

考虑温度和负荷相关性的重庆 冬季空调负荷计算

王瑞妙¹, 姚欣愚², 赵小娟¹, 朱小军¹, 李牧水³

(1. 国网重庆市电力公司电力科学研究院, 重庆 404100; 2. 国网重庆市电力公司江津区供电分公司, 重庆 402290;
3. 国网重庆市电力公司长寿供电分公司, 重庆 401220)

摘要: 空调设备的广泛应用给电网带来了大量的空调负荷, 对电力系统的安全经济运行产生了越来越大的影响。为了正确估计空调负荷规模, 提出一种考虑温度与负荷相关性的冬季空调负荷计算方法。首先, 通过计算温度与负荷在筛选过程中的相关系数, 从基准日中剔除异常温度日; 其次, 考虑到基本负荷的日增长情况, 采用回归分析法拟合冬季各日的基本负荷曲线。针对春节期间电力系统负荷急剧下降的特点, 提出用春节系数来修正冬季基本负荷, 冬季空调负荷则为冬季电力系统负荷与冬季基本负荷之差。最后, 利用该方法对重庆市 2018 年冬季空调负荷进行计算, 验证所提方法的有效性。

关键词: 空调负荷; 温度; 相关分析; 回归分析

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2021.06.019 中图分类号: TM470.40 文章编号: 1673-9140(2021)06-0157-07

Calculation of Chongqing winter air conditioning load considering the correlation between temperature and load

WANG Ruimiao¹, YAO Xinyu², ZHAO Xiaojuan¹, ZHU Xiaojun¹, LI Mushui³

(1. Electric Power Science Research Institute, State Grid Chongqing Electric Power Company, Chongqing 404100, China;
2. Jiangjin Electric Power Supply Branch, State Grid Chongqing Electric Power Company, Chongqing 402290, China;
3. Changshou Electric Power Supply Branch, State Grid Chongqing Electric Power Company, Chongqing 401220, China)

Abstract: The widespread application of air-conditioning equipment has brought a large amount of air-conditioning load to the power grid, which has an increasing impact on the safe and economic operation of the power system. In order to correctly estimate the air-conditioning load scale, this paper proposes a winter air-conditioning load calculation method that considers the correlation between temperature and load. Firstly, by calculating the correlation coefficient between temperature and load in the screening process, the abnormal temperature day is excluded from the reference day. Secondly, considering the daily growth of basic load, regression analysis method is used to fit the basic load curve of each day in winter. In view of the characteristics of the rapid decline of the power system load during the Spring Festival, the Spring Festival coefficient is proposed to modify the basic load of the winter base load. The winter air-conditioning load is the difference between the winter power system load and the winter base load. This method is used to calculate the air-conditioning load in Chongqing in 2018. The results show the effectiveness of the method.

Key words: air conditioning (AC) load; temperature; correlation analysis; regression analysis

空调负荷是指电网中空调设备运行所消耗的负荷量,主要包括常开的空调负荷和受气温影响的采暖降温空调负荷。常开的空调负荷主要用于工业及服务业,该部分负荷规律性强且负荷水平变化较小,不会对电网带来较大冲击。采暖降温空调负荷受气温影响突出,负荷波动幅度极大且变化频繁,对电网调峰调频造成巨大压力。

近年来,空调负荷已成为电力系统负荷的重要组成部分,尤其在南方地区,空调设备是冬季供热的主要设备。随着空调负荷的增加,电力系统负荷系数降低,峰谷差增大,系统电压难以稳定,同时也对电网调峰和频率调整提出了严峻的挑战^[1-2]。如1987年的东京电压崩溃事故中,空调负荷在中午急剧增加,系统缺乏无功功率,使系统电压失去稳定性,造成电网电压崩溃的局面^[3]。

受限于目前技术手段和管理水平,电网无法做到对所有空调设备使用情况进行计量,因此,空调负荷的计算只能基于电网统调负荷数据进行估算。目前,电力公司广泛采用的空调负荷计算方法有最大负荷比较法(peak-load comparison method, PL-CM)和基准负荷比较法(basic-load comparing method, BLCM)。PLCM将冬季各日与无空调负荷日的最大负荷相减得到日最大空调负荷^[4-5]。BLCM选择春、秋季作为无空调负荷的基准日,将各基准日负荷曲线取均值得到基准负荷曲线,冬季各日与基准负荷曲线的差值即为日空调负荷曲线。

然而,这2种传统方法存在问题:①电力系统负荷有一个自然增长的趋势,而传统方法以春、秋季负荷曲线取均值作为基准负荷曲线来计及季节间负荷增长量,这种做法忽略了夏、冬季内负荷的自然增长;②空调负荷计算的关键在于基准负荷曲线的计算,传统方法对春、秋季基准日的选取具有很强的主观性^[6],春、秋季反常气候可能出现反常气温日,会导致计算结果产生误差。文献^[7]提出基于气象信息的基准日选择方法,通过建立气象坐标系并规定基准气象象限,选择气象条件位于基准气象象限内的天作为基准日。该方法虽然能够在基准日选择中考虑气象条件,但基准气象象限的设定仍具有主观性。

该文提出一种考虑温度和负荷相关性的空调负荷计算方法,该方法通过计算温度与负荷相关性,将

反常气温日从基准日集合中去除,在此基础上,得到一套电力系统负荷几乎不受温度影响的基准日集合。为了说明基本负荷的自然增长,使用回归分析拟合冬季各日基础负荷曲线。春节(Spring Festival, SF)期间电力系统负荷急剧下降,因此,通过计算比例系数对春节时段内基础负荷曲线进行折算,最终得到冬季各日基础负荷曲线,并通过与统调负荷曲线相减得到每天24点空调负荷曲线。在基础负荷曲线计算过程中,该方法计及了气温因素影响和电力负荷的自然增长,并使基准日选择过程更加客观。利用该文所提方法计算重庆市2018年冬季空调负荷,结果表明了该方法的有效性。

1 考虑温度和负荷相关性的基准日选择方法

空调设备主要用于冬季采暖和夏季降温^[8],气温过高或过低直接导致空调负荷的产生。春、秋季的气温相对适宜,一般无空调负荷出现,因此,通常选择春、秋季作为无空调负荷的基准日^[9-10]。然而,由于春、秋季的气温可能出现反常,如春季的倒春寒现象,因此,春、秋季的某几日仍然存在空调负荷,即春、秋季包含的所有日不是均能作为基准日。该文提出基于温度和负荷相关性计算的基准日选择方法,从春、秋季中选择出一组基准日,使得被选日的日负荷与日温度的相关性较低。

以秋季基准日的选择为例,选择步骤如下。

1)以秋季代表月的全部日构成初始秋季基准日集合 $\Omega_{B,aut0}$ 。由每日负荷曲线近似计算各日用电量:

$$E_{aut,j} = \sum_{i=1}^{24} P_{aut,j,i} \Delta t \quad (1)$$

式中 $E_{aut,j}$ 为秋季基准日集合中第 j 日用电量, $\text{kW} \cdot \text{h}$; $P_{aut,j,i}$ 为第 j 日第 i 时负荷, kW ; Δt 为时长, h (为方便表述,以下公式中省略下标 aut)。

2)计算当前基准日集合中基准日电量与日平均温度的相关系数绝对值:

$$\rho = \frac{\sum_{j=1}^{D_N} (E_j - \bar{E})(T_{mean,j} - \bar{T}_{mean})}{\sqrt{\sum_{j=1}^{D_N} (E_j - \bar{E})^2 \sum_{j=1}^{D_N} (T_{mean,j} - \bar{T}_{mean})^2}} \quad (2)$$

式中 $T_{mean,j}$ 为基准日集合中第 j 日平均温度, $^{\circ}\text{C}$;

D_N 为基准日天数; \bar{E} 为基准日平均用电量, $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

$$\bar{E} = \frac{1}{D_N} \sum_{j=1}^{D_N} E_j \quad (3)$$

$$\bar{T}_{\text{mean}} = \frac{1}{D_N} \sum_{j=1}^{D_N} T_{\text{mean},j} \quad (4)$$

式中 \bar{T}_{mean} 为基准日平均温度的平均值, $^{\circ}\text{C}$ 。

相关系数是反映变量间变化关系密切程度的一个统计指标,相关系数的绝对值越小,则表明当前基准日集中日负荷与日气温的相关性越低。为了评估相关性的强度,将 $\rho=0.4$ 设置为阈值,相关系数 $\rho < 0.4$ 时认为日负荷与日气温呈弱相关^[11],选择当前集合 $\Omega_{\text{B.aut}}$ 为秋季无空调负荷的基准日,进入步骤4;否则,进入步骤3。

3) 计算当前集合中各日平均温度与集合平均温度均值之差的绝对值:

$$\Delta T_{\text{mean},j} = |T_{\text{mean},j} - \bar{T}_{\text{mean}}|_{j=1,2,\dots,D_N} \quad (5)$$

找出差值最大的日,并将该日从当前基准日集合中去除,返回步骤2。

4) 对秋季无空调负荷的基准日按工作日/休息日进行分类,形成秋季基准工作日集合 $\Omega_{\text{B.aut,w}}$ 与秋季基准休息日集合 $\Omega_{\text{B.aut,o}}$ 。

同理,按上述步骤对次年春季4—5月的所有日进行筛选,得到次年春季基准工作日集合 $\Omega_{\text{B.spr,w}}$ 与春季基准休息日集合 $\Omega_{\text{B.spr,o}}$ 。合并集合 $\Omega_{\text{B.aut,w}}$ 与 $\Omega_{\text{B.spr,w}}$ 得到基准工作日集合 $\Omega_{\text{B,w}}$,合并集合 $\Omega_{\text{B.aut,o}}$ 与 $\Omega_{\text{B.spr,o}}$ 得到基准休息日集合 $\Omega_{\text{B,o}}$ 。

2 冬季基础负荷曲线

2.1 基于回归分析的冬季基础负荷曲线拟合

在冬季期间,电力负荷除受温度影响外,其总体规模伴随经济增长具有稳定发展趋势,因此,需要计及电力负荷的自然增长获得冬季基础负荷曲线。在文1中基准日选择基础上,采用回归分析法拟合冬季基础负荷曲线。

回归分析是统计学中一种经典的数据分析方法,通过建立回归方程式确定因变量与自变量间的数学关系。在考虑电力负荷自然增长时,回归方程自变量为时间 $t(h)$,变量为第 h 时刻基础负荷值 $P_{\text{B},h}$ (kW)。由于工作日与休息日具有不同的负荷

变化规律,故使用基准工作日 $\Omega_{\text{B,w}}$ 的负荷数据计算冬季工作日基础负荷曲线,使用基准休息日 $\Omega_{\text{B,o}}$ 的负荷数据计算冬季休息日基础负荷曲线。以冬季工作日1 h的基础负荷 $P_{\text{B,w},1}$ 计算为例。

1) 分别使用4种典型模型即线性、抛物线、指数、对数模型对负荷增长趋势进行拟合^[12],分别为

$$P_{\text{B,w},1} = a_1 t + b_1 \quad (6)$$

$$P_{\text{B,w},1} = a_2 t^2 + b_2 t + c_2 \quad (7)$$

$$P_{\text{B,w},1} = a_3 e^{b_3 t} \quad (8)$$

$$P_{\text{B,w},1} = a_4 + b_4 \ln t \quad (9)$$

其中 $a_1, a_2, a_3, a_4, b_1, b_2, b_3, b_4, c_2$ 均为待估计的未知参数,该文使用最小二乘法对参数进行求解。

2) 计算各模型的决定系数 R^2 ,以 R^2 为指标检验不同回归模型的拟合效果。 R^2 越大,表示自变量对因变量的解释程度越高,该模型拟合效果越好^[13]。

3) 选择 R^2 最大的一组方程作为最优拟合方程,并根据最优拟合方程计算各冬季工作日1 h的基础负荷值。

同理,可以分别求出各冬季工作日2~24 h的基础负荷值。同样可求得各冬季休息日(将工作日转为休息日)1~24 h的基础负荷值。整合冬季工作日和休息日24 h的负荷值,即可得到冬季基础负荷曲线。

2.2 计及春节因素修正的冬季基础负荷曲线

春节一般出现在冬季1、2月份,期间负荷水平受工厂停工、事业单位放假等因素的影响会出现长时间、大幅度下降^[14]。2019年除夕为2月4日,春节法定假期为2月4—10日。春节前、后部分日期负荷曲线如图1所示,其中,1月27日为春节前休息日,1月28日为春节前工作日,2月4日为除夕假日,2月11日为春节假期后紧邻的工作日。从图1中可以看到,与正常休息日相比,除夕当日负荷水平出现明显降低;2月11日虽然不在假期内,但春节停工、停业影响并未完全消失,该日负荷也处在较低水平。不难发现,春节期间的冬季基础负荷变化规律与正常冬季日的有所不同,因此,需要计及春节因素对冬季基础负荷曲线进行修正。

该文通过计算春节比例系数对春节影响时段的基础负荷曲线进行修正。为充分计及春节因素影响,选择除夕前5日至除夕后15日为春节影响日集合

Ω_{SF} , 即农历腊月二十五至正月十五, Ω_{SF} 由工作日子集 $\Omega_{SF,w}$ 与休息日子集 $\Omega_{SF,o}$ 组成。选择农历腊月二十五的前 2 周为春节参考日集合 Ω_{BF} , Ω_{BF} 由工作日子集 $\Omega_{BF,w}$ 与休息日子集 $\Omega_{BF,o}$ 组成。

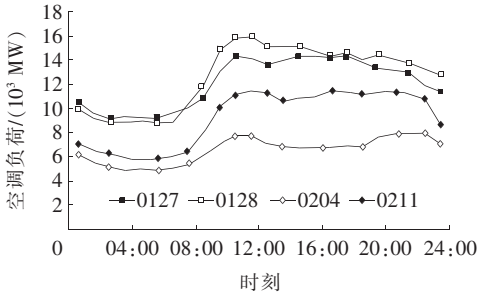


图 1 春节前、后部分日期负荷曲线

Figure 1 Load curve of some days before and after the Spring Festival

由每日 24 点负荷曲线分别近似计算集合 $\Omega_{BF,w}$ 、 $\Omega_{BF,o}$ 的日电量均值 $\bar{E}_{BF,w}$ 、 $\bar{E}_{BF,o}$ 以及集合 Ω_{SF} 中第 n 日电量 $E_{SF,n}$ ($kW \cdot h$)。计算春节影响时段日电量与春节参考时段日电量均值之比, 即为该日基础负荷曲线的春节比例系数:

$$\lambda_{SF,n} = \begin{cases} \frac{E_{SF,n}}{\bar{E}_{BF,w}}, & n \in \Omega_{SF,w} \\ \frac{E_{SF,n}}{\bar{E}_{BF,o}}, & n \in \Omega_{SF,o} \end{cases} \quad (10)$$

对于春节影响时段外的正常冬季日, 该日基础负荷曲线即为文 2 中得到的拟合曲线。对于春节影响时段的各工作日、休息日, 将春节比例系数与文 2 中求出的腊月十一至二十四的冬季基础负荷曲线均值相乘, 即为春节影响时段的冬季基础负荷曲线。

3 算法流程和算例分析

3.1 算法流程

该文算法流程如图 2 所示。具体步骤如下:

1) 选择春、秋季所有日期作为初始基准日集合, 考虑温度和负荷的相关性对初始基准日集合中的反常气温日进行筛选、剔除, 分别得到基准工作日、休息日集合;

2) 基于基准日负荷, 通过回归分析拟合得到冬季各日 24 点基础负荷曲线, 并通过计算春节比例系数对春节期间的冬季基础负荷曲线进行修正;

3) 计算冬季日总负荷曲线与冬季基础负荷曲线

的差值, 即为冬季每日的空调负荷曲线。

$$P_{AC,d,h} = P_{L,d,h} - P_{B,d,h} \quad (11)$$

式中 $P_{AC,d,h}$ 、 $P_{L,d,h}$ 、 $P_{B,d,h}$ 分别为冬季第 d 日 h 时刻的空调负荷值、总负荷值、基础负荷值, kW 。

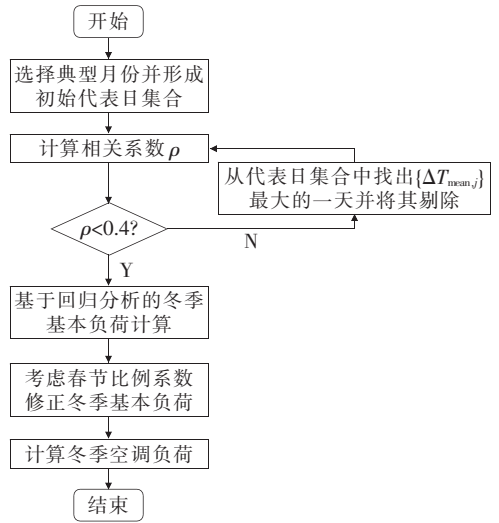


图 2 空调负荷计算流程

Figure 2 AC load calculation process

3.2 算例分析

3.2.1 算例介绍

基于重庆市 2018 年 9 月 1 日—2019 年 5 月 31 日的每日 24 点负荷数据和日平均温度数据, 计算重庆市 2018 年冬季空调负荷。重庆市地处长江中上游地区, 属亚热带湿润气候区, 大陆性季风气候特点显著。重庆市冬季采暖需求较高, 采暖设备主要为空调。规定 2018 年 9 月 1 日—10 月 31 日为 2018 年秋季, 2018 年 11 月 1 日—2019 年 2 月 28 日为 2018 年冬季, 2019 年 3 月 1 日—5 月 15 日为 2019 年春季。重庆市 2018 年冬季每日 24 h 负荷曲线如图 3 所示, 可以看出, 冬季的日负荷曲线具有相似的形状, 较大负荷出现在 08:00—20:00。

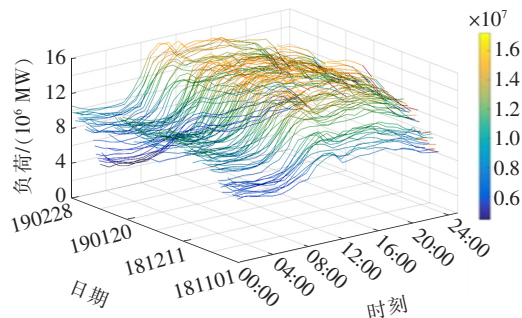


图 3 重庆市 2018 年冬季每日 24 h 负荷曲线

Figure 3 Winter daily load curve of Chongqing in 2018

3.2.2 重庆 2018 年冬季基础负荷曲线计算结果

根据文 2 中的选择方法,剔除 2018 年秋季和 2019 年春季的反常气温日,筛选出秋季和春季基准日。以 2018 年秋季为例,在秋季基准日的筛选过程中,每次剔除的反常气温日和每次筛选后基准日集合的温度与电量的相关系数如表 1 所示,可以看出,随着反常天气日不断的剔除,基准日集合的温度与电量的相关系数逐渐降低。

基准工作日在各月的分布情况如表 2 所示,可以看出,2019 年春季基准日多于 2018 年秋季,这说明 2019 年春季气温相对适宜,负荷水平受气温影响较小,而 2018 年秋季出现较多反常天气,负荷水平受气温影响明显。对比各月可知,2018 年 9 月反常天气日出现最多,2019 年 3 月出现较少反常气候日,2018 年 10 月和 2019 年 4 月无反常气候日出现。

表 1 2018 年秋季基准日集合筛选过程

Table 1 Selection process of the collection of base days in the Autumn of 2018

筛选次数	移除反常气温日	反常气温日的平均温度/℃	筛选后的相关系数 ρ
1	0902	34.0	0.579
2	0901	33.9	0.552
3	0904	33.7	0.515
4	0905	33.1	0.496
5	0903	32.7	0.506
6	0919	27.5	0.494
7	0923	25.3	0.472
8	0920	24.7	0.471
9	0921	23.4	0.431
10	0906	23.2	0.449
11	0918	23.2	0.436
12	0922	22.8	0.407
13	0909	22.6	0.374

表 2 2018—2019 年基准日分布情况

Table 2 Distribution of base days from 2018 to 2019

季节	月份	筛选天数/d	
		前	后
2018 年秋季	9	30	17
	10	31	31
2019 年春季	3	31	29
	4	30	30

以重庆市 2018 年秋季的日用电量和日平均温度为例,如图 4 所示,不难发现,2018 年 9 月上旬重庆市经历了一次高温过程,产生了大量的降温空调负荷,全社会用电量随高温天气的出现骤增,这导致整个秋季的日平均温度与日电量的相关系数偏高。类似地,2019 年 3 月上旬的连续低温造成了大量采暖空调负荷的出现,增大了整个 3 月的日平均温度与日电量的相关系数。因此,在秋季基准日和春季基准日的筛选中需要剔除这些反常气温日。

根据秋、春两季日负荷曲线,采用回归分析拟合冬季各日的小时基本负荷,将 2019 年 1 月 30 日—2 月 19 日作为春节影响期,2019 年 1 月 16—29 日作为春节参考期。经过比较线性、抛物线、指数和对数模型的决定系数 R^2 ,发现抛物线模型的 R^2 最大,为 0.908 9。因此,最终选择抛物线模型,求得抛物线系数分别为 $a_2 = 75.23$ 、 $b_2 = 9\ 435$ 、 $c_2 = 7\ 739\ 000$ 。根据各日负荷数据,计算春节影响时段的春节比例系数,如表 3 所示。

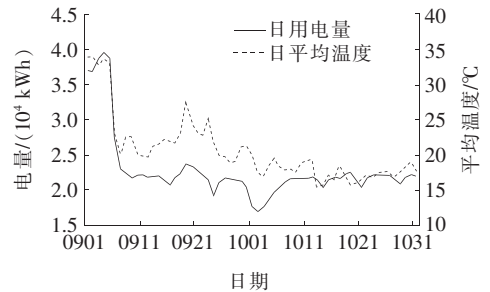


图 4 重庆市 2018 年秋季的日用电量和日平均温度

Figure 4 Daily electrical energy consumption and average temperature in the Autumn of 2018 Chongqing

表 3 2018—2019 年冬季春节比例系数计算结果

Table 3 Calculation results of proportion coefficient of SF in the winter between 2018 and 2019

日期	春节比例系数	日期	春节比例系数
0130	0.953	0210	0.648
0131	0.827	0211	0.720
0201	0.740	0212	0.762
0202	0.659	0213	0.803
0203	0.557	0214	0.897
0204	0.537	0215	0.893
0205	0.487	0216	0.832
0206	0.491	0217	0.814
0207	0.504	0218	0.913
0208	0.550	0219	0.884
0209	0.577		

由表 3 可知,春节假期前重庆市整体负荷水平已经开始降低,农历新年前、后几日内电力负荷降至冬季最低水平,之后负荷规模开始回升,但春节假期结束后停工停产对用电的影响未立即消失,直至农历正月十五负荷水平仍未完全恢复至节前规模。将原始基础负荷与春节比例系数相乘,得到重庆市 2018 年冬季基础负荷曲线,如图 5 所示。

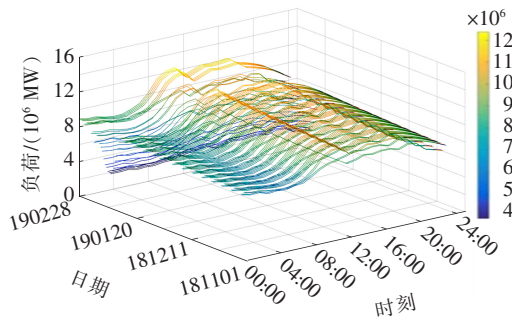


图 5 重庆市 2018 年冬季基础负荷曲线

Figure 5 Winter base load curve in Chongqing 2018

3.2.3 重庆 2018 年冬季空调负荷计算分析

将重庆市 2018 年 11 月 1 日—2019 年 2 月 28 日的总负荷曲线与基础负荷曲线相减,得到重庆市 2018 年冬季空调负荷曲线,如图 6 所示。

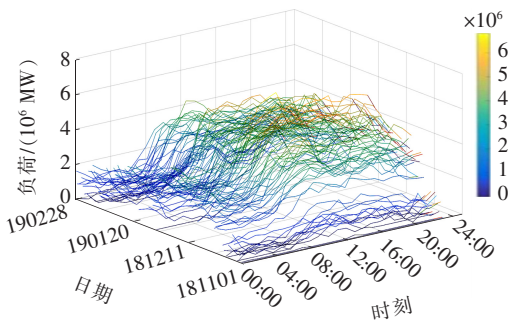


图 6 重庆市 2018 年冬季空调负荷曲线

Figure 6 Winter AC load curve in Chongqing 2018

为验证所提出的交流负荷计算方法的有效性,采用 BLCM 对重庆市 2018 年冬季空调负荷进行计算,如图 7 所示。此外,用该方法和 BLCM 计算的重庆市 2018 年冬季空调峰值负荷曲线如图 8 所示,可以看出,2 条曲线具有相同的趋势。然而,用 BLCM 计算的初冬空调峰值负荷低于该文提出的方法,这是因为 BLCM 在整个冬季使用相同的基本负荷曲线。通过计算 2018 年秋季和 2019 年春季基准日集合的平均值,得到基本负荷曲线,导致计算出的初冬基本负荷较高,而空调负荷较低。

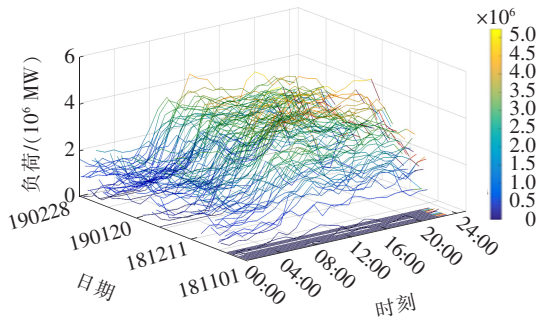


图 7 BLCM 得到的重庆市 2018 年冬季空调负荷曲线

Figure 7 Winter AC load in Chongqing 2018 using BLCM

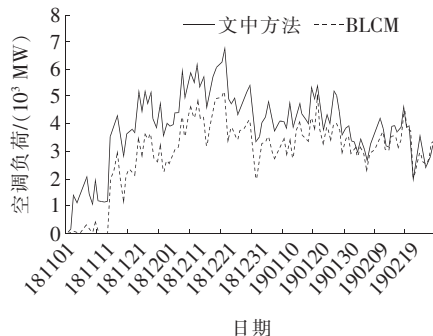


图 8 重庆市 2018 年冬季空调高峰负荷的 2 种方法

Figure 8 Winter AC peak load in Chongqing 2018 using two methods

该文对冬季峰值空调负载与不同类型温度(日峰值、日谷、日平均温度)之间的相关系数进行计算,如表 4 所示,可以看到,与 2 种方法计算的日峰值、日谷温度相比,交流峰值负荷与日平均温度的关系最强;同时也很容易发现,用该方法计算的空调负荷与不同温度类型之间有着密切的相关性。说明了该文提出的空调负荷计算方法的正确性和有效性。

表 4 冬季空调峰值负荷与不同温度类型的相关系数

Table 4 Correlation coefficient between Winter peak AC load and different types of temperature in two methods

温度类型	相关系数	
	该文方法	BLCM
日峰值	-0.677 2	-0.584 6
日谷	-0.605 7	-0.572 5
日平均	-0.686 3	-0.621 4

4 结语

该文提出了一种新的冬季空调负荷计算方法,建立了一个筛选过程,即从初始基准日集合中删除

反常气温日,经过筛选,得到了一组几乎不受温度影响的基准日集合。采用回归分析法考虑了负荷增长趋势,计算了春节比例系数,考虑了春节对电力系统负荷的影响。最后,将该方法应用于重庆市2018年冬季空调负荷的计算,计算结果与BLCM计算结果进行了比较。结果表明,该方法计算的负荷与温度有较高的相关性,说明了该方法的正确性和有效性。

参考文献:

- [1] 赵娜,石玉恒,李乃杰,等. 温湿变化对北京城区气象敏感电力负荷的影响分析[J]. 中国电力, 2017, 50(2): 175-180.
ZHAO Na, SHI Yuheng, LI Naijie, et al. The relationship of temperature humidity index and meteorology sensitive power load in Beijing[J]. Electric Power, 2017, 50(2): 175-180.
- [2] 徐箭,金承旭,廖思阳. 考虑空调参数识别的家居设备建模与优化[J]. 电测与仪表, 2019, 56(7): 43-47.
XU Jian, JIN Chengxu, LIAO Siyang. Modeling and optimization for home appliances based on air-conditioning parameters identification[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2019, 56(7): 43-47.
- [3] 杨梓俊,丁小叶,陆晓,等. 面向需求响应的变频空调负荷建模与运行控制[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(15): 132-140.
YANG Zijun, DING Xiaoye, LU Xiao, et al. Inverter air conditioner load modeling and operational control for demand response[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(15): 132-140.
- [4] 严康,刘蓓,刘绚,等. 大规模空调负荷在恶意控制下的配电网风险分析[J]. 智慧电力, 2020, 48(8): 15-23.
YAN Kang, LIU Bei, LIU Xuan, et al. Risk analysis of large-scale air-conditioning load under malicious control in distribution networks[J]. Smart Power, 2020, 48(8): 15-23.
- [5] Wen Q, Li J, Zhao J. Air-conditioner load calculation methods and its application[J]. Power Demand Side Management, 2005, 7(4): 16-18.
- [6] 徐邦恩,蔺红. 基于改进模糊聚类的典型日负荷曲线选取方法[J]. 电测与仪表, 2019, 56(4): 21-26.
XU Bangen, LIN Hong. Selection method of typical daily load curve based on improved fuzzy clustering[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2019, 56(4): 21-26.
- [7] 邓佳梁. 电力系统降温负荷估算及中长期预测方法研究[D]. 广州:华南理工大学, 2016.
- [8] 刘翊枫,周辉,刘昕,等. 基于气象成分分解的夏季短期负荷预测[J]. 电测与仪表, 2019, 56(21): 129-135.
LIU Yifeng, ZHOU Hui, LIU Xin, et al. Short-term load forecasting in summer based on meteorological factors decomposition[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2019, 56(21): 129-135.
- [9] 杨宏军,赵仕琦,杨艺. 室内散热散湿形成空调冷负荷的特性分析[J]. 应用能源技术, 2020(9): 1-4.
YANG Hongjun, ZHAO Shiqi, YANG Yi. Analysis of air-coair-conditioning cooling load caused by indoor heat and moisture dissipation[J]. Applied Energy Technology, 2020(9): 1-4.
- [10] 李娟,刘艳峰,王莹莹,等. 夏季空调室外计算参数的修正研究[J]. 建筑热能通风空调, 2020, 39(7): 6-11.
LI Juan, LIU Yanfeng, WANG Yingying, et al. Research on correction of outdoor design parameters of summer air conditioning[J]. Building Energy & Environment, 2020, 39(7): 6-11.
- [11] Rodgers J, Nicewander W. Thirteen ways to look at the correlation coefficient[J]. American Statistician, 1988, 42(1): 59-66.
- [12] 易龙强. 基于一元线性回归理论的数字正弦信号频率测量算法[J]. 电测与仪表, 2011, 48(3): 20-24+58.
YI Longqiang. Frequency measurement algorithm of digital sinusoidal signal based on univariate linear regression theory[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2011, 48(3): 20-24+58.
- [13] Kamphuisen P W, Houwing-Duistermaat J J, van Houwelingen H C, et al. Familial clustering of factor VIII and von Willebrand factor levels[J]. Thrombosis and Haemostasis, 1998, 79(2): 323-327.
- [14] Chen L, Mai J, Yin J. Parameters estimated subsection predicting model for electrical energy consumption in the spring festival[C]// International Conference on Computer Science and Service System, Nanjing, China, 2012.