



我国风电市场发展历程

我国风电市场历经38年快速发展,已成为全球最大的风电机组应用市场,概括起来主要经历了三个阶段:

第一阶段:1986-2010年

1986年我国第一座风电场马兰风力发电场在山东荣成并网发电,当时从丹麦引进了3台55千瓦机组;2001年第一台国产化风电机组并网运行,此后国产化率不断提升,单机容量也从750千瓦发展至1.5兆瓦,这一阶段风电市场经历了从单纯依赖国外技术到吸纳探索、自主研发创新的过程。

第二阶段:2011-2020年

我国风电市场呈现快速发展趋势,风电机组新增装机容量连续十年稳居世界第一,单机容量从1.5兆瓦发展至2.5兆瓦;陆上风电技术日趋成熟,市场价格逐步降至4000元/千瓦;海上风电快速发展,东海大桥、龙源如东等海上风电项目进入市场化示范应用阶段,至2020年底海上风电累计装机容量达到9000兆瓦。

第三阶段:2021年至今

风电机组的关键部件已基本实现国产化,陆上风电机组主流单机容量从2.5兆瓦快速迭代为5~6兆瓦,市场价格呈快速下降趋势,美国通用、西门子歌美飒、维斯塔斯等国外品牌因价格不具备竞争优势纷纷退出我国市场;至2023年底,各主要风电整机商已完成10兆瓦陆上风电机组设计认证,并开始进行市场推广;我国海上风电累计装机容量连续3年保持全球领先。

知识链接

风电技术的三种路线

风力发电机组按技术路线分为双馈、直驱、半直驱。目前,陆上机组以双馈为主;海上机组高风速区以半直驱和直驱为主,中低风速区双馈和半直驱并存。这三种机型整机性能、投入成本、维护工作量等不尽相同,各具特色。

双馈技术

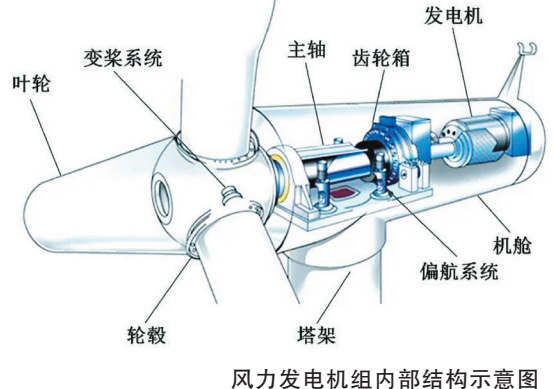
“双馈”指的是双向反馈,一种是电网通过给变流器供电,对发电机转子绕组进行励磁馈电;另一种是在发电机转子转速超同步下,发电机转子处于发电状态,向变流器输出电能,通过逆变器向电网馈电,输出电压幅值频率一致的交流电。双馈技术供应链成熟,发电机电体积小、成本低,陆上机组应用广泛,定子与电网直连,电网兼容性较差,使用高速齿轮箱,故障率较高。

直驱技术

直驱机组采用的是永磁风力发电机,利用叶轮直连驱动旋转,也称为低转速发电机、无增速齿轮箱风力发电机,通过全功率变流器将带有谐波的交流电整流成直流电,再逆变成与电网频率相同的交流电输出。直驱技术供应链有待完善,发电级数多、体积大、成本高,通过全功率变流器连接电网,电网兼容性较好,无齿轮箱,故障率最低。

半直驱技术

半直驱机组也采用永磁风力发电机,通过叶轮带动齿轮箱驱动永磁发电机发电。它结合了双馈、直驱风机的特点,在风轮和永磁同步发电机之间增加了中速齿轮箱,转子转速比直驱式的高,可有效减少永磁电机转子磁极数,有利于减少机舱的体积和重量。与双馈式相比,半直驱传动比适中,可靠性更高。半直驱技术供应链有待完善,发电机电体积小,通过全功率变流器连接电网,电网兼容性较好,使用中速齿轮箱,故障率较低。



风力发电机组内部结构示意图

我国风力发电快速发展之路

新星公司陕西渭南大荔20兆瓦分散式风电项目现场。

作为一种理想的可再生能源,风能以清洁、可持续的特点在全球范围内得到广泛应用。风电机组通过叶轮吸收风能转化为机械能,再由发电机组将机械能转化为电能,最终输出交流电。风力发电是当前技术最成熟、最具规模化开发条件和商业化发展前景的可再生能源发电方式之一。

风能是最具发展潜力的清洁能源之一

近年来,我国出台了多项政策为风力发电行业健康发展提供支持,如国家发展改革委、工业和信息化部等部门相继发布了《关于促进退役风电、光伏设备循环利用的指导意见》《关于加快推动制造业绿色化发展的指导意见》《关于组织开展“千乡万村驭风行动”的通知》《电力装备行业稳增长工作方案(2023~2024年)》等一系列政策文件。

随着风力发电行业国家政策引导力度加大,北京、贵州、河南、云南、广东、上海、山东等地纷纷发布相关政策规划,积极探索与布局,为风电产业快速发展奠定了良好基础。

我国风力发电行业“赶超式”的发展,得益于我国超大市场需求带来的显著“规模经济”,进而产生的成本摊销效应。依据彭博新能源财经(BNEF)研究发布的信息,2023年全球风电新增装机容量为118吉瓦,比上年增长36%。其中,陆上风电装机容量107吉瓦,比上年增长37%;海上风电装机容量11吉瓦,比上年增长25%。全球风电装机容量的增长主要来自我国。2023年我国风电新增装机容量77吉瓦,约占全球新增份额的2/3,比上年增长58%,创历史新高。其中,陆上风电新增装机容量69.4吉瓦,比上年增长59%;海上风电新增装机容量7.6吉瓦,比上年增长48%。

面向未来,我国风电市场潜力依旧巨大,根据国家发展改革委、国家能源局印发的《“十四五”现代能源体系规划》,预计到2025年我国累计风电装机容量将达到581吉瓦,“十四五”期间,新增风电装机容量超过300吉瓦,累计装机容量实现翻倍增长。

大型化、智能化、专业化成为风电行业发展的显著特点

风电机组大型化能有效提高风能利用率,持续降低度电成本;基于大数据人工智能的全生命周期管理等技术应用,将进一步提升发电能力和风场运营效率;风电产业的快速发展对设计、生产制造、安装施工、运行维护等提出了更高更专业的要求,需要各市场主体与主体携手推进创新技术的研发与应用,先进装备的设计与制造。

依据《每日风电》等机构发布的研究信息,近年来,伴随着风电行业的蓬勃发展,我国风力发电机组在外形尺寸、单机容量、市场价格、技术应用、产业链分工方面均有显著变化。

塔筒高度不断增加。2019年,新装风电机组的平均塔筒高度为96米,较2018年增长了5米,最大塔筒高度达147米;2022年,在低风速大切变场景项目中,已出现了150米、160米以上的塔筒高度,塔筒高度的增加有利于获得较好且稳定的风力资源。

叶轮直径变大。叶轮直径是风力发电机组的关键参数之一,直接关系风力发电机组的功率和效率。随着风力发电机组的迭代速度加快,叶轮直径越来越大。统计数据显示,2021年叶轮直径平均增长了27米,增长量相当于2017至2020年4年的总增长量。2022年,190米以上叶轮直径的机型占据投标市场主体;2023年200米直径的叶轮成为市场主体。当前陆上10兆瓦机组普遍配置230米直

阅读提示

风力发电是当前技术最成熟、最具规模化开发条件和商业化发展前景的可再生能源发电方式之一。大型化、智能化、专业化成为风电行业发展的显著特点。我国要打造更具韧性和竞争力的风电产业链,赶超世界先进水平,引领绿色发展,必须着力解决“卡脖子”关键技术难题,消除发展瓶颈,加快前瞻性新技术、新装备、新材料的研发应用。

本版文图由刘晓飞 王小龙 马筱童 毕晨 李晓冬 张鸿宇 提供

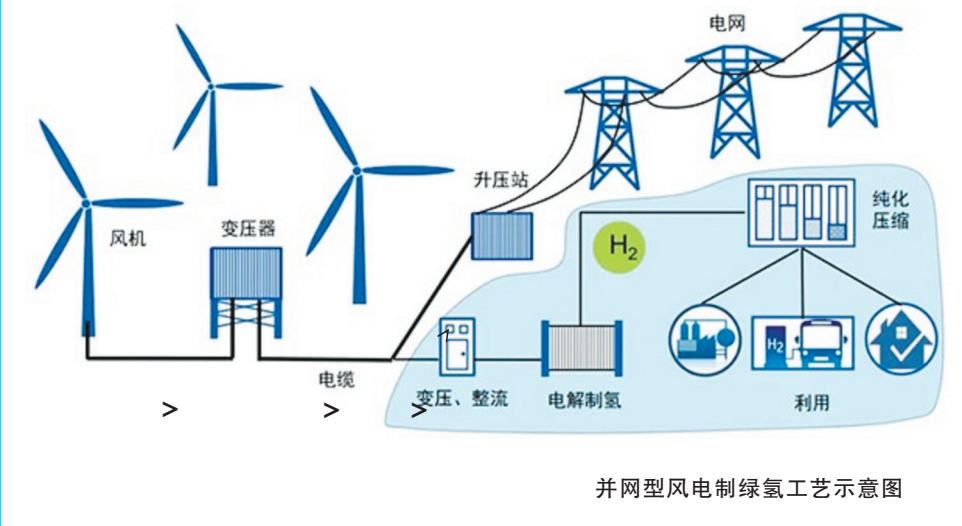
中国石化在建风电项目

■鄂尔多斯市乌审旗风光融合绿氢化工示范项目

该项目应用场景为绿电制氢耦合煤化工领域,并网型,采用风力和光伏发电,通过碱性电解水工艺生产绿氢,氢气作为生产原料全部供应中天合创使用。项目总投资约55亿元,新建光伏发电装机容量270兆瓦、风电装机容量450兆瓦,电解水制氢能力3万吨/年、储氢规模36万标准立方米、储氢规模18万标准立方米。项目分两期建设,预计一期年上网外售电量1.25亿千瓦时、减排二氧化碳133.12万吨。2023年2月16日,中国石化在北京、呼和浩特、鄂尔多斯三地以云方式举行项目启动仪式。

■乌兰察布10万吨/年风光制氢一体化示范项目

该项目属于并网型,采用风力和光伏发电,通过碱性电解水工艺生产绿氢,氢气通过约400千米的长输管道送至燕山石化,为燕山石化及周边企业供应稳定、绿色的氢气。项目总投资约205亿元,新建风电装机容量1.74吉瓦、光伏发电装机容量804兆瓦,电解水制氢能力10万吨/年。该项目于2024年1月27日获批,预计投产时间2027年6月。



并网型风电制绿氢工艺示意图

径的叶轮,海上16兆瓦以上机组配置的叶轮直径达到了260米。

单机容量增大。2022年市场投标机型平均单机容量为5.47兆瓦,与2021年初3.5兆瓦的平均单机容量相比,提高了56%。2023年,我国陆上风电投标机型平均单机容量为5.9兆瓦左右。2023年底,国内多个头部风力发电整机商已分别取得陆上10兆瓦的中标业绩,可以预见未来陆上风电机组将继续朝着大型化、高效化的方向发展,这将有助于降低单位能量成本,提高风能资源的利用效率。

市场价格下降。随着风电技术的快速发展,受益于风机大型化、产能不断提升、供应链日益完善等因素,自2003年以来,我国风电机组单位千瓦价格整体呈现明显的走低趋势,至2022年底,陆上风电机组价格降至约2003年的1/4。

智能化创新技术得到广泛应用。没有创新,难以形成规模化开发,就不能带动可再生能源成本下降,更谈不上新增装机“全面登顶”。比如国内厂家研发的超大型海上风机、漂浮式风机、风渔融合系统等台风机型,能

全面分析台风的风速风向、湍流强度、风切变、阵风系数、机组运行状态。再如国内厂家开发的智能风机产品,能实现“能感知、会思考、自学习、可判断和决策”的功能,不断提升风电利用效率,加速全球可再生能源利用。

产业链专业化分工更加细化。超大规模的市场需求为供应链的强度和韧性提供了支撑,产业链和供应链上下游各环节之间可以依靠自身的专业化形成相互作用、相互生存的产业集群效应,进而构建起紧密的价值链。从数据上看,近年来,全球新能源产业重心进一步向我国转移,我国企业占全球风电整机制造市场的份额约为2/3,2023年全球新增装机容量排名前10的风电整机制造商中,中国企业占据6席。

打造更具韧性和竞争力的产业链

风电行业要着力解决“卡脖子”关键技术难题,消除发展瓶颈,加快前瞻性新技术、新装备、新材料的研发应用,高度重视产品研发、设计、测试、认证工作,推动试验检验能力

建设,掌握核心技术,以全生命周期总成本最低为目标,打造更具韧性和竞争力的产业链,赶超世界先进水平,引领绿色发展。

经过30多年发展,我国风电技术与装备逐步走向成熟,除了风资源分析、风电机组整机设计仿真等工程仿真软件对国外依赖度较高以外,主轴轴承、变流器部分元器件模块、碳纤维、润滑油等关键材料的技术研发和国产化替代取得了显著的成效。

软件方面。风电领域应用的风电机组整机设计仿真软件、有限元分析软件、CAD软件、数值计算软件及风电场开发设计软件、海洋工程软件等,目前国内虽已开展相关软件研究,但尚未达到商业应用层面,仍需进一步加大研发投入力度。

部件及元器件方面。一是主轴轴承,过去风电机组主轴轴承主要依赖进口,目前国产10兆瓦风力发电机组上,主轴轴承已实现了完全国产化。二是变流器部分元器件模块,国内相关企业,在设计制造、封装测试等产业链核心技术上正在加速研发,国产IGBT产品的性能,已达到国外同类产品的水平。

原材料方面。与传统的玻璃纤维材料相比,碳纤维材料更轻、强度增加、抗形变能力更强。随着风电机组大型化趋势加快,在叶轮直径220米以上的叶片中,碳纤维材料得到广泛应用,随着上海石化等国内企业产品的研发推广,目前风电领域使用的碳纤维材料已实现国产化。另外,随着长城等国内知名润滑油厂商技术的快速迭代发展,国产润滑油在风电领域开始得到大面积推广应用。

在实现“双碳”目标的过程中,风电技术发展瓶颈既是挑战又是机遇,应认清形势,坚定信心,持续加大关键技术研发力度,越来越多的创新技术应用落地,我国风电行业将迎来更为广阔的发展空间。

风电行业“内卷严重”需引起高度重视

风机价格迅猛下滑,无疑是风电行业在2023年留下的鲜明烙印,“低价”已成为不少风机厂商抢夺市场份额最简单粗暴的手段,由此带来的行业负面影响是,各大厂商不得不被卷入激烈的价格竞争漩涡中,内卷现象愈加凸显。整机商盈利水平进一步下滑的态势明显,位居2023年国内新增装机容量排名前列的上市企业,2023年前三季度的净利润同比下滑50%左右。这种竞争导致风电主机价格大幅下滑,低价经过上游的层层传导,最终使得全产业链都难以盈利。更为严重的是,这种低水平的同质化竞争不仅不利于行业长远发展,而且机组大型化的快速迭代,缺乏长时间运行验证,还带来了较大的安全风险和隐患。

风电机组一般设计寿命在20年以上,质保期超过5年,如何实现长周期安全可靠运行,也是风电行业关注的一项重点内容。一项针对风电行业出现的安全问题的统计表明,统计案例样本总数521例,其中风电机组的部件故障失效占比最大,占样本总数的62%;倒塔事故占比17%;火灾事故占比6%;其他安全问题包括异响、振动、垂直度超标等。在最为普遍的部件故障失效类型中,叶片故障失效占比46%、塔筒故障失效占比10%、齿轮箱故障失效占比8%、叶根和塔筒螺栓故障失效占比8%。

市场扩容、技术迭代促使风电行业洗牌,为企业拓宽了发展空间,但激烈的竞争环境导致的整机价格持续下跌、企业盈利能力减弱、研发投入减少及质量安全风险隐患增加等问题也接踵而至,如何实现安全、健康、可持续发展是风电行业必须直面的问题。

(作者单位:中石化国际事业天津有限公司)