

# 富水砂层双螺旋土压平衡盾构施工技术

王兴利

中国电建市政建设集团有限公司

**摘要:** 哈尔滨地铁2号线中区间紧邻松花江,地下水与江水连通,地下水位高,受松花江水位影响大,是典型的富水砂层。周边建筑物密集,历史悠久,结构基础设计形式多为筏板基础,且地表管线众多,对沉降影响敏感。土压平衡盾构在富水砂层中施工,普遍存在渣土改良困难、平衡模式难以建立、出渣量不受控、容易产生喷涌、易扰动地层引起地表沉降等一系列问题,施工难度及风险高。

**关键词:** 富水砂层;双螺旋土压平衡盾构机;地表沉降;喷涌

## 引言

富水砂层中盾构掘进,地层稳定性差,容易被盾构刀盘切削扰动发生坍塌。在砂层中容易出现涌水和流砂现象,从而引起开挖面失稳和地表沉降。在盾构掘进过程中,当水量很大时,还易直接造成螺旋输送机出口喷涌,因此做好渣土改良工作,实现土压动态平衡与同步、二次注浆的及时跟进显得尤为重要。

## 一、工程概况

人民广场站~中央大街站区间为单洞单线双线隧道,起自人民广场站,沿经纬街敷设,终至中央大街站,左线全长759.45m,右线全长701.587m。本区间盾构施工安排2台盾构机,即由辽宁三三工业生产的新盾构机。区间穿过地层主要为中砂、粉质黏土以及砾砂层。

## 二、盾构机配置

### (一) 刀盘及刀具配置

刀盘采用面板布置方式,结构采用Q690特种钢板制作,刀盘的防磨损保护是通过在整个刀盘包裹特种耐磨合金钢板。刀具布置间距为88.9mm,中心刀类型为中心鱼尾刀1把,刮刀配置80把,周边刮刀16把,仿形刀2把,撕裂刀65把。其中刮刀设置高差89mm,撕裂刀为210mm。

### (二) 渣土改良系统

#### (1) 膨润土系统

膨润土系统分为两部分,一部分为拌合系统,一部分为注入系统。拌合系统在地面,主要进行膨润土浆液的拌合与发酵存储,拌合发酵完成后通过管道泵送到盾构机的膨润土存储罐里。

#### (2) 泡沫系统

泡沫剂注入泵配备有2个挤压泵,分别对泡沫剂原液、水进行泵送,泡沫剂与水先经混合箱进行混合,后接泡沫发生器与比例阀,对发泡效果进行控制。在刀盘上设计有7个分别独立控制的渣土改良喷嘴,用于对刀盘中心及各个容易结泥饼部位的冲洗和清理。土舱内配置6个渣土改良注入口,螺旋输送机沿轴向均布4个渣土改良注入口,保证渣土从被刀盘切削下来直到排出均得到有效改良,并且有效降低、防止螺旋输送机卡死的情况。

### (三) 双螺旋输送机系统

第一节螺旋输送机从土舱中输送渣土经出碴口直接进入第二节螺旋输送机,然后输送到皮带机系统,各设置一道闸门。渣土经过第二节螺旋输送机的输送压力降低为零,同时小角度的皮带机也降低落碴的可能。螺旋输送机工作转速为0~22 rpm,转速可调和可逆。螺旋输送机的公称外径为914mm,可通过的最大块石直径为325mm。在22 rpm的速度下,螺旋输送机的最大排渣量可达430m<sup>3</sup>/h。辽宁三三品牌盾构机设计双螺旋输送机采用后方出渣模式,这样可以有效控制喷涌事故发生。

## 三、渣土改良与喷涌预防

### (一) 渣土改良

根据本线路地质情况,粉质黏土推进阶段泡沫剂添加率为20~35%。泡沫组成:90~95%压缩空气和5~10%泡沫溶液;

泡沫溶液的组成为泡沫添加剂2~3%、水95~98%。本区级隧道所用泡沫剂黏度不低于0.1Pa·s。

富水砂层推进阶段采用膨润土,膨润土泥浆配合比为水:膨润土:外加剂=10:1:0.2,膨润土为优质的钠基膨润土,外加剂为碱、CMC及超流化剂DAV等,泥浆坍落度控制在20cm以内。

### (二) 喷涌预防

通过渣土改良降低土仓内水含量,经由独立的渣土改良系统注入土仓,渣土在膨润土浆液的吸附和隔离作用下变得黏稠不易离析沉淀,不会砂水分离,螺旋机排土时便会均匀流畅。掘进过程中,根据螺旋机实际压力、刀盘扭矩和千斤顶总推力及时调整设定土压力,使土仓压力略高于水压,满仓掘进顶部压力大于理论值0.2~0.3bar,确保正面的土压保持平衡,严格控制出土量,防止超挖和欠挖。

盾构机操作人员主要通过推力及出渣速度的控制,尽量维持土仓压力的稳定,降低喷涌风险。出渣门开度、螺旋机转速适中,不宜过大,在喷涌来临时,受出渣门流量影响,泥浆会在出渣口处积累而不会瞬间全喷,延长操作人员的反应时间,以便采取措施降低喷涌风险。

## 四、同步注浆及二次注浆

### (一) 同步注浆

盾构机的刀盘开挖直径为6280mm,管片外径为6000mm,当管片在盾尾处安装完成后,盾构机向前推进,管片与土层之间形成14cm的建筑间隙时,及时采用浆液材料填充此环形间隙,有利于防止和减少地层变形,提高结构的稳定性。

### (二) 二次注浆

在脱出盾尾2~3环时,注入水玻璃溶液(水:水玻璃=1:2)30~40kg,以控制富水砂层中管片的上浮问题。在脱出盾尾5~6环时,注入水泥与水玻璃双液浆约2方。每10~15环施作环箍,进行封环,以确保管片拼装质量与地表、管线无沉降。

## 五、监控量测

根据设计要求,在施工过程中需要进行监测的项目有:土体变形监测,如地表隆陷、建筑物监测、房屋沉降与倾斜、地下管线沉降等;围岩与隧道结构相互作用监测,如隧道管片变形、管片应力、拱顶沉降、隧道收敛等。

## 结语

综合分析富水砂层的特征和水位变化情况,从土体的地层岩性、地质结构及其物理力学性能的角度,总结出富水砂层分布与水位变化规律,对富水砂层形成较清晰的认识。在富水砂层掘进过程中,合理分析与选择盾构掘进参数、加强渣土改良、优化同步注浆及时二次注浆,根据监测数据,及时调整掘进参数,确保地表沉降符合设计要求。

盾构机配置的双螺旋输送机及皮带机系统,有效地控制了盾构机渣土的喷涌,刀盘布置及刀具配置有效保证了本标段盾构掘进施工进度。独立的渣土改良系统保证渣土从被刀盘切削下来直到排出均得到有效改良,并且有效降低、防止螺旋输送机卡死情况的发生。采用土压平衡掘进模式,在哈尔滨地铁2号线地质条件下,盾构机掘进引起的地面沉降得到了良好的控制,降低了盾构施工风险,保证了盾构施工沿线周边居民及施工人员的安全,并为类似地质条件下的地铁施工盾构机选型提供了借鉴与参考。

## 参考文献

- [1] 张成. 双螺旋输送机与喷涌的有效预防和处理[J]. 都市轨道交通, 2009年03期.
- [2] 郭胜忠. 全断面砂砾地层盾构法施工土体改良技术[J]. 都市轨道交通, 2011年02期.