

空调降温负荷比例估计及其对电压稳定的影响

张利民¹, 付红军², 李育燕³, 戴琦¹, 韩敬东¹, 鞠平¹

(1. 河海大学电气工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 河南电力调度通信中心, 河南 郑州 450052;

3. 南京电力自动化设备总厂, 江苏 南京 210003)

摘要: 空调降温负荷的比例和影响日益增大, 必须予以重视。首先分析了空调降温负荷与气候的关系, 建立了河南电网夏季日最高负荷与气候指数的回归模型, 获得空调降温负荷比例的估计公式。然后通过综合仿真程序, 分析空调降温负荷在电压恢复后的重新启动特性对电压稳定的影响, 结果表明这对电压恢复具有严重的恶化作用。

关键词: 空调; 负荷建模; 负荷特性; 停机

中图分类号: TM71 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)22-0033-04

0 引言

随着经济快速发展, 城网的负荷水平和负荷构成发生了许多变化, 尤其是空调类的负荷有了迅速的增长, 并且以后这种增长的趋势还会加快。文献 [1, 2] 指出, 因为空调类负荷对电压稳定有较大的影响, 因此空调类比重较大的地区是应该注意的重点地区, 还首次应用摄动原理, 在 $z-V$ 空间中, 对空调阻抗模值变化与电压稳定的关联做了理论解析, 并从防灾减灾的角度讨论了空调的有关问题; 文献 [3, 4] 注意到在空调使用的高峰期, 系统多重事故发生后电压难以恢复, 分析认为这种情况主要是由于空调堵转现象所致, 并且对空调压缩机特性及其保护装置进行研究, 还将其用于事故的模拟中。文献 [5] 曾就国外的三种单相空调进行过研究, 并且应用了一种从 KEPCO 电网居民负荷特性研究中综合提取出来的负荷模型^[6], 但是这种模型并不适合在低压后的空调停机状态, 而且对于我国的空调以及电网的现状并不见得适合; 另外从温度的角度, 针对包含空调在内的整个气候敏感负荷建立了一种气温敏感负荷模型^[7, 8], 根据季节的不同、温度的不同选取不同的参数变量。当然, 这就需要对已往大量负荷值分析研究的基础上, 而且这种模型更适合用来作为短期负荷预测的一种手段。

本文首先以河南电网夏季负荷为例, 分析空调降温负荷与气候的关系来确定其比例, 然后分析空调降温负荷的比例大小和特性对电压稳定的影响。

基金项目: 国家自然科学基金重大项目 (50595412)

1 空调降温负荷比例估计

控制生理舒适度的三个主要气候因素是: 温度、湿度和风速, 人们对舒适度反应最敏感的时间是夏季。以河南电网夏季负荷为例, 河南电网地处北亚热带和暖温带地区, 夏季炎热。近年来, 随着国民经济的发展和人民生活水平的提高, 居民空调电器的拥有率及使用率逐年上升, 夏季空调降温负荷在总用电负荷中所占的比重越来越大, 夏季空调降温负荷是夏季用电峰荷产生的主要因素之一。影响最大负荷的气候因素包括温度、湿度、降雨、风速、日光强度、前两天的气候条件等等, 但由于最主要的影响因素是温度, 而其它几个气候因素 (湿度、降雨) 目前没有完整资料, 所以本文首先考虑温度。通过对大量数据进行回归分析, 定义气候指数 D 如下:

$$D = 0.6 \cdot \text{本日最高温度} + 0.3 \cdot \text{昨日最高温度} + 0.1 \cdot \text{前日最高温度} \quad (1)$$

如果要考虑湿度、降雨、风速、日光强度等气候因素, 气候指数的定义还需要进一步研究。

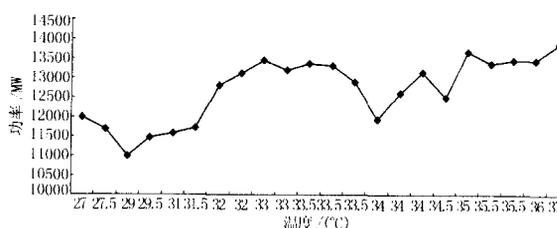


图 1 河南电网夏季日最高负荷与气温关系

Fig 1 Relationship between summer daily peak load and temperature of Henan Power Grid

根据过去一段时间的气候指数计算出气候的标准值 (或称气候常数), 并作为期望的平均气候指

表 1 河南电网日最大负荷

Tab 1 Daily peak load of Henan Power Grid

日期	日最高气温 / ()	气候指数	日最大负荷 /MW	日期	日最高气温 / ()	气候指数	日最大负荷 /MW
7月 20日	29.0		11 000	7月 31日	27.5	27.9	11 700
7月 21日	34.5		12 500	8月 1日	29.5	28.65	11 486
7月 22日	36.0	34.85	13 450	8月 2日	34.0	32	11 951
7月 23日	37.0	36.45	13 850	8月 3日	32.0	32.35	12 795
7月 24日	35.0	35.7	13 660	8月 4日	31.5	31.9	11 730
7月 25日	32.0	33.4	13 100	8月 5日	31.0	31.25	11 581
7月 26日	34.0	33.5	13 150	8月 6日	34.0	32.85	12 615
7月 27日	33.5	33.5	13 150	8月 7日	35.5	34.6	13 350
7月 28日	33.5	33.55	13 200	8月 8日	33.0	33.85	12 877
7月 29日	33.0	33.2	13 150	8月 9日	35.5	34.75	13 445
7月 30日	27.0	29.45	12 000	8月 10日	33.5	34.05	13 310

表 2 日最大负荷与气温及气候指数的关系

Tab 2 Relationships of daily peak load, temperature and climate index

指标名称	与气温的关系	与气候指数的关系
Pearson积矩法相关系数	0.796	0.904
Pearson积矩法相关系数的平方	0.634	0.816
Pearson积矩法相关系数	0.796	0.903

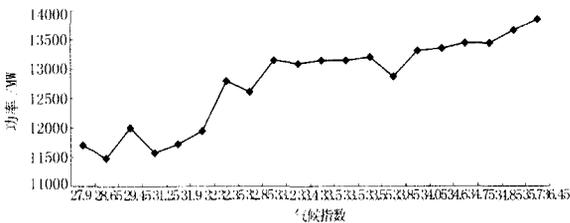


图 2 河南电网夏季日最高负荷与气候指数关系

Fig 2 Relationships between summer daily peak load and climate index

数。将该气候常数作为基准,用以将实际最大负荷数据校正为标准气候条件下的数值。对作为气候指数函数的最大负荷数据进行回归分析,可得到负荷/气候的灵敏度系数,用于修正最大负荷。

表 1为河南电网日最大负荷,表 2说明日最大负荷与气候指数的相关性要大于与气温的相关性,图 1、图 2也表明日最高负荷与气候指数的关系比与气温的关系更具有规律性。因此,本文对日最高负荷与气候指数进行线性回归分析,由于气候指数小于某一值时空调都还没有启动,而当气候指数大于某一值时空调全部都启动,故:

$$L_{max} = \begin{cases} L_m & D < D_m \\ K(D - D_m) + L_m & D_m \leq D < D_M \\ L_M & D \geq D_M \end{cases} \quad (2)$$

式中: L_{max} 为日最高负荷, D_m 为气候指数的低门限值, D_M 为气候指数的饱和门限值。所以,空调负荷比例及其最大值为:

$$\begin{aligned} &= (L_{max} - L_m) / L_{max} = 1 - L_m / L_{max} \\ &_{max} = 1 - L_m / L_M \end{aligned} \quad (3)$$

对于河南电网,通过回归分析可得其回归模型中各参数为:

$$K = 278.05, D_m = 27.5, L_m = 11486, D_M = 36, L_M = 13850, \quad _{max} = 17\%$$

结果表明对于河南电网夏季负荷,气候指数大于门槛值 D_m 后每升高一度,空调(降温)负荷增加 278 MW,空调负荷比例最高为 17%。这是全省范围的比例,局部地区比如城市可能还会高些。

2 空调降温负荷对电压稳定的影响

文献 [4]曾通过计算空调阻抗模值的变化来分析其对电压稳定的影响,证明电压在 1.0~0.6 p.u. 之间时空调降温负荷阻抗模值的变化对电压稳定的负面影响是很大的。这是可以理解的,因为在空调类负荷中,一般都有压缩机、风扇电机、温控器等器件,其中压缩机的耗电量最大,究其本质即为电动机器件,而大量资料证明,在电网中一般来说,感应电动机的比例越大,故障时的极限切除时间则越小,电网也就越不稳定。但有必要进一步讨论的是,空调在电压恢复后的重新启动对电网电压稳定的影响,这在以前文献中未见有分析报道。

从大量的实测数据可知:电压在停机电压以上变化时,有功功率变化较小,也正因如此有文献将空调粗略地当作是恒功率型负荷;但是另一方面无功功率变化非常大,其影响不容忽视。比较制冷和制热情况下的响应,两者是非常类似的,只不过两者的功率基值不同,且制热情况下的功率要大于制冷情况。另外,有电加热的情况和无电加热的情况也是非常类似的。当电压下降到停机电压以下时,空调就会发生停机。当电压又恢复到正常水平

之后的某个时刻,空调会重新启动。由于空调功率的突升,对电压会产生一定的冲击。一般来说,国内空调的启动电压为 187 V ^[10,11]。因为感应电动机的启动转矩与外加电压的平方成正比,电压过低就会造成启动转矩急剧下降而无法启动。但是,从大量实验测试所得的数据来看,并非是电压一恢复到 187 V 空调就会马上启动,而是要经过一段延时后才重新启动,那是因为停机时关闭在压缩机气室中的高压气体需要泄压以平衡内部压力。经实测,这段延时的时间间隔并不是一个定常数,而是在某个范围之内变化。一般在电压恢复到 187 V 之后再经过 $3\sim 5\text{ s}$ 空调启动。据此可以建立空调负荷的模型,结果另文叙述。

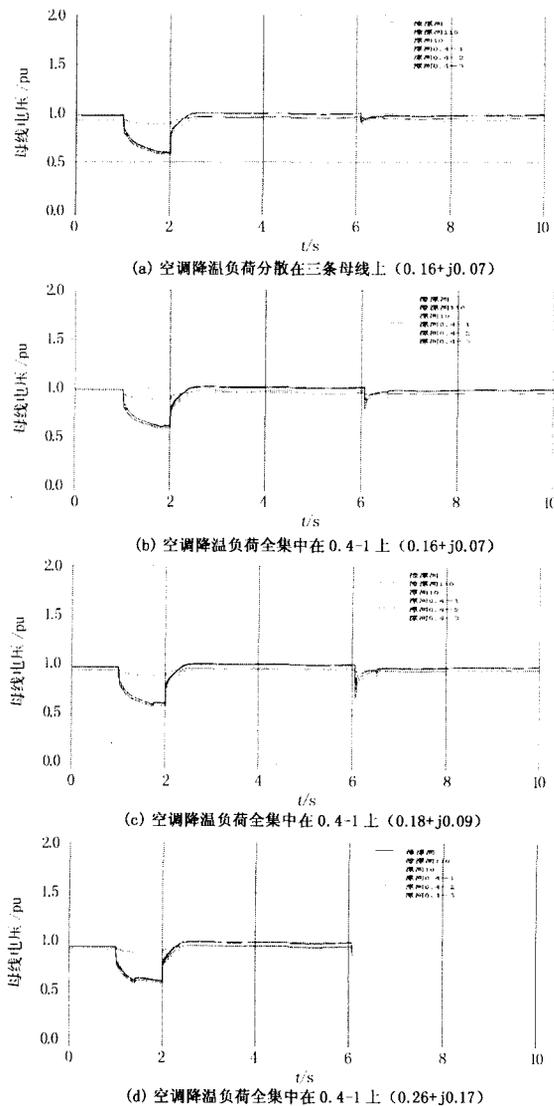


图 3 故障 1 下的影响比较

Fig 3 Dynamic responses under fault one

应用电力综合稳定分析程序 (PSASP) 进行仿真,其中电网数据库采用河南电网 2003 年电网数据,取其漯河变电站进行扩展配电网结构,由于仿真电网结构和工况数据太多故略去。通过自定义负荷模型方式接入空调等负荷,空调的启动冲击功率设置为运行功率的 7 倍。下面设置三种不同的网络故障分析空调降温负荷对电压稳定的影响。

1) 故障 1 为漯河变 110 kV 母线上 $1.0\sim 2.0\text{ s}$ 发生冲击负荷 $0.9+j0.9$ 。适当改变空调降温负荷的分散性和比例大小,观察其响应变化,如图 3 所示。

2) 故障 2 为 0.1 s 时计山至漯河线路上 60% 处发生三相短路接地故障, 0.22 s 故障消失。适当改变空调降温负荷的分散性和比例大小,观察其响应变化,如图 4 所示。

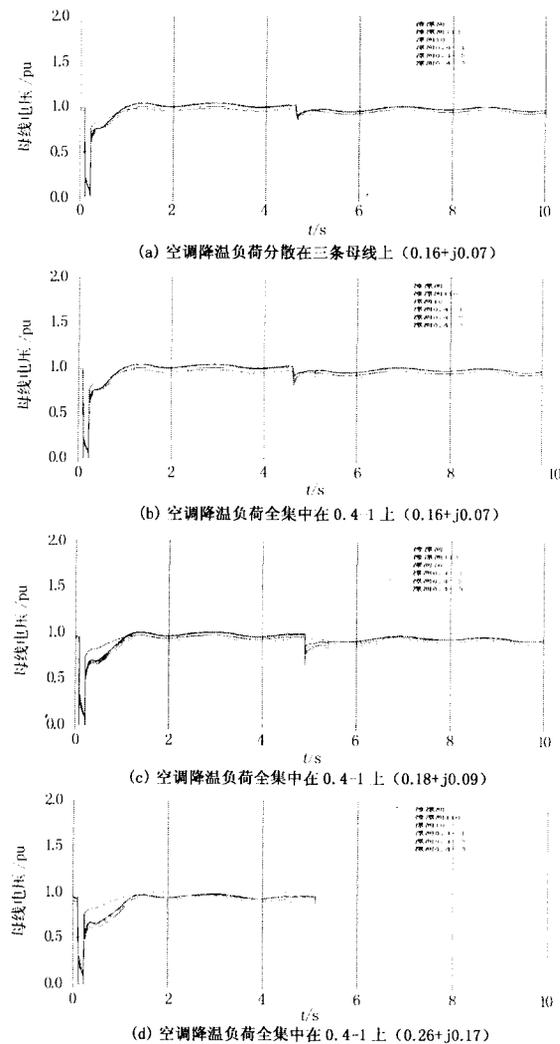


图 4 故障 2 下的影响比较

Fig 4 Dynamic responses under fault two

3)故障为 0.1s时山至英章线路上 50%处发生 A、B 两相短路接地故障,0.20s故障消失。适当改变空调降温负荷的分散性和比例大小,观察其响应变化,如图 5 所示。

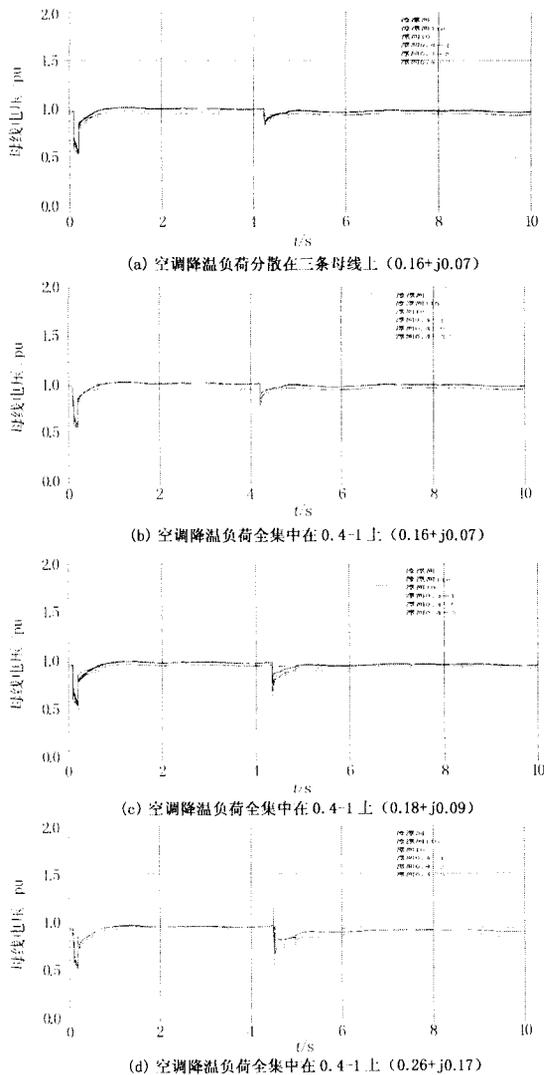


图 5 故障 3 下的影响比较

Fig 5 Dynamic responses under fault three

图 3~4 的 (d) 中后面无曲线是因为系统已电压失稳无法继续计算下去。比较图 3~5 中 (a) (b) 可知,对于等量的空调降温负荷,在同一故障下,空调降温负荷集中在同一母线上比分散于几处母线上的响应要严重得多;比较图 3~5 中 (b) (c) (d) 可知,随着空调降温负荷比例的增长,系统电压稳定情况恶化。

3 结论

本文通过回归分析方法建立河南电网夏季日最

大负荷与气候的关系模型,从而获得空调降温负荷与气候的关系。分析了空调降温负荷在电压恢复后的重启对电网电压稳定的影响。通过仿真计算可知,空调越集中时对当地电网的启动冲击越大;空调降温负荷所占比重越大时对整个系统的启动冲击越大,甚至导致电压失稳。尤其在大中城市,随着生活水平的提高,空调类负荷比例一直攀升,其影响就更不容忽视。

参考文献:

- [1] 韩北渝,王漪,李晓明,等. 空调降温负荷对电压稳定影响的研究[J]. 继电器, 2000, 28(8): 25-27, 31.
HAN Bei-yu, WANG Yi, LI Xiao-ming, et al Study on the Effect of Air Conditioner Load on Voltage Stability [J]. Relay, 2000, 28(8): 25-27, 31.
- [2] 王漪,韩北渝,柳焯,等. 空调类装置密集地区高电压节点负荷特性的集结[J]. 继电器 2000, 28(2): 7-11.
WANG Yi, HAN Bei-yu, LIU Zhuo, et al Load Characteristic Accumulation for High Voltage Node in the Area Where Air Conditioners Are Gathering [J]. Relay, 2000, 28(2): 7-11.
- [3] Williams B R, Schmus W R, Dawson D C. Transmission Voltage Recovery Delayed by Stalled Air Conditioner Compressors [J]. IEEE Trans on PWRs, 1992, 7(3): 1173-1179.
- [4] Shaffer J W. Air Conditioner Response to Transmission Faults [J]. IEEE Trans on PWRs, 1997, 12(2): 614-618.
- [5] Tomiyama K, Daniel J P, Ihara S. Modeling Air Conditioner Load for Power System Studies [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1998, 13(2): 414-421.
- [6] Ihara S, Tani M, Tomiyama K. Residential Load Characteristics Observed at KEPCO Power System [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1994, 9(2): 1092-1099.
- [7] 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 Zhi-hua, LI Yang, ZHAO Cui-yu, et al Study on Summer Temperature-sensitive Load in Nanjing City [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(3): 60-63.
- [8] 姜勇. 南京市居民夏季用电负荷特性分析[J]. 继电器, 2003, 31(4): 24-26.
JIANG Yong. Analysis of Residents' Summer Load Characteristics in Nanjing [J]. Relay, 2003, 31(4): 24-26.
- [9] 鞠平. 电力系统非线性辨识 [M]. 南京: 河海大学出版社, 1999.

(下转第 44 页 continued on page 44)

2003, (2): 97-100.

WEI Zhi-nong, ZHANG Yun-gang, ZHENG Yu-ping
The Application of ISODATA in the Bad Data Identification of the State Estimate of the Distribution Power System [J]. Journal of Hohai University, 2003, (2): 97-100.

作者简介:

杨伟 (1965 -), 男, 副教授, 从事电力系统及其自动化方面的教学与研究工作; E-mail: yangwei807@vip.sina.com
胡军 (1982 -), 男, 硕士, 研究方向为配电网自动化;
吴军基 (1955 -), 男, 教授, 博士生导师, 从事电力系统及其自动化、电力市场等方面的教学与研究工作。

收稿日期: 2005-03-03; 修回日期: 2005-04-06

The identification algorithm of bad data in power system based on GSA

YANG Wei, HU Jun, WU Jun-ji

(School of Power Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: With the wide application of numeric technology in power system and increasingly higher requirements of the power system operation reliability, the recognition of the bad data seems more and more important. The state estimating algorithm (be widely used at present) has disadvantage of residual pollution. This paper researches the GSA bad data algorithm based on neural network and clustering analysis. The algorithm accomplishes the pretreatment of surveying data via the neural network, and then judges the result of clustering analysis so as to finish the recognition of the bad data. The paper employs Matlab and C Language to simulate the GSA algorithm and compares the GSA algorithm with the state estimating algorithm via a concrete network, which shows that GSA algorithm can effectively remove residual pollution so as to accomplish the recognition of the bad data.

Key words: GSA; data mining; bad data recognition

(上接第 36 页 continued from page 36)

- JU Ping. Power System Non-linear Identification [M]. Nanjing: Hohai University Press, 1999.
- [10] 李刚, 张仙平, 李志伟, 等. 小型制冷设备低压启动探析 [J]. 郑州纺织工学院学报, 2000, 11 (2): 12-16.
- LI Gang, ZHANG Xian-ping, LI Zhi-wei, et al. Investigation and Analysis on Low-voltage Starting of Small Refrigeration Equipment [J]. Journal of Zhengzhou Textile Institute, 2000, 11 (2): 12-16.
- [11] 李刚. 小型制冷设备启动装置研究 [J]. 制冷, 2000, 19 (1): 60-63.
- LI Gang. Study on Starting Device of Small Refrigeration

- Equipments [J]. Refrigeration, 2000, 19 (1): 60-63.
- [12] 黄立培. 电动机控制 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- HUANG Li-pei. Motor Control [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.

收稿日期: 2005-03-22; 修回日期: 2005-06-16

作者简介:

张利民 (1958 -), 男, 高级工程师, 从事电网规划和电气设备方面的科研和教学工作;
鞠平 (1962 -), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电力系统建模与控制。E-mail: pju@hhu.edu.cn

Relationship between a air conditioner load and temperature and its influences on voltage stability

ZHANG Limin¹, FU Hong-jun², LI Yu-yan³, DA IQI¹, HAN Jing-dong¹, JU Ping¹

(1. Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Henan Power Company, Zhengzhou 450052, China;
3. Nanjing Automation Factory, Nanjing 210003, China)

Abstract: Air conditioner load is increasing and should be paid more attention. A model is set up for predicting the air conditioner load varying with the temperature in Henan Power Grid. The influence of air conditioner load, especially the re-starting process, on power system voltage stability is studied. The results show that air conditioner load is bad to power system voltage stability.

This paper is supported by Natinal Natural Science Foundation of China (No. 5059412).

Key words: air conditioner; bad modeling; load characteristic; stall