

复杂地质条件下锁扣钢管桩围堰施工技术控制

邱迎涛¹, 贾 宁²

(1. 中铁铁路安工程咨询有限公司, 天津市 300001; 2. 陆军军事交通学院, 天津市 300001)

摘要: 复杂地质条件及周边环境会在很大程度上约束施工进展, 以南沿江城际铁路跨秦淮河特大桥 70# 墩深基坑施工为例, 对其采用锁扣钢管围堰 + 型钢内支撑相结合的方法。经实践证明, 该方法稳定可靠、止水性好、恢复性好、经济性较好, 为大型建筑深基坑开挖支护施工积累了一定的经验, 对后续类似工程具有很好的借鉴作用。

关键词: 锁扣钢管桩围堰; 复杂地质条件; 深基坑

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)03-0185-04

0 引言

目前工程水中围堰施工多以双壁钢围堰和拉森钢板桩围堰为主。根据相关的施工经验及相关的技术规程、手册等^[1-2], 这两种方法施工周期长、地质适应性较差、施工过程控制难度较大、造价较高、止水效果一般^[3]。为综合解决复杂地质条件下桥梁深基坑支护中围堰施工技术控制, 本文对南沿江城际铁路跨秦淮河特大桥深基坑支护采用锁扣钢管围堰 + 型钢内支撑相结合的方法进行综合比较实践研究^[4-5], 从围堰的加工制造至承台、墩身混凝土浇筑、围堰拆除等经济技术控制要点注意事项, 表明该方法以高效安全、低造价、止水性好、环境污染小的优点, 有效解决了复杂地质条件下的施工难题。

1 工程概况

南沿江城际铁路跨秦淮河特大桥, 69# ~ 72# 墩采用 1 联 (72+128+72)m 连续梁跨越秦淮河, 70# 墩承台位于秦淮河中, 搭设钢栈桥施工桩基及围堰。秦淮河规划航道等级为 VI 级, 现状河口宽 140 m, 70# 主墩采用 25 ϕ 1.5 m 钻孔桩基础, 桩长 54 m, 承台结构采用二级承台, 一级承台尺寸为 17.5 m $\times$ 17.5 m $\times$ 4 m, 二级承台尺寸为 14 m $\times$ 10 m $\times$ 2.5 m, 墩柱高 14.5 m。地下水主要为第四系孔隙潜水、基岩裂隙水。河床底标高约为 2.27 m, 河床底主要为淤泥、粉土、淤泥质粉质黏土和泥质砂岩。

收稿日期: 2023-03-06

作者简介: 邱迎涛(1980—), 男, 本科, 高级工程师, 从事铁路、市政工程监理工作。

2 施工难点及关键

基坑从钢栈桥到混凝土封底高度为 20.8 m, 且需穿过泥质砂岩。基坑位于市内, 距离居民区较近, 秦淮河为景观河, 环保要求高。汛期在 5 月中旬来临, 工期紧张, 仅 5 个月。基坑距既有宁杭高铁较近, 地质条件较差, 支护结构要有足够的强度、刚度、稳定性, 侧向变形要控制在 20 mm。

3 支护方案的选择

支护结构的作用是挡土、截水, 保证坑底稳定与必要施工荷载。根据以往经验及《建筑基坑支护技术规程》^[1], 选择双壁钢围堰、拉森钢板桩围堰、锁扣钢管桩围堰进行比较。比较方案见表 1。

4 技术控制要点

主墩处于秦淮河河道中部, 确保承台、墩柱在无水条件下施工。基坑采用 36 m 锁扣钢管桩。由于该深基坑处于秦淮河中, 施工过程中桩基的垂直度、防止渗水、基坑围护结构变形、施工安全、造价、工期成为该工程的主要技术控制要点。

4.1 锁扣钢管桩选型

根据 70# 主墩基坑深、流域宽、水位高等特点, 选用 690 $\times$ 10 mm 锁扣钢管桩进行水中墩围堰施工, 其中阴头为 ϕ 140 $\times$ 10 mm 钢管, 阳头为 ϕ 168 $\times$ 10 mm 钢管, 小钢管与钢管桩满焊连接, 具体样式和性能参数如图 1 所示。上游方向顺桥向钢栈桥与承台边距离仅 1.4 m, 钢栈桥顶标高为 11.49 m, 考虑不调整钢栈桥和不影响承台施工的因素, 便于振动锤插打钢管

表 1 支护方案选择比较

比较项目	方案一	方案二	方案三
	双壁钢围堰	拉森钢板桩围堰	锁扣钢管桩围堰
技术质量	沉定位和垂直度控制难度大,若出现下沉偏位,纠正难度极大,技术风险较高	插拔施工工艺成熟,操作方便,内支撑体系拼装、下放质量可控,止水效果较好	插拔施工工艺成熟,内支撑体系拼装、下放质量可控,锁扣钢管桩锁扣的止水效果较好,施工技术难度大
进度方面	工期长	工期短	工期相对较长
安全方面	刚度大、整体性好,抗渗性能好,制作及下沉过程中相对风险较高,落床后安全性强	刚度弱,稳定性差,考虑秦淮河泥浆排放,拟采用明挖或少量带水开挖,安全风险高	刚度大,抗弯能力强,且抗渗效果与钢管桩相同,安全性较好
经济方面	工期长,人工费用高,材料费用约为锁扣钢管桩围堰的3倍	工艺成熟,市场上材料多,可租赁,工期短,但费用最少,约75万元	市场成品材料少,大直径需现场加工,安拆工期相对钢管桩长,费用较高,约218万元
比较意见	一般	一般	推荐

桩,将图 2 中涂黑的 22 根钢管桩加长至 40 m,钢管桩顶标高为 12.15 m,底部标高不变(为 -27.85 m)。钢管桩平面图如图 2 所示。

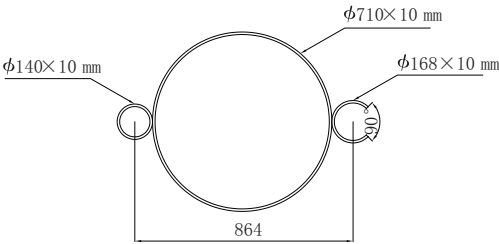


图 1 锁扣钢管桩截面示意图(单位:mm)

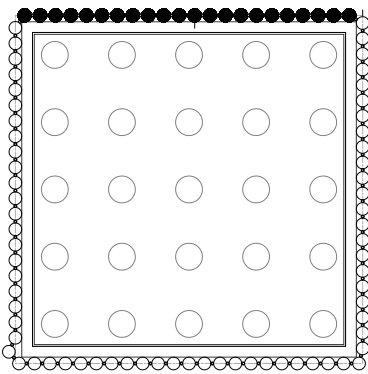


图 2 钢栈桥上游侧钢管桩加长位置示意图

锁扣钢管桩施工工艺为:加工制作-导向桩放样-引孔-插打-合龙-水平支撑安装-抽水-清淤-混凝土封底-承台浇筑-拔除。

4.2 构件加工

主管接长时,为保证接头强度,增加 3~4 块 10 mm

厚 150×150 加劲板进行补强,无缝锁扣钢管在现场进行开槽,主管与锁扣管每 2 m 做一道槽口对焊进行补强,确保制作好的任意两根锁扣钢管桩能全部对穿通过。由于工程防止渗漏水要求较高,因此在焊接前必须挑选技术较高的焊工进行工艺性试验。

4.3 安装导向框

准确定位导向桩后进行施打,定位桩采用 $\phi 529 \times 8$ mm 的螺旋管,其长度 20 m,用 I40a 工字钢加工制作导梁。然后安装导向框。导向框焊接安装在三角牛腿上,确保所在牛腿顶面保持同一标高,施工过程中加大测量频率,确保导向桩垂直度和围堰位置准确。导向框示意图如图 3、图 4 所示。

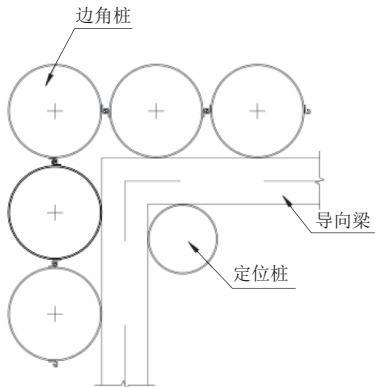


图 3 锁扣钢管桩定位示意图

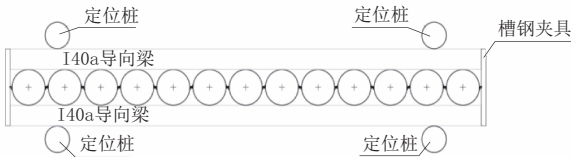


图 4 导向梁加工示意图

4.4 引孔

用旋挖机进行引孔,先慢后快,进尺 5 m 后正常转进,每次控制不超过 1 m,引孔至桩底标高后,检查孔位、孔径、孔深无误后及时拔除钢护筒并回填,及时插打。为减小引孔对作业平台的影响,其与作业平台间距不小于 1 m。

4.5 插打

用 150 t 履带吊与 DZ60 振动锤配合逐根插打,用线坠在两个相互垂直方向控制锁扣钢管桩的垂直度。插打时采用两个夹具夹住锁扣钢管桩。为保证施打时不变形移位,用 10 号槽钢加工制作夹具。为确保插打后的每根钢管桩的位置准确,插打第一根是关键。起吊锁扣钢管桩前,将黄油锁扣内嵌填,同时用全站仪在无导向框限位的两个方向进行复核。对变形或损坏的钢管桩及时进行修整或者更换,插打困难时可考虑重新引孔。钢管桩接长时,相邻桩接头

位置错开应 2 m 以上。因导向框直径比钢管直径大 10 mm,钢管桩要靠紧导向框插打,边插打边观察两个相互垂直方向是否有偏移,发现偏移及时进行调整。久打不下时,要及时分析原因。出现底部卷起时,可在底部加焊钢板增加强度。桩身出现变形,要及时更换。应连续施打,中途不能较长时间停顿,避免桩周围的土扰动恢复造成插打困难。插打过程中碰到较硬的岩土层,根据实际情况及时与设计单位进行对接,必要时可以采用高压水枪辅助施工。

4.6 围堰合龙,围檩支撑安装

为保证合龙口处钢管桩的垂直度,距合龙口两侧还剩 10 余根钢管桩时,需严格控制其倾斜度。每一根钢管桩的轴向及法向倾斜度均要测量,并根据累积增加规律及施工经验预判后续桩的倾斜度,在后续插打时逐渐纠正。根据缺口宽度调整加工最后 4~6 根合适的钢管桩并不施打到设计标高,合龙后再进行插打至标高。打桩特别困难时,可用高压射水方法进行辅助实施,严禁猛烈锤击造成钢管桩锁扣破坏,影响止水效果。合龙后边堵漏边抽水,对漏水点进行修补或者采取堵漏措施,用硬木塞紧内、外导向与钢管桩之间的空隙,以免发生变形。围堰内水高度控制在所安装钢支撑以下 0.5 m,并及时安装围檩钢支撑。将围檩架设在用 20 mm 厚钢板制作的牛腿托架上,按 2 m 一道布置控制托架水平间距,并严格控制其顶面标高,可在锁扣钢管桩上用红色油漆标示定位。在定位框架上事先做好标记,标注每根钢管桩的准确位置,插打时“对号入座”。对出现的累计误差,提前采取措施逐步纠正,确保合龙桩的位置准确。确实无法合龙时,可根据合龙口的宽度及锁口的形式等实际情况加工制作异型钢管桩以实现合龙。

为保证围堰止水效果,可采用体积比为 4:1 红黏土掺锯末材料,必要时掺麻丝与膨润土。

匀速缓慢吊放钢围檩,距牛腿支架 30 cm 左右时,缓慢靠拢钢管桩,使其准确平稳落在牛腿支架上。用 2 cm 厚钢板填塞钢围檩与钢管桩的空隙,空隙较大的可用槽钢或工字钢填塞。安装围檩后,将直径 $\phi 609 \times 16$ mm 的钢管斜撑吊至设计位置,钢管端部用 10 mm 钢板封端,用 $\phi 16$ 钢丝绳拉紧固定斜撑上部焊耳于钢管桩上,确保转角处围檩端部顶在钢管桩上。

本基坑设置五道 $\phi 609 \times 16$ mm 钢管内支撑。开挖至设计标高后及时验槽,封底,浇筑承台。用伸缩臂挖机开挖,开挖过程中对第一、第五道围堰顶的沉

降、位移进行观测,发现异常立即回灌水以平衡内外水压力,确保基坑安全。开挖时,要用测绳测量坑底标高,距设计底标高 0.3 m 时采用人工开挖,以免扰动封底以下土层。同时避免碰撞钢管桩、内支撑、连接件等构件。开挖过程中,对基坑进行实时监测,发现基底隆起立即停止开挖,向围堰内灌水,并及时与设计单位沟通。开挖至基坑底标高时,及时清理围堰内壁和桩侧杂物。根据基坑渗水量,在基坑四角设置 $0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$ 的集水井,用水泵抽排。钢管内支撑施加轴力前,必须经过严格计算并对千斤顶及油压表进行校正。施工前,必须严格计算轴力,防止计算错误造成基坑变形过大导致基坑失稳。轴力施加时,要严格按方案给予的数据逐步对称施加。

基底清理至设计标高后,及时整平并用高压水枪冲洗干净围堰内侧及桩周边泥沙,确保桩顶露出新鲜混凝土面,以保证封底混凝土与桩的有效黏结,用厚度为 150 cm 的混凝土封底。严格控制承台施工尺寸。

4.7 围堰监测

在钢管桩顶和内支撑上安装监测点,进行全过程监测;在钢支撑上安装轴力监测仪,全过程进行轴力监测。

基坑工程的现场监测采用仪器检测与巡视检查相结合的方法。仪器监测项目主要包括水平位移监测、竖向位移监测、水位监测和轴力监测。巡视检查主要包括支护结构成型质量、支撑围檩有无变形出现、开挖后暴露的土质情况与岩土勘察报告有无差异、钢栈桥上有无超堆荷载。

4.7.1 基坑监测点的布置

沿基坑周边布设,在基坑中部、1/4 处、阳角处分别布置监测点,每边监测点 5 个,共计 16 个。4 个监测点设置在围檩的上端部,12 个监测点设置在锁扣钢管桩的上端部(见图 5~图 7)。将监测点(棱镜)通过钢板固定在锁扣钢管桩的顶部,当基坑位移及内撑轴力达到设计变形 80% 时或单日变形变化量达到相应变化速率作为报警控制值,应停止作业,查明原因后及时进行加固后方可继续开挖施工。

监测点埋设完成后,48 h 内应完成监测点的初始值采集上报工作。每个监测点的初始值采集 3 次,取平均值为最终的初始值。沉降、位移等测量数据 3 次差值不能超过 3 mm,应力、轴力初始频率 3 次差值不能超过 2 Hz,测斜监测孔初始管型需保持一致。



图5 基坑监测点布置示意图 1

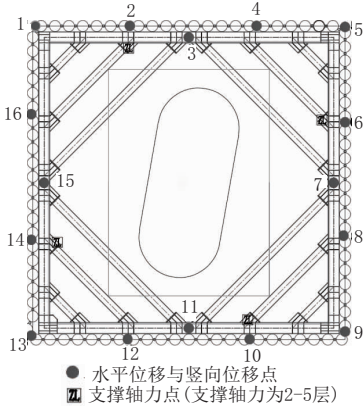


图6 基坑监测点布置示意图 2

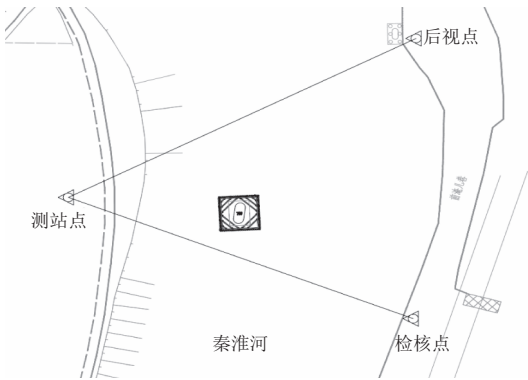


图7 测站点布置示意图

4.7.2 钢支撑轴力监测点布设

在基坑支撑轴力最大的点、围檩边 1/3 处,每层监测点 4 个,共计 16 个,将轴力计通过钢筒外翼状对称焊接钢管桩的顶部,当基坑位移及内撑轴力达到设计变形 80%时或单日变形变化量达到相应变化速率作为报警控制值,应停止作业,查明原因后及时进行加固后方可继续开挖施工。

钢支撑轴力计在安装前,要进行各项技术指标及标定系数的检验。轴力计有一套安装配件:两块 600 mm×600 mm×30 mm 的钢板,一只直径为 15 cm 的圆形钢筒,钢筒外翼状对称焊接有 4 片与钢筒等长的钢板,详见图 8、图 9。



图8 支撑轴力安装示意图 1



图9 支撑轴力安装示意图 2

4.7.3 监测频率

根据《建筑基坑工程监测技术标准》(GB 50497—2019)要求,监测期应从基坑工程施工前开始,直至墩柱施工完成为止,开挖后仪器监测频率见表 2。

表 2 现场仪器监测的监测频率

基坑设计安全等级	施工进程	监测频率	
		开挖深度 h	监测频率
一级	开挖深度 h	$\leq H/3$	1 次 / ((2~3) d)
		$H/3 \sim 2H/3$	1 次 / ((1~2) d)
		$2H/3 \sim H$	(1~2) 次 / d
	底板浇筑后时间 / d	≤ 7	1 次 / d
		7~14	1 次 / 3d
		14~28	1 次 / 5d
		> 28	1 次 / 7d

注:1. h 为基坑开挖深度; H 为基坑设计深度。
2. 支撑结构开始拆除到拆除完成后 3 d 内监测频率加密为 1 次 / d。
3. 基坑工程施工至开挖前的监测频率视具体情况确定。

4.7.4 监测报警及处理措施

基坑工程监测报警值以监测项目的累积变化量和变化速率值两个值控制,根据《建筑基坑工程监测技术标准》(GB 50497—2019)执行。

4.8 围堰拆除

钢管桩拔除与插打方向相反,由下至上拆除钢支撑及围檩,向围堰内注水至拟拆除的钢支撑以下 0.5 m。用 85 t 履带吊配合 150 型振动锤拔除钢管桩,用打拔机夹住钢管桩头振动 2 min 左右,使钢管桩周围的土产生“液化”以减少土对桩的摩阻力及桩间填充混凝土的黏结力,然后缓慢振拔。注意打拔机的负荷,发现拔不上来时,应暂时停止拔桩,先振动

(下转第 203 页)

林)》(DB43/T 1353—2017)等相关标准规范。土壤环境质量评价程序还可以结合内梅罗指数、综合污染指数、地质累计指数和潜在生态危害指数等方法综合制定^[8]。

3.3 污泥施用方案调整

由于目前我国没有关于污泥土地利用施用量控制的强制性要求,通过土壤质量监控和污染风险评估进行施用量的调整是十分必要的。初步的判断方法可参考农用地和建设用地的土壤污染风险管控标准,如果施用后的土壤污染物浓度未超过标准规定的风险筛选值,可以保持原施用量;如果施用后的土壤污染物浓度在风险筛选值和风险管控值之间,应分析污泥施用造成的影响,需要控制施用量;如果施用后的土壤污染物浓度高于风险管控值,原则上应停止污泥施用。实际操作中还需根据评估情况灵活调整施用方案,如采取多地块轮施、按年限间隔施用等措施。

4 结 语

没有充分考虑污泥的资源属性和污染属性是限制污泥土地利用推广应用的重要因素。资源属性决定了污泥施用必须符合农林行业的养分需求和科学施用方法,污染属性决定了污泥施用还必须满足土壤质量控制要求。在此过程中,市政、农林、土壤、环保跨领域协同合作是难点。因此,污泥土地利用亟需政策层面的引领统筹、标准层面的衔接贯通、技术层面的细则指导,制定并完善全过程操作规程,建立并健全全流程监管体系。全过程操作规程应从施用前

准入、施用量控制、施用后监管3个环节出发,以满足植物生长养分需求的同时控制污染物风险为目标,衔接各行业现有标准规范。全流程监管体系应覆盖污泥产物产生、运输、施用、检测、评价等环节,落实污泥转运联单制度,各地根据实际情况建立定时监测、数据上报和问题反馈机制,灵活调整污泥施用方案。技术规范和管理体系双管齐下,系统规划和因地制宜推动落地,才能打通堵点,推进城镇污泥土地利用产业化进程,保障城镇污泥土地利用安全实施和长效发展。

参考文献:

- [1] 余杰,郑国砥,高定,等.城市污泥土地利用的国际发展趋势与展望[J].中国给水排水,2012,28(20): 28-30.
- [2] 戴晓虎.我国城镇污泥处理处置现状及思考[J].给水排水,2012,48(2): 1-5.
- [3] 40 CFR Part 503. Standards for the use or disposal of sewage sludge [S]. USA, 1993.
- [4] Environment Agency G U. Guidance: Sewage sludge in agriculture: Code of practice for England, Wales and Northern Ireland [Z]. UK, 2018.
- [5] Umweltbundesamt. Sewage sludge disposal in Germany[Z]. Germany, 2019.
- [6] 农业部种植业管理司. 农业部关于印发《测土配方施肥技术规范(2011年修订版)》的通知[EB/OL]. https://www.moa.gov.cn/govpub-lic/ZZYGLS/201109/t20110928_2312398.htm. 2011.
- [7] 农业部办公厅. 农业部办公厅关于印发《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》的通知[EB/OL]. https://www.moa.gov.cn/nybg/2018/201802/201805/t20180515_6142139.htm. 2018.
- [8] 赵文廷.土壤环境监测技术规范中的土壤环境质量评价问题[J].中国环境管理,2017,9(4): 29-33.

~~~~~  
(上接第188页)

2 min左右后再往下锤0.5~1.0 m再往上振拔,如此反复进行。离开角桩5根以上作为拔桩起点,可根据沉桩情况确定拔桩起点,必要时可进行跳拔或者采用高压水枪辅助实施。不能拔除时,由潜水员贴河床底进行水下切割。

## 5 结 语

本深基坑工程采用锁口钢管桩+钢支撑支护结构施工,解决了复杂地质条件下造价高、止水差、工期长的难题。利用信息化动态实时监测基坑稳定性,工程平稳顺利结束,节约成本约150万元,比预计工

期提前15 d,为大型建筑深基坑开挖支护施工积累了一定的经验,对后续类似工程具有很好的借鉴作用。

### 参考文献:

- [1] JGJ 120—2012,建筑基坑支护技术规程[S].
- [2] 赵志缙,应惠清.简明深基坑工程设计施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [3] 钟祺,郑春雨,卫康,等.复杂地质深水环境中钢围堰类型比选及设计研究[J].公路,2021(10): 210-215.
- [4] 李大军,刘海熊.锁扣式钢管桩围堰在深水承台施工中的应用[J].国防交通工程与技术,2021(S1): 83-85.
- [5] 程鹏军,余亮,赵雪峰.锁扣式钢管桩围堰在复杂深水基础中的应用[J].四川水力发电,2021(6): 61-65.