

# 沉井施工工艺优化与下沉偏差控制技术研究

郭爽宇 彭宇最

湖北禹龙水利水电工程有限公司

DOI:10.32629/hwr.v10i2.6862

**[摘要]** 沉井施工作为地下工程建设的关键环节,其工艺水平与偏差控制能力直接关乎工程整体的安全性与耐久性。本文深入探讨沉井施工工艺的系统性优化路径,从材料性能提升、机械设备升级、工序流程重构及方案风险预控四个维度提出改进策略,旨在解决传统施工中效率低下与质量波动问题。同时,文章剖析导致沉井下沉偏差的多重诱因,涵盖地质环境复杂性、施工操作规范性、结构设计合理性以及物资设备匹配度等方面。在此基础上,重点研究基于实时监测技术的动态反馈机制与多元化纠偏措施的应用逻辑,强调施工全过程的精细化管控与多部门协同作业的重要性。通过构建工艺优化与偏差控制的耦合体系,本文致力于消除施工隐患,确保沉井结构精准就位,为同类地下工程施工提供严谨的理论依据与技术支撑,推动行业施工标准向更高水平迈进。

**[关键词]** 沉井施工; 工艺优化; 下沉偏差; 控制技术

中图分类号: U445.55+7 文献标识码: A

## Research on the Optimization of Cofferdam Construction Technology and Control Techniques for Settlement Deviation

Shuangyu Guo Yuzui Peng

Hubei Yulong Water Conservancy and Hydropower Engineering Co., Ltd

**[Abstract]** As a key link in underground engineering construction, the technology level and deviation control ability of caisson construction directly affect the overall safety and durability of the project. This article delves into the systematic optimization path of caisson construction technology, proposing improvement strategies from four dimensions: improving material performance, upgrading mechanical equipment, reconstructing process flow, and pre controlling scheme risks. The aim is to solve the problems of low efficiency and quality fluctuations in traditional construction. At the same time, the article analyzes the multiple factors that lead to the deviation of sinking of the caisson, covering the complexity of the geological environment, the standardization of construction operations, the rationality of structural design, and the matching degree of materials and equipment. On this basis, the focus is on studying the application logic of dynamic feedback mechanism and diversified corrective measures based on real-time monitoring technology, emphasizing the importance of refined control and multi departmental collaborative operation throughout the construction process. By constructing a coupled system of process optimization and deviation control, this article aims to eliminate construction hazards, ensure precise positioning of the caisson structure, provide rigorous theoretical basis and technical support for similar underground engineering construction, and promote the industry's construction standards to a higher level.

**[Key words]** sinking well construction; Process optimization; Sinking deviation; control technology

### 引言

沉井施工是桥梁基础、地下泵房以及取水头等深埋工程建设当中的关键施工工艺,其施工质量直接决定工程整体的安全性与耐久性。因受复杂地质条件、施工操作误差以及结构设计局限等多种因素的影响,沉井在下沉过程中非常容易出现倾斜、

位移等偏差问题,严重威胁结构稳定且增加纠偏难度。传统施工模式在效率控制与风险预控等方面存在明显不足,很难满足现代工程对于精细化建造所提出的高标准要求。因此,系统优化施工工艺并且构建科学的下沉偏差控制体系,对于提升工程质量、规避施工风险具有重要的理论价值与现实意义。

## 1 沉井施工工艺系统性优化路径

### 1.1 高性能材料选型与配比调控

材料性能的好坏是决定沉井结构强度与耐久性的根本性因素,因此必须改变传统单一的材料选用思路,转而寻求高性能混凝土与优质钢材的科学搭配。在混凝土制备期间,应当优先挑选低水化热、高抗渗性以及高强度的胶凝材料,并且通过精密调节水泥、矿物掺合料、骨料以及外加剂的配比关系,大幅提高混凝土拌合物的工作性能与硬化后的密实程度。合理的配比设计能够有效抑制裂缝的产生,增强井壁在复杂水土压力作用下的抗裂能力,以确保结构在长期服役过程中的稳定性。对于钢筋材料,需要严格筛选具备高屈服强度与良好延展性的钢材品种,同时在加工制作环节严格遵照设计规范执行,保证钢筋骨架的几何尺寸精确、绑扎牢固并且锚固长度充足。针对特殊地质环境,还可以引入纤维增强材料或者防腐涂层技术,进一步提升沉井结构的耐腐蚀性与抗冲击能力,从根源上夯实工程质量的基础。

### 1.2 智能化装备升级与自动化应用

施工设备的现代化程度直接影响沉井作业的效率 and 精度,引进智能化装备是达成工艺优化的关键途径。传统依靠人工经验操作的挖掘与运输模式存在较大不确定性,自动化混凝土浇筑系统的运用能够实现布料均匀且振捣密实,极大减少人为因素造成的质量差异。在土方开挖阶段,配置具备自动定位和深度控制功能的智能挖掘机或抓斗设备,可严格依据预设轨迹进行分层对称挖掘,有效防止单侧超挖导致的受力失衡情况。借助水下机器人或高清摄像探测系统深入井底开展实时勘察,能够精确识别刃脚处的土体状态和障碍物分布,为施工决策提供直观可靠的依据。先进的监测仪器和数据传输系统的综合应用,使施工参数的采集与分析更加及时准确,推动沉井施工从经验驱动向数据驱动转变,明显降低劳动强度并提高作业安全性。

### 1.3 工序流程重构与衔接优化

传统施工工序繁琐冗长,常常会造成工期延误和资源浪费,而对工序进行科学重组与简化是提升施工连续性的关键所在。在沉井制作阶段,要推行分节预制和装配式施工技术,依据结构高度和起重能力合理划分分段,从而实现工厂化生产与现场拼装的有机结合,这样既能保证构件质量,又能缩短现场养护周期。下沉过程中的挖土顺序需要经过严密推演,要确立分层、对称、均衡的作业原则,通过动态调整挖土区域和深度,维持井周土压力的平衡状态。各道工序间的衔接应当做到无缝对接,要提前规划好材料运输、设备调度和人员配置,以此消除因等待而造成的停工现象。

### 1.4 方案动态设计与风险前置评估

施工方案的科学性作为指导沉井顺利实施的纲领,必须建立于详尽的地质勘察与环境调查基础上。在设计阶段,需要全面掌握场地土层分布规律、地下水文特征以及周边构筑物状况,进而据此制定个性化的沉井结构与施工参数。方案设计不应成为一成不变的静态文件,而应具备动态调整机制,以便能够根据施工过程中所揭示的实际地质情况,及时修正挖土速率、降水方

案以及触变泥浆参数。风险评估工作需贯穿方案编制的始终,要对可能遇到的流砂、管涌、突水以及周边沉降等风险源进行全方位辨识,并制定切实可行的应急预案。通过模拟仿真技术预判施工过程中的应力应变状态,提前识别潜在的结构薄弱环节,并采取加固或改良措施。这种前置性的风险防控策略能够将隐患消灭在萌芽状态,确保施工方案在实际执行中具备极强的适应性与可操作性,从而为工程顺利推进提供坚实保障。

## 2 沉井下沉偏差成因多维解析

### 2.1 地质环境复杂性与土层不均

地质条件所具备的天然变异性是造成沉井下沉出现偏差的首要客观因素,土层物理力学性质在空间分布上的差异会直接对井周摩阻力与端阻力的平衡产生影响。当沉井穿越软硬交替的互层地基时,软土一侧的压缩变形速度较快且阻力较小,这会致使该侧的下沉速度比硬土一侧更快,进而引发井身出现倾斜的情况。土层厚度在横向分布上的不均匀性同样会造成刃脚入土深度出现差异,从而促使沉井产生水平位移或者扭转现象。地下隐蔽障碍物的存在,例如废弃基础、大块孤石或者坚硬岩脉等,会在局部区域阻挡刃脚向下切入,迫使沉井朝没有障碍物的一侧发生偏移。地下水位的波动以及渗流场的变化同样不可忽视,水位过高会使浮力增加并减小有效自重,而降水不均匀则可能导致土体固结沉降出现差异,加剧井周土压力的不平衡分布状况,这些地质因素的耦合作用使得沉井下沉轨迹难以完全依照预设路径发展。

### 2.2 施工操作规范性与人为误差

施工过程中操作方面的不当做法是诱发下沉偏差的主要人为因素,挖土作业存在不对称的情况往往是致使倾斜现象出现的直接缘由。如果没有严格遵循分层对称开挖这一原则,单侧挖掘的深度过深或者挖掘范围过大,便会破坏井底土体的支撑平衡状态,进而使沉井的重心朝挖空的一侧偏移。开挖顺序出现混乱状况,例如先对周边进行挖掘而后挖掘中心位置,会造成刃脚处的土体处于悬空状态,增加井壁的摩阻力并且引发卡滞现象。下沉速率的控制若出现不当情形也会带来严重的后果,下沉速度过快所产生的惯性力容易使沉井冲入软弱土层从而造成偏斜,而下沉速度过慢则增加井壁和土体的接触时间,导致摩阻力增大甚至出现“粘壁”效应。

### 2.3 结构设计合理性与重心偏移

在设计阶段所存在的缺陷会为沉井下沉埋下先天性隐患,结构几何形状以及配重分布的不合理情况会直接致使重心偏离几何中心,倘若沉井平面的长宽比过大或者井壁厚度设计不均匀,就会造成结构刚度分布失衡,在下沉过程中容易产生扭曲变形现象,刃脚构造设计若没有充分考量地层特性,角度过小容易切入土体过深而造成卡阻,角度过大则容易出现滑移失控的状况,刃脚宽度的局部差异也会导致入土阻力不均匀,配重系统设计不足或者布置不恰当,例如临时压重集中于某一侧,会使沉井重心发生偏移,进而诱导其向重侧倾斜,抗浮稳定性验算若过于保守或者遗漏某些工况,可能会导致自重不足以克服井壁摩

阻力,造成下沉困难或者停滞的问题,进而迫使施工方采取非对称挖土等非常规手段,进一步加大下沉偏差的风险,设计层面的任何疏漏都可能在施工过程中被放大。

#### 2.4 物资设备匹配度与运行状态

材料质量的波动以及设备运行的故障同样是影响下沉精度的关键变量,配重材料的规格存在差异以及堆放管理工作做得不到位会造成荷载分布不均衡。要是使用的配重块重量不统一或者堆放位置缺乏规范性,那么将会直接使沉井的重心位置发生改变,进而引发不可控制的倾斜趋向。施工机械的性能状态极其重要,挖掘机、抓斗这类取土设备若液压系统不够稳定或者操作臂定位不够精准,就会造成每次抓取土方的体积与位置出现偏差,经过长时间累积便会形成显著的偏挖效应。吊装设备在沉井接高或者初始就位的时候,若吊点选择出现错误或者起升过程不同步,就会让沉井产生初始倾斜,给后续下沉带来难以纠正的基准误差。

### 3 沉井下沉偏差精准控制策略

#### 3.1 全天候实时监测与数据反馈

建立高精度的实时监测体系是掌握沉井姿态、预防偏差扩大的核心手段,需构建覆盖全过程的立体监测网络。在沉井周围稳固区域布设永久性轴线控制桩与水准基点,采用高精度全站仪与水准仪定期复核沉井中轴线、边缘线及刃脚标高,确保初始定位数据的绝对准确。随着下沉深度的增加,动态调整监测频率,在穿过复杂土层或接近设计标高时实施加密观测,利用自动化传感器实时采集倾斜角、位移量及应力数据。监测数据需通过无线传输技术及时汇总至控制中心,经专业软件分析处理后生成趋势图表,一旦发现偏差指标接近预警阈值,立即触发报警机制并暂停挖土作业。通过对监测数据的深度挖掘与反演分析,能够精准判断偏差产生的根源与发展趋势,为制定科学的纠偏方案提供量化依据,实现从被动应对向主动防控的转变。

#### 3.2 多元化纠偏措施与动态调整

针对不同类型的下沉偏差情况,需要灵活运用多种纠偏技术手段开展动态干预工作,以此确保沉井姿态能够回归到正常轨道。偏挖土法属于应用最为广泛的纠偏方式,其通过在倾斜相反侧刃脚处加大挖土深度以及范围,利用土体阻力差所产生的力矩来促使井身回正,并且在黏性土层当中可配合留土堤法,保留高侧土体从而增大阻力。配重纠偏法适用于轻微倾斜状况,通过在井顶低侧堆放沙袋、钢锭等重物来调整重心,同时辅以高压射水松动高侧土体以降低摩阻力。当倾斜幅度较大时,可以采用千斤顶顶推法,在井壁外侧设置反力座,利用液压千斤顶施加水平推力进行强制纠偏,同时配合内侧挖土卸荷。对于水平位移

偏差,可通过调整两侧挖土量差异或者利用牵拉装置施加侧向拉力进行校正,在软土地基中还可采用注浆加固高侧土体的方法增大阻力,进而迫使沉井向预定方向移动,各种措施需依据现场实际情况进行组合使用,以达成最佳纠偏效果。

#### 3.3 全过程精细化施工管控

强化施工过程精细化管理是预防偏差产生根本途径,要把标准化作业理念贯穿于每个施工环节。挖土作业要严格执行分层、对称、均匀工艺纪律,严格控制每层开挖厚度与刃脚处土堤保留高度,严禁出现单侧深挖或掏空现象以确保井底土体支撑力均衡分布。下沉速率调控需依据土层性质与监测数据动态优化,保持匀速平稳下沉避免急停急降造成惯性冲击或摩阻力突变。触变泥浆套施工质量直接关系到减阻效果,需严格控制泥浆配比、注入压力与补充频率,确保护壁泥浆膜完整性与均匀性。井顶荷载管理也很关键,严禁在非对称位置集中堆载,所有建筑材料与设备应按计算方案均匀布置,降水作业要保持井内外水位差稳定,防止因水力梯度变化引发流砂或管涌,通过全方位细节管控构筑防止偏差坚固防线。

### 4 结语

沉井施工工艺优化与下沉偏差控制技术是保障地下工程安全优质的核心要素。通过实施材料性能提升、装备智能化升级、工序流程重构及方案动态优化,显著增强沉井结构的内在品质与施工效率。深入剖析地质、操作、设计及设备等维度的偏差成因,并构建集实时监测、多元纠偏、精细管控及协同联动于一体的综合控制体系,有效遏制下沉偏差的发生与发展。这一系列技术措施的集成应用,不仅解决了传统施工中的痛点难点,更确立了沉井作业的标准范式。在实际工程实践中,唯有严格遵循科学规范,强化全过程精细化管理,方能确保沉井结构精准就位,为基础设施建设的长远安全奠定坚实基础。

#### [参考文献]

- [1]封优生,谢建军,李海兴,等.多工艺空气高效钻进技术在地热井施工中的应用实践[J].钻探工程,2025,52(S1):353-357.
- [2]梁亚伟,郭魏芬,杨子焯.沟槽式预制装配式电缆排管工作井施工工艺及应用[J].电力与能源,2024,45(01):55-59.
- [3]张东方.气举反循环与正循环钻掘工艺在深部地热井施工中的应用[J].江西建材,2023,(12):344-346.

#### 作者简介:

郭爽宇(1994--),男,武汉市人,硕士,从事工作:隧道工程,水利工程,市政工程,房建工程。

彭宇最(1991--),男,洪湖市人,水利水电中级工程师,本科,从事工作:水利水电工程,农田水利工程,市政工程。