

# 枯水期郑州市缓流水体水质动态监测 评价及提升策略探讨

党宏斌<sup>1,2</sup>, 高军侠<sup>1,2</sup>, 郑宾国<sup>1,2</sup>

(1. 郑州航空工业管理学院 资源与环境研究所, 河南 郑州 450015;

2. 航空经济发展河南省协同创新中心, 河南 郑州 450015)

**摘要:** 从维护城市缓流水体的健康角度,对郑州市东风渠郑东新区段进行了3年为期14个月(2011-2013年,枯水期自11月至翌年5月)的水质(COD、氨氮、总磷)动态监测。结果表明:该缓流水体在枯水期水质均为劣V类,一些断面在部分时段甚至处于重污染状态,主要污染因子为COD,其COD<sub>Mn</sub>含量介于40~75 mg/L之间,并间或有氨氮和总磷指数超标;该缓流水体属于有机型污染水体,但具有转变成与富营养化并存的复合污染趋势。目前东风渠郑东新区段恢复水质面临的最大问题是缺水,必须从本质上及时寻找补充源(拥有丰富的水量和较好的水质),并建议分别从水量保障、生物修复、生态系统重建以及高效管理等几方面,多举措提升水质,恢复水体功能。

**关键词:** 城市缓流水体;水质动态监测;枯水期;水质综合评价

中图分类号:X522

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2016)05-0087-06

## Water quality dynamic monitoring evaluation and upgrade strategy of slow-flow water in Zhengzhou City in dry season

DANG Hongbin<sup>1,2</sup>, GAO Junxia<sup>1,2</sup>, ZHENG Binguo<sup>1,2</sup>

(1. Resources and Environmental Institute, Zhengzhou University of Aeronautical, Zhengzhou 450015, China;

2. Collaborative Innovation Center for Aviation Economy Development, Zhengzhou 450015, China)

**Abstract:** From the perspective of preserving the health of urban slow-flow water bodies, water quality dynamic monitoring of Dongfeng Canal located at Zhengdong New District, Zhengzhou City, had been conducted for 14 months in 3 years from 2011 to 2013. The results showed the canal were below Class to V water quality in dry season. Some of the monitoring sections and part times even belonged to heavy pollution. The main pollution was organic matter with COD<sub>Mn</sub> of 40~75 mg/L, maybe companied by ammonia nitrogen and total phosphorus beyond index. The slow-flow water showed organic pollution type, and likely turned into a combined pollution coexisted with eutrophication. Nowadays, the biggest issue that water quality recovery in the canal faced was water shortage. It was necessary to look for supplemental source with abundant water yield and preferable quality. The protective screen on water quality upgrade and functional rehabilitation were constructed through many measures including water yield security, bioremediation, ecosystem reestablishment, efficient administration and so forth.

**Key words:** urban slow-flow water body; water quality dynamic monitoring; dry season; water quality comprehensive assessment

缓流水体通常是指流动性小、置换速度缓慢的湖泊、池塘、河流等封闭性或半封闭性水体,其主要

特点是自身复氧能力差、自净能力弱。虽然缓流水体的概念已被普遍应用,但是对缓流水体的研究国

收稿日期:2016-08-15; 修回日期:2016-09-20

基金项目:国家自然科学基金项目(51409291);河南省科技攻关项目(132300410328,152102110171);河南省高校青年骨干教师资助计划项目(2015GGJS-174);郑州市科技局项目(153PXXCY185);河南省社科联项目(SK1-2015-2994)。

作者简介:党宏斌(1974-),男,陕西渭南人,本科,工程师,研究方向为水环境污染评价与资源管理研究。

通讯作者:高军侠(1975-),女,陕西白水人,博士,教授,研究方向为地表水水土环境污染评价与修复研究。

内外尚处于早期阶段<sup>[1-3]</sup>。一些城市河流由于气候变暖异常、城市工程建设等阻隔,导致上游天然来水不足,造成河面萎缩、河道断流甚至干涸,已然成为缓流水体;加之有大量的工业污水、生活污水和农业面源污染的汇入,更进一步加速了水质污染,使其往往成为“藏污纳垢”之所<sup>[4-5]</sup>。已有研究表明,城市湖泊随着水源、接纳污水以及封闭程度的变化,水质随季节动态变化差异较大,呈现富营养化趋势已不在少数<sup>[6-7]</sup>。为了解决城市所面临的缓流水体污染问题,一些地方政府为之采取巨资治理,却往往因为基础设施落后、管理不到位、污染源隐蔽等因素,形成治理效果难以持续的恶性循环局面<sup>[1,8]</sup>。长此以往,一些城市水体景观质量已严重下降,其美学价值、旅游观光功能以及所承载的生态环境效益和社会经济效益正在逐步削弱,水生态系统随着水质水量的剧烈变化亦遭到严重破坏<sup>[9-10]</sup>。另外,城市缓流水体作为城市的生态廊道,对城市生态环境、社会、经济的可持续发展与城市安全有着不可替代的自然调控与景观作用。但是针对城市缓流水体尤其是枯水期的水质监测和水质提升策略却鲜有报道。鉴于此,本文选择郑州市过境缓流水体作为研究对象,通过定期监测枯水期水质变化过程,对深入掌握该类水体在最不利条件下的水质动态过程,并据此采取重点防治保障措施,为缓流水体的污染治理和保护管理提供有力的科学指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 缓流水体的选择

郑州市区现有主干河流包括贾鲁河、金水河、熊儿河、东风渠、索须河、须水河、十七里河等 10 余条之多。在构建未来水系贯通,形成生态循环水系的格局中,东风渠已然成为市区河道贯通的主干水系。作为人工开挖的一条引黄灌溉渠,东风渠始建于 1958 年,自东北流向东南,在郑东新区段有金水河、熊耳河、十七里河汇入,成为黄河和郑东新区水体的连接线,曾于 2007 年对东风渠进行过清淤治理工作。目前,随着城市社会经济的发展,该段渠道两岸居住人口剧增,各种工业企业分布于河道两旁,东风渠不仅是郊区农田灌溉用水的主要供给河流,也是城市生活污水和工业废水的主要纳污河流,同时又成为市民休闲纳凉、娱乐垂钓的重要去处,正在发挥着越来越重要的作用。但是,受城市建设、用水、来水等诸多因素影响,近几年来东风渠水量、水质随时间变化波动较大,尤其在枯水季节呈现出明显的缓

流水体特征,为缓流水体研究提供了一个理想场所。

### 1.2 水样采集与处理

通过实地调查,选取东风渠郑东新区段人口密集区域(高校园区)作为取样断面,郑开大道横穿其上,并据此上游 250m 处设初始取样断面,向下游方向每隔 100 m 设置监测断面,共计选择 8 个取样断面,取样段全长共约 1000 m。每个断面设两个取样点,距离岸边约 4.5 m 处,共计 16 个取样点,每点取水样 500 mL,每个取样断面共取约 1000 mL,作为混合水样。水样采集时间范围 2011 - 2013 年,从每年 11 月开始,至翌年 5 月结束,每月采样 1 次。

水样运回实验室后,分析 COD、氨氮、总磷等水质指标,其中 COD 用高锰酸盐指数法测定(COD<sub>Mn</sub>),氨氮用纳氏试剂分光光度法测定,总磷用钼酸铵分光光度法测定。其他相关指标平均值如表 1 所示。

表 1 采集水样特征

指标	采样月份						
	11	12	1	2	3	4	5
水深/m	1.50	0.50	0.30	0.35	0.25	0.15	0.10
温度/℃	1	7	5	10	15	20	25
pH	7.5	7.0	7.0	7.6	7.7	7.7	7.5
颜色	澄清	微黑	微黑	澄清	微黄	微黑	暗黑

### 1.3 水质评价方法

采用单因子评价法和内梅罗综合污染指数法,来全面评价水质污染状况。

单因子评价法是根据现行国家水质标准确定的一种方法。用水体各监测项目的监测结果对照该项目的分类标准,确定该项目的水质类别,在所有项目的水质类别中选取水质最差类别作为水体的水质类别<sup>[11-12]</sup>。

污染指数评价法是指在求出各单一因子污染指数的基础上,再经过数学运算得到一个综合污染指数,据此评价水质,并对水质进行分类的方法。内梅罗综合污染指数法突出了污染指数最大的污染物对环境的影响和作用,是目前国内外普遍采用的方法之一<sup>[13]</sup>。其计算公式为:

$$P_{\text{int}} = \sqrt{\frac{1}{2}(P_{\text{imax}}^2 + P_{\text{iave}}^2)}$$

$$P_i = C_i/S_i$$

式中: $P_{\text{int}}$ 为内梅罗综合污染指数,无量纲; $P_{\text{imax}}$ 为单因子污染指数的最大值,无量纲; $P_{\text{iave}}$ 为单因子

污染指数的平均值,无量纲;  $P_i$  为水体中污染物  $i$  的污染指数,无量纲;  $C_i$  为污染物  $i$  的实测值,mg/L;  $S_i$  为污染物  $i$  的评价标准,mg/L,依据水体用途,本文采用地表水环境质量标准(GB3838-2002)的 V 类标准。并参考《内梅罗水质指数污染等级划分标准》(表 2)进行水质评价。

表 2 水污染指数分级

参数	分级				
	1	2	3	4	5
污染指数 $P_{int}$	$\leq 1.0$	1.0~2.0	2.0~3.0	3.0~5.0	$\geq 5.0$
污染程度	清洁	轻污染	污染	重污染	严重污染

实验数据计算和图表绘制利用 Excel 2007 和 SPSS 13.0 软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 缓流水体水质指标动态变化

2.1.1  $COD_{Mn}$  随时间的变化规律 各断面  $COD_{Mn}$  值随时间的动态变化比较紊乱,其断面均值在 4、5 月份迅速下降,11 月至次年 3 月份波动幅度比单个断面小。从  $COD_{Mn}$  最高峰值的出现时间看:断面 8 在 11 月份达到最高峰值,断面 2、3 在 12 月份达到最高峰值,断面 1 在 1 月份出现最高峰值,断面 5、7 在 2 月份出现最高峰值,而断面 4、6 在 3 月份拥有最高峰值(图 1)。可见,各断面出现最高峰值的时间错落不同,并未在同一时间段同时出现最大值,但可据此判断秋、冬季节(11 月至次年 3 月)水体中有机物含量高于 4-5 月份。

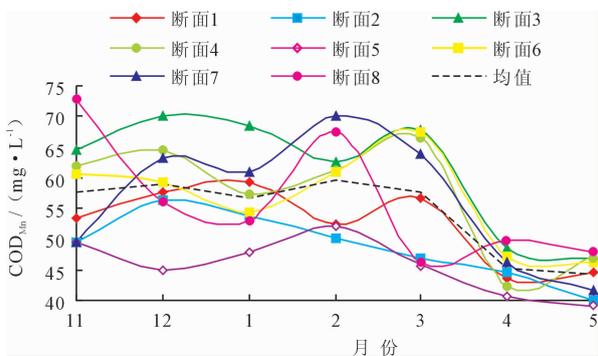


图 1  $COD_{Mn}$  逐月变化趋势

方差分析结果表明:时间对有机质具有极显著差异 ( $P < 0.01$ ),进一步的多重比较显示 11 月至次年 3 月份以及 4-5 月份两两之间不存在显著差异。但 4 月份与 12、2 月份之间的  $COD_{Mn}$  值具有极显著差异,且与 11、1、3 月份之间表现为显著差异

( $P < 0.05$ )。而 5 月份  $COD_{Mn}$  值除与 1 月份表现出显著差异外,与 11、12、2、3 月都有着极显著差异(表 3)。

表 3 水体中  $COD_{Mn}$  均值随时间变化统计分析结果

月份	$COD_{Mn}$ 均值/ ( $mg \cdot L^{-1}$ )	月份						
		11	12	1	2	3	4	5
11	57.695		aA *	aA	aA	aA	bA	bB
12	58.997	aA		aA	aA	aA	bB	bB
1	56.840	aA	aA		aA	aA	bA	bA
2	59.614	aA	aA	aA		aA	bB	bB
3	57.645	aA	aA	aA	aA		bA	bB
4	45.332	bA	bB	bA	bB	bA		aA
5	44.169	bB	bB	bA	bB	bB	aA	

注:方差分析  $P$  值为  $1.93 \times 10^{-5}$ ,不同大、小写字母分别表示不同月份之间  $COD_{Mn}$  值在 0.05 和 0.01 水平的差异显著性,下同。

2.1.2 氨氮随时间的变化规律 在监测时段内,虽然氨氮浓度随时间波动范围较大,但各取样断面呈现较为一致的变化趋势,即 11 月监测的氨氮浓度明显偏低,其断面平均值仅为 0.935 mg/L,小于 1.0 mg/L,此后分别在 12 月至次年 2 月以及 4-5 月出现高峰(均值 4.43 mg/L),但又在 3 月份出现小幅度回落(均值 3.43 mg/L),呈现波浪式前进的特点。总体上 12 月至次年 5 月份的氨氮值明显高于 11 月份(图 2)。

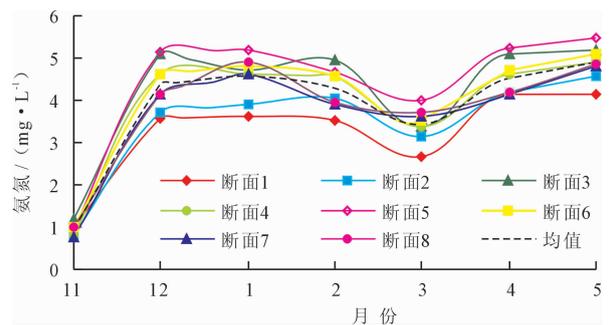


图 2 氨氮逐月变化趋势

时间对氨氮具有极显著影响。11 月、3 月与所有其他月份之间的氨氮差异均为极显著水平,12 月、1 月、4 月的氨氮浓度除了与 11 月、3 月有极显著差异外,与其他月份之间均没有统计学意义上的明显差异;而 2 月份与 5 月份之间的氨氮浓度仅有显著差异(表 4)。

2.1.3 总磷随时间的变化规律 各断面总磷浓度范围为 0.2~0.8 mg/L 之间。与氨氮规律相似,总

磷随时间呈波浪式前进,此阶段有明显的峰值和低谷,但两者之间的变化也存在不同之处,即2月份的总磷处于低值而氨氮处于高值。由逐月变化曲线看,各断面总磷均分别在12-1月、4-5月出现高峰,在11月和2-3月出现低谷(图3)。统计结果表明:11月、2月、3月两两之间以及与其他所有月份之间的总磷均产生了极显著差异(2、3月之间除外);12月与5月之间有显著差异;而1月、4月、5月份两两之间总磷均不具有显著差异(表5)。

表4 水体中氨氮均值随时间变化统计分析结果

月份	氨氮均值/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	月份						
		11	12	1	2	3	4	5
11	0.935		bB	bB	bB	bB	bB	bB
12	4.374	bB		aA	aA	bB	aA	aA
1	4.548	bB	aA		aA	bB	aA	aA
2	4.272	bB	aA	aA		bB	aA	bA
3	3.429	bB	bB	bB	bB		bB	bB
4	4.541	bB	aA	aA	aA	bB		aA
5	4.886	bB	aA	aA	bA	bB	aA	

注:方差分析  $P$  值为  $6.69 \times 10^{-23}$ 。

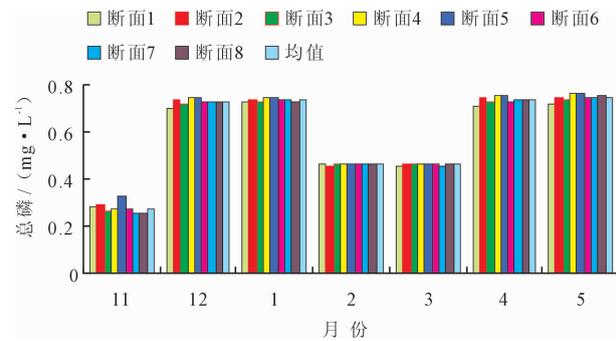


图3 总磷逐月变化趋势

表5 水体中总磷均值随时间的统计分析

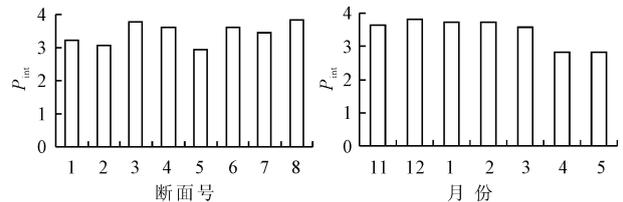
月份	总磷均值/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	月份						
		11	12	1	2	3	4	5
11	0.275		bB	bB	bB	bB	bB	bB
12	0.727	bB		aA	bB	bB	aA	bA
1	0.730	bB	aA		bB	bB	aA	aA
2	0.466	bB	bB	bB		aA	bB	bB
3	0.462	bB	bB	bB	aA		bB	bB
4	0.740	bB	aA	aA	bB	bB		aA
5	0.750	bB	bA	aA	bB	bB	aA	

注:方差分析  $P$  值为  $1.71 \times 10^{-54}$ 。

## 2.2 水质评价结果

依据地表水环境质量标准(GB3838-2002),监测时段内所有断面的高锰酸盐指数均超过V类标准( $15 \text{ mg/L}$ ),超标倍数2~5倍。11月份分别有7个断面的氨氮、总磷符合III类标准(氨氮, $1.0 \text{ mg/L}$ ;总磷, $0.2 \text{ mg/L}$ ),1个断面符合IV类标准(氨氮, $1.5 \text{ mg/L}$ ;总磷, $0.3 \text{ mg/L}$ ),其余月份均超过V类标准(氨氮, $2.0 \text{ mg/L}$ ;总磷, $0.4 \text{ mg/L}$ ),其中氨氮超标倍数1.3~2.6倍,总磷超标倍数1.15~1.92倍。因此,在监测时段与监测断面内,按照单因子评价标准,东风渠郑东新区段水质均为劣V类水质,主要污染因子为有机物,间或有氨氮和总磷超标,因此,该水体从目前的有机型污染或许会变成与富营养化并存的复合污染。

考虑不同断面和不同月份,分别进行水质污染综合评价,依据《内梅罗水质指数污染等级划分标准》(表2),根据综合污染指数  $P_{\text{int}}$  大小(图4),判定断面5以及4月、5月的水质属于污染,其余月份及其余断面属于重污染。由于内梅罗综合污染指数法强调主要污染物的影响,因此评价结果在一定程度上与  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的分布特点一致。



(a) 各断面平均水质污染程度 (b) 逐月平均水质污染程度

图4 东风渠水质综合评价结果

## 3 讨论

### 3.1 缓流水体影响水质的主要因素探讨

时间与水质各指标的关系都显示出显著影响,从水质调查结果看,影响水质的主要因素温度、水位等也随时间发生着变化,在监测时段内,除11月份外,其余6个月的水深均小于0.5m,河流水位不断减小,与此形成鲜明对比的是,氨氮和总磷指数受水量影响明显上升,这是由于水体中底泥表层及其上面新生堆积物中的氮磷直接或间接通过底泥溶入水中,形成氮磷二次污染<sup>[14]</sup>;加之城市缓流水体水流速度非常低,水体中的营养盐得不到及时的迁移和降解,而只能在原处不断蓄积,使水质恶化。对于在2、3月份出现的降低现象,则认为是水位和温度的综合影响,即在水位降低的情况下,水体中氨氮和总

磷上升;而在温度上升的情况下,氨氮和总磷的降解速度加快;基于两种因素处于中值的情况下,该结果表明由温度引起的变化处于主导地位。

显然,水体中有机质的变化受到各时段温度的影响大于水位。由于微生物活动受到温度的影响极其显著,例如好氧微生物能正常生理活动的最适宜温度范围是 $20\sim 40^{\circ}\text{C}$ ,随着温度的升高,微生物增殖速率和生化反应速率都会加快。其中中温微生物生长的最适温度是 $25\sim 37^{\circ}\text{C}$ , $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 是其能够繁殖的最低温度范围。当处理温度低于 $13^{\circ}\text{C}$ 时,中温微生物处理效果明显下降;低于 $4^{\circ}\text{C}$ 无任何效果<sup>[15]</sup>。因此, $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 才会在气温逐步回升到 $15^{\circ}\text{C}$ 以上时,显著下降。虽然温度不利于氧向水中的转移,但由于水位较低,因此对水中溶解氧的影响甚微。表1是采集水样时的温度,根据天气网郑州市气象数据显示,3~5月份温度范围分别介于 $0\sim 23^{\circ}\text{C}$ 、 $6\sim 30^{\circ}\text{C}$ 和 $17\sim 33^{\circ}\text{C}$ 之间,这一点足可证实4、5月份温度回升和微生物活性增强是 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 显著下降的最直接原因。

### 3.2 城市缓流水体水质提升的策略

着眼于维护缓流水体的水质和功能,有必要进行长期定位的系统观测和实验研究,加深对城市缓流水体水质污染特征的充分认识和理解,才能对污染治理提出行之有效的解决办法。

除受到季节性降水因素外,上游市政工程堵截,使得东风渠该断面来水量明显不足,导致流速缓慢甚至水流停滞不前,水体颜色发黑,水质恶化趋势进一步加剧。无论今后对城市水系的规划,还是满足当前功能的要求,都需要有一个有效的水量保障措施,以维持基本的生态水量。目前,郑州市已把黄河水源列为城市水系的主要补充水源,分别向东风渠、十八里河、十七里河、金水河、熊儿河等多条河流调水。但是,纵观黄河沿线城市,远至兰州、西安,近到洛阳,都有引黄入市补充城市生态用水的规划工程,因此,黄河在满足各城市生产及生活用水的前提下,若再大面积调蓄用作生态补水源,则极有可能超过最大河流开发利用,危及流域自身的生态安全线,进而对满足各城市生态水系用水,实则很难保障<sup>[16-17]</sup>。鉴于此,必须多方寻求可靠的补水源,本文建议可从以下两方面考虑:

(1)修建中水回用系统,维持城市水系的水量平衡。随着污水处理系统的健全和严格监管,污水处理率已大幅度提高,将达标排放的中水经过配套管网就近引入市区河流,这一部分水量稳定,如王新

庄污水处理厂是郑州市最大的污水处理厂,日处理水量达 $40\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,且靠近东风渠,可成为更具潜力的主要补水源。

(2)建立有效的雨水收集措施,提高雨洪资源利用率。由于郑州市雨季集中(6~9月份),雨量较大,因此通过铺砌环保的路面渗水材料,可将地面一半以上甚至75%以上的雨水收集起来,这部分水源水质较好,通过合理调蓄,可对城市水系起到早排涝蓄之目的,即在雨季储蓄起来,在旱季(12月至次年5月)输入城市水系,以解缺水之困境。这样,通过多元方式补充城市缓流水系,将在很大程度上能够保障最低生态用水量;从另一层面剖析,既增强了城市总体蓄水能力,又可促进水质改善。

根据已监测的东风渠郑东新区段,水质存在不同程度的污染情况,在已基本完成截污工程的基础上,必须实施综合整治,加强河流的长效治理,提高水体自净能力。首先渠道应以自然蜿蜒的河道形态为主,减少河床硬化、河道裁弯取直等过分人工化措施的不恰当运用,提高河床渗透性,利于地表水和地下水之间互为补给;并可适当增加河道比降,加大流速,重视枯水期“流水不腐”的原理,实现水流形态的多样性。其次要维系水生生物的多样性,不仅要注重水面营造大型水生植物造景,而且要和水下植物、动物、微生物共存形成一体,重建受损退化的河流生态系统,强化生物修复尤其大型水生植物对污染物的修复,发挥水体自净功能。最后要重视岸边绿化和护砌,改变水体与岸边土壤的硬化割裂,回归原始的生态河堤,重视水土交换,增强水体、土壤和植物之间相互涵养能力,从而提高水环境容量和水环境承载能力,以达到恢复水质之目的。

城市缓流水体水质恢复工作是一个长期的系统工程,由于城市防洪、取水、用水、污水治理、水环境等工作由不同的职能部门分工管理,因此在一定程度上出现各环节之间相互脱节,管理难以真正落实到位等现象,建议多个相关部门应组织更为科学、统一、联动的协调机制,加强城市水务一体化管理,使供水、用水和治水能够做到全面统筹、同步规划、同步建设和同步实施,使水质恢复工作能够持续和提高。另外,我国水管理法规、技术规范体系还不够健全,各部门在使用政策法规方面不尽一致,给管理工作带来难度,甚至有些缺乏相应的执法依据,尤其在污染排放标准上应结合实际从严制定和及时调整,有关的处罚措施应该起到足够的惩戒和警示作用。此外,由于城市化过程带来的大规模拆迁改建,造成

用水和排水管网不配套或者年久老化失修,存在个别污水偷排或雨污混排情况,再加上监管部门普遍人力、资金投入有限,导致日常监管不及时等情况时常发生,为了保护城市水环境的可持续健康发展,需要建立相应的财力投入机制和公众监督参与办法,加强专业人才的管护力度,提高全社会的环保意识,才能实现真正意义上的高效管理,恢复退化的水生生态系统,实现持续健康的缓流水系,促进区域社会经济又好又快发展。

## 4 结 论

(1)郑州市东风渠郑东新区段监测时段内水质指标  $COD_{Mn}$  全部超标,氨氮和总磷除有个别月份达到Ⅲ、Ⅳ类标准外,绝大部分时间段超标。分别依据单因子评价法和内梅罗综合污染指数法,研究区在枯水期(11月至次年5月)水质均为劣Ⅴ类,其中11月至次年3月属于重污染。

(2)在2011-2013年枯水期内,由于降水量逐月减少,河流水位不断降低,生态用水量明显不足。因此,为了保障和改善该区域东风渠水质,必须多方调控补充水源,并通过生态修复、加强监管等多举措来努力扭转目前的水污染状况,以期逐步实现可持续的水环境质量目标。

### 参考文献:

- [1] Junxia Gao, Hongbin Dang, Lei Liu. Pollution survey and countermeasures of urban slow-flow water body[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012(178-181): 661-665.
- [2] 罗梅,胡细全,胡家玮,等. 受污染城市缓流水体外循环技术研究[J]. 环境工程, 2015, 33(2): 6-11.
- [3] Schaffner Monika, Bader Hans-Peter, Scheidegger Ruth. Modeling the contribution of point sources and non-point sources to Thachin River water pollution[J]. Science of the Total Environment, 2009, 407(17): 4902-4915.
- [4] Shi Qingling, Zhan Jinyan, Wu Feng, et al. Simulation on water flow and water quality in Wuliangshuai Lake using a 2-D hydrodynamic model[J]. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2012, 10(2): 973-975.
- [5] Shan Kong, Chunging Gao, Junxia Gao, et al. Urban water environment analysis and countermeasures in central region in China[C] // International Workshop on Architecture, Civil and Environmental Engineering. Wuhan, China, 2011. 4: 4264-4266.
- [6] 王清雷,徐磊,张旭宗. 北京大兴区河道水污染现状调查与治理措施[J]. 水利水电技术, 2012, 43(12): 19-21.
- [7] 张波,翟路,林杰,等. 南京城市湖泊湿地的水质动态及其评价[J]. 湿地科学与管理, 2011, 7(1): 29-32+39.
- [8] Iago López, César Alvarez, José Luis Gil, et al. A method for the source apportionment in bathing waters through the modelling of wastewater discharges: development of an indicator and application to an urban beach in Santander (Northern Spain)[J]. Ecological indicators: Integrating, monitoring, assessment and management, 2013, 24(1): 334-343.
- [9] 杨永春,刘治. 近30年来中国西部河谷型城市水体污染变化趋势与机制[J]. 山地学报, 2010(2): 57-59.
- [10] 刘祺,胡细全,罗梅,等. 常州市缓流水体循环净化研究[J]. 海南师范大学学报(自然科学版), 2015, 28(2): 194-198.
- [11] 申杰,潘杨,黄勇. 城市地表水环境评价方法综述[J]. 环保科技, 2011, 17(4): 41-45.
- [12] 王腾,延军平,刘新颜,等. 陕北煤矿区地表水环境评价与水矿捆绑模式研究[J]. 水土保持通报, 2013, 33(2): 209-212+217.
- [13] 胡海英,包为民,余德华,等. 资水流域益阳段水质现状分析与评价[J]. 中国农村水利水电, 2008(2): 41-44.
- [14] 龚春生. 城市小型浅水湖泊内源污染及环保清淤深度研究——以南京玄武湖为例[D]. 南京: 河海大学, 2007: 1-74.
- [15] 赵曦. 好氧微生物净化污水的机理与实践[D]. 天津: 天津大学, 2006: 26-28.
- [16] 尹民,崔保山,杨志峰. 黄河流域城市生态环境需水量案例研究[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 397-403.
- [17] 苏茂林. 黄河水资源管理制度建设与流域经济社会的可持续发展[J]. 人民黄河, 2015, 37(11): 1-3+7.