

福建电网夏季降温负荷研究分析

吴荣福¹ 黄文英² 邓 勇² 杨耿杰¹ 姚宇臻²

(1. 福州大学电气工程与自动化学院, 福州 350108;

2. 国网福建电力调度控制中心, 福州 350003)

摘要 基于福建电网历史负荷数据, 采用全省整体分析和“子网累加”分析两种方法分析福建电网降温负荷。首先, 通过典型降温负荷曲线的分析揭示降温负荷特性; 然后, 建立降温负荷与气温的敏感性回归模型得到降温负荷受气温影响的规律; 最后, 采用一元回归分析的方法测算年最大降温负荷。通过实例比较, 表明“子网累加”分析方法在降温负荷的研究分析中具有较高可行性及准确性。

关键词: 子网累加; 降温负荷特性; 气温敏感性; 年最大降温负荷

Studies on Temperature-Lowering Load of Fujian Power Network

Wu Rongfu¹ Huang Wenyi² Deng Yong² Yang Gengjie¹ Yao Yuzhen²

(1. College of Electrical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350108;

2. State Grid Fujian Power-Dispatch & Control Center, Fuzhou 350003)

Abstract This paper uses two methods of holistic analysis and subnet-accumulation to analyze the temperature-lowering load of Fujian province, based on the historical load data of Fujian power network. Firstly, the typical temperature-lowering load curves are analyzed to reveal the characteristic of temperature-lowering load. Secondly, the author establishes sensitive regression models between the temperature-lowering load and the temperature, and obtains the law that the temperature-lowering load is influenced by temperature. Finally, the annual maximum high-temperature related load is calculated by the method of monadic regression analysis. Practical examples show that subnet-accumulation means has the high feasibility and accuracy in the research of temperature-lowering load.

Keywords: subnet-accumulation; temperature-lowering load characteristic; temperature sensitivity; annual maximum high-temperature related load

降温负荷是指由于空调等降温设备的开启, 导致电网负荷在短期内迅速增长的部分^[1]。近几年, 随着经济的快速发展、人民生活水平的不断提高以及城市热岛现象日益严重, 空调类等降温设备得到广泛应用, 夏季降温负荷逐年增大^[2-3]。降温负荷已经成为夏季电网负荷屡创新高的主要原因, 改变了原有的负荷特性, 也给系统电压和频率稳定带来一定的负面影响^[4-7]。福建省处于我国东南部, 受副热带高压影响, 夏季气温 35℃以上高温天数经常超过 30 天, 降温负荷占比较大, 影响突出。因此, 很有必要对福建电网降温负荷进行测算和分析, 给电力调度部门开展降温负荷预测提供参考依据, 从而提高气温变化条件下不同时间尺度的负荷预测准确

率, 保障福建电网夏季安全、稳定、经济运行。

文献[2]采用最大负荷比较法和基准负荷比较法对广东省年最大降温负荷进行测算和分析, 从而把握年最大降温负荷的变化规律和趋势; 文献[3]采用基准负荷比较法得到全省及各地市的夏季典型降温负荷曲线, 由此分析不同地区的降温负荷特性, 并利用相关分析法找出主要影响因素; 文献[4]将日最大降温负荷与各温度因子进行回归拟合, 得出气温敏感系数, 对负荷预测具有较强的指导作用。但上述文献分析过程中均未充分考虑各地区温度不一致因素, 分析结果可能与实际情况产生较大偏差。本文针对福建省各地市经济水平和气象条件存在较大差异的特点, 将“子网累加”的思想应用到降温

负荷的分析中,从降温负荷特性、气温敏感性、年最大降温负荷三个方面进行深入研究。

1 福建电网降温负荷分析流程

目前,降温负荷的测算方法主要有基准负荷比较法^[2-5]、最大负荷比较法^[4]、负荷曲线修复法^[6]、最大温差分析法^[7]、电量比较法^[8]等。其中,基准负荷比较法普适性强,可获得各夏季日的降温负荷情况,因此本文采用该方法对2013年福建电网的降温负荷进行分析。

基准负荷比较法的基本思想^[2]为:先以春秋季负荷数据近似估算夏季无降温负荷时的基础负荷曲线,再将夏季日负荷曲线与基础负荷曲线相减即为夏季日降温负荷曲线。结合本文研究内容,福建电网2013年降温负荷分析方法的流程如图1所示。

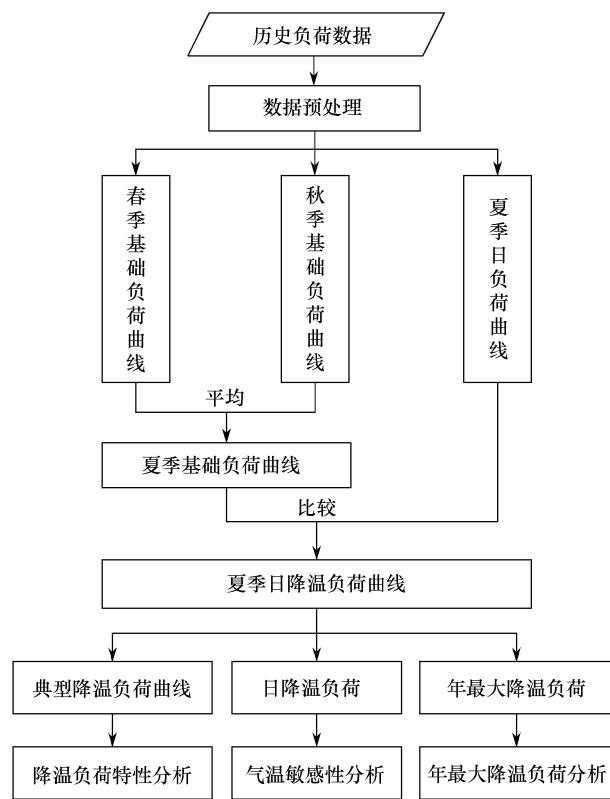


图1 降温负荷分析方法流程图

具体步骤如下。

第一步:数据预处理。春季从13年3月份和4月份中选择样本日;秋季从13年10月份和11月份中选择样本日;夏季从13年的6月份、7月份、8月份、9月份中选择样本日;5月份一般为福建地区雨季,气候较不稳定,故不予以考虑。数据筛选时,应剔除节假日、台风、强降雨等干扰负荷数据。

第二步:计算春季和秋季平均日负荷曲线的平均值,近似作为夏季基础负荷曲线。

第三步:将夏季各个样本日的负荷曲线与夏季基础负荷曲线相减,即为该日的降温负荷曲线。

第四步:计算夏季所有样本日逐个时间段的降温负荷的平均值,即为夏季典型降温负荷曲线,进而进行降温负荷特性分析。

第五步:由夏季各个样本日的降温负荷曲线得到各个时间段的降温负荷,并定义其最大值为日降温负荷,进而进行气温敏感性分析。

第六步:取夏季所有样本日降温负荷的最大值,即为年最大降温负荷,进而进行年最大降温负荷分析。

2 降温负荷特性分析

本文分别计算2013年全省及各个地市的夏季典型降温负荷曲线,并通过曲线分析揭示降温负荷特性,更好地把握福建电网降温负荷的变化规律。

2.1 全省降温负荷特性分析

基于福建电网2013年全省用电96点历史负荷数据,利用上述介绍的基准负荷比较法测算福建电网夏季降温负荷。本文为深入分析降温负荷的变化规律,分别计算出6月份、7月份、8月份、9月份的典型降温负荷曲线,如图2所示。

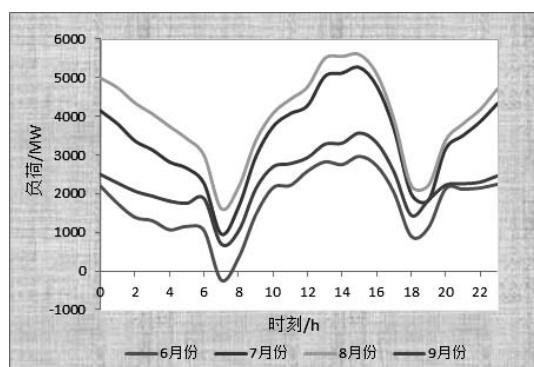


图2 2013年夏季各月份典型降温负荷曲线

由图2可见,降温负荷的总体趋势为6月份至8月份逐步增大,8月份后降温负荷开始减少;6月份的降温负荷最小,甚至在低谷时刻出现负值;9月份的典型降温负荷曲线走势与6月份类似,数值较大。其主要原因有:6月份平均温度较低,且降雨较多,导致空调用户较少;再者,由于降温负荷的惯性作用,若在相同气象条件下,6月份的日降温负荷会比持续高温后7月份、8月份、9月份的日降温负荷低。7月份和8月份为福建省典型夏季天

气，则将7月份和8月份的典型降温负荷曲线平均值作为夏季典型降温负荷曲线。

由图2还可以看出，福建电网夏季降温负荷的特性规律：①存在午高峰和晚高峰，时段分别为下午13:00—15:00和晚上23:00—24:00，晚高峰的降温负荷主要来自居民降温负荷，其值最高达到午高峰降温负荷的80%~90%，说明居民降温负荷对总降温负荷的贡献较大；②早晨7:00和傍晚18:00为当日降温负荷低谷时段，主要是因为这两个时间段为上下班时间，居民、商业和部分工业等降温负荷达到最小；并且，早晨温度比傍晚温度更低，降温负荷也更小些。

2.2 各地市降温负荷特性分析

基于福建电网2013年各个地市用电96点历史负荷数据，以7月份和8月份工作日作为典型夏季样本日，采用上述介绍的基准负荷比较法得到各地市典型降温负荷曲线，如图3所示。

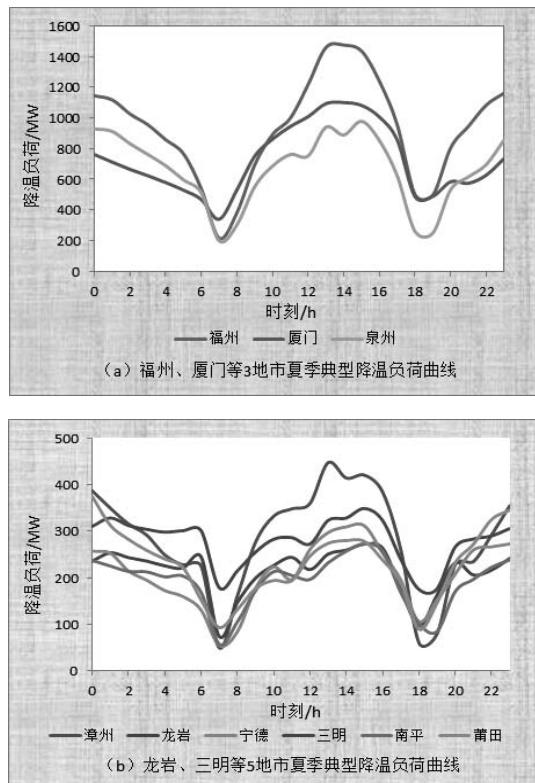


图3 各地市典型降温负荷曲线

由图3可见，各地市降温负荷曲线趋势与全省降温负荷曲线类似，此处不再详细分析。由图3(a)可见，福州、厦门、泉州等地区降温负荷水平较高，且其典型降温负荷曲线峰谷差较大，午高峰和晚高峰明显，主要是因为这些地区经济较发达，工商业、

居民降温负荷比重均较大。由图3(b)可见，龙岩、三明、南平等经济发展水平较低地区的典型降温负荷曲线在一天内的各时段的波动范围较小，峰谷差小，且降温负荷水平较低。

2.3 比较分析

由整体分析和“子网累加”两种方法得到的全省典型降温负荷曲线，如图4所示。由图4可以看出，两种方法得到的全省典型降温负荷曲线基本一致，仅在某些时刻有些许偏差，均可反映出福建电网夏季降温负荷的变化规律。

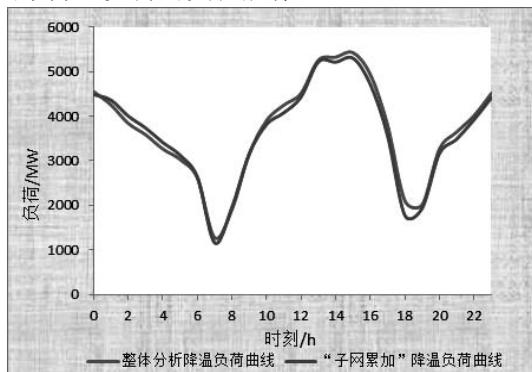


图4 2种方法得到的降温负荷曲线对比分析

3 气温敏感性分析

本文将2013年全省及各个地市的夏季日降温负荷与温度因子进行敏感性分析，更好地把握降温负荷与气温的关系，分析得到的气温敏感系数，可为2014年短期负荷预测提供参考。

3.1 全省气温敏感性分析

如前所述，取夏季样本日降温负荷曲线各个时间段的最大值即为日降温负荷。温度因子包含日平均温度 T_a 、日最高温度 T_h 、日最低温度 T_l ，可由全省各个地市温度因子加权平均得到，权重为各地市当天用电量占全省用电量的比重。分析时，取6月份至8月份的负荷数据，并剔除节假日、台风、强降雨等特殊日负荷数据。

由相关系数的公式[4]可得全省夏季日降温负荷与各个温度因子的相关系数，见表1。

表1 日降温负荷与各温度因子相关系数

温度因子	T_a	T_h	T_l
相关系数数	0.87	0.81	0.76

由表1可以看出，日降温负荷与各个温度因子的相关系数均大于0.75，与日平均温度的相关性最强。日降温负荷与日平均温度的散点图及拟合曲线，如图5所示。

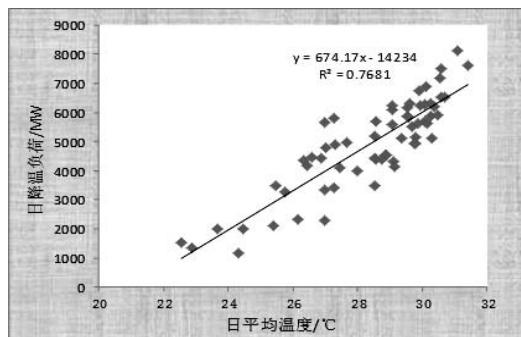


图 5 日降温负荷与平均温度的散点图及拟合曲线

从图 5 可以看出, 日降温负荷与日平均温度的线性拟合度较高, 可近似认为一元线性关系。由回归分析结果可得, 日降温负荷与日平均温度的敏感系数为 674.17。因此, 可近似认为对于福建电网夏季负荷, 日平均温度每升高 1°C, 降温负荷增长 674.17MW。

3.2 各地市气温敏感性分析

类似上述分析方法, 可对 2013 年夏季各地市日降温负荷与日平均温度进行敏感性分析, 得到各地市的气温敏感系数, 见表 2。由表 2 可以看出, 各地市日降温负荷与日平均温度的相关系数均较高, 得到的气温敏感系数能够较好地揭示地区降温负荷随温度变化的规律。

表 2 各地市日平均气温与降温负荷的

相关系数及敏感系数

地市	相关系数	敏感系数
福州	0.91	208.51
厦门	0.83	146.42
泉州	0.88	170.77
漳州	0.82	85.67
龙岩	0.62	36.75
宁德	0.83	48.15
三明	0.72	34.24
南平	0.63	32.89
莆田	0.89	48.64

3.3 算例分析

本算例中, 基准日为 2014 年 9 月 3 日(周三), 全省平均温度为 29.37°C; 预测日为 2014 年 9 月 4 日(周四), 全省平均温度为 27.15°C; 两样本日的周特性明显, 负荷水平相当, 近似认为两日的负荷水平变化仅由温度变化引起, 计算得两日的降温负荷实际变化值为 1750.02MW。本文分别采用上述两

种方法得到的气温敏感系数对 2014 年 9 月 4 日的降温负荷进行预测, 其结果见表 3。

表 3 气温敏感性分析情况

地市	温度变化量 /°C	测算降温负荷变化量/MW	与实际值偏差百分比/%
福州	-3.73	-778.10	3.87
厦门	-1.63	-238.66	4.19
泉州	-1.86	-317.63	4.27
漳州	-1.61	-137.92	4.03
龙岩	-2.36	-86.73	12.49
三明	-1.60	-54.78	8.95
莆田	-1.38	-67.12	4.70
宁德	-3.07	-147.82	5.75
南平	-1.07	-35.19	9.24
总加		-1863.95	6.51
全省	-2.22	-1496.66	14.48

由表 3 可以看出, 通过“子网累加”能够较准确地测算出全省降温负荷的变化值, 比全省整体分析的方法精度更高。本文另外选取类似的 4 个算例进行分析, 其测算结果如图 6 所示。

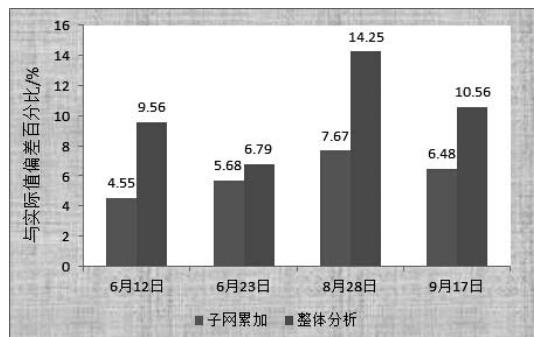


图 6 子网累加和整体分析误差比较结果

由图 6 可以看出, “子网累加”模型的准确率明显优于整体分析模型, 推荐采用该方法进行全省降温负荷的气温敏感性分析。

4 年最大降温负荷分析

本文对全省及各地市的年最大降温负荷进行分析与测算, 可为 2014 年全省最大负荷预测提供参考。

4.1 全省年最大降温负荷分析

根据前述计算数据, 福建电网 2013 年最大降温负荷即为夏季所有样本日降温负荷的最大值。类似, 可求得福建电网 2009—2012 年最大降温负荷, 如图

7 所示。由图 7 的线性拟合曲线可以看出, 2009—2013 年的最大降温负荷近似以 671.50MW/年的速度增长, 可预测 2014 年福建电网夏季最大降温负荷约为 8794.50MW。

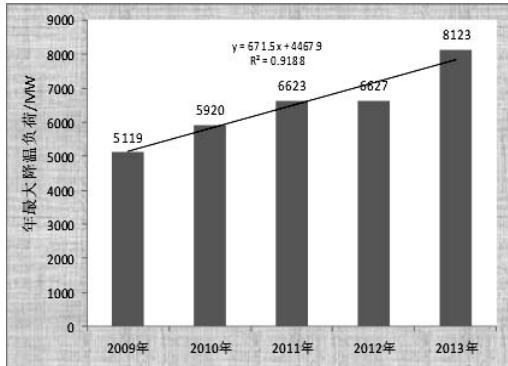


图 7 2009—2013 年最大降温负荷逐年情况

4.2 各地市年最大降温负荷分析

类似上述方法, 本文分别求得福建省各地市电网 2009—2013 年最大降温负荷, 并用线性拟合的方法预测出 2014 年的最大降温负荷 8971.08MW, 其分析结果见表 4。

表 4 各地市电网 2009—2013 年最大降温负荷

电网	年最大降温负荷/MW					
	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	预测
福州	1320.25	1643.54	1840.49	1823.11	2304.83	2519.70
厦门	913.24	1090.39	1191.82	1250.37	1426.76	1545.46
泉州	930.35	1085.23	1226.65	1344.62	1595.18	1794.08
漳州	520.98	550.89	610.07	635.87	723.35	772.32
龙岩	286.95	329.95	365.95	384.09	456.21	495.49
三明	269.32	294.34	324.67	340.47	442.42	481.65
莆田	307.73	320.34	347.65	350.98	435.98	436.80
宁德	340.87	378.97	410.86	420.86	513.15	551.79
南平	273.25	286.98	307.98	300.66	364.23	383.79
总加		8971.08				

4.3 算例分析

基于全省 2009—2013 年最大降温负荷数据, 预测全省 2014 年最大降温负荷约为 8794.50MW。基于各地市 2009—2013 年最大降温负荷数据, 可预测 2014 年各地市的最大降温负荷, 通过“子网累加”预测全省 2014 年最大降温负荷约为 8971.08MW; 类似日最大负荷的同时率问题, 考虑最大降温负荷的同时率为 0.99, 则 2014 年最大降温负荷的预测值可修正为 8881.37MW。

根据 2014 年全省 24 点历史负荷数据, 采用基

准负荷比较法可计算得到全省 2014 年最大降温负荷约为 8897.53MW。显然, 采用 4.2 的方法得到的年最大降温负荷预测值更准确。

由以上算例可以看出, 采用 4.1 和 4.2 的方法均能大致测算出 2014 年的最大降温负荷。4.2 的方法不仅能够测算出各地市的年最大降温负荷情况, 且所测算的全省最大降温结果更为准确。因此, 在测算全省年最大降温负荷时, 推荐采用“子网累加”的方法。

5 结论

本文基于福建电网历史负荷数据, 从降温负荷特性、气温敏感性、年最大降温负荷等三方面进行详细分析, 得出以下结论。

1) 福建省降温负荷曲线存在明显的 2 个高峰和低谷, 午高峰和晚高峰分别出现在下午 14:00—15:00 和晚上 23:00—24:00, 降温负荷的低谷时段出现在早上和傍晚的上下班期间, 说明居民和办公类降温负荷比重较大。

2) 福建省各地市的日降温负荷与日平均温度具有较强的相关关系。各地市的日平均温度能够灵敏地反映日降温负荷的变化, 由此可累加测算出当温度变化时全省日降温负荷的变化值, 为短期负荷预测提供参考。

3) 全省及各地市的年最大降温负荷近似线性增长, 据此测算出下一年的年最大降温负荷值, 可为 2014 年全省降温负荷的预测提供参考。

本文将“子网累加”的思想引入降温负荷的分析中, 并通过实例分析验证该模型具有较高可行性及准确性。因此, 对于各地区经济水平及气象条件差异较大的省级电网, 推荐采用“子网累加”的方法研究降温负荷。

参考文献

- [1] 刘继东, 韩学山, 楚成博, 等. 考虑非气象因素的电网夏季降温负荷研究[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(2): 40-46.
- [2] 童述林, 文福拴. 节能减排环境下广东省年最大降温负荷的测算与分析[J]. 华北电力大学学报: 自然科学版, 2010, 37(5): 32-37.
- [3] 楚成博, 刘继东, 张利, 等. 山东电网夏季降温负荷特性及影响因素分析[J]. 电力需求侧管理, 2013, 15(1): 20-24.

(下转第 73 页)