

风机自爬升起重机探讨

Exploration and Discussion on Self-climbing Crane for Wind Turbine

刘石坚 黄加佳 石川

Shijian Liu Jiajia Huang Chuan Shi

三一集团有限公司, 中国·湖南 长沙 410100

SANY Group Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410100, China

【摘要】本文对风电机组自爬升起重机的发发展现状进行了介绍,阐述了自爬升起重机的优势。在风电平价上网、风火同价的压力下,自爬升起重机的应用可以在一定程度缓解风机全生命周期的成本压力。本文同时对我司自爬升起重机的研发历程进行了简单描述,最后点明了自爬升起重机的设计难点,为后续研究提供了参考价值。

【Abstract】This paper introduces the development status of self-climbing crane for wind turbine, and describes the advantages of self-climbing crane. The application of self-climbing crane can relieve the cost pressure of wind turbine whole life cycle under the pressure of wind power parity access and same price for wind power and coal-fired power. This paper also briefly describes the research and development process of self-climbing crane in SANY. Finally, it points out the design difficulties of self-climbing crane and provides reference value for subsequent research.

【关键词】风机;自爬升;起重机

【Keywords】wind turbine; self-climbing; crane

【DOI】<https://doi.org/10.26549/gcjsygl.v3i1.1276>

1 引言

随着世界各国对能源需求的不断增长和环境保护的日益加强,发展清洁的可再生能源已经成为确保能源安全和缓解减排压力的重要措施。风能由于具有清洁、可再生、永不枯竭、储量丰富、开发技术成熟等特点,受到了世界各国的高度关注^[1]。中国从2005年颁布了《可再生能源法》后^[2],风电装机呈现出快速发展态势,一度新增风电装机容量和累计风电装机容量均居世界第一。风电的迅猛发展,得益于中国国家发改委制定的风电标杆上网电价政策,但一个行业不能长期依赖补贴发展,标杆电价在2015年、2016年进行了两次下调,并预期今后实现风电平价上网^[3],被迫接受与火电同价。风电平价上网,将对风电运行企业、电网企业和风电设备制造企业带来不同程度的压力,降低发电成本势在必行,包括风电的建设、运维、设备等全生命周期成本。

风机吊装作为风电工程施工、运维过程中的重点和关键内容,目前陆上风机吊装主要依赖大型履带起重机或全地面起重机,如图1所示,我司140米样机使用1250吨履带吊装;海上风电吊装主要依赖大型海上吊装船,如图2所示。



图1 1250吨履带起重机吊装



图2 海上风机吊装

两者普遍存在设备价格昂贵、吊装施工成本高、起吊高度受限等问题,履带吊还存在运输和转场不便、安装效率低、工人劳动强度大等问题。大吨位履带吊和海上吊装船数量匮乏,往往需要提前很久预定,可使用的无法保证。此外,一方面在风机成本不断降低的压力下,风机单机容量不断增加,轮毂中心高度不断增高,传统吨位履带起重机或全地面起重机已经很难满足陆上风电设备的吊装,动辄需要千吨级以上的履带起重机,导致吊装资源严重不够,风场建设成本剧增;另一方面随着后期风电维修保养周期的到来,大型履带吊不仅使用费昂贵,每次还需要40-60万的进场费,如果不具有高效且价格较低的维护、维修装备,将严重制约风场的正常运行。在此背景下,维斯塔斯、三一重能等企业开始研究风机自爬升起重机,旨在突破传统的吊装方式,大幅降低风场建设、维护成本,为风火同价压力下的风电企业缓解成本压力。

2 各国发展现状和趋势

目前,世界各国暂没有风机自爬升起重机进行商业推广,均处于技术开发阶段。维斯塔斯于2010年提出了一种维修起重机,如图3所示,具备自爬升起重机雏形,据维斯塔斯官方公告,目前正处于实验验证阶段。该起重机长10米、高2.9米、宽3.3米,重量达53吨。其工作原理是从机舱中垂下一根缆绳,将一个滑轮组吊入机舱固定,然后用滑轮组将起重机吊至塔筒顶部,如图4所示,抱住塔筒后就可以吊装需维修小件;2014年,三一重能开始启动自爬升起重机开发项目,同年开发了抱箍式自爬升起重机样机,样机重量达60吨,于2016年进行了轨道式自爬升起重机和新型塔筒结合的攀爬式自爬升起重机技术储备,其设计最大起重量为6600kN.m。2016年,中国河南省纽科伦起重机有限公司研制了一款抱箍式风电维修起重机样机,其最大额定起重量为8吨;同年,Lagerwey公司提出了一种多油缸攀爬的维修起重机,如图5所示;2018年,全球领军吊装运输公司玛姆特和MECAL联合宣布将推出风电安装起重机和风电维修起重机两款起重机,如图6和图7所示。



图3 维斯塔斯维修起重机

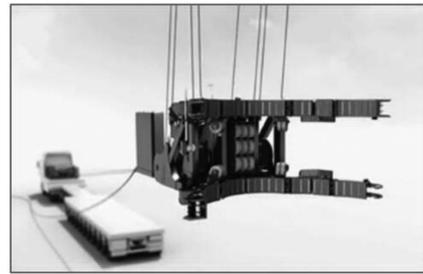


图4 维修起重机安装



图5 Lagerwey维修起重机



图6 风电安装起重机



图7 风电维修起重机

随着风机轮毂高度、单机容量的增加以及后期风电维修保养周期的到来,新型起重机和吊装方式的需求将得到爆发式的增长。一些吊装企业已经发现这一需求,比如利勃海尔开发了重型塔吊,目前最大起重量125米,幅度为9米,已用来施工Maxbog1的140米混凝土塔筒,其最大缺点是需要提前做好专用基础,并且其效率也较低,一些风电企业则重点关注自爬升起重机的研发。自爬升起重机以其整机造价低、运输及转场便捷、起吊高度不受限制、对作业场地要求不高等优势必将成为未来发展趋势之一。

3 风机自爬升起重机的优势分析

风机自爬升起重机突破了传统风机吊装作业方式,尤其在分散式风电场开发和风机后市场维护中具有显著优势,可以产生巨大的经济效益,自爬升起重机的作用可以贯穿整个风机全生命周期,具备良好的经济效益、环境效益和社会效益,主要如下:

3.1 降低风机吊装和维修成本

风机的吊装和大件维修目前都需要用到履带吊或汽车吊,其使用费用主要由月租金、进场费和人工费三部分组成,月租金和进场费见表一所示,此费用报价基于设备在使用地点500公里以内,如果500公里无设备可租,费用还会增加。从表中可以看出,单台风机进行维修时,吊装费用花费有可能达到100万,吊装周期也在十天左右,而如果使用自爬升起重机,不仅租金便宜,也可省去进场费,预估租金相当于220吨汽车起重机价格,每天包括人工费用为1万左右,维修周期约二天,总价仅为2万,经济效益显著。

随着“十三五”期间,中国风电开发重心向中东南部转移,这些地区多为山地和丘陵,可供集中连片开发区域越来越少,分散式风电开发将成为主要开发模式,自爬升起重机的优势将能得到进一步的体现。

表 1

履带吊设备型号	月租金	进场费	组杆周期
普通650吨	52万	20-30万	3~5天
6500A/800吨	80万	30-40万	3~5天
1000吨/1020汽车吊	100万	40-50万	4-6天
1250吨	120万	40-60万	5~7天

3.2 促进风机技术发展

在风火同价、平价上网的压力下,风机主机招标价逐年降低,2018年2MW风机达到了3500元/千瓦左右,2年内降幅达到了18.7%,3MW风机招标价为3723元/千瓦,相比2017年下降了1000元/千瓦,下降幅度超过了20%,企业生存压力不断增大,为了应对这种压力,随着风机技术的不断进步,风机

向高塔筒、长叶片和大功率方向发展。以13125风机为例,在风切变0.3、90米年平均风速4.5m/s的风场,140米高度相对于90米高度年发电量可以提高36.1%,收益是相当可观的,但高塔筒的推广受限于履带吊的发展,由于自爬升起重机起吊高度不受限制,将加快风机塔筒向130米以上甚至200米以上的超高塔筒发展,以获取更优质更稳定的风资源,进而促进风机技术的发展,给社会带来更多的清洁能源。

3.3 保护环境、减少征地费用

风机实际占地面积约250m²,但是为了吊装,常规机型一般需要1600m²的平地,如果使用大型履带吊就需要超过2500m²的面积,在平原地区这个吊装平台还可以恢复,在山地风场往往一个小山头都要被推平,对环境造成永久的破坏。对企业来说,所有占地面积都是要征收费用的,占地越少费用越低,如果使用自爬升起重机,合理安排风机物料进场,吊装占地面积在100m²以内就可以,大大节省征地费用,对环境影响也非常小。

3.4 降低工人劳动强度、提升效率

履带吊在一个机位工作时,需要先组杆,吊装完成后需要拆杆,再用平板车运输至下一个机位,正常天气情况下,组杆时间3-7天,工人劳动强度大,尤其在山地风场,作业场地有限,有时需要在空中作业,施工人员安全得不到保障。自爬升起重机体积小,如下图八所示,自爬升起重机只需要一辆车就可以运输,并且作业前后操作简单,可以大幅度降低工人劳动强度和资源消耗,降低施工成本,同时提高施工人员的安全保障,改善劳动环境,减少施工事故和人身伤亡事故,有利于社会的稳定发展。

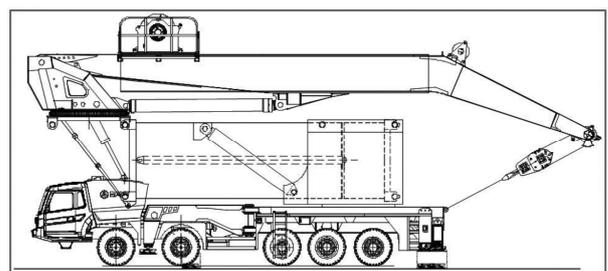


图 8 自爬升起重机

3.5 降低资源消耗

履带起重机需要庞大的运输车队,组杆拆杆也需要额外的汽车起重机辅助,自爬升起重机可以大大改善这种作业方式,减少起重机械的尾气排放,降低了不可再生能源的消耗,提高了能源利用效率,对实施绿色施工、节能施工具有显著帮助具有显著的经济效益、环境效益和社会效益。

4 我司自爬升起重机的开发案例

我司进行了多年的风机专用起重机的研发工作,自主研

发了SCC3000WE、SCC5000WE、SCC6500WE等多款风电吊装专用履带起重机和SSC1020系列全地面风电起重机,从2014年开始到现在一直进行自爬起重机的开发和技术储备,先后完成了抱箍式自爬起重机的样机开发,轨道式自爬起重机和攀爬式自爬起重机的技术储备,积累了一定经验,下面就这三种自爬起重机做简单介绍,供后续研究人员参考。

4.1 抱箍式自爬起重机开发

抱箍式自爬起重机的特点就是至少有两个环形装置环抱塔筒,当然具备三个或三个以上环形装置时在爬升时会更加稳定,环形装置上具备压紧装置,环形装置之间还需要顶升装置,以便自爬起重机上下运动。如图9所示,为三一重能2014年开发的样机,爬升环为三环方式,如图10所示,样机重量为60吨,额定起吊量为8000kN.m。经试验验证,塔筒不能直接承受吊装时爬升环上油缸产生的挤压力,需要在吊装位置的塔筒内部进行加强,且爬升时会造成塔筒外油漆破损。由于维修时起吊量需求大大减少,抱箍式自爬起重机适用于做维修自爬起重机。



图9 抱箍式自爬起重机



图10 爬升环

4.2 轨道式自爬起重机开发

轨道式自爬起重机的特点是在塔筒外壁轴线方向上固定有轨道,轨道在风机安装完成后可保留或者拆除,轨道上还需要

需要齿条或者插孔等结构,自爬起重机沿着轨道上下运动。轨道式自爬起重机结构受力情况较好,以一节塔筒为例,简化爬升机构,进行有限元分析,模型采用壳单元,局部体单元,有限元分析模型如图11所示,爬升机构与爬升轨道接触算法,包括轴与轴套、滑块与顶板,计算受力最大的正前方吊载工况,有限元结果表明除了接触应力偏高,大片应力很低,分析结果如图12所示,有限元分析结果表明此方案是可行的。

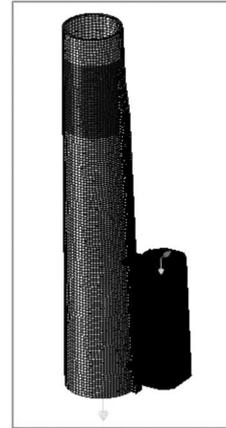


图11 有限元模型

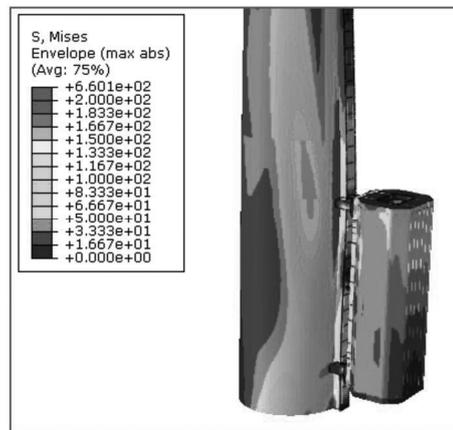


图12 分析结果

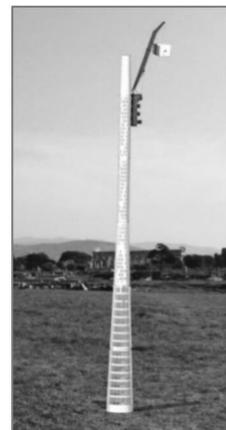


图13 攀爬式

4.3 攀爬式自爬升起重机开发

攀爬式起重机的特点是模拟攀爬动作,通过交替抓裹住塔筒上的固定装置实现上下运动。Lagerwey公司提出的多油缸式自爬升起重机未公示抓裹部分的结构,我司设计的方案是塔筒采用格构式焊接结构,类似于桁架式塔架,沿轴线从下至上均匀间隔设计了横梁,横梁为圆形结构,内部浇注混凝土,以防抓裹时钢管失稳,自爬升起重机上从上至下有四个抓裹装置,两个为一组,共两组,上下运动时固定其中一组,另一组可以进行上下运动,吊装时四个抓裹装置全部固定,可以停留在任何横梁位置进行吊装。我司设计的攀爬式自爬升起重机虽然在结构和功能上都比较好,但其最大的缺点是塔筒有异于传统结构,塔筒做了很大改变,因此这种结构适用于后续新建风场配套使用,对于已建风场没有任何意义。

5 风机自爬升起重机的设计难点

5.1 爬升方式

爬升方式是自爬升起重机开发最大的难点,在目前的方案中,抱箍式自爬升起重机直接抱住塔筒会对塔筒油漆产生破坏,并且需要严格控制抱紧力,否则会造成塔筒屈曲损坏,而轨道式和攀爬式则对现有结构需要进行改变,不适用于已建设好的风场,亟待后续进行爬升方式结构创新。

5.2 通讯

自爬升起重机需要进行通讯的部件有动力系统、液压系统、控制系统和监测系统,控制元件较多,且属于高空作业,人员不适合在自爬升起重机上面操作,人员只能站在塔筒内部或者通过摄像头观察作业情况,因此操作人员和设备之间的通讯就显得尤为重要,无论采用遥控或者线控,其通讯信号接

收的准确性和反应速度都必须考虑,设备必须有周全的互锁控制,不能允许有误动作,一个小疏忽就有可能酿成重大事故。

5.3 安全

安全是自爬升起重机需要重点考虑的难题之一,首先自爬升起重机属于高空作业,其次风机吊装难度较高,所吊工件体积大,重量重,第三无这方面的专业施工人员,需要临时培训上岗。自爬升起重机一旦在高空发生故障,如何维修,如何处理已吊工件的问题,这都是在设计阶段就必须进行重点考虑的问题,在施工前也需要准备“三措两案”,即组织措施、安全措施、技术措施、施工方案和应急预案,以应对所有可能的风险,保证安全吊装。

6 结语

风机自爬升起重机有着诸多优点和良好的前景,具备开发价值,可以为高塔筒的开发和降低风场建设、维修成本提供有力支持,但其开发技术难度较大,目前尚处于萌芽状态。本文介绍了自爬升起重机国内外的技术现状,以及我司在自爬升起重机领域的一些尝试,提出了自爬升起重机设计难点,为风电从业人员后续继续研究自爬升起重机提供了参考。

参考文献

- [1]许春永,李大鹏.国外推动风电产业发展经验及对中国的启示[J].新材料产业,2011,0(11):9-13.
- [2]王玫,赵晓丽.中国风电发展经济政策回顾与分析[J].中国能源,2011,33(10):10-14.
- [3]郭晓丹,尹俊雅.风电标杆电价与中国风电产业发展关系研究[J].价格理论与实践,2017.