

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2022.04.042

软土地层冻结暗挖法车站施工技术

杨栋寅

(上海申通地铁建设集团有限公司, 上海市 200070)

摘要: 轨道交通车站施工受周边环境因素影响较大,传统的“明挖顺做”法已不能满足复杂工况下的施工要求。为不影响城市轨道交通线路总体规划建设与施工周期,目前“冻结暗挖”法的施工工艺已比较成熟且施工风险相对较小,既能保护周边各类建筑物、管线和道路安全又能确保车站按节点计划施工,能较好地解决此类复杂工况下的车站施工问题,得到了各参建单位的普遍认可。通过后期融沉注浆等施工工序,采用“冻结暗挖”法施工的车站总体变形量要略优于采用“明挖顺做”法施工的车站。

关键词: 复杂工况;“冻结暗挖”法;施工风险

中图分类号: TU94+1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)04-0150-04

1 工程背景

1.1 工程概况

上海轨道交通某地铁车站位于上海市浦东新区金桥地区,车站主体结构采用地下二层双柱三跨结构,车站西南角基坑内有一“钉子户”,为砖砌条形基础+二层砖混结构体系。车站主体结构受“钉子户”建筑影响尺寸 20.6 m(长)×11.55 m(宽)×7.79 m(高),位于下行线轨行区。自然地面至设计顶板覆土厚度约 3.6 m,至设计中板覆土厚度约 10.1 m。“钉子户”与车站主体结构平面、实体位置关系如图 1、图 2。

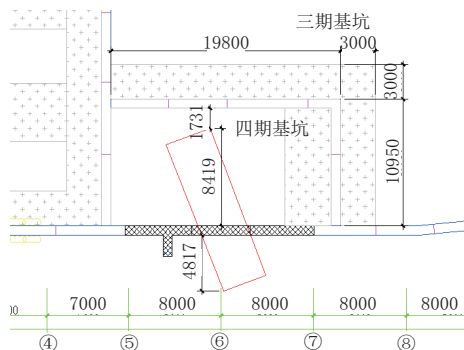


图 1 “钉子户”与车站主体结构平面位置关系图

由于“钉子户”建筑拆迁费用高、协调难度大、耗时间,因此考虑就地保障其基本安全的情况下采用冻结暗挖法施工,暗挖段采用周边冻结+初期支护+二衬结构体系。

由于“钉子户”建筑采用空斗砖砌筑,房龄较长

收稿日期: 2021-10-23

作者简介: 杨栋寅(1986—),男,学士,工程师,从事轨道交通建设管理工作。



图 2 “钉子户”与车站主体结构实体位置关系图

且自重较大,为确保“钉子户”结构安全及冷冻暗挖结构安全,确保开挖顶板上具备足够的冻结围护厚度及承载力,受“钉子户”影响区域只进行站台层施工,原设计中板改为顶板。

1.2 冻结暗挖法地质条件

1.2.1 地质概况

本站位于上海市滨海平原地貌区,结合本站《详勘阶段岩土工程勘察报告》揭示,本车站地基土在 60.00 m 深度范围内均为第四纪松散沉积物,属第四系滨海平原地基土沉积层,各土层的特征如表 1。

其中③层、④层土层均属高压缩性、低强度性、低渗透性以及流变性和触变性等不良工程地质特性,是上海地区典型软土层;⑤,灰色砂质粉土夹粉质黏土层,饱和,中密,具水平微层理,层内气孔发育,属中偏低压缩性,也是区内的主要微承压含水层,地下工程活动时极易产生流砂现象。

1.2.2 水文概况

场地内③层灰色黏质粉土为主要潜水含水层,勘察实测水位埋深为 0.60~1.40 m,相应水位埋深标

表1 地层特性表

层号	名称	层厚	含水量 /%	压缩性	渗透系数 $/(cm \cdot s^{-1})$
① ₁	填土	0.50~1.90			
① ₂	浜填土	0.50~2.40		高	
②	褐黄~灰黄色粉质黏土粉质黏土	0.60~2.50	31.6	中~高	7×10^{-7}
③	灰色淤泥质粉质黏土夹粉土	0.90~7.80	41.2	高	2×10^{-6}
③ _t	灰色黏质粉土	0.60~3.00	29.6	中	9×10^{-5}
④	灰色淤泥质黏土	5.70~7.50	51.0	高	3×10^{-7}
⑤ ₁	灰色黏性土	3.00~5.20	43.8	高	5×10^{-7}
⑤ ₂	灰色砂质粉土夹粉质黏土	1.30~3.50	28.3	中	2×10^{-4}
⑤ ₃₋₁	灰色粉质黏土	1.10~10.50	35.3	中	2×10^{-6}

高 2.28~3.41 m; ⑤₂ 层灰色砂质粉土夹粉质黏土层为主要微承压水层, 勘察实测水位埋深为 3.22 ~ 3.23 m, 水位标高为 0.64 ~ 1.59 m。

2 方案技术难点

2.1 地质条件差

由地质条件分析可知, 拟实施本方案的场地地质条件较差, 上部为淤泥质粉质黏性土层, 有高含水率、高孔隙比、高压缩性、流塑性等性质, 导致冻胀比较严重; 下部为⑤₂ 灰色砂质粉土夹粉质黏土层微承压水层, 渗透系数较大, 此层位于下部冻结壁厚度范围内, 对冻结壁冻结强度及厚度有一定影响, 需同步进行地下水处理。

2.2 附加荷载大

由于影响车站主体结构施工上部“钉子户”建筑自重达 400 t, 且原车站主体结构设计方案顶板距自然地面约 3.3 m, 若站厅层、站台层均建造, 则采用冻结法施工上部地层空间无法提供足够的冻结厚度, 冻结壁承载力无法满足上部附加荷载要求。

2.3 变形控制难

之所以采用冻结暗挖法施工就是为了不破坏“钉子户”建筑, 冻结、开挖以及解冻阶段均应达到“裂而不倒”的控制目标。由于“钉子户”建筑结构房龄较长, 且结构为浅埋条基砖混结构, 受地层变形扰动特征较明显, 整个冻结暗挖施工阶段变形控制难度较大。

3 方案设计

3.1 冻结施工方案

根据原设计方案, 受“钉子户”影响区域车站主体结构采用地下连续墙隔离, 隔离区域东西两侧车

站主体结构采用明挖法施工, 明挖段主体结构用作冻结法施工场地, 由于影响区域内南侧地下连续墙未闭合, 为保证冻结壁有效厚度同时确保暗挖施工阶段结构安全, 未封闭区域采用注浆加固法, 以便围护结构形成封闭结构体系。

隔离区域冻结施工方案如下:

(1) 房屋南侧采用 17 根 $\phi 2400$ mm, 间距 @1600 mm, 深度 33 m MJS 工法桩与车站主体地下连续墙形成封闭止水帷幕。

(2) 暗挖区北侧上部施工两排冻结孔、下部施工三排冻结孔, 南侧从东西两侧各施工两排冻结孔, 东侧十字交叉施工两列冻结孔, 共布置 175 个冻结孔, 与地下连续墙、MJS 共同形成封闭承载体系。冻结壁厚度 2.0~2.9 m, 平均温度 $\leq -10^\circ\text{C}$ 。为加强地下连续墙交界面冻结效果, 在东、西两侧地连墙顶部外侧各布置 7 根冷冻排管。

(3) 为了准确掌握冻结温度场变化情况, 在冻结帷幕内设置 12 个测温孔监测冻结壁厚度、平均温度、冻结壁与地连墙界面温度。测温孔实际位置、数量可根据冻结孔施工后的实际偏斜情况做适当调整, 确保测温孔位于预计冻结壁薄弱处。

(4) 为准确判断冻结壁是否交圈, 并释放减少土层水土冻胀压力, 在暗挖区东西两侧分别布置泄压孔 4 个, 共计 8 个。在暗挖区上部布置 14 个泄压孔兼融沉注浆孔。

3.2 冻结参数确定

(1) 冻结需冷量计算:

$$Q = 1.3 \times \pi \times d \times l \times k$$

式中: l 为冻结管总长度 (含冷排管), m; d 为冻结管直径, m; k 为冻结管散热系数。

根据上述公式, 本工程冻结需冷量 25.6 万 kcal/h。

(2) 冻结施工主要技术参数如表 2。

3.3 开挖施工方案

由于车站主体结构横断面跨度较大, 为避免暗挖阶段冻结壁在上部荷载作用下发生冒顶事故, 将暗挖段采用“侧洞法 + 中隔壁法”进行开挖及初期支护, 初期支护采用“型钢 + 木背板 + 喷射混凝土”结构体系。

按暗挖段横断面分为分成 6 个区, 待掘进面冻结壁形成后, 自西向东分区、分段“开挖一段, 初支一段”, 纵向开挖布局不大于型钢支架纵向间距, 即每开挖一段立即安装初期支护结构, 每开挖 2~4 段挂网喷射混凝土。

表2 冻结施工主要技术参数表

序号	参数名称	数量	备注
1	冻土墙设计厚度/m	2.0~2.9	开挖区“十”分隔为: 1.4~1.6 m、2.0~2.2 m
2	冻土墙平均温度/℃	≤-10	
3	冻土帷幕交圈时间/d	23~28	
4	积极冻结时间/d	40	施工过程中,应加强测温孔、泄压孔、辅助探孔、盐水状况等的监测,并以实测情况来判断冻结帷幕形成状况
5	冻结孔个数/个	175	
6	冻结孔成孔控制间距/m	1.0	开挖区“十”分隔区冻结孔及 N1~N2/M1~M2 除外
7	冻结孔允许偏斜/mm	170	
8	盐水温度控制要求/℃	-28~-30	积极冻结7 d 盐水温度降至-18℃以下;冻结15 d 盐水温度降至-24℃以下;开挖时盐水温度降至-28℃以下
9	去、回路盐水温差/℃	2	
10	单孔盐水流量/(m ³ ·h ⁻¹)	5~8	
11	冻结管规格/mm	φ89×8	低碳钢无缝管
12	冷冻排管/m	150	管材同冻结管 φ45×3
13	泄压孔个数/个	22	管材同冻结管 φ89×8
14	测温孔个数/个	12	管材同冻结管 φ89×8
15	冻结管总长度/m	2 518.251	
16	冻结总需冷量/(Kcal·h ⁻¹)	25.6 万	工况条件

暗挖段开挖结束后,进行局部防水层、二衬结构浇筑。

二衬结构施工完后成壁后填充注浆,自然解冻并根据融沉监测情况进行跟踪补偿注浆,暗挖段横断面划分见图3。

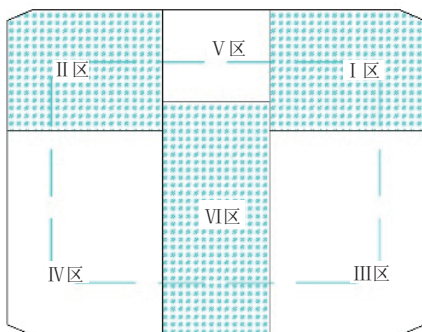


图3 暗挖段横断面划分示意图

具体施工流程(见图4)。

3.4 初期支护方案

(1)暗挖段采用“I25b 工字钢支架+30 mm 木背

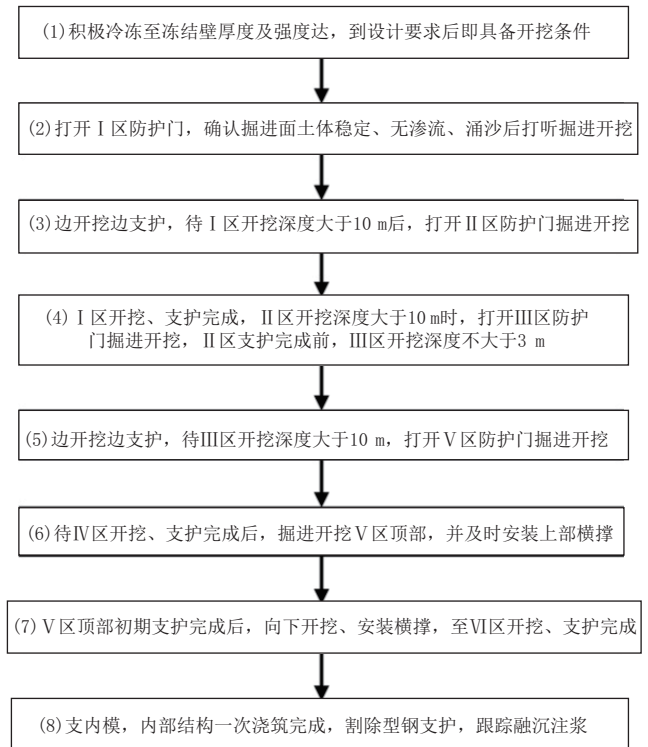


图4 施工流程图

板+C25 挂网喷射混凝土”联合支护方式,支架纵向间距 0.45 m,喷射土厚度 250 mm,钢筋网规格 φ6@200。

(2)为控制开挖面顶板变形,在 I~IV 区中间竖向支撑上各增加 2 个受力 10 t 的螺旋式千斤顶,变形过大时可及时增加预应力。

(3)每区开挖 2~4 榀钢支架时预埋融沉注浆管,顶、底喷射混凝土形成初期支护层。

4 充填注浆与融沉注浆

4.1 填充注浆

暗挖段车站主体结构(二衬结构)浇筑完成且达到一定强度并停止冻结后 3~5 d 即可进行衬砌后填充注浆。

注浆料采用 1 比 0.8 到 1 单液水泥浆,注浆压力不大于 0.5 MPa。注入水泥浆前应先注清水,检查各注浆孔之间衬砌后间隙是否畅通。

注浆宜按由下而上分层进行,当上一层注浆孔连续返浆后即可停止下一层注浆,直至注到拱顶结束。

4.2 融沉注浆

暗挖段主体结构(二次衬砌)在施工完毕并达到设计要求强度后,冻结壁自然解冻,解冻时间持续 3~4 个月,解冻过程中根据车站主体结构、地面、管线、“钉子户”建筑的沉降以及解冻温度场的监测,动态控制注浆量及注浆时间间隔。

(1) 注浆材料

融沉补偿注浆浆液采用单液水泥浆或双液浆。

(2) 注浆顺序及范围

注浆的顺序是先底板后侧墙再顶板。底板注浆时,先从暗挖区中部的注浆孔开始注浆,然后依次向两端的注浆孔灌注。注浆范围为整个冻结区域。

(3) 注浆原则及方法

融沉补偿注浆应遵循“少量、多点、多次、均匀”的原则。单孔一次注浆量为 0.5 m^3 ,最大不超过 1 m^3 。注浆压力不大于 0.5 MPa 。

注浆前,将待注浆的注浆管和其相邻的注浆管阀门全部打开,注浆过程中,当相邻孔连续出浆时关闭邻孔阀门,定量压入后即可停止本孔注浆,关闭阀门,然后接着对邻孔注浆。遇到注浆管内窜浆固结而引起堵管时,需用加长冲击钻头通管。

(4) 注浆施工过程的监测

控制地面沉降变形是注浆的目的。因此,化冻过程中,要加强地面变形监测、冻土温度监测、冻结壁后水土压力监测。另外,注浆施工过程中,浆液的压力可以通过在相邻注浆孔安装压力表来反映。以上综合监测数据是注浆参数调整的依据。

(5) 融沉注浆开始和结束条件

充填注浆结束,当一天内暗挖区上部地面沉降大于 0.5 mm ,或累计沉降大于 3 mm 时,应进行融沉补偿注浆;当地面隆起 3 mm 应暂停注浆。具体要根据地面变形监测情况做适当调整。

融沉注浆的结束是以地面沉降变形稳定为依据。若冻结壁已全部融化,且不注浆的情况下实测地层沉降,持续一个月每半月不大于 0.5 mm ,可停止融沉补偿注浆。

5 施工监测

本方案实施过程中加强了冻结系统监测以及周边环境监测。

根据施工监测资料显示,北侧上下排冻结 40 d 后,冻结壁平均温度达 $-13.4\text{ }^\circ\text{C}$,最小冻结壁厚度达 3.2 m ;东西两侧与地下连续墙交界面冻结 40 d 后,冻结壁平均温度 $-12.7\text{ }^\circ\text{C}$,最小冻结壁厚度达 2.7 m ,南侧与MJS工法桩围护交界面冻结 40 d 后,

冻结壁平均温度 $-12.1\text{ }^\circ\text{C}$,最小冻结壁厚度达 2.3 m ,均达到了设计及规范要求。

根据施工监测资料现示,冻结期间“钉子户”建筑最大隆起量 18 mm ,开挖阶段冻结壁采用维护冷冻,由于“钉子户”建筑自重较大,开挖阶段最大单次沉降达 20 mm ,最大累积沉降达 32 cm ,为确保“钉子户”建筑结构安全及暗挖段作业面安全,冻结系统及时恢复积极冷冻,单次沉降变化值逐渐收敛,至二衬结构浇筑完成累积沉降控制在 11 cm ，“钉子户”建筑结构处于安全状态。

根据施工监测资料显示,冻结壁自然解冻阶段通过动态融沉补偿注浆措施,“钉子户”建筑结构及地表沉降得到有效控制,截止3月5日“钉子户”建筑结构最大沉降 19 cm ,地表沉降最大沉降 7 cm ,基本处于安全状态。

6 结语

由于本工程的特殊性,参照软弱土层旁通道冻结法及软弱围岩暗挖法的特点,在充分分析冻结暗挖法、箱涵置换法等多种方法的优缺点基础上,大胆的提出了软土地层中采用“冻结法+侧洞法+中隔壁法”,使得受外界环境影响区域车站结构得以成功实施。

本方案的成功实施,验证在上海软土地层高水条件下采用冻结暗挖法进行地下结构施工的可行性。长江经济带作为我国经济发展的引擎,其城市基础设施建设呈现井喷状态,尤其是在城市轨道交通、城市快速通道等工程建设中,由于其应具备服务城市交通功能,建设过程中往往受环境制约无法采用常规的施工方案。通过本方案成功的实施不仅节约了高昂的动迁费用,而且取得了良好的社会效应,今后类似工程难点的解决方案的选择提供了参照。

参考文献:

- [1] 王辉,竺维彬.软土地层地铁盾构隧道联络通道冻结法施工控制技术[J].现代隧道技术,2004,41(3):17
- [2] 方忠强,孙晓峰,陈磊.冻结暗挖法在地铁车站附属结构中的应用[J].城市轨道交通研究,2015,18(2):109
- [3] 李宁,林嘉,李长忠.上海轨道交通旁通道自然解冻融沉注浆加固技术与效果分析[J].城市轨道交通研究,2010,12(2):112
- [4] DG/T J08-902—2016,旁通道冻结法技术规程[S].