

# 临桥墩处沉井在流沙地质中下沉关键施工技术

张培 李巍 姚德权

中建三局第三建设工程有限责任公司 湖北武汉 430000

**摘要：**沉井施工具有很多的优点，比如成本小、占地小、安全性高等，因此在地下工程施工种有着广泛的应用，但是在沉井下沉施工中，会对周边的既有建筑物造成不同程度的影响，本次施工周边存在既有高架桥桥墩及匝道承台，沉井所处地层为流砂层，工程特性不良，因此需加强对沉井下沉过程中的各种关键技术把控，本文就沉井施工对周边环境造成的具体影响进行分析，从中探讨相关的控制技术和控制措施，通过具体的案例分析来探讨有效的防治措施。  
**关键词：**沉井施工；流砂地质；沉井下沉；环境影响；技术措施

## The key construction technology of sinking caisson near bridge pier in quicksand geology

Pei Zhang Wei Li Dequan Yao

The Third Construction Co., Ltd. of China Construction Third Engineering Bureau Wuhan, Hubei Province, 430000

**Abstract:** Sinking well construction has many advantages, such as small cost, small footprint, high safety, so there are wide applications in underground engineering construction, but in the sinking construction, it will have different degrees of impact on the surrounding existing buildings, the construction of the surrounding existing viaduct piers and ramp piles, the sinking well is located in the formation of the quicksand layer, the engineering characteristics are poor, so it is necessary to strengthen the control of various key technologies in the sinking process, this paper analyzes the specific impact of the sinking construction on the surrounding environment, From this, relevant control technologies and control measures are discussed, and effective prevention and control measures are explored through specific case studies.

**Keywords:** Sinking construction ; Quicksand geology ; Sinking wells sink ; Environmental impact ; Technical measures

### 引言

随着我国经济的飞速发展，城市的基础设施建设不断完善，在后续建设中，就不可避免的会在既有的构筑物 and 结构附近施工，所以在完善基础设施建设的同时，我们也要加强对环境的保护，在沉井施工中，会对周边的环境造成影响，而且影响是无法避免的，只有通过相关的控制技术来减少对周边环境的影响。

本文结合武汉青菱路新增电缆隧道土建工程九号沉井的下沉施工，在沉井周边存在既有桥梁桥墩及匝道承台基础且施工段位于流砂地质的情况下，结合现场的实际情况，研究制定了在临桥墩处沉井在流砂地质中下沉施工的方案。

### 一、工程概况

#### 1. 项目概况

青菱路电缆隧道工程位于武汉市洪山区青菱路。青菱路南起滨河路，北至江楚大街，设计道路长约2578.56m，红线宽70m。沿线与滨河路、白沙五路、白沙四路、白沙侧路、白沙三路、规划路、白沙二路、白沙路以及江楚大街相交，均为平交道口，其中白沙四

路、白沙三路道口为现状道口。电缆隧道工程起止点为K0+288.717~K2+742.046，电缆隧道总长约2455.76m，其中桩号K0+288.717~K0+334.593段采用明挖矩形电缆隧道与滨河路（现名青菱北路）现状电缆沟相接，矩形隧道标准段横断面尺寸BH=2.7m×2.7m，长约41m；桩号K0+334.593~K2+742.046采用圆形顶管与杨泗港综合管廊相接，断面内径为2.7m，长约2414.76m。



图1 拟建项目总平图

## 2. 项目工程设计情况及周边环境

本工程位于武汉市洪山区青菱乡, 拟建工程总体呈南北走向。桩号 K2+560~K2+770 段原为居民区, 勘察期间房屋已基本拆除, 地面堆有较多建筑垃圾及生活垃圾, 地面高程为 21~23m 不等, 属长江 I 级阶地。

根据武汉市洪山建设投资有限公司提供的《青菱路新增电缆隧道土建工程设计变更》(武汉市工程设计研究院有限责任公司, 中南电力设计院有限公司 2020.10), 位于杨泗港快速通道青菱段工程安全保护区范围共包含顶管段、沉井段以及明挖段三部分, 对应里程桩号约 K2+700~K2+740, 其中 K2+700~K2+729.58 为顶管段, 顶管段内径 2.7m, 壁厚 270mm, 顶管管顶埋深约 7.6m, K2+729.58~K2+740 为沉井段, 沉井结构内净空尺寸 6.2m × 10.4m, 壁厚 900mm, 刃脚底埋深 14.9m, 底板底埋深 13.7m。本场区地下水在勘察深度范围内主要为上部填土中的上层滞水与下部互层土及砂层中的孔隙承压水。

K2+700~K2+740 段结构南侧为现状青菱路; 北侧为杨泗港快速通道青菱段主桥第 9 联及 B 匝道结构; 西侧及东侧均为现状空地。

### 3. 位置关系

K2+700~K2+740 段结构南侧为现状青菱路; 北侧为杨泗港快速通道青菱段主桥第 9 联及 B 匝道结构; 西侧及东侧均为现状空地。



图 2 青菱路电缆隧道工程(杨泗港快速通道青菱段工程安全保护区范围内)与杨泗港快速通道青菱段工程平面位置关系图

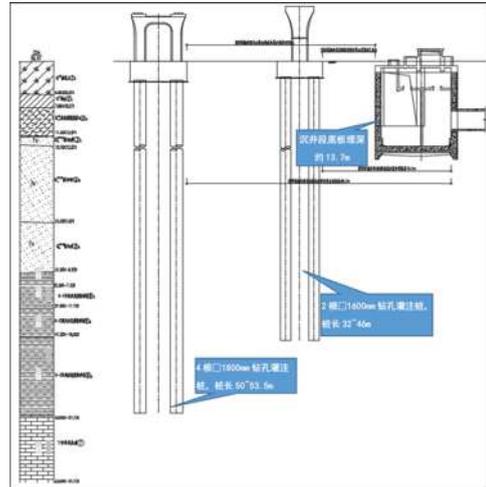


图 3 沉井及顶管结构与杨泗港快速通道青菱段工程位置关系横剖面图

## 二、沉井下沉准备

### 1. 施工准备

1) 、施工前编制好现场相关施工方案, 由武汉市市政设计院有限责任公司编好《青菱路电缆隧道工程对杨泗港快速通道青菱段结构安全影响评估报告》后邀请武汉市洪山建设投资有限公司、中建武汉杨泗港路桥建设运营有限公司、中建三局集团有限公司、中交第二公路勘察设计院有限公司、武汉城市公共设施运营发展有限公司等召开了专家评审会, 评估报告及评审会中确认了该方案的可实施性;

2) 、编制好桥梁保护方案并报送桥梁保护处, 经桥梁保护处审批通过后方可进行方案实施;

3) 、施工前联系好第三方检测单位, 在施工前中后期对桥墩进行检测, 并每天上报监测数据。

### 2. 地质状况及施工方法

据各单元层内岩性及物理力学性质上的差异, 又可将拟建场地沿线地层进一步细划为若干亚层。其具体的埋藏分布条件及野外鉴别特征列于下表。

根据钻探资料、土工试验及原位测试成果, 拟建场区在拟建场地内除表层为填土(Q<sub>ml</sub>)外, 其下为第四纪全新统冲积(Q<sub>4al</sub>)黏性土与冲洪积物(Q<sub>4al+pl</sub>)黏性土及砂土, 局部坡残积(Q<sub>dl+el</sub>)红黏土构成, 基岩为白垩—第三系(K-E)的泥质粉砂岩及含砾砂岩, 三叠系(T)灰岩。根据年代、成因、土层结构特征及强度上的差异, 场地自上而下可分为 7 个地质单元。各土层单元特征详见“土层性质特征描述表”。场地基本地质情况如下:

表 1 场地地层情况表

层号	名称	层面埋深 (m)	土层性质			野外特征	压缩性
			颜色	状态	湿度		
-1	杂填土	/	杂色	松散	稍湿	成分杂, 以砖渣碎等建筑垃圾为主, 局部为生活垃圾, 堆积年限少于 10 年。	不均
-2	素填土	0.0-2.0	杂色	松散	稍湿	以粉质黏土为主, 可见少量植物根茎, 堆积年限大于 10 年。	不均
-1	黏土	0.3-5.6	黄褐	可塑	饱和	含有少量的铁锰氧化物, 切面光滑, 土质较均匀, 韧性中等, 局部土质偏粉。	中等偏高
-2	淤泥质粉质黏土	1.6-8.3	灰褐	软塑流塑	饱和	土质软, 手指轻按易入, 局部土质偏粉。	高
-3	粉质黏土夹粉土	4.2-18.9	灰		饱和	粉质黏土呈可塑状态, 粉土呈中密状态, 局部夹薄层粉砂	中等偏高
-1	粉砂	5.0-20.6	灰	松散稍密	饱和	局部夹有较多的粉土	中等
-1a	粉质黏土	8.4-17.9	灰	软塑流塑	饱和	局部土质偏粉, 且不均匀的夹粉砂	高
-2	粉细砂	7.0-18.8	灰	中密	饱和	含有较多的云母片, 局部夹有少量粉土	中等偏高
-3	粉细砂	17.2-24.6	灰	中密密实	饱和	局部富集中砂, 含有较多的云母片, 底部夹少量卵砾石, 粒径 0.5-1cm, 成分为石英质	低
-3a	粉质黏土	20.0-28.8	灰	可塑	饱和	土质较均匀, 干强度和韧性中等	中等偏高
	红黏土	29.2	红褐色	可塑硬塑	饱和	切面光滑, 有光泽, 局部夹有少量灰岩碎块。	
-1	强风化泥质粉砂岩	24.3-34.0	红褐色, 原岩结构大部分被破坏, 用手轻易可掰断或捏碎, 胶结性相对较差, 取芯率约 85%				
-2	中风化泥质粉砂岩	27.0-45.0	红褐色, 泥质和钙质胶结, 岩芯多呈长柱状, 手用力可折断, 岩芯采取率约 90%, RQD 值约 80%, 属极软岩, 节理不发育, 岩体较完整, 基本质量等级为 级				
-2a	强风化泥质粉砂岩	29.7-61.9	红褐色, 岩芯多呈长柱状, 泥质与钙质胶结, 胶结性差, 用手可掰断或捏碎, 岩芯采取率约 85%, 属极软岩, 节理不发育, 岩体较完整, 基本质量等级为 级				

层号	名称	层面埋深 (m)	土层性质			野外特征	压缩性
			颜色	状态	湿度		
-2b	中风化含砾砂岩	46.6-64.0	红褐色, 岩芯呈短柱状, 其中砾石成分主要为灰岩, 含量约 30%, 泥质和钙质胶结, 锤击不易碎, 胶结相对较好, 局部位置有溶蚀现象严重, 钻进时轻微漏浆, 岩芯采取率约 80%, RQD 值约 65% 属较软岩, 节理发育, 岩体较破碎, 基本质量等级为 级。				
	中风化灰岩	33.0-69.1	灰色, 岩芯呈柱状及块状, 节理很发育, 多被方解石充填, 含泥量约 5%, 局部地段斜层状节理倾向近垂直, 岩体表面见溶蚀现象, 属较软岩, 钻探过程中有漏水现象, 岩芯采取率约 75%, RQD 值约 60%, 岩体较破碎, 基本质量等级为 级				

沉井采用排水下沉法施工, 在沉井下沉前将地下水降至沉井刃脚标高以下, 防止流砂涌入井内, 在土体开挖时, 应遵循分区、分块、分层、对称、限时的顺序, 应按照分层开挖、严禁超挖的原则, 并及时反馈现场地质情况, 进行信息化施工。

### 3. 高压旋喷桩施工

1)、沉井结构内净空尺寸 6.2m × 10.4m, 壁厚 900mm, 刃脚底埋深 14.9m, 底板底埋深 13.7m, 沉井施工前采用  $\varnothing 800@650$  高压旋喷桩对四周 1.4m 土体进行加固, 接收井端头 6.25m 土体采用  $\varnothing 800@650$  高压旋喷桩进行加固, 刃脚下土体采用  $\varnothing 800@1500$  高压旋喷桩进行加固。

2)、高压旋喷桩施工流程包括: 场地平整、测量定位、机具就位、制备水泥浆、钻孔至设计标高、旋喷开始、提升旋喷注浆、旋喷结束成桩。

(1) 施工前, 应根据现场环境和地下埋设物的位置等情况, 复核高压旋喷桩的设计孔位, 并要求检查旋喷管的高压水与空气喷射情况, 各部位密封圈是否封闭, 合格后方可喷射浆液。

(2) 在正式施工前, 应预先进行试喷确定施工参数, 明确以后施工过程中的喷浆压力、流量、旋转速度、提升速度等。

(3) 喷射时, 应先达到预定的喷射压力、喷浆量后再逐渐提升注浆管。中间发生故障时, 应停止提升和旋喷, 以防桩体中断同时立即进行检查排除故障。

(4) 施工过程中应注意对水泥浆压力的控制, 防止地面隆起。特别是东侧道路, 应在施工全过程中, 安排专人对路面进行监控, 防止出现异常情况。

(5) 施工过程中, 喷射孔和高压泵的距离不能超过 50m, 钻孔位置与设计位置偏差不得超过 50mm, 并注意对垂直度的控制注浆孔垂直度的允许偏差应控制在  $\pm 1\%$ 。

(6) 施工完毕后, 应迅速拔出喷射管, 为防止浆液收缩影响桩顶标高, 必要时可在原孔位, 采用冒浆回

灌或第二次注浆等措施。施工中做好泥浆处理, 及时将泥浆运出。

(7) 相邻两桩施工时间间隔不小于 48h。

### 4. 沉井降水

本场地对施工影响较大的地下水主要为上层滞水和承压水。本场地潜水赋存于第 (1) 层填土中, 主要受生活用水及大气降水补给, 水量有限, 但不容忽视。在基坑开挖时浅部土层中的地下水将会以汇水点的形式渗入基坑, 造成积水、软土体, 引发基坑失稳。

孔隙承压水主要赋存于场地 (6) 和 (7) 单元层的互层土及砂层中, 含水量丰富, 与长江及邻近的河流有较密切的水力联系。地下水采用“双管旋喷桩止水帷幕 + 降水井降水”等处理措施进行控制。

本工程在 QL9 周边共布置 11 口降水井, 1 口观测井兼做备用降水井, 降水井井孔径为 550mm, 管径为 250mm, 管井长度为 28m, 设计单井出水量不小于 50m<sup>3</sup>/h, 应将承压水水位降至基坑底标高以下至少 1m。管井采用钢卷管或无缝钢管, 实管侧密封无空隙, 滤管侧壁结孔, 孔径 18mm, 孔距 30mm, 梅花状布置。满管外包缠 12 目钢丝网一层, 60 日尼龙网 3 层。滤料采用绿豆砂, 直径 2 ~ 3mm。填海料至相应标高后, 方可采用风干粘土球填至地面, 粘土球直径 20 ~ 40mm。

在降水施工实施过程中, 必须先进行试验性抽水, 管井抽水开泵后 30min 取水样测试, 其含砂量应小于 1/50000; 长期运行 (至少 3 个月以上) 的含砂量应小于 1/100000, 以保证在降水运行过程中不出现砂、土流失的现象。

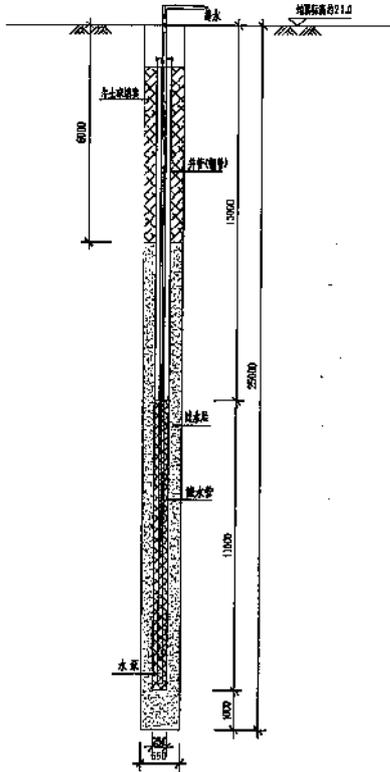


图 4 降水井结构图

在降水井出水口安装水流量计，在开始抽水之后，每天对地下水水位进行观测并做好记录，同时观察每个降水井的出水量，便于对具体情况进行分析。



图 5 降水观测记录

### 5. 施工监测

在施工前制定桥梁专项施工监测方案，并报送至桥梁保护处，经相关部门批准后方可施工，由第三方监测单位为主，项目部测量单位监测为辅，对 QL9 沉井部位降水、沉井、基坑及顶管施工期间应对基坑及沉井周边 2 倍下沉深度范围内的电线杆、桥梁、地下管线等建（构）筑物的变形进行观测，并应对电线杆等构筑物采取可靠的保护措施。

本工程施工对桥梁结构产生的不利影响控制值为桥梁墩台沉降值不超过 5mm，水平位移值不超过 5mm，相邻桥墩、桥台沉降差不超过 4mm。

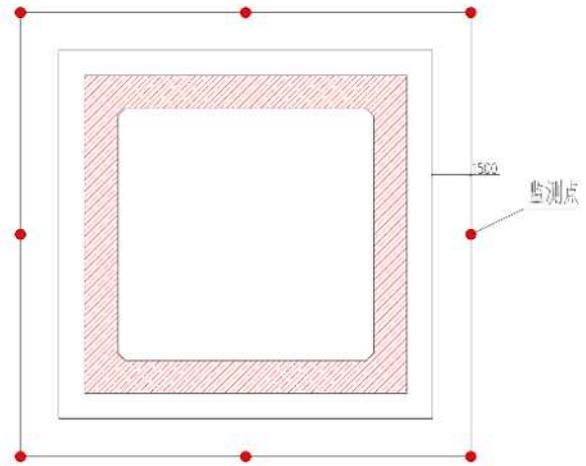


图 6 沉井基坑监测点的布设位置

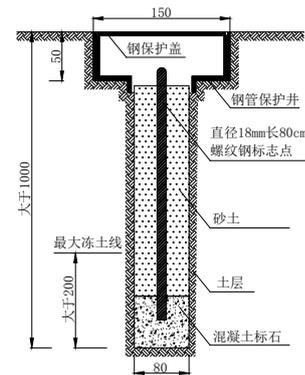


图 7 基坑变形监测点布设形式

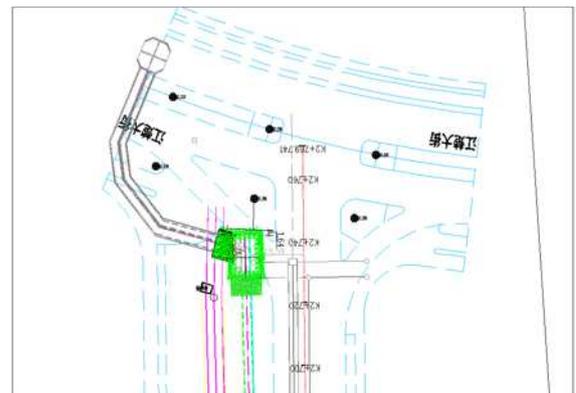


图 8 桥墩检测点布置图

### 6. 沉井下沉施工

#### 1)、下沉准备

为保证下沉施工安全，顶管预留洞口采用 200mm 钢筋混凝土封堵，同侧墙一起浇筑，混凝土标号同侧墙，钢筋为双层双向  $\Phi 18@200*200$ ，待沉井到位后，顶管开始前对封堵洞口附近的填砂采用灌浆固化处理，以防止人工凿除封堵之后砂泄露。

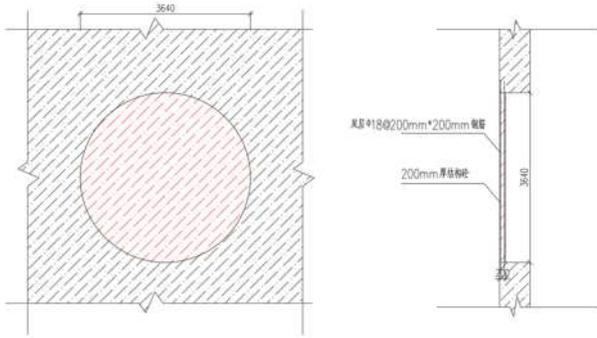


图9 洞门封堵示意图

沉井正式开始下沉前, 井壁外围基坑采用细沙回填至路面(沉井过程中始终保持坑内细砂充足), 以保证沉井下沉过程中井壁外围建筑空隙充填饱满, 防止基坑周边土体变形或垮塌。同时沉井始沉前, 需人工配合机械凿除刃脚下混凝土垫层及砖胎膜。

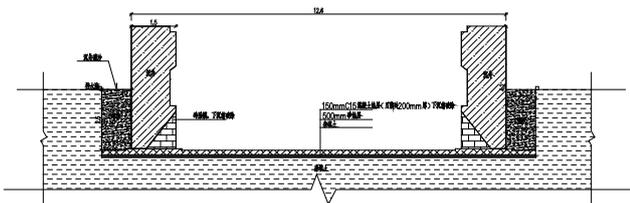


图10 始沉前基坑周边灌砂, 垫层及砖胎膜拆除  
2)、下沉施工

下沉速度的控制根据土质情况, 采用台阶形挖土自重破土下沉方式。挖掘机从中间①区开始向四周逐层开挖, ②③④区对称逐层开挖, 并始终均衡进行。方法是: 在井内中心(①号区)先开挖出一层, 每层挖土厚度为0.5m, 再分层逐渐往刃脚方向开挖土层(即②③号区), 刃脚处预留1m左右土垅(即④号区), 垅土区用微型反铲式挖掘机逐层对称均匀地削薄土层(如有硬石, 再配合空压机、风镐在有安全保护措施下进行人工破除。若在刃角处有硬石, 采用炮机凿除), 当土垅挡不住刃脚的挤压而破裂时, 沉井便在自重作用下破土下沉。

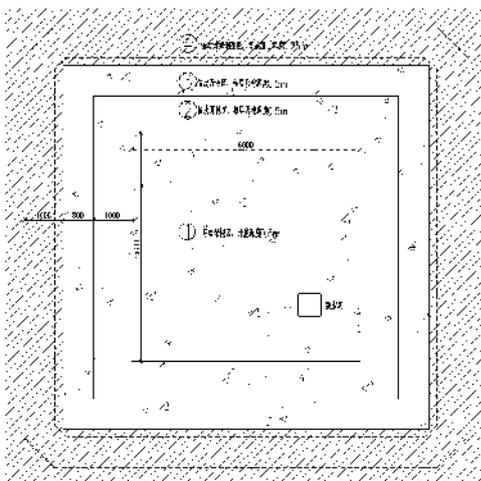


图11 挖土示意图

在开始下沉5m以内首节沉井下沉时, 其平面位置与垂直度要特别注意保持正确, 否则继续下沉不易调整。在沉井将沉至设计标高1.0m以上时, 应适当减少下沉速度, 刃脚下掏土应慎重, 防止突沉或超沉事故。周边开挖深度小于0.1m, 避免发生倾斜, 在离设计深度0.2m左右停止取土, 依靠自重下沉至设计标高。

表2 沉井下沉施工质量控制

项目	允许偏差	
	长度	$\pm 0.5\% L$ 且
宽度	$\pm 0.5\% B$ 且	100mm
对角线差	对角线长 1% 且 100mm	
井壁厚度	$\pm 15\text{mm}$	
井壁垂直度	1%	
预埋件、预留孔位移	$\pm 10\text{mm}$	
下沉后质量	刃脚平均标高	不大于 100mm, 地层为软土层时可 根据使用条件和施工条件确定
	水平位移	小于下沉总深度的 1%, 下沉总深度 小于 10m 时应不大于 100mm
	任意两角高差	小于两角水平距离 1% 且小于 300mm, 两角间水平距离小于 10m 时应不大于 100mm

### 7. 沉井封底

当沉井沉到设计标高, 经 2 ~ 3 天沉降观测, 在 8h 内累计沉降 10mm 时, 下沉已稳定, 即可进行沉井封底。沉井封底有排水封底和不排水封底两种方案, 根据地勘报告及设计图纸, 结合现场实际情况, 本工作井封底采用排水干封方案。

1)、排水: 沉井到位后必须进行土形整理, 使之呈锅底形, 回填 300mm (设计为 300mm, 根据实际情况调整) 厚砂或碎石屑垫层, 回填层兼做滤水层, 使井中的水都汇集到集水井中, 将 2 根带有单向底阀的自吸水管 (PVC 管) 预埋进集水井内, 并接至井壁底板以上 0.5m 预装上法兰, 以便安装自吸泵, 利用自吸泵排水, 使地下水位保持低于井底面 0.3m 以下。

2)、浇筑: 当沉井下沉至设计标高后, 碎石垫层铺筑完成后, 应立即进行封底施工。井底封底为 C15 素砼厚度 0.15m。素砼浇筑完接着喷涂 2.0mm 厚速凝橡胶沥青防水涂料, 之后浇筑 50mm 厚细石砼保护层, 待保护层强度足够时, 绑扎底板钢筋, 浇筑沉井 C40P8 底板钢筋混凝土, 浇筑前应先凿毛槽口, 清除封底砼表面残渣, 并冲洗干净, 使砼连接紧密。

3)、封堵: 混凝土养护期间, 在封底的集水井中应不间断地抽水, 待底板混凝土达到 100% 设计强度后, 调整自吸泵的高程, 进行集水井第一次封堵, 第一次封堵至底板以下 0.4m 处, 预留 0.4m 深的集水井用于顶管施工时抽排水。顶管施工完毕后自吸泵逐个停止抽水, 切除泵管, 并立即向坑内灌入防水堵漏混凝土捣实, 确保不会漏水即可。

4)、结束工作:沉井封底完成后,为使沉井处于稳定状态。需在井四周进行灌砂,将井壁与土体间的间隙填满,以达到稳定效果。

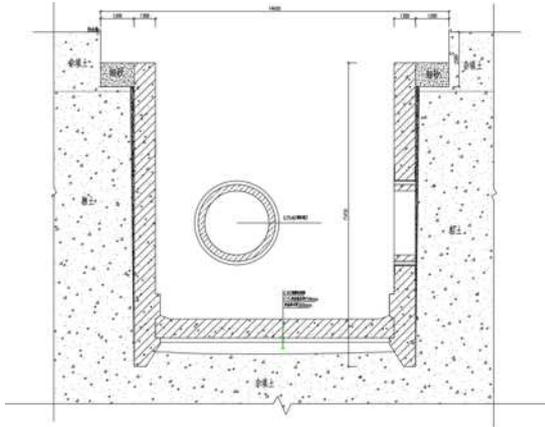


图 12 沉井四周灌砂

### 三、结语

1、本次 QL9 沉井最终成功下沉到位,在施工前中后期对桥墩位移进行监测,最终桥墩及周边构筑物累计位移值 $< 1\text{mm}$ ,沉井下沉成功;

2、在沉井施工前,必须取得详细的地质资料,掌握地下土质分布情况及土体的各项指标,为沉井下沉的计算提供各项数据;

3、应根据不同的地质情况,选用不同的下沉工艺,如果地下水丰富,涂层含水率高,渗透系数高,必须采取降水措施,如井点降水、深井降水,以降低土的含水量;

4、方案实施前,建议邀请相关专家和技术人员对方案及现场进行指导,对沉井下沉过程的各个环节进行分析研究,以便消除安全隐患。

### 参考文献:

[1] 陈健. 浅谈如何在流砂层地质情况下减少沉井下沉、顶管对周边环境的影响 [J]. 居舍, 2021, (15): 39-40.

[2] 方涛. 洱海区域流砂地质条件下沉井施工工艺 [J]. 山西建筑, 2018, 44(19): 61-63.

[3] 张理研, 苗惠萍. 沉井下沉施工技术措施 [J]. 内蒙古水利, 2022, (01): 64-66.

[4] 吴俊贤. 止水帷幕在大型深基坑沉井中的应用 [J]. 山西建筑, 2016, 42(35): 91-92.

[5] 青菱路电缆隧道工程对杨泗港快速通道青菱段结构安全影响评估. 武汉市政工程设计研究院有限责任公司

### 作者简介:

张培, 男, 1989.12, 大学本科, 工程师

李巍, 男, 1987.04, 大学专科, 工程师

姚德权, 男, 1999.04, 大学本科, 工程师