

热能贸易结算中的计量要求及实现方法的探索

余小寅 (上海市张江高科技园区热力中心 201203)

提 要 介绍热能贸易结算对计量的特殊要求和在可编程演算器中满足这些要求的方法。

关键字：热能 贸易结算 计量 演算器

1 引言

随着环境保护意识的增强，实行可持续发展战略，保护环境意识正在转化为保护环境的大规模行动。区域供热事业的蓬勃发展，就是这种行动的一个重要产物。

在区域集中供热中，热力公司将热能卖给众多的用户，并按热能计量结果及双方协议结算费用，由于这种计量是热力公司结算费用的主要依据，因此受到结算双方的普遍重视，它是热力公司经营的基础，如果处理得不得当，往往会使热力公司的效益大大流失，为此确定了供用热的基本原则是：既要社会效益为主，兼顾热用户的承受能力，又需平衡热力公司得以生存的经济效益及发展后劲。这种以贸易结算为主要目的的计量，有些要求同过程控制中的流量测量相同，另有一些要求，则有显著的不同，下面以这些不同点为主，讨论热能计量要求，并介绍本热力中心实施热能计量的方法。

2 蒸汽质量流量计量与热量计量常用方法

2.1 蒸汽质量流量的计量

以蒸汽为热载体的热力系统，热能计量的方法常用的有两种，一种是建立在一定的热载体品质基础上的蒸汽质量流量计量，另一种是完全按热量计量。目前，国内流行的做法仍以前者为主。

蒸汽质量流量的计量方法常用的有两种，在热电厂，由于沿袭电力系统的习惯，以差压式流量计为主。在热力公司，尤其是新建的热力公司，以涡街流量计为主。两种计量方法各有各的优势。

2.1.1 用差压式流量计测量蒸汽质量流量

差压式流量计的一般表达式^[1]为

$$q_m = \frac{c}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \varepsilon_1 \cdot d^2 \sqrt{2\Delta p \cdot \rho_1} \quad (1)$$

式中： q_m —— 为质量流量，kg/s；

c —— 为流出系数；

—— 为直径比， $\beta = d/D$ ；

—— 为上游取压口平面上的可膨胀性系数；

d —— 为工作条件下节流件的节流孔直径，m；

P —— 为差压， p_a ；

ρ_1 —— 为上游取压口平面上的流体密度, kg/m³。

在式(1)中, c 和 d 为常数, K 和 ρ_1 在一定的流量范围之内也可看做常数, 因此式(1)可简化为

$$q_m = K \cdot \sqrt{\rho_1} \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (2)$$

式中 ρ_1 可通过测量节流件上游取压口平面上的蒸汽压力和温度查蒸汽密度表的方法求得。因此, 该类仪表属推导式质量流量计。

a. 过热蒸汽质量流量测量

当流体为过热蒸汽时, ρ_1 取决于流体压力 p_1 和流体温度 t_1 , p_1 取自节流件上游取压口, 而 t_1 的检测点, 考虑到测温元件保护套管对流体的影响, 一般选在距节流装置上游足够长的部位。由于差压式流量计测量是建立在流体流过节流件时不发生相变这一假定的基础上, 所以, t_1 测量点选在节流装置下游 5D 的管段上也是合适的^[1]。

图 1 所示为测量系统图。

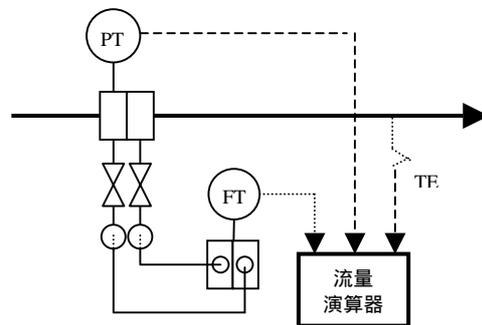


图 1 差压式流量计测量过热蒸汽质量流量系统图

b 饱和蒸汽质量流量测量

饱和蒸汽的压力和温度是密切相关的, 临界饱和状态的蒸汽从其压力查得的密度同从其温度查得的密度是相等的, 所以推导式质量流量计测量其流量时, 既可采用压力补偿也可采用温度补偿。采用压力补偿时, 是利用 $\rho_1=f(p_1)$ 的关系获得 ρ_1 ; 采用温度补偿时, 是利用 $\rho_1=f(t_1)$ 的关系获得 ρ_1 。

图 2(a)所示为压力补偿法, 图 2(b)所示为温度补偿法。

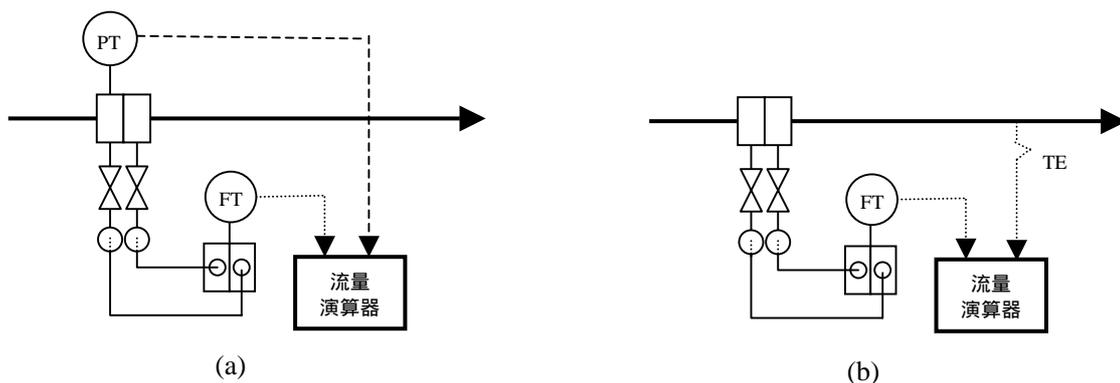


图 2 差压式流量计测量饱和蒸汽质量流量系统图

2.1.2 用旋涡流量计测量蒸汽质量流量

旋涡流量计说到底为体积流量计, 即流体雷诺数在一定范围内, 其输出只与体积流量成正比。

旋涡流量计的输出有频率信号和模拟信号两种, 模拟输出是在频率输出的基础上经 f/I 转换得到的。这一转换大约要损失 0.1% 精度。所以用来测量蒸汽流量时, 用户更爱选用频率输出。

频率输出旋涡流量计更受热力公司欢迎的另外两个原因是：

- a. 频率输出旋涡流量计满量程修改更方便，只需对可编程演算器面板上的按键按规定的方法进行简单的操作就可实现。
 - b. 频率输出旋涡流量计价格略低。
- 旋涡流量计测量质量流量的表达式为

$$q_m = 3.6 \frac{f}{k_t} \cdot \rho_f \quad (3)$$

式中： q_m ——为质量流量，kg/h；
 f ——为旋涡流量计输出频率，p/s；
 k_t ——为工作状态下的流量系数，p/l；
 ρ_f ——为流体密度，kg/m³。

当被测流体为过热蒸汽时，可从查表求得工作状态下的流体密度。测量系统图见图 3。

$$\rho_f = f(P_f, t_f) \quad (4)$$

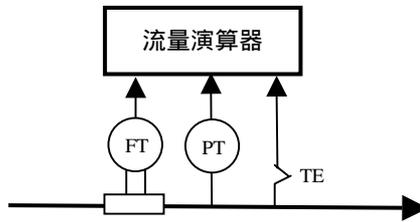


图 3 用旋涡流量计测量过热蒸汽质量流量系统

当被测流体为饱和蒸汽时，可从

$$f = f(p_f) \quad (5)$$

或

$$f = f(t_f) \quad (6)$$

查表求得工作状态下的流量密度。
 其测量系统图见图 4。



图 4 用旋涡流量计测量饱和蒸汽质量流量系统图

在式(3)中， ρ_f 应是旋涡流量计出口的流体密度，因此， P_f 的测压点应取在旋涡流量计出口的规定管段上^[2]。

有些研究成果表明，临界饱和状态蒸汽经减压后会发生相变，即从饱和状态变为过热状态，这时，将其仍作为饱和蒸汽从式(5)或式(6)的关系求取 ρ_f ，必将引入较大误差^[3]。如果出现这种情况，应进行温度压力补偿。

2.2 蒸汽热量的计量

蒸汽热量的计量是建立在质量流量基础上的，其关系式为

$$Q = h_f \cdot q_m \quad (7)$$

式中： Q —— 为热量，kJ；

h_f —— 为蒸汽比焓，kJ/kg。

当流体为过热蒸汽时，

$$h = f(P, t) \quad (8)$$

当流体为饱和蒸汽时，

$$h = f(P) \quad (9)$$

或

$$h = f(t) \quad (10)$$

式中： P 和 t 分别为蒸汽压力和温度。

有些流量演算器除了具有质量流量演算、补偿、积算、显示功能之外，还具有热量演算功能^[4]，这种演算器在使用者指定了热量演算功能之后，先从流体压力和温度查国际蒸汽比焓表，得到 h_f ，再按式(7)计算热量，然后积算显示。

3 计量要求

用于热能贸易结算的计量系统，除了须满足流量测量仪表的一般要求之外，还须满足贸易结算所需的专用要求。与过程控制中的流量测量相比，在测量精度和范围度方面也有一定差异，现概括如下。

3.1 对测量精度的要求

用于热能贸易结算的计量系统因其计量结果就是结算费用的依据，因此，精度要求比过程控制用流量测量仪表要求高。对于差压式流量计，当差压测量选用 0.2 级差压变送器，流量演算器精度选用 0.2 级，压力变送器选用 0.25 级，测温元件选用 A 级 Pt100 铂热电阻时，若仪表安装使用也符合规程要求，按照方和根的误差合成法，30% FS 以上各测量点，一般能得到 $\pm 2\%$ 的系统精度。对于旋涡流量计组成的系统，流量变送器在制造厂推荐的测量范围之内，有 $\pm 1.5\%R$ 的精度，与上述测温测压元件及流量演算器配合之后，能得到约 $\pm 2\%$ 的系统精度。

如果无大的干扰进入，系统长时期稳定运行，上述两种测量方法所能达到的精度，供需双方是比较满意的。

3.2 对范围度的要求

在热网中，各类用户对热能计量系统的范围度要求差异很大，有的用户连续生产，一年到头热负荷都很稳定；有的用户负荷随季节变化较明显，以取暖设备为主要负荷的用户，夏季流量与冬季流量相差较大；而另有一类用户，仅单班生产，多数时间热负荷为 0。但总的来说，范围度是这种用途的仪表须考虑的重要问题。

在常用的热能计量仪表中，旋涡流量计的范围度是较大的，以 0.8 MPa 饱和蒸汽为例，不同口径的仪表保证精度的下限流速略有差异，但测量管中的流体流速在 2.5~5.5 m/s 以上就已进入“正常测量范围”^[2]，设计时只要合理选定其口径，一般都能得到满意的范围度。

差压式流量计范围度没有旋涡流量计那么大。在使用 1.5 级差压计的发展阶段，一般公认其范围度只能达到 1:3。

制约差压式流量计范围度的因素还不仅仅是差压计精度，因为相对流量很小时，流出系数 C 和可膨胀系数 都发生了明显的变化，如果仍将它们当作常数来处理，就将产生额外误差。

自从计算机技术引入仪表后，差压式流量计的技术水平得到了新的提高。差压变送器的精度已不再是以前的 0.5 级，而是现在的 0.1 级，甚至更高。被测流量在全量程范围内变化，其雷诺数相应变化，因此而引起流出系数的变化在可编程流量演算器中能得到修正^[5]。而且可膨胀性系数 的变化也能得到自动修正，所以范围度相应增大。不少研究者认为可以做到 1:10。

3.3 下限流量计计费功能

任何流量计都有保证精度的最小流量，如果流量进一步减小，将会出现灵敏度丧失（如涡街流量计）

或被当作小信号予以切除（如差压式流量计），这对供方来说都是不利的，有失公正。为了防止效益的流失，对于一套具体的热能计量设备，供需双方往往根据流量测量范围和能够达到的范围度，约定某一流量值为“下限流量”，而且约定若实际流量小于该约定值，按照多少流量收费。

3.4 停汽判断功能

有些用户在休息天将蒸汽完全关闭，停止用汽，这时不能再按“下限收费流量”计费，方法是由仪表根据停汽后流体温度、压力等参数的变化作出判断，判断结果一旦为“停汽”，即停止积算。

3.5 超计划耗用计费功能

流量计如果过范围运行，一般均导致计量值偏低。除此之外，在热网中如果超计划耗能，还将影响热网的供热品质。这不仅损害供方利益，而且损害其他用户利益。遇此情况，热力公司有时为了保证供热品质，被迫启动调峰机组，这必将使运行成本相应增加。为了鼓励用户计划用能，热力公司一般同需方约定最大用能量，如果超过此量，一般约定加 1 倍或数倍收费。

3.6 分时段计费功能

热力公司为了鼓励夜间用能，促使负荷的日夜平衡，往往规定夜间用能按 0.8 系数计费，日间用能按 1.2 系数计费。

对于单班用汽的用户，如果要在计划的时段外用汽，则必须支付计划外的计费系数。分时段计费功能也能满足这一需求。

3.7 掉电记录功能

用于热能计量的表计一般都为电动式，当其电源中断后，仪表停止工作，累积值虽能保持但不会继续增加。有时需方为了少付热费，就将仪表电源拉掉一段时间，显然这是很不公正的。流量演算器的掉电记录功能就是要将这种有意拉电和无意掉电事件一次不漏地记录下来。

3.8 定时抄表功能

定时抄表功能，就是仪表在抄表员所指定的抄表时刻（在菜单中预先设置），读取流量累积值并存放在仪表的一个单元中，当抄表人员按下抄表键时，仪表显示抄表符号和该单元中的数据。该单元中的累积值一直保持到下一天的“抄表时间”才被刷新。如果全厂流量演算器设置同一抄表时间，那么，抄表人员巡回路线和时间的差异都不影响抄录结果，因此有利于分表和总表的平衡计算。

3.9 流量累积数据保持功能

仪表投入运行后，流量累积数据在任何情况下都不应自行丢失，也不应被未掌握密码的人员清除掉。

3.10 打印功能

有些用户提出，用于贸易结算的数据应以仪表自动打印数据为准，因为这样更客观，不会因人工抄表而引入人为因素。打印内容一般包括设备号、打印日期和时间，瞬时流量，累积流量，流体压力，流体温度等。

3.11 断电保护功能

断电保护功能是可编程流量演算器的重要功能，它指的是在主电源中断时，对设定数据和累积值进行保护，使之不丢失和不被修改。

3.12 密码设置功能

密码设置功能是可编程仪表防止未被授权的人员修改关键数据的重要手段。

3.13 通讯功能

随着通讯技术的发展和 PC 机越来越便宜，计算机在热网中的应用越来越普遍。常见的用法是数据自动采集和自动远程抄表，这都要求流量二次表需具有通讯能力。

4 实施方法

上面所述对计量表计的各项要求，看起来很复杂，但在带 CPU 的流量二次表中，满足这些要求并不难。下面以张江热力中心实际使用 FC 6000 PLUS 流量演算器为例，介绍具体做法。

4.1 下限流量计费功能

在演算器菜单中，有一条写入“下限流量约定值”，另一条写入“下限收费流量”，仪表运行后，如果实际流量小于“下限流量约定值”，即以“下限收费流量”取代实际流量进行积算。

4.2 停汽判断功能

由仪表对停汽作出灵敏而正确的判断，以流体温度为信号较有效，而且还须合理选择测温点的安装位置。

当供汽总阀关闭后，管道内温度很快降低到饱和温度，随着管内冷凝水的冷却，管内温度进一步降低，从而作出“停汽”判断。

4.3 超计划耗用计费功能

演算器实现这一功能需占用二条菜单，一条写入“最大耗用流量”，另一条写入“超用费率”。仪表运行时，依次显示两个瞬时流量，一个是“实际流量”，另一个是“收费流量”。

4.4 分时段计费功能

演算器实现这一功能，占用 4 条菜单，即“日间起始时间”，“日间结束时间”，“日间收费系数”和“夜间收费系数”。

4.5 掉电记录功能

演算器内部装有实时时钟，其集成电路自带长寿命蓄电池，可以长期使用，当主电源掉电时，仪表自动记下实时时钟所指的日期和时间，当主电源恢复供电时，仪表再一次记下实时时钟所指的日期和时间。因此，每次掉电事件，仪表的 E²PROM 中都自动记下四条数据，一台仪表最多可记录 60 次掉电事件，而且记满之后如果再有掉电事件发生，则自动推掉最陈旧的一次记录。

掉电记录数据可通过仪表面板上的操作键调阅，但无法擦掉。使用者可按供需双方的约定，依一定的计算方法对掉电期间少计的累积值进行处理。

4.6 定时抄表功能

定时抄表功能在演算器中占用一条菜单，即“抄表时间”。

4.7 面板清零有效性选择功能

选择面板清零有效时，按一下面板上的复位键就可将流量累积值复零，以便为仪表校验带来方便。

选择面板清零无效时，按复位键则不能实现流量累积值的复零，但当打入的密码相符时，仍可按规定的操作方法实现清零。这就相当于给流量累积数据加上一把电子锁。

4.8 打印功能

流量演算器的打印功能，一般只需配备微型打印机实现简单的打印记录即可。

打印方式有定时打印、召唤打印和超越加速加印。其中定时打印需占用两条菜单，即“打印起始时间”和“打印间隔时间”。

召唤打印只需按照仪表说明书介绍的方法按下面板上有关键就可实现。

超越加速打印是某个变量满足指定的表达式的要求时，自动将打印间隔时间缩短为“加速打印间隔时间”。例如某台演算器用来处理蒸汽流量信号，设置正常打印间隔时间为 8 小时，以满足考核和结算的需要。当流体压力低于设定压力（供方保证的最低压力或维持正常生产的最低压力）时，每 5 分钟打印一次，于是可将“加速打印间隔时间”设置为 5 分钟，从而使打印机兼有划线记录仪的部分功能。

4.9 断电保护功能

主电源中断时对数据实现保护的方法有多种，用电池实现断电保护的傳統方法，保护时间一般只能达到几天至几个月。采用电可擦不挥发存储器（E²PROM），保护时间可达十年以上。

4.10 密码设置功能

在演算器中，密码占用 1 条菜单，只有当打入的密码与原先设置的密码一致时，才允许修改数据和更改原先设置的密码。

4.11 通讯功能

可编程演算器的通讯口一般为 RS-232C 或 RS-485 标准串口。通讯速率一般都不高，9600 波特率已足够。传输介质为双绞线。

建立在数据通讯基础上的计算机数据采集系统，随着通讯距离和规模的不同，需配置的设备也不同，通讯距离超过 2km 后，一般应考虑增设重复器（中继器）。

通讯功能还能使利用电话线进行远程抄表成为可能，但需增设调制解调器，图 5 所示即为实

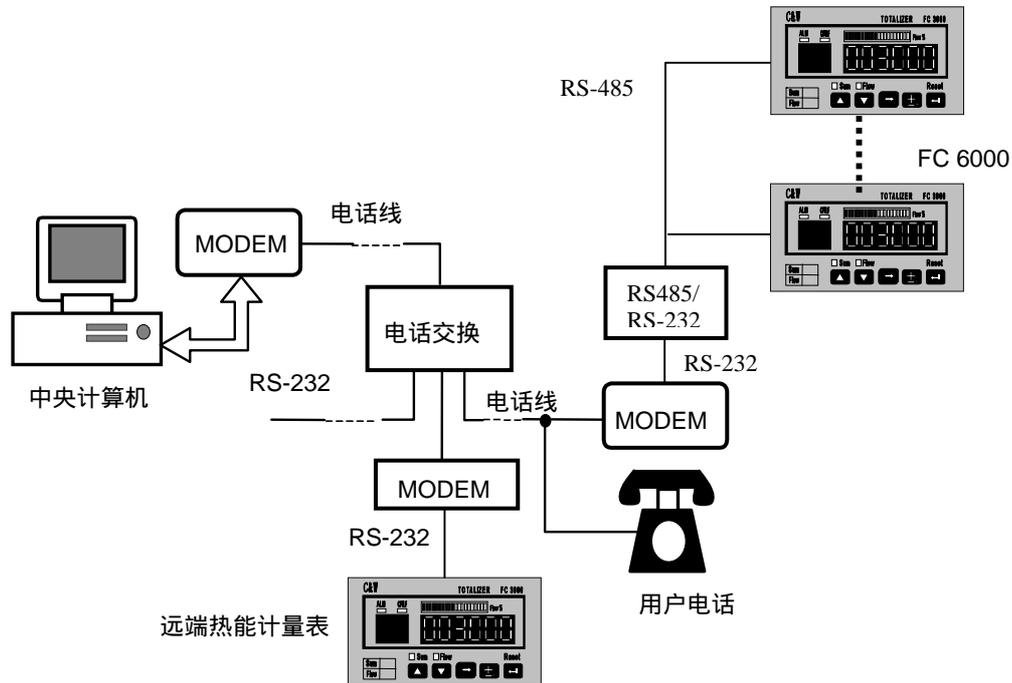


图 5 计算机远程抄表系统图

际应用系统。当预先设置的定时抄表时刻到达时，计算机自动拨通远端电话号，然后以广播方式呼叫该电话号下面所挂的各台待抄录仪表，依次实现数据传送，并存入规定单元。

5 结束语

可编程演算器在热能贸易结算中的应用时间还不长，功能还不够完善，但可编程仪表的潜力是巨大的，用户提出的各种要求绝大部分都能得到满足，可以预期，热能贸易结算的表计精度将会越来越高，功能会越来越丰富，使用会越来越方便。同时，科学地进行贸易结算，有利于建立正常的供热、用热秩序，明确供热、用热双方享有的权利及应尽的义务，发挥集中供热的社会效益和经济效益。

参考文献

- 1 GB/T 2624-93 流量测量节流装置用孔板、喷嘴和文管测量充满圆管的流体流量，1993
- 2 上海横河电机有限公司.YF 100 型旋涡流量计使用说明书
- 3 汪里迈等.蒸汽流量测量中的温压补偿实施方案.石油化工自动化，1998；(3)
- 4 上海宝科自动化仪表研究所.FC 6000 型通用流量演算器操作使用说明书
- 5 纪纲等.孔板流量计扩大范围度的一种方法.自动化仪表，1998；(6)7~10
- 6 上海市集中供热系统计量管理办法（讨论稿）
- 7 GB/T 17167-1997 企业能源计量器具配备和管理导则