

文章编号:1000-582X(2005)11-0122-03

环状供热管网水力计算方法探讨*

肖益民,付祥钊

(重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆 400030)

摘要:明确了环状干线、输送干线和枝状支线的概念与水力计算次序,提出了拟定环状干线流向的原则和进行流量初始分配的方法,建立了环状干线水力平差的数学模型,定义了节点参考压力的概念,并推导出计算节点参考压力的方程组及其矩阵表达式.在此基础上,开发了环状干线水力平差计算程序,给出了计算枝状支线资用动力的方法.

关键词:供热;环状管网;水力计算

中图分类号:TU995.3

文献标识码:A

环状供热管网具有较高的后备能力.随着中国供热事业的发展,在新建管网或管网扩建、改造时,将会越来越多地应用环状管网^[1].为充分发挥环状管网的优势,开展其计算分析方法研究显得尤为重要.

1 环状干线、输送干线和枝状支线水力计算次序

以热水为热媒的闭式集中供热管网可分为4个部分:供水管、回水管、热源与热用户.供水管与回水管一般对称布置,管网中同一位置供回水管段流量相等、管径相同,计算阻力也相等.因此,可只对供水管进行水力计算,热源输出流量和热用户的设计流量是已知值,将它们作为节点流量处理.

管网中,能够根据节点流量值和节点流量平衡规律直接确定出设计流量的管线称为枝状管线.包括连接热源的输送干线和连接热用户的枝状支线.它们的水力计算方法与枝状管网相同;不能够直接确定设计流量的管线为环状管线,一般是管网的干线,称为环状干线.

枝状支线的资用动力要受环状干线的水力计算结果的影响.因此整个管网水力计算次序应是:环状干线——输送干线——枝状支线.对于枝状支线,应先计算连接最不利用户的支线,然后计算连接其余用户的支线.

2 环状干线的水力计算方法

2.1 环状干线管段流向拟定

将枝状支线与输配干线从管网中去掉,剩余的管段组成环状干线图.在被去掉的管段与环状干线的连接点处,用节点流量代替该管段中的流量.分别对环状干线进行节点和管段编号,编号应采用从1开始的连续自然数序列,并注意二者之间的区分.

在供水管中,热水必然是从热源流出,流入热用户,且在节点处应满足流量平衡,因此,拟定流向时可按以下2个原则进行:1)热水应从离热源较近的节点流向较远的节点;2)同一节点,必须有热水流入,也有热水流出.

2.2 管段流量初始分配

管段流量初始分配是初定管径的前提,且对管径选择、管网造价和运行费用、管网后备能力有很大影响.文献[2-3]提出了燃气管网、给水管网的流量初始分配方法,由于管网功能的差异,这些方法并不适合供热管网.无论何种流量分配方案都必须满足节点流量平衡.

2.2.1 确定流量初始分配的起始点

按照2.1的原则进行流向拟定后,在管网中一定存在这样的节点:2个(或2个以上)管段的流量全都流入该节点,而从该节点流出的只有节点流量.这种节

* 收稿日期:2005-06-20

基金项目:国家十五重大科技专项(2003BA808A19-6);重庆大学基础及应用基础研究基金项目(2003007)

作者简介:肖益民(1974-),男,重庆市人,重庆大学讲师,博士研究生,主要从事建筑环境与设备工程方面的研究.

点应作为流量初始分配的起始节点. 流量初始分配的起始节点一般距离热源较远,且可能不止1个.

2.2.2 流量初始分配方法

流量分配从“初始流量分配起始点”开始,先确定流出节点的流量总和,它等于流入该节点的几个管段的流量之和.在这几个管段之间,按长度的反比例进行流量分配,管段越短,分配的流量越多,管径可能越大;管段越长,分配的流量越少,管径就可能越小,从而达到节约管材,减少建设费用的目的.逆着流向,逐个节点向热源点推进.当在某个节点处,流出节点的流量总和无法确定时,需要暂时停下,从另外的起始节点开始进行,直到完成所有环状干线的流量初始分配.

2.3 初定管径

环状干线管段的控制比摩阻值应符合文献[4]的有关规定.根据初始分配的计算流量和控制比摩阻,可计算并初步选择各个管段的管径^[5].

2.4 水力平差计算

初始分配流量一般不能满足回路压力平衡.在选定管径后,各个管段的流量由节点流量平衡方程组和回路压力平衡方程组确定.

2.4.1 节点流量平衡方程组

设环状干线管网的节点数为 J 、管段数为 N .其节点流量平衡方程组为^[6]:

$$B_k Q = q'. \quad (1)$$

式(1)中 B_k 为管网图的基本关联矩阵^[2], $(J-1) \times N$ 阶,由关联矩阵 B ^[6]删除任意一行得到,被删除行对应的节点称为参考节点; q' 为 $J-1$ 阶节点流量列阵,由节点流量列阵 $q = (q_1, q_2, \dots, q_J)^T$ 去掉参考节点的节点流量得到,符号“ T ”表示对矩阵进行转置; Q 为待求的 N 个管段流量组成的列阵.

2.4.2 独立回路压力平衡方程组

恒定流管网应满足独立回路压力平衡方程组.以热水为热媒的室外供热管网,一般采用闭式,管网中流体密度变化不大,故可忽略重力作用的影响;循环水泵一般在热源支路输入,环状干线上没有全压动力.管网的独立回路压力平衡方程组为

$$C_f \cdot \Delta P = 0. \quad (2)$$

式(2)中 C_f 为管网的独立回路矩阵.独立回路矩阵是在管网图生成树的基础上得到的^[6],每个独立回路均对应生成树的1个余枝,独立回路数是 $N-J+1$, C_f 为 $(N-J+1) \times N$ 阶.

2.4.3 管段阻力定律

管段的流动阻力用下式来表示^[6]:

$$\Delta P_j = S_j Q_j^2, \quad j = 1 \sim N. \quad (3)$$

式(3)中 S_j 为管段 j 的阻抗; Q_j 为管段 j 的流量.

2.4.4 水力平差计算方法

1) 树枝流量与余枝流量的关系

环状干线管网中,利用节点流量平衡方程组,以及

矩阵 B_k 和 C_f 之间的关系^[6],可推导出树枝管段和余枝管段的流量之间存在如下关系:

$$Q_{II} = B_{k12}^{-1} q' + C_{f12}^T Q_I \quad (4)$$

式(4)中 Q_{II} 为树枝管段流量列阵, $J-1$ 阶; B_{k11} 为基本关联矩阵中余枝管段对应的列阵, $(J-1) \times (N-J+1)$ 阶; B_{k12} 为基本关联矩阵中树枝管段对应的列阵, $(J-1) \times (J-1)$ 阶; Q_I 为余枝管段流量列向量, $(N-J+1)$ 阶; C_{f12} 为独立回路矩阵中树枝对应的列组成的分块阵, $(N-J+1) \times (J-1)$ 阶.

2) 回路方程法

将式(3)代入式(2),并利用式(4)的关系,将独立回路压力平衡方程组中的树枝流量用余枝流量替换后,方程组中只有余枝流量未知数 $M = N - J + 1$ 个,与方程数目相等.采用网络分析的回路方程法可以迭代计算出余枝流量的数值解^[6].首先假定一组余枝流量,通过求解牛顿方程组

$$A \times [\Delta Q_I] = -f \quad (5)$$

得到余枝流量修正值.式(5)中 A 为雅可比矩阵, $[\Delta Q_I]$ 为 M 个余枝流量修正值组成的列阵; f 为 M 个独立回路压力闭合差组成的列阵.反复对余枝管段流量进行修正,直到第 K 次计算后满足 $\max |f(Q_1^K, Q_2^K, \dots, Q_M^K)| < \epsilon$, ϵ 是回路压力闭合差的最大允许值,则 $Q_1^K, Q_2^K, \dots, Q_M^K$ 为符合计算精度要求的解.利用式(4),可求得树枝管段流量.

作者利用回路方程法开发了环状供热管网水力平差计算的软件.计算出环状干线各管段的流量后,可以计算其流速、压降及比摩阻等水力参数并校核它们是否符合设计要求,如不符合,可调整部分管径,重新进行平差计算,直到满足要求为止.

2.4.5 节点参考压力及其计算方法

在环状干线中,任选一个节点为压力参考点并给出压力值,根据各个管段的阻力损失,可计算出所有节点以参考点压力值为起算点的压力,称为参考压力.根据管段阻力损失与节点压力的关系,推导得出:

$$B_{12}^T \cdot P_0 = \Delta P \quad (6)$$

式(6)中 P_0 为节点参考压力列向量, J 阶; B_{12}^T 为关联矩阵中树枝对应的列分块矩阵的转置, $(J-1) \times J$ 阶.文中开发的计算程序能直接输出各节点的参考压力值.

3 输送干线与支状支线的水力计算方法

3.1 输送干线

按照控制比摩阻和设计流量,确定管径并计算压力损失.

3.2 枝状支线

3.2.1 连接最不利用户的枝状支线

设计工况下源点与每一用户之间的流体输送回路中需用压力最高的回路称为最不利回路,该回路中的

用户即为最不利用户。按照控制比摩阻和设计流量确定其管径,并计算压力损失。

3.2.2 连接其余用户的枝状支线

按照压损平均法确定各个管段的管径和压力损失。连接其余用户的支线的资用动力 P_{ZY} 可用下式计算:

$$P_{ZY} = P_{y1} - P_{z1} + \Delta P_{zbl} + P_{by} - P_y \quad (7)$$

式(7)中 P_{y1} 为计算支线与环状干线连接点的参考压力, Pa; P_{z1} 为连接最不利用户的支线与环状干线连接点的参考压力, Pa; ΔP_{zbl} 为连接最不利用户的支线的压力损失, Pa; P_{by} 为最不利用户的预留压力, Pa; P_y 为计算支线连接的用户的预留压力, Pa。

4 算例

图1是某城市高温热水集中供热工程的供水管网布置图。设计供水温度为 $110\text{ }^\circ\text{C}$, 回水温度 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 。该集中供热管网共有15个热力站(热用户), 全部采用水/水换热器与室内采暖管网间接连接。所有用户预留的资用压头是 $8\text{ mH}_2\text{O}$ 。各热力站的循环热水流量示于图1中。

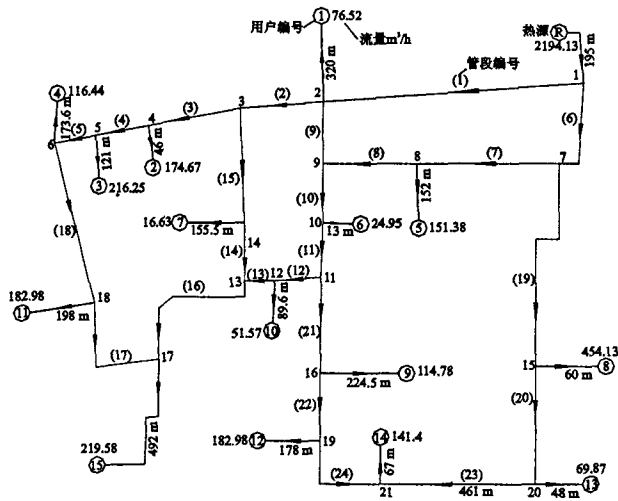


图1 供热管网图(供水管部分)

图1中粗线管段为环状干线管段, 细线表示枝状管段。按照环状干线流向的拟订原则, 初步拟订环状干线的流向, 示于图1中。按照图2中所示的次序进行环状干线流量的初始分配, 分配结果列入表1。按文献[4]的规定选定控制比摩阻, 计算并选择管径, 结果列入表1。其中, 局部阻力折算成沿程阻力, 折算比例按文献[4]的规定确定。利用文中开发的计算软件, 计算出管段流量、压力损失以及各节点的参考压力。管段流量和压力损失计算结果见表1。从表1中可以看出, 各个管段的实际比摩阻基本都小于 70 Pa/m , 少数管段的比摩阻小于 30 Pa/m , 考虑到这些管径已经较小, 而该热网还有增加用户的可能, 故不再进行调整。枝状管线水力计算按第3节所述计算方法方法进行, 限于篇幅, 不再赘述。

幅, 不再赘述。

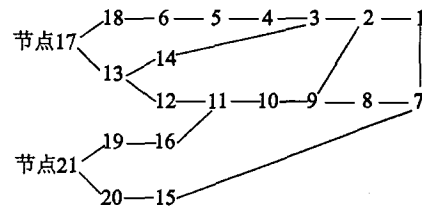


图2 环状干线流量初始分配次序

表1 环状干线水力计算结果

管段编号	折算管长 /m	初始分配流量 $/(m^3 \cdot h^{-1})$	初定管径		平差计算结果			
			控制比摩阻 $/(Pa \cdot m^{-1})$	计算管径 /mm	选用管径 /mm	流量 $/(m^3 \cdot h^{-1})$	压力损失 /Pa	比摩阻 $/(Pa \cdot m^{-1})$
1	1156.4	1255.9	55	0.506	500	1117.5	47450.8	41.03
2	336.8	866.4	40	0.467	450	852.9	13809.9	41.00
3	380.8	809.6	40	0.455	450	772.8	12817.6	33.66
4	224.0	634.9	40	0.414	450	598.1	4516.6	20.16
5	165.1	418.7	40	0.354	350	381.9	5101.5	30.90
6	327.6	938.2	40	0.481	500	1076.7	12479.4	38.09
7	604.5	358.9	40	0.333	350	441.9	25009.5	41.37
8	351.0	207.5	40	0.271	300	290.5	13793.1	39.30
9	232.7	313.0	40	0.317	300	188.0	3831.2	16.46
10	254.3	520.6	40	0.384	400	478.5	6302.6	24.79
11	206.7	495.6	40	0.377	400	453.6	4603.0	22.27
12	200.2	111.7	40	0.214	250	125.2	11976.7	59.82
13	88.4	60.2	40	0.169	200	73.7	1829.5	20.70
14	132.6	40.1	40	0.145	200	63.5	2037.7	15.37
15	518.7	56.8	40	0.165	200	80.1	12695.4	24.48
16	582.5	100.3	40	0.205	200	137.1	41785.1	71.73
17	490.1	119.3	40	0.219	200	82.5	12713.7	25.94
18	651.3	302.2	40	0.312	300	265.4	21368.7	32.81
19	674.7	579.3	40	0.400	400	634.8	29428.1	43.62
20	442.0	125.2	40	0.223	250	180.7	17676.0	39.99
21	373.1	383.9	40	0.342	350	328.4	18732.4	50.21
22	252.2	269.1	40	0.299	300	213.6	5357.2	21.24
23	599.3	55.3	40	0.164	200	110.8	28068.2	46.84
24	384.8	86.1	40	0.194	200	30.6	1374.7	3.57

参考文献:

- [1] 孙玉庆, 于黎明. 多热源环网供热技术在牡丹江市供热系统中的应用[J]. 区域供热, 2005, (2): 15-17.
- [2] 王诗鹏, 张国忠. 天然气管网的初始流量分配[J]. 管道技术与设备, 2004, (3): 6-8.
- [3] 徐得潜. 给水管网流量分配方法的探讨[J]. 中国给水排水, 1993, (5): 29-31.
- [4] CJJ34-2002. 城市热力网设计规范[S].
- [5] 贺平, 孙刚. 供热工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993.
- [6] 付祥钊, 王元, 王岳人, 等. 流体输配管网[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.

Optimizing Countermeasures and Analysis on Grey Relationship about the Structure of Industrial Investment of Chongqing

ZHANG Peng^{1,2}, CHEN Jie²

(1. College of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China;
2. College of Trade and Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: With the increasing contradiction of structure of industrial investment in Chongqing, this article has analyzed the relationship between its industrial investment and economic growth by the theory of grey system, discovering the mismatch between industrial structure and investment structure, the existing phenomenon of "off-manufacture" and the irrational investment structure in the three industry respectively. Then in order to develop the industry of Chongqing positively, it points out some countermeasures such as optimizing the investment between primary and secondary and tertiary industry and the investment in the above industry, strengthening investment in manufacture in Chongqing to avoid hollow of industry.

Key words: structure of industrial investment; industrial structure; optimization of industrial; analysis on grey relationship

(编辑 刘道芬)

(上接第 124 页)

Discussion on the Hydraulic Calculation Method of Loop Heating Pipe Network

XIAO Yi-min, FU Xiang-zhao

(Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-environment of Ministry of Education,
Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The authors definitely make out the concept of loop main pipeline, supplying main pipeline and ramiform branch line, as well as the order of their hydraulic calculation. Then they puts forward the principia of how to study out the direction of loop main pipeline and presents the method of making flux initial distribution. The matrix of loop main pipeline hydraulic square dispersion is set up. The node referenced pressure is defined and the equation of how to calculate it is deduced. A software is developed to calculate the loop main pipeline hydraulic square dispersion. The method of calculating ramiform branch margin impetus is given.

Key words: heating; loop pipe network; hydraulic calculation

(编辑 姚 飞)