

沉箱预制技术在航道港口码头施工中的应用

甘 雨

(广西航务建设工程有限公司, 广西 南宁 530000)

摘 要 本研究聚焦于沉箱预制技术, 对其在钦州港航道港口码头工程中的应用实践进行了深入探讨, 剖析了沉箱预制工艺的核心环节, 详细说明了质量控制的关键要素, 并综合评估了技术应用的实际效果, 通过优化模板设计、精确调整混凝土配合比及引入智能化监控技术, 有效解决了大型沉箱预制中的裂缝控制难题, 并提升了结构精度。研究成果旨在对提升预制沉箱的质量和效率有所裨益, 同时为类似工程提供技术参考和实践指导。

关键词 沉箱预制; 港口码头施工; 模板工程; 裂缝控制; 智能化监控

中图分类号: U656.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.017

0 引言

随着我国港口建设向深水化、大型化方向持续发展, 沉箱预制技术已成为码头主体结构施工的关键工艺。传统现浇施工方法存在施工周期长、成本高昂、质量波动大等问题, 这些问题在一定程度上限制了港口建设的效率和质量^[1]。预制沉箱技术以其工厂标准化生产和现场模块化安装的特点, 显著提高了施工效率, 并增强了结构的稳定性。本文结合具体钦州港工程项目案例, 深入探讨沉箱预制技术在实际应用中的创新点及有效质量控制方法, 旨在为类似工程提供参考和借鉴。

1 沉箱预制关键技术

1.1 结构设计与材料优化

在构建力学模型的过程中, 特别重视港口码头在实际运营中所面临的各种荷载特性, 包括但不限于波浪力、船舶撞击力以及其他可能对结构产生影响的因素。通过运用有限元分析法, 能够精确地计算出沉箱壁厚、隔舱间距等关键参数, 这些核心参数对于确保港口码头结构的安全性和稳定性至关重要。这种方法的应用不仅提高了设计的精确度, 而且为港口码头的设计和建设提供了坚实的技术支撑, 确保了设计的科学性和工程的可靠性。

在高性能混凝土应用方面, 在原材料的选择过程中, 合理选用水泥、骨料、掺合料及外加剂对于高性能混凝土性能的提升具有决定性作用。选取高强度等级、稳定性优良且与其他原材料具有良好相容性的水泥^[2]; 选择强度高、级配合理、含泥量低的骨料, 对粗骨料的压碎指标、坚固性、含泥量和针片状颗粒含量进行严格控制; 合理运用掺合料如粉煤灰、矿粉、

硅灰等, 能够改善混凝土的工作性能、强度和耐久性, 其中粉煤灰可优化工作性能和后期强度, 矿粉能提升后期强度和耐久性, 硅灰则可显著增强强度和密实性; 在配合比设计的优化方面, 水胶比是影响混凝土强度和耐久性的关键因素, 通过实验确定最佳水胶比, 可使混凝土强度和耐久性达到最佳平衡状态; 经过多次试验和调整确定的优化配合比, 能够满足港口沉箱预制对混凝土强度、耐久性和工作性能的要求。通过实践, 掺入 20% 粉煤灰及适量减水剂, 提高混凝土抗渗等级至 P10, 增强抗压强度。28 天养护后, 抗压强度可达 45 MPa, 沉箱在投入使用后, 结构未出现明显的裂缝、破损等病害, 能够正常承受船舶的停靠和装卸作业, 保证了港口的正常运营。

为确保沉箱在复杂多变的海洋环境中维持其结构的稳定性和耐久性, 需采取一系列专门的防腐措施。这些措施包括在混凝土中添加高效抗腐蚀剂, 能够显著提升混凝土的抗化学侵蚀能力。同时, 还结合了先进的表面涂层防护技术, 通过在沉箱表面施加特殊的防护涂层, 进一步增强了其对海水侵蚀的抵抗力。这些涂层不仅能够有效阻挡海水中的盐分和有害化学物质, 还能防止海洋生物如藤壶和海藻等的附着。通过这些综合性的防腐设计, 确保沉箱在恶劣海洋环境中的长期稳定运行。

1.2 模板工程创新

1. 采用组合钢模板系统, 运用高精度可调式钢模板, 误差严格控制在 2 mm 以内, 并辅以先进的液压支撑装置, 成功攻克了大型沉箱 (尺寸达 30×15×20 m) 施工中的变形控制挑战, 有力保障了结构的稳固性和施工品质。

2. 为了提高模板的周转率和减少模板损耗, 还引

入了模块化设计理念。将大型沉箱模板拆分为多个标准模块,每个模块均可独立制作、运输和安装^[3]。这种设计不仅简化了模板的制作和安装流程,还使得模板在不同项目之间能够灵活调配,大大提高了施工效率。

3. 在模板的连接方式上也进行了创新。传统的模板连接方式常因连接不紧密、易松动而影响施工质量和作业安全。为此,采用新型的高强度连接件,并优化了连接节点的设计,使得模板之间的连接更加牢固可靠,有效避免了模板在浇筑过程中出现的变形和错位等问题。

4. 智能温控技术:在混凝土结构中埋设温度传感器,实时监测混凝土内外的温差变化,通过智能控制的循环水冷系统,将混凝土内外的温差有效控制在 20℃ 以内,从而避免因温差过大导致的裂缝等问题,确保了混凝土结构的完整性和耐久性。

1.3 智能化施工监控

1. BIM 技术应用:通过建立沉箱预制的三维模型,可以详细模拟整个施工流程,从而预测和解决在实际施工过程中可能出现的各种问题。这一技术的应用显著提高了施工效率,优化钢筋碰撞点后,返工率和材料浪费显著降低,项目的经济效益得到提升。

2. BIM 技术为施工过程中的各方提供了一个协同工作的平台。设计师、施工人员、监理人员等都可以通过 BIM 模型进行信息的共享和交流,避免了传统施工方式中因信息沟通不畅导致的误解和错误^[4]。此外, BIM 技术还可以对施工进度进行实时监控和动态调整,确保施工计划得以顺利实施,进一步提升了项目的整体管理水平和施工效率。

3. 监测平台:该平台集成了应力和位移传感器,这些传感器被嵌入沉箱结构的内部,以实现沉箱吊装过程的实时监控。通过这个平台,可以实时地进行预警,确保吊装作业的安全性,从而为整个工程的顺利进行提供必要的技术支持。

2 沉箱预制技术在航道港口码头施工中的应用与质量控制

2.1 项目概况

以钦州港 20 万吨级自动化集装箱码头为例,为满足建设需求,必须预制 12 座沉箱,每座重 1 200 吨,设计使用年限达 50 年。该项目位于沿海区域,地质条件复杂,要求沉箱必须具备良好的抗风浪、抗冲刷和抗腐蚀能力。为满足要求,采用高性能混凝土和特殊防腐涂料预制沉箱,确保其在恶劣环境下保持稳定耐久。此外,沉箱的尺寸和形状也经过精心设计,以适应码头结构的整体布局和受力要求。

2.2 沉箱预制

在沉箱预制过程中,采用了先进的生产工艺和严格的质量控制措施。首要步骤是对原材料实施严格的筛选与检验流程,以保障混凝土、钢筋等核心材料均达到既定的质量标准。其次,在预制过程中,对每一道工序都进行了精细化管理和监控,从模板安装、钢筋绑扎到混凝土浇筑和养护,每一个环节都严格按照预定的工艺要求进行,以确保沉箱预制的质量。

2.3 沉箱安装施工

在沉箱安装过程中,采用 GPS 进行精确定位。在沉箱的两个前角安装 GPS 天线,并通过无线蓝牙技术将定位数据实时传输至定位船上的测量人员的手簿。船舶操作人员依据测量人员的指令执行吊杆操作,首先进行初步定位,将沉箱移至预定安装区域。随后,吊钩下降,沉箱开始注水以实现下沉。在沉箱下沉过程中,执行精细定位,确保沉箱角点能够准确移动至预定位置^[5]。在沉箱继续注水下沉的同时,必须保证沉箱均匀下沉,并保持顶部平衡。在下沉过程中,需要多次进行精确定位,以确保沉箱的安装精度。当沉箱接近基床时,进行最终测量,以确保沉箱安装精度符合要求。一旦确认安装符合标准,即可放松吊绳,使沉箱落至基床。安装完成后,在沉箱顶部安装标志杆和警示灯,并在箱顶四角设置观测点。沉箱着床稳定后,进行缝宽、偏位及顶面标高的测量,并由潜水员下水检查沉箱底部接缝、与基床的接触状况以及相邻沉箱的错牙情况。如有必要,将对沉箱进行起吊并重新安装。

2.4 质量控制措施

项目从结构设计的优化、材料的精选,到模板工程的创新,再到智能化施工监控的实施,每个关键环节都严格遵循了预定的技术方案。为确保预制质量,项目团队凭借科学方法优化混凝土配合比,并结合智能温控技术,精准调控混凝土温差,有效遏制了裂缝问题的发生。BIM 技术的应用使施工方案得以模拟和优化,进一步提升了施工效率和预制质量。

此外,项目团队还注重模板工程的精准施工,采用可调式钢模板和液压支撑装置,确保沉箱尺寸精确无误,减少变形风险。物联网监测平台凭借其强大的实时监控功能,为沉箱的吊装作业提供了全面而可靠的安全保障。通过这些质量控制措施,项目成功实现了沉箱预制的高质量完成,为后续码头建设奠定了坚实的基础。

在模板拼接过程中,项目团队采用高精度测量仪器进行定位,确保模板拼接的严密性和稳定性。同时,对模板进行定期的清洁和维护,防止杂质混入混凝土,

影响沉箱的外观质量和耐久性。此外,项目团队还建立了完善的质量管理体系,对预制过程中的每个环节进行严格的质量检测(表1)和记录,确保沉箱预制质量可追溯、可控制。

表1 沉箱预制质量控制标准

控制项	标准要求	检测方法
尺寸偏差	长度 ± 10 mm, 对角线 ± 15 mm	全站仪+钢尺复核
裂缝宽度	≤ 0.2 mm	裂缝观测仪
混凝土强度	C40 以上	回弹法+钻芯取样

2.5 应用成效

1. 显著缩短工期:通过精细化分析与预制流程优化,单件预制周期从45天大幅缩短至28天,此改进显著提升了工作效率,并为项目进度提供了坚实的保障,确保工程能够按时甚至提前完成。

2. 成本有效降低:实施模板重复利用策略,通过精心设计与管理,模板重复利用率高达90%。该措施直接导致综合成本显著减少,节约比例达到18%,从而节约了大量资源,并显著提升了项目经济效益,为公司创造了更多利润空间。

3. 质量显著提升:在沉箱安装工艺方面进行了深入改进与创新,使一次性合格率成功提升至97%,体现了对质量控制水平的高度重视,确保了提供高标准产品与服务。这种对质量的追求不仅提升了公司声誉,也极大地增加了客户满意度与信任度。

4. 环境友好型施工:在施工过程中使用环保材料,并引入智能化施工监控技术,有效减少了施工噪声与粉尘污染,同时对施工现场废弃物进行了有效管理与回收,不仅满足了绿色施工要求,而且促进了可持续发展理念,为环境保护做出了积极贡献。

3 沉箱预制技术在航道港口码头施工中应用存在的问题与改进建议

1. 技术瓶颈:在超大型沉箱的吊装作业中,作业精度不足成为制约工程质量和安全的关键因素。为解决此问题,亟需开发自适应定位系统,以提高吊装作业的精确度,确保沉箱的准确安装。

2. 环保挑战:预制场在生产过程中大量使用混凝土及其他材料,导致碳排放强度较高,与低碳环保的发展理念相悖^[6]。因此,推广低碳混凝土技术,采用环保材料和工艺,降低预制场的碳排放量,是推动绿色可持续发展的关键。

3. 智能化升级:随着工业自动化和智能化水平的

不断提升,机器视觉技术在表面缺陷检测中的作用愈发凸显。通过增强机器视觉技术的自动识别能力,可以显著提高检测效率和准确性,从而减少人工检测的误差和成本。这不仅有助于提升产品质量,而且对于加速行业智能化升级进程,实现生产效率的飞跃,是至关重要的必要措施。

4. 人员培训:目前施工人员对新技术的接受度和应用能力存在差异,这在很大程度上影响了技术应用的效果。因此,加强施工人员的技术培训,深化其对新技术、新工艺的理解和掌握,是确保技术应用精准高效的关键。同时,建立激励机制,鼓励施工人员积极参与技术创新和改进,形成良性循环,从而推动整个行业技术进步和效率提升。

5. 安全管理:在沉箱的预制和吊装过程中,由于涉及重型设备和高空作业,安全风险较高,因此必须进一步加强安全管理。完善安全管理制度,强化安全教育培训,提升施工人员的安全意识,确保每位员工都能严格遵守安全操作规程。同时,加强现场安全监控,利用先进的监控设备及时发现和消除安全隐患,确保施工安全,避免事故发生,保护员工的生命安全和身体健康。

4 结束语

沉箱预制技术通过采用标准化的设计方案、精细化的施工流程以及智能化的管理控制手段,显著地提升了港口码头工程施工的质量和效率。该技术不仅极大地提高了施工的速度,而且在确保工程质量方面发挥着至关重要的作用,为工程的顺利进行奠定了坚实的基础。沉箱预制技术的广泛应用还有助于推动港口码头工程行业的持续发展和技术创新,为未来的工程建设提供了更多的可能性和选择。

参考文献:

- [1] 王建国,李志刚.港口沉箱预制施工关键技术[J].水运工程,2020(05):45-50.
- [2] 李阳,陈强.高性能混凝土在港口沉箱预制中的性能优化与应用[J].混凝土世界,2021(08):76-82.
- [3] 赵鑫,孙明,刘畅.组合钢模板在大型沉箱预制中的创新应用与实践[J].建筑施工技术前沿,2023(03):35-42.
- [4] 张伟.BIM技术在沉箱预制中的应用研究[D].天津:天津大学,2022.
- [5] 钱进,杨晓.超大型沉箱吊装作业精度控制技术研究与应用[J].港口装卸,2023(04):28-32.
- [6] 郑宏,王芳.港口工程沉箱预制场的绿色环保技术与实践[J].环境工程前沿,2024(02):105-112.