

天然气市场短期负荷预测技术特点与发展方向探讨

□ 中国石油天然气股份有限公司规划总院 (100083) 郝迎鹏 孙春良 赵忠德 陈进殿

摘 要: 天然气短期负荷波动受气象变化、节假日、重大社会活动以及企业检修、停产等多种因素影响,不同供气企业对未来短期负荷的关注点不同。随着计算机的快速发展,在传统预测理论上,人工智能预测、组合预测方法的出现,提高了短期负荷预测的精度。结合国内外天然气市场发展及预测技术应用现状,分析了当前国内天然气市场预测面临的问题,指出细分历史负荷数据、多角度建立预测模型进行组合预测,完善关键信息上报渠道是未来我国天然气市场短期预测的发展方向。

关键词: 短期负荷预测 精度 组合预测 应用 发展方向

1 引言

预测是对事物未来的演化预先做出科学的推测,

其关键在于选取合适的数学模型描述事物自身的发展规律,并结合外在因素变化,对事物发展做出定性或定量判断^[1]。随着计算机技术的快速发展及大数据时

以缓慢充装液氮,预冷完成。

5 结论

(1) 由于LNG储罐在充装LNG之前需要用液氮对储罐进行一次预冷过程,在目前没有一个可靠的预冷模型之前,本文建立了LNG储罐预冷计算模型,模拟了预冷过程中储罐的温度变化情况,并与实际的进行对比,找出预冷过程中可以改进的地方。

(2) 将储罐的预冷过程分成三个阶段,分别为初始阶段、紊流阶段、平稳阶段,而紊流阶段将比较与以往的预冷手段提出了一种新的方法,把上进液改成下进液可以有效的节约时间,提高预冷效率,节约成本提高安全系数。

参考文献

- 1 顾安忠. 液化天然气技术[M]. 机械工业出版社, 2004
- 2 陶文铨. 数值传热学(第二版)[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2001
- 3 梁平. 天然气操作技术与安全管理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012
- 4 付明宇, 李恒星. LNG储配站的预冷[J]. 煤气与热力, 2009; 29(6): 17—21
- 5 张新建, 陈美全, 姚佐权. 大型LNG单容罐保冷结构设计及绝热验算[J]. 化工设备与管道, 2012; 49(3): 20—23
- 6 兰书彬. 液化天然气气化站的预冷技术[J]. 城市燃气, 2006; 12(3): 19—22

代的来临,在传统预测理论上不断衍生出新的预测方法,并在电力、气象、金融、交通、股市等多个领域得到了广泛应用。供气企业需要在了解下游用户天然气日需求的基础上制定生产计划、安排管网调度方案,为实现管网安全运行和效益最大化,准确的负荷预测尤为重要。

2 天然气市场短期负荷的特点

天然气负荷是指在一定时期内供气企业下游所有用户(城市燃气、工业、电厂、化工等用户)用气量之和,其大小随月、日、小时时刻发生变化。短期负荷是指下游用户在未来一天内的小时负荷,一周或一个月内的分日负荷,时间跨度相对较短。天然气市场短期负荷波动受气象变化、节假日、重大社会活动以及企业检修、停产等多种因素影响^[1]。准确的负荷预测对供气企业进行调度分析至关重要。一般情况下,大型供气企业只关注下游用气日需求,而下游城市燃气企业由于承担小时调峰任务,还需关注小时负荷变化。

3 天然气市场短期负荷预测技术

20世纪中叶,Verhulst等人^[2]对法国人工煤气需求开展调查研究,建立了需求预测模型(包括需求方程、资源供应方程以及气价、收入的平衡方程),开创了燃气市场需求预测的先河。半个多世纪以来,国内外学者在天然气短期负荷预测领域开展了大量的研究工作,应用不同数学方法进行了尝试。从文献检索情况看,研究成果大多针对城市燃气行业,进行小时、日负荷预测。

3.1 传统预测理论

传统预测技术是建立在经典统计学理论基础上的预测方法,主要包括回归分析法和时间序列分析法。回归分析法是对历史负荷及外在影响因素进行回归分析,得出回归关系式^[3],进而根据未来时刻影响因素的变化情况推断用气负荷。回归分析法能够较好的解释用气负荷与外在因素的相互关系,外推性能较好;但回归分析法将每一个实际数据均同等对待,对历史数据的平稳性要求较高,尤其是当历史数据不完整或偏差过大时,预测效果较差。时间序列分析是根据变

量自身的历史变化过程进行总结分析,不考虑其与其它变量之间的具体内在关系,以此推算变量未来可能的发展规律。

Vondracek等人^[4]采用非线性回归的统计学方法对居民和小型商业用户用气需求进行预测;Demirel等人^[5]采用自回归和附加变量的移动平均模型对土耳其伊斯坦布尔市天然气短期需求进行预测,结果表明前一日温度是影响需求变化的重要因素之一。Erdogdu^[6]采用自回归和移动平均模型(ARIMA)预测土耳其其月度和年度天然气需求,模型中GDP和天然气价格为自变量,基于收入和价格弹性分析发现,气价降低并不能直接导致居民用气需求的上涨;焦文玲^[7]在非平稳时序建模中剔除趋势项,将天然气负荷转化为平稳序列,用最小二乘法建立了短期负荷预测的AR时序模型,采用该模型对哈尔滨市小时负荷进行预测,模型平均误差为-1.2%,预测精度较高。Akkurt等人^[8]研究发现,可采用ARIMA模型对土耳其天然气需求进行年度预测,采用季节时间序列模型(ASRIMA)进行月度需求预测。

3.2 基于计算机的人工智能预测方法

城市燃气日负荷波动与温度、天气状况、日期类型等因素密切相关,是多种因素共同作用的结果。城市燃气短期负荷波动是一个随机非平稳过程,通过传统理论建立数学模型,一方面不能考虑到所有影响因素;另一方面模型表达式是基于最小二乘法理论的各变量与历史负荷之间的拟合结果,处理原始数据时将各时段样本数据同等对待处理,拟合表达式结果会产生一定误差。

随着技术的进步,计算机海量存储及分布式运算能力广泛应用于数据处理中,模糊数学理论、小波分析、人工神经网络、支持向量机等智能算法开始应用于城市燃气短期负荷预测领域。卜宪标^[9]采用模糊理论对某市12月份燃气日负荷数据按照高峰、低谷和一般负荷进行聚类分析,建立类别变量特征值与负荷之间的关系,通过确定的相关关系进行燃气负荷预测。预测结果显示,模糊预测收敛速度快、预测精度较高,适应性好,且适用于影响因素较为复杂的负荷预测。李持佳^[10]采用小波分析法,将燃气负荷进行分解,低频信号反映燃气整体的变化趋势,通过神经网络进行建模预测;高频信号用以反映随机因素的

影响，通过时间序列模型进行预测，得到了较好的预测效果。根据天然气月度历史消费量和温度数据，Kizilaslan和Karlik^[11]采用7种神经网络算法对伊斯坦布尔市天然气月度需求进行预测；Jolanta Szoplik^[12]通过多层感知器网络对波兰Szczecin市天然气实际消费量进行预测，模型考虑了日期类型（月份、当月日期、星期类型以及整点小时）以及气象因素（温度、湿度、太阳光照时间、风速等）对居民用气和小工业用气的影响，通过多次试验预测，对天然气消费量进行预测时，平均预测误差在8%以内。张超^[13]以华北某城市燃气实际日负荷数据进行了分析，基于支持向量机建立了城市燃气日负荷预测模型，分析了数据规则化方法对预测结果准确性的影响，预测模型对该城市日负荷预测平均误差小于5%。

3.3 组合预测方法

燃气负荷波动呈现复杂的随机、非平稳性特点，单一的预测方法很难准确描述负荷各时期的变化规律，因此组合预测成为近年来燃气负荷预测领域的研究热点。组合预测方法分为两类：一类是根据负荷变化特点，结合两种或多种预测方法各自的优势，扬长避短，建立组合预测模型；另外一类是针对同一地区燃气需求，建立多种预测模型进行预测，通过选定的误差评判标准对各预测模型的优劣性进行评判，根据评判结果选定最优预测模型或对多种预测模型进行组合的方式获取加权预测结果。

Demirel等人^[5]采用神经网络、多元时间序列分析两类模型对Turkish公司天然气短期消费量进行预测，试验对比五种预测模型预测结果发现，带有误差反向传播的神经网络预测模型预测效果比其它预测模型预测效果好；Taspinar等人^[14]采用多层感知器网络、径向基和时间序列分析3种模型对Sakarya省天然气消费量进行预测，预测结果显示，对于日负荷预测，时间序列预测模型预测精度要高于多层感知器网络模型和径向基模型。不同预测方法具有各自的优势，适应条件也不相同。Iranmanesh等人^[15]建立最小二乘法和支持向量机组合模型对伊朗和美国天然气短期需求进行预测，达到了较高的预测精度；Potocnik等人^[16]提出一种通用的预测方法，包含预测模型、经济激励模型和风险模型用以分析不同影响参数下（月份、星期类型、温度）的预测误差，该模型应用于Slovenian的天

然气市场预测。

4 天然气负荷预测软件应用现状

4.1 国外天然气短期负荷预测平台

美国、欧洲等发达国家天然气市场发展已处于成熟期，用气结构稳定、规律明显，其对燃气预测的研究已达到较高水平，许多燃气企业结合下游用户用气特点，自主研发负荷预测软件，用于预测天然气短期需求，帮助管理者制定购销方案、调峰方案，实现企业利润最大化。

英国ESI能源集团开发的Gas Load Forecaster气体负荷预测软件，应用于美国佛罗里达、壳牌等世界大型输气企业，GLF通过分析历史经济、气象数据、管输数据，结合气象预报对未来天然气需求实行在线预测^[17]，见图1。

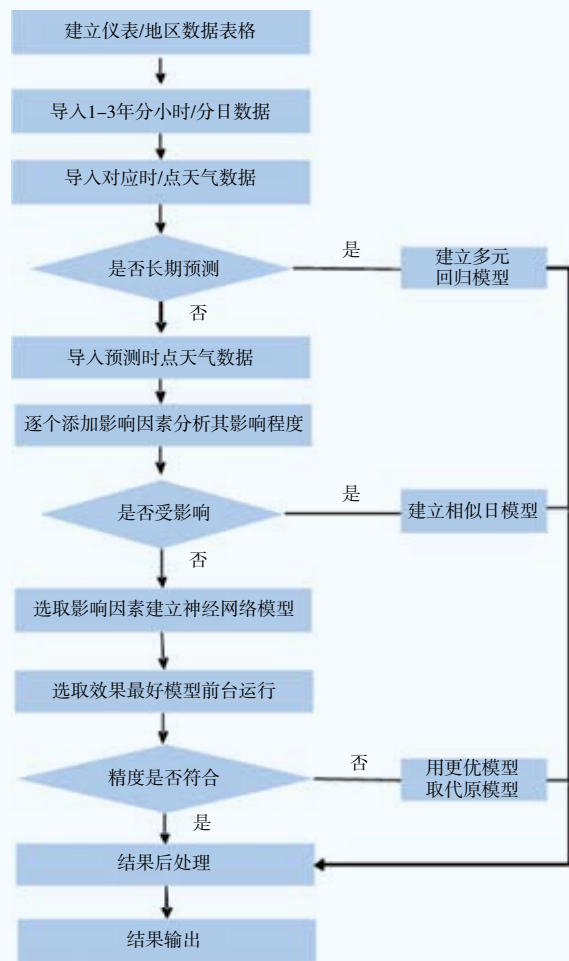


图1 GLF系统预测流程

德国OGADO公司开发的慕达能源管理系统应用在莫斯科、柏林、维也纳等市区的燃气管网系统^[18],预测精度较高,涉及气象、统计学、概率学、高纬空间几何学、专家经验等多个专业领域,通过慕达海量数据库和多元回归、人工智能等数学模型,实现了对不同城市的小时、日、周、月等时间跨度的需求预测,见图2、图3。



图2 慕达工作平台架构

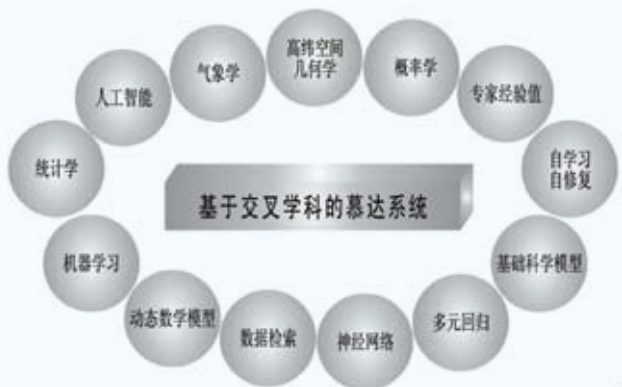


图3 基于交叉学科的慕达系统

4.2 国内天然气短期负荷预测平台

21世纪以来,随着国内天然气市场快速发展,负荷预测研究进入了蓬勃发展阶段,国内高校和科研院所对负荷预测方法的研究逐渐成熟。部分发达城市燃气企业已研发并投入使用燃气负荷预测系统:上海市城市燃气负荷预测系统^[19]、北京燃气集团研发的北京市天然气日负荷预测实时优化系统^[20]等。平台主体功能包括:燃气小时、日、月、年负荷预测、春节期间负荷预测、寒潮高峰期负荷预测,夏季低谷期负荷预

测等。

由于我国天然气行业发展迅速,管理技术和手段滞后,可利用的科技档案和记录数据分散,消费结构快速变化等因素,预测难度较大。大多数天然气需求预测多用于单独的城市燃气公司,重点关注日需求和小时需求,尚未有区域性和全国性的短期需求的高水平成熟预测模型案例。

5 天然气市场短期负荷预测发展方向

我国《能源发展战略行动计划(2014-2020年)》指出,到2020年,一次能源消费总量控制在48亿t标准煤,天然气比重达到10%以上,基本形成统一开放竞争有序的现代能源市场体系^[21]。2015年,国内天然气表观消费量1 932亿m³^[22],据此推算,“十三五”期间我国天然气消费量年均增长300亿m³~350亿m³,因此,未来我国天然气市场仍有很大的增长空间。

5.1 面临的问题

目前,我国天然气消费区域已遍布全国各省市地区,形成多元化用气格局。我国幅员辽阔,气候变化南北差异明显,北方地区冬季采暖用气占比较大,用气需求受气温波动影响明显;南方部分地区城市居民采用壁挂炉采暖,负荷变化同样受到气温的影响,但相对较小。电厂用气需求主要受发电指标及电网调配影响;除工厂检修外,工业用气负荷相对稳定。结合发达国家短期预测经验及国内天然气市场发展现状,我国天然气市场短期需求预测面临诸多问题,主要表现在以下几个方面:

一是用气结构复杂,行业用气比例难以细分。不同行业用气波动规律相差较大,大型供气企业无法掌握下游各区域用户结构,对区域性和全国性天然气短期需求预测增加了难度。

二是上游供气企业对下游用户的压减等干预措施破坏了市场自身发展规律。当前,我国天然气市场虽总体呈现供大于求的局面,但受管网调配约束,采暖季时期仍可能会出现局部供不应求局面,上游供气企业为确保居民用气,对部分工业用户采取压减措施,干扰了市场自身规律,降低了历史负荷数据的真实性。

三是我国天然气价格市场化改革进程加速,天然气价格市场化渐行渐近。2015年11月18日,国家发改

委发布通知决定自2015年11月20日起降低非居民用天然气门站价格，并由现行最高门站价格管理改为基准门站价格管理，降低后的门站价格作为基准门站价，供需双方可在上浮20%、下浮不限范围内协商确定具体门站价格（自2016年11月20日起允许上浮）^[23]。这一举措提高了非居民用气价格的市场化程度，发挥市场供需对价格的影响。未来各地区天然气价格波动也将成为影响短期需求变化的重要因素。

四是针对各地区上游资源供应、下游大用户用气波动情况等关键信息获取渠道不完善。尚未建立系统的信息上报渠道，对新用户投产；工业、化工、电厂等用户检修、减、停产；对下游用户进行压减等关键信息进行上报。

5.2 发展方向

目前，全国天然气跨区域骨干管网已基本形成，但管网系统整体输配能力仍然不足，干线之间尚无法实现完全意义上的灵活调运，在出现极端气象条件时，局部地区会出现供气紧张的局面。因此，供气企业迫切需要研发一套成熟、可靠的短期需求预测模型库，建立短期预测平台，以协调天然气产运销各环节，做好应急管理，同时有针对性地协调用气客户，做好需求侧管理。结合当前短期预测技术应用现状，为提高短期需求预测精度，未来天然气短期预测技术应在下述几个方面做进一步工作：

一是按用气结构细分区域负荷数据，分析不同时期历史负荷变化，对大工业、电厂等用户检修时期用气负荷作还原处理。在基础数据充分的区域，分行业建立预测模型，尤其是提高城市燃气用气负荷预测精度。

二是从多角度建立预测模型、形成预测模型库，采用组合预测理论进行模型优选组合，提高预测精度。

三是完善信息上报渠道，及时上报新用户投产、直供大用户检修停产、淡季促销、冬季限供等“关键事件”信息，对预测结果进行修正。

6 结语与展望

随着我国天然气消费量的增加、下游用户增多和天然气产业链的不断延伸，天然气的稳定供应成为供

用气双方共同关注的问题。对供气企业而言，合理调运上游资源，实现管网安全稳定供气，依赖于准确的负荷预测。在天然气市场发展迅速、基础设施尚不完善的形势下，短期负荷预测在管网安全经济运行中将发挥越来越重要的作用。目前，预测技术已广泛应用到天然气短期负荷预测中，这些方法从简单到复杂，但各种方法都有一定的适应条件，且需要不断完善。在实际应用过程中，需在不断跟踪分析各地区负荷变化规律基础上，充分发挥不同方法的优势，多角度建立预测模型，并结合调运部门的运维经验，实现下游用气需求的合理预测。

可以预见，随着天然气市场的日益成熟，负荷历史数据的有效积累和科学处理，信息上报渠道日益完善，天然气短期预测技术与相关科学领域技术（如经济、气象、电力等）的交叉渗透，研究人员对天然气负荷变化规律有更加深入准确的认识，天然气负荷预测将更加准确快捷。

参考文献

- 1 朱刚. 城市燃气管网负荷预测的研究[D]. 天津大学, 2009
- 2 Verhulst MJ. The Theory of Demand Applied to the French Gas Industry. *Econometrica* 1950; 18 (1): 45-55
- 3 景滨杰. 试论回归分析预测法在经济预测中的应用[J]. *生产力研究*, 2006; 23 (3): 17-18
- 4 Vondracek J, Pelikan E, Konar O, et al. A Statistical Model for the Estimation of Natural Gas Consumption. *Appl Energy*. 2008; 85: 362-70
- 5 Demirel OP, Zaim S, Caliskan A, et al. Forecasting Natural Gas Consumption in Istanbul Using Neural Networks and Multivariate Time Series Methods[J]. *Turk J Elec Eng Comp Sci* 2012; 20 (5): 695-711
- 6 Erdogdu E. Natural gas demand in Turkey. *Applied Energy* 2010; 87: 211-9
- 7 焦文玲, 金佳宾, 廉乐明等. 时间序列分析在城市天然气短期负荷预测中的应用[J]. *哈尔滨建筑大学学报*, 2001; 34 (4): 79-82
- 8 Akkurt M, Demirel OF, Zaim S. Forecasting Turkey's Natural Gas Consumption by Using Time Series Methods[J].

Eur J Econ Political Stud. 2010; 2: 1-21

9 卜宪标, 谭羽非. 城市燃气日负荷的模糊预测[J]. 煤气与热力, 2006; 26(8): 12-16

10 李持佳, 焦文玲, 赵林波. 燃气短期负荷预测的小波分析综合模型[J]. 天然气工业, 2007; 27(8): 103-108

11 R. Kizilaslan, B. Karlik. Combination of Neural Networks Forecasters for Monthly Natural Gas Consumption Prediction[J]. Neural Network World, 2009; 19(2): 191-199

12 Jolanta Szoplik. Forecasting of Natural Gas Consumption with Artificial Neural Networks[J]. Energy, 2015; 85: 208-220

13 张超, 刘奕, 张辉等. 基于支持向量机的城市燃气日负荷预测方法研究[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2014; 54(3): 320-325

14 Taspinar F, Celebi N, Tutkun N. Forecasting of Daily Natural Gas Consumption on Regional Basis in Turkey Using Various Computational Methods[J]. Energy Build. 2013; 56: 23-31

15 H. Iranmanesh, M. Abdollahzade, A. Miranian. Forecasting

Natural Gas Consumption Using PSO Optimized Least Squares Support Vector Machines[J]. Journal of Artificial Intelligence and Applications(IJAAIA). 2011; 2(4)

16 Potocnik P, Thaler M, Govekar E, et al. Forecasting Risks of Natural Gas Consumption in Slovenia[J]. Energy Policy 2007; 35(42): 71-82

17 B. Soldo. Forecasting natural gas consumption[J]. Applied Energy[J]. 2012; 92: 26-37

18 张曦. 城市天然气中长期负荷预测技术研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2012

19 席德粹, 焦文玲, 李持佳等. 上海市燃气负荷预测系统的开发与试验运行[J]. 城市燃气, 2004; 353: 14-16

20 李持佳, 刘燕, 邵震宇. 北京市天然气日负荷预测实时优化系统[J]. 煤气与热力, 2009; 29(3): 10-12

21 国务院办公厅. 能源发展战略行动计划(2014-2020年)[Z]. 国办发(2014)31号

22 钱兴坤. 2015年国内外油气行业发展报告[R]. 北京: 中国石油天然气集团公司经济技术研究院, 2016

23 国家发展改革委. 国家发展改革委关于降低非居民用天然气门站价格并进一步推进价格市场化改革的通知[Z]. 发改价格[2015]2688号

工程信息

河北应张天然气输气管道支线工程张北段开工

2016年4月26日, 应张天然气输气管道支线工程张北段开工仪式在张北县举行。该项目由张家口国储天然气管道有限公司投资建设, 投资概算约为13亿元。

据悉, 应张天然气输气管道支线工程贯穿张家口市9个县区。张北段天然气管道的建设, 属于应张支线的西路线(起于首站——原应张线10号阀室, 止于尚义县末站, 全长约165km), 是应张支线气化整个张北地区重要的管道工程建设。该支线起于首站(原应张线10号阀室), 途经张家口南山产业集聚区、怀安县、万全区、张北县, 最终到达尚义末站。张北段管线工程的顺利修



建, 对于气化张北县域, 促进张北县基础设施建设及工业企业发展具有积极的推动作用。

(本刊通讯员供稿)