

The design idea of caisson structure in pipe jacking project is discussed briefly

Dechun Wang

Shanghai Branch of Beijing Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Shanghai, 200062, China

Abstract

As a critical component in municipal pipe jacking projects, ensuring the scientific and rational design of caisson structures is essential. This directly impacts construction quality, safety, and functional stability after project commissioning. Therefore, it's crucial to clarify key design considerations based on practical conditions to enhance design quality. This article focuses on this aspect, discussing pre-design preparations, structural design essentials, and computational analysis techniques. Through this exploration, we aim to provide valuable references for designers, enabling effective optimization of caisson structure designs and supporting the smooth advancement of pipe jacking projects.

Keywords

municipal pipe jacking project; caisson structure design; design points; construction quality

浅谈市政顶管工程中沉井结构的设计思路

王德春

北京市市政工程设计研究总院有限公司上海分公司, 中国·上海 200062

摘要

沉井结构作为市政顶管工程中的重要组成部分, 保证沉井结构设计的科学性、合理性是十分必要的, 这将会直接影响顶管工程的施工质量、安全及顶管工程投入使用以后功能的稳定性, 因此需要结合实际情况明确沉井结构设计要点, 提高设计质量。本篇文章也将目光集中于此, 主要从设计前准备工作、结构设计要点以及计算分析要点等方面展开论述。希望通过本篇文章的探讨和分析可以为相关设计人员提供更多的参考与借鉴, 对沉井结构设计作出有效优化和调整, 为顶管工程的顺利推进提供更多助力。

关键词

市政顶管工程; 沉井结构设计; 设计要点; 施工质量

1 引言

经济社会的迅速发展、城市化的加剧使得现阶段城市供电、排水、通信需求不断增大, 在这样的背景下已有的地下管道已经无法满足城市需求, 而新建地下管道又很容易会对城市交通、环境和建筑物造成较大的影响, 为此则需要通过顶管工程这一非开挖施工工程的开展, 在满足城市发展需求的同时保护生态环境。而沉井结构作为顶管工程的工作井和接收井, 具有着保障管道准确就位、提供顶进反力、承载顶管设备等重要作用, 因此提高对沉井结构的关注是十分必要的, 可从如下几点着手加强设计管理, 保障设计质量和设计水平。

2 设计前准备

2.1 地质勘察

保证沉井结构设计的针对性、适切性是提高设计质量的重要基石, 而地质勘察的有效落实则可以为沉井结构设计提供必要的设计参数。在地质勘察的过程中需要通过调查土层分布调、地下水情况和不良地质分布情况来更好地明确场地的地质情况, 分析地质情况是否会影响工程建设工作的正常开展。

2.2 工程环境调查

在沉井结构设计的过程中除了需要充分考量沉井周边的客观环境特点对设计图纸做出适当的优化和调整以外, 还需要从工程环境出发做好资料收集和数据调查, 以便对拟建区域有更加全面的了解和认识。而在工程环境调查的过程中需要紧抓建(构)筑物调查、地下管线调查、交通状况调查三大关键点。在建(构)筑物调查的过程中需要明确场地建筑物的类型、基础形式以及建筑物与拟建区域的距离。在

【作者简介】王德春(1988-), 男, 中国河南信阳人, 硕士, 工程师, 从事市政结构工程研究。

地下管线调查的过程中则需要明确场地地下管线的埋深、管径和走向，避免在沉井施工的过程中对管线造成破坏。在交通调查的过程中需要通过流量调查和组织情况调查来更好的明确施工区域是否属于交通繁忙地段，若属于繁忙地段则可通过沉井位置降低对交通所产生的影响。

3 沉井结构设计要点

在沉井结构设计的过程中需要结合沉井下沉方式、沉井平面尺寸、沉井深度、井壁厚度、刃脚高度、封底和内部支撑设计等相应关键重点来对设计方案作出适当的优化和调整，保障设计方案的可行性与合理性。

3.1 沉井下沉方式

沉井下沉方式的选择与结构计算有着直接的关系，沉井的下沉方式应结合场地的工程地质和水文地质条件确定。当地下水位不高，或是虽有地下水但沉井周边的土层渗透性不强，涌入井内的水量不大且排水不困难时，可采用排水下沉法，排水下沉法施工比不排水下沉法施工费用低、工期短。当下沉深度范围内存在粉土、砂土或其他强透水层而排水下沉有可能造成流砂或补给水量很大而排水困难或沉井附近有已建的建（构）筑物及其他设施，排水施工可能导致其沉降及倾斜而难以采取其他措施防止时，宜按不排水下沉设计^[1]。

3.2 沉井平面尺寸设计

沉井平面尺寸设计是沉井结构设计中十分重要的一环，在沉井平面尺寸确定的过程中设计人员应当根据前期调查的数据明确顶管管径、管节长度、顶管设备尺寸、千斤顶长度、后座厚度及操作空间，在此基础上对沉井平面尺寸作出适当调节，保障沉井的内径比顶管管径大出一定的数值，为顶管设备安装及拆卸工作的落实提供更多的便捷。沉井平面形状应结合上下游管道角度、工程环境等因素确定，上下游管道角度小于 170° 时宜采用圆形沉井，条件受限时也可采用异性沉井。

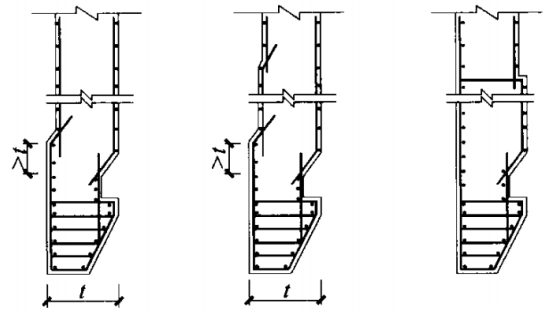
3.3 沉井深度设计

在沉井深度设计的过程中需要通过拟设计顶管的埋深及地下水情况和地质条件来明确，在此基础上最大化的减少沉井深度，进而降低施工成本和施工难度，但是也需要避免沉井过浅进而导致沉井稳定性、抗浮能力不足或无法满足顶管的进出要求。此外，在沉井深度分析中应着重分析地下水位变化对沉井抗浮的影响，通过计算来确定最小埋深，保障抗浮稳定性。

3.4 井壁厚度设计

井壁厚度设计过程中需要充分考量下沉阻力、抗渗要求、结构强度和耐久性等相关要素。首先，需要分析下沉阻力。在沉井下沉的过程中井壁会因摩擦产生阻力，出现无法正常下沉的情况，这时则需要根据沉井自重、下沉深度及土体摩擦阻力系数来进行井壁厚度的计算和分析，确保沉井能够利用自重来有效克服摩擦阻力。其次，根据沉井的抗渗等级要

求来对沉井井壁的最小厚度和混凝土抗渗性能指标做出适当的调节，还可通过止水钢板、止水带的设计来保障井壁接头处的抗渗性。最后，在结构强度和耐久性分析的过程中应当充分考量沉井施工和使用过程中所受的土压力、水压力等相应荷载作用，通过力学原理计算井壁的内力和应力分布情况，在此基础上对井壁厚度作出适当调节^[2]。井壁厚度还可以通过侧壁变截面进行调节，为减少下沉摩阻力而设置的台阶应设在外侧，因受力要求设置的台阶应设在内侧。沉井井壁变截面台阶宽度可采用 100mm~200mm。沉井最下部台阶宜设在沉井底板以上，距离底板面不应小于 1.0 倍凹槽处壁厚^[3]。



(a) 外置一级台阶 (b) 外置多级台阶 (c) 内置台阶

图 1: 井壁变截面台阶

3.5 刃脚设计

刃脚是沉井结构中十分重要的组成部分，可以在沉井下沉的过程中切入土体，进而更好地减少下沉阻力，同时刃脚也需要承受沉井的自重和上部荷载。因此刃脚设计是十分重要的，而在刃脚设计的过程中需紧抓尺寸、配筋、构造三大关键点。在尺寸设计的过程中需充分考量踏面宽度、斜面与水平夹角等相应参数，前者可以设置为 150~400mm，后者可以确定为 50 度~ 60 度。在此基础上可根据该地区的地质情况作出适当的细节调节，例如土层较为坚硬时塌面宽度则可适当减小，夹角增大。反之则可通过加大踏面宽度、减小夹角，保障刃脚稳定性。其次，在刃脚配筋设计的过程中需要充分考量刃脚受力复杂的特点，通过配筋优化来保障刃脚的能够承受拉力、压力和剪力。刃脚配筋设计中，竖向钢筋应设置在水平向钢筋外侧并锚入刃脚根部以上一定长度，保障锚固效果，刃脚内外层竖向钢筋间应设置拉筋，并控制拉筋间距在 300~400mm 左右，保障钢筋骨架的整体性。最后，在刃脚构造设计的过程中应充分考量刃脚下沉时是否会出现损坏的情况，通过钢板护角设置保障刃脚结构的可靠性和稳定性。

3.6 封底设计

封底设计是沉井施工设计中十分重要的一环，这可以更好地避免在沉井使用的过程中地下水和土体涌入沉井，同时也可以更好地保障作业安全而在封底设计的过程中较为常见的封底方式主要包含干封底和水下封底两种，干封底是

指在沉井下沉至设计标高以后先清除积水和浮泥，然后铺设碎石、卵石垫层，浇筑混凝土封底，并保证混凝土的浇筑厚度在 500mm 以上，更适用于沉井下沉时井底涌水量较少的情况。水下封底则是指在沉井下沉时井底涌水量相对较大，干封底施工无法正常进行，因此需要采用水下封底方法，可采用导管法落底施工，通过导管来输送混凝土形成封底，在水下封底的过程中应确保混凝土塌落度在 180~220mm，在混凝土输送结束以后还需要通过实时观测判断混凝土的厚度和强度等级是否达到要求，达到要求以后才可以将井内水抽出^[4]。

3.7 内部支撑设计

在沉井设计的过程中部分沉井平面尺寸较大或者深度较深，这时为了更好的提高沉井的抗压能力，降低土压力和水压力对于沉井的作用和影响，则需要设置内部支撑内部，支撑需结合沉井的形状尺寸和受力分布情况布置。

4 沉井结构计算分析

沉井结构计算可以更好地发现沉井设计中存在的欠缺和不足，及时的作出调整和优化，而在沉井结构计算的过程中需结合下沉计算、强度计算、稳定性计算三大关键点来做出适当的优化和调整，如表 2 所示。

表 2：沉井结构计算要点

沉井结构计算要点	
下沉计算	下沉阻力计算、下沉系数计算、下沉稳定性计算
强度计算	井壁强度计算、刃脚强度计算、底板强度计算
稳定性计算	抗浮稳定性、抗倾覆稳定性、抗滑移稳定性

4.1 下沉计算

下沉计算是为了更好的判断沉井在自重作用下是否能够顺利抵达设计标高，并分析在下沉过程中沉井的稳定性。下沉计算主要包含下沉阻力计算、下沉系数计算和下沉稳定性计算三项内容，在下沉阻力计算的过程中可以通过工程地质资料来确定井壁和土体的单位摩阻力和刃脚处的单位阻力，从而确定沉井下沉过程中的总摩阻力和刃脚阻力。沉井借助自身重力下沉，一般下沉系数宜 ≥ 1.05 。当沉井下沉深度较大或侧摩阻力较大时，可采用触变泥浆套、空气幕、高压射水、压重下沉、抽水下沉、井壁外侧挖土下沉等措施。当沉井下沉速度较快时，可控制井内挖土范围、深度、水位或外壁回填粗糙材料、夯实外壁侧土体等措施。当下沉系数大于 1.20，或在下沉过程中遇有软弱土层时，应考虑沉井刃脚、隔墙和底梁下地基土极限承载力时，下沉稳定系数应控制在 0.8~0.90 范围内。

4.2 强度计算

在沉井结构施工及使用的过程中会受自重、土压力、水压力和地面荷载等多重因素的影响，沉井强度计算可以从井壁、刃脚和底板三个方面来展开分析。井壁强度计算中需要分析轴力、剪力和弯矩等结构受力分布，然后材料强度或抗渗裂缝要求进行配筋计算，确定钢筋数量和布置方式。在刃脚强度计算的过程中。需通过受力分析明确在自重、土体反力和下沉阻力作用下刃脚的内力，然后通过优化配筋设计配合安全储备保障刃脚的可靠性。在底板强度计算的过程中需通过分析混凝土自重、地下水浮力以及上部荷载作用下的内力来判断底板强度是否达标，并通过配置钢筋的优化和调整提高底板强度^[5]。

4.3 稳定性计算

在稳定性计算中应分为紧抓抗浮稳定性、抗倾覆稳定性和抗滑移稳定性三大关键点来展开分析。沉井抗浮应按沉井封底和使用两个阶段，分别根据实际可能出现的最高水位进行验算，在不考虑沉井井壁摩阻力条件下沉井抗浮系数 ≥ 1.0 ，否则通过增加结构自重的方式进行解决。在位于江（河、湖、水库、海）岸的沉井，若前后两面水平作用相差较大，应考虑沉井的抗滑移和倾覆稳定性。沉井抗滑移稳定系数 ≥ 1.30 ，抗倾覆稳定系数 ≥ 1.50 。

5 结语

沉井结构设计优化和调整是确保顶管工程能够顺利推进、有序开展、提高工程施工质量的重要基础，应当引起关注和重视，相关工作人员需通过地质勘察、工程环境调查来做好设计前的准备工作。在此基础之上紧抓沉井平面尺寸、沉井深度、刃脚设计、井壁厚度、封底设计、内部支撑设计的相应关键点作出设计优化和设计调整，保障设计质量和设计水平。

参考文献

- [1] 中国建筑工业出版社.《给水排水工程结构设计手册（第二版）》[S].2007.(6):1199.
- [2] 孙修成,李超,李新星,等. 市政顶管工程沉井结构设计要点及运用分析[J]. 科技资讯, 2025, 23 (07): 139-141
- [3] 中国工程建设协会标准.《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS: 137 2015 [S].2015,(7):39.
- [4] 石瑞瑞,柳晓科. 市政顶管工程沉井结构优化设计 [J]. 四川建材, 2024, 50 (09): 72-74.
- [5] 郑一苇. 市政工程顶管施工中的沉井结构优化设计 [J]. 工程建设与设计, 2022, (14): 87-89.