

盾构刀盘洞内修复技术与作业安全措施

孙党勇

中国中铁股份有限公司

摘要：以武汉市轨道交通5号线都市工业园站-武钢站区间右线盾构刀盘修复为例，针对洞内盾构刀盘损坏情况，设计了一套详细的洞内维修施工流程和作业安全措施，为今后类似工程的盾构刀盘洞内修复提供方案支持。

关键词：盾构刀盘；修复；安全

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.16.055

盾构机是地铁隧道开挖的重要利器，伴随着我国地铁建设的蓬勃发展，盾构机得到了广泛应用。刀盘是盾构机前端用于切削泥土和岩石的主要构件。刀盘磨损程度和地质条件息息相关。如地质水文条件复杂，对刀盘日常磨损监测频次不够，长时间的使用，刀盘极易出现超范围磨损和破坏。在盾构施工中，刀盘和刀具的损坏，会严重影响整体施工进度，如不及时处理，可能会造成安全事故。盾构刀盘由于体积庞大，发生结构破坏时很难将其整体取出维修，大部分情况下只能采取洞内维修。本文以武汉轨道交通5号线都市工业园站-武钢站区间右线盾构施工为例，针对刀盘损坏情况，制定了一套详细的洞内维修施工流程和作业安全措施，希望为同行在洞内盾构刀盘维修方面提供参考。

一、背景概述

(一) 工程概况

武汉轨道交通5号线都市工业园站-武钢站区间右线，区间总长1626m，共计1084环。主要穿越地层为黏土、残积土、红黏土、中风化灰岩、中风化石英砂岩夹泥岩、强风化泥岩和局部强风化灰岩。项目使用中铁283号盾构机进行掘进，该盾构之前在武汉地铁27号线江夏客厅站-谭鑫培公园站（右线）掘进1560米。

(二) 设备情况

在施工开始前根据设计方资料，重点监控了刀盘面板背部、辐条刀箱等应力较大的区域。盾构机掘进至第477环时，发现刀盘动画突然显示未转动，经排查发现刀盘面板背部及回转中心存以下损坏：刀盘中心区域异常脱落，直径约2500mm，共计4把双联滚刀及此处刀箱、7把单刀滚刀及刀箱和8把正面刮刀、面板4根辐条、喷孔保护刀及喷管装置整体磨损脱落；刀盘面板背部L形架及中心回转套筒损坏并脱落；刀盘背部管路部分损坏，前盾土仓搅拌棒有几处脱落。损坏情况如图1所示。

盾构机正上方位于冶金大道道路中部，且区间上方存在与区间线路平行的720mm高压天然气管线，两侧还存在污水、雨水、通信、电力等重要管线，不具备开挖竖井维修刀盘的条件，为保证施工进度，特制定了刀盘洞内修复专项施工方案以及安全预防措施。

二、维修流程

(一) 主要作业内容

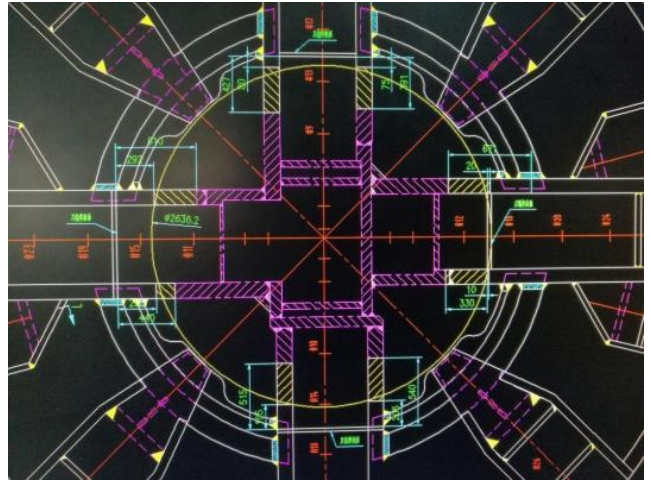


图1 黄色圆区域内为磨损缺失部分

针对盾构刀盘损坏的具体情况，结合现场实际条件，检查及维修刀盘的作业内容包括：操作洞室开挖、刀盘结构修复、新制滚刀刀箱定位和焊接、刮刀刀座定位和焊接、新制刀盘喷口，定位和焊接、回转体修复、搅拌棒修复等工作内容。

(二) 刀盘修复方案

(1) 前期准备工作

维修过程中需有严密的防水措施。中盾至盾尾利用径向注浆孔注入聚氨酯包裹盾体，防止盾体后方来水，盾尾后部3-5环管片吊装孔、二次注浆孔等注双液浆浆环做止水环，并对已完管片再次二次注浆。

测量磨损区域，做出结构修复图纸，如图2所示。准备临时吊耳若干用来零件运输，吊耳承受力为最重板件的2倍。

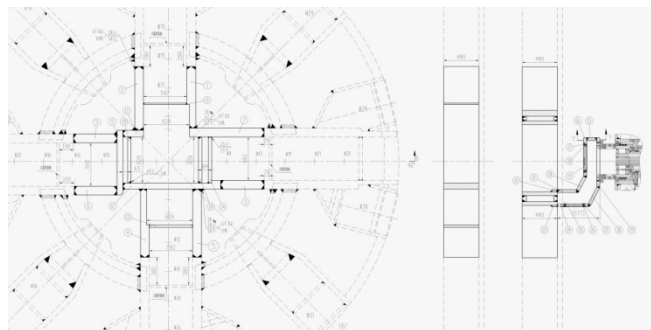


图2 刀盘维修方案

(2) 操作洞室计算与施工

为保证刀盘修复过程中的焊接质量及操作空间，需在刀盘前方开挖直径2.8m，深1.2m的洞室，如图3所示。

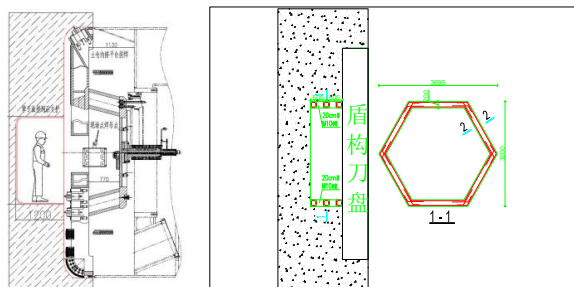


图3 操作洞室示意

采用台阶法开挖洞室，然后用玻璃纤维筋植筋做砌砌防护。为保证现场操作方便、施工安全及后期施工方便，必须对操作洞室支护进行强度校核。

根据上部结构计算，按照水土合算基本组合，操作洞的支护承受荷载如图4-图6所示

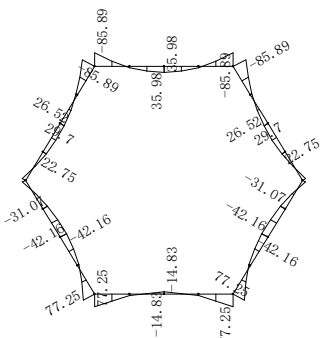


图4 操作洞室弯矩图 (kN·m)

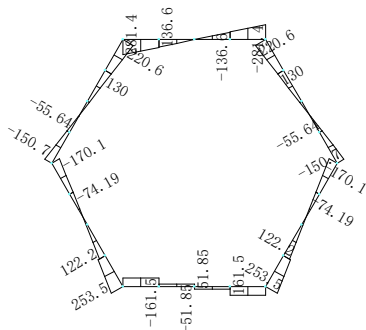


图5 操作洞室剪力图 (kN)

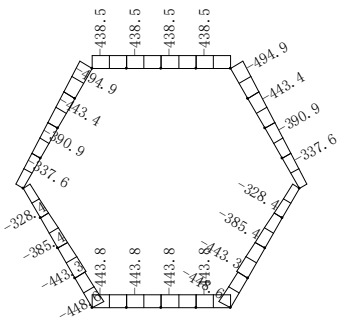


图6 操作洞室轴力图 (kN)

用厚度为200mm的木材木条延挖掘方向布满检修孔。

$$\text{弯矩为 } M_{\max} = 85.89 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{轴力为 } N_{\max} = 494.9 \text{ kN}$$

对于玻璃纤维筋

附加偏心距取为：

$$e_a = \max(20, h/30) = 20 \text{ mm}$$

轴向压力对支撑截面的偏心距：

$$e_0 = M / N = 85.89 / 494.9 = 174 \text{ mm}$$

初始偏心距：

$$e_i = e_a + e_0 = 174 + 20 = 194 \text{ mm}$$

$$e = e_i + h/2 - a_s = 194 + 200/2 - 35 = 259 \text{ mm}$$

取玻璃纤维筋的抗拉强度为 550MPa

$$N \times e = \alpha_1 f_c b x (h_0 - x/2) + f_y A'_s (h_0 - a'_s)$$

$$\text{解得 } A'_s = 1412.4 \text{ mm}^2 \leq 1520 \text{ mm}^2$$

故每延米采用4根直径22的玻璃纤维筋即可满足操作洞室支撑要求。通过有限元软件模拟分析支护沉降，如图7所示，最大沉降量为1.2mm，满足施工安全。

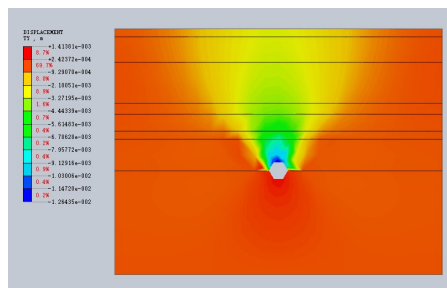


图7 支护沉降云图

(3) 现场临时吊耳安装及结构件运输

现场临时吊耳主要目的是吊运重型板件、焊机及重量大于25kg的物件，包括盾体、土仓临时吊耳。

先将板件、焊机通过电机车运送至隧道内部，然后通过双梁及喂片机运送至尾盾前端。

(4) 刀盘面板修复

由于人仓出口处大小为Φ600mm，部分组合件焊接完成后无法通过人仓门，因此部分组合件需要土仓内焊接。为提高铆焊精度及更容易安装刀箱，因此对其分段部分进行加强筋固定焊接，进一步控制刀盘变形，如图8所示。

在刀盘面板整体焊接前，应再次根据刀盘图纸复核刀盘中心点，保证刀盘修复完成后误差≤2mm。作业过程中做应严格执行焊接工艺规程。刀盘焊接完成后，对焊缝进行探伤，焊缝检测全部合格后，将面板临时支撑进行割除。

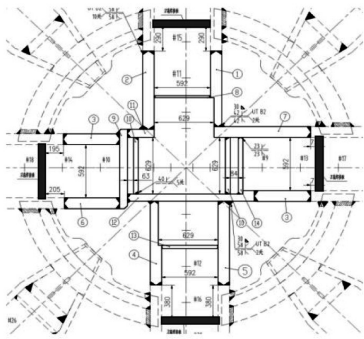


图8 加强筋安装示意

(5) 刀箱刀座的安装

考虑人仓出口处大小，中心滚刀刀箱需在土仓内现场拼接，其余刀箱待整体加工制作完成后送入土仓内安装。全部刀箱根据图纸做好滚刀中心线标记。

先将匹配板利用临时吊耳运送至土仓，割除干涉的临时支撑，根据图纸焊接匹配板，然后依次焊接各个刀箱。安装完成后，对整体焊接刀箱进行焊缝检查。

刀座安装时，根据图纸做出定位基准，然后将刀座焊接到相应位置，需保证刀具安装高度。

(6) L型架及中心回转体部分的安装

在土仓内，根据图纸进行L型架拼接、铆焊，过程中做好相应支撑。焊接过程中可通过土仓临时吊耳进行翻面作业。

中心回转体安装时，先将传动环及法兰焊接为整体，保证同心。此外，更换中心回转体过渡件、密封压环及骨架密封，保证L型架与中心回转体同心安装。

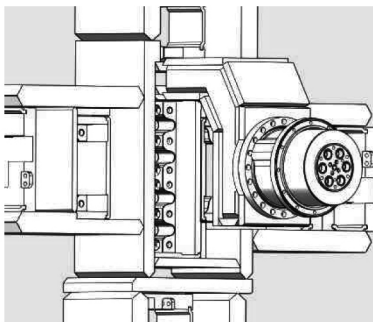


图9 L型架及中心回转体示意

(7) 泡沫喷口及管路的安装与连接

将泡沫口整套送至土仓内，通过旋转刀盘调整位置，以便于每一处泡沫口组件的安装。

焊接修复泡沫管路，安装L型架内软管，并做压力试验，保证无压降为合格，如图10所示。

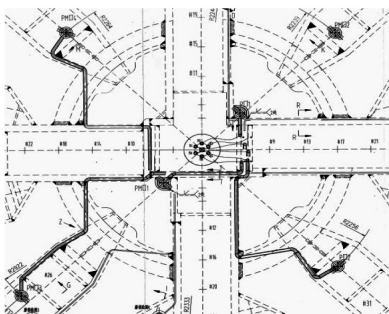


图10 刀盘管路安装示意

(8) 刀盘耐磨焊的堆砌及搅拌棒修复

根据设计图确定搅拌棒位置，将搅拌棒进行定位、焊接。此外，还需对正面磨损区域及管路保护板补焊耐磨焊。

(9) 刀具的安装

切刀和滚刀安装时，所有连接螺栓预紧力需符合要求，螺栓紧固时涂抹螺纹紧固胶。

(10) 临时支撑、临时吊耳的切除

将所有除气割、打磨机以外的物品通过临时吊耳吊出土仓，并将临时吊耳及支撑割除，包括刀盘、土仓面板、人仓、盾体内、L型架上的临时吊耳及支撑。

(11) 恢复掘进

待刀盘修复完毕，各项数据检查无误后，确认土仓中无遗漏物品，维修人员安全撤离后关紧人仓闸门。开始准备恢复推进。推进过程中密切关注刀盘扭矩、总推力等参数。恢复掘进之后每100环进行一次刀具、刀盘检查工作。

三、作业质量和安全措施

(1) 对所有参与人员进行安全培训，警示安全风险，严格落实技术交底制度。(2) 针对在修复过程中地面和隧道内可能发生的安全问题，成立抢险组织机构并制订应急措施和应急预案。(3) 施工人员在作业前，必须对盾体前方的工作面进行全面的复核，反复确认地层条件稳定性。对工作面进行全过程监视，特别应注意突发性的涌水、涌沙现象。(4) 需保证土仓内具有良好的空气流通，及时排除焊接作业的烟雾，防止土仓内部环境温度过高。(5) 在前盾隔板底部设置2个排水管，分别连接土仓内2台临时水泵，达到及时排除内部积水，降低作业风险，保障施工人员安全。(6) 地面应派测量人员对盾构机停机位置的沉降情况进行全天24小时监测，保证维修人员的作业环境安全。

四、总结

(1) 针对盾构刀盘的损坏情况应设计合理的修复方案，维修的全部工序应充分考虑零部件的尺寸、安装顺序和安装精度，同时要严格保证焊接质量，才能使刀盘恢复到正常状态，保障盾构施工的正常运行。(2) 上述针对盾构刀盘洞内维修提出了保证质量和安全的一些措施，维修方案设计人员、项目管理人员和实施人员应充分了解刀盘维修过程中存在的安全隐患和工艺要求。

参考文献

[1]李斌, 贾云飞, 李文功. 盾构机刀盘修复技术[C], 中国盾构技术学术研讨会. 2011.
 [2]刘杰, 王文建. 盾构隧道下穿铁路路基应对措施及安全评估[J]. 路基工程, 2020(2): 6.
 [3]张威威, 马哲, 张家年. 上软下硬地层盾构刀盘洞内修复技术及施工建议[J]. 建筑机械化, 2020, 41(11): 5.
 [4]米晋生, 刘坤, 黄威然. 掘进中盾构中心刀箱损坏原因分析及修复[J]. 广东土木与建筑, 2012(6): 3.
 [5]苗斌, Miao, Bin, 等. 硬岩掘进机刀座损坏分析及对策[J]. 铁道建筑技术, 2017(12): 5.