

城市河流黑臭水体综合评价体系的建立及应用

柳超, 钱彬杰, 王莉元, 苗群

(青岛理工大学环境与市政工程学院, 山东 青岛 266033)

摘要: 以系统理论为基础,对区域水系进行综合评价,并结合综合水质标识指数法和水体感官指标评价法,建立了城市河流黑臭水体综合评价体系。采用该综合评价体系,以某开发区内河水系为例,利用该区域水质例行监测数据(每月1次)和现场感官评价,确定当 $I_{wq} \geq 6.7$ 时水体发生黑臭现象,开发区内河水系除黄白排水沟外,李公河、小埠东干渠、玉白河、解白河、彭白河以及小墩沟均有黑臭现象发生。分析结果表明,建立的综合评价体系可较好地识别城市河流黑臭水体,这对我国黑臭水体的识别及治理具有重要意义。

关键词: 城市河流; 黑臭水体; 综合评价体系; 综合水质标识指数法; 水体感官指标评价法; 黑臭阈值

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)11-0073-06

Establishment and Application of Comprehensive Evaluation System of Urban Black and Odorous Rivers

LIU Chao, QIAN Bin-jie, WANG Li-yuan, MIAO Qun

(School of Environmental and Municipal Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266033, China)

Abstract: From the perspective of theory system, a comprehensive evaluation of regional water system was conducted. A comprehensive evaluation system for assessing black and odorous water in urban rivers was established, which combined comprehensive water quality identification index method and sensory evaluation method. The proposed system was applied to the river system in an economic development area. Based on the river water quality routine monitoring data (1 time per month) and on-site sensory evaluation, it was identified that the river became black and odorous when $I_{wq} \geq 6.7$, and black and odorous phenomenon took place in Ligong River, East Xiaobu Trunk Canal, Yubai River, Xiebai River, Pengbai River and Xiaodun Ditch except Huangbai Drainage Ditch in the river system of the economic development area. The results showed that the urban black and odorous rivers could be effectively identified by the comprehensive evaluation system, which had great significance for the identification and management of black and odorous rivers in China.

Key words: urban rivers; black and odorous water; comprehensive evaluation system; comprehensive water quality identification index method; water sensory evaluation method; black and odorous threshold

随着城市建设的快速发展,水环境质量日趋恶化,城市水体常发生黑臭现象,影响了生态环境,危害人类健康。因此,黑臭水体治理是当前生态建设的重要任务。治理黑臭水体首先要识别和确定黑臭水体,但国内外尚未有统一的标准评价黑臭水体。目前常用的评价方法主要有:多元非线性回归模型^[1]、黑臭多因子加权指数模型、有机污染指数模型和模糊数学评价法^[2]等,但上述方法大多是针对特定地区的水质特点提出的黑臭评价方法或是针对具体河流的水质特征建立的关系式,具有地域的局限性,普适性较差。2015年住建部针对城市河流黑臭水体提出了《城市黑臭水体整治工作指南》,通过现场指标的检测直接评价识别黑臭水体,应用简单,结果直观。但是,该指南在评价黑臭水体时,并未明确提出水体黑臭持续时间的跨度,无法界定是冲击性污染导致的间歇性黑臭还是长期性黑臭。因此,构建城市黑臭水体综合评价体系对城市水体黑臭的识别和治理至关重要。

笔者结合综合水质标识指数法和水体感官指标评价法,针对区域水系建立了一套简单、全面的城市河流黑臭水体综合评价体系。并以某开发区内河水系为例,结合系统理论,对水体进行综合评价和黑臭识别。通过对解白河、彭白河、玉白河、李公河、小埠东干渠、小墩沟和黄白排水沟等内河河流水质进行分析,采用建立的综合评价体系确定开发区内河水系水体黑臭阈值,从而对开发区内河水系进行黑臭识别和评价。该综合评价体系考虑了城市水系中各河流的相互影响和相互作用,旨在为我国城市河流黑臭水体识别和综合评价提供参考和借鉴。

1 黑臭水体综合评价体系的构建

一套简单、全面的城市河流黑臭水体综合评价体系应具备以下特点:①通过一组关键水质指标即可综合评价河流整体的水质状况;②对水质既能定性评价,又能定量评价;③评价方法简单实用,易于在我国河流水质评价工作中推广;④可以深入评价劣V类水质,并判断河流是否黑臭;⑤评价结果直观,能够快速、清晰地反映水体水质状况;⑥评价具有实时性、动态性。

基于上述分析,以综合水质标识指数法为基础,对水质进行综合评价,判断水体水质类别,并通过水体感官指标评价法对评价结果进行验证,以确定综合水质标识指数的适用性。结合综合水质标识指数

法和水体感官指标评价法,建立了一套简单、全面的城市河流黑臭水体综合评价体系。

1.1 综合水质标识指数法

综合水质标识指数法^[3],是基于河流单因子水质标识指数法衍化而来的,可以通过一组主要水质指标综合评价河流水质,并识别水体是否为黑臭水体。该方法不仅可以对水质进行定性和定量评价,还可以进一步评价劣V类水质,判断其是否为黑臭水体,并且计算过程简单,结果直观,易推广。目前,针对百余条城市河流的综合水质评价证明了该方法的可靠性,同时保证了评价指标的全面性和不同断面评价结果的可比性。

1.2 感官指标评价法

水体感官特征在一定程度上反映了河流水质的污染状况,对黑臭水体的评价具有很强的感官特性^[4]。相较于一般水质化学指标评价法,利用水体感官指标可以更快捷、更直观地反映水体黑臭情况,但该方法主观性较强,不同的人对同一水体可能会有不同的评价结果。本研究采用水色和气味两个表现要素对水体感官污染进行分析,其中气味以距离河岸1 m处的异味程度来判定。水体由好到坏的相应水色依次为:无色、浅绿色、黄绿色、深绿色、灰褐色、灰黑色、黑色;气味依次为:无味、有异味、臭、恶臭。现场判定过程中,充分考虑了不同人对其感受的差异性,由15位试验者同时提供现场感官数据,按照多数决原则来确定现场水色及气味程度。

2 某开发区内河黑臭水体评价

2.1 研究区概况

某开发区地理坐标为东经118°23'~118°32'、北纬34°53'~35°02',规划控制面积为223 km²。开发区境内水系发育呈脉状分布,区内多年平均年降水量为862.5 mm,平均年径流深为329.9 mm。虽然河流水资源总量充沛,但空间分布不均,且生态需水量不足,尤其在非汛期河道需水量严重不足。开发区内河主要包括李公河、解白河、彭白河、玉白河、小埠东干渠、小墩沟和黄白排水沟,各条河流构成脉络相通的系统,基本概况见表1。内河河道沿流经村庄、工厂、农田等,长期接受生活污水、工业废水以及农田林地等雨水径流直接冲刷入河带来的面源污染,现状水质较差。除此之外,部分河段、河道淤积严重,底泥释放内源污染,在一定程度上加剧了水质恶化,水污染问题日益突出。

表1 开发区内河河流基本概况

Tab.1 Basic situation of river system in economic development area

| 项目 | 河道宽度/m | 河道长度/km | 流域面积/km ² |
|-------|--------|---------|----------------------|
| 李公河 | 5~37 | 26.2 | 120.8 |
| 小埠东干渠 | 13 | 7.7 | — |
| 玉白河 | 20 | 21.1 | 21.1 |
| 解白河 | 3~25 | 10.9 | 63.1 |
| 彭白河 | 11 | 8.9 | 22.4 |
| 小墩沟 | 13 | 7.7 | — |
| 黄白排水沟 | 32 | 17.7 | — |

2.2 数据来源

目前,关于黑臭水体评价方法大多基于现场检测的数据,但是现场水质检测的影响因素较多,且费时、费力、成本高。因此,本研究采用开发区内河12个常规监测断面的月监测数据作为数据源。具体选用2016年6月—2017年5月的水质例行监测数据(每月1次),并于2016年6月10日、2017年2月3日和2017年5月14日现场采集相应点位的水体感官特征数据,水质监测断面布置见图1。

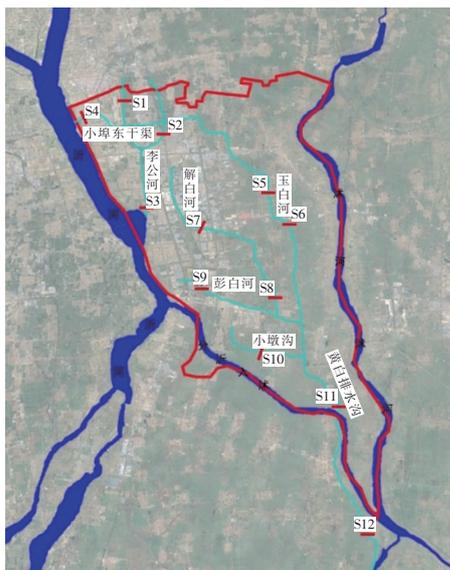


图1 水质监测断面布置示意

Fig.1 Schematic diagram of water quality monitoring section arrangement

2.3 评价指标的选取

对于不同地区的不同河流,应根据实际水体污染特征选择关键指标进行分析。通过对水质例行监测数据的分析发现,各监测断面的砷、铅、镉、铜、锌、六价铬、汞等重金属以及硒、氰化物、阴离子表面活性剂均无超标现象,且大多低于检测限值。DO基

本在3~4 mg/L之间,不符合目前多数研究结论:当DO < 2 mg/L时水体会出现黑臭现象^[5],但根据现场实地调查,开发区内河水体确有黑臭现象发生,表明DO < 2 mg/L并非开发区内河水体发生黑臭的关键条件。因此,为了明确开发区内河主要污染因子的影响程度,根据水质污染特征,选取氨氮、总磷、COD、COD_{Mn}、BOD₅作为黑臭水体识别的评价指标。

2.4 评价结果

2.4.1 综合水质标识指数法评价结果

根据开发区水域功能和当地水环境目标要求,内河水系水环境质量执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的IV类标准。采用综合水质标识指数法分析开发区7条内河12个监测断面的水质例行监测数据,以解白河计算结果为例(见表2),其余河流的数据分析相同,在此不多赘述。

表2 解白河水水质标识指数法计算结果

Tab.2 Results of comprehensive water quality identification index method for Xiebai River

| 项目 | 时间 | $P_{\text{氨氮}}$ | $P_{\text{总磷}}$ | P_{COD} | $P_{\text{COD}_{\text{Mn}}}$ | P_{BOD_5} | I_{wq} |
|----|----------|-----------------|-----------------|------------------|------------------------------|--------------------|-----------------|
| S7 | 2016年6月 | 5.11 | 10.46 | 6.62 | 2.60 | 6.32 | 6.222 |
| | 2016年7月 | 3.80 | 10.10 | 5.61 | 5.11 | 5.91 | 6.122 |
| | 2016年8月 | 6.82 | 8.14 | 4.01 | 4.40 | 5.11 | 5.721 |
| | 2016年9月 | 2.90 | 7.43 | 7.42 | 6.72 | 7.23 | 6.322 |
| | 2016年10月 | 4.20 | 7.10 | 4.01 | 4.01 | 4.50 | 4.821 |
| | 2016年11月 | 2.90 | 6.10 | 5.00 | 4.90 | 4.70 | 4.720 |
| | 2016年12月 | 3.50 | 10.10 | 6.32 | 5.80 | 6.32 | 6.422 |
| | 2017年1月 | 5.41 | 7.13 | 5.81 | 5.00 | 5.71 | 5.821 |
| | 2017年2月 | 6.42 | 14.10 | 4.01 | 4.40 | 5.02 | 6.822 |
| | 2017年3月 | 3.80 | 11.10 | 4.01 | 4.01 | 5.41 | 5.721 |
| | 2017年4月 | 4.50 | 6.22 | 5.40 | 5.10 | 5.71 | 5.421 |
| | 2017年5月 | 7.62 | 8.54 | 6.42 | 6.12 | 6.42 | 7.024 |
| S8 | 2016年6月 | 5.00 | 7.73 | 6.43 | 4.50 | 6.62 | 6.322 |
| | 2016年7月 | 6.82 | 7.83 | 4.80 | 5.71 | 5.02 | 5.821 |
| | 2016年8月 | 7.13 | 7.53 | 6.22 | 4.30 | 6.12 | 6.522 |
| | 2016年9月 | 5.11 | 3.60 | 4.40 | 3.00 | 4.01 | 4.320 |
| | 2016年10月 | 6.92 | 6.72 | 3.00 | 4.40 | 4.20 | 4.820 |
| | 2016年11月 | 3.60 | 4.20 | 4.00 | 4.40 | 5.02 | 4.220 |
| | 2016年12月 | 4.40 | 3.60 | 4.80 | 5.00 | 5.11 | 4.520 |
| | 2017年1月 | 8.44 | 6.22 | 5.61 | 5.31 | 5.71 | 6.222 |
| | 2017年2月 | 4.90 | 6.12 | 6.12 | 6.12 | 6.32 | 5.721 |
| | 2017年3月 | 3.20 | 4.70 | 6.62 | 5.00 | 6.72 | 5.521 |
| | 2017年4月 | 2.70 | 3.60 | 5.81 | 5.91 | 5.81 | 4.620 |
| | 2017年5月 | 6.62 | 7.13 | 6.32 | 4.50 | 6.32 | 6.422 |

从表2可以看出,解白河氨氮的单因子标识指数为2.70~8.44;总磷的单因子标识指数为3.60~

14.10; COD 的单因子标识指数为 3.00 ~ 7.42; COD_{Mn} 的单因子标识指数为 2.60 ~ 6.72; BOD_5 的单因子标识指数为 4.01 ~ 7.23。5 个指标中总磷的单因子标识指数最大,且变化幅度也最大,表明总磷为解白河最主要的污染因子。S7 断面的 I_{wq} 值在 4.720 ~ 7.024 之间,其中有 6 个月 $I_{wq} > 6$,水质处于劣 V 类水平;S8 断面的 I_{wq} 值在 4.220 ~ 6.522 之间,有 4 个月 $I_{wq} > 6$,水质为劣 V 类水平。

图 2 为开发区其他 6 条内河常规监测断面的综合水质标识指数评价结果。

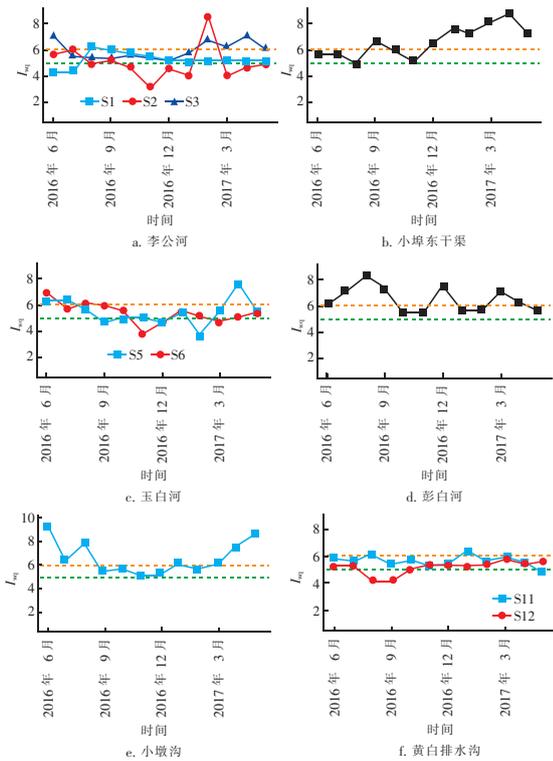


图 2 综合水质标识指数法评价结果

Fig.2 Results of comprehensive water quality identification index method

由图 2 可知,2016 年 6 月—2017 年 5 月开发区内河综合水质标识指数 $I_{wq} > 6$,水质为劣 V 类水平如下:S1 断面为 2 个月;S2 断面为 1 个月;S3 断面为 5 个月;S4 断面为 8 个月;S5 断面为 3 个月;S6 断面为 2 个月;S7 断面为 6 个月;S8 断面为 4 个月;S9 断面为 7 个月;S10 断面为 7 个月;S11 断面为 2 个月;S12 断面 I_{wq} 值均小于 6,未达到劣 V 类水平。

2.4.2 水体感官指标评价法结果

为了验证综合水质标识指数法评价结果是否适用于判断开发区内河黑臭水体,对该区域内河河道

进行了现场调查,记录了河流水体的气味和水色情况,并将现场记录的感官指标数据与同月份的综合水质标识指数结果进行对比分析(见表 3)。

表 3 水体感官指标评价法与综合水质标识指数法评价结果

Tab.3 Results of water sensory evaluation method and comprehensive water quality identification index method

| 时间 | 河流 | 断面 | 水色 | 气味 | I_{wq} |
|-----------------|-------|-----|-----|-------|----------|
| 2016 年 6 月 10 日 | 李公河 | S1 | 黄绿色 | 无味 | 4.320 |
| | | S2 | 深绿色 | 无味 | 5.621 |
| | | S3 | 灰黑色 | 臭味 | 7.123 |
| | 小埠东干渠 | S4 | 深绿色 | 异味 | 5.721 |
| | 玉白河 | S5 | 灰褐色 | 异味 | 6.222 |
| | | S6 | 灰黑色 | 臭味 | 6.922 |
| | 解白河 | S7 | 灰褐色 | 异味 | 6.222 |
| | | S8 | 灰褐色 | 异味 | 6.322 |
| | 彭白河 | S9 | 深绿色 | 异味 | 6.122 |
| | 小墩沟 | S10 | 黑色 | 恶臭 | 9.225 |
| | | S11 | 黄绿色 | 无味 | 5.821 |
| 黄白排水沟 | S12 | 黄绿色 | 无味 | 5.321 | |
| | 李公河 | S1 | 黄绿色 | 无味 | 5.121 |
| S2 | | 黑色 | 恶臭 | 8.521 | |
| S3 | | 灰褐色 | 臭味 | 6.721 | |
| 小埠东干渠 | S4 | 灰黑色 | 臭味 | 7.223 | |
| | 玉白河 | S5 | 黄绿色 | 无味 | 3.720 |
| S6 | | 黄绿色 | 无味 | 5.121 | |
| 解白河 | S7 | 灰黑色 | 臭味 | 6.822 | |
| | S8 | 深绿色 | 无味 | 5.721 | |
| 彭白河 | S9 | 深绿色 | 无味 | 5.621 | |
| 小墩沟 | S10 | 深绿色 | 异味 | 5.621 | |
| 黄白排水沟 | S11 | 深绿色 | 无味 | 5.521 | |
| | S12 | 深绿色 | 无味 | 5.321 | |
| 2017 年 5 月 14 日 | 李公河 | S1 | 黄绿色 | 无味 | 5.121 |
| | | S2 | 黄绿色 | 无味 | 4.921 |
| | | S3 | 深绿色 | 异味 | 6.023 |
| | 小埠东干渠 | S4 | 灰黑色 | 恶臭 | 7.223 |
| | 玉白河 | S5 | 黄绿色 | 无味 | 5.321 |
| | | S6 | 黄绿色 | 无味 | 5.421 |
| | 解白河 | S7 | 灰黑色 | 恶臭 | 7.024 |
| | | S8 | 灰褐色 | 臭味 | 6.422 |
| | 彭白河 | S9 | 深绿色 | 无味 | 5.621 |
| | 小墩沟 | S10 | 黑色 | 恶臭 | 8.724 |
| | 黄白排水沟 | S11 | 黄绿色 | 无味 | 4.820 |
| S12 | | 深绿色 | 无味 | 5.621 | |

从表 3 可以看出,水体颜色越深、气味越重,其断面对应的 I_{wq} 值越大。3 次现场调查共发现 11 次水体黑臭现象,且这 11 次黑臭现象发生时对应的综

合水质标识指数均大于6。由此可见,综合水质标识指数与现场调查水体感官特征具有较好的一致性。因此,综合水质标识指数法评价结果适用于该区域内河黑臭水体的判断。

2.4.3 开发区内河黑臭水体识别

先通过综合水质标识指数法准确判断出劣V类水体,并利用水体感官指标评价法进行验证,以确定综合水质标识指数法评价结果适用于判断该区域内河黑臭水体。然后结合综合水质标识指数法和水体感官指标评价法,确定该区域水体的黑臭阈值,并进一步对劣V类水体进行黑臭识别。

结合综合水质标识指数法评价结果与水体感官指标评价法结果,在11次产生黑臭的监测中,综合水质标识指数超过6.7的有10次,占91%。因此,以综合水质标识指数 $I_{wq}=6.7$ 作为开发区内河水体出现黑臭的临界阈值,即当水体的综合水质标识指数 $I_{wq} \geq 6.7$,即判定河流出现黑臭现象。

根据上述分析结果,对开发区内河在2016年6月—2017年5月期间出现劣V类水体进行黑臭识别,结果见表4。

表4 开发区内河断面黑臭现象统计

Tab.4 Section details of black and odorous rivers in economic development area

| 项目 | 断面 | 黑臭现象发生时间 | 发生黑臭的月数/个 |
|-------|-----|-------------------------------------|-----------|
| 李公河 | S1 | 无 | 0 |
| | S2 | 2017年2月 | 1 |
| | S3 | 2016年6月、2017年2月、 2017年4月 | 3 |
| 小埠东干渠 | S4 | 2017年1月—5月 | 5 |
| 玉白河 | S5 | 2017年4月 | 1 |
| | S6 | 2016年6月 | 1 |
| 解白河 | S7 | 2017年2月、2017年5月 | 2 |
| | S8 | 无 | 0 |
| 彭白河 | S9 | 2016年7月—9月、 2016年12月、2017年3月 | 5 |
| 小墩沟 | S10 | 2016年6月、2016年8月、 2017年4月、2017年5月 | 4 |
| 黄白排水沟 | S11 | 无 | 0 |
| | S12 | 无 | 0 |

从表4可以看出,2016年6月—2017年5月开发区内河仅黄白排水沟未发生黑臭现象,其余河流均有黑臭现象发生。发生黑臭现象的河流除小埠东

干渠以外,其余河流均为间歇式黑臭,时间跨度较大,人为因素造成水体产生黑臭的可能性较大。小埠东干渠从2017年1月—5月连续5个月水体处于黑臭水平,应属于季节性黑臭。

3 结论

① 从系统理论出发,以综合水质标识指数法为基础,对区域水系水质进行综合评价,通过水体感官指标评价法,对评价结果适用性进行了验证。并将综合水质标识指数法和水体感官指标评价法相结合,建立了一套简单、全面的城市河流黑臭水体综合评价体系。根据评价水体的实际情况选择黑臭关键指标,确定水体黑臭的临界阈值,从而对城市河流进行黑臭水体识别及评价。建立的综合评价体系可较好地识别城市河流黑臭水体,对我国黑臭水体的识别及治理具有重要意义。

② 以某开发区内河水系为例,获取其从2016年6月—2017年5月12个常规监测断面水质例行监测数据,采用建立的城市河流黑臭水体综合评价体系,确定综合水质标识指数 $I_{wq}=6.7$ 为该区域内河水体出现黑臭的临界阈值,即当 $I_{wq} \geq 6.7$ 时,水体发生黑臭现象。分析结果表明,在2016年6月—2017年5月期间,除黄白排水沟外,李公河、小埠东干渠、玉白河、解白河、彭白河以及小墩沟均有黑臭现象发生。

参考文献:

- [1] Sugiura N, Utsumi M, Wei B, *et al.* Assessment for the complicated occurrence of nuisance odours from phytoplankton and environmental factors in a eutrophic lake [J]. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 2010, 9(3/4): 195–201.
- [2] 徐明德, 阎正坤, 朱秋丽, 等. 基于BP神经网络-隶属度的河流黑臭评价研究[J]. *数学的实践与认识*, 2012, 42(17): 55–61.
Xu Mingde, Yan Zhengkun, Zhu Qiuli, *et al.* Study on black-stink assessment of rivers based on BP neural network-membership grade [J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2012, 42(17): 55–61 (in Chinese).
- [3] 徐祖信. 我国河流综合水质标识指数评价方法研究[J]. *同济大学学报:自然科学版*, 2005, 33(4): 482–488.

(下转第83页)