专家论坛 SPECIALIST FORUM

天然气负荷指标及用气规律的研究

北京市燃气集团有限责任公司(100035) 李雅兰 刘 燕 冯 军
北京市公用事业科学研究所(100011) 邵震宇 贾 林

1 概述

1.1 引言

随着国内经济的迅猛发展,能源需求不断提高,作为清洁能源的天然气近年来其销售量一直在持续增长,同时天然气应用范围也在不断扩展,为了更有效地利用天然气,对天然气负荷指标和用气规律的研究尤为重要。本课题对北京市现有的采暖、制冷、居民、公共服务业、冷热电三联供、工业、CNG(汽车、压缩天然气)七大类用户用气状况进行全面分析,通过现场调查和远传监控方式,取得了详实的用户信息和用气数据,利用数理统计和计量经济学方法,得到北京市天然气负荷指标、用气规律,其研究成果为北京市天然气发展规划、工程设计、运行管理提供了可靠的依据,其研究方法亦可供其他城市借鉴与参考。随着课题研究的不断深入其成果将得到补充和完善。

1.2 北京市天然气发展概况

为了进一步改善北京市的环境和今后的可持续发展,北京市政府已确立了"改变以煤为主的能源结构,大量引进天然气"的基本方针,实施了发展锅炉煤改气、天然气汽车等一系列环保工程,使天然气在改善城市环境中占据了举足轻重的地位,在合理利用天然气、优化能源结构上出现了一个飞跃。"陕甘宁天然气进京" 为北京市能源结构的调整和首都大气环境的改善做出了突出的贡献。

作为全国天然气使用量最大的城市,北京市已经形成了完整的天然气供应系统,供气管线已延伸到远郊区县的卫星城镇和中心城镇。天然气购入量和销售量逐年上升,利用的范围和地域不断扩大。详见图 1。

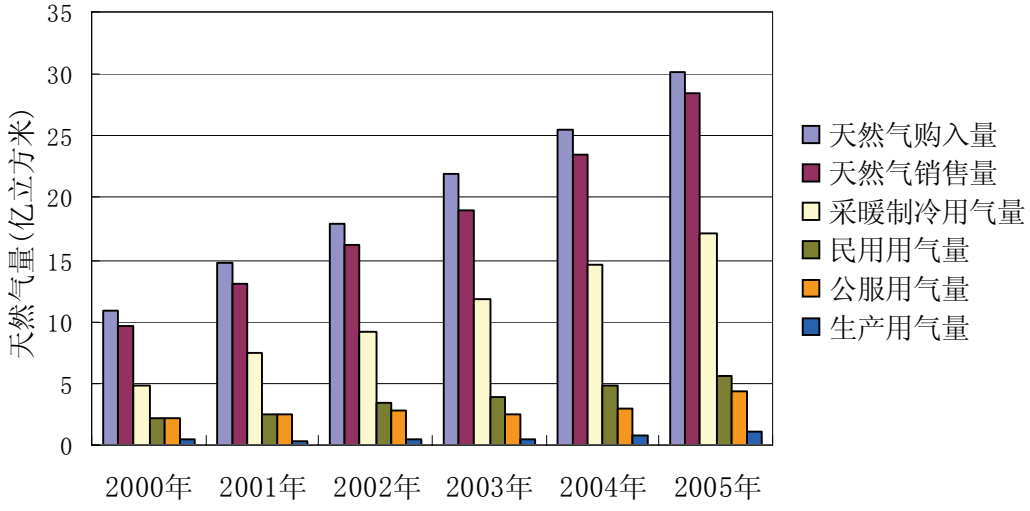

图 1 北京市天然气历年供应及销售情况

2000 年至 2005 年北京市的天然气购入量每年增加 3 亿~5 亿 m^3，每年发展天然气用户 20 万~30 万户。天然气的应用对象也由最初的居民炊事、公共服务业 (主要是餐饮)用户,扩展到采暖、制冷、汽车、发电、热电冷三联供等用户,而且各类用户本身的应用范围和规模也在不断扩大。以采暖为例,采暖设备的应用已由原来的蒸汽锅炉、热水锅炉扩展到直燃机、模块锅炉、热泵、壁挂炉等。到 2005 年底,北京市有天然气采暖锅炉 6 839 台(22 414.6 蒸 t),利用天然气锅炉采暖的建筑面积 1.65 亿 m^2，直燃机 697 台,直燃机采暖面积 11.4 万 m^2,模块锅炉 3 384 户,模块锅炉采暖面积 1 788 万 m^2,壁挂炉分户采暖用户 25 万户,壁挂炉采暖面积 3 704 万 m^2,并有少量热泵和三联供采暖用户。

"十一五"期间天然气应用规模和范围仍在不断扩大。根据北京市城市发展规划以及能源发展战略,预计北京市 2010 年天然气用量在 60 亿 m^3/年~70 亿 m^3/年。

1.3 本课题研究的必要性和意义

城市天然气的用气量越大，对天然气的用气指标和用气规律的研究就越重要。北京作为国内天然气用量最大的城市，应用对象几乎涵盖了现阶段应用天然气的所有领域，以前北京市在做天然气规划时对居民用户、商业用户用气指标进行过大量的调查研究，并且参考相关规范和相关城市用气情况确定出北京市一些用户类别的用气量指标，但随着时间的推移,需要加以修订、补充和完善。有些类别的用气量指标已经不只局限在燃气行业内确定，还要参考其他专业指标来确定,如采暖用气指标、制冷用气指标、汽车用气指标等,而且新型用户的加入需要增加新的用气指标，新型用户的增加城市用气结构就会变化,其总的用气规律也会随之发生变化。不同类型用户,其月、日、时的用气变化千差万别,这些变化直接影响北京市天然气输配系统的建设和天然气用量的预测。

2 课题的研究内容

面对北京市庞大而广泛的用户群体，进行用气指标和用气量规律的研究，合理地收集数据并进行科学的分析比较就显得尤为重要。本课题包括以下研究内容：

(1)观测对象及样本数量的确定。由于观测对象和样本数量对最终成果的价值及研究人力、物力、财力的投入关系极大,所以对用户进行分类,并根据抽样理论和试验设计的要求确定各类用户的样本数量。

(2)用户信息调查。用气负荷指标与用气规律受观测对象自身条件及客观条件的影响，所以对用户的详细信息及客观影响因素进行调查。如居民家庭用户,调查其家庭人口数、经济收入、住房面积、外出就餐情况、洗浴习惯等。同时,对气象因素等客观条件取得了详实、准确的数据。

(3)用户的用气量数据采集和整理。通过实际测量,记录了各用户一到两年的小时、日用气数据,并对其进行整理,建立数据库。

(4)对用户的基础数据采用数理统计或计量经济学方法进行分析研究，得出各类用户的用气指标和用气规律。

(5)建立数学模型,对用户的用气量指标和用气规律的影响因素进行定性、定量地分析和修正,以使其更具推广意义。

3 确定课题研究方案

3.1 用户的分类

根据北京市现有天然气用途的不同将用户分为 7 大类:居民用户、公共服务业用户、冬季采暖用户、夏季制冷用户、CNG 用户、工业生产用户、三联供用户。对上述用户进行细化分类。

3.1.1 采暖用户

按照《城市热力网设计规范》(GJJ34-90,1990 版),根据建筑物的功能不同,将采暖用户分为以下几类:住宅、居住区综合、学校办公楼、医院托幼、旅馆、商店、宾馆饭店等。

3.1.2 制冷用户

按照《北京市建筑设计技术细则》,将建筑物分为以下几类:旅馆、医院、办公楼、商店、体育馆、影剧院等。

3.1.3 公共服务业用户

按照《城市基础设施专业规划指标研究工作大纲》中《城市燃气供应规划指标研究》专题编写的要

求按建筑将公共服务用户分 11 类：(1)托儿所、幼儿园；(2)小学；(3)中学；(4)大学；(5)办公、写字楼；(6)综合商场、娱乐城；(7)高档宾馆、大饭店(三星级以上含三星级)；(8)普通旅馆、招待所(三星级以下)；(9)普通饭店、小吃店、餐饮业 ；(10)医院、疗养院 ；(11)企事业单位食堂

3.1.4 工业用户

按照行业不同，工业用户分为以下几类：机械、印刷、食品、陶瓷、冶金、电子、建材共 7 大类。

3.1.5 CNG 用户

CNG 汽车用户 、CNG 加气站 、CNG 小区用户 、CNG 工业用户。

3.2 根据分类确定抽样方法和样本容量

3.2.1 抽样方法

根据统计学原理，采用抽样调查的方法，即从研究对象的总体中抽取一部分单位作为样本，根据对所抽取的样本进行调查，获得有关总体目标量的了解。常用的几种基本抽样方法有简单随机抽样、分层抽样、整群抽样、系统抽样、多阶段抽样等，本研究采用简单随机抽样方法。

3.2.2 样本容量的确定

在本课题的研究中，根据用户的总体数大小，采用不同的方法来进行抽样。

3.2.2.1 总体数量较大的样本确定

根据抽样理论，如果只考虑调查精度对样本量的要求，则可以按统计意义对样本量进行定量的计算，对于总体较大的用户，采用简单随机抽样方法。

$$n=\frac{n_0}{1+\frac{n_0-1}{N}} \qquad 设：n_0=z^2\frac{p\theta}{d^2}$$

式中，N—总体；

n—样本容量；

P—某个特征的单元占总体的比例，$\theta\approx P-1$ ；

d—误差限；

Z—置信水平为 α 的分为数，当 α=0.05 时，Z=1.96。

3.2.2.2 总体数量较小的样本确定

对于总体数较小的用户，如采用较高的置信度和精度，已无法采用上述方法计算样本数量，所以应采用新的方法来计算。

由数理统计学原理有

$$t_{n-1}(\alpha)\left(\frac{1}{n}-\frac{1}{N}\right)^{\frac{1}{2}} \leqslant \frac{\varepsilon}{S}$$

式中：S—方差，可用预抽样或历史数据取得；

ε—精度，根据抽样精度要求确定，一般取 0.1~5 之间；

$t_{n-1}(\alpha)$— t 分布函数，可由 t 分布表查得。

3.3 调查对象的选择和确定

在确定了各类用户的样本容量后，要确定符合本课题要求的具体样本用户，并利用或改造用户的计量装置，使其具有小时流量及累计流量计量功能，见表 1。

表 1 各类用户的总体及样本数量 （单位：个）

用户分类	总体数	计算样本数	实际样本数
民用	2 865 767	450	1 000
公共服务	16 309	148	152
采暖制冷	4 417	148	180
CNG 加气站	5	2	4
CNG 公交车	2 808	26	56
CNG 公交车加气	21	5	5
LPG 出租车	6 000	26	10
LPG 加气站	30	7	1

3.3.1 选择调查对象

根据样本的容量选择符合本课题研究需要的样本，对初步选定的样本进行实地调查走访，深入了解其实际情况，对符合课题要求的用户进行下一步工作，对不符合的重新选择样本对象。

3.3.2 燃气表的改造

由于目前我们使用的燃气表不具备本课题要求的小时用气量自动记录存储功能，这就需要我们对选定样本用户的现有燃气表进行技术改造，使其具备小时用气量自动记录存储功能，我们的改造形式有两种，其一是对具备安装 GSM/GPRS 公众无线网远程抄表监测系统条件的用户安装远程抄表监测系统；对不具备安装该系统的样本用户安装本地小时

流量自动记录存储采集器，定期人工到用户现场读取数据。

3.4 数据及相关信息的采集

3.4.1 数据的采集

对安装 GSM/GPRS 公众无线网远程抄表监测系统的样本用户数据定期到集团营销服务部计量间提取,安装本地小时流量自动记录存储采集器,定期人工到用户现场读取数据。有些用户有自动计量装置,但不能存储数据,由课题人员或派专人在现场跟踪记录到每个小时的数据。对于具有运行记录数据库的用户,征得对方同意,调用与课题有关的数据。

3.4.2 各类用户相关信息的采集

3.4.2.1 居民用户

家庭人口状况、居住面积、收入情况、燃具种类及使用情况、电器炊事用具和电热水器的使用情况、洗浴情况等。

3.4.2.2 公共服务业用户

用户性质、单位就餐人数、餐厅营业面积、餐厅营业座位数量、餐厅日平均就餐人数、宾馆房间数、宾馆床位数、宾馆日平均入住率等。

3.4.2.3 采暖用户

用户所属行业、建筑面积、室内温度、采暖供回水温度、采暖制度、建筑物构造、建筑年代、供暖设备信息等。

3.4.2.4 制冷用户

用户所属行业、建筑面积、室内温度、运行制度、建筑物构造、制冷设备信息等。

3.4.2.5 工业用户

产品种类、生产班次、产量、职工人数、生产车间面积。

3.4.2.6 CNG 用户

用户基本信息、加气能力、加气柱数量等。

3.4.2.7 冷热电三联供用户

燃气大楼的面积、采暖温度、用电量等。

3.4.2.8 气象信息

由于各类用户的用气量与气象条件有着密切的关系，所以很有必要对北京市的气象条件进行详细的了解。本课题收集了近四年北京市的室外气温(最高气温、最低气温、平均气温)、风向、风力等级、相对湿度、太阳辐射、日照时数等数据,这些数据由北京市专业气象局提供,准确可靠。

3.5 建立数据库系统

对采集的数据进行科学系统全面的分析是本课题的关键,要完成这些分析,必须对数据进行整理、归纳,建立一个适合本课题、可靠性高、安全性好的数据库。数据库主要包括以下内容:

(1)仪表信息。包括仪表编号、采集器号、安装位置、仪表用途、创建日期、备注信息 。

(2)仪表数据。包括仪表编号、采样时间、接收时间、瞬时流量、累计流量、温度、压力、报警描述。

(3)各类用户信息。针对不同的用户建立不同的用户信息数据。

(4)天气信息。包括平均温度、最高温度、最低温度、日平均相对湿度、风力、太阳辐射等。

(5)其他信息。数据库中应包括其他与本课题有关的数据,如北京市历年的用气量、用气分配、用户发展等信息。

本数据库具有强大的数据处理能力、良好的开放性和扩展性。

3.6 数据的整理与分析研究

3.6.1 数据的筛选

在整理数据时,首先应对可疑数据,即异常值,查找产生的原因,并进行剔除。常用的方法有拉依达准则、格拉布斯准则、狄克逊准则等。本研究对 3 种方法适用性进行了比较,其结论为:数据较多时,使用拉依达准则最简单,但当数据较少时,不能应用;格拉布斯准则和狄克逊准则都能适用于数据较少时的检验。总的来说,数据越多,可疑数据被错误剔除的可能性越小,准确性越高。

3.6.2 数据分布规律检验

在实际数据样本中，由于无法知道总体服从什么类型的分布，需要根据样本来检验分布假设是否正确。本研究根据数理统计原理,采用 检验法对各类用户负荷进行分布拟合检验，找出各类用户用气负荷分布规律，利用 t 分布函数对用户的用气指标进行区间估计,并计算出各类用户的用气规律(月、日、小时不均匀性)。对于采暖、空调用户,通过热负荷、冷负荷设计计算理论来分析用气指标及日用气量。用气不均性可用不均系数来表示,月、日、小时不均系数定义如下:

一年中各月的用气不均匀情况用月不均匀系数来表示。逐月平均的日用气量出现最大值的月份称

为计算月。月不均匀系数和月高峰系数的计算公式为：

$$\text{月不均匀系数 } K_1=\frac{\text{该月平均日用气量}}{\text{全年平均日用气量}} \quad (3-1)$$

月高峰系数

$$K_1^{max}=\frac{\text{最大月平均日用气量 } Q_{m.d}^{max}}{\text{全年平均日用气量 } Q_d^{cm}} \quad (3-2)$$

日不均匀系数表示一个月中日用气量的变化情况。日不均匀系数和日高峰系数的计算公式为：

$$\text{日不均匀系数 } K_2=\frac{\text{该月中某日用气量}}{\text{该月平均日用气量}} \quad (3-3)$$

日高峰系数

$$K_2^{max}=\frac{\text{最大月中最大日用气量 } Q_d^{max}}{\text{最大月的日平均用气量 } Q_{m.d}^{max}} \quad (3-4)$$

小时不均匀系数表示一日中的小时用气量的变化情况。小时不均匀系数和小时高峰系数的计算公式为：

小时不均匀系数

$$K_3=\frac{\text{该日某小时用气量}}{\text{该日平均小时用气量}} \quad (3-5)$$

小时高峰系数

$$K_3^{max}=\frac{\text{最大月中最大日的最大时用气量 } Q_h^{max}}{\text{最大月中最大日的平均时用气量 } Q_h^{cm}} \quad (3-6)$$

3.6.3 相关性分析

根据各类用户的用气特征及影响因素不同，通过相关性分析，寻求影响用气量的主要因素，利用计量经济学等原理，针对用户各自特征分别建立多元线性、n 次多项式、指数函数等回归模型，得出用气量与各影响因素之间的数学关系，并对这种数学关系进行了理论分析，验证了其合理性。

4 研究成果

4.1 用户的用气负荷指标，见表 2。

该研究成果可以为北京市的规划、设计和运行调度提供比较可靠的依据，也为其他城市的工程提供参考。

4.2 负荷相关性分析

民用指标单位为：人均年用气量（立方米/人.年），上述各因素中，常住人口、退休人口、在职人口为连续变量，燃气热水器（无 0 有 1）、电炊事、饮水设备（无 0 有 1）、居民宽松用气习惯（无 0 有 1）、人均可支配收入（根据收入的不同设为 1000，0100，0010，0001，0000）为虚拟变量。

4.3 总用气负荷曲线

本次研究取得全年共 8 760h 北京市总供气负荷用气数据，负荷曲线见图 2。

小时负荷最大值出现在第 2005 年 12 月 22 日 23 时，用气量为 158.5524 万 m^3，此时小时不均匀系数 1.616。

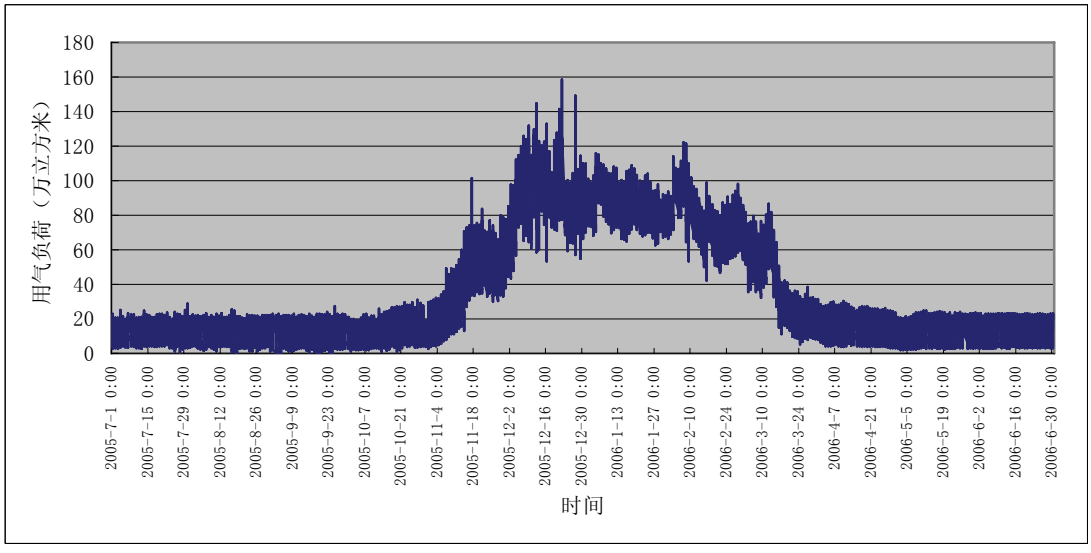

图 2 小时负荷曲线

表 2 部分用户的用气负荷指标*

用户类别		单位	用气负荷	
			指标	范围
采暖用户	普通住宅(无热水)	$m^3/m^2 \cdot a$	9.37	8.68～10.06
	普通住宅(有热水)	$m^3/m^2 \cdot a$	9.51	8.32～10.68
	学校	$m^3/m^2 \cdot a$	7.30	6.20～8.40
	医院幼托	$m^3/m^2 \cdot a$	12.33	8.83～15.83
	办公写字楼	$m^3/m^2 \cdot a$	10.65	9.15～12.14
	宾馆饭店	$m^3/m^2 \cdot a$	10.39	8.68～12.10
	高档住宅	$m^3/m^2 \cdot a$	17.85	17.15～19.07
	壁挂炉用户	$m^3/m^2 \cdot a$	7.71	-
制冷用户	办公写字楼	$m^3/m^2 \cdot a$	4.159	3.296～5.022
	商场	$m^3/m^2 \cdot a$	5.094	1.225～8.438
	宾馆	$m^3/m^2 \cdot a$	12.850	8.574～15.597
居民用户	家庭用户	$m^3/m^2 \cdot a$	69.604	66.329～72.880
公共服务业用户	幼儿园、托儿所	$m^3/d \cdot 人$	0.107	0.068～0.146
	小学	$m^3/d \cdot 人$	0.033	0.012～0.053
	中学	$m^3/d \cdot 人$	0.046	0.035～0.057
	企事业单位食堂	$m^3/d \cdot 人$	0.197	0.164～0.230
	五星级高档宾馆	$m^3/d \cdot 床$	0.567	——
	四星级高档宾馆	$m^3/d \cdot 床$	0.748	——
	三星级高档宾馆	$m^3/d \cdot 床$	0.897	——
	普通旅馆、招待所	$m^3/d \cdot 床$	0.853	0.755～0.951
	医院	$m^3/d \cdot 床$	0.322	0.259～0.385
	普通饭店、小吃店、餐饮业	$m^3/d \cdot 座$	0.665	0.490～0.840

*注：由于篇幅原因本文只将研究成果中部分用气负荷指标列出

表 3 部分采暖用户指标与影响因素的回归方程

用户类别	回归方程
普通住宅	$V=79.25-1.66t_d-0.95t_{q1}-0.54t_{q2}-0.77t_{q3}+1.8v-0.89E$
普通住宅（带热水）	$V=82.25-2.22t_d-0.78t_{q1}-0.56t_{q2}-0.70t_{q3}+2.47v-1.06E$
学校	$V=60.95-1.56t_d-0.89t_{q1}-0.14t_{q2}-0.32t_{q3}+3.10v-1.66E$
医院幼托	$V=96.62-2.50t_d-0.62t_{q1}-1.22t_{q2}-1.74t_{q3}+0.62v-0.17E$
办公楼	$V=85.94-2.57t_d-1.00t_{q1}-0.52t_{q2}-0.78t_{q3}+3.66v-1.06E$
宾馆	$V=97.43-1.91t_d-1.21t_{q1}-0.67t_{q2}-1.00t_{q3}+1.09v-1.03E$
高档住宅	$V=136.46-4.46t_d-1.54t_{q1}-0.51t_{q2}-1.10t_{q3}+1.34v-1.08E$
壁挂炉用户	$V=62.29-1.83t_d-0.69t_{q1}-0.16t_{q2}-1.28t_{q3}+0.83v$

表中：V——日用气量， $0.001m^3/m^2$；

t_d——当日平均气温，℃；

t_{qi}——前 i 日的平均气温，℃，i=1，2，3；

v——日平均风速，m/s；

E——太阳辐射，M J/ m^2。

表 4 部分制冷用户指标与影响因素的回归方程

用户类别	回归方程
办公楼	$I=-46.454+2.881t+0.219\phi-0.00004E-24.025h$
商场	$I=-57.253+3.073t+0.274\phi+0.00024E+1.584h$
宾馆	$I=-178.785+8.610t+0.840\phi+0.00546E-12.577h$

表中：V——日用气量，$0.001m^3/m^2$；

t——日平均气温，℃；

ϕ——日平均相对湿度，%；

E——太阳辐射，0.01M J/ m^2；

h——是否假日，为逻辑变量，假日为 1，非假日为 0。

表 5 民用指标全变量模型计算结果

变量序号	变量	系数	标准方差	t 值	P 值
0	常数项	76.71	14.87	5.16	0.00
1	常住人口	-0.10	1.78	-1.99	0.05
2	退休人口	0.06	1.93	1.21	0.23
3	在职人口	-0.06	2.21	-1.24	0.22
4	热水器	0.11	4.03	2.07	0.04
5	电炊事	-0.10	5.30	-1.92	0.05
6	节气习惯	0.06	3.81	1.17	0.24
7	1 000 元以下	0.21	13.13	1.27	0.21
8	1 000-3 000 元	0.02	12.89	0.11	0.91
9	3 000-5 000 元	0.17	13.52	1.32	0.19
10	5 000-10 000 元	0.08	16.27	1.09	0.28

5 结论及建议

本课题的研究以大量客观详实的数据为基础，以科学的理论为指导，得到了北京市用气指标和用气规律成果，为北京市天然气工程提供了有价值的基础资料，对其他城市的天然气相关工程也有参考意义。

但由于北京市首次全面、系统地进行用气负荷指标、用气规律的研究，本次研究所取得的多数用户的数据时间跨度仅为一年，所以对天然气发展而导致的用气情况变化缺乏足够认识，另外，影响用气情况的因素繁多、复杂，要准确地评估当前的用气指标和规律，并预测其发展趋势是一项非常艰巨的任务，所以本课题采用的回归数学模型，还有待于完善，建议将北京市天然气用气负荷和用气规律的研究继续深入、持久地开展下去，不断积累原始数据，长期跟踪样本用户，研究更加完善的数学模型，获得更科学、更切合实际的天然气用气负荷、用气规律方法。

参考文献

1 中国燃气协会.城市燃气用气负荷指标及用气规律统计研究汇编.2004,10

2 李云雁.试验设计与数据处理.化学工业出版社.2005,3

3 吕政.全年典型年气象数据的拟合及其建筑负荷分析中的应用.制冷与空调.2005,2