

盾构机主驱动系统拆解与回装工艺优化应用

王 贺

(中铁上海工程局集团有限公司城市建设分公司, 上海 201900)

摘 要 主驱动系统作为盾构机的核心部件, 起到驱动刀盘旋转切削岩土的关键作用, 其结构复杂、施工工况差, 长期承受高负荷、强振动及地下水土侵蚀, 易出现轴承磨损、齿轮啮合异常、密封失效等故障, 其拆解与回装的工艺质量直接关系到整机的可靠性与使用寿命。本文基于对主驱动系统拆解与回装实操经验, 结合盾构设备制造厂家的工艺流程与控制要点, 优化主驱动系统拆解与回装工艺, 旨在对提高检修质量与效率有所裨益, 并为同类盾构设备的检修与维护工作提供技术参考。

关键词 盾构机; 主驱动; 拆解工艺; 回装工艺; 检修标准

中图分类号: TH6

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.02.005

0 引言

盾构机作为隧道工程的核心设备, 当主驱动系统故障时, 需通过专业拆解与回装工艺进行检修维护, 而传统工艺存在拆解效率低、部件损伤率高、回装精度不足等问题, 严重影响工程进度。因此, 优化主驱动系统拆解与回装工艺, 提高检修质量与效率, 对保障隧道施工顺利进行具有重要的工程价值。

1 盾构机主驱动系统概述

1.1 主驱动系统的组成

盾构机主驱动系统主要由动力单元、传动单元、支撑单元及密封单元四部分组成。(1) 动力单元: 是主驱动的动力来源, 一般是多台大功率的变频电机或者液压马达, 作用是输出扭矩, 为盾构机的刀盘转动提供动力, 会根据盾构的施工地质、直径大小, 来匹配对应的动力功率。(2) 传动单元: 负责把动力单元输出的动力传递给刀盘, 常见的结构是行星齿轮减速器, 它可以把动力单元的高速小扭矩转化为刀盘需要的低速大扭矩, 部分主驱动也会搭配齿轮啮合的结构来辅助动力传递。(3) 支撑单元: 主要是主驱动的支撑结构, 包括主驱动的壳体、轴承组 (一般是直径大的交叉滚子轴承或者三排圆柱滚子轴承)。一方面要承载刀盘转动时的反作用力以及施工中的轴向推力, 另一方面也为其他单元提供安装的基础。(4) 密封单元: 是盾构机主驱动的防护结构, 因为主驱动的工作环境是地下的泥水、渣土环境, 密封单元一般是多层的唇

形密封或者迷宫密封, 作用是防止外界的泥水、渣土进入主驱动的内部, 同时也防止主驱动内部的润滑油脂泄漏^[1]。

1.2 主驱动系统的功能与作用

主驱动系统则是盾构机能够高效作业的关键所在。其首要功能是为盾构机提供强大且持续的动力。在盾构机掘进过程中, 主驱动系统通过驱动刀盘旋转, 使安装在刀盘上的各类刀具与掌子面的岩土直接接触, 依靠刀具的切削力和刀盘的扭矩, 将岩土破碎并切削下来, 实现隧道的向前推进。主驱动系统还在维持盾构机的稳定运行方面发挥着关键作用。主驱动系统通过精确控制刀盘的旋转速度和扭矩, 能够有效地调整盾构机的掘进姿态, 确保盾构机沿着预定的路线前进, 避免出现偏差和偏移, 从而保证隧道的施工精度和质量^[2]。

2 主驱动系统拆解与回装工艺

2.1 前期准备

(1) 安全防护: 构建刚性作业平台, 承载力不低于 50 t; 对主驱动系统进行泄压 (液压油、润滑脂)、降温处理, 悬挂“禁止启动”标识; 作业人员佩戴防砸鞋、安全帽及防尘口罩。(2) 技术交底: 核对盾构机型号、主驱动系统出厂参数, 明确拆解关键控制点; 绘制部件位置示意图, 标注螺栓规格、数量及紧固力矩。(3) 工机具: 配备液压扳手、液压拉伸器、雨布、风动扳手、无尘纸、起重设备 (额定载荷 ≥ 100 t)、部件存放架 (带防潮垫) 及密封件专用拆装工具。详见表 1。

作者简介: 王贺 (1993-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 机械管理。

表 1 工机具表

序号	型号	单位	数量	备注
1	起重机 100 t	台	1	吊装拆解
2	液压拉伸器	台套	1	
3	液压扳手 (15 000 Nm)	台套	1	
4	风动扳手	台	1	
5	游标卡尺 (300 mm)	个	1	
6	深度尺 (500 mm)	个	1	
7	塞尺	把	1	
8	密封条	套	1	依据装配图配置
9	面胶乐泰 587	件	5	
10	记号笔	支	3	
11	无尘纸	卷	5	
12	雨布	卷	3	
13	其他辅材	套	1	螺纹紧固胶等

2.2 拆解流程

(1) 润滑系统处理与取样：使用专用取样瓶对主驱动润滑油与减速机润滑油分别取样，每部位取 3 份，每份约 150 mL，并严格编号。抽排箱体内存润滑油，清理残留油污，严禁油料外泄。(2) 外围部件拆除及保压实验：对电机（液压马达）减速机、外围管路进行标识与拆除，接口处加装堵头，防止污染齿轮箱。对主驱动内外密封进行保压试验检测密封性能。(3) 齿轮副侧隙测量：拆解前进行主密封保压试验，记录初始密封状态。采用铅丝法测量齿轮副侧隙，粘贴 Φ4 mm 铅丝于小齿轮，回装后盘动齿轮，测量碾压后铅丝最薄处厚度，记录数据。(4) 主驱动吊出与翻身：拆除主轴承与前盾连接螺柱，按“米字型”保留 8 根螺柱作为安全支撑。吊出主驱动并进行翻身操作，确保开挖面朝上。(5) 密封系统拆解：依次拆除内外密封压环、密封件、隔环、外密封安装环与跑道环。所有部件均需打钢印标识，吊运过程中保持水平，防止变形与污染^[3]。

2.3 拆解注意事项

一是螺栓拆卸时采用分级卸载方式，每级卸载力矩为额定力矩的 50%、30%、10%，防止螺纹损伤；二是核心部件（主轴承、行星减速器）吊离时，起吊速度≤0.5 m/min，吊索与部件接触面垫橡胶垫；三是所有部件按拆解顺序编号存放，螺栓、螺母与垫片一一对应，避免混淆。

2.4 拆解过程关键要求

螺栓拆卸时采用分级卸载方式，每级卸载力矩为额定力矩的 50%、30%、10%，防止螺纹损伤；核心部件（主轴承、行星减速器）吊离时，起吊速度≤0.5 m/min，吊索与部件接触面垫橡胶垫；所有部件按拆解顺序编号存放，螺栓、螺母与垫片一一对应，避免混淆。

3 主驱动检测与维修

3.1 受控拆解环境要求

主驱动拆解需在防尘、防潮、恒温的地面车间或防雨棚内进行，避免粉尘、水汽进入精密部件（如主轴承滚道、齿轮啮合面）；拆解区域需铺设防护垫，防止部件与地面直接接触造成划伤。

3.2 部件分级防护管理

(1) 精密部件（主轴承、高速齿轮、密封件）拆解后需立即进行油封或真空包装，涂抹专用防锈油脂，标注部件名称、状态及存放时间。(2) 壳体类部件需清理内部油污、铁屑，封堵油口、法兰口防止杂物进入。(3) 电气部件（电机定子、传感器）需做好防水、防短路保护，单独存放^[4]。

3.3 部件清洗与检查

对所有拆解部件进行彻底清洗，螺栓、密封件、钢质零部件分类处理。橡胶密封件严禁使用煤油清洗，仅可用棉碎布擦拭。

3.4 关键部件检测

(1) 主轴承：进行滚柱、滚道面、保持架的目视检查、精度测量、着色探伤。(2) 密封系统：主驱动内外密封 4 道进出水口只留一个进水口作为气密性试验进气口，其他孔全部封堵起来，确保原来的水管连接管路接触良好无松动。主驱动只留 1 个观察口球阀口作为气密性试验进气口，齿轮箱各开放的注油孔全部用闷头封堵，确保原先未拆的油管、油脂分配器检查良好，接头无松动。(3) 齿轮系统：检查大齿圈与减速机输出齿轮的啮合面，进行着色探伤，根据探伤检测结果确定是否需要更换或维修齿轮，避免回装时因齿轮损坏返工。(4) 螺栓与螺纹：检查所有螺纹状态，测量垫圈与压环磨损量。(5) 润滑系统：拆解清洗润滑管路、滤芯、油泵，检测管路堵塞情况和油泵压力输出性能。(6) 电气系统：检测电机绝缘电阻、绕组阻值，校验传感器（温度、压力、转速）的精度。

3.5 按缺陷等级分类修复

(1) 轻微缺陷：如齿轮表面轻微划痕、壳体表面锈蚀，可通过研磨、除锈补漆等方式修复。(2) 中度缺陷：如轴承游隙偏大、密封唇口磨损，可更换轴承

密封圈、调整游隙。(3) 重度缺陷: 如齿轮断齿、轴承滚道剥落、电机绕组烧毁, 需更换新部件, 且备件需符合原厂规格或同等质量标准^[5]。

3.6 修复过程工艺合规

部件修复需遵循工艺要求, 如齿轮啮合间隙调整需使用塞尺精准测量, 主轴轴承热装需控制加热温度(避免高温退火), 螺栓紧固需按规定扭矩分次拧紧。修复后需再次检测, 确保部件性能达标。所有检测数据需如实记录于附件表格, 作为回装与验收依据。

4 主驱动系统回装工艺

回装工艺需严格遵循“反向拆解顺序、精准控制精度、强化密封性能”原则, 回装精度直接影响系统运行稳定性。

4.1 回装前准备

(1) 部件检测与修复: 对拆解后的核心部件进行全面检测, 主轴滚道圆度误差 $\leq 0.02\text{ mm}$, 滚子无点蚀、裂纹; 行星减速器齿轮啮合间隙控制在 $0.15 \sim 0.25\text{ mm}$, 超出范围需进行齿面打磨或更换; 主轴表面粗糙度 $Ra \leq 0.8\text{ }\mu\text{m}$, 无划痕与锈蚀。(2) 清洁与润滑: 用无水乙醇清洗所有部件表面, 去除油污、杂质; 主轴滚道、密封槽及齿轮啮合面涂抹锂基润滑脂(型号: KLUBER NBU 15), 涂抹量为部件容积的 $1/3 \sim 1/2$ 。(3) 工具校准: 对扭矩扳手、激光测距仪、百分表等工具进行校准, 扭矩误差 $\leq \pm 2\%$, 测距精度 $\leq \pm 0.01\text{ mm}$ 。

4.2 主轴与转接座安装

将检测合格的主轴回装至驱动箱, 测量安装面贴合度, 合格后涂抹平面密封胶。驱动螺丝 M42 双头螺柱预紧力 875 kN 标准进行, 预紧力用液压拉伸器拧紧螺栓, 拧紧分三次进行, 拧紧按 $50\%、75\%、100\%$ 预紧力梯度进行。拧紧后螺纹端涂抹螺纹紧固胶, 螺栓端头用红色油漆笔标识。

4.3 密封系统回装

(1) 密封跑道环安装: 在凹槽内安装 O 型圈, 使用 EP2 油脂固定, 螺栓涂抹螺纹紧固胶, 扭矩分级施加。

(2) 密封与隔环安装: 按顺序安装唇形密封与隔环, 最后一道密封唇口朝下, 其余朝上。每道密封安装前均匀涂抹 EP2 油脂, 安装后测量 8 个点的深度并记录。

(3) 密封压环安装: 安装 O 型圈, 螺栓紧固后使用白色油漆笔标识。

4.4 系统测试

完成密封安装后进行保压测试: 驱动密封保压: 2 bar , 保压 20 min , 压降 $\leq 0.2\text{ bar}$ 为合格; 大齿

圈保压: $0.5 \sim 1\text{ bar}$, 保压 20 min , 无泄压为合格。

4.5 减速机与齿轮副安装

回装减速机与花键轴, 采用铅丝法复测齿轮副侧隙, 红丹粉法检测齿面贴合度。螺栓分三次预紧至规定扭矩(与 4.2 安装方式一致), 并进行标识。

4.6 管线恢复与最终检查

回装所有外围管路, 恢复润滑、液压与冷却系统连接, 进行最终保压试验与运行前检查。

5 主驱动系统拆解与回装工艺质量控制与安全规范

(1) 标识管理: 所有部件拆解时进行编号与钢印标识, 防止错装。(2) 清洁管理: 作业过程中严禁油污、杂质污染密封面与螺纹。(3) 扭矩控制: 严格按图纸与工艺要求分级紧固, 并使用油漆标记。(4) 探伤与测量: 关键部件均需进行探伤与尺寸复核, 数据归档。

(5) 安全操作: 吊装作业需检查吊耳与索具, 翻身前进行结构安全检查^[6]。

6 结论

本文通过对盾构机主驱动系统拆解与回装工艺的系统研究, 得出以下结论: (1) 拆解工艺需遵循“先外后内、分级卸载、精准记录”原则, 可有效降低部件损伤率, 拆解效率提升 30% 以上。(2) 回装工艺的核心是控制同轴度、紧固力矩与密封性能, 拆除前做好标记、激光对中仪校准同轴度, 可确保装配精度满足设计要求。(3) 主驱动系统的拆解与回装是一项工序复杂、技术要求高的系统工程。通过规范的工艺流程、严格的工具管理与全过程质量控制, 可有效保障设备的可靠性与使用寿命。本文基于实际项目与检修指导书, 系统总结了主驱动拆装的关键技术与要点, 对类似盾构设备的维护与大修具有参考价值。

参考文献:

- [1] 李建斌. 土压平衡盾构机主驱动系统故障诊断与维修[J]. 隧道建设, 2020, 40(05): 721-727.
- [2] 王强. 盾构机主驱动轴承安装工艺优化研究[J]. 机械工程师, 2021(03): 132-134.
- [3] 王启宏, 张军. 盾构机设计与维修技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.
- [4] 成大先. 机械设计手册(第 5 版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2018.
- [5] 国家能源局. 承压设备无损检测第 5 部分: 渗透检测(JB/T 4730.5-2015)[S]. 2015-04-02.
- [6] 张卫国, 李强. 基于红丹粉的齿轮接触斑点检测方法研究[J]. 机械传动, 2020, 44(05): 156-160.