

非集中供暖区燃气负荷气温敏感性分析

任雨涵¹, 吴奇远², 苟晓充³, 李锐⁴

¹ 中国石油天然气股份有限公司西南油气田公司天然气经济技术中心, 四川成都, 中国

² 中国石油天然气股份有限公司西南油气田公司, 四川成都, 中国

³ 中国石油天然气股份有限公司西南油气田公司华油公司, 四川成都, 中国

⁴ 中国石油天然气股份有限公司西南油气田公司天然气经济技术中心, 四川成都, 中国

【摘要】城市燃气负荷与气温具有明显非线性关联, 精准刻画二者关联特征, 是燃气企业优化供需调度、稳定民生供气的关键。现有相关研究偏重理论建模与关系拟合, 实操转化不足, 加之西南非集中供暖区域用气特征差异显著, 业务调度多依赖经验, 易造成供需失衡、购销差增大等问题。本文以川渝地区为研究范围, 依托分段建模与敏感性量化分析框架, 构建参数映射、工具开发与平台集成一体化业务转化体系, 编制区域气温负荷映射表并开发配套查询工具, 接入燃气数据洞察平台后完成效果验证。实证表明, 仅以气温为输入变量即可实现川渝地区用气预测准确率达 52%, 可为西南燃气行业精细化调度与安全保供提供实用量化依据。

【关键词】城市燃气负荷; 气温敏感性; 业务化转化; 燃气数据洞察平台; 非集中供暖区

1. 引言

1.1 研究背景与意义

天然气作为我国能源结构转型的核心清洁能源, 在城市民用与工商业能源消费中的占比持续提升, 保障城市燃气供需动态平衡, 既是燃气企业经营发展的核心目标, 也是维护民生稳定的重要基础[1]。城市燃气需求具有显著的气象依赖性, 其中气温是驱动燃气负荷短期波动的核心因素, 冬季分散式采暖需求随气温下降陡增, 夏季高温则通过改变居民生活行为对用气模式产生抑制效应, [2]这种强非线性关联使得气温影响的精准量化, 成为燃气企业实现产销动态平衡、降低购销差的关键环节[3-6]。

西南地区作为我国典型的非集中供暖区域, 居民采暖以分散式燃气采暖为主, 用气需求随气温波动呈现出极强的非线性与异质性, 冬季用气峰谷差显著高于北方集中供暖区域, 给燃气企业的日常调度与安全保供带来了极大挑战[7-9]。如何将学术层面的气温-用气非线性关系研究成果, 转化为一线业务人员可直接使用的工具与方法, 破解学术研究与业务实操脱节的行业痛点, 已成为西南地区燃气行业高质量发展亟需解决的现实问题。

1.2 现有研究的局限与行业痛点

在燃气负荷与气温关联研究领域, 国内

外学者已开展了大量基础性工作。早期研究主要聚焦于线性相关性分析, 证实了气温是民用燃气负荷波动的核心驱动因子, 并提出了采暖度日数 (HDD)、制冷度日数 (CDD) 等经典量化指标, 为后续研究奠定了理论基础[10]。随着计量经济学与机器学习技术的发展, ARIMA 时间序列、神经网络、LSTM 等复杂模型被广泛应用于燃气负荷短期预测[11-13], 显著提升了整体预测精度, 但此类黑箱模型可解释性较差, 难以适配燃气日常调度中对业务逻辑拆解、风险溯源的核心需求。

针对气温-用气的非线性特征, 分段回归成为近年国内研究的主流方向, 相关学者通过分段线性回归模型, 有效捕捉了采暖期燃气负荷随温度变化的分段特征[14-16], 构建了基于气温敏感性的分段预测模型, 提升了采暖期负荷预测精度[17]。但现有研究仍存在三大核心局限, 制约了研究成果的行业落地。其一, 现有研究多采用固定温度区间进行人为分段, 或仅通过单一算法实现数据驱动分段, 缺乏多模型对比的系统性验证, 分段结果的业务可解释性不足, 难以直接对应采暖期、过渡期、夏季等实际业务场景[18]; 其二, 研究区域集中于北方集中供暖省份, 针对西南地区以分散式采暖为主、用气规律异质性强的区域特征, 缺乏覆盖省-市两级的

精细化温度-用气参数体系,无法适配西南地区燃气企业的本地化业务需求[19];其三,多数研究停留在理论拟合与相关性分析层面,未完成研究成果的业务化转化,未形成可直接被一线业务人员使用的工具与标准化参数库,复杂的算法模型与计量指标难以被非专业背景的调度人员掌握,导致学术研究与业务实操出现严重脱节[20]。

1.3 研究内容与技术路线

本文基于前期西南地区城市燃气负荷气温敏感性分段建模与响应特征研究的核心成果,以解决一线业务痛点为核心目标,系统性构建了研究成果业务化转化的完整体系。首先梳理了前期研究的核心理论基础与标准化数据集,明确了业务化转化的核心逻辑;其次完成了《西南地区分域气温分段与燃气负荷特征映射表》的标准化构建,形成了可直接应用于业务场景的核心参数库;再次开发了配套的自主式查询工具,实现了敏感性参数的可视化查询与跨区域对比,并完成了与燃气数据洞察平台的深度集成,构建了全流程业务闭环;最后通过历史回溯法完成了应用效果验证,系统性分析了研究成果的业务价值,并提出了后续优化方向。

本文的核心创新点体现在三方面:一是构建了学术成果业务化转化的全链条体系,实现了从算法参数到业务参数、从模型拟合到可视化工具、从单点分析到全流程闭环的三重转化,有效打破了学术研究与一线业务的壁垒;二是编制完成了覆盖西南川渝地区省-市两级的标准化温度-用气映射表,将复杂的分段模型与敏感性指标转化为可直接查询、直接计算的业务参数,适配燃气企业全流程业务场景;三是开发了低代码、可视化的自主式查询工具,并实现了与燃气数据洞察平台的深度集成,无需专业算法知识即可完成专业的气温敏感性分析,实现了研究成果的普惠化业务应用。

2. 研究基础与核心数据来源

2.1 核心理论基础

2.1.1 燃气负荷气温敏感性分段建模体系

本文的业务化转化研究,建立在前期构建的“分段建模-敏感性量化”双层分析体系之上。针对传统固定区间分段、单一模型拟合难以捕捉气温-用气非线性拐点与地域差异的问题,前期研究系统性设计并对比了整数分段、K-Means 聚类分段、自适应决策树分段与滑动窗口分段四种模型的分段效果,最

终优选出自适应决策树与滑动窗口模型作为业务化转化的核心基础模型。

其中自适应决策树模型以日平均气温为自变量、日用气量为因变量构建 CART 回归决策树,以分段后组内用气量平方和最小化为目标,自动识别用气模式发生显著变化的温度临界点,形成最优的温度区间划分,其分段结果可直接对应高用气阶段、过渡下降阶段、夏季稳定阶段、高温抑制阶段四大典型用气场景,具备极强的业务可解释性。滑动窗口模型基于温度窗口内用气量统计特征的变化率识别临界点,对局部用气模式突变的捕捉能力极强,同时具备优异的抗噪性与样本均衡性,可有效避免样本不均衡导致的拟合偏差。两种模型互为补充,可完整刻画西南地区气温-用气的非线性关系,为业务化转化提供了核心理论框架[20]。

2.1.2 敏感性双指标量化方法

本文采用绝对敏感度与相对敏感度双指标体系,完成不同温度区间的用气敏感性量化,兼顾调度实操性与跨区域可比性,同时将双指标作为核心业务参数纳入映射表与工具开发中。

绝对敏感度(温度系数)指温度每变化 1°C ,用气量的绝对变化量,单位为 $\text{万方}/^{\circ}\text{C}$,该指标直接对应燃气调度的气量调整计算,是日常保供决策的核心量化依据。相对敏感度(温度弹性)指温度每变化 1°C ,用气量的相对变化幅度,单位为 $\%/^{\circ}\text{C}$,该指标消除了不同城市用气规模的差异,可实现不同规模城市间的敏感性横向对比,是区域保供优先级划分的核心依据。基于双指标体系,前期研究首次识别出西南地区非集中供暖场景下燃气负荷气温响应的“三峰两谷”分布模式,明确了 $6\sim 14^{\circ}\text{C}$ 秋冬过渡期为特级敏感区间,为业务化转化提供了核心的量化标准。

2.2 核心数据来源与预处理

2.2.1 数据来源与时空范围

本研究采用的核心数据分为燃气销量数据与气象数据两大类,两类数据均完成了标准化预处理与时空对齐,确保数据质量能够满足业务化转化的精度要求。

燃气销量数据来源于西南油气田分公司下属各城市燃气公司的日用气销售统计台账,核心包含省份、地市、日期、日用气量、用户类型等关键字段,考虑到工业大用户专线用气受生产计划影响显著,与气温波

动的关联性较弱,研究对该部分数据进行了剔除处理,仅保留与气温关联度最高的城市民用及商业用气数据。数据时空范围精准覆盖西南地区川渝两省及下属 21 个地市,时间粒度统一为自然日,时间跨度完整覆盖 2 个完整采暖季与非采暖季,能够全面反映全年不同季节、不同气候条件下的城市燃气用气波动特征。

气象数据来源于国家气象信息中心与专业气象服务商提供的格点化气象数据,核心字段涵盖对应地市的日平均气温、日最高气温、日最低气温、平均体感温度、降水时长等[20],为实现与燃气数据的精准匹配,研究完成了严格的时空对齐处理,空间层面采用地市行政区域内所有气象格点数据的算术平均值作为该地市的日度气温数据,时间层面统一所有数据的时间粒度为自然日,实现燃气销量数据与气象数据的日期一一对应,彻底消除时间错位问题。

2.2.2 标准化数据预处理流程

为保障建模数据质量,剔除异常干扰因素,确保业务化转化成果的准确性与可靠性,研究构建了一套标准化的多源数据预处理流程,对采集的燃气销量数据与气象数据进行系统性处理。

针对数据集中存在的缺失值问题,采用差异化补全策略,对于个别日期的零散缺失数据,优先采用线性插值法进行补全,最大限度保留数据的时序连续性;对于春节等法定长假期间出现的连续缺失数据,采用前 3 年同期历史数据平滑法进行补全,确保时间序列的完整性与数据的合理性。在异常值处理方面,采用 IQR 四分位法对数据进行异常识别,将低于 $Q1-1.5IQR$ 、高于 $Q3+1.5IQR$ 的数值标记为异常值,同时结合燃气企业提供的设备检修记录、抄表周期调整说明等业务资料,对标记的异常值进行逐一核实,对误差数据进行修正,对无法修正的异常值进行剔除。

此外,研究对春节、国庆等法定长假进行单独标记,同时对周末与工作日进行分类标记,为后续参数库的场景化优化提供支持;完成了涵盖基础统计、时序惯性、温度衍生的三维特征工程体系构建,核心构建了采暖度日数、制冷度日数、连续低温天数等衍生指标,全面、精准地量化温度因素对燃气负荷的驱动效应,为业务化转化成果的可靠性提供了坚实的数据基础。

3.燃气负荷敏感性研究成果的业务化转化体系构建

3.1 业务化转化的核心逻辑与总体框架

学术研究成果的业务化转化,核心是解决理论模型与一线业务实操的脱节问题,其本质是完成从“算法参数”到“业务参数”、从“模型拟合结果”到“可视化查询工具”、从“单点分析”到“全流程业务闭环”的三重转化,确保研究成果能够被一线业务人员直接使用,真正融入燃气企业的日常业务流程。

基于此,本研究以一线业务的核心需求为导向,构建了“核心参数库构建-可视化工具开发-全平台功能集成”的三阶业务化转化体系,层层递进实现了前期研究成果的全链条业务化落地。第一阶为核心参数库的标准化构建,核心是将复杂的分段模型、敏感性指标转化为标准化、可查询、可直接计算的业务参数,编制完成《西南地区分域气温分段与燃气负荷特征映射表》,解决学术参数与业务需求脱节的问题;第二阶为可视化工具开发,基于核心参数库开发低代码、可视化的自主式查询工具,降低研究成果的使用门槛,适配一线业务人员的实操习惯;第三阶为全平台功能集成,将工具嵌入燃气数据洞察平台,实现与现有业务模块的数据互通与功能联动,构建完整的业务闭环,实现研究成果的常态化业务应用。

3.2 《西南地区分域气温分段与燃气负荷特征映射表》构建

3.2.1 映射表的核心结构与字段设计

核心参数库的标准化构建,是业务化转化的基础环节,其核心成果是编制完成《西南地区分域气温分段与燃气负荷特征映射表》(以下简称《映射表》)。《映射表》的构建以优选的自适应决策树模型分段结果为核心基础,整合滑动窗口模型的验证数据,以省-市两级为基本单元,完成了温度分段、敏感性指标、用气特征参数的标准化整合,最终形成了覆盖西南地区川渝两省全部地市的多维度温度-用气参数数据库,具体表格见附录 A。

《映射表》为成都地区与四川省全省的核心参数示例,完整表格覆盖川渝两省 21 个地市全温度区间的敏感性参数,包含气温下降 1°C 至 10°C 对应的用气量变化全场景测算结果。

《映射表》的核心字段涵盖了省份、地

市、分段模式、温度分段、温度系数、温度弹性、模型拟合优度 R^2 、温度均值、用气量均值、用气量波动范围，以及不同温降幅度对应的用气量变化参考值等全维度业务参数，实现了气温-用气关系的标准化、精细化量化。其中温度系数与温度弹性双指标是《映射表》的核心业务参数，不同温降幅度对应的用气量变化参考值，是基于分段敏感性参数完成的场景化测算结果，覆盖了气温下降 1°C 至 10°C 的全场景，一线业务人员无需进行任何公式计算，即可直接查询对应温降幅度下的用气量增量，适配日常调度中快速测算的核心需求。

3.2.2 映射表的业务适配场景

《映射表》的业务适配性贯穿了燃气企业经营全流程，可全面支撑燃气调度、保供预案、气源调配、购销计划制定等核心业务场景。在日常调度场景中，业务人员可通过《映射表》快速查询目标城市在对应温度区间的温度系数，计算气温下降带来的用气量增量，提前做好气源储备与管网调度；在秋冬保供准备阶段，可基于《映射表》中的特级敏感区间与临界温度指标，制定针对性的保供预案，明确不同降温场景下的应急响应措施。

在跨区域气源调配场景中，可通过不同地市的温度弹性指标，对比不同区域的用气敏感性差异，划分保供优先级，在气源紧张时实现气源的最优配置；在年度购销计划制定场景中，可基于《映射表》中的全年敏感性分布特征，结合历史气温数据，测算全年不同季节的用气规模，优化天然气年度采购计划，有效降低购销差。《映射表》的构建，彻底打破了原有学术研究中模型参数与业务实操脱节的壁垒，实现了学术研究成果向标准化业务参数的核心转化。

4.业务化应用工具的功能实现与平台集成

4.1 单温度模型查询工具的核心功能设计

为进一步降低研究成果的使用门槛，实现普惠化业务应用，本研究基于上述《映射表》的核心参数库，开发了配套的自主式查询工具，其设计逻辑以一线业务人员的实操需求为核心，采用可视化、低代码的交互设计，无需用户进行任何模型运算与复杂参数设置，仅通过简单的筛选操作，即可快速获取目标区域气温变化对用气量的影响结果，彻底解决了复杂算法模型难以被一线人员掌握的痛点。

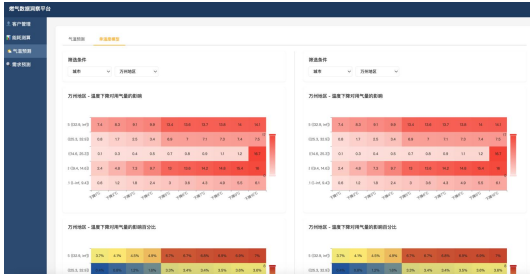


图 1.单温度模型查询工具主界面

图 1 界面核心分为筛选区、绝对值影响矩阵区、百分比影响矩阵区三大功能模块，支持自定义城市与温降幅度筛选，可同步展示气温下降对用气量影响的绝对值与相对值。

4.1.1 多维度灵活筛选功能

工具的多维度灵活筛选功能，是适配不同业务场景的基础，工具支持用户按省份、地市、温度下降幅度等核心条件进行自定义筛选，可精准定位目标区域在不同温降场景下的用气响应特征。无论是省级层面的整体保供调度，还是地市层面的本地化管网调节，均可通过筛选功能适配对应的查询需求，实现了省-市两级的全维度覆盖。用户仅需在筛选区选择目标城市与分析条件，系统即可自动匹配《映射表》中的对应参数，完成结果的可视化展示，无需任何手动计算与参数设置，大幅降低了操作门槛。

4.1.2 双维度可视化矩阵展示功能

双维度可视化展示功能是工具的核心功能模块，工具界面通过两张核心矩阵图表完成结果的可视化呈现，分别为温度下降对用气量影响的绝对值矩阵图与百分比矩阵图，两张图表均以温度分段为行、以温度下降幅度为列，单元格内的数值即为对应场景下的用气量变化结果，通过数值大小与视觉层级的区分，可快速识别高敏感区间与高影响温降幅度。

其中绝对值矩阵图直观展示不同温度区间内，气温每下降 1°C 至 10°C 时用气量的绝对增长值，其数值可直接代入调度工作中的气量调整计算，无需二次换算；百分比矩阵图则展示对应温降幅度下用气量的相对增长幅度，消除了不同城市用气规模的差异，可直观对比不同区域的用气敏感程度，为保供优先级划分提供直观依据。两张图表互为补充，同时满足了气量绝对值测算与区域敏感性横向对比的双重业务需求，实现了学术指标的业务化可视化转化。

4.1.3 标准化数据导出功能

工具设置了标准化数据一键导出功能，支持将查询结果完整导出为 Excel 文件，导出内容包含目标区域的温度分段、敏感性指标、不同温降幅度对应的用气量变化值等全量数据，导出文件的格式适配燃气企业日常办公与文档编制需求。业务人员可直接将导出的查询结果应用于调度方案编制、应急保供预案撰写与工作汇报材料制作，实现了查询结果与业务文档编制的无缝衔接，进一步提升了工具的业务适配性。

4.2 双区域分屏对比功能的实现与业务价值

在燃气调度的实操场景中，跨区域的气源调配与保供优先级划分是冬季保供的核心业务需求，尤其是极端降温天气下，如何在多个地市间实现气源的最优配置，是燃气企业面临的核心难题。基于此，工具在单点查询功能的基础上，开发了双区域左右分屏对比功能，实现了两个不同区域用气敏感性的横向对比分析，完成了从“单点参数查询”到“多区域横向对比分析”的功能升级，进一步拓展了工具的业务适配场景。

双区域用气敏感性分屏对比功能界面如图 2 所示。

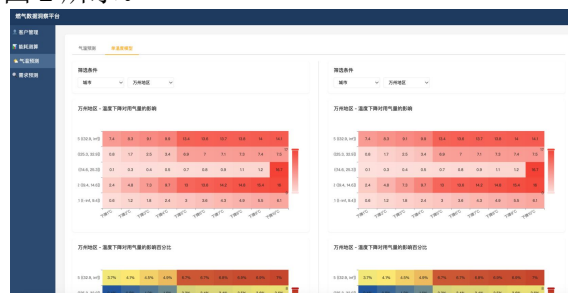


图 2.双区域用气敏感性分屏对比功能界面

界面分为左右两个独立的分析面板，可分别选择不同城市同步展示敏感性矩阵，支持两个城市用气响应特征的直观对比。

双区域分屏对比功能将操作界面分为左、右两个完全独立的分析面板，两个面板的功能与操作逻辑完全一致，用户可在两个面板中分别选择不同的省份、地市，系统将同步生成两个区域的用气影响绝对值矩阵与百分比矩阵，并列展示在同一界面中，无需切换页面即可完成两个区域的全维度对比。

通过该功能，业务人员可直观对比不同城市在相同温降幅度下的用气量增长差异，快速识别不同城市采暖临界温度、敏感区间、用气响应幅度的核心区别，例如左侧选择成都地区、右侧选择泸州地区，可直观看

到两个城市低温敏感阈值 4.6℃ 的差异，以及相同温降幅度下用气增量的显著区别，从而精准判断不同区域的保供压力，为区域间的气源调度、保供优先级划分、应急调峰方案制定提供直观的决策依据。该功能的设计充分贴合西南地区地市间气候特征、用气规律差异显著的区域特点，解决了传统单一区域分析无法支撑跨区域气源调配的业务痛点。

4.3 燃气数据洞察平台的整体集成与业务闭环构建

单温度模型查询工具并非独立的分析软件，而是作为核心功能模块，完整嵌入了燃气数据洞察平台，与平台内的客户管理、能耗测算、气温预测、需求预测四大核心业务模块实现了深度的数据互通与功能联动，构建了完整的燃气数据洞察与决策支撑全流程业务闭环，实现了研究成果与燃气企业数字化业务体系的深度融合。

平台核心包含客户管理、能耗测算、气温预测、需求预测、单温度模型五大功能模块，各模块间实现数据互通与功能联动，形成完整的业务闭环。

4.3.1 与客户管理模块的联动

图 3 工具与客户管理模块的联动，实现了分析维度从区域整体到单一客户的下沉。客户管理模块作为平台的基础数据模块，实现了客户用气数据的筛选查询、批量导入、趋势可视化与明细数据管理，可快速定位特定客户在特定时间段内的用气情况，模块内设置了公司筛选、日期范围选择、数据导入、用气趋势图展示、详细数据表查看等核心功能，完整覆盖了客户用气数据的全生命周期管理。



图 3.燃气数据洞察平台客户管理模块界面

单温度模型工具可直接调用客户管理模块中的历史用气数据，结合区域整体敏感性参数，完成特定客户的用气敏感性定制化分析，实现了从省级、地市级的宏观分析，到具体客户的微观分析的全维度覆盖，不仅能够支撑城市整体的气源调度，也能适配重点

工商业客户、大型居民小区的个性化供气服务需求。

4.3.2 与能耗测算模块的联动

图 4 工具与能耗测算模块的联动，实现了静态能耗测算与动态气温影响分析的有机结合。能耗测算模块支持住宅采暖天然气能耗的单户手动计算与批量文件导入计算，模块内设置了采暖期天数、采暖热指标、室内外计算温度、天然气低位热值、锅炉热效率、住宅面积等核心参数的输入表单，点击计算即可输出年单位面积天然气消耗量与年住宅天然气消耗量核心结果，同时支持测算历史的批量导出。



图 4.燃气数据洞察平台能耗测算模块界面

单温度模型工具可直接调用能耗测算模块的结果数据，结合不同温度区间的敏感性参数，完成不同气温场景下的住宅能耗动态测算，打破了传统能耗测算固定参数、静态结果的局限，能够模拟不同气温变化对住宅采暖能耗的动态影响，为房地产项目配套燃气管网设计、居民采暖用气宣传、采暖期用气计划制定提供了更精准的支撑。

4.3.3 与气温预测模块的联动

图 5 工具与气温预测模块的联动，实现了“气温预测-敏感性匹配-用气量增量计算”的全流程自动化运算。气温预测模块可通过选择预测周期，完成未来一段时间内的气温预测，生成预测温度趋势图，实线展示算法预测的未来气温，虚线展示去年同期的实际气温，可直观对比判断暖冬与寒冬趋势，同时模块支持按城市筛选查看、历史气温数据批量导入、预测结果表格导出等功能，是平台的核心预测类基础模块。

单温度模型工具可直接调用气温预测模块的未来气温预测数据，自动匹配对应温度区间的敏感性参数，提前计算出未来气温变化带来的用气量增量，无需人工手动输入温度数据与参数匹配，大幅提升了调度工作的效率与准确性，帮助业务人员提前预判未来用气趋势，做好气源储备与调度预案。

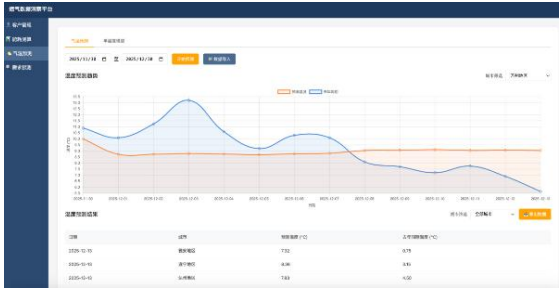


图 5.燃气数据洞察平台气温预测模块界面

4.3.4 与需求预测模块的双向赋能

图 6 工具与需求预测模块的联动，实现了双向赋能与模型优化。需求预测模块可设定预测周期，完成未来一段时间内的城市燃气用气量预测，生成用气量预测趋势图与详细数据表，支持多城市预测趋势对比与预测结果导出，是燃气企业制定购销计划、日常调度的核心依据。

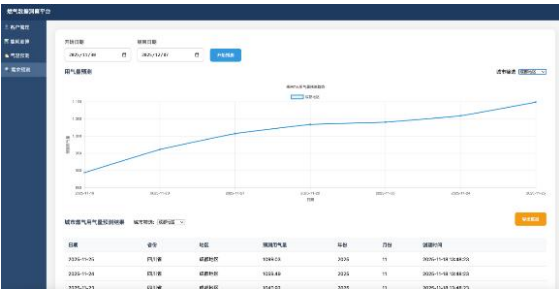


图 6.燃气数据洞察平台需求预测模块界面

单温度模型工具的敏感性量化结果，可直接作为需求预测模块的核心输入参数，优化需求预测模型的气温影响因子，解决了传统需求预测模型气温影响权重固定、无法适配不同温度区间敏感性差异的问题，显著提升了用气量预测的精准度；同时需求预测模块的预测结果与实际用气数据，也可反向验证单温度模型工具敏感性参数的准确性，为参数库的迭代优化提供数据支撑，形成了两个模块间的双向赋能。

通过与四大核心模块的深度集成，单温度模型工具彻底打破了原有研究成果与业务系统的信息壁垒，实现了从基础数据导入、气温预测、敏感性分析、用气量预测到结果输出的全流程业务闭环，一线业务人员在同一个平台内即可完成燃气调度全流程的数据分析与决策支撑工作，无需在多个系统间切换操作，真正实现了学术研究成果的普惠化、常态化业务应用。

5.应用效果验证与业务价值分析

5.1 基于历史回溯法的应用效果验证

为全面验证业务化转化成果的科学性与实用性，本研究采用历史回溯法，对工具内

嵌的《映射表》参数体系与预测能力进行了全面验证。验证的核心逻辑是以历史真实数据为基础，基于工具内嵌的《映射表》，对历史日期按“省份+地市+当日平均气温”匹配对应的温度区间与敏感性参数，预测当日气温变化带来的用气量变化幅度，当预测值与真实值的相对误差绝对值 $\leq 5\%$ 时，记为预测准确，最终统计工具在川渝两省各地市的整体预测准确率。

验证结果显示，该工具在四川省全省层面的预测准确率达到 52.68%，重庆市全省层面达到 52.17%；地市层面，泸州地区准确率 54%、成都地区 53%、重庆主城区 53%，川渝两省 21 个地市的整体准确率稳定在 47%~54%之间。需要重点说明的是，该预测结果仅采用了气温单一核心变量，未纳入节假日、工作日/周末、经济活动水平等其他影响用气负荷的因素，在单一变量的前提下实现了超 50%的预测准确率，充分验证了工具内嵌的敏感性参数体系的科学性与有效性，也再次印证了气温是驱动西南地区燃气负荷短期波动的核心因素，同时也为后续模型优化指明了方向。

5.2 核心业务价值分析

5.2.1 调度决策模式的数字化升级

工具与平台的落地应用，推动西南地区燃气企业的调度模式从传统的“经验驱动、一刀切”模式，向“数据驱动、精准化、差异化”的智能调度模式转变。基于工具识别的“三峰两谷”敏感性分布模式，燃气企业可针对不同敏感等级的温度区间，制定差异化的调度响应策略，针对 6~14℃的特级敏感区间，赋予温度预测最高权重，设置 48 小时的预警提前量，重点关注降温速度与连续低温天数，提前做好气源储备与调度预案；针对低敏感的冬季饱和区间与夏季稳定区间，大幅降低温度权重，重点关注节假日与经济活动变化，实现了调度资源的最优配置，大幅降低了气源调度的盲目性，推动燃气调度从被动应对向主动预判转变。

5.2.2 民生保供能力的系统性提升

针对西南地区分散式采暖用气波动大、保供难度高的区域特点，工具可实现降温过程中用气量增量的提前量化计算，帮助燃气企业提前预判用气高峰，制定针对性的保供预案，在极端降温天气来临前完成气源储备、管网压力调节、应急队伍部署等准备工作，最大限度降低用气缺口风险。同时通过

跨区域敏感性对比功能，燃气企业可合理划分不同地市的保供优先级，在气源紧张时优化区域间的气源调配，优先保障高敏感、高缺口风险区域的民生用气，全面提升西南地区冬季燃气保供的系统性与精准性。

5.2.3 燃气企业经营效益的优化

通过工具提供的精准用气量增量预测，燃气企业可优化天然气月度、年度购销计划，减少因预测偏差导致的气源采购过剩或短缺问题，有效降低购销差，同时减少极端天气下高价应急气源的采购规模，降低企业的采购成本与经营风险。此外，工具的低代码、可视化设计，大幅降低了一线业务人员的数据分析门槛，无需掌握复杂的计量经济学与机器学习算法知识，即可完成专业的气温敏感性分析，有效提升了燃气企业整体的数字化运营能力，推动企业从传统燃气运营商向数字化能源服务商转型。

6. 结论与展望

6.1 核心研究结论

本文针对当前燃气负荷气温敏感性研究“重理论、轻应用”的行业痛点，基于西南地区非集中供暖场景下燃气负荷气温敏感性的前期研究成果，以解决一线业务实操问题为核心，构建了“参数映射-工具开发-平台集成”的全链条业务化转化体系，完成了学术研究成果向业务应用的深度转化，核心研究结论如下。

(1) 基于自适应决策树与滑动窗口分段模型构建的《西南地区分域气温分段与燃气负荷特征映射表》，可完整覆盖川渝两省各地市的温度-用气非线性特征，将复杂的算法模型与敏感性指标转化为标准化、可直接应用的业务参数，适配燃气企业调度、保供、购销计划制定等全流程业务场景，有效解决了学术参数与业务需求脱节的核心问题。

(2) 基于映射表开发的单温度模型查询工具，通过多维度筛选、双维度可视化展示、标准化数据导出等核心功能，以及双区域分屏对比功能，有效降低了学术成果的使用门槛，可适配燃气日常调度、跨区域气源调配等多类实操场景，实现了从“单点参数查询”到“多区域横向对比”的功能升级，具备极强的业务适配性。

(3) 工具与燃气数据洞察平台的深度集成，实现了与客户管理、能耗测算、气温预测、需求预测等核心模块的数据互通与功

能联动，构建了完整的业务闭环，在仅采用气温单一变量的前提下，实现了川渝地区52%左右的用气量预测准确率，推动燃气企业调度模式从经验驱动向数据驱动转变，全面提升了西南地区燃气保供的精准性与系统性。

6.2 不足与未来展望

本研究的成果转化仍存在可优化的空间，当前工具内嵌的参数模型仅纳入了温度单一核心变量，尚未整合节假日、用户结构、经济活动水平等其他影响用气负荷的因素，模型的解释力与预测准确率仍有进一步提升的空间；研究成果的覆盖范围主要聚焦于川渝两省，尚未拓展至云南、贵州等西南其他省份，参数库的覆盖范围有待进一步扩大；同时，当前工具与燃气企业的日常调度业务系统的集成度仍有不足，尚未实现与调度系统的实时数据联动与智能调度指令输出，成果的业务渗透深度仍有提升空间。

未来的研究与转化工作将围绕三个核心方向展开，首先是在现有参数体系的基础上，引入节假日、星期类型、用户结构等辅助特征，构建多因素耦合的敏感性量化模型，完善《映射表》的参数维度，进一步提升工具的预测精度与场景适配性；其次是将研究范围拓展至云南、贵州等西南其他省份，完成对应区域的分段建模与敏感性量化，完善覆盖整个西南地区的温度-用气参数库，验证模型与工具的区域泛化性；最后是推动工具与燃气企业调度业务系统的深度集成，实现气温预测数据的实时接入、用气量影响的自动计算、调度建议的智能输出，进一步提升研究成果的业务价值，为西南地区城市燃气安全稳定供应提供全链条的技术支撑。

参考文献

- [1] 周欢, 王芳. 基于 XGB-PSO-LSTM 模型的城市燃气用量预测[J]. 信息与电脑, 2026, 38 (02): 44-46.
- [2] 郝学军, 朱烨, 于铭多. 基于神经网络的城市燃气日负荷预测[J]. 煤气与热力, 2025, 45 (11): 55-63.
- [3] 赵春兰, 郑雯娟, 岑康, 贺可函, 王汉遥. 不同时间尺度的燃气负荷预测模型研究综述[J]. 西南石油大学学报 (自然科学版),
- [4] 屈菊红, 赵勇兵. 基于大数据的燃气管网

负荷预测设计[J]. 石化技术, 2025, 32 (11): 428-429.

- [5] 丁磊, 邓小毅, 马玺, 郭乐华, 龙海红, 廖春梅, 黎国鑫, 徐玲. 基于 CNN-BiLSTM-Attention 的城镇燃气用气量预测[J]. 科技和产业, 2025, 25 (15): 66-73.
- [6] 王宇, 罗诗斌, 肖伟, 孙登峰. 基于大数据技术的城市燃气客户销量预测模型研究[A]. 《煤气与热力》杂志社有限公司, 中国燃气运营与安全研讨会 (第十三届) 论文集 (下册) [C]. 重庆燃气集团股份有限公司: 《煤气与热力》杂志社, 2024: 751-762
- [7] Peng Xu, Yuwei Song, Jingbo Du, Feilong Zhang. Town gas daily load forecasting based on machine learning combinatorial algorithms: A case study in North China [J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2024, 75
- [8] 许佳雯. 基于时序数据与智能算法的城市燃气日负荷预测方法研究[D]. 导师: 郝学军; 邢琳琳. 北京建筑大学, 2024.
- [9] 赵一. 基于群体智能算法的燃气负荷预测研究[D]. 导师: 徐鹏; 梁金凤. 北京建筑大学, 2024.
- [10] 刘万琪. 基于深度学习的城市天然气日负荷预测研究[D]. 导师: 李鸿英; 岳小文. 中国石油大学 (北京), 2024.
- [11] 李泽明, 朱大令. 基于 XGB-LSTM 模型的燃气日负荷预测[J]. 城市燃气, 2023, (11): 22-27.
- [12] 赵雯嘉. 成都市天然气日负荷预测技术研究[D]. 导师: 贾文龙. 西南石油大学, 2023.
- [13] 罗银. 燃气负荷时间序列的分割与预测研究[D]. 导师: 赵春兰. 西南石油大学, 2023.
- [14] 白玉磊. 基于 LSTM 的燃气负荷智能预测方法研究[D]. 导师: 张可佳; 王权. 东北石油大学, 2023.
- [15] 于铭多, 郝学军. 基于 Dropout-LSTM 模型的城市燃气日负荷预测[J]. 煤气与热力, 2023, 43 (02): 10-16.
- [16] 宋雨薇. 基于日均气温修正的煤改气居民负荷预测研究[D]. 导师: 徐鹏; 梁金凤. 北京建筑大学, 2025.
- [17] 徐鹏, 张飞龙, 杜景勃, 郑小兵. 燃气日负荷预测中温度累积效应的分析[J]. 煤气

- 与热力, 2024, 44 (07): 1-6.
- [18]徐云定.基于 ARIMA 模型的大众燃气输气量预测与分析[A].中国城市燃气协会安全管理工作委员会, 2025 年燃气安全交流研讨会论文集 [C]. 上海燃气;, 2025:409-415.
- [19]Guozhong Zheng, Lang Yang, Ziyi Li. Hybrid LSTM-XGBoost forecasting model of building cooling load based on WOA-DE algorithm [J]. Energy & Buildings, 2026, 359
- [20]李江, 王尚玉.基于 XGBoost-LSTM 的架空输电线路覆冰风险预测[J].电力信息与通信技术, 2026, 24 (02): 1-9.