

在滨海新区太平镇,17台迎风转动的“大风车”引人注目。2020年,一家央企在此建设了风电场。通过这些“大风车”,这家企业为千家万户供应绿电。今年12月,该风电场二期项目将投产,届时绿电量会“倍增”。而这正是天津发展风电的缩影之一。

近些年,我国风电发展已驶入“快车道”。去年,全国风电装机容量突破5亿千瓦。今年以来,我国风电装机容量继续攀升。截至今年4月末,该数据已达5.4亿千瓦。

作为国家鼓励发展的新能源之一,风电拥有巨大的发展空间。围绕这条产业链,不少企业正在加码布局。

# 大风车 转动下的绿电密码

## 两次升压并入电网 风机间距设计有讲究

见到孙华勇时,他正在天津龙源新能源有限公司(以下简称天津龙源公司)大苏庄二期风电项目现场忙碌。“大苏庄二期风电项目位于滨海新区太平镇,装机容量为72兆瓦(1兆瓦等于1000千瓦),将于今年12月投产。”天津龙源公司工程建设部主任助理孙华勇主要负责项目现场管理,他告诉记者,“未来投产后,该项目年均发电量预计超过1.8亿千瓦时。”

采访当日上午,20多名施工人员正在建设变电站。在大苏庄二期风电项目中,该变电站主要发挥升压作用。“该项目风力发电机的输出电压约为1千伏,先经箱式变压器升压至35千伏,再经变电站进一步升压至220千伏后并入电网。”孙华勇说。

天津龙源公司是龙源电力集团股份有限公司(以下简称龙源电力)的子公司,主要负责集团在津的新能业务。作为国家能源投资集团旗下企业,龙源电力是风电运营商中的“国家队”。截至去年末,龙源电力旗下各类型电力的总装机容量为4.11万兆瓦,其中风电装机容量占比超过七成。

自2011年8月首个在津风电项目投产至今,天津龙源公司已有4个项目投产,且全部分布在滨海新区。其中,装机容量达144.5兆瓦的马棚口风电场是这家公司目前装机容量最大的风电项目,该风电场位于滨海新区古林街道,年均发电量为2.56亿千瓦时。

大苏庄风电项目是天津龙源公司在津建设的第3个风电项目。其中,一期项目装机容量为37.4兆瓦,已于2020年12月投产。“那些都是大苏庄一期风电项目的风电机组,共有17台。”顺着孙华勇手指的方向,记者看到二期项目建设现场不远处有多台“大风车”正不停转动。布设风电机组是一门技术活儿。在进行风电场建设时,风电机组尾流、叶片长度、土地成本、风电场地形等因素均会影响各风电机组的间距大小。据孙华勇介绍,以大苏庄一期风电项目为例,相邻两台风电机组的间距为风电叶片长度的10倍至18倍,保持该间距正是为了让各台风电机组能够达到最佳发电效率。

与一期项目相比,大苏庄二期风电机组单机容量更大,且叶片长度更长。“比如,一期项目风电机组单机容量为2.2兆瓦,叶片长度为68.6米;二期项目风电机组单机容量为6兆瓦,叶片长度约100多米。”孙华勇告诉记者,由于二期项目风电叶片更长,因此塔筒(支撑风力发电机和叶片等)高度将从一期的100米增至140米。

按照项目进度安排,大苏庄二期风电项目的塔筒施工、叶片吊装等工作将在今年下半年进行。“二期项目塔筒将采用钢筋混凝土建设,地下桩基施工深度约为30多米。”孙华勇说。

在天津龙源公司推进大苏庄二期风电项目的同时,金风科技股份有限公司(以下简称金风科技)通过子公司北京天润新能投资有限公司(以下简称天润新能)在蓟州区杨庄镇建设50兆瓦风电项目。按照规划,该项目将于今年12月投产。

作为国内风电机组生产商之一,金风科技近些年依托子公司天润新能不断加码风电场投资与开发业务。“目前,公司在津共有3个在建风电项目,合计装机容量为150兆瓦。”天润新能天津分公司高级开发经理吴健对记者表示,截至今年4月末,公司在津已有4个风电项目投产,分别位于滨海新区、武清区和宝坻区,合计装机容量为140兆瓦。

## 项目投资成本明显下降 单机容量大型化已成趋势

伴随国内风电装机容量不断攀升,市场对于上游风电装备的需求也持续扩张。这当中,风电机组是最大受益者。

一般而言,风电机组包括发电机、齿轮箱、减速器、变流器、机舱、叶片、塔筒等众多部件。记者从一家国有风电运营商处获悉,目前,风电机组采购成本占风电场全部投资的比重最大,约为50%至60%。在采购风电机组时,该公司会与风电机组供应商签订质量保证协议,质保期通常为风电机组连续试运行完成后起两年至五年。如果风电机组在运行质保期内出现质量问题,供应商应按照约定支付一定比例的赔偿金额。

近些年,天津龙源公司规划发展部副主任刘海伟参与了多个风场的规划工作。他告诉记者,从过往他所参与的项目来看,陆上风电机组采购成本与安装成本约占风电场总投资的70%。如果是海上风电机组,该比重将更高。

据刘海伟介绍,目前,在天津开发陆上风电项目,投资成本约为5000多元/千瓦,较10年前(投资成本为8000多元/千瓦)已明显下降。在他看来,这主要因为风电机组价格大幅下降。

去年,上海电气风电集团股份有限公司(以下简称电气风电)有超过95%的营业收入来自风电机组及零部件销售。这家风电机组生产商援引第三方机构公布的数据显示,去年,如果不考虑塔筒成本,我国陆上风电机组加权平均价格降至1400元/千瓦左右、海上风电机组加权平均价格降至3000元/千瓦以下。

记者从一家国有风电运营商处获悉,今年4月,该

公司今年第一批陆上风电机组的采购均价超过2100元/千瓦。今年5月,一家央企旗下的新能源企业公布的风电机组价格显示,其选用的一款装机容量为14兆瓦的风电机组的价格为2585元/千瓦。

在国内风电机组领域,目前市场集中度较高。中国可再生能源学会风能专业委员会(以下简称风能专业委员会)发布的数据显示,以去年新增装机容量来看,排名前五的风电机组生产企业合计市场份额达75%。其中,金风科技、远景能源、明阳智能、运达股份、三一重能分列前五。

近些年,风电机组日趋大型化。去年,6兆瓦及以上风电机组已成为金风科技的主力机型,“公司的风电机组可适用于高温、低温、高海拔、低风速、海上等不同运行环境。”该公司称,在能源结构转型与“双碳”目标驱动下,风电机组大型化进程持续加速。

作为风电机组生产商之一,明阳智能也在推进风电机组大型化。截至去年末,该公司已完成最大至25兆瓦的产品谱系布局。其中,海上风电产品线已形成10兆瓦至25兆瓦大容量机组梯队。

风能专业委员会提供的数据显示,在2024年全年新增装机中,陆上风电机组平均单机容量为5.89兆瓦,海上风电机组平均单机容量为9.98兆瓦,均延续大型化发展趋势。

眼下,并非所有风电机组生产商均能实现核心部件完全自主生产,因此这将给部分厂商推进风电机组大型化带来挑战。“风电机组大型化、轻量化发展是行业趋势。”一家民营风电机组生产商负责人对记者表示,一些风电机组生产商使用的核心部件为定制件,上游供应商对于核心部件的升级能力将成为制约其风电机组容量升级的重要因素。

## 陆上风电占比超过九成 新能源电价市场化改革加码

能源绿色低碳转型行动是我国“碳达峰十一大行动”之首。围绕该行动,除了推进煤炭消费替代和转型升级等外,大力发展新能源是重中之重。其中,带有鲜明绿色特征的风电备受关注。

针对风电发展,自今年1月1日起施行的《中华人民共和国能源法》也有相关描述——国家推进风能、太阳能开发利用,坚持集中式与分布式并举,加快风电和光伏发电基地建设,支持分布式风电和光伏发电就近开发利用,合理有序开发海上风电,积极发展光热发电。

令人振奋的消息是,今年一季度,我国风电、光伏发电合计装机容量首次超过火电。国家能源局公布数据显示,截至今年3月末,我国风电、光伏发电合计装机容量为14.82亿千瓦,而火电装机容量为14.51亿千瓦。此外,今年一季度,我国风电、光伏发电合计发电量为5364亿千瓦时,在全社会用电量中占比达到22.5%。

近些年,我国风电发展已驶入“快车道”。据了解,我国风电装机容量分别在2021年、2023年、2024年突破3亿千瓦、4亿千瓦、5亿千瓦。截至今年4月末,该数据已达5.4亿千瓦。

当前,陆上风电是我国风电发展的“主力军”。国家能源局公布数据显示,截至今年3月末,陆上风电装机容量为4.93亿千瓦,占全国风电装机容量的比重超过九成。

今年,新能源上网电价市场化改革迈出关键一步。今年2月,国家发展改革委、国家能源局联合发布通知,明确要求推动新能源(包含风能、光伏发电)上网电价全面由市场交易形成。不仅如此,其还鼓励新能源发电企业与电力用户签订多年期购电协议,提前管理市场风险,形成稳定供求关系;指导电力交易机构在合理衔接、风险可控的前提下,探索组织开展多年期交易。

面对此番新能源上网电价市场化改革,一些风电企业相关负责人对记者坦言,新能源电力市场交易受供求关系、政策法规等多种因素影响,市场准入条件、交易价格政策等产生变化,将对企业经营收入带来不确定性,新能源稳价增收面临压力。

值得注意的是,国家发展改革委也明确指出,坚持分类施策,区分存量项目和增量项目,建立新能源可持续发展价格结算机制,保持存量项目政策衔接,稳定增量项目收益预期。据了解,今年6月1日是划分存量项目与增量项目的重要时间点。

记者从国内一家大型新能源公司获悉,去年,该公司风电平均电价为0.4532元/千瓦时,较上一年下降7.95%。近些年,该公司在国内不少省份均建有风场。数据显示,2021年至2024年,其风电平均电价依次为0.4877元/千瓦时、0.5136元/千瓦时、0.4923元/千瓦时、0.4532元/千瓦时。

■记者 韩启



## 部件聚焦

### 铺层耗时约6小时 风电叶片年产能可达800套

在天津中车风电叶片工程有限公司(以下简称天津中车叶片公司)堆场,一排排白色的风电叶片映入记者眼帘。“这里存放着30多套(每套3支)风电叶片,即将发给国内外客户。”采访当日,天津中车叶片公司副总经理王学花一边指着眼前的风电叶片,一边给记者介绍。

作为国内风电叶片厂商中的“国家队”成员,天津中车叶片公司成立于2010年6月,由中国中车集团旗下株洲时代新材料科技股份有限公司(以下简称时代新材)在北辰区独资设立。去年年报显示,时代新材风电叶片生产规模位居全球前三。目前,时代新材在国内共有九大风电叶片生产基地,而天津中车叶片公司正是其中之一。

走进天津中车叶片公司成型车间,记者看到一派热火朝天的景象。不远处,多名工作人员正在风电叶片模具里一层又一层地铺设玻璃纤维布。按照行内话来说,该工序叫铺层。成型车间相关负责人告诉记者:“铺层是生产风电叶片的重要工序之一,通常耗时约6小时。针对不同规格的风电叶片,从叶尖到叶根,工作人员少则铺十几层玻璃纤维布,多则铺上百层玻璃纤维布。”

每支风电叶片由壳体、大梁、腹板等部件构成。其中,大梁类似人的脊椎骨,可防止风电叶片断裂。据了解,由于风电叶片不同部位对性能要求不同,因此同一叶片的制造需要多种型号的玻璃纤维布。

在铺层之后,风电叶片生产将步入另一重要工序——灌注。据前述成型车间相关负责人介绍,灌注是采用“真空导入”方式将环氧树脂通过管道注入玻璃纤维布内,然后加热让材料性能达到设计要求后再固化成玻璃钢,整个过程耗时约6小时。

在完成铺层、灌注后,若想看到风电叶片雏形,还需进行合模,即用结构胶让两个模具内的叶片合二为一。不过,这样做出来的叶片还不能直接发给客户,仍需经历后处理、涂层等工序,进而实现“美容护肤”。

“公司以销定产,通常根据客户需要进行定制化生产。”王学花告诉记者,目前,天津中车叶片公司主要生产陆上风电叶片,年产能可达800套。

近些年,风电叶片日趋大型化。据王学花介绍,当前,天津中车叶片公司所生产的陆上风电叶片最长长度为108米。今年5月,天津中车叶片公司母公司时代新材自主研发的131米级海上风电叶片已成功下线,成为这家公司所开发、生产的最长叶片。

眼下,风电叶片的使用寿命为20多年。王学花告诉记者,原材料、气动外形、生产工艺等都是决定风电叶片质量的关键因素,进而影响其使用寿命。“自去年年底开始,我们探索使用碳纤维布生产风电叶片。相较于玻璃纤维布,使用碳纤维布生产的风电叶片重量更轻、强度更高,但成本也更高。”她说。

据王学花介绍,当前,已使用碳纤维布的风电叶片主要为海上风电叶片。



针对不同规格的风电叶片,从叶尖到叶根,工作人员少则铺十几层玻璃纤维布,多则铺上百层玻璃纤维布。

## 风电场运营

### 每台风电机组有300多个测点 3月至5月月均发电量高50%左右

走进天津龙源公司运行调控中心,一个面积达10平方米的大屏格外引人关注。从该大屏上,工作人员可获悉公司旗下各风电场风电机组的实时运行状况。

“包括电压、功率、发电量、叶片转速、发电机温度、风电机风速等在内的众多数据均会在大屏上动态显示。”天津龙源公司运行调控中心主任王长春告诉记者,截至目前,公司在天津已建设了4个风场。以最早投产的马棚口风电场为例,该风场于2011年8月投产,装机容量为144.5兆瓦,年均发电量为2.56亿千瓦时。

在首个风场投产时,天津龙源公司尚未设立运行调控中心。据王长春介绍,当时,公司在马棚口风场设立了集控室,而该集控室仅监控该风场风电机组的运行状况。这种情况一直持续到第3个风场投产后。2021年1月,天津龙源公司设立统一的运行监控中心,取代了以往通过在风场设立集控室的分散运营管理模式。2023年12月,为进一步优化人力资源配置、提高运营效率,天津龙源公司又将运行监控中心更名为运行调控中心。

天津龙源公司运行调控中心之所以能实时掌握各风场风电机组的运行状况,是因为该公司在风电机组上布设了不少传感器和摄像头。“每台风电机组上大概有300多个测点。”王长春对记者坦言,除了每3个月进行一次现场巡检外,公司主要依托运行调控中心数字化系统对风电机组进行远程巡检和跟踪分析。自公司首个风场投产至今,风电机组所遇到的故障主要是高温故障。比如,每年上半年,飞絮常常会堵塞风电机组的散热通道,进而引发故障。

通过长时间观察,王长春发现,每年3月至5月,公司旗下风场风电机组的月均发电量较其他月份高50%左右,而与风场所在区域的风速变化密切相关。据他介绍,目前,一些老风电机组的切入风速(风电机组发电所需的最低风速)为3.5米/秒,而一些新风电机组的切入风速为2.5米/秒。

此外,不同风电机组的满发风速也不相同。“以马棚口风场的风电机组为例,其投用时间较早,满发风速为10米/秒。对比来看,近两年,我们采购的大功率机组的满发风速为8.5米/秒。”王长春说。

本版图片均由受访者提供