# 利用 NSGA - 算法求解供水管网优化改造模型

## 金 溪<sup>1</sup>,高金良<sup>1</sup>,张 杰<sup>1</sup>,王 芳<sup>2</sup>

(1. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院,哈尔滨 150090;2 武汉市城市规划设计研究院,武汉 430017)

摘 要:为提高供水管网优化改造模型的客观性,给出更合理的优化结果,对供水管网改造单目标优化模型进行适当处理,将水力约束条件转化为独立的目标函数,建立供水管网改造多目标优化模型.利用面向 多目标优化问题求解的非控制排序遗传算法 - II(NSGA - )求解多目标管网优化改造模型.通过算例验证,算例管网中低压节点问题、管段负荷过大问题、管段改造投资问题,由于都作为目标函数进行求解,给 出综合考虑三方面问题的优化结果.通过多目标建模思想以及面向多目标问题优化算法(NSGA - II)的引入,解决单目标模型无法描述管网改造为多目标问题的矛盾,克服采用权重系数或惩罚函数带来的不确定 因素.并通过引入人工诱导基因变异算子,加快种群向可行解域的收敛速度,提高算法的收敛速度,而且改 善解的合理性.

关键词:供水管网;优化改造;非控制排序;遗传算法;人工诱导变异 中图分类号: TU991.33 文献标识码:A 文章编号: 0367 - 6234(2008)12 - 1969 - 08

### Optimal rehabilitation model of water supply network with non-dominated genetic algorithm - II

 $J \mathbb{N} X_1^{i}$ , GAO J in-liang<sup>1</sup>, ZHANG J ie<sup>1</sup>, WANG Fang<sup>2</sup>

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2 Wuhan Academy of Urban Planning & Design, Wuhan 430017, China)

**Abstract:** To improve the objectivity of rehabilitation model for water supply network and provide more feasible solutions, a multi-objective rehabilitation model was developed by transforming the hydraulic constraints of the single objective model into objective functions, and the non-dominated sorting genetic algorithm - (NS-GA - II) was used to solve the developed model. The test on a case of water supply network shows that a solution satisfied with all objectives can be obtained by considering the low pressure node, high load pipe and rehabilitation cost as objectives of rehabilitation model. The introduction of multi-objective concept and multi-objective oriented algorithm (NSGA - ) into the solving process of rehabilitation problem for water supply network overcomes the conflict between the rehabilitation model with one objective and that with multi-objectives, which avoids the uncertainties brought by using weight coefficients or punish functions. The introduction of artificial induction gene mutation operator accelerates the convergence speed of population, thus improves the convergence speed, which proves the feasibility of the method

Key words: water supply network; optimal rehabilitation; non - dominated sorting; genetic algorithm; artificial inducement mutation

供水管网优化改造问题涉及因素众多,是一 个离散变量的非线性多目标优化问题<sup>[1]</sup>. 解决该 问题的建模思想主要包括:管段改造决策模型、优

收稿日期: 2007 - 04 - 19. 基金项目: 黑龙江省自然科学基金资助项目 (ZIG0503). 作者简介: 金 溪 (1978—),男,博士研究生. 先排序改造模型及优化改造决策模型<sup>[2]</sup>.目前比 较常用的建模思想有:以管网水力工况最优为目 标以改造成本为约束<sup>[3]</sup>;以改造成本最小为目标 以管网水力工况为约束<sup>[4]</sup>等.还有的模型将该问 题抽象为多目标优化模型<sup>[5-6]</sup>.

(8)

### 1 供水管网优化改造模型的建立

目前常用的供水管网优化改造模型采用改造 费用年成本及运行费用年成本作为目标函数,管 网水力条件作为约束,根据上述思想,供水管网优 化改造数学模型如下<sup>[7]</sup>.

1.1 目标函数

m in 
$$W = \left( P + \frac{m}{100} \right)_{i N} (a + bD_i)L_i +$$
  
 $3.58 \sum_{i=1}^{3} (r_i E_i T_i) \frac{H_{i j} Q_{i j}}{p_{N_s} - p_{i j}} (1)$   
 $P = \frac{I_c (1 + I_c)^T}{(1 + I_c)^T - 1} (2)$ 

式中:P为管网造价动态折算系数;m为大修基 金提存率,%;N为改造管段集合;b,为管线造 价公式中的系数; $D_i$ 为管段 i的管径;L为管段长 度;L为基准收益率,%;i为用电 i期供水能量 变化系数; $E_i$ 为用电 i期电费价格, $\pi/(kW \cdot h);$  $T_i$ 为用电 i期供水时间,h; $N_s$ 为泵站个数集合;  $H_{ij}$ 为第 j个泵站机组,用电 i期扬程,m; $Q_{ij}$ 为第 j个泵站机组,用电 i期泵站效率,%.

i = 1,表示用电高峰期,
 2,表示用低峰峰期,
 3,表示用正常峰期.

1.2 约束条件

连续性方程:

$$Q_i - q_{ij} = 0, (i = 1, 2, ..., n).$$
 (3)

式中: $Q_i$ 为在节点 i输入(+)或输出(-)的节点 流量,m<sup>3</sup>/s;  $q_i$ 为由节点 流向节点 的管段流量, m<sup>3</sup>/s,  $q_{ij} = -q_{ji}$ ; n为管网的节点总数;  $V_i$ 为与节 点 i相邻的节点集合.

能量平衡约束:

能量方程是指管网中每一环各管段水头损失 代数和为零.

$$(h_{ij})_1 = 0,$$
  
 $(h_{ij})_2 = 0,$   
 $\dots$   
 $(h_{ij})_l = 0$   
(4)

其中 1,2,..., *1*为管网中基环号. 节点水压约束:

> $H_{jmin}$   $H_j$   $H_{jmax}$ , j J. (5) 管段流速约束:  $V_{min}$   $V_i$   $V_{imax}$ , i P. (6)

管径规格约束:

d<sub>i</sub> D = {D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, ..., D<sub>z</sub>}. (7)
 式中: H<sub>i</sub>为节点<sub>j</sub>的水压; J为管网节点集合; V<sub>i</sub>
 为管段 i的流速; P为管网管段集合; d<sub>i</sub>为管段 i
 的管径; D为可选管径规格的集合.

通过模型方程可以看出该模型只有一个目标 函数,就是经济性目标函数,而管网的水力条件都 作为约束条件体现在模型中,在求解过程中将约 束条件通过权重系数或惩罚的方法和并入目标函 数,从而达到考虑约束条件的寻优目的.经过加入 权重系数或惩罚函数后目标函数的一般形式 如下:

$$\min W = \left( P + \frac{m}{100} \right)_{i N} (a + bD_i) L_i + 3.58 \left( r_i E_i T_i \right)_{j N_s} \frac{H_{i j} Q_{i j}}{j N_s} + P_h \cdot H + P_j \cdot J.$$

其中: *P<sub>h</sub>*为管段流速约束条件对应的惩罚函数或 权重系数; *H*为管段流速约束条件计算值; *P<sub>j</sub>*为 节点水压约束条件对应的惩罚函数或权重系数; *J*为节点水压约束条件计算值.

这种方法使得传统最优化求解方法可以用来 求解该模型.但缺点是权重系数或惩罚函数的设 计成了模型求解过程中一个重要的因素,如果选 择不当将会对结果产生不良影响.并且传统求解 方法在搜索广度方面也有欠缺.为了克服这种做 法带来的负面影响,最好的办法是通过对优化改 造模型的改造使其成为真正的多目标优化模型, 然后利用多目标模型求解方法对其进行求解.

#### 1.3 目标函数的改造

目标函数改造的思想是,将传统求解过程中 通过权重系数或惩罚函数方法加入目标函数中的 约束条件,独立出来,作为目标函数.所以,涉及改 造的约束条件包括管道流速约束以及节点水压约 束.水力约束条件改为目标函数后形式如下,管段 流速目标函数:

min 
$$W_2 = \prod_{i=1}^{N} (P_i \cdot \text{const} + EVV).$$
 (9)

式中: *N* 为改造管段集合; *P<sub>i</sub>* {0,1},如果管段 在经济流速范围内则 *P<sub>i</sub>*为 0,否则为 1; const为常 量,本论文中取 10; *EVV* 为管段流速超出边界值 部分的数值.

管网节点压力约束条件改为目标函数后形式 如下,管网节点压力目标函数:

$$\min W_3 = \int_{j=1}^{\infty} (J_j \cdot \operatorname{const} + EPV). \quad (10)$$

(12)

(13)

式中: J为管网节点集合;  $J_j = \{0, 1\}$ ,如果节点 在允许压力范围内则  $J_j$ 为 0,否则为 1; const为常 量,本论文中取 10; EPV为节点压力值超出边界 值部分的数值.

改造后的多目标模型为 目标函数: min  $W_1 = \left( P + \frac{m}{100} \right)_{i,N} (a + bD_i)L_i + 3.58 \frac{3}{i=1} (r_i E_i T_i) \frac{H_{i,j}Q_{i,j}}{i_j}.$ (11) min  $W_2 = \frac{N}{i_j} (P_i \cdot \text{const} + EVV).$ 

m in 
$$W_3 = \int_{j=1}^{J} (J_j \cdot \operatorname{const} + EPV).$$

约束条件

$$Q_{i} - q_{ij} = 0, \ (i = 1, 2, ..., n).$$
(14)  
$$\int (h_{ij})_{1} = 0,$$

$$(h_{ij})_2 = 0,$$
 (15)

$$(h_{ij})_{i} = 0$$

$$d_{i} \quad D = \{D_{1}, D_{2}, ..., D_{i}\}.$$
(16)

供水管网优化改造属于供水管网优化设计工 作,该种工作由于其固有的困难性,被划分为 NP 难处理问题<sup>[8]</sup>. 对于 NP难问题 .利用严格算法寻 找离散管径的最优组合是不可行的.如果模型的 决策变量是管径,而约束条件又是管径变量的隐 性函数,则该模型的可行解域是一个非凸曲面,而 且目标函数的值是多峰分布的,因此,传统优化算 法会由于初始解的选择不当而极易收敛于局部最 优解<sup>[8]</sup>.在处理多目标函数优化问题时,并不是 要获得一个最优解,而是要获得具有相同优越性 的一个解群 (Pareto集合). 更精确地说,就是在一 个 Pareto集合中,从任何一个解移向另外一个解 的过程中,在一个目标函数值增大的过程中,伴随 着其他目标函数值的衰减.如果没有更严格的筛 选标准,决策者通常很难判断这个非控制解集中 哪个方案更好,因为它们具有相同的优越性.

在多种求解方法中(目标达到法、惩罚函数 法、非控制排序基因算法、NSGA - )、应用 NS- GA - 求解该管网改造模型.它的优越性表现 在:具有优秀的 Pareto解搜索广度;一次求解可以 获得全部 Pareto解集合;可以处理离散搜索空间 问题<sup>[9]</sup>.

#### 2.1 编码

染色体的编码采用整数编码制,首先将可选 管径规格依次对应于一串连续的整数,在进行染 色体编码时将所有改造管段所选管径对应的整数 编码按一定顺序连接起来形成染色体编码.

编码的具体操作可由表 1、2 描述,假设改造 管段编号为:1、2、3、4、5.

衣」 官论观俗外型的头数编制	表 1	管径规格对应的实数编	硜
----------------	-----	------------	---

管径 /mm	整数编码	管径 /mm	一整数编码
100	0	1000	9
200	1	1200	10
300	2	1400	11
400	3	1500	12
500	4	1600	13
600	5	1800	14
700	6	2000	15
800	7	2200	16
900	8		

#### 表 2 不同改造方案对应的染色体编码

方案 编号	管段改造后的管径 (管段编号顺序为 1~5)	方案对应 染色体编码
1	800, 1800, 1400, 800, 100	7, 14, 11, 7, 0
2	2000, 2000, 500, 300, 400	15, 15, 4, 2, 3
3	400, 1600, 1000, 700, 1400	3, 13, 9, 6, 11
4	300, 2000, 200, 200, 1800	2, 15, 1, 1, 14
5	1400, 2200, 400, 1500, 100	11, 16, 3, 12, 0
6	2000, 1800, 900, 800, 900	15, 14, 8, 7, 8
7	700, 2000, 100, 300, 1400	6, 15, 0, 2, 11
8	2000, 200, 1200, 1000, 800	15, 1, 10, 9, 7
9	300, 1800, 2000, 1000, 100	2, 14, 15, 9, 0
10	1200, 2200, 900, 400, 100	10, 16, 8, 3, 0

#### 2.2 选择操作

#### 2.2.1 目标函数值的处理

由于优化改造模型中目标函数均为求最小值 方程,而进行非控制排序时,将目标函数值大者作 为优先等级个体,所以,对 3个目标函数的值取倒 数作为非控制排序的依据.(为防止分母为 0的 情况出现,需将目标函数值加上一个常量数值,再 求其倒数).

经转换后目标函数的计算公式为

$$W_{i} = \frac{\text{const}}{W_{i} + \text{const'}}$$
(17)

式中: $W_i$ 为原始目标函数值分量; const, const 为 常量值.

2.2.2 个体排序

在选择操作中对种群中个体的排序是非常重要的,在 NSGA - 算法中依据两个参数对个体进行排序:非控制排序顺序值 (non - dominated rank)、拥挤度值 (crowding distance).

对于非控制排序顺序值的求解方法及拥挤度 值的计算方法采用 Kalyanmoy Deb等人 2002年 提出的快速排序方法<sup>[10]</sup>.快速排序方法可将非控 制排序的计算复杂度由原来的  $O(MN^3)$  降低为  $O(MN^2),其中 M$  为目标函数个数, N 为种群个体 数,提高计算效率方面效果显著.在获得了非控制 排序顺序值、拥挤度值后,利用拥挤度比较算子 (crowded comparison operator)对种群中的个体进 行排序.

拥挤度比较算子 ( < ")利用个体的非控制排 序顺序值及拥挤度值对种群中的个体进行排序, 排序的方法如下:

if ( (  $i_{\ rank} < j_{\ rank}$  ) or ( (  $i_{\ rank} = j_{\ rank}$  ) and (  $i_{\ distance} > j_{\ distance}$  ) ) )

{ i≺ , j}

由于需要将排序靠前的个体赋予相对大的适 应度值,这样才能保证排序靠前的个体获得比较 大的选种概率,在使用拥挤度排序算子时,实际的 排序操作如下:

if ((i  $_{rank}$  > j  $_{rank}$ ) or ((i  $_{rank}$  = j  $_{rank}$ ) and (i  $_{distance}$  < j  $_{distance}$ )))

 $\{\,i{\prec_{_n}}\,j\}$ 

然后直接将个体的排序序号作为个体的适应 度值,进行选择操作.

2.2.3 选择算子

遗传算法中常用的选择方法有:轮盘赌选择、 随机遍历抽样、局部选择、阶段选择、锦标赛选择. 在对个体赋予了适应度值后采用赌轮盘选择算子 进行选择操作.在使用赌轮盘选择算子时,需要将 染色体的适应度值转换为赌轮盘上的一个区间,

具体的转换公式如下:  $P_k = \frac{f_k}{P_{op_s,size}}$ .

通过上式将染色体的适应度值 f<sub>a</sub>转化为轮盘 上的一个区间,即该染色体的选中概率 P<sub>a</sub>.通过 转动轮盘 N (种群中个体数量)次,选择出下一代 种群.

#### 2.3 交叉操作

交叉操作是个体得以进化的重要原因之一, 经过交叉操作可以生成新的个体,扩大问题的搜 索范围,提高个体的适应度值.本文中交叉操作采 用的是单点交叉算子.单点交叉算子可用下面代 码表达,其中 N为种群中个体数量:

f = rand() (0, 1)if (f > cross probability) {  $X_{parent1} = X(rand() [1, N])$  $X_{parent2} = X(rand() [1, N])$ = rand() (0, 1) $X_{new} = (1 - ) X_{parent1} + X_{parent2}$ 

#### 2.4 人工诱导变异算子

1

一变异算子是一种局部随机搜索方法,与选择、 交叉算子结合在一起,保证了遗传算法的有效性, 使遗传算法具有局部的随机搜索能力;同时使得 遗传算法保持种群的多样性,以防止出现非成熟 收敛.但由于变异算子具有随机性,虽然可以达到 引入新基因保持种群多样性的目的,但是也影响 了种群向最优解的收敛速度,而且有时引入的不 良基因需要经过数代遗传才能去除掉.所以,在变 异算子中加入人工诱导变异方式可以大大提高种 群在遗传初期的收敛速度,将种群中的染色体迅 速收敛于可行解范围内,然后利用常规遗传算子 在可行解中进行搜索,找出最优解.

对于供水管网优化改造问题,人工诱导变异 的具体内容是让管径向满足管段经济流速的方向 变异,从而使种群收敛于可行解的范围内.人工诱 导变异算子的程序实现伪代码如下:

if(count(ESpipes) > 1)

//artifical inducement mutation operator

{

Foreach pipe in ESpipes

#### {

If ( (pipeVelocity > upper limit of veloci-

ty) and (pipeDiameter < max Diameter))

{pipeDiameter + + }

If ( (pipeVelocity < lower limit of veloci-

ty) and (pipeDiameter > minDiameter)

{pipeDiameter - - }

}

else

{Common one - point mutation operator}

其中 ESpipes表示不满足经济流速要求的管段集合.

采用人工诱导变异算子的 NSGA - 算法设 计框图如图 1所示.



- 图 1 含有人工诱导变异算子的 NSGA 算法设计框图
- 3 计算实例

#### 3.1 算例介绍

2

在算例管网中由于用水量增加,出现了管道流 速过快、水力坡降过大、致使管网中出现低压区的情况.管网中的瓶颈管段及低压区节点数据见表 3.4

管段 编号	<u>管径</u> mm	<u>管长</u> m	<u>水力坡降</u> m・km <sup>-1</sup>	<u>流速</u> m・s <sup>- 1</sup>
8	300	505.9	5.71	1.32
14	1000	609.5	0.96	1.18
29	750	131.1	3.35	1.93
32	750	179.8	3.05	1.84
35	750	387.1	2.66	1.70
46	600	780.3	2.60	1.34
51	600	350.5	3.02	1.45
52	600	850.3	3.05	1.46
56	400	365.7	6.78	1.74
58	500	368.8	6.56	1.52
90	750	365.7	3.19	1.87
97	600	1300	7.29	2.16
96	900	2100	1.93	1.36
98	500	469	3.07	1.20
99	600	2000	4.87	1.74

衣 3 官网甲胤谀官权数据衣	表 3	管网中瓶颈管段数据表	
----------------	-----	------------	--

节点 编号	<u>地面标高</u> m	<u>节点流量</u> L・s <sup>-1</sup>	<u>自由水压</u> MPa	<u>绝对水压</u> MPa
60	4.27	4.26	0.079	0.122
61	3.96	3.96	0.081	0.120
62	3.96	3.96	0.081	0.120
63	4.27	4.26	0.077	0.120
64	5.49	5.48	0.065	0.119
65	5.49	5.48	0.065	0.119
66	4.00	4.00	0.079	0.119
67	3.00	8.37	0.088	0.118
68	3.00	6.20	0.089	0.119

表 4 低压节点数据表

管网中瓶颈管段及低压节点位置如图 2所示.



图 2 管网中瓶颈管段及低压节点位置

分别利用含有人工诱导变异算子的 NSGA - 及普通 NSGA - 对本管网优化改造管段管径 进行寻优计算.两种不同算法均采用相同的参数, 参数具体内容见图 3.需要说明的是参数中的"变 异概率 指的是随机单点变异操作的概率,由于 人工诱导变异总是对于种群的进化有利,在含有 人工诱导变异算子的 NSGA - 算法中,其变异



图 3 非控制排序遗传算法参数设置对话框

概率定为 1,即无条件地使用人工诱导变异算子.

# 3.2 结果与分析

图 4~7分别为普通 NSGA - 算法计算过





2

程中第 1、50、100、200代种群中 pareto最优解集 中个体的分布情况.表 5显示了第 200代种群中 pareto最优解集中染色体信息.

表 5 第 200代种群 pareto最优解集个体信息

个体 序号	管网建造 年费用 /元	管网运行 年费用 元	不满足压力 的节点数量	不满足经济流 速的管段数量
0	2433003.50	1451907.50	0	4
2	2247451.25	1375498.75	0	6
4	2096700.50	1382630.75	2	7
6	2329394.50	1398293.37	0	3
10	2232583.00	1420127.37	0	5
11	2078753.75	1384293.25	2	7
15	2297121.25	1400019.50	0	4
22	2104033.25	1411524.37	0	5
24	2400730.50	1454224.00	0	5
38	2062341.37	1292602.50	9	7
40	2031179.00	1334427.50	9	6

通过上图可以看出,通过采用 NSGA -筫 法.非控制个体在进化过程中被保存下来.从而使 得整个种群得到进化,并且向各个目标函数坐标 轴的正方向发展,在 pareto最优解集中每一个个 体比其他个体起码在一个目标函数值方面更优、 因此,他们彼此无法相互替代,属于优劣程度相同 的一个解集.通过表 5可以看出,经过进化过程的 筛选,方案得到了较大的改善,但是如果对方案的 计算结果进行详细分析会发现 ,虽然节点水压条 件得到了完全满足 (已经出现了所有节点都满足 节点水压条件的方案),但在管道经济流速目标 函数方面还没有满意的方案.这主要是由于在种 群的进化过程中,虽然通过变异可以引进新的基 因,增加算法搜索空间的广度,但是由于变异的概 率不宜过大,而且变异作用是一个随机操作,很难 保证变异操作高效地指引种群向可行解域收敛, 从而导致了进化速度缓慢,算法收敛性不佳.这个 缺点可以通过引入前面提到的人工诱导基因变异 算子得到解决.

图 8~10分别为含有人工诱导变异算子的 NSGA - 算法计算过程中第 1、10、50代种群中 pareto最优解集中个体的分布情况.表 6显示了 第 50代种群中 pareto最优解集中各方案的信息.

通过以上图表可以看出,在人工诱导变异算子的作用下,在进化至第 50代种群时管网的水力条件已经大大改善,出现了完全满足水力条件的可行解 即节点压力和管段流速全部满足要求的方案).这 说明通过人工诱导算子的作用将种群快速地收敛于









图 9 含有人工诱导变异算子 NSGA - 第 10代种群最 佳个体分布图

图 11展示了两种不同 NSGA - 算法计算 过程中某一基因片段 (即某一管段对应的基因编



图 10 含有人工诱导变异算子 NSGA - 第 50代种群最 佳个体分布图

表 6 含有人工诱导变异算子 NSGA - 第 50 代种群 pareto最优解集个体信息

个体 序号	管网建造 年费用 /元	管网运行 年费用 /元	不满足压力要 求节点数量	至不满足经济 流速管段数量
8	2600978.25	1489380.75	0	0
18	2624264.50	1488686.25	0	0
31	2574135.75	1494308.25	0	1
38	2649502.00	1488393.37	0	0
40	2595291.00	1493950.75	0	0

码)向最优值的逼近过程.通过该图更清楚地表 明人工诱导变异的作用,在人工诱导变异的作用 下管段 46的管径迅速地收敛于最优管径附近.而 普通 NSGA - 算法中管段 46的管径不仅收敛 速度慢,而且在进化至 100代时还没有收敛于真 正的最优解.



图 11 两种不同 NSGA - 算法计算过程中某一基因片段向最优值的逼近过程

利用人工诱导基因变异算子 NSGA - 进行 优化后的管段管径及工况参数如表 7所示,低压 节点水压情况如表 8所示.

表 7	官网中瓶颈官段数据表	

管段 编号	<u>原始管径</u> mm	<u>优化管径</u> mm	<u>水力坡降</u> m・km <sup>‐1</sup>	<u>流速</u> m・s <sup>ー 1</sup>
8	300	300	4.44	1.16
14	1000	1200	0.41	0.83
29	750	1200	0.38	0.8
32	750	1000	0.88	1.11
35	750	900	1.42	1.36
46	600	800	0.51	0.67
51	600	600	2.73	1.38
52	600	600	2.76	1.39
56	400	600	0.95	0.78
58	500	500	1.87	1.00
90	750	1200	0.35	0.78
97	600	900	1.36	1.13
96	900	1200	0.50	0.8
98	500	700	0.59	0.62
99	600	800	1.60	1.14

表 8 低压节点数据表

节点 编号	<u>自由水压</u> MPa	节点 编号	<u>自由水压</u> MPa
60	0.249	65	0.234
61	0.250	66	0.249
62	0.250	67	0.258
63	0.247	68	0.259
64	0.234		

通过计算结果可以看出,改造管段的水力条件都有了明显的改善,而且低压节点的自由水头 也提升到了可以接受的水平.经过优化后有部分 管段的管径没有发生变化,这是由于其他管段管 径增大后,使得这些管段的负荷减少,管段水力条 件得到缓解,无须增大管径.

4 结 论

1) NSGA 算法通过将非控制排序概念引入遗 传算法中,解决了传统遗传算法单一评价函数值 与多目标函数之间的矛盾,克服了采用权重系数 或惩罚函数带来的不确定因素.利用对 NSGA 的 改进型, NSGA - 算法,通过引入快速非控制排 序及共享度的方法不仅改善了算法的计算效率而 且增加了算法的搜索广度,提高了算法的计算 效果.

2) 通过对 NSGA - 引入人工诱导基因变异

算子,大大加快了种群的收敛速度,使得种群在进 化初期便收敛至解的可行域内,通过接下来的进 化寻找问题的全局最优解.

3)通过算例计算结果的对比,显示了引入人 工诱导基因变异算子的 NSGA - 在解决供水管 网优化改造方面的优势.

### 参考文献:

- [1] 卜义惠,赵洪宾,周建华.用遗传算法求解供水管网系统优化改扩建模型[J].给水排水,2003,29(12):89
   92
- [2] VAMVA KER DOU LYROUD A L S, SAV C D A, WALTERS GA. Fuzzy hierarchical decision support system for water distribution network optimization [J]. Civil Engineering and Environmental Systems, 2006, 23 (3): 237 - 261.
- [3] ASAKURA A, KO ZUM I A, ODANAGIO, et al A study on appropriate investment of pipeline rehabilitation for water distribution network [J]. Water Science and Technology: Water Supply, 2005, 5(2): 31 - 38.
- [4] SHOR N Z, SHAR IFOV F A. The general reliability network design problem [J]. Journal of Automation and Information Sciences, 2006, 38(3): 34 - 52.
- [5] ATQUZZAMAN M, L DNG S Y, YU X Y. A Itemative decision making in water distribution network with NSGA
  II [J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2006, 132 (2): 122 126
- [6] KEEDW ELL E C, KHU S T. A hybrid genetic algorithm for the design of water distribution networks [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2005, 18 (4): 461 - 472.
- [7]赵洪宾. 给水管网系统理论与分析 [M]. 北京:中国 建筑工业出版社, 2003.
- [8] KEEDW ELL E C, KHU S T A novel cellular automata approach to optimal water distribution network design
   [J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2006, 20(1):49 - 56.
- [9] KISHALAYM, GOPNATH R. Multiobjective optimization of an industrial grinding operation using elitist non dominated sorting genetic algorithm [J]. Chemical Engineering Science, 2004, 59 (2): 385 - 396
- [10] KAL YANMOY D, AMR IT P, SAM EER A, et al A fast and elitist multi - objective genetic algorithm: NS-GA - II [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6(2): 182 - 197.

(编辑刘 形)