

# 松花江干流佳木斯段 COD 和氨氮动态实际水环境容量研究

董彭旭 杜慧玲 于晓英

(黑龙江省环境科学研究院,黑龙江哈尔滨 150056)

**摘要** 针对松花江流域水环境容量季节性变化情况,在动态的水文设计条件下,基于二维岸边排放模型,采用段尾控制法对松花江佳木斯段 COD 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  的实际水环境容量进行了数值计算与分析。结果表明,松花江佳木斯段 COD 与  $\text{NH}_3\text{-N}$  实际水环境容量变化趋势相似, $\text{NH}_3\text{-N}$  波动幅度大于 COD 的波动幅度;实际水环境容量季节性变化较大,丰水期最大,枯水期最小,应实施动态的管理。研究结果可为松花江水环境管理和保护提供基础理论依据。

**关键词** 动态水环境容量;COD; $\text{NH}_3\text{-N}$ ;松花江佳木斯段

中图分类号 X832 文献标识码 A 文章编号 1007-5739(2019)11-0166-03

## Research on COD and $\text{NH}_3\text{-N}$ Dynamic Actual Water Environmental Capacity of Jiamusi Section in Songhua River DONG Peng-xu DU Hui-ling YU Xiao-ying

(Heilongjiang Provincial Research Academy of Environmental Sciences, Haerbin Heilongjiang 150056)

**Abstract** In view of the seasonal variations of water environmental capacity in Songhua River, under dynamic hydrological design conditions, based on two-dimensional side-discharge model, the COD and  $\text{NH}_3\text{-N}$  actual water environmental capacity of Jiamusi section in Songhua River was calculated and analyzed by using section-ending control method. The results showed that the variation trend of COD and  $\text{NH}_3\text{-N}$  actual water environmental capacity was similar in Songhua River Jiamusi section, and the fluctuation range of  $\text{NH}_3\text{-N}$  was greater than that of COD. Seasonal difference of the capacity was obvious, the maximum and minimum value of the COD and  $\text{NH}_3\text{-N}$  actual water environmental capacity appeared in flood season and dry season, respectively. Dynamic management should be implemented in Songhua River. This research can provide theoretical accordance for water environmental management and protection of Songhua River.

**Key words** dynamic water environmental capacity; chemical oxygen demand (COD); ammonia nitrogen ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ); Jiamusi section in Songhua River

水环境容量是指在一定的环境目标条件下,水体能够容纳污染物的最大量或自身调节净化并保持生态平衡的能力,反映了水体纳污能力的大小<sup>[1]</sup>。随着我国水环境管理中以对水质改善为目标的容量总量控制认识的不断加深,科学合理确定河湖水库水环境容量的技术方法成为诸多学者们不断研究的方向<sup>[2]</sup>。影响河流水环境容量的因素很多,主要包括水域水质环境功能区要求、河道的水文条件、污染物的特性等。我国对于水环境容量的研究已进行了 40 多年<sup>[3-4]</sup>,在理论及总量控制方法 2 个方面取得了丰硕成果,并提出了可分配水环境容量的概念及办法<sup>[5]</sup>。水环境容量已在我国许多重要水体中开展了研究和应用,为水污染治理和保护提供了科学依据,丰富了水环境容量的理论和研究方法。

松花江佳木斯江段位于松花江下游,在同江附近汇入中俄界河黑龙江,该江段的水质直接影响松花江的出境水质<sup>[6]</sup>。因此,对其水环境容量进行研究,可以为流域环境规划、污染防治与环境管理提供重要依据,对加强松花江流域水资源保护、防治松花江水质污染具有十分重要的意义。松花江流域位于我国北方高纬度寒冷地区,存在冰封期与非冰封期的差异,河流径流量的季节性变化较大且冬季水温低,因而松花江水环境容量存在季节性差异变化,需进行动态水环境容量分析并实施动态管理。近年来,国内外关于动态水环境容量的研究较多,但对松花江流域动态水环境容量的研究相对较少且大部分研究集中在 2013 年以前<sup>[7]</sup>。

## 1 研究方法

### 1.1 环境容量计算模型的选取

松花江佳木斯江段多年平均流量约 2 149  $\text{m}^3/\text{s}$ ,河槽宽

度约 500~2 000 m,平均水深约 4 m,平均流速约 0.4 m/s,属于宽浅大型河流,其主要支流从上游至下游主要包括汤旺河、梧桐河和安邦河。

根据《水域纳污能力计算规程》(GB/T 25173—2010),河流水环境容量计算模型由简单到复杂依次为河流零维模型、河流一维模型和河流二维模型。其中,河流二维模型适用于大型河段(流量  $Q \geq 150 \text{ m}^3/\text{s}$ ),污染物在河段非均匀混合,故本文选取河流二维模型。研究江段沿岸的污染源为岸边排放,因而采用二维岸边排放模型对污染物在水体中的迁移扩散规律进行模拟。敏感点位置取岸边,并采用段尾控制法,推导出研究江段的水环境容量计算公式,见式(1)。

$$W = \sum_{i=1}^n W_i = \sum_{i=1}^n \left[ c_s \exp\left(-\frac{K_1 x_i}{86400 u_x}\right) - c_0 \right] \times H \times \sqrt{\pi M_y x_i u_x} \times \left[ 1 + \exp\left(-\frac{u_x B^2}{M_y x}\right) \right]^{-1} \quad (1)$$

式(1)中, $c_s$ —污染物在研究河段的水质标准(mg/L); $c_0$ —污染物在研究河段的本底值(mg/L); $x_i$ —敏感点到排污口的距离(m); $M_y$ —河流纵向、横向的弥散系数( $\text{m}^2/\text{s}$ ); $u_x$ —河流的平均流速(m/s); $K_1$ —污染物的衰减速度常数( $\text{d}^{-1}$ ); $B$ —河流水面宽度(m); $H$ —河流平均水深(m)。

### 1.2 研究江段计算单元的划分

根据松花江佳木斯江段的国家水质考核断面及其功能区目标,将研究江段划分为 3 个计算单元,分别为佳木斯上一佳木斯下、佳木斯下—江南屯、江南屯—同江,计算单元属性见表 1。松花江佳木斯江段监测断面位置见图 1。

### 1.3 水文参数的选取

水文参数根据 2009—2013 年松花江佳木斯站的水文监测数据,取每个月的最小实测流量作为当月的的设计流量,流速、平均水深、水面宽度等水文参数取相应月份的最小流量对应的值。由此计算出的水环境容量随月份变化呈现动

**基金项目** 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2014ZX07201012)。  
**作者简介** 董彭旭(1988-),女,黑龙江哈尔滨人,工程师,硕士,从事水环境保护研究工作。

**收稿日期** 2019-03-04

表 1 松花江佳木斯段计算单元属性

计算单元	计算单元长度/km	水环境功能区划	2013 年上游实际来水水质
佳木斯上一佳木斯下	99.6	IV	III
佳木斯下一江南屯	22.8	IV	III
江南屯一同江	170.6	III	III



图 1 松花江佳木斯段监测断面位置

态变化。

#### 1.4 横向弥散系数 $M_y$ 及污染物综合衰减系数

横向弥散系数  $M_y$  采用 Taylor 公式进行求解,见式(2)。

$$M_y = (0.058h + 0.0065B) \sqrt{ghi} \quad (2)$$

式(2)中,  $M_y$ —河流横向弥散系数( $m^2/s$ );  $B$ —河流水面平均宽度(m);  $h$ —河流平均水深(m);  $g$ —重力加速度,取  $9.8 \text{ m/s}^2$ ;  $i$ —平均纵向坡降,松花江佳木斯段取  $0.1\%$ 。

松花江佳木斯段的横向弥散系数  $M_y$  见表 2。污染物综合衰减系数  $K_1$  依据已有文献以及经验系数法初步确定,再根据已有断面 COD 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  的监测数据进行拟合分析和修正,经过率定后的污染物综合衰减系数  $K_1$  值见表 2。

表 2 松花江佳木斯段弥散系数及污染物综合衰减系数

月份	横向弥散系数 $M_y$ $m^2 \cdot s^{-1}$	污染物综合衰减系数/ $d^{-1}$	
		$K_{\text{COD}}$	$K_{\text{NH}_3\text{-N}}$
1	0.195 4	0.108	0.076
2	0.170 8	0.101	0.067
3	0.176 6	0.101	0.066
4	0.223 1	0.147	0.127
5	0.337 8	0.141	0.120
6	0.295 8	0.144	0.124
7	0.407 8	0.230	0.238
8	0.495 5	0.226	0.232
9	0.413 7	0.184	0.176
10	0.245 6	0.139	0.117
11	0.237 3	0.137	0.114
12	0.241 2	0.120	0.092

#### 1.5 主要支流与排污口概化

松花江佳木斯段主要支流从上游至下游依次为汤旺河、格金河、阿凌达河、梧桐河、安邦河 5 个支流,其各计算单元内主要排污口排放量及其与终点断面的距离见表 3。该江段主要支流、排污口与断面位置关系的概化示意图见图 2。

#### 2 结果与分析

结合松花江佳木斯段的实际情况,将各个计算单元视为独立的河段,由式(1)计算佳木斯上一佳木斯下、佳木斯下一江南屯及江南屯一同江 3 个计算单元的 COD 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  的实际水环境容量。实际水环境容量需考虑上游来水水质的影响,根据实际水质情况以及支流、排污口对水环境容量的影响进行综合计算。根据松花江佳木斯段 2016 年各监测断面的实际水质监测结果,佳木斯下和江南屯 2 个断面的

表 3 松花江佳木斯段主要排污口排放量及其与终点的距离

计算单元	主要排污口	排放量 $\times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	与终点断面 距离/km
佳木斯上一佳木斯下	佳木斯西区污水处理厂	3.900	50.1
	泉林生态农业有限公司造纸排污口	0.610	36.4
佳木斯下一江南屯	佳木斯东区污水处理厂	6.314	33.3
江南屯一同江	桦川县污水处理厂	0.613	21.3
	富锦污水处理厂一期	1.500	57.9
	同江市污水处理厂	1.241	1.0

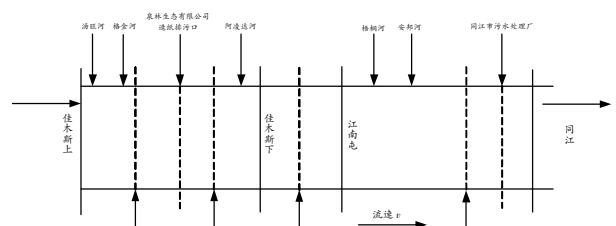


图 2 松花江佳木斯段主要支流、排污口与断面位置概化示意图

COD 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  的监测值与其功能区划要求不一致,均为 III 类水,优于水环境功能区要求,对 COD 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  的实际水环境容量产生影响。另外,支流和排污口处的汇水将改变水体的流量、流速、水深、水面宽度等要素从而影响水环境容量。本文受水文资料的限制,假设支流和排污口汇水并不会改变水体的宽度和深度,只对流速产生影响。根据流域水文资料,佳木斯站位于佳木斯市西区污水处理厂排污口与泉林生态农业有限公司排污口之间,将各支流及排污口汇入的位置作为流速变化的分界面,重新核算不同断面沿江流速变化,并据此计算实际 COD 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  水环境容量。松花江佳木斯段考虑上游来水水质和支流、排污口汇入影响的 COD 实际水环境容量见表 4 和图 3,  $\text{NH}_3\text{-N}$  实际水环境容量见表 5 和图 4。

根据图 3 和图 4 可知,松花江佳木斯段 COD 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  的实际水环境容量呈现出动态变化趋势,变化趋势相似,在夏季 7—9 月明显高于其他月份,最大值均出现在 8 月。佳木斯上一佳木斯下段 COD 实际水环境容量最大值与最小值的比值为 3.38,  $\text{NH}_3\text{-N}$  实际水环境容量最大值与最小值的比值为 4.14; 佳木斯下一江南屯段 COD 实际水环境容量最大值与最小值的比值为 4.11,  $\text{NH}_3\text{-N}$  实际水环境容量最大值与最小值的比值为 4.49; 江南屯一同江段 COD 实际水环境容量最大值与最小值的比值为 3.36,  $\text{NH}_3\text{-N}$  实际水环境容量最大值与最小值的比值为 4.17。由此说明,松花江佳木斯段的实际环境容量  $\text{NH}_3\text{-N}$  波动幅度大于 COD 的波动幅度。

松花江佳木斯段各水期 COD 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  的实际水环境容量平均值分别见图 5 和图 6。可知,松花江佳木斯段 COD 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  的实际水环境容量在丰水期最大,其次为平水期,

表4 松花江佳木斯段 COD 实际动态水环境容量

月份	佳木斯上一佳木斯下					佳木斯下一江南屯		江南屯一同江段			
	汤旺河入河口	格金河入河口	佳木斯西区污水处理厂	泉林生态排污口	佳木斯东区污水处理厂	阿凌达河入河口	桦川县污水处理厂	梧桐河入河口	安邦河入河口	富锦污水处理厂一期	同江市污水处理厂
1	2 473	780	730	77	1 119	855	6 080	1 368	6 715	4 524	9
2	2 826	878	821	85	1 263	963	5 303	1 557	7 775	5 234	10
3	1 864	589	551	58	844	645	4 767	1 032	5 056	3 404	7
4	1 345	431	404	43	616	473	5 389	747	3 534	2 401	5
5	2 016	643	602	64	920	705	6 600	1 116	5 356	3 619	8
6	1 704	547	512	54	782	599	7 243	938	4 416	3 006	7
7	3 565	1 136	1 064	112	1 627	1 243	11 546	1 951	9 385	6 342	13
8	4 522	1 446	1 355	144	2 070	1 585	17 008	2 483	11 803	8 010	17
9	2 472	790	740	78	1 131	866	8 736	1 374	6 574	4 451	10
10	1 335	427	400	42	611	468	5 047	738	3 509	2 381	5
11	2 238	699	653	68	1 004	766	4 540	1 227	6 270	4 146	8
12	2 322	719	672	70	1 035	788	4 138	1 271	6 672	4 371	8
全年	28 682	9 085	8 504	895	13 022	9 956	86 397	15 802	77 065	51 889	107

表5 松花江佳木斯段 NH<sub>3</sub>-N 实际动态水环境容量

月份	佳木斯上一佳木斯下					佳木斯下一江南屯		江南屯一同江段			
	汤旺河入河口	格金河入河口	佳木斯西区污水处理厂	泉林生态排污口	佳木斯东区污水处理厂	阿凌达河入河口	桦川县污水处理厂	梧桐河入河口	安邦河入河口	富锦污水处理厂一期	同江市污水处理厂
1	85	27	25	3	39	30	282	47	224	153	0
2	91	29	27	3	41	31	236	50	237	163	0
3	59	19	18	2	27	21	219	33	156	106	0
4	58	19	17	2	27	20	264	32	151	103	0
5	85	27	26	3	39	30	321	47	224	152	0
6	73	23	22	2	34	26	355	40	188	128	0
7	185	59	55	6	84	64	581	101	488	329	1
8	232	74	70	7	106	81	854	128	607	412	1
9	118	38	35	4	54	41	434	66	313	212	0
10	56	18	17	2	26	20	246	31	145	99	0
11	92	29	27	3	41	32	216	50	251	168	0
12	87	27	25	3	39	30	190	48	240	160	0
全年	1 221	389	364	40	557	426	4 198	673	3 224	2 185	2

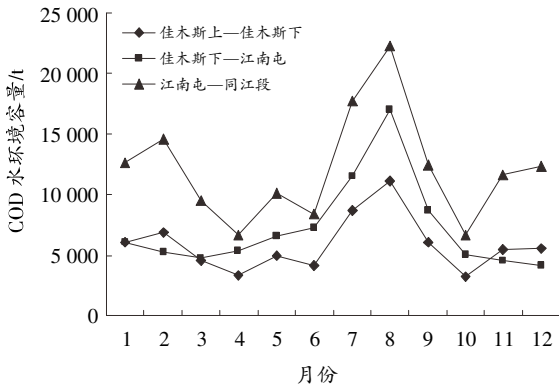


图3 松花江佳木斯段 COD 实际动态水环境容量

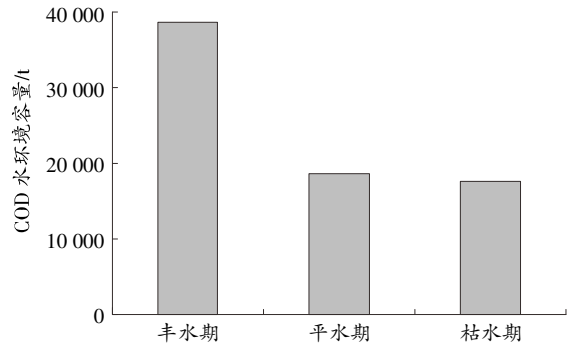


图5 松花江佳木斯段各水期 COD 实际水环境容量平均值

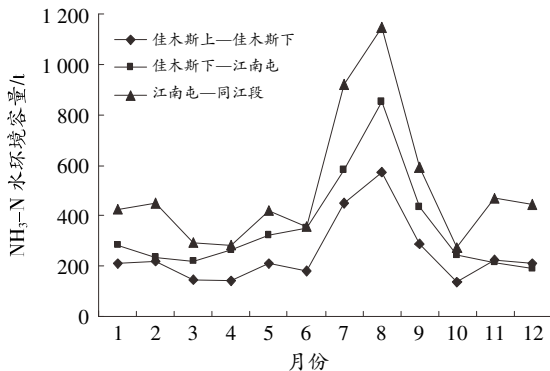


图4 松花江佳木斯段 NH<sub>3</sub>-N 实际动态水环境容量

枯水期最小。这受季节影响,不同水期水体温度不同,导致

污染物综合衰减系数不同:丰水期的水温高,生化反应速率快,衰减系数大;而枯水期正值冰封期,水温低,衰减系数小。水体的实际水环境容量与污染物综合衰减系数成正相关,受温度影响。另外,根据2009—2013年松花江佳木斯站的水文监测数据,松花江佳木斯段3个水期的平均流速呈现丰水期(1.07 m/s)>平水期(0.71 m/s)>枯水期(0.27 m/s)的特征,水环境容量与水体流速随水期的变化趋势相似。因此,松花江佳木斯段各水期的实际水环境容量与水体流速成正相关。

3 结论

(1)松花江佳木斯段 COD 与 NH<sub>3</sub>-N 实际水环境容量的变化趋势相似,夏季明显高于其他月份,最大值均出现在

(下转第170页)

划确定的水源地及备用水源地中尚有部分水源地未布设水质站点。五是水质自动监测方面,饮用水源地(除健康路水厂和利民路水厂水源地外)还未设立自动监测站,未实现水质实时监控。六是信息管理及决策系统方面,监测站点涉及多个部门,缺乏统一的规划,监测频次、监测时间、监测项目不完全统一,监测资料互补性不强,水资源保护监测信息归集困难,尚未建立有效的信息渠道,影响了管理效率,信息管理和决策支持系统尚未形成。

**4 加强水资源监测对策**

在根据水质、水量和水生态监测现状调查评价和分析存在的主要问题基础上,提出了完善现有水资源监测系统和能力建设的措施,保证相关监测机构的监测能力满足规划实施后水资源保护监测工作需求<sup>[4-5]</sup>。

**4.1 水功能区监测**

芜湖市 77 个水功能区均设有监测断面,已满足规划水平年对水功能区水质达标评价对水质监测数据要求。

**4.2 入河排污口监测**

根据入河排污口布局与整治规划成果,芜湖市近期共有 27 个入河排污口,远期保留 16 个。对 27 个入河排污口每季度进行 1 次监测,必要时加测。必测项目为流量、水温、pH 值、化学需氧量、氨氮、总磷、总氮,根据实际情况和污水性质,对含有特征污染物的入河排污口选择部分指标加测,并且每年需进行入河排污量监测。

**4.3 水生态监测**

为监控芜湖市主要河湖水域的生态状况,并考虑监测

实际及评价要求,遵循尽可能与现有水质站相重合的原则,规划对境内较大及环境敏感性湖泊、水库、流域性河道和部分地区骨干河道开展水生态监测,共新增 36 个水生态监测站点。监测水体为龙窝湖、奎湖、凤鸣湖、黑沙湖、南塘湖、竹丝湖、钳口水库、广寺冲水库、石龙冲水库、茅王水库、石峰水库、红旗水库、万水水库、燕山水库、杨村湖水库、千山水库、皖江水库、牌楼水库、响山水库、打鼓水库、苏塘水库、新华水库、长江芜湖段、青弋江、漳河、裕溪河、西河、裘公河、黄浒河、峨溪河。监测频次为每年 4 次,监测内容主要为水位、浮游植物、底栖生物。

**4.4 饮用水水源地监测**

现有水质监测断面(点)6 个,新增 4 个,水源地监测断面(点)达到 10 个。此外,原则上对全市所有较大取水口均需设置水质监测断面(点),未来新增城镇供水取水口需同时新增水质监测站点。

**4.5 水质自动监测站建设**

芜湖市尚未建立较为完备的环境监测业务、监测技术、质量管理技术和保障体系。目前,利民路水厂、健康路水厂水源地设立了水质自动监测站,规划新增 6 个水质自动监测站,分别在杨家门水厂、三山水厂、湾沚水厂、新港水厂、南陵水厂、无为二水厂等水源地。

**4.6 地下水监测站点**

根据实际需要设置监测井点,原则上日取水量达 500 t 的地下水须进行水质监测。对芜湖市(区)、芜湖县、南陵县、无为县 4 个站点建设完成,并进行常规水位监测(表 1)。

**表 1 国家地下水监测站点拟布设地域**

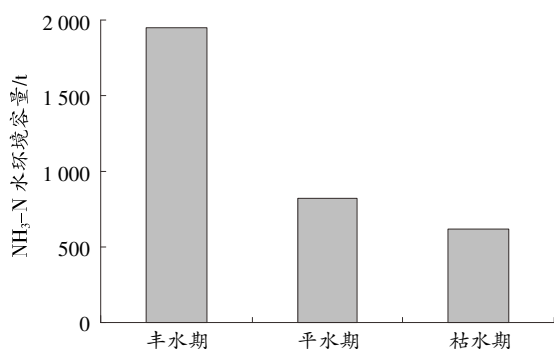
编号	行政区	位置	地理坐标	成井深度/m	地下水类型
G2765640	芜湖市(区)	芜湖市方村镇棋盘村	东经 118.47°、北纬 31.9°	30	孔隙水
G2765680	芜湖县	芜湖市芜湖县湾沚镇喇叭口老村自来水厂	东经 118.58°、北纬 31.2°	110	孔隙水
G2765720	南陵县	芜湖市南陵县老西河镇水文站院内	东经 118.48°、北纬 30.95°	30	孔隙水
G2765760	无为县	芜湖市无为县凤凰颈闸	东经 117.84°、北纬 31.17°	30	孔隙水

**5 参考文献**

[1] 张俊辉,李建贞,孙元杰.浅析水文水资源监测现状及应对措施[J].河南科技,2017(13):107-108.  
 [2] 吴琼,梅军亚,杜耀东,等.长江流域水资源监测实践及认识[J].人民长江,2017,48(19):12-15.

[3] 庄冬.浅谈水资源监测系统建设要点[J].治淮,2018(8):32-34.  
 [4] 孙艾林,胡志坚.江西省水文水资源监测现状及对策[J].河南水利与南水北调,2018,47(9):34-35.  
 [5] 次安拉姆.探究水文水资源监测的合理开发与持续利用[J].农业与技术,2018,38(20):69.

(上接第 168 页)



**图 6 松花江佳木斯段各水期 NH<sub>3</sub>-N 实际水环境容量平均值**

8 月,NH<sub>3</sub>-N 波动幅度大于 COD 的波动幅度。

(2)松花江佳木斯段 COD 和 NH<sub>3</sub>-N 的实际水环境容量

在丰水期最大,枯水期最小。除受温度影响外,也与水体流速有关,实际水环境容量与水体流速成正相关。实际水环境容量的季节性变化较大,应进行动态管理,以保障水质安全。

**4 参考文献**

[1] 程功.大庆市安肇新河流域水环境容量核算[J].黑龙江水利科技,2017,45(8):75-77.  
 [2] 陶亚,陈宇轩,赵喜亮,等.基于 EFDC 模型的阿什河水环境容量季节性分析[J].环境工程,2017,35(7):65-69.  
 [3] 冯民权,胡芳,吴波,等.汉江安康段排污口近区污染扩散规律[J].西北大学学报(自然科学版),2009,39(5):887-890.  
 [4] 梁兢波,张国成.汉江安康段水质卫生评价[J].环境与健康杂志,2001,18(5):283-285.  
 [5] 张涛,任昭,王凤金,等.汉江汉中段水质调查与分析[J].监测分析,2011(2):86-89.  
 [6] 李永亮,牟学军,李健,等.松花江佳木斯江段休养生息前后水环境质量变化研究[J].中国水利,2014(11):50-52.  
 [7] 杜慧玲,于晓英,曲茉莉.松花江干流哈尔滨段 COD 和氨氮动态水环境容量研究[J].水资源与水工程学报,2018,29(2):69-75.