

多气源天然气的互换性问题

秦朝葵 吴之颢

同济大学机械学院

秦朝葵等.多气源天然气的互换性问题.天然气工业,2009,29(12):90-93.

摘要 随着天然气越来越多地应用于城市燃气系统,许多城市都将出现多种气源并存的格局。为此,介绍了多气源天然气互换性问题的由来及其可能产生的影响、常见的互换性判定方法和技术路线;追溯了 LNG 热值较高的历史原因;总结了国外天然气互换性问题的具体解决办法;分析了我国多气源天然气互换性研究的现状。最后提出了借鉴国外经验合理解决我国目前多气源天然气互换性问题的对策:加快确立相关行业标准,因地制宜地设定“适应多气源燃具的天然气设计基准参数”,并据此合理引进气源,合理划分区域,按用户分类供气;同时应对燃具制造商提出“适应多气源燃具的设计要求”,对未来入市的燃具提出明确要求。据此对现有天然气利用设备进行改造或调整,以顺利解决天然气互换性问题。

关键词 多气源 天然气 组分 互换性 对策 中国

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.12.028

我国的天然气资源主要分布在西部,埋藏深、勘探开发难度大、成本高,天然气输运管线长、跨度大,且许多城市都采用多气源供应的方式。以上海为例,已有“西气东输”天然气、川气、东海气以及近岸到岸的 LNG 等多种气源。随着多气源格局的形成,尤其是进口 LNG 与管输天然气由于生产工艺、输运方式的不同,燃烧性质存在较大差异。天然气互换性将成为越来越多的城市必须面对的问题。

1 互换性问题的由来及其可能的影响

1.1 天然气互换性问题的由来

管输气在天然气贸易中一直占较高份额,高压输送要求必须脱除易凝析的组分,因此管输气的热值较低。LNG 贸易之初,一些国家在 LNG 接收站建立了加工厂,提取乙烷、丙烷、丁烷以及更高的烷烃(如戊烷、正己烷等)作为单独产品出售,同时保证外输天然气的组分与管输气相当,形成了天然气凝析液(Natural Gas Liquid, NGL)工业。其后随着 LNG 价格攀升,凝析液提取的经济性降低,外输天然气中开始保留比管输气更多的高热值成分,其热值介于 $41.36 \sim 43.6 \text{ MJ/m}^3$ 之间。另外由于液化工艺的要求,LNG 中氮气极少,几乎不含二氧化碳,而

这些组分在管输气中是常见的。

管输气与 LNG 在热值和组分方面的不同,导致了天然气互换性问题。

1.2 天然气互换性问题可能产生的影响

美国燃气技术院(Gas Technology Institute, GTI)对高热值(43.22 MJ/m^3)LNG 和低热值(38 MJ/m^3)LNG 进行了大量实验,初步确定天然气互换性问题可能会产生以下影响^[1]:

1)点火性能的改变,可能导致不完全燃烧,火焰拉长、出现黄焰、烟气中 CO 排放量升高,或会导致排放超标,并可能产生回火现象。

2)火焰温度的升高导致废气中 NO_x 含量升高。

3)对燃气质量要求高的燃烧装置如燃气轮机等,会导致其效率降低、排放恶化,降低设备可靠性,并缩短零部件寿命。

4)干扰工艺流程的控制,影响流量计的精度。

天然气互换性问题涉及民用、工业和商用。工业燃烧器,尤其是低污染的新型燃烧器,对气源波动的耐受度更差,但工业燃烧器的数量较民用和商用要少得多,且多为专线供气、专人维护,互换性问题的解决相对简单。而民用、商用燃烧器虽然对气源要求较低,对气源波动有一定的适应能力,但量大面

作者简介 秦朝葵,1968年生,教授,博士;主要从事燃气燃烧与输配领域的科研与教学工作。地址:(201804)上海市曹安公路4800号同济大学机械学院。电话:(021)69583802,13601664501。E-mail:chkqi@tongji.edu.cn

广,决定了工作人员不能深入到每家每户现场解决问题。因此,天然气互换性问题的研究重点应以民用和商用燃烧装置为主。

2 互换性问题理论计算方法及其比较

天然气互换性问题始于 20 世纪,至今已形成一套比较成熟的互换性理论计算方法,大致可分为互换指数判定法和图形判定法,指数判定法又可分为单指数法和多指数法。指数判定法和图形判定法均由大量实验的经验数据发展而来。

2.1 单指数(华白数 Wobbe index)法

天然气互换时如果华白数不变,则热负荷和一次空气系数就基本稳定。当天然气组分和性质变化不大时,华白数是最简便也是最早的一个互换性判据。各国一般规定在两种天然气互换时华白数的变化不大于 $\pm 10\%$ ^[2]。

在天然气互换性问题早期,由于置换气和基准气相差不大,燃烧特性较接近,用华白数即可控制天然气互换性。但随着气源种类的增多,仅靠华白数不足以判断能否互换,此时,还必须引入“火焰特性”概念,可定义为发生离焰、黄焰、回火和不完全燃烧的倾向性,与燃气的化学、物理性质直接相关。但到目前为止还无法用一个单一的指标来表示,故由此

发展出多指数法。

2.2 多指数法

多指数法可追溯到 19 世纪 40 年代末,如美国 AGA(American Gas Association, AGA)指数法和韦弗指数法(Weaver indice)等。这类方法涉及大量实验获取的经验公式,可靠性与燃烧器种类和燃气的类型密切相关。AGA 最早于 1946 年颁布了 AGA 指数法,美国燃气研究院(Gas Research Institute, GRI)于 1982 年进行了修订。该方法是作为天然气和非天然气燃气互换的可靠判据,具有相当的代表性和普适性,但在新兴气源(如 LNG)与天然气的互换性问题上,AGA 法的有效性还有待评估。

各种指数算法见表 1 所示。

2.3 各种判别法的比较

各种判别法的比较结果见表 2。

多指数法配合华白数使用的效果最好,但多指数法需对每种用气设备进行计算和试验,工作量很大。为此,在解决 LNG 与管输气的互换性问题时,NGC+(由美国国家天然气委员会牵头,联合 LNG、管道、城市燃气、发电、化工、燃气设备生产、天然气处理等行业的近百家企业以及部分政府和科研机构组成的工作组)采用了一个较为实用的“工作区间”概念,如图 1 所示,其目的是找到一个主要参数并确

表 1 燃气互换指数计算方法表

指数判定法		计算公式	说明
单值指数法	华白数法	$W = \frac{H}{\sqrt{s}}$	H 为高热值; s 为相对密度
	AGA 指数法	离焰互换指数: $I_L = \frac{K_a}{\frac{f_a \alpha_a}{f_s \alpha_s} (K_s - \lg \frac{f_a}{f_s})}$ 回火互换指数: $I_F = \frac{K_s f_s}{K_a F_a} \sqrt{\frac{H_s}{39\ 940}}$ 黄焰互换指数: $I_Y = \frac{f_s \alpha_a \alpha'_{ya}}{f_a \alpha_s \alpha'_{ys}}$	离焰极限常数: $K = \frac{E_1 r_1 + E_2 r_2 + \dots}{S_{mix}}$ 一次空气因数: $f = \frac{\sqrt{s}}{H_s}$ $\alpha'_y = \frac{T_1 r_1 + T_2 r_2 + \dots}{V_0 + 7 r_m - 26.3 r_{o_2}}$ 式中: F 为离焰常数; T 为消除黄焰需要的最小空气量; a 为完全燃烧放出 105 kJ 热量所需要的理论空气量
多值指数法	韦弗指数法	热负荷因数: $J_H = \frac{W_s}{W_a}$ 引射因数: $J_A = \frac{V_{0s}}{V_{0a}} \sqrt{\frac{s_a}{s_s}}$ 回火指数: $J_F = \frac{S_s}{S_a} - 1.4 J_A + 0.4$ 脱火指数: $J_L = J_A \frac{S_s(1 - O_{2s})}{S_a(1 - O_{2a})}$ CO 生成指数: $J_i = J_A - 0.366 \frac{R_s}{R_a} - 0.634$ 黄焰指数: $J_Y = J_A + \frac{N_s - N_a}{110} - 1$	$S = \frac{\sum r_i B_i}{V_0 + 5(r_m) - 18.8(O_2) + 1}$ 式中: R 为燃气中氢原子数与碳氢化合物中碳原子数的比值; N 为燃气的 100 个烃分子中,烃类分子总数减去饱和烃分子数; O_2 为燃气中氧气的百分比; r_m 为燃气中惰性气体的百分比; W 为燃气的华白数; V_0 为燃气的理论空气量。 以上公式中,下脚标 a 表示基准气, s 代表置换气,mix 代表混合气体

表 2 燃气互换常用方法比较表

方 法		互换条件	特 点
指 数 判 定 法	华白指数法	华白数变化不大于 $\pm 10\%$	简便,但适应范围较窄
	AGA 指数法	脱火指数 $L \leq 1.0$; 回火指数 $I_F < 1.18$; 黄焰指数 $I_Y \geq 1.0$	适用较广,但计算量大
	韦弗指数法	$0.95 < \text{热负荷因数 } J_H < 1.05$ $0.95 < \text{引射因数 } J_A < 1.05$ 回火指数 $I_F < 0.08$ 脱火指数 $I_L > 0.64$ CO 生成指数 $J_C < 0$ 黄焰指数 $J_Y < 0.14$	适用燃气压力波动范围在 $(0.5 \sim 1.5) \times 1.25 \text{ kPa}$ 内,计算量大
图 形 判 定 法	德尔布法	等离焰线、等回火线、等 CO 线以及两条华白数允许变化曲线所限定的范围内为可互换区域	适用较广、较抽象、实验数据多、是其他图形判定法的基础
	燃烧特性判定法	置换后燃具的新工作点应落在置换后新的特性曲线范围之内	较形象,试验工作量大

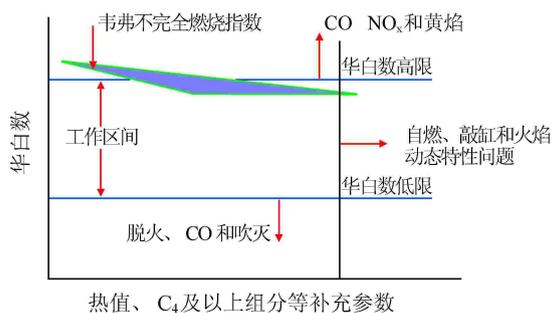


图 1 NGG+所提出的“工作范围”要领图

定该参数在最低和最高限时对最终使用效果的影响。华白数是最合理的选择,其上限用于预测黄焰、不完全燃烧、 NO_x 和 CO 排放等燃烧问题,下限用于预测脱火、吹熄和 CO 排放等问题。

3 各国天然气互换性问题的解决方法

3.1 美国

美国天然气的应用历史最长、使用量最大、遇到的问题也最多,关于互换性的研究最早。针对 LNG 和管输气的互换性问题,美国于 2005 年颁布了《天然气可互换性及非燃烧类应用白皮书》,提出了一系列解决方案,主要有以下 3 种措施^[1]:

3.1.1 在天然气出产地进行调节

脱除天然气中的杂质和腐蚀性成分,以及甲烷外的某些重烃(如戊烷、正己烷等)。早期 LNG 在生产地均进行了上述凝析处理,以防止在液化工艺过程中发生冰堵。但近年来天然气价格攀升,出于经济性考虑 LNG 中保留了一定的高热值成分,导致整体热值升高。

3.1.2 在天然气进入输配管网前进行调节

在 LNG 气化进入城市输配管网之前,主要是在接收站进行再处理。

1)凝析处理法:在 LNG 接收站,采用凝析分离工艺对 LNG 进行处理,减小其中 NGL 的成分。

2)掺混气体法:在 LNG 接收站进行处理的另一种方法是掺入氮气、空气、烟气等气体,以降低其华白数,同时调整互换参数的数值。

3)不同气源掺混法:在接收站还可将两种不同来源的 LNG 进行掺混,或者将 LNG 与各种管输气源掺混。通过控制两种气源的不同比例以满足一定的外输气质量要求。

综上,在 LNG 接收站处进行惰性气体掺混是研究和实施最多的控制 LNG 可互换性的方法;在特定条件下也可采用 NGL 分离。

3.1.3 在用户使用端进行调节

1)对气源进行调节:美国洛矶山脉地区的燃气公司采用在城市门站处掺混空气的方法,来解决该地区的燃气互换性问题。在掺混空气后华白数从 49.54 MJ/m^3 降低到 44.70 MJ/m^3 。

2)对用户设备的调节:即对燃具进行调查和检测,必要时根据气源的变化对燃具进行调节。该方法需对大量的燃具进行调查监测,同时需专业的人员对其进行调节。而大中型工业燃烧设备因数量少、对燃气质量要求高,可采用该方法;但对于量大面广的民用、商用燃具,此方法不具备可行性。

3.2 欧洲

欧洲国家众多且各有自己的标准,差异很大。欧洲的燃气互换性问题始于 19 世纪 60 年代,当时

的燃气互换性解决方法大多采用控制燃气质量,即规定一个质量标准范围,此范围内的燃气方可分配给现有燃具使用,以保护终端用户的安全。进入21世纪后,天然气的发展要求跨境联网互通,2002年3月14日,6个欧盟基本成员国在巴黎成立了欧洲能源(燃气)交易协会(EASEE-gas),受美国燃气工业标准委员会成功经验的启示,采用美国的互换问题模型解决本土问题。

法国政府1997年9月16日发布政府令,准许在法国两种不同类型的输配管网中,输送H型天然气和B型天然气(H、B型管网内的天然气热值范围分别是 $38.52\sim 40.08\text{ MJ/m}^3$ 和 $34.2\sim 37.8\text{ MJ/m}^3$),以此解决气源不匹配而带来的互换性问题。

荷兰天然气存储设施容量大,通过将不同热值的天然气混配,调制成符合用户需求的混合气体来解决燃气互换性问题。

德国两套管网标准热值为 $36.18\sim 36.03\text{ MJ/m}^3$ 和 $40.08\sim 39.97\text{ MJ/m}^3$ 。

英国因拥有大量陈旧的民用设备,在天然气规格标准化的问题上采取了等待和观望的态度,目前推荐天然气热值为 39.8 MJ/m^3 ,并以 kWh/m^3 为计价标准。

3.3 亚洲

亚洲天然气工业起步较晚,但发达国家如日本则较早开始进口LNG。日本国内采用的天然气质量标准是天然气的高热值需达到或者超过 44 MJ/m^3 ,所以在LNG中添加富含丙烷、丁烷的气体增热(常用液化石油气)。

4 我国天然气互换性研究的现状

从20世纪60年代起,我国对国外天然气互换性的研究进展已开始关注并有所介绍。1976年,第13届世界燃气大会出现了利用华白数和燃烧势(德尔布法)这2个参数对燃气进行分类的报告,我国于20世纪90年代也参照这个方法颁布了GB/T 13611《城市燃气分类》^[3]。2006年我国颁布了《城镇燃气分类和基本特性》,对GB/T 13611气种分类等进行了部分改动,但使用华白数和燃烧势进行分类的基本原则没有发生变化。

我国现行的天然气互换性理论计算方法基本上采用AGA指数法、韦弗指数法和德尔布法。但国外制定此类标准均针对本国燃具情况,而我国的燃气使用习惯、燃具设计、气源成分等均不同于国外。以AGA指数法为例,目前采用的天然气互换极限值仍然是美国以前颁布的标准,但我国典型管输气的热值要高于美国,所以在基准气上的定义会有所不同,且离焰、黄焰、回火的允许极限并非一成不变,尤其是当初工况改变时,互换指数的允许极限值必然随之变化。因此国外方法是否适用于我国,尚需科研工作来验证。

5 结论

在我国大规模引进LNG后,也会面临着全国性的天然气“可互换性”问题。但不同地区所面临的形势又会有所不同;广东和福建等地当前采用LNG单一气源,因而主要问题是燃气设备如何适应LNG气源特性的问题;北京、江苏等地今后将采用LNG和管网气双气源,情况要复杂得多^[4]。为了解决由此带来的天然气互换性问题,需加快确立相关行业标准,因地制宜的设定“适应多气源燃具的天然气设计基准参数”,据此合理引进气源,合理划分区域,按用户分类供气;同时应对燃具制造商提出“适应多气源燃具的设计要求”,对未来入市的燃具提出明确要求,据此对现有天然气利用设备进行改造或调整,以顺利实现天然气互换。

参 考 文 献

- [1] White Paper on natural gas interchangeability and non-combustion end use [R]. [S.I.]:NGC+ Interchangeability Work Group,2005.
- [2] 姜正侯.燃气燃烧理论与实践[M].北京:中国建筑工业出版社,1985.
- [3] 李猷嘉.正确处理天然气质量中的燃气互换性问题[J].城市燃气,2008(3):6-10.
- [4] 孙秀丽,秦朝葵,郭甲生.浅谈天然气互换性的对策研究[J].上海煤气,2008(4):20-23.

(收稿日期 2009-04-26 编辑 何明)