

# 我国重点流域城市污水处理厂污泥产率调研

王磊

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘要:** 调研了我国重点流域11座城市106座典型污水处理厂污泥产率特征。结果表明, 调研范围内污水处理厂污泥产率平均值为 $1.62 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ , 其中合肥、昆明和天津污泥产率相对较低, 其余城市污泥产率较高。不同月份污泥产率波动较大, 且呈现出显著的季节规律性, 冬季和春季污泥产率较高, 夏季和秋季污泥产率相对较低。采用AAO/AO和氧化沟工艺的污水处理厂污泥产率显著高于采用SBR和MBR工艺的污水处理厂, 出水执行一级A和一级B标准的污水处理厂污泥产率高于执行二级标准的污水处理厂, 规模较大的污水处理厂污泥产率低于规模较小的污水处理厂。

**关键词:** 重点流域; 污水处理厂; 污泥产率; 处理工艺

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2018)14-0023-05

## Investigation on the Sludge Yield of Municipal Wastewater Treatment Plants in Key Watershed of China

WANG Lei

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

**Abstract:** The characteristics of sludge yield of 106 typical municipal wastewater treatment plants in 11 cities in key watersheds of China were investigated. Results showed that the average sludge yield of the municipal wastewater treatment plants was  $1.62 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ , and the sludge yields in Hefei, Kunming, and Tianjin were relatively low. While the sludge yield in other cities were higher than that in the three cities. The sludge yield fluctuates wildly in various month and shows remarkable seasonal regularity. Higher sludge yields were observed in winter and spring, and relatively lower values were observed in summer and autumn. The sludge yield of wastewater treatment plants with AAO/AO and oxidation ditch processes is significantly higher than that of SBR and MBR processes. The sludge yields of the wastewater plants with class A of level I and class B of level I effluent standards were higher than those of the plants with effluent standard of level II. Sludge yields of large scale wastewater treatment plants were lower than those of small scale plants.

**Key words:** key watershed; wastewater treatment plant; sludge yield; treatment process

随着我国污水处理设施建设的快速发展, 污泥产生量日益增加, 2016年我国城镇污泥产量已达到 $4\,300 \times 10^4 \text{ m}^3$  (以含水率80%计), 污泥处理处置所

面临的问题越来越严峻<sup>[1]</sup>。污泥产量的科学计算是污泥源头减量的基础, 也是污泥处理处置设施设计的依据, 直接关系到污泥处理系统的建设规模、构

构筑物尺寸和设备选型,并影响污泥处理系统的运行管理。污泥产量可根据经验污泥产率(即万吨污水产生的绝干污泥量)和污水处理量进行计算,其关键在于计算参数的选择,选择不当极易产生显著的偏差。然而,我国在污泥产率方面的研究较少<sup>[2,3]</sup>,积累的污泥产率数据不多,难以为设计提供有效的支持与指导。本研究对我国重点流域具有代表性的城镇污水处理厂污泥产量进行了调研,全面分析了经验污泥产率的整体特征、地域差异、季节波动、工艺差异和规模差异等,以期对污泥处理系统的精确设计和科学运行提供数据支持。

## 1 研究方法

本研究调研时间为2012年1月—2014年12月,调研范围覆盖太湖、巢湖、海河、辽河、滇池和三峡库区及上游等6大流域,包括上海、常州、嘉兴、太仓、无锡、合肥、天津、唐山、赤峰、昆明、重庆等11座城市的106座城镇污水处理厂(见表1),总设计能力为 $1\,519 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,实际处理能力为 $1\,264 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,污泥量为 $313 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ (含水率为80%),污水处理能力和污泥产量均达到全国总量的10%。污水水量、污水水质、污泥产量和污泥含水率等数据均来自所调研污水处理厂的运行日报表。

表1 调研范围内污水处理厂分布

Tab.1 Distribution of sewage treatment plants in the research scope

项 目	城市	污水处理厂数量/座
太湖及周边	上海、无锡、常州、太仓、嘉兴	48
海河	天津、唐山	15
滇池	昆明	7
巢湖	合肥	10
三峡库区及上游	重庆	20
辽河	赤峰	6

经验污泥产率采用下式进行计算:

$$Y = \frac{M \times (1 - \omega)}{Q} \quad (1)$$

式中  $Y$ ——经验污泥产率,  $\text{tDS}/10^4 \text{ m}^3$

$M$ ——脱水污泥产量,  $\text{t}/\text{d}$

$\omega$ ——脱水污泥含水率, %

$Q$ ——污水处理量,  $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$

## 2 结果与分析

### 2.1 整体特征

调研范围内106座污水处理厂经验污泥产率分

布特征见图1。由图1可知,经验污泥产率平均值为 $1.62 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ ,其中80%置信区间内污水处理厂经验污泥产率为 $0.91 \sim 2.41 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ ,平均值为 $1.57 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ ,不同污水厂的污泥产率差异较大。

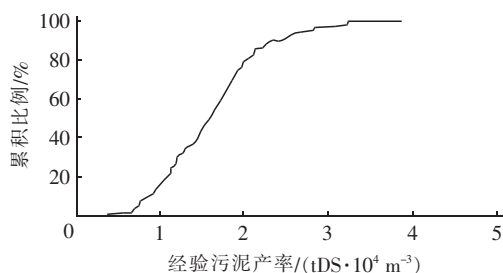


图1 污泥产率分布特征

Fig.1 Distribution characteristic of sludge yield

不同污水处理厂进水中污染物浓度差异较大,以万吨污水产泥量核算的经验污泥产率,在不同厂间进行比较时具有一定局限性。因此,本研究进一步分析了去除单位质量  $\text{BOD}_5$  产生的污泥量(简称“ $\text{BOD}_5$  污泥产率”),其分布特征见图2。 $\text{BOD}_5$  污泥产率平均值为 $1.34 \text{ kgDS}/\text{kgBOD}_5$ ,其中80%置信区间内污水处理厂  $\text{BOD}_5$  污泥产率为 $0.64 \sim 2.17 \text{ kgDS}/\text{kgBOD}_5$ ,平均为 $1.28 \text{ kgDS}/\text{kgBOD}_5$ 。

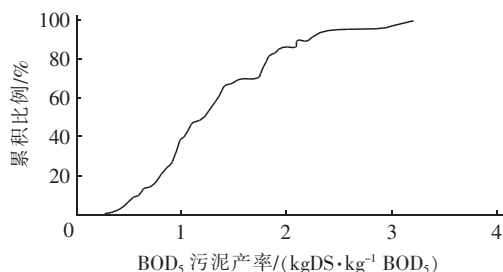


图2  $\text{BOD}_5$  污泥产率分布特征

Fig.2 Distribution characteristic of sludge yield by  $\text{BOD}_5$

### 2.2 地域差异

调研范围中11座城市的平均污泥产率分布特征如图3所示。其中,合肥、昆明、天津等3座城市的经验污泥产率相对较低,平均值均不超过 $1.50 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ ;其余城市的经验污泥产率相对较高,平均值为 $1.65 \sim 1.92 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ 。造成不同城市经验污泥产率差异的主要原因为进水水质(有机物含量、悬浮固体含量)的不同,影响进水水质的因素包括:排水体制、管网破损程度、工业废水排放、气候特征等。

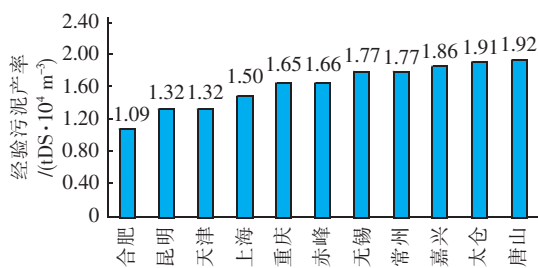


图 3 不同城市的污泥产率

Fig. 3 Sludge yield in different cities

### 2.3 季节波动

调研范围中的 106 座污水厂, 2014 年最大月与最小月污泥产率比值分布特征见图 4。不同月份污泥产率波动较大, 最大月与最小月污泥产率比值的平均值为 2.92, 其中 80% 置信区间内最大月与最小月污泥产率的比值为 1.57 ~ 4.71, 平均值为 2.54。

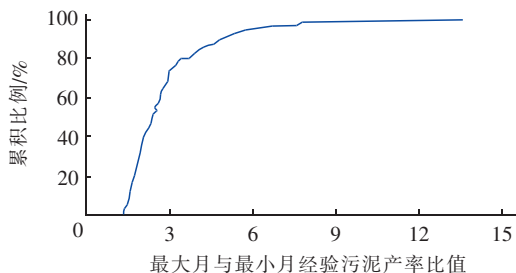


图 4 污泥产率变化系数分布

Fig. 4 Distribution of variation coefficient of sludge yield

大部分进水以生活污水为主的污水处理厂, 污泥产率均呈现出了显著的季节规律性, 冬季(12月—2月)和春季(3月—5月)污泥产率较高, 夏季(6月—8月)和秋季(9月—11月)污泥产率相对较低。其中, 春季污泥产率最高, 平均值约为  $1.79 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ ; 秋季污泥产率最低, 平均值约为  $1.52 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ , 春季污泥产率比秋季高出了 20%。

污泥是污水处理过程中伴随产生的副产物, 主要来自于两方面: ①污水中悬浮固体的吸附沉淀作用; ②微生物降解有机物过程中自身的增殖作用。经验污泥产率受诸多因素的综合影响, 其中最主要的影响因素为进水水质(悬浮固体含量和有机物含量等)和生物处理系统运行条件(温度、污泥龄、有机负荷等)<sup>[4]</sup>。一方面, 我国大部分进水以生活污水为主的污水处理厂, 进水 SS 和  $\text{BOD}_5$  具有显著的季节规律性, 冬春季进水 SS 和  $\text{BOD}_5$  浓度较高, 而夏秋季节进水 SS 和  $\text{BOD}_5$  较低, 这可能是污泥产率呈现季节性波动的主要原因。另一方面, 污泥产

率与水温呈负相关性<sup>[5]</sup>, 我国大部分区域四季分明, 温度季节变化显著, 污泥产率伴随温度相应发生变化, 这可能是污泥产率呈现出季节规律性的另一原因。

### 2.4 处理工艺

调研范围内 106 座污水处理厂中, 污水生物处理单元主体工艺可分为以下几类: AAO 或者 AO(记作 AAO/AO)、氧化沟、SBR、MBR 等类型。其中, AAO/AO 工艺包括 UNITANK、百乐克等改良类型, 氧化沟工艺包括卡鲁塞尔氧化沟、奥贝尔氧化沟、三槽式氧化沟、立环氧化沟等改良类型, SBR 工艺包括 CASS、CAST、ICEAS 等类型。针对采用不同类型生物处理工艺的污水处理厂, 本研究对其污泥产率进行了统计分析, 结果如表 2 所示。其中, 部分污水处理厂生物处理单元采用了 1 种以上工艺, 而不同工艺污水处理量和污泥产量并未单独核算, 因此本研究未对这些污水处理厂的污泥产率进行归类分析。

表 2 不同污水处理工艺的污泥产率

Tab. 2 Sludge yield of different wastewater treatment processes

工艺类型	污水处理厂数量/座	设计总污水处理量/ ( $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	实际总污水处理量/ ( $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	实际总污泥产量/ ( $\text{tDS} \cdot \text{d}^{-1}$ )	经验污泥产率/ ( $\text{tDS} \cdot 10^4 \text{ m}^{-3}$ )
AAO/AO	35	758	618	838	1.36
氧化沟	38	304	252	407	1.62
SBR	12	118	110	134	1.22
MBR	2	9	7	8	1.08

由表 2 可知, 采用氧化沟工艺的污水处理厂污泥产率相对较高, 平均为  $1.62 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ ; 采用 AAO/AO 工艺的污水处理厂污泥产率次之, 平均为  $1.36 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ ; 采用 SBR 工艺的污水处理厂和 MBR 工艺的污水处理厂污泥产率相对较低, 分别为  $1.22 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$  和  $1.08 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ 。

张辰等<sup>[6]</sup>研究发现污泥产率与污泥龄呈负相关, 剩余污泥表观产率随泥龄的延长而减小, 其中合成产率系数与泥龄关系不大, 而衰减系数随污泥龄的延长而增大。一般而言, 氧化沟工艺污泥龄长于 AAO/AO 工艺, 污泥产率相对较低。然而, 本调研中采用氧化沟工艺的污水处理厂平均经验污泥产率却略高于采用 AAO/AO 工艺的污水处理厂, 这可能是由于经验污泥产率除受污泥龄和处理工艺影响外, 还受进水水质等因素影响。本调研中某污水处理厂采用 AAO 工艺, 设计污水处理量为  $280 \times 10^4$

$\text{m}^3/\text{d}$ ,而污泥产率仅为  $1.14 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ ;另一污水处理厂采用 AO 工艺,设计污水处理量为  $170 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,而污泥产率仅为  $0.76 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ 。这两座污水处理厂处理规模较大,而污泥产率偏低,拉低了采用 AAO/AO 工艺的污水处理厂污泥产率的平均值。

## 2.5 排放标准

调研范围内污水处理厂,出水水质执行一级 A、一级 B 和二级标准的数量、规模以及污泥产量见表 3。执行一级 A 和一级 B 排放标准的污水处理厂经验污泥产率分别为  $1.49 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$  和  $1.45 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ ,执行一级 A 排放标准的污水处理厂污泥产率更高。究其原因,一级 A 排放标准对出水氮、磷提出了更严格的要求,而我国污水处理厂普遍存在碳源不足问题,为确保氮、磷的同步稳定达标,通常需要将碳源优先用于生物脱氮,而在生物除磷之后投加混凝剂辅以化学除磷,二沉池出水后投加铝盐或铁盐进行化学除磷时,污泥产生量通常增加 20%~35%。此外,在内部碳源不能满足生物脱氮要求时,执行一级 A 排放标准的污水处理厂通常需要辅以外加碳源,从而导致污泥产率升高。与一级 A 和一级 B 标准相比,二级标准对污水中有机物、悬浮固体、总磷等污染物的去除率要求较低,去除污染物过程中产生的污泥量也相应较低,执行二级排放标准的污水处理厂经验污泥产率显著低于执行一级 A 和一级 B 排放标准的污水处理厂。

表 3 执行不同排放标准的污水处理厂污泥产率

Tab. 3 Sludge yield of wastewater treatment plants with different discharge standards

排放标准	污水处理厂数量/座	设计总污水处理规模/ $(10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	实际总污水处理规模/ $(10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	实际总污泥产量/ $(\text{tDS} \cdot \text{d}^{-1})$	经验污泥产率/ $(\text{tDS} \cdot 10^4 \text{ m}^{-3})$
一级 A	48	434	347	518	1.49
一级 B	42	499	436	633	1.45
二级	15	586	480	564	1.18

## 2.6 规模差异

本研究根据《城市污水处理工程项目建设标准》(建标[2001]77号)对调研范围内污水处理厂规模进行了分类,不同规模污水处理厂污泥产率见表 4。总体而言,规模较大的污水处理厂(I类和II类)经验污泥产率低于规模较小的污水处理厂(III类、IV类和V类),其中I类、II类、III类污水处理厂污泥产率随着规模的增加而呈现出减少趋势。V类

污水处理厂数量占调研污水处理厂总数的 40%,但负荷率整体较低,不同厂污泥产率差异较大,平均污泥产率为  $1.60 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ 。

表 4 不同规模污水处理厂污泥产率

Tab. 4 Sludge yield of different scale wastewater treatment plants

类别	规模*(以污水处理量计)/ $(10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	污水厂数量/座	负荷率/%	经验污泥产率/ $(\text{tDS} \cdot 10^4 \text{ m}^{-3})$
I类	50~100	4	85	1.14
II类	20~50	13	89	1.35
III类	10~20	19	87	1.73
IV类	5~10	26	90	1.62
V类	1~5	41	82	1.60
注: *分类含下限值,不含上限值。				

## 3 讨论

本研究发现对于进水以生活污水为主的污水处理厂,其水量水质、运行参数、污泥产率等一般呈现出较为显著的规律性。但调研范围中大部分污水处理厂进水中掺杂有不同比例的工业废水,进水量和水质受工业废水影响而波动较大,影响了污泥产率变化规律的总结。例如,海宁某污水处理厂进水中印染和制革废水比例高达 70% 以上,每年春节前后工厂停产期间污水量急剧下降,污泥产量也相应降低;同时,受当地产业政策和环保要求影响,部分工厂陆续停产,水量和水质均波动较大,污泥产率并没有呈现出明显的季节规律性。

目前,我国污泥产量统计普遍存在以下 2 个主要误差来源:①车吨位偏差。调研范围内大部分污水处理厂没有污泥称重计量设施,生产报表中污泥产量按车吨位进行估算,每车次污泥量误差可达 10%~20%。②污泥含水率偏差。仅有少部分污水处理厂定期检测污泥含水率,其他污水处理厂带式压滤或者离心脱水污泥含水率一般按照 80% 进行估算,实际含水率偏差可达 3%~5%,绝干污泥质量相差可达 15% 左右。综上所述,我国部分污水处理厂污泥产量计量累计误差可达 20%~40%,严重影响了污泥产率统计分析的精确性。此外,污水处理厂运行报表中的污泥产量大多为外运污泥的量,当污泥出路受阻时部分污泥会在污水处理厂内滞留,没有污泥外运时报表中相应时间污泥产量通常记为 0,报表数据无法真实反映实时污泥产量,影响污泥产率分析。



此外,调研范围中大部分污水处理厂缺乏对于初沉污泥、剩余污泥、化学污泥产量和含水率的单独计量,报表中只是笼统地统计了脱水污泥产量,不利于基于污水处理厂运行情况率定剩余污泥表观产率系数、合成产率系数、衰减系数等相关参数。此外,进水中惰性悬浮固体及难降解有机悬浮固体对污泥产率的影响较大<sup>[7]</sup>,但鲜有污水处理厂对进水中悬浮固体的组分及比例进行监测,不仅影响污泥产量的精确计算,还影响污水处理系统的运行管理。

#### 4 结论

① 我国城镇污水处理厂经验污泥产率平均值为  $1.62 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ ,  $\text{BOD}_5$  污泥产率平均值为  $1.34 \text{ kgDS}/\text{kgBOD}_5$ ,其中合肥、昆明、天津等3座城市污泥产率相对较低,其余城市污泥产率较高。

② 不同月份污泥产率波动较大,且呈现出了显著的季节规律性,冬季和春季污泥产率较高,夏季和秋季污泥产率相对较低。

③ 采用 AAO/AO 和氧化沟生物处理工艺的污水处理厂污泥产率显著高于采用 SBR 和 MBR 工艺的污水处理厂;出水执行一级 A 和一级 B 标准的污水处理厂污泥产率高于执行二级标准的污水处理厂,规模较大的污水处理厂经验污泥产率低于规模较小的污水处理厂。

#### 参考文献:

- [1] 张辰,王逸贤,谭学军,等. 城镇污水处理厂污泥处理稳定标准研究[J]. 给水排水,2017,43(9):137-140.  
Zhang Chen, Wang Yixian, Tan Xuejun, *et al.* Introduction of stabilization standard on sludge treatment in urban wastewater treatment plant[J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(9):137-140 (in Chinese).
- [2] 周季,吴小一. 无初沉池城市污水处理厂污泥产量计算方法探讨[J]. 给水排水,2014,40(4):47-49.  
Zhou Ji, Wu Xiaoyi. Probe into the calculation on the sludge quantity from the municipal wastewater treatment plant without pre-sedimentation tank [J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(4):47-49 (in Chinese).
- [3] 韦启信,郑兴灿. 污水悬浮固体组分对活性污泥产率的影响及计算方法[J]. 中国给水排水,2013,29(18):1-6.  
Wei Qixin, Zheng Xingcan. Calculation methods of activated sludge yield and impact of influent suspended solids

in municipal wastewater treatment systems [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(18):1-6 (in Chinese).

- [4] 谭学军,田兆运,张辰,等. 城市污水  $\text{A}^2/\text{O}$  处理工艺剩余污泥产率研究[J]. 给水排水,2012,38(7):43-46.  
Tan Xuejun, Tian Zhaoyun, Zhang Chen, *et al.* Study on the wasted sludge production rate of the  $\text{A}^2/\text{O}$  for the municipal wastewater treatment [J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(7):43-46 (in Chinese).
- [5] 刘占孟,徐宇峰,李思敏. 温度对活性污泥产率的影响研究[J]. 中国给水排水,2015,31(19):84-88.  
Liu Zhanmeng, Xu Yufeng, Li Simin. Effect of temperature on activated sludge yield [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(19):84-88 (in Chinese).
- [6] 张辰,谭学军,田兆运,等. 上海市白龙港污水处理厂剩余污泥产率中试[J]. 中国给水排水,2013,29(21):118-121.  
Zhang Chen, Tan Xuejun, Tian Zhaoyun, *et al.* Excess sludge yield of Bailonggang wastewater treatment plant in Shanghai [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(21):118-121 (in Chinese).
- [7] 陈晓光,王硕,聂新宇,等. 城市污水处理厂污泥产率计算公式探讨[J]. 中国给水排水,2015,31(18):68-72.  
Chen Xiaoguang, Wang Shuo, Nie Xinyu, *et al.* Discussion on calculation formula of excess sludge yield in wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(18):68-72 (in Chinese).



作者简介:王磊(1989-),男,湖北十堰人,硕士,工程师,从事污泥处理处置与土壤修复研究咨询工作。

E-mail: wanglei5@smedi.com

收稿日期:2018-01-30