

· 续上期 ·

欧美燃气质量和互换性问题的近期进展 (二)

□ 中国市政工程华北设计研究总院 (300074) 李猷嘉

4 液化天然气对用户利用的影响—近期的燃具试验

不同质量的燃气对民用燃具的影响,在世界范围内有许多机构和部门在继续进行研究。共同的目标是试验和评估高热值燃气和沃泊数的扩大范围对民用燃具的安全、运行和效率的影响,以便为修订地区性的燃气规定作准备,同时也展望供气气源可能发生的变化,如:管道气改用LNG,或作协调各种燃气的研究,类似于上述EASEE-gas为欧洲跨境供气的建议等。

4.1 英国的试验工作

2005年~2006年期间,英国工贸部(DTI—Department of Trade and Industry)主持了一个对“英国燃气质量规定的发展规划”(Future Arrangements for Great Britain's Gas Quality Specifications)的公共咨询研究。前题

是:英国从一个少量天然气进口国转变为一个净进口国时燃气质量中的问题。其中包括EASEE-gas协调欧洲质量实践准则中对沃泊数范围为 $47.0\text{MJ/m}^3 \sim 54.0\text{MJ/m}^3$ 的要求与现行英国《燃气安全(管理)规程》(GS(M)R—Gas Safety (management) Regulations)中 $47.20\text{MJ/m}^3 \sim 51.41\text{MJ/m}^3$ 进行比较的问题。

英国工贸部(DTI)委托研究部门(Advantica和BSRIA)从使用中抽取的燃具进行试验,试验燃气的沃泊数范围为 $45.0\text{MJ/m}^3 \sim 56.0\text{MJ/m}^3$,见表7。试验结果已成为公共研究中的部分内容刊登在网站上。

工贸部的燃气质量计划包括英国民用燃气设备的调查。有25种燃具样品在实验室中进行试验,可以代表67%的民用燃具,包括中央空调锅炉,采暖热水两用锅炉、普通热水器、壁炉和炊具等。试验内容包括:

表7 试验气的各项参数(H组天然气)

标准	CH ₄ %	C ₃ H ₈ %	N ₂ %	沃泊数 WI MJ/m ³	高热值 HHV MJ/m ³	低热值 LHV MJ/m ³	相对密度 Rd
A	91.5	0	8.5	45.0	34.56	31.12	0.590
B	94.5	0	5.5	47.0	35.71	32.15	0.577
C	97.5	0	2.5	49.0	36.83	33.16	0.565
D (G20)	100	0	0	50.7	37.78	34.02	0.555
E	92.6	7.4	0	53.0	41.98	37.93	0.627
F	85.9	14.1	0	55.0	45.78	41.48	0.692
G	82.6	17.5	0	56.0	47.67	43.26	0.725

(1) 不同类型的烟道(自然排气、开启式、密封房间平衡式和非平衡式烟道);

(2) 燃烧器的设计(本生式、预混式和新颖式);

(3) 燃烧器的构造(冲压凸起带状、箱形,叶片式、圆柱形不锈钢式和陶瓷板);

(4) 锅炉类型(壁挂式、落地式、家用热水炉、标准功率式和冷凝式);

(5) 安全装置(火焰监控、开启烟道阻断式敏感器、大气式敏感器)。

试验结果表明,在英国燃气安全(管理)规程(GS(M)R)的沃泊指数范围内,即 $47.2\text{MJ}/\text{m}^3 \sim 51.4\text{MJ}/\text{m}^3$ ($15^\circ\text{C}/15^\circ\text{C}/1\text{atm}$),燃具的运行结果均可被接受:点火,对所有的试验气均良好;离焰,通常不成为一个问题,虽然燃具有些不是非常稳定;积碳,在烟道中很少或未测得,但沃泊数高的试验气在壁炉中可测得;多数燃具在沃泊数增加时以NO为主的 NO_x 实际上都在增加;效率随沃泊数有少量变化;CO排放随沃泊数增加而增大,多数燃具达到不可接受的程度,包括高效冷凝锅炉。

试验表明,从英国典型的燃具看,CO的排放等级随沃泊数的增大而增加,当 $\text{WI} < 53\text{MJ}/\text{m}^3$ 时,呈中等程度增加,但可看出,CO的增加量与WI成指数关系。如果维修与安装不良,CO的排放等级对用户的安全会造成危险。

依据燃气消费的增长率和从满足未来消费需要的进口状况看,在2030年以前,英国若采取总成本不变的决策,估计约需投入4亿~5亿英镑。反之,为避免大量燃具发生危险,就必须对燃具进行重新调定或更换,以适应变化的沃泊数范围,估计需投入22亿~147亿英镑,因此英国政府决定采用总成本无变化的选择,在可见的将来保持GS(MR)原来规定的限值。

4.2 西班牙的试验工作

在西班牙的燃气管网中,某些天然气的沃泊数处于EN437标准规定的上限范围内。在2005年~2006年期间,用8种老式锅炉在Repsol技术中心(CTR—Repsol Technology Center)进行了试验,用以评估使用不完全燃烧界限气G21时运行的安全性。

8台锅炉都是1995年前生产的,使用来自西班牙管网的天然气已8年以上,2005年已被西班牙行政部

门特别创新计划制造生产的新型高效锅炉所替代,现用来做试验。

采用的试验气为:(1)G20(纯甲烷)($\text{WI}=50.7\text{MJ}/\text{m}^3$);(2)来自西班牙管网的天然气,为住宅使用的标准H组气;(3)G21(87%的 CH_4 和13%的 C_3H_8 , $\text{WI}=54.71\text{MJ}/\text{m}^3$),为不完全燃烧和积碳的界限气。

试验压力根据(EN297/95)为2 000Pa(对G20),2 500Pa(对G21)。根据满足EN297安全准则中锅炉燃烧试验的结果推论,也适用于G21。

CO的限值低于标准($< 100\text{ppm}$),说明EN437标准颁发前生产的老式锅炉也能正常使用。将燃烧器清洗后进行的燃烧试验表明,CO的排放量均有降低,表明使用G21气也是安全的。因此,(1)根据现行的试验标准,锅炉的燃烧是安全的,甚至EN437标准颁发前生产的锅炉也能达标(主要是使用预混空气燃烧器的锅炉)。(2)使用西班牙H组的天然气也是安全的,因此EN437中规定的沃泊数值毋须降低。

由图2可知,西班牙是欧洲八国中沃泊数使用范围最宽的一个。上述两例说明对EN437标准有绝然不同的看法。试验只能反映本国情况。

5 欧洲最近的研究进展

MARCOGAZ提出了进一步研究的建议^[11],实际上燃具通常已按参比气在出厂前做了调定,用高、低沃泊数做燃具试验还是近期的作法。所涉及的基本安全性能要求,特别是沃泊数的极端危险值,即界限气值得商榷,燃具通常还受到使用时间和外部条件的影响。实践已证明,EASEE-gas建议的扩大沃泊数范围已不能在所有欧洲国家的跨境点上得到履行。虽然在最初的文本中已有一些灵活的说明,但在许多方面缺少数量比例的说明,如适合《燃具导则》的燃具,其性能不一致的情况,安全操作不一致的情况,制造厂设定发生不一致的情况,不一致的维修操作和不透明的修理状况等,均缺少数量上的分析资料。此外,还有其他因燃气质量的变化而产生的安全问题,如降低了燃具的效率和增加了 NO_x 的排放量情况等,也缺少定量的分析资料。为此,MARCOGAZ建议一个试验计划,范围跨越27个欧盟国家,以获取一些数据,帮助开发一个协调的燃气质量欧洲标准。计划的工作内

容包括：市场研究；已有燃具发证的实践操作研究；安装与检测规则以及实践研究；燃具的选择和试验计划的规定（如气体的混合）；燃具试验，数量为80个~100个。

这一计划已得到欧洲委员会的同意并指令由欧洲标准化委员会（CEN）负责，在今后3年内（到2012年）完成一个天然气的质量标准，并由MARCOGAZ和EASEE-gas参与管理这项研究工作，项目的名称为欧盟〈燃气质量〉项目CEN（GASQUAL project）。

鉴于MARCOGAZ和EASEE-gas建议的沃泊数范围受到燃气工业界一些参与人员的挑战，如所指出，新燃具可用EN437标准的范围，但建议并未考虑到燃具受时间变迁的老化和现场的调定情况，此外，没有一个国家的配气能包括整个的欧洲燃气种类，而只是其中的一小部分，没有足够的经验可以有效的支持这一全欧的范围，进一步的研究是必须进行的。

于是，欧洲委员会要求欧洲标准化组织负责评估燃气质量变化对燃具性能的影响，根据评估再形成燃气的质量标准。EASEE-gas的CBP《实践准则》和成本效益分析，则由欧洲委员会委托别的部门咨询。

2007年3月，欧洲标准化组织接受这一指令形成一个代号为BT 197工作组，研究燃气质量变化对燃具的影响。实际的研究工作，则由欧盟的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（Danish Gas Technology Center）所领导，研究工作从2009年1月开始。

5.1 燃气质量的研究项目

研究工作由6个工作组构成，见图3。

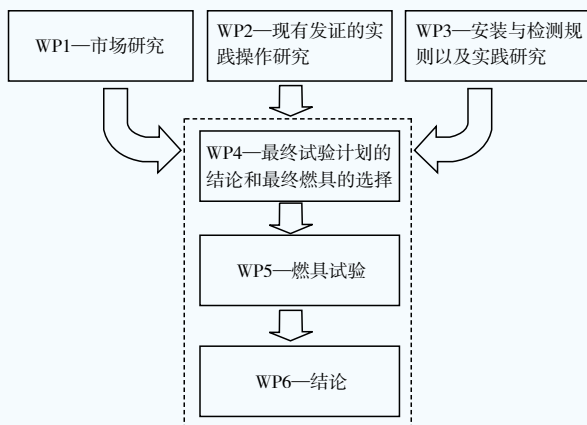


图3 BT197工作组燃气质量变化影响研究的分工

前3个工作组致力于调查符合《燃具导则》的大量已有燃具状况，弄清由于标记的操作或燃具寿命所形成分歧的潜在原因，根据工作组已完成的试验计划和试样燃具的选定，计划中在2011年要完成100种燃具的试验计划。

5.2 试验计划

虽然多数燃具，如灶具、热水器和大气式燃烧器锅炉在安装时毋须对工厂的设定再进行调定，但高性能的冷凝锅炉通常均装有全预混的鼓风式燃烧器，需要调定到实际配气状况所要求的空气/燃气比，已不是最初用G20（纯甲烷）调定的情况。这样的调定应按制造厂的要求进行，以保证燃具达到NO_x排放量和效率的最佳状态。但这一调定也说明燃具的安全工作范围可能已偏离设定点，即燃具已不能保证在标记指出的整个范围内使用的安全。

于是，所编制的试验计划可用来校核燃气质量变化对安全运行、NO_x排放和燃具效率的影响。试验计划是用一定数量的试验气，围绕图4所示的范围进行。

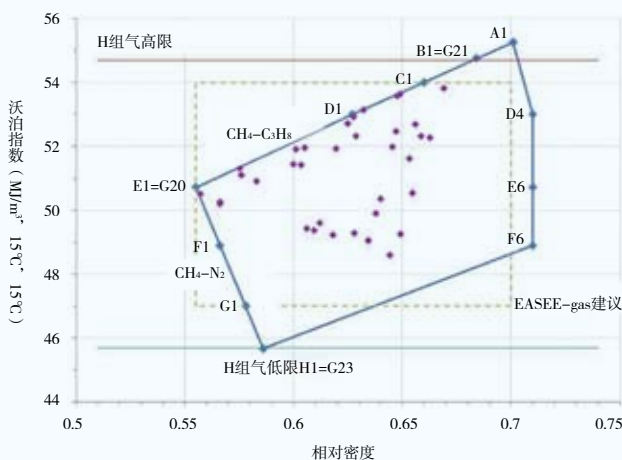


图4 BT197工作组燃气质量研究中所用的试验气^[9]

（沃泊指数—相对密度图，即WI—Rd图）

图中E1气，即纯甲烷气，也是EN437标准中对H组天然气做燃具标记用的参比气G20。燃具试验从A1气开始，这是一种高于H组试验气极限值的燃气，用于说明试验气的不确定性。沃泊数最小的燃气H1（即G23）相当于H组天然气范围的极限最低值。D4，E6，F6 3种气用来评估燃具使用高相对密度燃气时的敏感性。研究工作的目的是监控在E1点和使

用极端范围燃气时燃具的运行特性和检验燃具用一种极端的试验气时,燃具是否有失误或安全度有降级的情况。完成一种试验气后,再用下一种试验气做同样的试验。最后再回到E1点(例如试验路线从A1→B1(即G21)→C1→D1再到E1;从H1(即G23)→G1→F1→E1(G20))。这一试验图是WP1,WP2和WP3这3个工作组从100个民用燃具的试样中选取不同型号和技术特征的29种燃具为代表。进一步,再考虑到某些燃具在安装时又根据当时、当地实际供应的燃气进行调定后的情况,如按B1,G1气调定后燃具的空气/燃气比已发生了变化。这些试验气代表了一个范围,图中沃泊数的最高点和最低点代表欧洲管网中可能出现的配气状况。燃具调定后再重复做试验。图中的虚线表示EASEE-gas建议的范围,两条H组气的限值线代表EN437标准的极端值范围。

对商用燃具未做试验,其试验结果是根据同类民用燃具试验结果外推而得。

图中E1—A1和E1—H1分别代表甲烷/丙烷和甲烷/氮两种气体混合物的界限线,是参照了达顿的互换性方法,十分准确的限定了天然气的可用范围。试验观察中的实际燃气,在WI—Rd图上蓝色框范围的左边,表示燃气中已注有H₂气,虽然将来可能出现这种情况,但本研究未涉及。

BT197工作组的“燃气质量”方法与EN437标准有些不同。制定EN437标准时对燃气中所含CO的绝对值十分重视,而“燃气质量”法则很少关注燃气中CO的变化和燃气质量中的其他特性。为使发生影响的图像更清晰,现在的试验中用中间状态的燃气与EN437中的界限气作比较,如使用了A1,B1和C1等气。按照EN437的本意,界限气是用来模拟非常规的状态,该处的高、低沃泊数在某一时间段内是处于“擦网”的状态,而“燃气质量”完成的试验,其本意是该边界的燃气足可供配气使用的。

5.3 燃具的调定

运行中燃具的调定是产生影响的一个重要参数。方法是根据燃烧产物中测得的CO₂或O₂,调定到制造厂所给定的CO₂或O₂值,则表示调定工作完成。值得注意的是:

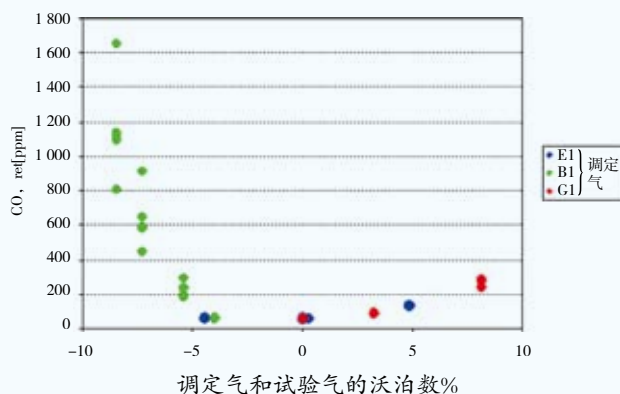
(1) 燃具根据G20调定后,应能在沃泊数的全范围内工作(46MJ/m³~55MJ/m³,15℃/15℃/1atm),

不发生CO的增加值或其他安全运行中的问题。但“燃气质量”试验中未提出长期的效果报告。

(2) 燃具如按沃泊数的最大值或最小值(46 MJ/m³~55MJ/m³)调定就会发生问题。按最低值调定的燃具不适用于最高值,反之亦然。

“燃气质量”试验中的调定是模拟极端的状况,而在实际运行中,只能根据具体国家当时的配气状况调定以达到最佳工况为准则,允许的配气沃泊数范围必然比调研中所要求的范围窄很多。对一个国家而言,现实的概念必然是按实际的配气状况作为调定政策。简言之,同一个燃具在不同的地点,如调定时供气状况不同就有不同的结果。

图5为3种调定气的试验结果。



O表示调节气,±5%、±10%表示实验气的偏移量

图5 3种不同调定气的试验结果⁽⁹⁾

图5是对一种全预混式冷凝锅炉,试验时用3种调定气E1,B1和G1调定,当试验气与调定气的沃泊数发生变化后(从-10%~+10%),CO排放量(以ppm计)发生的变化。

试验的结果或绘制的曲线可用来预测某个国家的燃具按已知供应的燃气调定后,在使用不同远景沃泊数的燃气时CO的排放特性,此外,也可用来指导对未来燃气的调定(与原燃具有关时),使其性能得到优化,以应对燃气质量发生较大的变化。

5.4 不同燃具的试验结果

(1) 对第1类的小锅炉,不能应对沃泊数的低范围。因为这类燃具通常已按非常高或非常低的沃泊数调定了。研究结果表明,对这类燃具必须按G20气再做调定。

(2) 其他类型的小锅炉可基本适应 $46\text{MJ}/\text{m}^3 \sim 55\text{MJ}/\text{m}^3$ ($15^\circ\text{C}/15^\circ\text{C}/1\text{atm}$) 的范围。具体说: 对类别7的燃具可中等适应 $53\text{MJ}/\text{m}^3 \sim 54\text{MJ}/\text{m}^3$; 对类别11的燃具, 实际使用中对 $53\text{MJ}/\text{m}^3 \sim 54\text{MJ}/\text{m}^3$ 的范围有某些不确定性; 对机械送风的燃烧器(类别3)在某些国家, 因沃泊数的变化有中等程度的影响, 对8类~12类的燃具情况也相同。

(3) 炊事燃具在 $46\text{MJ}/\text{m}^3 \sim 56\text{MJ}/\text{m}^3$ 的范围内不致发生重大影响; 但6类燃具在沃泊数大于 $53\text{MJ}/\text{m}^3$ 时敏感性增大, 有中等程度的影响。

(4) 壁炉, 可完全应对沃泊数在 $46\text{MJ}/\text{m}^3 \sim 55\text{MJ}/\text{m}^3$ 的变化; 但15类除外(存在CO的问题), 在运行中要降低沃泊数($46\text{MJ}/\text{m}^3 \sim 53\text{MJ}/\text{m}^3$), 否则有中等程度影响。

(5) 热水器, 沃泊数大于 $52\text{MJ}/\text{m}^3$ 时, 燃气质量有中等到强烈的影响(高于 $53\text{MJ}/\text{m}^3$ 影响强烈), 影响主要来自高沃泊数和高压力的综合效应(如无燃具调压器)。

5.5 对市场的定量影响

欧洲约有2亿个燃具。由于不同国家燃气工业发展的历史和市场状况不同, 所受沃泊数变化范围的影响也不同。一般情况沃泊数小于 $52.7\text{MJ}/\text{m}^3$ 时无影响, $52.7\text{MJ}/\text{m}^3 \sim 53.7\text{MJ}/\text{m}^3$ 有中等影响, 大于 $53.7\text{MJ}/\text{m}^3$ 有较大影响。

5.6 效率与 NO_x 的减排效果

若以欧洲的平均沃泊数为调节基础, 理论上沃泊数若平均增加 $1\text{MJ}/\text{m}^3$, 可得效果为: 直接节能约 $900 \times 10^6\text{kWh}$ (约相当9 000万 m^3 天然气); NO_x 的排放量将增加 $20 \times 10^6\text{kg}$ (约相当2万t NO_x)。

5.7 “燃气质量”研究所受的限制

调研工作虽是欧盟层面上最大的一次, 但未能对全部燃具的样品做试验, 短期内要做到也有困难。欧洲市场涉及的方面很广, 尚有许多问题未考虑到, 如:

(1) 在《燃具导则》发布前已安装好的旧燃具未列入试验。导则未包括的工业和其他燃具也未列入。非民用的燃具虽列入计划, 但未落实(仅根据技术相同的民用燃具用外推法说明)

(2) 虽然试验了许多新型燃具, 安装的这类燃具被认为性能良好, 安装与保养完善, 但维修操作的情况和遵循的规定各国大不相同。

(3) 新技术, 如热泵和微型热电联产等, 由于当前市场的份额较小也未试验。

(4) 加 H_2 后的燃气情况也未作试验。

5.8 工作组的结论

由于给“燃气质量”研究组的指令是限于符合《燃具导则》(GAD), 且安装与保养良好的燃具, 就此做出结论不可能全面(实际只涉及两亿燃具中的极少部分)。在此环境下以及项目限制本身所带来的不确定性, 研究虽表明多数燃具能适应在H组范围内燃气的变化, 但也有某些燃具未能适应全部的沃泊数范围, 有些甚至不适应。如: 已调定的燃具, 特别是1类的燃具(小型锅炉), 有一些类别的燃具对高沃泊数范围敏感。

共同的结论有:

(1) 一些类别的燃具研究表明, 可通过技术改进以减少燃气质量变化所带来的影响(燃具调压器, 禁止调定等)。

(2) 研究完成了一个欧盟国家的总体图和一个国家的单独结论图(尚未见发表)。以便利用这些影响图, 在必要时制定地区性的沃泊数范围, 即各国不必统一。

(3) 燃气质量的规定, 必须保证燃气系统使用时的安全和运行时的高效。在欧洲, 有许多国家层面的规定和国家燃气工业传统的做法, 在规中反映出他们的供气历史和所用系统的状况。

(4) 燃气系统正在使用越来越多的类似技术和材料, 表明这是安全运行的一个基本要求, 在欧盟范围内也是类似的。这些共同点反映在各种协议中, 已经在EASEE-gas的《共同商务实践准则》中被采用(如表4中多项2006年履行的项目)。已有的燃具, 由于其数量和差别很大, 有更多的困难须要克服, 须仔细研究, 不能草率从事。

(5) 充分利用沃泊数变化范围很大的燃气是为了降低供气成本(减少改质或掺混等支出), 但也增加了燃具对燃气质量的限制, 燃具的更新、改造和配气系统的变化需要增加成本。换言之, 一个严密的规定意味着要在降低供气成本(或减少供气量)或增加成本之间找出一个平衡点。即扩大供气的沃泊数范围可减少改制费, 降低了供气成本, 利于增加供气量, 但增加了燃气的利用成本, 两者之间有一个平衡点。

欧盟“燃气质量”项目研究所提供的结论对决策有所帮助。项目的研究成果可以澄清许多问题，所提供的图表有利于找到这个平衡点。

(未完待续，见下期)

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

企业管理消息

秦皇岛市燃气总公司大力实施惠民工程 并联合举办秦皇岛市消防宣传周

秦皇岛市燃气总公司自2014年以来针对老旧小区居民对使用天然气的迫切需求，加大力度实施老旧小区燃气管道入户安装工程。截至到10月底，相继为海港区迎秋西里、红卫里、玉峰南里、美岭小区等15个老旧小区，近5 000户居民通上安全、方便、洁净的天然气，让居民享受到了天然气带来的新生活。同时，大力推进北戴河区第四期惠民工程建设，涉及避暑园、康乐路、鹰角路、友谊家园、育花路二区、北岭一区等2 000余户居民，全部安装工程计划2014年底前达到通气条件。

2014年11月7日上午，公司还与市公安消防支

队联合举办以“找火灾隐患，保家庭平安”为主题的2014年秦皇岛市消防宣传周大型消防宣传活动。活动中公司先后开展了燃气抢修、抢险器材展示、题版翻翻翻、燃气知识讲解等活动，现场观众踊跃参加。燃气公司职工还对燃气检测方法以及如何辨别老化的胶管、如何正确安装燃气报警器及燃气泄漏后的应急处置等向市民进行了演示教学，现场观众也亲自动手操作。以这种活泼、轻松的方式，宣传燃气安全知识，受到了市民们的普遍欢迎。

(程灵 赵楠)