

市政污水管网工程小型沉井施工技术

赵军, 陈佳林, 李伟平
(中交一航局生态工程有限公司)

摘要: 沉井施工对位置姿态和稳定性要求较高, 为研究沉井施工关键技术, 文章以深圳市光明区东长路市政污水干管工程为依托, 对沉井刃脚垫木支设、沉井制作、下沉纠偏等技术措施进行全面分析, 并对井内施工平台的制作方法和搭设方法进行阐述。结果表明, 沉井施工时能够保持较高的稳定性, 采用泥浆套法等助沉法和不平衡配重纠偏法可确保沉井顺利下沉, 井内施工平台的应用保证了施工的安全性, 可为类似工程提供借鉴。

关键词: 沉井; 下沉系数; 接高稳定性; 抗浮验算

0 引言

市政工程施工作业通常会受到道路的限制, 为了更少地占用地面区域, 非开挖技术的应用逐渐广泛, 非开挖施工往往需要新建沉井, 起到支护作用的同时为非开挖施工提供作业空间^[1]。沉井施工具有工效高、占地少等优点^[2], 本文结合深圳市光明区东长路市政污水干管工程的沉井施工, 对沉井施工技术以及受力计算进行总结和分

1 工程概况

深圳市光明区东长路市政污水干管工程位于光明区中部, 连接华星光电湿地公园至东明大道之间的东长路市政污水干管, 工程上游起点位于华星光电湿地公园场内, 下游终点位于其他在建工程施工区域范围内。东长路污水干管上游现状污水干管管底标高为 9.68 m, 下游现状污水管管底标高为 8.0 m。本工程新建管道上游连接现状 DN1350 污水干管, 穿越鹅颈水段为倒虹吸, 虹吸段长度约为 80 m, 鹅颈水段至下游连接处, 长度约为 262 m。主要施工内容为新建 6 座沉井, 包括 2 座工作井、3 座接收井和 1 座骑马井, 通过非开挖的方式铺设新管道, 沉井参数见表 1。

表 1 沉井参数表

沉井	尺寸/mm	井深/m
1 号接收井	$\phi 4\ 500$	8.32
1 号工作井	7 000×7 000	9.60
2 号接收井	$\phi 4\ 500$	15.00
2 号工作井	$\phi 7\ 000$	10.31
3 号接收井	$\phi 4\ 500$	10.60
W4 骑马井	$\phi 4\ 500$	12.13

2 施工工艺流程

沉井施工工艺流程为: 平整场地→测量放线→垫木及砂垫层施工→沉井分节制作→沉井分节下沉→封底→浇筑底板混凝土。

3 沉井制作

3.1 垫木及砂垫层施工

根据沉井竖向结构可知, 沉井最下端的部位是刃脚。刃脚的支设受诸多要素影响, 例如沉井的自身重量、沉井施工时的负荷等。较为常见的刃脚支设方法有垫架法、砖砌垫座法和土模法^[3]。

本工程沉井刃脚的支设采用垫架法。垫架的作用是将上部荷载均匀地传递给地基, 避免施工时产生不均匀沉降以及沉井结构裂缝的产生, 同时保持井壁垂直。采用垫架法支设刃脚时, 首先在最下层铺砂垫层, 然后在砂垫层上方放置垫木和垫架, 如图 1 所示。垫木的横断面尺寸为 400 mm×400 mm, 间距为 0.5~1.0 m, 垫架的数量根据刃脚自重和砂垫层的容许承载力计算确定, 砂垫层铺设时对准沉井底面圆心沿刃脚弧线铺设, 并且与井壁垂直。

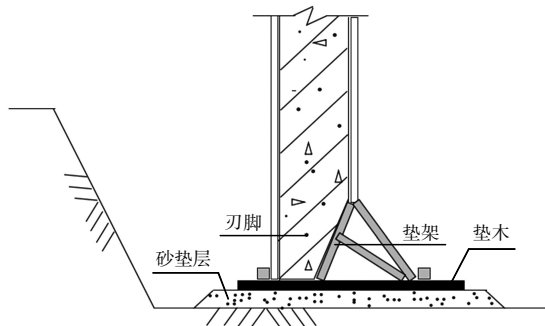


图 1 垫架法支设刃脚示意图

3.2 钢筋与模板施工

本项目主要采用 HPB300 级和 HRB400 级钢筋。沉井井壁钢筋绑扎前,需校核沉井位置及轴线尺寸是否存在偏差,绑扎钢筋时首先将 4 根竖向钢筋沿井壁四周等间距固定,在固定好的竖向钢筋上按照图纸要求的间距标记出每根水平钢筋的位置,并按照标记的位置从下到上绑扎横向钢筋至 1.5 m 高处,此时在横向钢筋上按照设计间距标记出剩余竖向钢筋的位置,依次绑扎剩余竖向钢筋,最后从 1.5 m 处向上绑扎剩余横向钢筋。井壁钢筋采用焊接方式连接,直径 14 mm 以下的钢筋可采用绑扎搭接的方式连接。

刃脚及井壁模板采用 1 500 mm×1 200 mm×18 mm 木模板拼装而成,拼缝时需保证缝密不漏浆,采用 $\phi 18$ mm 的热轧带肋钢筋作为模板横围檩,横围檩间距为 0.5 m,采用木方作为竖围檩,竖围檩间距为 1.2 m。模板的加固采用 M12 型对拉螺杆,对拉螺杆横向间距 0.4 m、纵向间距 0.5 m,在对拉螺杆中间部位满焊 3 mm 厚方形止水片。

3.3 混凝土施工

混凝土浇筑前确保钢筋模板工程验收合格,预留孔洞和预埋件的位置和标高准确无误。混凝土强度等级为 C30,抗渗等级为 P6,采用分层浇筑工艺均匀对称下料,分层厚度控制在 30~50 cm 左右。使用振捣棒完成混凝土振捣作业,振捣时遵循快入慢出的原则,在钢筋密集区适当提高单点振捣时间和振捣频率。支设第 2 节、第 3 节沉井模板前,将施工缝的杂物凿除并清理干净,除施工缝外,每一层混凝土在前一层混凝土初凝前浇筑完成。浇筑时观察沉井沉降情况,提高对沉井下陷量和水平高差的观测频率,当出现不均匀下沉时,及时调整浇筑部位和浇筑量。

3.4 井内施工平台

由于沉井的制作和下沉采用分节方式,因此为保证施工安全,需在内侧搭设施工作业平台,平台搭设要充分考虑安全性与便捷性,经过比选采用悬挂式施工作业平台。平台主体骨架为钢筋网片,采用直径 16 mm 的螺纹钢焊接而成,纵横向的钢筋间距均为 15 cm,平台尺寸略小于沉井内部尺寸,平台的边缘与沉井内壁的距离为 5 cm 左右,避免间距过大导致人员坠落。在沉井井壁上预埋直径 20 mm 的光圆钢筋作为网片的挂钩,锚固端设弯钩并与井壁钢筋焊接,锚固长度不小

于 20 cm,网片通过 8 根双股直径 10 mm 的钢丝绳悬挂于井壁预埋钢筋上,在网片上搭设木板作为施工平台,木板与钢筋网片采用铁丝绑扎固定。

4 沉井下沉及纠偏

4.1 沉井下沉

沉井采用不排水开挖下沉的方法,用长臂挖机从井内取土,从中间向四周分层对称开挖,使井内形成弧形锅底,沉井刃脚在自重作用下对土体产生切削效应,切削土体的同时实现下沉。密实土层中,刃脚对土体的切削作用减弱,井壁与土体间的摩擦力增大,不易切土下沉,此时可以采用泥浆套法、压沉法、射水冲土法等方法配合下沉。挖土下沉时,对沉井的顶面高程、垂直度等参数进行监测,并及时反馈监测数据,根据监测结果进行开挖位置和开挖量的调整。第 1 节沉井下沉至设计要求的标高,并经监测结果证明稳定后,进行下一节沉井的制作与下沉,沉井下沉接高示意图见图 2。终沉阶段,当沉井刃脚的底标高高于最终设计标高 0.5 m 左右时,应暂停开挖。加密沉降观测频率,确定无快速下沉现象且水平偏差较小时,继续开挖至高于最终设计标高 10 cm 处,使沉井依靠自重下沉到位。为防止超沉超挖,沉井下沉到位并经观测确定稳定后马上进行封底施工。

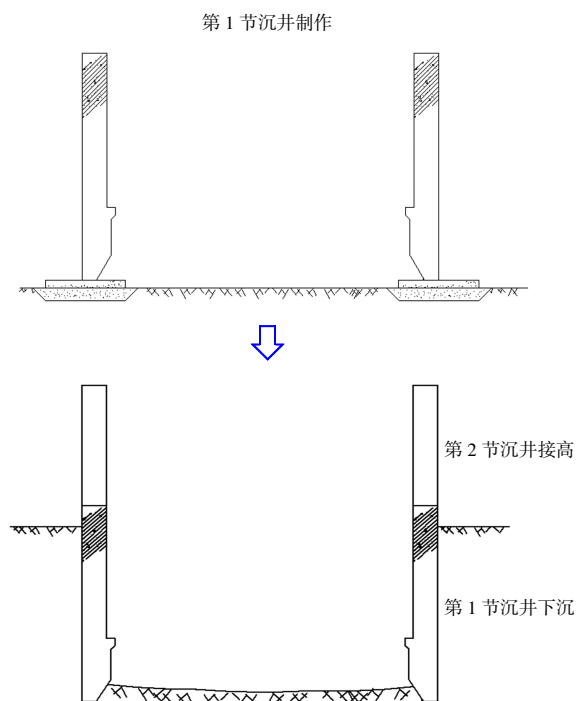


图 2 沉井下沉接高示意图

4.2 沉井纠偏

沉井下沉时经常会出现偏移、扭转等现象, 主要原因为土质软硬不均、未均匀取土、存在硬质障碍物等。通常采用不平衡配重的方式进行纠偏, 纠偏时根据测量数据边纠偏边测量, 初沉阶段采用偏取土方法配合不平衡配重法进行纠偏, 在终沉阶段用高压水射水破坏沉井标高较高一侧的土体配合不平衡配重法进行纠偏。当沉井位置发生扭转时, 可采取偏取偏填的方法纠正沉井姿态, 即在沉井偏位的两角偏取土, 另外两角偏填土, 使刃脚下方产生由不均匀土压力所形成的扭矩, 逐步纠正沉井位置。沉井下沉至设计标高后, 进行 8 h 的沉降观测, 若沉降量不大于 10 mm, 说明沉井已达稳定状态, 可进行下一工序的封底工作。

4.3 沉井封底及底板施工

封底混凝土强度等级为 C20, 底板混凝土强度等级为 C30, 抗渗等级均为 P6。采用不排水封底法, 浇筑封底混凝土之前将沉井底部的浮泥清除干净, 封底混凝土用导管法灌注, 水下封底混凝土达到设计强度 100% 后, 抽出沉井内积存的水并检查封底情况是否良好。采用干法施工上部钢筋混凝土底板, 底板施工前, 在封底混凝土里植入连接钢筋与底板钢筋焊接共同抗浮, 连接钢筋采用 $\phi 22$ mm 热轧带肋钢筋, 间距 1.5 m, 植入深度不小于 400 mm。井壁混凝土、封底混凝土与底板混凝土接触的部分, 需凿毛成粗糙面并冲洗干净, 以利于新老混凝土结合紧密。封底前应进行抗浮稳定验算, 荷载组合应包括结构自重和地下水的浮力。

5 沉井计算

本工程中尺寸最大的沉井为 1 号工作井, 平面尺寸 7 m×7 m, 临近河道, 地下水位较高; 深度最大的沉井为 2 号接收井, 直径 4.5 m, 深度 15 m。因此, 以 1 号工作井和 2 号接收井为例, 进行沉井相关计算。1 号工作井壁厚 0.8 m, 分 6 节制作下沉, 每节高度 1.5 m; 2 号接收井壁厚 0.7 m, 分 10 节制作下沉, 每节高度 1.5 m。

5.1 沉井下沉及接高验算

依据 GB/T 51130—2016《沉井与气压沉箱施工规范》相关规定, 对下沉系数及接高稳定性系数进行计算, 实现对沉井下沉和接高稳定性的理论判断。沉井下沉系数按下列公式计算:

$$k_{st} = \frac{G_k - F_w}{T_f + R_1 + R_2} \quad (1)$$

$$F_w = \gamma_w V \quad (2)$$

$$R_1 = U(b + \frac{n}{2})R_k \quad (3)$$

$$R_2 = A_1 R_k + A_2 R_k \quad (4)$$

$$T_f = \sum U_i f_{ki} H_i \quad (5)$$

式中: k_{st} 为下沉系数; G_k 为沉井自重, kN, C30 混凝土容重取 24 kN/m³; F_w 为地下水浮力, kN; γ_w 为水的重度, kN/m³, 取 9.8 kN/m³; V 为沉井在地下水位以下的体积, m³; R_1 为刃脚下地基极限承载力, kN; U 为侧壁外围周长, m; b 为刃脚踏面宽度, m; n 为刃脚斜面与土壤接触面的水平投影宽度, m; R_k 为地基极限承载力, kPa; R_2 为隔墙和底梁下地基极限承载力, kN; A_1 为隔墙支承面积, m²; A_2 为底梁支撑面积, m²; T_f 为总摩擦力标准值, kN; U_i 为第 i 层土中侧壁外围周长, m; f_{ki} 为第 i 层土的单位摩阻力标准值, kPa; H_i 为第 i 层土的厚度, m。

本工程沉井采用不排水下沉、掏刃脚下沉的方式, 每节沉井的下沉系数以该节沉井起始下沉时的状态计算, 沉井内部均无隔墙和底梁。

沉井接高稳定性验算的公式如下:

$$k_c < 1 \quad (6)$$

$$k_c = \frac{G_{kc} - F_u}{T_f + R_1 + R_2} \quad (7)$$

式中: k_c 为接高稳定性系数; G_{kc} 为接高后的井体重量, kN; F_u 为地下水浮力, kN, 当沉井下沉时, 取 $F_u = F_w$ 。

每节沉井的接高稳定性系数以该节沉井接高制作完成时的状态计算, 且考虑此时刃脚斜面与土壤无接触面。按照上述边界条件, 将沉井尺寸和所处地质条件的各项参数代入以上公式中, 得出计算结果如表 2 所示。沉井下沉系数一般为 1.15~1.25, 如果下沉系数不能达到 1.15, 应采取助沉措施, 本工程遇沉井下沉困难时, 采用泥浆套助沉法和压沉助沉法, 在井壁外侧灌注触变泥浆辅助沉井下沉, 通过在沉井顶部施加压力辅助下沉。表 2 计算结果表明, 1 号工作井的第 1 节、第 2 节和 2 号接收井的第 1 节、第 2 节、第 3 节可利用自重下沉, 后续井壁下沉均需助沉; 计算出的接高稳定性系数均小于 1, 说明沉井在接高后能够保持稳定。

表 2 沉井下沉系数及接高稳定性计算表

沉井	节数	下沉系数 k_s	接高稳定性系数 k_c
1 号工作井	第 1 节		0.82
	第 2 节	1.56	0.59
	第 3 节	1.05	0.57
	第 4 节	0.88	0.52
	第 5 节	0.79	0.52
	第 6 节	0.74	0.52
2 号接收井	第 1 节		0.48
	第 2 节	1.68	0.61
	第 3 节	1.26	0.67
	第 4 节	1.02	0.64
	第 5 节	0.89	0.62
	第 6 节	0.81	0.60
	第 7 节	0.76	0.59
	第 8 节	0.72	0.46
	第 9 节	0.69	0.46
	第 10 节	0.67	0.47

5.2 沉井抗浮验算

由于地下水对沉井有向上的浮托作用,因此在封底前要计算沉井的抗浮性能,沉井抗浮应按封底时可能出现的最高水位进行验算,本工程取勘察资料给出的地下水位。沉井抗浮系数计算公式如下:

$$k_f=\frac{G_{1k}}{F'_k}$$

(8)

式中: k_f 为抗浮系数; F'_k 为水浮力标准值, kN; G_{1k} 为井体重量标准值, kN。

计算结果见表 3。根据表 3 中计算出的沉井下沉完毕后井体重量标准值和水浮力标准值,计算得到 1 号工作井和 2 号接收井的抗浮系数均大

于 1,满足封底前的抗浮要求。

表 3 沉井抗浮计算表

沉井	井体重量标准值 G_{1k}/kN	水浮力标准值 F'_k/kN	抗浮系数 k_f
1 号工作井	5 391.360	1 709.809 920	3.15
2 号接收井	4 114.656	1 164.904 832	3.53

6 结语

本文以深圳市光明区东长路市政污水干管工程为依托,对沉井施工技术进行研究分析,根据沉井施工工艺流程,梳理总结了沉井施工过程中刃脚垫木支设、沉井制作和施工平台搭设等技术措施,阐述了沉井的不排水开挖下沉方法,介绍了沉井的纠偏措施,其中钢筋焊接而成的网片作为井内施工平台,以悬挂的方式实现可以重复利用,提升了工程实施的效率 and 安全性。以工程中的 1 号工作井和 2 号接收井为例,进行了沉井下沉系数计算、接高稳定性验算和沉井抗浮验算,为类似工程提供了技术借鉴。在后续的沉井施工中,对于沉井下沉过程中外侧井壁与土体间摩阻力的监测以及助沉、纠偏措施的改进,将会较大提升沉井施工的工效,是未来沉井施工技术发展的重点。

参考文献:

[1] 俞泉. 浅谈复杂环境下沉井施工技术[J]. 福建建设科技,2023(6): 97-100.

[2] 王波,李阳,鲁召朋. 沉井技术在威海市河库水系连通工程中的应用[J]. 山东水利,2023(11):73-75.

[3] 曹小维. 市政工程顶管沉井施工方法[J]. 科技创新与应用, 2023,13(35):149-152.