

Optimization of piping layout and heat exchange efficiency for central cooling machinery in ships

Yan Jin

Shanghai CosCo Shipping Heavy Industries Co., Ltd., Shanghai, 201913, China

Abstract

This article focuses on the research of pipeline layout and heat exchange efficiency optimization of ship central cooling machinery. Detailed analysis of the characteristics of three common pipeline layout forms: series, parallel, and mixed, and exploration of the effects of pipeline resistance, uneven fluid distribution, pipeline direction and layout on heat exchange efficiency. Propose optimization strategies such as rational planning of pipeline routing, optimization of pipeline connection methods, and adoption of advanced fluid distribution technology, aiming to provide theoretical basis and practical guidance for improving the performance of ship central cooling systems and ensuring safe and stable operation of ships.

Keywords

ships; Central cooling system; Pipeline layout; Heat exchange efficiency; Optimization

船舶中央冷却机械管路布局与热交换效率优化

金艳

上海中远海运重工有限公司, 中国 · 上海 201913

摘 要

本文聚焦船舶中央冷却机械管路布局与热交换效率优化展开研究。详细剖析串联、并联及混合三种常见管路布局形式的特点, 探讨管道阻力、流体分配不均、管路走向与布置等因素对热交换效率的影响。提出合理规划管路走向、优化管道连接方式、采用先进流体分配技术等优化策略, 旨在为提升船舶中央冷却系统性能、保障船舶安全稳定运行提供理论依据与实践指导。

关键词

船舶; 中央冷却系统; 管路布局; 热交换效率; 优化

1 引言

船舶中央冷却系统作为保障船舶动力装置及其他设备正常运行的关键系统, 其性能直接关系到船舶的安全、稳定与经济性。在中央冷却系统中, 机械管路布局不仅影响系统的安装、维护便利性, 更对热交换效率起着决定性作用。高效的热交换效率能够确保设备在适宜的温度范围内运行, 减少设备磨损, 延长设备使用寿命, 同时降低能耗, 提高船舶的整体性能^[1]。随着船舶技术的不断发展, 对中央冷却系统热交换效率的要求也日益提高, 因此, 深入研究船舶中央冷却机械管路布局与热交换效率优化具有重要的现实意义。

2 船舶中央冷却机械管路布局分析

2.1 串联布局

串联布局是船舶中央冷却机械管路较为常见的一种布

局形式。在这种布局中, 各个设备的管路依次连接, 形成一个串联的回路。串联布局的优点是管路连接相对简单, 易于理解和安装。然而, 其缺点也较为明显, 由于所有设备依次连接, 一旦其中某一个设备出现故障, 可能会影响整个系统的正常运行^[2]。而且, 在串联布局中, 流体在管路中的流动阻力较大, 会导致系统的能耗增加, 同时也会影响热交换效率, 因为随着流体在管路中不断流动, 其温度逐渐升高, 与被冷却介质之间的温差逐渐减小, 不利于充分的热交换。

2.2 并联布局

并联布局是将各个设备的管路并行连接, 使流体能够同时分流进入不同的设备进行热交换。并联布局的优势在于, 当其中某一个设备出现问题时, 不会对其他设备的正常运行产生太大影响, 系统的可靠性较高。同时, 由于流体能够同时进入多个设备, 能够有效降低流体在管路中的流速, 减少管道阻力, 有利于提高热交换效率。但是, 并联布局也存在一些不足之处, 如管路连接相对复杂, 需要更多的阀门和管件来控制流体的分配, 增加了系统的成本和安装难度^[3]。而且, 如果流体分配不均匀, 可能会导致部分设备热交换效

【作者简介】金艳 (1981–), 男, 中国上海人, 本科, 工程师, 从事船舶与海洋工程方面。

率低下。

2.3 混合布局

混合布局则是综合了串联布局和并联布局的特点，将部分设备采用串联连接，部分设备采用并联连接。这种布局形式能够根据船舶中央冷却系统的具体需求和设备特点，灵活地组合管路连接方式，以达到最佳的运行效果。例如，对于一些对冷却要求较高且相互关联紧密的设备，可以采用串联布局，确保冷却的连续性和稳定性；而对于一些独立运行且对冷却效果要求相对较均匀的设备，则采用并联布局。混合布局虽然能够兼顾串联和并联布局的优点，但也带来了管路设计和控制的复杂性增加的问题，需要更加精确的设计和调试，以确保各个设备都能在最佳状态下运行，实现高效的热交换^[4]。

3 管路布局对热交换效率的影响因素

3.1 管道阻力

3.1.1 摩擦阻力

在船舶中央冷却机械管路中，流体在管道内流动时，由于流体与管道内壁之间的相互作用，会产生摩擦阻力。这种摩擦阻力与管道的内壁粗糙度、管道长度以及流体的流速等因素密切相关。当管道内壁粗糙度较大时，流体与内壁的摩擦力增大，导致摩擦阻力增加。例如，一些使用时间较长的管道，内壁可能会出现腐蚀、结垢等现象，使得内壁粗糙度增大，从而增加了流体的摩擦阻力。管道长度越长，流体在管道内流动的距离越远，与内壁接触的时间和面积也越大，摩擦阻力也就相应增大。此外，流体流速越高，其与管道内壁的相对运动速度越快，摩擦阻力也会随之增大。摩擦阻力的存在会导致流体在管路中的压力损失增加，为了维持流体的正常流动，就需要消耗更多的能量，这不仅增加了系统的能耗，还会影响热交换效率。因为在热交换过程中，流体的压力和流速对热交换效果有重要影响，如果压力损失过大，流速降低，会导致流体在热交换器内的停留时间过长或过短，都不利于充分的热交换。

3.1.2 局部阻力

除了摩擦阻力外，管道中的局部阻力也是影响流体流动和热交换效率的重要因素。局部阻力主要是由于管道中的弯头、阀门、三通等管件以及管道截面的突然变化等引起的。当流体流经这些部位时，其流动状态会发生急剧变化，形成漩涡、紊流等现象，从而导致能量损失，产生局部阻力。例如，在管道的弯头处，流体需要改变流动方向，会在弯头内侧形成漩涡，使得流体的能量消耗增加。阀门的开启和关闭程度也会对局部阻力产生影响，当阀门开度较小时，流体通过阀门的通道变窄，流速增加，局部阻力显著增大^[5]。局部阻力的存在同样会导致系统的压力损失增加，影响流体的正常流动和分配，进而对热交换效率产生负面影响。在设计船舶中央冷却机械管路布局时，应尽量减少不必要的管件，合理选

择管件的类型和规格，优化管道的连接方式，以降低局部阻力，提高系统的热交换效率。

3.2 流体分配不均

在船舶中央冷却系统中，当采用并联或混合布局时，流体的均匀分配对于热交换效率至关重要。然而，实际运行中往往会出现流体分配不均的情况。这可能是由于管路布局不合理，各支路的管道长度、直径、弯头数量等存在差异，导致各支路的阻力不同。例如，某一支路的管道较长且弯头较多，其阻力就会相对较大，流体在流经该支路时的流量就会小于其他阻力较小的支路。此外，系统中阀门的调节不当也可能引起流体分配不均。如果阀门没有调整到合适的开度，会使得某些支路的阻力发生变化，从而影响流体的分配。流体分配不均会导致部分热交换器内的流体流量不足，无法充分发挥其热交换能力，而另一些热交换器则可能出现流体流量过大，热交换时间过短，同样无法实现高效的热交换。这不仅降低了整个系统的热交换效率，还可能导致设备的局部过热或过冷，影响设备的正常运行和使用寿命。

3.3 管路走向与布置

管路走向与布置对船舶中央冷却系统的热交换效率也有着不可忽视的影响。不合理的管路走向可能会导致流体在管路中出现“死区”，即流体无法正常流动或流速极低的区域。例如，管路中存在过多的弯曲或迂回，使得流体在流动过程中容易形成死角，这些死角处的流体无法及时与其他部分的流体进行混合和热交换，导致热量积聚，影响整体热交换效率。此外，管路的布置高度也会对流体的流动产生影响。如果管路存在较大的高差，可能会导致流体在重力作用下出现分层现象，影响流体的均匀分布和热交换效果。在船舶的不同工况下，如航行、停泊、转弯等，管路的走向和布置还需要考虑船舶的运动状态对流体流动的影响。例如，在船舶转弯时，管路中的流体可能会受到离心力的作用，导致流体分布发生变化，如果管路走向和布置没有充分考虑这些因素，就可能影响热交换效率。

4 船舶中央冷却机械管路布局优化策略

4.1 合理规划管路走向

在规划船舶中央冷却机械管路走向时，应遵循简洁、流畅的原则，尽量减少不必要的弯曲和迂回。首先，要根据船舶的结构和设备布局，确定最佳的管路路径，使流体能够以最短的距离和最小的阻力在系统内循环流动。例如，在布置从中央冷却器到各个发热设备的管路时，应避免管路穿越过多的舱室或障碍物，直接连接到设备的进口和出口。其次，要充分考虑船舶在不同工况下的运动状态，合理设计管路的倾斜度和支撑方式，防止流体在管路中出现积聚或分层现象。对于一些较长的管路，可以适当设置一些坡度，以便在系统运行或停止时，流体能够顺利排出，避免残留。同时，在船舶转弯、颠簸等情况下，管路的走向应确保流体的稳定

性，避免因船舶运动导致流体流动异常。通过合理规划管路走向，可以有效降低管道阻力，提高流体的流动效率，进而提升热交换效率。

4.2 优化管道连接方式

4.2.1 选择合适的管件

管件作为连接管道的重要部件，其类型和质量对管道连接的可靠性和流体流动性能有着重要影响。在船舶中央冷却机械管路中，应根据实际需求选择合适的管件。对于弯头，应优先选用曲率半径较大的弯头，这样可以减少流体在转弯处的阻力和能量损失。例如，与直角弯头相比，大曲率半径的弯头能够使流体更平稳地改变流动方向，降低局部阻力。对于三通管件，应选择分流均匀、阻力小的类型，以确保流体在分支处能够均匀分配到各个支路。此外，管件的材质也需要与管道材质相匹配，保证连接的密封性和耐腐蚀性。例如，在海水管路中，应选用耐腐蚀性能好的管件，防止因海水腐蚀导致管件损坏，影响系统正常运行。

4.2.2 确保连接密封性

管道连接的密封性是保证船舶中央冷却系统正常运行的关键。如果连接部位出现泄漏，不仅会导致流体损失，影响系统的压力和流量，还可能引发安全问题。为了确保连接密封性，在安装管道时，应严格按照操作规程进行施工。对于法兰连接，要确保法兰面平整、清洁，密封垫片的材质和规格符合要求，并正确安装。在拧紧螺栓时，应按照规定扭矩值对称拧紧，保证法兰连接的均匀受力。对于焊接连接，要保证焊接工艺的质量，焊接人员应具备相应的资质和经验，确保焊缝牢固、无气孔、无裂纹等缺陷。此外，在系统安装完成后，需要进行严格的密封性测试，如压力测试、气密性测试等，及时发现并修复泄漏点，确保管道连接的密封性，为提高热交换效率提供保障。

4.3 采用先进的流体分配技术

4.3.1 流量平衡阀的应用

流量平衡阀是一种能够根据系统需求自动调节流体流量的设备，在船舶中央冷却系统中应用流量平衡阀可以有效解决流体分配不均的问题。流量平衡阀通过感应管路中的流量和压力变化，自动调整阀门的开度，使各个支路的流体流量达到设定的平衡状态。例如，在一个并联的中央冷却器系统中，当某一支路的阻力发生变化导致流量减小时，流量平衡阀能够自动检测到这一变化，并增大该支路阀门的开度，增加流体流量，从而使各个中央冷却器内的流体流量保持相对均衡。这样可以确保每个热交换器都能在最佳的流量条件下工作，充分发挥其热交换能力，提高整个系统的热交换效率。同时，流量平衡阀还可以根据船舶不同工况下的冷却需

求，动态调整流体分配，实现系统的优化运行。

4.3.2 智能控制系统的引入

随着科技的不断发展，智能控制系统在船舶领域的应用越来越广泛。在船舶中央冷却机械管路布局优化中，引入智能控制系统能够实现对流体分配的精确控制和实时监测。智能控制系统可以通过安装在管路中的各种传感器，如温度传感器、压力传感器、流量传感器等，实时采集系统运行参数，并将这些数据传输到控制中心。控制中心的计算机根据预设的算法和程序，对采集到的数据进行处理，然后发出指令控制各个阀门和泵的运行状态，实现对流体分配的智能调节。例如，当系统检测到某一发热设备的温度升高时，智能控制系统可以自动增加该设备所在支路的流体流量，提高冷却效果。同时，智能控制系统还可以对系统的运行状态进行预测和预警，及时发现潜在的故障隐患，保障系统的稳定运行，进一步提高热交换效率。

5 结语

船舶中央冷却机械管路布局对热交换效率有着多方面的影响。串联、并联和混合布局各有优劣，在实际应用中需根据船舶的具体情况和需求进行合理选择。管道阻力、流体分配不均以及管路走向与布置等因素严重制约着热交换效率，是优化过程中需要重点关注和解决的问题。通过合理规划管路走向、优化管道连接方式以及采用先进的流体分配技术等策略，能够有效降低管道阻力，实现流体的均匀分配，改善管路走向与布置的合理性，从而显著提高船舶中央冷却系统的热交换效率。这不仅有助于保障船舶动力装置及其他设备的正常运行，减少设备磨损，延长设备使用寿命，还能降低能耗，提高船舶的经济性和整体性能。未来，随着船舶技术的不断发展和对节能减排要求的日益提高，进一步深入研究船舶中央冷却机械管路布局与热交换效率优化，探索更加高效、智能的优化方法和技术，将具有广阔的应用前景和重要的现实意义。

参考文献

- [1] 李茂永. 船舶中央冷却系统节能技术研究[J]. 船舶物资与市场, 2024, 32 (07): 120-122.
- [2] 孟磊. 船舶冷却水系统的可视化仿真及其应用研究[D]. 大连海事大学, 2020.
- [3] 龙珍. 基于机器学习的船舶冷却系统状态预测与评估研究[D]. 哈尔滨工程大学, 2024.
- [4] 王斌, 吴昌脉, 刘媛慧. 船舶中央冷却系统淡水侧水力计算分析[J]. 舰船科学技术, 2023, 45 (24): 74-79.
- [5] 赵豫. 船舶动力辅助系统协同能效管理[D]. 江苏科技大学, 2023.