机械设备典型零部件钳工检修技术及故障处理研究

李长玉　张红运

安阳钢铁股份有限公司运输作业部　河南　安阳　455004

摘　要：钳工检修是机械设备维护体系中的基础环节，其技术水平直接决定零部件修复质量与设备运行可靠性。本文围绕机械设备中轴类零件、滚动轴承、齿轮传动、键连接与密封件等典型零部件，梳理其失效形式与故障成因，从拆卸清洗、检测测量、修复加工、装配调整四个维度归纳钳工检修的关键技术要点，并针对轴颈磨损、轴承损伤、齿面失效、键槽松动及密封泄漏等常见故障，提出相应的处理原则与工艺路径。研究认为，检修质量的核心在于故障成因的准确判断、修复工艺的合理选择与装配精度的严格控制，三者协同方可实现零部件性能的有效恢复。

关键词：机械设备；典型零部件；钳工检修；故障处理

引言：机械设备运行过程中，各类零部件在载荷、摩擦、振动与介质腐蚀的共同作用下，逐渐产生磨损、变形、裂纹与配合失效，导致设备精度下降、能耗上升乃至非计划停机。钳工检修以手工操作与通用工具为基础，兼具灵活性与经济性，是零部件修复与设备维护的重要手段。本文从零部件失效机理出发，系统梳理钳工检修的关键技术环节，针对典型故障提出处理原则与工艺方法，旨在为设备维修人员提供系统化的技术参考，推动钳工检修从经验型向规范型转变。

1 典型零部件失效形式与故障成因

1.1 轴类零件的失效形式与成因

轴类零件承担传递扭矩、支撑旋转部件的功能，其失效形式主要表现为轴颈磨损、轴线弯曲、表面裂纹与键槽损伤。轴颈磨损集中于与轴承、齿轮或联轴器的配合表面，因相对运动与载荷长期作用而产生尺寸减小与圆度超差，进而破坏配合性质。轴线弯曲多由过载冲击、装配应力或热处理残余应力释放引起，造成同轴度偏离与振动加剧。表面裂纹常起源于应力集中区域，如轴肩过渡圆角、键槽根部，在交变应力反复作用下扩展，最终可能导致断轴。键槽损伤则表现为槽壁挤压变形、磨损加宽或边缘开裂，源于键连接传递扭矩时的局部应力集中。

1.2 滚动轴承的失效形式与成因

滚动轴承的失效形式包括滚道疲劳剥落、滚动体磨损、保持架变形与轴承烧伤。滚道疲劳剥落是轴承最典型的失效形式，源于交变接触应力作用下次表面裂纹的萌生与扩展，最终形成剥落坑。滚动体磨损多因润滑不良或污染物侵入，导致表面粗糙度上升与尺寸变化。保持架变形常由冲击载荷、装配不当或高速离心力引起，造成滚动体分布异常与运转卡滞。轴承烧伤则由润滑失效、散热不良或过载引起，表面出现回火变色甚至材料软化[1]。轴承失效往往是多种因素耦合作用的结果，润滑状态、安装精度、载荷性质与密封效果均对其寿命产生显著影响。

1.3 齿轮传动的失效形式与成因

齿轮传动的失效形式涵盖齿面磨损、齿面点蚀、齿面胶合、齿根裂纹与轮齿折断。齿面磨损分为磨粒磨损与粘着磨损，前者因硬质颗粒介入啮合区，后者因润滑膜破裂导致金属直接接触。齿面点蚀发生于节线附近，由交变接触应力引起的表面疲劳裂纹扩展所致。齿面胶合多见于高速重载工况，摩擦热使齿面局部熔化焊合，撕裂后形成沟痕。齿根裂纹由弯曲疲劳应力引起，裂纹沿齿根过渡圆角扩展，最终导致轮齿折断。齿轮失效的成因涉及设计参数、材料性能、热处理质量、润滑条件与装配精度等多个方面。

1.4 键连接与密封件的失效形式与成因

键连接的失效形式包括键槽磨损、键体变形与键的剪切断裂。键槽磨损由交变载荷与微动磨损引起，导致配合间隙增大与传动冲击。键体变形与剪切断裂则由过载或冲击载荷造成，属于强度失效。密封件的失效形式包括密封面磨损、密封件老化硬化、弹簧失效与介质泄漏。密封面磨损由摩擦与介质冲刷引起，密封件老化由温度、介质腐蚀与时间因素造成，弹簧失效则导致密封压紧力不足。密封失效不仅造成润滑油泄漏，还会使外部污染物侵入，加速零部件磨损，形成恶性循环。

2 钳工检修关键技术

2.1 拆卸与清洗工艺要点

拆卸是检修工作的起点，其规范性直接影响后续检测与修复的准确性。拆卸前应查阅设备图纸与装配记录，掌握零部件配合关系与拆卸顺序，避免盲目拆解造成损伤。拆卸时应选用合适的拉拔器、压力机与专用工具，避免敲击、撬动等粗暴操作。对于过盈配合件，可采用加热或冷却法辅助拆卸，加热温度应控制在材料允许范围内。拆卸后应进行清洗，根据污染物性质选择溶剂清洗、碱液清洗或超声波清洗方式，清洗后吹干并涂覆防锈油。拆卸与清洗过程中应对关键配合面做好标记与保护，为复装提供依据。

2.2 检测与测量技术要点

检测与测量是判断零部件状态、制定修复方案的技术基础。检测内容应涵盖尺寸精度、形位精度、表面质量与内部缺陷四个方面。尺寸精度采用卡尺、千分尺、内径量表等量具测量；形位精度采用百分表、千分表配合专用检具测量圆度、圆柱度、同轴度与平行度；表面质量通过粗糙度仪、硬度计检测；内部缺陷采用磁粉探伤、超声波探伤或渗透探伤检测裂纹与夹渣。检测数据应与设计图纸、技术标准或历史记录对比，量化判定零部件的可用状态与修复需求，避免凭经验主观判断[2]。

2.3 修复加工工艺要点

修复加工是钳工检修的核心环节，常用工艺包括锉削、刮研、研磨、钻孔攻丝与镶配。锉削用于修整平面、曲面与槽形，操作时应根据材料与加工要求选择锉刀规格，控制用力方向与均匀性。刮研用于恢复滑动配合面的接触精度，通过显示剂检查接触点分布，反复刮削至规定密度。研磨用于提高表面精度与降低粗糙度，适用于精密配合面，研磨剂粒度与研磨压力应根据要求选择。钻孔与攻丝需控制转速、进给量与冷却润滑，防止钻偏或丝锥折断。镶配用于修复磨损孔或轴，通过加工新套、销或衬板恢复配合尺寸，镶配件的材料与硬度应与基体匹配。

2.4 装配与调整工艺要点

装配质量直接决定设备运行性能，其工艺要点包括配合控制、紧固规范与调整准确。配合控制应根据设计要求确定过盈量或间隙值，过盈配合采用加热或冷却法装配，加热温度与保温时间按材料与过盈量计算；间隙配合应保证间隙均匀，避免偏斜。紧固规范要求按对角顺序分次拧紧螺栓，采用扭矩扳手控制预紧力，防止紧固不均导致变形或松动。调整内容包括间隙调整、同轴度调整与张紧度调整，调整后应进行手动盘车或点动试运行，确认无卡滞、无异常后再进行负载试运行，检测振动、噪声与温升指标。

3 典型故障处理原则与工艺路径

3.1 轴颈磨损的处理原则与工艺路径

轴颈磨损的处理应依据磨损量大小、轴的重要性与修复经济性综合决策，避免盲目修复或过度更换。磨损量在 0.1mm 以内时，可采用电刷镀或微弧沉积恢复尺寸，此类工艺热输入小、镀层结合牢固，适用于精密轴颈的局部修复；磨损量在 0.1~0.5mm 时，可采用喷涂或激光熔覆恢复尺寸，喷涂效率高、成本适中，激光熔覆则结合强度更高、稀释率更低，适用于重要轴颈；磨损量超过 0.5mm 或轴颈出现裂纹时，修复难度大、经济性差，应考虑更换新轴。修复工艺路径为：检测磨损量 → 选择修复方法 → 表面预处理 → 修复加工 → 精加工 → 检测验收。修复后应检测直径偏差、圆度、圆柱度与表面硬度，重要轴颈还需进行无损探伤，确认无裂纹与结合缺陷，确保修复质量满足配合要求与运行工况。

3.2 轴承损伤的处理原则与工艺路径

轴承属于精密标准件，其处理原则以更换为主、修复为辅，这是由轴承的精度等级与批量生产成本决定的。轻微磨损或游隙偏大时，可通过调整预紧力或更换滚动体恢复，但此类修复仅适用于非关键部位或临时应急；滚道剥落、保持架变形或烧伤时，轴承性能已严重退化，应更换新轴承，避免因小失大导致设备二次损伤。更换工艺路径为：拆卸旧轴承 → 检测轴颈与轴承座配合尺寸 → 选配新轴承 → 加热装配 → 加注润滑脂 → 试运行检测。装配时应严格控制加热温度与保温时间，温度过高会导致轴承回火软化，温度过低则装配困难，应采用专用工具压装，避免损伤滚道与滚动体。装配后应检测游隙、振动与温升，确保轴承运行平稳，满足设备运行精度与寿命要求[3]。

3.3 齿面失效的处理原则与工艺路径

齿面失效的处理应根据失效形式与程度选择工艺，兼顾修复可行性与经济性。轻微磨损或点蚀可采用研磨修复，恢复齿面精度与啮合性能，研磨后应检查接触斑点，确保啮合面积达标；中等点蚀或胶合可采用堆焊修复，堆焊材料应与齿轮材质匹配，堆焊后修整齿形并进行表面硬化处理，提高齿面硬度与耐磨性；齿根裂纹或断齿属于严重失效，修复风险高、效果难以保证，应更换齿轮。修复工艺路径为：检测失效形式与程度 → 选择修复方法 → 表面清理 → 修复加工 → 齿形修整 → 热处理 → 检测验收。修复后应检测齿厚、齿形误差与齿面硬

度，装配后检查啮合间隙与接触斑点，试运行检测噪声与振动，确认修复效果满足传动要求，避免因齿面失效导致传动系统整体故障。

3.4 键槽松动与密封泄漏的处理原则与工艺路径

键槽松动的处理原则是恢复配合尺寸与传动可靠性，防止因松动导致冲击载荷与疲劳断裂。轻微松动可采用加大键或堆焊键槽后重新加工，恢复配合尺寸与传递扭矩能力；严重松动或键槽裂纹时应更换轴或轮毂，避免修复后再次失效。处理工艺路径为：检测键槽尺寸与损伤程度 → 选择修复方法 → 修复加工 → 配合检测 → 装配。密封泄漏的处理原则是消除泄漏源并防止复发，避免润滑油流失与污染物侵入。处理工艺路径为：确定泄漏部位与原因 → 更换密封件或修复密封面 → 调整压紧力 → 试运行检测。更换密封件时应选用耐介质、耐温性能匹配的规格，安装时注意方向与位置，避免损伤密封唇口，确保密封效果持久可靠，保障设备运行环境清洁与润滑状态稳定。

4 检修质量控制与工艺改进方向

4.1 检修质量控制要点

检修质量控制应贯穿拆卸、检测、修复、装配全过程。拆卸阶段应做好标记与记录，避免零部件混装或损伤；检测阶段应确保量具精度与测量方法正确，数据记录完整可追溯；修复阶段应控制工艺参数，确保修复层结合强度与尺寸精度；装配阶段应控制配合间隙与紧固力矩，确保运行平稳。检修完成后应进行试运行验收，检测振动、噪声、温升、泄漏等指标，与检修前数据对比，量化评价检修效果。建立检修档案，记录故障现象、检测数据、修复工艺与验收结果，为后续检修提供参考。

4.2 检修工艺改进方向

钳工检修工艺的改进应从检测手段、修复技术与装配控制三个方面推进，逐步实现从经验型向数据型转变。引入激光测量、三维扫描与无损探伤技术，提高检测精度与效率，实现磨损量的量化评估与缺陷的早期发现，替代传统单点测量与目视检查。推广激光熔覆、电刷镀、等离子喷涂等表面工程技术，提升修复层性能与结合强度，使修复件寿命接近甚至超过原部件。采用压装力-位移曲线监控、扭矩转角法紧固与激光对中技术，提高装配精度与一致性，减少人为因素影响。同时应建立检修工艺标准与操作规程，将成熟经验固化为技术文件，明确各工序的技术要求与检验方法。通过工艺改进，推动钳工检修从经验型向规范型、从粗放型向精密型转变，全面提升检修质量与效率[4]。

4.3 检修人员技能要求

钳工检修质量与人员技能水平密切相关，再完善的工艺标准也需通过人的操作来落实。检修人员应具备机械制图识读能力，能准确理解零部件结构与配合关系，读懂装配图与零件图的技术要求；应掌握常用量具与检测仪器的使用方法，能独立完成尺寸、形位与表面质量检测，并正确判读数据；应熟悉锉削、刮研、研磨、钻孔攻丝等基本操作技能，能根据修复要求选择合适工艺与工具；应了解焊接、喷涂、电刷镀等表面修复技术的基本原理与操作要点，能在工程师指导下完成修复作业；应具备故障分析与判断能力，能根据失效形式追溯成因并制定修复方案，而非简单换件。检修人员还应具备安全意识与质量意识，严格遵守操作规程，做好个人防护，确保检修过程安全、检修质量可靠，适应设备维修技术不断发展的要求。

结束语

机械设备典型零部件的钳工检修与故障处理是保障设备运行可靠性的基础工作。本文从失效机理出发，梳理了轴类零件、滚动轴承、齿轮传动、键连接与密封件的故障形式与成因，归纳了拆卸清洗、检测测量、修复加工、装配调整四个环节的技术要点，针对典型故障提出了处理原则与工艺路径，并探讨了检修质量控制与工艺改进方向。随着检测技术与表面工程技术的发展，钳工检修将逐步向精准化、规范化方向演进，为设备维修提供更加可靠的技术支撑。

参考文献

[1] 李晃华. 浅析煤矿机械设备轴类零件的修理与装配 [J]. 内蒙古煤炭经济，2026(1)：56-58.

[2] 刘思桥, 左学谦. 旋转机械设备滚动轴承故障诊断技术研究 [J]. 设备管理与维修,2023(21):172-176.

[3] 孙玉波, 王鑫, 谢春磊. 某型齿轮泵传动轴花键断裂故障分析 [J]. 河南科技，2025，52(5):32-37.

[4] 袁贝贝, 路海龙, 何国伟, 等. 某柴油机齿轮传动轴螺栓断裂故障分析 [J]. 内燃机,2026,42(1):53-57.