



李会勋和同事在6兆瓦风电机组安装时一起工作的合影



和本报记者的合影



风机设计师李会勋：

弄风戈壁上 擎旗碧海中

□本报记者 李婧

优点呢？

研发团队经过再三研究，最终选择了“半直驱”设计理念，对两项技术进行折中，使用故障率很低的两级齿轮箱和中速发电机。这样，发电机体积远小于直驱机组，而磁钢用量只有直驱机组的五分之一，大幅度降低成本。

2009年10月，金风科技在达坂城风电场竖起了第一台半直驱3兆瓦样机。对此，李会勋印象最深刻的是风机的安装。“在车间，最难装的是轴系的安装。轴承的直径七八百毫米，要把这个轴承和主轴套装好后，插入进底座。这两个家伙，每个都有十几吨。最后我们的方案是，将底座放在地上，用吊车将轴承吊起来，对准底座上的孔插进去。整个风机仅安装就安装了一个月。”李会勋介绍，3兆瓦的风机在安装时还发生了一点意外，“当时用了最大的吊机650吨，安装的时候吊机的钢丝出现滑丝。一百二十多吨的机舱差一点就从高空摔下来，幸亏钢丝没有断，机舱被悬在半空，当时惊我们一身冷汗。”

当3兆瓦的风机开始在达坂城的风中由慢到快缓缓转起来时，研发人员在戈壁上跳起来。“我们当时很兴奋又很担心。真怕这个大脑袋转着转着掉下来。”李会勋说，当时达坂城的风机的叶轮直径大多数都是直径三四十米的。而3兆瓦风机的直径有100米，在戈壁滩上鹤立鸡群，是风机大哥哥，比那些小弟弟高大太多。3兆瓦半直驱风电机组是当时国内容量最大的风电机组。

2010年，团队还对3兆瓦风机进行了改进，叶片直径达到115米。这么大这么沉的叶片，对风机的稳定性

是中国风电企业首次自主研发一项新型风电技术。因为是第一次，许多技术要自己摸索。比如，载荷计算、控制和结构设计。生产车间如何组装……都是自己做的方案和设计。一开始我们团队都不知道该怎么着手。”研发团队在新疆的基地加班加点，李会勋根本想不起加班的细节，因为“这是一种常态的生活，就是上班，躺下睡觉，醒了接着上班。”

在普通人眼里长的都差不多的叶片，在专业人士眼里，其形状是复杂的空气动力学造型，每一个型号的风机都有不同的叶片。“风机是美国人发明的，最早的风机是平板设计，效率很低，后来丹麦人在设计风机叶片时采用了空气动力学概念。这一百多年来，风机叶片的直径不断上升，形状千变万化。我刚参加工作的時候，大部分风机都是600千瓦以下的，叶片只有十几米长。我们后来研究出的3兆瓦风机叶片大约有50米长，叶轮直径超过100米。是当时国内最大的风机。风机的重量和尺寸越大，安装难度、研发难度和制作成本就会越高。”

另外，还有风机的轴承。当时，业内流行“齿轮箱”技术。就是叶轮先与齿轮箱连接，齿轮箱再与发电机连接。齿轮箱需要定期维护，但其稳定性强，造价低。另一种技术叫“直驱”技术，与“齿轮箱”技术不同，“直驱”设计不需要齿轮箱，由风轮直接带动发电机转子旋转，不会有齿轮箱的机械故障，切入风速低，发电效率高，大规模并网后容易体现其稳定性和经济性。但其弊端是造价高，工艺复杂，还要耗费大量稀土制作的磁钢。另一个长期隐忧是，直驱机型体积较大，不利于大型化。怎么做才能兼顾两者的

风能发电相较于传统的火力发电更清洁，更环保。是新能源发展的方向之一。然而风能发电机组的研发工作却是艰苦单调的。首都劳动奖章获得者李会勋从事风能机组设计研发工作12年，2010年他参与研究当时最大的风电机组——3兆瓦风机，获得成功。2018年年初，工程师李会勋作为主设的6兆瓦风机屹立海上，正式开启“大容量”机型国产化时代。

从业多年，他的工作不是守在人迹罕至的戈壁进行设计测算，就是在办公室里苦思冥想做风机设计，要不就是在密集大型设备的车间为风机安装加班加点，甚至要到海上参与海上风电机组的吊装，与船员同吃同住，克服不能洗澡和晕船的压力。李会勋的经历就是风能研发工作者的生活缩影。

在乌鲁木齐去吐鲁番的途中，在通往丝路重镇达坂城的道路两边，有上千台风力发电机，也就是普通人眼里的“大风车”。在空旷的沙地上，在湛蓝的天空下，这些由三个纤细叶片和如树干一样的塔筒组成的大风车，迎风飞转，神秘美丽。普通人看到达坂城风力发电站，都会被美景所吸引，而作为风电工程师的李会勋与常人不同，他看到大风车后，想到的是一座大风车每一转产生的电能，能让一匹的空调开5到10个小时，能让普通的家用冰箱运行5到10天；他想到的是，怎样才能让大风车的叶片更大，转动有力；他要想的是让大风车不仅能在地上转，还能在海上转，将刮过海平面的海风利用起来，这风更稳定，更大，而且不占土地……

与戈壁上的“大风车”结缘

2006年，25岁的李会勋从广西大学机械专业研究生毕业，进入北京金风科创风电设备有限公司成为了一名工程师。风能发电更清洁环保，是未来能源发展的方向，现在经常见诸报端，而12年前的李会勋对风电机组了解不多。最让他没想到的是，本来以为自己在北京找了个工作，刚办理完入职，单位就通知他，“小伙子，去新疆吧。达坂城风力发电站是我们的客户，我们的产品和研究都在那里。”

2007年，在新疆工作的李会勋加入了3兆瓦风机的研究团队。当其他同期入职的同事一批批返京，他和团队的另外十几个人留在了戈壁滩，继续研究。李会勋在新疆一呆就是4年。

“我们4年都在做3兆瓦风机的研究，日常就是上班，睡觉，和家人打电话，没有特别的记忆。”李会勋说。37岁的李会勋有着理工男的所有典型特征——精于专业而不善言辞，关于新疆的生活，他只说了这一句。说到对达坂城的印象，其他人可能会说“风景优美”、“碧空万里”，甚至会吟出“大漠孤烟直，长河落日圆”的诗句，而李会勋对戈壁滩的印象是——“地广人稀，风大，而且风向风速都比较稳定，适合风力发电。”

然而涉及到专业，李会勋的木讷消失了，为了让记者弄明白风车的结构，他用碳素笔在笔记本上迅速画出了风机的各个组成部分——风机是由叶片、轴承、塔筒组成的。然后滔滔不绝地介绍起风机各个结构的作用，“叶片，你看就是这三个，这些叶片装在轴承上，轴承装在塔筒顶端的机头上。塔筒就像树干一样埋在土地里……”

3兆瓦风机诞生记

在普通人眼里，这些大风车长得都差不多，设计有啥难的，这难道不是照葫芦画瓢吗？但是，李会勋介绍，风机是一项严谨精深的技术，研发过程异常艰辛。“风机由气动、机械、电控等系统组成的；除了机械之外，还有气动、载荷和电气的整体控制。”李会勋介绍，他刚入职时，风机大多都是从国外引进，“国内风机公司需要缴纳几千万的技术转让费。金风在新疆启动的3兆瓦的半直驱式变速恒频风机的研制

备，这个小零件能紧紧咬住叶片，让叶片固定。为了更稳妥。在安装时，团队还启用了盘车工艺，以控制叶片的转动。“在盘车工艺方面，我们想了很多招儿，一开始想用链条或者齿轮，但是这样做工艺复杂难以实现，后来采用了液压的方式。”

同时，风机设计中增加了抗台风的设计。金风和气象台合作，了解台风的特性，将风机控制在台风对机组影响最小的位置。同时，李会勋等研发人员还为了增加机组本身的强度想尽了办法。

开启中国人的海上“大风帆”时代

2018年1月，金风6兆瓦风电机组进入吊装阶段。样机将要竖立在福建兴化湾实验风电场，这里还有多个国内外公司的海上风机。而李会勋等人设计的这款6兆瓦风机在功率上、体积上和技术上都是数一数二的。

李会勋等设计人员要跟随出海完成吊装过程。设计人员、船员、工程人员等都都在一条自升安装船上，这艘船没有足够的床位。冬天的海上，寒风刺骨，李会勋等设计人员穿着厚厚的冬衣，累了就在餐厅的凳子上和衣而卧。船上缺少没有洗澡的设备和淡水，在整个儿的吊装阶段，大家都坚持着，十几天没有洗一次澡，“最后我都能听见自己身上的怪味儿了。”李会勋不好意思地说。

2018年2月，在大型吊车共同作用下吊装成功，李会勋和同事们兴奋地在船上欢呼起来。在浩瀚的海面上，6兆瓦机组像一个伸开长臂的巨人。6兆瓦机组是国内也是国际上叶轮直径最大永磁直驱机组。每转一圈能产生10度电，每分钟叶片转11.5圈。

据介绍，6兆瓦机组的研发意味着我国海上风电正式开启“大容量”机型国产化时代，打破了我国海上风电“有资源、无产品”的局面。而李会勋又随即投入到了8兆瓦的风电机组的研发当中。

6兆瓦风机在江苏大丰的车间完成组装。“我在江苏大丰的组装车间呆了两个月，团队其他同事也一样。风机的机头部分重达400多吨。轴承直径3.6米。先要把轴承加热，加热到100摄氏度，需要十几个小时。让轴承膨胀，再把轴承用吊车吊起来安装进去。这样逐渐冷却以后，两部分就能装配在一起。加热需要十几个小时，我们都在车间守着。”

在6兆瓦风机在车间组装的时候，李会勋的女儿因高烧在北京儿研所住院，妻子火急火燎地给他打电话说，医生初步诊断孩子可能免疫系统有问题。李会勋一个人坐在车间想了很久，还是没忍心和领导请假。好在两天以后，妻子又打电话给他，孩子并无大碍。

攻克海上大风机难题

难题一个个被攻破：为了对抗海上高盐、高湿、高腐蚀的环境，设计人员在风机机舱内安装了机组里面环境控制的系统，能控制机头内的空气湿度和温度，还设置了类似空气过滤器的装置，过滤进入风机的海上空气，去掉盐分。过滤网需要定期更换，与家用的空气净化器一个道理。有了这样的设备，大大缩小了海上空气对风机的腐蚀性。为了提高轴承的使用寿命，风机内加装了冷却设备，用于给转动的轴承进行降温。

海上大风有时候会达到七级。如果按照常规，先把风机竖起来，再将叶轮安装到机头上，如何抗拒大风是一个大问题。设计人员设计出“夹片”这个设

是个考验。事实证明，直到2017年被拆除，3兆瓦风机的稳定性达到99%。

挑战6兆瓦大风机

2010年，李会勋身上揣着达坂城风电场的图册，回到北京。2011年，他成为6兆瓦风机的主设。金风6兆瓦机组叶轮直径涵盖154米到184米，额定功率从6.3兆瓦到8兆瓦，是个名副其实的“大块头”，“154米到184米叶轮直径，是个什么概念呢？以前我们做3兆瓦的时候，曾经用足球场来做过类比，3兆瓦风机的轮径相当于一个足球场。而6兆瓦风机的叶轮直径（风叶转起来形成的圆圈直径），已经超过了足球场。相当于两架380客机的翼展长度。”

随后记者在6兆瓦风机的安装录像中曾经看到，巨大的叶片竖起来二十层楼高，要用大型卡车进行运输。

不仅个头大，6万瓦风机主要应用于海上风电。对于李会勋等设计人员来说，这是个大挑战，海上的环境是高盐、高湿的，如何让风机抗腐蚀？海上的风力很大，如何在安装时让叶片保持稳定？如何让机头和塔架连接得更牢固？如何让风机对抗海上的台风？李会勋和团队前后总结整理了6兆瓦机组设计中350多个需要解决的问题。

李会勋和团队的同事们在江苏省大丰市的试验台熬过了一个接着一个的加班日子，试图解开一个接着一个的难题，很多想法都是经过不断论证和测试。每周6天工作日每天12个小时以上的工作时长成为惯例。

2012年，6兆瓦风电机组完成详细设计。2013年，