

盾构大开口率刀盘在富水粉细砂层的应用研究

齐 鹏

(沈阳盾构设备工程有限公司 辽宁 沈阳 110000)

[摘 要] 通过分析工程概况和地质条件,重点研究了富水粉细砂层砂土液化的形成机理,结合土压平衡盾构法的施工要点,论证了大开口率刀盘的可行性和适应性,通过实际工程的成功应用证明了大开口率刀盘不仅适应了富水粉细砂层,而且可以大大提高了掘进速度和掘进效率。

[关键词] 大开口率;富水粉细砂;土压平衡盾构;刀盘

1. 引言

目前针对国内不同城市的多种复杂地质条件,盾构施工技术已不断成熟和完善,但是对于一些特殊地层的盾构机再制造,最大限度利用现有盾构机进行施工,降低工程成本,仍是工程单位必须面对的现实问题。本文以富水粉细砂层的盾构施工为基础,分析可液化地层盾构施工的技术风险,为盾构机的适应性改制指明了方向,通过配置新型大开口率刀盘,不仅避免了对原有复合式刀盘的破坏性改造利用,而且大大提高了盾构机的工作效率和通过风险源的能力。

2. 工程情况介绍

2.1 工程概况

北京地铁6号线二期工程新华大街站至玉带河大街站区间,线路北起新华大街北侧、滨河北路以西200m的规划环岛路口下的新华大街站,线路出站后下穿新华东街,沿滨河北路西侧的规划道路向东南敷设,到达玉带河东街北侧、滨河北路西侧的玉带河大街站。右线隧道长度1214.249m,左线隧道长度1207.876m。采用盾构法施工,覆土厚度约为7.1m~14.5m。

2.2 工程地质条件

盾构机穿越地层主要为:粉细砂④3层(局部含中粗砂夹层,偶见圆砾)及细中砂⑤层(局部含粉细砂、粉土夹层,偶见圆砾)。粉细砂中密~密实,饱和,属低压缩性土。

北运河与本段线路呈平行走向,现状水面距离本段线路最近距离约200m。本工程场区地层主要赋存两层地下水,地下水类型分别为潜水和承压水。

潜水层岩性主要为粉细砂②3层、粉细砂④3层、细中砂⑤层及圆砾⑥4层,水位标高为12.24~17.49m,水位埋深为5.0~9.1m。该层水渗透系数为 6×10^{-5} m/s,属于中等透水层,连续分布,主要接受降水入渗及侧向径流及越流补给,以侧向径流或越流方式排泄。承压水层岩性为细中砂⑦层,水头标高为5.17~9.49m,水头埋深为12.3~17.3m。该层水渗透系数 1.2×10^{-4} m/s,属于强透水层,连续分布。含水层主要接受侧向径流及越流补给,以侧向径流和人工开采的方式排泄。该地层存在液化的风险,对盾构施工影响很大。

3. 富水粉细砂层的盾构施工难点

3.1 砂土液化的形成机理

从原则上讲,饱和砂土在地震、动荷载或其外力作用下,受到强烈振动而丧失抗剪强度,使砂粒处于悬浮状态,致使地基失效的作用或现象为砂土液化。

研究表明,饱和状态的砂土,在承受一定强度的振动作用时,会由原来结构稳定状态向类似粘滞液状态变化。砂土液化的外观现象之一是喷砂冒水、喷砂点有的成群,有的成带。喷出的砂堆直径大到数米至十几米,小到仅数厘米。

像地震这样剧烈的动荷载,很容易引起砂土液化,而且波及范围广,破坏严重。

3.2 盾构施工的砂土液化问题

饱和粉细砂在浅埋深情况下为液化形成提供了条件,盾构施工中刀盘转动、开挖面土压力、地层对盾体和管片的作用力及盾尾回填注浆压力等为液化形成提供了动荷载条件。当孔隙体积减小,导致孔隙水压力上升到等于上覆压力时,抗剪强度丧失,粉细砂转变为流体状态,因而产生振动液化流动现象。

盾构作业周期性特点引起的饱和粉细砂地层发生区域性液化,尽管液化范围、规模、影响力比起地震砂土液化要小的多,但是液化带来的破坏作用对地铁隧道工程的影响会非常巨大,甚至会导致灾难性后果。

(1) 盾尾和螺旋输送机后仓门突水、涌砂。盾构推进过程中砂层受振动孔隙水压力增大,造成喷涌。

(2) 刀盘扭矩增大,出土量难以控制,容易出现超挖引起的地面沉降,甚至塌方。

(3) 注浆压力增大,盾尾和管片背部注浆困难。由于受地层液化影响,盾尾间隙形成的同时,会被孔隙水填充,注浆困难。

4. 盾构机大开口率刀盘的可行性研究

从以往实际经验来看,如果充分利用土压平衡盾构机快速掘进的特点,并通过有效的土体改良措施,完全可以实现土压平衡的安全控制。因此,快速穿过富水粉细砂层、减少盾构刀盘对土体的扰动是选择大开口率刀盘施工的关键所在。

4.1 大开口率刀盘应对砂土液化地层的优势

除了广州深圳等地的复合地层,大开口率的刀盘在土层、砂层以及圆砾等地层中应用效果比复合式刀盘要好。

(1) 开挖面土压与密封舱内土压相等,土压平衡易于控制,可有效应对超挖导致的地面沉降、塌方等。

(2) 刀盘负荷和扭矩小,减少盾构周期性振动为液化提供动荷载的影响。

(3) 砂土流进阻力小,掘进速度快,减少长期的周期性动荷载作用。

(4) 与辐板式相比,中心不易结泥饼,而泥饼可导致扭矩升高,增加对地层的周期性扰动。

因此,大开口率刀盘具备了振动荷载小和开挖能力强的优势,并且能够快速掘

进,对安全通过粉细砂层是有利的。

本工程采用的刀盘开口率为54%,中心刀盘72.3%。刀盘安装有超前撕裂刀和刮刀,能够适应软土、粉细砂、中砂等地层。为提高刀具的使用寿命,在刀盘边缘,同一轨迹上布置2-4把刀,降低换刀频率。

4.2 螺旋输送机出土速率的验算

需要考虑螺旋输送机平衡土压的能力,根据输送机的螺距、转速、直径等计算输送量,按照100%容积输送量的计算公式如下:

$$Q = (D^2 - d^2) (P - t) n \pi / 4$$

式中, Q为理论排出量, D为螺旋机内径800mm, d为中心轴直径180mm, P为螺距640mm, t为板厚40mm, n为螺旋机转速(最大)24r/min。

理论排土量 $Q = (800^2 - 180^2) \times (640 - 40) \times 24 \times \pi / 4 = 412.3 \text{ m}^3/\text{h}$, 而盾构机在最快掘进速度情况下,开挖下的土体流量为:

$$Q_1 = 60 \eta V D_1^2 \pi / 4$$

式中, Q_1 为最快掘进速度时出土流量, η 为土体松散系数,取值1.1, V为盾构最快掘进速度80mm/min, D_1 为盾构机开挖直径6.28m。

最快掘进速度时开挖量

$$Q_1 = 60 \times 1.1 \times 0.08 \times 6.28 \times 6.28 \times \pi / 4 = 163.5 \text{ m}^3/\text{h}$$

安全系数 $S = Q / Q_1 = 412.3 / 163.5 = 2.52$, 因此螺旋输送机的输送量完全满足要求。

4.3 同步注浆系统注浆速率的验算

同步注浆系统要在富水地层、软弱地层中及时填充或加固,大开口率刀盘使掘进速度得到提高,注浆效率也要与掘进速度相匹配。根据《GB50299-1999地下铁道工程施工及验收规范》,注浆量应控制在130%~180%,注浆量计算如下式。

$$Q = K \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot L / 4$$

Q为每掘进一环所需要的注浆量,单位 m^3 ; K取1.3~1.8; L为管片宽度,单位m; D为开挖直径,单位m; d为管片外径,单位m。

刀盘在最快掘进速度80mm/min下, $Q = (1.3 \sim 1.8) \times 3.14 \times (6.28^2 - 6.0^2) \times 1.2 / 4 = 4.21 \sim 5.83 \text{ m}^3$ 。

同步注浆时间计算如下式

$$T = S / V$$

T为同步注浆时间(即掘进一环的时间),单位h; V为掘进速度,单位mm/min; S为推进行程。

最快速度80mm/min下, $T = 1700 / 80 = 15 \text{ min} = 0.35 \text{ h}$ 。

最快掘进速度下需要注浆速度 $U = (4.21 \sim 5.83) / 0.35 = 12.02 \sim 16.65 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

盾构机配置了4个注入点,每个点设置两路,砂浆罐 7 m^3 。两个注浆泵能力 $2 \times 12 \text{ m}^3/\text{h}$,可以满足刀盘最快速度前进下,同步注浆的需要。

5. 工程实践和应用

5.1 掘进参数的选择和控制

根据该区间的地质情况,结合沉降监测情况,最终选择推力一般控制在18000kN,刀盘扭矩一般选择在2100~3200kN·m之间,最大值 $\leq 3500 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。根据整个隧道的掘进情况来看,扭矩在2600kN·m左右波动。推进速度一般在55~80mm/min之间,最大速度100mm/min。

5.2 渣土改良剂的选择和应用

在渣土改良剂的选择上,结合以往富水砂层的施工经验,泡沫剂厂家已研究出针对砂性土层的泡沫剂,主要是聚合物添加剂和泡沫原液的混合物。这类聚合物的添加不仅可以提高气泡的稳定性,还可以通过其对土颗粒的连接来降低砂性土的渗透性。

5.3 推进行程和管片拼装的控制措施

在含水量大的地层,掘进过程中推进油缸行程不超过1500mm,就开始管片拼装,再推进200mm后进行K块的拼装,这样可以有效预防盾尾涌砂现象。

5.4 同步注浆的控制措施

壁后注浆采取同步注浆和二次补充注浆两种方式,同步注浆通过同步注浆系统随掘进同时注入,二次补充注浆利用补充注浆系统在盾尾后通过管片注浆孔进行。

6. 结论

北京地铁6号线二期新华大街站~玉带河大街站区间,采用了大开口率刀盘,通过合理选择掘进参数、优化渣土改良等一系列措施,使得工程快速顺利完成,进一步为土压平衡盾构大开口率刀盘的应用积累了经验。富水粉细砂地层土压平衡盾构施工仍然具有一定的挑战性,需制定完善的施工方案,并对施工过程进行全动态管理,确保工程顺利完成。

参考文献

- [1] 李杰华, 刘国栋. 基于富水大粒径砂卵地层的盾构刀盘和螺旋机适应性设计[J]. 建筑机械, 2019(12): 84-88.
- [2] 杨志勇, 江玉生, 张晋勋. 土压平衡盾构刀盘环向开口率研究[J]. 岩土工程学报, 2018, 40(12): 2312-2317.