

Key research on the whole process management of wind power project fan installation—Taking a mountain wind power project in Yuncheng City, Shanxi Province as an example

Anming Chen

GLP Investment (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai, 200135, China

Abstract

With the advancement of China's "dual carbon" goals, wind power projects have experienced rapid expansion. As the core component of wind energy infrastructure, turbine installation directly impacts operational safety, engineering efficiency, and project longevity. This study systematically analyzes critical aspects of wind turbine installation management through a mountainous wind power project in Yuncheng City, Shanxi Province. The analysis covers five dimensions: site selection evaluation, foundation construction, hoisting techniques, risk control during construction phases, and digital management systems. Furthermore, it examines common challenges in wind power projects and proposes actionable solutions, aiming to establish replicable management frameworks for the industry and contribute to China's green energy transition.

Keywords

Wind turbine installation; Foundation construction; Hoisting techniques; Risk control

风电项目风机安装全过程管理重点研究——以山西省运城市某山地风电项目为例

陈安明

普洛斯投资（上海）有限公司，中国·上海 200135

摘要

我国随着“双碳”目标推进，风电项目规模快速增长，风机安装作为风电项目的核心环节，其安装质量直接影响风电项目运行安全、工程效率与项目寿命。本文结合山西省运城市某山地风电项目工程实践，系统性分析风机安装管理的关键环节，具体涵盖了资源选址评估、风机基础施工、风机吊装工艺、工程阶段的风险控制及信息化管理五大维度。同时又进一步分析风电工程常见的问题及应对建议，旨在为行业提供可复制的管理范式，为我国的绿色能源转型提供些绵薄之力。

关键词

风机安装；基础施工；吊装工艺；风险控制

1 风机安装管理的重要性与挑战

近几年来，风电行业快速迭代发展，风机安装高度都在百米以上，因为越高的风机塔架可以获得越多的风力资源，所以这两年 204 米轮毂高度的风机已经在行业内应用。如此之高的风机塔架结构，需现场安装 400 余根高强螺栓，其连接质量直接决定风机振动频率特性、运行安全以及 20 年以上运行寿命周期。

风电项目为了更快的投资后有产出，施工通常只有 6-12 月，工期及其短；另外风机叶片，塔筒，主机等大部件吊装作业对于风速环境要求比较大，通常吊装作业时需要风速

小于等于 8m/s；另外陆上风电项目都位于地质条件复杂山区，比如我们这个山西省这个风电项目就位于中条山脉，大部件设备运输难度很大，需要有针对性地进行管理。

从重要性和难度两方面来说，风电项目风机安装都有着重大的挑战性，对风机安装进行全过程的管理有着很大的必要性。

2 风机安装全流程管理重点

2.1 选址及资源评估

前期准备工作最主要就是风电场选址，选址有宏观选址和微观选址两个阶段，需综合风资源数据，通常要求选址处平均风速大于 6m/s，才能达到投资所要求的有效的发电小时数。另外风电场还需要接入电网，需要项目地接近电网侧变电站的条件并且变电站需要具备可接入的备用间隔。当

【作者简介】陈安明（1984-），男，中国上海人，硕士，工程师，从事新能源发电研究。

然选址还要考虑地质条件,依据地质条件做基础设计和道路走向规划。在基础设计完成之后,按照设计进行基础施工。基础施工重点关注,一是大体积混凝土浇筑需连续作业(通常风电项目单基础可达1000m³,需要一次性浇筑完毕),避免冷缝;二是锚栓锚板安装误差需≤2mm,保障基础环水平度,可以采用三维定位技术实现锚栓“零偏差”验收。

2.2 风机基础施工

风机基础施工顺序:垫层施工→锚板安装→基础钢筋绑扎→模板支设→混凝土浇筑→混凝土养护→模板拆除。

垫层施工:地基验槽后,现场根据施工图及业主提供的永久性坐标和水准点,放出垫层线,支出现场模板。浇筑垫层后,压光使得表面光滑平整,垫层的标高符合设计要求。

锚板安装:以山西运城市某山地风电项目为例选用25t汽车吊,在下锚板穿好M20×250的调节螺栓并带好上下螺母,把锚板放在基础预埋件上,锚板上的10个调整点与预埋件相对应,然后调整下锚板的中心,使其与基础的圆心同心;调整M20×250螺栓的上下螺母,把锚板整体调平到设计标高(以下锚板上平面为测量点,水平度允许偏差2mm),调整完成后,将20根调整螺栓与基础预埋件焊接牢固。

钢筋绑扎:按照设计图纸和规范要求进行绑扎,钢筋绑扎完成后,进行自检,并做好自检记录。

模板支设:模板采用全新组合钢模板,模板组合时相邻板平整度小于0.2mm,顶杆间距750mm。模板使用前必须经过筛选、修整。对模板进行打磨、抛光和调平,平整度保证小于1mm。支模时模板不可乱用,做到模板与基础一一对应。

混凝土浇筑:风机基础是典型的大体积混凝土基础,浇筑时要在下一层混凝土初凝之前浇捣上一层的混凝土,不使上下层产生施工缝。分层的厚度根据振捣器的棒长、震动力、混凝土的供应量和浇筑量大小而定,一般为20~30cm^[1],浇筑宜采取踏步式的分层推进,推进长度一般在1~1.5m。

混凝土养护:基础混凝土浇筑完成,保持混凝土表面湿润,养护用水要求与拌合用水要求相同。混凝土养护时间大于28天。混凝土养护应有专人负责,并应做好养护记录。混凝土养护时间大于28天后,才允许安装上部塔筒;混凝土应达到100%设计强度后,才允许进行风机机组吊装。

模板拆除:在混凝土浇筑后3天,强度达到30%即可拆模,模板拆除后对损坏的模板及配件挑出,进行修复处理。

2.3 吊装工艺与安全管理

技术准备:组织技术交底工作,组织吊装班组全员学习掌握风力发电机组风场安装手册要求的安装操作规定和技术要求;熟悉起重设备的起重性能;规范技术资料、施工记录的填报格式。在正式开工吊装前进行吊装施工安全技术交底,交底人为专职技术人员和专职安全员,接受交底人员为所有参加本工程的施工人员。交底人员根据安装手册向施

工人员交代清楚工作范围,工程量,工作程序,质量标准,施工方法,质量措施,纪录方法及工期要求,然后由技术员带领施工人员到现场熟悉施工地点。

吊装方案需要定制化,采用“一机一方案”,根据风机参数(风电机组机舱重量、轮毂高度)选择吊车,吊重不超过额定载荷90%。大型吊装属于超过一定规模的危险性较大的分部分项工程(起重量300kN及以上)需要编制专项方案,并经过超危大工程专项施工方案编写和审批程序。专项施工方案已经过专家论证和各级审批,方案编写人员或项目技术负责人向施工现场管理人员进行方案交底;施工前应对相关人员进行安全教育和安全技术交底。对吊车、吊装作业场地的条件确认,检查特种作业人员及特种设备作业人员的持证上岗等相关要求。并由双方和项目专职安全员共同签字确认。在吊装前必须完成安全控制核心措施,其一是负荷试验验证吊机性能,其二是实时风速监测(作业风速≤8m/s),其三是全员安全交底及应急演练。

具体的风机吊装工艺有:塔底电气设备安装、塔筒吊装施工方法、塔筒与塔筒对接、扰流条及缆风绳安装、机舱的安装、轮毂和叶片吊装。

塔底电气设备安装:变流柜/塔基柜安装,按照《变流柜/塔基柜收货检查清单》标准进行检查确认无损坏。将四腿吊钩索具通过卸扣安装于变流柜/塔基柜顶部槽钢的孔上。将变流柜/塔基柜吊起,放置在电气平台的相应位置,并安装紧固件。电梯安装,在电梯顶部安装4个吊环螺钉,使用吊具勾住电梯上的四个吊环螺钉,使用汽车吊将整个电梯吊起,落在平台上的正确位置。电梯的安装由电梯厂家专业人员进行。

塔筒吊装、塔筒对接与扰流条及缆风绳安装:塔筒吊装时检查通道与控制台是否对齐,并注意塔筒各部分(门、内爬梯和动力电缆夹板)的正确位置(对齐塔筒底端法兰与基础环螺栓的标识)。最后解除导绳。主吊与辅吊的作业半径应有交叉吊,以免塔筒立起时有斜拉现象。塔筒吊装高度≥90m时需要使用缆风绳抗涡,达到90m及以上高度的所有塔段均需使用,待下一段塔筒或机舱对接面距离100-500mm内再拆除;单段塔筒缠绕1.5圈;缠绕应规则,分布应尽量均匀;扰流条安装应牢固,防止脱落,且扰流条与塔筒面贴合紧密;安装完成后,两块相连扰流条块间隔≤0.4倍扰流块高度(纵向长度),且最大间隔≤0.4m;扰流条允许局部损坏,但不允许扰流块缺失;待风机进入变桨抗涡模式后才能拆除所有塔段扰流条;扰流条拆除后必须用专用堵头及聚氨酯胶将筒壁开孔进行封堵。

机舱的安装:拆除运输基座;缓缓吊起机舱,使其与基座分离;检查偏航齿圈与塔筒接触面是否有损伤,确保无油污、无异物;将机舱吊至塔顶;在机舱底部偏航齿圈对称位置处安装两根定位棒;继续下放塔筒,使得定位棒穿过塔筒对应法兰孔;缓缓下放机舱,使机舱法兰与塔筒法兰对齐

并接触，然后装入4根螺栓定位^[2]；手动装入剩余的安裝螺栓；使用电动冲击扳手（1200Nm）预紧螺栓，然后将力矩打至70%最终力矩^[3]；拉紧3根缆风绳，尽量将绳子拉直；将吊具拆卸；打紧所有螺栓力矩；风轮对接前摘除机舱前端的缆风绳；通过链条拉回4个吊裝孔盖板，套上角钢压条，依次安裝垫片、锁紧螺母，使用力矩扳手将螺母拧紧，最后插入销轴；安裝机舱后端吊裝孔盖板下隔板。

轮毂和叶片吊裝：轮毂起吊到就位位置以后，通过盘车旋转轮毂，将所有未拉伸的螺柱（轮毂-主轴）的拉伸至最终拉伸力的70%。通过盘车旋转轮毂，将所有紧固螺柱（轮

毂-主轴）拉伸至最终拉伸力的100%^[2]。測量主轴-轮毂连接面間隙，要求0.05mm的塞尺无法塞入。叶片起吊时，十分钟平均风速必须小于8m/s，每次吊裝前，项目现场吊裝人员测试吊具各个动作是否正常，如有油缸不动作，现场人员联系工裝和工具库人员，得到授权后调整平衡閥上的螺丝以调整压力，现场吊裝人员在使用吊具前，必须严格按照检查清单进行吊具的检查与测试。盘车时，操控液压站，不可使液压站的数据大于13MPa，若超过则会对齿轮箱高速端造成损伤。

气候条件	限制项目	备注
风速大于6m/s(该风速指适配叶片挂吊具带力后，到叶片到达地面，安裝至支架时间区间的要求)	以下机型禁止进行单叶片吊： 对应182-5.2-001机型 182ENV1叶片	吊裝作业人员必须严格遵守吊裝安全操作规程。 (使用V2版单叶片吊具(无压板)进行吊裝，风速不得超过6m/s) (使用V3版吊具不使用气囊进行叶片拆裝，风速不得超过6m/s)
风速>8m/s	严禁进行吊裝叶片	
风速>10m/s或雷雨天气	严禁吊裝任何风机部件	
风速>10m/s	如果需进入机舱内工作，风机必须处于停机维护位置	叶片的角度应处于90+/-1°位置。
风速>12m/s	严禁进入机舱内作业	
风速>20m/s	严禁攀爬风机作业	
风速>25m/s	严禁进入风机现场	
气温<-10℃	严禁在风机内敷設强电电缆，严禁拆裝齿轮箱和主轴	
气温≤-12.2℃	风机内应该采取抗冻措施，在机舱内作业时间小于2小时	
气温<-20℃	严禁吊裝任何风机部件	
气温≤-23.3℃	严禁进入机舱内作业	
夜间	严禁一切作业	
雷暴天气	严禁进入风机	
冰雪天气	未经许可，严禁接近风机	

2.4 风险管控体系

首先是风险识别与评估，建立动态风险库，涵盖天气突变（如台风停工）、设备故障、高空作业坠落等，其次是控制措施落地，可以采用信息化平台实时监控风险，平台可以接入天气预报。如下表，山西运城某项目制定了关于气候条件的风险管控体系，对气候相关的风险有了很好的管控。

2.5 信息化与精细化管理

全过程数字化协同，可以应用BIM技术模拟安裝路径，优化机械调度（如避免现场设备冲突）。对质量进行精细化管理，实行追溯机制，关键工序（螺栓紧固扭矩、电气接线）

采用二维码溯源，关联责任人。

综上所述，风电安裝全过程管理需以基础和吊裝工艺为突破，风险控制为基石，最终服务于清洁能源转型与“双碳”目标，为行业可持续发展提供支撑。

参考文献

- [1] 邓君.转换结构的混凝土施工技术.中华建设.2008.
- [2] 张耀锋.新疆大石头风电场风机吊裝施工技术浅析.第八届中国风电后市场交流合作大会论文集.2021.
- [3] 刘建峰,唐嘉林,张广慧,李佳男.陆上7MW级风电机组吊裝关键技术研究.价值工程.2024.