

引用:郑婕.密云水库氮元素分布情况及生态治理研究[J].海河水利,2025(5):11-14,31.

ZHENG Jie. Distribution of Nitrogen Elements and Ecological Management in the Miyun Reservoir[J]. HAIHE WATER RESOURCES, 2025(5): 11-14, 31.

DOI: 10.3969/j.issn.1004-7328.2025.05.003

密云水库氮元素分布情况及生态治理研究

郑 婕

(北京市密云水库管理处,北京 101512)

摘要:基于2020—2023年密云水库水质监测数据及相关水利背景资料,分析了亚氨氮、硝酸盐氮和总氮质量浓度时空分布情况,研究密云水库氮元素变化特征。密云水库2020—2022年氨氮、硝酸盐氮及总氮质量浓度年际变化呈波动式增长,2023年有显著下降;硝酸盐氮、总氮质量浓度每年峰值大多出现在非汛期,低值大多出现在汛期;氨氮质量浓度每年峰值大多出现在汛期,低值大多出现在非汛期。综合分析密云水库2023年氮元素波动式下降的主要原因是库区上游的水源涵养区建设有效降低了库区氮素的外源性输入以及生态治理项目初见成效,这两者也是目前控制氮素升高的主要手段。

关键词:密云水库;氮元素;时空分布;生态治理;水质监测

中图分类号:TV213.4;X524

文献标识码:A

文章编号:1004-7328(2025)05-0011-05

Distribution of Nitrogen Elements and Ecological Management in the Miyun Reservoir

ZHENG Jie

(Beijing Miyun Reservoir Management Office, Beijing 101512, China)

Abstract: Based on the water quality monitoring data and related hydraulic background information of the Miyun Reservoir from 2020 to 2023, the spatiotemporal distributions of the mass concentrations of ammonia nitrogen, nitrate nitrogen, and total nitrogen concentrations were analyzed in this paper, and the variation characteristics of nitrogen elements in the reservoir were investigated. The annual changes of ammonia nitrogen, nitrate nitrogen, and total nitrogen concentrations from 2020 to 2022 showed a fluctuating increases, with a significant decrease in 2023. The peak concentrations of nitrate nitrogen and total nitrogen mostly occurred during the non-flood season, while the lowest values were generally observed during the flood season. Conversely, the peak concentrations of ammonia nitrogen mostly occurred during the flood season, while the lowest values appearing during the non-flood season. A comprehensive analysis revealed that the primary reasons for the fluctuating decline of nitrogen elements in 2023 were the effective reduction of exogenous nitrogen input due to the construction of water conservation areas upstream of the reservoir and the initial success of ecological management projects implemented by the Miyun Reservoir Management Office. These two factors were also the main measures currently used to control nitrogen increases.

Key words: Miyun Reservoir; nitrogen element; spatiotemporal distribution; ecological management; water quality monitoring

0 引言

氮元素是水体中营养成分的重要组成部分,直

接控制或影响着水生态中生物种群结构^[1],是水生态系统的重要生源要素^[2]。密云水库是北京市重要的饮用水源,在南水北调入京水到来之前,城市饮用水中约有70%来自密云水库,库区的水质受到广泛关注^[3]。王哲等^[4]研究发现,南水北调后,密云水库

收稿日期:2024—12—28

作者简介:郑婕(1987—),女,高级工程师,主要从事水环境监测、水质数据分析及水生态治理工作。

库区水体中蓝藻种类和密度较多,显示有富营养化和水华暴发的可能,需要严格控制氮磷负荷。曹鲲鹏等^[5]研究发现,2015—2020年间密云水库各监测点水体富营养化状态指数值为36~43,为中营养水平,富营养化状态呈逐年改善趋势。刘可暄等^[6]研究显示,密云水库主要河流水质除总氮指标外,均满足地表水Ⅱ类标准,汛期氮污染风险较其他水质指标大,其变异系数为48%。刘亚贺等^[7]研究发现,密云水库消落带上覆水和沉积物中无机氮含量在夏季(落干期)和秋季(淹水期)存在明显的差异,消落带沉积物中氨氮质量浓度变化最大,秋季较夏季下降80.4%,硝酸盐氮质量浓度下降59.7%。赵守彦等^[8]研究发现,密云水库库区氮素含量升高,入库河流输入是主要因素。2020年9月,南水北调水停止输入密云水库。至今,密云水库库区蓄水量激增,氮素质量浓度持续增加,库区水体氮素质量浓度分布尚不稳定。因此,基于2020—2023年密云水库库区水体氮素质量浓度的时空变化数据,研究库区生态治理工作开展条件下氮素的分布特征,可为密云水库总氮防控与生态治理提供参考依据。

1 分析方法

1.1 样品的采集方法

依据《环境监测规范》(SL 219-2013)要求布设采样点及监测频次,如图1所示。用GPS进行精准定位,其中白河主坝、库西、恒河、套里、库东、潮河主坝及水九进口在监测断面垂线上设置3个采样点,分别为表层(水面下0.5 m)、底层(水底上0.5 m)、中层(1/2水深处);金沟围堰只设置表层。采集的样品用低温储存箱保存,确保在48 h内完成检测。

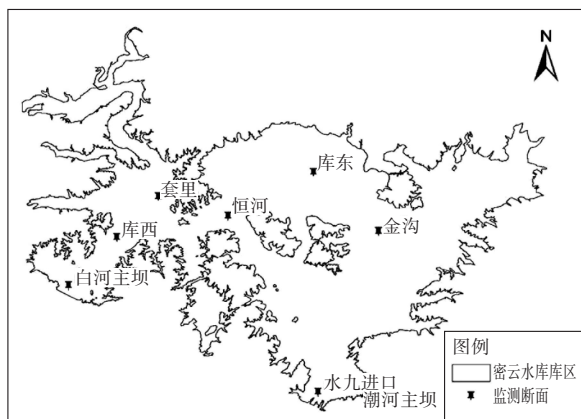


图1 密云水库监测点位置

1.2 研究方法

氮素各形态监测方法均采用行业标准,总氮为《水质总氮的测定碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法》(HJ 636-2012),氨氮为《水质氨氮的测定纳氏试

剂比色法》(HJ 535-2009),硝酸盐氮为《水中无机阴离子的测定(离子色谱法)》(SL 86-1994),亚硝酸盐氮为《水质亚硝酸盐氮的测定分光光度法》(GB 7493-1987)。

2 结果与分析

2.1 密云水库氮素质量浓度占比分析

张新等^[9]研究发现,密云水库总氮超标过程中,硝酸盐氮为重要贡献。2020—2023年密云水库不同形态的氮素质量浓度及占比,详见表1。库区水体中总氮质量浓度占比大于其他3类氮素质量浓度总和;4项氮素的质量浓度占比中,总氮质量浓度占比最大,其次为硝酸盐氮,再次为氨氮,亚硝酸盐氮占比最小,近似为0。因此,从总氮、氨氮、硝酸盐氮质量浓度3个方面对密云水库氮素质量浓度进行分析。

表1 2020—2023年密云水库氮素质量浓度及占比

项目	总氮	氨氮	硝酸盐氮	亚硝酸盐氮
质量浓度/(mg·L ⁻¹)	2.75	0.161	2.38	0.023 5
占比/%	51.75	3.03	44.78	0.44

2.2 密云水库氮素质量浓度空间变化分析

曹双梁等^[10]研究发现,密云水库总氮季节性变化趋势为冬季偏高,秋季最低。郑婕^[11]研究发现,密云水库中氮素主要输入途径为上游入库水质中携带的营养盐。李垒等^[12]研究显示,密云水库总氮输出路径主要是以鱼类投放捕获、库区放水以及水体自净(微生物脱氮)为主。由2020—2023年各监测点总氮质量浓度的平均值可知,库区8个监测点总氮质量浓度分布略有差异,如图2所示。2020年,金沟氨氮质量浓度最高,为1.12 mg/L;库西质量浓度最低,为1.01 mg/L。2021年,库区总氮质量浓度呈增长趋势,潮河主坝总氮质量浓度最高,为1.54 mg/L;恒河总氮质量浓度最低,为1.36 mg/L。2022年,库区总氮质量浓度大幅增长,最高质量浓度出现在库西,为2.15 mg/L,其他点位基本相同。2023年,库区总氮质量浓度有所下降,最高质量浓度出现在白河主

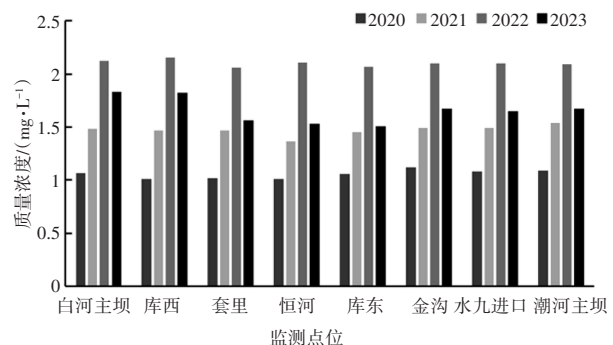


图2 2020—2023年密云水库各监测点总氮质量浓度变化

坝,为1.83 mg/L,其他点位基本相同。2020—2023年,库区各监测点总氮质量浓度差异不大,说明总氮质量浓度在库区水体中分布较均匀。

由2020—2023年氨氮质量浓度的平均值可知,库区8个监测点氨氮质量浓度分布差异较小,如图3所示。2020年,氨氮质量浓度最高是白河主坝,为0.164 mg/L,套里质量浓度最低为0.109 mg/L。2021年,库区氨氮质量浓度在套里、库东和潮河主坝有所上升,其余点位均呈下降趋势,库东氨氮质量浓度最高,为0.136 mg/L;水九进口氨氮质量浓度最低,为0.106 mg/L。2022年,库区氨氮质量浓度显著上升,最高质量浓度出现在水九进口,为0.235 mg/L;白河主坝氨氮质量浓度最低,为0.170 mg/L。2023年,库区氨氮质量浓度有所下降,最高质量浓度出现在金沟,为0.169 mg/L;最低质量浓度出现在套里,为0.142 mg/L。

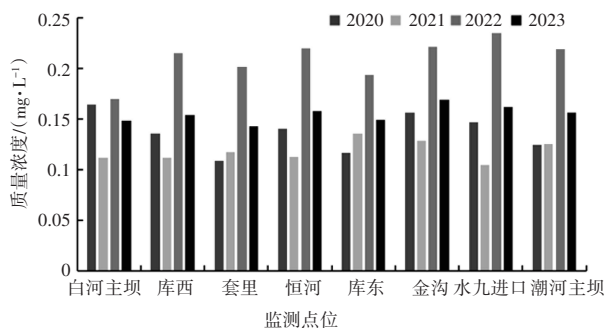


图3 2020—2023年密云水库各监测点氨氮质量浓度变化

由2020—2023年硝酸盐氮质量浓度的平均值可知,库区各监测点硝酸盐氮质量浓度大致相同,如图4所示。2020年,潮河主坝硝酸盐氮质量浓度最高,为0.694 mg/L;库西硝酸盐氮质量浓度最低,为0.558 mg/L。2021年,库区硝酸盐氮质量浓度在库区各点位均有所上升,水九进口硝酸盐氮质量浓度最高为1.07 mg/L,恒河硝酸盐氮质量浓度最低为0.919 mg/L。2022年,库区硝酸盐氮质量浓度显著回升,最高质量浓度出现在恒河,为1.77 mg/L;白河主坝硝酸盐氮质量浓度最低为0.169 mg/L。2023

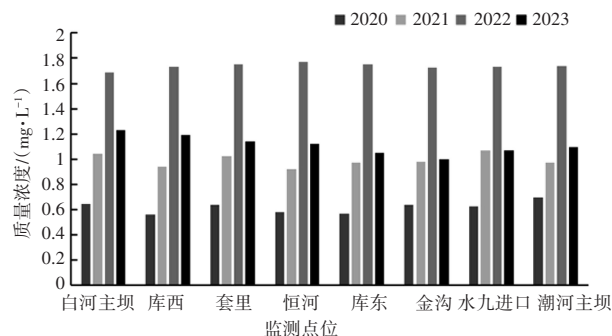


图4 2020—2023年密云水库各监测点硝酸盐氮质量浓度变化

年,库区硝酸盐氮质量浓度显著下降,最高质量浓度出现在白河主坝,为1.23 mg/L;最低质量浓度出现在金沟,为1.00 mg/L。

从图2—4可以看出,库区水体中氮素分布相对平均,总氮和硝酸盐氮质量浓度变化规律类似,呈现出深水区略高于浅水区即白河主坝、库西、水九进口、潮河主坝的总氮与硝酸盐氮质量浓度略高于套里、恒河、库东、金沟的特点,主要原因为浅水区水温相对较高,水生动植物较多,对氮素有一定消耗作用。氨氮在各点位的质量浓度变化较不稳定,在金沟和恒河的质量浓度相对较高。

2.3 密云水库氮素质量浓度时间变化分析

2020年,密云水库蓄水量变化不明显,氮素质量浓度相对稳定,表现为在汛期总氮与硝酸盐氮质量浓度较低,非汛期较高,氨氮则正好相反;2021年,上游入库水量大幅增加,库区蓄水量激增,总氮与硝酸盐氮质量浓度有所上升,氨氮上升幅度不大;2022年,库区保持高水位运行,氮素质量浓度保持高值,汛期上升幅度加大;2023年,密云水库蓄水量略有下降,水体中总氮与硝酸盐氮质量浓度随之下降,氨氮略有上升。

2020—2022年,密云水库氮素含量波动式上升主要原因是库区蓄水量主要来源于上游输入和大气湿沉降,其中,上游输入占比远大于大气湿沉降,对于密云水库的氮素变化起到明显作用。大气湿沉降中氮素含量较高^[13],每年汛期大气湿沉降对库区氮素含量增加起到一定贡献,尤其强降水并伴随雷电时氨氮含量上升,对水体中氮素含量升高起到推动作用。

2023年,总氮、硝酸盐氮、氨氮质量浓度均较2022年有所下降,主要原因为密云水库上游流域积极开展水源涵养区生态清洁小流域建设,有效改善了库区上游生态环境,降低了氮素的面源负荷。胡春春等^[14]研究显示,2023年上游输入水体中氮素含量呈下降趋势,充分证明了上游治理的成效。同时,密云水库的库区生态治理工作对库区氮素质量浓度控制起到了积极作用。因此,2023年库区水体中各氮素质量浓度均出现下降态势。2020—2023年密云水库库区水体氮素质量浓度及蓄水量变化,如图5所示。

上游河流的氮元素输入导致库区氮素含量升高,近年来两大入库河流水量大增,而入库水体中的氮素含量远高于库区氮素含量^[15],这是导致密云水库2020—2022年蓄水量和氮素含量持续上升的原

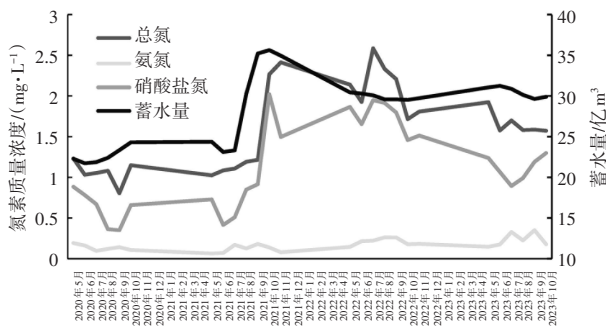


图5 2020—2023年密云水库库区水体氮素质量浓度及蓄水量变化

因之一。密云水库每年5—10月为汛期,其余月份为非汛期,总氮、氨氮、硝酸盐氮质量浓度每年数值波动情况与库区蓄水量波动相似,数值变化集中在汛期,非汛期氮素质量浓度相对稳定。这说明水库库区非汛期氮素来源输入较稳定,汛期氮元素受上游输入和大气湿沉降的影响大,数值波动性强。2023年大气湿沉降较丰沛,上游输入水量大且水体中氮素质量浓度有所下降,增强了库区水体流动性及自净能力^[6];同时,密云水库库区积极开展生态治理工作,对2023年氮素质量浓度下降起到推动作用。

3 密云水库生态治理研究

3.1 生态现状

密云水库森林资源面积达2 001 hm²,其中国家公益林1 473.3 hm²、库滨带及库中岛管辖面积466.9 hm²。目前,辖区内动植物种群丰富,密云水库库区及周边已形成陆地森林-库滨带-水域连续生态空间。库区及库滨带湿地已累计调查记录到植物410种、野生哺乳动物13种、鸟类235种(其中国家一级14种、国家二级38种、北京市一级17种、北京市二级79种)、鱼类47种、水生植物18种。

3.2 系统开展库滨带生态修复工作

薛新娟^[7]研究发现,密云水库水体中藻类大量生长可以消耗水中的营养盐。种植水生植物也有同样的效果。密云水库生态修复工作坚持生态优先原则,合理适度地更新湿生植物,清除库区淹没树木,使库滨带湿地植物配置种类多样化。

密云水库高水位运行阶段,水库北岸库滨消落带有近534 hm²的湿地浅滩,是动植物资源的天然生境。近年来,采取人工促进、天然恢复等措施,相继实施26.7 hm²湿地修复工程,种植千屈菜、水葱、菖蒲、香蒲、芦苇等水生植物;累计清除13万株枯死树,试验性栽植苦草、芡实、欧菱等水生植物28 hm²,用以增加湿地面积,丰富生态系统构成。目前,已在

清水河入库口等地初步形成示范样区,后续将进一步研究从湿地地形地貌-水位-水质-水生植物-水生动物-鸟类的生态链条和量化关系。通过阶段观测,经适度开展人工修复后的消落区同期观测到的鸟类、昆虫、哺乳动物等物种数量均有提升,植被多元化且长势良好,区域固岸护坡作用明显。

3.3 积极与在京科研单位合作创新

2023年,密云水库与中国科学院合作,以密云水库库滨消落带为例,以水鸟为指示生物,研究基于库区水生态系统修复技术以及鸟类栖息地保护的监测和评估体系。目前,初步完成示范样区建设,同步获取到样区土壤、水质、浮游植物、蛋壳重金属含量、鸟类等监测数据,正在进行数据分析对比,后续将综合考虑库滨消落带水源涵养、土壤保持、生物多样性维护、固碳等生态功能重要性,梳理生态环境质量持续改善后的综合评估工作,陆续形成专业的评估报告。

4 结论

(1)由密云水库氮素质量浓度占比分析可以看出,硝酸盐氮占总氮比例最大,二者变化趋势相似;氨氮质量浓度在0.105~0.235 mg/L波动。

(2)库区水体氮素质量浓度变化。从空间分布来看,密云水库库区8个监测点之间的氮素质量浓度分布较平均。从时间分布来看,2020—2022年总氮、氨氮、硝酸盐氮质量浓度波动式上升,2023年有显著下降,下降原因与密云水库上游潮白河流域水源涵养区建设与密云水库生态治理工作开展有关。

(3)2020—2023年,汛期总氮、硝酸盐氮质量浓度有所下降,氨氮有所上升,这可能与大气湿沉降中氨氮含量较高有直接关系。

(4)密云水库生态治理工作主要通过系统开展库滨带生态修复工作和积极与在京科研单位合作创新两方面开展。未来工作方向是进一步配合相关部门明确库区水域、岸线等水生态空间的权属;依托多光谱遥感卫星等技术,全面进行消落区地表变迁追踪;注重系统性原则,分步骤、分阶段积极开展资源本底调查、评估与修复;争取最大机会,继续与中科院、中国水科院、北京市水文总站等单位开展生态保护修复项目合作,加强密云水库流域及库区氮素溯源研究,持续控制库区氮素质量浓度。

参考文献

- [1] 邵海燕,王卿,高春霞,等.长江口浮游植物群落特征及
(下转第31页)

3.6 加强施工期间水环境保护

在河道断流期间,应尽量避免施工废水、废渣等污染物进入河道。施工前,应制定详细的施工环境保护方案,并在施工过程中严格落实。同时,应加强施工人员的环保意识培训,加强对河道该区段的日常管养工作,包括定期清理河道、控制污染源等措施。

4 结语

本文以实际工程为例,利用 MIKE 软件建立一维数值模型,模拟分析河道断流对引清调水改善水质的影响。根据模拟结果可知,河道断流导致河道水动力降低,污染物无法消散,使得河道水质恶化,对整体水环境造成不利影响。为此,本文提出增设导流措施、增设涌浪机、布置生态浮床、加强水质监

~~~~~  
(上接第 14 页)

- 影响因素分析[J].大连海洋大学学报,2024,39(1):124-133.
- [2] 杨宋琪,赵璐,欧阳添,等.不同水文条件下光养生物膜藻类对氮、磷营养盐的响应[J].水生态学杂志,2024,45(3):94-102.
- [3] 祝大山.密云水库库滨带水源保护建设研究[J].北京水务,2020(增刊1):64-68.
- [4] 王哲,尹东鹏,赵文,等.南水北调后密云水库浮游植物多样性及水生态环境评价[J].吉林水利,2020(5):1-6,17.
- [5] 曹鲲鹏,刘岩,李亚楠.南水北调来水对密云水库水质及水生生物的影响[J].地下水,2022,44(3):92-95.
- [6] 刘可暄,王冬梅,常国梁,等.多空间尺度景观格局与地表水质响应关系研究[J].环境科学学报,2022,42(2):23-31.
- [7] 刘亚贺,王晓燕,许康丽.环境因子对密云水库消落带沉积物—水界面氮交换通量的影响研究[J].农业环境科学学报,2022,41(4):849-856.
- [8] 赵守彦,郑婕,赵彻,等.高水位运行期间密云水库总氮含量变化趋势及原因分析[J].北京水务,2022(4):27-30.
- [9] 张新,赵龙,李亚楠,等.密云水库主要入库河流氮磷营养  
~~~~~  
(上接第 18 页)
- 河水利,2023(9):5-8.
- [3] 李霄鹏,宋晓阳,张坤.安阳市小南海流域水资源保护对策[J].水利发展研究,2023,23(6):67-68.
- [4] 许继军,吴志广.新时代长江水资源开发保护思路与对策探讨[J].人民长江,2020,51(1):124-126.
- [5] 梅海鹏,王兵,孔令健.阜阳市水资源保护现状及对策分析[J].治淮,2020(1):18-20.
- [6] 王浩,许新发,成静清,等.水资源保护利用“四水四定”:基本认知与关键技术体系[J].水资源保护,2023,39(1):1-7.

测与日常养护等水质改善措施,希望为同类型工程提供有价值的借鉴与指导。

参考文献

- [1] 杜晓舜,陈长太,何斌,等.上海市引清调水工作的优化与完善[J].水资源保护,2010(5):61-65.
- [2] 洪青.上海松江区劣 V 类河道成因分析及治理措施[J].北方环境,2018,30(7):238-239.
- [3] 王艳,张晓红,杨磊,等.引配水对杭州中东河水水质改善研究[J].环境科学与技术,2016,39(3):136-142.
- [4] 安浩.基于 Mike11 的里下河腹部区引江治污调度方案研究[D].扬州:扬州大学,2019.
- [5] 李璜,颜剑波,张德见,等. MIKE11 在河流环境需水量估算中的应用[J].环境影响评价,2017,39(6):14-18.
- [6] 于敏.松花江流域水环境管理系统[D].上海:同济大学,2008.
- ~~~~~
- 盐输入现状分析[J].北京水务,2021(2):21-25.
- [10] 曹双梁,李亚楠,张新,等.密云水库调蓄南水北调后总氮变化特征分析[J].北京水务,2023(3):47-52.
- [11] 郑婕.密云水库 2022 年营养盐时空分布与原因分析[J].广州化工,2023,51(1):185-188,213.
- [12] 李垒,刘嘉璇,李兆欣,等.密云水库总氮现状及出入库路径解析研究[J].北京水务,2023(增刊2):49-54.
- [13] 王鑫,张新,任修琳,等.密云水库大气降水离子特征变化趋势研究[J].北京水务,2023(1):58-62.
- [14] 胡春春,李亚楠,杨倩,等.密云水库上游河道水质时空变化特征分析[J].海河水利,2023(1):20-24.
- [15] 魏静,郑小刚,张国维,等.官厅水库、密云水库上游流域地表水氮磷含量现状[J].环境工程,2020,38(9):101-105,144.
- [16] 王超,贾庆林,裴中平,等.南水北调中线总干渠典型渠段水体自净能力研究[J].南水北调与水利科技(中英文),2020,18(3):127-141.
- [17] 薛新娟.密云水库藻类水质动态变化分析[J].北京水务,2020(增刊1):40-45.
- ~~~~~
- [7] 贾兆宾,张爽,付银环.康保县水资源利用现状及保护对策[J].水资源开发与管理,2023(7):1-4.
- [8] 赵祎雯.水文水资源生态环境保护与防洪减灾措施研究[J].环境科学与管理,2021,46(11):160-161.
- [9] 侯恩德.大凌河流域水资源保护与治理措施探究[J].黑龙江水利科技,2021,49(6):245.
- [10] 姚青梅,姚家芬.荆门市水资源开发利用现状及保护措施探讨[J].地下水,2021,43(1):162-163.
- [11] 李昕,张蓬生.灵宝市水资源开发利用现状及保护措施探讨[J].地下水,2020,42(5):231-232.