

上软下硬及全断面硬岩地层盾构刀具磨损规律及性能分析

李兆国 魏子青 鱼志鸿

中建八局轨道交通建设有限公司, 江苏 南京 210046

[摘要] 文章中立足于广东深圳某地铁项目盾构隧道工程, 通过刀具磨损量测定, 刀具更换频率等数据的统计, 对复合土压平衡盾构在全~强、中~微风化花岗岩构成的上软下硬、软硬不均、全断面硬岩等地层中不同形式的盘型滚刀的磨损规律及不同品牌刀具性能、寿命等进行分析研究, 总结出一些在该类地层中盾构施工刀具选配的一些思路和参考依据。

[关键词] 花岗岩; 滚刀; 磨损

DOI: 10.33142/ec.v3i11.2781

中图分类号: U455.31

文献标识码: A

Wear Law and Performance Analysis of Shield Cutters in Upper Soft Lower Hard and Full Cross Section Hard Rock Formations

LI Zhaoguo, WEI Ziqing, YU Zhihong

China Construction Eighth Engineering Division Rail Transit Construction Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210046, China

Abstract: Based on the shield tunnel project of a subway project in Shenzhen, Guangdong Province, through the measurement of tool wear and the statistics of tool replacement frequency, this paper analyzes and studies the wear law of disc hobs of different forms in the strata composed of full ~ strong, medium ~ slightly weathered granite, soft and hard uneven, full section hard rock, etc., analyzes the performance and life of different brands of cutting tools, and summarizes some ideas and reference basis for the selection of cutting tools for shield construction in this kind of stratum.

Keywords: granite; hob; wear

引言

广深地区是花岗岩地层分布的代表性地区, 其中又以深圳广泛分布的花岗岩构成的软硬不均及全断面硬岩地层对于盾构施工有着较高的技术要求, 对刀具性能及配置方法具有极强的考验, 刀具的磨耗甚至成为影响工期、成本等工程实施的主要因素。研究刀具磨耗在该类地层中的普遍规律和不同品牌刀具的性能、寿命对于指导同类工程施工是有意义的。

1 项目背景及工程地质概况

本文研究所依托项目为深圳某地铁项目的某区间盾构隧道工程, 该区间为双线盾构隧道, 工程地质情况为: 左线在强、中~微风化花岗岩构成的上软下硬地层中掘进约 150m; 右线在强、中~微风化花岗岩构成的上软下硬地层中掘进 90m, 在中~微风化花岗岩构成的全断面硬岩中掘进自约 45m。其中中风化花岗岩单轴抗压强度 23.0~53.6MPa, 微风化花岗岩饱和和天然单轴抗压强度 31.8~133.0MPa, 饱和单轴抗压强度 30.1~95.3MPa; 隧道掌子面范围内硬岩以微风化岩居多。

区间采用两台土压/TBM 双模盾构, 刀盘开挖直径 7000mm, 刀盘结构为 6 辐条式, 整体开口率约 32%, 滚刀配置为: 17 寸中心双联滚刀 6 把, 19 寸正面单刃滚刀 24 把, 19 寸边缘滚刀 12 把, 全盘刀高一一致, 均为 160mm。刀盘结构如图 1-1 所示, 滚刀轨迹分布见图 1-2 所示。

左线初装刀为国产光面平刃滚刀, 右线初装刀为合金扁齿刃滚刀。后续换刀过程中, 左线正面滚刀部分更换为镶齿滚刀, 右线部分正面滚刀更换为光面滚刀; 为了在更大范围内优选刀具品牌, 左、右线分别在边缘轨迹上更换了一批某进口品牌滚刀, 以此对比国产品牌刀具与进口品牌刀具的性能差异且。

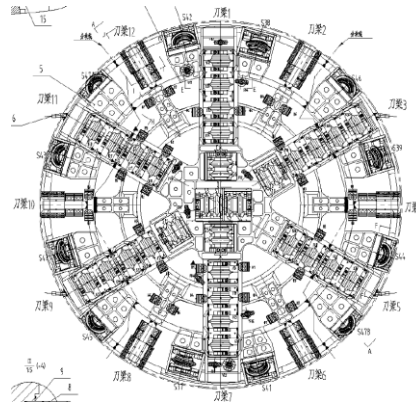


图 1-1 刀盘结构图

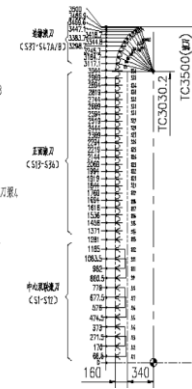


图 1-2 滚刀轨迹分布图

2 掘进参数统计及分析

左线：上软下硬地层 147 环后刀盘提速至 3.0rpm，掘进速度大部分在 6~8mm/min，推力基本在 2000~3000t，扭矩大部分在 2500~3000KN·m，土压基本在 1.5~2.2bar 之间；自 185 环后刀盘转速自 3.0rpm 左右降低至 1.8rpm 左右，推进速度有所下降，基本在 2~8mm/min。

右线：上软下硬地层中掘进速度基本在 2~6mm/min，刀盘转速基本在 1.5~2.5rpm，推力基本在 2000~3000t，土压大部分在 1.5~2.0bar；进入全断面后刀盘转速提到 3.0rpm 左右，平均推进速度增大为 5~8mm/min，由于土压降低到 1.0~1.5bar，推力相应下降到 1500~2000t；刀盘扭矩始终控制在 2000~3000KN·m，进入全断面后扭矩变化幅度减小。

3 刀具更换统计及磨损规律分析

3.1 刀具更换情况统计及分析

分别对左、右线在上软下硬和全断面硬岩中每次换刀各类滚刀更换数量进行统计，见表 1-1、表 1-2。

表 1-1 左线换刀情况统计表

换刀处环号	掘进环数	地层	换刀数量（把）		
			中心刀	正面滚刀	边缘滚刀
146	146	上软下硬	6	4	8
185	39	上软下硬	6	22	12
202	17	上软下硬	3	3	3
210	8	上软下硬	3	1	10
220	10	上软下硬		4	5

表 1-2 右线换刀情况统计表

换刀处环号	掘进环数	地层	换刀数量（把）		
			中心刀	正面滚刀	边缘滚刀
125	125	强风化		3	6
141	16	上软下硬	3		
147	6	软硬不均（上下微风化间夹强风化）		5	3
158	11	软硬不均（上下微风化间夹强风化）		8	11
175	17	全断面微风化		4	2
187	12	全断面微风化	1	5	12
191	4	全断面微风化	1	3	1
198	7	全断面微风化		3	
203	5	全断面微风化	1	1	
210	7	全断面微风化		4	8

对每次换刀各类滚刀更换数量占该类滚刀数量百分比进行计算，直观起见，将计算结果制作成柱形图，见图 2-1、图 2-2。

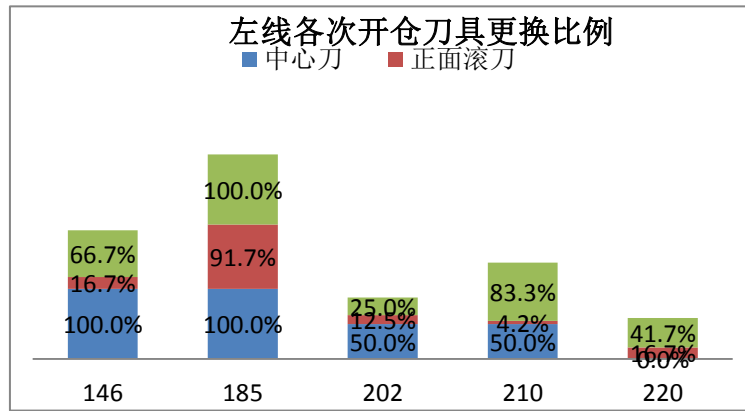


图 2-1 左线各类滚刀更换比例柱状图

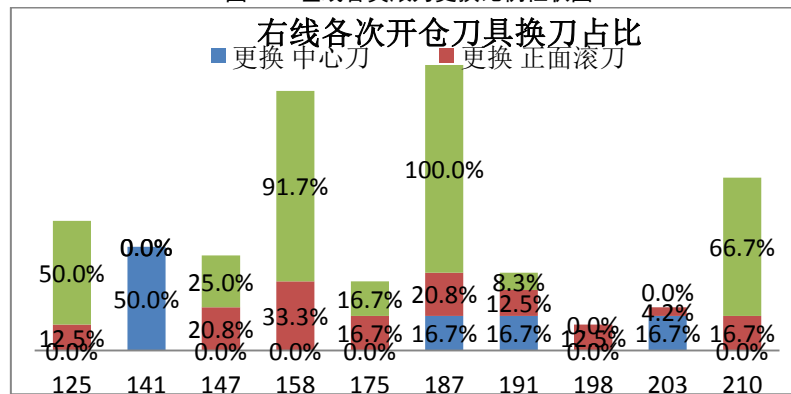


图 2-2 右线各类滚刀更换比例柱状图

不同地层中的平均更换率统计见表 2-3。软硬不均地层中的统计数据有限，本文中不进行讨论。

表 2-3 各类滚刀平均更换率

地层情况 \ 刀具类型	中心刀	正面滚刀	边缘滚刀
上软下硬	58.3%	23.6%	52.8%
全断面硬岩	10.0%	13.9%	31.9%

由上述图表统计分析可见：

上软下硬地层中中心刀和边滚刀的平均更换率较高，均达到 50% 以上，而全断面硬岩中则边滚刀更换率最高，同时可以看出在全断面硬岩中各类滚刀单次换刀平均更换率均低于上软下硬地层。

左线 185 环换刀出现各类滚刀换刀率均极高的现象，近乎全盘更换，主要原因是 147 环~185 环掘进过程中将刀盘转速由 1.8rpm 提高到 3.0rpm，转速提高约 1.7 倍，由于滚刀滚转行程增加，磨损量增大。

3.2 刀具磨损规律分析

分别在左、右线选取几组上软下硬地层中和全断面硬岩地层中轨迹序列较连续的具有代表性的几组光面滚刀磨损量数据进行分析，以横坐标为磨损量，纵坐标为滚刀轨迹半径制作散点图，如图 3-3、图 3-4。从图中可以看出：上软下硬段地层中，光面滚刀表现出如下规律：正面滚刀随轨迹半径增大，磨损量呈现近似线性增大趋势；边缘滚刀随轨迹半径增大磨损量呈现下降趋势，且由于边缘滚刀刀口在轨迹法向上采用弧形布置，磨损量递减呈现近似抛物线形；全断面硬岩中，光面滚刀磨损规律和上软下硬地层中相似，但是表现出正面滚刀磨损量极值离散性较大情况。分析其原因主要是相当一部分轨迹上初装刀（镶齿滚刀）状况较好，可不必更换，新装光面刀与相邻初装刀间存在一定的刀高差，导致磨损量差异较大。

分析发现，无论是在上软下硬地层中或是全断面硬岩地层中，最大磨损量基本都出现在边缘滚刀 39#~42#轨迹上，即刀圈平面与刀盘面板夹角约 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 角范围的滚刀上。

上述磨损量统计中未计入中心刀的磨损量，经统计发现在上软下硬地层中中心刀大多出现偏磨现象。经开仓换刀 5 次，共计更换 18 把中心刀，其中 16 把有偏磨，偏磨率高达近 90%，经分析其原因如下：中心刀直径较小，滚转力臂较短，克服启动扭矩需较大的刃口压力；同时，中心刀自滚周期较长，自滚速度较低，且刀箱开口较单刃刀略小，强风化岩中的土颗粒具有粘性，进入后容易堆积压密（即结泥饼）限制中心刀滚转，从而产生偏磨。而在全断面硬岩中则几乎没有出现中心刀偏磨现象，原因是全断面中可提供较高的刃口压力，且无粘性土颗粒，不易结泥饼，从而滚刀偏磨的现象较少。

另外，从镶齿滚刀的使用情况发现，其磨损量值较难准确测量，其破坏主要表现为断齿现象，从刀圈破坏的现象来看其磨损程度规律与光面滚刀类似，靠近边缘的滚刀断齿现象较多。同时还发现在刀盘高转速下，镶齿滚刀比光面滚刀更容易出现刀圈损坏的情况，而在中、低转速下则较光面滚刀更耐久。

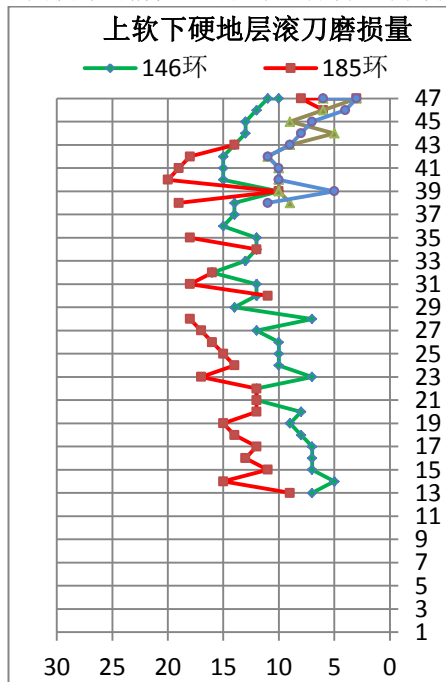


图 3-3 上软下硬地层磨损量散点图

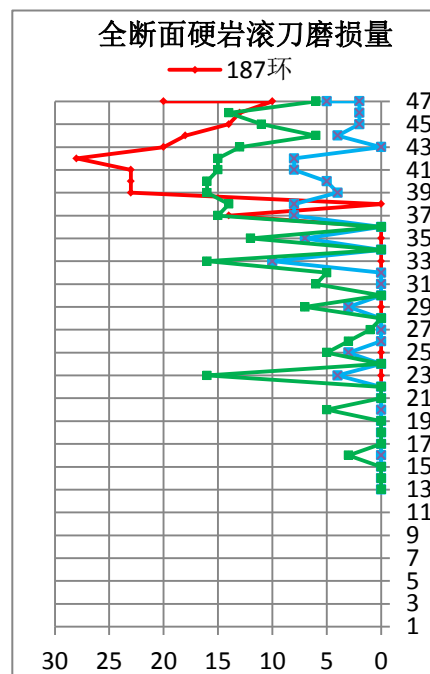


图 3-4 全断面硬岩磨损量散点图

3.3 刀具磨损性能及寿命分析

分别选取国产滚刀和进口滚刀（进口刀主要安装在边缘滚刀轨迹上）连续使用较多环数的刀具磨损量，对正面和边缘滚刀磨损速率（平均每环的磨损量）进行计算并制作散点图（图 3-1、图 3-2）后发现，在上软下硬地层中磨损速率总体上要大于在全断面硬岩中的磨损速率，即在上软下硬地层中滚刀磨损更快。最大磨损速率也出现在 39#~42#轨迹上，与前述磨损规律分析中结果一致。

从计算结果和散点图中对比边缘滚刀进口品牌和国产品牌各自的磨损速率可以看出，在上软下硬地层中，进口品牌和国产品牌磨损速率比较接近，但在全断面硬岩中，进口品牌的磨损速率绝大部分（90%以上）要高于国产品牌，即全断面硬岩中进口品牌滚刀使用寿命要低于国产品牌。

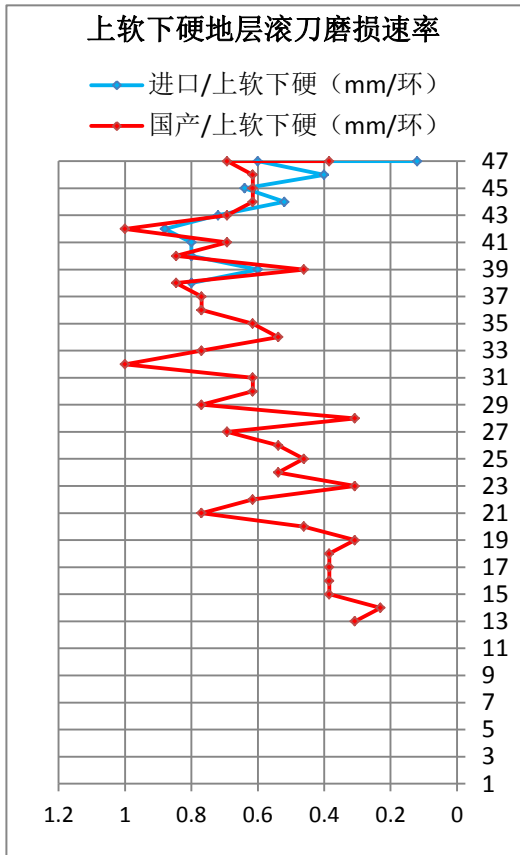


图 3-5 上软下硬地层磨损速率散点图

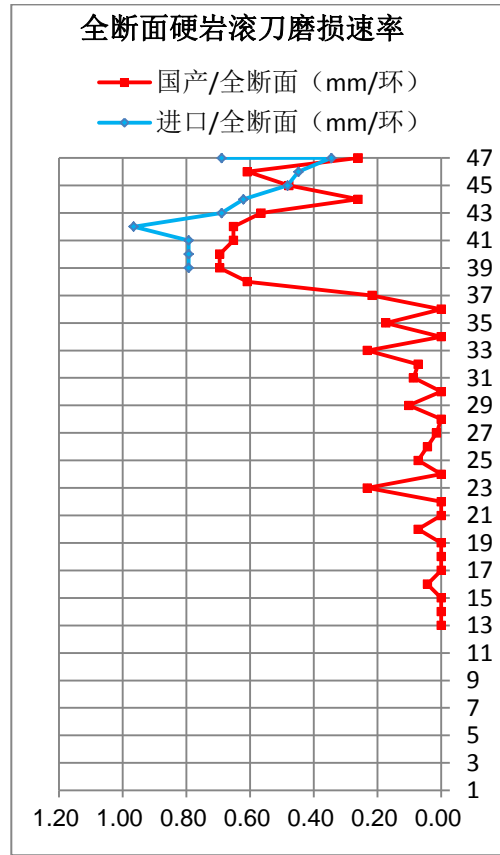


图 3-6 全断面硬岩磨损速率散点图

4 结束语

盾构刀具磨损是由各种因素综合、叠加影响的结果，例如地质情况、岩体强度、掘进控制以及刀具本身的强度、韧性等一系列性能参数等等。磨损的形成是一个非常复杂的过程，要总结出更为接近实际情况的规律或结论，需要在实践中收集庞大的数据样本进行统计分析，需要对各个要因或变量进行长期的、大量的实验、验证的基础上才有可能总结出较为普遍的、合理的、符合实际工况的结论。

[参考文献]

- [1] 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(008): 109-116.
 - [2] 汪红元. 复合地层中盾构机刀具磨损原因分析及更换案例[J]. 建筑工程技术与设计, 2016, 000(034): 1280.
- 作者简介: 李兆国 (1989-), 男, 兰州理工大学, 本科, 土木工程专业, 中建八局轨道交通建设有限公司, 项目副总监, 2年, 中级工程师。