



中国正引领全球风电发展。2009年~2022年,中国风电新增装机连续14年位居全球第一;2010年~2022年,中国风电累计装机连续13年位居全球第一。目前,中国海上风电单机容量达8兆瓦,海上风电在18兆瓦级以上,风电机组引领全球大型化潮流。技术进步推动成本持续下降,自2006年以来,中国陆上风电项目的平均平准化度电成本由0.61元降至2021年的0.185元,15年内下降了70%。展望未来,中国风电作为碳中和的主力军,发展仍将长风破浪。清洁风电与Power-to-X技术融合,将助力绿色经济全面发展。在近日召开的2023中国石油化工产业高质量发展大会上,中国可再生能源学会风能专业委员会产业研究部主任于贵勇深入解读了中国风电发展现状及未来趋势。

本版文字由本报记者程 强雷 蕾整理,图表由中国石油和化学工业联合会提供

中国风电发展,仍将长风破浪

新星公司大荔风电站航拍图。

曹海峰提供

“风光”——碳中和主力军

据相关研究报告,中国零碳转型将带来巨大的市场规模和效益,预计能带动70万亿元的基础设施投资。

预计到2025年,光伏、风电、水电、核电及其他清洁能源合计装机占比达57.5%,超过煤电和气电合计42.5%的占比;清洁能源发电量占比达44.7%,成为主导电源。其中,风电装机占比从2020年的12.8%增至2025年的18.2%,风电发电量占比从2020年的6.1%增至2025年的11%。

预计到2030年、2050年、2060年,清洁能源装机占比分别达67.5%、92%、96%,其中,风电装机成为电源装机增量主体。2050年、2060年,风电装机占比将超过75%、80%,发电量占比超过60%、70%。

中国风电新增装机连续14年全球第一

近十几年,全球风电累计装机量快速增长,由2008年的130吉瓦增至2022年的906吉瓦。2022年全球新增风电并网装机77.6吉瓦,较上年下降17.1%,其中,陆上风电新增装机68.8吉瓦、海上风电新增装机8.8吉瓦。

2009年~2022年,中国风电新增装机连续14年位居全球第一。2010年~2022年,中国风电累计装机连续13年位居全球第一。

2022年,中国风电新增吊装容量4983万千瓦,累计装机容量超过3.96

亿千瓦。

从2012年起,风电发电量首次超过核电,成为我国第三大电源;2022年中国风电发电量7624亿千瓦时,是10年前的10倍;2022年风电发电量占比提升至8.8%,比2021年增长了1个百分点,10年增长了6.7个百分点。

中国引领全球海上风电发展

2022年,全球除中国外,其他国家海上风电新增装机容量约4.4吉瓦,占全球市场份额46%;中国新增装机占全球市场份额54%,持续引领全球海上风电发展。

2022年,中国海上风电新增装机容量约510万千瓦,累计装机容量超过3000万千瓦,比上年增长20.1%。

目前,全球深海漂浮式风机基础型仍处于试验示范阶段,而中国漂浮式风机机组已进入样机示范阶段。

2021年7月,三峡“引领号”漂浮式试验样机在广东阳江沙扒海上风电场完成安装,机组容量5.5兆瓦,风轮直径158米,轮毂中心距海平面约107米。

2022年6月,国内首台深远海浮式风电装备——“扶摇号”完成安装,机组容量6.2兆瓦,风轮直径152米,轮毂中心距海平面约96米,平均水深65米。

2023年5月,单机容量7.25兆瓦、叶轮直径158米、水深120米、离岸136千米的“海油观澜号”成功并入文昌油田群电网,标志着中国深远海“双百”漂浮式风电装备投产运行。

截至2022年底,中国风电机组累计出口49个国家,共计4224台,累计容量约12吉瓦。

技术进步推动成本持续下降

目前,中国陆上8兆瓦+首台机组已经吊装,海上16兆瓦和18兆瓦风电机组已经下线,风电机组引领全球大型化潮流。

截至目前,陆上风轮直径已经达到216米,海上风轮直径已经达到260米。风电叶片长度从99米、102米、103米、107米、110米、115.5米、118米、123米到现在的126米,不断突破纪录。

2022年,在全国新增风电机组中,平均轮毂高度达到110米,轮毂高度最大值达到170米,分别比上年增长4米。

风电技术进步也使得海上风电场水深及离岸距离不断增加,逐步向深远海发展。漂浮式基础将成为全球海上风电技术发展趋势。单桩和导管架适用于20~60米水深环境,超过60米的近海风电场则需要漂浮式基础,预计到2050年,70%的海上风电项目将应用漂浮式基础。

不断增大、更加先进的施工船,将平价安装与运维大型机组成为可能。

技术进步推动成本持续下降,自2006年以来,中国陆上风电项目的平均平准化度电成本(LCOE)由0.61元降至2021年的0.185元,15年内下降了70%。

据国际可再生能源署(IRENA)数据,中国海上风电项目LCOE由2010年的0.178美元降至2021年的0.079美元,下降了55.6%。

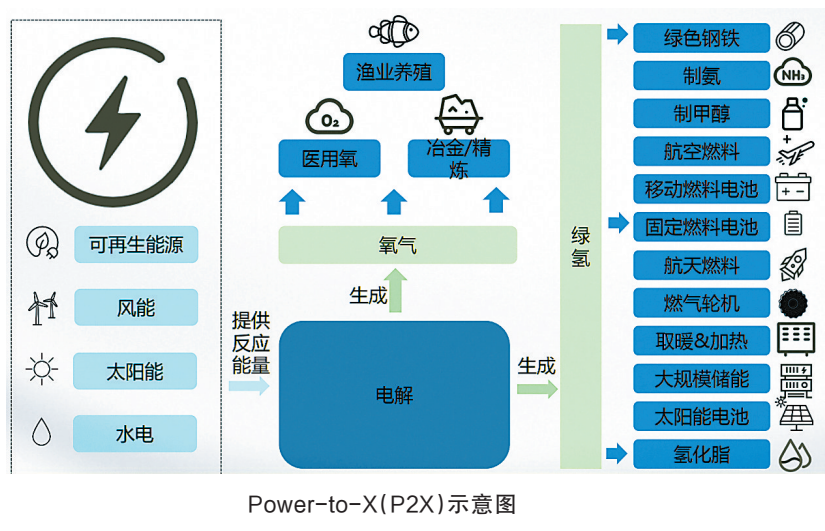
未来风电发展趋势

“十四五”期间,中国各省风电规划新增装机合计突破2.8亿千瓦,其中,沿海地区海上风电规划容量约5500万千瓦。

中国可再生能源学会风能专业委员会(CWREA)预测,预计到2025年,风电LCOE下降到“1.23”,即“三北”一类、二类资源区做到0.12~0.15元/千瓦时,比2022年下降20%~25%;中东南部三类、四类资源区做到0.2元/千瓦时,比2022年下降13%~18%;近海做到0.27~0.3元/千瓦时,造价水平在10500~12500元/千瓦,到2030年降为0.23~0.27元/千瓦时,比2022年下降20%~25%。

“三北”地区风能资源储量巨大,可引入大规模用电产业,加大消纳力度,将可再生能源电力的“价格优势”转变为其他产业发展的“价值高地”。

如在“三北”地区引入数据中心,将进一步降低高载能企业发展成本,



实现产业绿色升级。据估算,一个超大型数据中心年用电需求超4亿千瓦时,需风电装机超20万千瓦。

“中东南部”地区18个省份可协调土地和开发的关系,出台分散式风电并网政策,推动“千乡万村驭风行动”。

风电看似占地面积大,但其实是节约土地最发电技术。100台机组的风电场,整场面积约46万平方米,而机组完成地表恢复后,占地仅2万平方米,长期占地占整个风电场的面积仅为0.043%,比乒乓球桌上的乒乓球占的面积还小。据估算,风电采用桁架式塔架基础,开发1亿千瓦风电装机实际占地面积仅12万平方米,与两个百万千瓦火电厂相当,是接近“零用地”的发电技术。

《“十四五”可再生能源发展规划》提出“千乡万村驭风行动”,规划在“十四五”期间,通过试点示范,在全国100个县中优选5000个村,安装1万台风机,总装机规模达5000万千瓦,全面铺开市场潜力更加巨大。全国69万个行政村,若有10万个村,每个村在田间地头、房前屋后、乡间道路等零散土地上找出200平方米用于安装两台5兆瓦风电机组,就可实现10亿千瓦的风电装机。

“海上风电”方面,中国近海和深远海风能资源技术开发量超过22亿千瓦,其中深远海海上风电资源储量最大,是未来海上风电高质量发展的重要领域。2030年后,绝大部分海上风电项目均位于专属经济区。海上风电可以用来制氢,可以与海洋牧场融合发展,还可以通过Power-to-X(P2X)的方式利用。

P2X是提升可再生能源消费的新形式

在以新能源为主体的新型电力系统中,需要新能源的电力和电量大于实际需求,会形成部分的电力“冗

余”。Power-to-X(P2X)是将可再生能源发电转化为氢,然后与后续化工流程相结合,生成绿色大宗化工产品,如绿氨、绿色甲烷、绿色甲醇、绿色合成燃料等,帮助钢铁、化工、航空、海运等行业脱碳,同时也可以平衡可再生能源电力供应的波动。

国际能源署评估,到2070年,全球每年氢的需求量约为5亿吨,而可再生能源电解制氢将占60%,即3亿吨。

可再生能源电转氨可生产绿氨。氨是生产尿素和硝酸铵等重要化学品的基础原料,全球氨产量的90%用于生产肥料。传统的氨生产工艺,采用的氢来自化石燃料,每吨氨排放二氧化碳2~3吨,采用绿氢可实现零排放。

可再生能源电转甲醇可生产绿色甲醇。甲醇是世界上交易量最大的五种化学品之一。据评估,全球甲醇市场规模到2027年将翻一番。丹麦正建设一个项目,通过一座300~400兆瓦的电解厂生产氢气,与从废物焚烧中捕集的二氧化碳进行结合,每年能够生产13万吨甲醇。

可再生能源电还可以转合成燃料。氢气与一氧化碳等气体在催化剂的作用下,可以合成以直链烃为主的烃类化合物,作为传统燃料油的替代品。

从能效看,电转甲烷、电转合成燃料的能效相对较高(50%),电转甲醇能效最低(39%)。

从经济性看,可再生能源电价为0.2元/千瓦时,电转氨具有经济性;电转甲烷和甲醇,电价在0.15元/千瓦时以下具有经济性;电转合成燃料尽管经济性较好,但存在技术风险。

目前,“三北”地区风电项目度电成本在0.15~0.2元,预计到2025年可降为0.12~0.15元,Power-to-X的成本问题有望得到解决。

P2X正在快速成为连接可再生能源与高碳排放行业的关键纽带,助力绿色经济全面发展。

企业实践

新星公司

“双核驱动”助风电业务高质量发展

□曹海峰

“前7个月,大荔风电站累计发电2748万千瓦时,完成年度任务指标的65%。”今年以来,新星公司大荔风电站强化运行管理,实现超计划进度发电,站长郝亚洲格外高兴。

新星公司大荔风电站位于陕西渭南,项目总装机容量20兆瓦,安装8台2.5兆瓦风力发电机组,配套建设35千伏开关站1座。项目于2021年7月开工建设,12月实现并网发电,是中国石化陆上分散式风力发电项目的“开山之作”。

近年来,新星公司充分发挥新能源专业化公司的优势,抢抓新能源产业发展机遇,积极构建以地热为引领、氢能为方向、风电光伏为支撑的“热氢风光”新能源产业体系,助力中国石化绿色转型发展。

在风电业务市场开拓上,该公司坚持“存量产能绿电替代、新建产能绿电配套”的原则,持续加大系统内项目风电资源获取力度,夯实发展基础。继大荔风电项目后,新星公司先后获取了中

原油田112兆瓦风电、陕西大荔风电站(二期)50兆瓦风电等项目。

在风电项目运行管理上,该公司秉承“度电必争”的管理理念,围绕年度工作目标,把抢发电量、保证设备安全稳定运行作为工作重点,组织基层单位开展岗位练兵,根据气候条件合理调整风机运行计划,组建专业团队及时开展设备养护维修和试验调试,定期开展自查及联合检查,预防研判生产异常风险,风资源利用率得到不断提升。2022年,大荔风电项目提前37天完成全年发电任务,累计发电量4700万千瓦时,完成年度指标的112%,可满足当地两万余户家庭清洁用电需求,年节约标准煤1.36万吨、减排二氧化碳3.5万吨。

在推动陆上风电项目开发的同时,该公司还加快进军海上的步伐。2022年3月,该公司获得中国石化首个海上风电项目海南洋浦600兆瓦海上风电开发指标,7月,正式启动测风工作,标志着中国石化海上风电业务发展迈入新阶段。“双核驱动”助风电业务高质量发展。

□徐博詩文

自2022年4月江苏油田首台陆上风力发电机建设至今,该油田已并网运行第八台风机,装机容量28.5兆瓦,年发电能力达7500万千瓦时,绿电使用率达90%。

近年来,江苏油田聚焦“双碳”目标,部署了“十四五”新能源发电“1/3替代”目标,加快推进风光电建设与勘探开发融合发展,形成“风光互补+油气生产”模式,促进水乡油田变身“绿色油田”。

江苏油田所属苏皖油区,井场及站库大部分坐落于田野。油区内风速呈明显季节性变化,在140米高度,年平均风速每秒达5.5米,年平均风功率密度为170瓦/平方米,具有较好的风电开发利用前景。

为有效利用风能,江苏油田坚持分散式与规模化并举,充分利用老井场或空地开展项目建设,不仅盘活了土地资源,而且实现了绿电高效输送。

江苏油田

苏皖之风吹绿水乡油田

针对绿电有“富余”的情况,该油田积极推进电网改造和互联互通建设。今年3月,陈二线联合线建设完成,花3~5风机的绿电通过这条“高速公路”输送到十几公里外的陈堡采油班站。截至目前,该线路已输送绿电301万千瓦时。

风具有波动性和随机性。曹庄储能电站原先是通过削峰填谷,利用差价对油田生产节省动力费,现在更多的作用是存储绿电,在满功率情况下4小时可充两万千瓦时的电,保障150多台抽油机运行24小时。

随着“大风车”不断增多,为了实现有效运维,江苏油田新能源保障班组建立双岗值班制度,制定线路检修应急值班表,根据风机每日负荷监测情况,加大巡检力度,全力保障绿电输出畅通。巡检人员对同机型风机发生的故障分类分级,制定相应措施。维修人员利用贫风窗口期,积极开展变电站设备、线路维护检修,有效减少盛风期设备故障率,全力助推风力发电多发电。