

超长距离浅覆土大断面矩形顶管设计探讨

周建华, 戴惠兰, 高晶

[悉地(苏州)勘察设计顾问有限公司, 江苏 苏州 215123]

摘要: 随着城市化进程的迅猛发展,城市空间变得越来越拥挤,地下工程建设采用对周边环境影响小的非开挖技术是一种发展趋势和潮流。通过对某管廊矩形顶管工程的实例分析,介绍了富水砂性土层中超长距离浅覆土大断面矩形顶管的设计重难点和解决方案,通过对施工现场附近建筑物沉降的监测,验证方案可靠,给出管道外壁单位面积摩擦阻力的建议取值,提出类似规模矩形顶管工程的中继间优化布设方式。

关键词: 矩形顶管;超长距离;浅覆土;中继间

中图分类号: U455.47

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)02-0246-03

0 引言

随着城市化进程的迅猛发展,城市人口急剧增加,城市空间变得越来越拥挤。近年来,新建地下工程穿越交通干道、河道等大多采用明挖法翻浇施工,施工期间道路交通通行影响大,管线迁改繁杂,同时对河道的通航及水系沟通带来了不利影响,所以地下工程建设采用非开挖技术是一种发展趋势和潮流。

矩形顶管法作为一项新型的非开挖技术,在上述的场景中非常适用^[1]。矩形顶管起源于圆形顶管,它比圆形顶管相对覆土更浅,断面利用率更高,下面结合苏州软土地区某管廊工程,对超长距离浅覆土大断面矩形顶管设计进行深入探讨。

1 工程概况

苏州市某管廊工程位于城北东路南侧,局部段落需要穿越现状河道以及地块房屋,为了减少对河道及地块房屋的不利影响,设计采用矩形顶管非开挖施工方案,选用土压平衡式矩形顶管机。考虑到东侧绿化带场地较为空旷,此处布设顶管的始发井,在河道西侧布设顶管的接收井,如图1所示;矩形顶管长度233.6 m,陆域段覆土约9 m,穿越河道段覆土约3.5 m。

矩形顶管的断面尺寸为9.1 m×5.5 m,壁厚650 mm,管节宽度1.5 m,如图2所示;管节接缝采用“F”型承插式接头,接头间设置氯丁橡胶止水圈、

收稿日期: 2022-05-20

作者简介: 周建华(1981—),男,本科,高级工程师,从事桥梁隧道设计工作。



图1 矩形顶管平面布置示意图(单位:m)

低模量聚氨酯密封胶、遇水膨胀橡胶条、弹性密封垫、高模量聚氨酯密封胶等多道防水措施。

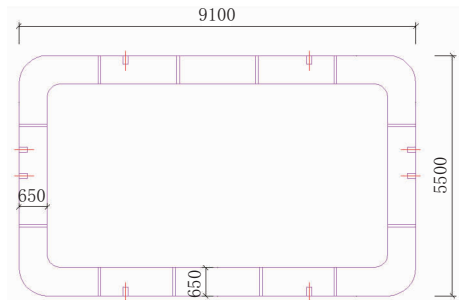


图2 矩形管节尺寸图(单位:mm)

2 水文地质

地质勘察资料揭示的工程地质至上而下分布情况见表1。

表1 地层分布表

地层编号	岩土名称	状态	土层厚度/m
① ₃	杂填土	松散~稍密	0.00~3.60
① ₆	素填土	松散~稍密	0.00~3.60
④	黏土	流塑	0.50~5.70
⑤ ₁	粉质黏土	软塑为主,局部呈流塑状	1.23~2.50
⑥ ₁	粉砂夹粉土	稍密~中密	1.30~3.40
⑥ ₂	粉砂	稍密~中密	5.20~6.80
⑦	粉质黏土	软塑	5.00~17.60

矩形顶管穿越地层主要在⑥₁粉砂夹粉土层、⑥₂粉砂层,根据钻探结果,微承压水主要赋存于⑥₁层粉土夹粉砂及⑥₂层粉砂中(两者相连,属同一含水层组)。

3 工程重难点

3.1 大断面超长距离顶进

本工程矩形顶管断面尺寸 9.1 m × 5.5 m,顶进距离长达 233.6 m,在国内也较为少见;随着顶进距离的增长,顶管机顶进阻力也不断增加,已经超过了顶管机的额定顶力,因此如何减少顶进阻力是本工程的一个重难点。

3.2 浅覆土顶进

该工程矩形顶管穿越河道段,顶管覆土只有 3.5 m,属于浅覆土顶进,浅覆土顶进地层约束条件弱,但对土舱压力、地层的扰动很敏感,容易造成河床隆沉变形、顶进施工可能引起顶管机及管节上浮或者河床穿透形成漏斗,因此浅覆土顶进也是本工程的一个重难点。

4 设计方案

4.1 大断面超长距离顶进

该工程 2016 年开工建设,当时矩形顶管的设计规范尚不完善,因此参照国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268—2008)有关于圆形顶管的顶进力预估公式,总顶进阻力主要考虑机头迎面阻力和管道周边摩阻力,采用下列公式进行理论计算:

$$P = 2(B+H)Lf_k + B'H'P_c \quad (1)$$

式中: P 为总顶进阻力,kN; B 为管节宽度,m; H 为管节高度,m; L 为管道设计顶进长度,m; f_k 为管道外壁与土之间的平均摩阻力,kN/m²; B' 为顶管机宽度,m; H' 为顶管机高度,m; P_c 为刀盘控制土压力,kPa。

管道外壁单位面积平均摩阻力取 8.0 kN/m²;经计算,一次顶进 233.6 m 距离的总顶进阻力达 85 275 kN,超出后座允许反力 72 288 kN 的范围,因此需要在顶进管节中间设置中继间,中间接力补充顶进。中继间也称中继站式中继环,如图 3 所示,是安装在一次顶进管节的某个部位,把这段一次顶进的管节分成若干个推进区间,在顶进过程中先由若干个中继间按先后顺序把管节推进一小段距离以后,再由主顶油缸推进最后一个区间的管节,这样不断重复一直到把管节从始发井顶到接收井。

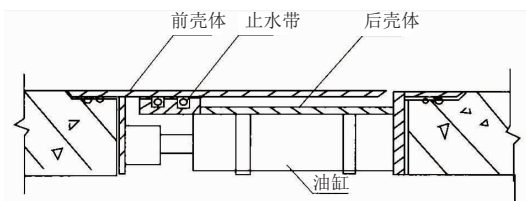


图 3 中继间构造示意图

该工程顶进距离长达 233.6 m,始发井千斤顶的设计推力 6 000 t,中继间千斤顶的设计推力 4 000 t。为确保安全,对中继间的要求是:当始发井主顶推力达到中继间设计推力的 75%时就要在工程中设置中继间,当主顶推力达到设计推力的 80%后,就要启动中继间。根据计算需要设置两道中继间,第一道中继间设置在顶进长度约 30 m 处,第二道中继间设置在顶进长度约 100 m 处,剩余顶管长度为 233.6 m - (30 + 70)m = 133.6 m,则剩余段所需要顶推力 4 275.2 t,小于始发井千斤顶推力,能满足顶力需求。

中继间的设置是很有必要的,在实际的施工过程中有时会遇到一些不可预见性的事情,比如遇到局部坚硬的土层、触变泥浆的流失、顶管机遇到故障临时停止顶进等,这都会导致顶进阻力大幅增加,因此中继间的设置是工程顺利实施的有力保障。

4.2 浅覆土顶进

本工程陆域段顶管覆土厚度约 9 m,穿越河道段顶管覆土 3.5 m,如果考虑将河道段的覆土厚度加大,则陆域段的顶管覆土更厚,管节结构受力更不利,需要增加管节尺寸,由此带来吊装、运输、顶管机改造等一系列的问题需要解决,因此综合各种因素,确定穿越河道段的顶管覆土厚度。

位于河床下方的浅覆土矩形顶管需要考虑两种情况一种是运营期间的管节抗浮安全,另一种是施工期间的管节顶进安全。

运营期间,经过计算,管节自重 + 覆土浮重度是 114.6 t,管节所受的浮力是 49 t,满足抗浮要求。

施工期间,为了降低顶进施工风险,同时考虑到在运营期间避免因河道整治清淤、河底超挖等对顶管带来安全风险,在河床底设置钢筋混凝土压板,管节两侧设置抗浮桩来拉结压板,采用半幅围堰翻浇施工,进行河道清淤后,浇筑压板及抗浮桩。

从陆域段进入河道段,地层覆土差异大,需要根据情况调整土舱压力,重新达到土压平衡的状态。浅覆土顶进严格控制出土量,地层损失率不超过 3%,出土量如果控制不好,就会造成较大的超挖,引起掌子面的失稳、坍塌;考虑到顶管穿越的土层为粉砂夹

粉土透水性土层,注浆压力过大容易造成窜浆、河底冒浆的问题,所以需要控制好注浆压力。

5 其他注意问题

本工程在砂性透水土层中超长距离顶进,管周摩阻力大,减阻触变泥浆易流失,导致顶进阻力变大,施工时顶进困难,因此对触变泥浆的性能要求更高。触变泥浆有足够的粘度和小的滤失量,泥浆在高渗透性砂层中能保持长时间不漏失,保持管节与砂层间泥浆成套;有良好的触变性,泥浆注入后能迅速变成凝胶状,支撑地层,顶管顶进时,泥浆切力减少,为管节润滑减阻;有良好的稳定性,泥浆不因地下水侵入、随时间增长而失去稳定性。设计要求触变泥浆中掺膨润土、CMC(羧甲基纤维素钠)、烧碱 NaOH 和 PHP(水解聚丙烯酰胺),在现场选择开始顶进的 20 m 作为试验段,通过试验段来调整各材料的掺量,确定触变泥浆的最优配比。

该工程顶管主要穿越粉砂、粉土层,掌子面容易出现突涌坍塌,这对顶管顶进安全以及周边环境安全都会造成不利影响,因此需要对土舱的土体添加外加剂进行土体改良,保持土体合适的黏稠性、流塑性及不透水性。

该工程采用矩形顶管进行顶进施工,矩形顶管容易出现背土情况。相对于圆形顶管,矩形顶管机顶部几乎是水平的,上方的土体较难形成承载拱,土体容易塌落在顶管机上方;在顶进过程中,土体会随着顶管机移动发生压缩变形,从而导致顶进的摩阻力极大增加,因此在顶进施工中要及时补浆,确保减阻泥浆能形成稳定可靠的泥浆套,从而降低顶进摩阻力。

6 现场施工及监测情况

为了保证顶管顶进施工中周边建(构)筑物的安全,本项目沿着顶进路线,布设多个监测断面进行施工监测,地表隆沉控制标准为地表沉降不超过 20 mm,地表隆起不超过 10 mm。图 4 所示为某监测断面的布点平面图,表 2 为该监测断面在整个顶进施工过程中的地表累积隆沉值,一开始显示各监测点沉降较大,主要原因是监测点附近有污水管破坏,导致污水管上部地面局部塌陷以及周围地表较大沉降。

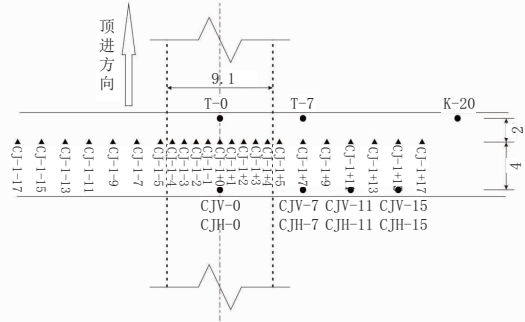


图 4 典型监测断面布点平面图(单位:m)

表 2 典型监测断面地表累积隆沉值 单位:mm

测点编号	隆沉变化量		
CJ-1-17	-3.2	-2.1	-1.3
CJ-1-9	-11.6	-4.8	1.8
CJ-1-0	-18.9	-7.1	3.3
时间	2017.9.2	2017.10.18	2017.11.23

该工程矩形顶管施工过程中,周边建(构)筑物的沉降在 2~4 mm,满足建(构)筑物的沉降变形要求;在未启动中继间的情况下实现了顶管贯通,施工过程中的最大顶力为 4 400 t,未达到最大设计顶力的 80%。

7 结语

本工程矩形顶管保障施工安全,降低对周边环境不利影响,提高施工效率,做到了技术先进、保证质量、节能减排、绿色环保,创造显著的社会和经济效益。

通过苏州市某管廊工程矩形顶管的工程实践,有两点体会:

(1)管道外壁单位面积平均摩阻力取 8.0 kN/m²,取值偏保守,管外壁能形成和保持稳定、连续的泥浆套时,单位面积摩阻力会有较大幅度的减少,设计可以参照当地多年的施工经验来取值,也可以参照规范给出的建议值 3.0 ~ 5.0 kN/m²。

(2)超长距离矩形顶管,设置中继间作为安全储备是很有必要的,在类似规模的矩形顶管工程中,可优化中继间的布设,取消第二道中继间,第一道中继间设置顶管机头后方,作为安全储备,待顶管贯通后可以随同顶管机一起回收再利用。

参考文献:

[1] 葛春辉.顶管工程设计与施工[M].北京:中国建筑工业出版社,2012.