

国产风电技术是如何突破的

——湖南产业协同攻关发展调查

本报记者 谢瑶

在国家“双碳”目标和积极产业政策引导下,我国风电技术不断进步,处于国际领先水平,相关产业呈蓬勃发展态势,正逐步成为我国新型电力系统的主力军之一。湖南作为科教资源大省,聚焦风电装备创新发展需求,创新产学研转化形式,不断发力风电技术与装备研发,一批突破性成果相继落地。湖南在风电领域的“产学研用”协同攻关是如何成功推进的?

从山间到草原,从沙漠到高原,从陆地到海洋,一架架“大风车”拔地而起,迎风转动……从曾经依赖进口,发展到如今在机组大型化、低风速风机技术等方面全球领先,我国风电产业从无到有、从小到大,从弱到强。目前,我国是全球风电产业规模最大的单一市场,也是全球最大的风电装备制造基地。

根据国家能源局最新数据,截至今年6月底,我国风电装机3.89亿千瓦,连续13年居世界第一。目前,全球市场近六成风电设备产自中国。这其中,大型低速直驱永磁风力发电关键技术、大型风电机组提升服役性能关键技术、海上风电变压器关键技术……我国风电领域一批重大创新成果均出自湖南。为何在湖南?这些突破又是如何实现的?

从零起步

在湖南大学电气与信息工程学院1楼,几台风力发电机模型格外亮眼,这些都是学院风力发电系统研究团队“追风”25年自主研发的创新成果。“这是我们在研制的‘20兆瓦级海上新型风力发电机组’,是目前由国家重点研发计划批复立项的全国在研最大容量风电机组。”团队带头人黄守道教授指着一个黄色底座的风电模型告诉记者。

发电机是风能转化的核心装备。上世纪末,我国只能生产750千瓦以下风力发电机,安装的大型风电机组95%以上是从国外进口的。黄守道表示,“风电是国家未来发展的需求,风电规模化开发利用迫切需要兆瓦级风力发电机。作为电气专业科研人员,我们有能力也有义务掌握大型风力发电技术,做出自己的大型风力发电机。”

1998年,黄守道和同事王辉、罗德荣研究了国内外风力发电技术和市场情况后,组建了湖南大学风力发电系统研究团队,这也是我国最早的风电研发团队之一。团队成立之初,各方面条件都不成熟,也没有可以模仿的对象,那就从零起步,从风力发电最基本的理论研究开始。

大型直驱永磁风力发电机摒弃齿轮箱,传动简单、可靠性高,能提高风能利用率,降低造价和并网成本,是20世纪初世界风电领域大力推崇的新技术。“在传统增速型风电机组技术上追赶风电强国周期长、掣肘多,不如直接研制新一代兆瓦级大型直驱永磁风力发电机。”研究团队通过长期调研和反复论证,一致认为这一新技术是追赶甚至赶超的机遇。

在湖南电机厂有过10年生产一线研发经验的黄守道明白,大型直驱永磁风力发电机的研制是一项艰巨的系统性工程,仅靠在学校搞研究是无法成功的。2003年开始,他带领团队往返于各个企业和高校间,与湘电股份、南车株洲电机、湘电风能等企业联合组建“风力发电产学研用联盟”,共同攻克大型直驱永磁风力发电机低风速启动、强振动抑制、宽风域高效运行等研制难题。

2006年,国家“十一五”科技支撑计划重大项目“1.5MW以上直驱式风电机组永磁发

电机的研制与产业”和湖南省科技重大专项“2兆瓦级以上风力发电机组和关键部件的研制及产业”获批,兆瓦级永磁风力发电机的研制进入加速阶段。“获得国家重大科技任务的支持让团队既兴奋又紧张。紧张的原因是2兆瓦级的风力发电机不仅我们没有做过,全国范围内也无人尝试,要按时完成任务面临巨大挑战。”黄守道说。

时间紧、任务重,项目批复后,所有人便开始了紧张的研究工作。经过几百个昼夜的攻关和几次方案迭代,2007年11月,由“风力发电产学研用联盟”自主研发的国内单台最大功率2兆瓦直驱永磁风力发电机在湘电股份厂房下线,标志着湖南进入世界风电装备制造领域的先进行列,确立了湖南在国内风电领域的领先地位。

“做出自己的大型风力发电机”并不是终点,通过自主创新实现产品迭代升级是关键。“2兆瓦发电机最初批量安装在一类、二类风区,但我国的实际情况是,平均风速6米/秒以下的三类、四类低风速区占比超过60%。这就需要不断提升发电机在低风速下的启动能力,才能使风力发电机产品在后续风电规模化开发中具有竞争力。”参与研制的湖南大学教授高剑回忆道,面对新需求,大家又开始攻克兆瓦级直驱永磁风力发电机低风速启动关键技术,对发电机进一步优化升级。

参与研制的湖南大学副教授黄科元告诉记者,齿槽转矩是发电机启动必须克服的阻碍,低风速时叶轮驱动转矩小,发电机难以启动。而兆瓦发电机磁极数多,需要克服的转矩大,消除十分困难。经过无数次推导分析后,团队发现了降低齿槽转矩的关键在于抑制齿槽转矩谐波,并提出了分单元偏移的齿槽转矩削弱方法,将磁极分组偏移一定角度,使齿槽转矩相位相反,相互抵消,终于实现了发电机齿槽转矩降低65%,实现了2.4米/秒的低风速启动,技术国际领先。

之后,“风力发电产学研用联盟”开展了更为广泛的产学研合作,进一步攻克了大型直驱永磁风力发电机强振动抑制、宽风域高效运行等关键技术,不断优化发电机可靠性、运行效率等性能指标,并协同研制出1.5~6.7MW系列化直驱永磁风力发电机,系列发电机出口美国、德国等20多个国家,在全球400多个风电场总装机达2.7万多台(套),实现直驱型风力发电机累计装机份额全球第一。

2019年,由湖南大学、湘电风能、中车株洲电机等单位共同完成的“大型低速高效直驱永磁风力发电机关键技术及应用”创新成果获得国家技术发明奖二等奖。

创新成果有力推动了风力发电产业的发展。据统计,“十三五”期间,仅中车株洲电机、湘电风能、湘电股份3家在湘企业,直驱永磁风力发电机组相关生产效益就接近500亿元。

升级换代

10月10日,“风电机组服役全周期质量评估与调控技术研究”年度进展研讨会在湖

今年前三季度 全国风电新增装机容量 3348万千瓦

其中 陆上风电 3205万千瓦 海上风电 143万千瓦

截至9月底

全国风电累计装机 突破4亿千瓦

同比增长15% 其中 陆上风电 3.68亿千瓦 海上风电 3189万千瓦

南长沙召开。项目通过实施,截至目前,已在风电机组服役质量评估方法、多时间尺度动态调控技术、服役质量数字孪生平台开发等方面取得阶段性突破,立项国际标准和行业标准7项。

风电,是构建新型电力系统不可或缺的电源。2010年以来,我国风电累计装机已跃居世界第一位,产业核心需求由装备“自主研发、规模化装机”转变为装备“升级换代、高质量服役”。这对风电领域提出了新要求,不仅需要大型风电机组的高可靠运行和维护质量控制技术进行研究,还需要进一步研制具有更高可靠性的大型风力发电机。研究对象也不再只限定为直驱永磁型这一类,还包括已广泛装机的双馈型机组、半直驱永磁型机组等其他类型的机组。

为此,湖南“风力发电产学研用联盟”组建了更为广泛的“全国性产学研用联盟”,新增了时代新材、华电集团、上汽风电、中车风电等风电机组关键零部件、整机厂商和风电场运营企业。

2016年,由湖南大学、湘电股份、中车株洲电机、湘电风能、中机国际等13家高校、研究所和行业龙头企业共同承担的国家重点研发计划项目“重大复杂机电系统服役质量检测监测及维护控制质量控制技术研究”立项。

经过4年的协同攻关,项目突破了大型风电机组高密度复合传感、多源信息融合与实时处理、强容错设计与运行等关键技术,产学研协同研制出系列化高服役性能7兆瓦至12兆瓦永磁风力发电机组、智能化风电机组故障预警与质量维护控制平台等产品。

技术进步带来的直接效果是风能利用率不断提升。产品应用于全国200多个风电场上万台风电机组,避免了上千起风电机组重大事故发生,助力风电场年发电量提升2%至4%,共计为应用企业降低电量损失6300多万千瓦时,节约维修成本3.2亿元。

作为风电机组服役质量的延续,2022年,“风电机组服役全周期质量评估与调控技术研究”立项,着力开展风电机组服役性能提升的研究。

项目负责人、湖南大学教授黄晨介绍,下一步,项目将着力构建风电机组“检测监测—评估—调控”的服役质量管理与效能提升优化闭环,进一步开展标准研制和系统平台的示范应用,力争实现风电机组年发电量提升5%,为风电机组运维决策提供技术保障和标准支撑,推动风电集群化开发。

扬帆海上

从山东海阳市海阳港启程,经过一个半小时的海上航行,会在离岸约25公里处望见一个近250米高的“巨人”屹立在大海中,塔筒高耸,叶片随风转动。这是中国中车首台海上风力发电机——“海平面1号”10兆瓦风机。

作为此项目的承接单位,中车株洲电力机车研究所有限公司风电事业部研发团队解决了设计、制造、运行、吊装过程中的各项难题。他们在样机生产和吊装过程中,长期驻扎制造基地与海上施工现场。“整个研发过程中,我们遇到不少‘疑难杂症’,比如传动链的具体型式、发电机的电磁方案、布局方式、海上环境适应性解决方案等,我们不断与内外部团队沟通,最终定下来一个最优方案。”中车株洲所风电事业部技术中心主任、项目经理王磊告诉记者,一群“旱鸭子”要“出海”,尽管困难和挑战前所未有,但仍然群策群力逐个攻破难题。

2022年11月24日,“海平面1号”完成吊装,12月7日并网发电,填补了中车在海上风电领域的市场空白,2023年4月27日样机发电量超过1000万千瓦时,刷新了历史纪录。2022年,中车株洲所携手湖南大学进一步开展“深远海超大功率直驱永磁海上风电机组关键技术”攻关,立项18兆瓦半直驱永磁风电机组研发。

风从海上来,电送千万家。这只是湖南向海上“扬帆”,开启风电海陆并进的一个缩影。近年来,我国海上风电产业发展迅猛,已进入规模化开发阶段。未来5年,我国将在优化传统陆海风电的基础上,大力开发边境荒漠、戈壁地区和东南沿海地区的风电资源,推动风电在中国能源体系中比重的上升。在深海、深空、深地、深蓝等领域积极抢占科技制高点,湖南积极迈向“深远海”,在风电创新最活跃的领域发力。

作为国内输配电重大装备的龙头企业,特变电工衡阳变压器有限公司2022年携手湖南大学开展“深海风电输电核心技术”攻关,立项世界首台330kV及以上海上风电平台用变压器及电抗器等6项卡脖子技术攻关,同时,攻克并掌握400kV及以上高变比柔直分裂变压器关键技术。

“我们经过协同攻关,成功研制出世界首台330kV及以上海上风电平台用变压器及电抗器,填补了行业空白,达到国际领先水平。”特变电工衡阳变压器有限公司副总监李瀚如介绍,330kV大容量海上升压站主变压器应用于我国首个330kV海上风电项目三峡新能源阳江青洲六海上风电项目,采用自主研发+产学研合作的技术路线,攻克高电压大容量绝缘可靠性、抗斜摆技术、防腐设计技术、运维的免维护设计技术、小型轻量化设计技术等关键核心技术。

项目设计生产的500kV大容量三相一体并联电抗器是目前国内厂家生产的电压等级最高、容量最大的海上风电项目,也是世界首台500kV三相一体海上升压站电抗器。这是我国海上风电一次设备实现国产化战略的又一次重大突破。电抗器在阳江青洲二期海上风电项目工程成功应用,项目建成后,每年可提供清洁电能36亿千瓦时,与同等规模的燃煤电厂相比,每年可节省标煤消耗约105万吨,减排二氧化碳约278万吨。

海上风电加速向深远海,浮式风电更加适合更大更深的场址。2021年起,湖南大学风力发电系统研究团队开始20兆瓦深远海漂浮式风电机组产学研合作。经过1年多时间,组建了由湖南大学、武汉科技大学、华北电力大学、哈电风能、山东中能华源等构成的产学研团队,设计了VX型双叶轮结构,提出了具有风能利用系数高、重心可调、轻量化与低成本等特点的20兆瓦级深远海漂浮式新型风电机组技术方案。2022年,“20兆瓦级海上新型风力发电实现机理及关键技术”项目获国家重点研发计划项目立项支持。

“相比固定式风电,海上漂浮式风电具有海域适用范围广、对海底地质条件限制少等优势,使得海上漂浮式风电逐渐成为深远海风电开发的首选技术路线。”黄守道介绍,团队正在研制的20兆瓦级深远海漂浮式新型风电机组的结构,在形式上产生了显著变化,加之新型材料的应用,团队原有1.5兆瓦至12兆瓦风电机组的技术逻辑和技术路线已不再适用,必须通过底层技术革新,走出一条风机大型化的崭新之路。项目一旦研制成功,一台机组每年可输出超8000万千瓦时的绿色电力,满足4.4万户家庭一年的用电量。

2023年,哈电风能、湘电股份、湖南大学作为共同依托单位,获批重组建设“海上风力发电装备与风能高效利用全国重点实验室”。未来,围绕国家实现“双碳”目标的要求,湖南在风力发电技术与装备研发上的探索还将继续深入。

今年前三季度

全国风电发电量

6305亿千瓦时

同比增长16%

全国风电平均利用率

97.1%

同比提升0.6个百分点



中车株洲电力机车研究所有限公司研制的首台海上风力发电机组“海平面1号”在山东海阳成功吊装。(资料图片)



图为特变电工衡阳变压器有限公司制作的国内首批500kV电抗器在粤电阳江青洲550kV海上升压站现场安装。(资料图片)

多元点评

目前,风电发展面临巨大的机遇与空间,我国风电装备制造技术、开发建设技术、运维管理技术和综合利用技术等进入新的发展阶段。

装备制造技术方面,大型化模式亟待变革创新。未来,在20MW、30MW风机的研发上,需在风机结构形式和新型材料应用等方面进行底层革新。大型化发展模式亟待变革,双机头风机、多叶轮风电系统等技术发展方向兴起。开发建设技术方面,由近海走向深远海。在深远海开发背景下,漂浮式基础将成为深远海风电主流结构。但现阶段漂浮式风电建设成本高,经济型漂浮式风机的研制成为重点。运维管理技术方面,智能化集群化凸显。信息化、大数据被迅速引入风电开发利用的各个环节,风电场智能化运维管理成为主要发展方向。在国家“建设大基地、融入大电网”的风电发展思路下,风电运维管理技术朝“集群化”方向发展。综合利用技术方面,多能融合蓬勃兴起。近年来,在“多能互补、融合创新”能源利用理念下,诞生了“能源岛”“漂浮式风电+海洋牧场”“漂浮式风电+海上制氢”等海上风电新模式。

风电进入蓬勃发展时代,迫切需要进一步深化产学研融合发展,为实现风电产业高质量发展提供保障,助力构建新型能源体系。

强化风电产学研融合发展的技术攻关。通过国家科技任务引领,组织风电领域优势高校、企业、科研院所,加强20MW级及以上新型风电机组、经济型漂浮式风电、风电集群智能调控、海上风电制氢技术等方面的联合攻关,全面促进风电装备制造、开发建设、运维管理和综合利用的全链条技术进步。

积极搭建跨学科产学研用科技创新平台。充分利用现有风电全国重点实验室、工程技术研究中心、产业技术创新联盟等平台,并进一步搭建风电跨学科产学研用新型研发机构、国家技术创新中心等平台,促进学科融合发展,提升创新能力。

增强风电装备产业园和基地的产学研用服务能力。风电装备产业园(基地)是产学研用的重要载体,目前国内大型海上风电装备产业园(基地)已超过20家。需积极引入高水平科研机构与行业领军人物,并加强与高等院校的合作,推动园区(基地)产学研一体、产业升级,提升园区(基地)的服务能力。

(作者系湖南大学教授、海上风力发电装备与风能高效利用全国重点实验室主任)

本版编辑 王薇薇 闫伟奇 美编 王子莹



图为湖南大学正在牵头研制的20兆瓦级海上新型风力发电机组模型。(资料图片)