

矩形顶管通道地铁站内斜交接收关键技术

杨 武

上海隧道工程有限公司, 上海

收稿日期: 2023年9月27日; 录用日期: 2023年12月1日; 发布日期: 2023年12月12日

摘 要

福州地铁4号线金牛山站2号出入口矩形顶管工程采用地铁站内斜交接收施工工艺, 隧道轴线与接收井洞口平面呈 15° 斜角, 斜交接收工况下顶管机和土体稳定性直接关系接收的成败。本文以矩形顶管斜交接收工程为研究背景, 详细分析了接收端洞口采用钢管棚及拉伸钢板桩补强加固土体、环箍注浆止水、顶管分次接收及管节切割洞门封堵等斜交接收关键技术和经验, 可为矩形顶管隧道斜交接收的同类工程提供参考。

关键词

矩形顶管, 地铁通道, 站内接收, 斜交接收

Key Technology of Oblique Receiving by Rectangle Pipe Jacking Passage within Metro Station

Wu Yang

Shanghai Tunnel Engineering Co. Ltd., Shanghai

Received: Sep. 27th, 2023; accepted: Dec. 1st, 2023; published: Dec. 12th, 2023

Abstract

Jinniu station of Fuzhou metro Line 4, which using rectangle pipe jacking method to construct No2 exit, applies the technology of oblique receiving within metro station. Tunnel axis and receiving shaft plane with inclination angle of 15° . The stability of soil around pipe jacking machine with oblique receiving method directly affect whether receiving is successful or not. This research takes oblique receiving method by rectangle pipe jacking as a reference, it fully analyzed the key technology of oblique soil receiving such as soil reinforcement by steel pipe shed and stretch steel

sheet pile, water stoppage by hoop grouting, pipe jacking receiving in stages, pipe joint cutting and sealing of shaft. The successful construction of the project gives reference to similar project using oblique receiving method by rectangle pipe.

Keywords

Rectangle Pipe Jacking, Metro, Reception within Station, Oblique Reception

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

矩形顶管是一种非开挖的隧道施工技术。我国自上世纪 90 年代中期开始矩形顶管技术的研发应用,主要用于城市地下立交道路、大截面公路隧道主线及其匝道、城市过街人行通道、地下管廊、小区地下车库通道、地铁出入口等领域[1] [2] [3] [4]。这些项目的共同特点是周边环境复杂、地下管网交错、交通不能中断、施工安全性要求高。

目前,越来越多的地铁车站出入口矩形顶管通道与地铁车站斜交,给矩形顶管施工带来挑战[5] [6] [7] [8]。矩形盾构顶管是矩形隧道的施工机械,最早在日本发展起来用于建造地铁车站、地下人行通道及水底隧道旁通道等领域[9] [10] [11] [12]。针对矩形断面顶管施工,马鹏等通过切割面分区、分段和错位开挖解决了地层中矩形顶管遇到的一些难题,但未能实现复合地层矩形断面一次成型开挖;刘俊等结合莆田下穿火车站工程,提出了复合地层中盲区预处理施工工艺,集成了滚筒和铣挖头 2 种盲区处理装置的开挖系统,对摆动铣挖头盲区开挖装置进行了仿真分析,但该装置不适用于土舱下部积渣工况开挖。常规复杂工况下顶管斜交接收多采取弃壳或土中接收形式,工程建设成本陡增[13] [14] [15]。

本文以福州地铁 4 号线金牛山 2 号出入口矩形顶管工程小角度斜交接收为研究背景,通过钢管棚及拉伸钢板桩加固加强接收端土体实现顶管直接斜交接收,拓展研究了矩形顶管斜交接收关键技术及其应用,并取得了良好的施工效果,可供相关工程参考。

2. 工程概况

福州地铁金牛山站 2 号出入口位于杨桥西路南侧,如图 1 所示为工程总平面图。由于杨桥西路交通繁忙、其下方管线众多,设计采用顶管法施工。隧道长度 49.442 m,单向纵坡为 2.0% (上坡),顶管区间隧道覆土厚度为 5.23 m~6.17 m。隧道顶进轴线与接收洞口夹角为 15°,采用站内斜交接收方式。

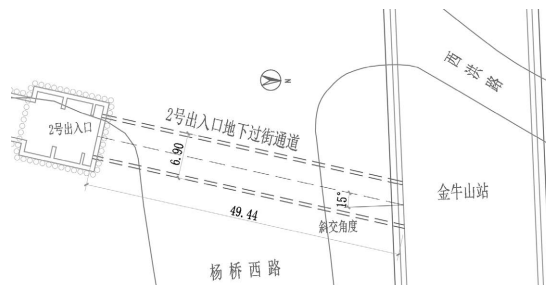


Figure 1. General Plan of the Project
图 1. 工程总平面图

顶管穿越土层为：(3-1-1)粉质黏土层、(5-1)坡积粉质黏土层、(5-2)残积砂质黏性土层，如图 2 所示。

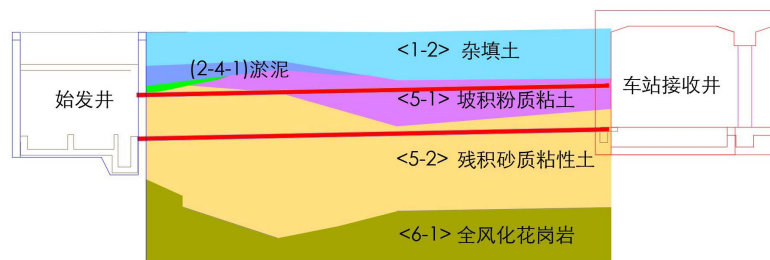


Figure 2. Section of Pipe Jacking Crossing the No.2 Portal of Jinniushan Station
图 2. 金牛山站 2 号出入口顶管穿越土层剖面图

3. 矩形顶管站内施工技术

本工程采用 $6.9\text{ m} \times 4.9\text{ m}$ 多刀盘土压平衡式矩形顶管机，3 只大刀盘与 3 只小刀盘叠加组合前后错开排布，刀盘采用辐条式结构，既能有效控制机头扭转，又能保证有效切削面积达到 90% 以上。

3.1. 顶管机站内斜交接收技术

接收位置为主体结构内负一层，接收井结构净尺寸为 $6.35\text{ m} \times 9.6\text{ m} \times 10.75\text{ m}$ ；结构顶板上预留吊装孔，吊装孔尺寸为 $5.5\text{ m} \times 7.2\text{ m}$ ，如图 3 所示。

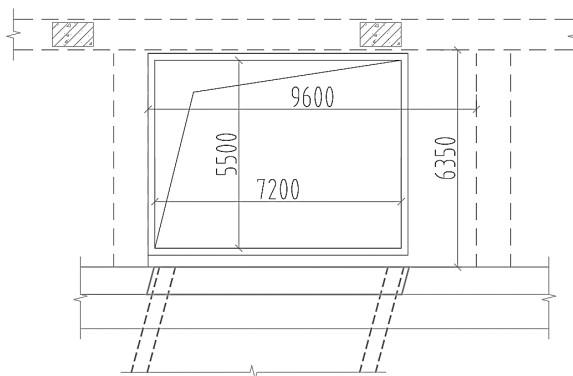


Figure 3. Plan of the Receiving Terminal at Entrance/Exit 2 of Jinniushan Station

图 3. 金牛山站 2 号出入口接收端平面图

顶管通道隧道轴线与接收洞门中心线呈 15° 夹角，顶管靠上地墙时左右两侧相差约 1.7 m ，接收过程中弱侧土体的稳定性至关重要，为此特在接收端洞门顶部设置水平钢管棚、两侧设置拉伸钢板桩以加强土体。

3.2. 斜交接收施工工艺流程

矩形顶管斜交接收施工流程如下：

1) 顶管机左侧刀盘距车站围护结构合理距离

当顶管机左侧刀盘推进至距车站围护结构 6 m 时，开始停止第一节管节的压浆，并在后续顶进中注浆位置逐渐后移，保证顶管机接收前形成完好的 6 m 左右的土塞，避免在接收过程中减摩泥浆的大量流

失而造成管节周边摩阻力骤然上升。

2) 顶管机左侧刀盘至加固区位置

顶管机左侧刀盘距车站围护结构 5 m 时, 左侧刀盘到达接收加固区, 洞门位置打设水平探孔检查加固质量。确保加固质量良好后恢复加固区顶进, 接收加固区顶进微降土压力, 并通过正面土体改良, 改善加固土体和易性, 确保出土顺畅。

3) 搭设接收架

顶管机总重量约 230 t, 顶管通道接收前, 提前在接收井内预先搭设接收架。接收架平面坡度同隧道设计坡度, 高度按接收时顶管机姿态现场进行调整。

4) 顶管机左侧刀盘靠上车站围护结构

顶管机左侧刀盘靠上车站围护结构后, 利用顶管机壳体及管节注浆孔向外压注厚浆, 形成临时止水环箍。分层凿除洞门并保留外排钢筋, 同时在洞门内安装临时止水装置, 最后割除外排钢筋、迅速破除清理三角区内加固土。

5) 顶管机顶进到位

顶管机继续顶进, 直至首节管节左侧进入接收井内 0.475 m, 右侧进入围护墙内 0.489 m 时, 顶进到位完成。

6) 洞门临时封堵

顶管机顶进到位后, 拆除始发井洞门止水装置后立即封洞门, 即用弧形钢板将管节上的背覆钢板与钢洞圈焊接为一个整体。

7) 首节管节部分割除

割除首节管节部分混凝土, 清理接收洞圈, 将凿除后的首节背覆钢板重新与接收洞圈焊接封堵。管节左侧凿除宽度为 0.88 m, 长度为 3.5 m, 管节端面凿至与洞门钢圈中心位置齐平, 利于后期洞门封堵及环梁制作。

8) 首节管节凿除后洞门临时封堵

此时管节左侧位置已在洞门圈中心位置, 用 5 mm 厚钢板将凿除后的首节管节的背覆钢板与接收洞圈中心位置焊接封堵, 右侧有 1/3 由于管节未进入洞门圈内, 用首节管节的背覆钢板呈异形形式焊接。

9) 施工内置式井接头

洞门接头构造为异形井接头混凝土保护圈, 井接头混凝土强度等级为 C35, 钢筋为 HRB400 级钢, 钢筋焊接成型, 混凝土保护层 50 mm, 抗渗等级 P8。

基于矩形顶管斜交接收施工流程分析可以看出斜交接收时洞口稳定性的计算分析是关键。

4. 矩形顶管斜交接收洞口稳定性设计和分析

1) 设计计算模型

当顶管机头靠近接收井地墙时, 由于隧道与地墙存在夹角, 一侧的刀盘先接触地墙, 此时就需要停止顶进, 然后凿除洞门处的围护墙体及刀盘前端的加固体。为确保加固体的稳定, 防止洞门以上三角区的土体塌落导致洞门失稳, 需要在凿除地墙前设置水平管棚支撑其上土体, 确保洞门稳定性, 如图 4 所示。

当管棚下面的土体挖空后, 管棚以上土体荷载作用在管棚上, 管棚两端分别搁置在顶管机和围护墙上。由于土体具有抗剪强度, 管棚以上土体会形成土拱。土拱以上的土体荷载通过土拱传递至管棚的两端支座上, 土拱内的土体重量荷载作用在管棚上。根据土拱形成原理, 土拱范围近似可按照图 5 所示范围估算。根据土拱范围可以计算出管棚上的荷载, 据此荷载配置钢管棚的参数, 如直径、长度及间距,

计算简图见图 5 所示。

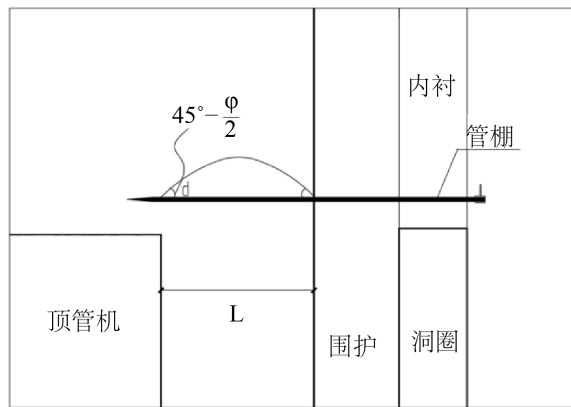


Figure 4. Calculation model of oblique receiving port stability
图 4. 斜接收洞口稳定计算模型图

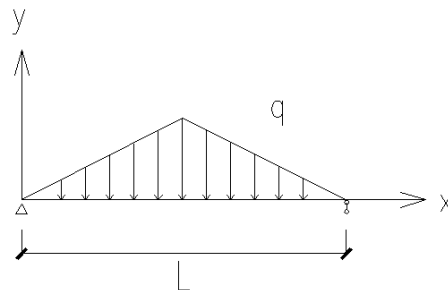


Figure 5. Calculation diagram
图 5. 计算简图

设管棚的跨度为 L ，管棚间距为 a ，所受荷载为 q ，土体重度 γ ，土体内摩擦角 φ ，则：

$$(x < L/2) \quad q = ax\gamma\text{tg}\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (1)$$

$$(x > L/2) \quad q = a(L-x)\gamma\text{tg}\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (2)$$

管棚所受最大弯矩及剪力如下：

$$M_{\max} = \frac{1}{24}L^3a\gamma\text{tg}\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (3)$$

$$T_{\max} = \frac{1}{8}L^2a\gamma\text{tg}\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (4)$$

2) 管棚参数验算

本工程采用 DN50 的钢管，间距 500 mm，壁厚 3.5 mm，外径 60.3 mm，内径 53.3 mm，截面积 625 mm²，截面抵抗矩系数 $W = 8385 \text{ mm}^3$ ，管棚长度 4000 mm，跨度 $L = 1800 \text{ mm}$ ，土体重度 $\gamma = 17.5 \text{ kN/m}^3$ ，内摩擦角 $\varphi = 30^\circ$ ，如图 6 所示。

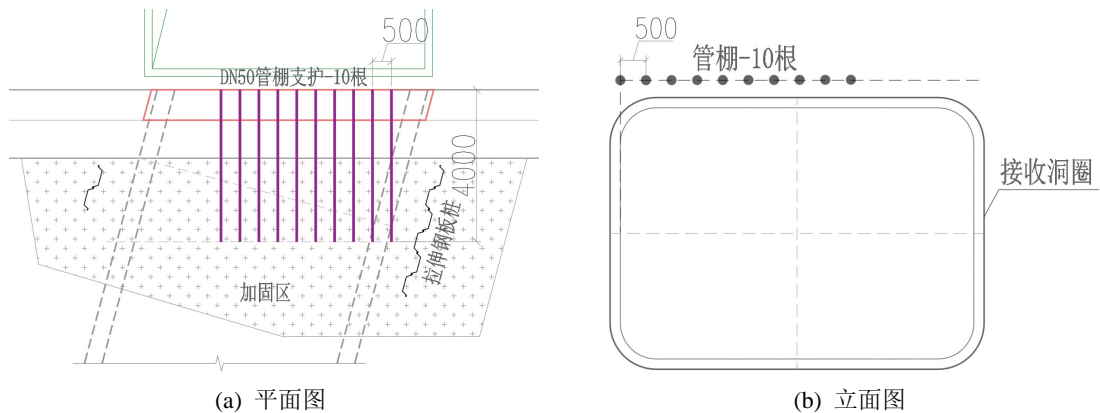


Figure 6. Schematic diagram of pipeflat plane section
图 6. 管棚平剖面示意图

管棚验算如下:

把以上参数代入公式(3)、(4)可得管棚最大内力如下:

$$M_{\max} = 1.23 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$T_{\max} = 2.04 \text{ kN}$$

由管棚 DN50 的直径及厚度, 可计算正应力及剪应力如下:

$$\sigma = 150 \text{ MPa} < 215 \text{ MPa}$$

$$\tau = 3.3 \text{ MPa} < 125 \text{ MPa}$$

因此, 本工程选用的 DN50 钢管满足要求。

3) 管棚优化设计及施工措施

基于上述分析结果, 采用水钻成孔, 钻孔方向向上略微倾斜, 钻孔阶段严格控制管道偏斜, 可有效防止管棚侵入隧道断面影响顶管顶进。成孔后在孔内插入 DN50 注浆钢管, 并对内衬墙开孔孔洞进行钢板封堵后管内压注水泥单液浆填充, 成功完成了管棚施工。

5. 结论

矩形顶管是现阶段隧道行业发展的新兴工法, 其断面形式多样可变, 施工场地需求灵活, 具有广阔的应用场景。本文针对斜交接收设计和施工这一难题, 依托福州 4 号线矩形顶管工程, 通过合理设计和配合钢管棚及拉伸钢板桩技术措施顺利完成了小角度斜交接收, 为类似工程提供了新的方案思路及经验, 获得的主要结论如下:

1) 计算分析和实际施工表明, 钢管棚加固对斜交工况下顶部加固土体能够起到有效支护, 可防止土体塌落, 特殊工况下可采用本文所建议计算模型对管棚设计优化, 效果较好。

2) 拉伸钢板桩可有效加强三角区侧向加固土体整体强度, 同时对两侧土体水力联系起到一定隔断作用, 可确保土体清理过程中侧向土体的稳定性。

3) 顶管斜交工况直接接收必须严格控制各项施工参数, 加强各道工序衔接, 并特别注意顶管后方的渗漏通道; 接收过程中应及时压注厚泥浆形成土塞, 接收后迅速洞门封堵并压注水泥浆封堵。

参考文献

- [1] 葛金科, 沈水龙, 许焯霜. 现代顶管施工技术及工程实例[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [2] 葛春辉. 顶管工程设计与施工[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

- [3] 马·谢尔盖. 顶管工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1983.
- [4] 罗云峰, 白占伟. 软土地区大直径长距离曲线顶管姿态控制的关键技术研究[J]. 建筑施工, 2014, 36(1): 77-79.
- [5] 田琨, 陈晓鸥. 管道顶进姿态控制技术在东月路机械顶管工程中的应用[J]. 中国新技术新产品, 2011(16): 79.
- [6] 荣亮, 杨红军. 郑州市下穿中州大道超大断面矩形隧道顶管姿态控制技术[J]. 隧道建设, 2015(10): 1097-1102.
- [7] 赵振华. 浅埋大直径顶管施工纠偏研究[J]. 城市建设理论研究, 2013(16): 3969.
- [8] 王福文. 大截面矩形顶管施工纠偏控制技术[J]. 建筑工程技术与设计, 2015(4): 85.
- [9] 欧炳瑜. 浅谈矩形顶管施工的轴线控制[J]. 建筑工程技术与设计, 2014(14): 716-717.
- [10] 罗云峰, 白占伟. 软土地区大直径长距离曲线顶管姿态控制的关键技术研究[J]. 建筑施工, 2014, 36(1): 77-79.
- [11] 鲍立平, 陈林, 范东方, 等. 超长距离大口径钢顶管曲线顶进轨迹的控制技术[J]. 中国市政工程, 2011(6): 60-63.
- [12] 罗鑫. 矩形顶管顶进中防侧转控制技术[J]. 建筑施工, 2012, 34(6): 607-609.
- [13] 胡朝晖. 降低长距离顶管轴线偏差的方法[J]. 天津建设科技, 2012(2): 59-60.
- [14] 宋杰, 侯艳春. 矩形顶管法在城市轨道交通中的应用与设计方法[J]. 城市轨道交通研究, 2010, 10(3): 67-70.
- [15] 王小涛, 贾连辉, 贺开伟. 矩形顶管机刀盘的设计探讨[J]. 城市建设理论研究, 2013(3): 183-185.