

散热器供暖系统经济比摩阻研究

黑龙江省人防设计研究院 王 昕[☆]

哈尔滨工业大学 董重成

摘要 以散热器供暖垂直单管和水平单管系统为例,以年总费用最小为目标函数,建立了数学模型,对经济比摩阻取值范围进行了研究,分析了影响经济比摩阻的环境、材料因子、电价等敏感性因素,认为人工费、材料费、电价是影响单管热水供暖经济比摩阻的主要因素,给出了散热器供暖系统设计经济比摩阻的取值范围,为 100~160 Pa/m。

关键词 热水供暖系统 目标函数 经济比摩阻 敏感性因素 散热器

Economic specific frictional resistance in radiator heating systems

By Wang Xin[★] and Dong Zhongchen

Abstract Taking the vertical one-pipe heating system and one-pipe loop circuit heating system of radiators as an example and the minimum total annual cost as an objective function, sets up a mathematical model. Researches the range of economic specific frictional resistance values. Analyses some sensitive factors affecting the economic specific frictional resistance, such as environment, material, electricity price, etc. Indicates that the labor cost, material cost and electricity price are the main factors affecting the economic specific frictional resistance in the one-pipe hot water heating system. Gives the design value range of the economic specific frictional resistance for radiator heating systems, i. e. from 100 Pa/m to 160 Pa/m.

Keywords hot water heating system, objective function, economical specific frictional resistance, sensitive factor, radiator

★ Heilongjiang Institute of Civil Defence Design & Research, Harbin, China

①

0 引言

民用建筑热水供暖系统经济比摩阻的传统取值为 60~120 Pa/m,这一数值能否满足我国目前的管网造价、热价及电价等的变化,能否真正体现现阶段热水供热管网的经济性,本文运用常见的技术经济分析方法,在水力平衡的前提下,通过分析计算,对单管热水散热器供暖系统的经济比摩阻进行了研究,给出了设计中经济比摩阻的合理取值范围。

1 数学模型的建立

热水供暖系统水力计算时,预选的平均比摩阻值或范围对系统的水力平衡、系统投资以及运行成本影响很大。而在满足系统水力平衡的前提下使得系统年总费用最低,并综合考虑时间因素、人为因素、社会因素等非经济敏感性因素得出的比摩阻数值或取值范围即为经济比摩阻。所以,在研究之前需要对不同规模、不同使用功能的同一供暖系统

形式在相同的室外环境温度、供回水温度、相同面积热指标等技术条件下进行比较分析。采用最优化的方法,以年总费用为目标函数,建立计算热水供热系统经济比摩阻的数学模型。

供热系统费用一般分为工程初投资和年运行费用两部分,而工程初投资和运行费用是两项不同性质的费用,所以不能简单进行叠加,应采用一些技术经济学的方法转换后方可进行计算。综合考虑材料、安装、输送、系统折旧、损耗等一系列因素得到数学模型:

$$Z = \frac{G\Delta p}{3600000\eta} N_1 C_1 + 0.012a_2 (f_j + \omega) \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i^{0.2}} l_i \quad (1)$$

①☆ 王昕,男,1982年1月生,硕士研究生,工程师
150040 黑龙江省哈尔滨市南岗区文昌街153号
(0451) 82621393-2639
E-mail: wangxinky@163.com
收稿日期:2012-05-14

式中 Z 为热水供暖系统年总费用,元/a; G 为系统总流量,t/h, $G=0.86Q/\Delta t$,其中 Q 为系统总负荷,kJ/h; Δp 为循环水泵扬程,与比摩阻呈正比关系,Pa; η 为水泵效率; N_1 为水泵运行时间,h; C_1 为电价,元/(kW·h); a_2 为材料因子,元/m²; f_j 为总折旧率,包括管网基本折旧率、修理费折旧率及其他费用折旧率; ω 为标准投资效果系数; R_i 为比摩阻,Pa/m; n 为总管段数; i 为管段编号; l_i 为管段长度,m。

从整理后的数学模型可以看出,式中除了热水供暖系统年总费用 Z 和各管段比摩阻 R_i 可以作为已知量外(循环水泵扬程 Δp 与比摩阻呈正比关系,也是关于 $f(R)$ 的函数),于是得到了 $Z=f(R)$ 的数学表达式。

2 研究过程及计算结果

散热器供暖系统按形式可分为垂直单管和水平单管热水供暖系统,本文以常用两种系统形式(见图1,2)为研究对象。经过敏感性分析可知,经

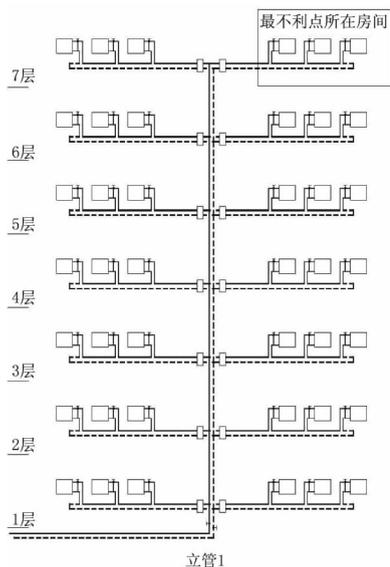


图1 水平单管供暖系统原理图

济比摩阻的选择与项目所在地的室外环境参数无关,所以该研究以哈尔滨为拟供暖地区,供暖建筑综合热指标为 $q=40\text{ W/m}^2$,供回水温度为 $85\text{ }^\circ\text{C}/60\text{ }^\circ\text{C}$,层高按 3 m 计算。供暖管道干管采用焊接钢管,不考虑管道散热损失。

以哈尔滨地区(电价和热价为现价)为例,计算得到 $a_2=4\ 251\text{ 元/m}^2$, $N_1=4\ 296\text{ h}$, $C_1=1\text{ 元/(kW}\cdot\text{h)}$, $\omega=0.14$, $f_j=7\%$, $\eta=0.85$, $\rho=976.66\text{ kg/m}^3$ 。将以上参数代入式(1),得到比摩阻与供

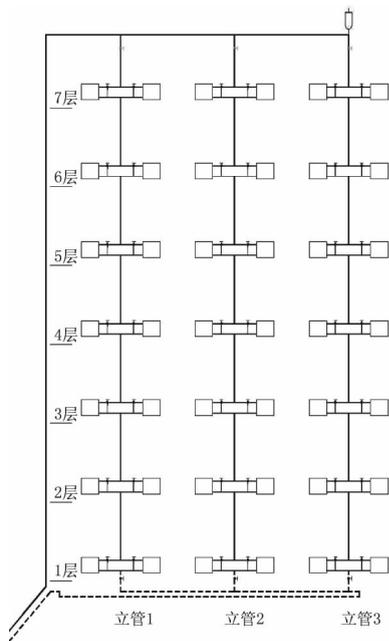


图2 垂直单管供暖系统原理图

暖年总费用的函数关系。

讨论结果之前首先要选定被研究民用建筑层数(本文拟定楼层数分别为4,7,11层);然后确定最不利点所在房间面积,本文拟定最不利点所在房间面积分别为 $50,70,90,120,160\text{ m}^2$ 5种情况;其次,按照面积热指标 40 W/m^2 计算确定研究建筑的热负荷;再次,在已确定的系统形式下,按照供回水温度 $85\text{ }^\circ\text{C}/60\text{ }^\circ\text{C}$ 进行水力计算,并满足流速控制在 $0.026\sim 1.066\text{ m/s}$ 之间,且干管管径不小于 $\text{DN}20$ 。

水力计算时依次改变干管、立管和支管的经济比摩阻,计算软件会自动确定该比摩阻下各管段的管径,并计算出每个管段的比摩阻,以保证设置的比摩阻是各管段比摩阻的平均值。按照这个原则,依次改变比摩阻 R_i 值,从 5 Pa/m 开始,以 5 Pa/m 为单位递增,依次增加至 200 Pa/m 。记录每改变一次经济比摩阻后各个管段的管径、流速、比摩阻的变化,从而计算各个管段的沿程阻力、局部阻力和总阻力。代入式(1)中计算出 R_i 对应的供暖系统年总费用。这样,就得到了比摩阻从 5 Pa/m 到 200 Pa/m 时的供暖年总费用。将供暖年总费用对应各个经济比摩阻列成表格并绘制成离散点曲线。按照相同的原理,分别计算 $5\sim 200\text{ Pa/m}$ 经济比摩阻下其余情况下的供暖年总费用,列出表格并绘制成3组曲线。图3为建筑物楼层数为7层、采用

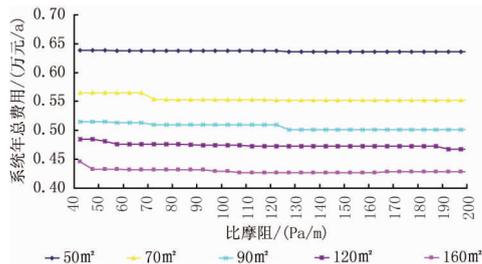


图3 7层建筑采用水平单管供暖系统时
比摩阻与供暖年总费用的关系

水平单管跨越式供暖系统时比摩阻与供暖年总费用的关系。

同理可以得到水平单管系统和垂直单管系统在不同楼层数、不同面积年总费用最小情况下的比摩阻范围,结果见表1,2。

表1 水平单管供暖系统在不同面积、楼层数、
年总费用最小情况下的经济比摩阻 Pa/m

楼层数	楼层的单户面积/m ²				
	50	70	90	120	160
4	180~220	105~220	155	70~155	60~130
7	135~220	120~220	135~210	110~185	105~160
11	160~220	180~205	160~185	125~155	70~120

表2 垂直单管供暖系统在不同面积、楼层数、
年总费用最小情况下的经济比摩阻 Pa/m

楼层数	楼层的单层面积/m ²		
	200	500	1 000
4	50	110~125	130
7	135~200	125~200	135~200
11	75~115	120~160	60~70

表3 面积热指标对供暖系统经济比摩阻的敏感性分析

热指标/(W/m ²)	24	28	32	36	40	44	48	52	56
热指标变化率/%	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
比摩阻/(Pa/m)	132	132	132	132	132	132	132	132	132
年总费用/(元/a)	6 019	5 280	4 765	4 437	4 266	4 147	3 889	3 516	3 059
年总费用变化率/%	24	10.8	0.074	0.04	0	-0.028	-0.062	-0.096	-0.13

由表3可以看出,当供暖面积热指标发生变化时,经济比摩阻并无变化,但年总费用却随之发生变化,由此可见面积热指标对经济比摩阻无影响,这一结论为本研究的地域推广奠定了基础。

3.2 材料因子 a_2 的敏感性分析

材料因子 a_2 是与系统管道敷设方式有关的常数,是项目所在地人工费、材料费等相关费用经过详尽的统计得到的反映当地材料价格及安装费用

表4 材料因子 a_2 对供暖系统经济比摩阻的敏感性分析

材料因子变化率/%	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
材料因子 a_2 /(元/m ²)	2 550.6	2 975.7	3 400.8	3 825.9	4 251	4 676.1	5 101.2	5 526.3	5 951.4
比摩阻/(Pa/m)	91.45	101.88	112.08	122.13	132.00	141.75	151.38	160.87	170.28
比摩阻变化率/%	-30.72	-22.82	-15.09	-7.48	0	7.39	14.68	21.87	29.00

3 敏感性因素分析

对民用建筑热水供暖系统经济评价指标有影响的因素较多,如气候、技术因素、人为因素、市场因素、政策因素。其中一些不确定因素即使是一些细微的变化,也会对结果造成很大影响,所以有必要对这些因素进行分析研究。

由式(1)可以看出,影响热水供暖系统经济比摩阻的因素主要包括:电价、投资回报周期、初投资成本和围护结构热负荷等。下面就针对这些主要因素进行逐一分析。

3.1 环境因素的敏感性分析

这里说的环境因素主要是指被研究建筑所处地区的冬季室外计算参数。前面的所有计算过程及研究结果都是针对哈尔滨地区,而实际上其他供暖城市与哈尔滨地区在负荷计算时唯一的区别就是室外参数不同,导致热负荷不同,即面积热指标不同。以哈尔滨为例,选取的面积热指标为 40 W/m²,在供暖总面积不变的情况下,通过改变面积热指标的数值,观察经济比摩阻及年总费用的变化情况,从而得到面积热指标这一敏感性因素对经济比摩阻的影响。

在人工费、材料费等其他敏感因素不变的情况下,以水平单管跨越式热水供暖系统、楼层数 7 层、最不利房间面积 160 m² 为研究对象得到的计算结果见表 3。

的具体数字体现,而材料因素对经济比摩阻的影响都是通过式(1)材料因子 a_2 的取值来体现的,所以有必要对材料因子 a_2 对供暖系统经济比摩阻的敏感性影响作详细分析。

在供暖面积热指标等其他敏感因素不变的情况下,以水平单管跨越式热水供暖系统、楼层数 7 层、最不利房间面积 160 m² 为研究对象得到的计算结果见表 4。

通过表 4 可以看出:当材料因子 a_2 每增加或减少 10% 时,经济比摩阻的平均取值便会随之发生约 7.5% 的变化;当 a_2 的变化量超过 40% 时,经济比摩阻的变化超过了 30%。显而易见,材料因子 a_2 对经济比摩阻的影响非常明显。所以在具体工程设计之前,设计者应对工程所在地市场进行详尽的调研,对与材料因子相关的价格,如人工费、材料费等进行统计,从而来得到有针对性的材料因子,以提高该项目的经济效果。

3.3 电价的敏感性分析

工程竣工后,主要费用支出是电费,电价是影

表 5 电价对供暖系统经济比摩阻的敏感性分析

电价变化率/%	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
电价/(元/(kW·h))	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4
比摩阻/(Pa/m)	167.38	155.06	145.61	138.11	132.00	126.92	122.58	118.80	115.76
比摩阻变化率/%	26.80	17.47	10.31	4.63	0	-3.85	-7.14	-10.00	-12.30

通过表 5 可以看出,当电价增加或减少 10% 时,经济比摩阻的平均取值便会随之发生约 5% 的变化;当电价的变化量超过 40% 时,经济比摩阻的变化平均接近 20%。由此可见,电价也是影响经济比摩阻的一个重要因素。

此外笔者对与运行有关的热价也作了定性分析,虽然热费价格是民用热水供热系统费用组成的一个重要因素,但对经济比摩阻的选择并无直接影响。所以本文不再讨论。

4 结论

本文所讨论住宅建筑最高层数为 11 层,超过 11 层一般采用纵向分区,仍可归入本文的研究范围内。由于室内供暖系统的经济比摩阻研究必须在水力平衡的前提下进行,并且保证室内水流速度不超过极限流速,所以末端房间面积变化(负荷变化)或层高变化时对系统末端的管径影响很小,从而造成人为调整干管平均比摩阻对年总费用产生的影响也较小。为了能够确定一个适合于既有供暖系统的经济比摩阻范围,还需要对多种层高和单层面积的建筑进行水力计算。

响经济比摩阻取值的一个重要因素。从式(1)中可以看出,当一个热水供暖系统的系统形式、规模、面积指标、敷设方式以及材料选择等确定时,电价是对年总费用唯一产生影响的因素,所以当电价发生变化时,年总费用也会随之发生变化,而经济比摩阻的选择必然也随之变化,所以在对电价引起的供暖系统经济比摩阻的敏感性影响作详细分析。

仍然是在供暖面积热指标、材料因子等其他敏感因素不变的情况下,以水平单管跨越式热水供暖系统、楼层数 7 层、最不利房间面积 160 m² 为研究对象,得到的计算结果见表 5。

根据本文的分析结果得到如下结论:

- 1) 单管式热水散热器供暖系统供暖年总费用最小值所对应的比摩阻范围主要为 100~160 Pa/m。
- 2) 对于层数相同而单户面积不同的建筑,随着单户面积的减小,系统总的热负荷随之减小,供暖年总费用的最小值所对应的比摩阻值将随之增大。即当供暖系统的总负荷越大时,采用相对较小的比摩阻,供暖年总费用将较低;当系统较小时,则宜采用较大的比摩阻。

经过敏感性分析可知,人工费、材料费、电价是影响水平单管跨越式热水供暖系统比摩阻的最主要因素,它们的变化会引起经济比摩阻等比例变化。所以在实际设计中应综合考虑工程所在地的各类相关价格,并通过统计计算得出适应实际工程情况的经济比摩阻。

参考文献:

- [1] 贺平,孙刚. 供热工程[M]. 3 版. 北京:中国建筑工业出版社,2002
- [2] 杨宝军,盛晓文. 热水供热管网经济比摩阻的研究[J]. 低温建筑技术,2005(5):13-32