

# 天然气民用燃气灶炉头设计对适应性影响

□ 同济大学机械工程学院 (201804) 张杨竣 秦朝葵

**摘 要:** 近年来,城市管道天然气进网气源种类越发繁多,天然气质量变化大,各类型民用燃气灶具是否适应这种天然气气质变化、燃烧特性是否达标、日常使用是否受影响等问题均亟需考证。本文通过对65台目前中国燃具市场上常见的民用大气式燃气灶具炉头进行调研,统计分析了各炉头参数设计情况,在此基础上定义了一无因次参数( $\varepsilon$ =炉头外径计算面积/火孔总面积),来综合描述民用燃气灶炉头火孔大小、间距、个数同炉头大小的关系,从而评价炉头设计情况。并对部分灶具进行燃烧性能测试,分析不同炉头设计的灶具对气源气质变化的适应性,以此总结归纳了适应性较强的燃气灶炉头设计参数。

**关键词:** 天然气 民用燃气灶 炉头 适应性

## 1 引言

民用领域作为燃气需求发展最快的一个领域,天然气消费量占比从2000年的19.0%上升到2007年的25.9%,从2001年到2005年城市民用燃具用户从3 200万户增加到7 100万户<sup>[1]</sup>。2010年人工煤气供应总量279.9亿m<sup>3</sup>,管道长度为38 877km;天然气供应总量为487.6亿m<sup>3</sup>,管道长度256 429km;液化石油气供应总量0.1268亿t,管道长度为13 374km。管道总长度为308 680km,比2009年增加12.9%。燃气普及率为92.04%,比2009年增加0.63%。城市燃气用气人口3.63亿人,比2009年增加5.5%<sup>[2]</sup>。庞大的民用燃气用户,必然带来巨大的民用燃气灶具需求,中国国内越来越多的品牌开始研发和推出新型的大气式燃气灶具,各种不同火孔型式、火孔尺寸、火盖样式、灶头大小以及引射方式应运而生。然而,近年来随着城市管道天然气气源种类越来越多,进网天然气质量变化大,各类型民用燃气灶具是否适应这种天然气气质变化、燃烧性能是否达标、日常使用是否受影响等问题

均亟需考证<sup>[3-7]</sup>。

本文通过对65台目前中国燃具市场上常见的民用大气式燃气灶具炉头进行调研,着重统计分析了目前中国灶具厂商出厂的各类灶具炉头的不同火孔类型、火孔尺寸、火孔间距、火孔数量、火孔热强度以及灶具额定热负荷等数据,并对部分样本灶具进行不同气质情况下的热效率和CO排放性能分析,以验证不同炉头设计对气源气质变化的适应能力。

## 2 样本选择与参数统计

样本选取主要选择国内市场知名度较高的几个燃气灶品牌近几年推出的型号,基本代表各制造商目前的设计、加工制造水平。嵌入式灶具因其外观漂亮,便于清洁而日益成为主流,台式灶因其价格优势还占有一定的市场比例;燃烧器的火孔形式,选择常用的圆形火孔和旋缝火孔,圆形火孔因其设计资料完善且加工简单而广为采用,另一方面,近来在一些知名厂家的推动下,旨在利用旋转气流来增强传热、提高效

率的三维旋转条缝形火孔开始逐渐流行起来。综合上述因素,本文共选取了65台样本,其中包括52台嵌入式灶和13台台式灶,又分为28台圆形火孔灶和37台旋缝火孔灶。

热负荷作为反映民用灶具的最基本的参数,所选的65台灶具额定热负荷范围为3.0kW~5.5kW,其中在3.5kW~4.0kW之间的灶具占了66%,其次4.0kW~4.5kW之间的灶具占19%,功率大于4.5kW的民用灶具在市场上很难见到,仅占了所有样本的3%。然而,实际灶具热负荷和其铭牌所标额定热负荷存在一定出入,本文选择其中25台不同灶具,进行12T-0实测折算热负荷测试,计算实测折算热负荷约为额定热负荷的95%。为了得到主火盖外圈火孔的火孔热强度,还必须确定主火盖和全火盖功率比,为此选用了7台燃气灶样本,进行主火盖与全火盖热负荷比测试,测试数据得到主火盖热负荷约占全火盖热负荷的82%。

圆形火孔灶具炉头参数统计结果如图2所示,通过对样本的统计分析可以得到,圆形火孔的火孔直径较多地集中在2.4mm~2.6mm之间,占了总样本数量的46%;主火盖外圈火孔的火孔热强度集中分布在7w/mm<sup>2</sup>~9w/mm<sup>2</sup>,占了所有样本数量的47%;火孔间距在3mm~4mm、4mm~5mm和5mm~6mm的占据了相对多的比例,分别为21%、25%和22%;炉头外径大小集中在120mm~130mm,占总样本数的54%;火孔个数大多为70个~80个,此类灶具占总样本数的39%。

条缝形火孔灶具炉头参数统计结果如图3所示,因条缝形火孔大多是旋缝型的,很难测得其实际的火

孔面积大小,采用测量其边长并相乘的方式作为条缝形火孔的火孔面积,得到的结果往往比实际火孔面积大,火孔热强度偏小。从统计数据来看,单火孔面积在10mm<sup>2</sup>~20mm<sup>2</sup>占了多数,为30%;火孔热强度在3w/mm<sup>2</sup>~6w/mm<sup>2</sup>占了57%;大多条缝形火孔的火孔间距分布在10mm~15mm,占了总样本数量的43%,条缝形火孔相当于数个方形火孔相连,因此与二次空气接触较差,易出现黄焰,所以条缝形火孔的火孔间距相比圆形火孔的要大很多;炉头外径大小集中在110mm~120mm,占总样本数的41%;火孔个数大多为20~30个,此类灶具占总样本数的51%。

### 3 性能响应测试

本文根据国标GB16410-2007中的测试方法<sup>[8]</sup>,对65台灶具中的50台灶具进行了不同气源组分情况下的性能响应测试,包括热负荷、热效率、烟气排放以及火焰形态等数据。现选取其中20台嵌入式样本(包括10台圆形火孔和10台旋缝火孔)的热效率和CO排放数据进行分析,以说明不同炉头设计对气源组分变化的性能响应能力。

对于大气式燃烧器,其典型燃烧特性曲线如图4所示。当气源气质发生变化时,燃烧器设计火孔热强度过大,极易出现CO排放问题;而设计一次空气系数过大且火孔热强度过小,燃烧器容易发生回火,火孔热强度设计过大则易导致离焰;对于一次空气系数过小的燃烧器,则容易发生黄焰。因此,合理的设计

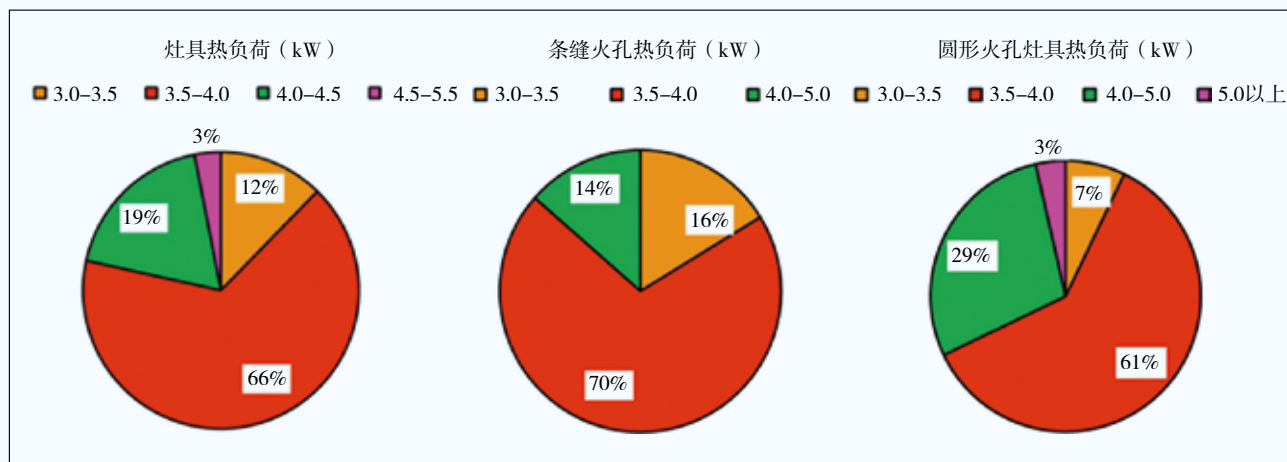


图1 样本热负荷分布图

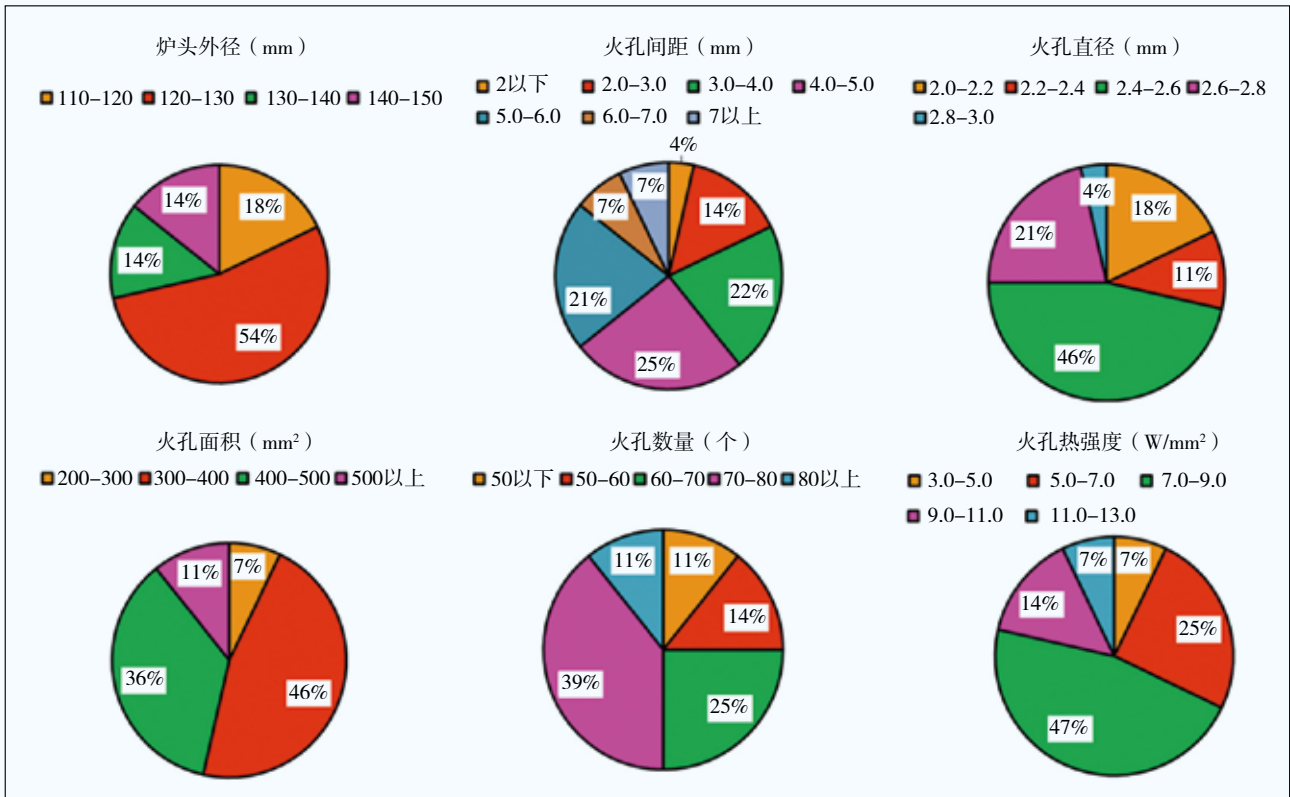


图2 圆形火孔灶具炉头参数统计

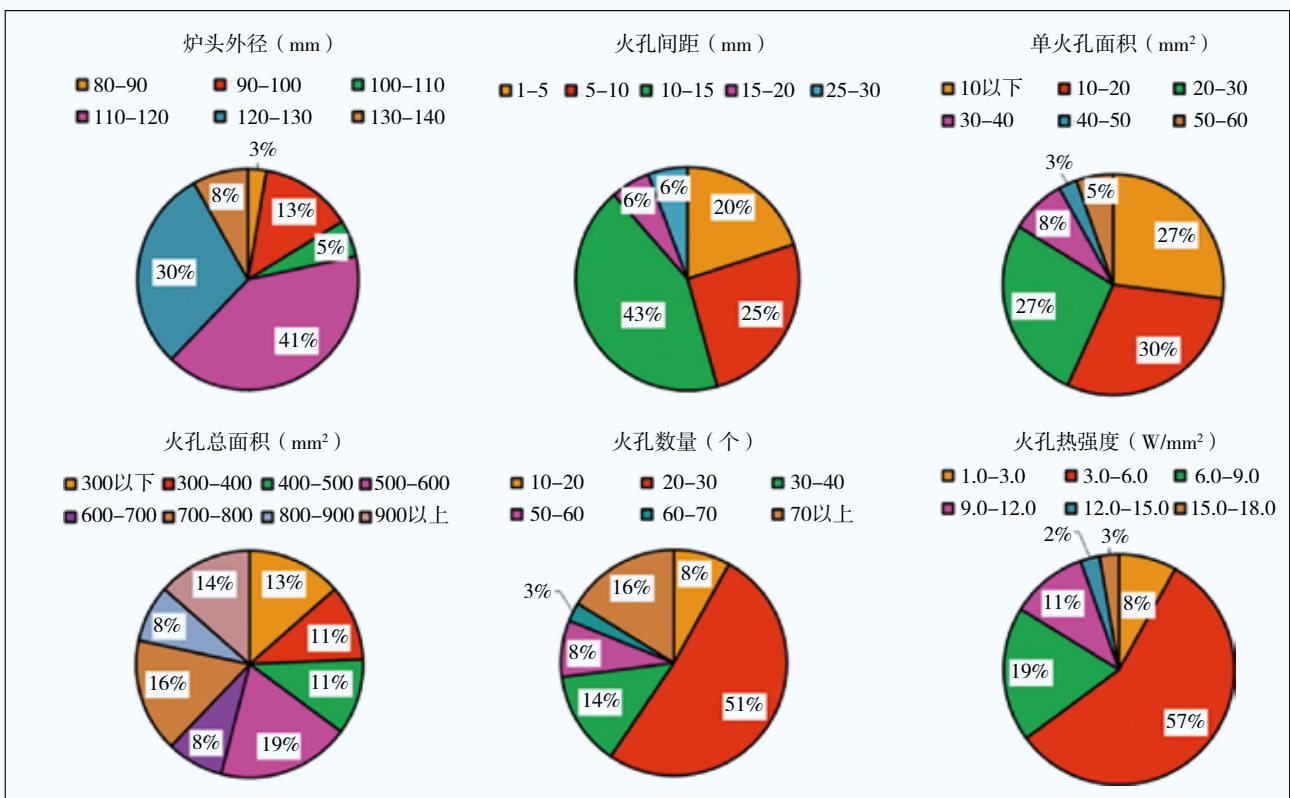
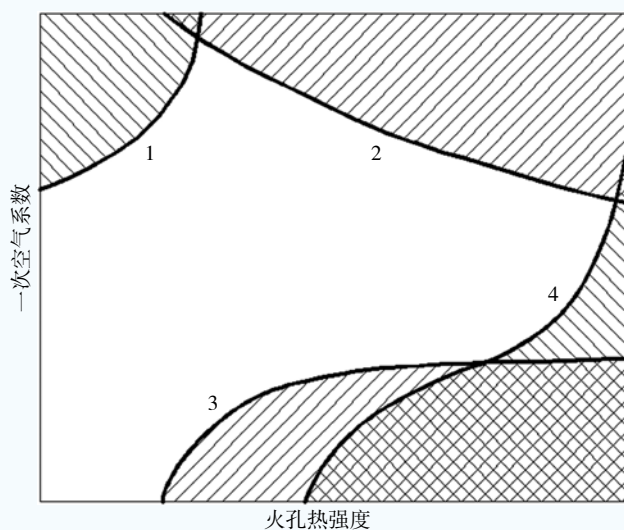


图3 条缝形火孔灶具炉头参数统计

燃烧器炉头, 选择合适的设计工况点(一次空气系数和火孔热强度), 将直接影响燃烧器应对气源气质变化的适应能力。另一方面, 火孔尺寸过大、火孔间距过小、炉头外径偏小, 易使得火孔分布紧密、火焰变软连焰, 从而导致CO排放增加、热效率降低; 反之则火孔过于分散、火焰较硬、传热效果变差, 热效率不理想, 某些情况同样会导致燃烧不完全, 出现污染物排放问题<sup>[10]</sup>。就此, 根据上面炉头设计参数统计结果, 本文定义一无因次参数  $\varepsilon$  来综合描述民用灶具炉头火孔大小、间距、个数同炉头大小的关系, 从而评价炉头设计情况:

$$\varepsilon = \frac{\text{炉头外径计算面积}}{\text{火孔总面积}}$$



1-回火极限; 2-离焰极限; 3-黄焰极限; 4-CO极限

图4 燃烧特性曲线<sup>[9]</sup>

### 3.1 圆形火孔燃气灶

对10台圆形火孔样本的CO排放和热效率性能在11种气源情况下的响应分析列于图5。其中, 样本1~4所有测试工况下的CO排放响应值均在国标要求的 $500 \times 10^{-6}$ 以下, 且除样本1的5个测试工况外, 其他所有测试工况点的热效率响应均在国标规定的50%以上。说明这4台样本的适应能力较强, 能较好的应对气源气质变化。统计4台样本的炉头设计发现, 设计火孔热强度为 $7.2\text{W}/\text{mm}^2 \sim 8.4\text{W}/\text{mm}^2$ , 炉头外径选择在 $125\text{mm} \sim 135\text{mm}$ 内, 设计火孔总面积为 $350\text{mm}^2 \sim 430\text{mm}^2$ ,  $\varepsilon$ 值分布在 $30 \sim 40$ 之间。样本5~10的CO排放

响应表现并不理想, 其中样本6和9所有测试工况CO排放均在 $500 \times 10^{-6}$ 以上, 其他4台样本过半数测试工况点CO排放超标; 热效率响应方面除样本8和9外, 其他4台样本表现尚属理想; 但若同时考虑CO排放和热效率, 则发现样本5~10的设计, 均是在保证热效率达标的前提下牺牲了CO排放, 实际应用中不建议采用这类“高效率高排放”的燃气灶。统计6台样本的炉头设计发现, 其中5台样本的设计火孔热强度均大于 $11\text{W}/\text{mm}^2$ , 最大达到了 $15.2\text{W}/\text{mm}^2$ , 炉头外径则集中在 $120\text{mm} \sim 130\text{mm}$ 和 $140\text{mm} \sim 150\text{mm}$ 两个范围, 设计火孔总面积为 $260\text{mm}^2 \sim 300\text{mm}^2$ ,  $\varepsilon$ 值整体较大分布在 $40 \sim 65$ 之间。故, 如图4所示高火孔热强度易出现CO排放问题; 炉头直径过大则会导致中心火焰二次空气供给变差, 燃烧效率降低, 污染物排放不理想;  $\varepsilon$ 值选择过大, 则反映出炉头火孔分布不合理, 火孔过于分散, 火焰较硬, 传热效果变差影响热效率。

通过上述分析不难发现, 应对气源气质变化适应能力较强的圆形火孔燃气灶具, 其炉头参数设计为: 火孔热强度为 $7.2\text{W}/\text{mm}^2 \sim 8.4\text{W}/\text{mm}^2$ , 炉头外径选择在 $125\text{mm} \sim 135\text{mm}$ 内, 火孔总面积为 $350\text{mm}^2 \sim 430\text{mm}^2$ ,  $\varepsilon$ 值分布在 $30 \sim 40$ 之间。

### 3.2 旋缝火孔燃气灶

对10台旋缝火孔样本的CO排放和热效率性能在11种气源情况下的响应分析列于图6。其中, 样本11~16基本所有测试工况下的CO排放响应值均在国标要求的 $500 \times 10^{-6}$ 以下, 且除样本15和16外, 其他4台样本的热效率响应基本均在国标规定的50%以上。说明样本11~14这4台样本的适应能力较强, 能较好的应对气源气质变化, 统计其炉头设计发现, 设计火孔热强度为 $8.5\text{W}/\text{mm}^2 \sim 11.5\text{W}/\text{mm}^2$ , 炉头外径选择在 $120\text{mm} \sim 130\text{mm}$ 内, 设计火孔总面积为 $250\text{mm}^2 \sim 350\text{mm}^2$ ,  $\varepsilon$ 值分布在 $35 \sim 45$ 之间。样本17~20的CO排放响应表现并不理想, 所有4台样本在所有测试工况下CO排放均在 $500 \times 10^{-6}$ 以上; 热效率响应方面4台样本表现尚属理想; 但若同时考虑CO排放和热效率, 则发现旋缝火孔样本同样出现圆形火孔样本的问题, 均是在热效率达标的情况下CO排放严重超标。统计样本15~20这6台样本的炉头设计发现, 设计火孔热强度偏小, 均小于 $7\text{W}/\text{mm}^2$ , 最小达到了 $3.7\text{W}/\text{mm}^2$ ; 炉头外径则集中在 $120\text{mm} \sim 130\text{mm}$ 之间, 设计火孔总面

积偏大，均大于 $440\text{mm}^2$ ，最大达到了 $832\text{mm}^2$ ， $\varepsilon$ 值整体较大分布在 $10\sim 30$ 之间。综合样本15~20的炉头设计统计数据，火孔总面积设计偏大且 $\varepsilon$ 值选择偏小，则炉头火孔分布过于集中，火焰易连焰变软，二次空气供给变差燃烧不完全，从而影响燃烧效率，增加污染物排放。

因此，应对气源气质变化适应能力较强的旋缝火孔燃气灶具，其炉头参数设计为：火孔热强度为 $8.5\text{W}/\text{mm}^2\sim 11.5\text{W}/\text{mm}^2$ ，炉头外径选择在 $120\text{mm}\sim 130\text{mm}$ 内，火孔总面积为 $250\text{mm}^2\sim 350\text{mm}^2$ ， $\varepsilon$ 值分布在 $35\sim 45$ 之间。

#### 4 结论

本文根据65台燃气灶炉头样本的设计参数统计，同时结合20台样本的性能响应分析，总结归纳了圆形

火孔灶具和旋缝火孔灶具适应性较强的炉头设计参数。因条缝形火孔大多是旋缝型的，很难测得其实际的火孔面积大小，采用测量其边长并相乘的方式作为条缝形火孔的火孔面积，得到的结果往往比实际火孔面积大，火孔热强度偏小，所归纳的炉头设计参数可能存在偏差。另一方面，民用燃气灶具的燃烧性能不仅与炉头设计有关，同时还涉及引射器设计、锅架高度、灶具大小尺寸空间等因素。因此，本文所归纳的适应能力较强的民用燃气灶炉头设计参数只是给出了某种程度的建议。但对于目前国内燃气灶，由于其品牌繁多、设计不统一、结构迥异、参数不合理，对气源的适应能力千差万别、良莠参差，这将极不利于在气质波动下的用户正常使用，为日常的气质管理带来极大的不便。为此，建议民用灶具生产厂家在民用燃气灶炉头设计时，就一个城市气源气质情况慎重选择炉头设计参数，在保证灶具高性能、高适应性的前提

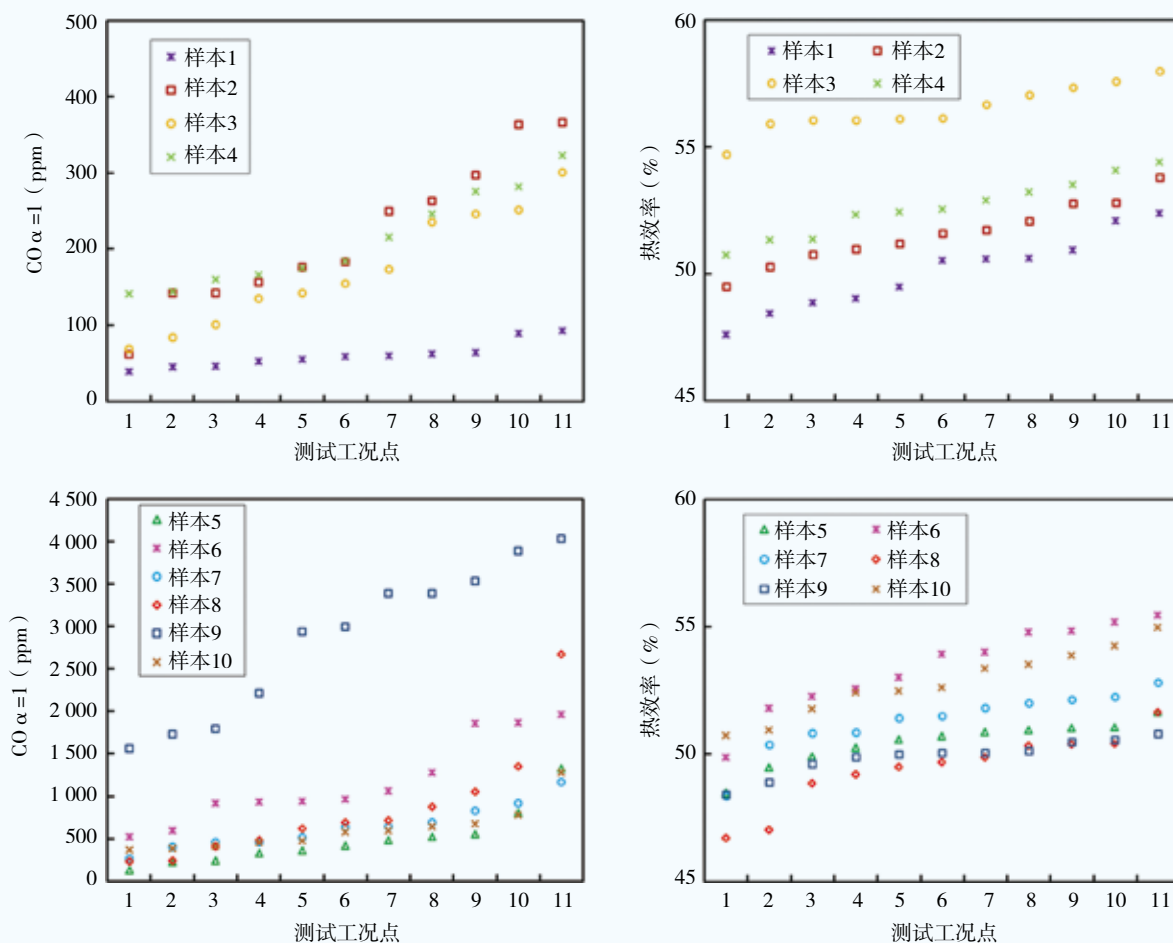


图5 圆火孔样本CO排放和热效率随气源变化响应

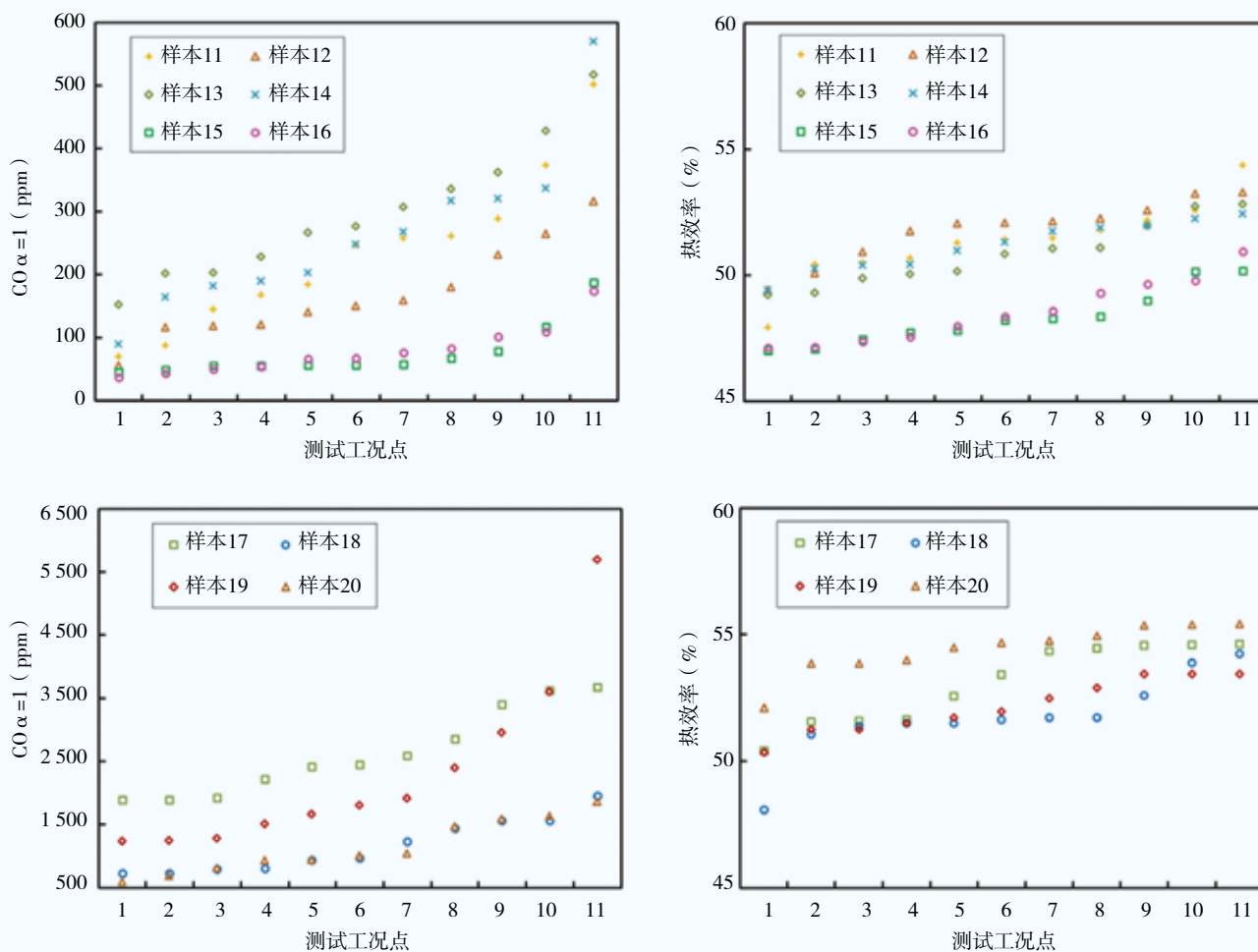


图6 旋缝火孔样本热效率随气源变化响应

下,推陈出新尽量统一灶具结构类型,灶具类型越少整体适应能力越强,越利于城市气源气质管理。

#### 参考文献

- 1 International Energy Agency. Natural Gas in China Market Evolution and Strategy[R]. 2009
- 2 王启,高文学,赵自军等.中国燃气互换性研究进展[J].煤气与热力,2013;33(2):14-20
- 3 李猷嘉.燃气质量变化对终端用户的影响——当今液化天然气质量与互换性研究进展论述之一[J].城市燃气,2011;07:4-15
- 4 李猷嘉.论液化天然气与管道天然气的互换性[J].城市燃气,2009;06:3-14

- 5 李猷嘉.正确处理天然气质量中的燃气互换性问题(第一部分)[J].城市燃气,2008;03:6-10
- 6 李猷嘉.燃气质量中的互换性问题[J].城市燃气,2007;08:3-9
- 7 金志刚.燃气互换性、燃具适应性与燃气分类[C].中国土木工程学会城市燃气分会应用专业委员会,2009
- 8 国家质检总局.GB 16410-2007家用燃气灶具[S].北京:中国标准出版社,2007
- 9 Elmer R. Weaver. Formulas and Graphs for Representing the Interchangeability of Fuel Gases[J]. Journal of Research of the National Bureau of Standards, Vol.46: NO 3, March 1951
- 10 同济大学编著.燃气燃烧与应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2000;9:137-149