

深圳某地铁盾构区间联络通道坍塌后处理措施

梁景业

深圳市市政工程质量安全监督总站

摘要: 本文通过对深圳地铁12号线某区间联络通道施工过程中突发涌泥涌砂险情后采取的应急抢险措施,重点对后续施工采用的冻结法施工进行介绍,介绍了冻结法设计、施工、监测及可能存在的风险,以供读者在进行地铁联络通道或类似暗挖工程施工中可以参考借鉴。

关键词: 地铁; 联络通道; 险情; 冻结法; 施工

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.20.059

一、引言

2021年8月6日,深圳地铁12号线某区间1#联络通道实施注浆加固时,已封闭掌子面壳体发生碎裂,隧道掌子面出现流塑状土体缓慢涌入隧道内部,突发破裂发生涌泥涌砂。监测数据显示,附近单层房屋沉降变化量-88mm,经过社区协调配合,封闭房屋,疏散商户,疏导行人。

施工单位对掌子面松塌体进行挂网喷射混凝土封闭,待地面注浆设备进场后进行开挖探沟、空洞探测及地面注浆,8月7日完成隧道内掌子面封闭。监测数据显示联络通道上方单层铺面最大沉降量达到-616mm,地面最大沉降量-348mm。随着持续注浆,地面建筑物及地面沉降开始回升,8月8日建筑物沉降累计值-292mm,回升327.19mm,地面沉降累计值-125.2mm,回升222.8mm,房屋及地面沉降已基本稳定,对沉降房屋进行支撑加固防止房屋坍塌。

联络通道原设计采用小导管超前注浆后矿山暗挖法施工。为减小后续施工风险,避免险情再次发生,经评估论证,最终决定采用水平冻结法方案,将联络通道周边地层冻结,在冻土帷幕的保护下进行后续联络通道及泵站的施工。

二、工程概况

(一) 工程基本情况

区间采用盾构法施工,盾构左线于2021年3月30日洞通,右线于2021年5月21日洞通。在盾构下穿过程中地表左线隆起2.53mm,右线沉降2mm。

联络通道净长度约为6.8m,采用拱形断面,结构净宽3m,最大净高3.1m,埋深约28.4m;另外联络通道处还设计有一座结构净长4m×宽2.9m×深3.7m的水泵房。隧洞外轮廓尺寸为4.3m,高4.5m,水泵房处开挖宽度4.3m,深5.0m(水泵房部分)。原设计联络通道采用小导管超前注浆后矿山暗挖法施工。通道初期支护为20号工字钢支架加C25P6喷射混凝土支护,初期支护层厚度300mm。二衬为C35P12模筑钢筋混凝土结构,衬砌结构层厚度350mm,初支与二衬结构之间设置PVC板+土工布全包防水层。

1#联络通道由上至下地层为素填土、砂土、黏性土、全风化混合花岗岩、强风化混合花岗岩。其中联络通道埋深28.4m(联络通道与左线交界处与地面的距离),所穿过的地层为全、砂土状强风化混合花岗岩。水泵房位于砂土状强风化混合花岗岩。1#联络通道位地下水含量丰富,地下水位埋深约为1.90~2.90m,其补给主要来源于大气降水补给,并在一定条件下接收海水的侧向补给,并与二者具有一定的水力联系。联络通道上方有通信、给水、雨水、电力、燃气等重要管线。

(二) 坍塌情况

2021年8月6日,区间1#联络通道实施注浆加固时,已封闭掌子面壳体突发破裂发生涌泥涌砂(约78m³)。经应急抢险掌子面坍塌体挂网封闭(初喷面厚度约60cm),单层临街铺面周边进行了注浆加固,注浆加固后建筑物监测数据稳定。



图1 左线隧道内坍塌和地面注浆现场情况图

三、冻结法方案

(一) 冻结壁设计

设计冻结壁厚度2.4m,在左线联络通道已破除的洞门处设计一个柱型冻土塞,封闭已破除的洞门。柱型冻土塞形成后即可进行左线坍塌体的清理工作。

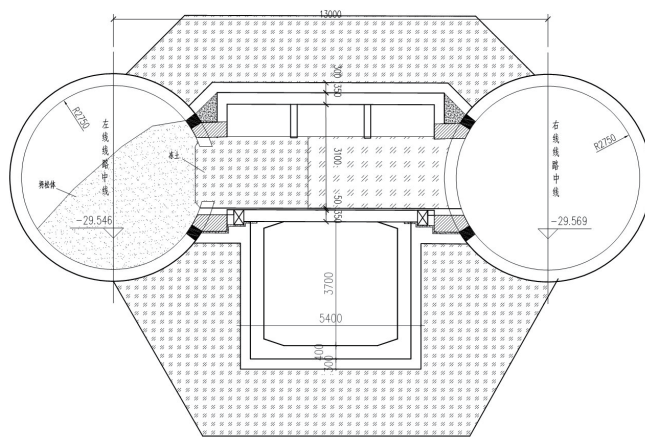


图2 设计冻结壁侧视图

(二) 冻结孔布置

设计从右线向左线施工冻结孔97个，其中9个为封堵左线已破除洞门的冻结孔（编号Z1~Z9），其余88个为常规联络通道冻结孔，编号从A1~L8。

设计从左线向右线施工冻结孔22个，为常规联络通道冻结孔，编号从M1~P8。参见冻结孔布置图，合计119个冻结孔。布置测温孔8个（右线2个，后期左线再施工6个）。

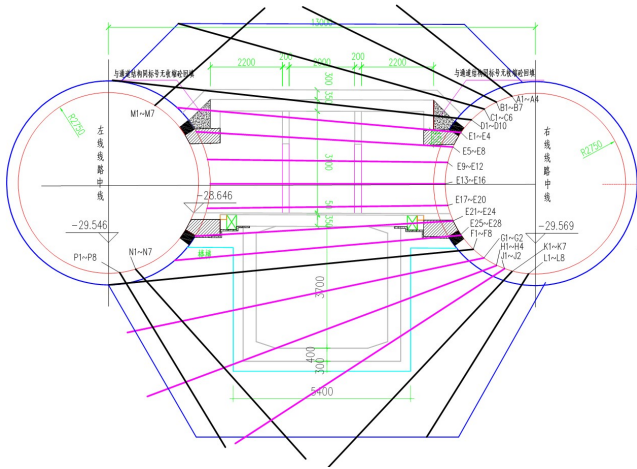


图3 冻结孔布置侧视图

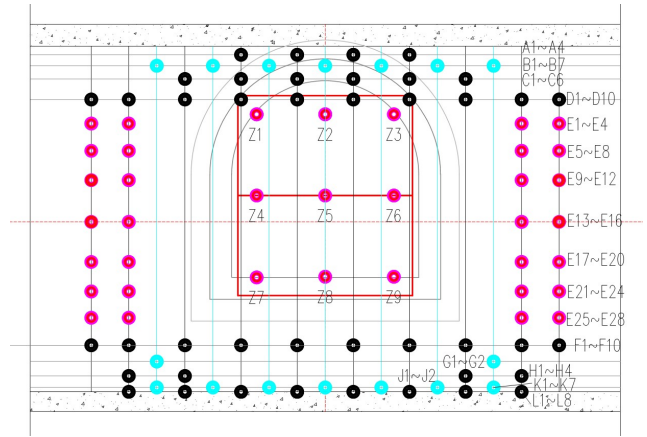


图4 右线冻结孔布置立面图

1. 需冷量计算

冻结管长度958m，冷冻排管长度120m。

$$Q=1.3 \times 3.14 \times 300 \times (0.089 \times 958 + 0.045 \times 120) = 11.1025 \times 10^4 \text{ kcal/h}$$

2. 其他冻结施工参数

(1) 冻结管及冷冻排管：冻结管采用 $\phi 89 \times 8\text{mm}$ 低碳无缝钢管，冷冻排管采用 $\phi 45 \times 3\text{mm}$ 无缝钢管加工焊接。

(2) 冷冻排管保温：在冷冻排管的表面敷设一层

表1 联络通道冻结加固施工参数汇总表

序号	参数名称	单位	数量	备注
1	冻结壁设计厚度	m	≥ 2.4	
2	冻结壁平均温度	$^{\circ}\text{C}$	≤ -10	
3	冻土帷幕交圈时间	天	23 ~ 28	
4	积极冻结时间	天		含左线冻结孔冻结 12 ~ 15 天
5	冻结孔数量	个	101	
6	冻结孔成孔间距控制	m	1.3	
7	冻结孔允许偏斜	mm	150	
8	设计最低盐水温度	$^{\circ}\text{C}$	-28 ~ -30	
9	维护盐水温度	$^{\circ}\text{C}$	≤ -25	
10	单孔盐水流量	m^3/h	5 ~ 7	
11	冻结管规格	mm	$\phi 89 \times 10$	低碳钢无缝钢管
12	测温孔数量	个	8	$\phi 45 \times 3$ 、 $\phi 89 \times 10$ 无缝钢管
13	泄压孔数量	个	2	$\phi 89 \times 10$ 无缝钢管
14	冻结管总长度	m	804	
15	冷冻排管总长度	m	120	安装在左线
16	冻结总需冷量	10^4 kcal/h	9.424	工况条件

50mm的聚氨酯塑料保温板，保温板接头处喷涂发泡聚氨酯保温层。

(3) 泄压管：设泄压孔3个，其中右线隧道设置2个，泄压滤水管采用 $\phi 89 \times 10$ mm低碳无缝钢管加工；左线隧道安装安全防护门后，在防护门上设置泄压。在泄压孔上安装泄压球阀和量程0.5MPa的水压力表。

(4) Z1~Z9（中部冻结孔）采用局部冻结，回液管长度应超过联络通道一半距离处。

(三) 冻结孔施工

采用钻机跟管钻进法施工冻结孔。Z1~Z9（中部冻结孔）冻结孔须穿过左线联络通道已凿开的洞口。在联络通道靠近永和站方向，距离联络通道约8m处，施工 $\phi 121\text{mm} \times 8$ 的透孔2个，用于后期左线冻结孔冻结时供应盐水。

四、冻结施工工艺

根据现场情况，设计采用水平冻结方案，将联络通道周边地层冻结，在冻土帷幕的保护下施工联络通道及泵站。具体步骤为：

(1) 在右线隧道内，联络通道外侧施工冻结孔；向左线联络通道洞门破除范围内施工冻结孔；在右线隧道内联络通道附近安装冷冻站（与冻结孔施工同步进行）；

(2) 在左线隧道内冻结壁位置处敷设保温板（坍松体为遮盖部分，主要在隧道上部）；

(3) 开机进行冻结，积极冻结约25天左右冻结壁交圈后，检查左线联络通道洞门破除范围内是否已被冻结；

(4) 确认左线联络通道洞门破除范围内已经冻结后，开始清除左线隧道内的坍松体直至完全清理干净，左线隧道内的坍松体清理完成后，在左线联络通道洞门破除处安装并关闭安全防护门以确保不会再漏泥漏砂；

(5) 在左线隧道内补打顶部和顶部冻结孔，同时安装冷冻排管，确保冻结壁的封闭空间能够形成；

(6) 继续冻结约12~15天后，从左线隧道打开安全防护门，按照常规的冻结法工艺施工联络通道。

五、施工监测设计

(1) 冻结期间冻土帷幕温度场监测

对联络通道进行冻结过程的温度场监测，采用数字温度传感器，温度传感器的测温范围是 $-55 \sim +125^\circ\text{C}$ ，精度 0.5°C 。所有温度传感器布置在测温孔内。温度监测全部纳入计算机监测系统自动定期采集。冷冻站一侧布置有2个测温孔，对侧隧道（左线）布置有6个测温孔。在8个测温孔中布置若干温度测点进行温度监测（见图5）。

(2) 冻土帷幕断面内水文泄压孔的压力

左线联络通道未冻区内布置2个泄压孔（见图5，X1、X2），当冻结壁交圈完成（积极冻结约25天左右），且柱型冻土塞形成已形成，并将左线通道已破除的洞门冻结封闭，此时压力传感器的压力开始上涨，

据此可以推断左线通道已破除的洞门封闭完成（见图5）。

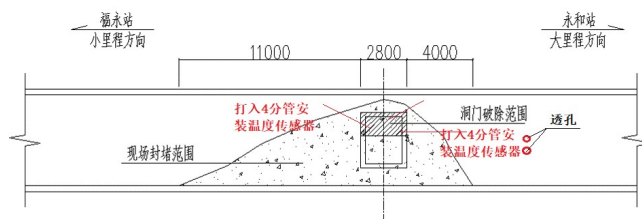


图5 破除洞门处安装温度传感器示意图

(3) 左线通道已破除洞门处温度监测

若压力传感器压力没有上涨，可以从左线已破除洞门附近，用电钻施工小探孔，并安装温度传感器至已破除洞门处，通过采集洞门处的温度判断洞门是否已经被冻结封闭。

六、结束语

本文所采取的冻结法施工方案在常规的联络通道冻结施工基础上，增加了一个柱型冻土塞将左线已破除的洞口冻结，为左线清理坍松体创造条件。将左线的坍松体清除后，又进一步为左线冻结孔施工创造了条件。通过分步施工，将带险情的联络通道施工转变为常规的联络通道冻结法施工。

在施工过程中可能存在如下风险：

(1) 目前地面管线位置不明，管线沉降情况不明，管线完好情况不明，影响冻结施工安全。

(2) 冻结孔必须采用钻机跟管钻进法施工，钻进时的循环水可能会对坍松体扰动，造成进一步出泥出砂的风险。

(3) 左线通道洞门已经破除，虽然坍松体已经封闭，但是洞门处是否有渗漏水流动不明，若有流动的渗漏水将导致冻结壁无法交圈。

在联络通道施工发生险情后采取的后续处置措施，非常规冻结法施工，具有一定的参考价值，以供读者参考借鉴。

参考文献

- [1] 李荣智, 陈债, 史基盛. 南京地铁联络通道冷冻法施工技术[J]. 建筑机械化, 2004.
- [2] 王小宝. 沈阳地铁2号线区间联络通道冷冻法施工设计[J]. 中国市政工程, 2012.
- [3] 史玉鹏. 地铁联络通道冷冻法施工技术[J]. 中小企业管理与科技, 2011.
- [4] 赵捷, 任云芬, 鲍鹏. 天津地铁联络通道冻结施工的数值分析[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2007.
- [5] 刘龙秋, 李四桂, 葛小波. 地铁盾构区间联络通道施工技术[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2014.
- [6] 索明伟. 联络通道冷冻法施工安全技术研究[J]. 建筑与装饰, 2018.