

# 城市轨道交通隧道盾构施工关键技术

高强

(中铁十一局集团有限公司, 湖北 武汉 430063)

**摘要** 随着目前城市轨道交通的快速发展, 盾构隧道施工变得越来越普遍, 盾构技术对环境和地面影响小、速度快且其安全性也要高出其他技术很多, 盾构技术的机械化程度较大且劳动强度低, 在城市轨道交通的应用上存在其自身价值。因此如何控制隧道盾构施工质量, 对于保证城市轨道交通安全运行具有重要的保障作用。

**关键词** 城市轨道交通 盾构施工 监测数据

中图分类号: U45

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)02-0001-03

## 1 城轨施工中盾构机选型概述

### 1.1 影响盾构机选型的不利因素

1. 建筑物与地下设施。在城轨工程施工中, 盾构机需要穿越重要房屋、构筑物与地下管线等设施, 如水泥灌注桩、雨污水管等, 如果盾构机选型不当, 容易出现土体流失、土压力过低、漏水漏砂和出土量过大等问题, 存在施工质量隐患, 并加大了盾构机掘进难度。在这一工程背景下, 一方面, 需要做好施工监测与地质勘察作业, 提前掌握施工现场地质结构与地层情况, 合理制定盾构机掘进方案。另一方面, 应根据穿过地段地质条件与障碍物分布情况, 合理选择盾构机中的刀盘形式与刀具配置方式, 可尽量减轻刀具磨损程度。

2. 区间埋深与隧道直径。根据实际施工情况来看, 在不同城轨工程中, 由于各区间埋深情况与隧道直径参数存在明显差异, 对盾构机设备的规格型号与性能有着特殊要求。因此, 在制定盾构机选型方案时, 工作人员必须重点考虑这一问题。例如, 在深圳城轨7号线工程中, 为满足实际的施工需要, 根据工程现场地质条件、区间埋深变化情况与隧道直径, 定制一款新型的土压平衡式盾构机, 将其命名为“雄风1号”。该盾构机开挖直径为6.28m, 主机重量超过500t, 将雄风1号盾构机用于开展北环大道与龙珠大道交叉口北侧的城轨7号线7302标段的深云站始发掘进作业。

3. 地层渗水系数。在制定盾构机选型方案时, 应将地层渗水系数作为重要的衡量指标, 正确掌握地层渗透性和盾构机选型二者关系, 确保所配置盾构机设备可以有效适应城轨区间地层中的土压平衡环境。例如, 在地层透水系数不超过 $10^{-7}$ m/s时, 优先配置土压平衡式盾构机。在地层透水系数超过 $10^{-4}$ m/s时, 优先配置泥水式平衡盾构机。而在地层透水系数保持在 $10^{-$

$7$ m/s~ $10^{-4}$ m/s时, 可以配置泥水平衡盾构机或是土压平衡盾构机。

### 1.2 盾构机选型原则

(1) 适用性原则。要求所配置盾构机设备满足各项性能指标要求, 并具备到头易于更换、配备气压舱、具备铰接系统、独立存在加泥与加泡沫系统等使用功能。同时, 根据工程设计要求与现场地质情况, 对盾构机结构体系与功能模块进行优化调整。(2) 技术先进性原则。在多个种类盾构机的使用性能均满足实际施工需要与设计要求的的前提下, 需要从技术先进、可操作性、刀头使用寿命等维度进行综合评分, 从中配置综合评分最高的盾构机, 以此提高城轨施工水准, 为工程质量提供保障。(3) 经济合理性原则。为控制工程造价成本, 避免产生不必要的成本支出, 在确保盾构机设备使用性能达标的前提下, 可以选择配置现有的盾构机设备, 而非新购盾构机。

### 1.3 盾构机类型比选

在部分城轨工程中, 具备配置多种类盾构机设备的基础条件, 如何从中选择最佳种类的盾构机, 则是盾构机选型工作的重点。在这一工程背景下, 应从施工技术、经济效益等方面进行比较分析。例如, 在北京城轨四号、五号、十号线工程中, 同时具备配置泥水式盾构机与加泥式土压平衡盾构机的条件, 工作人员从经济技术方面对两种机型进行比较分析, 比较项目包括适用地层、止水性、方向控制、排土设备、开挖效率、综合造价、配套设备、大源石处理等。最终, 选择配置加泥式土压平衡盾构机。

### 1.4 盾构机关键功能的选择

在多数城轨工程中, 要求盾构机在一般性功能外, 还要具有以下使用功能: (1) 刀头易于更换。采取螺

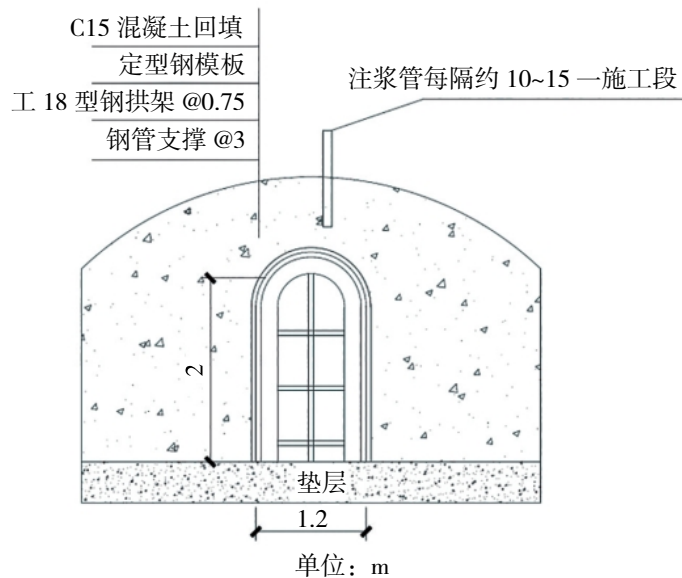


图 1 城轨隧道施工剖面图

栓连接方式来固定连接刀盘外侧分布的刀头,要求盾构机在开舱 8h 内完成刀头更换作业。同时,具备滚刀与刮刀互换功能,在盾构机穿越岩层等特殊地层时,可以直接互换滚刀与刮刀,无须开舱开展更换刀头作业。(2) 配备气压舱。考虑到地下作业环境较为复杂,应在盾构机结构中配备气压舱。(3) 螺栓连接。为提高设备组装调试速度,预防和减少设备故障问题的出现,优先配置采取分割设计理念制造的盾构机,将盾体结构分割为若干部件,通过螺栓连接方式,将若干部件连接组装为整体性的盾体结构。

## 2 工程概况

某城轨区间工程北侧主通道 1 宽度约 2.25m,采用条石衬砌,与隧道净距 5.4m,目前作为电缆通道使用;南侧主通道 3 宽度约 2.5m,采用条石衬砌,存在积水、积泥现象,与区间隧底净距 1.5~4.9m,目前出口封闭,呈废弃状态;南北连通道 2 宽度约 4.5~6.0m,均为中风化灰岩天然毛洞,20 世纪 80 年代修建停滞,衬砌未施工,积水现象严重、局部深度约 1m,顶部局部有岩石坍塌痕迹,与隧道净距 4.8~5.4m。上跨人防地道段隧道处于黏土层、强风化凝灰岩、中风化凝灰岩中,岩石饱和单轴抗压强度 28.1~61MPa,基岩裂隙水丰富。隧道采用复合式土压平衡盾构施工(见图 1)<sup>[1]</sup>。

## 3 盾构掘进参数控制

### 3.1 刀盘配置

针对复合地层和全断面岩层施工,对刀盘和刀具

进行了优化设计。刀盘为复合式,结构形式为辐条面板式,刀具可滚齿互换,整体刀盘开口率约 40%。刀具配置:中心双刃滚刀 4 把、单刃滚刀 33 把、正面齿刀 23 把、边缘齿刀 7 把、仿行齿刀 1 把、切刀 64 把、边缘刮刀 16 把、保径刀 8 把、贝壳刀 12 把。

### 3.2 优化掘进参数

为防止盾构姿态在推进过程中发生较大偏差,降低盾构机推进速度:掘进速度为 5~15mm/min,刀盘转速为 1.2r/min。根据地质情况、隧道埋深及地面监测情况进行及时调整平均土压力,控制在 0.12~0.15MPa。

### 3.3 同步注浆及二次注浆

为保证空隙有效充填,防止人防地道发生较大变形,注浆压力取值为 0.25~0.35MPa。注浆量控制在 8~10m<sup>3</sup> 环,根据实际情况调整。当注浆压力达到设定值,注浆量达到设定值的 85%,同步注浆完成 3d 后,采用探地雷达对注浆效果进行检测,针对注浆不充盈的区域进行二次注浆补强。水泥浆采用 P42.5 普通硅酸盐水泥,水灰比 1:1;水玻璃采用 42°Bé 的溶液与水按 1:1.5 进行稀释。注入时水泥浆与水玻璃体积比为 4:1。

### 3.4 监控量测

盾构推进过程中,对地表及人防地道每天不少于 2 次监测,通过监测数据来调整盾构掘进参数。对于变形速率较大处,每 4h 监测一次并及时进行二次注浆。城市轨道交通盾构法施工监测的具体内容如下。

(1) 要确定变形监测的具体内容,需考虑隧道主

体埋置的深度,以及所建设的工程的地质和环境条件特点,选择主要监测对象和具体的项目。(2)对隧道结构进行结构变形的监测,主要监测项目为隧道结构内部收敛,所使用的监测仪器是收敛计。(3)对地层进行沉降监测,针对地表、隧道、衬砌环进行沉降监测,利用的仪器是水准仪。(4)对周围环境建筑物以及地下的管道交通等进行沉降位移的监测,监测是否有水平位移、倾斜或者建筑物裂缝,所采用的监测元件以及仪器为经纬仪、全站仪以及游标卡尺。

#### 3.4.1 布设沉降监测观测点

在开展沉降监测之前,先要进行沉降基准点的选取。基准点所在位置要不在施工场地影响的范围之内,具有较高的稳定性。在沉降基准点的基础上,进一步建设水准控制网,并且确定好观测路线,这样能让监测数据更准确。(1)对于地表沉降的监测点而言,在布设的时候,首先要采用钻孔机进行地面钻孔,在钻孔到一定的深度之后,进行预制钢筋的埋设,并且利用细沙等材料进行填充,起到夯实的作用,这样能对监测点进行固定,避免其发生移动变形。(2)利用专业机器进行沉降监测标志的加工,要显著突出立尺部位。在加工过程中,也可以选择让其成为半球状,这样更加利于立尺。加工完后,要在上方进行防腐材料的涂抹,做好防腐处理工作。(3)在对地下管线的监测点进行设置时,如果有专门检查井的设置,可以在管线或者承载体上布设监测点。如果因为地质条件等因素,使管线未进行检查井的设置,而且也不具备条件开挖,就要设置间接沉降监测点,布设在地表。(4)在监测点布设的过程中,所采用的各项仪器都需要是国家批准的、正规合格的仪器。

#### 3.4.2 裂缝监测

对轨道监测来说,常见的安全隐患是管片发生裂缝现象。由于这种裂缝问题的形成原因多种多样,因此造成的危害也具有一定差异。对于大部分的裂缝类型来说,一般都是从整体上对管片产生影响,并伴随着施工进展裂缝越来越大,会对管片造成结构性损害。在监测的过程中,务必注意要对监测结果进行观察,并且需要收集每一次监测所得到的信息,将其应用到未来的发展与建设中,不断提升工程质量。

#### 3.5 监测数据处理

定期进行监测点的观测工作能够通过现场实测收集到具体的变形数据,并且利用特定软件,针对所获得的监测数据进一步开展偏差计算,同时还要保证数据的精确性,才能在数据处理系统中进行输入。对数

据库来说,要保存原始的观测数据以及计算处理后的数据。

#### 3.5.1 横向地表沉降监测结果分析

根据对横向地表沉降的实际测量数据信息进行具体分析和计算,可以得到这样的结果:对盾构机的始发端来说,由于土地所产生的压力具有不断变化的特点,无法处于平衡状态,而且隧道埋深不深,在盾构机掘进的过程中,对地表具有显著扰动,就会出现严重的地表变形现象。首先,利用盾构法施工,其所发生的地表变形与盾构机所掘进的地质环境的差别有着密切关系。如果地质条件较差,那么在盾构机掘进的时候,就会对地表造成较大的扰动,相反,就会使扰动较小。因此,导致底边具有较小幅度的沉降变形。其次,在盾构法施工过程中,对地表产生影响的范围在隧道中线轴线的5m~7m之内,中心轴线处是沉降值最大的位置<sup>[1]</sup>。

#### 3.5.2 纵向地表沉降监测结果分析

通过对纵向沉降曲线的分析得知,盾构始发端的掘进不会引起较大的地表沉降变形,而且随着掘进的不断推进,也会使土压一直处于变化的状态并且不断增大。所以对于盾构机的始发以及到达端来说,都要应用控制措施实现对地表沉降变形的有效缓解,提高底层整体的稳定性以及地层强度。

#### 3.5.3 隧道管片沉降

在开展具体的监测时,通过所得数据观察到,隧道的管片变形具有显著的上浮趋势,大概在13mm~33mm之间,进行了关于管片上浮以及盾构掘进变化的具体曲线图的绘制。通过对曲线图中监测数据的分析和处理,将隧道管片沉降概括为如下三个具有显著特征的阶段:首先,在管片安装到脱离这一时期,因为千斤顶和盾构机所带来的管片上浮,其上浮可以控制在5m空间范围内;其次,在管片脱离之后,大约5m的距离会在注浆压力不够的情况下使上浮量明显上涨,达到10mm~20mm;最后,对于后期固结时期来说,也会因为土体的固结变形和浆液渗透产生沉降现象,一般在-3mm左右。

#### 参考文献:

- [1] 刘治富. 城轨隧道盾构法施工中的地面沉降问题及处治措施[J]. 智能城市, 2021,07(02):149-150.
- [2] 李云, 刘霖. 框架桥顶进下穿施工中钢盾构框架的应力和变形监测[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2020,32(03):76-81.