

# 地铁盾构维修保养和再制造技术研究

郭 瞳

**摘要：**地铁盾构是城市轨道交通施工中的核心设备，随着施工里程数的累加和时间的推移。地铁盾构设备必然面临结构磨损和系统老化的问题。目前盾构产业基本饱和，全新制盾构数量减少，维修和再制造盾构数量明显上升。基于这一点原因，本文主要分析维修保养和再制造盾构研究和关键技术措施。科学提高再制造盾构机品质，降低维修保养成本。

**关键词：**盾构机；维修保养；再制造技术；分析和检测；成本管理

随着中国城市轨道交通建设从高速增长“增量时代”迈入注重质量与效益的“存量时代”<sup>[1]</sup>，盾构产业也迎来了深刻变革。当前盾构设备，特别是地铁盾构机的市场需求已趋于饱和。这些年来，大量已经完工的地铁盾构正面临结构生锈变形、系统磨损老化。因此现阶段大力发展盾构机再制造产业，不仅是盘活存量资产、降低施工企业成本的关键举措，也是我国工程机械产业绿色发展的必由之路。本文以分析盾构机再制造技术体系为核心，并结合产业发展现状，出提升地铁盾构维修保养再制造原则和管理相关办法。

## 一、地铁盾构维修保养和再制造的产业背景和价值

### 1. 市场需求饱和且现存量过大

从2011年以来，中国地铁年增长里程呈现爆发式增长，至2020年首次突破年增长1000公里。在这期间盾构需求量特别大，盾构年产量亦逐年递增。从2020年后，随着国家战略由高速发展转为高质量发展，盾构需求数量略有下降。但大量早期使用的盾构早已完成原施工任务，或因工程地质条件变化而闲置。这些地铁盾构亟需维保和改造，赋予“二次生命”。

### 2. 产业升级转型和高质量发展

2024年，国家就启动了“大规模设备更新”和“以旧换新”专项行动，并提出要加快实施节能降碳和智能化改造等行动，这就给再制造产业的发展明确了方向。在盾构生产领域，主流盾构厂家都纷纷开展盾构维修和再制造业务。以上海城建隧道装备有限公司为例，在

2023-2025年全年生产制造的盾构数量，维保和再制造盾构数量已超过70%。

## 3. 良好的经济和突出的社会价值

盾构机再制造是贯彻绿色循环的理念，通过把旧部件整合利用，有利于资源再利用，一定程度上避免了浪费再制造过程能降低废弃物处理成本，促进资源的循环利用，响应绿色环保的可持续发展理念<sup>[2]</sup>。通过回收盾构油品油脂等物质，降低了化学品对环境的影响，且响应了时代对于环保和企业社会责任的诉求。通过先进的技术和工艺对设备进行修复和性能提升，使其质量、性能不低于原型新机标准，其成本只有新品的50%，可节能60%，节材70%<sup>[3]</sup>。

## 二、地铁盾构维修保养和再制造的原则

### 1. 盾构再制造必须满足施工条件

刀盘和壳体是地铁盾构再制造的核心部件。再制造的盾构往往会用在不同地质条件进行施工。不同地质条件对刀盘设计和刀具的布置有非常大的区别，因此在盾构再制造时，必须考虑刀盘结构形式是否变更。盾构壳体的直径和推进油缸的分布方式也可能因新区间隧道管片尺寸变化而调整。若新的区间管片直径不变，盾构壳体可完全利旧，仅做维修保养即可。但若下一区间为全新项目，管片直径改变，更适合制造全新的盾构壳体，根据实际情况保留壳体内原有元器件。此外，推进油缸、铰接油缸、后配套车架、拼装机、螺旋机等结构部件在初始设计时即可满足多种直径的地铁隧道管片，再制造时通常只需进行基本维护，可以减少大规模改制的成本。

在盾构系统改制上，液压动力系统会根据新的工况调整泵组、阀组等配置，调整技术参数。冷却系统、水系统、工业空气、润滑等系统也会依据实际情况适当

**作者简介：**郭瞳（1989.01——），男，汉族，硕士研究生，工程师，主要从事地下隧道装备（盾构机）制造相关方面的研究工作。

增减管路、元器件，以满足新施工要求。若后续区间地址条件变化还会影响辅助系统的设计，复合地层下需要添加泡沫系统、高分子系统、膨润土等系统，在施工中，这些辅助系统可以有效改良前方土体情况，便于盾构掘进。这些增补或删减的辅助系统可能也会影响车架设备摆放与排布，造成车架整体的改制。

电气系统的改制是再制造的一部分，当后续区间的盾构地址条件变更后，往往部分结构需要进行变更，例如刀盘的驱动电机数量和功率发生变化，液压油缸的数量和缸径变化，辅助系统添加剂的结构形式变化，都会对电气系统设计进行改制设计。部分电气线缆也会在改制时更换和增补型号，所更换的型号。无论电气系统是否改制，仍必须满足合理、安全这一原则。一些操作系统和界面也会在再制造时根据操作人员的体验有优化，满足人性化和合理的操作要求也是盾构再制造的一部分。

综上所述，盾构维修保养和再制造都是满足下一区间客观的情况下，对盾构设备进行综合的设计。机械结构和设备布置，辅助系统选型和利用，电气系统的配合是相互关联且相互影响的。在设计和再制造时必须全面且充分综合分析和考虑，才能制造出满足施工要求的盾构。

## 2. 盾构维修保养必须保证施工安全

维修保养是盾构设备在再制造的一部分。维修保养工作的首要原则是确保全部保养后的部件能够满足后续施工区间的正常使用。

对于直接影响施工安全与工程成败的关键部件，采取严格的保养或更换措施。盾尾刷在经过一个区间的使用后，会出现油脂和泥浆结块硬化、盾尾刷自身变形磨损的情况。这样的盾尾刷在下一区间继续使用的施工风险极大，因此在维修保养时刷需予以更换。此外作为盾构直接与土体接触的关键密封部件，铰接密封和驱动密封的状况直接关系到掘进过程的盾构和土体的密封安全，在再制造时应根据其磨损程度、密封性能检测结果进行综合评估决定是否需要全面更换或部分更换。

盾构施工中管片拼装和运输机构会涉及操作人员人身安全，这些部件也必须进行重点维护。管片拼装机的吸盘需进行细致检查，主要结构需要检测磨损量和探伤。管片运输机构在盾构掘进时通常结构磨损大，部件磨损多。在再制造时，应交付有资质的专业厂家进行深度保养并出具报告，确保后续项目管片运输机构可靠。

电气维修保养也是涉及设备和人员安全，因此必须谨慎对待。动力电气系统部件，诸如主驱动电机，在维

保时建议交由专业厂家人员进行维保。这是因为专业厂家人员相比于盾构集成厂家人员，更熟悉相应的电气设备，因此能较好的解决问题和发现潜在风险。合格和正规的电气控制系统PLC和设备模块等一般在正常使用时不会出现问题。在维修保养期间做基本清理即可。盾构监测和传感设备等是在维修保养期间需要重点关注的设备。一般来说在接收前的勘验时，部分已外观损坏的部件应该在维修保养期间更换，但这些部件易发现易解决。更多的情况是检测和传感设备只能在通电调试，甚至是联动调试时才能发现。这会造成盾构调试和验收时间的延长，对整体项目管理时需要综合考虑。

## 3. 盾构维修保养和再制造时应考虑经济性

企业的再制造行为归根结底仍是一种商业行为，最终目的是盈利<sup>[4]</sup>。在盾构设备的维修保养与再制造过程中，应遵循在满足使用性能与设备和人身安全要求的前提下，最大化利用既有设备资源这一原则。对于一般风险、且工况条件允许的部件，采取检测、清洁等基本维保措施即可，从而有效控制成本。

若明确设备或元器件已损坏，则应根据这一部件的重要性的稳定性选择替代品。核心元器件仍建议恢复相同产品。但如果已损坏的元器件易于更换且重要性一般，则应从经济性出发选择替代品。这也正是目前国产盾构一路发展而来的经验。当前阶段，除驱动主轴承，外周密封等部件进口比例较大外，其余地铁盾构设备已基本全国产化。早期一些地铁盾构有不少初期设计时选用了进口件，在维修保养和再制造时，就可以替换成经济性好且稳定性也好的国产件。实践表明，在确保设备性能的前提下，选用国产同级别品牌替代原装进口部件，能够显著降低采购成本，降幅可达30%至50%。

维修保养人员和总装场地的成本也是经济性的一部分。在充分了解盾构情况，合理的维修保养方案下。能够用更少的人工工时和更好的场地占用情况，用最经济的成本再制造出新的盾构。

## 三、地铁盾构维修保养和再制造的技术

### 1. 精准评估盾构情况

盾构设备在完成区间掘进任务后，其整体状态是决定再制造方案可行性与经济性的根本依据。需准确、全面地掌握设备在役期间的运行状况与潜在故障，再决定如何维修保养和再制造。

在盾构接收前，应对盾构进行全面的动态与静态勘验。静态勘验侧重于设备结构完整性、关键部件磨损与

变形情况的检查,例如刀盘刀具的磨损、液压油缸外表的伤痕,盾构车架结构的变形,车轮的磨损情况,辅助系统元器件的缺失或外观损坏。动态勘验则通过在接收前进行功能测试,初步评估各系统的运行状况,液压力站和刀盘变频器可表示盾构重大动作是否正常工作,而传感器、流量计能正常反馈整体盾构的数据指标。这些勘验能具体了解盾构设备功能是否完好,是否能够达到相应的技术参数。

在盾构再制造前,须对核心部件和系统油品采样分析。重点对液压系统油液、主驱动齿轮油等进行检测。通过分析油样,可以诊断主轴承、液压泵、马达等核心动力部件的内部是否磨损,根据这一结构判定这些核心部件该如何维修保养。

### 2. 合理编制盾构维修和再制造方案

在制定维修保养方案时,应遵循系统性、预见性与经济性三大原则。系统性根据上述再制造前对盾构进行综合评估,对盾构的了解决定了接下来盾构维修保养的程度,预见性则根据接下来区间的特点,有针对性优化和改制下一区间的盾构,经济性则考虑的是成本和代价,以最合适的代价再制造出最可靠的盾构。

在编写方案时,也应复盘盾构上一区间的故障统计,统计分析关键部件的磨损规律与故障特征,高频故障率表明部分设备有优化的价值,高频更换的易损件该部件质量可能要提高。还应分析盾构在上一区间的推进数据。掘进参数的长期趋势与异常波动,能有效反映设备在真实负载下的工作特性。

此外,编写方案应结合下一区间的地质勘探报告、隧道设计参数,施工周围的环境情况,预先评估设备将面临的各​​种风险和​​挑战。

### 3. 制定再制造验收和技术标准

盾构设备经过维修保养与再制造后,其性能恢复的主要目标是满足原设计的基本功能与安全要求。然而,

由于设备在使用过程中必然产生的累积磨损、材料老化和人为损耗,部分部件或系统的技术参数难以完全恢复到与新设备等同的水平。一味追求“翻旧如新”会面临成本上涨等不理因素。因此在制定验收和技术标准时,应依据后续区间的具体情况,分析确定设备必须达到的“最低允许技术参数”。以推进系统为例,在满足设计推力的前提下,可适当接受油缸、泵组和阀组的密封性能在一定范围内的合理衰减。而对于刀盘和刀具来说,利用轻微磨损的刀具也是应该准许的。因此再制造盾构的验收需要在可靠性和经济性中找到最优平衡。

### 四、结论和展望

城市轨道交通建设仍持续推进,盾构维保与再制造市场前景依然广阔,相关技术与管理水平已取得显著进步。2019年,我国发布了《全断面隧道掘进机再制造》(GB/T37432-2019)技术标准。各家盾构制造厂商也按照这一标准持续研发优化设计和生产。面向未来,仍要把握“技术可靠、安全为先、经济合理”的原则,紧密结合设备历史状态与目标工况,进行精准的状态评估与风险分析,并据此制定科学、完善的维保与再制造技术方案。通过系统化的全流程管理,实现延长设备寿命、降低工程成本、保障施工安全的核心目标。

### 参考文献

- [1] 秦国栋, 郑猛, 许焱, 等. 新阶段我国轨道交通高质量发展的思考与对策——中国城市发展论坛第40次研讨会[J]. 城市交通, 2024, 23(6): 114-123
- [2] 杨伦磊. 盾构机再制造技术研究及应用[J]. 建设机械技术与管理, 2024, 37(6): 15-17.
- [3] 徐滨士. 中国再制造工程及其进展[J]. 中国表面工程, 2010, (2): 1-5.
- [4] 马龙飞. 大直径泥水盾构机主驱动环件再制造案例分析[J]. 机电工程技术, 2020, 49(01): 114-117.