

# 地铁盾构机刀具配备维修与管理措施探究

颜谋拓

(中交第三航务工程局有限公司厦门分公司 福建 福州 350000)

**摘要:**在地铁工程盾构施工过程中,若地层存在岩层较硬的情况,盾构机刀具出现磨损、卷边等问题的可能性较大,这些问题的出现不仅会降低工程施工效率,还会增加施工成本,进而对地铁工程整体建设管理工作产生极为不利的影响。为切实解决上述问题,文章主要以福州地铁4号线林浦站—城门站区间地铁盾构施工情况为例,通过对地铁盾构机刀具的配备、维修和管理举措这几方面进行深入分析的方式,介绍了降低刀具异常损坏率,节约工程施工中的刀具更换成本,提升地铁盾构施工效率的具体方式,以期通过将研究结果合理应用到工程施工中的方式,切实提高盾构施工效率与质量,为地铁工程整体施工效果的提升提供有效的支持。

**关键词:**地铁;盾构机;刀具配备维修;刀具管理

## 0 引言

在城市化进程推进过程中,为满足人们的出行需要,地铁作为一种载客量大、稳定性高的交通运输系统,受到了人们的广泛欢迎。为切实满足人们对地铁交通的需要,地铁工程施工项目的数量在不断增加,施工量也不断上升。在地铁工程施工过程中,高质量的盾构施工能够切实提升地铁工程的施工效率,延长地铁工程的使用寿命。对地铁盾构施工情况进行调查分析后发现,盾构机刀具配备、维修、管理工作的质量与盾构机的掘进速度、切削效果、使用寿命之间存在着直接联系。现阶段,针对福州地铁4号线林浦站—城门站区间地铁地层结构较为复杂的情况,为进一步提升工程施工效率,选择合适的盾构机刀盘配置方式,选择合适的刀具是一项极为必要的工作。

## 1 工程概况

福州地铁4号线林浦站—城门站区间左线长2183.438m,右线长2173.981m。在对地铁施工区域进行勘察时发现,施工区域的地层主要为中风化花岗岩、中风化熔结凝灰岩和微风化熔结凝灰岩,其中全断面微风化熔结凝灰岩岩层较完整、强度高,单轴抗压强度126.1~193.1MPa(平均143MPa)。为进一步提升工程施工效率,本次工程施工过程中使用了两台EPB/TBM双模盾构机。在完成软土段掘进进入硬岩地层后,盾构机的模式由EPB模式转换为TBM模式,进行长度约为1280m的硬岩段施工,刀具的更换主要就发生在硬岩地层段。

## 2 盾构机刀盘与刀具的概述

在当前地铁盾构机使用过程中,面对不同的地层,为切实提升盾构机的实用性,需要对刀盘的结构、刀具

的组合布置方式、刀具的性能等方面进行合理的调整。

### 2.1 盾构机刀盘的特点

在盾构机的实际应用过程中,为更好地适应挖掘的需要,刀盘主要有软岩刀盘、硬岩刀盘和复合刀盘三种类型。软岩刀盘被广泛应用于尚未固结成岩的软土地层或一些全风化、强风化的软岩地层盾构施工过程中,一般情况下,这类刀盘的单轴抗压强度小于30MPa。硬岩刀盘又被称作掘进机、隧道掘进机(TBM),这种刀盘被广泛应用于已经成型的硬岩地层盾构施工中,其破岩能力一般在单轴抗压强度30MPa以上,由于这种刀盘在施工过程中经常与硬质岩层进行接触,为实现硬岩的有效切割,这类刀盘对于设计与材料的要求较高。在盾构施工过程中,部分施工区域的地层条件较为复杂,无法单纯用软岩或硬岩对底层进行描述,此时为使盾构机能够更好地适应这种兼具软岩与硬岩的地层,则需要使用复合刀盘或混合刀盘,这类刀盘不仅可以安装辊道也可安装切削刀,福州地铁4号线林浦站—城门站地铁工程中使用的盾构机就属于复合刀盘。

### 2.2 刀具类型

在当前的盾构施工过程中,较为常用的刀具包括刮削刀具与滚动刀具。刮削刀具是一种仅随刀盘转动而转动的刀具,并不具备自转破岩的能力,这类刀具的种类相对较多,现阶段,在盾构机的使用时,较为常用的刮削刀具包括边缘刮刀、齿刀和贝壳刀等。滚动刀具则是一种不仅可以随着刀盘转动而转动,还能自行转动破岩的刀具。依据刀具的形状,这种刀具主要可以分成齿形滚刀与盘形滚刀两种。

### 2.3 刀具失效形式

#### 2.3.1 刮刀的失效形式

在盾构施工过程中,刮刀的失效形式主要包括正常

磨损、刀刃崩裂、刀体断裂和刮刀掉齿等。

正常磨损指的是在盾构机掘进过程中, 刀具与岩土间的正常接触导致的磨损。

刀刃崩裂可以分为三种情况: 第一种, 刀具在硬岩掘进过程中, 因刀具磨损过大, 导致自身在切割未经滚刀切割处理的硬岩时, 出现崩裂的现象; 第二种, 在盾构机的掘进过程中, 盾构机刀盘的旋转速度过快, 此时刮刀直接与硬岩相接触, 导致刀刃崩裂的情况出现; 第三种, 在掘进过程中, 刮刀进入硬岩的深入过深, 导致刀刃崩裂的情况出现。

导致刀体断裂的原因主要包括: 第一, 刀体本身强度、韧性不足; 第二, 刀体在掘进过程中的进刀深度过大。

刮刀掉齿主要是由于刀齿焊接工艺不过关或者在掘进过程中, 刮刀突然与硬岩相接触, 从而导致掉齿现象的出现。

### 2.3.2 滚刀的失效形式

滚刀的失效形式可以分成刀圈的磨损、轴承或密封损坏、刀体与刀盖间浮动密封失效等。刀圈的磨损可以分成正常磨损与非正常磨损, 非正常磨损又可以分成非均匀磨损、刀圈崩块或断裂。

## 2.4 刀具维修

在进行刀具维修时: 第一, 应当对维修项目进行判定, 具体判定方法是, 在完成刀具的清理、拆解工作后, 对其具体维修项目进行判定; 第二, 依据判定结果进行刀具部件的更换, 为进一步提升刀具维修工作的可靠性, 需要在维修更换时严格按照相应操作规范进行工作; 第三, 在完成部件维修更换工作后, 开展刀具的装配工作, 在此过程中, 在进行热装件的安装时需要严格控制温度, 在进行紧固件安装时应加强紧固力矩的控制; 第四, 在维修装配工作完成后, 应当对其维修过程加以记录备案, 为后续刀具维修管理工作的开展提供可靠的参照, 同时, 为便于维修后刀具的分辨, 需要在经过维修处理后的刀具上喷涂自喷漆, 避免新旧刀具出现混淆。

## 2.5 刀具的管理流程

当前盾构机刀具的管理工作内容主要包括施工区域的地质分析、制定管理计划、开展换刀作业、维修刀具、掘进中刀具的管理和刀具磨损量的统计分析等, 在刀具的实际使用过程中, 这些工作内容之间存在着极为密切的联系。

### 2.5.1 换刀作业

在盾构施工过程中, 为保证工程施工效率能够满足预期施工进度规划设计的要求, 需要按照相应的计划, 定期、定点对刀具状况进行检查, 并对磨损度超过一定标准的刀具进行更换, 在换刀过程中, 为保证工作人员的安全, 应制定一套规范可靠的开仓换刀作业程序, 并且要求换刀人员在工作中严格按照程序进行工作, 保证

后续刀具的使用安全。

### 2.5.2 刀具磨损统计分析

在完成刀具更换工作后, 需要对一段掘进距离内刀具的磨损量与磨损情况进行记录分析, 并以此为基础对该段施工地层内的刀具磨损规律进行分析, 为后续掘进施工中换刀位置、施工过程中刀具的管理工作开展提供参照。在本次工程施工过程中, 中交第三航务工程局有限公司盾构中心福州地铁4号线QC小组的工作人员在对林城区间左线硬岩掘进571环, 右线硬岩掘进384环刀具更换情况进行统计后发现, 刀具的总更换数量达到了246把, 并且已更换的刀具异常损坏情况较为严重。具体来说, 在该段盾构工程施工过程中, 异常损坏的刀具占左线更换刀具的34.6%、占右线更换刀具的40.16%。经调查分析可以了解到, 盾构机刀具的更换维修成本平均为5000元/把, 新的单刀购买费用为17000~20000元/把, 新的双刀购买费用为35000~40000元/把, 该工程项目中, 后续左线还有532环硬岩地层、右线还有650环硬岩地层, 若无法有效降低刀具在工程施工过程中的异常损坏率, 那么本次盾构工程施工的整体成本将会大幅度增加。

## 2.6 刀具异常磨损解决措施

在对该段异常磨损的刀具进行分析时发现, 偏磨与轴断这两个问题占刀具异常损坏总量的87%。现阶段, 为实现该工程掘进工作降低双模盾构机TBM模式下刀具异常损坏率 $\leq 30\%$ 的标准, 可以通过有效解决75%的偏磨与轴断问题的方式, 降低盾构施工的总体成本。

### 2.6.1 问题原因分析

中交第三航务工程局有限公司盾构中心福州地铁4号线QC小组的工作人员在分析偏磨和轴断这两个刀具异常损坏的原因时, 从人机料法环这几个方面入手, 并对可能导致问题出现的原因进行了归纳整理, 找出刀圈韧性不足、刀具启动转矩过大、刀具装配质量不达标、推进思路存在问题、人员工作质量偏低、延时强度大且变化大和刀轴硬度大且韧性低这几个因素。

### 2.6.2 问题因素确认

在找出上述因素后, 为切实了解这些因素与偏磨与轴断这两个问题之间的相关性, 该小组的工作人员制定了要因确认计划表, 并按照计划表对这些因素进行了逐一确认。具体如下:

(1) 在确定刀圈韧性不足这一因素所造成的影响时, 调查人员通过对比提供刀圈的4个厂家, 分析哪个厂家所提供刀具在本区间使用偏磨情况最少, 找出适合本区间层的刀圈厂家。经过对比发现, 在本段工程施工区间, 金鹭品牌的刀圈偏磨率为19.44%, 最适应本区间地层, 偏磨率最小。易斯特、江钻、天工等品牌刀圈不适用于本区间地层情况, 这三种品牌的刀圈在使用量上达到总

量的51.7%，故该末端原因为要因。

(2) 在确定刀具启动转矩过大这一因素所造成的影响时，调查人员通过对异常损坏刀具进行转矩测试并记录测试结果的方式，找出刀具偏磨发生的刀具启动转矩区间。经过转矩测试后可以发现，这些偏磨的刀具转矩值集中在38~40kNm的范围中，通过询问刀具维修人员了解到，维修刀具出厂转矩值为37~38kNm。同时，在查询刀具偏磨发生时的掘进参数时发现，掘进时刀盘的启动转矩在655~1950kNm之间。对数据进行比对可以发现，在该段掘进工程施工时，刀具的启动转矩处于偏大状态，这一情况容易导致刀圈无法转动以致偏磨，该末端原因为要因。

(3) 在确认刀具装配质量时，调查人员对刀具的维修情况进行抽查监督，得出刀具维修装配符合施工标准的结论。调查人员在刀具维修点对刀具的维修全过程进行观察分析，并对刀具密封与刀体气密性进行随机抽样检查后发现，刀具维修点对刀具的维修装配符合行业标准，可满足林城区间硬岩地层施工要求，故该末端因素为非要因。

(4) 在确认推进思路正确与否时，调查人员查询了刀具异常损坏时推进参数情况，明确在刀具异常损坏发生时，是否存在推力参数过大、转矩波动过大这类问题。

(5) 在确认人员交底工作质量时，调查人员对工程施工过程中是否存在定期对刀具进行检查、作业人员有无复紧螺栓等情况进行了统计调查，并了解到：在该工程施工过程中，刀具检查频率5环/次；推进参数异常时立即通知作业人员进行刀具检查；刀具检查后对整盘刀具进行螺栓复紧。调查人员在对该段地铁掘进区域左线900~1080环施工时的掘进参数进行了统计，并且对统计结果进行了分析，从中发现：当总推力处于1500t以上时，刀具异常损坏发生概率为42.12%；当总推力处于1300~1500t时，刀具异常损坏发生概率为28.24%；当总推力处于800~1300t时，刀具异常损坏发生概率为15.92%。从中可以看出，在推力较大时，刀具异常损坏率明显提升。同时，经统计发现：单环内刀盘转矩变化值为100~300kNm时，刀具异常损坏发生情况较少；单环内总推力变化值为300~554t，刀盘转矩变化值为400~760kNm时，刀具异常损坏发生情况较普遍。对上述数据进行分析后可以了解到，推进思路不正确这一末端因素为要因。

(6) 在确认施工区域是否存在岩石强度大、变化大这类问题时，调查人员对比了刀具异常损坏时岩石强度情况，从而了解到刀具异常损坏发生时的平均岩石强度。调查人员在对过往刀具检查数据进行统计分析，并与盾构机司机以及刀具检查作业人员进行沟通后了解到，在该段地铁盾构施工硬岩推进过程时，确实做到刀具检查频率5环/次，并且盾构司机在推进时察觉推进参数异常

时会立即通知作业人员开仓检查刀具。同时，刀具检查作业人员在每次刀具检查或者更换刀具后，都会对整盘滚刀进行螺栓复紧。调查人员在跟随刀具检查人员进行刀具检查，并随机对刀具螺栓进行检查后，可以确认作业人员每次刀具检查时均有对刀具螺栓进行复紧，故该末端原因为非要因。

(7) 在确认刀具是否存在刀轴硬度大、韧性低这类问题时，调查人员对比了本次工程施工中提供刀具的4个厂家，并通过找出哪个厂家所提供的刀轴在本区间损坏率最少的方式，找出合适本区间的地层刀具厂家。调查人员在对不同品牌的刀具断轴率进行分析后发现，在本区间所使用的刀具品牌中，刀轴断裂的概率相差不大，因此，刀轴的材质不是刀轴断裂的主要原因，该末端因素为非要因。

### 2.6.3 问题解决方法

对上述可能导致偏磨与轴断问题产生的因素进行分析后可以得出具体的偏磨与轴断问题解决对策：第一，针对刀圈韧性不足的问题，工作人员可以联合金鹭刀具厂家，针对本城区间地层改良刀圈韧性；第二，针对刀具启动转矩过大的问题，工作人员可以结合地层情况及推进参数调整刀具启动转矩；第三，针对推进思路不对的问题，可以控制推进过程中总推力大小、波动及刀盘转矩波动在合理范围内。

## 3 结语

在本次工程施工过程中，为实现盾构施工的顺利进行，中交第三航务工程局有限公司盾构中心福州地铁4号线QC小组的相关工作人员团结协作，对工程施工过程中盾构刀具异常损坏的情况出现的原因进行了深入的分析，并采用QC思维对问题进行了针对性分析处理，实现了本次工程施工过程中降低双模盾构机TBM模式下刀具异常损坏率<30%的课题要求，不仅有效地节约了本次工程施工的成本，还为后续地铁盾构施工活动的开展提供了可靠的参照。

### 参考文献：

- [1] 习信忠. 地铁盾构机刀具配备与维修措施[J]. 工程机械与维修, 2021(06): 78-79.
- [2] 康晓亮, 许旭明. 盾构机硬岩掘进时滚刀异常损耗的控制方法[J]. 设备管理与维修, 2020(23): 137-138.
- [3] 卢庆亮, 袁乃强. 某地铁工程盾构机滚刀失效分析[J]. 隧道与地下工程灾害防治, 2020, 2(02): 92-96.
- [4] 司学康. 盾构机刀盘结构优化设计及其数值模拟研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2020.
- [5] 邵明月. 复合地层盾构机刀盘刀具优化设计及工程应用[D]. 北京: 北京化工大学, 2018.