

大直径沉井施工关键技术及应用

油孝宽

中国电建市政建设集团有限公司 天津 300392

摘要: 大直径沉井作为深基础工程的重要结构形式,广泛应用于顶管穿河、地下泵房等多个工程领域,其施工质量与安全直接关系到整个工程的稳定性。本文以青岛市官路水库输配水工程(一期)原水输水管道二标段穿南胶莱河顶管工作井、穿大沽河堤防及河槽顶管工作井为例,根据工作井的结构特征、施工要求及核心难点,系统梳理沉井制作、下沉、封底、纠偏、监测等关键技术,分析施工前期准备与现场管控要点,探讨不同地质、工程场景下技术适配调整方法。研究整合关键技术体系与应用适配策略,为大直径沉井施工提供科学指导,助力规范施工流程,提升施工质量与安全性,保障工程长期稳定运行。

关键词: 大直径沉井; 施工关键技术; 地质适配; 现场管控

引言: 随着我国基础设施建设不断推进,顶管工作井、地下工程等领域对深基础结构的需求日益增长,大直径沉井凭借尺寸大、承载力强、适用范围广等优势,在复杂地质条件下的工程建设中得到广泛应用。大直径沉井施工涉及多个复杂工序,受地质条件、施工环境等多种因素影响,面临下沉困难、倾斜、渗漏等诸多挑战,对施工技术与现场管控要求极高。当前,大直径沉井施工技术仍需结合实际场景不断优化完善,因此,深入研究施工关键技术及应用适配要点,对规范施工流程、解决施工难点、保障工程质量与安全具有重要的现实意义。

1 大直径沉井的结构特征与施工要求

1.1 大直径沉井的结构组成与特点

大直径沉井作为深基础工程中一种重要的结构形式,通常由刃脚、井壁、封底等部分构成。刃脚位于沉井底部,呈尖形或楔形,其作用是在沉井下沉过程中切入土层,减少下沉阻力,引导沉井垂直下沉。井壁是沉井主体结构,承受着外部水土压力及上部结构荷载,需具备足够强度与刚度,以维持沉井整体稳定性。封底在沉井下沉至设计标高后施工,封闭井底,防止地下水渗入,为上部结构提供稳定承载面。大直径沉井特点显著,尺寸规模大,青岛市官路水库输配水工程(一期)原水输水管道二标段穿南胶莱河顶管工作井、穿大沽河堤防及河槽顶管工作井外径直径21.6m,壁厚1.8m,深度28m,对地基承载力与稳定性要求高。结构复杂,各部分构造精细,施工精度要求严苛,任何一个环节出现问题都可能影响整体质量与安全。施工周期长,从制作到下沉、封底,需经历多个工序,且受地质条件、气候环境等因素影响大。适用范围广,可用于桥梁墩台、地下泵房、地下油库等多种工程,在跨越江河、穿越软弱土层等复杂地质

条件下具有独特优势。

1.2 大直径沉井施工的核心技术要求

大直径沉井施工对技术要求极高^[1]。制作阶段,需精确控制模板尺寸与安装精度,确保井壁、刃脚等结构尺寸符合设计要求。钢筋绑扎要牢固,间距均匀,保证结构受力性能。混凝土浇筑要分层、连续进行,避免出现冷缝,振捣密实,确保混凝土强度与耐久性。下沉阶段,要合理选择下沉方法,根据地质条件与沉井尺寸,确定排水下沉或不排水下沉。严格控制下沉速度,避免过快导致沉井倾斜或超沉。精准监测沉井姿态,及时调整下沉方向,确保沉井垂直下沉。封底阶段,要彻底清理井底杂物与淤泥,保证封底混凝土与井壁、地基良好结合。选择合适封底材料与施工工艺,确保封底质量,防止渗漏。

1.3 大直径沉井施工的核心难点

大直径沉井施工面临诸多核心难点。地质条件复杂多变,不同土层物理力学性质差异大,软弱土层、流砂层、岩层等给沉井下沉带来极大困难,易出现下沉困难、倾斜、突沉等问题。沉井尺寸大,自重重,对地基承载力要求高,若地基处理不当,易导致沉井下沉不均匀或地基失稳。施工过程监测难度大,需实时掌握沉井姿态、应力应变等参数,监测设备精度与可靠性直接影响施工安全与质量。施工环境复杂,受周边建筑物、地下管线等限制,施工空间狭窄,给沉井制作、下沉等工序带来诸多不便,增加了施工风险与难度。

2 大直径沉井施工关键技术体系

2.1 沉井制作关键技术

大直径沉井制作是整个施工过程的基础环节,对后续施工及最终质量影响深远。模板工程方面,需依据沉井形状与尺寸精心设计模板体系。模板要有足够强度与

刚度,能承受混凝土浇筑时产生的侧压力与冲击力,保证不变形、不漏浆^[2]。安装时严格把控垂直度与平整度,确保沉井结构尺寸精准。钢筋工程中,钢筋选型要符合设计要求,具备良好力学性能。加工时控制好钢筋弯曲半径与角度,保证钢筋形状准确。钢筋骨架制作要遵循规范,绑扎牢固,间距均匀,避免出现松散或位移情况。安装时注意与模板间距,防止钢筋外露或保护层厚度不足。混凝土浇筑是关键步骤,要选择合适配合比,保证混凝土强度、和易性与耐久性。浇筑采用分层分段方式,从沉井一端向另一端推进,每层厚度控制在合理范围,确保混凝土充分振捣密实,避免出现蜂窝麻面、孔洞等缺陷。浇筑完成后及时进行养护,保持混凝土表面湿润,防止开裂,保证强度正常增长。

2.2 沉井下沉关键技术

沉井下沉是大直径沉井施工核心环节,技术要求高、难度大。下沉方法选择要综合考量地质条件、沉井尺寸、周边环境等因素。排水下沉适用于渗透系数较大、地下水量少的土层,通过设置排水系统降低地下水位,使沉井在无水状态下下沉。不排水下沉则用于地下水量大、土质松软情况,借助泥浆护壁等措施保持井壁稳定。下沉过程中要严格控制速度,避免过快引发沉井倾斜或超沉。通过合理取土顺序与方式,保证沉井均匀下沉。加强下沉过程监测,利用先进测量仪器实时掌握沉井姿态、位移与倾斜情况,一旦发现偏差及时调整。

2.3 止水封底关键技术

止水封底是大直径沉井施工的最后一道关键工序,直接影响沉井的防渗性能和结构稳定性,尤其在高压水、深水地层中,需重点控制涌水、涌砂问题,确保封底质量。对于高压水地层,沉井下沉至设计标高后,需先进行止水处理,采用不降水或微降水施工,避免降水导致周边土体沉降。止水措施可采用井壁外侧注浆、高压旋喷桩止水帷幕等,形成封闭的止水体系,防止涌水涌砂。水下封底采用多导管同步浇筑混凝土的方式,导管间距控制在2-3m,确保混凝土均匀上升,避免出现封底空洞。浇筑过程中,控制混凝土上升速度不低于0.5m/h,确保混凝土密实度和抗渗性能。封底混凝土强度达到设计强度的70%后,及时进行壁后注浆,填充井壁与土体之间的间隙,控制后期沉降,提高沉井整体稳定性。此外,可采用内外双道密封垫,进一步提升沉井的防渗性能,适配高水压环境。

2.4 沉井纠偏关键技术

沉井在下沉过程中易因地质不均、取土偏差等因素出现倾斜或位移,需及时纠偏。纠偏方法多样,对于小

角度倾斜,可采用在沉井高侧增加荷载、在低侧挖土等方式调整下沉速度,使沉井逐渐复位。增加荷载可采用堆放砂袋、混凝土块等方式,对于较大角度倾斜或位移,可利用外力辅助纠偏,如在沉井外侧设置千斤顶等顶推设备,施加外力纠正沉井姿态。千斤顶的顶推力要根据沉井的重量和倾斜程度进行计算确定,纠偏过程要密切监测沉井变化,根据实际情况灵活调整纠偏措施,监测频率应适当提高,如每2-4小时监测一次,确保沉井安全、准确下沉至设计位置^[3]。纠偏完成后,要对沉井进行再次监测,确认其稳定性。

2.5 智能监控技术

随着智能化技术的发展,智能监控已成为大直径沉井施工的重要支撑,可实现施工过程的实时监测、自动预警、AI辅助决策,大幅提升施工安全性和精准度。智能监控系统主要由传感器、数据采集模块、智能分析平台组成:采用北斗定位、全站仪定位监测沉井的平面位置和下沉量;采用倾角传感器监测沉井的垂直度;采用土压力传感器、水位传感器监测井壁受力和周边水文变化;采用应变传感器监测沉井结构应力,实时采集施工过程中的各类数据。智能分析平台通过对采集的数据进行整理、分析,实现三维可视化展示,自动识别异常数据,发出预警信号,并给出纠偏、止水等优化建议,辅助施工人员做出决策。通过智能监控系统,实现了沉井姿态、受力、水文数据的实时监测,确保了沉井精准就位,提升了施工效率和安全性。

3 大直径沉井施工的前期准备与现场管控

3.1 施工前期准备工作

大直径沉井施工前期准备工作是保障工程顺利推进的基石。地质勘察工作需全面且深入,通过多种勘探手段,如钻探、物探等,精准掌握施工区域的地质结构、土层分布、地下水位等关键信息。不同土层的物理力学性质差异显著,对沉井施工影响巨大,例如软弱土层可能导致沉井下沉困难或倾斜,坚硬岩层则会增加下沉阻力,准确的地质数据能为后续施工方案制定提供可靠依据。施工场地规划同样不容忽视。合理确定沉井制作、存放及下沉区域位置,确保各区域之间运输便捷、互不干扰。对场地进行平整处理,清除杂物与障碍物,保证场地承载力满足施工要求,避免因场地沉降影响沉井制作与下沉质量。同时,搭建完善的临时设施,如办公区、生活区、材料堆放区等,为施工人员创造良好的工作与生活环境。施工方案编制是前期准备的核心环节。依据地质勘察结果与工程实际需求,科学设计沉井结构尺寸、制作工艺、下沉方法及封底措施等。明确各工序施工流程

与技术要求,制定详细的质量控制标准与安全保障措施。组织专家对施工方案进行论证评审,确保方案的科学性、合理性与可行性。

3.2 施工过程中的现场管控要点

现场管控贯穿大直径沉井施工全过程,对工程质量与进度起着决定性作用。在沉井制作阶段,严格把控模板安装质量,确保模板尺寸准确、拼接严密、支撑牢固,防止混凝土浇筑时出现跑模、漏浆等问题。加强钢筋工程监管,检查钢筋规格、数量、间距及绑扎质量,保证钢筋骨架的强度与稳定性。混凝土浇筑过程中,控制好浇筑速度与顺序,采用分层振捣方式,确保混凝土密实度,避免出现蜂窝麻面、孔洞等缺陷。沉井下沉阶段,实时监测沉井姿态与下沉速度。通过精密测量仪器,如全站仪、水准仪等,定期测量沉井的垂直度、位移量,依据监测数据及时调整取土位置与方式,保证沉井均匀、稳定下沉。严格控制下沉速度,避免过快导致沉井失稳或超沉,过慢则影响施工进度。封底施工时,确保井底清理干净,无杂物与浮泥。严格按照封底施工工艺要求进行操作,保证封底材料质量与施工质量,形成连续、密实的封底层,有效阻止地下水渗入。

3.3 施工过程中的安全管控要点

安全是施工生产的生命线,大直径沉井施工安全管控至关重要。建立健全安全管理制度,明确各级管理人员与施工人员的安全职责,将安全责任落实到每个环节、每个岗位。加强安全教育培训,提高施工人员的安全意识与操作技能,使其熟悉施工过程中的安全风险与防范措施。对施工现场进行全面安全检查,及时发现并消除安全隐患^[4]。在沉井制作、下沉等关键工序施工前,进行专项安全技术交底,确保施工人员了解施工安全要求与应急处理方法。设置明显的安全警示标志,对危险区域进行隔离防护,配备必要的安全防护用品与消防器材。制定完善的应急预案,针对可能出现的坍塌、淹溺、触电等事故,明确应急处置流程与救援措施。定期组织应急演练,提高施工人员的应急响应能力与协同配合能力,确保在事故发生时能够迅速、有效地进行救援,最大限度减少事故损失。

4 大直径沉井施工关键技术的应用适配

4.1 不同地质条件下关键技术的适配调整

大直径沉井施工需应对多样地质条件,技术适配调

整需结合土层物理力学特性科学开展。软土地层土体强度偏低且压缩性较高,沉井下沉过程中易出现突沉、倾斜等问题,需严格控制取土速度与范围,采用分层对称挖掘方式,避免局部超挖引发的受力不均。沉井外侧需进行加固处理,通过高压旋喷桩形成防渗墙,砂层地质透水性强,防止渗水。取土作业优先选用吸泥机等专用设备,减少机械扰动引发的流砂风险,必要时向井内注入触变泥浆形成润滑套,降低井壁侧壁摩阻力,适配顶管长度828m、顶管管径3.84m的施工需求,确保沉井平稳下沉,为后续顶管施工筑牢基础。

4.2 不同工程场景下关键技术的应用要点

不同工程场景对沉井施工技术提出差异化要求,技术应用需结合工程实际需求优化适配。顶管长度828m、顶管管径3.84m的顶管工程中,沉井作为顶管工作井,位置与标高控制需达到较高精度,确保与顶管轴线保持一致。封底施工需注重密实性与防水性,采用导管法浇筑混凝土时,严格控制混凝土坍落度与浇筑速度,避免出现夹泥、离析等质量缺陷,杜绝渗漏问题对顶管施工造成不利影响^[5]。

结束语

大直径沉井施工关键技术及应用适配的研究,为解决复杂地质与工程场景下的施工难题提供了有效途径。通过精准把握各环节技术要点,依据地质与工程特点灵活调整技术方案,可显著提升沉井施工质量与安全性。在后续工程实践中,持续优化技术体系,强化现场管控,能推动大直径沉井施工技术不断进步,为各类工程建设提供坚实保障,助力行业高质量发展。

参考文献

- [1]李永旗.桥梁大型浮运沉井施工关键技术[J].世界桥梁,2023,51(1):50-57.
- [2]方存星,袁兴学,罗杰豪.临海非均匀土层造陆区沉井施工关键技术[J].珠江水运,2025(1):32-34.
- [3]陈西鹏.长距离污水管道顶管工程中的沉井施工关键技术研究[J].工程建设与设计,2024(16):209-211.
- [4]薛东波.深厚砂层超深沉井施工关键技术研究及应用[J].工程技术研究,2021,6(22):60-61.
- [5]王永超.大直径热力管道顶管过路施工关键技术探究和实践[J].建设科技,2024,(S1):114-116+123.