

船舶电力系统节能优化与能效管理系统设计

李洞芄

中船（天津）船舶制造有限公司 天津 300451

摘要：本文深入探讨了船舶电力系统节能优化与能效管理系统设计的重要性。详细剖析了当前船舶电力系统面临的能源需求大、利用效率低及环境污染严重等挑战。在此基础上，提出了一系列涵盖发电、输电、配电和用电环节的节能优化策略，并全面阐述了能效管理系统的设计方案，包括系统架构、功能及关键技术。通过实际案例分析，验证了节能优化与能效管理系统应用的有效性。研究表明，采用先进的节能技术和管理系统，船舶能够显著提高能源利用效率，降低运营成本，减少对环境的影响，为船舶行业的可持续发展提供有力支撑。

关键词：船舶电力系统；节能优化；能效管理系统；可持续发展

1 引言

在全球航运业蓬勃发展的当下，船舶作为货物运输和人员往来的关键工具，其重要性不言而喻。然而，船舶在运行过程中面临着诸多能源与环境问题。船舶电力系统作为船舶的核心组成部分，其能效水平直接关系到船舶的整体运营成本和环境影响。因此，开展船舶电力系统节能优化与能效管理系统设计的研究具有重要的现实意义，不仅有助于降低船舶运营成本，还能减少船舶对环境的污染，推动航运业向绿色、可持续方向发展。

2 船舶电力系统节能优化策略

2.1 发电环节的节能优化

2.1.1 采用高效发电机

燃气轮机具有体积小、重量轻、启动快等优点，能够在较短时间内达到满负荷运行，适应船舶航行过程中负载变化快的特点。例如，在一些高速客船上，采用燃气轮机作为主发电机，可以快速响应船舶动力的需求变化，提高发电效率。联合动力装置则可以根据船舶的不同工况，合理分配柴油机和燃气轮机的功率输出。在船舶低速航行时，主要由柴油机提供动力；而在高速航行时，燃气轮机则发挥主要作用。通过这种合理分配，可以实现能源的高效利用，降低燃油消耗^[1]。此外，新型的高效发电机技术也在不断涌现。例如，一些采用永磁材料的发电机，具有更高的效率和功率密度。永磁发电机不需要励磁电流，减少了励磁损耗，提高了发电效率。同时，其结构简单，维护成本低，也为船舶电力系统的节能优化提供了新的选择。

2.1.2 应用新能源技术

新能源技术如太阳能、风能等在船舶上的应用逐渐受到关注。在船舶上安装太阳能电池板，可以利用太阳能为船上的照明、通讯等设备供电。一些大型游轮在

甲板上安装了大面积的太阳能电池板，在阳光充足时，太阳能电池板可以为船上的部分设备提供电力，减少了对传统燃油发电机的依赖，降低了燃油消耗和污染物排放。风能发电在船舶上的应用也具有一定的潜力。对于一些长期在海上航行的船舶，可以安装小型风力发电机，利用海风发电。虽然风力发电的功率相对较小，但在一定程度上可以补充电力供应，特别是在船舶停泊或低速航行时，风力发电可以为船上的生活设施提供部分电力。

2.2 输电环节的节能优化

2.2.1 优化电缆布局和选型

选择合适的电缆截面积和材质，能够降低电阻，提高输电效率。在船舶电力系统中，电缆的电阻损耗是输电过程中能量损失的主要部分。通过采用导电性能好的电缆材质，如铜芯电缆，并合理确定电缆的截面积，可以减小电阻，降低输电过程中的能量损耗。例如，在设计船舶电缆布局时，应尽量缩短电缆的长度，避免电缆的迂回和缠绕，以减少电阻损耗。同时，还可以采用一些新型的电缆技术，如超导电缆。超导电缆在低温下电阻为零，能够实现无损耗输电。虽然目前超导电缆的成本较高，但随着技术的不断发展，其成本有望逐渐降低，未来在船舶电力系统中的应用前景广阔。

2.2.2 采用先进输电技术

高压直流输电（HVDC）技术在船舶电力系统中的应用可以减少输电过程中的能量损失，提高系统的稳定性和可靠性。HVDC技术具有输电容量大、输电距离远、损耗小等优点，能够适应船舶电力系统对输电质量的要求。例如，在一些大型船舶上，采用HVDC技术可以实现不同频率和电压等级的交流系统之间的互联，提高了船舶电力系统的灵活性和适应性。此外，柔性交流输电系

统(FACTS)技术也可以在船舶电力系统中得到应用。FACTS技术可以通过控制电力电子器件,快速调节电网的参数,提高电网的稳定性和输电能力。例如,静止无功补偿器(SVC)和静止同步补偿器(STATCOM)可以实时调节电网的无功功率,提高电网的功率因数,减少电能损耗。

2.3 配电环节的节能优化

2.3.1 应用智能配电系统

智能配电系统通过使用智能配电板和自动化控制设备,可以实现对电力的精确分配和管理。智能配电板可以实时监测各用电设备的用电情况,根据不同设备的用电需求和优先级,合理分配电力资源。例如,当船舶上的某些设备处于低负载状态时,智能配电系统可以自动调整其供电电压和电流,降低设备的能耗。自动化控制设备可以根据船舶的航行工况和负载变化,自动调整配电系统的运行参数^[2]。例如,在船舶起航和靠泊时,负载变化较大,自动化控制设备可以及时调整配电系统的开关状态,确保电力供应的稳定性和可靠性。

2.3.2 实时监测与故障处理

智能配电系统能够实时监测电力系统的运行状态,及时发现并处理故障,确保系统的安全稳定运行。通过对电力系统中各设备的运行参数进行实时监测和分析,可以及时发现设备的异常情况,如过载、短路等,并采取相应的措施进行处理,防止故障扩大,减少因故障导致的能源浪费和损失。例如,当智能配电系统检测到某个设备的电流超过额定值时,会自动发出警报,并切断该设备的电源,避免设备因过载而损坏。同时,系统还可以记录故障发生的时间和原因,为后续的维修和改进提供依据。

2.4 用电环节的节能优化

2.4.1 推广使用高效节能设备

采用高效的电动机、照明设备和电子设备,可以显著降低能耗。例如,使用永磁同步电动机替代传统的异步电动机,可以提高电动机的运行效率,降低能耗。永磁同步电动机具有体积小、重量轻、效率高、功率因数高等优点,能够适应船舶电力系统中对电动机的高要求。在照明方面,采用LED照明灯具替代传统的白炽灯和荧光灯,可以降低照明能耗,提高照明质量。LED照明灯具具有发光效率高、寿命长、节能环保等优点,其能耗仅为白炽灯的10%-20%,荧光灯的50%-60%。

2.4.2 采用变频调速技术

对于一些大功率设备,如通风机、水泵等,可以采用变频调速技术,根据实际负载需求调整设备的运行速

度和功率,实现节能运行。变频调速技术可以根据设备的负载情况自动调整其供电频率和电压,使设备始终保持在最佳运行状态,避免设备在低负载状态下浪费能源。例如,在船舶的舱底水泵系统中,采用变频调速技术可以根据船舶的吃水深度和航行速度自动调整水泵的流量和压力。当船舶吃水较浅或航行速度较慢时,水泵的负载较小,此时变频调速系统会自动降低水泵的转速和功率,减少能耗。

3 船舶电力系统能效管理系统设计

3.1 系统架构

船舶电力系统能效管理系统应采用分层分布式系统的设计思想,分为采集层、网络传输层、站控层。

3.1.1 采集层

主要完成电气仪表监测数据的采集,由电能表、采集器、集中器构成。电能表可以实时测量电流、电压、有功功率、无功功率、功率因数、电度量、谐波分量等参数。采集器负责收集电能表的数据,并进行初步的处理和存储。集中器则将多个采集器的数据进行汇总,并上传至网络传输层。例如,在一些船舶上,采集层设备安装在各个配电间和设备机房内,能够准确地采集到各用电设备的实时数据,为后续的分析 and 处理提供基础。

3.1.2 网络传输层

由信号转换设备、协议转换、网络交换机、无线发射装置、传输电缆等组成。信号转换设备可以将采集层传来的模拟信号转换为数字信号,以便进行传输和处理。协议转换设备则负责将不同设备之间的通信协议进行转换,确保数据的兼容性和准确性。网络交换机用于构建船舶内部的局域网,实现数据的快速传输^[3]。无线发射装置可以在一些特殊情况下,如船舶在海上航行时,实现数据的无线传输。传输电缆则负责将采集层的数据传输至网络传输层的其他设备。

3.1.3 站控层

有后台服务器,以及服务层内安装的应用软件、操作系统、数据库、软件中间件等。后台服务器负责数据的存储和管理,应用软件则实现对数据的分析、处理和展示。操作系统为整个系统提供运行环境,数据库用于存储采集到的数据,软件中间件则负责不同软件之间的通信和协调。站控层能够生成各种报表和曲线图,直观地展示船舶电力系统的能耗情况和运行状态,为管理人员提供决策支持。

3.2 系统功能

3.2.1 数据采集与存储

系统能够自动采集船舶电力系统中的各种运行数

据,如电压、电流、功率、电能质量等,并对这些数据进行存储。采集的数据应带有时标,以便后续的分析 and 处理。例如,系统可以每分钟采集一次数据,并将数据存储在数据库中,以便管理人员随时查询和分析。

3.2.2 能耗分析与统计

系统能够对采集到的数据进行能耗分析和统计,计算出船舶在不同工况下的能耗情况,并生成相应的报表和曲线图。通过对能耗数据的分析,可以找出船舶电力系统中的能耗热点和节能潜力点,为制定节能措施提供依据。例如,系统可以分析不同时间段、不同航行工况下的能耗情况,找出能耗较高的设备和时间段,为优化设备运行和航行计划提供参考。

3.2.3 实时监测与预警

系统能够实时监测船舶电力系统的运行状态,及时发现异常情况,并发出预警信号。例如,当某个设备的功率因数过低或谐波含量过高时,系统可以发出预警信号,提醒船员及时采取措施进行处理。同时,系统还可以设置一些阈值,当监测数据超过阈值时,自动触发预警机制,确保船舶电力系统的安全稳定运行。

3.2.4 辅助决策与优化运行

系统能够根据能耗分析和实时监测的结果,为船员提供辅助决策支持。例如,系统可以根据船舶的航行计划和负载情况,优化发电机的运行方式,提高发电效率;或者根据设备的运行状态,调整其运行参数,降低能耗^[4]。例如,在船舶起航前,系统可以根据航行路线和预计的负载情况,制定最优的发电机运行计划,确保在满足电力需求的同时,降低燃油消耗。

3.3 系统关键技术

3.3.1 数据挖掘与分析技术

系统采用数据挖掘和分析技术,对采集到的大量运行数据进行深度挖掘和分析,找出数据之间的关联关系和规律,为能耗分析和辅助决策提供科学依据。例如,通过对历史能耗数据的分析,可以预测未来一段时间内的能耗情况,为船舶的燃油采购和发电计划制定提供依据。

数据挖掘技术可以包括聚类分析、关联规则挖掘、时间序列分析等。聚类分析可以将设备按照能耗特征进行分类,找出能耗相似的设备;关联规则挖掘可以发现不同设备之间的能耗关联关系;时间序列分析可以预测能耗的变化趋势。

3.3.2 智能控制算法

系统采用智能控制算法,如模糊控制、神经网络控制等,对船舶电力系统中的设备进行智能控制。智能控制算法能够根据设备的运行状态和负载情况,自动调整其运行参数,实现设备的最优运行。例如,在船舶的通风系统中,采用模糊控制算法可以根据舱室内的温度和湿度自动调整通风机的转速和风量。模糊控制算法不需要精确的数学模型,能够根据经验规则进行决策,适应性强。

3.3.3 通信与网络技术

系统采用先进的通信和网络技术,如以太网、无线通信技术等,实现船舶电力系统中各设备之间的信息交换和数据传输。通过构建稳定、可靠的通信网络,可以确保系统数据的实时性和准确性,提高系统的运行效率。以太网技术具有传输速度快、稳定性高的优点,适用于船舶内部的数据传输。无线通信技术则可以在一些特殊情况下,如船舶在海上航行时,实现数据的远程传输。

结语

船舶电力系统节能优化与能效管理系统设计是降低船舶运营成本、减少环境污染、提高船舶竞争力的重要手段。通过采用先进的节能技术和管理系统,船舶可以实现能源的高效利用,降低燃油消耗和电力需求。同时,能效管理系统的应用还可以提高船舶电力系统的运行效率 and 安全性,为船舶的可持续发展提供有力支持。在未来的发展中,随着技术的不断进步和环保要求的日益严格,船舶电力系统的节能优化与能效管理系统设计将面临更多的挑战和机遇。我们需要不断探索新的节能技术和管理方法,提高船舶的能源利用效率,为航运业的绿色发展做出贡献。

参考文献

- [1]李小雄.船舶电力系统自动化节能控制技术改进研究[J].舰船科学技术,2021,43(08):94-96.
- [2]杜文芒,曹建国,朱继友.基于智能控制的船舶电力系统优化研究[J].船舶物资与市场,2024,32(04):90-92.
- [3]周广旭.船舶电力系统的设计与优化[J].船舶物资与市场,2024,32(01):73-75.
- [4]王亚荣.船舶电力系统的设计与研究[J].船舶物资与市场,2019,(12):17-18.