

空气源热泵技术在船舶机舱中的应用分析

刘世杰, 孙慧敏

(海南热带海洋学院, 海南 三亚 572022)

摘要: 船舶机舱温度过高不仅影响机械设备的正常工作, 还影响船员身心健康, 甚至危及船员生命和船舶航行安全。分析机舱温度过高的原因、机舱通风现状及存在的不足, 在不改变原通风方式的基础上, 提出利用空气源热泵技术控制调节机舱工作环境或局部温度, 并给出回收机舱空气余热的空气源热泵系统设计原理图, 以期进一步改善机舱环境、保护船员身心健康和延长设备使用寿命。

关键词: 船舶; 机舱; 空气源热泵; 温度

中图分类号: U671.99

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2021) 02—0123—03

机舱是安装船舶动力设备及辅助机械的场所, 也是船员工作的主要场所之一。船舶正常航行时机舱温度一般保持在 40℃ 以上。尤其是锅炉层、分油机间、供油单元等部分舱室, 由于通风不足, 当船舶在夏季或赤道附近海域航行时, 该部分舱室温度有时高达 50℃。机舱温度过高会影响各种机械、电气设备的正常工作以及轮机管理人员的身体健康^[1-2], 易引起船员中暑、烦躁、注意力不集中以及出现厌恶情绪等, 降低船员工作效率, 甚至引发安全事故, 危害船员生命和船舶航行安全。另外, 越来越多的年轻船员在船上工作一段时间后, 离船上岸另谋职业发展的趋势也越来越明显, 这与机舱温度高、噪音大等工作环境恶劣有较大关系。如不加以改善机舱环境, 年轻船员的流失率极有可能进一步上升, 对我国培养高素质海员显著不利。因此, 有必要分析处理船舶机舱温度过高问题。

1 机舱温度高的主要原因

导致船舶机舱温度升高的原因主要是机械设备在运行中散出大量的热, 其中绝大部分热量来自主机机体的散热损失。主机散热损失主要是指通过柴油机气缸、气缸盖、活塞和机体向外界散发的热量。由主柴油机散热导致的热损失约占总热量的 0.6% 左右^[3]。虽然这部分热量所占主机总热量的比例甚少, 但是却对机舱环境及温度高低起着关键作用。

良好的机舱通风可以保证主机、发电机、空气压缩机、锅炉及其他辅助设备所需要的空气量, 防止机舱内温度上升过高, 并利于排除机舱空气中的油气、水蒸气和其他有害气体, 维持机械设备正常运行。机舱通风形式主要有自然通风、压力通风和封闭式空气净化通风三种。自然通风是利用空气热压原理, 自然地形成空气流动, 不需要专门的动力, 机舱内的热空气在机舱内热气压与外界气压差的作用下从位于机舱顶部的天窗和烟囱上排出即属自然通风; 压力通风方式是利用电力驱动通

风机, 使机舱内外部空气产生交换, 例如使用风机将舷外的新鲜空气送入机舱等; 封闭式空气净化通风装置结构复杂, 价格昂贵, 一般只用在特殊舰船通风中, 如潜水艇等^[4]。

商用和民用船舶机舱均采用自然通风和压力通风两种方式, 对于压力通风, 通常是在机舱中层两侧安置 2 ~ 4 台等压、等风量的通风机。为使所安装的风机在规定的时间内把足量的新鲜空气补至机舱内部, 并将机舱内的混合热空气(含有油气、水蒸气和其他有害气体等)排至舷外, 通常把风机中的 1 ~ 2 台设为可逆转式。但是, 由于机舱空间有限, 船舶主、副柴油机、锅炉在运行过程中消耗大量新鲜空气的同时散出大量的热, 采用传统的自然通风和压力通风方式难以保持合适的机舱温度, 机舱温度通常比舷外环境温度高出 10 ~ 12℃, 在冬天这个温差还要大一些^[5], 不利于船员从事体力劳动, 需要将机舱温度进行适当控制和调节, 在维持机械设备正常运行的同时, 保障船员身心健康。

2 空气源热泵技术在机舱中的应用分析

船舶航行期间, 主机、发电机、锅炉等机械设备不断通过机体或外壳向机舱散热, 以致机舱温度较高, 尤其是分油机间、供油单元以及锅炉间等舱室, 温度高于机舱平均温度, 空气中蕴含大量的低位热能, 若能在保持原通风不变的条件下对机舱空气中蕴含的热量加以回收和利用, 则不仅能起到调节机舱局部温度、改善船员工作环境的作用, 还能提高能源利用率。

目前, 采用空气源热泵技术可以方便地回收空气中的低位热能。空气源热泵的工作原理与制冷原理相同, 但是空气源热泵与制冷设备又有明显不同: 空气源热泵的目的是供热, 其低温热源是空气, 通过热力循环, 把热能由低温物体转移到高温物体, 而制冷设备的目的是供冷。然而, 现阶段空气源热泵技术主要应用于陆上, 在船舶上的应用仍然以理论研究为主, 其中, 吴晓阳

[6-7]系统地分析了空气源热泵技术应用于船舶机舱的前景,给出了利用空气源热泵加热热水柜的设计方案,并提出了实际应用中可能出现的不足之处。

空气源热泵是效率较高的节能设备之一,因其从空气中取热量较为方便,故换热设备也比较简单。但是,空气源热泵系统存在一个较为突出的问题,在环境温度低于0℃时其蒸发器容易结霜^[8]。当霜层形成后,蒸发温度和制热量会出现下降,风量也会逐渐减弱,而蒸发温度的下降使得蒸发器结霜更加严重,霜层不断增厚,以致热泵性能系数(COP)在恶性循环中不断衰减,最终导致空气源热泵不能正常运行^[9]。

船舶通常航行于各大海域之中,环境温度随经纬度以及季节的变化而产生变化,但在正常航行时,船舶主机、发电机、锅炉等机械设备均运行在较高的负荷,各辅助机械处于稳定的工作状态,这些机械设备通过机体或外壳不断地放出大量热量,机舱温度不会低于0℃,故利用空气源热泵回收机舱空气余热不会出现蒸发器结霜问题。此外,当船舶正常航行时,各通风机稳定运行,机舱内空气与外界空气的流量和热量交换基本稳定,机舱环境处于相对外界温度较高且稳定的状态。这些因素都为设计回收机舱空气余热的空气源热泵系统提供了有利条件。因此,利用空气源热泵技术控制调节机舱温度具有可行性。

3 回收机舱空气余热的空气源热泵系统设计

考虑到船舶航行的特殊性,所采用的空气源热泵及设计的系统应能满足以下几个基本条件:

- (1) 空气源热泵系统的工作温度范围应兼顾机舱温度和工质的冷凝温度,以免工作条件恶化,降低空气源热泵的循环性能系数(COP);
- (2) 系统应能尽可能多地回收机舱空气余热,包括锅炉层、分油机间以及供油单元等高温舱室;
- (3) 系统应安装简单,维修方便,具有良好的经济性;
- (4) 应能适应海上复杂、恶劣的工作环境,尤其是船舶处于大风浪环境时,系统应有足够的稳定性;
- (5) 通过回收机舱空气余热制取70~80℃的淡水,用以加热生活淡水、燃油沉淀柜和日用柜等。

结合热泵技术,设计了一个回收机舱空气余热的中高温空气源热泵系统,该系统通过回收机舱空气余热,制取温度为70~80℃左右的高温水,用以加热生活用水、燃油沉淀柜和日用柜等,系统工作原理如图1所示。

图1中,机舱热空气被风机2吸入,经空气滤清器3过滤后进入蒸发器4,热泵工质经膨胀阀7节流膨胀,在蒸发器4中吸收热机舱空气余热,使机舱空气温度降低。汽化吸热后的工质蒸汽由压缩机6吸入、压缩变成

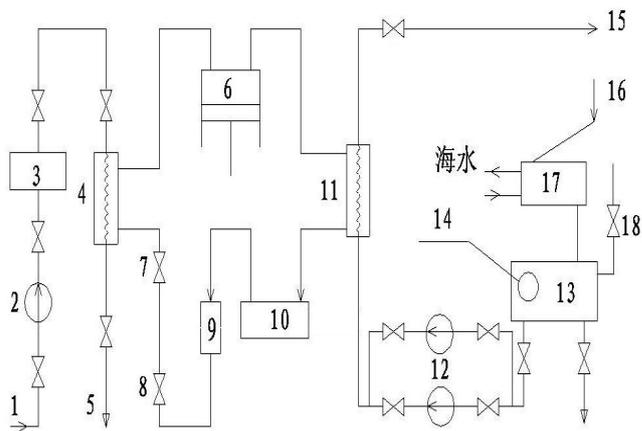


图1 回收机舱空气余热的空气源热泵系统原理图

注:1-热空气进口;2-风机;3-空气滤清器;4-蒸发器;5-低温空气出;6-压缩机;7-膨胀阀;8-电磁阀;9-干燥器;10-贮液器;11-冷凝器;12-给水泵;13-回水柜;14-水位观察镜;15-用热设备;16-回水;17-冷却器;18-补水阀。

高温高压的蒸汽,在冷凝器11中被给水泵12供应的工作水冷却、冷凝成液体,然后储存在贮液器10中,开始下一个工作循环。在冷凝器11中工作水温度上升到70~80℃(温度可以调节),经管路15供应至热水柜、燃油沉淀柜和日用柜等用热设备。可以将出口管5出来的低温空气分配至锅炉层、分油机间以及供油单元等高温区域,以调节这些区域的温度,为船员提供较为适宜的工作环境。

在循环工质选择方面,目前常用的工质主要包括氢氯氟烃类工质(HCFCs)、氢氟烃类工质(HFCs)、天然工质以及混合工质等。工质的选取非常重要。如果选择的工质与空气源系统不匹配,压缩机将不能在正常的工作压力范围内工作,这样会影响系统运行的稳定性。选择合适的工质不仅能充分利用热泵技术高效率的优点,还能提高系统运行的可靠性和稳定性^[10]。根据上述分析,结合船舶航行安全需求,应重点选择能满足以下两个方面性能要求的工质(包括混合工质)。

(1) 船舶安全营运始终处于第一位,所选的高温工质应具有不可燃、化学性能稳定、ODP为零、GWP值较低等性能特点。

(2) 所选工质不仅应具有较高的循环性能系数,还应具有较高的工质温度,并具有较低的冷凝压力。较为理想的工质循环性能是冷凝温度达到80℃以上,而冷凝压力不超过25bar。

4 结论

机舱温度过高不仅影响机械、电气电子设备的正常运行,还影响船员身心健康以及青年船员队伍稳定性。在不改变机舱原有通风方式的基础上,引入空气源热泵



技术用以回收机舱内的部分空气余热，并设计了相应的空气源热泵系统。在工质选择方面，应选用无毒、不燃、环保以及循环性能优良的中高温工质作为空气源热泵系统的循环工质。使用该系统通过热力循环能够制取 70 ~ 80℃ 的高温水，以满足船上加热生活用水、燃油沉淀柜和日用柜等需求，提高船舶的能源利用率，同时，实现控制调节机舱环境和局部温度，不仅能防止机舱温度过高，延长设备使用寿命，还能给船员提供较为舒适的工作环境，保障船员身心健康和队伍稳定。但是，目前空气源热泵技术在船上的应用仍然很少，在后续的研究中，应加大实验投入力度并着力开展实验研究，以验证理论研究，并为改善机舱环境提供科学、可行的新方案。

参考文献：

[1] 徐延山. 浅谈船舶电气设备安全管理及安全用电 [J]. 天津航海, 2004, (1):21-23.

[2] 李可顺, 孙培廷, 尹自斌等. 环境温度对船用增压柴油机压气机特性的影响 [J]. 大连海事大学学报, 2003, 29(4):38-40.

[3] Heinrich Schmid. Less Emissions through Waste Heat Recovery [C]. Proceeding of Green Ship Technology Conference, London, April 2004.

[4] 邵来生. 未来水面舰艇的机舱通风——闭式机舱通风系统 [J]. 机电设备, 1998, (4):38-42.

[5] 李品芳, 蔡振雄. 环境条件对船舶主机运行的影响与管理对策 [J]. 集美大学学报 (自然科学版), 2005, 10(1):49-52.

[6] 吴晓阳. 船舶机舱空气源热泵技术应用分析 [J]. 机电设备, 2014, (3):21-23.

[7] 吴晓阳. 船舶机舱空气源热泵热水柜的应用分析 [J]. 轻工科技, 2019, 35(1):41-42.

[8] 张昌. 热泵技术与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.

[9] 王芳, 范晓伟. 我国空气源热泵的技术进展 [J]. 能源工程, 2002, (4):1-5.

[10] 马一太, 孙方田. 中高温空气源热泵热水器的工质优选 [J]. 热科学与技术, 2006, 5(2):168-173.

基金项目：2020 年度海南省高等学校教育教学改革研究项目“产学研融合式船电专业实践教学改革与实践”（Hnjg2020-80）；2019 年度海南热带海洋学院教育教学改革研究项目“船舶电子电气工程专业实训课程教学方法改革与探索”（RHYJG2019-06）；第三批海南省普通本科高校应用型试点转型专业项目。