

# “水磨钻”施工工艺在小断面区间联络通道开挖中的应用研究

王磊 郑秀存 刘斌 张伟  
中铁二十二局集团轨道工程有限公司

**摘要：**以成都轨道交通18号线机场北站~临江站盾构区间1#、2#联络通道为例，分析、总结了联络通道采用“水磨钻”钻孔方式进行开挖的施工重难点及对策。目前机临区间1#、3#联络通道已完成开挖，2#联络通道洞身开挖完成，正在进行泵房开挖，实践表明：采用“水磨钻”开挖，较好的实现了隧道的超欠挖控制，节约了施工成本，提高了初期支护质量，可为今后联络通道开挖施工提供参考。

**关键词：**联络通道；“水磨钻”开挖；超欠挖控制；初期支护质量可控

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.20.022

## 一、概述

地铁上、下行隧道之间出于连通、隧道排水及防火、消防等作用，通常设置联络通道（个别联络通道兼做泵房），间隔一定距离设置横向通道。目前，常用的联络通道的开挖方式主要有钻爆开挖、人工采用风镐开挖、机械破碎开挖、静态破除等，传统的开挖方式存在工序较繁琐，干扰大、施工速度慢、不利于超欠挖控制，安全性差，工人劳动强度大，易产生噪音及粉尘等缺点，其中静态破除对静态破碎剂、作业环境温度及湿度要求较高，受环境限制较大。

“水磨钻”钻孔开挖多用于桥梁桩基础开挖（多为人工挖孔桩）、爆破震动控制严格的隧道超前导洞开挖等工程，在地铁联络通道开挖施工中应用较少，随着“水磨钻”开挖在工程中应用越来越广泛，其施工工艺也逐渐完整、成熟。本工程采用“环向钻孔取芯、分割+中心钻孔劈裂”的方法进行隧道开挖，具体方案为：首先进行进洞及管片拆除前的超前支护工作，施作水平地质探孔，拆除洞门管片；然后采用水磨钻沿开挖轮廓

以相割圆方式按环向钻孔取芯，掌子面岩体较大，可在掌子面竖向及横向钻多排孔，使其分割成若干小区域，使每个待劈裂区域在周边形成连续槽道，为中部岩体劈裂和后部隧道扩挖提供临空面。各区域岩体劈裂顺序自上而下进行，采用 $\phi 32\text{mm}$ 水钻按照一定间距钻劈裂孔，打入钢钎，依次锤击钢钎，进行分裂开挖岩体，人工清除劈裂岩体。

本文以成都轨道交通18号线三期工程机场北站~临江站盾构区间联络通道工程为例，针对区间内联络通道工程特点，详细论述了从进洞准备工作到“水磨钻”钻孔开挖、初期支护、贯通、二衬结构施工，再到后期注浆充填整个施工过程中的关键技术和控制要点，为今后联络通道“水磨钻”开挖施工提供参考。

## 二、工程概况

### （一）区间概况

机场北站~临江站盾构区间自临江站始发，出井后以1500米的曲线下穿机场高速后至机临风井。本区间左起讫里程为左ZDK89+400.860~ZDK91+348.5，长链18.105米，右线起讫里程为右YDK89+399.100~YDK91+348.5，左、右线盾构长度分别1965.745m、1949.400m。区间在里程YDK89+980.00（ZDK89+993.31）处设置1#联络通道，在里程YDK90+563.390（ZDK90+552.431）处设置2#联络通道兼做泵房，在里程YDK90+900.00（ZDK90+897.35）处设置3#联络通道。区间最小曲线半径为1000m，最大曲线半径为1500m。纵断面采用“人”字坡，最小纵坡2%，最大纵坡26%，隧道顶覆土约8.04m~41.57m。

机~临区间联络通道为复合式衬砌结构，断面为直墙拱形，采用锚喷构筑法施工。1#、3#联络通道开挖轮廓净宽、净高分别为3.6m和4.438m，2#联络通道开挖轮



图1 机场北站~临江站区间平面图

廓净宽、净高分别为4.7m和8.79m（其中泵房开挖深度为4.5m）。

超前支护为 $\phi 42$ 超前小导管或22砂浆锚杆。初期支护为喷射厚度250mm的C25早强砼，格栅钢架主筋为22四肢箍钢筋，钢筋网为 $\phi 8$ 钢筋，网格尺寸150×150mm。二次衬砌混凝土等级C35，抗渗等级P10（埋深超过30m为P12），衬砌厚度为400mm（泵房侧墙为450mm）。

根据地质及工程特点，初期支护与二次衬砌间设全封闭防水隔离层，防水层采用为EVA防水板，缓冲层为土工布，保护层为50mm细石混凝土。对于兼做泵房的联络通道，左、右线隧道排水管采用 $\phi 325$ 刚性防水套管内套DN250球墨铸铁管，在结构底部进行埋设。

## （二）工程地质及水文地质

机~临区间1#联络通道位于农田下方，位于中风化砂岩层中，拱顶埋深15.37m，覆岩深度4.01m。2#联络通道兼泵房位于山顶下方，位于中风化砂岩层中，拱顶埋深50.93m，覆岩深度47.28m。3#联络通道位于农田下方，位于中风化泥岩及中风化砂岩层中，拱顶埋深16.65m，覆岩深度13.65m。

拟建区间范围内地下水主要有三种类型：一是赋存于填土层的上层滞水，二是赋存于黏土中的裂隙水，三是基岩裂隙水。上层滞水水量相对小，对地下工程基本无影响，黏土层地下水水量较小，对地铁工程影响较小。区间地下水来源主要是基岩裂隙水，但区间位于中等风化岩层中，水量小，富水差，透水能力微。

## 三、联络通道“水磨钻”法开挖施工

### （一）施工准备

#### 1. 洞门放线、开洞门

根据设计图纸，开洞门前在隧道内联络通道口设置临时型钢支撑，防止区间隧道在联络通道口的特殊管片切割后，由于压力情况变化而导致管片变形和损伤。进行开洞门前准备工作，包括超前支护施工、水平地质探孔施工、对区间隧道联络通道前后3环位置进行注浆加固及施作防水环等，并进行开工前条件验收工作。

测量人员在管片侧壁上准确放出联络通道洞门开挖轮廓，采用水钻沿开挖轮廓以相割圆方式按环向钻孔取芯，水钻钻头放置于切割洞口线的内侧。在高度范围上每间隔一定距离横向钻一排孔，再沿掌子面中部竖向钻一排孔，将洞门管片分割成若干小块，钻孔及拆除顺序由上至下进行，使用手持式电镐、手锤和钎子对管片拆除后的洞门管片内壁进行修平。

### （二）水磨钻机作业支架系统

洞门管片拆除完成后，安装水磨钻机作业支架系统，其系统由一长一短两根竖向导轨、水磨钻机、水磨钻机支架（钢管焊制的长方形，一侧水平导轨上安装钻机），2个支架卡槽、手拉葫芦等构成。

安装时，采用 $\phi 32$ 水钻在掌子面上部、下部适当位置垂直钻孔，孔深不小于15cm，短节导轨上、下两端各焊接一个 $\phi 32$ 短接圆钢，将圆钢打入已钻孔内固定，长导轨顶端、底端分别支撑在洞顶及洞底的岩石上，其顶部也焊接一根短节圆钢，确定安装点位后，钻浅孔，防止导轨移位。导轨上各安装一套支架卡槽，作为水磨钻

支架旋转轴的支点，卡槽可沿导轨上下移动。

水磨钻支架由钢管加工制成，分旋转轴钢管、支撑钢管及水平导轨。其中旋转轴钢管两端焊接销子，直径略小于支架卡槽孔，使其能顺利旋转。水平导轨与旋转轴钢管平行设置，采用两个短节钢管焊接固定。竖向导轨长度及水磨钻机支架宽度根据待开挖联络通道的高度和宽度确定。手拉葫芦固定在支架上部，采用钢丝绳与水平导轨外端T型圆钢固定，牵引水磨钻支架绕旋转轴转动。水磨钻钻头为 $\phi 160$ mm，钻孔深度为70cm。

### （三）钻孔开挖

联络通道开挖大致可分为三个阶段，第一阶段为进洞的前3、4榀开挖，第二阶段为正洞全宽度开挖，第三阶段为通道下部底板及两端洞门下部环梁开挖。

#### 1. 进洞的前3、4榀开挖

洞门管片拆除后，安装水磨钻进行通道开挖，沿破除后的洞门轮廓，纵向开挖3~4榀深度后，对洞门内两侧管片背后岩体进行扩挖，最后采用风镐破除拱顶范围岩层。该阶段因为开挖空间较小，设备移位次数较频繁，且拱顶采用风镐破除，所需时间较长，也是为后续正洞全断面开挖提供工作面及工作空间。

#### 2. 正洞全宽度开挖

联络通道进洞的前3、4榀开挖完成后，由测量人员进行开挖轮廓复核，然后安装钻孔支架系统进行钻孔施工。通过调节竖向导轨的安装位置，保证全宽度开挖效果。

#### 3. 通道下部底板及两端洞门下部环梁开挖

联络通道洞身开挖时，下部开挖基底与洞门底部标高基本齐平，尚未达到设计基底标高，因此，洞身开挖完成后，需对基底进行开挖。采用立式水磨钻机钻孔，能较好的控制钻孔深度，防止超挖，通道底板开挖应在边墙及拱顶初期支护施工完成后进行。

水磨钻钻孔施工前，需开机进行空转，检查设备运转是否正常，通过手拉葫芦调节钻头位置，使其对准开挖轮廓线，采用相割圆方式钻孔取芯，在周边形成连续槽道临空面。水磨钻设备操作简单，每组仅需2~3人配合即可。

为了同时保证取芯效率和较小的超挖量，相邻两孔中心间距为155mm，两孔搭接5cm，钻孔应逐孔进行并应略大于开挖轮廓4~5cm。根据现场观察，每孔钻进时间约为5~8分钟。水钻取芯时，人工缓慢控制水磨钻钻进，每孔钻进1/2深度时轻敲岩芯，使其与开挖岩体断开，采用专业铁钳取出后继续钻取剩余深度岩芯。

### （四）钻劈裂孔、人工劈裂岩体

待劈裂岩体周边形成连续槽道临空面后，采用 $\phi 32$ 手持式水磨钻在岩体上钻孔，孔深为劈裂岩体所用的钢钎长度的1/2即可。钻孔间距横向为300mm，每间隔500mm竖向钻一排孔，将核心岩体分成若干小块。当岩体较硬时，可缩小钻孔间距以保证劈裂效果。

岩石劈裂顺序由上至下进行，每排孔钻孔完毕后，安装钢钎，由一端开始至另一端逐根敲击钢钎，直至岩体产生裂缝与母岩分开后，再使用撬棍撬落。

### （五）岩体劈裂后清运

对于钻孔取出的岩芯，重量不大，可人工搬运至自

卸三轮车内；对于较大的分块，采用自动卷扬机吊运至三轮车运输箱内，由三轮车先运输至盾构井临时存放，然后集中吊出。

(六) 初期支护

根据地勘报告及超前地质探孔揭示，该区间联络通道岩层较硬，自稳性较好，坍塌风险小，经过综合研判，初期支护可稍滞后于隧道开挖，开挖过程中加强监测，一旦发现变形量超过允许值，立即停止开挖，并采取加固措施，通过减少每一道工序转换的时间，提高了开挖效率，也缩短了贯通时间。通道贯通后立即进行格栅钢架及钢筋网安装、喷锚施工，待边墙及拱顶喷锚完成并达到一定强度后，再进行通道底板开挖及初期支护施工。

(七) 二衬结构施工

联络通道初期支护、防水及综合接地施工完成后，即可进行二衬结构施工。二衬钢筋按设计图纸，在地面钢筋加工场处下料后转运至作业面，二衬模板为组合钢模板，主楞为10#“U型”工字钢，次楞为100×100mm方木。每道工序施工完成后按照“三检制”要求报项目部质量人员验收。模板边墙预留浇筑孔兼做振捣、观察孔使用，拱顶两端各设置一个浇筑孔，沿通道纵向，每间隔一定距离预留浇筑排气孔兼做观察孔，采用Φ48短钢管制作，顶部伸至防水板面下3~5cm。

二衬混凝土采用地泵浇筑，地泵设置在联络通道洞口处，在联络通道模板加固验收完后，混凝土由罐车运输至盾构井口，由天泵转至小型罐车内（容量约3m³），再由小型罐车运送至地泵处进行浇筑。

(八) 充填注浆

施工过程中预埋注浆管，其主要是通过压入水泥浆，将二衬混凝土浇筑时留有的空隙充填密实。注浆管分别预埋在通道顶部、底部及左右侧墙位置各1根，型号为Φ42、L=30cm，每排注浆管纵向间距为0.5m。

(九) 施工监测

1. 变形监测

联络通道开挖完成后再进行初期支护施工，因此施工过程中安排专业测量人员在原有方案基础上增加监测频率，重点对开挖面拱顶沉降、净空收敛及地面沉降情况进行监测，对监测数据进行汇总分析，出现数据异常时，及时上报项目部处理。

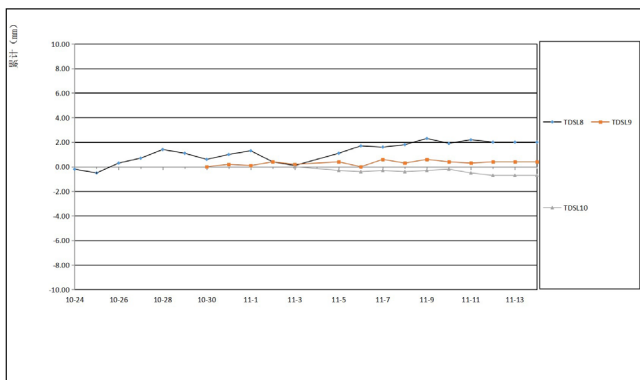


图 1 净空收敛监测折线图

根据监测数据显示联络通道开挖期间拱顶沉降及净空收敛变形量无异常变化，均在合理范围内。

2. 瓦斯检测

本标段为微瓦斯区间，每日施工前由专职瓦检员进行作业面瓦斯检测，洞口设置小型风机通风，掌子面处设置一台固定的瓦斯监测仪器实时监控瓦斯浓度。严格按照瓦斯隧道要求落实动火作业及临电管理。

四、结语

相较于传统开挖方式，水磨钻开挖后隧道成型轮廓较好，每一榀开挖前均放出轮廓线，有利于超欠挖控制且水磨钻设备操作简单、灵活，施工过程中不会产生较大的震动，开挖的石块利于搬运及吊装，清运较为快速。但水磨钻在第一阶段开挖时受场地限制耗时较长，待第一阶段施工完成后，进入全宽开挖时，24小时即可完成一个循环开挖。

水磨钻施工工艺适用于地层较硬，自稳性好的隧道开挖，其施工重点为超前地质探孔及过程中地层变化监测等。本文通过对机~临区间1#联络通道水磨钻开挖施工工艺进行介绍，为后续相同地质的联络通道施工积累经验，提供借鉴。

参考文献

[1] 李晓超. 苏州地铁联络通道冻结设计与施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2022 (005): 000.

[2] 孙中华, 李鹏翱, 李彩红, 等. 超硬质岩隧道水钻配合液压劈裂开挖施工方法: [P]. [2024-04-27].

[3] 王军. 深浅孔互补注浆法联络通道施工技术研究[J]. 山西建筑, 2014, 40 (26): 2.

[4] 彭昌海. 城市地铁浅埋暗挖隧道水钻开挖施工技术[J]. 建筑工程技术与设计, 2017. 35. 433.

[5] 宁道福. 浅谈太平隧道厚虎区间拱墙渗水处理[J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2012 (6).

[6] 马忠元. 魏家地矿高应力软岩巷道破坏规律及其返修技术[D]. 西安科技大学, 2009.

[7] 马端玉. 繁华城区花岗岩残积土地层提高矿山法隧道降水效果[J]. 冶金丛刊, 2019, 004 (023): 66-67.

[8] 张桂军, 王飞. 岩石类基础水钻施工技术[J]. 建筑工程技术与设计, 2016. 19. 519.

[9] 卢瑛, 应煜, 王哲. 黏土混角砾地层地下连续墙成槽施工关键技术[J]. 浙江建筑, 2021.