

一级与二级城市污水处理费用比较*

杜鹏飞, 杜文涛[‡], 钱 易[‡]

(清华大学 建筑学院, 北京 100084; [‡] 清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084)

文 摘: 为比较并评判城市污水一级处理与二级处理技术的优劣, 采用去除单位数量的有机污染物和悬浮物所需基建费用和运行费用作为衡量处理优劣的指标, 将问题抽象为数学问题。无论是基建费用还是运行维护费用, 去除同样数量的有机污染物或悬浮物, 二级处理均优于一级处理, 并且一级处理与二级处理运行维护费用之比与处理规模呈负相关。在中国目前的经济水平和环境形势下, 集中有限资金, 优先发展二级处理技术, 更有利于削减污染物总量, 防治水污染。
关键词: 污水处理; 一级处理; 二级处理; 费用

中图分类号: X 11; X 505 **文献标识码:** A
文 章 编 号: 1000-0054(2000)04-0073-04

原则上城市污水的处理程度应该视受纳水体的水质要求和环境容量而定。在经济实力有保障、不必考虑花费的前提下, 这样考虑当然没有问题, 只要知道原污水的性质及受纳水体可同化的污染物的量, 就可以计算出原污水应该达到的污染物去除率。然而, 在众多的发展中国家, 资金往往成为最大的制约因素。以中国为例, 不考虑以往的欠帐, 只考虑每年新增的污水量, 就需要每年投资 118 亿元, 而 1994 年的实际投资仅为 38 亿元, 旧帐未清又欠新帐, 每年的资金缺口约为 80 亿元^[1]。在资金投入严重不足的情况下, 是一味地上二级、二级半、甚至三级处理, 使少量污水得到深度处理而大部分污水得不到处理, 还是考虑一级、一级半或强化一级处理, 使尽可能多的污水得到适度处理, 就大有探讨的必要。

截止 1996 年底, 我国城市市政排水系统年受纳污水 209 亿 m³, 其中生活污水 89 亿 m³, 约占污水总量的 44.5%, 已建有城市污水处理厂 153 座, 总设计处理能力为 751.2 万 m³/d, 年处理污水量

23.82 亿 m³, 处理率为 11.2%^[2,3]。其中, 一级处理厂 43 座, 处理能力 213.24 万 m³/d, 二级处理厂 110 座, 处理能力 537.92 万 m³/d, 二级处理能力占总处理能力的 71.6%。并且从总体趋势来看(见表 1), 二级处理是目前污水处理厂建设的主导方向。

表 1 城市污水处理厂数量统计

年份	处理厂总数	一级处理厂数	二级处理厂数
1985	51	22	29
1990	80	32	48
1994	139	55	84
1995	141	46	95
1996	153	43	110

这样一种趋势是否合理呢? 长期以来水处理界一直有一种观点, 认为城市污水一级处理厂的建设费和运转费分别为二级处理厂的 30% 左右和 50% 左右, 而 BOD₅(生化需氧量)和 SS(悬浮物)的去除率分别为 20%~40% 和 50%~70%, 因此应该优先发展一级处理, 待经济条件允许时再建设二级处理^[4]。事实上, 许多国家都走了这样一条“先一级, 后二级”的道路。这与中国目前的作法并不一致。那么, 到底怎样做更符合中国的国情呢?

1 问题的描述与求解

问题的关键是衡量标准, 即用什么指标来判断一级处理与二级处理的优劣。既然建设污水处理厂的目的是去除污水中的污染物, 防治水污染, 并希望以较少的资金投入换来较大的污染物去除量, 那么, 最好的标准就是去除单位数量的污染物所需的费用。这样一来, 问题就转化为比较一级处理厂与二级处理厂去除单位数量的污染物所需的费用, 费用较低的处理方法就是较好的方法。为了使二者具有可比性, 假定外部条件相同。于是该问题可以用数学语

收稿日期: 1999-08-17
作者简介: 杜鹏飞(1970-), 男(汉), 辽宁, 博士后
* 基金项目: 国家环保总局科技发展计划项目 (97308)

言描述如下:

问题: 今有两座城市污水处理厂 A 和 B, 设计处理规模均为 Q , 污水厂 A 采用常规一级处理工艺, B 采用常规二级处理工艺, 原水为典型的城市污水, 试比较两座污水厂去除单位数量的污染物所需的基建费用和运行费用。

求解: 由于当前城市水污染的主要类型是有机污染, 因此选择污水中 BOD_5 , COD (化学耗氧量) 和 SS 三项指标作为比较对象。典型城市污水中这三项指标的质量浓度范围 ρ 及其中值 ρ_0 以及一级处理和二级处理的平均去除率 η_A 和 η_B 见表 2^[5]。

表 2 城市污水中污染物浓度及去除率

项目	$\rho/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho_0/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	$100\times\eta_A$	$100\times\eta_B$
BOD_5	0 10~ 0 40	0 20	30	95
COD	0 25~ 1 00	0 40	35	90
SS	0 10~ 0 35	0 22	55	90

设污水厂 A 和污水厂 B 的基建投资分别为 M_A 和 M_B , 去除单位污染物的基建费用分别为 F_A 和 F_B , 污水处理的运行费用分别为 O_A 和 O_B , 去除单位污染物的运行费用分别为 P_A 和 P_B , 则有:

$$F_A = \frac{M_A}{Q\rho\eta_A},$$

(1)

$$F_B = \frac{M_B}{Q\rho\eta_B},$$

(2)

$$P_A = \frac{O_A}{\rho\eta_A},$$

(3)

$$P_B = \frac{O_B}{\rho\eta_B},$$

(4)

于是得到

$$\frac{F_A}{F_B} = \frac{M_A/\eta_A}{M_B/\eta_B} = \frac{M_A}{M_B} \frac{\eta_B}{\eta_A},$$

(5)

$$\frac{P_A}{P_B} = \frac{O_A/\eta_A}{O_B/\eta_B} = \frac{O_A}{O_B} \frac{\eta_B}{\eta_A}.$$

(6)

公式(5)和(6)分别给出了一级处理和二级处理去除单位数量污染物的基建费用之比和运行费用之比的函数表达式。如果知道基建投资(M_A, M_B), 运行费用(O_A, O_B)及处理效率(η_A, η_B), 就可以进行比较。然而正如前面所分析的, 中国目前尚缺乏这方面的实测数据。于是笔者决定借用《全国市政工程投资估算指标》中给出数值。表 3 中是污水处理厂建设指标总造价和设备总功率估算指标, 其中一级处理工艺流程大体为泵房、沉砂、沉淀及污泥浓缩、干化处理等; 二级处理(一)工艺流程大体为泵房、沉砂、初次沉淀、曝气、二次沉淀及污泥浓缩干化处理等; 二级处理(二)工艺流程大体为泵房、沉砂、初次沉淀、曝气、二次沉淀、消毒及污泥提升、浓缩、消化、脱水和沼气利用等; F 为形成单位处理规模的基建费用, N 为单位处理规模的设备功率, A', B1 和 B2 分别表示一级处理、二级处理(一)和二级处理(二)。

污水厂运行费用中最主要的是动力费用, 一般占处理成本的 50% 左右, 而动力消耗与设备功率成

表 3 污水处理厂单位处理规模的基建费用和设备功率综合指标

$Q/(\text{万m}^3\cdot\text{d}^{-1})$	$F/(\text{元}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d})$			$N/(\text{W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d})$		
	A'	B1	B2	A'	B1	B2
> 20	650~ 750	950~ 1 100	1 300~ 1 500	4~ 6	12~ 17	15~ 20
10~ 20	750~ 850	1 100~ 1 250	1 500~ 1 650	5~ 8	15~ 20	18~ 22
5~ 10	850~ 1 000	1 250~ 1 450	1 650~ 1 900	8~ 10	18~ 25	20~ 30
2~ 5	1 000~ 1 150	1 450~ 1 750	1 900~ 2 300	10~ 15	20~ 30	25~ 40
1~ 2	1 150~ 1 300	1 750~ 2 000	2 300~ 2 700	15~ 20	25~ 35	38~ 50

表 4 一级与二级处理去除单位污染物所需费用比较

$Q/(\text{万m}^3\cdot\text{d}^{-1})$	F_A/F_{B1}		F_A/F_{B2}		P_A/P_{B1}		P_A/P_{B2}	
	BOD_5	SS	BOD_5	SS	BOD_5	SS	BOD_5	SS
> 20	2 16	1 12	1 58	0 82	1 09	0 56	0 90	0 47
10~ 20	2 16	1 11	1 61	0 83	1 18	0 61	1 03	0 53
5~ 10	2 17	1 12	1 65	0 85	1 33	0 68	1 14	0 59
2~ 5	2 13	1 10	1 62	0 84	1 58	0 82	1 22	0 63
1~ 2	2 07	1 07	1 55	0 80	1 85	0 95	1 26	0 65
平均值	2 14	1 10	1 60	0 82	1 41	0 72	1 11	0 57

正比, 因此以设备功率之比来近似地代表运行成本之比。以表 3 中数据为依据, 每一规模区间的数值均取该区间的平均值(即中值), 分别代入式(5)、式(6)计算一级处理与二级处理去除单位污染物所需费用之比, 将结果列于表 4 进行比较。

从表 4 的计算结果可以看出, 去除同样数量的 BOD₅, 一级处理的基建投资是二级处理(一)的 2 倍多, 是二级处理(二)的 1.6 倍左右, 与处理规模的关系不大; 去除同样数量的 SS, 一级处理的基建投资是二级处理(一)的 1.1 倍左右, 是二级处理(二)的 0.82 倍左右; 也就是说, 从去除有机污染物的角度来看, 一级处理的基建投资明显高于二级处理; 从去除悬浮固体污染物的角度来看, 一级处理的基建投资略高于二级处理(一), 而低于二级处理(二)。然而, 如果考虑到二级处理(二)工艺流程中包括污泥消化、脱水等工艺, 对污泥的处理更彻底, 则即使从去除 SS 的角度看, 一级处理也没有明显优势。

去除同样数量的 BOD₅, 一级处理的运行费用是二级处理(一)的 1.41 倍左右, 是二级处理(二)的 1.11 倍左右; 去除同样数量的 SS, 一级处理的运行费用是二级处理(一)的 0.72 倍左右, 是二级处理(二)的 0.57 倍左右; 也就是说, 从去除有机污染物的角度来看, 一级处理的运行成本明显高于二级处理(一), 略高于二级处理(二); 从去除悬浮固体污染物的角度来看, 一级处理的运行费用低于二级处理(一), 更低于二级处理(二)。从表中数据还可以看出, 一级处理与二级处理运行成本之比与处理规模呈明显负相关。

鉴于目前我国水污染的显著特征是有机污染和氮、磷等营养元素污染, 所以去除有机污染物是城市水污染防治的首要任务。一级处理可以去除大约 30% 的有机污染物, 但对于氮、磷等营养元素则无能为力, 二级处理不仅可以去除 90% 以上的有机污染物, 而且许多改进的生物处理工艺, 如氧化沟 AB (吸附絮凝-生物氧化)法 A/O (厌氧/好氧)法和 A-A/O (厌氧-缺氧/好氧)法等, 都有脱氮除磷的作用。从上面的分析可以看出, 对于去除同样数量的有机污染物, 无论基建投资还是运行成本, 二级处理明显优于一级处理; 对于去除悬浮固体污染物, 一级处理的基建投资高于二级处理(一), 运行成本略低于二级处理(一), 因此, 一级处理也没有明显优势。

因此, 可以肯定地说, 集中有限资金, 优先发展城市污水二级处理, 更有利于去除污染物; 我国目前污水厂建设的趋势是合理的。当然, 对于一个具体

的城市, 应该考虑本地区的水污染特点、经济发展水平等因素, 以深入的技术经济分析比较为依据, 确定最佳的污染控制方案。对经济欠发达地区, 在建设资金严重不足时, 以较少的投入优先建设一级处理或强化一级处理, 使污染状况得以减轻仍是可取的。

2 一种极限方案的分析

为了更有力地说明上述分析, 讨论一种极限情况: 将我国目前每年用于建设城市污水处理厂的资金, 全部用于建一级处理厂, 或全部用于建二级处理厂, 比较两种极限情况下, 每年可以去除的污染物量。

1994 年我国城市污水处理厂建设资金投入约为 38 亿元, 以表 3 中的最大规模考虑, 可以计算出全部投资 M 分别用于建设一级处理、二级处理(一)和二级处理(二)三种情况下的总规模和每年可去除的 BOD₅ 与 SS 的总量 W_{BOD} 和 W_{SS} (见表 5)。

表 5 极限情况下污染物去除量的比较

	$\frac{M}{\text{亿元}}$	$\frac{Q}{\text{万 m}^3 \cdot \text{d}^{-1}}$	$\frac{W_{\text{BOD}}}{\text{万 t} \cdot \text{a}^{-1}}$	$\frac{W_{\text{SS}}}{\text{万 t} \cdot \text{a}^{-1}}$
A'	38	584.6	12.80	25.82
B1	38	400.0	27.74	28.91
B2	38	292.3	20.27	21.13

表 5 的结果表明, 从尽可能多地去除污染物的角度考虑, 建设二级处理厂优于建设一级处理厂。为了取得最大的污染物去除量, 可以先建设没有污泥消化工艺的二级处理(一)污水厂, 当经济实力允许时, 再增加污泥消化处理, 但要把用地预留出来, 因为污泥最终必须得到妥善处理, 否则可能造成二次污染^[6]。

目前一些高效低耗的污水处理技术已取得较大突破, 这些技术的推广应用可以大大降低污水生物处理的费用和污泥处理处置的费用。在这种背景下优先发展城市污水二级处理是必然选择。

3 结论与建议

以上从一般意义上讨论了城市污水一级处理与二级处理的优劣, 分析表明集中有限资金, 优先发展城市污水二级处理, 更有利于去除污染物, 我国目前城市污水处理厂建设的发展趋势是合理的。当然, 在具体的水处理实践当中, 每个污水厂都有其特殊性, 由于资料的局限, 目前还无法对已有的城市污水厂

进行全面而系统的分析比较,因此,结论带有很大的局限性和片面性。对于具体的城市,在选择城市污水处理工艺时一定要具体问题具体分析,综合考虑技术、经济、环境等各种因素的影响,争取让有限的资金发挥最大的效益。

[参考文献] References

- [1] 邬扬善 城市污水处理发展近况和问题[J] 给水排水, 1995, (12): 41~44
Wu Yangshan The recent situation and problems of municipal wastewater treatment[J] Water & Wastewater Engineering, 1995, (12): 41~44 (in Chinese)
- [2] 国家统计局 中国统计年鉴 1996[M] 北京: 中国统计出版社, 1996
National Statistic Bureau China Statistic Yearbook 1996[M] Beijing: Chinese Statistic Press, 1996 (in Chinese)
- [3] 全国城市市政公用设施普查工作领导小组办公室 城市市政公用设施普查资料——综合篇[R] 北京: 建设部, 1996
Leading Group Office of the National General Investigation of Municipal Public Service General Investigation Data of the Municipal Public Service[R] Beijing: Ministry of Construction, 1996 (in Chinese)
- [4] 沈耀良, 王宝贞 论我国城市污水厂建设和处理技术的发展方向[J] 污染防治技术, 1996, 9(3): 129~133
Shen Yaoliang, Wang Baozhen Discussing of the developing trend of the construction and treatment technic of municipal wastewater treatment plant in China[J] Pollution Prevention and Cure Technic, 1996, 9(3): 129~133 (in Chinese)
- [5] 黄明明, 张蕴华 给水排水标准规范实施手册[M] 北京: 中国建筑工业出版社, 1993
Huang Mingming, Zhang Yunhua Implement Handbook of the Standards and Criterions of Water Supply and Drainage[M] Beijing: China Architecture & Building Press, 1993 (in Chinese)
- [6] 杜鹏飞, 钱易, 杜文涛 面向可持续发展的城市水环境基础设施建设[J] 城市环境与城市生态, 1997, 10(3): 39~42
Du Pengfei, Qian Yi, Du Wentao Construction of water infrastructure of city towards sustainable development[J] Urban Environment & Urban Ecology, 1997, 10(3): 39~42 (in Chinese)

Primary and secondary municipal wastewater treatment cost comparison

DU Pengfei, DU Wentao[†], QIAN Yi[†]

(School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

[†] Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: This paper analyzes whether primary treatment techniques are better than secondary techniques for treating municipal wastewater. The analysis mathematically models the costs of removing certain amounts of organic pollutants and suspended solids as criteria. The results show compared with secondary treatment, primary treatment has no advantage in the cost of removing certain amounts of organic pollutants and suspended solids and that the ratio of operation and maintenance costs for primary and secondary treatments correlates negatively with treatment scales. Therefore, considering the economic level and the environmental state of China, secondary treatment techniques are more reasonable for removing more pollutants and eliminating water pollution.

Key words: wastewater treatment; primary treatment; secondary treatment; cost

更正: 本刊 Vol 40 No. 2 中:

第 45 页图 1(a) 横坐标应为 $v/(m \cdot kmol^{-1})$;

(b) 图题应为直链烷烃的同态相图。

第 86 页收稿日期应为 1999-03-26,

第 113 页图 6 应为:

