

水电、风电、光伏、在建核电装机规模位居世界第一，建成世界最大清洁发电体系

# 清洁能源发展的中国行动

本报记者 史志鹏



位于青海省海南藏族自治州共和县的龙羊峡水电互补光伏电站。 国家电网黄河公司供图

## 中国水电“领跑”世界

在云南省昆明市禄劝彝族苗族自治县和四川省凉山彝族自治州会东县交界的金沙江河道，矗立着一座建筑。从高空俯瞰，它像一弯鸡蛋壳轻轻卡在狭窄陡峭的山壁间。这是中国第四、世界第七大水电站——乌东德水电站的大坝，也是世界上最薄的300米级特高拱坝。

从2015年12月正式核准开工，到今年8月底12台85万千瓦的水轮发电机组满负荷运行，乌东德水电站创造8项“世界第一”，拿下15项“全球首次”，攻克了一系列世界级难题。其中，中国能建葛洲坝三峡建设公司乌东德施工局承担了水电站主体施工任务的75%，是建设的“主力军”。

“水电站选在金沙江下游一段非常狭窄的河段，最适合建特高拱坝，但同时也面临复杂地质条件和恶劣气候环境的严峻挑战。”谈起乌东德水电站建设，三峡建设公司副总经理、乌东德水电站施工局局长张建安难掩激动。大坝两岸边坡近90度、高约1000米，且岩体稳定性差，而边坡的稳定与否直接关系到主体工程建设的进度。

如何确保超陡边坡的稳定？建设者们变身“蜘蛛侠”，身挂缆绳、飞檐走壁，用千层锚杆和深层锚索将山体固定。随后，他们又把整个边坡铺上防护网，防止山体石块滑落。

日照强烈、大风频发、昼夜温差大，如此环境怎样保证“身材纤细”的坝体不产生裂缝？“在全坝使用低热水泥，这是世界大坝建造史上的创举！”张建安告诉记者，低热水泥像“退烧药”，可降低混凝土温度应力。“我们还采用了智能灌浆、智能振捣、智能温控、自动爬升模板、全坝无盖重固结灌浆等一批创新技术，使大坝既“聪明”、又“健康”。

除了可见的雄伟大坝，更多工程则藏在山体中。地下厂房安装水轮发电机组，是水电站的“心脏”。在地质结构极其复杂的情况下，建设者在山体中硬是挖出了长333米、宽32.5米、高89.8米的厂房，打破地下电站主厂房开挖高度的世界纪录。

乌东德水电站未设导流底孔，山体内部的导流洞在施工期就承担了过流功能。在工程后期，要对导流洞进行封堵。“下闸后，水位迅速抬升100多米，在这样一个高度进行封堵，尚属首次。”张建安坦言，如果不能在短时间内完成封堵，安全风险会变大，蓄水发电将成空谈。

技术人员提前研究方案，严谨论证，反复完善，最终出色完成封堵任务。

据统计，乌东德水电站年均发电389.1亿千瓦时，每年可节约标准煤1220万吨，减少二氧化碳排放3050万吨。

如今，乌东德水电站机组全部实现国产化，从葛洲坝、三峡、乌东德、溪洛渡、向家坝到白鹤滩水电站，中国沿江而上建成世界最大清洁能源走廊。“中国水电实现了从‘跟跑’到‘领跑’的转变。”张建安自豪地说，“今天，世界水电看中国！”

## 戈壁荒滩成了“蓝色海洋”

海拔近3000米、茫茫戈壁荒滩、人迹罕至……这是昔日青海省海南藏族自治州共和县塔拉滩给人的印象。随着光伏发电的兴起发展，塔拉滩换了模样：大片光伏板取代了光秃秃的沙石地面，一望无际的戈壁荒滩变成了“蓝色海洋”。

“这里阳光辐射强烈，夏季白天日照长达14小时，发展光伏发电有着得天独厚的优势。”国家电网黄河公司工程技术部主管祁斌介绍，整个塔拉滩生态光伏电站总装机容量9000兆瓦，年均发电96亿千瓦时。最令他骄傲的是，这是目前全球最大的集中发电光伏电站群。

1年前，海南州特高压外送通道配套电源一期工程建成投产，大幅提升了青海—河南±800千伏特高压工程的输电能力。其中，部分光伏项目就位于塔拉滩生态光伏电站。

“项目建设之初，我们就一直研究选用什么样的基础桩型，既环保，又具备冬季施工条件。”祁斌说。以前光伏电站采用混凝土基础桩，但经过反复论证，这次采用了改造过的螺旋桩，最大限度减少对地表的干扰。

在建设过程中，项目团队还采取了一系列创新举措，用“光伏+储能电池”形式建立“离网型微电网”就是个例子。祁斌介绍，光伏并网前要对设备进行调试，但当时并没有外来电源。“建立临时微电网，有效解决了子阵区设备调试的用电问题，也开启了清洁能源基地产业园区开发的新模式。”

光伏发电虽好，但存在间歇性、波动性和随机性较大的问题。“电网需要平滑稳定的电源。天晴还好，如果遇到阴雨天，光伏发电确实会受影响。”祁斌坦言。

距离塔拉滩生态光伏电站约40公里，就是龙羊峡水电站。在这里，能够找到克服光伏发电弱点的秘诀。中控室内，水电站和光伏电站的即时发电情况一目了然，通过智能调节系统，实现了电能的“水光互补”。

啥是“水光互补”？当太阳光照强烈时，用光伏发电，水电停用或少发。当天气变化时或夜晚，用水力多发，以减少天气变化对光伏电站发电的影响，提高光伏发电质量，从而获得稳定可靠的电源。

光伏电池在光伏发电中扮演重要角色，其光电转换率直接影响发电功率。IBC电池被誉为光伏“转换效率之王”。“我们建设的国内首条量产规模IBC电池及组件生产线电池量产平均效率已突破24%，研发转换效率达25.08%。”黄河公司太阳能电力公司专家郭永刚说，这不仅降低了系统度电成本，大大提升了产品市场竞争力，也标志着中国在高效光伏电池和组件领域跻身国际先进行列。

## 海上风电将成发展重点

“海上风电将是我国发展风电的主力。”国网能源研究院研究员于颖指出，清洁能源的消纳问题一直较为突出，而海上风资源稳定、风量充足，可以实现就地消纳或就近消纳。

在江苏如东海岸线约30公里的海面上，盛东如东H3海上风电场的80台5兆瓦风机机组疏密有致，屹立于海天之间。“每台风机转一圈发5度电，转1小时5000度，可供一户人家用2年。”华能江苏清洁能源分公司如东海上项目经理马强说，算上一期的70台风机，整个如东海上风电场总装机容量达70万千瓦，每年上网电量18.9亿千瓦时，可节约标准煤约57.91万吨，减少二氧化碳排放158.38万吨。

海上风电优势多，但建设时困难也不少。海水波动起伏，风机又是“大块头”，塔筒能立住吗？马强介绍，为保证风机安全，打了一根直径7米、长70米、重千吨的钢管桩到海里，有50米在淤泥中。

风机吊装是难度最大、精度要求最高的环节。一般来说，海上风机吊装需借助平台船。一旦作业，平台船4根桩腿深深插入海床，维持作业平台稳定。但由于数量有限，并不是每次吊装都能在平台船上操作。“有平台船时，我们会把3支叶片和轮毂拼好，然后再去和机舱精准对接。没有平台船，我们就在运输船上采用单叶片吊装方式，但这样施工很容易受天气影响。”马强说。

在船不稳的条件下如何完成高空“穿针引线”？建设者们根据潮汐变化规律选择吊装时间，同时密切关注天气变化，判断是否有利于作业。有时为了安装一支叶片，要等待数个小时。

在风电装备上，华能联合中国海装、东风风电等多

家单位，共同开展国产化5兆瓦高速永磁型和7兆瓦直驱型机组研发工作，实现了叶片、主轴、PLC主控系统等一系列核心关键部件的国产化。

## 三代核电技术跻身全球前列

今年，是中国核电的丰收年。

1月30日，全球第一台“华龙一号”核电机组福建福清核电5号机组实现商运。“这标志着我国在三代核电技术领域跻身世界前列。”中核集团董事长余剑锋说，“中国成为继美国、法国、俄罗斯等国家之后真正掌握自主三代核电技术的国家。”

随着“华龙一号”全球首堆商运，中国核电事业逐步实现了从“跟跑”“并跑”到“领跑”的历史性跨越。但中国核电人并未止步于此。7月13日，全球首个陆上商用模块化小堆“玲龙一号”在海南昌江核电基地正式开工。

“玲龙一号”小型堆将带动中国核能相关产业群高水平发展，形成又一重要堆型品牌，对于开拓国际小型堆市场、实现“走出去”的战略目标具有重大意义。”中国核能电力股份有限公司党委书记卢铁忠说。

掌握三代技术、领跑小堆建设，中国核电正在向第四代核能探索前进。近日，位于山东荣成的华能石岛湾高温气冷堆核电站示范工程也首次成功临界，机组正式开启带核功率运行，为今后并网发电奠定基础。这是中国具有完全自主知识产权、全球首座具有第四代先进核能系统特征的球床模块式高温气冷堆。

据介绍，华能还携手清华大学、中核集团攻克了核能领域多项世界性、行业性“卡脖子”关键技术，在不断提升设备国产化水平的同时，也为世界先进核能技术发展和构建清洁低碳安全高效的全球能源体系贡献中国方案。

中国清洁能源供给能力持续扩大。在装机规模方面，截至7月底，中国水电装机容量3.8亿千瓦，同比增长4.9%；核电装机容量5326万千瓦，同比增长9.2%；风电装机容量2.9亿千瓦，同比增长34.4%；太阳能发电装机容量2.7亿千瓦，同比增长23.6%；生物质发电装机容量3409万千瓦，同比增长31.2%。在发电总量方面，上半年，水电、核电、风电、太阳能发电累计发电量同比增长10.2%。在电力投资方面，前7月，水电、核电、风电等清洁能源完成投资占电源完成投资的91.7%。

国家能源局负责人表示，接下来要加快发展风电、太阳能发电等非化石能源发电，不断扩大绿色低碳能源供给，“十四五”时期风电光伏要成为清洁能源增长的主力。



华能如东海上风电风机。

华能集团供图



乌东德水电站首批机组投产发电。

中国能建葛洲坝集团供图



海南昌江“玲龙一号”施工现场。

新华社发

能源的重要性不言而喻。对一个国家来说，它攸关计民生和国家安全；对整个人类来说，它是文明进步的基础和动力。一部人类文明史，很大程度上也是人类不断扩大和升级能源种类的历史。

具体到中国，不同的阶段和需要，决定着不同的能源发展路径。新中国成立后，在中国共产党领导下，中国自力更生、艰苦奋斗，逐步建成较为完备的能源工业体系。改革开放以来，中国适应经济社会快速发展需要，推进能源全面、协调、可持续发展，成为世界上最大的能源生产消费国和能源利用效率提升最快的国家。

进入新时代，中国的能源发展积极应对国内国际形势的新发展新要求，坚定不移走高质量发展新道路，更好服务经济社会发展，更好服务美丽中国、健康中国建设，更好推动建设清洁美丽世界。

对此，习近平总书记提出“四个革命、一个合作”能源安全新战略，为新时代中国能源发展指明了方向，开辟了中国特色能源发展新道路。

推动能源消费革命，抑制不合理能源消费。中国过去的增长，很多时候是粗放型增长——经济增长10%，能源消耗可能增长15%以上。扭转这种情况，首先要改变能源消费方式，这就需要设立新的制度。实行能耗双控制度、修订实施《节约能源法》、完善节能低碳激励政策……近年来，一系列制度纷纷落地，有力引导能源消费理念的新转变。

推动能源供给革命，建立多元供应体

系。减少浪费、提高效率，属于“节流”，同样重要的是“开源”。关键就是开发利用水电、风电、光伏、核电等非化石能源。截至今年7月底，全国非化石能源发电装机容量10.3亿千瓦，占全国发电总装机容量的45.5%，中国已建成世界最大的清洁发电体系。未来，要继续优先发展可再生能源，安全有序发展核电，加快提升非化石能源在能源供应中的比重。

推动能源技术革命，带动产业升级。找到一种清洁能源容易，但规模应用起来很难。比如要解决成本的问题，不能比烧煤烧油还贵；要解决储能的问题，不能出太阳能、阴雨天

没电，造成电网压力巨大波动……解决这些问题都要有技术的支撑。而探索新技术并把技术产业化的过程，又可以催生一批新的经济增长点，带动整体产业升级。

推动能源体制革命，打通能源发展快车道。能源既是战略资源，也是商品。是商品，就可以利用市场化手段来配置资源，从而获得比较稳定持续的能源供给，以及比较经济的能源价格。要坚定不移推进能源领域市场化改革，还原能源商品属性，形成统一开放、竞争有序的能源市场，提高能源资源配置效率和公平性。

全方位加强国际合作，实现开放条件下

的能源安全。生态环境事关人类生存和永续发展，需要各国团结合作，共同应对挑战。中国应与世界各国一道，秉持人类命运共同体理念，持续深化能源领域对外开放，着力推进共建“一带一路”能源合作，积极参与全球能源治理，携手应对全球气候变化，为建设更加清洁、美丽、繁荣、宜居的世界添砖加瓦。

如今，中国已开启全面建设社会主义现代化国家的新征程。未来的中国，既是富强的中国，也是美丽的中国。我们要大力推进能源革命，加快构建清洁低碳、安全高效的能源体系，为美丽中国注入绿色动能，既确保“中国号”巨轮能够继续劈波斩浪，又为子孙后代留下一片碧水蓝天。

品牌论

## 为美丽中国注入绿色动能

韩维正