

蒸汽热量计量及常用方法

叶海青 陈伟琪 (杭州正和计量校准有限公司, 杭州 310004)

纪 纲 (上海同欣自动化仪表有限公司, 上海 200070)

提 要 在蒸汽贸易结算中,常用的有质量计量法和热量计量法,文中分析了热量计量法的合理性。并区别蒸汽的不同类型和热负荷的不同性质给出了几种常用的热量计量方法。

关键词 蒸汽 热量结算 质量计量 热量计量

1 蒸汽质量计量与热量计量

热力公司向用户供热所采用的载热工质,最常用的有热水和蒸汽,而热费的结算却有很大差别,热水自然而然按热量计量,而蒸汽几十年以来却大多以质量计量,直至目前。

热用户向热力公司购买蒸汽,为的是要得到蒸汽所包含的热量,而不是蒸汽本身,当然,有个别用户是既利用水蒸汽所包含的热量,又利用水蒸气本身。例如在合成氨厂的变换流程中,将蒸汽喷入变换炉,在催化剂的作用下,与煤气(原料)一起进行化学反应,水蒸气中的氧原子与一氧化碳反应生成二氧化碳,并放出热量,水蒸气中的氢原子被脱出来,作为合成工序的原料。在此例中,水蒸气包含的热量和水蒸气本身都得到了利用。

热用户从水蒸气中获得热量的方法大多是通过热交换器,即水蒸气从热交换器的一侧通入,其热量传递给被加热流体后,水蒸气凝结成水,经疏水器排入凝结水管,然后返回热力公司。也有的热负荷不是热交换器,例如食堂用蒸汽蒸饭,浴室用蒸汽直接加热洗澡水。

食堂在用蒸汽蒸饭时,通入饭车的蒸汽,部分与被加热物品接触后放出热量,变成凝结水,然后从凝结水出口排出,未被凝结的水蒸气从饭车上部逸出。

浴室用蒸汽直接加热洗澡水,是将蒸汽从微小的喷孔直接喷入水槽,蒸汽放出热量变成凝结水,凝结水混入被加热的水中,也变成洗澡水,所以,不存在凝结水返回热力公司的问题。

以蒸汽的质量结算热费是依据水蒸气的下列性质,即水蒸气满足规定的工况指标后,单位质量蒸汽所包含的热量(即比焓)就等于或大于某一规定值,在这种情况下计出蒸汽的质量也就可换算出蒸汽的热量。

尽管人们对这种方法的合理性早有质疑,但由于质量流量测量相对较简单,而热量计量方法在模拟式仪表中实现较为困难,因而,质量计量法还是为人们所接受。

在计算机技术进入流量仪表之后,蒸汽热量计量和质量计量都变得简单了,于是人们实现热量计量的呼声就变成了具体行动。

水蒸气在其发生和输送过程中,状态变化难以避免,锅炉出口或减温减压站出口的蒸汽,温度和压力总是有一定幅度的变化,于是蒸汽的比焓相应变化。更严重的问题是蒸汽经过长距离输送后,由于沿途损失热量,蒸汽的品位下降,例如在减压站出口处,蒸汽的工况为 $p = 0.9 \text{ MPa (A)}$ 、 $t = 280^\circ\text{C}$,这时的比焓为 3012.0 kJ/kg ,而到末端用户处,工况就可能变成 $p = 0.8 \text{ MPa}$ 的饱和蒸汽,这时的比焓降为 2767.5 kJ/kg 。而且这种工况也不是固定不变的,随着季节的变化,天气的变化,用户负荷的变化等,管道中的蒸汽压力和温度总是在变化着的。采用质量计量法最吃亏的是末端用户。

质量计量方法对供方来说也并不总是合算的。因为供方对用户承诺的蒸汽品质指标不可能恰到好处。为了确保承诺的指标,供方总是要留有裕度,此裕度对供方来说就意味着利润的流失。

改用热量计量后,计量结果既包含了蒸汽的数量,也包含了蒸汽的品质,上述的几种不合理现象全被消除,因而体现了计量的公平和公正。

2 蒸汽热量的计量方法

蒸汽热量计量是建立在蒸汽质量计量基础上的,它们之间的基本关系是蒸汽质量与单位质量的蒸汽所包含的热量的乘积即为热流量。但是,随着热负荷性质的差异和参考点不同,热流量计算的表达式也就不一样。

2.1 凝结水不返回的特殊用户

对于凝结水不返回的特殊用户，其系统图如图 1 所示，其热量定义为以 $t = 0^{\circ}\text{C}$ 的水之焓为参考点的实际使用条件下的蒸汽焓值。其表达式为

$$\Phi = q_m \cdot h \quad (1)$$

式中 Φ —— 热流量, kJ/h ;
 q_m —— 质量流量, kg/h ;
 h —— 蒸汽的比焓, kJ/kg 。

$$h = f(p, t)$$

式中 p —— 蒸汽压力, MPa ;
 t —— 蒸汽温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

热量表(或流量演算器、计算机等)按照测量得到的蒸汽压力、温度,查存储在仪表内的蒸汽表格(国际公式委员会蒸汽性质表^[1]),得到蒸汽密度和比焓,进而计算 q_m 和 Φ 。

该计量方法也可用来对蒸汽发生器输出热量进行计量。

由于该计量方法以 $t = 0^{\circ}\text{C}$ 时水的焓为参考点,难免用户提出异议,因为动力厂原料水(冷水)中所含的热量也视同蒸汽中所含热量作价卖出,似有不合理之处。若冬季水温以 10°C 计,夏季水温以 25°C 计,低压蒸汽比焓以 2.8MJ/kg 计,则冷水中的热量与蒸汽中总热量之比在冬季约为 1.4% ,在夏季约为 3.6% 。解决这一问题的合理方法是供用双方协商一个双方都能接受的协议参考点,对表计量结果进行适当处理。作为结算热量。

例如:某台蒸汽热量表测得蒸汽温度为 $t=280^{\circ}\text{C}$,压力为 $p=0.9\text{MPa (A)}$,质量流量 $q_m=10\text{t/h}$,由式

(1) 可计算热流量。

由 t 和 p 查表得 $h=3012.0\text{kJ/kg}$,

$$\Phi = q_m \cdot h = 30120000\text{kJ/h} = 30.12\text{GJ}。$$

2.2 蒸汽净热量计量

蒸汽净热量计量适用于凝结水全额返回的用户,其系统图如图 2 所示。其表达式为

$$\Phi = q_m (h_s - h_w) \quad (2)$$

式中 h_s —— 蒸汽比焓, kJ/kg ;
 $h_s = f(p, t)$
 h_w —— 凝结水比焓, kJ/kg 。
 $h_w = f(p)$

为了简化起见,凝结水温度假设与热交换器上游测量到的压力所对应的饱和蒸汽温度相等(忽略了热交换器上的压力损失)。 h_w 与 p 的关系见参考文献 1 和 2。

这一方法既适用于过热蒸汽又适用于饱和蒸汽。

例如:某台蒸汽热量表测得蒸汽温度为 $t=280^{\circ}\text{C}$,压力为 $p=0.9\text{MPa (A)}$,质量流量为 $q_m=10\text{t/h}$,由式(2)可计算热流量。

由 t 和 p 查表得 $h_s=3012.0\text{kJ/kg}$,忽略热负荷的压力损失,由 p 查表得 $h_w=742.64\text{kJ/kg}$,因为质量流量 $q_m=10\text{t/h}$,所以

$$\begin{aligned} \Phi &= q_m \cdot (h_s - h_w) = 10000\text{kg/h} \cdot (3012.0 - 742.64)\text{kJ/kg} \\ &= 22.6936\text{GJ/h}。 \end{aligned}$$

2.3 热量差计量方法

热量差计量方法也适用于凝结水全部返回的用户,其系统图如图 3 所示。其测量原理是饱和蒸汽提供的热量扣除凝结水中残存的热量,即为热交换器从蒸汽抽取的热量。其表达式为

$$\Phi = q_m (h_s - h_w) \quad (3)$$

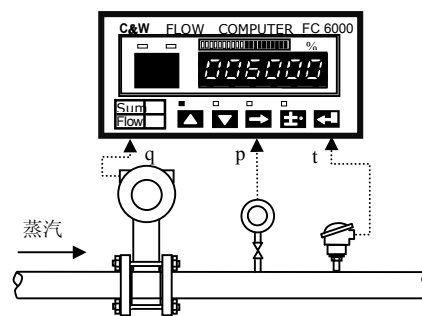


图 1 凝结水不返回的蒸汽热量计量
 q —流量信号; p —压力信号; t —温度信号

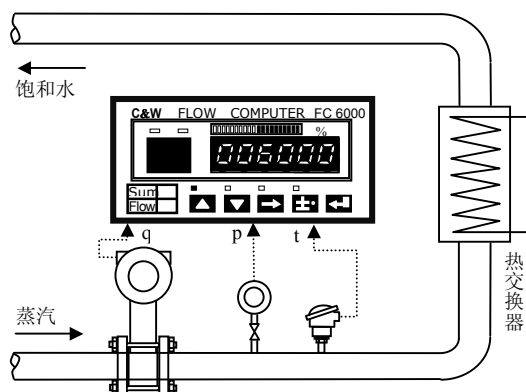


图 2 蒸汽净热量计量系统图

式中 h_s —— 饱和蒸汽比焓, kJ/kg;

h_w —— 凝结水比焓, kJ/kg。

$$h_w = f(t)$$

这一方法仅适用于饱和蒸汽, 这是因为目前商品化的定型的流量(热量)显示表通常只有三个模拟输入通道, 如果用于过热蒸汽, 就必须增加一个输入通道, 用于过热蒸汽温度信号的输入。实现的方法可用计算机, 也可向仪表制造厂特殊订购。

例如: 某台蒸汽热量表测得蒸汽压力为 $p = 0.8\text{MPa (A)}$, 质量流量 $q_m = 10\text{t/h}$, 凝结水温度 $t = 150^\circ\text{C}$, 由式(3)可计算热量:

由 p 查表得 $h_s = 2772.1\text{kJ/kg}$, 由 t 查表得 $h_w = 632.26\text{kJ/kg}$, 因为质量流量 $q_m = 10\text{t/h}$, 所以

$$\begin{aligned}\Phi &= q_m \cdot (h_s - h_w) \\ &= 10000\text{kg/h} \cdot (2772.1 - 632.26)\text{kJ/kg} \\ &= 21.398\text{GJ/h}.\end{aligned}$$

2.4 凝结水部分返回的用户

有些用热量较大的用户, 用热设备往往不只一个, 用热设备也往往不只一种, 这时, 凝结水要做到全部返回有困难, 常常只能做到百分之七八十返回。对于此类用户, 若要精确计量热量, 可增设一台凝结水表, 其系统图如图4。其表达式为

$$\Phi = q_m \cdot h_s - q_w \cdot h_w \quad (4)$$

式中 h_s —— 饱和蒸汽比焓, kJ/kg;

$$h_s = f(p)$$

h_w —— 凝结水的比焓, kJ/kg;

$$h_w = f(t)$$

q_w —— 返回的凝结水流量, kg/h。

例如: 某台热量表测得进入热交换器的饱和蒸汽压力 $p = 0.8\text{MPa (A)}$, 质量流量 $q_m = 10\text{t/h}$; 返回水温度 $t = 90^\circ\text{C}$, 质量流量 $q_w = 8\text{t/h}$, 由式(4)可计算热量:

由 p 查表得 $h_s = 2772.1\text{kJ/kg}$, 由 t 查表得 $h_w = 377.45\text{kJ/kg}$, 所以

$$\begin{aligned}\Phi &= q_m h_s - q_w h_w \\ &= 10000\text{kg/h} \times 2772.1\text{kJ/kg} - 8000\text{kg/h} \times 377.45\text{kJ/kg} \\ &= 24.7014\text{GJ/h}\end{aligned}$$

这一方法仅适用于饱和蒸汽, 如果是过热蒸汽, 还需增设蒸汽温度传感器, 热量表也需增加输入通道, 这可作特殊规格向制造商订制。也可在工控机中实现。

2.5 热量与热流量的关系

上面所述都是热量如何计算, 而计量的最后目标是要得到热量值, 在一段时间间隔内供热方所提供的热量或热负荷所吸收的热量 Q , 等于热流量对于时间的积分^[2], 即

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} \phi d\tau \quad (5)$$

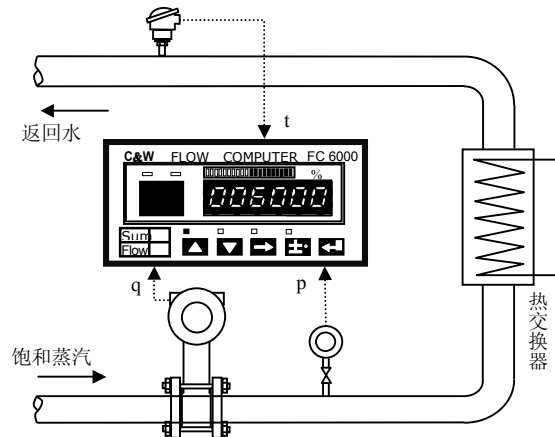


图3 热量差计量方法系统图

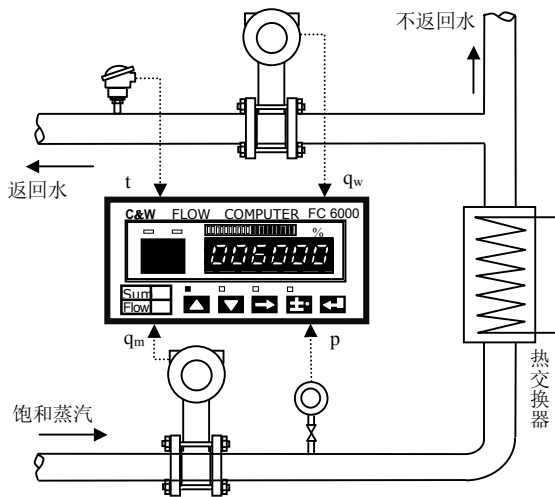


图4 凝结水部分返回的蒸汽热量计量

式中： Q —— 热量，J 或 kJ（也可用 $w \cdot h$ 表示）；
 ϕ —— 热流量，J/h 或 kJ/h（也可用 w 表示），
 τ —— 时间，h。

这一任务一般交由热量表的积算部分来完成。由于各个被测对象的测量范围差异很大，热量表中往往设计有单位换算系数，从而可得到多种热量显示单位，如 J、kJ、MJ、GJ 以及 $kw \cdot h$ 等。

3 结束语

① 在热能贸易中，可按蒸汽质量流量结算，也可按热能结算。其中后者既包含了蒸汽的数量，也包含了蒸汽的质量，因此更合理。

② 在蒸汽热能计量中，由于工艺流程和工艺设备的差异，所使用的表达式也不同，但有一点是相同的，即均建立在蒸汽质量流量的基础上，有的还需伴之以凝结水流量的测量。

参考文献

1. 纪纲编著. 流量测量仪表应用技巧. 北京: 化学工业出版社. 2003
2. JJG 225-2001 热能表检定规程. 2003