

船舶工程材料质量检测与性能评估研究

郭荣学

中国船级社质量认证有限公司山东分公司 山东 青岛 266000

摘要：船舶工程材料的质量检测与性能评估对于保障船舶安全、提高船舶性能至关重要。本文深入探讨了船舶工程材料质量检测与性能评估的重要性，详细介绍了常用的材料质量检测方法和性能评估指标，全面分析了影响材料性能的因素，并提出了提升材料质量检测与性能评估水平的策略。通过加强材料质量控制、优化性能评估体系、引进先进检测技术和加强人才培养，可提升船舶工程材料的质量与性能，推动船舶工业的发展。

关键词：船舶工程；材料质量检测；性能评估；检测方法

引言

船舶工程作为海洋运输和海洋开发的重要领域，其材料的质量与性能直接关系到船舶的安全性、可靠性和使用寿命。随着船舶工程技术的不断发展，对材料的要求也越来越高。例如，现代大型集装箱船、油轮等船舶，需要在恶劣的海洋环境中长期航行，这就要求船舶工程材料具有高强度、高韧性、良好的耐腐蚀性和抗疲劳性能等。因此，对船舶工程材料的质量检测与性能评估进行研究，对于保障船舶的安全航行、提高船舶的运营效率以及推动船舶工业的发展具有重要意义。

1 船舶工程材料质量检测方法

1.1 化学成分分析

化学成分是决定材料性能的重要因素之一。通过化学成分分析，可以了解材料的元素组成和含量，从而判断材料是否符合设计要求。常用的化学成分分析方法包括光谱分析、原子吸收光谱分析、X射线荧光光谱分析等。

光谱分析是一种快速、准确的化学成分分析方法。它利用物质与光相互作用产生的光谱特性，来确定材料中元素的种类和含量。例如，在检测船用钢材时，通过火花光谱分析可以快速测定钢材中的碳、硅、锰、磷、硫等元素的含量。具体操作时，将钢材样品放在火花台上，通过电极放电产生火花，火花中的激发态原子发射出特征光谱，通过光谱仪对光谱进行分析，就可以得到各元素的含量。

原子吸收光谱分析是基于原子对特定波长光的吸收特性来测定元素含量的方法。它具有灵敏度高、选择性好等优点。例如，在检测船用铝合金中的微量元素时，可以采用原子吸收光谱分析。将铝合金样品溶解后，制成溶液，然后将溶液喷入原子吸收光谱仪的火焰中，火焰中的铝原子吸收特定波长的光，通过测量吸收光的强度，就可以计算出铝元素的含量。

X射线荧光光谱分析是一种非破坏性的化学成分分析方法。它利用样品在X射线照射下产生的荧光X射线来确定元素的种类和含量。例如，在检测船用复合材料中的元素分布时，可以采用X射线荧光光谱分析^[1]。将复合材料样品放在X射线荧光光谱仪的样品台上，用X射线照射样品，样品中的元素会发射出荧光X射线，通过检测荧光X射线的波长和强度，就可以得到元素的种类和含量分布。

1.2 力学性能测试

力学性能是材料在使用过程中抵抗各种外力的能力，包括强度、硬度、韧性、塑性等。力学性能测试是评估材料质量的重要手段。常用的力学性能测试方法包括拉伸试验、压缩试验、弯曲试验、冲击试验等。

拉伸试验是测定材料抗拉强度和屈服强度等基本力学性能的重要方法。在拉伸试验中，将标准试样安装在拉伸试验机上，逐渐施加拉力，直到试样断裂。通过记录拉伸过程中的载荷和变形数据，可以绘制出应力-应变曲线，从而得到材料的抗拉强度、屈服强度、伸长率等性能指标。例如，对于船用钢材，拉伸试验可以准确测定其强度指标，判断其是否满足船体结构的设计要求。

压缩试验主要用于测定材料在压缩载荷作用下的力学性能。在压缩试验中，将试样放在压力试验机的压板之间，逐渐施加压力，直到试样发生变形或破坏。通过记录压缩过程中的载荷和变形数据，可以得到材料的压缩强度、弹性模量等性能指标。例如，对于一些承受压缩载荷的船舶部件，如船用轴承等，压缩试验可以评估其承载能力。

弯曲试验用于测定材料在弯曲载荷作用下的力学性能。在弯曲试验中，将试样放在弯曲试验机的支座上，施加弯曲力，使试样发生弯曲变形。通过测量弯曲过程中的载荷和变形数据，可以得到材料的抗弯强度等性能

指标。例如，对于船用板材，弯曲试验可以检验其在加工和使用过程中的抗弯曲能力。

冲击试验用于评估材料的韧性。在冲击试验中，将标准试样放在冲击试验机的支座上，用摆锤冲击试样，记录试样断裂时所吸收的能量。冲击吸收功越大，材料的韧性越好。例如，对于船用钢材，冲击试验可以检测其在低温环境下的韧性，确保船舶在寒冷海域航行时的安全性。

1.3 无损检测

无损检测是在不破坏材料或构件的前提下，检测其内部缺陷和性能的方法。无损检测具有检测速度快、准确性高、对材料无损伤等优点，在船舶工程材料质量检测中得到广泛应用。常用的无损检测方法包括超声波检测、射线检测、磁粉检测、渗透检测等。

超声波检测是利用超声波在材料中传播的特性来检测材料内部缺陷的方法。超声波在材料中传播时，遇到缺陷会发生反射、折射等现象，通过检测反射波和折射波的情况，可以确定缺陷的位置、大小和形状。例如，在检测船体焊缝质量时，超声波检测可以发现焊缝内部的裂纹、气孔等缺陷。具体操作时，将超声波探头放在焊缝表面，向焊缝中发射超声波，通过接收反射波信号，在显示屏上显示缺陷的情况。

射线检测是利用射线（如X射线、 γ 射线）穿透材料时，由于材料内部缺陷对射线的吸收和散射作用不同，从而在底片上形成不同黑度的影像来检测缺陷的方法。射线检测可以直观地显示材料内部的缺陷情况，对于检测焊缝、铸件等材料的内部缺陷非常有效。例如，在检测船用铸钢件时，射线检测可以发现铸件内部的缩孔、夹杂等缺陷。

磁粉检测是利用铁磁性材料在磁场中被磁化后，缺陷处会产生漏磁场，吸附磁粉形成磁痕来检测缺陷的方法。磁粉检测主要用于检测铁磁性材料表面和近表面的裂纹、夹渣等缺陷^[2]。例如，在检测船用轴类零件时，磁粉检测可以发现轴表面的裂纹，确保轴的安全运行。

渗透检测是利用渗透液渗入材料表面开口缺陷中，然后用显像剂将渗透液吸出，从而在材料表面显示缺陷痕迹的方法。渗透检测主要用于检测非多孔性材料表面开口缺陷，如裂纹、疏松等。例如，在检测船用铝合金零件的表面缺陷时，渗透检测可以发现微小的裂纹，保证零件的质量。

1.4 金相分析

金相分析是通过观察材料的显微组织结构，分析材料的成分、组织和性能之间的关系。金相分析可以揭示

材料的内部结构和相变规律，为材料的性能评估和质量改进提供依据。金相分析的第一步是制备样品。通常需要将材料切割成合适大小的试样，然后进行打磨、抛光等处理，使试样表面达到镜面效果。最后，对试样进行腐蚀，使材料的显微组织显现出来。将制备好的样品放在金相显微镜下观察，可以看到材料的晶粒大小、形态、相组成等显微组织结构。例如，通过观察船用钢材的金相组织，可以判断钢材的热处理工艺是否合理。如果钢材的晶粒粗大，说明热处理温度可能过高或冷却速度过慢，这会影响钢材的强度和韧性。通过金相分析还可以确定材料中的相组成和相变情况。例如，在船用合金材料中，不同的合金元素会形成不同的相，这些相的性能差异会影响合金材料的整体性能。通过相分析，可以优化合金材料的成分和热处理工艺，提高材料的性能。

2 船舶工程材料性能评估指标

2.1 物理性能

密度是材料的基本物理性能之一，它反映了材料单位体积的质量。对于船舶工程材料来说，密度的大小直接影响到船舶的自重和浮力。例如，采用低密度材料可以降低船舶的自重，提高船舶的载重量和航速。

热导率是材料传导热量的能力。在船舶工程中，热导率对于船舶的隔热和散热性能有重要影响。例如，船用隔热材料需要具有较低的热导率，以减少热量的传递，提高船舶的能效；而船用冷却系统则需要具有较高热导率的材料，以确保热量的有效散发。

电导率是材料传导电流的能力。在船舶电气系统中，电导率是一个重要的性能指标。例如，船用电缆需要具有良好的电导率，以确保电力的稳定传输；而船用绝缘材料则需要具有较低的电导率，以防止漏电和短路等安全事故的发生。

2.2 力学性能

强度是材料抵抗外力破坏的能力。在船舶工程中，强度是评估材料性能的重要指标之一。例如，船体结构材料需要具有足够的强度，以承受海浪、风暴等外部载荷的作用；而船用机械设备也需要具有高强度的材料，以确保其正常运行和可靠性。

韧性是材料在受到外力作用时发生塑性变形而不断裂的能力。韧性好的材料在受到冲击或振动时不易发生脆性断裂，从而提高船舶的安全性。例如，船用钢板需要具有一定的韧性，以防止在受到撞击时发生脆性断裂。

疲劳性能是材料在交变载荷作用下抵抗疲劳破坏的能力。船舶在航行过程中会受到周期性的波浪载荷和机械振动等交变载荷的作用，因此材料的疲劳性能对于船

船的安全性和使用寿命具有重要意义^[3]。例如,船用螺旋桨、轴系等部件需要具有良好的疲劳性能,以确保其长期稳定运行。

2.3 化学性能

耐腐蚀性是材料抵抗化学介质腐蚀的能力。船舶长期在海洋环境中航行,海水中的盐分、氧气等化学物质会对船舶材料产生腐蚀作用。因此,耐腐蚀性是评估船舶工程材料性能的重要指标之一。例如,船用钢材需要具有良好的耐腐蚀性,以防止海水腐蚀导致钢材强度下降和结构损坏。

抗氧化性是材料抵抗氧化反应发生的能力。在船舶工程中,一些材料在高温或氧化性介质中容易发生氧化反应,导致材料性能下降。因此,抗氧化性也是评估材料性能的重要指标之一。例如,船用高温部件需要具有良好的抗氧化性,以确保其在高温环境下正常运行。

2.4 功能特性

阻燃性能是材料抵抗燃烧的能力。在船舶工程中,火灾是一种严重的安全事故,因此材料的阻燃性能对于保障船舶安全具有重要意义。例如,船用内饰材料、电缆等需要具有良好的阻燃性能,以防止火灾的发生和蔓延。

电磁性能是材料在电磁场作用下的响应特性。在船舶电气系统和通信系统中,电磁性能是一个重要的性能指标。例如,船用屏蔽材料需要具有良好的电磁屏蔽性能,以防止电磁干扰对船舶电气系统和通信系统的正常运行产生影响。

3 提升船舶工程材料质量检测与性能评估水平的策略

3.1 加强材料质量控制

在原材料采购环节,应建立严格的供应商审核制度,确保原材料的质量符合设计要求。同时,对原材料进行严格的入库检验,包括化学成分分析、力学性能测试、无损检测等,以确保原材料的质量可靠。根据材料的特性和使用要求,优化加工工艺参数,确保加工过程中的质量控制。例如,在热处理过程中,应严格控制加热温度、保温时间和冷却速度等参数,以获得理想的组织结构和性能特点。在材料加工过程中,应加强过程监控和检测,及时发现和解决质量问题。例如,在焊接过程中,应采用无损检测方法对焊缝质量进行实时检测,确保焊缝的质量符合设计要求。

3.2 优化性能评估体系

根据船舶工程材料的使用要求,建立全面的性能评估指标体系,包括物理性能、力学性能、化学性能和功能特性等方面。同时,根据不同的材料类型和使用环境,制定具体的评估标准和方法。随着科技的不断发展,新的评估方法和技术不断涌现。在船舶工程材料性能评估中,应积极采用先进的评估方法和技术,如纳米压痕技术、声发射检测技术等,以提高评估的准确性和可靠性。在性能评估过程中,应加强数据分析和挖掘工作,通过对大量实验数据的分析和处理,发现材料性能与成分、加工工艺、使用环境等因素之间的关系规律,为材料性能优化和质量改进提供依据。

3.3 引进先进检测技术

密切关注国际前沿检测技术的发展动态,及时引进和应用先进的检测技术和设备。例如,引进高精度的光谱分析仪、超声波检测仪等先进设备,提高材料质量检测的准确性和效率。在引进先进检测技术的同时,应加强自主研发和创新工作,结合船舶工程材料的特点和使用要求,开发适合我国国情的检测技术和设备。例如,研发针对船用复合材料、新型合金材料等特殊材料的检测技术和方法^[4]。

结语

船舶工程材料的质量检测与性能评估是保障船舶安全、提高船舶性能和推动船舶工业发展的重要环节。通过化学成分分析、力学性能测试、无损检测和金相分析等方法对材料进行质量检测,可以确保材料的质量符合设计要求。同时,通过评估材料的物理性能、力学性能、化学性能和功能特性等指标,可以全面了解材料的性能特点和使用范围。

参考文献

- [1]李红菊,黄佳建,徐晓萍.船舶材料质量检测可靠性的探讨[J].广船科技,2023,43(03):87-88+100.
- [2]李仕麟,张亚东.船舶制造中金属材料无损探伤检测技术[J].中国科技信息,2024,(17):91-93.
- [3]姜晓曦.船舶轮机管子材料选择与性能优化[J].船舶物资与市场,2024,32(08):95-97.
- [4]李志.船舶管系材料选择与耐久性评估[J].船舶物资与市场,2024,32(06):4-6.