

混合办公废纸(MOW)脱墨技术研究

付洋¹, 李姝², 周希^{3*}

¹成都工业学院自动化与电气工程学院, 四川 成都

²成都工业学院学科建设与科技发展处, 四川 成都

³成都工业学院材料与环境工程学院, 四川 成都

收稿日期: 2023年5月8日; 录用日期: 2023年6月9日; 发布日期: 2023年6月21日

摘要

2021年国内废纸回收量达到6491万吨, 而多年来废纸回收率仍低于其他发达国家回收率, 因此, 提高废纸回收率迫在眉睫。混合办公废纸(MOW)占可回收废纸总量70%~80%, 回收较为困难, 其中脱墨就是极为关键的第一步。本研究综述了MOW的基本性质、对比不同MOW脱墨技术以及对未来研究进行展望, 以期能为MOW的脱墨技术的发展提供参考。

关键词

混合办公废纸(MOW), 脱墨技术, 研究现状

Research Progress on Deinking Technology of Mixed Office Waste Paper (MOW) Paper

Yang Fu¹, Shu Li², Xi Zhou^{3*}

¹School of Automation and Electrical Engineering, Chengdu Technological University, Chengdu Sichuan

²Department of Science and Technology, Chengdu Technological University, Chengdu Sichuan

³School of Materials and Environmental Engineering, Chengdu Technological University, Chengdu Sichuan

Received: May 8th, 2023; accepted: Jun. 9th, 2023; published: Jun. 21st, 2023

Abstract

In 2021, the amount of waste paper recycled reached 64.91 million tons in China, and the waste paper recycling rate is still lower than that of developed countries for many years. Therefore, it is urgent to improve the waste paper recycling rate. Mixed office paper (MOW) accounts for

*通讯作者。

70%~80% of the total amount of recyclable waste paper. However, the recycling of MOW is difficult, among which deinking is the critical first step. In order to provide a reference for the development of MOW deinking technology, the basic properties of MOW were reviewed, different MOW deinking technologies were compared, and the future research of MOW deinking technologies was prospected in this paper.

Keywords

Mixed Office Waste Paper (MOW), Deinking Technology, Research Progress

Copyright © 2023 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

党的二十大报告指出,要协同推进降碳、减污、扩绿、增长,推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展。2022年工业和信息化部等8部门联合印发《关于加快推动工业资源综合利用的实施方案》,其中明确提到,到2025年,再生资源行业持续健康发展,工业资源综合利用效率明显提升,力争国内废纸利用量达到6000万吨。根据最新中国造纸协会报告,国内废纸回收量达到6491万吨,废纸净进口量为54万吨[1]。

为解决造纸资源能量短缺、环境污染等问题,废纸回收是一种有效方式,其具有重要的经济和环境价值,不仅可以减少纸浆生产所需的森林砍伐和水、电和漂白剂等的消耗,也能大幅降低生产和使用过程中的有害气体和污水排放以及固体废弃物污染[2]。根据最新数据显示,2021年国内废纸回收率虽然自2012年以来首次突破50% [1],但据欧洲废纸回收委员会显示,2015年欧洲废纸回收率就达到了71.5% [3]。因此,我国需进一步加强废纸回收力度,提高废纸回收率。混合办公废纸(MOW)是一种具备较高回收价值的废纸类型,占可回收废纸总量约70%~80% [4],因其数量多、品质好、价格低等优势,在废纸回收中占据着越来越重要的地位[5]。在废纸回收过程中,脱墨既是第一步也是极为关键的一步,会直接影响脱墨浆质量的高低。但由于MOW表面的油墨在组成和性质上与传统油墨具有较大的差别,传统方法很难脱除MOW的油墨,进而影响混合办公废纸回收利用[4]。因此,研究MOW脱墨技术,进而提升MOW脱墨效果并最终促进绿色高效回收MOW,对于国家实现节能减碳、可持续绿色发展目标来说是非常有意义的。

本研究从MOW的基本特性、主要脱墨技术的研究现状以及未来研究趋势进行综述,期望能对MOW脱墨技术的优化和发展提供参考。

2. MOW 基本性质

纸型

混合办公废纸(Mix Office Wastpaper),简称MOW,主要包括激光打印和静电复印废纸,其具体组份如表1所示[5]:

MOW的生产原料,国外通常是一部分漂白硫酸盐针叶木浆掺以部分漂白阔叶木浆。国内除了使用化学针叶木浆外,也有加入少量漂白化学竹浆或草浆。生产过程中,添加适量滑石粉、荧光增白剂并适当施胶(施胶度约为0.75 mm),定量为(70~80) g/m²,白度(85~95)% ISO。混合办公废纸是尚未开发利用潜在高质量纤维原料来源,经脱墨处理后可用于高档新闻纸、卫生纸和文化用纸等的生产。也就是说,

混合办公废纸的资源化利用前提是充分脱墨。MOW 的油墨属于热塑基油墨或热熔型油墨，传统的脱墨方法效果不大，因此 MOW 的脱墨难度较大[6] [7]。

Table 1. The composition of MOW
表 1. MOW 组成组分

原料组成	美国(%)	欧洲(%)	
		标准质量	低级质量
白色账册	65~75	60~70	40~50
彩色账册	8~9	13~15	15~25
重涂布纸	2~3	2~3	5~8
杂志	8~11	8~10	13~15
电传用纸、胶黏纸、标签	2~5	2~5	5~15
塑料杂志、金属杂志	2	2	2~4

3. MOW 的国内外脱墨技术研究现状

目前，MOW 脱墨技术种类较多，可大致分为传统方法、新型方法、协同方法三大类(见表 3)。传统方法主要包括碱法脱墨法、弱碱性/中性脱墨法，普遍实用性强，主要是直接加入相关脱墨助剂或者依靠机械外力和表面活性剂进行脱墨；新型方法主要包括超声波脱墨法、附聚脱墨法、磁性脱墨法等方法，主要依托新型的技术方法进行高效脱墨，大部分对于设备、添加试剂的要求较高；协同方法即综合两种或两种以上的方法进行 MOW 脱墨，适用广泛，应用潜力较大。

3.1. 传统方法

3.1.1. 碱法脱墨法

传统碱法脱墨是目前普遍使用的工艺，即在水力碎浆机中加入脱墨助剂(分散剂、皂化剂等)，依托机械水力搅拌并结合各种助剂反应，将纤维上的油墨脱除，再通过洗涤或者浮选等操作手段，除去纸浆中剥离的油墨，最终实现脱墨。但是该方法加入了碱性化学品，增加了废水中 COD 含量，会进一步污染环境，增加成本。此外，大量木素的纤维在碱法脱墨中易发生“碱变黑”现象，影响浆料白度[8]。

3.1.2. 弱碱性/中性脱墨法

弱碱性脱墨/中性脱墨法是指在存在少量的碱或是没有用碱的情况下进行脱墨，主要是借助表面活性剂和机械外力的共同作用。相较碱法脱墨法，因不使用或者少使用碱，不仅可以有效的避免纸浆发黑返黄现象，还能够降低废水的污染，中性条件下还可以避免废纸中胶粘物对设备的损坏[9] [10]。相应地，虽然弱碱性/中性脱墨对于环境的危害有所降低，但是其脱墨效果却达不到碱法脱墨的效果，所以，它在实际生产中并没有被广泛应用。除了一些众所周知的英文缩写，如 IP、CPU、FDA，所有的英文缩写在文中第一次出现时都应该给出其全称。文章标题中尽量避免使用生僻的英文缩写。

3.2. 新型方法

3.2.1. 超声波脱墨法

超声波脱墨是将废纸浆稀悬浮液通过振鸣式超声波发生器，利用超声波的空化作用产生极强的冲击波，冲击波传过物质时，物质分子将会在冲击波传播方向上方向纵向振动。该方法广泛应用于杂志封面、广告、宣传册等，即含有高光泽聚合物油墨的纸质材料。不同尺寸范围的油墨粒子由不同频率的超声波

疏解和分裂,一般有效的频率范围是 20~60 kHz。超声波脱墨对于脱墨过程中的温度不敏感,还能减少使用化学药品。除此之外,借助超声波能让纤维细纤维化,从而改善纤维性能和成纸的物理强度[11]。

3.2.2. 附聚脱墨法

附聚脱墨法与传统方法有所区别,该方法是通过化学处理结合机械作用使油墨与纤维分离,并不是直接碎解、分散油墨,使其尺寸变小,而是将油墨颗粒聚集成 400 μm 以上、密度较大的球形颗粒,增大其尺寸和相对密度,随后通过离心清洗、筛选除去油墨。一般而言,疏解分离纤维过程当中,被剥离出的油墨由约 1% 的附聚剂聚集成粒径为 1 mm~1 cm 的颗粒,附聚剂(颗粒中起纽带作用)借助液体桥,使油墨颗粒吸附在其周围。该脱墨过程中的温度、pH 值不是影响因素,整个过程耗费时间较短,一般不超过 15 min。过程中也无需添加其它化学药品,油墨的去除率可达 95%~97%。然而,高度施胶及阳离子淀粉的存在将严重影响其脱除油墨的效果[12]。

3.2.3. 磁性脱墨法

磁性脱墨法源于油墨碳粉中存在一定的磁性物质,从而考虑利用存在的磁性物质来去除油墨。相应地,油墨碳粉中还存在非磁性物质,这些物质并不利于脱墨,因此考虑将这些非磁性物质转化为顺磁性物质。有研究表明,磁性脱墨法的油墨脱除率较好,还可以有效降低纤维损失,从而提高得率。然而该方法普遍较为复杂,很难在实际工业生产中实施,目前还处于实验研究阶段[13][14]。

3.2.4. 蒸汽爆破脱墨法

蒸汽爆破法是一种利用机械物理蒸汽爆破的方法来进行脱墨的新工艺,尤其适用于 MOW 的脱墨。该脱墨工艺采用一个同轴给料器将一定浓度的浆料送入蒸汽爆破器中,通过往复式缸体将废浆料纸压成塞状,然后连续进入高压蒸汽室。在高压蒸汽室中,浆料由螺旋输送装置送入高温空气压缩区(浆料在高压蒸汽室中的停留时间是可变的)。废纸料塞通过高压蒸汽室后,在螺旋输送机 and 放料阀的作用下,瞬间减压,产生爆破,使废纸解离成纤维,同时油墨从纤维上分离下来。蒸汽爆破法不仅可以使油墨颗粒分散成微小颗粒(以便洗涤出去),MOW 解离成纤维过程中不加或者少加化学药品,而且还一并解决了废纸杂质难以去除、激光/静电复印等油墨难以分散等问题[15]。而 J.R.Mentz 等人发现,蒸汽爆破脱墨法处理后的纸浆白度低于传统脱墨法纸浆白度[16]。蒸汽爆破法在一定程度上存在安全隐患。此外,该方法可以去除废纸中的一些杂质(松香胶、热熔物等),但能量损耗较高,还会带来一定的噪音污染。

3.2.5. 溶剂脱墨法

一些连接料依靠传统脱墨化学药品无法高效脱除,可是某些有机溶剂却能有效溶解,由此溶剂脱墨法应运而生。加拿大安大略省 Manuvin 公司将丁氧基乙醇(Butoxyethan01)的水溶液作为一种新的溶剂对脱墨效果进行了研究,这种溶剂在碱性条件下能够将油墨中的胶粘剂除去。但是,该方法所用溶剂价格很高,回用过程存在较大困难,操作上不易实现工业化,因此在国内并没有得到广泛使用和推广[17][18]。

3.2.6. 酶法脱墨

酶法脱墨是近年来研究较热的新型生物技术,该方法是借助适当的生物酶(起生物催化作用)对纤维表面油墨处理,以此来提升、改善 MOW 的脱墨效果,整个过程绿色环保,成本低廉[19]。目前,应用于 MOW 脱墨的生物酶主要有纤维素酶、半纤维素酶、脂肪酶、木聚糖酶、漆酶、脂肪酶等,尤其是纤维素酶,可以有效将 MOW 纤维上的油墨脱除。酶法脱墨相较使用化学药品的脱墨而言,适用性更广、脱墨效率以及纤维得率均较高。其次,酶法脱墨之后,纸浆白度高、纸浆游离度和物理强度有较大改善。再则,酶法脱墨过程中降低了化学药品使用,从经济上更可观。近年来,不论是实验室研究还是工业化应用,都已证明酶法脱墨是一种脱墨效果好,经济可行的废纸脱墨方法[20][21]。

Wu, SF 等研究了内切纤维素酶(EG1)对 MOW 的脱墨效果, 结果表明 EG1 在脱墨中发挥重要作用, 并且提高了酶处理脱墨浆的油墨脱除率[22]。尤纪雪等研究了纤维素酶和半纤维素酶与 α -淀粉酶的复合酶制剂对 MOW 脱墨效果, 并且优化了脱墨方法。结果表明, 用其中两种纤维素酶和木聚糖酶和 α -淀粉酶的混合酶来处理 MOW 时明显提高了脱墨效率[23]。

相比传统脱墨方法, 酶在 MOW 脱墨过程中实现降低能耗、改善纤维强度及减轻对环境的影响等方面都呈现出巨大的优势。但是为实现生物酶在 MOW 大规模循环应用, 还需解决很多问题, 如酶处理工艺不成熟、酶降解机理复杂、生物酶处理环境苛刻以及酶处理成本高等。

3.2.7. 空化射流脱墨技术

空化射流(CV-jet)脱墨是国外研发的一种最新的脱墨技术。CV-jet 既不添加脱墨化学品, 也无需高温、提高浆浓, 直接借助高速喷嘴产生空化气泡, 再利用空化气泡破裂产生的压力分离纤维表面的油墨、黏合剂及其他污染物, 从而促进油墨脱除[24]。有实验探讨了 CV-jet 处理对 MOW 脱墨的影响, 结果表明, 即使不使用化学品或常温条件下, CV-jet 处理仍能使 MOW 脱墨浆中的尘埃斑点减少, 并获得与工厂捏合机处理一样的水平, 且对纤维破坏程度较低, 处理后脱墨浆成纸强度高于工厂捏合机所得浆料成纸强度(见表 2, 详细比较了 CV-jet 处理与工厂捏合机(约 60 kWh/t)的脱墨效果) [25]。此外, 日本在实验室试验的基础上研发出了中试规模的气穴喷射脱墨设备, 并在一家脱墨浆厂开展了多喷嘴反应器的脱墨效果与脱墨浆浓度之间关系的研究[26]。

可以发现, 空化射流脱墨技术对设备要求较高, 要深入展开工业化应用非常困难。但该技术具有简化脱墨工艺、提升脱墨效果的优势, 在未来 MOW 脱墨技术研究中具备较大的潜力。

Table 2. The result of CV-jet treatment MOW

表 2. CV-jet 处理 MOW 的结果

	工厂浓缩机后	CV-jet 处理			工厂捏合机处理
		2 min	5 min	10 min	
脱墨和漂白化学品	无	无	无	无	有
温度/°C	40	22	29	35	60
游离度/mL	625	630	614	554	663
纤维长度/mm	0.92	0.90	0.90	0.89	0.76
纤维卷曲度/%	15.9	14.9	14.6	14.0	25.3
尘埃斑点数量/个·m ⁻²	18,000	500	300	280	360
成纸紧度/g·cm ⁻³	0.54	0.55	0.55	0.56	0.55
裂断长/km	3.3	3.7	3.9	4.4	2.3
撕裂指数/mN·m ² ·g ⁻¹	9.1	9.0	9.4	9.0	6.6

注: 工厂浓缩机后为捏合机前的中间浓缩机出口。

3.2.8. 其他脱墨法

高压电场法是美国开发的一种新型有效的脱墨方法, 是把高压电(两极间能产生 300~2000 V·cm⁻¹ 的电势差)加到废纸浆料上, 从而脱离纤维素的油墨和其他污染物, 在高压电的作用下丧失有机物的活力。该方法对很难用传统脱墨技术去除的污染物(如苯胺油墨、普通油墨、调色油墨等)尤其有效。处理后的脱墨浆, 增多了木素上羟基结合点、氢键, 其强度也比原浆还要高[27]。相较其他脱墨方法, 较为突出的是有效改善了强度, 但目前国内暂无依托高压电场法应用于 MOW 脱墨的研究, 具备较大的应用潜力。

O_3/O_2 浮选脱墨是国外研发的用臭氧代替空气的一种新型脱墨技术。 O_3/O_2 浮选脱墨可减少碱性化学药品使用, 降低成本, 实现绿色环保脱墨[28]。Nathalie Marlin 等人对新闻纸和杂志纸的脱墨进行研究, 结果表明 O_3/O_2 浮选脱墨的选择性提高达 100%, 降低了纤维损失率、废液 COD, 并提高了脱墨率[29]。同样地, 目前缺少利用 O_3/O_2 浮选脱墨法应用于 MOW 脱墨相关研究, 该技术具备良好的应用前景。

3.3. 协同脱墨法

协同脱墨法近年来应用广泛, 指利用两种或两种以上方法的协同作用进行脱墨, 获得较之单一方法更好的脱墨效果。吴芹等采用附聚-磁选技术对 MOW 进行脱墨, 研究发现该协同脱墨法能有效脱除混合办公废纸中的油墨颗粒, 在十八碳醇用量 2% (质量分数)、磁铁粉用量 0.1% (质量分数)、附聚浆浓料质量分数 4%、附聚时间 45 min、温度 70℃、磁选机磁场强度 1.1×10 Gs 的最佳工艺条件下, 脱墨率高达 90.24% [30]。余颖等利用纤维素酶与超声波协同作用对 MOW 脱墨, 结果表明协同脱墨可以有效去除 MOW 中的油墨, 白度比空白试样提高 4% ISO; 细纤维化程度提高, 抗张强度增大[31]。目前协同脱墨法的研究较少, 应用潜力大, 需在掌握各脱墨技术特点的基础上, 针对 MOW 油墨特性设计并验证。

4. MOW 脱墨技术总结

通过总结近年来 MOW 的脱墨技术(包括现有、具备潜力的方法)发现, MOW 的脱墨技术方法可大致分为传统方法、新型方法、协同方法三大类(见表 3)。其中, 传统方法已普遍应用于工业当中, 但有的易发生“碱变黑”现象或者脱墨效果有待提高, 不能更好地实现 MOW 脱墨。新型方法中, 酶法脱墨应用因其绿色环保、脱墨去除效果好而广泛应用, 其他方法有的虽能较好脱墨, 但是成本耗能高、设备要求高或是方法过程较为复杂等, 致使无法在工业中广泛实践应用。而协同脱墨法可依托两种或两种以上脱墨技术, 可达到较之单一技术更好的脱墨效果, 未来可针对 MOW 油墨的特有性质进行深入研究, 应用潜力大。

Table 3. Comparison of MOW deinking techniques

表 3. MOW 脱墨技术方法比较

类别	技术名称	优势	劣势
传统方法	碱法脱墨法	普遍使用, 工艺简便	易发生“碱变黑”现象
	弱碱性/中性脱墨法	避免纸浆发黑返黄现象	效果不及碱法脱墨
新型方法	超声波脱墨法	减少化学药品的用量, 改善成纸物理强度	应用不广泛
	附聚脱墨法	处理时间短, 去除率高	高度施胶及阳离子淀粉干扰
	磁性脱墨法	较好油墨脱除率, 有效降低纤维损失, 提高得率	方法过程较为复杂, 工业难以实现操作
	溶剂脱墨法	可在碱性条件下将油墨中的胶粘剂去除	溶剂价格高, 不易实现工业化
	蒸汽爆破脱墨法	适用于 MOW 脱墨, 较好处理掉废纸中存在的松香胶、热熔物等杂质	耗能较高, 产生一定噪音污染, 安全隐患
	酶法脱墨	脱墨综合效果好, 经济可行, 绿色环保	酶处理工艺不成熟、酶降解机理复杂、生物酶处理环境苛刻以及酶处理成本高等
协同方法	空化射流/高压电场法/ O_3/O_2 浮选脱墨	三种方法脱墨效果好, 绿色环保	设备要求高, 国内暂无相关研究
	协同脱墨法	获得较之单一方法更好的脱墨效果	研究不深入

5. MOW 脱墨技术研究展望

目前, MOW 脱墨技术虽然种类较多, 但仍存在一定问题: 1) MOW 脱墨技术的针对性不强。为更好地实现 MOW 的回收, 首先要解决 MOW 的脱墨问题。然而 MOW 脱墨研究相较其他废纸脱墨研究而言较少; 2) MOW 脱墨相关研究不深入。目前对于 MOW 脱墨的技术研究往往只重视结果, 而对于其过程研究较为缺乏; 3) MOW 脱墨技术工艺有待革新。目前国外掌握较多新型的废纸脱墨设备、工艺, 而国内缺乏先进的设备和工艺。需在学习国外先进的技术工艺基础上, 研发自主高效 MOW 脱墨设备和工艺, 可避免设备要求成本高等问题, 今后可广泛应用到实际生产; 4) MOW 脱墨技术的协同优化性不够。目前很多研究是基于一项技术对 MOW 进行脱墨, 而对于多种技术协同的相关研究较少, 需进一步加强 MOW 脱墨技术的协同性。

为响应党的二十大报告提出的“推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展”, 未来可以通过以下几个方面对 MOW 脱墨技术进行优化: 1) 开展更多 MOW 专项脱墨技术研究。从深入分析 MOW 油墨所特有的性质入手, 开展更多 MOW 脱墨技术研究; 2) 深入研究 MOW 脱墨机理。今后可针对 MOW 脱墨过程机理进行深入研究, 以便更好地优化 MOW 脱墨; 3) MOW 脱墨技术需兼顾应用性和绿色环保性。MOW 脱墨技术的传统方法相较新型和协同方法而言, 绿色环保性较低; 而新型和协同方法相较传统方法而言, 成本、设备、试剂等要求较高。未来研究需结合三项方法的优势, 以期得到应用性强、成本低廉和绿色环保性的 MOW 脱墨技术方法。

基金项目

成都工业院校级科研项目(2022ZR032)。

参考文献

- [1] 中国造纸协会. 中国造纸工业 2021 年度报告[J]. 中华纸业, 2022, 43(9): 8-18.
- [2] 唐帅, 宋维明. 美国废纸回收利用的经验做法与借鉴[J]. 对外经贸实务, 2014(6): 25-27.
- [3] 张权. 欧洲废纸回收委员会(EPRC)将 2020 年废纸回收率目标设定为 74%[J]. 造纸信息, 2017(9): 73.
- [4] 严波. 混合办公废纸(MOW)的凝聚-磁选法脱墨研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京有色金属研究总院, 2012.
- [5] 王凤. 酶辅助腰果酚基表面活性剂的废纸脱墨及脱墨浆应用研究[D]: [硕士学位论文]. 无锡: 江南大学, 2018.
- [6] 陈双双, 李强, 杨锋伟, 等. 生物酶用于混合办公废纸脱墨[J]. 中华纸业, 2013(10): 3.
- [7] 刘晓丽, 邱丙中, 聂爱玲, 等. 混合办公废纸纤维素酶法脱墨工艺研究[J]. 包装工程, 2018, 39(13): 47-51.
- [8] 周亚男, 张秀梅. 废纸脱墨技术的研究进展[J]. 纸和造纸, 2016, 35(10): 20-25.
- [9] Miao, Q.X., Wang, S.J., Qin, M.H., et al. (2004) Study on Neutral Deinking of ONP with Non-Ionic Surfactants. *Journal of Tianjin University of Science and Technology*, **19**, 6.
- [10] 孟慧慧. 办公废纸和废杂志纸的脱墨研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京工商大学, 2010.
- [11] 孟庆林. 回用和化学工艺对纤维性能的影响及机理的研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- [12] 杨恒, 张素凤. 废纸脱墨技术新进展[J]. 今日印刷, 2012(4): 65-67.
- [13] 郑其, 阮仁满, 宋永胜, 等. 采用高分子凝聚脱墨处理办公废纸的研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2006(2): 18-22.
- [14] 郑其, 阮仁满, 宋永胜, 等. 液桥凝聚用于办公废纸脱墨的研究[J]. 环境工程学报, 2006, 7(10): 77-82.
- [15] 季一友, 刘明友, 吕永利. 混合办公废纸脱墨浆的漂白[J]. 纸和造纸, 2008, 27(2): 27-29.
- [16] Scott, W.E. and Gerber, P. (1995) Using Ultrasound to Deink Xerographic Waste. *Tappi Journal*, **78**, 125-130.
- [17] 陈嘉翔. 废纸制浆技术的进展[J]. 中国造纸, 1998(2): 48-53.
- [18] Kaul, K.K. (1999) Aquasol: A New Process to Deink Old Newsprint. *Tappi Journal*, **82**, 115-120.
- [19] 隋振英. 激光打印废纸酶法脱墨的研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2010.

-
- [20] Bajpai, P. (2014) Deinking with Enzymes. In: Bajpai, P., Ed., *Recycling and Deinking of Recovered Paper*, Elsevier, Amsterdam, 139-153. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416998-2.00008-8>
- [21] 高玉杰. 废纸再生实用技术[M]. 北京: 超星电子图书, 2003.
- [22] Wu, S.F., Ding, S.J. and Li, Z.Z. (2005) Function of Endoglucanase I in the Deinking Process of Mixed Office Waste Paper. *Chemistry & Industry of Forest Products*, **25**, 87-90.
- [23] 尤纪雪, 叶汉林, 赵艳荣. 混合办公废纸漆酶/淀粉酶脱墨的研究[J]. 中国造纸, 2007, 26(4): 4.
- [24] Goto, S., Tsuji, H., Onodera, I., Watanabe, K. and Ono, K. (2014) Cavitation-Jet Deinking: A New Technology for Deinking of Waste Paper. *September*, **13**, 9-17.
- [25] 陈劲柏. 废纸脱墨新工艺: 空化射流脱墨[J]. 国际造纸, 2015(5): 26-36.
- [26] 申正会. 中试规模气穴喷射脱墨技术的研发[J]. 造纸化学品, 2015(3): 48-52.
- [27] 颜进华, 王永刚. 一种高效新型脱墨去污技术——电场法[J]. 中华纸业, 2005, 26(8): 42.
- [28] 陈军伟. 新型臭氧/氧气浮选脱墨[J]. 国际造纸, 2015, 34(6): 4-9.
- [29] Marlin, N., Almeida, F., Aourousseau, M., Herisson, A. and Beneventi, D. (2013) Innovative Ozone/Oxygen Reactive Flotation for Paper Deinking. *Ozone Science & Engineering*, **35**, 381-389. <https://doi.org/10.1080/01919512.2013.795852>
- [30] 吴芹, 杨崎峰, 王双飞, 等. 附聚-磁选技术用于混合办公废纸脱墨的研究[J]. 现代化工, 2010, 30(7): 51-53.
- [31] 余颖, 金小娟, 蒲俊文, 等. 混合办公废纸超声波酶法脱墨的研究[J]. 黑龙江造纸, 2011, 39(4): 9-12, 17.