

# Adaptability analysis of mechanical connection channel in coastal area

Shuhao Ye

China Railway Design Group Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

## Abstract

As the demand for transportation in Shenzhen's coastal areas grows, rail transit has become a crucial infrastructure to alleviate urban traffic pressure. The mechanical method of construction for connection passages is widely used in the complex geological conditions of the coastal area due to its efficiency, safety, and minimal disturbance. This paper focuses on the adaptability of the mechanical method of construction for connection passages under the water-rich composite strata in Shenzhen's coastal areas. It examines the selection of tunnel boring machines, optimization of excavation parameters, backfilling techniques, and settlement control measures. To address issues such as posture control, tool wear, and stratum disturbance during excavation, the paper proposes optimization strategies including intelligent monitoring, precise thrust control, and efficient grouting technology, providing technical references for similar engineering projects.

## Keywords

Shenzhen coastal area; mechanical method; communication channel

## 滨海地区机械法联络通道适应性分析

叶书浩

中国铁路设计集团有限公司, 中国·广东 深圳 518000

## 摘要

随着深圳滨海地区交通需求增长, 轨道交通成为疏解城市交通压力的重要基础设施。机械法联络通道施工在滨海地区复杂地质环境下, 因具有高效、安全、低扰动的特点得到应用广泛。本文重点分析了在深圳滨海富水复合地层下机械法联络通道的适应性, 研究了盾构机选型、掘进参数优化、壁后填充工艺及沉降控制措施。针对掘进过程中姿态控制、刀具磨损、地层扰动等问题下, 提出智能监测、精准推力控制和高效注浆技术等优化策略, 为类似工程施工提供了技术参考。

## 关键词

深圳滨海地区; 机械法; 联络通道

## 1 引言

轨道交通是解决交通拥堵的重要手段, 联络通道为连接主线隧道的重要部分, 施工安全与否, 对轨道交通建设影响很大。联络通道的施工和使用安全与结构设计、施工技术和所处环境关系密切。机械法隧道施工技术因其高效、安全、可控在越来越多的轨道交通建设中采用。然而滨海地区特殊的地质条件和复杂的环境对机械法施工提出了更高的要求。

## 2 工法概述

### 2.1 联络通道施工工法简介

深圳位于滨海地区, 地质复杂、土壤松软, 地下水位高且受潮汐影响。工程主要是通过隧道建设优化滨海区域交通流动提升通行效率。矿山法适用于硬质岩土层, 在软土层

及富水地层中, 无法切实有效地防止地下水渗透, 易使围岩处于不稳定的状态。冷冻法通过注入冷媒形成冻结屏障适用于高渗透性土层, 施工周期较长能耗大对潮汐变化颇为敏感。机械法凭借盾构机来进行隧道掘进, 结合同步注浆技术有效地对围岩稳定控制, 在软土层和砂层当中具有较强的适应性可减少水土流失。

### 2.2 深圳滨海地区地层特性及工程挑战

深圳滨海地区地层特性复杂多变, 主要由软土层、砂层及全强风化花岗岩地层构成, 地下水位高地质环境受潮汐变化影响大。软土层具高含水量、低强度及高压缩性特点, 隧道开挖时易出现大变形和沉降, 引发地面沉降甚至隧道坍塌。砂层地层颗粒结构松散、透水性强, 富水环境下易有流砂现象、开挖面失稳及施工难度大。全强风化花岗岩地层虽有一定岩石特性但受风化作用, 结构易破碎且遇水可能软化或崩解。富水条件下, 地下水高渗透性会导致围岩失稳、支护结构失效, 水中含较高的腐蚀性, 施工设备和衬砌材料需

【作者简介】叶书浩(1992-), 男, 中国江西吉安人, 本科, 工程师, 从事隧道与地下结构研究。

较高耐用性与防护性。滨海地区潮汐变化会引地下水水位周期性波动加剧施工难度，在盾构掘进及联络通道施工时，需采取有效的降水和止水措施，防突涌水和渗漏问题。

### 2.3 深圳滨海地区地层地铁联络通道工法特点分析

#### 2.3.1 矿山法

矿山法适用于岩土层较为坚硬的地质条件，通过钻爆或机械开挖方式进行。该方法适用于较深隧道或需大范围开挖地段，优点在于能根据地层变化适时调整，可有效应对硬岩或稳定土层。在深圳滨海地区，地下水水位高土层主要由软土和砂层组成，富水环境使矿山法的应用面临困难。在软土层或富水地层中，矿山法无法控制地下水渗透，易引发突涌水现象，出现塌方或地面沉降。所以在滨海地区复杂土层环境下并非最佳选择。

#### 2.3.2 冷冻法

冷冻法是针对高渗透性和富水地层的特殊施工方法，适用于软土层或砂层等地质条件下。在施工区域周围注入冷媒，形成冻土屏障，使土层变得更加坚固。冷冻法能有效防止突涌水，适合富水环境中的软土层和砂层。但冷冻法施工周期长、能耗高、操作过程复杂需精确控制温度和冻结范围，施工成本和技术要求高。冷冻法对潮汐变化敏感会导致冻结效果不稳定增加施工风险，在深圳滨海地区并非最优施工方法。

#### 2.3.3 机械法

机械法适用于复杂地层隧道开挖，通过盾构机进行隧道掘进结合同步注浆技术，确保施工时围岩稳定。在以软土和砂层为主、地下水水位较高的滨海地区，机械法可精准控制掘进过程保证施工连续性与稳定性。机械法能高效快速掘进隧道、减少对周围环境影响，在富水地层和软土层中可有效防止水流侵入及围岩坍塌。有着高适应性的盾构机在这类复杂地质条件下，能凭借灵活调节系统应对不均匀土层和高水位环境。

表 1- 联络通道工法特点对比表

工法 指标	暗挖法	冷冻法	机械法
适用地层	软硬不均地层、硬岩地层	富水砂层	软土、富水砂层、破碎带等复杂地层
施工效率	3个月（加固、超前支护、开挖、二衬）	3个月（冻结、超前支护、开挖、二衬）	1个月（设备准备、掘进拼装）
加固措施	地面旋喷桩加固或全断面注浆加固	冷冻地层加固	洞口微加固
环境影响	地面沉降、爆破振动	冻胀融沉影响	能耗低、无降水
安全性	中等，存在涌水风险	中等，在动水和含盐分较高滨海地区存在失效	高，变形控制优
造价	中等	高	中高

## 3 机械法联络通道施工关键技术分析

### 3.1 技术准备与关键工艺

机械法是在设定的工程路线和设计标准下利用隧道掘进机连续掘进，安装的机械设备进行管片拼装、注浆和填充操作。施工流程包括地质勘察、设备选型、施工方案设计及预施工准备等环节。地质勘察是确保掘进设备适应性以及确

定施工方案的前提，针对不同地质条件需对设备进行针对性优化。盾构机、顶管机的规格和性能配置需根据地质特点和施工条件配置。机械设备的选择要适合软土地基，合理设置盾构机的推力、掘进速度。在方案设计中设隧道的结构设计、施工方法的选择、施工工艺的细节以及安全保障措施的制定。

### 3.2 掘进与设备技术

掘进是使隧道按预定路线和设计要求开挖。掘进机要具备高效掘进能力、良好稳定性及较强适应性。滨海地区软土、潮湿、地下水水位较高的地质条件下，掘进机的推力、速度、刀盘转速、刀盘扭矩等参数必须在施工前根据地质情况调控<sup>[1]</sup>。配合先进的渣土外运技术，通过螺旋输送机、渣斗和吊运系统将挖掘过程中产生的废土迅速排出。管节的拼装需要精确对接，拼装完成后必须进行壁后填充。在深圳滨海地区地下水水位较高的情况下，填充材料的选择对管片的防水性能和结构强度有重要影响，施工过程中需加强对管节壁后填充工艺的控制，保持隧道结构的完整性。

### 3.3 接收与后期作业技术

机械法施工中，隧道掘进到达预定位置，接收套筒安装要与盾构机吻合<sup>[2]</sup>。套筒安装位置和姿态控制与隧道轴线对接精确，安装后采用泡沫混凝土或其他材料把接收套筒填充稳固增加防水性。该过程填充方法得当，材料需具备流动性好、凝固性佳的特点。接收前需对端头加固强度、抗渗性、沉降控制依据项目要求和行业标准全面验收<sup>[3]</sup>。质量控制通过详细监测数据分析和施工过程的质量把控，保证隧道结构符合预定安全标准。接收后需尽快将联络通道隧道和主线隧道完成接口封闭，防止隧道接口渗漏对联络通道和主隧道产生质量安全风险。

## 4 机械法联络通道施工适应性分析

### 4.1 地质条件对施工技术的适应性

深圳滨海地区地质条件复杂，机械法联络通道施工受限于短掘进距离和狭小施工空间，使盾构机推力控制、掘进速度及轴线偏差调整更具挑战需实现更高精度控制。推进过程中盾构机姿态调整的容错范围较小，过大的推力会导致主隧道侧壁受力异常，推力不足引起偏轴掘进，影响对接精度。施工中需结合实时地层监测和轴线偏差自动修正技术，通过盾构机智能推进系统动态调整参数满足施工需求。盾构机掘进中软土层和沙土层稳定性差，受扰动后易引发掌子面局部塌陷、出渣超排，影响隧道围岩稳定性。土体渗透性较大，水土流失风险增加对地表建筑物的产生不利影响。地层不均匀性会导致盾构推进过程中受力不均，造成盾构机姿态异常，影响后续掘进精度和管片拼装质量。应对这些问题，掘进前对地层加固，减少盾构施工对地层的扰动程度。实时盾构机姿态监测系统结合智能推进控制技术，优化盾构机推力和刀盘转速。利用分层止水注浆+双层衬砌密封技术，

解决地下水渗透问题提高隧道整体水密性效果。

#### 4.2 设备技术适应性

在机械法联络通道施工中，掘进距离短，偏差修正空间有限，施工过程中需配备激光导航系统和自动纠偏装置，以确保掘进轨迹误差控制在  $\pm 5\text{mm}$  以内。在硬岩层施工时，空间受限，盾构机刀盘转速、扭矩及切削压力的调整需更精准，防止刀盘超负荷磨损或推进过程中姿态失稳。短距离掘进时，确保盾构机姿态调整偏差控制在  $\pm 0.3^\circ$ 。在推进过程中动态调节盾构机的推力和速度，并利用推力的智能控制结合推进轨迹校正技术，优化设备运行状态。

在联络通道施工中，盾构机在短距离掘进时受力环境复杂，刀盘磨损不均匀问题突出，在硬岩与软土交界地层刀具损坏率高，影响施工连续性。施工空间有限又使盾构机维修和更换刀具难度较大，一旦刀盘卡滞或磨损严重，会导致施工中断。采用高耐磨刀具与智能刀盘磨损监测系统，掘进中实时分析刀具磨损并提前更换，提高盾构机适应性。在盾构机设计阶段优化刀盘布局以适应软硬不均地层、减少局部磨损不均问题，利用远程刀盘检测与快速更换系统，提高刀具维护的便利性。

#### 4.3 施工方法适应性

深圳滨海地区的施工过程中，盾构机掘进参数需根据地层变化动态调整，在软土层和高地下水水位段严格控制推进力，防止推力过大造成地层扰动或管片错位。掘进中盾构机采用双重止水密封技术。在掘进区设置密封隔离结构，结合双液浆或膨润土浆液进行壁后填充。联络通道施工临近主隧道，壁后填充质量直接影响主隧道安全，填充浆液的扩散半径必须精确控制，避免对主隧道侧壁产生额外压力。在注浆工艺上采用双层注浆和防渗膜封闭系统，在初始注浆后增加二次补强注浆以提高止水效果，结合实时监测系统对盾构机推进力、主隧道位移及沉降量进行监控。

#### 4.4 环境适应性

短距离掘进的盾构施工中，由于施工空间有限，盾构机推进力的不平衡会导致主隧道衬砌结构出现局部应力集

中现象的。采用主隧道沉降监测系统最小化对周围环境的影响，借助智能调节盾构机的推进力，保证主隧道沉降值被控制在  $\pm 2\text{mm}$  以内。以深圳地铁 8 号线大梅沙站~小梅沙站区间机械法联络通道为例，施工现场的监测数据表明，最大地表沉降值达  $-1.37\text{mm}$ ，意味着施工对周围环境的影响是处于可控范围之内的。在施工过程当中，实施隔震措施，采用低噪音设备，降低设备振动对主隧道及周围环境所形成的冲击，减少环境干扰。

#### 4.5 设备适应性

在深圳滨海地区联络通道施工中，盾构机械法与顶管机械法有着不同设备适应性。盾构机械法短距离掘进时，需精确调整姿态及推进力，刀盘转速和推力根据地层条件动态调节避免扰动土体。在软土与砂层交界处，刀具易磨损需采用高耐磨刀具和智能磨损监测系统提高施工效率。顶管机械法依赖管节推进和泥水平衡技术，其设备适用于中小直径管道施工，需确保顶进方向减少地层扰动。盾构机械法更适用于复杂地质条件下大直径联络通道施工，顶管机械法适用于短距离小直径管线工程。

### 5 结语

随着施工技术持续创新与优化，机械法隧道施工凭借高效、安全、低扰动特点，在软土、高地下水水位及复杂地质环境下呈现出良好适应性。结合滨海地区联络通道施工可知机械法在短距离掘进、姿态精准控制、水密性保障及沉降控制等具有优势。未来机械法可广泛应用于类似滨海软土层、富水砂层及高密度城市地下空间开发，为城市交通基础设施建设提供技术支持。

#### 参考文献

- [1] 廖文江.超大直径盾构隧道机械法联络通道施工关键技术[J/OL].施工技术(中英文),1-9[2025-02-09].
- [2] 王会年,康博,谢恩林,等.联络通道加固范围对主隧道影响规律研究[J/OL].岩土工程技术,1-10[2025-02-09].
- [3] 魏旭鹏,付增,程鹏,等.复合地层超长联络通道机械法建造方案研究[J].都市轨道交通,2024,37(06):91-98.