

超声波清洗剂的研究进展

李茹青^{1*}, 李学英¹, 花致远¹, 王同言², 杜佳雨¹, 张正国¹

¹北方民族大学医学技术学院, 宁夏 银川

²广东医科大学第一临床医学院, 广东 湛江

收稿日期: 2024年10月23日; 录用日期: 2025年1月2日; 发布日期: 2025年1月13日

摘要

超声波清洗技术因效率高、穿透性好、无损伤等优点在实验室仪器清洗、医疗器械清洗、机械零件清洗等领域广泛使用, 超声波清洗剂作为该清洗技术的关键辅助材料, 对提高清洗效率和保护被清洗的物品具有重要意义。本文对超声波清洗剂进行了调查、分类和比较, 并对各种清洗剂的作用机理进行深入探讨, 从而为超声波清洗行业的用户提供参考。

关键词

超声波, 清洗技术, 清洗剂, 空化作用

Development and Research of Ultrasonic Cleaning Agent

Ruqing Li^{1*}, Xueying Li¹, Zhiyuan Hua¹, Tongyan Wang², Jiayu Du¹, Zhengguo Zhang¹

¹School of Medical Technology, North Minzu University, Yinchuan Ningxia

²The First Clinical Medical College of Guangdong Medical University, Zhanjiang Guangdong

Received: Oct. 23rd, 2024; accepted: Jan. 2nd, 2025; published: Jan. 13th, 2025

Abstract

Ultrasonic cleaning technology, known for its high efficiency, good penetration, and non-destructive properties, is widely used in various fields such as laboratory equipment cleaning, medical device cleaning, and mechanical part cleaning. Ultrasonic cleaning agents, as a key auxiliary material in this technology, play a significant role in enhancing cleaning efficiency and protecting the items being cleaned. This article conducts a survey, classification, and comparison of ultrasonic cleaning agents, and delves into the mechanisms of action of various cleaning agents, thereby providing a

*通讯作者。

文章引用: 李茹青, 李学英, 花致远, 王同言, 杜佳雨, 张正国. 超声波清洗剂的研究进展[J]. 生物医学, 2025, 15(1): 93-101. DOI: 10.12677/hjbm.2025.151010

reference for users in the ultrasonic cleaning industry.

Keywords

Ultrasonic, Cleaning Technology, Cleaning Agent, Cavitation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

超声波清洗技术已经被广泛应用到人们生活的各个方面, 比如: 电子、机械、医疗、光学等多个行业。超声波清洗技术作为一种先进、高效且环保的物理清洗方式已经逐渐成为清洗领域的主要技术之一, 它是利用超声波波动产生的空化作用去除物体表面及内部的污染。在此过程中, 超声波清洗剂的选择至关重要, 它直接影响到清洗效果和操作的安全性[1]-[4]。但是传统化的超声波清洗剂较为单一, 无法针对眼镜这类生活必需品进行定制化的深层清洗, 且具有损害眼镜树脂材料, 污染环境的问题存在。本文基于此, 将对近些年的超声波清洗剂进行调研分类和分析总结并提出相应的优化建议, 为后续研究专用型清洗剂提供见解和启示[5]-[7]。

2. 现有超声波清洗剂的发展

2.1. 超声波清洗剂的作用机理

超声波清洗技术主要是利用其 20 HZ 的超声波配合相应的清洗剂, 以此来达到快速、深层的清洗效果。这为现代的人们生活提供了一定的福利。而相应超声波清洗剂的作用机理可以从以下几个方面进行阐述:

空化作用: 超声波在液体中以正压和负压交替连续变化的方式向前传播时, 在正压和负压的作用下会产生微小的气泡, 这些气泡在声波的作用下不断振动最后被压迫。气泡压迫后产生的巨大冲击波可以破坏污染物与被清洗物品之间的附着力, 从而达到剥离污垢的目的[8]-[10] (见图 1)。

加速度作用: 超声波具有很高的能量, 它在液体中传播时, 会对液体中的颗粒产生加速作用, 使得这些颗粒获得足够的动能去撞击被清洗物品表面的污垢, 进一步促进污垢的脱落[11] [12]。

直进流作用: 直进流是指清洗剂沿超声波的能量和沿声波传播方向而流动, 使被清洗物体表面的清洗剂产生对流。也就是说, 超声波在液体中产生的振动会形成微小的液流, 这些液流能够穿透污垢的细小缝隙, 将污垢带出[13]。

化学作用: 超声波清洗剂中包含的化学成分能够与油脂等有机污染物发生化学反应, 破坏其分子结构, 使油污更容易被清除。

此外, 超声波清洗过程中, 通常会配合适当的温度, 以增强清洗效果。例如, 某些清洗机配备加热装置, 实时控制温度在 65℃~75℃, 以提高清洗效率。

综上所述, 超声波清洗剂的作用机理是一个复杂的物理和化学过程, 就是通过空化、加速、直进流以及化学作用等方式, 来保证对物品清洁的高效深入。

2.2. 超声波清洗剂的分类

超声波清洗主要是利用超声波清洗器的空化作用并配合超声波清洗剂进行使用。而超声波清洗剂可

根据其成分和作用机制进行分类,主要包括水基清洗剂、有机溶剂清洗剂、酸碱清洗剂、复合型清洗剂和多酶清洗剂(见表 1)。

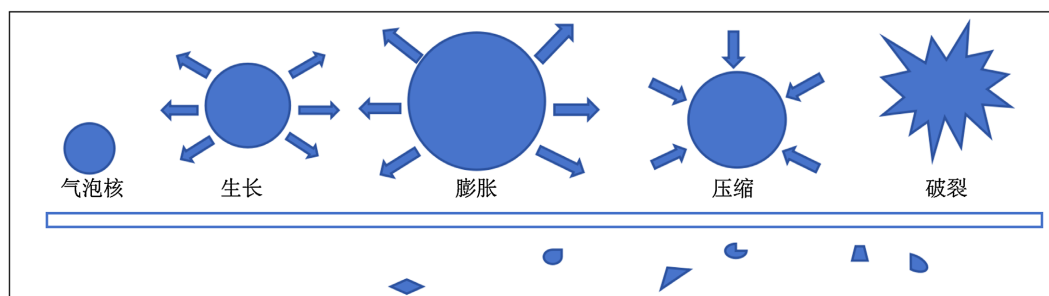


Figure 1. Removal of particles by cavitation

图 1. 空化作用去除颗粒过程

水基清洗剂: 这是最常见的一种清洗剂,是伴随工业革命以来,工业生产对清洗效率和质量的要求日益提高,因此促使了此清洗剂的研发。这款清洗剂通常用于去除物体表面的污渍和杂质。其主要成分包括清洁剂、反应物、储能元件和表面活性剂。它们的环保性好,因为最终可以分解为水和二氧化碳,对环境的影响较小[14]。

有机溶剂清洗剂: 其发展历史悠久,起源可以追溯到 19 世纪干洗技术的出现,但干洗技术只是与有机溶剂清洗剂有关联并不完全相同,其真正的发展与应用是在 20 世纪 30 年代。这类清洗剂主要用于去除油脂、油垢等有机物质。它们能够迅速溶解这些难以去除的污染物,但需要注意的是,有机溶剂可能对某些塑料和橡胶部件有损害,同时也要注意其挥发性和易燃性[15]。

酸性清洗剂: 酸性清洗剂的出现可以追溯到早期的金属加工和清洗实践,其中关键的一步就是酸洗,而酸性清洗液就是由早期的酸洗技术发展而来的。酸性清洗剂中常包含酸性物质,如盐酸、硝酸,以及表面活性剂。酸性清洗剂适用于去除氧化层、锈蚀和矿渣等。酸性物质能溶解金属表面的氧化物,表面活性剂有助于提高清洗剂的渗透性。使用酸性清洗剂需要注意其腐蚀性,特别是对于一些敏感金属和合金[16]。

碱性清洗剂: 碱性清洗剂主要是利用皂化和乳化作用来除去金属表面油脂。在碱性清洗剂中常包含碱性物质,如氢氧化钠或氢氧化钾,以及表面活性剂。它适合去除油脂、污垢和金属表面的氧化物。碱性物质能中和酸性污染物而表面活性剂提高液体的渗透性[17]。

复合型清洗剂: 复合型清洗剂是在不同时间段,科学家们根据所需的清洗效果而配置成不同复合型的清洗剂。而这类清洗剂结合了多种清洗成分的优点,能够针对特定的污染物提供更有有效的清洗效果。例如,某些复合型清洗剂可能同时含有酸性成分和表面活性剂,既能去除氧化层,又能清洗油脂。

多酶清洗剂: 自 1976 年美国 Ruhof 公司推出第一款单酶清洗剂以来,随后多酶清洗剂的研发和应用成为趋势。多酶清洗剂主要应用于医疗器械的清洗当中,此类清洗剂主要含有蛋白酶,脂肪酶,糖酶与淀粉酶,还含有稳定剂、防腐剂和漂白剂。这种多酶清洗剂,它能有效地分解医疗器械上的有机物质、如血液、蛋白质和其他生物物质,从而帮助清洁和消除[18]-[20]。

2.3. 超声波清洗剂的主要成分

超声波清洗剂是一种由多种成分组成的复合清洗液,旨在通过超声波作用实现高效清洁。其主要成分包括表面活性剂,它们降低液体表面张力,使清洗剂能渗透到微小孔隙中,有效去除污垢,特别适合塑料和玻璃等材料的清洗。螯合剂与金属离子形成稳定配合物,防止再沉淀,维持清洗剂的稳定性和

Table 1. Comparison of advantages and disadvantages of various ultrasonic cleaning agents
表 1. 各类超声波清洗剂的优缺点对比

名称	优点	缺点
水基清洗剂	安全性高、环保性好、成本低	清洗效果有限、干燥时间较长
酸性清洗剂	清洗效率高、成本相对较低、适用性广	具有腐蚀风险、存在安全风险、环境污染
碱性清洗剂	去油脂效果好、腐蚀性相对较低、较环保、成本较低	适用性较低，环境污染
复合型清洗剂	低毒性、安全性、环保性、适用性广	清洗效果较低、稳定性较差、兼容性差、成本高
多酶清洗剂	安全性高、去污能力强、节能环保、应用范围广	有效期短、稳定性地，兼容性差、成本较高

效果。分散剂则帮助分散污垢，避免污垢重新附着。碱性物质如氢氧化钠或氢氧化钾，能迅速去除金属表面的油污、锈斑和氧化皮。酸性物质如盐酸和硝酸，用于去除金属表面的氧化皮和腐蚀。酶类物质如蛋白酶和脂肪酶，专门分解蛋白质和脂质，适用于生物性污垢的清洗，常见于医疗器械和生物实验室设备的清洗[21][22]。最后，去离子水作为高纯度水，用于最终清洗和漂洗，确保无离子残留。这些成分的协同作用，使得超声波清洗剂能够有效清洗各种材料和去除不同类型的污垢。

2.4. 在超声波清洗器中对超声波清洗剂的要求

在超声波清洗器中使用清洗剂时，需要满足一系列要求以确保清洗效果和安全性。首先，清洗剂的配方必须根据清洗对象的材质和污垢类型精心选择，以实现最佳清洗效果。其次，清洗剂需要在适当的温度下使用，通常需要预热以确保清洗机内部温度稳定，从而提高清洗效率。清洗剂还必须能够支持超声波清洗机的空化作用，这是通过超声波在液体中的物理过程实现清洗的关键。安全性也是一个重要考量，清洗剂应对人体和环境无害，特别是在通风不良的环境中使用，应避免产生有毒或刺激性气体。此外，清洗剂需要与清洗机的材料兼容，以防止对机器造成腐蚀或损害。良好的去污能力、稳定性、易漂洗性也是选择清洗剂时的重要标准，以确保清洗效果和减少清洗后残留物。经济性也是一个考虑因素，应在满足清洗要求的同时选择性价比高的清洗剂。最后，环保性也日益受到重视，优先选择对环境影响小的清洗剂。综合这些因素，超声波清洗剂的选择和使用需要综合考虑，以确保清洗过程既有效又安全，同时经济环保。

2.5. 发展现状

超声波清洗技术的原理：超声波是一种频率高于 20 KHz 的声波，是由物质震动产生的，人耳一般是听不到的，它具有频率高，波长短，传播方向性和穿透力强等特点。而超声波清洗技术就是利用超声波在液体中的空化作用，加速度和直流进作用，对液体和污物进行直接和间接作用，使污物表层被分散、乳化、剥离，从而达到清洗的目的[21][22] (见图 2)。

超声波清洗技术起源于 20 世纪 30 年代的美国，他之所以可以快速发展得益于多个学科的综合进步，包括声学、电子电工、材料科学等。自超声波技术出现以来，伴随着现代科技的高速发展，尤其是在电源和换能器技术上的突破，使得超声波清洗已经从单缸机发展到多缸机或自动化超声波清洗生产线(见图 3)，从低频清洗机到高频清洗机的发展，使得超声波清洗技术变得更加高效、环保。超声波清洗技术可以有效的去除顽固污渍，因其高效便捷，并且可以深入清洁到物体表面的细小缝隙，尤其是可以用于复杂形状的零件和组装部件，而不需要将他们分解成单独的单元，以此提高了清洗的效率，这也使得超声波清洗技术应用与更加广泛的领域，如：工业、医疗、光学等方面[23][24] (见图 4)。

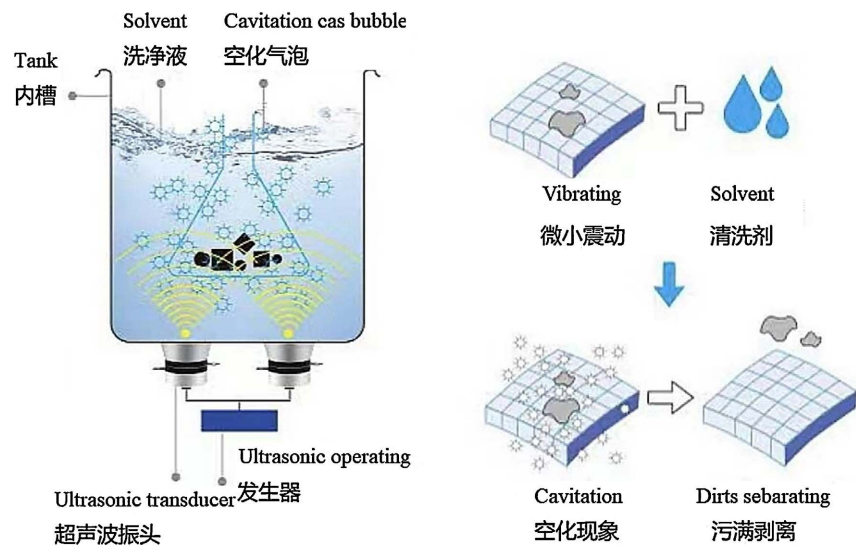


Figure 2. Schematic diagram of ultrasonic cleaning technology
图 2. 超声波清洗技术的原理图



Figure 3. Development of single-cylinder machine to multi-cylinder machine: (a) single-slot ultrasonic cleaning machine, (b) automatic multi-slot ultrasonic cleaning machine
图 3. 单缸机向多缸机的发展: (a) 单槽超声波清洗机, (b) 全自动多槽超声波清洗机

工业领域：超声波清洗技术在工业方面主要是利用超声波空化效应所产生的冲击波冲洗物体，从而发出声波流的高压作用破坏颗粒间的粘附力，以此达到去除表面污物，实现表面清洁的目的，其在工业领域主要有以下应用。

在汽车制造中，超声波清洗用于清洗发动机部件、刹车系统组件以及车身金属零件等，提高了清洗效率并确保了部件的质量[25]。

航空航天领域也广泛应用超声波清洗技术，以确保机械零部件和设备的高精度和清洁度[26]。

电子电器行业使用超声波清洗来去除电路板上的微小焊渣和灰尘，保证电子产品的质量。

医疗器械方面：超声波清洗技术能够更好地去除器械表面的血液、蛋白等附着物，对病原体和细菌起到更好地消毒杀菌。因此超声波清洗技术广泛地用于清洗手术器械、牙科器械和医疗注射器等物品，确保医疗器械的无菌状态，避免交叉感染，提高医疗质量，保障患者生命安全[27] [28]。

制药企业中，超声波清洗技术被用于清洗西林瓶、口服液瓶等，提高了清洗效率和质量。

珠宝首饰方面：在珠宝行业，超声波清洗机被用来清洗眼镜、首饰、手表等小型物品，能够有效清

除污垢并保持物品的光泽。

光学材料方面：光学器材如镜头和镜片等，需要通过超声波清洗来去除表面的污渍和指纹，以保证透光率和成像质量。

化工行业：利用超声波的空化效应，并利用其剥脱，乳化等作用实现化工设备的清洗，化工原料和污染物的分离，回收，从而达到了环保的目的。超声波清洗技术主要可以用于对高硫煤，受污膜等物质的清洗，也能有效地处理污染物，并对其进行再回收利用等。

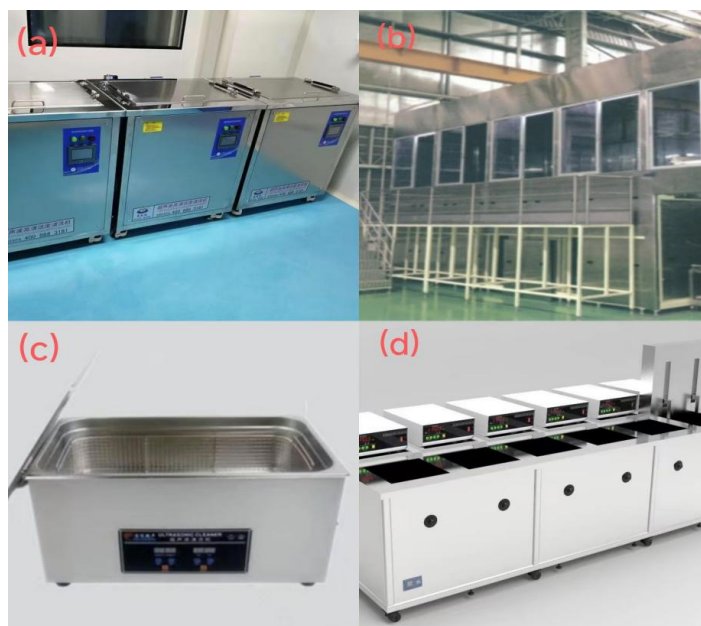


Figure 4. All kinds of ultrasonic cleaning machines, (a) medical equipment ultrasonic cleaning machine, (b) automatic aviation parts ultrasonic cleaning machine, (c) automatic ultrasonic cleaning machine, (d) six-groove ultrasonic vacuum coating sheet cleaning machine

图 4. 各类超声波清洗机, (a) 医疗器械超声波清洗机, (b) 全自动航空部件超声波清洗机, (c) 自动化超声波清洗机, (d) 六槽超声波真空镀膜片清洗机

超声波清洗技术的应用十分广泛，它的优势在于能够提供高效、深入且可自动化的清洗过程，这对于保证产品质量和提高工作效率具有重要意义。所以随着社会的高速发展，人们对生活质量要求的不断提高，对清洁设备需求的增加，超声波清洗技术也逐渐普及，但清洗温度，清洗时间，功率密度等都会影响清洗的效果，尤其是清洗剂的使用，若使用不合理，则可能有清洗材料的损伤，清洗不净，对环境污染等方面的问题的出现，这是因为专用型超声波清洗剂十分少见，尤其是对眼镜这一类的生活必需品并没有针对性的清洗剂，而想要改变这一现象就要从超声波清洗剂入手，要知道，专用型清洗剂和超声波清洗机配合使用能使其更加迅速的与其表面污染物发生反应，以此使其乳化、剥离，达到清洗的效果。因为普遍的超声波清洗器中的清洗剂运用到眼镜上可能存在清洁不净，损伤镜片和镜框材料的现象出现，同时也可能有对人体有害物质的情况发生。

据统计，我国在 2023 年青少年的近视率为高达 53.6%，而大学生的近视率近 90% [29]。一个十四亿人口的大国，其近视人口就多达六亿，戴眼镜的人数也占总人数的 47.6% (见图 5、图 6)。中国已经成为了第一近视人口大国。作为近视人口大国，眼镜已经成为了我们大家日常生活中的必需品。日常配戴眼镜，镜片不可避免地会染上污渍。因此眼镜是需要定时清洗的，否则不仅会影响视觉效果，而且易造成眼镜上细菌的滋生，从而影响视力，引发眼部疾病。一般眼镜布的擦拭无法达到较好的清洁效果，若利

用洗洁精等清洁产品进行清洁时, 费时费力, 一旦清洗剂与水滴未擦拭干净, 会留下一定的水渍污渍, 反而加速了细菌的增生, 并且人为清洗是清洗不到细小部位处的, 而超声波清洗正好改变了此劣势, 同时也减少了人力[30]。但大部分超声波清洗器内的清洗剂是清水, 只能清洗掉眼镜表面的油脂污垢, 沙砾灰尘和指纹等, 并无深度清洁和防污速干的作用。因此在关于超声波清洗剂在眼镜深层洁净上应用的研究是十分必要的。



Figure 5. Number of myopia patients in China from 2012 to 2020

图 5. 2012~2020 年我国近视患者数量



Figure 6. Myopia rate of adolescents of different school ages

图 6. 不同年龄段青少年近视率

3. 新技术的应用

普遍的超声波清洗技术都有着清洗效果好, 可以深入清洗到人为清洗不到的细小缝隙和空洞, 避免了人为清洗可能造成的损害, 并且相对于人为清洗, 超声波清洗的速度更快更环保。但是要知道在眼镜上附着的细菌污渍不是仅仅只有看到的, 人的面部由于油脂分泌, 不良的卫生习惯等, 人的面部会有螨虫的出现然后附着到长期佩戴的眼镜上, 同时眼镜由于长时间的绿脓杆菌、金黄色葡萄球菌、霉菌、链球菌等细菌的出现, 若不深层清洁, 长期佩戴会造成角膜炎, 结膜炎等眼部疾病的产生。所以我们首先选用成本较低的乙醇溶液, 利用浓度在 70%~80%, 含量在 10%~30%的乙醇溶液可以消除螨虫和大部

分细菌,以达到深层清洁的效果。同时以氟化物为主要材料,利用浸泡法在镜面上短暂形成一层防污膜,同时利用水作为稀释剂,加入乙二醇和苯甲酸,增加试剂粘度和附着度、抗氧化、抗腐蚀性能,加入表面活性剂和去离子水,降低液体表面张力以及分散溶解其他化学物质,从而消除静电吸附,产生抗污膜的作用效果,保证在清洗过后的一段时间内减少污渍再次附着在眼镜上。眼镜清洗完成后将其移至适配的超声波清洗器的烘干组件下方,进行高温烘干消毒,使眼镜上残留的清洗剂快速蒸发,避免已清洗的眼镜被再次污染,同时避免人为用眼镜布擦拭损伤镜片,使眼镜上的清洗剂的成分进行挥发,避免了残留清洗剂对眼镜和人体在一定程度上的伤害,提高眼镜的清洗效果。

4. 结论与展望

本文对现有超声波清洗剂进行了分类比较,介绍了超声波清洗技术的应用以及发展现状,超声波清洗的确具有效果好、成本低和环保安全的特点,但同样也有众多因素会影响超声波清洗的效果,尤其是对清洗剂的选择。因此结合超声波清洗的特点,我们提出了针对眼镜使用的专用型清洗剂,并且提出了相应的建议与方案。超声波清洗剂作为超声波清洗技术的重要组成成分,在保证清洗效果的同时,其环保和安全性也越来越受到关注。在未来超声波清洗剂的研究中定会致力于开发更加高效、环保且符合可持续发展要求的清洗剂,以此来满足不断增长的市场需求,并推动整个行业的健康发展,而随着科技的进步针对不同材料和污染物配置专用型超声波清洗剂,定会成为行业发展的主要方向之一。因此配置高效、适合且低成本无害的专用型超声波清洗剂是我们迫切发展的方向,这样可以更好地为人们的日常生活提供便利,为他们的健康提供帮助。

致 谢

感谢北方民族大学大美医工创新创业团队的支持及指导教师的指导。

基金项目

国家级大学生创新训练项目(202411407029)。

参考文献

- [1] 徐菊英,潘建英,吴晓红,等. 选择医疗器械清洗剂的方法[J]. 中国消毒杂志, 2010, 27(3): 320-321.
- [2] 孙红日,林国辉. 超声波清洗原理与工艺分析[J]. 电子工艺技术, 2001, 22(2): 77-78.
- [3] 王立伟,杨坤,苟建仁,等. 超声波清洗技术在管道压缩机大修中的应用[J]. 石化技术, 2023, 30(6): 253-255.
- [4] 孙猛,康凯. 多酶清洗剂联合超声波清洗医疗器械的效果分析[J]. 南方农机, 2019, 50(12): 241.
- [5] 高蕊,李斯聪,王文欣,等. 消毒供应中心医疗器械超声波清洗效果的影响因素及改进策略效果分析[J]. 中国医药装备, 2023, 20(12): 46-49.
- [6] 李璐,李家成,王佳豪,等. 超声波清洗技术在工业领域的应用研究进展[J]. 应用化工, 2021, 50(3): 759-764.
- [7] 张红玲. 超声清洗机洗涤效果及分析[J]. 中国医院感染学杂志, 2003, 13(9): 847-848.
- [8] 马永丽,沈世龙,陈纪雷,等. 超声辅助脱除水中的微气泡[J]. 化工工业与工程, 2024, 41(4): 131-137.
- [9] 黄志超,涂林鹏,刘举平,等. 超声波清洗技术及设备研究进展[J]. 华东交通大学学报, 2020, 37(3): 1-9.
- [10] Ando, K., Sugawara, M. and Sakota, R. (2021) Particle Removal in Ultrasonic Water Flow Cleaning Role of Cavitation Bubbles as Cleaning Agents. *Solid State Phenomena*, 314, 218-221.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.314.218>
- [11] 冀红宙. 超声波清洗的原理研究及实现[J]. 企业技术开发, 2014, 33(26): 3-5.
- [12] 郑伟,陈红,秦英,等. 超声清洗时不同孔径金属网格对空化效应的影响[J]. 中国消毒学杂志, 2024, 41(09): 701-703.
- [13] 雷赛,白晓亮,朱华初. 电机零部件全自动超声清洗的研究与应用[J]. 中国设备工程, 2023(z1): 18-20.

- [14] 金佳惠, 朱晓萍, 陈爽, 等. 工业水基清洗剂应用与发展[J]. 山西化工, 2023, 43(2): 36-37, 43.
- [15] 关莘莘, 刘爱民, 张保国, 等. 有机溶剂电解质在电化学冶金领域的应用[J]. 材料与冶金学报, 2024 23(2): 103-117.
- [16] 罗文姬, 许雅琪, 岳晓光, 等. 酸性清洗剂对不锈钢材质的腐蚀率研究[J]. 中国洗涤用品工业, 2021(5): 59-63.
- [17] 冯少棉, 梁慕儿, 唐坤如, 等. 多酶清洗液与碱性清洗液对妇科医疗器械清洗质量的影响[J]. 齐鲁护理杂志, 2021, 27(7): 158-160.
- [18] 张爱勤, 刘琴, 王晓丽, 等. 多酶清洗液加超声清洗器医疗器械效果[J]. 中国消毒学杂志, 2008(5): 556-557.
- [19] 吕健, 徐萍, 夏唯, 等. 医疗器械超声波清洗效能与失效探究[C]//中华护理学会第7届消毒供应中心发展论坛论文集. 长春: 中华护理学会, 2011: 522-524.
- [20] Cayo-Rojas, C.F., Brito-Ávila, E., Aliaga-Mariñas, A.S., Hernández-Caba, K.K., Saenz-Cazorla, E.D., Ladera-Castañeda, M.I., et al. (2021) Cleaning of Endodontic Files with and without Enzymatic Detergent by Means of the Manual Method versus the Ultrasonic Method. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, **11**, 307-315. https://doi.org/10.4103/jispcd.jispcd_8_21
- [21] 程欣. 超声波清洗技术发展研究[J]. 中国市场, 2016(49): 79-80.
- [22] 刘忠, 吴磊, 谷梅霞, 等. 含油污泥超声波强化清洗工艺参数优化研究[J]. 环境工程, 2023, 41(S2): 571-573, 578.
- [23] 沈建中. 超声清洗技术及其应用[J]. 洗净技术, 2003(1): 16-20.
- [24] 杨佳楠, 郭建峰, 闫媛媛, 等. 一种新型超声波清洗设备及环保清洗剂的应用研究[J]. 科技风, 2019(20): 10.
- [25] 赵英杰, 高文清, 张洪中, 等. 退役乘用车起动机前后端盖超声波清洗技术研究[J]. 器械设计与制作, 2024, 1-9. <https://doi.org/10.19356/j.cnki.1001-3997.20240827.002>
- [26] 路春晖, 饶胜利, 苏俊祥. 超声波清洗在航空航天中的应用[J]. 清洗世界, 2024, 40(4): 93-96, 99.
- [27] 朱幼莲, 娄怡, 消毒供应中心手术器械清洗中超声波清洗剂的应用效果[J]. 中国医疗器械信息, 2024, 30(10): 168-170.
- [28] 吴舒航, 谈陈立. 小型家用厨房油污超声波清洗设备的设计与研究[J]. 家电维修, 2024(5): 71-73.
- [29] 燕声. 全球三成儿童近视[N]. 保健时报, 2024-10-10(004).
- [30] 林毓兰, 王红杨, 郑凯龙. 超声波清洗对硬式肠镜器械清洗效果的影响[J]. 中国医疗器械信息, 2024, 30(18): 171-173.