

福泉路长距离大断面矩形顶管施工沉降控制技术

陈香归, 陈鑫, 陈强

(上海建工一建集团有限公司, 上海市 200129)

摘要: 矩形顶管暗挖法现如今广泛应用于地下综合管廊、人行通道及车行通道等城市市政工程施工中。相比较大多数矩形顶管垂直交叉下穿道路施工, 福泉路矩形顶管平行下穿福泉路道路, 同时福泉路道路位于上海市市中心长宁区主要道路, 行车、行人流量大, 使得矩形顶管施工过程中对于道路沉降要求严格。为有效控制道路沉降量, 通过使用油缸回拉装置、新型止退装置以及自动水土补偿装置技术措施, 最后再结合第三方监测单位对于道路沉降监测的实时数据统计, 福泉路道路沉降量控制在 10 mm 范围以内。

关键词: 矩形顶管; 平行下穿; 道路沉降; 油缸回拉装置; 新型止退装置; 自动水土补偿装置; 施工监测

中图分类号: U455

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)08-0325-05

Settlement Control Technology for Long-distance Large-section Rectangular Pipe Jacking Construction on Fuquan Road

CHEN Xianggui, CHEN Xin, CHEN Qiang

(Shanghai Construction First Group Co., Ltd., Shanghai 200129, China)

Abstract: The rectangular pipe jacking method is widely used in the construction of urban municipal engineering such as underground utility tunnel, pedestrian passage and vehicle passage. Compared with the construction of most rectangular pipe jacking vertically crossing under the road, the rectangular pipe jacking of Fuquan Road runs horizontally under the road. At the same time, Fuquan Road is located in the main road of Changning District in the center of Shanghai, and the traffic and pedestrian flows are large, which makes the road settlement strictly required in the construction process of rectangular pipe jacking. In order to effectively control the road settlement, the technical measures such as cylinder pull-back devices, new anti-reverse devices and automatic soil and water compensation devices are adopted. And finally combined with the real-time data statistics of the road settlement monitoring by the third-party monitoring unit, the road settlement of Fuquan Road is controlled within 10mm.

Keywords: rectangular pipe jacking; parallel underpass; road settlement; cylinder pull-back device; new anti-reverse device; automatic water and soil compensation device; construction monitoring

0 引言

随着城市地下空间发展建设, 矩形顶管工程现如今广泛运用于地下综合管廊、人行通道及车行通道等城市市政工程施工中, 且目前随着顶管顶进距离更长、截面尺寸更大, 因此市中心长距离大断面矩形顶管对道路沉降变形要求更高。

早期许有俊等^[1]提出矩形顶管影响地面沉降变形的相关施工因素; 荣亮^[2]、杨红军等^[3]根据郑州市下穿中州大道大断面矩形顶管项目总结了顶管顶进

过程中通过严格控制注浆参数以及渣土改良来降低对地表沉降的影响; 卢康明等^[4]对城市市中心顶管项目采用增加顶管刀盘切削面积以及设置中继间来增加长距离顶管稳定性来减少地面变形; 熊诚^[5]在人行通道顶管项目提出矩形顶管在浅覆土、下穿地下管线情况时控制措施; 徐宏等^[6]、桂林等^[7]、徐新等^[8]、姜洪建^[9]通过建模研究顶力大小、顶进距离等与地表变形位移的相互关系; 戢鸿鑫等^[10]、骆发江等^[11]根据顶管下穿河道、箱涵实例提出管节注浆减阻以及姿态控制来提高顶管安全性; 彭立敏等^[12]通过分析国内外多个矩形顶管项目, 总结出目前顶管施工研究存在的难题; 尚亮^[13]、贾远航^[14]、林晓庆^[15]提出顶管下穿地下管线时根据下穿土质不同时对地

收稿日期: 2026-01-27

作者简介: 陈香归(1997—), 男, 硕士, 工程师, 从事市政施工工作。

下管线的影响所不同。

1 工程概况

福泉路地下人行通道项目位于上海市长宁区凌空经济园区现状福泉路,顶管始发井位于福泉路与金钟路道路交叉口,接宜家荟聚中心上海凌空项目,顶管接收井位于福泉路与天山西路道路交叉口接申通地铁2号线5号口,福泉路道路两侧周围附近存在诸多商场建筑物,顶管与周边环境关系平面图如图1所示。本工程矩形顶管顺利贯通后将宜家荟聚中心项目与申通地铁2号线相连接,极大地改善了福泉路地面交通状况,提高了工作日高峰时段福泉路的行人通行效率 and 安全性。

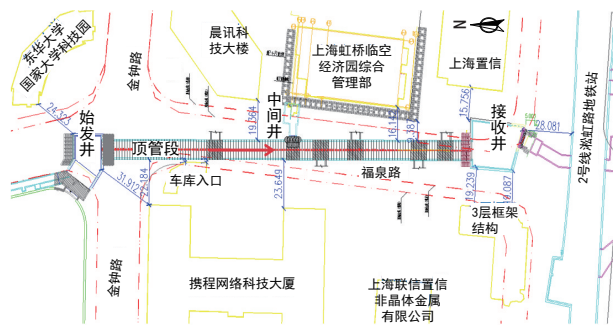


图1 顶管与周边环境关系平面图

该工程共有3处基坑井,从北至南依次为顶管始发井、中间疏散井和顶管接收井,考虑人行通道距离较长,因此在人行通道中间位置设置一处中间疏散井作为安全疏散使用,且中间疏散井与顶管管节相连接,该位置管节使用钢管节,对钢管节开洞相比较对钢筋混凝土管节开洞,对管节损伤和周边土体扰动更小。

福泉路矩形顶管全长210 m,管节截面尺寸为 $9.8\text{ m}\times 6.3\text{ m}$,每节长度1.5 m,壁厚0.7 m,共有140节管节,钢筋混凝土管节105节,钢管节35节,其中钢筋混凝土管节采用强度为C50、P10,单节管节重68 t;钢管节采用Q355B钢,单节管节重45 t,管节接口为F形承插式,接缝防水采用遇水膨胀橡胶条+两道楔形橡胶圈。顶进方向由北至南,顶进坡度为 9.386% ,管节覆土深度为3.8~5.8 m。福泉路矩形顶管平行下穿福泉路道路,采用土压平衡式顶管工艺进行施工。矩形顶管下穿福泉路道路纵断面图如图2所示。

根据地质勘察报告和上海土层土质分布情况,本工程矩形顶管穿越土层主要为第②层褐黄—灰黄色粉质黏土层、第③层灰色淤泥质粉质黏土层、第④层灰色淤泥质黏土层。矩形顶管穿越土层纵断面图如图3所示。



图2 矩形顶管下穿福泉路道路纵断面图

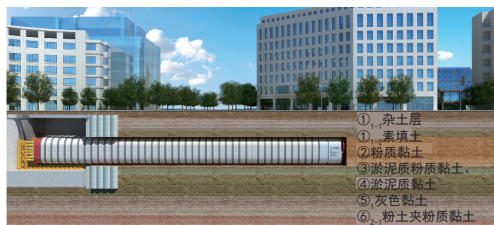


图3 矩形顶管穿越土层纵断面图

为了保证矩形顶管顺利贯通,同时又需要将道路沉降的影响降至最低,控制在10 mm范围之内,从而不影响人、车正常通行,故采取一系列针对性技术措施来控制矩形顶管施工沉降。

2 沉降控制重难点

(1)顶管管节数量多,顶进距离超长。该工程共有140节管节,顶管全长210 m,为国内一次顶进距离最长的矩形顶管人行通道。

(2)顶管断面超大。顶管断面尺寸达到 $9.8\text{ m}\times 6.3\text{ m}$ 。顶管管节断面如图4所示。



图4 顶管管节断面尺寸

(3)顶管平行下穿福泉路,且覆土浅。矩形顶管全断面平行下穿福泉路道路,顶管最浅覆土深度仅为3.8 m,覆跨比仅0.39。

长距离大断面矩形顶管沉降控制的重难点原因分析如下。

(1)由于顶管一次顶进距离长达210 m,共有140节顶管管节。每一节管节顶到位之后,油缸回缩、再将顶铁吊出基坑为下一节管节吊装安放腾出空间,然后依次再将下一节管节、顶铁吊入基坑,准备下一节管节顶进施工。顶铁、管节吊装时,顶管机处于非工作状态,因此顶铁、管节吊装花费的时间越久,顶管

机前端道路沉降风险越大。

(2)由于顶管断面为9.8 m×6.3 m超大断面,导致顶管机掌子面正面水土压力超大,而在顶管刚开始过程中,缺少管节外壁与土体的摩阻力,在超大正面水土土压力作用下,顶管机及管节极易产生后退现象,引起土体扰动而造成道路沉降。

(3)由于矩形顶管平行下穿福泉路道路,且最浅覆土深度仅3.8 m,在始发与接收加固土层段顶管容易发生“磕头”现象;而在正常土层段顶管又容易发生“背土”现象,均可能引起道路沉降。

3 沉降控制重难点

针对上述引起矩形顶管施工沉降的3大重难点,项目部在顶管施工时分别采用油缸回拉装置、新型止退装置以及自动水土补偿装置技术措施来应对,最后再对照顶管施工全过程(始发直到接收)中每天的监测实时数据,依次来检验沉降控制技术措施的有效性 & 先进性。

3.1 油缸回拉装置

为解决由于管节、顶铁吊装时顶管机处于非工作状态而带来的沉降风险,尤其是对顶铁吊装这一步骤,因为每完成一节管节顶进需要进行顶铁吊出基坑和再次吊回基坑两次吊装施工。

项目部采取在液压油缸与顶铁之间设置回拉装置,该回拉装置是在两处油缸顶部、底部各自焊接伸出头,并在油缸顶部、底部相对应的位置顶铁侧面上焊接卡槽,最后用两块铁块组成一套拉回装置(见图5),同时左右两侧各设置一套回拉装置。通过回拉装置的设置,利用上一节管节顶到位之后油缸回缩这个必然步骤,顺带将顶铁拉回为下一节管节吊放腾出空间,避免了顶铁吊装花费的时间,减少了顶管机非工作时间,从而降低地表沉降风险。

3.2 新型止退装置

考虑本工程为超大断面矩形顶管施工,在顶管刚开始发的阶段,容易在超大正面水土土压力作用下产生后退现象,引起土体扰动而造成道路沉降。面对该难题,传统止退装置是将管节所受的回推力通过插销传递给仅有一根牛腿与横梁及地面连接的止推装置,整体的受力体系过于单薄,对于正面水土压力较大的矩形顶管还是容易造成管节回退,从而引起土体扰动造成沉降,止退效果不佳。传统止退装置如图6所示。

项目部针对顶管止退问题,研发一套新型止退

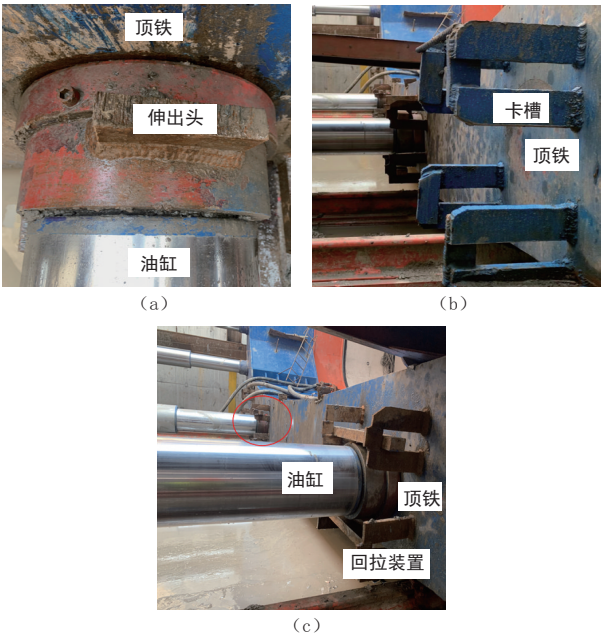


图5 油缸回拉装置



图6 传统止退装置

装置,以达到成功有效止退的目的。在管节吊装位置两侧设置新型止退装置。该装置采用型钢材料,型钢横梁抵住相对应的两侧内衬墙上并采用螺栓进行固定,同时在型钢横梁两侧设置钢牛腿,钢牛腿一端与型钢横梁进行焊接,一端连接地面,由此构成一个受力稳定可靠的新型止退装置。新型止退装置如图7所示。通过力的传递,最终由后靠墙全部承受回退力,后靠墙能够承受顶管施工的最大顶力,自然能够承受该回退力。

3.3 自动水土补偿装置

针对矩形顶管平行下穿福泉路道路以及超浅覆土引起的“背土”现象而造成道路沉降问题,除了采用管节表面抹腊、注浆润滑减阻以及控制顶进速度等措施外,项目部同时还采用自动水土补偿装置来弥补沉降部位造成的水土流失。

顶管施工期间,由第三方监测单位每天出具地表沉降量报告,通过监测报告可以清楚知道地表具

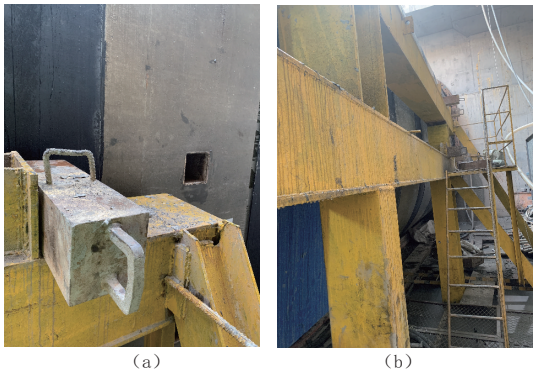


图7 新型止退装置

体部位发生了多少沉降量,对于已经发生沉降部位的地表可通过往管节的注浆孔注入黄土来弥补沉降量,通过在管节注浆孔的位置安装自动水土补偿装置(见图8),再通过智能控制系统(见图9)来实现对水土流失的自动补偿。自动水土补偿装置相比较传统打土补偿,不仅能够由智能精准控制需要补偿的水土量,同时水土补偿效率极高,可以快速完成水土补偿,水土补偿完成之后再通过管节注浆孔注入触变泥浆,对管节外壁泥浆套以及顶管施工不会产生任何影响。



图8 自动水土补偿装置



图9 智能控制系统

4 施工监测

顶管施工前由专业第三方监测单位在福泉路道路上布设共70个路面沉降监测点,用以监测顶管施

工期间福泉路道路的沉降情况。同时顶管施工期间,由第三方监测单位每天出具一份道路沉降监测报告,通过汇总收集顶管施工期间每天监测报告沉降量的最大值,从矩形顶管始发日期2023-10-18开始,到矩形顶管接收日期2024-01-09结束,共94份监测实时数据,福泉路矩形顶管施工过程中通过沉降控制技术措施,将道路沉降严格控制在10 mm范围内。监测道路每日最大沉降量如表1和图10所示。

表1 福泉路矩形顶管施工期间监测道路沉降最大值 单位:mm

日期	沉降量	日期	沉降量	日期	沉降量
10-18	4.31	11-19	8.97	12-21	8.48
10-19	5.44	11-20	8.34	12-22	9.78
10-20	6.67	11-21	8.30	12-23	9.26
10-21	8.01	11-22	9.60	12-24	9.24
10-22	6.08	11-23	8.23	12-25	9.13
10-23	8.61	11-24	9.56	12-26	8.56
10-24	7.62	11-25	8.56	12-27	9.09
10-25	9.15	11-26	8.34	12-28	9.46
10-26	9.95	11-27	8.31	12-29	9.00
10-27	9.46	11-28	6.69	12-30	9.68
10-28	8.71	11-29	6.67	12-31	9.89
10-29	8.36	11-30	6.66	10-01	9.55
10-30	9.48	12-01	7.04	01-02	9.80
10-31	9.18	12-02	8.96	01-03	9.67
11-01	8.16	12-03	8.55	01-04	9.64
11-02	8.44	12-04	7.21	01-05	9.70
11-03	9.98	12-05	9.00	01-06	9.16
11-04	9.61	12-06	9.48	01-07	9.25
11-05	9.64	12-07	9.11	01-08	9.59
11-06	9.77	12-08	9.39	01-09	9.24
11-07	9.46	12-09	9.06	01-10	9.13
11-08	8.86	12-10	9.22	01-11	8.47
11-09	9.85	12-11	9.71	01-12	8.89
11-10	9.32	12-12	9.14	01-13	9.30
11-11	9.28	12-13	9.02	01-14	9.60
11-12	9.07	12-14	9.93	01-15	9.08
11-13	9.23	12-15	9.81	01-16	9.19
11-14	9.76	12-16	9.33	01-17	9.82
11-15	9.33	12-17	9.96	01-18	8.91
11-16	9.86	12-18	9.60	01-19	8.40
11-17	9.09	12-19	9.90		
11-18	9.19	12-20	8.96		

5 结 论

上海市长宁区福泉路地下人行通道工程作为国内一次顶进距离最长的矩形顶管,面对平行下穿市中心主要道路、断面大、浅覆土等复杂工况,成功将道路沉降控制在10 mm范围内,其顺利贯通为以后

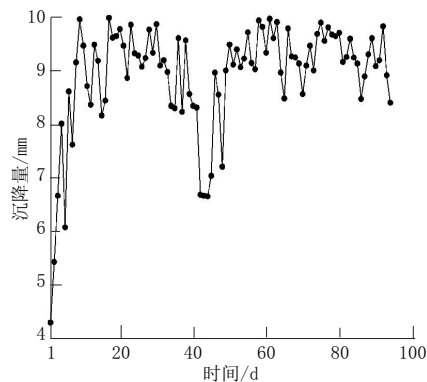


图 10 监测道路沉降量

类似矩形顶管项目施工可提供宝贵的经验和鉴借,通过本工程使用到的油缸回拉装置、新型止退装置以及自动水土补偿装置技术措施,可得出以下结论:

(1)通过在液压油缸与顶铁之间设置回拉装置,实现了顶管一体式施工,避免了顶铁吊装这一步骤,节省了顶管机非工作时间,在降低沉降风险的同时也极大提高了管节拼装和顶进效率,对于长距离顶管的施工效果更为显著。

(2)采用新型止退装置,能够成功的对大断面矩形顶管起到止退效果,解决了顶管刚始发阶段顶管回退的问题,稳定了顶管机和管节。

(3)采用自动水土补偿装置,对道路沉降部位实现了自动水土补偿,弥补了水土流失导致的沉降问题,同时也对顶管顶进路线周边的软弱土层进行补强。

参考文献:

[1] 许有俊,王雅建,冯超,等.矩形顶管施工引起的地面沉降变形研究[J].地下空间与工程学报,2018,14(1):192-199.

[2] 荣亮,杨红军.郑州市下穿中州大道超大断面矩形顶管隧道施工沉降控制技术[J].隧道建设,2015,35(12):1338-1344.

[3] 杨红军,荣亮,徐虎城.超大断面矩形顶管减阻技术在郑州市下穿中州大道隧道工程中的应用[J].隧道建设,2016,36(4):458-464.

[4] 卢康明,王金一,黄德中,等.城市密集区超大断面矩形顶管设计与施工关键技术[J].施工技术(中英文),2022,51(7):69-73.

[5] 熊诚.大截面矩形顶管施工在城市地下人行通道中的应用[J].建筑施工,2006(10):776-778.

[6] 徐宏,叶飞,刘奇,等.大断面矩形顶管施工地层变形及顶进参数控制研究[J].现代隧道术,2022,59(6):97-105.

[7] 桂林,任睿祺,史培新,等.浅埋矩形顶管施工引起的地层沉降变化规律[J].城市轨道交通研究,2022,25(12):94-100.

[8] 徐新,付江山,吴晓斌,等.矩形顶管施工引起的地表沉降研究[J].公路工程,2017,42(4):4-9.

[9] 姜洪建.超大断面矩形顶管隧道施工引起的地表沉降规律研究[D].郑州:华北水利水电大学,2019.

[10] 戢鸿鑫,刘跃军,张强,等.浅埋大断面矩形顶管下穿京杭大运河施工关键技术研究[J].施工技术(中英文),2023,52(7):39-45.

[11] 骆发江,刘强,黄松松,等.综合管廊下穿城市排水箱涵大截面双矩形顶管施工技术[J].施工技术(中英文),2021,50(22):48-52.

[12] 彭立敏,王哲,叶艺超,等.矩形顶管技术发展与研究现状[J].隧道建设,2015,35(1):1-8.

[13] 尚亮.大断面矩形顶管对周围土体及地下管线的影响研究[D].广州:广东工业大学,2020.

[14] 贾远航.矩形顶管隧道施工对地层及邻近地下管线的影响研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2020.

[15] 林晓庆.矩形顶管施工对邻近地下管线的影响分析[D].广州:广州大学,2012.