

考虑非气象因素的电网夏季降温负荷研究

刘继东, 韩学山, 楚成博, 张利

(山东大学 电网智能化调度与控制教育部重点实验室, 山东 济南 250061)

摘要: 考虑非气象因素, 对夏季降温负荷进行研究。在分析降温负荷与温度因子关系的基础上, 对回归模型中降温负荷的常量和变量部分与相应关键影响因素进行进一步的相关性分析, 揭示经济因子和区位电能消费倾向因子对电网夏季降温负荷的影响并提出一种新的负荷模型。该模型可根据日最高气温、GDP 和城乡人口统计数据的有机组合, 实现夏季降温负荷变化规律的有效分析。山东电网夏季降温负荷的规律分析验证了该模型的有效性和适用性。

关键词: 降温负荷; 温度; 经济; 倾向因子; 回归分析; 模型; 负荷

中图分类号: TM 714

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.02.007

0 引言

随着国民经济的快速发展和人民生活水平的不断提高, 电网负荷水平和结构发生很大变化, 特别是各种空调系统的广泛应用, 使得降温负荷急剧增长^[1], 已经成为夏季电网负荷屡创新高和电力紧缺的主要原因之一^[2]。同时, 由于启动时会对电网造成巨大的冲击, 在电网电压稳定分析中也必须对空调群负荷加以重点考虑^[1,3]。据测算, 我国一些大中城市和经济发达省份的降温负荷已占到夏季最大负荷的30%以上, 某些地区甚至超过40%^[4-5]。从需求侧管理角度来看, 准确把握夏季降温负荷的特性规律, 短期内将为制定迎峰度夏措施提供科学依据^[6], 长期内更是智能电网框架下挖掘需求响应资源、制定有效需求响应措施的必要前提; 同时也为电网的安全经济运行及规划设计提供重要参考。

夏季降温负荷是指由于夏季气温升高引起的负荷增长部分, 空调类负荷是其重要组成部分, 目前对其规律的研究体现在3个方面: 一是监测基础上的辨识规律研究, 包括侵入式负荷监测和非侵入式负荷监测^[7-8], 前者是在每个空调降温设备上都安装传感器以得到实时的功率消耗, 后者是在假定用电设备正常工作时的稳态电流具有一定统计规律的前提下, 应用辨识技术对用户入网点处的实测负荷进行分解, 从而确定其中不同类型用电设备的功率比重; 二是短期负荷规律预测的研究, 通过在预测模型中显现温度对负荷变化规律的影响来提高预测精度^[9-14]; 三是从需求侧管理角度开展的研究, 试图揭示降温负荷的关键影响因素, 从而准确把握其演变规律^[4-5,15-17]。

负荷辨识方法可较准确地得到空调类设备的实时负荷, 但对监测装置的数量和性能, 以及电网的智能化程度有较高要求, 目前尚处于理论研究阶段, 难以工程实用化。而后2个方面的研究主要基于电网整体负荷的监测数据进行。其中, 负荷预测研究的重点在于准确预测电网整体负荷, 降温负荷的具体大小不是其关注焦点, 而需求侧管理角度的研究更关注降温负荷本身, 目标是把握降温负荷不同于总体负荷的独特规律。

就需求侧管理角度开展的研究而言, 一般采用的是各种概率统计学方法, 即对历史负荷数据与相关因子的关联关系进行分析, 得出降温负荷变化趋势, 主要包括: 时间序列法, 根据采用数据的不同又分为最大负荷比较法和基准负荷比较法^[2]; 回归分析法, 研究降温负荷与一个或多个影响因素间是否存在因果关系, 目前研究中考虑的主要影响因素是各种以温度为主的气象因素, 定义为各种温度因子 TF (Temperature Factor), 短期研究可建立降温负荷与相关因子的关系表达式, 长期研究则可根据历年的数据变化预测发展趋势。如文献[1]在依权重考虑本日、昨日和前日最高气温的基础上定义气候指数, 分析了河南电网夏季日峰荷与该气候指数的关系, 得到空调降温负荷与气候指数的回归模型; 文献[18]在其基础上, 进一步探讨了空调负荷在节点负荷中的比例与地理分区的关系; 文献[5,16-17]分别针对上海、南京等地区, 利用时间序列法详细分析了降温负荷与气温、湿度及温度湿度指数 THI (Temperature Humidity Index) 等因素间的关联关系。

可见, 现有研究大多针对某一地区一段时期内的数据作温度因子的相关分析, 因而所建立的模型有明显的地域局限性和时间局限性, 普适性不强。实际上, 对降温负荷的影响, 气温因素的作用固然直观, 但非气象因素, 如经济增长以及消费观念等, 不仅决定着降温设备的容量规模, 也影响着人们的使用习

收稿日期: 2012-07-03; 修回日期: 2012-12-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51077087); 山东省自然科学基金资助项目(Y2008F19)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51077087) and the Natural Science Foundation of Shandong Province(Y2008F19)

惯,在降温负荷规律研究中是不可忽视的因素。山东是经济和人口大省,负荷较高,夏季降温负荷问题也很突出,但全省各地区间的气象条件和社会经济发展水平存在明显的差异,单纯采用现有气温回归模型很难全面准确地把握夏季降温负荷的特性规律。因此,本文突破降温负荷研究仅关注气温因素的局限性,通过对更多非气象因素作地区间的横向对比,在定义经济因子和区位电能消费倾向因子的基础上,进行详实的回归分析,建立新的夏季降温负荷模型。应用所提模型对山东电网夏季降温负荷规律进行分析,得到了满意的结果。

1 气温影响夏季降温负荷的规律

从气温对夏季降温负荷影响角度来看,电网总负荷可分成气温敏感和气温非敏感负荷^[9]两部分,表示为:

$$L=L_B+L_T$$
 (1)

其中, L 为电网总负荷; L_B 为气温非敏感负荷,也可称为电网基准负荷; L_T 为气温敏感负荷,即由于夏季气温升高而导致的负荷增长部分。

1.1 分析方法

首先采用基准负荷比较法统计气温敏感负荷数据,然后采用回归分析法研究其与气温的关联关系。

1.1.1 基准负荷比较法

基准负荷比较法实现由电网负荷曲线推算降温负荷。首先,选取恰当的样本日,求取日负荷曲线的平均值为基准负荷曲线:

$$L_{B,t}=\frac{1}{N}\sum_{d=1}^NL_{d,t}$$
 (2)

其中, $L_{B,t}$ 为第 t 小时的基准负荷即气温非敏感负荷; $L_{d,t}$ 为电网第 d 个样本日、第 t 小时的负荷; N 为样本天数。

在此基础上,将夏季样本日的负荷曲线与基准曲线比较,两者的差值即为当天受温度影响的降温负荷曲线:

$$L_{T,t}=L_t-L_{B,t}$$
 (3)

其中, $L_{T,t}$ 和 L_t 分别为夏季某日第 t 小时的降温负荷和系统负荷。选取一定数量的样本日,即可由基准负荷比较法获取足量的降温负荷信息。

1.1.2 回归分析法

气温敏感负荷与温度因素,如日最高气温、日平均气温等之间的关系可通过一元回归分析确定,数学表达式为:

$$L_T=L_{T,0}+K_h(t-t_h) \quad t>t_h$$
 (4)

其中, $L_{T,0}$ 为降温负荷常量, t_h 为降温负荷开启高温临界值, K_h 为气温敏感系数。本文采用统计产品和服务解决方案 SPSS(Statistical Product and Service

Solutions)软件作为回归分析的工具^[19]。

1.2 数据处理

为准确反映气温对降温负荷的影响,需要对待分析的负荷历史数据进行预处理,按照以下原则进行。

a. 区分工作日和休息日。虽然居民、商场等用户降温负荷在周末、节假日较高,但由于写字楼、办公楼的降温负荷所占比重更大,因此本文降温负荷统计范围限定于工作日。

b. 根据负荷受气象条件影响的规律选择基准负荷和夏季负荷样本日。基准负荷样本日的选取主要考虑以下因素:应避开冬季取暖负荷、春季农灌负荷等的影响,排除 11 月至次年 3 月和春季 4、5 月等日期;山东省天气特点为 9 月上旬才逐渐凉爽,但在热累积效应下此时仍有部分降温负荷开启,因此,一般可选择 9 月中下旬至 10 月上旬的工作日作为基准负荷样本日。夏季负荷样本日取气温最高的日期,一般为 7、8 月份。淄博市 2010、2011 年 6 至 10 月份气象信息见表 1,可见 9 月下旬至 10 月上旬天气已较为凉爽。

表 1 淄博市气象信息

Tab.1 Meteorological information of Zibo

样本日	最高气温/℃	最低气温/℃	平均气温/℃	降水量/mm
2010-06	35	13	24	47.6
2011-06	33	14	24	103.6
2010-07	36	20	27	109.8
2011-07	33	18	26	184.0
2010-08	35	17	25	187.3
2011-08	33	17	24	217.1
2010-09-15 至 10-15	30	8	18	0
2011-09-15 至 10-15	27	7	16	49.4

c. 排除干旱天气、削峰措施等随机因素的影响。2011 年夏季,山东电力公司多措并举,并积极协调“外电入鲁”,供电能力稳定,没有采取移峰措施,最大限度地满足了全省的电力需求;同时 2011 年降水充足,因此本文忽略该因素影响。

d. 排除夏季连续降雨天气的影响。持续降雨后,居民等高敏感用户的降温负荷将有明显变化,故本文根据气象信息剔除了部分凉爽工作日负荷数据。

1.3 分析结果及讨论

根据可获取数据的完备情况,选定青岛、淄博、济宁、聊城、滨州、菏泽、日照七地市 2011 年的电网负荷数据进行分析。根据数据处理原则,选取 9 月 15、16、19、20、21、22、23、26、27、28、29、30 日和 10 月 10、11、12、13、14 日共 17 天作为基准负荷样本日,夏季负荷样本日取 7、8 月份的工作日,七地市具体样本日详见表 2。由式(2)得七地市基准负荷曲线如图 1 所示。

由图 1 可见,各地市基准负荷曲线变化特性和峰荷出现时间均各有差异,这与各地市产业结构比重有

表 2 七地市 7、8 月份日最大降温负荷

Tab.2 Daily maximum cooling load of seven cities in July and August

样本日	日最大降温负荷/MW						
	青岛	淄博	济宁	聊城	滨州	菏泽	日照
07-01			736.95				
07-04			338.52				
07-05	455.65		278.92		237.25		
07-06			276.93				
07-07	185.18	399.92	236.75		211.50		
07-08	399.86	407.16	358.11				
07-11			610.03	455.90	250.69		
07-12			543.94	420.41	245.77	364.44	
07-13	403.97		513.85	539.33		359.05	
07-14	304.47	517.01	506.77	525.92		366.59	
07-15	459.03	583.69	503.54	508.66	461.19	372.74	
07-18			581.84	372.32		279.36	119.95
07-19			359.88	363.82	278.66	246.88	170.39
07-20	616.33		522.05	536.14	229.61	308.24	180.50
07-21	727.79	330.94	695.81	580.24	229.02	423.89	138.70
07-22	840.70	416.00	833.24	653.25	293.81	490.42	226.19
07-25	609.11	418.07	919.25	464.04	355.39	557.38	190.77
07-26	843.68	586.44	1051.15			996.58	225.12
07-27	539.16	444.20	540.76	471.87	211.90	355.32	181.42
07-28	840.92	538.29	758.35	583.47	399.11	487.30	252.64
07-29	963.34	615.48	843.84	562.72	401.10	465.21	
08-01	920.66		489.10	303.01	368.59	201.24	252.78
08-02	707.77	328.81	284.01		210.19		191.63
08-03	530.06	162.64		313.62	168.01		
08-04		355.82		449.71	301.87		213.00
08-05		350.60	378.36	415.05	357.87	224.04	146.65
08-08	591.51	338.96	490.40	458.50	311.92	313.96	236.51
08-09	1198.89	567.45	701.89	626.71	392.43	432.85	180.70
08-10	1251.20	628.81	903.28	635.15	573.12		236.39
08-11	1048.71	502.42	456.24	547.50	387.41	287.59	336.63
08-12	851.87	331.12	695.58	604.38	306.82		341.14
08-15	1525.57	575.06	1027.40	746.63	384.27	605.06	
08-16	1408.21	484.11	723.99			491.85	
08-17	1035.96	197.80	467.73	336.51	254.77	324.52	202.60
08-18	761.84	128.85	288.47		173.29		213.66
08-19	475.48	114.40					
08-22	706.45	282.46	176.78	371.79	220.19		215.85
08-23	756.85	329.32	258.08	447.23		187.60	196.27
08-24	794.06	328.79	308.92	536.43	392.43	246.38	202.07
08-25	769.71	331.21	422.58	533.90		307.53	242.90
08-26	658.03	375.66	359.54	297.97		277.46	181.88
08-29	625.97	327.58	458.15		309.59	307.84	
08-30	770.40	477.61	481.29	449.90	347.78	372.59	144.36
08-31	714.50	520.97	445.10	452.81	313.40	415.18	174.04

关,以淄博市和日照市为例,两地市基准负荷曲线均较平滑,但淄博市峰荷出现在 14:00 至 15:00 左右,说明其工、商业负荷所占比重较大,而居民负荷比重相对较小;反之,日照市高峰时段为傍晚 19:00,说明其居民负荷比重相对较大。

由式(3)可得山东电网七地市夏季 7、8 月份样本日最大降温负荷值,详见表 2。对夏季各工作日 24 h 降温负荷求平均值,可得到各地市夏季典型降温负荷曲线,以淄博市为例,如图 2 所示。

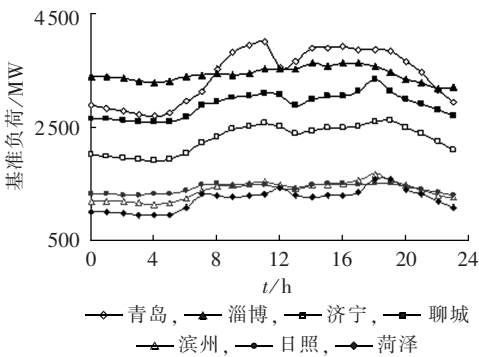


图 1 山东电网七地市基准负荷曲线
Fig.1 Reference load curves of seven cities in Shandong Grid

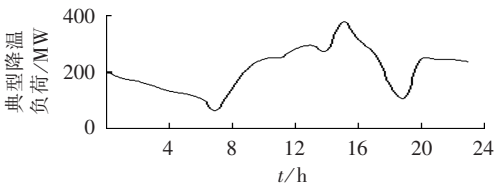


图 2 淄博市 7、8 月份典型降温负荷曲线
Fig.2 Typical cooling load curve of Zibo in July and August

由图 2 可见,淄博市 7、8 月份降温负荷的整体趋势是:07:00 负荷最低,15:00 最高,其余时段随气温及工作周期而变化。

进一步研究降温负荷与温度因子的相关性。为分析影响降温负荷的关键温度因子,首先根据历史气象信息^[20]统计七地市 2011 年 7、8 月各样本日的多个温度因子的值,包括日最高气温、日最低气温以及 02:00、08:00、14:00、20:00 的气温,分别以 $t_{\max}$ 、 $t_{\min}$ 、 t_2 、 t_8 、 t_{14} 和 t_{20} 表示。对七地市 2011 年 7、8 月各样本日最大降温负荷与各温度因子进行相关性分析,得相关系数如表 3 所示。由表 3 可见,七地市日最大降温负荷 $L_{T,\max}$ 与最高气温 $t_{\max}$ 的相关系数分布在均值 0.678 左右,均值最大且方差最小,故可认为日最高气温 $t_{\max}$ 是影响降温负荷的关键温度因子。

表 3 七地市最大降温负荷与多种温度因子的相关系数
Tab.3 Correlation coefficients between maximum cooling load and several temperature factors for seven cities

地市	$t_{\max}$	$t_{\min}$	t_2	t_8	t_{14}	t_{20}
青岛	0.601	0.638	0.548	0.697	0.557	0.594
淄博	0.737	0.706	0.540	0.658	0.714	0.665
济宁	0.668	0.725	0.695	0.815	0.634	0.695
聊城	0.758	0.578	0.619	0.680	0.761	0.656
滨州	0.549	0.389	0.328	0.445	0.523	0.387
菏泽	0.815	0.483	0.509	0.814	0.774	0.440
日照	0.618	0.338	0.380	0.615	0.589	0.546
均值	0.678	0.551	0.517	0.675	0.651	0.569
方差	0.008	0.020	0.014	0.014	0.009	0.012

设定式(4)中 $t_h=27\text{ }^{\circ}\text{C}$,则式(4)转化为:

$$L_{T,\max}=L_{T,0}+K_h(t_{\max}-27) \quad t_{\max}>27 \quad (5)$$

对七地市样本日最大降温负荷和日最高气温

(详见表 4)进行一元线性回归,得各地市回归系数 $L_{T,0}$ 和 K_h 如表 5 所示。由表 5 可见,各地市回归系数 $L_{T,0}$ 和 K_h 有较大差异。显然,气温虽然是影响降温负荷的重要因素,但并不是最本质的,回归系数的差异昭示着更关键因素的存在。不难想象,在分析较大区域电网,如省级电网的降温负荷时,如果区域内气温差异明显,则仅基于温度因子的回归模型必然难以给出准确分析。

表 4 七地市 7、8 月份日最高气温

Tab.4 Daily maximum temperatures of seven cities in July and August							
样本日	日最高气温/℃						
	青岛	淄博	济宁	聊城	滨州	菏泽	日照
07-01			34				
07-04			31				
07-05	29		26		31		
07-06			27				
07-07	26	29	30		30		
07-08	32	32	34				
07-11			33	34	32		
07-12			31	33	30	31	
07-13	29		30	32		30	
07-14	28	29	30	33		32	
07-15	28	28	30	34	33	30	
07-18			31	30		29	24
07-19			26	30	25	29	26
07-20	30		30	32	29	32	28
07-21	30	30	31	33	32	32	28
07-22	31	31	33	33	32	33	30
07-25	27	32	33	32	30	33	30
07-26	32	33	34			36	32
07-27	27	27	29	32	28	30	28
07-28	31	31	32	33	32	32	29
07-29	31	30	32	32	31	31	
08-01	31		29	26	29	25	30
08-02	29	24	24		25		27
08-03	26	23		27	28		
08-04		29		30	30		28
08-05		27	28	29	30	28	27
08-08	29	30	31	31	31	31	33
08-09	33	31	32	33	32	33	31
08-10	32	32	33	32	33		29
08-11	29	28	27	31	30	29	27
08-12	28	28	31	32	28		28
08-15	32	31	32	34	29	33	
08-16	31	29	29			29	
08-17	31	27	28	28	28	28	28
08-18	26	23	24		23		27
08-19	23	18					
08-22	29	28	28	28	29		26
08-23	31	29	30	30		26	30
08-24	29	28	30	30	29	30	27
08-25	29	28	30	30		29	26
08-26	28	25	26	28		26	24
08-29	26	28	29		30	30	
08-30	29	30	31	31	30	31	28
08-31	31	31	31	32	31	31	28

注:表中数据空白部分是因数据源的相应内容缺失或根据数据处理原则式(4)处理的结果。

表 5 回归系数及相关因子

Tab.5 Regression coefficients and relevant factors				
地市	$L_{T,0}/\text{MW}$	$K_h/[\text{MW}\cdot(^{\circ}\text{C})^{-1}]$	δ_{EF}	δ_{AECHF}
青岛	573.37	79.81	6191.92	585.59
淄博	355.45	32.67	3148.43	272.85
济宁	336.69	62.68	2840.26	483.84
聊城	324.75	39.49	1760.60	340.92
滨州	250.79	21.74	1728.97	217.62
菏泽	185.79	55.96	1281.65	488.62
日照	187.69	13.12	1138.55	171.89

2 考虑非气象因素的电网降温负荷模型

研究表明,影响降温负荷变化规律的主要因素是夏季气候条件、宏观经济水平、居民收入水平及消费观念等,且降温负荷中居民用电所占比重大^[5,17]。在式(4)中,降温负荷包括降温负荷常量 $L_{T,0}$ 和降温负荷变量 $K_h(t_{\text{max}}-t_h)$ 两部分,前者表征夏季降温负荷中不随气温变化的部分;后者反映降温负荷中随温度上升而变化的部分,其变化敏感度由 K_h 表征。显然,降温负荷常量取决于降温设备的安装容量,应与该地市宏观经济水平和居民收入密切相关;而降温负荷变量取决于降温设备的使用情况,与该地市的电能消费息息相关,即 K_h 与电能消费倾向应有较大的相关性。为此,本文提出了 2 个新的相关因子:经济因子 EF (Economic Factor)和区位电能消费倾向因子 AECHF (Area Electricity Consuming Habit Factor)。

经济因子定义为:

$$\delta_{\text{EF}}=\frac{\text{GDP}}{10^8}$$

(6)

即以各地市的国民生产总值(GDP)的亿元归算数综合表征其宏观经济发展和居民收入水平。

区位电能消费倾向因子定义为:

$$\delta_{\text{AECHF}}=\alpha\frac{P_{\text{cz}}+P_{\text{nc}}/k}{10^4}$$

(7)

其中, α 为区位不平衡系数, P_{cz} 和 P_{nc} 分别为城镇和农村总人口数, k 为城乡人均用电消费支出比。如前所述,降温设备的使用情况与电能消费观念有较大的相关性,但目前城、乡电能消费仍存在明显差异,因此区位电能消费倾向因子以城市人群的消费倾向为基准对地区的消费倾向进行归算处理;同时当考虑各地区消费观念存在较大差异时,以系数 α 进行平衡。

2.1 降温负荷常量与经济因子相关性分析

山东省七地市 2006 至 2010 年 GDP^[21]增长趋势如图 3 所示,可以看出:同一地市 GDP 呈线性增长,故可较精确预测出七地市 2011 年的 GDP 值,由式(6)计算得 δ_{EF} ,详见表 5。

对七地市降温负荷常量 $L_{T,0}$ 和经济因子 δ_{EF} 进行回归分析,建立一元回归模型,如图 4 所示。

$$L_{T,0}=0.073\delta_{\text{EF}}+127.3$$

(8)

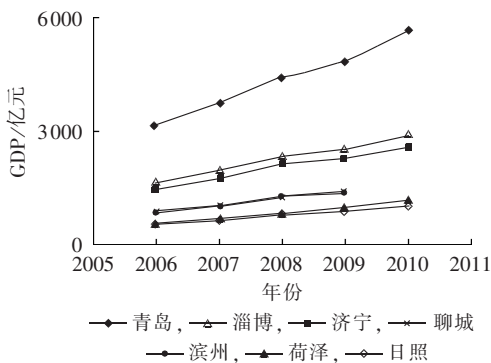


图 3 七地市 2006 年至 2010 年 GDP 变化趋势
Fig.3 GDP variation trend of seven cities from 2006 to 2010

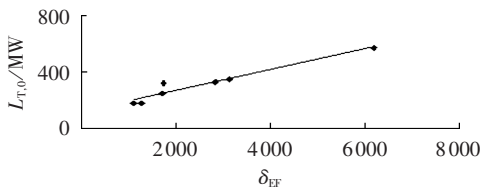


图 4 夏季降温负荷常量与 δ_{EF} 的回归关系
Fig.4 Regressive relationship between constant part of cooling load and δ_{EF}

七地市夏季降温负荷常量 $L_{T,0}$ 与经济因子 δ_{EF} 的相关系数为 0.969, 相关度极高, 表明本文前述分析是合理的。同时可见, 降温负荷受经济因子作用的规律为: δ_{EF} 每增长 100, $L_{T,0}$ 增大 7.3 MW。

2.2 降温负荷变量与区位电能消费倾向因子相关性分析

根据山东统计信息数据^[21]可知, 山东省城乡人均用电消费支出比为 $k=290.57:110.04 \approx 2.65:1$, 同时认为山东省内各地城市人群的消费观念无较大差异, 即取 $\alpha=1$, 于是根据式(7)可计算得 δ_{AECHF} , 详见表 5。随后对七地市降温负荷敏感系数 K_h 和区位电能消费倾向因子 δ_{AECHF} 进行回归分析, 建立一元回归模型, 如图 5 所示。

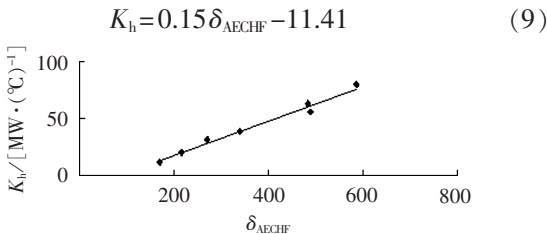


图 5 K_h 与 δ_{AECHF} 的回归关系
Fig.5 Regressive relationship between K_h and δ_{AECHF}

七地市夏季降温负荷敏感系数 K_h 与区位电能消费倾向因子 δ_{AECHF} 的相关系数为 0.99, 可见相关度极高, 呈明显线性关系, 表明本文前述分析合理。并且 δ_{AECHF} 每增长 100, K_h 增大 15。

2.3 计及非气象因素的电网降温负荷模型

综上所述, 根据表 5 及式(8)、式(9)回归分析结

果, 可以得到各地市以日最高气温 t_{max} 、经济因子 δ_{EF} 和区位电能消费倾向因子 δ_{AECHF} 为自变量, 夏季日最大降温负荷 $L_{T,max}$ 为因变量的计及非气象因素的多影响因子模型, 如式(10)所示:

$$L_{T,max}=127.3+0.073\delta_{EF}+(0.15\delta_{AECHF}-11.41)(t_{max}-27) \quad (10)$$

3 考虑非气象因素的电网降温负荷分析

根据式(10), 若已知某地区的日最高气温 t_{max} 、经济水平因子 δ_{EF} 和区位电能消费因子 δ_{AECHF} , 则可推算其电网的夏季最大降温负荷。以下针对山东电网进行具体分析。

3.1 模型的时间适用特性

首先, 建立山东省全网的温度因子一元回归模型。针对山东电网 2005 年 7、8 月份日最大降温负荷数据, 同时取山东省 17 地市日最高气温的平均值作为山东省温度因子 $\bar{T}_{max}$, 对二者进行相关分析, 得全省最大降温负荷关于日最高气温的一元回归模型如式(11)所示, 相关系数为 0.923。

$$L_{T,max(2005)}=1698.74+624.98(\bar{T}_{max}-27) \quad (11)$$

根据山东省统计年鉴数据及 δ_{EF} 、 δ_{AECHF} 定义可计算得到山东电网 2005、2011 年的 δ_{EF} 和 δ_{AECHF} 值, 如表 6 所示。

表 6 山东电网非气象因子的值
Tab.6 Value of non-meteorological factors in Shandong Grid

年份	δ_{EF}	δ_{AECHF}
2005	18468.3	4932.4
2011	43721.9	6260.6

以下进行温度因子一元回归模型与本文所提模型的时间适用特性对比。选取山东电网夏季统调负荷较高的 2 d 作为样本日(2005 年取 7 月 21 日和 8 月 12 日, 2011 年取 7 月 28 日和 8 月 9 日), 分别利用基准负荷比较法、一元回归模型式(11)和考虑非气象因素模型式(10)推算最大降温负荷, 依次记为 $L_{BT,max}$ 、 $L_{AIT,max}$ 、 $L_{AST,max}$, 结果详见表 7。

表 7 山东电网最大降温负荷分析结果
Tab.7 Results of maximum cooling load analysis for Shandong Grid

样本日	$t_{max}/^{\circ}\text{C}$	$L_{BT,max}/\text{MW}$	$L_{AIT,max}/\text{MW}$	$L_{AST,max}/\text{MW}$
2005-07-21	32.6	5090.4	5191.3	5418.9
2005-08-12	34.8	6628.7	6588.3	7047.2
2011-07-28	31.5	7904.8	4511.2	7493.6
2011-08-09	31.9	7861.2	4761.1	7864.6

由表 7 可见, 本文所提模型推算出的日最大降温负荷值与基准负荷比较法所得结果相差不超过 6%, 而仅考虑气温的一元回归模型在 2005 年情况较为吻合, 将其应用于 2011 年时与基准负荷比较法所得结果相差超过 40%。这是因为模型式(10)是由 2005

年数据回归得到的,显然其中的参数 $L_{T,0}$ 和 K_h 随着社会经济发展是增长变化的,不能适用于 2011 年。可见,本文计及非气象因素的降温负荷模型能够较准确地反映降温负荷的变化规律,模型参数有很好的时间稳定性,扩展了模型适用的时间尺度。

3.2 模型的空间适用特性

本节进行温度因子一元回归模型与本文所提模型的空间适用特性对比。针对市级区域电网,在设定 $t_{max}=31\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的前提下,根据表 5 中各市的一元回归模型参数和 2011 年的 δ_{EF} 和 δ_{AECHF} 数值,分别由模型式(5)和式(10),推算得各市级电网 2011 年日最大降温负荷,见表 8。

表 8 市级电网 2011 年最大降温负荷分析结果
Tab.8 Results of maximum cooling load analysis for municipal power grid in 2011

地市	日最大降温负荷/MW	
	一元回归模型	本文模型
青岛	892.6	885.0
淄博	486.1	475.2
济宁	587.4	579.3
滨州	337.7	338.4

由表 8 可见,在温度因子一定的情况下,本文模型推算得到的各市级电网日最大降温负荷和一元回归模型结果几乎一致,最大偏差小于 2%,即计及非气象因素的降温负荷模型能够表征各地市电网的降温负荷变化,更具一般性,因此完全可以用此模型取代各市级电网的一元回归模型。

综上,本文所提模型能较准确地分析不同地域范围电网在较长时间周期内夏季降温负荷的特性规律,即模型在时间、空间上突破了温度因子一元回归模型的局限性。同时该模型仅需已知气象因素 t_{max} 、非气象因素 δ_{EF} 和 δ_{AECHF} ,无需庞大的负荷历史数据,便可方便地得出区域电网的最大降温负荷,因而具有更强的实用性。但也必须看到,表 7 中 2005 年分析结果 $L_{A3T,max}$ 与 $L_{BT,max}$ 的差异较 $L_{AIT,max}$ 与 $L_{BIT,max}$ 的偏差大,表明本文模型对随时间变化因素的考虑还欠精确,有待进一步研究。

4 结论

本文在分析电网夏季降温负荷与温度因子相关性的基础上,揭示出经济发展水平和区位电能消费倾向对降温负荷具有关键性影响,由此定义经济水平因子和区位电能消费倾向因子,建立了考虑非气象因素的电网夏季降温负荷模型。该模型可根据日最高气温、GDP 数据和人口统计数据,较准确地推算夏季最大降温负荷,能够全面兼顾区域电网内温度、经济、消费观念方面的差异,因而应用于区域电网分析时更具有合理性。结合气象、GDP 及人口统计年鉴

历史数据的山东电网实例分析表明,本文模型是有效的;且就山东电网情况来看,最大降温负荷占到日最高统调用电负荷的 15% 以上,是造成夏季负荷高峰的重要原因。

参考文献:

[1] 张利民,付红军,李育燕,等. 空调降温负荷比例估计及其对电压稳定的影响[J]. 继电器,2005,33(22):33-36.
ZHANG Limin,FU Hongjun,LI Yuyan,et al. Relationship between air conditioner load and temperature and its influences on voltage stability[J]. Relay,2005,33(22):33-36.

[2] 温权,李敬如,赵静. 空调负荷计算方法及应用[J]. 电力需求侧管理,2005,7(4):16-18.
WEN Quan,LI Jingru,ZHAO Jing. Air-conditioning load calculation methods and its application[J]. Power Demand Side Management,2005,7(4):16-18.

[3] 李育燕,陈谦,黄文英,等. 空调群负荷动态特性分析与建模[J]. 高电压技术,2007,33(1):66-69.
LI Yuyan,CHEN Qian,HUANG Wenying,et al. Dynamic characteristics and modeling of air conditioner loads[J]. High Voltage Engineering,2007,33(1):66-69.

[4] 季强,周昭茂,徐仁武,等. 当前电力需求侧管理工作中亟待解决的若干问题[J]. 电网技术,2006,30(增刊):615-618.
JI Qiang,ZHOU Zhaomao,XU Renwu,et al. The view on works of the demand side management in our country[J]. Power System Technology,2006,30(Supplement):615-618.

[5] 张志强. 基于电网侧的空调负荷特性分析及其调控措施研究[D]. 北京:华北电力大学,2007.
ZHANG Zhiqiang. Regulation measures study and load analysis of air-conditioning base on power network[D]. Beijing:North China Electric Power University,2007.

[6] 宋宏坤,唐国庆,卢毅,等. 江苏省夏季空调负荷分析及需求侧管理措施的削峰效果测算[J]. 电网技术,2006,30(17):88-91.
SONG Hongkun,TANG Guoqing,LU Yi,et al. Analysis on summer air-conditioning loads composition in Jiangsu province and estimation of peak load shifting effect by DSM measures[J]. Power System Technology,2006,30(17):88-91.

[7] HART G W. Nonintrusive appliance load monitoring[J]. Proceedings of IEEE,1992,80(12):1870-1891.

[8] 黎鹏. 非侵入式电力负荷分解与监测[D]. 天津:天津大学,2009.
LI Peng. Non-intrusive method for power load disaggregation and monitoring[D]. Tianjin:Tianjin University,2009.

[9] HEINEMANN G T,NORDMAN D A,PLANT E C. The relationship between summer weather and summer loads—a regression analysis[J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems,1966,85(11):1144-1154.

[10] 李新炜,王子琦,方鸣,等. 基于分区逐时气象信息的全网负荷预测研究[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(3):35-40.
LI Xinwei,WANG Ziqi,FANG Ming,et al. Daily load forecasting based on hourly area weather data[J]. Power System Protection and Control,2009,37(3):35-40.

[11] 刘旭,罗滇生,姚建刚,等. 基于负荷分解和实时气象因素的短期负荷预测[J]. 电网技术,2009,33(12):94-100.
LIU Xu,LUO Diansheng,YAO Jiangang,et al. Short-term load forecasting based on load decomposition and hourly weather factors[J]. Power System Technology,2009,33(12):94-100.

- [12] 李鹏,任震. 广州东电网负荷特性分析及短期预测模型设计[J]. 电力自动化设备,2002,22(8):50-53.
LI Peng,REN Zhen. Guangzhou regional load analysis and short-term forecasting model design[J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(8):50-53.
- [13] 蒋建东,程志豪,朱明嘉. 考虑积温效应的短期负荷组合预测方法[J]. 电力自动化设备,2011,31(10):28-31.
JIANG Jiandong,CHENG Zhihao,ZHU Mingjia. Combined short-term load forecast with accumulated temperature effect[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(10):28-31.
- [14] BIN S K,KWAN H S,WOOK P J,et al. Hybrid load forecasting method with analysis of temperature sensitivities[J]. IEEE Transactions on Power Systems,2006,21(21):869-876.
- [15] 李扬,王治华,卢毅,等. 南京市夏季气温-日峰荷特性分析[J]. 电网技术,2001,25(7):63-66.
LI Yang,WANG Zhihua,LU Yi,et al. Characteristic analysis of summer air temperature-daily peak load in Nanjing[J]. Power System Technology,2001,25(7):63-66.
- [16] 王治华,李扬,赵翠宇,等. 南京市夏季气温敏感负荷研究[J]. 电力系统自动化,2002,26(3):60-63.
WANG Zhihua,LI Yang,ZHAO Cuiyu,et al. Study on summer temperature-sensitive load in Nanjing city[J]. Automation of Electric Power Systems,2002,26(3):60-63.
- [17] 王治华,杨晓梅,李扬,等. 气温与典型季节电力负荷关系的研究[J]. 电力自动化设备,2002,22(3):16-18.
WANG Zhihua,YANG Xiaomei,LI Yang,et al. Study on relationship between temperature and electrical loads in typical seasons[J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(3):16-18.
- [18] 陈谦,陆杨文,孙建波,等. 含有空调的综合电力负荷建模研究[J]. 高电压技术,2008,34(4):759-762.
CHEN Qian,LU Yangwen,SUN Jianbo,et al. Load modeling including air conditioners[J]. High Voltage Engineering,2008,34(4):759-762.
- [19] 宇传华. SPSS 与统计分析[M]. 北京:电子工业出版社,2007:204-222.
- [20] Weather Underground. Weather history[EB/OL]. [2012-02-10]. <http://www.wunderground.com/history/>.
- [21] 山东统计局. 山东省统计年鉴[EB/OL]. [2012-02-10]. <http://www.stats-sd.gov.cn/tjsj/nj2011/indexch.htm>.

作者简介:

刘继东(1972-),男,山东潍坊人,高级工程师,博士研究生,研究方向为电力营销技术与管理(E-mail:Gambit321@126.com);

韩学山(1959-),男,辽宁大连人,教授,博士,研究方向为电力系统优化调度、EMS 及电力市场等(E-mail:xshan@sdu.edu.cn);

楚成博(1988-),男,山东菏泽人,硕士研究生,研究方向为电力市场(E-mail:chu.chengbo@163.com);

张利(1967-),女,江苏启东人,副教授,博士,研究方向为电力市场、电力系统优化调度等(E-mail:y Zhangli@sdu.edu.cn)。

Cooling load of summer grid considering non-meteorological factors

LIU Jidong,HAN Xueshan,CHU Chengbo,ZHANG Li

(Key Laboratory of Power System Intelligent Dispatch and Control of Ministry of Education,
Shandong University,Ji'nan 250061,China)

Abstract: The non-meteorological factors are taken into consideration in the research of power load for summer cooling. Based on the relationship between cooling load and temperature factor,the correlation between the constant and variable parts of the cooling load in the regressive model and the corresponding influencing factors are analyzed,which reveals the impact of the economic factor and the habitual factor of regional electricity consumption on the cooling load in summer,and a revised load model is proposed,which analyzes effectively the change rule of cooling load according to the daily maximum temperature,GDP and regional population. The results of cooling load analysis for summer of Shandong Grid prove the effectiveness and applicability of the proposed model.

Key words: power load for cooling; temperature; economics; habit factor; regression analysis; models; electric loads

国电南自在智能变电站全站在线监测领域取得技术新突破

近日,国电南京自动化股份有限公司(以下简称国电南自)承接的“珠海 220 kV 琴韵全站在线监测系统”项目成功投运并验收,标志着国电南自在智能变电站全站在线监测领域取得全新突破,为全面进军电气设备在线监测市场奠定了良好的基础。

珠海琴韵变电站采用了国电南自自主研发的 NS8000 变电设备状态在线监测及故障诊断分析系统,系统实现了在线监测数据的采集/存储,设备故障判断、故障告警、综合分析及设备状态评估等功能。

此外,该系统具有较高的检测精度和稳定性,其主要技术指标和性能达到国际先进水平,不仅实现了面向变电站重要一次设备、不同监测项目的完整在线监测功能覆盖,还实现了在线监测设备的智能化集成和全站在线监测系统信息融合。

(国电南京自动化股份有限公司 高满香 刘婕)