

# 河道内大管径小曲率顶管对护岸的影响研究

朱世贤

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

**摘要:** 随着上海城市化率的不断提高, 市政工程中采用的大管径雨污水管也逐渐增多。受日益紧张的城市用地空间限制, 部分市政顶管工程转向河道内, 沿河底敷设管道进行小曲率顶管, 并通过土体加固和增加压重等措施降低顶管施工对周边防汛设施的影响。为定量研究分析河道内大管径小曲率顶管对河道护岸的影响, 结合工程实例, 建立了plaxis二维有限元模型进行数值模拟, 证明了工程采用的河底下方MJS预加固再顶管的施工方法合理可行, 对河道护岸影响较小, 并通过比较模型拟合值与施工期监测数据, 验证了模型的有效性。

**关键词:** 河道; 小曲率顶管; 护岸; MJS; 有限元

**中图分类号:** U656.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-7716(2025)07-0205-04

## Research on Impact of Large-diameter Small-curvature Pipe Jacking in River on Bank Protection

ZHU Shixian

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

**Abstract:** With the continuous improvement of urbanization rate in Shanghai, the use of large-diameter rainwater and sewage pipes in municipal engineering is also gradually increasing. Restricted by the increasingly tight urban land space, some municipal pipe jacking projects have turned into the river channels, where the small-curvature pipe jacking is carried out by laying pipes along the riverbed. And the impact of pipe jacking construction on the surrounding flood control facilities is reduced through the measures such as soil reinforcement and increasing the weights. In order to quantitatively study and analyze the impact of large-diameter small-curvature pipe jacking on the river bank protection, a two-dimensional finite element model of Plaxis is established for numerical simulation in combination with the engineering examples. It is proved that the construction method of MJS pre-reinforcement and then pipe jacking below the riverbed used in the project is reasonable and feasible, and has a relatively small impact on river bank protection. The effectiveness of the model is verified by comparing the fitting values of the model with the monitoring data during the construction period.

**Keywords:** river channels; small-curvature pipe jacking; bank protection; MJS; finite element

## 0 引言

顶管是一项地下管道非开挖施工技术, 被广泛应用于市政工程雨污水系统建设中, 相比于常规的开槽埋管, 顶管施工最大程度降低了土方量及对地表的影响, 在敷设大管径雨污水管等方面优势明显<sup>[1]</sup>。随着我国经济社会发展, 城市地下空间的开发利用日趋完善, 顶管施工过程中遇到的障碍也逐渐增多, 常规的顶管井之间直线顶管已很难再适应避让沿线障碍的需求, 长距离曲线顶管是一个优化方案。考虑到管节长度和水头损失, 曲线顶管往往

转弯半径都较大, 曲率较小, 即小曲率顶管, 因此, 大管径小曲率顶管在市政工程中的应用越来越多<sup>[2-4]</sup>。

面对日益紧张的用地问题, 尤其是像上海市这样的特大型城市, 沿市政道路敷设管道障碍物较多, 对路面交通及周边建筑影响较大, 部分顶管工程不得不转为沿河道下方敷设。顶管在穿越河道岸线并沿河底顶进的过程中, 对河道两岸的护岸有一定影响, 通过MJS边顶进边加固来降低影响是目前较为常用的工程措施<sup>[5-6]</sup>。

为定量研究分析河道内大管径小曲率顶管对护岸的影响, 本文以上海市某污水处理厂初期雨水调蓄工程为例, 结合设计及施工方案, 建立了plaxis二维有限元模型, 对顶管施工引起的护岸位移进行了数值模拟, 并与施工期护岸监测数据进行对比分析,

收稿日期: 2024-01-31

作者简介: 朱世贤(1993—), 男, 硕士, 工程师, 从事水工设计研究。

检验模型效果,供类似项目参考和借鉴。

1 工程概况

某污水处理厂初期雨水调蓄工程位于上海市长宁区,初雨截流总管基本靠近新泾港进行敷设,管道总体线位为:工程起点延安西泵站至新泾港(DN1200)→沿新泾港或哈密路至淞虹路桥南侧(DN2000)→沿哈密路至淮阴路(DN4000)→沿淮阴路至林泉路(DN4000)→沿淮阴路至茅台路(DN4000)→沿茅台路至双流路(DN4000)→过新渔东路后接入终点某污水处理厂初雨调蓄工程的提升泵站,沿线还需设北新泾南、北虹南2个雨水泵站的DN1200或DN2000初雨截流支管,总长度约4.8 km,包括总管长度约4.2 km,支管长度约0.5 km(见图1)。



图1 工程总体线位图

2#井位于哈密路锦程小区门口北侧道路上,4a#井位于淞虹路桥南侧哈密路与淞虹路交叉口绿化带中,区间总长855 m,包括479 m直线顶管段和376 m曲线顶管段,如图2所示。管道为DN2000钢筋混凝土管,壁厚200 mm,管道内底标高约-4.52~-5.38 m,其中213 m为在新泾港河道内曲线顶管,曲线段半径 $R=290\text{ m}$ ,曲率半径 $=1/290$ ,位于两段穿越新泾港岸线的直线顶管之间。根据勘察报告,浅层地基土各土层物理力学性质参数见表1。

工程段新泾港为市管河道,规划河底高程-0.50 m,属于淀北片,设计高水位3.80 m,设计常水位2.50~

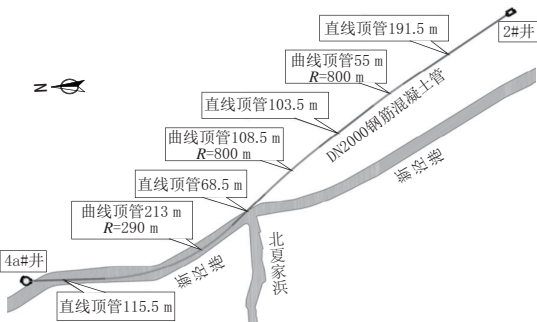


图2 2#井~4a#井段顶管示意图

表1 浅层地基土力学性质参数表

| 层序             | 地层名称      | $P_s$ 值/<br>MPa | 重度 $\gamma$ /<br>( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ) | 直剪固快<br>峰值强度 |                         | 地基承<br>载力设<br>计值 $f_d$ /<br>MPa | 地基承<br>载力特<br>征值 $f_{sk}$ /<br>MPa |
|----------------|-----------|-----------------|----------------------------------------------------|--------------|-------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
|                |           |                 |                                                    | $C$ /<br>MPa | $\varphi$ /( $^\circ$ ) |                                 |                                    |
| ① <sub>1</sub> | 褐黄色黏土     | 0.731           | 18.6                                               | 20.1         | 14.6                    | 80                              | 80                                 |
| ② <sub>3</sub> | 灰色砂质粉土    | 2.217           | 18.5                                               | 3.2          | 29.8                    | 100                             | 100                                |
| ③              | 灰色淤泥质粉质黏土 | 0.451           | 17.2                                               | 10.2         | 11.8                    | 55                              | 55                                 |
| ④              | 灰色淤泥质黏土   | 0.579           | 17.0                                               | 11.0         | 12.1                    | 50                              | 50                                 |
| ⑤ <sub>1</sub> | 灰色黏土      | 0.733           | 17.6                                               | 14.0         | 15.2                    | 60                              | 60                                 |
| ⑤ <sub>2</sub> | 灰色粉砂夹粉质黏土 | 4.442           | 18.1                                               | 3.0          | 31.1                    | 110                             | 110                                |
| ⑤ <sub>3</sub> | 灰色粉质黏土夹粉砂 | 1.370           | 17.8                                               | 15.6         | 19.9                    | 75                              | 75                                 |

2.80 m,设计低水位2.00 m。河道内曲线顶管段新泾港现状护岸均为桩基承台式钢筋混凝土结构,西岸墙顶标高4.50 m,墙后地坪4.00~4.50 m,底板底高程3.20 m,底板厚0.5 m,底板下方为前排D600@800( $L=9.5\text{ m}$ )、后排D600@2500( $L=9.5\text{ m}$ )的钻孔灌注桩,桩底标高-6.25 m;东岸墙顶标高4.50 m,墙后地坪4.20 m,底板底高程1.00 m,底板厚0.5 m,底板下方为双排200×280×7 500@1000的方桩,桩底标高-6.00 m。

2 顶管施工

2.1 顶管施工原理

顶管施工是在线位路由设置若干顶管井(包括工作井和接收井),采用非开挖掘进方式,在顶管机头导向下从工作井向接收井顶进,一边运出机头前土体,一边完成管道敷设。其优点是对地面交通、环境影响小,施工受气候影响也小。

2.2 小曲率顶进中轴线控制

小曲率顶进的核心是控制顶管中轴线符合设计要求,可从事前、事中、事后 3 方面控制:

(1)在顶管施工前,应先调整好顶管机姿态,尽量保证在预定起曲点开始起曲,最不利应在进入曲线段前,根据最后一次测量结果,判断顶管机姿态,调整纠偏油缸伸出量。

(2)在顶管过程中,严格管理管节的张开缝,设置专人测量并记录,按照设计的张开量施工,形成与设计基本一致的中轴线。

(3)在顶管快结束前,严格控制管节开口,视实际需要进行反向纠偏。

2.3 河道内顶管施工措施

(1)施工工艺

浮箱施工→河底防水布铺设(防止冒浆)→河道内顶管段 MJS 加固→袋装碎石铺设压载→顶管。

(2)MJS 加固方法

顶管施工前,对轴线两侧 12 m,管道下部 2.4 m 至河道底部采用直径 2 400@1900MJS 满堂加固(见图 3、图 4),水灰比 1:1,水泥掺量≥40%。

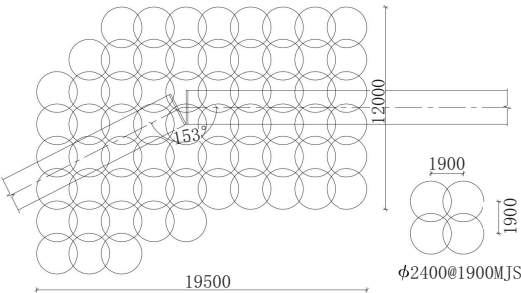


图 3 MJS 加固示意图(单位:mm)

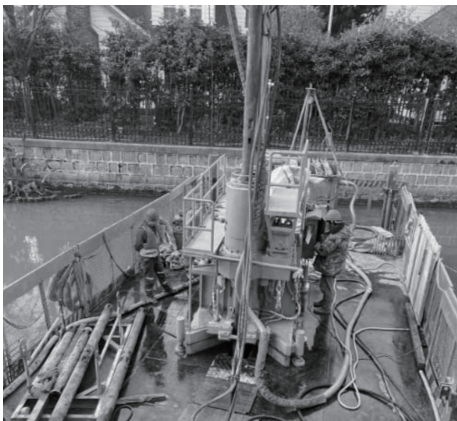


图 4 MJS 加固现场照片

检验指标:MJS 加固满 28 d 后,河底加固部分土体  $\sigma_u \geq 1 \text{ MPa}$ 。

3 建模分析

3.1 计算断面

顶管在新泾港河道下方顶进,整体线位更贴近西岸一侧,顶管中心距西岸护岸最近处水平距离仅约 3 m,对应顶管内底标高约-5.20 m,取该断面为计算断面,分析河道内顶管对两岸护岸的影响。

3.2 模型建立

(1)模型概述

本次采用 15 节点平面应变模型,模拟的计算范围如下:深度约 40 m,水平向 100 m。同时对模型边界进行约束,左右两侧进行 X 向约束,下侧进行 Y 向约束。

(2)土体本构模型与参数

土体本构模型采用强化土 HS 模型,计算中土体参数见表 1。

(3)荷载和地下水位

顶管施工不考虑地面荷载;河道内袋装碎石压载起安全富余作用,计算不考虑;地下水位取地坪以下 1 m,河道水位取设计低水位 2.00 m。

(4)连续介质的模拟

对于有限元模型中的连续介质,土体采用 HS 弹塑性模型;护岸采用土体的线弹性模型模拟;护岸桩基、顶管衬砌采用线弹性板单元模拟,同时在板单元与土体的接触面上添加界面用于模拟土体和板单元结构间的相互作用。

(5)模拟工况

根据施工方案,本次有限元计算对施工步骤模拟如下:

Stage0:预先设定 MJS 加固区域,初始地应力场循环计算至位移收敛

Stage1:位移归零,激活管道衬砌,冻结管内土并降水

Stage2:激活收缩(土体损失率取 0.5%)

(6)计算模型

计算模型见图 5。

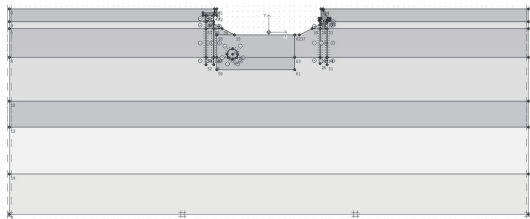


图 5 计算断面有限元模型

3.3 结果分析

规定:水平位移向右为正,反之为负;竖直位移向上为正,反之为负。

经计算,河道内顶管对新泾港两岸护岸的影响见表2,位移云图见图6、图7。

表2 有限元计算结果

| 护岸 | 埋深/m | 管径/m | 埋深孔<br>径比 | 水平位移/<br>mm | 竖直位移/<br>mm |
|----|------|------|-----------|-------------|-------------|
| 西岸 | 2.5  | 2    | 1.25      | 0.38        | -0.24       |
| 东岸 |      |      |           | -0.83       | -0.32       |

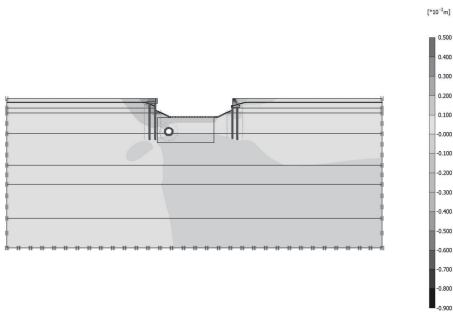


图6 计算断面水平位移云图(单位:m)

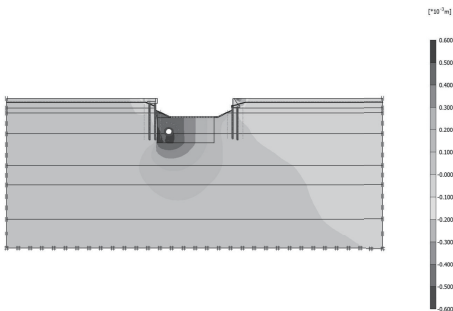


图7 计算断面竖向位移云图(单位:m)

由表可知,河道内顶管施工对新泾港两岸现状护岸产生的水平位移及竖直位置均不超过 10 mm,满足位移控制要求;管道埋深孔径比  $H/D$  大于 1.2,表明地表变形在规范允许的范围内,不会影响现状护岸结构。

3.4 模型验证

对计算断面上下游每间隔 5 m 各取 5 个断面建立有限元模型,计算顶管施工引起的两岸护岸水平位移和竖直位移,并与施工期各计算断面附近监测点的实测位移数据进行对比(取绝对值),以西岸护岸为例,结果如图8、图9所示。

由验证曲线可知,模型拟合值与实测位移值较吻合,模型能够较合理反映河道内小曲率顶管对河

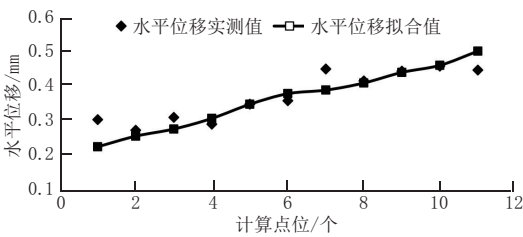


图8 西岸现状护岸水平位移拟合验证

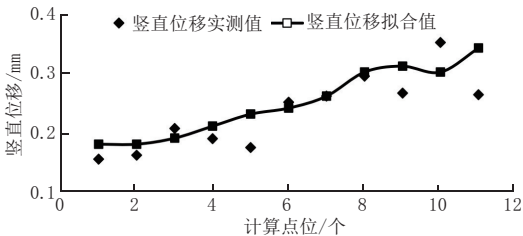


图9 西岸现状护岸竖直位移拟合验证

道护岸的影响,模型具有一定有效性。

4 结 语

本文根据顶管工程发展趋势,研究了在河道内大管径小曲率顶管的可行性,结合工程实例,建立了plaxi有限元模型,对河道内顶管施工引起的护岸位移进行了数值模拟,结果表明,采用MJS预加固再顶管的施工方法合理可行,护岸位移在允许范围内;并将护岸位移模型拟合值与施工期监测值进行对比,检验了模型的效果。

面对城市内日益复杂的陆域地下空间,充分利用河道水域空间,沿河道走向进行河道内小曲率顶管,在采用合理的施工措施保障河道护岸安全稳定的前提下,具有一定工程实际应用前景,值得类似工程研究与借鉴。

参考文献:

[1] 田飞.顶管施工技术在市政污水管道工程中的应用研究[J].施工与质控,2024(1):203-205.

[2] 缪绍勇.长距离,小曲率,大口径钢顶管施工技术探究[J].建筑施工,2022(2):44.

[3] 郭迎春,栾承刃,李昌军.长距离小曲率半径S型大管径混凝土顶管施工技术[J].建筑技艺,2018(增刊1):211-215.

[4] 范晓翔.大口径顶管小曲率半径曲线顶进施工技术[J].建筑技术开发,2023,50(4):100-102.

[5] 宾红军,杨杰,杨东启,等.MJS水平旋喷桩在顶管工程中的应用[J].云南水力发电,2023,39(12):11-16.

[6] 苏晶昌,高吉莉,刘军.水平MJS加固施工对地铁车站的影响研究[J].地基处理,2023(增刊1):112-117;137.