

风电工程施工防冻防沙技术实践

高霁昂

国华（河北）新能源有限公司 河北张家口

【摘要】我国风电产业在我国北方有广泛分布，风电工程建设面临冻害以及风沙问题的严峻考验，在非高寒区域以及沙化土地条件中，风电项目施工过程中会涉及多项关键技术。风机基础工程以及设备吊装需要处理冻土难题，同时完成低温条件下的混凝土作业，设备运行维护工作会面临挑战，风沙侵蚀的防护工作以及沙害治理成为关键。开展冻土作用下的桩基稳定工作，低温会对混凝土性能造成损害，风沙会磨损电气设备且掩埋塔筒基础，因此，提出了控温措施包括材料改性、结构优化以及生态固沙方面的综合技术方案。

【关键词】风电工程；施工；防冻；防沙；技术

【收稿日期】2026年5月6日 **【出刊日期】**2026年6月3日 **【DOI】**10.12208/j.ispm.20260002

Practice of freeze and sand prevention technologies in wind power project construction

Ji'ang Gao

Guohua (Hebei) New Energy Co., Ltd., Zhangjiakou, Hebei

【Abstract】 China's wind power industry is widely distributed in the northern regions of the country, where wind power project construction faces severe challenges from frost damage and wind-blown sand. In non-permafrost areas and under sandy land conditions, the construction of wind power projects involves multiple key technologies. The foundation engineering for wind turbines and equipment installation require addressing permafrost challenges, along with completing concrete work under low-temperature conditions, while equipment operation and maintenance face difficulties. Protection against wind-sand erosion and sand hazard control become critical. Research is conducted on pile foundation stability under frozen soil conditions, as low temperatures can impair concrete performance, and wind-blown sand can wear down electrical equipment and bury tower foundations. Consequently, comprehensive technical solutions are proposed, including temperature control measures, material modification, structural optimization, and ecological sand fixation.

【Keywords】 Wind power engineering; Construction; Frost protection; Sand control; Technology

引言：风电设施常建于气候多变、生态敏感地带，华北地区冬季虽说没达到严寒程度，不过低温持续出现、冻融频繁发生，对混凝土强度、地基承载力以及设备运行造成影响；沙漠戈壁以及沙化草原区域中，风电场选址较为密集。强风沙活动持续不断对风机基础进行冲击，对电气设备产生磨损，通行道路被掩埋。因此，设施寿命缩短，运维开支也会相应提高。从全生命周期出发，开展冬季施工以及风沙环境双重约束下的综合技术体系的研究工作，是有必要性的。针对风电工程在非高寒地区会面临的低温以及风沙复合挑战，本文对防冻以及防风沙

关键技术进行了系统梳理，目的是为类似工程提供技术参考。

1 风电工程冬季施工的冻害机理与防冻技术体系

1.1 冻土对基础施工的影响及处理技术

冬季施工中，冻胀性地基土会是主要的技术挑战。在低温条件下，土体内部的水分会朝着冻结锋面迁移，冰透镜体逐步形成，引发体积膨胀，这样地基就会出现不均匀抬升的情况；春融时候，地基承载力会有下降趋势，可能导致风机基础出现沉降或者倾斜，对运行安全造成威胁^[1]。

作者简介：高霁昂（2000-）男，河北张家口人，汉族，本科，助理工程师，研究方向：电力工程。

应对冻土难题时，通常会使用三类技术手段：将冻胀敏感土从基础持力层挖出，替换为砂砾石、碎石等非冻胀材料，换填厚度通常超过标准冻深的1.5倍，分层压实后压实系数高于0.97，布设排水暗渠；把挤塑聚苯板等保温材料铺设到基础周边，阻断地基土和大气间的热量交换路径，抬升冻深线。保温层要延伸至最大冻深线下方超过0.5米，防护范围需要把向外扩展的距离设定为至少一米；排水降湿措施通过加强基坑排水、井点降水等方式，将地下水位控制至基底以下不少于0.5m，基础回填土选用透水性材料。

1.2 低温环境下混凝土施工质量控制技术

风机基础的混凝土体积多为几百至上千方，在冬季低温的环境下，水泥的水化进程会受到抑制，并且由于内外温差非常明显，诱发温度裂缝。要是在初凝之前遭遇了冻害，会造成基础强度永久性下降。配合比设计、浇筑工艺以及养护保温，这三个方面共同构成了质量控制的三大支柱。

选择早强型硅酸盐水泥开展配合比设计，通过掺入减水剂来降低水胶比，并且掺加防冻剂来降低冰点。需要注意的是，防冻剂当中严禁含有氯盐，这样能防止钢筋发生锈蚀。混凝土入模时温度需严格把控，在浇筑之前，模板钢筋以及基底应当进行预热，使其温度达到5℃以上，混凝土出机的温度不能低于10℃，而它入模的温度则需要保持在5℃以上。骨料可以预先开展升温工作，把搅拌用水加热到40-60℃的范围。拆模之后，要马上对基础外露面开展保温处理工作。浇筑完混凝土养护时将塑料膜、保温被和防水布覆盖在表面，在基础内部开展预埋测温装置的工作，把内外温差限制在二十五摄氏度以下。可适当将混凝土养护期延长，直至强度达到设计强度的85%以上，并且时间不少于28天^[2]。

1.3 风机吊装与电气设备安装的防冻措施

风机吊装是冬季施工里面会形成高风险的一个方面，在低温环境当中，会使得起重设备的金属框架延展性出现减弱的情况，并且液压流体的稠度会有所上升，作业区域的冻土会引发支撑面变形。吊装作业开始之前，需要对起重机械开展全面检查工作。对于液压系统，要把它更换成低温抗磨液压油，并且将其预热到20℃以上，这样才可以开始进行作业，吊装区域需要开展地面整平以及压实的作业工作，填土区域应当在土壤冻结之前完成碾压工作，

或者在冻结之后进行破碎以及置换操作，从而保证地基拥有足够的承载能力。

2 风电场沙害形成机理与防沙技术体系

2.1 风沙对风电设施的危害特征

风机塔筒以及叶片持续暴露在强风环境当中，沙粒撞击会使得表层防护层出现磨损，防护层剥落之后金属基底就会显露出来，这样就会诱发锈蚀现象。叶片前缘在遭受沙粒冲击的情况下，很容易产生沟槽，这样就会进一步削弱其气动方面的性能，从而导致发电效率出现下降的情况，承台底部和地表的接触区域容易受到风沙的侵蚀，这样就可能会影响到结构的稳固性。箱式变压器的散热片之间积累了沙子，这会对散热效率产生影响，进而导致设备出现过热的情况；断路器、隔离开关等户外设备传动机构进沙，造成卡滞或动作失灵；绝缘子表面会积聚沙尘，在潮湿条件下就容易引发污闪，从而导致线路故障。流沙把场内道路覆盖，对设备运输以及运维通行造成阻碍^[3]。

2.2 机械固沙技术及其在风电工程中的应用

机械固沙技术，借助物理屏障的布设，来调整地表气流的形态，减缓近地面的风速，从而能够有效去遏制沙粒迁移，在风电工程当中，机械固沙措施主要被运用来开展风机基础、箱变基础以及场内道路方面的防护工作。

草方格沙障能极大程度上提高地表的粗糙程度，这样一来，近地面的风速会降低，风蚀现象也得以有力遏制，风机基础的周边，需要开展构建草方格防护带的工作，它的宽度至少要达到30米。迎风侧的防护范围，要凭借主风向来进行适度的扩展。

在缺乏草方格原料的区域，像尼龙网沙障以及土工格栅这类合成材料可以当作替代品来使用，尼龙网沙障展现出了优异的耐用特性，便于开展运输以及安装工作。孔隙率适宜保持在30%至40%这个区间，这样就能平衡防风效果以及结构稳固性。进行沙障的布设工作时，需要把沙障布设得与主风向垂直，采用行列式布局或者网格状布局都是可以的，沙障布设需规避冬季冻胀敏感区域，其基础应深埋于冻土层之下，以避免冻拔作用造成的损害^[4]。

2.3 生物固沙与工程措施的协同应用

机械固沙的防护效果会受到材料寿命的制约，很难从根本上来改变沙化的环境，风电场进行固沙工作可依靠生物方法，开展植被的恢复来构建生态

屏障。在风电工程项目建设当中，需要把生物固沙以及工程措施协同起来加以运用，工程措施会起到先导方面的作用，生物措施则构成了治理的根基。

乡土灌木以及草本植物，对于它们的选择要基于“适地适树”这个核心准则来开展，这些植物呈现出了耐旱以及耐贫瘠的特性，其根系深入到土壤当中，能够有效地把沙土固定住。在风机基础附近二十米的区域当中，鉴于检修作业的需要，应当避免开展高大乔木以及灌木的种植工作，适宜去栽植低矮草本植物或者铺设砾石覆盖层，外围防护区，把乔灌草进行立体配置，从而构建起多层次的防风固沙林。

生物固沙措施需要结合工程进度来选择合适的时机去开展施行工作，主体工程竣工之后的首个造林季，能够把植被二次破坏的风险给规避掉，在栽植之前开展带状或者穴状的整地工作，深度要达到不低于 40 厘米的标准，并且同时配合着施用保水剂以及有机肥，以此来提高成活率。在沙埋风险极为显著的区域，要优先开展草方格沙障的建立工作。等沙面逐渐趋于稳定之后，可以在方格内部去实施植苗造林工作。这样，一个结合了沙障以及林木的复合型防护结构就得以实现^[5]。

3 防冻与防沙技术的协同应用与工程实践

3.1 基础结构的综合防护设计

风机基座承担着核心功能，也就是要开展承载方面的工作，它的防护方案需要兼顾冻胀以及沙害这双重影响，对于季节性冻土区风沙活跃的场地来说，桩基础比无桩基础更加适宜。这样，把冻土层用桩基贯穿，荷载向持力层开展稳定传递，冻胀作用对基础稳定性的干扰就得以规避；要是把桩基承台抬升地面，那么风沙流对基础结构的直接作用面积

就会减小，掩埋风险也会降低。

重力式扩展基础的底部可以铺设抗冻胀换填层。把级配碎石当作换填材料来使用，掺入细粒土能够开展强化固沙的工作，在换填层的顶部把防水土工膜铺设上，来阻隔水分的下渗，进而避免冻胀现象的出现。高弹性抗风沙涂料被运用来开展基础外露面的涂刷工作，这种涂料在低温环境当中，还能够维持着优异的附着能力，并且展现出卓越的抗磨蚀特性^[6]。

防冻以及防沙协同的典型场景，体现在对基础周边回填土进行选取这个方面，回填土选用砂砾料，鉴于它具有良好的透水性并且抗冻胀；回填土的表层需要拥有抗风蚀的特性，在基底上方一米的这个区域开展级配碎石的填充工作，来实现透水以及抗冻的功能；表层选用黏土或者风积沙与水泥混合填充，厚度为 0.3 米，经过压实之后，会拥有抗风蚀的能力。

3.2 施工时序与工序优化

对施工时序进行合理安排，可以削减防冻防沙开支，并且提高相关举措的实际成效，在季节性冻土地区，开展基础开挖以及混凝土浇筑等容易受到低温影响的工序，适宜在初冬之前完成，规避严寒月份的大体积混凝土施工。对于冬季施工中难以避免的作业区域，建议运用暖棚覆盖或者蒸汽养护等增温手段，保证混凝土的养护效果^[7]。

防沙举措推进的节奏，需要和土建作业进展的节点保持协调。这样的安排既能抑制施工扰动所引发的风蚀加剧现象，还可借助沙障来为后续工序创造稳定的作业条件。土建工程基本完工之后，安排生物固沙措施，避免大型机械对幼林造成损伤^[8]。

表 1 风电工程防冻防沙协同技术措施汇总

技术环节	防冻措施要点	防沙措施要点	协同处理关键
地基与基础	换填非冻胀材料、设置保温层、控制地下水	抬高承台标高、设置散水坡、基础周边固沙	采用桩基础穿透冻土层，分层回填兼顾抗冻与抗风蚀
混凝土工程	低温配合比设计、骨料及水加热、暖棚法养护	作业面防风围挡、防止沙尘混入混凝土	保温养护与防风设施一体化搭设，避免强风破坏保温层
设备安装	液压系统预热、低温液压油更换、电缆加温	设备进线口密封防护、电气元件防沙罩	利用暖棚创造安装环境，同时起到防沙与保温双重作用
场地与道路	路基排水防冻胀、冻土期限制重车通行	道路两侧设置沙障、路面及时清沙	路基材料选用抗冻抗风蚀材料，沙障设置考虑冻拔影响
植被恢复	春季解冻后适时栽植、采用耐寒乡土树种	先设沙障后造林、乔灌草立体配置	利用沙障创造的稳定微环境提高植被越冬成活率

4 结论

在冬季低温以及风沙复合区域开展风电施工工作，会面临冻害以及沙害双重挑战，防冻技术需要聚焦于抑制土壤膨胀、维持混凝土强度提升以及保证设备稳定运转等方面。具体措施包含替换非膨胀性材料、铺设保温层、调整配比方案，低温作业时，吊装以及电气安装方面需要把设备提前预热，并且保障作业环境。防沙工程需要把机械手段以及生物手段融合起来，为植被重建提供基础。

参考文献

- [1] 马振宇.严寒地区房屋建筑外墙保温施工技术及防冻裂措施研究[J].中国建筑装饰装修,2026,(03):154-156.
- [2] 连艳武.机场道面混凝土冬季施工防冻措施[J].中国水泥,2025,(12):112-114.
- [3] 张凯.冬季混凝土早期防冻施工关键技术研究与应用[J].中国房地产业,2025,(33):54-57.
- [4] 赵广亭.冬季施工中混凝土防冻裂技术及工程实践研究[J].石化技术,2025,32(07):415-417.
- [5] 张恩至.复杂山地风电工程施工技术分析[J].行车指南,2025(6):0052-0054.
- [6] 马杰,王鹏飞,董显奕,等.浅谈风力发电机组的风沙危害及防风沙措施[C]//电力设备腐蚀与防护技术新成果及论文集(2025).2025.
- [7] 刘二伟,晋玉芳,贾天翼,等.防沙背景下大基地风电场线路路径优化研究[J].工程建设与设计,2024(1):77-79.
- [8] 黄磊磊,刘新宇,耿殿宇,等.储能设备安装与防风加固技术的应用[J].建筑与装饰,2025(21).

版权声明：©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS