

Optimal Design of Single Source Gravity Tree Pipe Network System

Haodong Chen, Jiakang Du, Hongchun Sun, Qingjun Ren

School of Mathematics and Statistics, Linyi University, Linyi Shandong
Email: 2101058556@qq.com, 3152288186@qq.com

Received: May 11th, 2018; accepted: May 22nd, 2018; published: May 30th, 2018

Abstract

With the gradual acceleration of industrialization and urbanization, China's investment in the construction and management of the pipeline is getting bigger and bigger. In this paper, on the single water gravity tree pipe network system optimization design, the linear programming mathematics model was established, and using the MATLAB procedures to optimize design calculation, an optimal design scheme for water pipe network was given. Finally, a numerical experiment was given to further verify the rationality and practicability of the model, which has great economic and social benefits.

Keywords

Water Pipeline, Linear Programming, Simplex Method, Optimal Design

单水源重力树状管网系统优化设计

陈昊东, 杜家康, 孙洪春, 任庆军

临沂大学数学与统计学院, 山东 临沂
Email: 2101058556@qq.com, 3152288186@qq.com

收稿日期: 2018年5月11日; 录用日期: 2018年5月22日; 发布日期: 2018年5月30日

摘要

随着工业化和城市化进程的逐步加快, 我国在输水管道的建造和管理上的投入越来越大。本文主要对单水源重力树状管网系统进行了优化设计, 建立了线性规划数学模型, 并应用MATLAB编制优化设计计算程序, 给出了投资少、能耗低的输水管网的优化设计方案。最后, 给出了数值实验, 进一步验证了模型的合理性、实用性, 具有非常大的经济和社会效益。

关键词

输水管道, 线性规划, 单纯形法, 优化设计

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在村镇供水以及工矿企业给水系统的建设初期, 一般都采用树状管网, 因为树状给水管网一般投资比较小, 以后会随着用水规模的扩大, 由树状管网逐渐发展为环状管网。树状管网形式较多, 不同的形式有不同的特点, 也会满足不同的情形。本文主要对水源位置较高时, 采用的重力树状管网系统进行优化。单水源重力树状管网系统要解决的问题是: 在保证各节点所需流量和服务水压的情况下, 确定管网中各个管段尺寸的最优值, 使得整个管网投资最少。目前, 对管网系统的优化已经引起了专家和学者的重视。王文芬[1]提出将管网优化问题转化成管网投资线性子模型问题, 并采用大系统分解-动态聚合方法对模型进行求解, 为泵站加压式树状供水管网系统优化设计提供了一种可行而有效的新方法; 许晓明[2]以油气集输管网系统投资极小化为目标, 综合考虑多级星式管网拓扑结构特点、生产运行参数等多种影响因素, 建立了多级星式油气集输系统模糊优化数学模型; 郑凤[3]建立了天然气管网系统输配气运行方案优化的数学模型, 采用线性逼近法对模型进行了求解, 应用于实际管网系统运行调度分析。本文主要对单水源重力树状管网系统进行了优化设计, 建立了线性规划数学模型, 应用 MATLAB 编制优化设计计算程序。

2. 优化设计数学模型

首先, 我们先对涉及的一些术语进行解释说明。在给水管网系统中, 节点水压标高是指管道上节点压力水头与该点地面高程之和。给水管网系统中具有一定的水压, 用来保证用户的用水, 我们将这个水压称为最小服务水压。服务水压标高就是指管道上节点最小服务水压与该点地面高程之和[4]。地面坡度、管段流量和管段承压力都相同的管道称为管段。

一般来说, 工程上采用标准管径, 也就是说每一管段可以由一种或多种标准管径组合成。由于标准管径档次太多, 计算量太大, 为方便计算, 可以通过流速来限制管径。为防止水击破坏, 管道内的流速应该限制不高于 3 m/s; 为防止淤积, 管道内的流速也不应该低于 0.6 m/s [5]。管道流速(m/s)用 V_{ij} 表示, i 表示管段序号, j 表示备选标准管径序号,

$$0.6 \leq V_{ij} \leq 3 \quad (1)$$

$$V_{ij} = \frac{4Q_i}{\pi d_j^2} \quad (2)$$

其中 Q_i 表示管段设计流量(m^3/s), d_j 表示管道计算内径(m)。

在第 i 管段中, 可以根据(1)式的条件来选择标准管径。若这样的标准管径档次有 $m(i)$ 个, 则这 $m(i)$ 个标准管径组成第 i 管段的备选管径组。

以单水源重力树状管网投资最小为目标函数

$$\min W = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m(i)} a_{ij} l_{ij} \quad (3)$$

其中 W 表示重力树状管网投资(元), n 表示管段数, $m(i)$ 表示第 i 管段的备选管径数, a_{ij} 表示第 i 管段中的第 j 种标准管径管道单价(元/m), l_{ij} 表示第 i 管段中选用的第 j 种标准管径的管长(m)。

每一管段各标准管径管长之和等于该管段长, 也就是

$$\sum_{j=1}^{m(i)} l_{ij} = L_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

其中 L_i 表示管段长(m)。要求各个节点水压标高均不得低于该节点服务水压标高, 即

$$\sum_{i=1}^{H(r)} \sum_{j=1}^{m(i)} p_{ij} l_{ij} \leq E_0 - E_r \quad (r=1, 2, \dots, R) \quad (5)$$

其中 r 表示节点序号, R 表示节点总数, $H(r)$ 表示水源至第 r 点的管段数, E_0 表示水源水面高程(m), E_r 表示节点服务水压标高(m), p_{ij} 表示管道水力坡度, 对于混凝土管及钢筋混凝土管, 可用巴甫洛夫斯基公式[6]

$$p_{ij} = \frac{V_{ij}^2}{e_j^2 R_j} \quad (6)$$

其中 R_j 表示水力半径(m), $R_j = d_j/4$, e_j 流速系数。

$$e_j = \frac{1}{N} R_j^{1/6} \quad (7)$$

其中 N 表示粗糙系数, 混凝土管及钢筋混凝土管一般取 0.013~0.014。另外, $l_{ij} \geq 0$ 。

由以上分析, 可建立单水源重力树状管网系统的数学模型

$$\begin{aligned} \min W &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m(i)} a_{ij} l_{ij} \\ \text{s.t. } &\sum_{j=1}^{m(i)} l_{ij} = L_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \\ &\sum_{i=1}^{H(r)} \sum_{j=1}^{m(i)} p_{ij} l_{ij} \leq E_0 - E_r \quad (r=1, 2, \dots, R) \\ &l_{ij} \geq 0 \end{aligned}$$

3. 数值实验

这是一个带约束的线性规划模型, 优化变量为 l_{ij} , 采用单纯形法求解, 下面根据例子对数学模型进行进一步的解释。单水源重力给水树状管网布置如图 1 所示。采用钢筋混凝土管, 管道单价见表 1, 管道的粗糙系数 $N=0.013$, 当管道起点与终点高差为 5 m ($E_0 - E_3 = 5$), 确定单水源重力树状管网优化设计方案[7]。

Step 1: 划分管段

Step 2: 确定各管段备选管径组

根据式(2)确定各个管段的备选管径组见表 2。

Step 3: 计算水力坡度

根据巴氏公式(6), 计算各管段水力坡度见表 2。

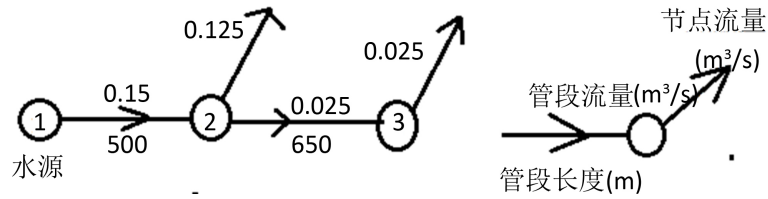


Figure 1. Single-source gravity tree pipe network calculation diagram
图 1. 单水源重力树状管网计算图

Table 1. Pipe unit price
表 1. 管道单价

管径(m)	单价(元/m)
0.1	20.3
0.15	29.1
0.2	36.0
0.25	46.7
0.3	56.7
0.4	83.6
0.5	103.7
0.6	144.3

Table 2. Pipeline alternative diameter group and its hydraulic gradient
表 2. 管段备选管径组及其水力坡度

管段序号 i	管段名称	管段流量(m³/s)	备选管径序号 j	备选管径(m)	流速(m/s)	水力坡度
1	1~2	0.150	1	0.5	0.76	0.001578
			2	0.4	1.19	0.005182
			3	0.3	2.12	0.02401
2	2~3	0.025	1	0.25	0.51	0.00176
			2	0.2	0.80	0.00579
			3	0.15	1.42	0.02683

Step 4: 确定目标函数

根据式(3)和表 1, 确定目标函数如下:

$$\min W = 103.7l_{11} + 83.6l_{12} + 56.7l_{13} + 46.7l_{21} + 36l_{22} + 29.1l_{23}$$

Step 5: 确定约束条件

根据式(4)和图 1, 确定管长约束条件如下:

$$\begin{aligned} l_{11} + l_{12} + l_{13} &= 500 \\ l_{21} + l_{22} + l_{23} &= 650 \end{aligned}$$

根据式(5)和表 2, 确定压力约束条件如下:

$$0.001578l_{11} + 0.005182l_{12} + 0.02401l_{13} + 0.00176l_{21} + 0.00579l_{22} + 0.02683l_{23} \leq 5$$

非负约束条件如下: $l_{ij} \geq 0 (i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3)$ 。

通过整理以上式子，得到该问题的数学模型如下：

$$\begin{aligned} \min W &= 103.7l_{11} + 83.6l_{12} + 56.7l_{13} + 46.7l_{21} + 36l_{22} + 29.1l_{23} \\ \text{s.t. } l_{11} + l_{12} + l_{13} &= 500 \\ l_{21} + l_{22} + l_{23} &= 650 \\ 0.001578l_{11} + 0.005182l_{12} + 0.02401l_{13} + 0.00176l_{21} + 0.00579l_{22} + 0.02683l_{23} &\leq 5 \\ l_{ij} &\geq 0 \end{aligned}$$

Step 6: 优化计算

调用优化程序 LP_simplex_general,

编写程序代码：

```
>> C=[103.7;83.6;56.7;46.7;36;29.1]
>> Aeq=[1,1,1,0,0,0;0,0,0,1,1,1]
>> beq=[500;650]
>> A=[0.001578,0.005182,0.02401,0.00176,0.00579,0.02683]
>> b=[5]
>> lb=[0;0;0;0;0;0]
>> ub=[]
>> [x,y]=linprog(C,A,b,Aeq,beq,lb,ub)
```

其中，C 是目标函数的系数向量，Aeq 是等式约束的系数矩阵，beq 是等式约束对应的右端向量，A 是不等式约束的系数矩阵，b 是不等式约束对应的右端向量。

在 MATLAB 环境中运行上面的程序代码，得如下结果：

$x = (0.0000, 500.0000, 0.0000, 336.1042, 313.8958, 0.0000)$ $y = 6.8796e+04$

以上结果表明，重力输水管道系统优化设计线性规划模型的最优解为：

$$l_{12} = 500 \text{ m}, l_{21} = 336 \text{ m}, l_{22} = 314 \text{ m}$$

根据计算结果显示，管段 1~2 应选用管径 0.4 m 的管长 500 m；管段 2~3 应选用管径为 0.25 m 的管长 336 m；选用管径 0.2 m 的管长 314 m。管道投资(目标函数)为 68,796 元。

基金项目

大学生创新创业训练计划项目(2018)。

参考文献

- [1] 王文芬, 陈晨. 泵站加压式树状供水管网优化设计研究[J]. 人民长江, 2016, 12(47): 63-66.
- [2] 许晓明, 李华, 杨超, 李彦兰. 基于模糊聚类法的油气集输系统优化设计[J]. 石油工程建设, 2016, 42(2): 5-9.
- [3] 郑凤, 李长俊. 线性逼近法在管网系统优化运行中的应用[J]. 天然气与石油, 2007, 25(3): 27-29.
- [4] 白丹. 树状给水管网优化[J]. 水利学报, 1996(11): 52-56.
- [5] 白丹. 重力输水管的优化计算[J]. 给水排水, 1993, 19(2): 13-18.
- [6] 扬钦, 严照世. 给水工程(上册)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986: 56-217.
- [7] 白丹. 给水输配水管网系统优化设计研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2003.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2163-1476，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：orf@hanspub.org