

风电混塔全周期质量控制要点分析

张云峰

中国船舶集团风电发展有限公司 北京 100097

摘要：混塔设计与原材料选择需遵循国家规范，确保结构安全与稳定。混凝土施工质量控制涵盖配合比设计、钢筋与模板工程、浇筑与养护、等环节，保障混塔质量。吊装验收质量控制注重吊装前准备、过程控制、定位固定及验收评估，确保安装质量。运维阶段需定期巡检检测、养护维修，及时发现并处理问题，保障混塔长期稳定运行。

关键词：风电；预制混塔；施工质量；控制要点；分析

引言：混塔作为风电设施的核心结构，其设计、施工及运维阶段的质量控制对于确保风电项目的安全稳定运行至关重要。本文将从混塔的设计与原材料选择、混塔管片预制质量、管片吊装验收质量控制以及运维阶段的巡检与检测、养护与维修等方面，全面探讨混塔质量控制的关键要素与技术措施，旨在为混塔的质量控制提供科学指导与实践参考。

1 混塔设计与原材料选择

1.1 设计规范与标准

混塔作为风电设施的关键结构，其设计的科学性与规范性对于整个风电项目的安全稳定运行至关重要。在设计过程中，必须严格遵循国家能源局等相关部门发布的一系列规范和标准。这些规范和标准是经过大量实践研究与理论分析得出的，它们详细规定了混塔在设计过程中的各个参数和要求。从结构力学角度来看，规范对混塔的受力分析有着明确指导，包括风荷载、自重、地震作用等各种工况下的计算方法，确保混塔在复杂的自然环境中能够承受相应的力而不发生破坏。在稳定性方面，对于混塔的整体和局部稳定性都有严格的衡量标准，如对混塔段与钢塔段的连接部位、不同高度截面变化处等关键部位的设计准则，保障混塔在长期使用过程中不会出现失稳现象^[1]。这一系列的规范和标准如同指南针，为混塔的设计人员提供了科学、准确的设计方向，是保障混塔结构安全性和稳定性的坚固基石。

1.2 原材料质量控制

混塔管片所需的原材料种类繁多，水泥、骨料、掺合料和外加剂等每一种都在混塔的性能表现中扮演着关键角色。（1）水泥作为胶凝材料，其强度等级、安定性等指标直接决定了混凝土的基本性能。优质的水泥能够保证混凝土在凝结硬化过程中形成稳定的结构，为混塔提供良好的承载能力。（2）骨料的质量也不容忽视，其粒径大小、级配情况以及含泥量等因素对混凝土的和易

性、强度有着显著影响。合适粒径和良好级配的骨料能够使混凝土更加密实，提高其抗压强度和耐久性。而含泥量过高则会削弱骨料与水泥浆之间的粘结力，降低混凝土的质量。（3）掺合料的选择和使用同样重要，例如粉煤灰、矿渣粉等掺合料可以改善混凝土的工作性能、降低水化热，提高混凝土的抗渗性和抗化学侵蚀能力。但不同掺合料的性能各异，需要依据具体的施工环境和混塔性能要求进行合理选择。（4）外加剂则是调节混凝土性能的关键因素，如减水剂可以在不降低混凝土工作性能的前提下减少用水量，提高混凝土的强度；缓凝剂可以延长混凝土的凝结时间，便于施工操作。然而，外加剂的质量和适应性必须经过严格检验，否则可能会对混凝土的性能产生负面影响。

2 混塔管片预制质量控制

2.1 混凝土配合比设计

混塔的设计要求是配合比设计的首要依据。由于混塔不同部位在受力、耐久性需求等方面存在差异，比如底部承受较大压力和弯矩，对混凝土强度要求极高；而暴露在外部环境中的部分则对抗渗、抗冻等耐久性指标有特殊要求。这就要求配合比能针对性地满足这些多样化的设计需求。施工环境因素对配合比设计影响显著。在高温环境下，水分蒸发迅速，混凝土易出现坍落度损失，因此需要调整配合比，适当增加保水剂等外加剂，确保混凝土具有良好的工作性。若在寒冷地区施工，为防止混凝土受冻破坏，要考虑降低水灰比，同时可能添加引气剂来提高混凝土的抗冻能力^[2]。原材料的性能是影响配合比的关键要素。水泥的品种、强度等级决定了混凝土的基本强度特性，细骨料的细度模数、含泥量以及粗骨料的粒径、级配等都会影响混凝土的和易性和强度。此外，外加剂和掺合料的种类与质量也不容忽视，例如高效减水剂能在不降低工作性的前提下减少用水量，提高混凝土强度；优质的粉煤灰掺合料可改善混凝

土的工作性能和耐久性。只有全面综合考虑这些因素,精心设计混凝土配合比,才能保证混凝土强度足以承受外力,耐久性经受得住环境考验,工作性满足施工工艺要求,从而保障混塔施工质量。

2.2 混塔管片钢筋与模板施工质量控制

2.2.1 钢筋工程施工

钢筋作为混塔管片的关键承载部分,其加工、绑扎质量直接决定混塔的结构性能。钢筋加工中,切割钢筋需用专用设备按设计精确操作,确保切口平整,保障后续加工与使用。弯曲时,依据设计角度和半径,利用专门工具并由熟练工人操作,保证形状符合要求,使钢筋能在结构中有效承载。同时,钢筋绑扎过程中要严格检验钢筋规格、数量、间距和保护层厚度。规格和数量须与设计一致,偏差会削弱承载能力。合理的间距保障力的传递和分布,合适的保护层厚度防止钢筋生锈,确保耐久性。

2.2.2 模板工程施工

模板工程对混塔管片成型质量意义重大。模具的选择要依据混塔设计尺寸和形状,确保其强度、刚度和稳定性满足要求,防止在混凝土浇筑过程中变形。模具的安装要保证拼接紧密、平整,避免出现缝隙,防止混凝土漏浆。对模具表面要进行处理,使其光滑,同时涂刷脱模剂。这样能保证混凝土表面质量,减少后期修补工作。此外,还要注意模具的脱模时间,要根据混凝土的强度发展情况来确定,过早拆除会导致混凝土表面受损、结构变形等问题,过晚拆除则可能影响施工进度和模具的周转使用。通过精心施工,确保模板工程质量,为混塔施工质量奠定基础。

2.3 混凝土施工与养护

在混凝土浇筑过程中,保障其均匀性和密实性至关重要。在浇筑时要确保均匀、连续,防止混凝土出现离析现象。在振捣过程中,要采用合适的振捣设备和科学的振捣方法,如使用高频振捣棒,按照一定的振捣间距和时间进行操作。振捣棒需快插慢拔,使混凝土中的气泡充分排出,保证混凝土内部颗粒紧密排列,从而实现其密实性。同时,要严格控制浇筑速度和高度,避免混凝土在模板内产生分层情况。而且,要确保混凝土浇筑的连续性,防止因中断浇筑而形成冷缝,冷缝会极大地削弱混塔的结构整体性。混凝土养护对于确保混塔质量有着不可或缺的作用。在混凝土浇筑完成后,其强度会随着时间逐渐发展。养护工作需要依据混凝土强度的增长情况以及现场的环境条件来精心规划。例如,在高温干燥环境下,水分蒸发快,需要增加浇水次数或采用覆

盖保湿材料等方式,防止混凝土表面因失水过快而干裂。在寒冷天气,要采取有效的保温措施,如覆盖保温被,避免混凝土受冻,因为低温会影响混凝土的水化反应,进而损害其强度和耐久性。通过合理的养护方案,保障混凝土的强度和耐久性符合设计要求,为混塔的长期稳定运行提供有力支撑。

3 混塔安装中管片的吊装验收质量控制

3.1 吊装前的准备与规划质量控制

在混塔安装过程中,管片的吊装验收质量控制始于吊装前的准备与规划阶段。此阶段的质量控制主要涵盖吊装方案的制定、吊装设备的选择与校验、吊装现场的准备以及吊装人员的培训与资质审核。(1) 吊装方案的制定需基于混塔的结构特性、管片的尺寸与重量、现场环境条件以及吊装安全标准进行全面考量。方案应详细规划吊装路径、吊装顺序、吊点布置以及应急处理措施等,确保吊装过程的安全性及高效性。(2) 吊装设备的选择与校验至关重要。需根据吊装方案,选用合适的起重机械,如汽车吊、履带吊等,并对其进行全面的性能校验与安全检查。此外,吊装索具、吊钩、吊环等附件也需进行严格的质量检查,确保其符合相关标准。(3) 吊装现场的准备同样不容忽视。需确保吊装区域无障碍物,地面坚实平整,并设置必要的安全警示标志与隔离措施。同时,还需对吊装现场的气象条件进行实时监测,避免恶劣天气对吊装过程造成不利影响。(4) 吊装人员的培训与资质审核也是质量控制的重要环节。吊装人员需经过专业培训,熟悉吊装操作规程与安全规范,并持有有效的操作证书。

3.2 吊装过程的质量控制

吊装过程的质量控制是确保管片吊装安全、准确的关键。在吊装过程中,需严格遵守吊装方案,确保吊装步骤的规范性与准确性。(1) 吊装前需对吊装设备进行预热与调试,确保其处于最佳工作状态。同时,还需对吊装索具进行再次检查,确保其无磨损、无断裂等安全隐患。(2) 吊装过程中需密切关注吊装参数的变化,如吊装高度、吊装速度、吊装角度等。操作人员需根据吊装方案与现场实际情况,灵活调整吊装参数,确保吊装过程的稳定性与安全性。(3) 在吊装过程中还需注意对管片的保护。需采用专用的吊装夹具与防护措施,避免管片在吊装过程中受到损伤。同时,还需密切关注管片的吊装姿态与重心位置,确保其在空中保持平衡与稳定。

3.3 吊装后定位与固定的质量控制

吊装完成后,管片的定位与固定是确保混塔结构稳定性的重要环节。在定位过程中,需确保管片的位置准

确、方向正确,避免偏差与错位。(1)需采用专用的测量工具与方法,对管片的定位精度进行实时监测与校验。一旦发现偏差或错位,需立即进行调整与校正。

(2)在固定过程中,需采用合适的连接件与紧固件,如螺栓、螺母、焊缝等,确保管片之间的连接牢固可靠。同时,还需对连接部位进行严格的检查与验收,确保其符合设计要求与安全标准。

3.4 吊装验收的质量控制

吊装验收是确保混塔安装质量的关键环节。在验收过程中,需对吊装完成的管片进行全面、细致的检查与评估。(1)需对管片的外观质量进行检查,包括表面是否平整、无裂纹、无锈蚀等。同时,还需对管片的尺寸与重量进行复核,确保其符合设计要求。(2)需对管片的连接部位进行验收,检查连接件与紧固件是否安装正确、牢固可靠。同时,还需对连接部位的焊缝进行探伤检测,确保其内部无缺陷。(3)还需对吊装过程的安全性、合规性进行评估,检查吊装方案是否得到严格执行,吊装设备是否安全可靠,吊装人员是否持证上岗等。通过全面的验收与评估,确保混塔的安装质量与安全性能符合相关标准与要求。

4 混塔运维阶段质量控制

4.1 巡检与检测

在混塔的运维阶段,定期的巡检和检测工作犹如为混塔进行全面的“体检”,意义重大。巡检工作需要形成常态化、规范化的流程,涵盖混塔的各个部位。从混塔的外观开始,检查人员需仔细查看混凝土表面是否有新出现的裂缝、剥落、渗漏等情况,这些现象可能是内部结构受损的外在表现。对于塔架的连接部位,要检查螺栓是否有松动、锈蚀的迹象,因为这些部位的松动可能导致结构的不稳定^[3]。同时,对爬梯、平台等附属设施也要进行检查,确保其牢固性和安全性,防止人员在运维作业时发生危险。检测工作则需要运用更专业的技术手段。例如,利用无人机或登高设备对混塔高处进行详细查看,使用无损检测技术(如超声检测、射线检测等)对混塔内部结构进行评估,检测混凝土的密实度、钢筋的锈蚀程度和结构内部的损伤情况。通过定期的巡检和检测,可以及时捕捉混塔存在的安全隐患和性能问

题的蛛丝马迹。一旦发现问题,应立即组织专业人员进行分析,确定问题的严重程度,并采取相应的针对性措施进行整改和修复,将问题消灭在萌芽状态,避免其进一步恶化影响混塔的正常运行。

4.2 养护与维修

混塔的养护与维修是保障其长期稳定运行的关键所在。根据混塔的使用情况和所处的环境条件制定养护和维修计划是一项科学性很强的工作。如果混塔位于沿海地区,由于空气湿度大、盐分高,对混塔的腐蚀性强,养护计划中就需要增加防腐措施的频次,如定期对混塔表面进行防腐涂层的修复和更新。若混塔处于风沙较大的区域,则要注重对混塔表面磨损情况的检查和修复。在养护过程中,对于混塔表面的清洁工作不能忽视,清除表面的灰尘、杂物等可以减少对混塔的侵蚀。对于混凝土部分,要定期检查其碳化深度,根据情况进行防护处理。对于维修工作,无论是小的局部修复还是较大规模的结构加固,都要对质量进行严格把控。维修所用的材料要符合质量标准,施工工艺要严格按照规范执行,确保修复后的部位与原结构有效融合,恢复其应有的性能。

结束语

综上所述,混塔设计与原材料选择、混塔管片预制质量控制、管片吊装验收质量控制以及运维阶段的巡检与检测、养护与维修,共同构成了混塔质量控制的全链条。每一环节都至关重要,直接关系到混塔的安全稳定运行与使用寿命。通过科学的设计、严格的施工、精细的验收以及周到的运维,可以有效提升混塔的整体性能与可靠性,为风电事业的持续发展提供坚实保障。未来,随着技术的不断进步与标准的日益完善,混塔的质量控制将迈上新的台阶,为构建更加安全、高效、环保的风电设施贡献力量。

参考文献

- [1]王崧民.风电塔筒制作过程中质量控制关键点及要求[J].科技资讯,2018,16(27):35-36.
- [2]王冠,李晨,张雪,许红,王鑫,迟绍宁.风电塔筒地脚螺栓断裂失效分析[J].现代制造技术与装备,2019(11):88-90.
- [3]华绪银.反向平衡法兰风电塔筒制作工法[J].中国新技术新产品,2020(09):60-62.