

泥水盾构穿越吹填土变形实测分析

梁 浩¹, 程池浩², 廖少明², 刘 靖³

(1. 上海电力设计院有限公司, 上海 200025; 2. 同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092; 3. 天津城建设计院, 天津 300073)

摘 要: 由于吹填土地层的特殊性, 在泥水盾构穿越吹填土过程中对地层易产生较大的扰动, 从而会引起较大的地层变形。结合上海轨道交通 11 号线南段的工程实例, 对此工程中不同施工工况条件下地表沉降横断面的实测数据的变化规律进行分析研究, 进而提出泥水盾构穿越吹填土的施工控制措施, 对类似工程具有重要参考价值。

关键词: 泥水盾构; 吹填土; 地表沉降; 实测分析

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2013)S2-0848-05

作者简介: 梁 浩 (1976-), 男, 高级工程师, 从事土木工程结构的设计与研究工作。Email: liangh@sepd.com.cn。

Measured deformation of dredger fill during slurry shield tunneling

LIANG Hao¹, CHENG Chi-hao², LIAO Shao-ming², LIU Jing³

(1. Shanghai electric power design institute Co., Ltd., Shanghai 200025, China; 2. Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. Tianjin

Urban Construction Design Institute, Tianjin 300073, China)

Abstract: Due to the particularity of dredger fill, slurry shield tunneling will cause large ground deformations during undercrossing dredger fill. Based on a practical example of Shanghai Metro line 11, the transverse variation curves of ground settlement under different construction conditions are analyzed. Some construction control measures are proposed for the slurry shield undercrossing dredger fill. This study may serve as reference for the similar projects.

Key words: slurry shield; dredger fill; ground settlement; field measurement

1 工程概况

盾构穿越吹填土地层时地表沉降的发展对盾构推进具有重要意义^[1], 人们对地表的沉降有较多的关注。对大直径泥水盾构穿越吹填土地层沉降问题的分析还不多见, 尤其是缺少可靠的实测数据的分析^[2]。

本文以上海轨道交通 11 号线南段工程为例, 对此工程中不同施工工况条件下地表沉降横断面的实测数据的变化规律进行了分析研究。上海市轨道交通 11 号线是贯通上海市西北地区和东南区域的主干线, 其在位于东南区域的临港新城有两个区段是地下区段, 该区段运营是单管双线地铁运营模式, 在国内尚属首次, 采用直径为 11.58 m 大直径泥水平衡盾构施工。盾构穿越的地层复杂, 施工场地区域存在厚度达 8.0~13.7 m 的②₃ 号砂质粉土, 其成因是 2002 年起大规模人工吹填而成。吹填土具有天然含水量高、渗透系数大的特点^[3], 盾构掘进过程中稍有不慎, 会导致同步浆液击穿吹填土层, 窜至地表。吹填土的存在加大了盾构开挖面稳定性控制的难度, 对大直径泥水盾构的切口水压、注浆压力控制提出了更高的要求^[4]。

为此本文选择白龙港至中间风井盾构区间地表沉

降实测数据, 同时结合各工况施工参数的变化, 对该区域地层土体的沉降变化规律展开了相关实测分析。

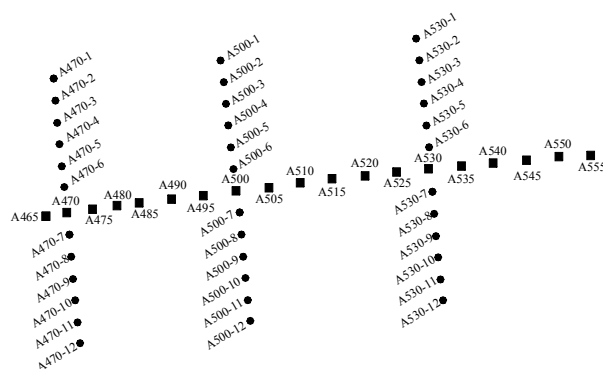


图 1 地表测点布置示意图

Fig. 1 Instrumentation layout of ground

地表监测数据取自 470 环至 550 环, 每 30 环布置一个地表横断面监测断面, 地表沿开挖轴线每 5 环布置一个地表监测点。同时, 为了严格对沿线管线和道路的保护, 沿开挖轴线方向布设非开挖测量管线一根, 布设范围为 453~603 环, 根据盾构掘进位置的不同,

分期进行测量, 第一阶段穿越过程测量范围 453~520 环, 第二阶段穿越过程测量范围 535~603 环。其地表监测点布置如图 1 和图 2 所示。

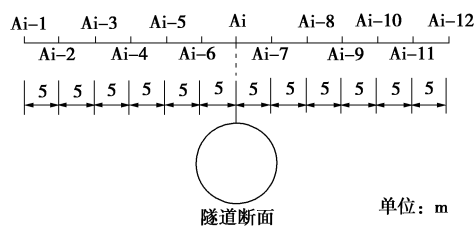


图 2 测点布置及编号示意图

Fig. 2 Layout and numbering of measuring points

2 施工阶段地表沉降横断面分布规律

2.1 切口到达前各横断面分布规律

由图 3 所示, 地表横向沉降槽是曲线形状的, 其分布近似于正态概率函数分布曲线。其中切口到达 500 环和 530 环前, 开挖轴线左侧地表表现出隆起趋势, 而轴线右侧部分测点出现下沉, 沉降最大值均在 1.5 mm 内。切口到达各横断面前, 地表最大沉降约为 3 mm, 开挖面对切口前方土体的扰动影响不大, 这表明试验段内切口水压的设置较为合理。

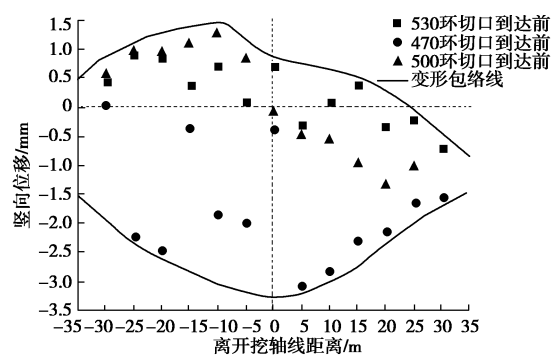


图 3 切口达到前横断面沉降变化曲线

Fig. 3 Transverse settlement curve before shield arrival

2.2 盾尾通过各横断面分布规律

图 4 所示阶段表现为快速沉降, 沉降槽较深, 宽度约为 20 m 并与正态分布曲线较为吻合, 地表最大沉降约为 4.5 mm。主要原因是盾构通过时, 为减小盾壳的移动对周围土体产生剪切作用, 采取一定程度的超挖而使得土体与盾壳间存在一定的间隙。故此阶段对土体的扰动程度较大。

2.3 盾尾通过 30 m 各横断面分布规律

如图 5 所示, 由于盾尾通过第 500 环后, 对该区域及时进行了二次补浆。位移曲线显示: 注浆导致的地表隆起两侧呈一定的不对称发展, 与盾构通过时相比 (图 4), 北侧的隆起变化值较大。

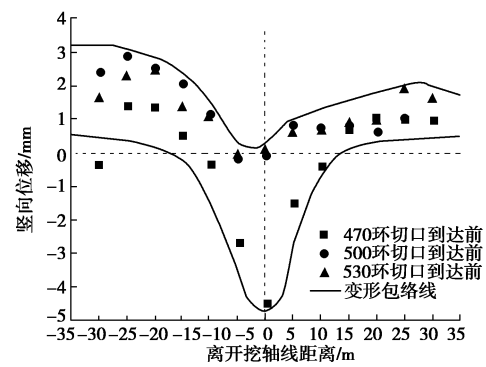


图 4 盾尾通过时横断面沉降变化曲线

Fig. 4 Transverse settlement curve after shield passed

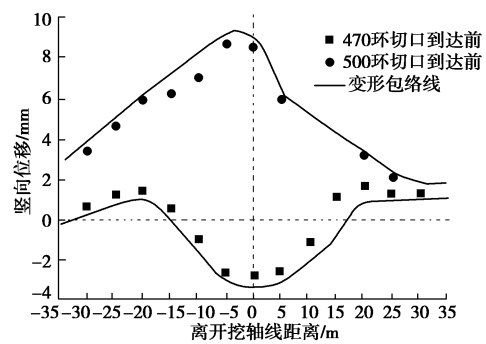


图 5 盾尾通过 30 m 时横断面沉降变化曲线

Fig. 5 Transverse settlement curve after shield passing 30 meters

2.4 盾尾通过 50 m 各横断面分布规律

如图 6 所示, 由于在切口达到第 490 环时, 在 478 环和 480 环进行二次补浆; 切口到达第 506 环时, 对 480 环进行二次补浆。A470 横断面在盾构通过, 盾构通过 30 m 和盾构通过 50 m 三种情况下, 其分布都近似于正态分布曲线, 且在二次注浆的影响下, 抬升效应显著, 最大变形值分别为 -4.5 mm, -2.5 mm 和 2.5 mm。A500 横断面在二次注浆影响下, 轴线处变形值由 0 mm 左右变为 8 mm。并在二次注浆影响结束后, 地表下沉明显。其分布曲线类似偏离正态分布曲线, 沉降最大值为 5 mm。

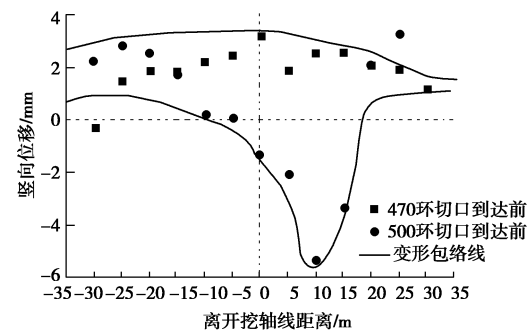


图 6 盾尾通过 50 m 时横断面沉降变化曲线

Fig. 6 Transverse settlement curve after shield passing 50 meters

3 施工阶段地表沉降随时间发展规律

选取 470 环、500 环、530 环横断面随时间的发展

而产生的沉降进行分析,如图 7~9 所示。

在盾构到达前,地表变形值均较小,在盾尾通过后,3 个横断面地表均表现出较大的变形趋势。

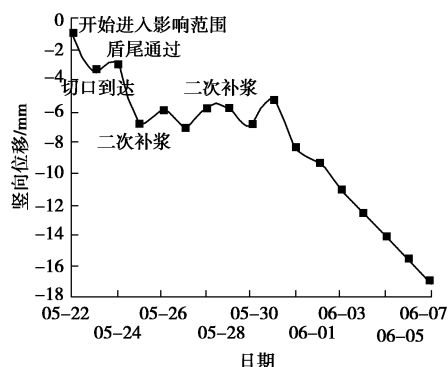


图 7 A470 测点沉降发展曲线

Fig. 7 Time-history curve of settlement at measuring point A470

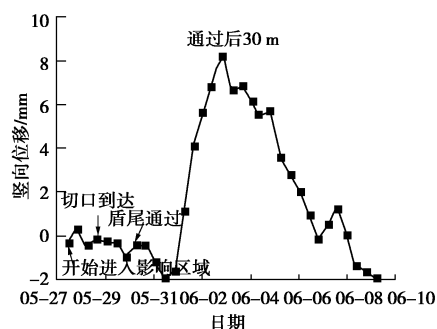


图 8 A500 测点沉降发展曲线

Fig. 8 Time-history curve of settlement of A500 measuring point

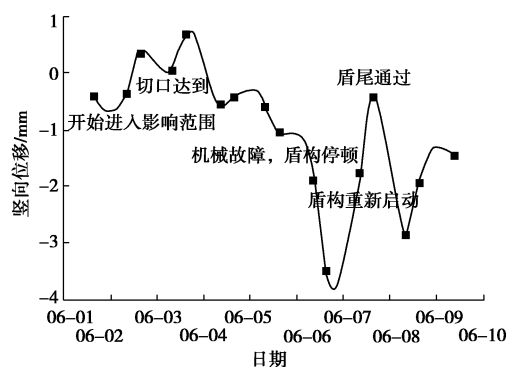


图 9 A530 测点沉降发展曲线

Fig. 9 Time-history curve of settlement at measuring point A530

由图 7 可知:

(1) 盾尾通过后,该区域地层沉降速率较快。主要原因在于在对吹填土扰动程度较大的情况下,并未进行及时的同步注浆或注浆量严重不足,从而进行二次补浆。

(2) 该区域测点由于受附近区域(约 475 环)二次补浆的影响,沉降速率显著变小,呈水平波动状发展,由于离补浆区域还有一点距离,其直接抬升效应较弱。

(3) 二次补浆影响结束后,沉降值基本呈直线式发展,(盾尾通过 10 d 后)沉降速率约在 -1.5 mm/d 。由于前期对吹填土扰动较大,故需要多次补浆。(在 475~485 环区域进行了二次补浆,采用了四点注浆的方法,每环注入约 3 m^3 单液浆)。

由图 8 可知:

(1) 盾尾通过大概 20 m 后,对该区域及时进行了二次补浆。该测点开始显现出明显的隆起趋势,隆起值在切口通过 30 m 后到达最大。

(2) 由轴线处 A500 测点的沉降发展曲线可以发现:二次补浆对地层的抬升作用持续时间较长,在注浆结束后仍有一段时间的持续抬升效应;注浆结束后一段时间后,地表位移的沉降发展速率较快,最大值超过了 3 mm/d 的控制标准值(注浆情况:490~500 环通过二点注浆,每环约注入 3 m^3 双液浆)。

由图 9 可知:

轴线上 530 测点的沉降发展曲线表明在盾构停顿期间位移曲线存在较大的波动:停顿时间内,吹填土开挖地损失较大,沉降值持续发展,发展速率约 2 mm/d ,与停顿期间泥仓浆液的流失及开挖面的变形存在一定关系;盾构重新启动前,通过适当切口水压值以控制开挖面的稳定性,地表位移出现了迅速的隆起,盾尾通过后其沉降发展速率较大于其他测点。

4 二次注浆对地表沉降影响规律

475 环~485 环附近通过四点注浆,每环约注入 3 m^3 的单液浆,其中在 475 环设置环箍,单环注入量 8 m^3 ;490 环~500 环附近通过两点注浆,调一注一,每两环约注入 6 m^3 的双液浆。

4.1 单液浆和双液浆对地表沉降的影响

图 10 给出了开挖轴线上两测点的沉降变化及发展曲线,结果表明:

(1) 由于该区域二次补浆的关系,480 环和 500 环纵向位移曲线出现了显著的波动性变化。

(2) 在同步注浆量及补浆量基本相当的情况下,475 环~485 环和 490 环~500 环这两个区域,其位移发展曲线存在较大的差异:①双液浆注浆区域,地层抬升效应较为显著,且注浆结束后还存在一定的地层抬升效益,双液浆最大地层隆起值约 10 mm ,单液浆最大地层隆起值约 5 mm 。②注浆结束后,单液浆注浆区域其沉降速率与注浆之前没有发生大的变化,双液浆注浆区域其变形发展较为平缓。③盾尾通过后,稳定沉降值在单液浆补注区域地表位移较双液浆及只进行同步注浆正常区域显著偏大,沉降稳定时间较为接近;双液浆补注区域由于前期较大的抬升效益,其

稳定沉降值较小。

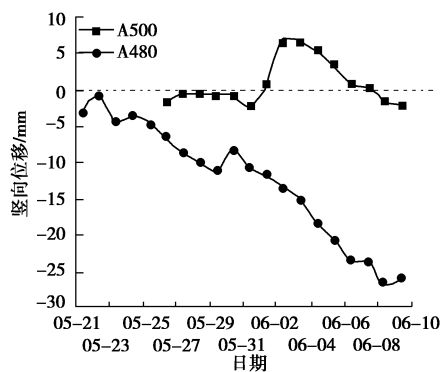


图 10 二次补浆区域测点沉降发展变化

Fig. 10 Time-history curve of settlement at measuring points in secondary grouting areas

结果表明,单液浆由于其流动性的欠缺,并不能对该砂性土层起到较好的抬升作用,相反,受注浆影响,单液浆不均匀的填充对地层造成的挤压,会对地层产生较大的扰动作用。

4.2 四点注浆和两点注浆对地表沉降的影响

在泥水盾构进行施工过程中,在不同的区域由于实际情况选择了不同的二次补浆方式,本部分通过对比不同位置的四点注浆和两点注浆区域,分析注浆方式对地表沉降的影响,见图 11, 12。

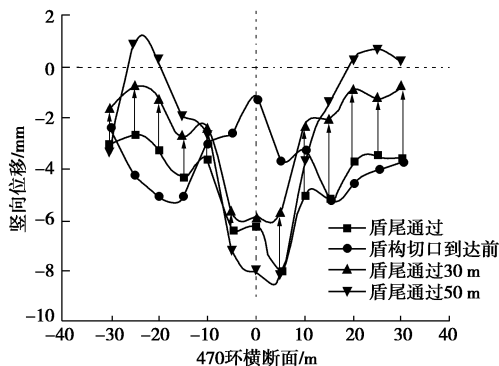


图 11 470 环横断面变化曲线 (四点补浆)

Fig. 11 Transverse settlement curves of surface at 470 ring (four-point grouting)

图 11, 12 中黑色箭头表示在盾尾刚通过到盾尾通过 30 m 间二次补浆引起的沉降变化趋势。图 11 中 470 环沉降槽变化曲线看出,沉降槽在盾构通过时沉降,盾尾通过后受 475 环~485 环二次补浆的影响,整个横断面抬升后又持续沉降。图中 500 环的沉降槽变化曲线与 470 环的变化趋势相同,但沉降值不同。475 环~485 环采用四点注浆方法,490 环~500 环采用两点注浆方法。由两个沉降槽变化曲线对比可以得出:对采用不同注浆方式的区域地表位移的变化情况差别较大,在此松散粉砂地层注浆过程中极易形成不均匀

的加固体,地表横向槽出现极度不对称情况,地层发生较大扰动,使隧道处于不稳定工作状态。因此采用四点注浆方法,有利于减少浆液量及浆液压力分布的不均匀性。

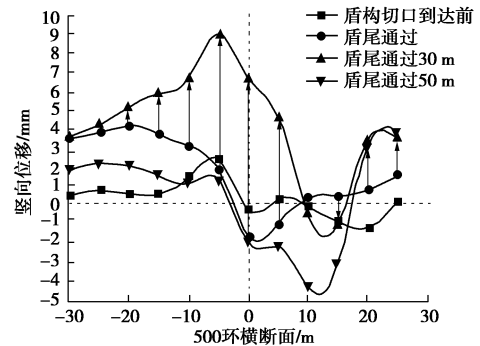


图 12 500 环横断面变化曲线 (两点补浆)

Fig. 12 Transverse settlement curves of surface at 500 ring (two-point grouting)

5 工后地表沉降的变化规律

由于吹填土的形成时间较为短暂,因此在收到盾构施工扰动后,工后沉降持续时间较长,变形的稳定时间也较长,在实际情况下,吹填土的长期固结沉降长达一年之久。

如图 13 所示,400 环~410 环各测点在盾尾脱出 8 d 内沉降速度均较大,平均每天沉降量接近 3 mm,在盾尾脱出 10 d 以后,沉降速度才慢慢变小,在盾尾脱出 20 d 左右变形才渐渐趋于稳定。

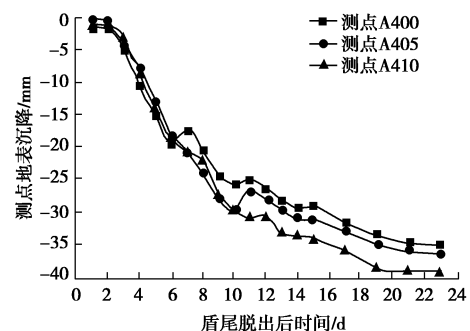


图 13 400~410 环地表工后沉降

Fig. 13 Variation curves of surface settlement after construction at 400~410 rings

如图 14 所示,505 环~515 环各测点在盾构脱出后的前 4 d,相应的地表沉降测点均发生了一定程度的隆起,随后又以较快的速度开始下沉。刚开始的下沉速度约 3 mm/d,在盾尾脱出 8 d 左右变形有短暂的稳定,接着又以 3 mm/d 的速度下沉,直至盾尾脱出 14 d 后变形才趋于稳定。

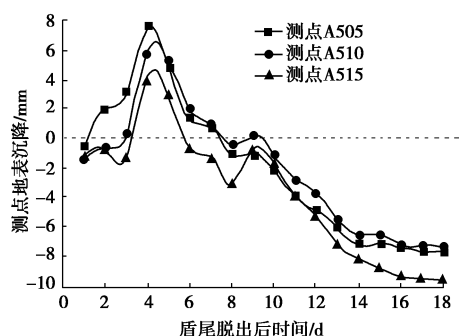


图 14 505~515 环地表工后沉降

Fig. 14 Variation curves of surface settlement after construction at 505~515 rings

6 结 论

通过使用地表常规监测、水平测斜这些监测手段,对盾构在吹填土地层中掘进产生的横向沉降曲线的变化规律进行分析,得到以下结论:

(1) 盾构施工对吹填土层的扰动非常明显,盾构掘进容易引起吹填土层较大的地表沉降,而注浆对吹填土的抬升效应也很明显。吹填土层在受到扰动后的后期沉降持续时间较长,工后沉降大。

(2) 二次补浆抬升效应明显,作用时间长,注浆影响结束后,地表位移沉降发展速率快。双液浆注浆区域,地层抬升效应较为显著,双液浆最大地层隆起值约 10 mm,单液浆最大地层隆起值约为 5 mm。注浆结束后,单液浆注浆区域其沉降速率与注浆之前没有发生大的变化,双液浆注浆区域其变形发展较为平缓。

(3) 二点注浆的不均匀性,使得隧道衬砌两侧地表的抬升效应显著,轴线区域隆起值较小。采用四点注浆方法,有利于减少浆液量及浆液压力分布的不均匀性。

(4) 由于吹填土灵敏度高,盾构推进前期扰动大,会产生较大变形,后期补浆控制较难,需多次补浆。

(5) 盾构停顿期间和盾构重新启动后地表会出现较大沉降发展趋势,故应加快施工速度,并保证施工连续性。

(6) 针对本项目的地层及施工条件下,地表沉降在盾尾脱出 8~15 d 内沉降较大,在 15~20 d 内趋于稳定。

参考文献:

- [1] 刘 靖. 泥水盾构穿越吹填土施工控制技术研究[D]. 上海: 同济大学, 2011. (LIU Jing. Study on slurry shield tunneling through dredger fill[D]. Shanghai: Tongji University, 2011. (in Chinese))
- [2] 蒋 睿. 大直径软土盾构隧道工程地层沉降规律分析[J]. 中国市政工程, 2010(1): 48 - 50. (JIANG Rui. Rule analysis of stratum subsidence of large diameter & soft ground shield tunnel works[J]. China Municipal Engineering, 2010(1): 48 - 50. (in Chinese))
- [3] 杨 坪. 上海冲填土工程特性及自重固结变形机理研究[D]. 上海: 同济大学, 2007. (YANG Ping. Engineering characteristics and self-weight consolidation deformation mechanism of Shanghai dredger fill[D]. Shanghai: Tongji University, 2007. (in Chinese))
- [4] 史玉金, 严学新, 周念清. 长江河口滨海地区冲填土对地面沉降效应-以上海市临港新城为例[J]. 工程地质学报, 2007, 15(03): 391 - 394. (SHI Yu-jin, YAN Xue-xin, ZHOU Nian-qing. Land subsidence induced by recent alluvial deposits in Yangtze River delta area-a case study of Shanghai Lingang new city[J]. Journal of Engineering Geology, 2007, 15(03): 391 - 394. (in Chinese))

(本文责编 胡海霞)