

一种衬砌替代材料的可切削性能试验研究

张弛

(上海隧道工程有限公司, 上海市 200238)

摘要:针对机械法开挖联络通道领域中刀具磨损严重的问题,提出采用FFU材料作为混凝土衬砌的替代材料,同时采用3种不同的刀具进行切削试验来验证FFU的可切削性。试验结果表明:FFU材料可切削性良好,使用贝壳刀和刮刀,都能在较短的时间内将FFU试件切穿;横向布置顶管机试验时会导致大量碎渣囤积在筒仓内部,致使排渣不顺,更换顶管机布置形式,竖直放置进行切削可有效缓解排渣不顺的问题;FFU碎渣多为纤细的拉丝状,容易沾附刀盘上,应搭配泥水循环系统使用;推进速度过快会导致刀头受力不均匀,在实际工程中建议控制推进速度控制在5 mm/min之下。

关键词:FFU;模拟顶管机;机械法;联络通道

中图分类号:TU5

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2023)05-0215-03

0 引言

近年来,国内对于联络通道的开挖已由传统的冷冻法^[1-2]开始逐步向机械法^[3-4]进行探索。机械法直接切削地铁联络通道与其他方法比较,具有工期短、经济效益好、对环境的影响小的特点,但若直接采用盾构掘进机对开挖面进行切削,开挖过程中刀盘刀具受力情况十分复杂,容易造成刀具的磨损,降低刀具的使用寿命^[5]。

基于机械法直接开挖混凝土衬砌时易产生刀具磨损这一特征,本文提出使用将FFU^[6]材料作为混凝土衬砌的替代材料,并开展切削试验以验证其可切削性。

1 试验试块

FFU是一种通过玻璃长纤维在硬质氨基甲酸乙酯树脂泡沫进行强化的轻量耐腐蚀结构材料(见图1),不仅材料强度较高,而且重量与木材一样,属于低重量材料。

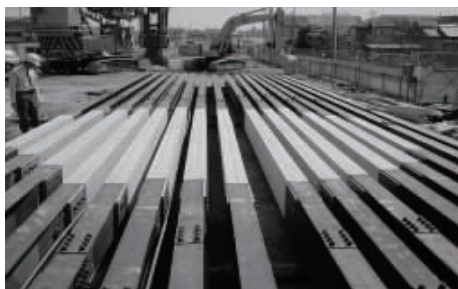


图1 FFU材料

收稿日期:2022-12-08

作者简介:张弛(1989—),男,硕士,工程师,从事隧道及地下工程相关工作。

试验依托于机械法直接开挖联络通道相关项目,若采用顶管刀盘直接对混凝土切削,势必会产生较严重的刀具损伤,因此试验选用FFU替代混凝土材料,并通过3种不同的刀具对FFU试块进行切削,验证FFU材料的可切削性。

2 试验装置

2.1 试验平台

试验使用模拟顶管机进行,顶管机的直径为1 m,包含顶管机支架、推进油缸、试块筒仓以及模拟顶管机,见图2。

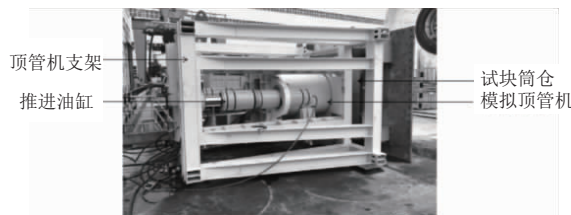


图2 模拟顶管机装置

2.2 试验刀具

整个试验过程拟采用3种刀具进行试验(见图3),第一次采用PDC刀具,这是一种将聚晶金刚石和硬质合金基体组合而形成一种的复合型材料,将这种材料作为切削刀刀头对FFU进行切削,第二次采用贝壳刀进行切削,第三次采用刮刀进行切削。

2.3 刀盘布置

初次试验采用的切削刀具全部为PDC刀具,每个辐条上各安装三把,辐条交汇处安装上一把,见图4(a)。第二次试验选用贝壳刀作为切削刀具,刀具每隔75 mm布置一把,切削面积覆盖整个刀盘,实现切削面全断面切削,见图4(b)。第三次试验拟采用刮

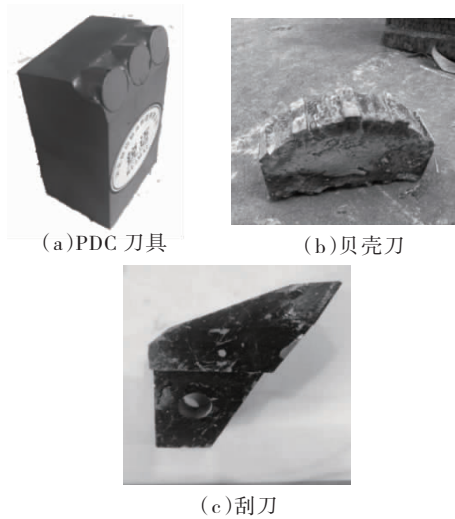


图 3 试验所用刀具

刀作为试验刀具进行切削,见图 4(c)。刀盘上总共 11 把刀具,每隔 150 mm 放置一把,切削面积依旧可覆盖全刀盘。

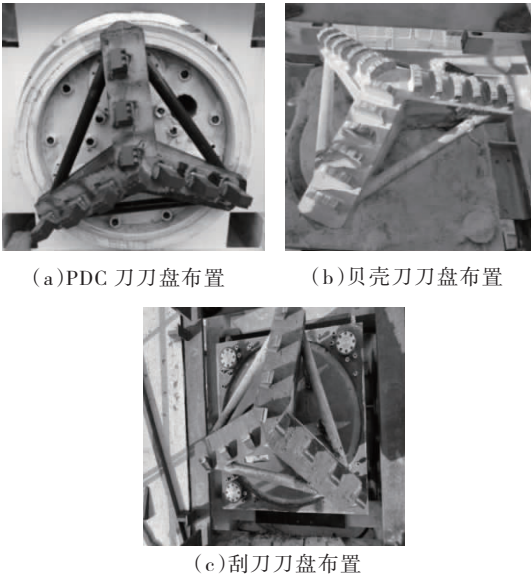


图 4 刀盘布置

3 试验工况

切削试验以推进速度为控制参数,每个试验都设置了三种不同的工况,其中 PDC 和贝壳刀采用推进速度为 5、10、3 mm/min;刮刀采用推进速度为 5、1、3 mm/min,见表 1~表 3。

表 1 PDC 刀具试验工况

试块编号	刀具选用	设定推速 / (mm·min ⁻¹)	刀盘转速 / (r·min ⁻¹)
1	PDC 刀具	5	8
1	PDC 刀具	10	8
1	PDC 刀具	3	8

表 2 贝壳刀试验工况

试块编号	刀具选用	设定推速 / (mm·min ⁻¹)	刀盘转速 / (r·min ⁻¹)
2	贝壳刀	5	8
2	贝壳刀	10	8
2	贝壳刀	3	8

表 3 刮刀试验工况

试块编号	刀具选用	设定推速 / (mm·min ⁻¹)	刀盘转速 / (r·min ⁻¹)
3	刮刀	5	8
3	刮刀	1	8
3	刮刀	3	8

4 试验结果分析

4.1 初次试验结果分析

在初次试验中,选择横向放置模拟顶管机的方式布置,在切削过程中发现刀盘出现卡顿现象且排渣不顺。分析其原因是由于材料本身特性导致,纤维材料的高抗拉强度导致其无法像混凝土渣土一样被水流冲刷带出,大量碎渣囤积在筒仓内部。同时由于这种特性,刀具齿间的切削盲区无法像混凝土一样被挤压脱落。切削现象见图 5,与切削传统混凝土相比,产生了较多高凸的“脊”。

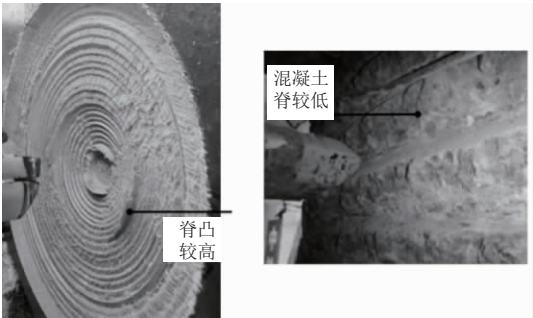


图 5 刀具切削效果对比图

针对初次试验所产生的问题,后续将顶管机垂直放置,并在四周焊接固定,见图 6。试验采用垂直切削的方式让切屑依托自重掉落,避免大量渣土囤积于切削槽内。

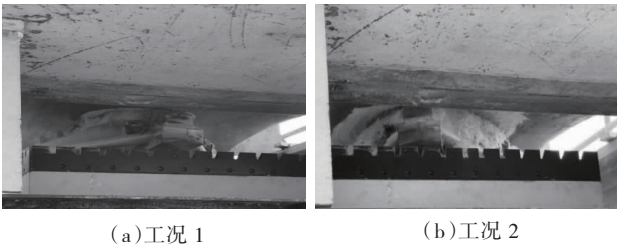


图 6 不同工况下贝壳刀切削现象

4.2 二次试验结果分析

观测 FFU 切削现象,工况 1 的切削现象见图 6(a),

刀盘推进顺利,由于碎屑呈自重式掉落,排渣不顺的情况得到初步缓解。当切削过程开展至工况 2 时,伴随的切削深度的不断增加,大量渣屑囤积于刀盘表面,见图 6(b),刀盘前方囤积的渣土的在一定程度上阻碍了切削的进行,此时若暂停推进,依托自重让其后退(下落)小段距离,同时保持刀盘旋转可让附着于刀盘上 70%的渣土掉落于筒仓内,因此较一期工况而言,此类切削方式可有效缓解排渣困难的问题,但仍未完全解决排渣问题。

在工况三试验过程中,尽管采用了工况二试验中的方法辅助排渣,但依旧有大量的碎渣囤积于刀身和刀具间缝中,这也在一定程度上解释了为何工况 3 在低速设定下仍产生了较大的速度波动,最终在经过 1 h 的切削后,将 FFU 试件切穿。

在试验时,虽设想以设定的 3、5、10 mm/min 稳速推进,但实施过程中,实际推速波动较大。图 7 给出了各个工况的实际推速值变化曲线,可见推速设定值越大,实际推速的波动幅度也越大,且较多时刻推速实际值大小远超过设定值大小。分析其原因,由于 FFU 试件排渣较多,渣块沾附在刀头和刀盘上,导致刀盘的推进不能稳定保持设定的速度。

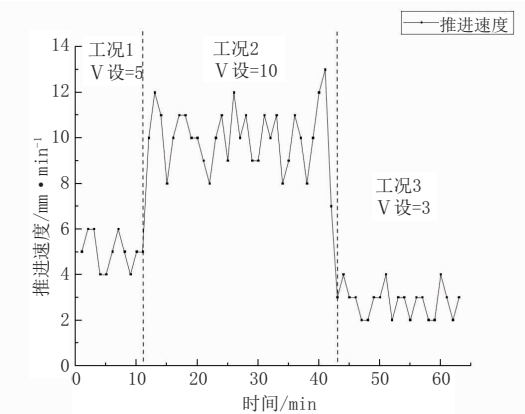


图 7 贝壳刀工况 1~工况 3 的实际推速值变化曲线 (单位: mm·min⁻¹)

4.3 三次试验结果分析

在工况 1 中设置刀盘推进速度为 5 mm/min,刀盘刚开始接触 FFU 试件时,刀盘推进顺利,未出现刀盘转速下降或卡顿停转的现象,但随着切削深入,推速产生较大的波动,刀盘转速和推进速度下降,试件渣块不能及时排除,大量切屑沾附在刀盘上,刀盘出现卡顿,同时推进停滞,见图 8(a)。因为工况 1 推进速度设置过高产生刀盘停滞的现象,工况 2 设置推进速度为 1 mm/min。在推进工程中,推进速度平稳,未出现剧烈的波动,伴随着切削深入,大量渣块从上方排除,但也仍然有不少渣块沾附在刀头表面,见图

8(b)。工况 3 提高了推进速度,参考工况 1、工况 2 的试验结果,设置推进速度为 3 mm/min。随着推进行程的增加,FFU 试件不断产生渣块,推进速度虽然有波动,但相较工况 1 而言,推进速度波动较小,推进稳定,未出现刀盘堵塞停滞的现象,最终在切削 1 h 后,成功将 FFU 试件切穿。

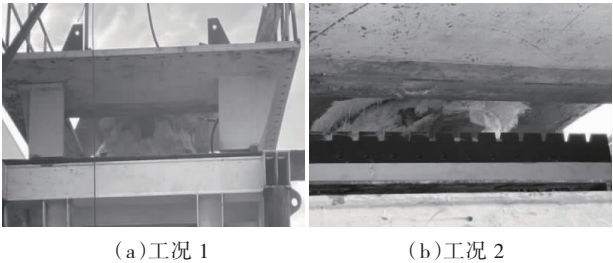


图 8 不同工况下刮刀切削现象

在进行试验时,试验设定三种不同的工况进行切削,分别采用 5、1、3 mm/min 稳速推进,但实施过程中,实际推速波动较大。图 9 给出了各个工况的实际推速值变化曲线,在设定推速为 5 mm/min 时,推进速度波动剧烈,甚至在试验期间出现刀盘停转,推进停滞的现象。分析其原因,刮刀之间缝隙较小,FFU 碎渣堵塞在其中,并且推速过快,碎渣不能及时排除。随后工况 2、工况 3 降低了推进速度,当推速为 1 mm/min 时,推进速度平稳,波动减缓。当推进速度为 3 mm/min 时,尽管推进速度产生了波动,但未出现刀盘推进停滞的现象。

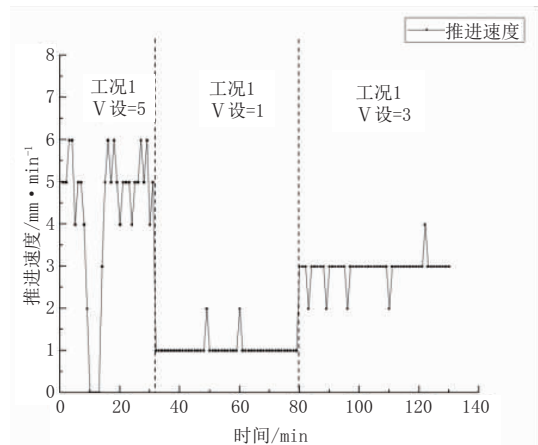


图 9 刮刀工况 1~工况 3 推速值变化曲线(单位: mm·min⁻¹)

5 结 语

(1)横向放置顶管机进行 FFU 切削试验时会导致大量碎渣囤积在筒仓内部,致使排渣不顺,更换顶管机布置形式,将其竖直放置可有效缓解排渣不顺的问题。

(2)推进速度过快会导致刀头切削 FFU 试件时受力不均匀,推进速度和推进压力产生波动,在工程

(下转第 227 页)

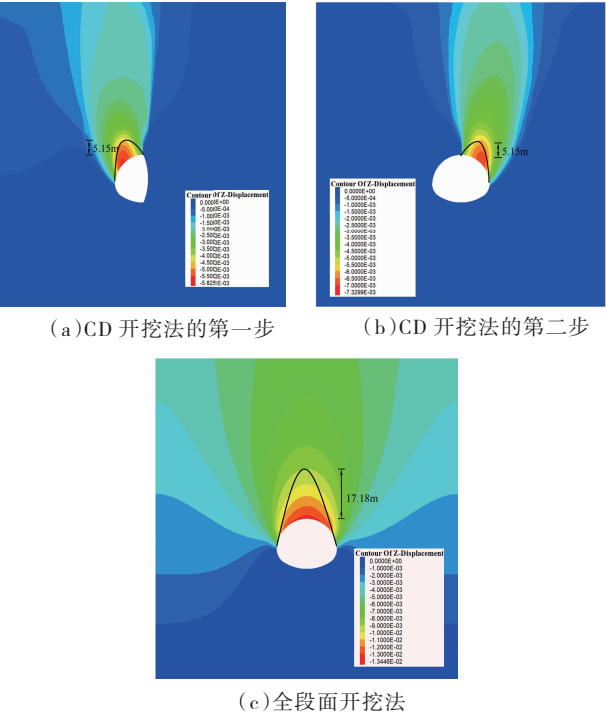


图 5 CD 法和全断面法开挖引起的隧道沉降对比

围,从而比全断面开挖法更安全。

5 结 论

在本研究中,基于极限分析的上限定理,提出了 CD 开挖工法下隧道顶部围岩的破坏机理。重点研究了由 CD 法开挖引起的隧道坍塌形状,并从坍塌形状和安全系数两个角度将结果与全断面开挖法进行了比较。根据参数分析,我们可以看出 CD 法和全开挖法的区别在于两个方面:更小的坍塌高度和更大的

安全系数。通过比较有限差分分析的结果,证实了所提出的失效机制的一致性和有效性。

参考文献:

[1] 罗彦斌,石州,陈建勋,等.超大跨度隧道上台阶 CD 法中隔壁力学计算模型及施工力学行为研究[J].中国公路学报,2020,33(12):235-248.

[2] 陈磊.软弱围岩地层 CD 法施工隧道稳定性研究[J].公路,2022,67(12):424-430.

[3] Sharifzadeh M,Kolivand F,Ghorbani M,et al. Design of sequential excavation method for large span urban tunnels in soft ground - Ni-ayesh tunnel [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2013(35):178-188.

[4] 屈文彬.软弱含水砂岩隧道 CRD 法施工支护变形及受力特性研究[J].力学季刊,2022,43(4):970-981.

[5] Seki J,Okada M,Inoue H,et al.Adaptability of upper half vertical subdivision method to flat and large diameter tunnel construction[C]// Proceedings of the International Congress on Progress and Innovation in Tunnelling, 1989.

[6] Fraldi M,Guarracino F.Limit analysis of collapse mechanisms in cavities and tunnels according to the Hoek - Brown failure criterion [J].International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2009,46(4):665-673.

[7] 黄阜.隧道围岩塌落机理与锚杆支护结构的上限分析研究[D].长沙:中南大学,2012.

[8] 于丽,吕城,夏鹏曦,等.考虑孔隙水压力作用下浅埋黄土隧道稳定性的上限分析[J].铁道学报,2021,43(11):153-159.

[9] 杨峰,何诗华,吴遥杰,等.非均质黏土地层隧道开挖面稳定运动单元上限定元分析[J].岩土力学,2020,41(4):1412-1419,1436.

[10] Hoek E,Brown E T.Practical estimates of rock mass strength[J].International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 1997,34(8):1165-1186.

(上接第 217 页)

中建议控制推进速度控制在 5 mm/min 之下。

(3)贝壳刀接触面积大,切削时能将 FFU 碎渣整块排除。刮刀接触面积小,切削时碎渣更小,更容易沾附在刀具间隙和刀具表面上,致使推进速度产生更大的波动。建议在工程中选用贝壳刀对 FFU 进行切削。

(4)FFU 作为新型材料,可切削性良好,使用贝壳刀和刮刀,都能在较短的时间内将 FFU 试件切穿,但由于 FFU 试件产生的碎渣多为纤细的拉丝状,容易沾附刀盘上,导致排渣不顺,建议在施工中搭配泥水循环系统使用。

参考文献:

[1] 岳丰田,张水宾,仇培云,等.地铁联络通道冻结加固技术研究[J].地下空间与工程学报,2006,2(8):1341-1345.

[2] 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.

[3] 陈裕康,何立军.地铁联络通道顶管法施工技术分析及[J].岩土工程界,2007,10(12):48-51.

[4] 高波,陈裕康.顶管法在地铁盾构区间隧道联络通道中的应用[J].施工技术,2005,32(6):19-23.

[5] 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,2017,20(8):109-116.

[6] 张军,何振华.FFU 在盾构施工中的应用[J].隧道建设,2007(6):63-65,75.