

· 污染防治技术 ·

微波技术在废水处理中的应用

王翠玲, 谷晋川

(西华大学能源与环境学院, 四川 成都 610039)

摘要: 文章简述了微波直接辐射和微波再生技术在废水处理中的应用。指出了微波技术在废水处理中存在的问题, 并对其发展前景进行了展望。

关键词: 微波辐射; 再生; 污水处理

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1006-2009(2007)04-0036-04

Application of Microwave Technology in Water Treatment

WANG Cui-ling, GU Jin-chuan

(School of Energy and Environment, Xihua University, Chengdu, Sichuan 610039, China)

Abstract: The authors summarized the application and its disadvantage of the direct radiation and regeneration technology in waste water microwave processing, and expected development of the treatment technology.

Key words: Microwave radiation; Regeneration revivification; Waste water processing

微波是指频率为 $300\text{ MHz} \sim 30 \times 10^4\text{ MHz}$ 的电磁波, 最初主要用于通讯、广播电视等行业。由于微波具有加热高效快速、节能省电、加热源与加热材料不直接接触、可进行选择性加热、便于控制、设备体积小且无废物生成等特性, 其优越性随着社会的进步, 科学技术的发展, 不断体现出来。到 20 世纪 40 年代, 微波技术已成功地用于食品加工、有机合成、中草药提取、无机工艺、环境保护和分析检测等领域^[1]。在环境保护领域中, 微波主要应用于废水、废气、固体废气物的处理及环保材料的研制和环境监测^[2-3]等方面。

1 微波加热的原理

微波对物质的加热意味着将微波的电磁能转变为热能, 转变的过程与物质内部分子等微观粒子的极化有着密切的关系。通常, 一些介质材料由极性分子和非极性分子组成, 在微波电磁场作用下, 极性分子从原来的热运动状态转向依照电磁场的方向交变而排列取向, 产生类似摩擦热, 在这一微观过程中交变电磁场的能量转化为介质内的热能, 使介质温度出现宏观上的升高, 这就是对微波加热最通俗的解释。

微波场中的加热有两种机理, 即离子传导机理和偶极子转动机理, 相关文献 [4-7] 已对此做了详细报道。在微波加热的实际应用中, 这两种机理的微波能耗散同时存在, 离子传导加热的效率与介质中离子的浓度和迁移率有关, 偶极子加热的效率与介质的弛豫时间、温度和粘度有关^[8]。而温度和介质离子的迁移率、浓度及介质的弛豫时间决定两种能量转化机理对加热的贡献。

2 微波技术在废水处理方面的应用

2.1 微波直接辐射处理废水

直接辐射法是指把废水直接放在微波场中照射。赵景联等^[9]用微波辐射 Fenton 试剂氧化催化降解水中的三氯乙烯, 在 Fenton 试剂摩尔比 60, 用量为 10%, 微波功率 750 W, 反应时间 12 min 的条件下, 三氯乙烯的降解率可达 87.08%, 明显高于

收稿日期: 2006-11-01; 修订日期: 2007-03-13

基金项目: 四川省应用基础基金资助项目 (2006J13-001-2); 西华大学人才引进基金资助项目 (0424138); 四川省重点学科建设基金资助项目 (SZD-0412)

作者简介: 王翠玲 (1982—), 女, 四川成都人, 硕士研究生, 从事污染控制及环境材料研究。

一般实验方法,成为降解水中三氯乙烯的一种有效方法。夏立新等^[10]用微波辐射技术降解聚乙烯醇(PVA),微波功率为 800 W,辐射时间为 1 min, pH 值为 3,单位 PVA 的 H_2O_2 用量为 0.22 g/g 时,5 mL 质量分数为 7% 聚乙烯醇的平均聚合度能够在 1 min 内降至 67%。Satoshi 等^[11]采用微波技术降解经 TO_2 悬浮液光降解后的罗丹明 - B 染料,由于微波辐照大大加快了反应过程中羟基游离基形成速度,提高了 TO_2 的表面活性,从而促进了对罗丹明 - B 染料的降解效率。

张耀斌等^[12]将酸性萘醌绿染料放入特制微波反应器,在静态微波催化剂的作用下,固液比为 1:2,反应时间为 12 min,200 mg/L 的酸性萘醌绿染料脱色率为 82%。在连续流固液比 1:1,进样质量浓度为 200 mg/L, HRT(为反应柱中水力停留时间)为 10 min,微波功率为 250 W 时,酸性萘醌绿染料脱色率保持在 87.5% 左右。

Liu^[13]用微波辐射法氧化甲苯,以 V_2O_5/TO_2 为催化剂,反应体系达到 500 K 时就能使其氧化成苯甲酸(传统的方法需要在 600 K 的条件下)。

傅大放等^[14]报道,把污水厂未经消化的污泥放入微波炉中加热 45 min,直接的效应是污泥含水率的降低。经过机械脱水后的污泥用微波进行干燥,含水率由 75% 降低到 50% 以下,处理成本低,且时间短,设备简单。

2.2 微波再生技术处理废水

活性炭作为一种易得和有效的吸附剂,广泛用于废水处理领域。除了单独活性炭的再生以外,有时也在活性炭中加入其他物质,这些物质在微波场中的变化,对活性炭的再生有多方面的影响,这就是所谓的微波再生技术。目前的研究表明,先将污染物吸附到活性炭或其他吸附剂上,然后再置于微波场中辐射,较直接置于微波场中辐射有更好的处理效果。

处理污水中的有机污染物常用的一种方法是活性炭吸附法,但吸附后的活性炭表面有机物却难以处理。而微波再生技术能有效地解吸活性炭表面的有机物,使活性炭再生并有利于有机物的消解和回收再利用。Chih 等^[15]采用低能度的微波辐射,对污水中吸附在颗粒状活性炭表面的有机毒物三氯乙烯、二甲苯、萘以及碳氢化合物等进行解吸和消解,其最终分解率达 100%,处理后的水质稳定。此外,微波加热解吸还可回收有机物。如 Ha-

mer 等^[16]研制了一种固定床式的微波加热解吸装置,用该装置研究了从活性炭高分子和沸石中解吸回收乙醇和有机脂。Tai 等^[17]采用活性炭吸收苯酚和用微波辐射降解吸收在活性炭上的苯酚,研究表明采用此方法处理质量浓度为 5.0 mg/L 和 50.0 mg/L 的苯酚液,降解后检测不到苯酚的存在,全部降解为最终产物 H_2O 和 CO_2 。实验还证明,双反应体系(活性炭吸附和微波加热活性炭两个体系分开)的降解效率要比单反应体系的效率高,特别是苯酚质量浓度比较高的时候(50.0 mg/L)。

Tai 等^[18]采用微波处理溶液中的苯、甲苯、二甲苯及苯酚,微波辐射 90 s 后,苯、甲苯、二甲苯被完全降解成 H_2O 和 CO_2 ,240 s 后苯酚被完全降解成 H_2O 和 CO_2 。实验还发现,在微波辐射下,活性炭粒子间产生弧光并且很快变得火红,此时的温度可达 1200 以上,在这样高的温度下有机污染物很快分解成 H_2O 和 CO_2 。邹宗柏等^[19]在活性炭存在的条件下利用微波辐射去除废水中磺基水杨酸污染物,对废水中磺基水杨酸的去除率可达 97.4%。古昌红等^[20]研究在 ACF(活性炭纤维)和活性炭存在下,微波辐射除去焦化废水中的吡啶污染物。在微波辐射下,用 ACF 处理吡啶溶液具有明显的效果,3.5 min 去除率即可达到 98%。微波辐射不能使吡啶发生降解,其作用是使 ACF 的孔隙结构发生变化,增加了其吸附能力。

张国宇等^[21]利用微波辐射去除废水中邻苯二甲酸二辛酯污染物。采用 12~16 目的 JX-106 型椰壳活性炭 5 g 与 50 mL 废水(固液比为 1:10)混合,在微波辐射功率为 500 W,辐射处理 5 min,废水的 COD 质量浓度由 648 mg/L 降至 70.1 mg/L, COD 去除率为 89.2%,废水的 pH 值对处理效果几乎没有影响。进一步研究发现,在微波辐射场中废水中的有机污染物在活性炭表面通过吸附-氧化协同作用而被迅速降解。冯建敏等^[22]采用微波辐射技术处理酸性黄染料废水。质量浓度为 50 mg/L 的酸性黄染料废水 50 mL,活性炭用量 2 g,微波辐射功率 800 W,处理 7 min,可以得到最佳的废水处理效果。王金成等^[23]在活性炭存在下,用微波照射能使活性艳蓝 KN-R 溶液迅速脱色,每克活性炭处理质量浓度为 300 mg/L 的活性艳蓝 KN-R 溶液 50 mL,微波辐射 4 min,脱色率达 97.1%。研究还表明,由于微波辐射条件下活性炭

对活性艳蓝 KN - R 的处理量明显高于活性炭常温下对活性艳蓝 KN - R 的饱和吸附量,说明在活性炭存在下,微波照射能使活性艳蓝 KN - R 脱色。

但是,目前活性炭对某些废水处理的效果不尽人意,其处理工艺有待进一步的研究。杨良玉等^[24]提出一种运用微波再生活性炭与铁屑混合物处理染料废水的新方法,该方法中所使用的炭铁混合物较单独活性炭对染液废水的去除率有明显提高;加入了铁屑,促进微波再生、活化活性炭,同时吸附在活性炭中的染料得到降解;微波作用多次后炭铁对废水的处理仍能保持色度去除率 99% 以上、COD 去除率 64% 以上。在今后的研究中可考虑在活性炭中加入铁屑或其他金属,以改进处理效果。

对于其他吸附材料(如有机膨润土)相关人士也做了研究,国内外均有报道,如 Sang - Mo Koh, Joe Boris Dixon 等使用有机膨润土处理含苯和苯酚的废水, Konduru R. Ramakrishna, T. Viraraghavan 等进行染料废水脱色,国内也有较多文献报道使用有机膨润土进行有机废水脱色和处理苯酚、苯胺等有机物污染物的方法。如李济吾等^[25]用微波协同有机膨润土处理有机废水,对硝基苯酚废水处理,有机膨润土过 100 目筛,与废水固液质量比 1 3 000,微波功率 700 W,辐照 30 s ~ 3 min,经测定,对硝基苯酚的去除率在 85% 以上。对酸性大红染料废水的处理,有机膨润土与待处理废水质量比为 1 2 000,微波功率 700 W,辐照时间 2 min 后,冷却至室温,以离心方法达到固液分离,经测定,脱色率在 99% 以上。同时对酸性蓝染料废水、酸性黄染料废水进行了脱色研究,亦达到了很好的处理效果。

3 微波技术在废水处理中存在问题和发展前景

目前,微波处理废水技术主要有 3 种方式:微波直接作用于废水;微波作用于废水和活性炭(或其他物质);微波作用于吸附材料。这 3 种方式已广泛应用于废水处理领域,在某些废水处理中达到了很好的处理效果,但也存在着一些问题。

(1)由于吸附材料的问题导致净化处理时间较长。如有机膨润土作为吸附剂最大优点是吸附能力,但有机膨润土须经高温活化,达到吸附有机污染物平衡时间较长,造成处理废水操作时间较长,费时费能严重。鉴于此,可以考虑对膨润土进

行改良。李济吾等^[26]对微波合成有机膨润土及其吸附水中有机物的性能研究,微波合成的 CPC 膨润土较常规湿发合成的有机膨润土有更好的吸附性能,对酸性大红的吸附处理效率显著提高。

(2)污染物去除效率低或对某种成分去除效果好但对另一种成分达不到处理的要求,这是废水处理中一直存在的问题,相关人士已在这一方面做了大量研究。如孙宪彬等^[27]对污水处理专用添加剂的研究。其次,可研究采用多种吸附材料同时作用于废水或在吸附材料中加入金属材料以改善其吸附性能,对此相关文献亦有报道,如杨良玉等^[24]对微波再生铁屑 - 活性炭处理染料废水的研究。

(3)微波技术本身的不足。微波辐射技术在污水处理中的应用多是静态的或者称为序批式的,即微波诱导催化氧化和吸附不能同时进行,限制了该技术的应用范围。如能实现吸附和微波诱导催化氧化同时进行,则可实现整个处理过程的连续化,也能够拓宽微波诱导催化氧化技术(MDP)的应用领域,加快该技术在污水处理领域的产业化步伐。

微波技术具有高效、节能、省时、操作条件简单、无二次污染等优点。虽然也存在不尽人意的方面,但是随着人们对微波技术的不断探索和发展,这些问题都会迎刃而解。相信微波技术在水处理领域具有巨大的潜力和优势,将会带来很大的工业效益和社会效益。

【参考文献】

- [1] 李淑君,刘健威. 微波技术及其在林产工业中的应用[J]. 林产工业, 2002, 29(2): 12 - 15.
- [2] 尹卫萍,陈素兰. 微波技术在环境试样中的应用[J]. 环境监测管理与技术, 2001, 13(2): 22 - 23.
- [3] 张效芬,田文,邱争. 微波消解处理测定水和废水中总磷[J]. 环境监测管理与技术, 2002, 14(3): 31 - 32.
- [4] 王剑虹,严莲荷,周申范,等. 微波技术在环境保护领域中的应用[J]. 工业水处, 2003, 23(4): 18 - 22.
- [5] 徐文倩,郑广宏,黄钟霖,等. 微波技术在水污染治理中的应用[J]. 江苏环境科技, 2006, 19(1): 26 - 30.
- [6] HILL J M, MARCHANT T R. Modeling microwave heating[J]. Applied Mathematical Modeling, 1996, 20(1): 3 - 15.
- [7] OESPOCHUCK J M. A history of microwave heating applications[J]. IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, 1984(4): 32.
- [8] 韩丽,韩永忠,陈金龙,等. 微波技术在污染控制领域的应用[J]. 四川环境, 2005, 24(3): 24 - 28.
- [9] 赵景联,任国勇. 微波辐射 Fenton 试剂氧化催化降解水中三

氯乙烯 [J]. 微波学报, 2003, 19 (1): 85 - 90.

[10] 夏立新, 李坤兰, 庞军, 等. 微波辐射技术在聚乙烯醇降解反应中的应用 [J]. 环境化学, 2000, 19 (6): 556 - 560.

[11] SA TOSH I H, H ISAO H, N I K E S. Environmental emediation by an Integrated Microwave/UV - Illumination Method [J]. Environmental Science and Technology, 2002, 36 (6): 1357 - 1366.

[12] 张耀斌, 薛大明, 杨凤林, 等. 流动态微波催化反应器处理染料废水的工艺稳定性 [J]. 中国环境科学, 2002, 22 (3): 235 - 238.

[13] L U Y, L U Y, L U P, et al. Effect of microwaves in selective oxidation of toluene to benzoic acid over a V2O5/TiO2 system [J]. Applied Catalysis A: General, 1998, 170: 207 - 214.

[14] 傅大放, 蔡明远. 污水厂污泥微波处理试验研究 [J]. 中国给水排水, 1998, 15 (6): 56 - 57.

[15] CH I H G, H U A T. Application of activated carbon in a microwave radiation field to treat trichloroethylene [J]. Carbon, 1998, 36 (11): 1643 - 1648.

[16] HAMER A, P I I S, P U S C H N E R P A. Direkt zum ziel (Desorption dutch mikrowellen) [J]. Chemie Umwelt Technik, 1998, 99: 16 - 17.

[17] TA I H S, JOU C J. Application of granular activated carbon packed - bed reactor in microwave radiation field to treat phenol [J]. Chemosphere, 1999 (11): 2667 - 2680.

[18] TA I H S, JOU C J. Application of granular activated carbon packed - bed reactor in microwave radiation field to treat BTX [J]. Chemosphere, 1997, 33 (3): 151 - 157.

[19] 邹宗柏, 傅大放. 用微波辐照消除磺基水杨酸污染物 [J]. 环境污染与防治, 1999, 21 (1): 22 - 24.

[20] 古昌红, 傅敏, 余艳丽, 等. 在微波辐射下用 ACF 处理吡啶溶液的实验研究 [J]. 重庆环境科学, 2003, 25 (3): 29 - 31.

[21] 张国宇, 王鹏, 姜思朋, 等. 微波辐射处理醋化废水的工艺技术研究 [J]. 给水排水, 2004, 30 (8): 61 - 64.

[22] 冯建敏, 邓宇, 李兰青子. 微波辐射法处理酸性黄染料废水的研究 [J]. 印染助剂, 2005, 12 (6): 25 - 26.

[23] 王金成, 薛大明, 熊力, 等. 微波辐射处理活性艳蓝 KNR 染料溶液的研究 [J]. 环境科学学报, 2001, 21 (5): 628 - 630.

[24] 杨良玉, 曾庆福, 杨俊, 等. 微波再生铁屑 - 活性炭处理染料废水 [J]. 武汉科技学院学报, 2003, 16 (10): 37 - 41.

[25] 李济吾, 朱利中. 微波协同有机膨润土处理有机废水方法: 中国, CN03116256. 8 [P]. 2003 - 10 - 08.

[26] 李济吾, 朱利中, 蔡伟建. 微波合成有机膨润土及其吸附水中有机物的性能 [J]. 中国环境科学, 2004, 24 (6): 665 - 669.

[27] 孙宪彬, 徐有生. 微波污水处理专用添加剂: 中国, CN02123696. 8 [P]. 2004 - 01 - 14.

本栏目责任编辑 李文峻

(上接第 17 页)

表 5 大潮落潮时, 各水厂污染物 COD、NH₃ - N 质量浓度增量

mg/L

污染源	(COD)					(NH ₃ - N)				
	城南	北河口	上元门	城北	浦口	城南	北河口	上元门	城北	浦口
红旗机站	0	0.005	0.002	0.002	0	0	0.000	0.000	0.000	0
黑桥机站	0	0.070	0.013	0.009	0	0	0.047	0.009	0.001	0
徽州机站	0	0.097	0.014	0.010	0	0	0.032	0.005	0.003	0
下圩沟机站	0	0.200	0.029	0.019	0	0	0.040	0.006	0.004	0
解放闸机站	0	0.043	0.004	0.003	0	0	0.010	0.001	0.001	0
龙涡机站	0	0	0.019	0.013	0	0	0	0.005	0.004	0
南京肉联厂	0	0	0.009	0.003	0	0	0	0.001	0.000	0
金川河支流	0	0	1.400	0.280	0	0	0	0.340	0.070	0
桥管处机站	0	0	0.003	0.000	0	0	0	0.000	0.000	0
船厂 1 号机站	0	0	0.022	0.001	0	0	0	0.004	0.000	0
船厂 2 号机站	0	0	0.005	0.000	0	0	0	0.001	0.000	0
船厂 3 号机站	0	0	0.004	0.000	0	0	0	0.001	0.000	0
银通物资机站	0	0	0.120	0.002	0	0	0	0.032	0.001	0
港务局机站	0	0	0	0.000	0	0	0	0	0.000	0
定向河机站	0	0	0	0	0.040	0	0	0	0	0.006
港机配件公司	0	0	0	0	0.005	0	0	0	0	0.001
港务二公司	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
协同影响值	0	0.415	1.64	0.341	0.045	0	0.130	0.405	0.084	0.007

[参考文献]

[1] 谭维炎. 计算浅水动力学 - 有限体积法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.

[2] 沈敏, 于红霞, 邓西海. 长江下游沉积物中重金属污染现状与特征 [J]. 环境监测管理与技术, 2006, 18 (5): 15 - 18.

[3] 白玉川, 顾元琰, 邢焕政. 水泥石沙水质数学模型理论及应用 [M]. 天津: 天津大学出版社, 2005.

[4] 付国伟. 河流水质数学模型及其模拟计算 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1987.

[5] 赵人俊. 流域水文模拟 [M]. 北京: 水利水电出版社, 1984.