

# 空调类装置密集地区高电压节点负荷特性的集结

王 漪, 韩北渝, 柳 焯

(哈尔滨工业大学电气工程系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要:** 在对空调类装置密集地区负荷分析的基础上, 提出抽样调查与数学物理相结合的方法, 将该类负荷从低压到高压有层次地集结到高压节点。利用这种方法可以研究空调类负荷对高压节点负荷特性是如何影响的, 空调类负荷比重发生增加后, 高压节点的负荷特性的参数是怎样随之变化的。

**关键词:** 空调类负荷; 负荷特性的集结; 电压稳定; 高压节点

**中图分类号:** TM714.2      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1003-4897(2000)02-0007-05

## 1 引言

改革开放以来, 由于我国的经济迅速发展, 在一些中心城市, 人民的生活水平普遍有了很大的改善, 与以前相比, 第三产业的比重已有了很大的提高, 这些情况使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(空调、冰箱和冰柜)负荷有了迅速的增长。1987年7月日本东京曾发生过一次令人震惊的电压崩溃事故, 此次事故引起广泛的关注。在事故中, 有两个500kV变电站和一个275kV变电站停电, 影响280万人口的地区用电, 给社会经济造成了巨大损失。经分析认为, 空调类负荷在事故中起很大的负面作用, 当时日本有的报刊很形象地说“空调是杀手”。近十年, 国外专家和学者对空调负荷进行了一些专题研究<sup>[1][2][3]</sup>。

目前, 在我国的一些中心城市, 空调类负荷已有了较大增长, 而且随着经济的发展, 人民生活水平的提高, 这种增长的趋势还会加快。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我们应注意的重点地区。在这种地区, 空调类负荷对高压节点负荷特性是如何影响的呢, 空调类负荷比重发生改变后, 高压节点的负荷特性的参数怎样随之变化? 本文针对这两个问题作了一些研究。在对空调类及其它一些负荷的特性调查、实验和分析基础上, 将空调类负荷密集地区的负荷从低压到高压进行了集结。

## 2 空调类负荷密集地区的负荷分析

空调类负荷密集地区往往在经济发达的中心城市。在这种地区, 虽然空调类负荷占很大比重, 还有

许多别的负荷, 如照明负荷(白炽灯、日光灯和节能灯)和其它负荷(电热负荷、电机类负荷和电视机、计算机、音响、仪器设备类等), 这些负荷对高压节点的负荷特性也有一定的影响, 它们的负荷特性也是我们需要了解的。这里所说的负荷特性不仅指负荷的电压特性, 也包括负荷的频率特性。

### 2.1 空调类负荷的特性分析

在空调类负荷内, 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。在实验室中, 我们对空调的电压特性和频率特性做了实验, 以下给出实验结果:

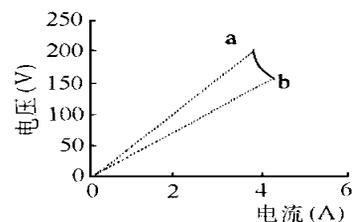


图1 空调的 VI 曲线

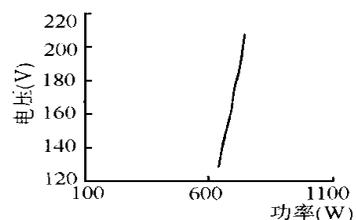


图2 空调的 PV 曲线

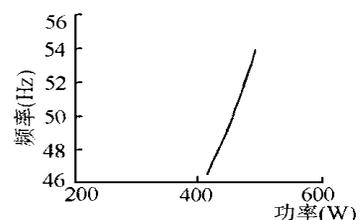


图3 空调的频率曲线

收稿日期: 1999-07-01

作者简介: 王漪(1962-), 男, 高工, 在职博士生, 研究方向为电力系统电压稳定及其控制。

从图 1 空调  $V/I$  曲线上看,可以看到随电压的下降,空调负荷的阻抗模以更快的速率下降(从 a 点与原点虚线连线的斜率明显大于 b 点与原点虚线连线的斜率),当电压从 220V 下降到 160V 时,空调的阻抗模值已经下降了 35%。从图 2 空调的  $P/V$  曲线上看,‘把空调当作恒功率型负荷’是相当粗略的,实际上其有功功率随电压的下降还是有所减少的,空调压缩机对驱动它的电动机的反抗转矩是基本恒定的,其运行滑差率较小,但还不能将其转速完全看成常数,何况空调内还有风扇电机,虽然其功率占的比重较小,但当电压下降时,风扇电机的有功功率要明显下降,这些因素都是空调负荷距离理想恒功率型负荷有差距的原因,尽管如此,空调的阻抗模值随电压下降还是特别快的,在本文论及的地区,它仍然是对电压稳定威胁最大的负荷类型<sup>[4]</sup>。

## 2.2 照明负荷的特性分析

在我国,一般晚峰负荷比较大,而照明负荷在晚峰中占有相当大的比例,在天津,有‘灯峰’之说。在本文论及的地区,在夏季的晚峰期间,除了空调负荷功率以外,就要数照明负荷功率了。照明负荷一般包括白炽灯、日光灯、节能灯等种类。其中白炽灯和日光灯使用的较为普遍,而节能灯价格昂贵,目前使用的不多。下面是根据实验结果做出的白炽灯和日光灯的  $V/I$  曲线:

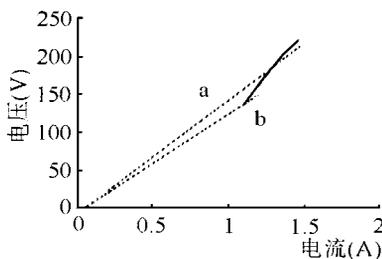


图 4 白炽灯的  $V/I$  曲线

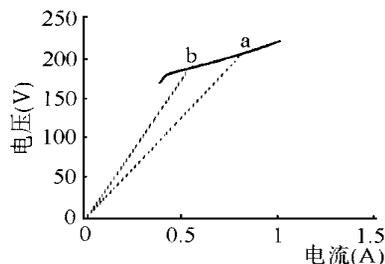


图 5 日光灯的  $V/I$  曲线

从白炽灯的  $V/I$  曲线上,我们可以看到白炽灯的阻抗随电压的降低而减小(a 点与原点之间虚线的

斜率要大于 b 点与原点之间虚线的斜率),这主要由其电阻的温度效应造成的。从日光灯的  $V/I$  曲线,我们可以看到日光灯阻抗是随电压的降低而增大的(a 点与原点连接的虚线斜率要小于 b 点与原点连接的虚线斜率),这是由于当电压降低时,灯管内的电场减弱,管内的游离程度降低而使灯管的电阻增大。当电压下降到一定程度时,管内的去游离作用将使日光灯熄灭,使其阻抗变成无穷大。如果将白炽灯和日光灯这两种负荷按一定的比例综合起来看,在一定电压范围内,它们的阻抗模值可以近似的看做是恒定的。因此这种负荷虽然比重也比较大,但与空调负荷相比,它对电压稳定的负面影响要小的多。

## 2.3 其它负荷特性概述

电热类负荷包括电水壶、电饭煲、电炒锅、电炉等类型的电器。虽然它们使用的时间较短,但容量很大。在晚上备餐期间,这类负荷使用的同时率也较高,这会对晚峰负荷的爬峰造成影响。电热类负荷的阻抗近似于恒定,不象空调的阻抗随电压的下降而迅速减小,因此电热类负荷对电压稳定的负面影响也比空调小得多。

电视机、计算机、音响、仪器设备类负荷的特点是:其内部一般装有调压装置。在一定电压范围内,它们能保持负荷主体设备的电压保持不变,这就使这类负荷在调压范围内有近似于恒功率的特性,但其调压范围很小(约在 1.1~0.9 之间),因此其近似恒功率特性区域很窄,不象空调负荷的近似恒功率特性区域那么宽(电压从 1.1~0.6)。当电压在 1.1~0.9 之间,这种类型负荷将配合空调起推波助澜的作用,当电压下降到 0.9 以下时,这类负荷会由于自身的保护动作切掉电源,停止对电压稳定产生不良影响,而空调负荷将会继续发挥其负面作用。

电机类负荷包括异步电动机、同步电动机两种类型。其中同步电机使用的较少,异步电机中有两种类型:一种是反抗转矩恒定,象电梯,卷扬机等,这和空调的压缩机的特性较为相似,但在本文论及的地区,这种负荷占的比重较小,而且它们不象空调负荷那样,有群体敏感于气候的效应。另一种异步电动机的机械负荷,其反抗转矩随转速下降而迅速减小,如风扇、水泵等,其阻抗模值随电压的下降减小得不快,对电压稳定的负面作用不大。

## 3 空调负荷密集地区的负荷集结

在一定调查的基础上,本文将空调负荷密集地区的负荷分为三类:居民小区负荷、装有集中空调建

筑的负荷和一般企事业负荷。居民空调多为窗式。集中空调多装设在宾馆、大饭店、大商场和一些高层建筑中。一般企事业指学校、医院、商店和工厂等。表1给出了空调负荷密集地区的各种负荷的比例关系。

表1

负荷类型	居民小区 负荷 (%)	装有集中空调 建筑的负荷 (%)	一般企事业 负荷 (%)
空调	0.263	0.55	0.15
日光灯	0.074	0.094	0.05
白炽灯	0.11	0.059	0.1
其他	0.55	0.296	0.7

### 3.1 系统层次的建立

为了将空调负荷密集地区的低压负荷特性曲线集结到高压节点上,本文建立了一个从低压到高压系统的层次模型来实施这一过程。如图6所示,整个过程分三级升压后到达高压节点,一级是380V(220V)到10kV,另一级是10kV到66kV,最后一级是66kV到220kV。图6中1、2分别表示220kV的变电所和变压器,4、6表示66kV的变电所和变压器,3表示有多个66kV的线路接在66kV母线上,7表示有多个10kV的线路并联接在10kV低压侧母线上。8、9、10表示3个电压等级为10kV的变压器。5表示电业部门为了提高系统的功率因数,在66kV变电所上设置的电容器补偿,11表示工厂为提高其功率因数而装设的电容器补偿,即用户电容器。

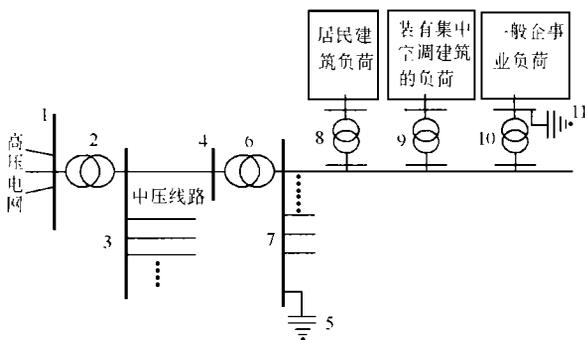


图6

### 3.2 从低压到高压进行负荷集结

在我们得到低压用电器具的负荷特性后,还要将其合成至高压节点上去,形成高压节点的负荷特性曲线。曲线合成基本有两种,并联负荷伏安特性曲线的合成和串联线路段的伏安特性曲线合成,最后还要从高压节点的伏安特性曲线转换得到高压节点的PV特性曲线或VZ特性曲线。

在并联合成时,其特点是电压同一,

$$\dot{V} = V_j e^{i_j} \quad (1)$$

总电流等于分电流之和:

$$\dot{I} = \sum_{j=1}^N I_j e^{i_j} \quad (2)$$

在这里,如果设负荷的集合  $F = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ , 则公式中  $j \in F, \forall V, Y = \{Y | V_1, V, V_2\}$ , 因为电流是电压的复变函数:

$$I_j e^{i_j} = f_j(V) \quad (3)$$

其中  $i_j = \arccos(f_j)$ ,  $f_j$  是负荷  $j$  在电压  $V$  时的功率因数。将(3)代入(2),式(2)变为下面的形式:

$$\dot{I} = \sum_{j=1}^n f_j(V_j) \quad (4)$$

合成过程中,复数电流要随电压改变,实际上它是电压的复变函数,所以上式也是一种复变函数运算的过程。

在串联线路段的伏安曲线合成中,电流是同一的,即  $\dot{I} = I_j e^{i_j}$

$$\dot{I} = I_j e^{i_j} \quad (5)$$

总电压等于各线路段分电压之和:

$$\dot{V} = \sum_{j=1}^N V_j e^{i_j} \quad (6)$$

设线路段的集合  $L = \{1, 2, 3, \dots, N\}$ , 则公式中  $\forall j \in L, \forall i \in (I_1, I_2)$ , 因为合成中的电压电流有以下关系:

$$I_j = f_j(V_j e^{i_j}) \quad (7)$$

我们则可以推得下式:

$$V_j e^{i_j} = f_j^{-1}(I_j) \quad (8)$$

式(8)中的  $i_j = \arccos(f_2)$ ,  $f_2$  是负荷段  $j$  在电压  $V$  时的功率因数。将式(8)代入式(6)中得:

$$\dot{V} = \sum_{j=1}^N f_j^{-1}(I_j) \quad (9)$$

与并联特性曲线的合成一样,串联线路段的特性曲线合成也是一个复变函数运算的过程。在实际的曲线合成中,由于条件的限制,我们仅能得到曲线上的部分点,要想得到曲线上的任意点我们可以利用插值的方法。

在并联合成时,当我们得到曲线上的  $N$  个点  $(\dot{V}_0, \dot{I}_0), (\dot{V}_1, \dot{I}_1), \dots, (\dot{V}_N, \dot{I}_N)$  时,对于  $\forall \dot{V} \in (V_1, V_2)$ , 我们可以用下式求得  $I$  的值:

$$I = \sum_{k=0}^N \left[ \left( \prod_{j=0, j \neq k}^N \frac{V - V_j}{V_k - V_j} \right) * k(V_k) \right] \quad (10)$$

在串联合成时,当我们得到曲线上的  $N$  个点  $(\dot{V}_0, \dot{I}_0), (\dot{V}_1, \dot{I}_1), \dots, (\dot{V}_N, \dot{I}_N)$  时,对于  $\forall \dot{I} \in (I_1, I_2)$ , 我们可以用(11)式求得  $V$  的值:

$$V = \sum_{k=0}^N \left[ \left( \prod_{j=0}^N \frac{I_k - I_j}{I_k - I_j} \right) * k(I_k) \right] \quad (11)$$

在整个系统的负荷特性曲线合成过程中,从低压到高压,并联合成和串联合成交替运用。不可能完全按实际线路结构进行串、并联合成,需要作适当的简化以减少交替运用的次数。对基层单位负荷(居民小区负荷、装有集中空调建筑的负荷、一般企事业单位负荷)的特性曲线进行合成,各类用电器具及设备的比例关系如表 1 所示,合成后的曲线如下图所示:

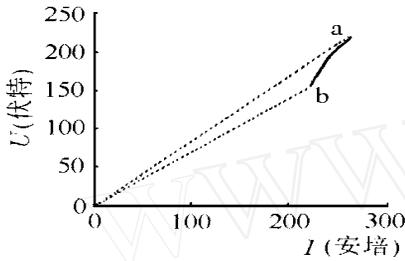


图 7 居民楼 VI 曲线

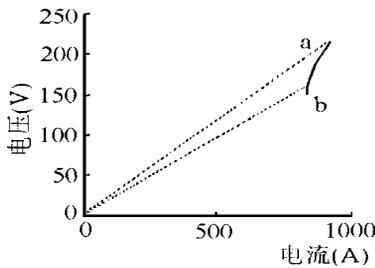


图 8 装有集中空调的 VI 曲线

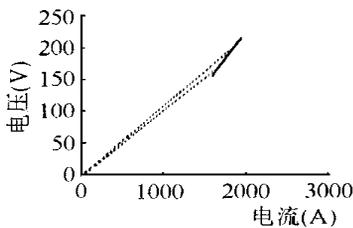


图 9 一般企事业单位的 VI 曲线

从图 7、8、9 中可以看到,装有集中空调建筑的负荷的阻抗模值下降最快,居民楼负荷次之,一般企事业单位的负荷的阻抗模值下降较慢。这种现象与它们当中空调的比重是密切相关的(装有集中空调建筑的负荷、居民楼、一般企事业单位中空调的比重分别为:0.55、0.29、0.15)。

合成各种基层单位负荷的曲线后,还要将其合成到各自的 10kV 变压器的二次侧上。这里要进行线路段伏安曲线的串联合成。在进行居民楼的负荷特性合成时,由于若干座楼共用一台变压器,在低电

压层次它比其它两种基层单位负荷多了一次并联合成与串联合成。

在 10kV 电压等级上,一条 10kV 线路接有许多基层单位负荷,它们分散在线路各处,为了简化,在线路适当的地点将它们集中在一起,并联合成后,当作一个线路段,该条线路作为另一个线路段处理,然后将上述两个线路段的伏安特性曲线进行串联合成,其结果表征接在 66kV 变压器二次侧母线上一条线路负荷的伏安特性,象这样的 10kV 负荷还有若干个,应该将它们的伏安特性并联合成,它们合成的结果就是 66kV 变压器低压侧母线总负荷的伏安特性,将其作为一个线路段,把 66kV 变压器和线路各作为一个线路段,将三个线路段的伏安特性曲线进行串联合成,合成的结果表征接在 66kV 变压器二次侧母线上一条线路负荷的伏安特性,像这样 66kV 的负荷

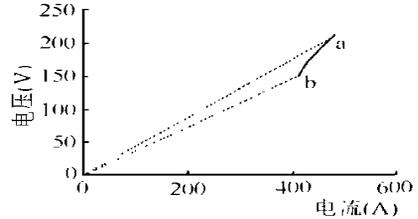


图 10 高压节点的 VI 曲线

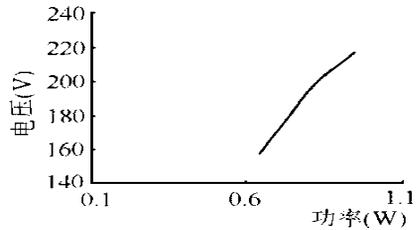


图 11 高压节点的 PV 曲线

还有若干个,应该将它们的伏安特性并联合成,合成的结果就是 220kV 变压器低压侧母线总负荷的伏安特性,将它作为一个线路段,把 220kV 变压器作为另一个线路段,将上述两个线路段的伏安特性串联合成,这就是空调负荷密集地区高压节点的伏安特性。在伏安特性中电流包括电流的模和相角,限于篇幅的关系,本文的图仅画了电压和模的关系,而电压与相角的关系没有绘出。

#### 4 结论

(1) 本文采用抽样调查与数学物理合成相结合的方法,从低压到高压有层次地进行集结,由合成的高层电压节点负荷伏安特性曲线,可以较为容易地得到其 PV 或 VV 特性。

(2) 由集结合成的结果看,空调负荷密集地区高压节点负荷的阻抗模值随电压的下降而迅速减小,对电压稳定的负面作用较显著。

(3) 当空调的比重变化时,对装有集中空调建筑的负荷、居民小区负荷、一般企事业负荷的定期抽样结果,将显示空调及其它负荷所占的新百分比,按新数据进行集结合成后,就可以看到空调比重变化对负荷特性影响。

#### 参考文献:

[1] Williams B R, Schmus W R, Dawson D C. Transmission

Voltage Recovery Delayed by Stalled Air Conditioner Compressors. IEEE Trans Power Systems, 1992, 7(3): 1173 ~ 1179.

[2] Shaffer J W. Air Conditioner Response to Transmission Faults. Paper No. 96 WM 3311 - 9 - PWRs. 1996 IEEE/PES Winter Meeting Baltimore. 1996.

[3] Katsuyuki Tomiyama John P. Daniel Satoru Ihara "Modeling Air Conditioner Load for Power System Studies". IEEE Transactions on Power System, 1998, 13(2).

[4] 柳焯. 电压稳定问题中重负荷节点的阻抗模解析(一)(二). 全国高等学校电力系统及其自动化专业第十四届学术年会论文集. 哈尔滨: 1998.

### Load characteristic accumulation for high voltage node in the area where air conditioners are gathering

WANG Yi, HAN Bei-yu, LIU Zhuo

(Harbin Institute of Industry, Harbin 150001, China)

**Abstract:** In this paper, a method consisting of sample investigation and physical, mathematical processing is proposed for the load characteristic accumulation for high voltage node in the area where air conditioners are gathering. Using the method, it can be easily researched that the air conditioners influence on the load characteristic of high voltage node. When the air conditioner load increases, the variations of the load characteristic parameters of high voltage node can be observed.

**Keyword:** air conditioner load; load characteristic accumulation; voltage stability; high voltage node

(上接第6页)

前面1和2节讨论的切除发电机和变压器的情况就是切除线路的特例。切除发电机后,零序阻抗不变,正序阻抗增大, $Z_0/Z_1$ 比 $Z_0/Z_1$ 大,则 $U_0 > U_0$ ,零序电压减小,则各支路零序电流减小;切除中性点直接接地的负荷变压器后,零序阻抗增大,正序阻抗不变, $Z_0/Z_1$ 比 $Z_0/Z_1$ 小,则 $U_0 < U_2$ ,零序电压增大,则各支路零序电流增大:可见和前面的结论完全一致。这也从一个侧面印证了结论的正确性。无数的实际整定比较计算证明的确如此。

上面分别讨论了电力系统的主要元件对零序电流的影响。通过对三序网络的分析,使我们加深了

对零序电流实质的理解,对故障时产生的零序电压和零序电流有了更加清楚的认识。特别是在依赖整定计算程序的今天,了解并掌握这些分析方法,理解并熟记这些结论,在继电保护整定计算和运行管理中能够帮助我们定性判断什么时候应该计算,什么时候不必计算(因为这时零序电流肯定不是我们需要的最大零序电流或最小零序电流)。而不必什么时候都要计算。使我们做到心中有数,少走弯路,减少了计算的盲目性,从而提高劳动效率及工作水平。相信本文对建立起零序电流清晰的物理概念以至提高整定计算水平大有裨益。同时也愿专家、同行多加指教和讨论。

### Qualitative analysis zero sequence overcurrent affected by change network component

CHENG Xiao - ping

(Anhui Electric Power Dispatching Center, Hefei 230061, China)

**Abstract:** This paper respectively discuss power system major component such as generator, transformer, line cut or not influence zero sequence overcurrent and get out general conclusion. Through analysis three sequence network, we are best understand the substance of zero sequence current and zero sequence voltage. In Relay Protection setting calculate and function manage, it is very helpful.

**Keywords:** setting calculate; three sequence network; zero sequence current