

燃气快速热水器热工性能的测定

一、实验目的

通过测定燃起快速热水器的热负荷，热效率，燃气热值的含义，了解快速热水器的结构及工作原理，初步掌握对燃气热水器的热工性能测试技术。

二、基本原理

（一）燃气热值测定

在水流式热量计中，连续流过热量计的水吸收燃气完全燃烧时所产生的热量，水吸收热量后温度升高。稳定工况时，测出相同时间内燃气用量、流过热量计的水量及进、出口水温，即可计算出燃气的高位热值。在测试过程中，还应测出烟气中水蒸气冷凝产生的凝水量，计算出燃气的低位热值。

（二）燃气快速热水器的热工性能测定

快速热水器是专门制取生活热水的设备。其结构比较复杂，它本身无储水容积，要求控制性能好，安全可靠。其原理是冷水经快速热水器的受热面，吸收燃气燃烧产生的热量，使冷水温度升高至规定的温度并保持相对稳定，连续供应热水。由于快速热水器结构紧凑，受热面大，所以其热效率比较高。

1、热流量（热负荷）

热水器的热流量（热负荷）是指单位时间内热水器使用的燃气燃烧所放出的热量，计算公式如下：

$$\phi = q_{vs} \times Q_{is}$$

ϕ —在标准大气条件下, 燃器前压力为 p_g 时的折算热流量, MJ/h

Q_{is} —设计时采用的基准干燃的低位热值, MJ/Nm³

$$q_{vs} = q_v \times \sqrt{\frac{(p_{amb} + p_g) - (1 - \frac{0.644}{d_{mg}}) p_v}{101.3} \times \frac{273}{273 + t} \times \frac{101.3 + p_g}{101.3} \times \frac{d_{mg}}{d_{sg}}}$$

式中: q_{vs} —在标准大气条件下, 燃前燃气压力为 p_g , 试验气相对密度为 d_{mg} , 折算为相对密度为 d_{sg} 的干设计气的燃气消耗量, m³/h(101.3KPa, 0⁰C);

q_v —试验时湿试验气的消耗量, m³/h($p_{amb} + p_g$, t⁰C);

p_{amb} —试验时的大气压力, KPa;

p_g —试验时通入燃气流量计的试验气压力, KPa;

t —试验时通入燃气流量计的试验气温度, ⁰ C;

p_v —在温度为 t⁰C 时饱和水蒸气的压力, Kpa;

d_{mg} —标准条件下干试验气的相对密度;

d_{sg} —标准条件下干设计气的相对密度;

0.644—标准条件下水蒸气的相对密度。

$$\text{令 } F = \sqrt{\frac{(P_{amb} + p_g) - \left(1 - \frac{0.644}{d_{mg}}\right) \cdot p_v}{101.3} \times \frac{273}{273 + t} \times \frac{101.3 + p_g}{101.3} \times \frac{d_{mg}}{d_{sg}}}$$

则:

$$\Phi_c = q_{vs} \times Q_c$$

式中: Φ_c —在标准大气条件下, 灶前压力为 p_g 时的实测折算热流量, MJ/h;

Q_c —测试时采用的基准干燃气的低位热值 MJ/Nm³。

$$\Phi_c = \frac{F \cdot (V_2 - V_1)}{\tau} \cdot f \cdot Q_c$$

式中: F —体积折算系数,

V_1 、 V_2 —流量计的初、终读数 (m³);

f —流量计校正系数;

τ —计量时间。

(二) 热效率

热效率是表示热能的利用率。快速热水器的测试热效率可定义为：

$$\eta = \frac{\text{单位时间内水吸收的热量}}{\text{单位时间内燃气燃烧所放出的热量}} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{G \cdot C \cdot (t_2 - t_1)}{F \cdot f \cdot (V_2 - V_1)} \times 100 \%$$

式中：G—测试时间 τ 内的水量 (kg)；

C—水的比热 ($c=0.0041861\text{MJ}/^\circ\text{C}\cdot\text{kg}$)；

t_1 —进口冷水温度 ($^\circ\text{C}$)；

t_2 —出口热水温度 ($^\circ\text{C}$)。

其它符号同前。

a) 热水产率

热水产率是指单位时间内的热水产量。热水器的额定产率是燃气在额定压力下燃烧，压力 98Kpa 的冷水流过热水器，温度升高 25°C 时，每分钟的热水量。用下式表示：

$$g = \frac{60M}{\tau}$$

式中：g—热水产率 (L/min)；

M—测试时间内的热水量 (L)；

T—测试时间 (s)。

三、实验装置

(一) 燃气热值仪器设备及测试系统

1. 仪器设备

水流式热流计；

湿式气体流量计：测燃气量，分度值不大于 0.02L；

水银温度计：测水温度，量程 $0\sim 50^\circ\text{C}$ ，分度值不大于 0.1°C ；其它温度计，量程为 $0\sim 50^\circ\text{C}$ ，分度值不大于 0.1°C ；

空气加湿器，燃气加湿器；

电子天平：称量水重，最大负荷 10kg，分度值不大于 5g；

大气压力计：分度值不大于 10Pa；

盛水器：容积应为 $5\sim 10\text{L}$ ；

凝水量筒：容量为 20ml，分度值不大于 0.5ml；

燃气压力计：分度值不大于 1mm；

秒表：分度值不大于 0.1s；

水箱：容积应不大于 300L；

标准容量瓶：校正湿式气体流量计用，其容量应与流量计指针转一周读数相等。

2. 测试系统

测试系统装置见图 1.1

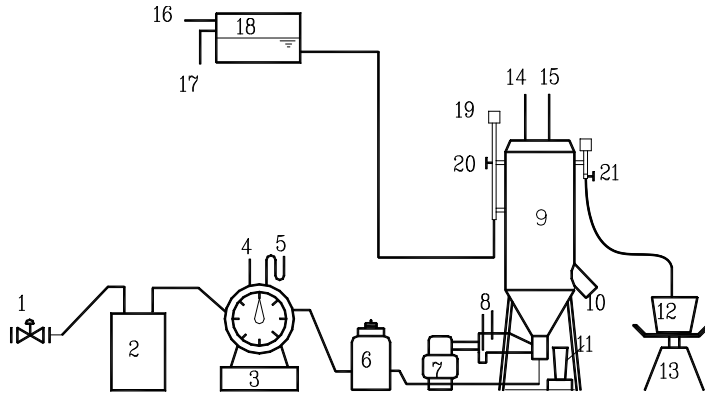


图 1.1 水流式热量计测试系统

1 燃气初次调压器 2 燃气湿润器 3 湿式气体流量计 4 温度计 5 压力计 6 燃气稳压器 7 空气湿润器 8 干湿球温度计 9 热量计本体 10 排烟口 11 凝水量桶 12 盛水器 13 台秤 14 进水温度计 15

燃气经过压力调节器调整到额定压力，经燃气加湿器进行加湿，在通过湿式气体流量计时，测量燃气压力、温度、流量，然后进入本生灯与空气进行混合后燃烧。烟气与热量计中水进行热交换，降温后排除。

水从自来水管进入水箱，稳压后流入热量计的恒位水箱，再通过进水调节阀调整水量后，进入热量计内，多余水经溢流管流入下水道。进入热流计的水与燃气燃烧产生的烟气进行热交换后，流入盛容器（在测试准备阶段流入下水道）。

空气经过空气加湿器进行加湿，相对湿度控制在 $80 \pm 5\%$ 。相对湿度通过

加湿器上的干、湿球温度计测量（查附表 2），通过加湿器上的调节阀门进行调节。加湿后的空气进入本生灯，与燃气进行燃烧。

（二）、燃气快速热水器的热工性能测定仪器设备及测试系统

1. 测量系统

系统图如下：

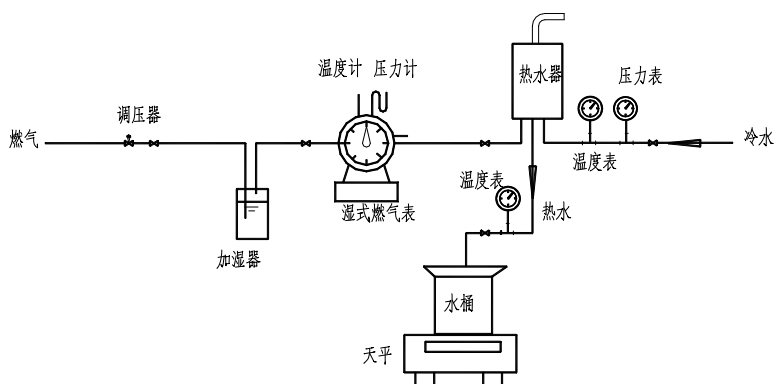


图 1.2 热水器测试系统示意图

燃气通过燃气调压器、阀门 1 进入流量计。阀门即可起开关作用，又可起调整压力作用，燃气压力在 U 型压力计上显示。燃气经过计量，进入快速热水器，与氧混合燃烧放出热量，生成烟气通过排烟系统排出。

冷水阀门即起到开启作用，又起到水压调节作用。冷水经过阀门调节到额定压力后进入热水器，加热后流出热水器。进出口水温由出口温度计测出。

2. 测量仪器

水银温度计： 0~50℃ 最小刻度 0.5℃ 一支，
 0~50℃ 最小刻度 0.1℃ 一支，
 0~100℃ 最小刻度 0.1℃ 一支；

湿式燃气表： 1 台；

U 型压力计： 1 个；

快速燃气热水器； 1 台；

秒表： 1 块；

水桶： 2 个；
天平： 1 架；
量桶： 2000ml 2 个
精密压力表： 1 个，量程 0~1.0Mpa，精度 0.4；

四、操作步骤

（一）燃气热值的测定：

1、准备

（1）用标准瓶校正湿式气体流量计得出 f_1 。湿式气体流量计中的水温与室温相差应不大于 0.5°C 。

（2）根据所测燃气的大致热值范围选择适当的本生灯喷嘴，其尺寸可参考下列数据：

高位热值 (MJ/Nm ³)	喷嘴直径 (mm)
12.6~16.7	2.5
16.7~37.7	2.0
37.7~46.0	1.5
46.0~62.8	1.0

（3）按着水流式热量计测试系统安装热量计、湿式气体流量计、温度计等。

（4）打开进水阀门，向热量计内注水，此时热量计的出水口切换阀应指向排水口。

进入热量计的水温应低于室温 $1.2\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ ，每次测试的进水温度波动必须小于 0.1°C 。

（5）调节空气加湿器，使空气的相对湿度为 $80\pm 5\%$ 。

（6）检查燃气系统的气密性，要求在工作压力下，5 分钟压力不下降。

（7）排除燃气系统内的空气，点燃本生灯，调节燃气压力达到规定值，调风板使火焰具有清晰的内焰并且稳定燃烧。

(8) 调节进水调节阀, 使热量计的进出水温为 $8\sim 12^{\circ}\text{C}$ 。

(9) 调节烟气阀门, 使排烟温度与进水温度相差 $0\sim 0.5^{\circ}\text{C}$, 以免烟气带走热量。运行 30 分钟后, 待进出口水温稳定后(一般要求变化不超过 0.5°C), 并且冷凝水均匀滴出后, 方可进行测定。

2、测定

测出盛水器净重, 要求读到克。

当湿式气体流量计指针指到零时, 记录该值 V_1 , 并将凝水量筒放在热量计的凝水出口下, 开始进行测定。

当湿式气体流量计指针指到某预定值 V_1 时, 并迅速旋转热量计的出水切换阀, 使水入盛水器内, 读取进水温度(精确到 0.01°C)。以后, 每当湿式气体流量计转过一定体积后, 交替读取进出口水温, 要求读出并记录 10 次以上进出口水温 t_1, t_2 。

测定过程持续一定时间后, 迅速将出水切换阀转回测定前位置, 记录燃气用量 V_2 。

称量流过热量计的水量 W 。

重复上述 3~5 项的操作步骤, 进行第二次测定, 并记录相应的 $W、V$ 及 $t_1、t_2$ 。

当湿式气体流量计指针指向某预定值 V_2 时, 迅速取出凝水量筒。记录下燃气用量 V , 及凝水量 w 。

关闭燃气, 最后关闭进水阀, 结束测定。

在测试过程中应测以下参数

大气压力, 环境温度, 气体流量计上压力, 气体流量计上的温度, 排烟温度

水流式燃气热量计测试记录及计算 (见附表 1、2)

(二) 燃气快速热水器的热工性能测定

1. 熟悉热水器的使用方法:

2. 测量室温及室内大气压力；
3. 打开热水器进水总阀门及水气联动阀到最大，点燃热水器使之正常燃烧、再调节进水阀门使进水压力为额定压力。
4. 把燃气压力调至额定压力并记下压力值；
5. 转动水温调节阀，使热水温度在进水初温加 25℃左右。
6. 观察进出口温度，在温度、变化不大且较稳定后开始测试。
7. 等湿式燃气表指向一整数时开始计时，并同时用水桶接水，读取进口水温；
8. 热水温度每隔 15 秒读 1 次。
9. 在秒表指针到 1 分钟时，迅速停止接水，并同时记下燃气计量计的数值，记下体积，（测试时间也可以大于 1 分钟，最好取 1 分的倍数）。
10. 称热水重量并用量筒量出热水体积。
11. 重复上述过程，进行第二次实验。

五、数据整理及计算

1. 数据记录及计算（见附表 1、2）
2. 计算体积折算系数 F
3. 实验误差

（1）热负荷偏差

$$\text{热负荷偏差} = (\text{实测热负荷} - \text{设计热负荷}) / \text{设计热负荷} \times 100\%$$

（2）热效率

$$\text{要求：热效率} \quad \eta \geq 80\%$$

（3）实测热水产率与设计值比率

$$\text{要求：比率} = (\text{实测值} - \text{设计值}) / \text{设计值} \geq 90\%$$

六、思考题

1. 影响燃气热值测定准确性的主要因素是什么？
2. 为什么说冷凝水滴出后方可开始测定？
3. 试分析测试快速热水器热负荷、热效率、及热水产率的影响因素。

4. 分析你所测试的快速热水器有哪些缺陷？请提出你的建议或改进方法。

附表 1：温度计露杆部分的校正值（ θ ）

(1) 算法：公式

$$t_i = t_L + \theta \quad \theta = \frac{n(t_L - t_r)}{6000}, \quad n = t_L + 2$$

式中： t_i 校正后的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_L 水银柱指示温度（即进出水温）， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_r 室温， $^{\circ}\text{C}$ ；

n 露杆断的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

(2) 查表法

露杆段的温度 n	水温与室温之差，($t_L - t_r$), $^{\circ}\text{C}$													
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
1	0.000	000	000	000	001	001	001	001	001	001	002	002	002	002
2	0.000	001	001	001	001	001	002	002	002	003	003	003	004	004
3	0.001	001	001	001	002	002	003	003	004	004	005	005	006	006
4	0.001	001	001	002	002	003	003	004	005	005	006	007	007	008
5	0.001	001	002	002	003	003	004	005	006	007	008	0085	009	010
6	0.001	002	002	003	003	004	005	006	007	008	009	010	011	012
7	0.001	002	002	003	004	005	006	007	008	009	011	012	013	014
8	0.001	002	003	003	004	005	007	008	009	011	012	013	015	016
9	0.001	002	003	004	005	006	008	009	011	012	014	015	017	018
10	0.002	003	003	004	005	007	008	010	012	013	015	017	018	020
11	0.002	003	004	005	006	007	009	011	013	015	017	018	020	022
12	0.002	003	004	005	006	008	010	012	014	016	018	020	022	024
13	0.002	003	004	005	007	009	011	013	015	017	020	022	024	026
14	0.002	004	005	006	007	009	012	014	016	019	021	023	026	028
15	0.003	004	005	006	008	010	013	015	018	020	023	025	028	030
16	0.003	004	005	007	008	011	013	016	019	021	024	027	029	032
17	0.003	004	006	007	009	011	014	017	020	023	026	028	031	034
18	0.003	005	006	008	009	012	015	018	021	024	027	030	033	036
19	0.003	005	006	008	010	013	016	019	022	025	029	032	035	038

20	0.003	005	007	008	010	013	017	020	023	027	030	033	037	040
21	0.004	005	007	009	011	014	018	021	025	028	032	035	039	042
22	0.004	006	007	009	011	015	018	022	026	029	033	037	040	044
23	0.004	006	008	010	012	015	019	023	027	031	035	038	042	046
24	0.004	006	008	010	012	016	020	024	028	032	036	040	044	048
25	0.004	006	008	010	013	017	021	025	029	033	038	042	046	050
26	0.004	007	009	011	013	017	022	026	030	035	039	043	048	052
27	0.005	007	009	011	014	018	023	027	032	036	041	045	050	054
28	0.005	007	009	012	014	019	023	028	033	037	042	047	051	056
29	0.005	007	010	012	015	019	024	029	034	039	043	048	053	058
30	0.005	008	010	013	015	020	025	030	035	040	045	050	055	060
31	0.005	008	010	013	016	021	026	031	036	041	047	052	057	062
32	0.005	008	011	013	016	021	027	032	037	043	048	053	059	064
33	0.006	008	011	014	017	022	028	033	039	044	050	055	061	066
34	0.006	009	011	014	017	023	028	034	040	045	051	057	062	068
35	0.006	009	012	015	018	023	029	035	041	047	053	058	064	070
36	0.006	009	012	015	018	024	030	036	042	048	054	060	066	072
37	0.006	009	012	015	019	025	031	037	043	049	056	062	068	074
38	0.006	010	013	016	019	025	032	038	044	051	057	063	070	076
39	0.007	010	013	016	020	026	033	039	046	052	059	065	072	078
40	0.007	010	013	017	020	027	033	040	047	052	060	067	073	080
41	0.007	010	014	017	021	027	034	041	048	055	062	068	075	082
42	0.007	011	014	018	021	028	035	042	049	056	063	070	077	084
43	0.007	011	014	018	022	029	036	043	050	057	065	072	079	086
44	0.007	011	015	018	022	029	037	044	051	059	066	073	081	088
45	0.008	011	015	019	023	030	038	045	053	060	068	075	083	090
46	0.008	012	015	019	023	031	038	046	054	061	069	077	084	092
47	0.008	012	016	020	024	031	039	047	055	063	071	078	086	094
48	0.008	012	016	020	024	032	040	048	056	064	072	080	088	096
49	0.008	012	016	020	025	033	041	049	057	065	074	082	090	098
50	0.008	013	017	021	025	033	042	050	058	067	075	083	092	100

注：露杆段的温度数是指进出水温度计杆露在室温空气中水银柱段的温度数

附表 2: JKS 型水流式燃气热量计测试记录

燃气温度 t_g _____ °C 饱和水蒸气压力 _____ KPa
 室 温 t_r _____ °C 废气温度 t_{wg} _____ °C
 干球温度 _____ °C 流量表燃气压力 p_w _____ mmH₂O _____ KPa
 湿球温度 _____ °C
 大气压计读数 (B) _____ KPa
 温度修正值 (Ct) _____ KPa
 (B₀) _____ KPa
 读数修正值 (P') _____ KPa
 热流计热效率系数 (f₁) _____
 流量表修正系数 (f₂) _____ } 仪器综合修正系数 $f = f_1 \times f_2 =$ _____
 高位热值换算因子 (F₁) _____

修正为 0°C 大气压数值

$$F_1 = \left(\frac{273.15}{t_g + 273.15} \times \frac{1}{101.35} \right) \times (B_0 + P_w - S) \times f_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

低位热值换算因子 (F₂) _____

$$F_2 = \left(\frac{273.15}{t_g + 273.15} \times \frac{1}{101.35} \right) \times (B_0 + P_w - S) \times f_2 = \underline{\hspace{2cm}}$$

热流计编号 _____ 流量编号 _____ 温度计编号 _____	测热水流温度						
	次序	I		II		III	
		进 水	出 水	进 水	出 水	进 水	出 水
	1						
	2						
流量表每圈时间 _____ S	3						
一次测热燃气体积 V _____ L; _____ L	4						
测低热值耗气值 V' _____ L; _____ L	5						
V'升气体的冷凝水量 W' _____ g _____ g	6						
三次测热相对极差	7						
$\frac{H_{\max} - H_{\min}}{\bar{H}} < 0.01$	8						
	9						
	10						

平均温度 t_p , °C						
温度计算值修正 δ_i , °C						
温度计露杆修正 θ_i ; °C						
修正后温度 $t_i = t_{pi} + \delta_i + \theta_i$ °C						
出水进水温度差 $t_d = t_{ij} - t_{ic}$ °C						
测热集水量 W ; g						
高位热值 $H_i = \frac{4.18 \times W \times t_d}{V \times F_i}$; KJ/m ³						
废气校正数 C_{wi} ; KJ/m ³						
温度校正数 C_{hi} KJ/m ³						
高位热值平均值 $\bar{H}_i = \frac{\sum H_i}{3} + C_w + C_h$; KJ/m ³						
低位热值 $H_n = H_i - 2512 \frac{W'}{VF}$; KJ/m ³						
低位热值平均值 $\bar{H}_n = \frac{\sum H_n}{3} + C_w + C_{hi}$; KJ/m ³						

- 注：1 $B_0 = B + P' - C_t$ P' —为大气压计读数的示值修正值， C_t —将常温修正 0°C 的修正值，见附表 1-1；
- 2 废气温度的修正值 C_w ：废对于球每差 1°C 时的 $C_w = 64.9 \text{ kJ/m}^3$ ；
- 3 烟气相对湿度控制在 $80 \pm 5\%$ ，湿度不必校正。

附表 3: 热水器热工性能测试记录表

燃气种类		燃气热值 (MJ/Nm ³)		
燃气压力 (pa)		燃气温度 (°C)		
大气压力 (pa)		室内温度 (°C)		
体积折算系数	F =	燃气校正系数	f =	
进 水 压 力 (Mp)		额定热水产率 (L/min)		
	项 目	第一次	第二次	平均值
热 负 荷	测试时间 τ (s)			
	流 量 计 初 读 数 V1(m ³)			
	流 量 计 终 读 数 V2(m ³)			
	热负荷 I(kw)			
热 效 率	热水重量 G(kw)			
	平均温升 Δt (°C)			
	热效率 η (%)			
热水 产率	热水体积 M(L)			
	热水产率 g(L/min)			