

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2015.01.001

· 续上期 ·

欧美燃气质量和互换性问题的近期进展 (三)

□ 中国市政工程华北设计研究总院 (300074) 李猷嘉

6 美国研究工作的进展^[6]

从上世纪末欧盟关于燃具的类别标准发表后,美国对同类问题的研究约可分为3个时段,即:(1)对EN437标准的认识;(2)本世纪初白皮书的发表;(3)当今液化天然气的合理利用。

6.1 对欧盟EN437标准的认识

1993年美国的燃具标准ANSI Z21(民用燃具)和ANSI Z83(商用燃具)开始生效。当时并未说明燃具证书所要求的燃气性质和组分范围,但在标准中已开始包括燃具的某些运行灵活性试验(Operating-Flexibility Tests)*,其内容包括:

(1) 燃具入力的增加。在不同燃具和不同的试验中,通常均包括燃烧试验。入力的提高量约为额定值的6.5%~12%。试验中入力的变化用改变压力的方法来保证。

(2) 燃具入力的降低。入力的降低量通常为额定值的1/3。但随燃具的类型和试验要求可有一些变化。

(3) 用规定的试验气,如G或A气进行试验,如G试验气为1 400Btu/m³(52.13MJ/m³)(15℃/15℃/1atm)的丁烷-空气混合物(丁烷约占40%)。这一试验气的应用可回溯到人工油制气的时代,常设计成模拟这类燃气的速燃特性。但G试验气不必做燃烧试验。

1977年~1984年,美国A.G.A实验室在一个特别工

作组的指导下曾做了大量的试验,以开发ANSI Z21燃具标准的系列,对天然气证书中涉及运行灵活性的文件(Operating-flexibility provision)的研究包括:

(1) 调研当时和未来美国天然气配气和一些新建或待建项目中燃气的组分情况,以建立一个“通用”的燃气范围。摸清天然气变化范围的底数。这一“通用”的或整体的燃气范围可参看本刊2010年1期第5页图1“美国燃气体系的热值和相对密度”。图中有纯甲烷的位置,但不代表美国天然气的平均位置。

(2) 根据美国燃气协会关于其他燃气与天然气互换性的36号公告,对通用的燃气范围建立了调定气AA(具有沃泊数中值特性)以及3个界限气:AL—代表离焰,AY—代表黄焰端和AF—代表回火界限气。

(3) 将当代的和技术先进的燃具设备用调定气和界限气进行物理试验后,可得以下结论:①通常,几乎所有燃气设备的名义额定负荷(以沃泊数为代表)难以与实测的额定负荷相一致。②只要额定负荷能正确的相符,且经调定气调定,几乎所有的设备均能得到满意的使用结果,设备毋须机械变动,就可使用其他界限气。③只要任一类界限气的沃泊数值36号公告法所规定的数值不符,几乎所有的设备都无法得到满意的使用结果。

Z21的特别工作组根据调定气和界限气的要求准备了一份对Z21标准的建议文本。在此方法下获得的

* 从上世纪50年代起,燃具运行中的灵活性在我国一直译作燃具的适应性。后从中文又出现了适配性,反过来中译英的适应性又有种种表达法,但从英文用语看始终是Flexibility。

燃具证书,尚须得到ANSI标准程序的批准,并需要为工业部门适应这一变化留有足够的时间,且在这段时间内不应有变化的动作。因此在美国内部,实际上对燃具运行灵活性的证书至今尚未实行。表8为ANSI Z21试验气的建议组成和特性。

6.2 美国ANSI特别工作组的研究与EN437标准的比较^[6]

(1) 在一个高热值—相对密度图上给出ANSI工作组提出的表8和表9中调定气和界限气的位置以及欧盟EN437标准中第2族燃气H、L和E组试验气的位置,如图6^[6]。

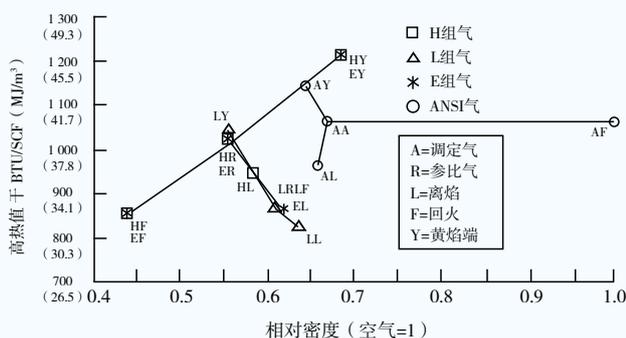


图6 ANSI和EN437中H、L和E组天然气的相对位置

由图6可知,ANSI的值落在欧洲H、L和E组调定气和界限气排列的中间位置上。两种方法的区别在图上也十分明显,但均属于同一个可比的水平,认真的

探讨这两种系统的可协调性,以便在一个共同的基础上评估燃具和燃气组分的关系,有利于国际燃气工业总效益研究的尝试。以ANSI的AA气作调定气,用A.G.A 36号公告法计算欧盟试验气的计算结果可见表9。

取AA气为调定气后, I_L 、 I_F 和 I_Y 的计算式可写成:

离焰互换指数:

$$I_L = \frac{k_a}{\frac{f_a a_s}{f_s a_a} (k_s - \log \frac{f_a}{f_s})} = \frac{1.1582}{0.819 \frac{a_s}{f_s} (k_s - \log \frac{0.0206}{f_s})} \dots\dots \text{公式1}$$

回火互换指数:

$$I_F = \frac{0.016383 k_s f_s \sqrt{h_s}}{k_a f_a} = 6.8548 k_s f_s \sqrt{h_s} \dots\dots \text{公式2}$$

黄焰端指数:

$$I_Y = \frac{f_s a_a y_a}{f_a a_s y_s} = 311.44 \frac{f_s}{a_s y_s} \dots\dots \text{公式3}$$

以AA为调定气按公式1、公式2、公式3计算所得欧洲第2族燃气试验气的美国A.G.A指数值汇总于表10中。

(2) 互换性限值箱

图7为一种应用A.G.A 36号公告法中的互换性指

表8 ANSI Z21试验气的建议组成和特性^[6] (% , 15°C/15°C/1atm)

| 组分/特性 | 调定气 AA | 回火界限气 AF* | 离焰界限气 AL | 黄焰端界限气 AY |
|--|--------|-----------|----------|-----------|
| 甲烷 | 83.4 | 34.0 | 81.1 | 91.2 |
| 丙烷 | 8.6 | 19.0 | 5.5 | 8.8 |
| 氮 | 8.0 | | 13.4 | |
| 丙烯 | | 10.0 | | |
| 空气 | | 37.0 | | |
| 高热值MJ/m ³ (15°C/15°C/1atm) | 39.74 | 39.89 | 35.90 | 42.88 |
| 相对密度(空气=1) | 0.6733 | 0.9992 | 0.6647 | 0.6423 |
| 沃泊指数MJ/m ³ (15°C/15°C/1atm) | 48.43 | 39.89 | 44.05 | 53.49 |

注:(1) 大量所供燃气应在界限气特性的范围之内。界限气是作为一种量测燃具运行灵活性的指标,代表运行中可能遇到的一个极端状况。界限气并不是准备用来或提倡用来作为配气的组分。

(2) 所用不同燃气的高热值和沃泊指数不能偏离表中所示值的±2%

* 回火的当量试验气也可用丙烷-空气混合气,其高热值为33.20MJ/m³,沃泊数为29.53MJ/m³,偏差亦在±2%以内。

表9 计算结果

| | 高热值 h | 单位热值 燃烧所需 空气量 a _a | 一次空气 因数 f _a | 离焰极限 常数 k _a | 黄焰端 极限常数 y _a | 相对 密度 d _a | $\sqrt{d_a}$ | 燃烧的空 气需要量 A _a | 离焰 常数 F _a | 黄焰端 常数 T _a | 沃泊 指数 W _{I_a} |
|------------------|----------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------|--|
| 调定气 AA | 39.74 | 0.2515 | 0.0206 | 1.1582 | 25.21 | 0.6734 | 0.8206 | 9.995 | 0.7799 | 2.6609 | 48.42 |
| 替代气* | h _s | a _s | f _s | k _s | y _s | d _s | $\sqrt{d_a}$ | A _s | F _s | T _s | W _{I_s} |
| G20 (HR, ER) | 37.7v8 | 0.2522 | 0.0197 | 1.2076 | 22.88 | 0.5548 | 0.745 | 9.528 | 0.67 | 2.18 | 50.71 |
| G21 (HY, EY) | 45.30 | 0.2514 | 0.0185 | 1.219 | 27.84 | 0.6841 | 0.827 | 11.39 | 0.834 | 3.171 | 54.77 |
| G222 (HF, EF) | 31.87 | 0.2474 | 0.0209 | 1.476 | 21.31 | 0.4432 | 0.666 | 7.8845 | 0.654 | 1.68 | 47.85 |
| G23 (HL) | 34.95 | 0.2522 | 0.0219 | 1.1463 | 21.594 | 0.5857 | 0.765 | 8.8134 | 0.6714 | 2.0165 | 45.67 |
| G25 (LF, LR) | 32.49 | 0.2522 | 0.0241 | 1.098 | 20.436 | 0.6125 | 0.783 | 8.194 | 0.6725 | 1.8748 | 41.49 |
| G26 (LY) | 36.91 | 0.2517 | 0.0223 | 1.121 | 23.824 | 0.678 | 0.823 | 9.29 | 0.760 | 2.43 | 44.85 |
| G27 (LL) | 30.98 | 0.2522 | 0.0256 | 1.070 | 19.70 | 0.629 | 0.793 | 7.813 | 0.6372 | 1.7876 | 39.06 |
| G20 (ER) | 37.78 | 0.2522 | 0.0197 | 1.2076 | 22.88 | 0.5548 | 0.745 | 9.528 | 0.67 | 2.18 | 50.71 |
| G21 (EY) | 45.30 | 0.2514 | 0.0183 | 1.219 | 27.84 | 0.6841 | 0.827 | 11.39 | 0.834 | 3.171 | 54.77 |
| G222 (EF) | 31.87 | 0.2474 | 0.0209 | 1.476 | 21.31 | 0.4432 | 0.666 | 7.8845 | 0.654 | 1.68 | 47.85 |
| G231 (EL) | 32.11 | 0.2518 | 0.0227 | 1.116 | 23.21 | 0.6167 | 0.785 | 8.10 | 0.6727 | 1.853 | 40.90 |

注：*欧盟EN437试验气的燃气组分可见表3

表10 欧洲第2族燃气试验气的A.G.A指数值汇总表^[6]

| 组别 | 标志 | A.G.A指数 | | | |
|----|-------------|----------------|----------------|------------------|----------------|
| | | I _L | I _V | 1/I _V | I _F |
| H | G20 (HR) | 0.93 | 1.06 | 0.94 | 1.00 |
| | G21 (HY) | 0.88 | 0.81 | 1.24* | 1.03 |
| | G222 (HF) | 0.81 | 1.23 | 0.81 | 1.19 |
| | G23 (HL) | 1.05 | 1.25 | 0.80 | 1.02 |
| L | G25 (LF和LR) | 1.16** | 1.46 | 0.68 | 1.03 |
| | G26 (LY) | 1.08 | 1.16 | 0.86 | 1.04 |
| | G27 (LL) | 1.23*** | 1.60 | 0.63 | 1.04 |
| E | G20 (ER) | 0.93 | 1.06 | 0.95 | 1.00 |
| | G21 (EY) | 0.88 | 0.81 | 1.24* | 1.03 |
| | G222 (EF) | 0.81 | 1.23 | 0.81 | 1.19 |
| | G231 (EL) | 1.18 | 1.49 | 0.67 | 1.03 |

注：表中的值与文献6相比十分接近，文献6中的某些错误已改正。

*, **, ***解释见后文正文

数对一种燃气与调定气相比的互换性显示图，称为互换性限值箱（Interchangeability Limit Box）。图中纵坐标的正号表示离焰指数I_L，负号表示回火指数I_F，横坐标用黄焰端指数的倒数1/I_V表示。图中有两个箱，内箱表示3个互换性指数值均等于1。外箱顶端的水平线代表当今计划设定的离焰极限指数，图中的限值取1.1，即必须小于1.1，如大于1.1即产生离焰。底部的水平线代表负的回火极限指数，图中的限值取-1.2。右侧的垂线代表黄焰极限指数的倒数1/I_V，图中取I_V应小于0.86，即 $\frac{1}{0.86}=1.16$ ，大于1.16即产生黄焰端。与A.G.A 36号公告相比，相当于3种调定天然气允许的极限中间值，也是美国A.G.A互换性程序（Catalog NO. XH9301 1993）中采用的限值。限值箱图可作程序信息中心（PIC—Program Information Center）文档或用LOTOS PRINTGRAPH程序打印。图中离焰和黄焰端指数用X代表，回火与黄焰端指数用▽表示。符号可能落在内体箱（Inner Unitary Box）的外部和外箱

体(Outer Limits Box)的内部。如X的位置落在高限值线之上将发生离焰,▽落在底部回火限值线下就会产生回火,落在垂直线之外则产生黄焰端。表10中H、L和E组气的计算值在互换性限值箱中的位置可见图8。

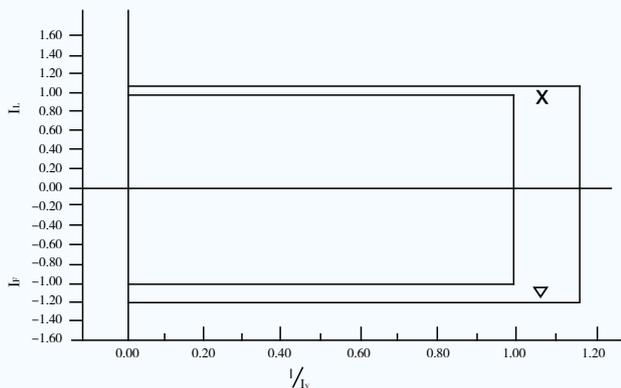


图7 互换性限值箱原理图

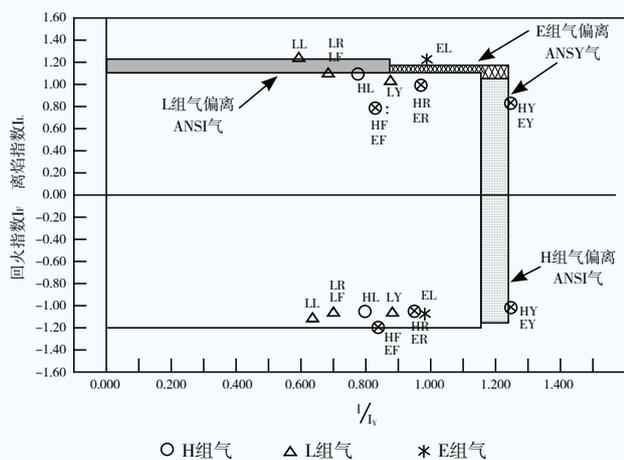


图8 H、L和E组气在互换性限值箱中的位置^[6]

(3) 结论^[6]

由表10和图8可得以下结论：

(1) 表10中1.24*为H组的G21(HY)气的数值，在图8中其位置在箱外，因 $1.24 > 1.16 (1/I_V)$ 。同样E组G21气的位置也在箱外。

表10中1.16**为L组的两种试验气G25(LF和LR)的数值，在图8中的箱外位置，虽然G25不是离焰界限气，但在此已产生离焰，因 $1.16 > 1.1$ 。

表10中1.23***为G27(LL)的数值， $1.23 > 1.1$ ，已离焰。

(2) 上述论述发表在美国的专著中^[6]，这是美

国出版物中很少见到的例子。论述中还一再提到，应注意H、L和E组燃气中的最大和最小值。如H组燃气的沃泊指数最大值为 54.76 MJ/m^3 (54.77 MJ/m^3)，最小值为 45.66 MJ/m^3 (45.67 MJ/m^3)，因而WI的范围为 $45.66 \text{ MJ/m}^3 < WI < 54.76 \text{ MJ/m}^3$ 。实际上回火界限气的沃泊指数为 47.87 MJ/m^3 (47.85 MJ/m^3)，小于 47.85 MJ/m^3 表示已发生回火。凡此种种，属于基本常识，原文也未作评论(括号内为笔者的计算值，见表9)。

上述的几点结论只是点到为止。EN437中G25既作L组的参比气，又作回火的界限气，燃具试验中如何操作须由读者自明。

7 其他研究工作的进展

7.1 调研的重点

在上述研究的基础上，美国燃气研究院也发起与燃气互换性有关项目的调研，包括《先进燃烧器系统的性能模型》等。研究内容包括：

(1) 建立燃烧器设计的细节特色和涉及到效率、传热、 CO_2 、 CO 、未燃烧(HC)、 NO_x 、积碳和痕量碎片(trace species)等燃气特性之间的关系。

(2) 对民用和商用设备的设计和运行研发一种“分类工艺的操作法(Methodology)”。用这种方法可以预测排放特性、效率和燃气应用的灵活性。

(3) 设计数据库和计算机软件的开发等。

研究工作从传统的燃气互换性方法出发，思维方法包括提供一种分析工具，据此可以用来设计单独燃烧器和燃具的结合，也可用来设计和评估多种性能特性，互换性只是其中的一项。

计算机软件可用来开发优化设计，在每个设计阶段不必先做成模型和进行试验，这是一种有意义的燃具设计艺术，也是一个长期的研究目标。

7.2 “白皮书”的发表

本世纪以来，美国采用了新的能源立法，将影响到LNG进口终端的许可证发放，立法就是帮助许可证发放的合理化。但美国联邦能源规程委员会(FERC—Federal Energy Regulatory Commission)至今并不急于弄清燃气的质量标准，而工业部门则期待2005年由美国国家天然气委员会(National Committee for Natural Gas in the United States, 简称NGC)上报的《白皮书》

导则中关于燃气的质量能列入FERC的议事日程。

天然气委员会(NGC)《白皮书》的导则重点在建立一个“互换性箱(范围)”,即任何一种燃气必须在由沃泊数和高热值两个坐标所组成的范围中。天然气委员会的文件主要是技术性的,只是提供导则中所用的参数和数值。而FERC的决定则应考虑到这个导则将如何去执行。对LNG建议的限值为:沃泊数为历史所供燃气的+4%,即高限为 $52.13\text{MJ}/\text{m}^3$,高热值的上限为 $41.33\text{MJ}/\text{m}^3$ ($15^\circ\text{C}/15^\circ\text{C}/1\text{atm}$)。

美国没有联邦或州一级的燃气质量标准,但每一管线都有自身的燃气质量规定,并非所有规定都由FERC制定。FERC只管辖到州际的长输管线,州内的管线和配气管网由各州自己规定。附带需要说明的是,环保部门,如环境保护署(EPA)等所用的规定也直接影响到燃气的质量,各部门交叉的规定常使情况进一步复杂化。

由于缺乏确定的规定,现阶段LNG的贸易公司对美国的市场进口热值高的LNG表示担心,但FERC批准的燃气质量规定反倒使某些终端已接受了这种高热值的LNG。为满足原用气对热值的规定要求,就需要对高热值LNG进行处理,否则就不能卖好价钱,一旦需要处理,增加的成本会使净收入降低。

由于缺少跨部门的规定,每一进口终端都有自己的要求,情况就十分复杂。

7.3 燃具试验^[1]

当今美国的燃具试验是选择现行的燃具,用界限气来表明其性能,有些也与LNG的进口有关,需要有联邦或州的规程来帮助,选择可接受的燃气。根据燃具试验的性质和结果也可提出对进口LNG的规程要求。内容包括:

(1) 当前生产制造的燃具,其基本性能是根据传统的燃气互换性规定准则确定的。

(2) 当今生产制造的燃具,应满足设计证书的试验条件和要求。

(3) 当今安装的燃具(包括已停产的燃具)和服务条件(现场或实验室使用)应符合不同的规定准则。燃具试验包括3个方面:

①基本性能试验

由美国能源部(DOE)的国家能源技术实验室(NETL—National Energy Technology Laboratory)制定

试验计划,完成数据库和差异分析。数据覆盖了3 205个燃具,1 391个其他类型的设备和7 200台燃气轮机。燃气互换性试验的结果包括158个燃具,由南加州燃气公司和燃气工艺研究院(GT1)负责,试验计划的文件已进入数据库,试验报告已通过公司网站上网。

②设计证书试验条件

试验由美国空调、供热和制冷研究院(AHRI)发起,并和美国燃气协会联合组织试验。在2009年的世界燃气大会上已有论文介绍。试验的目的在于获得现行生产制造的燃具在设计证书试验条件下的性能特征。试验燃气的组分为进口的高沃泊数LNG和美国国内生产的低沃泊数天然气。美国燃具的设计发证规定用国家标准研究院(ANSI)的Z21标准覆盖民用燃具和Z83标准覆盖商用燃具。但试验气通常只用1种,即试验气A,只有沃泊数的规定: $49.63\text{MJ}/\text{m}^3$ ($15^\circ\text{C}/15^\circ\text{C}/1\text{atm}$)而无组分规定。

空调研究院(AHRI)在2009年完成了以下燃具的测试:315种天然气民用炉,13种民用和商用锅炉,16种容积式热水器,3种快速式热水器,1种游泳池热水器,4种商用热水器机组,6种民用有排烟道或无排烟道的热水器,3种民用直接排烟壁炉,9种民用灶具和9种民用被服烘干机。试验调定气的沃泊数为 $50.07\text{MJ}/\text{m}^3$,高、低试验用界限气的沃泊数相应为 $52.31\text{MJ}/\text{m}^3$ 和 $48.03\text{MJ}/\text{m}^3$ 。制造厂根据自己的利益和要求,高、低界限气的沃泊数又相应延伸到 $53.24\text{MJ}/\text{m}^3$ 和 $45.79\text{MJ}/\text{m}^3$ 。

③已安装燃具的服务试验进行了5个现场试验计划项目,其中3个项目燃具试验量均在800~1 500之间;有6个试验室试验项目,每一项目有10种~24种燃具。包括采暖系统、灶具、热水器和烘干机等。试验用燃气包括进口的LNG和其他燃气,沃泊数的范围为 $42.44\text{MJ}/\text{m}^3$ ~ $53.98\text{MJ}/\text{m}^3$ 。

上述研究表明,不论民用燃具的新旧,在质量试验中均用覆盖面很大的沃泊数范围,目的是保证无论当前还是将来民用燃气燃烧设备均能安全和高效的运行。同时,试验结果也可作为确定燃气质量规定中有关燃烧性能的互换性参数的范围,这在美国和欧洲特别具有现实意义。

7.4 未来的挑战

由于LNG市场上液态烃的含量不断增加,因而

LNG的质量与互换性问题仍然继续为买卖双方所关心。多数的看法是可将世界分成若干个用气区,各区可以有不同的规定和要求,按实际对口贸易。如远东市场,需要用富气(高的热值和沃泊数)再气化使用(如日本还须用LPG增热),大西洋地区国家传统用贫气(低的热值和沃泊数)再气化使用;有一些发展中的市场,如欧盟,企图在成员国中协调燃气质量的规定,既能用富气也能用贫气。问题是分区贸易的情况能维持多久?

(1) 近期的状况

国际燃气联盟D委员会的报告《2030年天然气工业展望》中指出,LNG的质量将随不同终端的要求而变,对期货交易也难以预测。如美国、欧洲和远东国家就有不同的质量要求,到达美国和英国的LNG油轮将受到高的热值和沃泊数的限制,而远东国家,如日本则情况刚好相反。

(2) 长期的展望

从长期着眼,技术的进步可使燃气的质量不成为限制的条件,而只须考虑经济政策。这是美国、英国和欧洲部分地区积极开展燃具试验的意义,EASEE-gas现在就建议在跨境贸易中采用宽范围的质量规定。但是当今的技术还难以设计一种独立的燃烧器能使远端使用的燃具避免发生燃烧问题并满足健康、安全和环境保护要求。今后20年,一些国家的政府可能提前预测到燃气质量的变化范围,做出完全能满足周转要求的新燃具安装和储备等指令。每个国家的燃气行政部门都面临着许多两难的问题,如:怎样规定燃气的范围(如变化是否一定会发生)?如何管理在这一范围和实际质量变化范围之间发生的不一致状况?

①从出口国的在建项目看,须按一国或多国的市场需要生产不同等级的LNG和配套的基础设施。实际上许多LNG液化厂均有生产不同等级LNG的灵活性。如在出口厂或进口终端设有C3+甚至C2+的萃取设施,或从LNG精馏生产LPG等,但须作价格和成本的优化比较。但贫质的LNG在传统的富气远东市场上将遇到挑战。从长期看,一国或多国的燃气市场也在变化中(须符合世界燃气的消费量或相对比价的要求),出口国可能把不同的规定合并成一个则可以少受燃气组分要求的束缚。

②从可见的未来看,电力消费有利于排除LNG的

区域性限制和规定。跨境点上大电站对燃气组分要求的降低将帮助出口商减轻LNG质量范围变化规定的压力。

③从技术上看,微型电路芯片自调装置(Micro-chip based self-adjustment device)可提高燃烧器适应燃气质量的变化,这不仅对燃气轮机,对民用燃具也在试验中。

④从供气状况看,长期趋势是开发一种远端供应的或世界部分地区因环境和政治需要的主要气源。小的区域(海上的或陆上的)则可能使用不同组分的燃气(生物质气等)。在美国,长期的任务是改变世界对LNG组分的要求,开发一种非常规的天然气,特别是致密泥盆纪页岩气,不久有望出口,以替代有传统组分要求、进口贫质LNG的国家用气。如大西洋地区的一些国家。富质LNG也可用来掺混贫质的煤层气和贫质的页岩气。

7.5 研究的若干结论

从当前的研究成果来看,协调全球LNG的贸易质量即使到2030年也未必能做到。因为不同的消费国家受到不同的经济和技术影响,但是在特定地区作一些协调的规定则是可能和可行的。如美国、欧洲(不包括英国)和远东这样的分区。欧盟标准仅对27个成员国有效,但存在的问题还很多。

国际通用的或地区性的燃具制造标准大体在这段时间内可能出现。新型燃具的采用可以分阶段的方式实现,对不适合的燃具可拒绝安装,或指定在一定时间内强迫处理。但是只能对个别技术(如燃烧器)的灵活性做一些技术限制。新一代的燃具仍需要遵循一个质量范围,这个范围可能比LNG船到达终端的允许质量范围更窄。

由于全球燃气的贸易和气源长期的多样化,在进口终端内建设燃气质量的调节设施可能成为一个正常的规定。

由于经济的原因,地区性的规定可能集中出现在欧洲这样的地区。而美国由于地理位置的不同,内部的变化很少会受到外部的影响,可以预先调整不符合规定的LNG船到达自己的进口终端。在欧洲内部,虽然英国已公开表示到2030年可接受EASEE-gas所建议的质量范围,但一些内部质量调整仍不时会发生。

天然气仍是人类使用最安全,最清洁和能保证基

础负荷高效使用的化石燃料，对技术进步有很好的促进作用，可以应对全球用能不断增长的挑战。将继续有大量创新人才进入燃气工业，进口国应建设相应的法律框架，保证燃气（尤其LNG）的安全和竞争力。

8 评述

（1）欧洲27国建立欧盟后，为建立一个统一的欧洲燃具市场和贸易市场，在法规建设中做了大量的工作，其中均涉及到燃气质量中的互换性问题。不论有关的标准、法规如何表达，这一实质性的问题均不能回避。由于欧洲八国的燃气质量标准中对燃气互换性的问题并未得到重视（见表2），欧盟的做法是根据欧洲八国使用燃气的范围，提出了一个《燃具导则》（GAD），随后派生出一个欧盟EN437燃具类别的标准和由贸易方组织发布的《共同商务实践准则》，由于与燃气行业的有关组织研讨和协调不够，在贯彻中遇到了挑战。加上LNG的国际贸易不断增长，燃气质量中互换性的许多新概念又重新提到议事日程上来，引起了各方面的注意。国际燃气联盟（IGU）也提出了LNG与燃气互换性的课题，使研究和讨论又进入了一个新的阶段，至今已继续了十几年，认识必须跟上。

（2）值得注意的是，欧洲委员会已注意到在贯彻和研讨中所存在的问题，指令由欧洲标准化委员会（CEN）负责，在3年内（到2012年）完成一个天然气的质量标准。研究工作由欧盟15个成员国组成的集团来完成，实验室由丹麦燃气技术中心提供，重点研究燃气质量变化对各类燃具的影响。项目名称为欧盟《燃气质量》项目。计划中2011年要完成100种燃具的试验计划，并由MARGOGAZ和EASEE-gas参与管理这项研究工作。从2012年发表的材料来看，意见已趋于一致，得到了共同的结论，即必须根据各国的情况在所供燃气与利用的成本之间提出一个平衡点，研究的成果可帮助找到这个平衡点。

（3）欧洲约有2亿个各类燃具，大都是根据各国自己的要求一次调定后不再作现场调定，到目前为止，允许现场调定的仅占5%。一个国家所使用的燃具没有必要为照顾另一个国家也可使用而按另一个标准调定，并降低效率和排放标准。要考虑到一个国家的供

气历史和所使用的系统状况，这些原则在研究中均已确认。实际的统计资料表明，欧洲燃气的民用量因节能技术的进步和暖冬的现实历年一直在减少，总用气量也增加不快，不同气源均有完善的质量调节设施可用。估计欧洲将会有更详细的研究资料发表，值得注意。

（4）传统的燃气互换性预测方法大部分产生于煤、油制气时期，当时主要是针对民用燃具，特别是本生式燃烧器。使用燃气的发达国家均做过大量试验，在当时起到了很大的作用。但随着气源性质的不断变化，燃具种类的不断扩大，各种方法历经修改，已发生了很大变化。当今的文献资料表明，MARGOGAZ发表的报告已说明，上世纪70年代英国发表的达顿法已取代50年代法国的德尔布法，有兴趣的可阅读有关原文。因此在本世纪欧洲有关燃气互换性的研究中，只出现达顿法，认为达顿法中的 P_N 数最能反映今天然气的特性，值得关注。

（5）在欧洲的研究中，MARGOGAZ提出对不同天然气的相对密度应有一个从0.55~0.7的要求（见表4），此值已列入《共同商务实践准则》中，在多种文献中已有介绍，在本文介绍的欧洲15国的试验资料（图4）中亦以0.7为界限。从本刊2011年8期P12笔者一文的图6上可看出这一界限在达顿图上的位置，这一界限又把达顿图的互换范围去掉一部分，将重烃含量高的天然气排除在允许的互换范围之外。这一界限和燃气中对 O_2 含量的限制规定将不允许任何LPG和空气的混合物作为天然气的补充气使用，由此将使规程中的某些条文在应用中产生逻辑上的矛盾。

（6）本文介绍了美国的书籍中对欧盟EN437标准的认识 and 比较，这种情况在过去是很少的，从中可看到美国燃气界对这类问题的认识思路和研究进展。近几年，美国对各类燃具的适应范围做了大量的研究，涉及的范围比欧洲要大。参考文献11表明，美国Cove-Point的一个LNG终端站附近建设大型燃气轮机电厂时，关于燃气互换性的重要试验研究就是由华盛顿燃气灯公司所完成的。

（7）从当前的技术水平出发，一方面研究不同类别燃具使用较宽泛的沃泊指数范围燃气的可能性，另一方面也同时研究不同燃气的处理方法，以满足对燃具高效、低排放的使用要求，从中找到一个适合本国情况的平衡点。还有一种观点认为，20年后，技术

的进步可使燃气的质量不成为限制条件,而只需考虑经济性。当今大规模的燃具试验和跨学科技术的引入从这两个方面为此目标而积极努力。

(8) 仅从国外燃气质量中的互换性问题研究来看,不同国家均有全国性的研究部门和实验室来承担,相比之下,我国还有很大的差距。与国内的其他行业相比,也尚有许多不足之处。

参考文献

- 1 《Common Business Practice》(CBP), “Harmonization of Natural Gas Quality”. EASEE-gas CBP 2005-001/01 has been approved by EASEE-gas Executive Committee on 3 February 2005 and published on 7 February 2005
- 2 European Standard EN437 《Test gases-Test pressures-Appliance Categories》in April 1993, and in May 2003
- 3 TOWARDS A HARMONISED EU SPECIFICATION ON GAS QUALITY: MARCOGAZ CONTRIBUTION
- 4 MARCOGAZ WG “Gas Quality” 1st Position Paper on European Gas Quality Specification-February 2003 published on MARCOGAZ
- 5 Rob Klein Nagelvoort, The Netherlands: Report of study

- Group DI “LNG quality” 23rd World Gas Conference 5-9 June 2006 Amsterdam, The Netherlands
- 6 GEOP (Gas Engineering & Operating Practices) A series by the Operating Section. 《The American Gas Association》Volume V 《UTILIZATION》, Book U-1 Residential/Commercial, The American Gas Association, Arlington, Virginia 1994
- 7 《Guidebook to Gas Interchangeability and Gas Quality 2011 (with BP). IGU publications》
- 8 《A.G.A INTERCHANGEABILITY PROGRAM》Catalog NO. XH9301 Copyright ©1993 American Gas Association
- 9 Jean Schweitzer (Denmark). F. Cagnon (France) 《GAS Quality Harmonization: The European Situation》25th World Gas Conference 2012.3 Kuala Lumpur
- 10 《National Situation Regarding Gas Quality》Report prepared by MARCOGAZ working group “GAZ QUALITY” 2002.11.29
- 11 Martin Josten (Chair), Stephen Hull (Secretary) 《PROGRAMME COMMITTEE D1: LNG QUALITY & INTERCHANGEABILITY》24th World Gas Conference 2009.10. Argentina.

(全文完)

附: 本文主要符号及缩略语汇总

| 缩略语 | 中文名称或释义 | 英文 |
|------------|---------------------|--|
| GAD | 欧洲燃气用具导则 | Gas Appliance Directive (GAD 90/396/CEE) |
| EN437 | 《试验气—试验压力—燃具的类别》 | Test gases-Test pressure-Appliance Categories |
| MARCOGAZ | 欧洲燃气工业技术协会 | The Technical Association of the Gas Industry in Europe |
| EASEE-gas | 欧洲能量交易合理化协会燃气分会 | European Association for the Streamlining of Energy Exchange-gas |
| CBP | 《共同的商务实践准则》 | Common Business Practices |
| CEN | 欧洲标准化委员会 | European Committee for Standardization |
| GTE | 欧洲燃气长输公司 | Gas Transmission Europe |
| OGP | 欧洲燃气长输公司以及油、气生产国际组织 | International Organization of Oil and Gas Producers |
| DTI | 英国工贸部 | Department of Trade and Industry |
| GS (M) R | 英国《燃气安全(管理)规程》 | Gas Safety (management) Regulations |
| DGTC | 丹麦燃气技术中心 | Danish Gas Technology Center |
| GRI | 美国燃气研究院 | Gas Research Institute |
| FERC | 美国联邦能源规程委员会 | Federal Energy Regulatory Commission |
| NGC | 美国国家天然气委员会 | National Committee for Natural Gas in the United States |