
 哈尔滨工业大学

# 户式散热器热分配法的 计量原理及应用分析

 哈尔滨工业大学 方修睦<sup>☆</sup> 李 辉 李庆宇 姜永成 周新朋

**摘要** 起源于欧洲的散热器热分配表是以每组散热器为计算单元进行热量分配的,我国的供暖系统很难满足散热器热分配表所要求的安装使用条件。将每户内水平单管系统的多组散热器折算为一组当量散热器进行热量分摊,可大大减少散热器热分配表的数量,降低对安装使用条件的要求。分析了户式散热器热分配法的计量原理,通过试验验证了户式散热器热分配法分摊模型的合理性并给出了其适用范围。

**关键词** 热计量 计量原理 散热器热分配表 当量散热器 户式散热器热分配法

## Measurement principle and application analysis of household radiator heat distribution method

By Fang Xiumu<sup>★</sup>, Li Hui, Li Qingyu, Jiang Yongcheng and Zhou Xinpeng

**Abstract** Originated in Europe, the radiator heat distribution meter puts each radiator as calculated unit for heat distribution, but the heating system in our country is very difficult to satisfy the installation conditions of the radiator heat distribution meter. Converting a group of radiators of indoor horizontal one-pipe system into a set of equivalent heat sink can greatly reduce the number of radiator heat distribution meters and the installation requirements. Analyses the measurement principle of the household radiator heat distribution method, verifies the reasonability of its heat distribution model through experiment and gives the applicable scope of this method.

**Keywords** heat metering, measurement principle, radiator heat distribution meter, equivalent heat sink, household radiator heat distribution method

★ Harbin Institute of Technology, Harbin, China

我国北方地区居住建筑以公寓类住宅居多,该类建筑的供暖热计量收费往往是在每栋建筑的热力入口处设置测量总供热量的热量结算表,在每户设置分配仪表,通过测量一些参数,得到各热用户用热量占总供热量的比例(见式(1)),从而将热量结算表计量的热量合理地分配到各个热用户。

$$\psi_i = \frac{Q_i}{Q_0} \quad (1)$$

式中  $\psi_i$  为相对热量比;  $Q_i$  为由系统供给热用户  $i$  的维持室温所需要的热量,  $\text{kW} \cdot \text{h}$ ;  $Q_0$  为由热量结算表计量的外网供给建筑物的热量,  $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

根据热量结算表的计量结果,将结算热量分配到热用户的方法有多种。最早应用的散热器分配表法起源于欧洲,是利用散热器的散热量与散热器的平均温度和室温的关系(见式(2))来分配热量结

算表的热量。

$$Q_j = \frac{a_j f_j (t_p - t_n)_j^{1+b_j}}{(\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4)_j} \quad (2)$$

式中  $Q$  为散热器供给房间的热量,  $\text{kW} \cdot \text{h}$ ;  $a, b$  为散热器的热特性参数;  $f$  为散热器的散热面积,  $\text{m}^2$ ;  $t_p$  为散热器的平均温度,  $^{\circ}\text{C}$ ,  $t_p = (t_g - t_h)/2$ , 其中  $t_g, t_h$  分别为散热器的供、回水温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_n$  为室内温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  分别为散热器组装片数修正系数、散热器连接形式修正系数、散热器安装形式修正系数及使用条件修正系数(包括落地窗帘等用

①<sup>☆</sup> 方修睦,男,1954年2月生,大学,教授  
150090 哈尔滨市南岗区海河路202号2644信箱  
(0) 13845113053  
E-mail: fxm490@163.com  
收稿日期:2013-11-05  
修回日期:2013-12-26

户自行增加的部分);下标  $j$  为房间散热器的序号。

散热器分配表法由于设备简单、造价低廉而在欧洲得到广泛应用。本文在分析欧洲采用的散热器热分配表的工作原理的基础上,根据我国建筑供暖系统的特点,探讨基于散热器进行热量分配的新方法,与关心热计量的同行讨论。

### 1 散热器热分配表的工作原理

散热器热分配表分为蒸发式热分配表和电子式热分配表。蒸发式热分配表是利用所测液体的蒸发特性曲线和散热器的散热率曲线相似的特点,通过测量蒸发液体的蒸发量来分配热量的。电子式热分配表是根据散热器热媒平均温度与室温之差来分配热量的。根据温度传感器的数量,电子式热分配表又分为单传感器、双传感器和三传感器 3 种。目前应用的散热器热分配表是利用实验室中得到的散热器在额定条件下的散热量与任一条件下的散热量的关系进行热量计算的。当散热器热分配表实际的安装使用条件与实验室条件一致时,散热器的散热量可以用式(3)计算。式(3)表明,散热器热分配表实际上是过余温度及时间的积分器。

$$Q_j = Q_{qj} \left( \frac{1}{\Delta t_{ln}} \right)_j^{B_j} \int (t_p - t_n)_j^{B_j} d\tau \quad (3)$$

式中  $Q_{qj}$  为第  $j$  组散热器的标准散热量(德国规定其为水温  $90^\circ\text{C}/70^\circ\text{C}$ 、室温  $20^\circ\text{C}$  时散热器的散热量),  $\text{kW} \cdot \text{h}$ ;  $\Delta t_{ln}$  为标准条件下散热器的平均温度与室内温度之差,  $^\circ\text{C}$ ;  $B_j = 1 + b_j$ ;  $\tau$  为时间。

由式(1)及式(3)可以得到

$$\frac{Q_j}{Q_0} = \frac{Q_{qj} \left( \frac{1}{\Delta t_{ln}} \right)_j^{B_j} \int (t_p - t_n)_j^{B_j} d\tau}{\sum Q_{qj} \left( \frac{1}{\Delta t_{ln}} \right)_j^{B_j} \int (t_p - t_n)_j^{B_j} d\tau} \quad (4)$$

散热器热分配表是以每组散热器为计算单元进行热量分配的,建筑物内散热器热分配表的安装使用数量较大。由式(4)可知,采用散热器热分配表进行热量分配时,在同一栋建筑物内,所有散热器的型号及安装使用条件均应相同。对于将散热设备作为公共设施,热用户入住后不再更改的建筑物,以及各用户使用条件一致,用户能听从劝阻,放弃使用暖气罩和落地窗帘等影响热量分配物件的建筑物,可以按照式(4)进行热量分配。如果无法做到同一栋建筑物内所有散热器的型号及安装使用条件均相同,则应根据每组散热器的型号、安装

使用条件(组装片数、连接形式、安装形式、使用条件)分别对每组散热器的标准散热量进行修正。我国供暖系统的特点及热用户的使用习惯导致了我国的供暖系统很难满足散热器热分配表所要求的安装使用条件。如果将热分配表由单组散热器作为计量单元改为以户作为计量单元,则可以减少热计量仪表的安装维护数量,简化安装使用条件。

### 2 户式散热器热分配法的热量计算模型

由多组散热器组成的单户水平单管系统中,设环路的总散热面积为  $F_n$ ,总散热量为  $Q_n$ 。假设水温沿散热器逐渐降低,前一组散热器的出水温度等于下一组散热器的进水温度。在连续供暖情况下,可以认为散热器处于一种稳定的传热状态。不考虑散热器的各项修正系数,则有

$$dQ = Gc dt \quad (5)$$

$$dQ = a'(t - t_n)^{1+b'} df \quad (6)$$

式(5),(6)中  $G$  为流经散热器的水流量,  $\text{kg}/\text{h}$ ;  $c$  为水的比热容,  $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ;  $t$  为散热器微元面处的平均温度,  $^\circ\text{C}$ ;  $a'$ ,  $b'$  为当量散热器的特性参数。

联立式(5)与式(6)得

$$Gc dt = a'(t - t_n)^{1+b'} df \quad (7)$$

对式(7)两边积分,得到散热器内热媒沿散热面积的变化规律为

$$t = \left[ (t_g - t_n)^{-b'} - \frac{a'b'f}{Gc} \right]^{-\frac{1}{b'}} + t_n \quad (8)$$

式(8)揭示了水温沿散热面积连续变化的规律,表明可以将每户水平单管系统散热器的温度变化看作一条平滑的曲线(如图 1 所示),将多组散热器简化成理想的单组散热器(当量散热器)进行分析。

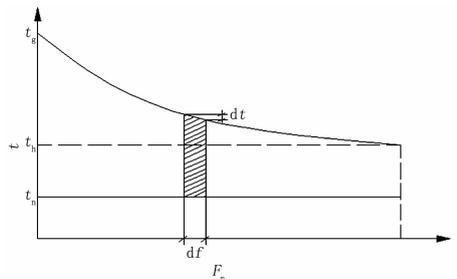


图 1 散热器热媒温降曲线

设供给整个用户的热量为

$$Q_n = Gc(t_g - t_n) \quad (9)$$

则微元面积  $df$  之前的散热量为

$$Q = Gc(t_g - t) \quad (10)$$

由式(9),(10)及式(6)可以得到

$$dQ = a'(t_g - t_h)^{1+b'}(\overline{\Delta t} - \overline{Q})^{1+b'} df \quad (11)$$

式中  $\overline{\Delta t}$  为相对温差,为供回水温度及室温的函数,℃; $\overline{Q}$  为相对热量,为微元面之前的热量与总供热量之比。

对式(11)两边积分,整理后得到

$$Q_n = \frac{a'b'(t_g - t_h)^{1+b'}F_n}{(\overline{\Delta t} - 1)^{-b'} - (\overline{\Delta t})^{-b'}} \quad (12)$$

式(12)即为将每户水平单管系统的多组散热器简化成当量散热器时的散热量计算公式,这里将以户为单位进行供暖热量计量的方法称为户式散热器热分配法。

联立式(5)和式(6),并对等式两侧积分可以得到

$$\frac{a'b'}{(t_h - t_n)^{-b'} - (t_g - t_n)^{-b'}} = \frac{Gc}{f} \quad (13)$$

式(13)表明,对于一个确定的系统来说,不同工况下散热器的热特性系数可以有不同的组合,且其组合的结果在流量不变的情况下为一常数。

### 3 户式散热器热分配法的试验验证

构建如图 2 所示的由 6 组散热器组成的单户水平式系统,已知单组散热器面积为 1.720 4 m<sup>2</sup>,总散热面积  $F_n$  为 10.322 4 m<sup>2</sup>。系统中设置超声波热量表(2 级表)一块,每组散热器的出口处设置温度传感器;在大厅的 1.8 m 高度处设置 12 个温度传感器。数据采样周期为 10 min。测量数据统一送到计算机处进行显示、存储。

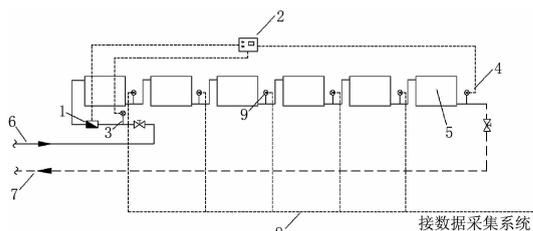


图 2 水平单管试验系统

#### 3.1 当量散热器的水温

试验求得当量散热器的  $a' = 3.453$ ,  $b' = 0.259$ 。每组散热器的测试水温及根据式(8)计算的水温变化情况见图 3,两者误差见表 1。

表 1 散热器出水温度测试误差

	散热器组序号					
	1	2	3	4	5	6
出水温度误差/%	0	2.76	3.01	3.74	3.57	3.26

图 3 及表 1 表明,在系统的前端,实测水温与理

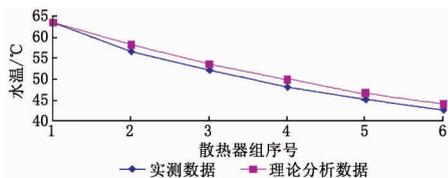


图 3 实测与理论热水温度变化曲线

论分析的当量散热器的水温吻合很好,测试数据与理论分析数据相等。从第 2 组散热器开始,随着散热器面积的增加,理论分析的数据与实测数据的误差增大,第 4 组散热器的误差达到最大(为 3.74%),随后逐渐减小,第 6 组散热器的误差为 3.26%。

#### 3.2 当量散热器的特性参数

图 4 为在流量固定的情况下,根据不同时段(每个时段供回水温度不同,温差不同)的测试结果绘制的曲线。图 4 表明,由 6 组散热器组成的当量

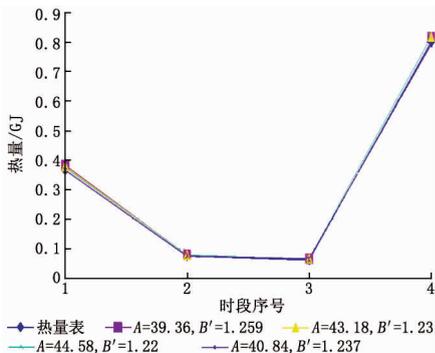


图 4 水平单管系统当量散热器的散热量

散热器的特性参数尽管有不同的组合,但每一个组合得到的热量均与热量表测出的热量吻合得很好(见图 5)。当量散热器在温差不同的情况下,根据每一时段的特征参数计算的结果与热量表测量结果的最大误差为 5.63%。这表明实际的供热系统可在运行中选取稳定的工况进行系统参数辨识,获得实际的散热器特性参数。

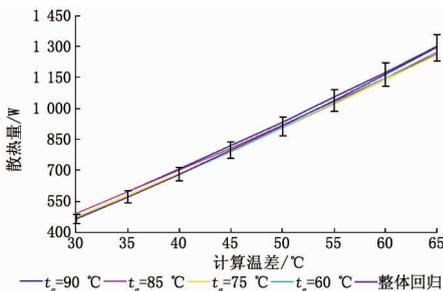


图 5 用回归方程得出的散热器的散热量

#### 3.3 当量散热器计量的热量

考虑到在整个供暖季中,供热系统需要根据室

外温度的变化调整热网的供回水温度。为了检验在不同温差下当量热量法的合理性,将热量试验分

为 4 个时段。试验中保持系统流量不变,每个时段采用不同的供回水温差,试验结果见表 2。

表 2 热量表计量值与当量散热器计量值

试验阶段	热量				热量分配比		
	$Q_1/\text{kJ}$	$Q_2/\text{kJ}$	$(Q_1-Q_2)/\text{kJ}$	误差/%	$\alpha_1$	$\alpha_2$	误差/%
I	366 763	382 573	-15 810	-4.31	0.279 7	0.283 2	-1.25
II	77 507	81 472	-3 965	-5.12	0.059 1	0.060 3	-2.04
III	65 297	68 972	-3 675	-5.63	0.049 8	0.051 1	-2.53
IV	801 707	817 845	-16 138	-2.01	0.611 4	0.605 4	0.98
小计	1 311 274	1 350 862	-39 588	-3.02			

注:1)  $Q_1$  为热量表计量的热量; $Q_2$  为按照式(12)计算的当量散热器的热量;

2) 热量分配比为每段热量与总热量之比; $\alpha_1$  为热量表的热量分配比; $\alpha_2$  为按照式(12)计算的当量散热器的热量分配比。

表 2 表明:

1) 4 个阶段热量表计量结果与按照式(12)计算的当量散热器的热量值之间的误差为-3.02%。

2) 各个不同时段,热量表计量结果和当量散热器法计量的热量值的误差不同,较大的误差出现在试验时间比较短的第 II 时段和第 III 时段;最大误差为-5.63%,出现在第 III 时段。试验表明,如果试验时间进一步加长,该误差会进一步减小。

3) 每个时段的热量分配比不同,最小误差为 0.98%,最大误差为-2.53%。

#### 4 户式散热器热分配法的现场验证

为验证户式散热器热分配法的正确性,在位于哈尔滨市一栋一梯三户的 6 层居民楼进行了试验。试验选取建筑物的一个用热单元,共计 18 户。供暖系统为单户水平单管系统,散热器主要为 M132 型散热器,但有私改和增加散热器的情况,卫生间几乎都采用扁背篓型卫浴散热器;个别用户卧室增加了钢制散热器,客厅增加了钢制云梯式散热器;各户散热器的安装使用条件不同。

在试验建筑热用户的供暖系统上设置超声波热量表(2 级表),同时设置单户散热器热分配系统,每 10 min 采集一次数据,测量的室内温度和供回水温度传给单户散热器热分配系统的采集器,采集器将测量数据直接上传至计算机。散热器的散热量采用下述 2 种方法进行计算。

##### 4.1 方法 1:当量散热器法

将用户内水平单管系统的多组散热器用一组当量散热器来代替时,当量散热器的散热量由式(14)计算,每户散热器的散热量占整栋建筑总供热量的比例  $\psi_{ni}$  由式(15)计算。

$$Q_{ni} = \sum_x \frac{a'_i F_{ni} \left( \frac{t_g + t_h}{2} - t_n \right)_{ix}^{1+b'_i} \Delta\tau_x}{\beta'_{1i} \beta'_{2i} \beta'_{3i} \beta'_{4i}} \quad (14)$$

$$\psi_{ni} = \frac{Q_{ni}}{Q_0} = \frac{\sum_x \frac{a'_i F_{ni} \left( \frac{t_g + t_h}{2} - t_n \right)_{ix}^{1+b'_i} \Delta\tau_x}{\beta'_{1i} \beta'_{2i} \beta'_{3i} \beta'_{4i}}}{\sum_i \sum_x \frac{a'_i F_{ni} \left( \frac{t_g + t_h}{2} - t_n \right)_{ix}^{1+b'_i} \Delta\tau_x}{\beta'_{1i} \beta'_{2i} \beta'_{3i} \beta'_{4i}}} \quad (15)$$

利用式(14)计算当量散热器的散热量时,需求出当量散热器的特性参数,测量热用户的供回水温度及室温,入户调查用户实际使用的散热器的型号及安装使用条件。为解决型号不同的散热器的面积计算问题,以 M132 型散热器为基准,将其他类型的散热器面积进行折算。

##### 4.2 方法 2:户式散热器热分配法

在我国,同一栋建筑物内往往有多种型号的散热器,各户的散热器的安装使用条件存在差异,利用式(14)计算当量散热器的散热量需要的调查工作量大且复杂,因此需要将当量散热器的计算模型简化(见式(16))才便于实施。

$$Q_{ni} = Q_0 \frac{\sum_x \frac{A_i b'_i (t_g - t_h)_{ix}^{b'_i} \Delta\tau_x}{(\Delta t_i - 1)_{ix}^{-b'_i} - (\Delta t_i)_{ix}^{-b'_i}}}{\sum_i \sum_x \frac{A_i b'_i (t_g - t_h)_{ix}^{b'_i} \Delta\tau_x}{(\Delta t_i - 1)_{ix}^{-b'_i} - (\Delta t_i)_{ix}^{-b'_i}}} \quad (16)$$

式中  $A = a'F_n / (\beta'_{1i} \beta'_{2i} \beta'_{3i} \beta'_{4i})$ ,  $B' = b' + 1$ 。

式(16)中  $A, B'$  是系统实际运行情况下的综合热特性参数,实际使用的散热器的型号差别、安装使用差别已综合考虑到  $A, B'$  中; $A, B'$  利用实测数据采用辨识的方法确定。从计量原理的角度,可以将依据式(16)进行热量分配的方法称为户式散热器热分配法;从传感器测量参数的角度,也可以称为三温度法。

以热量表计量的数据作为基准,采用当量散热器的计算模型(见式(14),(15))和户式散热器的计算模型(见式(16)),分别计算散热器的散热量及每

户热量占总热量的比例,计量结果见图6~8。由图6~8可以看出:

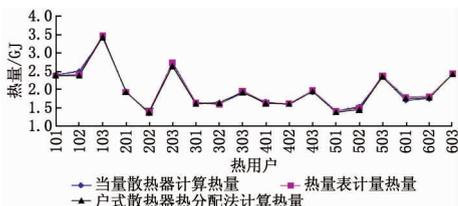


图6 当量散热器散热量与热量表计量结果

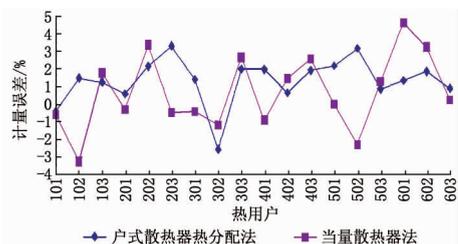


图7 热计量方法误差

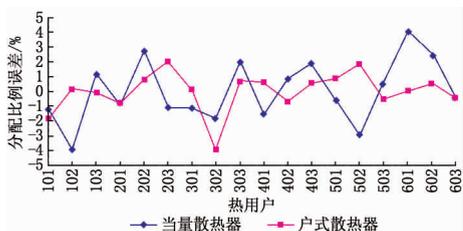


图8 分配比例误差

1) 热量表计量的热量与计算出的热量吻合较好。直接采用当量散热器法(见式(14))计算得到的散热器散热量的相对误差最大值为4.68%;采用户式散热器热分配法(见式(16))计算得到的散热器散热量的相对误差最大值为3.33%。

2) 热用户的热量占总供热量的分配比例一致性较好。直接采用当量散热器法计算得到的热量分配比例最大误差为4.07%;采用户式散热器热分配法计算得到的热量分配比例最大误差为-3.98%。

3) 试验结果表明,尽管实际的供暖系统中热用户的散热器的型号有差异,安装使用条件不同,但是将单户水平单管系统的多组散热器折算为一组当量散热器来计算散热量仍是可行的。户式散热器热分配法,无论是计算分配的热量还是计算热量分配比例,均优于直接采用当量散热器法计算的结果,且实施简单。

## 5 结论

5.1 单组散热器的热计量方法用于建筑物的热量计量时,所需要的分配表数量大,对散热器的型式

及安装使用条件要求高。

5.2 将每户水平单管系统的多组散热器折算为一组当量散热器进行热量分摊,实测水温与理论分析水温吻合很好,最大误差为3.74%;在试验周期内存在不同供回水温差时,热量表计量的结果与采用当量散热器计量的结果的误差为3.02%。这表明户式散热器热分配法将水平单管系统的散热器折算为一组当量散热器是可行的。

5.3 不同时段内热量表计量的热量与采用当量散热器计量的热量的一致性较好,热量分配比例的一致性均较好,这表明户式散热器热分配法在不同温差下分配的热量是可信的。

5.4 户式散热器热分配法将单户水平单管系统作为整体,通过测量每户的室温及热用户的供水温度和回水温度来计量每户的供热量,解决了热量总表所辖范围内热用户散热器型号不同、安装使用条件不同、实际散热器面积与设计不同时的计量问题。

5.5 户式散热器热分配法分摊模型合理,测量系统设计制造简单,易提高计量系统的可靠性,安装方便,扰民少,易于实施,适用于分户控制的单户水平单管系统。

5.6 户式散热器热分配法计量的是供给热用户的热量,进行用户热费计算时需对计量的热量进行位置修正;该方法没有解决户间传热的计量问题。

## 参考文献:

- [1] Joachim Wien. 德国供热计量手册[M]. 德国技术合作公司,德国米诺测量仪表有限公司,译. 北京:中国建筑工业出版社,2009
- [2] 孙延勋. 水平串联热水采暖系统散热器的热量比算法[J]. 暖通空调,1977,7(1):1-8
- [3] 石兆玉,杨同球,王峰安. 试论平均温度热量分配法的可行性[J]. 区域供热,2012(4):1-6
- [4] 李辉. 建筑冷、热计量方法的试验研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2011:54-55
- [5] 方修睦,孙杰. 基于热量结算表的热量分配方法的分配原理剖析[J]. 暖通空调,2013,43(11):42-45
- [6] 张全悦,郝培,杨向文,等. 推行供热计量收费制度急需统一认识、统一规则的若干问题[C]//第7届国际绿色建筑与建筑节能大会论文集,2011:475-480
- [7] 张全悦,吴向东,张树琪. 对阻碍我国推行供热计量收费制度的若干问题分析和解决方案[C]//第3届国际智能、绿色建筑与建筑节能大会智能与绿色建筑文集,2007:884-890
- [8] 李庆宇. 基于散热器散热量的热计量方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012:8-35