

# 城市地铁盾构联络通道建造关键技术及应用

崔金汉

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3月6日；录用日期：2022年3月31日；发布日期：2022年4月7日

## 摘要

随着国家城镇化发展的不断推进，城市人口基数大幅提升，地上空间显得越发匮乏，对地下空间的探索，实现城市功能需求也越来越重要，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。本文以城市轨道交通联络通道工程为背景，研究了联络通道线型与施工方法的选取，归纳了盾构法建造联络通道的技术路线。该方法效率高且安全性好，大大缩短城市地铁联络通道施工工期和成本，为不稳定地层中城市地铁联络通道的建造提供了一种新的技术选项。

## 关键词

联络通道，城市地铁，盾构法，工程建设

# Key Technologies and Applications for the Construction of Urban Metro Shield Contact Channels

Jinhan Cui

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

Received: Mar. 6<sup>th</sup>, 2022; accepted: Mar. 31<sup>st</sup>, 2022; published: Apr. 7<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

With the continuous promotion of the country's urbanisation development, the urban population base has increased significantly, the above-ground space appears to be more and more scarce, the exploration of underground space and the realisation of the functional needs of the city are becoming more and more important, the urban underground railway project is rapidly increasing, and the shield method is widely used for its convenience and economy. The construction methods

of liaison channel include freezing method, mechanical method, etc. The mechanical method of liaison channel construction method contains shield method and pipe jacking method. This paper takes urban rail transit connection channel project as the background, studies the selection of the line type and construction method of the connection channel, and summarises the technical route of the shield method for the construction of the connection channel. This method is highly efficient and safe, which greatly reduces the construction period and cost of urban metro links and provides a new technical option for the construction of urban metro links in unstable ground.

## Keywords

Contact Channels, Urban Metro, Shield Method, Engineering Construction

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

随着国内经济水平的不断提高和城市化进程的不断加快，在最近二十年间城市地下铁道工程的发展极为迅速，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。两条隧道相互连通，可以有效减少意外的发生。若一条隧道整体出现问题，行人可通过连接通道转移到另外一条隧道，行人的安全也有了极大的保障，所以被称为“逃生通道”。除此之外，在一条隧道出现问题的时候，救援人员可以从另外一条隧道到达联络通道，然后再通过联络通道进入发生事故的隧道，从而对受困者进行快速救援。我国《地铁设计规范》规定，盾构区间中如果隧道长度超过 600 m，则必须设置联络通道，在长度较长的隧道中会设置几座联络通道，但每座联络通道的间距不得超过 600 m，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。

程永龙[1]等提出了一种以“微加固、可切削、严密封、强支护”为基本特征的联络通道施工工法，提高了联络通道施工的机械化水平，保障了施工人员的安全，极大地缩短城市轨道交通的建设周期。何山[2]从联络通道融沉注浆不同的施工注浆量方向对其影响的隧道沉降进行分析，发现联络通道融沉注浆对隧道管片影响是直接性的，施工过程中需要严格按照施工方案及规范要求注浆，避免联络通道处隧道管片沉降过大影响后期铺轨施工同时注浆施工也可以调整路线以及调坡。武鹏[3]以实际工程为例，分析了冻结加固方案的技术要点，围绕冻结法施工技术展开了详细的分析和研究，具体涉及积极冻结、维护冻结、融沉控制等工序，最终取得了良好的施工效果。高科[4]以实际地铁工程项目为依托，总结冷冻法在施工中的应用要点，提出冻结层的初期支护方式，再配置防水层及二衬结构，最终创造了安全的施工环境，为施工作业奠定良好基础。冯威[5]总结并提出了适用于中风化砾岩开挖施工实施的“安全进洞、全面推进、快速支护、探孔保护、后退成型”二十字方针解决了硬岩地层联络通道快速开挖技术难题，取得了良好的实践效果。牛俊涛[6]通过数值分析研究联络通道施工对上方铁路的影响，得出联络通道正上方地表沉降最大，通过增加支护以及注浆来确保施工安全。

在已经建成的区间盾构隧道中，软土地区联络通道采用冻结法加固土体具有强度提高快、加固所需时间短、整体稳定性能高、隔水性能好等优点，但是采用冻结法施工盾构区间联络通道后期存在融沉问题，会引起联络通道周围区域隧道沉降。近年来，以管片切削技术、密封系统技术、“弱加固”强支护

的支撑系统技术、洞内运输系统优化技术、挖掘渣土运出技术以及智能化调控系统技术为主要特征的机械法联络通道技术应运而生，该方法施工速度大幅提升，同时降低了施工成本，并提高了施工过程中的安全性，同时具有对环境影响小这四大优势。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。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。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。

鉴于联络通道盾构法的工艺优势、不同城市具有不同的特殊的水文地质情况、以及各个城市既有的经验基础等，对不同地区盾构法施工联络通道进行技术研究很有必要，通过该项研究对联络通道的关键技术进行探究，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. 城市地铁盾构建造联络通道的技术研究

传统矿山法施工联络通道的工期长、工后沉降得不到有效控制、破坏主体结构、周边影响大、作业环境差等缺点，机械法联络通道施工能有效规避传统矿山法施工的各类缺陷，是地下隧道工艺发展的趋势，具有机械化程度高、施工工期短、成型结构质量好、作业环境安全可控等诸多优点。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，联络通道开挖方法综合对比如表 1 所示。

Table 1. Comprehensive comparison of contact channel excavation methods

表 1. 联络通道开挖方法综合对比

方法	难度	施工速度	对周围环境影响
冻结法	施工安全 工艺复杂	较慢	地面可能存在沉降 有时可能对地下水产生污染
顶管法	操作难度大	快	地面可能存在沉降 无污染
盾构法	安全高效 机械化程度高	最快	基本零沉降 无污染

通过将常见的联络通道施工方法进行综合分析和对比，对各施工方法有了一个更全面的认识，并且对比得出盾构法开挖地铁联络通道存在着一些显而易见的优势。

### 2.1. 城市地铁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。盾构法与顶管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，在盾尾进行拼装，在始发时需要安装始发负环及基准反力装置。

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，顶管法在顶推架位置进行拼装，顶管法则不需要安装负环。顶管法一般用于修建排水管、输油管、动力电缆和通讯电缆的管道，这些管道的内径一般都在 2 到 3 米，口径超过三米的较长距离顶管综合经济效益不如盾构施工。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，盾构法进行联络通道施工如图 1 所示。

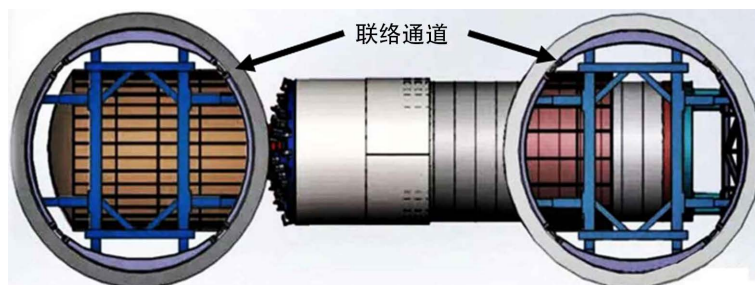


Figure 1. Shield method construction drawing  
图 1. 盾构法施工图

## 2.2. 城市盾构隧道联络通道盾构法建造的技术

随着智能化、数字化等科技的发展，盾构法应用于城市地铁时，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。整条联络通道包含盾构始发段及盾构接收端的环梁和两环联络通道钢管片，中部为钢筋混凝土管片。管片与管片之间是通过弯螺栓连接而成，钢管片结构接缝部分以焊接进行拼接，即钢管片与环梁、钢管片与主隧道管片构成 T 接头。联络通道内部结构图如图 2 所示。

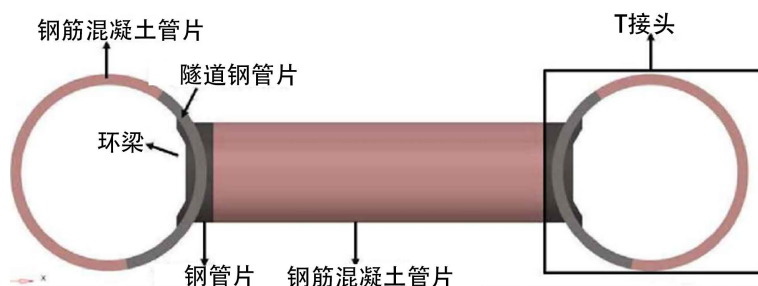


Figure 2. The overall structure of the subway connection channel  
图 2. 地铁联络通道总体结构图

### 2.2.1. 管片切削技术

联络通道掘进机的刀盘与普通常规盾构刀盘的结构不同，为锥形结构，使刀盘锥度与主隧道管片内径达成一致。在掘进开始时，掌子面切削中心道具，然后向四周进行扩张。此设计降低掘进机因缺乏土体包裹而引起的剧烈震动，保证接收时掘进机的位置正确，以提高了掘进机机体的稳定性。

联络通道盾构法建设所用的刀盘设计，不仅考虑了切削混凝土所需要的质量，而且要拥有较大的开口率，从而保证软土地层环境下挖掘出的渣土流动性，减少泥饼的形成。不同的地层土质不同，盾构法建设的刀具分为滚刀与撕裂刀，滚刀的切削效果大于撕裂刀且需求的切削扭矩更低。锥形刀盘的特殊设计对掘进机主机的稳定性维护效果更加显著。锥形刀盘模拟试验切削效果如图 3 所示。





Figure 3. Tapered discs for simulating experimental cutting results  
图 3. 锥形刀盘模拟试验切削效果

### 2.2.2. 密封系统技术

地下隧道的挖掘有两个重要的问题：一是保持地层的稳定，二是地下水的处理，门洞被破除后，洞门的结构设施必须具备抵抗地下水压力的能力，防止软弱地层环境下的泥水流失，导致地面坍塌。盾构法修建技术采用半套筒始发及全套筒接收相结合的方法，通过半套筒尾部密封刷与盾尾密封刷转换技术，在始发与接收的过程皆为封闭状态，完成挖掘隧道的全密封要求，保证作业场地的稳定性。在对套筒及尾刷密封压力的检测中，一般采用打压试验进行测量，封闭型进出洞套筒及密封性构造示意图如图 4 所示。

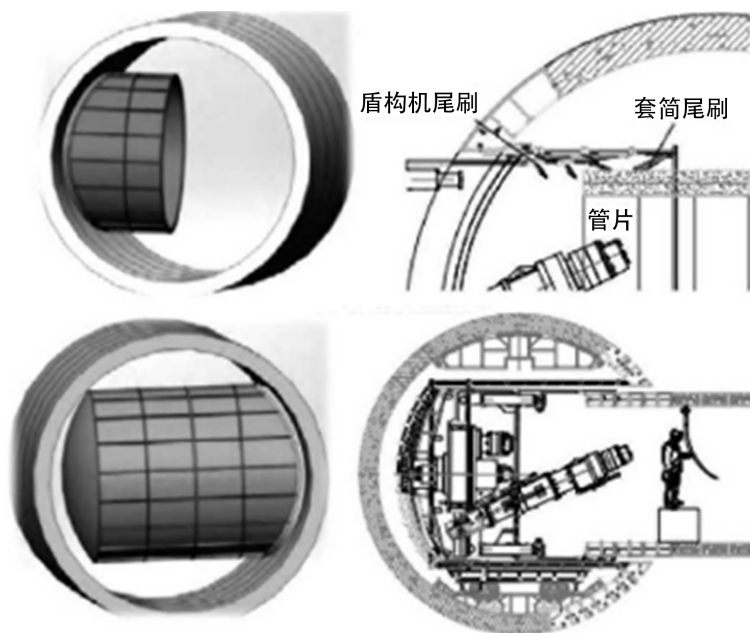


Figure 4. Diagram of closed access sleeve and hermetic construction  
图 4. 封闭型进出洞套筒及密封性构造示意图

### 2.2.3. “弱加固”强支护的支撑系统技术

与隧道结构加固方法的冻结法及全断面加固法不同的是，“弱加固”支撑技术的核心在于通过止水

注浆材料及配比试验等局部注浆，对主隧道壁后、始发前洞门深孔、掘进中管片壁后进行注浆微加固及负环拆除前洞门止水注浆的交叉型加固。此外，不同进程及部位的“弱加固”方法及具体作用也不尽相同，在对主隧道壁后的加固作业中，所用材料为双液浆配比，通过对土体扰动缝隙及收缩空隙的填充，达到隧道整体受力能力的加强；与之相反，单液浆配比注浆的方法应用于洞门深孔的微加固作业，对洞门周边的土体进行加固；挖掘过程中对管片壁后的注浆方式采用盾构法技术中的同步注浆，选用单液浆配比；拆除负环前洞门止水注浆通过洞门两环钢片上的球形阀门注浆头与主隧道注浆孔形成的交叉结构，通过特殊配置的超细水泥双浆液的注浆效果，达成对主隧道与联络接口的防渗水作用。

刀盘切削在施工推进时，主隧道需要提供一个反向作用力。钢混复合管片设计被应用于主隧道的洞门位置结构中，且通过深切口焊缝的方式将钢结构中的环缝及纵缝连成整体，达到对主隧道整体抗变形能力的提升。为了保证主隧道稳定的提供掘进反力以保证整体结构的安全，科研人员设计了隧道内支撑系统，其主要发挥作用一方面为对洞门附近管片的支撑加强，另一方面实现对反力的监控收集，分析主隧道整体的受力状况，确保整体工程的安全性。

支撑系统由两部分组成：将主机和辅助施工装备安装在有行走机构的台车上，通过机车的牵引快速移动。同时还有保护隧道的支撑环，采用液压伺服控制支撑系统，能够实时监控隧道变形及支撑压力的变化，确保主隧道的安全稳定。移动式管片预应力支撑如图 5 所示。



Figure 5. Mobile segment prestressing support system  
图 5. 移动式管片预应力支撑系统

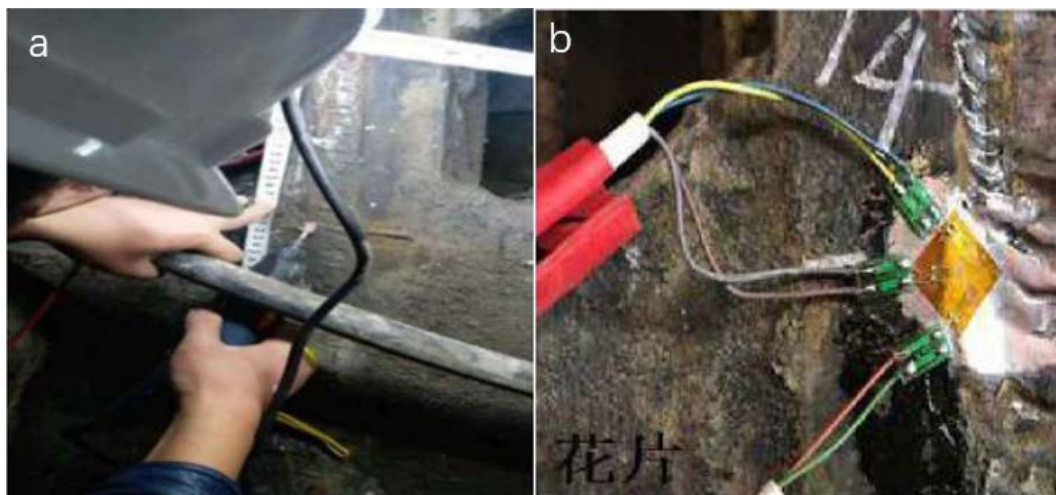
#### 2.2.4. 钢管片 T 接头焊接监测

在 2.2.3 中我们也提到：主隧道整体抗变形能力的提升时通过深切口焊缝的方式将钢结构中的环缝及纵缝连成整体，在联络通道的两端用台车来对隧道进行支撑，在地铁开挖过程中整体结构的稳定性影响严重，对焊接的影响更是显而易见的，因此对钢管片 T 接头焊接监测是十分必要的。

测量焊缝应变：测量钢管片焊缝表面的变形用箔式电阻应变片，测量时最为重要的是保证试件产生的应变等于应变片产生的应变。首先，我们需要对焊接处表面打磨、抛光，然后用胶水把应变片贴于焊缝的表面上。当焊缝上施加外力时，应变片产生的应变传递到应变仪的随监测点的变形而发生同步变形的敏感栅，最终电阻发生变化进而把测量点产生的变形转换成与之成比例的电学参数，焊缝检测点布置如图 6 所示，图中 a 是指焊缝打磨；b 是指贴片示意图。

#### 2.2.5. 洞内运输系统优化技术

进行隧道挖掘工作的机械设备普遍具有较大的质量及体积，这对洞内的运输工作造成较大的阻碍及负担。盾构法建设技术出于对隧道荷载的考虑，采取双轨轨枕的设计，以将重型机械设备的整体荷载进行分散，减少隧道的运输压力，保证洞内运输系统的正常运行。



**Figure 6.** Weld measuring point layout  
**图 6.** 焊缝测点布置

### 2.2.6. 挖掘渣土运出技术

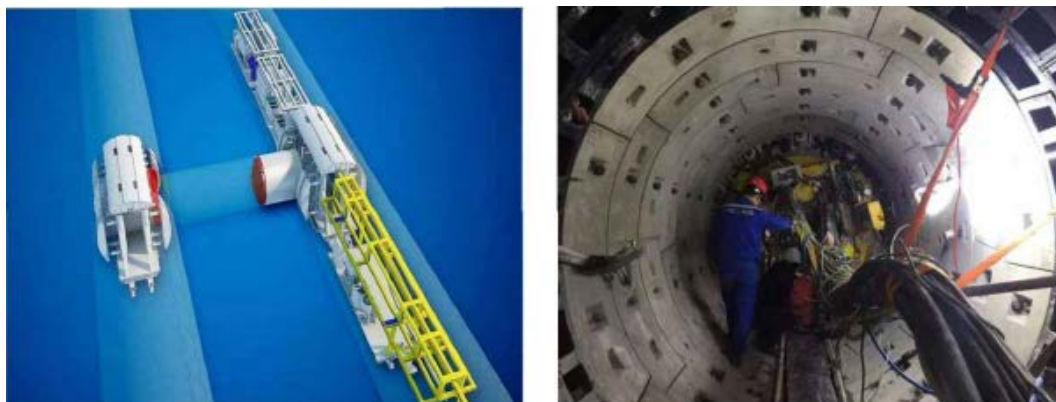
联络通道施工场地在布置了掘进主机、螺旋机等设备后，没有多余空间布置出土机器。目前盾构法建设施工，通过软管连接掘进机出土口与小型渣土斗进行渣土运输。这种工作方式在每次施工时需要停顿 2 到 3 次用于软管清理，难以实现持续工作，效率较为低下。

### 2.2.7. 智能化调控系统技术

数字化与信息化的技术应用使得工业生产迈向智能化，在联络通道盾构法建设中，数字化管控被应用于设备运行、施工技术参数及项目风险预测等方面，对整体工程的推进具有促进作用。在后续的发展方向上，可以提升该方面的应用程度，使数据管理多元化、数据表达可视化及数据分析统计等基础功能进一步提高。

## 3. 工程应用情况

联络通道工程盾构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，高强度管片的切削给设备带来了较大挑战，平均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 22 mm，横剖面沉降槽



**Figure 7.** Construction drawings of the liaison channel excavation  
**图 7.** 联络通道开挖施工图



宽度约 60 m, 始发、接收主隧道管片不同状态下收敛变形量均控制在 4 mm 以内, 通过对焊接点检测发现: T 接头接收端钢管片各测点应变值较小, 没有产生很大的应力集中; T 接头混凝土管片应变值相对较小最大应力为 6 MPa 左右受力很小。施工效果整体符合预期, 联络通道开挖施工图如图 7 所示。

#### 4. 结论与建议

面对地下空间开发不断向空间化、网络化方向发展的趋势, 联络通道机械化施工的需求不断提升。本文结合某城市轨道交通联络通道工程, 提出以管片切削技术、密封系统技术、“弱加固”强支护的支撑系统技术、洞内运输系统优化技术、挖掘渣土运出技术以及智能化调控系统技术为主要特征的机械法联络通道关键施工技术, 提高了联络通道施工的机械化水平, 保障了施工人员的安全得出的具体结论如下:

1) 锥形刀盘结构保证了接收时掘进机的位置正确, 提高了掘进机机体的稳定性, 增加了软土地层环境下挖掘出的渣土流动性, 减少泥饼的形成。

2) 半套筒尾部密封刷与盾尾密封刷转换技术保证了始发与接收的过程皆为封闭状态完, 达到了全密封要求。

3) 移动式管片预应力支撑系统通过对联络通道进行弱加固、强支护, 确保主隧道的安全稳定和整体工程的安全性。

4) 洞内运输系统优化技术、挖掘渣土运出技术和智能化调控系统技术保证了洞内运输系统的正常运行且效率高效地清理渣土。

5) 盾构法对联络通道施工, 通过对 T 接头焊接监测发现 T 接头接收端钢管片各测点、T 接头混凝土管片应变值相对较小, 最大应力为 6 MPa 左右, 符合预期要求。

#### 参考文献

- [1] 程永龙, 叶蕾, 张付林, 等. 城市地铁联络通道盾构法建造关键技术及应用[J]. 建筑机械化, 2021, 42(8): 21-25.
- [2] 何山. 盾构区间联络通道融沉注浆施工对管片沉降的影响[J]. 城市道桥与防洪, 2016(9): 19, 192-194.
- [3] 武鹏. 联络通道冷冻法施工技术[J]. 城市住宅, 2019, 26(5): 173-174.
- [4] 高科. 地铁工程建设中冷冻法施工控制关键技术[J]. 城市住宅, 2020, 27(7): 233-234.
- [5] 冯威. 硬岩地层盾构区间联络通道快速开挖技术[J]. 建筑施工, 2019, 41(1): 148-151.
- [6] 牛俊涛. 软土地区盾构区间联络通道施工对上方铁路影响[J]. 天津建设科技, 2019, 29(2): 47-49.