

燃器具能效评价指标分析研究

北京市公用事业科学研究所(100011) 陈文柳 贾 林

摘要 燃气作为一种清洁能源,在城市中的应用越来越广泛,燃器具作为燃气的终端消耗设备,热效率是衡量燃气被有效利用的指标,但是,目前燃器具热效率指标的测试是在满负荷、设计压力下的指标,而实际应用中与此存在很大差异,因此,为了客观评价燃器具的节能效果,应采用与实际运行工况相符的热效率指标。

关键词 燃气节能 能效评价

Analysis Energy Efficiency About Gas Appliance

Beijing Public Utility Science Institute (100011) Chen Wenliu, Jia Lin

Abstract Gas is used widely in city as clear fuel. Gas appliance is the terminal device to consume gas. In usually case, efficiency is the index to express useful portion of gas. It is measured in rate condition. But there is large difference between actual condition and rate condition. So this article express some indexes for gas appliance to accord with actual condition.

Keywords save gas gas efficiency estimating saving gas appliance

1 前言

能源问题是目前全世界面临的共同问题,一些发达国家在 20 世纪 70 年代已经开始研究节能,并相继颁布了一系列法律法规,取得了显著效益。我国随着经济的迅猛发展,能源问题也日益突显出来,国家于 1997 年颁布了“中华人民共和国节约能源法”,2005 年将节约能源列为基本国策,截至“十五”末期,我国的节能工作取得了一些成绩,但与发达国家相比,在节能意识、政策、技术、产品方面都还存在较大距离,产品能耗比发达国家平均高 40% 左右,产值能耗是世界上最高的国家之一,因此也存在巨大的节能潜力。

北京市作为国际化大都市,中国的经济政治文化中心,市政府对节能工作给予了高度重视,“十五”期间,北京市虽然在节能方面取得一定成效,节能水平位居全国前列,但仍有较大潜力。在“十一五”能源发展原则中我市明确提出开源节流并重,节能优先,

发展目标中提出 2010 年优质能源在能源结构中达到 70% 以上,万元 GDP 能耗比 2005 年降低 20%。

为了实现北京市“十一五”提出的节能目标,更好地开展北京市燃气节能工作,本文对国内外燃器具能效评价指标进行了分析研究,并针对目前北京市燃器具能效评价的现状提出了建议。

2 燃器具热效率有关说明

CJ/T 3085—1999“城镇燃气术语”中对燃烧应用部分热效率定义为:有效利用的热量占燃气完全燃烧总放热量的百分比。目前燃气行业常见燃器具包括:燃气锅炉、商用灶具、家用灶具、快速热水器、燃气工业炉等,按照各相关产品标准规定(工业炉除外),热效率均为在设计压力、额定热负荷条件下测得的数值,其中商用灶具、燃气工业炉的使用工况与设计工况基本一致,而燃气锅炉、家用灶、快速热水器的使用工况与设计工况存在较明显区别:热负荷

随使用条件、要求的不同而发生较大变化,如果我们仍以设计工况下的热效率作为评判燃器具节能效果的指标,显然是有失公正的。本文通过对燃器具使用工况与设计工况存在差别分析研究,拟找出能够客观判定燃器具节能效果的评价指标,为燃气节能工作的深入开展提供基础数据支持。

3 燃气锅炉的能效评价指标

目前北京市燃气锅炉主要用于冬季的采暖供热,热效率是衡量一台燃气锅炉有效利用燃气热能的指标,GB/T 10180—2003“工业锅炉热工性能试验

规程”中热效率的测试条件为额定压力、额定负荷,而在实际运行中,锅炉热负荷并不总保持在设计负荷值一成不变,而是随着室外温度的变化而变化,通过随机抽样的方式,现场对正在运行的 37 台锅炉负荷的检测,并与其额定负荷比较,发现大部分锅炉偏离设计负荷运行,图 1 表示锅炉实际运行负荷分布情况,从分布点观察,实际运行负荷从 11%~100%均有分布,这表明燃气锅炉实际运行工况下的负荷远远偏离设计额定负荷。

当一台锅炉运行负荷变化时,热效率会随之发生变化,表 1 表示每台锅炉在不同负荷下的热效率变化(表中的热效率已经换算为过剩空气系数 1.2)。

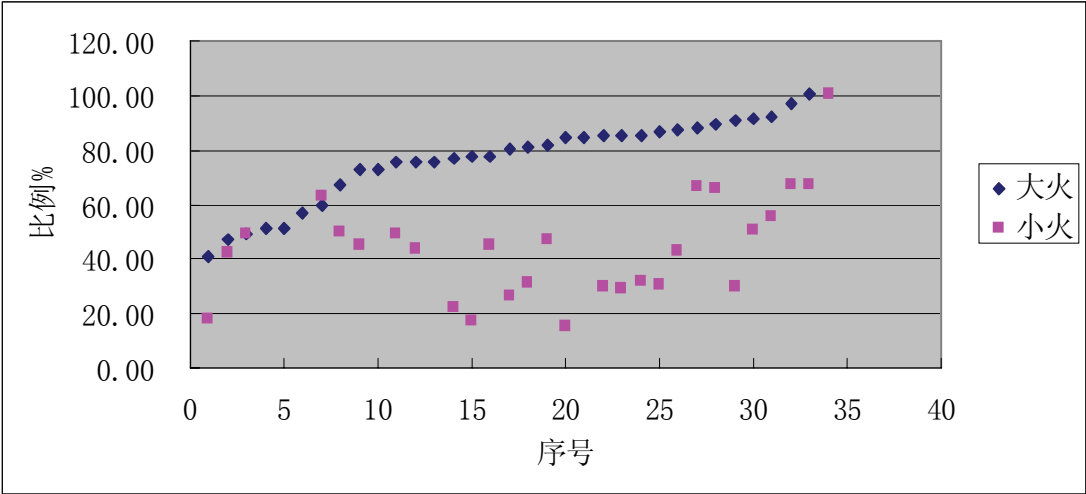


图 1 锅炉实际运行负荷分布

表 1 不同负荷下的热效率

序号	大火工况		小火工况		额定工况	
	热效率%	耗气量 m³/h (负荷率)	热效率%	耗气量 m³/h (负荷率)	热效率%	耗气量 m³/h
1	83.4	233 (37%)	86.7	72 (11%)	88	634
2	84.6	134 (83%)	82.2	23 (14%)	88	161
3	83.8	70 (87%)	84.3	56 (69%)	86	81
4	84.3	69 (85%)	85.1	46 (57%)	86	81
5	85.9	72 (46%)	86.4	59 (37%)	88	161
6	86.3	293 (92%)	87.8	139 (44%)	88	318
7	87.8	659 (85%)	88.9	256 (33%)	88	775
8	82.9	246 (78%)	85.3	144 (45%)	88	317
9	82.2	323 (102%)	85.2	154 (49%)	88	317
10	82.9	247 (78%)	84.8	159 (50%)	88	317
11	82.8	377 (64%)	83.8	119 (20%)	88	591
12	83.0	470 (79%)	85.9	156 (26%)	88	591

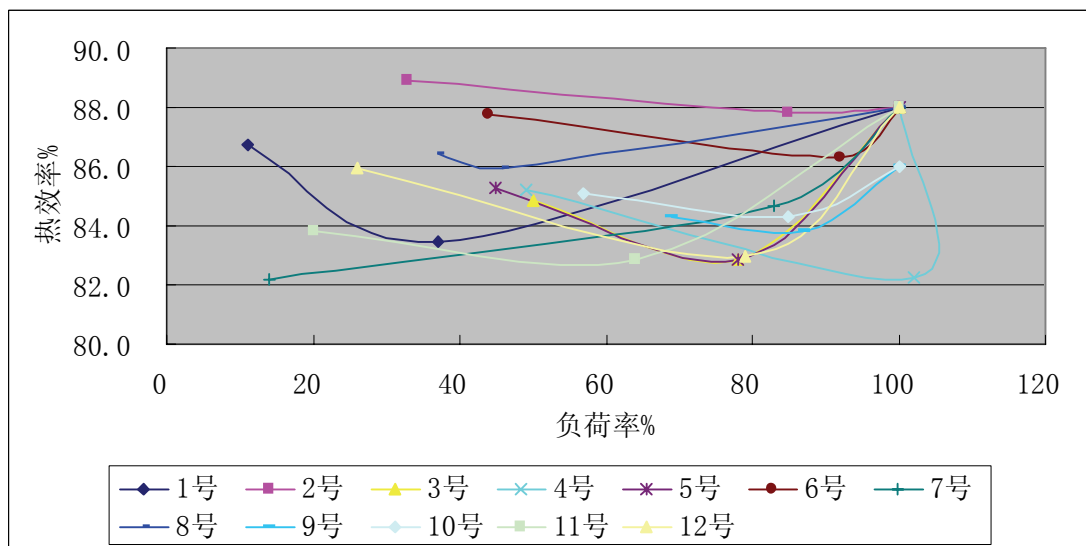


图2 不同负荷率下的热效率

从表1、图2分析可知,同一台燃气锅炉在负荷发生变化时,假定其他燃烧条件完全正常合理,热效率也会发生变化,在20%~100%变化范围内,负荷率减小,热效率上升;在10%~20%变化范围,负荷率与热效率的响应趋势有上有下,由于此段数据不多,因此无法推断响应趋势。暖通空调2005年第10期文章“燃气锅炉供热现存问题及节能技术应用实例分析”中对燃气锅炉的论述建议在30%~100%负荷率范围内使用,因为此范围热效率与满负荷热效率相比变化不大。这也从另一个方面说明表2、图3数据的可信度。

另外从表2数据得知,大火、小火、额定负荷下的热效率最小差0.2%、最大差5.8%,平均差3.7%。按照表2中额定耗气量的平均值362m³/h计算,如果以某一负荷下的热效率评价一台燃气锅炉能耗,耗气量差值为13.4m³/h,一个采暖季耗气量的差值将近万m³,因此,单单使用额定负荷下的热效率来评判燃气锅炉的能耗水平是不全面的。

3.1 国外燃气锅炉的评定

欧盟锅炉效率导则(Guidelines 92/42/EU Council)定义了锅炉分类,规定了生活和商业供热锅炉的最低热效率要求(minimum efficiency)。如对生活和商业中使用的400kW以下的锅炉,标准效率为选取满负荷和30%负荷下的锅炉效率加权平均值,该标准效率也称为欧盟标准效率。

德国规定了更细致的标准效率,如DIN4702-8规定,通过选取5个不同负荷下(13%、30%、39%、48%和63%)的锅炉效率进行加权平均,确定锅炉的标准效率,该标准效率称为德国标准效率(按低位发热值计算)。这5个负荷的选取来源于对锅炉运行周期的统计分析(图3)。

3.2 燃气锅炉能耗评定指标建议

分析燃气锅炉负荷运行情况,从负荷率分布范围11%~100%来看,比较接近德国的标准效率评定情况,但是需要进一步的详细调研锅炉负荷率在采暖季的分布曲线,归纳出典型负荷率及运行时间分布,确定份数及各分部的代表负荷率。

欧盟燃气锅炉标准效率计算比较简单,采用满负荷和30%负荷效率的加权平均值,如果北京市在今后的燃气锅炉设计中,对负荷变化进行核算,保证全年燃气锅炉在30%~100%负荷率之间,也可以采用满负荷和30%负荷效率的加权平均值作为燃气锅炉的能耗评价指标。

4 家用灶的能耗评价指标

GB16410-1996“家用燃气灶具”中热效率的测试条件为额定压力、额定热流量,试验用锅按照标准推荐值进行选择。而实际使用中,以上3个条件均不能有效满足,灶前压力受供气系统制约、锅具因人而

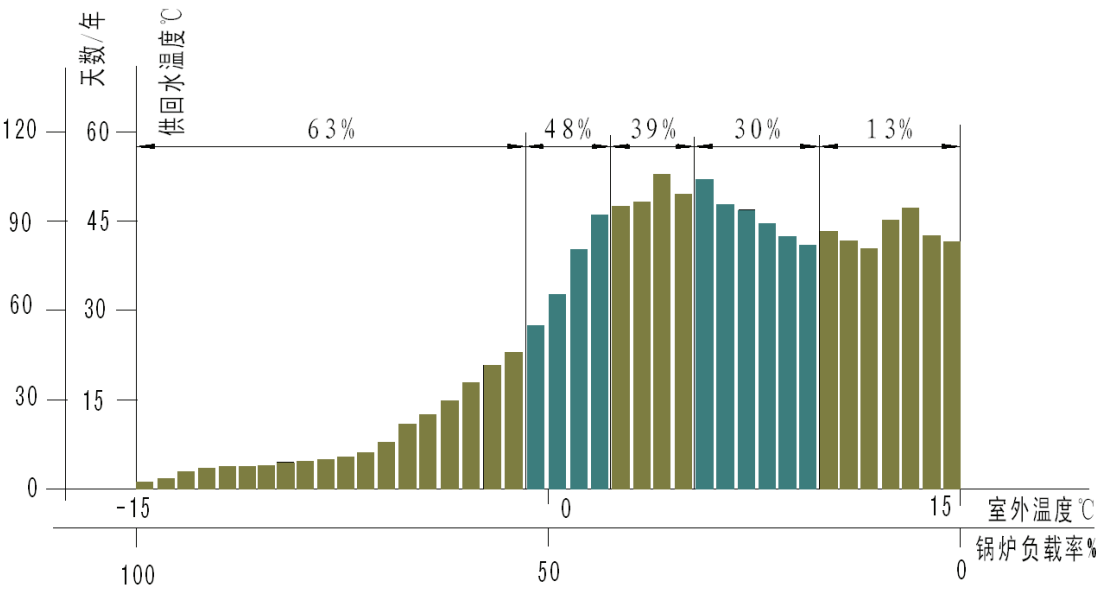


图3 锅炉运行负荷分布

异,作为评价指标要具有可比性,因此,本文仅对热流量的变化导致热效率的变化进行探讨。

家用灶具热流量即为耗气量,额定热流量指在灶具开关开至最大时的耗气量,国家标准规定家用灶额定热流量不小于2.91kW,约耗天然气0.29m³/h,目前市场流通灶具热流量最大为4.3kW,约耗天然气0.44m³/h。在实际使用中,粥、汤、煮类操作一般旋钮不会全开,根据具体情况调节火的大小,炒菜时如果热流量大于3.5kW也会调节火的大小,也就是说,在灶具实际使用过程中,对热流量的调节是从大到小随机发生的,而且热流量的变化会引起热效率

率变化,因此,使用额定热流量下的热效率作为能耗评价指标是不能客观反映灶具实际能耗水平的。

下面借鉴一些实验数据进行分析说明:

4.1 居民厨房内测试数据 (清华大学建筑学院 李兆坚)

测试条件:天然气、台式双眼灶、额定热流量4.0kW、灶前压力2.2kPa、每次试验2.5kg水、直径20cm水壶(厚0.6cm)、直径22cm高压锅(厚4mm)、B级膜式燃气表、U型压力计、(0~100)℃温度计、秒表、HP-6890N气相色谱仪。测试数据如表2、表3。

表2 开水壶燃烧火势与热效率关系

燃烧火势(级)	1	2	3	4	5
初水温℃	15	14	14	14	14
烧开耗时 min	54.3	33.2	23.2	13.1	9.5
天然气耗量 m ³	0.045	0.047	0.053	0.058	0.072
天然气流量 m ³ /h	0.050	0.085	0.137	0.266	0.455
平均热效率%	56.6	54.8	48.6	44.4	35.8

表3 高压锅燃烧火势与热效率关系

燃烧火势(级)	1	2	3	4	5
初水温℃	15	15	13	14	14
烧开耗时 min	69.1	39.2	22.0	11.1	9.5
天然气耗量 m ³	0.056	0.055	0.057	0.065	0.071
天然气流量 m ³ /h	0.049	0.084	0.155	0.351	0.448
平均热效率%	45.4	46.3	45.7	39.6	36.3

根据表 2、表 3 的试验数据进行整理,绘制热流量与热效率变化趋势曲线(图 4)。

考虑高压锅底部较厚(4mm),较小热流量时相对热损失比例较大,对两种容器相同热流量点的热效率进行加和平均,见图 5。

从图 5 观察热效率随着热流量的变化趋势曲线,随着热流量的减小,热效率线性增加,主要原因是对于相同直径的容器,热流量减小,火焰直径减小,热烟气沿容器底部向外上方流程增加,热交换量增加,导致热效率升高。假设图 5 曲线为线性关系,

拟合后曲线见图 6。

实验次数为 5 次,即 $n=5$,查自由度 $n-2=3$, $\alpha=0.05$ 的相关系数临界值为 0.878,拟合曲线中 $R=0.994>0.878$,线性假设关系成立。

4.2 试验室测试数据(山东建筑工程学院 刘杰)

测试条件:液化石油气、湿式气体流量计、精密温度计、U 型压力计、秒表、额定热流量 2.7kW(锅直径 26cm)、3.5kW(锅直径 28cm)、水量按国家标准(3kg、4.5kg)。测试数据如表 4、表 5。

对表 4、表 5 的数据进行整理,绘制热流量与热

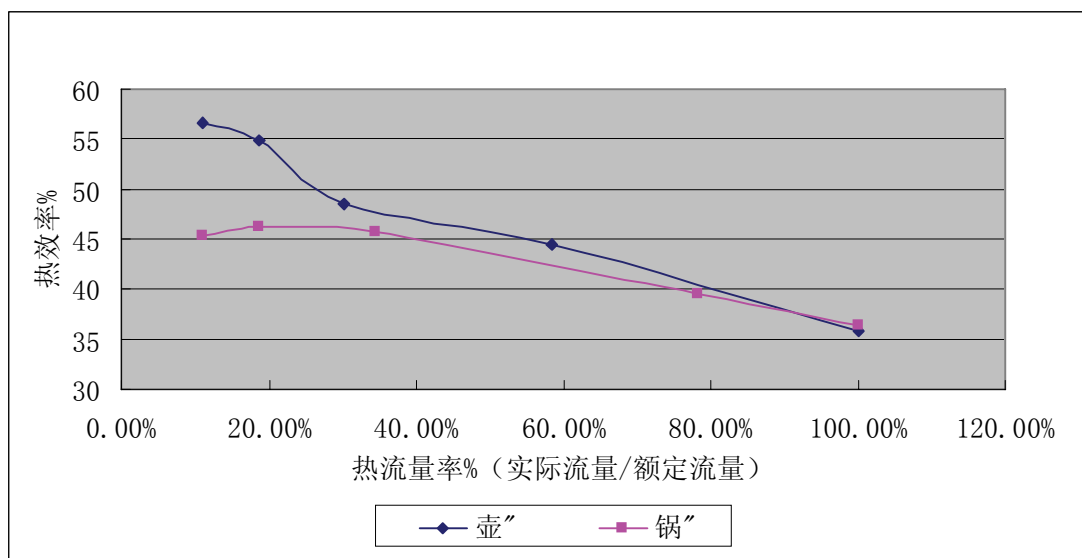


图 4 使用开水壶、高压锅热效率与热流量关系

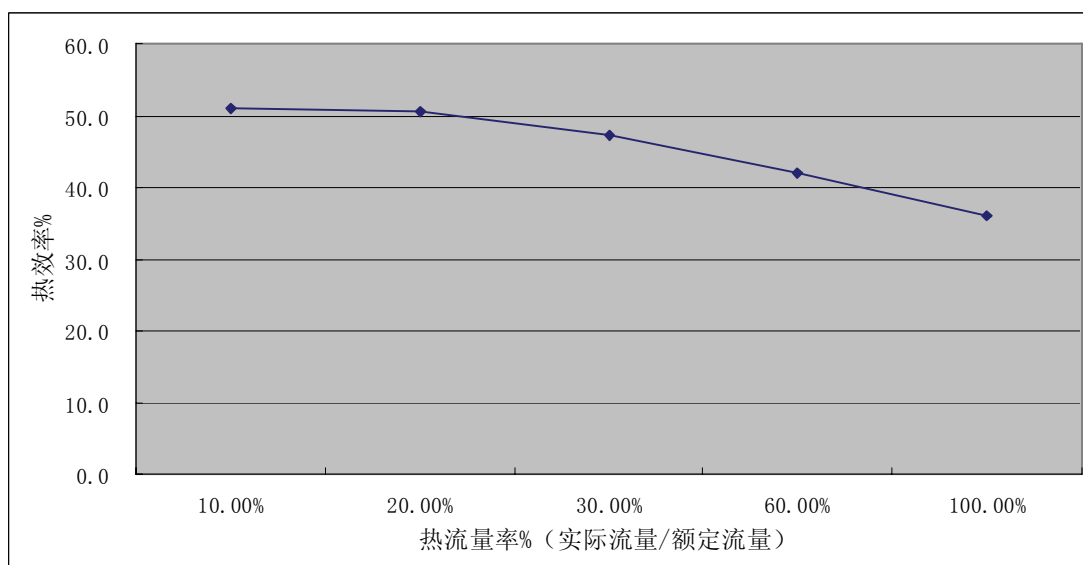


图 5 使用开水壶、高压锅的平均热效率

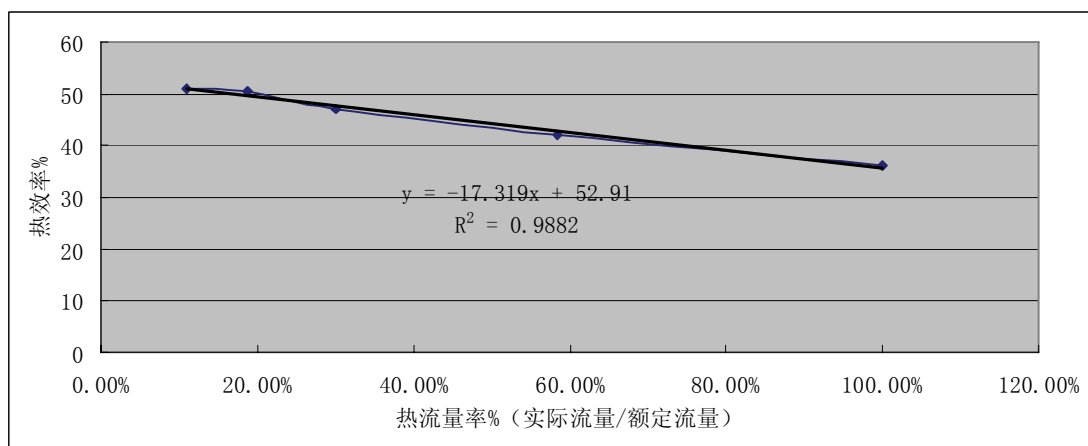


图6 使用开水壶、高压锅的热效率与热流量关系拟合曲线

表4 2.7kW 灶眼热流量与热效率

相对热流量	80%Q	90%Q	Q
加水量 kg	3	3	3
热效率%	50.3	49.1	47.1
加热时间 min	6.3	5.7	5.1

表5 3.5 kW 灶眼热流量与热效率

相对热流量	70%Q	80%Q	90%Q	Q
加水量 kg	4.5	4.5	4.5	4.5
热效率%	53.7	52.9	51.8	49.4
加热时间 min	7.2	6.9	5.9	5.4

效率变化趋势曲线(图7、图8)。

图7、图8表示不同额定热流量灶具热效率随热流量的变化趋势,与图5相似,随着热流量减小,热效率呈增长趋势。图7、图8的线性拟合曲线见图9、图10。

实验次数为3次,即 $n=3$,查自由度 $n-2=1$, $\alpha=0.05$ 的相关系数临界值为 0.997,拟合曲线 $R=0.99$,拟合曲线近似线性。

实验次数为4次,即 $n=4$,查自由度 $n-2=2$, $\alpha=0.05$ 的相关系数临界值为 0.950,拟合曲线 $R=0.967>0.95$,线性假设关系成立。

4.3 家用灶能耗评定指标建议

依据收集的有关信息,目前家用灶内圈最小热流量为 600W~1000W 左右,约占额定热流量 3.5kW~4.3kW 的 17%~23%,均值为 20%左右。

基于家用灶热效率与热流量呈线性变化趋势,从最小化投入的角度,取最低检测成本,本课题建议选取 100%、20%热流量负荷作为热效率的测试点,取其算术平均值作为能耗评估指标。

5 其他燃器具能效评价指标

5.1 热水器

GB20665-2006“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”中规定了热水器的能效指标及等级。

5.2 商用灶具

商用灶具均在设计工况使用,因此,能效判定指标可以采用设计条件下的热效率。

5.3 工业炉

工业炉因加工产品类型、加工工艺、炉型结构不同,呈现出热效率水平的多样性,建议使用单耗作为工业炉能耗评价指标,同炉型、同产品之间进行相互比较,评价其节能的效果。

6 结论

通过以上分析,归纳出常用燃器具能效评价指标,见表6。

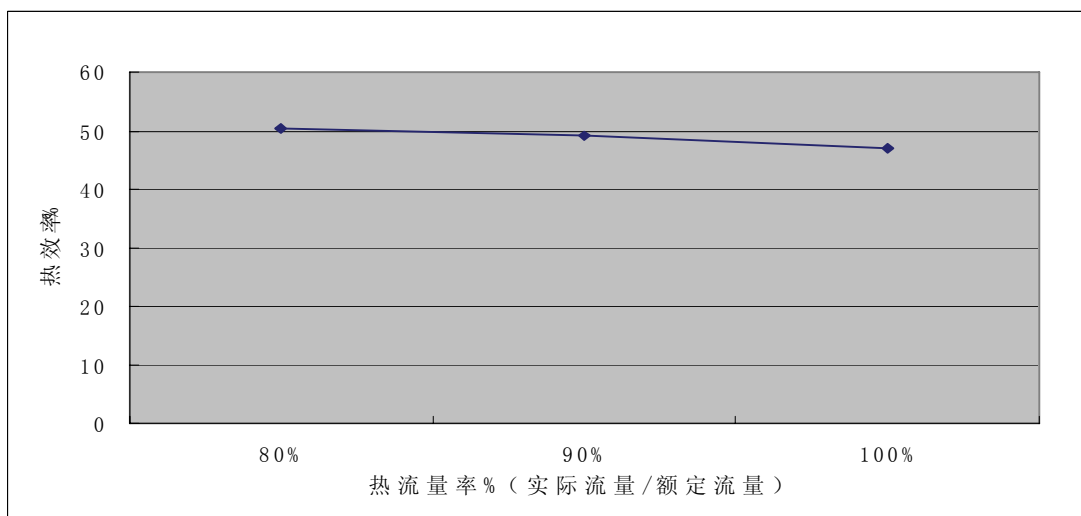


图 7 2.7kW 灶眼测试数据

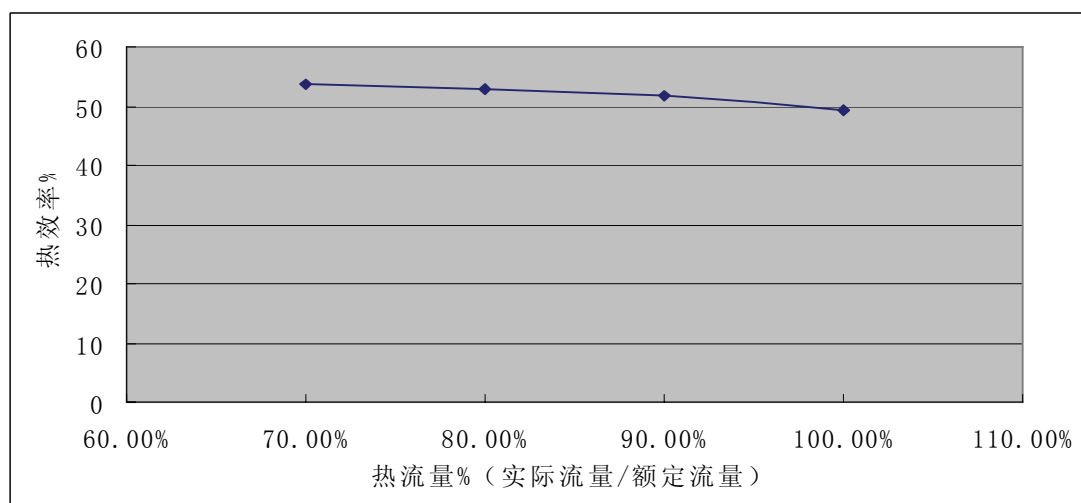


图 8 3.5kW 灶眼测试数据

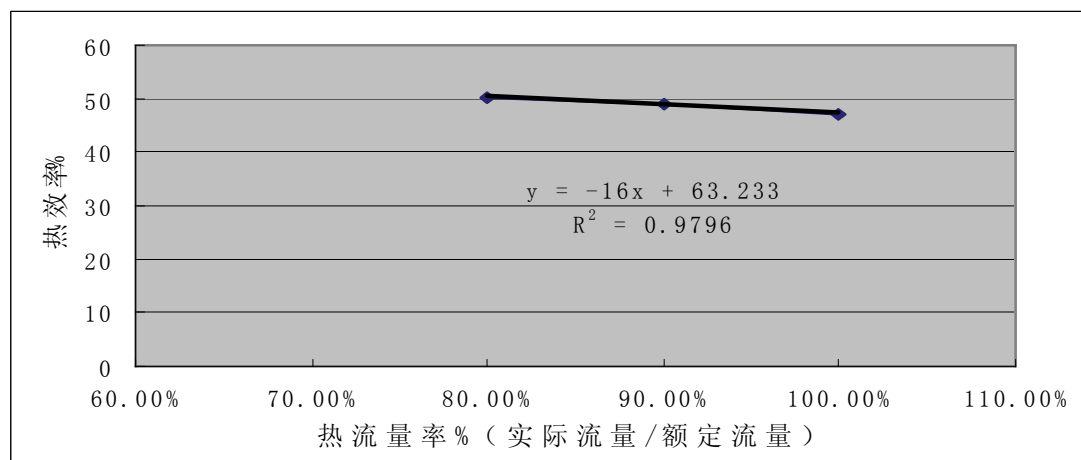


图 9 2.7kW 灶眼拟合曲线

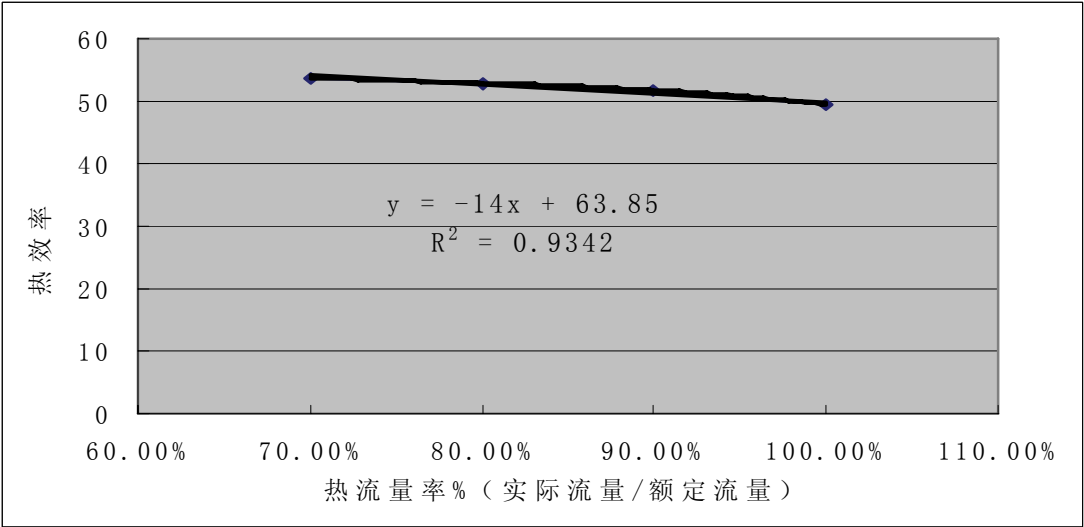


图 10 3.5kW 灶眼拟合曲线

表 6 常用燃器具能效评价指标

序号	器具名称	能效指标 η	检测方法
1	燃气锅炉	$\eta = \frac{1}{2}(\eta_{30\%} + \eta_{100\%})$	GB/T 10820 “生活锅炉热效率及热工试验方法”
2	家用燃气灶具	$\eta = \frac{1}{2}(\eta_{20\%} + \eta_{100\%})$	GB 16410 “家用燃气灶具”
3	燃气热水器	$\eta_1 = \eta_{100\%}$ $\eta_2 = \eta_{50\%}$	GB 20665 “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”; GB 6932 “家用燃气快速热水器”
4	商用燃气灶具	$\eta = \eta_{100\%}$	CJ/T 29 “燃气沸水器”; CJ/T 187 “燃气蒸箱”; CJ/T 3030 “炊用燃气大锅灶”
5	工业炉窑	单耗=燃气耗量÷产量	—

参考文献

1 李兆坚,江亿.家用灶具热效率特性测试分析.应用基础与工程科学学报,2006(9)

2 刘杰,李永安等.家用燃气灶具热效率测试方法.实验室研究与探索, 2004(1)

3 钱伟.浅论节能潜力分析.应用能源技术, 2003(5)

4 郭全,史永征等.燃气锅炉的效率与利用率.燃气应用专业委员会年会论文,2007

5 刘杰,李永安等.我国工业锅炉节能潜力分析与建议.工业锅炉,2005(1)

6 倪晓刚,兰涛.燃气锅炉节能环保性能与运行工况的关系.节能环保技术,2006(1)