现氢能的跨季节长周期存储。

固态储氢装置利用光伏电、风电等制备氢气，并把制成的氢气高密度存储起来。这既有利于解决风光发电波动性的问题，也有利于改变目前我国过度依赖煤炭、石油等化石能源制氢的现状。

“固态储氢解决了绿电与绿氢灵活转换的难题。这一重大变革性技术未来有望成为推动电力系统向高级形态演化的重要驱动力。”中国工程院院士王成山说。

降低稠油开发经济门槛

海上稠油热采关键技术实现突破

2023年4月25日，中国海油宣布，由其研发的、具有自主知识产权的稠油热采电潜泵注采一体化技术现场试验成功。该技术将大大降低稠油热采开发经济门槛，可解决我国海上稠油开发面临的关键难题，标志着我国海上稠油进入新的规模化开发时代。

稠油是一种比较黏稠的石油。因其黏度高、密度大，国外一般称之为重油。稠油的特性导致其开采难度较大，但也不能因此而放弃对其进行开采。数据显示，在世界剩余的石油资源中，约有70%都是稠油。我国渤海稠油资源十分丰富。截至2021年底，渤海共发现49个稠油油田，稠油探明地质储量占渤海海域总探明石油地质储量的一半以上。

目前，海上稠油开采技术已相对成熟，但海上稠油开发依然困难重重。比如，作为采油核心设备的电潜泵及井下工具耐高温能力差，在高温注热条件下极易“中暑”失效。

稠油热采电潜泵注采一体化技术，解决了井下设备的“防暑降温”问题，可确保其在注采过程中安全、稳定运行。该技术可满足350摄氏度高温蒸汽注热工况，实现了一个注采周期内注采两次作业到一次作业的重大跨越，两个吞吐轮次内可节省井下作业成本约70%。

这项技术可在渤海、南海东部、南海西部等海域的稠油油田推广应用。该技术的推广，有利于推动海上稠油油田的规模化经济开发，助力中国油气产量提升。

开启钻探“万米时代”

深地塔科1井塔里木油田开钻

2023年5月30日，我国首个万米深地科探井——深地塔科1井在位于塔克拉玛干沙漠的塔里木油田开钻。这既是我国深地探索领域的重要进展，也是人类拓展认知边界的一次大胆尝试。

塔里木油田是我国最大超深油气生产基地。开钻万米深井，不断向深地“要油”，是保障国家能源安全的重要举措。但经过几千年的地壳运动，塔里木盆地的地层变得支离破碎，其构造被地质学家形象地称为“一撮盘字摔碎了，又被踢了几脚”。在此地钻井施工，难度超乎想象。

不仅如此，越接近万米深地，钻井施工难度越呈几何倍数增加。比如，在万米深的地下，施工设备将面对超过200摄氏度的高温和1700倍大气压的高压。在这种极端环境中，钻

杆“像面条一样柔软”，其表面压力相当于“在指甲盖上站了一头大象”。

近年来，我国不断向地球深部进军，并多次刷新“中国深度”。仅在塔里木油田内，超过6000米的深井数量已达1700多口，占全国的80%以上，其中最深井深度已达9396米。这为万米深井工程提供了基础条件、技术储备和经验积累。

为保证钻井施工顺利，科研和工程人员通过世界领先的三维物探技术，大致“看清”了井位所在的地层结构。这相当于为万米深井要穿越的地层做了一次CT。为克服超高温、超高压的地下极端环境，科研人员还自主研发了一系列搭载“硬核”科技成果的钻井装备，如钻深可达12000米的钻机、适用于复杂地层的特种钻头。

深地塔科1井标志着我国钻探能力开启“万米时代”。它将为我国未来的科学研究和油气资源开发提供重要支持。

提升能源安全保障能力

国内首个电力充储放一张网上线

2023年6月29日，深圳市发改委发布深圳市电力充储放一张网1.0（以下简称“一张网”）。“一张网”是我国首个聚合了充电设施、新型储能、分布式能源等各类电力充储放资源的平台，能有效提升能源安全保障能力。

以往，电力充储放资源较为分散，缺乏统一管理，资源价值没有得到有效发挥。“一张网”可将各类分布式资源聚合起来，形成规模化的整体性资源。这将对深圳的电力削峰填谷、能源保障和能源安全产生积极作用，可提升城市能源安全韧性。

“一张网”是目前国内数据采集密度最高、接入负荷类型最全、直控资源最多、应用场景最全的虚拟电厂平台。它以数字孪生、全景可控的形式，全量接入分布式资源，融合多源异构数据，包括17万个充电桩、5100个5G储能基站、6000个电动自行车充换电柜、1200个光伏电站、15个储能示范站、13个车网互动站、46个换电站以及大型数据中心等资源。“一张网”还可与虚拟电厂管理平台协同，实现分布式资源可观、可测、可控。

同时，“一张网”还提供了统一公益性服务入口。它将给市民带来更便利的生活体验。比如，“一张网”将在小程序上提供充电桩智能推荐、查询等功能。这些功能可在方便用户的同时智能引导用户充电，纾解交通拥堵，帮助运营企业引流，从而实现多方共赢。

在建设过程中，“一张网”面临海量多源异构分布式电力资源的管理和应用难题。数字孪生、物联网、人工智能等技术的应用有效解决了这些难题。

优化能源结构

我国可再生能源装机历史性超煤电

截至2023年上半年，全国可再生能源装机突破13亿千瓦，达到13.22亿千瓦，同比增长18.2%，历史性超过煤电，约占我国总装机的48.8%。其中，水电装机4.18亿千瓦，风电装机3.89亿千瓦，光伏发电装机4.7亿千瓦，生物质发电装机0.43亿千瓦。这是我国提出新型电力系统构想后取得的标志性成就。

在可再生能源新增装机方面，2023年上半年，全国可再生能源新增装机1.09亿千瓦，同比增长98.3%，占新增装机的77%。其中，常规水电新增并网206万千瓦，抽水蓄能330万千瓦，风电新增并网2299万千瓦，光伏发电新增并网7842万千瓦，生物质发电新增并网176万千瓦。

从发电量来看，2023年上半年，全国可再生能源发电电量达1.34万亿千瓦时。其中，风电光伏发电量达7291亿千瓦时，同比增长23.5%。

值得关注的是，全国新型储能装机规模实现半年翻倍。随着可再生能源装机规模的快速增长，电力系统对各类调节性资源的需求也迅速增长，新型储能项目正加速落地。截至2023年6月底，全国已建成投运的新型储能项目累计装机规模超过1733万千瓦/3580万千瓦时，平均储能时长2.1小时。

在各类型储能技术中，锂离子电池储能仍占绝对主导地位。压缩空气储能、液流电池储能、飞轮储能等相对成熟的储能技术保持快速发展。超级电容储能、固态电池储能、钛酸锂电池储能等新技术也已经开始投入工程示范

应用，各类新型储能技术总体呈现多元化快速发展态势。

推动绿色电力消费

绿证覆盖所有可再生能源上网电量

2023年8月3日，国家发改委、财政部、国家能源局联合发布《关于做好可再生能源绿色电力证书全覆盖工作 促进可再生能源电力消费的通知》（以下简称《通知》），实现绿证对可再生能源电力的全覆盖。

我国于2017年试行绿证核发和自愿认购制度，对享受补贴的陆上风电和集中式光伏发电项目核发绿证，用户可通过购买绿证作为消费绿电的凭证。随着我国可再生能源进入全面平价上网新阶段，绿证制度可为发电企业提供物理电量之外的绿色环境价值收益。

《通知》的发布，标志着绿证的发展迎来了新风口。《通知》首次将绿证明确定义为“可再生能源电量环境属性的唯一证明”，并将绿证核发范围扩大到风电、太阳能发电、常规水电、生物质发电、地热能发电、海洋能发电等。

我国拥有世界规模最大的可再生能源装机和发电量。在国内“双碳”目标的推动和国外产业链、碳关税的压力下，不少企业选择扩大绿电消费规模。比如江苏省无锡市新吴区的无锡普洛菲斯电子有限公司在2023年3月购买了6732张绿证，实现了100%使用绿电。江苏是全国首批开展绿证交易的省份之一。2023年一季度，江苏创下同期单笔成交7万张绿证的全国最高纪录。

此次《通知》将绿证核发范围扩大至所有可再生能源上网电量，并使绿证能直接用于全社会的绿电消费核算与认证。这让绿电交易体系更统一、更清晰。

迎来绿氢产业发展里程碑

我国万吨级光伏绿氢示范项目投产

2023年8月30日，我国首个万吨级光伏绿氢示范项目——中国石化新疆库车绿氢示范项目全面建成投产。这标志着我国绿氢规模化工业应用实现“零突破”，被业界认为是我国绿氢产业发展的一个里程碑。

绿氢，就是指通过太阳能、风能等可再生能源发电直接制取的氢气。相比于以往利用化石燃料发电制取的灰氢，绿氢在生产过程中基本不产生温室气体。

新疆库车绿氢示范项目电解水制氢能力达每年2万吨，现场10个储氢罐的储氢能力达21万标准立方米，管道输氢能力达每小时2.8万标准立方米。

该项目制氢厂所用的电力都源自位于库车市牙哈镇的300兆瓦光伏电站。光伏电站发出的电会被输送到中国石化新星公司制氢厂区用于电解制氢。制好的绿氢会被收集起来输往中国石化塔河炼化公司，作为含氢汽油、柴油的原料进行进一步加工，余下的废液则会重新用于绿氢制取。

此外，这些绿氢在生产全流程中不会产生碳排放。按一年2万吨绿氢产量计算，该项目每年可减少二氧化碳排放48.5万吨，相当于植树2600万棵。

作为我国首个规模化绿电制绿氢项目，该项目的建设面临着规模大、工艺技术新、无成熟工程案例可借鉴等难点。中国石化通过联合攻关、“揭榜挂帅”等形式，破解了新能源波动电力场景下柔性制氢及连续稳定向下游炼化企业供应的难题。其中，面对可再生波动电源制氢的技术难题，中国石化通过自主开发绿电制氢配置优化软件，将电控设备与制氢设备同步响应匹配，实现了“荷随源动”，大幅提升了设备对波动的适应性。此外，项目中形成的万吨级电解水制氢工艺与工程成套技术、绿氢储运工艺技术等创新成果均实现了工业应用，项目已申报专利及专有技术10余项。

助力非常规油气增储上产

我国首个千亿方深煤层大气田发现

2023年10月23日，中国海油在鄂尔多斯盆地东缘2000米地层发现我国首个千亿方深煤层气田——神府深煤层大气田。该气田探

明地质储量超1100亿立方米。

煤层气是指储存在煤层中的天然气，业内通常将埋深超过1500米的煤层气称为深部煤层气。我国煤层气资源丰富，埋深在2000米以内的煤层气资源量超过30万亿立方米。其中，深部煤层气资源量约占1/3。

神府深煤层大气田位于陕西省榆林市，地处鄂尔多斯盆地东缘，煤层主要埋深2000米左右，单层厚度在6.2米至23.3米之间，吨煤平均含气量达15立方米。

随着埋藏深度的增加，地层温度、压力和应力等会大幅提升。这会导致煤层气勘探开发难度不断加大。一直以来，我国煤层气勘探开发大多集中在埋深小于1000米的浅煤层。由于缺乏配套的工艺技术，超过1500米的深煤层长期以来被视为勘探禁区。

科研人员通过加强深部煤层气成藏机理研究，创新提出致密气与煤层气“互补式”“立体式”勘探理念；加强储层改造和排采工艺研究，利用已钻致密气低效井开展深部煤层气试验，实现了“老井新用”。这不仅大幅降低了作业成本，更加快了深煤层的勘探进程。针对深部煤层气增产难题，中国海油运用超大规模压裂技术，形成了适用于神府区块的深煤层开发技术体系，仅用一年半时间，就成功发现了地质储量超千亿立方米的深煤层气田。

神府深煤层大气田是中国海油继山西临兴气田后发现的第二个千亿方大气田。神府深煤层大气田的发现展现出鄂尔多斯盆地东缘深部煤层气藏勘探开发的广阔前景，对我国类似盆地资源勘探和非常规油气增储上产具有重要意义。

增强核电科技创新能力

全球首座第四代核电站投运

2023年12月6日，具有我国自主知识产权的全球首座第四代核电站——华能石岛湾高温气冷堆核电站示范工程（以下简称示范工程）商运投产。这标志着我国在高温气冷堆核电技术领域达到了全球领先水平，对推动我国实现高水平科技自立自强、建设能源强国意义重大。

高温气冷堆是国际公认的第一代核电技术先进型堆，是世界核电未来发展的重要方向。

该堆型具有“固有安全性”，即在丧失所有冷却能力情况下，不采取任何干预措施，反应堆都能保持安全状态，不会出现堆芯熔毁和放射性物质外泄的情况。

高温气冷堆具有固有安全性、发电效率高、应用领域广等优良性能，在核能发电、热电冷联产及高温工艺热应用等领域应用前景广阔。

示范工程位于山东省荣成市，是世界首座球床模块式高温气冷堆项目，由中国华能牵头，联合清华大学、中核集团共同建设。建设过程中，产业链上下游联合开展关键技术攻关和核心设备研制，攻克了一批关键技术，研发出2000多套世界首台套设备。

依托示范工程，我国系统掌握了高温气冷堆设计、制造、建设、调试、运维技术，培养了一批具备高温气冷堆建设和运维管理经验的专业人才队伍，形成了一套可复制、可推广的标准化管理体系，并建立起以专利、技术标准、软件著作权为核心的高温气冷堆自主知识产权体系。



图① 深地塔科1井进行钻井作业。

新华社记者 王鹏摄

图② 位于新疆昌吉回族自治州木垒哈萨克自治县的华电新能源250兆瓦光伏项目。新华社记者 张铨摄

图③ 中国石化新疆库车绿氢示范项目制氢厂储氢罐区。新华社记者 顾煜摄

图④ 位于云南省文山壮族苗族自治州丘北县的锦屏山西风电项目。

新华社记者 陈欣波摄

年终盘点