

城镇污水处理厂进水水质统计分析及设计进水水质确定方法

宋培忠¹ 李皓君^{1*} 吴雪²

1 云南省设计院集团有限公司

2 云南开放大学

DOI:10.32629/btr.v8i12.5135

[摘要] 进水水质是制约污水处理系统架构选型、工艺配置与运行效能的核心前置条件,水质参数的动态波动易造成处理单元负荷失衡,降低系统稳定性。本文结合城镇污水水质波动特性,系统探究进水水质数据统计分析逻辑,剖析水质时空演变规律、污染物组分特征及核心影响要素,对比不同水质界定方式的适配性。同时优化设计进水水质的筛选、统计与取值流程,明确不同建设场景下的取值思路,为污水处理系统精细化设计、工艺参数优化提供专业化参考依据。

[关键词] 城镇污水处理厂; 进水水质; 统计分析; 水质波动; 参数取值

中图分类号: X703 文献标识码: A

Statistical Analysis of Influent Water Quality and Methods for Determining Design Influent Water Quality in Municipal Wastewater Treatment Plants

Peizhong Song¹ Haojun Li¹ Xue Wu²

1 Yunnan Design Institute Group Co., Ltd.

2 Yunnan Open University

[Abstract] Influent water quality is a critical prerequisite affecting the selection of wastewater treatment system configurations, process design, and operational performance. Dynamic fluctuations in water quality parameters can easily lead to load imbalances among treatment units and reduce system stability. Based on the characteristics of influent water quality fluctuations in municipal wastewater, this paper systematically investigates the statistical analysis of influent water quality data, analyzes the spatial and temporal evolution patterns of water quality, pollutant composition characteristics, and key influencing factors, and compares the applicability of different methods for defining influent water quality. Meanwhile, the processes for screening, statistically analyzing, and determining design influent water quality values are optimized, and determination approaches for different construction scenarios are clarified, providing a professional reference for the refined design of wastewater treatment systems and the optimization of process parameters.

[Key words] municipal wastewater treatment plants; influent water quality; statistical analysis; water quality fluctuations; parameter determination

引言

城镇化建设进程加快促使污水收集覆盖范围持续扩张,污水水源结构逐步趋于多元化,进水水质呈现差异化、波动性特征,大幅提升污水处理设施的设计与运维难度。现阶段部分工程项目存在水质研判片面化、取值模式固化等问题,无法适配水质动态变化特征,进而引发工艺冗余、处理效能不足等各类问题。基于水质监测数据开展系统化统计分析,建立科学化的进水水质取值体系,能够有效平衡工程建设成本与处理稳定性,是现阶段完善城镇污水治理体系的重要研究方向。

1 城镇污水水质基础特征概述

城镇污水的水源组成相对复杂,这类水体主要来自居民日常生活排水、商业场所排水,同时还夹杂着部分无危害的工业生产废水,不同排水来源所产生的污染物种类、浓度都存在一定差异,这也基本决定了污水厂进水的基础水质状态;我们一般可以把水中污染物划分成有机物、悬浮杂质、营养盐三类,各类杂质会互相作用,进而影响生化处理单元的处理效果。污水进水指标大多不属于标准正态分布,数据整体以中低浓度为主,仅少数样本存在高浓度特征,水质也会随时间产生动态变化。水质参数的选取,会直接影响处理工艺适配效果,因此工作人员需要依托实测数据,总结水质变化特点,以此确定合理的进水设计参数^[1]。

2 城镇污水处理厂进水水质统计分析体系

2.1 监测数据预处理

水质监测原始数据易受设备故障、人工操作偏差、极端天气突发工况等因素干扰，衍生出异常数值与缺失数值，若直接用于统计分析，会扭曲水质真实分布规律，误导后续设计取值工作。因此数据预处理是统计分析的首要环节，主要包含缺失值补齐与异常值剔除两项核心内容。

针对短周期单点缺失数据，可依托相邻时段监测数据，采用插值法完成补齐；针对长周期连续缺失的指标数据，该时段样本直接作废，避免插值数据与实际水质偏差过大。异常值处理方面，优先采用箱型判别法界定偏离正常区间的极值数据，区分真性极值与假性极值：假性极值由监测设备故障、采样点位偏差导致，需直接剔除；真性极值对应短时高负荷排污、管网沉积物集中冲刷等真实工况，予以保留并单独归类统计，以此保障数据集的真实性与完整性。预处理后水质数据样本统计结果如表1所示。

表1 进水水质监测样本预处理统计明细

水质指标	原始样本数量/组	缺失样本/组	异常样本/组	有效样本/组	数据有效率/%
COD	365	8	12	345	94.52
BOD ₅	365	10	9	346	94.79
SS	365	6	15	344	94.25
NH ₃ -N	365	11	7	347	95.07
TP	365	9	10	346	94.79

2.2 水质集中趋势与离散特征分析

完成数据预处理后，需从集中趋势与离散特征两个维度，解析各项进水指标的分布规律。集中趋势用于反映水质指标的常规浓度区间，常用统计参数包含中位数、算术平均值与众数；离散特征用于表征水质波动剧烈程度，可依托极差、四分位距等参数进行研判。

结合城镇污水分布特性来看，均值易受极值样本拉高或拉低，无法客观反映常态水质；中位数受极值干扰较弱，能够精准体现大部分时段的进水水质水平，更适配偏态分布的污水水质数据。离散参数中，四分位距可规避极端样本影响，直观体现常规工况下水质的波动范围，适配工程设计的研判需求。经统计整理，常规城镇污水进水指标分布参数如表2所示。

表2 城镇污水处理厂进水水质指标统计参数

水质指标	均值/(mg·L ⁻¹)	中位数/(mg·L ⁻¹)	四分位距/(mg·L ⁻¹)	浓度分布类型
COD	268.35	245.12	86.47	正偏态分布
BOD ₅	132.68	121.56	42.35	正偏态分布
SS	185.42	176.89	65.18	正偏态分布
NH ₃ -N	28.76	27.31	7.62	近似正态分布
TP	3.52	3.26	1.15	正偏态分布

2.3 水质时空波动规律分析

时空维度波动是城镇进水水质的固有属性，时间维度波动可细化为日波动、季节波动两类。日波动层面，有机类指标昼夜差值较为显著，早中晚三个排污高峰时段污染物浓度明显抬升，深夜时段水质浓度降至日内最低；营养盐类指标波动幅度相对平缓，昼夜浓度差值不足10%，整体稳定性更强。季节波动层面，雨季受雨水入渗、地下水倒灌影响，进水被稀释，各类污染物浓度普遍下降15%~30%，同时雨水冲刷管网沉积物会短期内拉高SS指标浓度；旱季污水水源结构单一，水质浓度集中且波动幅度更小。

空间维度波动主要源于服务片区用地属性差异，纯居住片区进水有机物占比偏高，碳氮比适配常规生化处理工艺；商住混合片区进水水质波动幅度更大，日间商业排污高峰期污染物负荷显著提升；含少量轻工业业态的片区，进水悬浮杂质与特殊有机物占比增加，对预处理单元提出更高要求。开展设计工作时，需结合片区用地属性，针对性调整水质取值浮动区间^[2]。

2.4 污染物相关性分析

不同进水污染物之间存在差异化关联关系，研判指标相关性，能够辅助校验水质数据合理性，同时优化工艺单元匹配方案。有机污染物层面，COD与BOD₅呈现高度正相关特性，二者变化趋势基本同步，可互为参考判定污水可生化性；SS与有机指标关联性较弱，其浓度变化主要受管网冲刷、外源水入流等外部因素干预。营养盐指标层面，氨氮与总氮相关性较强，是城镇污水氮元素的主要存在形式；总磷与有机指标存在弱正相关，高有机负荷工况下，水体含磷杂质浓度同步小幅上升。

结合相关性特征可明确，设计阶段无需对所有指标独立取值，针对高度关联指标，可依托主指标取值范围，辅助界定副指标区间，简化设计流程；针对弱关联指标，需单独完成统计分析与取值，规避单一指标失衡影响整体处理效果。

3 城镇污水处理厂设计进水水质确定方法

3.1 设计进水水质取值基本原则

为保障取值结果兼具科学性与实用性，设计进水水质界定过程中，需遵循四项基础原则。第一，数据优先原则，优先采用服务片区内12个月及以上连续监测数据，数据周期需完整覆盖旱季、雨季，囊括各类典型工况，规避短期数据片面性缺陷；无实测数据的新建偏远片区，可参考同业态、同区位片区统计数据，禁止盲目套用通用固定参数。第二，适配性原则，取值标准需匹配项目工艺属性，厌氧类工艺侧重把控低浓度常态水质，好氧类工艺需重点兼顾高浓度极值水质。

第三，经济性平衡原则，兼顾极端高负荷工况与常态化运行工况，既防止取值保守造成基建资源浪费，也规避取值偏低导致极端工况下系统过载。第四，动态预留原则，结合片区城镇化发展规划，预判未来3~5年内污水水源结构、污染物浓度变化趋势，预留合理的水质浮动余量，延长污水处理设施适配周期，降低后期升级改造成本^[3]。

3.2 基于保证率的水质取值方法

保证率取值法是现阶段应用最广泛的设计水质界定方式，

核心逻辑是依托预处理后的有效监测数据,对各项指标浓度进行升序排序,统计不同浓度数值对应的出现概率,结合项目等级与运行需求,选定适配保证率对应的浓度作为设计值。该方法能够量化水质波动风险,适配绝大多数改扩建及新建污水处理项目。

不同保证率对应的水质风险等级与应用场景存在明显差异,结合城镇污水水质波动特征,可划分三个梯度的取值标准。低保证率区间对应常态化水质,适配生化单元日常运行参数调试;中保证率区间兼顾常态与短时高负荷工况,适配中小型常规污水处理厂,是民用污水治理项目的主流取值区间;高保证率区间对应极端高浓度工况,适配大型核心枢纽污水厂、地势低洼易受冲刷片区污水厂,可全方位抵御水质突变风险。不同保证率水质取值结果及适配场景如表3所示。

表3 不同保证率下进水核心指标设计取值

保证率/%	COD/(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	SS/(mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N/(mg·L ⁻¹)	适配项目类型
75	295.64	146.32	201.57	30.15	小型乡镇配套污水厂
85	342.18	168.95	235.42	33.68	中型城镇综合污水厂
95	398.75	192.46	278.61	37.24	大型核心枢纽污水厂

3.3分区差异化取值方法

针对服务范围较广、用地属性复杂的大型污水处理项目,单一保证率取值无法适配全域水质特征,此时可采用分区差异化取值方法。该方法以污水收集管网汇水片区为划分依据,将整体服务区域拆分为纯居住片区、商住混合片区、城郊综合片区等独立单元,分别完成各单元水质统计、特征分析与参数取值,最后结合各片区污水收集占比,加权核算整体设计进水水质。

分区取值的核心要点在于片区权重分配,权重数值由片区日均污水收集总量占全厂总量的比例确定,高占比片区的水质参数对整体设计值起主导作用。同时需针对性设置片区修正系数,老旧管网片区增设5%~10%的负荷修正,抵消管网沉积物冲刷带来的水质波动;新建管网片区外源水入渗概率较低,可下调3%~5%有机指标取值余量。该方法能够有效解决复合型片区水质差异化难题,大幅提升大型污水厂设计取值精准度^[4]。

3.4多工况组合取值方法

多工况组合取值法以时间波动规律为核心研判依据,将进水工况划分为旱季常态工况、雨季稀释工况、短时峰值工况三类基础类型,分别测算不同工况下的最优水质参数,结合各类工况的年占比,组合形成双层设计水质体系,即常态设计水质与峰值设计水质。

常态设计水质主要用于生化反应池、污泥处理系统等常态化运行单元的参数设计,依托旱季、雨季两类常规工况数据加权取值,保障设施全年大部分时段运行高效;峰值设计水质用于进水格栅、沉砂池、进水提升泵等前端预处理单元的规格核算,

参考短时高浓度峰值工况数据取值,抵御暴雨冲刷、集中排污等极端工况冲击。双层水质体系各司其职,既规避单一峰值取值造成的成本浪费,也弥补单一常态取值抗风险能力不足的短板,适配气候波动明显、管网老化程度较高的城镇区域。

3.5设计进水水质取值校验机制

完成初步取值后,需搭建标准化校验机制,从可生化性、指标协调性、发展适配性三个维度,核验取值结果的合理性。可生化性校验重点核算COD与BOD₅、碳氮、碳磷的比值,确保取值区间能够适配生物脱氮除磷工艺,若碳源配比失衡,需微调有机指标预留余量;指标协调性校验针对高度关联指标,校验二者变化趋势是否匹配,剔除逻辑矛盾的取值参数。

发展适配性校验需结合片区人口增速、产业布局规划,预判未来五年内污水水质演变趋势。人口密集增长片区,需适度上调有机污染物指标取值;产业结构优化升级的城郊片区,可小幅下调悬浮杂质相关参数。同时针对改扩建项目,还需比对原有设施适配水质区间,保障新旧单元水质参数衔接顺畅,无需大规模改造即可完成负荷承接,进一步提升设计方案的落地性与经济性^[5]。

4 结束语

对于污水工程设计工作而言,进水水质分析与参数选取,本身就是一项基础且重要的内容;本文不仅整理了水质数据的整套分析流程,也探讨了水质变化特征,同时归纳出多种进水水质取值手段以及对应的校验方式。后续研究可以结合片区排水的变化趋势,去完善动态取值方案,从而帮助污水处理项目能够稳定、经济且高效地长期运行。

【参考文献】

[1]聂世勇,黄志金,赵悦.上海市郊区某城镇污水处理厂进水水质特征分析[J].绿色科技,2025,27(2):127-132.
[2]向前,杨全,王宗平.某污水处理厂处理工艺评估及对策研究[J].市政技术,2026,44(4):247-255.
[3]王靖宇.粤港澳大湾区某城镇污水处理厂进水水质特征分析[J].中国环保产业,2026(3):38-41.
[4]朱益萍.分流制区域污水处理厂进水水质与降雨事件响应特征分析[J].水资源开发与管理,2026,12(2):23-28+34.
[5]张岩.BioWin建模软件在城镇污水处理厂应用进展[J].净水技术,2025,44(7):13-22+42.

作者简介:

宋培忠(1988--)男,汉族,山西人,研究生,高级工程师,研究方向:市政给排水,水污染防治,环境卫生等项目的策划及设计。

*通讯作者:

李皓君(1990--),女,汉族,云南人,研究生,高级工程师,研究方向:生态环境工程设计与咨询相关工作。