

制冷系统过滤器、膨胀阀故障检修技术总结

吕金纾

丹佛斯（天津）有限公司 天津 301700

摘要：过滤器与膨胀阀是制冷系统的核心节流与净化部件，运行工况异常易引发堵塞、调节失灵、泄漏等故障，直接影响系统制冷效率与设备寿命。本文立足两类部件的结构原理与联动机制，系统剖析各类常见故障的产生机理、连锁危害，梳理工况检测、感官排查、仪器确诊的标准化检测方法，规范拆解、清洗、更换与调试检修工艺，同时制定验收标准与预防性维护策略，为制冷系统稳定运维、降低故障损耗提供技术参考。

关键词：制冷系统；过滤器；膨胀阀；故障检修技术；总结

引言：在制冷系统运行过程中，过滤器与膨胀阀承担着制冷剂净化、节流降压、流量调控的关键作用，部件运行状态直接决定整套系统的换热效率与运行稳定性。受安装残留杂质、介质含水、工况交变、部件老化等因素影响，两类部件极易出现各类故障，且故障易形成连锁反应，引发压缩机过载、液击、系统停机等问题。为精准排查故障、规范检修流程、降低设备故障率，本文结合部件工作原理与实际运维经验，全面开展故障分析、检修工艺梳理与维护方案优化工作。

1 制冷系统过滤器与膨胀阀结构及工作原理

1.1 过滤器结构与工作原理

（1）制冷系统过滤器主要分为干燥过滤器和管路过滤器。干燥过滤器由金属壳体、细目滤网及内部填充的分子筛或活性氧化铝构成，兼具过滤与吸水功能；管路过滤器结构相对简单，主要由壳体与单层或多层不锈钢滤网组成，仅用于拦截机械杂质。（2）过滤器核心工作机制基于物理拦截与吸附。滤网按设定精度阻挡焊渣、金属屑等固体颗粒，防止其进入膨胀阀；干燥过滤器内的吸附材料利用多孔结构通过毛细凝聚效应捕获并锁住制冷剂中残留的水分，从而避免系统发生冰堵。（3）过滤器通常安装于冷凝器出口与膨胀阀进口之间的液体管路上。此位置要求制冷剂处于过冷液态，以利于水分被充分吸附；运行中过滤器前后应保持极小的压力差，若压差显著增大则表明滤网已严重堵塞，需及时更换^[1]。

1.2 膨胀阀结构与工作原理

（1）热力膨胀阀由阀体、阀针、膜片、弹簧及感温包组成，感温包感知蒸发器出口过热度并转换为膜片上的压力信号；电子膨胀阀则由阀体、步进电机或电磁线圈及控制器构成，依靠电信号驱动阀针动作。（2）膨胀阀通过阀针与阀口构成的节流孔将高压液态制冷剂节流降压为低温低压湿蒸气，同时根据负荷变化调节阀口开

度以控制进入蒸发器的制冷剂流量。（3）热力膨胀阀依据过热度闭环调节开度，过热度增大时开大阀口，反之关小；电子膨胀阀由控制器根据蒸发器出口过热度及压缩机转速等参数经算法计算后输出脉冲信号驱动，响应更快且控制更精准。

1.3 两类部件联动运行关系

（1）过滤器为膨胀阀的正常运行提供洁净、干燥的制冷剂环境，有效规避固体杂质卡滞阀针及水分在节流处低温冻结引发的冰堵故障。（2）膨胀阀开度变化导致制冷剂流速与流量改变，这会直接影响流经过滤器的压降以及吸附材料与制冷剂的接触时间，负荷增大时过滤器负担相应增加。（3）若过滤器堵塞而膨胀阀持续动作，将导致阀前供液不足、蒸发压力异常偏低，压缩机吸气过热甚至停机；若膨胀阀开度过大或感温包失效而过滤器正常，则可能引发压缩机液击及过滤器内吸附材料因液态制冷剂冲刷而粉化，加剧系统污染。

2 制冷系统过滤器与膨胀阀常见故障及故障机理分析

2.1 过滤器常见故障及成因

（1）堵塞故障分为杂质堵塞与水分冰堵。杂质堵塞源于系统安装或维修时残留的焊渣、金属屑等固体颗粒，随制冷剂循环逐渐堆积于滤网表面，流动阻力逐步增大，最终导致供液不畅。水分冰堵则是因系统抽真空不彻底或制冷剂含湿量超标，水分被干燥剂吸附达到饱和后随温度降低析出，在膨胀阀节流处因低温凝结成冰晶，堵塞通道，其发展过程具有间歇性特征，表现为制冷时好时坏。（2）滤网破损故障主要由长期高速流体冲刷、压缩机启停及膨胀阀动作带来的周期性压力冲击，以及运行环境中的腐蚀性介质与热氧老化共同作用引发。冲刷使滤网金属丝逐渐变薄、断丝，压力冲击则可能造成滤网局部撕裂或变形，老化腐蚀降低材料韧性，最终导致滤网失去拦截功能，杂质直接进入膨胀阀。

(3) 密封泄漏故障多发生在过滤器端盖或接头连接处, 主要原因包括橡胶密封圈长期处于冷热交替工况下弹性降低、永久变形, 或安装时力矩不当导致密封面损伤、紧固不足。泄漏发生初期表现为微量冷媒渗出, 随着密封失效加剧, 系统压力持续下降, 制冷剂循环量不足, 并可能伴随空气与水分渗入系统, 加速整个制冷循环的劣化。

2.2 膨胀阀常见故障及成因

(1) 阀口堵塞故障主要由制冷剂中夹带的微小杂质或高温下氧化变质的冷冻油污堆积于阀口流道所致。杂质颗粒卡滞在阀针与阀口之间的节流间隙内, 改变了有效流通面积; 油污则在低温环境中黏度增大, 附着于阀口表面并逐渐硬化, 造成节流不畅、阀前压力升高而阀后供液不足, 蒸发器换热能力显著下降。(2) 调节失灵故障成因多样: 感温包失效常表现为感温包内充注介质泄漏, 导致膜片感受信号失真或完全无动作; 阀芯卡滞因阀杆与导向套间进入异物或油污干结, 使阀针无法随压力信号正常位移; 电子膨胀阀的电子元件故障则包括控制器程序异常、步进电机驱动失效或位置传感器反馈失灵, 致使阀口无法按指令正确调节^[2]。(3) 阀件泄漏包括阀体密封处的外漏和阀口关闭不严的内漏, 外漏导致制冷剂流失, 内漏则使未完全节流的制冷剂进入蒸发器, 造成蒸发压力偏高。结霜异常通常因阀口开度过小导致供液量严重不足, 蒸发器末端制冷剂完全气化并过度过热, 管路表面温度过低析出冷凝水后结冰; 或由于阀口堵塞致使局部过度节流, 阀体本身严重结霜, 影响感温包正确感应温度, 形成恶性循环。

2.3 故障危害与系统影响分析

(1) 过滤器堵塞使冷凝器至膨胀阀段管路压降急剧增大, 压缩机排气压力升高、运行电流增加, 同时进入膨胀阀的制冷剂流量减少, 蒸发压力及蒸发温度下降, 蒸发器表面结霜不均, 换热效率大幅降低, 系统制冷能力明显减弱。滤网破损则使杂质失控进入下游, 扩大后续故障范围。(2) 膨胀阀阀口堵塞或调节失灵直接导致蒸发器供液紊乱。供液不足时制冷量严重不足, 库温或室温无法达到设定值, 压缩机因吸气过热度大、排气温度过高而处于过载状态, 长期运行易烧毁绕组; 供液过多则可能引发压缩机液击, 造成阀片断裂。调节失灵还会使吸气压力频繁大幅波动, 引发低压保护或高压保护动作, 系统启停频繁, 严重缩短设备使用寿命。(3) 当过滤器堵塞与膨胀阀调节失灵形成连锁效应时, 过滤器侧高压迫使膨胀阀前后压差异常增大, 进一步加剧阀口冲刷磨损与堵塞; 膨胀阀非正常动作反馈的压力波动又

加速过滤器内部吸附材料粉化, 加剧堵塞。两类故障相互激发, 最终可能导致压缩机频繁保护停机、蒸发器大范围结冰、系统压力持续超限, 直至整机瘫痪, 设备损耗急剧加剧, 维修成本显著上升。

3 制冷系统过滤器、膨胀阀故障检测方法与标准化检修工艺

3.1 故障前期检测与诊断方法

(1) 工况参数检测是故障预判的首要手段。监测高、低压侧压力: 高压偏高、低压偏低且过滤器进出口压差明显, 提示过滤器堵塞; 低压侧压力异常波动且蒸发器进出口温差减小, 指向膨胀阀调节异常。结合冷凝器出口过冷度、蒸发器出口过热度、压缩机吸排气温度及流量数据, 可综合判断供液不足或节流失控程度。(2) 目视与感官检测是最直接快速的排查方式。观察膨胀阀本体及阀后管路结霜: 阀体严重结霜而蒸发器后半段无霜, 可能阀口堵塞或开度过小; 仅过滤器壳体结露或结霜, 说明其前后压降过大。检查接头及焊缝有无油迹, 油迹处为冷媒泄漏点。运行中倾听膨胀阀处异常节流啸叫声(阀口开度过小或堵塞)及过滤器处撞击声(内部破损件窜动), 初步定位故障区域^[3]。(3) 仪器精准检测用于确诊与量化评估。用歧管压力表组读取静态平衡压力及运行高低压值, 结合压力变化速率判断阀件响应性; 用接触式或红外测温仪测量过滤器进出口温差、膨胀阀前后温差及蒸发器各回路管壁温度, 精确计算实际过热度; 用电子冷媒检漏仪沿连接处缓慢扫查, 微漏阶段即可发现泄漏点, 避免漏检导致故障扩大。

3.2 过滤器故障检修工艺

(1) 停机泄压、隔离管路是检修前必须执行的安全操作。首先关闭压缩机并切断电源, 静置使系统压力趋于平衡, 然后关闭过滤器前后截止阀(若无截止阀则需回收系统冷媒), 通过维修接口缓慢释放过滤器段残余压力至微正压, 确认压力表归零后方可拆解。操作过程中必须佩戴护目镜和防冻手套, 防止冷媒喷溅冻伤。(2) 滤网清洗、干燥处理与破损滤网更换应严格执行标准化流程。取出滤网组件后先用高压氮气反向吹除表面松散杂质, 再置于专用清洗液中超声波振荡清洗去除油污, 用蒸馏水漂净后放入干燥箱恒温烘干。若滤网出现断丝、撕裂或严重变形, 则需直接更换同规格原厂滤网, 更换前检查壳体内部清洁度, 确保无残留杂物。(3) 密封件更换与系统恢复须精细操作。更换全部密封圈并涂抹适量冷冻油润滑, 按对角线顺序均匀紧固端盖螺栓至规定力矩。连接管路后对过滤器段及整个系统进行抽真空操作, 真空度应达到规定值以下并保压验漏,

确认无泄漏后按铭牌要求定量充注制冷剂,记录充注量以备复核^[4]。

3.3 膨胀阀故障检修与调试工艺

(1) 膨胀阀拆解、阀芯清理与故障部件更换需在洁净环境中进行。小心拆下阀体,取出阀针、弹簧、膜片等内部组件,用专用清洗剂浸泡并用软毛刷清除阀口及阀针表面的积碳、油垢及金属微粒,动作须轻柔以避免损伤阀口密封线。若阀针磨损、膜片破裂或感温包漏气,则必须更换同型号成套部件,严禁新旧混用或代用。(2) 热力膨胀阀需在系统运行状态下根据过热度进行调试。调整调节螺杆改变弹簧预紧力,使蒸发器出口过热度稳定在设定区间内,每次调整后等待系统稳定再测取下一组数据,反复数次直至工况达标。电子膨胀阀的调试则通过上位机软件或手操器连接控制器,核对传感器反馈值是否准确,必要时修正过热度目标值及PID调节参数,并执行阀体全开全关测试以确认步进电机电作线性度符合要求。(3) 检修后必须进行密封性测试与负荷试运行。充入规定压力的氮气或采用真空保压方式检查所有拆装接口及焊点的密封性。启动机组,逐步加载至额定工况,监测蒸发器进出口温差、过热度、压缩机回气温度及排气压力等参数,根据实测数据微调膨胀阀开度及系统充注量,直至各参数同步达到最优匹配区间。

3.4 检修后验收与预防性维护策略

(1) 检修完成后的系统工况验收应依据明确标准。在额定工况稳定运行设定时间以上,要求高低压压力、过冷度、过热度、压缩机运行电流等核心参数均处于设备铭牌或技术文件规定的偏差范围内,蒸发器表面结霜均匀,管路无异常振动与噪声,无任何冷媒泄漏迹象,视为验收合格。(2) 两类部件的日常巡检与定期保养应形成标准化流程。每月进行一次运行参数抄录与趋势对比,每季度检查过滤器进出口压差并目检干燥指示器颜

色变化,每半年检测一次膨胀阀动作响应性并清理阀体外部灰尘。建设备档案记录每次检修内容、更换零件及运行数据,实现全生命周期可追溯管理^[5]。(3) 基于历史故障规律制定设备运维优化方案。对频繁出现杂质堵塞的系统应在压缩机出口增设临时性管路过滤器并在磨合期后拆除;对易发生冰堵的系统应强化抽真空工序并增设视液镜实时监测水分指示。通过分析故障发生季节、负荷区间与部件劣化速度,提前储备关键备件,在故障高发期前安排预防性保养,从根本上降低突发故障率,延长设备整体使用寿命。

结束语

过滤器与膨胀阀的故障排查与规范检修是制冷系统运维的核心环节,两类部件联动运行的特性决定了故障具有关联性、连锁性特点。本文通过梳理部件原理、故障机理、检测检修工艺及验收维护标准,形成了完整的故障处置与运维体系。后续需严格落实标准化检修与定期维保工作,结合设备运行规律优化运维方案,提前规避各类隐患,有效提升制冷系统运行稳定性,延长设备使用寿命,降低运维与维修成本。

参考文献

- [1]汪永鑫,余恒宇.船舶制冷装置膨胀阀冰塞故障研究及处理[J].船舶工程,2022,44(08):112-115.
- [2]李刚,王健.冷库制冷系统干燥过滤器堵塞故障诊断与运维优化[J].制冷与空调,2023,23(05):68-72.
- [3]朱振银.船用空调制冷系统膨胀阀阀芯卡死故障分析与检修[J].航海技术,2025,9(02):76-78.
- [4]张磊.工业制冷系统膨胀阀调节失灵故障排查与维修技术[J].机电工程技术,2024,53(03):214-217.
- [5]陈宇.冻干机制冷系统过滤器与节流部件故障检修研究[J].科技创新与应用,2022,24(31):139-142.