

川渝地区城市燃气用气量定量预测模型研究

□ 中国石油西南油气田公司天然气经济研究所 (610051) 姜子昂 邹晓琴 段言志 高千惠

摘 要: 准确预测城市燃气用量是燃气供气系统智能控制和调度优化的重要内容。本文应用热力学原理,分析川渝地区城市燃气用气规律,研究用户构成及数量、城市燃气基负荷强度、行为方式与活动周期、气温与气压因素和供应保障度等主控因素,对城市燃气短期用气量的影响机理,进而建立气温对城市燃气用气量影响的物理数学模型。实证分析表明:预测相对误差值达到3%以内。该模型对深化气温与城市燃气用气量机理研究,提高对城市燃气短期负荷预测精度具有重要的理论与实践意义。

关 键 词: 城市燃气 气温 用气量 影响机制 定量预测

城市燃气用气量与多项因素密切相关,具有高度非线性和随机性特征,特别是气温变化的影响非常大,要做到准确预测非常困难^[1]。川渝地区是目前我国最成熟的天然气生产和消费基地,探索其城市燃气用气规律,分析各主控因素的影响特点,并建立短期用气的主要影响因素,即气温与城市燃气各类用户用气量之间的定量预测模型,对城市燃气调峰、营销调度,保证天然气供应安全具有十分重要的现实意义和推广意义。

1 川渝地区城市燃气用气规律

根据城市燃气用户用气规律、耗气结构、基负荷特征,并结合川渝地区实际,将天然气用户分为居民用户、非居民用户(包括公服、商用、集体用户等)和CNG用户。城市燃气负荷存在着明显的周期性变化:每日两个小高峰,每周一个中高峰,每年一个大高峰。

1.1 城市燃气全年用气量变化特征

根据统计资料,川渝地区城市燃气负荷气温响应特性具有明显的区间特征,历年冬季最低气温多出现

在1月中上旬。城市燃气用量与气温呈现负相关性,总体呈现“马鞍”形状(图1,图2)。每年11月至次年3月都超过当年的月平均供气量,高峰月为春节前一个月,全年供气低峰月为7月或8月。不同用户单位具有不同的负荷特征(图3),非居民用气与气温显著相关,居民用气次之,CNG用气与气温的相关性不够明显。

1.2 城市燃气周用气量变化特征

川渝地区城市燃气周负荷变化特点与人们的生活、生产规律有关,具有7天的周期,用气高峰日一般出现在周四、周五(图4)。

1.3 城市燃气日用气量变化特征

统计数据表明,川渝地区城市燃气日用气量的气温响应特性具有明显的区间特征,一般呈中(12:00~14:00)、晚(19:00~21:00)两个高峰,由于夜间用气量较少,峰谷差较明显,最大时相差可达13倍多(图5)。

2 城市燃气用气量的主控因素及影响机制

分析表明,川渝地区影响城市燃气用气量的主要

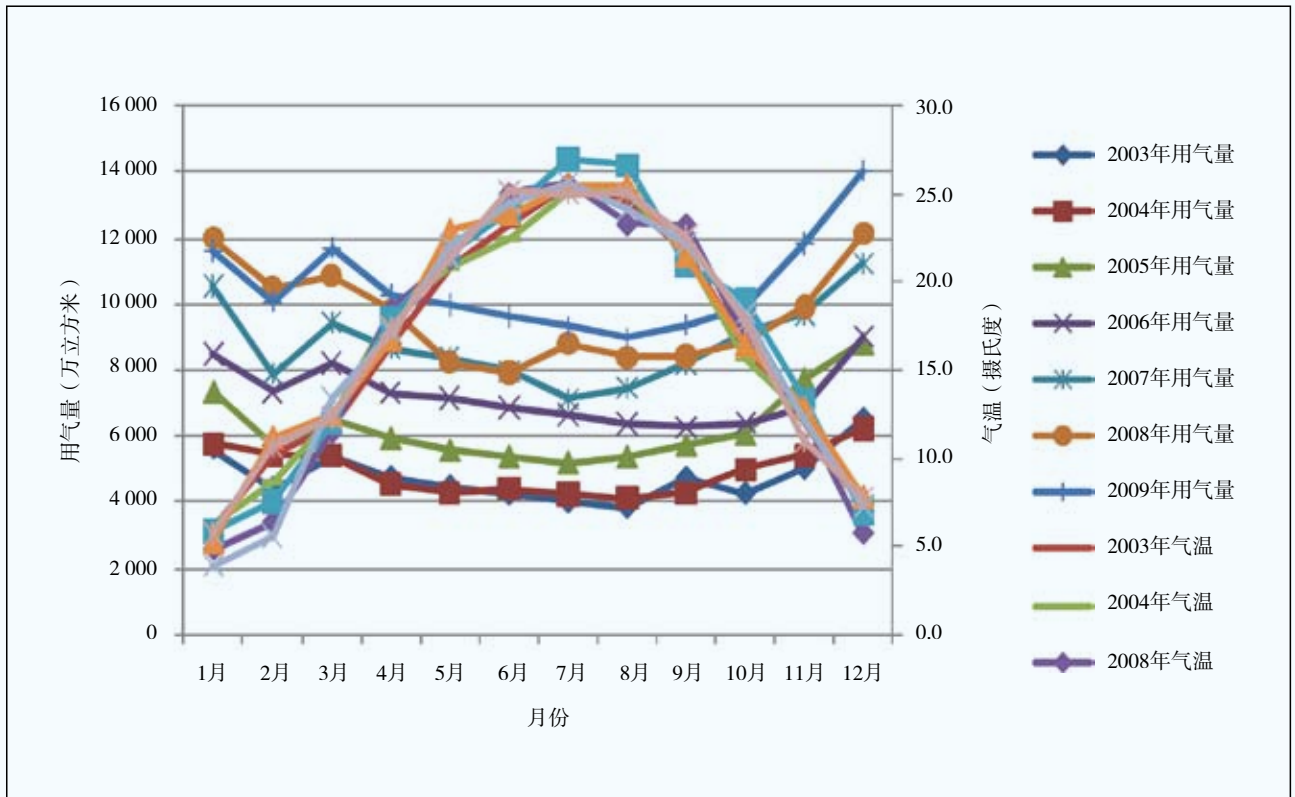


图1 2004年—2009年成都地区全年用气特征

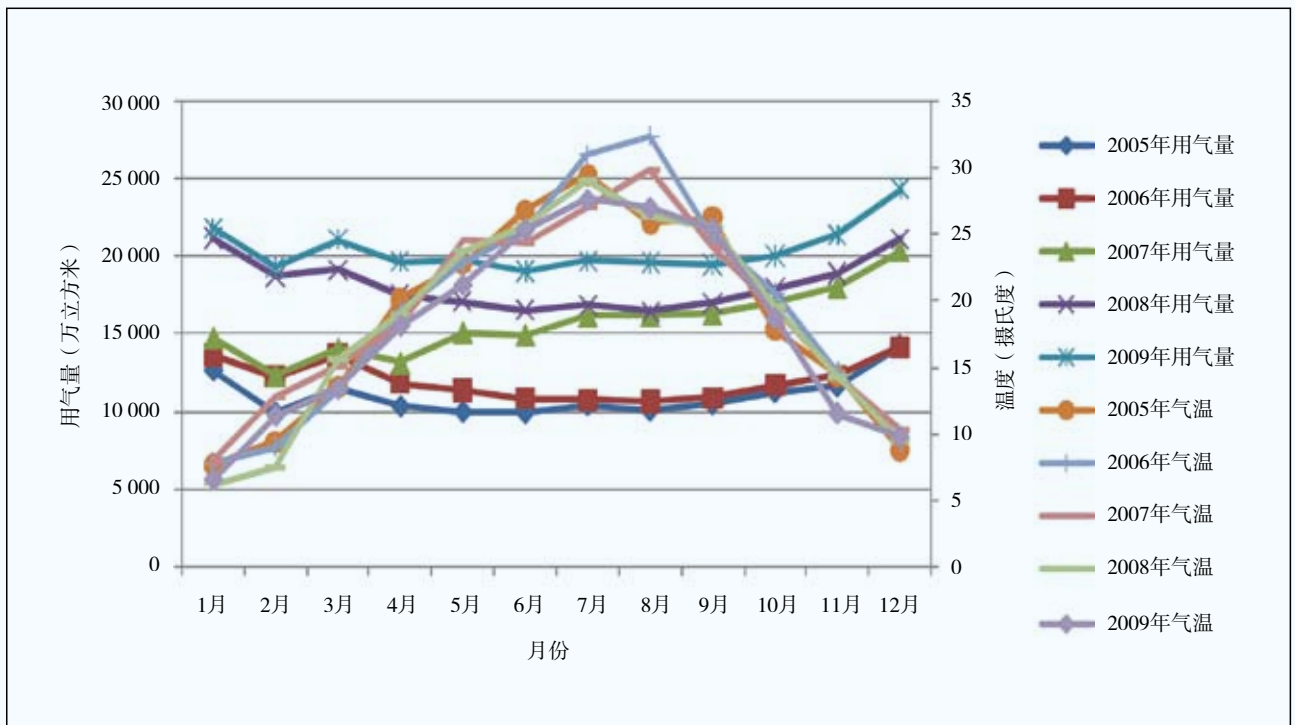


图2 2004年—2009年重庆地区全年用气特征

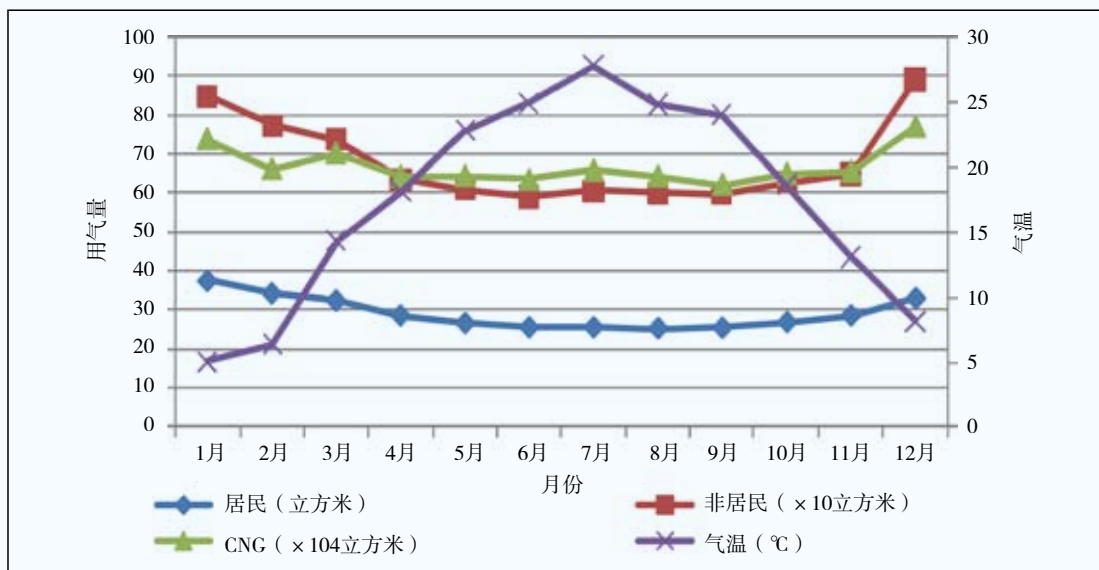


图3 重庆地区各类用户单位用气特征

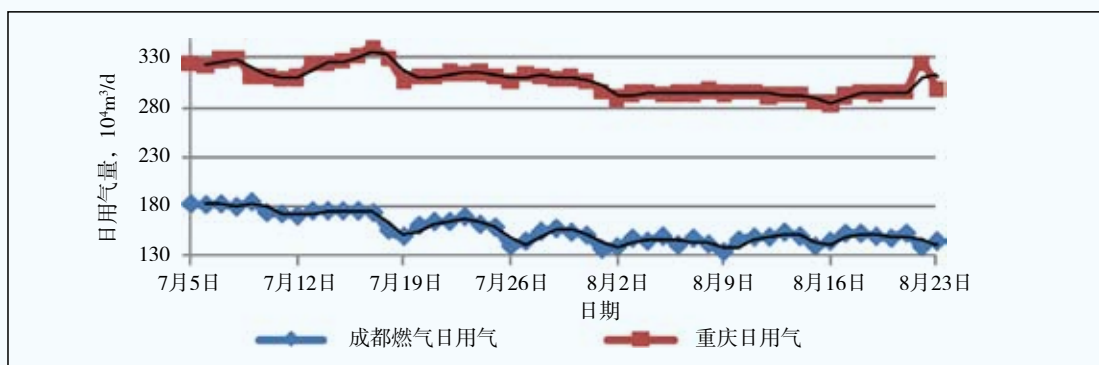


图4 2010年7月8月成都、重庆城市燃气用气实况

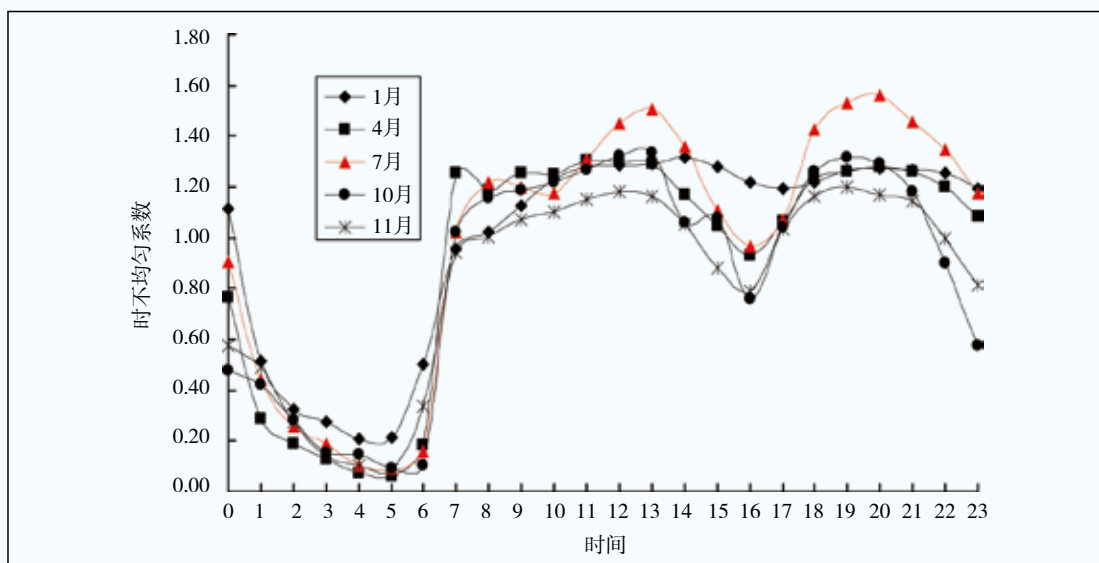


图5 成都地区2010年日用气不均匀性

控制因素有5个方面:

2.1 用户构成及数量

川渝地区城市燃气系统是多类用户的大系统,各类用户的用气工况和特点都不相同。居民用户耗气主要决定于家庭人口数量、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使用情况等。非居民用户耗气主要决定于用户性质、营业面积、营业时间等。CNG用户耗气主要决定于用户基本信息结构、加气能力、加气柱数量等。近几年川渝地区次年比上年用户数量明显增加(表1)。

2.2 城市燃气基负荷强度

城市燃气负荷的基荷部分与区域社会经济因素密切相关。由于一个地区经济发展具有连续性,在年或季节的预测中应考虑经济景气与用气量年度变化率。2008年与2009年川渝地区基负荷强度变化较小。另外,在能源利用方面,城市燃气与替代能源长期存在竞争问题,城市燃气价格是影响城市燃气利用的重要因素。但是,它们对燃气短期基负荷强度影响不大。

2.3 行为方式与活动周期

居民、非居民和CNG城市燃气负荷的产生源于人们生产和生活活动,都与人们的行为方式和活动周期密切相关。这些活动本身具有固有的周期性,随着季节性变化量反映到负荷中,即负荷本身具有较强的周期性,而且是大周期套小周期^[2]。日周期则反映了人们一天工作和生活习惯,通常在凌晨达到最低点,到中午和傍晚达到高峰(见图6)。节假日负荷与平日相比有很大的变化,如在春节期间城市燃气负荷曲线便呈现出长时间大幅度的变形。

2.4 气温及气压变化

根据热力学原理,气温越低,加热达到沸点时所消耗的燃气就越多。另外,夏季闷热天气影响人们饮食、寒冷时外出少和冬季供暖等原因也会影响用气量

变化^[2]。当用户发展到一定规模并趋于稳定时,气温是影响短期负荷最主要的因素^[3]。采暖负荷具有明显的季节性,而且随着人们环保意识的增强,冬季采暖用气量一直持续增长。升温 and 降温对城市燃气日负荷变化影响的幅度基本相同^[1]。川渝地区特征也基本相同(图6)。川渝地区气温变化对冬季城市燃气日负荷的影响主要取决于气温所处气温区间、气温变化的幅度,而与气温所处时间区间和升降趋势关系不大。

城市燃气日负荷与气压存在很好的同步变化关系。这是因气压变化与沸点成正比,气压越低时,沸点就越低,加热所消耗的燃气也就越少^[2]。川渝地区气候湿热,气压影响较大。

2.5 供气保障度

城市燃气供应保障度涉及到供气系统的安全性、可靠性和城市燃气公司经济效益等诸多方面。供气保障度包括天然气资源供应、城市燃气管网、长输管线和地下储气库建设、长输管线储气和其他调峰设施的配置等^[4]。供气保障作用在于为城市燃气供气系统的规划、调峰、调度和运行提供技术条件和支持,供气保障度高,城市燃气负荷运行正常。

另外,在城市燃气负荷的预测过程中,也应考虑热惯性、延时性效应。

3 城市燃气用气量定量预测模型建立与应用

目前,城市燃气负荷预测的理论和方法非常多,如时间序列分析、回归分析、神经网络、模糊逻辑、灰色理论、支持向量机等多种负荷预测方法对城市燃气日用气量进行预测^[3],它们大多数属于数理统计方法。城市燃气负荷预测的难度在于当负荷序列变化很不平稳时,几乎所有的模型预测效果都不理想^[4]。因此,应从影响城市燃气用量的主控因素出发,通过分

表1 川渝地区城市燃气用气量增长情况

	CNG		居民		非居民	
	用户数(站)	用气量	用户数	用气量	用户数	用气量
2008年	54	46 099	2 318 640	86 608	23 545	20 863
2009年	60	56 856	2 681 271	95 848	28 415	22 556

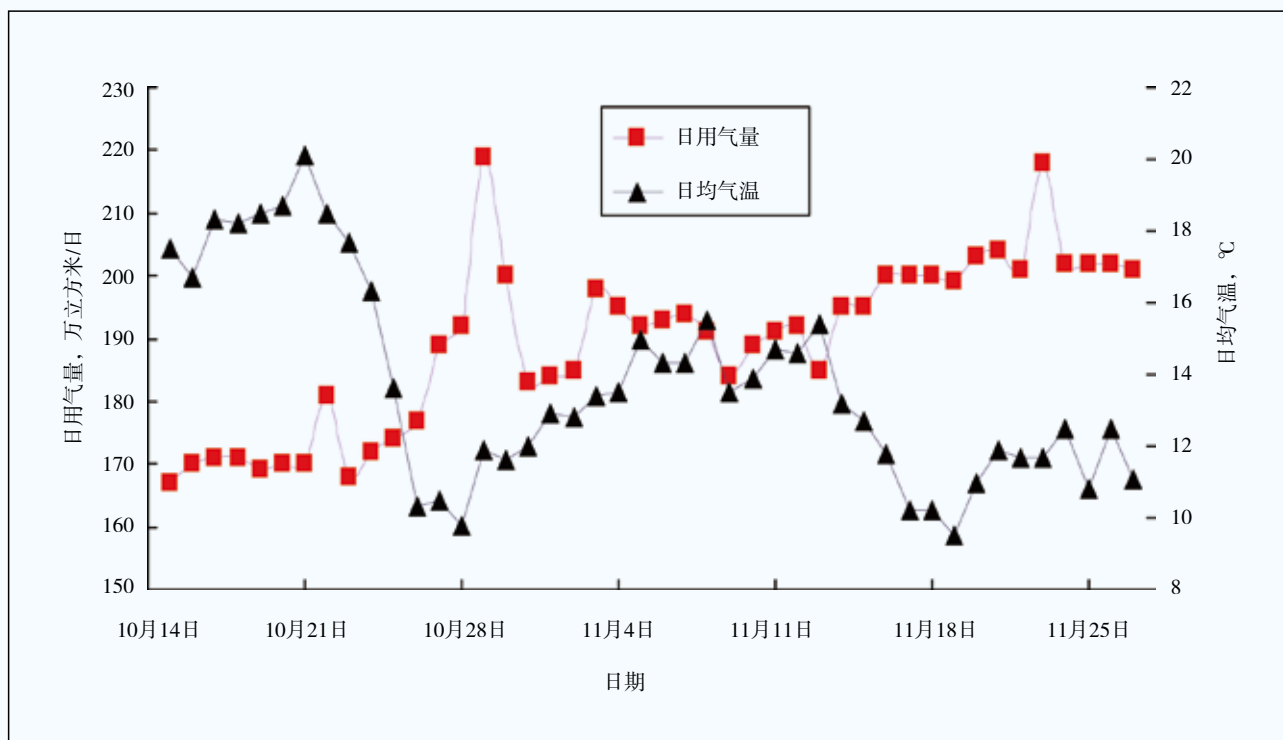


图6 2010年10月气温骤降期用气情况

析气温对用户用气习惯和用气量影响的机理，建立预测模型。

3.1 预测模型建立

对每个城市燃气公司来说，其服务范围内的燃气用户少则百个，多则数万甚至十几万个。众多城市燃气用户使用天然气的过程相当于化合物（用户）与另一类化合物（城市燃气）化合（消耗）的过程。基负荷表示化学反应时基础化合量（用气量），而基负荷强度相当于化合物分子的活化能（激活用户使用天然气的因素，这里主要指气温的激励）。川渝地区资料分析表明：在一定温度区间内，气温与燃气负荷关系的自然对数近呈直线关系，类似于在一定气温条件下一级化学反应过程（图4）。

因此，城市燃气用气量与气温关系可由阿雷尼乌斯方程描述，其燃气用气量随气温的变化速率：

$$K_i = K_{0i} e^{-\Delta E_i / \Delta T_i \beta_i}$$

K_i —城市燃气第*i*类用户用气量气温敏感率； K_{0i} —城市燃气第*i*类用户基负荷气温敏感率； ΔE_i —城市燃气第*i*类用户基负荷强度，与某时段内最大、最小基负荷相关； ΔT_i —当前气温与某时段内的最小气

温之差； β_i —常数。

假设：（1）每类用户都有其相对稳定的对用气量需求与偏好；（2）在一定时区域内无明显新增用户，其最大与最小基负荷基本稳定；（3）城市燃气保障度高；（4）剔除节假日因素影响。则某时段内某类城市燃气用气负荷主要决定于气温。城市燃气第*i*类用户用气量与气温的关系：

城市燃气第*i*类用户用气量（ Q_i ）=基负荷耗气量（ Q_{0i} ）×（1-基负荷气温敏感率（ K_i ））

$$Q_i = Q_{\max} (1 - K_i) \\ = Q_{\max i} (1 - K_{0i} e^{-\Delta E_i / \beta_i \Delta T_i})$$

$$\Delta E_i = \Psi \Delta Q_i / Q_{\max i} = \Psi (Q_{\max i} - Q_{\min i}) / Q_{\max i}$$

根据用户负荷变化规律，某类城市燃气在某时段内的用气基负荷气温敏感率（ K_i ）分2个气温区间计算变化率：

$$\text{气温} < 11^\circ\text{C}: K_{0i} = \phi \ln(\Delta Q_i) / \ln(\Delta T_{\max i}) = \phi \ln(Q_{\max i} - Q_{\min i}) / \ln(\Delta T_{\max i})$$

$$\text{气温} > 12^\circ\text{C}: K_{0i} = \phi \Delta Q_i / \Delta T_{\max i} = \phi (Q_{\max i} - Q_{\min i}) / \Delta T_{\max i}$$

其中： Q_i —城市燃气第*i*类用户在某时段内的

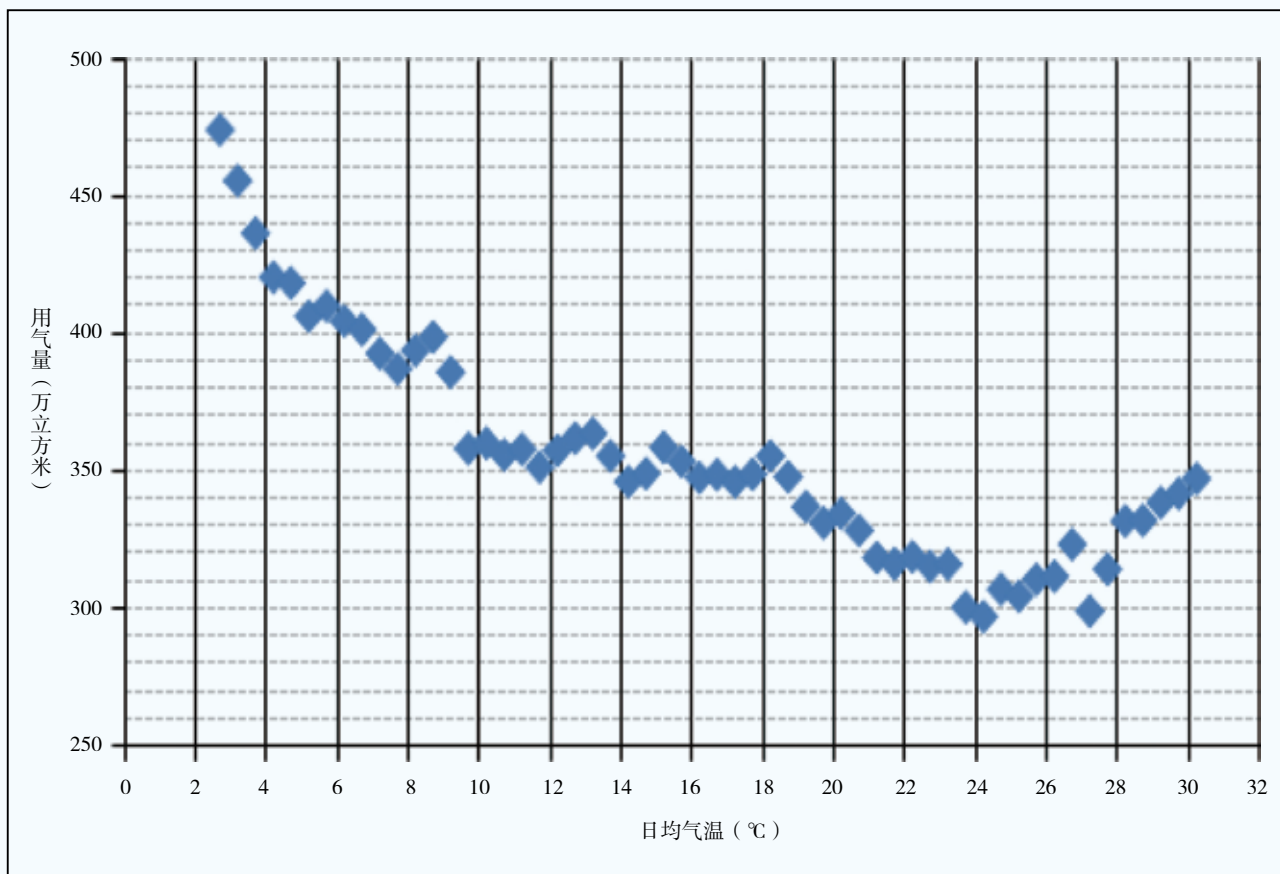


图4 成都地区气温与用气负荷的关系

用气负荷预测值 (10^4m^3)； $Q_{\max i}$ —最大基负荷，即城市燃气第*i*类用户在某时段内的最大用气负荷 (10^4m^3)； $Q_{\min i}$ —最小基负荷，即城市燃气第*i*类用户在某时段内的最小用气负荷 (10^4m^3)； K_i —城市燃气第*i*类用户在某时段内的用气负荷气温敏感率； $\Delta T_{\max i}$ —在某时段内的最大气温与最小气温之差； K_i —城市燃气第*i*类用户气温敏感率； Ψ 、 ϕ_i 、 β_i —常数，暂分别取值为10、0.1和1。

假设每类用户的用气量与气温的关系均满足阿雷尼乌斯方程。由此，可以用统一的方式进行考察，即求出适合某地区城市燃气的“用气基负荷气温敏感率”，用于描述该地区城市燃气用量与气温的变化关系。某地区城市燃气总用气量：

$$\Sigma Q_i = \Sigma Q_{myi} + \Sigma Q_{gfi} + \Sigma Q_{syi} + \Sigma Q_{cngi}$$

其中： ΣQ_{myi} —民用燃气用户气量； ΣQ_{gfi} —公服燃气用户气量； ΣQ_{syi} —商业用户气量； ΣQ_{cngi} —CNG用户气量。

3.2 参数确定

川渝地区地理范围大，气象条件较为复杂。对于不同的地区和城市，由于气候特点、用户类型构成等方面的差异，具体的气温区间和相关参数取值应根据当地情况进行选取和确定。

最大基负荷 ($Q_{\max}$)：根据城市燃气在某时段内的最大用气负荷 (10^4m^3)，可以是上年或月或日的实际值，或者预测值；

最小基负荷 ($Q_{\min}$)：城市燃气在某时段内的最小用气负荷 (10^4m^3)，可以是上年或月或日，或者估计值；

城市燃气最大基负荷与最小基负荷之差 (ΔQ)：
 $Q_{\max} - Q_{\min}$

城市燃气在某时段内的气温与最小气温之差 (ΔT)： $T_{\max} - T_{\min}$

3.3 应用

根据2008年1月成都气温与城市燃气用气量实际

表1 2008年1月成都气温及城市燃气用气实况

序号	气温	用气负荷		误差		备注
		实际值	计算值			
1	0.2	250				$\Delta Q=42$ $K_0=10^{-1}\ln \Delta Q_{\max } / \ln \Delta T_{\max }$ $T_{\max }=0.21262$ $\Delta E=\Psi \Delta Q / Q_{\max }=1.68$ $\Psi=10$
2	0.5	245	248.15	+3.15	1.28%	
3	1.1	238	238.45	+0.45	0.19%	
4	1.8	235	229.9	-5.1	2.17%	
5	2.7	220	221.47	+1.47	0.67%	
6	3.4	220	217.57	-2.43	1.10%	
7	4.7	221	212.82	-8.18	3.70%	
8	5.5	208	210.84	+2.84	1.36%	
9	6	208	209.83	+1.83	0.88%	

表2 2010年12月重庆气温及城市燃气用气实况

序号	气温	用气负荷		误差		备注
		实际值	计算值			
1	0.4	396				$\Delta Q=75$ $K_0=10^{-1}\ln \Delta Q_{\max } / \ln \Delta T_{\max }$ $T_{\max }=0.2346$ $\Delta E=\Psi \Delta Q / Q_{\max }=1.894$ $\Psi=10$
2	1.3	391	387.29	+3.71	0.96%	
3	1.6	385	379.40	+5.60	1.48%	
4	2.1	372	367.56	+4.44	1.21%	
5	2.9	360	353.81	+6.19	1.75%	
6	3.7	349	344.60	+4.40	1.28%	
7	4.3	341	339.57	+1.43	0.42%	
8	4.9	338	335.60	+2.40	0.72%	
9	5.5	336	332.40	+3.60	1.08%	
10	6.1	330	329.76	+0.24	0.07%	
11	6.7	321	327.56	-6.56	2.00%	

值（见表1）进行计算，误差一般在3%以内。

表2是2010年12月重庆地区气温与城市燃气用气量实际值与计算值的比较。可见模型预测误差在2%以内，预测效果良好。

4 结论

基于主控因素对城市燃气用气量的影响机理，建立了城市燃气用量与气温关系的短期预测模型。实证分析表明：在做好数据收集整理工作基础上，预测相对误差绝对值达到3%以内。

参考文献

- 王根林.城市天然气用气规律及负荷预测[J].煤气与热力，2004；7
- 丁锋等.气象条件对城市燃气日负荷的影响[J].煤气与热力，2007；2
- 张中秀等.气象条件对冬季城市燃气日用气量的影响[J].天然气技术，2007；4
- 焦文玲.城市燃气负荷预测系统体系研究[J].天然气工业，2005；1