

基于污染物受纳量的城镇生活污水处理率指标研究

朱家亮¹,蔡美芳¹,贾滨洋²,吴孝情¹,王一舒¹,荣楠¹,王照丽²,陈中颖^{1*},李开明¹ (1.生态环境部华南环境科学研究所,国家水环境模拟与污染控制重点实验室,广东省水与大气重点实验室,广东 广州 510530; 2.成都市环境保护科学研究院,四川 成都 610072)

摘要: 我国通过污水处理率来评价生活污水处理水平,但污水处理率仅考虑了污水处理设施进水处理的水量,忽略了雨污合流、地下水混入、抽取河水处理等原因导致的污染物收集水平不足。以成都市岷江外江流域为研究区域,开展了城镇生活污水收集和评价指标优化研究,提出了基于污染物受纳量的城镇生活污水污染物处理率概念和核算方法体系,在划分控制单元基础上,核算生活污水污染物的产生量和处理量。研究发现,该流域污水处理厂进水浓度普遍偏低,进水质存在季节性波动,说明可能存在丰期雨水、河水或地下水混入稀释的情况,枯水期的进水数据更能反映区域生活污水排放情况;传统污水处理率计算显示该流域污水处理率高于100%,但全流域的COD_{Cr}、氨氮和总磷污染物处理率分别为37.50%、36.25%和30.14%,与该流域的水环境质量特征和污水管网建设水平相符;在污水管网未完善的地区,采用污染物处理率更能有效评价和反映区域污水收集和处理程度。

关键词: 生活污水; 污水处理率; 污染物处理率; 评价指标

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2019)07-3130-07

Use the indicator of received pollutant to evaluate domestic sewage treatment status. ZHU Jia-liang¹, CAI Mei-fang¹, JIA Bin-yang², WU Xiao-qing¹, WANG Yis-hu¹, RONG Nan¹, WANG Zhao-li², CHEN Zhong-ying^{1*}, LI Kai-ming¹ (1. State Environmental Protection Key Laboratory of Water Environmental Simulation and Pollution Control, Guangdong Key Laboratory of Water and Air Pollution Control, South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, Guangzhou 510530, China; 2. Chengdu Research Academy of Environmental Protection Science, Chengdu 610072). *China Environmental Science*, 2019,39(7): 3130~3136

Abstract: The ratio of treated domestic sewage was used to evaluate the sewage treatment level in China. However, due to the current situation of incomplete sewer networks and rain sewage mixed flow in drainage system, clean water from raining or river flowed into wastewater treatment plant together with wastewater, therefore, herein sewage treatment ratio was referred to the amount of how much wastewater was treated, but not the amount of treated pollutant. A new indicator was used to evaluate the domestic sewage treatment status in a southwestern city of China based on pollutant treated. The concentration of concerned pollutants in influent to wastewater treatment plants (WWTP) was generally low and also fluctuated with seasons, which indicating the dilution by rainwater, river water or groundwater during the raining season. Thus, the influent data of WWTP in dry seasons was considered more suitable for the real concentration of regional domestic sewage. The sewage in our study basin was 100% treated if the traditional indicator of sewage treatment was applied. But in fact, the treatment ratios of COD_{Cr}, NH₃-N and TP in the whole basin were 37.50%, 36.25% and 30.14%, respectively, based on our new evaluation method. It meant more than half of the pollutants were discharged directly into the environment, which was consistent with the water quality characteristics and incomplete sewer network of the basin. In conclusion, pollutant treatment ratio is a better and more effective indicator to evaluate the level of regional sewage collection and treatment in area where the sewer network are not widespread.

Key words: domestic sewage; sewage treatment ratio; pollutant treatment ratio; evaluation indicator

20世纪末以来,我国开始大规模建设城镇污水处理厂和污水管网,截至2015年,全国已建成3542座城镇污水处理厂,总污水处理能力1.7亿m³/d,在控制城镇生活源污染上发挥了重要作用^[1]。一直以来,我国常用污水处理率(Sewage Treatment Rate),即经过处理的生活污水、工业废水量占污水排放总量的比重作为区域污水处理设施完善程度的评价指标。截至2016年,我国城市污水处理率已达93.44%,

县城污水处理率已达87.38%,处于较高水平^[2]。

然而,尽管污水处理率逐年提高,城镇水污染问题却愈发突出,水质未见明显好转。2007~2016年,虽然城镇污水处理规模总体大幅升高,但污染物减排

收稿日期: 2018-11-03

基金项目: 国家环保专项(144028000000175027);国家水体污染防治与治理科技重大专项(2017ZX07202006-002);中央级公益性科研院所基本科研业务专项(PM-zx703-201701-054)

* 责任作者,研究员, chenzhongying@scies.org

量滞后于污水处理量的增幅,同时 COD 浓度从 2007 年的 351mg/L 下降到 2017 年的 266mg/L,单位污水处理规模的处理效能不断下降^[3].研究发现,50% 的典型城市污水处理厂进水 COD、BOD₅、氨氮分别低于 195, 72.1, 20.5mg/L,浓度普遍偏低,反硝化碳源不足^[4].同时,污水处理率往往以生活和工业污水总量为分母计算,未扣除工业废水处理后直排量,2016 年全国城市污水处理总量是综合生活用水总量的 1.43 倍,处理量统计存在虚高^[2].污水处理率只能代表污水处理厂处理来水的能力,由于雨污合流、地下水混入、工业废水合并统计等原因,污水处理厂来水不一定全部为污水,无法评价污水收集和处理的真实水平,单一的污水处理率评价指标弊端渐显^[5].

从国外城镇污染控制管理经验看,英国采用城市污染管理(UPM)进行整体规划^[6],澳大利亚把城市分为 3 个阶段开展可持续城市水管理(SUWM)^[7-8],美国综合采用国家消除污染物排放制度(NPDES)、最大日负荷总量(TMDL)、环境水体水质标准等制度,结合有力执行和法规约束进行排污管理,较少使用污水处理率评价污水收集和处理效果^[9-12].结合我国环境管理实践,为优化城镇污水处理评价和考核标准,研究提出了基于污染物受纳量的城镇生活污水污染物处理率概念和核算方法体系,在划分控制单元基础上,核算城镇生活污水污染物的产生量、处理量,并以成都市的岷江外江流域进行案例分析,探讨流域污水处理特征.

1 研究方法

1.1 基于水量的污水处理率计算方法

传统污水处理率基于水量计算,按下式计算:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{Q_0} \quad (1)$$

$$Q_0 = kqR \quad (2)$$

式中: E 为污水处理率; Q_i 为第 i 座污水处理厂的全年实际处理量; k 为生活污水折污系数(排水系数); q 为城镇人均综合生活用水量; R 为常住人口数; Q_0 为本区域城镇污水排放总量,实践中也常直接采用当地统计年鉴、城市建设统计年鉴或水资源公报的数据.在污水处理厂实际处理量未有效统计的部分地区,

存在以污水处理厂设计处理量代替实际处理量进行计算的情况,此时获得的为名义污水处理率.

1.2 流域控制单元划分

污水排放与地理分界或人为的排水分区有关,例如两个相距较远的区县污水不会汇集到一起.为了更准确核算各行政区的污水处理率,评估对流域水环境的影响,国内外学者对流域进行分区子流域切割,以控制单元为基本实施单位开展污染贡献研究和污染防治规划^[13-14].

控制单元即细化排水分区,划分原则包括行政区完整性和水系完整性原则,尽量以流域分水岭作为控制单元间的隔离边界,保证污染物全部来自本控制单元.本研究采用的划分方法是依据水系图、地形图等资料,以流域最终控制断面为起始点,勾画出全部流域范围,在 GIS 等相关技术的支持下,进行自然汇水单元提取、人工排污单元识别以及二者的融合、矫正,以行政区边界对水文响应单元进行分割,建立流域-控制单元的划分体系.实际划分时采用一个或数个街道/乡镇为一个最小单元,不再对街道/乡镇进行切割.

1.3 区域污染物产生量

区域城镇生活污水污染物产生量常用产排污系数法、全面调查法、污水厂进口核算法等^[15-18].考虑到产排污系数对于一个小流域而言准确性不足,全面调查工作量庞大,污水厂进口污染物量与区域总产生量并不对等,本研究拟采用城镇综合生活污水平均浓度与生活污水产生量相乘核算污染物产生量.对每个控制单元、每项主要污染物指标分别计算,按式(3)计算^[19]:

$$P_{0k} = cQ_{0k} \quad (3)$$

式中: P_{0k} 为第 k 个控制单元污染物产生量; c 为城镇综合生活污水平均浓度; Q_{0k} 为第 k 个控制单元城镇综合生活污水排放量,一般与生活污水产生量相等.

确定城镇综合生活污水平均浓度是计算污染物产生量的关键.生活污水浓度受用水习惯、生活习惯、服务业和第三产业特征等因素影响,而污水处理厂进水浓度还存在雨水、地下水、工业废水干扰的情况,一个城市污水处理厂进水浓度在污水处理厂间和月份间往往波动极大.为避免雨季稀释,城镇综合生活污水平均浓度取生活污水处理厂的全年最高月均进水浓度,根据污水处理厂处理水量进行加

权平均计算:

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n c_i Q_{Ti}}{\sum_{i=1}^n Q_{Ti}} \quad (4)$$

式中: c_i 为第*i*座生活污水处理厂最高月均进水浓度,或取枯水期(旱季)进水浓度; Q_{Ti} 为第*i*座生活污水处理厂的全年生活污水处理量;*n*为纳入核算的生活污水处理厂数量.实际工作中,城镇综合生活污水平均浓度还应参考当地污水处理设计浓度、当地生活源产排污系数等综合确定.

1.4 区域污染物处理量与处理率

当前国内不少地区已建立了城镇生活污水处理绩效的考核和评估体系,但指标设计和实践工作中仍过多关注水量集中处理率、负荷率、财政支出绩效等因素,未真正与环境质量改善关联^[20-21].污水处理厂作为城镇生活污水处理的终端,核心目标是污染物削减,在排放标准控制下,污染物削减能力易于评价和提高,而污染物收集能力才是污水处理系统最关键一环.

因此,本研究采用每个控制单元污水处理厂受纳污染物量与单元污染物产生量的比值作为污染物处理率,表征污染物实际收集和可能得到削减的最大潜力.按式(5)计算:

$$E'_k = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Tki}}{P_{0k}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{12} c_{Tij} Q_{Tij}}{P_{0k}} \quad (5)$$

式中: E'_k 为第*k*个控制单元基于污染物受纳量的处理率; P_{Tki} 为第*k*个控制单元第*i*座污水处理厂受纳处理的生活源水污染物量; c_{Tij} 为第*i*座污水处理厂、第*j*月监测进水浓度; Q_{Tij} 为第*i*座污水处理厂、第*j*月处理生活污水量(应扣除工业废水处理量); P_{0k} 为第*k*个控制单元污染物产生量;*n*为本控制单元污水处理厂总数.

整个城市的污染物处理率按式(6)计算:

$$E' = \frac{\sum_{k=1}^m P_{Tk}}{\sum_{k=1}^m P_{0k}} \quad (6)$$

式中: E' 为城市污染物处理率; P_{Tk} 为第*k*个控制单元污水处理厂受纳处理的生活源水污染物量,不得大

于 P_{0k} ; P_{0k} 为第*k*个控制单元污染物产生量;*m*为城市控制单元总数.

对 COD_{Cr}、BOD₅、氨氮、总磷等常规指标分别进行计算和综合分析,不应进行平均处理,也可采用 COD_{Cr} 等单一指标的处理率作为横向比较.当利用本方法作为城市间考核时,为简化计算,可不划分控制单元而仅利用污染物总处理量和总产生量进行计算,此时类似于《城镇污水处理工作考核暂行办法》^[22]中的方法,但由于实际排水分区的存在而存在较大误差.

2 结果与讨论

2.1 研究流域特征

研究流域位于成都市岷江外江流域.成都市具有平原、山区和丘陵过渡带的地貌组合特征,属亚热带湿润季风气候区,热量丰富、雨量充沛、雨热同季、四季分明,年均气温 15.2℃~16.6℃.研究流域位于成都市西部,总体属于平原水网地区,流域内既有过境江河,也有本地发源的河流,过境水资源量略大于本地水资源量.流域范围包括 8 个区(县、市)、112 个镇(乡、街道),流域面积 5350km²,常住人口约为 170.5 万人,经济发展较快,以第二产业和第三产业为主.由于城区中心不在该流域内,流域内城镇人口居住较为分散,主要居住在县城和镇中心.流域内过境江河水水质基本维持在 III 类至 IV 类间,但本地发源的河流水质较差,部分河流为 V 类或劣 V 类水质,近年来水质下降明显.

2.2 流域控制单元划分结果

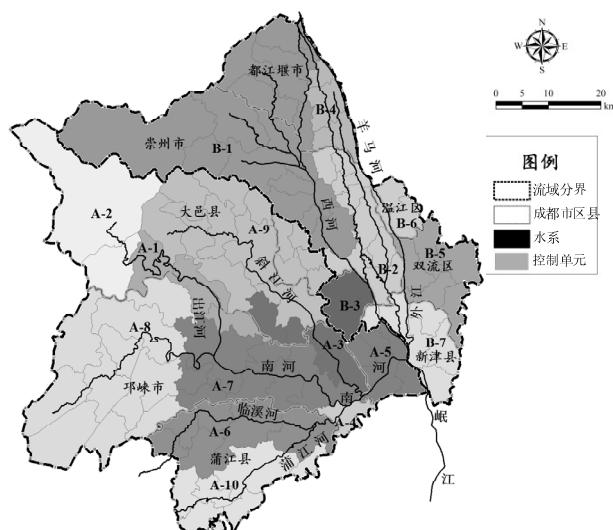


图 1 控制单元划分
Fig.1 Division of study area

结合地形图、水系图、乡镇边界,流域内共划分了16个控制单元,每个控制单元包括2~11个乡镇不等(图1).为便于厘清污染贡献和规划治污安排,每个控制单元均确定了控制断面和水质改善目标.

2.3 污染物处理率计算实例

通过收集当地统计年鉴和其他统计资料,获得流域内各镇街的城镇常住人口数(2015年数据).通过水资源公报,获得各区县的生活用水量和用水人口,按常住人口修正为实际生活用水总量和生活污水排放总量,折污系数取0.9^[23].收集和分析流域内104座污水处理厂2015年12个月的运行资料,并按所在地点和纳污范围识别至相应的控制单元.取以

处理生活污水为主的城镇污水处理厂的枯水期进水浓度,并经当地一般污水处理厂设计进水浓度校核,确定城镇综合生活污水中的COD_{Cr}、氨氮和总磷平均浓度分别按300, 35, 5mg/L核算.

逐个控制单元计算生活污水污染物产生量和处理量,结果见表1.流域内总城镇常住人口为1705462人,生活污水排放量为14330万m³/a,COD_{Cr}、氨氮和总磷的产生量分别为42988.57, 5015.32, 716.48t/a.根据城镇污水处理厂逐月计算的实际处理量,扣除工业废水量和部分乡镇高于当地污染物产生量的异常量,进入污水处理厂处理的生活源COD_{Cr}、氨氮和总磷分别为16118.61, 1818.26, 215.95t/a.

表1 各控制单元污染物产生量和处理量
Table 1 Pollutant produced and treated

控制单元名称	常住人口 (人)	污水排放量 (万 m ³ /a)	COD _{Cr} 产生量 (t/a)	氨氮产生量 (t/a)	总磷产生量 (t/a)	COD _{Cr} 处理量 (t/a)	氨氮处理量 (t/a)	总磷处理量 (t/a)
A-1	34208	274	821.95	95.89	13.70	67.79	6.56	0.72
A-2	6467	46	136.83	15.96	2.28	128.06	14.70	1.98
A-3	146368	1313	3939.36	459.59	65.66	2281.18	258.05	23.96
A-4	52008	424	1272.55	148.46	21.21	325.75	34.97	2.70
A-5	87940	677	2031.24	236.98	33.85	1192.67	133.40	21.58
A-6	54891	480	1440.93	168.11	24.02	279.52	29.02	4.14
A-7	78508	704	2112.97	246.51	35.22	486.79	46.28	4.23
A-8	185870	1332	3996.63	466.27	66.61	1623.77	182.79	22.42
A-9	45535	398	1195.31	139.45	19.92	503.32	67.77	5.45
B-1	235470	1841	5523.91	644.46	92.07	2419.50	310.27	28.51
B-2	105707	801	2404.14	280.48	40.07	742.81	84.95	11.08
B-3	37866	267	801.24	93.48	13.35	132.00	12.75	1.56
B-4	50944	460	1380.83	161.10	23.01	198.66	19.30	2.12
B-5	321549	2983	8950.01	1044.17	149.17	3761.72	437.14	57.82
B-6	181574	1707	5120.00	597.33	85.33	1368.11	111.34	23.12
B-7	80555	620	1860.67	217.08	31.01	606.96	68.97	4.56
合计	1705462	14330	42988.57	5015.33	716.48	16118.61	1818.26	215.95

通过处理量和产生量,核算各控制单元的污染物处理率.各区县各控制单元差异较大.以COD_{Cr}计,最低的仅有8.25%,说明高达92%的污染物并未进入污水处理厂;最高的为93.59%,该地区污染物接近全收集全处理;其余多数控制单元的处理率为20%~50%,全流域总处理率为37.50%,即60%以上的污染物直排环境(图2).不同污染物种类的处理率大体相近,全流域COD_{Cr}、氨氮和总磷的处理率分别为37.50%、36.25%、30.14%,反映了各污染物较一致的流达过程.

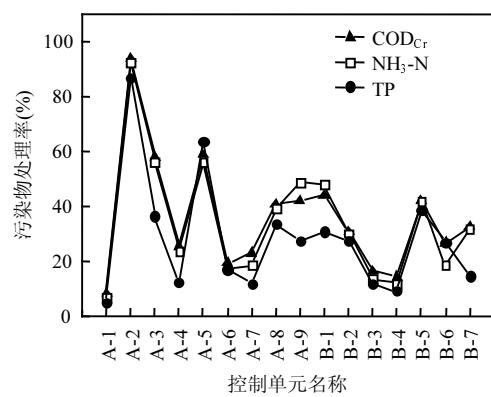


图2 各控制单元污染物处理率
Fig.2 Pollutant treatment ratio of each study area

2.4 污水处理特征

为探索流域污染物处理率偏低的原因,分析污水收集和处理特征。流域内的 104 座污水处理厂绝大部分为生活污水处理厂,仅有 1 家处理工业废水比例达到 50%以上。处理规模高于 1 万 m^3/d 的共 12 座,服务区县或较大镇;其余污水处理厂均为乡镇污水厂,处理规模大多不高于 5000 m^3/d ,全流域总处理规模为 46.76 万 m^3/d 。

从处理水量分析,全流域污水处理厂总运行负荷率高为 88.6%,26 座高于 100%,表面看污水处理设施运行良好。但从进水浓度分析,绝大部分的污水处理厂均无法达到设计浓度要求。2015 年,流域各污水处理厂 COD_{Cr} 全年平均进出水浓度为 157.82, 24.63 mg/L , 氨氮全年平均进出水浓度为 16.92, 2.45 mg/L , 总磷全年平均进出水浓度为 1.82, 0.31 mg/L , 分别低于生活污水平均浓度的 47.4%、51.7% 和 63.6%。以氨氮为例,全流域仅有 25 座污水处理厂氨氮进水浓度可达 20 mg/L 以上,其余 79 座均不足 20 mg/L , 各污水处理厂氨氮进水浓度分布见图 3。

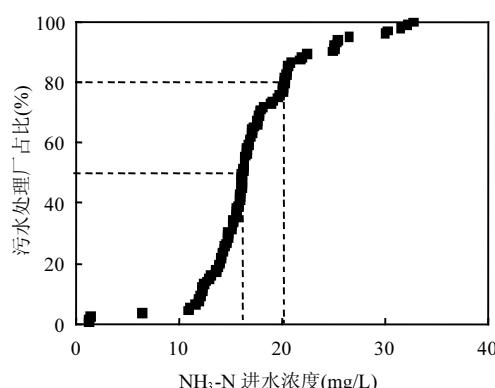


图 3 各污水处理厂氨氮进水浓度分布

Fig.3 Influent concentration of ammonia nitrogen in each WWTP

除总体进水浓度偏低外,污水处理厂进水还存在季节性波动。以流域内某设计规模为 4 万 m^3/d 的城区污水处理厂为例,全年平均负荷率为 123.3%,属于超负荷运行。 COD_{Cr} 、氨氮和总磷的全年平均进水浓度为 237.92, 20.46, 3.22 mg/L 。但月度变化存在一定规律,在 6~9 月的丰水期,负荷率明显高于 12~3 月的枯水期, COD_{Cr} 和氨氮进水浓度则呈现枯水期高于丰水期的规律,12~3 月的 COD_{Cr} 、氨氮和总磷进水浓度分别比 6~9 月高 45.7%、5.7% 和 17.3%,存在

进水浓度与负荷率反向波动的特征(图 4)。这是流域内各污水处理厂较普遍的特征,并与西安等其他地区研究成果一致^[24]。由于城镇居民的用排水特征受季节影响很小,丰水期雨水较多、地下水位较高,可能存在混入稀释情况,处理来水并非全为污水,导致污染物实际处理率较低。枯水期进水数据受雨水等影响较小,验证了在产生量核算中,取枯水期或最高月均进水浓度更能代表当地生活污水浓度。

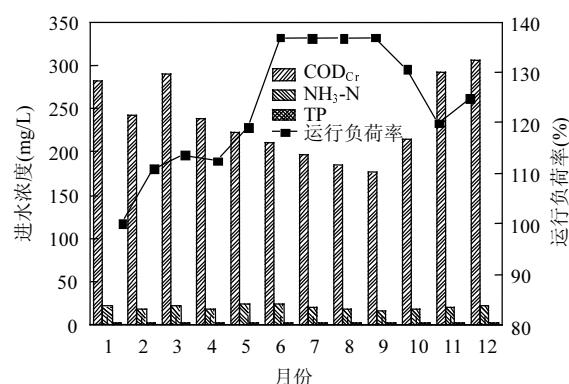


图 4 某污水处理厂各月运行负荷率及进水浓度

Fig.4 Operation load and influent concentration during 12months in a WWTP

2.5 污染物处理率比较

如采用传统的污水处理率评价,流域内各污水处理厂的总设计规模为 46.76 万 m^3/d ,累计年实际处理水量为 15115.73 万 m^3 ,超过了流域生活污水排放总量(14330 万 m^3),即总污水处理率达到 100%,似乎说明流域内污水处理设施建设较高。然而,利用污染物处理率法核算的 COD_{Cr} 、氨氮和总磷的处理率仅有 37.50%、36.25%、30.14%,均不足 40%, COD_{Cr} 直排量达 26869.96t/a。

上述计算结果与流域环境特征吻合。该流域有两个子流域,上游入境或本地源头水质均为 II 类,沿程逐渐下降,出境省控断面水质分别为劣 V 类和 IV 类,属于轻度至重度污染。为进一步构建污染物核算-水环境响应-允许排污量的整体体系,本研究另设置了 17 个水质水量同步监测点位,通过上下游污染物通量监测,全流域 COD_{Cr} 通量增加值约为 22015t/a;通过河网水环境数学模型,考虑衰减系数后,污染物通量变化及衰减符合直排量核算结果。在污水处理设施方面,流域基本实现污水处理厂乡镇全覆盖,污水处理率和运行负荷较高,但全流域实际建设的污

水配套管网为 542.27km, 比设计长度低 41%, 平均每家污水处理厂管网长度仅为 5.26km, 每万吨水设计规模管网长度 12.0km, 低于全国平均水平(16.1km)^[2].

以控制单元 B-1 为例, 该控制单元共有 23.5 万常住人口, 分布在 11 个乡镇中。目前已建 13 座污水处理厂, 乡镇全覆盖, 总设计处理规模 10 万 m³/d, 污水处理率达到 100%。但 13 座污水处理厂中, COD_{Cr}、氨氮、总磷进水浓度分别达到 200, 20, 2mg/L 仅有 1 座、2 座、2 座。该控制单元的 COD_{Cr}、氨氮和总磷的处理率为 43.8%、48.1% 和 31.0%, 仍有 3000t/a 以上的 COD_{Cr} 及其他污染物直排环境。实地调查发现, 乡镇污水管网基本未配套建设, 已建管网存在管道断头、走向不清、次支管未接驳等问题, 生活污水很可能通过小河渠、雨水管道、污水直排口等途径直排环境。

污染物处理率偏低的原因是污水处理厂进水浓度普遍偏低, 而浓度偏低的原因则是污水收集系统存在问题, 污水处理厂进水不完全是城镇生活污水。污水收集系统独立于处理设施, 收集系统的水平和效率与污水厂工艺、运行状况、处理深度无关, 考核评价中不应混为一谈。当前, 我国污水收集系统不足的主要原因是管网建设滞后于处理厂建设, 厂网脱节; 南方地区雨水较多且地下水位相对较高, 混接错接普遍, 雨水等清洁水容易代替污水进入重力流式管道, 甚至部分厂抽取河水处理, 以提高污水处理收益; 此外, 当合流制地区设计截流倍数(*n*)较低时, 雨季时污水溢流也是污染物流失的原因^[25-27]。

过于注重规模提升, 污水管网水平不能匹配较高的污水处理规模, 是部分区域水环境质量迟迟未得到改善的关键原因之一。污染物处理率核算与评价, 有助于污水处理主管部门发现短板区域, 有针对性的完善污水管网建设。

3 结论

3.1 在传统污水处理率基础上, 通过划分流域控制单元、核算污染物产生量、核算污染物排放量, 研究提出了基于污染物受纳量的城镇生活污水污染物处理率概念和核算方法体系。

3.2 以成都市岷江外江流域为案例进行分析, 流域面积 5350km², 发现该流域 104 座污水处理厂的

COD_{Cr}、氨氮和总磷平均进水浓度分别为 157.82, 16.92, 1.82mg/L, 明显低于常规生活污水浓度和设计进水浓度。进水水质存在季节性波动, 丰水期处理负荷较高而进水浓度较低, 说明在丰水期可能存在雨水、河水或地下水混入稀释的情况, 枯水期进水数据更能反映区域生活污水实际浓度。

3.3 根据传统污水处理率计算, 该流域污水处理率高于 100%。但利用污染物处理率计算, 全流域 COD_{Cr}、氨氮和总磷处理率为 37.50%、36.25% 和 30.14%, 污水收集系统存在问题, 与该流域的水环境质量特征和污水管网建设水平相符。因此, 在污水管网未完善的地区, 传统污水处理率指标难以支撑区域水环境质量改善, 采用污染物处理率指标可更有效评价和反映区域污水收集和处理程度。

参考文献:

- [1] 李 喆,赵乐军,朱慧芳,等.我国城镇污水处理厂建设运行概况及存在问题分析 [J].给水排水, 2018,44(4):52-57.
Li Z, Zhao L J, Zhu H F, et al. Analysis of construction and operation status and existing problems of municipal wastewater treatment plants in China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018,44(4):52-57.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部.中国城乡建设统计年鉴(2016) [M]. 北京:中国统计出版社, 2017.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. China urban-rual construction statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2017.
- [3] 陈 珮,高 伟,徐慧慧,等.《城镇污水处理考核暂行办法》对行业的影响分析 [J].给水排水, 2017,43(11):44-47.
Chen W, Gao W, Xu H W, et al. Analysis of the impact of the interim measures for assessment of urban sewage treatment on water industry [J]. Water & Wastewater Engineering, 2017,43(11):44-47.
- [4] 郭泓利,李鑫玮,任钦毅,等.全国典型城市污水处理厂进水水质特征分析 [J].给水排水, 2018,44(6):12-15.
Guo H L, Li X W, Ren Q Y, et al. Water quality characteristics analysis of influent from typical urban sewage treatment plants in China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018,44(6):12-15.
- [5] 任向锋.我国城镇污水处理系统设计问题的反思 [J].给水排水, 2018,40(增刊):134-138.
Ren X F. Reflection on the design of urban sewage treatment system in China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018,40(Suppl):134-138.
- [6] Clifforde I, Crabtree B. Developments in urban pollution management [J]. Water & Environment Journal, 2010,16(3):229-232.
- [7] Brown R R, Keath N, Wong T H F. Urban water management in cities: historical, current and future regimes [J]. Water Science & Technology, 2009,59(5):847-855.
- [8] Brown R R, Sharp L, Ashley R M. Implementation impediments to institutionalising the practice of sustainable urban water management [J]. Water Science & Technology, 2006,54(6/7):415-422.

- [9] Office of Water United States Environmental Protection Agency. Handbook for developing watershed plans to restore and protect our waters [M]. US EPA, 2008.
- [10] Gerlak A K, Zamora-Arroyo F, Kahler H P. A Delta in repair: restoration, binational cooperation, and the future of the Colorado River Delta [J]. Environment Science & Policy for Sustainable, 2013, 55(3):29–40.
- [11] 王 强,张晓琦.欧洲水管理实践对中国流域水环境管理的启示 [J]. 环境科学与管理, 2014,39(5):9–12.
Wang Q, Zhang X Q. Research progress of the water framework directive [J]. Environmental Science and Management, 2014,39(5):9–12.
- [12] 戚本超,周 达.美国的城市环境管理及对北京的启示 [J]. 城市问题, 2009,(8):79–82.
Qi B C, Zhou D. Inspiration to Beijing from the American experience in urban environmental manage [J]. Urban Problems, 2009,(8):79–82.
- [13] 王 涛,张 萌,张 柱,等.基于控制单元的水环境容量核算研究——以锦江流域为例 [J]. 长江流域资源与环境, 2012,21(3):283.
Wang T, Zhang M, Zhang Z, et al. Calculation of water environmental capacity based on control unit [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2009,(8):79–82.
- [14] Allen D A. Pollution from urban development and setback outfalls as a catchment management measure for river water quality improvement [C]//EGU General Assembly Conference Abstracts, 2016.
- [15] 马 啼,李 畔,杜 双,等.三峡库区湖北段城镇生活源污染负荷现状与预测 [J]. 武汉理工大学学报, 2011,(4):118–121.
Ma X, Li H, Du S, et al. Pollution loading evaluation from urban life source and its forecast in the Hubei region of three gorges reservoir area [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2011,(4):118–121.
- [16] 沈 竞,林振山.大中城市水污染状况及治理措施研究 [J]. 自然资源学报, 2010,(12):2165–2170.
Shen J, Lin Z S. Research of the water pollution control measures in medium-sized cities [J]. Journal of Natural Resources, 2010,(12):2165–2170.
- [17] 张 倩,苏保林,罗运祥,等.城市水环境控制单元污染物入河量估算方法 [J]. 环境科学学报, 2013,33(3):877–884.
Zhang Q, Su B L, Luo Y X, et al. Estimation of pollutant loads into the water environmental control units in urban areas [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2013,33(3):877–884.
- [18] 彭进平,逢 勇,李一平.湛江市区域水环境容量的计算研究 [J]. 中国给水排水, 2006,22(16):98–102.
Peng J P, Pang Y, Li Y P. Calculation study of regional water environmental capacity in Zhanjiang city [J]. China Water & Wastewater, 2006,22(16):98–102.
- [19] 刘爱萍,刘晓文,陈中颖,等.珠江三角洲地区城镇生活污染源调查及其排污总量核算 [J]. 中国环境科学, 2011,31(增):53–57.
Liu A P, Liu X W, Chen Z Y, et al. Investigation and accounting of the municipal domestic sources pollution load in Pearl River Estuary [J]. China Environmental Science, 2011,31(Suppl):53–57.
- [20] 宋国君,韩冬梅.中国城市生活污水管理绩效评估研究 [J]. 中国软科学, 2012,(8):75–83.
Song G J, Han D M. Research on the performance evaluation of urban domestic sewage management in China [J]. China Soft Science, 2012,(8):75–83.
- [21] 詹 韶.城市污水处理项目财政支出绩效评价指标体系研究 [J]. 中国经贸, 2010,(4):56–59.
Zhan R. Study on the performance evaluation system of financial expenditure for urban sewage treatment projects [J]. China Business Monthly, 2010,(4):56–59.
- [22] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城镇污水处理工作考核暂行办法 [S]. 2017.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. The Interim Measures for Assessment of Urban Sewage Treatment [S]. 2017.
- [23] GB 50014-2006 室外排水设计规范(2014年版) [S].
GB 50014-2006 Code for design of outdoor wastewater engineering (2014) [S].
- [24] 杨仙娥,何延新.城市污水水质水量变化及生活污染源污染特征研究 [J]. 环境科学与管理, 2012,37(11):164–167.
Yang X E, He Y X. Quality and quantity variation of municipal sewage and pollution characteristics of domestic pollution sources [J]. Environmental Science and Management, 2012,37(11):164–167.
- [25] 车 伍,唐 磊.中国城市合流制改造及溢流污染控制策略研究 [J]. 给水排水, 2012,48(3):1–5.
Che W, Tang L. Study on urban confluence system reform and overflow pollution control strategy in China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2012,48(3):1–5.
- [26] 张善发.城镇排水系统溢流与排放污染控制策略与技术导则 [J]. 中国给水排水, 2010,26(18):31–35.
Zhang S F. Strategy and technical guidelines for urban sewer overflow and discharge pollution control [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(18):31–35.
- [27] 彭党聪,王晓昌,韩 荟,等.城镇水环境污染控制与治理共性技术综合集成 [J]. 给水排水, 2013,39(11):16–20.
Peng D C, Wang X C, Han Y, et al. Comprehensive integration of urban water pollution control technologies[J]. Water & Wastewater Engineering, 2013,39(11):16–20.

作者简介: 朱家亮(1985-),男,广东广州人,助理研究员,硕士,主要从事水污染控制技术研究,发表论文 10 余篇。