

# 风电预制混凝土塔筒质量研究

张云峰

中国船舶集团风电发展有限公司 北京 100097

**摘要:** 随着风力发电技术的快速发展,预制混凝土塔筒作为风力发电机组的重要支撑结构,其质量和性能对于整个风力发电系统的稳定运行至关重要。传统的现场浇筑混凝土塔筒存在施工周期长、质量控制难度大等问题,而预制混凝土塔筒则通过工厂化生产,有效解决了这些问题。本文将深入探讨预制混凝土塔筒的基本概念、生产工艺、质量控制以及防腐措施,以期对相关领域的实践应用提供有益的参考和指导。

**关键词:** 风电预制; 预制混凝土; 塔筒质量

引言: 预制混凝土塔筒作为风力发电系统的关键部件,通过工厂化预制生产实现了高精度与高质量。本文全面阐述了预制混凝土塔筒的基本概念、生产工艺、质量控制以及防腐措施;详细介绍了生产场地规划、生产工艺设计以及存储和运输过程,强调了原材料质量控制、生产过程质量控制和成品质量检验的重要性。并且,针对塔筒的防腐需求,提出了表面涂层防腐、钢筋防腐和混凝土配合比优化等具体措施,以确保预制混凝土塔筒的耐久性和安全性。

## 1 预制混凝土塔筒的基本概念

预制混凝土塔筒作为现代风力发电系统的核心构件,扮演着支撑风力发电机组稳定运行的重要角色;这一概念的创新之处在于,它摒弃了传统现场浇筑混凝土的作业方式,转而采用工厂化预制生产模式。在专业化的工厂环境中,依据精确的设计图纸和严格的工艺标准,预制混凝土塔筒被精心打造而成,这些塔筒选用了高强度混凝土与优质钢筋作为基材,结合先进的模具技术和成型工艺,确保了每一个塔筒都能达到极高的尺寸精度和形状稳定性。在预制过程中,为了满足不同风力发电项目的特殊需求,塔筒内可预先安装各类预埋件和锚固件,这一举措极大地提升了塔筒的集成度和后续的安装效率<sup>[1]</sup>。与现场浇筑相比,预制混凝土塔筒展现出无可比拟的优势:它们不仅大幅缩短了施工周期,减轻了现场作业对环境的负担,而且通过工厂化的严格质量控制,确保了每一座塔筒的卓越品质和高度一致性。此外,这些塔筒还具备出色的可运输性和易安装性,为风力发电项目的迅速推进和高效运维提供了坚实的支撑,有力地推动了绿色能源产业的蓬勃发展。

## 2 预制混凝土塔筒的生产工艺

### 2.1 生产场地规划

生产场地规划是预制混凝土塔筒生产不可或缺的基础,

其重要性无法忽视。(1)在选址阶段,首要考量的便是交通的便捷性,一个交通四通八达的位置,能够确保原材料的及时供应与产品的快速分发,这不仅能够有效降低运输成本,更能显著提升生产效率。(2)在场地布局上,需遵循科学、合理的原则,将区域细分为原材料区、生产加工区、成品存储区、质量检测区以及办公生活区,这些功能区域既要保持相对的独立性,又要确保生产流程的连贯与高效,从而形成一个无缝衔接的生产体系。(3)环保设施的建设也是规划中的重要一环。废水处理站、噪音控制装置等环保措施的落实,不仅是对环境保护法规的积极响应,更是企业塑造良好社会形象、展现社会责任感的体现。(4)生产场地还需配备完备的排水系统,以有效应对雨水积聚可能带来的生产障碍;在规划之初,就应预留充足的发展空间,以便企业能够根据市场需求的波动,灵活调整生产规模,实现可持续发展,为企业的长远未来奠定坚实基础。

### 2.2 生产工艺设计

生产工艺设计是预制混凝土塔筒生产的核心环节,它直接决定了产品的质量和生产效率。(1)根据设计图纸和工艺要求,对钢筋进行精确加工和绑扎,形成稳固且符合设计要求的钢筋骨架。(2)进行模具的准备和安装工作,确保模具的尺寸和形状精度与设计要求完全一致,为后续的混凝土浇筑打下坚实基础,在混凝土浇筑前,对混凝土原材料进行严格的质量检测是至关重要的;通过精确计量和搅拌,确保混凝土配合比的合理性。(3)浇筑过程中,采用机械振捣技术,使混凝土在模具内充分密实和均匀分布,从而提高产品的整体质量。(4)浇筑完成后,进行科学的养护处理,使混凝土在适宜的温度和湿度条件下逐渐硬化,达到设计强度。(5)养护结束后,进行拆模和表面处理,确保塔筒表面光滑、平整,符合美观和实用要求,进行严格的质量检

测,包括外观检查、尺寸测量、强度测试等,确保每一环节都符合标准要求,从而生产出高质量的预制混凝土塔筒<sup>[2]</sup>。

### 2.3 存储和运输过程

存储与运输作为预制混凝土塔筒生产流程中的关键一环,其重要性不言而喻。(1)在存储阶段,我们精心挑选平坦且硬化的场地作为堆放区域,避免因场地不均匀沉降导致塔筒变形或损坏,为确保存储安全,我们还在现场设置醒目的标识与警示标志,预防任何意外事故的发生。(2)转入运输环节,我们依据塔筒的具体尺寸与重量,精心选择适宜的运输工具,如稳固的平板车。为确保塔筒在运输途中的稳固性,我们特别设计了一套科学的固定方案,防止其在运输过程中出现任何晃动或碰撞。此外,我们还制定了一份详尽的运输计划,明确运输路线、时间安排以及装卸方式,力求整个运输过程既安全又高效。(3)在交付阶段,我们严格执行验收检查流程,确保每一座塔筒都能完全符合合同要求。并及时办理相关交付手续,确保整个交付过程顺畅无阻。通过这些周密的措施,我们全力保障预制混凝土塔筒在存储与运输过程中的完好性,为客户提供最优质的产品与服务。

## 3 预制混凝土塔筒的质量控制

### 3.1 原材料质量控制

原材料质量控制是预制混凝土塔筒生产中的首要环节,也是确保产品质量的根本。在塔筒制造过程中,水泥、骨料、掺合料、外加剂等每一种原材料都扮演着至关重要的角色;对于水泥,我们不仅要关注其强度,更要严格检验其安定性等关键性能指标,确保每一批水泥都能达到国家相关标准,为混凝土的强度与耐久性打下坚实基础。骨料方面,我们要求骨料必须洁净无杂质,粒径分布合理,以确保混凝土的密实度与强度,并对骨料的含泥量进行严格控制,避免其影响混凝土的整体性能。在掺合料与外加剂的选择上,我们坚持试验先行,通过充分的试验验证,确保其与混凝土的相容性良好,能够真正提升混凝土的性能;此外,钢筋作为塔筒的主要受力构件,其质量同样不容忽视。我们对钢筋的材质、规格、强度等进行严格检验,确保每一项指标都能符合设计要求,进场时,我们还会实施见证取样检测,进一步确保钢筋的质量可靠,为预制混凝土塔筒的高质量生产提供有力保障。

### 3.2 生产过程质量控制

生产过程质量控制是预制混凝土塔筒质量保障的核心环节,从原材料准备到成品出厂,每一步都需精益求精。

在钢筋加工与绑扎阶段,技术人员需对钢筋的规格、弯曲度及绑扎细节进行严格把关,确保钢筋骨架结构稳固,间距精确无误,为混凝土的浇筑打下坚实基础;进入混凝土浇筑阶段,控制浇筑速度、振捣力度与时间成为关键。过快的浇筑速度可能导致混凝土分层,而振捣不足则易产生空洞与气泡<sup>[3]</sup>。因此,操作人员需根据混凝土特性与模具情况,灵活调整浇筑策略,确保混凝土密实均匀,质量上乘,养护阶段同样不容忽视。通过精确控制养护环境的温度、湿度与时间,促进混凝土内部水化反应,提升其强度与耐久性;并且,建立完善的质量监控体系,对生产过程进行全程记录与跟踪,对关键工序实施旁站监督,确保任何质量问题都能被及时发现并迅速纠正,正是这些严谨而细致的质量控制措施,共同铸就了预制混凝土塔筒的卓越品质。

### 3.3 成品质量检验

成品质量检验是预制混凝土塔筒生产流程中至关重要的一环,它直接关系到产品的最终质量和客户的满意度。当塔筒生产完成后,首先要对其外观进行全面细致的检查,这包括观察塔筒表面是否平整光滑,有无裂缝、气泡等缺陷,确保每一处细节都符合外观质量标准,展现出良好的工艺水平。紧接着,尺寸与形状的检测同样重要。通过精确的测量工具,对塔筒的各项尺寸进行严格比对,确保其与设计图纸完全一致,避免因尺寸偏差而影响后续的安装和使用。此外,强度测试是检验塔筒质量的核心环节。通过专业的试验机,对塔筒进行抗压、抗弯等力学性能测试,以数据说话,验证其是否具备足够的承载能力;并且耐久性试验也不容忽视。通过模拟塔筒在实际使用环境中可能遇到的各种情况,如抗渗性、抗冻融循环等,全面评估其长期性能稳定性,所有检验数据均被详细记录,并出具正式的质量检验报告。对于任何不合格产品,都将立即采取整改或报废措施,确保交付给客户的每一件产品都是经得起考验的合格品。

## 4 预制混凝土塔筒的防腐措施

### 4.1 表面涂层防腐

预制混凝土塔筒的表面涂层防腐是一种重要的防腐措施,它通过在塔筒表面施加防护涂层来阻止腐蚀介质侵入混凝土内部,从而延长塔筒的使用寿命。(1)在进行表面涂层防腐时,首先需要确保混凝土塔筒的表面经过充分的预处理,这包括去除表面的疏松物质、油污或油脂,以及确保表面干燥、无水分。(2)预处理后,可以选择适合的防腐涂料进行涂装。常用的防腐涂料有聚氨酯、环氧树脂等,这些涂料具有良好的耐腐蚀性能和

粘附性能,能够有效地保护混凝土塔筒免受腐蚀。(3)在涂装过程中,需要严格按照操作规程进行操作,确保涂层均匀覆盖并形成一层完整的防护层,还需要注意涂料的储存、搬运和使用,避免对环境造成污染,并保证施工人员的健康安全。(4)涂装完成后,还需要进行验收和监测,检查涂层的厚度、附着力等指标,确保其符合相关要求,并在使用过程中定期进行检测和维护,以确保涂层的防腐效果。

#### 4.2 钢筋防腐

在预制混凝土塔筒的构造中,钢筋作为承担结构载荷的核心,其防腐措施至关重要;为应对钢筋在潮湿或腐蚀性环境中易锈蚀的问题,我们需采取多重防腐策略。(1)在钢筋加工前,必须对其表面进行严格的清理工作,彻底去除锈迹、油污等杂质;随后,涂抹防腐涂料是不可或缺的一步,如环氧树脂、锌涂层等。这些涂料能形成一层紧密的保护膜,有效隔绝钢筋与腐蚀介质的直接接触,从而显著减缓或防止钢筋的锈蚀。(2)选择耐腐蚀性能更优的钢筋材料也是关键;不锈钢钢筋、镀锌钢筋等因其出色的抗腐蚀能力,能在恶劣环境中保持长期的稳定性,是理想的替代材料<sup>[4]</sup>。(3)我们还可以通过优化混凝土配合比、提高混凝土密实度来进一步加固对钢筋的保护,在施工过程中,更要严把质量关,严格控制混凝土的浇筑和振捣过程,确保混凝土内部密实无空洞、裂缝,为钢筋提供一个坚固、可靠的保护环境。

#### 4.3 混凝土配合比优化

混凝土配合比的优化,对于提升预制混凝土塔筒的耐久性和防腐性能具有举足轻重的地位,一个科学合理的配合比,不仅能够显著提升混凝土的力学性能,如抗压、抗拉强度,还能有效增强其抗渗性、抗裂性和耐腐蚀性,从而全面保障塔筒的长期稳定运行。(1)在配合比的设计过程中,我们必须全面考虑各种原材料的性能特点。水泥作为混凝土的核心材料,其品种和强度等

级的选择至关重要;并且,骨料的种类、粒径分布以及外加剂的类型和掺量也都会对混凝土的性能产生深远影响。(2)我们需要通过精确的计算和反复的调整,来确定各组成材料的最佳比例,确保所生产出的混凝土既能够满足设计要求,又具备出色的工作性能和耐久性,针对防腐的特定需求,我们可以在配合比中巧妙地加入一些防腐外加剂,如阻锈剂、密实剂等。(3)这些外加剂能够显著改善混凝土的孔结构,降低其渗透性,从而有效地阻止腐蚀介质侵入混凝土内部,对钢筋形成全面的保护,避免其受到锈蚀的侵害;此外,在配合比优化时,我们还应充分考虑施工环境和条件的具体影响,确保混凝土在各种复杂环境中都能展现出卓越的性能。

#### 结束语

综上所述,预制混凝土塔筒以其高精度、高质量和高效的生产方式,成为风力发电系统中不可或缺的关键部件。通过科学的生产场地规划、严谨的生产工艺设计以及严格的质量控制措施,我们确保了塔筒的优质生产;并针对塔筒的防腐问题,我们提出了多种有效的防腐措施,进一步提升了塔筒的耐久性和安全性。未来,随着技术的不断进步和市场的不断发展,预制混凝土塔筒将在风力发电领域发挥更加重要的作用,为推动绿色能源事业的发展贡献力量。

#### 参考文献

- [1]张曼生,张国军,黄威振,等.预应力装配式高耸风电塔架受力性能研究[J].建筑结构学报,2022(005):043-045.
- [2]王宇航,曹锋,周绪红,等.风电混合塔筒中空夹层钢管混凝土转接结构轴压性能试验研究[J].建筑钢结构进展,2023,25(4):25-36.
- [3]张宏瑞,于卫锋,吕银娟.风电塔筒焊接工装平台倾斜改进试验[J].机械研究与应用,2020,33(05):177-179.
- [4]安孟德,李旭,张少飞.某工程风力发电机塔筒连接系强度分析[J].工程技术研究,2020,5(15):1-4.