

盾构顶管施工技术在市政桥梁隧道工程中的应用

潘可为

四川宏图都市设计咨询集团有限公司重庆分公司

DOI:10.12238/bd.v8i2.4138

[摘要] 基于目前盾构顶管施工技术在市政桥梁隧道工程中的应用现状,本文在分析市政桥梁隧道施工研究成果的基础上,阐述了在施工现场准备、盾构顶管受力值计算、隧道洞口处置、盾构顶管安装、摩擦力降低措施、矩形管节施工作业等方面的市政桥梁隧道施工技术,通过市政桥梁隧道工程施工实例,验证上述施工技术满足相应规范要求。

[关键词] 市政桥梁隧道; 盾构顶管; 施工技术; 应用

中图分类号: TU99 **文献标识码:** A

Application of shield pipe-jacking construction technology in municipal bridge and tunnel engineering

Kewei Pan

Sichuan Hongtu Urban Design Consulting Group Co., Ltd. Chongqing Branch

[Abstract] Based on the current situation of municipal bridge tunnel engineering, this paper, on the basis of analyzing the research results of municipal bridge tunnel construction, elaborated in the construction site preparation, shield jacking force value calculation, tunnel hole disposal, shield jacking body installation, friction reduction measures, rectangular pipe tunnel construction technology, through the municipal bridge tunnel engineering construction example, verify the construction technology meet the requirements of the corresponding specifications.

[Key words] municipal bridge tunnel; shield pipe jacking; construction technology; application

市政桥梁隧道施工在城市建设中具有战略地位,许多专家耗费了大量精力对其展开研究,取得了许多具有建设性的研究成果。传统施工技术,很难切实提高隧道施工质量,隧道内地表易出现不同程度隆起及沉降变形情况,同时管节接头处的沉降量很大,为隧道工程交付后的使用带来安全隐患。本文重点研究盾构顶管施工技术在市政桥梁隧道工程中的应用,以期提升该类工程的施工质量。

1 盾构顶管施工技术在市政桥梁隧道工程中的应用要点分析

1.1 施工现场准备

盾构顶管施工作业现场准备工作主要包括:将施工所用机械设备及材料放置现场指定位置,并完成清场;在隧道两侧出入口位置使用明挖法挖掘设备安装井,用于安装盾构顶管管体;对隧道出入口进行加固和止水施工,以确保施工作业的正常进行和盾构顶管机的作业安全;在顶进施工作业时,采用矩形管节支护隧道上方覆土,避免地表隆起和沉降变形的发生;根据市政桥梁隧道设计图纸和施工现场实际情况设置盾构顶管技术参数,并开始盾构顶进施工作业。

1.2 计算盾构顶管受力值

盾构顶管管体完成安装后,按照项目特点设定盾构顶管机主顶力、正方向土压力等相关参数,在盾构顶进施工时,盾构顶管机受到正方向土压力,依据弹性土压力理论,计算盾构顶管机正方向土压力理论值,其公式为: $U = M \epsilon g$ 。上式中U为盾构顶进正方向土压力;M为隧道盾构顶管覆土的深度; ϵ 为容重;g为隧道盾构顶进土体的侧方向系数。

然而在现实作业中,盾构顶管机自隧道洞口区域顶进原状土时,需加大盾构顶管机正方向土压力数值,并超过理论数值。为了保持盾构顶管作业效率,由盾构顶管机初始拉力和正面阻力,计算盾构顶管作业主顶力数据,盾构顶管机正面阻力的计算公式为: $F_1 = 2(z+k)wq$ 。上式中 F_1 为盾构顶管正面阻力;z为盾构顶管机的宽度;k为盾构顶管机的高度;w为盾构顶管顶进深度;q为盾构顶管外表面与岩体的摩擦力平均值。

其中盾构顶管机外表面与岩体的摩擦力平均值q的计算公式为: $q = sa + \eta \delta$ 。上式中s为盾构顶管外表面摩擦系数;a为盾构顶管的外周长; η 为盾构管节1m所受重力; δ 为管节重力与岩体间摩擦系数,该摩擦系数一般介于0.25~0.55之间。

先通过计算得出盾构顶管机外表面与岩体的摩擦力平均值 q ,进而计算出盾构顶管正面阻力 F_1 。然后按照以下公式计算出盾构顶管主顶力,其公式为: $F=F_1+F_2$ 。上式中 F 为盾构顶管主顶力, F_2 为盾构顶管初始力。按照上述公式计算完毕后,根据计算结果,设置盾构顶管正方向土压力及主顶力参数值。参数值设置后,即可开始盾构顶管进施工作业。

1.3 隧道洞口的处置

为了确保盾构顶管施工作业的正常进行,需要使用明挖法在隧道两侧设备井内挖掘隧道洞口,挖掘深度为3.5m,以便盾构顶管体完成安装。为了保障盾构顶管作业过程中施工安全,需要使用三轴搅拌桩加固处理洞口区域,避免隧道洞口发生坍塌。搅拌桩直径为750mm,桩体结构为钢筋混凝土,配筋率高于50%。如果作业现场地下水较多,需在洞口区域布置帘布橡胶板密封圈,同时在洞口区域安装3~4口降水井,在盾构顶管作业过程中将涌出的地下水引入降水井,以达到止水效果。

1.4 安装盾构顶管体

盾构顶管体由盾构机和顶管机2个主要部分构成,顶管机负责顶进,盾构机负责挖出管内岩土。根据项目具体状况,针对性完成盾构顶管体安装工作。使用专业运载机具将盾构机和顶管机运送至隧道洞口指定区域,在隧道距离底板前方0.5m处安设下托板,把盾构主体和顶管主体固定在下托板上,顶管主体结构安设在前部,盾构主体结构安设在后部,将顶管和盾构主体结构焊接在一起,并与下托板进行焊接。

顺着隧道轴线方向开凿边线,使用钢筋混凝土硬化处理沟槽基底,将预埋托板与盾构顶管墩柱精细焊接。在隧道洞口处搭建临时平台,在临时平台上建造盾构顶进体主梁。在盾构顶进主体上安装外壳,材料采用厚度为18.55mm的钢板,其宽度比隧道宽度大约26.55mm。将盾构顶管体外壳、顶板底部及主梁焊接在一起,完成盾构顶管体安装作业。

1.5 降低摩擦力的措施

为了减轻岩土对顶管机配套刀具的破坏,降低在盾构顶进时顶管机与接触岩土之间的摩擦力,使用混合注浆减摩方式开展顶进施工作业。将一个泥浆套安设在盾构顶管体上,泥浆套和管材间的缝隙填满渗透块。膨润土泥浆的润滑效果好,在水泥砂浆中添加膨润土形成膨润土泥浆,通过注浆泵打入渗透块里,注浆压力值为3.25~5.25MPa。在盾构顶管机的顶进作业中,膨润土泥浆渗透进四周岩土体并进行扩散,填满土体颗粒的间隙。一段时间后,土体颗粒间渗透的泥浆形成凝胶体,达到降低在盾构顶进时顶管机与接触岩土之间摩擦力的作用。

1.6 矩形管节施工作业

(1) 计算矩形管节受力值。盾构顶进施工作业在一定程度上,会破坏岩土的主体结构,引起地表沉降、隆起变形等。因此在盾构机顶进作业的同时,须采用矩形管节进行支护。矩形管节的壁厚很重要,直接影响其支护效果。经过精确计算矩形管节荷载,可得出其壁厚尺寸。支护矩形管节,需满足其轴向推力的最低值,其公式为: $V=WS_p$ 。上式中 V 为矩形管节轴向推力最低值; W 为矩

形管节的受力面积; S 为管材抗压强度,矩形管材通常采用C50规格钢筋混凝土; p 为矩形管节后座反作用力。使用此公式计算矩形管节荷载,直至矩形管节推力最低值大于其最大承受力为止,以此确定管节的壁厚值。

(2) 注浆作业。在顶进作业的同时进行注浆。为确保注浆均匀,需使用并联式注浆管路。在注入浆液之前进行配筋作业,采用5.5mm直径的钢筋,其间距介于25~45mm之间。每顶进15m进行二次注浆,注浆量为同步注浆量的50%。盾构机顶入隧道洞口之后,开始增加二次注浆量,调整其为同步注浆的75%,确保隧道洞口结构稳定。矩形管节同步支护作业,可有效提升桥梁隧道覆土层稳固性。当矩形管节初凝后,需实时检验其抗压度,如发现低于抗压度要求值,需进行补浆作业,达到合格标准为止。

(3) 管节顶进。顶管机顶进过程中,使用盾构机对土体进行挖掘。1个作业周期为1个管节的顶进时长,一个管节顶进后,重复相同方式操作下一个管节顶进,直至完成市政桥梁隧道工程的盾构顶管施工作业任务。

2 工程实例

2.1 工程概况

某市政桥梁隧道工程的施工地点位于市中心,隧道为东西方向,中间贯穿多条管线和市政道路,隧道附近存在多条市政管线。施工地点的地质情况比较复杂,覆土层主要由人工填土构成,并掺有部分淤泥,覆土层厚度约为11m,为此施工过程易对周围交通和环境造成影响,施工难度较大。该隧道挖深为13.25m,隧道底部土质多为砂卵石,其厚度接近6m,且硬度较高。隧道设计长度为146.25m,隧道的主通道宽度为8.555m,高度为5.35m。隧道两侧出入口采用明挖法进行施工,主通道采用盾构顶管技术进行施工。根据本工程特点,将盾构顶管机正方向土压力值设定为136.35MPa,将主顶力值设定为149.42MPa,矩形管节壁厚为650mm。

2.2 盾构顶管施工技术在市政桥梁隧道工程中的应用分析

(1) 管道偏差预防与纠正。管道轴线位置与工具管刀盘、主油缸等如未保持平行,随着顶进过程的持续,管道扭矩会逐渐积累增大,如不及时纠正将导致管道出现扭转;在顶管施工过程中,当管道内部设备组合或位置布设不合理,也会出现这类问题;此外,地质条件的突然变化,如管道两侧地质差别突然增大也可能导致管道偏位。为避免出现管道偏位,首先应对顶管设备安装精度进行有效控制,确保管道轴线保持平行以及主油缸的稳固性,必要时对偏差进行有效控制。在施工过程中,严格按照预定流程进行;并以重量对称分布为基本原则,对管道内部的设备进行合理布设,以有效避免管道扭转问题。此外,针对已经存在的扭转力,应适当施加外力进行平衡纠偏。当顶距小于15m时,建议通过主压千斤顶的方式,对管道轴线偏差进行校正,让偏差处于允许范围。

(2) 导轨偏移纠正。结合工程实际情况,对导轨进行设置。导轨如果刚度不足或没有充分固定,一旦受到外力作用或震动,大概率会出现偏移;此外,如果工作井的井底板发生了变形或者

是受损,又或者顶进后座不够稳固,当顶进产生作用力时,顶管轴线与主顶油缸之间的平行度将迅速出现变化,这时将不仅会出现位置偏移,还会导致导轨受损。此时可以将硬木、钢板、型钢等作为垫木,在导轨下面整平并紧密地放置,或者是直接用型钢或者是钢板在导轨上进行焊接,均可以增强导轨稳定性,从而有效控制偏移问题。

(3)后靠背变形与位移偏差控制。后靠背如果采用单块厚钢板制作或后靠背管口以及后预留孔处没有垫实,将会因刚度不足导致后靠背出现位移或变形,甚至出现损坏的情况。在作业过程中,如工作井采用钢板柱支护,也可能由于被动抗力、覆土厚度等不足,造成钢板柱位置偏移,进而导致后靠背位移或变形等。基于此,应选择刚度满足实际需求的钢结构,如工字钢叠加成墙的形式,对后靠背后的洞口进行设置,并将管口、洞口等垫实;此外,还应后座墙后侧的土体加固,如采用压密注浆或在地面上放置钢锭等方式,均可有效增加地面负荷,避免产生偏差。

(4)管节接头处沉降值。管节接头处变形沉降和地表沉降是盾构顶管施工的重点管控对象,也是市政桥梁隧道竣工验收的关键项目。隧洞施工完成后,须对管节接头处沉降值和地表沉降值进行严格检测。检测方法如下:随机抽取7个管节接头处,使用全站仪测量其沉降值;随机抽取7个管节接头施工区域,使用全站仪测量其地表沉降值,并记录测量数据。根据相关工程管理规范要求,市政桥梁隧道项目中涉及盾构顶管施工作业的管节接头处沉降值不得大于15.25mm,地表沉降量不得大于20.25mm。该隧道完成施工,使用全站仪对随机抽取的7个管节接头处和7个管节接头施工区域地表的测量结果表明,管节接头处的最大沉降值为4.31mm,施工区域地表的沉降值为7.25mm,均大幅低于规定值,这说明此项目盾构顶管作业沉降指标符合技术要求。

(5)检测地表隆起值。在盾构顶管作业过程中,如果发生注浆量不准确、顶推参数设置不科学等情况,会引起地表隆起变形。为更科学验证该盾构顶管施工技术的可行性,在施工区域随机抽取8个测量点,在施工完成后使用全站仪测量地表隆起值,并记录了测量数据,如表1所示。

从表1可知,相关工程管理规范要求市政桥梁隧道项目中涉

及盾构顶管施工作业的地表隆起值不得高于48.55mm。该隧道项目完成施工后测量的地表隆起量最值为20.32mm,大幅度低于规定值。测量结果表明,本隧道项目采用的盾构顶管施工技术可以有效控制施工区域沉降和变形程度,切实提高了施工质量。

表1 盾构顶管施工隆起变形测量结果

测量点 编号	测量值 mm	隆起限值 mm	测量点 编号	测量值 mm	隆起限值 mm
A	14.24	48.55	E	16.53	48.55
B	13.21	48.55	F	18.12	48.55
C	20.32	48.55	G	14.98	48.55
D	18.52	48.55	H	14.75	48.55

从表1可知,相关工程管理规范要求市政桥梁隧道项目中涉及盾构顶管施工作业的地表隆起值不得高于48.55mm。该隧道项目完成施工后测量的地表隆起量最值为20.32mm,大幅度低于规定值。测量结果表明,本隧道项目采用的盾构顶管施工技术可以有效控制施工区域沉降和变形程度,切实提高了施工质量。

3 结语

通过工程实例,盾构顶管施工技术在市政桥梁隧道工程中的应用可有效降低管节接头沉降值和地表沉降值,避免地表隆起变形,提高施工质量,对提升我国市政桥梁隧道项目的建设水平,具有一定应用价值。

[参考文献]

- [1]邓章铁,杨圣虎,吏细歌.超深长距离顶管对接施工关键技术研究与应用[J].中国给水排水,2023,39(02):125-132.
- [2]庞洪贤.市政桥梁隧道施工中盾构顶管施工技术[J].中国建筑金属结构,2023,22(05):22-24.
- [3]周明.矩形盾构顶管施工技术在城市隧道中的应用[J].科技创新与应用,2014,(15):190-191.
- [4]宋春梅.市政工程施工中顶管施工技术分析[J].科技创新,2019,(30):133-134.