

系列设计法建立污水处理厂的费用函数

黄楚豫

张兰生 张天柱 李京峰

(吉林省环境保护研究所)

(清华大学)

ESTABLISHING COST FUNCTION OF SEWAGE TREATMENT PLANT BY SERIES DESIGN METHOD

Huang Chuyu

(Jilin Provincial Institute of Environment Protection)

Zhang Lansheng Zhang Tianzhu Li Jingfeng

(Civil and Environmental Engineering Department,
Tsinghua University)

Abstract

In this paper we introduce how to apply series design method for establishing the cost function of sewage treatment plant, thus eliminating the difficulty of statistical regression due to lack of vast amount of practical data. The common technological process of civil sewage treatment plant in our country was adopted for the series design. While the series was classified according to the combination of the first stage and the second stage treatment of various flow capacity, therefrom the series designs for 35 combinations of flow capacity and efficiency were set up, on which the cost functions for 9 unit constructions versus flow capacity, and cost functions of sewage treatment plant under 5 situations were established by non-linear curve-fitting optimization. The cost composition and economic benefit of sewage treatment plants were also discussed and analyzed. As a generally applicable method, this procedure is effective in providing the basis for optimization programme of pollution control in environmental system engineering.

自从在我国开展水污染控制系统规划的研究以来,在实践过程中,对于如何评价水污染控制系统规划方案的经济效益是一个较为复杂的问题,由于水污染控制是一项耗费巨资的工程,迫使人们去探讨经济效益最大的规划方案。

水污染控制系统规划,可分为两大类:

一是最优规划问题,它是根据污染源、水体、污水处理厂和输水管线提供的信息,以使整个系统的目标函数最小,一次求出该系统的最佳方案;二是规划方案的模拟问题,它是用数学模拟的方法来规划方案。不管那种方案,最后都要对各种方案进行经济分析,这就需要解决投资费用和经济效益的估计问

题，因此，有必要建立费用函数。

本文试对污水处理厂费用函数、污水处理单元构筑物费用函数，以及污水处理费用指标的建立进行讨论。

一、用系列设计法求得基本的费用数据

离散的费用点是构造费用函数的依据，但要想构造连续的曲线，就需要有一定数量的有代表性的费用点。国外资料表明，大多数污水处理厂费用函数的基本数据是收集现有的投资和运行资料。也有采取标准设计法做的，如Logan做出34个标准水厂设计^[1]；Michel等人收集了1500个处理厂62-64年的运行维护费用的数据^[2]；Shah和Reid在1970年调查了500个污水处理厂的费用资料^[3]；1976年美国环境保护局还对1~100百万加仑/天水量的标准生活污水处理厂，做出50多个单元构筑物基建、运行和维护费用的曲线及图表^[4]。

我国，在1982年为了进行丹东市大沙河的水污染控制系统的优化规划，收集了90个不同类型污水处理厂资料，借以建立各行业污水处理的费用函数^[5]。

但由于我国已建成的污水处理厂较少，所收集的资料难免存在以下问题：

1.我国城市污水处理厂只有26个，且其处理规模及去除率的系列性很差，使得数据数量不足；各行业的污水处理厂虽稍多，但工艺流程各不相同，难以归类。

2.建厂时期相差悬殊，加之各地的材料差价和施工管理的取费标准不一致，因此，基建投资数据缺乏可比性。

3.我国气候条件相差较大，因此各地的污水处理厂构筑物的造价和运行费也会有所差异。

4.我国过去对污水处理厂的运行管理没有统一的规定和要求。因而缺乏完整的技术经济指标和统计资料。

5.已建成的污水处理厂中，有不少的设计投资，是笼统地包括在整个给排水工程投

资中，没有单独的概算，也很难从中划分出来。

由于存在以上问题，促使我们探索采用系列设计的方法来求得费用函数的可能性和优越性。能否作出一系列不同类型、不同规模、不同效率的污水处理厂系列设计，并按照设计概算的规定取得运行维护费和投资的大批数据。为了寻求能适合我国国情，并较为准确适用的污水处理厂费用函数，而进行了这方面的研究工作。

我们选用了我国目前城市综合性污水处理厂最常用的鼓风曝气工艺流程进行系列设计，求得各个费用，以组成下列的费用矩阵，见表1。

费用函数矩阵

表 1

Q	Q_1	Q_2	Q_3		Q_{m-1}	Q_m
η	C_{11}	C_{12}	C_{13}		$C_{1,m-1}$	$C_{1,m}$
η_2	C_{21}	C_{22}	C_{23}		$C_{2,m-1}$	$C_{2,m}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
η_{n-1}	$C_{n-1,1}$	$C_{n-1,2}$	$C_{n-1,3}$		$C_{n-1,m-1}$	$C_{n-1,m}$
η_n	$C_{n,1}$	$C_{n,2}$	$C_{n,3}$		$C_{n,m-1}$	$C_{n,m}$

注：Q为设计流量(米³/时)； η 为设计效率(%)；C为费用(万元)。

二、系列设计的方法与原则

1.系列设计的方法

我们利用82年已经审批的东北某城市17万吨/日污水处理厂扩大初步设计，按照其规模划分系列，作出设计，据以求得各系列的投资和运行维护费，为了使数据具有可比性，在设计时同一构筑物力求型式统一，设备选型一致。污水处理厂工艺流程示意图见图1。

为了使费用函数的参数估值较为精确，我们作了35个完整的系列设计，据以组合各种情况的费用矩阵，见表2、表3。

2.系列设计的原则

(1)设计只考虑处理厂内的建设项目和必要的家属住宅，而不包括厂外的给排水

污水一级处理后部分二级处理的费用矩阵

表 2

$\eta(\%)$ 系列 Q_2	Q	0	610	930	1310	2430	3900	4060	5410	6900
6900	30		35.32	38.07	41.40	51.14	64.11	68.33	77.09	90
	17		16	21	15	20	19	14	18	1
5410	30			40.31		57.04		75.10	90	
	10			24		23		22	6	
3920	30			44.24		67.28	90			
	11			26		25	7			
2430	30		45.05		62.38	90				
	12		28		27	8				
930	30		69.40	90						
	13		29	7						

污水提升后部分二级处理的费用矩阵

表 3

$\eta(\%)$ 系列 Q_2	Q	930	2430	3920	5410	6900
6900		12.14	31.70	51.12	70.55	90
		5	4	3	2	1
5410		15.49	40.44	65.21	90	
		32	31	30	6	
3920		21.38	55.82	90		
		34	33	7		
2430		34.48	90			
		35	8			

注： Q 为总水量； Q_2 为二级处理水量， η 为去除BOD₅的总去除率。（原水BOD₅浓度为180毫克/升，一级处理效率为30%；二级处理效率为90%）

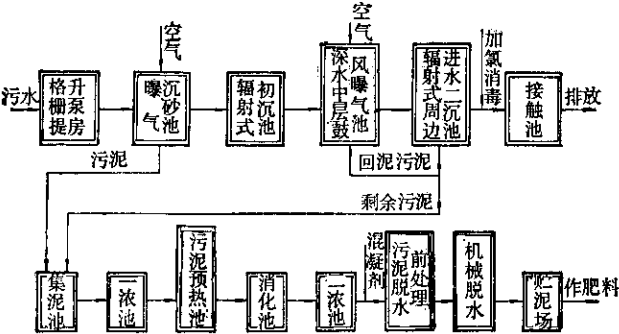


图 1 污水处理厂工艺流程示意图

管线和电气外线及其他工程。

(2) 由于各省、市的征地费不统一，且相差甚大，加之污水处理厂建设的位置和时期迥异，因而，概算取费中不包括征地费、郊区系数和土地赔偿费。

(3) 总费用为投资加十年运行费，年运行天数按365天计。

(4) 运行费中电费取为0.1元/度；锅炉用煤费是根据东北地区中温消化、采暖和浴池所需蒸汽量进行计算的。

三、参数估值与费用函数的建立

1. 单元构筑物费用函数

单元构筑物的造价根据费用点

分布的特点，采用幂函数表示

$$C_c = a + bx^d \tag{1}$$

式中 C_c ——构筑物造价（万元）。

x ——污水流量 Q 或污泥量 q （米³/时）。

我们利用 BCM-Ⅱ 微型计算机, 编制 Fortran 语言程序, 采用优化方法进行曲线拟合, 得出以下九个费用函数:

幅射式沉淀池

$$C_e = 29.15 + 0.00224Q^{1.299}$$

深水中层鼓风曝气池

$$C_e = 51.10 + 0.00121Q^{1.436}$$

方形集泥池 $C_e = 2.04 + 0.128q^{1.353}$

幅射式一浓池

$$C_e = -39.00 + 12.83q^{0.382}$$

竖流式一浓池

$$C_e = 4.52 + 0.128q^{1.968}$$

方形预热池

$$C_e = -0.84 + 2.622q^{0.675}$$

消化池

$$C_e = 14.96 + 2.631q^{1.185}$$

方形二浓池

$$C_e = 1.35 + 0.0266q^{1.391}$$

污泥脱水前处理间

$$C_e = 9.40 + 0.143q^{1.01}$$

2. 污水处理厂费用函数

污水处理厂投资 C_e 和总费用 C 的函数形式为: $C_e = K_1 Q^{K_2} + K_3 Q^{K_4} \eta^{K_4}$ (2)

我们利用 BASIC 语言, 采用梯度法对参数 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 进行估值, 得出下列函数。

第 I 种情况: 即全部污水一级处理后, 部分污水再进行二级处理。

污泥不处理时:

投资函数

$$0.798Q^{0.7645} + 2.499Q^{0.7643}\eta^{1.601}$$

总费用函数

$$2.299Q^{0.755} + 8.5Q^{0.755}\eta^{1.351}$$

全部污泥进行消化、机械脱水处理时:

投资函数

$$C_e = 3Q^{0.628} + 12Q^{0.628}\eta^{1.4}$$

总费用函数

$$C = 9Q^{0.657} + 22Q^{0.657}\eta^{1.7}$$

第 II 种情况: 即污水经泵房提升后, 一

部分直接排放, 另一部分进行二级处理, 全部污泥采用消化机械脱水处理。

投资函数

$$C_e = 4Q^{0.658} + 7.5Q^{0.658}\eta^{1.5}$$

总费用函数

$$C = 8.5Q^{0.670} + 19Q^{0.67}\eta^{1.8}$$

第 III 种情况: 即污水处理情况同 I, 但污泥采用干化场处理。

投资函数

$$C_e = 0.3Q^{0.657} + 12Q^{0.657}\eta^{1.5}$$

以上函数曲线型式见图 2、3。

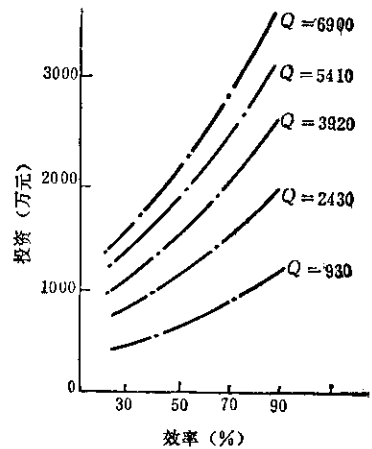


图 2 I- $C_e(C_e-\eta)$ 曲线

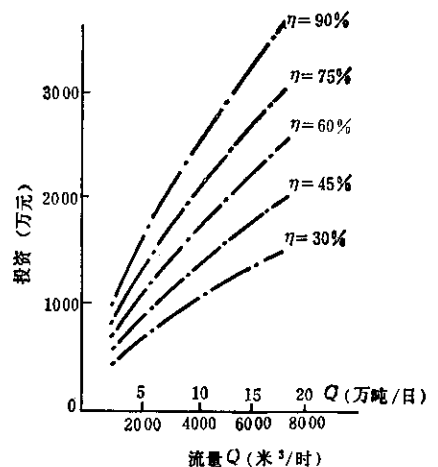


图 3 I- $C(C-Q)$ 曲线

经检验看出函数计算值与系列设计值的误差较小。见图 4 和图 5。

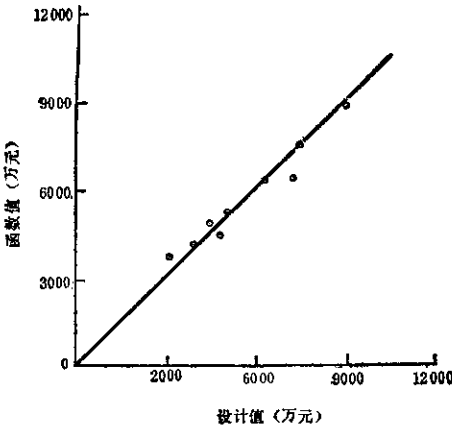


图 4 $I - C(Q=6900 \text{米}^3/\text{时})$

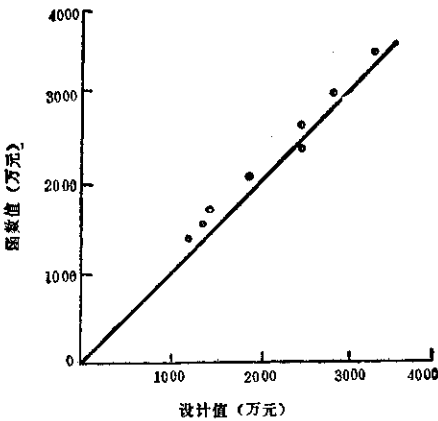


图 5 $I - C_c(Q=6900 \text{米}^3/\text{时})$

四、结论与探讨

综上所述,采用系列设计法建立我国自己的污水处理厂费用函数是完全可行的,也是比较可靠和适用的,现以北方近年投入运转的(26万吨/日)采取鼓风曝气工艺流程的城市污水处理厂为例,其设计投资为4800万元,如按第一种情况的投资函数计算,则为4569.36万元,相差4.8%,由此看出所建立的费用函数,为计划部门审批城市污水处理厂的建设规划和环境系统工程控制污染的目标函数,以及设计部门作单元构筑物的概算指标和估算投资费用等提供了科学依据。这一研究还表明:

1.我国费用函数 K_2 值在0.6~0.8之间,比国外的0.7~0.8略低,这说明污水处理厂

规模的经济效益是随着处理规模的增大,处理单位水量所需的投资和运行费用有所下降,见图6。 K_4 值在1.4~1.8之间,这说明效率的经济效益是随着污水去除率的提高,去除单位污染物的费用也有所增加,见图7。

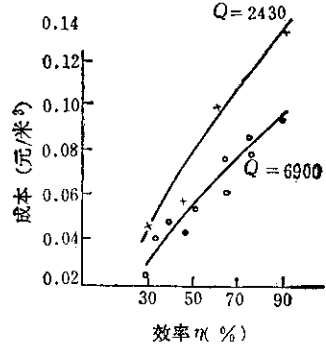


图 6 $I(\text{元}/\text{米}^3 - \eta)$ 曲线

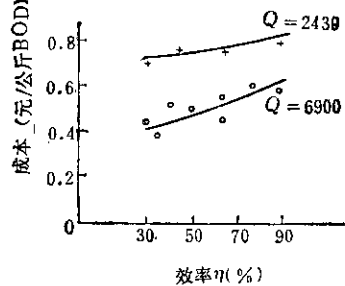


图 7 $I(\text{元}/\text{公斤BOD} - \eta)$ 曲线

2.从系列设计可求得单元构筑物的造价与流量、污泥量或容积、表面积之间的函数关系,它将为设计概算提供极大的方便,也为污水处理厂本身优化设计的目标函数提供可靠依据。

3.如果污泥采用消化机械脱水处理时,污水处理投资与污泥处理的投资比为1:1.7,运行费比为1:1,因此在设计时,污泥处理工艺流程的选择应慎重。当然,也应结合考虑污泥消化后带来的能源回收和污泥肥效对农业的经济效益问题。

4.在总投资中,直接费约占85%,间接费占15%,而在直接费中,总平面及公用工程占20~22%,辅助建筑物约占4%,宿舍约占3%。

(下转第67页)

(上接第72页)

5.运行费中,电费约占70%,而药费、氯费、煤费、人工费、运输费和未预见费仅分别占9%、5%、5%、3%、3%、5%,因此,在设计时,设备选型要特别慎重,同时,这也向环境保护部门提出了如何利用丰水期环境容量调节运行方式的节能和经济效益问题。

综上所述,由于在系列设计时考虑到我国目前和将来在污水处理事业上的发展,因此,我们所建立的污水处理厂费用函数的实

用范围一般在5吨/日到50吨/日之间,而5吨/日以下时误差较大。

参 考 文 献

- [1] Logan, J.A.et al., Jour Water Poll Control, 34(9), 860(1962).
- [2] Michel, R.L.et al., Jour Water Poll Control, 41(3), 355(1969).
- [3] Shah, K.L.and Reid, G.W., Jour Water Poll Control, 42(5), 776(1970).
- [4] WSW and EPA, Water & Sewage works, 123(9), 30(1976).
- [5] 张兰生, 环境科学情报, 2(4), 8-11(1984).