



国家地热能中心



# 热氢风光新能源

Re Qing Feng Guang Xin Neng Yuan

2024 年第 1 期（双月刊） 总第 7 期



主办单位：国家地热能开发利用研究及应用技术推广中心

中国石化集团新星石油有限责任公司

## 卷首语

全球能源革命和科技革命方兴未艾，热氢风光等新能源发展未来可期。国家地热能中心自 2012 年批准成立以来，牵头地热届政产学研各领域专家学者，一直致力于地热能开发利用政策的推动、地热能中长期发展规划的编制、地热能技术的研发及交流、地热能标准的制定及推广等工作，特别是随着 2023 年世界地热大会的临近，国内地热届掀起了地热开发和技术交流的热潮。《热氢风光新能源》杂志，由国家地热能中心创办，随着科技的发展和产业的兴起应运而生。

国家“十四五”可再生能源发展规划，锚定碳达峰、碳中和目标和 2035 年远景目标，提出 2025 年非化石能源消费占比达到 20%，可再生能源在一次消费中要达到 10 亿吨标煤的任务要求。由此可见，我国热氢风光等新能源实现大发展的前景光明，我们理应抓住机遇，为社会创造更大的价值。

《热氢风光新能源》定位于专业性学术期刊，她将通过宣传党和国家的能源政策和法规，介绍国内外新能源研究开发、综合利用、能源转换方面的新技术、新工艺和新装备，及时反映新能源学科发展动态，展示新能源专家经验，破解新能源企业管理难题，成为交流和学习的平台。

期待《热氢风光新能源》在各界专业人士的热心帮助下，在广大读者的共同支持和呵护下，办出特色、办成精品，成为你、我、他的良师益友，为营造绿色低碳新时代贡献力量。

邵迎升

# 目 录

## CONTENTS

<b>【产业政策】</b> .....	1
可再生能源利用统计调查制度 .....	1
关于全面推进新能源供热高质量发展的实施意见 .....	1
地方氢能政策引爆行业话题：绿氢产业发展不能“等待戈多” .....	1
650MW！河南省信阳市发布 2023 年首批市场化并网风电项目开发方案 .....	2
云南 2024 年风、光上网电价政策出炉 .....	3
<b>【技术应用】</b> .....	5
西咸新区地热资源潜力分析 .....	5
砂岩地热井防砂完井技术探讨 .....	9
中国氢能承压设备风险分析和对策 .....	13
欧洲海上风电工程实践回顾及未来技术展望 .....	19
“双碳”战略目标下推动退役光伏组件资源化利用迫在眉睫 .....	28
<b>【新能源资讯】</b> .....	32
《中国石化报》刊发刘世良署名文章 .....	32
2023 中国地热大事记 .....	33
2023 年燃料电池汽车成本结构中，储氢系统占比升至近 2 成 .....	49
海上风电产业十大趋势 .....	50
2023 年光伏十大关键词 .....	52
<b>【环球瞭望】</b> .....	55
克罗地亚拨款 3000 万欧元用于地热研究 .....	55
专利数占 60%！日本“氢能收割世界”的妄想会实现么？ .....	55
美国初创公司把废弃风电叶片改成公园长椅 .....	56
新加坡光伏“返老还童术”，可延长组件寿命 5 年 .....	57



## 【产业政策】

### 可再生能源利用统计调查制度

国家能源局近日印发关于《可再生能源利用统计调查制度》的通知，提出此次调查内容为全国范围内可再生能源生产和消费等基础数据；调查对象包括各省发改委或能源局、国家地热能中心、央企和地热企业等能源主管部门、相关机构和可再生能

源利用企业；调查频率和时间为定期报送，分为月报和年报两种方式。《制度》中“地热能开发利用情况”为年报方式，由地方能源主管部门和全国地热能开发利用企业填报，报送日期为2024年3月10日前。

### 关于全面推进新能源供热高质量发展的实施意见

北京市发展改革委、北京市规划自然资源委等十部门联合印发《关于全面推进新能源供热高质量发展的实施意见》，提出推进新能源供热高质量发展的工作措施和支持政策。《实施意见》要求，到2025年，力争新能源供热面积占全市供热面积比重达到10%以上。到2030年，力争新能源供热面积占全市供热面积比重达到15%以上。根据发展目标，到2025年，全市新能源供热面积达到1.45亿平方

米左右；到2030年，新能源供热面积达到2亿平方米左右。纳入本政策的新能源供热技术类型包括：浅层地源热泵，中深层水热型地热，中深层井下换热型地热，再生水源热泵，污水源热泵，生物质供热，城市和工业余热利用，绿电蓄热，绿氢供热，集中式空气源热泵以及新能源多能耦合综合能源站等新能源供热系统。

### 地方氢能政策引爆行业话题：绿氢产业发展不能“等待戈多”

宁东：新能源项目不得早于制氢设施投产

1月3日，宁东能源化工基地管委会发布宁东基地促进氢能产业高质量发展的若干措施2024年修订版。其中指出，在建设时序上，应确保制氢和应用端先开工，新能源部分不得早于制氢负荷及应用设施投产。

内蒙古发改委：绿电替代“应替尽替、能替早替”

12月26日，内蒙古自治区发展和改革委员会发布《关于优化节能管理，促进新能源消纳利用若

干措施》的通知，提出绿电替代“应替尽替、能替早替”的原则。其中更是明确：推动现代煤化工、冶金、化工等行业开展“煤+绿氢”耦合、绿氢冶金、绿氢替代化石能源原料等绿色低碳改造升级。研究对作为燃料使用的绿氢(如氢能重卡使用的绿氢等)不纳入盟市能耗总量和强度控制。

发布政策的这两个地方，一个是我国最早搞绿氢产业的地方，一个是绿氢产业最大的省份，因而很有代表性。

政策强调建设时序：确保制氢和应用端先开工，



风光发电等新能源项目不得早于制氢负荷及应用设施投产，这就堵住了风光储氢一体化项目“跑马圈地”的漏洞：用绿氢项目换取新能源上网的路条，而绿氢项目因为经济性却迟迟开不了工。

但这个问题也不能仅仅一堵了之。其背后，反映的是绿氢项目的经济性问题：绿氢作为长时储能的一个最有前景的技术，绿电制出绿氢后怎么消纳呢？当前氢的长输管道没有得到解决前，绿氢一般都是制成绿氨和绿醇，但绿氨醇跟传统煤或天然气合成的氨醇相比，经济性远远不够。亦即是说，谁来为绿色买单，目前是找不到买单人。

目前国际船舶开始有船东将绿醇作为替代燃料，欧盟的碳关税制度对输入绿色商品提出苛征碳税，这些是确定的为绿氢买单方，除此之外，国内尚看不到确定的需求方。而无论是国际船舶的绿醇需求

还是欧盟的绿色关税，产业链尚未打通，因而绿氢消纳在“等”，等待谁？等待戈多。

现在内蒙古发改委发布通知，绿电替代“应替尽替、能替早替”，这个替代背后，其实是算账的问题。绿氢和灰氢的价格缺口，怎么补齐，这个需要系统的解决方案。目前有些地方陆续提出了绿氢补贴方案。但补贴只是不得已的办法，且国内的绿氢补贴力度跟欧盟、美国相比力度还是远远不够，仅靠地方政府试水性质的补贴，远远解决不了绿氢的经济性问题。

绿氢产业的发展，如何有经济性，或即使一时没有经济性，也要尽快探索出发展路径，给出发展预期；国家在政策支持上，需要尽快明确顶层设计。这样政企合力，才能推动我国绿氢产业稳健发展，尽快为碳中和出大力。

## 650MW！河南省信阳市发布 2023 年首批市场化并网风电项目开发方案

信阳市2023年首批市场化并网风电项目开发方案							
序号	项目名称	项目业主	市	县(区)	储能方式	储能比例及时长	列入方案规模
制表：国际能源网							
1	光山县200MW风电场工程	光山县发展投资有限责任公司	信阳	光山县	电化学储能	50%,2小时	20
2	河南明阳息县200MW风电项目	河南明阳新能源有限公司	信阳	息县	电化学储能	30%,2小时	10
3	信阳梨园200MW风电项目	信阳昱景清洁能源风力发电有限公司	信阳	平桥区	电化学储能	35%,2小时	10
4	中广核罗山100MW风电项目	中广核风电有限公司河南分公司	信阳	罗山县	电化学储能	35%,2小时	5
5	映煤电力平桥200MW风电项目	陕煤电力信阳有限公司	信阳	平桥区	火电灵活性改造	40%、2小时	20

近日，河南省发改委发布《关于0.6万千瓦及以上分布式光伏发电项目以及信阳市2023年首批市场化并网风电项目开发方案的通知》。

《通知》指出，本批次共印发已通过形式审核和消纳条件校核的风电项目5个、总规模65万千瓦，

0.6万千瓦及以上分布式光伏发电项目4个、总规模8.4万千瓦。

《通知》还指出，为支持信阳市试点开展绿色氨醇产业体系建设，除上述印发项目外，再下达信阳市30万千瓦先导绿电建设规模。（全文略）



# 云南 2024 年风、光上网电价政策出炉



2023 年 12 月，云南省发展改革委同省能源局制定印发了《关于进一步完善新能源上网电价政策有关事项的通知》（以下简称《通知》）。

## 一、政策制定背景和过程

根据国家关于新能源上网电价的规定，2021 年起，对新备案集中式光伏电站、工商业分布式光伏项目和新核准的陆上风电项目，中央财政不再补贴，实行平价上网，上网电价按当地燃煤发电基准价执行；新建项目可自愿通过参与市场化交易形成上网电价，以更好体现光伏发电、风电的绿色电力价值。2022 年 1 月 18 日，国家发展改革委、国家能源局联合印发《加快建设全国统一电力市场体系的指导意见》（发改体改〔2022〕118 号），提出要完善适应高比例新能源的市场机制，有序推动新能源参与电力市场交易。随着新型电力市场建设加快推进，新能源发电将更多参与电力市场化交易。

“十四五”以来，我省电力需求持续旺盛，新能源多发多供对保障电力供应非常关键，也将成为未来电力安全稳定供应的重要保障。按照有序放开新能源参与电力市场交易的部署，我省积极推动集中式新能源全电量参与电力市场化交易。在新能源发电量稳步上升、清洁能源市场电价低于燃煤基准价、绿色环境价值有待完善的情况下，新能源项目经营成本无法回收，客观上需要电价政策支持，稳定发电企业预期，激励项目加快建设进程，提升能源保供能力。为进一步发挥市场配置资源的决定性作用，促进我省新能源产业健康有序发展，提升电力供应能力，省发展改革委同省能源局制定印发了《通知》，自 2024 年 1 月 1 日起执行。

## 二、主要内容

《通知》主要从以下几个方面对我省新能源上网电价政策进行规定：

一是明确 2021 年 1 月 1 日—2023 年 12 月 31 日全容量并网的项目，继续执行 2023 年上网电价机制。

二是明确 2024 年 1 月 1 日—6 月 30 日全容量并网的光伏项目月度上网电量的 65%、7 月 1 日—12 月 31 日全容量并网的光伏项目月度上网电量的 55%在清洁能源市场交易均价基础上补偿至我省燃煤发电基准价；2024 年 1 月 1 日—6 月 30 日全容量并网的风电项目月度上网电量的 50%、7 月 1 日—12 月 31 日全容量并网的风电项目月度上网电量的 45%在清洁能源市场交易均价基础上补偿至我省燃煤发电基准价。

三是明确新增合规新能源项目（2021 年 1 月 1 日—2024 年 12 月 31 日全容量并网的项目）全电量参与清洁能源市场，并按照清洁能源市场规则进行交易和结算。上网电价超过清洁能源市场均价的部分由全体工商业用户按用电量等比例分摊。



《通知》原文如下：

云南省发展和改革委员会 云南省能源局关于进一步完善新能源上网电价政策有关事项的通知  
各州（市）发展改革委，云南电网公司、昆明电力交易中心、各发电企业：

为进一步发挥市场配置资源的决定性作用，促进云南省新能源产业健康有序发展，提升电力保供能力，现就完善集中式新能源上网电价有关事项明确如下：

#### 一、上网电价机制

（一）2021年1月1日—2023年12月31日全容量并网的项目，继续执行2023年上网电价机制。

（二）2024年1月1日—6月30日全容量并网的光伏项目月度上网电量的65%、7月1日—12月31日全容量并网的光伏项目月度上网电量的55%在清洁能源市场交易均价基础上补偿至云南省燃煤发电基准价。

（三）2024年1月1日—6月30日全容量并网的风电项目月度上网电量的50%、7月1日—12月31日全容量并网的风电项目月度上网电量的45%在清洁能源市场交易均价基础上补偿至云南省燃煤发电基准价。

#### 二、电价疏导方式

新增合规新能源项目（2021年1月1日—2024年12月31日全容量并网的项目）全电量参与清洁能源市场，并按照清洁能源市场规则进行交易和结算，上网电价超过清洁能源市场均价的部分由全体工商业用户按用电量等比例分摊。

已发电但未全容量并网的，月度上网电量暂按清洁能源市场月度交易均价结算，待全容量并网后，根据全容量并网时间对差额部分进行清算。

#### 三、积极推广绿色电力交易

具备条件的新增新能源项目可纳入绿色电力交易范畴，更好体现新能源绿色电力价值。

#### 四、全容量并网时间认定

项目全容量并网时间由省能源局会同云南电网公司认定。

#### 五、执行时间

本通知自2024年1月1日起执行，云南省此前规定与本通知不一致的，以本通知规定为准。本通知明确的上网电量为转入商业运营后的上网电量，调试运行期上网电量结算按照国家及云南省有关规定执行。政策实施过程中如遇市场形势等发生重大变化，将适时进行评估调整。国家出台新政策的，从其规定。

云南省发展和改革委员会 云南省能源局

2023年12月14日



## 【技术应用】

# 西咸新区地热资源潜力分析

武明辉

中石化新星（北京）新能源研究院有限公司，北京 100083

**摘要：**关中盆地中深层砂岩是该盆地地热资源的主要富集区。近年来地热资源的勘探开发主要集中在咸阳市区，西咸新区地热资源潜力并不清晰。运用基础地质、水文地质等方法开展研究，结果表明，构造上位于关中盆地中部的西咸新区，主要热储层包括新近系上新统张家坡组、蓝田-灞河组和中新统高陵群，均为厚层状分布的砂岩孔隙型热储。尤其是蓝田-灞河组、高陵群埋藏深度适中，热储温度高、开发水量大，是现今开发利用的主要热储层。结合西咸新区构造位置、热储地质特征等因素采用蒙特卡洛法模拟估算该区中深层年均可采地热资源量期望值  $3.70 \times 10^{16} \text{J}$ ，折合标煤 126 万吨。按建筑折算耗热  $0.21 \text{GJ/m}^2 \cdot \text{a}$ ，估算，可为约  $1.76 \times 10^8 \text{m}^2$  节能建筑提供冬季供暖。根据新区规划，西咸新区城乡总建设用地  $360 \text{km}^2$ ，其中城市建设用地  $272 \text{km}^2$ 。新区人口容量为 272 万人，按人均  $50 \text{m}^2$  匡算，则需要  $1.36 \times 10^8 \text{m}^2$  的建筑面积。因此，理论上，通过合理规划，中深层地热资源完全能够满足规划区建筑供暖的热能需求。地热能利用是该地区二氧化碳减排的重要组成部分，有利于实现地区碳中和目标。

**关键词：**西咸新区；关中盆地；地热资源；评价

关中盆地构造上属于鄂尔多斯盆地与秦岭造山带所夹持的东西向新生代断陷盆地，上个世纪九十年代以前该区以油气勘探为主<sup>[1-3]</sup>，虽然没有取得实质性突破，但大量的基础研究为地热资源的勘探开发打下基础，尤其是 21 世纪以来，随着对环境保护的重视，与地热勘探的突破，促使该区地热资源的利用方式从以温泉洗浴为主向以规模化供暖为主转变，这种地热资源规模化利用方式使地热资源作为清洁能源的价值逐渐得到广泛认同。越来越多的学者对关中盆地地热田的形成机理从补给来源、热源、水化学类型等方面做了深入地分析，并计算了盆地的资源量等<sup>[4-7]</sup>。关中盆地先后施工地热井 250 多口，井口温度可达  $120^\circ\text{C}$ ，流量最大近  $300 \text{m}^3/\text{h}$ <sup>[5,7]</sup>。由于以往的研究工作多集中于整体盆地或西安市区、咸阳市区重点区域，针对近年设置的西咸新区的地热资源潜力并没有进行过专门研究。

2014 年，国务院批准成立国家级西咸新区，取址于西安与咸阳城区之间。2017 年完成《西咸新区城市总体规划（2016-2030）》，规划区范围 882 平方公里、城乡总建设用地 360 平方公里，其中城市建设用地 272 平方公里<sup>[8,9]</sup>。新增建筑对冬季供暖的能源需求是巨大的，该区丰富的地热资源对碳中和战略目标的达成具有重要意义。科学评估该区地热资源潜力是合理规划利用地热资源的基础，这对

以创新城市发展方式为主题的西咸新区建设具有重要指导意义。

## 1 地质背景

关中盆地前新生界基底由多个掀斜断块拼合而成，总体呈不对称阶梯状，以北山山前断裂带与鄂尔多斯盆地相连，南以秦岭山前断裂带与秦岭造山带相接，面积约为  $3.9 \times 10^4 \text{km}^2$ 。盆地发育多条东西向分布的断裂带，其中秦岭北缘断裂带、渭河断裂带、北山南缘断裂带等主要控盆断裂均属于继承性发育的基底超深断裂，都具有多期活动的特点，不仅促进了地下水的径向运移，也利于把深部热量带入上部储层<sup>[10,11]</sup>。根据新生代构造特征，西咸新区主要位于西安凹陷、北部断阶和三原断阶带内。

始新世以来随着盆地拉分演化，关中盆地主要以河湖相沉积为主，形成了现今主要的热储层。由于前新生代沉积盆地基底的起伏，同时，盆地沉积时受同生断裂控制，各个热储层在盆地内发育分布特征差别较大。整体表现为渭河断裂以北断阶带向北埋藏逐渐变浅，渭河断裂以南的凹陷带埋藏较深。广布于全盆地的第四系黄土沉积，起到良好的保温作用，是地热田的优质的盖层<sup>[12-15]</sup>。关中盆地有利的构造演化使其具有源、储、盖的良好地层结构，有利于形成优质大型地热田。

## 2 热储层特征





地区构造演化研究认为, 关中盆地的形成及演化历经早白垩世——古近纪始新世之前的挤压隆起、始新世——渐新世走滑拉分、新近纪拉张断裂及第四纪持续发展四个阶段<sup>[3]</sup>。始新世以来随着盆地拉分演化关中盆地形成了以河湖相为主的砂砾岩沉积, 其中, 高岭群(N<sub>1</sub>g1)、蓝田-灞河组(N<sub>2</sub>b+1), 张家坡(N<sub>2</sub>z)组因埋藏适中, 孔渗条件好, 是目前经济技术条件下开采的主要热储层位, 开采深度一般小于 3500m。其中古近系始新统红河组(E<sub>2</sub>h)、渐新统

白鹿原组(E<sub>2-3</sub>b), 部分地区也可以作为热储<sup>[4, 12, 13]</sup>。

## 2.1 张家坡组

据野外露头调查与地热井录井资料分析表明, 张家坡组以灰黄色泥岩、含粉砂泥岩为主, 夹有少量中粗粒砂岩与粉细砂岩互层, 判断为三角洲相沉积环境。西咸新区内该组厚度 350~1120m, 平均 855m(图 1); 根据已有钻井资料统计砂厚比 6.6%~22.0%, 平均 12.7%; 热储温度一般在 50℃~80℃, 平均 75.7℃。

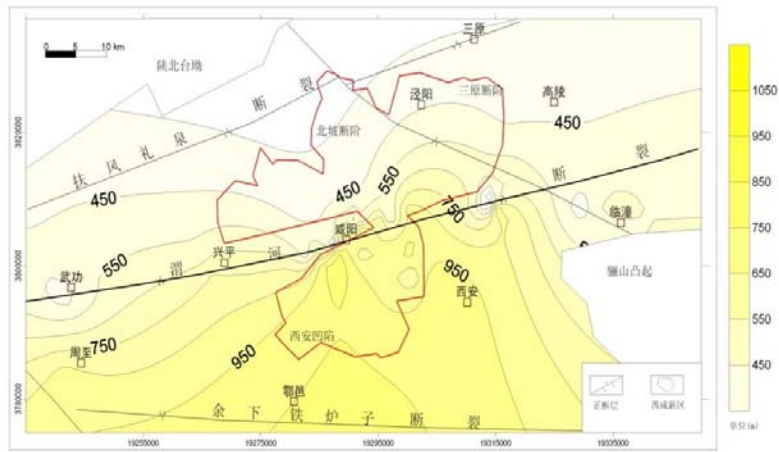


图 1 张家坡组厚度分布图

## 2.2 蓝田-灞河组

蓝田-灞河组由蓝田组和灞河组构成, 因不易区分因此统称为蓝田-灞河组。灞河组由河湖相交替沉积形成, 早期为河流相沉积环境, 地层多含有砾岩层, 随着沉积环境向湖泊相的演变, 沉积了以黄棕色泥岩夹浅灰黄色细砂岩的不等厚互层沉积。蓝田组因为受到局部地质抬升运动而被部分剥蚀后再

接受沉积, 地层岩性以棕红色泥岩、砂质泥岩、含砾砂质泥岩, 泥岩等浅湖相沉积为主<sup>[13]</sup>。

结合钻井录井资料分析认为, 西咸新区内蓝田-灞河组厚度 800m~1150m, 平均 960m(图 2); 根据已有钻井资料统计砂厚比一般在 15.0%~34.8%, 平均 25.0%; 热储温度在 80℃~112℃之间, 平均 100.8℃。

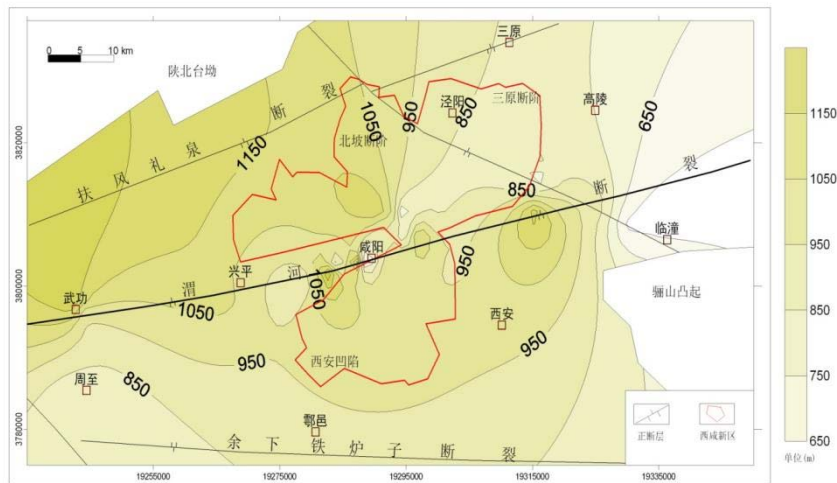


图 2 蓝田灞河组厚度分布图

### 2.3 高陵群

关中盆地高岭群埋藏普遍较深，钻穿该层位的地热井较少，已有探井揭露地层厚度一般小于 500 米。高岭群一般可以进一步分为上部的寇家村组 ( $N_{1k}$ ) 和下部的冷水沟组 ( $N_{1l}$ )，冷水沟组一般由含砾砂岩及中粗砂岩组成，推测形成于河流相沉积环境。寇家村组主要由泥岩、含粉砂质泥岩与细砂、细-中砂岩互层组成，推测形成于三角洲沉积环境。由于资料少，地热研究上一般以高岭群进行统一研究。

据钻井录井资料及地质分析认为，西咸新区内高岭群地层埋深一般在 2100m-3000m (图 3)，厚度

500m~900m，平均 610m；根据已有钻井资料统计砂厚比 12.6%~38.7%，平均 27.5%；热储温度 91℃~120.0℃，平均 116.1℃。

### 2.4 热储物性特征

一般随着埋藏深度的增加，压实作用逐渐增强，孔隙度减小。这种规律在该区的三套热储中表现显著。通过统计该区周边已有井资料的孔隙度分析数据显示，上部热储层张家坡孔隙度一般在 30-35%之间，中间热储层蓝田灞河组减少到 25-30%，到下部高陵群热储层孔隙度进一步减少到 15-20%，随埋藏深度增大，压实作用增强，孔隙度降低特征显著 (图 4)

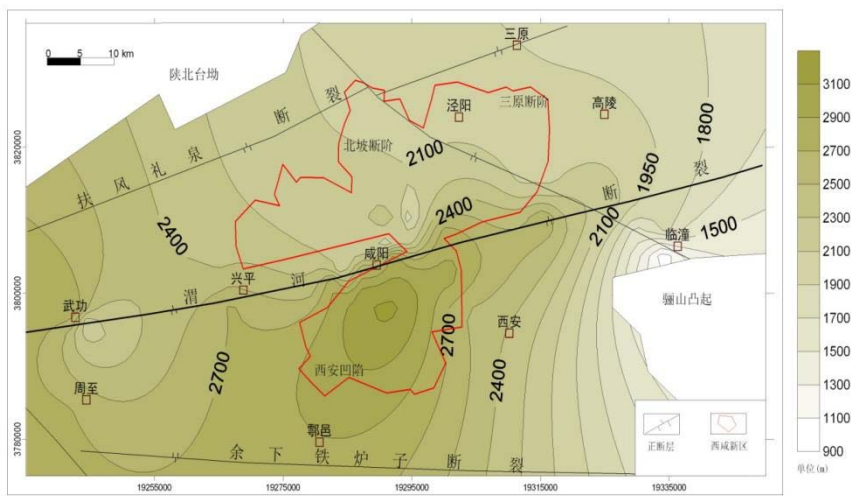


图 3 高岭群顶面深度等值线图

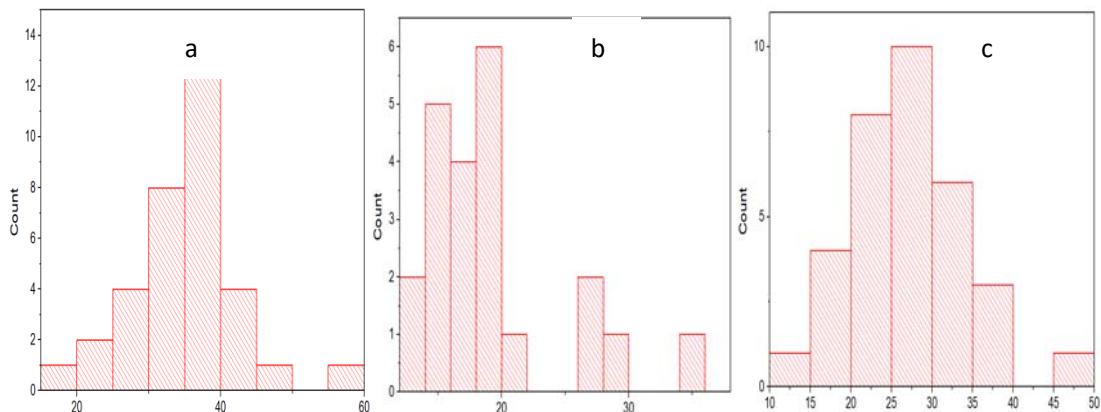


图 4 西咸新区主力热储孔隙度柱状图 (a 张家坡组, b 蓝田-灞河组, c 高岭群)

## 3 地热资源潜力

### 3.1 地热资源潜力分析

张家坡、蓝田灞河组、高岭群三套热储在西咸新区均有分布，按规划城市建设用地 272km<sup>2</sup> 为边界条件，目前经济技术条件下均适于开采的三套热储为计算对象，采用热储法经蒙特卡洛法模拟计算可

知，西咸新区三套热储地热资源量期望值为  $20.36 \times 10^{18}$  J，按开采 100 年，消耗 15% 的地热资源量经模拟计算，年均可采地热资源量期望值为  $3.70 \times 10^{16}$  J (表 1, 图 5)。按建筑折算耗热 0.21 GJ/m<sup>2</sup>a. 估算，可为约  $1.76 \times 10^8$  m<sup>2</sup> 节能建筑冬季供暖。

表 1 西咸新区砂岩热储地热资源量评价结果

热储层	地热资源量 ( $10^{18}J$ )			年均可采地热资源量 ( $10^{16}J$ )		
	P10	mean	P90	P10	mean	P90
N <sub>2</sub> Z	2.10	3.62	5.37	0.31	0.54	0.79
N <sub>2</sub> l+b	4.62	6.50	8.79	1.17	1.62	2.17
N <sub>1</sub> gl	6.91	10.24	13.76	1.05	1.54	2.06
合计	16.12	20.36	24.79	2.96	3.70	4.49

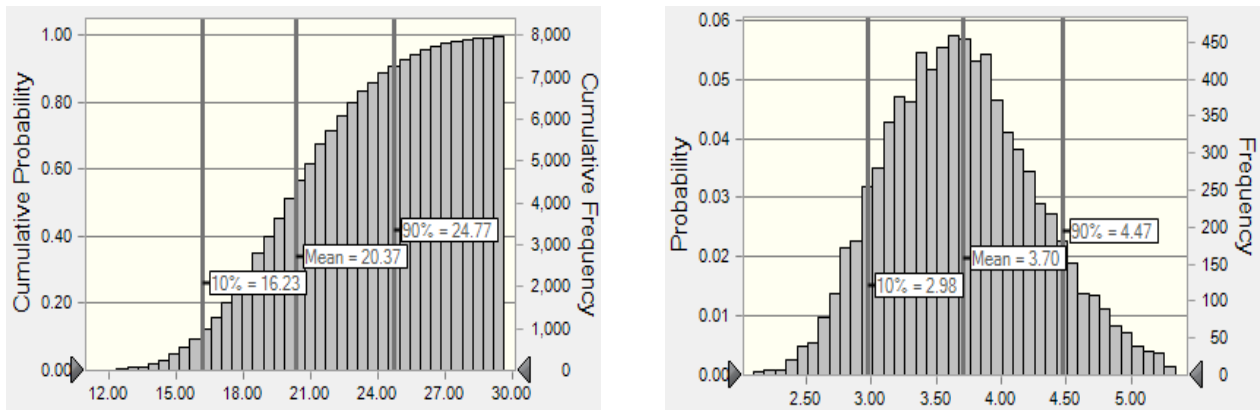


图 5 西咸新区砂岩热储资源量与年均可采资源量模拟结果 (a 地热资源量,  $10^{18}J$ , b 年均可采资源量  $10^{16}J$ )

2000 年陕西省咸阳市区地热资源详查报告中就北京、天津、西安、关中盆地（咸阳区域）的地热资源开采情况进行了地热资源丰度分析，其中西安市单位面积热储量  $86.27 \times 10^{15} J/km^2$ ，咸阳单位面积热储量  $45.13 \times 10^{18} J/km^{2[6]}$ 。本次计算西咸新区单位面积热储量期望值  $74.85 \times 10^{15} J/km^2$ ，介于两者之间，和构造位置上西咸新区居于两者之间具有一定相关性。

### 3.2 西咸新区供暖需求分析

根据规划，西咸新区城乡总建设用地  $360 km^2$ ，其中城市建设用地  $272 km^2$ 。新区人口容量为 272 万人，按人均  $50m^2$  匡算，则需要  $1.36 \times 10^8 m^2$  的建筑面积。新增建筑对冬季供暖的能源需求是巨大的，虽然中深层地热资源完全可以满足新区建筑冬季供暖的需求，但合理规划利用该区丰富的地热资源，以地热勘探开发带动相关产业发展，以创新城市发展方式为主题的西咸新区建设具有重要意义。

虽然西咸新区地热资源整体上是满足城市建设规划供暖需求的，但是地热资源存在不均一性，合理部署采灌井位置，最大程度利用清洁的地热资源

仍需要针对各个建设单元的地下地质情况做进一步深入研究。

### 4 结论

(1) 西咸新区位于关中盆地中部，平面上主要位于西安凹陷，北部断阶和三原断阶带内，纵向上，张家坡、蓝田灞河组、高岭群三套热储在西咸新区均有分布。

(2) 关中盆地有利的构造演化使其具有源、储、盖的良好地层结构，利于形成优质大型地热田。

(3) 西咸新区三套主要热储地热资源量期望值为  $20.36 \times 10^{18} J$ ，年均可采地热资源量期望值为  $3.7 \times 10^{16} J$ ，折合标煤 126 万吨，可为约  $1.76 \times 10^8 m^2$  节能建筑冬季供暖。

西咸新区地处地热资源丰富的关中盆地中部地区，中深层地热资源完全可以满足新区建筑冬季供暖的需求，但受地热资源的不均一性影响，合理部署采灌井位置，做到采灌平衡，最大程度利用清洁的地热资源仍需要结合各个建设单元做进一步深入的地质研究。

## 参考文献

- [1]薛祥煦,李文厚,刘林玉.渭河北迁与秦岭抬升[J].西北大学学报(自然科学版),2002,32(5):451~454
- [2]刘护军,薛祥煦.对渭河盆地新生界及其年代的讨论[J].地球科学与环境学报,2004,26(04):1-5.
- [3]王红伟,刘宝宪,马占荣,等.渭河盆地前新生界分布的物探特征及油气成藏条件分析.地球物理学进展,2010,25(4):1280-1287
- [4]王兴.渭河盆地地热资源赋存与开发[M].西安:陕西科学技术出版社,2005:11-50.
- [5]李国敏,李峰等著.关中盆地地下热水循环规律及可持续开发利用[M].2010.科学出版社,11-43
- [6]郭乃妮,陈卫卫.关中盆地地热资源研究[J].中外能源,2018,23(8):16-20.
- [7]周颖.陕西省地热资源简析[J].建材与装饰,2019,569(08):224-225.
- [8]陕西省西咸新区开发建设管理委员会,《西咸新区控制性详细规划》2018.5,  
<http://www.xixianxinqu.gov.cn/xwzx/tzgg/25505.htm>
- [9]陕西省西咸新区开发建设管理委员会,《西咸新区城市总体规划(2016-2030)》2017.10,  
<http://www.xixianxinqu.gov.cn/zwgk/ghjg/12806.htm>
- [10]李永善,等.西安地裂及渭河盆地活断层研究[M].北京:地震出版社,1992.
- [11]田海林.渭河北岸断裂对咸阳地热田的影响[A].2006年全国城市地热资源开发保护与经济评价论坛论文集[C].全国城市地热资源开发保护与经济评价论坛 咸阳 2006 在线出版日期:2008年08月27日:47-50
- [12]符卉.关中盆地古近系沉积特征与古地理特征分析[D].西安石油大学,2015.
- [13]谭景峰.关中盆地结构及三维地质建模[D].西安石油大学,2017.
- [14]韩恒悦,米丰收,刘海云.渭河盆地地貌结构与新构造运动[J].地震研究,2001,24(3):251~257.
- [15]饶松,姜光政,高雅洁等.2016.渭河盆地岩石圈热结构与地热田热源机理.地球物理学报.59(6):2176-2190

## 砂岩地热井防砂完井技术探讨

袁明叶 朱咸涛 贾艳雨

中石化新星(北京)新能源研究院有限公司,郑州 457000

**摘要:**砂岩地热井在开发过程中部分井的出砂问题严重的影响了生产,特别是疏松砂岩地热井因其地质结构疏松、细粉砂含量高导致地热井在生产过程中极易出砂。本文从地热井出砂影响因素着手,分析出砂机理和成因,针对不同类型的热储层特征,在地热井钻完井过程中通过地质与工艺整合研究,形成不同地质特征条件下的地热井防砂完井技术,解决砂岩热储开发中的出砂难题。

**关键词:**砂岩;地热井;热储特征;防砂完井

随着国家清洁能源发展的需要,地热产业得到了快速发展,越来越多的地热井投入到开发应用中,而砂岩地热井因其砂岩热储资源丰富,埋藏深度较浅,投入成本低而得到了大范围的开发利用。但目前砂岩地热井完井方式不一致,完井工艺不科学,导致很多区域出现了砂岩地热井出砂现状,出砂一方面加剧了地热井的损坏程度,影响地热井的使用寿命,另一方面则加大了地面的处理难度,影响了地热供暖项目经济效益,且出砂后处理不及导致回灌井出现砂埋现象,严重的降低了回灌井的回灌能

力。本文针对不同的热储层特征,提出三种不同的完井防砂工艺及技术参数和要求,在完井中防砂,用于指导和支撑砂岩地热资源的开发利用。

### 1 地热井出砂影响因素

地热井产出的砂分为两种类型,一是游离砂,二是骨架砂。游离砂作为砂岩地层的填充物,在大液量的生产条件下随着流体进入到井筒,而骨架砂则是由于地层的结构被破坏所引起的。影响地热井出砂因素主要包括以下方面:

#### 1.1 地质因素



地质因素是包括地层的岩性、胶结强度、地层砂粒的粒径大小以及地层压力的衰减。一般来说，地层埋藏越深，地层的压实胶结程度则越大，其出砂的可能性就越小，反之，则出砂可能性较大，地质因素是决定地层是否出砂的关键因素，也是地层出砂与否的内因。

### 1.2 完井因素

完井因素包括完井防砂和完井过程中的防砂工艺。地热井常用的完井方式主要是裸眼悬挂滤水管完井，当滤水管的防砂精度与地层砂粒粒径大小不匹配时就容易导致地热井出砂。

### 1.3 生产因素

地热井对产能的要求较高，平均单井产能均在2000方/天以上，大液量的需求则增加了流体的携带能力，特别是填隙物中的游离砂极易随着流体进入到井筒中造成出砂。

## 2 地热井出砂机理分析

地热井出砂从岩石力学角度分析砂岩热储层出砂主要分为：剪切破坏机理及拉伸破坏机理，另外出砂机理还包括微粒运移机理以及粘结破坏机理。

### 2.1 剪切破坏机理

在未打开地热储层之前，地层内部应力处于平衡状态。以江汉地区电讯热2井为例，当打开储层试水以及生产时，地层压力约为6.87MPa，与上覆地层压力处于平衡状态，伴随着地热流体的不断采出，地层压力开始下降，对上覆地层压力的平衡作用减小，部分上覆地层压力转移到岩石颗粒上，增加了颗粒之间的压应力，并可分解出呈一定夹角的两组剪应力 $\delta_1$ 与 $\delta_2$ ，如图1所示。

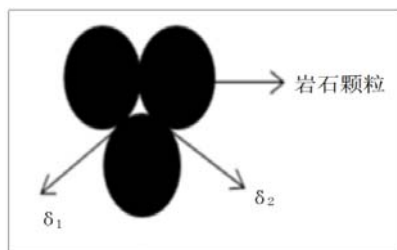


图1 储层剪切破坏示意图

随着地层压力降低，纵向上有效压应力的增高，剪应力值相应增大，当超过岩石的抗剪切强度时，岩石稳定状态被打破，骨架颗粒间的稳定状态被打破，常沿着剪应力的方向发生颗粒错动而形成大量的微破裂面，从而降低了岩石强度，导致大量颗粒从岩石骨架上脱落，随流体运移至井筒内，造成地

热井出砂。

### 2.2 拉伸破坏机理

在地热资源开采过程中，地热水由地层渗流到井筒，在渗流过程中会与地层颗粒产生摩擦，随着流体逐渐向井底靠近，所受的压力逐渐增大，渗流速度相应的也越大，摩擦力随着流速的增加而增大，流量也逐渐增大，施加在岩石颗粒上的拖拽力也越大。当岩石所受的最小有效主应力达到其抗拉强度，岩石就会发生拉伸破坏。例如江汉区域当开采量达到150m<sup>3</sup>/h时，出砂严重，当降低生产压差，降低开采量至110m<sup>3</sup>/h流体的渗流速度相应降低，流动过程对于砂体颗粒的摩擦作用降低，则基本不出砂。流体对岩石的拉伸破坏在炮眼周围是非常明显的，由于过流面积减小，流体在炮眼周围形成汇聚流，流速远大于地层内部，对岩石颗粒的拖拽力也会增加。实际上，剪切和拉伸两种机理将同时起作用且会相互影响，受剪切破坏的地层会对流体的拖拽力更加敏感。

### 2.3 溶蚀破坏机理

岩石强度由微粒之间的接触力和颗粒与胶结物之间的粘结力组成，地层水中含有酸碱物质，化学反应会将岩石颗粒泥质胶结物溶蚀破坏，颗粒内聚力减小，脱落后运移，从而破坏岩石强度。且砂岩热储层一般为泥质胶结为主，当泥随着流体不断的冲刷，泥质物质的脱落也加剧了溶蚀破坏。

## 3 防砂完井工艺探讨

地热井常用的完井工艺包括管外填砾完井工艺、裸眼悬挂滤水管完井工艺及射孔完井工艺。本文针对不同的完井工艺开展地层适应性分析，并提出具体的设计要求。

### 3.1 管外填砾防砂完井工艺

#### 3.1.1 选井原则

- (1) 热储层埋藏较浅，地层结构松散，细粉砂含量高；
- (2) 最大井斜小于30°，井深低于1500m；
- (3) 允许少部分地层粉砂随开采液进入井筒。

#### 3.1.2 井身结构

全井采用扩孔钻进，一开井身结构，井身结构分为上、中、下部分，上部为泵室段，中间为井壁段，下部取水段。上部泵室段钻头孔径不低于550mm，下部成井后孔径不低于400mm。要求下入井管后，井管与地层之间的距离不得于100mm。



### 3.1.3 井管结构

钻井工艺完成后,一次性下入完井、防砂管串,管串组合:沉砂管+滤水管+井壁管+变径接头+泵室管。沉淀管长度 30-50m。滤水管尽可能采用金属结

构,滤水管的挡砂精度设计为 0.5mm-0.8mm,不得超过 1mm,允许粉砂随着地热水进入井筒。具体下入管串见表 1,下管过程中尽可能保持井管位于居中位置。

表 1 管外填砾防砂完井管串推荐表

类别	材质	规格
泵室管	J55	339.7mm×9.65mm
井壁管	J55	177.8mm×9.19mm
滤水管	J55	177.8mm×9.19mm
沉淀管	J55	177.8mm×9.19mm
备注:具体材质可根据井深及水质情况调整。		

### 3.1.4 投砾及止水工艺

#### (1) 投砾

静水填砾:此法适用于浅井、稳定的含水层及直井,井深不宜超过 1000m,取水层段不宜超过 300m。填砾时,砾料应均匀地由井管四周填入,填入的速度不宜太快,以防砾料中途堵塞而出现“搭桥”现象,当投入部分砾料后,由于砾料下降,形成井管内外压力差,迫使井管内的泥浆外溢,此时填砾速度可稍快一些。

动水填砾:此方法适用于中深层和定向井。填砾时,将钻具下入井筒内,密封井口,开泵送水,待井口环空出水后,将砾料均匀地从井管四周填入。水流上返速度低于砾料沉降速度,防止砾料产生砂桥。

#### (2) 填砾工艺技术要求

砾料均匀度好,直接误差控制在 8%范围之内;

砾料的质量:砾料应该是干净的、滚圆的、光滑的砂砾,不应采用机械破碎的岩石颗粒;

砾料的直径:砾料的直径=(4~8)倍对应含水层砂粒粒径中值,以 6 为最佳;

砾料厚度:砾料厚度涉及防砂效果和出水量,在施工条件允许的条件下,应适当加大填砾厚度,一般填砾厚度要求大于 100mm,在此基础上要求井的终孔直径比滤水管外径大 200mm 以上;

填砾高度:填砾时应考虑洗井抽水及疏松地层,砾料会震实下沉,其填砾高度应不低于热储层厚度

的 1.1 倍;

填砾数量:填砾数量可按下式计算:

$$V = 0.785 \times (D_k^2 - D_g^2) L a$$

式中:V—滤料量(m<sup>3</sup>);D<sub>k</sub>—填砾段井径(m);D<sub>g</sub>—过滤管外径(m);L—填砾段长度(m);a—超径系数,一般取 1.2-1.5。计算填砾量须考虑裸孔段体积。

#### (3) 止水工艺技术要求

砂岩地热井管外砾石充填止水采用黏土球和红土进行止水,砾料上部采用黏土球,黏土球厚度不得低于 40m,然后用红土回填至井口。

### 3.1.5 滤水管设计

管外填砾设计的滤水管精度应与相对应的砾石大小相匹配,应为充填砾石最小直径的 1/2-1/3。

## 3.2 裸眼悬挂滤水管防砂完井工艺

### 3.2.1 选井原则

适合于细、中砂以上砂岩热储层。

### 3.2.2 井身结构

全井宜采用二开或三开井身结构,见附录 B1、B2,热储层上部采用水泥固井或者止水器封隔,选取利用的热储层段应下入滤水管,非利用段应下入井壁管封堵,滤水管和井壁管之间应用止水器封隔。

### 3.2.3 井管结构

按照《地热井钻井设计规范》要求一开下入泵室管,二开或三开非目的层下入井壁管,管串组合:一开井管+二开悬挂器+二开套管+三开悬挂器+滤水



管（热储层段）+沉淀管，各开次之间套管重叠段不低于 30m，且采取密封措施。沉淀管长度不低于 30m。

滤水管类型可采用：割缝筛管、桥式滤水管、包网缠丝滤水管及其他。

### 3.2.4 滤水管结构

砂岩地热井滤水管是实现防砂的关键。全井不

宜采用同一规格型号的滤水管，宜根据不同深度采取分级配置，其精度应与对应地层砂粒的粒径相匹配。定向井滤水管应具有外保护装置，避免入井过程中受到地层刮蹭引起滤水管破坏。滤水管的材质应根据地热水的特征选定，满足寿命周期内的使用要求。滤水管精度选择规范见表 2。

表 2 裸眼完井滤水管精度选择推荐规范

地层砂粒度分布情况		
分选性好	分选性中等	分选性差
$0.84d_{50} \leq \omega \leq 0.91d_{50}$ ( $0.9d_{50}$ )	$0.76d_{50} < \omega \leq 0.86d_{50}$ ( $0.8d_{50}$ )	$0.68d_{50} \leq \omega < 0.73d_{50}$ ( $0.7d_{50}$ )
$0.8d_{50}$	$0.7d_{50}$	$0.6d_{50}$

### 3.2.5 技术要求

各悬挂器处采用密封措施，避免地层水或砂进入井筒；不同直径的井管应重叠 30m 以上；热储采用的滤水管确定原则是能够防排结合，且保持尽可能高的过流面积；各井管应根据热储特性、流体性质、砂样分析、出砂状况、生产要求确定合适的井管类型及性能参数。

## 3.3 固井射孔防砂完井工艺

### 3.3.1 选井原则

岩石埋藏深度较深，压实作用较强，不适用于疏松的砂岩地层；热储层分散，砂泥岩互层频繁，且单体砂岩厚度不大于 10m；

### 3.3.2 射孔资料准备

射孔施工单位射孔前应具有射孔通知单，射孔通知单应核实以下相关内容和数据：用户单位名称、地区、井号、填表人、审核人、批准人和填表日期；井身结构、井深轨迹参数、人工井底深度、井管组合及下入深度、固井止水位置；射孔层段、射孔厚度、测井综合解释成果图；射孔工艺类型、射孔枪型号、长度、弹型、孔密、相位、布孔格式。射孔目的层参数：岩性、物性、射孔段地层压力、温度。

### 3.3.3 射孔作业

砂岩地热井宜采用电缆传输射孔。射孔前，施工方负责人和用户方负责人必须到现场，核对地热井的相关数据和射孔通知单无误后方可施工，施工方负责人和用户方负责人必须全程监督整个射孔过程。

### 3.3.4 射孔技术要求

射孔前应进行磁定位校深，选定标准接箍，以保证射孔层段准确性。射孔后起出射孔枪，仔细检查射孔弹的发射率不低于 95%，否则应进行补孔。施工过程中，录取的各项资料和数据齐全准确，记录要完整。

## 4 结论

(1)砂岩地热井出砂的主要影响因素包括地质因素、完井工艺及生产因素，其中地质因素是内因，应科学设计完井工艺和生产制度。

(2)在完井过程中采用不同的防砂工艺是砂岩地热井开发中的关键，应根据热储层的地质特征选用不同的完井防砂方式。

(3)保持井壁稳定，防止地层结构受到破坏是防砂工艺技术的目标。允许部分粉砂随着流体进入井筒，有利于疏通通道，增加产能。

## 参考文献

- [1]地热资源地质勘查规范 GB11615-2002. doc  
[2]邓建明 编注，渤海油田防砂技术，石油工业出版社，2013. 5.



- [3]蒋官澄 黄春 张国荣 编著, 疏松砂岩油藏保护新技术, 中国石油大学出版社.
- [4]李连生. 第三系地层中地热井施工常见的主要问题[J]. 探矿工程: 岩土钻掘工程, 2004, 31(9):59-60.
- [5]刘建生. 对地热井成井工艺技术的探讨与认识[J]. 工程勘察, 2010, 38(10):37-404
- [6]刘建军, 裴桂红, 薛强. 弱胶结油层出砂机理及数值方法[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2006, 25(3):361-363.
- [7]范兴沃, 李相方, 关文龙, 齐明明. 国内外出砂机理研究现状综述[J]. 钻采工艺, 2004, 27(3):57-58.

## 中国氢能承压设备风险分析和对策

氢能具有来源多样、利用高效、清洁环保等特点, 其既是支撑石化能源高效清洁利用的重要无碳原料; 又是构建以清洁能源为主的多元能源供应体系的重要载体。“十三五”国家科技创新规划指出, 氢能是新一代引领产业变革的颠覆性能源技术。随着制氢、储氢、输氢、用氢(特别是氢燃料电池)和氢安全技术的快速发展和进步, 以及政府行业主管部门和监督管理部门的高度重视, 能源与装备制造大型骨干企业合理布局的加快, 中国氢能利用的步伐和发展明显提速。截至2019年底, 中国已经建成各类加氢站66座, 全球排名第三, 储氢压力容器(含缓冲罐等)将近1000台; 氢燃料电池汽车累计销售约6164辆, 商用车保有量全球第一, 车载高压氢气瓶已经超过2.5万只; 氢气压力管道约400km。据相关管理部门的规划, 到2030年, 我国加氢站数量将超过1000座, 燃料电池汽车超过100万辆, 氢气压力管道将达到3000km以上。

储氢、输氢是连接制氢和用氢的桥梁, 在氢能发展中发挥着不可替代的作用。迄今为止, 几乎所有的储氢设备和输氢设备都承受氢气压力, 属于特种设备中的承压设备。储氢承压设备主要包括固定式压力容器、气瓶等; 输氢承压设备主要包括铁路罐车、管束式集装箱、长管拖车、压力管道等。氢能承压设备包括储氢承压设备、输氢承压设备, 及其安全附件和仪表等(包括安全阀、爆破片、紧急切断阀、压力表、温度计、压力传感器、温度传感器等), 其共同特点是, 氢气易漏易燃易爆, 存在

较大的燃烧、爆炸风险; 在高压、液氢或者深冷环境下工作, 材料存在脆化风险。由于储氢压力容器和氢气瓶工作条件的复杂性(如工作压力波动较频繁以及压力波动范围较大等), 存在一定的疲劳失效风险。

氢能承压设备使用的安全保障是一个全球性课题。据相关资料统计, 2011~2015年, 日本各类加氢站总计发生事故28起, 其中额定加氢压力70MPa加氢站和35MPa加氢站各14起。2019年5月23日, 韩国江原道江陵市储氢压力容器爆炸, 造成2死6伤; 2019年6月1日, 美国加州某储氢压力容器发生氢气泄漏而引起爆炸事故; 2019年6月10日, 挪威某加氢站发生氢气泄漏而引起爆炸事故。近年来, 中国也发生了如某水电解制氢系统储氢罐发生爆炸、某储氢压力容器水压试验时发生爆炸以及氢安全附件泄漏失效等多起重大安全事故。

随着中国氢能承压设备种类和数量的快速增长, 设计工况条件的极端化(如设计压力高达140MPa、设计温度低至-253℃等), 轻量化设计的应用普及, 社会公共安全要求的不断提高, 氢能承压设备的设计、制造、使用、管理等安全保障面临着新的挑战。为保障人民生命和财产安全, 促进氢能行业健康发展, 急需加强氢能承压设备风险防控的研究。

### 1 储氢、输氢承压设备发展现状

#### 1.1 储氢承压设备

氢介质的储存方式主要分为气态储氢(气氢)、液态储氢(液氢)、固态储氢和复合储氢等。





(1) 气态储氢设备。主要用于储存高压氢气，包括固定式储氢压力容器和高压氢气瓶，其优点是充氢放氢速度快、设备结构相对简单、技术相对成熟，是市场需求的主流储氢方式；缺点是体积储氢密度较低，且需要高压储存，以增大储氢密度。

固定式储氢压力容器是加氢站、制氢站、氢储能系统、高压氢循环测试系统、发电站、加氢工艺装置等的主要核心设备。目前，我国加氢站在用的固定式储氢压力容器将近1000台，大多数为境内制造，境外进口的仅占少数，主要结构形式有单层储氢压力容器（包括大容积无缝瓶式储氢容器、单层整体锻造式储氢压力容器等）和多层储氢压力容器（包括全多层储氢压力容器、层板包扎储氢压力容器等），临氢材料牌号主要有S31603，4130X，35GrNi3MoVR，20MnMoV，SA372J等，设计压力为41，50，70，98，140MPa等，容积为0.053，0.3，0.9，1.0，2.0，5.0，7.3，10.0m<sup>3</sup>等。复合材料储氢压力容器尚处于试制样机阶段。已经实施的相关国家标准和团体标准有GB/T26466-2011《固定式高压储氢用钢带错绕式容器》、T/ZJASE001-2019《固定式高压储氢用钢带错绕式容器定期检验与评定》和T/CATSI05003-2020《加氢站储氢压力容器专项技术要求》。

目前，有的加氢站储氢设备采用了按气瓶规范和标准设计制造的储氢气瓶，其优点是制造比较容易、成本较低，但这种应用未得到相关法规、安全技术规范和标准的支持，也不符合团体标准T/CATSI05003-2020《加氢站储氢压力容器专项技术要求》的规定。将来是否可以成为市场需求的一个发展方向，还要看国际、国内技术发展成熟度，以及相应安全技术规范和标准制修订进展情况而定。

高压氢气瓶包括钢制高压氢气瓶和复合材料高压氢气瓶。钢制高压氢气瓶主要用于氢燃料电池叉车；复合材料高压氢气瓶主要用于氢燃料电池汽车、氢燃料轨道交通、氢燃料无人机等领域。中国在用

的复合材料高压氢气瓶已超过2.5万只，绝大多数是境内生产的铝内胆碳纤维全缠绕高压氢气瓶（Ⅲ型氢气瓶），少量是境外进口的，公称工作压力为35MPa和70MPa，使用环境温度-40~85℃，容积28~320L；塑料内胆碳纤维全缠绕高压氢气瓶（Ⅳ型氢气瓶）目前境内尚处于立项研究试制阶段。已经颁布实施的相应国家标准有GB/T35544-2017《车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶》。

(2) 液态储氢设备。主要用于储存液氢，分为固定式液氢压力容器（储罐）和液氢瓶，其优点是体积储氢密度高，液氢的密度为70kg/m<sup>3</sup>；缺点是氢气液化能耗高（约为氢气能量的1/3）、长时间存放液氢的静态蒸发损失较大。一般液态储氢承压设备的设计压力为0.1~1.3MPa左右，设计温度为-253℃。目前，我国液氢行业装置产能大约5吨/天，主要用于航空航天领域，研制的300m<sup>3</sup>固定式液氢压力容器成功应用于火箭发射场，相应的国家标准《氢能汽车用燃料液氢》、《液氢生产系统技术规范》、《液氢储存和运输安全技术要求》即将颁布实施。随着军用技术的逐步解密和民品化，以及氢气液化、液氢储存技术的进步，民用液氢压力容器、液氢瓶和车载液氢系统的研发正在提速，目前已经研制出样机，而且大型液氢球罐也处于研制开发阶段。

(3) 固态储氢容器。固态储氢是通过氢与材料发生化学反应或者物理吸附将氢储存于固体材料中，优点是储氢压力较低、体积储氢密度高、可纯化氢气；缺点是质量储氢密度低、充放氢需要热交换。常用固态储氢方式有金属氢化物固态储氢、配位氢化物固态储氢、碳质材料固态储氢、金属有机骨架化合物储氢等。固态储氢容器的设计压力一般为0.5~4.0MPa，设计温度-40~60℃。固态储氢容器的容积范围比较宽，只有容积大于等于30L的容器才属于安全监察范畴内的压力容器。我国固态储氢容器已在通讯基站、加氢站等场所获得应用，已经



实施的相应国家标准有GB/T33292-2016《燃料电池备用电源用金属氢化物储氢系统》、GB/T34544-2017《小型燃料电池车用低压储氢装置安全试验方法》。

(4) 复合储氢气瓶(容器)。为提高储氢密度,近些年出现了高压固态复合储氢气瓶(容器)和高压深冷复合储氢气瓶(容器)。我国高压固态复合储氢压力容器的充氢压力一般为35,45,90MPa,使用温度不超过80℃,最大容积已经达到1.0m<sup>3</sup>,并且在某加氢站投入示范试运行。高压深冷储氢气瓶的公称工作压力一般为30~50MPa,工作温度-40~-240℃。

## 1.2 输氢承压设备

输氢承压设备主要用于将气态氢或者液态氢从产地输送或者运输到终端用户,主要分为气态输氢设备和液态输氢设备。

(1) 气态输氢设备。主要用于输送、分配氢气,包括运氢设备和氢气管道。

运氢设备主要有氢气长管拖车和氢气管束式集装箱。其适用于运输距离较短、输送量较少、氢气日用量为吨级以内的用户。目前,我国氢气长管拖车和氢气管束式集装箱采用的是钢制大容积无缝高压气瓶和钢质内胆碳纤维环向缠绕气瓶,一般气瓶公称工作压力为20,25,30MPa等,科技部正在立项研制公称工作压力为50MPa、容积不小于300L的氢气瓶。也有境内物流和气体公司正在尝试采用其他运输模式,如采用公称工作压力为30~52MPa的氢气瓶集装格结构形式的运输方式等。另外,还有气瓶公称工作压力为35MPa(70MPa)的移动式撬装加氢系统、气瓶公称工作压力为35MPa(70MPa)的集装箱式氢气增压装置等。这些系统或装置中的储氢气瓶组和氢气缓冲罐的合规性,以及采用非充装站内的直接加注或者卸载方式的安全性,都需要给予关注。氢气输送管道主要有输氢管道和配氢管道。输氢管道分为两类,一类是用于场(厂)区内装置间或者系统内输送氢气,如企业场(厂)区内输氢管道、

工业氢能园区内输氢管道、加氢站内输氢管道、车载供氢系统管道等,其特点是管道压力高、直径小,一般采用压力管路用管或者仪表管,压力等级为44.8MPa(6500psi),46.2MPa(6700psi),103.5MPa(15000psi),137.9MPa(20000psi)等,管道直径为6.35mm(1/4"),9.5mm(3/8"),12.7mm(1/2"),14.28mm(9/16"),25.4mm(1")等;另一类用于大规模、长距离输送氢气(掺氢天然气)的长输管道,管道设计压力2.0~20.0MPa,直径300~1000mm。目前,我国长距离输送氢气压力管道大约400km,最高输氢压力4.0MPa,最大管径508mm。配氢管道一般用于小规模、短距离输送氢气,输氢对象为小规模用户(如民用氢能园区内连接供氢站和用户间的管道),其特点是管道压力较低、直径较小。

(2) 液态输氢设备。主要用于输送液氢,包括液氢铁路加注运输车、液氢汽车罐车、液氢罐式集装箱和液氢管道等。液氢承压设备设计压力为0.3~0.6MPa,设计温度-253℃。目前,中国已经成功研制出70,85m<sup>3</sup>自带汽化器液氢铁路加注运输车(高真空多层绝热结构罐体,设计压力0.6MPa,设计温度-253℃),并在引进膨胀珍珠岩结构、100m<sup>3</sup>低温真空绝热罐体的基础上,完成了液氢铁路加注运输车的设计制造。上述液氢铁路加注运输车主要应用于液氢火箭燃料的铁路运输、发射场火箭燃料加注、航天研究院等科研单位的试验研究。科技部正在立项研制40m<sup>3</sup>民用液氢汽车罐车。

## 2 氢能承压设备风险分析

以下从法规、技术、管理三个方面分析氢能承压设备面临的风险。

### 2.1 法规风险

法规或者标准覆盖面缺失方面的风险,主要是指相应的特种设备安全技术规范或者标准缺少针对35MPa以上氢能承压设备的基本安全要求。TSG21-2016《固定式压力容器安全技术监察规程》



中对于非焊接储氢瓶式容器材料的化学成分和力学性能作了规定, TSGR0006-2014《气瓶安全技术监察规程》规范中对充装氢气长管拖车、管式集装箱的气瓶提出了材料力学性能方面的要求, 行业标准NB/T10354-2020《长管拖车》和NB/T10355-2020《管束式集装箱》中对充装氢气的气瓶以及管路等材料、设计、制造规定了基本安全要求。除GB/T35544-2017《车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶》外, 这些规范和标准的基本安全要求主要针对的是公称工作压力(设计压力)在35MPa以下的氢气瓶或储氢压力容器。对于压力更高的氢能承压设备, 其服役性能不仅仅取决于材料(化学成分、力学性能、微观组织等), 而且与应力(应力比、加载频率等)、环境(氢气压力、温度、纯度等)和制造(焊接、旋压、冲压、热处理、无损检测等)等密切相关, 急需在现有安全技术规范和相应标准的基础上, 增加和补充专项基本安全要求。此外, 氢能承压设备安全附件和仪表的相关法规、标准也有待进一步的补充和完善。

近期, 针对加氢站储氢压力容器, 团体标准T/CATS105003-2020《加氢站储氢压力容器专项技术要求》已经正式发布实施。该标准对加氢站储氢压力容器有关材料、设计、制造等环节的基本安全要求作出了专项规定。

## 2.2 技术风险

### 2.2.1 基础数据缺失风险

基础数据缺失风险主要反映在两个方面, 即基础数据匮乏和材料氢脆测试方法不当带来的风险。

(1) 基础数据匮乏。在中国, 已发明了140MPa快开式金属材料高压氢脆原位检测装置, 对牌号为S31603, S30408的材料在5~140MPa高压氢气环境中的性能进行了系统深入研究, 获得了一批宝贵的试验数据, 但仍不能满足氢能承压设备快速发展的需要, 亟待开展氢环境下材料、零部件和产品(系统)三个方面的试验研究。在材料方面, 需要获得液氢

(深冷)环境、35MPa以上高压氢气环境中的材料性能, 如材料本构方程、疲劳设计曲线、疲劳裂纹扩展速率等; 在零部件方面, 需要研究氢阀门、氢接头、氢软管等在氢环境下的失效模式及其预测方法; 在产品方面, 需要模拟使用工况条件, 研究高压氢气瓶等产品的性能。中国在零部件和系统层面的试验数据极少, 这是影响中国氢能承压设备产品性能一致性的重要因素。

(2) 氢脆测试方法不当。目前, 金属材料氢脆试验大致可以分为预充氢试验和原位氢试验。预充氢试验首先采用电化学充氢、高压气相热充氢等方法对试样预充氢, 然后在空气中对试样进行力学性能试验; 原位氢试验是指在高压氢气环境中直接对试样进行力学性能试验。

预充氢方法是先充氢、后加载, 不同于氢能承压设备氢侵入和加载同步的情况, 且无法模拟裂尖高应力梯度区氢的动态侵入和偏聚。国外常用的储氢压力容器产品标准(如美国ASMEBPVC VIII-3KD-10《Special Requirements for Vessels in Hydrogen Service》、日本JPEC-TD0003《加氢站用低合金钢制储氢容器专项技术要求》等)和临氢材料试验标准(如加拿大ANSI/CSACHMC 1《Test Methods for Evaluating Material Compatibility in Compressed Hydrogen Applications-Metals》等)均采用原位氢试验法。GB/T34542.2-2018《氢气储存输送系统第2部分: 金属材料与氢环境相容性试验方法》规定了金属材料在高压氢气环境中慢应变速率拉伸性能、疲劳性能以及断裂力学性能的测试方法; GB/T34542.3-2018《氢气储存输送系统第3部分: 金属材料氢脆敏感度试验方法》规定了金属材料的氢脆敏感度测试方法。

### 2.2.2 设计制造风险

设计制造风险主要反映在以下几个方面: 按JB/T4732-1995《钢制压力容器——分析设计标准》(2005年确认), 进行疲劳分析和对比经验设计风



险、氢气瓶设计制造质量及其稳定性风险、氢安全附件可靠性差引起的风险、氢气瓶或者撬装系统安装不当风险。

(1) 疲劳分析和对比经验设计风险。按JB/T4732-1995进行氢能承压设备疲劳分析设计,设计中存在两个方面的问题,一是JB/T4732-1995中的疲劳设计曲线没有考虑高压氢气、高压深冷氢气和液氢对疲劳寿命的影响;二是有些氢能承压设备主要受压元件材料,如4130X等材料,尚未纳入JB/T4732-1995标准中。

我国目前在线运营的加氢站基本上为示范站或者投用不久的商用站,加氢量不大,储氢压力容器的氢气充放次数或者频率较少,最多也就几千次,尚不足以作为储氢压力容器对比经验设计的依据;也不应当据此证明该类压力容器不会发生疲劳失效。

(2) 氢气瓶设计制造质量及其稳定性风险。有的氢气瓶制造单位对产品研发投入不足,试验数据过少,无法对产品质量提供有效支撑;追求产品生产进度,质量稳定性难以保证;车企和气瓶制造企业对氢气瓶安全性关注有待加强、过度追求轻量化导致氢气瓶安全裕度降低,特别在公称工作压力为70MPa高压氢气瓶领域,III型氢气瓶的疲劳寿命有待进一步提高,IV型氢气瓶的研发与国外相比仍有较大差距,需要深入研究并解决设计、制造等方面所面临的问题。跟风冒进就会出问题,给使用安全带来极大的风险。

(3) 氢安全附件可靠性差引起的风险。由于标准缺失,对氢材料、氢泄漏、氢冲击等缺乏系统和深入地研究,造成国产50MPa(98MPa)级氢压力表、氢传感器、阀门的可靠性较差、使用寿命较短、容易泄漏等问题,给使用安全带来极大的风险和存在较大安全隐患。例如,由于氢压力表弹簧管采用常规材料与焊接工艺,泄漏破损时有发生,这有可能酿成火灾爆炸事故。

(4) 氢气瓶或者撬装系统安装不当风险。氢

气瓶或者撬装系统安装是车载供氢系统的重要环节。但现有相关标准并没有对供氢系统管路、接头、密封形式等提出基本安全要求。如果设计单位的选型不满足使用要求,也会造成管路连接接头、密封性能等失效,甚至因密封失效造成氢气泄漏而酿成事故。

### 2.2.3 检验检测风险

氢能承压设备检验检测的风险主要反映在以下几个方面:检验方法的适用性风险、有效检测评价方法的缺失和检验检测能力的不足等风险。

(1) 检测方法的适用性风险。GB/T24162-2009《汽车用压缩天然气金属内胆纤维环缠绕气瓶定期检验与评定》、TSG21-2016《固定式压力容器安全技术监察规程》等现行规范标准规定,车用气瓶定期检验时需要进行气瓶拆卸后的瓶体内外部检测和水压试验,储氢固定式压力容器定期检验有时也需要进行水压试验。由于储氢压力容器和高压氢气瓶介质的特殊性,盛装的氢气必须满足氢燃料电池对氢气品质的要求,纯度和密封要求较高,拆装高压氢气瓶有可能破坏其密封性能,有安全隐患。有的氢燃料电池轿车,高压氢气瓶装在汽车底盘上,装拆非常困难。为满足氢气纯度要求,储氢压力容器和氢气瓶内表面出厂时已经经过洁净化特殊处理,定期检验时的水压试验会造成其内表面污染或者锈蚀,而需要重新进行内表面洁净化处理,因此,需要在修订相应安全技术规范和标准时,研究和解决其规定的定期检验项目和要求带来的新问题,以避免上述安全隐患和不必要的后续处理等情况。

(2) 有效检测评价方法缺失风险。对于一些特殊结构氢能承压设备的失效模式和机制,目前还没有完全掌握,缺少有效的检测方法和安全评价规则。例如,对复合材料高压氢气瓶检测局限于外观检查和泄漏检测,没有有效的方法检测瓶体内部存在的缺陷;气瓶瓶阀座与内胆连接接头是IV型高压氢气瓶的最薄弱环节,但缺少有效的无损检测方法



和评价规则，所以应当加强相关技术的研究。

(3) 检验检测能力不足的风险。氢能承压设备检测装置研制难度大、成本高。目前，我国这方面的检验检测能力无法满足氢能行业快速发展的需要。例如，材料与氢相容性试验装置数量不足，缺少气瓶渗透试验装置，没有民用液氢工况的试验检测平台和使用条件，更没有深冷高压氢的专用试验条件等，所以应当加大有关检验检测设备的研发投入，以满足行业快速发展的需要，降低和避免由于检验检测缺失而带来的氢能承压设备安全风险。另外，相关的适用于氢介质的安全附件、仪表和装卸附件（如安全阀、紧急切断阀、爆破片装置、压力表、温度计、压力传感器、温度传感器、装卸阀门、管路阀门等）的检测装置也应加大研发投入和力度。

#### 2.2.4 技术引进风险

氢能承压设备技术含量高，研发难度大、周期长，技术引进也存在风险。以高压氢气瓶为例，近年来国内有不少单位开始研制或者投资IV型氢气瓶，有的高薪聘请国外专家，有的花巨资购买国外企业。目前，国外IV型氢气瓶设计制造技术比较成熟的只有日本Toyota、美国/挪威Hexagon Composite、韩国ILJIN Composite等少数公司。IV型氢气瓶产品研发需要具有复合材料、机械、力学、无损检测、控制等多学科知识的团队支撑。为使进口或国内研发的IV型氢气瓶产品达到国际规范或者标准的要求，中国正在加快制定IV型氢气瓶产品及其配套的标准。

#### 2.3 管理风险

(1) 气瓶直接用于加氢站储氢风险。将按照气瓶标准设计制造的钢质气瓶直接用作加氢站储氢压力容器，存在疲劳失效的风险。气瓶设计循环次数一般不超过15000次（试验介质为液体），在2017年颁布的ISO11114-4《气瓶瓶体和阀门材料与盛装气体的相容性第4部分：抗氢脆钢选用的试验方法》中取消了气瓶公称工作压力上限30MPa的限制，规定经淬火+回火处理的Cr-Mo钢，只要热处理后实测抗

拉强度不超过950MPa，就可用于制造移动式气瓶，而不需要进行氢脆试验。但若据此认为，满足该要求的Cr-Mo钢可以直接用于制造加氢站储氢压力容器，则会引起较大的潜在风险。加氢站储氢压力容器的压力波动次数取决于加氢站规模、加注工艺、设计使用年限等因素。对于商用加氢站，设计寿命长，氢气加注频繁，储氢压力容器压力波动次数有可能超过10万次，而大量试验研究表明，对于上述Cr-Mo钢，高压氢气会显著加速疲劳裂纹扩展速率，明显降低氢致开裂应力强度因子门槛值，一般气瓶设计时没有考虑这种疲劳工况的影响。ISO19880-1《Gaseous Hydrogen Fuelling Station, General Requirements》中明确规定：气瓶、长管拖车用于加氢站储氢时，应充分考虑气瓶和容器的差异，特别是压力波动的影响。

(2) 氢能承压设备进口风险。有的用户从国外购买储氢压力容器和氢气瓶，由于我国缺少氢能承压设备安全技术规范，加上有些用户不知道或者提不出合理的订货要求，致使不满足安全使用要求的产品进入市场。例如，有的从美国进口的钢制储氢压力容器产品，建造时依据的标准是ASME BPVC VIII-1《Rules for Construction of Pressure Vessels》，没有考虑疲劳寿命，在用作加氢站储氢压力容器时，具有疲劳失效的风险。还需要指出的是，国外储氢压力容器用钢的抗拉强度上限是950MPa，不满足TSG21-2016《固定式压力容器安全技术监察规程》对材料的规定。

(3) 氢能承压设备“三新”评审风险。在新材料、新技术、新工艺评审时，申请单位提供的评审资料往往未经第三方审查，对其合理性也缺少充足的数据支撑，加上氢能承压设备发展快，要评审专家在短时间内给出评审结果，不但难度大，而且存在风险。

### 3 氢能承压设备风险防控的几点思考

#### 3.1 加强氢能承压设备战略研究



建议成立由国家市场监督管理总局特种设备安全监察局主管领导和压力容器、压力管道、气瓶、安全附件等行业内相关专家组成的氢能承压设备专项工作组，科学研判氢能承压设备发展趋势，结合氢能发展规划，制订中国氢能承压设备高质量、可持续发展的技术路线，明确重点任务，支撑氢燃料电池汽车、氢储能、氢能轨道交通、氢能船舶等相关领域的发展，实现产业高起点开局、高质量实施和可持续发展。

### 3.2 完善氢能承压设备法规、安全技术规范和标准体系

推动将有关氢能承压设备基本安全要求纳入相关法规、安全技术规范或者尽快制定专项的《氢能承压设备安全技术监察规程》；探索推动氢燃料电池汽车4S店及使用氢燃料电池汽车的公交站场、物流公司、重卡车队等，实施气瓶日常维护保养检查，通过提高设计制造要求豁免特定车载氢气瓶定期检验，大力推广和鼓励物联网智能监控终端系统的应用，实现车载氢气瓶实时安全状态监控及数据传输和安全报警提示，加强日常氢安全管理；加快健全

中国氢能承压设备标准体系，进一步完善氢能承压设备材料、产品、定期检验等相关标准；加快建立第三方检测机构；建立健全新技术、新方法、新材料准入机制，使风险可防可控；推动氢能承压设备质量安全追溯体系建设、企业质量安全评价体系、责任延伸制度；探索建立基于大数据的氢能承压设备安全监管平台，实现氢能承压设备安全动态全过程监管；加强氢能承压设备科普宣传，构建良好的产业发展氛围，吸引更多社会资源，构筑有效的安全防线。

### 3.3 组织氢能承压设备核心技术攻关

依托行业骨干企业、科研院所、高等院校、检验机构，共同开展高性能轻量化设计、复合材料氢气瓶（储氢容器）、服役性能快速检测评价、定期检验新技术等氢能承压设备关键技术攻关，建立知识产权共享机制；深度开展国际合作与交流，参加国际循环测试和国际规范标准制定，形成国际化的协作机制。

来源：《压力容器》

## 欧洲海上风电工程实践回顾及未来技术展望

欧洲是世界上最早提出海上风电的概念及进行工程实践的地区之一。从产业的角度来看，欧洲海上风电场到目前大概有30年的发展历史，欧洲在风机设计制造、风电场设计建造及运维方面积累了很多实践经验。从最早海上风电场Vindeby（丹麦，1991年）装机容量5MW，11台450kW风机，离岸距离3km，发展到目前在建的最大的海上风电场Hornsea 2（英国）装机容量14GW，165台风机，离岸距离90km，经历了风电场规模由小到大、离岸距离由近到远的过程。整个发展过程可分为几个阶段，而每个阶段都有不同的工程挑战，由此可以看到风电场设计建造

可能遇到的技术问题及工程挑战。

本文首先从历史的角度对海上风电场的发展进行了总结，并对每个时期工程上遇到的一些主要电气问题进行了回顾。在此基础之上，本文对当前风电场设计常见的技术问题进行了讨论，对一些电气设计技术提出了建议，并对未来风电场的发展进行了展望。

### 1 欧洲海上风电场发展历史回顾

本章的时间线主要参考文献中的论述，从历史角度回顾海上风电场的发展，并对其间遇到的主要电气技术问题进行了回顾。



### 1.1 第一阶段：萌芽期（1991—2001年）

丹麦风能产业在20世纪70年代的石油危机之后开始兴起。政府扶持海上风电场示范项目的初衷是为促进风能产业的发展及拉动出口增长。在这个时期，世界上大部分政府和企业都不认可海上风电场的发展前景，因而项目主要还是以政府政策拉动、公共企业牵头的形式。这一时期安装的容量很少，业界主要面临的压力一方面是缺乏可靠的产业链，包括风机制造及海上所需各种电气设备，另一方面受限于风机的容量（0.5~1MW）。风电场的规模较小（项目装机容量大都在20MW左右），也因此限制了海上风电场产生的社会影响和经济效益。

示范项目显示海上风电场对设备的可靠性、安装及运维的要求比设想要高，但发电量及在线率方面却表现得很好。以Vindeby 风电场为例，该风电场发电量满足预期指标，并在最初的5年里在线率超95%。此后开发的Tunø Knob风电场（10台0.5 MW风机，离岸6km）在发电量以及在线率上超出了设计预期。与陆上风电相比，海上风电投资大，但社会效益明显。1MW装机容量的海上风电投入在2000年可以给欧盟带来4~5个工作岗位，这也使国家政策向风电产业倾斜。

丹麦在海上风电方面是起步最早的几个国家之一，20世纪90年代已经确定规划区域并展开定点数据采集工作，包括海洋风资源、气候、水文及海底地质等，由此了解工程需求并带动风机设计、安装等一系列研究。比如，Vindeby 风电场所在海域的雷击次数很多，因此带动风机避雷保护技术的发展。另外，通过海水海风腐蚀认识到离岸设备涂层、润滑、密封对使用寿命的影响。由于风机离岸远，风电场监控系统需要高度自动可靠，并采用主动维护策略。另外，风电场对海洋生态环境的影响，比如噪声对海洋生物（如海鸟或鱼类种群栖息迁移及觅食）的影响，也成为项目可行性评估的重要环境指标。由于这一时期的风电场容量小，其电气设计以

及并网部分所占投资比例不大，没有受到重点关注。在这一时期，丹麦风电场（Vindeby、TunøKnob、Middelgunden）的投资费用分布主要为风机基础（占比为25%以下）和风机（占比为45%~55%），而电气投资只占总投资的10%~30%（内部投资占比为1%~6%，并网连接投资占比根据电网是否需要改造为10%~25%）。

### 1.2 第二阶段：上升期（2002—2011年）

2002年丹麦建设了一个有现代规模的风电场Horns Rev 1，装机容量为160MW，离岸距离在14~20km。风电场第1次采用了离岸变电站的电气设计，这也成为后期大型海上风电场的通用设计方案。在这个阶段，政府政策支持、项目融资开发和施工安装以及监管和市场在北海周边几个国家进一步得到完善，海上风电场进入了快速发展期。英国的Crown Estate公司在2000年、2003年和2008年进行了3轮开放式海底租赁，允许开发商在几个划定海域自由投标建设风电场，自行决定风电场大小。通过开放监管及投标的方式，英国很快超过丹麦成为世界上海上风电场最大的市场之一。

这一时期海上风电场项目规模已达100MW以上。业界依然受到供应链薄弱问题的制约，但已有更多的供应商可以选择。这个阶段技术上的主要问题是电缆。电缆安装不善会严重影响其使用寿命且影响其连接设备安全。比如安装时过度弯曲会引起局部疲劳导致局部放电、过热而寿命缩短。丹麦Samsø风电场的岸上变压器与断路器之间的电缆由于距离短，安装时过度弯曲，导致过热最后烧坏3台主变压器中的2台。因此，电缆承重、悬垂、扭矩、弯曲在安装时均需及时和技术人员校核，在保证工期的情况下，尽量确保其在设计范围内。

另外，电缆由于其并联接地电容大会引起离岸无功过量及电压升高问题，因此离岸距离长时单纯采用风机无功控制不足以控制整个风电场内部的电压，因此需要在离岸及陆上变电站采用并联电抗进



行补偿。由于电缆高电容小电阻的特性，故障后的暂态直流分量衰减缓慢，会使电流长期不过零导致断路器不断开的问题，需要在设计时进行电磁暂态仿真确认。同样原因也会产生瞬态恢复及投电时电压过高的问题。因此，电缆特性对电网的冲击及绝缘配合开始并入标准的设计内容以进行仿真验证。

风机控制对系统的影响及电网规约在这段时期开始发展。丹麦多次出现全境风电场在风速超过25m/s时即时减载到零的情况。针对此问题，风机中设计了功率缓降控制避免功率突降的情况。为此，在极端天气下需要以N-1工况考虑风电场减载情况来确定备用容量。另外，故障时风电场电流对保护系统的影响也开始显现。由于离岸距离长，风机并网短路容量下降，加上电缆阻抗特性特殊，谐波共振问题开始在某些风电场出现。发生某风电场与附近高压直流线路产生谐波共振的现象之后，谐波稳定成为研究热点。谐振分析及补偿也成为实际设计必须考虑的一环。

### 1.3 第三阶段：市场化（2012—2017年）

先行的开发商如Dong Energy（沃旭）经过之前项目已积累了很好的设计施工及运维经验。而早期风电场在设备制造及建造上的高冗余度造成成本可达每兆瓦时几百欧元。在技术可行性基本证明后，降低成本、减少政府补贴使之真正走向市场成为主题。英国在这段时期设定了2020年海上风电成本在100英镑/(MW·h)的目标。另外，早期海上风电场电能由系统运营商义务高价购买，电厂只需达到预期产能即可，而2013年后，英国引入差异成本（cost for difference），使得电厂也参与到电力市场中而政府只提供最低价格保证。其他国家比如丹麦、德国及荷兰也引入了类似的政策。

这一时期风电场规模已达500MW以上。海上风电场的经济性和规模成正比。因此，风机的设计容量不断增加，比如更长叶片、更大容量发电机及并网逆变器。从开发商的角度考虑，风机容量的增大也

意味着更少的设备及安装与维护需求，从而降低了发电成本。但风电场规模的变大使得并网稳定性成为一个不确定因素。这包括风电场自身运行稳定及并网后系统的稳定。从系统的角度考虑，风电场如果成为主要电源之一，需要在并网处提供一系列辅助服务，比如调频、调压、低压高压穿越及故障电流注入。因此，风电场尤其远海风电场一般采用静止同步补偿器（STATCOM）来满足并网要求。并网对风电场的在线率及经济性影响在这段时间成为一个主要因素。随着风电场在电力系统中所占比重不断增加，再加上老火电厂或核电厂的退出，电网强壮度减弱，风电场对系统稳定和控制上的影响成为一个主要课题。另外，这一时期并网规约也在不断完善，英国National Grid公司、德国Tennet公司以及ENTSO-E联合会在这一方面处于领先地位。

### 1.4 第四阶段：大规模消纳（2018年至今）

2018年以后北海和波罗的海周边国家的海上风电场进入大规模开发时期。这段时期欧洲海上风电场的设计、施工、运行各环节已基本模块化和链条化。但整体与其他工业相比，海上风电行业依然不成熟，在很多方面还有很大的优化和提升空间。比如，由于海上的特殊环境，风电场开发对供应商的要求比较高，造成开发商选择范围相对较少，客观上减缓了成本下降的速度。另外，由于风电场离岸距离增加，远距离大型风电场采用直流传输会比目前通行的交流设计更经济，但对风电场风机控制与并网提出了新的挑战，比如，如何与高压直流线路协调控制提供系统辅助服务。另外，直流线路一般仅1条回路，送出系统的任何故障都会造成风电场全面停产，而交流线路则可采用多条回路保证一定冗余度。比如，2018年1200MW风电场Hornsea 1送出系统采用3回220kV交流线路，离岸距离为120km。

大规模开发带来消纳问题。随着风电场规模的扩大、离岸距离的增加、电网短路容量的下降，风电场发出的电能将更难由电网直接全部消纳。2019





年8月英国的停电事故也使得风电场对电力系统稳定性的影响更加受到电网关注。德国北部地区海上风电经常由于电网阻塞问题而受到系统限电。海上风电场作为新兴技术，其要求的自动化水平和各环节技术的成熟度（从电厂角度而非风机角度）还有很大的提升空间，其中各个技术环节都可进一步优化提高。

这一时期与风机/风电场相关的电气、建设及施工标准也已经基本建立，比如风机/风电场的电气控制、测试、数据采集及建模，包括RMS、EMT及谐波模型。IEC 61400-21及27系列标准的建立对风机/风电场的测试、测量、各模型及验证标准化具有非常重要的意义。从风机制造的角度考虑，下一步工作是对测试和测量环境进一步优化，降低产品开发周期以进一步加快新风机设计及市场化的速度。仿真方面也需要进一步标准化使得业界在电气设计、测试及验证、并网等一系列环节进一步流程化。

## 2 海上风电场电气设计技术环节回顾

海上风电场一般设计包括集电系统、送出系统及陆上系统，如图1所示。因受海底地况、海水深度和温度、风电场容量、并网口特性、电网特性和要求等影响以及经济性的考虑，风电场很难有一个通用设计模板。因此，各项目都需要按照实际情况来进行优化设计。海上风电场主要的电气设计环节包括风机选址、变电站选址、设备稳态暂态容量设计、电缆优化、接地与保护系统设计、故障穿越、绝缘配合、电能质量及谐波补偿、电压无功控制、风电场控制、网侧控制以及稳定仿真。不同项目对各环节要求也不同。本文主要针对电缆优化、接地与保护系统设计、无功补偿以及谐波补偿4个方面展开叙述。

### 2.1 电缆优化

电缆选型优化问题是确定离岸风电场各风机之间的电气拓扑以及各线路相关的电缆型号，以经济性为唯一目标，包括设备投资费用及设计年限（20

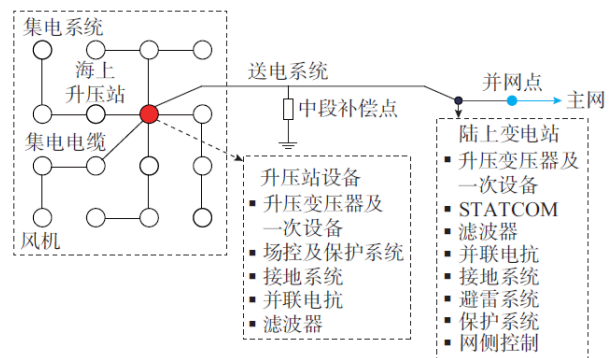


图1 海上风电场一般交流电气设计

至30年)内的运行损耗(包括风机变压器及线路)，并考虑不同的风机选择、常年风向风况、发电曲线、线路安装费用、海底地理以及环境要求。该问题属于典型的非线性、非凸的混合整数规划问题。其优化变量初级形式可以以图2的矩阵所示。

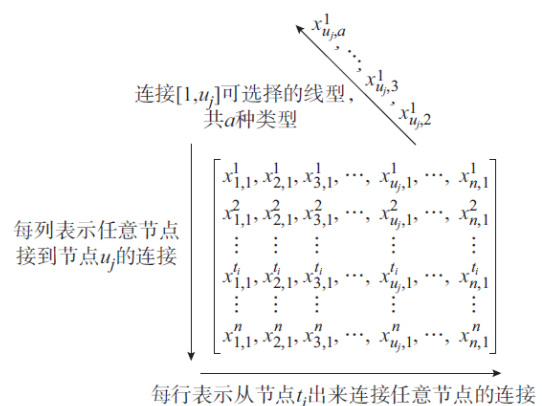


图2 电缆优化变量结构

其行列数与风机及升压变电站总数相同，每一个元素代表其中一个连接可能。因此，对于 \$n\$ 台风机 \$m\$ 座变电站来说，其理论上可能的连接为 \$(n+m)(n+m-1)\$ 种，而每个连接下还有多种可选的线型。图2所有变量为整数型变量。此外，损耗的表示有几种形式，常见的方法为引入连续变量表示每条连接下的潮流，其与该连接的下游风机数量有关，当然也有完全采用整数变量的形式。对于优化方法的设计，目前常用的是启发式及混合整数编程等。

对含有上百台风机的大型风电场优化来说，整体优化问题由于可能的连接数过多和线型过多会过于复杂，在实际应用中往往由于模型参数及约束条

件众多而使优化求解非常困难。因此在实际工程中，该问题可做如下简化处理。

1) 将风机选址、风机选型、风况风向、发电曲线分开处理并作为输入来减少建模的困难并提高结果的鲁棒性。

2) 简化变电站选址以及送电线路设计部分在建模中的比重，比如，通过减少可选择的连接、限定连接区域及减少线路类型选择。

3) 考虑放射形线路结构，重点考虑风机之间的连接、电缆选择、海底地形及安装难度。

4) 适当强化运维方面及环境方面的约束。

5) 尽量降低变量引入以减少问题的复杂度。

6) 大型风电场在经济性方面可考虑备用连接，如配电网系统，以免在某一上游线路故障检修时影响下游风机的运行。

电气设计优化时的海上变电站的处理对最终设计有很大影响。一般而言，如果安装地点不受海底地质影响，变压器可作为一种特殊的连接节点处理在图2中表示出来。与其他连接节点，如风机节点的不同之处在于，变压器本身可接入的线路更多，节点无功功率注入，只有进线，但最大风机接入容量受J形管数量及电缆容量限制。

本文提供一个大型海上风电场优化的思路。在进行百台风机以上并有多台变压器的风电场设计时，其优化过程可分步实现。初始可采用简单直接的数学模型但选取严谨的优化方法（如混合整数编程）对求解域进行适当的缩小或取得一些变量的初始解。之后，在缩小后的问题上再采用复杂数学模型并应用类似启发式的对模型适应度高的方法进行精确求解，最后进行设计验证。

## 2.2 接地与保护系统设计

海上风电场接地点及接地阻抗的设计关系到设备安全、保护可靠性及风电场经济性。欧洲电网公司要求电网与电厂电气隔离，隔离点一般通过陆上或者海上升压站变压器实现（取决于电网公司是否

拥有并网运行送电系统）。该变压器电网侧为星形连接加中性点接地，风电场侧为三角形连接。由于风机出口变压器高压侧也为三角形连接，风电场内部无接地点，接地故障时无零序回路，因此需要额外增加接地回路。一般设计是离岸或（及）陆上变电站使用三绕组变压器，辅助绕组连接Zig-Zag接地变压器来承接短路电流，或连接额外两绕组变压器来实现接地回路。接地电阻的选择则需协调接地电流大小，考虑设备尤其电缆表层可承受的短路电容量，以及非故障线路的电压及故障时间，防止设备因过压能力不足而造成绝缘破坏。

在保护方面，由于大量使用电缆，接地故障时电流零序容性电流成分高，而并网准则要求风机故障时输入感性电流，在某些情况下出现两路电流因相角相差过大而部分抵消的情况，造成保护不动作及故障识别和方向判断问题。为提高保护的可靠性，保护测试必不可少。另外，也需要考虑故障外其他工况下的可靠性，比如系统加电激励或外部短路时，各线路的保护必须能够正确识别冲击电流或电压而不动作。同时，保护设置需考虑与风机本体保护以及故障穿越特性上时间和定值的配合问题，争取系统主保护或后备保护能够在风机拖网之前切除故障。另外，上文提到的短路电流长期不过零造成断路器短路却不断开的问题也需要在设计时进行仿真验证。

另外，由于海上风电场电缆维修困难，精确的故障测距可有效减少维修时间，增加风电场可用率从而提高其经济性。离岸稍远的风电场的送电系统电缆为多段连接且到陆上时可能转为架空线或分相连接，因此，整段阻抗特性非均匀分布，造成常规使用的距离保护在测距方面精确度下降，影响检修时间。因此，除距离保护外，其他不受安装影响的保护，如行波保护，也开始被关注。目前，商用行波保护主要应用于架空线，对海底电缆以及混合电缆的应用已有相关研究。该技术对测量速度和精度的要求比较高，由于电流互感器响应频域较电压互

感器宽，目前主要采用电流信号作为主要输入。

故障时风机故障电流注入成分是需要进一步研究以及导则需要完善的地方。逆变器本身通过控制系统可在正负序上注入双向有功和无功分量，因此可同时影响正序及负序电网的注入量。目前，欧洲电网主要要求采用正序感性无功电流注入，不论故障类型，其幅值大小与正序电压的跌落值成反比。该注入法对依靠正序分量进行判断的继电器影响不大，但对依靠负序分量进行启动或判断的继电器可能会有影响。而无负序及零序电流注入也在一定程度上造成短路电流幅值减小。从技术上来说，注入负序感性无功电流可降低并网端口的负序电压，但过量注入也会带来其他问题，如对附近电网及邻近电机的影响。从有功和无功功率的角度考虑，大部分电网公司都要求优先感性无功注入，而对于规模小且新能源比例高的电网，如爱尔兰电网，则要求优先有功电流注入以确保系统频率在故障时不受太大的影响。综上，高比例电力电子化系统的并网导则还有进一步完善的空间。

### 2.3 无功补偿

大量电缆的使用在风电场内造成很大的无功潮流，为增加电缆有功传送，必须在风电厂内部对无功功率进行补偿，尤其在远距离输电的情况下。由于风电场跨度区域大、距离远，跨风电场（尤其包括送电线路）的无功电压控制需要分区分块完成，因此需要协调各无功调压元件的控制、无功分配及电压控制点的选取和配合，避免控制器之间互相影响产生电压稳定问题，并摆脱受风机出力影响而产生电压波动。另外，应充分利用带载可变抽头变压器的自动变压作用以及风机的无功电压调节能力。一些远距离风电场，比如Hornsea 1，送电线路中点采用无功补偿的方法来提高传输线的有功输送能力，并在线路两端采用电抗器补偿线路以及滤波器的无功功率。整个风电场的无功电压调节策略需要制定完善并在不同工况下，包括N-1甚至N-k情况，保证

无功调节容量和电压控制策略，减少线路上的无功潮流，从而降低线损并提高有功传送能力。

一个典型的例子是在建的Kriegers Flak风电场。该风电场同时通过交流电连接丹麦和德国系统，整个风电场分为2个子风电场并连接各自变电站，其中1个变电站通过80km的220kV双回传输线连到东丹麦系统，另1个变电站通过150kV双回传输线连接北德国系统，中间经过Baltic 1和Baltic 2两个海上风电场，总长160km左右。两个变电站之间也互联。由于东丹麦及德国系统分属不同同步区，在德国侧陆上采用短高压直流变流系统。该系统跨度非常大，可控电压和无功元件众多，因此协调优化策略非常重要。最终，该系统分为丹麦侧和德国侧2个子区域，以2个风电场出口母线为分界线，各电压无功控制器按照所在区域划分到各自区域。丹麦侧的系统通过风电场来控制离岸兼顾陆上母线电压，陆上采用可变电抗器控制并网点与系统的无功交换水平。而德国侧则用最优化潮流优化来确定各电压控制器设定值及无功补偿量。未来随着海上风电场规模的增大，离岸电网建设以及电转气设备的使用，无功电压协调控制及稳定问题会更加突出。

### 2.4 谐波补偿

风机在不同频率下的阻抗特性由于控制回路不同频域特性而不同。在某些频率区域内，单个或多个风机的阻抗在连接处与系统背景阻抗发生谐振效应，在存在谐波源的情况下造成电压谐波分量放大进而引起单台或多台风机无法并网运行。比如，某英国风电场设计时发现并网点系统背景x次谐波电压比例初始为2%，而风电场并网后该谐波分量增至12%，不满足电网电能质量要求。因此，在实际设计时，电网公司须提供并网点不同工况下的系统背景谐波以及谐波阻抗范围，风电场开发商因此根据各主要设备的频域模型进行谐波分析，确定谐波补偿容量。主要考虑的设备包括风机、电缆、变压器及主动控制设备如静止同步补偿器等。另外，谐波补



偿不应仅仅考虑风电场完全在线的情况，还应包括风电场在不同运行方式下的阻抗情况，从而比较精确地确定主要谐波频段并以最差情况来进行滤波器容量的设计。谐波问题一方面可以通过改善风机逆变器控制回路，比如增设滤波回路来改变风机阻抗特性。更普遍的做法则是设计滤波器并保证足够的设计裕度避免由于滤波器本身检修或者故障而使风电场因缺乏滤波容量出现减载的情况。

伴随谐波问题的是风电场并网的稳定性问题。不同于传统同步电机引起的稳定问题，风电场的稳定性问题是风电场中的一个或多个控制器（包括逆变器控制、机体控制以及场控）与系统在次同步或超同步频率上发生谐振，造成电压振荡，引起功率振荡最终触发保护引起风电场脱网。造成这种现象的主要原因是系统短路容量下降以及逆变器控制器。风电场并网稳定性问题已引起很多关注并有很多论述，且该问题并不限于海上风电场，因此本文不再展开描述。

### 3 海上风电场并网技术发展

海上风电场发展到现在规模，并网的重要性已经非常突出。风机及风电场的并网导则已发展到相对完善的阶段，如IEC 61400-21/27标准，其中涵盖建模、测试、测量及各种控制功能如频率响应、无功电压运行范围、故障穿越、电能质量、故障恢复等。对离岸一定距离以上的海上风电场而言，无法直接通过风机控制器实现并网导则及电网的要求。因此，必须在并网点加装主动控制设备以满足并网要求，如STATCOM。另外，稳定的并网点电压对风电场稳定运行也非常重要。而在短路比较小的情况下，不仅风电场，STATCOM自身的运行稳定也会受到一定影响。因此，须加装其他设备（如同步调相机）来改善并网点电压阻抗特性。

#### 3.1 同步调相机

当新能源并到弱电网时，同步调相机在稳定性方面的作用在多个电网中已得到很好的验证，可很

好地提高保护方面的可靠性。2013—2014年，丹麦电力公司在电网中加装了3台大容量同步调相机（Bjæverskov 2013年、Herslev 2014年、Fraugde 2014年）以提高系统短路容量及电压稳定。同步调相机提供的短路容量在系统稳态运行时可提高电压稳定性，而其同步机的特性可增强系统惯性并在系统动态时提高阻尼。在风电场规模增加且并网点电网强度减弱的情况下，采用调相机为目前唯一成熟可行的解决方案。但由于同步调相机会增加海上风电场系统运维的复杂程度，且由于其运行时的损耗（1%~2%），因此，其应用范围在可见的将来将主要限于电网非常弱（如短路比长期小于3）的情况。

混合同步调相机的概念首先在由苏格兰电网领导的Phoenix项目中被提出并进行示范，其设计将STATCOM和同步调相机两种设备结合在一起，并在各自控制器的基础上设计统一控制器来实现各种工况下的协调控制以提供给系统最优的辅助服务。其设计如图3所示。混合补偿可以实现单种设备无法提供的特性，且一般而言，单一补偿设备在一定的容量之上对系统的边际成本效益比会降低。因此，将同步机与电力电子技术结合可提供多种辅助服务且提高了并网点的电压稳定，对长距离海上风电场接入电网会有很好的效果。其缺点是调相机额外的投资及较大的运行损耗。

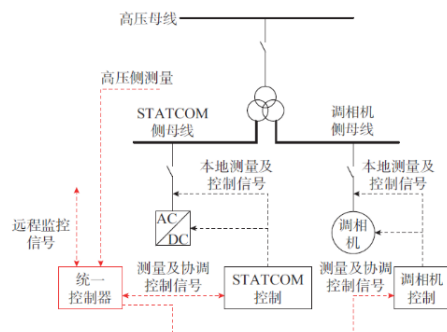


图3 混合同步调相机设计

除上述设计之外，混合调相机也可采用电池与调相机的组合，或与飞轮的组合，从而可以提供更多有功功率及惯性的控制。采用这类混合调相机不仅可以实现海上风电场的并网稳定性，而且可以更

可靠地提供调峰调频以及黑启动等辅助服务。

### 3.2 构网型变流器

近年来，构网型变流器（GFC）越来越成为风电界关注的热点，并被认为是未来实现大规模电力电子并网的关键技术之一。构网型变流器的控制主要有2条实现途径：一是虚拟同步机，即通过改变外层有功/无功控制使逆变器实现类似于同步机惯性及电压特性；二是通过内层电流控制实现虚拟阻抗及类似戴维南电压源的特性。第1条路径比较直观，但参数设置复杂；而第2条路径不依赖于锁相环，响应速度快，但无严格的功率控制。GFC如果实现，可使系统稳定运行无须依赖大型同步机在线，使得海上风电场运行不受系统侧的运行方式影响，进而降低其并网成本及电网对系统短路容量的投资。

图4所示为一种完全无内层电流控制的电压源实现方法。此种控制可在较宽的频域范围内（5~1000Hz）实现戴维南电压源特性且响应速度快。其无功控制与变流器出口电压d轴分量( $v_{dsc}$ )相关，但出口电压考虑虚拟电阻 $Z_{virt}$ 以模拟电压源内部压降。 $Z_{transvirt}$ 为实现同步机在暂态过程中的阻抗特性。有功控制则与出口电压的相位相关。对该控制的详细分析和变量解释可见文献。

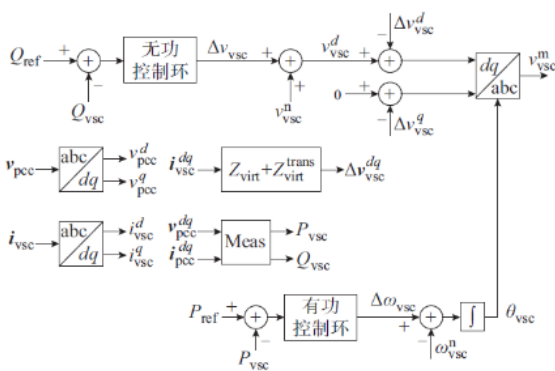


图4 GFC 无内层电流控制实现方法

## 4 未来风电场发展趋势及技术展望

随着浅海近海优质风资源区域的开发殆尽，未来的风电场将向远海深海发展。这与技术进步的方向也是相吻合的。比如，从欧洲海上风电的发展历

史来看，随着离岸距离的增加，海水深度也在不断增加。从经济性上来说，深海远海的风资源要比近海更加丰富，但是对设备制造与整体设计的可靠性以及运维的要求会更高。目前，虽然风机海底基础的设计已有很多方案及示范工程，但最成熟的商用技术依然是基于单桩的，包括目前最大的Hornsea 1和Hornsea 2风电场。欧洲目前仅有两个适合深海的浮动式风电场示范工程，其中一个是在苏格兰地区的Hywind风电场。Hywind浮动式风电场目前已运行多年且无太大可靠性问题。但Hywind风电场离岸距离较近，对远海深海风电场来说，其海况比近海更为恶劣。目前短期的应用是采用近海浮动式或者浮动与固定安装结合的基础形式来进行技术验证。对于深海风电场来说，离岸距离往往更远，现阶段的技术挑战在于研发用于精细模拟深海气候及水文环境的软件及模型，以此改进当前风机的一些设计使其能适用于浮动基础上的运行，设计风机及变电站浮动基础及联合控制以保证结构稳定。另外，浮动式技术的发展也推动风机与波浪能的结合。目前示范的技术是在浮动式风机的水下基础上加装波浪能装置从而实现更高的效率。

对于深海远海能源输送而言，目前的技术思路是建设大规模离岸电网。比如，丹麦政府在2021年正式通过议案支持兴建2个离岸能源基地的计划。其中一个是在北海修建一个人工岛，用来连接周围在开发及将要规划的离岸风电场及周边国家。另一个是在波罗的海的Bornholm岛修建另一个能源基地来开发附近海域的风资源并连接瑞典、波兰、德国等附近国家。两个基地长期目标是连接15GW的海上风资源。离岸电网短路容量较低，其可靠性需要在进一步完善风机及风电场的并网导则的基础上建设多技术联合测试平台加以验证。

从并网的角度，对于深海远海风电场来说，如果采用交流传输方式，所需的电压等级需要更高，对电缆绝缘的要求也相应提高。对于深海风电场还



需研发适合深海使用的高压电缆及悬浮技术。长距离传输带来的另一个问题是风机/风电场与系统在弱电气连接的情况下的同步稳定性问题。这个问题可以采用离岸直流传输电网来解决。但大型风电场与直流线路连接的连续稳定性，以及直流线路如何配合系统启动风机提供辅助服务，目前都缺乏足够的工程经验及规范。

目前有潜力解决大型风电场并网问题的一种方法是采用GFC来控制风机网侧逆变器。这一技术已有很多研究考虑，且工业界也有初步的示范项目。从风机的角度，该技术目前面临的瓶颈是如何将网侧逆变器的控制特性与后端机械及能量转换部分结合起来。GFC控制可以一定程度上模仿传统电机的惯性及电压源特性，但受限于逆变器过流能力。同时，由于直流侧电容器容量很小，无法在动态时提供足够的能量，需要结合后端传动系统包括控制电机及叶片来提供后续能量，尤其是在电网波动大、动态持续较长时间的情况下。但后端传动系统的响应速度远不及前端逆变器控制。而调动后端传动系统对电网进行响应也会影响风机整体包括塔及电机的使用寿命，具体影响仍需要更多的示范项目及运行经验来进行评估和验证。另外，这方面风机的测试标准也需要进一步完善。

另一个解决并网问题的方法是增加储能装置。储能可以加在逆变器直流侧，从而解决风机电容器储能不足的问题，但机舱控制及设计的复杂度会增加，成本也会提高并增加了机舱的重量。目前，虽然类似的系统在太阳能逆变器中已有市场化应用，但这一技术还未有制造商采用。从提高风电场并网稳定性上来说，储能也可以加设在并网口并采用构网型控制来提高并网点的稳定性。这方面面临的主要挑战还是储能的经济性和可靠性。另外，结合同步调相机来提高短路容量也是一种可行的方案，但经济性会降低。除与风电场结合，辅助设备还可以同时提供给系统所需辅助服务，如黑启动、调频调

压、振荡阻尼、短路容量等，整体经济性会提高。在英国近年开始的Stability Path Finder项目采用了此类方案。

在消纳方面，海上风电可与能源转换结合，比如通过电转气或电转热，将电能转为其他易于传输或存储的能源载体。在深海远海的风电场可采用大型电转气设备，将能源转化成氢气后压缩或转化成天然气后通过已有的海底油气网来实现传输。该技术目前已有示范项目。如在North2项目中，海上风电到岸之后连接电解水厂，产出的氢气通过天然气管传输。其他类似项目有英国的H100 Fife和丹麦的H2RES等。另外，欧洲的北海地区由于风电资源丰富，长期计划安装容量达20TW。各个风电场将由多端直流线路连接，辅以离岸能源基地来增强互联。风机制造商也在积极研发新型风机，如风机加设电转气设备，使得风机输出氢气而非电力。但是，电转气可能长期会受限于其较低的转化率而面临其他技术的挑战。

## 5 结语

本文对欧洲海上风电场的发展历史进行了简要回顾。通过技术以及经济和政策上的演化，可以看出其发展从政策引领开始，然后通过一系列由小到大的工程项目，经历了技术上不断发现问题并解决问题、经济上不断降低成本的过程。在这个过程中也为学术创新提出各种机会。很多国家政府已经将海上风电场作为新能源发展重点，项目数量处在井喷状态。但海上风电依然为一个新兴产业，从设备制造、供应链、设计优化、工程创新等方面还有很大的提升空间。近年来，大型海上风电工程项目面临的挑战是如何提高经济性、降低发电成本，以及并网的稳定性和可靠性。长期而言，海上风电场面临的真正挑战在于如何通过新的设计和应用使其像传统火电厂一样真正成为电网及能源系统中可靠的一环。

来源：《电力系统自动化》



## “双碳”战略目标下推动退役光伏组件资源化利用迫在眉睫

能源是国民经济的命脉，是经济和社会发展的重要物质基础。为改变我国能源消费结构过于依赖石油和煤炭现状，在“3060”双碳战略目标下，加大对风电、光伏和其他新能源开发使用力度已成为我国经济实现可持续发展的战略选择。目前，我国已成为全球最大的光伏组件生产国和全球最大的光伏发电应用国家。据国际可再生能源机构预测，2025年起我国开始面临大量的光伏组件退役，2030年报废光伏组件将达到150万吨，并且我国光伏组件报废量在2060年前会以每年30%的速度增长。报废光伏组件回收与绿色处置作为光伏产业链的最后一环，是光伏产业闭环绿色可持续发展的最终保障。

新兴固废物质组成与相应产品基本相同，因而含多种有价金属，资源回收价值极高。以光伏行业为例，晶体硅光伏组件中玻璃、铝和半导体材料比重可达92%，另外还含1%左右的银等贵金属。若能全量回收，到2030年，可从废弃光伏组件中得到145万吨碳钢、110万吨玻璃、54万吨塑料、26万吨铝、17万吨铜、5万吨硅和550吨银。而薄膜光伏组件中含有的碲、铟、镓等稀贵金属，主要依赖国外进口，因此其高效回收利用不仅具有巨大的经济效益，同时有利于减少相关资源的进口依赖，防范原材料供给风险，对保障国家资源安全具有重要战略意义。

### 1 退役光伏组件回收利用已受到国家各部门重视

为应对大量报废的退役光伏组件、风电机组叶片等清洁能源产业固废，国家相关部门高度重视，陆续出台政策部署相关工作。

2022年2月9日，国务院办公厅转发国家发展改革委等部门《关于加快推进城镇环境基础设施建设的指导意见》。《意见》指出：持续推进固体废物处置设施建设。推进工业园区工业固体废物处置及综合利用设施建设，提升处置及综合利用能力。健全区域性再生资源回收利用体系，推进废钢铁、废

有色金属、报废机动车、退役光伏组件和风电机组叶片、废旧家电、废旧电池、废旧轮胎、废旧木制品、废旧纺织品、废塑料、废纸、废玻璃等废弃物分类利用和集中处置。开展100个大宗固体废弃物综合利用示范。

2022年2月10日，工信部等八部门联合印发了《加快推动工业资源综合利用实施方案》，文中提到探索新兴固废综合利用路径，推动废旧光伏组件、风电叶片等新兴固废综合利用技术研发及产业化应用，加大综合利用成套技术设备研发推广力度，探索新兴固废综合利用技术路线。

2022年1月4日，工信部等5部门印发《智能光伏产业创新发展行动计划（2021-2025年）》，明确提出要研究开发退役光伏组件资源化利用的技术路线和实施路径，推动废旧光伏组件回收利用技术研发及产业化应用，加快资源综合利用。

2021年7月1日，国家发改委印发《“十四五”循环经济发展规划》。规划中提到“光伏组件等新型废旧产品产生量大幅增长，回收拆解处理难度较大”，规划中提出“将对包括退役光伏组件和风电机组叶片等废旧物资分类循环利用和集中处置，引导再生资源加工利用项目集聚发展”，并将其列为“第一项重点工程”。

2021年12月14日，为贯彻落实《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，加快工业资源综合利用先进适用技术装备推广应用，持续提高资源利用效率，工业和信息化部、国家发展和改革委员会、科学技术部、生态环境部四个部门共同编制了《国家工业资源综合利用先进适用工艺技术设备目录（2021年版）》。该目录共评选94项工业资源综合利用先进适用工艺技术设备，其中再生资源利用工艺技术设备19项，中国再生资源产业技术创新战略联盟理事单位、中国光伏回收产业发展合作中心核



心成员，常州瑞赛环保科技有限公司凭借“晶硅光伏组件高压研磨拆解成套技术与装备”成功入选。

“此次入选目录的‘晶硅光伏组件高压研磨拆解成套技术与装备’为瑞赛环保自主研发，瑞赛环保获得了该项技术相关的多项发明专利及实用新型专利，专利范围涵盖技术方法、整机装备以及核心零部件等。通过对报废晶硅光伏组件的高压研磨，可以获得洁净的整块玻璃、条状的焊带、颗粒状的电池片以及片状的EVA和背板等高分子材料。不同材料间差异巨大的物理形态，大大降低了研磨拆解后材料分选的技术难度。该技术装备可实现95%以上的材料回收率、90%以上的材料可再生利用率。并且凭借其拆解过程中近乎100%的水循环利用率和废气零排放，实现了循环经济技术的环境友好性。”中国再生资源产业技术创新战略联盟理事、常州瑞赛环保科技有限公司总经理庄虎梁说。

2021年3月18日，国家发改委等十部委联合发布《关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见》，提出针对退役光伏组件、风电机组叶片等新兴产业固废，探索规范回收以及可循环、高值化的再生利用途径；鼓励企业建立技术研发平台，加大关键技术研发投入力度，重点突破源头减量减害与高质综合利用关键核心技术和装备，推动大宗固废利用过程风险控制的关键技术研发。依托国家级创新平台，支持产学研用有机融合，鼓励建设产业技术创新联盟等基础研发平台。加大科技支撑力度，将大宗固废综合利用关键技术、大规模高质综合利用技术研发等纳入国家重点研发计划。适时修订资源综合利用技术政策大纲，强化先进适用技术推广应用与集成示范。

## 2 技术创新将支撑退役光伏组件回收利用产业发展

如何高效规范回收利用已成为当前重要热点话题，也引起了我国固废资源化产业界和学术界的高度重视。据中国再生资源产业技术创新战略联盟副

理事长兼秘书长尚辉良介绍，为贯彻落实国家相关政策，推动我国清洁能源产业固废资源化利用工作发挥积极作用，南通复源新材料科技有限公司、上海交通大学、京津冀再制造产业技术研究院、中科院宁波材料研究所、江苏天鸟股份有限公司、合肥工业大学、常州工学院、常州大学、上海第二工业大学、常州瑞赛环保科技有限公司、中节能工程技术研究院有限公司、国家电投集团远达环保工程公司、中化环境控股有限公司、山东龙能新材料有限公司、南京航空航天大学等联盟成员单位积极响应，决定依托联盟平台组建以市场为导向、产学研用相结合的清洁能源产业固废资源化工作组，积极探索废碳纤维复合材料、退役光伏组件、风电机组叶片等清洁能源新兴产业固废规范回收以及可循环、高值化的再生利用途径。尚辉良说，联盟清洁能源产业固废资源化工作组重点开展五方面的任务，一是为国家部委、地方政府相关部门出台清洁能源产业固废再生利用产业发展顶层规划、政策法规、标准规范、科技规划、项目指南等提供决策建议；二是积极发挥联盟现有成员单位和工作组成员单位优势和工作积极性，建立清洁能源产业固废再生利用公共技术创新服务平台，研发清洁能源产业固废再生利用关键及重大创新技术，开展技术对接合作，加强为国内清洁能源产业固废再生利用企业培养专业人才和专门技能人才；三是以标准规范为引领，根据产业发展需求，通过研究制定、发布、使用有关清洁能源产业固废再生利用标准，积极完善产业链和供应链，围绕产业链部署创新链，围绕创新链完善资金链，推动产业链与创新链深度融合；四是指导和引导国内清洁能源产业固废再生利用企业执行国家生态环境保护政策要求，协助相关单位开展技术改造和升级，制定企业“十四五”发展规划，协调解决在落实国家税收政策过程中遇到的困难和问题；五是依托联盟和工作组平台培育长期稳定的产学研合作队伍，积极申请承担国家重点研发计划技





技术创新任务，建立相应的组织模式和运行机制，支撑清洁能源固废再生利用产业高质量发展。

中国再生资源产业技术创新战略联盟常务副理事长、常州工学院党委副书记、副校长周全法教授告诉记者，光伏组件的资源价值相对较高，同时不当处置带来的环境和生态影响极为严重，光伏组件及其配套设施和土地的资源化利用是资源再生利用产业的重要内容。中国再生资源产业技术创新战略联盟长三角资源环境研究院依托常州工学院已经与天合光能等国际光伏组件生产企业开展合作，按照生产者责任制的要求，大力推进光伏组件及其覆盖面的全组分高值化清洁利用。光伏组件中含有铜铝银锡等多种有色金属，对其进行资源化利用是保障国家战略金属安全、保护生态环境和促进光伏产业可持续发展的重要内容。

“国务院《2030年前碳达峰行动方案》提出‘全面提高资源利用效率，充分发挥减少资源消耗和降碳的协同作用。’报废光伏组件拆解的主要物料为玻璃、铝边框、铜焊带、塑料等，再生利用对碳减排贡献显著，是实现碳减排、碳达峰的重要抓手。”中国再生资源产业技术创新战略联盟常务理事、常州大学魏伟教授说。

庄虎梁介绍，瑞赛环保在光伏行业内拥有扎实的行业基础，目前已经与国内主要光伏组件生产企业以及主要光伏电站企业，均建立起了良好的业务合作关系或交流渠道。先后参与制定了《晶体硅光伏组件回收处理方法物理法》国家标准、《晶硅光伏组件回收评判指南》和《晶体硅光伏组件回收再利用通用技术要求》团体标准。在光伏回收产业细分领域内，瑞赛环保建立起了积极的企业形象和较好的企业口碑，目前已与常州大学、南京航空航天大学等科研院所建立了紧密的产学研合作关系，将进一步加大科研投入，继续推动行业标准的建立以及低碳环保技术的持续迭代。未来不仅要为光伏新能源产业实现绿色闭环“减负”，更将通过技术创

新为光伏产业“增值”，为实现我国“双碳”目标贡献瑞赛环保力量。

据了解，中国科学院电工所也已牵头开展了光伏组件回收技术的研发，分别开展了物理法回收技术研发，实现实验室总质量回收率91.2%，元素回收率银91%、硅95.1%、铜95.2%；研发了热分解法回收技术，实现实验室总质量回收率均在90.2%，元素回收率银93.76%、硅96.27%、铜99%。同时考虑到未来新型太阳电池的回收，研开了面向未来新结构、新材料、新组件的新型回收方法，开展了激光刻划、线切割的拆解技术和异质结电池的银、铟回收技术研究。

### 3 首条晶硅光伏组件回收产业化中试线已取得积极成效

日前从国家电投黄河水电公司(简称“黄河公司”)获悉，由该公司自主开展的“晶硅光伏组件回收产业化及设备国产化研究”科技项目日前顺利通过专家组验收，标志着中国首条组件回收中试线验收建成。该条组件回收中试线闭环形成多晶硅、硅片、电池、组件、支架、光伏电站规划设计及建设、运行维护、检测评价及组件回收的垂直一体化光伏全产业链。黄河公司科技管理部主任石生斌介绍，2017年起，黄河公司开展晶硅光伏组件回收产业化及设备国产化等关键技术研究，旨在将退役的光伏组件通过分类拆解，回收其中可重复利用的硅、银、铜、铝等材料，将退役光伏组件“变废为宝”，通过对光伏组件材料的回收循环再利用，减少了对原生资源开采并降低资源提炼的耗能，从而有效缓解生态环境压力、降低光伏全产业链能耗等指标，进一步优化光伏组件全生命周期的绿色节能特性。”石生斌说。自开展“晶硅光伏组件回收产业化及设备国产化研究”工作以来，受到了青海省委、省政府和国家电投集团的大力支持，累计投入研发资金逾4000万元人民币。经过近5年持续研究，最终确立了以“物理拆除工艺、热切割和选择性分离工艺、



湿法提纯工艺”为核心的常规组件回收技术路线，形成了从废旧光伏组件拆框、接线盒拆除、背板去除到玻璃分离、焊带筛分、硅材料提纯的完整光伏组件回收产业化设备集成方案。同时针对现存电站中占主导地位的组件开展工艺设备开发，自主研发完成了国内外首台组件回收工艺设备22台/套，实现了组件回收工艺设备的国产化。截止2021年12月，形成综合回收率超90%以上，且年处理能力11万片组件的首条组件回收中试线。

#### 4 “双碳”战略目标下推动退役光伏组件资源化利用的建议

一是将退役光伏组件等新兴固废纳入固废资源化顶层规划；二是加强产学研用深度融合发展，联合培养专业技能人才，建设创新平台研发退役光伏

组件回收处理技术，从产业全生命周期角度出发，推广应用退役光伏组件回收技术；三是持续完善退役光伏组件回收利用政策体系，探讨将退役光伏组件等新兴固废回收纳入废弃电器电子产品回收管理政策，明确设计、生产、销售、使用、报废、回收、利用等上下游各环节主体责任，构建循环利用管理体系；四是建设退役光伏组件回收处理信息平台，充分利用互联网、大数据等现代信息技术，建立退役光伏组件回收信息服务平台，为上游回收企业与下游拆解和利用企业信息发布、竞价采购和物流服务提供信息支撑；五是制定完善符合“双碳”目标的退役光伏组件回收利用标准体系。

来源：《太阳能》



### 《中国石化报》刊发刘世良署名文章



刘世良：新星公司执行董事、党委书记

2023年12月11日，《中国石化报》刊发新星公司执行董事、党委书记刘世良署名文章《以改革破局 以创新赋能 当好新能源产业高质量发展主力军》，全文如下：

#### 以改革破局 以创新赋能

#### 当好新能源产业高质量发展主力军

新星公司作为中国石化新能源专业公司，坚决贯彻落实习近平总书记视察胜利油田、九江石化关于绿色低碳发展的重要指示精神，始终牢记“能源的饭碗必须端在自己手里”，从“国之之大者、国之所需”出发，紧紧围绕“保障洁净供能、安全供能、经济供能”“构建‘热氢风光’新能源产业体系”“打造中国石化绿色能源示范企业”三大核心职责，坚持以改革之为破发展之题，以创新之力增发展之能，跑出“加速度”，扛稳扛牢新能源高质量发展的职责使命，当好新能源产业发展主力军。

深化改革引动管理变革，打造新能源产业专业化发展引擎。珍惜机遇，担当作为，向改革要发展红利。坚持以全局观念和系统思维谋划推进新能源产业发展体制机制改革，形成“专业化发展、市场化运营、一体化协同、集中化管控”的商业运作管

理新模式。

推进机构重组，优化管控架构，搞好试点先行，探索实施新星区域分公司（新设）管理架构，压扁管理层级，提高管理效率。加快新能源研究院体制调整，加强科研成果转换、科研人才队伍建设，完善激励机制和保障措施，充分发挥新能源产业发展“智囊参谋”作用。

建立市场化选人用人机制，以岗定薪，岗变薪变，盘活人力资源，提高能力素质，持续打造“管理+技术+核心运营骨干团队”的人才队伍，建立经营业绩和岗位责任相匹配的收入分配体系，强化“有为有位有利”的绩效考核导向。

科技创新驱动技术变革，激活新能源产业效益化发展动能。向科技要动力，向创新要活力，做好产业链和创新链的深度融合，坚持走“专精特新”科技创新道路，激发新能源产业规模化发展动力。

在地热业务方面，重点开展中深层地热勘探开发利用技术体系研发，成为“地热+”多种清洁能源系统集成利用特色方案的供应商，引领中国地热产业链强链及产业发展。在氢能业务方面，结合集团公司“万吨级绿氢工程技术开发及绿氢炼化示范”

科技“十条龙”项目攻关，攻关解决库车绿氢项目运行技术难题，逐步形成有中国石化特色的氢能产业专有技术和标准。

在风电光伏业务方面，依托实体项目和新能源信息化平台、设备信息管理系统，重点攻关大规模绿电智能化运维技术，提升运维水平和运营效率，实现效益最大化。

资源协同促动效率变革，增强新能源产业规模化发展实力。充分发挥集团公司一体化优势，在规划新增投资时，同时规划新能源资源获取、同步推进，实现新能源项目落地加快、规模跃升、提质增效。地热业务方面，坚定“领先行业”目标要求，统筹整合优势，精细开展勘探部署和地热田(区块)评价、建模，提高规模开发效率，始终保持行业领先地位。

绿氢业务方面，坚定“示范引领”目标要求，稳妥推进库车、乌兰察布等绿氢项目，实现协同创效，助力集团公司打造中国第一氢能公司。风光电业务方面，坚定“支撑需求”目标要求，加强与集团总部、系统内企业协同互动，跟进重大投资项目中风光绿电新能源配套指标和建设，以规模化发展

满足集团公司绿电需求。

国际新能源业务方面，中冰合作开发国际地热业务达成共识，深化中冰合作成果；启动探索以地热发电、制冷和风电光伏集成开发为主的国际新能源业务，加快推进形成国际新能源业务成果，增强公司规模发展硬实力和国际影响力。

示范引领带动质量变革，厚植新能源产业品牌化发展优势。产业发展，质量为先，品牌为王。聚焦“国际知名、政府放心、市场信任、百姓满意”实施品牌价值战略，提升新能源产业品牌知名度、美誉度和诚信度。牢固树立“客户至上”服务理念，展现央企形象，打造行业示范项目，提升品牌竞争力。

充分运用世界地热大会成功举办的影响，广泛宣传公司理念、技术、标准、规模、效益、品牌等领先成果，传播“保障民生、推进绿色低碳发展”好故事，提升品牌引领力和公信力。

积极参加集团公司品牌建设试点，规范基层站视觉形象，利用重要项目、重点工程、重大工作开展主题宣传、成果宣传、典型宣传和科普宣传，扩大绿色能源示范企业品牌效应。

## 2023 中国地热大事记

2023 年 1 月

### 1.1 湖北咸宁发布地热采矿权整合实施方案

湖北省咸宁市人民政府于 2023 年 1 月 3 日发布了《市城区温泉地热田采矿权整合实施方案》，咸宁将围绕严格控制地热开采总量、确定采矿权出让底数、公开出让采矿权、依法依规征费、分类处置地热井产权等五个方面开展整合实施工作。

### 1.2 《四川省“十四五”地热资源开发利用规划》发布

1 月 4 日，四川省发展和改革委员会、四川省

能源局印发《四川省“十四五”地热资源开发利用规划》。到 2025 年，地热产业年增加值达到 10 亿元，规模效应初步显现。

### 1.3 山西“十四五”地热供暖面积增加 50% 以上

山西省人民政府于 1 月 9 日印发了《山西省碳达峰实施方案》，计划到 2025 年，地热能供暖（制冷）面积比 2020 年增加 50% 以上，进一步推动地热能发电项目。

### 1.4 天津率先实现地热供暖“全时空”动态监测

据《中国矿业报》1 月 10 日报道，天津地热勘



查开发设计院在全国率先实现“全时空”动态智能监测，截至目前，天津市 317 个供热站同步安装设置监测设备 939 台套，已连续运作 30 多年。总体回灌率由 2012 年的 40.3% 增加到现在的 80.96%，地热回灌水平和规模在全国居领先地位。

### 1.5 《四川省能源领域碳达峰实施方案》发布

1 月 11 日，四川省发改委官网发布《四川省能源领域碳达峰实施方案》，重点提出，加快推进地热资源勘探开发，探索开展地热发电试点。

### 1.6 河北承德温泉旅游推介会在北京举办

1 月 12 日，由承德市委、市政府主办的“皇家避暑地热河温泉城”河北承德温泉旅游推介会在北京举办。现场还举行了温泉旅游项目签约仪式，6 个项目协议总投资达 109.6 亿元。

### 1.7 湖北咸宁市地热勘查获重大成果

1 月 13 日，记者从湖北省地质局第四地质大队获悉，该队承接的通山九宫山地热勘查项目喜传捷报，成功打下一口地热深井。该地热井孔深 2407 米，抽水试验显示，此处地热资源出水量达 1103 立方米/天，水温 50.3℃。

### 1.8 中国地球物理学会地热专业委员会第二届委员会成立

1 月 14 日，中国地球物理学会地热专业委员会召开了 2022 年度工作会和换届会议。庞忠和当选中国地球物理学会第二届地热专业委员会主任。

### 1.9 《陕西地热发展报告（现状·资源区划篇）》出版发行

1 月 17 日，陕西省地热协会正式发布《陕西地热发展报告（现状·资源区划篇）》，2023 年 9 月公开出版。

### 1.10 江苏加强地热能开发利用项目管理

1 月 28 日，江苏省政府网站发布《关于进一步加强地下水保护管理工作的通知》。根据水文地质条件和地下水保护要求，划定需要取水的地热能开发利用项目的禁止和限制取水范围。通知自 2023 年 3 月 1 日起实施，有效期至 2028 年 3 月 1 日。

### 1.11 湖北襄阳东津地热区域集中供暖（冷）项目签约

1 月 28 日，中国能建地热有限公司与襄阳东津新区签署地热能区域集中供暖（供冷）示范区项目合作协议，项目总投资为 117 亿元，建成后对襄阳市建设“冬暖夏凉”的绿色、幸福能源城市具有重要意义。

### 1.12 《上海市促进地热能开发利用的实施意见》发布

1 月 29 日，上海市发改委等七部门联合印发《上海市促进地热能开发利用的实施意见》。“十四五”期间，全市力争新增浅层地热能供暖制冷面积 500 万平方米以上；至 2035 年全市浅层地热能供暖制冷面积在 2025 年基础上力争再新增 1000 万平方米。本实施意见 2023 年 3 月 1 日起施行，有效期至 2028 年 2 月 29 日。

2023 年 2 月

### 2.1 江西省地方标准《地源热泵系统工程技术导则》发布

江西省勘察设计研究院有限公司主编的江西省工程建设地方标准《地源热泵系统工程技术导则》（DBJ/T36-DZ002-2022）批准发布，该标准自 2023 年 2 月 1 日起实施。

### 2.2 《河南省碳达峰实施方案》发布

2 月 6 日，河南省人民政府印发《河南省碳达峰实施方案》，其中提到，推进热电联产集中供暖，加快推动工业余热供暖规模化发展，因地制宜推行热泵、生物质能、地热能等清洁低碳供暖。

### 2.3 四川省矿产资源总体规划发布，地热资源勘查成重头戏

2 月 8 日，四川省自然资源厅发布《四川省矿产资源总体规划（2021—2025 年）》，明确了四川省地热勘查开发重点方向，将地热确定为重点勘查和开采的矿种，在川西地区开展地热资源调查评价。

### 2.4 河南省清洁能源供热协会第二次会员代表大会召开



2月9日，河南省清洁能源供热协会第二次会员代表大会在郑州召开。会议选举河南省人大常委会原副主任、国家地热能中心河南分中心主任张维宁为协会会长。会议指出，截至2020年底，河南地热能供暖面积累计约1.03亿平方米。

## 2.5 成都理工大学牵头承担两项地热项目启动会召开

2月19日，由成都理工大学牵头承担的“四川省地热资源综合开发利用产教融合示范”、中国工程院战略咨询项目“中国海洋地热资源潜力和开发利用战略研究”在成都举行项目启动会。

## 2.6 《分体式埋管地源热泵系统工程技术规程》专家评审会召开

2月14日，能源行业标准《分体式埋管地源热泵系统工程技术规程》专家评审会在河北博纳德能源科技有限公司召开。本规程的制定规范了分体式埋管地源热泵系统工程的设计、施工及验收，做到技术先进、经济适用，保证工程质量。

## 2.7 山西绘就地热能产业发展新蓝图

2月15日，山西省发改委发布《山西省地热能产业发展实施方案（2023-2025年）》。到“十四五”末，全省地热能供暖（制冷）面积较“十三五”末增加50%以上，达到2000万平方米左右。其中，浅层地热能供暖（制冷）面积达到650万平方米；中深层地热能供暖面积达到1350万平方米。

## 2.8 福建东山勘探发现地热海水资源

据中国新闻网2月24日报道，福建省漳州市东山海水温泉钻探点工程现场传来好消息：历经一年多的钻探后，在勘测点成功发现地热海水。据勘测部门报告显示，该地下水属“低温地热资源”中的“温水”，适用于洗浴、温室等。

## 2.9 四川：积极引导和推广地源热泵系统等建筑节能技术

2月24日，四川省住房和城乡建设厅等17部门联合印发《关于加强县城绿色低碳建设的实施意见》，提出要因地制宜开发利用地热能、空气源和

水源热泵等可再生能源。积极引导和推广地源热泵系统等建筑节能技术，打造绿色低碳建筑。

## 2.10 江苏如东小洋口地热综合利用高层论坛成功召开

2月28日，“2023年中国长三角·如东小洋口地热综合利用高层论坛”在江苏如东小洋口举行。本次大会由如东县委县政府、中国科学院地质与地球物理研究所地热资源研究中心、中国技术监督情报协会地热产业工作委员会、江苏省地质调查研究院主办。大会举行了如东小洋口地热能源研究基地揭牌、如东小洋口“中国温泉之乡”授牌仪式。

2023年3月

## 3.1 洋西能源·第十三届地热高层论坛成功举办

3月3日，洋西能源·2023第十三届中国国际地热高层论坛在陕西宾馆隆重举行。大会由中国技术监督情报协会地热产业工作委员会、自然资源部浅层地热能重点实验室、北京中航环宇新能源研究院、地热加App主办，论坛设置开幕式、主论坛、闭幕式以及四大分论坛，大会同期举办了CIGEE第八届中国地热展。本届论坛采用线上+线下方式举行，1000余人出席了现场大会。

## 3.2 长庆油田首个水源井地热能开发利用项目建成投运

记者3月12日获悉，中国石油长庆油田首个利用已有水源井开发地热能环七转项目正式建成投运，供热能力达到260千瓦，保障了站点生产和生活用热需求，实现了油田水热型资源开发“零”的突破。

## 3.3 《关于组织开展农村能源革命试点县建设的通知》发布

3月15日，国家能源局官网发布《关于组织开展农村能源革命试点县建设的通知》，因地制宜编制农村能源革命试点县实施方案，提出建设目标和内容，明确激励政策措施。要求建设具备地热供热能力的乡村能源站，降低地热能钻井成本，提高换热效率，提升运行稳定性。

## 3.4 兰州国际机场中深层地热供暖项目开工



3月15日，兰州中川国际机场三期扩建飞行区保障区中深层地热供热工程项目开工仪式举行。兰州中川机场三期清洁供暖项目，共计供热量4800kW，配置8口换热孔、4台地源热泵机组及相应的附属设备（含航油工程）。该技术为井下封闭换热，取热不取水，对自然环境无干扰。

### 3.5 兴业银行在雄安新区投放首笔地热绿色贷款

据《燕赵都市报》3月17日报道，兴业银行石家庄分行在雄安地区成功投放首笔地热绿色贷款5000万元，为雄安地区打造地热供暖“无烟城”，建设地热产业高质量发展样板提供了绿色融资支持。

### 3.6 中国石油首家新能源联合研发中心成立

3月20日，据中石油集团官网消息，由大庆油田和深圳新能源研究院共同建立的新能源联合研发中心近日在大庆揭牌。这是中石油首家新能源联合研发中心，旨在加快推进两家企业在氢能、地热能、储能、智能微网等领域的科研攻关和成果转化。

### 3.7 吉林大学启动深部地下水热资源与环境效应开放课题申报

3月21日，吉林大学新能源与环境学院官网发布“2023年地下水资源与环境教育部重点实验室开放课题申报指南”，研究方向包括深部地下水热资源与环境效应等领域，每项课题资助额度为3.5万元，研究周期2年。

### 3.8 加快油气开发与地热等新能源融合发展

3月22日，国家能源局发布《加快油气勘探开发与新能源融合发展行动方案（2023-2025年）》，加快开发利用地热资源，将用于油气勘探开发的地热能等新能源设施作为油气开发项目的产能建设配套。

### 3.9 超长重力热管产出蒸汽直驱地热发电系统试车成功

据中国科学院广州能源研究所消息，该所蒋方明团队在中科院先导专项课题的支持下，完成了世界首创热管产出蒸汽直驱汽轮机地热发电系统的设计，在河北省雄安新区安新县开展了超长重力热管

蒸汽直驱地热能发电系统的场地实验研究，并于3月23日至26日成功进行了72小时发电试车。

### 3.10 中国深部地热论坛2023在武汉召开

3月26-28日，以“深部地热能 助力碳中和”为主题的中国深部地热论坛2023在武汉召开。本次会议由中国科学院武汉岩土力学研究所主办，岩土力学与工程国家重点实验室和环境岩土工程湖北省重点实验室承办。

### 3.11 杭州“十四五”规划：拓展地热能开发利用场景

3月31日，杭州市发改委官网发布《杭州市能源发展（可再生能源）“十四五”规划》，要求积极探索多种热源复合利用模式，加大传统空气能、浅层地能与城市生产生活排水热源的结合，研究开发多种热源相互补充的复合热源热泵技术，进一步拓展热泵技术的应用范围。

2023年4月

### 4.1 中国首个兆瓦级ORC实验台在南京落成

4月1日，“中国首个兆瓦级ORC实验台”落成仪式，在南京天加能源基地召开。该实验台由天加能源和合肥通用机械研究院共同打造，是目前中国唯一一个满足验证ISO916标准的实验台。

### 4.2 北京市发布4项地热能行业标准

日前，北京市市场监督管理局发布了地热能行业4项地方标准，分别为：《地理管地源热泵系统工程技术规范》（DB11/T 1253-2022）、《再生水热泵系统工程技术规范》（DB11/T 1254-2022）、《中深层地热供热技术规范 井下换热》（DB11/T 2038-2022）和《中深层地热供热技术规范 水热》（DB11/T 2039-2022），上述4项北京市地方标准自2023年4月1日起实施。

### 4.3 天津首个地热领域合同能源管理项目投入试运行

据《天津日报》4月3日报道，天津市首个地热领域合同能源管理项目投入试运行。该项目使面临报废的4口地热井重获新生，为滨海新区新增地



热供暖面积 40 万至 60 万平方米。

#### 4.4 山西首个“近零能耗建筑”项目通过国家认证

据《太原日报》4月6日报道，近日，山西省新源智慧建设运行总部A座项目，获得了中国建筑节能协会的“近零能耗建筑”施工标识认证，成为山西省首个获评的“近零能耗建筑”项目。通过减少供热供暖需求、应用可再生能源等，建筑综合节能率 61.78%，建筑本体节能率 45.52%，可再生能源利用率 29.86%。

#### 4.5 山西忻州出台地热水资源保护条例

4月8日，山西省人民代表大会常务委员会发布了《忻州市地热水资源保护条例》，适用于忻州市地热水资源的开发、利用和保护等活动。《条例》自 2023 年 5 月 1 日起施行。

#### 4.9 羊易地热电站累计发电突破 5 亿千瓦时

新华社拉萨 4 月 9 日电：我国海拔最高的地热电站——羊易地热电站，从 2018 年 9 月 29 日投运至今，累计运行小时数达 3.5 万小时，累计发电突破 5 亿千瓦时。

#### 4.10 刘久荣当选国际地热协会理事

据“中国能源研究会地热专业委员会”微信公众号 4 月 16 日消息，日前，经国际地热协会（IGA）会员投票选举，中国能源研究会地热专业委员会副主任委员刘久荣当选国际地热协会理事，也是目前国际地热协会理事会中唯一一名中国理事。

#### 4.11 河南：推动地热能集中供暖纳入城镇供热管网规划

4 月 17 日，河南省发展改革委等八部门联合印发《河南省新能源和可再生能源发展“十四五”规划》，进一步探明全省主要水热型地热区（田）及浅层地热能的地域分布、地质条件、热储特征和地热资源量，分区域评估开采经济性。

#### 4.12 《吉林省地热资源勘查开发规划（2021-2025 年）》发布

4 月 18 日，吉林省自然资源厅印发《吉林省地热资源勘查开发规划（2021-2025 年）》。吉林省

在浅层地热能调查评价、干热岩勘查领域、地热资源供暖领域和地热资源旅游康养等方面作出具体规划。

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

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召开。

#### 4.14 郑州：地热供暖项目享受城市基础设施配套费资金支持

4 月 21 日，郑州市人民政府印发《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》，要求加快推进地热能等可再生能源供热利用，并明确提出：给予地热供暖服务项目城市基础设施配套费 55 元/平方米和中水供暖服务项目城市基础设施配套费 40 元/平方米补助。

#### 4.15 国家发改委等 11 部门：制定地热能发电设备标准

4 月 21 日，国家发改委等 11 部门联合印发《碳达峰碳中和标准体系建设指南》，其中非化石能源标准子体系提出，海洋能、地热能领域重点制修订海洋能发电设备测试、评估、部署、运行等标准以及地热能发电设备标准。

#### 4.16 地热行业推动人物与示范项目评选结果揭晓

4 月 25 日，地热能行业发展推动人物与“地热+”助力“碳中和”典型示范项目评选结果正式公布，评选共选出 20 位地热能行业发展推动人物与 20 个“地热+”典型示范项目。本次评选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共同主办。

#### 4.17 地热勘探开发与综合利用研究中心揭牌

4 月 28 日，天府永兴实验室地热勘探开发与综合利用研究中心启动会在成都理工大学召开。会议举行了地热勘探开发与综合利用研究中心揭牌仪式、产学研用创新联盟合作协议签约仪式、产教融合项





目协议签约仪式。

2023年5月

### 5.1 贵州设立专项资金支持地热能开发利用

5月9日,《贵州省能源安全生产和保供专项资金管理办法》发布。办法提出,支持浅层地热能开发利用,提升绿色能源供暖制冷比例。原则上支持金额比例不超过项目总投资额的30%,单个项目补助额度不超过1000万元。

### 5.2 甘肃推进中深层地热能和浅层地热能资源勘查

5月11日,甘肃省人民政府发布《甘肃省碳达峰实施方案》,甘肃省深入推动地热能开发利用,加快推进兰州、天水、定西、张掖、陇南等地区中深层地热能和浅层地热能资源勘查开发利用。

### 5.3 安徽六安首例地热采矿权成功挂牌出让

5月16日,安徽六安市金安区大裂谷地热能资源采矿权成功挂牌出让,这是金安区完成的首例地热能资源采矿权挂牌出让。该采矿权出让成交价95万元,开采面积52.275亩,出让年限10年。

### 5.4 《河南省新能源和可再生能源发展“十四五”规划》发布

5月25日,河南省发改委等八部门发布了《河南省新能源和可再生能源发展“十四五”规划》。河南省持续推进地热资源勘查评价,加快中深层地热能集中连片开发,拓宽地热能利用方式。扩大浅层地热利用规模,探索推动“地热能+”多能互补的供暖形式。

### 5.5 山西大同加快推进地热资源勘查开发利用

5月29日,大同市人民政府发布《大同市加快推进地热资源勘查开发利用工作实施方案》,大力推进地热资源调查和项目建设,广泛推广地热能先进适用技术,积极拓展地热能应用场景和市场模式,构建“地热+”多能互补低碳能源供应新格局。

### 5.6 《大理州充分利用地热资源发展高端设施农业试点方案》发布

5月30日,大理白族自治州人民政府网站发布



热氢风光新能源

RE QING FENG GUANG XIN NENG YUAN

《大理州充分利用地热资源发展高端设施农业试点方案》,充分利用地热资源发展高端设施农业,以弥渡县、洱源县为试点,为全州设施农业使用清洁能源探索可复制的做法和模式。

### 5.7 德州天衢新区地热资源勘探项目启动

5月30日,德州天衢新区东部片区地热资源勘探项目正式开钻,拉开了天衢新区地热综合开发利用示范区建设帷幕。该项目是德州市推进地热资源开发利用省级试点地热勘探“第一钻”,项目服务面积为22平方公里。

2023年6月

### 6.1 浙江开山集团承建肯尼亚索西安地热电站投产

2023年6月,浙江开山集团承建的肯尼亚索西安地热电站(Socian)投产送电。索西安地热电站虽然只有35兆瓦的装机容量,但它是肯尼亚乃至非洲的首个从设计、产品生产、建设、调试完全由中国企业独立完成的地热发电站。

### 6.2 江苏首个地源热泵粮食烘干项目启用

6月7日,位于苏州张家港市的江苏首个地源热泵粮食烘干项目——双山岛绿色化粮食烘干中心正式启用,该项目占地3700平方米,总投资250万元,首批8台地源热泵粮食烘干设备已正式使用,日粮食烘干能力可达96吨。

### 6.3 中石油首口深层U型地热井组对接作业圆满成功

6月18日23时3分,中国石油松辽盆地首对U型地热井组大庆油田朝热R3-U1井组顺利完井,实现松辽盆地最深储层最高温度,水平井与直井千米交汇对接。该U型井组由1口直井和1口水平井组成,需要让钻头通过1001米水平井段,按设计轨道向直井方位钻进,在地下近3000米用“线”穿过“针鼻儿”。

### 6.4 四川地热资源调查研究课题顺利通过验收

6月19日,中国工程科技发展战略咨询项目“四川省域地热资源调查评价及开发利用规划研究”课

题通过验收。该课题由中国科学院王成善院士、中国工程院多吉院士牵头。

### 6.5 辽宁省干热岩资源调查与评价项目通过验收

据地热能资讯微信公众号 6 月 25 日报道，“辽宁省干热岩资源调查与评价”通过验收评审。该项目为辽宁省省级地质勘查项目，中标金额近千万元，在辽宁省进行干热岩资源调查尚属首次。

### 6.6 中南地区首个中深层地热资源探采项目获评优秀

据中国自然资源报 6 月 25 日报道，近日，“长沙机场中深层地热探采结合井施工及换热测试”项目通过专家组评审，并获评优秀。该项目是中南地区第一个中深层地热资源探采项目，也是国内大型机场中第一个以地热利用为主、多能互补的航站楼供能项目。该项目完井井深 2611.58 米。

### 6.7 中煤地热能研发制造中心项目开工仪式圆满举行

6 月 26 日上午，河北邯郸经济技术开发区举行中煤地热能研发制造中心项目开工仪式。该项目总投资 10 亿元，总建筑面积 5 万平方米，打造集设计研发、投资运营、设备制造为一体的现代化地热能开发利用产业集群。

### 6.8 江苏省岩溶型地热资源调查与潜力评价收官

据江苏省地质局网站 6 月 27 日消息，江苏省地调院承担的“江苏省岩溶型地热资源调查与潜力评价”项目成果通过省厅组织的专家评审，得到了评审专家组的高度评价，获评优秀级。

### 6.9 《地下水保护利用管理办法》发布实施

6 月 28 日，水利部、自然资源部联合印发《地下水保护利用管理办法》。建设需要取水的地热能开发利用项目，勘探开发单位应当安装取水和回灌在线计量设施，并将计量数据实时传输到有管辖权限的水行政主管部门。

### 6.10 《北京市可再生能源替代行动方案（2023—2025 年）》发布

6 月 28 日，北京市碳达峰碳中和工作领导小组



热氢风光新能源

RE QING FENG GUANG XIN NENG YUAN

办公室印发《北京市可再生能源替代行动方案（2023—2025 年）》。根据规划，到 2025 年，全市新增浅层地源热泵供热面积 2000 万平方米；到 2025 年，全市新增再生水源热泵供热面积 200 万平方米；到 2025 年，全市新增中深层地热能供热面积 200 万平方米。

### 6.11 山西攻关研发深部地热资源高效规模化开发

6 月 30 日，山西省科学技术厅官网发布《山西省科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022—2030 年）》，明确提出，加强地热能开发利用，重点攻关研发深部地热资源高效规模化开发、尾水完全回灌与规模供暖技术，突破深层干热岩地热开发关键技术，支撑兆瓦级地热发电和地热综合梯级利用示范。

### 6.12 辽宁省：地源热泵用电参照居民用电价格执行

6 月 30 日，辽宁省住房和城乡建设厅、辽宁省发展和改革委员会联合印发《辽宁省城乡建设碳达峰实施方案》，辽宁省采用地源热泵技术等清洁能源利用技术供暖制冷的绿色建筑，供暖制冷系统用电可以参照居民用电价格执行。应用浅层地热能等可再生能源的民用建筑，在核算建筑能耗时，其常规能源替代量抵扣相应的能耗量。

2023 年 7 月

### 7.1 “中湾地热 1 号井”顺利开钻

7 月 1 日，江西省地质局第三地质大队南昌县中湾深层地热水可行性勘查项目“中湾地热 1 号井”顺利开钻。该项目探矿权勘查范围为 1.35 平方公里，设计深度 2000m。

### 7.2 四川全域开展地热资源综合评价工作

据四川省自然资源厅网站 7 月 4 日消息，四川省自然资源厅下达了 2023 年四川省政府性投资地质勘查项目（第二批）任务的通知，在四川全域开展地热资源综合评价，项目经费第一年为 159.88 万元。

### 7.3 安徽推动建筑领域地源热泵应用

7月4日,安徽省住建厅等四部门联合印发《关于推进建筑领域合同能源管理的若干意见》,要求运用市场机制推动建筑领域节能降碳,促进合同能源管理与建筑节能产业协调发展。推动集中式地源热泵系统、集中冷热联供能源站、高效空调机房等新兴场景应用。

#### 7.4 四川盆周地区“最热温泉”出水

7月7日,位于四川雅安市雨城区的周公山温泉开发项目(一期)(温泉矿井及附属设施工程项目)通过验收。经专家组测定,该地热矿泉井井深3980米,出水温度82℃至84℃,地热水流量每天超700立方米。此处的周公山地热矿泉井超80℃,刷新了四川盆周地区地热温度的最高纪录。

#### 7.5 河北开展地源热泵系统应用典型案例征集

7月7日,河北住建厅官网发布了《关于征集可再生能源建筑应用典型案例的通知》,此次案例征集内容包括跨季节蓄热地埋管式地源热泵、污水源热泵、中水源热泵、海水源热泵等项目。8月31日,河北住建厅发布《关于推广可再生能源建筑应用典型案例(2023年第一批)的通知》。

#### 7.6 《关于推动能耗双控逐步转向碳排放双控的意见》审议通过

7月11日,中央全面深化改革委员会第二次会议审议通过了《关于推动能耗双控逐步转向碳排放双控的意见》。从能耗双控逐步转向碳排放双控,要坚持先立后破,完善能耗双控制度,优化完善调控方式,加强碳排放双控基础能力建设,健全碳排放双控各项配套制度,为建立和实施碳排放双控制度积极创造条件。

#### 7.7 北京延庆农村地区:地源热泵应用给予30%~50%资金支持

北京市延庆区政府网站7月12日发布《2023年延庆区农村地区村庄冬季清洁取暖工作实施方案》,延庆区农村地区新建再生水(污水)余热供暖项目、新建深层地热供暖项目、整村实施“煤改地源热泵”项目给予30%—50%的财政补贴。

#### 7.8 甘肃张掖两口地热井举行开钻仪式

7月15日,河北省煤田地质局第二地质队承担的甘肃省张掖市甘州区安阳乡和张掖市民乐县六坝镇两口地热井项目同天举行了开钻仪式,相关领导及当地政府领导参加开钻仪式。

#### 7.9 湖南省第一深度温泉井顺利竣工

7月20日,嘉禾县的地热温泉2号井工程顺利竣工并进行抽水试验。该井成井深度为3018米,是目前湖南省第一深度温泉井,井口出水温度55℃以上,日出水量3000立方米以上。

#### 7.10 高温地热井洗井起钻用防高温水汽上喷装置获国家发明专利

7月21日,山东省地矿局水文二队申报的科技成果《一种高温地热井洗井起钻用防高温水汽上喷装置》荣获国家发明专利,该项技术的研发旨在解决高温地热井洗井起钻过程中存在的问题和挑战。

#### 7.11 地源热泵技术入选山东省绿色低碳技术成果目录

7月26日,山东省科学技术厅官网发布了《2023年山东省绿色低碳技术成果目录》,该目录共包括78项技术成果,其中包括地源热泵空调系统能效提升技术。

#### 7.12 中国能源研究会地热专业委员会2023年学术年会开幕

7月26日,中国能源研究会地热专业委员会2023年学术年会暨地热技术发展学术论坛在山西大同开幕,400余人出席了现场大会。

#### 7.13 山东省地热能资源勘查开发研究院揭牌

7月28日上午,山东省地热能资源勘查开发研究院揭牌仪式在山东省地矿局举行。中国科学院院士、中国地质大学(武汉)校长王焰新,山东省地矿局党委书记、局长张晓海出席揭牌仪式并致辞。

#### 7.14 河北阳原第一眼干热岩勘探井开钻

据河北省地质矿产勘查开发局第三地质大队官网消息,7月28日,阳原县干热岩地热资源调查勘探工程项目开工仪式在阳原县要家庄乡广丰庄村举



行。该项目中标总价 966.87 万元，钻孔设计深度 3000 米。

### 7.15 河北优化地热能开发利用项目管理流程

7 月 31 日，河北发改委官网发布了《关于优化地热能开发利用项目管理流程的通知》，将地热能开发利用项目管理流程进行优化和精简，规定了地热能类型和开采方式，通过分级备案管理及后期监管等措施明确了地热能资源开发的流程和各级备案主管部门。

2023 年 8 月

### 8.1 内蒙古第一眼干热岩孔开钻

据内蒙古自治区自然资源厅官网消息，8 月 2 日，内蒙古自治区第一眼干热岩孔破土动工，苏尼特右旗干热岩选区研究及验证示范项目进入关键施工期。该项目总投资 3545.28 万元，钻孔设计孔深 4500m，是内蒙古自治区目前最深的勘查钻孔。

### 8.2 重庆发布《地表水地源热泵系统应用技术标准》

8 月 3 日，重庆市住房和城乡建设委员会官网发布了重庆市工程建设地方标准《地表水地源热泵系统应用技术标准》(DBJ50/T-115-2023)，自 2023 年 11 月 1 日起施行。标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理，重庆市住房和城乡建设技术发展中心负责具体技术内容解释。

### 8.3 青海共和干热岩勘查与试采科研基地获授牌

据中国地质调查局水环中心官网 8 月 4 日消息，近日，经海南州科学技术局实地考察、筛选评定，青海共和干热岩勘查与试采科研基地获“海南州科技示范基地”授牌。

### 8.4 山东出台 19 条举措支持地热能开发利用

8 月 7 日，山东省人民政府官网发布了《关于支持地热能开发利用的若干措施》，围绕实行电价支持、落实税费减免、加大专项债支持、优化资源配置、优化矿权审批、优化备案登记等方面，形成 19 条支持措施，推动地热能开发利用。

### 8.5 雄安新区发布地热生产井钻井技术规程

中国雄安官网 8 月 8 日发布《雄安新区地热生



热风光新能源

RE QING FENG GUANG XIN NENG YUAN

产井钻井技术规程（试行）》通知，该标准旨在推动雄安新区地热资源高质量发展，加快建立雄安新区地热勘查开发利用保护标准体系，加强地热生产井钻井先进技术应用和施工管理。标准自 2023 年 8 月 1 日起实施。

### 8.6 《地热项目经济评价》团体标准启动会圆满召开

8 月 8 日下午，中国技术监督情报协会团体标准《地热项目经济评价》启动会暨编制组第一次工作会议召开，中国技术监督情报协会地热产业工作委专家领导、团体标准编制相关单位负责人及特邀嘉宾出席会议。

### 8.7 中国科学院学部前沿交叉研判项目“地热能开发利用与地球储能系统”研讨会召开

8 月 8 日，由中国科学院地质与地球物理研究所牵头承担的中国科学院学部前沿交叉研判项目“地热能开发利用与地球储能系统”研讨会在北京召开。

### 8.8 总投资超 18 亿！常州江边污水处理厂开建

8 月 10 日，常州市江边污水处理厂五期及污水资源化利用工程举行开工仪式。该工程概算总投资 18.86 亿元，预计 2025 年 12 月竣工。主要建设内容包括新增污水处理及尾水资源化利用设施、水源热泵、管网泵站等配套设施。

### 8.9 陕西推行地热供暖项目建设“四清一责任”机制

8 月 14 日，陕西省住房和城乡建设厅、陕西省发展和改革委员会、陕西省自然资源厅联合印发《关于下达我省地热能建筑供暖目标任务及建立地热能建筑供暖项目建设“四清一责任”工作机制的通知》，分别从建设计划、开工项目、验收项目、备案项目四个方面建立了地热能建筑供暖项目建设“四个清单”。

### 8.10 天津将水热型地热供暖纳入城镇基础设施建设

8 月 16 日，天津市住房城乡建设委官网发布的

《天津市城乡建设领域碳达峰实施方案》提出，因地制宜推进浅层地热能开发利用，有序开发中深层水热型地热能，统筹做好资源保护，将水热型地热能供暖纳入城镇基础设施建设，集中规划，统一开发。建设一批多能互补的清洁能源供热示范项目，推进多热源联合供热系统建设。

#### 8.11 上海发布新建建筑可再生能源应用实施意见

8月18日，上海市住房和城乡建设管理委员会官网发布《关于推进本市新建建筑可再生能源应用的实施意见》，推广应用太阳能热水系统、地源热泵系统或空气源热泵系统等。

#### 8.12 《河源市地热水资源开发利用管理暂行办法》发布

8月21日，河源市自然资源局官网发布了《河源市地热水资源开发利用管理暂行办法》，本办法自2023年10月1日起实施，有效期三年。《办法》包括总则、审批与登记、开发与保护、法律责任、附则等五章节。

#### 8.13 10部门联合发文推广地热能示范工程建设

8月22日，国家发改委等10部门联合发布了《绿色低碳先进技术示范工程实施方案》，2023年首批示范项目申报工作同步启动，征集的重点方向包括源头减碳类、过程降碳类和末端固碳类，其中重点包括浅层/中深层地热能供暖/制冷及综合利用等。

#### 8.14 上海地区浅层地热能利用项目碳减排核算标准编制启动

8月22日，上海市地质学会《浅层地热能开发利用项目碳减排核算标准》团体标准项目顺利完成开题评审。

#### 8.15 河北省重点研发地热资源计划项目通过验收

中国地质科学院水文地质环境地质研究所官网8月23日信息显示：近日，由中国地质科学院水文地质环境地质研究所承担的河北省重点研发计划项目“地热资源分布式高效利用关键技术研究与梯级利用示范”在石家庄完成验收。本次验收评审会由



河北省科学技术厅组织。

#### 8.16 河北发布地热供暖碳减排核算流程和方法

8月28日，河北生态环境厅、河北发改委联合下发《河北省中深层地热能替代化石燃料集中供热项目降碳产品方法学》通知，对地热集中供热项目参与碳交易市场的方法做出了明确的规定。

#### 8.17 山东省首部地方标准《地热绿色矿山评价规范》通过评审

8月28日，山东省内首部地方标准《地热绿色矿山评价规范》专家审查会在德州成功召开。经审查，评审组认为该《规范》将为德州市地热矿山的可持续开发利用提供明确指导，为促进地热矿山行业的可持续发展提供地质支撑。

#### 8.18 陆特能源·第八届地热（湖北）论坛成功召开

8月29日，以“推广地热高质量应用 助力国家双碳目标”为主题的陆特能源·第八届地热高质量发展（湖北）论坛在武汉成功召开。本次论坛由浙江陆特能源科技股份有限公司独家总冠名，青岛海信日立空调系统有限公司、湖北省地源洁能工程有限公司、湖北风神净化空调设备工程有限公司给予大会特约支持，中国技术监督情报协会地热产业工作委员会、北京中航环宇新能源研究院、地热加APP、地热加研习社主办。

#### 8.19 地热加·地热综合能源站实战培训班开班授课

8月30日，由北京中航环宇新能源研究院、地热加研习社、地热加APP主办，《中国地热》杂志、碳主OpenNE承办的“地热加·2023地热综合能源站实战培训班”在武汉开班授课，为期两天。来自地热能与地源热泵产业链近40家企业代表参加了此次培训。

#### 8.20 河南新乡：全面开展封闭地热井专项行动

8月30日，河南省新乡市政府网站发布《2023年新乡市封闭城区公共供水管网覆盖范围内地热井专项行动实施方案》，对新乡市城区公共供水管网

覆盖范围内除特殊用途之外的地热井一律封闭。依法封井时间持续至9月20日，并于9月30日前完成市级封闭地热井验收。

### 8.21 山西省自然资源厅发布地热开发项目新政策

8月31日，山西省自然资源厅印发《关于已建地热开发项目整改及矿业权出让登记有关事项的通知》，要求依法有序推动已建地热开发项目办理矿业权出让登记手续，推动地热能产业高质量发展。

### 8.22 中国最深地热探井在海南开钻

8月31日，由中国石油化工集团有限公司承担的国家重点研发计划“深层地热资源探测评价关键技术研究”配套工程——琼北深层地热（干热岩）福深热1科学探井在海口开钻。该井钻探设计井深5000米，是中国目前最深的地热探井。

2023年9月

### 9.1 2024 第十四届地热大会启动

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、自然资源部浅层地热能重点实验室、自然资源部深部地热资源重点实验室，拟定于2024年9月下旬联合召开“2024年地热大会”，地热大会（原名：中国国际地热高层论坛）迄今已成功举办了13届。该论坛是我国地热行业连续举办时间最长、参会人数最多、覆盖面最广、影响力最大的专业性行业盛会。

### 9.2 “深部碳酸盐岩热储层强化增产与利用综合评价技术”通过验收

据中国地质科学院水文地质环境地质研究所网站9月4日消息，近日，由中国地质科学院水文地质环境地质研究所牵头承担的国家重点研发计划项目“深部碳酸盐岩热储层强化增产与利用综合评价技术”顺利通过科技部组织的项目综合绩效评价。相关成果将为我国华北碳酸盐岩热储的规模化高效开发提供理论和技术支撑。

### 9.3 山西：政府投资新立项公共建筑全部采用“地热能+”

9月14日，山西省住房和城乡建设厅印发《推动建筑业工业化、数字化、绿色化发展的实施方案》，明确提出，具备条件的政府投资建设的新立项公共建筑全部采用“地热能+”多能互补的形式，解决供暖（制冷）用能需求。

### 9.4 山东省开展低碳转型试点建设

9月14日，山东省能源局官网发布《关于开展能源绿色低碳转型试点示范建设工作的通知》，提出选取20个基础条件较好、发展潜力较大、实施意愿强的县（市、区）以及省级以上开发区和新区，开展能源绿色低碳转型试点示范建设。统筹推进太阳能、地热能等资源开发，实现多能融合、清洁替代。

### 9.5 2023 年世界地热大会在北京隆重开幕

9月15日，以“清洁地热、绿色地球”为主题的2023年世界地热大会在国家会议中心开幕，来自54个国家、1400余名嘉宾出席大会。国际地热协会（IGA）发布了全球地热领域首个行业标准《中国地热供暖推荐做法》。大会还发布了《北京宣言》，其中呼吁：“联动全球能源成功转型，推进地热与其他清洁能源的共建融合发展。各类能源机构应加强合作，探索地热与太阳能、风能等清洁能源之间的协同发展和联合利用，实现能源互补高效利用”。大会会期3天，9月17日闭幕。

### 9.6 《河北省供热经营许可管理办法（试行）》施行

《河北省供热经营许可管理办法（试行）》规范了河北省行政区域内供热经营许可的申请、受理、审查批准、证件核发以及相关的监督管理等行为。《办法》自2023年9月20日起施行，有效期2年。

### 9.7 河北省立法促进地热能产业发展

9月21日，《河北省新能源发展促进条例》经河北省第十四届人民代表大会常务委员会第五次会议表决通过，自2023年11月1日起施行。《条例》将河北省重点发展的风能、太阳能、生物质能、地热能、氢能、核能纳入规范范围。



## 9.8 甘肃省地热能产业高质量发展研讨会召开

9月23—24日，甘肃省地热能产业高质量发展研讨会在张掖举办。张掖市人民政府党组成员、副市长郝效冬致辞，省自然资源厅党组成员、副厅长王驰讲话，省地矿局党委书记、局长赵玲房主持开幕式。

## 9.9 《关于组织开展可再生能源发展试点示范的通知》发布

9月27日，国家能源局发布《关于组织开展可再生能源发展试点示范的通知》，要求加快培育地热能等可再生能源新技术、新模式、新业态，推动可再生能源大规模、高比例、市场化、高质量发展。其中，地热能领域涉及：地热能发电技术示范、中深层地热供暖技术示范、地热能发展高质量示范区、绿色能源示范园（区）等。

2023年10月

### 10.1 杭州发布两项地源热泵技术指导性规程

10月10日，杭州市城乡建设委员会官网发布《杭州市可再生能源建筑应用适宜技术目录》和《杭州市可再生能源建筑应用系统运行管理技术导则（试行）》，规范指导包括地源热泵技术在内的可再生能源建筑应用系统的运行管理，提升建筑可再生能源系统运行效率。

### 10.2 国家能源局发布2023年能源领域行业标准制修订计划

10月12日，国家能源局发布《关于下达2023年能源领域行业标准制修订计划及外文版翻译计划的通知》，涉及地热领域标准有《地热供暖碳减排量计算方法》、《地热钻井安全风险识别与防范要求》、《地热有机朗肯循环发电系统设备技术要求》、《埋管地源热泵系统岩土热响应试验技术规范》、《浅层地热能规模化开发利用勘查评价规范》、《地热能项目能源利用和消费量评估规范》等，上述地热标准将于2025年编制完成。

### 10.3 北京市征集固定资产投资支持新能源供热项目

10月16日，北京市发改委发布《北京市发展和改革委员会关于公开征集市政府固定资产投资支持新能源供热项目的通知》，征集项目类型包括：浅层地源热泵（不含水源热泵）、中深层水热型地热、中深层井下换热型地热、再生水源热泵、污水源热泵等。

### 10.4 中国石化首口地热连通井安全完成对接

据中国石化新闻网10月17日报道，由新星公司开发、石油工程技术研究院提供技术支撑的中国石化第一口地热连通井——陕西绿源中天未来玥U形地热连通井，安全顺利完成直井与水平井的精准对接，标志着中国石化在地热开发利用技术探索上取得了积极进展。该井水平位移1181.06米，是国内目前水平位移最长的地热连通井。

### 10.5 云南洱源县发展地热高端农业利用

10月19日，云南省洱源县人民政府网站发布《关于印发洱源县充分利用地热资源发展高端设施农业试点方案的通知》，强调要充分认识利用地热资源发展设施农业的重要意义，推进农业生产方式转型升级、提升农业生产过程清洁化水平。

### 10.6 “深部地热资源勘查与开发利用的基础研究”论坛举办

10月21日至22日，国家自然科学基金委第351期双清论坛“深部地热资源勘查与开发利用的基础研究”在武汉召开。论坛主席由中国地质大学（武汉）校长王焰新院士、中国科学院青藏高原研究所丁林院士和西藏大学多吉院士共同担任。

### 10.7 山东发布《关于加快推进地热能开发利用的指导意见》

10月23日，山东省人民政府发布《关于加快推进地热能开发利用的指导意见》。到2025年，全省新增地热能供暖（制冷）面积1000万平方米以上，建成一批地热能城乡供暖、生态农业等综合示范项目。到2030年，全省地热能供暖（制冷）面积达到1亿平方米以上，建成集创新研发、多元开发、综合利用、装备制造于一体的国家地热能高质量发展



示范区，成为全国领先的地热能开发利用大省。

### 10.8 2023 山东地热技术论坛召开

10月23日，2023山东地热技术论坛在潍坊举行。会上，潍坊市人民政府与山东省煤田地质局举行战略合作协议签约，大会还进行了“中国地质调查局浅层地温能研究与推广中心山东实验中心”揭牌仪式。

### 10.9 山东省印发《关于加强地下水管理的意见》

10月23日，山东省人民政府印发《关于加强地下水管理的意见》，明确提出，加强地热开发取水管理，尽快划定需要取水的地热能开发利用项目的禁止和限制取水范围；加强调查研究，学习借鉴先进省份经验，研究制定推进地热能开发利用和取水管道的政策措施。

### 10.10 公主岭市首个地源热泵清洁能源项目加速建设

据“地热能资讯”微信公众号10月27日消息，吉林省公主岭市首个地源热泵清洁能源项目——长春国家农高区地源热泵清洁能源项目开始动工，总供热面积20.42万平方米，总投资约9952万元，该项目有望于2025年竣工。

### 10.11 国家能源局印发《可再生能源利用统计调查制度》

10月29日，国家能源局印发《可再生能源利用统计调查制度》，旨在加强对可再生能源运行的监测与监管，其中包括地热能开发利用情况调查。

### 10.12 中国石油加快推进地热能开发利用

截至2022年，中国石油新建成地热供暖面积1006万平方米，累计建成地热供暖面积近2500万平方米。中国石油今年新拓展地热供暖市场面积超4000万平方米。2023年7月和10月，长庆油田分别与兰热集团、甘肃二勘院以及杨凌示范区签订地热能开发战略合作框架协议，累计获取外部市场地热能开发供能面积达2000万平方米。

2023年11月

### 11.1 《洛阳市地热资源专项规划(2021-2025年)》

### 发布

11月1日，洛阳市自然资源和规划局官网发布了《洛阳市地热资源专项规划(2021-2025年)》，到十四五末，完成全市地热资源开发、利用全面调查，主要涉地热县(区)专项规划编制基本完成，初步建成全市地热资源勘查、开发、利用监测监管信息平台。

### 11.2 北京全面推进新能源供热高质量发展

11月8日，北京发改委官网发布《关于全面推进新能源供热高质量发展的实施意见》，明确提出，大力推进浅层地热能利用，积极推广再生水(污水)源热泵，稳妥开发中深层地热能。到2025年，力争全市新能源供热面积累计达到1.45亿平方米，新能源供热面积占全市供热面积比重达到10%以上。

### 11.3 海南出台取水许可和水资源费征收管理办法

《海南省取水许可和水资源费征收管理办法》自2023年11月1日起施行。地热水、矿泉水的水资源费并入资源税。取用地热水、矿泉水的，应当取得采矿许可证。

### 11.4 德化发现泉州市迄今最高温温泉

据泉州网11月4日报道，德化县发现泉州市迄今最高温温泉，钻孔温度高达103.4℃，井口水温95.7℃，是迄今为止泉州发现的温度最高地热，也是福建省少有的中温地热资源。

### 11.5 中国石化全面启动今冬地热供暖(面积超9500万m²)

据中国石化新闻办消息，11月15日起中国石化已全面启动今冬地热供暖服务，900余座换热站陆续投入运行。今冬明春供暖季，中国石化地热供暖能力超9500万平方米，同比增加15%。

### 11.6 山西(运城)地热能利用推介活动成功召开

11月30日，黄河流域生态保护和高质量发展山西(运城)地热能利用推介活动成功召开。大会由中国技术监督情报协会地热产业工作委员会、运城市发展和改革委员会、盐湖区人民政府共同主办，山西新源谷能源科技有限公司、中国能源建设集团





山西省电力勘测设计院有限公司联合承办。

### 11.7 《国家碳达峰试点建设方案》发布

11月6日，国家发改委印发《国家碳达峰试点建设方案》，选择100个具有典型代表性的城市和园区开展碳达峰试点建设，在政策、资金等方面对试点城市和园区给予支持。《方案》提出，扩大地热能等可再生能源应用规模。

### 11.8 自然资源部浅层地热能重点实验室2024年度开放课题申请启动

据“北京地勘”微信公众号11月20日消息，自然资源部浅层地热能重点实验室2024年度开放课题申请启动，研究方向包括浅层地热能成因机理研究；浅层地热能传热理论及模拟研究；浅层地热能高效开采及规模化利用研究；浅层地热能资源环境承载力研究；浅层地热能与中深层地热耦合应用技术研究及示范。课题周期时间为2024年1月起至2024年11月止。

### 11.9 2023年度地热能勘查开发利用技术研究学术交流会在郑州举办

11月23日，2023年度地热能勘查开发利用技术研究学术交流会在郑州举办，本次交流会由河南省自然资源科技创新中心举办，来自河南省内外能源领域的专家学者、技术人员等齐聚郑州，围绕“提升地热能勘查应用水平，助力河南高质量发展”主题，交流成果、碰撞思想、凝聚智慧，为河南地热发展出谋划策。

### 11.10 山西地热资源勘查与开发利用中试基地“落户”垣曲

11月29日，垣曲县地热资源勘查与开发利用山西省重点实验室揭牌仪式举行。仪式上，县委副书记、县长马巍，山西省地质集团副总经理李宇敏共同为该实验室揭牌。

### 11.11 大港油田首个废弃油井改造地热井示范工程正式开工建设

11月29日，大港油田地热开发公司(土地管理服务公司)负责的油区首个废弃井改造地热井示范

工程——大港油田工程技术学院中深层地热供暖项目全面启动开工建设。该项目是利用油田DG-06地热井为天津工程职业技术学院及周边多个单位进行供暖，总供暖面积近10万平方米。

2023年12月

### 12.1 中国石油首个地热标准正式实施

由冀东油田牵头编制的《中深层地热资源评价规范》获得中国石油天然气集团有限公司批准，于2023年12月1日起正式实施。

### 12.2 《云南省地下水管理办法》发布

12月1日，云南省人民政府发布《云南省地下水管理办法》。强调勘查地热水、矿泉水，应当依法申请领取勘查许可证；取用地热水、矿泉水的，应当依法申请领取取水许可证、采矿许可证。

### 12.3 湖北省推动浅层地热能应用 依法给予电价优惠

12月1日，湖北省十四届人大常委会第六次会议闭幕。会议表决通过了《湖北省绿色建筑发展条例》，将于2024年3月1日起施行。《条例》明确提出，利用浅层地热能供热制冷的绿色建筑，依法给予电价优惠，减免水资源费。

### 12.4 地热能科技成果入选2022年度自然资源科学技术奖

12月4日，自然资源部发布2022年度自然资源科学技术奖获奖成果的公告显示：江苏省地调院牵头完成的“长三角典型地区地热资源勘查评价关键技术研究及高效利用示范”项目荣获2022年度自然资源科技进步奖一等奖；湖南省地质灾害调查监测所牵头完成的“中低温隆起山地型地热探测关键技术与资源评价”项目荣获2022年度自然资源科技进步奖二等奖。

### 12.5 《雄安新区城乡建设领域碳达峰实施方案》印发

中国雄安官网12月5日消息，近日，河北雄安新区管理委员会建设和交通运输局、改革发展局印发的《雄安新区城乡建设领域碳达峰实施方案》提



出，2030年前，雄安新区城乡建设领域碳排放达到峰值，建筑碳减排达到国内领先水平，能源资源利用效率达到国际先进水平。科学合理采用开发利用地热资源、水源、余热、空气源等热泵技术，解决建筑采暖等用能需求。

### 12.6 西藏那曲市首次实现地热能冬季供暖

12月7日，西藏那曲镇地热田城市供暖项目正式投入使用，这是那曲市首次实现地热能冬季供暖。据统计，那曲镇地热田能够满足那曲市200万平方米建筑的取暖，并可供暖200年以上。

### 12.7 我国干热岩单井采热发电取得新突破

据中国地质科学院水文地质环境地质研究所12月8日消息，近日，中国地质科学院水文地质环境地质研究所地热与干热岩研究团队在我国干热岩单井采热发电方面取得了新突破，现场试验表明干热岩单井采热量超过1MW，并成功联动热伏电机实现发电。与国内同类型干热岩单井采热系统相比，系统最大采热率提高了近4倍，平均采热率提高了2倍以上。

### 12.8 河北省首个地热领域重点实验室在中国石油工程建设有限公司华北分公司落地运行

12月9日，河北省科学技术厅印发冀科平函(2023)38号《关于公布2023年新建省重点实验室名单的通知》，中国石油工程建设有限公司华北分公司建设的地热能利用技术实验室顺利获批“河北省地热能利用技术重点实验室”。

### 12.9 甘肃金昌地热空白区地热勘查实现突破

据金昌市自然资源局官网12月11日消息，日前，位于金川区宁远堡镇下四分村的地热探采结合井成功出水，金昌市地热空白区地热勘查实现突破。此次施工探采结合井深度有2003.5米，日出水量2016.85立方米，井底温度62℃，井口出水温度47℃。

### 12.10 政企对接推介招商会和全省地热开发利用示范工程推进会在德州举办

12月13日下午，山东德州地热开发政企对接座谈会和全省地热开发利用示范项目推进会在德州

召开。山东省自然资源厅党组成员、副厅长闫金明出席全省地热开发利用示范项目推进会并讲话，德州市自然资源局党组书记、局长杨洪利出席地热开发政企对接座谈会并作推介发言。

### 12.11 河北有序推进地热资源开发利用

据河北自然资源微博12月13日消息，承德、张家口、石家庄等10市79个新设地热采矿权出让计划已获批，全部出让后将新增矿区面积821平方公里。根据《河北省地热资源勘查开发“十四五”规划》，河北省拟设立开采规划区块180个，到2025年，地热水开采量和供暖面积翻一番。

### 12.12 《关于加快推进贵州省地热能产业发展的实施意见》发布

12月13日，贵州省能源局官网发布《关于加快推进我省地热能产业发展的实施意见》，旨在提高全省地热能资源开发利用水平。到2025年，在贵阳、遵义、铜仁、黔南、黔东南等基础条件好的市(州)建成一批地热能供暖(制冷)试点示范项目。

### 12.13 河南《水热型地热供暖建设项目水资源论证规范》获批发布

近日，由河南省地质局生态环境地质服务中心起草的地方标准《水热型地热供暖建设项目水资源论证规范》(标准编号：DB 41/T2473-2023)获批发布，自2023年12月14日起实施。

### 12.14 浙江油田首个中深层地热供暖示范项目顺利完工

12月14日，由CPECC华北分公司设计并提供全过程技术服务的安阳市嘉洲花悦地热供暖项目完工仪式顺利举行。作为浙江油田首个中深层地热供暖示范项目，标志着浙江油田向“油气热电氢”综合性清洁能源公司转型迈出了坚实一步。

### 12.15 2023中国(德州)地热高质量发展大会暨地热装备(技术)展会成功召开

12月14日，2023中国(德州)地热高质量发展大会暨地热装备(技术)展会成功召开。大会由德州市人民政府、山东省地质矿产勘查开发局、中



国技术监督情报协会地热产业工作委员会共同主办，德州市自然资源局、北京中航环宇新能源研究院、山东省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质大队承办。

#### 12.16 贵州省地热能行业协会成立大会召开

12月15日，贵州省地热能行业协会成立大会暨地热能行业高质量发展研讨会在贵阳召开，贵州省民政厅社会组织管理局局长赵卫东、谌毅业副局长为协会揭牌。

#### 12.17 陕西省地热能标委会一届四次会议召开

12月15日，陕西省地热能标准化技术委员会一届四次会议在西安召开，大会总结了一年来标委会的工作，分析了存在问题，部署了明年具体任务。

#### 12.18 山东首个高铁站复合可再生智慧能源供应系统投运

12月16日，山东首个“高铁站复合可再生智慧能源供应系统”，在济郑高铁（山东段）经过为期1个月的运行监测，转入正式运行期。该系统供能总面积约80000平方米，已由山东省自然资源厅纳入“山东省地热能开发利用示范工程项目”。

#### 12.19 辽宁省对年超5万立方米地下取水实施在线监控

12月15日，记者从辽宁省水利厅获悉，为加强地下水管理，规范地下水取水，根据相关法律法规，明确要求对年地下取水量超5万立方米的行为，均要安装地下取水在线计量设施，实现取水在线实时监控。

#### 12.20 中国石化地热案例获评“2023年中国公共关系优秀案例”

12月16日，由中国公共关系协会主办的2023年中国公共关系发展大会在北京召开。大会以“公共关系服务高质量发展”为主题，首次展示了年度公共关系优秀案例，《中国石化成功打造“中国地热高光时刻”》获评优秀案例。

#### 12.21 贵州已建成浅层地热能供暖（制冷）面积约1100万平方米

新华社贵阳12月16日电：记者从贵州省能源局获悉，经过20多年发展，截至目前贵州已建成浅层地热能开发利用项目60余处，供暖（制冷）面积约1100万平方米。

#### 12.22 国内首家地热与温泉康养技术创新领域院士工作站正式授牌

12月16日，在“秒聚青科·智汇重庆”全国青年科技人才论坛上，国内首家地热与温泉康养技术创新领域院士工作站正式授牌。该工作站由中国科学院汪集暘院士团队与重庆华捷地热公司共同建设，致力于地热与温泉康养领域的基础研究与应用技术创新研究。

#### 12.23 地热资源开发技术与装备教育部工程研究中心召开2023年技术委员会年会暨开放课题验收会

据吉林大学官网消息，12月16日，地热资源开发技术与装备教育部工程研究中心2023年技术委员会年会暨开放课题验收会顺利召开，会议采用线上线下结合方式举行。在会上，签署了上海市地矿工程勘察（集团）有限公司和地热资源开发技术与装备教育部工程研究中心校企合作备忘录，以及地热资源开发技术与装备教育部工程研究中心浅层地热应用示范基地揭牌仪式。

#### 12.24 咸阳市发布“十四五”地热资源开发利用规划

12月18日，咸阳市自然资源局印发《咸阳市地热资源开发利用规划（2021-2025年）》。咸阳市加强地热开发利用布局与咸阳城镇空间布局衔接，构建“一区、两翼、多极”地热产业发展布局。

#### 12.25 《贵州省减污降碳协同增效实施方案》发布

12月18日，贵州省生态环境厅发布《贵州省减污降碳协同增效实施方案》，大力发展地热能等可再生能源，围绕城市功能区、城镇集中区、开发区、农业园区、旅游景区，推动不同利用方式、不同应用场景的浅层地热能供暖制冷项目建设。

#### 12.26 雄安新区的容西片区中深层地热项目成功



## 出水

据“山西建投”微信公众号12月20日消息，位于雄安新区的容西片区供热（冷）一期、二期工程中深层地热项目第一口地热井成功出水，井深3945米，井口水温71摄氏度，出水量140立方米/时。

## 12.27 超长重力热管地热井为玉华矿带来“绿色”暖冬

12月23日，由陕煤层气公司天久公司负责实

施的中深层地热能在玉华矿开发利用研究科研项目顺利完工，该项目井深3150m，井底温度110℃以上，井内安装密闭的超长重力热管3075m，是西北地区第一个采用超长重力热管换热技术的地热能供暖项目，也是全国首个在煤矿区供暖中实际运行的地热项目。

注：2023中国地热大事记整理汇总截止时间为2023年12月24日。

来源：地热能网

## 2023年燃料电池汽车成本结构中，储氢系统占比升至近2成

### 2023年燃料电池汽车成本结构发生较大变化

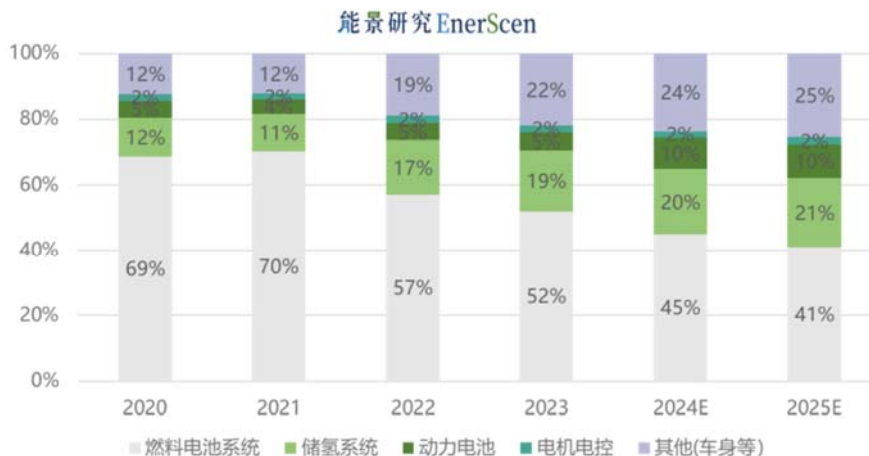
燃料电池汽车的成本构成主要有燃料电池系统、储氢系统、动力电池、电驱电控、车身等5个主要部分。2020年至2023年，除车身外，燃料电池汽车核心部件市场价格均呈现下降趋势。同时，各核心部件市场价格降幅及趋势不一，2020年至2023年燃料电池汽车成本结构发生了显著变化。

### 燃料电池系统，成本降低至总材料成本的近5成

2020年至2023年，燃料电池系统市场价格降幅显著，成本占比逐年降低。燃料电池系统主要包

括燃料电池电堆，以及空压机等BOP辅助系统零部件。2020年至2023年，燃料电池系统主要受到BOP辅助系统零部件国产化替代、生产规模扩大等因素推动，市场售价降幅达到近70%，在燃料电池汽车各部分中降幅最大。以燃料电池重卡车型场景为例，2020年至2023年燃料电池系统成本占比由约69%降低到约52%。到2025年，燃料电池系统中电堆部分或将开启国产化替代，推动燃料电池系统市场价格进一步降低，燃料电池重卡车型场景中，成本占比有望进一步降低到约41%。

图 2020-2025年49t燃料电池重卡材料成本构成



来源：能景研究整理

注：该图49t燃料电池重卡配置为燃料电池系统160kW；储氢系统压力30MPa，储氢量约40kg；动力电池100kWh。

## 储氢系统，成本升高至总材料成本的近 2 成

2020 年至 2023 年，储氢系统市场价格降幅相对较低，成本占比逐年升高。储氢系统主要由储氢瓶组、储氢瓶阀等构成。2020 年至 2023 年，中国燃料电池汽车以 30MPa 储氢系统为主，生产工艺、供应链均已相对成熟，市场价格下降主要受规模化推动，降幅约 12%左右，除车身外降幅最低。在燃料电池重卡车型场景下，2020 年至 2023 年储氢系统成本占比由约 12%升高到约 19%。

到 2025 年，储氢系统中 IV 型瓶等低成本技术路径初步进入市场验证，预计对储氢系统降本效益仍然较小，储氢系统降价仍主要靠市场规模化驱动。预计储氢系统在燃料电池汽车成本中的占比进一步提高，燃料电池重卡车型场景中，成本占比进一步升高到约 21%。

## 动力电池与电驱电控系统，成本维持在总材料成本的 1 成左右

2020 年至 2023 年，动力电池与电驱电控系统市场价格降幅仅次于燃料电池系统，维持较低成本占比。燃料电池汽车的动力电池与电驱控制系统在规格、技术上与锂电池汽车较为接近。受锂电池汽车市场规模化起量带动，2020 年至 2023 年动力电池、电驱电控市场价格分别下降约 40%与 50%。在燃料电池重卡车型场景下，2020 年至 2023 年动力电池与电驱电控成本合计占比维持在 7%左右。

到 2025 年，动力电池与电驱电控系统降价主要依靠生产技术迭代推动以及锂电汽车市场规模的进一步扩大，预计市场价格继续小幅下降。但价格降幅预计不及燃料电池系统降幅，在燃料电池汽车成本中的占比将小幅上涨到约 12%左右。

来源：能景研究

# 海上风电产业十大趋势

## 1 持续动态的能源三重困境

2023 年，可负担能源、能源安全和能源转型这三个关键驱动因素之间的动态关系显而易见，因为能源可负担性和安全通常比转型更突出。2024 年，欧盟以及英国、美国等都将举行一系列选举，这些国家都有大型海上风电项目。能源转型以及海上风电开发的速度在一定程度上取决于这些选举的结果。

## 2 坚实的基础

尽管围绕海上风电开发速度存在问题，但对供应链的长期乐观情绪是建立在越来越多的国家宣布的海上风电部署目标之上的，在能源转型和能源安全政策的推动下，这些国家 2050 年海上风电装机容量将达到 950GW 以上（不包括中国）。从 2023 年底的近 75GW 装机到 2030 年底的 220GW 试运行，我们

预测到 2035 年，全球海上风电容量将增至 440GW 以上。不包括独特的中国市场，2023 年的装机容量预计将达到 38GW 左右，到 2030 年将超过 150GW，到 2035 年将接近 350GW。总之，在中国以外，我们预计 2024 年至 2035 年间，全球将安装 21000 多台海上风机。

## 3 核心市场=好机会

英国、欧洲（德国、荷兰、法国、丹麦、波兰等）、美国和亚洲（中国台湾、韩国和日本）的核心海上风电市场仍有充足的合同和计划项目容量可供开发。

## 4 澳大利亚和南美的潜力

澳大利亚正在寻求为维科特里亚、新南威尔士州和西澳大利亚州附近的一些数十亿瓦的场地（固定式和浮式）确定开发商，以便在未来十年内投入



使用。在南美洲，巴西和哥伦比亚是新兴市场，正在发展许可框架和海上风电机会。除了澳大利亚和南美，我们预计欧洲北海、波罗的海、地中海和大西洋水域也将出现新的商业规模市场。

## 5 通货膨胀和高利率

在去年同期准备的 2023 年预览中，我们评论道，“通货膨胀和供应链中断将导致项目延迟，甚至可能取消。” 2023 年，美国和英国等关键市场的几个大型项目确实被取消和推迟。然而，我们注意到参与海上风电采购的各个机构所采取的务实行动。行动包括提高英国的 CfD 定价，允许项目以更高的费率 and/或美国的通胀指数定价重新投标海上风电采购。这些延迟对于解决海上商业模式中的一些根本挑战是必要的，尤其是在定价方面向底部的竞争对开发商和供应链来说是不可持续的。有迹象表明，2024 年海上风电市场将趋于稳定。

## 6 中国供应链向境外扩张

尽管存在一些引人注目的阻力，但中国基金、电缆和风力涡轮机原始设备制造商正在增加其在亚洲和欧洲市场的影响力。随着欧洲和美国的海上风机原始设备制造商经受住了一些强大的财务阻力，并专注于从现有的风机平台中创造价值，中国原始设备制造商继续开发更大的风机，以满足许多欧洲和美国项目开发商的 20 兆瓦及以上的规划愿望。中国原始设备制造商为国际供应链中的公司提供了一个新的客户机会。

## 7 固定式施工船舶最终投资决定（FID）的不确定性

随着安装固定式风机和基础的需求增加，我们看到能够安装最大单桩和涡轮机的船舶供应正在收紧。新的船舶正在建造中，将于 2023-2026 年交付，一些船只已经升级。但是船东会接受船舶 FID 吗？我们看到，在需求、日费率和合同条款让船东相信船舶投资将获得所需回报之前，短期内达成的新造船活动相对有限。2023 年，铺缆船领域出现了一些

有趣的订购活动，少数船舶订单在签订大量合同后落地。更大的涡轮机、更大的升压站和不断增加的传输距离已经改变了铺缆船的技术驱动因素，但我们看到铺缆船船东、基础、风机安装商面临着类似的挑战——需求、日费率稳定性和合同条款都需要在 FID 之前与船东的期望保持一致。

## 8 浮式风电商业化

到 2023 年底，浮式风电将略高于全球海上风电装机容量的 0.5%（不包括中国）。到 2030 年，浮式风电的份额预计将上升到 4% 以上（约 6.5GW），到 2035 年将上升到 18% 以上。活动预计将集中在韩国、英国、挪威和美国，欧洲和亚洲也有一些市场。为了达到这些预测数字，发展供应链仍需要大量工作。开发和投资的关键领域包括下部结构概念数量的合理化、下部结构生产、组装和储存港的工业化、系泊系统组件制造、安装船供应、动态海底电缆制造以及主要组件维修和维护解决方案。

## 9 资金的可用性

我们提到了高利率，这是供应链中开发商和公司报告喜忧参半的财务业绩的一个因素。投资者和金融机构对包括 Orsted、Iberdrola 和 Vattenfall 在内的公司的项目取消、延期和减值的反应，以及包括但不限于西门子在内的大型涡轮机原始设备制造商的损失，都是备受瞩目的头条新闻。因此，我们不仅继续监测债务成本，还继续监测海上风电领域的融资可用性。这一点与我们早些时候的评论有关，即政府机构接受必要的价格和支持上调，以及利率的通货膨胀指数化，以使项目可赢利。2024 年无疑是项目融资的重要一年。

## 10 氢能之年

氢是能源转型的关键推动者。海上风电项目非常适合为生产氢气的电解槽供电。我们预计，将开发更多的风电场，仅为电解槽供电，而不会连接到公用事业输电网。我们不仅在已经开发此类项目的欧洲市场看到了潜力，在墨西哥湾租赁有助于支持



氢气生产的美国也看到了潜力。

尽管行业内存在一些重大的持续挑战，但我们坚持我们的立场，即海上风电将成为能源供应链中一个不断增长的元素，补充天然气、核能和其他可

再生技术。世界将继续需要更多的能源，而这将越来越多地以电力的形式出现……海上风电将继续支持这一趋势。

来源：蓝水 LAB

## 2023 年光伏十大关键词

韶华飞逝鬓易衰，人生自恨水长东。

转眼间新年的钟声即将敲响，历史将自此翻开新的一页。在我们全心拥抱 2024 年之时，岁月在 2023 年刻下的烙印还未尘封，甚至可以说还鲜活如初，栩栩如生。

今天，我们通过关键词的方式共同回顾 2023 年光伏发生的大事，以鉴过往而知未来。

### 关键词一：扩产大跃进

如果要盘点 2023 年光伏产业的关键词，相信大家对于扩产的印象应当不是一般的深刻，而是特别深刻。2023 年，硅料、硅片、电池片和组件环节都经历了大幅度的扩产。无论是行业内玩家，还是跨界而来的新玩家都在大举的扩产。所以，在扩产这个关键词前加上“大跃进式”的定语可能会更恰当。

### 关键词二：结构性产能过剩

种豆得豆，种瓜得瓜。经过大跃进式的扩产后，随之而来的是全产业链的产能过剩。据统计，2022 年硅片、电池片和组件产能分别为 628、559 和 574GW，2023 年硅片、电池片和组件环节产能预计分别为 828、886 和 853GW。到 2024 年，硅片、电池片和组件环节产能预计都将增长至 1000GW 左右。

按照上面的产能数字，光伏各环节的产能利用率只要达到 50% 左右即可满足全球的光伏装机需求，产能过剩已成为不争的事实。自从 5 月上海 SNEC 国际光伏展以来，隆基李振国、天合高纪凡、晶澳靳保芳、晶科李仙德、协鑫朱共山、通威刘汉元、阳光曹仁贤、阿特斯瞿晓铨等八大光伏巨头掌门人

均谈及过产能过剩话题。为此，工信部在一次光伏企业座谈会上也谈到了产能过剩问题。

种种迹象显示，光伏行业现在已经处于产能过剩。不过，对产能过剩的定义，各方仁者见仁，智者见智。有观点说当下的产能是落后产能的过剩，先进的产能并不过剩，还存在短缺。而按照到 2023 年光伏装机将步入 T 瓦（1T 瓦=1000 吉瓦）时代的远景预期，当下的产能也不存在过剩之说。所以，我们对产能过剩加上定语“结构性”可能更准确的形容当前的产能形势。

### 关键词三：全产业链降价潮

受阶段性产能过剩的拖累，今年光伏全产业链发生了断崖式的降价潮。硅料、硅片、电池片和组件价格都经历了一轮又一轮的杀跌，硅料自年初高点下跌了 60%，硅片、电池片和组件价格亦自高位下滑超过 50%。

### 关键词四：极致内卷

由于全产业链的供应从 2021、2022 年的紧平衡局面转为供大于求的局面，全产业链产品价格松动，引发了同业竞争极为激烈。这种行业内卷在组件端体现的尤为明显。从 5 月份开始，先知先觉的光伏组件厂商不断压低组件招标价格，以获得中标机会。到 10 月份，央企组件招标价格跌破 1 元/瓦心理关口，破了厂商的盈亏平衡线。

这次内卷，就连头部大厂都猝不及防。隆基绿能在 2023 三季度业绩说明会上坦承误判了市场形势，失误之一就是到二季度友商以低价订单抢占市



场的时候，隆基没有跟进，影响了组件销售和四季度交付。尔后，隆基也加入了组件价格战行列。

#### **关键词五：光伏大洗牌**

除了扩产、产能过剩、降价潮、极致内卷外，2023 年光伏行业高频提及的关键词还有行业大洗牌。因为随着硅料跌到 6 万元/吨，触及二、三线厂商成本线，组件跌破 1 元/瓦的成本线，光伏行业内部的洗牌已经在所难免。

因为市场环境和行业形势发生变化，原计划跨界 HJT 的奥维通信已经中途退出。2022 年宣布斥资 100 亿投建 20GW TOPCon 电池项目的皇氏集团转让了安徽绿能控股，业务重心重回水牛奶主业上。江苏阳光逾 100 亿多晶硅扩产计划，几经下调投资额、变更投资地仍未正式开工，一些跨界明星项目已经敲响了退堂鼓。

这只是奏响了行业洗牌的序曲，重头戏还远未到来。因各个环节都打到了成本线，处于微利或亏损状态，这种形势可能要持续半年或一年左右时间，所以很多新投产的项目将面临亏损的考验。一部分厂商可能因亏损而兜售项目，或出现资金链断裂而破产的情形。按照未来将有 50% 以上的光伏厂商被淘汰出局的预期，这次行业大洗牌会相当猛烈。

#### **关键词六：N 型电池路线之争**

2023 年，光伏产业迭代升级步伐全面加快，N 型电池取代 P 型电池已成不可阻挡的大趋势。同时，围绕 TOPCon、HJT 和 IBC 三大先进 N 型电池技术的主流之争也拉开了大幕。晶科能源、晶澳科技、天合光能、中来股份、阿特斯和一道新能坚定看好 TOPCon，华晟新能源、东方日升和泉为科技坚定唱多 HJT，BC 电池阵营里则有隆基绿能和爱股份两大厂商，拥有建成的 BC 电池组件产能。今年 9 月份，一直称 TOPCon 属于过渡技术路线的隆基表示，BC 才是未来电池技术的主流，引发 N 型技术路线之争风云再起。

#### **关键词七：光伏装机大爆发**

受益于光伏组件大幅降价，2023 年光伏装机需求得到充分释放，装机量全面大爆发。国家能源局最新公布的数据显示，2023 年前 11 月我国光伏新增装机量达到 163.88GW，总装机量约 560GW，即 5.6 亿千瓦。

对比 2022 年 87.43GW 新增装机量，2023 年前 11 月新增装机是 2022 年的一倍还要多，创历史最好水平。随着年底并网潮的到来，预计新增装机还会继续增长，有望达到 180GW 水平。2023 年光伏装机狂飙，既有大型光伏电站装机强劲的提振，也有户用光伏大爆发的助力。截至目前，我国户用光伏装机已经突破 100GW。

#### **关键词八：电网承载力受限，分布式并网难**

2022、2023 年光伏装机市场连续两年爆发式增长，也给全国各地的电网承载力带来考验。从 2022 年底开始，山东、河北和河南等地多次传出电网超载，分布式光伏并网受限的问题。今年上半年以来，辽宁、山东、河北和湖南等地再次出台了暂停并网的政策。

据山东、黑龙江、浙江、福建、广东和河南 6 试点省份的分布式光伏接网承载力情况评估显示，共有 58 个地区可新增开放容量为零。与此同时，受电网容量“超载”因素影响，山东和河北两省的户用光伏装机增速明显放缓，户用光伏第一大省的位置已经被河南省取代，户用光伏市场呈现出由中东部“南移”趋势。

#### **关键词九：碳达峰碳中和、双碳战略**

碳达峰碳中和是支持光伏产业向前发展的核心逻辑，这一政策主线仍坚定如磐。据“草根光伏”粗略统计，2023 年国家 12 次提及双碳战略。今年中央经济工作会议再次提到，积极稳妥推进碳达峰碳中和，加快打造绿色低碳供应链。加快建设新型能源体系，加强资源节约集约循环高效利用，提高能源资源安全保障能力。

可以说，在国家坚定推进碳达峰碳中和战略落





地，推动能源转型升级的背景下，大力发展光伏和风电等新能源将是未来的主旋律。这相当于为我国未来的光伏发展敲定了政策基调。国家发改委和国家能源局于 2023 年初双双表态，光伏和风电等新能源将成为新增装机和新增发电量的主体。

#### 关键词十：强制配储、分时电价

光伏装机的跨跃式增长，更需储能的同步跟进。据统计，内蒙古、福建、山东、甘肃、安徽、青海、江西、江苏、广西、西藏、广东、云南、湖北、贵州、河南、陕西和河北对风电、光伏都有一定的强制配储要求，且越来越严格。同时，河北、内蒙古、甘肃、新疆、宁夏、青海、辽宁、湖北、浙江和山东等省区出台将光伏发电高峰时段调整为峰谷或深谷电价的政策。强制配储和分时电价政策的出台，前者将加大光伏电站建设的成本，后者则会降低光

伏发电的收益，也是 2023 光伏市场比较受关注的政策。

结合 2023 年光伏市场的关键词，展望 2024 年光伏市场发展前景，可谓喜忧参半，各有利好与利空，勾勒出了光伏曲折式前进、螺旋式增长的成长曲线。重大利好是驱动光伏大发展的双碳政策主线没有变，全产业链的洗牌、内卷、价格战降低了光伏装机的成本，提高了收益，将继续推动光伏装机需求的集中释放。至于电网容量超载、并网难的问题，预计将随着农网改造工程的加快而得到缓解。分时电价、强制配储的政策出台，一定程度上会抑制部分装机需求，但有双碳的政策逻辑驱动，整体上无碍真实装机需求释放。

来源：草根光伏



## 【环球瞭望】

### 克罗地亚拨款 3000 万欧元用于地热研究

克罗地亚经济和可持续发展部已批准拨款 2982 万欧元，用于资助“集中供暖背景下地热潜力的准备与研究”项目。资金通过能源部门的能效、供暖和可再生能源脱碳激励措施拨付。克罗地亚碳氢机构（AZU）被授权进行初步调查评估克罗地亚境内的地热潜力，并向三家公司授予五个地区的地热勘探许可证，进行二维地震和大地电磁(MT)调查，

将选择两个可行的地区进行地热钻井。该研究项目将有助于当地社区地热项目的实施。从钻孔收集的热量将供给工厂装配、制造及物流各方面的供暖与制冷设备。作为建筑管理系统的一部分，实时指标允许对系统进行数字化维护和控制。

来源：地热能资讯

### 专利数占 60%！日本“氢能收割世界”的妄想会实现么？



2023 年 12 月 29 日，三峡集团首个光伏制氢项目——内蒙古自治区鄂尔多斯市准格尔旗纳日松光伏制氢产业示范项目的光伏电站并网发电，该项目极大推动了我国氢能行业的发展，是 2023 年我国在氢能领域取得的众多成就之一。

众所周知，氢能来源丰富，绿色环保，一来可提供动力，二来可作为一种长期储能方案，将风力、光伏多发的电力转化为液态氢储存起来。很多学者认为氢是可替代化石燃料的“最具潜力能源”。截至目前，我国已经拥有涉氢企业超 2000 家，是全球产氢量最大的国家。有媒体估算，2025 年，我国氢能行业市场规模将突破 1 万亿元！在氢能领域，中国，已经走在了世界前列。

然而，谈及氢能，我们绕不开的一个国家便是——日本。由于国土面积狭小，化石能源极度匮乏，日本的石油、液化天然气(LNG)和煤炭对外依存度分别为 99.7%、97.5%和 99.3%，几乎完全依赖进口，一旦国际石油供应出现问题，日本的社会发展将面临停滞，因此日本一边拼了命去储备石油，另一边则是积极研发可替代的新能源。由于日本的水电、地热能等清洁能源的开发空间很有限，福岛核电站事故后核能发电量也是断崖式下跌，在这种情况下，日本只能押宝氢能。公开资料显示，早在 20 世纪 70 年代，日本就开始了氢燃料电池技术的探索。2014 年，日本将氢能定位为二次能源，提出了建设“氢能社会”的愿景，并发布了《日本再复兴



计划》、《能源基本计划》、《氢能基本战略》等相关的文件。据不完全统计，从 2011 年到 2022 年期间，日本申请的氢能相关专利数量达到 34624 个，占全球的 60% 以上，在多个关键技术方面处于全球绝对领先地位。日本官方估算，到 2030 年，日本的氢气商业消耗量估计为每年 30 万吨，到 2040 年，将实现燃料电池车的全面普及。

鉴于此，中国若想在氢能领域取得领先，就必须先跨过日本这座大山。近日，某业内人士指出：尽管中国在氢能已经取得了初步进展，但是做到像光伏那样在世界上遥遥领先却是不太可能的事情。何出此言呢？

上述人士指出，并不是中国不研究氢能，也不是氢能源不好，只是日本已经把路都封死了。由于在很早之前就押宝了氢能，他们把氢能源所有好啃的骨头全部都申请了专利，唯独把氢能源的存储和运输给放在一边，不研究也不申请专利，这是氢能最难的两个步骤。因此，如果有国家想开发氢能源便一定会想办法解决这两大难题。首先解决这两大难题本身就需要耗费大量的经费，其次，即使这两个老大难问题解决了，摆在眼前的便是：剩下的几乎所有小的技术专利都被日本所占领，到那时，只

有硬着头皮花钱购买日本的专利授权了，这样便给了日本躺着赚钱的机会。“这些专利其实都是很简单东西，只不过是他们先搞的，你绕不过去，绕过去也得花更多的钱。”上述人士解释道。

经过查阅资料，NE-SALON 新能荟还发现，日本已经不是第一次在某个领域占据了先手的专利优势。早些年的 DVD 播放机的专利便是被日本公司占得了先机，这就导致了日后每生产一台就要给日本的相关企业 2 千左右的专利费用，要知道，当年一个 DVD 播放机也就卖 3 千多。

不过，NE-SALON 新能荟却并不认同上述人士的观点。就当前的形势看，日本确实在氢能专利上已经走在前面，某些成本最低、利润最高的氢能应用专利很多都为日本所掌握，然而，不同于 DVD 播放机，被誉为“最具潜力能源”的氢能是很多国家重点研究的对象，受制于日本本土人口购买力的薄弱和近年来中国、欧美等经济体氢能的崛起，日本凭借领先的专利在氢能领域收割全世界的美梦其实并没那么容易实现。笔者认为，未来的氢能行业势必会形成以中国、日本、美国、欧洲几大区域的竞争格局。

来源：NE-SALON 新能荟

## 美国初创公司把废弃风电叶片改成公园长椅

11 月 27 日消息，美国俄亥俄州初创公司 Canvus 将废弃的风力涡轮机叶片变成了公园长椅、花盆和野餐桌，供美国各地的公共场所使用。

美国能源部估计，到 2026 年，风力涡轮机叶片的平均废弃率每年将多达 9,000 个，而且这个数字会不断增长。因此，初创公司 Canvus 提出了一种将叶片再利用的方法，使其转变为实用的公共用品。

Canvus 自 2022 年 4 月成立以来，Vestas、GE 和 Avangrid 等大型风力涡轮机制造商已向其工厂发



送了数千个叶片。Canvas 又与非营利组织和民间组织合作，为美国各地的城镇提供公园长椅、桌子和花盆。该公司还与艺术家网络合作，在其产品上进行绘画。

据介绍，风电叶片以 40 英尺（约 12.19 米）为单位进行切割，并涂上环氧漆。Canvas 还使用其他行业的回收材料，例如旧轮胎、鞋子和塑料废物。

Canvas 公司事务副总裁 Brian Donahue 向外媒 electrek 表示，该公司已向美国社区销售了“数

百甚至数千个”产品。他表示，公司的目标是每年处理 10,000-15,000 个叶片，为此需要扩大产品线。

Canvas 公司还生产创意产品，让社区用户列出他们想要的 Canvas 产品的愿望清单，这些产品的平均价格约为 6000 美元（当前约 42900 元人民币）。用户可以在制成的长椅上刻下某人的纪念，或者是公司的广告。每个长椅上都有一个二维码，可提供有关该用户的更多信息。

来源：IT 之家

## 新加坡光伏“返老还童术”，可延长组件寿命 5 年

近日，笔者获悉，新加坡南洋理工能源研究所开发出了一种光伏“返老还童术”，用上这种技术，可以延长光伏组件寿命 5 年！

能源研究所的执行主任 Madhavi Srinivasan 教授说：“一般而言，光伏组件的寿命为 25 年，但是在实际使用时，光伏组件由于面临恶劣环境，寿命根本无法达到 25 年，在极端天气居多的热带地区，光伏组件寿命减少得更多。”

恶劣的环境除了影响光伏组件的寿命，还会降低光伏的发电收益。在光伏组件整个寿命期，由环境因素引发的效率降低可达 10% 甚至更多，这就意味着全球将有 20 亿美元的发电收益损失（按照 1TW 的光伏装机量估算）。

“目前迫切需要一种经济有效的方式来实现光伏电池的性能恢复，以抵抗外界环境对它的不利影响。” Madhavi Srinivasan 教授说。



基于此，南洋理工能源研究所开发了一种新设备，新设备搭载有高强度光照技术，可在 2.3 米长的光伏板上自由滑动，进行强光照射。据研究人员介绍，该设备可将一种特殊强光施加在太阳能电池的晶硅分子上，使其剧烈运动、重新排列，从而“修补”因光照、高温和高湿度造成的微小孔洞，在不到 5 分钟内便可以恢复多达 5% 的性能损失。

研究人员表示：“就像修补漏水的桶一样，这个过程能够修复太阳能电池的微孔，防止能量泄漏，确保最佳的光能收集。当前 90% 的光伏组件可以使用该技术减缓其性能退化、延长寿命。”

Madhavi Srinivasan 的研究团队并未透露更多有关该设备的技术细节。当前，该项技术的专利被许可给南洋理工能源研究所孵化的创新性公司 EtaVolt。据悉，EtaVolt 创立于 2019 年，公司除了提供光伏再生服务，还提供全自动化的太阳能电池

板智能回收服务，如从废弃太阳能电池板中拆卸和回收有用的材料和资源，如硅等。

NE-SALON 新能荟认为，这项突破性技术有望大幅延长太阳能电池的使用寿命，降低太阳能发电系统的运维成本，为可再生能源发展带来新的希望！

来源：NE-SALON 新能荟



编委主任：郭旭升

顾问：汪集暘 多吉

编委副主任：（姓氏笔画为序）

王贵玲 田廷山 关晓东 刘世良 刘会友

李宁波 庞忠和 赵金海 党力强 戴宝华

编委委员：（姓氏笔画为序）

于 媛 于贵勇 马静晨 王延欣 王 强

刘久荣 刘金侠 许天福 孙 锦 杜 利

李家强 陈学谦 陈一言 周 明 国殿斌

郑克棫 张 宇 张奎林 胡先才 陈焰华

梁海军 韩志国

责任编辑：王培义 何春艳

主管单位：中国石油化工集团公司

编辑单位：中国石化集团新星石油有限责任公司



国家地热能中心

中国石化集团新星石油有限责任公司

地址：北京市海淀区北四环中路 263 号

电话：010-82335150

邮箱：[sinopecstar.xxsy@sinopec.com](mailto:sinopecstar.xxsy@sinopec.com)

网址：<http://cnspc.sinopec.com>