

我国城市天然气替代燃煤集中供暖的大气污染减排效果

庞 军,吴 健*,马 中,梁龙妮,张婷婷 (中国人民大学环境学院,北京 100872)

摘要: 基于国家发改委“天然气利用政策”中的天然气利用领域,利用等热值替代方法计算不同领域天然气替代后的污染物减排效果,从大气污染减排角度对天然气各个利用领域的优先次序重新排列,并对 2010 年全国 15 个重点供暖城市天然气替代燃煤集中供暖的大气污染物减排量进行测算.结论表明:天然气集中供暖的大气污染减排效果排序处于前列,城市利用天然气替代燃煤集中供暖对 CO_2 、颗粒物(PM)、 SO_2 和 NO_x 都有较明显的减排效果.2010 年我国 15 个重点城市如果采用天然气集中供暖,共可减少 CO_2 排放量 2190.71 万 t、颗粒物(PM)排放量 734.24 万 t、 SO_2 排放量 40.21 万 t、 NO_x 排放量 22.56 万 t.

关键词: 天然气; 城市; 集中供暖; 大气污染; 减排

中图分类号: X513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2015)01-0055-07

Air pollution abatement effects of replacing coal with natural gas for central heating in cities of China. PANG Jun, WU Jian*, MA Zhong, LIANG Long-ni, ZHANG Ting-ting (School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China). *China Environmental Science*, 2015,35(1): 55~61

Abstract: Targeting on the different gas utilization fields promulgated in the “Natural Gas Utilization Policy” by National Development and Reform Commission of China, this paper measured the emission reduction effects of replacing current fuels with equivalent calorific value of natural gas, and based on these measurements, re-ranked the priority of different gas utilization fields. The results show that: the air pollution abatement effects of natural gas heating ranks at the top level among all different utilization fields. This paper also calculated the scale of air pollutant abatement effect by replacing coal with natural gas for central heating in 15 major heating cities of China in 2010, and proved that significant emission reduction effects on CO_2 (21.91 million tons), particulate material (7.34 million tons), SO_2 (402.1 thousand tons) and NO_x (225.6 thousand tons) can be achieved by converting fuel from coal to natural gas in central heating in cities of China.

Key words: natural gas; city; central heating; air pollution; emission reduction

当前,我国城市空气污染出现加剧的局面,以频繁的雾霾天气为主要特征的城市空气污染严重危害居民健康.我国城市冬季供暖主要依赖燃煤,导致城市冬季大气环境质量更差.天然气作为清洁能源,在替代燃煤改善空气质量方面具有优势:一方面,天然气的能源利用效率普遍高于燃煤;另一方面,天然气作为比较清洁的能源,其燃烧产生的污染相比煤炭要明显降低^[1].近年来,已有学者针对天然气利用的环境效益开展了评估.胡奥林等^[2]以成都市区为例,指出利用天然气替代燃煤作为工业燃料,有利于市区总悬浮颗粒物和 SO_2 浓度的下降并给城市居民带来显著的健康效益.赵立军等^[3]指出利用天然气替代石油、煤炭

和机动车燃油,可减少温室气体排放,基本消除烟尘和 SO_2 污染,大大减少 CO 、挥发性有机化合物、 NO_x 、铅以及粉尘等有害物质的排放.张中秀^[4]以我国 5 个特大城市为例,分析了发电、供热、工业、居民和商业炊事以及汽车等领域采用天然气替代后粉尘、 SO_2 、 NO_x 等大气污染物和 CO_2 的减排效果.Chen 等^[5]以上海为例指出将天然气用于发电、工业、商业及居民生活,可以显著减少 SO_2 和 PM_{10} 排放,并降低 CO_2 排放量.李

收稿日期: 2014-04-07

基金项目: 中国人民大学科学研究基金(中央高校基本科研业务费专项资金资助)项目(14XNJ008)

* 责任作者,教授, jianwu@ruc.edu.cn

健等^[6]对京津冀地区脱硝技术与天然气应用的情景进行模拟分析后指出,脱硝技术应用及天然气使用比例增大会显著降低京津冀地区空气中的 NO_x 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度。

特别地,也有学者对城市煤改气方案的实施效果进行了评价。欧春华等^[7]基于对重庆市煤改气规模与范围的调查分类,对煤改气的技术经济可行性以及环境效益进行了分析,研究认为:实施煤改气工程,不仅能产生一定的经济效益,而且大大削减了重庆市主城区的大气污染物排放量,有效缓解了主城区的大气污染。毛显强等^[8]以北京和重庆为案例城市,研究表明,在人口与经济活动高度集中的大城市,使用天然气作为民用燃料,可有效降低非点源大气污染物的排放以及低空污染物的浓度,从而产生明显的环境效益,具有显著的费用-效益比较优势。

近年来,国内对天然气巨大的市场需求推动了煤制气产业的发展,国内有学者基于生命周期碳排放清单的角度,就煤制气的环境效益进行了评估。付子航^[9]将煤制天然气(SNG)的全生命周期分为煤炭上游开采和洗选、煤炭运输、经 SNG 工厂加工转换、SNG 管道运输和 SNG 终端使用,并将其与煤层气(CBM)、液化天然气(LNG)和管输天然气(PNG)的碳排放进行比较,得到 SNG 的碳排放甚至高于燃煤。如果仅从 SNG 在城市的终端使用来看,可以作为一种清洁能源,但 SNG 成本高且过程并不“低碳”。

本文从促进城市天然气利用改善城市空气质量这一角度出发:首先基于国家发改委所颁布“天然气利用政策”中的天然气利用领域,利用等热值替代方法计算不同领域实现天然气替代后相同热值的大气污染物减排量;然后,通过无量纲化方法计算污染物减排综合指数,并从大气污染减排角度对天然气各利用领域的优先次序重新排列;最后,以 2010 年为例,测算全国 15 个重点供暖城市如果利用天然气替代燃煤集中供暖可带来的大气污染物减排量。

1 研究对象及数据来源

1.1 研究对象

为了基于大气污染减排效果识别天然气利用的优先领域,对国家发改委“天然气利用政策”中天然气各利用领域所对应的能源替代项目进行识别,确定了 6 大天然气利用领域和 10 个能源替代项目(表 1)。

在污染物选择上,一方面考虑常规的大气污染物,选取 SO_2 、 NO_x 、CO 和颗粒物(PM);另一方面考虑到大气污染物和温室气体排放的关联性^[10],选取主要的温室气体 CO_2 。

1.2 数据来源

本研究所需的污染物排放系数数据较多,而目前国内公开出版的资料中并没有本文所需全部污染物排放系数的权威数据,因此本文所需数据只能从现有多个资料中零星地获得,数据来源相对比较分散;另外,尽管作者在数据收集过程中尽量选择了相对可靠的数据,但不可避免会存在一些误差。

不同领域的 CO_2 排放参数来源于 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories^[11]; SO_2 、CO 和颗粒物排放系数来源于《排污申报登记实用手册》^[12]、《第一次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册》^[13]和《家用燃料气态燃烧产物对室内空气污染的初步评估》^[14],炊事领域颗粒物排放系数由于国内数据不可得,参照了美国 EPA 的 Emissions Factors AP42^[15];汽油车、柴油车污染物排放系数来源于:《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国 III、IV 阶段)》(GB 18352.3—2005)^[16]和《中国不同排放标准机动车排放因子的确定》^[17];天然气汽车相关数据则来源于 Emissions variation in urban areas resulting from the introduction of natural gas vehicles: Application to Barcelona and Madrid Greater Areas (Spain)^[18]、Carbon dioxide emissions from diesel and compressed natural gas buses during acceleration^[19]和《CNG 汽车改装技术和效益分析》^[20]。 NO_x 排放系数主要来源于《排污申报登记实用手册》。由于现行大气污染排放标准中规定了燃煤发电、天然气发电、天然气集中供暖的 NO_x 排放限值,本文基于上述标准限值测算了燃煤发电、天然气发电和天然气集中供暖的

NO_x排放系数.原有能源系统的污染物排放系数和 利用天然气的污染物排放系数如表 1、表 2 所示.

表 1 天然气利用前原有能源系统的污染物排放系数
Table 1 Emission factors of pollutants with current fuel in different utilization fields

天然气利用领域	能源替代项目	原始燃料	单位	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	颗粒物
生活用气	天然气替代液化石油气炊事	液化石油气	kg/t	20S*	4.51	8.73	3166.29	0.07
	天然气替代家用煤炉炊事	燃煤	kg/t	16S*	3.62	22.70	2026.40	5.68
CNG 汽车	CNG 汽车替代汽油车(国三)	汽油	g/km	0.01	0.15	2.30	325.00	0.02
	CNG 汽车替代柴油车(国三)	柴油	g/km	0.10	0.50	0.64	238.20	0.08
	CNG 汽车替代汽油车(国四)	汽油	g/km	0.01	0.08	1.00	322.30	0.02
	CNG 汽车替代柴油车(国四)	柴油	g/km	0.10	0.25	0.50	238.20	0.08
分布式能源	分布式能源替代燃煤集中供暖	燃煤	kg/t	16S*	9.08	1.36	2026.40	286.20
天然气集中供暖	天然气集中供暖替代燃煤集中供暖	燃煤	kg/t	16S*	9.08	1.36	2026.40	286.20
天然气分散采暖	分户式燃气供暖替代燃煤集中供暖	燃煤	kg/t	16S*	9.08	1.36	2026.40	286.20
天然气发电	天然气发电替代燃煤发电	燃煤	kg/t	16S*	8.27	0.23	2026.40	238.50

注:S*表示含硫量,液化石油气的含硫量是指液化石油气的全硫分含量.根据标准GB11174-1997《液化石油气》,气态液化石油气总硫含量不大于343mg/m³,计算获得液化石油气的含硫量为0.014%.燃煤的含硫量是指煤的干燥无灰基全硫分含量,具体含硫量因产煤地区有所差异,这里选择含硫量1%^[13]作为各地均值

表 2 天然气在各种利用领域的污染物排放系数
Table 2 Emission factors of pollutants with natural gas in different utilization fields

天然气利用领域	能源替代项目	单位	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	颗粒物
生活用气	天然气替代液化石油气炊事	kg/10 ⁶ m ³	2S*	10000	2755	2184029	121.8
	天然气替代家用煤炉炊事	kg/10 ⁶ m ³	2S*	10000	2755	2184029	121.8
CNG 汽车	CNG 汽车替代汽油车(国三)	g/km	0	0.02	0.37	198.50	0
	CNG 汽车替代柴油车(国三)	g/km	0	0.02	0.37	198.50	0
	CNG 汽车替代汽油车(国四)	g/km	0	0.02	0.37	198.50	0
	CNG 汽车替代柴油车(国四)	g/km	0	0.02	0.37	198.50	0
分布式能源	分布式能源替代燃煤集中供暖	kg/10 ⁶ m ³	630	3400.46	6.30	2184029	286.2
天然气集中供暖	天然气集中供暖替代燃煤集中供暖	kg/10 ⁶ m ³	630	545.04	6.30	2184029	286.2
天然气分散采暖	分户式燃气供暖替代燃煤集中供暖	kg/10 ⁶ m ³	630	1843.24	6.30	2184029	302
天然气发电	天然气发电替代燃煤发电	kg/10 ⁶ m ³	630	2455	0	2184029	238.5

注: * S是指天然气收到基硫分含量,单位为mg/m³

2 基于大气污染减排效果的天然气利用领域优先排序

2.1 各领域利用天然气的污染物减排系数

首先,根据不同能源间的热值关系,确定等热值污染物排放系数,将原始数据的排放系数转换成单位热值污染物排放量.以《综合能耗计算通则》(GB/T 2589-2008)标准为转换依据(表 3),将每种能源的污染物排放系数统一规定为每百万千卡(10⁶kcal)热值的污染物排放量.

然后,通过等热值替代法,分别得到原有燃煤系统的污染物排放系数和利用天然气后的污染

物排放系数,将二者之间的差值定义为利用天然气替代燃煤后的污染物减排系数,即不同领域利用百万千卡热值天然气替代等热值燃煤后的污染物减排量.

从表 4 的数值可以看出,实现等热值天然气替代燃煤后,相比 SO₂、CO、NO_x和颗粒物这 4 项常规污染物的减排量来看,CO₂ 的减排幅度最大;从颗粒物(PM)减排来看,供暖和发电领域利用天然气的效果更好;从 SO₂ 及 CO 减排来看,生活用气领域天然气替代家用煤炉炊事的效果更好;从 NO_x减排来看,天然气集中供暖的效果更好;

从 CO₂ 减排来看,生活用气领域天然气替代液化石油气炊事的效果更好。

表 3 不同类型能源间的热值转换关系

Table 3 Heating values of different forms of energy

能源类型	单位热值
原煤(kJ/kg)	20908
液化石油气(kJ/kg)	50179
汽油(kJ/kg)	43070
柴油(kJ/kg)	42652
油田天然气(kJ/m ³)	38931

注:数据来源:《综合能耗计算通则》(GB/T 2589-2008)

2.2 天然气利用领域优先排序

为了比较各能源替代项目对污染物的减排效果,本文将实现等热值替代后各能源替代项目的污染物减排量进行无量纲化,并对同一能源替代项目每种污染物减排的无量纲系数求和,将该

和定义为污染物减排综合指数;然后根据污染物减排综合指数大小对不同天然气利用领域进行排序,减排综合指数越大的天然气利用领域,其排序越优先。

一般来说,无量纲化有 3 种常用方法,极值化方法、标准化方法以及均值化方法.由于极值化方法与均值化法在消除量纲和数量级影响的同时,保留了各变量在取值差异程度上的信息,差异程度越大的变量对综合分析的影响越大.而标准化方法在无量纲化的同时,消除了各变量在变异程度上的差异,从而使得转换后的各变量被同等看待.鉴于本研究将 5 种污染物减排指标设置为等权重,故选择标准化方法无量纲化.标准化方法的公式为:

Zscores: $x_i' = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$, $i = 1, 2 \dots 10$. (1)

表 4 百万千卡热值天然气替代的污染物减排因子(kg/10⁶kcal)

Table 4 Emission reduction factors of air pollutants from fuel replacement of per million calories heating value of natural gas (kg/10⁶kcal)

天然气利用领域	能源替代项目	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	颗粒物(PM)
生活用气	天然气替代液化石油气炊事	0.03	-0.18*	1.44	396.03	0
	天然气替代家用煤炉炊事	3.18	-0.35*	4.24	170.69	1.12
CNG 汽车	CNG 汽车替代汽油车(国三)	0.01	0.13	1.91	124.97	0.02
	CNG 汽车替代柴油车(国三)	0.12	0.57	0.38	82.26	0.09
	CNG 汽车替代汽油车(国四)	0.01	0.06	0.62	122.29	0.02
	CNG 汽车替代柴油车(国四)	0.12	0.27	0.22	82.26	0.09
分布式能源	分布式能源替代燃煤集中供暖	3.13	1.45	0.27	170.69	57.21
天然气集中供暖	天然气集中供暖替代燃煤集中供暖	3.13	1.76	0.27	170.69	57.21
天然气分散采暖	分户式燃气供暖替代燃煤集中供暖	3.13	1.62	0.27	170.69	57.21
天然气发电	天然气发电替代燃煤发电	3.13	1.39	0.05	170.69	47.67

注:*负值表示实现等热值天然气替代后,该类污染物的排放量反而增加

式中: $\bar{x}$ 表示 SO₂、NO_x、CO、CO₂ 和颗粒物(PM)这 5 类污染物分别在 10 个能源替代项目中的减排量均值; σ 表示 5 类污染物分别在 10 个能源替代项目中的减排量标准差。

首先,依据表 4 中的不同领域利用百万千卡热值天然气替代燃煤后的污染物减排量,分别对 5 类污染物的减排系数采取标准化方法无量纲化,得到表 5 中 SO₂、NO_x、CO、CO₂ 和颗粒物(PM)这 5 类污染物分别在 10 个能源替代项目中的“标

准化减排系数”。然后,对同一能源替代项目无量纲化后的各种污染物的标准化减排系数求和,获得各能源替代项目的污染物减排综合指数.最后,根据污染物减排综合指数值,得到不同天然气利用领域的大气污染减排效果排序,综合指数值越高排序越靠前,如表 5 所示。

由表 5 可以看出,在各个天然气利用领域中,大气污染减排效果排在第 1 位的是天然气集中供暖,分户式燃气供暖与分布式能源的综合减排

量分别排在第 2、3 位,处于第 4 位的是天然气发电,排在第 5 位的是生活用气领域中的天然气替代家用煤炉炊事,第 6 位的则是生活用气领域中的天然气替代液化石油气炊事.液化石油气本身相对比较清洁,除了在 CO₂ 一项减排量较为明显之外,其综合减排指数的排序并不靠前.由于国三标准与国四标准已经相对严格,所以利用天然气汽车替代国三标准与国四标准下的柴油轻型车与汽油轻型车,污染物减排效果相比其他领域并不明显.

表 5 天然气不同利用领域的大气污染减排效果排序
Table 5 Ranks of different natural gas utilization fields by effectiveness of air pollutant reductions

天然气利用领域	能源替代项目	标准化减排系数					综合减排指数	减排量排序
		SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	颗粒物(PM)		
生活用气	天然气替代液化石油气炊事	-0.96	-1.06	0.36	2.59	-0.78	0.16	6
	天然气替代家用煤炉炊事	0.97	-1.27	2.52	0.05	-0.74	1.53	5
CNG 汽车	CNG 汽车替代汽油车(国三)	-0.98	-0.68	0.73	-0.46	-0.78	-2.17	7
	CNG 汽车替代柴油车(国三)	-0.91	-0.13	-0.45	-0.95	-0.78	-3.22	8
	CNG 汽车替代汽油车(国四)	-0.98	-0.76	-0.27	-0.49	-0.78	-3.28	9
	CNG 汽车替代柴油车(国四)	-0.91	-0.50	-0.58	-0.95	-0.78	-3.71	10
分布式能源	分布式能源替代燃煤集中供暖	0.94	0.97	-0.54	0.05	1.24	2.67	3
天然气集中供暖	天然气集中供暖替代燃煤集中供暖	0.94	1.35	-0.54	0.05	1.24	3.05	1
天然气分散采暖	分户式燃气供暖替代燃煤集中供暖	0.94	1.18	-0.54	0.05	1.24	2.88	2
天然气发电	天然气发电替代燃煤发电	0.94	0.90	-0.71	0.05	0.90	2.08	4

注:负值表示某个能源替代项目所对应的某项污染物减排量低于该污染物在10个能源替代项目中的减排均值,反映天然气在此能源替代项目带来的该项污染物减排效果相比其它能源替代项目而言效果并不明显

天然气集中供暖替代燃煤集中供暖、分户式燃气供暖替代燃煤集中供暖、分布式能源替代燃煤集中供暖、天然气发电替代燃煤发电的大气污染减排效果较为显著,其中天然气供暖(包括集中供暖、分户式燃气供暖和分布式能源)的大气污染减排效果排序处于前列.

3 天然气替代燃煤集中供暖的大气污染减排量测算

根据上述对各利用领域实现天然气替代后的大气污染减排效果分析,利用天然气替代燃煤集中供暖,在 SO₂、NO_x、CO₂、颗粒物(PM)₄ 项指标上均具有明显的污染减排效果,而且集中供暖用煤量巨大,有望产生可观的大气污染减排量.

目前我国冬季集中供暖地区共有 15 个省、自治区和直辖市,分别为黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、北京、天津、河南、河北、山西、山东、甘肃、新疆、陕西、青海、宁夏.为便于研究,这里选取这 15 个地区的直辖市、省会或首府,即哈尔滨、长春、沈阳、呼和浩特、北京、天津、郑

州、石家庄、太原、济南、兰州、乌鲁木齐、西安、西宁、银川,以 2010 年的数据为例,对这 15 个城市如果采用天然气替代燃煤集中供暖的大气污染物减排量进行测算.

首先,测算 15 个重点供暖城市的建筑体供热能耗:

根据行业标准 JGJ 26-2010《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》,得到建筑采暖耗能量指标计算公式:

$$q_c=(24\cdot Z\cdot q_H)/(H_c\cdot\eta_1\cdot\eta_2) \tag{2}$$

式中: q_c 表示采暖能源消耗量指标(kg 标准煤/ m^2); q_H 表示建筑物耗热量指标(W/m^2),鉴于目前大部分建筑采暖能耗尚未达到标准 JGJ 26-2010《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》所规定的建筑物耗热量指标,这里以标准 JGJ 26-95《民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》中的建筑物耗热量指标为标准,计算各城市单位供暖面积能源消耗量; Z 表示采暖期天数(d),这里取法定采暖期天数; H_c 表示标准煤热值,取 $8.14\times10^3W\cdot h/kg$; η_1 表示室外管网输送效率,在非

节能状态下为 85%,节能状态下为 90%,本研究取 90%; η_2 表示锅炉运行效率,根据机械行业标准 JBT 10094-2002《工业锅炉通用技术条件》,本研究将燃气锅炉运行效率取 90%.

表 6 2010 年 15 个重点供暖城市的建筑体供热能耗
Table 6 Energy consumption of buildings for central heating in 15 major cities in 2010

重点供暖城市	建筑物耗热量指标 (W/m ²)	法定采暖期(d)	采暖耗煤		供热能耗 [*] (×10 ⁶ kcal)
			量指标(kg 标准煤 /m ²)	供热面积 (×10 ⁴ m ²)	
北京	20.6	120	8.90	46715	29424201
长春	21.7	167	13.19	12166	11234004
哈尔滨	21.9	182	14.51	13058	13261278
呼和浩特	21.3	172	13.34	6469	6038722
济南	20.2	120	8.82	6283	3880606
兰州	20.8	151	11.43	4212	3370445
沈阳	21.2	151	11.65	22500	18352498
石家庄	20.3	120	8.87	8031	4984789
太原	20.8	151	11.43	7483	5988470
天津	20.5	120	8.95	24034	15064719
乌鲁木齐	21.8	182	14.44	8723	8818478
西安	20.2	120	8.82	5994	3701800
西宁	20.9	182	13.85	34	33050
银川	21.0	152	11.62	3452	2807833
郑州	20.0	120	8.74	2261	1382403

注:^{*}供热能耗= $q_c \times$ 标准煤热值 $\times$ 供热面积 $\times 10^{-2}$ 百万kcal,标准煤热值为7000kcal/kg

从《中国城市建设统计年鉴》(2011)查到 2010 年这 15 个重点供暖城市的供暖面积,乘以各城市单位供暖面积能源消耗量,得到各城市的建筑体供热能耗(表 6).

最后,根据表 6 中各城市 2010 年的建筑体供热能耗和表 4 中天然气替代燃煤集中供暖的 5 种污染物减排系数,得到这 15 个重点供暖城市 2010 年如果用天然气替代燃煤集中供暖可以获得的大气污染物减排量(表 7).

从表 7 可以看出,在我国 15 个重点供暖城市中,2010 年如果采用天然气替代燃煤集中供暖,共可以减少 CO₂ 排放量 2190.71 万 t、颗粒物(PM)排放量 734.24 万 t、SO₂ 排放量 40.21 万 t、NO_x 排放量 22.56 万 t、CO 排放量 3.49 万 t,表明城市利用天然气替代燃煤集中供暖对 CO₂、颗粒物

(PM)、SO₂ 和 NO_x 都有较明显的减排效果.在这 15 个城市中,减排效果排在前 5 位的城市依次是北京、沈阳、天津、哈尔滨和长春,其中供热面积最大的北京市大气污染减排效果最为显著.具体来说,北京市 2010 年如果采用天然气替代燃煤集中供暖,CO₂ 减排量可达到 502.24 万 t,颗粒物(PM)减排量可达到 168.33 万 t,SO₂ 减排量可达到 9.22 万 t,NO_x 减排量可达 5.17 万 t,CO 减排量可达 8000t.这里需要指出的是,2010 年北京市已经投入 10.01 亿 m³ 天然气用于替代燃煤集中供暖,相当于约有三分之一的供热面积已经实现了天然气供暖,由此当年北京市已实际获得了三分之一的大气污染减排量.

表 7 2010 年 15 个重点供暖城市天然气替代燃煤集中供暖的大气污染物减排量(万 t)
Table 7 Air pollutant reductions from replacement of coal with natural gas for central heating in 15 major cities in 2010 (10⁴ tons)

重点供暖城市	SO ₂ 减排量	NO _x 减排量	CO 减排量	CO ₂ 减排量	颗粒物(PM) 减排量
北京	9.22	5.17	0.80	502.24	168.33
长春	3.52	1.97	0.30	191.75	64.27
哈尔滨	4.15	2.33	0.36	226.36	75.87
呼和浩特	1.89	1.06	0.16	103.08	34.55
济南	1.22	0.68	0.11	66.24	22.20
兰州	1.06	0.59	0.09	57.53	19.28
沈阳	5.75	3.23	0.50	313.26	104.99
石家庄	1.56	0.88	0.14	85.09	28.52
太原	1.88	1.05	0.16	102.22	34.26
天津	4.72	2.65	0.41	257.14	86.18
乌鲁木齐	2.76	1.55	0.24	150.52	50.45
西安	1.16	0.65	0.10	63.19	21.18
西宁	0.01	0.01	0.00	0.56	0.19
银川	0.88	0.49	0.08	47.93	16.06
郑州	0.43	0.24	0.04	23.60	7.91
合计	40.21	22.56	3.49	2190.71	734.24

本文仅对城市利用天然气替代燃煤集中供暖的大气污染减排效果进行了分析,并没有考察这种替代的经济可行性及效益.在后续研究中,可以通过引入剂量-反应函数等方法对大气污染减排带来的健康效益进行测算,并据此对天然气替代燃煤集中供暖进行详细的费用-效益分析,考

察这一替代的经济可行性及效益,以更全面了解城市天然气替代燃煤集中供暖的综合效益。

4 结论

4.1 在国家发改委“天然气利用政策”中的 6 大天然气利用领域中,大气污染减排效果排序处于前 3 位的分别是天然气集中供暖替代燃煤集中供暖、分户式燃气供暖替代燃煤集中供暖、分布式能源替代燃煤集中供暖。从减少大气污染促进城市空气质量改善的角度来说,天然气供暖(包括集中供暖、分户式燃气供暖和分布式能源)在我国城市具有较高的推广价值。

4.2 在我国 15 个重点供暖城市中,2010 年如果采用天然气替代燃煤集中供暖,共可减少 CO_2 排放量 2190.71 万 t、颗粒物(PM)排放量 734.24 万 t、 SO_2 排放量 40.21 万 t、 NO_x 排放量 22.56 万 t、CO 排放量 3.49 万 t,表明城市利用天然气替代燃煤集中供暖对 CO_2 、颗粒物(PM)、 SO_2 和 NO_x 都有较明显的减排效果。在这 15 个城市中,减排效果排在前 5 位的城市依次是北京、沈阳、天津、哈尔滨和长春,其中北京市的减排效果最为显著。

参考文献:

- [1] Amundsen T, Apeland S, Barland K, et al. Natural Gas Unlocking the Low Carbon Future [M]. Oslo Norway, International Gas Union (IGU), 2010.
- [2] 胡奥林,白兰君.天然气利用之环境效益初探 [J]. 四川石油经济, 2000,(1):27-31.
- [3] 赵立军,吴国奇.天然气应用对大气环境的影响 [J]. 煤气与热力, 1998,(9):45-48.
- [4] 张中秀.特大城市天然气规模化利用的环境保护效益 [J]. 天然气技术与经济, 2012,6(3):7-9.
- [5] Chen H G, Wang B Y, Fu Q Y, et al. Reductions in emissions of local air pollutants and co-benefits of Chinese energy policy: a Shanghai case study [J]. Energy Policy, 2006,34(6):754-762.
- [6] 李 健,安俊岭,陈 勇,等.脱硝技术与天然气应用情景下京津冀地区空气质量模拟评估 [J]. 气候与环境研究, 2013,18(4):472-482.
- [7] 欧春华,李蜀庆,张 军,等.重庆市煤改气及其环境效益分析 [J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2004,27(11):100-104.
- [8] 毛显强,彭应登,郭秀锐.国内大城市煤改气工程的费用-效益分析 [J]. 环境科学, 2002,23(5):121-125.
- [9] 付子航.煤制天然气碳排放全生命周期分析及横向比较 [J].

天然气工业, 2010,30(9):100-104.

- [10] 薛 婕,罗 宏,吕连宏,等.中国主要大气污染物和温室气体的排放特征与关联性 [J]. 资源科学, 2012,34(8):1452-1460.
- [11] Eggleston H S, Buendia L, Miwa K, et al. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the national greenhouse gas inventories programme [M]. Japan: IGES, 2006.
- [12] 国家环境保护总局.排污申报登记实用手册 [M]. 北京:中国环境科学出版社, 2004.
- [13] 国务院第一次全国污染源普查领导小组办公室.《第一次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册》[Z]. 2008.
- [14] 潘小川,刘君卓,金晓滨,等.家用燃料气态燃烧产物对室内空气污染的初步评估 [J]. 环境与健康杂志, 2006,23(5):394-397.
- [15] 美国 EPA. WebFIRE emission factor all webfire source classification codes (SCC) [EB/Z]. <http://cfpub.epa.gov/webfire/>.
- [16] GB 18352.3—2005 轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国 III、IV 阶段) [S].
- [17] 蔡 皓,谢绍东.中国不同排放标准机动车排放因子的确定 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2010,46(3):319-326.
- [18] Gonçalves M, Jiménez-Guerrero P, Baldasano M. Emissions variation in urban areas resulting from the introduction of natural gas vehicles: Application to Barcelona and Madrid Greater Areas (Spain) [J]. Science of the Total Environment, 2009,407(10):3269-3281.
- [19] Jayaratne E R, Ristovski Z D, Morawska L, et al. Carbon dioxide emissions from diesel and compressed natural gas buses during acceleration [J]. Transportation Research, 2010,15(5):247-253.
- [20] 张树平,周 强.CNG 汽车改装技术和效益分析 [J]. 甘肃科技, 2009,25(23):83-88.

作者简介: 庞 军(1971-),男,湖北荆门人,副教授,博士,研究方向为能源与环境经济学.发表论文 20 余篇。