

## 轨道交通地下换乘通道冻结暗挖施工技术

黄黎君

上海建工五建集团有限公司, 上海 200063

[摘要]随着城市的发展,轨道交通已成为人们重要的出行工具。在新老线路中由于乘客换乘的需要,换乘通道已成为轨道交通建设中的重要组成部分。由于桂林路通道上方是既有建筑的地下车库底板,无法进行传统明挖施工。经充分论证采用冻结加固暗挖构筑施工工艺。文中重点介绍了工程冻结设计及施工、开挖与构筑和注浆施工情况。实践表明,通过各阶段合理组织科学管理,验证了大体量冻结暗挖在特定工况下的可行性。

[关键词]轨道交通换乘通道;冻结法;水平加固;矿山暗挖;注浆

DOI: 10.33142/ec.v3i4.1765

中图分类号: U231.3

文献标识码: A

### Construction Technology of Freezing and Digging Underground Transfer Passage of Rail Transit

HUANG Lijun

Shanghai Construction Engineering Fifth Construction Group Co., Ltd., Shanghai, 200063, China

**Abstract:** With the development of city, rail transit has become an important means of travel. Due to the requirements of passenger transfer in the new and old lines, transfer channel has become an important part of rail transit construction. Because the basement of the existing garage is above the passage of Guilin road, it is impossible to carry out the traditional open excavation construction. It is fully demonstrated that the construction technology of freezing reinforcement and concealed excavation is adopted. This paper focuses on the design and construction of engineering freezing, excavation and construction and grouting construction. The practice shows that the feasibility of large-scale frozen excavation under specific working conditions is verified by reasonable organization and scientific management in each stage.

**Keywords:** rail transit transfer channel; freezing method; horizontal reinforcement; underground mining; grouting

#### 1 工程概况

##### 1.1 换乘通道结构概况

由于冻结壁具有较好的封水性与承载能力,冻结法在城市轨道交通建设中得到了广泛应用。上海轨道交通 15 号线与 9 号线换乘通道有部分线路穿越普信息天产业园区地下室,穿越段工程结构为一矩形混凝土结构通道,下穿普天地下室段暗挖长度 39.136m。通道净宽度 8.300m,净高度 3.600m,结构层厚度 700mm,穿越段底板面标高-4.974m,普天地下室底板面标高+0.750 米。换乘通道穿越段通道设计采用冻结法水平加固地层,矿山暗挖法施工。

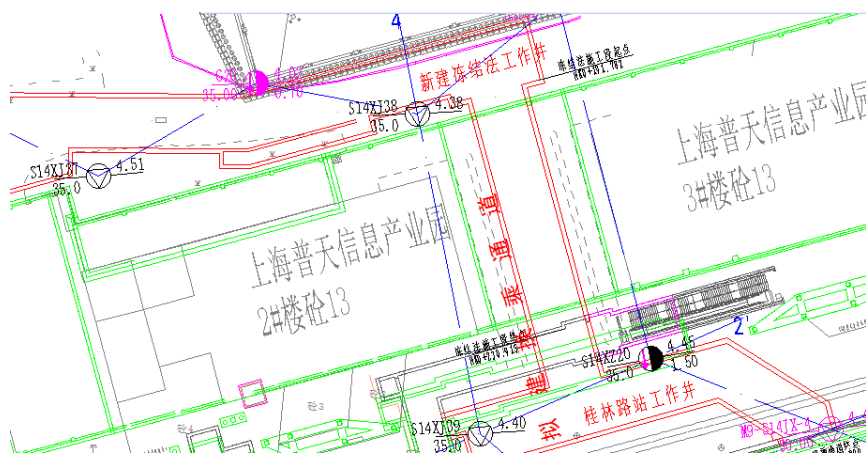


图1 换乘通道暗挖段示意图

## 1.2 地面环境与地层条件

换乘通道冻结加固暗挖段上方地面为上海普天信息产业园 B1 号楼与 C1 号楼之间。换乘通道冻结加固暗挖段地层为②<sub>i</sub>粘土、③<sub>i</sub>淤泥质粉质粘土、④<sub>i</sub>淤泥质粘土中。根据地质资料,淤泥质粘土具高含水量、高压缩性、高灵敏度、低强度,在钻孔和开挖施工时易造成塌孔等不良现象。

## 2 施工难点及控制原则

(1) 该换乘通道穿越地下室冻结暗挖段穿越长度达到 39.136m,穿越距离长,钻孔难度大<sup>[5]</sup>,开挖构筑时间长,冻胀融沉控制难度大。

(2) 该换乘通道穿越地下室冻结暗挖段开挖宽度达 10300mm,开挖高度为 5600mm,开挖断面大,因此要分台阶开挖,严格控制开挖时的冻结壁位移。

(3) 该换乘通道穿越地下室冻结暗挖段处于普天产业园区 B1 号楼与 C1 号楼之间地下室下,地下室为普天产业园区车库,车辆出入频繁,故要严格控制地下室及地面变形,保证施工安全。

(4) 暗挖段需要穿过 5 排Φ850 的钻孔灌注桩,同时,有 10 根桩开挖时要凿除。

需要穿越原九号线桂林路车站出入口工法桩,施工难度极大。

(5) 由于穿越地下室段长度达到 39.136m,开挖构筑时间将近 5 个月,再加上积极冻结期 50 天,冻结时间达 200 天,冻结体量大,故要采取稳妥的控制措施,控制冻结体量,保护地下车库及车库集水井的安全。

## 3 冻结设计及施工

### 3.1 冻结加固方案设计

(1) 主要设计参数:冻结孔 142 个、泄压孔 29 个、测温孔 20 个、解冻孔 2 个;冻土帷幕有效厚度 1.8 米;冻土帷幕平均温度小于等于-10℃;积极冻结时间 50 天;最低盐水温度-28℃。

(2) 暗挖段初支钢支架:暗挖段采用分区分台阶开挖方式,单台阶掘进段长最大不超过 1.0 米,首次掘进段长度不大于 1.4 米,支架采用 HW250X250 和 HW200X200 型钢制作,每榀支架间距 0.6 米,每两榀支架支设完成喷射一次混凝土。

(3) 应急防护门:在开挖前防护门根据设计要求横档采用 10 号槽钢,门框和门板采用 12mm 厚钢板现场焊接制作。门上链接螺栓采用 M20 大六角 8.8 级高强螺栓。门框采用 HRB335Φ16 螺纹钢植筋与工作井处地下连续墙连接。

### 3.2 钻孔施工

由于本工程暗挖段长度近 40 米,考虑到冻结效果及工期要求,按设计要求主冻结孔由普天园区内工作井向 9 号线 5 号出入口方向打设,副孔由 9 号线 5 号出入口向工作井方向打设,形成冻结管交叉搭接。

#### 3.2.1 孔口管埋设及孔口密封装置安装

安装两次孔口管第一次安装外径Φ168 孔口管,下放套管后,将下放套管作为孔口管,在Φ146\*6 的套管上焊接Φ150 法兰,作为二次钻进时的孔口管。将孔口管固定牢固后,装上 DN150 球阀,再将球阀打开,用开孔器从球阀内开孔,开孔直径为 150mm,一直将内衬及维护结构开穿。这时,如地层内的水砂流量大,及时关好球阀。孔口管安装角度均为钻孔角度。施工中当第一个孔开通后,没有涌水涌砂,可继续开孔施工。若涌水涌砂较厉害,还应当进行注水泥浆(或双液浆)止水及地层补浆。

#### 3.2.2 钻孔工艺

冻结管及测温管选用Φ108\*8mm 的低碳无缝钢管,单根管材长度为 2~5m 不等。穿桩冻结孔采取双重套管+跟管钻进法施工,正常冻结孔采用二次开孔钻进,孔口管采用Φ133\*5 无缝管,冻结管采用Φ108\*8 无缝钢管。冻结管下放到设计深度后,利用长钻杆进行丝堵安装,丝堵安装完成后,对冻结孔进行偏斜及试压检测。检测合格后,通过孔口管三通对地层进行注浆,补充钻孔过程中的地层损失,同时也对冻结管周边土层进行适度注浆改良,注浆量主要通过注浆压力控制,控制注浆压力不大于静水压。

## 3.3 冻结制冷运转

### 3.3.1 冻结制冷系统安装

冻结站设冻结工作井内,冷却系统布设在地面上靠近井口位置,方便散热。站内设备主要包括冷冻机组、盐水箱、盐水泵、清水泵及清水池等。

本工程共安装螺杆冷冻机 4 台,盐水泵 4 台,清水泵 4 台,冷却塔 8 台,制冷系统经试运转合格。冷冻机组的蒸

发器及低温管路保温用软质泡沫塑料。盐水箱、盐水干管用 50mm 厚的聚苯乙烯泡沫板保温。

在化盐池中融化氯化钙，然后泵入盐水箱中，并开盐水泵不断循环，直至盐水浓度达到设计要求。溶解氯化钙时要除去杂质。

机组开启后，充填氟利昂和冷冻机。首先进行制冷系统的检漏，采用氮气打压进行检漏，在确保系统无渗漏后，再充氟利昂加油。

### 3.3.2 冻结系统试运转和积极冻结

设备安装完毕后进行调试和试运转。根据相关要求，冷冻站正常运转 7 天盐水温度降至 $-18^{\circ}\text{C}$ 以下，15 天盐水温度降到 $-24^{\circ}\text{C}$ 以下，开挖构筑前盐水温度降至 $-28^{\circ}\text{C}$ 以下。本工程盐水冻结温度符合设计要求，降温曲线见图 2。

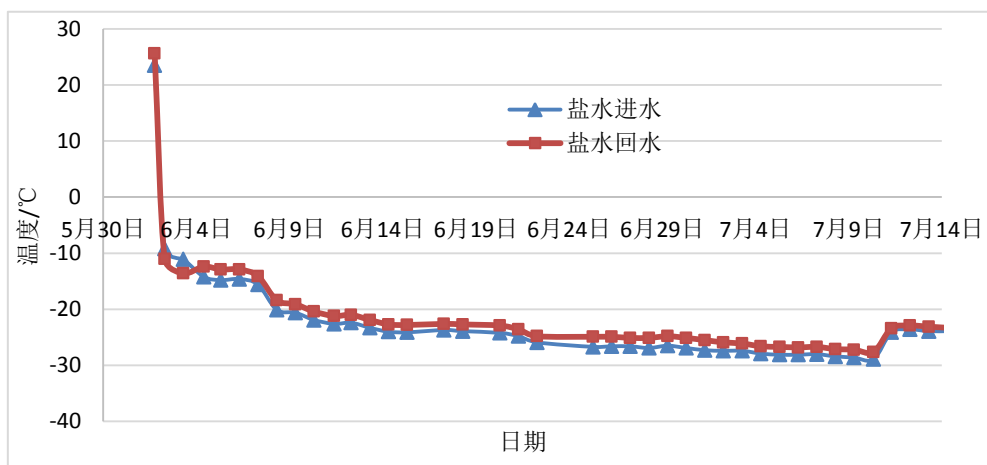


图 2 盐水进回水温度变化曲线

## 4 开挖与构筑施工

### 4.1 开挖与初支

冻结加固达到要求，经探孔确认冻土帷幕已交圈达到设计厚度，加固土体强度达到设计要求及准备工作就绪后，经开挖条件验收合格进行正式开挖。根据工程结构特点，开挖采取人工加机械分区分台阶方式进行施工，将通道分为上、下两层进行开挖，首先开挖 I 区，随进尺进行喷锚；I 区上台阶开挖进尺 4m 后，进行 II 区开挖及初期支护，II 区开挖进场达到 10m 后，再进行 III 区开挖及初期支护，III 区开挖进尺达到 4m 后，再进行 IV 区开挖及初期支护。I、III 区开挖完成，并完成喷锚后，再进行 V 区开挖及初期支护；III、IV 区开挖完成，并完成喷锚后，最后进行 VI 区开挖及初期支护。采用短段掘砌技术，开挖步距控制在 0.6m，及时安装临时钢支架、木背板、预埋注浆管及喷浆。开挖顺序示意图如图 3。在掘进施工中根据揭露土体的加固效果及施工监测信息，及时调整开挖步距和支护强度，确保安全施工。

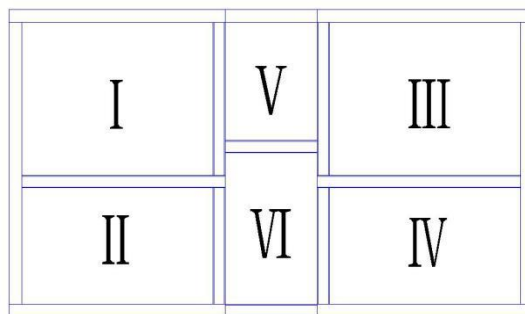


图 3 开挖顺序图

### 4.2 防水与结构施工

通道防水层铺设前，初期支护表面漏渗水需修复。防水材料采用无纺布加 PVC 防水卷材。在钢支撑和预埋注浆管上满焊镀锌止水钢板，宽度为 35cm，厚度为 4mm。变形缝采用中埋式钢边橡胶止水带等，宽度均不小于 35cm。变形缝衬垫板为聚苯乙烯泡沫板。

通道混凝土分底板、墙板和顶板三次浇筑,厚度均为 700mm 厚 C35P6 混凝土,钢筋采用直螺纹套筒机械连接。侧墙和顶板采用横撑加排架木模。其中顶板混凝土浇筑由于无操作空间且为保证顶板结构的密实性,采用自密实混凝土浇筑。在顶板底模中预留两排浇注孔(兼作为浇筑观察孔),顶部的浇注孔底部距离初期支护层 5cm 左右。浇筑的过程中注意观察浇筑压力和其他浇注孔的情况。

### 5 充填注浆和融沉注浆

注浆分充填补偿注浆和融沉注浆,充填注浆主要填充木背板和冻土帷幕之间的空隙,以及拱顶部的支护层与结构层之间空隙。充填注浆在停止冻结后 3~7 天开始充填注浆。此时结构混凝土强度应达到设计强度 60%。充填注浆量较大,每孔注浆量约为  $1\text{m}^3$ ,充填注浆分为 6 次进行,每次由预留注浆孔均匀注入。注浆为自下而上。第一次充填注浆完成一段时间后,从顶部注浆孔开始到底部注浆孔结束,和第一次倒着的顺序再进行一次补充充填注浆。融沉注浆利用预埋在木背板与冻土之间的注浆管和上部冻结区的卸压孔,在停止冻结后根据测温情况及沉降监测数据随时进行注浆。融沉注入双液浆,注浆压力为 0.3~0.5 Mpa。注浆流量宜控制在 20L/min 左右。注浆方式为间隔注浆,对每个注浆孔进行注浆时,采用长度依次推进的注浆方式,即第一次注浆时开孔位置深入注浆孔 20cm,第二次注浆时利用开孔钻机重新开孔,深入注浆孔 40cm 位置进行注浆,第三次注浆深入注浆孔 60cm,以此类推,直至注浆位置至 2m 为止。

### 6 工程实施效果与总结

桂林路站换乘通道工程断面大,距离地库底板距离较近,穿越地下室障碍物较多,工程施工中通过各阶段合理组织科学管理,并采用针对性措施,较好的完成了工程施工任务,确保了周边环境及工程安全,为大体量冻结加固暗挖构筑施工提供了借鉴,验证了特定工况下的冻结加固暗挖构筑施工的可行性及安全性。

#### [参考文献]

- [1]王建平,刘伟民,王恒.我国人工地层冻结技术的现状与发展[J].建井技术,2019,40(04):1-4.
  - [2]李方政.市政冻结技术的应用与展望[J].建井技术,2017,38(04):55-60.
  - [3]付财,韩圣铭,韩玉福.浅覆土条件下地铁出入口冻结法暗挖施工技术[J].施工技术,2014,43(07):91-93.
  - [4]王建平,刘晓敏.地层冻结技术的回顾与在市政建设中的进展[J].施工技术,2010,39(1):125-126.
  - [5]周卫.地铁隧道超长水平冻结孔定向钻进施工方法[J].煤炭工程,2007(06):57-59.
  - [6]陆卫国,郭圣昆,林稚华.广州地铁建设中冻结工法的应用分析[J].西部探矿工程,2004(01):108-109.
- 作者简介:黄黎君(1982.10-),男,华东理工大学,工商管理,上海建工五建集团有限公司,项目经理,工程师。