

# 基于气象因素的集中供热系统热负荷预测研究

王文标, 蔡 麒, 汪思源

(大连海事大学 信息科学技术学院, 辽宁 大连 116026)

**摘要:** 集中供热系统各子系统的给定值都是由预报热负荷决定的, 提供准确的热负荷预测是提高供热质量的基础; 传统热负荷预测仅考虑室外温度的影响, 并且热负荷预测模型参数的辨识仍依靠传统数学工具, 精度不够高; 为了更准确预测, 研究了多个气象参数对集中供热系统热负荷的影响, 采用了多元回归法, 利用 1stOpt 软件中的 LM-UGO 算法建立了集中供热系统热负荷预测模型; 实验结果显示, 室外温度对热负荷有直接影响, 风速或日照对室外温度有直接影响, 然后间接影响热负荷, 同时, 多元回归拟合的平方相关系数均在 0.900 0 以上, 模型训练、测试的平均绝对百分比误差均在 4.00% 以下; 应用实例表明, 热负荷预测模型的训练与测试均比较合理, 这种多元回归法适用于在热负荷预测邻域推广与使用。

**关键词:** 集中供热系统; 热负荷; 气象因素; 多元回归

## Research of District Heating System Heat Load Prediction Based on Weather Factors

Wang Wenbiao, Cai Qi, Wang Siyuan

(School of Information Science and Technology, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

**Abstract:** The set value of district heating system's subsystem depends on forecasting heat load, providing accurate heat load prediction is the basis to improve the heating quality. For the traditional heat load prediction, the outdoor temperature was considered as the only one influence factor, the heat load prediction model's parameters identification depend on traditional mathematical tools, and the model's accuracy isn't high. In order to predict the heat load more accurately, the multiple weather factors' influences on the district heating system heat load were researched in this paper, moreover, the multiple regression method was used in this paper, and then, the district heating system heat load prediction models were established by Levenberg Marquardt-Universal Global Optimization (LM-UGO) algorithm in 1stOpt software. The experimental results shown that the outdoor temperature has a direct influence on the heat load, the wind speed or solar radiation has a direct influence on the outdoor temperature so as to impact the heat load indirectly. The results shown that the multiple regression fitting's square correlation coefficient were all greater than 0.900 0, model training and testing's mean absolute percentage error were all less than 4.00%. This application indicated that the training and testing process of the heat load prediction models were reasonable, it proved that this multiple regression method can be promoted into the heat load prediction field.

**Keywords:** district heating system; heat load; weather factors; multiple regression

## 0 引言

近年来, 我国集中供热行业的规模在不断地扩大, 用户对供热质量的需求也在不断的提高, 实现按需供热成为急需解决的民生问题<sup>[1]</sup>。集中供热系统中各子系统的给定值都是由预报热负荷所决定的, 因此实现及时准确的热负荷预测是提高集中供热质量的基础<sup>[2]</sup>。气象因素对集中供热系统热负荷的影响较大, 但目前国内大部分的热负荷预测方法只考虑了室外温度的因素<sup>[3]</sup>。国外的研究工作起步较早, 方法技术已较成熟, 研究值得借鉴。

1984 年, Werner<sup>[4]</sup>对瑞典多个区域供热系统进行了测试, 研究表明, 热负荷的 60% 受室外温度的影响, 自然风的影响使热负荷增加 1%~4%, 太阳辐射得热使热负荷减少 1%~5%。2004 年, Westphal 和 Lamberts<sup>[5]</sup>采用不同的气象周期与气象数据研究气象参数对热负荷的影响。他们在巴西做实验, 对比采用不同标准的气象数据, 发现差值可以达到 18%, 由此认为气象数据的选取方法会对结果产生很大影响。2006 年, Nielsen<sup>[6]</sup>等人在丹麦提出了用灰盒法进行区域供热系统耗热量的研究, 根据物理意义建立初始模型结构, 得到耗热量与室外温度、风速、太阳辐射量等变量的关系框架。2008 年, Krzysztof<sup>[7]</sup>等人采用其他气象参数对室外温度修正的做法, 研究了波兰华沙地区太阳辐射和风速对与建筑负荷的影响。他通过太阳辐射和风速对室外温度的修正分析得出, 太阳辐射的影响比风的影响要大。2009 年, Omer 和 Tolga<sup>[8]</sup>等人针对土耳其阿菲永地区的气候特点, 选取室外温度、风速和太阳辐射 3 个气象参数进行研究, 得到了能耗和这些气象参数的回归方程。

本文通过研究气象因素与集中供热系统热负荷自建的关系

收稿日期: 2015-08-29; 修回日期: 2015-09-30。

基金项目: 2014 年大连市科技计划项目(2014E11SF059)。

作者简介: 王文标(1982-), 男, 天津市人, 讲师, 主要从事计算机网络方向的研究。

汪思源(1963-), 男, 安徽合肥人, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事过程控制方向的研究。

系, 确定了气象因素中室外温度、风速、日照与集中供热系统热负荷之间的关系。然后, 本文基于多元回归分析法, 利用了 1stOpt 软件建立了集中供热系统热负荷预测模型, 并进行了实验分析, 以验证这种多元回归分析法在热负荷预测中的有效性。

## 1 集中供热系统简介

### 1.1 集中供热系统的总体结构

本文项目中涉及到的集中供热系统为一种传统的集中供热系统。传统的集中供热系统主要是由 3 个部分组成, 分别为锅炉 (热源部分)、换热站 (热网部分) 与楼宇 (热用户部分)。其中, 锅炉与换热站通过一次供热管网进行连接, 换热站与楼宇通过二次供热管网进行连接<sup>[9]</sup>。相应的集中供热系统的工艺流程如图 1 所示。

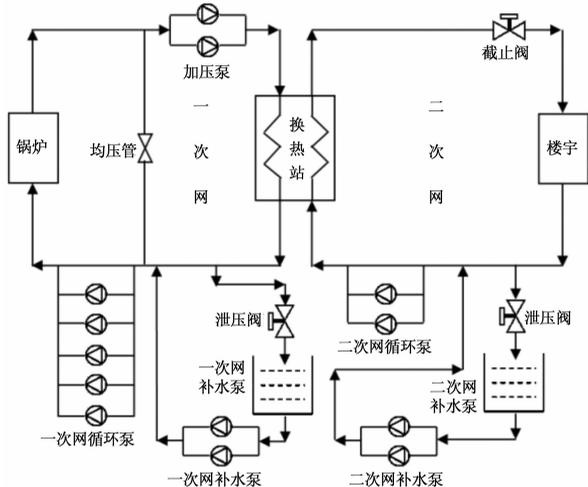


图 1 集中供热系统的总体工艺流程图

在一次侧, 热水在锅炉处被加热后, 通过一次供热管网到达换热站处, 在换热站处进行热交换从而将热量传递给二次供热管网的热水, 而热水的一次网循环动力来自于一次网循环泵; 在二次侧, 热水在换热站处被加热后, 通过二次供热管网到达热用户处, 将热量通过散热设备释放到室内, 而热水的二次网循环动力来自于二次网循环泵。

当一次网与二次网的水量不足时, 一、二次网的泄压阀会打开, 通过一、二次网的补水箱与补水泵, 来对一、二次网进行公共补水。

### 1.2 集中供热系统的供热管网分布

本文项目中所述的集中供热系统为一个区域集中供热系统, 其为大连市某高校所管辖的区域集中供热系统。本文项目中所述的集中供热系统覆盖着该高校的所在区域。

本文项目中所述的区域集中供热系统的部分供热管网分布如图 2 所示。

本文项目中所述的区域集中供热系统的供热覆盖面积约为 80 万平方米。为了更加清晰地观察整个供热管网的分布情况, 图 2 只显示了整个供热区域的某一典型部分, 不包含整个 80 万平方米的供热区域。

图 2 显示的该高校区域集中供热系统的部分管网分布包含有 1 台 29 MW 的热水锅炉、2 个板式换热器类型的换热站、

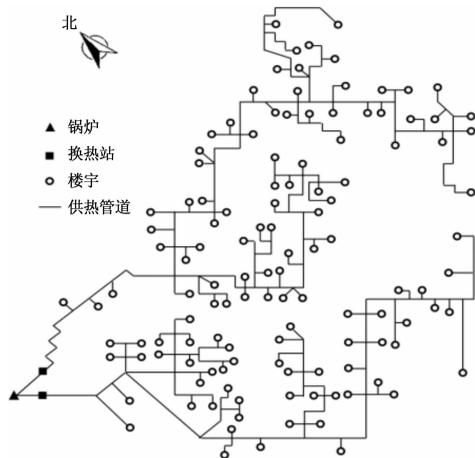


图 2 大连市某高校集中供热系统的部分供热管网

若干个楼宇与相应的供热管道。

## 2 气象因素与集中供热系统热负荷的关系

### 2.1 室外温度对热负荷的影响

通常, 气象因素对集中供热系统热负荷的影响比较大, 其中, 室外温度对集中供热系统热负荷的影响最大<sup>[10]</sup>。为了更好地研究室外温度与集中供热系统热负荷之间的关系, 本文选取了 2015 年 1 月、2 月、3 月该集中供热系统某换热站的实验数据, 总共 3 个月, 即 90 天的样本点数据, 通过最小二乘法进行了一元回归方程的拟合, 相应的室外温度与某换热站热负荷之间的拟合效果如图 3 所示。

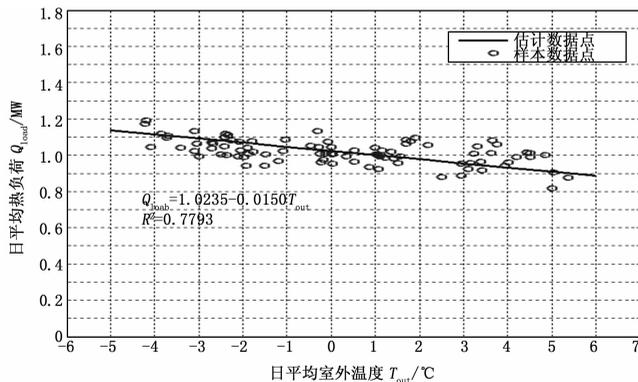


图 3 室外温度与某换热站热负荷之间的关系

相应的室外温度与某换热站热负荷之间的一元回归拟合方程如式 (1) 所示。

$$Q_{load} = 1.0235 - 0.0150 T_{out} \quad (1)$$

其中,  $T_{out}$  为室外温度值 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $Q_{load}$  为某换热站的日平均热负荷 (MW)。其中一元回归直线拟合的平方相关系数  $R^2$  为 0.779 3。说明室外温度与该换热站热负荷成近似的线性关系。

### 2.2 风速与室外温度对热负荷的影响

由于外界风速的变化会对真实的室外温度造成影响, 当风速增加时, 真实的室外温度值会比实测的室外温度值偏低。因此, 在研究室外温度与集中供热系统热负荷之间的关系时, 需要考虑风速对室外温度的影响。

当风速增加时, 对应于室外温度, 可以折算为一个等效的