

# 超大矩形断面顶管进出洞施工技术

王申龙

中铁十四局集团第二工程有限公司

**摘要:**作为新兴顶管施工工艺的矩形顶管,在城市地下空间的利用率逐步提高,施工中能够有效控制地面和管线沉降,减少对周围土体的影响,但矩形顶管进出洞风险控制一直是一项关键施工技术。本文将结合太原地铁2号线一期工程车站附属结构矩形通道工程,通过对洞口土体加固、洞门密封安装、工作井洞口外降水井设置等叙述,为今后矩形顶管施工技术提供科学性的依据。

**关键词:** 矩形顶管; 风险控制; 进出洞

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.11.060

## 一、所处环境

太原市轨道交通2号线一期工程途经小店区、迎泽区、杏花岭区、尖草坪四个行政区,起于人民南路站,沿人民南路、长治路、解放路等太原中心线路北上,止于西涧河站,全长23.38km,共设有23所座车站,本工程涉及其中5所车站,均处城市中心,地下管线纵横交错,地质复杂,施工难度大。

## 二、工程概况

太原地铁2号线一期工程车站附属结构矩形通道工程共包含5所车站8条通道,由南至北顺序依次为龙城大街西站(1A、4C矩形通道)、学府街站(4B矩形通道)、长风街站、南内环街站、大南门站(1号、2号、3号矩形通道),矩形通道全长共计563.1m。通道采用预制钢筋混凝土矩形管片,标准管节长度1.5m,结构顶板、底板、侧墙厚度为0.45m,采用F型承插式接口,设计通道宽尺寸6.9m×4.9m,通道净空为6m×4m。

## 三、工程地质情况

### (一) 地形地貌

太原市整个地势北部稍高,南部略低,逐渐倾斜,呈簸箕状。太原市轨道交通2号线位于太原盆地北端,汾河东岸漫滩及一级阶地区,地形平坦,北高南低,由于城市建设,漫滩、一级阶地阶面高程变化并不明显,呈渐变趋势。其中龙城大街西站地貌单元属汾河东岸漫滩地区,距汾河约2.0km,地势平坦,北高南低,最低点位于迎泽湖,地面标高约为770m~789m,平均坡度为0.73m/km;学府街站、长风街站、南内环站、大南门站地貌单元属汾河东岸一级阶地地区,距汾河约2.0km,地势平坦,北高南低,局部略有起伏,地面标高约为779m~810m,平均坡度为2.5m/km。

### (二) 地质水文

本工程地下水为第四系松散层孔隙潜水,含水层

为第四系全新统人工填土、冲积粉土及砂层,详细勘察期间2015年10月3日~2015年10月15日测得水位埋深1.6~5.7m,高程785.76~789.55m。

### (三) 矩形顶管机选型

本工程的顶管机选用4.9m×6.9m的六刀盘矩形顶管机,刀盘采用六角型。内部采用双螺旋出土机控制排土量来平衡土压力和地下水压力;配有18台铰接油缸,上部、左右侧各设置4台,下部设置6台。为了更好的保证矩形顶管轴线控制,保证既有路面及管线沉降控制,在矩形顶管机前筒上下两侧留有3个 $\phi 50$ 打泥孔,左右两侧留有2个 $\phi 50$ 打泥孔,在进出洞过程中可用于辅助纠正顶管机姿态,保证顶管顺利进出洞<sup>[2][7]</sup>。

## 四、进出洞存在的问题及防控措施

顶管机在进洞、出洞时存在各种较大的风险及安全隐患,如果施工过程中采取的措施控制不到位或问题处理方法不当,造成质量缺陷会对工程施工形成严重的影响,如:安全事故、耽误工期,资金浪费,设备淹埋等。

### (一) 进出洞的风险及问题

(1)本工程选用的矩形顶管机自重194t,在进洞、出洞环节极易出现“磕头”的现象,原因在于进洞、出洞时加固区土体与自然土体强度不同,在进入自然土体时极易出现“磕头”的现象。

(2)顶管机进出洞的姿态及轴线偏差较大,导致无法正常进洞、出洞;其中极易造成的问题如:出洞后顶管机轴线存在偏差,导致通道整体偏差很大,偏离设计轴线,最终导致无法施工、临时更改设计、延误工期、成本增加等诸多不利影响。<sup>[4]</sup>

(3)进出洞时洞口均有可能发生涌泥涌沙。

始发洞门凿除时,应考虑土体加固强度是否足够,若存在强度欠缺的现象,洞内土体不能自立,密封装置不能够及时阻止洞内土体,从而造成洞门周围的地面塌陷,严重的影响地下管线和周边构建筑物的安全。

进洞时,应提前对接收洞门外6m进行加固,待强度检验合格后,对其进行破除;因接收洞门与顶管机和管片单边相差15cm的间隙,在进洞时,若洞门土体加固效果不好或存在空洞等现象,极易造成洞门涌水、涌砂、涌泥等安全事故<sup>[5]</sup>。

(4)顶进速度过快,出洞时依次通过洞门密封圈,土体加固区,进入自然土体。土体加固区强度较大,因此必须控制顶进速度,防止因顶进速度过快导致土舱压力较大,洞门密封橡胶圈外翻,从而导致洞门涌

水,漏泥,跑浆等不良现象<sup>[1]</sup>。

## (二) 进出洞风险控制采取的措施

进洞、出洞是顶管施工过程中两个较大的风险施工部位,根据上述可能发生的问题,制定了相应的风险控制措施,确保进、出洞阶段的安全施工。

### (1) 工作井的围护结构

由于主体结构均由车站主体单位施工完成,各标段施工存在差异性,围护结构多数是 $\phi 800$ 钻孔灌注桩,洞门处留有预埋钢套环,且钢套环单边大15cm。除此之外,部分车站工作井周边采用三轴搅拌桩进行地基处理加固。

### (2) 对进出洞区域进行土体加固

采用深层搅拌、压密注浆、化学注浆等土体加固方法,目的是将始发井接收井洞门处一定范围内的土体预先固结,达到进出洞强度要求,使得在进洞、出洞前破除后的土体能够自立。但是地基加固后的土体强度均匀性差,特别在地质较软的车站工作井,应加强土体强度的检测,使所有洞门的加固强度达到设计标准,在做始发接收洞门处加固处理时,充分考虑刀盘切削与土体加固强度匹配情况<sup>[5]</sup>。

本工程在始发端、接收端6m加固区内打设5排实桩深度为10.9m的高压旋喷桩,并在洞门处采用 $\phi 50@800$ 或 $\phi 42@500$ 长度6m的两种水平径向深孔注浆加固,设计强度为要求 $q_u \geq 1.0 \text{MPa}$ ,经现场取芯,送至第三方检测单位进行监测,洞门土体七天加固强度为2.4MPa,并针对高强度土体,在机头刀盘做了加强处理,从而保证除洞门破除部分的加固区域能够正常顶进施工,在提升洞门土体的稳定性的同时,也有效降低了进洞、出洞的塌陷、涌泥风险<sup>[6][8]</sup>。

### (3) 洞门探孔

在洞门范围内布置水平探孔,探孔直径为10cm,探孔深度为2m,以打穿围护结构为准。如果孔内有连续流水,则马上用快速水泥将孔封住,在拆除部位做压密注浆堵漏,保证洞门土体的安全性和稳定性。

### (4) 进出洞安装橡胶帘布密封圈

进出洞密封橡胶圈的安装是矩形顶管的一项重要工序。由于预埋钢环与矩形顶管机间隙约15cm,极易引起涌水、涌泥、涌砂等风险。因此,施工前在洞门预埋钢环上安装厚度为4cm洞门帘布橡胶密封圈,且采用2cm的钢板作为翻板。该装置安装在内衬洞口预留法兰上,由帘布橡胶板与压板组成,需与设计管位保持同心,误差小于20mm。安装前须对帘布橡胶板上所开螺孔位置、尺寸进行复核,确保其与洞圈上预留螺孔位置一致。安装顺序自上而下进行。压板螺栓应可靠拧紧,使帘布橡胶板紧贴洞门。采用这种方式有效阻止一定的出洞口涌水涌泥的现象,降低了触动过程中的风险<sup>[3][8][10]</sup>。

### (5) 围护结构凿除

洞门探孔达到要求强度且无漏水时,顶管机贴近洞门围护结构至1m位置,设备调试全部完成可正常工作,洞门止水装置安装完成后进行围护结构凿除。围护结构凿除需遵循先外后内、先上后下的顺序,尽快凿除以减少裸露土体暴露时间。围护结构凿除时应加强洞门处沉降变形测量监测,当变形速率在可控范围时,顶管机及时顶进贴合掌子面稳定土体,保证路面基坑安全<sup>[9]</sup>。

### (6) 进洞口设喷锚支护临时封面

为保证矩形顶管机安全、迅速进洞,防止接收井洞门在破除后涌泥、涌砂,接收上方路面塌陷,本工程在接收洞门进行凿除后,对其进行厚度为10cm的喷锚支护,降低进洞过程中的风险。

### (7) 进出洞口外设降水井

本工程除龙城大街西站的两条矩形通道外,其余车站的通道均处于富水状态。因此在学府街站、长风街站、南内环街站、大南门站工作井外设降水井。经调查,本工程水位最低点的大南门车站,水位埋深仅有2.2~5.7m,根据《山西省太原市地下水动态观测报告》,每年12月至次年1月为枯水期,7月~9月为丰水期,年变幅水位为1.0m。本次勘察处于丰水期。因此在施工期间,保证降水井时时刻刻处于正常使用状态,且在进出洞期间,降水井保持使用状态,保证进出洞顺利进行<sup>[11]</sup>。

### (8) 顶进参数的控制

由于在进出洞时,顶进的速度及土舱压力会对进出洞环节产生一定的影响,顶进速度过快和土舱压力较大会造成橡胶止水帘布外翻,从而导致洞门些许的涌水、涌泥、跑浆等不良现象。因此,顶进的初始速度应控制在0mm/min~20mm/min,顶进期间速度控制在20mm/min~30mm/min,出土量的理论值应该控制在98%~100%,接收过程中,速度应控制在5mm/min~110mm/min;土舱压力在出洞期间应控制在1.3Bar,正常顶进期间应保持在1.5Bar~1.8Bar,顶进参数的控制也是对进出洞环节一项至关重要的技术保证措施。

### (9) 顶进过程中的轴线控制和防止“磕头”

根据本次矩形顶管施工,经研究发现矩形顶管轴线及姿态的准确程度取决于基座的安装、调节。故在安装矩形顶管机前筒时必须与顶进轴线保持一致。前期准备工作的好坏决定了出洞期间的姿态和轴线良好性、稳定性。在顶进施工期间,必须密切注意顶进轴线的控制。始发阶段:每顶进300mm,测量不应少于一次;在正常顶进期间,顶完一节管片后和下新的一节管片时,即1500mm,必须进行轴线复核测量,从测量数据进行调整矩形顶管机姿态和轴线控制,并且做到勤纠慢纠,纠偏的幅度不宜过大,避免因纠偏造成土体扰动过大与管片出现张角,从而造成一定的沉降。矩形顶管对轴线的

控制度要求极高，所以机头的转角和转速应该密切关注，一旦转角较大，整体的轴线偏差很大，应该立即做出相应的调整，顶进轴线控制为：高程 $\pm 50\text{mm}$ ；水平 $\pm 50\text{mm}$ 。最终影响进洞的姿态是否准确。

矩形顶管机进入自然土体后，由与前后土体差异较大，考虑机组重自身重量的情况下，顶管机极易可能发生头“磕头”的现象，本工程参考类似工程施工经验，经方案论证，采用连接拉杆方式将矩形顶管机和前五节矩形管片连成一个整体，可以有效的防止矩形顶管机发生“磕头”，保持良好的轴线和姿态。

除此之外，在顶管选型时增加了上下左右四面共计10个打泥孔用辅助纠正顶管机姿态。保证了矩形顶管机姿态和轴线的控制，确保进洞、出洞的安全顺利进行<sup>[12]</sup>。

## 五、矩形顶管进出洞过程中的安全控制

由于矩形顶管进出洞工序存在较大的风险，必须进行有效的风险管控，采取一系列的安全控制，必须保证在施工期间不发生任何安全事故。在太原地铁2号线一期工程车站附属结构矩形通道工程中，主要采取了以下防控措施<sup>[5]</sup>：

### (1) 路面探测

在进出洞作业前，本工程采用物探和人工挖探沟方式，对影响进出洞及整个通道范围内及周边的地下管线和障碍物进行探测，根据探测情况形成书面报告，主要包括：平面位置图，纵断面位置图，管线统计表，以及物探报告等，根据这些报告，结合图纸、勘察单位提供的地质水文情况及周边工况等条件，制定了不同车站的安全专项施工方案（如：南内环街站矩形通道安全专项方案），并通过专家论证，审定通过<sup>[9]</sup>。

### (2) 洞门探孔探测

为保证进出洞的安全，在洞门土体加固后，打设探孔探测土体加固情况，若出现渗水、涌泥应及时采用快速水泥将孔封堵，并在探孔周边做压密注浆堵漏<sup>[12]</sup>。

### (3) 施工监测点布设与平台预警

由于本工程处于城市中心，施工地点均处于城市主要道路干线和敏感地段，必须保证施工过程中道路上车辆行驶安全和周围构筑物的安全稳定，因此，在主要的构筑物、管线及道路布设监测点。根据建设单位风险管控平台监测预警原则，地面监测预警：沉降 $\geq 30\text{mm}$ ，隆起 $\geq 30\text{mm}$ ；管线监测预警：沉降 $\geq 10\text{mm}$ ，隆起 $\geq 10\text{mm}$ 。

### (4) 管线交底

在本工程探沟施作时，先与相应的产权单位沟通，了解地下管线情况，且由建设单位组织，监理单位监督旁站，产权单位进行交底，形成书面记录，并且明确可能性的问题，出现风险隐患后责任方及分工情况，上报工程质量安全监督站备案。

### (5) 综合应急预案

由于本工程处于城市中心，地下情况复杂，风险较大，施工单位编制了相应的《综合应急预案》，且组织多位专家进行论证，审定通过，确保方案的可行性，保证本工程顺利圆满完成施工。

## 六、结束语

太原地铁2号线一期工程车站附属结构矩形通道工程在进出洞施工过程中风险控制成功在于采用科学、合理的施工技术措施。作为本工程的技术人员，通过认真分析与本工程相关的物探报告，勘察报告，施工图纸地质水文条件和地下复杂的管线情况，制定可行性的安全专项施工方案，指导本工程施工，确保施工过程中的风险可控，施工顺利进行。

## 参考文献

- [1] 余彬泉, 陈传灿. 顶管施工技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [2] 刘平, 戴燕超. 矩形顶管机的研究和设计 [J]. 市政技术, 2005, 23 (2): 92-95, 101.
- [3] 赵峻, 戴海蛟. 隧道盾构机进出洞施工技术 [J]. 城市道桥与防洪, 2007 (9): 62-67.
- [4] 魏新江, 郭志威, 魏纲, 丁智, 盾构法隧道进出洞灾害控制研究综述, 地下工程建设与和谐发展——第四届中国国际隧道工程研讨会, 2009-10.
- [5] 徐庆平, 宋炳锐. 矩形截面顶管工艺进出洞风险控制 [J]. 现代交通技术, 2009, 6 (06): 74-77.
- [6] 潘伟强, 朱雁飞, 刘孟波, 马忠政. 软土大断面组合顶管法暗挖地铁车站施工技术探讨 [J]. 上海建设科技, 2019 (03): 11-14.
- [7] 王毅. 软土地区复杂环境下矩形顶管设计与应用 [J]. 科学技术创新, 2019 (14): 97-101.
- [8] 王彬, 孙亚刚, 任润田, 邢礼荣. 谈顶管施工进出洞预加固措施 [J]. 山西建筑, 2017, 43 (34): 189-191.
- [9] 潘伟强, 超大型异形顶管工作井施工关键技术研究. 上海市, 上海隧道工程有限公司, 2015-11-17.
- [10] 王翔宇. 适用于高水压的顶管进出洞止水装置研究 [A]. 中国地质学会非开挖技术专业委员会 (China Society for Trenchless Technology (CSTT)). 2015年非开挖技术会议论文集 [C]. 中国地质学会非开挖技术专业委员会 (China Society for Trenchless Technology (CSTT)): 非开挖技术杂志, 2015: 4.
- [11] 刘斌. 顶管进出洞封门做法及止水措施的探讨 [J]. 化工管理, 2014 (29): 258.
- [12] 郭杰阳. 大口径泥水平衡顶管进出洞技术措施 [J]. 福建建筑, 2012 (11): 87-89+65.