

系统论在污水厂设计中的应用

郑传宁 卞正中 李胜海 宾淮湘

摘要 打破传统的单以经验进行污水处理设计的方法,将系统中两步优化理论引入设计中,通过层次分析法论述污水厂与其它相关要素在宏观上的联系,运用动态规划对污水厂各构筑物进行微观寻优,从而使设计得到较为满意的结果。

关键词 污水处理工程;两步法优化分析;经济优化模型

中图分类号 X703

APPLICATION OF SYSTEM APPROACHES IN THE DESIGN OF SEWAGE-TREATMENT WORKS

Zhen Chuanning*, Bian Zhengzhong, Li Shenghai, Bin Huaixiang

(* Hefei University of Technology)

Abstract This article reforms the empirical design of sewage-treatment works. The two-step optimum theory is introduced, the whole relationships among the factors related to the sewage works are discussed by means of AHP, and dynamic planning is applied to seek the optimum design of the structures of the sewage works.

Key words sewage-treatment project, two-step optimum analysis, economical optimum model

一个城市,一个工业区或一个水系,其污水处理设施的建造和运行,是防止水环境污染、保护水资源的关键工程。由于二级污水处理厂的基建和运行费用昂贵,已成为沉重的财政负担,因此,有必要对污水处理方案进行优化设计。即选择在经济、环境及社会三方面收益较好的方案,这个方案应具有:污水处理设施的基建、运行、维修和总费用最小;去除污染的效率较高;总体环境和社会效益较优。

建立“经济优化模型”必须考虑运行稳定性、处理效果、占地面积、对环境的影响、管理费用、建设和运行费用,故采用两步法对系统进行优化设计。第一步,根据经验知识,在可靠性、进度和成本等方面对系统性能的不同数值进行综合比较,即折衷平衡,获得一个粗略的问题解的“可行域”;第二步,在计算机上建立模型,对某个性能准则和已知的约束条件,寻求具有多个相互作用的输入量、输出量的最佳设计,以获得精确的分析解。按照这个过程,并用简明的逻辑方法来确定系统参数,这样既避免个人的主

观臆断和偏见, 又将人为判断与计算机解相互校核, 以对有关因素进行较全面的分析。

1 污水处理总体方案的确定

污水处理厂作为城市排水体制的一个单元, 其污水处理效果不但与城市总体规划(主要考虑给水厂源的位置)、排放流量、水位特征值、水质污染情况、城市自然地理条件、气象条件(如风向、冰冻、地下水位、地质)、主要的工业排水量、水质以及污染源的位置、当地污水灌溉及回用的情况等因素有关, 而且与给水系统、工艺的进步程度、城市绿化、相邻城市的用水情况等有关。

污水处理方法有多种, 其对应的流程也是多种, 相应的造价、运行费用以及所产生的效益当然也各不相同。这些方法按污水处理的深度大致分为一级处理、二级处理和三级处理。其作用如下:

- (1) 一级处理主要去除污水中的悬浮物 SS 和泥砂;
- (2) 二级处理主要去除污水中的 BOD₅、COD 等;
- (3) 三级处理(又称深度处理)是为满足某些特殊要求所进行的处理及回收污水中可用物质。例如将二级处理的出水回用于工业冷却水, 按二级处理中降解 BOD₅ 的方法又可分为活性污泥法和膜法。

如图 1 所示, 从污水处理工艺可见污水处理总体方案确定是一项很复杂的工程, 涉及的信息量大。例如污水回用与否, 膜法还是活性污泥法, 可运用分析法按照效益与代价的准则和因素, 采用系统

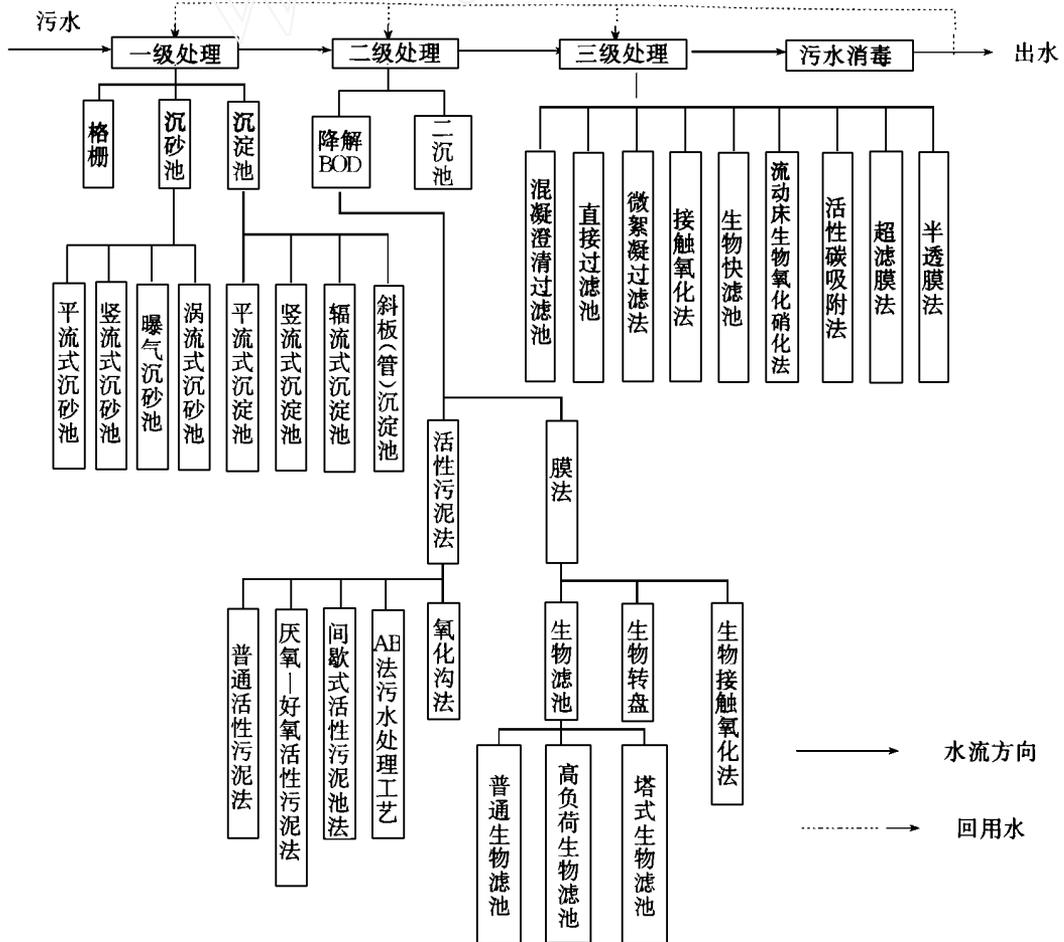


图 1 污水处理工艺一览表

的现状和动态趋势进行资料分级,请专家评判定分以求得各准则权重排序,按效益/代价的最大优化原则对备选方案进行层次分析模型运算,从而列出方案优化排序。污水厂处理方案选择模型见图 2,这样可综合考虑各方面的因素,避免因近期规划与远期规划的脱节而造成资金积压或重复建设。为了便于下面讨论,假设选择的工艺是由活性污泥法构成二级处理,并进行三级处理,出水回用于工业冷却水或进行土地灌溉,并回用于各构筑物。

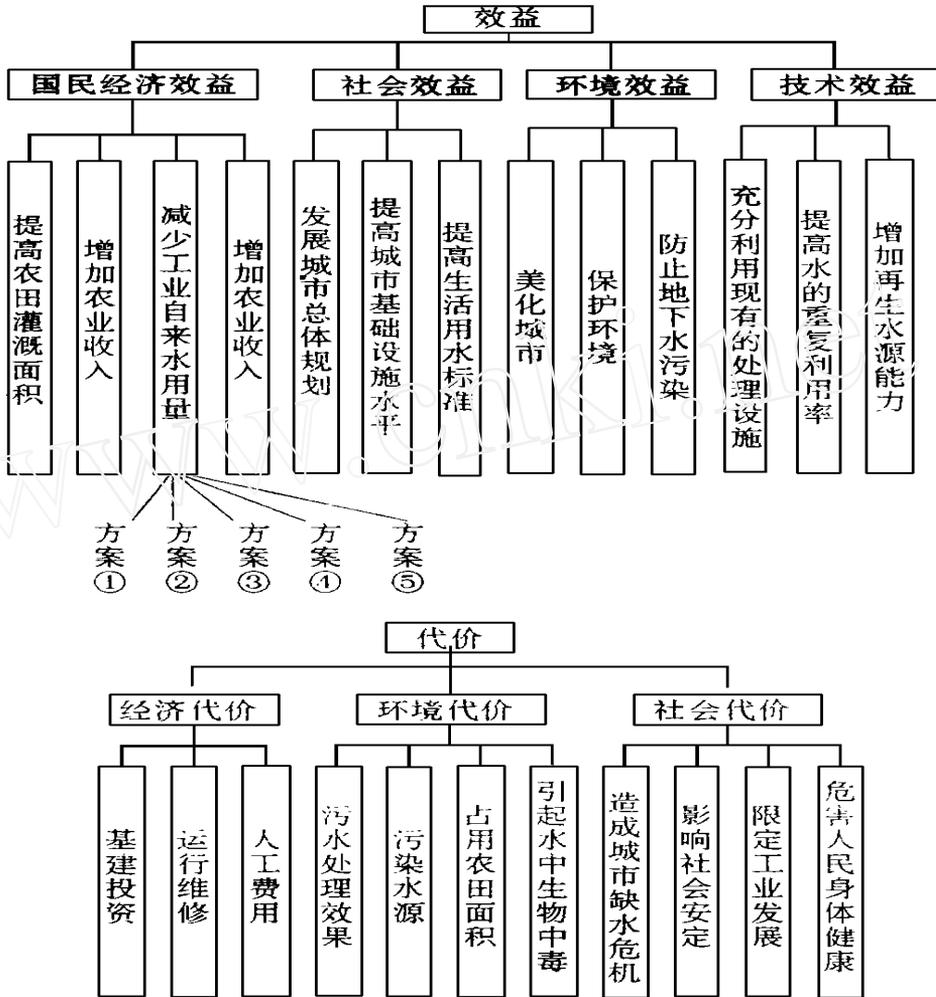


图 2 污水处理方案选择模型

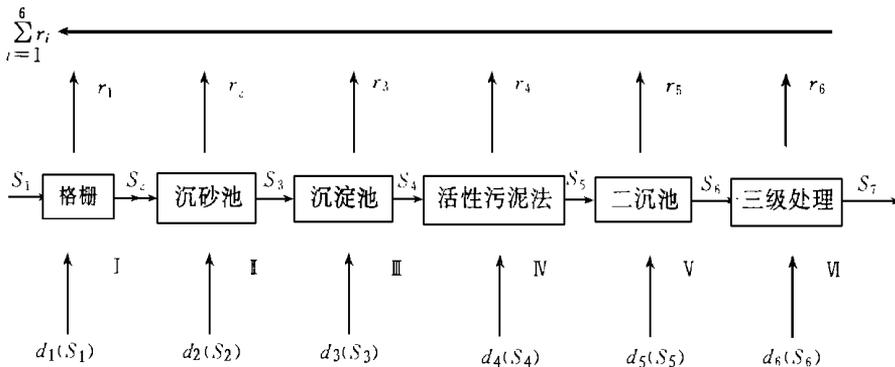
2 处理构筑物的选择和设计

污水处理厂包括泵站、格栅、沉砂池、初次沉淀池、降解BOD₅的设施、二沉池以及三级处理设施,它们之间相互作用,相互影响,共同决定着出水水质情况。其处理过程按照由易到难、循序渐进的原则,以确定大致的污水流向,但是从图 1 中可以看出每一种方法有许多可供选择的方案。例如三级处理技术,其去除的污染物情况见表 1,根据处理水的水质情况,选择有限个可采用的方案决策,构成决策集合 D。选择处理流程 I、II、III、IV、V 构成决策集合,同理,可以确定污水处理厂每个要素的决策集合。

表 1 各种三级处理技术可去除污染物

污染物处理流程	SS	浊度	BOD ₅	COD	TN	TP	色度	臭味	细菌
I 混凝澄清过滤法				-	-		-	-	-
II 直接过滤法				-	-	-	-	-	-
III 微絮凝过滤法	-			-	-		-	-	-
IV 接触氧化法				-	硝化	-	-	-	-
V 生物快滤池					-	-			-
VI 流动床生物氧化				-	硝化	-	-	-	-
VII 活性炭吸附法	-	-							-
VIII 超滤膜法	-	-		-	-	-	-	-	
IX 半透膜法	-	-							

系统论建立模型的方法有多种, 对于确定性数学模型有线性规划、非线性规划和动态规划 3 种方法。现采用动态规划来建模, 建立的数学模型为



其中 S —— 表示水中的水质情况, 如 BOD、COD、SS、TP、TN、细菌等指标

S_1 —— 表示污水厂进水的水质情况, 取定值

S_7 —— 表示污水厂出水的水质情况, 取定值

$d_n(S_n)$ —— 表示 n 阶段 (即工艺流程中的第 n 步), S_n 状态 (即 n 阶段构筑物进水的水质情况) 下选择何种具体的构筑物类型, $d_n(S_n) \in D_n(S_n)$

$D_n(S_n)$ —— 决策集合

r_n —— 表示 n 阶段的指标函数

上述 r_n 指该阶段所需的成本, 包括造价 (主要指工程、土建、配管以及设备费用)、动力费、药剂费、工资福利费、折旧提成费 (包括折旧 2.5%, 大修 1.7%)、检修维修费、其它行政管理、辅助材料、污水和污泥综合利用费等。

状态转移方程: $S_{n+1} = G_n(S_n, d_n)$

目标函数: $M \ln R = \sum_{n=1}^6 r_n(S_n, d_n)$

约束条件: $S_1 \quad S_2 \quad S_3 \quad S_4 \quad S_5 \quad S_6 \quad S_7 \quad 0$

由以上的数学模型, 根据贝尔曼最优原理, 可逐级递推进行优化计算。设 N 阶段为污水处理厂的出

水前阶段,即最后一个处理工艺,用 $f_n(S_n)$ 表示第 n 阶段,在 S_n 进水的水质状态下,将 $n \sim N$ 的子过程的指标函数分成两部分:面临的 n 阶段和其后部余留的子过程。

在工艺流程第 n 阶段的决策集合 D_n 中任选一个决策方案 d_n ,通过计算可得本阶段的指标函数 $r_n = r_n(S_n, d_n)$,再根据状态转移方程得到第 n 阶段末的状态,即下一阶段的初始状态,也就是第 n 阶段的出水水质和第 $n+1$ 阶段的进水水质。

n 阶段后部余留的子过程必然嵌套 S_{n+1} 的最优过程,即 $(n+1) \sim N$ 的最优指标函数 $f_{n+1}^*(S_{n+1})$ 。因为整体的最优必然是由局部最优构成的,所以, $f_n(S_n) = r_n(S_n, d_n) + f_{n+1}^*(S_{n+1})$ 。

由 n 阶段的决策集合 D_n 中的各个决策变量 d_n ,可得到若干个 r_n ,从而得到若干个 $f_n(S_n)$,选取其中最优的指标函数方案,作为 $n \sim N$ 的最优策略函数值 $f_n^*(S_n)$ 。即

$$f_n^*(S_n) = \underset{d_n \in D_n}{OPT} \{ r_n(S_n, d_n) + f_{n+1}^*(S_{n+1}) \}$$

这就是所谓的动态规划递推方程。

由于 S_{N+1} 为出水的水质,是一个定值,故可令 $f_{N+1}^*(S_{N+1}) = 0$ 。这样可以由最末一个子过程的最优指标函数和策略逐级向前递推,其具体递推过程如下:

$N = 6$

$$f_6^*(S_6) = \underset{d_6 \in D_6}{OPT} \{ r_6(S_6, d_6) + f_7^*(S_7) \} = \underset{d_6 \in D_6}{OPT} \{ r_6(S_6, d_6) \} \quad (\text{对应有最优 } d_6^* \text{ 决策})$$

$$f_5^*(S_5) = \underset{d_5 \in D_5}{OPT} \{ r_5(S_5, d_5) + f_6^*(S_6) \}$$

.....

$$f_1^*(S_1) = \underset{d_1 \in D_1}{OPT} \{ r_1(S_1, d_1) + f_2^*(S_2) \} \quad (\text{对应有最优 } d_1^* \text{ 决策})$$

$$\text{注意: 一般不能写 } f_{n-1}^*(S_{n-1}) = \underset{d_{n-1} \in D_{n-1}}{OPT} \{ r_{n-1}(S_{n-1}, d_{n-1}) \} + f_n^*(S_n)$$

因为 S_n 对应于不同污水处理工艺流程而不相同,处理的前后两步都是相互关联的,呈链状。只有当前后两步关联度很小,各阶段的 S_n 都是定值或变化范围很小时,才能

$$f_{n-1}^*(S_{n-1}) = \underset{d_{n-1} \in D_{n-1}}{OPT} \{ r_{n-1}(S_{n-1}, d_{n-1}) \} + f_n^*(S_n)$$

然后从第一阶段再向后回代,得 $(d_1^*, d_2^*, \dots, d_6^*)$,也就得到了最优策略,这时污水处理厂的总成本最小,从而得到较为满意的设计。

另一方面,各构筑物自身也是一个独立的系统,其中各元素以不同的方式组合便有不同的处理效果。例如厌氧—好氧活性污泥法,若以水中溶解氧的浓度DO为结合方式,可分为厌氧—好氧活性污泥法、绝氧—好氧活性污泥法、绝氧—厌氧—好氧活性污泥法。第一种可脱氮;第二种可除磷;第三种是前两种的综合。

参 考 文 献

- 1 黄梯云主编 管理信息系统导论 北京:机械工业出版社,1997
- 2 姚德民,李汉铃,胡运权 系统工程实用教程 哈尔滨工业大学出版社,1984
- 3 王宝贞主编 水污染控制工程 北京:高等教育出版社,1990

(责任编辑 吕杰)