

绿色制造理念下环保设备的轻量化设计研究

王冬艳

辽宁北方环境保护有限公司 辽宁 沈阳 110000

摘要: 在绿色制造理念引领下, 环保设备轻量化设计至关重要。本文深入剖析其与绿色制造理念的紧密联系, 详细阐述材料选择、结构优化、制造工艺改进等关键技术要点。同时, 从设计、制造、服务三阶段提出切实可行的实施策略, 如整合多学科知识、优化供应链管理、构建报废回收体系等, 为环保设备行业实现绿色升级提供有力支撑与指引。

关键词: 绿色制造理念; 环保设备; 轻量化设计; 关键技术

引言

在当今全球倡导可持续发展的大背景下, 绿色制造理念成为制造业发展的重要指引。环保设备作为应对环境问题的关键工具, 其设计与制造水平直接影响着环境治理效果。轻量化设计作为绿色制造理念在环保设备领域的具体实践, 不仅能降低设备制做、安装成本, 减少资源消耗, 还能提升设备的运行效率与性能。深入研究绿色制造理念下环保设备的轻量化设计, 对于推动环保设备行业的技术进步、实现环境效益与经济效益的双赢具有重要的现实意义。

1 绿色制造理念与环保设备轻量化设计的关系

绿色制造理念与环保设备轻量化设计紧密相连, 二者相互促进、相辅相成, 共同推动环保设备行业朝着更可持续发展的方向发展。绿色制造理念以环境友好和资源节约为核心, 贯穿产品全生命周期^[1]。在环保设备领域, 这意味着从设计环节就要转变思路。传统设计常忽视资源过度消耗和环境污染问题, 而绿色制造理念要求将环保因素置于核心地位。比如在材料选择上, 优先挑选可再生、可回收、低能耗和低污染的材料。可再生材料能降低对有限自然资源的依赖, 可回收材料可减少废弃物产生, 低能耗和低污染材料则能在生产和使用过程中降低对环境的负面影响, 从源头为环保设备的绿色化奠定基础。轻量化设计是绿色制造理念在环保设备设计中的关键体现。减轻设备重量能带来多方面的绿色效益。生产时, 重量降低意味着原材料使用减少, 进而降低原材料开采、加工的能耗与污染。运输过程中, 较轻的设备能减少运输工具的能耗和碳排放, 降低物流环节的环境影响。安装阶段, 轻量化设备可以降低安装费用。使用阶段, 轻量化设备运行所需动力更小, 能源消耗降低, 污染物排放也随之减少, 提高了能源利用效率。例如采用轻量化材料制造的风机, 运行中电机耗能更低, 实现了

节能减排。将绿色制造理念与轻量化设计相融合十分必要, 绿色制造理念为轻量化设计指明方向, 确保设计不仅关注重量减轻, 更兼顾环境影响和资源利用。轻量化设计则是达成绿色制造目标的具体手段, 通过切实减轻设备重量, 落实绿色制造在各个环节的要求。这种融合既符合可持续发展的时代需求, 又能提升企业的市场竞争力。随着消费者环保意识增强, 市场对绿色环保产品需求增大, 融合二者设计的环保设备将更具优势, 助力企业在市场竞争中脱颖而出, 推动整个行业绿色升级。

2 环保设备轻量化设计的关键技术

2.1 材料选择技术

高强度轻质材料是实现环保设备轻量化的核心要素。铝合金凭借密度低、强度高的特性, 在环保设备结构件制造领域占据重要地位。相较于传统钢材, 在保证结构强度达标的情况下, 铝合金能大幅减轻设备重量。碳纤维复合材料更是轻量化材料的佼佼者, 其强度远超钢材, 而密度仅为钢材的四分之一左右。在航空航天环保设备、高性能污水处理设备等高端环保领域, 碳纤维复合材料的应用日益广泛, 为设备轻量化提供了有力支撑。可回收和生物基材料的使用顺应绿色制造理念, 也为轻量化设计开辟新路径。回收塑料经加工处理后, 可重新用于制造环保设备的非结构件, 如外壳、管道等, 既实现了资源再利用, 又减轻了设备重量。生物基材料由可再生资源制成, 像植物纤维增强复合材料, 具有良好的环境兼容性。在生产和使用过程中, 其对环境影响较小, 废弃后还能自然降解, 有效减少环境污染, 同时满足轻量化设计需求。多材料混合设计技术能充分发挥不同材料性能优势, 实现轻量化与成本、性能的优化平衡。通过拓扑优化和有限元分析, 可精确规划不同材料在设备中的布局。在环保设备受力关键部位采用高强度材料, 确保结构稳定性; 在非受力部位使用轻质材料, 减少不必要

的重量。这种设计方式在保证设备整体性能的同时，有效降低了设备重量。

2.2 结构优化设计技术

基于力学原理的结构优化是环保设备轻量化的重要手段。运用计算力学方法，如基于遗传算法的拓扑优化，可去除设备中的冗余结构，使材料分布更贴合实际受力路径。以汽车尾气处理设备外壳设计为例，通过拓扑优化，在保证外壳强度和刚度的前提下，减少材料用量，实现轻量化目标。结合增材制造技术，还能实现复杂曲面与点阵结构的批量生产，突破传统工艺限制，进一步降低结构重量并提升刚度^[2]。模块化设计将环保设备按功能分解为若干模块，通过模块优化组合形成不同规格产品。这种设计方法便于库存管理，提高生产效率，缩短加工周期，提升运行维护效率。同时，模块化设计有利于轻量化实现，因为可对每个模块独立设计优化，减少不必要材料使用。在污水处理设备中，将反应池、沉淀池、过滤池等设计为独立模块，根据实际需求对各模块进行优化设计，降低整个设备重量。新型结构形式为环保设备轻量化设计带来新机遇。拱形结构、蜂窝结构等新型结构具有高比强度、高比刚度特点。拱形结构能在承受较大载荷时保持较低重量，在桥梁工程和环保设备支撑结构中得到应用。蜂窝结构通过在材料内部形成蜂窝状孔洞，减少材料用量，同时保持结构整体性能，在航空航天领域飞机结构件和环保设备隔热、隔音部件中广泛应用。

2.3 制造工艺改进技术

先进成型工艺在保证材料性能前提下，可降低能耗和成本。热压成型、冷压成型等工艺能精确控制成型过程，减少材料浪费和缺陷产生。在环保设备金属零部件制造中，采用热压成型工艺可提高材料利用率，减少加工余量，从而降低设备重量。绿色加工工艺符合环保要求，助力轻量化设计。激光切割技术具有切割精度高、热影响区小、材料浪费少等优势，在环保设备零部件加工中广泛应用。与传统火焰切割相比，激光切割不产生有害气体，减少环境污染。干式切削、微量润滑切削等绿色切削工艺可减少切削液使用与排放，避免切削液对土壤、水体造成污染^[3]。采用干式切削工艺，可节省约70%的切削液使用量，降低后续切削液处理成本。增材制造技术（3D打印）通过逐层添加材料形成三维结构，显著减少材料浪费。该技术适用于复杂结构制造，在保证性能前提下降低环保设备重量。在环保设备定制化零部件制造中，增材制造技术可根据设计要求直接制造复杂结构，避免传统加工工艺中多次装夹和加工的繁琐过程，减

少材料使用和加工时间。

3 环保设备轻量化设计的实施策略

3.1 设计阶段策略

整合多领域知识是设计阶段实现轻量化的重要基础。建立多物理场耦合模型是整合知识的有效手段，它将力学、材料、流体力学等多学科知识深度融合。以气动弹性分析模型为例，此模型功能强大，能够精准模拟环保设备在不同工况下的复杂状况，涵盖受力、变形以及流体流动等多个方面。在设计风机类环保设备时，借助气动弹性分析，可对叶片的形状与结构进行精准优化。优化后的叶片，风阻显著降低，风能利用效率大幅提升，同时叶片重量得到有效减轻，实现了设备性能提升与轻量化的双重目标。数字孪生技术为设计优化搭建了强大的虚拟平台。通过构建环保设备的数字模型，在虚拟环境中能够灵活调整与优化设计参数。这一过程意义重大，可提前发现潜在问题，避免在实际制造过程中因反复修改而增加成本、延误工期。例如在污水处理设备设计中，利用数字孪生技术模拟不同水流条件下的设备处理效果。依据模拟结果，对设备的结构和运行参数进行针对性优化，进而提高处理效率，降低设备重量，确保设计方案既可行又先进^[4]。跨部门协作平台建设是保障设计合理性的关键。建立跨部门协作平台，并采用模型化定义（MBD）技术统一数据流，可有效减少传统设计中因信息传递不畅导致的信息损耗。设计、工艺、制造等部门在平台上实时交流协作，共同参与轻量化设计。以环保设备结构设计为例，工艺部门及时反馈材料的加工性能和工艺要求，制造部门提供设备的装配和运行信息。各部门基于统一的数据和目标协同工作，使设计方案更加科学合理，有力推动轻量化目标的实现，为环保设备行业的绿色发展奠定坚实基础。

3.2 制造阶段策略

优化供应链管理是制造阶段实现轻量化的重要保障。通过本地化采购降低进口材料成本，同时选择优质供应商确保材料质量和供应稳定性。与供应商建立长期合作关系，共同开展材料研发与改进工作，推动轻量化材料的广泛应用。例如在采购铝合金材料时，选择具备先进生产工艺和严格质量控制体系的本地供应商。这样既能降低采购成本，又能保证材料性能符合轻量化设计要求，为设备制造提供优质基础。采用清洁能源驱动生产设备是制造环节实现绿色轻量化的重要举措。在环保设备制造过程中，优先使用清洁能源，减少传统化石能源消耗与碳排放。例如引入太阳能光伏发电系统，为车间照明和加工设备供电；采用电能驱动的自动化生产线替代柴

油动力设备。以一条100米长的环保设备生产线为例,采用太阳能光伏发电每年可减少约50吨二氧化碳排放,显著降低制造过程的碳足迹,实现绿色制造与轻量化的有机结合。应用智能能源管理系统是提高制造车间能源利用效率的有效手段。在制造车间安装智能能源管理系统,实时监测设备能耗情况,根据生产负荷智能调节设备功率,避免能源浪费。同时,对车间通风、照明系统进行节能改造,采用节能灯具、智能照明控制系统以及高效通风设备,降低车间辅助系统的能源消耗。经改造后,制造车间整体能源利用率可提高15%~20%,在降低生产成本的同时,推动环保设备制造向绿色、轻量化方向发展。

3.3 服务阶段策略

构建完善的报废回收体系是服务阶段实现资源循环利用和轻量化的重要环节。为落实生产者责任延伸制度,制造企业应联合专业回收公司,构建广泛的逆向物流回收网络,协同负责退役环保设备的规范回收。回收公司对回收设备进行初步拆解、分类,将可再利用的零部件和材料进行修复、翻新或重新熔炼。例如,回收的金属材料回炉熔炼生产再生金属,用于制造新的环保设备零部件或其他产品;橡胶、塑料等非金属材料经粉碎、改性处理后制成再生颗粒,用于生产其他相关制品。通过这种方式,实现资源的高效循环利用,减少原材料消耗,间接推动环保设备的轻量化发展。

利用大数据和云计算技术进行反馈优化是提升环保设备性能和轻量化水平的重要途径。在环保设备使用过程中,运用二维码、RFID等传感技术对产品进行标识,通过“互联网+”搭建的客户服务系统收集产品应用信息。利用大数据和云计算技术对大量客户反馈信息进行统计分析,得出产品客户满意度及改进方向。根据分析结果,对环保设备的设计和制造进行优化,进一步提高设备的

轻量化水平和性能。例如,通过分析客户反馈的设备运行能耗数据,发现某些部件设计可进一步优化以降低能耗和重量。

开展绿色评估和认证是引导行业绿色发展和提升设备竞争力的重要举措。建立科学合理的绿色评估标准,对环保设备的轻量化水平、环境友好性、资源利用率等指标进行全面评估^[5]。通过绿色认证的设备在市场上更具认可度和竞争力,能够引导消费者选择绿色环保产品。同时,绿色评估和认证也促使企业不断提高环保设备的轻量化设计水平,推动整个行业向绿色、可持续方向发展,实现经济效益与环境效益的双赢。

结语:

绿色制造理念下环保设备的轻量化设计是一项系统而复杂的工程,涉及设计、制造、服务等多个环节。通过关键技术的创新应用与实施策略的有效落实,能够实现环保设备在性能提升与轻量化之间的平衡,降低对环境的影响,提高资源利用效率。这不仅有助于企业增强市场竞争力,更能推动整个环保设备行业朝着绿色、可持续的方向迈进,为全球环境保护事业做出积极贡献。

参考文献:

- [1]马金伟.环保绿色理念下船舶结构轻量化设计方法研究[J].船舶物资与市场,2025,33(5):4-6.
- [2]王洪阁,马骥.零碳理念下的工业产品设计研究[J].工业设计,2021(3):114-115.
- [3]杨闯.机械制造及自动化中的节能高效设计理念探究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(9):070-073.
- [4]陆全平.基于绿色制造概念的化工设备制造工艺技术探究[J].当代化工研究,2024(23):152-154.
- [5]徐勇,戴乃昌,孙丰位.阀门绿色设计和绿色制造关键策略研究[J].现代制造技术与装备,2026,62(1):215-218.