

北京地区盾构机刀具失效分析及再制造研究

蒋建敏¹, 赵学彬¹, 贺定勇¹, 韩文政², 邹积波³

(1. 北京工业大学 材料科学与工程学院, 北京 100022; 2. 装甲兵工程学院, 北京 100072; 3. 北京城建盾构基础工程公司, 北京 100029)

摘 要: 根据北京地区地层中含有大量砂卵石的特点, 对盾构机刀具进行了失效分析, 发现其失效原因主要是冲击和高应力磨粒磨损。针对盾构机刀具的再制造, 开发了一种堆焊药芯焊丝 DG7。再制造刀具的刃口堆焊层无裂纹, 硬度为 50~55 HRC, 冲击后硬度为 55~60 HRC。再制造刀具的寿命高于进口刀具。

关键词: 盾构机刀具; 失效分析; 药芯焊丝; 堆焊

中图分类号: TG47, TG71

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2006)03-0044-03

Failure Analysis and Reproducing of Shield Machine's Cutter in Beijing Region

JIANG Jian-min¹, ZHAO Xue-bin¹, HE Ding-yong¹, HAN Wen-zheng², ZOU Ji-bo³

(1. Beijing University of Technology, Beijing 100022; 2 The Institute of Armoured Force Engineering, Beijing 100072; 3 Beijing City Construction Shield Basic Engineering Corporation, Beijing 100029)

Abstract: Constructing subway by shield method is an important way to solve the heavy city's traffic at present. This paper analysed the shield machine cutter's failure based on the geology in Beijing region, which is full of grit and scree. It was found that the shield machine cutter's failure was caused by high stress, impact and grain-abrasion. A hardfacing flux-cored wire named DG7 was developed to repair and reproduce the cutter. There was no crack in the deposited metal on the reproducing cutter's cutting edge. The deposited metal's hardness was 50~55 HRC and became 55~60 HRC after impact. The reproducing cutter's service life was longer than that of the imported cutter.

Key words: shield machine cutting tool; failure analysis; flux-cored wire; hardfacing

0 引 言

盾构法是利用盾构机在地面以下暗挖隧道的一种施工方法。但是盾构施工在开仓修复、更换刀具时, 不仅耗资、耗时巨大, 而且容易造成地表塌陷等事故, 因此必须尽量延长刀具寿命, 减少开仓次数。随着北京地区地铁建设的全面展开, 刀具作为盾构机的主要损耗件之一, 全部依赖进口, 不但造价昂贵, 而且运输耗时、耗资, 对地铁施工的进程造成了很大的影响。因此开展盾构机刀具的修复再使用研究, 进而实现国产化就显得尤为必要。

盾构机刀盘形式按照工程地质条件和施工控制要求, 可分为面板式和辐条式。北京地区目前地铁隧道施工中应用的是辐条式^[1,2], 见图 1。文中主要是针对盾构机周边刀失效及其修复再制造进行

研究。周边刀(见图 2)的刀体是德国产钢号为 St52-3 的钢材^[2], 其性能相当于国产的低碳钢 Q235。刃口为堆焊层, 堆焊层内钎焊有球齿, 球齿材料为硬质合金。

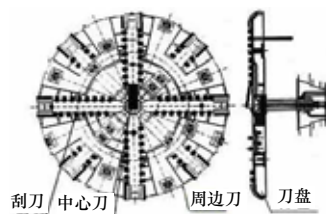


图 1 辐条式盾构机刀盘示意图

Fig.1 Scheme of shield machine's spokewise cutting head

1 盾构机刀具的失效分析

北京地铁五号线盾构试验段属于砂卵石地层, 沙砾含量大, 见图 3。地层中石英含量高达 45 % 以上, 石英沙是“很好”的磨料, 使刀具磨损速度加



图2 盾构机周边刀

Fig.2 Shield machine's circumambient cutter

快。如北京地铁五号线盾构试验段雍和宫站至张自忠站左线 1 510 m 为砂卵石及粘土混合地层，掘进过程中更换了 5 批刀具。

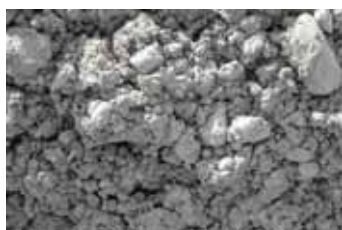


图3 地铁五号线盾构试验段砂卵石地层渣土

Fig.3 Physiognomy of the Fifth-line testing subway shield construction

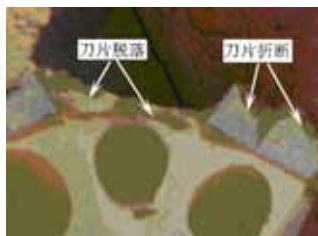


图4 周边刀掘进 70 m 的磨损情况

Fig.4 Worn appearance of circumambient cutter shield machine after 70 meters of driving

盾构机刀盘直径为 6.2 m，转速为 0~3 r/min，通常为 1.5 r/min，刀盘最外边刀具切削线速度最大可达 1 m/s，平均为 0.5 m/s^[3]。周边刀受到很大的冲击力。盾构试验段刀具磨损和折断严重，见图 4。可以看到，盾构刀具的刃口部位镶嵌的硬质合金刀片存在不同程度的折断破坏，即所谓“崩刃”；对于硬质合金刀片，由于硬度很高，相对韧性较差，冲击断裂是其主要失效形式。刃口部位的斜坡（内侧）为典型的犁沟式磨损（见图 5）。

刀具磨损情况可归纳为表 1 所示特征。

通过对进口刀具在砂卵石地层的磨损特点分

析，可知在砂卵石地层施工中，盾构机刀具主要的失效形式为：冲击破坏、犁沟式磨粒磨损和碾压磨损。

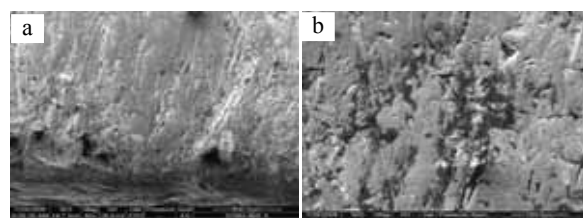


图5 周边刀刃口坡口内侧磨损形貌(a)及局部放大图(b)

Fig.5 (a)Worn surface of the inner groove on the circumambient cutter's cutting edge, (b) the local enlarged picture

表1 盾构刀具磨损特性分类表

Table 1 Classification of shield machine's cutter abrasion characteristics

刀具部位	内侧本体	外侧本体	外侧球齿	刃口
磨损性质	犁沟式磨粒磨损	犁沟磨损+碾压磨损	犁沟磨损+塌陷	冲击磨损
强度等级	较弱	很强	很强	很强

2 刀具原位再制造的施焊工艺要求

盾构机刀具修复时施焊条件苛刻：现场无法进行焊前预热和焊后热处理，且通风条件差、施焊空间狭小，这就对施焊方法和工艺提出了很高的要求。据此，开发的堆焊材料为直径 1.6 mm 的药芯焊丝，选择了设备、工艺简便的 CO₂ 气体保护堆焊方法。

3 堆焊药芯焊丝的成分及堆焊层金属组织

由盾构机刀具的工况可知，刀具既要具备较高的硬度以抵御高应力的磨粒磨损，又要有足够的韧性来吸收砂卵石的冲击。所以选择 Fe-Cr-Ni-Mn-Si 等元素组成的合金系设计了堆焊药芯焊丝 DG7。它可以保证在焊前无需预热、焊后不必热处理条件下，使得堆焊层焊后无裂纹，硬度为 52 HRC，经 3.5 kg 铅球由 1 m 高度自由落体冲击 10 次后，硬度可达 57 HRC。药芯焊丝熔敷金属的主要成分范围见表 2。

堆焊层冲击前后的组织见图 6。冲击后堆焊层的组织得到一定的细化，马氏体组织明显增加。

