

船舶总体性能优化设计的思考

刘合龙

武汉听涛海洋工程有限责任公司 湖北 武汉 430000

摘要：船舶工业的迅猛推进促使船舶总体性能优化设计成为提升竞争力的核心要素。此过程不仅强化船舶力学性能，还有效削减成本，增进实用与工艺性能。船舶优化设计跨越多个学科，展现出复杂且多样的特性。本文深入剖析船舶总体性能优化设计的方法精髓，包括结构布局、动力配置、经济性与环保性的综合考量，旨在构建一个全面而实用的设计框架，为船舶设计师提供科学指导与参考，助力船舶工业向更高效、环保、经济的方向发展。

关键词：船舶；结构优化；设计

引言：本文深入探讨了船舶总体性能优化设计的策略与关键点，其核心目标是通过改良船舶结构，全面提升其力学性能、经济效率、实用性与工艺水平。优化设计的核心理念在于探索最适宜的结构尺寸与组合模式，确保船舶在保持高强度与刚度的同时，有效控制经济成本。文章不仅引入了船舶电气智能设计系统，还详细剖析了多种优化设计方法，诸如逐步改进、变值分析、最优化技术及智能优化算法等。文章还着重讨论了设计变量的选定、目标函数的设定、约束条件的表述及多目标优化模型的构建等优化设计中的核心注意事项。

1 船舶电气智能设计系统概述

船舶电气智能设计系统是当今船舶行业技术革新的重要产物，它融合了先进的智能化技术、自动化技术和信息技术，为船舶电气系统的设计和优化提供了全新的解决方案。该系统旨在提高船舶电气系统的性能、安全性和运营效率，同时满足环保和节能的要求。船舶电气智能设计系统的核心在于其智能化特性。通过集成传感器技术、数据分析与处理技术、智能控制技术等，系统能够实现对船舶电气设备的精准控制和监测。例如，在船舶电站的管理中，智能设计系统能够实时采集发电机的电压、电流、功率等关键参数，并根据船舶的负载变化自动调整发电机的输出功率，确保电力供应的稳定和高效^[1]。这种智能化的监测和控制不仅减轻了船员的工作强度，还大大提高了电力系统的可靠性和安全性。

2 船舶总体性能优化设计的特点

2.1 具有复杂性

船舶总体性能优化设计是一项极具复杂性的工程，这种复杂性首先体现在设计要素的多样性上。船舶设计不仅需要考虑到船体的结构强度、稳定性与耐久性，还需兼顾航行性能、操纵性能以及经济性等多个方面。每一个设计要素都涉及大量的技术参数和变量，这些参数和

变量之间又存在复杂的相互作用关系，使得设计过程变得极为繁琐。船舶的总体性能优化设计还需考虑多种外部因素的影响，如航行环境、气候条件、装载要求等。这些因素的不确定性增加了设计的复杂性，要求设计师在进行优化时必须进行大量的模拟实验和数据分析，以确保设计的可靠性和实用性。船舶设计是一个跨学科的综合问题，涉及流体力学、结构力学、船舶工程、电气工程等多个领域的知识。这种跨学科的特性也进一步增加了设计的复杂性，要求设计师具备广泛的知识背景和深厚的专业素养。

2.2 强调实践与迭代

在这一过程中，实践与迭代扮演了至关重要的角色。设计者在进行船舶总体性能优化设计时，往往先通过理论分析和计算来构建初步的设计方案。这些方案是否真正可行，是否能在实际运营中达到预期的效果，还需要通过实际建造和测试来验证。实践与迭代的过程不仅能够帮助设计者发现设计方案中可能存在的问题和不足，还能够为他们提供宝贵的经验和数据支持，以便进行必要的调整和优化。通过实践与迭代，设计者可以不断积累经验，提升设计水平。每一次的建造和测试都是对设计方案的检验和修正，设计者可以根据测试结果对设计方案进行微调，使其更加完善^[2]。这种持续改进的精神是船舶总体性能优化设计得以不断进步的重要动力。随着技术的不断进步和市场需求的变化，设计者还需要不断更新设计理念和办法。实践与迭代的过程为他们提供了紧跟时代步伐的机会，使他们能够灵活应对新的挑战 and 机遇，为船舶工业的发展注入新的活力。

2.3 矛盾的解决具有多样性

在船舶总体性能优化设计中，各种设计要素之间往往存在矛盾和冲突。例如，提高船舶的航行速度可能会牺牲其燃油经济性；增强船体的结构强度可能会增加

其重量和制造成本。这些矛盾和冲突使得设计过程充满了挑战。解决这些矛盾的方法具有多样性。设计师可以通过创新的设计理念和技术手段来寻求平衡和妥协。例如,采用先进的材料和技术来减轻船体重量,同时提高结构强度;通过优化船体线型和推进系统来提高航行速度和燃油经济性。设计师还可以利用多学科优化设计方法和工具,综合考虑各个设计要素之间的相互影响,找到最优的设计方案。在实践中,设计师还需根据具体的船舶类型和用途,灵活调整设计策略和方法,以满足不同的需求和约束条件。这种多样性和灵活性是船舶总体性能优化设计的重要特点之一。

3 船舶总体性能优化设计的问题

3.1 航行性能与经济性能的平衡

在船舶总体性能优化设计中,航行性能与经济性能之间的平衡是一个核心问题。一方面,提高航行性能(如速度、续航力和操纵性)需要增加动力系统和推进系统的复杂性,这往往会导致建造成本和运营成本的上升。另一方面,过度追求经济性能可能会牺牲航行性能,影响船舶的运输效率和市场竞争力。因此,设计者需要在两者之间找到最佳平衡点,通过优化船体形状、动力系统配置和航行策略等手段,实现航行性能与经济性能的双重提升。

3.2 环保法规与技术创新的压力

随着全球环保意识的增强,国际海事组织(IMO)等监管机构不断出台新的环保法规,对船舶的排放控制和能效提出了更高要求。这给船舶总体性能优化设计带来了巨大压力。设计者需要在满足法规要求的同时,积极探索和应用新技术,如低碳材料、新能源技术和智能化控制系统等,以降低船舶的能耗和排放。然而,这些新技术的研发和应用往往需要大量的资金和时间投入,对船舶制造业构成了严峻挑战^[1]。

3.3 多目标优化算法的复杂性

船舶总体性能优化设计涉及多个目标函数和约束条件,如速度最大化、燃油消耗最小化、结构重量最小化等。这些目标之间往往存在相互冲突和制约关系,使得优化问题变得极为复杂。传统的单目标优化方法已经无法满足这种复杂多目标优化问题的需求。因此,设计者需要采用先进的多目标优化算法,如遗传算法、粒子群优化等,来求解这些优化问题。这些算法的实现和调试过程相对复杂,需要设计者具备深厚的数学和计算机科学背景。

4 船舶总体性能优化设计方法研究

4.1 逐步改进方法

逐步改进方法在船舶总体性能设计工作中极为常见,其基础在于对分析估算的依赖。该方法首先对研制任务书中的内容进行详细分析,并在多个备选设计方案中选择最佳方案。随后,对选定方案进行排水量、不同部位性能以及主要尺度的估算。通过多次反复研究,以期获得理想的设计结果。当具备丰富的资料时,采用逐步改进方法能以较少的工作量获得理想的设计结果。然而,该方法的难点在于难以证实所选方案的可行性。逐步改进方法强调在现有基础上进行微调,通过不断的试验和修正,逐步逼近最优解。这种方法虽然较为保守,但能够确保设计过程的稳定性和可控性,适用于对设计改动要求不高的场景。

4.2 变值方法

变值方法,也被称为网格法或参数分析法,是船舶总体性能设计过程中优选方案的主要方法。该方法通过系统地改变对设计船主要性能有显著影响的船舶要素,如主尺度参数,形成若干组尺度方案。然后,对每组方案进行各项性能的计算,比较各组方案的优劣,最终选出最优方案。变值方法的关键在于选取那些对设计船主要性能影响较大的要素进行变值计算,以抓住设计的关键点。该方法能够综合考虑多个设计参数的影响,通过大量的计算和比较,获得较为准确的最优解。变值方法的计算工作量较大,需要耗费较多的时间和资源。

4.3 最优化方法

最优化方法是利用近代数学中的有约束多元函数极值求解方法来寻找最优方案。该方法首先需要确定设计变量、目标函数以及约束条件,构建出描述船舶技术及经济性能的数学模型。然后,选用适当的最优化算法,通过计算机程序进行寻优计算,直到找到满足约束准则的最优解^[4]。最优化方法能够以较快的速度给出最优解,并且能够在最优解附近进行进一步的计算和分析,了解目标函数在最优解附近的变化情况。该方法在理论上已经较为完善,具有广泛的应用前景。最优化方法的效果取决于数学模型的准确性和基础数据的可靠性,因此在实际应用中需要特别注意。

4.4 智能优化算法

智能优化算法通过模拟自然现象或过程来构建优化方法,具有通用性好、搜索能力强和良好的鲁棒性。在船舶总体性能优化设计中,智能优化算法能够解决搜索空间高度复杂、存在多个冲突目标的优化问题。常见的智能优化算法包括遗传算法、粒子群算法、蚁群算法、模拟退火算法和神经网络等。这些算法通过模拟生物进化、群体行为等自然现象,实现对设计空间的智能搜索

和寻优。智能优化算法在船舶设计中的应用已经取得了显著的效果，能够显著提高设计效率和设计质量。智能优化算法的计算复杂度较高，需要较长的计算时间和较高的计算资源。因此，在实际应用中需要综合考虑计算资源、设计需求和时间成本等因素。

5 船舶总体性能优化设计注意事项

5.1 设计变量的确定

船舶总体性能优化设计的第一步是确定设计变量。设计变量是优化设计中的关键因素，它们决定了船舶的结构和性能。在选择设计变量时，需要综合考虑船舶的长宽比、船体结构、机械系统、材料性能等多个方面。设计变量通常包括船体的几何参数（如长度、宽度、高度等），以及机械系统的参数（如发动机功率、传动效率等）。这些变量的选择应基于船舶的运输需求、安全性能和经济效益。例如，通过调整船体的长宽比，可以优化船舶的航行稳定性和抗风浪能力。此外，设计变量还应考虑船舶的建造工艺和维护成本，以确保优化设计的可行性和经济性。

5.2 目标函数的构建

目标函数是优化设计中的核心，它用于衡量设计方案的优劣。在构建目标函数时，需要综合考虑多个性能指标，如船舶的运输能力、航行速度、燃油消耗等。目标函数的构建应基于实际的应用场景和需求。例如，对于一艘需要频繁航行的货船，目标函数可能包括最大化运输能力和最小化燃油消耗。而对于一艘需要长时间航行的油轮，目标函数可能更注重航行稳定性和燃油经济性。在构建目标函数时，还需要考虑不同性能指标之间的权衡关系。例如，提高航行速度可能会增加燃油消耗，因此需要在速度和油耗之间找到一个平衡点。

5.3 约束条件的表达

约束条件是优化设计中的限制条件，它们确保了设计方案的可行性和安全性。在船舶总体性能优化设计中，约束条件通常包括结构强度、稳定性、航行环境等多个方面。例如，结构强度约束确保了船体在承受各种外力和压力时不会损坏。稳定性约束则要求船舶在各种

航行条件下都能保持稳定的姿态。航行环境约束则考虑了风力、浪高、流速等自然因素对船舶性能的影响^[5]。

5.4 多目标优化数学模型的构建

多目标优化数学模型是船舶总体性能优化设计的核心工具。它综合考虑了多个目标函数和约束条件，通过数学模型求解最优解。在构建多目标优化数学模型时，需要首先定义目标函数和约束条件。然后，利用数学优化算法（如遗传算法、粒子群算法等）进行求解。这些算法通过迭代搜索，逐步逼近最优解。多目标优化数学模型的优势在于能够综合考虑多个性能指标，避免了单一目标优化可能带来的片面性。它能够为船舶总体性能优化设计提供更加科学、全面的决策支持。

结束语

综上所述，船舶总体性能优化设计是船舶工业发展的关键环节，它融合了多学科知识，旨在提升船舶的航行效率、经济性和环保性能。通过科学的方法和先进的技术手段，设计者能够精准地确定设计变量，构建合理的目标函数，并有效表达约束条件，从而构建出多目标优化的数学模型。随着智能化技术的不断发展和应用，船舶总体性能优化设计将变得更加高效和精准，为船舶制造业的转型升级提供有力支撑。我们有理由相信，在未来的发展中，船舶总体性能优化设计将继续发挥重要作用，推动船舶工业向更加绿色、智能和高效的方向发展。

参考文献

- [1]高兆进.船舶结构优化设计方法及应用实践微探[J].科技创新与应用,2018,(05):103-104.
- [2]程维平.某型高速船船体结构生产设计优化[J].船舶标准化工程师,2018,051(02):53-56.
- [3]景娴,顾伟锋,陈磊.基于拓扑优化的船舶结构优化设计探讨[J].中国科技投资,2019,(09):221.
- [4]王鹏,许骥,焦德义.船舶总体性能优化设计研究综述[J].船舶标准化工程师,2017,50(01):17-20+27.
- [5]李凯,钱浩,龚梦瑶,等.基于数字孪生技术的数字化舰船及其应用探索[J].船舶,2018(6):101-108.