

废水中有机物处理用吸附材料的研究进展

李俊虎, 周珉, 王乔

(上海化学工业区中法水务发展有限公司, 上海 201507)

摘要: 吸附法是一种有效的废水中有机物处理方法。文章综述了国内外相关的碳材料类吸附材料、高分子类吸附材料和矿物类吸附材料对废水中有机物的吸附处理最新研究进展。简要总结了各种吸附材料的优缺点, 提出了今后吸附材料处理废水中有机物的研究发展方向。

关键词: 废水处理; 吸附; 石墨烯; 壳聚糖; 硅藻土

中图分类号: X703

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2020.02.012

Research Progress of Adsorbent Materials for Organic Compounds Treatment in Wastewater

LI Junhu, ZHOU Min, WANG Qiao

(Shanghai Chemical Industry Park Sino French Water Development Co., Ltd. Shanghai 201507, China)

Abstract: Adsorption is an effective method to treat organic compounds in wastewater. The latest domestic and foreign researches on the adsorbents for organics treatment in wastewater like carbon, polymer and mineral were fully reviewed. The advantages and disadvantages of various adsorbents were briefly summarized. And the further research direction of the adsorbents for organics treatment in the future was put forward.

Keywords: Organics treatment; Adsorption; Graphene; Chitosan; Diatomite

CLC number: X703

在人们生活、生产和经营过程中会产生大量的废水, 废水中含有种类复杂的污染物, 直接排放会污染环境, 废水必须经过处理才能排放到环境中。通常废水中的污染物主要可以分为两大类, 无机污染物和有机污染物^[1]。废水中的无机污染物包含各种有毒有害重金属离子, 溶解性盐等; 废水中的有机物污染物种类多样, 根据废水产生的行业不同, 废水中的组分也有较大的差异, 主要有碳水化合物、脂肪、蛋白质、油脂、纤维素、药类、酚类和醛类等。

废水中无机污染物可以采用中和、沉淀、气浮、过滤和膜分离等工艺进行去除; 废水中有机污染物可以采用活性污泥、化学氧化和吸附等工艺进行去除^[2]。活性污泥法主要对废水中的无毒害的可以生物降解的物质进行去除, 处理效果好, 运行成本低, 我国多数的污水厂都采用此种处理工艺。对

于不能进行生物降解的污染物, 如药类、氯代烃和芳香族污染物可以采用化学氧化和吸附等方法进行处理。化学氧化法主要是利用各种具有强氧化性的物质如臭氧、芬顿、过硫酸盐和高氯酸盐等与有机物进行氧化还原反应, 将有机污染物氧化为无毒害的物质或者易被生物降解的物质^[3]。吸附工艺主要是利用具有吸附性能的材料如活性炭、树脂等将有机物吸附在吸附材料表面或微孔内进而从废水中去除^[4]。

随着环保要求的不断提高, 废水的排放标准越来越严格, 污水厂都在寻求新的污染物处理技术来进行提标改造。化学氧化法对污染物的适应性较强, 能够处理废水中各种浓度和种类的有机污染物, 应用较为广泛。但是随着废水中污染物浓度的降低, 氧化反应的效率越来越低, 会造成处理成本的提高。吸附工艺对低浓度的污染物仍有较好的

收稿日期: 2019-09-12

作者简介: 李俊虎(1988-), 男, 硕士研究生。研究方向: 废水处理。E-mail: lijunhu@scipsfwd.com

引用格式: 李俊虎, 周珉, 王乔. 废水中有机物处理用吸附材料的研究进展[J]. 环境保护科学, 2020, 46(2): 61-65.

去除率,且适用性也较为广泛。本文综述了近年来各种吸附材料对废水中有机污染物的去除效果。

1 碳材料类吸附材料

1.1 活性炭材料

活性炭是有机物质隔绝空气经高温加热等一系列工艺制备的吸附材料,具有丰富的微孔结构,比表面积大,对无机重金属离子和有机物质都有较好的吸附能力,广泛应用在废水处理中。雷太平等^[5]采用活性炭对反渗透系统浓水进行有机物吸附去除研究。活性炭投加量为 20 g/L,吸附温度为 5~35 °C, pH 在中性和酸性条件下, COD 的去除率>87.5%。DAOUD et al^[6]利用凤凰酸枣和紫枣核分别制备活性炭 PRAC 和 JSAC,用来去除废水中的染料 BEZAKTIV RedS-Max (BRSM),活性炭 PRAC 和 JSAC 的 BET 表面积分别可达 1 283 和 1 896 m²/g,活性炭 PRAC 和 JSAC 对于 BRSM 的最大吸附量分别为 196.08 和 37.04 mg/g,且其吸附遵循伪二级吸附规律。

1.2 改性活性炭材料

废水中许多的有机物质为极性物质,通过对活性炭的改性可以增强对废水中有机物的去除能力。白瑞等^[7]采用硝酸改性活性炭对染料废水进行吸附,当活性炭投加量为 0.5 g,亚甲基蓝溶液浓度为 15 mg/L,时间为 210 min 时,吸附接近平衡,随着溶液 pH 的升高,活性炭对亚甲基蓝的去除率提高,最高可达 88.3%。LIU et al^[8]采用纳米 Fe₃O₄对活性炭进行改性,制备了负载纳米 Fe₃O₄的活性炭(Fe₃O₄/AC)对废水中的罗丹明和甲基橙进行吸附,结合刘氏等温线方程和一阶动力学模型通过实验结果分析,(Fe₃O₄/AC)对罗丹明的最大吸附量为 182.48 mg/g,对甲基橙的最大吸附量为 150.35 mg/g,改性后的活性炭吸附能力强于未改性的活性炭,而且纳米 Fe₃O₄增强了活性炭的磁性,更容易从水中沉降,分离回用。

1.3 石墨烯

石墨烯是一种由碳原子组成的二维碳纳米材料。石墨烯的化学性能和石墨类似,石墨烯具有较大的比表面积,吸附能力极强,可以吸附并脱附各种原子和分子,在废水处理应用中可以吸附多种无机离子和有机物质^[9]。

韩丽君等^[10]利用合成的 PVP 功能化石墨烯纳米材料(PVPGNs),对水中酸性红(ASG)和孔雀石

绿(MG)进行吸附。当 pH 为 7、温度 40 °C、时间 10 min、材料的质量浓度为 1 g/L 时,ASG 的最大吸附率达到 93.41%,最大吸附量达到 93.41 mg/g;当 pH 为 5、温度 40 °C、时间 10 min、材料用量 0.5 mL,材料的质量浓度 1 g/L 时, MG 的最大吸附率达到 83.38%,最大吸附量达到 83.38 mg/g。等温吸附模型的拟合结果表明,PVP-GNs 对 ASG 和 MG 的理论最大吸附量分别达到 1 887 和 1 976 mg/g。

DIRAKI et al^[11]采用石墨烯吸附高盐废水中的柴油,石墨烯的理论吸附能力高达 1 335 mg/g,而且随着废水盐度的增加,石墨烯对柴油的吸附能力也逐渐增加,盐度增加到 1% 时,吸附能力增加了 75%,而且短时间即可达到吸附平衡,4 min 时已达到 90% 以上的吸附能力。

石墨烯对废水中有机污染物吸附效果好,但存在难以回收的问题,制备磁性石墨烯或者其他复合材料,使得石墨烯能够回收再利用。刘仲谋^[12]制备了多种石墨烯材料对水中消毒副产物及新兴有机微污染物进行了吸附研究,石墨烯可以快速去除水中微量卤代乙酸,2 min 吸附效率可达 30%,5 次吸附后,总卤代乙酸的去除率可到 88%,而制备的磁性石墨烯对水中的消毒副产物 DBPs 进行去除,去除率在 80% 左右,对三氯生(TCS)的去除率可达 98%。

1.4 其他碳类吸附材料

活性焦是以煤为原料,经过粉碎、造粒等工艺制备的颗粒状物质。活性焦具有活性炭吸附的特点,且价格便宜(仅为活性炭的 30%~50%),机械强度高,不易粉碎。张荣梁等^[13]采用活性焦对染整废水进行吸附研究,活性焦对染整废水 COD 的吸附性能优势显著,在 pH 为 6,投加量 2 g/L,振荡 120 min 时,其对染整废水 COD 的去除效率为其他吸附材料的 1.5~2.6 倍。活性焦对污染物的吸附以多分子层吸附为主。

活性碳纤维是将含碳纤维经过高温活化制备而成的吸附材料。活性碳纤维的微孔孔径分布均匀,相比活性炭加工成型性好,可制备布、纸、毡等形式,且具有较高强度,不易粉化,对废水净化程度高,可再生后重复利用。朱艳云等^[14]采用棉短绒制备活性碳纤维用来吸附刚果红染料,当刚果红溶液初始浓度 200 mg/L, pH 为 6,活性碳纤维吸附材料用量 1.0 g,吸附反应时间 180 min 时,活性碳纤维对刚果红的吸附率高达 93.53%;活性碳纤维经过 800 °C 高温煅烧后再生 5 次的吸附率仍可达到 91.28%。

2 高分子类吸附材料

2.1 树脂类吸附材料

大孔树脂是一种高分子聚合物材料, 物理化学性质稳定, 不溶解于酸、碱和有机溶液, 在高盐环境中其吸附能力也不受影响, 对于高低浓度的有机物都能有效吸附, 容易再生, 应用范围广泛, 可以作为有效的废水处理吸附材料^[15]。

刘兰等^[16]通过正交实验研究了 NKA-II 大孔树脂对苯甲酸的动态吸附去除效果, 当废水中苯甲酸初始浓度为 0.01 mol/L, 树脂柱高径比 6.6, 流速 5.7 mL/min, 废水中苯甲酸的脱除率达到 95.82%。徐超等^[17]采用制备的超高交联树脂 XC-01 对水杨酸、没食子酸进行了吸附, 对水杨酸、没食子酸吸附容量分别达到 336.1 mg/g 和 141.6 mg/g, 比同类型的国外进口树脂吸附量大了 4 倍。树脂的吸附容量随着 pH 的升高、温度升高而降低, 适用于低温酸性条件下的吸附质的吸附分离。

树脂不仅可以吸附去除废水中污染物, 当废水中有机污染物组分比较单一, 采用树脂还可以对废水中污染物进行回收利用。李珣珣等^[18]采用 5% 烧碱溶液作为树脂的再生液, 对苯甲酸吸附树脂进行了再生, 且再生后的树脂继续进行 10 次动态吸附, 苯甲酸的去除率 >99.5%。蒋银峰等^[19]研究了不同吸附树脂对苯乙酮的吸附效果, 流速 5~10 BV/h, 树脂 LS-106 对苯乙酮吸附效果最好, 静态吸附量最大可达 177.7 mg/g, 且用甲醇, 流速 1 BV/h, 苯乙酮解析率可到 99%。

2.2 壳聚糖类吸附材料

壳聚糖是一种天然高分子材料, 具有较好的吸附作用, 且容易降解, 无毒害作用^[20], 在废水处理中可以作为一种吸附剂使用, 改性壳聚糖的吸附能力优于天然壳聚糖且使吸附后的壳聚糖容易分离。

郭俊元等^[21]以戊二醛结合 Fe_3O_4 制备了磁性壳聚糖, 对废水中的亚甲基蓝进行吸附, pH 为 10, 反应时间 1 h, 磁性壳聚糖的投加量为 500 mg/L 时, 对废水中亚甲基蓝的去除率和吸附容量分别为 97.6% 和 39.0 mg/g, 远高于天然壳聚糖的 59.8% 和 23.9 mg/g。高奕红等^[22]采用溶胶凝胶法制备壳聚糖/ SiO_2 复合材料, 对甲基橙溶液进行了吸附研究, 在 25 °C, pH 为 4.22, 甲基橙溶液浓度 20 mg/L, 吸附 210 min 可达到吸附平衡, 对甲基橙的饱和吸

附量为 43.73 mg/g。

SANTOS et al^[23]采用铁酸锌和壳聚糖制备了磁性的吸附粒子用来吸附处理水溶液中的双氯芬酸(DCF), 吸附后的磁性粒子在外加磁场作用下容易从水中分离出来。当溶液 pH 为 4, 吸附剂的用量 0.2 g/L, 20 min 可达到吸附平衡, 经过计算制备的吸附剂最大吸附量为 188 mg/g, 且再生 4 次仍有较好的吸附效果。

3 矿物类吸附材料

3.1 硅藻土类吸附材料

硅藻土是一种矿物质材料, 是由古代单细胞硅藻类死亡以后逐渐形成的一种主要成分为 SiO_2 的矿石。在显微镜下可以观察到其特殊的多孔结构, 利用其特殊的多孔结构可以作为吸附材料使用^[24]。

天然硅藻土对于阳离子物质具有较好的吸附作用, 通过改性, 可以使硅藻土获得较好的有机物质吸附能力。徐阳等^[25]利用制备的氯代十六烷基吡啶(CPC)改性磁性硅藻土对废水中的染料甲基橙进行吸附研究, 改性硅藻土对甲基橙的理论最大吸附量为 135.14 mg/g。关昶等^[26]利用制备的碳酸钙改性硅藻土对酸性红 GR 染料进行吸附, 在初始浓度为 0.2 g/L 的酸性红 GR 染料废水中, 加入 40 g/L 含有 1.5% 的碳酸钙的改性硅藻土吸附 40 min 后 COD 去除率可达 65.43%。李哲等^[27]制备改性的纳米二氧化锰负载硅藻土对苯酚废水进行吸附, 温度为 25 °C、吸附反应时间 100 min、pH 为 2、纳米二氧化锰负载硅藻土用量 0.6 g/L。废水中苯酚的平均去除率达 85.63%, 苯酚的理论饱和吸附量为 207.039 mg/g。

DENG et al^[28]采用原位水热法制备了具有层状多孔结构的铝硅/硅藻土(Allo/Dt)纳米复合材料对水溶液中的苯进行了吸附研究。Allo/Dt 纳米复合材料的比表面积为 155.9 m^2/g 高于硅藻土(17.9 m^2/g), 苯的最大动态吸附量为 121.6 mg/g。

3.2 膨润土类吸附材料

膨润土是一种非金属矿物质, 主要成分是蒙脱石, 蒙脱石是由铝硅酸盐以一定的比例构成的晶体结构, 具有一定的吸附和离子交换功能。经过改性后, 其对有机物的吸附能力能够得到较大提高^[29]。

任宗礼等^[30]以复合十六烷基三甲基溴化铵和二乙基二硫代氨基甲酸钠为改性剂、钠基膨润土为

原料,制备了不同配比的复合有机改性膨润土,复合改性膨润土对苯酚的吸附效果远好于天然钠基膨润土。张宁等^[31]利用十六烷基三甲基溴化铵对膨润土进行改性,改性后膨润土的层间距增加了 1 倍左右,吸附温度为 30 ℃,当改性有机膨润土加入量为 0.2 g,苯酚溶液和 2,4-二氯苯酚溶液 pH 分别为 6.80 和 6.65,污染物的初始质量浓度为 100 mg/L,吸附 40 min 后,有机膨润土对苯酚溶液和 2,4-二氯苯酚溶液的去除率分别为 30.26% 和 93.61%。

3.3 沸石类吸附材料

沸石是一类具有架状结构的天然硅铝酸盐矿物质,内部有许多空腔,具有吸附和离子交换的能力,在废水处理领域可用作吸附剂,对废水中的污染物进行吸附。SADAT et al^[32]以膨润土为原料合成 Y 型分子筛,并通过十六烷基三甲基溴化铵对其进行改性制备改性沸石 SMZY 处理含有烯烃的废水,吸附后废水中的 TOC 降低了 85%,通过朗缪尔吸附等温线分析,改性沸石 SMZY 对废水中的烯烃物质的吸附达到 30.87 mg/g。

NAGASE et al^[33]采用 MFI 型沸石吸附水溶液中的 4-甲基咪唑,在 pH 为 3 时,4-甲基咪唑的吸附量取决于沸石中的可交换阳离子的量,且发现在低 pH(pH 为 3)比高 pH 的吸附更加稳定,加热到 370 ℃ 才能发生脱附,而高 pH 值的吸附在 260 ℃ 时就能发生脱附。

4 总结和展望

活性炭具有较好的吸附稳定性,造价合理,但是也存在一些缺点,可再生性能差,容易造成二次污染。石墨烯类材料价格高,且吸附后难以分离,通常经过改性后才能获得较好的分离能力,目前在实际工业中仍应用较少。高分子类材料具有较好的吸附能力,且容易再生,具有较好的再生吸附能力,多用于有机污染物较为单一的废水,通过吸附回收部分物质,对于污染物组分复杂的废水仍需进一步的研究。矿物质材料的吸附能力多是由于其离子交换性而产生的,虽然矿物质资源丰富,价格低廉,但是相对活性炭等吸附材料吸附容量偏低。吸附法操作条件简单,对各种工况条件下的废水都具有较好的处理效果。开发吸附能力强,价格便宜,再生能力强的绿色吸附材料仍具有较大的空间。

参考文献

- [1] PARISA M P, JAMALEDDIN P S. Review on recent progress in chitosan-based hydrogels for wastewater treatment application[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2018, 201: 264 – 279.
- [2] SALAMA E S, KURADE M, REDA A S, et al. Recent progress in microalgal biomass production coupled with wastewater treatment for biofuel generation[J]. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 2017, 79: 1189 – 1211.
- [3] Chen C M, Ming J, YOZA B A, et al. Characterization of aerobic granular sludge used for the treatment of petroleum wastewater[J]. *Bioresource Technology*, 2019, 271: 353 – 359.
- [4] 孙世操, 刘彦洋, 王力, 等. 吸附材料处理染料废水的研究进展[J]. *山东化工*, 2018, 47(16): 73 – 74.
- [5] 雷太平, 谢陈鑫, 赵慧, 等. 吸附法处理反渗透浓水 COD 试验[J]. *净水技术*, 2019(4): 101 – 105.
- [6] DAOUD M, BENTURKI O M, Daoud O, et al. Adsorption ability of activated carbons from Phoenix dactylifera rachis and Ziziphus jujube stones for the removal of commercial dye and the treatment of dyestuff wastewater[J]. *Microchemical Journal*, 2019, 148: 493 – 502.
- [7] 白瑞, 刘皓, 卢翠英, 等. 改性活性炭对染料废水的吸附性能研究[J]. *当代化工*, 2019, 48(5): 895 – 898.
- [8] LIU X D, TIAN J F, LI Y Y, et al. Enhanced dyes adsorption from wastewater via Fe₃O₄ nanoparticles functionalized activated carbon[J]. *Journal Of Hazardous Materials*, 2019, 373: 397 – 407.
- [9] IMRAN A, ARSH B A, MBIANDA X Y, et al. Graphene based adsorbents for remediation of noxious pollutants from wastewater[J]. *Environment International*, 2019, 127: 160 – 180.
- [10] 韩丽君, 刘志广, 郭玉晶. PVP 功能化石墨烯高效吸附废水中大分子染料[J]. *水处理技术*, 2019, 45(3): 48 – 54.
- [11] DIRAKI A, MACKAY H R, MCKAY G, et al. Removal of emulsified and dissolved diesel oil from high salinity wastewater by adsorption onto graphene oxide[J]. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, 2019, 7(3): 103 – 106.
- [12] 刘仲谋. 石墨烯基材料对水中消毒副产物及新兴有机微污染物的去除研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2017.
- [13] 张荣梁, 陈盛, 刘二燕, 等. 活性焦在染整废水深度处理中的初步研究[J]. *环保科技*, 2019, 25(2): 17 – 21.
- [14] 朱艳云, 冯菊红, 胡学雷, 等. 活性碳纤维对刚果红的吸附及再生研究[J]. *化学与生物工程*, 2018, 35(4): 22 – 26.
- [15] MOTA M I, BARBOSA S, PAULA C, et al. Adsorption of vanillic and syringic acids onto a macroporous polymeric resin and recovery with ethanol: water (90: 10%V/V) solution[J]. *Separation And Purification Technology*, 2019, 217: 108 – 117.
- [16] 刘兰, 阮玉宇, 王斌, 等. NKA-II 大孔树脂处理废水中苯甲酸的动态吸附研究[J]. *当代化工*, 2019, 48(2): 272 – 274.
- [17] 徐超, 刘金鑫, 孙伟之, 等. 新型超高交联吸附树脂的制备及其对水杨酸、没食子酸吸附性能[J]. *环境化学*, 2018, 37(4): 807 – 816.
- [18] 李珣珣, 周新基, 葛大伟. XDA-1 大孔树脂吸附处理含苯甲酸

- 废水[J]. 浙江化工, 2019, 50(2): 50 - 53.
- [19] 蒋银峰, 蒋浩. 采用大孔吸附树脂对蕙醌废水中有机物吸附利用研究[J]. 环境保护与循环经济, 2019, 39(3): 18 - 21.
- [20] SESSAREGO S, RODRIGUES S C, Xiao Y, et al. Phosphonium-enhanced chitosan for Cr(VI) adsorption in wastewater treatment[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2019, 211: 249 - 256.
- [21] 郭俊元, 甘鹏飞, 陈诚, 等. 磁性壳聚糖的制备及处理亚甲基蓝废水[J]. 中国环境科学, 2019, 39(06): 2422 - 2430.
- [22] 高奕红, 王珊, 邓玲娟. 壳聚糖/SiO₂ 复合材料的制备及对甲基橙的吸附性能[J]. 硅酸盐通报, 2019, 38(5): 1579 - 1584.
- [23] SANTOS J M, PEREIRA C R, FOLETTTO E L, et al. Alternative synthesis for ZnFe₂O₄/chitosan magnetic particles to remove diclofenac from water by adsorption[J]. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 2019, 131: 301 - 308.
- [24] RABUKHADRA M, SAYED M A, RABIE A M, et al. Surface decoration of diatomite by Ni/NiO nanoparticles as hybrid composite of enhanced adsorption properties for malachite green dye and hexavalent chromium[J]. *Colloids And Surfaces A: Physicochemical And Engineering Aspects*, 2019, 577: 583 - 593.
- [25] 徐阳, 张浩, 连丽丽, 等. 氯代十六烷基吡啶改性磁性硅藻土对染料甲基橙吸附性能的研究[J]. 吉林化工学院学报, 2018, 35(5): 38 - 41.
- [26] 关昶, 刘伶, 刘艳杰, 等. 碳酸钙改性硅藻土处理酸性染料废水的研究[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(23): 328 - 331.
- [27] 李哲, 汤化伟, 王百年. 纳米 MnO₂ 负载硅藻土对苯酚废水的吸附性能研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2016, 39(5): 695 - 700.
- [28] Deng L L, Du P X, Yu W B, et al. Novel hierarchically porous allophane/diatomite nanocomposite for benzene adsorption[J]. *Applied Clay Science*, 2019, 168: 155 - 163.
- [29] BERGAOUI M, NAKHLI A, BENGUERBA Y, et al. Novel insights into the adsorption mechanism of methylene blue onto organo-bentonite: Adsorption isotherms modeling and molecular simulation[J]. *Journal Of Molecular Liquids*, 2018, 272: 697 - 707.
- [30] 任宗礼, 岳剑鸿, 高浩壮, 等. 改性膨润土的制备及其对苯酚吸附特性研究[J]. 兰州交通大学学报, 2017, 36(1): 125 - 129.
- [31] 张宁, 李育珍, 鲁明达, 等. 有机膨润土对废水中酚类物质的吸附性能[J]. 太原理工大学学报, 2018, 49(5): 681 - 685.
- [32] SADAT H H, FATEMEH E, RAMIN K. Organic contaminants removal from industrial wastewater by CTAB treated synthetic zeolite Y.[J]. *Journal Of Environmental Management*, 2018, 233: 785 - 792.
- [33] NAGASE T, KSATO, HASHIMOTO Y, et al. Adsorption mechanism of 4-methyl imidazole on ZSM5-Zeolite from aqueous solution[J]. *Microporous And Mesoporous Materials*, 2019, 283: 48 - 54.

(上接第 17 页)

市、各部门应该反思自身能够在河流污染治理过程中承担的角色,并联合各省市、各部门进行发文,多元力量参与从而提高政策制定的整体性和协同性,使政策更具可操作性。其次,在研究中发现,在长江三角洲地区对于“河长制”的政策效力影响最大的是政策数量,但对于“河长制”政策效力的提升不能仅仅注重政策数量的增多,更应该注重的是单项政策效力的提升。这不仅需要单项政策在制定的过程中注重政策目标的明确,更需要政策措施有具体的量化指标和方案。最后,经过研究发现,“河长制”的政策措施大部分为管制型政策,还有部分是管制型+市场型的结合、管制型+自愿型的结合或者三者的结合,但从整体上来说,这些政策措施仍然是偏管制型,市场型+自愿型的政策占比较少,需要增加市场型和自愿型的政策的占比,推动河流污染的多元治理机制。与此同时,政策效力的提升是与政策数量的增加息息相关的。而河流污染治理是一项历时久远的工程,政策效力的长久提升就需要依赖行政力量不断提高政策制定和实施过程的制

度化,使得政策效力保持常态化的高水平。

参考文献

- [1] 沈坤荣, 金刚. 中国地方政府环境治理的政策效应——基于“河长制”演进的研究[J]. 中国社会科学, 2018(5): 92 - 115.
- [2] 王洛忠, 庞锐. 中国公共政策时空演进机理及扩散路径: 以河长制的落地与变迁为例[J]. 中国行政管理, 2018(5): 63 - 69.
- [3] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 关于全面推行河长制的意见 [EB/OL]. (2016-12-11)[2019-06-18]. http://www.gov.cn/xinwen/2016-12/11/content_5146628.htm.
- [4] 周建国, 熊焱. “河长制”: 持续创新何以可能——基于政策文本和改革实践的双维度分析[J]. 江苏社会科学, 2017(4): 38 - 47.
- [5] 熊焱, 周建国. 政策转移中的政策再生产: 影响因素与模式概化——基于江苏省“河长制”的 QCA 分析[J]. 甘肃行政学院学报, 2017(1): 37 - 47.
- [6] 张会恒, 李沙. 安徽大气污染防治政策的文本量化分析[J]. 湖州师范学院学报, 2017, 39(1): 1 - 9.
- [7] 徐美宵, 李辉. 北京市机动车污染防治政策效力评估——基于 2013 ~ 2017 年政策文本的量化分析[J]. 科学决策, 2018(12): 74 - 90.
- [8] 彭纪生, 仲为国, 孙文祥. 政策测量、政策协同演变与经济绩效: 基于创新政策的实证研究[J]. 管理世界, 2008(9): 25 - 36.
- [9] 李涛, 杨喆, 马中, 等. 公共政策视角下官厅水库流域水环境保护规划评估[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(1): 62 - 69.