

給水管網的計算方法

[苏联] B. Г. 洛巴切夫著

科学技術出版社

給水管網的計算方法

[苏联] B. Г. 拉巴契夫著

胡澄东译

科学技術出版社

內 容 提 要

本書介紹給水管網的技術經濟計算方法，提供新的決定管網全部壓力損失的方法，用來選擇水泵。除了敘述之外還附有示例。

本書適用於給水部門的工程師和科學工作者，同時對於給水專業的大學學生亦有幫助。

給水管網的計算方法

ПРИЕМЫ РАСЧЕТА ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

原著者 [苏联] В. Г. ЛОБАЧЕВ

原出版者 ИЗДАТЕЛЬСТВО МИНИСТЕРСТВА

КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

РСФСР · 1950 年版

譯 者 胡 澄 东

*

科學技術出版社出版

(上海南京西路2004號)

上海市書刊出版業營業許可証出079號

上海啓智印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

統一書號：15119·615

開本 787×1092 1/27 · 印張 2 8/9 · 字數 58,000

1958年2月第1版

1958年2月第1次印刷 · 印數 14,800

定價：(10) 0.48元

目 錄

緒言	1
第一篇 經濟合理的給水管網直徑之選擇	5
1. 几种主要的問題类型	5
2. 第一类及第二类問題的环形管網及樹枝狀管網的解答法	7
3. 上述公式的普遍式	13
4. 經濟因素 ϑ 值的決定	15
5. λ_n 值的決定	15
6. 分配管網各綫路 τ_n 值的条件	16
7. 环形管網 τ_n 值的決定	21
8. 決定环形給水管網經濟合理的管徑的示例	25
9. 管網近似的技術經濟計算示例	30
第二篇 決定环形管網总压力損失的方法	32
1. 決定管網总压力損失的公式之演算	33
2. 決定可能流向的数量	41
3. 決定环形給水管網各綫路通过数量的示例	43
4. 計算总压力損失的示例	46
5. 当計算公式不是二次方时,关于应用上述方法的可能性	71
6. 結論	72
7. 总結	73

緒 言

給水管網的計算問題是非常繁重的，需要花費很多工作。這是因為給水管網的費用通常要占據給水總費用的 50~80%。但現在已經知道計算方法的複雜性並不能完全令人確信：用標準方法設計給水管網是最合理的，且在經濟上是有充分根據的。

給水管網的計算應該滿足下列對給水管網的基本要求：

- 1) 以應有的水量和足夠的壓力將水供應給任何一個用戶；
- 2) 管網的結構應該經濟合理，在發生故障和供應消防用水時應可靠。

管網計算普通可以分成三個主要階段：

第一階段 按照一定的設計意圖定出送水到用戶的給水管線路。這些線路可定作斷頭式——樹枝狀，亦可定作環狀式——閉合狀。此後，有時就在同時，定出供水區內各個給水點的需要用水量，以及管網各線路近乎均勻分布的用水量。而後再將這些幾乎均勻分配的用水量折算成分布在管網各節點的當量流量。這樣就得到用水量集中在該管網各節點及各個點的管網計算圖。

完成以上工作後開始分配管網各線路上的流量值。

分配各線路流量值時，應使這些線路中的一部分負載較大的流量，另一部分的線路負載較小的流量。

但有時剛相反，而力求使管網主流附近所有線路的負載趨向均勻。

第一種方式的管網就名之為干管管網，第二種方式有時稱作普通管網。

当分配管網各綫路流量的时候應該遵守節点流量平衡的条件,用数学公式表示如下:

$$\sum q_p = 0$$

这一公式表示:通向節点所有流量的总值(采用“+”号)应等于流离節点的所有流量(采用“-”号)的总值。

給水管網計算的第一階段到此为止。

第二階段 根据管網各綫路的已知流量分配,定出管徑之值。定管徑时,通常是按照技術經濟方法進行的,也就是按照給水管網的全部敷設和加壓的費用为最小的条件來决定管子的直徑。有时当管網內的可能压力損失为定值时,那么管子的直徑只按照使敷設管網的費用最小來加以决定。

在以上二种情况下当求最小的費用时,还須同时符合下列方程式所表示的水力条件:

$$\sum_{KOA} h = 0$$

式中: h ——管網各綫路的压力損失;

\sum_{KOA} ——表示一个环的压力損失的总和。

这种方程式的数目等于环的数目。方程式表示:当繞着每一个环的外环环行一圈时,管網內各个环的压力損失之代数和都等于零(当繞着每一环的外环环行时,若水流为順时針方向,則压力損失作为正值,若水流为逆时針方向,則作为負值)。

管網的水力計算就包括在上述一些方程式的求解中。这样,按照技術經濟方法計算的管網,同时亦就体现了水力計算。

但是只滿足給水管網修建經濟的要求,計算的任务并不能認為已經完畢。

除了經濟的条件以外,尚应保證管網能通过消防流量以及發生故障时的供水。这一种情况就不得不使某些綫路,特别是那些与主流交叉的綫路,把原來根据技術經濟計算而确定的直徑相应

地加大。此外，管網各个綫路的直徑应符合全苏标准。因之，用計算方法求得之值还得化成最接近标准尺寸的整数。

經過上述变动后，管網各綫路的流量分配和压力損失以及管網內的总压力損失，与技術經濟計算的結果相比較，都將有所改变。因此，为了訂正这些数值，就必须進行复核水力計算。在各綫路的直徑及綫路流量分配为已知的情况下，这种管網压力損失的复核水力計算，構成了給水管網計算的第三階段。

第三階段 这一階段的复核水力計算就是要求出滿足下列二个基本水力条件的管網各綫路的流量分配，亦即

1) 管網各節点流量平衡的条件——符合 $\sum q_j = 0$ 的方程式；

2) 管網內每一个环的压力損失平衡的条件——符合 $\sum_{K \in L} h = 0$

的方程式。

解答的方法为：

1) 直接選擇法。这种方法要求具备丰富的設計經驗。

2) 安德列夫工程师法。安德列夫拟定了多种技術及圖解的方法，可以減輕选配工作。

3) 作者在 1934~1936 年提出的方法。用簡便的試算法（列成表格）來解答 n 个联立直綫方程式和二次方程式。

解答这些联立方程式，实际上亦就構成了管網的水力計算。

这一方法在数学上是有根据的，但是要求許多精密的計算。

本書下面所介紹的，在第一篇中將涉及管網計算的第二階段，而在第二篇中則为第三階段。

在本書第一篇中，敘述給水管網的技術經濟計算，按照下列比較簡單的公式來決定管徑之值：

$$d = (M \cdot q^3 \tau_n)^x$$

式中： d ——經濟合理的管綫直徑；

M ——考慮到主要經濟数据的因素；

q ——在第一个計算階段中分配的各綫路流量;

τ_a ——有关管網性質(断头式或环狀),汲水点配置位置及在第一階段中分配流量时,管網水力平差的因素。

为簡化上述公式的計算起見,引有諾模計算圖。

在本書的第二篇中,提供了管網各綫路流量分配不用詳細平差的、决定管網总压力損失的新方法。

管網总压力損失的計算,按照下式進行:

$$H_n = \frac{1}{N} \cdot \left(\sum_{\substack{\text{по всем} \\ \text{линиям}}} p s q^2 - \sum_{\substack{\text{по всем} \\ \text{кольцам}}} \Delta h \frac{\sum_{\text{кол}} \pm p s q}{\sum_{\text{кол}} s q} \right)$$

式中: H_n ——管網内总压力損失之值;

N ——从管網的起点到終点,整个管網内的可能流向数;

p ——通过每一綫路的流向数;

s ——綫路的水力摩阻;

q ——綫路上的流量;

\sum ——表示管網内所有各个綫路的总和;

по всем
линиям

Δh ——一个环的压力損失之誤差;

\sum ——表示一个环的总和;

кол

\sum ——表示管網内所有各个环的总和。

по всем
кольцам

誤差 Δh 按下式計算:

$$\Delta h = \sum_{\text{кол}} s q^2$$

这一管網計算的新方法可以大大地縮減計算時間。

在本書的第二篇中,除了計算公式本身的推演以外,并且对于决定管網中可能流向的总数及通过管網每一綫路的流向数,提供了实用的指示。

这本書以解答管網总压力損失的計算例題作为結束。

第一 篇

經濟合理的給水管網直徑之選擇^①

1. 几种主要的問題类型

当計算各种不同的給水管網时，在实际情况中常会碰到下列五种类型的問題：

第一类

在这一类問題中，已知条件为：1) 管網的綫路布置，2) 給水管綫的長度，3) 管網的全部流量，4) 管網各綫路的流量分配。

要求決定綫路的直徑和管網中的压力損失。

这类問題沒有肯定的解答。为了要使解答肯定，必須引用附加条件。这些条件为：管網修建的經濟性，以及管網經營条件的經濟性。

这种类型的問題在居民区及工業企業的給水事業中最为普遍。

第二类

已知条件为：1) 管網的綫路布置，2) 給水管綫的長度，3) 配置的压力，4) 全部流量及節点流量。此外还知道各綫路的分配流量，并規定了管網起点暨某些汲水点所需之自由压力。

要求決定各綫路的直徑。

这类問題在沒有引用附加条件以前，同样沒有肯定的解答。

^① 本篇系 1946 年初作者在給水及衛生技術的全苏科学研究和技術协会上所作的报告修正而成。

在这里,这种附加条件是: 修建給水管網的經濟性。

第三类

已知条件为: 1) 管網的綫路布置, 2) 給水管綫的長度, 3) 管子直徑, 4) 全部流量及節点流量。要求求出管網各綫路的流量分配, 并决定各綫路上的压力損失及全部管網的总压力損失。

这类問題碰到的机会特別多。事实上, 这就是复核管網的水力計算。

第四类

已知条件为: 1) 管網的綫路布置, 2) 給水管網的長度, 3) 管子直徑, 4) 抵偿管子內水流摩阻的压力。此外还知道汲水处的流量随着压力而变化的关系。

需要求出全部流量及管網各綫路的流量分配。

这种类型的問題, 例如当計算自动噴水設備的管網以及应用消防水龍帶向失火地点供水等等的計算时, 常会遇到。

第五类

在这类問題中的已知条件为: 1) 管網的綫路布置, 2) 管綫的長度, 3) 管網中的全部流量及節点流量。要求求出管網各綫路的流量分配, 决定管綫的直徑和压力損失。

对于这一类問題, 除了修建和經營的經濟性条件之外, 还須要一系列的附加条件。例如故障时管網工作的可靠性, 保証消防时的供水等等。

第五类問題暫时尚無分析解法。

这类問題的解答方法歸納成: 根据各种意圖分配管網各綫路流量, 得出各种不同方案加以比較。因此这类問題也就屬於第一类問題的性質。

在本篇中將研究第一类及第二类問題的解答方法。

解答第三类問題的新方法將在本書第二篇中加以敘述。

2. 第一类及第二类問題的环形管網及 樹枝狀管網的解答法

第一类及第二类問題的解答称做給水管網的技術經濟計算。

在环形管網及樹枝狀管網中所应用的一般技術經濟計算方法,首先是由年輕的苏联学者 Л. Ф. 莫兴^①提出的。

这里我們运用了他的原理來解答上述問題,而同时用另一种方法來推演基本公式。

第一类問題

如上所述,这类問題的不定性是引用了管網費用最小的附加条件來解决的。这时非但應該考慮到造价(管子的敷設,水泵站的建筑),并且还應該考慮到經營費用(經營管網及水泵站的用費)。計算造价及經營費用以折算成年費用的表示式表示:

$$S = c \sum_{no.l} (a + bd^m) l + CQ_0 \left(\sum_{\substack{\text{выбр.} \\ \text{напр.}}} h + H \right) \quad (1)$$

式中: S ——折算成年費用后的总值;

$(a + bd^m)$ ——敷設一公尺管子所需費用的經驗式根据管子直徑 d 而变动;

l ——直徑为 d 的管綫長度;

Q_0 ——計算流量,以每秒立方公尺計;

h ——管網綫路上的压力損失;

H ——自由压力;

$\sum_{no.l}$ ——表示管網各綫路总和的記号;

$\sum_{\substack{\text{выбр.} \\ \text{напр.}}}$ ——表示选定的流向上,自管網起点到某一定点的

总和的記号;

c ——考慮償还年期,以及包括折旧費暨平时修理費

^① 見 Л. Ф. 莫兴的論文“給水管網的技術經濟計算”。

在內的管網經營費用的系数；

C ——每秒 1 立方公尺流量及提升 1 公尺水頭的水泵站之折算年費用。

要求使折算年費用 S 的總值最小，就是解答這一問題的附加條件。

當尋求這個最小值時，應該滿足給水管網的基本水力條件。

對於環形管網，這就是各環壓力損失平衡的條件，用方程式表示如下：

$$\sum_{\text{кол} 1} h = 0, \quad \sum_{\text{кол} 2} h = 0, \quad \dots \dots \dots \sum_{\text{кол} n} h = 0 \quad (2)$$

記號 $\sum_{\text{кол}}$ 表示每個環的總和，指標 1, 2, $\dots \dots n$ 是環的編號。

樹枝狀管網的水力條件可以寫成下列方程式：

$$\left. \begin{aligned} \sum_{\text{напр} 1} h - \sum_{\text{выбр. напр}} h &= H_1 \\ \sum_{\text{напр} 2} h - \sum_{\text{выбр. напр}} h &= H_2 \\ \dots \dots \dots \\ \sum_{\text{напр} n} h - \sum_{\text{выбр. напр}} h &= H_n \end{aligned} \right\} \quad (2')$$

記號 $\sum_{\text{напр} n}$ —— 表示某一流向：1, 2, $\dots \dots n$ 的總和。

記號 $\sum_{\text{выбр. напр}}$ —— 表示選定的主要流向的總和。

$H_1, H_2 \dots H_n$ —— 第一，第二 $\dots \dots$ 第 n 個流向的末端與選定的主要流向間的自由壓力之差。

(此處須牢記：即管網各綫路的分配流量 q 是已知的，且符合於管網節點流量平衡的條件，亦即 $\sum q_y = 0$ 的方程式)。

折算年費用的最小值可用拉格蘭士 (Лагранжа) 法求得。

为此列出如下形式的 R 函数:

1) 环形管網

$$R_{\text{зам}} = \sum_{\text{пол}} c(a + bd^m)l + CQ_0 \sum_{\substack{\text{выбр.} \\ \text{напр}}} \frac{kq^{\lambda}l}{d^z} + \sum_{\substack{\text{по всем} \\ \text{кольцам}}} \lambda_i \sum_{\text{кол}} \frac{kq^{\lambda}l}{d^z}, \quad (3)$$

式中: $\sum_{\substack{\text{по всем} \\ \text{кольцам}}}$ —— 各个环的总和;

λ_i —— 拉格蘭士乘数;

i —— 环的编号。

2) 樹枝狀管網

$$R_{\text{раз}} = \sum_{\text{пол}} c(a + bd^m)l + CQ_0 \sum_{\substack{\text{выбр.} \\ \text{напр}}} \frac{kq^{\lambda}l}{d^z} + \sum_{\substack{\text{по всем} \\ \text{напр}}} \lambda_i \left(\sum_{\text{напр}} \frac{kq^{\lambda}l}{d^z} - \sum_{\substack{\text{выбр.} \\ \text{напр}}} \frac{kq^{\lambda}l}{d^z} - H_i \right), \quad (3')$$

式中: $\sum_{\substack{\text{по всем} \\ \text{напр}}}$ —— 各个流向的总和;

i —— 流向的编号。

在这些函数中, 管網各綫路中的压力損失均可用下列的普遍式表示:

$$h = \frac{kq^{\lambda}l}{d^z} \quad (4)$$

式中: q —— 綫路上的流量。

当函数 R 对直徑微分时 (在这种情况下直徑算作自变数), 并使一級導数等于零, 即得到表达管網全部折算費用最小这一条件的附加关系。

1) 环形管網

若使 $C_0 = \frac{C}{c}$ 及 $\lambda'_i = \frac{\lambda_i}{c}$ 时, 得到以下关系:

对于在选定的流向上, 自管網起点到某一定点的綫路为

$$d = \left[\frac{kz}{mb} \cdot q^s (C_0 Q_0 - \lambda'_i) \right]^{\frac{1}{m+z}} \quad (5)$$

在外環上的綫路为

$$d = \left[\frac{kz}{mb} \cdot q^s \lambda'_i \right]^{\frac{1}{m+z}} \quad (6)$$

在公式(5)及(6)中, i 是該管綫所在環的編号。

管網內的其余各綫路为

$$d = \left[\frac{kz}{mb} \cdot q^s (\lambda'_i - \lambda'_s) \right]^{\frac{1}{m+z}} \quad (7)$$

式中: i 及 s 为被該綫路分隔开的環的編号。

2) 樹枝狀管網

主要流向上的綫路为

$$d = \left[\frac{kz}{mb} \cdot q^s (C_0 Q_0 - \sum \lambda'_i) \right]^{\frac{1}{m+z}} \quad (8)$$

i ——不通过該綫路的流向編号。

各流向的末端綫路(除掉选定的主要流向)为

$$d = \left[\frac{kz}{mb} \cdot q^s \lambda'_i \right]^{\frac{1}{m+z}} \quad (9)$$

i ——通过該綫路的流向編号。

管網的其余各綫路为

$$d = \left[\frac{kz}{mb} \cdot q^s \sum \lambda'_i \right]^{\frac{1}{m+z}} \quad (10)$$

i ——通过該綫路的流向編号。

为了闡明所采用的符号及指标起見, 附有环形管網(圖 1) 及樹枝狀管網(圖 2)的簡圖。

第二類問題

如上所述, 第二類問題的不定性是引用附加条件, 即敷設管網的費用最小而解决的。

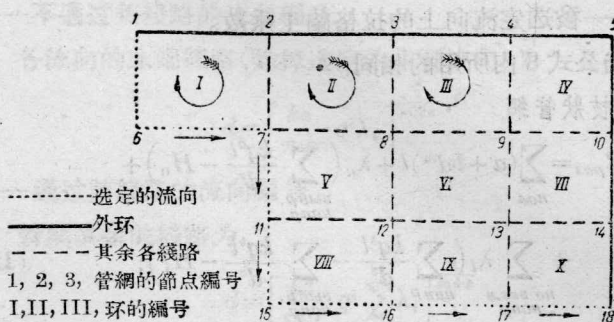


圖1 环形管網簡圖

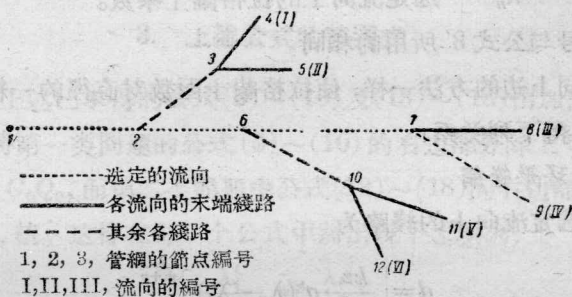


圖2 樹枝狀管網簡圖

管網的費用以公式表示如下：

$$S_{cem} = \sum (a + bd^m)l \quad (11)$$

求此值之最小值亦应符合水力条件的表达式 (2) 及 (2') (与第一类問題同)。

在本情況下,拉格蘭士函數具有下列形式:

1) 环形管網

$$R_{3a.m} = \sum_{\text{по } l} (a + bd^m)l + \lambda_{II} \left(\sum_{\substack{\text{выбр.} \\ \text{напр}}} \frac{kq^{\delta}l}{d^z} - H_0 \right) + \sum_{\substack{\text{по всем} \\ \text{количеством}}} \lambda_i \sum_{\text{кол}} \frac{kq^{\delta}l}{d^z}; \quad (12)$$

式中: H ——用以抵償管網起點到某一定點水流摩阻的已知壓力;

λ_u ——被选定流向上的拉格蘭士乘数。

其余符号与公式 3 內所用的相同。

2) 樹枝狀管網

$$R_{\rho a z} = \sum_{\text{по } l} (a + b d^m) l + \lambda_u \left(\sum_{\substack{\text{выбор.} \\ \text{напр}}} \frac{k q^{\delta} l}{d^z} - H_0 \right) + \\ + \sum_{\substack{\text{по всем} \\ \text{напр}}} \lambda_i \left(\sum_{\text{напр}} \frac{k q^{\delta} l}{d^z} - \sum_{\substack{\text{выбор.} \\ \text{напр}}} \frac{k q^{\delta} l}{d^z} - H_i \right); \quad (12')$$

同样, 式中: H_0 ——已知压力;

λ_u ——选定流向上的拉格蘭士乘数。

其余符号与公式 3' 所用的相同。

如同上边的方法一样, 使拉格蘭士函数对直徑的一級導数等于零, 求得下列关系:

1) 环形管網

在选定流向上的綫路为

$$d = \left[\frac{kz}{mb} \cdot q^{\delta} (\lambda_u - \lambda_i) \right]^{\frac{1}{m+z}} \quad (13)$$

在外环上的綫路为

$$d = \left[\frac{kz}{mb} \cdot q^{\delta} \lambda_i \right]^{\frac{1}{m+z}} \quad (14)$$

公式(13)及(14)中, i ——該綫路所在环的編号。

其余各綫路为

$$d = \left[\frac{kz}{mb} \cdot q^{\delta} (\lambda_i - \lambda_s) \right]^{\frac{1}{m+z}} \quad (15)$$

指标 i 及 s ——被該綫路分隔开的环的編号。

2) 樹枝狀管網

在选定的主要流向上的綫路为

$$d = \left[\frac{kz}{mb} \cdot q^{\delta} (\lambda_u \sum \lambda_i) \right]^{\frac{1}{m+z}} \quad (16)$$

i ——不通過該綫路的流向編號。

各流向的末端綫路(除掉選定的主要流向)為

$$d = \left[\frac{kz}{mb} \cdot q^s \lambda_i \right]^{\frac{1}{m+z}} \quad (17)$$

i ——通過該綫路的流向編號。

管網其余的綫路為

$$d = \left[\frac{kz}{mb} \cdot q^s \sum \lambda_i \right]^{\frac{1}{m+z}} \quad (18)$$

i ——通過該綫路的流向編號。

3. 上述公式的普遍式

若將上述已求得的公式(5)~(10)及(13)~(18)稍加演變。

1. 將第一類問題的公式(5)~(10)的右边部分除上 $C_0 Q_0$ 值后再乘以 $C_0 Q_0$, 而第二類問題中公式(13)~(18)的右边部分除以并乘以 λ_n 值。這樣在每一個公式中將出現下述項列:

$$\frac{\lambda'_i}{C_0 Q_0} \text{ 或 } \frac{\lambda_i}{\lambda_n}$$

若將這一項列用 τ_i 表示(τ 的指標 i 仍保持拉格蘭士相應乘數 λ_i 的意義)。於是環形管網的公式(5)~(7)可改寫成

在選定流向上的綫路:

$$d = \left[\frac{kz}{mb} \cdot q^s C_0 Q_0 (1 - \tau_i) \right]^{\frac{1}{m+z}} \quad (19)$$

外環上的綫路:

$$d = \left[\frac{kz}{mb} \cdot q^s C_0 Q_0 (\tau_i) \right]^{\frac{1}{m+z}} \quad (20)$$

外環的其余各綫路:

$$d = \left[\frac{kz}{mb} \cdot q^s C_0 Q_0 (\tau_i - \tau_s) \right]^{\frac{1}{m+z}} \quad (21)$$

樹枝狀管網的公式(8)~(10)將為: