

基于气象因素的供热机组热负荷预测方法的改进

周振起,王盛华

(东北电力大学 能源与动力工程学院,吉林 吉林 132012)

摘 要:针对“三北”地区供热机组在供暖期按照“以热定电”方式运行,强迫出力大时,供热机组调峰能力降低.拟合供热机组采暖热负荷和室外温度,利用当日气象因素修正室外温度,提高其与采暖热负荷拟合优度 R^2 值.通过 MATLAB 编程,给往日气象因素对当日室外温度影响赋予合理的权重,进一步提高室外温度与采暖热负荷拟合优度,提高采暖热负荷预测精度.精确预测采暖热负荷是实现供热机组按需供热,预测供热机组调峰范围的前提.

关 键 词:气象因素;权重;拟合优度;热负荷预测

中图分类号: TM621.4

文献标识码: A

中国“三北”地区风电机组弃风严重^[1~2].针对“三北”地区实际情况,研究供热机组参与电网调峰,对电网消纳风电具有重要意义^[3].研究供热机组的调峰范围,首先应比较准确的预测采暖热负荷.通常在设计热网采暖热负荷时,采用面积热指标法,但实际供热过程是一个动态的过程,这导致热负荷的实际值与理论值偏差较大.即使满足一定的标准,室内温度仍然不能达标^[4],供热机组难以实现按需供热,当机组强迫出力大时,电网消纳风电的能力进一步降低.本文通过建立采暖热负荷与气象因素之间的关系来预测热负荷,为研究供热机组调峰能力、消纳风电、节能减排工作做出有力的支持.

目前,国内外学者对采暖热负荷的预测做了大量的研究.石兆玉^[5]认为:采暖热负荷,不但与当日的室外温度、供回水温度、流量、日照、风速有关,而且还与往日的上述参数有关. Werner S^[6]研究了瑞典多个区域供热系统,将影响采暖热负荷的气象因素进行大量统计分析,得出影响热负荷的主要因素是室外温度、太阳辐射、自然风.蔡麒^[7]利用回归分析法,研究气象因素与某个换热站热负荷之间的关系,通过太阳辐射与风速对室外温度的修正,提高室外温度与采暖热负荷拟合优度.

为了使预测热负荷的工作尽可能简便,在预测采暖热负荷时,不能如石兆玉^[5]那样考虑所有影响热负荷的因素,只需考虑对热负荷产生影响的主要因素,对影响当日热负荷的过去天数考虑也有限.蔡麒^[7]提供了利用太阳辐射与风速对室外温度修正以提高室外温度与换热站热负荷拟合优度的方法,但对于预测供热机组采暖热负荷,精度提高有限.在此基础上,提出了一种给往日气象因素对当日室外温度影响赋予权重的方法,此方法使度量室外温度与采暖热负荷拟合优度的可决性系数 R^2 值进一步提高.

1 样本数据的处理

为了使本文提供的预测采暖热负荷方法具有代表性,本文随机选取了哈尔滨某供热机组3个月,共

收稿日期:2017-08-09

第一作者:周振起(1963-),男,硕士,教授,主要研究方向:电厂节能理论与节能技术

通讯作者:王盛华(1989-),在读硕士研究生,主要研究方向:电厂节能理论与节能技术

电子邮箱:1354073476@qq.com(周振起);1053992059@qq.com(王盛华)

90天的采暖热负荷历史数据为样本数据.采暖热负荷值、温度值、风速与太阳辐射强度值均为日平均值.

历史热负荷数据中不可避免的包含一些不良数据或伪数据,这是由于记录历史采暖热负荷时,可能存在人为、数据传输、系统故障、测量设备误差等因素.可用历史热负荷数据的前一时刻和后一时刻的均值来替代该数据,进而完成对历史热负荷中不良数据的修正^[8].

2 气象因素与供热负荷

2.1 当日室外温度与热负荷

将采暖热负荷数据与室外温度进行线性拟合,得到室外温度与采暖热负荷拟合效果图,如图1所示.相应的室外温度与采暖热负荷之间的关系式

$$Q = 217.0 - 8.934T_{out}, \quad (1)$$

式中: T_{out} 为室外温度值,℃; Q 为供热机组的日平均热负荷,MW.

采暖热负荷与室外温度线性拟合优度 R^2 的值为0.834,这表明室外温度与机组采暖热负荷近似呈线性关系,但是利用此关系式预测采暖热负荷,精度有待提高.

2.2 考虑当日风速与太阳辐射影响后当日室外温度与供热负荷

风速、太阳辐射是影响采暖热负荷的主导因素,风速对于室外温度的修正,可以折算出一个等效的降温温度.徐大海^[9]提出了考虑风速影响的等效降温温度公式为

$$\Delta T_{wind} = 0.0246(\lg(7.23W_{wind}))^3 - 0.4525(\lg(7.23W_{wind}))^2 + 3.2398\lg(7.23W_{wind}), \quad (2)$$

式中: W_{wind} 为外界风速值,m/s; ΔT_{wind} 为风速降温等效温度,℃.

太阳辐射对于室外温度的修正,可以折算出一个等效升温温度^[5]

$$\Delta T_{solar} = S_{solar}/S_k, \quad (3)$$

式中: S_{solar} 为外界光照值,W/m²; S_k 为光照折算系数,W/(m²℃),根据文献[7],取100 W/(m²℃).

当同时考虑当日室外风速与太阳辐射影响时,室外温度 $T_{w,s}$ 计算公式为

$$T_{w,s} = T_{out} + \Delta T_{solar} - \Delta T_{wind}, \quad (4)$$

将其与采暖热负荷进行线性拟合,其效果如图2所示,拟合公式为

$$Q = 196.5 - 8.937T_{w,s}, \quad (5)$$

其中:拟合优度 R^2 的值为0.846,拟合优度有一定的提高.结果表明,考虑当日风速与太阳辐射对室外温度影响后,二者相关性增强.

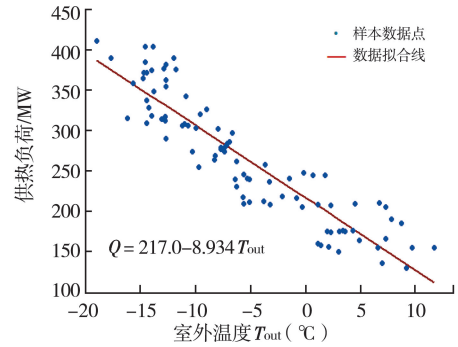


图1 室外温度与采暖热负荷拟合效果图

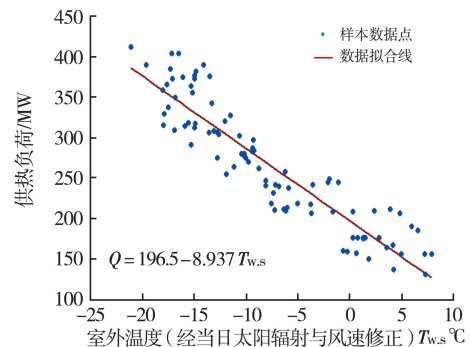


图2 室外温度(经当日风速与太阳辐射修正)与采暖热负荷拟合效果图

2.3 考虑往日风速与太阳辐射影响后室外温度与采暖热负荷

为了提高预测采暖热负荷精度,本文在 2.2 的方法上做出改进. 本文不但考虑当日的风速、太阳辐射强度对室外温度的影响,而且也考虑往日的风速、太阳辐射对当日室外温度的影响,本文分别给往日气象因素对当日室外温度影响赋予权重,以此修正室外温度,将其与采暖热负荷进行线性拟合,使二者拟合优度进一步提高.

根据传热学知识可知,往日气象因素对当日室外温度的影响随天数增加而递减. 为了使预测采暖热负荷的方法简便,不能考虑过去所有天的气象因素对当日室外温度的影响,统计计算结果表明,采暖热负荷与前 4 d~5 d 的气象因素有关^[7]. 通过 MATLAB 编程,寻找最优的考虑天数,并给需要考虑的往日的气象因素赋予合理的权重来修正当日的室外温度,使室外温度与供暖热负荷进行线性拟合时,拟合优度 R^2 值是极大值. 即当考虑天数为 n 天时,当日室外温度为

$$T_{w,i,e} = a_i T_{w,i} + a_{(i-1)} T_{w,(i-1)} + a_{(i-2)} T_{w,(i-2)} + \dots + a_{(i-n)} T_{w,(i-n)} \quad (6)$$

式中: a_i 、 $a_{(i-1)}$ 、 $a_{(i-2)}$ 、 \dots 、 $a_{(i-n)}$ 为权重值, $a_i > a_{(i-1)} > a_{(i-2)} > \dots > a_{(i-n)}$,且权重值之和为 1; $T_{w,i,e}$ 为当日室外温度; $T_{w,(i-n)}$ 为前 n 天经太阳辐射与风速修正后的室外温度.

在确定权重时,可采用“试探”法^[10]. 如令式(6)中的 $n = 2$,则分别设:

$$\alpha_i = m_0 / (m_0 + m_1 + m_2), \quad (7)$$

$$\alpha_{(i-1)} = m_1 / (m_0 + m_1 + m_2), \quad (8)$$

$$\alpha_{(i-2)} = m_2 / (m_0 + m_1 + m_2), \quad (9)$$

式(7)、式(8)、式(9)中, m_0 、 m_1 、 m_2 分别取 1~10 之间 10 个整数. MATLAB 程序设计框图,如图 3 所示.

通过 MATLAB 程序计算,得到不同的考虑天数, R^2 最大值时,满足相关条件的权重值,计算结果如表 1 所示.

表 1 程序计算结果

考虑过去天数 n	程序计算得到的权重值与其对应的方程	最大 R^2 值
1	$T_{w,i,e} = 0.6667T_{w,i} + 0.3333T_{w,(i-1)}$ $Q = 193.0 - 9.352T_{w,i,e}$	0.870
2	$T_{w,i,e} = 0.6428T_{w,i} + 0.2143T_{w,(i-1)} + 0.1429T_{w,(i-2)}$ $Q = 191.0 - 9.601T_{w,i,e}$	0.880
3	$T_{w,i,e} = 0.6250T_{w,i} + 0.1875T_{w,(i-1)} + 0.1250T_{w,(i-2)} + 0.0625T_{w,(i-3)}$ $Q = 189.6 - 9.762T_{w,i,e}$	0.887
4	$T_{w,i,e} = 0.5T_{w,i} + 0.2T_{w,(i-1)} + 0.15T_{w,(i-2)} + 0.1T_{w,(i-3)} + 0.05T_{w,(i-4)}$ $Q = 186.9 - 10.06T_{w,i,e}$	0.896
5	$T_{w,i,e} = 0.4T_{w,i} + 0.2T_{w,(i-1)} + 0.16T_{w,(i-2)} + 0.12T_{w,(i-3)} + 0.08T_{w,(i-4)} + 0.04T_{w,(i-5)}$ $Q = 184.9 - 10.270T_{w,i,e}$	0.884

由表(1)可知,考虑过去四天的气象因素对当日采暖热负荷的影响,当日室外温度经气象因素修正后与采暖热负荷进行线性拟合,其拟合优度 R^2 的值为极大值.

针对本机组,可以选择公式(10)、公式(11) 预测采暖热负荷.

$$T_{w,i,e} = 0.5T_{w,i} + 0.2T_{w,(i-1)} + 0.15T_{w,(i-2)} + 0.1T_{w,(i-3)} + 0.05T_{w,(i-4)}, \quad (10)$$

$$Q = 186.9 - 10.06T_{w,i,e}.$$

本文方法只考虑影响采暖热负荷主要的气象因素,考虑过去天数有限,使用起来比较简便. 本文提

供的方法与原方法相比,拟合优度 R^2 值达到了 0.896. 室外温度与采暖热负荷拟合的效果,如图 4 所示.

采用本文提供的方法,选取 90 组数据,按照时间顺序排列,采暖热负荷实际值与利用两种预测热负荷方法得到的预测值比较,如图 5 所示.

从图 5 可知,两种方法得到采暖热负荷的预测值与实际值总体趋势是一致的. 除个别点外,利用本文提供的热负荷预测方法,得到的预测值的绝对误差和相对误差相较于原方法均有一定的降低.

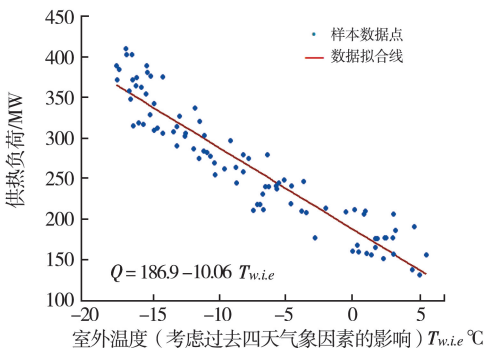


图 4 室外温度 (经过去四天主要气象因素修正) 与热负荷拟合效果图

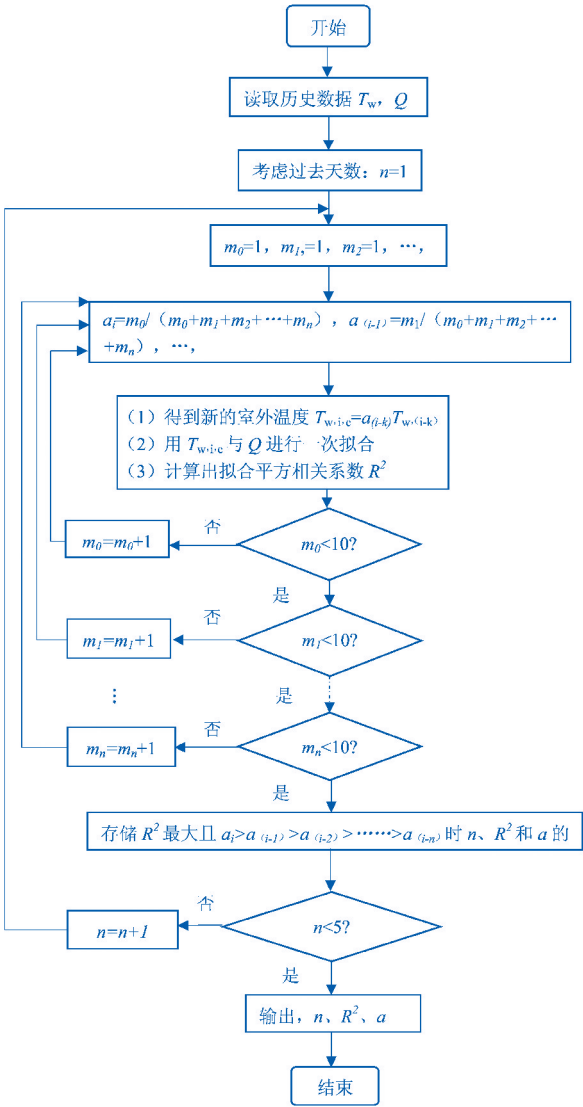
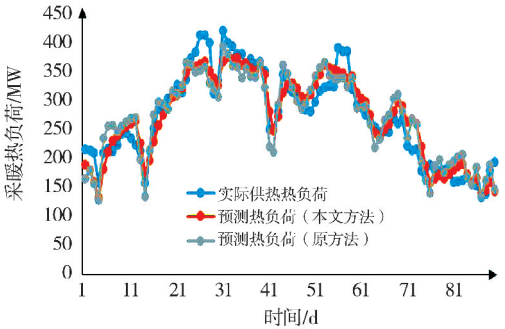
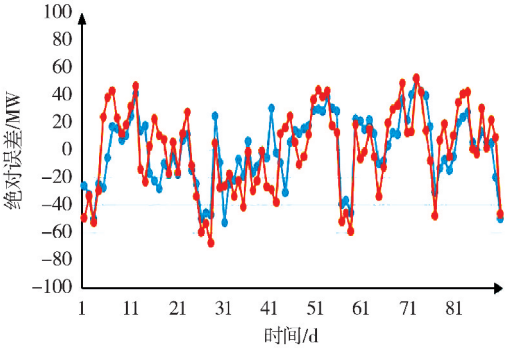


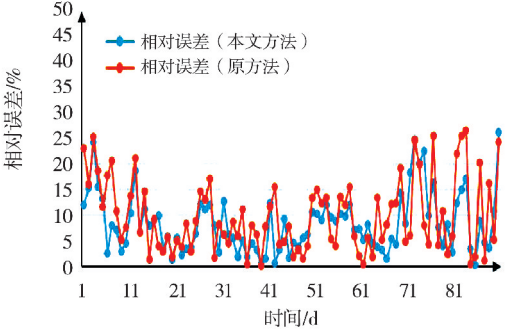
图 3 MATLAB 程序设计框图



(a) 实际热负荷与预测热负荷比较



(b) 两种预测热负荷方法绝对误差



(c) 预测热负荷与实际热负荷的相对误差

图 5 两种预测热负荷方法比较

3 结 论

(1) 拟合当日室外温度与采暖热负荷,二者线性相关;利用当日太阳辐射和风速对室外温度修正,

拟合修正后的室外温度与采暖热负荷,拟合优度 R^2 值在原基础上提高了 0.012,二者相关性增强.

(2)利用 MATLAB 编程,给过去四天气象因素对当日室外温度影响赋予合理权重,拟合室外温度与采暖热负荷.此方法与只考虑当日气象因素修正的方法相比,绝对误差与相对误差均降低, R^2 值提高了 0.05,提高了采暖热负荷预测精度,对于供热机组实现按需供热、提高调峰能力有重要意义.

参 考 文 献

[1] 张运洲,胡泊. “三北”地区风电开发、输送及消纳研究[J]. 中国电力,2012,45(9):6-11.
[2] 朱凌志,陈宁,韩华玲. 风电消纳关键问题及应对措施分析[J]. 电力系统自动化,2011,35(22):29-34.
[3] 徐彤,周云,王新雷. 300 MW 级热电联产机组调峰能力研究[J]. 中国电力,2014,47(9):35-41.
[4] 秦力,赵娜,孙东风. 严寒地区居住建筑采暖能耗实测结果分析[J]. 东北电力大学学报,2016,36(1):36-40.
[5] 石兆玉. 供热系统运行调节与控制[M]. 北京:清华大学出版社,1994:172-174.
[6] S. Werner. The heat load in district heating systems[D]. Stockholm:Chalmers Tekniska Högskola,1984.
[7] 蔡麒. 气象因素与供热负荷的关系研究[J]. 区域供热,2016(4):27-32.
[8] 刘严崴. 基于神经网络的供热系统负荷预测[D]. 天津:天津大学,2009:33-34.
[9] 徐大海,朱蓉. 人对温度,湿度,风速的感觉与着衣指数的分析研究[J]. 应用气象学报,2000,11(4):430-439.
[10] 王素玉,姜永成,方修睦,等. 基于供热数据挖掘和负荷预测的适量供热技术[J]. 暖通空调,2011,41(7):1-5.

The Improvement Method of Forecast Heat Load of Heating Unit
Based on Meteorological Factors

Zhou Zhenqi, Wang Shenghua

(Energy Resource and Power Engineering College, Northeast Electric Power University, Jilin Jilin 132012)

Abstract: The combined heat and power unit orders power by heat during heating period in the Three Norths. The capacity of peak shaving will decrease for large force output. Fitting heat loads of heat supply units and outdoor temperatures. The goodness of fit, R^2 , can be improved through modifying the outside temperatures by meteorological factors. Putting reasonable weights to effects of meteorological factors to outside temperatures of past few days through MATLAB programming will improve the goodness of fit of outdoor temperatures and heating loads which means improving predicted accuracies of heating loads. Accurate predictions of heating loads are premises to achieve on-demand supply heating and predict scopes of peak shaving of heat supply units.

Key words: Meteorological factors; Weight; The goodness of fit; Prediction of heating load