

大型过江隧道盾构始发冻结施工技术

韩晓明¹, 唐晓鹏¹, 季玉国²

(1. 中交第二航务工程局第三工程有限公司, 江苏 镇江 213000; 2. 上海建通工程建设有限公司, 上海 230030)

摘要:南京市纬三路过江通道盾构直径达 14.93 m, 盾构始发段地质条件复杂, 地下水丰富, 盾构始发风险巨大。为确保始发安全, 盾构始发加固采取三轴水泥搅拌桩加垂直冻结相结合方法, 有效防范了施工风险。详细介绍了该隧道盾构工程中始发端冻结施工技术。

关键词:盾构; 始发段; 冻结加固; 南京纬三路过江通道

中图分类号: U455.43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2012)12-0072-04

Freezing Construction Technique of Launching Section of Shield in Large Cross-river Tunnel/HAN Xiao-ming¹, TANG Xiao-peng², Ji Yu-guo² (1. China Communications 2nd Navigational Bureau 3rd Engineering Co., Ltd., Zhenjiang Jiangsu 213000, China; 2. Shanghai Jiantong Engineering Consulting and Construction Co., Ltd., Shanghai 230030, China)

Abstract: The diameter is 14.93 m in a shield project of river-crossing channel in Nanjing, where the geological conditions are complicated in launching section with abundant groundwater. To ensure the safety of the launching section, the combination of tri-axial cement mixing pile and vertical freezing were adopted. The paper introduced the freezing construction technique in launching section with the construction case.

Key words: shield; launching section; freezing consolidation; Weisanlu river-crossing channel in Nanjing

1 工程概况

南京市纬三路过江通道盾构直径达 14.93 m, 盾构始发段地质条件复杂, 地下水丰富, 与长江连通, 且水位高, 盾构始发风险巨大。为确保始发安全, 盾构始发加固采取三轴水泥搅拌桩加垂直冻结相结合的方法, 有效防范施工风险。冻结尺寸为厚 1.6 m, 宽 19.2 m, 深 25 m。冻结设置 49 个冻结孔。通过冻结使冻土墙具有较高的强度和密封性, 保证盾构始发的安全。工作井端头土体冻结加固范围如图 1 所示。

1.1 工程地质条件

地层由上至下分别为: ①杂填土层, ②₁粘土, ②₂淤泥质粉质粘土, ②₃粉砂, ③₁粉质粘土夹粉砂, ④₁粉细砂。

1.2 水文地质情况

南京市纬三路过江通道所在区域气候湿润, 雨量充沛。冻结加固期间处在雨期, 降水对区域地下水的形成和补给起了重要的作用。据区域资料以及勘察成果, 根据含水层的岩性、埋藏条件和地下水赋存条件、水力特征, 可分为松散岩类孔隙水和碎屑岩

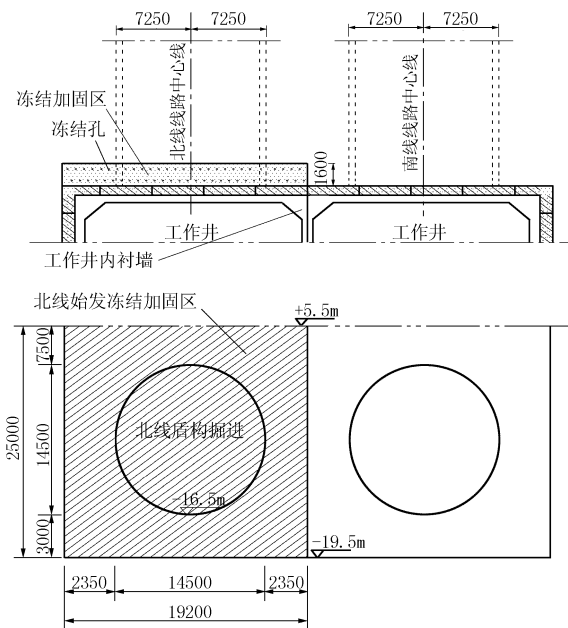


图 1 工作井端头冻结加固范围示意图

类孔隙水。松散岩类孔隙水可分为松散岩类孔隙潜水和松散岩类孔隙承压水。

盾构始发端头加固施工位于②₁、③₁层, 为粘土

收稿日期: 2012-09-28; 修回日期: 2012-12-03

作者简介: 韩晓明(1980-), 男(汉族), 江苏镇江人, 中交第二航务工程局第三工程有限公司工程师, 土木工程专业, 从事桥梁与盾构施工项目管理, 江苏省镇江市运河路90号, 690112228@qq.com; 唐晓鹏(1984-), 男(汉族), 江苏扬州人, 中交第二航务工程局第三工程有限公司助理工程师, 路桥专业, 从事隧道施工与管理; 季玉国(1963-), 男(汉族), 安徽阜阳人, 上海建通工程建设有限公司高级工程师, 探矿工程专业, 从事隧道工程与地下岩土工程技术管理工作, 上海市淮海西路18号申通信息广场6F。

层,地层中含有孔隙潜水。下一层地层为④₁粉砂层,该层含有孔隙承压水。积极冻结时不可以进行承压水降水作业,以减少地下水流动对冻结的影响。

2 冻结加固设计

工程为盾构始发冻结加固,属于既要求承载,又要求止水的类型。盾构始发端头 18 m 范围已经使用三轴水泥搅拌桩进行了土体加固(冻结区域也进行了加固),水泥土加固提高土体强度,提供必要的承载力,冻结土体起到止水的作用。

2.1 施工设计指标

- (1) 冻结壁厚度 1.6 m, 宽度 19.2 m, 深 25 m;
- (2) 冻结孔 49 个(冻结孔布置见图 2), 冻结孔总长度 1225 m;
- (3) 冻土平均温度: $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$
- (4) 盐水温度: $-25\sim-30\text{ }^{\circ}\text{C}$

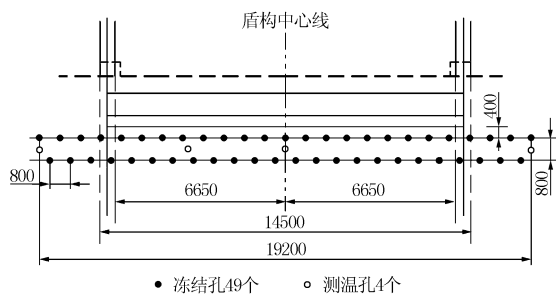


图 2 盾构始发段冻结孔布置示意图

2.2 盾构始发冻结加固条件

- (1) 冻结壁厚度 $\geq 1.6\text{ m}$;
- (2) 冻土平均温度 $\leq -10\text{ }^{\circ}\text{C}$
- (3) 洞门周边水平探孔温度 $\leq -2\text{ }^{\circ}\text{C}$
- (4) 盐水取回温差 $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$

2.3 冻结壁荷载计算

始发端头土体已进行了加固,荷载主要由搅拌桩加固体承担,冻结帷幕不进行受力计算。冻结帷幕的作用是封堵土体和结构间隙的涌水。为此,要求冻结壁必须有一定的厚度及较低的平均温度。

计算出洞口冻结加固体承受的荷载,为安全起见,计算模型采用最深处 22.239 m,如此工况计算满足设计要求,则其他工况均应满足。图 3 为冻土加固体荷载计算模型。

应用重液理论计算水土压力,其出洞口的水土压力为:

$$P = 0.013H$$

式中: P ——计算点的水土压力,MPa; H ——计算点深度,m。

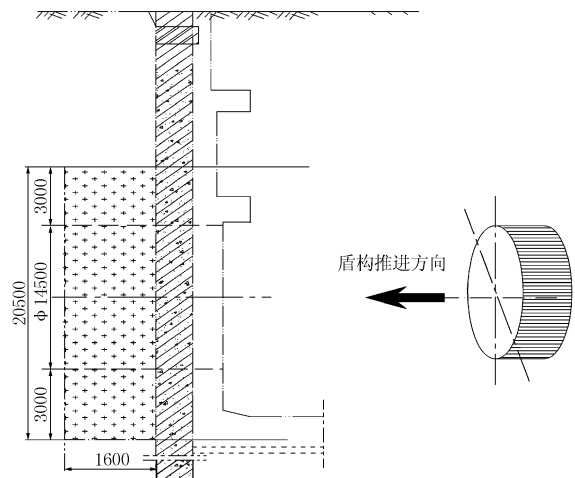


图 3 冻土加固体荷载计算模型示意图

盾构开挖隧道洞门处底标高为 -16.439 m ,工作井地面标高为 $+5.8\text{ m}$,洞门的底缘深度为 22.239 m 。则计算得到水土压力为:

$$P \approx 0.289\text{ MPa}$$

2.4 冻结壁周边抗剪计算

盾构出洞处主要地层为②₂淤泥质粉质粘土、③₁粉质粘土,参考南京市长江江边冻土试验报告数据,取粉质粘土对应冻土单轴抗压强度为 3.8 MPa ,冻土弹性模量为 150 MPa ,泊松比为 0.3 。

当盾构推进过程中,冻结壁由于受水、土压力的作用,沿洞口周边产生剪切作用,据此计算冻结壁厚度。

$$\begin{aligned} t &= PD/4h \\ &= (0.289 \times 14.5) / (4 \times 1.6) \\ &= 0.655\text{ MPa} < 1.8\text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{安全系数 } K = 1.8 / 0.655 = 2.7$$

2.5 总需冷量计算

冻结需冷量计算如下:

$$Q = \pi dHK$$

式中: H ——冻结总长度,1225 m; d ——冻结管直径,127 mm; K ——冻结管散热系数,260 kcal/($\text{m}^2 \cdot \text{h}$)。

则冻结加固时需冷量为: $12.7 \times 10^4\text{ kcal/h}$ 。

3 施工部署

3.1 氟循环系统设计

- (1) 冻结管选用 $\text{O}127\text{ mm} \times 4.5\text{ mm}$ 无缝钢管;
- (2) 冻结期盐水温度为 $-25\sim-30\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- (3) 盐水密度 1.26 kg/L^3 ;
- (4) 冻结管内盐水流量 $5\text{ m}^3/\text{h}$;
- (5) 冻结管散热能力为 $260\text{ kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;
- (6) 冷量损失系数为 1.2 。

3.2 盐水循环系统设计

(1) 选用氯化钙溶液,氯化钙用量(80%晶体)约15 t。

(2) 盐水干管、集配液圈选型: $\text{Ø}159 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 焊管加工制作。

(3) 分支选用 $\text{Ø}48 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$ 焊管加工制作,并采用橡胶软管串联。

(4) 盐水泵选用2台 IS150-125-315 型离心式水泵(其中1台备用),流量 $200 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

3.3 冷冻水循环系统设计

(1) 清水管选型: $\text{Ø}159 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 焊管加工制作。

(2) 选用 8 m^3 清水箱1个。

(3) 新鲜水补充量 $20 \text{ m}^3/\text{h}$

(4) 选用2台 IS150-125-315 型离心式水泵,流量 $200 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

(5) 选用 KST-80 型冷却塔4台。

3.4 用电负荷

总用电负荷最高峰约400 kW。在考虑线路电压损失较大的情况下,选用2根 120 mm^2 高压电缆,从高压配电柜接至箱变位置。

4 施工方法

4.1 施工工艺流程(图4)

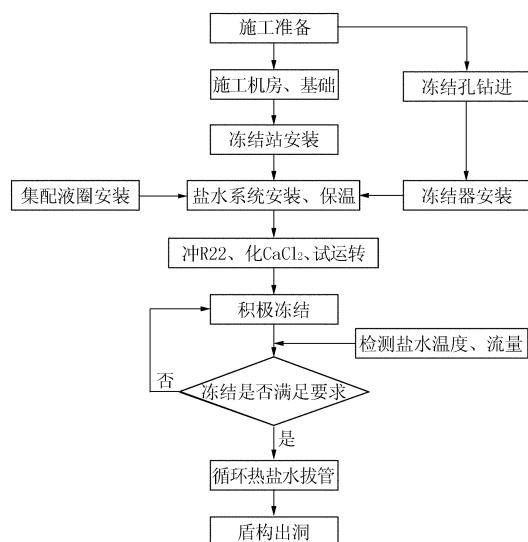


图4 冻结施工流程图

4.2 钻孔与下管工作

冻结管、测温管和供液管规格:冻结管选用 $\text{Ø}127 \text{ mm} \times 4.5 \text{ mm}$, 20 低碳钢无缝钢管,采用坡口焊接连接;供液管采用 1.5 in ($\text{Ø}38.1 \text{ mm}$) 焊管;测温管采用 1.5 in 焊管。钻孔选用 XY-2 型钻机 2

台,钻孔使用灯光测斜。正常钻进时用三翼钻头钻进。为了保证钻孔精度,钻进前5 m 钻孔时,要反复校核钻杆垂直度、调整钻机位置,并采用减压钻进。

4.3 测斜与测漏工作

下好冻结管后,采用经纬仪灯光测斜法测斜,钻孔的偏斜率控制在0.5%以内,若超过此数值则在相邻位置重新钻孔下管。

为了保证冻结管的密封效果,测斜工作完毕后需进行测漏工作:先向冻结管里加水(水面距管口10 cm左右),然后密闭焊接带有阀门和压力表的测漏管,并通过阀门向冻结管内打气加压至1.0~1.2 MPa,20 min后气压稳定则为密封合格,如果气压不合格时需拔出该冻结管,进行重新焊接、下管、测漏工作,直至密封性达标。

4.4 管路保温

盐水管路经试漏、清洗后用保温板或棉絮保温,厚度 $\leq 30 \text{ mm}$,保温层的外面用塑料薄膜包扎。集配液圈与冻结管的连接用高压胶管,每组冻结管的进出口各装阀门一个,以便控制流量。

冷冻机组的蒸发器及低温管路用棉絮保温,盐水箱和盐水管用50 mm厚的保温板或棉絮保温。

4.5 积极冻结

通过测温孔观测,初步确定冻土墙交圈情况;如果可以确定已经交圈,此时启用水平检测孔进行探孔检测。

通过探孔观测,判断冻土墙的冻结效果。

冻结35天后,开始凿除槽壁,至一半的厚度时,在洞门上有分布的打若干探孔,以判断冻土与槽壁的胶结情况。探孔深度应进入连续墙冻土内10~15 cm。然后,采用测温仪进行量测,要求各探孔实测温度必须低于 $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ 。当通过探孔实测温度与水平测温孔实测温度判断冻土墙与槽壁完全可靠胶结方可全部凿除。

4.6 拔管施工

在盾构出洞之前,所有位于盾构推出轮廓内的冻结管需拔离盾构上部外壳0.3 m,然后再进行二次冻结。待所有冻结管全部拔完后,即可恢复冻结,24 h可全部完成。拔管范围见图5。

4.7 盾构出洞的条件

冻结时间根据计算设计进行控制,并根据现场实际检测情况满足后可以出洞。盾构在出洞之前,必须具备表1条件。

盾构穿越冻结区保证措施:

(1) 冻土墙解冻要适量,控制平均温度在 $-1 \sim$

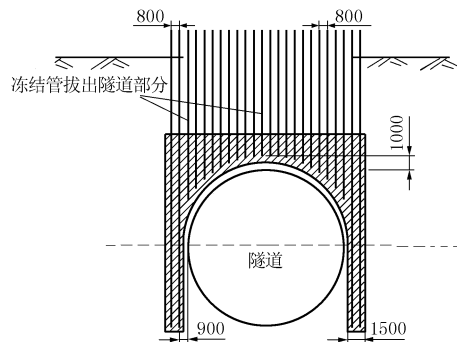


图5 第一次拔管后冻结管剖面示意图

表1 盾构出洞条件

序号	内容	指标
1	冻土墙厚度	≥ 1.6 m
2	冻土的平均温度	-10 °C
3	各探孔温度	≤ -2 °C
4	盐水温度	-28 °C
5	盐水去回路温差	≤ 2 °C

-2 °C之间,强度为3.8 MPa。

(2)保证冻结孔的充填质量,以防沉降。

(3)盾构在穿越冻结区时,不宜停留,在拼装管片及故障时,每隔10~15 min将刀盘转动3~5 min,以防刀盘被冻死。

5 冻胀与融沉措施

5.1 冻胀对周围环境影响的控制

土层冻胀主要是地层中孔隙水结冰膨胀引起的,冻胀量的大小与土层力学特性、约束条件、冻结速度、土层含水量及水分迁移的多少有关,水变冰的体积膨胀量约9%,而土体膨胀量一般为3%~4%,依据南京地区施工经验,在浅土层进行冻结时易产生较大的冻胀量。

冻土产生的冻胀压力与冻土的平均冻胀率及周围土性的弹性模量、泊松比有关。由于冻结区域是开放式的,槽壁为C30钢筋砼,根据大连路盾构出

洞、复兴东路盾构出洞及上中路越江隧道盾构出洞冻结加固工程监测结果,现场实测的冻胀力 >0.59 MPa,不会对槽壁产生较大影响,故本冻结工程中不需要采取缓释冻胀力的措施。

5.2 融沉控制

融沉主要是冻土融化时排水固结引起的,其沉降量与融层厚度、融层土的特性有关。冻土融化后,可在隧道内进行适当的跟踪注浆,减小冻结对周围环境的影响。确保孔内充填密实,在冻结管拔出的同时在孔内灌注黄砂。融沉注浆技术要求:

(1)融沉注浆应配合测温孔测温及地面监测数据进行。

(2)注浆压力 >0.5 MPa,并根据注浆压力情况进行调整。

(3)当一天隧道沉降 >0.5 mm,或累计隧道沉降 >1.0 mm时,应进行融沉补偿注浆;当隧道隆起达到2.0 mm时应暂停注浆。

6 结语

南京市纬三路过江通道盾构始发段,通过先采取三轴水泥搅拌桩加固,然后进行垂直冻结相结合的方法,有效防范了施工风险,盾构顺利出洞穿越冻结区,确保了盾构始发的施工安全。

参考文献:

- [1] 张智博.南京长江隧道大型泥水盾构施工风险分析及对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(6):65-69.
- [2] 代洪波.南京长江隧道到达井基坑降水设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(10):77-79.
- [3] 代洪波,赵誉.南京长江隧道盾构管片预制生产技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(1):80-84.
- [4] 李江海.冻结法加固土层在盾构出洞中的应用[J].黑龙江交通科技,2008,(5).
- [5] 陈裕康,何立军.南京地铁试验段联络通道及排水泵房冻结加固施工技术与分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(9):70-75.

内蒙古圈定60余处大中型找矿远景区

《国土资源报》消息(2012-12-11) 中国科学院院士翟裕生指导、内蒙古自治区地质调查院和中国地质大学共同承担,历时三年完成的《内蒙古自治区大矿富矿成矿系统及找矿预测研究》日前通过专家评审。

该成果首次在内蒙古6个金属矿产成矿带内,划分了18个金属矿产主要成矿系统,圈定主要金属矿产大中型矿床找矿远景区60余处,发现和圈定了多条铅锌银工业矿体,矿床规模已达中型,远景可达大型。

该项目对区内具代表性的40余处大中型矿床及中小型

富矿床进行了野外调查、取样,综合异常查证、岩矿石测试分析,获得了一批有价值的新数据和具有重要找矿指示意义的新矿物,编制了自治区主要金属矿产成矿系统划分图及成矿预测图等一系列图件。提出了形成大矿富矿的主要原因,圈定了区内大型矿床勘查靶区。

该项目对锡盟阿巴嘎旗某地区银铅锌铜化探综合异常进行查证和靶区深部钻探验证,发现和圈定了多条铅锌银工业矿体。通过普查,初步估算资源储量:铅+锌金属量20万吨,银金属量300t,矿床规模已达中型,远景可达大型。