

不同工况下船舶电力推进系统能量管理策略分析

蒋美娟, 张燕琴, 周嘉俊

(沪东中华造船(集团)有限公司, 上海 200129)

摘要: 实现船舶运行过程中的节能减排对于节约航运成本具有重要意义, 本文以能量管理系统为研究基础, 对船舶电力推进系统在低速和高速两种不同工况下的能量管理策略进行了研究, 以期能够为提高船舶电力推进系统运行效率提供参考和借鉴。

关键词: 电力推进系统; 节能减排; 能量管理系统; 能量管理策略; 运行效率

中图分类号: U664.14

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2020) 07—0074—03

舰船电力推进技术是当今船舶动力新的发展方向, 从最初的直流电动机推进方式发展至现今的交流电机推进方式, 电力推进已在造船工业中逐渐普及运用。电力推进系统具有“模块化、集成化”的特点, 相比传统推进系统, 其机动性能更好、结构布局更优化, 具有振动噪音小、节能环保、经济性好、安全性好等诸多优点。但是在运行过程中, 如启动、制动、正反转切换会对船舶的电力系统产生较大的扰动, 电网中的电压、电流、功率以及频率等也会跟着产生波动, 这将严重影响推进系统的可靠、稳定与经济性^[1-3]。

为了改善电力系统的运行性能, 提高运行效率, 达到航行与经济效益的灵活配置, 需要对船舶进行建模与能量管理, 找到最佳的能量管理策略^[4-5]。韩北川等^[6]基于模糊控制理论对混合动力船舶能量管理策略进行了分析, 丁峰等^[7]针对船舶综合电力系统的能量管理控制系统进行了全数字仿真分析, 庄绪州等^[8]则提出了船舶全电力推进系统恒功率负载有源阻尼控制策略, 这些研究对于船舶电力推进系统的改进具有重要的指导意义。

本文根据船舶航速与推力以及推进系统与功率之间的相关关系, 结合船舶发电功率, 提出船舶电力推进系统在不同工况下的能量管理控制策略, 可为实现船舶节能减排和运行效率的提升提供参考和借鉴。

1 能量管理系统简介

1.1 功能需求

为了满足船舶运行过程中的负荷需求、稳定性与安全性, 能量管理系统需要具有机组调度与控制、频率控制与负载分配、电压控制与负载分配、推进系统的功率限制、快速减载以及重载询问等六项功能。

1.2 能量管理策略制定流程

在船舶设计的整个过程中, 需要根据性能需求, 对推进系统的能量管理策略进行制定和优化。其过程为: 首先根据电力系统的相关特点, 分析电力推进系统的流量流向, 确定产能和耗能设备及装置。其次, 根据电机和船桨的相关匹配特性, 计算不同航速(不同工况)下的负荷需求量。接着, 确定不同工况下的发电工作模式。

最后, 综合考虑经济、安全与可靠性, 得到不同工况下的能量管理策略(见图1)。

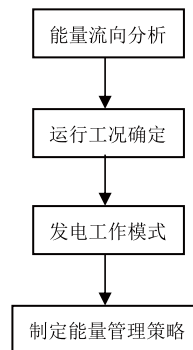


图1 能量管理策略制定流程示意

2 电力推进系统能量流向分析

2.1 电力推进系统结构

船舶电力推进系统一般包括原动机、发电机、变频设备、控制设备、螺旋桨以及推进机等其他设备, 其原理是发电机将原动机的机械能转化为电能, 再通过配电装置进行变频调速, 驱动推进电机后带动螺旋桨运转, 实现船舶的航行(见图2)。

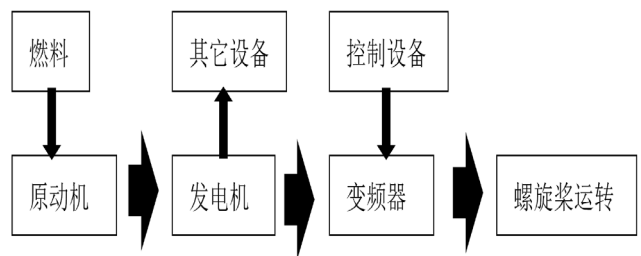


图2 电力推进系统结构示意图

2.2 能量流向分析

根据船舶推力系统的结构和功能特征, 将其分为发电系统、配电输电系统以及负载系统三个部分, 其中发电系统主要由四台柴油发电机组组成, 系统整体的能量流向为发电机组将原动机产生的机械能转化为电能, 电动机再将发电机组提供的电能转化为旋转机械能, 螺旋桨在旋转机械能的驱动下提供推进动力, 在此过程中, 会有一定比例的能量损耗, 但占比仅为10%~20%。通过

推进系统整体的配合关系，可以得到不同工况下的门限阈值，据此可以确定得到船舶发电机组的工作模式。船舶推进系统能量流向示意图3。

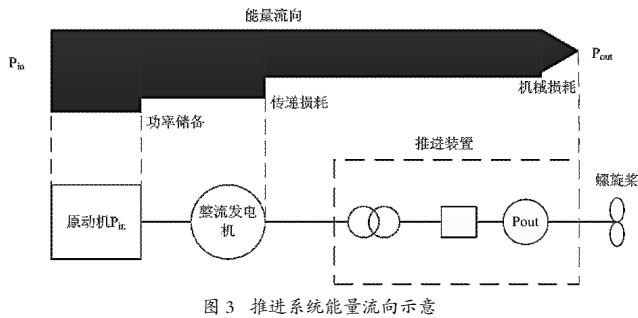


图3 推进系统能量流向示意图

3 不同工况能量管理策略

不同的船舶航速下，需要调度和启用不同数量的发电机组，以实现最高效的运行管理。在一台发电机组下（假设容量为 P_e ），其发电输出和推进电机输出功率分别为 $0.864P_e$ 和 $0.74P_e$ ，能获得的最大航速是7节，在两台发电机组下，其发电输出和推进电机输出功率分别为 $1.728P_e$ 和 $1.44P_e$ ，能获得的最大航速是10节，在三台发电机组下其发电输出和推进电机输出功率分别为 $2.592P_e$ 和 $2.24P_e$ ，能获得的最大航速是14节，在四台发电机组下，其发电输出和推进电机输出功率分别为 $3.456P_e$ 和 $3.04P_e$ ，能获得的最大航速是20节。根据航行任务需要，对发电机组实行调度和控制管理，以期能够实现最佳的运行效率。文中将0~10节作为低速工况，将10~20节作为高速工况分别进行能量管理策略的分析。

3.1 低速工况

低速工况为航速0~10节，假设一台柴油发电机组的额定功率达到85%时，需要进行增机（即临界增机条件），那么剩余的可用功率阈值为15%（ $0.15P_e$ ），由于每台发电机组容量相同，因此，可以按照固定可用功率增机模式进行船舶推力系统能量管理控制；但是，当柴油机的额定功率低于30%时，容易在燃烧室和排气管处积累大量的烟灰从而经常导致点火失败，故当额定功率小于一定值后也需要发出减机指令，关闭多余的不需要的发电机组，保守起见，约定可用功率低于 $1.35P_e$ 时对系统开始发出减机指令。

综上所述，船舶推力系统在低速工况下的能量管理策略为：当可用功率 $\leq 0.15P_e$ 时，能量管理系统对推力系统发出增机指令，当可用功率 $\leq 0.10P_e$ 时，能量管理系统对推进系统发出限制使用的指令，直到第二台发电机组并网成功后才解除其限制指令，当可用功率大于 $1.35P_e$ 时，能量管理系统对船舶推力系统发出减机指令。另外，能量管理系统还设置了故障预警指令，即当其中一台发电机发生故障后，为了保证推力系统可用功率仍然在 $0.15P_e$ 之上，对推力系统发出快速减负载指令，确保推力系

统始终处于可靠安全的运行状态，见图4。

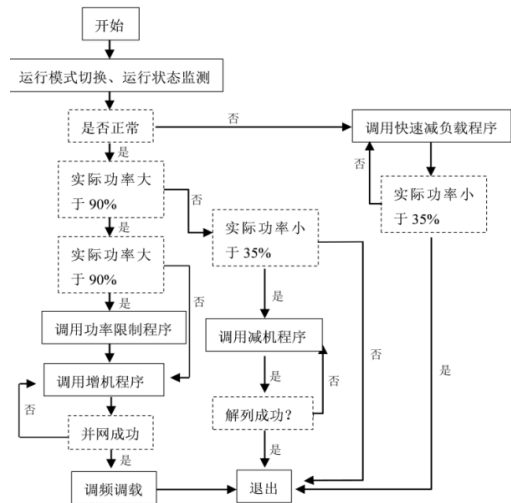


图4 低速工况下的能量管理策略示意图

3.2 高速工况

当船舶航速为10~20节时，螺旋桨处于高负载工作状态，此时电网功率的波动较大，且与螺旋桨波动呈三次方成正比，螺旋桨的微弱波动均会引起船舶电力系统功率的较大波动，故在此状态下应该尽量避免频繁启停发电机组。高速运行状况时，将增机功率阈值设置为 $0.9P_e$ ，当可用功率小于 $0.1P_e$ 后，对其余发电机组发出均分指令，减机阈值仍设置为可用功率大于 $1.35P_e$ ，其减机过程与低速工况下的能量管理一致。

综上所述，可将船舶推力系统在高速工况下的能量管理策略总结为：当实际功率达到并网机组容量的90%后（可用功率 $\leq 0.10P_e$ ），而负载功率在继续增大时，能量管理系统需要对推力系统发出增机指令，在第三台机组并网成功后，再均分负载，以此类推，第四台机组并网也是如此，最终实现四台发电机组共同发电，减机程序和快速减机程序原理与低速状况时一致，此处不再赘述。

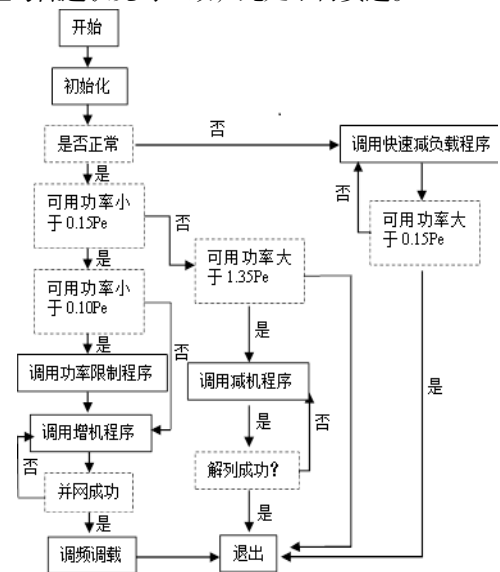


图5 高速工况下的能量管理策略示意图

浅谈液货船热应力计算分析

赵英策, 董炼洪

(浙江欣海船舶设计研究院股份有限公司, 浙江 舟山 316100)

摘要: 散装运输液化气体船以及在大气压力下载运液货温度大于 80℃ 的散装运输危险化学品船、油船和沥青船等船舶, 因其液货区所载货品温度与周边环境温度差异较大, 这将在液货区钢结构上产生热应力集中, 因热应力的过度集中将对船舶钢性产生极度不利影响, 故在船舶设计过程中即应对液货舱结构温度场及其热应力进行分析。本文基于 MSC.PATRAN&NASTRAN 平台, 针对液货船热应力计算过程中需注意的相关事项及作业流程进行一些简单的个人探讨。

关键词: 液货船; 热应力; 建模; 分析;

中图分类号: U662.2

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2020) 07—0076—03

1 基本概念

液货船热力学分析仅涉及稳态热传导(系统的温度场与时间无关)和空气对流换热的温度计算及热膨胀的热力计算。以下先简单介绍这些基本概念:

热应力是指温度改变时, 物体由于外在约束以及内部各部门之间的相互约束, 使其不能完全自由胀缩而产生的应力。

热传递(热传热)是物理学上的一个物理现象, 实指由于温度差引起的热能传递现象。在热传递过程中内能的改变量叫热量。它是内能的变化度量。热传递主要存在三种基本形式: 热传导、热对流、热辐射。

当物体内部存在温度差时, 热量将从高温部分传递到低温部分, 而且不同的物体相互接触时热量会从高温物体传递到低温物体, 这种热量传递方式称为热传递。热传导是固体热传递的主要方式。在气体或液

体等流体中, 热的传递过程往往和对流同时发生。傅立叶定律是热传导学中的一个基本定律, 它指出导热速率与微元所在的温度梯度成正比。并引入一个热传导率(或称热传导系数)的概念; 它是指单位温度梯度下的导热热通量, 代表物质的导热能力。物体的导热率与材料的组成、结构、温度、湿度、压强以及聚集状态等多种因素有关。一般来说, 金属的导热率最大, 非金属次之, 液体的较小, 而气体的最小。

对流是指温度不同的各部分流体之间发生相对运动引起的热量传递方式。高温物体表面常发生对流现象, 即高温表面空气受热膨胀密度降低并向上流动, 而密度较大的冷空气下降代替原来受热空气, 形成对流热交换。对流换热的基本公式是牛顿冷却公式。并引入空气对流换热系数, 它代表对流传热能力, 影响对流传热系数的主要因素有: 引起流动的原因、流动

4 结论

基于能量管理系统理论, 对船舶推力系统在不同工况下的能量管理策略进行了研究, 提出: 当船舶处于低速运行工况时, 增机指令发出阈值为 0.15Pe, 限制指令发出阈值为 0.1Pe, 减机指令发出阈值为 1.35Pe; 当船舶处于高速运行工况时, 增机指令发出阈值为 0.9Pe, 减机指令发出阈值为 1.35Pe。相关研究成果可为提高船舶电力推进系统运行效率提供参考。

参考文献:

[1] 张文保, 施伟锋, 兰莹, 顾思宇, 卓金宝. 基于层次分析—模糊综合评估法的电力推进船舶电能质量实时评估系统[J]. 中国舰船研究, 2019, 14(06): 48—57.

[2] 侯淑芳, 钱威岳. 内河船舶电力推进系统的节能与环境效益评估[J]. 南通航运职业技术学院学报, 2019, 18(02): 42—46.

[3] 郭欣. 船舶电力推进系统在波浪中的功率节能与转速控制研究[J]. 舰船科学技术, 2018, 40(24): 79—81.

[4] 张逸峰, 王锡淮. 混合动力船舶的建模与能量管理[J]. 船电技术, 2018, 38(07): 32—37.

[5] 吴文传, 张伯明, 孙宏斌, 王彬, 杨越, 刘昊天, 蔺晨晖, 王思远. 主动配电网能量管理与分布式资源集群控制[J/OL]. 电力系统自动化: 1—10[2020-04-15]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1180.TP.20200205.1807.004.html>.

[6] 韩北川. 基于模糊控制的混合动力船舶能量管理策略研究[J]. 机电工程技术, 2019, 48(07): 84—87.

[7] 丁峰, 肖杨婷, 张少华. 船舶综合电力系统的能量管理控制系统与全数字仿真研究[J]. 船舶工程, 2018, 40(05): 46—51.

[8] 庄绪州, 张勤进, 刘彦呈, 郭洪智, 张博. 船舶全电力推进系统恒功率负载有源阻尼控制策略[J]. 电工技术学报, 2020, 35(S1): 101—109.