

中国新能源革命三部曲：落后、追赶到努力赶超 让大国

中青报 中青网记者 金 卓

在如今 双碳 目标下，以清洁能源代替化石能源的必要性已不言而喻，而属于中国的这场能源革命的序幕早在几十年前便已徐徐展开。

不论是葛洲坝到白鹤滩，还是从秦山核电站到华龙一号，它们的背后都是几代中国青年筚路蓝缕、接续奋斗的胜利果实，也是中国制造从无到有、由苦至甜的真实写照。这一张张亮眼的成绩单表明，中国正走在世界能源革命的最前列。

葛洲坝、三峡、白鹤滩

1970年，已身患重病的周恩来总理，几次召集有关人员开会，反复告诫大家：长江出乱子，不是一个人的事，不是你的事，也不是我的事，是整个国家、整个党的事。是要载入党史的问题，我对此这个问题是战战兢兢，如临深渊，如履薄冰。

让周总理如此关注的正是刚刚开工建设两年的葛洲坝工程。

我国水力资源蕴藏丰富，大江大河源远流长，但水利工程建设却可谓步履维艰。1949年新中国刚成立时，全国水电装机容量只有36万千瓦，与如今三峡工程单台发电机组的一半相当，水电设备制造也微乎其微。在当时，想要上马葛洲坝工程，将长江水截流，不外乎天方夜谭。

这个当年全国最大的水电建设工程项目，仅混凝土浇筑量便相当于刘家峡、丹江口、三门峡、峡秀湾和新安江五个枢纽工程量的总和。两台17万千瓦发电机组零件，重则几千吨，工厂都未见、闻所未闻。葛洲坝的设计，光原图就画了1.3万多张，蓝图200万张，图纸有100吨重。参与建设的大学生，拿咸菜坛子当椅子，在工地一扎就是10年。

就是在这样的条件下，1981年葛洲坝建成投产，总装机271.5万千瓦，实现了我国大江大河大电站大机组的设计制造和运营。当年的人们也许无法想象，这个曾经长江巨无霸，在短短的30年后，仅及三峡工程总装机容量的1/10。

尽管三峡工程让我国成功跻身世界水电前列，但在三峡左岸电站建设初期，国内还生产不了单机70万千瓦的发电机组，设备还需进口。1996年年初，中国工程院专家提出关键技术引进、消化、吸收的路线，以三峡工程为契机，由简单的设备购买向引进核心技术转变。

三峡集团原副总工程师、机电总工程师程永权介绍，通过这样一条技术路线，国内厂家承接技术并且分包生产，国家学会了70万千瓦整套设备制造技术，在三峡右岸、地下电站建设中实现了70万千瓦设备的国产化。

2021年6月28日，全球在建装机容量最大、世界唯一单机容量百万千瓦的白鹤滩水电站首批机组正式投产发电，全部机组也将于今年7月收官。这是我国首次采用完全自主设计制造的百万千瓦级水轮发电机组，实现了我国高端装备制造的重大突破。

程永权看来，白鹤滩水电站标志着中国水电已处于世界领先水平，从金沙江下游到长江中下游的一系列大电站，总装机容量已达到1.4亿千瓦，年发电量达到3000亿度，相当于节约了9000万吨标准煤。从葛洲坝、三峡到白鹤滩，我们经历了从落后、追赶到努力赶超的大跨越。



2021年12月26日，北京，第六届中国制造日活动现场，会场内圆桌论坛正在进行，一位工作人员用手机拍摄中国制造日宣传板留念。中青报 中青网记者 李峰范/摄

秦山、大亚湾、华龙一号

与水电一样，我国的核电技术也走过一段漫长的自主路。

上世纪60年代，我国的核工业者在西方的技术封锁下，接连研制成功原子弹、氢弹。同样是在1970年，周恩来总理指出：二机部(核工业部前身)不能光是爆炸品，要和利用核能，搞核电站！这就是著名的728指示。

经反复论证，1973年，上海市和二机部联合向国务院提出了建设30万千瓦压水堆核电站的方案。方案在周总理生前最后一次主持讨论核电站问题的中央专门委员会会议上通过。

18年后，这座由我国自行设计建造的秦山30万千瓦核电站并网成功，实现了中国内地核电零的突破。1994年，引进国外技术建成的中国内地第二座核电站大亚湾核电站也正式投入运行，不过接连投产的两座核电站，并不能改变我国核电落后的局面，因为在当时，甚至每一个零配件都要依赖进口。

直到2020年，我国拥有完全自主知识产权的华龙一号全球首堆并网发电，标志着中国打破了国外核电技术垄断，正式进入核电技术先进国家行列。

中国核电工程有限公司顾问刘巍表示，华龙的研发设计是基于中国核工业三四十年的科研、设计、制造、建设和运行经验而成，从秦山核电站30万千瓦自主化时，就不断在深化和探索核电自主化的道路，一直到现在的百万千瓦级核电技术。

中广核集团华龙一号总设计师王鑫告诉记者，目前我国的核电国产化率、自主化率已达到87%，整体技术水平比较而言，与世界核电强国处于并跑阶段。

核电在碳减排方面具有先天的优势，

可以对双碳目标的实现起到重要的支撑作用。他说，一方面，核电非常稳定，可保证18个月周期内满负荷发电，另一方面，核电近乎于零碳排放，且能量密度高，一公斤原材料的裂变可相当于2500吨标准煤的能量。

同时，自日本福岛核事故以来，国家对核电采取了最严格的建设标准，我们始终都把安全放在首位，比如不会在断裂带、海啸易发区选址，抗震可达到9级，对极端天气也有相应的防护，甚至我们考虑到恐怖袭击的飞机撞击可能，采用双层安全壳的技术等，形成全方位的最高等级安全保障。王鑫说，我相信未来中国的能源结构是多元的，但是它需要有压舱石来保证电网的稳定，核电必将在这个过程中起到关键作用。

光伏、风电、特高压

近年来，在绿色能源的舞台上，不仅有水电、核电等传统“老大哥”的身影，更有后浪在奋起直追，比如光伏和风电。

中国光伏行业协会副秘书长刘泱阳表示，我国的光伏产业已走上高质量快速发展之路。从2014年开始，我国已经42次打破了实验室的光电转换效率纪录，今年就打破世界纪录11次，我们有着全球最多的发明和使用专利，量产的光伏电池转换效率已经突破了23%，而2005年这个效率只有10%。

据介绍，在硅片、电池片组件等光伏产业链方面，中国的企业产量占据了全球产量的四分之三以上，甚至硅片接近100%，设备材料国产化率超过99%。在应用层面，中国连续8年新增光伏装机世界第一，过去十年间，光伏电价下降超过85%，成为全球最便宜的清洁能源。

去年6月四川甘孜藏族自治州每度电0.1476元人民币的价格也创造了我国最低的光伏电价纪录。刘泱阳说，光伏发电成本

的下降不仅意味着我们可以用上便宜的能源，也意味着我们可以用更少的排放去消费更多的能源。

2020年7月，在福建福清兴化湾二期海上风电场，我国首台10兆瓦、亚洲单机容量最大的海上风电机组成功并网发电，刷新了我国海上风电机组单机容量的新纪录。

东方电气风电股份有限公司副总经理刘世洪介绍，东方电气从2004年开始进入风电领域，经过10多年的发展，目前已提供陆上、海上风机超过1.3万余台。在水电领域我们已经走到世界前列，但在风电，特别是海峡风电领域，我们跟国外还有一定的差距，所以这个10兆瓦海上风电机组就是我们打造海上风电大国重器的成果。

他告诉记者，我们国家海上风电资源非常丰富，有1.8万公里的海洋线，海上可开发的风电资源能达到7.5亿千瓦。在10兆瓦机组并网以来，运行性能良好，创下了单周发电172万度的优异成绩，目前已经在福建海域批量投入运用，今年在此基础上，东方电气又着手开发了13兆瓦的海上风电机组，可将发电量进一步提高25%以上。

有人问，中国的水电、风电、光伏等发电区域很多都距离用电中心较远，清洁能源所在区与电力消费负荷区基本呈逆向分布，那从这些地区发出的电怎么输送给需要用电的区域？

刘东升是兵器装备集团首席科技专家、保变电气技术负责人、特高压变压器首席专家，他所从事的特高压领域便是实现电力远距离输送的关键技术。

他介绍，特高压是指交流1000千伏、直流正负800千伏以上的输电技术，可远距离、大规模输送电力，被称为电力的高速公路，把大量的清洁电力从几千公里外输送到用电负荷中心，只有特高压能做到。实现能源革命，离不开特高压。

2020年建成投运的青海-河南正负

800千伏工程，便是世界上首条专门为输送清洁电力建立的特高压直流工程，该工程每年可将400亿度清洁电力从1600公里外送中原地区。

国务院发展研究中心世界发展研究所研究员一凡说，过去没有特高压输电技术之前，我们想要输电只能把煤炭从西北运到沿海，在沿海造电站，浪费了很多人力、物力和时间成本。中国特殊的地理特点要求我们必须掌握特高压技术。

刘东升表示，特高压可以说是中国的独创技术，是世界上最先进的输电技术，目前中国的特高压技术和装备已在全球范围得到了广泛应用，比如巴西水电的超远距离输送，未来，在促进全球能源互联互通以及全球清洁能源革命中，特高压也会发挥关键作用。

双碳、机遇、挑战

虽然我国的清洁能源在过去的几十年间经历了飞跃式发展，但面对双碳目标，仍旧是任重道远。其中首要任务，便是对清洁能源的进一步开发利用。

刘泱阳表示，很多人听到碳达峰、碳中和，就认为我们要少开灯、少用能、少用车，要节衣缩食，其实不然。刚刚结束的中央经济工作会议中指出，新增可再生能源和原料消费不纳入能源消费总量控制，创造条件尽早实现能耗双控，向碳排放总量和强度双控转变。他解释，这也就是说，如果是风能、光伏、水电核电等零排放的清洁能源，我们用得越多越好。

但从另一角度来看，目前我国的清洁能源还没有达到最大程度的开发利用，能否满足社会需求还要划上一个问号。

他进一步解释道，在《关于完成准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰、碳中和的工作的意见》里面指出，到2060年，非化石能源消费比重要达到80%以上，而目前这个比例只有16%，意味着未来40年，我们的电力系统，我们的能源系统要进行重构。

以光伏行业为例，我们国家有261万平方公里的荒漠化土地，按照现有的发电效率，拿出里面3%-5%来建光伏电站，它发的电就足以够我们全年使用，更不要说我们的转换效率还在不断提升。他说，去年我国的风电光伏发电量大概占全社会用电量的11.5%，跟英国40%的比例相比，我们还有很大的发展空间。

王鑫也认为，目前我国的核电装机容量相对偏低，2020年统计核电发电量只占全国发电量的4.7%，相对于其他国家差距较大，美国这个比例占到40%，法国占到将近70%。

对此，复旦大学特聘教授、重庆市原市长黄奇帆分析，在供给端，今后清洁能源的供应需要有120亿千瓦装机容量的光伏、水力、风力等清洁能源装置，如果按每一千瓦5000元便需要60万亿元的投资。

在消费端，各种终端用电用能设施更新改造，比如电动车、智能环保建筑以及储能技术、储能电池的投入，至少需要40万亿元的投资需求，再加上远距离输电的特高压和智能电网设施等投资，就会达到150万亿元。

对此要鼓励有条件的地区发挥自身优势，通过破链、强链、补链加快形成空间上高度集聚、上下游紧密协同，具有全球竞争力的世界级清洁能源、产业链集群，我相信在这个过程中中国将出现一批主导型的企业和几十甚至上百家独角兽企业，我们期待这些企业在绿色经济革命中发挥主力军的作用。黄奇帆说。

两个 中国制造 强强联手背后

中国移动+翼龙：暴雨救援中的硬核科技

中青报 中青网记者 王 林 陈凤莉

2021年的7·20河南特大暴雨洪灾中，一架架带着中国移动应急通信系统的无人机在公众面前惊艳亮相。它的出现，让断电、断网的巩义市米河镇瞬间恢复了通信网络。

7月21日晚间，米河镇居民的手机收到了一条这样的短信：

米河镇的乡亲们，因暴雨致通信中断，应急管理部紧急调派翼龙无人机抵达你镇上空，可暂时恢复中国移动公网通信。受翼龙无人机滞空时间限制，公网恢复时间只有五小时，请尽快告知情况，联系人，祝平安！

这次紧急的救援背后是两个“中国制造”的强强联手，来自于中国航空工业的翼龙-2无人机搭载着来自于中国移动的基于大型固定翼无人机翼龙平台的应急移动通信系统。

那一天，这架从贵州起飞的无人机，历时4.5个小时最终抵达米河镇上空，利用翼龙无人机空中应急通信平台搭载的移动公网基站，实现了约50平方公里范围内长时

稳定的连续移动通信覆盖，为重灾区的抢险救灾提供了不可替代的贡献，打通了灾区通向外界的生命通道。

看到这则新闻，中国移动(成都)产业研究院的年轻人都兴奋了，他们纷纷在朋友圈里自豪地转发这个消息：这个是我们做的！看到这群平均年龄30岁出头的年轻人如此激动，中国移动5G无人机通信系统总设计师、中国移动(成都)产业研究院副院长苏郁也满是欣慰，在无人区艰难探索了3年多，往返实验室数百次，他和这群年轻人的辛苦总算没有白费。

同样兴奋的还有中国航空工业集团翼龙团队的年轻人，这是翼龙第一次投入应急救援实战。

事实上，两家的联手始于3年前。在应急管理部的指导下，中国移动(成都)产业研究院与中航(成都)无人机系统股份有限公司开始合作，瞄准大型灾害现场断电、断网、断网的极端情况，以急需建立通信网络和灾害现场观察的需求为出发点，尝试通过翼龙无人机在特定区域上空盘旋，向地面覆盖移动通信网络信号来解决这项应急救援中的通信难题。两家企业将无线移动

通信手段与无人机、卫星通信系统和应急指挥体系进行系统集成创新，为大型灾害现场提供了应急通信、实时观察和现场指挥新的示范应用。

其实，这颗创新的种子早在2008年汶川大地震就埋下了。当时，重灾区断路、断电、断网，与外界完全断绝联系。为尽快恢复震中与外界的联系，15名解放军战士背着无线电设备，在气象条件不明、地面情况不确定、缺少导航的情况下，在灾区上空冒着生命危险空降跳伞。

这件事给我们搞飞机的人、搞通信的人、搞应急的人都有很大的触动。航空工业翼龙系列总设计师、中航(成都)无人机系统股份有限公司总设计师李屹东说，当时就有不少人在设想，能不能用长续航、远距离的无人机到当地观察灾害现场，建立通信网络，但受限于当时的无人机与通信技术，设想一直未能落地。直到前几年国内5G通信与无人机技术逐渐成熟，这个想法最终得以落地。

经过3年的科研攻关和技术突破，2021年初，两家联手打造的5G无人机应急救援移动通信系统研发成功，并且在2021

年的河南暴雨等突发情况下发挥了作用。

据苏郁介绍，5G无人机通信系统主要有4项核心技术突破。

一是高空盘旋的无人机如何向地面连续覆盖尽可能大的信号服务区。这在全世界也是没人做过的。经过无数次的试验、测算，最终中国移动的研发团队通过自主研发的空地对地连续覆盖算法，达到50平方公里的信号连续覆盖面积，目前这项技术已经获得国家发明专利，正在申请国际专利。

二是如何让空中的通信信号覆盖地面的用户，让地面人员可以持续、稳定地接收到信号。要让无线电信号从四五千米的高空，按照我们的要求传向地面，就必须有空中的无线通信信道。需要用数学工具描述出空间通信信道的特性参数，制定规则，实现空中建模，世界上从来没有人能在无人机上用移动通信的设备向下提供网络信号服务，我们是第一个。

三是自主研发了无人机管理控制的中移凌云平台，可以通过这个平台把灾区画面实时传输到后台指挥部，供指挥队伍决策。四是多普勒效应的抑制技术。无人机在四五千米的高空，以400公里的时速高速行驶

时，移动通信的电磁波频率很可能会发生偏移，导致电话有杂音，通信不畅，这个技术障碍也被称为多普勒效应。如何突破中国移动的研发团队利用5G的大带宽、高速度、低时延5G技术特点，建立无人机通信与控制的数据链，有效抑制了多普勒效应。

事实上，在无人机的救援行动中，也遭遇了许多困难。例如，无人机在暴雨大风乱上空遇到了极端气象条件，暴雨、大风、乱流、冰雹、雷电等对无人机的安全飞行造成了威胁，无人机返航后团队就发现机翼前缘的漆层已经被冰雹打掉。由于翼龙无人机的设计标准较高，这些极端情况没有对无人机造成更大的威胁，翼龙无人机经受住了考验。李屹东介绍。

回顾这3年多内部创业历程，苏郁感触很深。他说科研要能静得下心，沉得住气，耐得住寂寞，才能有成绩。要加强顶层制度建设和体制机制创新，倡导工程师文化，中国制造才能有前途。同时，还要推动产业融合创新和学科交叉创新。如果不是我们和中航工业合作，将航空技术与通信专业融合创新，也不可能在7·20郑州抢险中发挥不可替代的作用。

持续12小时的云端饕餮盛宴

(上接T1)

雄心百年，靠的是一步步脚踏实地的拼搏和奋进，中国人用自己的智慧一个个解决卡脖子技术。

为了打破垄断的状况，徐工集团从2011年开始进行超大吨位挖掘机的开发，从200吨、300吨、560吨，到700吨。

700吨系列挖掘机项目从2013年正式启动，经历了5年的时间。从200吨到700吨系列挖掘机，做同样

产品的开发，国外用了二三十年，而中国只用了7到8年。

这绝不仅仅是中国最大吨位这么简单。徐工集团工程机械有限公司神州第一挖700吨矿用挖掘机总工程师杨裕丰介绍，它需要突破很多领先的关键核心技术，通

过产品的开发，我们拥有自主知识产权超过50多项，实现了关键核心技术集中应用突破。

从无到有，从空到站在国际领先地位，这样的故事不止是在徐工集团，而是中国制造的方方面面，上达九天，下至五洋，中国制造或许曾经走得慢，但从未止步！

中青报 中青网记者 王璐璐

2020年7月12日21时25分，在三峡集团福建福清兴化湾二期海上风电场，现场一片沸腾。

现场研发团队负责人余业祥回忆道，虽然环境很恶劣，时间紧张，压力大，任务重，但顺利并网的那一刻，成就感和欣慰足以支撑他们继续坚持下去。我国投入运行的首台10兆瓦级、亚洲单机容量最大的海上风电机组的成功并网发电不仅刷新了我国海上风电机组单机容量新纪录，也标志着我国已完全具备10兆瓦级大容量海上风电机组自主研发、制造、安装能力，实现历史性跨越，跻身世界第一方阵。

这份骄人成绩的背后，是东方电气一支平均年龄只有30岁的研发团队，凭着一股不服输的韧劲，熬出来的成果，让“中国制造”打破了国外技术垄断，再次实现了技术突破。

立项初期，定位是自主开发8兆瓦等级海上风电机组。当时，我国海上机组容量在5兆瓦左右，竞争力不强，国外一流风电整机厂商在海上风电领域已经走在前面，功率等级达到8兆瓦，叶片、发电机、变桨系统等关键技术被国外垄断。

研讨会上，大家一致认为不能总跟着西方国家走，东方电气有60多年发电设备研制的深厚积淀，为什么不能从5兆瓦跨过8兆瓦直接到10兆瓦，摆脱长期跑跑的局面？

2018年8月，在时任公司党委副书记、董事长兼总经理，水力发电设备研发领域专家贺建华的主导下，团队决定自主跨代开发10兆瓦级海上风电机组。

回想起10兆瓦机组的研发，研发团队队员们用“煎熬”来形容。机组配套叶片的研制三改设计，只为追求性能最优的叶片。随着机组功率的增大，对配套叶片提出了更高的要求。就是因为前所未有的制造难度，东方电气试制的前两支叶片都以失败告终，这给研发人员带来很大的打击。

为了攻克难关，研发人员每天连续几天吃住在公司，扎根生产现场，守着铺放碳布，反复检查，终于找到了那个细如毫米的病灶，研究制定优化措施，完成叶片制造，通过各项试验测试。

整机舱结构布局设计就进行了至少3次颠覆性的方案设计，每次都是推翻重新开始。为了设计出结构最优、重量最轻的主机架，主机架的模型总共改了约70多次。

10兆瓦海上风电机组还要克服海上高温、高压、高盐雾、变化莫测的环境带来的一系列难题。终于，2019年9月25日，东方电气自主研发的国内首台10兆瓦海上风电机组下线，为中国70周年华诞献上了一份特殊的礼物。

研发、生产完毕后，又面临新的挑战。如此大的海上机组在国内安装是首次。

海上天气状况诡谲复杂多变，时常连续几天的大风，而风电吊装对风速的要求较高，特别是吊装风轮。为了不错过每一个吊装窗口期，现场白加黑24小时轮流值守。

在空间有限的安装船上，将3支90米长的叶片组装在轮船上，每支叶片上184颗螺栓需安全平稳地安插在与之对应的螺孔内。组装好的风轮，直径185米，重达226吨，要一次性吊至距离海平面115米的高空。

10兆瓦海上风电机组自2020年7月12日投运以来，各项指标优异，已经累计发出5000多万度清洁能源。目前，10兆瓦机组在福建长乐海域投入批量应用，是中国第一个批量使用10MW等级的风电。

基于成熟的10兆瓦平台，东方电气后续又开发了13兆瓦的海上风电机组，今年也要实现并网发电，能满足2.5万千瓦三口之家正常使用电量，每年就可减少燃煤消耗1.3万吨，减少碳排放3.5万吨。