

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.05.062

行星摇臂式顶管机切削玻璃纤维筋砂浆试验研究

蒋宏亮,杨正,黄志红

(上海隧道工程有限公司,上海市 200238)

摘要:目前盾构隧道联络通道主要采用冷冻法对土体降温再进行开挖施工,但在复杂工况环境下仍存在极大施工风险。通过采用专门研制的行星摇臂式顶管机对不同强度等级的玻璃纤维筋砂浆试块进行全断面切削试验,对行星摇臂式顶管机切削玻璃纤维筋、砂浆和刀具磨损情况进行研究。试验表明,行星摇臂式顶管机切削效率理想,试验结果可以促进今后顶管法直接开挖联络通道的理论发展和技术进步,以及指导实际切削钢筋混凝土管片的施工,为今后类似的工程提供相应的参考。

关键词:行星摇臂式顶管机;顶管;切削试验;玻璃纤维筋;隧道工程;砂浆

中图分类号:U455.3

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2023)05-0242-03

0 引言

利用盾构机掘进开挖隧道的施工技术近年来在我国高速发展。与传统的人工开挖隧道和爆破法开挖隧道等方法相比,盾构法节省人力、物力,对施工周围环境影响小,自动化程度高的施工优势越来越明显。在城市地铁隧道规划设计中,除了开挖上下行的主隧道,在上下行隧道间通常还要设置联络通道(又称“旁通道”),用作应对突发性事件时,乘客逃生疏散的通道。

联络通道一般处于较深的土层中,在地下水位较为丰富的区域,传统的方法基本上采用冷冻法对土壤降温进行冻结。当冻结的土体达到一定的体积和强度后,便拆除隧道内预留好的钢管片^[1],再对暴露在外的冻土进行凿除。冷冻法的施工工艺虽已经非常成熟,但由于冻土的冷冻范围较广,质量难以控制,一旦冻土没有达到开挖施工的要求,就可能引发涌水事故,造成巨大的损失^[2]。

为了适应目前隧道联络通道施工所面临的复杂环境和地质条件,解决采用传统工艺隧道联络通道施工存在的问题,采用异形断面更为合理,可减少开挖面积、减少切削土量和渣土处理量,从而提高效率和空间利用率,降低造价^[3]。本文通过采用专门研制行星摇臂式隧道顶管机和驱动系统对布有不同强

度等级玻璃纤维筋砂浆试块的切削试验,研究顶管刀具选型及布置、行星刀盘顶管切削性能等,以便为今后采用顶管法直接切削玻璃纤维筋砂浆的隧道通道施工积累一些经验^[4-5]。

1 行星摇臂式顶管机

行星摇臂式试验样机如图1所示,主驱动部分为圆形,外形直径约为1.4m,后端设有电机驱动,前端通过花键连接偏心摇臂套,并与刀盘连接。

根据图1的驱动原理图,内外圈齿轮通过两组独立的电机驱动。可通过实时控制内外圈齿轮的转动角度与速度,达到控制刀盘圆心的运动轨迹的效果。此外,还可控制内外圈匀速转动使刀盘圆心走出某些特定轨迹。比如,将外圈内齿轮固定,外齿轮绕内齿轮轴线转动,同时自身绕轴线自转,由于设计时大小齿轮齿数比为3:2,在与外齿轮连接的中心轴上连接合适的摇臂与刀盘,即可使刀盘圆心走出类似三角形的轨迹。在需要产生其他形状的断面时,使用电机驱动外圈内齿轮,通过控制内齿轮转动的速度和方向,进而达到改变理论齿数比的目的。

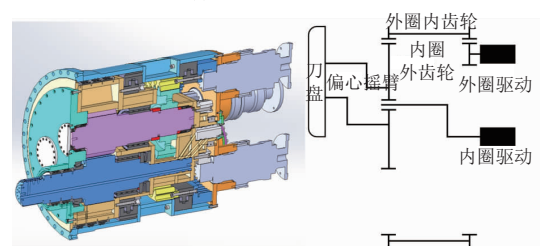


图1 行星摇臂式掘进机驱动总体结构

如图2所示,刀盘与驱动部分为偏心摇臂连接,刀盘采用液压马达驱动,传统液压马达通过油管连

收稿日期:2022-08-10

基金项目:上海隧道工程有限公司科研(2018-SK-07);上海市青年科技启明星计划(19QB1401600)

作者简介:蒋宏亮(1975—),男,本科,工程师,从事科研工作。

接,但在本台样机中,马达位于前部,液压泵等装置位于后部,且中间由于双驱动系统无法直接使用油管连接马达与液压泵,于是为防止干涉,将油路整合在输出轴中,在传动轴的两端通过回转接头结构进行油路的连接,在摇臂内通过油管将液压马达与液压油路连接。

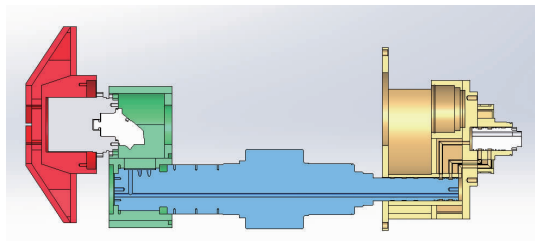


图2 刀盘油路图

2 行星摇臂式顶管机试验概述

2.1 试验平台

本次试验采用下沉式模拟试验平台进行试验。下沉式盾构掘进机综合模拟试验平台主要包括行星摇臂式试验样机、组合式加载和驱动系统、监控测量系统、推进导向滑道、试验试块固定撑架和吊装运输系统等(见图3)。考虑本次试验过程中试验样机会产生较大的抖动,因此在试验样机的外圈增设一圈门式防抖框架,框架固定于底部的底座。

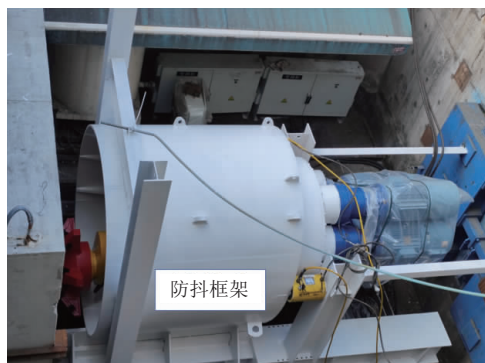


图3 试验平台

2.2 试验试块

试验采用 $3.2\text{ m} \times 3.2\text{ m}$ 的砂浆试块,强度为 M35,如图4所示。考虑到常规的钢筋骨架对切削性能要求过高,因此本次试验采用其他材料进行替代。

玻璃纤维增强筋(glass fibre reinforced plastics rebar)由含碱量小于1%的无碱玻璃纤维(E-Glass)无捻粗纱或者高强玻璃纤维(S)无捻粗纱和树脂基体(环氧树脂、乙烯基树脂)、固化剂等材料,通过成型固化工艺复合而成的筋材,简称 GFRP 筋。其力学性质见表1。通过力学性能分析,在本次试验中可以将玻璃纤维筋进行等比例替代钢筋。



图4 砂浆试块图

表1 玻璃纤维筋力学性能指标对比

名称	弹性模量	极限抗拉强度 /MPa	极限应变
玻璃纤维筋	46	654	1.84
钢筋	200	657	487

2.3 刀盘布置及推进模式优化

顶管法直接切削玻璃纤维筋砂浆是否可行,刀具选型是关键。目前在机械掘进领域,刮刀和滚刀是主要掘进刀具。尽管滚刀具有破除高强度砂浆和玻璃纤维筋的能力,但是受砂浆内部玻璃纤维筋的影响,采用滚刀切削会产生严重的玻璃纤维筋缠绕。因此,选用刮刀作为切削玻璃纤维筋砂浆的主力刀具。

行星摇臂式顶管机刀盘上有六条横幅,每条横幅在不同的位置上都布有对称的两把相同刮刀(见图5)。在保证正反转时达到同样的切削效果的同时,这样的刀具布置方式可以充分利用刀盘的覆盖面积与试块充分接触,并且保证刀盘深入试块的整个过程中的整体受力相对均衡,保证刀盘的稳定性。

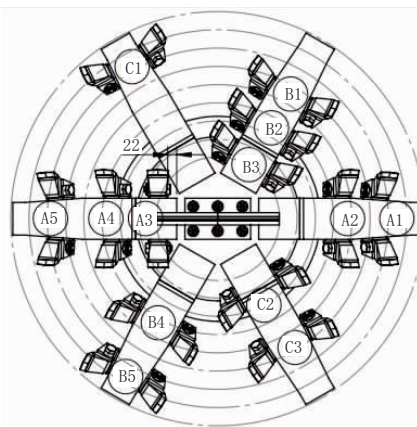


图5 刀具布置

2.3.1 刀盘初始推进模式

切削玻璃纤维筋砂浆通常采用逐步增加推进速

度再依据刀盘扭矩调整推进速度的推进模式,从而提升掘进效率。但在持续推进 30 min 后,出现中心刀脱落情况。出现这种现象的原因主要有两点:(1)螺栓连接强度不足;(2)行星摇臂式试验机刀盘与常规全断面刀盘存在差异。试验机刀盘体积较小,转动时由公转和自转组合进行切削,从而实现轨迹覆盖全面。因此,若持续快速推进,会导致局部切削过深,极易形成切削面深度不均匀。当切削深度高差过大时,就会出现刀盘卡顿、刀具崩缺等现象。因此,在使用此掘进机进行试验时,建议在推进一段距离后关闭推进,让刀盘在此推进距离上持续切削,避免出现切削深度高差过大的情况。

2.3.2 刀盘推进模式的优化

依据初期试验结果,对中心刀具进行焊接连接,同时改变推进模式,采用“短时推进—停止推进—短时推进”的方式。在停止推进的时候,仅刀盘进行转动。这种推进方式可有效避免切削深度高差过大,并提高刀盘和刀具的工作寿命。

切削效果如图 6 所示,从中可以明显观察到,行星摇臂式试验机对砂浆切削效果良好,部分刀具虽出现了磨损,但并未产生崩缺或脱落。若进一步切削,切削面的外圈会进一步扩大,切削面中心处尚未切割的部分会随着后排刀具的切入而逐渐掉落,最终的切削形状会与椭圆外壳一致。



图 6 推进模式优化后的切削效果

3 行星摇臂式顶管机试验效果

3.1 砂浆切削现象分析

此次试验中所产生的切屑状态,不同于以往砂浆切削试验中切屑以粒状或粉末状为主,试验中片状切屑的比重明显增大,这是由切削刀具形式和进刀角度双重作用下导致的。试验采用的是刮刀且进刀角度非垂直进刀,切削模式是由单刃先进刀,砂浆

极易产生脆性崩脱。因此,在切削初期会出现大量片状切屑。随着进刀深度的逐渐增加,片状切屑产生的概率逐渐减小,但考虑该刀盘非常规满布刀盘,后排刀具会随着推进不断地加入工作,因此整个切削过程中均会有片状切屑产生。

3.2 玻璃纤维筋切削现象分析

本次试验采用的行星式刀盘的切削轨迹为全断面覆盖,这种轨迹布置能有效减小钢筋碎渣的长度,便于钢筋的排出。因此,整个切削过程中未见钢筋缠绕现象。且由于刮刀不具备高强度的接触碾压能力,所以也未见类似在滚刀作用力下产生的严重压弯变形钢筋。试验中钢筋切口破坏形式呈现为钢筋被完全切断,最终发展为断筋的形式,玻璃纤维筋呈片块状被切落(见图 7)。



图 7 切屑图

3.3 刀具损伤分析

在本次试验中,顶管机的上方装有水管。当刀盘和试块接触时进行浇水对刀具降温,降低刀具切削玻璃纤维筋砂浆过程中产生的热量,并且将沾附在刀具表面的碎渣冲刷干净,进而减少刀具磨损。试验结束后,切削刀具未见明显的表面磨损情况。

4 结语

行星摇臂式顶管机在切削玻璃纤维筋砂浆过程中表现平稳,大部分玻璃纤维筋被完全切断,呈片块状被切落。全断面覆盖的切削轨迹能有效减小玻璃纤维筋碎渣的长度,便于玻璃纤维筋的排出,因此整个切削过程中未见玻璃纤维筋缠绕现象。在切削的最后阶段,砂浆块以小直径碎渣的形式掉落,而传统的平面刀盘在切削中往往使得大块砂浆板整体脱落,产生了较大直径渣土。与之相比,行星摇臂式刀盘在切割玻璃纤维筋砂浆上具有易切削、易排渣的优势,更适合玻璃纤维筋砂浆的切削。

(下转第 260 页)

着至关重要的作用,应优先将高压电力、给水干管、通信干管等纳入综合管廊。

2.2.2 优先将重点区域容易引起道路反复开挖的管线入廊

随着城市的快速发展,人们对电力及通信的需求量不断增加,现有的电力往往不能满足需求,会随着开发逐步完善,容易造成道路反复开挖。同时,由于道路空间不足,布置在机动车道下方的压力管道维修均会造成道路交通中断及反复开挖。因此,宜优先选择电力、通信及给水管线进入综合管廊。

2.2.3 利用其他相关工程富余空间能入则入

当有隧道、地下环路等工程建设且有可利用空间时,宜利用可用空间将尽可能多的管线纳入综合管廊,同时可以节约投资。

3 结论

(1)利用其他地下工程富裕结构空腔建设综合管廊可极大的降低综合管廊的建设成本,使地下空间的利用更加集约高效,经济及社会效益好。

(2)综合管廊建设路段的选择应充分考虑综合

管廊建设的可实施性,尤其对于老城区,应充分评估建设路段现状管线迁改、现状建筑物拆迁等的影响。

(3)综合管廊建设路段的选取宜结合高压电力走廊,重点考虑管线密集、直埋空间受限、交通中断影响大的路段,同时可考虑结合其他地下工程同步开发一起建设。

(4)综合管廊入廊管线宜优先选择生命线等主干管线入廊,优先将重点区域容易引起道路反复开挖的管线入廊,同时利用其他相关工程富余空间将可入管线尽可能多的纳入综合管廊。

参考文献:

- [1] GB 50838—2015,城市综合管廊工程技术规范[S].
- [2] 刘丽媛,吴国文.全面贯彻落实党的十九大精神奋力谱写新时代住房城乡发展事业新篇章—全国住房城乡建设工作会议召开[EB/OL]. https://www.mohurd.gov.cn/xinwen/jisyw/201712/20171225_234490.html.
- [3] 张高娜,王新亮,刘星,等.城市地下综合管廊规划布局研究[J].给水排水,2017(43):274-276.
- [4] 秦方方.城市核心区地下道路与综合管廊一体化设计探索研究[J].城市道桥与防洪,2018(5):50-53.

(上接第 244 页)

在切削过程中,随着设定推速的上升,刀盘受力的波动性加大,容易导致局部切削过深,导致切削面深度不均匀,出现刀盘卡顿、刀具崩缺等现象。因此,采用“短时推进—停止推进—短时推进”的方式。这种推进方式可有效避免切削深度高差过大,并提高刀盘和刀具的工作寿命。

试验过程中通过喷水降低刀具切削玻璃纤维筋砂浆过程中产生的热量,并且及时清理在刀具表面的碎渣,可以大大减少刀具磨损^[6]。这一试验结果对今后隧道盾构法施工有着参考意义。

参考文献:

- [1] 杨太华.越江隧道工程联络通道冻结法施工风险分析[J].地下空间与工程学报,2010,6(6):1201-1206.
- [2] 吴俊.盾构刀具与岩土体力学相互作用及磨损研究[D].北京:北京交通大学,2020.
- [3] 黄利辉.盾构掘进机刀具切削实验系统及切削力影响规律研究[D].广州:中南大学,2010.
- [4] 刘浩.盾构直接切削大直径桩基的刀具选型设计研究[D].北京:北京交通大学,2014.
- [5] 王鹏,李文博,李文欢.全断面硬岩盾构掘进参数与刀具磨损规律分析[J].建筑技术开发,2021,48(21):105-109.
- [6] 吴俊,袁大军,李兴高,等.盾构刀具磨损机理及预测分析[J].中国公路学报,2017,30(8):109-116.