

# 农村坑塘污染分析及治理建议

赵永志 高 严 何文丽 左子贤 赵 东 赵 金 聂宜文 石姗姗

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

**[摘要]** 农村坑塘兼具生态保护、旱涝调蓄和农田灌溉的功能,但是近年来面临污染问题。本文通过调研和分析我国北方某地区坑塘污染现状,根据污染物来源将坑塘归为四种类型:初期雨水坑塘、生活污水坑塘、工业污染坑塘和畜禽养殖污染坑塘,并对各种坑塘水体的pH、COD、氨氮、总磷指标和底泥的重金属浓度进行了测定,以了解坑塘的环境特征。最后总结了坑塘污染存在的主要问题和坑塘污染的主要原因,提出了“清理垃圾-源头截污-底泥修复-水体净化-生态系统构建”的治理建议。

**[关键词]** 农村坑塘;污染类型;环境特征;初期雨水;生活污染;工业污染;畜禽养殖污染;治理建议

**[中图分类号]** X703 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1008-5122(2022)06-0063-06

**DOI:**10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2022.06.014

## 0 前言

坑塘是一种与湖泊相似的静水生态系统。虽然坑塘相比湖泊而言,体量(水域面积、水深)更小,生态系统组成更加简单,但是其数量众多,因此坑塘的生态功能也不容忽视。在农村地区,坑塘兼具生态保护、旱涝调蓄和农田灌溉等多重作用。

在我国农村地区,目前普遍存在随着人们生活水平提高产生的环保需求日益增加和环保配套设施相对薄弱的问题,大部分坑塘成为居民生活垃圾和生活污水的受纳场所。坑塘单个体量较小,生态系统相对比较脆弱,因此更容易受到人们活动的影响。垃圾堆积和水体污染不仅使坑塘丧失了原有功能,而且对周边生态环境和居民生活产生严重的负面影响,成为改善农村环境必须面对的关键问题之一。

针对农村地区坑塘目前存在的污染问题,本文通过实地调研和分析我国北方某地区坑塘污染现状,对坑塘污染进行分类并给出了相应的治理建议。

## 1 检测方法

坑塘水体的COD采用快速消解分光光度法检测<sup>[1]</sup>,氨氮采用纳氏试剂分光光度法检测<sup>[2]</sup>,总磷

(TP)采用钼酸铵分光光度法检测<sup>[3]</sup>,pH采用电极法检测<sup>[4]</sup>,水中重金属含量采用电感耦合等离子体质谱法测定<sup>[5]</sup>。

坑塘底泥重金属含量根据标准GB 15618—2018表4中指定的分析方法进行检测<sup>[6]</sup>,有机质含量采用重铬酸钾氧化-分光光度法检测<sup>[7]</sup>,总氮(TN)采用凯氏法检测<sup>[8]</sup>,pH采用电位法检测<sup>[9]</sup>。

## 2 坑塘现状

调研地区位于我国华北,调研范围覆盖30个行政村,总面积约60 km<sup>2</sup>。该地区整体水域面积较大,存在多个河道、湖泊和人工沟渠等。

### 2.1 坑塘位置分布

经过统计,该地区共有坑塘66个,所有坑塘的位置分布如图1所示。由图1可知,该地区坑塘多数临近河道或者沟渠。而通过实地调研发现大部分坑塘与河道沟渠等连通,只是由于连通的渠道常年缺水等原因暂时断开。由此可推断与河道沟渠的连通恢复后,坑塘理论上具备水量调蓄功能。

各坑塘储水量初步测算如图2所示。统计发现,当地坑塘储水量大致可以分为三个等级:1)储水量大于10万m<sup>3</sup>的坑塘,仅有1处,其储水量达到了24万m<sup>3</sup>;2)储水量为1~10万m<sup>3</sup>的坑塘,有27处,这部分坑塘平均储水量约为2.62万m<sup>3</sup>;3)储水量小于1万m<sup>3</sup>的坑塘,有38处,平均储水量约为3300m<sup>3</sup>,储水量最低仅有约100m<sup>3</sup>。所有坑塘总储水量约为107.28万m<sup>3</sup>。

**[收稿日期]** 2022-06-20

**[作者简介]** 赵永志(1980—),男,内蒙赤峰人,硕士,高级工程师,主要从事水处理工程设计与研发工作。

**[引用格式]** 赵永志,高严,何文丽,等.农村坑塘污染分析及治理建议[J].有色冶金节能,2022,38(6):63-68.

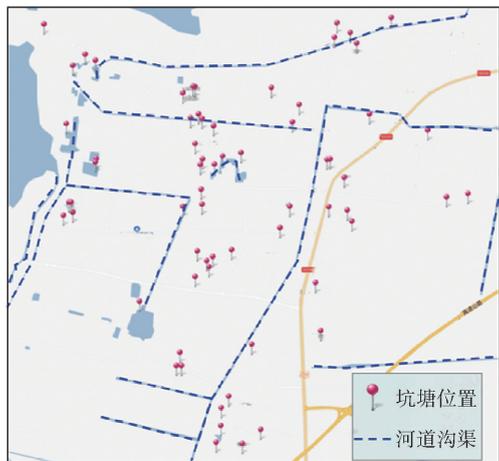


图1 坑塘位置分布图

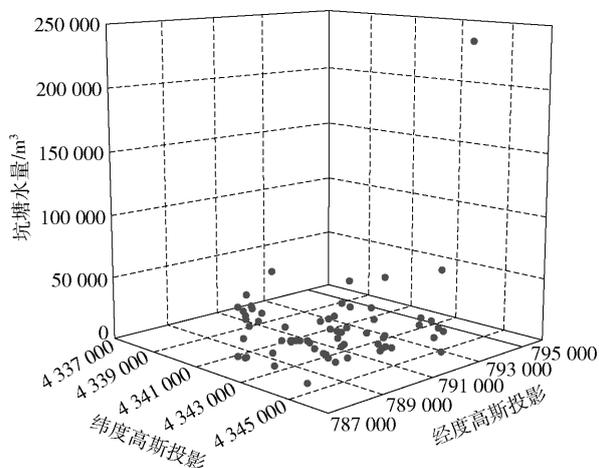


图2 各个坑塘储水量

## 2.2 坑塘污染类型

根据坑塘污染物来源不同,将66处坑塘分为雨水坑塘、生活污水坑塘、工业污染坑塘和畜禽养殖污染坑塘。各类坑塘详细情况见表1。

表1 各类坑塘信息统计表

坑塘类型	数量/ 个	水量/ 万 m <sup>3</sup>	面积/ ha	垃圾/ m <sup>3</sup>	周长/ km
雨水坑塘	49	88.90	50.27	1 000	20.79
生活污水坑塘	10	11.98	18.53	1 500	3.90
工业污染坑塘	6	4.40	2.88	500	2.64
畜禽养殖污染坑塘	1	2.00	1.00	100	0.58

雨水坑塘中的污染物主要来自初期雨水。初期雨水在冲刷田地、房屋、道路等的过程中将地表的污染物直接冲进坑塘中,从而对坑塘水体生态环境带来污染。这类坑塘的分布并无明显规律可循。该地区坑塘主要为雨水坑塘,共计有49处。

生活污水坑塘的污染来源包括初期雨水和周边

住户的生活污水直排,同时这类坑塘往往存在生活垃圾堆存的现象。经调研统计,该地区存在生活污水坑塘10处,主要分布在村庄周边或者村内,周围一般居住有大量住户。

工业污染坑塘指受到工业污水或者工业垃圾污染的坑塘,此类坑塘附近一般有生产车间或者小作坊。该地区一共有工业污染坑塘6处,主要受到石油类物质污染,且坑塘内堆存有生产废弃物。工业污染坑塘有轻微异味,且水体和底泥发黑,水中基本无水生植物生长。

畜禽养殖污染坑塘指受到动物粪便和养殖场冲洗废水污染的坑塘。该地区存在1处畜禽养殖坑塘,旁边紧邻一所养猪场。养猪场冲洗废水长期排入该坑塘,同时粪便积累,导致该坑塘水体感官品质极差,水体呈黑灰色且有强烈的恶臭,且没有水生植物生长。

## 3 坑塘环境特征

准确掌握各个坑塘水环境的生态状况,有利于针对性地开展治理措施,保证坑塘污染得到有效控制,整体环境得到良好改善。因此对坑塘水样和泥样相关指标进行检测。

针对雨水坑塘和生活污水坑塘,由于其污染主要分别由初期雨水进入和生活污水直排造成,因此对它们的水样进行采集和检测,检测指标包括pH、COD、氨氮和总磷;对于畜禽养殖污染坑塘和工业污染坑塘,除了检测上述指标,还要分别对这两类坑塘的水样和泥样进行重金属检测,以了解是否存在重金属污染,避免重金属在坑塘乃至生物体中富集,对环境产生潜在危害。

### 3.1 雨水坑塘

雨水坑塘的水质检测指标包括pH值、COD、氨氮和总磷,结果如图3所示。由图3可知,雨水坑塘的pH值为7.04~9.14,且大多数介于7至8.5之间,有6处坑塘pH值超过了8.5;COD值范围为25~218 mg/L,有1处坑塘的COD值超过200 mg/L,达到218 mg/L;氨氮浓度范围为0.02~15.8 mg/L;总磷浓度范围为0~3.99 mg/L。

根据水质检测结果可知,该地区大部分雨水坑塘的水质虽然受到初期雨水的影响,但是整体水质良好。有42处雨水坑塘在COD和pH值方面能够满足《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2021)旱地作物的灌溉标准,剩余坑塘的污水则需要经过合理处

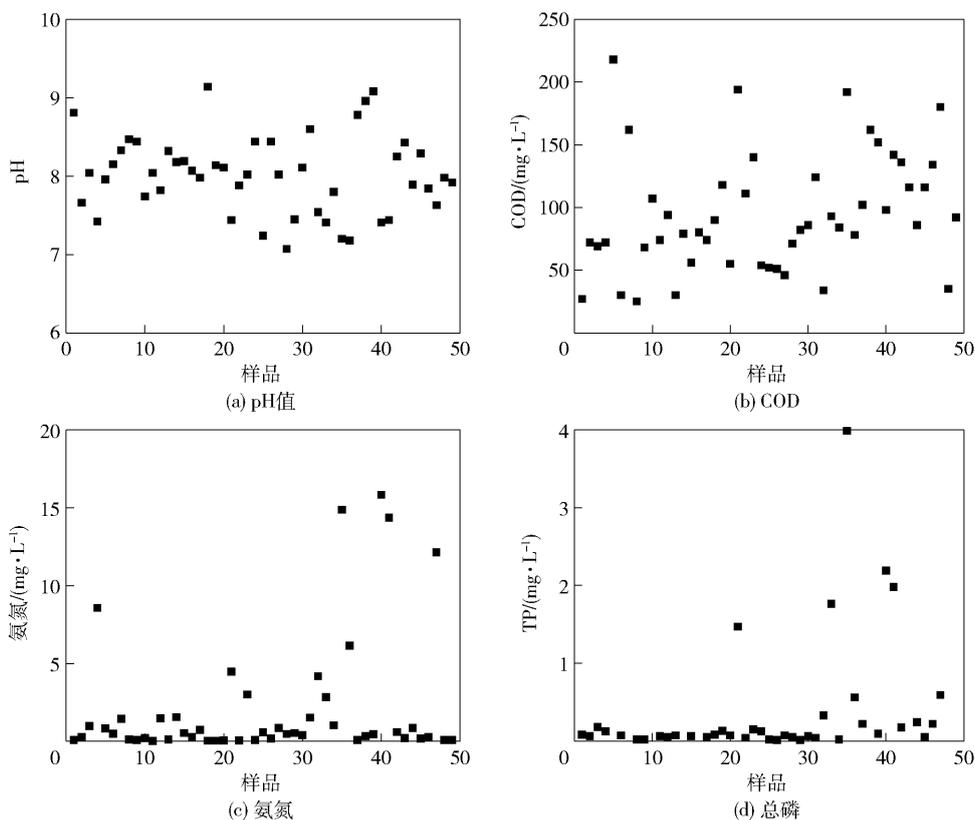


图3 雨水坑塘水质检测结果

置后方可考虑用于农田灌溉。这一方面可能是由于初期雨水携带进入坑塘的污染物浓度较低,另一方面雨水坑塘生态系统具备一定的自净能力,使得污染物浓度维持在较低水平。

此外应注意到,雨水坑塘的水质远远低于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中规定的V类水质,因此宜综合考虑该地区雨污收集系统的基础条件,制定适合可持续发展的维护策略,以降低坑塘长此以往被污染的风险。

### 3.2 生活污水坑塘

生活污水坑塘的水质检测指标包括pH、COD、氨氮和总磷,结果如图4所示。由图4可知,生活污水坑塘的pH值范围为6.74~8.59,有1处略微超过了8.5(8.59);总磷浓度范围为0.01~4.21 mg/L;氨氮浓度范围为0.19~28.4 mg/L;COD值范围为75~640 mg/L,有3处坑塘的COD值低于200 mg/L。

由此可知,生活污水坑塘整体水质条件明显比雨水坑塘差,具有迫切的治理需求。有些生活污水坑塘水质较好,主要是由于这些坑塘水量较大,目前排入的生活污水总量相对较小,污染物经过稀释后浓度大幅降低;同时坑塘的自净作用能够降解进入坑塘中的一部分污染物。

### 3.3 工业污染坑塘

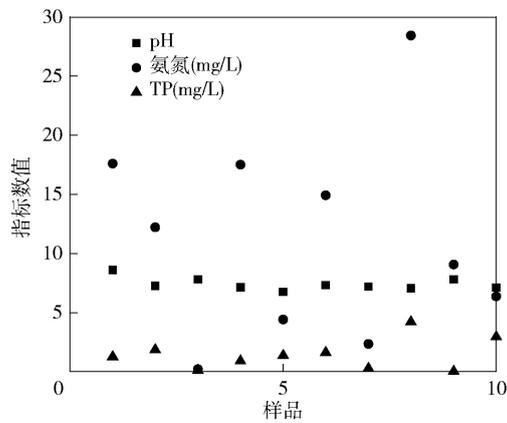
工业污染坑塘的水质检测指标包括pH、COD、氨氮、总磷和重金属,同时对坑塘底泥进行了相关检测。工业污染坑塘水质检测结果如图5所示,坑塘水体和底泥中重金属浓度分别如图6和图7所示。

由图5可知,工业污染坑塘的pH值范围为7.19~8.68;总磷浓度范围为0~1.27 mg/L;氨氮浓度范围为0.07~10.23 mg/L;COD值范围为64~318 mg/L。同时水中重金属浓度检测结果(图6)表明工业污染坑塘水体中重金属含量较低,满足《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2021)对于灌溉用水重金属浓度的要求。底泥检测结果(图7)表明,工业污染坑塘底泥重金属含量并未超标,各项指标均满足《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018)的要求。

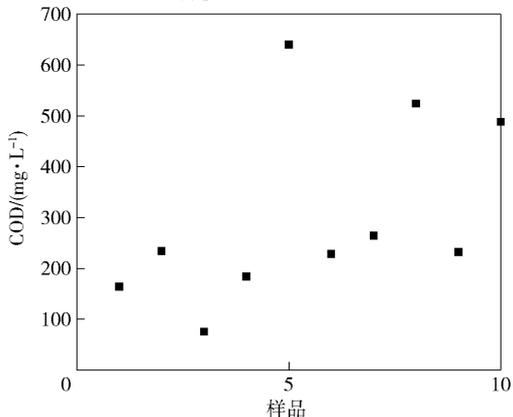
### 3.4 畜禽养殖污染坑塘

该地区仅发现1处畜禽养殖污染坑塘,其水体和底泥相关环境指标见表2和表3。

由表2可知,畜禽养殖污染坑塘的TP、氨氮和COD明显高于其他类型坑塘,尤其是氨氮和总磷浓度,主要原因在于附近养猪场长期向坑塘内排入冲



(a) pH值、氨氮及总磷分析



(b) COD

图4 生活污水坑塘水质检测结果

表2 畜禽养殖污染坑塘水质检测结果

项目	pH	总磷	氨氮	COD
结果	7.10	15.3	37.5	416

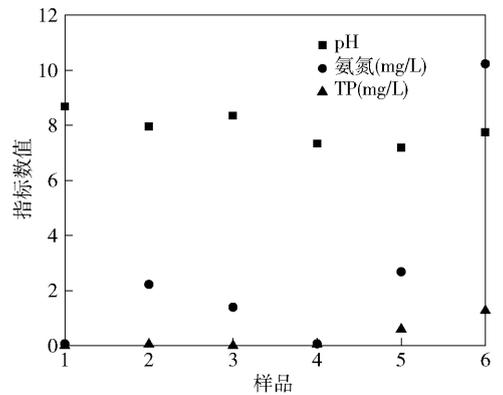
注:除 pH 外,其他指标单位为 mg/L

洗废水和粪便,超出坑塘自身净化能力,最终导致各种污染物积累。

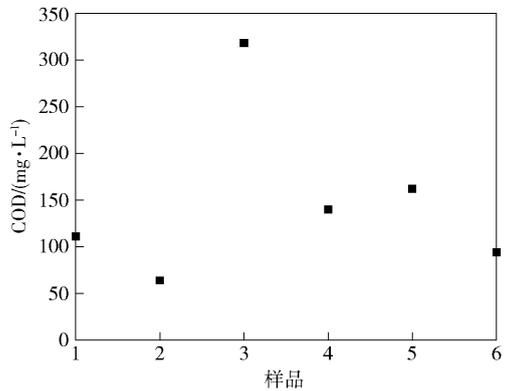
表3 畜禽养殖污染坑塘重金属浓度检测结果

重金属	水体/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$		底泥/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	
	限值	样品值	风险筛选值	样品值
Cr	100	2.87	200	51.35
Cu	1 000	4.03	100	20.14
As	100	4.58	30	9.93
Cd	10	<0.20	0.3	0.13
Hg	1	<0.1	2.4	0.01
Pb	200	<0.36	120	19.66
Zn	2 000	24.67	250	未检出
Se	20	<1.64	—	—
Ni	—	—	100	26.24

由表3可知,该坑塘内水体和底泥的重金属浓



(a) pH值、氨氮及总磷统计



(b) COD

图5 工业污染坑塘水质检测结果

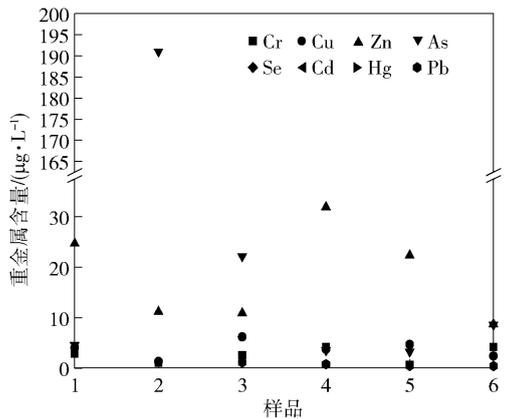


图6 工业污染坑塘水体中重金属浓度

度并未超标,分别符合标准《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2021)和《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018)的规定。

## 4 坑塘污染分析讨论

### 4.1 坑塘污染问题总结

经过调研和检测分析,农村地区坑塘污染主要存在以下问题:

1) 坑塘缺乏合理的管理机制,部分坑塘由于水生植物季节性凋零,水质出现周期性的恶化。

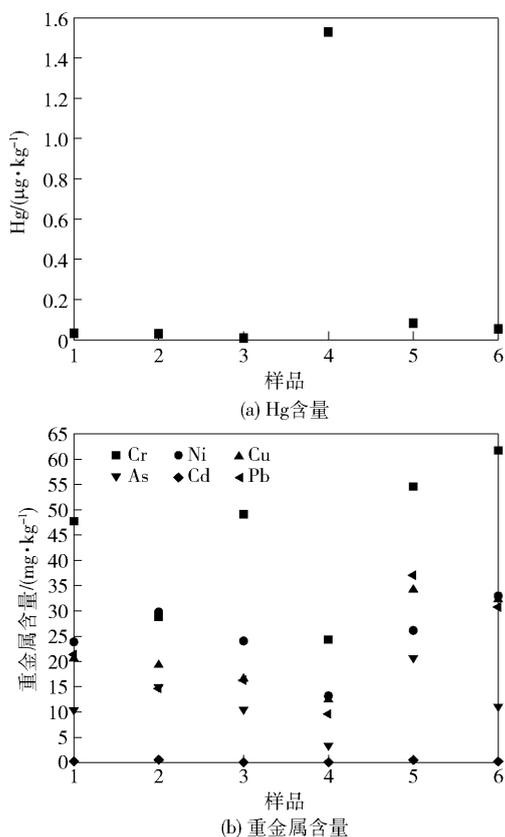


图7 工业污染坑塘底泥中重金属浓度

致农村坑塘污染的重要原因之一。

同时,各种污水直排、垃圾长期堆存快速加剧污染。部分农村地区生活污水和垃圾处理体系仍有待完善,缺乏较为妥善的处理途径,同时村民环保意识相对淡薄,私建排污管将生活污水直排进坑塘,或将垃圾倾倒入坑塘。坑塘生态系统简单,生活污水和垃圾中的污染物含量远远超出其自净能力所能承受的范围,这是农村坑塘污染的主要原因之一。同时存在部分养殖场和工厂污水未经处理直排进入坑塘的现象。这两类废水污染物浓度较高,且部分污染物处理难度大,对于坑塘的危害性较高。

## 5 坑塘治理建议

虽然此次调研的坑塘的水质指标普遍存在污染现象,但是整体污染程度并不十分严重,经过合理的处置完全能够恢复其原有生态功能。针对坑塘污染现状,提出以下治理建议:

1) 清理垃圾,源头截污。污水直排和垃圾堆存是农村坑塘污染的典型特征。在对坑塘水体和底泥进行系统治理前,宜截断污水排放来源,将污水收集处理后排放;同时清理坑塘岸带和底部的垃圾,避免垃圾对坑塘环境产生持续污染。

2) 底泥修复。底泥是坑塘重要的污染源,不但持续向水体中释放污染物,而且在微生物活动等外力作用下悬浮时,污染物释放到水体中的速度加快。因此底泥修复是坑塘污染治理中必不可少的重要步骤,可采用原位处理或者异位处理方式进行。

3) 水体净化。水体净化措施宜根据坑塘水质和当地条件选择。对于污染程度较低且周边水源充足的坑塘,可以采取加水稀释的方式改善水质;对于污染程度较重的坑塘,则需要采取相应的净化技术(如一体化污水处理设备、人工湿地、菌剂/药剂投加、生物纤维滤床)去除污染物。

4) 生态系统构建。在坑塘水体和底泥的各个指标达到要求后,需要完善或者重建坑塘的生态系统,包括水生动植物和微生物等生物群落的构建,以提升坑塘的自净能力,节省后期的运行维护成本。在具备技术和经济可行性的条件下,尽量将坑塘与周边河道沟渠连通,从而强化坑塘生态系统对环境的适应能力。同时,在此基础上宜采取措施对坑塘生态缓冲带进行修复或者重建,降低初期雨水对坑塘环境的冲击。

2) 部分坑塘水体感官品质差,水体黑臭且污染源头清查管控难度高,工作量大。

3) 部分坑塘由于大量垃圾堆存,底泥淤积,水量锐减甚至干涸。同时垃圾和底泥持续向水体释放污染物,对坑塘的生态系统产生持久性破坏,减少生物种类,改变微生物代谢方式等,增加治理难度<sup>[10-13]</sup>。

4) 虽然本次调研中的工业污染坑塘水体和底泥中重金属浓度均未超标,但是工业污染物常含有难处理或有毒有害成分,因此仍有必要重视对待,尽量避免此类污染发生。

### 4.2 坑塘污染原因分析

造成农村坑塘污染主要原因大致有两个方面:

首先是雨水排入造成污染。雨水在降落的过程中,伴随着对周围大气中各种污染物的溶解吸收和对道路地面、房屋树木及田地等的冲刷,污染物逐渐积累,尤其初期雨水携带的污染物浓度一般相对较高<sup>[14-15]</sup>。相对于城市地区,农村的初期雨水不仅可能带有汽车尾气、工厂烟尘中的污染物,还可能携带田地中的化肥农药等,而多数农村地区目前尚缺乏初期雨水收集系统,因此初期雨水的直接进入是导

## 6 结束语

农村坑塘作为一种小型水体,具备一定的生态调节功能,但是由于其生态系统较为简单脆弱,加之农村地区普遍存在生活水平提高和环保设施建设滞后、环保观念相对不足的矛盾,导致大部分坑塘受到不同程度的污染,对改善农村人居环境产生不利影响。

根据污染物来源不同,农村坑塘大致可以分为雨水坑塘、生活污水坑塘、工业污染坑塘和畜禽养殖污染坑塘。在坑塘治理的过程中,建议以消除污染源、提高水质、恢复坑塘生态功能为原则,并结合坑塘污染类型和污染程度采取针对性的措施,以期能够同时达到近期处理要求和坑塘生态功能长期保持稳定的目标。

### [参考文献]

- [1] 中华人民共和国环境保护部. 水质 化学需氧量的测定 快速消解分光光度法; HJ/T 399—2007[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008-03-01.
- [2] 中华人民共和国环境保护部. 水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法; HJ 535—2009[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2010-04-01.
- [3] 国家环境保护总局. 水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法; GB 11893—1989[S]. 北京: 中国标准出版社, 1989-11-03.
- [4] 中华人民共和国环境保护部. 水质 pH值的测定 电极法; HJ 1147—2020[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2021-06-01.
- [5] 中华人民共和国环境保护部. 水质 65种元素的测定

- 电感耦合等离子体质谱法; HJ 700—2014[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014-07-01.
- [6] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准; GB 15618—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018-08-01.
- [7] 中华人民共和国环境保护部. 土壤有机碳的测定 重铬酸钾氧化-分光光度法; HJ 615—2011[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011-10-01.
- [8] 中华人民共和国环境保护部. 土壤质量 全氮的测定 凯氏法; HJ 717—2014[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2015-01-01.
- [9] 生态环境部. 土壤 pH值的测定 电位法; HJ 962—2018[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2019-01-01.
- [10] SONDERGAARD M, BJERRING R, JEPPESEN E. Persistent internal phosphorus loading during summer in shallow eutrophic lakes[J]. *Hydrobiologia*, 2013, 710(1): 95-107.
- [11] LIANG Z W, SIEGERT M, FANG W, et al. Blackening and Odorization of Urban Rivers: A bio-geochemical process[J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2018, 94(3).
- [12] HU H Y, MYLON S E, BENOIT G. Volatile organic sulfur compounds in a stratified lake[J]. *CHEMOSPHERE*, 2007, 67(5): 911-919.
- [13] ZHANG X J, CHEN C, DING J Q, et al. The 2007 water crisis in Wuxi, China: Analysis of the origin[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, 182(1-3): 130-135.
- [14] 邓志光, 吴宗义, 蒋卫列. 城市初期雨水的处理技术路线初探[J]. *中国给水排水*, 2009, 25(10): 11-14.
- [15] 陈昂, 惠二青, 王乃泰, 等. 初期雨水的概念及特征研究[J]. *环境影响评价*, 2022, 44(2): 58-62.

## Analysis of Rural Pond Pollution and Recommended Countermeasures

ZHAO Yong-zhi, GAO Yan, HE Wen-li, ZUO Zi-xian, ZHAO Dong, ZHAO Jin, NIE Yi-wen, SHI Shan-shan

**Abstract:** Rural ponds serve for ecological protection, drought relief, flood storage and farmland irrigation, but they have been vulnerable to pollution in recent years. Based on the investigation and analysis of the current situation of pond pollution in a certain area of northern China, according to the source of pollutants, ponds were classified into four types: initial rainwater ponds, domestic sewage ponds, industrial pollution ponds and livestock and poultry breeding pollution ponds. The pH, COD, nitrates/ammonia, total phosphorus of water bodies and heavy metal concentration in bottom sediment of various ponds were measured, in order to understand pond environmental features. Finally, the main problems and causes of pond pollution were summarized, and the treatment suggestions of “rubbish cleanup-interception at source-bottom sediment restoration-water purification-ecosystem building” were put forward.

**Key words:** rural pond; pollution type; environmental feature; initial rainwater; domestic sewage pollution; industrial pollution; livestock pollution; recommended countermeasures