

Temperature Control Measures for Mass Concrete Construction in Wind Turbine Foundations

Wenwen Si Maoxin Gao

PowerChina Group Guizhou Engineering Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550003, China

Abstract

With the rapid development of the wind power industry, quality control in the construction of mass concrete for wind turbine foundations has become increasingly critical. Temperature control, as a key phase in mass concrete construction, plays a decisive role in preventing concrete cracks and ensuring the stability and durability of foundation structures. This paper thoroughly analyzes the construction process of mass concrete for wind turbine foundations and elaborates on a series of effective temperature control measures from both the preparation and construction stages. The aim is to provide valuable technical guidance for related engineering practices.

Keywords

wind turbine foundation; mass concrete; temperature control; construction technology

风机基础大体积混凝土施工温度控制措施

司文文 高茂鑫

中国电建集团贵州工程有限公司, 中国·贵州 贵阳 550003

摘 要

随着风力发电行业的快速发展, 风机基础大体积混凝土施工的质量控制愈发重要, 温度控制作为大体积混凝土施工中的关键环节, 对预防混凝土裂缝、保障基础结构的稳定性和耐久性起着决定性作用。本文深入剖析风机基础大体积混凝土施工工艺流程, 并从准备阶段和施工过程两个方面, 详细阐述了一系列行之有效的温度控制措施, 以期对相关工程实践提供具有参考价值的技术指导。

关键词

风机基础; 大体积混凝土; 温度控制; 施工工艺

1 引言

在当今能源结构不断优化的大背景下, 风力发电凭借其清洁、可再生等显著优势, 在全球范围内得到了迅猛发展, 风机基础作为风力发电设施的重要承载结构, 其稳定性和耐久性直接关系到整个风力发电系统的安全运行, 大体积混凝土由于其结构厚实、混凝土用量大等特点, 在施工过程中极易因水泥水化热产生的温度变化而引发裂缝等质量问题。风机基础大体积混凝土施工的温度控制便成为确保工程质量的核心要点, 通过合理的施工工艺选择和有效的温度控制措施实施, 能够显著降低混凝土内部温度应力, 减少裂缝产生的风险, 进而提高风机基础的整体质量, 延长其使用寿命, 深入研究风机基础大体积混凝土施工温度控制措施, 具有极为重要的现实意义。

2 风机基础大体积混凝土施工工艺流程分析

风机基础大体积混凝土施工是一个复杂且系统的过程, 涵盖多个紧密相连的环节, 在基础开挖完成并验收合格后, 需进行钢筋的绑扎工作, 钢筋作为混凝土结构中的重要受力部件, 其绑扎质量直接影响结构的承载能力。绑扎过程中, 要严格按照设计要求控制钢筋的间距、位置及锚固长度等参数, 紧接着是模板的安装, 模板需具备足够的强度、刚度和稳定性, 以承受混凝土浇筑过程中的侧压力和施工荷载, 模板拼接应严密, 防止漏浆现象发生。完成钢筋绑扎和模板安装后, 便进入混凝土浇筑阶段。由于大体积混凝土浇筑量大, 通常需要采用分层分段浇筑的方法, 以确保混凝土浇筑的均匀性和密实性, 在浇筑过程中还需实时监测混凝土的坍落度、温度等指标, 保证混凝土的施工性能, 混凝土浇筑完成后振捣工作随即展开, 通过振捣使混凝土内部的气泡排出, 提高混凝土的密实度。振捣操作要掌握好振捣时间和振捣点的间距, 避免过振或漏振。振捣结束后, 便是混凝土的养护阶段, 合理的养护措施能够促进混凝土强度的正常增长, 防

【作者简介】司文文(1996-), 女, 中国江苏徐州人, 本科, 助理工程师, 从事风力发电研究。

止混凝土表面因失水过快而产生裂缝，整个施工工艺流程环环相扣，任何一个环节出现问题都可能对最终的工程质量产生不利影响。

3 风机基础大体积混凝土施工温度控制措施

3.1 准备阶段基础混凝土质量控制

3.1.1 原材料质量控制

水泥作为混凝土的关键胶凝材料，其特性对混凝土的水化热产生有着重要影响，应优先选用水化热较低的水泥品种，例如中低热的矿渣硅酸盐水泥，这种水泥在水化过程中释放的热量相对较少，能够有效降低混凝土内部的温度上升幅度，并且要严格控制水泥的细度，水泥细度不宜过细，否则会加速水泥的水化反应，导致水化热集中释放。骨料的选择同样不容忽视，粗骨料宜选用粒径较大、级配良好的碎石，这样可以减少水泥浆的用量，从而降低水化热，良好的级配能够使骨料在混凝土中形成紧密的堆积结构，提高混凝土的密实度和强度，细骨料则宜采用中砂，中砂的颗粒级配和细度模数较为适中，有利于保证混凝土的工作性能，此外，骨料的含泥量要严格控制标准范围内，含泥量过高会增加混凝土的需水量，降低混凝土的强度和耐久性，同时还可能影响混凝土的温度性能。外加剂在混凝土中虽用量较少，但却能发挥重要作用，在大体积混凝土施工中，可适量添加缓凝剂和减水剂^[1]。缓凝剂能够延长混凝土的凝结时间，使水泥的水化反应更加均匀缓慢地进行，避免水化热在短时间内大量积聚，减水剂则可以在不影响混凝土工作性能的前提下，减少混凝土的用水量，降低水灰比，提高混凝土的强度和耐久性。

3.1.2 混凝土供应条件

混凝土搅拌站的选择在风机基础大体积混凝土施工中占据着关键地位，理想的搅拌站应具备强大的生产能力，以满足大体积混凝土一次性浇筑量大的需求，避免因供应不足导致浇筑中断，影响混凝土的整体性，其设备先进性体现在搅拌主机的高效能上，采用双卧轴强制式搅拌机，能在短时间内实现砂石、水泥、外加剂等原材料的均匀搅拌，保证混凝土各部位性能一致。质量控制体系完善的搅拌站，对原材料检验极为严格，从水泥的安定性、强度等级，到骨料的颗粒级配、含泥量，再到外加剂的性能指标，每一项都依据标准规范进行检测。在配合比设计环节，会结合工程实际需求与原材料特性，运用专业软件反复模拟计算，确保混凝土的强度、和易性以及水化热等性能符合要求，生产过程监控通过自动化控制系统实现，实时监测搅拌时间、搅拌速度、原材料投放量等参数，一旦出现偏差立即报警并自动调整。运输过程中的温度控制对混凝土质量影响显著，混凝土搅拌车的罐体应采用多层隔热材料制作，如内层为聚氨酯保温层，外层为不锈钢防护层，有效阻挡外界热量传入，高温天气时，喷淋降温系统发挥关键作用，在搅拌车行驶途中，定时对罐

体进行全方位喷淋，水在罐体表面蒸发吸热，大幅降低混凝土温度，合理规划运输路线需综合考虑交通流量、道路状况等因素，借助交通大数据分析软件，筛选出红绿灯少、路况良好的路线，减少停车等待时间，与交通管理部门提前沟通协调，保障运输车辆优先通行，最大限度缩短运输时长，防止混凝土因长时间运输而坍落度损失过大或温度过度升高，确保以良好状态送达施工现场。

3.2 施工过程中基础混凝土的质量控制

3.2.1 混凝土浇筑

分层分段浇筑在风机基础大体积混凝土施工中是极为有效的手段，风机基础的结构形式多样，若基础为块状且体积庞大，依据混凝土供应能力，可将其划分为若干水平浇筑层与垂直浇筑段，对于形状不规则的基础，需结合结构复杂部位的应力分布与混凝土流动特性来划分。控制浇筑层厚度在 300 - 500mm，是基于热量传递原理，较薄的浇筑层能使水泥水化热更易向外界散发，降低内部温度峰值，以斜面分层浇筑法为例，在实际操作时，从基础一端起始，混凝土由泵车或溜槽输送至浇筑点，自然流淌形成斜面，此斜面坡度控制在 1:6 - 1:7 之间，能保证混凝土在流淌过程中，下层混凝土有足够时间进行初步振捣，避免因堆积过厚导致振捣不密实，随着浇筑推进，每层混凝土覆盖时间需精准把控，利用混凝土初凝时间测定仪实时监测，确保各层浇筑间隔不超初凝时间，有效规避冷缝产生，保障混凝土结构整体性^[2]。混凝土浇筑速度的精准控制关乎施工质量，需借助水化热计算模型，结合混凝土配合比、环境温度及散热条件等参数，确定合理浇筑速度，如在炎热夏季，环境温度高，散热困难，此时应将浇筑速度控制在较低水平，例如每小时浇筑量控制在一定立方米数以下，为混凝土内部热量缓慢散发创造条件。在浇筑过程中，通过观察混凝土表面的流动轨迹与坡度变化，判断其填充模板情况，在模板转角、钢筋密集等易出现死角处，可增设辅助溜槽或采用人工辅助布料，使混凝土均匀填充模板空间，防止因局部缺料形成空洞，影响基础结构强度与稳定性。

3.2.2 混凝土振捣

振捣在确保风机基础大体积混凝土密实度方面起着决定性作用，插入式振捣器的合理运用是关键，其振捣点间距的确定需综合考量振捣器功率与混凝土坍落度，当使用功率较大的振捣器，如 70 型振捣器，若混凝土坍落度处于理想范围（160 - 200mm），振捣点间距可适当增大，但一般也不宜超过其作用半径的 1.5 倍，以保证振捣效果的均匀性。反之，对于小功率振捣器或坍落度较小的混凝土，需缩小振捣点间距。振捣操作时，快插慢拔是基本要领，快插能使振捣棒迅速插入混凝土内部，避免表面混凝土先振实而形成一层硬壳，阻碍下部混凝土的振捣，慢拔则给予混凝土足够时间填充振捣棒拔出时留下的孔洞，防止出现空隙，振捣时间的精准把控至关重要，通常可通过观察混凝土表面状态来判

断,当混凝土表面不再有气泡冒出,且开始泛浆,表面呈现平坦状态时,表明振捣已达理想效果。一般情况下,普通混凝土振捣时间每点控制在20~30秒,特殊配合比的混凝土需根据试验确定,振捣时间过短,混凝土内部气泡难以充分排出,致使混凝土内部存在空隙,强度降低,影响整体密实度,而振捣时间过长,混凝土中的骨料与水泥浆会因过度振动而分离,出现离析现象,破坏混凝土的均匀性^[3]。在振捣过程中,为避免振捣器触及钢筋和模板,可在振捣器上安装防护装置,如橡胶护套,减少直接接触造成的损害,操作时振捣人员需时刻关注振捣器位置,保持与钢筋和模板的安全距离,对于钢筋密集部位,常规振捣器难以施展,此时采用小型振捣器,如30型振捣器,或人工使用振捣钎辅助振捣,能够确保该部位混凝土振捣密实,保障风机基础大体积混凝土的施工质量,使其具备良好的强度与稳定性。

3.2.3 混凝土养护质量控制

养护是大体积混凝土施工中非常重要的环节,对混凝土的强度增长和温度控制起着关键作用,在混凝土浇筑完成后,应及时进行覆盖养护,在常温天气下,可以采用草帘、麻袋等材料进行覆盖,保持混凝土表面湿润。在高温天气下,除了覆盖保湿外,还需进行洒水降温,降低混凝土表面的温度,通过洒水,使混凝土表面的水分蒸发带走热量,降低混凝土表面与内部的温差。养护时间要根据混凝土的水泥品种、配合比和环境温度等因素合理确定,一般来说,大体积混凝土的养护时间不少于14天。在养护期间,要定期对混凝土的温度和湿度进行监测,确保养护措施的有效性,若发现混凝土表面温度过高或湿度不足,要及时调整养护措施,如增加洒水次数或加厚覆盖层等。

3.2.4 混凝土的裂缝控制

混凝土的裂缝控制是大体积混凝土施工中的重点和难点。除了通过温度控制来减少温度裂缝外,还可以采取一些构造措施,例如,在混凝土中设置温度筋,温度筋能够有效地抵抗混凝土因温度变化产生的拉应力,减少裂缝的产生,温度筋的布置要根据基础的尺寸和温度应力分布情况合理确定,一般在混凝土表面和内部较易产生裂缝的部位布置^[4]。在施工缝的设置和处理上也要严格把关,施工缝应设置在结构受力较小且便于施工的部位,在继续浇筑混凝土前,要对施工缝进行凿毛处理,清除表面的浮浆和松动石子,然

后铺设一层与混凝土成分相同的水泥砂浆,再进行混凝土浇筑,以确保施工缝处的混凝土连接牢固,减少裂缝产生的可能性。

3.2.5 混凝土的温度控制

在混凝土内部埋设温度传感器,实时监测混凝土内部的温度变化,根据监测数据,绘制温度-时间曲线,分析混凝土内部温度的变化规律,当发现混凝土内部温度过高或温差过大时,及时采取降温措施,可以通过在混凝土内部预埋冷却水管,通入循环冷却水,带走混凝土内部的热量,降低混凝土内部温度,冷却水管的布置要均匀合理,确保能够有效地降低混凝土内部温度。在混凝土表面采取保温措施,减少混凝土表面与外界环境的热量交换,降低混凝土表面与内部的温差,在低温天气下,可以采用保温被等材料对混凝土表面进行覆盖,提高混凝土表面温度,通过合理控制混凝土内部和表面的温度,减少温度应力,从而有效预防温度裂缝的产生。

4 结语

风机基础大体积混凝土施工的温度控制是一项综合性、系统性的工作,贯穿于施工的全过程,从准备阶段的原材料质量把控、混凝土供应条件优化,到施工过程中的混凝土浇筑、振捣、养护以及裂缝和温度控制等各个环节,都需要精心策划和严格执行,只有切实落实各项温度控制措施,才能有效降低混凝土内部温度应力,减少裂缝的产生,确保风机基础大体积混凝土的施工质量,为风力发电设施的安全稳定运行奠定坚实基础。在未来的工程实践中,还需不断总结经验,结合新技术、新材料的应用,进一步完善风机基础大体积混凝土施工温度控制技术,推动风力发电行业的持续健康发展。

参考文献

- [1] 徐慧,卢国华. 风机基础大体积混凝土施工质量控制措施探究[J]. 建筑机械化, 2024, 45 (04): 80-84.
- [2] 罗平,李凤仙. 风电工程风机基础大体积混凝土施工与质量控制措施[J]. 河南建材, 2019, (04): 239-241.
- [3] 孙凯. 筏板基础大体积混凝土施工温度控制措施[J]. 山西建筑, 2014, 40 (36): 99-100.
- [4] 朱伯芳. 大体积混凝土温度应力与温度控制[M]. 中国水利水电出版社: 201208. 725.