

# 富水砂层中盾构掘进施工技术

刘康

中国电建市政建设集团有限公司

**摘要:** 哈尔滨地铁2号线土建设工六标人中间盾构隧道工程, 穿过地层为典型的富水砂层。实际监测数据与施工参数表明, 在富水砂层中采用土压平衡式盾构掘进做到了安全平稳地通过管线与建筑物, 地表沉降控制良好。

**关键词:** 富水砂层; 土压平衡式盾构掘进; 同步注浆; 渣土改良; 喷涌控制

## 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口喷涌。

## 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, 区间线路起自人民广场站大里程端, 然后沿经纬街敷设, 终至中央大街站小里程端。本区间隧道右线全长701.587m; 左线全长759.45m。本段区间全线敷设于地下, 采用盾构法施工, 左、右线均为6m外径圆断面隧道。

### (一) 掘进参数

#### (1) 土仓压力

土仓压力控制在2.0bar左右, 使土仓压力略高于地层理论压力0.2~0.3bar, 保证满仓掘进, 并根据掘进过程中的施工情况及地面监测情况进行及时调整。

#### (2) 千斤顶推力

试掘进段确定推力应考虑管片承受力, 最大推力不应大于8000kN。正式掘进中, 推力控制在20000kN~24000kN之间。

#### (3) 刀盘转速

进洞阶段的转速为1.0~1.3r/min, 穿过加固区后转速调整为1.3~1.7r/min, 正常掘进阶段转速为1.5~1.9r/min。

#### (4) 刀盘扭矩

始发时刀盘扭矩宜为700~1200kNm。正常掘进时, 考虑到砂层中极大的摩擦力, 刀盘扭矩宜为3500~4000kNm。

#### (5) 掘进速度

根据土质、扭矩、推力和土仓压力等综合确定, 始发段一般 $V=15\sim 25\text{mm}/\text{min}$ 。正常掘进时控制在 $V=25\sim 60\text{mm}/\text{min}$ 。

## 二、渣土改良

### (一) 渣土改良设备

#### (1) 膨润土系统

整个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) 泡沫剂注入系统

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。泡沫剂注入系统共有注射管道8根, 其中1根配置在螺旋机处, 在掘进过程中将改良剂注射到掌子面, 再通过刀盘的继续旋转带动搅拌土仓内渣土, 使改良剂与渣土进一步混合。在掘进过程中, 还需根据出渣情况对泡沫剂比例进行适当调节。

### (二) 富水砂层掘进中渣土改良需要解决的问题

(1) 提高土仓内渣土的抗渗透能力, 避免掌子面因排水固结而造成较大的地表沉降或坍塌事故发生。

(2) 降低土仓内渣土以及掌子面土体的内摩擦角, 减少渣土对刀盘刀具的磨损, 降低刀盘扭矩。

(3) 提高土仓内渣土的可塑性, 防止渣土粘附在刀盘上结成泥饼。

(4) 由于砂层密水性差, 掘进停机后, 土仓内砂土易离析、沉淀、密实, 使刀盘再次启动时扭矩大, 启动困难, 对盾构机设备损害大。

(5) 采用土压平衡模式掘进时, 会因渣土密水性差而产生喷涌现象。

(6) 渣土和易性差, 螺旋机出渣不畅, 导致掘进速度慢, 掘进参数不易控制。

### (三) 渣土改良剂

#### (1) 纳基膨润土

根据富水砂层掘进中渣土改良所面临的问题, 在哈尔滨地铁2号线六标段的盾构施工中, 采用了天然钠基膨润土浆液作为渣土改良剂, 取得了良好的渣土改良效果。

第一, 保证渣土和添加介质充分拌合, 以保证形成不透水流塑性的渣土, 从而建立良好的土压平衡机理, 只有渣土改良效果好, 才能从根本上控制掘进过程中地表的沉降问题, 同时提高掘进效率, 以保证预定的施工进度目标;

第二, 使砂层具有流塑性和较低的透水性, 形成较好的土压平衡效果, 稳定开挖面, 控制地表沉降;

第三, 改善砂层的流塑性, 使切削下来的渣土顺利快速进入土仓, 并利于螺旋输机顺利排土;

第四, 改善砂层土的流动性和减少其内摩擦角, 有效降低刀盘扭矩、降低对刀具和螺旋输送机的磨损、降低掘进切削时的摩擦发热, 提高掘进效率。

### 三、喷涌预防

#### (一) 防喷涌装置

工程采用辽宁三三厂家生产的双螺旋土压平衡盾构机, 形成土塞效果好, 螺旋机设置前置闸门一道, 当喷涌发生时, 可及时退出螺旋机, 关闭前闸门, 密闭土仓; 设置出渣闸门两道, 可起到有效控制出渣速度的作用; 另加设泵出渣闸门一道, 当出现涌水涌砂时, 打开闸门, 并采用泥浆泵进行出渣。

#### (二) 控制措施

(1) 渣土改良是防止喷涌的关键。通过渣土改良降低土仓内水含量, 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, 根据实验初步采用水泥180kg、沙子760kg、粉煤灰350kg、膨润土60kg、水540kg的比例进行配置, 取得了较为理想的渣土改良效果。

(2) 合理设置土压力值。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。

(3) 合理调整掘进参数。盾构机操作人员主要通过推力和出渣速度的控制, 尽量维持土仓压力的稳定, 降低喷涌风险。

(4) 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、沉降控制

#### (一) 同步注浆

同步注浆与盾构掘进同时进行, 通过同步注浆系统及盾尾内置的4根注浆管, 同步注浆与盾尾空隙形成在瞬间产生, 从而使周围土体获得及时支撑, 可有效地防止土体的坍塌, 控制地表的沉降。

考虑到本区间盾构洞身穿过地层主要为细砂、中砂、粉质黏土层, 渗透系数较大, 浆液极易渗透到土体当中且注浆过程中产生部分损耗, 最后将注浆量控制在 $8\text{m}^3$ 以上。

#### (二) 二次注浆

在脱出盾尾2~3环时, 注入水与水玻璃(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1~2方/3环。每10~15环施作环箍, 进行环向封堵, 以起到有效止水效果, 确保管片拼装质量、隧道内无渗漏、地表无沉降、建筑物与管线安全。

### 结语

哈尔滨地铁2号线人民广场站~中央大街站盾构区间富水砂层的安全掘进, 避免了涌水、涌砂、喷涌、地层沉降的危险, 其中, 土压平衡式的盾构掘进方式、良好的渣土改良与及时跟进的同步注浆、二次注浆起到了至关重要的作用, 并对其他城市的富水砂层盾构掘进起到借鉴意义, 提供了解决富水砂层掘进问题的范本。

### 参考文献

[1] 韦玮. 浅谈富水砂层盾构施工控制措施[J]. 现代城市轨道交通, 2018(11): 49-53.