

沉井施工下沉姿态调控与井壁裂缝防治技术

易晓辉

武汉致远建设集团有限公司 430050

DOI: 10.32629/ems.v8i4.19683

[摘要] 本文聚焦沉井施工下沉姿态调控与井壁裂缝防治技术, 深入探讨创新思维与方法。通过分析影响因素, 提出针对性的姿态调控与裂缝防治策略, 旨在提高沉井施工质量与安全性, 为相关工程提供理论与技术支持。

[关键词] 沉井施工; 下沉姿态调控; 井壁裂缝防治; 创新技术

引言:

沉井施工在各类基础工程中应用广泛, 其下沉姿态与井壁裂缝问题直接影响工程质量与安全。传统技术存在一定局限性, 因此探索创新的调控与防治技术具有重要现实意义。

1. 沉井施工现状与问题

1.1 施工技术概述

沉井施工是一种深基础施工技术, 凭借承载力强、施工占地少、适应复杂地质条件等优势, 广泛应用于我国桥梁基础、地下构筑物、水利工程等领域。当前国内沉井施工已形成较为成熟的工艺体系, 核心流程涵盖沉井预制、基坑开挖、下沉作业、封底回填等关键环节, 根据地质条件差异, 可采用排水下沉或不排水下沉工艺。随着我国超级工程建设推进, 沉井施工朝着大型化、深水化、智能化方向发展, 出现环形嵌入式、巨型混凝土沉井等新型结构形式, 施工技术不断创新突破。但受地质条件复杂性、施工工艺规范性、结构设计合理性等因素影响, 沉井施工过程中仍存在姿态偏差、井壁裂缝等突出问题, 制约施工质量与工程安全, 亟需通过技术优化实现精准调控与有效防治。

1.2 常见姿态问题

沉井下沉姿态偏差是施工过程中最常见的问题, 直接影响沉井结构稳定性与后续工程质量, 其表现形式具有多样性与复杂性。下沉姿态问题主要包括倾斜、偏移、扭转三类, 倾斜表现为沉井上下端轴线不重合, 一侧下沉过快、一侧下沉滞后, 多发生于地质不均匀区域; 偏移表现为沉井中心轴线偏离设计轴线, 超出规范允许范围, 易导致后续结构对接困难; 扭转表现为沉井绕中心轴线发生旋转, 破坏井壁受力平衡, 加剧局部应力集中。此类问题的产生与施工过程中取土不均匀、地质阻力差异、纠偏不及时等密切相关, 若不及时调控, 会导致沉井井壁开裂、下沉停滞, 甚至引发坍塌事故, 增加施工成本与安全风险, 影响工程整体进度。

1.3 井壁裂缝危害

井壁裂缝是沉井施工中另一类突出问题, 其危害贯穿施工全过程及工程运营阶段, 严重影响沉井结构的安全性与耐久性。裂缝会破坏井壁的整体性与密封性, 导致地下水、泥沙渗入沉井内部, 增加排水难度, 引发井壁渗漏、管涌等隐患, 威胁施工人员安全。裂缝会加剧井壁应力集中, 使裂缝持续扩展, 降低井壁承载能力, 严重时会导致井壁坍塌, 造成工程停工与经济损失。对于水下沉井、桥梁基础沉井等特殊工程, 裂缝会削弱结构抗腐蚀能力, 加速钢筋锈蚀与混凝土碳化, 缩短工程使用寿命。

2. 下沉姿态影响因素分析

2.1 地质条件影响

地质条件是影响沉井下沉姿态的核心外部因素, 我国地域辽阔, 地质类型多样, 不同区域地质条件差异直接导致沉井下沉姿态的不稳定性。地质不均匀是最主要的影响因素, 土层软硬不均、岩性差异较大, 会导致沉井底部受力失衡, 下沉速度不一致, 进而引发倾斜与偏移。地下水位过高会增加沉井浮力, 降低下沉速率, 同时地下水的流动会冲刷井壁周围土体, 破坏土体稳定性, 导致沉井姿态偏差。不良地质会加剧姿态问题, 软土、流砂层会导致沉井不均匀沉降, 裸岩区域则会因岩体硬度差异, 导致沉井着床不平整, 引发倾斜, 复杂地质条件下的施工的难度显著增加, 姿态调控的精准度要求更高。

2.2 施工工艺因素

施工工艺的规范性直接决定沉井下沉姿态的稳定性, 不合理的施工工艺是引发姿态偏差的主要人为因素。取土工艺不当是核心诱因, 取土不均匀、取土顺序混乱, 会导致沉井底部土体开挖厚度不一致, 受力失衡, 进而引发倾斜与偏移; 盲区取土不彻底, 会残留土体阻碍沉井下沉, 导致局部下沉滞后。下沉速度控制不合理, 过快下沉会导致沉井惯性倾斜,

过慢下沉则会因土体固结增加下沉阻力, 加剧姿态偏差。纠偏工艺不及时、不规范, 发现姿态偏差后未采取针对性纠偏措施, 或纠偏力度不足、方法不当, 会导致偏差持续扩大, 难以整改, 同时沉井接高、封底等环节的工艺缺陷, 也会间接影响下沉姿态的稳定性。

2.3 结构设计关联

沉井结构设计的合理性与下沉姿态密切相关, 设计缺陷会从根本上增加姿态偏差的风险, 影响施工质量与安全。井壁厚度设计不均, 会导致沉井重心偏移, 下沉过程中难以保持垂直姿态, 易发生倾斜; 刃脚设计不合理, 刃脚角度、厚度不符合地质条件要求, 会降低破土能力, 导致下沉阻力不均, 引发姿态偏差。沉井结构刚度不足, 会在下沉过程中因受力不均发生变形, 进而导致姿态失控; 配重设计不合理, 配重不足会导致下沉速度缓慢, 配重不均则会加剧重心偏移, 增加姿态调控难度。此外, 结构设计未充分考虑地质条件与施工工艺特点, 会导致设计与实际施工脱节, 进一步加剧下沉姿态问题。

3. 创新姿态调控技术

3.1 智能监测系统

智能监测系统是沉井下沉姿态精准调控的核心支撑, 依托现代传感技术与数据处理技术, 实现姿态数据的实时采集、分析与预警, 打破传统人工监测的局限性。系统通过在沉井关键部位预埋位移传感器、压力传感器、北斗定位传感器等元器件, 实时采集下沉速度、倾斜角度、中心偏移量、土体应力等核心数据, 数据通过无线传输技术同步上传至监控云平台。平台通过 AI 算法对数据进行实时分析, 精准识别姿态偏差趋势, 当数据超出规范允许范围时, 自动发出预警信号, 为施工人员提供精准的决策依据。智能监测系统实现了沉井下沉姿态的可测、可视、可控, 替代了传统人工测量工艺, 提升了监测精度与效率, 为姿态调控提供了科学支撑。

3.2 动态纠偏方法

动态纠偏方法立足沉井下沉姿态的实时变化, 结合智能监测数据, 实现偏差的精准、快速整改, 避免偏差扩大, 保障沉井平稳下沉。针对倾斜偏差, 采用不均衡取土纠偏法, 通过调整取土位置与取土量, 对下沉滞后一侧加大取土力度, 对下沉过快一侧减少取土, 逐步校正倾斜姿态; 结合空气幕辅助纠偏, 通过在井壁预埋管路喷射压缩空气, 减小井壁与土层摩擦阻力, 辅助调整下沉速度。针对偏移偏差, 采用配重调整法与注浆纠偏法相结合, 通过在偏移一侧增加配重、

在另一侧注浆加固土体, 调整沉井重心, 逐步将沉井拉回设计轴线。动态纠偏方法注重实时调整, 根据监测数据动态优化纠偏方案, 确保纠偏效果, 避免过度纠偏引发新的姿态问题。

3.3 信息化控制手段

信息化控制手段将大数据、BIM 技术与沉井施工深度融合, 实现下沉姿态的全流程精准管控, 提升调控的智能化与规范化水平。依托 BIM 技术构建沉井三维模型, 模拟不同地质条件与施工工况下的下沉轨迹, 优化施工方案与姿态调控策略, 提前规避潜在姿态偏差风险。利用大数据技术分析历史施工数据、地质数据, 构建姿态偏差预测模型, 精准预判下沉过程中可能出现的姿态问题, 提前制定防控措施。通过信息化控制平台, 实现施工工艺参数、姿态监测数据、纠偏措施的一体化管理, 施工人员可通过平台远程监控沉井下沉状态, 精准下达取土、纠偏等操作指令, 实现姿态调控的信息化、智能化, 确保沉井下沉精度符合设计要求。

4. 井壁裂缝成因剖析

4.1 材料性能因素

材料性能是影响井壁裂缝产生的基础因素, 混凝土与钢筋的性能缺陷会直接降低井壁的抗裂能力, 增加裂缝产生的概率。混凝土配合比不合理, 胶凝材料用量过多、水胶比过大, 会导致混凝土收缩量增大, 收缩过程中产生的拉应力超过混凝土抗拉强度, 引发裂缝; 骨料级配不佳、杂质过多, 会降低混凝土的密实度与抗拉性能, 加剧裂缝产生。钢筋配置不合理, 钢筋间距过大、保护层厚度不足, 会导致钢筋无法有效约束混凝土收缩, 无法承担拉应力, 进而引发裂缝; 钢筋材质不符合要求, 抗拉强度不足, 会在混凝土收缩过程中被拉断, 失去对混凝土的约束作用。材料质量管控不严, 使用不合格的混凝土、钢筋, 会从根本上降低井壁结构的抗裂性能, 增加裂缝隐患。

4.2 温度应力作用

温度应力是沉井井壁裂缝产生的主要诱因之一, 沉井混凝土浇筑与养护过程中, 温度变化产生的应力超过混凝土抗拉强度, 会引发温度裂缝。混凝土浇筑过程中会释放大量化热, 导致井壁内部温度快速升高, 而表面温度受环境影响升温较慢, 内外温差形成温度应力, 当应力超过混凝土抗拉强度时, 会在井壁表面产生裂缝。养护不及时、养护方式不当, 会导致混凝土表面水分快速蒸发, 温度快速下降, 加剧内外温差, 同时混凝土收缩得不到有效控制, 进一步扩大温

度裂缝。季节变化与环境温度波动,会导致井壁混凝土反复收缩与膨胀,长期作用下会使原有裂缝持续扩展,同时产生新的裂缝,降低井壁结构的整体性与耐久性。

4.3 施工过程影响

施工过程中的不规范操作,会直接引发井壁裂缝,加剧裂缝扩展,影响井壁结构安全。混凝土浇筑工艺不当,浇筑速度过快、振捣不密实,会导致混凝土内部存在气孔、蜂窝等缺陷,降低混凝土密实度与抗拉性能,易引发裂缝;浇筑顺序混乱,会导致混凝土凝固时间不一致,产生收缩差异,引发裂缝。沉井下沉过程中,井壁受力不均,局部应力集中,超过混凝土抗拉强度,会引发受力裂缝;纠偏力度过大、方法不当,会导致井壁局部受力突变,产生裂缝。养护过程不规范,养护时间不足、养护覆盖不全面,会导致混凝土强度增长缓慢,抗裂能力不足,同时表面收缩过快,引发裂缝,施工过程中的碰撞、撞击也会导致井壁产生机械裂缝。

5. 防治对策与建议

5.1 材料优化措施

材料优化是预防井壁裂缝的基础,通过优化材料性能、严格质量管控,提升井壁混凝土的抗裂能力,从源头减少裂缝产生。优化混凝土配合比,合理控制胶凝材料用量与水胶比,掺入优质掺合料,改善混凝土的工作性能与收缩性能,降低收缩量,提升抗拉强度;优化骨料级配,选用质地坚硬、级配合理的骨料,去除杂质,提升混凝土的密实度与抗裂性能。合理配置钢筋,根据井壁受力特点,优化钢筋间距与保护层厚度,选用抗拉强度符合要求的钢筋,增强钢筋对混凝土收缩的约束作用,分担混凝土承受的拉应力。加强材料质量管控,严格检验混凝土、钢筋等原材料的质量,杜绝不合格材料进场,确保材料性能符合设计要求。

5.2 施工工艺改进

改进施工工艺是预防井壁裂缝的关键,通过规范施工操作、优化工艺参数,减少施工过程中裂缝的产生与扩展。优化混凝土浇筑工艺,控制浇筑速度与振捣质量,确保混凝土振捣密实,避免产生气孔、蜂窝等缺陷;合理规划浇筑顺序,确保混凝土凝固时间一致,减少收缩差异。加强温度控制,浇筑过程中采取分层浇筑、分层散热措施,降低水化热产生的内外温差;养护过程中及时覆盖保温材料,控制混凝土降温速度,延长养护时间,确保混凝土强度稳定增长,减少温

度裂缝。规范沉井下陷与纠偏操作,控制下沉速度,避免受力不均,纠偏过程中循序渐进,避免局部受力突变,减少受力裂缝的产生。

5.3 裂缝修复技术

裂缝修复技术针对已产生的井壁裂缝,根据裂缝宽度、深度与危害程度,采取针对性的修复措施,恢复井壁结构的整体性与密封性,避免裂缝持续扩展。对于浅层、细小裂缝,采用表面封闭法,通过涂抹专用封闭材料,覆盖裂缝表面,阻止地下水、泥沙渗入,防止裂缝进一步扩展。对于中层、中等宽度裂缝,采用压力注浆法,将高强度注浆材料通过压力注入裂缝内部,填充裂缝空隙,待注浆材料凝固后,与井壁混凝土形成整体,恢复井壁承载能力与抗渗性能。对于深层、宽裂缝,采用加固修复法,在裂缝两侧粘贴加固材料,增强井壁局部强度,约束裂缝扩展,同时结合注浆法填充裂缝内部,实现裂缝的彻底修复,确保修复后的井壁性能符合设计要求,保障工程安全。

结束语:

综上所述,通过对沉井施工下沉姿态调控与井壁裂缝防治技术的研究,创新的思维与方法为解决相关问题提供了有效途径。未来应进一步完善技术体系,推动沉井施工质量与安全水平的提升。

[参考文献]

- [1]王显臣,苟小平,徐安,等.张靖皋长江大桥沉井施工下沉取土及空气幕助沉技术[J].公路,2025,70(12):181-189.
- [2]王松,赵振丰,刘虎虎,等.沉井不排水下沉的智能取土系统与控制方法研究[J].铁道建筑技术,2025,(12):48-52.
- [3]王敬义.大型沉井施工技术在复杂地质条件下的应用与挑战[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(32):130-133.
- [4]郭得福,张景丽,房玉中,等.嘉兴市域铁路地下车站连续沉井法施工工艺实践与创新[J].隧道建设(中英文),2025,45(08):1577-1589.
- [5]吴宜铸.深基坑沉井施工不排水下沉姿态控制及对地表变形影响[D].苏州科技大学,2023.