

城市多气源天然气互换性的基准气选择方法研究

□ 同济大学机械工程学院 (201804) 张杨竣 秦朝葵

摘要: 随着我国天然气的发展,城市多气源化,多气源天然气互换性问题越来越严重。基于此本文提出了一种选择合适的基准气以应对多气源的互换问题。以广东省9种气源为例,先对所有气源在不同基准气情况下进行AGA和Weaver指数理论计算,预测各自的互换情况。通过理论预测,当选择华白数值位于所有气源华白数的60%位置的粤西LNG2作为基准气时,与其他气源置换不会引起严重的互换问题。为了验证理论预测的正确性,通过对17台代表性的样本灶,以粤西LNG2为基准气进行初状态调节后,分别对9种气源根据国标规定进行性能响应测试。实验结果显示80%的样本在气源互换时均不会出现严重的互换问题,所选用的粤西LNG2可以作为基准气来应对广东省出现的多气源互换情况。

关键词: 天然气 互换性 基准气 AGA指数 Weaver指数

Study on Selection Methods of Adjustment Gas for Chinese Urban Natural Gas Interchangeability

College of mechanical engineering, Tongji University Zhang Yangjun, Qin Chaokui

Abstract: With the development of natural gas industry in China, more and more cities introduce natural gas from different sources to improve supply reliability. Accordingly interchangeability problem begin to emerge. In this paper a new approach was put forward to define a suitable "reference gas", with reference to which gases of different compositions can be interchangeable. By means of AGA and Weaver Indices, calculations were made to analyze the interchangeability between natural gases from 9 sources in Guangdong Province. Results show that Yuexi LNG2, whose Wobbe index falls in the middle of Richest and Leanest, seems to be a good candidate. Experiments were carried out to test the percentage of qualified efficiency and CO emission, according to Chinese National standard. It turned out 80% of sampled gas cookers can maintain and 80% gas sources can be interchangeable when Yuexi LNG2 is defined as the reference gas.

Keywords: Natural gas interchangeability adjustment gas AGA Indices Weaver Indices

1 引言

天然气作为一种清洁能源越来越受到青睐,我国天然气消费量从1979年的145亿 m^3 增长到2009年的887亿 m^3 ,增长了512%,2010年天然气表观消费

量1 072亿 m^3 ,同比增长22.73%,"十二五"规划中到2015年国内天然气消费目标初步定为2 600亿 m^3 。但目前我国天然气消费比重占能源消费比重却不足5%,不到世界平均水平的1/4,未来我国天然气将会有长远的发展。同时近年来随着LNG的快速发展,各

大城市将逐渐面对包括西气东输、进口LNG以及海洋天然气等多种气源并存的多气源现状,这势必导致天然气互换性问题^[1-3]。

上世纪60年代~70年代,美国和欧洲一些国家便已经针对人工煤气以及煤制气同天然气的互换性进行了系统研究,并根据各自的气源状况和燃气具特性提出了互换性预测方法^[4-7]。而我国对于天然气互换性问题至今未进行过系统科学的研究,也无形成完善的互换性评判体系。只是借鉴英国的天然气分类标准EN437,将我国天然气分为不同类别,并规定各类别的试验用基准气和界限气,从而对天然气气质组分的变化进行管理。但随着目前LNG等富组分天然气的进口,气质组分变化愈趋复杂,以民用燃气灶具为例,只是通过简单的定义12T-0为基准气,来应对目前多气源的互换性问题其合理性有待讨论^[8-10]。

本文通过利用现有国外的互换性指数预测法——AGA指数和Weaver指数对广东地区9种气源的互换性进行预测。通过理论计算和实验测试结果,验证所选基准气对解决广东地区互换性问题的实用性,进而总结一种应对多气源天然气互换的基准气选择方法。

2 理论分析

2009年至2020年间,广东省天然气管网将出现海上天然气、陆地天然气和进口LNG三大种类9大气源联供的局面,这9种气源以及国标规定的12T基准气(12T-0)的组分及气质特性如表1所示。

根据国标GB/T 13611-2006规定,将华白数

45.67MJ/m³~54.78MJ/m³的天然气划分为12T,并规定以12T设计燃气灶具,在测试热效率、热负荷、CO排放等燃烧性能时,选择12T基准气(12T-0)为试验用气,同时认为所有属于12T范围内的天然气,均能与12T-0进行互换^[9-10]。图1给出了表中9种气源的W-C_p分布图,其华白数变化范围为48.38MJ/m³~53.24MJ/m³,属于12T,且12T-0基本与珠海贫LNG气质相似。相比于12T-0,9种气源的华白数波动范围为-4.63%~+4.95%。

互换性理论预测方法,大致可分为指数判定法和图形判定法两种。本文主要利用多指数判定法进行互换性理论计算预测,包括AGA指数法和Weaver指数法^[11-13]。

根据广东气源情况,现选择最贫的川气、最富的珠海富LNG、处于中间偏富的粤西LNG2以及12T-0分别为基准气,利用AGA指数法和Weaver指数法进行互换性预测计算。将计算得到的不可互换指数示于图2。

从图2中(a)(c)两图显示:在以川气和12T-0为基准气时,AGA、Weaver指数均预测与其他气源互换时燃烧器都会不同程度的出现黄焰、CO排放超标等不完全燃烧现象。

从图2中(b)图显示:在以珠海LNG富组分为基准气时,虽然与其他气源互换时燃烧器不会出现黄焰、CO排放超标等现象,但AGA指数预测在川气和番禺惠州海气置换情况下会导致燃烧器火焰离焰而造成不完全燃烧。

从图2中(a)(b)(c)三图的Weaver热负荷指数可以看出:川气基准气条件下会导致华白数较大的气源置换后,使得燃烧器热负荷发生较大变化;珠海LNG富组分为基准气时,则华白数较小的气源会

表1 各气源组分及气质特性

摩尔组分	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	i-C ₅ H ₁₂	n-C ₅ H ₁₂	CO ₂	N ₂	W/(MJ/m ³)
土库曼斯坦气	92.55	3.96	0.34	0.12	0.09	0.00	0.22	1.89	0.85	49.43
川气	97.07	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	2.03	0.72	48.38
惠州海气	85.89	9.80	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	3.62	0.52	48.85
大鹏LNG	88.77	7.54	2.59	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	53.12
粤东LNG	96.30	2.59	0.49	0.10	0.12	0.00	0.00	0.00	0.40	51.12
珠海贫LNG	96.64	1.97	0.34	0.07	0.08	0.00	0.00	0.00	0.90	50.60
珠海富LNG	89.39	5.76	3.30	0.78	0.66	0.00	0.00	0.00	0.11	53.24
粤西LNG1	98.60	0.00	0.25	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	1.00	50.18
粤西LNG2	90.55	8.00	0.25	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	1.00	51.52
12T-0	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.73

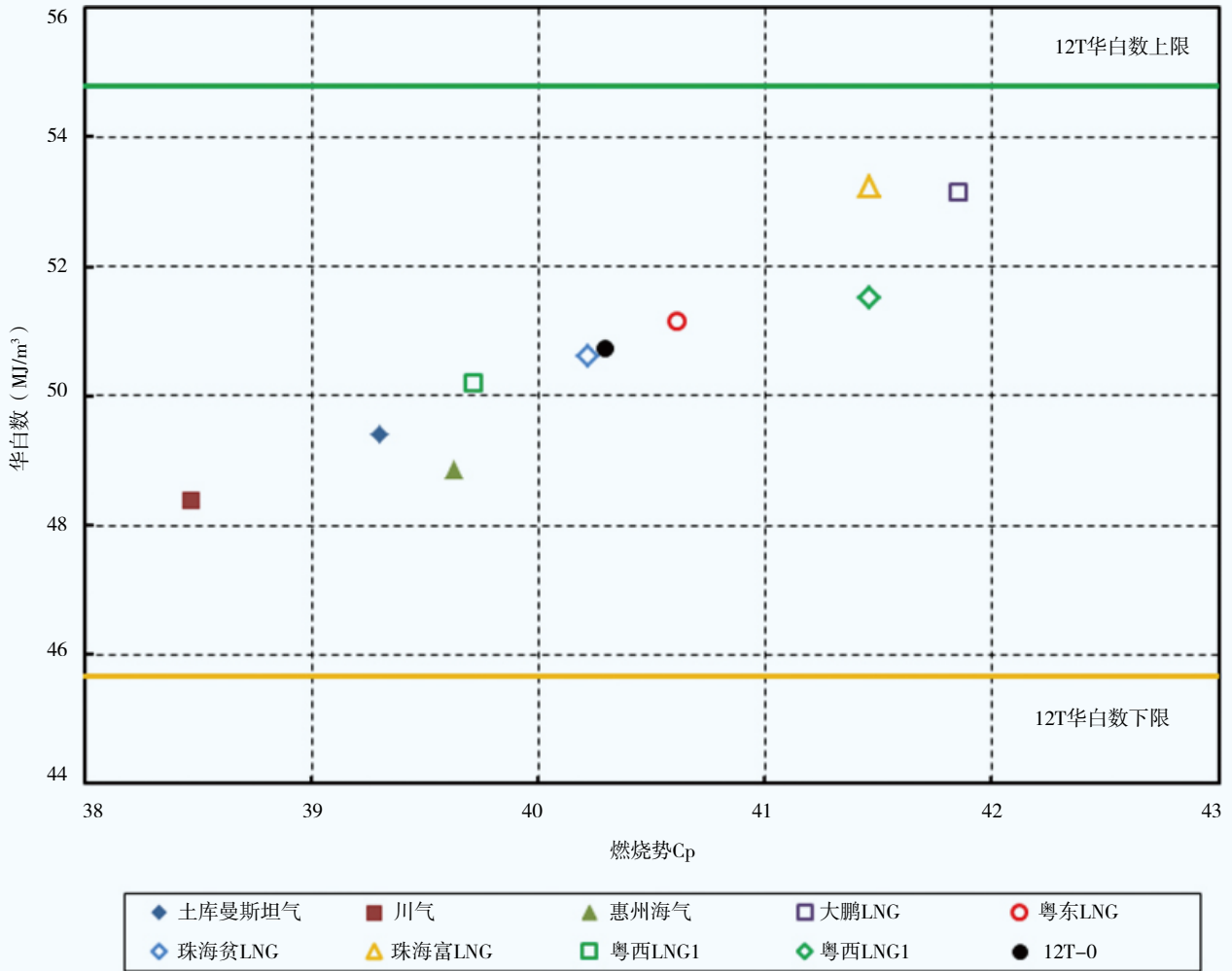
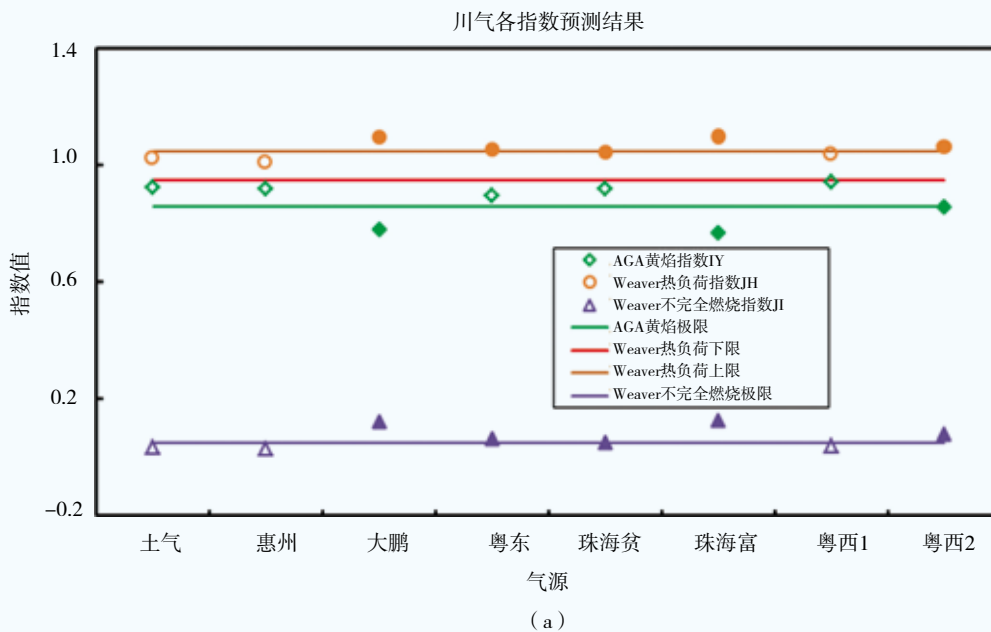


图1 各天然气气质分布情况



(a)

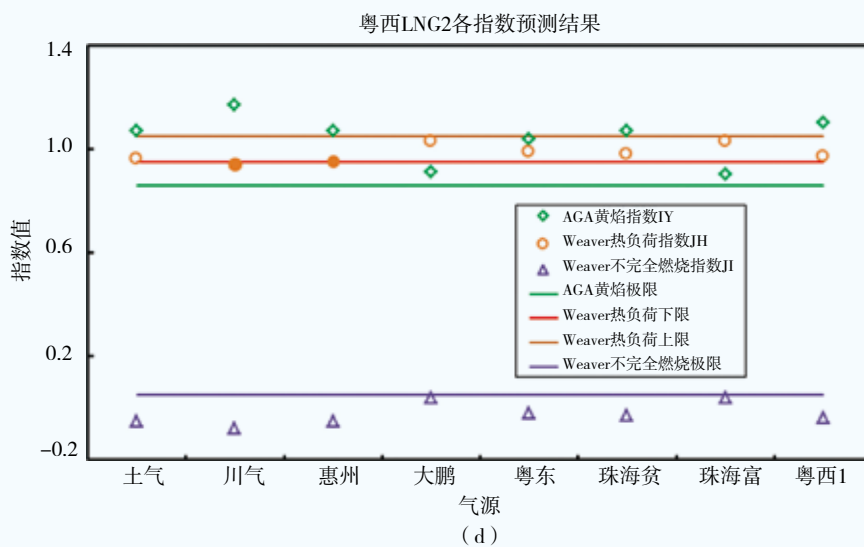
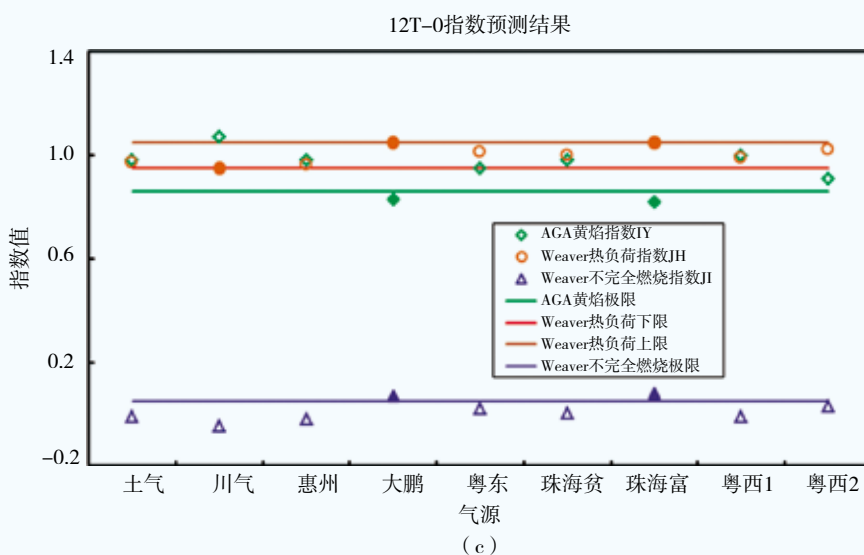
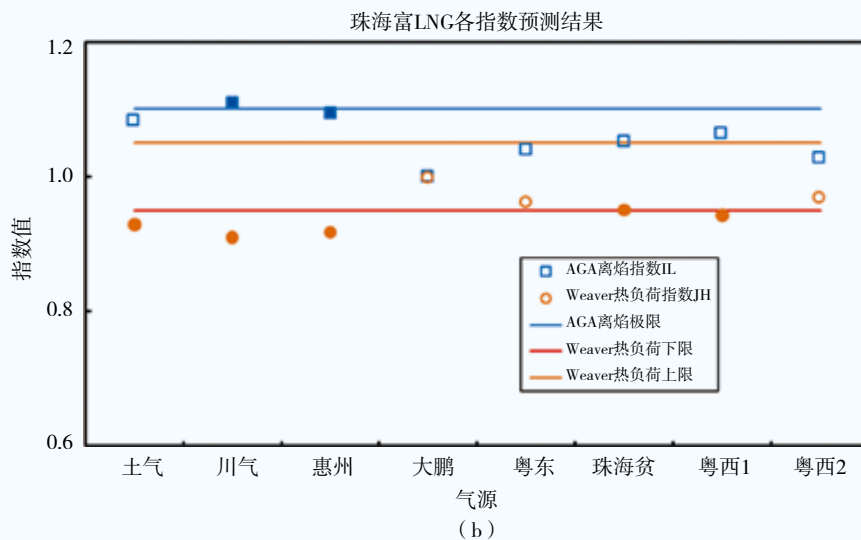


图2 以不同气种为基准气条件下的各指数预测结果：(a) 川气为基准气；
(b) 珠海LNG富组分为基准气；(c) 12T-0为基准气 (d) 粤西LNG2为基准气

受影响；而当处于中间位置的12T-0为基准气时，最“贫”的川气和最“富”的珠海LNG富组分、大鹏LNG会产生燃烧器热负荷变化现象。

从图2中（d）图显示：在以粤西LNG2为基准气时，AGA各指数均满足可互换范围；Weaver指数计算结果表明，除了在最“贫”的川气和较“贫”番禺惠州海气置换下，会使得燃具热负荷发生变化外，同样不会出现其他不可互换现象。

因此，通过对4种不同基准气条件下的AGA、Weaver指数计算，说明如果按照国标规定选择12T-0为广东省天然气互换的基准气，则势必会导致多气源互换时出现问题。而选择华白数位于中间偏富的粤西LNG2作为广东省多气源天然气的基准气，理论上认为是可行的。

3 实验测试

通过实验测试对理论预测结果的正确性进行验证。本实验选择了目前广东燃气灶具市场上具有代表性的17台不同品牌的燃气灶做为样本燃气灶，火孔形式包括：圆火孔、方火孔和旋缝火孔。且以粤西LNG2为基准气进行初状态调试，使得所有样本灶在基准气情况下达到最佳燃烧工况。初状态调试以AGA火焰分级为原则，将各样本灶火焰形态调至-2~+2火焰级别之间^[4]，各级火焰特性描述如表2所示。

对经粤西LNG2调试初状态后的17台样本，分别在9种气源情况下进行燃烧性能响应测试。通过测试发现，所有样本灶在9种气源情况下，均不会出现回火和黄焰等燃烧不稳定现象。因此，本文主要讨论样本灶在热效率和CO排放等方面的响应情况。

图3和图4分别为17台样本在9种气源情况下的CO

排放和热效率响应情况。在华白数较小的川气、土库曼斯坦气和惠州海气情况下，样本CO排放明显低于其他气源，而样本热效率响应并未表现出随华白数变化的明显趋势。样本的CO排放整体趋势在500ppm以下，热效率响应则略显不稳定，大部分样本集中在50%~55%之间。国标GB16410-2007规定，民用燃气灶具CO排放不得超过500ppm，台式灶效率不得低于55%，嵌入式灶效率不得低于50%。按国标规定将所有样本灶在9种气源情况下的热效率和CO排放进行合格样本数统计，统计结果如表3所示。

从表3可以看出，在9种气源17台样本灶一共153个测试工况点下，其中83.7%的工况点测试CO排放均合格，86.9%的工况点测试效率均满足国标要求。若同时考虑热效率和CO排放指标来考核互换性，则当以粤西LNG2为基准气时，川气和珠海富LNG分别会引起灶具在热效率和CO排放上产生变化；但目前为止，热效率并不是评判天然气互换的必须指标。因此，只考虑CO排放情况，则除了珠海富LNG情况下会出现显著的CO排放超标问题，其余8种气源均可认为与粤西LNG2互换后不会引起CO排放的显著提高，即89%的气源可互换。

4 结论

通过互换性指数法预测计算和实验测试可以认为，经以粤西LNG2为基准气调试初状态后的燃气灶，在面对9种气源互换时，80%以上的测试工况点均不会出现严重的CO排放和热效率不合格现象。只考虑CO排放情况下，89%的气源均可互换；同时考虑CO排放和热效率情况下，有近80%的气源可互换。因此，对于广东地区多气源现状，选用华白数位于中间

表2 AGA火焰分级

级别	火焰特性描述	级别	火焰特性描述
+5	25%以上火孔的火焰出现离焰	-1	火焰内锥可见且头部较软
+4	火焰趋于离焰，经短暂预热趋于稳定	-2	火焰内锥形成但模糊
+3	火焰内锥短且有噪声	-3	火焰内锥头部破裂，表现为软火焰且摆动
+2	火焰内锥硬且尖	-4	火焰出现轻微的黄焰，但不会导致析碳
+1	火焰内锥头部硬	-5	火焰出现一簇明亮的黄焰，且火焰析碳
0	火焰内锥呈圆形且头部软		

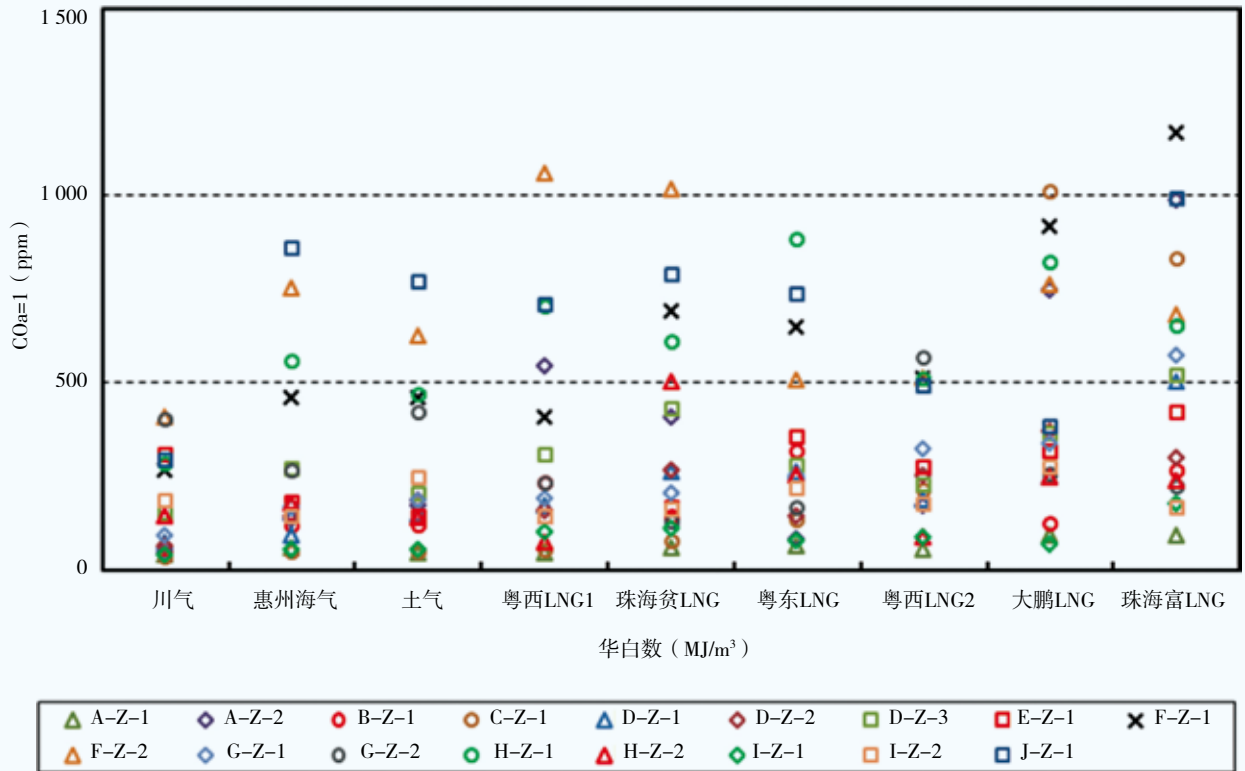


图3 样本灶具的CO测试结果

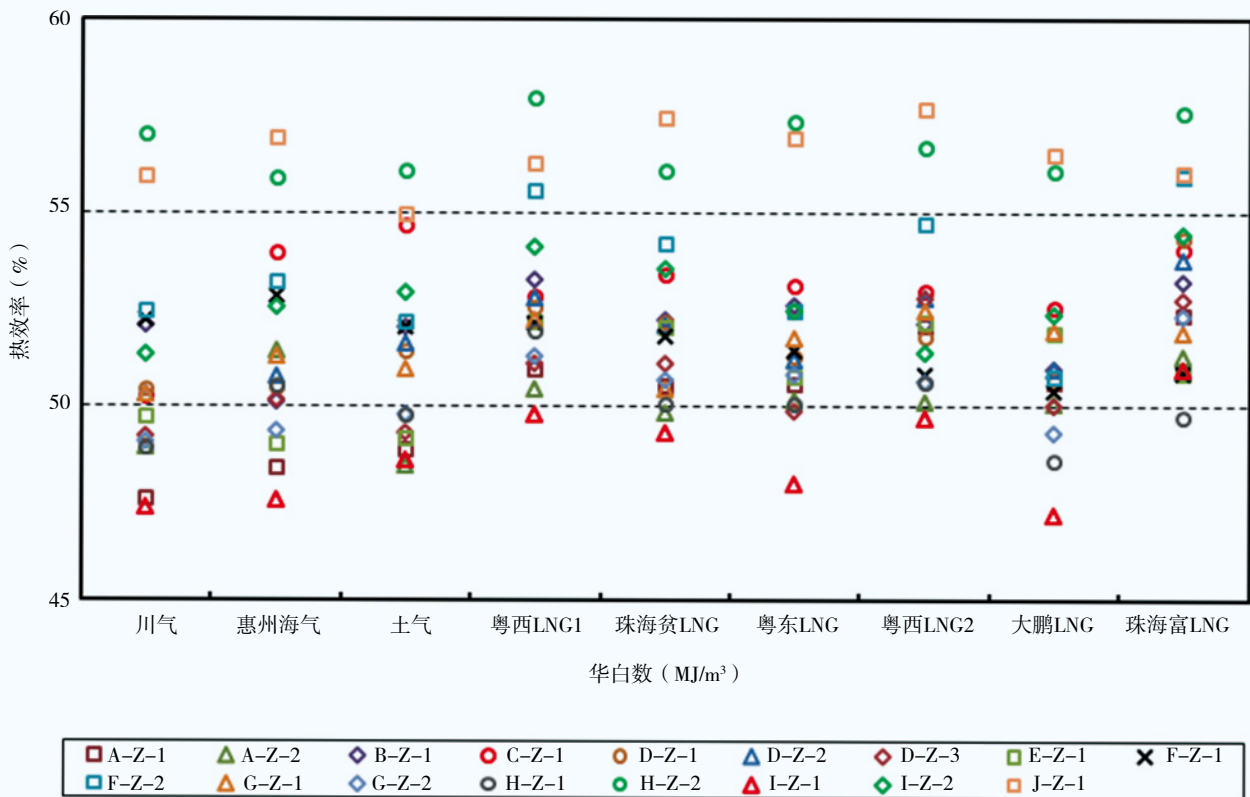


图4 样本灶具的热效率测试结果

表3 CO排放和效率分别合格的样本数统计

	CO 排放	合格率 %	效率	合格率 %
川气	17	100.0	11	64.6
惠州海气	15	88.2	13	76.5
土库曼斯坦气	15	88.2	12	70.6
粤西 LNG1	14	82.4	17	100.0
珠海贫LNG	13	76.5	16	94.1
粤东LNG	14	82.4	16	94.1
粤西 LNG2	17	100.0	17	100.0
大鹏 LNG	12	70.6	14	82.4
珠海富 LNG	11	64.6	17	100.0
合计	128	83.7	133	86.9

偏富的粤西LNG2为基准气，对解决广东省多气源互换性问题有一定的实际作用和意义。

通过对广东地区多气源互换性基准气的选择研究，可以总结出针对多气源情况下的互换性基准气选择方法：

(1) 一般不选择气源中最“富”和最“贫”的气种作为基准气；

(2) 以12T-0为基准气其他气源为置换气，进行AGA和Weaver指数计算，若出现指数超标较多时，则不宜选用12T-0为基准气进行民用燃具初状态调节，反之则可；

(3) 当12T-0不宜为基准气时，则从气源中选择一种华白数处于中间偏富位置（一般以华白数值处于全部气源的60%左右较合适）的气种作为新基准气，再进行AGA和Weaver指数计算，如若各指数基本满足可互换范围，即可定义为新基准气。

参考文献

- 1 王红霞, 刘焯, 王遇冬等.北京地区多气源天然气互换性的探讨[J].石油规划设计, 2010; 21(1): 18~20
- 2 陈元利.广州地区城市天然气互换性探讨[J].中国新技术新产品, 2010; 16: 82~83
- 3 周卫, 刘建辉.深圳市天然气基准气类别的选择[J].煤气与热力, 2008; 28(3): 25~27
- 4 Ennis, C.J., K.K. Botros and D. Engler. On the Difference between US Example Supply Gases, European Limit Gases,

and their Respective Interchangeability Indices[R]. AGA-Operations Conference&Biennial Exhibition. 2009

- 5 Halchuk-Harrington, R. and Wilson, R., AGA Bulletin 36 and Weaver Interchangeability Methods: Yesterday's Research and Today's Challenges[R]. AGA Gas Operations Conference. 2006; 5
- 6 Harsha, P. T., Edelman, R. B., and France, D. H., Catalogue of Existing Interchangeability Prediction Methods, Final Report - Phase II, GRI-80/0021[R]. Gas Research Institute. 1980
- 7 International Gas Union and BP. Guidebook to Gas Interchangeability and Gas Quality[R]. 2010; 8
- 8 European Committee for Standardization. BS EN437:2003 Test gases-Test pressures - Appliance categories [S]. 2003
- 9 国家质检总局. GB/T 13611-2006城镇燃气分类和基本特性[S].北京: 中国标准出版社, 2006
- 10 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
- 11 Elmer R. Weaver. Formulas and Graphs for Representing the Interchangeability of Fuel Gases[J]. Journal of Research of the National Bureau of Standards, 1951; 3(3): 46
- 12 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: 212~222
- 13 秦朝葵, 吴之颀.多气源天然气的互换性问题[J].天然气工业, 2009; 29(12): 90~93
- 14 Gas Technology Institute. Gas Interchangeability Tests: Evaluating the Range of Interchangeability of Vaporized LNG and Natural Gas[R]. 2003; 4