

沼气提纯生物天然气的气质标准探讨

常旭宁, 吴媛媛

(北京市燃气集团研究院, 北京 100011)

摘要:“十三五”以来,政府提出大力发展生物天然气,并出台了相关促进政策。然而我国国内尚未有统一的生物天然气气质标准,对生物天然气进入城镇燃气管网造成了一定的障碍。文章通过对比国家标准对各类天然气气质的要求,结合生物天然气组分复杂及提纯成本等因素,并参考各大型天然气利用城市对气质的指标要求,给出并入天然气管道和车用的生物天然气的推荐指标意见,以促进相关标准的尽快出台,引导行业的有序发展。

关键词: 生物天然气; 华白数; 燃烧特性; 气质

中图分类号: S216.4; TE09 **文献标志码:** B **文章编号:** 1000-1166(2019)05-0073-05

Discussion on Bio-methane Quality Standard / CHANG Xu-ning, WU Yuan-yuan / (Beijing gas group research institute, Beijing 100011, China)

Abstract: Since the 13th five-year plan, the government has proposed to vigorously develop bio-methane and introduced relevant promotion policies. However, there is no uniform standard for the quality of bio-methane in China, which makes it difficult to entering the nature gas network. By comparing the requirements of national standards for various types of natural gas, considering the complexity of bio-methane components and the cost of purification, and referring to the requirements for gas quality in major natural gas utilizing cities, the recommended indicators for incorporating bio-methane into natural gas pipelines and vehicle gas were given in this paper, so that to facilitate the release of relevant standards as soon as possible and bring the orderly development of bio-methane utilization.

Key words: biomethane; wobbe index; combustion characteristics; gas quality

生物天然气是指以畜禽粪便、农作物秸秆、城镇生活垃圾、工业有机废弃物等为原料,经厌氧发酵产生沼气,进一步提纯净化后得到的与常规天然气成分、热值等基本一致的绿色低碳清洁环保可再生燃气^[1]。进入“十三五”以来,国家密集出台了多项规划政策,提出大力发展生物天然气。国家能源局在2019年年初重新修订发布了《关于促进生物天然气产业化发展指导意见》,与2016年发布的同名文件相比,发展目标更为务实,提出生物天然气消费发展目标为2020年20亿方,2025年150亿方,2030年超过300亿方^[1]。

国务院关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用意见中,在提出发展规模化天然气工程的同时,还提出符合城市燃气管网技术标准的,燃气企业应接入收入网^[2]。各地方政府也制定了有针对性的地方政策。然而,目前我国对生物天然气尚未出台统一

的国家标准,对于气质的要求多为供需双方协商,不能适应行业高速发展的需要。为此,本文对比分析了国外一些国家的生物天然气不同利用方式的气质标准,及国内部分城市燃气的气质要求,得出两类入管网和车用生物天然气的建议气质指标。

1 生物天然气入管网发热量和甲烷浓度的气质分析

目前,国内还没有针对生物天然气提纯利用制定相关标准,美国、瑞士、德国先后出台了相应的标准。联合国欧洲经济委员会也涉及相关标准。相对成熟完善的是欧洲标准委员会制定的标准^[3],如表1所示。从表中可以看出,就甲烷浓度一项,荷兰和比利时要求大于85%,法国要求大于86%,就可以进入管网。但是,瑞典要求甲烷浓度达到97%才可以进入管网。

收稿日期: 2018-11-09 修回日期: 2019-05-13

作者简介: 常旭宁(1971-),男,河南镇平人,高级工程师,主要从事生物质能源的利用技术研究等工作, E-mail: 13910148304@139.com

表 1 欧洲标准委员会对生物天然气并入管网技术要求

(vol%)

组分	奥地利	法国	比利时	捷克	德国	荷兰	瑞典	瑞士
CH ₄	≥96	≥86	≥85	≥95	—	≥85	≥97	≥96
CO ₂	≤3	≤2.5	≤2.5	≤5	≤6(干)	≤6	≤3	≤6
O ₂	≤0.5	H < 0.75L < 3	—	≤0.5	≤0.5(湿) ≤3(干)	≤0.5	≤1	≤0.5
H ₂	≤4	≤6	≤0.1	—	≤5	≤12	≤0.5	≤4
CO	—	≤2	≤0.2	—	—	≤1	—	—

沼气在作为生物天然气使用时,需要经过提纯净化提高甲烷含量,达到天然气的气质标准。国家标准《天然气》GB17820-2012 中将天然气气质分为一类气和二类气两类,技术指标如表 2 所示。单从热值考虑,沼气提纯制备的生物天然气中无甲烷以上烃类,这使得生物天然气的热值较常规天然气低,生物天然气要达到一类气热值 36 MJ·m⁻³ 的指标,CH₄ 含量必须达到 97% 以上。生物天然气甲烷含量与提纯工艺流程、甲烷回收率、工程造价及运营费用均有关系。CH₄ 含量要求高于 95% 以上后,运营成本则增加很快,成本过高对生物天然气提纯项目的实施是不利的^[4]。因此,本文认为不宜追求《天然气》GB17820-2012 中一类气的热值指标,不宜要求生物天然气必须达到 97% 的甲烷含量。参考《煤制合成天然气》GB/T33445-2016,并结合《城镇燃气设计规范》GB50028-2006,建议规定一类生物天然

表 2 《天然气》GB17820-2012 中一类气和二类气的技术指标

项 目	一类	二类
高位发热量 ^a /(MJ·m ⁻³)	≥36	≥31.4
总硫 ^a (以硫计)/(mg·m ⁻³)	≤60	≤200
硫化氢 ^a /(mg·m ⁻³)	≤6	≤20
二氧化碳 y _{CO₂} /%	≤2	≤3
水露点 ^{b,c} /℃	在交接点压力下,水露点应比输送条件下最低环境温度低 5℃	

注: a 为本标准中气体体积的标准参比条件是 101.325 Pa 20℃; b 为在输送条件下,当管道管顶埋地温度为 0℃ 时,水露点不应高于 -5℃; c 为进入输气管道的天然气,水露点的压力应是最高输送压力。

表 3 10 T 和 12 T 天然气华白数波动范围

参比条件	类别	标准(基准气)	GB/T13611 范围	城镇燃气商品气范围
15℃,101.325 kPa,干	10T	41.52	39.06 ~ 44.84 -5.92% ~ +8%	40.27 ~ 43.60 -3% ~ +5%
	12T	50.73	45.67 ~ 54.78 -9.97% ~ +7.98%	48.19 ~ 53.27 -5% ~ +5%
20℃,101.325 kPa,干	10T	40.79	38.37 ~ 44.05 -5.92% ~ +8%	39.56 ~ 42.83 -3% ~ +5%
	12T	49.83	44.86 ~ 53.81 -9.97% ~ +7.98%	47.34 ~ 52.32 -5% ~ +5%

注: 华白数和热值单位均为 MJ·m⁻³,下同。

气产品气的甲烷含量为 ≥95% ,高位发热量 ≥35 MJ·m⁻³; 二类生物天然气产品气的甲烷含量为 ≥85% ,高位发热量 >31.4 MJ·m⁻³。对比国外的情况,本文建议的二类气指标与法国、比利时和荷兰的天然气入网气质接近,一类气与奥地利、瑞士和瑞典的气质接近。

进一步的,当天然气进入城市燃气管网时,根据《城镇燃气分类和基本特性》GB/T13611-2018 的分类,天然气气质达到 10T 和 12T 的气体是可以进入管网的。而气质达到 10T 和 12T 的天然气就包括生物天然气。沼气的高位华白数为 23.14 MJ·m⁻³,属于 6Z 类气,提纯净化增加高位华白数以达到 10 T 和 12 T 的指标时,就具备了作为天然气进入城市燃气灌管网的基本条件。

华白数是表征气体能量密度的一种单位,华白数越大,能量密度越高,相应的要求生物燃气中的甲烷含量也就越高。生物天然气主要成分为甲烷,燃烧特性与常规的化石天然气类似。一般燃具(家用灶具、热水器、商用燃具、大部分锅炉和工业燃烧器、大部分燃气轮机和内燃机等)对燃气发热量和组分波动不敏感,允许华白数波动 ±10%;玻璃、陶瓷等精细化工用天然气,以及天然气发电用大型燃气轮机对天然气气质要求较高,《城镇燃气设计规范》建议留有 ±3% ~ 5% 的余量。GB/T13611 标准中以及城镇燃气商品气中 10T 和 12T 天然气华白数的波动范围如表 3 所示。

出于天然气供应的稳定性考虑,城镇天然气通常会有多个气源。例如北京、深圳和上海天然气各气源的组分及燃烧特性^[5-7]见表4。

除常规气田气、煤制气和LNG外,我国天然气的种类还包括煤层气和页岩气。除某些煤层气气田的类别为10 T,大部分以常规气田气、煤制气、LNG和页岩气为主要气源的城镇燃气类别为12 T。因此并入城镇燃气输配系统和压缩天然气供应系统的生物天然气一般情况下应该符合12 T的热值和华

白数;对于城镇燃气本身不满足12 T的情况,生物天然气在并入时需要满足10 T并满足与城镇燃气互换;对于独立的生物天然气供应系统,则需要根据区域的燃气气源接入计划或与用气方共同商定确定生物天然气的气质要求。通过计算得出,满足10 T和12 T的生物天然气甲烷含量和热值见表5。从表中可以看出,生物天然气要达到10 T气质时的甲烷含量需要在85%以上,达到12 T的气质时甲烷含量需要达到94%以上。

表4 部分城市各气源组分及燃烧特性

	北京					深圳		上海					
	气源1	气源2	气源3	气源4	气源5	气源1	气源2	气源1	气源2	气源3	气源4	气源5	气源6
CH ₄	94.7	97.88	96.64	88.78	96.2	87.33	92.55	88.75	97.06	96.23	92.55	89.39	88.94
C ₂ H ₆	0.55	0	1.97	7.4	0.25	8.37	3.96	6.51	0.16	1.77	3.95	5.76	8.75
C ₃ H ₈	0.08	0	0.34	2.62	0.01	3.27	0.34	0.35	0.02	0.3	0.34	3.3	1.77
i-C ₄ H ₁₀	0.01	0	0.07	0.67	0	0.41	0.12	0	0	0.14	0.12	0.78	0.5
n-C ₄ H ₁₀	0.01	0	0.08	0.32	0	0.56	0.09	0.03	0	0	0.09	0.66	0
其他	4.65	2.12	0.9	0.21	3.54	0.03	2.94	4.36	2.76	1.56	2.95	0.11	0.04
低热值	34.16	35.14	34.77	38.03	32.5	38.86	34.75	34.59	33.99	34.83	35.64	38.4	37.67
高热值	37.98	39	38.64	42.14	36.1	42.97	38.53	40.5	37.81	38.71	39.58	42.48	41.7
高华白数	47.08	49.66	50.61	53.17	48.32	53.54	49.45	51.17	49.71	50.82	50.78	53.24	52.86

表5 满足10 T和12 T的生物天然气甲烷含量和热值

参比条件	类别	GB/T13611 范围	城镇燃气商品气范围	甲烷含量/%	热值
15℃,101.325 kPa,干	10T	39.06 ~ 44.84 -5.92% ~ +8%	40.27 ~ 43.60 -3% ~ +5%	85(-2.9%) 90(+4.5%)	高32.11,低28.91 高34.0,低30.61
	12T	45.67 ~ 54.78 -9.97% ~ +7.98%	48.19 ~ 53.27 -5% ~ +5%	97(-4.65%) 94(-9.94) 95(-8.16)	高36.65,低33.0 高35.51,低31.98 高35.89,低32.32
	10T	38.37 ~ 44.05 -5.92% ~ +8%	39.56 ~ 42.83 -3% ~ +5%	85(-2.9%) 90(+4.5%)	高31.55,低28.40 高33.4,低30.07
	12T	44.86 ~ 53.81 -9.97% ~ +7.98%	47.34 ~ 52.32 -5% ~ +5%	97(-4.65%) 94(-9.94) 95(-8.16)	高36.0,低32.41 高34.89,低31.41 高35.26,低31.74

综合《城镇燃气设计规范》GB50028-2006和《压缩天然气供应站设计规范》GB51102-2016,城镇燃气对天然气的质量要求为:

(1) 天然气发热量和组分的波动应符合城镇燃气互换的要求,天然气偏离基准气的波动范围宜按现行国家标准《城镇燃气分类和基本特性》GB/T13611-2018的规定采用,并应适当留有余地;

(2) 天然气发热量、总硫和硫化氢含量、水露点指标应符合现行国家标准《天然气》GB17820-2012中一类气或二类气的规定。压缩天然气的质量应符

合现行国家标准《车用压缩天然气》GB18047-2017的有关规定。

(3) 在交接点的天然气压力和温度条件下,天然气的烃露点应比最低环境温度低5℃;天然气中不应有固态、液态或胶状物质。

2 生物天然气其他气质指标分析

沼气提纯制生物天然气气质中,除甲烷含量外,其它组分的影响也比较重要。

2.1 总硫和硫化氢含量

总硫和硫化氢含量也是天然气产品标准的一个重要技术指标。一般来说,常规天然气含有相当高的各种硫化物,既有硫化氢,也有其它硫化物,需要进行净化处理。与化石天然气不同的是,沼气中总硫含量通常远低于化石天然气,而硫化氢含量通常高于化石天然气。基于管道输送(酸腐蚀)和用户安全(燃烧产生有害气体)考虑,建议硫化氢与GB17820-2012《天然气》的技术指标一致,即一、二类气分别 $\leq 6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, $20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$;同时也满足GB18047-2017《车用压缩天然气》要求, $\leq 15 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

2.2 水露点

生物天然气提纯制气工艺过程首先为预处理工艺,预处理工艺对原料气进行初步过滤、脱水,并在后续脱硫、压缩和提纯工艺中根据工艺要求和产品气露点要求除尘、除油和脱水。提纯工艺中PSA法和膜法产品均为干燥气体,露点温度可达 -20°C 或更低,可直接进入天然气管网或CNG压缩机;水洗法提纯后的产品气处于饱和状态,需要进行干燥处理。因此生物天然气采用GB17820-2012《天然气》比环境温度低 5°C ,用于车用时还要满足GB18047-2017《车用压缩天然气》中环境温度大于 -13°C 时水含量不大于 $30 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 的要求。

2.3 CO_2

一类、二类天然气对二氧化碳的要求分别为不大于2%、3%(体积分数),对于生物天然气该指标偏高。该指标是为防止对长输管道腐蚀而制定的,虽然生物天然气产量相对于管输天然气量是很小的,但不能因此降低生物天然气中 CO_2 含量要求,增大输气管网腐蚀风险。

2.4 O_2

在中性或碱性条件下,碳钢的腐蚀主要受溶解氧的影响,溶解氧含量越高,腐蚀越严重。但只要保持气体水露点的要求,从防腐的目的出发,可不用限制氧含量。但任何时刻氧气在气体混合物中的含量应低于燃气的爆炸浓度下限。因此《天然气》GB17820-2012无 O_2 含量要求,而《车用压缩天然气》GB18047-2017要求氧含量 $<0.5\%$,建议生物天然气用于车用也按此要求执行,目前还没有关于生物天然气并入燃气管网中的 O_2 含量多少对管网造成腐蚀的研究,由于生物天然气量通常只占管网输气量的小部分,建议一方面初步控制生物天然气中 O_2 含量小于1%,具体含量可待有相关研究结果后调整;另一方面由于城镇燃气中低压管网已大量采用聚乙烯管道,耐腐蚀性强,因此建议将生物天然气输送到中压管网中。

2.5 其他杂质

国内标准目前没有针对硅氧烷、挥发性有机物的含量要求,由于生物天然气总量很小,并且出于对生物天然气行业的推动,不建议制定与国外一致的严格要求。但针对垃圾填埋气和污泥沼气硅氧烷、挥发性有机物的含量高的生物质燃气,建议制气流程中采取相应的脱除工艺。

3 生物天然气气质建议指标

根据以上对城镇燃气气质指标与生物天然气特性的分析,对于生物天然气的气质要求,技术指标建议分为两类,一类气满足12 T天然气,二类气满足10 T天然气,并根据利用方式分为用户和车用,如表6所示。

表6 生物天然气建议的技术指标

项目 用途	一类		二类	
	用户	车用	用户	车用
高位发热量/ $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$	≥ 35.2	≥ 35.2	≥ 31.4	≥ 31.4
甲烷(yCH_4)/%	≥ 95	≥ 95	≥ 85	≥ 85
总硫(以硫计)/ $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	60	60	200	100
硫化氢/ mg/m^3	6	15	20	15
二氧化碳(yCO_2)/%	2	3	3	3
氧气(yO_2)/%	1	0.5	1	0.5
水露点/ $^{\circ}\text{C}$	水露点应比输送条件下最低环境温度低 5°C ;用于车用时,当环境温度高于 -13°C 时,水含量不大于 $30 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。			

注:气体体积的标准参比条件是101.325 kPa, 20°C 。

在实际应用时,生物天然气并入城镇天然气管网或压缩天然气供应系统时应符合一类气质量要求。对于独立的生物天然气供应系统,则需要根据区域的燃气气源接入计划或与用气方共同协商确定生物天然气的气质要求。

4 结语

生物天然气的发展能实现废弃物的循环利用和减少二氧化碳的排放。作为一项新兴战略性产业,亟待科学合理、完整有效的标准的支持,而生物质气气质指标的统一要求更为迫切。建议管理部门尽快将相关标准的制定纳入计划并尽快实施,促进行业的快速与良性发展。

参考文献:

- [1] 国家能源局. 关于促进生物天然气产业化发展的指导意见(征求意见稿) [Z]. 2019-02-20.
- [2] 国务院办公厅. 关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见 [Z]. 2017-06-12.
- [3] 罗东晓. 膜技术在分离沼气中二氧化碳的应用 [J]. 煤气与热力 2014 34(3): B01-B05.
- [4] Dr. Mattias Svensson. Biomethane standards Gas quality standardization of biomethane, going from national to international level [R]. http://european-biogas.eu/wp-content/uploads/2014/03/8_Mattias-Svensson-standards.pdf 2014-03-11.
- [5] 徐晓菊. “十三五”期间北京市规划天然气气源互换性分析 [C]. 2015 中国燃气运营与安全研讨会: 138-142.
- [6] 巩忠领. 深圳市天然气多气源同网运行的技术研究 [D]. 广州: 华南理工大学 2014: 12-16.
- [7] 刘 烨,等. 进口 LNG 与国内管道天然气同网运营分析 [J]. 石油规划设计 2014 25(5): 16-19.
- [1] 国家能源局. 关于促进生物天然气产业化发展的指导