

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.16.022

提质增效背景下水质水量平衡简易测算与实践

李超¹, 鲁梅², 刘绪为², 袁胜楠², 崔诺², 胡馨月²

(1. 石家庄水务集团, 河北 石家庄 050004; 2. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074)

摘要:《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)》提出加快补齐城镇污水收集和处理设施短板,针对进水BOD₅浓度不足100 mg/L的污水处理厂,制定“一厂一策”系统化整治方案。提出了污水处理提质增效水质水量平衡简易测算方法,通过输入污水处理厂实测数据,再结合理论数据,可快速评估不同类型水量及水质对污水处理厂进水浓度的贡献率,为后期工程方案的制定提供数据支撑。

关键词: 城镇污水; 提质增效; 水质水量平衡; 简易测算; 一厂一策

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)16-0129-06

Simple Calculation and Practice of Water Quality and Quantity Balance for Improving Quality and Efficiency

LI Chao¹, LU Mei², LIU Xu-wei², YUAN Sheng-nan², CUI Nuo², HU Xin-yue²

(1. Shijiazhuang Water Group, Shijiazhuang 050004, China; 2. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300074, China)

Abstract: The Three-year Action Plan for Improving the Quality and Efficiency of Urban Sewage Treatment (2019–2021) proposes to accelerate the improvement of urban sewage collection and treatment facilities, and formulate a systematic “one plant one policy” plan for sewage treatment plants with influent BOD₅ concentration less than 100 mg/L. A simple calculation method of water quality and quantity balance is adopted to quickly evaluate the contribution rate of different types of water quantity and quality to the influent concentration of sewage treatment plant, by inputting the measured data and combining with the theoretical data, which could provide data support for the formulation of later engineering scheme.

Key words: municipal wastewater; improving quality and efficiency; water quality and quantity balance; simple calculation; one plant one policy

改革开放以来,我国城镇污水处理事业得到快速发展,有力地支撑了经济社会发展和小康社会建设。然而,由于对城镇污水收集处理的系统性、功能性认识不足,再加上管理体制的碎片化,“重地上、轻地下”“重建设、轻管理”的问题普遍存在,排水管网建设和运行维护资金不足,投融资机制不健全的问题较为突出,大部分城镇生活污染物收集效率不高,生活污水直排问题仍大量存在,严重影响了城镇污

水收集处理设施多重功能的正常发挥,同时影响城市水环境质量,甚至造成城市水体黑臭反复。因此,住房和城乡建设部、生态环境部和发展改革委于2019年5月联合制定了《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)》,提出加快补齐城镇污水收集和处理设施短板,尽快实现污水管网全覆盖、全收集、全处理,针对进水BOD₅浓度不足100 mg/L的污水处理厂,制定“一厂一策”系统化整治

方案。

结合工程实践,污水处理系统提质增效的重要发力点在于梳理和识别污水处理厂服务范围内管网系统,强调全面、深入、系统地排查诊断污水管网系统,从而找出污水处理厂进水浓度偏低的根本原因,再对症下药,针对性地解决关键问题。因此,如何找到问题症结尤为重要。笔者结合污水处理厂历史进水水质水量数据、用水量数据以及排水系统排查诊断的结果,进行服务范围内的水质水量平衡测算,分析得到居民综合生活用水量、工业用水量、外水渗漏量、总口基流量在旱天、雨天的占比权重,基于流量结果测算出晴天、雨天时污水处理厂的进水BOD₅浓度,评估不同类型水质(生活污水、工业废水、外渗水和生态基流等)对污水处理厂进水浓度提升的贡献率,从污水处理行业监管、收集设施效能评估、雨污水管网建设改造、降雨污染控制和工业废水管控等方面提出了重点工作方向,为后期工程方案的制定提供数据支撑^[1]。

1 水质水量平衡原理

根据“厂-网-源”的水质、水量数据,包括污水处理厂晴、雨天进水的运行数据,排水管网的排查成果以及地下水或河水入渗的测算数据,源头地块中小区(居民住宅区、公共建筑区、城中村)、工业企业、总口基流(总口指在河道综合整治过程中为了优先保障河道干流水质而在部分污染程度较高的支流河口设置的临时截流措施,将支流污水及基流全部截流至沿河截污管道)的检测数据,测算污水处理厂进水中各部分来水的水质、水量占比及BOD₅贡献率。

水质水量平衡基于水质平衡和水量平衡公式进行计算。

① 水质平衡计算公式

水质平衡计算公式如下:

$$C_{\text{BOD0}} = (C_{\text{BOD-J}}W_J + C_{\text{BOD-G}}W_G + C_{\text{BOD-Q}}W_Q + C_{\text{BOD-L}}W_L + C_{\text{BOD-Z}}W_Z) \times \alpha \quad (1)$$

$$W_i = \frac{Q_i}{Q_J + Q_G + Q_Q + Q_Z + Q_L} \quad (2)$$

式中: α 为管网沉降系数,取值0.9; C_{BOD0} 为污水处理厂进厂BOD₅浓度均值,mg/L; $C_{\text{BOD-J}}$ 为居民住宅区BOD₅浓度均值,mg/L; $C_{\text{BOD-G}}$ 为公共建筑区BOD₅浓度均值,mg/L; $C_{\text{BOD-Q}}$ 为工业企业BOD₅浓度均值,

mg/L; $C_{\text{BOD-L}}$ 为外水渗漏BOD₅浓度均值,mg/L; $C_{\text{BOD-Z}}$ 为总口基流BOD₅浓度均值,mg/L; W_J 为居民住宅区排水量权重; W_G 为公共建筑区排水量权重; W_Q 为工业企业排水量权重; W_Z 为总口基流量权重; W_L 为外水渗漏量权重; W_i 为不同类型排水单元的排水量权重; Q_i 为不同类型排水单元的排水量,m³/d; Q_J 为居民住宅区排水量,m³/d; Q_G 为公共建筑区排水量,m³/d; Q_Q 为工业企业排水量,m³/d; Q_Z 为总口基流量,m³/d; Q_L 为外水渗漏量,m³/d。

② 水量平衡计算公式

水量平衡计算公式如下:

$$Q_0 = \varepsilon \times \delta_i(q_J + q_G) + \delta_j \times q_Q + Q_L + Q_Z \quad (3)$$

式中: Q_0 为污水处理厂进水量,m³/d; ε 为管网覆盖率,根据实际情况取值; δ_i 为城市综合污水排放系数,取值范围为0.8~0.9; δ_j 为城市工业废水排放系数,取值0.7~0.8; q_J 为居民住宅区用水量,m³/d; q_G 为公共建筑区用水量,m³/d; q_Q 为工业企业用水量,m³/d。

2 水质水量平衡简易测算方法

污水处理提质增效简易测算软件由U-01~U-08单元组成,可为污水处理厂进水浓度(BOD₅)提升系统方案提供数据以支撑设计方案。

该软件通过U-01基本参数、U-02生活用水量、U-03工业用水量、U-04生活污水量和工业废水量、U-05外水渗漏量、U-06总口基流的生成数据,为U-07水量水质平衡测算提供参考,从而评估城镇污水管网收集能力。

每个单元都是由“变量名称_变量符号+变量数值+变量单元/注释说明”组成,变量数值分为3种类型,分别是输入框、选取框和输出框;输入框分为输入条件值和输入设计值,其中,输入设计值为二次输入框,根据计算结果进行合理设计再输入。输出框分为输出结果值和校核参数,输出结果值为计算结果,校核参数用于判断是否满足规范要求,若不满足,则需重新调整参数。

该方法先对污水处理厂进水不同组成成分的水量及水质进行核算(包括利用实测数据、参考规范、文献数据或相结合的手段),以初步得到水量和水质的数据,再根据水量平衡及水质平衡的平衡测算过程,确定合理的水量、水质数据。

软件逻辑运算流程见图1。

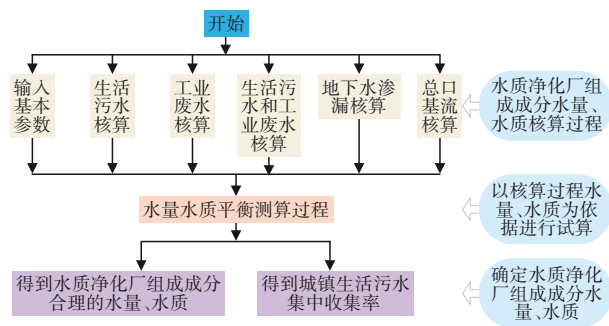


图1 软件逻辑运算流程

Fig.1 Flow chart of software logic operation

2.1 基本参数输入

该单元主要完成基本参数的录入,结合工程目标及水质成分特征因子的分析,选择合理的特征因子作为物料平衡的计算要素。同时,根据基本参数计算得到表征参数,通过表征参数校核基本参数是否合理。

基本参数计算流程见图2。

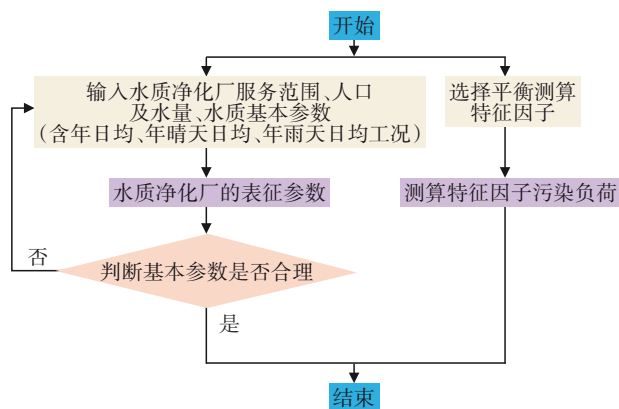


图2 基本参数计算流程

Fig.2 Calculation flow chart of basic parameters

该单元输入数据包含设计规模、实际日均进水量、全年日均用水量、服务区面积、建成区面积、服务区人口数量、实际日均进水污染物浓度、全年日均进水量($Q_{\text{年}}$)、全年晴天日均进水量($Q_{\text{晴}}$)、全年雨天日均进水量($Q_{\text{雨}}$)、特征因子的选择(包括 BOD_5 、 COD 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 及 TP 等),全年日均进水选取特征因子浓度($C_{\text{年}}$)、全年晴天日均进水特征因子浓度($C_{\text{晴}}$)及全年雨天日均进水特征因子浓度($C_{\text{雨}}$)为基本参数;输出数据包含全年日均进水污染物负荷($M_{\text{年}}$)、全年晴天日均进水污染物负荷($M_{\text{晴}}$)、全年雨天日均进水污染物负荷($M_{\text{雨}}$),以及表征参数,包含服务区人均用水量(q)、建成区人口密度(ρ)、设计规模/建成区面积、实际日均进水量/建

成区面积、实际日均进水量/设计规模,将表征参数作为校核参数(经验数据),判断输入数据是否合理。

2.2 生活用水量测算

该单元利用两种方法计算生活用水量,分别为综合生活用水量指标法和不同类别用地用水量指标法。综合生活用水量指标法参考《室外给水设计标准》(GB 50013—2018);不同类别用地用水量指标法参考《城市给水工程规划规范》(GB 50282—2016)。不同类别用地用水量指标见表1。平均日综合生活用水定额统计分析结果见表2。生活用水量计算流程见图3。

表1 不同类别用地用水量指标

Tab.1 Water consumption index of different types

of land		$\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$
代码	用地类别	用水量指标(q_i)
R	居住用地	50~130
A	公共管理与公共服务用地	行政办公用地 50~100
		文化设施用地 50~100
		教育科研用地 40~100
		体育用地 30~50
		医疗卫生用地 70~130
B	商业服务业设施用地	商业用地 50~200
		商务用地 50~120
M	工业用地	30~150
W	物流仓储用地	20~50
S	道路与交通设施用地	道路用地 20~30
		交通设施用地 50~80
U	公用设施用地	25~50
G	绿地与广场用地	10~30

注: 本指标已包括管网漏失水量。

表2 平均日综合生活用水定额统计分析结果

Tab.2 Statistical analysis results of average daily comprehensive domestic water quota

		$\text{L} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$					
城市类型	超大城市	特大城市	大城市 I 型	大城市 II 型	中等城市	小城市 I 型	小城市 II 型
一区	241~440	259~339	124~237	109~291	120~261	113~238	107~229
二区	148~207	104~160	131~230	90~163	75~151	62~137	55~143
三区				118~156	108~275	92~212	98~173

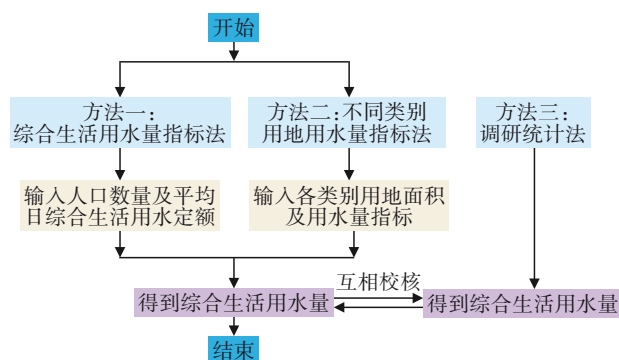


图3 生活用水量计算流程

Fig.3 Calculation flow chart of domestic water consumption

2.3 工业用水量测算

该单元利用不同类别用地用水量指标法或调研统计法得到工业用水量。工业用水量计算流程见图4。

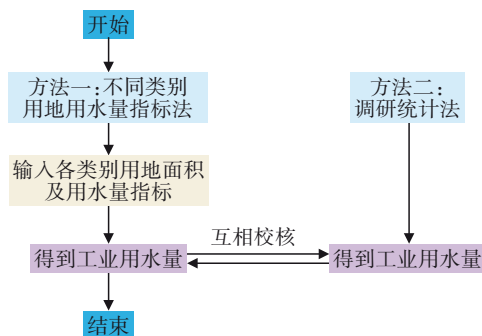


图4 工业用水量计算流程

Fig.4 Calculation flow chart of industrial water consumption

2.4 生活污水量和工业废水量测算

该单元利用综合用水指标法计算出污水处理厂服务范围内的生活用水及工业用水总量,工业企业用水由于工业结构和工艺性质不同,差异明显,宜结合工业实际用水量考虑,本次数据仅作为校核参数。

2.5 外水渗漏量测算

外水渗漏量测算包括两部分:管道入渗地下水量和管道缺陷渗漏量。

① 管道入渗地下水量

根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)及《城市排水工程规划规范》(GB 50318—2017)规定,受当地土质、地下水位、管道和接口材料以及施工质量、管道运行时间等因素的影响,当地下水位高于排水管渠时,排水系统设计应适当考虑入渗地

下水量。入渗地下水量宜根据实际测定资料确定,一般按单位管长和管径的入渗地下水量计,也可按平均日综合生活污水和工业废水总量的10%~15%计。

② 管道缺陷渗漏量

郭帅^[2]结合等效圆周法和莫比乌斯变化,得出了通过管道缺陷渗漏量化地下水入渗量的方法,该方法由于计算参数较多且难以获取,难以工程化,因此,工程中可根据缺陷等级、对应CCTV视频目测的渗漏流量及缺陷数量折合成平均日综合生活污水和工业废水总量的百分比,从而简易测算得到管道缺陷渗漏量。

2.6 总口基流量测算

采取连续流量与瞬时流量相结合的方式监测河道总口基流量。若总口基流量 $>100\text{ m}^3/\text{d}$,须采取连续流量监测方式,其余均可采用瞬时流量监测方式。

2.7 水量水质平衡测算过程

根据U-02生活用水量单元、U-03工业用水量单元、U-04生活污水量和工业废水量单元、U-05外水渗漏量单元及U-06总口基流量单元的核算参数,进行特征因子的水量、水质平衡计算。

本过程为试算过程,按污水处理厂的进水水量组成(部分生活污水量、工业废水量、外水渗漏水量和总口基流的水量)及水质进行平衡试算,试算出相对较合理的数据结果,从而有针对性地开展工程方案设计工作,最终实现污水处理厂提质增效的目标。

3 水质水量平衡测算实践

结合南方某污水处理厂2019年的进水水质和水量数据,以及服务范围内用水量数据等基础数据,进行水质水量平衡测算,分析外水渗漏量、总口基流量、工业企业排水量和小区地块排水量在晴天的水质水量平衡结果。

① 录入该污水处理厂2019年的基础数据(具体如表3所示),从而得到若干表征参数(具体如表4所示),以此初步复核污水处理厂基础数据的合理性。

根据得到的表征参数,经复核,污水处理厂的基础数据基本合理,可作为水质水量平衡测算的输入数据。

表3 2019年某污水处理厂基础数据
Tab.3 Basic data of a sewage treatment plant in 2019

参 数	数值
设计规模/(10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	3
服务区面积/km ²	13.23
实测进水日均BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	42
实测进水TN/(mg·L ⁻¹)	34.8
实际日均进水流量/(10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	2.06
晴天日均进水流量/(10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	1.9
雨天日均进水流量/(10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	2.2
建成区面积/km ²	4.44
实际进水COD/(mg·L ⁻¹)	125
实际进水TP/(mg·L ⁻¹)	1.9
日均进水BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	42
晴天日均进水BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	47
雨天日均进水BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	37.9
服务区人口数量/万人	4.4
实际进水NH ₃ -N/(mg·L ⁻¹)	18
平衡测算特征因子选择	BOD ₅
进水BOD ₅ 污染负荷/(kg·d ⁻¹)	8.65
晴天日均进水BOD ₅ 污染负荷/(kg·d ⁻¹)	8.93
雨天日均进水BOD ₅ 污染负荷/(kg·d ⁻¹)	8.34

表4 2019年某污水处理厂表征参数
Tab.4 Characterization parameters of a sewage treatment plant in 2019

参 数	数值
设计规模与建成区面积之比/(10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹ ·km ⁻²)	0.68
实际日均进水流量与设计规模之比	0.69
建成区人口密度/(人·km ⁻²)	9 909
实际日均进水流量与建成区面积之比/(10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹ ·km ⁻²)	0.46

表5 污水处理厂晴天进水中各排水单元的贡献率
Tab.5 Contribution rate of influent water source of the sewage treatment plant in sunny days

项 目	流量/ (10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	流量占比/%	现状BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	可达BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	污染负荷/ (kg·d ⁻¹)	污染负荷占 比/%
小区地块	0.49	26	158	200	774.2	81.03
工业企业	0.58	31	25		145	15.18
总口基流	0.42	22	6		25.2	2.64
管道缺陷渗漏量	0.21	11	3		6.3	0.66
管道入渗地下水量	0.16	8	3		4.8	0.50
污水处理厂晴天进水	1.90	100	47		955.5	

根据水质水量平衡测算得到的不同排水单元排水量及污染负荷对污水处理厂的贡献率,分析关键问题,旨在科学指导方案设计,合理制定实施计划。

① 该污水处理厂服务范围内,排水量贡献率依次为工业企业排水单元、小区地块排水单元、总口基流和管道缺陷渗漏量;污染负荷贡献率依次为小区地块排水单元、工业企业排水单元和总口

② 生活用水量的测算
利用不同类别用地用水量指标法计算生活用水量,根据现状用地性质划分服务范围内不同类别地块的面积,从而累计得到生活用水量为0.49×10⁴ m³/d。

③ 工业用水量的测算
由于调研统计法历时较长,本次利用类别用地用水量指标法测算。

经测算,得出工业企业用水量为0.58×10⁴ m³/d。

④ 外水渗漏量
通过梳理排水系统排查诊断结果,综合分析管道缺陷渗漏量,管道缺陷渗漏量为0.21×10⁴ m³/d;管道入渗地下水量按照15%计,为0.16×10⁴ m³/d,因此,外水渗漏量为0.37×10⁴ m³/d。

⑤ 总口基流量
采取连续流量监测河道的总口基流量,该污水处理厂服务范围内的总口基流量合计为0.42×10⁴ m³/d。

⑥ 水质水量平衡测算结果
通过水质水量平衡测算,得到较为合理的小区地块排水流量、工业企业排水流量、外水渗漏量、总口基流量在晴天的贡献率。
具体结果见表5。

基流。

② 小区地块排水单元现状BOD₅整体浓度相对较低,原因是未全部实施正本清源工程,因此亟需开展正本清源查漏补缺工程,以期实现BOD₅目标值(200 mg/L)。

③ 对于工业企业排水单元,由于大部分企业内设置了单独的污水处理系统,导致排入市政污水系统的水质浓度较低,因此,针对经济发达地区,可

试点推行单独设置工业企业污水系统,进行末端集中处理再排放。

④ 对于总口基流,结合排水体制和提质增效的目标,实施总口打开工程,从而彻底实现剥离清污、污水纳管、基流释放。

⑤ 对于管道缺陷渗漏量,可结合 CCTV 视频资料进行针对性的整改与修复设计,从而减少外水渗漏量。

4 结语

① 由于污水处理厂进水的组成类型较多,各类型进水受外界影响因素多,因此,水量和水质数据波动性较大、偶然性较大,水质水量平衡作为测算不同类型排水单元对污水处理厂进水浓度贡献率的方法,其依据是水量平衡和污染负荷平衡原理,通过水质水量测算试算过程可得出各类型进水相对较为合理的水质、水量分配结果。

② 水质水量平衡测算需依靠大量的基础数据分析和梳理工作,这样才能更准确地测算出不同类型水质对污水处理厂的贡献率。

③ 污水处理提质增效的关键在于评估不同类型排水单元对污水处理厂进水浓度的贡献率,再根据贡献率的影响程度,有的放矢地进行方案设计,同时,梳理出方案实施的轻重缓急事项,再制定

合理的实施计划。

④ 该方法依托于设计规范、标准、实测数据及工程经验,旨在为设计人员提供便捷的测算依据,从而有效提高设计工作效率。

参考文献:

- [1] 孙永利. 城镇污水处理提质增效的内涵与思路[J]. 中国给水排水, 2020, 36(2): 1-6.
SUN Yongli. Connotation and way of quality and efficiency improvement of municipal wastewater treatment [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(2): 1-6(in Chinese).
- [2] 郭帅. 城市排水系统地下水入渗及土壤侵蚀问题研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
GUO Shuai. Study on Groundwater Infiltration and Soil Erosion in Urban Drainage System [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012(in Chinese).

作者简介: 李超(1974-), 男, 河北晋州人, 大学本科, 高级工程师, 生产运营部部长, 主要从事污水处理厂和供水厂的建设运营与生产管理工作。

E-mail: swwc-svd@163.com

收稿日期: 2021-05-31

修回日期: 2021-07-07

(编辑: 衣春敏)

保护生态环境就是保护生产力
改善生态环境就是发展生产力