

# 市政顶管工程沉井结构设计关键点及应用分析

张 波

上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司 上海 200125

**摘 要:** 随着城市发展对市政基础设施建设提出要求更高, 本文对市政顶管工程沉井结构设计要点进行了阐述, 结合工程实例, 对沉井设计中重要关键点进行了探讨和分析, 以期为后续设计提供借鉴。

**关键词:** 市政顶管; 沉井结构; 设计关键点; 沉井设计

## Key points and application analysis of open caisson structure design of municipal pipe-jacking project

Zhang Bo

Shanghai Urban Construction Design and Research Institute (Group) Co., Ltd. Shanghai 200125

**Abstract:** At the present stage, with the development of the city, higher requirements are put forward for the construction of municipal infrastructure. This paper describes the key points of the design of the caisson structure of the municipal pipe-jacking project, discusses and analyzes the important key points in the design of the caisson, and further understands the structural design of the caisson in the pipe-jacking project, with a view to providing a reference for the subsequent design.

**Key words:** Municipal pipe-jacking project; open caisson structure; Key points of design; Open caisson design

### 引言

现阶段大部分市政工程管道位于地下, 为施工作业推进带来一定挑战。因此, 施工企业应注重顶管技术的应用, 从沉井结构方面着手, 对顶管井结构设计类型进行分析, 掌握沉井结构设计要点, 对相应的设计方法具有清晰认知, 优化井壁厚度, 提升设计水平, 最大限度发挥顶管技术应用价值。

#### 1 市政顶管井结构设计类型

目前, 顶管工作井结构类型繁多, 主要分为以下类型:

##### 1.1 沉井结构

在顶管工程设计时, 沉井具有强度高、整体性好、方便施工的优点, 得到广泛应用<sup>[1]</sup>。在工程建设中, 由于沉井深度较深、平面尺寸较大, 为了减小单元构件结构内力, 通常采用设置内支撑方式, 改善结构内部受力状态, 优化结构壁厚。

##### 1.2 地下连续墙结构

地下连续墙具有施工技术难度大、施工操作空间大、工程造价高等特点, 在工程中, 易出现墙体变形、开裂渗漏、空间整体性差等问题。故在设计时, 需要设置内撑体系, 以确保结构的稳定性。一般情况下, 地下连续墙用于埋置较深的顶管井<sup>[2]</sup>。

##### 1.3 钢板桩

钢板桩具有施工方便、强度较高、造价低的特点, 但在顶管工程中, 易受不良地质条件及地下水位较高的影响。需对钢板桩打入深度加以控制, 使其处于不透水层地质环境中, 建立相对完善的避水设施, 以防地下水位较低而影响工程建设质量。

##### 1.4 排桩结构

针对顶管井平面不规则或施工深度较大, 可重点考虑排桩结构设计, 为顶管施工作业地开展提供支持。同时, 应优化排桩的防水性能, 最大限度降低地下水对沉井结构的影响, 提升施工质量。

### 2 市政顶管工程中沉井结构设计所涉及的要点

#### 2.1 原始资料收集

市政顶管沉井结构设计内容相对复杂, 设计者应加强设计前期对周边环境的资料收集, 增加原始数据信息量, 保证所需数据信息的全面性和正确性, 使沉井结构在不同工况下结构计算、受力分析等更贴合实际工程。

沉井施工整个阶段均应加强数据信息收集, 辅以先进的电子监测技术, 提高数据信息分析水平。通过各类数据信息的分析和把控, 对现有技术方案的可行性作出评估, 提高其达到工程预期效果的可行性。

#### 2.2 力学结构设计

在市政顶管工程中, 为提升沉井结构施工水平, 应从

相应设计方案着手,对施工过程中的力学结构分析,判断施工过程中可能存在的种种风险,如沉井井壁所承受的土体压力,沉井自重与下沉过程中所产生的摩擦力等,对井壁厚度与井底标高等进行优化设计<sup>[2]</sup>。设计人员应注重力学结构设计的开展,分析与评估沉井结构运行过程中所承受的不同应力,并在此基础上对设计方案加以改进,使得沉井结构运行愈加平稳,推动顶管施工作业水平的提升<sup>[3]</sup>。

### 2.3 开展设计模拟

在沉井结构设计完成后,利用现代化计算机技术,辅以BIM技术等,对设计方案进行模拟演练,并开展碰撞测试等,探寻顶管工程及沉井是否会对其他工程造成不良影响,针对方案不足之处,调整设计方案,提高结构设计的可靠性和精准性。例如,在沉井下沉及后续顶管施工中,应充分考量施工期间可能引发的土地扰动问题,深入分析引发此现象的因素,明确土地扰动现象关键控制点,为设计方案的改进提供技术支持。

## 3 沉井结构设计关键点

设计者设计沉井结构时,应明确设计的关键点:井壁壁厚,井底标高与平面设计等,根据沉井结构自重,结合沉井下沉摩擦力、沉井承受土体侧压力、抗浮要求等。其次,分析沉井施工受到影响的主要因素,优化标高设计,满足施工要求<sup>[4]</sup>。另外,注重对沉井结构平面尺寸的选型,保证沉井下沉稳定及施工质量。

### 3.1 壁厚设计

在确定井壁厚度时,结合沉井下沉及抗浮需求,对井壁厚度加以调整,保证沉井结构设计参数的合理性,满足不同工况下的受力要求,以保证沉井结构的稳定下沉。首先,在初始下沉时,设计者应明确其所遭受的摩擦力相对较小,使得井壁厚度出现过薄现象,随着下沉深度的提升,沉井所承受的摩擦力持续增加,会对沉井结构造成破坏,降低顶管工程使用年限。其次,在开展沉井下沉过程中,应保证下沉速率的均匀性,对较高构筑物可采取多次下沉。最后,设计者可对计算机软件加以借助,对下沉阶段、正常使用阶段等不同工况进行受力分析验算。

### 3.2 标高设计

设计者应根据沉井结构特征,结合施工需求,促使沉井的稳定下沉。结合顶管工程沉井结构的特点,对工程周围水位进行分析,顶管井应考虑顶管机头的安装高度<sup>[4]</sup>,确保底标高低于顶管底下0.4~0.6m;井顶标高应高出周边水位0.5m,以防止沉井结构终沉后地面水流入;在沉井结构井顶标高设计时,应确保标高大于地面0.3m,但具体数值应结合工程实际情况确定。

### 3.3 刃脚设计

确定沉井平面尺寸时,应提升其与部位尺寸的匹配程度。在此过程中,设计人员应对刃脚踏面予以高度重视,对其标高与角度进行计算,结合沉井结构运行要求,强化该结

构的抗滑能力,增强该结构的抗倾覆性能。

### 3.4 结构稳定性的设计

设计者应充分考虑沉井及顶管施工时对周围土地的影响状况。如周围土体形状与形态产生较大的变化,会对顶管作业的推进造成一定阻碍,增加管道承载力,为顶管推进带来一定阻力,导致土体变形、顶进偏移等问题的发生。

## 4 沉井结构设计实例

### 4.1 工程概况

杭州某新建污水处理厂粗格栅接自厂外污水管网,污水管采用D1020x12mm钢管,全长77.6m,坡度为0.18%,上游连接污水管网需穿越河道、现状进场道路、围墙、进厂工艺主管等现状设施,对此段进水管采用顶管法施工。根据工程地质岩土勘察资料,工程场地土层自上而下依次为:①粉质粘土、②淤泥质粘土、③粉质粘土、④强风化凝灰岩;考虑工程地质软弱土层不利影响,池体部分采用沉井施工,刃脚位于③粉质粘土层,地基承载力特征值不小于150Kpa。

### 4.2 壁厚确定

粗格栅沉井总高度15.5m,平面尺寸14.2mx17.1m,内部设置纵、横向框架梁,选用矩形沉井结构形式,沉井井壁厚度0.8m,刃角宽度为0.50m,采用排水下沉的方式,分两段制作,两次下沉,首节高度6.8m,次节高度8.7m。

在粗格栅壁厚设计时,应满足下沉稳定和抗浮要求。为了防止粗格栅发生突沉,需要进行下沉稳定性验算,下沉稳定系数 $K_{st}$ 宜取0.8~0.9。当粗格栅沉井结构水位较高时,沉井井体抗浮系数 $K_{fw}$ 应大于1.00(不计侧壁摩阻力),以满足抗浮要求。

(1)下沉系数。为使沉井顺利进行下沉,沉井的下沉稳定系数 $K_{st}$ 应满足下列公式:

$$K_{st} = (G_{ik} - F_{fw,k}) \div F_{fk} > 1.05$$

式中:  $G_{ik}$  为结构自重标准值(包括外加助沉重量的标准值);  $F_{fw,k}$  为结构下沉过程中水的浮托力;  $F_{fk}$  为井壁总摩阻力标准值。

本工程采取排水下沉,  $F_{fw,k} = 0$ ,  $G_{ik} = 19371.24\text{KN}$ 。

各土层地质参数如表1所示。

表1 土层地质参数表

摩阻力计算	①粉质粘土	②淤泥质粘土	③粉质粘土摩阻力
标准值 $f_k$ (kpa)	22	10	36
土层厚度 $h$ (m)	2	10	1.5
内摩擦角 $\Phi$	12	15	20
天然重度 $r$	18.5	18	19
加权平均摩阻力(kpa)	fka = 14.67		

在粗格栅沉井排水下沉中,井壁周围土体摩擦力 $F'_{fk} = 10099.47\text{kN}$ ,  $K_{st} = 1.92 > 1.05$ ,满足下沉要求。

(2)下沉稳定验算。当沉井下沉系数系数较大,或在下沉过程中遇有软弱土层时,应根据实际情况进行沉井的下沉

稳定验算以防止发生突沉。沉井下沉稳定系数 $K_{st,s}$ 应满足下列公式:

$$K_{st,s} = (G_{fk} - F_{fw,k}) \div (F_{fk} + R_b) = 0.8 \sim 0.9$$

在粗格栅沉井分两段制作,首节高度6.8m,次节高度8.7m。

a)首节沉井起沉阶段。取砂垫层极限承载力为200KPa。砂垫层厚度1.0m。

结构自重 $G'_{fk} = 10966.5\text{KN}$ , 结构浮托力 $F'_{fw,k} = 0$ , 井壁周围土体摩擦力 $F'_{fk} = 1333.2\text{kN}$ ,  $R_b = 15840\text{kN}$ (计入中间隔墙踏面阻力), 则 $K_{st,s} = 0.638 < 0.9$ , 满足下沉稳定要求。

b)进入淤泥层粘土下沉稳定验算。取淤泥质粘土极限承载力为110KPa。

$F'_{fw,k} = 0$ ,  $F'_{fk} = 2754.4\text{kN}$ ,  $R_b = 9504\text{kN}$ , 则 $K_{st,s} = 0.894 < 0.9$ , 满足下沉稳定要求。

c)第二节下沉稳定验算。

$F'_{fw,k} = 0$ ,  $F'_{fk} = 4632.4\text{kN}$ ,  $R_b = 19683\text{kN}$ , 则 $K_{st,s} = 0.796 < 0.9$ , 满足下沉稳定要求。

通过下沉稳定系数的验算,沉井井壁厚度0.8m满足结构要求。

#### 4.3 顶管顶进计算与后背土体验算

顶管井内的顶力主要是依靠千斤顶来实现的,针对不同工程应根据实际需要加强工程顶力控制。在设计阶段,顶管机的顶力不能大于工作井的顶力允许值,否则,可采用触变泥浆减少顶进阻力、增设中继间等辅助措施。

顶力计算如下:  $F_0 = \pi D_1 L f_k + N_F$

式中:  $F_0$ 为顶管总顶力标准值;  $D_1$ 为管道外径;  $L$ 为管道顶进长度;  $f_k$ 为管壁与土的平均摩阻力;  $N_F$ 为顶进阻力。

在顶管顶力作用下,沉井受到顶进时的作用力应满足以

下要求:

$$P_{tk} \leq \varepsilon (0.8E_{pk} - E_{ak})$$

式中:  $E_{pk}$ 为沉井刃脚底部被动土压标准值;  $E_{ak}$ 为沉井刃角底部主动土压力标准值;  $\varepsilon$ 为折减系数。

沉井井壁后背土体顶力标准值满足以下要求:

$$F_{pk} = \varepsilon (0.8E_{pk} - E_{ak})$$

将本工程粗格栅计算得出的沉井刃脚底部主动土压力和被动土的压力标准值分别带入上述公式,计算结果表明:井壁设计顶力大于实际顶力 $F_{pk} > P_{tk}$ ,故满足设计要求。

#### 5 结束语

在市政工程沉井结构设计中,设计者要结合相应的设计标准,做好沉井结构井壁厚度选择,合理进行沉井结构计算和稳定性验算等,提高相应设计方案的可行性与适用性,以推进市政工程建设有序运行。

#### 参考文献

- [1]肖刚. 市政结构顶管工程沉井结构设计研究[J]. 广东建材,2023,39(01):57-59.
- [2]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.
- [3]上海市市政工程设计研究总院. 给水排水工程顶管技术规程[M].北京:中国计划出版社,2008.
- [4]王婷. 沉井施工技术在顶管工程中的应用研究[J]. 邢台职业技术学院学报,2019,36(05):84-87.

通讯作者:张波1987年2月,汉族,男,山东曹县人,上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司,工程师,硕士研究生,研究方向:市政结构设计与研究。