

「电网负荷」

考虑舒适度指数累积效应的短期负荷预测研究

文/新野县电业局电力工程安装有限公司 黄雪立

提出了人体舒适度指数修正模型，并提出了根据相关系数的原理求解舒适度指数最大连续天数以及不同舒适度指数区间的累积系数。通过对江苏某地区进行算例分析，证明该方法进一步提升了短期负荷预测的准确度。

准确的负荷预测对于电网运行、检修、调度等工作至关重要，影响负荷的因素包括宏观经济、政府政策、重大事件、天气情况等多方面因素。一般来看，国内大部分地区7~8月份负荷受气象因素的影响尤为显著。深入研究夏季气象因素与负荷之间的关系对于提升夏季负荷预测的准确度十分必要。

诸多文献只研究了最高温度以及考虑积温效应的最高温度对负荷的影响，而未涉及风速、湿度等其他影响负荷的气象指标。

本文研究了人体舒适度指数累积效应对于夏季负荷的影响，并根据不同的连续天数、不同的舒适度指数区间利用相关系数的方法确定不同的累积效应系数，构建人体舒适度指数修正模型，根据模型对人体舒适度指数进行调整，调整后的舒适度指数与最高负荷的相关程度明显提高。

人体舒适度指数

在我国不同地理位置，人们即使在相同的温度下感受的舒适度也有显著差异。人体舒适度指数是考虑某地区每日平均温度、平均湿度、平均风速等气象因子的综合指标，描述人们在自然环境中感受到的舒适程度。具体计算公式为

$$S = f_1(t) + f_2(u) + f_3(v) \quad (1)$$

式中， S 代表人体舒适度指数； t 为温度（℃）， u 为湿度（%）； v 为风速（m/s）。

把舒适度指数按照等级划分如表1所示，人们在不同的划分等级下的体感也不同，主要有凉爽、舒适、稍热和酷热等几类。

表1 人体舒适度指数等级对应表

舒适度指数 S	等级	体感
$S < 58$	1级	凉爽
$58 \leq S < 67$	2级	舒适
$67 \leq S < 71$	3级	较舒适
$71 \leq S < 76$	4级	稍热
$76 \leq S < 80$	5级	暑热
$S \geq 80$	6级	酷热

人体舒适度指数累积效应

相较于最高温度、最低温度、风速和湿度等单一气象因素，人体舒适度指数与夏季负荷的相关性更大；而舒适度指数的累积效应也对负荷变化情况产生较大影响。累积效应与当地的电力结构，工作及生活习惯都有关，不同地方的累积效应均有所差异，对电力负荷的影响也有较大差异。本文研究基于人体舒适度指数累积效应对夏

季最高负荷的影响,并根据舒适度指数修正模型调整待预测日的人体舒适度指数,在调整后的人体舒适度指数的基础上进行负荷预测。

1. 人体舒适度指数修正模型

为进一步定量分析人体舒适度指数累积效应的影响,确定最大连续天数以及累积系数,建立考虑累积效应的人体舒适度指数修正模型,对第*i*天的人体舒适度指数进行调整

$$S'_i = S_i + [l_{i1}(S_{i-1} - S_0) + \dots + l_{ip}(S_{i-p} - S_0)] \quad (2)$$

式中,*i*为待预测日; S'_i 为*i*调整后的舒适度指数; S_0 为界限舒适度指数; S_i 为*i*的舒适度指数, $S_i \geq S_0$; S_{i-p} 为*i*前*p*天的舒适度指数; $l_{ip} \in [0,1]$ 为累积系数,且 $l_{i1} > l_{i2} > \dots > l_{ip}$; $p = \min(n, d)$ 为第*i*天前*n*天的舒适度指数连续高于界限舒适度指数,*d*为累积天数。

2. 连续天数的求解

不同连续天数的舒适度指数产生的累积效应大小不同。本文通过相关系数来表达舒适度指数与夏季最高负荷之间的关系

$$R = \frac{\text{cov}(S, L)}{\sqrt{D(S)}\sqrt{D(L)}} = \frac{(S_1 - \bar{S}) \cdot (L_1 - \bar{L}) + \dots + (S_n - \bar{S}) \cdot (L_n - \bar{L})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}} \quad (3)$$

式中,*R*为人体舒适度指数与最高负荷的相关系数;*S*、*L*分别为人体舒适度指数向量、夏季最高负荷向量; $\text{cov}(S, L)$ 为舒适度指数与最高负荷的协方差; $\sqrt{D(S)}$ 、 $\sqrt{D(L)}$ 分别为舒适度指数与最高负荷的方差;其中, $\bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i$, $\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i$ 。

本文通过计算不同连续天数时舒适度指数与夏季最高负荷的相关度,来得到最高相关度时的最大连续天数*d*。选取未采用需求侧响应时的某年7月(8月)数据,将相邻*d*+1天的最高负荷和人体舒适度指数作为一组,共有31-*d*组数据,分别计算每组人体舒适度指数与夏季最高负荷的相关度,进而将31-*d*个相关度进行均值处理,相关性平均值最大的*d*则为最大连续天数。

$$\max_d \bar{R} = \frac{1}{31-d} \times \sum_{i=1}^{31-d} \frac{\sum_{j=0}^d (S_{i+j} - \bar{S})(L_{i+j} - \bar{L})}{\sqrt{\sum_{j=0}^d (S_{i+j} - \bar{S})^2} \sqrt{\sum_{j=0}^d (L_{i+j} - \bar{L})^2}} \quad (4)$$

式中, S_{i+j} 为第*i*+*j*天的舒适度指数; L_{i+j} 为第*i*+*j*天的最高负荷。

3. 累积系数的求解

1) 将舒适度指数进行区间划分,根据待预测日的舒适度指数所在的区间逐一对*l*离散化,如表2所示。

表2 累积系数*l*的离散化

S_i	l_{i1}	l_{i2}	...	l_{ip}
$S < S_0$	0	0	0	0
$S_0 \leq S < S_{0+1}$	l_{11}	l_{12}	...	l_{1p}
$S_{0+1} \leq S < S_{0+2}$	l_{21}	l_{22}	...	l_{2p}
...	...	...	...	...
$S \geq S_m$	0	0	0	0

2) 建立最高负荷与修正后舒适度指数的曲线拟合函数 $f(S', L)$,将式(3)变形后代入该函数成为 $f(l_{ij}, L)$,利用最小二乘法求解得出累积系数 l_{ij} 。其中, $l_{i1} > l_{i2} > \dots > l_{ip}$ 。

算例

以江苏某市为例,进行分析。众所周知,节假日的负荷与工作日负荷变化规律不一,在本文的算例中,研究计算舒适度及其累积效应时将节假日考虑在内;而分析人体舒适度指数与最高负荷的相关性时,将节假日剔除在外。近年,该地区在夏季实行需求侧响应,为不考虑需求响应因素,选取该地区2012年7~8月份的日平均温度、平均风速、平均湿度及日最高负荷作为样本数据。2013年7—8月的日平均温度、平均风速、平均湿度及日最高负荷为测试数据。

1. 界限舒适度指数

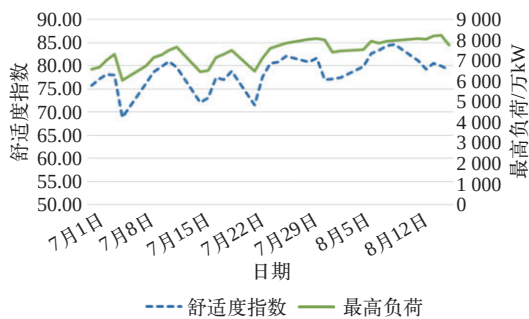
所处地理位置不同,人体舒适度指数的计算参数各有差异。就江苏某地来说,则式(1)的具体表达式为

$$S = 1.8t + 0.55(1-u) - 3.2\sqrt{v} + 27 \quad (5)$$

由表1可知,当*S*超过76时,人体感到不适应,空调负荷占比较大。本文研究*S*超过76时,人体舒适度指数与夏季日最高负荷的关系。界限舒适度指数 S_0 取76。

首先由每日平均温度、平均风速、平均湿度等单一气象数据根据式(5)合成舒适度指数。2013年7—8月份剔除节假日之后最高负荷与舒适度指数曲线如图1所示。

由相关性计算公式(3)可求出,考虑累积效应前,2012年7—8月工作日的人体舒适度指数与最高负荷之间的相关系数为0.849 6(此相关度也明显高于温度与最高负荷之间的相关系数)。接



注：该地区8月17日以后温度骤降，舒适度指数也在70—72区间，在本文算例中不采用此期间数据。

下来考虑累积效应，对舒适度指数进行调整。

2. 最大连续天数

根据该地区历史7—8月气象、负荷等数据求解最大连续天数，在 d 取不同天数的情况下，人体舒适度指数与最高温度之间的平均相关系数如表3所示。

表3 最大连续天数与相关度对应表

d	2	3	4	5	6	7
相关度	0.882 3	0.911 5	0.931 4	0.930 7	0.932 9	0.932 6

由表3可知，当连续天数超过4天时，相关度不升反降。因此选择最大连续天数为4。

3. 累积系数

通过对该地区历史数据进行研究，根据第二节中累积系数的计算方法，得出不同待测舒适度指数区间对应的累积系数如表4所示。

表4 累积系数

S	l_{i1}	l_{i2}	l_{i3}	l_{i4}
$S < 76$	0	0	0	0
$76 \leq S < 77$	0.72	0.41	0.35	0.20
$77 \leq S < 78$	0.44	0.31	0.19	0.11
$78 \leq S < 79$	0.40	0.31	0.25	0.08
$79 \leq S < 80$	0.36	0.34	0.23	0
$S \geq 80$	0	0	0	0

从表中可以看出，当待预测日的人体舒适度指数 S 介于76与77之间时，受累积效应影响最大；当人体舒适度指数 S 介于79~80时，只存在连续前三天的累积效应；当人体舒适度指数 S 超过80时，不存在累积效应，表明此时降温负荷已达到最大值的状态。

4. 舒适度指数修正

根据舒适度指数修正式（3）对该地区2013年7—8月舒适度指数大于76的工作日进行调整，调整后的舒适度指数如表5所示。

表5 该地区舒适度指数调整结果

日期	舒适度指数	调整后指数	最高负荷/kW
7—1	75.72	75.72	6 580
7—2	77.12	77.12	6 691
7—3	78.10	78.55	7 042
7—4	78.05	79.23	7 306
7—5	68.81	68.81	6 051
7—8	76.19	76.19	6 756
7—9	78.65	78.72	7 159
7—10	79.87	80.82	7 297
7—11	80.92	83.22	7 517
7—12	79.64	81.41	7 656
7—15	72.12	72.12	6 466
7—16	73.01	73.01	6 515
7—17	77.46	77.46	7 148
7—18	76.96	80.92	7 310
7—19	78.90	79.94	7 492
7—22	71.46	71.46	6 505
7—23	77.63	77.63	7 129
7—24	80.60	81.19	7 598
7—25	80.78	82.99	7 741
7—26	82.13	85.41	7 871
7—29	80.85	84.21	8 057
7—30	81.65	84.84	8 092
7—31	76.99	85.61	8 002
8—1	77.09	80.67	7 424
8—2	77.48	79.87	7 489
8—5	79.82	81.26	7 529
8—6	82.67	84.96	7 964
8—7	83.29	87.42	7 846
8—8	84.41	90.18	7 957
8—9	84.58	91.62	7 993
8—12	81.15	88.61	8 088
8—13	79.24	83.58	8 038
8—14	80.55	83.46	8 211
8—15	79.98	82.71	8 228
8—16	79.12	82.10	7 769

（下转第97页）



图4 塑料光纤用电采集系统自主运维流程

维、自主管理。

6. 其他拓展功能设计

由于塑料光纤通信的稳定性和可靠性，基于塑料光纤通信的用电信息采集系统可以实现更多的增值业务。比如安全用电，双向互动，信息推送，智能家居控制系统联网，居民用电行为习惯分析等。

求，其本质是一种工业控制通信的要求。这需要高度稳定的通信技术支撑。以塑料光纤为本地骨干通信网络，建立低压电力物联网，能够充分展示塑料光纤通信的优势，发挥用电信息采集系统的社会效益，能够将用户从用电信息采集系统本身的运维中解放出来，专注于业务功能，比如大数据的需求开发和应用管理。因为，塑料光纤通信技术应用于用电信息采集系统没有“副作用”。EA

结束语

用电信息采集系统的本地设备信息采集需

(收稿日期：2018.04.27)

(编辑：朱金凤)

(上接第87页)

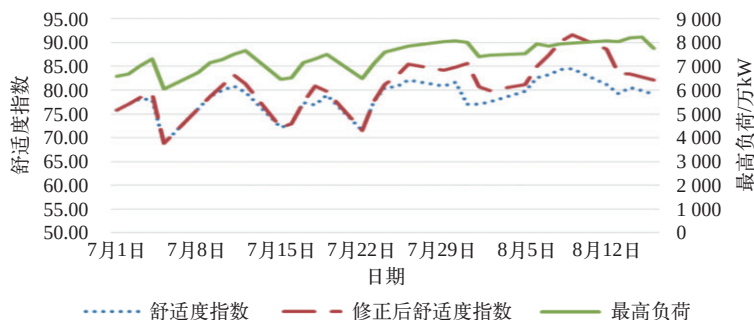


图2 调整前后的人体舒适度指数与最高负荷拟合曲线

分析图2和表1得到，考虑累积效应后，日最高负荷与舒适度指数的相关性相较不考虑累积效应的0.849 6有明显提升，达到0.907 3。

结束语

表征综合气象指标的人体舒适度指数与夏季最高负荷密切相关，持续炎热天气造成人体舒适度指数也有叠加效应。本文建立考虑累积效应的人体舒适度指数修正模型，根据相关性分析研究出了最大连续天数及累积系数的求解方法，并通

过对待预测日的人体舒适度指数进行修正调整来量化累积效应的影响。经过实例分析，验证了本文提出的方法能够有效反映舒适度指数的累积效应对最高负荷的影响程度，为进一步提高夏季短期负荷预测的准确度提供了一种有效的方法。在后续研究工作中，还需针对居民、工业等不同负荷类型分别开展研究，以进一步提高负荷预测的精度。EA

(收稿日期：2017.12.07)

(编辑：朱金凤)