

• 管网设计与运行 •

排水管道工程费用函数建立

王赫婧 尤学一 季 民

(天津大学环境科学与工程学院, 天津 300072)

摘要 排水管道工程费用大多依据管道建设费用而定, 为了更准确预估排水管道的工程费用, 将其分为管道费用、检查井费用两部分, 并分离出两费用中的土方费用。对于确定土方量, 土方费用仅与当时人工费用相关。通过对土方量进行回归分析, 在假定人工费用有确定增长率的前提下, 以2008年挖掘单位体积土方的人工费用为基准, 获得了预测未来年份的土方费用的通用公式。利用2008年《天津市市政工程预算基价》拟合出管材费用、管道土方费用、检查井材料费用、砌井人工费用以及检查井土方费用的表达式, 得到了排水管道工程的费用函数。

关键词 排水管道 费用函数 土方费用 人工费用 检查井费用

0 前言

排水管道工程是市政建设中的重要组成部分, 建设费用巨大。随着排水管道的发展与完善, 费用函数的建立作为排水管道系统优化分析与设计的基础, 凸显出重要作用。以往研究中, 排水管道工程费用主要讨论管线建设造价, 大多是基于对几年管线建设造价的平均值建立管线造价的拟合公式^[1~4]。由于以往的管网费用函数受到较多因素影响, 数据来源不精确, 因此, 建立的费用函数误差大, 通用性不强, 而且忽略了检查井建设的费用。

为此, 本文提出了由管道费用、检查井费用组成排水管道工程费用, 并把其分解为管材费用、管道土方费用、检查井材料费用、检查井人工费用、检查井土方费用。对于确定的排水管网, 则管道土方量和检查井土方量是一定的, 土方费用仅与当时人工费用相关联, 而人工费用的增长速率分离出来, 利用2008年《天津市市政工程预算基价》分别拟合出各部分费用, 由此, 可以随经济的增长有规律可循, 所以可通过回归分析得到土方量, 并以2008年挖掘单位体积土方的人工费用为基准, 即可预估以后年份的土方费用。按此思路, 本文将涉及到的土方费用得到易于操作、可靠性高、使用灵活、通用性强的排水管道工程的费用函数。

1 费用函数的建立依据

①排水管道敷设的槽底宽度采用承插接口混凝土明开挖槽的方式; ②管材费用和土方费用的选取以2004年和2008年《天津市市政工程预算基价》为依据; ③土方工程采取人工明挖的方式挖土; ④检查井选用圆形和矩形砖砌型污水检查井, 适用于管径200~1500 mm的污水管道; ⑤检查井土方量依据北京市市政工程设计研究总院编制的《排水检查井图集》中的施工图计算, 并考虑一定高度的沉泥槽; ⑥检查井建设材料与人工费用以《排水检查井图集》中工程数量表为依据; ⑦排水管道工程建设费用主要以管材费用、管道土方费用、检查井建设材料与人工费用以及检查井土方费用为主要影响因素; ⑧仅针对一般工程条件, 未包括排水系统中的倒虹管、顶管、架设管桥、排水口等特殊条件建立的。

2 排水管道建设费用函数

排水管网建设费用主要包括管道材料费用 C 、管道土方费用 C_{pmi} 、检查井材料费用 C_{psi} 、检查井砌井人工费用 C_{wmi} 、检查井土方费用 C_{wsi} 等。如果只考虑管网当前的总投资, 不考虑日后的折旧及管理费用, 则目标函数可表示为:

$$C = \sum_{i=1}^n (C_{pmi} + C_{psi}) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{t_i} (C_{wmi} + C_{whij} + C_{wsij}) \quad (1)$$

国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07314-002-01)。

式中 n ——管段数,个;
 t_i ——检查井数,个。

3 管道费用

3.1 管材费用

根据文献[5],单根管材费用可表示为:

$$C_{pmi} = (k_1 + k_2 D_i^{k_3}) l_i \quad (2)$$

式中 l_i ——第 i 根管道长度, m;

D_i ——第 i 根管道直径, m;

k_1, k_2, k_3 ——参数,可用最小二乘法拟合求出[6]。

3.1.1 混凝土管道

混凝土承插口管材费用的拟合公式为:

$$C_{pmi} = (93.877 + 476.320 D_i^{2.358}) l_i \quad (3)$$

上述公式计算值与文献[6]相比,相关系数为 0.999。在管径小于 3 m 时,式(3)中大部分的结果与文献[6]的相对误差小于 3.61%。

3.1.2 高密度聚乙烯管

单根高密度聚乙烯(HDPE)管的管道费用拟合公式为:

$$C_{pmi} = (141.616 + 1182.156 D_i^{2.332}) l_i \quad (4)$$

上述公式计算值与文献[6]相比,相关系数为 0.997。在管径小于 1.2 m 时,式(4)结果与文献[6]的相对误差小于 5.93%。

对于管材费用,受市场的影响较大,引入增长率的实际可行性不大,因此把 2008 年天津市的管材费用公式作为供参考的拟合方法。

3.2 管道土方费用

单根管道的土方费用可分解为挖掘土方量和人工费用之积。考虑到人工费用随经济发展成指数增长,土方费用 C_{psi} 可表示为:

$$C_{psi} = c_{poi} (1+r)^n V_{si} \quad (5)$$

式中 V_{si} ——挖掘土方量, m^3 ;

c_{poi} ——挖掘和回填单位体积土方的人工费用[6], 元;

r ——人工费用的年增长率, %;

n ——距离 2008 年的年数, 年。

3.2.1 挖掘土方量

单根管道挖掘的土方量主要与管道直径和埋深有关,管道直径决定了沟槽的底宽。文献[6]的承插口混凝土明开槽的方式,槽底宽度 B_{pi} 只与管径相关,采用给定形式的多项式方程进行拟合:

$$B_{pi} = k_0 + k_1 D_i + k_2 D_i^2 + k_3 D_i^3 \quad (6)$$

应用遗传算法进行回归分析求出参数为 $k_0 = 0.435, k_1 = 1.855, k_2 = -0.218, k_3 = 0.018$, 公式计算结果与文献[6]相比,相关系数为 0.999。沟槽的截面积为梯形,挖掘土方量为:

$$V_{si} = (B_{pi} + m_i H_i) H_i l_i \quad (7)$$

式中 H_i ——管道平均埋深, m;

m_i ——放坡系数,一、二类土质取 0.5,三类土质取 0.33,四类土质取 0.25[7]。

3.2.2 基准年挖掘和回填单位体积土方的人工费用

排水管道挖掘和回填单位体积土方的人工费用与埋深和人工费用的年增长率有关。采用准牛顿法与通用全局优化算法相结合的混合优化算法,通过迭代计算获得拟合公式的回归参数,且无需人为提供参数初估值,实现了自动寻找隐含于数据间的公式,搜索出基准年单位体积土方量的人工费用 C_{poi} 与 H_i 之间的关系为:

$$C_{poi} = k_0 + k_1 H_i + \frac{k_2}{H_i} + k_3 H_i^2 + \frac{k_4}{H_i^2} + k_5 H_i^3 + \frac{k_6}{H_i^3} + k_7 H_i^4 + \frac{k_8}{H_i^4} + k_9 H_i^5 + \frac{k_{10}}{H_i^5} \quad (8)$$

利用文献[6]可求得系数 k_0 至 k_{10} 为: $k_0 = 16.290, k_1 = 15.014, k_2 = 1.798, k_3 = -10.831, k_4 = 9.139, k_5 = 3.568, k_6 = -13.433, k_7 = -0.527, k_8 = 13.647, k_9 = 0.029, k_{10} = 10.830$ 。公式计算结果与文献[6]相比,相关系数为 0.999。

3.2.3 人工费用的年增长率

人工费用的年增长率根据文献[6,8]中挖掘和回填单位体积土方的人工费用求出。2008 年比 2004 年费用大约平均增长 36.2%,可推算出人工费用的年增长率为 $r = 8\%$ 。因此,以 2008 年的人工费用为基准,可以使用式(5)预测出以后各年份的土方费用。

4 检查井费用

检查井费用主要包括材料费用、土方费用以及砌井人工费用,本文依据北京市市政工程设计研究总院编制的《排水检查井图集》[9]中圆形和矩形污水检查井工程施工图以及工程量计算。

4.1 材料费用

在砌筑检查井的过程中,一般施用的材料主要包括砖、混凝土和砂浆,材料用量与单位体积材料单价的乘积即为检查井材料费用,采用的公式如下:

$$C_{\text{wmij}} = V_{1ij}C_{\text{m1}} + V_{2ij}C_{\text{m2}} + V_{3ij}C_{\text{m3}} \quad (9)$$

式中 V_{1ij} 、 V_{2ij} 、 V_{3ij} ——砌砖体、混凝土、砂浆的体积, m^3 ;

C_{m1} 、 C_{m2} 、 C_{m3} ——砌砖体、混凝土、砂浆的单价,元/ m^3 。

材料用量可通过《排水检查井图集》中各种类型检查井材料用量表查得。

4.2 土方费用

检查井的形式有多样,主要分析圆形井和矩形井。与管道土方费用函数的建立类似,检查井土方费用公式为:

$$C_{\text{wsij}} = c_{\text{u0i}}(1+r)^n V_{\text{wsij}} \quad (10)$$

式中 C_{wsij} ——挖土费用,元;

c_{u0i} ——2008 年挖掘单位体积土方的人工费用,元/ m^3 ;

V_{wsij} ——检查井挖掘土方量, m^3 。

4.2.1 挖掘土方量

根据检查井施工图,可以推算出需要挖掘的土方量。

对于圆形砖砌污水检查井,通过允许管道直径 D 来确定检查井直径 D_{w} 和检查井埋深 H_{w} :

$$V_{\text{wsij}} = \frac{\pi}{4} (D_{\text{wi}} + 2d_1 + 2d_2)^2 (H_{\text{wij}} + h) \quad (11)$$

式中 V_{wsij} ——检查井挖掘的土方量, m^3 ;

H_{wij} ——检查井埋深, m ,取值可参考表 1 确定;

D_{wi} ——检查井直径, m ;

h ——检查井沉泥槽高度,一般取 300 ~ 500 mm;

d_1 ——检查井井身厚度,一般取 240 mm;

d_2 ——井底超出井身的厚度,一般取 50 mm。

表 1 圆形检查井设计参数^[9]

检查井直径 D_{w} /mm	允许管道 直径 D /mm	检查井埋深 H_{w} /mm
700	200、300、400	$H_{\text{w}} \leq D + 1\ 000$
1 000	200、300、400、 500、600	$H_{\text{w}} = D + 1\ 800 + \text{井筒高度}$
1 250	600、700、800	$H_{\text{w}} = D + 1\ 800 + \text{井筒高度}$
1 500	800、900、1000	$H_{\text{w}} = D + 1\ 800 + \text{井筒高度}$

对于矩形砖砌污水检查井,通过检查井的类型和所涉及的允许管道直径 D_1 、 D_2 、 D_3 和 D_4 ,来确定检查井的长 L 、宽 W 和检查井埋深 H_{w} :

$$V_{\text{wsij}} = (L_i + 2d_1 + 2d_2)(W_i + 2d_1 + 2d_2)(H_{\text{wij}} + h) \quad (12)$$

式中 $L_i + 2d_1 + 2d_2$ ——检查井底宽;

$W_i + 2d_1 + 2d_2$ ——检查井底长。

公式中所涉及的参数可查表 2,检查井埋深参照表 1。

表 2 矩形检查井设计参数^[9]

检查井类型	管径/mm			各部分尺寸/mm		
	D_1	D_2	D_3	D_4	L	W
直线砖砌污水检查井	800~900	≤ 300			1 100	$D + 300$
	1 000~1 350	≤ 400			1 100	$D + 300$
	1 500	≤ 600			1 100	$D + 300$
90°三通砖砌污水检查井	900~1 000	600~1 000	600~1 000		1 650	1 650
	1 100~1 350	600~1 350	600~1 350		2 200	2 200
	1 500	600~1 500	600~1 500		2 630	2 630
90°四通砖砌污水检查井	900	400~700	400~700	600~900	2 000	1 500
	1 000~1 100	600~900	600~900	600~1 100	2 200	1 700
	1 250~1 350	600~1 100	600~1 100	600~1 350	2 700	2 050
	1 500	600~1 350	600~1 350	600~1 350	3 300	2 480

4.2.2 挖掘单位体积土方的人工费用

挖掘单位体积土方的人工费用可参照式(8)。人工费用的年增长率采用上节确定的年增长率,即 $r=8\%$ 。因此,以2008年的人工费用为基准,可以使用式(10)预测出以后各年份的安装检查井的土方费用。

4.3 砌井人工费用

砌井人工费用的公式与材料费用公式相似,即材料用量与单位体积人工费用的乘积,此时考虑人工费用随经济发展成指数增长,公式表达为:

$$C_{whij} = (1+r)^n (V_{1ij} C_{h1} + V_{2ij} C_{h2} + V_{3ij} C_{h3}) \quad (13)$$

式中 C_{h1} 、 C_{h2} 、 C_{h3} ——砌砖、涂抹混凝土和涂抹砂浆的单位体积人工费用,元;

r ——人工费用的年增长率;

n ——离基准年的年数。

4.4 检查井个数确定

检查井应设在管道交汇处、转弯处、管径或坡度改变处、跌水处以及直线管段上每隔一定距离处。检查井在直线管段的最大间距应根据具体情况确定,一般可按照《市政管道工程施工手册》中的规定取值^[10]。

根据管段管径和长度的不同,我们取检查井间距为上表提供的最大间距 s_i ,则检查井个数为 $t_i = \text{ceil}(\frac{l_i}{s_i})$ 。考虑到不同管道连接处可以少用一个检查井,则检查井个数为:

$$t_i = \text{ceil}(\frac{l_i}{s_i}) - 1 \quad (14)$$

式中 ceil ——离数据最近的较大整数,如 $\text{ceil}(5.2)=6$ 。

5 结论

从拟合出的排水管道工程建设费用函数表达式上看,其管道费用函数涉及参数多样,对这些参数选用,将直接影响到排水管道系统设计计算的可靠性。为了更准确预估排水管道的工程费用,对于给定的管道系统,可以分离出挖掘的土方量,此时挖掘和回填土方费用仅与当时人工费用相关。通过对土方量进行回归分析,以2008年挖掘单位体积土方的人工费用为基准,并基于人工费用确定增长率,可以预测未来年份的土方费用。

依据2008年《天津市市政工程中排水管道基价》和北京市市政工程设计研究总院编制的《排水检查井图集》中的圆形和矩形污水检查井工程施工图以及工程量,应用最小二乘法、准牛顿法和通用全局优化法对管材费用、土方费用进行回归分析,拟合公式的相关系数均能达到0.999;对于给定设计排水能力的管道,回归分析可确定土方量,并以2008年为基准,得到挖掘单位体积土方的人工费用,通过对文献[8]和[6]分析比较,天津市人工费用的平均年增长率为 $r=8\%$ 。

本文建立的费用函数虽针对天津市的排水管网建立,但只须修改与人工费用有关的项,即可方便地建立适用于其他地区排水管网的造价函数,实现排水工程建设费用预估。

参考文献

- 1 李树平,梁大鹏.排水管网费用函数概述.中国市政工程,2001,(3):47~50
- 2 倪所能.排水管网优化设计中的目标函数.中国给水排水,1990,6(4):58~61
- 3 伊学农,刘遂庆,徐峰.用遗传算法求解排水管道造价公式参数.同济大学学报,2004,32(1):20~23
- 4 金学易.排水管道工程造价的数学模式.中国给水排水,1990,6(2):59~61
- 5 曹爱国,邓志毅,刘永淦.排水管道工程建设费用函数研究.湘潭大学自然科学学报,1997,19(1):110~114
- 6 天津市建设工程定额管理研究站.天津市市政工程预算基价2008[2010.11.10].http://www.yusuan.com/dinge/class.asp?area=100006&dm_id=100006008
- 7 上海市市政工程设计研究院.给水排水设计手册(第10册).北京:中国建筑工业出版社,2000
- 8 天津市建设工程定额管理研究站.天津市市政工程预算基价2004[2010.11.10].http://www.yusuan.com/dinge/class.asp?area=100006&dm_id=100006007
- 9 北京市市政工程设计研究总院.排水检查井图集2002[2010.11.10].<http://wenku.baidu.com/view/f9e01f768e9951e79b892796.html>
- 10 刘灿生.市政管道工程施工手册.北京:中国建筑工业出版社,2010

☎ 电话:13820356590

E-mail:wanghejing@tju.edu.cn

收稿日期:2010-12-09

修回日期:2011-05-31