

# 给水管道更新资金分配模型的研究

崔洪升<sup>1</sup>,张宏伟<sup>2</sup>,牛志广<sup>2</sup>,傅玉芬<sup>3</sup>

(1. 中国市政工程华北设计研究院,天津 300074;2. 天津大学环境科学与工程学院,天津 300072;  
3. 天津华水自来水建设有限公司,天津 300122)

[摘要] 以管道更新前后管网维护费用降低最大为目标,建立了考虑和不考虑异型管两种情况下的管道更新资金分配模型。实例验证了该模型能够在充分利用维护资金的前提下,最大限度地降低管网漏失损失,为供水管理部门合理使用资金、有效控制漏损和产销差率提供理论支持和决策指导。

[关键词] 给水管道;维护费用;更新费用;资金分配

[中图分类号] TU991.36 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2007)09-0068-04

供水系统居高不下的漏失比例给供水管理部门带来了高额的运行维护费用,迫使其探索如何制定合适的管网维护方案,以降低整个管网的维修费用和经济损失。近年来,管道更新成为我国各水司普遍采用的减少漏损的主要措施,国家每年都要拿出一部分资金对一批管道进行更换。在有限的资金水平下,面对纷繁复杂的管网,选择哪些管道进行更新,才能充分利用给定的资金,最大限度地减少经济损失,获得最大的收益,成为供水管理部门迫切需要解决的问题。国外学者有研究<sup>[1,2]</sup>,但均有一定的局限性;2002年 H. T. Luong 和 O. Fujiwara 提出净省水量的概念<sup>[3]</sup>,使资金分配模型得到进一步的发展,但其建立的基础是基于本国的供水管理机制,并不适用于我国现状。

笔者从我国供水管理部门实际的运行情况和管理模式出发,首次将资金分配方法与管道更新模型相结合,采取在有限的资金水平能力下使管道更新后产生收益最大为目标,建立了管道更新资金分配模型,旨在为供水管理部门提供实用工具,指导管理者确定管道更新方案,达到合理使用资金,提高管网运行质量和节约水资源的目的。

## 1 管道更新资金分配模型的建立

### 1.1 目标函数的确定

建立管道更新资金分配模型,可以从多方面确定目标函数,例如使管网漏失率降低最大、漏失水量降低最大、管网的布局最优,水质、水压等服务水平提高最大等。如果将这些目标综合考虑,则属于多目标组合优化问题,存在基础数据收集困难,模型复杂等问题,不利于在实际管理中的应用。笔者从使管网漏失损失降低最大出发,以管道更新前后维护费用降低最大的目标函数建立模型,综合考虑了漏失带来的损失和危害,从每个漏子发生后造成的各方面影响进行评估,所得到的解会更经济,更合理,优于采用其他目标函数。

分别以  $M_n$ 、 $M_{n-m}$  表示  $n$  条与  $(n-m)$  条管网的维护总费用,建立在给定资金水平下管网更新前后维护费用降低最大的目标函数:

$$\max (M_n - M_{n-m}) \quad (1)$$

随着城市管网的逐渐形成和成熟,异型管将逐渐被淘汰。DN250, DN350, DN450, DN500, DN550, DN700, DM900 等异型管径,石棉管、铅管等异型管

[收稿日期] 2006-04-28

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(50578108)

[作者简介] 崔洪升(1973-),男,天津市人,硕士,中国市政工程华北设计研究院工程师,研究方向为水处理及管网技术  
Tel:022-23545443, Email: chs\_73@163.com

材,统称为异型管。由于异型管在发生漏损时维修材料和配件难以寻找,导致漏水无法及时修复,不但增加了经济损失,也极易引发群众的不满,降低服务水平。因此,供水部门将优先更新异型管。

考虑此种情况,在目标函数中增加如下目标:

$$\min Y = \sum_{i=1}^n |Y_i - X_i| \quad (2)$$

式中  $Y$  为 0—1 变量,表示是否为异型管。 $Y_i = 1$ ,表示该管段是异型管; $Y_i = 0$ ,表示不是异型管。 $X_i$  也为 0—1 变量,表示每个管段是否更新, $X_i = 1$  表示管道进行更新, $X_i = 0$  表示管道不需进行更新。这就使模型成为一个多目标组合优化的非线性函数。

### 1.2 约束条件

以管网维护费用降低最大为目标函数建立管道更新资金分配模型,即在管网的所有管道中进行组合、更新,使得更新后的管网维护费用降低最大,而所进行组合的管道的建设费用之和小于并最接近于给定的资金,以达到在充分利用给定资金的条件下最大限度降低经济损失的目的。模型可以描述为:

假设一个有  $n$  条管道的管网,其  $t$  年的管网维护费用总和为  $M_n(t)$ ,供水部门当年能够用于管网改造的资金为  $F$ ,这些资金不足以将管网的  $n$  条管道全部进行更新,以  $p_i$  表示更新管网中第  $i$  条管道的建设费用,则  $F \leq \sum_{i=1}^m p_i$ 。因此需要在  $n$  条管道中寻找一种合理的组合方案  $H(m) = (H_1, H_2, \dots, H_m)$ ,即选择其中  $m$  条管道进行更新,使更新的建设费用总和  $\sum_{i=1}^m p_i$  尽量接近给定的资金  $F$ ;假设这  $m$  条管道进行更新后当年的维护费用接近于 0,对  $m$  条管道进行更新后管网  $t$  年内的维护费用为  $M_{n-m}(t)$ ,所以应使  $M_n(t) - M_{n-m}(t)$  最大。因此,需要判定  $m$  的数值以及进行更新的管道组合,约束条件如下:

$$\begin{cases} 0 \leq m \leq n \\ \sum_{i=1}^n (F_i \times X_i) \in (0.9P, P) \\ \sum_{i=1}^n X_i = m \end{cases}$$

### 1.3 管道维护费用分析

管道维护费用  $M$  主要包括管道维修费用  $M_1$ 、漏失费用  $M_2$ 、管理费用  $M_3$  和其他费用  $M_4$ ,即

$$M = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 \quad (3)$$

其中:

$$M_1 = (a_k + b_k + c_k + d_k) N_k(t) + (a_s + b_s + c_s + d_s) N_s(t) \quad (4)$$

式中  $N_k(t), N_s(t)$  分别为管道在第  $t$  年发生口漏、折管的漏子数(处),由预测确定<sup>[4]</sup>;  $a_k, a_s, b_k, b_s, c_k, c_s, d_k, d_s$  分别为管道口漏、折管维修的单位工费、材料费、破路费、机械费(元/处)。

$$M_2 = M_{21} + M_{22} + M_{23} \quad (5)$$

式中  $M_{21}$  为漏失水量营业损失费用,笔者采用供水部门通常采用的估算方法对其进行估算,即以不同口径管道暗漏漏失小时流量的最大值做为管道漏失的单位漏量,漏失时间以一周进行计算,即

$$M_{21} = 168k_1Q = 168k_1q(N_k(t) + N_s(t)) \quad (6)$$

式中  $k_1$  为水价(元/t);  $Q$  为推算的漏失水量( $m^3/h$ );  $q$  为不同口径管道漏失的单位漏量( $m^3/h$ ); 168 为 1 周的小时数(h)。

$M_{22}$  为水污染消耗影响损失费用:

$$M_{22} = k_1 \frac{\pi D^2}{4} L_T [N_k(t) + N_s(t)] \quad (7)$$

式中  $D$  为管道口径(mm);  $L_T$  为停水管道长度(m)。

$M_{23}$  为漏水淹泡费用损失,按 10% 的  $M_{21}$  计算。

管理费用  $M_3$  包括管道检测费用(包括工人的劳动费用、检漏设备器材费用、交通费用、通讯费用等)、维护信息传递调度系统费用以及漏损资料记录、整理报告费等,按管道维修费用的 20% 计。其他费用  $M_4$  包括现场的清洁费等其他可能发生的费用,按漏失费用的 10% 计。

### 1.4 管道建设费用分析

根据管道进行建设的各项费用组成,其模型形式为

$$F = f_1 + f_2 + f_3 + R + J + U \quad (8)$$

式中  $F$  为管道建设费用(元);  $f_1$  为管道安装费(元);  $f_2$  为管道附属设施安装费用(元);  $f_3$  为刨路费用(元);  $R$  为设计费(元);  $J$  为监理费(元);  $U$  为附加费用(元); 其中:

$$f_i = \lambda L \quad (9)$$

式中  $\lambda$  为不同口径不同管材的管道安装延米费用(元/m);  $L$  为管道安装长度(m)。

本文中管道附属设施费用  $f_2$  主要指闸门的费用,包含闸门安装费、材料费和砌井费:

$$f_2 = (\zeta + \psi + \mu)\theta \quad (10)$$

式中  $\zeta$  为不同口径阀门的安装费用(元);  $\psi$  为不

同口径不同型号阀门材料费用(元); $\mu$ 为不同口径不同形式井室砌筑费用(元); $\theta$ 为附属设施数量。

$$f_3 = \gamma L \quad (11)$$

式中  $\gamma$  为不同口径不同路面等级的破路费单价(元/ $m^2$ )。

按有关规定<sup>[5]</sup>,根据研究区域的实际数据, $R$ 采用前三项的1.8%; $J$ 采用前三项的1.5%。

附加费按实际发生记入,如拆迁费(含地上障碍物,管道拆改、电杆移杆、树木赔偿、环境污染和噪音的罚款等),还有测图费,规划费、占道费,清扫费和管理费等。

## 2 实例分析

将某市管网中一区域内的46条管道信息输入程序,给定2004年可以用于管道更新的资金为2000万元,分别通过单目标和多目标函数模型,求解得出2004年管道更新计划方案,不考虑异型管22条管道的更新费为1990.87万元,考虑异型管9条的管道更新费为1965.85万元,结果见表1和表2。

表1 限定资金2000万元的管道更新计划  
(不考虑异型管)

Table 1 Pipeline replacement plan with a fund of 20 million yuan (special shaped tube not considered)

序号	管道名称	管径/mm	管长/m	安装年份	更新费用/万元
1	北仓道	600	2350	1987	340.49
2	津京公路	400	1100	1970	102.63
3	水产前街	200	450	1957	18.54
4	中环线	300	920	1970	69.46
5	雪山路	300	888	1987	67.06
6	津塘公路1	300	350	1982	26.77
7	增兴窑	300	525	1988	39.88
8	大直沽后街	300	240	1985	18.53
9	长江道	600	600	1986	87.42
10	保山道	500	1120	1965	16.22
11	临潼路	300	800	1982	60.47
12	汪庄子道	300	1987	1982	149.93
13	团结路	300	500	1987	38.00
14	五中后大街	300	450	1993	34.26
15	西横堤	500	2040	1975	294.51
16	连源西道	300	570	1986	43.25
17	中环线	700	495	1962	90.82
18	重庆道	400	170	1993	16.69
19	昆明路	300	1400	1982	109.72
20	山西路	600	130	1952	20.56
21	大沽路	600	345	1986	51.15
22	鞍山道	300	1900	1982	148.51

表2 限定资金2000万元考虑异型管的管道更新计划

Table 2 Pipeline replacement plan with a fund of 20 million yuan (taking special shaped tube into account considered)

序号	管道名称	管径/mm	管长/m	安装年份	更新费用/万元
1	富民路	500	1260	1990	182.11
2	津塘公路2	500	2271	1974	327.37
3	津杨公路	500	2060	1982	297.35
4	保山道	500	1120	1965	162.20
5	河北大学路	500	940	1988	135.15
6	红桥北大街	500	2148	1988	309.87
7	丁字沽一号路	500	1150	1978	166.47
8	西横堤	500	2040	1975	294.51
9	中环线	700	495	1962	90.82

由表1和表2的结果可以看出,增加异型管优先更新的目标函数后,模型结果出现了很大的变化。其原因在于不考虑异型管时,模型在求解的过程中只考虑漏失经济损失费用的大小,寻找更新费用之和最接近给定资金额的组合,而考虑异型管的模型在求解过程中,要优先列出异型管的经济损失费用和更新费用,同时与漏失经济损失费用的大小排列组合寻优,其寻优的方式改变了,进行更新组合时管道的排列顺序也相应改变了,所以其结果产生很大差别。直观上解释这种改变,就在于异型管在同样的漏失经济损失下其更新的优先级提高了,增加了列入更新范围的可能性。

从表2的内容来看,进行更新的管道都是异型管,但这并不意味着只要是异型管就优先于其他管道进行更新,而是要综合考虑其漏失经济损失费用的大小后进行判定。表2的结果只是因为这些异型管本身就已是年久失修、漏子频发的管道,其漏失经济损失也较高,相比其他不是异型管的管道,其被更新的可能自然增大了。

## 3 结语

给水管道更新的资金分配模型可以帮助供水管理部门在纷繁复杂的管网中挑选最应该更换的适合的管道更新组合,充分利用资金达到最大限度地降低漏失损失的目的,从而降低供水管理部门高额的维护费用。

## 参考文献

- [1] Male J W, Franz S L. Allocating funds for repair of leaky water distribution systems [ J ]. *TIMS Studies in the Management Sciences*, 1986, 22(3 ):183 ~ 203
- [2] Bach N L, Fujiwara O, Luong H T. Optimal fund assignment and allocation models for pipe repair maintenance in leaky water distribution networks [ J ]. *Water Resources Research*, 2000, 36(5):1315 ~ 1324
- [3] Luong H T, Fujiwara O. Fund allocation model for pipe repair maintenance in water distribution networks [ J ]. *European Journal of Operational Research*, 2002, 136(5), 403 ~ 421
- [4] 傅玉芬. 城市供水管网漏损控制 [ D ]. 天津:天津大学, 2004
- [5] 国家发展计划委员会建设部. 工程勘察设计收费标准 [ M ]. 北京:中国物价出版社, 2002:88 ~ 89

# Determination Model for Replacement of Water Pipeline

Cui Hongsheng<sup>1</sup>, Zhang Hongwei<sup>2</sup>, Niu Zhiguang<sup>2</sup>, Fu Yufen<sup>3</sup>

- (1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute, Tianjin 300074, China;  
2. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;  
3. Tianjin Huashui Waterworks Construction Co. Ltd., Tianjin 300122, China)

[ **Abstract** ] A fund distribution model for water pipeline replacement at the level of limited fund is established. By analyzing maintenance fee of pipe network and construction fee, and decreasing the difference of pipeline maintenance fee before and after replacement at the most, the pipeline needed to be replaced is determined. The establishment of model makes construction fund be utilized fully, and decreases pipeline leakage loss most effectively, and provides theoretical support and guidance for water supply department to utilize fund reasonably, control leakage loss and production and marketing difference ratio effectively.

[ **Key words** ] water pipeline; maintenance fee; replacement fee; fund distribution