

浅覆土曲线顶管轴线控制关键技术研究

孔 雷

(上海公路桥梁(集团)有限公司,上海市 200433)

摘 要:随着城市发展不断深化,顶管施工技术在城市市政管道及通道工程中的作用日益凸显,面对越来越复杂的城市施工环境及社会环境压力,在直线顶管技术的基础上,曲线顶管施工技术解决了直线顶管无法解决的问题,发挥了巨大的经济及社会效应,曲线顶管施工技术也得到了更大发展。所依托的工程背景具有其特殊性,需要克服曲线顶管及浅覆土两个不利因素,从机械设备改进、轴线放样、过程测量、纠偏控制等方面严格把控,同时确保曲线内被保护构造物的安全。主要从轴线放样、轨迹控制等方面进行施工技术阐述,着重点在于现场施工,为后续不同环境下的曲线顶管施工提供一定的参考。

关键词:顶管施工;曲线顶管;超浅层覆土;短距离

中图分类号: TU990.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)12-0109-04

0 引 言

浅覆土曲线顶管施工是在两种特殊条件下的顶管施工技术,任何一项因素都会导致一定的施工难度。而同时具备浅层覆土及短距离曲线环境下的顶管掘进施工,其难度系数远远大于普通条件下的顶管工程。曲线顶管在施工过程中对于机头位置的确定至关重要,并且浅覆土层对轴线控制的影响较大,例如上层覆土深度过小,容易导致管道上浮、局部管道轴线偏移等多种质量事故。

近几年来,业内学者针对“浅覆土曲线”顶管有着诸多研究。在“浅覆土”顶管工程方面,顾文刚^[1]以上海市中心繁华地段某一排水顶管工程为例,介绍浅覆土顶管对于控制周边环境地层沉降的各项措施。工程结果表明,采用三段式顶进方法,并使用双液注浆法加固施工周围土体,能够有效控制周围地层沉降。李响^[2]以郑州市污水处理厂工程为例,阐述了大管径浅覆土的顶管施工各项问题,包括顶管轴线控制,周围地表沉降以及各项防控措施。

在“曲线”顶管方面,张鹏等^[3]通过分析拱北隧道管幕工程曲线顶管现场实测数据,得出曲线顶管地表沉降槽的偏移曲线,在现有的 Peck 和 Loganathan 地表沉降公式基础上进行修正,得出更符合工程实际的预测计算公式。谈立昕等^[4]以港珠澳大桥珠海

连接线拱北隧道工程口岸为依托,采用两种不同的计算方式对顶力进行估算,并与实际顶力进行对比验证。结果表明,经验公式中的摩阻力计算在埋深较大时比较符合实际情况,在浅层的淤泥质地层中则偏大。保军强等^[5]利用有限元分析的方法对大直径矩形顶管的顶进过程中周围土体的扰动情况进行数值模拟,总结出周围土体在顶管施工的影响下产生的应力和位移的规律。陈思甜等^[6]以杭州半山超浅层曲线顶管工程为基础,利用有限元软件 ANSYS 进行数值模拟,用以进一步探求超浅层小半径曲线顶管在不同顶推速度下的地面变形规律,并提出顶进速度建议值。

本文主要分析两种条件对顶管施工的综合影响,以及如何通过施工进行过程控制,克服超浅层覆土和短距离两大不利因素,为后续类似工程提供切实的参考依据。

1 顶进环境分析

1.1 浅层覆土

顶管施工顶进过程中,管道外壁结构主要与土层发生相互作用。考虑到综合技术与经济等因素,管道对管顶覆土有一定的要求,通常顶管施工要求管顶覆土 $H \geq 1.5D$ 。而管顶覆土 $\leq 1.5D$ 条件下属于浅层覆土施工,浅层覆土环境不利于顶管的正常施工。由于覆土不足,机头前部刀盘与土体不易建立起平衡,土层自重应力不足,上层覆土不足以平衡下部应力,机头容易上浮,机头前部土体容易产生沉降;同时土层无法为曲线顶管提供足够的纠偏反力,纠偏力在砂土

收稿日期:2020-12-01

作者简介:孔雷(1988—),男,学士,工程师,主要从事市政工程管理方向。

环境下产生偏散,进入切点,切出切点轴线施加效应缓慢,不利于短距离条件下的顶进施工。本案(郑州新区污水干管WB3~WB2顶管区间)所依托工程覆土厚度1.8~2.0 m,管道外径 $D=3.78$ m, $H=(0.47\sim 0.52)D$,为超浅层覆土环境(如图1所示)。

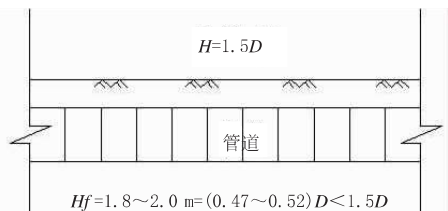


图1 浅层覆土管道厚度

曲线顶管在由直线进入曲线过程中,机头部位需施加单向力,单向纠偏力施加于管道,通过力的传递于土层,土层为纠偏提供反向作用力,保证管道沿曲线方向顶进。超浅层覆土环境下,土的自重应力 σ_c 不足,土层无法为纠偏提供及时有效的反力,力在砂性土中产生暂时性扩散,施加纠偏力一侧土层呈曲线弧度发生变化,容易产生土层扰动,如图2所示;由于砂性土的特征,土层经过压缩后,在后续施工中慢慢为曲线段建立起反力支持,但由于工作井至接收井距离过短,曲线段没有足够的距离缓慢建立起趋势,解决办法之一为地面加载,使纠偏动作得到有效的反力支持,迅速按设计轴线建立趋势;解决办法之二为提前进入曲线段,为缓和曲线预留足够的距离。

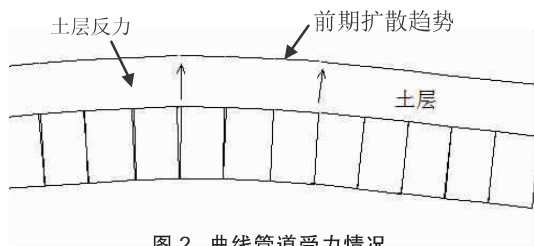


图2 曲线管道受力情况

1.2 短距离曲线顶管

曲线顶管依靠调整机头角度在地层中走出一条缓和曲线,以达到规避障碍物的目的。曲线顶管存在着诸多限制条件及不利因素,由于采用钢筋混凝土管道,接口形式为柔性接口,考虑管道材料的受力性能,管材的控制允许转角、钢套环的承受能力、相邻管道接口之间的允许最大缝隙都对管道的质量产生着重大影响;管道里程越长,曲率半径越大,曲线越缓和,转角越小,管道受力越均匀,钢套环受力越小,管道接口缝隙控制在允许范围以内;曲率半径过小,管道各部位受力过大,管道缝隙偏大,造成管道事故,曲线顶管顶进失败。

本次顶进距离243 m,管道外径3.78 m,单节管道长度2 m,曲线顶管在轴线设计时需考虑最小曲率半径,按以下公式(1)进行计算:

$$\tan \alpha = l/R_{\min} = \Delta S/D_0 \quad (1)$$

式中: α 为曲线顶管时相邻管节之间接口的控制允许转角,一般取管节接口最大允许转角的1/2,F型承插口的管节宜小于 0.3° ,取 0.3° ; $R_{\min}$ 为最小曲率半径, m; l 为管节长度, m; D_0 为管道外径, m; ΔS 为相邻管节之间接口允许的最大间隙与最小间隙之差。

$$\tan 0.15^\circ = 2/R_{\min}, R_{\min} = 763 \text{ m}$$

通过调整始发井位与接收井位洞口角度,该区间段可获得791 m曲率半径,满足最小计算最小曲率半径763 m要求。

2 难点分析

超浅层覆土短距离曲线顶进施工面临着诸多不利条件,在顶进过程中需要克服的难点如下:

(1)测量是曲线顶管能否成功的关键,如何确保机头精确地进入接收井洞口是曲线顶管首先应该考虑的问题。

(2)根据土层应力分布规律,同时考虑到超浅层覆土的不利条件,机头存在上浮的可能,顶进过程中需随时注意机头高程姿态,防止机头上飘。

(3)由于覆土太浅,地层将产生隆起及沉降,对于有地面沉降严格要求的地区,如何最大限度地控制沉降是需要解决的问题。

(4)土层覆土过浅将导致减阻泥浆流失,不利于泥浆套的形成,顶进阻力将增大,施工中需有科学合理的注浆方案,控制顶进摩阻力。

(5)短距离曲线顶管的曲线在形成过程中,需要提供足够的地层反力以尽快形成缓和曲线,力的施加效应缓慢将增加轴线形成的难度,实际轴线无法按要求与设计轴线重合,如图3所示。

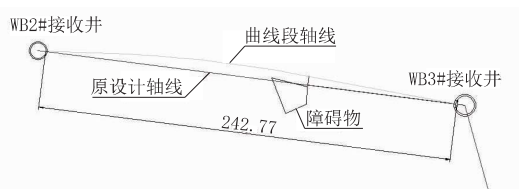


图3 曲线顶管轴线控制

(6)曲线段对管材的性能提出了更高的要求,钢套环在管节持续转弯力的叠加效应下,与主管材接合部位容易崩裂,发生管道裂缝质量问题,对管道安全产生一定影响。

(7)管道缝隙过大,管道止水橡胶圈挤出,管道

止水性受到影响,将对管道后期运行及地面产生一定影响。

3 顶进的轨迹控制技术

定点、放样、测量技术是曲线顶管施工的关键,即施工准备阶段方案策划:定轴线、定切点、计算圆曲率半径、验算匹配管节允许转角及管节缝隙;施工阶段重点测量,保证机头始终与设计曲线重合,直至进入接收井。

曲线顶管轴线分为三个部分:出洞口直线段、曲线段、进洞前直线段。机头出洞后沿直线段直线顶进,进入切入点后机头一侧施加偏转力,机头逐步形成曲线,后续管节跟随机头一节一节形成曲线管道,机头接近切出点后,反向施加作用力,机头进入进洞前直线段,管道沿直线段顶进直至进入接收井。施工前先通过放样放出第一切点及第二切点,计算出圆曲线曲率半径,验算曲线管道是否可行,明确机头何时开始转向,在什么部位进行转向,何时施加反向作用力,使机头由曲线段回到直线段。

由于浅层覆土土层不能及时有效地提供土层反力,进入切点时纠偏油缸施加力时力在土层会发生扩散,机头无法按照设计的时间进入曲线,因此,顶管在进入切入点前应提前施加纠偏压力,保证机头按照预定坐标进入曲线。

管道在直线段时依靠激光点进行自动测量,进入曲线段后,由于管道呈弧线,因此此时改成人工测量,测量频率为 1 次 / 根,及时将坐标点输入电脑,标记出机头所处位置,与设计圆曲线弧线进行对比,判断机头的走势及曲线趋势,根据测量数据,及时调整纠偏角度及采取措施。每一根管节的偏差量都需精确测量后输入电脑,通过前后对比,准确判断出下几节管道的走势,做出增加纠偏力或减小纠偏力的指令,同时防止管节缝隙过大,造成管道质量事故。由此可见,测量的重点是掌握以下信息:机头位置、机头趋势、管节缝隙。

4 增加土体强度及注浆减摩技术

砂性土渗透性高,浆液进入土层后容易流失,无法形成有效的泥浆套,顶进阻力增大。根据力的传递机理,在阻力增大的情况下,顶距越长,管节越容易失稳,圆曲线无法按照预先的趋势形成,往往危及顶进安全,特别是在超浅层覆土环境下,浆液流失情况更为严重。如何有效建立泥浆套,降低顶进阻力,不

仅关系着曲线管道能否成行、管道是否因力的偏移造成管节缝隙增大而造成管节质量事故,还关系着地表是否发生沉降,顶进设备的承载能力等诸多问题。因此,注浆减摩技术是浅覆土曲线顶管施工的关键技术。图 4 为顶管注浆技术示意图。

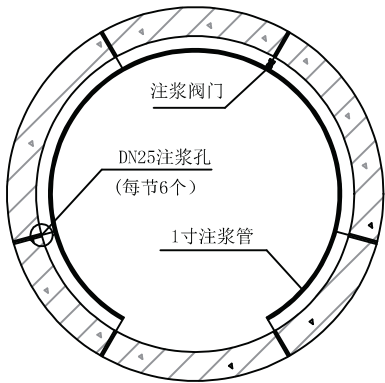


图 4 顶管注浆技术

遇水后的砂土压缩性低,承载力高,郑州地区为黄泛区,表层及深层土壤全部为砂土,且地下水缺乏,因此,在顶进前,在机头部位及机头管跟踪高压注水,使管道经过区域土层富含水分,提高土体的强度,减少压缩性,为管道纠偏提供支撑。

之后,根据土压力平衡及地下水头水压力,合理确定注浆压力及注浆量,洞口设双道止水橡胶圈,施工中通过监测数据及时对注浆压力及注浆量进行调整,浆液的比例、添加剂应根据现场实际配比。根据过程中顶力的大小,在现有浆液减阻效果不理想的情况下,改用注厚浆,选用优质黏土球。

普通浆液配比见表 1。

表 1 普通浆液配比

膨润土	纯碱	聚丙烯酰胺	CMS	水
80 kg	0.15 kg	0.15 kg	0.3 kg	1 500 kg

经过重新设计配合比后的泥浆在砂性土层内的保水性明显增加,能有效地建立起在砂性、岩土颗粒地层中的减摩系统,顶力在地层未发生突变的情况下表现平稳,未发生明显波动。

泥浆比重 5%~7%,黏度 35"~38",CMS、高分子材料效果明显。顶进结果显示,泥浆系统适合在砂性土、钙质岩土层内顶进。

浆液在超浅层覆土砂性土环境下会产生流失,通过压力与数量的互补,合理控制顶力、顶速,顶进摩阻力能得到有效控制,初期摩阻力会随着顶进距离的增加有所降低,后期阻力逐步减小。根据实际监测数据,最小摩阻力可达 0.43 kN/m³。

5 地面沉降控制技术

超浅层覆土环境下地层必然产生扰动,所要解决的问题是如何通过设计、施工来减小土层扰动,从而降低地面沉降带来的影响。在进行装备改进时,为减小纠偏带土,机头的装备应性能可靠,以利于纠偏动作的完成;在曲线设计阶段,宜将曲线段设置在顶进方向的末端,其起始直线段应在条件允许的前提下尽可能长,以减小曲线管节对土层的扰动;在施工阶段,应建立地面沉降监测机制,随时对地面沉降进行监测,同时,加强对注浆的控制,通过监控技术数据反馈,及时对顶进参数进行调整,优化施工参数,减小地面沉降的发生。

6 结 语

浅层覆土曲线顶管汇聚了顶管施工中的多种不利条件,其施工本身存在着一定的技术难度,对施工方技术及管理能力和要求较高。在环境日益复杂的城市化发展建设中,也必然存在着一定的应用空间。

在设计及施工过程中,需要克服砂性土土层自重应力不足所带来的轴线控制及注浆减摩问题,通过测量来把控顶管轴线变化趋势,保证曲线沿预设轨迹行进,精确进入接收井洞口内,同时确保地面及构筑物的安全。本文详细介绍了针对浅覆土曲线顶管的各项防控措施,可为后续相似工程提供切实的依据和参考。

参考文献:

- [1] 顾文钢.市中心繁华地段浅覆土顶管的施工技术[J].建筑施工,2017,39(8):1265-1267.
- [2] 李响.浅谈大管径的浅覆土顶管施工[J].四川水泥,2017(6):227,206.
- [3] 张鹏,李志宏,曾聪,等.曲线顶管施工引起的地表变形预测研究[J].隧道建设,2017,37(9):1120-1125.
- [4] 谈力昕,张鹏,谢红明,等.拱北隧道工程中曲线顶管顶进力实测分析[J].隧道建设,2016,36(8):947-952.
- [5] 保军强,王秀叶,周博文,等.曲线顶管施工中地表沉降规律数值模拟研究[J].河南科技,2015(3):78-81.
- [6] 陈思甜,何剑星,张永兴,等.超浅层小半径曲线顶管地面扰动数值模拟分析[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2009,28(5):861-864.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com