

海上升压站平台一拖多空调系统的适用性探讨

袁 立

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510530)

摘要 海上升压站平台是我国海洋新能源发展的重要基础设施, 其独特的工作条件对其制冷性能的影响规律与机理研究具有重要的理论和实际意义。一拖多空调系统因其一体化设计和高效率、低能耗等特点, 已成为一种可能的选择方式。本文以海洋升降台为研究对象, 对其环境约束、空间限制、能量供给和运维便捷性等技术特征进行深入研究, 分析环境适应性、负荷匹配、能耗经济性、可靠安全性等方面, 阐明一拖多空调在特定海域中的适用范围, 以期为海上升压站平台空调系统的优化选型提供理论参考, 进而促进我国海工设备节能减排的发展。

关键词 海上升压站平台; 一拖多空调系统; 环境适配性

中图分类号: TM614; TB657.2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.35.035

0 引言

海上升压站平台具备能量汇集、升压输送等重要功能, 其稳定性关系到能源利用的高效和安全。海洋环境的高盐雾、强腐蚀和空间受限等特点, 对其环境适应性、能效和可靠性等方面的需求远远超过地面环境。一拖多空调凭借一台外部发动机带动多种内部发动机的结构特点, 在节省空间和降低能源消耗上表现出了巨大的潜能, 逐步成为海工设备选择领域的研究热点^[1]。本文研究成果为解决我国近海风电机组运行中面临的关键问题提供理论参考, 为推进我国海工装备节能升级和运营管理方式优化提供新思路, 对于丰富我国海工装备适配理论, 提高我国能源开发项目的整体效能, 均有重大的理论和实际价值。

1 海上升压站平台环境与空调系统约束条件

1.1 海洋特殊环境影响

由于海上升压站平台装置工作在高盐雾和高湿度的空气中, 海水中的盐雾颗粒极容易粘附在其上, 并沿其间隙进入结构部件中, 引起材料的侵蚀和元器件的绝缘特性退化。强突风和极端温度和湿度的交互作用会使装备的密封性能更加恶化, 从而增加了系统的渗漏风险。海水中存在的强腐蚀介质, 不但会降低其服役年限, 还会引发关键零部件的突然失效, 从而严重威胁到整个空调系统的正常运转。在此特定条件下, 对材料耐腐蚀性、密封保护程度和结构抗风性等方面进行明确规定, 是我国空调设计中亟须解决的关键问题。

1.2 空间布局限制与设备安装要求

海上升压站平台空间布局紧凑, 但其甲板和船舱的可用面积较小, 各种电气设备和线路密集布置, 对设备的尺寸和安装空间都有很大的要求。室外机需要根据平台上的承载规范进行调整, 室内机的设置要避免有较多的设施管道, 并要有足够的进出通道。在进行装备装配时, 必须充分注意其自身的特点, 以防止由于安装位置的错误而造成设备的位移和构件的损伤。另外, 在该方案中, 需要将该方案与整个平台的管路进行协调, 以最大程度地降低相互影响, 这就需要具有模块化的特征, 以适应在受限的平台上进行装置布置, 同时兼顾装置的可实现性和使用效率^[2]。

1.3 能源供给特性与节能降耗需求

海上升压站平台的能源供给主要依赖可再生能源或船舶发电系统, 其能量产出具有较大的波动性, 并且能量供应费用远大于陆上。而作为该平台的主体用能装置, 其能量消耗状况对整个平台的能量供求关系以及运行费用的调控具有重要意义。因此, 要求空调系统达到更高的效率和更低的能耗, 同时又要保证室内环境的温度调控。

此外, 该系统还需要根据平台能量供应的周期性变化特点, 对其进行柔性负载调整, 以防止能量供应短缺而造成的系统关闭。节能减排既是减少运行费用的实际需要, 也是保证系统稳定运行、提高能源利用率、实现系统能量匹配的关键。

1.4 设备运维可达性与可靠性标准

由于海上升压站平台远离陆地，需要依靠专门的维修船和维修人员进行维护，运行周期长，费用高，并且容易受到天气变化的影响。为了保证乘坐者的舒适性和装备的平稳运转，空调系统必须具有较高的可靠性，以降低失效次数。在发生事故后，需要方便地进行维修和维修，而对其主要零件要有很好的维护能力，减少维修的困难和节省时间。在此基础上，针对海上作业条件下海上作业能力受限的问题，采用高可靠的设计和方便的维修规划，保证海上作业人员能长时间正常工作，并减少维护和管理的费用。

2 一拖多空调技术核心特性分析

2.1 系统架构

一拖多空调系统采用“单台室外机搭配多台室内机”的集成化架构，将压缩机和冷凝器等核心制冷组件集成到户外机中，并利用冷媒管与多个室内单元相连，构成了一个集中供能、分布式终端的体系结构。该系统采用一体化的智能化控制，可以对各个室内机组进行独立调节和集中管理，不需要为各个房间分别安装一个外部机组。该体系结构使得系统构成为简化，外部单元的数目和占地面积减小，采用集中管线的方式减小了系统的复杂度，实现“集中控制，分散使用”的工作方式，既能适应多个地区的冷热电联供需要，又能实现整个系统的紧凑性。

2.2 工作原理

一拖多空调是利用室外机组压缩机将制冷介质压缩成高温、高压的燃气，经过冷凝器降温，形成高压液体冷媒，然后由节流器进行压力降低，形成较低温度、较低的雾化介质，并将其传送到各个室内机组。结合空调系统的工作原理，设计了一种新型的空调系统。该系统利用智能化的控制技术，对各个房间的温度进行实时监控，并按照负载要求调整制冷设备的工作频率和制冷介质的分布，从而对各个房间进行精确的温控。在某些室外机组停机的情况下，该装置能够在制冷介质和压缩机负载的情况下，自动调整制冷介质和压缩机的负载，防止能量的损耗，通过负载的动态匹配，达到多分区的自主调控和能量的最优配置^[3]。

2.3 核心优势

一拖多空调系统的竞争优势集中体现在空间利用、能耗控制与灵活调控三个维度。采用多个室内单元与一个房间单元相匹配的结构，使外部单元的数目大大

减少，从而显著缩小了整个装置的占用范围，满足了有限的环境下的安装需要。该方案可以针对不同地区的负载情况进行动态调整，从而有效地解决了传统的单拖单一式空调的低效能量消耗问题，提高了能量的使用效率，达到了明显的节能目的。采用一体化的智能化控制体系，实现了各个机房的单独启动和降温，既可以适应不同地区的不同用途，又可以方便地进行集中的管理、维护和调度。另外，一体化结构简化了装置的管道和安装过程，减少了初期的建设费用，整个体系具有较高的模块化程度和应用场景适应性。

2.4 固有局限

一拖多空调具有显著的内在缺陷，主要表现为负载匹配度不够，系统运行主要依靠全局负载均衡，当局部地区负载突然变化或地区间负载差别太大时，会造成压气机性能降低，进而引起系统失效。另外，该设备的失效波及的区域较大，其中，以户外主机为中心，当出现故障时，会使与之相连的其他机房全部停机，且与单个并联的机房相比，该故障引起的功能性中断区域要大得多。此外，冷却介质管道布局较为复杂，管道的长短和直径的选取直接关系到制冷效果，如果不合理的话，很容易造成制冷剂分布不均匀。此外，该装置对装配精度有很高的要求，管线方向和接头的密封必须严密控制，不然会增加能量损耗和失效的风险，成为限制其在特定环境中使用的主要因素^[4]。

3 一拖多空调在海上升压站平台中的适用性分析

3.1 环境适配性

一拖多空调在海洋增压电站中对其服役环境适应性要求较高，其抗腐蚀性能和结构稳定性能要求较高。当前传统一拖多空调系统材料及封装设计不能有效应对高盐雾和强腐蚀环境，需要通过材料和保护结构的改进来提高其适应性。外部机壳体由抗腐蚀合金材料制成，内部电器元件也加入了不透水的封闭，可以有效减少海水对外部环境的腐蚀，但是保护等级的提升会引起设备的造价和冷却效果的改变。为适应平台阵风荷载特点，需要采用加固的支架来提高体系的抗风性能，但同时也带来了设备的附加载荷。一拖多空调系统可以通过特定的保护方案达到与海上环境的适应性，但需要兼顾保护和装备的功能，其环境适应性需要通过个性化的改装和升级来实现。

3.2 负荷匹配性

海上升压站平台各区域负荷差异显著且存在动态波动，其中控制室、配电室等区域需要实现连续平稳

制冷，而一些辅机房只需要间断调控，使得一拖多空调系统的负载匹配面临严峻挑战。然而，在多个地区负载急剧变化时，压缩机的调整反应会出现迟滞现象，进而影响某些地区的温控准确性。

另外，平台用能的波动性也会对空调的负载调控能力产生直接的作用，从而导致用电不均衡现象的恶化。通过优化控制逻辑和添加负荷预测模型，可以提高负荷适应性，但是不能彻底解决多个地区负载差别造成的工作负荷压力，需要根据平台负载特点进行自适应调整。可通过各区域负载历史数据与实时监测参数，动态分配冷媒供给，结合核心区域优先级机制，在满足控制室等关键场所需求的同时，平抑系统负荷波动，提升整体运行稳定性。这样不仅能够提升一拖多空调的工作效率，还能减少更多的能源损耗，为低碳理念的践行提供支撑。

3.3 能耗经济性

在能耗和经济效益方面，一拖多空调较常规的单拖单制冷具有明显的优点，其中央供电方式可以降低户外设备的无效运转损失，而智能化的负载调整则可以有效地减少能量的消耗，符合该平台的节能要求。在多平台协同工作的情况下，一拖多空调系统具有较高的整体能量效率，并且能够有效地减少能耗费用。但是需要指出的是，在海上进行保护和改建时，装置的能量消耗会轻微增加，如果与海水中的负载不相匹配，则会使一些能源收益被抵消。另外，该方法的初期投入较单拖式单一拖式的方案高，但是从长远来看，其整体的节能效果更好^[5]。

3.4 可靠安全性

一拖多空调在海上升压站平台中的应用，其可靠性和安全性必须同时考虑到事故的危险性和系统的稳定运行。由于机房外单元单一失效具有大范围的特点，与其高可靠度需求相冲突，需要添加后备机房外单元或进行备份以提高其故障容忍性能，但这样会造成设备投入和占地面积的增大。在海上运作过程中，由于受到海水的冲击和侵蚀，容易造成管道接头松动和密封失效，从而引起冷媒泄漏，需要通过加强管道紧固和密封试验来预防和控制。另外，为了防止电磁干扰对其他装置的正常工作，还需要根据平台的电力系统的安全要求来进行调整。通过对冗余结构和安全监控模型的更新，可以提高系统的可靠性和安全性，但需要在开销和保护效果之间进行权衡，并对其进行系统的优化。

3.5 运维便捷性

一拖多空调系统的维修方便程度需要根据运行工况进行全面评价，其一体化结构可减少设备数目，方便进行统一的巡检和管理，减轻维护工人的工作负担。该系统的智能化，可以对设备的运行状态进行自动的监测和报警，使维护工作人员能够迅速地发现问题，从而减少维修周期。然而，其核心组件高度集成化，比单拖一台困难得多，并且冷媒管结构也比较复杂，需要专门的装备和技术来进行检漏和维护，提高了维护技术要求。海水中的高盐度盐渍侵蚀会导致装备构件磨损，需要提高维修频率，进而增加运营费用。一拖多空调系统运行方便性表现为双向、集中式管理的优点明显，但其结构和特定的运行环境使得维护变得更加困难，需要对其进行优化，以提高维护的友好性^[6]。

4 结束语

本项目以海上升压站平台为研究对象，针对其运行条件，对一拖多空调系统的性能进行深入研究，确定其适用范围。一拖多空调系统运作模式在空间使用和能量调控上的优越性符合海洋增压电站的核心要求，但其环境适应性差和故障影响范围大，成为其实用化的瓶颈。通过材料升级、冗余设计和控制算法的措施，可实现对产品性能的有效调控。研究成果为海上升压站平台空调系统选型提供理论参考，丰富了海洋特殊环境下暖通设备应用的理论体系，并为我国一拖多空调系统的发展指明了方向，对推动我国海工装备的高效节能发展具有实践价值。

参考文献：

- [1] 班鑫磊,徐康乾.环境荷载联合作用下海上升压站模态参数识别[J].船舶工程,2025,47(S1):74-80.
- [2] 张永飞,高志康,张平,等.海上升压站基础结构设计选型分析[J].电力勘测设计,2025(10):26-31.
- [3] 李培,施善伟.海上升压站空调冷凝水回收利用装置的实施应用[J].企业管理,2023(S2):290-291.
- [4] 陈日帅,苗清波,王兆林,等.一拖多空调温控关机后漏热量问题的实验研究[J].家电科技,2023(S1):16-19.
- [5] 王兆林,苗清波,陈日帅,等.关于一拖多空调环境温度检测准确性优化的研究[J].家电科技,2023(S1):221-225.
- [6] 乔楠,付浩卡,桑豪伟,等.一拖多空调除湿降温系统的研究[J].资源信息与工程,2022,37(02):142-145.