

某船空调器的故障分析及改造实例

姜良优, 刘长杰, 宋永真

(中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266000)

摘 要: 船舶空调是现代船舶辅机中必不可少的机械设备, 空调器又是船舶空调系统的核心设备。本文简单介绍了空调器的基本结构, 列举了两例空调器的故障分析及改造实例, 详细阐述了故障查找、分析、改造、解决的过程。为空调器的维修管理积累了经验。认识到只有在实践中不断总结经验, 才能促进设备应用或研发的技术革新。

关键词: 船舶空调; 空调器; 故障分析; 改造实例; 总结

中图分类号: U66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 07—0064—04

船舶空调除某些特殊舱室要求恒温恒湿外, 一般属于舒适空调的范畴, 为船上人员提供一个舒适的生活和工作环境。空调效果的好坏直接影响船上人员的工作及精神状态。船用空调总的设计指导思想是不仅要适应海上潮湿、霉菌、盐雾等极端环境, 而且要适应舰船摇摆、倾斜等不规则运动, 还要考虑设备的可靠性和可维修性。船舶空调系统按空调器与空调舱室的布置关系, 主要分

为三类: 集中式、半集中式和分散式系统, 其中集中式空调系统最常用。空调器是船用集中式空调系统的核心设备, 是全年使用的机械设备, 夏季供冷风、冬季供暖风、中间季节单纯通风。夏季高温高湿多雨(热雨同期)的气候特点, 给船舶空调带来了极大的挑战, 特别是应用在船上人员来回穿梭于室内室外之间的工程船或科考船的空调。作者分享了两例船舶空调系统中空调器的故

浮标故障原因首位。因此, 如何提高浮标的抗撞击性能, 将是提高浮标工作可靠性的关键。根据航标用户实际需求出发, 对 UHMWPE 浮标的结构进行了优化设计, 首次采用增强型钢塑复合结构的航标设计, 提高浮标的抗撞击性以及灯桩的抗风稳定性, 这些特性在实际的使用过程中得到了验证。

3 超高分子量聚乙烯航标在航道上的实际应用

采用压制板材, 研究开发超高分子量聚乙烯浮体, 其内部设计采取独特的力学结构, 建立船舶撞击模型, 分析受力大小、方向及部位, 针对模型受力情况, 对薄弱点采用增强型钢塑复合结构设计, 提高浮体的抗撞击性, 经船舶多次撞击试验, 产品完好无损。2021 年在广东省东莞水道选取 3 处不同水情、环境的航段(船舶通航繁忙航标易被碰航段、咸淡水交汇航段、水源保护区航段)分别投放了 UHMWPE 材料 2# 浮标、B1# 浮标、25# 浮标。该地区同时有雷雨、台风等恶劣天气, 且紫外线照射很强, 是广东省有代表性的复杂航段。通过近一年的试用, 浮标虽经过多次船舶碰撞及台风影响, 3 座航标均实现完好无损, 无藻类附着, 未退色, 使用效果较好。

采用阻力挤塑工艺生产的型材, 根据国标研究制造出 UHMWPE 锥体、罐体, 并于 2017 年在湖南省益阳航道事务中心 236 公里航道上投入使用, 5 年多来, 颜色鲜艳不变色, 船舶碰撞损坏少, 不仅减轻了员工劳动强度, 而且降低了航道维护成本。

2014 年, 在江苏省苏北运河安装了采用 UHMWPE 材料与钢质复合设计制作的柱形航标, 经 7 年使用, 标志颜色仍然鲜艳, 结构稳固, 减少了油漆的工作量。

通过多年来的应用效果证明, 超高分子量聚乙烯抗冲击性强、表面光滑、色质鲜明、经久耐用、寿命长、高环保, 是制造助航标志的理想材料, 也是将来航标制造研究的方向。

4 结论

通过对超高分子量聚乙烯材料的改性及对圆柱形浮标、锥形罐形标及柱形岸标的生产研究, 在提高 UHMWPE 刚性和弯曲强度、改变热变形温度低和抗蠕变性能差、难成形及模块化自动生产等方面获得重大技术突破, 该研究成果为后期 UHMWPE 航标研究及推广应用奠定了良好的基础。由于超高分子量聚乙烯材料难成形特点, 目前对船型浮标的研究还有待技术攻关。

障分析及改造实例,供同人参考。

1 空调器的基本结构

某船空调系统采用 TMU(W)-6 型间接式空调器,其型式为吸入式、间接冷却、热水加热、湿膜加湿、风机恒速运转,适用于单管无再热的空调系统。空调器主要由进风箱、空气过滤器、热交换器(空气冷却/加热器)、挡水器、湿膜加湿器、离心通风机、船用电机、减震器、出风静压箱、电气控制箱、冷媒水管系、加湿管系、各类调节阀及控制器等组成,见图 1。所有的热湿交换空气处理集中在空调器内完成,处理好的空气通过风机、风管、末端布风器送往船舶各个舱室。每个舱室的送风量可以通过布风器手动调节。制冷工况时,空调器内的冷凝水通过 U 型弯排到空调机房的排水孔内。

2 改造实例一

2.1 故障现象

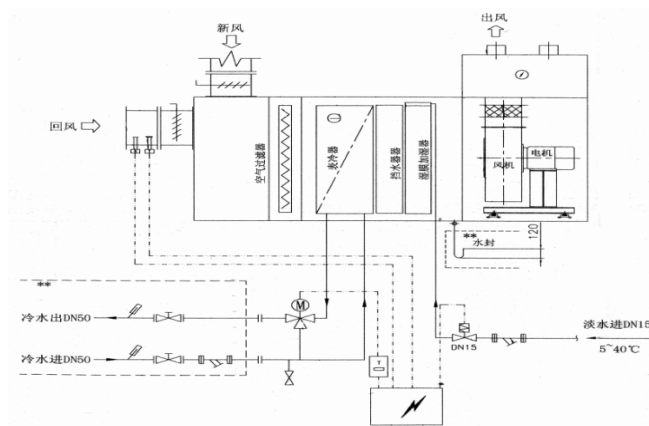


图 1 TMU(W)-6 船用间接式空调器系统原理图

空调制冷工况时,空调启动一段时间后,多个舱室内布风器处出现大量水雾或水滴,严重时大量水滴随供风喷出。

2.2 故障查找

舱室内布风器处出现大量水滴的原因有:①室内环境闷热,空气湿度较大,空气的露点温度较高。当空调末端送风温度低于室内空气露点温度,空调末端与室内空气进行换热时,水蒸气在空调末端出风口处析出而形成结露、冷凝水;②挡水器变形、松动、掉落或挡水板表面脏堵,挡水效果变差。冷凝水滴穿过挡水器来到风机风轮内部,被风机叶片甩至风道,随供风到达布风器进入舱室;③空调器内表冷器的冷媒水管或加湿器供水管泄露,漏水进入风轮内;④凝水盘泄水孔堵塞,凝

水不能及时排出。当冷凝水水位达到一定高度时,再加上船舶摇摆的影响,凝水盘内部分冷凝水溅到风轮内部;⑤风机运行时,空调器内形成负压,在负压的作用下,很多凝水无法排出,当冷凝水水位积存到一定高度,再加上船舶摇摆的影响,凝水盘内部分冷凝水溅到风轮内部。

第①项一般出现在空调刚开机时,是一种正常现象,表示空调整冷效果好。空调运转一段时间后,现象就会消失,排除①。检查空调系统冷媒水状态,发现其工作压力稳定,水量正常,打开空调器道门内部检查,未发现表冷器、加湿器水管有滴漏现象,未发现挡水器变形、掉落、松动现象,未见挡水器表面脏堵,排除②、③;打开空调器机箱道门的瞬间,凝水盘内凝水开始从泄水口流出,打开泄水管路检查未发现脏堵,排除④。

对第⑤项重点检查,当刚停止风机打开机箱道门时,道门有明显的吸入感,说明空调器箱体内部有不小的负压。开门瞬间凝水盘内部留存凝水很多,液位较高。当负压被打破,冷凝水便会从泄水口泄出。确认⑤为故障原因。

2.3 故障分析

空调整冷时,冷水机组的冷媒水经冷媒水管系进入空气冷却器后,空气通过空气冷却器是进行湿热交换。湿热交换过程中,室外新风(或混合风)含的水蒸气在表冷器壁面析出而结露,形成大量冷凝水并聚集在空调器底部的凝水盘内。虽然空调设计时机外余压值符合技术规格要求,但是空调器内形成负压很难避免。如何让凝水盘内凝水及时排除,防止溅入离心风机风轮内才是解决问题的关键。

2.4 改造方案

(1)在凝水盘底部加装下沉式凝水井,并加装潜水泵、液位自动控制等装置实现冷凝水自动排放。让冷凝水无法积存,就无法溅入风机风轮内。由于该船空调器下面是燃油舱,所以此方案施工改造难度较大,可行性不高,非最优方案,排除。

(2)整体抬高风机高度。当冷凝水积存到一定高度,其重力大于空调器内负压就会流出,液位不再增加就不会溅入风机风轮内。此方案不仅需要整体加高空调器和各风管高度,施工难度较大,成本较高;而且空调器内部空间的加大势必影响内部气流方向,降低空调整冷效果,排除此方案。

(3) 该船中央空调系统有 1 号、2 号两个空调器共用 1 套中央冷水机组。当只有一个空调器内风机停止, 不会引起中央冷水机组故障 (例如压缩机停机、冷媒水泵停止等) 及空调系统报警。在两台风机控制箱内分别加装循环时间控制器 KT1、两位转换开关 SA3, 实现风机只在制冷工况下定时循环启停, 控制箱电气原理改造前后对比见图 2。风机短暂停止的时间里, 空调器内负压被破坏, 冷凝水流出, 然后风机自动开启运行 (例如: 运行 60min, 停止 3min, 时间可以根据空调冷凝水的产量及流出速度进行自主设定)。风机运行时间远大于停止时间, 这种情况不会对空调制冷效果造成太大影响。通过设定循环时间继电器的通断时间, 把两个空调器风机的停机时段错开, 避免同时停止导致中央冷水机组故障。确定此改造方案, 改造前、后风机启停操作步骤略有不同如表 1, 整个空调系统的其他操作不变。

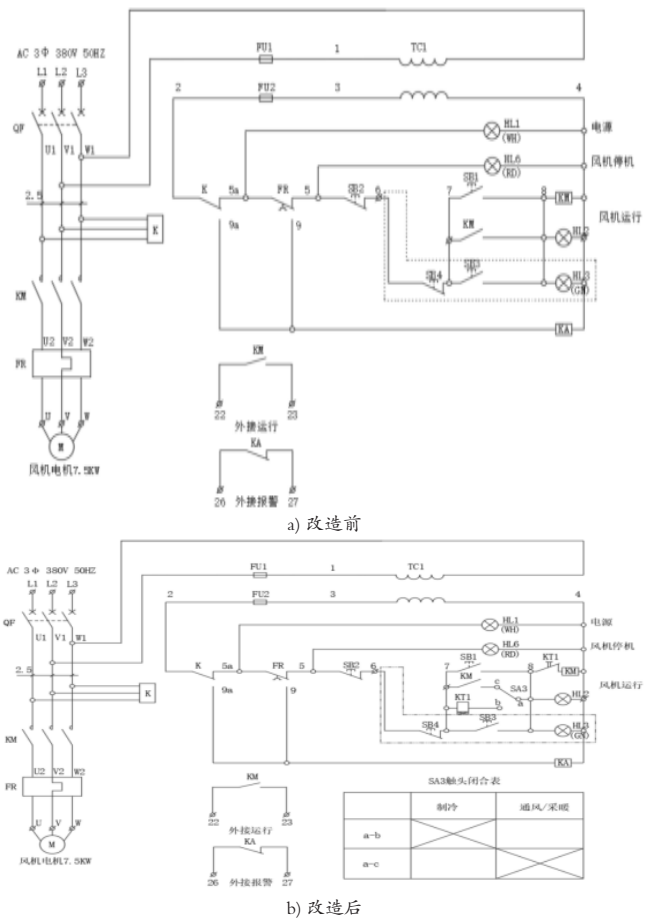


图 2 风机控制箱电气原理改造前后对比图

表 1 改造前后风机启停操作对照表

操作项目	改造前	改造后
制冷 启动风机	按一下启动按钮 SB1	转换开关 SA3 拨至制冷模式, 并自动进入循环启停模式
制冷 停止风机	按一下停止按钮 SB2	转换开关 SA3 拨至通风/制热模式, 再按一下停止按钮 SB2
通风/制热 启动风机	按一下启动按钮 SB1	转换开关 SA3 拨至通风/制热模式, 再按一下启动按钮 SB1
通风/制热 停止风机	按一下停止按钮 SB2	转换开关 SA3 拨至通风/制热模式, 再按一下停止按钮 SB2

3 改造实例二

3.1 故障现象

空调制冷工况时, 空调风机电机经常出现绝缘值低故障。

3.2 故障查找

空调风机电机出现绝缘值低原因有: ①电机接线盒内引线端子处绝缘保护套损毁, 引起绝缘不良; ②电机绕组老化、脏污, 造成绝缘阻值低; ③电机轴承损坏, 转子轴偏离发生扫堂现象, 造成绝缘值低; ④电机工作环境湿度太大, 电机内部空气与环境空气难免发生少量交换, 电机绕组发热带来的湿润热空气接触接线盒和电源线等低温部件时就会在其表面形成结露、凝水, 引起绝缘值低故障。

拆检电机发现, 接线盒内引线端子绝缘保护套完好; 定子绕组没有明显脏污老化现象; 轴承完好, 电机内部未发现扫堂现象; 接线盒内未发现结露, 但是电机内部底部有凝水出现。排除①、②、③项, 确定第④项为故障原因。清洗电机内部, 烘干除潮后, 重新安装电机, 恢复正常使用。故障修复后, 使用 2~3 周, 又出现同样的故障。

3.3 故障分析

电机内部出现结露, 不仅会造成电机内部零件的腐蚀破坏, 下降电机的绝缘指数, 而且会影响电机的安全运行及使用寿命, 尤其是防护等级 IP55 及以上的电机。降低电机内部结露现象是凝露行业的一大难题。该风机电机防护等级为 IP56, 绝缘等级为 F 级, 电机机壳内外表面喷涂有隔热层, 电机接线盒盖内部加装了隔热垫, 用以降低热传导差异引起的电机内部结露。同时电机输出轴和前端盖之间加装了骨架密封用以加强电机各个零

件的气密性，减少电机内外的空气交换来降低电机内部结露。

虽然该风机电机防护等级较高，电机输出轴和前端盖之间已经加装骨架密封，但是电机工作环境湿度太大，机壳内外温差较大，风机电机极易结露。这才是夏季空调制冷工况时，空调风机电机经常出现绝缘值低故障根本原因。

3.4 改造方案

(1) 换用防护等级、气密性更高的电机。这样的电机生产工艺的难度高，制造成本高。目前，凝露行业没法完全杜绝，只能相对降低。电机的防护等级越高，一旦出现结露，结露对其影响也大。此方案非最优方案，排除。

(2) 该风机为直接连接电机驱动，非皮带连接驱动。可在空调器内加装电机隔离舱室，把电机从潮湿的环境中隔离出来，隔离舱室加装前、后效果对比见图3。利用电机底座面和风轮与电机的连接面，在电机上方加装拱型罩，为电机制作一个卧式的拱型袋状舱室。把空调器箱体的一面挖个与拱型袋状舱口相同的洞，洞口即拱型袋状舱室的电机冷却通风口。拱型袋状舱室零件连接处做密封处理后，电机就被该隔离舱室从空调器中隔离出来。电机工作环境变得干燥，电机内外温差也减小，结露现象得到充分改善，结露引起的电机绝缘故障得到解决。可以把拱型罩做成径向两部分组成，用卡扣或螺栓连接，电机检修时便于拆卸。拱型罩外侧粘贴隔热层，防止隔离舱内侧结露。电机自身风扇的罩壳适当加长，改善改造后的自身冷却效果。此方案最优。

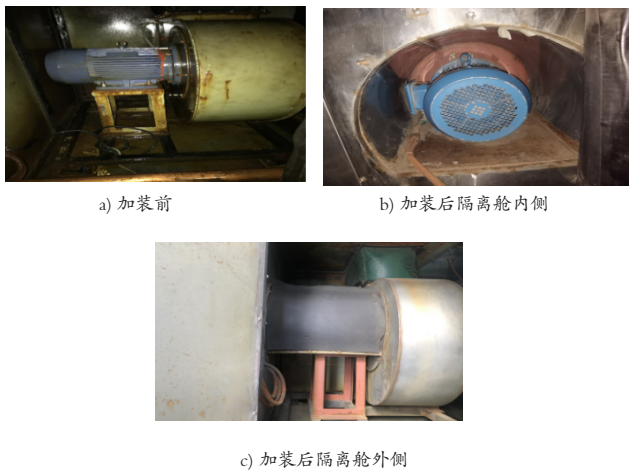


图3 电机隔离舱加装前后对比图

4 结束语

两个故障现象都不是空调系统的常见故障，已按文中最优方案改造解决。纵观故障排查、分析、改造、解决的过程，设备管理者既有不解决故障不罢休的执着精神，又有抓住故障根源开拓解决思路的创新精神，非常值得学习借鉴。机械设备出现故障或设计缺陷在所难免，管理者或设计者找出导致设备故障或设计缺陷的根本原因至关重要，只有不断总结经验，才能促进设备应用或研发的技术革新。现在新型船舶空调器的风机多为变频电机驱动，采用中压低噪声离心风机变频调速控制，通过自动和手动分档控制风量和机外余压，满足不同季节、不同舱室的使用要求，提高了空调系统使用效率，达到空调装置降噪、节能的目的。

