

设计经验

用遗传算法实现污水管网的优化设计

伊学农^{1,2}, 刘遂庆¹, 周 琪¹

(1. 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 山东建筑工程学院 环境工程学院, 山东 济南 250014)

摘 要: 提出用遗传算法优化大中型污水管网的设计, 并与节点递归算法相结合, 既满足了污水管网系统内部节点的水力衔接, 也保证了管网系统的全局优化。遗传算法具有只需目标函数值而无需导数等信息的优点, 并能从全局出发对管网水力参数进行优化, 达到费用最低的目标。结合中型污水管网的优化设计, 确定了遗传算法的运行参数。

关键词: 遗传算法; 污水管网; 优化设计

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2005)05-0047-04

Optimization of Design for Sewer Network by Using Genetic Algorithm

YI Xue-nong^{1,2}, LIU Sui-qing¹, ZHOU Qi¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. School of Environmental Engineering, Shandong Institute of Architecture Engineering, Jinan 250014, China)

Abstract: Use of genetic algorithm to optimize the design for medium- and large-scale sewer network in combination with the node recursive algorithm is presented. The method can satisfy the requirement for joining hydraulically the nodes within the network, and achieve the overall optimization of the network. Genetic algorithm needs only the objective function values and needs not the derivatives, and can optimize the hydraulic parameters of the whole network, so as to attain the target with the lowest cost. The operating parameters of genetic algorithm are determined based on the optimization design of medium-scale sewer network.

Key words: genetic algorithm; sewer network; optimization design

遗传算法用于污水管网的优化设计研究已有论述, 但针对大中型污水管网系统进行应用还很少, 尤其直接用于实际城市污水管网系统的优化设计更为少见, 笔者以中型城市的污水管网为例, 结合节点递归算法^[1]和坐标轮换法, 经实例验证遗传算法应用于污水管网优化设计是可行的, 满足工程要求, 并与其他方法比较可获得更为低廉的投资方案。

1 优化数学模型

污水管网设计优化属于非线性目标函数的优化问题, 特别适合用遗传算法进行优化。污水管网系统设计优化的目的是在满足规范规定的基础上, 使整个污水管网在其服务年限内基建投资和经营费用现值的总和为最小。采用如下形式的费用函数:

$$\min F = \left[\sum_{i=1}^m (k_1 + k_2 H + k_3 H^2 + k_4 D_i H + k_5 D_i + \right.$$

$$k_6 D_i^2 + k_7 D_i^3) l_i + \sum_{j=1}^n C_{pj}] +$$
$$K (\sum_{j=1}^n O_{pj}) \tag{1}$$

$$f = \frac{\text{Penalty}}{F} \tag{2}$$

式中 F ——管网费用,元
 D ——管径,m
 H ——管道埋设深度,m
 l_i ——管网中管段长度,m
 K ——经营费折算成现值的系数
 Ω_D ——实际可得管径系列
 C_{pj} ——各泵站单价,元/座
 O_{pj} ——各泵站经营费,元/(座·a)
 $m、n$ ——分别为管段数和泵站数
 $H_{\min}、H_{\max}$ ——最小和最大埋深
 $k_1、k_2、\cdots、k_7$ ——地方性系数和指数

2 优化算法设计

遗传算法要求必须对所求参数进行编码处理和对目标函数进行适应度函数转换处理,并根据转换后的适应度函数的大小模仿生物进化过程,通过对参数编码的选择、交叉、变异等操作,逐步达到目标函数的最小值。

2.1 可行管径集与编码

污水管网设计的遗传优化算法是在可行管径集的基础上进行的,根据管网中各设计管段的设计流量,用节点递归方法对管网进行水力计算,获得管网的初始管径,然后以此管径为准,向前后分别找出两个管径,确定各相应管段的可行管径取值范围,在遗传算法计算过程中,管径的初始化、选择、杂交和变异等操作,管径的取值均在此可行集范围内,这样就保证了遗传算法的运行速度和绝对收敛。

遗传算法中参数的编码采用可行管径集的十进制整数编码,长度与管段数相同,这样不仅提高了计算速度,而且存在最优群体规模^[2],为在大中型管网优化设计中使用遗传算法奠定了基础。

2.2 适应度函数

遗传算法的遗传操作不是直接采用目标函数值,而是通过适应度来实现。上述管网优化的目标函数数学公式中包含了若干显式和隐式因素,在用遗传算法进行优化时,需要将目标函数值 F 转换为适应度函数值 f ,并且使目标函数值最小作为优化的目标,研究采用下式的转换方式,这样就保证了适应度值 f 越大越好和遗传操作的正确性。在设计中考虑充满度惩罚 Penalty,对不符合充满度条件或充满度较小的设计管段进行惩罚。

2.3 算法及实现

遗传算法对污水管网优化的实质是随机搜索技术,根据一定规则(如选择、交叉、变异等)对管径进行操作,然后按照确定的各设计管段的管径,调用水力计算模块进行水力计算,并通过适应度函数值对目标函数(即工程造价)进行操作,最终搜索出最佳管径组合,使造价最低。污水管网系统遗传算法优化设计计算步骤如下:

- ① 计算各设计管段的设计流量,并据此进行水力计算,确定各设计管段的可行管径集;
- ② 随机产生遗传操作中的初始代群体,采用十进制整数对管径系列进行编码,初始群体的位数与管段数相同;
- ③ 解码求出各设计管段设计管径的浮点数数值,并调用节点递归水力计算模块进行水力计算,计算出各设计管段的水力参数,同时求出整个管网的工程造价,由于遗传算法中有 Max 个个体,因此通过计算可以得到 Max 个可行设计方案;
- ④ 评价适应度函数值,将管网造价之目标函数数值转化为遗传算法操作中的适应度函数值;
- ⑤ 采用比例选择法进行选择,并通过单点交叉和变异等操作产生下一代群体;
- ⑥ 如果达到停止条件,输出优化结果后停止,否则,转③继续。

根据上述算法,用 Delphi6.0 编写了污水管网遗传算法优化计算程序。程序中用到的管网数据采用数据文件的形式输入。管网的流量和水力计算遵循国家有关规范的规定,同时设计方便、灵活。为了验证算法在污水管网优化设计上的可行性,选择了山东省一个中型城市的部分污水管网作为实例,该部分污水管网由 197 个管段组成,管道总长度为 75.5 km,管网所在城区有较大的地面坡度变化,变化范围为 $-10\% \sim 30\%$,但从计算结果看是令人满意的。

3 管网遗传优化运行参数分析与确定

遗传算法运行参数的大小决定着遗传算法的运行性能。需要确定的运行参数主要有群体规模 M 、交叉概率 P_c 、变异概率 P_m 、终止代数 T 等。

以上述污水管网作为研究对象,以管网的造价为目标,分别对群体规模、交叉概率、变异概率、终止代数等运行参数进行了研究和确定。根据遗传算法的理论和以往的计算结果,首先确定终止代数为 $T = 2\,000$,然后在此基础上对其余三个参数进行计算

测试,各参数测试取值范围如下:群体大小 $M=20$ 、40、70、100;交叉概率 $P_c=0.4、0.5、0.6、0.7、0.8$;变异概率 $P_m=0.002、0.004、0.006、0.008、0.01、0.02、0.04、0.06、0.08$ 。为此,依据上述假设的取值范围,作了大量的运行计算,图 1~3 为其中一部分结果,并且包括最好目标函数值为 1 816.845 7 万元的结果。

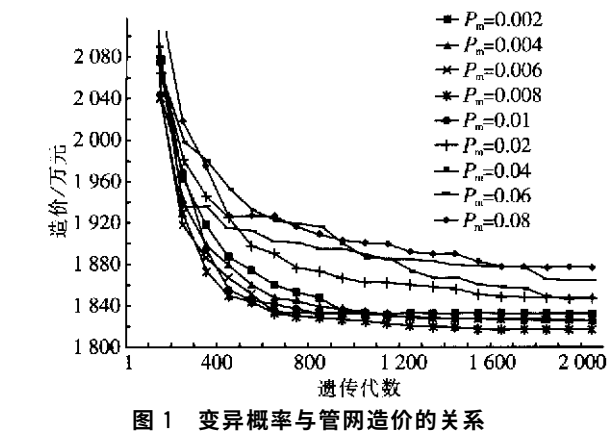


图 1 变异概率与管网造价的关系

Fig. 1 Relation of network cost to probability of mutation

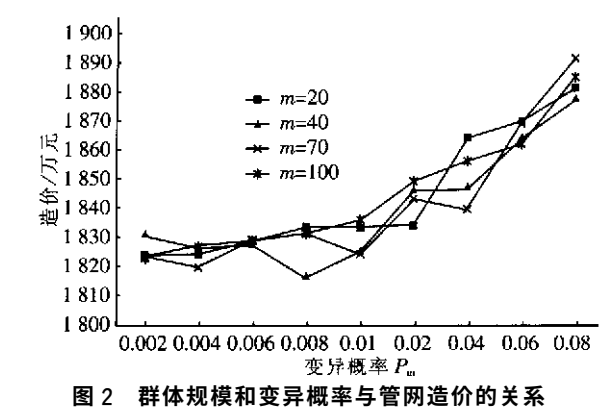


图 2 群体规模和变异概率与管网造价的关系

Fig. 2 Relation of network cost to probability of mutation and population size

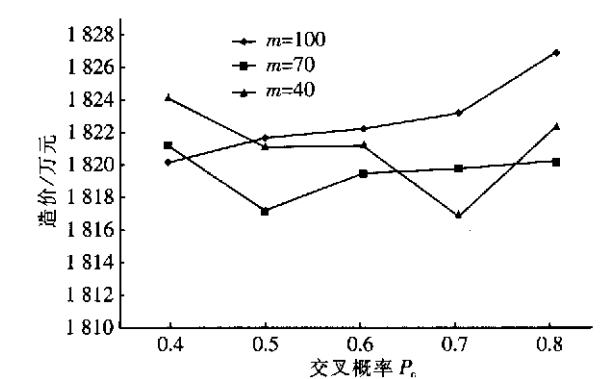


图 3 交叉概率与群体规模对管网造价的影响曲线

Fig. 3 Curve of network cost to crossover rate and population size

① 终止代数 T 是表示遗传算法运行结束条件的一个遗传参数,当运行到该代数时,遗传算法结束运行,并将当前群体中最佳个体作为所求问题的最优解输出。从图 1 还可以看出,当遗传代数 $>1\ 600$ 代时优化的结果已经基本达到满意解,因此在设计应用中可确定遗传代数为 $1\ 600\sim2\ 000$ 。

② 变异概率 P_m 决定了遗传个体的多样性。若变异概率取值较大,虽然能够产生出较多的新个体,但也有可能破坏掉很多较好的模式,使得遗传算法的性能近似于随机搜索算法的性能;若变异概率取值太小,则可能导致变异操作产生新个体的能力与抑制早熟现象的能力较差。由图 1、2 可以看出,在群体大小 $M=40$ 、交叉概率 $P_c=0.7$ 、终止代数 $T=2\ 000$ 代的情况下,当 $P_m\geq0.02$ 时目标函数的值明显增大,并随着变异概率的增大则其结果越来越大,这与其他运行计算结果是吻合的。由此可以得出较好变异概率范围为 $0.002\sim0.01$ 。

③ 群体规模 M 表示群体中所含遗传个体的数量,影响到遗传算法的最终性能和效率。由图 2 可知,当 $M=20$ 时,该曲线随着变异概率的增大而出现上升的趋势,属于不稳定的趋势,因此当 $P_m=0.002\sim0.1$ 时,结合图 3 和其他交叉概率下的计算结果与关系曲线,确定 $M=40\sim70$ 。

④ 交叉概率 P_c 是遗传算法中产生新个体的主要方法,所以交叉概率一般应取较大值,但是若取值过大,会破坏群体中的优良模式,对进化运算反而产生不利影响;若取值过小则会影响产生新个体的速度。从图 3 可以看出,在 $P_c=0.4\sim0.8$ 和 $P_m=0.002\sim0.01$ 的范围内,当 $M=100$ 时其造价曲线随着交叉概率的增大而增大,呈上升趋势,再次说明群体规模不宜大于 100;当 M 为 40 和 70 时,交叉概率与造价的关系曲线为上下波动,并分别在不同的交叉概率值达到最低值,因此在此范围内,可以确定 $P_c=0.4\sim0.7$ 。

4 结论

根据所设计的算法和程序,通过对中型城市的污水管网系统的遗传算法优化计算分析,认为结合节点递归算法将遗传算法用于城市污水管网的优化设计是可行的,可获得较为满意的结果,并得出以下规律:①不管其他遗传参数设置如何,较高的变异概率都会使管网优化的性能降低,一般不宜高于 0.01;②在小规模群体时(如 $M=40$)高交叉概率与

低变异概率相结合可以得到较好的效果;③对于中等规模的群体(如 $M=70$),最优交叉概率出现减小的现象,因此在实际应用中可采用 $M=40\sim70$ 、 $T=1\ 600\sim2\ 000$ 、 $P_c=0.4\sim0.7$ 、 $P_m=0.002\sim0.01$,并针对不同的群体规模,取不同的交叉概率和变异概率,以获得较优的管网优化结果。经与传统设计方法比较,该方法可以节省 $8\%\sim25\%$ 的工程投资,具有明显的优化效果。

参考文献:

[1] 伊学农,刘遂庆. 污水管网优化的节点递归算法[J]. 中国给水排水,2002,18(10):58—60.
[2] 孙艳丰,王众托. 自然编码遗传算法的最优群体规模[J]. 信息与控制,1996,25(5):317—320.

E-mail:yijack@hotmail.com jackyi@126.com

收稿日期:2004—10—26

· 技术交流 ·

嘉兴城市雨水利用途径探讨

城市雨水利用方法主要有完全渗透性排水、部分渗透和部分收集排放、部分收集利用和部分渗透等。北方缺水干旱地区雨水资源利用的出发点是为了解决旱季用水问题,所以它以收集利用为主,渗透、排放为辅。而嘉兴市雨水利用的方法应不仅着眼于开发水资源的新途径上,更多的还应从缓解城区雨水洪涝灾害和减少地面沉降等方面来考虑,所以可采取以渗透为主、排放和利用为辅的方法。结合当前嘉兴城市建设进程及嘉兴城市的气候、水文、地质等情况,雨水渗透设施可采用渗透地面、绿地、渗透管和渗透池等。

① 渗透地面

渗透地面可采用多孔沥青及混凝土地面或草皮砖,一般用于停车场、人流量较少的道路及人行道,特别适用于居民小区。

② 绿地

当前嘉兴城市建设正以“生态嘉兴”为目标,大力开展绿化造林工作,2003 年市区新增绿地面积约 524.6 hm^2 ,人均公共绿地面积达 12.3 m^2 。如城区内原先的公园、苗圃、草坪等现有绿地都能按入渗场地来接纳居民区和道路上的雨水径流,则雨水入渗量就可加大,但早先的规划设计未考虑雨水渗透利用,现在要改造则工作量太大,这个设想不可能实现。但在规划新开发区或旧城改造区时,可将未建绿地设计成为缓坡下凹式绿地,具体做法是:设计和建造时合理调整路面高程、绿地高程、雨水口坎高程的关系,使路面高程高于绿地高程,雨水口设在绿地内,而且雨水口坎高程高于绿地高程而低于路面高程,这样就可形成下凹式绿地,降雨后的雨水径流可流入绿地,经绿地蓄渗后多余的雨水径流再从雨水口流走。下凹式绿地的设计最使人担心的是植被被淹问题,但北京市科学研究所和园林所曾联合开展高、平、低于路面不同形式草坪的蓄雨入渗试验和常用观赏草种的耐淹试验表明:城区土质入渗能力一般较好,遇雨强 $>150\text{ mm}$ 的暴雨时基本上不积水或积水时间很短,而且一般植物耐淹时间为 1~3 d,所以可以接纳一些路面雨水,同时提倡多种植一些允许短期淹没植物,如耐淹的早熟禾、野牛草等草种。由此可知,合理降低绿地高程、加大坎高、选择较耐淹的草种,就可以使绿地尽可能多地滞蓄汛期雨水。

③ 渗透地、渗透管

由于嘉兴雨量较大,一般还需考虑收集、排放设备,渗透池、渗透管既可作渗透设备,又可兼作收集、排放设备,根据具体工程条件也可将各种渗透装置进行组合,如在一个小区内可将渗透地面、绿地、渗透池和渗透管等组合成一个渗透系统。超出其渗透能力的雨水通过渗透管、渗透池收集利用,用于浇洒道路、绿化或作为小区景观用水。在汛期雨量更大时,则利用嘉兴众多的河道和原有的管道进行直接排放。

(嘉兴学院机电与建筑工程分院 戚玉丽 吕秀杰 嘉兴市规划管理处 倪晓荣)