

## 盾构隧道施工机械设备的维护保养探讨

张卫星

中铁三局集团有限公司, 山西 太原 030000

[摘要]盾构机是隧道施工的主要施工机械,在保证工程质量和安全性方面发挥着重要作用,盾构机结构复杂,系统化程度较高,工作环境较差,一旦发生故障,会表现出突然性强以及处理困难的特点,这就给对设备进行维护保养带来了极大的挑战。针对盾构机施工设备的主要组成以及特点,首先对盾构机维修保养的基本原则与类型进行了介绍,然后详细论述了对刀盘刀具系统、液压系统、电气控制系统、推进拼装系统等核心部件进行维修的工作重点,最后就如何做好盾构机的维修保养管理提出了一系列措施,包括健全管理制度、做好状态监控与预报警、加强员工教育培训以及储备备品等方面内容。

[关键词]盾构隧道;盾构机;维护保养;状态监测;故障预警

DOI: 10.33142/sca.v9i3.19355

中图分类号: U455.39

文献标识码: A

## Discussion on Maintenance and Upkeep of Shield Tunnel Construction Machinery and Equipment

ZHANG Weixing

China Railway No. 3 Engineering Group Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030000, China

**Abstract:** Shield tunneling machine is the main construction machinery for tunnel construction, playing an important role in ensuring project quality and safety. Shield tunneling machine has a complex structure, high degree of systematization, and poor working environment. Once a fault occurs, it will show strong suddenness and difficult handling, which brings great challenges to equipment maintenance. Based on the main components and characteristics of shield tunneling machine construction equipment, the basic principles and types of shield tunneling machine maintenance were first introduced. Then, the key points of maintenance for core components such as the cutterhead tool system, hydraulic system, electrical control system, and propulsion assembly system were discussed in detail. Finally, a series of measures were proposed on how to do a good job in the maintenance and management of shield tunneling machines, including improving management systems, monitoring and pre-warning of status, strengthening employee education and training, and reserving spare parts.

**Keywords:** shield tunnel; shield tunneling machine; maintenance and upkeep; status monitoring; fault warning

### 引言

在轨道交通及地下工程建设规模不断增大的背景下,盾构法被更多的运用起来。而盾构机作为一种融合多种学科为一体的大型机械,在复杂环境之中承受着巨大的压力,一旦出现故障就容易造成停工以及花费增加的情况发生。同时因为盾构机施工存在工作时间跨度大以及工艺复杂的难题,所以对其进行定期检查是非常必要的。目前仍有部分工程存在着“重用轻养”的问题,再加上新发布的 T/DGGC 022—2023《盾构机保养与维修技术规范》已经于 2024 年开始实行对维护保养提出了新的标准。

### 1 盾构施工机械设备的主要构成及特点

盾构机主要由主机、后配套和附属设备三大部分组成,主机包括了刀盘刀具、盾体、主驱动、推进、拼装、螺旋

输送及密封系统等;后配套包括了液压站、电控、注浆、冷却、通风等系统;附属设备主要包括导向测量、监控装置等。盾构机结构复杂,各部分相互联系密切,工作环境非常恶劣,湿度很大、灰尘很多、振动很大,加大了零件的磨损程度;连续作业很长,停机的机会很少;工作空间狭小,大型维修必须待出洞之后才能开始<sup>[1]</sup>。盾构设备只有“只能前进不能后退”的属性,使得在对盾构设备进行大修时只能等到整机出洞之后才能展开维修工作。这就要求我们需要做好预防性维护、加强科学管理等措施,具体如下表 1。

### 2 维护保养体系概述

#### 2.1 维护保养的基本原则

盾构机维护保养体系建设应该遵守如下原则:一是预防为主原则,即定期开展计划、周期性的巡检、检修及维

表 1 盾构机主要系统构成与维保特点

系统分类	主要构成部件	维保特点与难点
刀盘与刀具系统	刀盘体、滚刀、刮刀、超挖刀、泡沫喷嘴	磨损速度快, 换刀作业风险高, 需带压开仓
主驱动系统	主轴承、驱动电机/马达、减速机、密封件	核心承载部件, 一旦失效修复代价极大
液压系统	液压泵站、阀组、油缸、管路、滤清器	污染控制要求高, 泄漏故障隐蔽性强
推进与拼装系统	推进油缸、铰接装置、拼装机、螺旋输送机	姿态控制精度要求高, 同步性要求严格
电气与控制系统	PLC、传感器、变频器、配电柜、通信网络	信号可靠性高, 易受潮湿环境影响
辅助系统	注浆系统、盾尾密封、冷却系统、通风系统	系统繁多, 检查频次高, 易被忽视

护等工作, 使设备问题消灭在苗头期, 防止由小错发展到大祸, 维修保养工作要有维保方案并且要严格按照方案执行; 二是分级负责原则, 在对设备各系统的安全级别、工作环境及风险大小的基础上, 把维护保养工作分成若干个级别与层级来管理; 三是责任落实原则, 建立维保工作责任人确认制度, 每个维保环节都有记录、有确认、能追踪。维修保养实行责任工程师签字制, 所有的维修保养工作内容均有书面记录并经由责任工程师审核签字。第四, 安全第一原则, 维保工序必须严格按照安全标准执行, 在停电、泄压、停机安全步骤实施完毕之后才能进行操作<sup>[2]</sup>。盾构维修保养采取日常检查与定期停工修理相结合形式, 实行的是以日常维修保养为主, 停工修理保养为辅的方法。

## 2.2 维护保养的分类与内容

按照 T/DGGC 022—2023《盾构机保养与维修技术规范》, 盾构机的保养分为日常保养、定期保养、专项保养三层级。日常保养主要是巡查为主, 有设备运行状况查看、各系统指标监控、润滑部位加油、紧固件复查以及除尘防锈处理等内容, 一般由当天值班人员协同维修保养人员执行。定期保养根据时间分为周保养、月保养、百环保养等, 主要有润滑油脂检验替换、滤网替换、易损件磨损检测、密封胶条查看替换、电器设备绝缘检测、控制箱信号调试等环节。首台投入使用盾构机, 在试掘进 100m 之后, 应对各项部件进行一次全面的检测以及维护作业, 同时要对液压系统滤清器以及刀盘驱动齿轮润滑油及时更换; 专项保养则是根据不同的工况或者设备运行情况而定, 例如长距离掘进之后的整体维护, 特殊地层挖掘之后的刀盘整体更换维护, 盾构机转场之前的一次全面的检测等。

## 3 关键系统的维护保养要点

### 3.1 刀盘与刀具系统

刀盘刀具直接影响掘进速度和效果。刀盘控制由 PLC 进行中心管理, 获取地质指标以及来自系统的反传信息, 实施闭环控制实时调整旋转速度。刀具磨损是主要问题, 在卵石、砂岩地层磨损严重, 加大了换刀的风险及费用;

刀盘检修要坚持“预防为主, 监控检测与定期维护相结合”的方针。日检班班看刀盘外表和螺丝, 测量磨损程度是否达到 80% 以上时安排更换刀具, 换刀要严格按照规定进行, 停止排渣、开门通风, 确认掌子面情况, 灌浆密封刀箱, 拆卸组装刀具, 进行复核校正。应从刀盘中心回转接头压力变化或者电流波形特性上判断出异常磨损情况, 立即更换并且对其进行校准。

### 3.2 液压系统

液压系统带动主机前进、刀盘、拼装机等重要部件运转, 如果液压系统出现故障将会引发整个设备停止工作。因此对液压系统的保养主要集中在三个方面: 油液管理、元件检查以及系统清洁。其中对于油液管理要每日查看油面高度, 每隔 200 个小时观察其是否干净, 并保证油温维持在 30~55℃ 之间; 对于元件检查要求油缸每 50 个小时检测磨损情况, 每周检查一次阀组反应灵敏度; 而在进行维修之前一定要先切断总电源并泄压, 避免出现油缸回缩现象或者马达突然启动的情况, 以免高压油喷出造成严重的安全事故, 在施工过程中就遇到过因液压油全部被污染而停机的情况, 经过诊断确定原因并更换相应零件才得以解决。

### 3.3 电气与控制系统

电力电气与控制系统相当于盾构机的神经系统, 承担着向各执行机构发送信号以及收集设备工作状态参数的作用。而盾构机电控系统结构复杂并且相互之间互相联系密切, 任何一个环节出现问题都会造成整个盾构机无法正常挖掘作业或者停止下来维修。所以对电气进行保养时需要注意以下几方面的内容: PLC 控制装置、传感器、执行器、供电系统、通讯网络等。常规性维修过程中, 每天需要清理 PLC 机柜内风扇灰尘, 每隔一百个小时校核一次扭矩传感器、土压传感器等重要检测部件的一致性, 误差大于百分之二就需要对设备重新标定; 每隔一周加固电缆连接处螺丝, 查看 IP65 以上防水接头密封圈是否破损良好等。每隔 200 小时检测一次电缆绝缘电阻不应小于 1MΩ, 电气系统进水会造成装置动作异常、误发信号及

报警等现象,在日常生产中严禁用清水冲洗、蒸汽清洗机、控制盘、配电柜以及电气仪表等,要加强对电气设备健康状况的状态监控,在线记录数据档案,运用 SCADA 系统收集使用参数曲线图,采用 FMEA(失效模式效应分析)方法,提高预见性检修水平。随着 AI 的发展,AI 赋能下的智能化检测装置可以及时掌握主轴、驱密等主要设备的运行情况并以数学计算得出其寿命,助力由事后检修转为主动预警。

### 3.4 推进与拼装系统

推进系统是指盾构机向前掘进的动力执行装置,一般是由沿着盾体圆周方向均匀分布的多个推进油缸构成,推进系统的维修保养主要针对的是各推进油缸密封情况、同步性的调节以及铰接部件的工作间隙等情况,铰接油缸密封每隔一百个小时检测一次是否有渗漏现象发生,在出现渗漏时进行更换密封圈;铰接工作空间需要处于 0.5~1.5mm 之间,在超出该范围时要对铰接油缸的压力进行调整等。

管片拼装系统负责隧道衬砌精确组装工作,系统的可靠程度决定着隧道成型的效果,拼装机的维护保养包括回转装置的润滑及损坏情况查看,抓取装置夹紧力调节、平移部分导向误差校验等。而在推进系统的维修中曾经发生过这样一起事件,在某项目上由于推进油缸四组左右位置颠倒安装,造成高压油液方向错误,使得盾构机发生“磕头”,并且不能控制姿态,后来经过改变推进阀组管路方向才恢复了正常向前推进。此例证明推进系统的安装调试正确与否,以及后期的维护保养都是十分必要的,小小的管线连接错误都会带来巨大的灾难性影响。

## 4 维护保养管理措施

### 4.1 建立健全维护保养制度

制度是保证维护保养工作科学有序进行的基础,在此过程中,施工单位需建立起一个从维保计划制订、实施监督检查、检查结果评价、资料归档在内的全方位管理制度;要制定出盾构机每日巡视检查制度、每周强制性停机保养制度、每百环整机全面保养制度、更换刀具专项管理制度、润滑油脂补充制度等制度并划分各层级管理人员权责;对电气、液压装置的所有调整都要做好详细的记录,签名确认并留底备案;还要设立设备维保档案,记载每次保养时间、内容以及存在问题,处理方法等内容;作为以后出现问题时候的原因分析,以及下一步维修保养方法的选择依据。

### 4.2 加强状态监测与故障预警

传统周期性的维修保养方式存在着过度保养以及不足保养两种可能性。而传感探测技术和数据处理技术的进

步使得状态感知下的预见型维护成为盾构机维护保养工作的趋势。如今的盾构机已经基本配备了刀盘扭矩、推力、转速、土压、温度、振动等各类传感器可以对设备的工作情况进行实时监控;同时光纤光栅技术也被应用于盾构机刀盘磨损测量之中。使用多通道磨损传感解调装置得到非常准确的刀盘磨损值读数。

智能化预警,在这个领域中湖南大学与中铁重工集团共同开发的盾构掘进运维智能体已经运用到了上海地铁崇明线项目上,系统帮助决策正确率达到 90% 以上,使掘进偏斜控制在 30mm 之内;智能维修保养以及维修效率相比于传统的方式提升了 20%,设备使用率提高了 12%<sup>[3]</sup>。这样的技术的应用将会大大促进盾构机保养工作的由经验走向数据、由被动抢修走向主动预防的过程。

### 4.3 提升人员培训与技术能力

盾构机维修保养是一项技术含量很高的职业,对于工作人员的综合水平要求很高,维修保养员要掌握各系统结构及其的工作特点,还要有排除解决故障的能力<sup>[4]</sup>,施工企业应进行分级分类式的教育培训;对新来的维修保养人员进行全方位的基础知识学习和跟班实习,对在职维修保养人员进行有针对性的技术培训及测试,对技术人员进行外出参加技术研讨会以及专门的技术进修等方式。从实际操作来看,“望闻问切”的维保方法是有着指导意义的一线工作人员的经验之谈,耳朵听刀盘切削岩石的声音以及主驱动运转声音,眼睛关注各项参数的变化情况,鼻子闻电控箱内线路有无烧糊的味道还有浆液是否有异样气味,然后问问工友关于设备哪些地方需要保养,最后动手检查各个系统的压力数值,拆解电路排查问题等。这样用经验与科学相结合的方式设备进行维护也反映了对维保人员技术和素质的要求。

### 4.4 优化备件管理与供应链

备用配件管理是盾构机维修保养工作的基础保障环节,在盾构机中配件种类多样、规格各异、精度要求也很高,所以如果缺少备用配件的话就会造成故障得不到及时排除;但是过多的备用配件又会造成积压资金和增加仓储费用<sup>[5]</sup>。因此对于盾构机设备零部件种类多样、规格各异、精度要求高的特点应该采取“编号管理、分类运输”,对常用配件及耗材做好充足准备,对于长期采购配件进行事先规划,通用的标准件可以适当储存等几种方式进行管理。

对于备件管理信息化,有研究人员给出一个基于大数据分析的盾构机重要零件维护服务及存货量同步优化的方法,并借助智能技术和大数据挖掘来对盾构机主要元件的剩余寿命进行分析,目的是为了提升其维护效率以及减

少备用件存贮费用；并且需要积极同厂家开展技术交流，开辟备品备件应急采购通道以保障重要零部件的快速到位；有条件的企业可以尝试开展盾构机维护“一条龙”的服务项目，实现从存放至拆卸、修理直至施工全过程的一站式服务。

## 5 结束语

盾构机维保是一项综合性、专业性的技术工作，直接影响到施工的安全、进度以及成本等指标。本文全面介绍了维保的基本原则、类型以及重点系统的注意事项，并针对四个方面——即制度建设方面、监控方面、人力配备方面和物资储备方面提出了相应的改善建议。建立以预防为主、融合状态检测与定期维护于一体的维保模式是实现高效运转的前提条件。在未来人工智能、虚拟仿真、物联网技术日新月异的趋势下，维保也将随之发生变革。“以AI为基础的健康状况诊断和寿命预估、以数字孪生为基础的虚拟维保训练、以工业互联网为基础的远程服务”的新模式将会使维保由“经验型”的被动型维护转化为“科

学化”的主动型维护，“由事后补救变为事前防范”。从而为隧道掘进工程安全施工保驾护航。

### [参考文献]

- [1]李凯凯,代顺义,袁文征,等.盾构刀盘用新型可拆卸吊耳设计与分析[J].隧道建设(中英文),2025,45(2):371-379.
- [2]魏驰,周欣,姚占虎,等.盾构隧道地中对接盾尾密封止退装置关键技术研究与应用[J].现代交通与冶金材料,2026,6(2):37-42.
- [3]沈豫龙.多源数据驱动的盾构隧道地表沉降 MLP 预测模型优化与工程应用[J].市政技术,2026,44(2):165-174.
- [4]张耀辉,刘子扬.盾构隧道穿越高压燃气管线施工控制技术研究[J].工业技术与职业教育,2026,24(1):6-12.
- [5]王彦会.岩溶裂隙发育地层盾构施工防喷涌控制研究[J].科技与创新,2026(3):112-114.

作者简介：张卫星（1988.1—），单位名称：中铁三局集团有限公司，毕业学校：太原科技大学机械设计制造及其自动化。