

# “瓶改管”背景下城镇燃气发展的现实意义及展望

宋明磊 江华清

深圳市燃气工程监理有限公司

**摘要:** 我国城镇燃气主要由人工煤气、液化石油气以及天然气三类构成。近年来,随着中国新型城镇化建设、大气污染治理、能源转型升级的推进,城镇燃气行业实现了高速发展,城镇天然气消费量逐年快速增长,但由于城中村及老旧小区在城市中占比较大,管道天然气普及率仍较低,而天然气作为过渡能源,可为我国建设清洁低碳、安全高效的新型能源体系以及实现我国“碳达峰、碳中和”目标提供基础保障,因此城中村及老旧小区管道天然气改造将是我国能源转型的必经之路。本文以深圳市城中村“瓶改管”工程为例,分析了推广“瓶改管”工作的优势及必要性,对居民和餐饮业用户的用气安全性以及城镇燃气领域事故概率做了调查分析,同时对“瓶改管”为城市发展带来的环境、经济效益进行了详细分析,为推动“瓶改管”工作提供了理论依据。

**关键词:** 瓶改管; 安全; 经济; 环保; 综合能源; 低碳智慧城市

## 1 城镇燃气发展现状

我国城市燃气发展已有超过 140 年历史,但真正发展开始于上世纪 80 年代后期,主要可分为三个阶段。第一阶段:人工煤气阶段。上世纪 80 年代初,国家出台节能政策和财政支持政策,全国开始建成了一批以利用焦炉煤气和化肥厂释放气为主的城市燃气工程;第二阶段:液化石油气阶段。上世纪 90 年代初,国家出台了允许液化石油气进口的政策,并取消了进口配额限制,广东沿海等地区首先引入进口液化石油气,到 1999 年进口液化石油气总量达 500 多万吨,使液化石油气成为城市燃气的主要气源;第三阶段:天然气阶段。上世纪 90 年代末到 21 世纪初,我国建成了陕京一线和西气东输一线,管道天然气在城市燃气中得到发展,标志着中国城市燃气已进入天然气时代<sup>[1]</sup>。21 世纪,受“煤改气”、“瓶改管”、“老区改造”等工程的持续推进影响,城市燃气行业天然气消费持续增长,成为 2021 年天然气消费增量主力。根据国家统计局数据显示,目前,我国城镇化率已达到 64.7%,城市燃气已进入天然气时代,天然气用气人口比例从 2004 年的 20.21% 提升到 2019 年的 76.52%;液化石油气消费量从 2017 年峰值 3225 万吨降至 2019 年 2855 万吨,减少约 11.47%;煤气消费量从 2010 年峰值 167 亿立方米降至 2019 年 46 亿立方米,减少约 72.46%;而天然气消费量从 1990 年开始大幅增长,从 29 亿立方米持续增长至 2019 年 502 亿立方米。由此可以看出,在国家全面深化改革开放的政策下,天然气在能源转型、绿色低碳发展、生态文明建设之路上充当着不可替代的重要角色,城镇燃气基础设施的不断完善以及燃气覆盖率的不断增加,为我国新时代新能源高质量发展提供基础保障。

2021 年,我国全年能源消费总量 52.4 亿吨标准煤,比上年增长 5.2%。煤炭消费量增长 4.6%,原油消费量增长 4.1%,天然气消费量增长 12.5%,电力消费量增长 10.3%。煤炭消费量占能源消费总量的 56.0%,比上年下降 0.9 个百分点;天然气、水电、核电、风电、太阳能发电等清洁能源消费量占能源消费总量的 25.5%,上升 1.2 个百分点。天然气消费量相比于其他能源显著增加,由此可见,天然气作为一种更清洁、高效、经济的能源正越来越受到人们的青睐,而成本高、气质差以及气源厂在生产过程中污染环境的人工煤气、液化石油气等正在逐步退出人们视线。与煤、人工煤气以及液化石油气相比较,管道天然气能够大幅降低二氧化碳排放量和有害气体排放量,而减排降污既是调整经济结构、转变发展方式、改善民生的重要目标,也是改善环境质量、彻底解决环境问题的重要手段<sup>[2]</sup>。在“碳达峰、碳中和”和能源体制改革深化的背景下,天然气替代煤、液化石油气等化石能源已成为必然,现阶段城市燃气企业已经开始大力推进城中村及老区“瓶改管”工程,提高天然气普及率,尽可能节能减排,在能源转型之路上为清洁能源的发展

提供强有力的保障。

## 2 近年来燃气事故统计

近年来,燃气事故数量随着燃气用户增长继续反向下下降,事故率明显降低,主要得益于天然气普及率的不断提高。据不完全统计,近五年来全国共发生燃气爆炸事故 3475 起,每年发生事故约 695 起,每年因燃气爆炸导致约 81 人死亡,其中,液化气爆炸事故占室内燃气事故总数的 65%。

以 2019 年到 2021 年燃气事故统计数据为例:

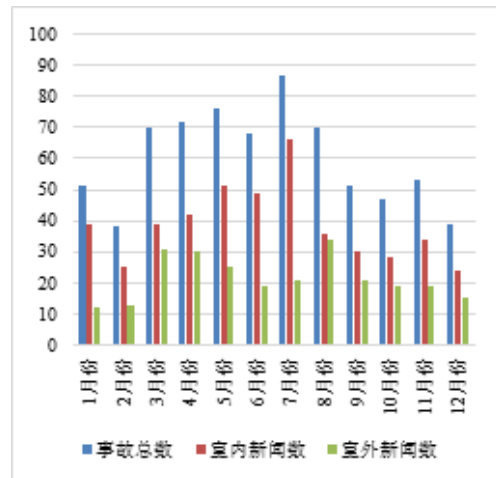


图1 2019年每月燃气事故新闻统计

2019 年燃气事故新闻 722 起,造成 63 人死亡,585 人受伤。722 起事故中,室外燃气事故 259 起,室内燃气事故新闻 463 起。明确介质的事故新闻中,液化石油气 353 起,占比 77.07%;天然气 101 起,占比 22.05%;人工煤气 4 起,占比 0.87%。液化石油气是引起室内事故的主要介质,天然气介质引起的事故相对较低。

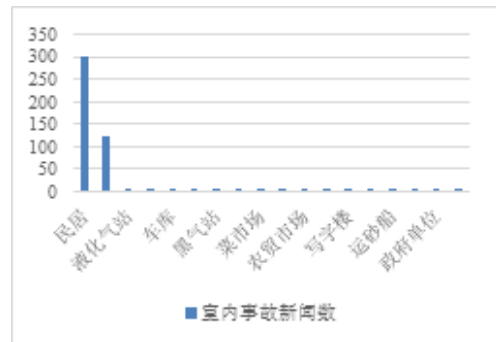


图2 2019年室内事故发生场所统计

2019 年全年室内燃气事故新闻主要集中在民居室内,共 301 起,占比 65.01%;商户事故 123 起,占比 26.57%,但商户事故造成的伤亡人数相对比例较高,单次事故亡人数量较大,室内燃气事故是造成人员伤亡的主要事故。

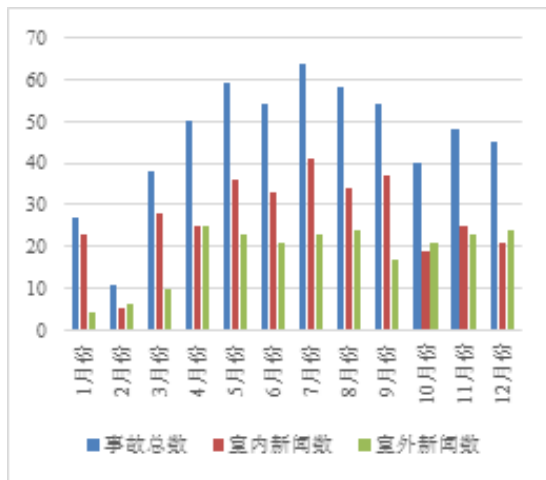


图3 2020年每月燃气事故新闻统计

2020 年燃气事故新闻 548 起,造成 84 人死亡,670 人受伤。548 起事故中,室外燃气事故 221 起,室内燃气事故新闻 327 起。明确介质的事故新闻中,液化石油气 251 起,占比 65.95%;天然气 103 起,占比 31.60%;人工煤气 7 起,占比 2.15%。液化石油气仍为引起室内事故的主要介质,天然气介质引起的事故相对较低。

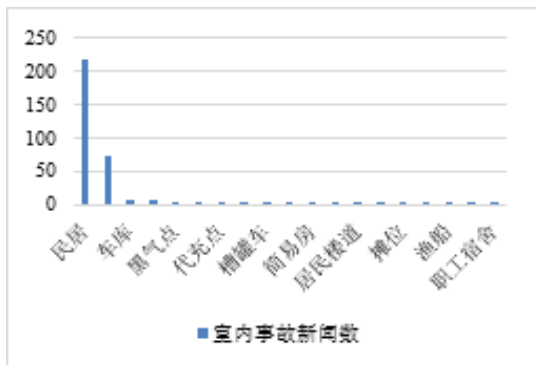


图4 2020年室内事故发生场所统计

2020 年全年室内燃气事故新闻主要集中在民居室内,共 218 起,占比 66.66%;商户事故 73 起,占比 22.32%,但商户事故造成的伤亡人数相对比例较高,单次事故亡人数量较大。

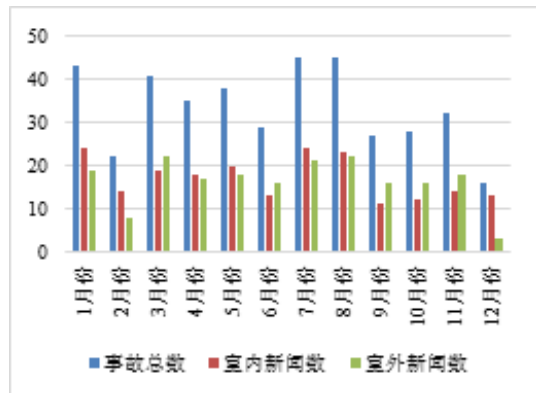


图5 2021年每月燃气事故新闻统计

2021 年燃气事故新闻 401 起,造成 76 人死亡,507 人受伤。401 起事故中,室外燃气事故 196 起,室内燃气事故新闻 205 起。明确介质的事故新闻中,液化石油气 141 起,占比 68.78%;天然气 64 起,占比 31.32%。液化石油气仍为引起室内事故的主要介质,

天然气介质引起的事故相对较低。

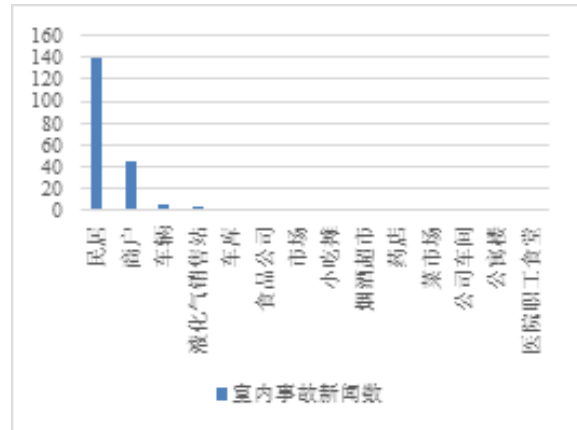


图6 2020年室内事故发生场所统计

2021 年全年室内燃气事故新闻主要集中在民居室内,共 139 起,占比 67.80%;商户事故 45 起,占比 21.95%,商户事故造成的伤亡人数相对比例较高,单次事故亡人数量较大。

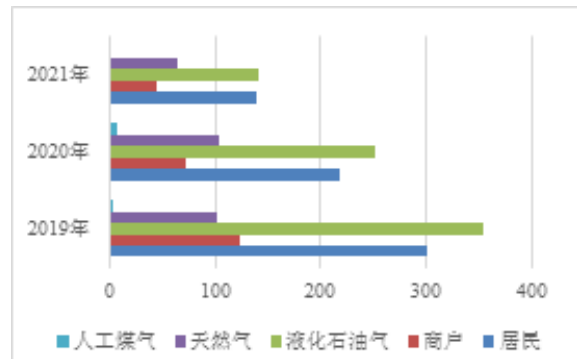


图7 2019年-2021年室内燃气事故发生场所及介质对比分析

2019 年至 2021 年室内燃气事故数量逐年降低。居民燃气事故数量方面,2020 年,同比下降 27.57%;2021 年,同比下降 36.24%。商户燃气事故数量方面,2020 年,同比下降 40.65%;2021 年,同比下降 38.37%。液化石油气事故数量方面,2020 年,同比下降 28.90%;2021 年,同比下降 43.82%。天然气事故数量方面,2020 年,同比增长 1.9%;2021 年,同比下降 37.86%。

结论:通过对近年全国燃气事故数据统计分析发现,室内燃气事故主要集中在居民用户和商户,其中居民用户燃气事故数量大约是商户燃气事故数量的两倍,但商户燃气事故造成的人员伤亡影响远大于居民用户。液化石油气仍是引发室内事故的主要介质,天然气介质引发的事故相对较低,液化石油气引发事故数量大约是天然气的两倍,并且事故造成的伤亡比天然气事故严重。随着城镇化建设和城市天然气的不断普及,液化石油气将逐渐被天然气所取代,燃气事故总量也在逐年减少。由此可见,大力开展“瓶改管”工作,加快推进城市燃气中城中村及老区天然气改造是提高燃气安全性的重要举措。

### 3 “瓶改管”工作的环境、经济效益分析

#### 3.1 低热值的计算

##### 3.1.1 低热值的概念

低热值是指单位燃气完全燃烧后,其烟气被冷却到初始温度,其中的水蒸气以蒸汽的状态排出时,所放出的全部热量。现实生活中,城市燃气中的天然气和液化石油气的燃烧主要以低热值为主。

(1) 天然气和液化石油气低热值计算条件为:温度  $T_1=25^{\circ}\text{C}$ , 压强  $P=101.325\text{kpa}$ 。

(2) 标准状况下,  $T_0=273.15\text{K}$ ,  $P_0=101.325\text{kpa}$ , 理想气体状态方程

$$P_0V_0=nRT_0 \quad (1)$$

式中:

$P_0$ ——绝对压力;

$V_0$ ——1mol 理想气体所占的体积;

$T_0$ ——绝对温度;

$Z$ ——压缩因子;

$R$ ——摩尔气体常数。

当温度  $T_1=25^\circ\text{C}$ , 压强  $P=101.325\text{kpa}$  时, 混合气体摩尔体积  $V$  为 (不考虑压缩因子)

$$V = \frac{V_0 \times T_1}{T_0} = \frac{22.4 \times (25 + 273.15)}{273.15} = 24.45 \text{L/mol}$$

因此,  $1\text{m}^3$  混合气体物质的量  $n$  为

$$n = \frac{1000\text{L}}{V} = \frac{1000}{24.45} = 40.90 \text{mol}$$

当温度  $T=298.13\text{K}$ ,  $P=101.325\text{kpa}$  时, 常见可燃气体热值见表 1。

表 1 常见可燃气体热值

名称	高热值		低热值	
	(MJ/m <sup>3</sup> )	(Kcal/m <sup>3</sup> )	(MJ/m <sup>3</sup> )	(Kcal/m <sup>3</sup> )
氢	12.67	3031	10.70	2561
一氧化碳	12.64	3018	12.64	3018
甲烷	39.82	9510	35.88	8578
乙烷	70.3	16792	64.35	15371
丙烷	101.2	24172	93.18	22256
正丁烷	133.8	31957	123.56	29513
异丁烷	132.96	31757	122.77	37418
戊烷	169.26	40428	156.63	37418
乙烯	63.6	15142	59.44	14197
丙烯	93.61	22358	87.61	20925
丁烯	125.76	30038	148.73	35525
苯	162.15	38729	155.66	37180

表 3 天然气与液化石油气质量、热值数据

天然气		液化石油气	
1m <sup>3</sup> 天然气低位热值	39480.4KJ/m <sup>3</sup>	1m <sup>3</sup> 液化石油气低位热值	103099KJ/m <sup>3</sup>
1mol 天然气相对分子质量	17.7568g	1mol 液化石油气相对分子质量	48.6786g
1m <sup>3</sup> 天然气质量	726.25g	1m <sup>3</sup> 液化石油气质量	1990.95g
1kg 天然气低位热值	54362.00KJ/kg	1kg 液化石油气低位热值	51783.82KJ/kg

### 3.2 天然气与液化石油气经济性对比

根据深圳市天然气及液化石油气收费标准:

(1) 居民居家生活和集体宿舍用气

夏季 (5月-10月):

a. 第一档管道天然气, 用户月用量为 0-30 (含) 立方米时, 收费 3.5 元/立方米;

b. 第二档管道天然气, 用户月用量为 30-35 (含) 立方米时, 收费 4.0 元/立方米;

c. 第三档管道天然气, 用户月用量为 35 以上 (含) 立方米时, 收费 5.25 元/立方米。

冬季 (11月-次年4月):

a. 第一档管道天然气, 用户月用量为 0-40 (含) 立方米时, 收费 3.5 元/立方米;

b. 第二档管道天然气, 用户月用量为 40-45 (含) 立方米时, 收费 4.0 元/立方米;

c. 第三档管道天然气, 用户月用量为 45 以上 (含) 立方米时, 收费 5.25 元/立方米。

乙炔	58.48	13968	56.49	13493
硫化氢	25.35	6054	23.37	5581

### 3.1.2 天然气与液化石油气低位热值

随着全世能源消耗量越来越大, 二氧化碳排放日益增多, 温室效应愈加明显, 节能减排成为人类共同目标。目前, 我国化石能源在能源总消耗量中占比仍较大, 同煤炭、石油相比, 天然气所具有的高热值、低排放的优点已成为人类的首选化石能源。现阶段, 城市城中村及老区中瓶装液化石油气仍为主要生活能源, 管道天然气覆盖率较小。根据国家旧改政策和“双碳”目标, 城市管道天然气将逐渐取代瓶装液化石油气, 下文对天然气和液化石油气热值进行了计算, 并在相同热值条件下, 对环境、经济效益进行了对比分析, 说明了在深化能源改革的背景下, 实行“瓶改管”工作的必要性和重要性<sup>[9]</sup>。

通过对深圳市城镇管道天然气和瓶装液化石油气随机取样送检, 获得了天然气和液化石油气混合气体的主要组分和摩尔分数, 见表 2。

表 2 天然气与液化石油气主要组分、摩尔分数

名称	天然气		液化石油气	
	相对分子质量	摩尔分数 (mol%)	相对分子质量	摩尔分数 (mol%)
甲烷	16	91.5901	-	-
乙烷	30	5.1031	30	0.2
丙烷	44	2.1263	44	66.19
异丁烷	58	0.4745	-	-
正丁烷	58	0.5467	-	-
异戊烷	72	0.0409	-	-
正戊烷	72	0.0182	-	-
丁烷	-	-	58	33.55
戊烷	-	-	72	0.05

已知天然气和液化石油气主要组分和摩尔分数, 当温度  $T_1=25^\circ\text{C}$ , 压强  $P=101.325\text{kpa}$  时, 通过计算可得天然气和液化石油气相关数据, 见表 3。

(2) 学校教学和学生生活、社会福利院机构等非居民用气, 收费标准一按 3.70 元/立方米。

(3) 15kg 瓶装液化石油气价格为 145 元/瓶。

天然气计算条件按照深圳市燃气收费标准第 (1) 类中夏季第一档收费标准计算; 液化石油气按照第 (3) 类收费标准计算。

因此, 1 瓶液化石油气 (实际充装 14.5kg), 燃烧后总热值为

$$14.5 \times 51783.82 = 750865.39 \text{KJ}$$

折合温度  $T_1=25^\circ\text{C}$ , 压强  $P=101.325\text{kpa}$  条件下天然气体积

$$750865.39 \div 39480.4 = 19.02 \text{m}^3$$

天然气费用为

$$19.02 \times 3.5 = 66.57 \text{元}$$

成本节约

$$145 - 66.57 = 78.43 \text{元}$$

成本节约率为

$$83.99 \div 145 = 54.09\%$$

天然气与液化石油气经济性对比计算条件:①城中村改造居民户数 300 万户,餐饮商户数 5 万户;②城中村居民用户每月平均消耗 1.5 瓶液化石油气,餐饮商户每月平均消耗 30 瓶液化石油气(市场调研数据)。

(1) 城中村天然气改造前:

居民用户燃料费用

$$1.5 \times 145 \times 12 = 2610 \text{ 元/年}$$

餐饮商户燃料费用

$$30 \times 145 \times 12 = 52200 \text{ 元/年}$$

全年燃料费用总计

$$2610 \times 300 + 52200 \times 5 = 1044000 \text{ 万元/年}$$

(2) 城中村天然气改造后:

居民用户燃料费用

$$19.02 \times 1.5 \times 3.5 \times 12 = 1198.26 \text{ 元/年}$$

餐饮商户燃料费用

$$19.02 \times 30 \times 3.7 \times 12 = 25334.64 \text{ 元/年}$$

全年燃料费用总计

$$1198.26 \times 300 + 25334.64 \times 5 = 486151.2 \text{ 万元/年}$$

小结:对比分析发现,使用天然气作为日常生活燃料,燃料成本节约率达到了 54.09%,居民每年可节约 1411.74 元,餐饮商户每年可节约 26865.36 元,可为全市节约生活燃料费用 557848.8 万元,天然气相比于液化石油气经济性非常明显。

### 3.3 天然气与液化石油气环境保护性对比

#### 3.3.1 天然气燃烧 $CO_2$ 排放量

已知天然气中各组分的分子质量及各组分所占比例。根据以下计算公式:

$$m = \sum_{k=1}^n (m_k \times X_k) \quad (2)$$

式中:

$m$ ——天然气燃烧产生的  $CO_2$  质量;

$m_k$ ——天然气中各组分燃烧产生的  $CO_2$  质量;

$X_k$ ——天然气中各组分所占比例。

因此,1mol 天然气燃烧产生  $CO_2$  质量为:

$$m_{\text{天然气}} = \sum_{k=1}^7 \left( \frac{44 \times 91.5961\% + 88 \times 5.1031\% + 132 \times 2.1263\% + 176 \times 0.4745\% + 176 \times 0.5467\% + 220 \times 0.0409\% + 220 \times 0.0182\%}{220} \right) = 49.5243g$$

1m<sup>3</sup> 天然气燃烧产生  $CO_2$  质量为

$$49.5243 \times 40.90 = 2025.54g$$

#### 3.3.2 液化石油气燃烧 $CO_2$ 排放量

1mol 液化石油气燃烧产生  $CO_2$  质量为

$$m_{\text{液化石油气}} = \sum_{k=1}^4 \left( \frac{88 \times 0.2\% + 132 \times 66.19\% + 176 \times 33.55\% + 220 \times 0.05\%}{220} \right) = 146.70g$$

则:

1m<sup>3</sup> 液化石油气燃烧产生  $CO_2$  质量为

$$146.70 \times 40.90 = 6000.03g$$

1kg 液化石油气燃烧产生  $CO_2$  质量为

$$1 \div 1.99095 \times 6000.03 = 3013.66g$$

1 瓶液化石油气燃烧产生  $CO_2$  质量为

$$3013.66 \times 14.5 = 43698.07g$$

当温度  $T_1 = 25^\circ C$ , 压强  $P = 101.325kpa$  时,消耗 1 瓶液化石油气产生热值等同于消耗天然气 19.02m<sup>3</sup>。

在产生相同热值下,天然气燃烧产生  $CO_2$  质量为

$$19.02 \times 2025.54 = 38525.77g$$

$CO_2$  排放量减少

$$43698.07 - 38525.77 = 5172.30g$$

$CO_2$  排放量减少率

$$5172.30 \div 43698.07 = 11.84\%$$

#### 3.3.3 天然气与液化石油气 $CO_2$ 排放量对比

以①城中村改造居民户数 300 万户,餐饮商户数 5 万户;②城中村居民用户每月平均消耗 1.5 瓶液化石油气,餐饮商户每月平均消耗 30 瓶液化石油气为已知计算条件,对天然气与液化石油气  $CO_2$  排放量进行计算。

(1) “瓶改管”前  $CO_2$  排放量

$$\left( \frac{1.5 \times 14.5 \times 12 \times 3013.66 \times 300 + 30 \times 14.5 \times 12 \times 3013.66 \times 5}{10^6} \right) \times 10^{-6} = 314.626 \text{ 万吨/年}$$

(2) “瓶改管”后  $CO_2$  排放量

$$\left( \frac{19.02 \times 2025.54 \times 1.5 \times 12 \times 300 + 19.02 \times 2025.54 \times 30 \times 12 \times 5}{10^6} \right) \times 10^{-6} = 277.385 \text{ 万吨/年}$$

小结:对比分析发现,使用天然气作为日常生活燃料,相比于液化石油气  $CO_2$  排放量降低了 11.84%,每年可为深圳市减少 37.241 万吨  $CO_2$  排放。由此可见,城中村天然气改造更符合我国绿色低碳的发展目标。

## 4 结论

### 4.1 结论

通过对城市燃气中天然气和液化石油气低位热值分析发现,二者在温度  $T = 25^\circ C$ , 压强  $P = 101.325kpa$  条件下燃烧产生相同热值时,在燃料经济性方面,天然气相比于液化石油气燃烧成本节约 54.09%,居民用户一年可节约 1411.74 元,餐饮商户一年可节约 26865.36 元,城中村天然气改造完成后,可为全市民节约燃料费共计 557848.8 万元;在绿色环保方面,天然气相比于液化石油气燃烧  $CO_2$  排放量降低 11.84%,城中村天然气改造完成后每年可为深圳市减少  $CO_2$  排放 37.241 万吨。由此可以看出,天然气在燃料经济性上占绝对优势,可降低居民大部分燃料费用,改善生活品质,同时天然气燃烧产生的二氧化碳较少,在环境保护方面更加贴合我国绿色低碳的发展目标。因此,城中村和老区天然气改造是非常必要的,是契合“十四五”期间能源发展方向和要求的,能够为能源转型和“碳达峰、碳中和”目标的实现提供基础保障。

### 参考文献:

- [1]吕森.中国城镇燃气行业发展现状及政策建议[J].国际石油经济, 2015, 23 (06): 23-29+110.
- [2]中国城镇与农村燃气市场发展现状及展望[C]//中国燃气运营与安全研讨会(第九届)暨中国土木工程学会燃气分会 2018 年学术年会论文集(上)., 2018: 31-35.
- [3]西安某新区瓶装液化石油气转换管道天然气(简称“瓶改管”)案例分析[C]//中国燃气运营与安全研讨会(第十一届)暨中国土木工程学会燃气分会 2021 年学术年会论文集(上册)., 2021: 163-171.DOI: 10.26914/c.cnkihy.2021.061595.
- [4]刘合,梁坤,张国生,李志欣,丁麟,苏健,朱世佳,葛苏,刘婧瑶.碳达峰、碳中和约束下我国天然气发展策略研究[J].中国工程科学, 2021, 23 (06): 33-42.
- [5]徐博,金浩,向悦,段天宇,张愉.中国“十四五”天然气消费趋势分析[J].世界石油工业, 2021, 28 (01): 10-19.
- [6]孟伟,何卫,李璐伶,杨喆,单克,段鹏飞,蒋鹏,范峻铭.城镇燃气行业发展现状与关键前沿技术[J/OL].油气储运: 1-11[2022-06-25].http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1093.TE.20220406.1920.004.html

\* 城市燃气/燃气资源/综合能源/智慧服务