

中国燃料天然气二氧化碳排放因子的初步计算

李鑫*, 李振荣, 赵亮富

(中国科学院山西煤炭化学研究所应用催化与绿色化工实验室, 山西太原 030001)

摘要:通过对燃料天然气各主要使用领域进行的现场调研和气体取样分析, 计算得到我国天然气的平均碳含量、碳氧化因子和二氧化碳排放因子。结果表明, 我国天然气的碳含量与 IPCC 给出的缺省值基本一致, 碳氧化因子比 IPCC 缺省值略低, 因此计算出的二氧化碳排放因子也比 IPCC 缺省值低。碳氧化因子小于 1 表示燃烧不充分, 主要是由于一部分碳被氧化成为一氧化碳。由于一氧化碳在大气中可以稳定存在, 且会造成环境污染, 故燃烧时产生的一氧化碳排放应该单独报告, 而不是折算后并入二氧化碳排放量。

关键词:燃料; 天然气; 二氧化碳; 排放因子

中图分类号: X131

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2016)06-0011-04

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2016.06.003

The preliminary calculation of CO₂ emission factors of different fuel natural gas in China

LI Xin*, LI Zhen-rong, ZHAO Liang-fu

(Laboratory of Applied Catalysis and Green Chemical Engineering, Institute of Coal Chemistry, Chinese Academy of Science, Taiyuan 030001, China)

Abstract: Fuel natural gas in several main application fields are sampled and analyzed. Average carbon content, carbon oxidation factor and CO₂ emission factor of natural gas in China are calculated based on the gas composition data. Compared with IPCC default values, almost the same carbon content value and a lower carbon oxidation factor in China are obtained. The calculated CO₂ emission factors are correspondingly lower than the IPCC default value. The COF which is less than 1 means incomplete combustion because of the incomplete oxidation of carbon to CO. As CO can stably exist in the atmosphere and result in environmental pollution, it is suggested to report CO emission separately instead of being converted and added to CO₂ emission.

Key words: fuel; natural gas; carbon dioxide; emission factor

1 排放因子可准确量化二氧化碳排放量

天然气作为一种高热值、低污染的清洁能源, 在全球能源结构中占据着越来越重要的地位。预计 2030 年天然气在世界一次能源结构中所占比例将上升到 28%, 超过石油成为世界第一大能源^[1-2]。在中国, 天然气需求市场广阔, 已进入快速发展期, 2011 年就已成为世界第四大天然气消费国。展望未来, 预计在相当长的时期内, 我国天然气贸易量和天然气工业仍将保持快速发展的态势^[3-5]。

然而, 能源消费造成的大量二氧化碳排放也是不容忽视的, 尽管相对于其他化石燃料而言, 天然气具有高效、环保的显著特点, 推广使用天然气能使中国工业提高能效并减少碳排放^[6-7], 但随着消费量的大幅增加, 其燃烧产生的大量二氧化碳排放也相当可观。近年来, 我国二氧化碳减排面临来自国际谈判和国内经济发展的双重压力, 任务非常艰巨^[8]。因

此, 对二氧化碳排放的量化方法和二氧化碳减排方法的研究也日益引起国内外学者的高度关注^[9-12]。

在联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 编制的国家温室气体清单指南中, 提供了计算能源消费产生二氧化碳总排放量的计算方法, 所有燃烧源的排放估算可以根据燃烧的燃料数量 (通常来自国家有关部门能源统计) 以及平均排放因子得到^[13]。根据《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》中提供的方法, 在能源部门, 二氧化碳排放量的计算方法如下:

$$E = N \times EF \quad (1)$$

式中, E 为二氧化碳排放量, t; N 为天然气能源消费量, 其单位需要由固体、液体和气体燃料的生产量和消耗量的物理单位 (如 t 或 m³) 转换为普通能源单位 (J), MJ; EF 为天然气的二氧化碳排放因子, kg/GJ。

由式 (1) 可以看出, 排放因子的准确性会直接

影响总排放量的计算。指南中给出了排放因子的缺省值,同时也指出,如果能得到符合各国实际情况的排放因子,将更有利于准确计算该国能源消费产生的二氧化碳排放量。

本文对燃料天然气各主要使用领域的燃烧情况进行了现场调研,通过对燃烧前后的气体组成进行测定,计算得到了我国天然气的平均碳含量和碳氧化因子,从而计算得到符合我国国情的天然气二氧化碳排放因子,对于准确量化我国天然气造成的二氧化碳排放量、顺利完成国家减排指标和制定节能减排的相关政策等方面具有重要的参考价值和借鉴意义。

2 二氧化碳排放因子计算方法

2.1 采样和测定方法

燃料天然气的使用领域主要包括民用燃气、车用燃气和工业燃料 3 种类型。民用燃气分别采集了天然气灶具、天然气热水器和家用天然气锅炉的 6 组入口、出口样品;车用燃气采集了我国十几个省份出租车入口气体和发动机在怠速、2 000 r/min 和 3 500 r/min 时的出口气体;天然气作为工业燃料时,主要用于加热炉或类似设备,本研究主要采集了我国不同地区 5 家企业的加热炉入口、出口气体样品,企业类型包括建材、化工、石化等行业。

对于入口气体,居民家中、加气站和工厂的天然气管道通常带有一定压力,可直接连接集气袋采样。对于出口气体,民用和车用的出口都是常压,因此通过连接气泵将出口气体抽入集气袋,工厂的烟气排放装置都有带压力的取样口,可直接取样到集气袋中。

燃烧前后气体的组成采用 GC9560 型气相色谱仪进行分析,用氩气作为载气,采用三根色谱柱同时检测,分别为改性氧化铝、5A 分子筛和 TDX-01 填充柱,其中 5A 分子筛柱连接热导池检测器,另外两根色谱柱连接火焰离子化检测器。

2.2 计算方法

根据《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》,

表 2 民用天然气入口气体组成、净发热值和碳含量

使用类别	组分比例/%									NCV/ (MJ·m ⁻³)	C/ (kg·GJ ⁻¹)
	CH ₄	N ₂	O ₂	CO	CO ₂	H ₂	C ₂	C ₃	C ₄		
灶具	91.20	2.19	0.59	0.00	0.92	0.01	4.15	0.70	0.23	36.33	15.26
热水器	92.07	1.06	0.16	0.00	1.09	0.03	4.55	0.78	0.25	37.00	15.29
家用锅炉	89.32	4.27	0.81	0.00	0.97	0.00	3.78	0.63	0.21	35.32	15.26

二氧化碳排放因子 EF 的计算方法如下:

$$EF = C \times COF \times (44/12) \quad (2)$$

式(2)中, C 为天然气的平均碳含量,kg/GJ; COF 为天然气燃烧过程中的碳氧化因子,无量纲。

平均碳含量 C 的计算方法如下:

$$C = [\sum_{i=1}^n (b_i \times a_i)] / 100 \times (1\ 000/22.4) \times (12/NCV) \quad (3)$$

式(3)中, b_i 为天然气各含碳组分分子式中含碳原子个数,无量纲; a_i 为天然气各含碳组分所占体积百分数,%; NCV 为天然气的净发热值,MJ/m³,计算方法参照国家标准 GB/T 11062—1998 中天然气体积发热量的计算方法完成^[14]。

本研究中,式(2)中天然气碳氧化因子的计算方法采用下式:

$$COF = a_{CO_2} / [\sum_{i=1}^n (b_i \times a_i)] \quad (4)$$

式(4)中, a_{CO_2} 为二氧化碳在燃烧后的出口气体中所占体积百分数,%; b_i 为天然气各含碳组分分子式中含碳原子个数,无量纲; a_i 为出口气体中各含碳组分所占体积百分数,%。

对于天然气,《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》中推荐的缺省碳含量、碳氧化因子和二氧化碳排放因子见表 1,其中的较高和较低值为 95% 置信区间的上下限值。

表 1 天然气各项 IPCC 缺省值

燃料类型	缺省碳含量/ (kg·GJ ⁻¹)			缺省碳 氧化因子	缺省二氧化碳排放 因子/(kg·GJ ⁻¹)		
	缺省值	较低	较高		缺省值	较低	较高
天然气	15.3	14.8	15.9	1	56.1	54.3	58.3

3 结果及讨论

3.1 民用天然气

各入口、出口气体样品的平均组成及计算得到的天然气的净发热值 NCV 、碳含量 C 、燃烧过程中的碳氧化因子 COF 和二氧化碳排放因子 EF 见表 2 和表 3。

表3 民用天然气出口气体组成、碳氧化因子和二氧化碳排放因子

使用类别	组分比例/%									COF	EF/ (kg·GJ ⁻¹)	EF _c / (kg·GJ ⁻¹)
	CH ₄	N ₂	O ₂	CO	CO ₂	H ₂	C ₂	C ₃	C ₄			
灶具	0.00	81.11	5.39	0.24	13.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98	54.96	53.03
热水器	0.00	81.43	10.80	0.51	7.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	52.40	
家用锅炉	0.00	81.46	10.79	0.58	7.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.92	51.74	

从表2数据可知,民用天然气的碳含量与IPCC缺省值基本一致;由表3可以看出,由于燃烧后的出口气体中存在少量的一氧化碳,使得计算出的碳氧化因子略小于1。天然气灶具基本能使入口天然气完全燃烧,天然气热水器和家用锅炉完全燃烧的程度略低于天然气灶具。IPCC给出的二氧化碳排放因子缺省值是按照碳氧化因子的值为1时计算的,

因此本文计算出的二氧化碳排放因子比IPCC缺省值略小,其平均值EF_c为53.03 kg/GJ。

3.2 车用天然气

各入口、出口气体样品的平均组成及计算得到的天然气的净发热值、碳含量、燃烧过程中的碳氧化因子和二氧化碳排放因子见表4和表5。

由表4可以看出,车用天然气的碳含量与IPCC

表4 车用天然气入口气体组成、净发热值和碳含量

使用类别	组分比例/%									NCV/ (MJ·m ⁻³)	C/ (kg·GJ ⁻¹)
	CH ₄	N ₂	O ₂	CO	CO ₂	H ₂	C ₂	C ₃	C ₄		
车用	92.13	1.63	0.22	0.00	1.02	0.00	4.09	0.69	0.22	36.60	15.27

表5 车用天然气出口气体组成、碳氧化因子和二氧化碳排放因子

发动机 转速	组分比例/%									COF	EF/ (kg·GJ ⁻¹)	EF _M / (kg·GJ ⁻¹)
	CH ₄	N ₂	O ₂	CO	CO ₂	H ₂	C ₂	C ₃	C ₄			
怠速	0.00	83.25	11.98	0.25	4.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95	53.02	54.09
2000 r/min	0.00	87.83	6.60	0.17	5.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.97	54.28	
3500 r/min	0.00	87.54	5.73	0.12	6.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98	54.98	

缺省值基本一致。表5数据显示,随着发动机转速的增加,出口气体中氧气和一氧化碳的含量减少,二氧化碳和氮气的含量增加,碳氧化因子的数值也在增加,并越来越接近1。因此二氧化碳排放因子也随之增加,这表明随着发动机转速增加即车速的加快,助燃空气的量增加,燃烧消耗的氧气量更多,燃

烧更加充分。车用天然气的平均二氧化碳排放因子EF_M为54.09 kg/GJ。

3.3 工业燃料天然气

各入口、出口气体样品的平均组成及计算得到的天然气的净发热值、碳含量、燃烧过程中的碳氧化因子和二氧化碳排放因子见表6和表7。

表6 工业燃料天然气入口气体组成、净发热值和碳含量

使用类别	组分比例/%									NCV/ (MJ·m ⁻³)	C/ (kg·GJ ⁻¹)
	CH ₄	N ₂	O ₂	CO	CO ₂	H ₂	C ₂	C ₃	C ₄		
工业燃料	92.25	1.27	0.31	0.00	0.52	0.00	4.75	0.73	0.18	37.05	15.21

表7 工业燃料天然气出口气体组成、碳氧化因子和二氧化碳排放因子

使用类别	组分比例/%									COF	EF _I / (kg·GJ ⁻¹)
	CH ₄	N ₂	O ₂	CO	CO ₂	H ₂	C ₂	C ₃	C ₄		
工业燃料	0.00	84.54	3.95	0.06	11.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	55.46

依据表6数据可知,作为工业燃料的天然气的碳含量与IPCC缺省值基本一致。表7数据表明,作为工业燃料燃烧的天然气的碳氧化因子在几种应用领域中最高。这是因为在企业中,天然气燃烧时都会提供过量的助燃空气,使得作为工业燃料的天然气比民用和车用燃烧更加充分,出口气体中一氧化碳含量更低,碳氧化因子值也更加接近1,由此计算出的二氧化碳排放因子 EF_1 为55.46 kg/GJ,与IPCC缺省值也更加接近。

3.4 总结

由以上数据可以看出,碳氧化因子小于1的情况都是由于燃烧不够充分,使得燃烧后气体中含有一氧化碳导致的,《2006年IPCC国家温室气体清单指南》中认为,排放到大气中的一氧化碳最终会被氧化成二氧化碳,源自一氧化碳排放的碳也归并至二氧化碳排放量中。但由于一氧化碳在常温下性质稳定,排入大气中的一氧化碳实际上并非立即被氧化成二氧化碳,而是能够长期存在。因此本研究认为,一氧化碳的排放不应直接折算成二氧化碳,而应单独报告。

由式(2)可知,将一氧化碳的排放单独报告,即用本文给出的碳氧化因子,计算得到的二氧化碳排放因子小于IPCC缺省值,再根据式(1)计算得到的二氧化碳排放总量也相应地小于用IPCC缺省值计算出的排放总量。但是,这并非表明一氧化碳就可以任意排放,一氧化碳的存在是燃烧不完全的产物,是大气中一种主要的污染物,长期接触一定浓度的一氧化碳,会造成慢性中毒。因此,应当改进现有燃烧条件,加大民用天然气设备的改进研发力度,适当控制机动车数量,改善交通环境,减少交通拥堵,使得燃料能够最大程度地完全燃烧。

4 结论

本文考察了包括民用、车用和工业燃料在内的我国不同用途燃料天然气的组成及其燃烧情况,并计算得到了各用途天然气的平均碳含量、碳氧化因子和二氧化碳排放因子,结果表明:

我国不同用途燃料天然气计算得到的碳含量值与IPCC缺省值基本一致。对于碳氧化因子,按照本文给出的计算方法,民用方面,天然气在热水器和锅炉中的出口气体中含有比较多的一氧化碳,其碳氧化因子较灶具略低;车用方面,在较低的车速下,尾气中排出的一氧化碳量也比较多,天然气在车速较高的情况下燃烧得更加充分,因此随着发动机转

速的增加,碳氧化因子逐渐增加;作为工业燃料使用时,天然气比民用和车用燃烧更为充分,出口气体中一氧化碳含量更低,碳氧化因子值也更加接近1。

依据本研究所计算出的碳含量和碳氧化因子,计算得到二氧化碳排放因子比IPCC缺省值略低,分别为民用53.03 kg/GJ,车用54.09 kg/GJ,工业燃料55.46 kg/GJ。由于一氧化碳在大气中能够稳定存在一段时间,其氧化过程比较缓慢,所以本文建议一氧化碳的排放不应直接折算成二氧化碳,而应当单独报告。

将一氧化碳的排放单独报告尽管会使得计算出的二氧化碳排放量减少,但由于一氧化碳会造成环境污染,因此应该尽可能地改进燃烧条件,使得燃料中的碳能够完全氧化成二氧化碳。二氧化碳的减排则应该从改进生产工艺、降低设备能耗、统筹安排、以更加合理地使用能源等方面着手进行。

参考文献

- [1] 单卫国. 全球天然气市场发展及趋势[J]. 中国能源, 2011, 33(1): 13-16.
- [2] 康建国. 全球天然气市场变化与中国天然气发展策略思考[J]. 天然气工业, 2012, 32(2): 5-10.
- [3] 刘小丽. 中国天然气市场发展现状与特点[J]. 天然气工业, 2010, 30(7): 1-6.
- [4] 王军善. 天然气: 中国能源发展的战略选择[N]. 中国改革报, 2012-07-05(9).
- [5] 贾承造, 张永峰, 赵震. 中国天然气工业发展前景与挑战[J]. 天然气工业, 2014, 34(2): 1-11.
- [6] 吴枫, 张数义. 我国煤制天然气发展思路及问题分析[J]. 现代化工, 2010, 30(8): 1-3.
- [7] 张健, 廖胡, 梁钦锋, 等. 碳税与碳排放权交易对中国各行业的影响[J]. 现代化工, 2009, 29(6): 77-82.
- [8] 刘燕华, 葛全胜, 何凡能, 等. 应对国际CO₂减排压力的途径及我国减排潜力分析[J]. 地理学报, 2008, 63(7): 675-682.
- [9] 张海滨, 胡永飞, 张景奇, 等. 二氧化碳排放量量化方法探讨[J]. 中外能源, 2013, 18(3): 96-101.
- [10] 谢绍东, 宋翔宇, 申新华. 应用COPERT III模型计算中国机动车排放因子[J]. 环境科学, 2006, 27(3): 3415-3419.
- [11] 丛建辉, 朱婧, 陈楠, 等. 中国城市能源消费碳排放核算方法比较及案例分析——基于“排放因子”与“活动水平数据”选取的视角[J]. 城市问题, 2014, (3): 5-11.
- [12] An I I, Estan A. Influence of the required EEDI reduction factor on the CO₂ emission from bulk carriers[J]. Energy Policy, 2015, 84: 107-116.
- [13] IPCC. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories [Z]. 2006.
- [14] GB/T 11062—1998, 天然气发热量、密度、相对密度和沃泊指数的计算方法[S]. ■