

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.10.066

盾构刀具切削玻璃纤维筋的仿真研究

袁一翔  
(上海城建隧道装备有限公司,上海市 200238)

**摘 要:** 利用 ABAQUS 有限元分析软件围绕刀具切削玻璃纤维筋展开仿真模拟,分析切削速度、切削深度、切削角度和刀具弧度对刀具切削力的影响。研究表明:刀具切削力和波动性随着切削深度的增加而增加,建议采用截齿切削玻璃纤维筋深度不超过 4 mm;刀具切削力随着切削速度的增加变化不明显;当切削角度小于 70°时,切削力的波动程度(标准差)显著变大,建议切削角度不要小于 70°;考虑刀具使用寿命,刀尖弧度建议不要低于 2 mm。  
**关键词:** 数值模拟;切削速度;切削深度;截齿;玻璃纤维筋  
**中图分类号:** U455.3      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1009-7716(2023)10-0265-03

0 引 言

随着我国地下工程建设规模的不断扩大,在采用机械法进行开挖时,难免会遭遇特殊障碍物。近年来国内多次成功完成了采用盾构机械直接对钢筋混凝土障碍物进行破除<sup>[1-2]</sup>,但都不可避免地遇到了刀具损伤严重、刀盘卡死和钢筋缠绕等问题。为降低刀具损伤,提高切削效率,有学者提出可采用玻璃纤维筋替代内部钢筋<sup>[3-4]</sup>来有效缓解钢筋缠绕的问题。朱龙海等<sup>[5]</sup>采用偏性多轴顶管机对玻璃纤维筋混凝土进行切削试验研究,发现玻璃纤维筋可被有效切削,但目前在切削玻璃纤维筋方面的研究成果尚不丰富。

本文研究立足于刀具切削玻璃纤维筋,通过数值模拟的手段模拟了不同参数影响下刀具切削玻璃纤维筋的过程。

1 有限元模型的建立

1.1 玻璃纤维筋失效准则

本文利用 ABAQUS 有限元分析软件,根据盾构刀具直接切削玻璃纤维筋的方式,采用 Hashin 失效准则作为玻璃纤维筋的失效准则。

同时,还考虑了损伤失效之后的损伤演化过程。所以,在进行有限元模拟时,采用 ABAQUS/Explicit 求解器,自定义纤维材料子程序 VUAMT\UMAT 接口,用 Fortran 语言编写损伤失效和演化模型子程序。

收稿日期: 2022-11-02

作者简介: 袁一翔(1995—),男,硕士,助理工程师,主要从事隧道及地下工程相关工作。

1.2 三维模型和参数

玻璃纤维筋直径 22 mm,长 60 mm,将玻璃纤维筋模型中间长 30 mm 区域进行分割。刀头和玻璃纤维筋如图 1 所示,相关物理参数如表 1 所示。

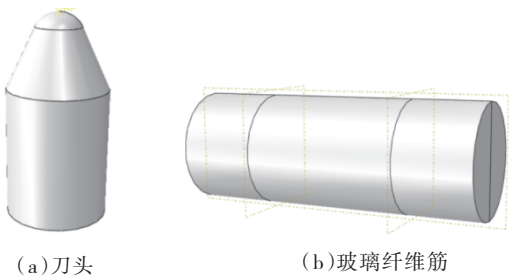


图 1 模型

表 1 物理参数

| 项目    | 弹性模量 / MPa | 泊松比  | 密度 / (kg·m <sup>-3</sup> ) | 抗压强度 / MPa | 抗拉强度 / MPa | 抗剪强度 / MPa |
|-------|------------|------|----------------------------|------------|------------|------------|
| 刀头    | 540 000    | 0.23 | 14 200                     | —          | —          | —          |
| 玻璃纤维筋 | 42 000     | 0.23 | 2 100                      | 420        | 630        | 120        |

2 切削参数的研究

2.1 切削深度的影响

为了探究切削深度对刀具切削力的影响规律,对最大切削深度分别为 2 mm、4 mm、6 mm、8 mm 时盾构刀具切削玻璃纤维筋的过程进行了模拟。刀具刀头锥度 50°,刀尖弧度 5 mm,切削速度 140 mm/s,切削角度 90°。图 2 为不同切削深度时玻璃纤维筋的切削效果图。

表 2 对不同切削深度下刀具所受平均切向力、平均正压力、平均切削力、最大切削力,以及切削力的标

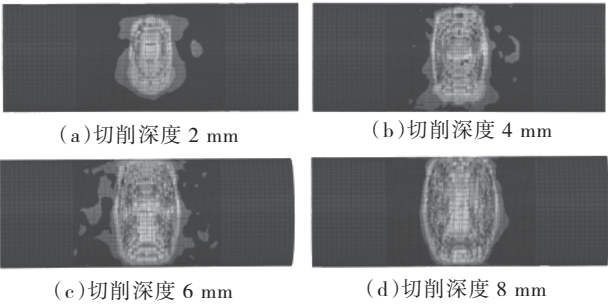


图 2 不同切削深度时的效果

准差进行了统计。其中,正压力代表垂直于玻璃纤维筋切削面的方向受力,切向力代表刀具前进方向受力,侧向力代表刀具两侧方向受力。由于刀具所受侧向力远小于正压力和切向力,因此本文不考虑切削深度对刀具所受侧向力的影响。平均切削力和最大切削力均以切向力和正压力的合力为基准进行取值。

表 2 不同切削深度时的受力统计

| 切削深度 / mm | 平均切向力 / kN | 平均正压力 / kN | 平均切削力 / kN | 最大切削力 / kN | 标准差   |
|-----------|------------|------------|------------|------------|-------|
| 2         | 3.54       | 7.11       | 8.05       | 12.03      | 4.24  |
| 4         | 7.85       | 9.01       | 12.14      | 18.85      | 5.42  |
| 6         | 11.6       | 9.94       | 15.42      | 29.08      | 10.23 |
| 8         | 17.95      | 13.64      | 22.81      | 34.39      | 13.79 |

由表 2 可知,当切削深度由 0~2 mm 增加到 6~8 mm 时,刀具平均切向力由 3.54 kN 增加到 17.95 kN,刀具平均正压力由 7.11 kN 增加到 13.64 kN,可见刀具平均切向力比平均正压力变化显著。对于圆柱状的玻璃纤维筋,当最大切削深度小于 4 mm 时,由于切削面较小,刀具所受平均切向力小于平均正压力;当最大切削深度大于 4 mm 时,切削面变大,刀具所受平均切向力大于平均正压力。从表 2 中也可发现,刀具平均切削力随着切削深度的增加由 8.05 kN 增加到 22.81 kN,可见平均切削力增加明显。另外,切削力的标准差随着切削深度的增加逐渐增大,当最大切削深度小于 4 mm 时,标准差小于 5.42;当最大切削深度大于 4 mm 时,标准差大于 10.23。因此,考虑玻璃纤维筋整个切削过程中刀具受力的稳定性,建议刀具最大切削深度不要超过 4 mm。

2.2 切削速度的影响

为了探究切削速度对刀具切削力的影响规律,本节对切削速度分别为 39 mm/s、89 mm/s、140 mm/s、208 mm/s 时盾构刀具切削玻璃纤维筋的过程进行了模拟。刀具刀头锥度 50°,刀尖弧度 5 mm,最大切削深度 4 mm,切削角度 90°。图 3 为不同切削速度时玻璃纤维筋的切削效果图。

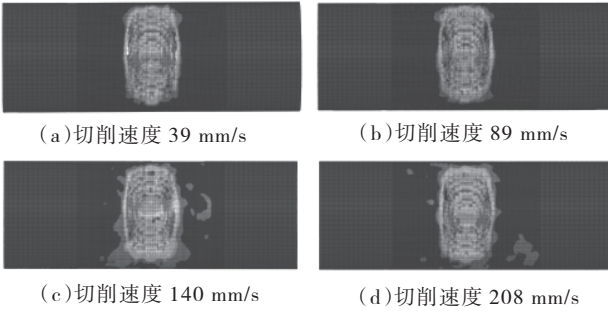


图 3 不同切削速度时的效果

由表 3 可知,当切削速度由 39 mm/s 增加到 208 mm/s 时,刀具的平均切削力由 11.30 kN 增加到 12.49 kN。由此可见,切削速度对刀具切削力的影响不大,但切削速度的增加会使刀具切削力更不稳定。

表 3 不同切削速度时的受力统计

| 切削速度 / (mm·s <sup>-1</sup> ) | 平均切向力 / kN | 平均正压力 / kN | 平均切削力 / kN | 最大切削力 / kN | 标准差  |
|------------------------------|------------|------------|------------|------------|------|
| 39                           | 6.92       | 8.30       | 11.30      | 14.97      | 4.94 |
| 89                           | 7.46       | 8.57       | 11.56      | 15.44      | 5.11 |
| 140                          | 7.85       | 9.01       | 12.14      | 18.85      | 5.42 |
| 208                          | 8.17       | 9.20       | 12.49      | 19.05      | 6.01 |

2.3 切削角度的影响

为了探究切削角度对刀具切削力的影响规律,本节对切削角度分别为 50°、60°、70°、80°时盾构刀具切削玻璃纤维筋的过程进行了模拟。刀具刀头锥度 50°,刀尖弧度 5 mm,最大切削深度 4 mm,切削速度 140 mm/s。图 4 为不同切削角度时玻璃纤维筋的切削效果图。

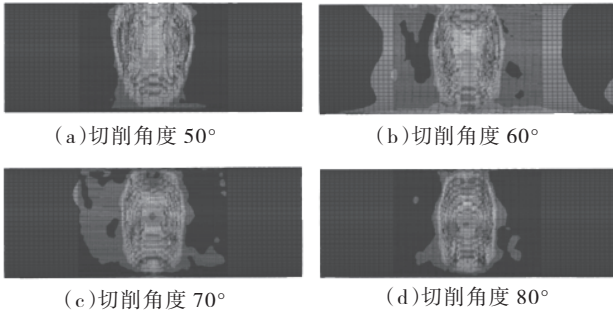


图 4 不同切削角度时的效果

由表 4 可见,当切削角度为 50°时,刀具切削力最大;切削角度为 70°和 80°时,刀具切削力和标准差相差不大。相比较切削角度 70°和 80°时刀具切削力的标准差,切削角度为 50°和 60°时的标准差比较大,此时切削力的波动性较大。因此,建议刀具切削角度不要小于 70°。综合考虑,切削角度的增加,增大了刀具切削面,使得刀具切削力变大,且平均切向力大于平均正压力。

表 4 不同切削角度时的受力统计

| 切削角<br>度 / (°) | 平均切向<br>力 / kN | 平均正压<br>力 / kN | 平均切削<br>力 / kN | 最大切削<br>力 / kN | 标准差   |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
| 50             | 16.21          | 11.75          | 20.35          | 28.21          | 11.31 |
| 60             | 13.19          | 10.02          | 16.76          | 25.34          | 10.65 |
| 70             | 10.18          | 9.49           | 13.80          | 19.57          | 8.40  |
| 80             | 9.25           | 9.21           | 13.15          | 18.33          | 7.83  |

2.4 刀尖弧度的影响

为了探究刀尖弧度对刀具切削力的影响规律,对刀尖弧度分别为 2 mm、3.5 mm、5 mm 时盾构刀具切削玻璃纤维筋的过程进行了模拟。刀具刀头锥度 50°,最大切削深度 3 mm,切削速度 140 mm/s,切削角度 90°。图 5 为不同刀尖弧度时玻璃纤维筋的切削效果图。

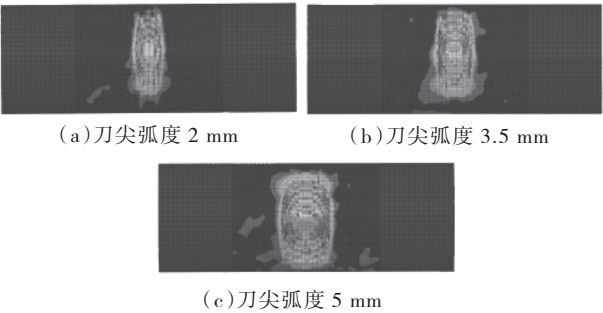


图 5 不同刀尖弧度时的效果

由表 5 可知,刀具平均切向力、平均正压力、平均切削力均随着刀尖弧度的增加而增加。其中,平均切向力由 2.93 kN 增加到 5.85 kN,平均正压力由 2.58 kN 增加到 8.21 kN。因此,刀具平均正压力比平均切向力增加较快。当刀尖弧度为 2 mm 时,刀具平均切向力大于平均正压力;当刀尖弧度大于 2 mm 时,刀具平均切向力小于平均正压力。另外,刀尖弧度的增加也使刀具平均切削力的标准差有了一定程度的增长,进而使得刀具切削力变化相对不稳定。综合考虑,刀尖弧度的增加使得刀具与玻璃纤维筋的

接触面积变大,进而增加了刀具切削面的宽度,从而使得刀具切削力变大。

表 5 不同切削角度时的受力统计

| 刀尖弧<br>度 / mm | 平均切向<br>力 / kN | 平均正压<br>力 / kN | 平均切削<br>力 / kN | 最大切削<br>力 / kN | 标准差  |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| 2             | 2.93           | 2.58           | 3.96           | 7.97           | 2.33 |
| 3.5           | 4.37           | 4.82           | 6.67           | 9.51           | 3.25 |
| 5             | 5.85           | 8.21           | 10.18          | 13.72          | 4.57 |

3 结 论

- (1)切削深度增加时,刀具切削力和标准差出现上升。当切削深度大于 4 mm 时,切削力波动性显著增加,建议采用截齿切削玻璃纤维筋深度不超过 4 mm。
- (2)截齿刀具切削力和标准差随着切削速度的增加而略有增加,但整体变化不明显。
- (3)截齿刀具切削力和标准差随着切削角度的增加而变小。当切削角度小于 70°时,切削力的波动程度(标准差)变化显著,建议切削角度不要小于 70°。
- (4)刀具切削力和标准差随着刀尖弧度的增加而增加。刀尖弧度为 2 mm 时,刀具平均切向力大于平均正压力;刀尖弧度大于 2 mm 时,平均正压力超过平均切向力。考虑刀具适用寿命,建议不要低于 2 mm。

参考文献:

[1] 孙波,肖龙鸽,孙正阳,等.深圳地铁盾构穿越建筑群及切削桩基施工[J].隧道建设,2015,35(6):571-578.  
[2] 袁大军,王飞.盾构切削大直径钢筋混凝土群桩的理论与实践[M].北京:人民交通出版社,2009.  
[3] 苏明,张宏斌.玻璃纤维筋在连续墙中的应用[J].隧道建设,2011,31(增刊2):73-76.  
[4] 邓稀肥,王圣涛,邬家林,等.超深地铁车站地下连续墙盾构接收洞口玻璃纤维筋技术及实践[J].城市轨道交通,2021(12):172-176.  
[5] 朱龙海,庄欠伟,李东,等.偏心多轴十字刀刀盘矩形顶管机直接切削管片试验研究[J].施工技术,2018,47(17):65-68.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: [cdq@smedi.com](mailto:cdq@smedi.com)