

燃气采暖热水炉在纯甲烷和上海地区 天然气条件的性能测试比较

□ 同济大学机械与能源工程学院 (201804) 周宇 秦朝葵

摘 要: 标准规定燃用天然气的采暖热水炉测试时需采用基准气纯甲烷,目的是为了统一比较基准,而通过多次的色谱分析可知,上海地区管道天然气的成分较为稳定,低热值和华白数均没有明显变化,此外,和天然气相比,甲烷价格昂贵,且不易获得,因此本文根据国家标准GB 25034-1010《燃气采暖热水炉》搭建试验台,分别对纯甲烷和上海地区天然气下燃气采暖热水炉的排放和效率进行了测试和比较。结果表明:燃用天然气时的热效率均使用比纯甲烷时高,部分负荷下更为明显,而CO和NO_x等污染物排放的差异并不明显,可以考虑使用燃用上海地区天然气条件下采暖热水炉的性能测试结果近似评估燃气采暖热水炉的性能。

关键词: 燃气采暖热水炉 纯甲烷 热效率 污染物排放 上海地区

Testing and Comparing of Gas-Fired Heating and Hot Water Combi-Boiler's Performance under Pure Methane and Natural Gas in Shanghai Area

Zhou Yu, Qin Chaokui College of Mechanical and Energy Engineering, Tongji University

Abstract: In order to unify the benchmark, standard stipulates that the pure methane should be used while testing a gas-fired heating and hot water combi-boiler, however, more than once chromatographic analysis indicate that the component of natural gas in Shanghai is very stable, and the low heating value and wobbe index are not significantly change, what's more, compared with natural gas, pure methane is more expensive and uneasily-get. In this paper, an experimental bench was built according to the GB 25034-1010《Gas-fired heating and hot water combi-boilers》, then the emissions and thermal efficiency of Gas-fired heating and hot water combi-boilers under pure methane and natural gas in Shanghai were tested respectively. Results show that the thermal efficiency is higher while burning natural gas, especially under partial load; but the difference of CO and NO_x emissions are not that obvious, so the results of gas-fired heating and hot water combi-boiler under natural gas can be used to evaluate the performance of boiler approximately in Shanghai area.

Keywords: gas-fired heating and hot water combi-boiler pure methane thermal efficiency pollutant emission Shanghai area

燃气采暖热水炉又称为“燃气壁挂炉”，顾名思义就是依靠天然气来提供热水和供暖热量的燃气器具。燃气采暖热水炉在中国的发展是从20世纪90年代末开始的，随着国内采暖市场快速发展，国外主要品牌产品进入中国市场，国内的生产企业也在不断增多，燃气采暖热水炉已成为继燃气灶具、燃气热水器之后的第三大燃具产品^[1]。目前，国内与燃气采暖热水炉产品相关的标准有GB 6932-2001《家用燃气快速热水器》、GB 20665-2006《家用燃气快速热水器和燃气采暖热水炉能效限定值及能效等级》和GB 25034-2010《燃气采暖热水炉》。而额定热输入小于等于70kW，采用大气式燃烧器或风机辅助式燃烧器及全预混式燃烧器的采暖热水两用器具一般都遵循GB 25034-2010《燃气采暖热水炉》。

按照GB/T 13611-2006《城镇燃气分类和基本特征》，燃用天然气的采暖热水炉测试时采用基准气12T-0，即纯甲烷，目的是为了能够统一评价采暖炉的性能，另一方面，通过多次的色谱分析可知，上海地区管道天然气的成分较为稳定，低热值和华白数均没有明显变化，此外，和天然气相比，甲烷价格昂贵，且不易获得，因此本文根据国家标准GB 25034-2010《燃气采暖热水炉》搭建试验台，分别对纯甲烷和上海地区天然气下燃气采暖热水炉的排放和效率进行了测试和比较，以期在某些简易条件时能够用上海地区天然气条件下的测试结果近似评估燃气采暖热水炉的性能。

1 实验

1.1 实验装置

实验采用GB 25034-2010中带热交换器的实验装置，如图1所示，因实验用燃气采暖热水炉自带膨胀水箱，故略去膨胀水箱，热交换器采用哈雷钎焊板式换热器，型号为B3-32-20-3.0，实验中循环水和冷却水的温度及燃气温度均采用Pt100热电阻（实验前采用标准水银温度计标定）测量，并通过自编Labview程序对温度信号采集和存储，使用U型压力计测量燃气压力，在烟道上使用KM9106型烟气分析仪对燃烧产物进行采样分析并对数据实时储存，最后使用GC-9160色谱分析仪对燃用天然气和纯甲烷进行成分分析。

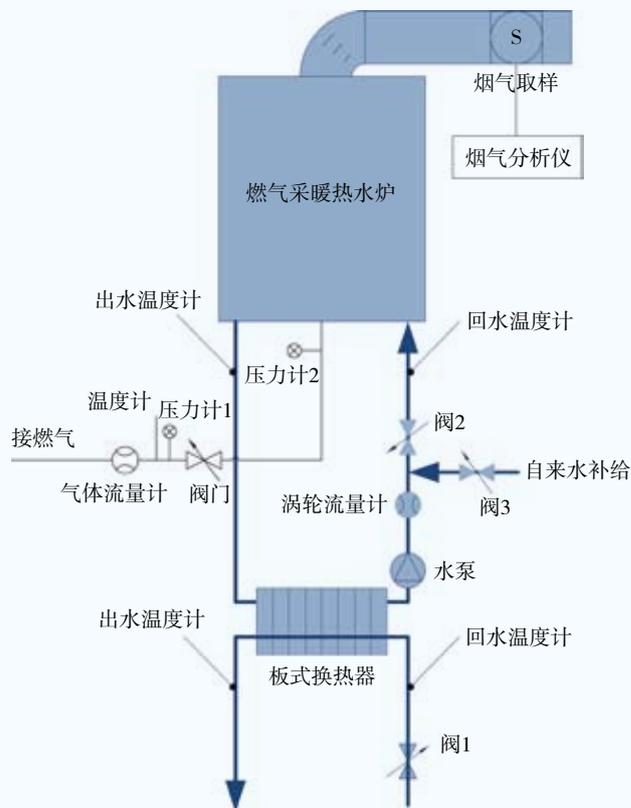


图1 燃气采暖热水炉实验装置图

1.2 实验步骤

实验在管道天然气和纯甲烷作为燃料输入的情况下分别进行测试。

(1) 器具按照图1所示的流程安装，控制炉前压力为2kPa，调节采暖热水炉使其在额定负荷下工作，通过调节图1中的阀1和阀2，使器具的出水温度保持在 $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，回水温度保持在 $60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，完成测试初状态的调节。

(2) 保持器具在额定负荷下的工作状态，开启Labview程序，自动采集和记录系统循环水出回水温度和流量信号及冷却水出回水温度，并记录燃气管路上各压力值及燃气流量，同时开启烟气分析仪对烟气进行采集分析并将数据传输至电脑。

(3) 国标规定NO_x的测试需要测试部分负荷下NO_x的排放，然后对测得的值进行加权计算，测量值的集权系数见表1^[2]，其部分输入热负荷即部分负荷率是按照额定热负荷定义的，规定额定热负荷的部分负荷率为100%。调节采暖热水炉使其在表1中各部分负荷下工作，使用烟气分析仪测试其NO_x及其他排放，

同时，循环水和冷却水系统的流量和温度以及燃气流量和压力的数据也一并测试，以供参考。

表1 权重因子

Qpi(%)	70	60	40	20
Fpi	0.15	0.25	0.3	0.3

(4) 测试期间在燃气管路对燃气取样，通过进行色谱分析，确定燃气的成分和热值等性质。测试结束，关闭采暖炉及燃气，循环水冷却至室温关闭循环泵。

2 实验结果及分析

2.1 燃气组分分析

实验进行五次实验，前三次采用天然气，后面两次采用纯甲烷，使用GC9160色谱分析仪对实验用管道天然气及纯甲烷进行分析，结果如表2所示，理论上基准气12T-0中甲烷含量为100%，低热值和华白数分别为34.02MJ/m³和50.73MJ/m³，实验用纯甲烷热值和华白数偏差分别为0.15%和0.2%及0.18%和0.26%，偏差都在允许范围之内^[3]。

2.2 热效率

GB 25034-2010《燃气采暖热水炉》规定热效率测试应该包括额定热输入时采暖热效率和部分负荷(30%)下的采暖热效率，测试结果如图2所示，由于烟气测量过程中测试了表1所示的部分负荷，所以该部分负荷下的热效率也列于图中，以供参考。

实验中分别采用天然气和纯甲烷作为输入燃料，可以看出，无论额定负荷还是部分负荷，燃用天然气时的热效率均比纯甲烷高，且部分负荷下更为明显，这是因为纯甲烷燃烧所需的理论空气量小于天然气所

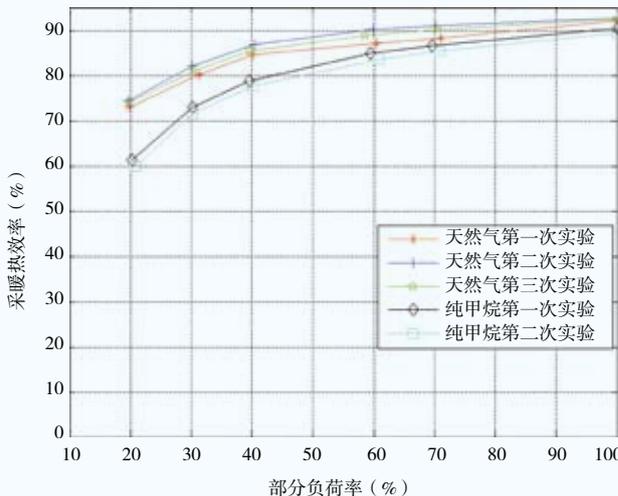


图2 纯甲烷和天然气下采暖热水炉热效率比较

需的理论空气量，而燃气采暖热水炉设计采用天然气作为燃料，燃用纯甲烷时空气量就会高于理论空气量，造成烟气温度下降，以至于热效率也随之下降。另外，由于每次实验过程中用气的略微差别以及外界条件诸如水温的变化，加上实验仪器仪表的误差，采暖热水炉热效率的测试不能做到完全重复。

2.3 燃烧产物

GB 25034-2010《燃气采暖热水炉》规定，器具调节至额定热输入，在热平衡状态时测量燃烧产物中的CO和O₂含量，干燥、过剩空气系数α=1时，烟气中CO的含量采用下式计算：

$$CO_{\alpha=1} = (CO)_m \times \frac{21}{21 - (O_2)_m} \quad (1)$$

式中 (CO)_m——取样试验的CO含量；

(O₂)_m——取样试验的O₂含量。

实验测试结果如图3所示，同理，部分负荷下的CO值也列于图中，以供参考。可以看出，分别燃用

表2 实验用天然气及纯甲烷成分

	甲烷 (%)	乙烷 (%)	丙烷 (%)	异丁烷 (%)	正丁烷 (%)	异戊烷 (%)	正戊烷 (%)	氧气 (%)	氮气 (%)	二氧化碳 (%)	低热值 MJ/m ³	华白数 MJ/m ³
天然气 (第一次实验)	93.44	2.78	0.44	0.05	0.07	0.01	0.01	0.12	2.31	0.76	34.10	49.10
天然气 (第二次实验)	93.23	2.92	0.40	0.05	0.07	0.00	0	0.12	2.06	1.15	34.00	48.90
天然气 (第三次实验)	93.53	2.77	0.41	0.05	0.07	0	0	0.09	2.13	0.96	34.00	49.00
纯甲烷 (第一次实验)	99.84	0	0	0.01	0	0	0	0.04	0.11	0	33.97	50.62
纯甲烷 (第二次实验)	99.83	0	0	0.00	0	0	0	0.06	0.11	0	33.96	50.60

天然气和纯甲烷时燃气采暖热水炉CO排放的差异并不显著，CO的产生主要是由于燃料的不完全燃烧，前已述及，采暖热水炉供给燃料由设计的天然气改变为纯甲烷时仅会使纯甲烷燃烧时空气供给量超过理论空气量，但燃料不完全燃烧的状况并不会显著改变，因此CO排放的差异自然就不会很明显。

如前所述，针对燃气采暖热水炉的NO_x排放测试需在规定的部分负荷下进行，并进行加权，加权因子如表1所示，计算方法如下：

$$(NO_x)_{pond} = \sum [(NO_x)_m \cdot F_{pi}] \quad (2)$$

式中 $(NO_x)_{pond}$ ——NO_x浓度的权重值；

$(NO_x)_m$ ——NO_x的测量值；

F_{pi} ——部分负荷下权重因子，如表1所示。

实验测试结果如图4所示，可以看出，NO_x的排

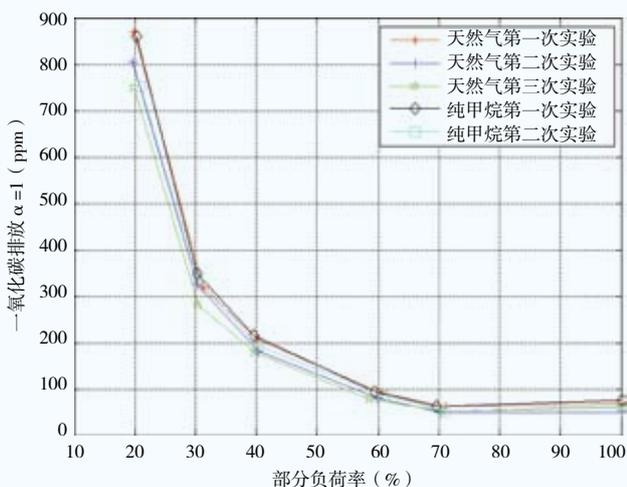


图3 纯甲烷和天然气下CO排放比较

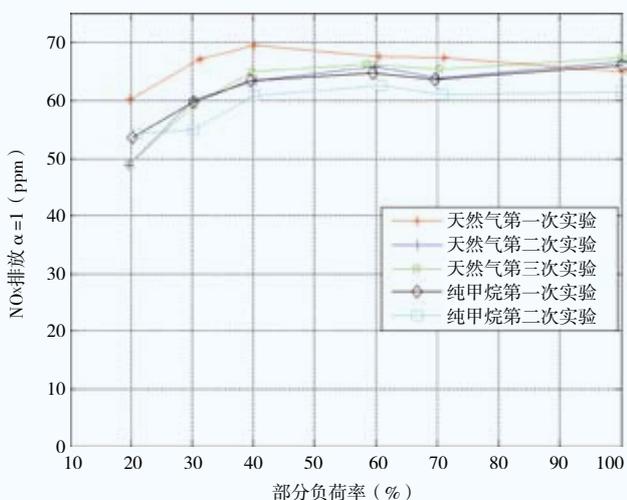


图4 纯甲烷和天然气下NO_x排放比较

放随着燃料的变化改变也不明显，按照公式(2)进行加权后天然气和纯甲烷下NO_x排放的平均值分别是109.06mg/kWh和105.50mg/kWh (ppm与mg/kWh的转换关系为：1ppm=1.7554mg/kWh^[2])，采用纯甲烷时的NO_x排放略低于天然气，对于天然气和甲烷这类气体燃料，NO_x的产生主要是热力型，即温度型氮氧化物，其生成速率与温度关系密切，通常，温度每增加100K，反应速度约增大5倍^[4]。由此可知，燃用纯甲烷时烟气温度比天然气略低，这也证实了前面的推断，即纯甲烷下空气供给过剩量大于天然气。

3 结论

(1) 标准规定燃用天然气的采暖热水炉测试时需采用基准气纯甲烷的目的是为了统一比较基准，实际测试过程中采用的纯甲烷也不可能达到理论上的稳定一致，而通过多次的色谱分析可知，上海地区管道天然气的成分较为稳定，低热值和华白数均没有明显变化，因此，在某种程度上管道天然气也可作为一种比较基准，而且价格低廉，容易获得；

(2) 与纯甲烷相比，无论额定负荷还是部分负荷，燃用天然气时的采暖热效率均略高，且部分负荷下更为明显，额定负荷和部分负荷(30%)下分别高2.65%和12.33%；

(3) 从排放方面来看，燃用天然气和纯甲烷时燃气采暖热水炉CO排放的差异并不显著，NO_x的排放随着燃料的变化改变也不明显，加权后天然气和纯甲烷下NO_x排放的平均值分别是109.06mg/kWh和105.50mg/kWh；

(4) 从测试结果看，在某些简易条件时可以考虑使用上海地区天然气条件下的测试结果近似评估燃气采暖热水炉的性能，例如，对应于基准气纯甲烷，使用上海天然气作为测试气时采暖热水炉的性能要求是：对于额定热输入不可调节器具，对应于额定热输入时的采暖热效率不应小于 $(86.65+2lgP_n)\%$ ——因为标准中规定不应小于 $(84+2lgP_n)\%$ ，而测试结果表明使用天然气时比纯甲烷高2.65%，因此用天然气来判定时需要在标准基础上增加2.65%，以此类推，额定热负荷条件下采暖热效率对应于30%的额定热输入时的采暖热效率不应小于 $(92.33+3lgP_n)\%$ 即为合格，污

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2016.08.002

天然气长输管线埋地管道 气体温度的研究及应用

□ 湖北省天然气发展有限公司 (430040) 董泉泉 周超 李景

摘要: 天然气埋地管道温度与撬装管道温度均呈季节性变化,但是撬装管道气体温度随季节性变化更为明显,并且受天气影响较大。研究埋地管道气体温度与撬装管道气体温度变化趋势,有助于帮助运行人员合理的使用换热设备,降低能耗。同时,通过埋地管道温度的研究能更加精确的计算埋地管道储气量。

关键词: 埋地管道气体温度 撬装管道气体温度 季节性变化 节能降耗 储气量计算

Research on Gas Temperature of Long Distance Buried Natural Gas Pipelines

Dong Xiaoxiao, Zhou Chao, Li Jing Hubei Natural Province Gas Development Co., Ltd.

Abstract: The temperature of natural gas buried pipeline temperature and skid mounted pipes are seasonal variation, but the gas temperature of the skid mounted pipeline is more obvious with the seasonal variation, and it is affected by the weather. The research on gas temperature change trend of buried pipeline gas temperature and skid mounted pipeline is helpful to help operators to use heat exchanger equipment reasonably and reduce energy consumption. At the same time, through the study of buried pipeline temperature can be more accurate calculation of buried pipeline gas storage.

Keywords: buried pipeline gas temperature skid mounted gas temperature seasonal variation energy conservation and consumption reduction calculation of gas storage capacity

染物方面,极限热输入时 $CO_{\alpha=1}$ 应小于0.1%。

参考文献

1 何贵龙,高硕.燃气采暖热水炉检验标准对比[J].煤气

与热力,2011;31(6):33-36

2 燃气采暖热水炉[S] GB 25034-2010

3 城镇燃气分类和基本特征[S] GB/T 13611-2006

4 刘丽珍.浓淡燃烧低NO_x燃烧器研制的探讨[J].煤气与热力,2000;5:349-359