

杭州富水砂层盾构隧道联络通道盾构法建造可行性方案研究

谢皆睿

中铁十六局集团北京轨道交通工程建设有限公司, 北京

收稿日期: 2022年2月25日; 录用日期: 2022年3月17日; 发布日期: 2022年3月24日

摘要

随着我国经济的发展, 地上空间显得越发拥挤, 对地下空间的探索也越来越重要, 城市地下铁道工程迅速提高, 盾构法以其方便性、经济性等特点得到了广泛应用。联络通道的施工方法有冻结法、机械法等, 机械法联络通道施工工法包含盾构法和顶管法。本文以杭州富水砂层为背景, 研究了联络通道线型与施工方法的选取, 归纳了盾构法建造富水砂层的技术路线, 并且设计移动式管片预应力支撑, 弧形管片切削刀盘系统, 为富水砂层工程建设提供智能化解决方案。

关键词

杭州富水砂土层, 联络通道, 盾构法, 工程建设

Research on Feasibility Scheme for Construction of Connecting Channel Shield Method for Shield Tunnel in Water-Rich Sand Layer in Hangzhou

Jierui Xie

Beijing Rail Transit Engineering Construction Co., Ltd., China Railway 16th Bureau Group, Beijing

Received: Feb. 25th, 2022; accepted: Mar. 17th, 2022; published: Mar. 24th, 2022

Abstract

With the development of my country's economy, the space on the ground is becoming more and more crowded, and the exploration of the underground space is becoming more and more impor-

tant. The urban subway project has been improved rapidly, and the shield method has been widely used due to its convenience and economy. The construction methods of the contact channel include freezing method, mechanical method, etc. The mechanical method of the construction method of the contact channel includes the shield method and the pipe jacking method. Taking Hangzhou water-rich sand layer as the background, this paper studies the selection of the line type and construction method of the connecting channel, summarizes the technical route of the shield method to build the water-rich sand layer, and designs the movable segment pre-stressed support, the arc segment. The cutting cutter head system provides intelligent solutions for the construction of water-rich sand layers.

Keywords

Hangzhou Water-Rich Sandy Soil Layer, Contact Channel, Shield Method, Feasibility Analysis

Copyright © 2022 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

随着国内社会经济的发展和城市化进程的不断加快,城市地下铁道工程在最近二十年间得到迅猛的发展与进步,成为各大城市进行交通规划和建设的首选目标。地铁联络通道设置在上下行两条单线区间隧道之间,起到连通、排水、人员疏散及防火等作用。我国《地铁设计规范》规定,两条单线区间隧道应设联络通道,相邻两个联络通道之间的距离不应大于 600 m [1]。由于地铁合理站间距约在 1 km,因此,绝大多数的区间隧道均需要设置联络通道。

现阶段国内软土地区如杭州、天津等城市地铁联络通道普遍采用传统的冻结暗挖法施工,通道长度基本不超 20 m,施工工期约 4 个月,造价约 400 万。该技术应用成熟,但存在冻结和开挖过程渗漏风险高、混凝土低温现浇养护质量差、工后沉降量大、易诱发既有隧道及轨道变形等缺点,且对于长距离联络通道,冻结暗挖法的周期、技术及施工风险较普通联络通道高出很多。采用该工艺施工,随着通道长度增加,总造价呈非线性增加[2]。近年来,以“微加固、可切削、严密封、强支护”为主要特征的机械法联络通道技术应运而生,该方法具有施工快速、成本低、安全性高、环境影响小等优点[3]。机械法施工目前主要包括盾构法和顶管法,一般需要在主隧道连接旁通道处预留洞门,便于机械法施工[4]。盾构法施工技术先进、机械化程度高、施工更安全、成型质量优、规模化应用后造价低、环境影响小、比传统冷冻法施工周期缩短近一半[5]。采用此方法施工,通道固定造价费用主要集中在设备进出场、进出洞部位特殊管片及始发和接受辅助装置,与通道长度基本无关,随着通道长度增加,仅是掘进和管片及拼装增加导致总造价增加,但单延米造价将随之降低[6]。

在现有的工程实例中,国内外采用盾构法修建的联络通道大多处于自稳性较好的土层环境中,在富水地层中施工例较少。在富水砂层中联络通道施工时难度和风险很大,富水砂层渗透系数较高,在施工时它的稳定性比较差,流砂现象是很容易发生。因此,施工时不只是一要考虑自身结构和地面建筑物的安全,又要确保主隧道的稳定。2018 年 1 月 15 日宁波轨道交通 3 号线鄞州区政府站~南部商务区站区间采用盾构法施工的联络通道顺利贯通,联络通道全长 17 m、直径 3.15 m,是国内同时也是世界上贯通的首条盾构法联络通道。杭州地区为高水位软土地层,工程地质情况复杂,且存在以粉土粉砂为主要含水层的承压水层,承压水层埋深相对较浅,渗透系数大,承压水头高。

鉴于联络通道盾构法的工艺优势、杭州特殊的水文地质情况，以及杭州既有的经验基础等，对杭州地区盾构法施工联络通道进行技术研究很有必要，通过该项研究可以为杭州地铁盾构区间联络通道施工带来一种新的选择。研究成果具有显著的经济和社会价值，有很好示范作用和推广意义。

2. 富水砂地层采用盾构法建造联络通道的技术研究

机械法施工目前主要包括盾构法和顶管法，不同工法的工序和耗时等有所不同，不同工法适用地质条件也有所不同。

2.1. 富水砂层盾构隧道联络通道盾构法建造的选用

机械法在建造联络通道时施工的工艺流程主要有：掘进设备准备就位、出洞施工、联络通道掘进、进洞施工和洞门封堵等。他们两种施工方法的施工工序是十分相似的，但是在注浆及结构拼装上有些许差异。其中，盾构法采用双液浆进行及时注浆的方式；顶管法在掘进的过程中采用在中盾中注入泥浆来减磨，待施工完毕后从管节中的注浆孔进行注浆来减少对施工环境的影响。隧道管片的管片拼装也有所不同：盾构法在盾尾进行拼装，顶管法在顶推架位置进行拼装；在始发负环及基准反力装置也有所不同：盾构法在始发时需要安装始发负环及基准反力装置，顶管法则不需要安装负环。

前期准备耗时上盾构法比顶管法多 3 小时，主要原因是盾构法机械设备的长度比顶管法机械设备的长度长，在隧道内运输时后配套运输铺设的钢轨数量不同，前期准备工作量不同。顶管法与盾构法掘进时长也不同，原因是顶管法衬砌管节长度比盾构法短，数量也少，缩短了衬砌的拼装时间。

因此，这两种方法可缩短联络通道的建造时间，不同条件下选取不同的方法：当联络通道的线型较好条件下且长度小于 15 m 时优先选择顶管法；当联络通道线型较差条件下且长度大于 15 m 时优先选择盾构法。

2.2. 富水砂层盾构隧道联络通道盾构法建造的技术

盾构法应用于富水砂地层时，因其渗透系数较高，在施工过程稳定性较差等特点，所以盾构法建造联络通道时与传统的盾构施工技术有所不同。随着智能化、数字化等科技的发展，盾构机器也进行技术攻关，形成的盾构法建造联络通道施工工法，具有施工速度快、安全系数高、成形隧道质量稳定等特点最终形成了“弱加固、强支护、可切削、全封闭、保平衡、严防水、集约化”关键施工技术，为盾构法建造联络通道提供了新的解决方案。

2.3. “弱加固”技术

“弱加固”主要内容包括：主隧道壁后注浆加固、掘进前洞门深孔注浆微加固、掘进过程中管片壁后充填注浆、负环拆除前洞门止水注浆交叉型加固。不同加固过程采用的浆液配比也有所不同，主隧道壁后注浆加固、拆除负环前洞门止水注浆采用双液浆配比；掘进前洞门深孔微加固、掘进过程中的管片壁后充填注浆选用单液浆配比。主隧道壁后注浆加固是为了填充主隧道施工土体扰动裂隙，对同步注浆收缩空隙进行填充，进而增强土体受力的整体性与均匀性；掘进前洞门深孔微加固注浆是固结洞门周边土体，减小在始发阶段刀盘切除管片时地层扰动；掘进过程中的管片壁后充填注浆是为了及时填充刀盘开挖面与管片之间形成的间隙；拆除负环前洞门止水注浆时与主隧道注浆孔形成交叉，确保主隧道与联络通道接口位置的堵水效果。

2.4. “强支护”技术

联络通道使用盾构法掘进时，主隧道的管片主要为盾构掘进受力体，管片结构的受力机理是非常复

杂，况且刀盘在切削主隧道的管片时，主隧道来的受力体系会被削弱。在联络通道的施工时，当施工工序变化时，管片内应力也会发生变化，到联络通道建造成功后受力体系重新分布。在联络通道施工过程中防止其发生过大的变形，需要加强主隧道内部的支护，对管片预应力支撑。

台车能够行走，行走机构台车用来放主机与辅助施工装备，使他们能够在台车的作用力下实现设备的快速移动。支撑环用于隧道保护，采用液压伺服控制支撑系统，可以实时监控隧道的变形及支撑压力的变化，使主隧道的安全稳定。移动式管片预应力支撑如图 1 所示。



Figure 1. Mobile segment prestressing support system
图 1. 移动式管片预应力支撑系统

2.5. “可切削”技术

盾构法联络通道在弱加固条件下进行施工，在盾构始发时盾构刀盘直接切削破除管片，一方面，管片是弧形的且玻璃纤维混凝土结构强度较高；另一方面，盾构始发时管片为凹形面，接收时为凸形面。故在切削时，强度应满足主隧道受力和稳定性要求，同时具备可切削性(刀盘需要有较好的吻合性)。

与普通的盾构刀盘不同，联络通道的刀盘要采用锥形的结构设计，管片内径的弧度和锥形刀盘的弧度相同。在盾构始发时，刀具首先与掌子面接触然后进行切削，当主机继续向前掘进时，开挖轨迹不断向周边拓展，在始发阶段主机缺乏土体包裹的状态下能够有效降低主机的振动，盾构始发时主机没有土体包裹有利于控制始发姿态。在接收端管片的弧度与刀盘弧度相反，为了在接收时主机避免姿态发生偏转，保证接收姿态的稳定，盾构刀具采用反向设计。刀盘较大开口率，在满足整体刚度和结构强度的前提下，保证富水砂地层渣土流动性。锥形刀盘设计如图 2 所示。

2.6. “全封闭”技术

盾构法联络通道是在两主隧道之间直接切削完成另外一条隧道的掘进，即“洞中打洞”，若操作不当就会引发渗漏水与地层稳定问题。盾构法联络通道在始发和接收分别采用了半套筒和全套筒技术，即在盾构过程中，半套筒尾部的密封刷与盾尾密封刷转换，做到联络通道在隧道掘进过程中始终处于全密闭状态。

2.7. “保平衡”技术

盾构法的过程中要保持水土压力平衡，保持地层稳定与控制地层沉降量。在盾构机破除接收端管片进入套筒时，接收套筒内填充惰性浆液，保证在接收阶段不间断补充浆液，实现接收阶段土压平衡，进而建立相应的平衡压力。

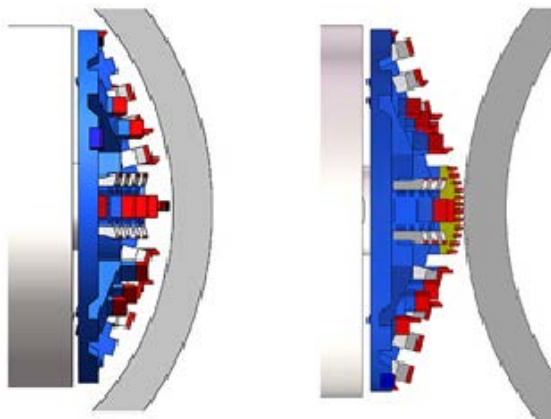


Figure 2. Conical cutter head
图 2. 锥形刀盘

2.8. “严防水”技术

整个系统防水分为：区间隧道管片在联络通道位置处钢混复合管片的防水设计；联络通道管片衬砌结构防水设计；套筒始发接收密封防水设计；施工过程工序防水；洞门防水。区间隧道在联络通道位置处使用钢混复合管片，混凝土部分为玻璃纤维筋，混凝土外包在钢结构部分的周边，用来预留防水胶条沟槽。止水条在切口部分止水条断开，防止切削时被拉扯破坏。联络通道管片衬砌结构防水设计采用挤压止水条的方法，沟槽宽应设置为最大错台量近 3 倍，来保证密封垫与面接触。套筒始发接收时环纵缝与套筒的垂直面会存在渗漏水，采用环氧树脂进行封堵。工序防水包含两方面：盾构始发时盾尾通过套筒密封刷被弹起后，应及时加注油脂、保压；在拆除负环与隧道管片分离时，主隧道与联络通道的接口及时止水注浆防水。主隧道与联络通道进出洞存在近 60 mm 间隙，此处为两圆的相贯线，需采用厚钢板焊接密闭防水。

2.9. “集约化”技术

盾构法联络通道施工是在主隧道开挖直径小直径隧道，施工方案要满足人员施工操作空间要求。由于空间条件限制管片选用环宽也不应该过大，一般选用环宽 550 mm，即狭小空间内的“集约化”设计。

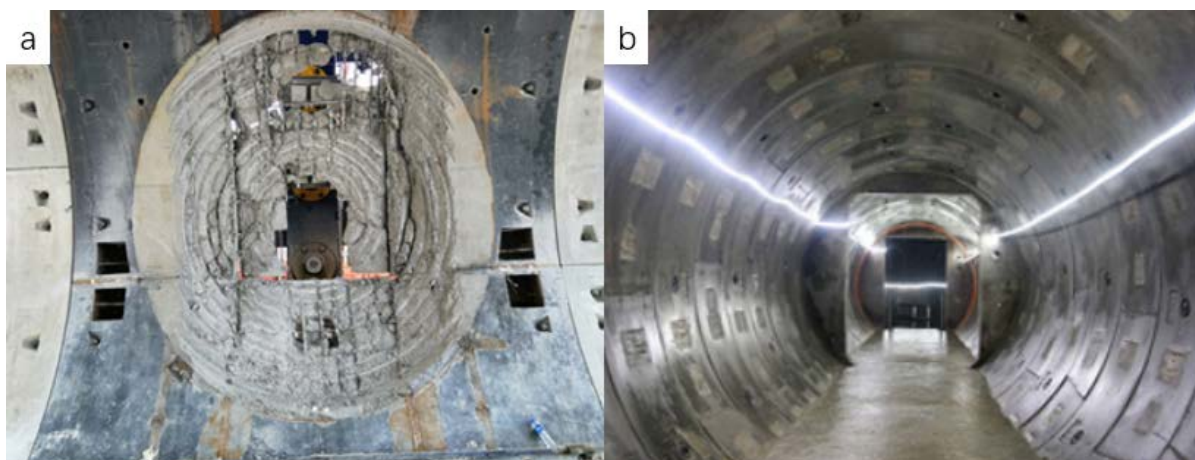


Figure 3. Construction renderings
图 3. 施工效果图

3. 工程应用情况

联络通道工程盾构施工用时 15 天, 施工过程大致可分为: 始发端管片切削阶段; 盾构掘进阶段; 接收端管片切削阶段。在始发和接收时采用低速推进, 始发端管片切削阶段花费时间约为 60 h, 接收端管片切削阶段花费时间约为 80 h; 盾构掘进阶段, 推进速度大幅提升, 最高可达 12 h 掘进 4 环, 联络通道施工过程中在地面影响区域范围及始发、接收主隧道管片布置多个监测点进行监测, 结果显示地表最大沉降约 20 mm, 始发、接收段主隧道管片变形量均控制在 4 mm 以内, 施工效果整体符合预期, 联络通道施工过程(a)和建成效果(b)如图 3 所示。

4. 结论与建议

地下工程施工装备技术聚焦超大直径、超长距离、深埋高压、地质多变的复杂建设环境, 并结合智能化、数字化等进行科技创新, 为机械法施工联络通道提供了新的解决方案。本文针对杭州地区富水砂地层特点, 研究了联络通道的线型条件与工法选择; 当联络通道线型较差条件下且长度大于 15 m 时优先选择盾构法; 提出了联络通道盾构施工的“弱加固、强支护、可切削、全封闭、保平衡、严防水、集约化”关键施工技术, 并着重介绍了移动式管片预应力支撑系统和与联络通道相适应的锥形刀盘设计, 为富水砂地层的联络通道施工提供安全有效的解决方案。

参考文献

- [1] Zhou, S.H., Xiao, J.H., Di, H.G., *et al.* (2018) Differential Settlement Remediation for a New Shield Metro Tunnel in Soft Soils Using the Corrective Grouting Method: A Case Study. *Canadian Geotechnical Journal*, **55**, 382. <https://doi.org/10.1139/cgj-2017-0382>
- [2] 覃伟, 杨平, 金明, 等. 地铁超长联络通道人工冻结法应用与实测研究[J]. 地下空间与工程学报, 2010, 6(5): 1065-1071.
- [3] 孙立建, 张德文, 乔晓磊, 刘滨. 软弱地层地铁联络通道冻结加固与融沉注浆研究[J]. 现代隧道技术, 2020, 57(z1): 1002-1006.
- [4] 杨平, 陈瑾, 张尚贵, 等. 软弱地层联络通道冻结法施工温度及位移场全程实测研究[J]. 岩土工程学报, 2017, 39(12): 2226-2234.
- [5] 丁修恒. 地铁区间联络通道盾构法修建关键技术[J]. 建筑施工, 2019, 41(4): 667-671.
- [6] 黄尊, 丁修恒. BIM 在机械法联络通道修建中的应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2018, 10(6): 32-37.